

**平成 27 年度**  
**大規模土砂災害対策研究機構年報**

**大規模土砂災害対策研究機構**

## 目 次

---

1. 研究機構の概要	1
1.1 構成機関	1
1.2 研究機構の取り組む課題	1
1.3 研究機構の果たす役割	1
2. 研究課題	2
2.1 重点研究	3
2.2 相互連携に基づく研究	15
3. 学会活動	61
3.1 学会誌掲載	61
3.2 学会発表	62
4. 広報・啓発活動	65
4.1 イベント	65
4.2 講演	65
4.3 ワークショップ	65
5. 研修活動	66
5.1 職員向け研修	66
5.2 学生研修の受け入れ	66
6. 平成 27 年度の主な活動	67
参考資料	68
参考資料-1	69
参考資料-2	70
参考資料-3	71
参考資料-4	72
参考資料-5	76
参考資料-6	80
参考資料-7	82
参考資料-8	84
参考資料-9	86
参考資料-10	92

參考資料-11	105
參考資料-12	114
參考資料-13	121
參考資料-14	129
參考資料-15	137
參考資料-16	146
參考資料-17	156
參考資料-18	163
參考資料-19	171
參考資料-20	182
參考資料-21	185
參考資料-22	187
參考資料-23	215
參考資料-24	219
參考資料-25	230

## 1. 研究機構の概要

---

大規模土砂災害対策研究機構は、平成 23 年紀伊半島大水害において多数発生した大規模な土砂災害を契機として、大規模土砂災害への対応技術の高度化に対して行政・大学・研究機関が連携して取り組むために平成 26 年度に設立され、様々な取り組みを進めている。

### 1.1 構成機関

大規模土砂災害対策研究機構は下記の 9 機関により構成される。

- ・ 国土交通省近畿地方整備局（大規模土砂災害対策技術センター）
- ・ 国土交通省国土技術政策総合研究所
- ・ 和歌山県
- ・ 那智勝浦町
- ・ 国立研究開発法人土木研究所
- ・ 北海道大学
- ・ 三重大学
- ・ 京都大学
- ・ 和歌山大学

### 1.2 研究機構の取り組む課題

研究機構では、主として下記の課題に対して取り組みを行う。

- ・ 大規模土砂災害に係る危険箇所の抽出・評価
- ・ 中山間地域の危機管理対策
- ・ 国土監視及び国土管理の強化
- ・ 次世代災害対応技術の開発・導入

### 1.3 研究機構の果たす役割

上記の取り組みに加え、地域に根ざした研究機関として、研究機構は下記の役割を果たすことを目指す。

- ・ 土砂災害防止に関わる人材育成支援
- ・ 地域防災力の充実・強化支援
- ・ 防災知識普及のための広報
- ・ 諸外国に向けての技術の発信

## 2. 研究課題

---

研究機構における研究として、大規模土砂災害対策技術センターが主体となり、構成機関の助言を受けながら実施する「重点研究」と、センターを含め構成機関相互の連携により共同で実施する「相互連携に基づく研究」の2本を軸として研究を実施している。

平成27年度は下記のテーマについて研究を行った。

### 2.1 重点研究

- ・ テーマ1 深層崩壊危険箇所抽出手法に関する研究
- ・ テーマ2 那智川流域を対象とした土砂災害危険度評価及び警戒避難対策手法の検討
- ・ テーマ3 大規模河道閉塞の対策技術に関する研究
- ・ テーマ4 深層崩壊対策工法に関する研究

### 2.2 相互連携に基づく研究

- ・ テーマ1 新たな流砂水文観測による流域監視に向けた取り組み
- ・ テーマ2 和歌山県内の深層崩壊発生斜面での水文・水質特性に関する研究
- ・ テーマ3 那智川流域での平成23年台風12号時の崩壊特性と水文特性
- ・ テーマ4 平成23年台風12号による和歌山県内の地震計の波形特性に関する研究
- ・ テーマ5 災害時の流木の流出率に着目した治山堰堤の効果的な配置手法に関する検討
- ・ テーマ6 過去の表層崩壊の崩壊特性と降雨分布との比較
- ・ テーマ7 球状風化を呈した花崗斑岩分布域における表層崩壊発生場の特性
- ・ テーマ8 地形開析に着目した球状風化を呈する花崗斑岩分布域における表層崩壊の発生特性
- ・ テーマ9 那智川流域における崩壊タイプに着目した地形解析
- ・ テーマ10 三重県藤原岳西之貝戸川における土石流発生プロセスとメカニズムを解明するための現地観測
- ・ テーマ11 那智川流域における雨水と湧水の安定同位体比の特徴
- ・ テーマ12 和歌山県東牟婁地域の熊野層群分布域における崩壊・土石流の実態と地形的特徴
- ・ テーマ13 画像解析によるダム湖面に滞留する流木の推計に関する研究
- ・ テーマ14 泥濘地における車輪型移動ロボットの周期操舵システム
- ・ テーマ15 ユーザのつぶやきに即した防災情報提供システム“あかりマップ bot”の構築
- ・ テーマ16 紀伊半島におけるジオツーリズムを通じた防災教育の可能性

# 深層崩壊危険箇所抽出手法に関する研究

国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所

吉村元吾・今森直樹・奥山悠木

本研究では、深層崩壊発生斜面と航空レーザ測量データを用いた地形解析結果を重ね合わせ、深層崩壊発生斜面の地形的特徴を把握する。これらの地形的特徴や、深層崩壊発生斜面での地質・水文調査、空中電磁探査等により、深層崩壊危険斜面の抽出手法を検討する。

## 1. 研究の背景・目的

極端な気象現象が世界規模で頻繁に発生するなか、我が国においてもこれまでの観測記録を大幅に上回る豪雨が頻発し、深層崩壊に起因する土砂災害が多数発生している。深層崩壊は、土砂移動現象としての規模が大きいことから、崩壊土砂による被害も甚大となるうえ、河道を閉塞させた場合には、湛水による被害や、越流等による決壊に伴う下流の被害などの影響が大きい。



図-1 十津川上域で発生した深層崩壊の状況  
(平成23年台風12号)

このような異常な気象現象に伴う深層崩壊の発生から国土を保全していくためには、深層崩壊が発生する斜面の地形・地質・水文的な特性を把握し、発生機構を研究していくことが重要であり、その結果を深層崩壊発生の危険性が高い斜面の予測手法につなげていくことが重要である。

深層崩壊発生の危険性が高い斜面においては、施設整備、事前の避難による災害の防止や被害の軽減等の対策が望まれるものの、有効な対策を実施するためには、どの斜面で深層崩壊が発生しやすいのかを予測することが必要となる。

そこで本研究では、平成23年台風12号の豪雨により複数の斜面で深層崩壊が発生した十津川上流域を対象として、深層崩壊発生前に取得された航空レーザ測量データを活用して深層崩壊発生との

関連性が高い地形・地質・水文特性を把握する。この結果をふまえ、紀伊山地において、豪雨による深層崩壊が発生する危険性が相対的に高い斜面を抽出する手法を検討する。

研究結果で得られた知見は、我が国全体の深層崩壊発生による土砂災害の予測・対策に資する基礎資料となることが期待される。

## 2. 研究課題

本研究では、新宮川水系十津川流域をモデルケースとした深層崩壊危険箇所抽出手法の確立に向けて、以下に示す研究課題を設定し、各種検討を進めているところである。

### (1) 地形解析による抽出手法の検討

深層崩壊発生斜面で計測された発生前の航空レーザ測量データを用いて、深層崩壊発生との関連性が高い地形条件を抽出する。抽出した条件を用いて、地形条件から深層崩壊危険斜面の絞り込み手法を検討する。

### (2) 地質・水文調査による深層崩壊発生機構と抽出手法の検討

地形・地質・水文情報を基に深層崩壊発生機構をモデル化するとともに、空中電磁探査結果に対する地質・地形的な検証を行う。また、斜面詳細調査による斜面・ブロックの絞り込み手法を検討する。

### (3) 空中電磁探査による抽出手法の検討

重力変位・変形発達斜面の比抵抗特性把握と検証、地質・水文特性に関する比抵抗特性の確認を行い、比抵抗特性から着目する斜面・ブロックの確認手法の検討と適用性を確認する。

### (4) マニュアル(案)のとりまとめ

地形解析、地質・水文調査・空中電磁探査の検討結果を基に、新宮川水系十津川流域をモデルケ

ースとした深層崩壊危険斜面抽出手法の考え方を、全国に適用できるようなマニュアル（案）の形で取りまとめる。

### 3. 平成27年度の研究成果

平成27年度に実施した研究成果は以下のとおりである。

#### (1) 地形解析による抽出手法の検討

##### 1) 地形条件の広域への適用

平成23年台風12号による深層崩壊発生前の航空レーザ計測データが存在する十津川上流域を対象に、平成25年度に、航空レーザ計測による高精度地形データを活用して深層崩壊危険斜面を絞り込む地形条件を検討した。平成26年度は、それらの条件を十津川下流域に適用し、深層崩壊発生との関連性が強く、深層崩壊危険斜面の抽出指標として適用性が高いと考えられる4指標（重力性変形の延長密度、固有値比、斜面勾配、平均比高（起伏量））を抽出した。さらに、それらの4指標を組合せ、「より絞り込む条件（重力性変形の延長密度該当、かつ固有値比、斜面勾配、起伏量（平均比高）のいずれかが該当）」と「見逃しを少なくする条件（4指標のうちいずれか1つ該当）」の2種類の抽出条件を考えた。

平成27年度は、その検討を、北山川流域、紀の川上流域、有田川・日高川上流域、富田川・日置川上流域等の紀伊半島の広域3,935km<sup>2</sup>に適用し、その適用性を検証した。さらに、流域ごとに深層崩壊に関する地形要素の特徴を把握し、その特性を地形発達史と関連付けて考察した。

**【対象流域全体への抽出手法の適用性】**対象流域に2種類の抽出条件を適用した結果、15,270斜面中「より絞り込む条件」では828斜面（全体の5.4%）、「見逃しを少なくする条件」では5,440斜面（全体の35.6%）が抽出された。平成23年台風12号で発生した深層崩壊発生箇所と比較すると、前者は的中率比6.64、カバー率36.1%、後者は的中率比2.23、カバー率79.2%であった。

「より絞り込む条件」、「見逃しを少なくする条件」ともに、的中率比、カバー率が、閾値等を設定した十津川上流域と概ね同じ値となり、広域に展開した場合においても手法の汎用性、有効性が確認された。

**【流域ごとにみた抽出手法の適用性】** 的中率比、カバー率を流域別にみると、発生した深層崩壊箇

所数が極めて少ない北山川流域と有田川・日高川流域を除くと、いずれの流域でも「より絞り込む条件」の的中率比は概ね4.0以上、「見逃しを少なくする条件」のカバー率75%以上が確保されていた。周辺の流域いずれにおいても、効果的に深層崩壊発生危険斜面が抽出できていることが確認された。

#### 2) 深層崩壊発生に関連する地形特性に関する考察

千木良（2009）では、深層崩壊の発生メカニズムの1つとして、河川による下刻作用で起伏量が大きくなると、兩岸の重力性変形が進んだ斜面の下部が侵食されることとなり、不安定化して崩壊が発生する、と説明されている。今回の検討で抽出された各指標は、このメカニズムと整合的であり、両者が兼ね備わった斜面でより危険性が高いとした手法を合理的に説明できる。

流域ごとに深層崩壊に係る地形特性を確認すると、紀伊半島中央部に近い北山川流域では、斜面勾配や平均比高（起伏量）が大きい傾向にあった。一方、紀の川上流域や有田川・日高川上流域、富田川・日置川上流域では、固有値比や重力性変形による延長密度が高く、斜面の変形が進んでいる傾向が見られた。また、十津川流域は、その両方の特徴を兼ね備えていることが分かった。

この傾向から、北山川流域では下刻作用の影響が強い斜面で、紀の川上流域、有田川・日高川上流域、富田川・日置川上流域では、重力性変形の進行の影響が強い斜面で深層崩壊が発生したと考えられる。十津川流域では、両者の特徴を持つ斜面が共に存在しており、深層崩壊の発生数や密度が高くなったと考えられる。また、両者の特徴を兼ね備えている斜面では、規模が大きい傾向にあることが確認されており、十津川流域でそのような事例が多く確認されていることも、上記のメカニズムと整合的な特徴と考えられる。

### 4. 次年度以降の課題

次年度以降の課題は以下のとおりである。

#### (1) 地形解析による抽出手法の検討

##### 1) 着目する斜面の変形領域（輪郭）の把握

抽出した斜面を対象に、より詳細な危険度判定や被害想定を行うためには、抽出された斜面のなかからより変形が進行した領域を推定していくこ

とも必要と考える。そのため、抽出した斜面の重力性変形の発達状況を詳細に判読し、変形が進行した領域の輪郭を把握する手法を検討する。

## **2) 地質・水文特性に着目した現地調査**

深層崩壊の発生には斜面内の地質・水文特性が深くかかわっていると考えられる。このため、地形特性から抽出した斜面を対象に、流れ盤等の地質特性や湧水分布と水質変化等の水文特性に着目した現地調査を行い、重力性変形の進行状況、変形領域（輪郭）と地質・水文特性の関連性を検討する。

# 那智川流域を対象とした土砂災害危険度評価 及び警戒避難対策手法の検討

国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所

吉村元吾・今森直樹・奥山悠木

平成23年紀伊半島大水害において、那智川流域で発生した土砂移動及び警戒避難の実態を整理したうえで、流域内で想定される土砂災害リスクの評価を行う。さらに、リスク評価結果をもとに、流域内の土砂動態観測データの活用も見据えた警戒避難対策手法について検討する。

## 1. 研究の背景・目的

極端な気象現象が世界規模で頻繁に発生するなか、我が国においてもこれまでの観測記録を大幅に上回る豪雨が頻発し、激甚な土砂災害が各地で発生している。こうした異常な気象現象に伴う土砂災害から国土を保全するためには、土砂災害の発生機構の解明が不可欠であり、特に過去の降雨実績を上回る降雨等によって発生する土砂移動現象を予測することは警戒避難対策を講じる上で重要である。

そこで本研究では、これまでの降雨実績を上回る平成23年台風12号の豪雨により複数の溪流で崩壊・土石流が発生した那智川流域を対象として、土砂災害の発生機構の解明に向けた検討を行なう。那智川流域における土砂災害の発生機構を解明することは、当該流域の保全だけでなく、我が国全体の土砂災害予測・対策に資する基礎資料となることが期待される。

## 2. 研究課題

本研究では、土砂災害の発生機構の解明に向けて、以下に示す研究課題を設定し、那智川流域をケーススタディとした各種検討を行なった。

### (1) 土砂移動実態の把握

那智川流域における平成23年災害時の崩壊・土石流の発生実態の調査や、災害後の土砂移動モニタリングを行い、土砂移動予測のための基礎データとして整理する。

### (2) 土砂移動予測モデルの構築

水文モデルによる斜面崩壊予測や、土石流（特に平成23年台風12号豪雨のような同時多発的に発生する土石流）による被害予測手法の確立に向けた検討を行なう。

### (3) 災害リスク評価と警戒避難対策の高度化

超過外力や地震、あるいは複合的災害によるリスク評価とそれに対する防災・減災のあり方を検討する。



図-1 那智川流域の土石流発生状況  
(H23年台風12号)

## 3. 平成27年度の研究成果

平成27年度に実施した研究成果は以下のとおりである。

### (1) 土砂移動実態の把握

#### 1) 表土層厚に関する調査

平成26年度の調査では、那智川流域のモデル斜面（3地区）において、土層強度検査棒及び簡易動的コーン貫入試験による土層厚調査を実施した。その結果、コアストーンの分布域の土層厚が1m未満に偏るなど、土層厚推定モデルを作成するうえでの課題が明らかとなった。

そこで本年度は、コアストーンを伴う花崗斑岩分布域において、実態に即した土層厚を測定するために、高密度電気探査を実施し、昨年度に検討した土層厚推定モデルの高精度化を図った。電気探査の結果、表層より1~5mの深さで高比抵抗帯

(3,500~10,000 Ω・m) が分布し、主に山頂緩斜面から開析斜面上部にかけては高比抵抗帯の極大値 (5,000 Ω・m以上) が表層から概ね2mの深さで目玉状に分布する傾向が見られた。さらに、この高比抵抗帯極大値の面的な分布を確認すると、開析斜面上部や下部斜面上の侵食・崩壊谷を取り囲むように分布しており、現地踏査による露岩分布と調和的な傾向が読み取れた。

以上の結果から、コアストーンを伴う花崗班岩分布域において、高密度な電気探査を実施することにより、土層厚に相当する層を抽出できる可能性が示唆された。

さらに、上記の物理探査で得られた土層厚をもとに、地形分類及び斜面傾斜度をパラメータとした土層厚推定式を作成し、那智川流域全域 (花崗班岩分布域) を対象とした10mメッシュごとの土層厚推定モデルを作成した。その結果、昨年度作成した土層厚推定モデルと比べて、土層厚は1.5倍程度大きい値となり、上述した平成26年度調査における課題をある程度解決することができた。

## 2) 斜面における水文観測

降雨や土壌水分、地下水位等の観測データや斜面変位の計測データ等から、降雨と地下水位の応答関係や斜面変位との関係性を整理した。

特に今年度からは、流量や濁度の集中観測を実施している金山谷川において、崩壊地内及び崩壊周辺の6箇所地下水位の観測を開始した。これにより、降雨と地下水位、溪流の流量の比較が可能となり、崩壊発生機構解明に必要な降雨流出過程を把握するための観測環境が整ってきた。

平成27年の観測では、台風第11号他いくつかの降雨で地下水位の変動が観測され、降雨と地下水位、流量の応答関係が把握できた。これらの観測成果や過年度の地質調査成果等から、平成23年紀伊半島大水害の崩壊発生について、当時の地下水状況等に関する知見が得られた。

今後も、崩壊発生機構の解明に向け、強度や継続時間等の異なる降雨での比較検証や他溪流 (非荒廃溪流) との比較、表面流や未崩壊斜面での地下水挙動 (間隙水圧) の観測等の拡充が必要と考えられる。

## 3) 溪流における濁水観測

出水時のバケツ採水による濁水観測を行なうとともに、採取資料の分析 (粒度分布等) を行なった。また、濁水の発生起源 (河床部あるいは崩壊地部) を推定するために、土砂生産源 (崩壊地内) における粒径調査を行なった。

これらのデータを用いて、出水時の懸濁物質の

時系列的な変化と、上流域での土砂動態 (崩壊地の残土流出や崩壊地部の拡大等) との関係性を分析し、濁水観測から上流部での事象を推定することの可能性を検討した。

平成27年7月の台風第11号に伴い金山谷川左支溪の崩壊地で拡大崩壊が発生した。この時の土砂移動について、崩壊前後の地形変化 (地上型LPによる差分解析) と流下域での水位、濁度、溶存イオン、浮遊砂成分の粒度変化を観測した。SSと流量の関係、溶存イオン濃度や浮遊砂の粒度分布の時間的な変化から、濁水の挙動と上流での土砂移動状況がある程度関連づけられることが示唆された。

今後も、強度や継続時間等が異なる降雨での検証や、より土砂生産源から離れた下流河道での浮遊砂観測 (距離に応じた浮遊砂の変化) との比較検証等が必要と考えられる。

## 4) 平成23年災害時の被害実態調査

平成23年災害時の被害実態や被害発生メカニズムを明らかにするために、過年度調査で実施した家屋被害調査に加えて、家屋内の被害実態や家屋等構造物周辺の土砂堆積状況等を追加的に調査した。

調査はヒアリングや現地調査、災害写真の観察等により実施し、主要地点ごとに被害発生時刻や、被害状況、出水中の最高水位、土砂堆積状況等、被害に関わる事項をとりまとめた。さらに、これらの結果や家屋等構造物周辺の痕跡調査をもとに、災害時の最大水深分布等を把握した。

以上の調査結果は、今後の各種解析への基礎資料として、また、災害を後世に残していくための啓発資料として活用できるように、データベースとしてとりまとめた。

## (2) 土砂移動予測モデルの構築

### 1) 水文モデルによる斜面崩壊危険度評価

本年度に実施した表土層厚の調査結果を用いて、簡易水文モデル (H-Slider 法) による崩壊発生危険度評価を行なった。地盤の物性パラメータについては、現地サンプルによる土質試験結果に箇所ごとのばらつきが見られたため、複数のパラメータの組合せによるトライアル計算を行ない、H23災害時の崩壊地の再現性 (適中率、捕捉率等) が高いパラメータの組合せを導いた。最適ケースでは、H23災害時の崩壊地 (崩壊発生メッシュ) の捕捉率は約78%と比較的良好な結果が得られた。

今後は、熊野層群との地質境界付近で崩壊が多発した実績と調和的な結果が得られるように、地

質境界付近での合理的な地盤物性値の設定方法について検討が必要である。

## 2) 同時多発的に発生する土石流による被害予測

平成 26 年度調査による那智川本川及び支川合流部での氾濫・堆積状況等の実態調査や、本年度実施した被害実態調査結果をもとに、支溪流からの土砂流入とそれに伴う本川河道での土砂・洪水氾濫を想定するための土砂移動予測モデルについて検討した。

土砂移動予測モデル構築のための平成 23 年災害の再現解析を行なうにあたり、昨年度の調査結果より、①尻剣谷川合流点における本川河道の侵食と、②源道橋上流での土砂堆積が再現解析上のコントロールポイントになると考えられた。そこで、過年度までのモデルに対して、①地形データの精度向上、②尻剣谷川～井関地区の感度分析(粒度分布、支溪流からの供給土砂ハイドロ、堆積速度係数、浮遊砂の取り扱い等)を行ない、再現解析を試みた。

その結果、粒度分布の見直し等により、局所的には実態に近づく結果を得ることができたが、①尻剣谷川合流点における本川河道の「侵食」と、②源道橋上流での「土砂堆積」という相反する 2 つの現象を、同時に表現するモデルの構築に至らず、今後の課題として整理した。

## (3) 災害リスク評価と警戒避難対策の高度化

紀伊半島南部は、台風の常襲地域であり、かつ南海トラフ系の海溝型巨大地震による被害も想定される地域である。このような巨大災害によるリスクを事前に想定し、必要な対策を検討しておくことは重要である。

上記を踏まえ、本年度は昨年度に実施した那智川での検討と同様に、那智川流域を含む紀伊山地南東部にエリアを拡大し、関係市町のハザードマップ等を踏まえ、降雨、地震あるいは両者が複合する災害シナリオにより、対象地域で想定されるリスクを整理し、警戒避難等に関する課題を整理した。

## 4. 次年度以降の課題

本年度の研究成果を踏まえて、次年度以降に実施すべき事項を以下に列記した。

### (1) 土砂移動実態の把握

#### 1) 表土層厚に関する調査

本年度の調査では、高密度電気探査の実施により、コアストーンを伴う花崗斑岩分布域において土層

厚に相当する層を抽出できる可能性を示唆する結果が得られ、その有効性が確認された。今後は、平成 23 年災害で発生した崩壊の崩壊深と土層厚の関係性の分析を進める。また、未調査の熊野層群での表土層厚調査を行ない、花崗斑岩分布域と堆積岩分布域での土層構造の違いを明らかにする。

#### 2) 流砂・水文観測

斜面における水文調査は、降雨浸透から崩壊に至る過程を明らかにするうえでの基礎データとなり得るものであり、今後も継続的な観測によるデータ蓄積を進めていく予定である。同様に、溪流における濁水調査等についても、土砂移動の前兆現象となり得る観測項目の抽出に向けて、引き続き観測を継続し、流砂・水文観測に基づく流域監視手法の確立に向けてデータ蓄積を図る。

## (2) 土砂移動予測モデルの構築

### 1) 水文モデルによる斜面崩壊発生危険度評価

次年度に調査する表土層厚データ等を用いて、簡易水文モデル(H-Slider 法)による崩壊発生危険度評価を行なう。危険度評価にあたっては、平成 23 年災害時に特に花崗斑岩の地質境界付近で崩壊が多発したことに着目した検討を行なう。

### 2) 同時多発的に発生する土石流による被害予測

土砂移動シミュレーションモデルの精度向上のために、①尻剣谷川合流点付近における土砂移動状況、②源道橋上流区間における土砂移動状況を切り離した検討を行ない、一連の土砂移動現象を再現するための課題を整理する。

さらに、上記の結果を踏まえて、土石流区間からの土砂流出が顕著な掃流区間における土砂移動について、その特徴や土砂移動予測に関する留意事項をとりまとめる。

## (3) 災害リスク評価と警戒避難対策の高度化

前項で検討したシミュレーションモデル(斜面危険度評価モデル、土石流被害予測モデル)を用いて、超過計画規模降雨時の被害想定を行なう。また、地震も含めた複合自然災害によるリスクについて、被害想定手法の確立に向けた課題検討を行なう。

さらに、土砂災害に加えて、地震や津波などの自然災害を想定した総合的な防災対策のあり方について検討する。

# 大規模河道閉塞の対策技術に関する研究

国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所

吉村元吾・今森直樹・奥山悠木

本研究では「平成24年度 河道閉塞等対策検討委員会」（委員長：水山高久教授 京都大学大学院農学研究科）の提言等に基づいて紀伊山地においてこれまで実施してきた深層崩壊・河道閉塞対策（8箇所：赤谷地区、長殿地区、栗平地区、北股地区、熊野地区、清水〔宇井〕地区、坪内地区、三越地区）を検証し、それを踏まえて深層崩壊・河道閉塞対策の基本的な考え方とともに適用可能な対策手法や工法について検討する。

## 1. 研究の背景・目的

我が国における深層崩壊・河道閉塞に起因する土砂災害には、古くは1858年（安政5年）飛越地震／鳶崩れ（常願寺川）、明治～昭和期にかけては1889年（明治22年）十津川大水害（奈良県新宮川）、1953年（昭和28年）有田川災害（和歌山県）、そして近年では2004年（平成16年）新潟県中越地震（新潟県）、2008年（平成20年）岩手・宮城内陸地震（岩手県・宮城県）、2011年（平成23年）紀伊半島大水害（奈良県・三重県・和歌山県）などがある。また、海外では2012年～2013年（平成24～25年）インドネシア共和国マルク州アンボン島（ワイエラ川）の事例もある。

深層崩壊・河道閉塞に起因する災害には河道閉塞の形成に伴う浸水被害（新潟県木籠地区、宮城県湯ノ倉地区）、河道閉塞の決壊に伴う大規模な土石流による土砂・氾濫被害（富山市常願寺川、インドネシア共和国ワイエラ川）などが特徴的であり、さらには、深層崩壊・河道閉塞から長期間にわたって土砂が流下することによる河床上昇に伴う氾濫被害も発生する。



図-1 深層崩壊・河道閉塞の発生状況（赤谷地区）

近年の国土交通省による深層崩壊・河道閉塞の対策工事としては、2004年（平成16年）新潟県中越地震時に新潟県山古志村（当時）芋川流域に形成された東竹沢地区・寺野地区において実施された、緊

急対策としての排水ポンプによる湛水池の水位低下や重機による排水路開削・排水管設置等の越流決壊防止工、恒久対策としての河道閉塞部下流における堰堤工・排水路工の整備による河道閉塞の安定性確保が主流となっている。この対策方針は2008年（平成20年）岩手・宮城内陸地震時における対策工事を経て、各種マニュアル（例えば、「天然ダム対策工事マニュアル（施工編）（案）」平成22年11月）に整理されている。

しかし、2011年（平成23年）紀伊半島大水害で形成された河道閉塞の閉塞高が、それまでの最大規模50mを大きく上回る100mにも達していたために対策計画や施工がより困難になった上、閉塞部の高低差が大きいため湛水池から流出する流水の影響が極めて大きく、さらには頻繁に崩壊地から土砂流出が発生する大規模な深層崩壊斜面直下で対策を実施するなど、厳しい条件下での対策を強いられた。

そこで本研究では、2011年（平成23年）紀伊半島大水害において生じた深層崩壊・河道閉塞の対策工事を通じて得た対策に関する知見を基本として、2004年（平成16年）新潟県中越地震災害の芋川流域、2008年（平成20年）岩手・宮内陸地震災害の磐井川・迫川流域における対策工事をレビューしながら、河道閉塞が形成された直後に実施する緊急対策工事の基本方針をはじめ、深層崩壊・河道閉塞対策計画、適用可能な対策手法・工法、対策工事のあり方について検討を行う。本研究の成果は、我が国全体における深層崩壊・河道閉塞対策技術の向上に資する基礎資料となることが期待される。

## 2. 研究課題

本研究では、深層崩壊・河道閉塞対策のあり方の検討に向けて、以下に示す研究課題を設定し、各種検討を行なった。

### (1) 既往の深層崩壊・河道閉塞対策のレビュー

これまでに実施してきた緊急対策・恒久対策工事の整理とともに、他地域の対策事例の収集・整理を行う。

### (2) 深層崩壊・河道閉塞対策と土砂移動実態の把握

これまでに実施してきた対策工事を時系列的に整理するとともに、2011年（平成23年）以降に発生した出水時等の土砂移動実態を把握する。

### (3) 対策の妥当性検証及び課題抽出

施工業者へのヒアリングを実施して対策の妥当性・効果・課題、今後の対策のあり方に関する意見を把握するとともに、(2)で整理した対策と土砂移動実態との関係进行分析し、対策の妥当性検証と課題抽出を行う。

### (4) 深層崩壊・河道閉塞対策のあり方の検討

上記を総括し、深層崩壊・河道閉塞対策計画、適用可能な対策手法・工法、対策工事のあり方を検討し、マニュアルとしてとりまとめる。

## 3. 平成27年度の研究成果

平成27年度に実施した研究成果は以下の通りである。

### (1) 深層崩壊・河道閉塞対策と土砂移動実態の把握

各地区（8箇所）において対策工事の着工から平成27年度までに発生した土砂移動現象の実態を整理するとともに、これまでに実施してきた緊急対策・恒久対策工事の実施状況を時系列的に整理し、各時点における対策工の考え方（その対策工を選定した根拠など）と実態について分析した（図-2）。



図-2 対策工事の時系列的な流れと対策の考え方（赤谷地区）

本年度は、平成27年7月15日～18日台風11号により赤谷地区で小規模な崩壊地の二次侵食が発生した以外は大規模な崩壊地の拡大・侵食等は発生していない。しかし、河道閉塞部では赤谷地区、栗平地区、長殿地区で流水による侵食が生じ、対策工の一部が破損した。

### ■赤谷地区の土砂移動実態

赤谷地区では深層崩壊の源頭部から中央部で二次侵食が発生して河道閉塞部に土砂が流出している。河道閉塞部では越流水による侵食が著しかったが、施工が完了していた砂防堰堤により河道閉塞部の侵食は生じていない（図-3）。しかし、堰堤の直下流左岸部において局所的な洗掘が生じたため垂直壁の一部が破損した。

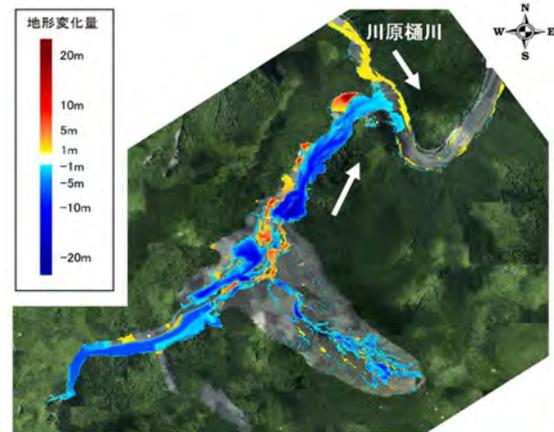


図-3 赤谷地区におけるH27年7月台風11号前後の標高差分析図

### ■長殿地区の対策工の破損実態

長殿地区では湛水池からの越流は生じていないが、河道閉塞部の形成直後から確認されていた浸透流の影響によって仮排水路工の一部が破損した。浸透流は仮排水路工の最下流端から暗渠によって排水していたが、豪雨時には河道閉塞部の脚部や仮排水路工の基礎部から湧出していた。こうした豪雨時における継続的な浸透流の湧出によって仮排水路工の基礎が地中で侵食され、今回の降雨によって仮排水路工の破損に至ったものと推定される。

### (2) 対策の妥当性検証及び課題抽出

対策工事の着工から平成27年度までに発生した土砂移動現象および対策工事の実施状況に基づき、対策の効果や妥当性を検証するとともに、課題について抽出した。以下に主なポイントを示す。

#### ■対策の妥当性

- ・ 暗渠排水管は、流水の安定的な排水、対策工事の安全確保、降雨時の湛水池の水位上昇抑制、河道閉塞部の侵食抑制、深層崩壊からの土砂流入時の排水等の効果を発揮している（赤谷地区；図-4、栗平地区）。
- ・ 仮排水路工は、越流水の安全な流下と河道閉塞部の侵食抑制に対する効果を発揮している。これは深層崩壊からの土砂流入によって埋没した場合であっても確認できる（赤谷地区、長殿地区）。

- ・ 深層崩壊の不安定土塊（特に崩壊頭部）の除去、崩壊地内の二次侵食・土砂流出防止対策は、深層崩壊や河道閉塞部の下流に対する土砂流出抑制および仮排水路工・暗渠排水管の閉塞防止効果を発揮している（北股地区；図-5）。



図-4 暗渠排水管による安定的な排水（赤谷地区）



図-5 崩壊地頭部の排土（無人化施工）と崩壊地からの土砂流出抑制工（北股地区）

- ・ 堰堤工は、河道閉塞部の侵食抑制とともに河道閉塞部の上流から流出する土砂の流出抑制に対する効果を発揮している（赤谷地区、北股地区；図-6）。



図-6 崩壊地脚部の堰堤工（赤谷地区）

■ 対策の課題の抽出

- ・ 河道閉塞部の脚部、暗渠排水管や仮排水路工の下流端（流出口）では流水による局所的な洗掘が発生する可能性が高いので、排水路と同時に堰堤工等の減勢工を整備することが重要である（赤谷地区、栗平地区）。
- ・ 浸透流が発生する場合は、排水路工とともに浸透流の排水対策（ドレーン工等）を整備することが重要である（長殿地区）。
- ・ 堰堤工の直下において局所的な洗掘が発生する

可能性がある（赤谷地区）。

(3) 深層崩壊・河道閉塞対策のあり方の検討

これまでの検討結果を総括し、工事の安全対策等を考慮しつつ、要求される効果を早期かつ確実に発揮できる対策を低コストで安全に実施可能となる効果的な対策手法のあり方を検討し、紀伊山地における深層崩壊・河道閉塞対策マニュアル（案）をとりまとめた（図-7）。

とりまとめに際しては、有識者ならびに各地区を担当している施工業者へのヒアリングを実施し、指導をいただいた（図-8）。

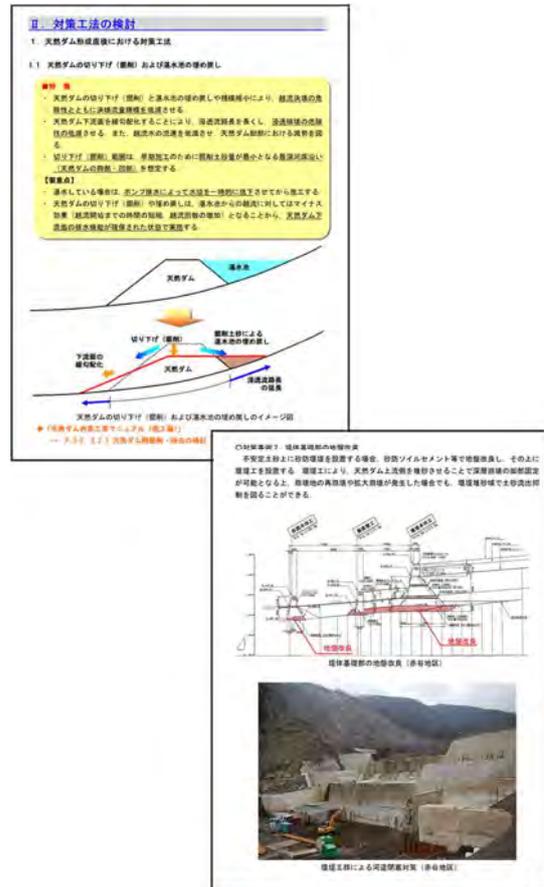


図-7 紀伊山地における深層崩壊・河道閉塞対策マニュアル（案）



図-8 施工業者ヒアリングの実施状況

# 深層崩壊対策工法に関する研究

国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所

吉村元吾・今森直樹・奥山悠木

本研究では、紀伊山地の深層崩壊対策モデル斜面を対象として、想定される深層崩壊発生機構を踏まえ、深層崩壊の発生を抑制する対策工法や効果判定方法について検討する。

## 1. 研究の背景・目的

紀伊山地では、平成23年9月台風12号の豪雨により、大規模な深層崩壊が多発し、17箇所の天然ダムが形成された。深層崩壊は土砂移動の規模が大きく、一度崩壊が発生すると被害が甚大なうえ、広範囲に影響を及ぼし、対策までの時間も長期間必要となる。

このような深層崩壊による被害を軽減するためには、深層崩壊の発生の恐れのある斜面を抽出し、保全対象の重要性により深層崩壊の発生を抑制する有効なハード対策とソフト対策とを組み合わせた事前予防対策が重要である。

そこで本研究では、深層崩壊のモデル斜面を選定して、対象斜面の深層崩壊発生機構を踏まえ、深層崩壊発生前に実施可能な対策工法について、有効な対策工法の選定や施工方法、効果判定手法について検討し、対策工の評価手法を構築することを目的とする。また、他地域にも適用できるようマニュアル(案)等の形で取りまとめを行う。

紀伊山地における深層崩壊対策工法の効果判定に関する研究成果が、我が国全体の深層崩壊対策工法の検討や効果判定に資する基礎資料となることが期待される。

## 2. 研究課題

本研究では、奈良県吉野郡天川村柘尾地区内の斜面をモデル斜面として、詳細な地質調査を実施し、深層崩壊の発生機構を踏まえた対策工法の選定・施工法の検討、効果判定手法の検討を行う。対策工法の効果判定手法の確立に向けて、以下に示す研究課題を設定し、各種検討を行う。

### (1) 地形・地質・水文特性の把握

深層崩壊に関連する地形・地質・水文状況から対象とするモデル斜面を選定する(図-1)。

選定したモデル斜面において詳細な現地調査を行う。現地調査は、電気探査、機械ボーリング、各種検層、モニタリング等を実施し、これらの結果からモデル斜面の深層崩壊発生機構を検討して、

実施可能な対策工法の検討資料とする。

対策工施工前後の地下水位、湧水量・排水量の観測を行い、施工前後の地下水の変化を把握するとともに、地下水解析の基礎資料とする。また、施工前後の比抵抗分布の比較により、地下水低下範囲や地下水流下経路の変化を把握する(電気探査、空中電磁探査等の利用)。

### (2) 深層崩壊対策工法の検討

対象斜面で実施可能な深層崩壊対策工法を検討するために、既往の対策工法や仮設方法の資料収集・整理を行う。

モデル斜面で実施可能な対策工と選定された工法について試験施工を行い、工法の選定方法、施工方法、維持管理手法等について検討する。

### (3) 施工効果判定手法の確立

対象とするモデル斜面は、深層崩壊の発生の恐れのある斜面であり、かつ、明瞭な土塊移動に至っていない斜面である。観測期間中に変位が観測されない場合や崩壊面が未発達の場合が想定され、崩壊面の推定手法や安定計算による安定度評価方法について検討する。

深層崩壊対策工法の効果判定手法を確立するために、効果判定を行うための地下水モデル構築と検証を行う。効果判定には、施工前後の地下水位や湧水量等の観測データの比較、ある対象水位(既往最大、超過確率雨量対応等)との比較、タンクモデル(ボーリング孔の地下水位解析)、浸透流解析(面的な解析)等の手法があり、これらの地下水モデルと安定計算手法を組み合わせた手法について検討し、対策工の効果判定手法の構築・検証を行う。得られた成果は、マニュアル(案)としてとりまとめる。

## 3. 既往の研究成果

平成25～26年度に実施した研究成果は、以下のとおりである。

### (1) 地形・地質・水文特性の把握

モデル斜面における詳細な現地調査として、電気探査、機械ボーリング、各種検層、水質分析等

を行い、地質・水文特性を把握し、深層崩壊の発生機構について検討した。

また、施工効果判定手法の検討のための地下水水位や湧水量の観測データが必要となるので、各種観測機器を設置して、観測体制を整備した。

### (2) 深層崩壊対策工法の検討

モデル斜面で実施可能な対策工法や仮設方法について、主に地すべり対策や急傾斜地対策等の工法の資料収集・整理を実施した。

対象地で実施可能な工法として斜面脚部での地下水排除工（横ボーリング工）を選定し、施工方法や仮設方法について検討した。

### (3) 施工効果判定手法の確立

モデル斜面は、明瞭な土塊の変動に至っておらず、崩壊範囲の設定や地盤内の崩壊面の設定が困難な場合が想定されるため、崩壊面を予測する手法について資料収集・整理を実施した。

また、深層崩壊対策工法の効果判定手法を検討するために、主にタンクモデルと浸透流解析による地下水モデルの構築方法について、既往資料の収集・整理を実施した。

## 4. 平成27年度の研究成果

平成 27 年度に実施した研究成果は、以下のとおりである。

### (1) 地下水水位、湧水量・排水量、動態観測等のモニタリング

タンクモデル検討のために、溪流 4 か所および湧水 1 か所について（図-1）、それぞれの水位と現地での流量観測実測値から、H-Q 換算式を求めた。ボーリング孔内水や沢水、湧水の電気伝導度を連続観測し、雨量との関係を把握した。

また、電気探査を実施して、横ボーリング工施工前後の比抵抗分布の比較による地下水排除工の効果判定方法を検討した。

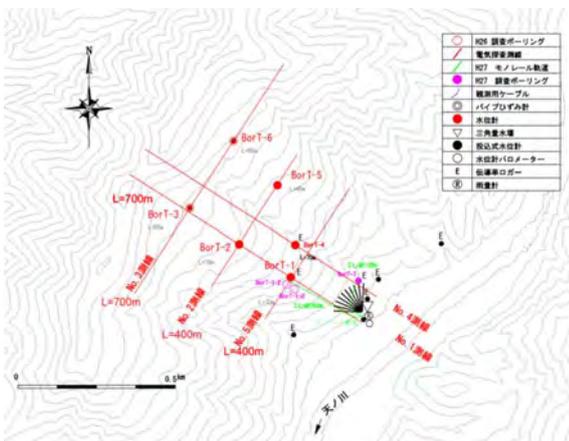


図-1 天川村栃尾地区調査位置図

### (2) 地下水排除工（横ボーリング工）実施

モデル斜面で実施可能な対策工法や仮設方法について、主に地すべり対策や急傾斜地対策等の工法の資料収集・整理を実施した。

対象地で実施可能な工法として斜面脚部での地下水排除工（横ボーリング工）を選定し、施工方法や仮設方法について検討した（写真-1）。



写真-1 横ボーリング工排水量観測装置

### (3) 深層崩壊に対する地下水排除工法の効果検証

地下水排除工の効果検証は、タンクモデルで涵養量を算定し、三次元浸透流解析で横ボーリング工の排水量を計算した。

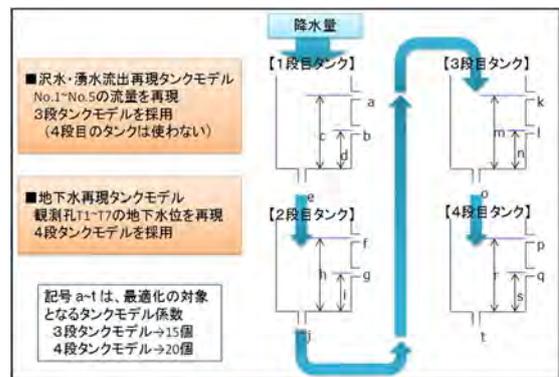


図-2 タンクモデル概念図

#### 1) タンクモデル

溪流・湧水のタンクモデルは、直列 3 段タンクを用いた（図-2）。5 流域の合計流出量（平均流出高）が、当地の降水量を与えたタンクモデルでほぼ良好に再現でき、水収支的に整合した。

地下水位のタンクモデルは、タンクモデルの貯留高の変化をごく抑えた 4 段目までが必要と考え、水位の再現では 1 段増設した直列 4 段タンクを用いた。

## 2) 三次元浸透流解析

FEFLOW解析プログラムを用い、定常解析と非定常解析を実施した。定常解析での地表涵養量は、台風11号および地下水排除工の影響が及ぶ以前とし、平成27年3/1～7/15期間の平均涵養量4.926mm/日を一律で与え、各観測孔水位が同期間の平均地下水位を再現できる透水係数を探索した(図-3)。

非定常解析では、定常解析で最良とされた条件を用い、タンクモデルの1段目タンク浸透高および2段目タンク浸透高を涵養量として与えた2ケースで横ボーリング工排水量の再現性を確認した。

その結果、タンクモデル1段では横ボーリング工の11月期の排水量が80%<sup>1</sup>、タンクモデル2段の場合は40%<sup>1</sup>の結果が得られ、1段タンクが11月期の実際の排水量を再現した結果が得られた。

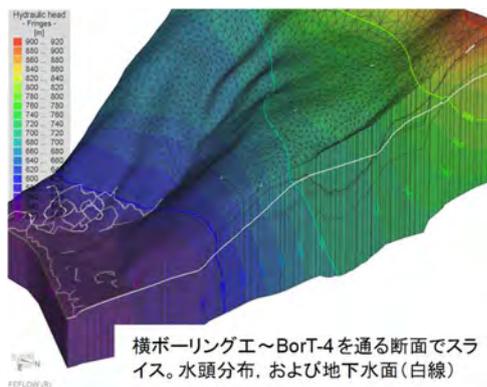


図-3 定常解析による試算結果

### (4) 深層崩壊に対する斜面安定度評価の検証

深層崩壊発生の恐れのある斜面は、地表面に明瞭な変動が無く崩壊範囲や崩壊面の設定が困難な場合が想定された。地表面や地中での変位が観測されていない場合、最低限の情報として地表面(2次元断面)形状を与えて探索できる「動的計画法」と「せん断強度低減法」を検討した(図-4)。

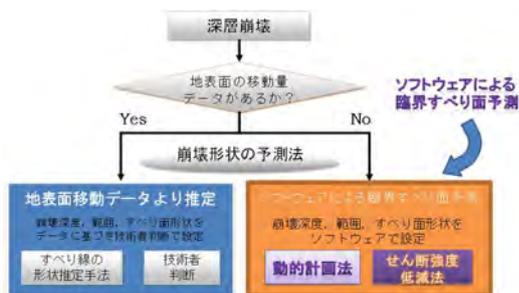


図-4 斜面安定度評価フロー

2つの手法で解析した結果、両者で崩壊面の末端の位置に若干の違いがあるものの、ほぼ同じ位置に崩壊面が解析された(図-5、図-6)。この内、動的計画法では、斜面中部から下方斜面の安定性をもっとも小さい結果が得られたが、安全率は1.20以上あり、斜面の安定性が保たれている。

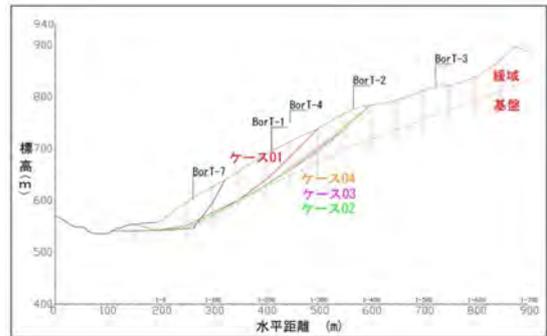


図-5 動的計画法による崩壊面の形状

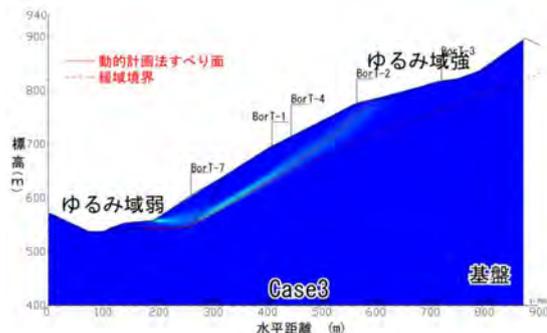


図-6 せん断強度低減法による崩壊面形状

## 5. 次年度以降の課題

次年度以降の課題は、以下のとおりである。

平成28年度は、地下水位、湧水量・排水量、動態観測等のモニタリングを継続し、観測結果をとりまとめて効果判定のための基礎資料とする。

### (1) 施工効果判定手法の確立

平成27年度は降雨の少ない時期の排水量に対して再現したが、平成28年度は多雨期のモニタリング結果を踏まえ、地下水モデルによる予測との比較検証を行い、効果判定手法を検討する。

### (2) 深層崩壊に対する斜面安定度評価の検証

安定度評価は、既往業務で崩壊面を推定して安定度評価した方法について、動的計画法およびせん断強度低減法に極限平衡法を組み合わせる手法により、安定度評価方法を検証する。

平成29年度は、地下水モデルと安定計算手法を組み合わせる効果判定手法を構築し、マニュアル(案)を作成する。

## 新たな流砂水文観測による流域監視に向けた取り組み

国土技術政策総合研究所

長井義樹・蒲原潤一・内田太郎・田中建貴

### 1. はじめに

現状の土砂災害に対する警戒避難に関する情報は、全国一律の降雨指標を用いて、雨量情報のみで作成されている。そのため、場の条件や場の条件の変化が十分に反映されているとは言い難く、精度が必ずしも高くない。また、土砂災害は局所的かつ突発的であるため、洪水と異なり、水位上昇など目に見える危険度の変化に関する情報に乏しく、切迫性が伝わりにくい側面がある。さらに、平成 23 年の紀伊半島大水害においては、土砂災害警戒情報の発表から 1 日半から 2 日半程度経過したのちに災害が発生した事例があるなど、発表後の時間経過によって切迫性が伝わりにくくなるといった課題が指摘されている。

そこで、国土技術政策総合研究所土砂災害研究部では、土砂災害に対してより切迫性のある情報提供が可能となるようプロジェクト研究「リアルタイム観測・監視データを活用した高精度土砂災害発生予測手法の研究」(図-1)を平成 27 年度より開始した。その研究の一環として、大規模土砂災害対策技術センター、和歌山県、国立研究開発法人土木研究所と連携して、流域監視技術の構築を目指した研究を実施した。

砂流出状況を整理した結果を示す(Okamoto ら、2013)。この図より、土砂災害警戒情報から、深層崩壊発生まで 1 日半から 2 日半経過していたこと、土砂災害警戒情報から深層崩壊発生までの時間帯には、深層崩壊が発生した地域周辺では、小規模な土砂流出が発生していたことが確認される。一方、土砂災害警戒情報発表後、深層崩壊発生までの期間で降雨強度には顕著な変化は見られなかった。

これらのことから、雨量情報だけでは十分な切迫性が伝わらない可能性があるものの、深層崩壊発生前には周辺地域では普段は発生しない土砂移動が生じ始めており、ある程度災害発生が切迫した状態であったことが推察される。

そこで、国土技術政策総合研究所では、以下のような作業仮説のもと、プロジェクト研究を進めている。

**作業仮説：**大規模な土砂災害は発生する前には、周辺地域において、小規模な土砂流出、地下水位や河川流量の急激な上昇などが生じる。このような現象は土砂災害の発生と密接に関係しており、これらを捉えることができれば、降雨から土砂災害の発生を予測する方法に比べて、より精度が高く、切迫性の伝わりやすい情報の提供が可能となり得る。

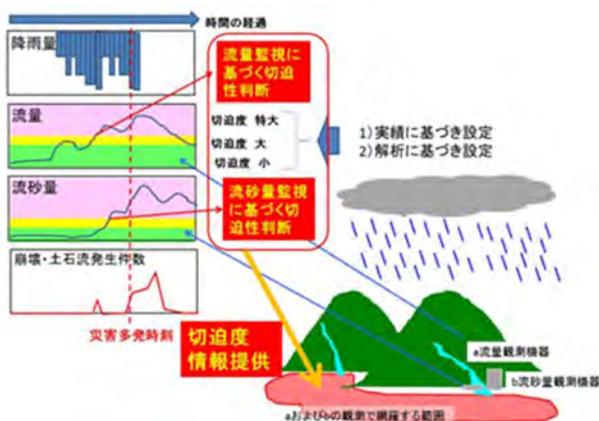


図-1 プロジェクト研究「リアルタイム観測・監視データを活用した高精度土砂災害発生予測手法の研究」のアウトプットのイメージ

### 2. 作業仮説

図-2 に平成 23 年の紀伊半島大水害時の奈良県十津川村赤谷、長殿地区周辺の深層崩壊発生状況、土

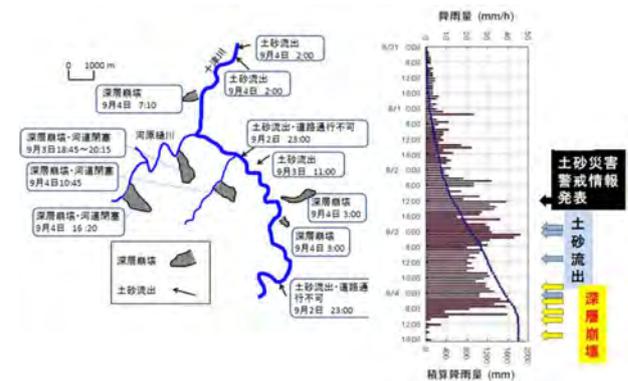


図-2 平成 23 年台風 12 号時の十津川村、五條市の深層崩壊。土砂流出発生状況 (Okamoto et al. (2013) を基に作成)

### 3. 荒木川流域での取り組み

国土技術政策総合研究所、大規模土砂災害対策技術センター、和歌山県、土木研究所は共同で、和歌山県新宮市の荒木川流域において、流砂水文観測を平成 27 年 7 月より開始した。本流域の中流部では

斜面崩壊で生産された土砂が溪床に大量に堆積している。和歌山県、土木研究所は、同流域において崩壊地や溪床堆積土砂の移動状況をインターバルカメラ等により観測している。そのため、上流域の土砂移動と下流域の流砂量の変動の関連性が直接観測できることが期待される。

本流域は、上下流 2 地点で水位計および濁度計を用いた観測を行うこととした (図-3)。下流側の観測箇所は流域出口に設置されている不透過えん堤の下流側に設定した (写真-1)。上下流の観測地点は約 1km 離れている。上流側の観測箇所より約 400m 上流は前述の崩壊土砂が溪床に堆積している区間がある。また、観測箇所は土砂の堆積が見られず、露岩している (写真-2)。



図-3 機器の設置状況



写真-1 下流側観測箇所の状況

観測は、「山地河道の流砂水文観測の手引き (案)」 (国総研資料 第 686 号) および「山地河道の流砂水文観測における濁度計観測実施マニュアル (案)」 (国総研資料 第 792 号) に従い実施している。下流側観測箇所では水位計 (Campbell 社製 CS451)、濁度計 (Campbell 社製 OBS 3+)、浮遊砂サンプラーを設置し、上流側観測箇所には水位計、濁度計

を設置した。いずれの箇所もソーラーパネルとバッテリーを電源としている。また、下流側観測箇所では出水時の表面採水も実施した。

図-4 に観測結果の 1 例を示す。降雨にともない水位、濁度に変化する状況が良好に観測されている。



写真-2 上流側観測箇所の状況

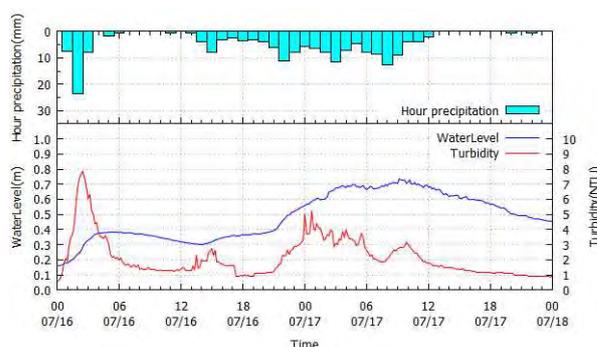


図-4 観測データの例

#### 4. おわりに

荒木川および那智川流域においては、今後、音響式の掃流砂量計の設置など、観測体制を強化していく予定である。さらに、データの蓄積、解析を進め、先述の作業仮説の検証、流域監視体制の構築を進めていく予定である。

#### 引用文献

Okamoto, A., Uchida, T., Hayashi, S., Suzuki, T., Yamashita, S., Tagata, S., Fukumoto, A., Kanbara, J., (2013) Possibility of early warning for large-scale landslide using hydrological and sediment transport observation in mountain rivers, Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 6, 361-369

## 和歌山県内の深層崩壊発生斜面での水文・水質特性に関する研究

和歌山県  
国立研究開発法人土木研究所  
国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所

西岡恒志  
木下篤彦・高原晃宙・石塚忠範  
桜井亘

### 1.はじめに

和歌山県では平成23年台風12号の豪雨により和歌山県田辺市熊野地区で深層崩壊が発生し、明治22年の左会津川流域や昭和28年の有田川流域でも深層崩壊が発生している。このことから深層崩壊発生の恐れのある斜面を抽出することは喫緊の課題である。これまで深層崩壊危険箇所の抽出手法の1つとして深層崩壊発生斜面からの湧水や渓流水の電気伝導度（EC）が注目されている<sup>1),2),3)</sup>。

本研究では過去に大規模な深層崩壊が発生した有田川流域や斜面からの湧水のECの計測を面的に実施し、ECを指標とした深層崩壊危険斜面の抽出手法の検討を行った。

### 2.調査箇所の概要

#### (1) 調査箇所の概要

調査対象箇所は、昭和28年の有田大水害で深層崩壊など大規模土砂崩壊が多発した。図-1に調査箇所を示す。有田川流域の地質は、下流域は三波川帯、上流域は四万十帯であり、付加体と呼ばれる堆積岩地域である。

#### (2) 調査手法

図-2に水質調査箇所を示す。水質計を用いて有田川本川及び支川のECの計測を行う。ECの抽出は以下の手順で行った。①本川と支川の合流点に着目し、本川においては合流点直上・下流、支川においては合流点直上流で複数回ECの計測を行った。②常にECが高い支川については①同様、支川のさらに支川に着目してECの計測を行った。

なお、渓流水のECは雨水の影響を受けて変化すると考えられるため降雨時や降雨直後には実施しないこととし、また同じ調査箇所であっても観測日が異なると観測条件が異なることから1回の調査は全て同じ日に完了する。また、上流に田畑等ECに影響を及ぼすおそれのある場合は観測対象から除外した。

### 3.崩壊斜面とその周辺における水質調査結果

#### (1) ECの高い溪流の抽出

平成26年8月から10月に同じ調査箇所ですべて計3回のECを計測し、ECが高い溪流が5箇所確認された（図-3）。このうち3箇所は昭和28年に大規模崩壊が発生した下流及び近辺であり、深層崩壊跡地からの湧出する渓流水のECが高くなることが確認された。1箇所は上流に住居が多数あり、計測されたECが人為的な影響を受けている可能性がある。残り1箇所は昭和28年に大規模崩壊が確認されていない溪流である。

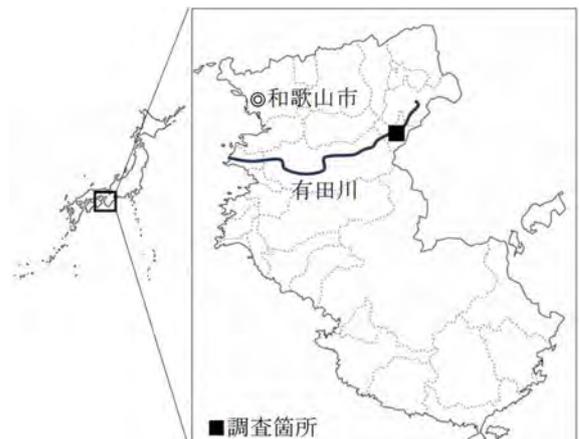


図-1 調査箇所位置図

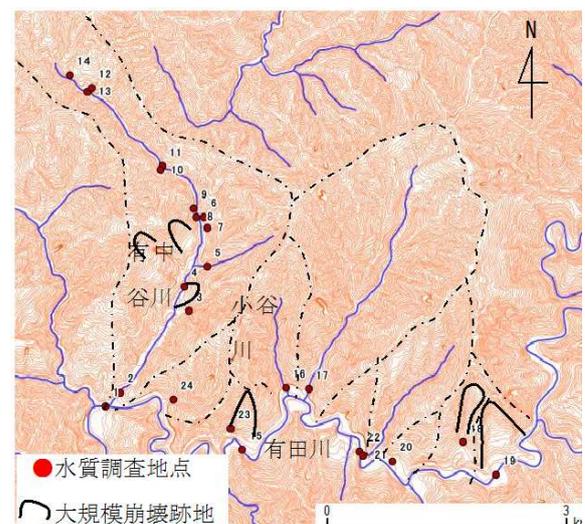


図-2 水質調査地点位置図

## (2) ECの高い溪流での詳細調査

小谷川では過去に大規模崩壊が確認されておらず、また人家など人為的影響がないにもかかわらず溪流水のECが高かった。これは流域内に過去に確認されていない大規模崩壊跡地か、または深層崩壊につながる斜面が存在する可能性があると考えられたため、流域の詳細調査を実施した。詳細調査方法は小谷川の下流からECを計測しながら上流へのぼり、流水が確認できる3箇所の支溪流のEC計測も併せて実施した。ECは上流へむかうに従い上昇していき、途中で合流する支溪流1のECは低かったが、ECの高い支溪流2が分流するとECは低下し、さらに上流でECの高い支溪流3が分流すると本川のECは大きく低下した(図-5)。ECが高い溪流3流域でさらに調査を実施したところ、溪流内には過去に発生したと思われる土石流堆積物や崩壊跡地形、崖錐などが確認された。このことから、ECが高い支溪流2と支溪流3は過去に崩壊を起こした溪流及び斜面であり、深層崩壊の発生のおそれがある流域と判別される(図-4)。

## 4.おわりに

以上の調査結果により、過去に深層崩壊が発生した斜面及びその周辺から湧出する溪流水のECが高いことが再確認された。この結果は地頭菌ら1)の研究と同様であった。比較的計測し易い本川合流部の水質の調査を実施してECの高い溪流を選別し、その溪流の詳細調査を実施することは、過去の崩壊跡地や土石流跡地など危険溪流や危険斜面を発見する手法として有効であると考えられる。今後はECの高い流域においてLPデータを用いた地形判読による深層崩壊発生予測手法などと組み合わせ、様々な手法で深層崩壊発生斜面の抽出手法について検討していく。

### 参考文献

- 1) 地頭菌隆・下川悦郎・寺本行芳：深層崩壊発生場予測法の提案—鹿児島県出水市矢筈岳を例にして—,砂防学会誌,Vol.59,No.2,p.5-12,2006
- 2) 地頭菌隆・下川悦郎・寺本行芳・和田大祐・田淵陽介：深層崩壊発生予測に関する調査法の提案,平成24年度砂防学会研究発表会概要集,2012
- 3) 田淵陽介・地頭菌隆・和田大祐・中島希：深層崩壊発生予測に関する調査法の開発,平成25年度砂防学会研究発表会概要集,2013

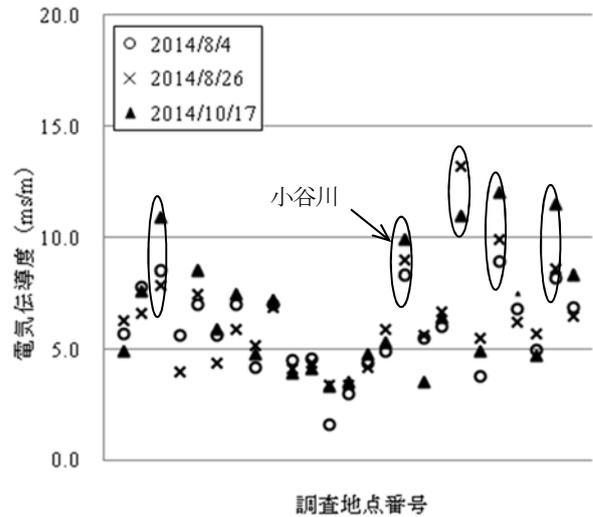


図-3 危険斜面の抽出結果

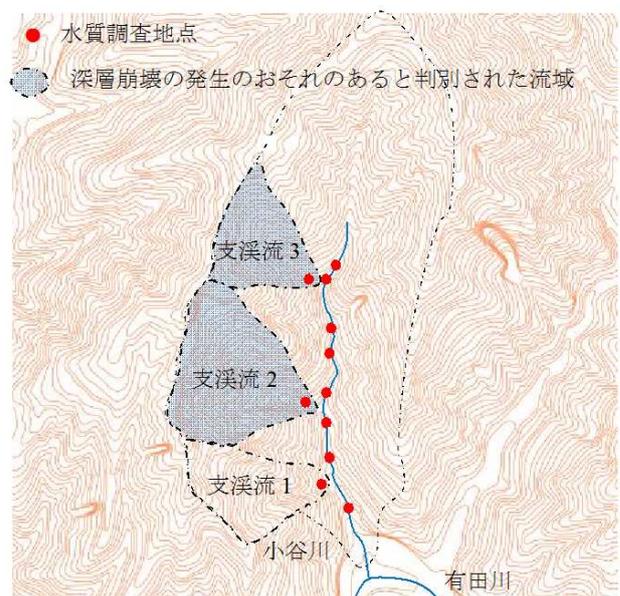


図-4 危険斜面の抽出結果

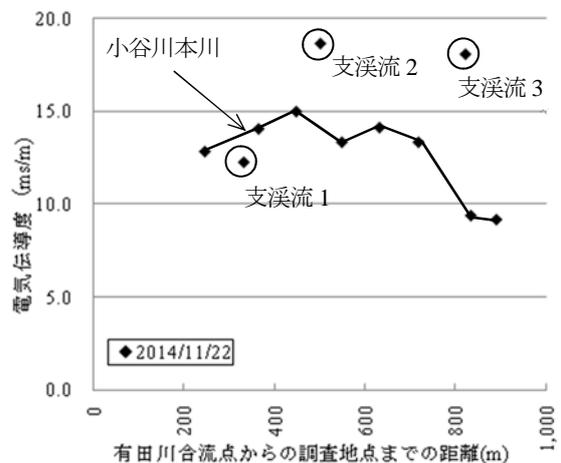


図-5 小谷川でのECの調査結果

## 那智川流域での平成 23 年台風 12 号時の崩壊特性と水文特性

和歌山県  
 国立研究開発法人土木研究所  
 国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所

北勝也・西岡恒志  
 木下篤彦  
 桜井亘

### 1. はじめに

平成 23 年 9 月の台風 12 号では大規模な表層崩壊により那智川流域で大きな被害が発生している<sup>1)</sup>。今後これらの被害を軽減するには、予想される降雨分布からおよその斜面の水文状況を推定し崩壊発生を予測することが必要である。これまで豪雨時の斜面の水文状況及び災害発生を予測するための手法としてタンクモデルを用いた事例が数例ある<sup>2)・3)</sup>。一方でタンクモデルの貯留高と土砂災害との関係については十分検討されていないという課題も残っている。本研究では、平成 23 年の那智川流域での災害を例に挙げ、タンクモデルを用いて雨の降り方と水文特性との関係を明らかにすること、水文特性と崩壊の発生形態との関係を明らかにする。

### 2. 調査地の概要及び降雨条件

調査地の位置図を図-1 に示す。調査は那智川流域を含む熊野酸性岩（花崗斑岩）が主に分布するエリアで実施した。このエリアでは平成 23 年の台風 12 号時に大規模な表層崩壊・土石流が多数発生している。図-2 に平成 23 年 9 月の台風 12 号時の那智川流域周辺の雨量の時間変化を示す。降雨は無降雨時間を除いて 50 時間以上と他の災害に比べて長い。またピーク時には時間雨量 130mm を超える雨が降っている。

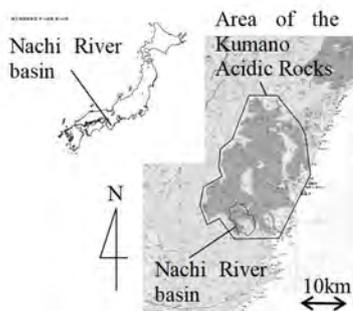


図-1 調査地の概要

### 3. 降雨分布と崩壊分布の関係について

本研究ではまず航空写真を基に那智川流域を含

む熊野酸性岩のエリア約 320km<sup>2</sup> において平成 23 年台風 12 号による崩壊箇所を航空写真や LP などから判読した。次に、雨量観測所のデータから等雨量線図を作成した。調査の結果、崩壊箇所は 489 箇所、総面積は 0.8km<sup>2</sup> であった。これらの結果を基に、最大時間雨量と崩壊密度との関係を求めた。結果を図-3 に示す。最大 1 時間雨量の場合は雨量の増加に伴い崩壊密度も増加している。一方、最大 48 時間雨量の場合は雨量の増加と崩壊密度の関係が調和的でない。このことから、今回の台風による崩壊は短時間雨量が効いて崩壊が発生したことが示唆される。

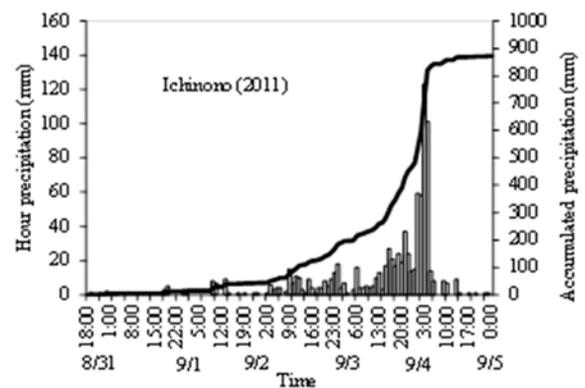


図-2 平成 23 台風 12 号時の雨量の時間変化

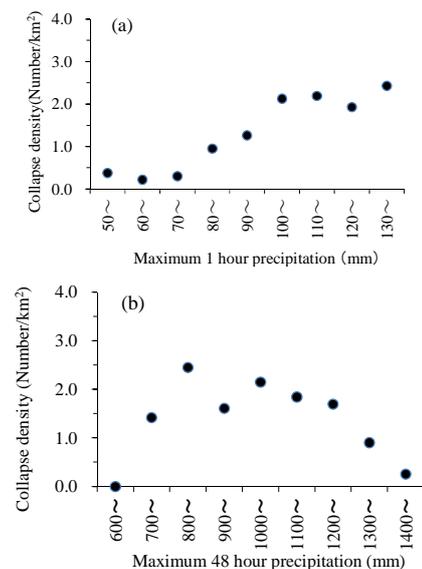


図-3 最大時間雨量と崩壊密度との関係 (a)最大 1 時間雨量のケース, (b)最大 48 時間雨量のケース

## 4. タンクモデルによる災害時の水文状況の

### 再現計算

#### (1) タンクモデルのパラメータの設定について

タンクモデルのパラメータの設定方法については、鈴木ら<sup>2)</sup>、Ishihara ら<sup>4)</sup>、菅原ら<sup>5)</sup>を参考に下記のように設定した。

- ・タンクは3段とする。流出孔の設定は図-4の通りとする。1 段目タンクは表面流出、2 段目タンクは中間流出（表層浸透流出）、3 段目タンクは地下水流出に該当する。

- ・計算流量が観測流量より小さい（大きい）なら、対応するタンクの流出係数を大きく（小さく）する。

- ・計算流量の減衰が観測流量の減衰より急（緩やか）であれば、対応するタンクの流出・浸透係数をともに小さく（大きく）する。

- ・ピーク時に計算流量のピークが観測流量のピークより小さい（大きい）なら第1タンクの上側の流出係数を大きく（小さく）する。

- ・計算による流量に小さなピークが存在する場合には、流出孔の位置を高くする。降雨があり、観測流量に小ピークがあるのに計算流量にピークが表れない場合は、流出孔の位置を低くする。

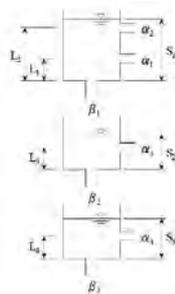


図-4 タンクモデルの模式図

これらの条件で調整した結果、那智川流域では  $L1=30\text{mm}$ ,  $L2=80\text{mm}$ ,  $L3=30\text{mm}$ ,  $L4=30\text{mm}$ ,  $\alpha 1=0.03$ ,  $\alpha 2=0.05$ ,  $\alpha 3=0.01$ ,  $\alpha 4=0.002$ ,  $\beta 1=0.03$ ,  $\beta 2=0.01$ ,  $\beta 3=0.002$  とするとうまく再現できることが分かった。

#### (2) タンクモデルによる計算結果と崩壊実績との関係

(1)で決定したパラメータを用いて平成23年台風12号の再現計算を行った。図-5に計算結果を示す。

9月4日の未明に100mmを超える雨が2時間続いており、それによって第1タンクの貯留高が急激に上昇したことが崩壊につながったと考えられる。図-6にタンク貯留高と崩壊密度の関係を示す。1段目のタンクは貯留高と崩壊密度との関係が調和的であるが、2段目・3段目は調和的でない。

鈴木ら<sup>2)</sup>の研究では六甲山ハチース谷での観測結果から1段目・2段目が崩壊に効いているとの結果となっているが、平成23年台風12号については1段目が崩壊に寄与した可能性が高い。このことから、地質や雨の降り方によって崩壊に寄与するタンクも合わせて変化する可能性があることが分かった。

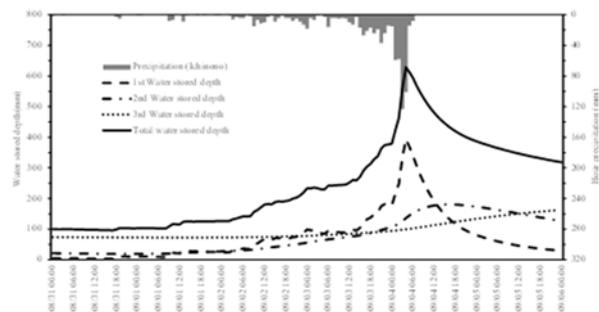


図-5 タンクモデルの計算結果

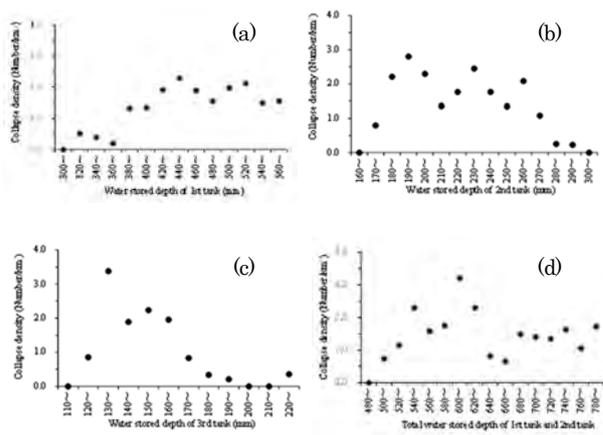


図-6 タンク貯留高と崩壊密度の関係 (a)タンク1段目, (b)タンク2段目, (c)タンク3段目, (d)タンク1段目と2段目の和

## 5. おわりに

本研究では、平成23年の那智川流域周辺での災害について、降雨分布と崩壊分布との関係、及びタンクモデルによる災害時の水文状況の再現計算を行い、短時間の急激な雨量の増加により大規模な崩壊が発生したことが示唆された。今後は、流量観測を継続的に実施するとともに計算手法の精度を高めることにより土砂災害の発生条件について検討したい。

### 参考文献

- 1) 松村ら: 2011年9月台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害, 砂防学誌, Vol.64, No.5, p.43-53, 2012.
- 2) 鈴木ら: 土砂災害発生危険雨量, 新砂防, Vol.31, No.3, p.1-7, 1979.
- 3) 江頭ら: 斜面崩壊に伴う災害危険度の評価法に関する研究, 砂防学会誌, Vol.49, No.3, p.11-19, 1996.
- 4) Ishihara ら: Runoff Model for Flood Forecasting, Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Vol.29, No.1, p.27-43, 1979.
- 5) 菅原ら: パーソナル・コンピュータのためのタンク・モデル・プログラムとその使い方, 国立防災科学技術センター研究報告, 第37号, p.1-217, 1986.

## 平成 23 年台風 12 号による和歌山県内の地震計の波形特性に関する研究

和歌山県  
 国立研究開発法人土木研究所  
 国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所

大橋和也・西岡恒志  
 木下篤彦  
 桜井亘

### 1. はじめに

平成 23 年台風 12 号では和歌山県内の広範囲で 1,000mm を超える連続雨量を記録し、深層崩壊や河道閉塞、土石流が多数発生し甚大な被害が生じたが、被害地が広範囲に及んでいたため、その全容の把握には時間を要した。これらの課題を解決するツールの 1 つとして地震計の活用が挙げられる<sup>1),2),3)</sup>。大規模土砂移動の検知は一方で地震波形との区別がつきにくいという課題がある。

本研究では、平成 23 年台風 12 号により和歌山県内で発生した大規模土砂移動の Hi-net データの解析を行い、振動特性の検討を行った。

### 2. 観測地点の概要

#### (1) Hi-net の概要

Hi-net は日本全国に約 20km 間隔、約 1,000 箇所の観測局があり、台風 12 号の災害箇所の近隣にも大塔や上富田などの観測局がある。

#### (2) 大規模土砂災害箇所と Hi-net 観測局

平成 23 年台風 12 号により和歌山県内で発生した多数の土砂災害箇所の中で深層崩壊 1 箇所と表層崩壊 2 箇所の 3 箇所を選定した (表-1)。

紀伊半島に設置されている Hi-net 観測局と大規模土砂災害箇所の離隔距離は熊野地区と大塔観測点局間の 4km、那智川地区と那智勝浦観測局間の 6.5km、三越地区と十津川西観測局間の 13km であった (図-1)。

### 3. 解析手法

Hi-net データは公表されておりインターネットを通じてダウンロードを行う。Win32 形式のバイナリデータを変換プログラムで振動の数値に変換を行い、振動波形グラフ、周波数解析、振動波形グラフを大規模土砂災害箇所からの距離に並べたレコードセクションを作成して解析した。

### 4. 解析結果

熊野地区は振動センサーの 3 成分 (NS・EW・UD)

ともに 9 月 4 日午前 6 時 53 分 40 秒頃からグラフの振幅が大きくなり 6 時 54 分過ぎに振幅が最大となり、その後数十秒間続いている (図-2)。

表-1 平成 23 年台風 12 号で発生した主な大規模土砂災害

地区名	崩壊形態	崩壊土砂量	崩壊規模
熊野地区	深層崩壊	474万m <sup>3</sup>	幅440m、長さ650m、高さ250m
三越地区	表層崩壊	50万m <sup>3</sup>	幅200m、長さ330m、高さ180m
那智川地区 (金山谷川)	表層崩壊	9万m <sup>3</sup>	幅110m、長さ110m、高さ100m



図-1 大規模土砂災害位置と紀伊半島 Hi-net 観測局位置関係

振動センサーは微小地震や中地震、遠地地震のほか、発破振動や交通振動なども捉えるが、発災時に地震はなく、発破振動や交通振動もないため、この振動波形は熊野地区の深層崩壊を捉えたものと判断できる。周波数解析では通常時の周波数と比較して 0.5Hz から 5Hz の周波数が大きくなっており、その卓越周波数は 1~2Hz である (図-3)。大規模土砂移動の卓越振動数は 1~5Hz、継続時間は 10 数秒~数十秒とされており、本解析結果は概ねその範囲に含まれている。レコードセクション (図-4) では、25km 離れた那智勝浦観測点においても微弱ながら振動を捉えている。伝播速度は、大規模土砂移動は振幅の初動が不明瞭で遠い観測点では振幅が小さくなり判読が困難となるが、最大振幅観測時間で 3.3km/s と地震の S 波速度に近い速度となっている。2004 年 8 月に発生した奈良県大塔村の斜面崩壊の伝播速度は 1

～2km/s とされており、それより速い速度であったといえる。

那智勝浦地区については地元住民へのヒアリングにより土砂移動発生時刻が概ね特定されており、その時間帯において最も近い那智勝浦観測局で振動波形グラフの小さな振れをNS成分のみで確認できた。この波形の立ち上がりは土砂移動によるものかどうかは今後詳細に検討していく必要がある。三越地区については距離の近い十津川西・十津川東観測局のデータが欠測、土砂移動発生時刻も不明であり、振動波形グラフの特定は困難であったため解析は行っていない。

## 5. おわりに

解析の結果、熊野地区の深層崩壊の周波数、伝播速度を解明することができた。今後は崩壊規模や地形・地質による伝播可能距離や伝播速度、周波数についてデータを蓄積する必要がある。表層崩壊はHi-netの補足情報が少なくデータの蓄積を進める必要がある。

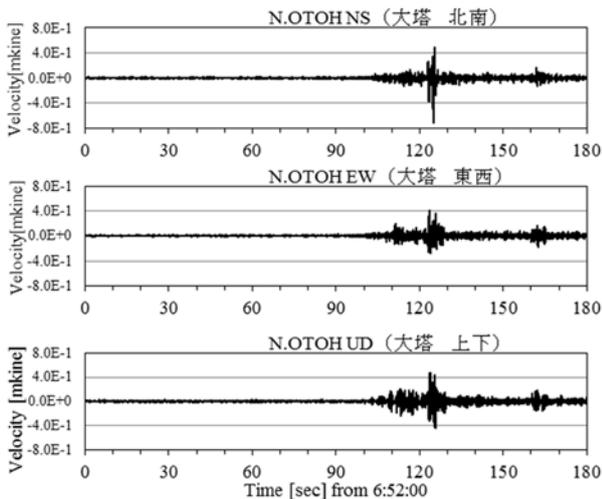


図-2 NS・EW・UD3成分の振動波形グラフ

### 参考文献

- 1) 大角恒雄・浅原裕・下川悦郎：2004年8月10日奈良県大塔村斜面崩壊時のHi-netデータ解析－斜面崩壊検知への応用－, 自然災害科学, 24(3), pp.267-277, 2005.
- 2) 大角恒雄・長山考彦・楨納智裕：振動センサーによる土石流・地震・ノイズ識別検知に関する一考察, 砂防学会誌, Vol.59, No.3, p.38-43, 2006
- 3) 浅原裕・菊井稔宏・嶋大尚・土井賢一・蒲原潤一・菊池五輪彦・岡本明・松下一樹・川嶋浩一・中谷洋明・武澤永純・大角恒雄：大規模土砂移動検知システムにおける事象判別法, 平成25年度砂防学会研究発表会概要集, 2013

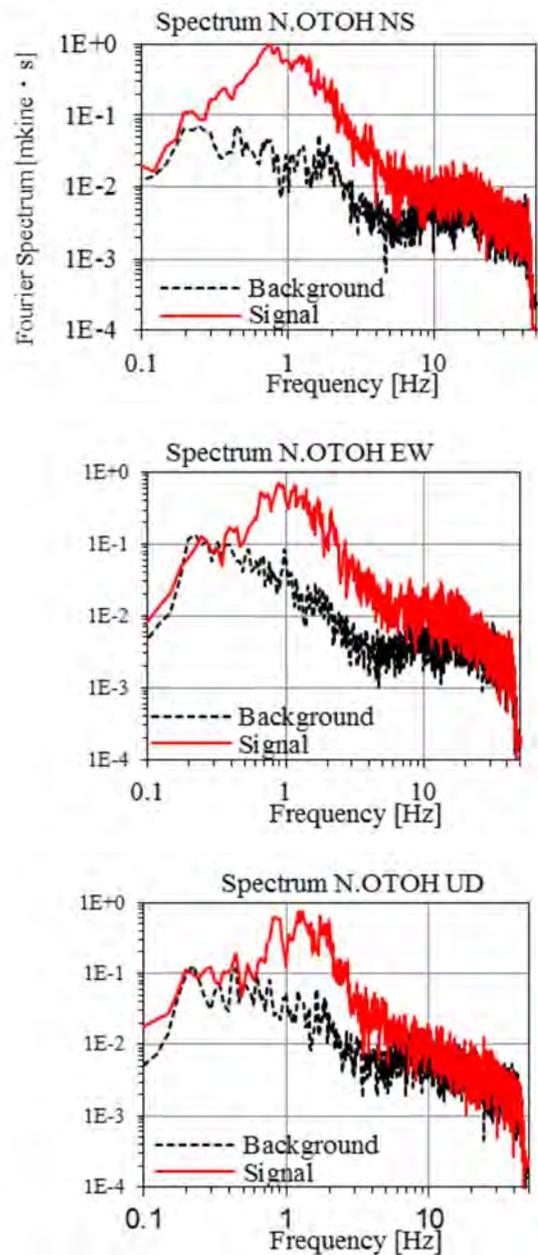


図-3 NS・EW・UD3成分の周波数解析グラフ（観測点：大塔）

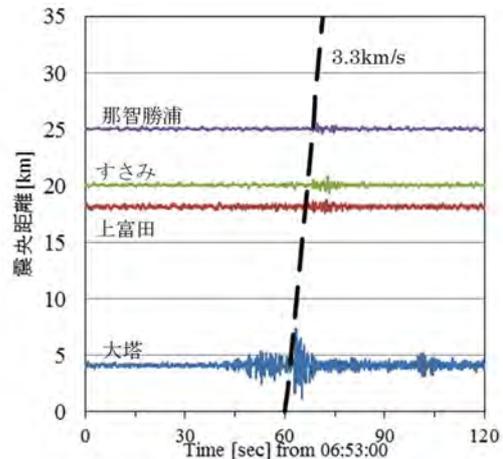


図-4 レコードセクション

### 災害時の流木の流出率に着目した治山堰堤の効果的な配置手法に関する検討

和歌山県  
国立研究開発法人土木研究所

福田和寿・西岡恒志・筒井和男  
木下篤彦

#### 1. はじめに

和歌山県ではこれまで多数の流木被害が発生している<sup>1)</sup>。このため、治山事業の推進にあたり、効果的な流木対策が求められている。流木の流出は溪流毎に大きく異なっており、溪流の河道条件等が流木の流出の容易さ（以下、流出率）に影響していると考えられる。これまで流木の河道内への堆積については、宮縁ら<sup>2)</sup>・水山ら<sup>3)</sup>の研究、狭窄部における流木捕捉率については石川ら<sup>4)</sup>の研究があるが河道条件と流木の流出率との関係は明らかになっていない。本研究では、平成23年台風12号で流木被害が発生した佐野川水系荒木川流域において、流木の河道内への堆積状況や立木状況について調査を行い、併せて航空写真により流木の発生量を推定し流出率の算出を行った。さらに、流木の流出要因となる河道条件について検討を行った。

に③で調査した流木密度を掛けて流木の発生量を算出し、①で調査した河道内堆積量から、以下の式(1)(2)により流出率を算出した。

$$\text{流出量} = \text{発生量} - \text{河道内堆積量} \dots (1)$$

$$\text{流出率}(\%) = \text{流出量} / \text{発生量} \times 100 \dots (2)$$



図-1 調査地の位置図

#### 2. 調査地の概要及び降雨条件

##### (1) 調査場所の概要

図-1に調査場所を示す。流域内では多数の山腹崩壊が発生し土砂は既設の不透過型堰堤3基によって捕捉されたが、流木が下流へ流出して甚大な被害となった（写真-1・2）。

##### (2) 調査方法

荒木川の本川と3支川で以下の3項目を調査し、それらに基づいて流出率を求めた（図-2）。

##### ①河道内堆積流木量調査

堆積箇所の流木長・直径・樹種・本数を調査し堆積流木量を算出した。なお、材積は空隙を含んだ体積で算出した。

##### ②溪流形状調査

堆積箇所の川幅を調査し、流木長と溪流幅の関係を調査した。また、溪床勾配・溪流の形状についても調査した。

##### ③コドラート調査

流域内の立木の密度を把握するため、堆積箇所付近及び上流数カ所でコドラート調査を行い胸高直径・本数・樹種を調査した。

##### (3) 流木の流出率について

被災前後の航空写真から算出した山腹崩壊面積



写真-1 荒木川の流木被害

写真-2 山腹崩壊(左支川1)

#### 3. 調査結果

##### (1) 流木の堆積状況

土石流フロントの流木長が溪流幅より狭い箇所では閉塞し、土石流及び流木の流下を防いだ箇所が存在した（調査箇所⑧）。溪流幅より流木長が短いものは堰堤（調査箇所①、⑦）や河畔林（調査箇所④、⑥）に捕捉されたもののほか、水裏部への堆積（調査箇所③、⑩）なども確認された。また、流木長が溪流幅より短い場合であっても溪流幅に変化が生じている箇所に流木が堆積（調査箇所③、④、⑥、⑦）していることが確認された。

##### (2) 流木堆積箇所の平面・縦断条件

図-2、3に流木の堆積箇所を平面図及び縦断図に示す。平面図から、溪流の合流点・湾曲部・堰堤の堆砂敷に堆積が確認された。また、縦断図から勾配の変化点に堆積が確認された。

### (3) 河道条件と流出率の関係

流域区間及び各溪流の流木流出率を表-1 に示す。土石流発生区間では殆ど土砂・流木の堆積は見られず、土石流流下区間では堰堤設置箇所まで堆積が確認された(調査箇所⑦)。そのほかは殆ど堆積区間から掃流区間で堆積(調査箇所⑦以外)が確認された。流出率は勾配の急な支川では高くなり、緩い本川では低くなる傾向にあった。

### 4. 治山堰堤の設置位置の決定手法

本川では、支川との合流点直上流の流域区間で流出率を比較し、区間③が35.3%と最も流出率が高かった。また、左支川1, 2, 3においては、左支川2が99%と最も流出率が高かった。左支川2は、急勾配の直線区間からなり河岸林も未発達で、河道内への堆積が現地調査においても確認されなかった。このことによって、①溪床勾配 ②河岸林・堰堤等の状況 ③湾曲部等の溪流平面形状からなる河道条件が流木の流出に影響すると考えられる。このことによって、左支川2のような溪流は流木の流出率が高く、治山堰堤の設置により溪間の安定を図ることで流域全体の流木の流出対策において有効であると考えられる。

### 5. おわりに

今後、事例を増やし河道条件から流木の流出率を推定する手法を開発し、治山堰堤の有効な配置手法を確立し、効率的な治山事業の推進に貢献できると考えられる。

表-1 荒木川の縦断図及び流木の堆積箇所

項目	崩壊面積 (m <sup>2</sup> ) A	立木密度 (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ) B	流木発生量 (m <sup>3</sup> ) C=A×B	河道内堆積量 (m <sup>3</sup> ) D	流木流出量 (m <sup>3</sup> ) E=C-D	流木流出率 (%) F=E/C	調査箇所 G	タイプ分類 H	河道内堆積量 (m <sup>3</sup> ) I	
流域区間	区間①	4,114	0.032	132	132	0	0.0	-	-	132
	区間②	15,628	0.038	594	390	204	34.3	-	-	390
	区間③	19,147	0.040	766	495	271	35.3	-	-	495
本川								① 直線	47	
								② 湾曲	54	
								③ 湾曲	48	
								④ 直線	60	
								⑤ 河道閉塞	70	
								⑥ 直線	18	
								⑦ 湾曲	8	
								⑧ 河道閉塞	32	
								⑨ 直線	1	
								⑩ 直線	3	
左支川1	3,519	0.051	179	58	121	67.5				
左支川2	8,086	0.052	420	4	416	99.0				
左支川3	3,428	0.052	178	22	156	87.6				

### 参考文献

- 1) 松村ら：2011年9月台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害, 砂防学会誌, 2012.
- 2) 宮縁ら：九州北部の山地河川に堆積する倒・流木と土砂, 砂防学会誌, 1999.
- 3) 水山ら：土石流発生に伴う流木の生産, 流出事例と対策, 新砂防, 1985.4)
- 4) 石川ら：土石流に伴う流木の発生及び流下機構, 新砂防, 1989

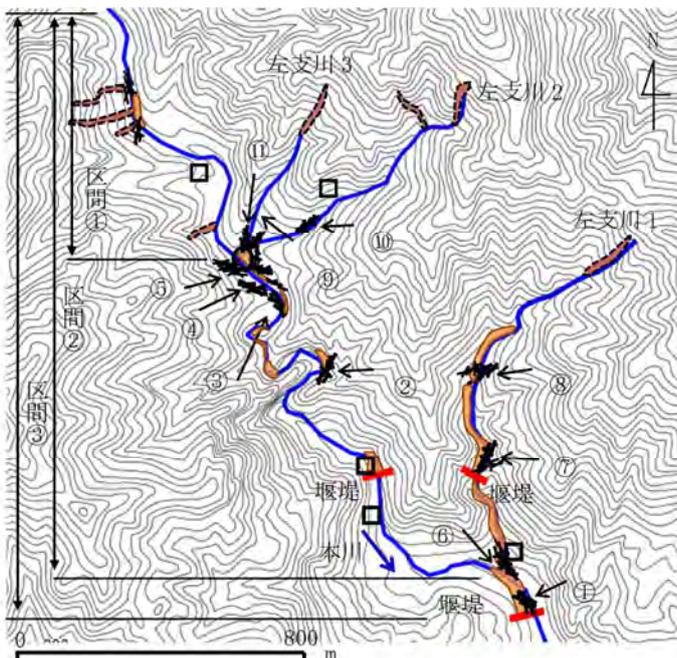


図-2 荒木川の平面図及び流木の堆積箇所

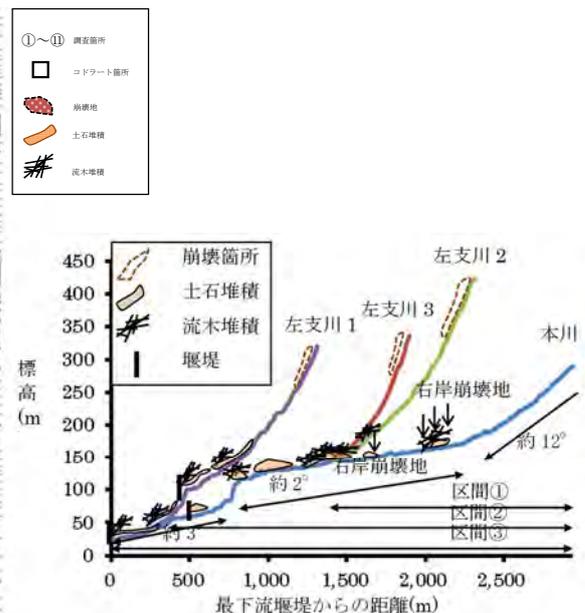


図-3 荒木川の縦断図及び流木の堆積箇所

## 過去の表層崩壊の崩壊特性と降雨分布との比較

国立研究開発法人土木研究所  
和歌山県  
国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所

木下篤彦・野池耕平・高原晃宙・清水孝一・石塚忠範  
西岡恒志  
桜井亘

### 1. はじめに

近年、2014年の広島災害、2011年の那智川災害など、大規模な表層崩壊が発生している<sup>1)4)</sup>。これらの災害による被害を軽減するには、予想される降雨分布からおよその崩壊特性を推定し崩壊発生を予測することが必要である。これまで、表層崩壊による災害を個別に整理した事例はいくつかあるが<sup>5)6)</sup>、複数の災害を比較し、降雨分布と表層崩壊の発生の特徴を検証した研究は少ない。

本研究では、2014年の広島災害、2011年の那智川災害、2009年の防府災害、1999年の広島災害を例に挙げ災害時の降雨分布や崩壊状況を調査し、比較検討した。本研究の目的は、雨の降り方と崩壊の発生形態・分布の関係を明らかにすることである。

### 2. 災害の概要及び降雨の特性について

4 災害について発生場所を図-1に示す。また、災害時の時間雨量の変化、地質・降雨規模をまとめるとそれぞれ図-2、表-1のようになる。災害発生箇所の地質はいずれも花崗岩もしくは花崗斑岩主体の箇所であり崩壊深が数 m 程度の崩壊が広い範囲で発生しそれらが土石流となって下流域に被害を及ぼしている。降雨規模について、最大時間雨量・総雨量は那智川災害が他に比べて大きくなっている。一方、雨量の時間変化についてはそれぞれ特徴が異なっている。

2014年の広島災害について、降雨は無降雨時間を除いて9時間であったが約80mmの雨が2時間降っている以外は時間雨量20mm程度の降雨であった。2011年の那智川災害について、降雨は無降雨時間を除いて50時間以上と他の災害に比べて長い。またピーク時には時間雨量130mmを超える雨が降っている。2009年の防府災害について、降雨は無降雨時間を除いて13時間であったが、最大時間雨量は約60mmと他の災害に比べて小さい。1999年の広島災害については、降雨は無降雨時間を除いて21時間であった。また1時間だけ80mmを超える降雨となっているがそれ以外は時間雨量30mm以下であった。



図-1 調査位置図 (数字：災害発生年度)

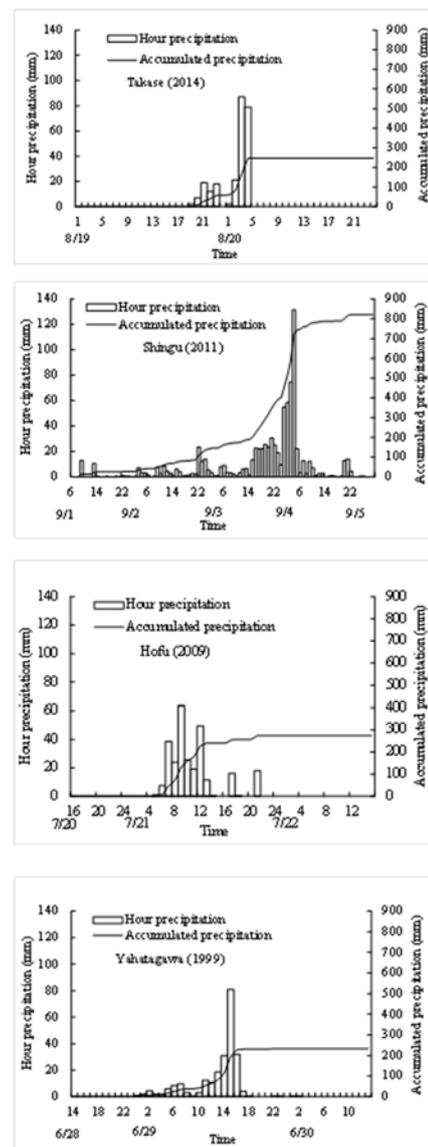


図-2 災害時の降水量の時間変化

### 3. 崩壊発生形態の比較

4 災害について表層崩壊が発生した斜面の調査を行った。調査結果を表-2 に示す。崩壊密度は 2009 年の防府災害が、崩壊面積率は 2014 年の広島災害が最も大きくなっている。例えば、2014 年広島災害と 2011 年の那智川災害を比較すると、崩壊面積率は 2014 年の広島災害が、崩壊深は 2011 年の那智川災害の方が大きくなっている。また、2014 年の広島災害と 1999 年の広島災害を比較すると総雨量は同じにもかかわらず崩壊密度や崩壊面積は 2014 年の方が大きくなっている。

このことから、降雨が長時間及ぶ場合は崩壊深が大きくなること、短時間で大きな降雨だった場合は崩壊面積が大きくなる可能性があることが示唆される。

### 4. 降雨分布と崩壊分布の関係について

降雨分布と崩壊分布の関係について 2014 年の広島災害と 2011 年の那智川災害を事例として調査した。

図-3 に広島災害と那智川災害について、最大 1, 24 時間雨量と崩壊密度 (個/km<sup>2</sup>) との関係を示す。広島災害は約 31km<sup>2</sup> の範囲で、那智川災害については那智川流域を含む約 320km<sup>2</sup> の範囲で航空写真や LP を基に崩壊箇所を判読を行った。雨量については、広島災害は C バンドのデータを基にし、那智川災害については実測雨量から等雨量線図を作成した。崩壊密度は広島災害については 1km<sup>2</sup> ごとに、那智川災害については等雨量のエリアごとに算出した。

広島災害については、1 時間雨量と密度が調和的であるのに対し 24 時間雨量は 210mm を超えると密度はほぼ一定であった。那智川災害については、1 時間雨量と密度が調和的であるのに対し、24 時間雨量は 750mm を超えると密度は低下している。2014 年の広島災害と 2011 年の那智川災害については、ともに短時間の急激な雨量の増加が要因になったと考えられる。

### 5. おわりに

本研究では、4 件の災害について雨の降り方と崩壊の発生形態との比較を行い、2 件の災害について降雨分布と崩壊分布との関係について検討した。今後は 2009 年防府災害と 1999 年広島災害についても降雨分布と崩壊分布の関係を整理し、雨の降り方が崩壊の形態に及ぼす影響について検討したいと考えている。

表-1 災害発生箇所の地質及び降雨の特徴

	2014 広島災害	2011 那智川災害	2009 防府災害	1999 広島災害
地質	花崗岩・堆積岩	花崗斑岩	花崗岩	花崗岩
降雨規模	最大時間雨量 87mm 総雨量 247mm (高瀬観測所: 国土交通省)	最大時間雨量 131.5mm 総雨量 821.5mm (新宮観測所: 気象庁)	最大時間雨量 63.5mm 総雨量 275mm (防府観測所: 気象庁)	最大時間雨量 81mm 総雨量 233.5mm (八幡川橋観測所: 日本道路公団)

表-2 災害による崩壊の状況

	2014 広島災害	2011 那智川災害	2009 防府災害	1999 広島災害
研究対象エリア	八木・緑井地区	那智川流域	剣川・阿部谷川流域	荒谷地区
流域面積(km <sup>2</sup> )	3.5	9.7	2.5	4.0
崩壊個数	164	113	175	84
崩壊面積(km <sup>2</sup> )	0.118	0.056	0.061	0.047
崩壊密度(個/km <sup>2</sup> )	47.21	11.71	70.87	21.14
崩壊面積率(%)	3.41	0.58	2.49	1.19
平均崩壊深(m)	1.2	2.1	1.5(剣川のみ)	データ無し

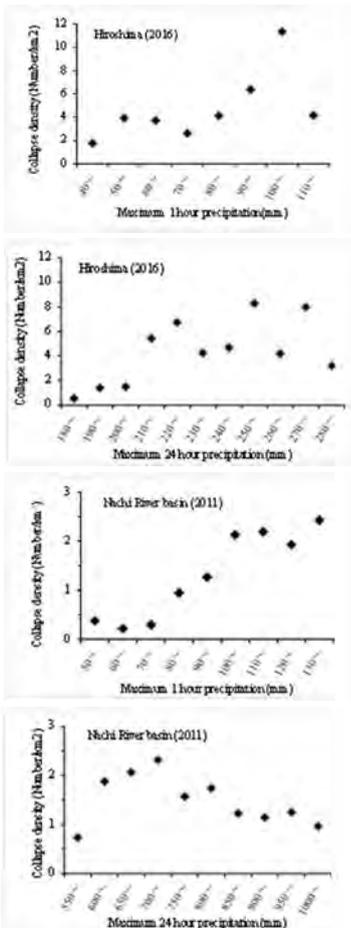


図-3 2014 年広島災害と 2011 年那智川災害についての最大時間雨量と崩壊密度との関係

### 参考文献

- 1)海堀ら:2014 年 8 月 20 日に広島市で発生した集中豪雨に伴う土砂災害,砂防学会誌,Vol.67,No.4,p.49-59,2014.
- 2)松村ら:2011 年 9 月台風 12 号による紀伊半島で発生した土砂災害,砂防学会誌,Vol.64,No.5,p.43-53,2012.
- 3)古川ら:2009 年 7 月 21 日山口県防府市での土砂災害緊急調査報告,砂防学会誌,Vol.62,No.3,p.62-73,2009.
- 4)古川ら:1999 年 6 月 29 日広島土砂災害に関する緊急調査報告(速報),砂防学会誌,Vol.52,No.3,p.34-43,1999.
- 5)瀬尾ら:1998 年 8 月末福島県南部災害における崩壊と降雨の関係,砂防学会誌,Vol.53,No.5,p.17-25,2001.
- 6)大石ら:統計手法を利用した 1999 年 6 月 29 日広島県西部における土砂災害発生状況と降雨・地形要因の関連についての考察,砂防学会誌,Vol.58,No.6,p.3-10,2006.

## 球状風化を呈した花崗斑岩分布域における表層崩壊発生場の特性

国立研究開発法人土木研究所  
和歌山県  
国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所

野池耕平・木下篤彦・高原晃宙・清水孝一・石塚忠範  
西岡恒志  
桜井亘

### 1. はじめに

表層崩壊には、風化状況や構成鉱物、斜面形態などさまざまな地形・地質的要因が影響することがわかっている。たとえば、2009年に山口県防府市で表層崩壊が発生した花崗岩分布域では、山地の開析状況が土層構造および表層崩壊の発生形態に影響を与えていることが明らかとされた<sup>1)</sup>。しかし、風化形態や地質学的背景が異なる地域など、山地の開析状況との関連性に関する検証事例はまだ少ない。

本研究では球状風化を呈した花崗斑岩が分布する和歌山県那智川流域において、山地の開析状況と表層崩壊発生場の地形・地質的特徴との関連性を把握することを目的とした。

### 2. 調査地概要

#### (1) 災害概要

那智川流域を含む紀伊半島では2011年8月30日から9月4日にかけて台風12号により広い範囲で降雨がもたらされていた。那智川流域は、9月4日0～4時で341mm（市野々観測所）が記録され、その未明に表層崩壊及びそれに伴う土石流が発生したとされている。

#### (2) 地質概要

那智川流域の地質および崩壊地の分布を図-1に示す。下位より順に下～中部中新統熊野層群、中部中新統熊野酸性岩類が分布する<sup>2)</sup>。

熊野層群は、砂岩泥岩互層および泥岩を主とし、東～北方向へ10～20°傾斜している。熊野酸性岩類は、那智川流域では花崗斑岩が主として分布し、表層崩壊の多くはここで発生している。

### 3. 調査方法

那智川流域における山地の開析状況の分類を行った。また崩壊地調査を実施し、表層崩壊の発生形態と山地の開析状況との関連性を整理した。

山地の開析状況は、遷急線より上位を山頂緩斜面とし、遷急線より下位は開析の程度に応じ、開析が進行した斜面を開析斜面下部、開析が未熟な斜面を開析斜面上部と区分した<sup>1)</sup>。これらの地形区分は、

レーザープロファイラを用いて作成した地形コンター図・傾斜区分図による判読、および現地調査によって行った。

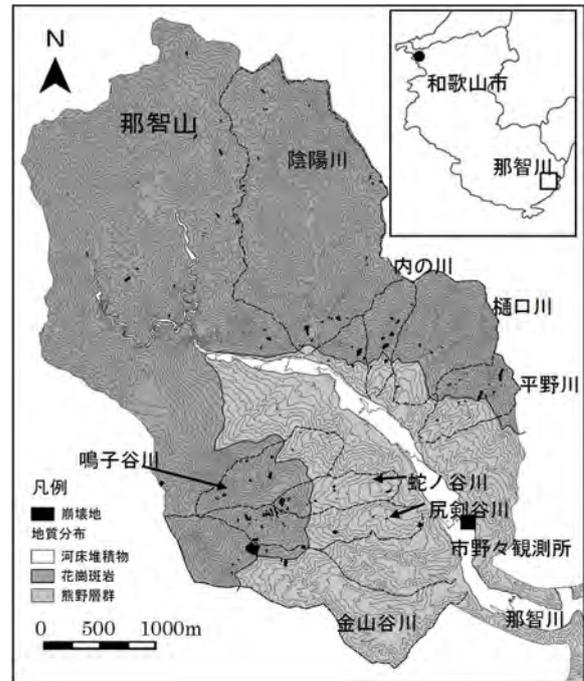


図-1 那智川流域の地質分布

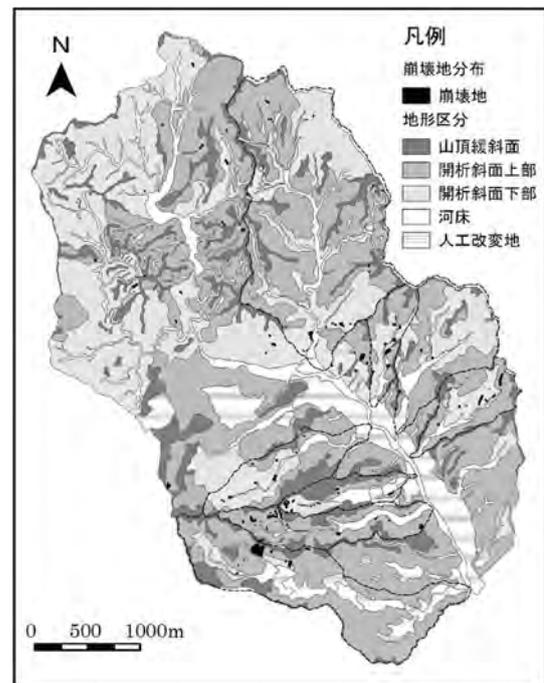


図-2 那智川流域の地形開析区分図

## 4. 調査結果

### (1) 地形調査

那智川流域における地形開析状況を図-2に、各開析区分の分布面積を図-3に示す。花崗斑岩分布域は、開析斜面上部および開析斜面下部が主として分布し、尾根付近に山頂緩斜面が帯状に分布する状況が確認された。

### (2) 崩壊地調査

那智川流域の花崗斑岩分布域における表層崩壊の発生形態を、土層構成や崩壊地の地形的特徴から下記の①～③に分類した。

#### ①風化残積土の崩壊

主に山頂緩斜面で見受けられる崩壊のタイプである。崩壊面には締まりが良好な粘土質マサが分布する。崩壊土砂にはコアストーンや岩屑を含むが、その含有率は低い。ただし、検証事例が少ないため、ほかの事例を確認する必要がある。

#### ②風化残積土および崩積土の崩壊

主に開析斜面上部において見受けられる。崩壊土層は崩積土および岩屑、コアストーンを含んだマサから成り、崩壊面においてもコアストーンおよび節理が発達した強～弱風化岩露頭が確認できる場合がある。

#### ③落石を伴う崩積土の崩壊

主に開析斜面下部において見受けられる。崩壊土砂は崩積土を主とするが、花崗斑岩から落石状の崩壊を伴うことがある。落石は、花崗斑岩中に発達した節理がくさび状に開口したものと考えられ、崩壊面には割れ目が開口した様子が見受けられる。

## 5. 考察

那智川流域の花崗斑岩分布域における表層崩壊の発生形態は、主に3つに区分することができる。それぞれの特徴は表-1のとおりにまとめることができ、これより球状風化を呈する那智川流域の花崗斑岩分布域においても、山地の開析状況が表層崩壊の発生形態および土層構造を規制しているものと考えられる。

山地の開析状況に応じた表層崩壊の発生特性として、崩壊地密度および崩壊面積率を図-3にまとめた。これより那智川流域の表層崩壊は、開析斜面上部および開析斜面下部での発生頻度が最も多く、崩壊面積率は開析斜面上部、開析斜面下部の順に多い傾向が見られた。そのため、開析斜面上部および下部が最も表層崩壊を引き起こしやすい傾向にあるといえる。特に開析斜面上部では崩壊地1箇所あたりの規模が大きいものと想定される。

表-1 那智川流域における表層崩壊の発生形態

発生形態	①	②	③
	風化残積土の崩壊	風化残積土および崩積土の崩壊	落石を伴う崩積土の崩壊
模式図			
主な地形区分	山頂緩斜面	開析斜面上部	開析斜面下部
概要	強風化岩が厚く分布し、それらの崩壊を主としている。コアストーンなどを含むが、含有率は低い。	崩積土およびコアストーンや岩屑を含む強風化岩の崩壊を主とする。	崩積土の崩壊を主とし、これに落石状の崩壊が伴うことがある。落石状の崩壊は地質構造に規制されている。

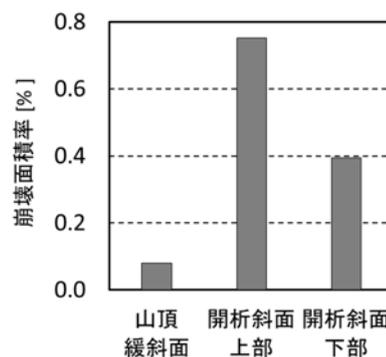
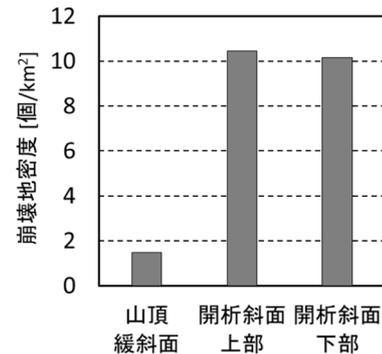
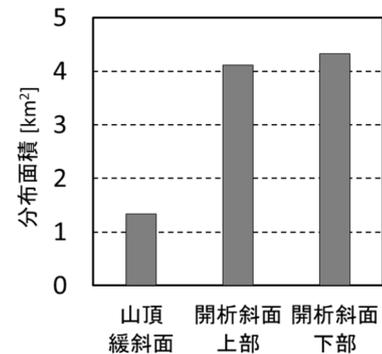


図-3 那智川流域における表層崩壊発生場の特徴

### 参考文献

- 1) 松澤ら (2015) : 花崗岩地域における土層構造と表層崩壊形状に与える山地の開析程度の影響, 地形, 36, 1, p.23-48.
- 2) 水野 (1957) : 5万分の1図幅「那智」および同説明書, 地質調査所, 40p.

地形開析に着目した球状風化を呈する花崗斑岩分布域における表層崩壊の発生特性

国立研究開発法人土木研究所  
和歌山県  
国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所

野池耕平・木下篤彦・高原晃宙・清水孝一・石塚忠範  
西岡恒志  
桜井亘

1. 背景と目的

近年、広島市（1999年・2014年）、山口県防府市（2009年）、和歌山県那智勝浦町（2011年）など花崗岩類が分布する地域では、同時多発的に発生した表層崩壊による重大な被害が生じている。このような表層崩壊の危険斜面を抽出・評価する場合、それぞれの地形・地質の特徴を考慮・区分した上でパラメータをそれぞれ設定することができれば、より高い精度で実施することが可能と考えられる。本研究では、球状風化を呈する花崗斑岩が分布し、2011年に同時多発的な表層崩壊が発生した和歌山県那智川流域を対象に、表層崩壊発生場の特性を把握することで、表層崩壊の危険斜面抽出に向けた基礎資料とすることを目的とした。また、危険斜面の抽出・評価に必要な土層厚を設定するため、球状風化を呈する地質帯における課題を整理した。

2. 流域の概要

2011年8月30日から9月4日にかけて台風12号により紀伊半島の広い範囲で降雨をもたらされ、那智川流域は、9月4日0～4時で341mm、最大時間雨量123mm（市野々観測所）が記録された。その未明に表層崩壊及びそれに伴う土石流が発生したとされている。

那智川流域の地質および崩壊地の分布を図-1に示す。下位より順に下～中部中新統熊野層群、中部中心統熊野酸性岩類が分布する<sup>1)</sup>。熊野層群は泥岩優勢砂岩泥岩互層を主とし、東～北方向に10～20°傾斜している。貫入岩である熊野酸性岩類は、花崗斑岩を主とし、表層崩壊の多くはここで発生している。

3. 地形の開析に着目した区分

花崗岩分布域では地形の開析程度が土層構成や崩壊形態を規制していることが明らかとなっている<sup>2)</sup>。この手法は2009年に表層崩壊が発生した山口県防府市に分布する防府花崗岩を対象に検討され、開析の進行度合いの順に開析斜面下部、開析斜面上部、山頂緩斜面の3つに区分、適用されたものである。しかし、コアストーンを含み球状風化を呈した地質

帯では異なる崩壊形態を示す可能性が考えられる。そこで、那智川流域における地形開析状況を区分した（図-2）。花崗斑岩分布域は、開析斜面上部および開析斜面下部が主として分布し、尾根付近に山頂緩斜面が分布する状況が確認された。

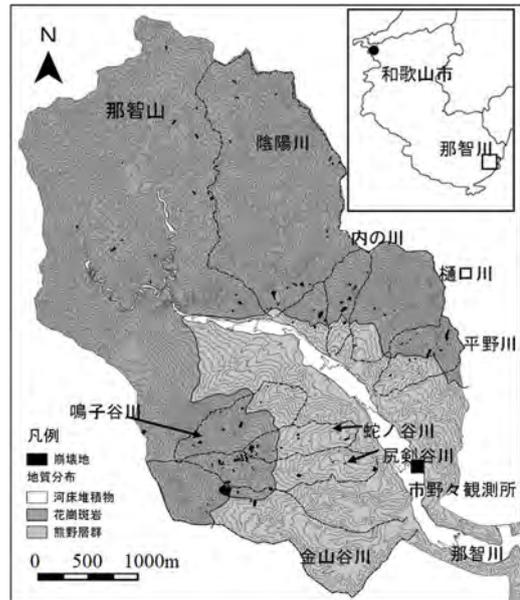


図-1 那智川流域の地質分布

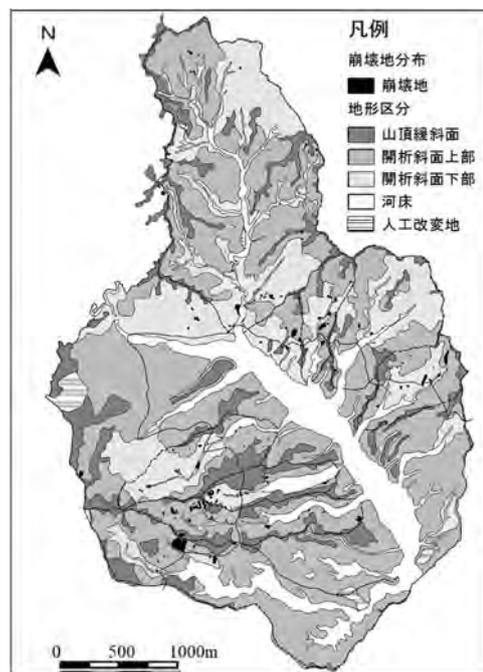


図-2 那智川流域下流側の地形区分結果

#### 4. 崩壊地調査

那智川流域の花崗斑岩分布域における表層崩壊の発生形態を、現地踏査により下記の①～③に分類した。表-1 に分類表および表層崩壊の概略断面図を示す。

##### ①風化残積土の崩壊

主に山頂緩斜面で見受けられる崩壊のタイプである。崩壊面には締まりが良好な粘土質マサが分布する。崩壊土砂にはコラストーンや岩屑を含むが、その含有率は低い。ただし、検証事例が少ないため、ほかの事例を確認する必要がある。

##### ②風化残積土および崩積土の崩壊

主に開析斜面上部において見受けられる。崩壊土層は崩積土および岩屑、コラストーンを含んだマサから成り、崩壊面においてもコラストーンおよび節理が発達した強～弱風化岩露頭が確認できる場合がある。

##### ③落石を伴う崩積土の崩壊

主に開析斜面下部において見受けられる。崩壊土砂は崩積土を主とするが、花崗斑岩から落石状の崩壊を伴うことがある。落石は、花崗斑岩中に発達した節理がくさび状に開口したものと考えられ、崩壊面には割れ目が開口した様子が見受けられる。

#### 5. 地形区分ごとの土層厚の推定手法

球状風化を呈する花崗岩類分布域は、コラストーンの影響により正確な土層厚の検討が難しいと考えられる。そこで崩壊地周縁部において土層厚と崩壊深を計測・対比し、その正確性を検証した。測定は山頂緩斜面および開析斜面上部において、土層強度検査棒（土検棒）の簡易法により実施した<sup>3)</sup>。

貫入深度、および崩壊深・貫入深度の差分量との相関を図-3 に示す。山頂緩斜面では相対的に崩壊深度と貫入深度が近似する傾向があるものの、どちらも大きなばらつきが見られ、直接的な手法では、正確な土層厚が反映されないと想定される。

#### 6. おわりに

本研究では、和歌山県那智川流域に分布し、球状風化を呈する花崗斑岩分布域において表層崩壊発生場の特性を検討した。得られた結果は以下のとおりである。

- ・那智川流域の球状風化を呈する花崗斑岩分布域では、地形の開析程度によって、表層崩壊の発生形態が規制されていることがわかった。
- ・コラストーンが分布する地質帯において、直接的な土層厚の測定手法では、正確な値を把握することが難しいと考えられる。今後は、物理探査など間接的な手法を含めて推定方法を検討する必要がある。

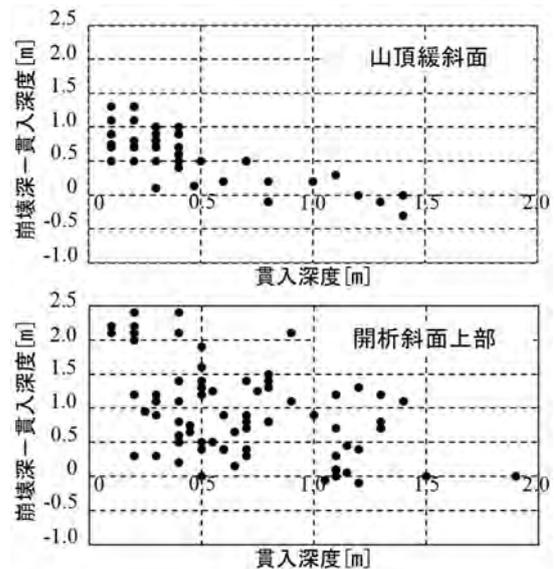


図-3 崩壊地周縁部における土層厚測定結果

#### 参考文献

- 1) 水野：5万分の1図幅「那智」および同説明書、地質調査所、40p、1957。
- 2) 松澤ら：花崗岩域における土層構造と表層崩壊形状に与える山地の開析程度の影響、地形、36、1、p.23-48、2015。
- 3) 土木研究所材料地盤研究グループ地質チーム：土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル（案）、土木研究所資料、第4176号、2010。

表-1 那智川流域に分布する花崗斑岩分布域の表層崩壊特性

地形区分	地形区分		
	山頂緩斜面	開析斜面上部	開析斜面下部
模式図			
概要	強風化岩が厚く分布し、それらの崩壊を主としている。コラストーンなどを含むが、含有率は低い。	崩積土およびコラストーンや岩屑を含む強風化岩の崩壊を主とする。	崩積土の崩壊を主とし、これに落石状の崩壊が伴うことがある。落石状の崩壊は地質構造に規制されている。

#### 凡例

- 崩積土
- 強風化岩
- 中風化岩
- 弱風化岩

## 那智川流域における崩壊タイプに着目した地形解析

北海道大学

笠井美青・柳井一希

### 1. はじめに

平成23年に紀伊半島を直撃した台風12号に伴う豪雨により、那智川流域では多数の表層崩壊が発生し、崩壊土砂が土石流化したことにより、甚大な被害が発生した。被害を防止・軽減するためには、崩壊危険箇所をあらかじめ把握することが重要である。本稿では、崩壊のタイプに着目しながら地形解析を行い、崩壊地に特有な地形量の抽出を試みた。

### 2. 流域の概要

那智川流域（面積16.2km<sup>2</sup>）の地質は、中新世の熊野酸性火成岩類（上流側）と中新統の熊野層群（下流側）に分けられる（図-1）。熊野酸性火成岩類は花崗斑岩が主であり、30°以上の急峻な斜面が分布する。熊野層群は砂岩と泥岩から成り、花崗斑岩域と比較すると勾配は緩やかである。平成23年台風12号により、流域内では57箇所の崩壊が発生した。

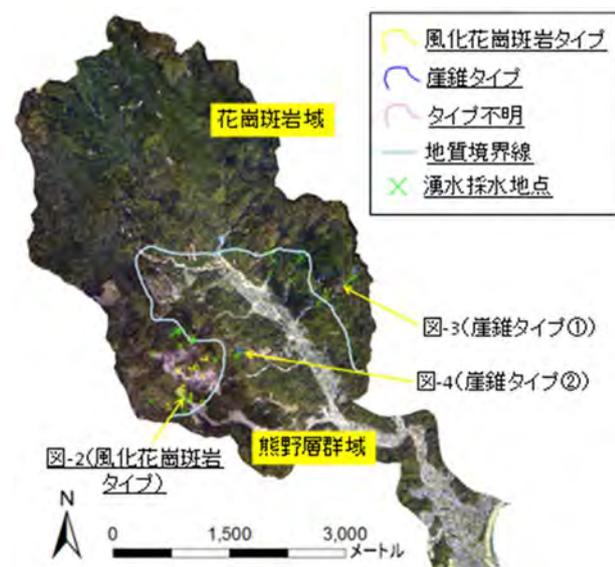


図-1 各タイプの崩壊地と湧水地点の分布

### 3. 崩壊タイプ

花崗斑岩域で発生した崩壊地を現地で確認したところ、原位置で花崗斑岩が強風化して生成された土層（コアストーンを含む）が崩壊したタイプと、斜面上部からの土砂供給により形成された崖錐が再

移動する形で崩壊したタイプの2タイプに分けられることが分かった。各タイプの代表例を図-2、3に示す。さらに、熊野層群域で発生した崩壊を現地で確認したところ、基盤地質は熊野層群であるものの、実際に崩壊しているのは、斜面上部の花崗斑岩域から供給された土砂により形成された崖錐であった（図-4）。

以上のことから、ここでは、熊野層群域で発生したものも含めて、花崗斑岩が原位置で強風化して生成された土層（コアストーンを含む）が崩壊した「風化花崗斑岩タイプ」と、斜面上部の花崗斑岩域から供給された土砂により形成された崖錐が再移動する形で崩壊した「崖錐タイプ」の2タイプに区分することとする。風化花崗斑岩タイプと崖錐タイプの分布を図-1に示す。現地で未確認の崩壊地は「不明」とした。風化花崗斑岩タイプは23箇所、崖錐タイプは11箇所、不明は23箇所である。



図-2 風化花崗斑岩タイプの例（位置は図-1 参照）



図-3 崖錐タイプの例（位置は図-1 参照）

## 4. 地形解析

崩壊との関連が指摘されている地形量として、勾配、TWI (Topographic Wetness Index)、平面曲率を選定し、各崩壊地の値をGISソフト上で計算した。TWIは $\ln(a/\tan b)$ で表され(a:集水面積、b:勾配)、値が大きいほど湿潤な斜面を表す。平面曲率は崩壊跡地に見られる凹地など地形の凹凸を表現することができ、 $>0$ で凸地形、 $<0$ で凹地形を表す。

斜面勾配の相対頻度分布を図-5に示す。風化花崗斑岩タイプは74%が $35^\circ\sim 45^\circ$ で発生しており、それ以外の階級はいずれも10%未満であった。一方、崖錐タイプでも73%が $35^\circ\sim 45^\circ$ であったが、 $25^\circ\sim 30^\circ$ でも18%が発生するなど、比較的緩い勾配でも発生しているのが特徴的である。

TWIの相対頻度分布を図-6に示す。風化花崗斑岩タイプでは、4以上の崩壊地が74%を占めていたが、2以下の崩壊も26%を占めていた。これは、尾根に近いところから発生し、集水面積が非常に小さい崩壊が見られたためである。一方、崖錐タイプでは、すべての崩壊地で6以上であった。

平面曲率の相対頻度分布を図-7に示す。いずれのタイプも、平面曲率が負(凹地形)で発生したものが90%以上を占めていた。風化花崗斑岩タイプでは $-6\sim -3$ にピークが見られるのに対し、崖錐タイプではそれより小さい曲率(より深い凹地形)で多くの崩壊が発生していた。

以上から、各タイプの特徴は以下のようにまとめられる。風化花崗斑岩タイプは、勾配 $35^\circ\sim 45^\circ$ で凹地形を呈し、TWIが比較的大きい斜面で多く発生するが、TWIが2以下でも発生する。このことから、地表面の地形量にはあまり反映されない基盤地形や基盤からの復帰水などが崩壊に寄与している可能性があると考えられる。

一方、崖錐タイプは、風化花崗斑岩タイプと同様に勾配 $35^\circ\sim 45^\circ$ の凹斜面で多く発生するが、 $25^\circ\sim 30^\circ$ でも比較的多い。これは、崖錐が元斜面よりも緩い勾配で堆積しているためであると考えられる。TWIは6以上と、集水性が崖錐タイプの崩壊の大きな要因となっており、地表面の地形量から危険箇所をある程度抽出できることを示唆している。

## 5. おわりに

本研究では、崩壊のタイプに着目しながら地形解析を行った。那智川流域では、地質境界線付近を中心に多数の湧水が見られる。踏査により発見された湧水地点の分布(28箇所)を図-1に示す。湧水は斜面内部の水文プロセスを反映しており、崩壊の要因

を検討する上で重要な手掛かりと考えられるため、採水を行った。今後は、各タイプの地形解析をさらに進めるとともに、湧水の水質分析を行うなど、斜面内部の水文プロセスも考慮しながら、崩壊に影響を与えた要因を明らかにし、危険箇所の抽出を行う必要がある。



図-4 熊野層群域の崖錐タイプの例 (位置は図-1 参照)

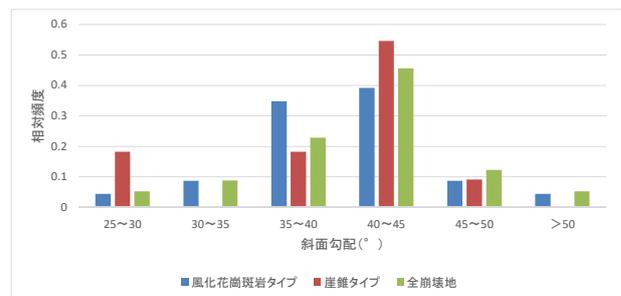


図-5 斜面勾配の相対頻度分布

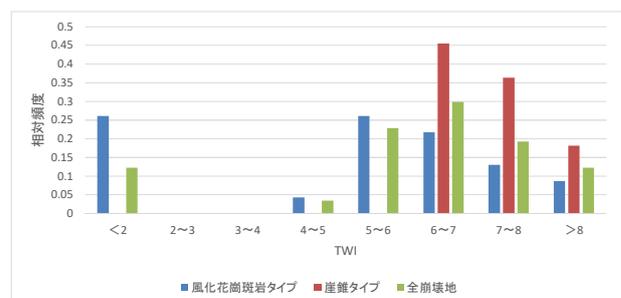


図-6 TWIの相対頻度分布

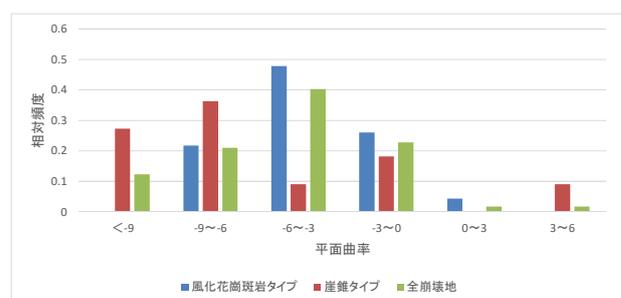


図-7 平面曲率の相対頻度分布

## 三重県藤原岳西之貝戸川における土石流発生プロセスとメカニズムを 解明するための現地観測

三重大学

山田孝・佐藤泰志

### 1. はじめに

2011年の台風12号による那智川での土砂災害発生後に、平野川などの支川域における土石流土砂収支を調べた結果（(社)砂防学会活動紀伊半島土砂災害調査委員会）、溪床堆積土砂量の再移動量が多いことが明らかにされている。崩壊土砂のみならず、溪流に堆積した土砂の再移動の実態とメカニズムを明らかにすることは、土石流の規模予測や対策を検討するうえで重要と考えられる。

溪流の急勾配区間に堆積した土砂が豪雨時に再移動することに起因した土石流については、高橋の発生モデル<sup>1)</sup>が水理模型実験を通じて発表され、土石流危険溪流における土石流発生勾配 $15^\circ$ の理論的説明にも適用されている。このモデルは、豪雨時に堆積土砂内部で伏流水が一樣に上昇して飽和に至り、表面流が発生し、堆積物の静的安定性が損なわれ、移動を開始するというものであるが、そのようなプロセスを現地で観測することの困難さから、実現象は未だに解明されていない。先行的な観測事例としては、筆者らの知る限り、岐阜県足洗谷支流ヒル谷支流最上流部の溪床堆積物内の飽和・不飽和領域を明らかにしつつある観測<sup>2)~3)</sup>が唯一のものとして認識している。また、国内、国外において、土石流発生源付近での観測<sup>4)~8)</sup>はなされているが、その対象は、土石流発生後の流れの状況や流速などの水理量が主体である。

三重大学森林環境砂防学研究室では、全国的に見ても溪床堆積物の再移動に起因した土石流が頻発する三重県藤原岳の西之貝戸川において、伏流水の平均移動速度や透水係数などについて考察を進めるとともに<sup>9)</sup>、2008年から豪雨時の溪床堆積物内の伏流水の変動実態から土石流発生までのプロセスとメカニズムを明らかにすることを目的とした観測を実施している。本論では、これまでの観測で得られた成果の概要と今後の観測の計画について紹介する。

### 2. 西之貝戸川流域の概要

西之貝戸川は、員弁(いなべ)川水系の二級河川真名(さな)川の右支川にあたり、南北に連なる鈴鹿山

脈の北部に位置する藤原岳(標高1144.8m)に源を発する(図-1)。流域面積は、1.22km<sup>2</sup>、流路延長(真名川合流点から流域の最遠点までの流路水平延長)は約2.9km、真名川合流点までの平均傾斜角は約 $18^\circ$ である。ふもとには溪流の流下方向に直交するように大貝戸(平成27年11月1日現在:世帯数213戸、人口600人)と坂本(世帯数149戸、人口411人)の集落が連続的に形成され、大貝戸集落には、三岐鉄道の終着駅である西藤原駅がある。これらの集落内の多くの家屋は、土石流の堆積勾配に相当する溪床勾配 $3\sim 6^\circ$ の範囲に分布している。



図-1 観測区域

西之貝戸川では、1999年以降、土石流が頻発するようになったため(現在までの土石流発生回数は2012年の土石流までの11回)、三重県によって6基の砂防堰堤と1基の床固工、1基の導流堤が施工され、現在に至っている。2010年に三重県が実施したボーリング調査によれば、第6号砂防堰堤から上流域には、土石流堆積物が、最大20m程度の厚さで堆積していることが明らかにされている<sup>10)</sup>。そのため、通常時には、地表流は認められない。床固工から上流約100mの箇所第1右支川に合流し、本川、

右支川の最上流部には、崩壊地がいくつか存在する。地質は美濃帯の中・古生層で、主に石灰岩により構成されている。そのため、溪流には、石灰岩から地下水等により溶脱された石灰分で礫と礫が結合した“さざれ石”（写真-1）が多く存在する。溪床に露出する基岩は、断層や風化の影響で、層理、節理の発達が著しく、岩盤の小岩塊・礫化が進んでいる。



写真-1 さざれ石

### 3. 土石流発生プロセスを明らかにするための現地観測の経緯

観測対象地は、勾配と過去の土石流発生実績から土石流発生区域とみなされる第6号砂防堰堤上流部（図-1）で、その流域面積は0.75km<sup>2</sup>・平均勾配は24.3°である。以下に、2008年から実施してきた観測内容などを紹介する。

#### (1) 溪床堆積横断面での豪雨時における伏流水変動状況の観察<sup>1)</sup>

2008年から、三重県により西之貝戸川の第6号砂防堰堤の施工が開始され、溪床、溪岸の掘削により、基岩上の鮮明な土石流堆積断面（以下、溪床堆積横断面）が露わとなった。この砂防堰堤は標高約400mの地点にあり、平均勾配は約20度と溪床堆積物の再移動に起因した土石流の発生勾配区域内に含まれているが、溪床低下後の土石流などによって、再度、溪床に土砂が堆積するというように、土石流発生と土石流の堆積が繰り返して生じている区域内と考えられる。

2008年6月の晴天時に溪床堆積横断面を観察した時に、2箇所から伏流水が流出している状況を確認できた。こうした伏流水が豪雨の時にどのように変動するのか、どのように土石流の発生につながるのかについて大変興味を持ち、伏流水を長期間連続撮影できれば、豪雨時の伏流水流出状況、表面流、土石流の発生プロセスなどを把握でき、溪床堆積物の再移動に起因した土石流の発生メカニズムの解明に役立つと考えた。

そこで、2008年7月に、第6号砂防堰堤施工工事箇所の直下流に、インターバルカメラ（KADEC21-EYEⅡ）を一台設置した。このカメラは、有効画素数130万画素のカラー画像（記録媒体は1GBのコンパクトフラッシュ）を一定間隔で撮影できるが、夜間や霧などの悪天候の時には、視認できる画像は得られない。撮影間隔は、10分とした。

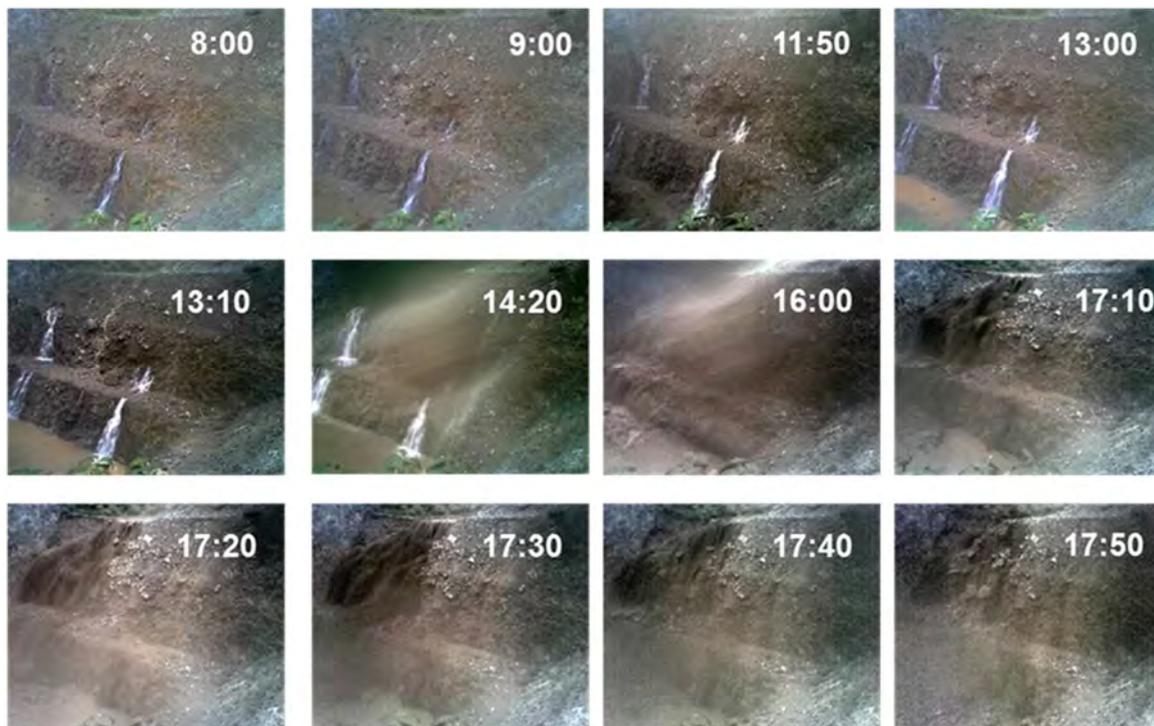


写真-2 2008年9月2日の土石流発生までの溪床堆積横断面の地下水流出状況変化

同年9月2日の豪雨により、土石流が発生したが、幸い、昼から土石流が発生した夕方までの伏流水流出変化を比較的鮮明に撮影できた(写真-2)。得られた画像を判読した結果、豪雨時には、溪床堆積横断面に確認された伏流水噴出孔の流量と濁りの増加、噴出孔の閉塞、複数箇所での伏流水噴出、溪床堆積物の崩壊といった諸現象が確認され、その直後に土石流の発生が認められた。伏流水が噴出するのは、パイプ流が溪床堆積物内で生じているためであり、そうした水文現象が藤原岳西之貝戸川での溪床堆積物再移動型土石流の発生プロセスを考えるうえで重要と考えられた。

## (2) 溪床堆積物におけるパイプ孔の実態と豪雨中におけるパイプ孔からの伏流水噴出の実態を明らかにするための観測<sup>12)</sup>

2008年9月2日の土石流によって、第6号砂防堰堤施工時に露出した溪床堆積横断面が崩壊し、土石流の堆積物によって完全に被覆された。2008年10月24日の豪雨(最大10分間雨量6mm、最大時間雨量24mm、連続雨量174mm)によって、その直上流部の溪床堆積物(幅:約20m、平均勾配:24度)の一部が約10m再移動し(この時は、土石流は発生していない)、溪床堆積物の横断面が露出して、3つのパイプ孔の出口を確認できるようになった(下流から「パイプ孔Ⅰ」、「パイプ孔Ⅱ」、「パイプ孔Ⅲ」)(写真-3)。そこで、2009年に、これらのパイプ孔出口の位置を測量するとともに、ボアホールカメラ(名称:ミニスネイク(KDM200SLM)、カメラヘッド直径:φ35mm)を用いて、それらの出口付近や内部の構造(構成礫の大きさなど)を観察した。



写真-3 2008年10月24日の豪雨により溪床堆積物から露出したパイプ孔

写真-4に、最も深くまでパイプ孔内を観察できたパイプ孔Ⅱの出口付近とその内部(孔内でのカメラ挿入可能深:1.3m)の状況を示した。パイプ孔Ⅰ、Ⅱ、Ⅲのいずれも、内径は数10cm程度で、パイプ孔出口付近は数10cm程度の複数の礫が互いに接触

して孔壁を支持している構造を呈し、その周囲を数mmの砂や数cmの礫が取り囲んでいた。また、いずれのパイプ孔の孔内は管状を呈して上流に続いているようで、孔内底面の勾配はカメラヘッドの挿入区間のみで計測するといずれも約7度であった。いずれのパイプ孔の内壁も10cm~数10cm程度の円形に近い形状の礫が相互にかんだ状態であること、パイプ孔底面の表面は数cm程度の礫やシルト混じり細砂、小礫などの細粒成分が存在していることがわかった。上記のパイプ孔露出箇所から上流約60mでのボーリング調査<sup>10)</sup>によれば、そこでの溪床堆積物の堆積深は約9.6m(その下層は石灰岩の基岩)、地表面から3mの深さまではφ2~30mmの垂角礫と中~粗砂が主体で、一部、粘性土が混じる状態であった。その下層約1mは玉石混り砂礫であった。こうしたことから、パイプ孔が存在する堆積層は、砂礫を主体としているものと考えられた。

2010年7月には、これらのパイプ孔から噴き出す伏流水のハイドログラフを明らかにするために、これらの出口付近にステンレス製のフリューム(幅:10cm、高さ:30cm、長さ:40cm)を設置した。各フリュームの下流約2~3mの箇所に、フリューム出口での水位を撮影するために、インターバルカメラ(KADEC21-EYEⅡ、brinno社 Garden Watch Cam)を2基設置した。これらのカメラの撮影間隔はいずれも10分である。さらに、第6号砂防堰堤の水通し天端に、同様の仕様のインターバルカメラを2台設置し、豪雨中のこれらのパイプ孔からの伏流水噴出状況を遠景で撮影した(いずれも撮影間隔は10分)。ちなみに、これらのインターバルカメラは、夜間の撮影はできない仕様で、春期と秋期は概ね18:00から翌日の6:00、夏期は概ね19:00から翌日の5:00までは、視認できる画像は得られない。



写真-4 溪床堆積物の一部再移動(2008年10月24日の豪雨)によって露出したパイプ孔Ⅱの出口と内部の状況

2010年8月9日の降雨(以下、降雨イベントⅠ)によって撮影された各パイプ孔からの伏流水の噴出状況を写真-5に示す。



写真-5 第6号砂防堰堤上流での各パイプ孔からの伏流水排出状況 (2010年8月9日撮影)

8:00にパイプ孔Ⅱ、Ⅲから、8:10にパイプ孔Ⅰから伏流水が噴出しており、9:00までの間にいずれのパイプ孔からの伏流水の噴出量が増加しているように見える。ほぼ同じ時刻に各パイプ孔から伏流水が噴出したこと、パイプ孔Ⅰでは11:10、パイプ孔Ⅱ、Ⅲでは12:20には伏流水噴出が終息したことが確認された。また、パイプ孔からの伏流水の流量が増大した9:10~9:20にかけて、パイプ孔Ⅰ直下の溪床堆積物が、幅数mで約数m程度下流に移動したことが画像の早送りによって明らかとなった。

図-2にこの降雨イベントⅠの土壌雨量指数、累積雨量、10分間雨量、各パイプ孔での噴出発生時刻と終息時刻、噴出継続時間を示す。パイプ孔から伏流水が噴出した時の累積雨量は、各々、97~101mm、土壌雨量指数(タンクモデルと各係数の値、計算方法は既報<sup>1)</sup>と同じ)は、122.5mmであった。その他の二つの降雨イベントについても調べた結果、パイプ孔からの伏流水噴出までの累積雨量の値は異なるが、土壌雨量指数は約110mm~125mmで発生していることがわかった。

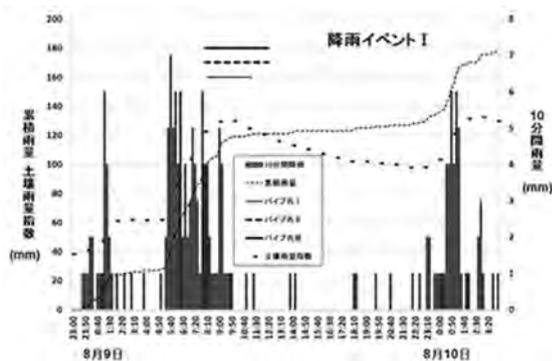


図-2 10分間雨量、累加雨量、土壌雨量指数とパイプ流の発生との関係 (2010年8月9日)

また、降雨イベントⅠでは、10分間雨量で5~7mmの比較的大きな強度の雨が降っているときにパイプ孔から伏流水が噴出した。

パイプ孔からの伏流水の hidrograph が得られた唯一の事例を図-3に示す。hidrograph は、いずれのパイプ孔も比較的鋭敏な形を呈している。

他の降雨イベントでは、フリーム内に礫が堆積して伏流水がフリーム外部を流れたりしたために有意なデータを得ることはできなかった。

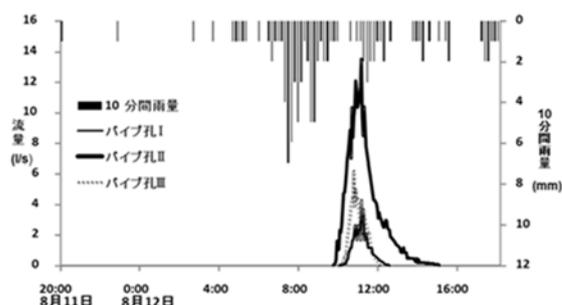


図-3 パイプ孔から排水された伏流水hidrograph (2010年8月12日観測)

2011年7月からは、第6号砂防堰堤直上流域が床固工施工用の重機運搬路として埋土されたために、パイプ孔Ⅰ~Ⅲでの観測が実施できなくなった。そこで、それ以降は、第6号砂防堰堤の約150m上流に位置する溪床堆積横断面(床固工施工のために掘削されて露わになったもの)において、そこに認められるパイプ孔(溪床堆積物地表面から深さ約1.5mの位置に存在する)からの伏流水噴出の発生時刻と継続時間をインターバルカメラ

(KADEC21-EYEⅡ)を設置して観測した(写真-6)。2011年9月3~5日にかけての降雨(台風12号)時において、パイプ孔からの伏流水噴出は、累積降雨が142mm、土壌雨量指数が120.7mm、10分間雨量強度が10mmのピーク直後に発生したことが確認された。また、パイプ孔からの伏流水噴出→パイプ孔の閉塞→パイプ孔周辺の土砂移動と溪床堆積横断面の一部崩壊といった現象を観測でき、溪床横断面の崩壊の引き金はパイプ孔の閉塞によって新たな複数のパイプ孔が形成され、それらから伏流水が噴出したことによるものであることが推察された。

以上の観測によって得られたデータならびに2002年9月から2012年9月までの855の降雨イベントを用いて、RBFN手法(Radial Basis Function Network)により、西之貝戸川における

パイプ流と土石流の発生基準雨量線を非線形で設定した。RBFN 値を 0.7 として（この時の捕捉率は 85.7%、空振り率は 0%）、パイプ流の発生とパイプ孔の閉塞、土石流の発生領域について考察した（図-4）。

その結果、パイプ流が発生しても土石流発生までには余裕があり（最大時間雨量の差 13mm、土壌雨量指数の差 74.9mm）、パイプ流発生がすぐに土石流につながるものではないことがわかった。土石流発生限界基準雨量線付近に近い降雨となるとパイプの閉塞が起りやすくなることや通常時に認められるパイプ孔の閉塞による新たな箇所からの伏流水噴出が溪床堆積物の不安定化と移動（土石流発生）をもたらすことなどが考えられた<sup>13)</sup>。



写真-6 床固工上流でのパイプ孔からの伏流水排出状況（2011年9月4日）

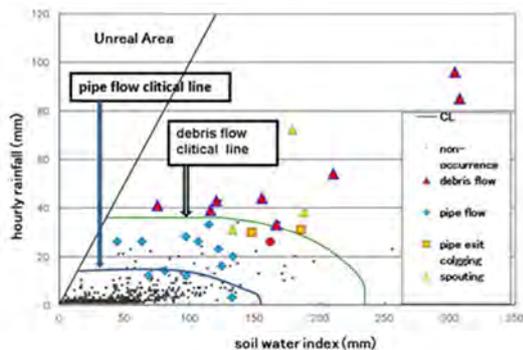


図-4 RBFN 手法によるパイプ流、土石流の発生領域

### (3) 伏流水の流出特性と流出モデルの作成などを目的とした伏流水の流量変動観測

土石流発生区域での伏流水の変動状況をより定量的に調べるために、2011年から土石流発生域に位置する第6号砂防堰堤（2009年竣工）の水抜き孔からの伏流水の排水流量を観測し続けている。第6号砂防堰堤下流法の最下段の2つの水抜き孔に超音波水位計（BANNER社 U-GAGE QT50ULBQ6）を設置し、10分間隔で伏流水の水位をデータロガーに記録している（写真-7）。

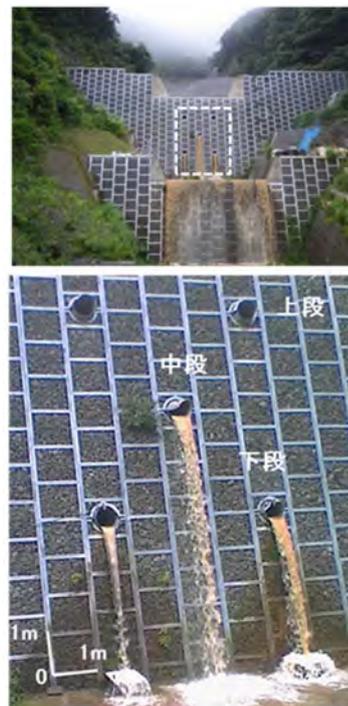


写真-7 第6号砂防堰堤水抜き孔での伏流水流量観測

観測対象地には、AC 電源が敷設されていないため、ソーラパネルとカーバッテリーを組み合わせた電源システムを使用している。豪雨時には、最上段と中段の水抜き孔からも伏流水が排出する時間帯があるため、それらの水抜き孔にも下段同様に超音波式水位計を設置することが望まれたが、2012年の土石流の流下によって、中段の水抜き工壁面が大きく変形したため、超音波式水位計の設置が困難となった。また、上段については、超音波式水位計の維持管理作業時の安全管理のために、設置を断念した。これらの超音波式水位計を設置していない水抜き孔については、第6号砂防堰堤副堤右岸袖部の平場に設置したインターバルカメラ（KADEC21-EYE II、brinno社 Garden Watch Cam）の画像から孔内出口での水流幅を判読した。ただし、夜間は、撮影できないため、水位データは欠測となる。超音波式水位計から得られたデータ、画像判読した水流幅データ、マニング式などを用いて、水位から流量に換算している。

2011年11月14日から2014年10月13日の期間において、ハイドログラフに明瞭なピークが見られた26降雨イベントにインターバルカメラの画像判読から流量を算出した2011年9月4日の降雨イベントを加えた全27降雨イベントを観測した

（2012年9月19日～2013年4月28日の間は2012年の台風16号によって超音波式水位計などが流出した為に欠測）。それらのうち最大時間雨量と累積雨量の関係が過去の土石流発生降雨に近い3

つの降雨イベントを豪雨イベント、それら以外を中小降雨イベントとして、豪雨時の伏流水の流出特性を考察した。豪雨イベントの伏流水ハイドログラフの事例を図-5に示す。最大雨量強度に対し、2~4時間程度遅れて明瞭な流量変化が現れる傾向が見られた。各降雨イベントの流出率を算出した結果、豪雨イベント時の流出率は7.6~13.7%であり、中小降雨イベントの1.4~19倍と大きいことがわかりました。また、各降雨イベントの流出ピークまでの実効雨量(半減期は、流量減水状況や様々な半減期における流出ピークまでの実効雨量と流出率との関係から2時間とした)を算出した。豪雨イベントの流出ピークまでの実効雨量は、流出ピークまでの累積雨量(273mm~377mm)に対して39.6mm~63.0mmと比較的小さな値を示すこともわかった。前述の流出率の値(7.6~13.7%)を考慮すると、豪雨時の雨水の多くは石灰岩の基岩部に浸透していると想像された。<sup>14)</sup>

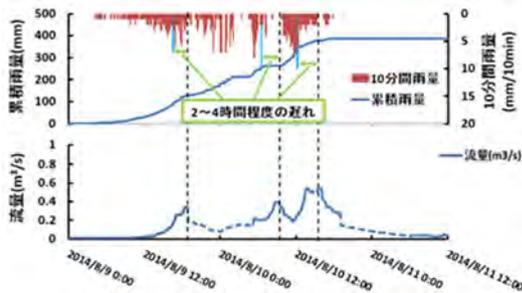


図-5 豪雨イベント時の伏流水ハイドログラフの事例

上記の観測期間の豪雨イベントでは、夜間は、堰堤の中段・上段の水抜き孔からの伏流水の排出状況を撮影できず、流量データが欠測になってしまうという大きな問題があった。そこで、2015年7月からは、日本工営株式会社名古屋支店との共同調査として、他流域にすでに設置されている夜間でも撮影できるWebカメラシステム<sup>15)16)</sup>(基本システムは、株式会社ブレインズ製作)を試験的に設置している(写真-8)。このシステムは、HDカメラ(最低被写体照度:0.01Lux 解像度:1920×1080 30)、LED照明(白色18W)、制御装置、通信モジュール、温度センサー、小型バッテリー、ソーラパネルから構成されている。2015年11月までには、土石流が発生するような規模の豪雨はなかったが、累積雨量52mm、時間雨量7mm、10分間雨量3mmの夜間の降雨状況においても、判読可能な鮮明な画像をリアルタイムで得ることができた。

また、このWebカメラシステムの導入とあわせて、第6号堰堤の副堰堤右岸側壁に、自記水位計(In-Situ Inc. Rugged TROLL 100)と超音波式水位計(BANNER社U-GAGE QT50ULBQ6)を設置し

て、これらから得られるデータからでも第6号砂防堰堤の全ての水抜き孔から排出される流量を計測できるようにした。



写真-8 夜間撮影が可能なLED Webカメラの導入と夜間の降雨時に撮影された画像の事例

#### (4) 上流域での夜間対応型インターバルカメラによる豪雨時の溪床堆積物からの伏流水の噴出や溪床堆積物の再移動の観測

床固工上流域は、本川、右支川ともに溪床勾配が約20~30°と急な勾配を呈しており、土石流堆積物が5~20mと厚く堆積している。近年のLP測量の結果によると、本川・右支川合流点から、本川・右支川の上流区間、右支川上流区間は、いずれも全体としては堆積傾向で、それらの堆積傾向の区間より上流の崩壊地に至るまでの区間は侵食傾向を呈している<sup>17)</sup>。ただし、堆積傾向が認められる区間においても、豪雨の後に現地に行くと明らかに侵食された区間も複数存在し、それらの下端には、前述のパイプ孔が認められる。溪床堆積物の侵食による土石流の発生と土砂の堆積が繰り返して生じている区域と考えられる。そこで、土石流堆積物が認められる区間において、2012年から4か所にインターバルカメラ(KADEC21-EYE II、brinno社Garden WatchCam)を設置し、豪雨時に溪床堆積物のパイプ孔から伏流水が噴出する状況や溪床堆積物の再移動、それらの発生タイミングの把握を目的とした観測を行っている(写真-9)。これまでに、いくつかの箇所、豪雨時に伏流水が噴き出す状況を観測できなかったが、溪床堆積物の再移動についてはまだ観

測できていない。2015年7月からは、これまで使用してきたインターバルカメラをすべて夜間にも対応できるカメラ (TREL20J) に交換し、引き続き観測を実施していく予定である。

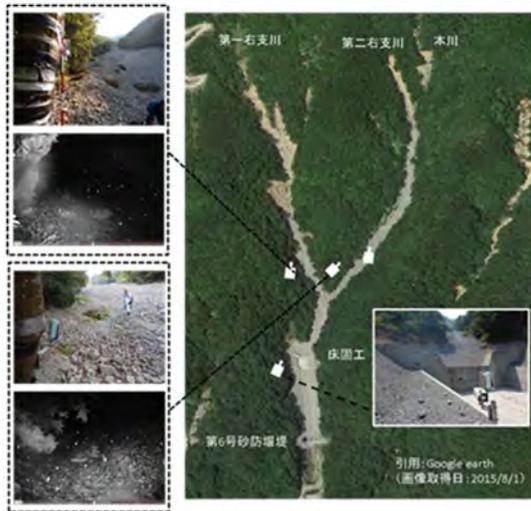


写真-9 床固工上流域におけるインターバルカメラの設置

#### 4. おわりに

これまでの観測により、西之貝戸川での土石流発生プロセスとして、豪雨時には、パイプ流が堆積物地表面から深さ数 m のところまで発生することが多く、その後、パイプ流の流量増加、パイプ孔閉塞、閉塞したパイプ孔付近からの新たな伏流水噴出を経て土石流が発生するのではないかと考えるに至った。渓床堆積物が再移動することに起因する土石流の発生現象の解明、さらには土石流の発生につながる様々な水文現象の監視に基づく土石流発生予測手法の構築を目指し、今後は、伏流水の流量データなどを活用して、伏流水の流出モデルを検討し、実流量の観測に基づく土壌雨量指数値などの算出とそれを用いた土石流発生に至るまでの様々な水文現象の発生領域区分の整理につなげていきたいと思っている。現地観測にあたり、様々な便宜をはかって頂いている三重県県土整備部防災砂防課（前河川・砂防室）、桑名建設事務所、いなべ市、卒論研究、修士論文研究を通じて現地観測に従事された三重大学森林環境砂防学教育研究分野の学生の皆様に深謝の意を表します。

#### 参考文献

1)高橋保、土石流の発生と流動に関する研究、京大防災研究所年報、第20号、B-2、p.405-435、1977  
 2)水谷太郎、里深好文、堤大三、水山高久、急勾配渓床堆積物中の水分動態、砂防学会誌、Vol.61、No.3、p.27-30、2008

3)速見智、三浦貴裕、里深好文、藤本将光、堤大三、土石流発生域における渓床堆積物の水分動態に関する研究、平成23年度砂防学会研究発表会概要集、p.390-391、2011  
 4)Berti, M., Genevois, R., Simoni, A. and Tecca, P.(1999):Field observations of debris flow event in the Dolomites, *Geomorphology*, No.29, pp.265-274.  
 5)Berti, M.,and A.Simoni, A (2005):Experimental evidences and numerical modelling of debris flow initiated by channel runoff, *Landslides*, No.2, pp.171-182.  
 6)Imaizumi, F., Roy C. Sidle. and Tsuchiya, S., Ohsaka, O.(2006):Hydrogeomorphic processes in a steep debris flow initiation zone, *Geophysical research letters*, Vol.33, L10404.  
 7)Coe.J. A., Kinner, D.A and Godt, J.W.(2008): Initiation conditions for debris flows generated by runoff at Chalk Cliffs, central Colorado,*Geomorphology*, No.96, pp.270-297.  
 8)Gregoretta, C.,and G. Dalla Fontana (2008):The triggering of debris flow due to channel-bed failure in some alpine headwater basins of the Dolomites :analyses of critical runoff, *Hydrological Processes*,No.22,pp.2248-2263.  
 9)近藤観慈、小林尚也、林拙郎：土石流多発渓流における降雨に対する流出遅れ時間 - 三重県いなべ市の西之貝戸川の事例 -、砂防学会誌、Vol.59、No.3、p.32-37、2006  
 10)三重県桑名建設事務所、平成21年度 二級水系員弁川水系西之貝戸川 国補通常砂防地質調査業務委託 報告書、2010  
 11)山田孝、森健司、沼本晋也、林拙郎、 砂防堰堤施工時の渓床堆積横断面を活用した土石流発生直前までの伏流水流出変化、表面流発生プロセスの観測 - 三重県いなべ市藤原岳西之貝戸川での事例 -、砂防学会誌、Vol.62、No.3、p.30-38  
 12)佐藤博文、山田孝、花田浩一、平山賢次、堀内望(2014)：三重県いなべ市藤原岳西之貝戸川での渓床堆積物におけるパイプ孔の存在と豪雨中のパイプ流発生・非発生降雨条件、砂防学会誌、Vol.66、No.6、p.50-55  
 13)山田真悟、山田孝、菊池英明(2013)：豪雨時に渓床堆積物から噴出する伏流水の閉塞とRBFNを用いた土石流発生限界雨量、平成25年度砂防学会研究発表会概要集、B-282～283  
 14)佐野泰志、小林龍太郎、山田孝(2015)：豪雨時の伏流水の流出特性とそのモデル化-三重県いなべ市藤原町西之貝戸川の事例、平成27年度砂防学会研究発表会概要集、B-252～253  
 15)吉田桂治、加藤敏文、大森徹治、大西竜太、池島剛、石井秀樹、小原大輔、福田謙太郎(2015)：富士砂防事務所管内における積雪観測の取り組み事例、平成27年度砂防学会研究発表会概要集、B-418～419  
 16)中谷洋明、鈴木豊、新井良介、春日亮太、木下篤彦、石井秀樹、松本定一、池島剛(2015)：CCTV 静止画像を用いた流量推定システムの開発(その2) - インターバルカメラによる夜間撮影システムの構築 -、平成27年度砂防学会研究発表会概要集、B-420～421  
 17)平谷和記(2009)：三重県西之貝戸川で発生した土石流について、砂防学会誌、Vol.62、No.3、p.74-79

## 那智川流域における雨水と湧水の安定同位体比の特徴

京都大学

小杉賢一朗

### 1. はじめに

安定同位体とは、原子番号が同じで中性子数（質量）が異なる原子のことを指し、自然界に一定の割合で安定的に存在している。特に、水分子を構成している水素(H)と酸素(O)の安定同位体は、自然のトレーサーとして水循環の研究に頻繁に用いられている。本研究では、那智川流域における雨水と湧水の安定同位体比を計測し、深層崩壊に関わる水循環研究への応用の可能性について検討を加えた。

### 2. 解析原理と方法

安定同位体の存在割合はかなり小さな値をとるため、その存在比（安定同位体比）は、ある標準試料からの千分率偏差（‰）＝ $\delta$  値を用いて表されることが多い。水に含まれる酸素の安定同位体比は $\delta^{18}\text{O}$  と記述され、水素の安定同位体比は $\delta\text{D}$  と記述される。これらの値が小さくなるほど $^{18}\text{O}$  や $^2\text{H}$  の割合が少ない水（つまり、軽い水）であることを表している。

雨が降る過程で水の凝結が起きる際には、水蒸気の中から重い（ $\delta$  値の大きい）水分子が優先的に除去されていく。この際、雨滴中の $\delta^{18}\text{O}$  値には、主として「内陸効果」と「高度効果」と呼ばれる地形による影響が現れる（図-1）。内陸効果とは、海に近いほど $\delta$  値の大きい重い雨水が降り、内陸に行くほど $\delta$  値が小さな雨水に変化していくプロセスを指している。他方、高度効果とは、標高の低い地点（山麓地域）において $\delta$  値の大きい重い雨水が降り、山頂に近づくほど $\delta$  値が小さな雨水に変化していくプロセスを指している。本研究では、この高度効果を利用して地下水動態の解析を試みる。

水の安定同位体は、化学的には水と同一であるため、土壌や岩石との化学反応によって水と異なる挙動をとることが無い。この点で、溶存化学物質とは異なっている。つまり、水が山体内部を移動する間に $\delta$  値は変動しないため、 $\delta$  値をトレーサーとして地下水移動経路を推定できる。

「高度効果」の利用方法について図-2 に模式的に示した。例えば、ある地点に降る雨の $\delta^{18}\text{O}$  が「a」であり、その場の湧水の $\delta^{18}\text{O}$  も「a」であれば、降

った雨が直ちに湧水していると考えることができる。一方、ある地点に降る雨の $\delta^{18}\text{O}$  が「b」であるのに、その場の湧水の $\delta^{18}\text{O}$  が「a」であれば、この湧水はより標高の高い地点に降った同位体比「a」の雨だと考えることができる。鈴木ら（2010）はこの原理を利用して、箱根の芦ノ湖周辺に分布する湧水の起源を推定した。彼らの分析結果では、多くの湧水の $\delta^{18}\text{O}$  値が標高とともに減少しており、降雨の「高度効果」を反映しているのに対し、ある特定の地点の湧水の $\delta^{18}\text{O}$  値は標高の割に小さな値となった。このことは、この地点の湧水がより標高の高い富士山に降った雨を起源としていることを示している。このようにして、深層地下水の流動経路を推定することができるわけである。

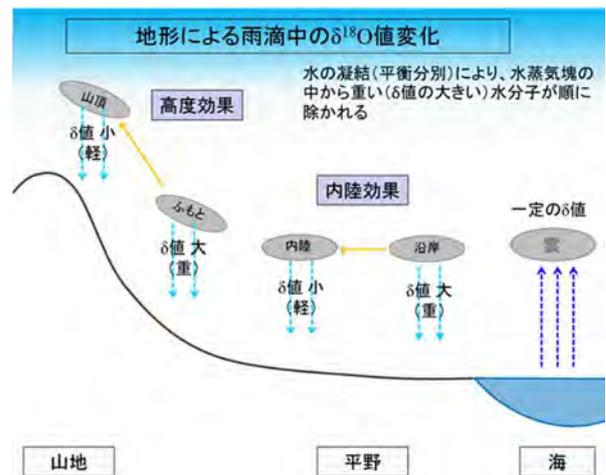


図-1 雨滴の安定同位体比変化

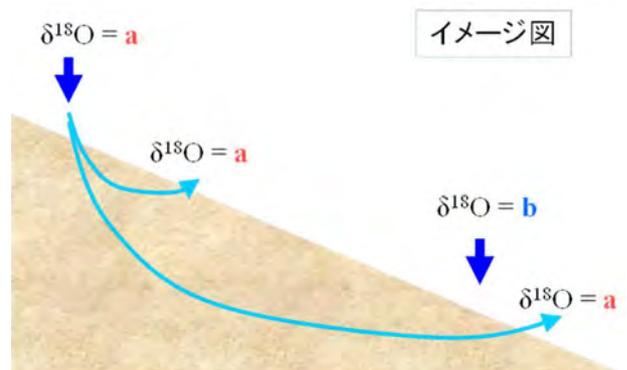


図-2 安定同位体比をトレーサーとした地下水解析

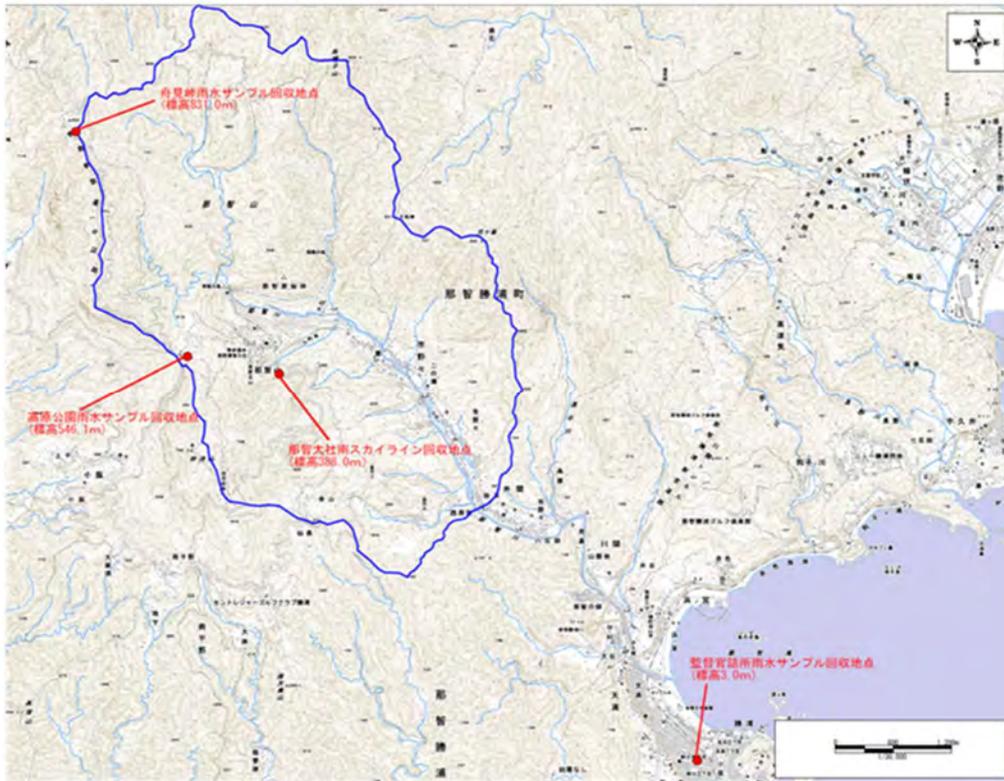


図-3 雨水のサンプリング地点 (地理院地図を加工)

本研究では那智川流域を対象として、図-3に示した地点で雨水のサンプリング(貯留型雨量計による)を、図-4に示した地点で湧水のサンプリングを行い、安定同位体比の分析に供した。雨水サンプリングは、監督官詰所および高野公園では2015年1~11月にかけて実施した。

さらに2015年7~11月には、那智大社南スカイラインと船見峠でも実施した。一方、湧水サンプリングを実施したのは2014年5月である。安定同位体比の分析には、波長可変半導体レーザー吸収分光法に基づく水同位体分析計(L1102-i, Picarro, CA, USA)を使用した。



図-4 湧水のサンプリング地点 (地理院地図を加工)

### 3. 結果と考察

図-5 は、 $\delta^{18}\text{O}$  値とサンプリング標高の関係を示したものである。雨水の  $\delta^{18}\text{O}$  値はサンプリング日によって大きく変動するが、大抵のサンプリング日において標高が高くなるにつれて低下する傾向が見られた。図中の緑色の線は、7～11月の平均値（貯留雨量で重みづけした加重平均値）を示したものであり、明瞭な高度効果の存在を示している。このことから那智川流域では、降雨の高度効果を利用した水循環解析が可能だと考えられる。

図-5 中に青丸で示した湧水の  $\delta^{18}\text{O}$  値は、標高に依存せずほぼ一定値であった。このことから、高標高地点に降った雨水が基岩内深くにまで浸透し、下流域の湧水を涵養していることが推察される。図中の「蓬莱の湯」は、那智かまぼこセンター（東牟婁郡那智勝浦町市野々3917）内で温泉用に掘削された深井戸の水の分析結果である。湧水に比べて低い  $\delta^{18}\text{O}$  値を持った「軽い水」であり、より高標高で降った雨水を涵養源とすることが考えられる。

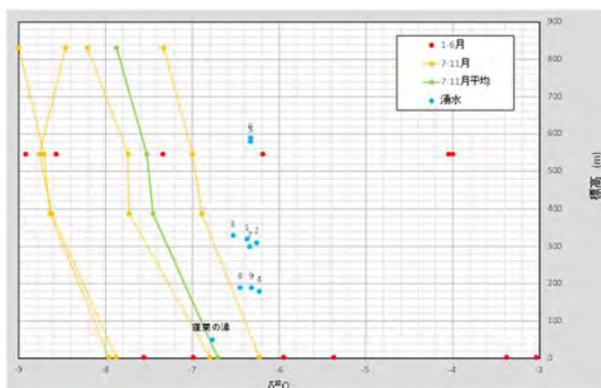


図-5 雨水と湧水の  $\delta^{18}\text{O}$  値の標高依存性

図-6 には雨水サンプルの d 値の時系列を示した。d 値は、 $\delta^{18}\text{O}$  と  $\delta\text{D}$  を用いて次式で計算され、 $\delta^{18}\text{O}$  と  $\delta\text{D}$  の相関図における切片に相当する。

$$d \text{ 値} = \delta\text{D} - 8 * \delta^{18}\text{O}$$

図-6 では、d 値は冬期に高く夏期に低いという明瞭な季節変動を示している。雨水の d 値が季節変動を示す地域においては、湧水の d 値の季節変動を調べることによって地下水の滞留時間を推定する手法（例えば、Genereux and Hooper, 1998）が提案されている。図-6 の結果から、那智川流域においては、この手法を効果的に用いることができると期待される。



図-6 雨水の d 値の季節変動（監督官詰所のサンプル）

#### 引用文献

Genereux, D. P. and R. P. Hooper (1998) Oxygen and hydrogen isotopes in rainfall-runoff studies. In Isotope tracers in catchment hydrology. C. Kendall and J. J. McDonnell (eds.), 839 pp, Elsevier Science: Amsterdam, pp. 319-346.

鈴木秀和・宮下雄次・高橋浩・安原正也，箱根外輪山斜面に分布する湧水の水質および同位体組成，神奈川県温泉地学研究所報告，第 43 巻,29-38, 2011

和歌山県東牟婁地域の熊野層群分布域における崩壊・土石流の実態と地形的特徴

和歌山大学

江種伸之

1. はじめに

平成 23 年台風 12 号の豪雨により紀伊半島では大規模土砂災害が発生した。和歌山県東牟婁地域では崩壊・土石流が多発し、多くは、急傾斜を呈する熊野酸性火成岩類分布域で生じている。一方、熊野酸性火成岩類を取り囲むように分布する熊野層群は地層の傾斜も緩く、安定しており災害の発生数は比較的少ない。しかし、崩壊箇所自体は 100 を超え、小さな降雨強度の雨で土砂災害が発生した箇所も認められる。熊野層群分布域における土砂災害発生箇所は、周辺に比べ緩やかな斜面を呈するなど地形的な特色をもつことが報告されている<sup>1)</sup>。本研究では東牟婁地域の熊野層群分布域で発生した土砂災害の実態と地形的な特徴について事例を述べ、今後の防災に有効となる危険箇所の抽出について検討した。

2. 土砂災害と地質<sup>2)</sup>

紀伊半島南部の地質と和歌山県東牟婁地域の土砂災害発生地点を図-1<sup>3)</sup>に示す。紀伊半島南部には、四万十帯（四万十付加体）、熊野酸性火成岩類・大峯酸性岩類・潮岬火成複合岩類（火成岩体）、熊野層群・田辺層群（前弧海盆堆積体）が分布している。今回記述する熊野層群は、和歌山県串本町から三重県尾鷲市にかけての地域に分布し、四万十付加体を傾斜不整合で被っている堆積体である。潮岬火成複合岩類とは一部指交・一部貫入の関係にあり、熊野酸性火成岩類や大峯酸性岩類の貫入を受けている。

熊野層群は礫岩・砂岩・砂岩泥岩互層・泥岩からなり、層厚は 1,500~4,000m に達する。熊野層群はその分布地域の北部・中部・南部で岩相や地層の層厚が大きく異なっている。熊野層群の地層は、北部地域と中部地域では、熊野酸性火成岩類を取り囲むように分布し、南または東に傾斜している。これに対して、南部地域では、地層は東北東-西南西方向に軸を有する褶曲（背斜・向斜）が発達している。

和歌山県東牟婁地域の熊野酸性火成岩類および熊野層群分布域における崩壊地を図-2<sup>4)</sup>に示す。図-2 は空中写真より判読した崩壊地と 20 万分の 1 シームレス地質図に基づいて区分した地質分布図を重ねて表示したものである。崩壊地と判読された箇所は 523 箇所、その内、熊野層群分布域は 129 箇所（24.7%）、野酸性火成岩類は 394 箇所（75.3%）である。

ここでは、熊野層群分布域において、崩壊・土石流の災害が顕著であった新宮市熊野川町九重と崩壊・地すべりが見られた新宮市高田（口高田）の実態と地形的な特徴を記載する。なお、熊野層群分布域で発生した崩壊はほとんどが表層崩壊である。

3. 熊野層群分布域における土砂災害の実態と特徴

(1) 九重における崩壊・土石流<sup>1)</sup>

九重は熊野川流域の北山川右岸に位置し、河川の攻撃斜面にあたる。熊野川流域の熊野層群分布域では小規模な崩壊が発生したが、土石流はほとんど起きていない。

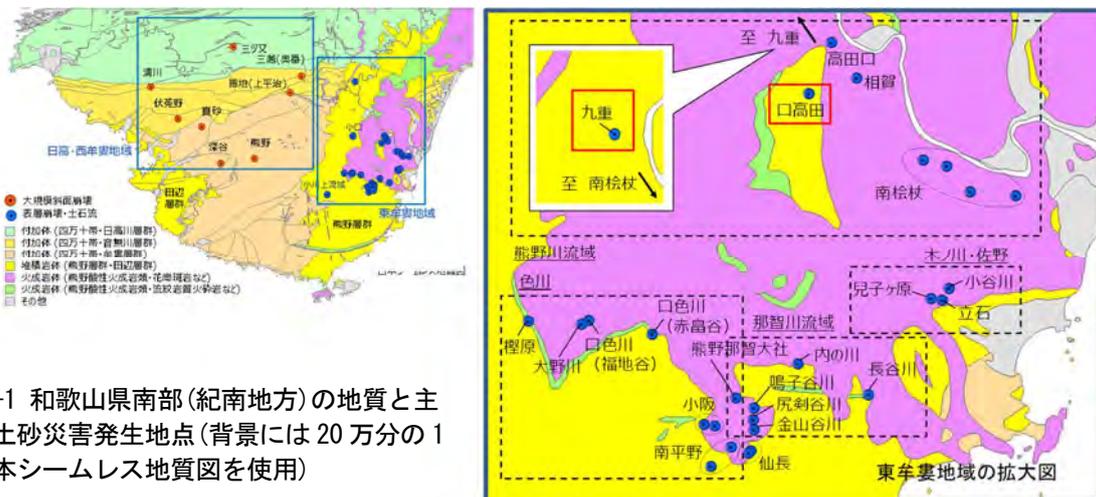


図-1 和歌山県南部（紀南地方）の地質と主な土砂災害発生地点（背景には 20 万分の 1 日本シームレス地質図を使用）

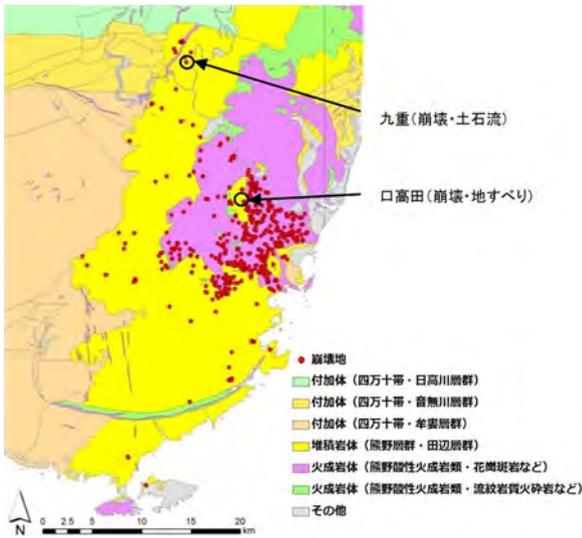


図-2 崩壊地の平面分布  
(地質分布は 20 万分の 1 日本シームレス地質図を使用)



図-3 九重付近の地質と土石流発生状況  
(国土地理院 1:25,000 地形図「伏拝」を使用して作成)

分布域の地形も緩いため土石流が発生しなかったものと推定される。しかし、九重ではこのように安定した熊野層群分布域で緩やかな地形を呈する斜面であるにもかかわらず、比較的小さな降雨強度で土石流が発生した。

九重の地質は、熊野層群の泥岩・砂岩泥岩互層を基盤岩とし、斜面上部に大峯酸性岩類の石英斑岩の貫入が見られる。熊野層群の層理面はほぼ南北走向で東に 15° 程度で傾斜し、斜面に対して流れ盤を呈する (図-3、4 参照)。

図-3 に示すように、九重の斜面は周辺と比較して緩やかなことが特徴的で、崩積土が斜面上方まで分布している。台風 12 号で発生した土石流の沢上方 (源頭部) で崩壊が発生し、これが土石流の原因となっている。土石流末端の堆積域は扇状地形を呈し、

過去に土石流が繰り返し発生したことが推察される。なお、土石流が発生した北側の沢では、上流に古い崩壊地形が見られ、沢の末端で明瞭な扇状地形が認められる。

今回発生した土石流 (図-4 の B 断面) は沢の出口で急激に扇状に広がり、民家を直撃している。沢の下流部では節理の非常に発達した熊野層群が露出し、風化を被り凹凸に富み、一部は階段状の地形を呈している。沢の周辺では熊野層群の上位を崩積土が覆っているが、熊野層群の表層部分 (1~3m 程度) は緩んでおり、斜面変動 (クリープ) が生じている可能性がある。この表層の緩みと変動・流出が、崩積土が広い範囲で分布する原因である。

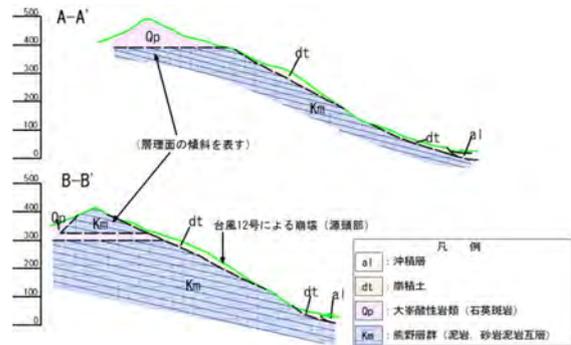


図-4 九重の地質断面図

土石流の源頭部で発生した崩壊の規模は、幅 30m 程度、深さは 8m 程度に及ぶ。崩壊は主に崩積土が崩れたもので、崩壊箇所からは湧水が見られる。水で飽和した崩壊土砂は沢の表層を削剥しながら下流へ移動し、多くは沢の狭さく部でとどまっている。

これより、九重において土石流災害が発生した原因を以下のように考察した。

- ① 熊野層群分布域で流れ盤を呈する(層理・節理が発達し、緩み域が形成され、表層は不安定化)。
- ② 河川の攻撃斜面である(斜面末端の浸食により、熊野層群表層の緩み域の助長)。
- ③ 背後に大峯酸性岩類の貫入が見られ、熊野層群の褶曲や節理の発達に寄与し、堆積土砂量増大の原因となる。

北山川や支流周辺では九重と同様の緩やかな地形が散見される。同様の地形・地質分布箇所については崩壊・土石流の危険性があるといえる。このような箇所は周辺に比べ緩やかな地形を呈し、比較的容易に、抽出することができる要注意の地形である。

## (2) 口高田における崩壊・地すべり<sup>5)</sup>

口高田では、口高田川沿いの左岸斜面で崩壊・地すべりが発生している。場所は新宮市立高田小・中学校の北方 1,000m 付近に位置する。口高田の地質

は図-5 に示すように熊野層群の泥岩を基盤岩とし、斜面上方(東側)で熊野酸性火成岩類が分布(貫入)する。

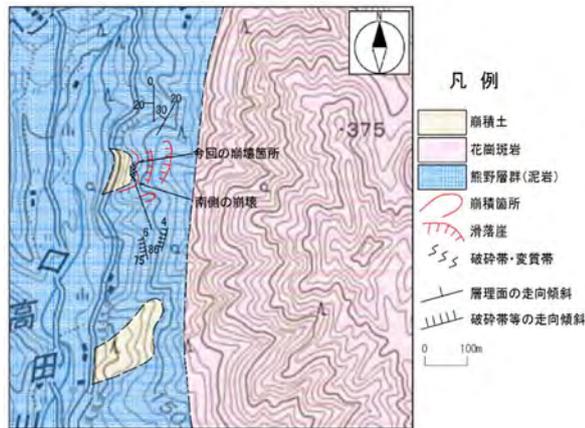


図-5 口高田崩壊地付近の地質図及びルートマップ(国土地理院 1:25,000 地形図「新宮」を使用して作成)

口高田では、斜面末端の熊野層群泥岩分布域で崩壊が発生した(写真-1)。この崩壊で既設法枠工が破壊している。本崩壊地周辺の泥岩の層理は、斜面に対し、流れ盤を呈する。また、崩壊箇所では幅約 1m の灰青色を呈する粘土質変質帯 (N4° E86° W) とその下に幅約 3m の角礫状化した断層破砕帯 (N6° W75° W) が認められる。両者とも斜面方向に直交し、高角度の流れ盤となっている。崩壊は図-6 に示したように、これら粘土質変質帯・断層破砕帯に伴う脆弱部が斜面末端部に存在していることに起因して発生したものと考えられる、なお、図-5 に示したように、この崩壊地の斜面上方では、滑落崖(写真-2)が 2 段認められ、地すべりが発生している。また、崩壊地の南側にも比較的規模の大きな崩壊地が見られる。

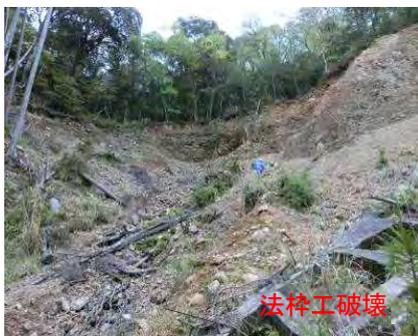


写真-1 口高田斜面末端の崩壊部全景(2014年4月19日撮影)

地すべりは、図-6 に示すように、斜面末端で崩壊が発生し、斜面上方に緩み域が広がったことが原因で発生したものと考えられる。さらに基盤岩である

熊野層群が流れ盤であることもすべりを助長している。この地すべりについては、2009年(平成21年)以前に新宮市建設農林部により、滑動が確認されており(位置の詳細は不明)、2011年台風12号の豪雨で再滑動している。また、2013年9月の台風18号の際にも滑動が認められることから、降雨時のみ断続的に動く傾向があるといえる。また、写真-3に示した1976年の空中写真をみると、岩盤の緩みに起因すると考えられる地すべり地形が検出され、地すべりは古くから滑動していたものと推察される。今回確認した崩壊箇所も法枠工が施工されていたことから、過去に崩壊した可能性が高く、南側の崩壊も含め、地すべりと滑動と関連していると思われる。

九重と口高田における土砂災害の特徴をまとめ、表-1に示す。



写真-2 崩壊地斜面上方に見られる地すべり滑落崖(右側は上段)(2014年10月19日撮影)



写真-3 口高田崩壊地の空中写真<sup>6)</sup>

#### 4. 地形的な特徴

熊野層群分布域における土砂災害は、九重のように厚い崩積土が形成され、周辺に比べ緩やかな地形が形成されたところで発生する場合や口高田の地すべりのように細かい地形を判読しないと検出できないようなところで生じている。ここでは地形的な特徴をまとめた。

表-1 熊野層群分布域における土砂災害の実態と特徴

地区	地質	斜面下方の状況	地質構造	土砂災害	貫入岩	地形的特徴
九重	熊野層群（泥岩，砂岩泥岩互層） 非常に節理が発達し，堆積物の発生量が多い。	北山川の攻撃斜面	流れ盤 15°	斜面上方で崩壊 土石流	背後に大峯酸性岩類が貫入	周辺と比較して緩やかな地形 地形図，空中写真で判読可能
口高田	熊野層群（泥岩） 節理が発達し，崩積土が分布	変質帯と破碎帯が分布	流れ盤 20-30°	斜面下方で崩壊 地すべり	背後（周辺）に熊野酸性火成岩類が貫入	地すべり地形 1/2.5万地形図では検出困難 空中写真で判読可能（小規模な平坦面）

- ①周辺に比べ緩やかな斜面（地形）；熊野酸性火成岩類（あるいは大峯酸性岩類）との境界付近に分布する熊野層群は節理が発達し、堆積物の発生量が多くなるため、ここでは、崩積土が厚く堆積する。また、熊野層群分布域の上方に存在する熊野酸性火成岩類の分布域は、稜線の比高が高く、周縁部に崩落した酸性岩が厚く堆積した崩積土が分布する人が多い。これらの崩積土の分布域は緩傾斜面を形成していることから、この抽出は容易である（1/2.5万地形図で抽出できる場合もある）。ここでは崩壊と土石流が発生しやすい。基盤岩は熊野層群で、崩積土と熊野層群との境界面は斜面に調和的であることから（地質構造が反映された地形）、豪雨時には崩積土と熊野層群との境界ですべり可能性が高い。特に集水しやすい凹型地形に崩積土が分布しているところは注意を要する。
- ②地すべり地形；斜面末端に弱部が存在し（河川の攻撃斜面に起因する浸食、断層・破碎帯）、熊野層群の地層面が流れ盤を呈する場合には地すべりに発展することがある。ただし、地すべり地形は明瞭でないことが多いため、1/2.5万程度の地形図から危険箇所を抽出することは困難である。ここでは、空中写真判読や注目箇所に対する現地踏査での確認が重要となり、広域範囲の中から抽出することは難しい。

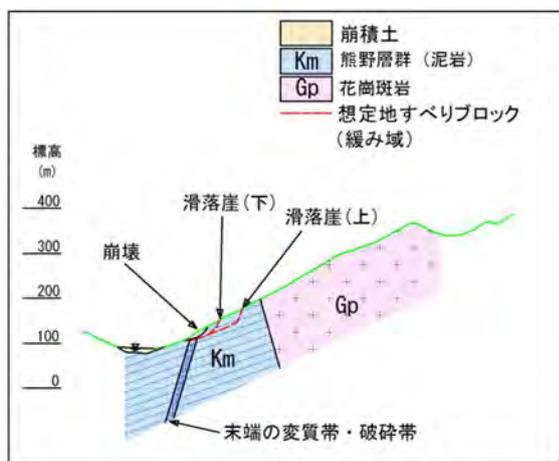


図-6 口高田崩壊地の模式断面図

## 5. おわりに

熊野層群は安定した地盤であり、台風 12 号の豪雨に伴う崩壊の発生箇所は少ないが、特に流れ盤を呈する斜面では斜面末端において、河川の浸食や破碎帯などの脆弱部の存在など、不安定化する因子が存在する場合、地すべりや崩壊・土石流発生の可能性が高くなる。今後は、熊野層群分布域における崩壊箇所の事例をさらに整理し、その実態と地形的特徴をまとめ、危険箇所の地形情報を明確にすることが防災上、重要と考える。

なお、本稿の内容は Kansai Geo-Symposium2015 で発表したものである。

### 参考文献

- 1) 辻野裕之・谷垣勝久・泉並良二・加藤智久・岩瀬信行・石田優子・後誠介・江種伸之：平成 23 年台風 12 号による新宮市熊野川町九重における土石流災害、第 49 回地盤工学会研究発表会、pp.1791～1792、2014.
- 2) 日本の地質「近畿地方」編集委員会編著：日本の地質 6 近畿地方、共立出版、pp.128～131、1987.
- 3) 地盤工学会関西支部・日本応用地質学会関西支部・関西地質調査業協会・中部地質調査業協会：「想定外」豪雨による地盤災害への対応を考える調査研究委員会報告書、77p、2015.
- 4) 地盤工学会関西支部・日本応用地質学会関西支部・関西地質調査業協会・中部地質調査業協会：「想定外」豪雨による地盤災害への対応を考える調査研究委員会報告書、174p、2015.
- 5) 地盤工学会関西支部・日本応用地質学会関西支部・関西地質調査業協会・中部地質調査業協会：「想定外」豪雨による地盤災害への対応を考える調査研究委員会報告書、pp.134～136、2015.

# 画像解析によるダム湖面に滞留する流木の推計に関する研究

和歌山大学

吉田登

## 1. はじめに

近年、豪雨等に伴いダム湖に大量の流木が滞留し、ダム管理上の問題となっている<sup>1),2),3)</sup>。このような流木問題に対して、流木の滞留状況を把握するため、現在、和歌山大学では、椿山ダムに滞留する流木量を監視するための定点観測を行っている（図-1）。

これまでの研究において、ダム湖岸から撮影した湖面の画像を透視投影（Homography）により真上から撮影した画像に変換し、その画像上の流木の面積を推計する手法が一定の精度で適用可能であることを、室内実験により検証した。

室内実験では単一色の矩形を流木に見立てたため、流木領域の検出は容易であった。しかし、実際の流木は様々な形状や色要素から構成されていること、また太陽光の反射や湖面への映り込みが検出を阻害すること等から、流木検出は容易ではない。目視で検出するには限界があるため、これらの検出阻害要因をふまえ、より効率的に流木を検出する手法の開発が課題となっている。

画像解析の分野では、画素の色情報により対象を検出する手法が開発されている。そこで本研究では、和田（2003）<sup>4)</sup>が開発した、色ターゲットの検出手法を実際の湖面画像に適用することを試みた（図-2）。しかし、周辺環境の影響により周囲の山頂部に流木を誤認識するなど十分な認識結果が得られなかった。そこで、ここでは誤検出の要因のひとつと考えられる日照による光の変化が流木の検出にどのような影響を及ぼすかについて、屋外実験や湖面画像により分析することを目的とする。

## 2. 研究方法

色ターゲットの検出手法で使用されるプログラムは RGB 値を用いて画像解析を行っている。そのため本研究では色の表現に RGB 色空間を用いており、0～255 の値をとる変数 R、G、B によって色を示す。

まず日照による光の変化が流木に及ぼす影響を RGB 値によって把握するために、流木に見立てたサンプルを水上に浮かべるものと、地面に置いたものに分け、6時から18時まで、1時間ごとに撮影を行い、RGB 値の変化を調べる。（図-3）



図-1 ダム流木の現地定点観測

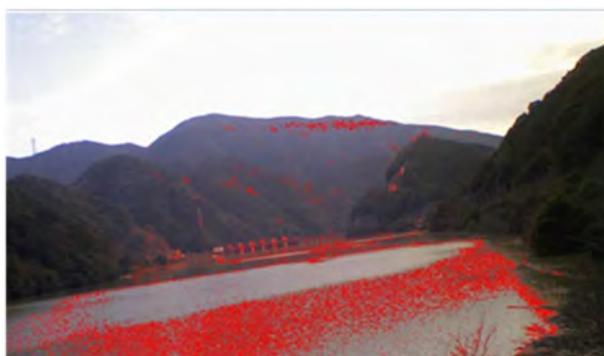


図-2 ダム湖面画像への色ターゲット検出の適用



図-3 水上に浮かべたサンプル流木

次に、定点観測しているダム湖面の時間毎の画像データに対して色ターゲット検出手法を適用し、比較的ダム湖内流木が検出されたケースと検出がうまくいかなかった場合での RGB 値を比較し、その要因について考察する。

### 3. 屋外実験における RGB 値の時間変化

流木にみだた木片を水面に浮かべた画面を 1 時間ごとに撮影し、時間経過に伴う RGB 値の変化を調べた結果を図-4 に示す。時間経過に伴い R 値、G 値、B 値は互いに類似の変動を示している。また 6 時、12 時、18 時周辺で RGB の値が増加しており、日照による影響が考えられる。

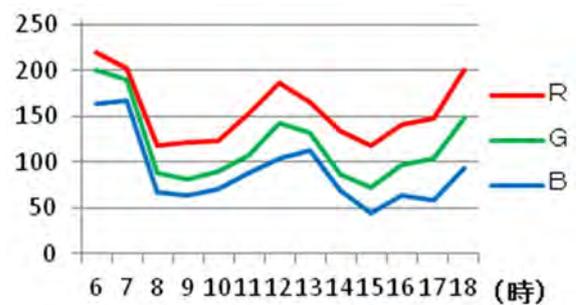


図-4 サンプル木片画像の RGB 値の時間変化

### 4. ダム流木画像における RGB 値の比較

定点観測しているダム湖面の時間毎の画像データに対して色ターゲット検出手法を適用し、比較的ダム湖内流木が検出されたケースと検出がうまくいかなかった場合での RGB 値を比較した結果を図-5 に示す。比較的良好に認識されるケース (図-5) と著しく誤認識されるケース (図-6) とで RGB 値を比較すると、誤認識されるケースでは RGB 値が全体的に増加しており、流木の誤認識に明度が影響することが示唆された。

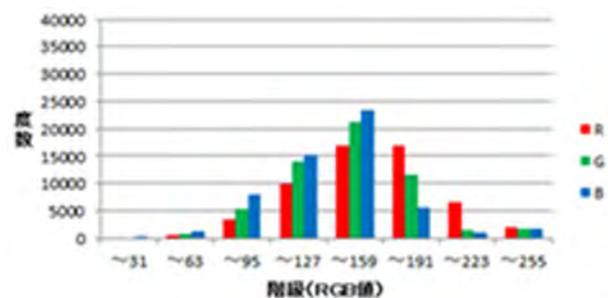


図-5 ダム湖面における流木認識画像と RGB 値 (比較的的良好に認識されるケース)

### 5. おわりに

本研究では、色ターゲットの検出手法によるダム湖面画像からの流木抽出における、誤検出の要因について屋外実験や湖面画像分析をもとに考察した。

今後は、RGB 値のもととなるマルチスペクトルによる分析等、より詳細な要因分析について検討してゆきたい。

#### 参考文献

- 1)小羽根則光・的場康彦：平成 23 年台風 12 号により発生した流木の無償提供について、平成 24 年度近畿地方整備局研究発表会論文集、施工・安全管理対策部門：No.16、pp.1-6、2012
- 2)高橋正人：ダム貯水池で捕捉されている流木量と利用実態、リザーバー、Vol.10、pp.13-14、2006
- 3)山本晃一編：流木と災害、技法堂出版、pp.273、2009
- 4)和田俊和：最近傍識別器を用いた色ターゲット検出、情報学会論文誌、Vol.44 No.SIG17(CVIM8) pp.126-135、2003

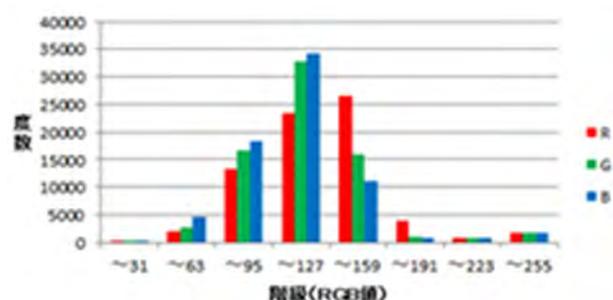


図-6 ダム湖面における流木認識画像と RGB 値 (著しく誤認識されるケース)

## 泥濘地における車輪型移動ロボットの周期操舵システム

和歌山大学

徳田 献一

### 1. はじめに

砂地などの軟弱地盤上を移動するロボットはこれまでに数多く研究されており、機構や制御の簡易さなどの利点から移動機構には車輪が多く用いられている。車輪型ロボットが軟弱地盤上を走行する際、車輪が沈下し走行不能になるスタックが重大な問題となる。軟弱地盤の中でも、砂地のような乾燥した軟弱地盤に比べ泥濘地は水を多量に含むため地盤強度が低く、摩擦係数も小さい。そのため、泥濘地上を車輪型ロボットが走行する際スタックに陥る可能性は砂地に比して高い。

乾燥した砂地での車輪の沈下やスリップの低減など走行性を向上するためには、車輪と地面の相互作用を対象としたテラメカニクスの分野では様々な研究が行われている。例えば車輪にスポークやラグを取り付けたものや車輪の側面に鏢を付けたものなどがある。また、車輪の形状はそのままに周期操舵する手法が提案されており、砂地において車輪の沈下低減の効果が実証されている<sup>1)</sup>。

本研究では、平坦な道路から土砂災害現場までの不整地に対応できるロボットの移動機構としての期待から、砂地において有効性が確認された周期操舵の泥濘地上での車輪沈下低減効果について確認を行った。

### 2. 泥濘地における車輪の走行

#### (1) 泥濘地

土壌は土粒子（固相）と間隙中の水（液相）および空気（気相）で構成される。土壌によって三相の割合は異なり、固相の土粒子の粒径や粒子配列の違いによっても様々な様相を呈する<sup>2)</sup>。

その中で、粘土やシルトなどの粒径が微小な粒子と水が混在するぬかるんだ土壌は泥濘地と呼ばれる。山地などの表層土は粘土やシルトなどの微小な土粒子で構成されており、大雨により多量に水を含むことで土石流などが発生し泥濘地を形成する。泥濘地は複雑多様な粒子配列を持つ微小な粒径の土粒子に水が加わるため、外力が加わると含水率や粒子配列により、複雑に変形する。

泥濘地において挙動を複雑にしている最も大きな要因として粘土が挙げられる。粘土のコンシステ

ンシーは水を多量に含んだ液状から水が少なるに従って塑性、半固体、固体と変化する。車輪の走行には土のせん断特性が大きく影響しており、せん断特性に最も影響を与えるのは水の排水条件である。粘土は水を保持する性質があり、これが泥濘地での走行を困難にしている要因の一つである。

#### (2) 車輪の沈下

車輪型ロボットが軟弱地盤上を走行する際、地盤に対する車輪のスリップ量に対応して、地盤材料のせん断変形によるせん断抵抗力が発生する。それにより地盤は車両の走行に必要な推進力と抗力を発生させる。また、それと同時に、地盤材料のせん断変形に伴って発生する体積変化および排土作用によって、地盤は車輪の滑り沈下を引き起こす。この時、重量に対して地面の支持力が十分に得られない場合、車輪の沈下が進むことで車輪前方の砂が障害物を作るように作用し、車輪が前方から受ける抵抗が増加して走行を困難にする。また、支持力の発生には車輪が回転することで生じる砂との相対的なすべりが影響し、車輪の移動と回転により地面との接触部分ですべりを伴いながら車輪下の土粒子が側方や後方に移動することで沈下はさらに増加し、スタックに陥る<sup>4)</sup>。そのため、軟弱地盤上の走行においてスタックを回避するには車輪の沈下低減が非常に重要である。

沈下は静的沈下と動的沈下に分類される。静的沈下は車輪に加わる荷重のみによって沈下する現象のことを指す。動的沈下は車輪の移動や滑りによって土壌が掘り下げられることで車輪が沈下する現象のことを指す。

車輪の総沈下量  $h$  は静的沈下量  $h_s$  と動的沈下量  $h_d$  を合わせたもので、以下の式で表される<sup>6)</sup>。

$$h = h_s + h_d$$

山川らは、砂漠などの乾燥砂地で車両が走行する際、車輪を周期的に操舵しながら車両を走行させることでスタックしにくくなることに注目し、解析を行っている。実験の結果、周期操舵走行の軌跡弧の内側の部分では直進時の圧力分布と大差がなかったが、軌跡弧の外側における圧力は接地前方部で大きくなっているという結果を得ている。これは、直進走行では、トレッドの中央、端に関わらずすべり量は等しくなるが、操舵による蛇行では軌跡弧の内側

と外側ではすべりが異なることを示している。沈下はすべり量の増加に伴って増加するが、周期操舵では軌跡弧の内側に比べ外側におけるすべり量が少なく沈下量が小さいと考察している。また、トレッドの接地前方部分は車輪の内側方向へ移動するために車輪下に砂を掻き込むようにトレッドが滑っており、車輪下の砂の流出を防いで沈下を低減すると推測している。

本研究での周期操舵走行は図-1、図-2に示すように、車輪を左右対称にハの字・逆ハの字に周期的に繰り返して操舵して走行を行う走行方法である。この周期操舵走行を泥濘地へ適用し、沈みにくさや周期操舵の有効性の評価を行った。



図-1 周期操舵機構

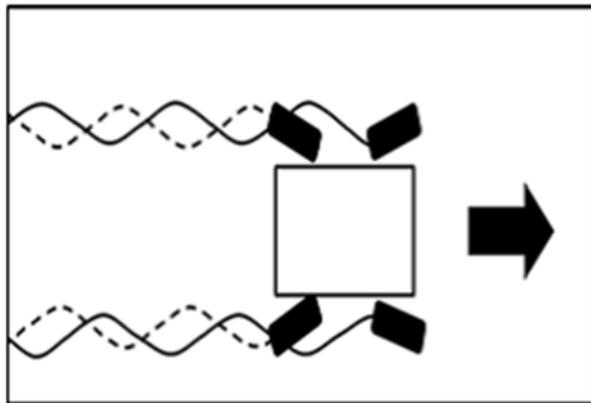


図-2 周期操舵による車輪の動き

### 3. 実験装置および実験環境

泥濘地における周期操舵走行の有効性の評価を行うために製作した実験装置を図-3に示す。実験装置の車輪部分は直径140[mm]、幅53[mm]の車輪と駆動用DCモータ（HG16-120-AA-00、日本電産コパル電子）、操舵用サーボモータ（AAS-750MG, OPTION NO.1）、モータを制御するためのArduino Unoで構成されている（図-4）。

また、沈下量を計測するために製作した上下方向のスライダを固定し、車輪が前進することなくその場で回転するようにした。車輪の沈下量の計測には超音波距離センサモジュール（HC-SR04）を使用した。

実験環境は直径294[mm]、高さ268[mm]のポリカーボネイトバケツに真砂土を入れたものを使用する。真砂土は花崗岩が風化してできた土で、日本に広く分布している。真砂土を使用する理由は水に弱く、土砂災害を引き起こしやすい性質を持っているからである。

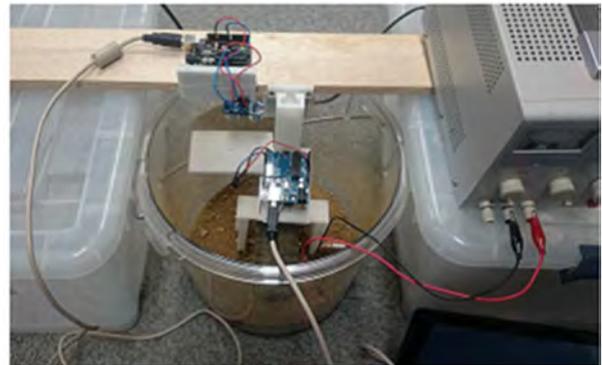


図-3 周期操舵実験装置外観



図-4 周期操舵単輪実験装置

### 4. 実験

周期操舵走行の有効性を確認するため、予備実験として乾燥した真砂土における直進走行時と周期操舵走行時の車輪の沈下量を計測した。周期操舵時の車輪の操舵角は10[deg]とした。実験にはポリカーボネイトバケツに乾燥した真砂土を入れ、1回の計測ごとにスコップで砂を十の字に縦横二往復ずつ掻き混ぜた後、砂の表面を平らに整え実験を行う。実験は車輪に周速度0.125[m/s]を与え、直進走行と周期操舵走行でそれぞれ10回ずつ計測を行った。

その結果の平均値のグラフを図-5に示す。この結果から、直進走行に比べ周期操舵走行は沈下量が少

なく、乾燥した真砂土において周期操舵走行が車輪の沈下を低減していることがわかる。

次に、含水率 15%の泥濘地において、角速度 $\omega=1$ に固定した条件で振幅を 0[deg], 10[deg], 20[deg], 30[deg], 40[deg], 50[deg]の条件下で沈下低減効果について測定を行った。その結果いずれの振幅においても沈下量の低減を観測できた (図-6)。

## 5. おわりに

泥濘地での車輪の沈下軽減する手法として砂地での有効な手法である周期操舵走行の泥濘地での有効性を確認のための実験を行った。実験を行うために製作した単輪実験装置により、乾燥した真砂土上で直進走行と周期操舵走行の比較実験を行い、周期操舵走行が乾燥した真砂土上において沈下を低減していることを確認し、その後、含水率 15%の泥濘地に対して周期操舵による沈下低減の有効性が確認できた。

今後は、実機による周期操舵による走行時における実証実験を計画している。

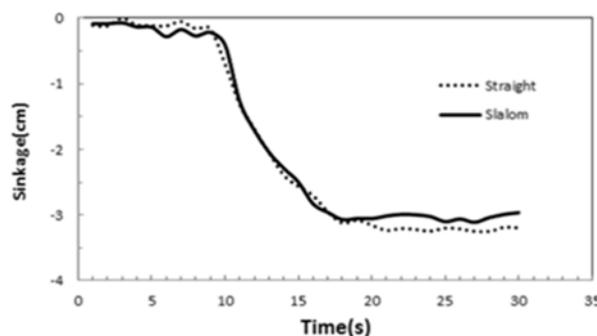


図-5 砂地における沈下低減量

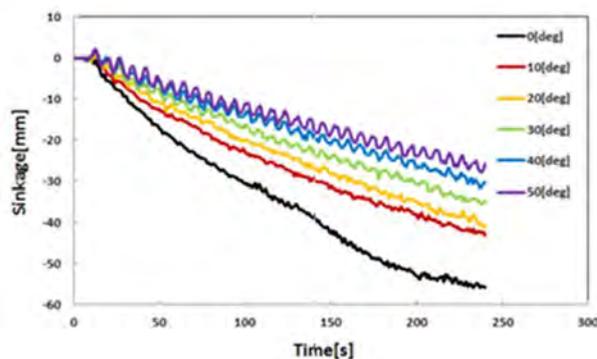


図-6 泥濘地における沈下低減量

## 参考文献

- 1)山川淳也：“周期操舵走行における砂地とタイヤの相互作用に関する研究”、日本機械学会第 17 会交通・物流部門大会講演論文集、pp.211-212、2008
- 2)松中照夫：土壌力学の基礎、農山漁村文化協会、2004
- 3)稲田倍穂：軟弱地盤の土質工学 - 予測と実際 -、鹿島出版会、1994
- 4)室達郎：テラメカニクス-走行力学-、技報堂出版、1993
- 5)山川淳也、赤羽正至：“砂質土で沈下を低減する車輪形状に関する実験的研究”、日本機械学会論文集 (C 編)、pp.186-196、2013
- 6)石上玄也、三輪章子、吉田和哉：“テラメカニクスに基づく車輪型移動ロボットの走行力学解析：1. 月模擬砂上でのタイヤ力学解析”、ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集、2005

# ユーザのつぶやきに即した防災情報提供システム“あかりマップ bot”の構築

和歌山大学

吉野孝

## 1. はじめに

本研究では、日常的に利用されている Twitter 上のユーザのツイートを利用した、日常的な防災情報提供システム“あかりマップ bot”を開発した。

あかりマップ bot は、ユーザが日常的に防災情報を閲覧するきっかけを作ることを目指したシステムである。なお、本稿における「防災情報」とは、避難所や AED などの災害時に必要となる情報のことを指す。

## 2. あかりマップ

「あかりマップ」は、あかりマップ bot のベースとなる、和歌山大学で開発中の災害発生前後の支援を想定した Android 端末で動作する常時利用型災害時避難支援システムである<sup>1)</sup>。災害発生前は、地図画面とウィジェット機能を用いて支援を行う。また避難支援情報の閲覧を促す機能として通知機能、システムの利用モチベーションを支援する機能としてゲーミフィケーション機能を備えている。災害発生後のオフライン時は、災害発生前にあらかじめ端末で取得・保存した避難支援情報をもとに支援を行う。ゲーミフィケーション機能に関する実験の結果、ゲーミフィケーション要素に興味を持たないユーザが多く、ゲーミフィケーションの要素に興味を持ったユーザであっても、実験終了後の継続的なシステムの利用はされないことが分かった。

また、多くの利用者は、電池消費量の軽減やプライバシー情報漏洩防止のために、位置情報取得のための機能の利用を、地図アプリ利用時などの最低限の利用に留めており、位置情報の常時取得が前提であるあかりマップの機能は、十分に活用されていない場合が多い。

そこで、本研究で開発したあかりマップ bot では、リアルタイムに情報を発信、収集することができるマイクロブログの一つである Twitter を利用する。平常時およびユーザが移動した際に防災情報を提供することで、システムの継続利用を促す。

## 3. あかりマップ bot

### (1) あかりマップ bot の概要

本システムの構成を図-1 に示す。本システムは、平常時から継続的に防災情報を提供するために、Twitter 上で動作するようにしている。ユーザが Twitter 上に発信したツイートから移動したかどうかを検知し、位置表現を含むツイートから現在地を抽出する。「位置表現」とは、地名やランドマークなど、ユーザの現在地が分かる情報を指す。抽出した位置周辺の防災情報を取得し、その結果を、ツイートを発信したユーザに提供する。ツイートおよび Twitter 上のユーザ情報は、Twitter Rest API を用いて収集している。

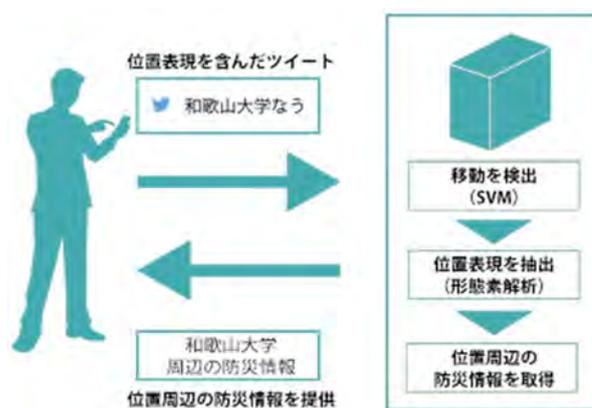


図-1 システム構成

### (2) 設計方針

本システムの設計方針を以下に示す。

**方針 1:** タイムライン上の位置表現を含むツイートを検知する。ユーザの現在地に合わせた情報提供を実現するために、タイムライン上の位置表現を含むツイートを検知できるようにする。

**方針 2:** ユーザの要望に応じて防災情報を提供する。一方的な情報提供だけでなく、ユーザの要望に応じられるようにする。

**方針 3:** ユーザの本拠地を設定する。位置表現を含むツイートは、普段行かないような場所にいる際に発信されることが多い。移動検知の材料として利用するために、本拠地を設定できるようにする。

**方針 4:** 詳細な防災情報を提供する。Twitter では投稿可能な情報が 140 文字に制限されており、この制限内で詳細な防災情報を提供することは難しい。そのため、提供方法の工夫により詳細な防災情報を閲覧できるようにする。

**方針 5** : 位置表現を含むツイートの発信を促す。位置情報なしで防災情報を提供できるようにするために、位置表現を含むツイートを発信してもらう仕組みを構築する。

### (3) ユーザの移動を検知した防災情報の提供

タイムライン上のツイートの中から、位置表現を含むツイートを検知し、そのツイートから位置表現を抽出する方法について示す。

位置表現を含むツイートの検知には、我々がこれまでに作成したコーパスを用いて構築した分類器を用いる<sup>3)</sup>。本研究では、Tiny SVM を利用し、学習には多項カーネル( $d=2$ )を、パラメータはデフォルト値を用いた。収集したツイートをこの分類器によって分類し、移動を検知する。

分類器により正例と判断されたツイートに対して、JUMAN を用いて形態素解析を行い、品詞細分類が「地名」「場所」であるものを基点として位置表現を抽出する。抽出された位置表現から Google Maps JavaScript API を用いて逆ジオエンコーディングし、緯度経度を取得する。取得された緯度経度から最も距離が近い防災情報をユーザにリプライすることで、情報を提供する。

図-2 に、タイムライン上のツイートに対する応答例を示す。「旭川駅なう」(図-2(a)) というタイムライン上のツイートに対しては、「旭川駅」周辺の防災情報(図-2(b)) をリプライする。リプライするメッセージは、最も距離が近い防災情報の名称、その防災情報の詳細な説明を見ることができるウェブページのリンクで構成されている。

なお、本システムはユーザの移動を検知して情報提供する。本拠地から半径 10km 以内の範囲は、ユーザの普段の行動範囲内と考えられるため、ユーザに情報は提供されない。本拠地から 10km という距離は、一市区町村の面積のおよその半径として設定した数値である。

### (4) ユーザの要望に応じた防災情報の提供

タイムライン上のツイートへの応答のみでは、ユーザが意図的に位置表現を含むツイートを行わなければ、周辺の防災情報を知ることができない。そこで、ユーザの要望に応じて防災情報を提供するために、あかりマップ bot に対する宛先ツイートに回答できるようにした。

宛先ツイートに対しては、分類器は用いず、ツイート内に位置表現と 8 種類の動詞が含まれている場合に回答する。ツイートから抽出した位置表現を Google Maps JavaScript API を用いて逆ジオエンコーディングし、緯度経度を取得する。取得した緯

度経度周辺の防災情報を、宛先ツイートを送信したユーザに提供する。例えば、「@AkariMapBot 和歌山大学周辺の防災情報を教えて」という宛先ツイートに対して、「和歌山大学周辺の防災情報」をリプライする。

また、防災情報のカテゴリ(「避難所」「AED(自動体外式除細動器)」「自動販売機」「コンビニ(コンビニエンスストア)」)を含んだ宛先ツイートについては、そのカテゴリに分類されている防災情報のみを応答することもできる。

図-3 に、あかりマップ bot への宛先ツイートに対する応答例を示す。「@AkariMapBot 霧島市役所周辺の避難所を教えてください」という宛先ツイートに対しては、「霧島市役所」周辺の避難所(図-3(b)) をリプライする。リプライするメッセージは、取得した緯度経度周辺 3km 以内に見つかった防災情報の件数で構成されている。周辺 3km 以内という距離は、道路距離 80m の移動を徒歩 1 分に換算したとき、30 分程度で移動可能なおよその範囲として設定した数値である。



図-2 タイムライン上のツイートへの応答例



図-3 宛先ツイートへの応答例

## (5) ユーザの本拠地設定

ユーザの本拠地（自宅や勤務先）を設定する方法として、システム側で推測した本拠地を自動設定する方法と、ユーザ自身が本拠地を設定できる方法を設けた。まず、システム側でユーザの本拠地を推測する Twitter 上のユーザ自身のプロフィールの内容をもとに、本拠地と思われる地名を取得する。ユーザ自身のプロフィールから地名が取得できない場合は、ユーザのフォロワーのプロフィールから地名を取得する。ここでの「地名」は、JUMAN の解析結果より「都道府県」、もしくは「市区町村」に分類された形態素のことを指す。

本拠地の推測においては、本拠地と思われる地名が取得できるまで、次の4つの本拠地取得手法を順に適用する。また、取得された地名が複数存在する場合は、最も件数が多かった地名を本拠地として設定する。なお、最後の手順まで地名が取得できなかった場合は、システムによる推測は不可能として、自動設定は行わない。

- ① ユーザ自身がプロフィールの「場所」に設定した地名を取得する
- ② ユーザ自身がプロフィールの「自己紹介」の文章内に記述した地名を取得する
- ③ ユーザのフォロワーがプロフィールの「場所」に設定した地名を取得する
- ④ ユーザのフォロワーがプロフィールの「自己紹介」の文章内に記述した地名を取得する

あかりマップ bot がユーザをフォローした後に本拠地の推測を行い、その結果をユーザにダイレクトメッセージで送信する。このメッセージ内には、ユーザ自身が本拠地を変更できる「ユーザ設定」ページのリンクも含めている。ユーザは自分の本拠地が正しく設定されていない場合に、「ユーザ設定」ページ上で本拠地を変更することができる。

## (6) 詳細な防災情報の提供

140文字に制限されているツイートでは、詳細な防災情報を提供することが困難なため、外部のウェブページを設けた。図-4に、詳細な防災情報を提供するために作成したウェブページの画面例を示す。

このウェブページでは、詳細な防災情報（図-4(b))を閲覧でき、周辺の他の防災情報を見ることがもできる。防災情報は、Google マップ上に「避難所」「AED」「自動販売機」「コンビニ」の4つのカテゴリ（図-4(a)）へと分けて表示している。

図-5に、浸水域エリアと液状化エリアを描画した表示例を示す。現時点では、和歌山県全域の液状化エリアおよび浸水域エリアの情報を閲覧可能である。画面内のマップ上に表示されている図-5(a)が液状

化エリアを示し、図-5(b)が浸水域エリアを示している。画面上の「液状化を表示/非表示」「浸水域を表示/非表示」のボタン（図-5(c))を選択することで、表示と非表示を切り替えることができる。



図-4 提供される詳細な防災情報の画面例



図-5 浸水域エリアと液状化エリアの表示例

## (7) ランキング機能

ユーザによる位置表現を含むツイートの発信を促すために、ランキング機能を設けた。図-6に、「スポットランキング」の画面例を、図-7に、「ユーザの移動距離ランキング」の画面例をそれぞれ示す。ランキングには、「今週」「今月」「今年」「全て」の期間（図-6(b)および図-7(b))があり、それぞれ、「今週」は現在の週の日曜から土曜までの期間、「今月」は現

在の月の1日から末日までの期間、「今年」は現在の年の1月1日から12月31日までの期間、「全て」は収集されたツイートの全ての期間を指している。

ランキングには以下の2種類がある。

#### ・スポットランキング

画面内の「スポット」(図-6(a))を選択することで表示される。「スポット」は、ツイートに含まれていた位置表現のことを指す。スポットのランキングは、スポットの件数で順位付けを行っている。ランキング情報(図-6(c))に、スポット名、スポットが含まれるツイートの件数、スポットを含むツイートをしたユーザのユーザ名を表示している。なお、Twitterのアカウント設定を非公開にしているユーザのユーザ名は表示していない。

#### ・ユーザの移動距離ランキング

画面内の「ユーザ」(図-7(a))を選択することで表示される。ユーザの移動距離ランキングは、ユーザの投稿したツイートに含まれるスポットと本拠地との直線距離を移動距離とし、その距離の合計値で順位付けを行っている。ランキング情報(図-7(c))に、ユーザ名、ユーザの移動距離の合計、ユーザのツイート内に含まれていたスポット名を表示している。なお、Twitterのアカウント設定を非公開にしているユーザのスポットは表示していない。

### 4. 位置情報を含むツイートの分析

ユーザの位置情報を含むツイートが増加することで、防災情報を閲覧するきっかけを増やすことができる。ユーザがあかりマップbotをフォローした後に、位置情報を含むツイート数が増加すれば、本システムに対してユーザが意識を持ち始めていると考えられる。そこで、ユーザの位置情報を含むツイートを対象に分析を行った。

#### (1) 分析対象

分析対象のユーザは、あかりマップbotをフォロー後、7日以上経過しており、位置情報を含むツイートを発信したユーザ16名である。対象ツイートの期間は、あかりマップbotをフォローする1年前から2015年10月30日までのツイートである。なお、ツイートはTwitter Rest APIを用いて取得できる範囲のものを使用した。

#### (2) 分析結果

フォロー前後のツイート数に関する分析を行った。「フォロー前」は、あかりマップbotをフォローする前のことを指し、「フォロー後」は、あかりマップbotをフォローした後のことを指す。「ツイート

数」は、位置表現を含むツイートの件数である。

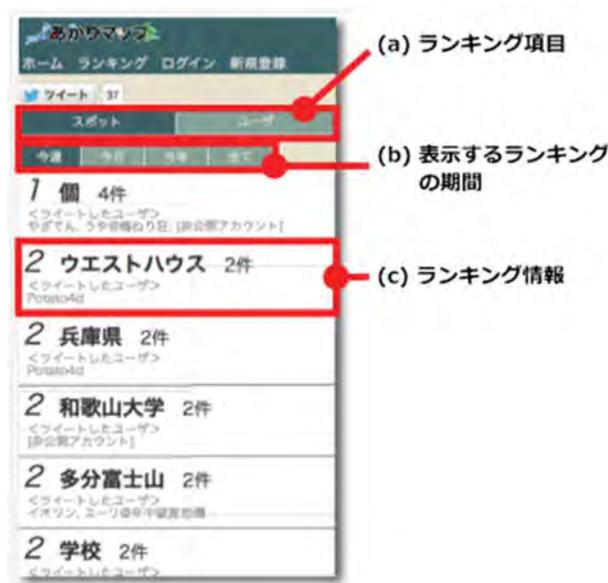


図-6 スポットランキングの画面例

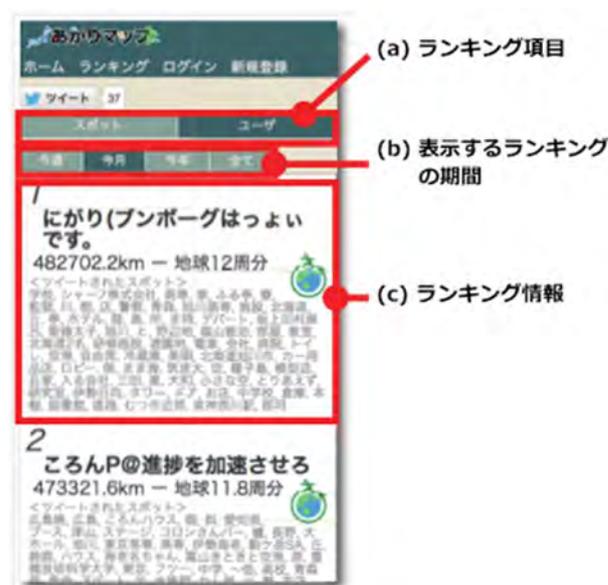


図-7 ユーザの移動距離ランキングの画面例

「フォロー前」の「日数」は、フォロー前に取得可能な最も過去のツイートが発信された日付から、フォローした日付までを指し、「フォロー後」の「日数」は、フォローした日付から、最新のツイートが発信された日付を指す。

「ツイート数/日数」の平均値は、フォロー前は0.814ツイート/日で、フォロー後は0.626ツイート/日であるが、ウィルコクソンの符号付順位検定の結果、有意確率  $p=0.6756$  のため、一日当たりのツイート数に変化はないと考えられる。また、ユーザによつてのツイート数の変化にばらつきが見られ、対

象としたユーザも少ない。今後は分析対象のユーザ数を増やし、長期的な評価の必要があると考えられる。

対象ユーザのツイートを解析した結果、以下の2つの傾向が見られた。

#### a) Swarm 形式のツイート

「I'm at 日本橋駅(Nippombashi Sta.) in Osaka, 大阪府 <https://t.co/fDXbb3Us71>」といったツイートが多く見られた。これは、Swarm を Twitter と連携して使用している際に見られるツイートの形式である。Swarm は、位置情報を使って自分の現在位置を共有するサービスであり、Twitter と連携を行った場合、Swarm で位置情報を共有したときに Twitter 上にも自動で位置表現と Swarm のウェブサイトへのリンクが含まれたツイートが発信される。このサービスを日常的に利用しているユーザのツイートの多くが、本システムの分類器で移動と検知されたと考えられる。

Swarm などの Twitter と連携して位置情報を共有するアプリケーションに確実に対応することで、より多くの位置表現を含むツイートに対して、防災情報を送ることができる可能性がある。

#### b) 位置表現の検出精度

位置表現として取り出されたものの中には、「学校」「大学」「高専」「研究室」「部屋」という言葉が多数含まれた。これらの言葉は施設名称のみで、位置を特定できるような表現は含まれていない。施設名称のみの位置表現を含むツイートから位置を特定する仕組みが必要である。また、分類器で移動と検知されたツイートの中で、ユーザが移動をしていないツイートが多く見られた。

これらのことから、分類器の精度改善、Swarm 形式のツイートなど位置表現を含む定型文への対応を行い、位置表現の検出精度を向上させ、長期的なツイートの分析、評価を行う必要があることが分かった。

## 5. おわりに

本稿では、ユーザのつぶやきに即した防災情報提供システムあかりマップ bot の機能の概要を述べた後、あかりマップ bot のフォロワーが発信した位置表現を含むツイートの分析の結果について述べた。

今後は、位置表現の検出精度を向上させ、長期的なツイートの収集、分析による、あかりマップ bot の利用傾向について検証実験を行う。

## 参考文献

- 1) 濱村朱里、福島拓、吉野孝、江種伸之：オフライン対応型災害時避難支援システム“あかりマップ”の日常利用可能性に関する評価、情報処理学会論文誌、Vol.56、No.1、pp.185-195、2015.
- 2) 草野翔、泉朋子、仲谷善雄：ピクトグラムを用いた災害情報共有システムの提案、情報処理学会第75回全国大会、第4分冊、pp.803-804、2013.
- 3) 吉野孝、宮部真衣：ユーザのつぶやきに即した避難支援情報通知システムの提案、マルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOMO2015) シンポジウム、pp.1335-1341、2015.

# 紀伊半島におけるジオツーリズムを通じた防災教育の可能性

和歌山大学

木塚智貴

## 1. はじめに

災害対策をより効果あるものにするためには、自らの暮らしている地域の特性を理解した上で、「災害に強いまちづくり」と「災害に強いひとづくり」を密接に結び付け、平時から継続して取り組んでいくことが重要である。そのためには、これまで自主防災組織の活動に消極的であった住民の取り込みが必要となる。そこで、著者らは防災教育のハードルを下げる試みの一つとして、“防災情報の観光利用”の可能性を探っており、ジオツーリズムに着目している。

本研究では、紀伊半島大水害で甚大な被害を受けた那智勝浦町を対象とし、地域資源であるジオ（地球）と災害現場を組み合わせた“防災ジオツアー”を検討し、多世代が継続的に参加できる新たな地域防災教育手法としての可能性を考察した。

## 2. 防災ジオツアーの検討

### (1) 防災ジオツアーの主旨

全国のジオパークではジオサイトの特徴に合わせた様々な防災教育（一部、防災ジオツアーも含む）が行われている。このようなジオサイトを活用した防災教育に限らず、一般的な防災教育では、地域における災害の危険性に関する意識を高めることはできるが、それをさらに高め、防災・減災を実効あるものとするためには、何故このように危険な地域に暮らしてきたのかなど、地域の特性についても知っておく必要がある。

そこで、本研究で提案する防災ジオツアーでは、単なる自然災害と防災について学ぶこと、すなわち、自然の脅威だけでなく、その恩恵に関しても同時に学ぶことができるようにした。このような防災以外の内容も組み込み、楽しみながら学べる点がツーリズムを利用した防災教育の特徴である。

### (2) 防災ジオツアーのコース設定

平成 23 年台風 12 号によって那智川流域では、火成岩体が分布する流域全体で大規模な土石流が多発した。火成岩体は柱状節理や風化コアストーンが生じ易く（風化しやすく）、この火成岩体が広く分布する東牟婁地域は、土石流の危険性が非常に高い地域である。したがって、この地域では、火成岩体によ

る表層崩壊・土石流を学ぶ防災ジオツアーが適していることから、図-1 のような防災ジオツアーのコースを設定した。

紀伊半島大水害で甚大な被害が発生した那智川流域の大門坂駐車場には、土砂災害の記録や最新の研究成果を展示して災害への備えや教訓などを啓発することを目的とした土砂災害啓発センターが 2015 年度末に完成予定である。今後の土砂災害啓発センターを有効的に利活用することも見据え、大門坂駐車場を起点としたジオサイトと紀伊半島大水害の現場を訪ねる防災ジオツアーを検討した。

防災ジオツアーの行程は、大門坂駐車場に集合し、井関の紀伊半島大水害記念公園にある大水害記念碑に参加者全員で黙祷を捧げ、大水害記念碑の前に水害で亡くなられた方に哀悼の意を表し、なぜ氾濫が起り長時間続いたのかについて考える。その後、被災現場となった金山谷の土砂災害現場を見学し、崩壊の素因について学ぶ。移動して、有名な観光地であり花崗斑岩の柱状節理が観察できるジオサイトでもある那智の滝を見学する。昼食は他の訪問地とトイレや休憩場所を考慮に入れて大門坂駐車場に戻り、地域の食材を活かした弁当を食べ、参加者同士が交流できる時間とする。昼食後は、花崗斑岩の柱状節理や風化コアストーンは観察できないが、ほぼ原形をとどめた焼窯の残るジオサイトの尻剣谷製錬所跡を見学し、自然の脅威だけでなく自然の恩恵と地域の文化について学ぶ。

また、現代の災害への備えとして砂防堰堤に注目する。尻剣谷では異なった構造の第 1・第 2 の砂防堰堤を見学し、事業を行っている国土交通省近畿地方整備局の担当者からそのねらいの説明を受けるといったコースを設定した。

コースは、バス移動が約 20.4km、徒歩移動が約 2.7km となっており、移動時間・説明時間を含めた所要時間は約 5 時間を想定した。

## 3. 防災ジオツアー - 自然の恩恵・脅威と備え、その土地の暮らしの軌跡を知る -

### (1) 防災ジオツアーの参加者の属性

防災ジオツアーは、2015 年 12 月 12 日に実施し、一般参加者は、男性 20 名、女性 10 名となっている。



図-1 防災ジオツアーのコース

当初は、20名程度の募集を考えていたが想定を上回る申し込みがあり、30名まで増員し、申し込みを打ち切る事となった。

図-2は、防災ジオツアー参加者の年齢を表したものである。20代～60代までの参加があり、最年少は20歳、最高齢は70歳で、一般参加者の平均年齢は46.7歳となっている。もっとも多いのは50代であるが、年齢層も性別も極端な偏りはみられず、幅広い年齢層の男女の参加があることがわかる。

図-3は、参加者の居住地を表したものである。開催地の那智勝浦町が5名、近接する太地町が3名、新宮市が4名となっている。和歌山大学の学生や教員の参加も多く、大学周辺の和歌山市から5名、大阪府から4名の参加があった。また、少数ではあるが、東京、京都、兵庫など遠方からの参加もあった。

表-1は、防災ジオツアーで訪問する場所(訪問地)への参加者の来歴を尋ねたものである。参加者のうち5名が全ての訪問地を訪れたことがあり、ほとんどの場所を訪れたことのある11名とあわせると半数が訪問地をよく知っており、残り半数は観光地として有名な那智の滝近辺以外は知らない参加者であることが分かる。

防災ジオツアーに参加したきっかけとしては、「紀伊半島大水害を経験し、土石流が発生した現場がどのようになっているのか興味があった」、「砂防ダムが見たかった」、「防災に興味があるため」、「那智勝浦が好きだから」、「自分の住んでいる周辺の地域の防災に興味があった」、「製錬所跡を含んでいたこと」、「以前に見学していた被災地の現状を再度見たかった」と1つの場所に興味が集中するのではなく、参加者によって視点は様々であった。

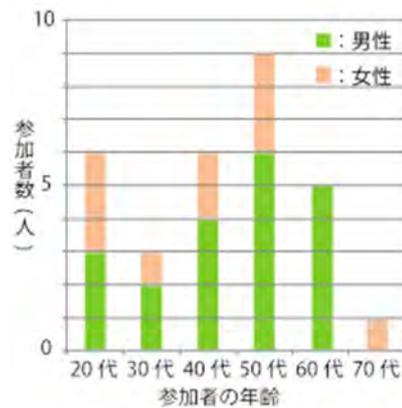


図-2 防災ジオツアーの一般参加者の年齢

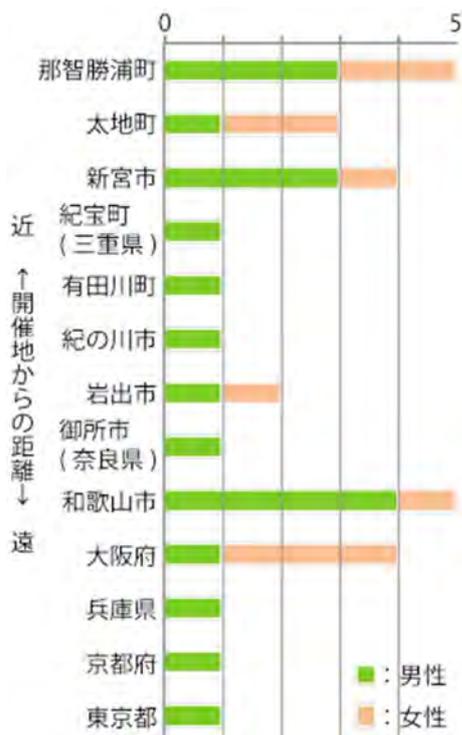


図-3 防災ジオツアーの一般参加者の居住地

表-1 防災ジオツアーの一般参加者の訪問地来歴

	男性	女性
今回の訪問地を全て訪れたことがある	3	2
ほとんどの場所(1-3箇所を除いて)は訪れた	7	4
那智の滝(周辺)は訪れたことがある	8	2
まったく初めて	2	2

## (2) 防災ジオツアー参加者の感想

防災ジオツアー後には、①参加者の属性、②防災ジオツアーに関して、③ツアーの感想、④南紀熊野ジオパークに関しての4点について、一般参加者にアンケートを実施した。本節では、③ツアーの感想の中から、ツアーの内容について、ガイドについて、今回のツアーで良かったところ、今回のツアーで改善した方がよいところの4点を中心に見ていく。

### a) ツアーの行程に関して

ツアーの行程に関しては内容・量ともに満足との回答が多くよせられた。ツアーを通して楽しみながら防災を考えるという防災ジオツアーのコンセプトについても、紀伊半島大水害で実際に被害を受けた参加者にも受け入れてもらうことができた。また、尻剣谷の製錬所跡は、現地をよく知る参加者も初めて訪れる場所であり、地域文化について同時に学べたことが参加者の満足につながっていたことがアンケートから読み取れた。

防災と観光のバランスに関しては、今回のコースでは防災を学ぶという視点が強く、一般の方を対象とする際には観光的な要素を追加すべきだとの意見もあった。

### b) ツアーの時間に関して

当初、参加者30名程度を想定してコースおよび時間の設定を行っていたが、定員を増やしたことから移動や乗車にかかる時間が想定を超えてしまい、終了時刻を30分延長することとなった(図-1)。しかし、企画段階でガイドやイベントの実施経験のある行政職員からのアドバイスを受け、余裕をもってツアーの時間を設定しており、時間が押したからといって訪問地での滞在時間を減らしたり、自由に見て回る時間を削ったりすることなく現場で判断し運営することができた。参加者の感想からも時間がオーバーしたことに対してネガティブな意見はなく、もう少し時間をかけて説明や現地を見学できる時間が欲しいとの意見もあり、時間配分についても参加者の反応に合わせて現場で柔軟に対応することが防災ジオツアーの満足度につながると考えられる。

### c) ツアーガイドに関して

南紀熊野ジオパークのジオガイドだけでなく、研究者、事業者、行政職員といった多様な主体が運営参加し、ガイドとなったことから現地では解説を行うガイドだけでなくゲストとして参加している研究者や地元の方が説明を補足しあい、自由見学中や移動中にも各地で参加者同士の情報交換や議論が行われていた(写真-1)。また、参加者の安全を確保するホスピタリティに関しては、研究者目線では気づきにくいことも多く、ジオガイドやジオツアーの運営補助の実績のある行政職員が運営に関わることで補完することができていた。



写真-1 ゲスト同士による情報交流が行われている

### d) 改善したほうがよい点

改善したほうがよい点としては、主に運営に対する改善点が指摘された。事前の服装や装備に関する

告知や危険な現場を案内する際の立ち入り禁止区域等の指示が十分でない点や、参加者が増えたことにより補助席を利用したバスでの移動など、ツアー運営初心者の研究者が主体となって企画するジオツアーの課題が浮き彫りとなった。また、ジオツアーの醍醐味でもある食事は、地元食材を利用した弁当を昼食に準備したが、どの食材が地元食材かの解説がない点や弁当が冷たいといった指摘があり、ホスピタリティに関して、ジオガイドや行政、民間業者にも協力を得て改善する必要であることが分かった。

#### 4. 防災ジオツアーの適正価格

地域防災教育手法として防災ジオツアーの可能性を検討するためには、単発のイベントとして終わらせるのではなく、継続的に防災ジオツアーを開催できるかが課題となってくる。そのためには、運営主体の負担を軽減する意味でも適切な参加料を徴収することが必要である。

図-4は、今回の防災ジオツアー参加者の居住地と、今回のツアーを一般募集した際に適正と思う1人あたりのツアー代金(昼食、お茶、保険・バス代込)に関する質問の相関を表したものである。今回の防災ジオツアーでは参加者30名中24名から回答があり、寄せられた回答は1,000円～3,500円で、平均約1,895円となっている。居住地や性別による明確な差はでない。

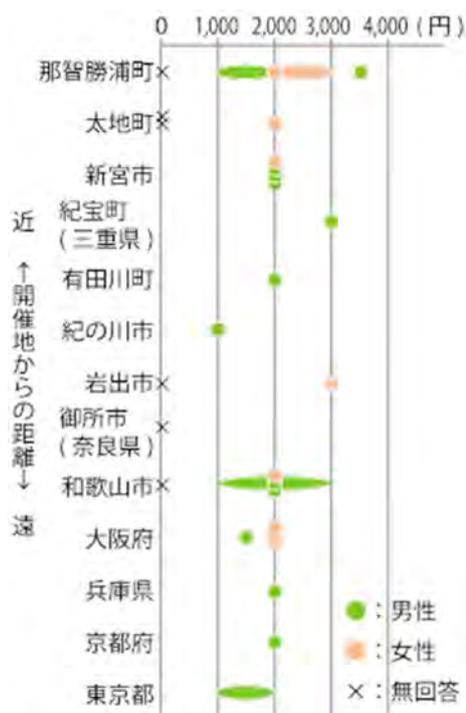


図-4 防災ジオツアーの適正価格と回答者の居住地

今回のコースでは、移動にマイクロバスを利用し、昼食をはさんだコースとなっている。同様のお弁当を昼食に準備したとすれば、ガイド料+保険代+バス代を参加者一人当たり約900円でカバーすることとなり、参加費だけで賄うことは困難である。見学だけでなく筏下りやクルージングなど実際の体験ができる観光的要素を増やすことや、防災ジオツアーでないところへ普段行けない場所、聞けない内容といった防災ジオツアー自体の付加価値をつけるなど、防災ジオツアーの内容をより魅力的にすることも必要であると考えられる。

また、継続して実施していくことを考えた場合、地元ガイドが主催できる形が望ましい。防災ジオツアーの“場”が研究・事業成果の地元還元が可能となるのであれば、大学や事業者にとってもメリットとなり、共催や後援を得ることが可能であると考えられる。主催者にとっても、単一主体では困難な人的・物的資源の利用が可能となり、ツアーにかかる負担やリスクの分散にもつながると考えられる。

#### 5. おわりに

本研究では、2015年12月12日に那智勝浦町で実施した防災ジオツアーの分析から、多世代が継続的に参加できる新たな地域防災教育手法としての可能性を考察した。

防災ジオツアーには、地域内外から定員を上回る多世代の参加申し込みがあり、参加者から高評を得ていたことから、防災教育のハードルを下げることや観光資源としての利用可能性について一定の成果があることを示せた。防災ジオツアーとして、災害の脅威だけでなく自然の恵みに触れることで、常に緊張感をもつのではなく、楽しい雰囲気の中で勉強することが可能となった。

一方で、持続可能性については防災ジオツアーの適正価格において課題が残り、今後はツアーの魅力を高めることも検討し、一回のイベントで終わるのではなく次につながる仕組みについての検討を進めていきたい。

### 3. 学会活動

#### 3.1 学会誌掲載

	タイトル	執筆者	雑誌名	巻号	論文種別	発行年月
1	平成23年台風12号による和歌山県内の土砂災害	江種伸之	土と岩	No. 63	解説	2015. 4
2	Complement Method for Obstructed Area on Images of Multiple Cameras Mounted Behind Crawler Shoe	K. Tokuda, T. Hirayama, T. Kinugasa, T. Haji, H. Amano, and K. Yasuda	Journal of Robotics and Mechatronics	Vol.27 No.2	論文	2015. 4
3	Development of M-sequence Pulse Compression Ultrasonic Transducer by Stacking Piezoelectric Polymer Films	Y. Murata, D. Kaneda, H. Yonenaka, and M. Fujigaki	Journal of JSEM	Vol.15	論文	2015. 7
4	河道閉塞の内部構造により生じる水文・侵食特性の違いと対策上の留意点	桜井亘・酒井良・奥山悠木・小川内良人・福田睦寿・佐藤美波・海原荘一・只熊典子・藤原康正	砂防学会誌	Vol.68 No.3	報文	2015. 9
5	地域の資材ストック量にもとづく災害廃棄物量の予測に関する基礎的検討	鶴巻峰夫・山本祐吾・吉田登	土木学会論文集G(環境)	Vol.71 No.6	論文	2015.10
6	地域研究成果の地元住民への還元手法としてのジオツーリズムの検討	本塚智貴・江種伸之・吉野孝・平井千津子・後誠介	Kansai Geo-Symposium 2015 論文集	—	論文	2015.11
7	和歌山県東牟婁地域の熊野層群分布域における崩壊・土石流の実態と地形的特徴について	辻野裕之・江種伸之・後誠介・谷垣勝久・岩瀬信行	Kansai Geo-Symposium 2015 論文集	—	論文	2015.11
8	サンプリングモアレ法による動的たわみ角分布計測	藤垣元治・富田大樹・村田頼信	実験力学	Vol.15 No.4	論文	2015.12
9	日常利用可能なオフライン対応型災害時避難支援システム”あかりマップ”の実環境における利用可能性	濱村朱里・福島拓・吉野孝・江種伸之	情報処理学会論文誌	Vol.57 No.1	論文	2016.1
10	三重県藤原岳西之貝戸川における土石流発生プロセスとメカニズムを解明するための現地観測	山田 孝・佐野泰志	砂防学会誌	Vol.68 No.5	観測の現場を訪ねて	2016.1
11	超音波でインフラ構造物のストレスを壊さずに測る	村田頼信・藤垣元治	和歌山大学防災研究教育センター紀要	Vol.2	報告	2016.2
12	土地利用・所有から見た防災協力農地制度	原祐二・吉井貴弘・辻村耕二・三瓶由紀	和歌山大学防災研究教育センター紀要	Vol.2	報告	2016.2
13	地域被災情報の随時反映可能な屋外避難誘導地図自動生成システム	徳田献一・北村雄一	和歌山大学防災研究教育センター紀要	Vol.2	報告	2016.2
14	ユーザのつぶやきに即した防災情報提供システム”あかりマップbot”の構築	吉野孝・榎田宗丈・宮部真衣・本塚智貴・江種伸之	和歌山大学防災研究教育センター紀要	Vol.2	報告	2016.2
15	和歌山県における「事前住宅復興計画」	平田隆行	和歌山大学防災研究教育センター紀要	Vol.2	報告	2016.2
16	防災教育の活性化について -那智勝浦町での事例-	今西武・此松昌彦	和歌山大学防災研究教育センター紀要	Vol.2	報告	2016.2

### 3.2 学会発表

	発表題目	発表者	共同研究者	発表会名	発表形式	発表年月
1	過去の表層崩壊の崩壊特性と降雨分布との比較	木下篤彦	野池耕平・高原晃宙・清水孝一・石塚忠範・西岡恒志・桜井亘・伊藤健・村田雄一・荒木義則	平成27年度砂防学会研究発表会	口頭	2015.5
2	地形開析に着目した、球状風化を呈する花崗斑岩分布域における表層崩壊の発生特性	野池耕平	木下篤彦・高原晃宙・清水孝一・石塚忠範・西岡恒志・桜井亘・島田徹	平成27年度砂防学会研究発表会	ポスター	2015.5
3	ウルトラナローバンドを利用した砂防観測情報収集システムの構築	奥山悠木	桜井亘・酒井良・秋山演亮・山口耕司・海原荘一・藤原康正	平成27年度砂防学会研究発表会	ポスター	2015.5
4	和歌山県内の深層崩壊発生斜面での水文・水質特性に関する研究	西岡恒志	木下敦彦・高原晃宙・桜井亘・石塚忠範・千東圭央	平成27年度砂防学会研究発表会	口頭	2015.5
5	平成23年台風12号による和歌山県内の地震計の波形特性に関する研究	大橋和也	西岡恒志・木下敦彦・桜井亘・海原荘一	平成27年度砂防学会研究発表会	ポスター	2015.5
6	那智川流域での平成23年台風12号時の崩壊特性と水文特性	北勝也	西岡恒志・木下敦彦・桜井亘	平成27年度砂防学会研究発表会	ポスター	2015.5
7	和歌山県の土砂災害警戒情報発表基準の見直しについて	千東圭央	大橋和也・児玉祥吾・森下竜行・山本悦雄・田中裕樹・後藤祐輔	平成27年度砂防学会研究発表会	ポスター	2015.5
8	深層崩壊の発生の恐れのある斜面抽出のための検討事例	高原晃宙	瀬戸秀治、野池耕平、木下篤彦、清水孝一、石塚忠範、横山修、磯貝尚弘	平成27年度砂防学会研究発表会	ポスター	2015.5
9	空中電磁探査技術を活用した大規模表層崩壊予測技術に関する研究	木下篤彦	瀬戸秀治・高原晃宙・清水孝一・石塚忠範・西岡恒志・桜井亘・河戸克志・奥村稔・影浦亮太	日本地球惑星科学連合大会2015年大会	口頭	2015.5
10	空中電磁探査を活用した深層崩壊の発生の恐れのある斜面抽出のための検討	高原晃宙	瀬戸秀治・野池耕平・木下篤彦・清水孝一・石塚忠範・河戸克志・奥村稔・影浦亮太	日本地球惑星科学連合大会2015年大会	ポスター	2015.5
11	The influence of geological features and precipitation properties on the collapse range and collapse depth of shallow landslides	木下篤彦	松澤真・高原晃宙・石塚忠範・荒木義則	6th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation	ポスター	2015.6
12	災害時の流木の流出率に着目した治山堰堤の効果的な配置手法に関する検討	福田和寿	西岡恒志・筒井和男・木下篤彦	第55回治山研究発表会	口頭	2015.9
13	球状風化を呈した花崗斑岩分布域における表層崩壊発生場の特性	野池耕平	木下篤彦・高原晃宙・清水孝一・石塚忠範・桜井亘・島田徹	平成27年度日本応用地質学会研究発表会	ポスター	2015.9
14	花崗岩類分布域における山地の開析過程に応じた表層崩壊発生場の特性	野池耕平	松澤真・木下篤彦・高原晃宙・水野秀明・西岡恒志・荒木義則・島田徹	日本地形学連合2015年秋季大会	ポスター	2015.10
15	空中電磁探査を活用した崩壊の発生の恐れのある領域の抽出手法の研究	高原晃宙	瀬戸秀治・野池耕平・森加代子・木下篤彦・水野秀明・河戸克志・奥村稔・影浦亮太	2015 AGU Fall Meeting	ポスター	2015.12
16	花崗岩類分布域における山地の開析過程に応じた表層崩壊発生場の特性	野池耕平	松澤真・木下篤彦・高原晃宙・水野秀明・西岡恒志・荒木義則・島田徹	2015 AGU Fall Meeting	ポスター	2015.12
17	A method to evaluate the risk of deep-seated catastrophic landslides in Japan	木下篤彦	瀬戸秀治・野池耕平・森加代子・水谷佑・高原晃宙・筒井和男・西岡恒志・福田和寿	2015 International Workshop on Disaster Prevention and Mitigation Technology for Large-Scale Landslides	口頭	2015.12

**(1) 砂防学会研究発表会**

栃木県宇都宮市で開催された砂防学会研究発表会に参加し、研究発表を行った。

期 間：平成 27 年 5 月 20 日（水）～22 日（金）

会 場：栃木県総合文化センター（宇都宮市）

参加機関：国土交通省近畿地方整備局、和歌山県、国土技術政策総合研究所、土木研究所、北海道大学、三重大学、京都大学

**(2) 日本地球惑星科学連合大会 2015 年大会**

千葉県千葉市で開催された日本地球惑星科学連合大会 2015 年大会に参加し、研究発表を行った。

期 間：平成 27 年 5 月 24 日（日）～28 日（木）

会 場：幕張メッセ国際会議場（千葉市）

参加機関：土木研究所

**(3) 6th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation**

茨城県つくば市で開催された 6th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation に参加し、研究発表を行った。

期 間：平成 27 年 6 月 22 日（月）～27 日（土）

会 場：つくば国際会議場（つくば市）

参加機関：土木研究所

**(4) 第 55 回治山研究発表会**

東京都渋谷区で開催された第 55 回治山研究発表会に参加し、研究発表を行った。

期 間：平成 27 年 9 月 16 日（水）～17 日（木）

会 場：国立オリンピック記念青少年総合センター

参加機関：和歌山県、土木研究所

**(5) 平成 27 年度日本応用地質学会研究発表会**

京都府宇治市で開催された平成 27 年度日本応用地質学会研究発表会に参加し、研究発表を行った。

期 間：平成 27 年 9 月 24 日（木）～25 日（金）

会 場：京都大学宇治キャンパス（宇治市）

参加機関：土木研究所

**(6) 2015 AGU Fall Meeting**

米国サンフランシスコで開催された 2015 AGU Fall Meeting に参加し、研究発表を行った。

期 間：平成 27 年 12 月 14 日（月）～18 日（金）

会 場：米国サンフランシスコ

参加機関：土木研究所

**(7) 2015 International Workshop on Disaster Prevention and Mitigation**

**Technology for Large-Scale Landslides**

台湾台南市で開催された 2015 International Workshop on Disaster Prevention and Mitigation Technology for Large-Scale Landslides に参加し、研究発表を行った。

期 間：平成 27 年 12 月 5 日（土）

会 場：国立成功大学（台湾台南市）

参加機関：土木研究所

## 4. 広報・啓発活動

---

### 4.1 イベント

#### (1) 防災ジオツアー

那智川流域において、地域の地質的な成り立ちや災害について学ぶ防災ジオツアーを開催した。

日 時：平成 27 年 12 月 12 日（土）

会 場：那智川流域（和歌山県那智勝浦町）

主 催：和歌山大学、近畿地方整備局

参加機関：近畿地方整備局、和歌山県、那智勝浦町、和歌山大学

参加者：約 40 名

### 4.2 講演

#### (1) 防災講演会

那智勝浦町において、地域の地質と災害に関する研究成果や取り組みについて紹介する防災講演会を開催した。

日 時：平成 27 年 12 月 13 日（日）

会 場：那智勝浦町体育文化会館（和歌山県那智勝浦町）

主 催：地盤工学会、和歌山大学、近畿地方整備局

参加機関：近畿地方整備局、和歌山県、那智勝浦町、和歌山大学

参加者：約 200 名

### 4.3 ワークショップ

#### (1) 災害避難カードモデル事業ワークショップ

那智勝浦町において、住民自身の防災意識を高め、避難のあり方を考えるワークショップに参加し、住民向けに講演を行った。

日 時：平成 27 年 10 月 17 日（土）、11 月 28 日（土）12 月 19 日（土）、平成 28 年 1 月 16 日（土）

会 場：市野々区コミュニティセンター（和歌山県那智勝浦町）

主 催：内閣府

参加機関：近畿地方整備局、和歌山県、那智勝浦町、京都大学

来場者：各回 約 20～30 名

## 5. 研修活動

---

### 5.1 職員向け研修

#### (1) 高度な土砂災害対策に従事する地方整備局職員の育成支援プログラム現地実習

国土技術政策総合研究所が実施する「高度な土砂災害対策に従事する地方整備局職員の育成支援プログラム」の一環として、土砂災害発生時の緊急調査に関する現地実習を実施した。

日 時：平成 27 年 8 月 27 日（木）～28 日（金）

場 所：奈良県十津川村他

実施機関：近畿地方整備局、国土技術政策総合研究所

### 5.2 学生研修の受け入れ

#### (1) 学生研修の受け入れ・研究指導

土砂災害に関する研究を行う大学生の現地研修の受け入れを行うとともに、土砂災害の専門家による研究指導を行った。

実施機関：国土交通省近畿地方整備局、土木研究所、和歌山県

研修実績：キャンプ砂防（群馬大学・信州大学学生）

・・・平成 27 年 7 月 29 日

筑波大学学生（現地調査）

・・・平成 27 年 9 月 2 日～6 日

北海道大学学生（現地調査）

・・・平成 27 年 11 月 10 日～11 日

## 6. 平成27年度の主な活動

実施日	活動内容	場所	参加機関
平成27年			
4/15	平成27年度第1回機構会議	那智勝浦町	近畿地方整備局・国土技術政策総合研究所・和歌山県・那智勝浦町・土木研究所・京都大学・和歌山大学
5/2	和歌山県土砂災害啓発センター起工式	那智勝浦町	近畿地方整備局・国土技術政策総合研究所・和歌山県・那智勝浦町・土木研究所・三重大学・和歌山大学
5/7～8	合同現地調査	那智勝浦町・新宮市	近畿地方整備局・国土技術政策総合研究所・和歌山県・土木研究所
5/12～13	合同現地調査	那智勝浦町・新宮市	近畿地方整備局・和歌山県・土木研究所・和歌山大学
5/20～21	砂防学会研究発表会	日光市	近畿地方整備局・和歌山県・国土技術政策総合研究所・土木研究所・北海道大学・三重大学・京都大学
6/10	研究協議	那智勝浦町	近畿地方整備局・和歌山県・土木研究所
6/15	研究協議	京都市	近畿地方整備局・京都大学
6/18	研究協議	五條市	近畿地方整備局・和歌山県・土木研究所
6/19～20	合同現地調査	十津川村他	近畿地方整備局・和歌山県・土木研究所
7/29	キャンプ砂防（群馬大学・信州大学学生）	那智勝浦町	近畿地方整備局・和歌山県
7/30	啓発センター 啓発施設・プログラム検討準備会議	和歌山市	近畿地方整備局・和歌山県・土木研究所
8/7	研究協議	五條市	近畿地方整備局・和歌山県・土木研究所
8/10	研究協議	和歌山市	近畿地方整備局・和歌山大学
8/19	啓発センター設備関係協議	田辺市	近畿地方整備局・和歌山県
9/2～6	筑波大学学生現地調査	那智勝浦町	近畿地方整備局・和歌山県
9/11	啓発センター啓発施設・プログラム検討会	那智勝浦町	近畿地方整備局・国土技術政策総合研究所・和歌山県・那智勝浦町・土木研究所・三重大学・和歌山大学
10/14	砂防学会シンポジウム	津市	近畿地方整備局・国土技術政策総合研究所・和歌山県・土木研究所・三重大学・京都大学
10/17	災害避難カードモデル事業WS（第1回）	那智勝浦町	近畿地方整備局・和歌山県・那智勝浦町
10/21	合同現地調査	田辺市他	近畿地方整備局・和歌山県・土木研究所
10/27	研究協議	五條市	近畿地方整備局・和歌山県・土木研究所
11/10～11	合同現地調査	那智勝浦町	近畿地方整備局・北海道大学
11/28	災害避難カードモデル事業WS（第2回）	那智勝浦町	近畿地方整備局・和歌山県・那智勝浦町
12/7	研究協議	津市	近畿地方整備局・三重大学
12/8	研究協議	和歌山市	近畿地方整備局・和歌山大学
12/9	研究協議	五條市	近畿地方整備局・和歌山県・土木研究所
12/12	防災ジオツアー	那智勝浦町	近畿地方整備局・和歌山県・那智勝浦町・和歌山大学
12/13	防災講演会	那智勝浦町	近畿地方整備局・和歌山県・那智勝浦町・和歌山大学
12/14～15	合同現地調査	那智勝浦町・十津川村	近畿地方整備局・和歌山県
12/19	災害避難カードモデル事業WS（第3回）	那智勝浦町	近畿地方整備局・和歌山県・土木研究所
12/21	研究協議	札幌市	近畿地方整備局・北海道大学
12/22	大規模土砂災害対策技術センター会議	大阪市	近畿地方整備局
平成28年			
1/13	啓発センター啓発施設・プログラム検討会	和歌山市	近畿地方整備局・和歌山県・那智勝浦町・土木研究所
1/14～15	合同現地調査	田辺市・那智勝浦町・新宮市	近畿地方整備局・国土技術政策総合研究所・和歌山県・土木研究所
1/16	災害避難カードモデル事業WS（第4回）	那智勝浦町	近畿地方整備局・和歌山県・那智勝浦町
1/26	研究協議	京都市	近畿地方整備局・京都大学
2/8	平成27年度第2回機構会議	那智勝浦町	近畿地方整備局・国土技術政策総合研究所・和歌山県・那智勝浦町・土木研究所・京都大学・和歌山大学
3/2	研究協議	京都市	近畿地方整備局・京都大学
3/14	研究成果報告会	五條市	近畿地方整備局・和歌山県・土木研究所
3/17	研究成果報告会	五條市	近畿地方整備局・京都大学

## 參考資料

## 「大規模土砂災害対策研究機構」 平成27年度 第1回研究機構会議を開催しました

- 4月15日に「大規模土砂災害対策研究機構」平成27年度第1回研究機構会議が、和歌山県那智勝浦町で開催されました。
- 会議では、今後の機構の活動方針についての議論や、各メンバーの昨年度の研究成果や今年度の研究方針等について報告が行われました。
- また、翌日は各機関合同で那智勝浦町の研究フィールドの視察・確認を行いました。



会議の様子(那智勝浦町役場)

### 主な議事と意見

- 研究機構における研究体制や研究方針について議論が行われ、「研究成果をわかりやすくまとめ、地域へ還元することも今後の課題」、「明確な研究目的を持った学生の受入など、人材育成の場としての役割も果たせるのでは」などの意見が出た。
- 各機関より平成26年度の研究成果の概要や、平成27年度の各機関の研究計画が報告され、研究体制等に関する議論も踏まえ、関係機関で連携しつつ研究を進めていくことが提案された。
- また、話題提供の中で、現在のメンバー以外の地方自治体や報道も本機構に注目していること等が報告され、研究の推進と積極的な情報発信に努めていくことが必要との意見が出た。
- 情報発信の一環として、機構のHP設置に関する報告が行われた他、機構の研究成果を年報として取りまとめ、関係者に配布することとなった。

会議日時：平成27年4月15日(水)

15:00～17:00

開催場所：那智勝浦町役場

### 会議出席者

所属	氏名
大規模土砂災害対策技術センター長 (近畿地方整備局河川部長)	黒川 純一良
大規模土砂災害対策技術センター副センター長 (近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所長)	吉村 元吾
大規模土砂災害対策技術センター副センター長 (近畿地方整備局近畿技術事務所長)	宮武 一郎
国土技術政策総合研究所 深層崩壊対策研究官	長井 義樹
和歌山県河川・下水道局長	千東 圭央
和歌山県砂防課長	三木 康義
那智勝浦町副町長	植地 篤延
那智勝浦町建設課長	橋本 典幸
(国研) 土木研究所上席研究員	水野 秀明
(国研) 土木研究所主任研究員	木下 篤彦
京都大学	小杉 賢一朗
和歌山大学 <small>※三重大学、北海道大学は欠席。また、和歌山県、土木研究所、和歌山大学は代理出席</small>	秋山 湧亮

### 研究成果・研究方針の報告の様子



### 今後の活動方針等に関する議論の様子



### 【問い合わせ先】

国土交通省 近畿地方整備局  
河川部 河川計画課  
〒540-8586 大阪市中央区大手前1丁目5-44  
TEL 06-6945-6355



研究機構HP：  
<http://www.kkr.mlit.go.jp/kiisanchi/kikou/index.htm>

# 「和歌山県土砂災害啓発センター」 の起工式が行われました

H27.5.7

- 5月2日に和歌山県、那智勝浦町主催で「和歌山県土砂災害啓発センター」の起工式が、那智勝浦町市野々地先の建設予定地で、400名の参加で行われました。
- 和歌山県土砂災害啓発センターには、近畿地方整備局の大規模土砂災害対策技術センターも入所予定で、大規模土砂災害対策研究機構の活動拠点ともなる予定です。
- 建物は、紀州材を利用した2階建てで、平成28年4月にオープン予定です。

起工式は、ゴールデンウィークにもかかわらず、主催の仁坂和歌山県知事、寺本那智勝浦町長をはじめ、来賓として二階衆議院議員、国土交通省大野砂防部長、森近畿地方整備局長、大沢前和歌山県会議員、三重大学山田教授、和歌山大学此松教授のほか、県会議員、関係市町村長、市町村長議会議員の方、遺族会をはじめ、住民の方々など400名が参加し、開催されました。

仁坂知事、寺本町長の式辞の後、二階衆議院議員、国土交通省大野砂防部長から来賓祝辞がありました。

その後、主催者、来賓者などによる工事安全祈願の鍬入れ式が行われました。



提供：和歌山県

**二階衆議院議員祝辞**

H23年のような事が再び起こらないためにどうしたら良いか考えた。  
町に役に立つものと思い、専門家から意見を伺い、期待できる形になった。  
那智の災害を忘れないように、発信して欲しい。

**仁坂和歌山県知事挨拶**

啓発センターには、思い入れがある。  
H23年9月に那智谷は大変な悲劇に見舞われたが、実際に起こった災害を科学的に究明して対策をきちんとすることが基本。  
今後には備える基礎ができたと思う。

**寺本那智勝浦町長挨拶**

多大な支援をいただき復旧進んでいる。  
昨年、整備局の技術センターと、研究機構が設立され、本日、啓発センターの起工となり、喜ばしい。  
土砂災害の警戒、啓発の拠点となることを待ち進んでいる。



鍬入れ式の様子

**大規模土砂災害対策研究機構**

土砂災害防止にかかわる人材育成や地域防災力の強化、防災知識普及のための広報、技術の発信を積極的に推進するため、国、県、町、大学、研究機関が官学一体で取り組むために平成26年度に設立。  
**（参加機関）**  
近畿地方整備局、国土技術政策総合研究所、和歌山県、那智勝浦町、（国研）土木研究所、北海道大学、三重大学、京都大学、和歌山大学

**【問い合わせ先】**  
国土交通省 近畿地方整備局  
河川部 河川計画課  
〒540-8586 大阪市中央区大手前1丁目5-44  
TEL 06-6945-6355

研究機構HP：  
<http://www.kkr.mlit.go.jp/kiisanchi/kikou/index.htm>

## 「大規模土砂災害対策研究機構」 平成27年度 第2回研究機構会議を開催しました

- 大学・行政・研究機関が連携して大規模土砂災害対策の研究に取り組む「大規模土砂災害対策研究機構」の平成27年度第2回研究機構会議を、和歌山県那智勝浦町で開催しました。
- 会議では、今年度の各機関における研究状況の報告や、平成28年度に開所予定の和歌山県土砂災害啓発センターにおける展示コンテンツおよび活用方針等に関する議論が行われました。
- また、翌日は啓発センター建設現場および和歌山県内の研究フィールドの視察を行いました。



会議の様子(那智勝浦町役場)

会議日時：平成28年2月8日(月) 15:00～17:00  
 開催場所：那智勝浦町役場  
 出席機関：北海道大学、三重大学、京都大学、和歌山大学、近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター、和歌山県、那智勝浦町、国土技術政策総合研究所、土木研究所  
 主な議題：(1)平成27年度研究・活動成果報告について  
 (2)和歌山県土砂災害啓発センターの活用について

### (1)平成27年度研究・活動成果報告について

- 各機関より平成27年度の研究状況が報告され、大規模土砂災害のメカニズム解明や災害リスク評価に向け一定の成果が得られたことや、新技術を活用した対策手法の導入、住民啓発に関する取り組みなどについて情報交換が行われた。
- 今後、各機関相互連携のもと、さらなる研究の推進や学会誌等での研究発表を進めていくことが確認された。
- 研究機構における研究成果は年報に取りまとめ広く配布するとともに、機構HPも活用しながら積極的な情報発信を行っていく方針が確認された。



三重大学  
山田教授



京都大学  
小杉教授



北海道大学  
笠井准教授



和歌山大学  
此松教授

### (2)和歌山県土砂災害啓発センターの活用について

- 和歌山県より土砂災害啓発センターの開所に向けた準備状況および展示内容に関する説明がなされ、各機関からは以下のような意見が出された。  
 (主な意見)
- 展示コンテンツから関連するウェブサイトへ誘導するなど、発展的な啓発となるよう工夫が必要。
- 本施設を学術的なワークショップや防災ツアーの拠点として活用することが望ましい。
- 学会誌や技術資料など、各種研究資料を一般向けに閲覧できるようにしてはどうか。
- 観光地という地域特性を活かし、観光と防災を融合したイベントの拠点として活用したい。
- 地元向けのイベントや地域の交流の場としても有効利用を考えたい。



啓発コンテンツ案の議論

和歌山県啓発センター視察

※ 大規模土砂災害対策研究機構・・・平成26年度より、北海道・京都・三重・和歌山の各大学と近畿地方整備局・和歌山県・那智勝浦町・国土技術政策総合研究所・土木研究所が連携して大規模土砂災害対策の調査研究・技術開発等に取り組んでいます。

### 【問い合わせ先】

国土交通省 近畿地方整備局  
 河川部 河川計画課  
 〒540-8586 大阪市中央区大手前1丁目5-44  
 TEL 06-6945-6355



① 深層崩壊危険箇所抽出手法に関する研究

◆研究のテーマ

本研究では、**深層崩壊発生斜面と航空レーザー測量データを用いた地形解析結果を重ね合わせ、深層崩壊発生斜面の地形的特徴を把握する。**これらの地形的特徴や、深層崩壊発生斜面での**地質・水文調査、空中電磁探査等により、深層崩壊危険斜面の抽出手法を検討する。**

◆H27年度研究計画

1. 地形解析による抽出手法  
(北山川・紀の川・有田川・日高川・富田川・日置川流域)の斜面抽出

他流域への適用



H27適用  
H23抽出

**実施状況**

- 北山川、紀の川、有田川、日高川、富田川、日置川の微地形判読を実施済み
- 上記の流域において既存手法による深層崩壊危険斜面の抽出を実施中
- 上記流域の地形的特徴を考慮した危険斜面の絞り込みを実施予定

3. 地質・水文調査、空中電磁探査の活用検討

・過年度検討成果(地質・水文調査および空中電磁探査による斜面絞り込み手法)に基づき、斜面絞り込み過程における地質・水文および空中電磁探査結果の活用検討



比拵係りエッジ  
想定地下水流下経路

**実施状況**

- 地形条件による抽出と、地質・水文調査および空中電磁探査を組み合わせた危険箇所抽出フローの検討を実施中

2. 保全対象への影響度を考慮した絞り込み検討

・流域内保全対象の分布状況把握および被災影響度評価  
・保全対象への影響度を考慮した斜面絞り込み検討

保全対象分布状況把握



**実施状況**

- 保全対象の分布状況整理およびデータ作成を実施中
- 数値シミュレーション等を用いた保全対象への影響評価を実施予定

研究スケジュール

	▼中間報告		▼年次報告	
	4月	5月	10月	11月
1. 他流域における地形判読			■	
1. 地形解析による斜面抽出			■	
2. 保全対象分布状況調査				■
2. 保全対象への影響評価				■
3. 地質・水文・空中物理探査の活用検討			■	
4. 斜面抽出フロー検討				■

① 深層崩壊危険箇所抽出手法に関する研究

◆H27年度実施状況 1. 地形解析による抽出手法

⑩十津川流域で検討した深層崩壊危険斜面抽出手法と今年度の対象範囲

設定した地形要素	地形条件	地形条件	地形条件
イメージ	重力変形率の閾値	斜面勾配	固有値比
概要	斜面の傾きを表す地形要素で、航空レーザー測量データから作成したDEMを用いて5m×5mに算出。	斜面の凹凸の度合いを表す地形要素で、航空レーザー測量データから作成したDEMを用いて5m×5mに算出。	斜面全体の平均的な傾斜(傾斜角)を示す要素で、航空レーザー測量データから算出された傾斜角を5m×5mに算出。
出典	千本真(2013)	Burningham & McGehee(1993)	横山浩(2012) 中山保(2000)
Window Size	—	250m	30m
傾斜性の高い地点地形量	—	30° ~ 35°	5.0以上
閾値	4.00m/km <sup>2</sup>	単位斜面の面積の5%	単位斜面の面積の15%

**より絞り込んだ危険斜面の抽出**  
重力性変形の延長密度、かつ地形条件のうちいずれか1つが該当する斜面を抽出

**見逃しを少なくする危険斜面の抽出**  
重力性変形の延長密度、或いは地形条件のうちいずれか1つが該当する斜面を抽出

設定した地形要素と既存の深層崩壊危険斜面抽出手法

**より絞り込んだ危険斜面** (重力性変形の延長密度)

**見逃しを少なくする危険斜面** (固有値比 or 起伏量 or 斜面勾配)



紀の川流域他  
十津川上流域他  
有田川流域  
日高川流域  
北山川流域他  
富田川流域他  
日置川流域他  
十津川下流域他

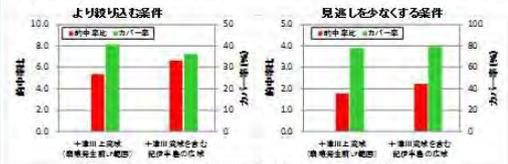
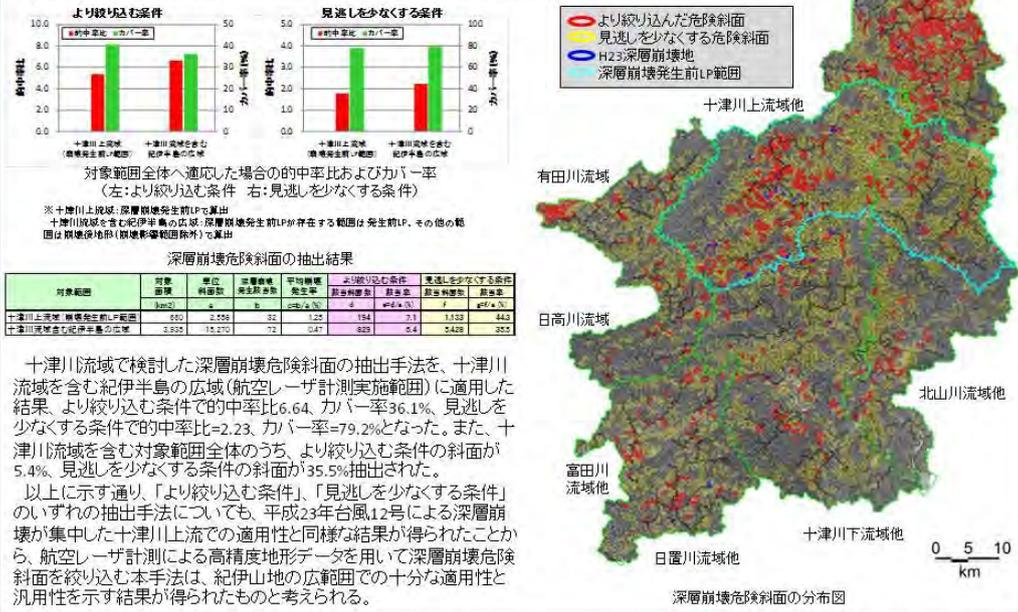
今年度の対象範囲

0 5 10 km

① 深層崩壊危険箇所抽出手法に関する研究

◆H27年度実施状況 1. 地形解析による抽出手法

② 十津川流域で検討した手法による深層崩壊危険斜面の抽出結果



対象範囲全体へ適用した場合の的中率およびカバー率  
(左:より絞り込む条件 右:見逃しを少なくする条件)

※十津川上流域:深層崩壊発生期LPで算出  
十津川流域を含む紀伊半島の広域:深層崩壊発生期LPが存在する範囲は発生前LP、その他の範囲は深層崩壊発生期LP(深層崩壊発生期LP)で算出

深層崩壊危険斜面の抽出結果

対象範囲	対象面積 (km <sup>2</sup> )	単位斜面数 a	深層崩壊発生期LP数 b	より絞り込む条件		見逃しを少なくする条件		
				数	割合(%)	数	割合(%)	
十津川上流域(深層崩壊発生期LP範囲)	850	2,256	21	0.25	124	7.1	1,132	50.2
十津川流域を含む紀伊半島の広域	3,935	15,270	72	0.47	829	5.4	5,428	35.5

十津川流域で検討した深層崩壊危険斜面の抽出手法を、十津川流域を含む紀伊半島の広域(航空レーザ計測実施範囲)に適用した結果、より絞り込む条件で的中率6.64、カバー率36.1%、見逃しを少なくする条件での中率比=2.23、カバー率=79.2%となった。また、十津川流域を含む対象範囲全体のうち、より絞り込む条件の斜面が5.4%、見逃しを少なくする条件の斜面が35.5%抽出された。

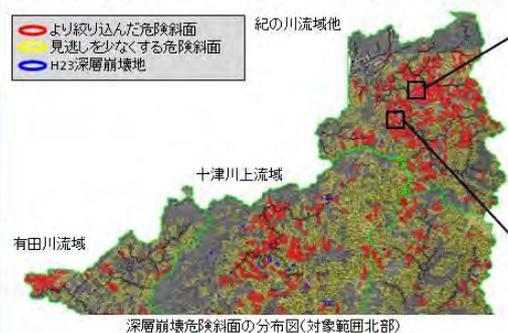
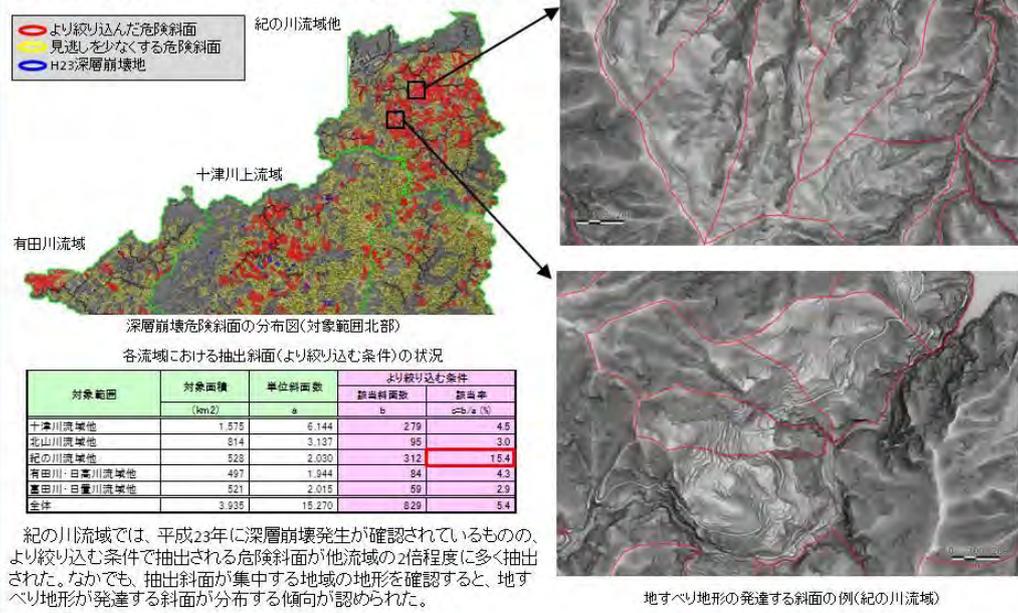
以上に示す通り、「より絞り込む条件」、「見逃しを少なくする条件」のいずれの抽出手法についても、平成23年台風12号による深層崩壊が集中した十津川上流での適用性と同様な結果が得られたことから、航空レーザ計測による高精度地形データを用いて深層崩壊危険斜面を絞り込む本手法は、紀伊山地の広範囲での十分な適用性と汎用性を示す結果が得られたものと考えられる。

大規模土砂災害対策技術センター

① 深層崩壊危険箇所抽出手法に関する研究

◆H27年度実施状況 1. 地形解析による抽出手法

③ 深層崩壊危険斜面が集中して抽出される地域の特徴



各流域における抽出斜面(より絞り込む条件)の状況

対象範囲	対象面積 (km <sup>2</sup> )	単位斜面数 a	より絞り込む条件	
			数	割合(%)
十津川流域他	1,575	6,144	279	4.5
北山川流域他	814	3,137	95	3.0
紀の川流域他	528	2,030	312	15.4
有田川・日高川流域他	497	1,944	94	4.3
富田川・日置川流域他	521	2,015	59	2.9
全体	3,935	15,270	829	5.4

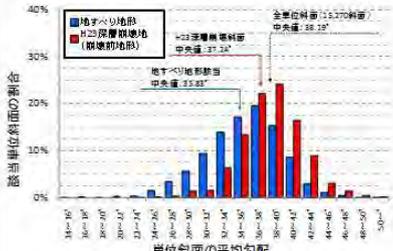
紀の川流域では、平成23年に深層崩壊発生が確認されているものの、より絞り込む条件で抽出される危険斜面が他流域の2倍程度に多く抽出された。なかでも、抽出斜面が集中する地域の地形を確認すると、地すべり地形が発達する斜面が分布する傾向が認められた。

大規模土砂災害対策技術センター

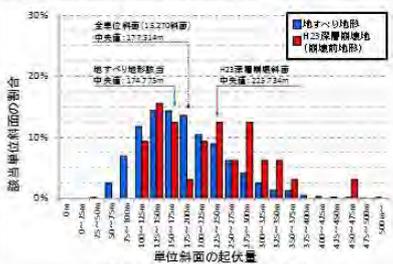
① 深層崩壊危険箇所抽出手法に関する研究

◆H27年度実施状況 1. 地形解析による抽出手法

④地すべり地形発達斜面の地形的特徴



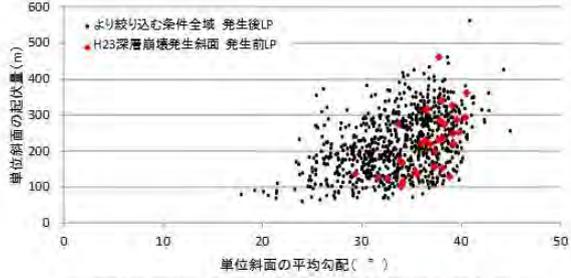
地すべり地形発達斜面に該当する単位斜面の平均勾配は相対的に低い傾向



地すべり地形発達斜面に該当する単位斜面の起伏量は相対的に小さい傾向

深層崩壊発生斜面と地すべり地形発達斜面の地形的特徴の違いについて、高精度地形データより算出した地形量から比較した。ここでは、深層崩壊発生に関連性が高いと考えられる地形要素のうち、斜面に作用する重力影響度合いに着目して、単位斜面の起伏量と平均勾配を算出し、その分布傾向を比較した。その結果、平均勾配や起伏量の分布傾向の違いが確認された。

※地すべり地形発達斜面は、防災科学技術研究所が公開している地すべり地形GISデータのうち、斜面移動体とされる範囲として、それが含まれる単位斜面を地すべり地形該当とした。



H23深層崩壊発生斜面における単位斜面の平均勾配と起伏量との関係

深層崩壊危険斜面として抽出した単位斜面のうち、より絞り込む条件を満たす斜面について、起伏量と平均勾配の分布傾向を確認した結果、平成23年の深層崩壊斜面の分布傾向より、平均勾配と起伏量がより低い領域まで含まれていることが確認された。このような傾向から、平均勾配と起伏量が相対的に大きい斜面(重力影響をより強く受ける斜面の可能性)に着目し、地すべり地形発達斜面より優先度の高い斜面を絞り込む手法や抽出斜面の地形的な分類に活用していくことも考えられる(検討中)。

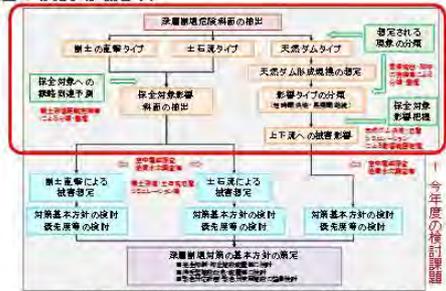
① 深層崩壊危険箇所抽出手法に関する研究

◆H27年度実施状況 2. 保全対象への影響度を考慮した絞り込み検討(実施中)

抽出された深層崩壊危険斜面に対し、「現象の分類」と「被害の概略推定」を実施し、想定される現象に対応した保全対象への影響を整理する。上記の整理結果から、保全対象に影響を及ぼす箇所と現象を把握して対象斜面を絞り込む検討を行う。

この検討結果は、今後の対応基本方針や深層崩壊対策の基本方針策定(対策優先度や施設配置計画)に活用していくこととふまえ、資料に整理していく方針である。

なお、天然ダムタイプは短時間決壊型と長期間継続型で対応方針が大きく異なる場合が想定されることから、天然ダムタイプにおける被害の概略影響は数値計算を優先的に実施する予定である。



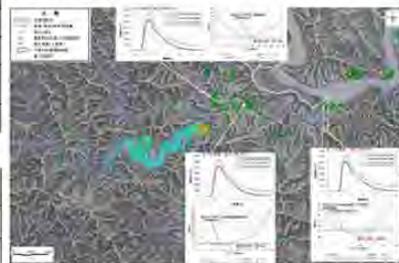
整理例-1: 重要な保全対象への影響斜面を抽出・整理

重要な保全対象	崩土の発生 (土砂災害)	土石流 (土石流災害)	天然ダム 短時間決壊 (短期決壊型)	長期間継続 (長期継続型)	備考
A地区 ●●小学校	○ 1021, 1025	-	○ 1007	-	地層の脆弱性があり、崩土の発生と天然ダム短時間決壊の影響が大きいと想定される。
●●小学校	-	○ 1012, 1021	-	-	地層の脆弱性があり、速激の土石流による影響が大きいと想定される。
.....	-	-	-	○ 1025	河川からの堆積物が少ない河川に位置する遊歩道であり、長期間継続型天然ダムによる洪水の影響があると想定される。
B地区 ●●小学校	-	○ 1035	-	-	地層の脆弱性があり、土石流による影響が大きいと想定される。

整理例-2: 抽出斜面から保全対象影響を抽出・整理

抽出斜面	崩土の発生 (土砂災害)	土石流 (土石流災害)	天然ダム 短時間決壊 (短期決壊型)	長期間継続 (長期継続型)	備考
A地区 1001 現存	○	-	○	-	斜面直下下流に保全対象が存在するため、崩土の発生と天然ダムの両タイプに該当する。
保全対象影響	○	-	○	-	
.....	-	-	-	-	
B地区 2001 現存	○	-	-	-	土石流タイプであるが、下流の崩土到達距離越までの間に保全対象が存在しない。
保全対象影響	-	-	-	-	
.....	-	-	-	-	
C地区 3001 現存	-	○	-	-	土石流タイプであるが、下流の崩土到達距離越までの間に保全対象が存在する。
保全対象影響	-	○	-	-	

深層崩壊危険箇所の抽出結果から、保全対象への影響斜面を抽出・整理していく検討方針(案)



深層崩壊危険箇所から想定される天然ダム形成による概略被害影響の数値計算検討例



② 那智川流域を対象とした土砂災害危険度評価及び警戒避難対策手法検討

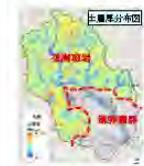
◆研究の目的

本研究では、H23那智川災害における土砂移動及び警戒避難の実態を整理したうえで、流域内で想定される土砂災害リスクの評価を行う。さらに、リスク評価結果をもとに、流域内の土砂動態観測データの活用も見据えた警戒避難対策手法について検討する。

◆H27年度研究計画

1. 表土層厚に関する調査

・H26調査箇所とは異なる地形・地質特徴をもつ領域で追加実施の予定であったが、H26調査箇所と同様の地形・地質領域における調査手法の改良へと予定変更。

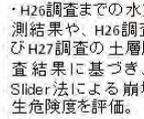


**実施状況**

- ・今年度の調査手法検討を実施済み
- ・具体的な現地作業計画検討を実施中
- ・現地作業と、結果の解析を実施予定

2. 水文モデルによる斜面崩壊発生危険度評価

・H26調査までの水文観測結果や、H26調査及びH27調査の土層厚調査結果に基づき、H-Slider法による崩壊発生危険度を評価。



**実施状況**

- ・昨年度の土層厚データを用いた危険度評価を実施中。
- ・本年度の土層厚調査結果を反映させた危険度評価を実施予定

3. 同時多発的に発生する土石流による被害予測

・H26調査で整理した河床変動実績や土砂収支等を検証材料として、H23災害の再現解析モデルを構築。



**実施状況**

- ・災害直後の写真測量結果より、地形モデルの精度向上を実施済み
- ・扇状谷川〜井間地区の区間について、感度分析計算を実施中
- ・モデルの評価、被害予測を実施予定

4. 災害リスク評価の検討

・降雨、地震あるいは両者の複合的な自然災害による災害シナリオについて検討。那智川と同様の地形・地質条件を有する流域で検討し、H26調査結果(那智川での検討)との比較検証を行い、評価手法確立のための課題を整理。



**実施状況**

- ・紀伊山地南東部(那智川と同様の地形・地質条件を有する地域)の関係市町村における災害リスク評価を実施予定。

5. 警戒避難対策の高度化

・上記4.のリスク評価結果をもとに、超過外力や複合災害に対する防災・減災のあり方を検討。



**実施状況**

- ・「土砂災害の再現映像」「災害教訓伝承教材」「警戒用配布資料」の作成を実施中
- ・④の再視②部分は素案動画が完成
- ・汎基及び避難シミュレーションを実施中

研究スケジュール

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
①表土層厚調査												
②崩壊危険度評価												
③土石流被害予測												
④リスク評価検討												
⑤警戒避難対策の高度化												

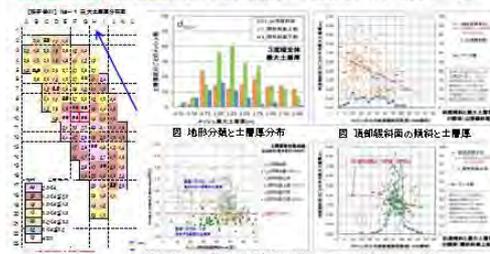
② 那智川流域を対象とした土砂災害危険度評価及び警戒避難対策手法検討

◆H27年度実施状況(土層厚の調査)

1. 昨年度の検討概要

昨年度は、地形分類と斜面傾斜に基づく土層厚推定モデルを構築するため、面積150m<sup>2</sup>前後の3斜面(金山谷川Ka-1、鳴子谷川Na-1、内の川Uc-1)を対象として、10mメッシュごとに土層厚検査検査と簡易動的コーン貫入試験による土層厚調査を行った。

土層厚検査による調査では、人力貫入可能な土の深さを計測するもので、10mメッシュごとに5点計測した最大深度を採用した。調査結果から、地形分類ごとの土層厚は、山頂緩斜面で平均1.5m、開折斜面上部で平均1.3m、開折斜面下部で平均1.0mとなり、地形侵蝕に伴い土層厚が小さくなっている。



調査結果に基づき、地形分類と10mメッシュの斜面傾斜角から、人力貫入土層厚ならびに土質パラメータを導入する相関式を決定し、那智川流域全体の土層厚モデルを構築した。

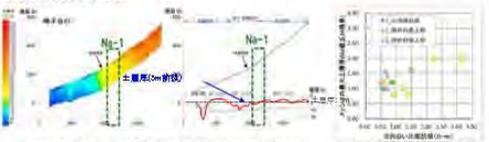
これらの調査・解析結果から、斜面傾斜との相関により表土層厚を推定する場合の三つの課題が明らかとなっており、平成27年度業務において課題解決に向けた取り組みを行っている。

- 【課題①】相関式導入に用いた土層厚と斜面傾斜のパラッキが大きい。
- 【課題②】コアストーン分布域の土層厚は1m未満に偏っている。
- 【課題③】相関式より外挿して求める土層厚に異常値が頻出する。

なかでも、課題②の花崗斑岩分布流域に特徴的な、コアストーン分布域における適切な土層厚、土質パラメータ推定の手法確立が重要ポイントとなる。

2. 今年度の作業実施状況

- ※内容・詳細は検討・見直しのため、今後変更する可能性あり
- (1)土層厚モデルの修正・高精度化  
コアストーンを伴う花崗斑岩分布域において、実態に即した土層厚を測定するための調査を実施し、土層厚推定モデルの高精度化を図る。
- (2)コアストーン分布域での高密度電気探査を用いた土層厚調査  
周辺の崩壊箇所の観察から、崩壊深部はコアストーンを含む深度3~5mに及んでおり、コアストーンの下にある脆弱な土砂層厚を把握するため、測定間隔1mでの高密度比抵抗法電気探査を用いた土層厚調査に取り組んでいる。
- (3)既往の比抵抗電気探査による土層厚調査の例  
これまでに那智川流域では、流域全体の空中電磁波探査が行われており、表層土厚の解析から鳴子谷川の土層厚は5m前後という結果が得られている。また、金山谷川Ka-1斜面での既往比抵抗電気探査結果と土層厚調査結果を対比したところ、比抵抗値が高く間隔率が大きい斜面で土層厚が大きい結果が得られている。



3. 今後の予定

今後は、鳴子谷川Na-1斜面を対象として高密度電気探査結果から土層厚分布構造を明らかにする調査を予定しており、調査結果に基づき、地形分類・傾斜による土層厚モデルおよび土質パラメータの高精度化を図る。

また、花崗斑岩分布域における崩壊特性を明らかにするため、崩壊地の裾崖周辺での簡易動的コーン貫入による土層厚調査を実施し、地盤の実態を反映した土層厚モデルへの構築を行う(H28.2年次報告にて結果を提示予定)。



## ② 那智川流域を対象とした土砂災害危険度評価及び警戒避難対策手法検討

### ◆H27年度実施状況(水文モデルによる斜面崩壊発生危険度評価)

#### 1. 昨年度の検討概要

昨年度は、**水文モデルによる斜面崩壊発生危険度評価**を行なう目的で、流域内の3斜面にて土層強度検査等を主体とした土層厚調査を実施し、その結果をもとに流域全域(花南畑岩地帯)の**土層厚推定モデル**を作成した。

#### 2. 今年度の作業実施状況

※内容 詳細は検討・見直し中のため、今後変更する可能性あり

##### (1) 土層厚モデルの修正

昨年度調査において、コアストーンが存在等、モデル化する上での課題が明らかとなった。そのため、今年度は**コアストーンを含む土層**において、**実態に即した土層厚**を測定するための調査を実施し、**土層厚推定モデルの高精度化**を図る。(詳細はP2参照)

##### (2) 水文モデルによる斜面崩壊発生危険度評価

上記で構築した土層厚データを用いて、**簡易水文モデル(H-Slider法)による崩壊発生危険度評価**を行ない、H23災害時の再現性を検証する。現段階では、昨年度の土層厚モデルを用いて試算した結果を示す。なお、H-Slider法は、無限長斜面の安定計算法を応用したものであり、崩壊危険度を定常降雨強度( $c$ )で評価する( $c$ が小さいほど崩壊危険度が高い)。

##### 1) 計算条件

土質パラメータは、H26調査で実施した土質試験結果等をもとに、複数ケースを設定した。

表 土質パラメータ(可変パラメータ)

種別	初期値	最適値	可変範囲
土層の粘着力( $c$ )	15kN/m <sup>2</sup>	10kN/m <sup>2</sup>	0~20
土層の内部摩擦角( $\phi$ )	30°	25°	25~35
土層の飽和透水性( $K_s$ )	0.001m/s	0.001m/s	0.000004~0.001
土層の飽和時単位体積重量( $\gamma_s$ )	18kN/m <sup>3</sup>	18kN/m <sup>3</sup>	16~19
土層の非飽和時単位体積重量( $\gamma_t$ )	13kN/m <sup>3</sup>	15kN/m <sup>3</sup>	11~15

※上記以外の固定パラメータとして、土層厚はメッシュごとの設定値(H26検討)、メッシュ幅は10m、勾配及び集水面積はD-Infinity法による計算値を適用した。  
 ※最適値は、各パラメータの組み合わせで試算した結果、最も捕捉率(崩壊予想メッシュ/崩壊実績メッシュ)が高いものを示した。  
 ※H23災害時の降雨は最大1時間雨量123mm、最大3時間雨量282mm(94mm/hr)で、これらの降雨が崩壊・土石流の引き金になったと考えられていることから、 $c=10$ mmを崩壊発生メッシュと定義した。

#### 2) 計算結果

パラメータ初期値の捕捉率が**62.8%**であるのに対して、最適値の捕捉率は**84.8%**まで向上した。ただし、崩壊が発生していない領域でも崩壊危険度が高いメッシュが多く分布しており、**非発生メッシュも含めた再現性の向上**が望まれる。

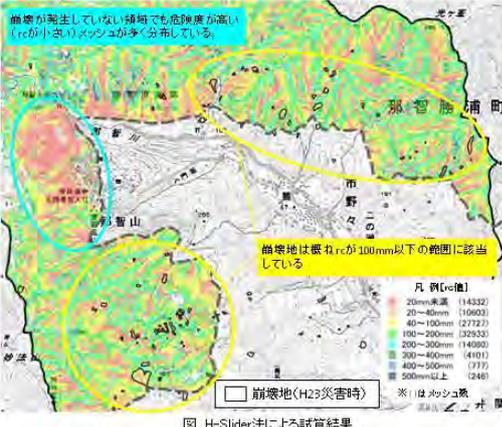


図 H-Slider法による試算結果

#### 3. 今後の予定

今後、土層厚調査を実施して土層厚推定モデルを作成し、それを用いた崩壊危険度評価を行なう(H28.2年次報告にて結果を提示予定)。

大規模土砂災害対策技術センター

## ② 那智川流域を対象とした土砂災害危険度評価及び警戒避難対策手法検討

### ◆H27年度実施状況(流砂・水文観測)

#### 1. 昨年度の検討概要

平成24年度からの土砂生産源調査や**流砂・水文観測結果の整理**を行い、流域の土砂動態特性について総合的に解析した。また、**流砂・水文観測による土砂移動予測手法の提案**を行い、平成25年度より整備が進められている「那智川流域土砂動態観測システム」の改良について検討した。

#### 2. 今年度の作業予定

平成27年の水文観測結果の整理や拡大崩壊発生イベント(7月16-17日台風第11号)における一連の土砂移動についての**観測結果の整理**を行い、**土砂移動予測手法の精度向上**について検討した。

##### (1) 水文観測

降雨、土壌水分、地下水位、斜面変位等の観測を行い、これら観測データから、降雨浸透から崩壊に至る過程を分析した。



図 観測機器設置状況(那智川流域土砂動態観測システム)

##### (2) 浮遊砂観測

出水時のバケツ採水による濁水観測や、採取試料の分析(粒度分析等)を行い、土砂生産源の粒径との比較を行なった。

##### (3) 警戒避難への活用について検討

出水中の懸濁物質の時系列的な変化と、上流域での土砂動態(崩壊地の発生・拡大等)との関係性(下流域の高度変化から上流部での土砂生産イベントを推定できるか)を分析した。

##### (4) 那智川流域土砂動態観測システムの改良検討

観測データは那智勝浦町への情報提供の他、研究者が土砂動態の研究フィールドとして活用できるようデータベース化している。今年度の観測結果から、観測システムの改良・拡充や維持管理方法について検討した。

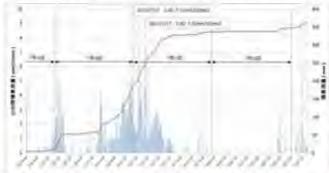


図 平成27年台風第11号降雨状況(金山谷川雨量計)と濁度の変化状況

#### 3. 今後の予定

【H28成果】観測結果整理、土砂移動予測手法の精度向上

【H29成果】観測結果整理、流砂・水文観測に基づく流域監視手法の確立

→マニュアル(案)への反映

※本図は案であり、詳細は今後那智川流域土砂動態観測システムを構築予定

大規模土砂災害対策技術センター

## ② 那智川流域を対象とした土砂災害危険度評価及び警戒避難対策手法検討

### ◆H27年度実施状況(同時多発的に発生する土石流による被害予測)

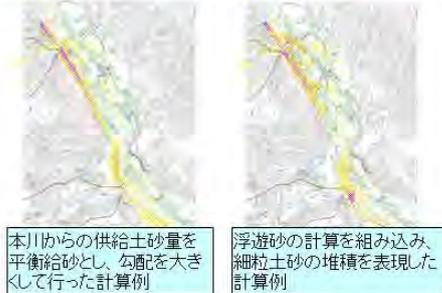
#### 1. 昨年度の検討概要

昨年度は、土砂移動予測モデルの構築に向けて、H23豪雨時に発生した各支流流について、災害直後の空中写真や現地写真を手がかりとして、特に本川合流部における氾濫・堆積状況等の実態把握を行った。

その結果、土砂移動モデルを用いて那智川の氾濫を再現するうえでは、特に井間地区への氾濫の原因となった源道橋上流の河床上昇を再現することが重要であり、この河床上昇の直接的な原因としては、反剣谷川からの土砂流入である可能性が高いものと考えられた。



#### これまでの感度分析結果(検討中)

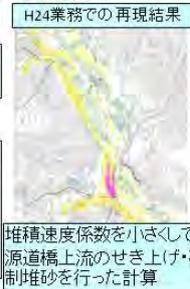


#### 2. 今年度の作業実施状況

■災害実績を踏まえたシミュレーションモデルの精度向上

◇過年度の再現計算での課題

- ・反剣谷川合流点で侵食が表現されない
- ・源道橋上流で堆積が表現されない



◇課題に対する検討状況

①地形データの精度向上

②反剣谷川～井間地区の感度分析的計算

- 1) 粒度分布に関する感度分析
- 2) 供給土砂・パイロトに関する感度分析
- 3) 堆積速度係数に関する感度分析
- 4) 浮遊砂を考慮した計算 等

#### 3. 今後の予定

■感度分析による課題への対応

反剣谷川合流点の河床侵食、源道橋上流での土砂堆積を表現可能な条件を探る。

■災害実態との比較による妥当性の評価

再現計算結果と、災害時の主要地点における水位、流速等の情報との比較を行い、再現計算の妥当性を評価する。これを踏まえて、パラメータ等の設定について適切な値を設定する。

■改良したモデルを用いた被害想定

計画規模及び計画超過規模時のシミュレーションを実施し、被害範囲を想定する。

大規模土砂災害対策技術センター

## ② 那智川流域を対象とした土砂災害危険度評価及び警戒避難対策手法検討

### ◆H27年度実施状況(災害リスク評価の検討)

#### 1. 昨年度の検討概要

那智川流域は、平成23年災害を受けて砂防事業が進められている。その一方で、台風の影響地域であり、かつ南海トラフ系の海溝型巨大地震による被害も想定される地域でもある。そのため、直轄砂防事業の完成後にも巨大災害によるリスクが残存すると考えられ、このようなリスクを事前に想定し、必要な対策を検討しておくことは重要である。そこで昨年度は、超過規模降雨が作用した場合の被害想定や、地震(津波も含む)と豪雨が複合的に発生した場合の被害を整理し、対策方針について検討した。

#### 2. 今年度の作業予定

那智川流域と同様の地形条件である紀伊山地南東部にエリアを拡大し、関係市町村のハードマップ・地域防災計画等を踏まえ、降雨、地震あるいは両者が複合する災害シナリオにより、対象地域で想定されるリスクを整理する。さらに、想定されるリスクから被害パターンを類型化し、各類型ごとに警戒避難等に関する課題を整理する。(H28.2年次報告にて結果を提示予定)

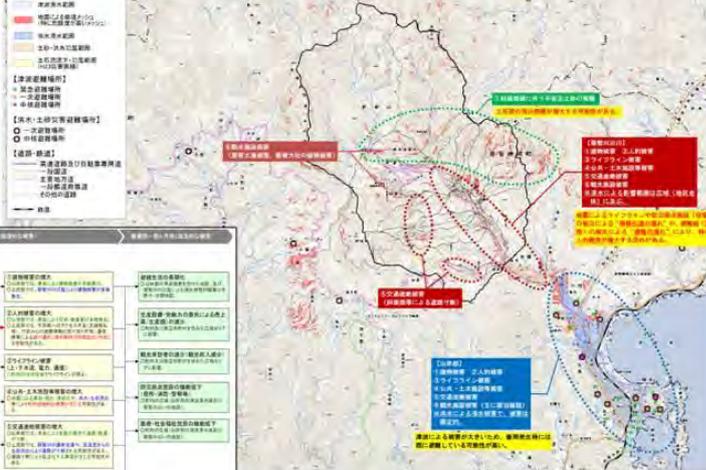


図 複合災害時(地震後に豪雨発生)に那智川で想定される被害(H26年度検討)

大規模土砂災害対策技術センター

## ② 那智川流域を対象とした土砂災害危険度評価及び警戒避難対策手法検討

### ◆H27年度実施状況(警戒避難対策の高度化)

#### 1. 昨年度の検討概要

昨年度は、シンポジウムでのアンケートや関係機関協議、ヒアリング結果を踏まえ、総合的に評価した結果、「土砂災害再現映像」、「災害教訓伝承教材」、「啓発用配布資料」を警戒避難対策に有効な防災コンテンツとし、概略構成の検討を行った。

#### 2. 今年度の作業予定

※内容 詳細は検討・見直し中のため、今後変更する可能性あり

##### (1) 土砂災害の再現映像

ターゲット及び訴求目的別に設定した動画内容のうち、平成28年度オープン予定の「和歌山県土砂災害啓発センター」内の上映を想定した、観光客や地元住民向けのものを作成する。

表 ターゲット別訴求目的別の設定(案)

ターゲット	訴求目的	設定内容(案)	制作形態
観光客	防災意識の向上	土砂災害の発生メカニズム、危険な地形・地質の解説	動画制作
地元住民	避難行動の促進	避難経路の案内、避難場所の確保	動画制作
地元住民	防災意識の向上	土砂災害の発生メカニズム、危険な地形・地質の解説	動画制作
地元住民	避難行動の促進	避難経路の案内、避難場所の確保	動画制作
地元住民	防災意識の向上	土砂災害の発生メカニズム、危険な地形・地質の解説	動画制作
地元住民	避難行動の促進	避難経路の案内、避難場所の確保	動画制作

表 概略構成(抜粋)



再現CG: 避難会議が11月実施であれば動画(案案)の用意が可能



図 再現CGの各シーン案案(※動画)

※資料配布時には案案映像のキャプチャを掲載予定

##### (2) 災害教訓伝承教材

小・中学生の学習での活用及び観光客へ配布される既存のパンフレットとの合本を念頭に作成する。地形・地質といった土地の成り立ちや台風12号に関する知識、災害時の教訓を伝えるような内容とする。



図 災害教訓伝承教材(抜粋)

##### (3) 啓発用配布資料

広報誌に挿入したり回覧板の資料として活用したりすることを想定して作成する。一般的な土砂災害に関する内容や住民の防災意識を高める(防災教育用の資料として使用できる)内容とする。



図 啓発用配布資料イメージ

##### (4) 防災コンテンツの補足資料

「平成23年災害時の地形変化を考慮した氾濫シミュレーション」「住民の避難行動の予測シミュレーション」を実施し、防災コンテンツ作成の補足資料とする。

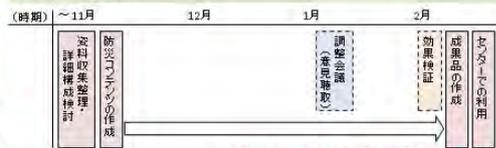


図 氾濫シミュレーション(※動画)



図 避難シミュレーション(※動画)

#### 3. 今後の予定



※本図は案であり、詳細は今後那智山土砂災害対策センター調整予定



大規模土砂災害対策技術センター

③ 大規模河道閉塞の対策技術に関する研究

◆研究の目的

本研究では、紀伊山地においてこれまでに実施してきた**深層崩壊・河道閉塞対策を検証**し、それを踏まえて**適用可能な対策手法や工法**について整理し、**深層崩壊・河道閉塞対策のあり方**を検討する。

◆H27年度研究計画

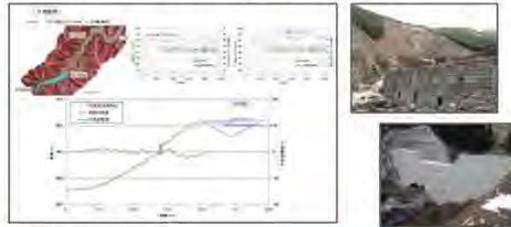
1. 深層崩壊・河道閉塞対策の実態把握

・深層崩壊・河道閉塞8箇所の対策の実態把握と時系列整理結果の取りまとめ



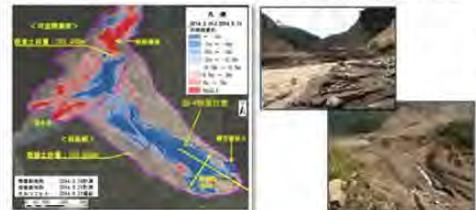
3. 対策の効果と妥当性の検証

・これまでに実施した対策の効果と妥当性の検証・取りまとめ



2. 深層崩壊・河道閉塞における土砂移動実態の把握

・深層崩壊・河道閉塞箇所における土砂移動実態の取りまとめ  
→ 平常時および出水時(崩壊発生・土砂流出時等)における土砂移動実態の把握



4. 対策の課題抽出

・これまでの対策の課題抽出・取りまとめ

5. 深層崩壊・河道閉塞対策のあり方の検討

・既往対策の検証結果に基づく深層崩壊・河道閉塞対策のあり方検討・マニュアル(案)の取りまとめ

研究スケジュール

	中間報告					最終報告				
	4月	5月	7月	8月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1. 深層崩壊・河道閉塞対策の実態把握										
2. 深層崩壊・河道閉塞における土砂移動実態の把握										
3. 対策の効果と妥当性の検証										
4. 対策の課題抽出										
5. 深層崩壊・河道閉塞対策のあり方の検討										

**実施状況**  
 ・深層崩壊・河道閉塞対策の実態把握を実施中。  
 ・平成27年台風11号による土砂移動の実態把握調査(赤谷・長殿・栗平)を実施中

③ 大規模河道閉塞の対策技術に関する研究

◆H27年度実施状況 1. 深層崩壊・河道閉塞対策の実態把握

北股地区における深層崩壊・河道閉塞対策の実態把握

**砂防堰堤工の整備状況**  
 北股地区の上流に位置する最下流の堰堤工がほぼ完成。さらに下流に渓流保全工が整備中。

**深層崩壊頭部のクラックの観測状況**  
 深層崩壊頭部に位置するクラック(幅約33m)の伸縮計による動態観測を実施中。

**中腹排土工の実施状況**  
 下流側中腹に存在していた不安定土塊の排土・整形が完了。

**上流砂防堰堤工の施工状況**  
 最下流の堰堤工上流に位置する堰堤の施工状況。平成27年度の工事は完了し、越冬対策を実施中。

**中腹土砂堆積工の整備状況**  
 出水時にガリー侵食によって流出する細粒土砂を一時的に捕捉した後に除石。

### ③ 大規模河道閉塞の対策技術に関する研究

#### ◆H27年度実施状況 2. 深層崩壊・河道閉塞における土砂移動実態の把握

##### 平成27年台風11号における土砂移動実態の把握

###### 赤谷地区



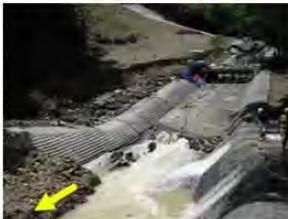
深層崩壊からの再崩壊はない。崩壊土砂ならびに河道閉塞土砂の一部が下流に流出するが、堰堤工によって捕捉されるとともに、河道閉塞の侵食が抑制されている。

一方、堰堤工の下流の洗掘が発生し、垂直壁の一部が破損。下流河道への土砂流出と二次侵食が発生し、川原樋川へ土砂が流出。

###### 長殿地区

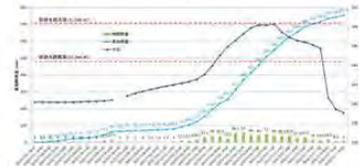


深層崩壊から土砂が流出し、湛水池に流入。



仮排水路が浸透流によって破損し、細粒土砂が流出するが、下流に堰堤工が整備されているために下流への影響はない。

###### 栗平地区



栗平地区における降雨・水位の推移  
(平成27年7月15日～17日)



平成26年台風11号によって河道閉塞部に形成された侵食流路の再侵食と土砂流出が発生。

④ 深層崩壊対策工法に関する研究

◆研究の目的

本研究では、紀伊山地の深層崩壊対策モデル斜面を対象として、想定される深層崩壊発生機構を踏まえ、深層崩壊の発生を抑制する対策工法や効果判定方法について検討する。

◆H27年度研究計画

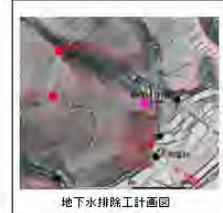
1. 施工前後の地下水位・排水量・比抵抗分布の把握  
 ・施工前後の地下水位・排水量・比抵抗分布の比較検討や地下水解析のためのデータ収集を行う。



**実施状況**

- ・台風11号後の地下水位・流量観測実施済
- ・地下水位・流量観測実施中
- ・電気探査および横ボーリングの排水量調査を実施中

2. 深層崩壊に対する地下水排除工法の検討  
 ・モデル斜面での横ボーリングを行い、工法の選定方法・施工方法・維持管理手法を検討する。



**実施状況**

- ・横ボーリング工を実施済
- ・工法選定方法・施工方法・維持管理手法の検討を実施中

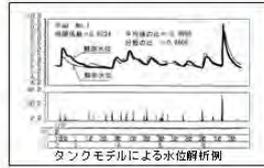
3. 深層崩壊の恐れのある斜面の安定度評価

・明瞭な土塊移動に至っていない斜面に対する崩壊面や安定度評価方法を検討する。

**実施状況**

- ・崩壊面の検討・安定解析を実施済
- ・地下水解析結果を基に斜面の安定度評価を実施中

4. 深層崩壊対策工法の効果判定手法の確立  
 ・効果判定を行うための地下水モデル構築と検証を行う。



**実施状況**

- ・台風11号時の観測結果を基にタンクモデル解析実施済
- ・三次元浸透流解析を実施中
- ・効果検証を実施予定

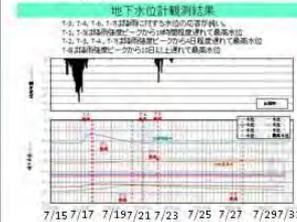
研究スケジュール

	4月		5月		...		10月		11月		2月	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1. 地下水等観測・解析												
2. 地下水排除工検討												
3. 斜面の安定度評価												
4. 施工効果判定手法												

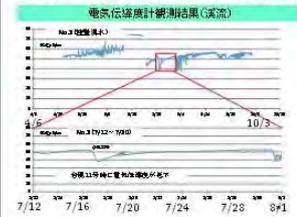
④ 深層崩壊対策工法に関する研究

◆H27年度実施状況

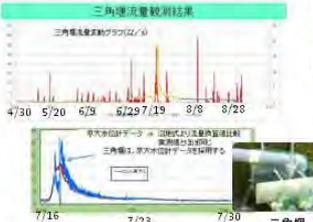
1. 観測結果



台風11号時の7/15 22:00~7/17 14:00の間に累積雨量421.0mmを観測。ボーリング孔の地下水位も最高水位を観測しているが、降雨に対する反応が鈍く、降雨強度のピークより18時間~10日以上遅れている。三角堰の湧水量は降雨強度ピークより数時間遅れでピークに達している。湧水量は、ピーク時には1t/分以上が観測された。



ボーリングの孔内水や湧水、渓流水とも台風11号時には電気伝導度が急低下している。その後、電気伝導度は降雨前の状態に回復傾向にある。



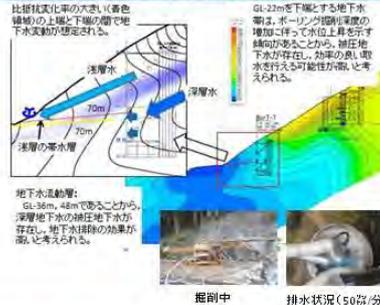
2. 深層崩壊に対する地下水排除工法の検討

◆平成27年7月台風11号時の湧水



台風11号時の擁壁およびその周辺の湧水状況。大量の地下水が湧水している。

◆横ボーリング工の延長と空中電磁探査との関係



比抵抗値の大きい青色領域の上層と下層の層で地下水変動が想定される。

GL-22mを下層とする地下水層は、ボーリング掘削深度の増加に伴って水位上昇を示す傾向があることから、深層地下水が存在し、効果の高い排水を行える可能性が高いと考えられる。





# 大規模土砂災害に関する研究

平成27年度 国総研取り組み状況

## 国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部

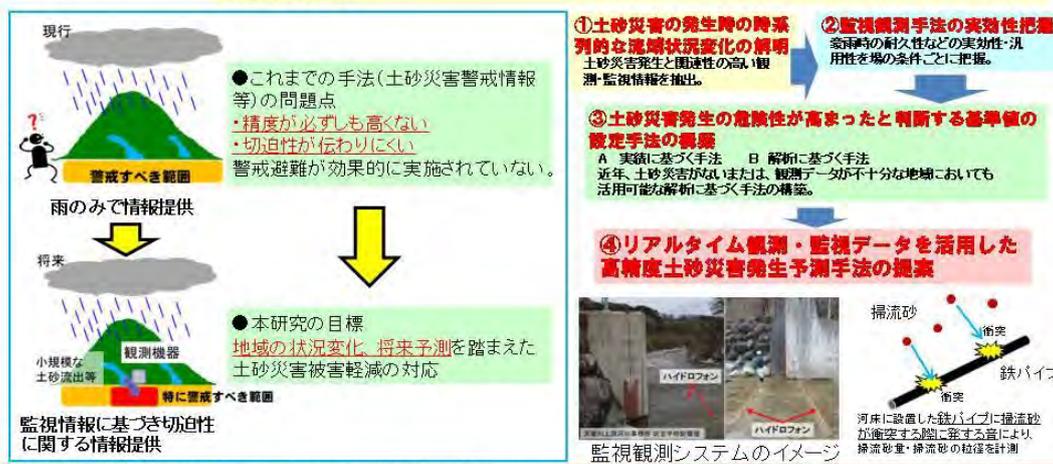
国総研 National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT, JAPAN

### 平成27年度 国総研取り組み状況(1)

#### リアルタイム観測・監視データを活用した高精度土砂災害発生予測手法の研究

リアルタイム観測・監視データを活用し、土砂災害に対する①予測精度が高く、  
②切迫性が伝わりやすい情報作成技術を開発

**研究内容** 土砂災害の発生予測、警戒避難の呼びかけについて「降雨量のみを指標とした全国一律の手法」から「**流砂量観測結果から捉えられる情報**を活用した手法」へ



国総研 National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT, JAPAN



## 平成27年度 国総研取り組み状況(2)

### 【今年度の取組】 流砂量観測を共同で実施

研究目標の達成、さらに地域の安全確保のため、  
平時および土砂災害発生時の観測データ  
が必要。

→平成23年に大量の土砂が生産された  
那智勝浦町周辺の溪流において、  
大規模土砂災害対策技術センターと共同  
で観測を実施。



平成27年5月 崩壊地現地調査、濁度計設置箇所検討

### 国総研として

- ①濁度計等の提供
- ②機器設置箇所に関する助言
- ③流砂量算出方法の紹介、  
算出プログラムの提供



平成28年1月 機器設置箇所検討、流砂量変換方法紹介

国総研による活動により、

- ・効率的な観測環境が可能(①、②)
- ・データ分析が容易に(③)

引き続き、  
平成28年度も共同で研究を実施していく。

# 同時多発的土石流発生メカニズムとリスク評価手法の検討

研究代表者:

国立研究開発法人土木研究所

火山・土石流チーム

上席研究員 水野秀明

## 本研究の目的

平成23年の那智川での災害では、同時多発的に発生した表層崩壊・土石流により那智川流域では大きな被害が発生した。このような災害による被害を軽減するには、表層崩壊のメカニズムを明らかにすること、表層崩壊発生危険箇所を抽出すること、氾濫被害のメカニズムを解明することが重要である。本研究では、水文観測、レーザプロファイラを用いた地形解析、電気探査などの物理探査、水理模型実験、シミュレーションなどを通じてこれらの研究を行う。



複合的に発生する表層崩壊・土石流



支川からの土石流により本川では大きい粒径の石により河道が阻害される。



氾濫の発生

## これまでの研究成果について

### ①雨の降り方と崩壊発生箇所の関係

航空写真を基に那智川流域を含む熊野酸性岩のエリア約320km<sup>2</sup>において平成23年台風12号による崩壊箇所の分布を判読し、最大時間雨量と崩壊密度との関係を求めた。

### ②タンクモデルを用いた水文過程と崩壊発生箇所の関係

那智川で流量観測を行い、その結果を基に那智川流域におけるタンクモデルのパラメータを設定した。次に決定したパラメータを用いて平成23年台風12号の再現計算を行った。

### ③地形開析に着目した表層崩壊発生箇所の特性について

レーザプロファイラや現地調査を基に、那智川流域を山頂緩斜面、開析斜面上部、開析斜面下部の3区分に分類した。その上で、区分ごとに崩壊地密度、崩壊面積率を調査した。

### ④物理探査を用いた土層厚の推定手法について

那智川流域で電気探査を用いて土層厚が正しく推定できるか検証を行った。

### ⑤空中電磁探査を用いた表層崩壊発生危険箇所の特性について

那智川流域で実施した空中電磁探査の結果を活用して、比抵抗値を基にした表層崩壊危険箇所の抽出手法について検討した。

### ⑥雨の降り方、タンクモデルの計算結果についての他地域との比較

平成23年那智川災害を崩壊密度、崩壊面積率、崩壊深の点から平成26年広島災害、平成21年防府災害、平成11年広島災害と比較を行った。

### ⑦地形開析についての他地域との比較

那智川流域の地形開析の特徴を明らかにするため、開析の進行程度について平成26年広島災害が発生した八木地区、平成21年防府災害が発生した剣川流域、平成11年広島災害が発生した荒谷地区と比較を行った。

## 研究成果①雨の降り方と崩壊発生箇所の関係

- ・航空写真を基に那智川流域を含む熊野酸性岩のエリア約320km<sup>2</sup>において平成23年台風12号による崩壊箇所の分布を航空写真やLPなどから判読。
- ・雨量観測所のデータから等雨量線図を作成。
- ・調査の結果、崩壊箇所は489箇所、総面積は0.8km<sup>2</sup>。
- ・これらの結果を基に、最大時間雨量と崩壊密度との関係を求めた。最大1時間雨量の場合は雨量の増加に伴い崩壊密度も増加している。一方、最大48時間雨量の場合は雨量の増加と崩壊密度の関係が調和的でない。このことから、今回の台風による崩壊は短時間雨量が効いて崩壊が発生したことが示唆される。

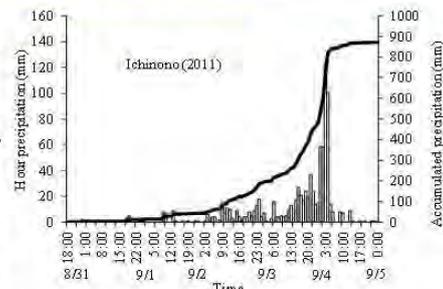


図-1 平成23台風12号時の雨量の時間変化

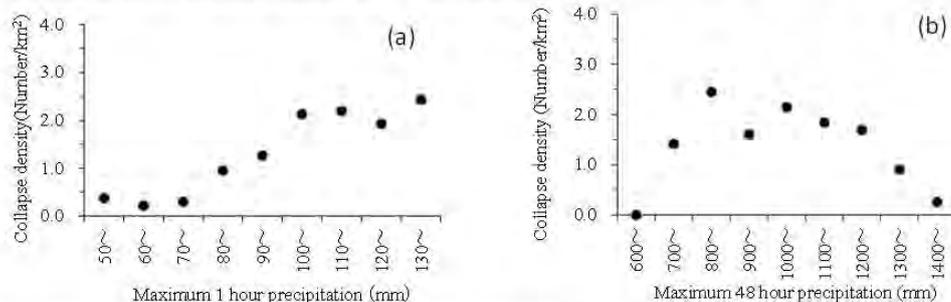


図-2 最大時間雨量と崩壊密度との関係。(a)最大1時間雨量のケース、(b)最大48時間雨量のケース

## 研究成果② 雨の降り方と崩壊発生箇所の関係

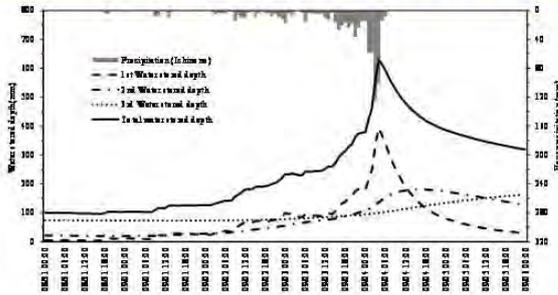


図-4 タンクモデルによる再現計算結果

- ・9月4日の未明に100mmを超える雨が2時間続いている、それによって第1タンクの貯留高が急激に上昇したことが崩壊につながったと考えられる。
- ・1段目のタンクは貯留高と崩壊密度との関係が調和的であるが、2段目・3段目は調和的でない。
- ・鈴木らの研究では六甲山ハチース谷での観測結果から1段目・2段目が崩壊に効いているとの結果となっているが、平成23年台風12号については1段目が崩壊に寄与した可能性が高い。
- ・地質や雨の降り方によって崩壊に寄与するタンクも合わせて変化する可能性があることが分かった。



図-3 タンクモデルの模式図

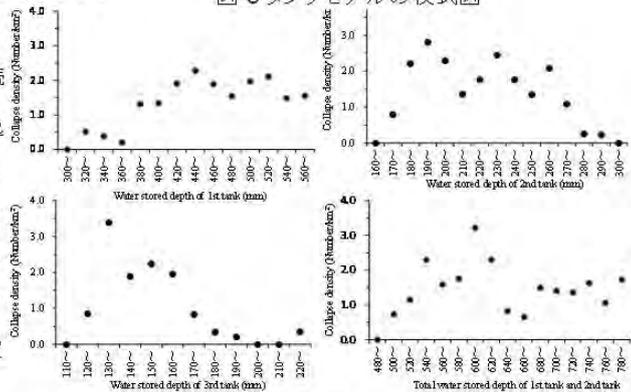
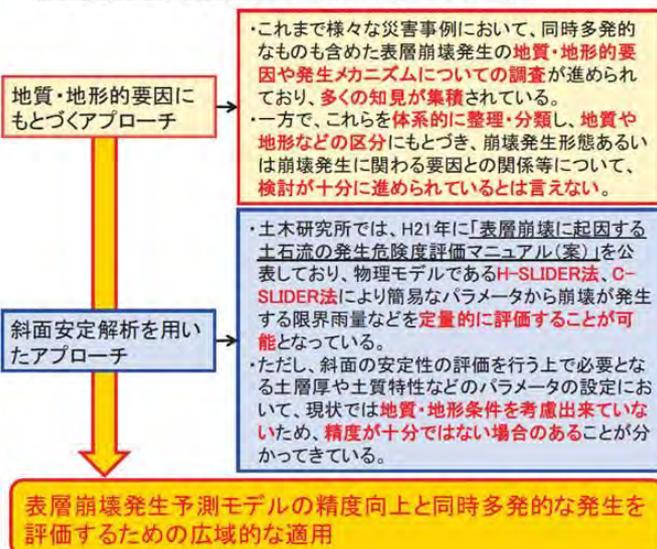


図-5 タンクモデルの計算結果

## 研究成果③ 地形開析に着目した表層崩壊発生箇所の特性について

### ■ 地形・地質的要因に基づくアプローチ



これまで様々な災害事例において、同時多発的なものも含めた表層崩壊発生の地質・地形的要因や発生メカニズムについての調査が進められており、多くの知見が蓄積されている。  
一方で、これらを体系的に整理・分類し、地質や地形などの区分にもとづき、崩壊発生形態あるいは崩壊発生に関わる要因との関係等について、検討が十分に進められているとは言えない。

土木研究所では、H21年に「表層崩壊に起因する土石流の発生危険度評価マニュアル(案)」を公表しており、物理モデルであるH-SLIDER法、C-SLIDER法により簡易なパラメータから崩壊が発生する限界雨量などを定量的に評価することが可能となっている。  
ただし、斜面の安定性の評価を行う上で必要となる土層厚や土質特性などのパラメータの設定において、現状では地質・地形条件を考慮出来ていないため、精度が十分ではない場合があることが分かっている。

【H-SLIDER法】  
・地表面地形、土層厚、土質強度、飽和透水係数を実測し、斜面安定解析及び定常状態を仮定した水文モデルを組み合わせた簡易な評価モデルを用いて斜面スケールの表層崩壊の発生危険度を評価する方法。

安全率評価式

$$F_s = \frac{c + \left( \gamma h \cos^2 \theta - \frac{r(t) A \gamma_w}{K_s \tan \theta} \right) \tan \phi}{\gamma h \cos \theta \cdot \sin \theta}$$

C: 粘着力[kN/m<sup>2</sup>], γ: 土層の単位体積重量[kN/m<sup>3</sup>], γ<sub>w</sub>: 水の単位体積重量[kN/m<sup>3</sup>], h: 土層厚[m], θ: 勾配角[°], φ: 土の内部摩擦角[°], r(t): 時刻tの降雨強度[m/s], A: ある地点より上流側の単位等高線長さあたりの集水面積, t: 時刻

【C-SLIDER法】  
・比較的簡易に広域(地質および気候条件が概ね等しいと考えられる範囲)に表層崩壊の危険度を評価する方法。

崩壊危険面積

$$A = \sum_{i=1}^n a_i p_i$$

a: 各メッシュの面積, p: メッシュiが安全率1以下になる確率, n: 渓流内のメッシュ数



・2011年9月、台風12号による豪雨により、那智川流域において同時多発的に表層崩壊が発生した。これら表層崩壊発生場の地形地質的特性を把握することを目的して調査を実施、とりまとめた。

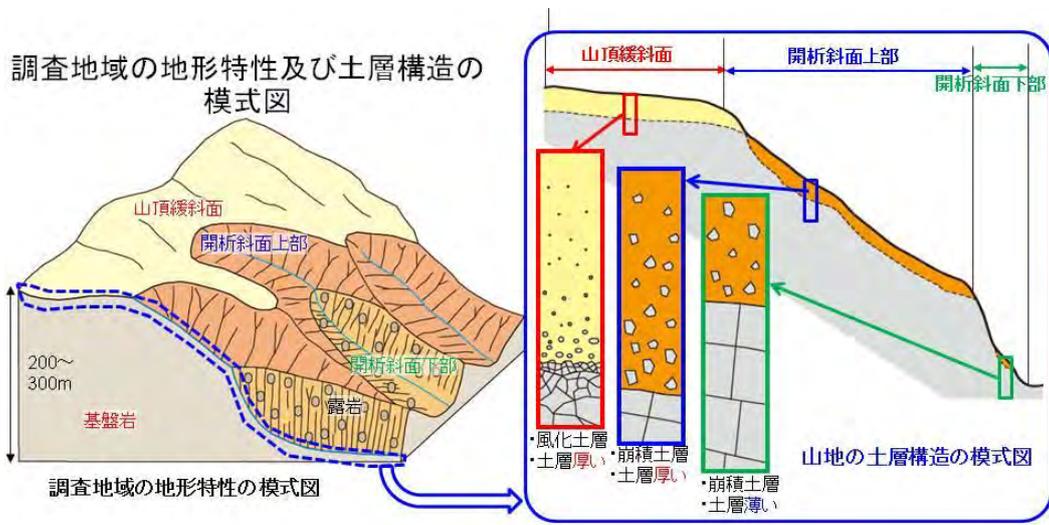


図-6 那智川流域の地形区分結果



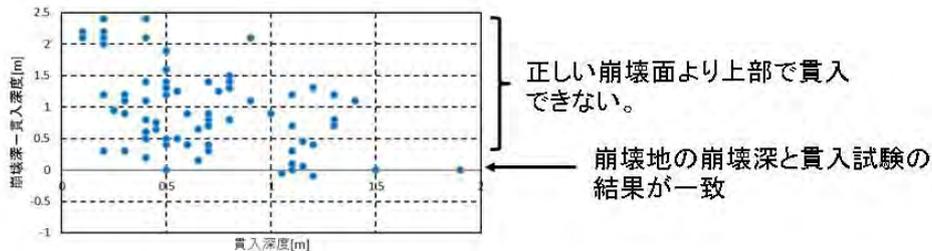
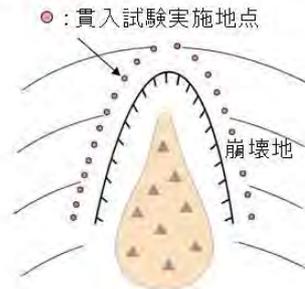
- ・花崗斑岩は、開析斜面上部、下部が主として分布しており、熊野層群と比べて相対的に開析が進行している。尾根付近に山頂緩斜面が分布する。
- ・那智川流域の花崗斑岩分布域では、開析斜面上部・下部で多くの表層崩壊が発生しており、中でも特に開析斜面上部は崩壊が発生しやすい斜面であるといえる。

## 研究成果④物理探査を用いた土層厚の推定手法について

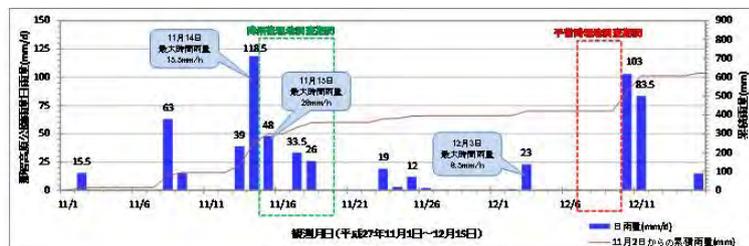
土層厚を推定する手法としては、簡易貫入試験など、直接的な手法が一般的である。那智川流域はこれまでの研究でマサ中にコアストーンが存在するため従来の簡易貫入試験では正しく土層厚を計測することができないことが分かっている。このため、本研究では崩壊地付近で電気探査を用いて土層厚が正しく推定できるか検証を行った。



那智川流域のコアストーン(球状風化)



平常時と降雨時の2回電気探査を実施。



### ■ 平常時電気探査結果

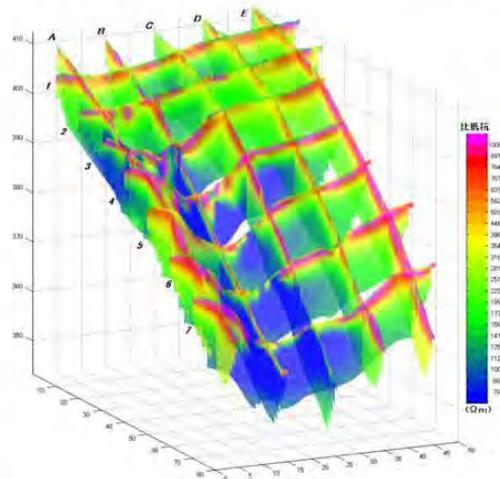
・谷の一部を除き、全般的に表層部では高比抵抗帯がレンズ状に分布し、その深部に低比抵抗帯が分布している。高比抵抗帯の下端までの厚さは、尾根周辺では3~5m程度である。この高比抵抗帯にはコアストーンや緩みを伴った風化帯が分布し、深部には硬質な弱~未風化岩が分布していると考えられる。

#### 【高比抵抗帯の特徴】

- ・たとえばA3測線付近ではガリー浸食やパイピング跡が見られるなど、透水性が良好であると考えられる地質が分布する。
- ・一部で高比抵抗帯と低比抵抗帯との境界が不明瞭な箇所がある。
- ・崩壊跡地の崩壊深は、周辺における高比抵抗帯の深度と調和的である。

#### 【低比抵抗帯の特徴】

- ・A~C測線の沢付近における露岩部では、低比抵抗帯が表層部に分布しており、弱~未風化岩の分布を指すものと考えられる。



## ■ 差トモグラフィ結果

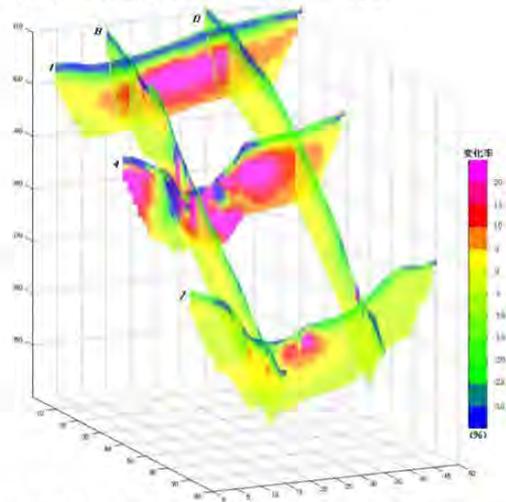
・ 平常時と降雨時の比抵抗分布状況から、下記式により比抵抗変化率を算出した。

$$\text{比抵抗変化率(\%)} = (\text{降雨時の比抵抗値}) \div (\text{平常時の比抵抗値}) \times 100 - 100$$

・ 降雨時と通常時の比抵抗値に変化が見られた場合、対象としている地質は同じであるため、変化する要因には地下水が大きく関わっているものと考えられる。このため、変化率がマイナスになった表層部では雨水の浸透によってより湿潤状態に変化し、これは表層崩壊が発生しやすい土層であることが推察される。ここでは-5%以下の範囲を土層厚とした。この層厚は崩壊跡地の崩壊深とも調和的である。

・ 一方深部ではプラスに転じるゾーンが確認された。平常時調査時に湿潤状態であったことが示唆され、これは降雨時調査前の降雨(23日前頃)のが遅延して影響したことが考えられる。

・ 球状風化を呈する地質帯では、電気探査を用いることにより土層厚を推定することができることがわかった。これにより、直接的な手法で土層厚の推定が難しい場所においても、土層厚を推定することができる。その場合、降雨時と平常時の差分を取ることで(差トモグラフィ)によって透水性が良好なゾーンが明瞭となるため、より詳細に解析することができる。



## 平成28年度の研究課題の成果について

①電気探査などによりパラメータの精度も上がったため、H-SLIDER法、C-SLIDER法等の斜面崩壊危険度評価を実施する。

②電気伝導度やイオン分析などによる水文・水質調査を用いた危険箇所抽出技術の検討を行う。

③平成23年災害時の洪水痕跡の結果を整理する。またその結果を基に水理模型実験の条件を検討するとともに実験を行う。特に、本川への巨礫の堆積、源道橋の閉塞に特化した実験を行う。

④水理模型実験の結果を基に氾濫シミュレーションを実施する。

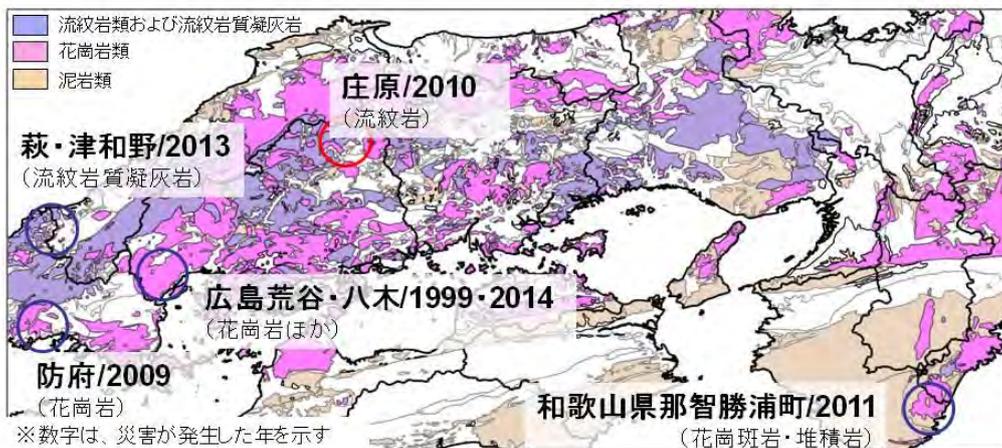
## 花崗岩類分布域における山地の開析進行度と 表層崩壊発生場の特性について

### 【1】はじめに

#### ■ 既往調査地域

・これまで、**花崗岩類分布域**として**広島/荒谷・八木、山口/防府、和歌山/那智、非花崗岩分布域**として**山口/萩、山口/八木、和歌山/那智**において、同時多発的に発生した表層崩壊の発生状況について検討を行ってきた。

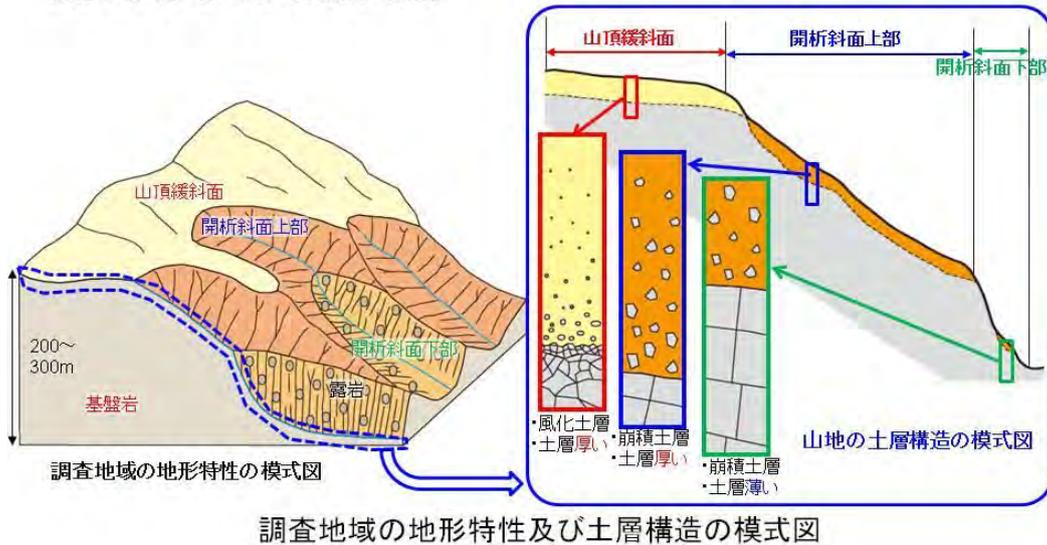
・本年度は、那智川流域のほかに、流紋岩および安山岩が分布する**広島/庄原**においても、同様の検討を行っていく予定である。



## 【1】はじめに

### ■ 山地の開析区分について

・松澤ら(2015)では山口/防府市の事例を元に、山地の開析程度に伴い**山頂緩斜面**、**開析斜面上部**、**開析斜面下部**の3つに区分し、それぞれが異なる崩壊形態及び土層構成を示していることが明らかになった。



## 【1】はじめに

那智川流域における、各開析斜面の状況



## 【1】はじめに

・那智川流域花崗斑岩分布域における表層崩壊の発生形態は、主に以下の3つに分類することができた。

風化残積土の崩壊



主に山頂緩斜面

- ・崩壊面には締まりが良好な粘土質マサが分布する。
- ・崩壊土砂にはコアストーンや岩屑を含むが、その含有率は低い。

風化残積土・崩積土の崩壊



主に開析斜面上部

- ・崩壊土層は崩積土および岩屑、コアストーンを含んだマサから成る。
- ・崩壊面においてもコアストーンおよび節理が発達した強～弱風化岩露頭が確認できる場合がある。

落石を伴う崩積土の崩壊



主に開析斜面下部

- ・崩壊土砂は崩積土を主とするが、花崗斑岩から落石状の崩壊を伴うことがある。
- ・落石は、花崗斑岩中に発達した節理がくさび状に開口したものと考えられ、崩壊面には割れ目が開口した様子が見受けられる。

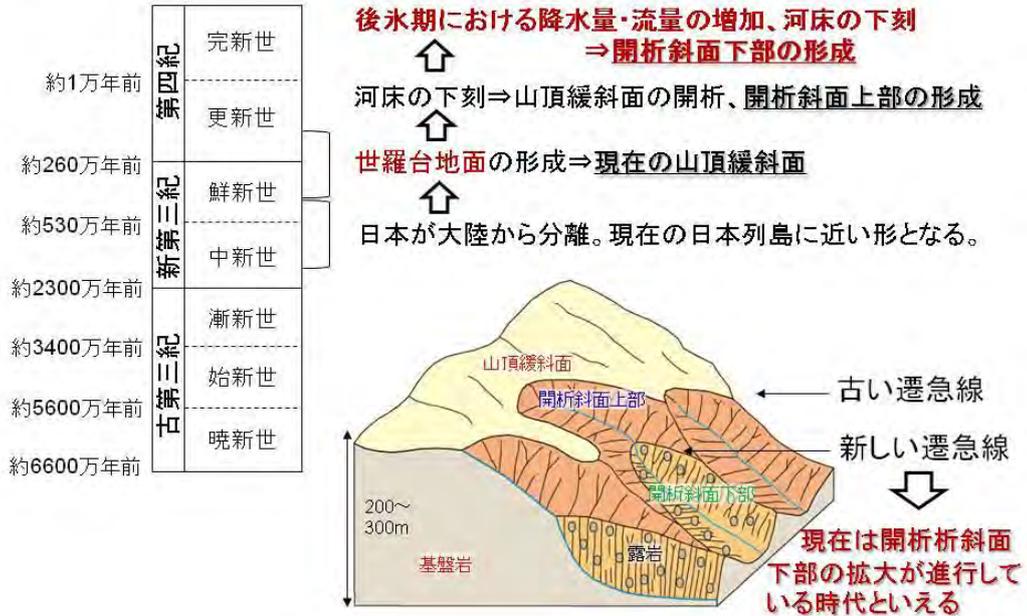
## 【1】はじめに

・那智川流域花崗斑岩分布域における表層崩壊の発生形態は、以下のように**地形開析状況に応じて崩壊形態が異なる**傾向を示すことが明らかとなった。

発生形態	①	②	③
	風化残積土の崩壊	風化残積土および崩積土の崩壊	落石を伴う崩積土の崩壊
模式図			
主な地形区分	山頂緩斜面	開析斜面上部	開析斜面下部
概要	強風化岩が厚く分布し、それらの崩壊を主としている。コアストーンなどを含むが、含有率は低い。	崩積土およびコアストーンや岩屑を含む強風化岩の崩壊を主とする。	崩積土の崩壊を主とし、これに落石状の崩壊が伴うことがある。落石状の崩壊は地質構造に規制されている。

## 【2】地形発達史

### ■ 山地の開析斜面形成(山口/防府の例)



## 【2】地形発達史

### ■ 中国地方における、小起伏面の分布

・中国山地の山頂部には小起伏地形が認められ、これらは隆起準平原を示す地形と考えられている。



中国地方の接峰面図と侵食小起伏(藤原、1996)

## 【2】地形発達史

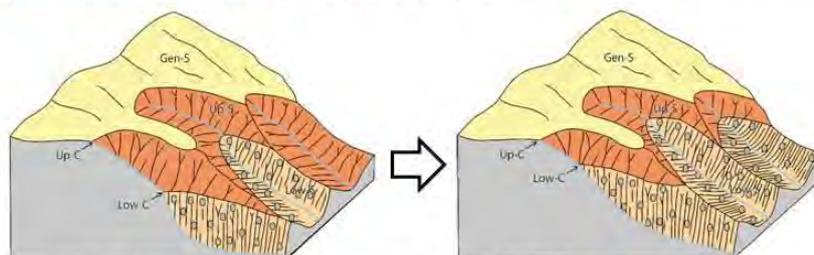
### ■ 課題

- ・地形発達史が異なる山域では、山地全体の開析進行状況は異なると考えられる。
- ・開析の程度に応じて、表層崩壊の発生形態が規制されていることより、山地全体の開析進行状況に応じて表層崩壊の発生状況は異なる可能性がある。つまり、山口/防府と那智川流域では、地形地質学的背景が異なり、山地の開析進行状況が異なることが考えられ、これらの表層崩壊の発生状況は異なると考えられる。
- ・そこで、表層崩壊の検討を行った地域（和歌山/那智、広島/荒谷・八木、山口/防府、山口/萩）を比較し、山地全体の開析進行状況と表層崩壊発生場の特徴を考察した。  
⇒山地全体の開析進行状況をここでは「開析進行度」と呼ぶこととする。

## 【2】地形発達史

### ■ 開析進行度の考え方

- ・羽田野(1974)によると、侵食の進行に伴い遷急線が上流側に移動するとされている(下図)。また、遷急線が上流側に移動することに伴い、開析斜面下部の面積は拡大していくものと想定される。
- ・これより、遷急線の位置や開析斜面下部の面積率から、開析進行度を推測できると考えられる。
- ・山頂緩斜面/開析斜面上部境界の高位遷急線はより古く、開析斜面上部/下部境界の低位遷急線は後氷期におけるより新しい侵食前線であると解釈される(松澤ら(2015))。そのため、ここでは開析斜面下部の面積比を後氷期における開析進行度[%]とし、開析の進行状況を対比する指標として扱うこととした。



遷急線が移動することによる開析状況の変化(概念図)

## 【2】地形発達史

### ■ 紀伊半島南部の地形発達について

- ・紀伊半島南部の地質は、付加体、中新統堆積岩類(熊野層群を含む)、熊野酸性岩類に大別され、地形もそれぞれで異なる特徴を持つ。
- ・那智川流域では、熊野層群、熊野酸性岩類が主として分布する。



岡田(編)「日本の地形6 近畿・中国・四国」より抜粋

## 【2】地形発達史

### ■ 紀伊半島南部の地形発達

- ・那智山およびその周辺は800-900mほどの山地から構成されている。このように尾根の高度がそろっている状況および花崗斑岩に柱状節理が発達していることから、**花崗斑岩は平坦地形を形成した噴出岩**として考えられおり(荒巻, 1965)、これが現在の山頂緩斜面を形成しているものと想定される。

- ・ここでは、**那智川流域は防府と地形地質学的背景が異なるが、類似した開析過程が想定されるため**、松澤ら(2015)を踏襲し、地形開析状況を検討することとした。



岡田(編)「日本の地形6 近畿・中国・四国」より抜粋

### 【3】地形開析と表層崩壊発生状況 3.1. 概要

#### ■ 評価対象地域の地質分布

分類	被災年	対象地	対象とする地質
花崗岩分布域	1999年	広島県広島市 荒谷	パンリスを成す後期白亜系広島花崗岩
	2009年	山口県防府市 剣川	パンリスを成す後期白亜系防府花崗岩(広島花崗岩)
	2011年	和歌山県那智勝浦町 那智川	中新統熊野酸性火成岩類 珪長質マグマの噴出によって形成された花崗斑岩を主とする(羽田(1955)、荒牧(1965)など)
	2014年	広島県広島市 八木	パンリスを成す後期白亜系広島花崗岩
非花崗岩分布域	2010年	広島県庄原市 篠堂川	後期白亜系高田流紋岩類 陥没カルデラに埋積した火砕流堆積物と考えられる【現在検討中】
	2011年	和歌山県那智勝浦町 那智川	中新統熊野層群 前弧海盆(Fore-arc basin)の堆積物であり、本流域は砂岩泥岩互層、泥岩が主として分布する(棚井・水野(1954)、久富(1981)など)
	2013年	山口県萩市 須佐	後期白亜系阿武層群福賀層 流紋岩質凝灰岩を主とする。
	2014年	広島県広島市 八木	ジュラ系玖珂層群相当層で泥岩を主とするが、後期白亜系花崗岩の貫入により変成を受け、ホルンフェルスが広く分布する(高木・水野(1999)など)

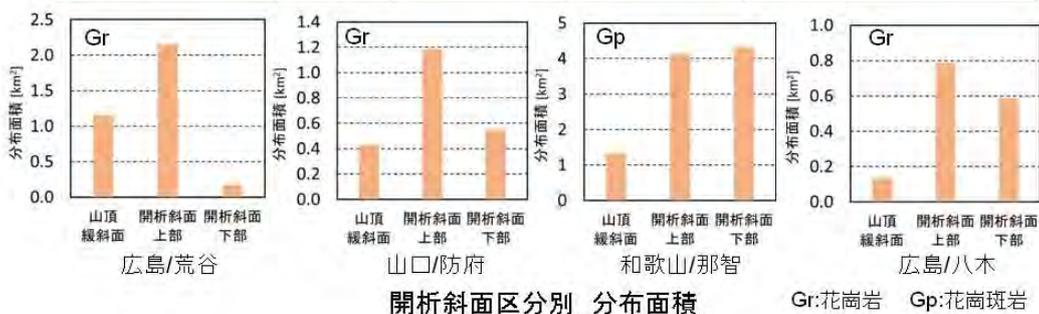
### 【3】地形開析と表層崩壊発生状況 3.2. 開析進行度

#### ■ 開析進行状況の比較(花崗岩類分布域)

・相対的に広島/荒谷は最も開析の進行が遅く、広島/八木および和歌山/那智が最も開析が進んだ地形であるといえる。

花崗岩類分布域の開析進行度

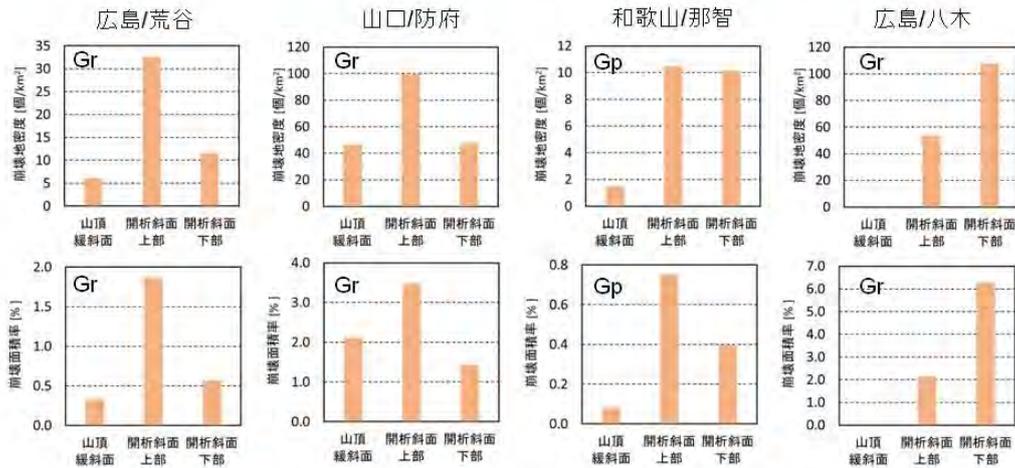
地域	地質	山頂緩斜面面積率	開析進行度	
広島/荒谷	花崗岩	29.0%	4.3%	開析進行度が低い
山口/防府	花崗岩	17.5%	22.3%	
和歌山/那智	花崗斑岩	13.7%	44.2%	開析進行度が高い
広島/八木	花崗岩	8.1%	35.4%	



### 【3】地形開析と表層崩壊発生状況 3.2. 開析進行度

#### ■ 開析進行状況の比較(花崗岩類分布域)

・下記4地区の崩壊面積率を比較すると、開析進行度が大きい広島/八木および和歌山/那智では、相対的に開析斜面下部における表層崩壊が高い頻度で発生している。



花崗岩類分布域における崩壊地密度(上段)・崩壊面積率(下段)

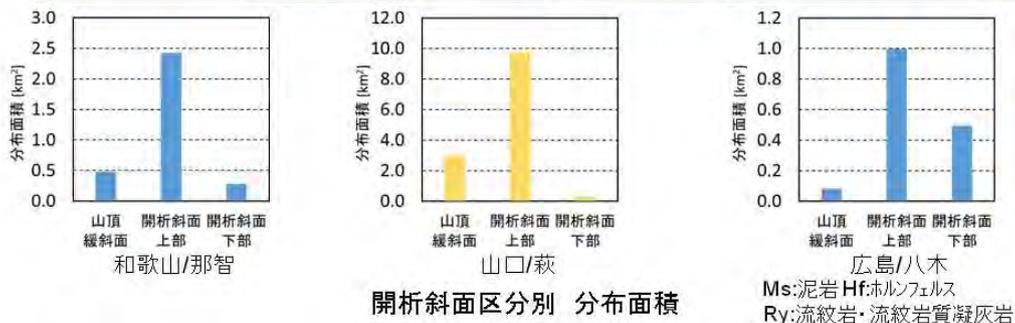
### 【3】地形開析と表層崩壊発生状況 3.2. 開析進行度

#### ■ 開析進行状況の比較(非花崗岩分布域)

・広島/八木(泥岩・ホルンフェルス)における開析進行度は、和歌山/那智(泥岩)、山口/萩(流紋岩質凝灰岩)と比べて、開析進行度が高い傾向が見られる。

非花崗岩分布域における開析進行度

地域	地質	山頂緩斜面面積率	開析進行度	
和歌山/那智	泥岩	15.1%	8.7%	開析進行度が低い
山口/萩	流紋岩	22.7%	2.4%	
広島/八木	泥岩 (ホルンフェルス)	4.6%	27.2%	開析進行度が高い



開析斜面区分別 分布面積

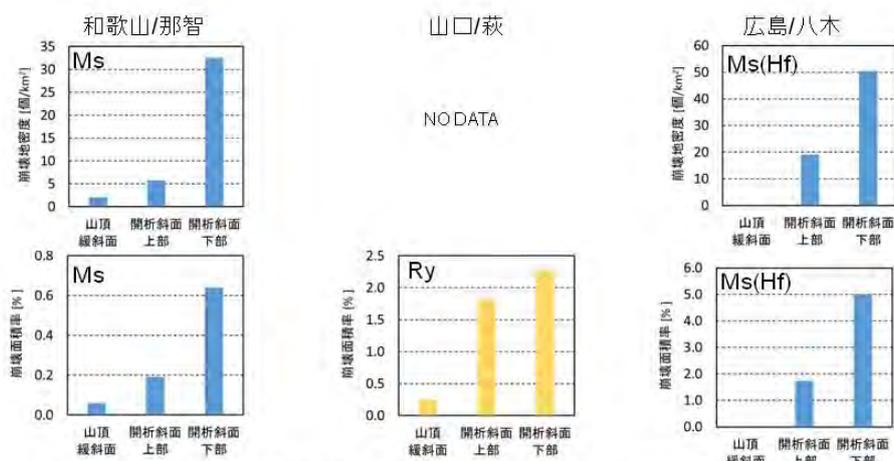
Ms:泥岩 Hf:ホルンフェルス  
Ry:流紋岩・流紋岩質凝灰岩

### 【3】地形開析と表層崩壊発生状況 3.2. 開析進行度

#### ■ 開析進行状況の比較(非花崗岩分布域)

・下記3地区の崩壊面積率を比較すると、開析進行度に関わらず、すべての地域において開析斜面下部における崩壊頻度が高い傾向に見られる。これは、開析斜面上部・下部で土層構造に大きな違いがなく、斜面勾配が影響しているためと考えている。

今後、斜面勾配と地形開析区分の関係性を整理していく予定



花崗岩類分布域における崩壊地密度(上段)・崩壊面積率(下段)

### 【3】地形開析と表層崩壊発生状況 3.2. 開析進行度

#### ■ 花崗岩類が分布する斜面で発生する、表層崩壊の特徴

##### ・パターン1:開析斜面上部での表層崩壊が卓越

⇒後氷期(現在)において開析斜面上部の開析が進行することにより、開析斜面下部面積が拡大しているものと解釈できる

⇒つまり、開析斜面上部→下部への移行(発達)が未熟であるため、徐々に下部斜面が拡大しているといえる。

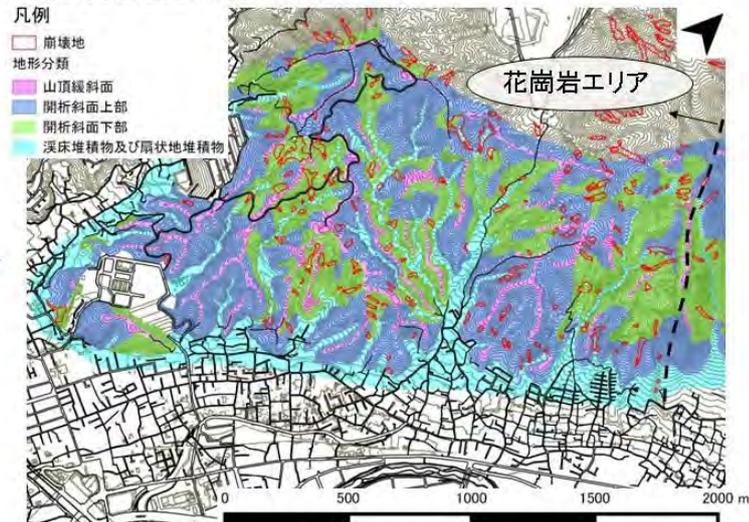
##### ・パターン2:開析斜面下部での表層崩壊が卓越

⇒山地全体の開析進行状況より、検討を行う(次頁以降)

### 【3】地形開析と表層崩壊発生状況 3.3. 開析斜面分布

#### ■ 広島市八木地区の地形開析状況(花崗岩分布域)

- ・山頂緩斜面は、尾根沿いで帯状を成して分布している。
- ・開析斜面下部の分布面積が広く、山頂緩斜面の直下に分布している傾向がよく見受けられる。
- ・これらは、下位遷急線が上流側へ移動し、上位遷急線と一体化しているものと解釈できる。



地域	地質	山頂緩斜面面積率	開析進行度	
広島/八木	花崗岩	8.1%	35.4%	開析進行度が高い

### 【3】地形開析と表層崩壊発生状況 3.3. 開析斜面分布

#### ■ 那智勝浦の地形開析状況(花崗斑岩分布域)

- ・山頂緩斜面は、尾根沿いで帯状を成して分布している。
- ・開析斜面下部が広く分布し、山頂緩斜面の直下に開析斜面下部が分布している状況が多く見られる(特に那智の滝より上流では顕著である)。
- ・広島/八木と同様に、下位遷急線が上流側へ移動し、上位遷急線と一体化しているものと解釈できる。

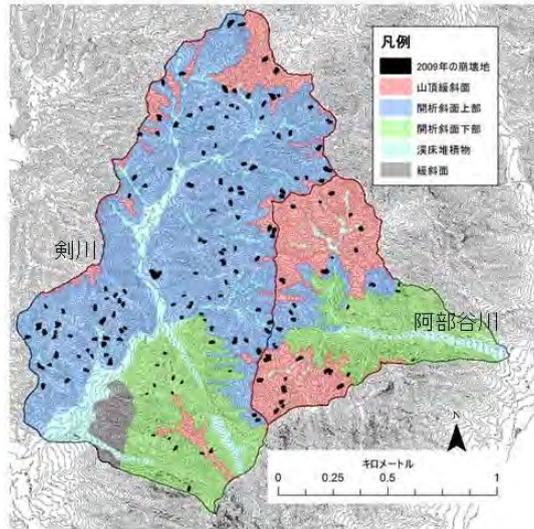


地域	地質	山頂緩斜面面積率	開析進行度	
和歌山/那智	花崗斑岩	13.7%	44.2%	開析進行度が高い

### 【3】地形開析と表層崩壊発生状況 3.3. 開析斜面分布

#### ■ 防府の地形開析状況

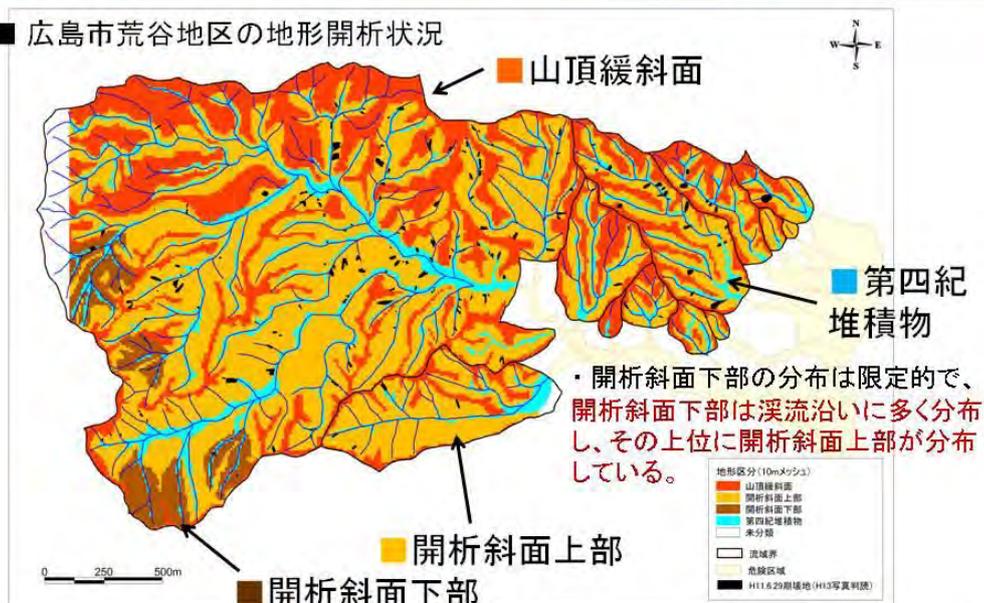
- ・ 溪流によって例外があるものの、高標高部より順に山頂緩斜面、開析斜面上部、開析斜面下部が分布している状況が見受けられる。
- ・ 上位遷急線および下位遷急線と2本の遷急線が認められる。



地域	地質	山頂緩斜面面積率	開析進行度	
山口/防府	花崗岩	17.5 %	22.3 %	

### 【3】地形開析と表層崩壊発生状況 3.3. 開析斜面分布

#### ■ 広島市荒谷地区の地形開析状況



地域	地質	山頂緩斜面面積率	開析進行度	
広島/荒谷	花崗岩	29.0 %	4.3 %	開析進行度が低い

### 【3】地形開析と表層崩壊発生状況 3.3. 開析斜面分布

#### ■ 花崗岩類が分布する開析斜面で発生する、表層崩壊の特徴

##### ・パターン1: 開析斜面上部での表層崩壊が卓越

⇒後氷期(現在)において開析斜面上部の開析が進行することにより、**開析斜面下部面積が拡大しているものと解釈できる**

⇒つまり、開析斜面上部→下部への移行(発達)が未熟であるため、徐々に下部斜面が拡大しているといえる。

##### ・パターン2: 開析斜面下部での表層崩壊が卓越

⇒山頂緩斜面の直下に開析斜面下部が分布する流域は、**山地の開析が完熟に向かっていると捉えることができる。**

⇒そのため「開析斜面上部→下部への移行(発達)」作用ではなく**開析斜面下部の表面に分布する崩積土崩壊が拡大しているものと解釈できる。**

### 【4】まとめと課題

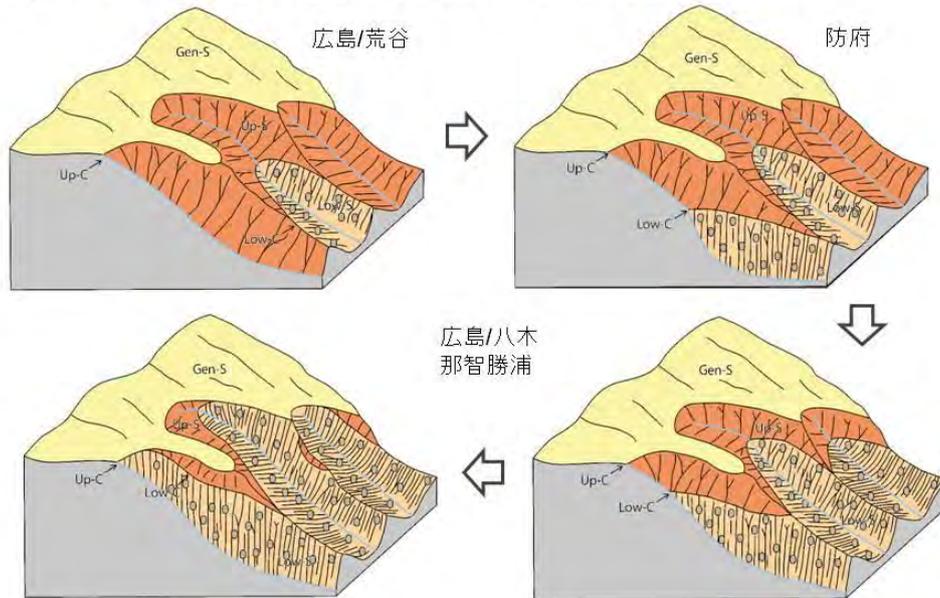
・開析進行度が低い流域では開析斜面上部、開析進行度が高い流域では開析斜面下部において表層崩壊が多発する傾向があるといえ、山域全体の開析進行度が、表層崩壊が発生しやすい斜面を抽出する指標となりえることがわかった。

開析進行度	低い	高い
崩壊地分布の特徴	<b>開析斜面上部において表層崩壊が多く発生</b>	<b>開析斜面下部において表層崩壊がより多く発生</b>
斜面分布の特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高位より山頂緩斜面、開析斜面上部、開析斜面下部が分布する傾向が高い</li> <li>・下位遷急線はより低標高部に分布する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・山頂緩斜面の直下に開析斜面下部が分布する様子がよく見受けられる</li> <li>・下位遷急線が高標高部に移動し、上位遷急線と一体化している様子がよく見受けられる</li> </ul>
山地全域の開析状況	・山域全体として、現在も開析が進行している状況である。	・山域全体として、現在も開析が進行しているが、完熟に向かっている状況である
地域例	広島/荒谷 山口/防府	和歌山/那智 広島/八木

## 【4】まとめと課題

### ■ 山地の開析過程

・山地の開析過程は、以下のように進行しているものと考えられる。



## 【4】まとめと課題

### 【花崗岩類分布域】

- ・広島/荒谷や防府は開析進行度が低く、開析斜面上部での崩壊が卓越する傾向が見られた。
- ・那智勝浦や広島/八木は開析進行度が高く、開析斜面下部における表層崩壊がより多く発生した状況であった。
- ・以上より、山地の開析状況から表層崩壊危険斜面を抽出する場合、山域(流域)全体における開析進行度、および開析斜面の分布を考慮する必要がある。

### 【非花崗岩類分布域】

- ・広島/八木、那智勝浦、萩での事例を比較した結果、開析斜面下部における崩壊が卓越した傾向が見られた。開析斜面上部および下部では土層構造が類似した傾向にあり、斜面勾配により規制されて表層崩壊が発生している可能性がある。
- ・今後は庄原における表層崩壊発生状況を整理した上で、斜面勾配を含め検討を進めていく。

## 電気探査を用いた土層厚の検討

### 【1】はじめに

#### 1.1. 土層厚について

##### ■ なぜ土層厚が必要となるのか？

・**土層厚**(土層深、風化土層厚など):明確な定義は無いが、いわゆる「表層崩壊が発生しやすい」土層の層厚を指すことが多い。「表層崩壊に起因する土石流の発生危険度評価マニュアル(案)」では「**表層崩壊の恐れのある土層厚**」と解説されている。

・土層厚の表現方法  
EX) 貫入荷重〇〇N など

・そのため、**表層崩壊の危険斜面を抽出する上で、土層厚やその有無は非常に重要なファクター**となるものである。

## 【1】はじめに

### 1. 2. 土層厚の検討手法

#### ■ 一般的な土層厚の試験方法(例)

土層厚を推定する手法としては、簡易貫入試験など、直接的な手法が一般的である。例として以下の手法が挙げられる。

##### ・簡易動的コーン貫入試験(土研式簡易貫入試験)

質量約5kgの錘を500mm程度の高さから自由落下させ、100mm貫入させるために必要な打撃回数(Nd値)より貫入抵抗を求める。

##### ・SH型簡易貫入試験

簡易動的コーン貫入試験の改良型であり、錘を2kg+3kgと分離できるようにしたほか、貫入深度の自動読み取り・記録が可能となるようにした。

##### ・土検棒(土層強度検査棒)貫入試験

上記と比べて貫入能力は劣るものの、試験機器の軽量化・作業の簡略化がなされ、より容易に土層厚の測定が可能となる。

ただし、砂礫地盤には適用することが難しく、礫を多く含む崩積層や、球状風化によりコアストーンを含む風化層では、正確な貫入抵抗や土層厚を推定しにくい場合がある。

## 【2】課題の整理

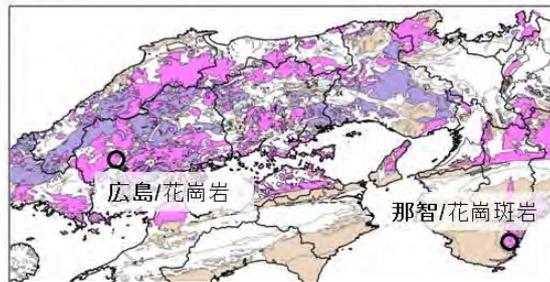
### 2. 1. 砂礫地盤における課題

#### ■ 砂礫地盤における土層厚の検討事例

##### ・調査地

・砂礫地盤の例として球状風化によってマサ中にコアストーンを含む花崗斑岩分布域(那智川)および均質なマサが分布する花崗岩分布域(広島市八木地区)において土検棒を用いた土層厚の計測を実施、比較を行った。

・調査地は右記のとおりである。



広島に分布するマサ



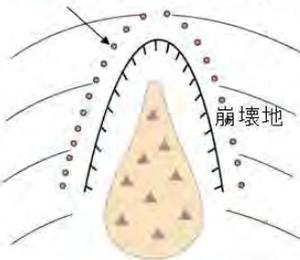
那智に分布する球状風化の状況

## 【2】課題の整理

### 2.1. 砂礫地盤における課題

#### ■ 砂礫地盤における土層厚の検討方法

○：貫入試験実施地点(案)



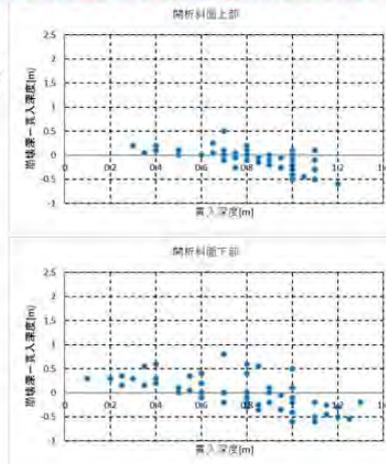
#### ・土検棒貫入試験 簡易法

- ・崩壊地の周縁を等間隔で実施した。間隔は0.5m程度とした。
- ・調査地点は、崩壊地より1-2mほど離れた地点で実施した。

#### ・崩壊深の確認

- ・貫入試験実施地点に隣接する崩壊地から崩壊深を把握した。

貫入深度と崩壊深を対比  
土検棒による結果の評価



#### ・均質なマサが分布する花崗岩分布域(広島)

- ・広島市八木地区の花崗岩分布域において、同様の手法を用いた場合の貫入深度および崩壊深を測定し、那智川流域と対比した。
- ・開析斜面上部、下部で実施した。山頂緩斜面は、崩壊箇所が少ないため除外した。
- ・その結果、コアストーンを含まない花崗岩地域では、多くは誤差0.5m以内に収まり、概ね貫入深度と崩壊深が近似する傾向が見受けられた。

## 【2】課題の整理

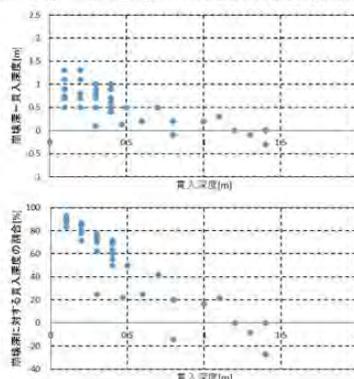
### 2.1. 砂礫地盤における課題

#### ■ 砂礫地盤における土層厚の検討結果(那智)

- ・山頂緩斜面では土検棒による計測結果が崩壊深に”やや”近似するものの、**開析斜面上部**ではコアストーンの影響で土層厚の測定は困難であると想定される。
- ・なお、開析斜面下部の表層は崩積土から成り、土検棒の貫入が困難なため除外した。

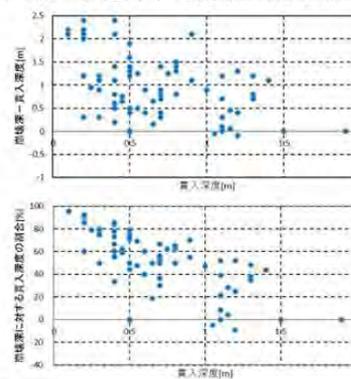
#### 山頂緩斜面

- ・1箇所において、計47地点で実施した。
- ・崩壊深は0.4~1.5m。
- ・コアストーン径は平均0.29m(最大0.8m)



#### 開析斜面上部

- ・3箇所において、計79地点で実施した。
- ・崩壊深は0.5~3.0m。
- ・コアストーン径は平均0.50m(最大2.0m)



## 【2】課題の整理

### 2.2. 物理探査を用いた検討

#### ■ 物理探査を用いた土層厚検討

砂礫地盤では、直接的な手法による土層厚の検討が困難な場合がある。そのため、物理探査を用いた土層厚調査手法について検討する。

- ・山川ら(2010)によると、弾性波探査と電気探査の結果を組み合わせることにより、土層厚の推定精度を向上させることができるとされている。
- ・しかし、球状風化を呈した風化岩層や岩層が密集する場合、弾性波探査によって把握される浅層部の性状は実際よりも良好な結果となる可能性がある。また、ボーリングや崩壊地の滑落崖との対比などを用いた地質情報との対比はしていない。

本研究では、

- ・物理探査を用いた土層厚の検討について、崩壊地の滑落崖など地質情報や、透水性などを加味した上で、土層厚の調査手法について検討した。
- ・球状風化を呈した地質帯における、物理探査を用いた土層厚検討についての有用性を考察した。

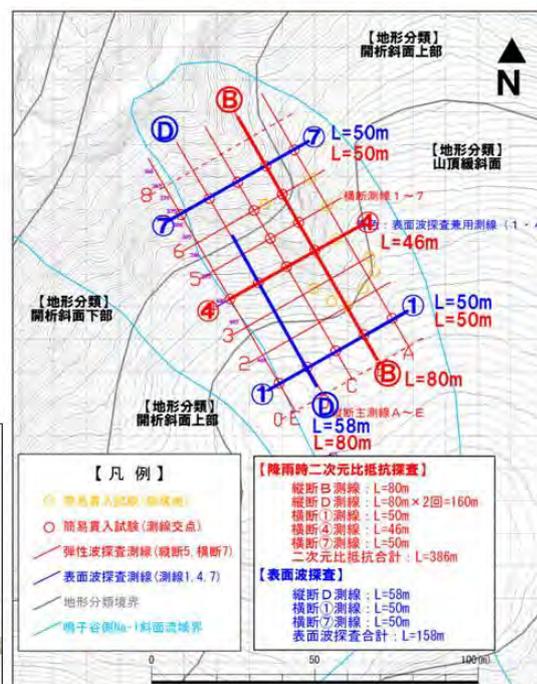
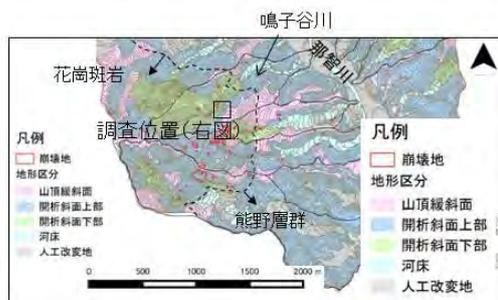
## 【3】調査手法

### 3.1. 調査位置

#### ■ 調査位置

・ここでは、乾湿(地下水分布)の探査によく用いられる電気探査、および浅層の地下構造を把握する上でよく用いられる表面波探査によって土層厚の検討を行った。

・調査位置は那智川流域鳴子谷川において、山頂緩斜面、開析斜面上部、開析斜面下部が分布する下・右図で示した位置で実施した。



### 【3】 調査手法

### 3. 2. 調査地概要

#### ■ 地質概要

・下位より順に下部～中部中新統熊野層群（たとえば棚井・水野、1954）、貫入岩である熊野酸性火成岩類（荒牧・羽田、1965；以降岩石名である花崗斑岩と呼ぶ）が分布する。

・熊野層群は泥岩優勢砂岩泥岩互層および成層泥岩から成り、小規模な褶曲構造を除けば東～北方向に10～20°程度の傾斜でゆるく傾斜している。

・花崗斑岩の風化帯には、硬質なコアストーンが残存する球状風化を呈す特徴が見られる。

層序表

時代		地質名	記事
新第三紀	中新世 中期	熊野酸性火成岩類	花崗斑岩
	前期	熊野層群	砂岩、泥岩、砂岩泥岩互層



### 【3】 調査手法

### 3. 2. 調査地概要



球状風化を呈した花崗斑岩中にみられるコアストーン



熊野層群。深部に灰色を呈した新鮮な泥岩が分布する。



花崗斑岩。3系統の割れ目系の分布で特徴付けられる。



熊野層群の砂岩泥岩互層

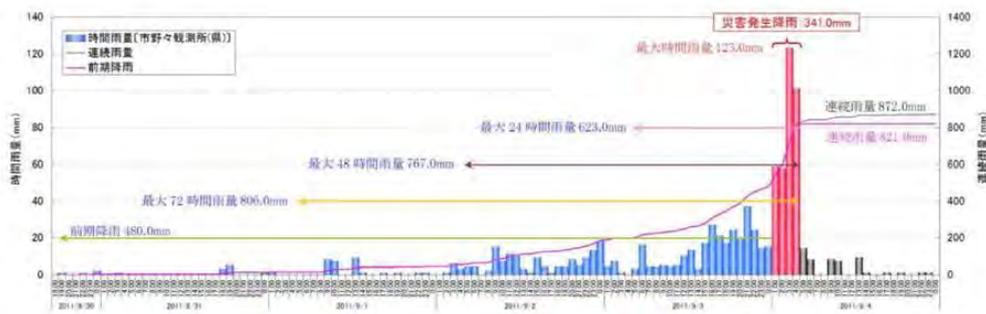
### 【3】調査手法

### 3.2. 調査地概要

#### ■ 調査地概要

・ 台風の動きが遅く、**長期にわたって降雨が確認された**。8月30日17時から9月4日未明にかけて、紀伊半島では広い範囲で総降雨量は1,000mmを超えていた状況であった。

・ 那智川流域にある市野々観測所では9月4日0時～4時で341mm(最大時間雨量123mm;3時)が記録された。



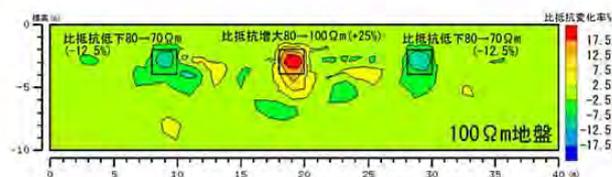
### 【3】調査手法

### 3.3. 調査方針

#### ■ 実施方針

比抵抗値のみでは土層厚の想定は難しく、また土検棒や簡易貫入試験などによる検証も難しい。そのため、以下の方針で探査を実施した。

- ・ 崩壊地を横断する位置で測線を設定し、崩壊深を用いて比抵抗分布を評価した。
- ・ 表層部の土層構造を詳細に把握するため、電極間隔を基本的に1mとした。
- ・ 湿潤時および乾燥時に同測線上で電気探査を実施することにより、水の流動状況を把握し、その比抵抗値分布と崩壊地の状況と対比して土層厚の分布を想定した。また、それぞれの比抵抗分布を、差トモグラフィとしてまとめ、比抵抗値の変化を整理した。(下図参照)
- ・ 表面波探査を併せて実施し、電気探査結果の評価を行った。



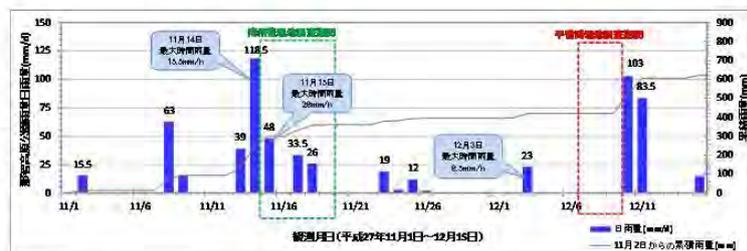
国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構HPより引用  
差トモグラフィの例

## 【4】調査結果

### 4.1. 調査日の降雨状況

#### ■ 調査実施日の降雨状況

- ・降雨時調査は平成27年11月15日～19日にかけて、平常時調査は平成27年12月7日～10日にかけて実施した。
- ・降雨時調査期間前後の降雨は、11月13日に日雨量118.5mm(最大時間雨量15.5mm/h)、15日2:00には最大時間雨量26mm/h、累積雨量206mmの大雨を記録した。その後、15日5時から17日12時まで55時間の無降雨期間を挟んで、17日13時から18日24時まで日雨量30mm前後の降雨があり、18日の降り終わりまでの累積雨量は60mmであった。



11月1日～12月15日までの降雨状況(那智高原公園雨量計)

## 【4】調査結果

### 4.2. 平常時の比抵抗状況

#### ■ 平常時電気探査結果

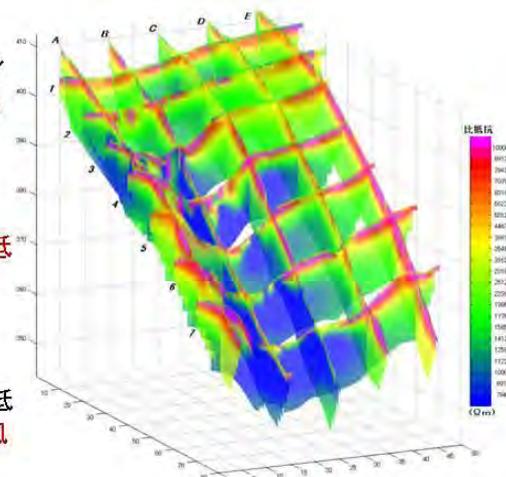
- ・谷の一部を除き、一般的に表層部では高比抵抗帯がレンズ状に分布し、その深部に低比抵抗帯が分布している。高比抵抗帯の下端までの厚さは、尾根周辺では3~5m程度である。この高比抵抗帯にはコアストーンや緩みを伴った風化帯が分布し、深部には硬質な弱～未風化岩が分布していると考えられる。

#### 【高比抵抗帯の特徴】

- ・たとえばA3測線付近ではガリー浸食やパイピング跡が見られるなど、透水性が良好であると考えられる地質が分布する。
- ・一部で高比抵抗帯と低比抵抗帯との境界が不明瞭な箇所がある。
- ・崩壊跡地の崩壊深は、周辺における高比抵抗帯の深度と調和的である。

#### 【低比抵抗帯の特徴】

- ・A～C測線の沢付近における露岩部では、低比抵抗帯が表層部に分布しており、弱～未風化岩の分布を指すものと考えられる。



## 【4】調査結果

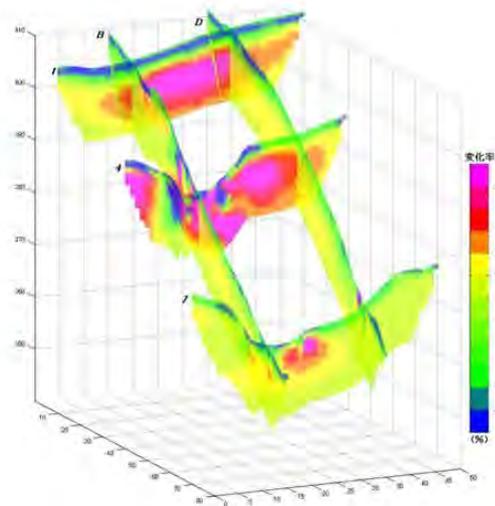
### 4.5. 差トモグラフィ

#### ■ 差トモグラフィ結果

・ 平常時と降雨時の比抵抗分布状況から、下記式により比抵抗変化率を算出した。  
 比抵抗変化率(%) = (降雨時の比抵抗値) ÷ (平常時の比抵抗値) × 100 - 100

・ 降雨時と通常時の比抵抗値に変化が見られた場合、対象としている地質は同じであるため、変化する要因には地下水が大きく関わっているものと考えられる。このため、変化率がマイナスになった表層部では雨水の浸透によってより湿潤状態に変化し、これは表層崩壊が発生しやすい土層であることが推察される。ここでは-5%以下の範囲を土層厚とした。この層厚は崩壊跡地の崩壊深とも調和的である。

・ 一方深部ではプラスに転じるゾーンが確認された。平常時調査時に湿潤状態であったことが示唆され、これは降雨時調査前の降雨(23日前頃)のが遅延して影響したことが考えられる。



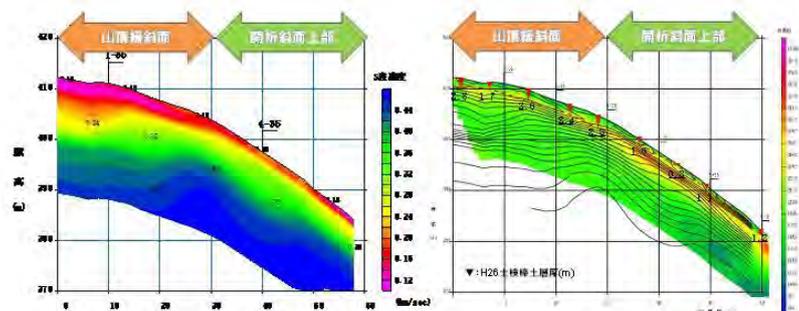
## 【4】調査結果

### 4.6. 表面波探査

#### ■ 表面波探査結果

・ 比抵抗値が高くなる深度1~3mでS波速度も急増しているため、強風化した地質帯が分布するものと想定される。

・ ただし、比抵抗値とS波速度に整合性が見られない(見にくい)箇所も見られた。また、地形や現地状況によって作業効率が左右され、それに伴い結果の精度が変わることがある。そのため、表面波探査結果は概略調査として扱うか、ほかの手法と併用して評価することが望ましい。



表面波探査(S波速度)断面図 比抵抗およびS波速度(コンター)の対比結果  
 D測線断面図

## 【5】 考察

### 5.1. 電気探査による土層厚の推定

#### ■ 電気探査を用いた土層厚の推定

- ・球状風化を呈する地質帯では、電気探査を用いることにより土層厚を推定することができることがわかった。これにより、直接的な手法で土層厚の推定が難しい場所においても、土層厚を推定することができる。その場合、降雨時と平常時の差分を取ることで(差トモグラフィ)によって透水性が良好なゾーンが明瞭となるため、より詳細に解析することができる。
- ・差トモグラフィは透水性による評価方法であるため、土層厚を評価するために貫入加重を検討する必要がある直接的な手法と比べると、地形地質によって左右される素因は少ないと考えられる。
- ・一時期のみで電気探査を実施した場合、土層厚に該当する層厚は高比抵抗帯として現れる傾向があり、これをもとに土層厚を推定することも可能である。ただし、地質的特徴を考慮した上で、なるべく電極間隔を1m以下に狭めて実施する必要がある。ただし、強風化帯から弱風化帯にかけて、境界が不明瞭な場合は、判断が難しい可能性がある。
- ・表面波探査を用いることによりS波速度が急増する箇所を土層厚として認識することができると考えられる。ただし、明瞭な境界部を抽出することは難しく、また地形状況によって作業効率および結果の精度が変わるため、概略調査として扱うか、別の手法と経要することにより土層厚を推定する必要がある。

## 【5】 考察

### 5.2. 今後の活用

#### ■ 今後の活用

- 電気探査による土層厚の推定は、以下のような地盤においても適用することができると考えられる。ただし、電極間隔や探査深度などは、各々の地質条件等を十分に考慮する必要がある。
- ・礫を多く含む崩積土。これは、花崗岩をはじめ砕屑岩や流紋岩など非花崗岩類においても適用できると考えられる。
  - ・クリープなど重力変形により、地盤の緩みが大きく、透水性が良好なゾーンが形成されている地質帯。



## 過去の表層崩壊の崩壊特性と 降雨分布との比較

### 1.はじめに

- ・近年、2014年の広島災害、2011年の那智川災害など、大規模な表層崩壊が発生している。
- ・これらの災害による被害を軽減するには、予想される降雨分布からおよその崩壊特性を推定し崩壊発生を予測することが必要である。
- ・これまで、表層崩壊による災害を個別に整理した事例はいくつかあるが、複数の災害を比較し、降雨分布と表層崩壊の発生の特徴を検証した研究は少ない。

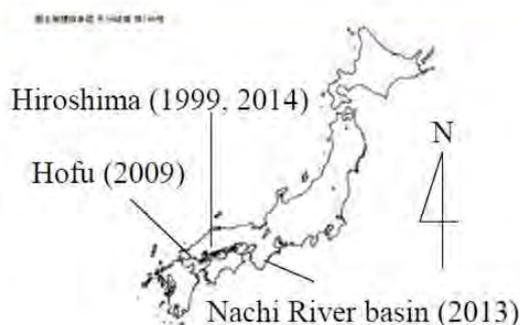


図-1 調査位置図

(数字：災害発生年度)

- ・本研究では、2014年の広島災害、2011年の那智川災害、2009年の防府災害、1999年の広島災害を例に挙げ災害時の降雨分布や崩壊状況を調査し、比較検討した。本研究の目的は、雨の降り方と崩壊の発生形態・分布の関係を明らかにすることである。

## 2.災害の概要及び降雨の特性について

表-1 災害発生箇所の地質及び降雨の特徴

	2014 広島災害	2011 那智川災害	2009 防府災害	1999 広島災害
地質	花崗岩・堆積岩	花崗斑岩	花崗岩	花崗岩
降雨規模	最大時間雨量 87mm 総雨量 247mm (高瀬観測所：国土 交通省)	最大時間雨量 131.5mm 総雨量 821.5mm (新宮観測所：気象 庁)	最大時間雨量 63.5mm 総雨量 275mm (防府観測所：気 象庁)	最大時間雨量 81mm 総雨量 233.5mm (八幡川橋観測所：日 本道路公団)

災害発生箇所の地質はいずれも花崗岩もしくは花崗斑岩主体の箇所であり崩壊深が数m程度の崩壊が広い範囲で発生しそれらが土石流となって下流域に被害を及ぼしている。



2014年広島(八木地区)



2011年那智川(金山谷)



2009年防府(剣川)



1999年広島(宮内地区)

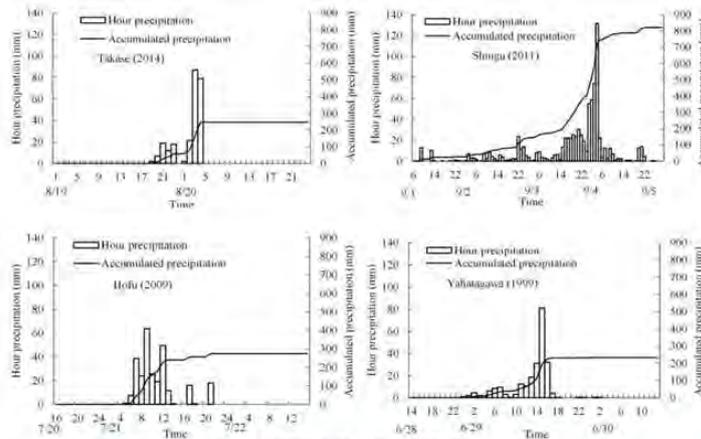


図-2 災害時の降水量の時間変化

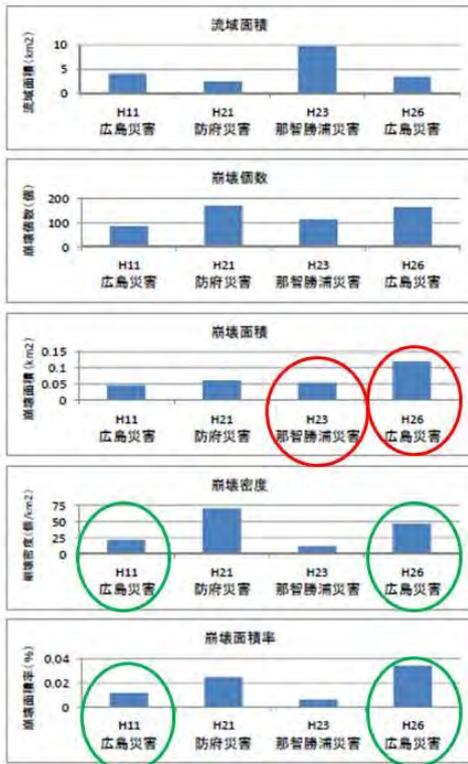
- ・降雨規模について、**最大時間雨量・総雨量は那智川災害が他に比べて大きくなっている**。一方、雨量の時間変化についてはそれぞれ特徴が異なっている。
- ・2014年の広島災害について、降雨は無降雨時間を除いて9時間であったが約80mmの雨が2時間降っている以外は時間雨量20mm程度の降雨であった。
- ・2011年の那智川災害について、降雨は無降雨時間を除いて50時間以上と他の災害に比べて長い。またピーク時には時間雨量130mmを超える雨が降っている。
- ・2009年の防府災害について、降雨は無降雨時間を除いて13時間であったが、最大時間雨量は約60mmと他の災害に比べて小さい。
- ・1999年の広島災害については、降雨は無降雨時間を除いて21時間であった。また1時間だけ80mmを超える降雨となっているがそれ以外は時間雨量30mm以下であった。

### 3.崩壊発生形態の比較

表-2 災害による崩壊の状況

	2014 広島災害	2011 那智川災害	2009 防府災害	1999 広島災害
研究対象エリア	八木・緑井地区	那智川流域	剣川・阿部谷川流域	荒谷地区
流域面積(km <sup>2</sup> )	3.5	9.7	2.5	4.0
崩壊個数	164	113	175	84
崩壊面積(km <sup>2</sup> )	0.118	0.056	0.061	0.047
崩壊密度(個/km <sup>2</sup> )	47.21	11.71	70.87	21.14
崩壊面積率(%)	3.41	0.58	2.49	1.19
平均崩壊深(m)	1.2	2.1	1.5(剣川のみ)	データ無し

- ・崩壊密度は2009年の防府災害が、崩壊面積率は2014年の広島災害が最も大きくなっている。
- ・平均崩壊深については、2011年の那智川災害が2014年の広島災害よりも大きくなっている。



・例えば、2014年広島災害と2011年の那智川災害を比較すると、崩壊面積率は2014年の広島災害の方が大きくなっている。

・また、2014年の広島災害と1999年の広島災害を比較すると総雨量は同じにもかかわらず崩壊密度や崩壊面積率は2014年の方が大きくなっている。

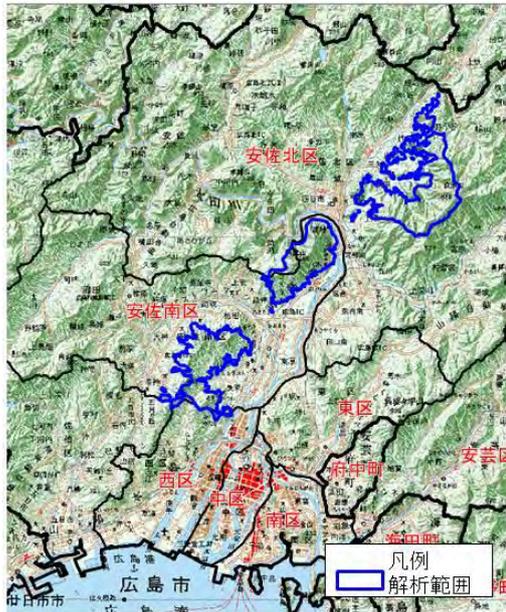
・このことから、降雨が長時間及ぶ場合は崩壊深が大きくなること、短時間で大きな降雨だった場合は崩壊面積が大きくなる可能性があることが示唆される。

## 4.降雨分布と崩壊分布の関係について

・降雨分布と崩壊分布の関係について2014年の広島災害と2011年の那智川災害を事例として調査した。

・広島災害と那智川災害について、最大時間雨量と崩壊密度(個/km<sup>2</sup>)との関係を整理した。広島災害は約31km<sup>2</sup>の範囲で、那智川災害については那智川流域を含む約320km<sup>2</sup>の範囲で航空写真やLPを基に崩壊箇所の判読を行った。

・雨量については、広島災害はCバンドのデータを基にし、那智川災害については実測雨量から等雨量線図を作成した。崩壊密度は広島災害については1km<sup>2</sup>ごとに、那智川災害については等雨量のエリアごとに算出した。



解析範囲: 約31km<sup>2</sup>  
崩壊個数: 123



解析範囲: 約320km<sup>2</sup>  
崩壊個数: 489

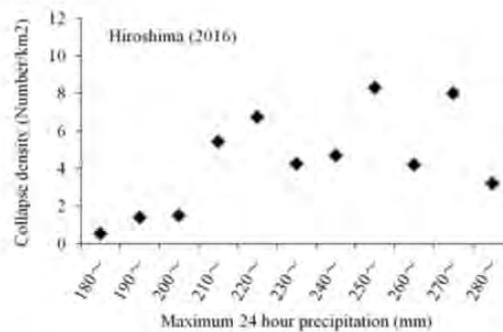
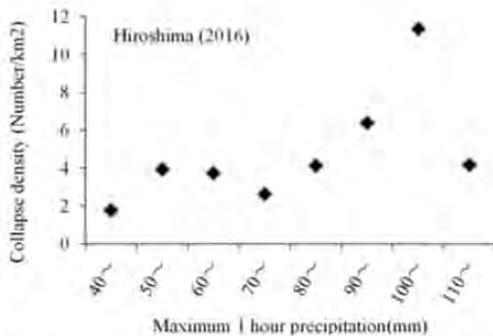


図. 2016年広島災害についての最大時間雨量と崩壊密度との関係

広島災害については、1時間雨量と密度が調和的であるのに対し24時間雨量は210mmを超えると密度はほぼ一定であった。

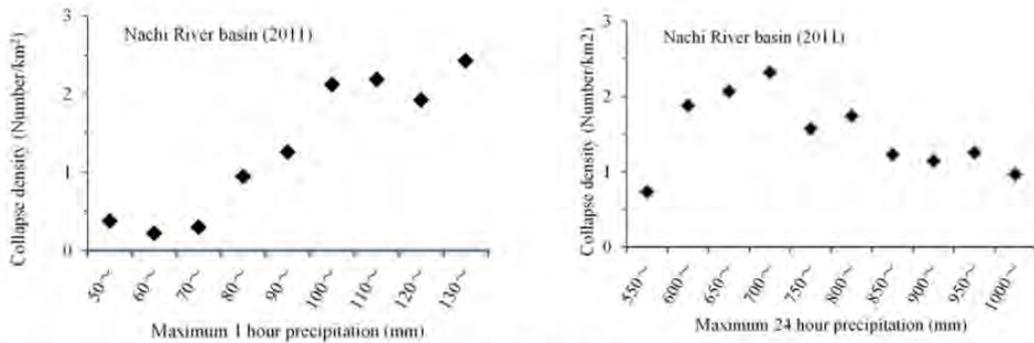


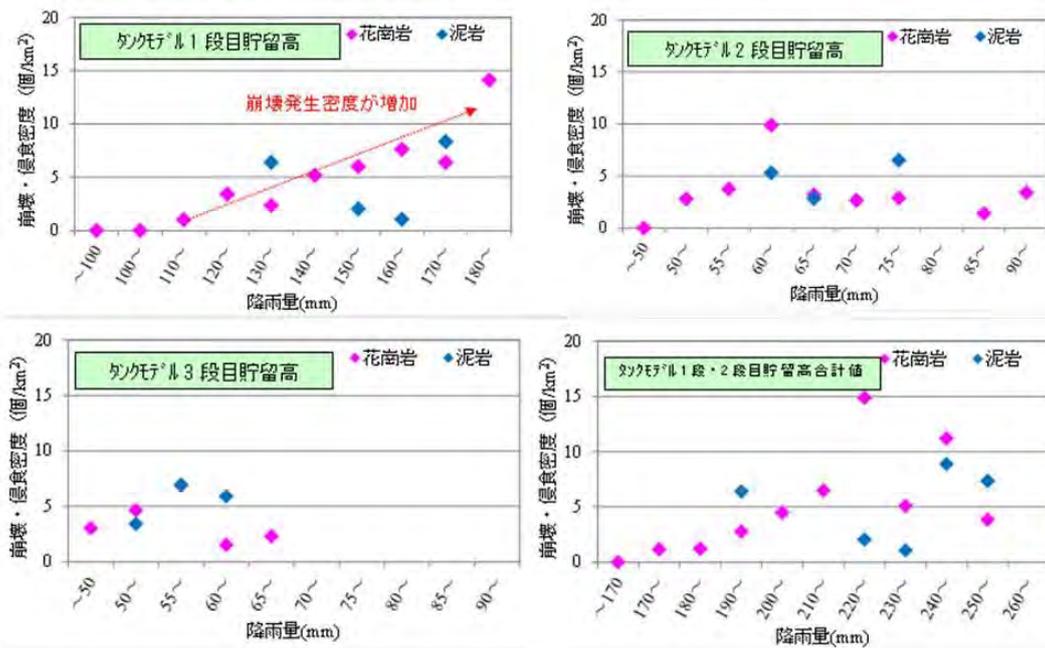
図. 2011年那智川災害についての最大時間雨量と崩壊密度との関係

那智川災害については、1時間雨量と崩壊密度が調和的であるのに対し、24時間雨量は750mmを超えると密度は低下している。

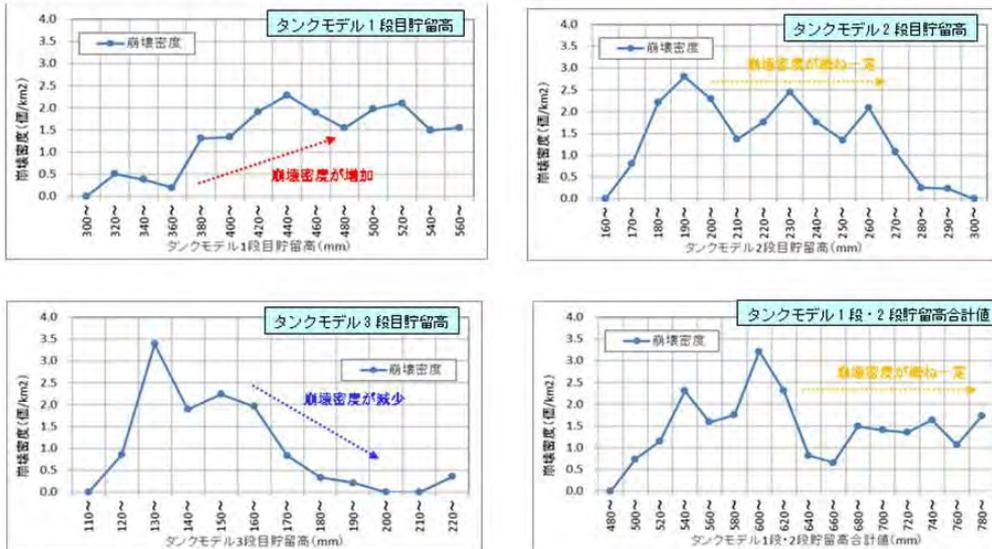


2014年の広島災害と2011年の那智川災害については、ともに短時間の急激な雨量の増加が要因になったと考えられる。

◎タンクモデルの計算結果(2014広島)



◎タンクモデルの計算結果(2011那智勝浦)



## 5.おわりに

・本研究では、4件の災害について雨の降り方と崩壊の発生形態との比較を行い、2件の災害について降雨分布と崩壊分布との関係について検討した。

・その結果、降雨が長時間及ぶ場合は崩壊深が大きくなること、短時間で大きな降雨だった場合は崩壊面積が大きくなる可能性があることが分かった。

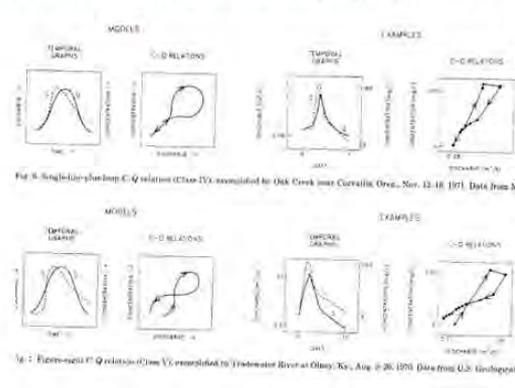
・また、2014年の広島災害と2011年の那智川災害については、ともに短時間の急激な雨量の増加が要因になったと考えられることが分かった。

・今後は2009年防府災害と1999年広島災害についても降雨分布と崩壊分布の関係を整理し、雨の降り方が崩壊の形態に及ぼす影響について検討したいと考えている。

# 荒木川における 水文流砂観測について

## (1)はじめに

- ・近年、全国で水文流砂観測が実施されている。流砂量を把握することは、砂防計画立案や流域の土砂管理に不可欠な情報である。
- ・河川流水中の土砂濃度と河川流量との間には線型関係になく、ヒステリシスが存在することが知られている(例えばWilliams(1989))。
- ・ヒステリシスから得られる情報(いわゆる、右ループ、左ループ等)から、上流域での崩壊発生等の土砂生産について知ることができると考えられる。
- ・本研究では、**下流での濁度観測により、上流での崩壊の発生、それに続く土石流の発生を予見することにより、警戒避難情報として活用**に資する基礎的調査および分析を行うことを目的とする。また、砂防えん堤による濁度伝搬の効果についても検討を進める。

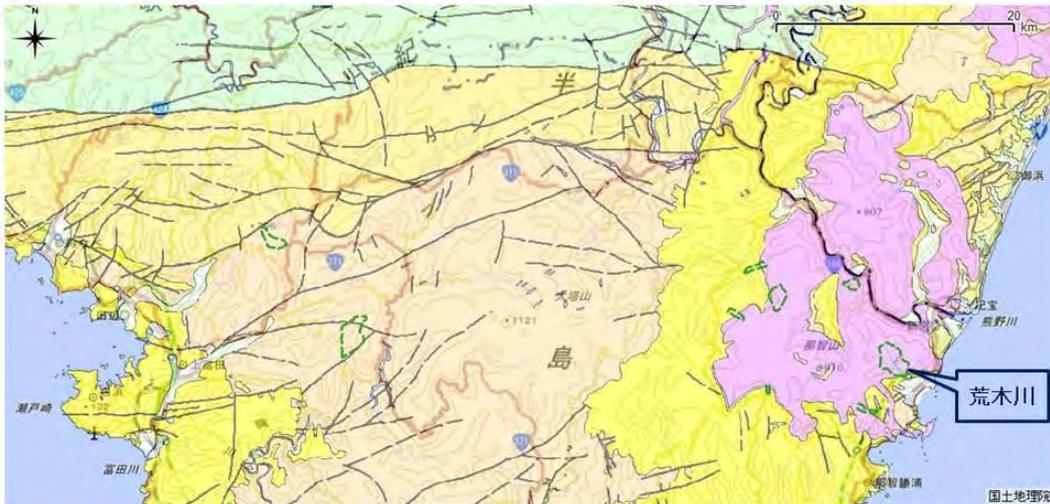


Williams(1989)より引用

## (2) 調査地と調査・観測方法(調査地概要)

### ■ 調査地概要

- ・荒木川は、紀伊半島南部にある二級河川佐野川の支川である。
- ・主に花崗斑岩からなり、流域面積約3.2km<sup>2</sup>。
- ・平成23年台風12号による流域内で多数の崩壊および流木の流出があった。

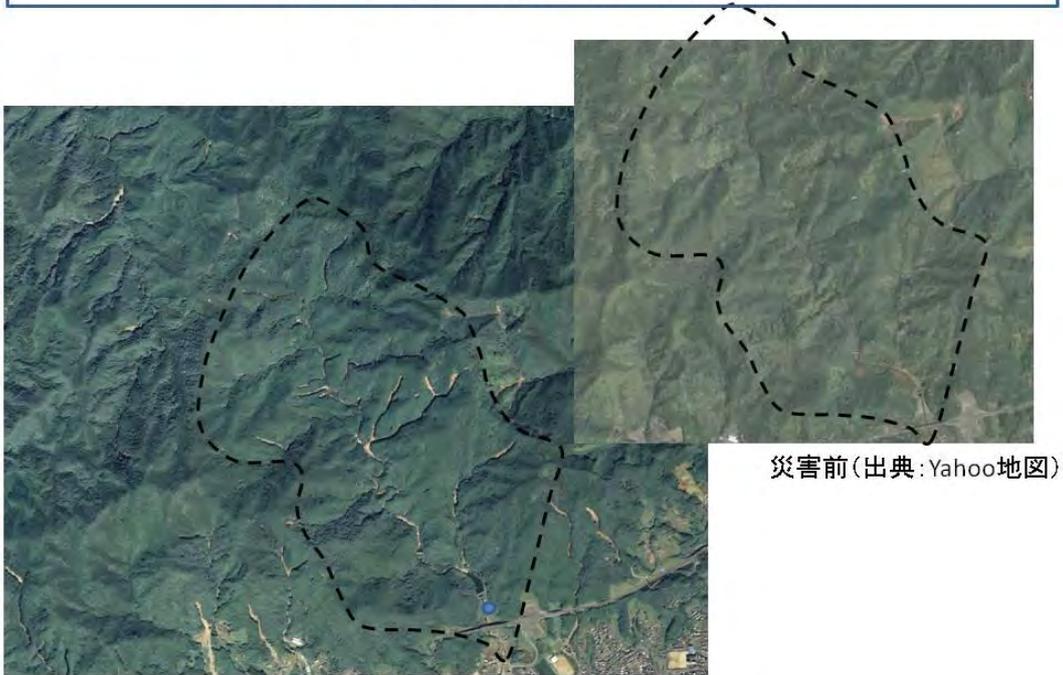


## (2) 調査地と調査・観測方法(流域の概要)



- ・H23台風12号では支溪流で崩壊が発生しているが、本川への流入は少ない。
- ・既設堰堤(不透過型2基)はH23台風の流出土砂をすべて捕捉。
- ・流木が下流に流出し、橋梁閉塞による浸水被害が発生。
- ・H26年に透過型堰堤を設置。H27年以降に流木補足工を設置。
- ・工事区間の上流に人道橋があり民家等もないため、濁度計設置および観測は容易。(倉庫や事務所有り)
- ・上流に不透過型堰堤2基、透過型堰堤1基が設置されており、豪雨時の観測でも比較的安全、大規模センターから車で15分(佐野IC近く)。付近にコンビニ有り。

## (2) 調査地と調査・観測方法(流域の概要2)



災害前(出典:Yahoo地図)

災害後(和歌山県林業振興課撮影 撮影日H23.9)

## (2) 調査地と調査・観測方法(観測機器の設置状況)



## (2) 調査地と調査・観測方法

### ■ 調査状況(台風11号7月16・17日)



採水状況



河川状況  
7月17日 7:20



水質調査状況



## (2) 調査地と調査・観測方法

### ■ 連続観測

- ・濁度, 水位観測(Site1, Site2)
- ・タイムラプスカメラ
- ・土砂移動時刻ロガー(崩壊地, 流木)
- ・流砂サンプラー(Site1, Site2)

### ■ 出水時観測(Site2)

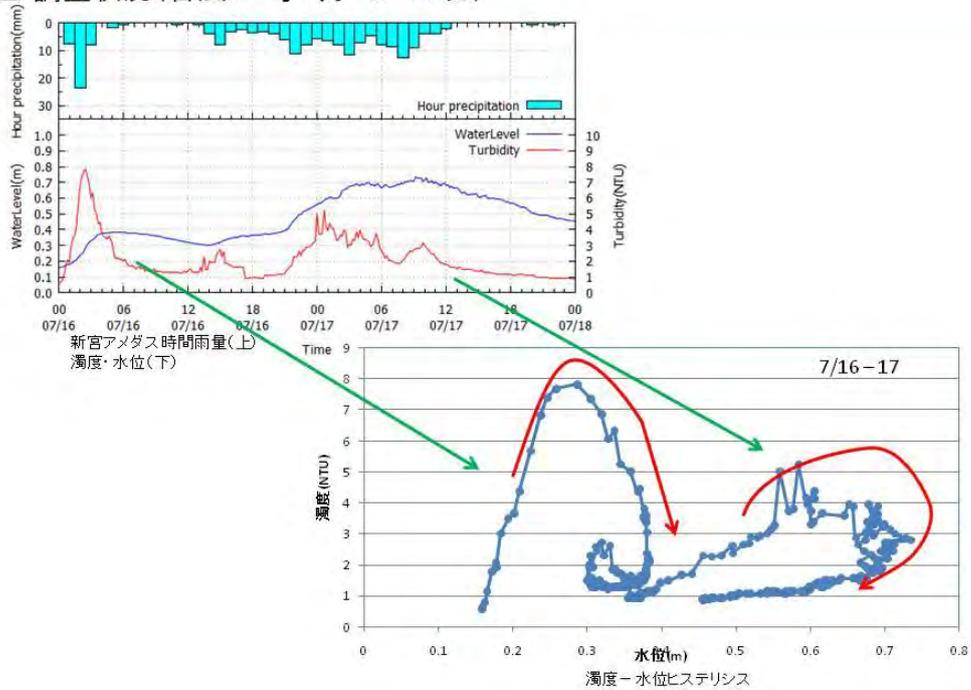
- ・採水
- ・流速測定(浮子)
- ・水質測定(EG, 濁度, 水温, pH)
- ・流況観察

### ■ 現地踏査

- ・崩壊地調査
- ・流木堆積調査
- ・立木調査
- ・トータルステーションによる縦横断測量(Site1, Site2)

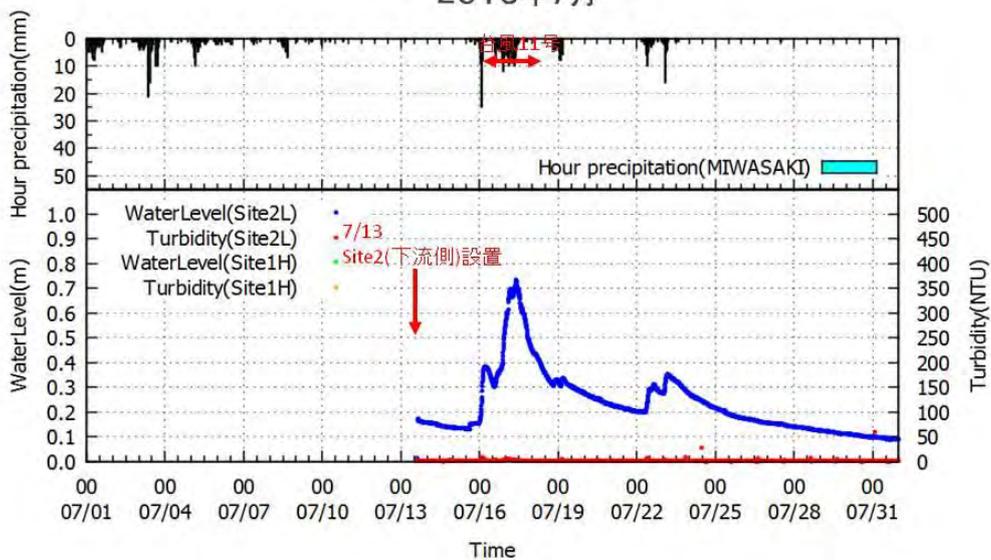
### (3) 調査・観測結果

#### ■ 調査状況(台風11号7月16・17日)



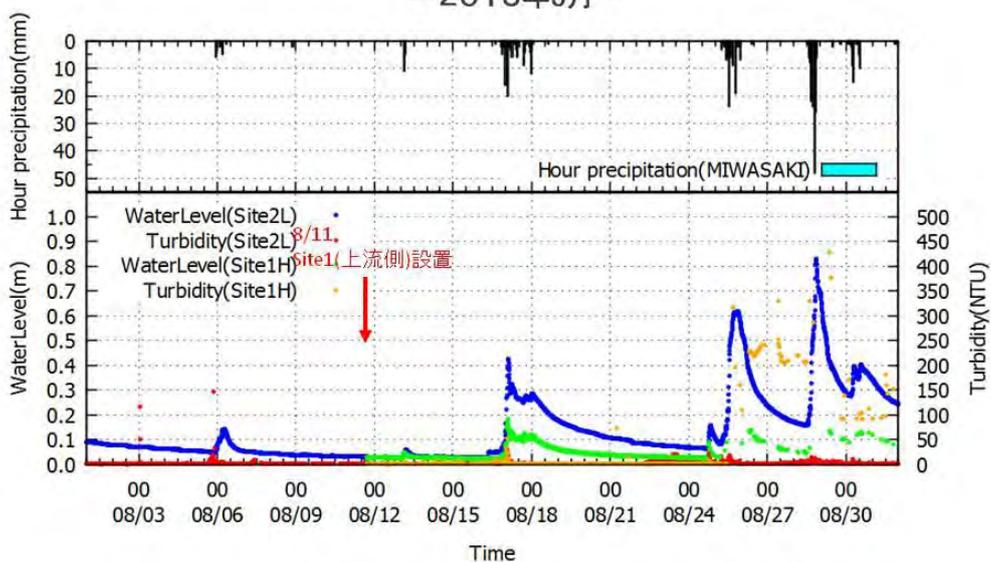
### (3) 調査・観測結果

(上段) 三輪崎(県) 時間雨量  
(下段) 荒木川 水位・濁度  
-2015年7月-



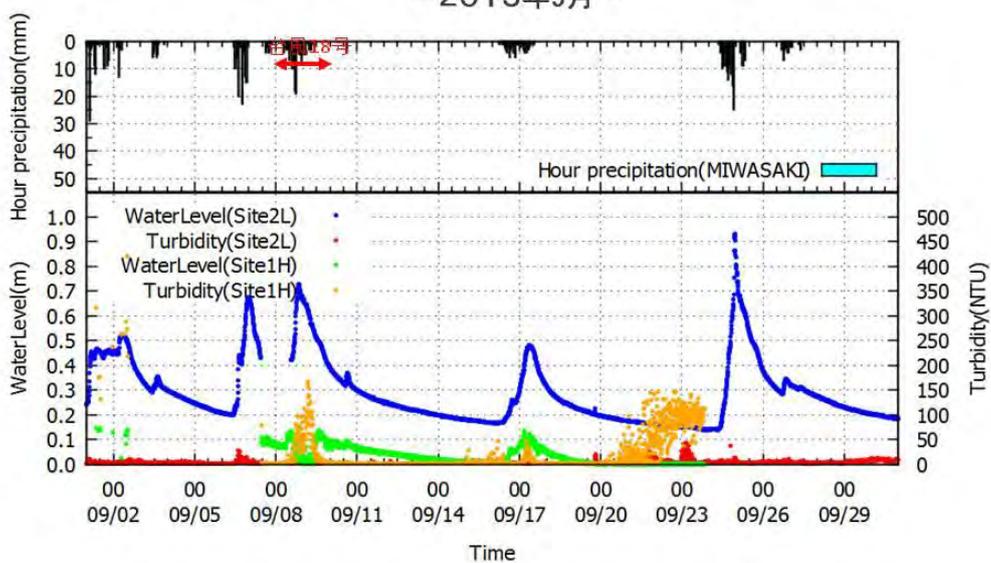
### (3) 調査・観測結果

(上段) 三輪崎(県) 時間雨量  
 (下段) 荒木川 水位・濁度  
 -2015年8月-



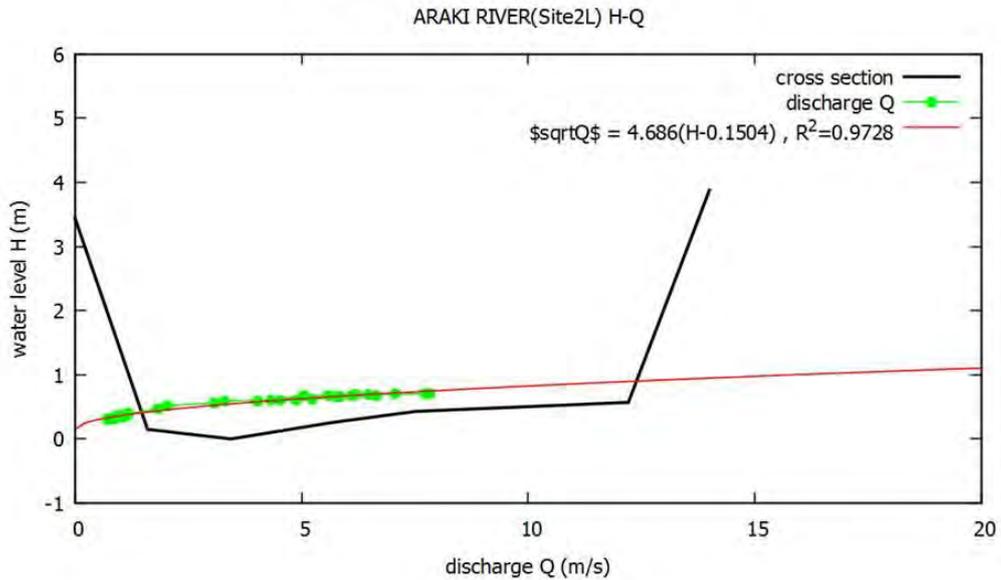
### (3) 調査・観測結果

(上段) 三輪崎(県) 時間雨量  
 (下段) 荒木川 水位・濁度  
 -2015年9月-



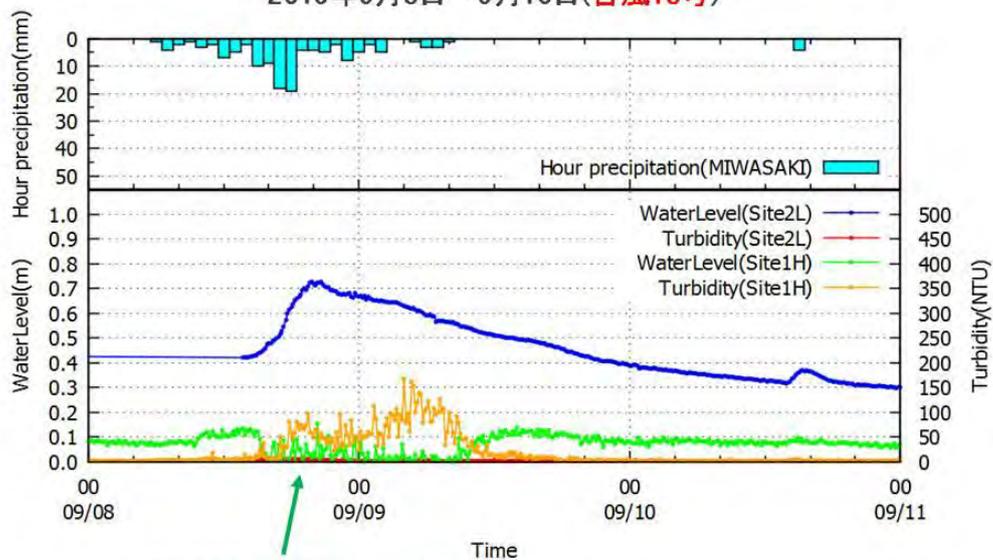
### (3) 調査・観測結果

荒木川 水位－流量曲線  
(台風11号時データより作成)



### (3) 調査・観測結果

(上段) 三輪崎(県) 時間雨量  
(下段) 荒木川 水位・濁度  
—2015年9月8日～9月10日(台風18号)—



Site2(上流側)の水位が降雨時に低下  
→水位計が増水により移動の可能性が高い

Site1(上流側)の濁度計・水位計状況について



当初設置状況(8/11)



現在の状況



濁度計の移動(9/2)  
→ クランプの追加補強



水位計・濁度計の移動(9/28)



#### (4)まとめ

##### ■ 観測結果

- ・下流側のSite2の濁度・水位観測において、右ループのヒステリシスが観測された。
- ・上流側のSite1においては、流水により、観測設備が影響を受け、正常な観測ができなかった。補強を行い対策を実施している。

##### ■ 今後の課題・予定

- ・Site1でのタイムラプスカメラ画像から、直上流の滝で発生する泡の影響の可能性があり、再度、観測箇所の検討を行う必要がある。
- ・また、出水時の流水採取のため、自動採水器の設置を行う。
- ・透過型えん堤でのハイドロフォン等の設置について調整を進める。
- ・崩壊状況の把握のため、UAV等による崩壊地測量を随時行う。

## 那智川(井関地区)における 洪水氾濫に関する研究

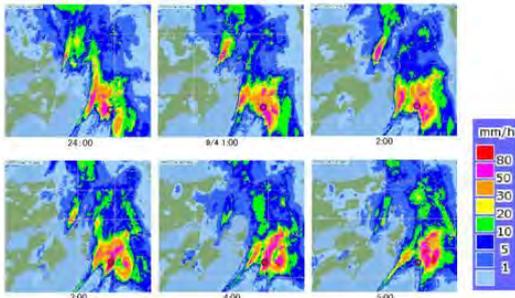
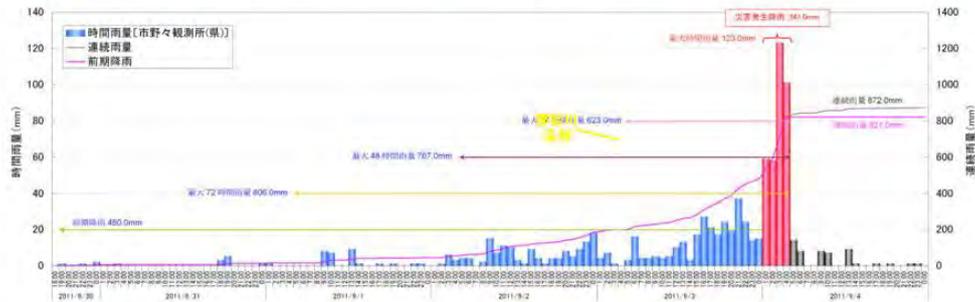
### 1 那智川流域の概要

流域面積: 24.8km<sup>2</sup> (源道橋地点16.2km<sup>2</sup>)  
 流路延長: 約7km



溪流名	流域面積
	km <sup>2</sup>
平野川	0.44
樋口川	0.81
内の川	0.31
陰陽川	2.79
金山谷川	1.37
尻剣谷川	0.29
蛇ノ谷川	0.59
鳴子谷川	0.52

## 2 平成23年(2011年)台風12号災害の概要(1)



対象降雨	災害発生降雨(市野々観測所)	
	降雨量	確率規模
最大時間雨量	123.0mm	概ね100年
最大3時間雨量	282.0mm	1000年以上
最大6時間雨量	370.0mm	概ね500年
最大24時間雨量	623.0mm	200~300年
最大48時間雨量	767.0mm	200~300年
最大日雨量	363.0mm	概ね100年

※降雨観測対象期間：平成23年8月30日17時～9月4日24時

被災時流量 404m<sup>3</sup>/s  
(和歌山県河川課資料)

## 2 平成23年(2011年)台風12号災害の概要(2)



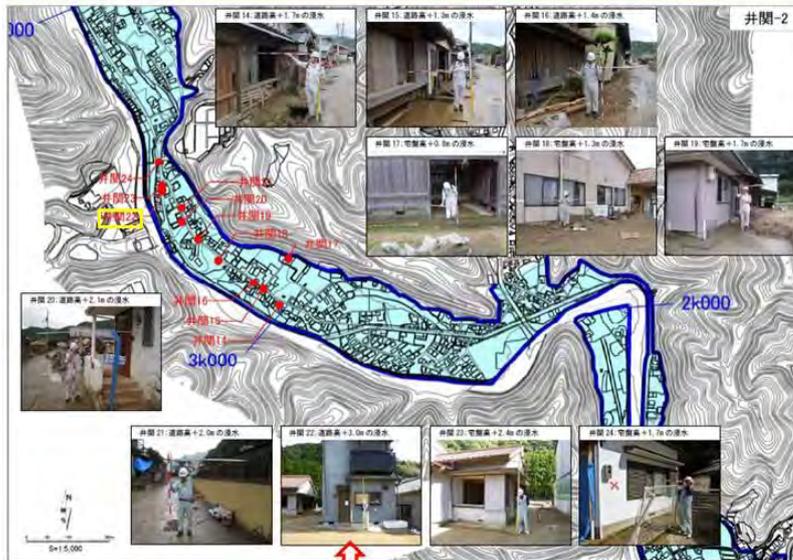
### 3 被災状況の把握(1)



### 3 被災状況の把握(2)



## 4 浸水状況



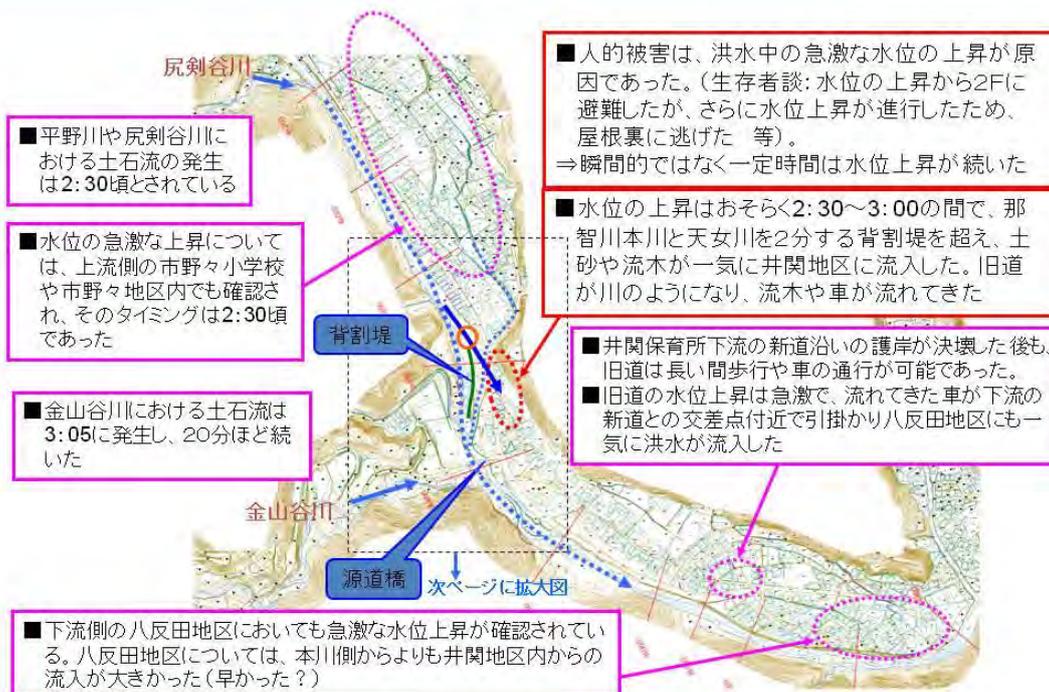
道路高+3.0mの浸水

(和歌山県浸水痕跡調査)

(慰霊碑の掲示板)

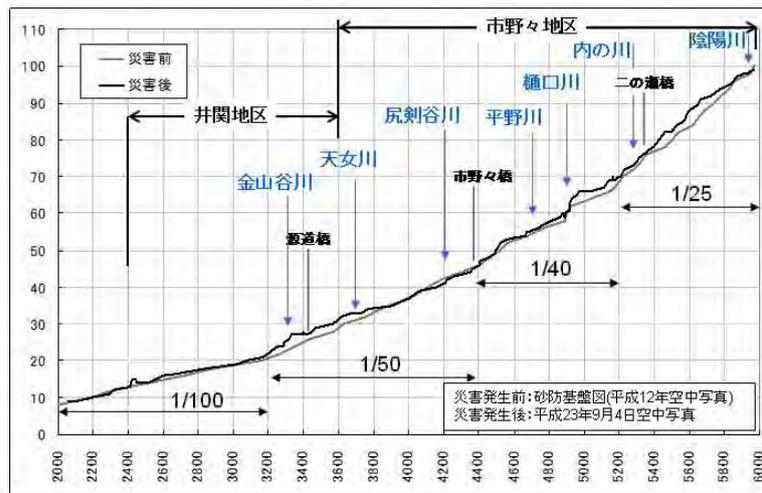


## 5 地元ヒアリング



## 6 平成23年災害時の土砂移動

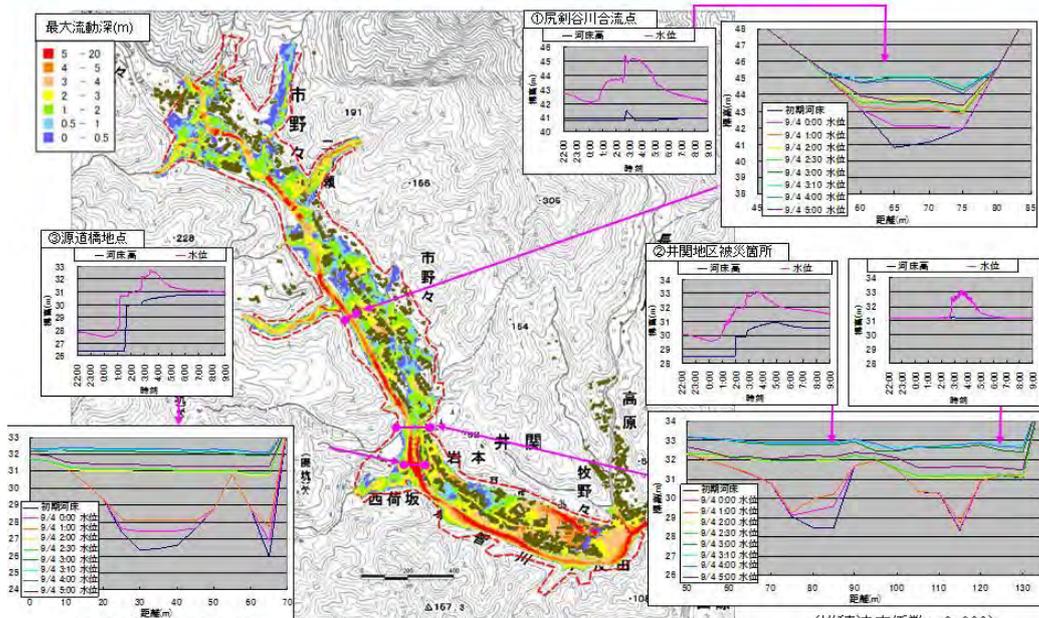
- 本川は、支川から流入した土砂により河床上昇の傾向にある。
- 井関地区のある源道橋付近は、全体的に2m~3m程度河床上昇している。
- 河床上昇は、勾配変化の影響、支川流入の影響等によるものと考えられる。



(木下ら2013)

## 7 数値シミュレーションによる再現計算

(木下ら2013)

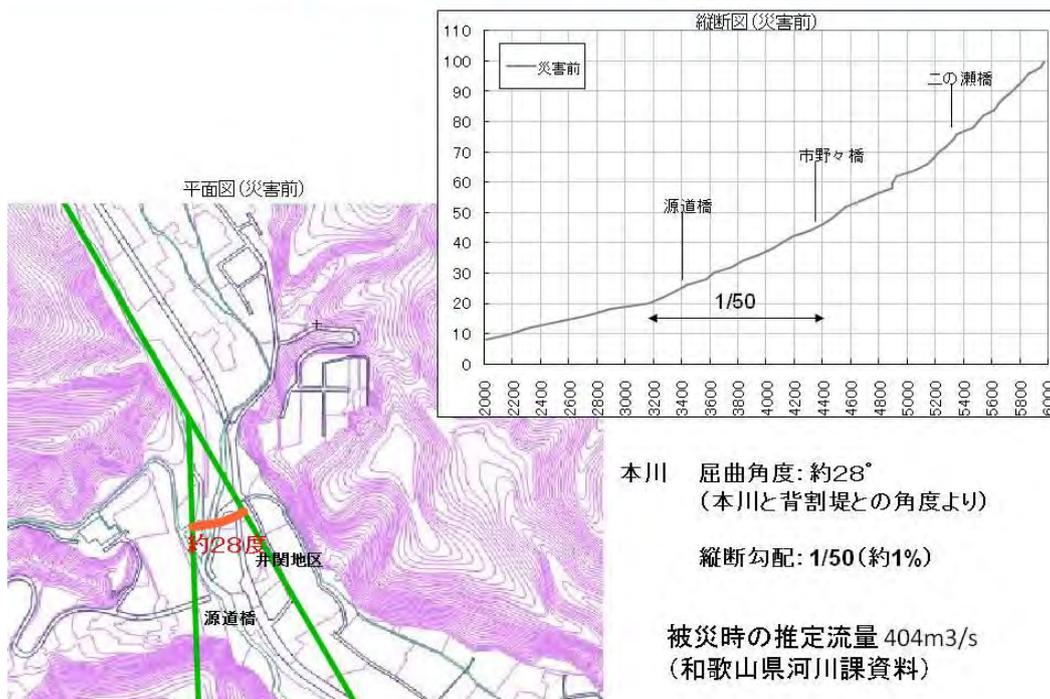


- ・井関地区内で2m程度の水位上昇を再現。
- ・急激な水位上昇の再現に至っていない。

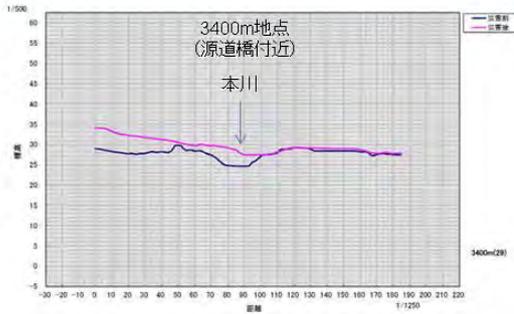
## 7 浸水被害メカニズムの推測

- ・源道橋上流那智川本川に土砂の堆砂  
→巨礫の影響？  
（井関地区上流は巨礫の堆積、  
現道橋直上流は細粒分の堆積）  
→流木の影響？（源道橋付近に流木の堆積）
- ・河床の上昇に伴い背割堤を本川が越流
- ・井関地区上流の屈曲部を本川が直進し、  
井関地区に直接流入  
→河道の屈曲の影響？

## 8 那智川 河道条件の整理(1)

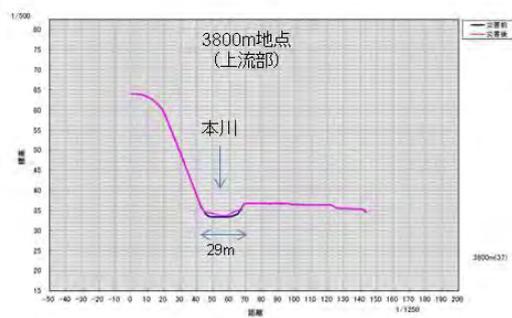
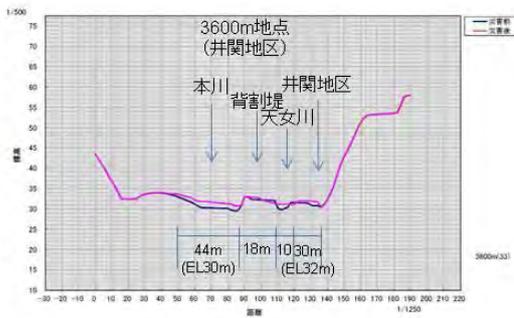


## 8 那智川 河道条件の整理(2)



災害前後横断図  
(空中写真測量データ)

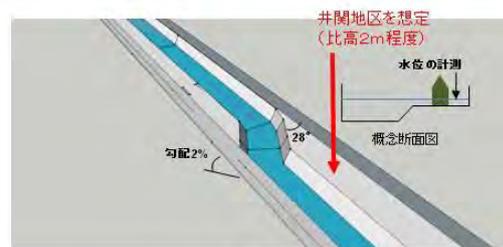
- ・井関地区(災害前)  
河床高30m  
地盤高32m (比高2m)
- ・上流部  
河道幅約29m



## 9 水理模型実験

実験条件

- ・勾配 2% (1/50)



概念図

実験ケース

	給砂		マウンド		流木	
	有	無	有	無	有	無
Case 1a	○		○			○
Case 1b		○	○			○
Case 2a	○			○		○
Case 2b		○		○		○
Case 3a	○		○		○	
Case 3b		○	○		○	
Case 4a	○			○	○	
Case 4b		○		○	○	

## 9 水理模型実験(イメージ)



京都府立大学 15m開水路

## 深層崩壊危険箇所から湧出する湧水の水文・水質特性に関する研究

### 1. 研究の目的・背景

#### ◇背景

和歌山県では平成23年台風12号豪雨や昭和28年、明治22年などに深層崩壊が発生している。このため、深層崩壊が発生する斜面を抽出することが必要。



深層崩壊危険箇所の抽出手法の1つとして、深層崩壊発生斜面からの湧水や渓流水の電気伝導度 (EC) が高くなることが注目されている。

地頭菌ら (2006)



深層崩壊推定頻度マップ

#### ◇課題

- ・ 既往研究では深層崩壊発生後の斜面での事例が多い。
- ・ ECの季節変化(温度)や降雨・流量との関係の調査事例は少ない。
- ・ ECは肥料の影響を受けて変化するなど人為的影響を受けやすい。

# 1. 研究の目的・背景

## 渓流水のEC値が人為的影響を受けている事例



皆平地区の大規模崩壊（平成23年9月発生）



非常に高いEC値（53.6mS/m）観測日H27.7

崩壊地近辺の渓流水のEC値は非常に高い値であった。上流にある大規模梅林の影響が考えられる。

（参考）紀州田辺梅林は明治22年の大水害で大蛇峰が半分に割れたように大崩壊した跡地の山肌に梅を植えたことが始まり。

# 1. 研究の目的・背景

## ◇目的

- ①将来的に深層崩壊の発生が予想される斜面（岩盤クリープ斜面）から湧出する湧水の水質（EC・水温）を継続的に観測し、季節変化に伴う湧水の水質の変化を確認する。  
→ EC計測に適する観測条件の解明
- ②湧水が流入する本川の上下流及び、湧水が存在しない岩盤クリープ斜面の上下流に水質計を設置し、本川の水質の変化を確認する。  
→ 湧水及び岩盤クリープ斜面の存在が本川の水質に与える影響を解明
- ③果樹園の上下流に水質計を設置し、本川の水質の変化を確認する。  
→ 人為的影響による水質の影響を解明

## 2. 調査手法

### ◇調査手法

#### ○事前調査

LPデータからの地形判読結果を基に現地調査を実施して**岩盤クリープ斜面の抽出**を行い、その中で**湧水が湧出している斜面**を選定する。

①**継続的な観測**を実施するため、**データロガー付き水質計**を用いる。

②水質計を湧水の**湧出箇所**や、湧水が本川の水質に与える影響を調査するため、**本川の湧水合流部の上下流**に設置する。

③湧水が存在しない**岩盤クリープ斜面**や**果樹園**など**人為的影響**を調査するため、それぞれの本川上下流に水質計を設置する。



地形図による地形判読



EC計(10分に1回計測)



湧水の湧出箇所に水質計を設置

## 2. 調査手法

### ◇調査手法

④水質の傾向を調査するため、採水して**イオン濃度分析**を実施し、**ヘキサダイアグラム**を作成する。

#### 調査項目

$\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$

#### ○その他

- ・湧水箇所に**タイムラプスカメラ**を設置し、**撮影・確認**を行う。

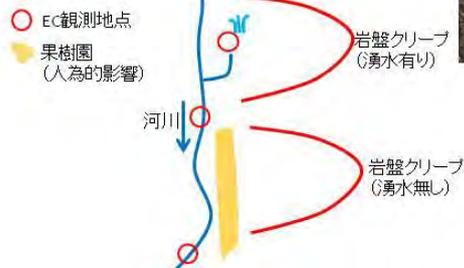


イオン分析用の採水実施



タイムラプスカメラによる撮影実施

### ◇観測イメージ図



## 2. 調査手法

### ◇調査時期

EC値を精度よく観測するためには、EC値に変化を生じさせる外的要因（**降雨の影響**）を避けて観測することが望ましい。このため降雨の少ない**冬季**を観測期間とした。

**人為的影響**：果樹園（人家）などに隣接、またはその下流に位置する河川のEC値は、肥料（家庭排水）などの影響を受けて高くなることもある。

**天候の影響**：また、河川のEC値は降雨（EC値が概ね0mS/m）の影響を受け、降雨時には低くなる。

**気温の影響**：ECは水温が高くなると併せて高くなるなど水温と関連がある。

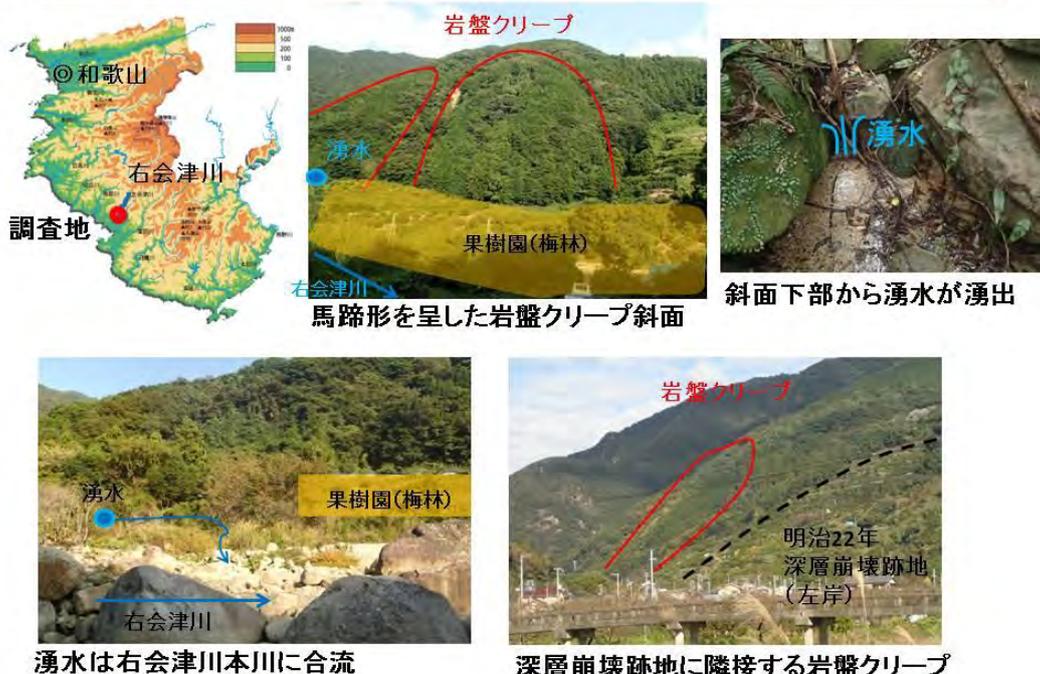
※梅の施肥の時期（和歌山県果樹園芸課HPより）

基肥4～5月、実肥6～7月、礼肥11～12月

※和歌山県南部の出水期（降雨が多い時期）

6月1日から10月30日まで

## 3. 調査地の概要



### 3. 調査地の概要



深層崩壊跡地は果樹園(柑橘類)



岩盤クリープは深層崩壊跡地に隣接する

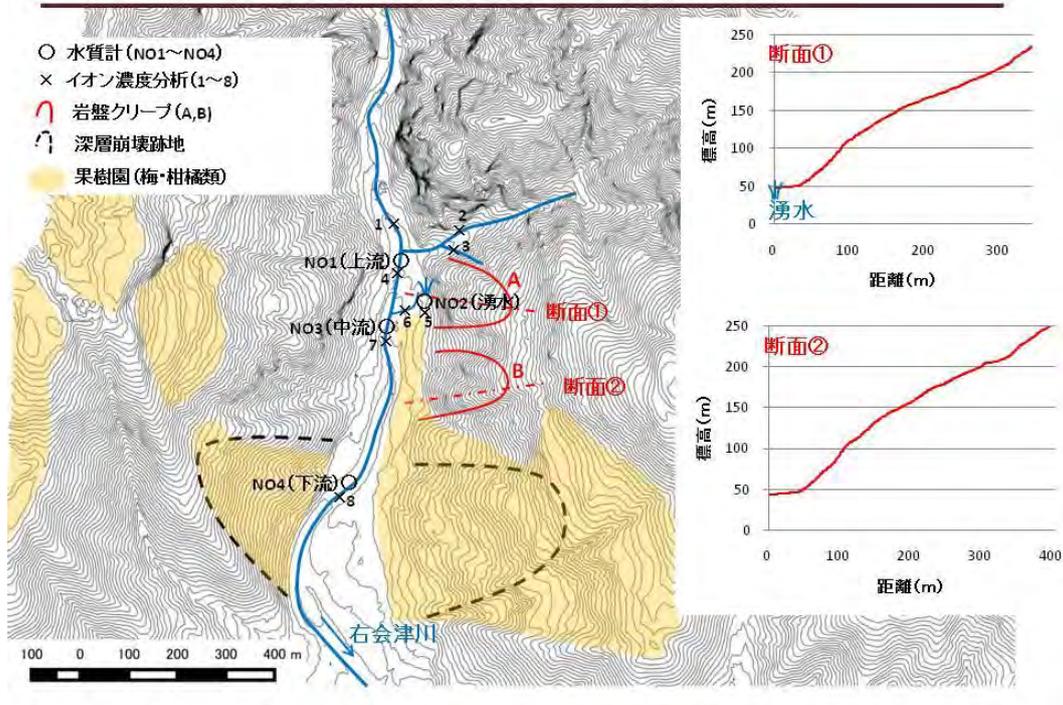


明治22年に旧上秋津村(現田辺市)で発生した深層崩壊及び河道閉塞

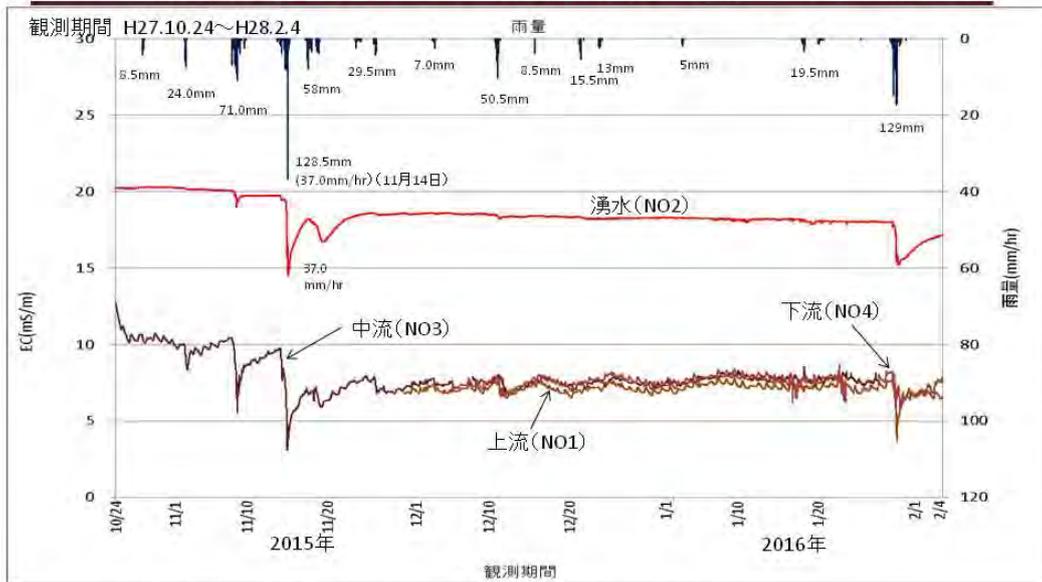


岩盤クリープ上部箇所。滑落崖や崖錐が見られる

### 3. 調査地の概要



## 4. 観測結果 (ECの降雨応答及び湧水と本川の関係)



- ・ EC値は降雨(EC値 0mS/m)の影響を受けて大きく低下し、その後緩やかに回復する。
- ・ 本川の中流(NO3)は上流(NO1)より常に高い値。これはECの高い湧水(NO2)の影響を受けているといえる。
- ・ 本川の中流(NO3)と下流(NO4)は一致。NO3とNO4の間ではECの高い湧水や地下水の流入は無いといえる。
- ・ 期間最大降雨(11月14日)後、降雨前の値までECが回復していない。湧水の水ミチに何らかの動きがあってECが低下した可能性が考えられる。

## 4. 観測結果

支溪流 調査地点3



撮影日: 平成26年12月4日

同一の木

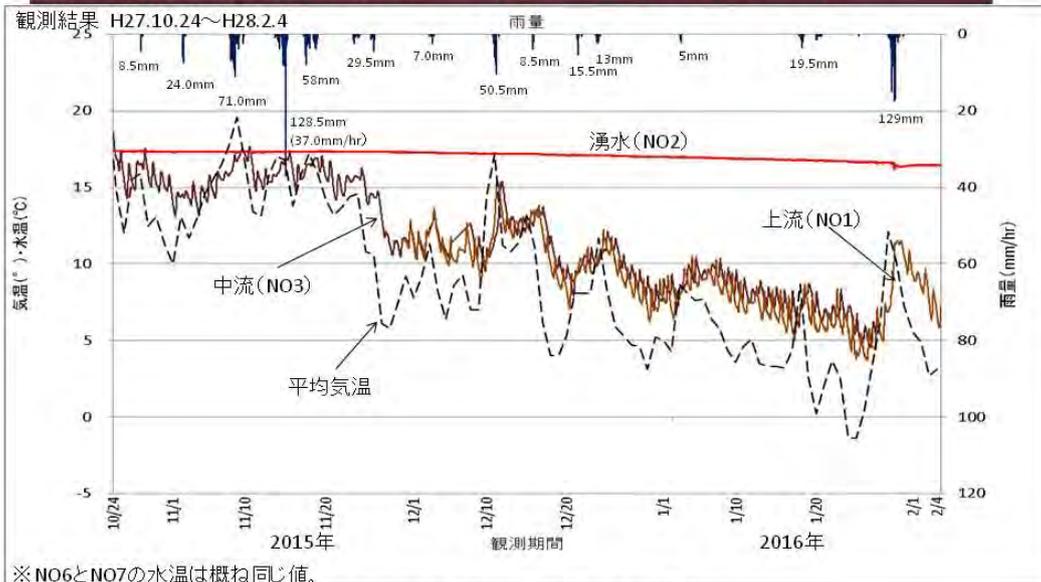


撮影日: 平成28年1月27日

- ・ 平成27年11月14日の降雨(累計雨量 128.5mm、時間最大37.0mm/hr)により、支溪流において土砂移動が発生したことを確認。



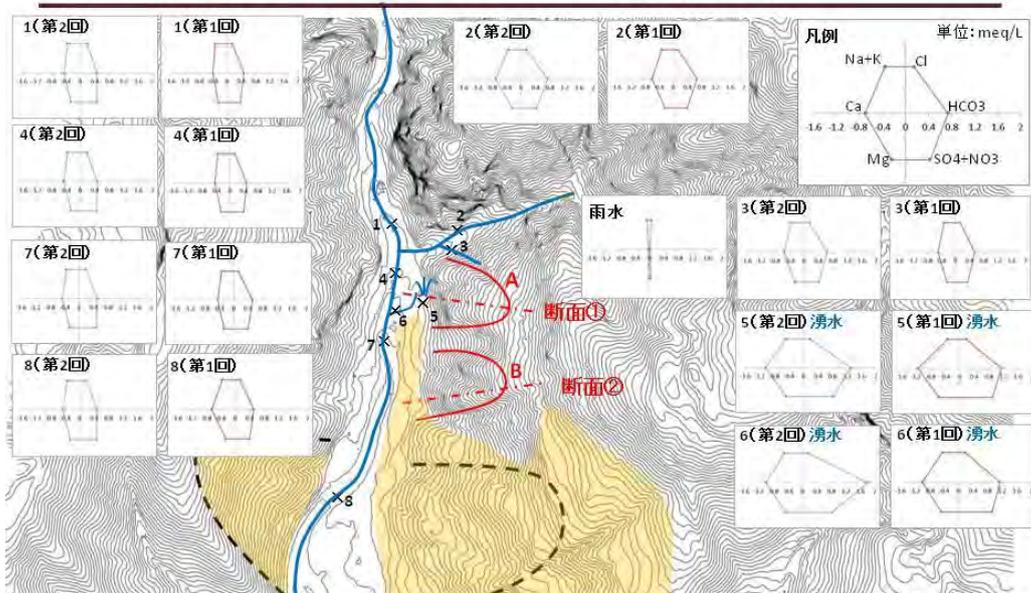
## 4. 観測結果(水温と気温・雨量の関係グラフ)



- ・湧水の水温は概ね一定である(平均気温の低下に応じて若干低下)。
- ・本川の水温は平均気温と関連性がある。
- ・本川の湧水合流箇所の上流において水温の差(湧水による影響)は見られない。

## 4. 観測結果(イオン分析)

第1回調査: H27.10.21  
第2回調査: H28.1.27



- ・湧水は周囲と比較してCa<sup>2+</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>のイオン濃度が高く、重碳酸カルシウム型地下水(Ca-HCO<sub>3</sub>型・循環性地下水)に分類される。また、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>やMg<sup>2+</sup>も比較的高い。
- ・第1回調査の地点7,8でCaイオンが1.5倍の差がある。これは梅林で使用される石灰の影響と考えられる。

## 5. まとめ

◇本川の湧水合流部(岩盤クリープ斜面)の上下流において、湧水の影響を受けて本川のECは変化するが、湧水の存在しない岩盤クリープ斜面の上下流においては、本川のECに変化はない。



○山地河川などでECを縦断方向に観測し、その変化を捉えることは岩盤クリープ斜面など**深層崩壊危険斜面の存在を検知できる可能性がある。**

○本川沿いに危険斜面が複数存在する箇所ではECの縦断変化を観測することは、複数ある斜面の中で**相対的な崩壊危険度判定できる可能性がある。**

○本川のEC値

$$EC_a > EC_b = EC_c$$

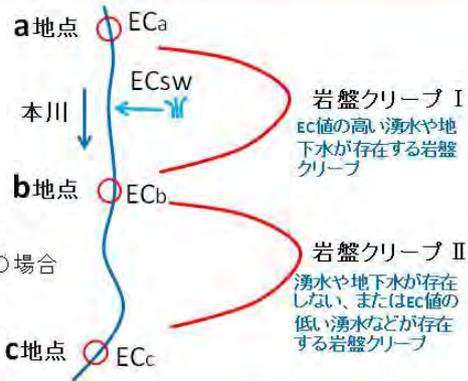
- ・a地点とb地点ではa地点のEC値が常に高い
- ・b地点とc地点ではEC値が常に同じ



崩壊の危険度  $I > II$  と判定できる可能性  
※ 但し  $EC_{sw} > EC_a, EC_b, EC_c$  の場合

○観測時期

流量が増える降雨時は本川ECの変化を捉えることは困難 → **渇水期の調査が適している**



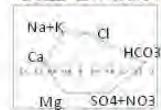
## 5. まとめ

平成23年台風12号で発生した深層崩壊発生場における水質分類(ヘキサダイアグラム)

- ・赤谷地区 Ca-HCO<sub>3</sub>型(区分I:浅い地下水、循環型地下水)、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の濃度も高い。
- ・清水地区 Na<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>が卓越(地下水検層の塩分が残っている可能性あり)
- ・北股地区 Ca-HCO<sub>3</sub>型(区分I:浅い地下水、循環型地下水)
- ・熊野地区 Ca-HCO<sub>3</sub>型(区分I:浅い地下水、循環型地下水)  
一部にNa-HCO<sub>3</sub>型(区分II:深い地下水、滞留型地下水)が見られる。

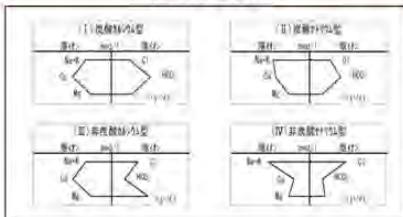
◇深層崩壊発生場付近の湧水や地下水は、Ca-HCO<sub>3</sub>型(循環型地下水)に分類される事例が多い。 → 調査地の湧水もCa-HCO<sub>3</sub>型

調査地の湧水



○循環型地下水は降雨応答性が高いと考えられ、崩壊が発生し易いのではないかと → 全国の崩壊事例を調査していく。

各種ヘキサダイアグラムの型



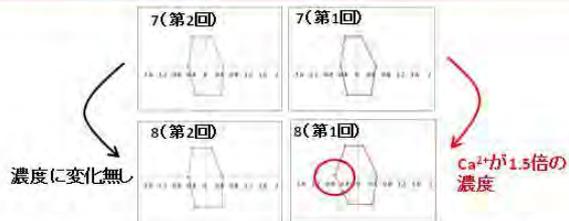
- ・北野ら HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>やCa<sup>2+</sup>の濃度は岩石崩壊を予知するための有効な手段。
- ・高橋ら 深層崩壊発生場(宮崎県鰐塚山)付近のHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>やCa<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>が高い。

区分	分類	代表地
I	浅層型(循環型)	赤谷・清水・北股
II	深層型(滞留型)	熊野(深層型)・高橋(深層型)
III	赤谷型(高濃度型)	赤谷・清水・北股
IV	高橋型(高濃度型)	高橋
V	Na-HCO <sub>3</sub> 型	赤谷・清水・北股

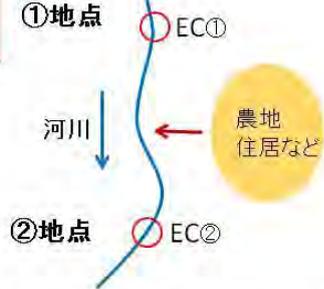
## 5. まとめ

◇観測時期によって特定のイオン濃度が高くなる。

○湧水の影響ではなく、人為的な影響による変化の可能性。  
岩盤クレープの湧水で高くなるイオン濃度と人為的影響により高くなるイオン濃度を分析することで、**人為的影響を排除できる可能性がある。**



・時期によってEC①とEC②に差  
・人為的影響の可能性あり



◇日本の農地では一般的に硝酸イオン( $\text{NO}_3^-$ )の濃度が高いと言われており、施肥量を調節する参考地としてECが用いられている。(出展: 土壤物理実験法)

○農地等の近傍では $\text{NO}_3^-$ は指標とならない可能性がある。

→ 調査地によって不適となる項目(イオン濃度)があることに留意が必要

## 高感度地震観測網(Hi-net)を利用した 大規模土砂移動の振動特性に関する研究

---

### 1. 研究の目的・背景

---

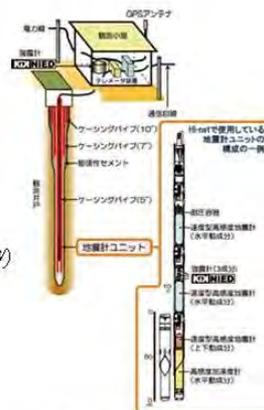
平成23年台風12号では和歌山県内の広範囲で1,000mmを越える連続雨量を記録し、深層崩壊や河道閉塞、土石流が多数発生し甚大な被害が生じたが、被害地が広範囲に及んでいたため、その全容の把握に時間を要した。これらの課題を解決するツールの1つとして地震計の活用が挙げられる。大規模土砂移動の検知は一方で地震波形との区別がつきにくいという課題がある。本研究では、平成23年台風12号により和歌山県内で発生した大規模土砂移動のHi-netデータの解析を行い、震動特性の検討を行った。

## 2. 地震計の概要

Hi-netとは国立研究開発法人防災科学技術研究所の高感度地震観測網で、日本全国に約20km間隔、約1,000箇所の観測局がある。Hi-netの震動センサーの埋設深さは最低でも100m以上で微震動でも捉えることができる。



出典：防災科学技術研究所ホームページより



出典：防災科学技術研究所ホームページより



Hi-net那智勝浦観測局

## 3. Hi-net観測局の設置箇所

Hi-net観測局は和歌山県内に10か所、奈良県内に8か所設置されている。



高感度地震観測網(Hi-net)設置箇所図  
●解析に使用する観測箇所(十津川西・十津川東は欠測)

観測点コード	観測点名	設置所在地
N.URSH	橿野	三重県松原市橿野小塚町字次瀬296番地2
N.MGWH	富川	三重県多気郡六台町茂原字中大田503番地1
N.OWSH	花輪	三重県尾鷲市大字南津字小瀬野1697番地
N.KPOH	紀宝	三重県牟婁郡紀宝町大庭2837番地2
N.TTSH	太子	大阪府南河内郡太子町山田1221
N.YZEH	山形	奈良県山辺郡山形村大字巻屋2740-1
N.TRTH	天理	奈良県天理市天理町101, 102, 103
N.HYSH	東吉野	奈良県吉野郡東吉野村大字木津360-1
N.KRTH	桑滝	奈良県吉野郡桑滝村置原388
N.KAWH	川上	奈良県吉野郡川上村大字北和庄134
N.NAGH	那賀	和歌山県紀の川市平野2185-3
N.HNZH	花津	和歌山県伊都郡かつらぎ町大字花津北寺169番地
N.NKMH	野上	和歌山県海東郡紀美野町梅本24番1
N.HRKH	広川	和歌山県有田郡広川町大字下津木707
N.INMH	印南	和歌山県日高郡印南町山口1580-1
N.OTOH	大塚	和歌山県田辺市面川1414番地
N.KTDH	上置田	和歌山県東牟婁郡上置田町生馬1726-1
N.NKTH	那智勝浦	和歌山県牟婁郡那智勝浦町大字小匠字小匠ノ河60-2
N.SSMH	すさみ	和歌山県西牟婁郡すさみ町高野字持越169-1地先

## 4. 解析手法

観測局で計測された地盤振動データは周波数の異なるsin波の重ね合わせであるため、フーリエ変換により各周波数の振幅を数値化し、グラフ化する。また、大規模土砂移動の振動を抽出するため、バンドパスフィルタを用いてノイズを低減している。なお、大規模土砂移動の振動と平常時の振動を比較するため、平常時の周波数も併せて数値化してグラフ化している。

○現象別による振動特性一覧

現象種別	卓越振動数	継続時間	初動
大規模土砂移動	0.5～5 Hz	数十秒程度 1分以上(土石流あり)	不明瞭で読取不可
遠地震 (数千km程度)	5 Hz以下	数十秒～数分	緩やかで読取困難
中地震 (数百km程度)	1～10 Hz程度	数十秒～数分	読取困難な場合あり
微小地震 (100km程度以内)	10 Hz以上	10数秒～数十秒	鋭く読取可
交通振動	5 Hz以上	数秒～10数秒	パルス的

誤検知する可能性がある

※ 振幅が大規模土砂移動と同程度のものに限定

## 5. 振動特性解析に使用する深層崩壊

○解析に用いる崩壊個所は、平成23年9月に発生した深層崩壊の中で、規模が大きく河道閉塞が発生した次の4か所とした。

	栗平	赤谷	長殿	熊野
斜面崩壊高(m)	450	600	400	250
斜面崩壊幅(m)	600	460	340	440
崩壊土砂量(万m <sup>3</sup> )	2,513.3	935.4	634.4	474.1



図-1 大規模土砂移動とHi-net観測局の位置関係

## 6. 解析結果

	卓越周波数(Hz) 上段:各観測局で重複周波数 下段:各観測局で最大・最小周波数	想定崩壊時刻	参考: 想定崩壊時刻 (Yamada et al.2012)	伝播速度 (km/s)
栗平	0.5~2 (0.2~10)	9月4日 8:06:05	9月4日 8:06:13	3.0
赤谷	1~3 (0.2~11)	9月4日 16:22:14	9月4日 16:22:15	3.6
長殿	1~3 (0.5~3)	9月4日 10:45:53	9月4日 10:45:54	3.3
熊野	0.8~2 (0.5~2)	9月4日 6:54:05	9月4日 6:54:04	3.6

○4箇所の深層崩壊箇所の卓越周波数は、全ての観測局で1~2Hzが卓越している。  
観測局によって卓越周波数は0.2~11Hzと幅がある。

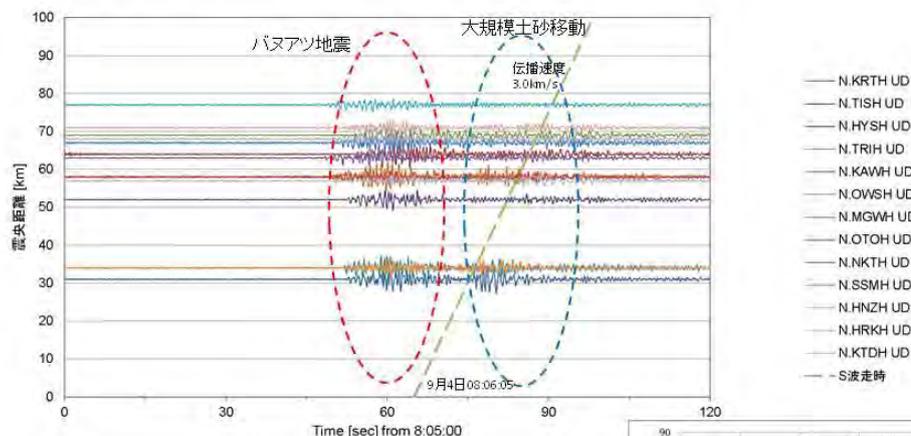
○伝播速度は、各観測局で捉えたオリジナルデータの最大振幅時刻と震央(大規模土砂移動発生箇所)からの距離の関係から算出したところ、3.0km/s~3.6km/sであった。  
これは地震波のs波速度(約4km/s: 気象庁ホームページより)に近い。  
※バンドパスフィルタを用いたノイズ除去は行っていない。

○想定崩壊時刻は伝播速度と震央からの距離から逆算している。栗平の時刻を除けば、Yamada et al.2012による時刻と概ね一致している。

※ Yamada et al.2012の報告と時刻が一致しない理由

- ・解析に用いた観測局が異なる。
- ・※ Yamada et al.2012はバンドパスフィルタを用い、特定周波数(1Hz・0.1Hz)で解析している。

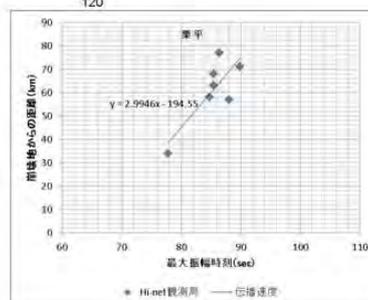
### 1 栗平(レコードセクション)



最初の振動波形、栗平の発生位置と距離の関係に矛盾が生じる(伝播速度が負となる)ため、異なる振動波形(地震波形)といえる。  
※バスマアツの地震発生は9月4日07時55分(日本時間)(気象庁資料より)

各観測局のオリジナルデータの最大振幅時刻から求めた伝播速度は3.0km/sであり、そこから想定される最大振幅発生時刻(土砂移動量が最も大きい時刻)は9月4日08時06分05秒であった。  
バンドパスフィルタを用いたノイズ除去は行っていない。

※ Yamada et al.2012 では発生時刻は9月4日08時06分13秒



## ※ バヌアツの地震(遠地地震)

### 9月4日 バヌアツ諸島の地震

2011年9月4日07時55分(日本時間)、バヌアツ諸島の深さ166kmでMw7.0(Mwは気象庁によるモーメントマグニチュード)の地震が発生した。この地震はインド-オーストラリアプレート内部で発生した。この地震の発震機構(気象庁CMT解)は東北東-西南西方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。

気象庁は、同日08時25分に「遠地地震に関する情報」(日本国内向け、日本への津波の影響なし)を発表した。

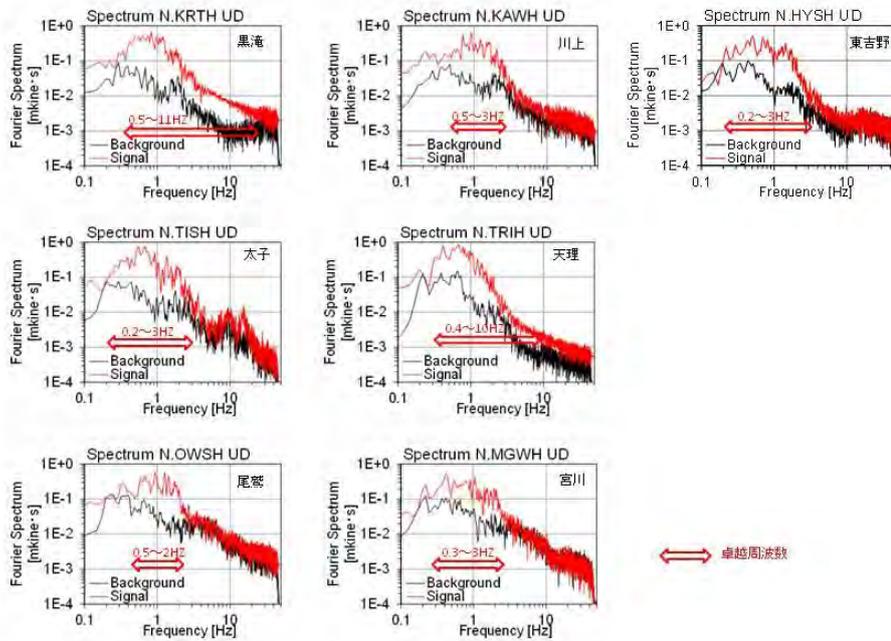
今回の地震の震央周辺では、M7.0以上の地震が度々発生している。

表1 平成23年(2011年)9月に世界で発生したM6.0以上または被害を伴った地震の震源要素等

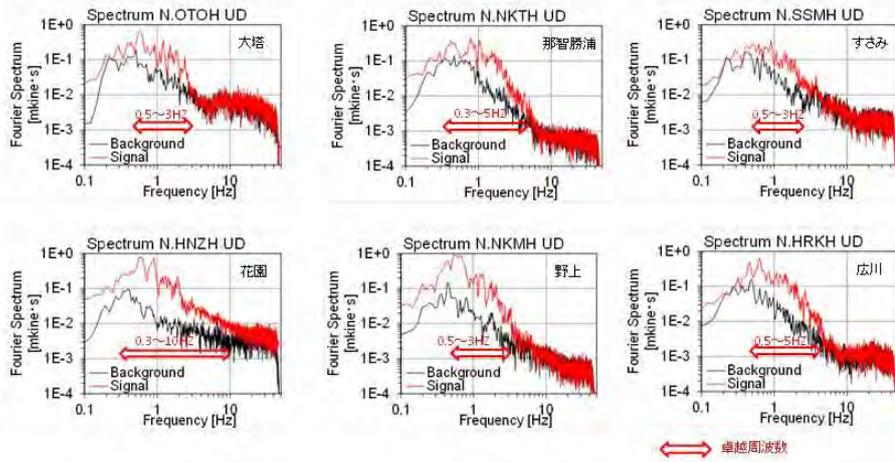
番号	地震発生時刻	緯度	経度	深さ(km)	Mb	M <sub>s</sub>	M <sub>w</sub>	震央地名	備考 (被害状況など)	北 西	印 洋	遠 地
1	09月01日15時14分	S12° 21.8'	E166° 39.5'	39	5.7	5.6	6.1	サンタクルーズ諸島				
2	09月02日19時55分	N52° 14.4'	W171° 45.2'	32	6.4	6.9	(6.8)	アリューシャン列島フォックス諸島				○
3	09月02日22時47分	S28° 23.5'	W 63° 03.7'	578	6.4		6.7	アルゼンチン、 サンティアゴデロスエステロ州				
4	09月03日13時48分	S56° 27.0'	W 26° 50.8'	84	6.1		6.4	サウスサドウィッチ諸島				
5	09月04日07時55分	S20° 38.7'	E169° 44.8'	166	6.4		(7.0)	バヌアツ諸島				○
6	09月05日18時51分	S15° 16.2'	W173° 34.1'	27	6.2	6.2	6.3	トンガ諸島				
7	09月06日02時55分	N 2° 57.3'	E 97° 54.9'	91	6.6		6.8	インドネシア、スマトラ北部	死者10人以上			○
8	09月10日04時41分	N49° 32.1'	W126° 53.7'	22	6.3	6.4	6.5	カナダ、バンクーバー島				
9	09月13日07時44分	S 3° 37.9'	E144° 10.6'	14	5.8	5.7	6.0	バブアニューギニア、ニューギニア北岸				
10	09月15日03時10分	N53° 08.2'	E173° 01.3'	15			6.0	アリューシャン列島ニア諸島				
11	09月15日16時53分	S35° 25.8'	W177° 52.6'	13			6.1	ニュージーランド北島東方				
12	09月15日17時00分	N36° 15.3'	E141° 29.0'	51		(6.3)	(6.2)	茨城県沖				
13	09月16日04時31分	S21° 33.5'	W179° 22.0'	626			(7.3)	フィジー諸島				○
14	09月17日04時26分	N40° 15.5'	E143° 05.1'	7	8.1	(6.6)	(6.6)	岩手県沖				
15	09月17日06時08分	N40° 14.8'	E143° 12.7'	4	5.7	(6.1)	(5.9)	三陸沖				
16	09月18日21時40分	N27° 43.0'	E 88° 08.1'	50	6.6	6.7	(6.9)	インド、シッキム州	死者108人以上、負傷者多数、建物被害多数など			○
17	09月20日03時34分	N14° 19.9'	W 90° 08.5'	9	5.1		5.6	グアテマラ	死者1人以上			
18	09月23日08時07分	S15° 26.9'	W175° 18.5'	10	5.9	6.3	6.4	トンガ諸島				

※気象庁資料より

## 1 栗平(振動波形)

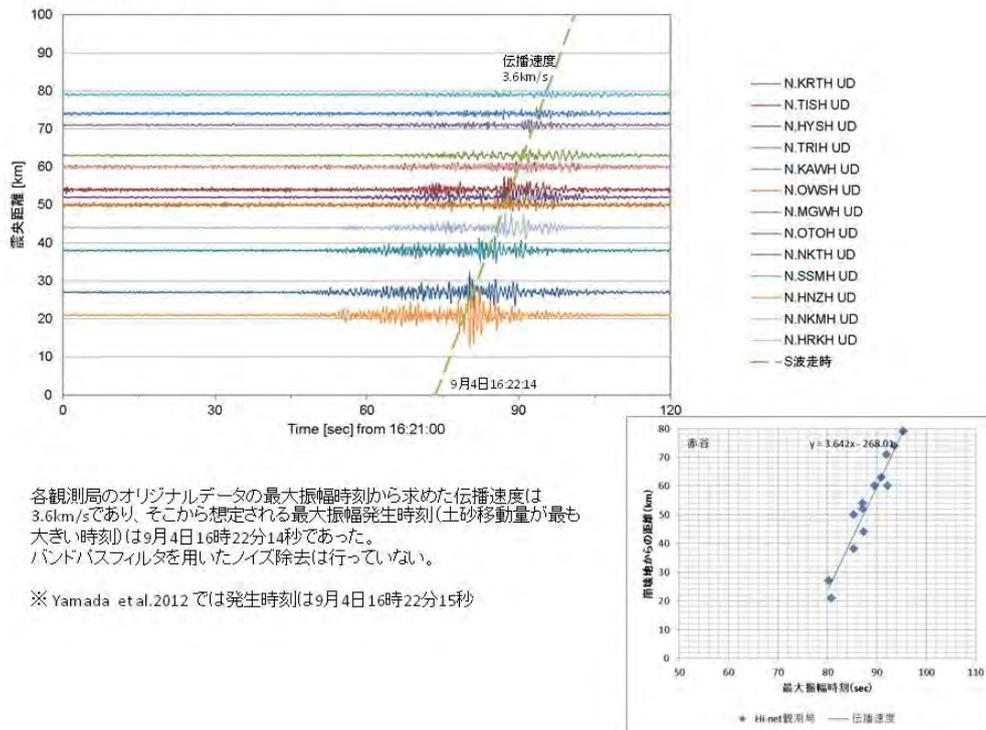


## 1 栗平(振動波形)



卓越周波数 : 0.5~2Hz(重複しているもの)  
0.2~10Hz(最小・最大の振幅)

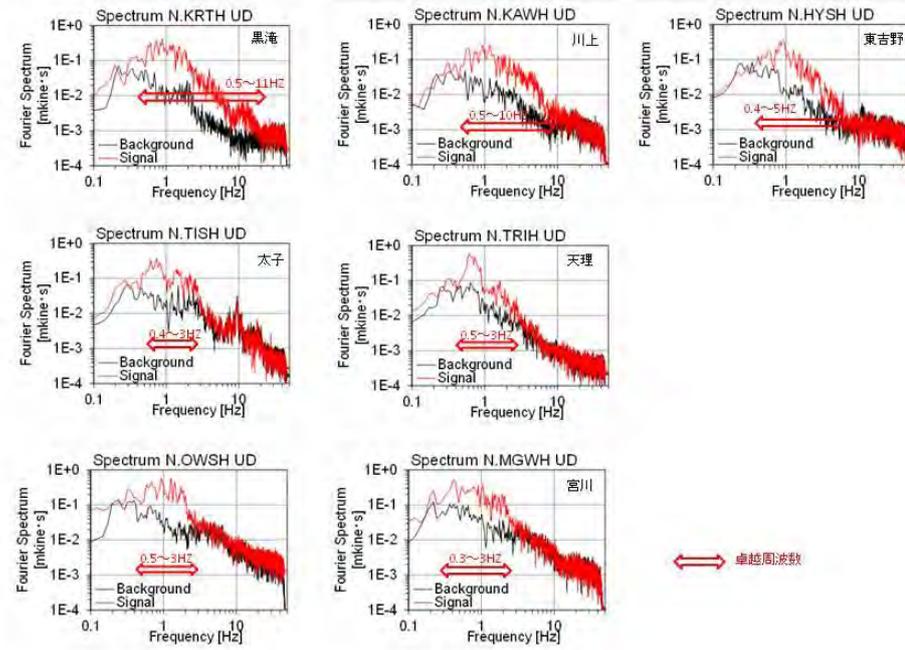
## 2 赤谷(レコードセクション)



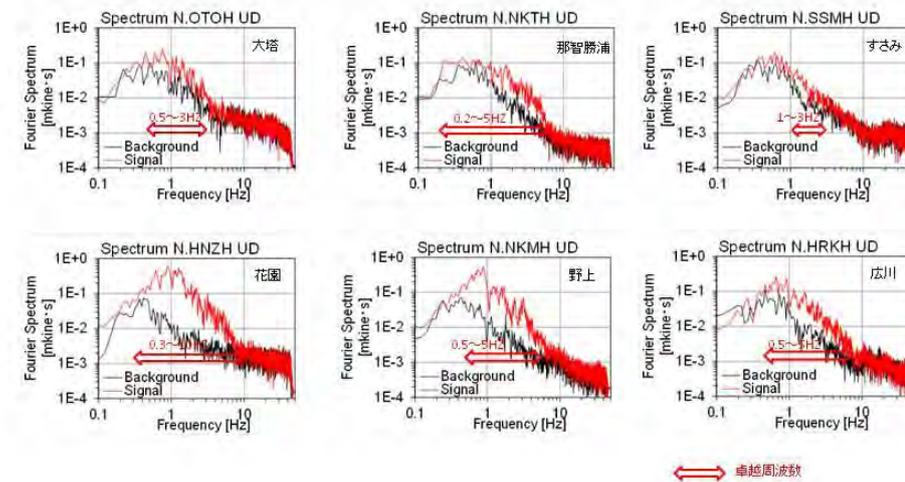
各観測局のオリジナルデータの最大振幅時刻から求めた伝播速度は3.6km/sであり、そこから想定される最大振幅発生時刻(土砂移動量が最も大きい時刻)は9月4日16時22分14秒であった。  
バンドパスフィルタを用いたノイズ除去は行っていません。

※ Yamada et al.2012 では発生時刻は9月4日16時22分15秒

## 2 赤谷(振動波形)

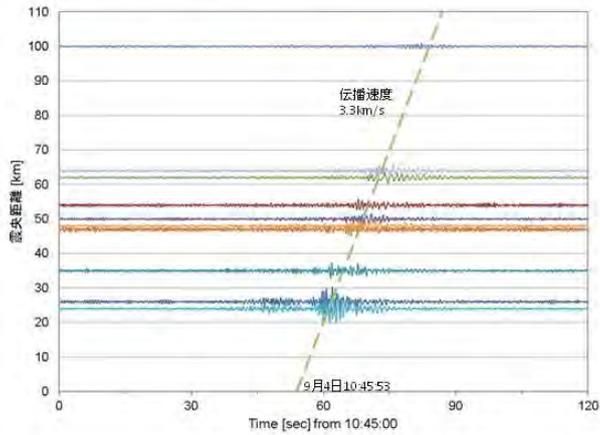


## 2 赤谷(振動波形)



卓越周波数 : 1~3Hz(重複しているもの)  
0.2~11Hz(最小・最大の振幅)

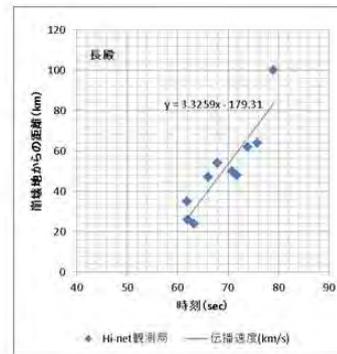
### 3 長殿(レコードセクション)



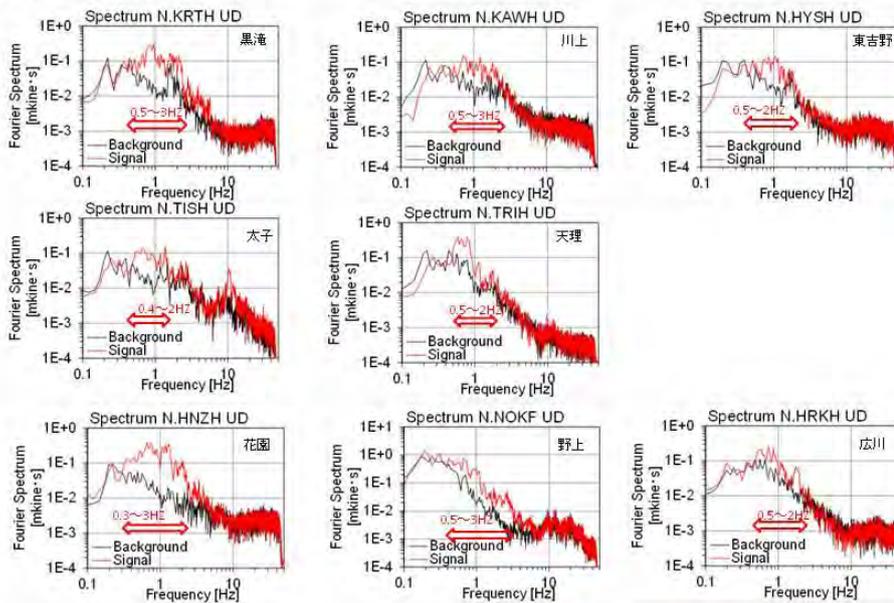
- N.KRTH UD
- N.TISH UD
- N.HYSH UD
- N.TRIH UD
- N.KAWH UD
- N.OWSH UD
- N.MASH UD
- N.HNZH UD
- N.NKMH UD
- N.HRKH UD
- S波走時

各観測局のオリジナルデータの最大振幅時刻から求めた伝播速度は3.3km/sであり、そこから想定される最大振幅発生時刻(土砂移動量が最も大きい時刻)は9月4日10時45分53秒であった。  
バンドパスフィルタを用いたノイズ除去やエンベロープ解析は行っていない。

※ Yamada et al.2012 では発生時刻は9月4日10時45分54秒

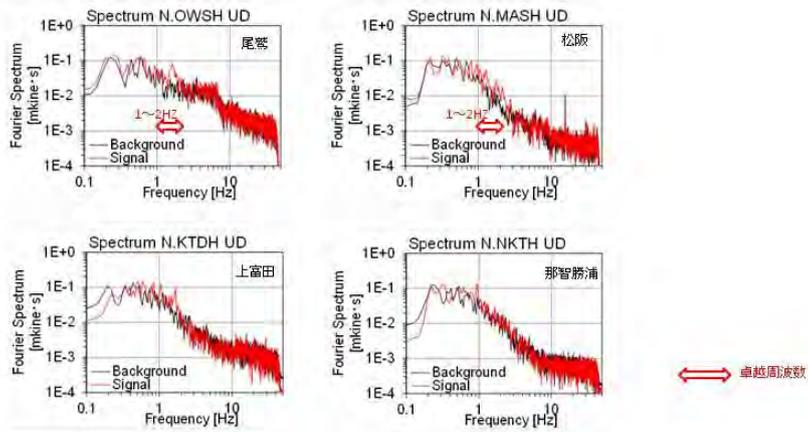


### 3 長殿(振動解析)



⇔ 卓越周波数

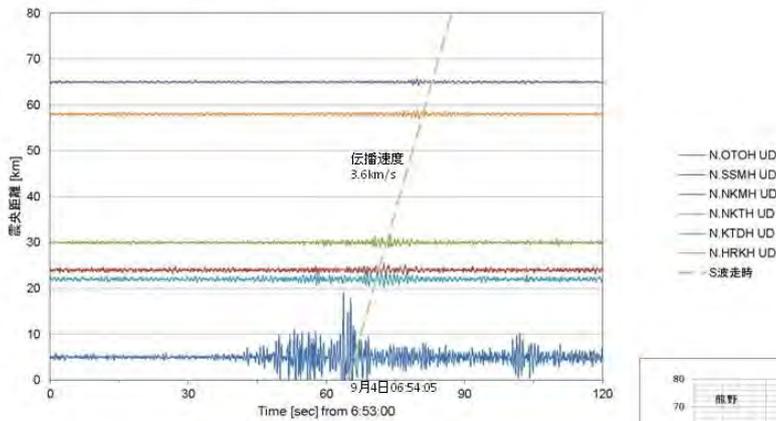
### 3 長殿(振動波形)



卓越周波数 : 1~2Hz(重複しているもの)  
0.5~3Hz(最小・最大の振幅)

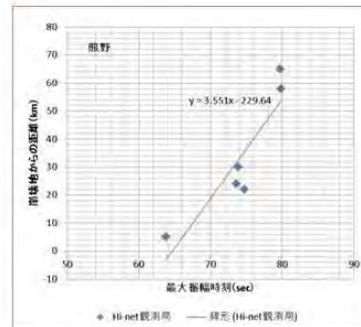
※ 上富田と那智勝浦は卓越周波数判読不可

### 4 熊野(レコードセクション)

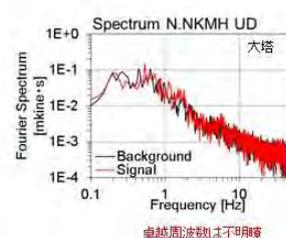
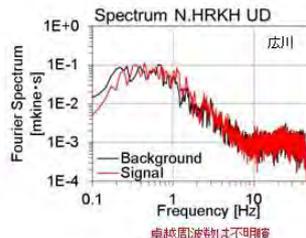
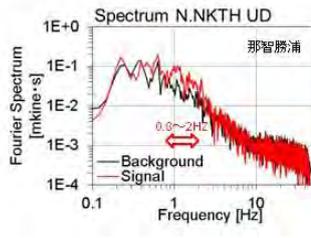
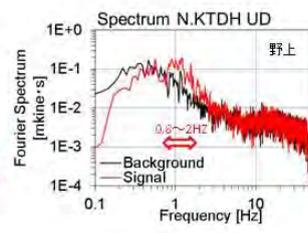
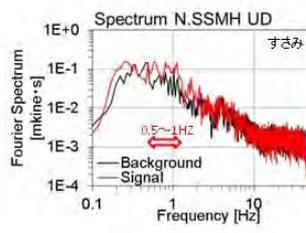
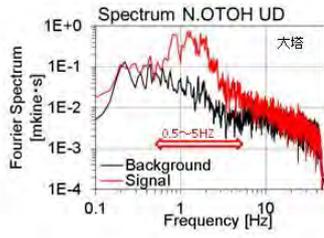


各観測局のオリジナルデータの最大振幅時刻から求めた伝播速度は3.6km/sであり、そこから想定される最大振幅発生時刻(土砂移動量が最も大きい時刻)は9月4日06時54分05秒であった。  
バンドパスフィルタを用いたノイズ除去は行っていません。

※ Yamada et al.2012 では発生時刻は9月4日06時54分04秒



#### 4 熊野(振動波形)



卓越周波数不明瞭

卓越周波数不明瞭

卓越周波数 : 0.8~2Hz(重複しているもの)  
0.5~2Hz(最小・最大の振幅)

## 災害時の流木の流出率に着目した 治山堰堤の効果的な配置手法 に関する検討

### 1. 研究の背景と目的(1)

#### ◆背景

- ・流木災害は近年、全国的に被害があり社会的影響が大きく治山事業を推進するうえで対策が必要
- ・流木の流出しやすい溪流を探し効果的に治山堰堤を設置するのは難しい

#### ◆既往研究

- ・石川ら(1989)  
狭窄部における流木捕捉率
- ・宮縁ら(1999)  
河道地形分析による流木堆積



写真1 1953年有田川での流木  
(出典: 滝川勝巳氏提供)

## 1. 研究の背景と目的(2)

### ◆目的

- ・発生流木の流出状況を溪流ごとに整理し、**流出のしやすさ**に影響する河道条件を求め、流出しやすい溪流としにくい溪流の違いを明らかにし、**効果的**な治山堰堤の配置手法を確立する

## 2. 調査地の概要(1)

○荒木川(2級河川佐野川水系) ※流木による被害場所を選定

流域面積：328ha  
主な植生：針葉樹(スギ)  
平均樹齢50~60年生  
平均樹高：16m



写真2 荒木川の流木状況

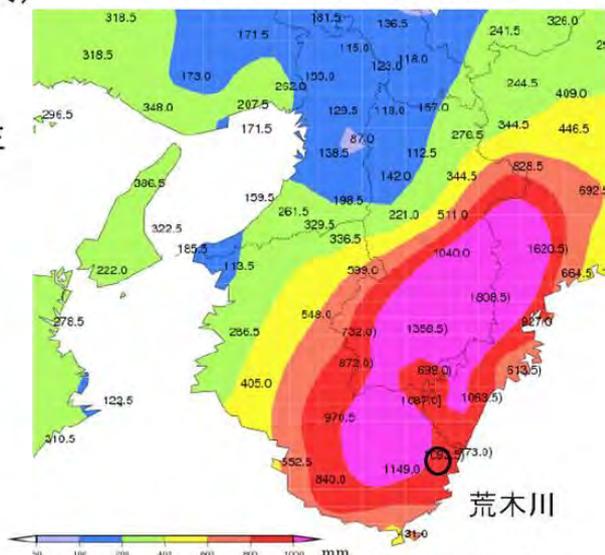
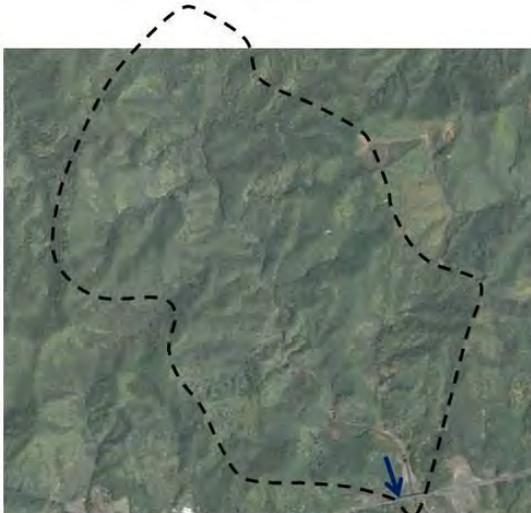


図1 2011年台風12号アメダス解析雨量  
(2011/8/30 18時~9/4 24時)(気象庁より)

## 2. 調査地の概要(2)

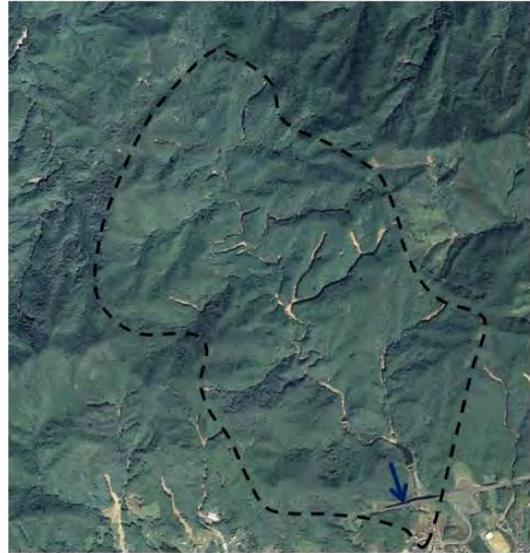
○2011年台風12号前後の荒木川流域の航空写真比較 ※破線は流域界を示す

台風前



出典: Yahoo地図

台風後



撮影: 和歌山県(2011年9月)

## 2. 調査地の概要(3)

○荒木川流域の山腹崩壊と河道状況



写真3 山腹崩壊状況  
(左支川1)



写真4 治山堰堤による流出防止(左支川1)



写真5 流木堆積状況(本川)

### 3. 調査方法(1)

#### ◆流木流出率 R の算出

$$R := \frac{V_o}{V_c} \times 100$$

ここで、

$V_o = V_c - V_t$  : 流木流出量( $m^3$ )

$V_c = A_c \cdot \rho_w$  : 流木発生量( $m^3$ )

$V_t$  : 河道内流木堆積量( $m^3$ )

$A_c$  : 崩壊面積( $m^2$ )

$\rho_w$  : 立木密度( $m^3/m^2$ )

※流木の流出のしやすさを定量評価

### 3. 調査方法(2)

◆調査方法 荒木川の本川及び3支川において、以下の3項目について調査

#### ①河道内堆積流木量

- ・流木長
- ・直径
- ・樹種
- ・本数

#### ②溪流形状

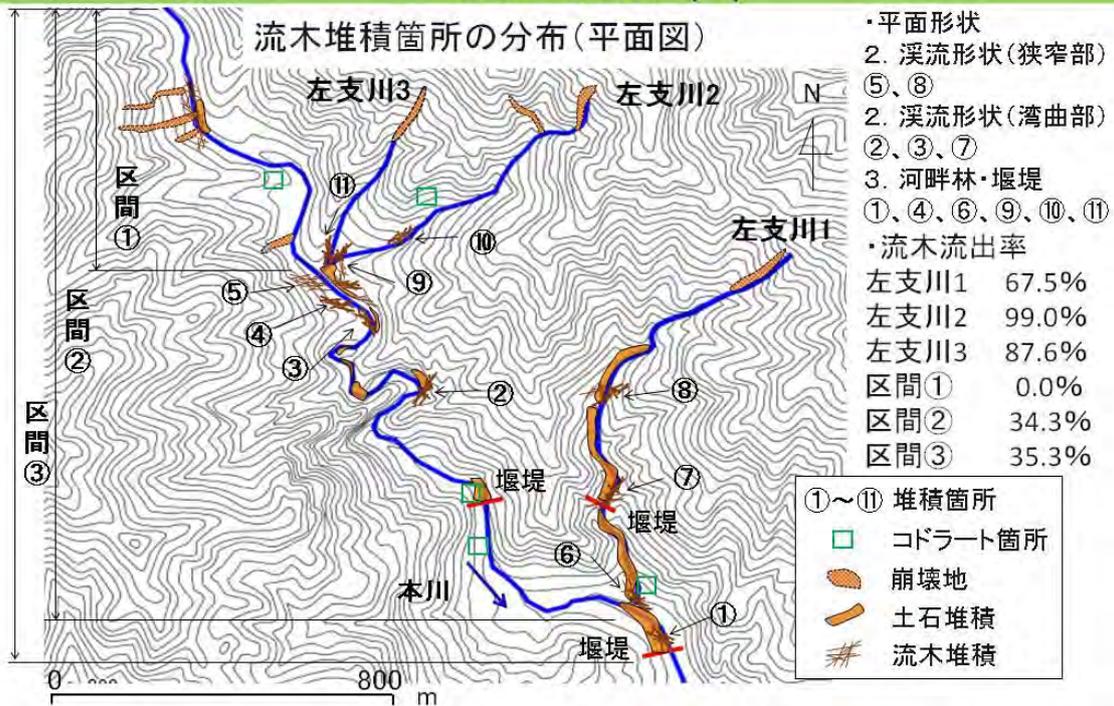
- ・堆積箇所の溪流幅測定
- ・溪床勾配の測定
- ・溪流の形状の観察

#### ③コドラート調査

- ・胸高直径
  - ・本数
  - ・樹種
  - ・樹高
- (1辺10m正方形範囲)



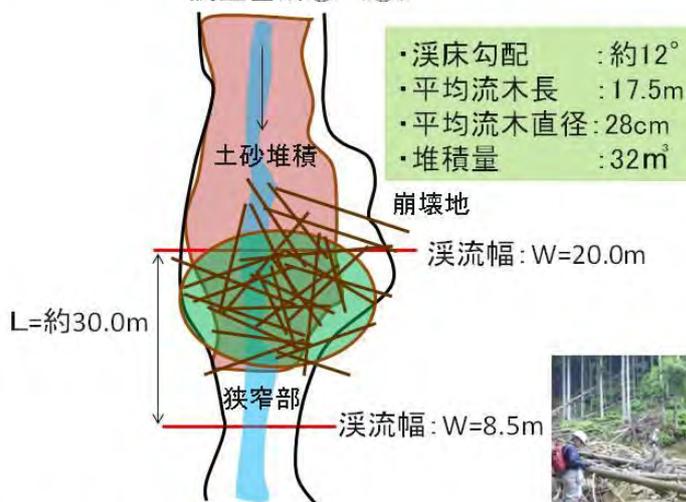
## 4. 調査結果(1)



## 4. 調査結果(3)

### ◆流木の堆積状況(2. 溪流形状(狭窄部))

調査箇所⑧(⑤)



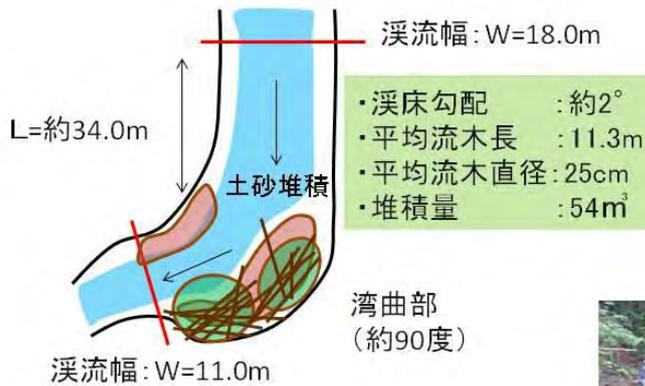
※溪流幅について  
 調査した上幅と下幅の平均値とした。



## 4. 調査結果(4)

### ◆流木の堆積状況(2. 溪流形状(湾曲部))

調査箇所② (③、⑦)



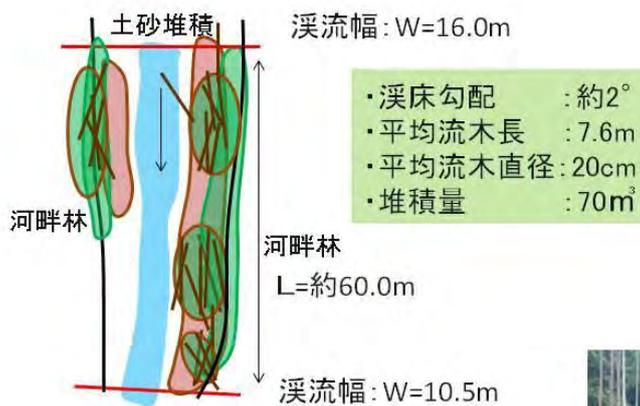
※溪流幅について  
調査した上幅と下幅の平均値とした。



## 4. 調査結果(5)

### ◆流木の堆積状況(3. 河畔林・堰堤)

調査箇所④ (①、⑥、⑨、⑩、⑪)



※溪流幅について  
調査した上幅と下幅の平均値とした。



## 5. 治山堰堤の設置位置の決定手法

・流出率の低い溪流より堆積条件を3つに分類

1. 溪床勾配(約 $12^{\circ}$  以下)
  2. 溪流形状(湾曲部(約 $90^{\circ}$  以下)・狭窄部(流木長)河床幅))
  3. 河畔林・堰堤による捕捉
- (流出率の高い溪流は逆の条件)

・流出率の高い溪流で上記条件の河道を造ることができれば流出率の低減が可能

・流出率の高い溪流に上記河道条件となるように治山堰堤を設置することで流木の流出を低減

## 6. まとめと今後について

### ◆まとめ

・今回の調査により、効果的に流木流出の低減を図るためには、流出率の高い溪流に堰堤を設置することが有効であると確認された。

### ◆今後について

・今後、調査事例を増やし、河道条件から流木流出率を用い流出率の高い溪流を推定する手法を開発し、治山堰堤の有効な配置手法を確立していきたい。

## 和歌山県那智川流域における 平成23年台風12号による流木の流出実態

### 目次

1. はじめに
  - 1.1 背景
  - 1.2 研究目的
  - 1.3 研究の流れとゴール
2. 対象流域の概要
  - 2.1 位置
  - 2.2 植生
3. 研究手法
4. 研究結果
  - 4.1 流木流出率
  - 4.2 流木収支と流木堆積箇所の縦断地形特徴
  - 4.3 考察
5. まとめと今後の課題

※流木流出率  
発生流木量のうち、谷の出口への流出率

## 1. はじめに

### 1.1 研究の背景

#### 《背景》

- 和歌山県那智川流域では、**H23.9台風12号**より支溪流で土石流が多発し、**土石流とともに流出した多量の流木**が、本川下流の橋を閉塞し、**広範囲にわたる土砂氾濫被害**がもたらされた。このような流木災害は、全国的に見られる。
- 流木**は、直接的な被害に加えて、橋梁等を閉塞させて、被害を増大させることがあるため、**上流域における確実な流木対策が重要**である。
- 効果的な流木対策を進めるためには、計画段階で、**各流域からの発生流木量や流出流木率(流出流木量)**を精度よく推定する必要がある。
- 現行の土石流・流木対策計画では発生流木量は流域個別に設定される。
- これに対して、計画の基本諸元として重要な**流出流木量を求めるために必要な「流出流木率」**は、流域個別ではなく、一律0.8~0.9が用いられるが(図-1)、実際は、**地形等によって異なる場合(バラつき)**があるため、**流域に応じた流出流木率を設定**することが望ましい。

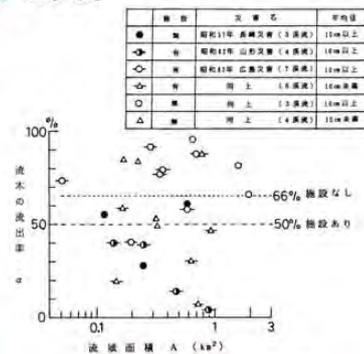


図-1 流域面積と流木の流出率  
指針で参考文献として記載されている既往研究  
(出典)石川ら(1989):土石流に伴う流木の発生及び流下機構、砂防学会誌、Vol.42,No.3

## 1. はじめに

#### 《問題点・課題》

- 土石流とともに流下する流木の実態については、これまでに研究がなされているものの(例えば、石川ら、1989;南ら、2000)、**流出流木率についてはバラつきが多く、流出流木率に影響を及ぼす要因については不明な点が多い**。
- 流出流木率は、計画の基本となる計画流木量を求める際に重要なデータであり、今後の流木対策を効果的に進めていくためには、**流出流木率や流出流木率に影響を及ぼす要因について、さらに検討を行う必要がある**。

計画施設、施設がある地点での流木流出率の算出も重要

### 1.2 本研究の目的

- そこで、本研究では、土石流とともに流下した流木の流出率に影響を及ぼす要因を明らかにし、今後の土石流・流木対策計画へ活用することを目的として、平成23年台風12号により**那智川流域において**地形や植生等が様々な**複数の溪流で発生した流木流出実績**を対象に、**流木流出率を把握し、流出流木率と地形等の要因を分析**した。
- 本資料では、今年度の研究結果について報告する。



2. 対象流域の概要

2.1 位置

対象流域は、和歌山県那智川流域に位置する0.28~0.92km<sup>2</sup>の8溪流

- ① 陰陽川左支溪 0.28km<sup>2</sup>
  - ② 内の川 0.29km<sup>2</sup>
  - ③ 樋口川 0.78km<sup>2</sup>
  - ④ 平野川 0.42km<sup>2</sup>
  - ⑤ 金山谷川 0.92km<sup>2</sup>
  - ⑥ 尻剣谷川 0.55km<sup>2</sup>
  - ⑦ 蛇ノ谷川 0.29km<sup>2</sup>
  - ⑧ 鳴子谷川 0.52km<sup>2</sup>
- ※ 谷出口上流の面積

- 土石流流下・堆積範囲
- 崩壊地
- 砂防堰堤
- 治山堰堤
- 主要流域界(谷出口上流)



図-1 対象流域の位置図

## 2. 対象流域の概要 2.2 植生

- 大半がスギ植林で構成されており、尾根部および溪岸にシイ・カシ等を主体とする常緑広葉樹林が分布している



## 3. 研究方法

### 3.1 流木の流出実態の把握

- 谷出口までの流域を対象として、発生流木量、堆積流木量および、流出流木量を把握した。
- 発生流木量、堆積(残存)流木量は、既往災害資料、空中写真および現地調査で把握した。
- 流出流木量 = 発生流木量 - 堆積流木量で求めた
- 発生流木量のうち谷出口への流木の流出率  
$$\text{流木流出率} = \frac{\text{流出流木量}}{\text{発生流木量}} \times 100$$
で求めた

### 3.2 地形解析

- 土石流発生後に計測されたLP(照射密度: 1点/m<sup>2</sup>以上)を使用して、縦断勾配、河道幅等の地形量を算出した

これらの結果をもとに、流木流出率、流木収支および流木堆積箇所の地形特徴をとりまとめ、考察した。

## 4. 研究結果

### 4.1 流木流出率

《流木流出率の算出》

- 各溪流の発生・堆積・流出流木量および流木流出率を一覧表に示す。
- 流木流出率は、8溪流のうち2溪流(樋口川、平野川)で70%以下と低い値を示したのに対し、その他の6溪流では82~91%の値を示した。

表-1 各溪流の流木流出率

溪流名	凡例	流域面積 km <sup>2</sup>	溪床勾配 °	砂防・治山施設 の有無	発生流木量					堆積流木量 (溪流内残存) m <sup>3</sup>	流出 流木量 m <sup>3</sup>	流木 流出率 %	比発生 流木量 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>
					頭端発生流木量		溪岸発生流木量		合計 m <sup>3</sup>				
					m <sup>3</sup>	比率%	m <sup>3</sup>	比率%					
① 陸陽川左支溪	■	0.28	20.9	-	42	10	373	90	415	48	367	88.4	1,481
② 内の川	●	0.29	27.9	内の川堰堤 h=13.0m	338	48	365	52	704	114	590	83.8	2,426
③ 樋口川	○	0.78	25.7	-	15	3	452	97	467	232	235	50.4	599
④ 平野川	□	0.42	20.6	-	126	14	775	86	900	276	624	69.3	2,144
⑤ 金山谷川	◆	0.92	8.8	-	1,110	23	3,653	77	4,763	471	4,291	90.1	5,177
⑥ 辰剣谷川	◇	0.55	23.8	-	557	25	1,653	75	2,210	232	1,977	89.5	4,017
⑦ 蛇ノ谷川	△	0.29	23.7	治山堰堤4基	222	30	512	70	734	96	638	86.9	2,533
⑧ 鴨子谷川	▲	0.52	33.4	鴨子谷堰堤h=7.0m 治山堰堤4基	38	4	912	96	950	165	785	82.6	1,827

※流域面積、溪床勾配、施設は谷出口上流の流域の諸元として整理

※既往災害資料によると、土石流発生時内の川堰堤と鴨子谷堰堤ともに未満砂状態であったことが示されている

90%以上	■
85%以上	●
80%以上	◆
70%以下	○

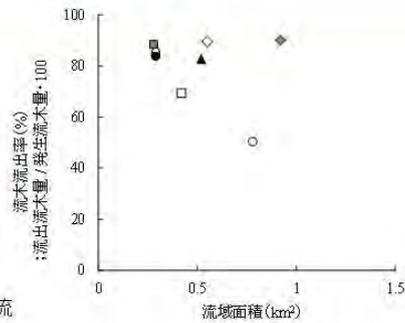
### 4.1 流木流出率

《流木流出率の算出結果; 溪流による違い》

- 流木流出率と流域面積、溪床勾配および比発生流木量との関係を示す。

※流木流出率の大小についてコメント

※これ以降の検討で注目した4溪流についてコメント



※黒の凡例●▲は、砂防堰堤がある溪流

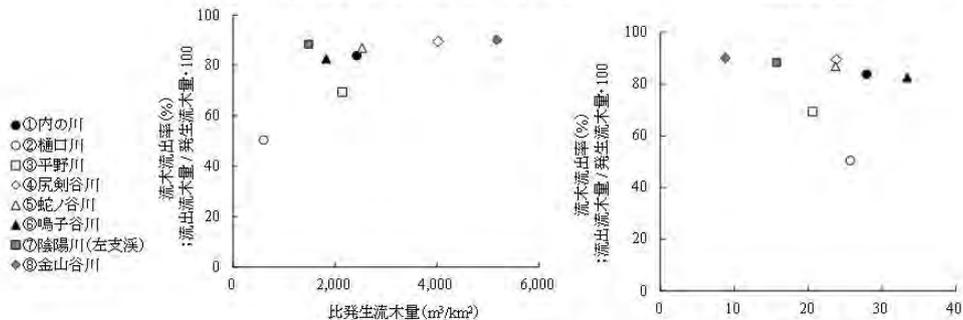


図-1 流域面積と流木流出率の関係 (平均溪床勾配(°))

## 流木収支

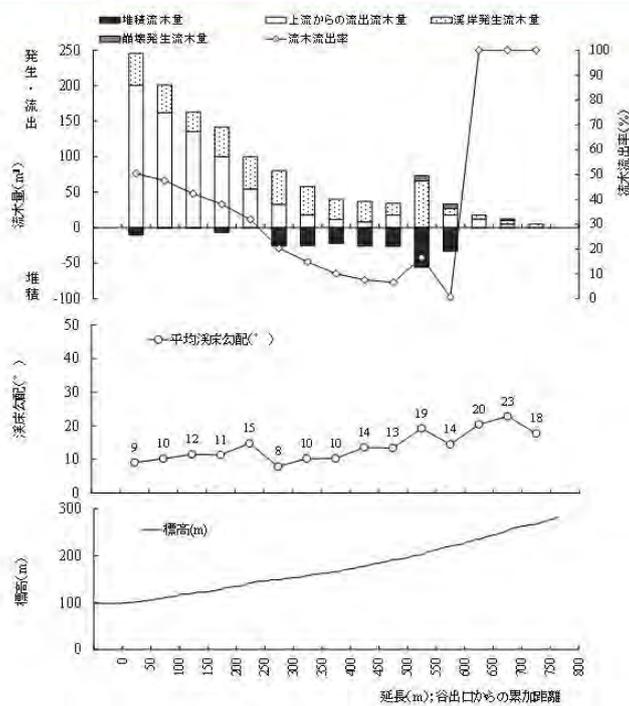
○流木流出率の低かった2溪流、堰堤のある内の川、流木流出率の高い陰陽川の計4溪流で作成する

那智川本川の左支川

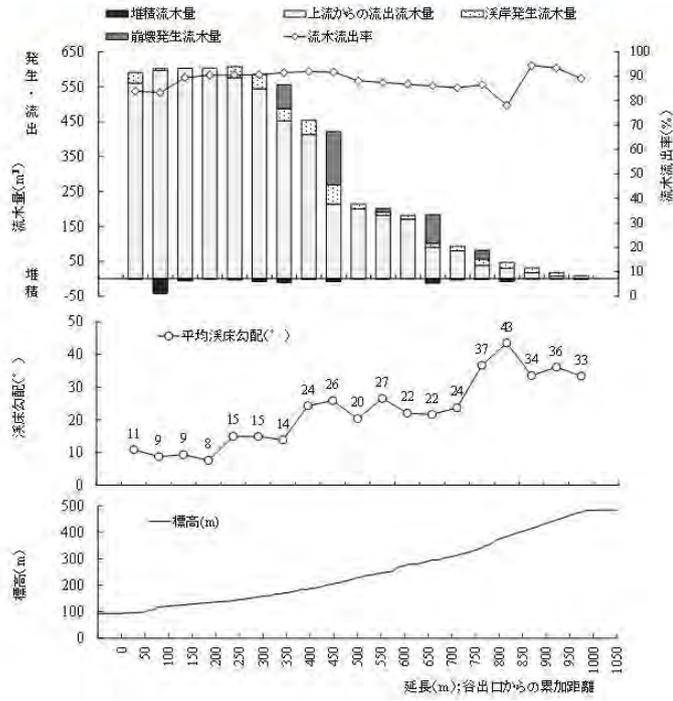
- ・平野川・・・作成途中
- ・樋口川
- ・内の川
- ・陰陽川左支溪

- 流木収支図の作成
- 溪流内の流木の生産流出箇所、堆積箇所がどこかを縦断的に示すことを目的として作成する
- 50m間隔を基本として作成した
- これを使って、堆積箇所がどこかをピックアップ
- その後の検討で、堆積箇所の地形特徴などを考察する際の基礎資料とする

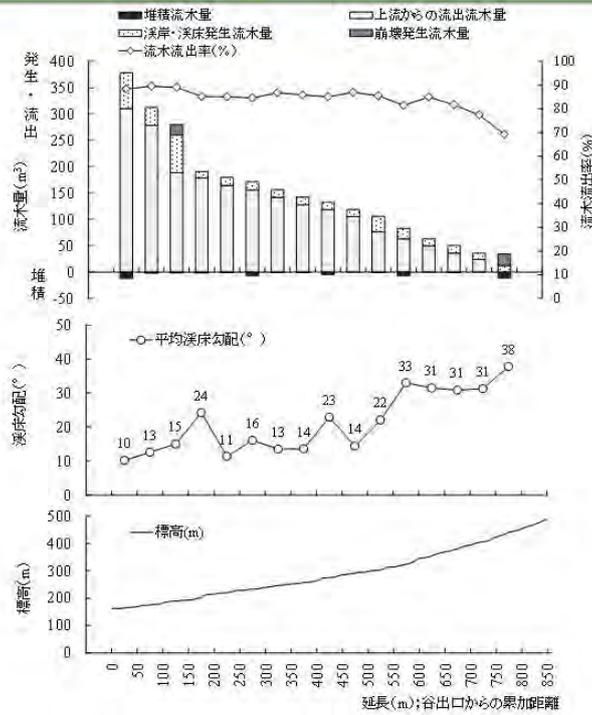
## 樋口川



## 内の川



## 陰陽川左支溪



## まとめ(現時点)

---

○流木堆積実態について整理

今週中

○平野川結果

○流木堆積箇所の形態(パターン)わけ

○堆積箇所の地形(幅など)と流木流出率の関係考察

○図表に間違いがないかチェック

## ヒアリング調査を基にした 平成23年那智川災害の 避難行動に関する研究

### はじめに(1)

- ・近年、各地で予測困難な集中豪雨による土砂災害が原因で、人的被害が多く発生している。
- ・牛山ら(2013)は、2004年から2011年の主要豪雨災害にともなう死者・行方不明者について調査し、原因外力別に土砂によるものが最も多く、土砂による被害の特徴として、屋内が遭難場所となる被災の割合が高いことを明らかにしている。
- ・土砂災害からの被害軽減には、早期避難が有効である。
- ・早期の避難を促すため、行政からの警戒避難に関する情報は近年充実している。しかし、現実には避難しないことによる被災が多く発生している。
- ・避難しない理由として、「正常化の偏見」が働いていると考えられる。田中(2005)は、避難情報を聞いても避難しない傾向にあり、浸水して初めて避難する人が多いと指摘している。
- ・宮瀬ら(2009)は、自分が住んでいる地域の土砂災害に対する危険性を認識しているかどうか、住民が避難を決断する大きな要因と指摘している。

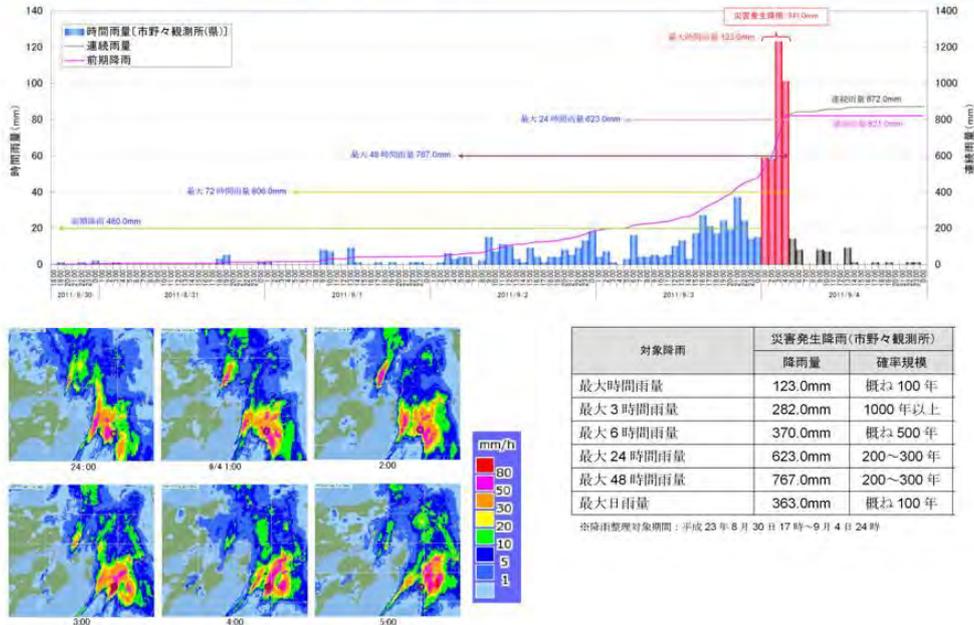
## はじめに(2)

- ・従来、住民の防災意識や避難行動に関する研究として地区単位または市町村単位のアンケート調査による全体的な傾向やクロス分析による意識調査を行った研究は多くある(例えば石塚ら(2013))。
- ・しかし、災害発生の危険性(災害の素因)は、特に土砂災害において空間的に均質に分布していない。空間的な災害の素因の偏在を踏まえた住民防災意識や避難行動について検証した事例は見受けられない。
- ・防災意識の向上と避難計画の立案のため、住民を対象とした地区単位の防災ワークショップが、近年各地で開催されている。これらは自分の地域を把握する上で有効と考えられる。
- ・災害素因の空間的偏在を踏まえ、住民の属性に応じた防災意識や避難行動等の特性を把握することは、適切な避難行動を促すために重要である。

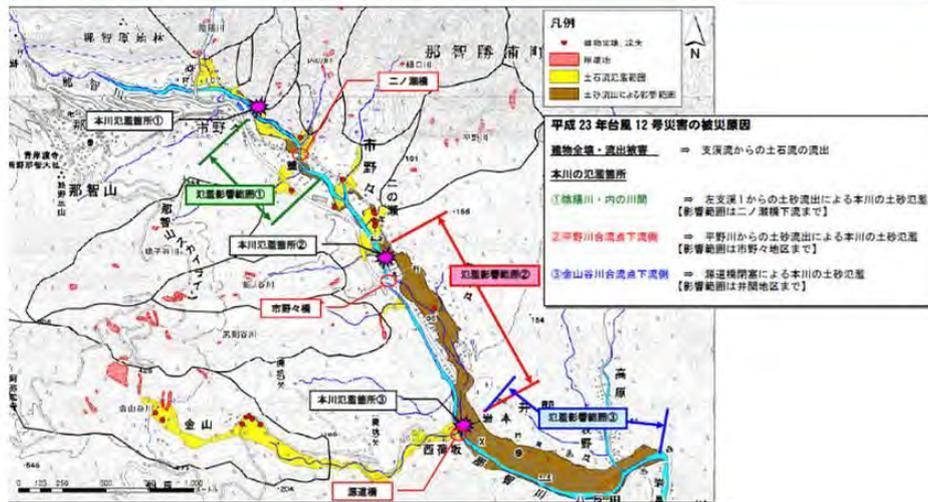
## はじめに(3)

- ・本研究では、2011年に多数の土石流にともない多くの人的被害が発生した那智川流域でのヒアリング調査に基づき、住民の防災意識・避難行動について、住民属性による差異や空間的な分布について明らかにすることを目的とする。
- ・併せて、防災担当者、消防団等にヒアリング調査を行い、土砂災害発生状況の把握する。

## 調査地(1) 降雨状況



## 調査地(2) 土砂流出・被害の状況



- 那智勝浦町の人的被害  
死者28名、行方不明1名

## 方法(1) 対象・手法

### ■土砂災害発生状況調査

#### ・対象

那智勝浦町役場防災担当者, 消防団長(以下, 担当者等)  
自治会長

#### ・調査日時及び手法

担当者等: 2012年3月9日, 用紙に沿った聞き取り  
自治会長: 2012年3月21日, 用紙に沿った聞き取り

### ■住民ヒアリング調査

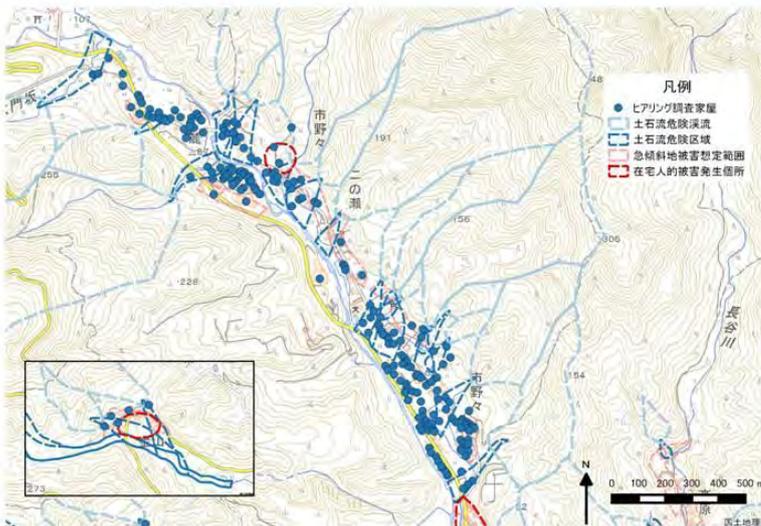
#### ・対象

土石流や那智川の氾濫により大きな被害を受けた那智勝浦町の市野々地区, 井関地区(一部), 那智山地区(一部)の住民(以下, 地域住民)

#### ・調査日時及び手法

2012年3月10日～11日(7班各2名)  
用紙に沿った聞き取り及び用紙配布・回収

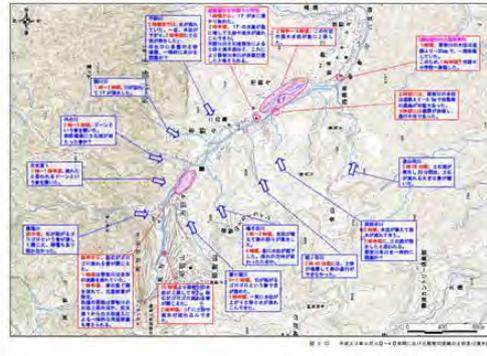
## 方法(2) 住民ヒアリング調査位置



- ・住宅地図から建物379戸を抽出。
- ・現地訪問の結果, その内288戸に居住が確認できた。
- ・その内, 210戸において, 個別ヒアリングを実施できた。
- ・残り, 78戸は切手付きの封筒を同封した用紙を投函した。
- ・その内, 10戸から郵送があった。

## 結果(1) 土砂災害実態の把握

- ① 9月3日 16:10  
那智川下流の川関にある和歌山県の水位観測所の水位が3m14cmに達した。  
(注意注意水位: 2m60cm)
- ② 9月3日 20:30  
金山谷川合流点下流の井関地区で避難所開設(井関保育所)
- ③ 9月3日 夜半(22:00頃)  
那智川本川上流の水位上昇、転石が流れるゴロゴロという音が聞こえる。
- ④ 9月3日 22:30  
市野々小学校の避難所開設
- ⑤ 9月4日 1:00~1:30~2:00頃  
上流の温羅川合流点下流の大門駅前駐車場付近で、那智川の右岸側堤防が決壊し田畑流失、浸水の被害が発生しはじめる。  
堤防の決壊は、本川の水位上昇のほか、左支流の土石流により那智川本川が一時的に閉塞し、流向が変化した可能性もある。  
金山谷川合流点付近の那智川本川の水位が上昇し堤防が一部決壊したため、井関保育所の避難者は市野々小学校へ移動する。  
市野々小学校避難所も1階から浸水しはじめる。
- ⑥ 9月4日 2:00頃  
那智川本川の水位が上昇したほか、各支流からも多量の流水が確認され、流木等で一部の橋梁が閉塞した。
- ⑦ 9月4日 2:30頃  
各支流(内の川、樋口川、鴨子谷川、平野川、蛇ノ谷川、辰割谷川)で土石流が発生、谷出口の直接的な被害のほか、那智川本川に多量の土砂が流入したため決壊記号が多発した。特に平野川と辰割谷川の土石流は、那智川本川を一時的に閉塞し流向が変化した可能性がある。  
市野々小学校の1階の水位が急上昇し、土砂や流木が一気に流入してきた。  
市野々小学校下流の住宅地付近の浸水深が急速に上昇した。
- ⑧ 9月4日 3:00頃(3:05)  
金山谷で大規模な土石流が発生、土石流が流下する異常な音が20分程度連続した。  
(下流の井関~川関地区も氾濫・浸水被害が発生したと思われるが、本調査では未確認である。)
- ⑨ 9月4日 4:00頃  
雨が小降りとなり、水位は徐々に低下していった。



・担当者等のヒアリング調査により、  
那智川流域における土砂災害の発生状況を時系列に示す。

## 結果(2) 住民ヒアリングの信頼性

### ■住民ヒアリング調査の状況

表1 住民ヒアリング調査の状況

対象戸数 a	調査実施戸数 b	回答率 a/b(%)
288	220	76.4%

### ■住民ヒアリング調査の信頼性

有限母集団における必要標本数は一般的に以下の式で評価される。

$$n \geq \frac{N}{\left(\frac{e}{z}\right)^2 \frac{N-1}{p(1-p)} + 1}$$

ここで、

n:必要標本数, N:母集団の大きさ,

e:最大誤差, z:信頼率に対する正規分布数,

p:予想される母集団の比率である。

これに、母集団の大きさを288、最大誤差を0.05、95%の信頼率に対する分布数1.96、および最も安全川の比率0.5を代入すると、 $n \geq 164.85$ となり、調査実施戸数220は信頼性が得られた。

## 結果(3) 回答者の属性

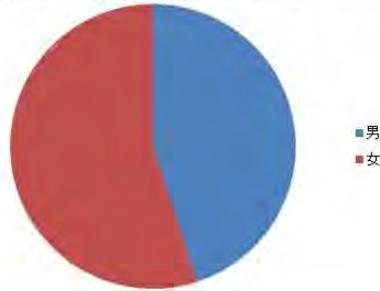
### 性別

男性 99人(45%)

女性121人(55%)

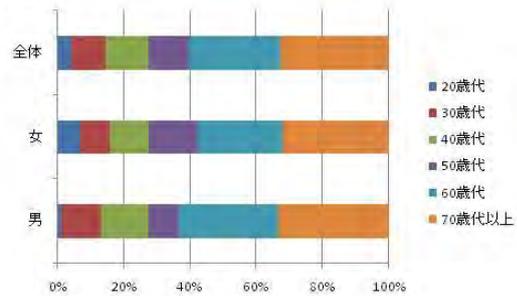
・女性が若干多い。国勢調査と同傾向

・内住宅浸水等の被害があったのは77人(35%)



### 年齢別構成

60代以上が60%を占める。



※国勢調査(2010年・市野々地区)

男性 309人(43%)

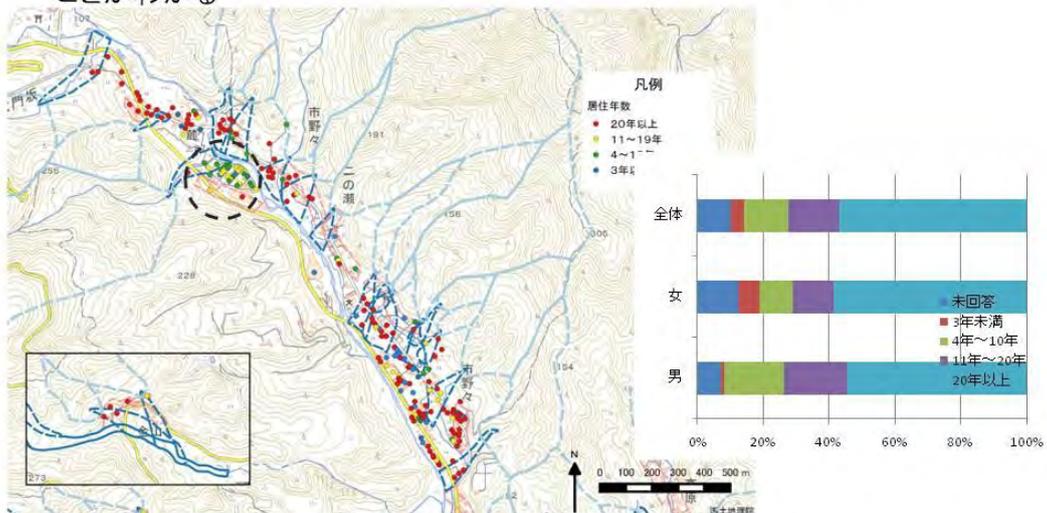
女性 410人(57%)

総数 719人

## 結果(4) 回答者の居住歴

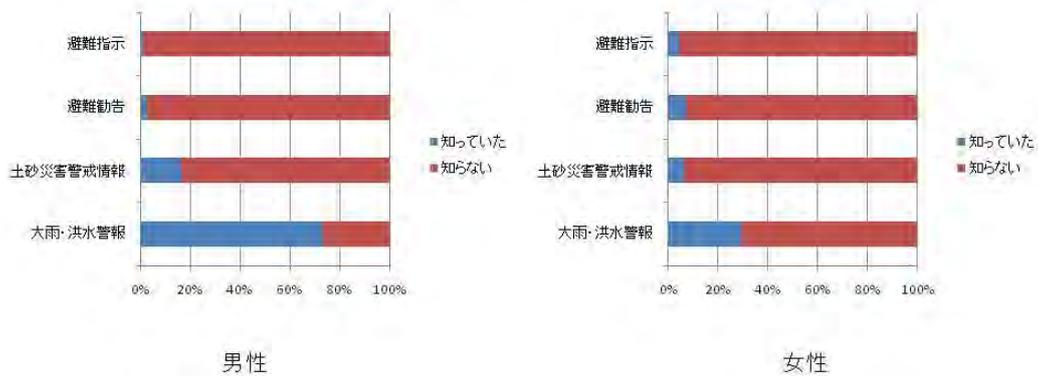
・10年以上が72%を占める

・一部地域(新規宅地造成箇所)に居住年数が少ない住民が集中することがわかる



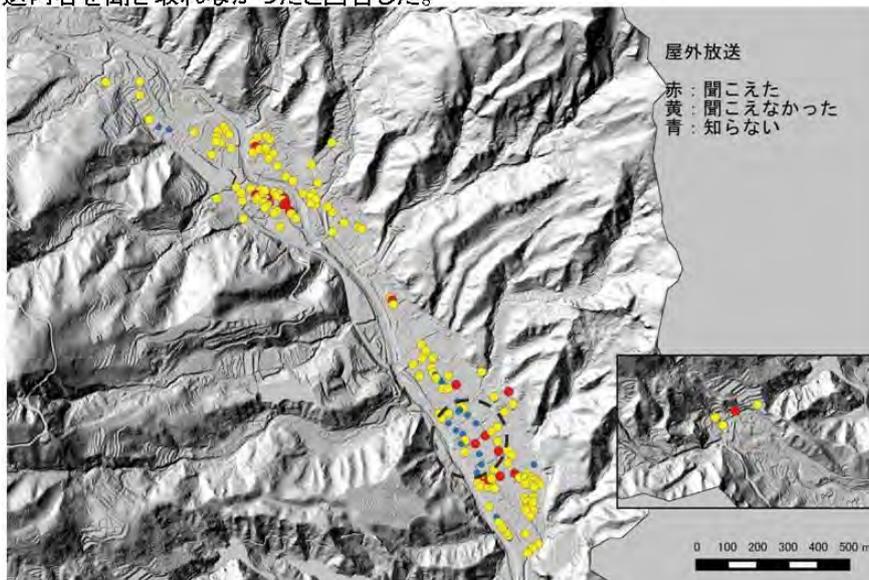
## 結果(5) 警戒避難情報の確認

- ・大雨・洪水警報 9月2日 午前4時15分
- ・土砂災害警戒情報 9月2日 午後21時50分
- ・避難指示 9月4日 午前2時12分(井関地区)  
※市野々地区に避難指示・避難勧告なし。
- ・土砂災害情報の認知度が全体で11%(男性16%・女性6%)と非常に低い。
- ・大雨・洪水情報は全体で58%であるが、**男性73%と女性29%で差があった。**  
(カイ2乗検定:有意な差(有意水準0.01))



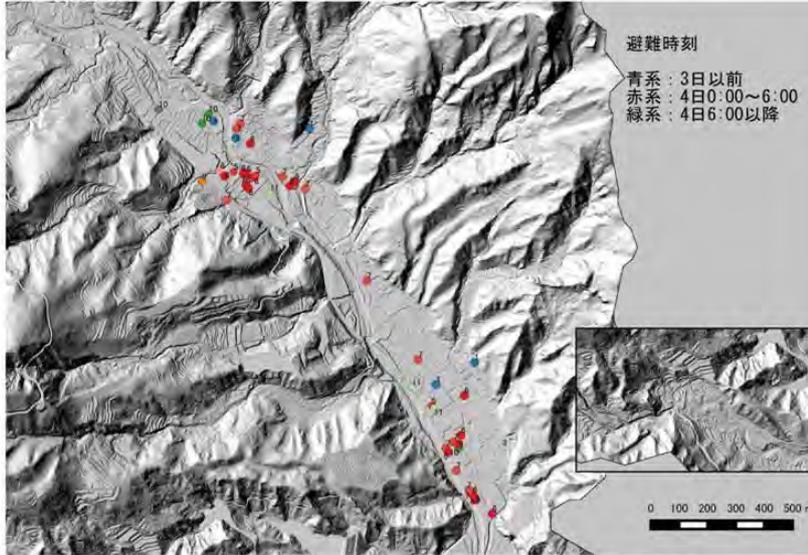
## 結果(6) 防災無線放送の聞き取り

- ・防災無線放送が、ほとんど聞こえなかったとの回答が多かった。
- ・放送があったことを知らない住民が一部地域に集中しているが、住民のほとんどが放送内容を聞き取れなかったと回答した。



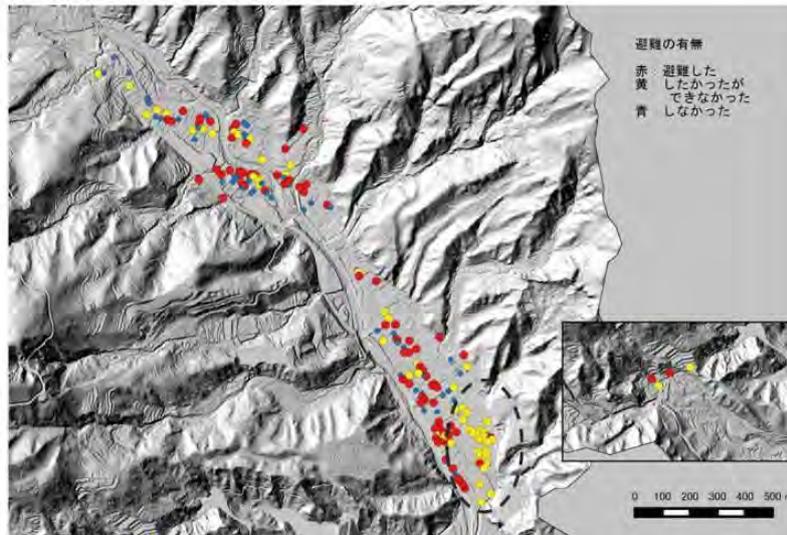
## 結果(7) 避難開始時刻

- ・避難開始時刻は、浸水被害が発生した9月4日の未明に集中している。
- ・谷の出口部には早期の避難がみられる。



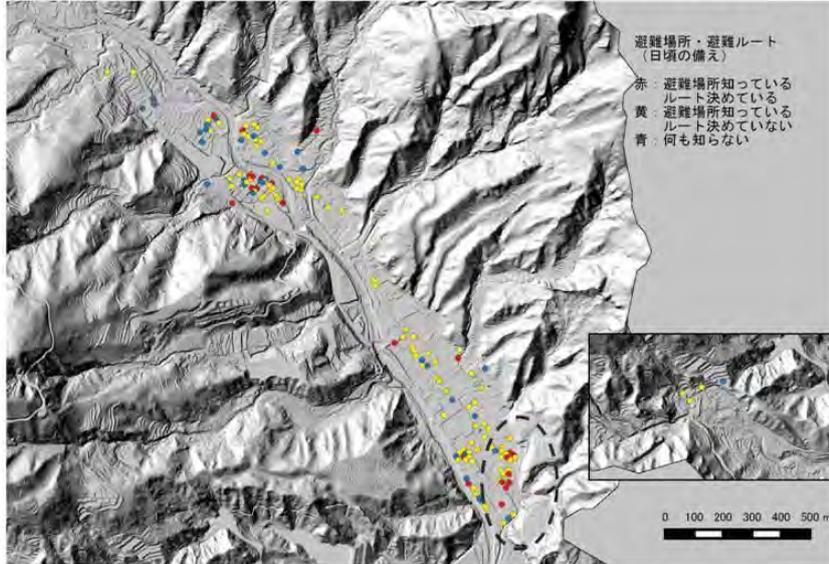
## 結果(8) 避難行動

- ・全体の66%が避難行動をした、もしくは起こそうとした。  
しかし、30%(男女共30%)が避難できなかった。
- ・避難を企画した人の内、45%の人が避難できなかった。一部地域に集中している。  
この場所は、急傾斜地被害想定区域内にある。
- ・一方で、避難しようと思わなかった人が24%いた。



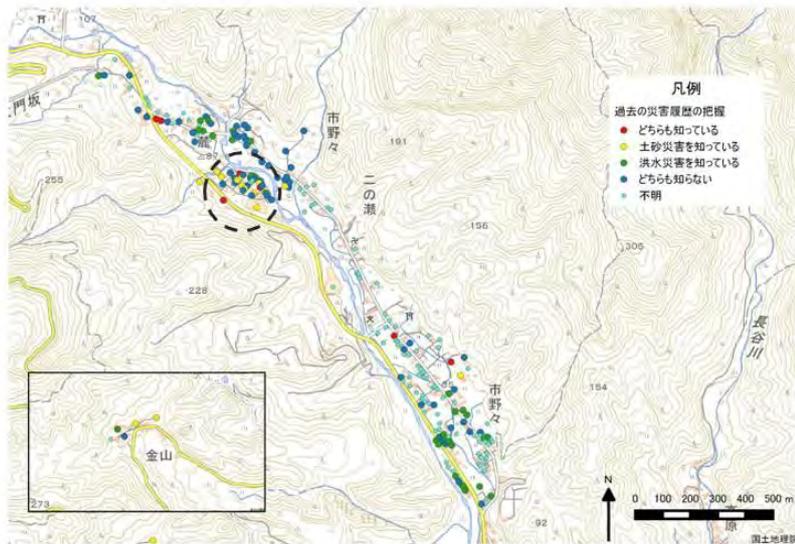
## 結果(9) 普段の備え(避難場所・避難ルート)

- ・避難場所知っている人は多くを占めた。
- ・「逃げ遅れ」が集中した地域でも、避難ルートを含めて決めている人が多かった。



## 結果(10) 普段の備え(過去の災害履歴の把握)

- ・川沿いの地域で過去の洪水履歴を知っている人が多かった。
- ・洪水もしくは土砂災害の履歴を把握している人は、居住年数が低い地域に多かった。



## 考察

・対象地は、60%を60歳以上、居住年数が20年以上の住民が過半数を占めていた。一方で、住宅開発地においては20年以下の居住年数が短い住民が集中していた。著者らが参加した防災ワークショップにおける住民の声でも、区域毎のコミュニケーションが十分に図られていないとするものがあった。全国的に、新興住宅地の住民と旧住民とのコミュニケーション不足が指摘されており、地域内の防災計画にはこの点の配慮が必要と考えられる。

・しかし、過去の災害履歴に対する質問において、居住年数の少ない住民の区域の方が、過去の災害履歴を把握している住民が多いことが分かった。新規に入居する際、地域の防災に関する情報収集をしていると推察される。ただ、避難行動が早期に行われたという傾向は見られなかった。

・また、避難を起こそうとして逃げられなかった「逃げ遅れ」が一部の区域に過中していた。この区域は急傾斜地崩壊被害想定範囲内でもあり、危険箇所の情報が早期の避難行動に結びついていない。今後、土砂災害防止法による土砂災害等危険区域の指定がどのような影響を与えるのか注視したい点である。

・属性による分類において、大雨・洪水情報の確認に関して、男女間で有意な差が確認できた。女性の単身世帯は増加する傾向にあり、どのような情報提供が必要か考えなければならない。

## まとめと今後の課題

・2011年に土砂災害による人的被害の発生した地区を対象にヒアリング調査を実施し、住民属性による情報収集の差異および、住民意識、行動の区域毎の差を分析した。また、併せて災害発生状況を把握するため、町役場防災担当者、消防関係者等にヒアリング調査を実施した。

・大雨、洪水警報等の避難警戒情報の取得について、男女差に有意な差がある。  
・居住年数において、区域毎に分布は異なり、それに応じて、土地の災害履歴の把握に偏在がある。  
・急傾斜地崩壊被害想定地内で、土砂災害の素因が高いことが公表された区域において「逃げ遅れ」の住民が集中している。  
以上の点が分かった。

・対象地は、現在、土砂災害警戒区域等の指定や、内閣府主催の住民防災ワークショップが開催され「災害・避難カード」の取り組みが進められている。このような施策、取り組み、及び大規模な土砂災害発生後の経年変化等による住民意識の変化や避難行動への影響を調査したい。

## 謝辞

那智勝浦町役場関係者、区長および住民の皆様にはヒアリング調査にご協力いただいた。ここに感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 牛山素行・横幕早季: 発生場所別に見た近年の豪雨災害による犠牲者の特徴, 災害情報, No.11, p.81-89, 2013
- 2) 田中淳: 避難勧告・指示の発令はどのように伝わったかー平成16年の3水害事例を比較してー, 災害情報, No.3, p.1-4, 2005
- 3) 宮瀬将之・菊井稔宏: 土砂災害における避難要因について, 砂防学会誌, Vol.62, No.3, p.55-p.61, 2009
- 4) 石塚久幸・和田滉平・宮島昌克: 被災地域へのアンケートに基づく土砂災害における避難を促進する情報に関する基礎的研究ー和歌山県那智勝浦町にてー, 土木学会論文集(安全問題), Vol.69, No.2, I\_127-I\_134, 2013
- 5) 和歌山県那智勝浦町: 紀伊半島大水害 平成23年9月 町を襲った台風12号の記録, 2013
- 6) 国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所: 那智川土砂災害対策検討委員会(第2回)討議資料, p.7, 2012

## UAVの活用について (災害直後の初期対応の在り方)



・UAV (PHANTOM2VISION+)  
土木研究所所有  
軽量かつコンパクトな仕様



・組み立てを終えて・・・



・初飛行

### 初飛行を行ってみて

- ・操作が不安定でホバリングが困難であった
  - ※GPS信号が6個以上必要→ 6以下
- ・写真の解像度は比較的高い
- ・飛行時間は15分程度
  - ※但し、10分を過ぎるとバッテリー残量が1/3以下となり不安定さを感じる

### 今後に向けて

- ・今回は初めてのため屋内だった
- ・次回は屋外で実践練習を行い検証したい
  - ※GPS信号が不安定のため



・UAV搭載のカメラからの風景(自動補正有り)

平成27年11月18日  
那智勝浦町三川小学校体育館にて



・植生調査の様子  
(那智高原公園内にて)



・植生調査の様子  
(那智高原公園内にて)



・森林調査の様子  
(那智高原公園内にて)

現地調査を行ってみて

- ・操作性はある程度の風があっても安定した飛行ができる  
※GPS信号が6個以上必要→7個確保
- ・写真の解像度は比較的高い

課題として

- ・マニュアルに記載しているほどではない？  
飛行時間、飛行高度、飛行距離など
- ※山間部になるほど全てが縮小されるイメージ
- ・写真でみる森林(樹木)の把握  
※過密林であればあるほど困難？

平成27年12月25日  
那智勝浦町那智高原公園内にて



・河道閉塞箇所  
支川からの流木、土石が多く堆積

・UAVを利用し次の点について検証を行う。

- 地点1
  - ・流木堆積の状況  
(本数、直径、延長)
  - ・立木の状況  
(樹種、樹高、林相、直径)
  - ・堆積地の状況  
(堆積土量)
- 地点2
  - ・崩壊地の状況  
(崩壊地面積、崩壊土量)
  - ・立木の状況  
(流木の抑止効果)



新宮市荒木川流域航空写真  
～平成23年台風12号災害後～

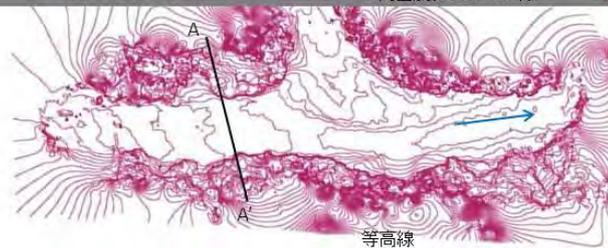
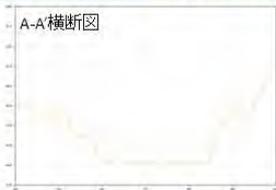
## 荒木川の河道閉塞箇所における3D地形図の作成

・UAVの特性及び性能の検討  
河道閉塞箇所の再現が可能か検討を実施

↓  
低空飛行のメリットを活かし飛行高度を25mとした。また、今回の箇所では鉄塔による影響を考え最高高度は50mとした。

↓  
写真撮影は3秒間隔で連続撮影とした。

↓  
写真で見ると同程度の鮮明な画像処理が可能と考えられる。



## 大規模土砂災害対策研究機構

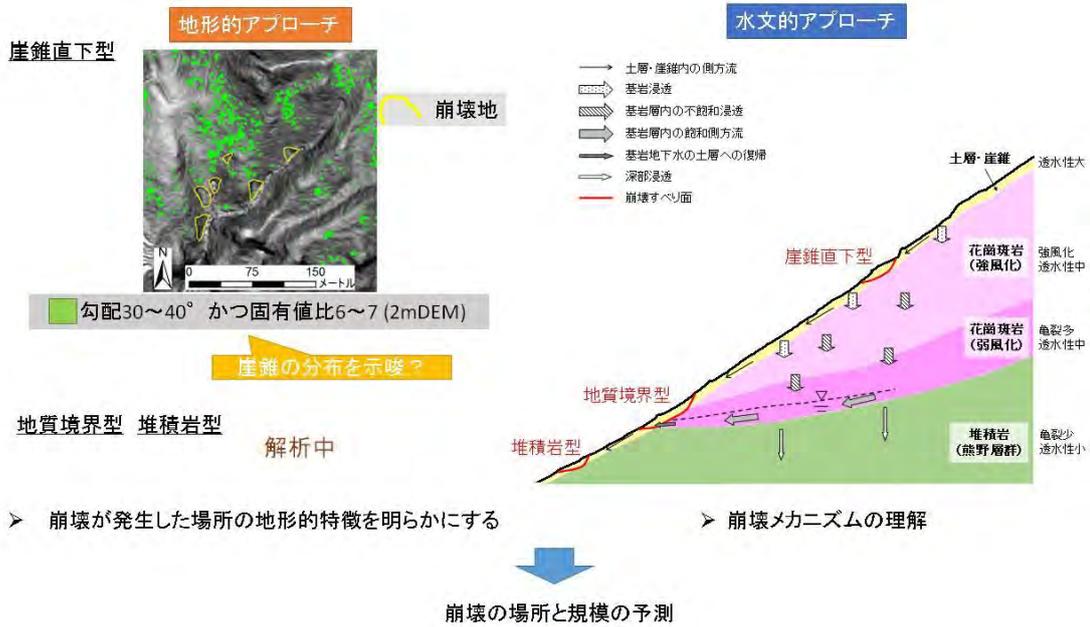
北海道大学の取り組み

笠井美青 桂真也

平成23年紀伊半島大水害時に那智川流域で発生した表層崩壊について、  
「場所・面積」と「地形・水文的特徴」との関係について明らかにする

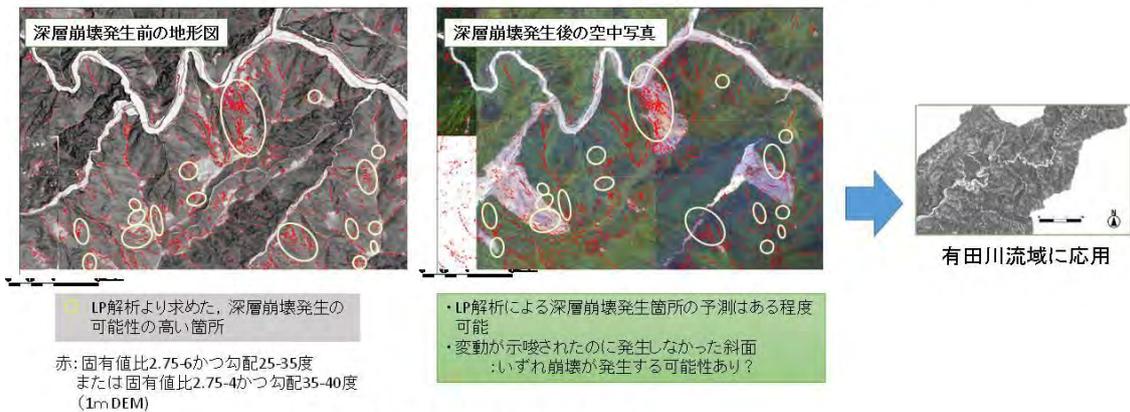
→ 表層崩壊危険斜面の推定





有田川流域の深層崩壊発生斜面の予測

平成23年度に深層崩壊が多発した十津川流域の地形的特徴を求め、今後深層崩壊が起こり得る可能性のある有田川流域に適用する。



十津川流域における深層崩壊発生場の地形解析

※水文的アプローチも検討予定

河川砂防技術研究開発公募制度に基づく研究開発成果

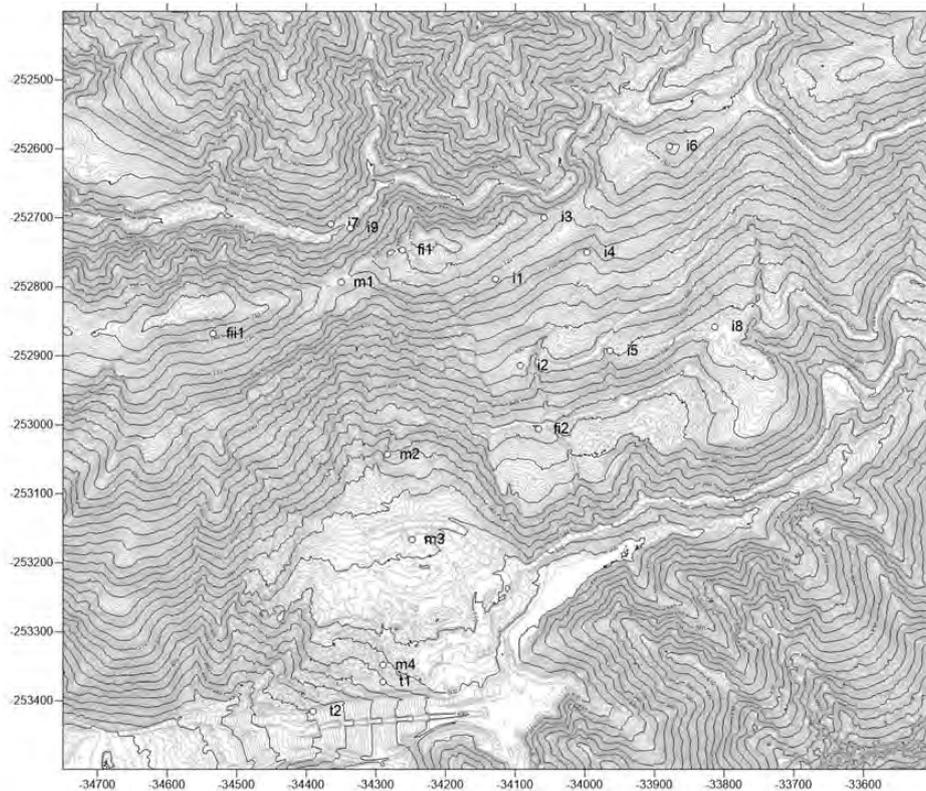


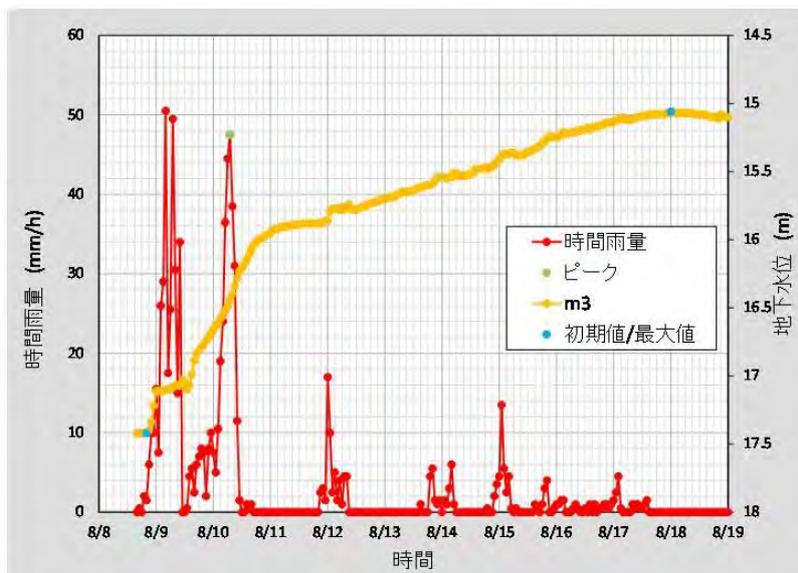
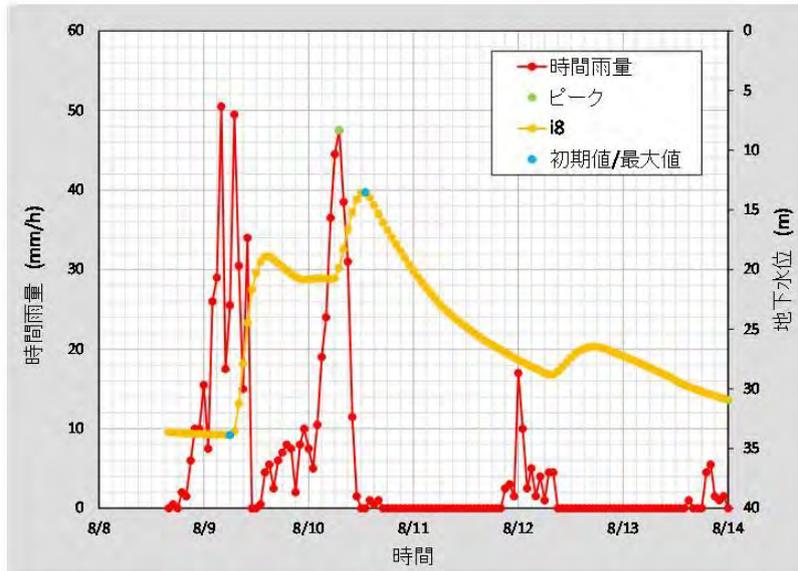
#### 目的

本委託研究は、紀伊山地付加体の水文特性を明らかにし、深層崩壊危険斜面の絞り込み・ソフト・ハード対策の検討等に有用な水文調査解析手法を開発することを目的として行うものである。

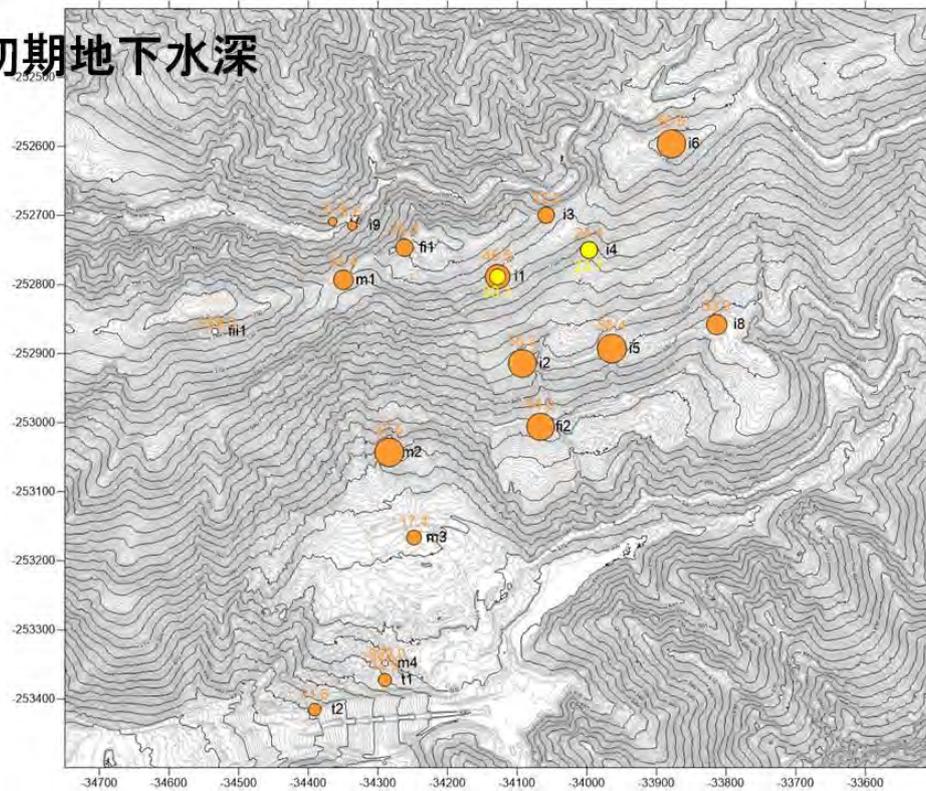
### 研究項目(1)「地形・地質・水文データの整理と解析」

H23年の台風12号による豪雨後に発生した最も大きな降雨イベントの一つを対象として、数年に一度の大規模降雨時における地下水位応答を詳細に解析した。

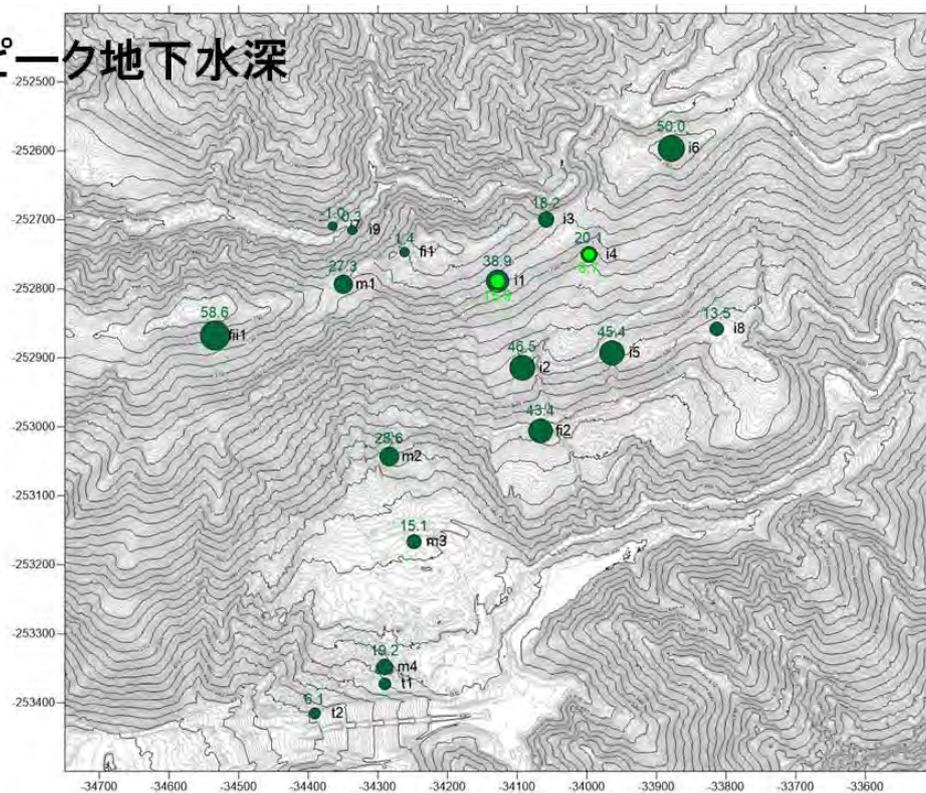




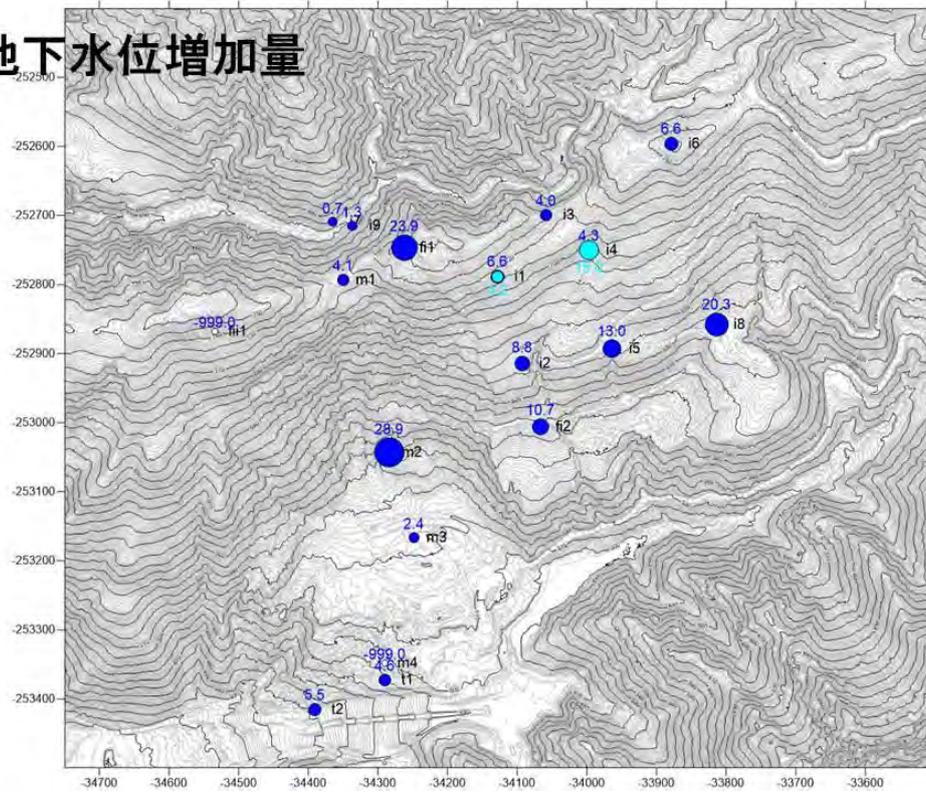
# 初期地下水深



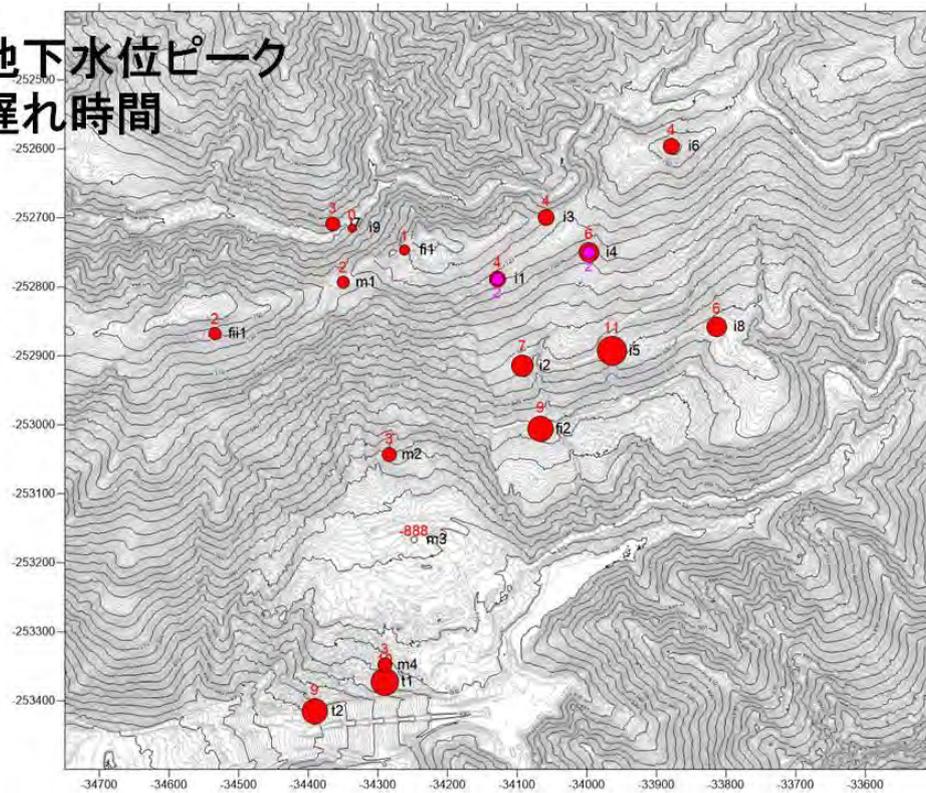
# ピーク地下水深

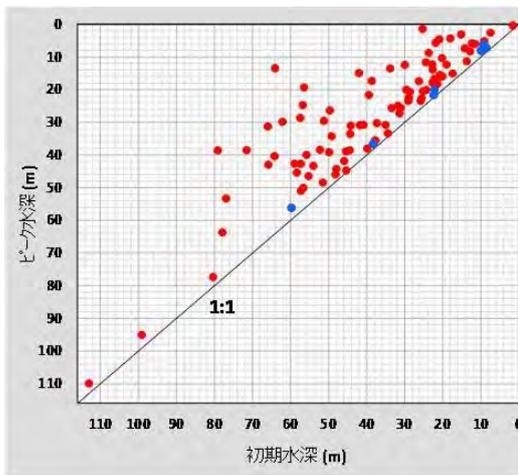
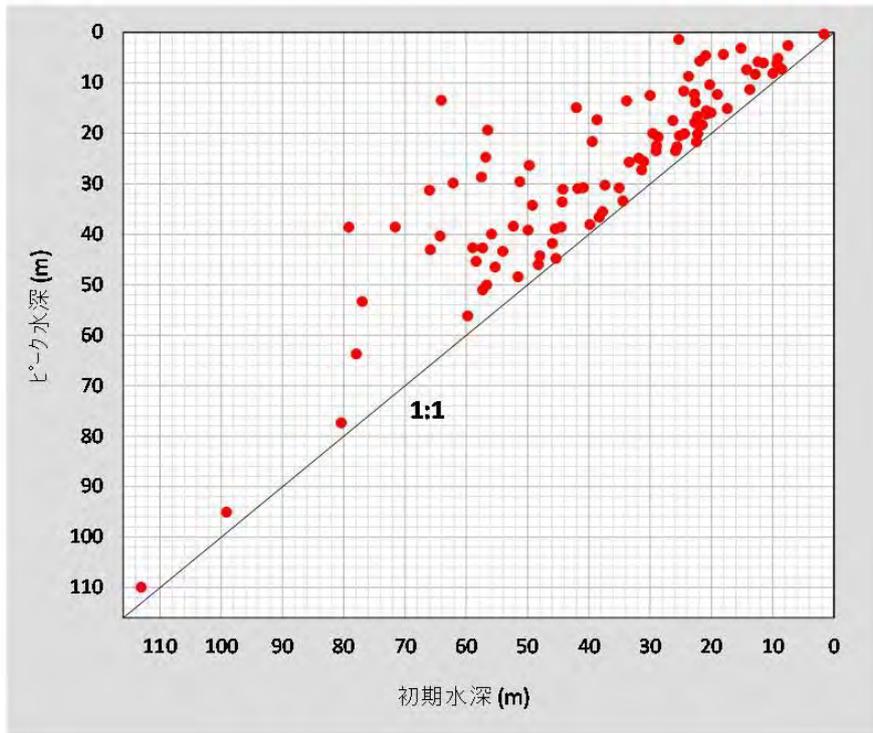


# 地下水位増加量

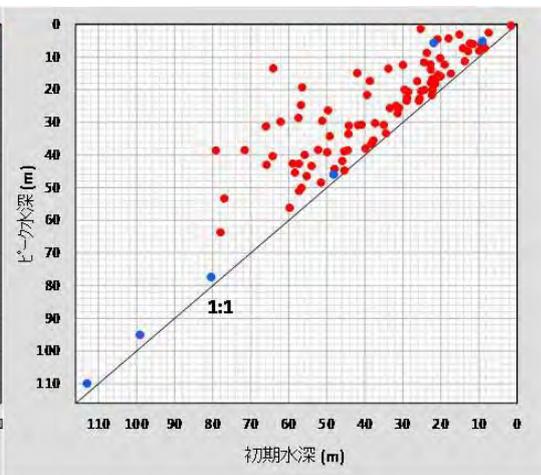


# 地下水位ピーク 遅れ時間

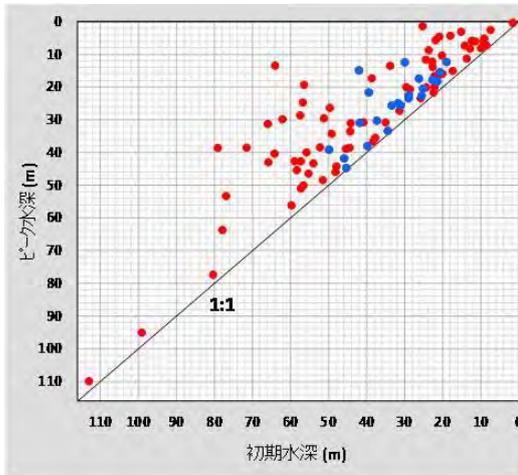




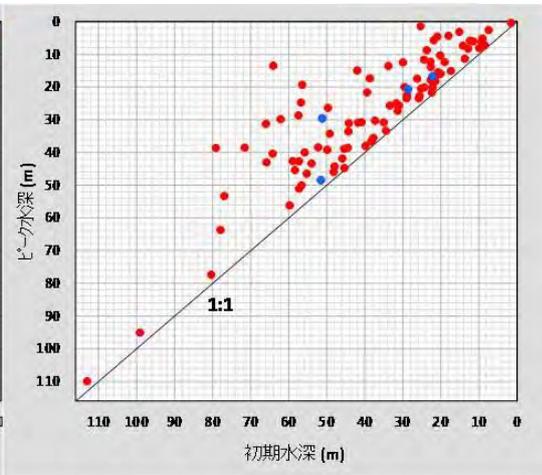
那智(鳴子谷川, 平野川)



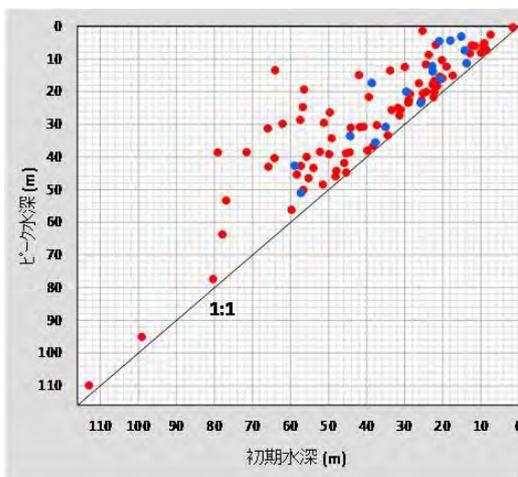
那智(金山谷川)



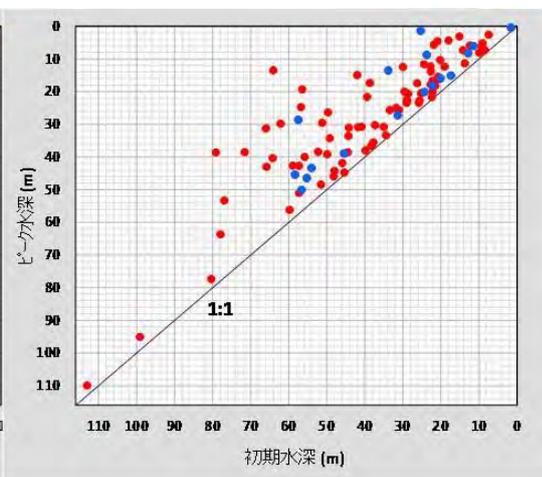
冷水



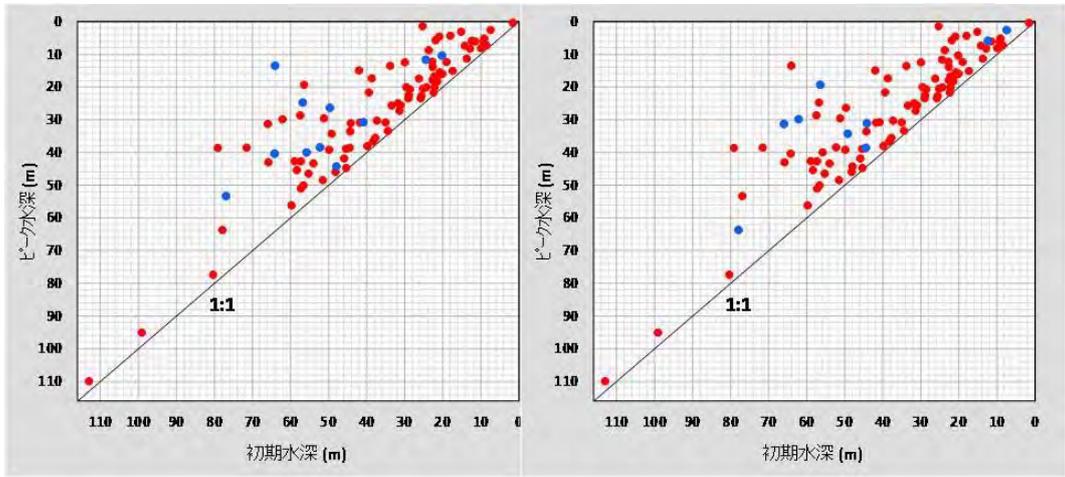
清水



北股

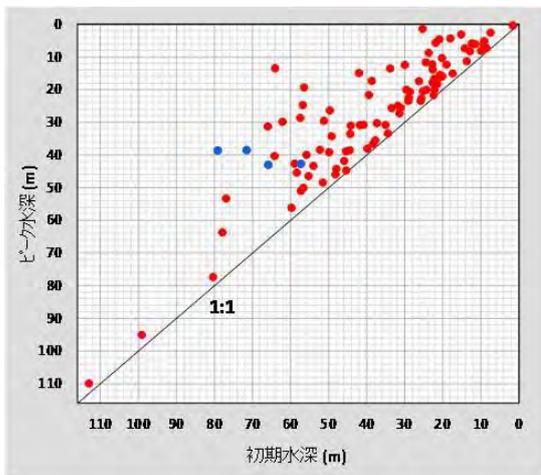


熊野

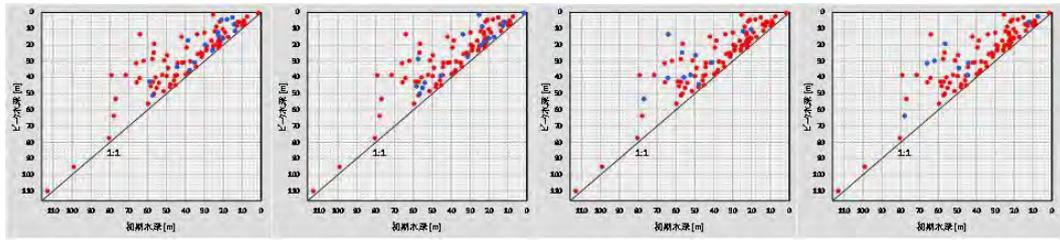


長殿

赤谷



栗平

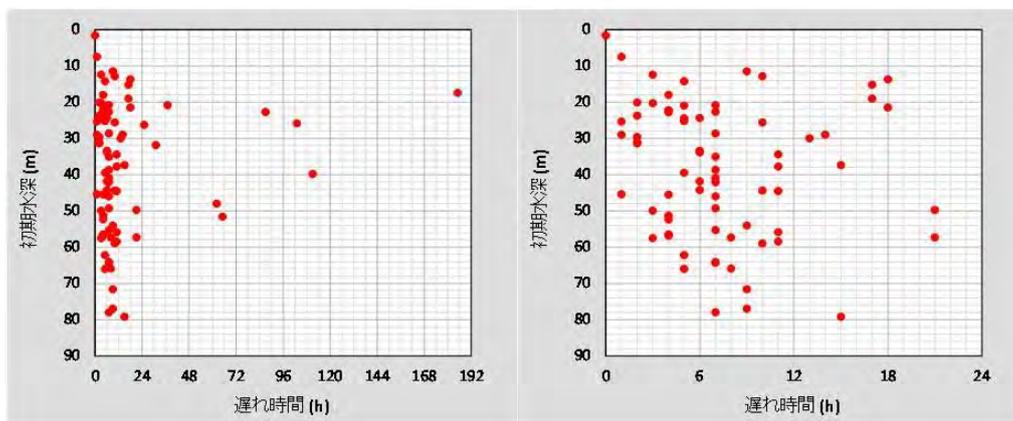


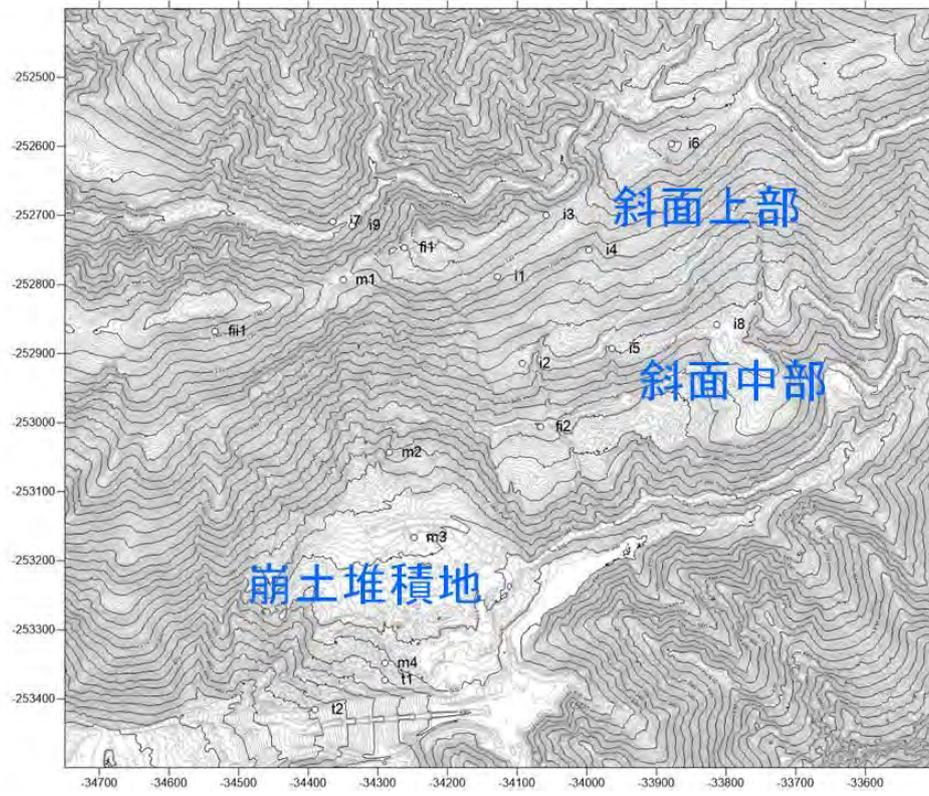
北股

熊野

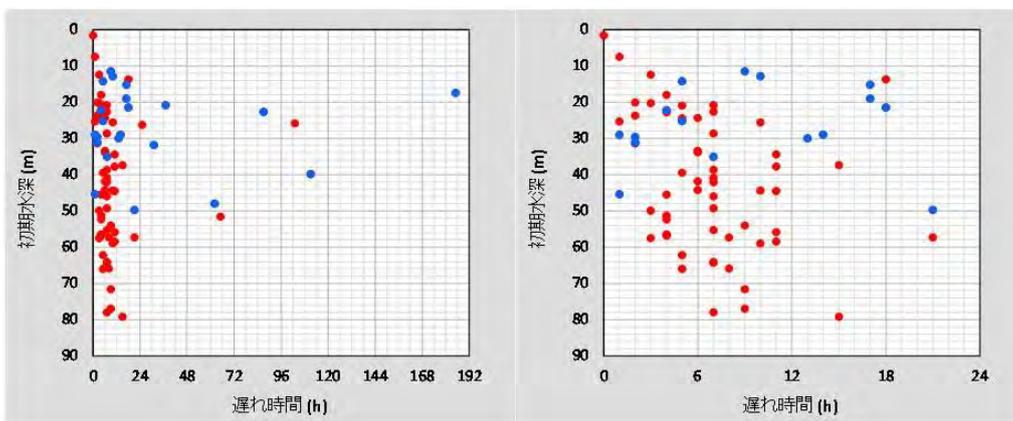
長殿

赤谷

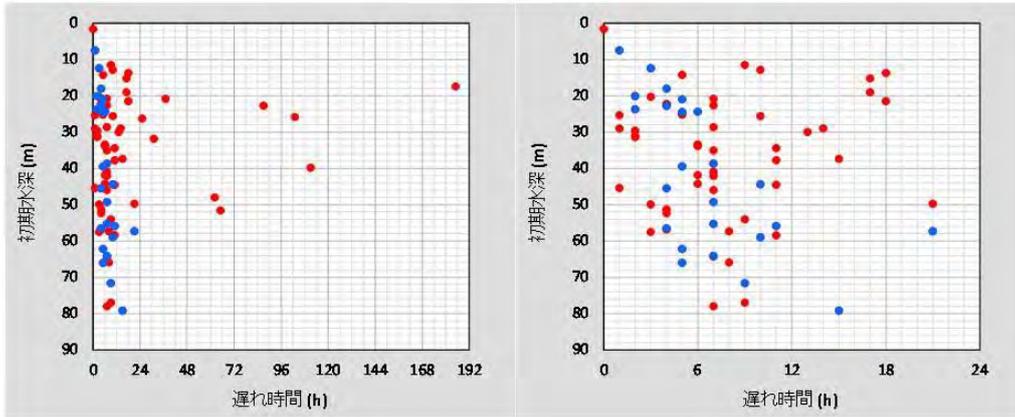




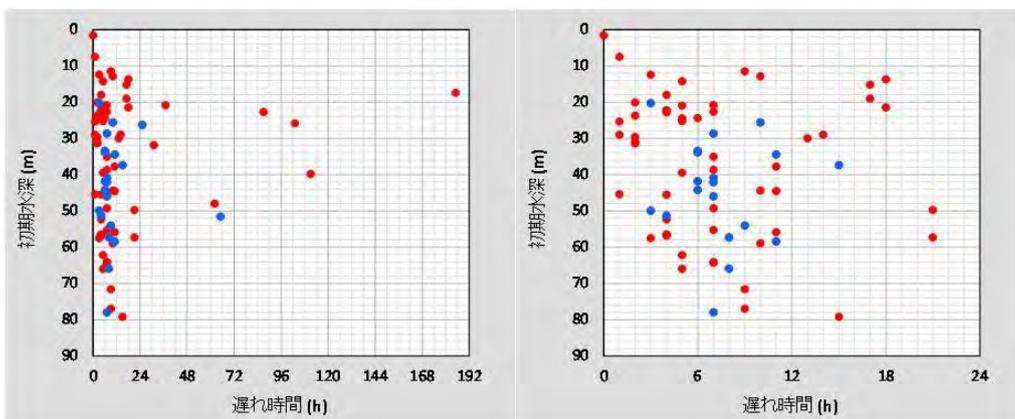
## 崩土堆積地



## 斜面上部



## 斜面中部



深層崩壊が発生した付加体堆積岩の地域についてみると、清水、北股、熊野、長殿、赤谷・栗平の順で、豪雨時の地下水位上昇量が次第に大きくなる傾向が見られた。この地下水位上昇量の大きさは、それぞれの地区で発生した深層崩壊の土砂量と良い対応を示しており、地下水位上昇量の大きな地区ほど深層崩壊の規模が大きくなる特徴が明らかとなった。このことから、豪雨時の地下水位上昇量を調査することによって、深層崩壊の規模を予測することが可能になると考えられる。

深層崩壊の発生に大きく関わるのは、稜線、斜面上部、斜面中部に存在する地下水と考えられる。このうち稜線の地下水位については、無降雨時の地下水深や豪雨時の地下水位上昇量に地点間の大きなばらつきがみられた。これは、崩壊危険斜面に地下水供給を行う地下水流動経路が、稜線において局所的に存在していることを示すものと考えられる。そのような流動経路を、調査ボーリングや物理探査で特定することが、深層崩壊危険斜面の推定において重要になると考えられた。

斜面上部・斜面中部では、谷型の微地形を示す地点に比べ、尾根型や平行型の微地形を示す地点において、無降雨時の地下水深が深く、豪雨時の地下水位上昇量が大きい傾向が見られた。斜面上部にある尾根型や平行型の微地形を示す地点では、特に大きな地下水位上昇が観測された。このことから、斜面上部に明瞭な谷地形が発達せず、尾根型や平行型の微地形が優先する斜面では、豪雨時に大規模な地下水位上昇が生じて、過剰間隙水圧によって不安定となる可能性が高いと考えられる。このような特徴を有する斜面において、調査ボーリングや物理探査を行うことが、深層崩壊の予測において有益であると考えられた。

稜線、斜面上部、斜面中部では、無降雨時の地下水深が深い地点ほど、時間雨量のピークに対する地下水位のピークの発生時刻が遅くなる傾向が見られた。これは、地下水深が深いほど、雨水の鉛直浸透に長時間を要するためだと考えられる。このことから、無降雨時に地下水深が深い地点ほど、深層崩壊発生のタイミングが遅くなることが推察される。よって、調査ボーリングや物理探査により通常時の地下水深を把握しておくことが、警戒・避難を解除するタイミングを検討する上で重要になると考えられた。

## 研究項目(2)「雨水と湧水の安定同位体比の計測と解析」

降雨の安定同位体比(特に酸素安定同位体比を表す $\delta^{18}\text{O}$ 値)に見られる高度効果を活用して、紀伊山地付加体の深層崩壊危険箇所抽出を行う方法について検討を加えた。

### 安定同位体とは

- ・原子番号が同じで中性子数(質量)が異なる原子
- ・自然界に一定の割合を持ち、安定して存在している

特に、水を構成する水素(H)と酸素(O)の安定同位体は自然のトレーサーとして大気水循環の研究に頻繁に用いられる。

## 安定同位体比とは

安定同位体の存在比を表す**安定同位体比**は、ある標準試料からの千分率偏差(‰) =  $\delta$ 値を用いて表す

$$R = {}^{18}\text{O} / {}^{16}\text{O}$$

$$\delta^{18}\text{O} = \left( \frac{R_{\text{sam}}}{R_{\text{st}}} - 1 \right) \times 1000 \quad [\text{‰}]$$

分析サンプルの値

スタンダード(海水)の値

$\delta^{18}\text{O}$ が小さくなるほど、 ${}^{18}\text{O}$ の割合が少ない(軽い)水を表す

## 安定同位体比を用いた水文学

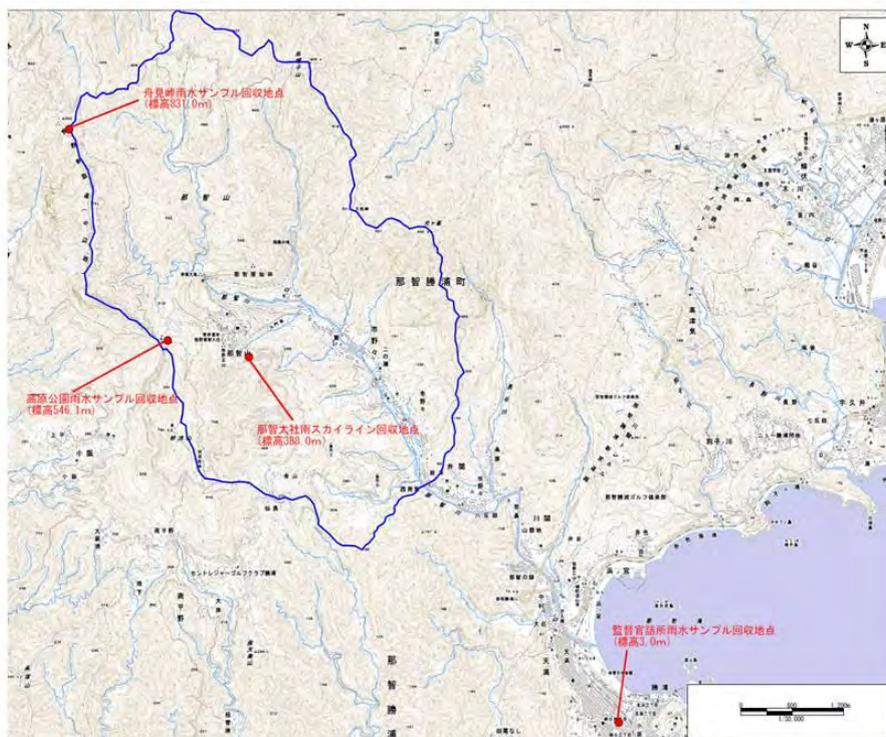
### 水の $\delta^{18}\text{O}$ 値を用いる利点

水同位体は、溶存化学成分等とは異なり、土壌や基岩との化学反応によって水と異なる挙動をとることはない

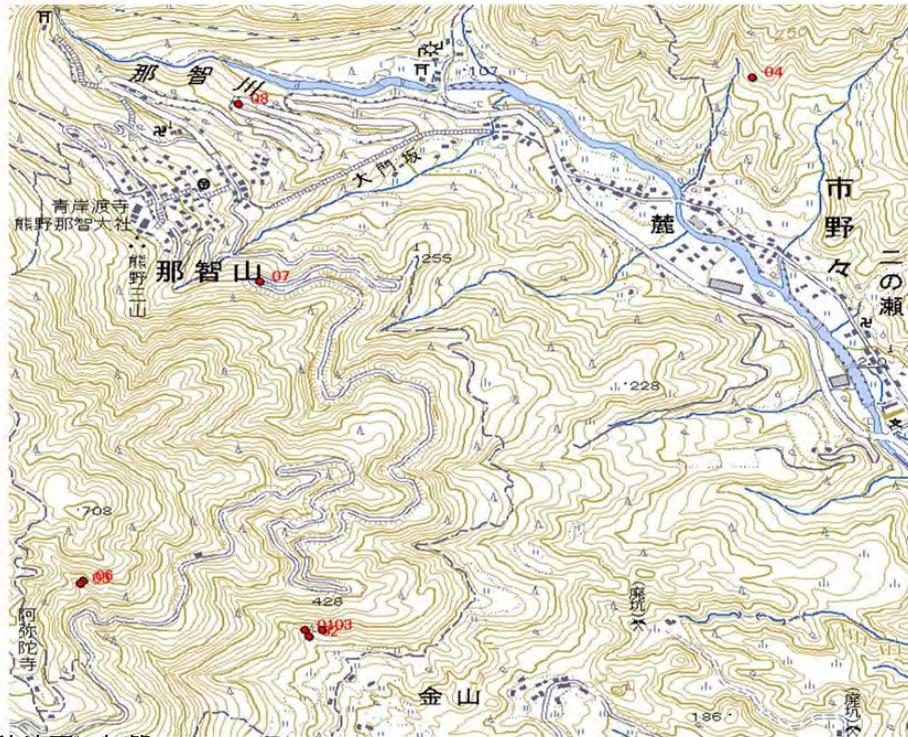
- ⇒ 水が山体内部を移動中に、 $\delta$ 値は変動しない
- ⇒  $\delta$ 値をトレーサーとして、地下水移動経路の推定が可能



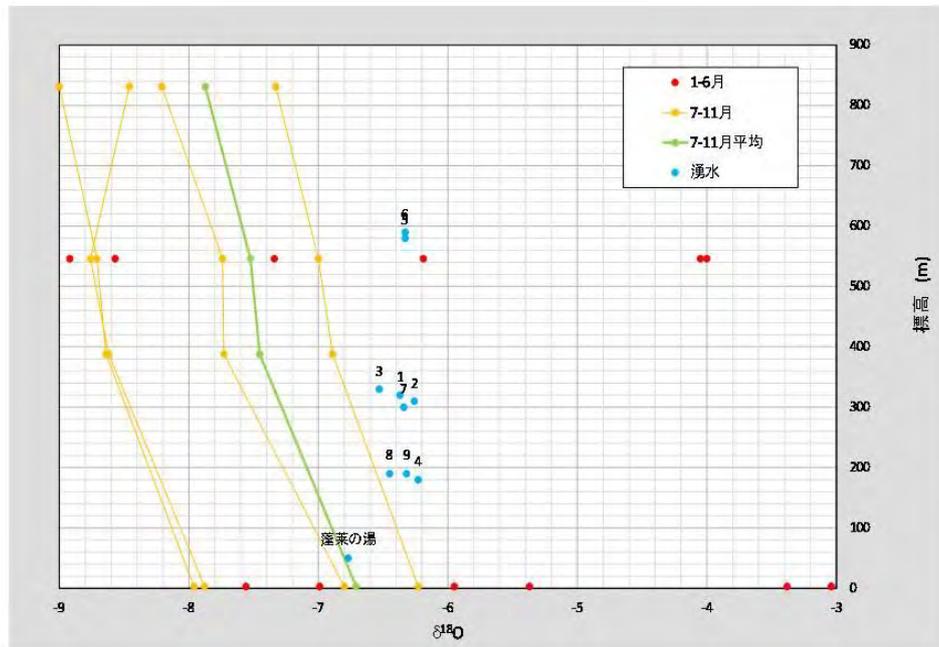
波長可変半導体レーザー吸収  
分光法に基づく水同位体分析計  
(L1102-i, Picarro, CA, USA)



地理院地図に加筆



地理院地図に加筆



$$d\text{値} = \delta D - 8 * \delta^{18}O$$



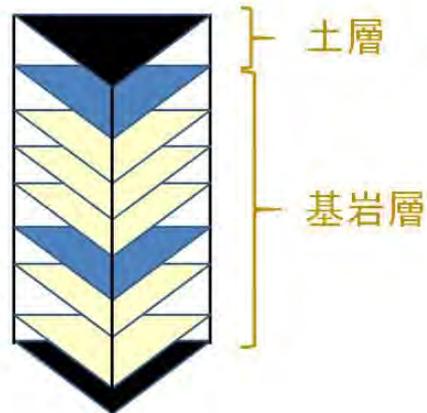
紀伊半島では、多くの地区において、降雨の安定同位体比が標高と共に低下する高度効果が認められ、手法の有効性が示された。ただし降雨の安定同位体比には大きな季節変動が見られることから、地下水・湧水の安定同位体比との絶対値の比較を行う際には、周年に渡る採水・分析を行う必要があることが示された。

地下水、湧水の同位体計測によって、多くの調査地区において、深層崩壊発生に寄与する基岩深層の地下水流路が存在することが示唆された。一方、一部の調査地区では、深層崩壊地周辺において、高度効果に従わない安定同位体比を持つ基岩深層地下水の湧出は検出されなかった。以上のことから、安定同位体比の計測は、多くの地区において地形に依存しない地下水の流動経路を検出し、深層崩壊の発生危険箇所を抽出するのに役立つが、安定同位体比の高度効果における異常値が見られない地区においても深層崩壊が発生していることが判明した。

降雨の安定同位体比の長期計測を実施した那智地区の結果からd値( $\delta^{18}O$ と $\delta D$ の相関図における切片に相当する値)が、明瞭な季節変動を示すことが確認された。このことから、湧水のd値の季節変動を調べ、地下水の滞留時間を推定する解析手法を用いれば、高度効果における異常値が検出されない地区においても、地下水の賦存・流動状況の詳細を把握することが可能となり、積算雨量の増大に伴う大きな地下水位上昇を推定し、深層崩壊発生の予測が行える可能性があることが示された。

### 研究項目(3)「紀伊山地付加体に特化した物理水文モデルの開発と適用」

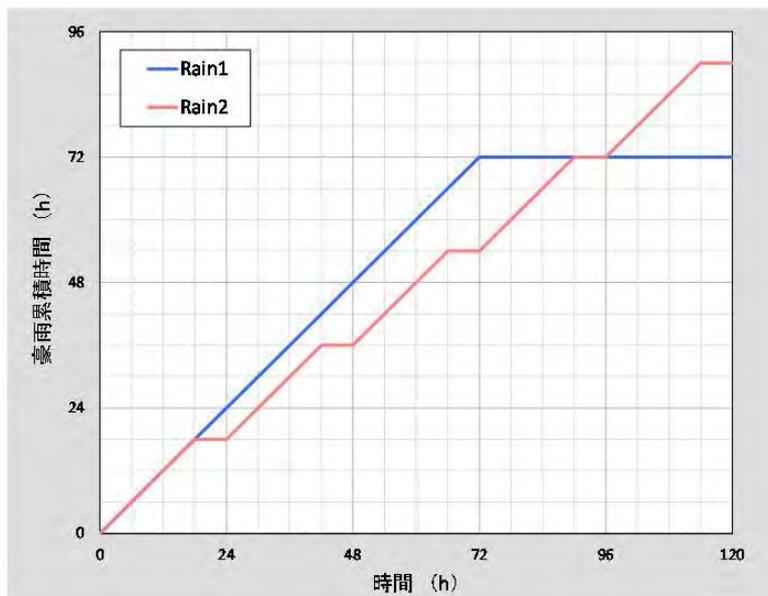
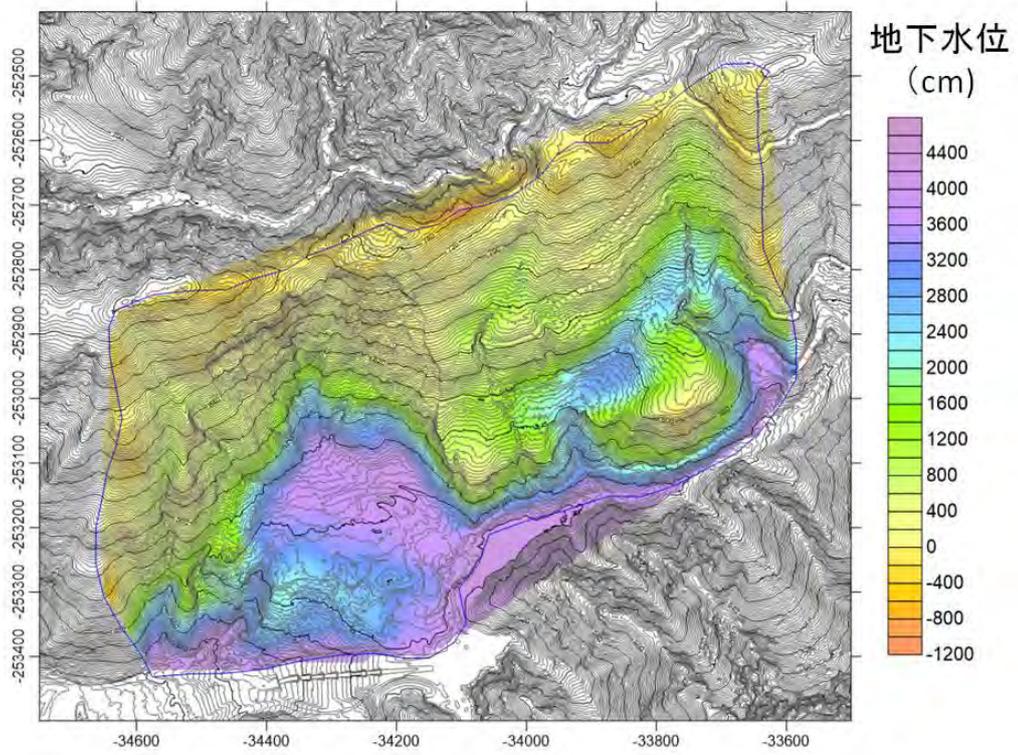
豪雨時の地下水位変動を解析できるモデルを開発し、熊野、赤谷、長殿、清水、北股、冷水、栗平、那智地区の解析を行った。

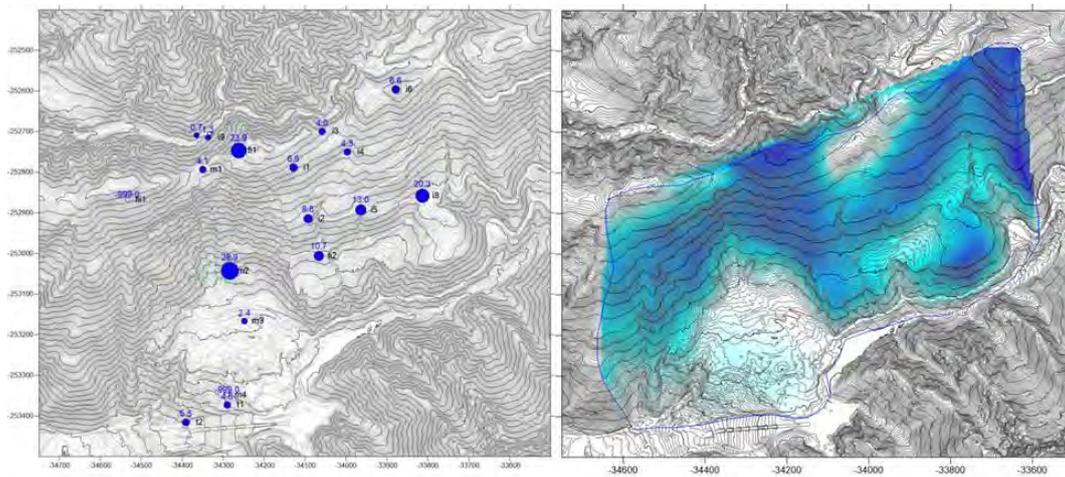
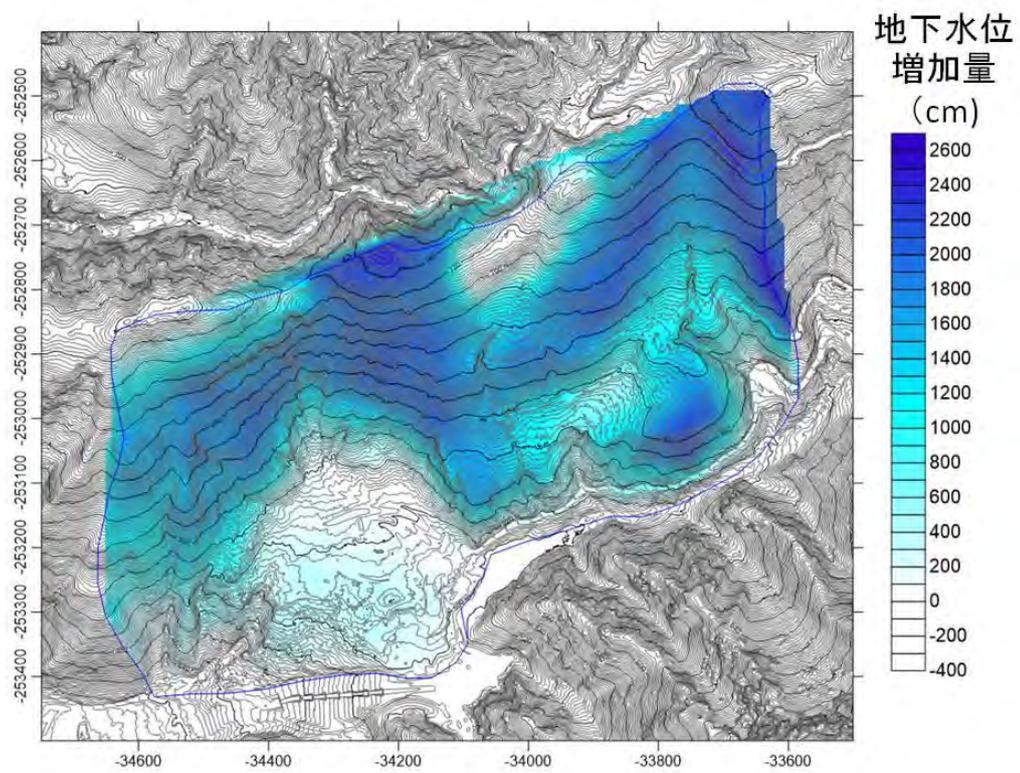


#### Richards式

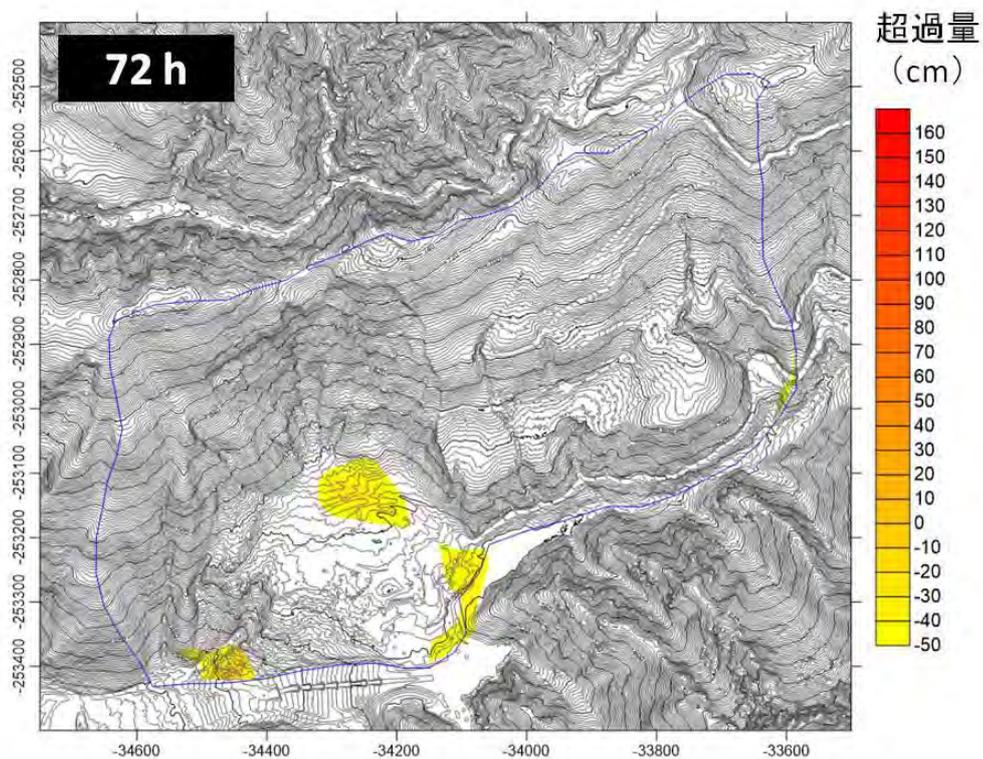
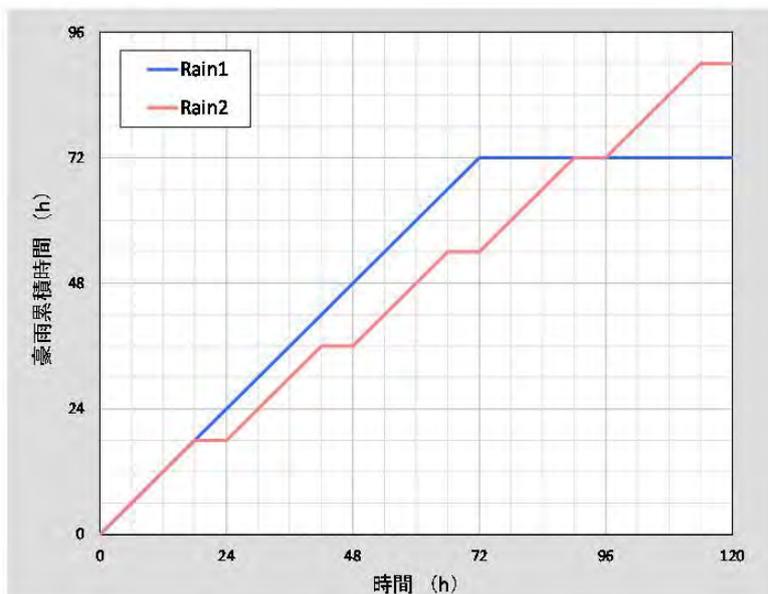
$$\frac{d\theta}{d\psi} \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left[ K \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right]$$

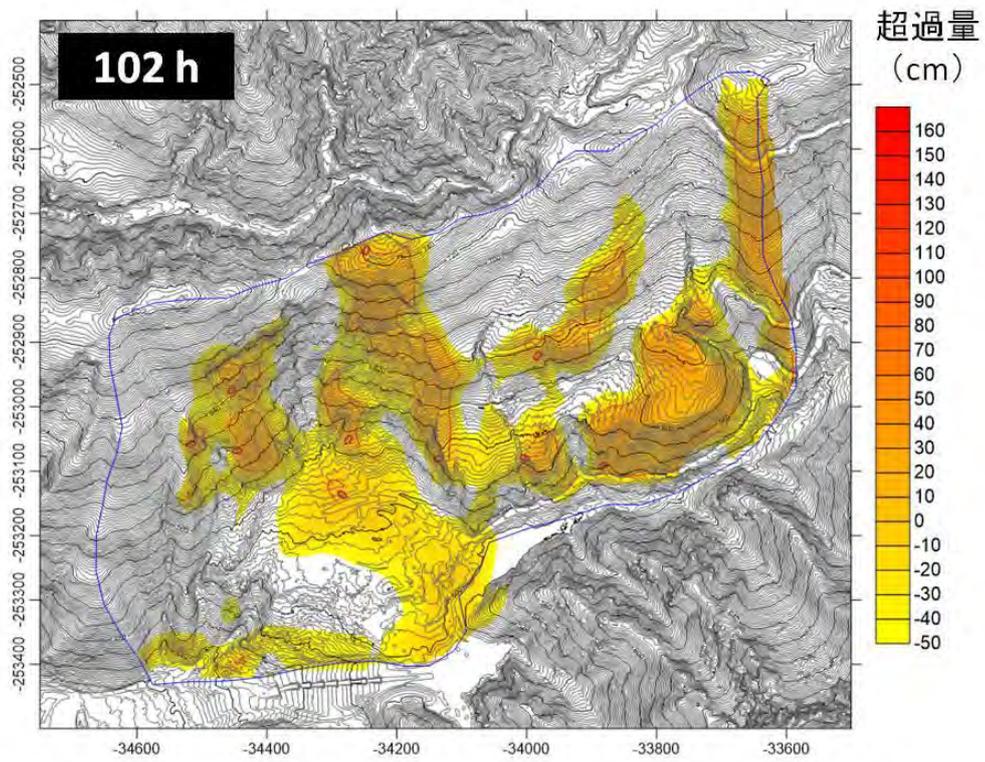
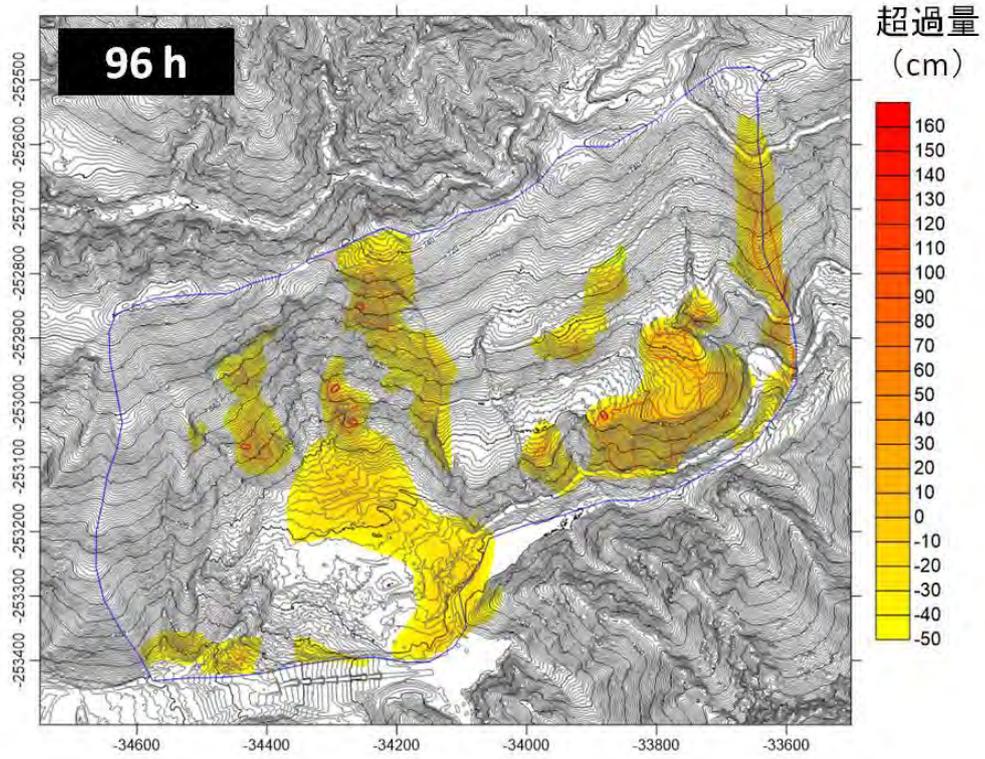
$\theta$ : 体積含水率  
 $\psi$ : 圧力水頭  
 $t$ : 時間  
 $z$ : 基準面からの鉛直距離位置水頭  
 $K$ : 透水係数

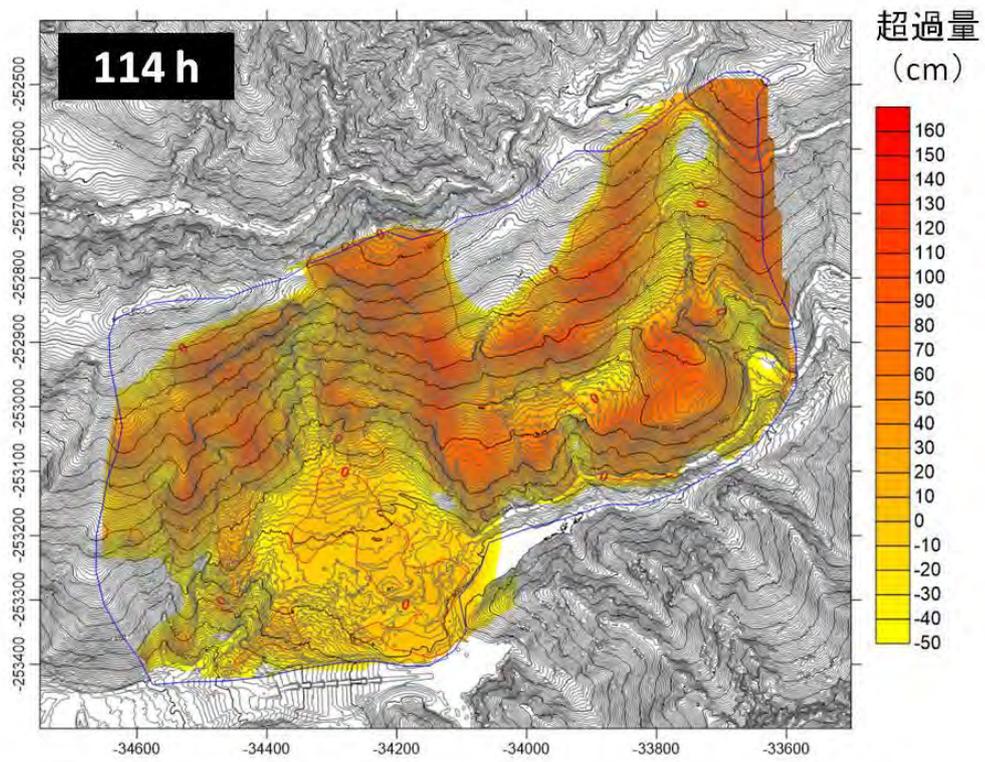
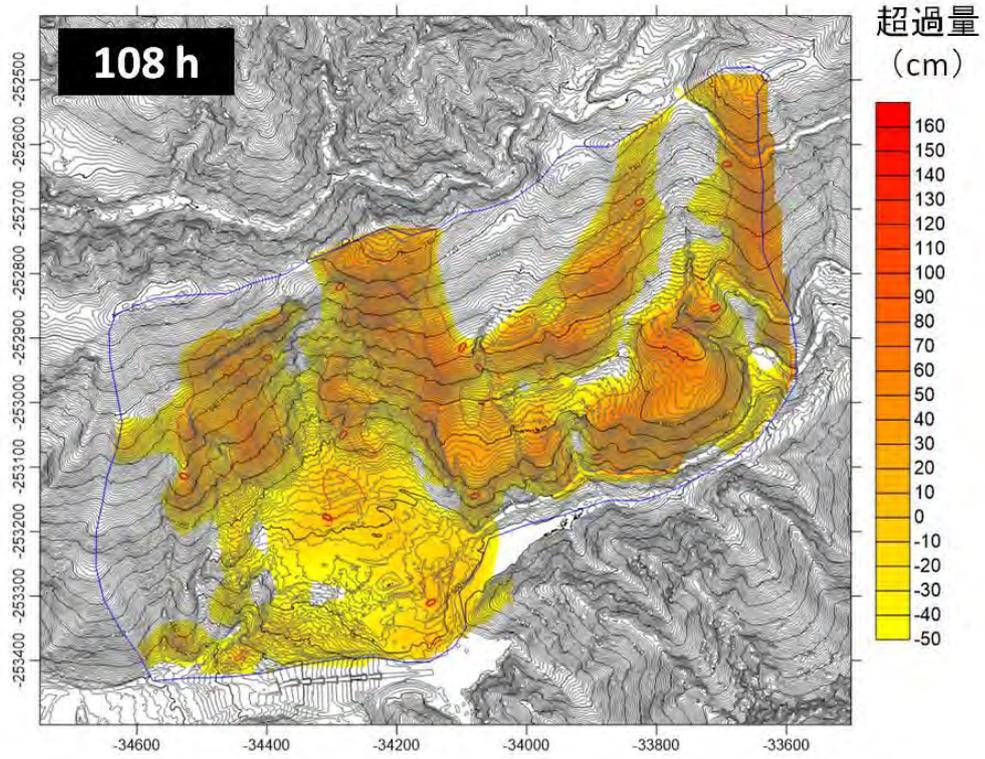


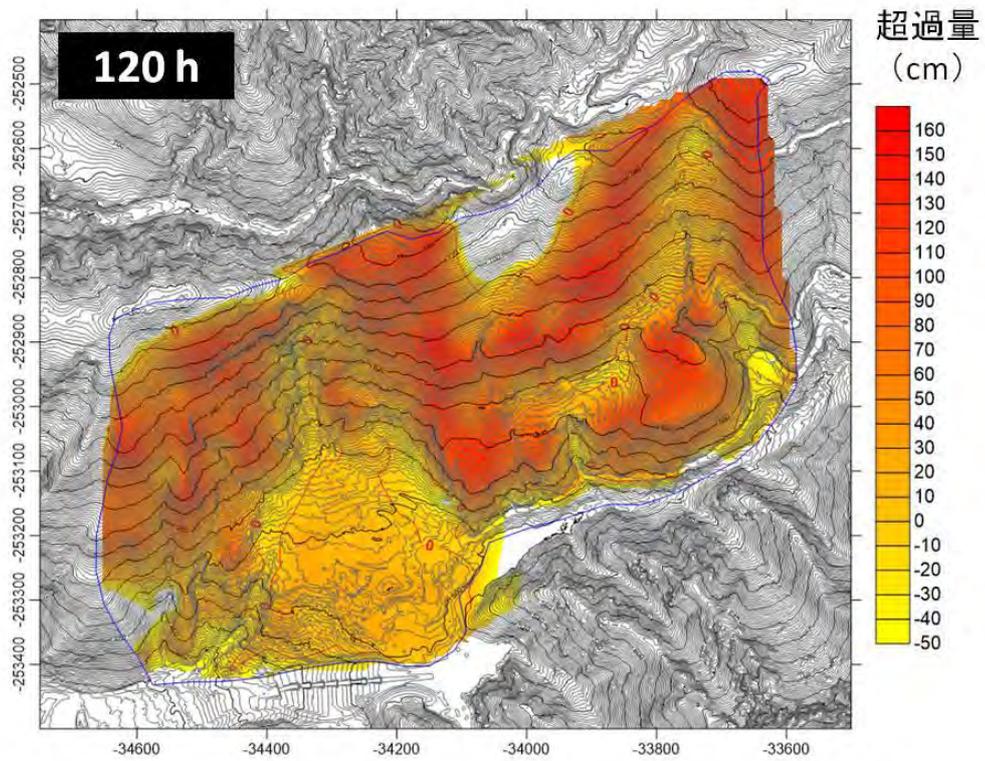


## 警戒・避難への活用

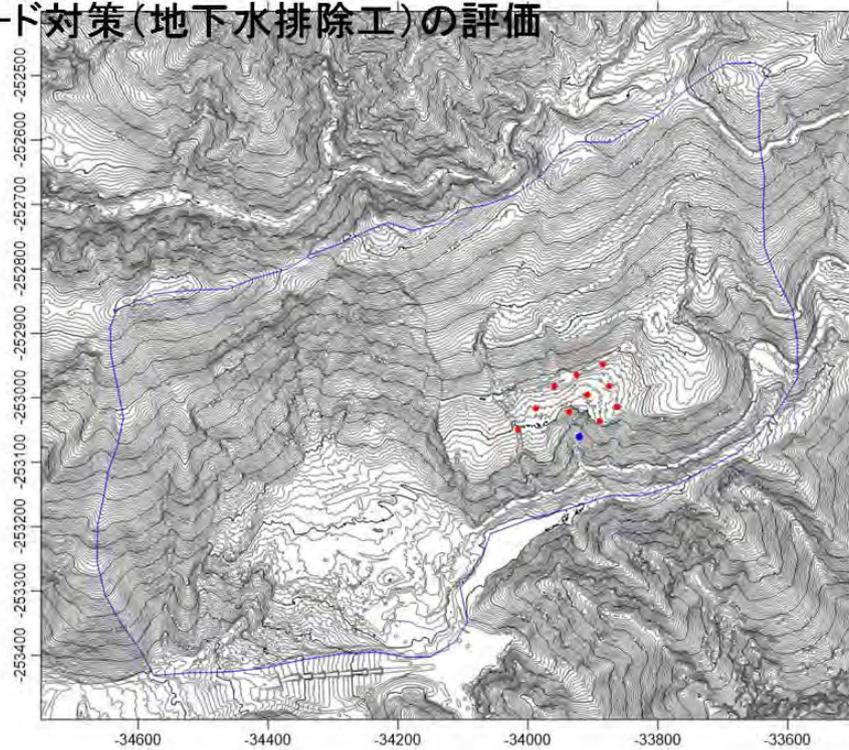


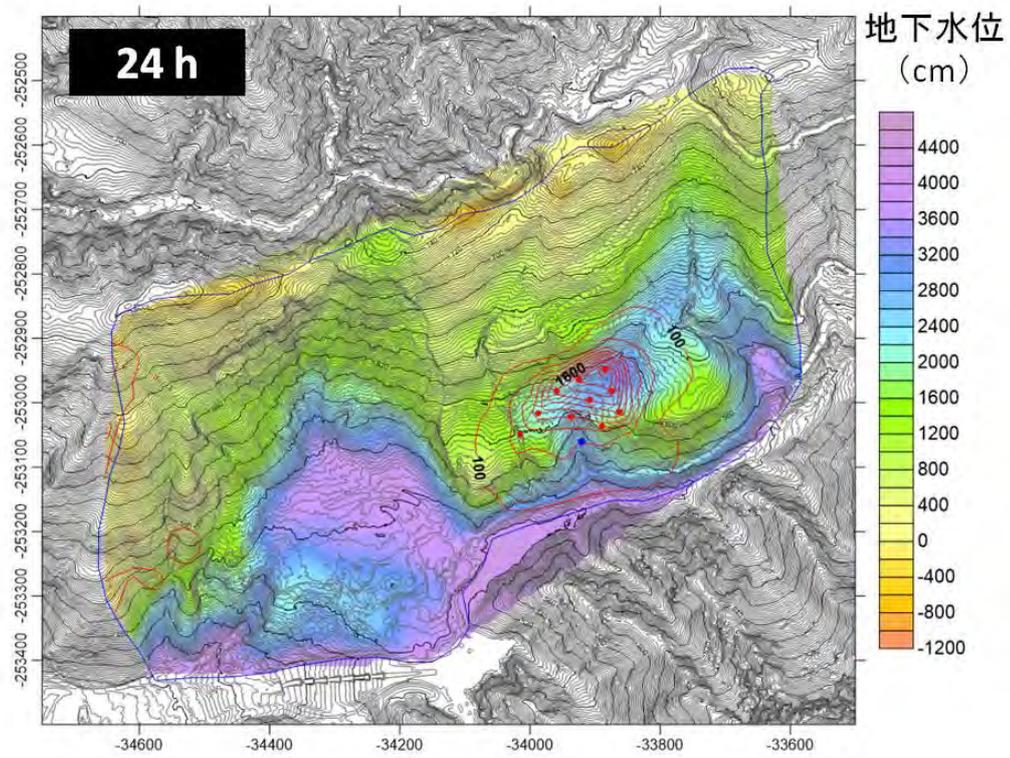
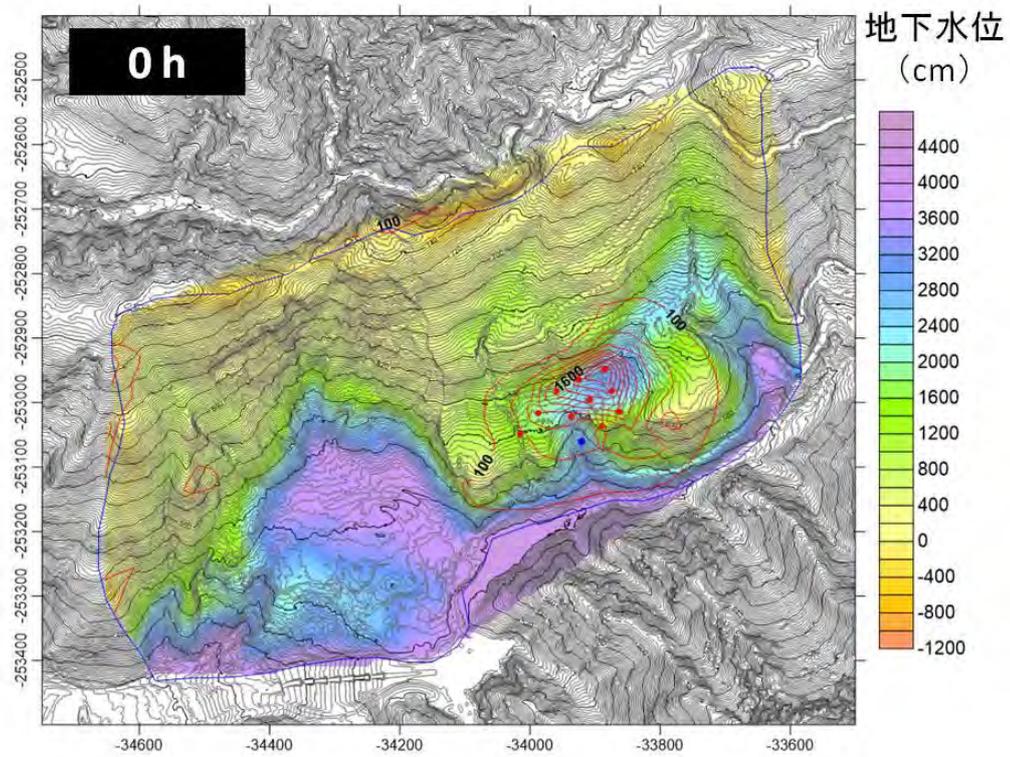


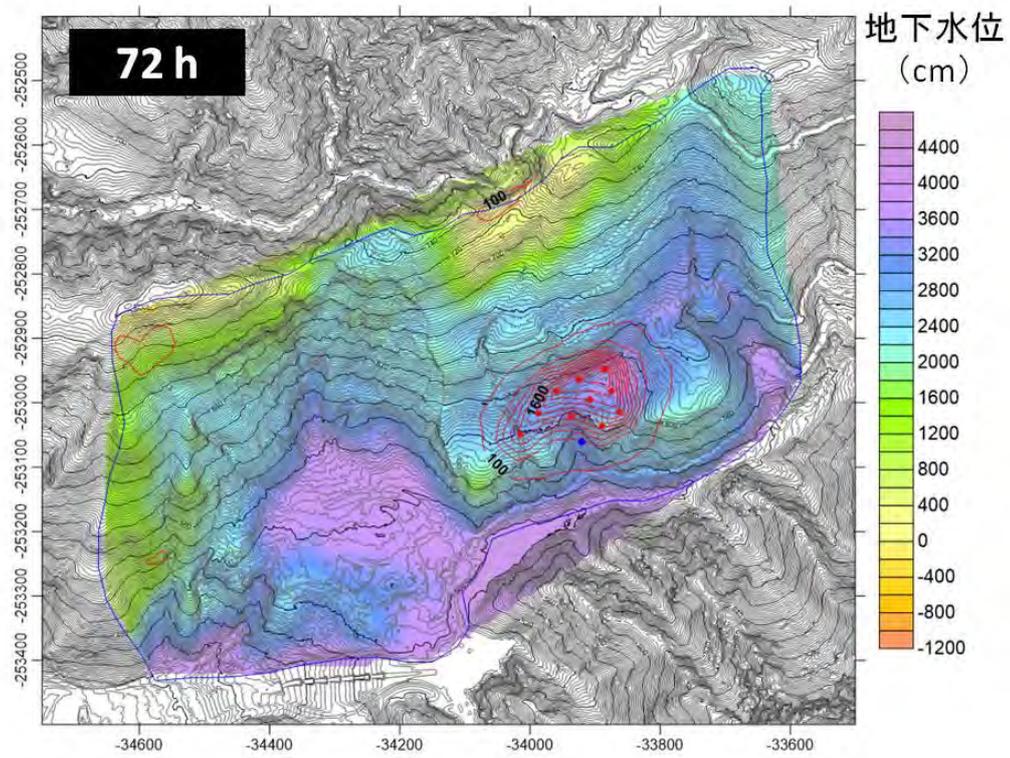
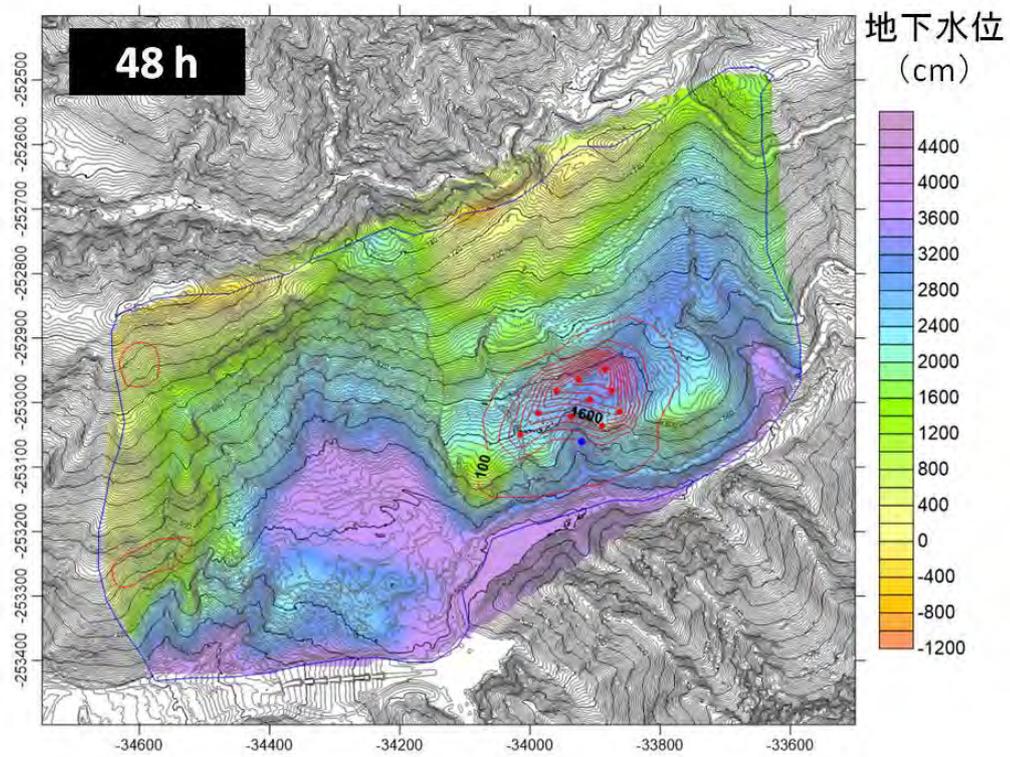


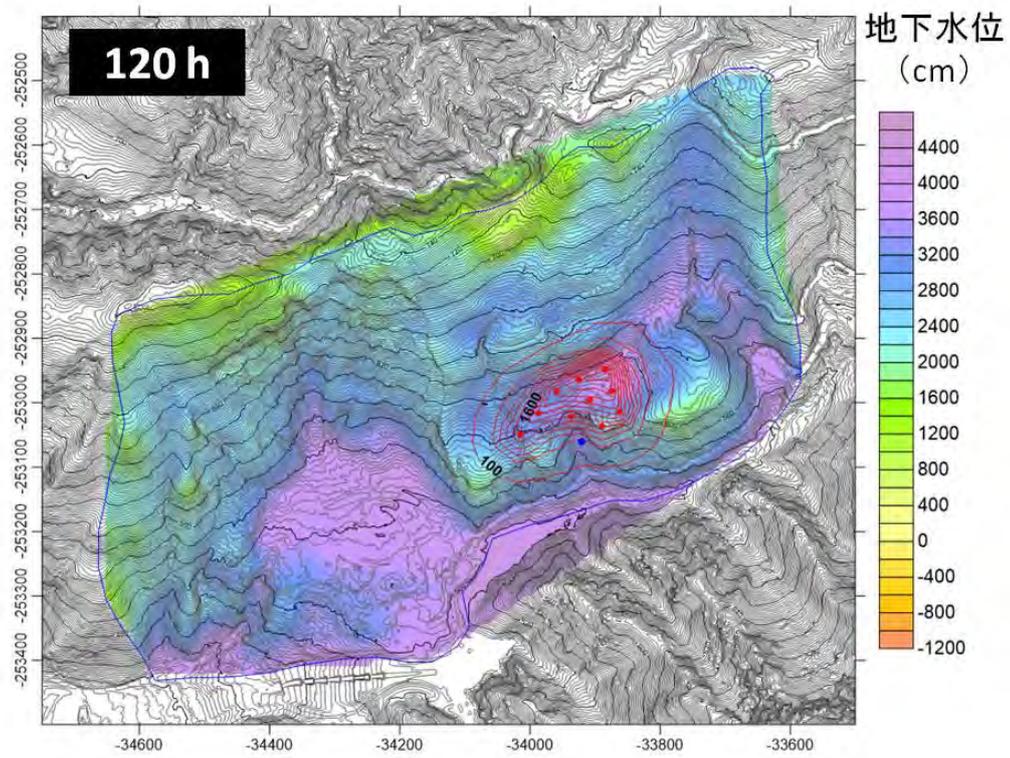
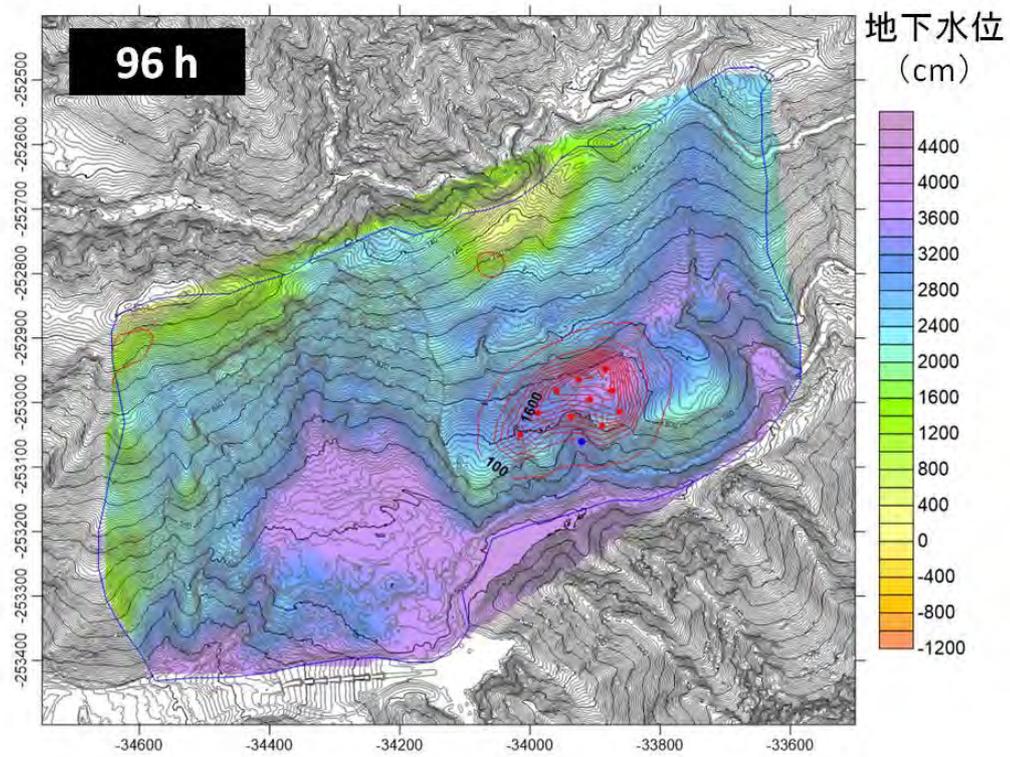


**ハード対策(地下水排除工)の評価**



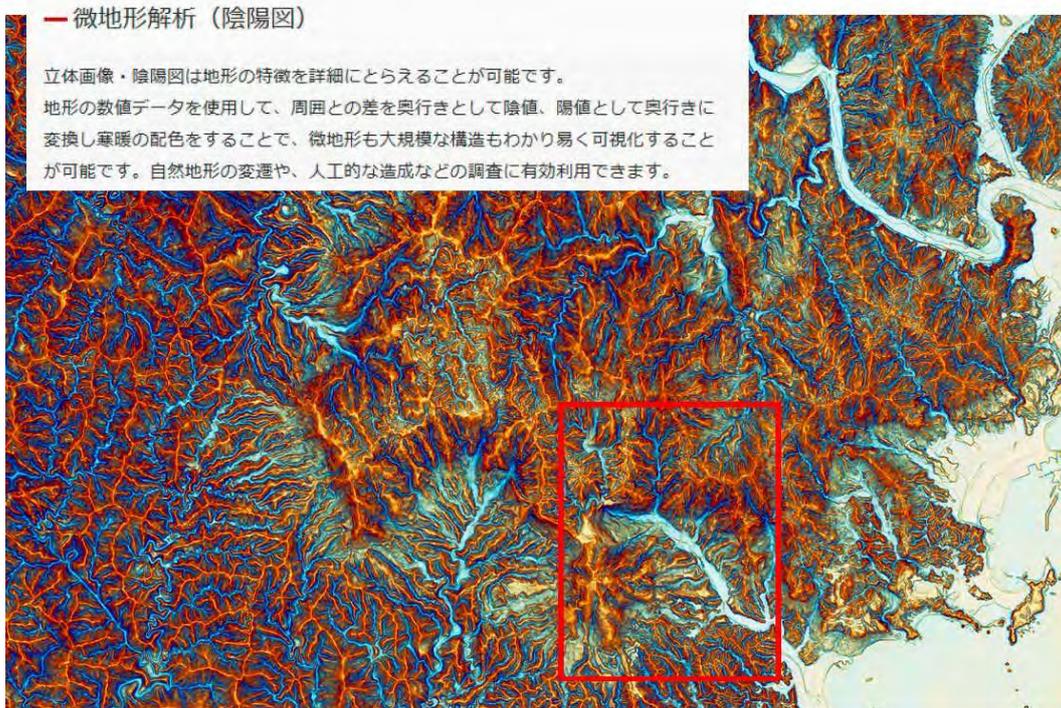




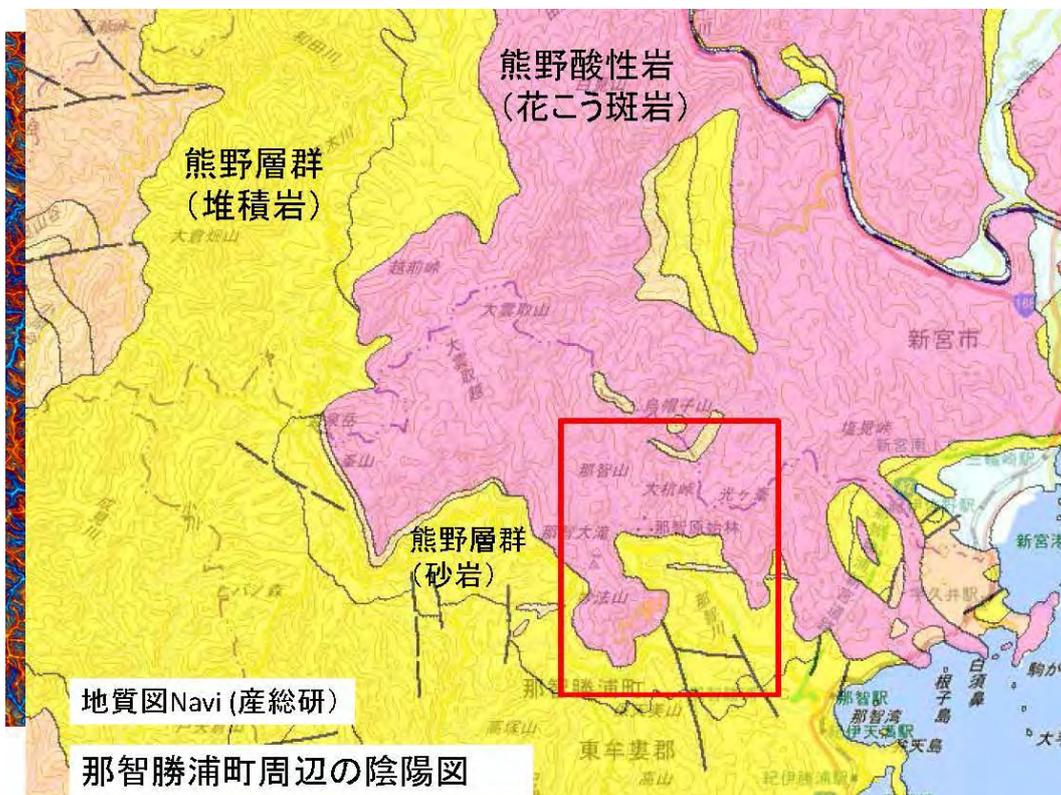


物理水文モデルを使用して紀伊半島大水害時の地下水位の再現計算を行った上で、任意の降雨波形による地下水位上昇の予測計算によって既往最大値超過の有無を判断する手法を体系化した。この手法によって、深層崩壊に対する警戒・避難の判断に有益な情報を提供できると考えられた。

深層崩壊発生リスクを低下させるためのハード対策として、水抜きボーリングによって地下水位を低下させた場合の効果を、開発した物理水文モデルを用いて評価した。その結果、地下水排除工は、水抜きボーリング掘削地点やその上流側の水位を低下させる直接的な効果に加えて、地下水脈を遮断することによって地下水流下域の水位を間接的に低下させる効果も発揮することが示唆された。そして、この間接的な効果を発揮させるためには、排水工事を斜面末端で行うのではなく、斜面中部や下部で行うことが有効であると考えられた。加えて、水抜きボーリングによる地下水排除工は、地下水位の低下に大きな効果を発揮するが、豪雨時にはその効果が及ぶ範囲が限定的になることを考慮して、施工の位置や密度を決定する必要があることがわかった。

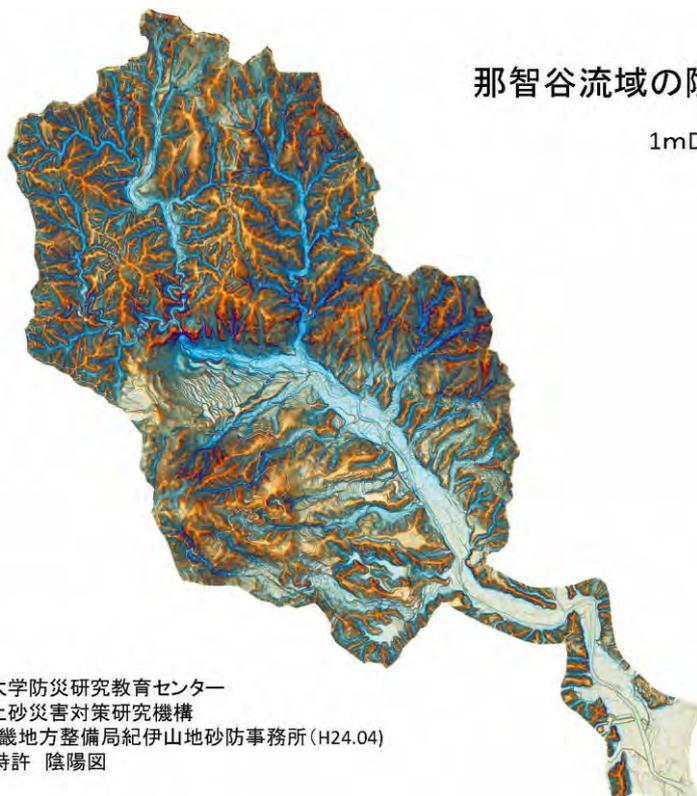


那智勝浦町周辺の陰陽図 10mDEM 和歌山大学防災研究教育センター



## 那智谷流域の陰陽図

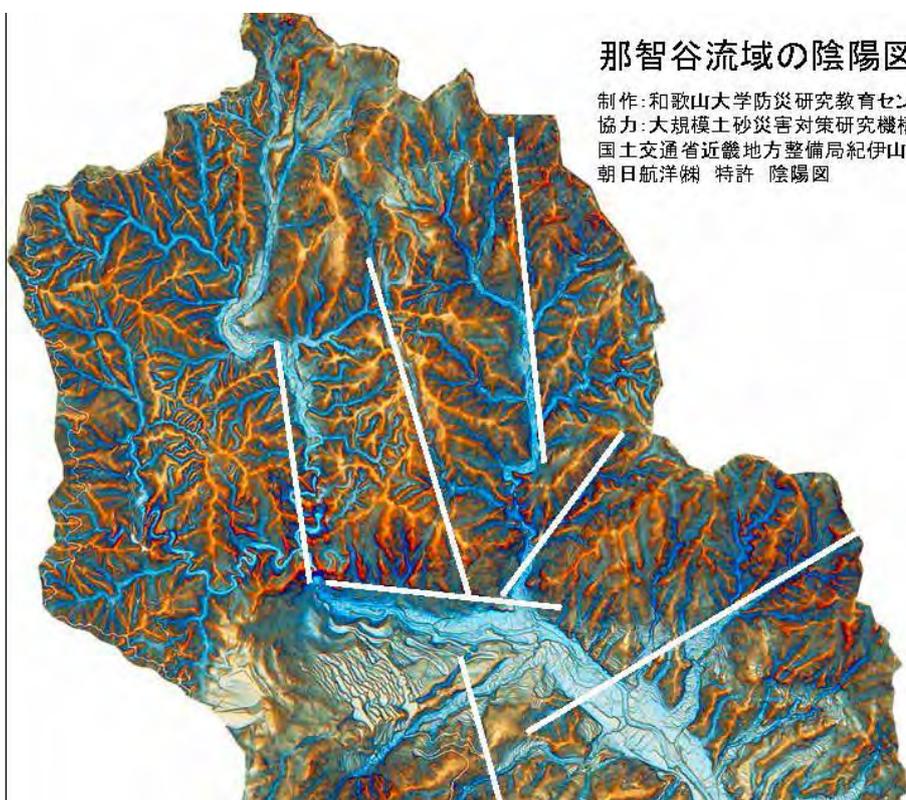
1mDEM



制作:和歌山大学防災研究教育センター  
協力:大規模土砂災害対策研究機構  
国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所(H24.04)  
朝日航洋(株) 特許 陰陽図

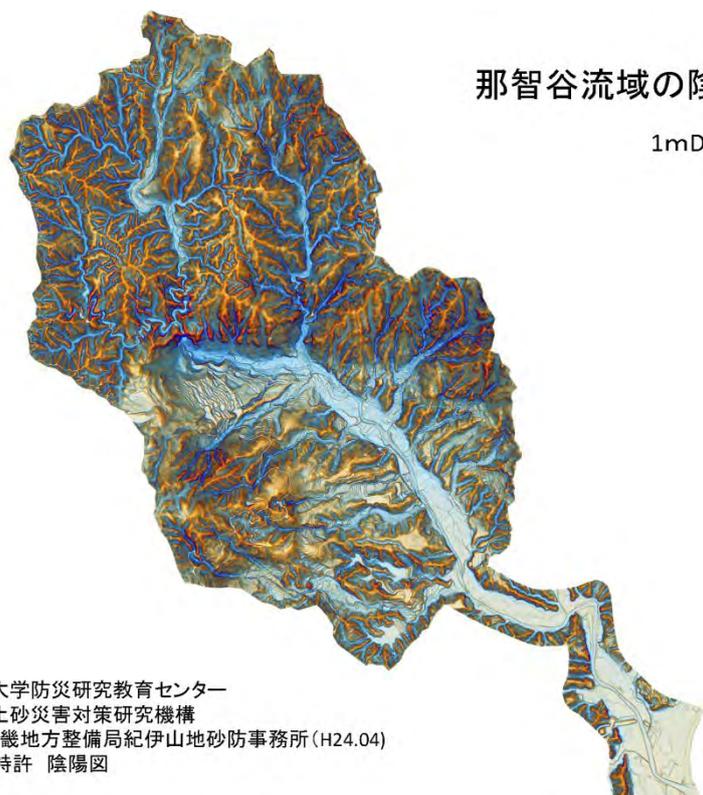
## 那智谷流域の陰陽図

制作:和歌山大学防災研究教育センター  
協力:大規模土砂災害対策研究機構  
国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所  
朝日航洋(株) 特許 陰陽図

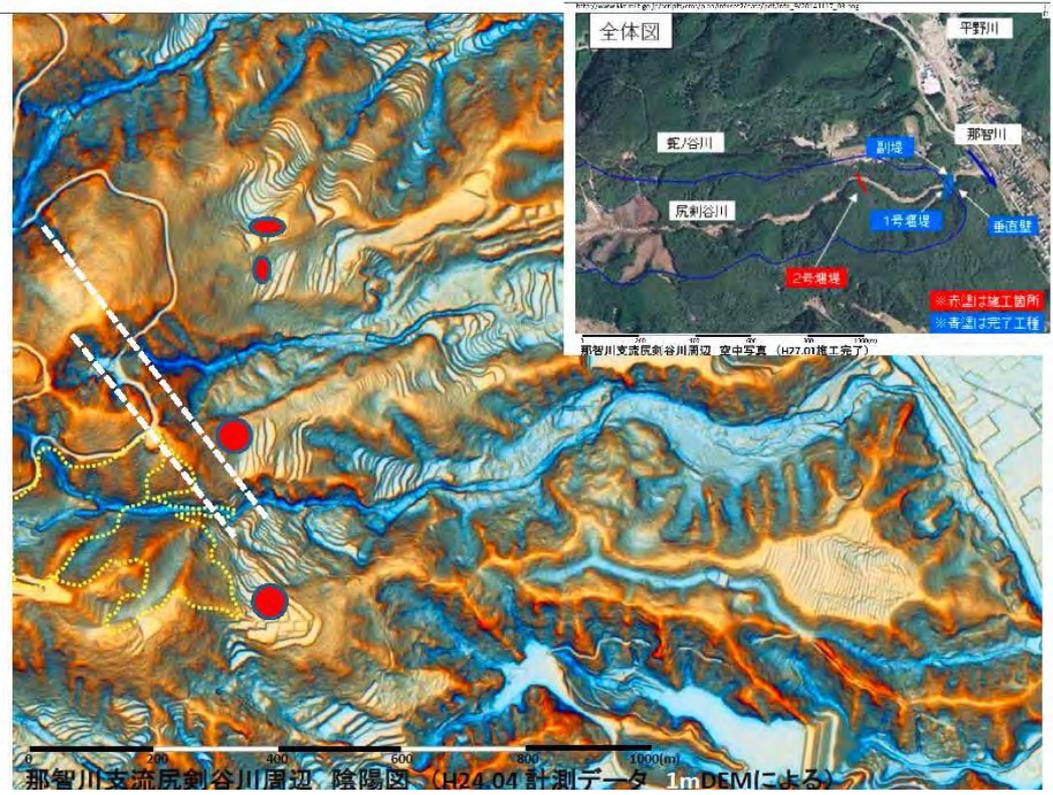


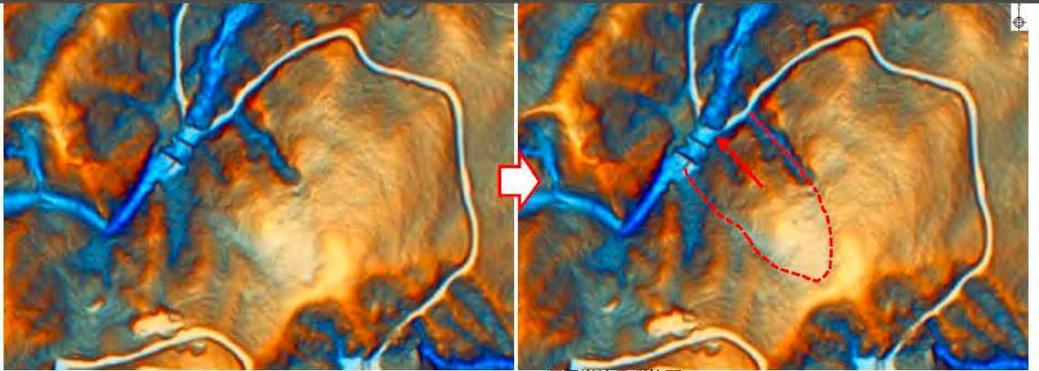
# 那智谷流域の陰陽図

1mDEM



制作: 和歌山大学防災研究教育センター  
 協力: 大規模土砂災害対策研究機構  
 国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所 (H24.04)  
 朝日航洋株 特許 陰陽図





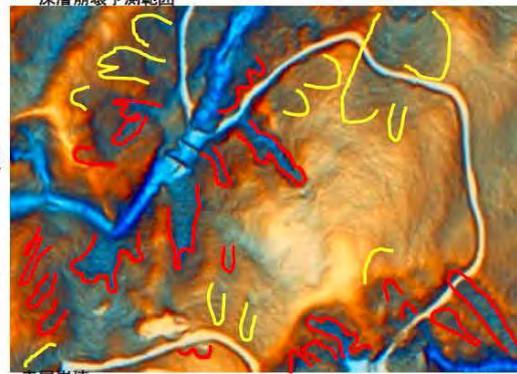
深層崩壊予測範囲

陰陽図を利用した地形判読例 朝日航洋(株)  
【崩壊地】

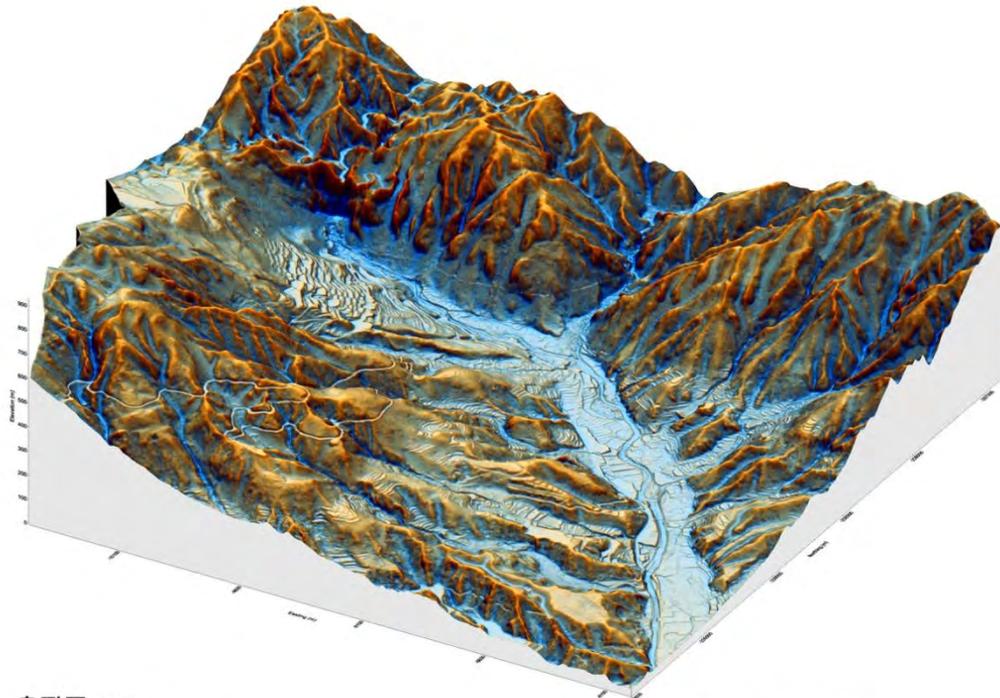
暖色系は周囲より高く寒色系は周囲より低いことより、全く同じ色でなくても凹み形状を追うことができる。深層崩壊のクラック部位は侵食されやすく谷となるが、その上部が選急遷となって連続している箇所は、地下ですべり面状に繋がっており、深層崩壊を発生させる可能性が高くなる。

小規模な崩壊地は崩壊の先端地が崩れるほど寒色系の色合いが濃くなっていく。崩壊地下部に選緩線が2段になっている場合は不安定土塊が堆積している。

選急線部位が鮮明な場合は新しい崩壊である。崖錐や崩壊先端部が暈けている場合は年代が古い。



表層崩壊



鳥瞰図 (SW)

那智川流域 陰陽図

制作：和歌山大学 防災研究センター  
協力：大規模土砂災害対策研究機構  
データ提供：国土交通省近畿地方整備局 紀伊山地砂防事務所(024.04)  
画像作成：朝日航洋株式会社 (特許 第4379264号)

## ● 那智勝浦町防災ジオツアー

防災ジオツアー  
自然の恩恵・脅威と備え、  
その土地の暮らしの軌跡を知る

日時: 2015年12月12日(土)  
午前10時～午後3時

コース: 大門坂駐車場(集合)  
井関の紀伊半島大水害記念碑  
金山谷の土砂災害現場  
ジオサイト「那智の滝」  
大門坂駐車場 昼食  
(地元食材を利用したお弁当)  
ジオサイト「尻剣谷製錬所跡」  
尻剣谷第1・第2堰堤  
大門坂駐車場(解散)



**2015年12月12日(土)**  
午前10時～午後3時(受付開始午前9時30分) / 小雨決行

**予定コース**

大門坂駐車場(集合) → 井関の紀伊半島大水害記念碑 → 金山谷の土砂災害現場 → ジオサイト「那智の滝」→ 昼食(地元食材を利用したお弁当) → ジオサイト「尻剣谷製錬所跡」→ 尻剣谷第1・第2堰堤 → 大門坂駐車場(解散)

集合・受付: 大門坂駐車場(和歌山県那智勝浦町市野々3034-2)、9:30分受付開始  
参加費: 1,000円(弁当代別)  
募集人数: 30名(先着順)  
申込締切: 12月3日 17:00迄  
申込・問い合わせ: 和歌山大学防災研究教育センター(和歌山 本館)  
Tel: 073-457-7591 FAX: 073-457-7592  
E-mail: moku@center.wakayama-u.ac.jp  
主催: 和歌山大学防災研究教育センター、国土交通省近畿地方整備局  
共催: 那智勝浦ジオパーク推進協議会  
後援: 和歌山県、那智勝浦町、和歌山県教育委員会、那智勝浦町教育委員会、  
和歌山県ジオパークガイドの会

本ツアーは、和歌山大学運営費交付金(災害科学)のプロジェクトの一環で実施しています。

図. 防災ジオツアーちらし

## ● 那智勝浦町防災ジオツアー



参加者: 42名  
一般参加者: 29名(男性19名、女性10名)  
運営参加者: 13名(男性11名、女性1名)

居住地(N=32)

和歌山県内: 22名(和歌山市5、岩出市1、那智勝浦町5、太地町4、  
新宮市5、有田川市1、紀の川市1)  
和歌山県外: 10名(大阪4、東京1、兵庫2、京都1、奈良1、三重1)

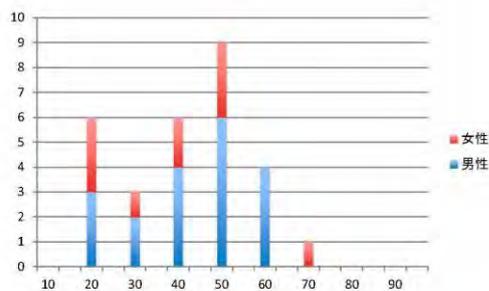


図. 防災講演会年代別参加者数

## ● 那智勝浦町防災ジオツアー

時間	行程
09:30	大門坂駐車場集合 (受付開始)
10:00	大門坂駐車場出発
10:05	井関の紀伊半島大水害記念碑
10:15	金山谷の土砂災害現場
11:05	ジオサイト「那智の滝」
12:05	大門坂駐車場 (昼食・トイレ休憩)
13:00	ジオサイト「尻剣谷製錬所跡」
13:30	尻剣谷第1・第2堰堤
14:00	大門坂駐車場にてまとめ
14:40	大門坂駐車場解散

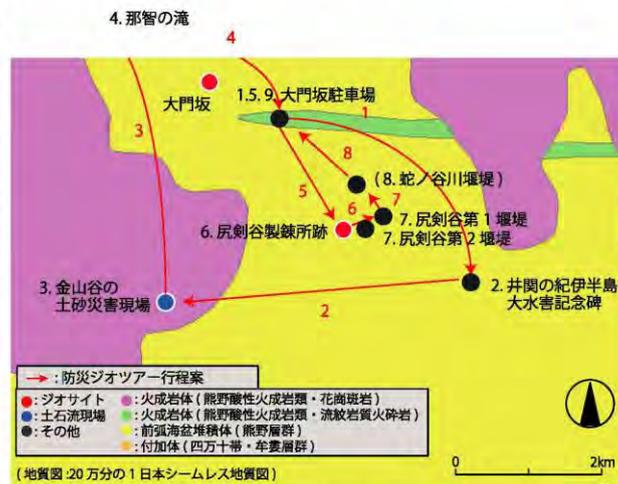


図. 防災ジオツアーのルート

## ● 那智勝浦町防災ジオツアー



● 那智勝浦町防災ジオツアー



● 那智勝浦町防災ジオツアー



● 那智勝浦町防災ジオツアー



大門坂駐車場 昼食  
(地元食材を利用したお弁当)

● 那智勝浦町防災ジオツアー



ジオサイト「尻剣谷製錬所跡」

## ● 那智勝浦町防災ジオツアー



尻剣谷第1・第2堰堤

## ● 那智勝浦町防災ジオツアー



大門坂駐車場(解散)

### 防災ジオツアーの感想

ツアーの内容は良かったです。時間は少しタイトな所もありましたが、ゆるく進行されていて時間の融通をきかせていただきました。普段見る事のない堰堤を見れたのも楽しく良い勉強になった。

解説を受けないとまったく気付かない事ばかりで非常に参考になりました。

事前に思っていた以上に間近で見学ができたことに感動した。各地点で自由に質問・解説を聞ける時間がもう少しあれば良かったが、全体の説明だけでも充実していた。どこまで行ってよいか、立ち入りしない方がよい範囲などの指示があるとより安全であり、またより自由に見てまわることもできたように思う。

## ● 那智勝浦町防災ジオツアー



大門坂駐車場(解散)

### 防災ジオツアーの感想

ご説明いただいた方々のお話が分かりやすく、質問を受けて下さり、大変勉強になりました。楽しかったです。集合時間は良いのですが集合場所は駅前とかの方が良いと思いました。

山登りをしたり思っていた以上に体を動かすことが多かった。精練所は事前にどの程度過酷かを通知しておくべきだと思います。

ゆとりがあって、質問できる時間があって楽しかったです。那智の滝は防災ツアーとしての位置づけでは少しとってつけた感がありましたが、遠方から来られる方にはいい機会だったと思います。

## ● 那智勝浦町防災ジオツアー

### メディア掲載



熊野新聞(2015年12月15日(火)Web)



毎日新聞(2015年12月17日(木)朝刊)

## ● 那智勝浦町防災講演会

### 防災講演会

平成23年台風12号で何が起きたのか! 2015  
～紀伊半島大水害の記録を伝えていく～

日時: 2015年12月13日(日)  
午前12時～午後16時30分

会場: 那智勝浦町体育文化会館  
2階(大集会室、第3&4研修室)

防災講演会

### 平成23年台風12号で 何が起きたのか! 2015 ～紀伊半島大水害の記録を伝えていく～

平成23年9月の台風12号によって、紀伊半島では、大規模な被害発生、土石流、浸水などが多数発生し、甚大な被害を及ぼしました。この3ヵ月間の被害発生する原因は様々ですが、基本的な知識があれば、避難行動といった事前対策の検討や被害発生時の適切な避難行動に役立ちます。そこで、平成24年9月に被害を受けた地域の講演会を行います。講演内容は、被災した地域の被害発生状況の記録を伝えるとともに、この講演会を通じて、被害による防災意識や河川災害への備えについて一緒に考えていきたいと思いますので、積極的な参加をお待ちしています。



2015年12月13日(日)

12:00～16:30 (受付開始 12:00)

会場: 那智勝浦町体育文化会館

(和歌山県東牟婁郡那智勝浦町大字文達字木戸第 441-8)

2階(大集会室、第3&4研修室)

定員: 200名

参加費: 無料

※事前登録は不要です。会場まで直接お越しください。

※お問い合わせ先: 那智勝浦町防災対策課 0734-22-1111

※お問い合わせ先: 紀伊半島大水害記録保存会 0734-22-1111

図. 防災講演会ちらし

## ● 那智勝浦町防災講演会

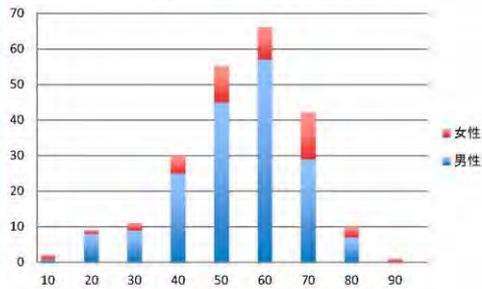


図. 防災講演会年代別参加者数



図. 防災講演会参加者居住地

参加者: 226名(男性181名、女性45名)  
17歳～90歳まで  
参加者平均年齢: 59.2歳

### 居住地

那智勝浦町123名、太地町3名、新宮市39名、  
その他61名(東京、京都、大阪、兵庫、徳島、奈良、三重)

## ● 那智勝浦町防災講演会



	共催・協賛団体によるパネル展示、PC デモ (3D シアター) 土砂災害の 3D 映像 (パネル) 紀伊半島大次管轄浸水高
12:00	
12:55	閉会挨拶 此後長盛 和歌山大学 防災研究センター センター長/教育学部長 牧野 国土交通省近畿地方整備局の取り組み (那智川の土石流災害) 百村 正寿 国土交通省近畿地方整備局 和歌山河川事務所長 西尾 土砂災害を引き起こした降雨の特徴 江藤 伸之 和歌山大学 システム工学部 教授 大規模斜面崩壊の特徴 熊島 隆之 和歌山大学 工学部 建築系システム工学科 教授 休演 14:30 東牟婁地域で多発した表層崩壊・土石流の特徴 比呂 裕之 パシロ-コンサルティング株式会社 大塚 文彦 副社長 15:15 河川災害 中西 尚明 和歌山建設株式会社 大塚 文彦 副社長 伊藤 紀伊半島の文化遺産被害 石田 優子 立命館大学 歴史学専攻 歴史学 専門教授 16:15 閉会挨拶 渡川 真一 立命館大学 工学部 教授

図. 防災講演会プログラム

## ● 那智勝浦町防災講演会



パネル展示・PCデモ  
第3&4研修室

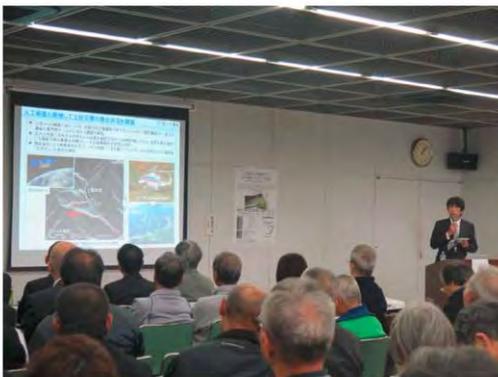


## ● 那智勝浦町防災講演会



3Dシアター (NPO土砂災害防止広報センター)  
第3&4研修室

## ● 那智勝浦町防災講演会



防災講演会  
大集会室



## ● 那智勝浦町防災講演会



防災講演会  
大集会室

## ● 那智勝浦町防災講演会

### メディア掲載



NHK 関西NEWS WEB HP  
(平成27年12月15日(火))



毎日新聞(2015年12月15日(火)朝刊)

# ● 那智勝浦町防災講演会

メディア掲載



紀伊民報(2015年12月15日(火))



熊野新聞(2015年12月15日(火))



## 地上センサデータ収集システムの実証

和歌山大学  
宇宙教育研究所 所長・教授  
秋山演亮

### 防災・減災…

- ・ 3.11では、通信、衛星・無人機等々が無力
  - 津波で流された人、埋もれた人を見つける手段がない
  - 手段と目的をはき違えた技術開発

宇宙開発技術分野の活用		
	目的	手段
リモセン技術	環境監視(森林海洋) 災害監視(火山・土砂) 気象情報 人命救助 所在把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 人工衛星</li> <li>・ ドローン・ローパー</li> <li>・ 気球・飛行船</li> <li>・ スマホ・ウェアラブル</li> </ul>
通信技術	防災通報 地上海洋センシング 洪水・津波・土砂 通信インフラ(冗長) 人命救助 所在把握 遠隔医療	<b>要素技術</b> 可視光(マルチスペクトル) マイクロ波(開口合成レーダ) 赤外線(ボロメータほか) 衛星通信(広帯域・狭帯域) センサーネットワーク 精密GPS(RTK-GPS) MEMSセンサ・マイコン技術

2015/07/01

# センサーネットワークのオープン化

宇宙利用をしてもらうために、宇宙が主体ではなくて  
→付加価値として、衛星利用の価値を広げたい

## センサーネットワーク



- ・利用システムのクラウドサービス化  
B to B, B to C向けサービス  
(フリービジネスモデル化)
- ・サーバ環境のAPI化による開発環境のオープン化

センサーネットワーク用機器の  
オープンソースハードウェア化

2016年1月28日

## M2Mビジネス

### M2M

- ・Machine to Machine ビジネス
- ・「人」以外で使うワイヤレス通信技術の応用ビジネス

### IoT

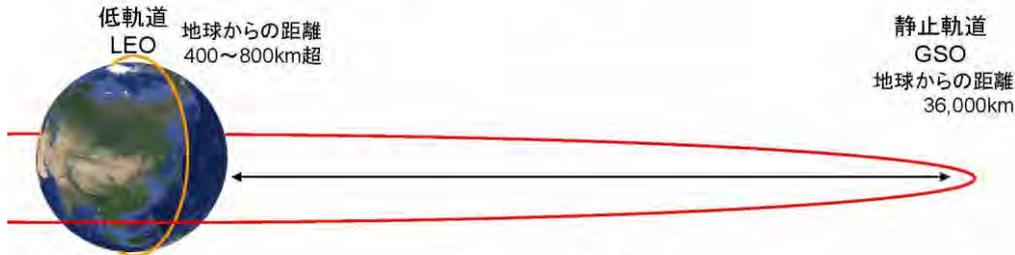
- ・米国などの企業が使うようになったInternet of Things  
(モノのインターネット接続)



2016年1月28日

参考:野村総研  
ITナビゲータ2014年版(東洋経済新報社刊)

## それぞれの軌道と衛星の役割



### <利点>

- 地球からの距離が近いので、小電力 / 小型アンテナでの通信が可能 / 高解像度での地球観測が可能
- 太陽同期軌道の場合、太陽高度と衛星高度の関係が常に一定で、同一条件での観測が可能
- 超小型衛星でも利用可能なため、衛星製造や運用訓練を実施しやすい
- 大型衛星の相乗りやISSからの放出等、比較的安価で多くの打上機会がある。

### <問題点>

- 一度に見れる範囲 / 衛星と通信できる範囲が狭く、同一地点では衛星が方向を変えない場合は1日2回(ただし昼夜)、1回10分程度以下に限られる。
- 既に多数の衛星が様々な軌道を周回しており、衛星同士の衝突等による破損事故も発生している。

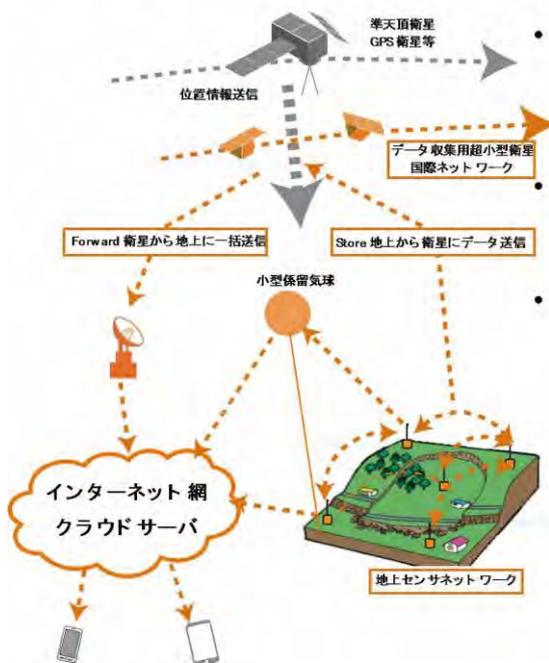
### <利点>

- 地球と同じ速度で回転するため、同一地点の常時観測 / 同一地点との常時通信が可能
- 安定利用が見込め、ほぼ唯一の自立した衛星 / 宇宙利用市場を形成

### <問題点>

- 地球からの距離が遠いため、通信には大電力 / 大型アンテナが必要
- 軌道位置が限られるため、衛星数に限度がある(国際調整によって獲得)
- 大型化の傾向があり、打上コストも高い。
- 衛星の製造・運用にも高度の技術・熟練が必要
- 通信放送衛星市場は欧米がほぼ独占。新規参入が困難。

## S&Fシステム構築



- 地上センサデータの収集システム構築
  - 各国と協力し、S&Fシステムを構築
  - 必要な超小型衛星数は十数機

- 衛星データ等と統合し、自由に利用出来るデータ配信システムの構築

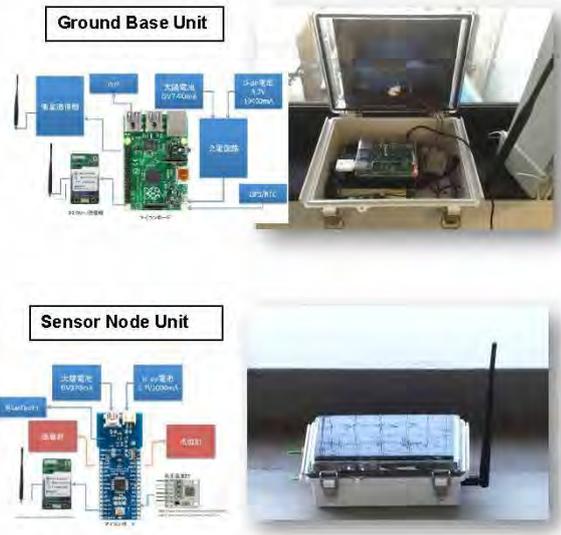
- 国内災害現場等における実証実験
  - wi-fi / 携帯 / 衛星等を使った地上センサデータ回収システムの実証実験

### 海外での実証実験

- ERIA等を通じた海外での実証試験
- アメダスシステム等の解析システムの海外輸出

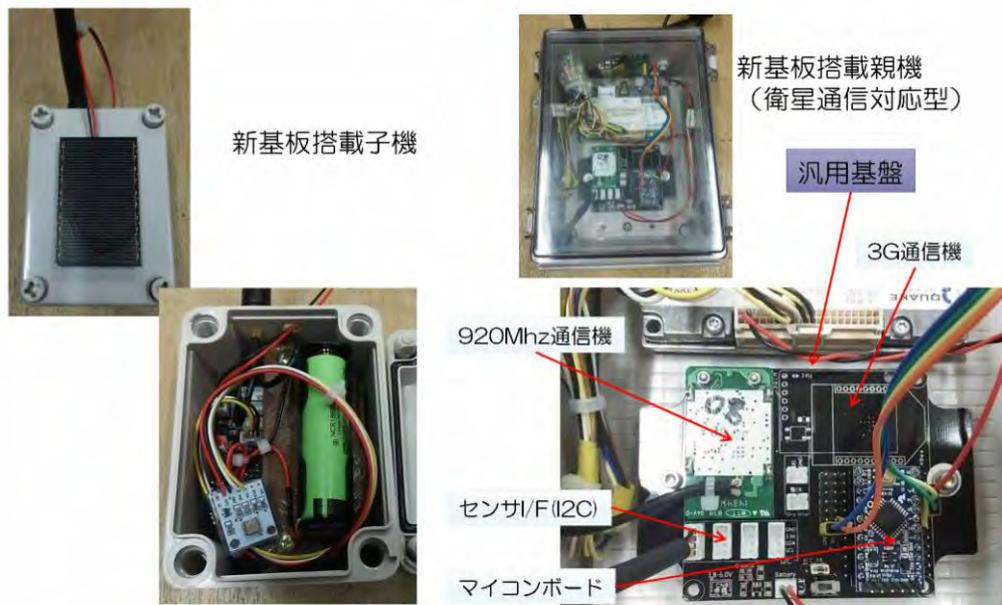
# 地上センサーネットワークの開発

- ・ 安く:
  - 機器目標原価(2-3万円)
- ・ 誰でも作れる:オープンソース化、部品入手が安易
  - 学校の授業、中小企業
- ・ 誰でも使える
  - クラウドサービス化
  - スマホ・タブレットでモニタ



2015/07/01

# 地上センサーネットワーク



2015/07/01

# 1. 河道閉塞発生箇所(奈良県、和歌山県)

国土交通省  
第2回「和歌山を、宇宙からの防災・教育の拠点に」シンポジウム発表資料

- 平成23年9月、紀伊半島大水害（台風12号）により奈良県、和歌山県では、深層崩壊により17箇所の河道閉塞が発生。
- このうち、大規模な河道閉塞は5箇所が発生し、湛水池を形成。



# 3. 現状の課題

国土交通省  
第2回「和歌山を、宇宙からの防災・教育の拠点に」シンポジウム発表資料

◎砂防事業の降雨量、水位観測箇所は**山間奥地が多い**。

- ①**通信状態が悪い。携帯電話不感地帯が多い。**
- ②**商用電源の確保が困難。**

○現状の対応方法;**有線回線**

- ・通信ケーブルの敷設は**人力作業主体**⇒**多大な労力・危険作業**。
- ・落石、流水、倒木、動物による**切断が頻発**。



### 3. 現状の課題

○現状の対応方法；**衛星携帯電話によるデータ転送**  
・**高コスト、電源確保**が課題。

- ①電源： **消費電力大→発動発電機(または、商用電源)が必要**  
・発動発電機は、給油が頻繁に必要。工事用道路被災により、燃料運搬が困難となると、観測情報収集に深刻な影響。
- ②コスト： 機器、通信費用が高額



衛星携帯電話を用いた雨量観測所



工事用道路被災 (H26.8)



ヘリによる燃料空輸 (H26.8)

### 3. 改善手法:低軌道衛星通信の活用

・和歌山大学宇宙教育研究所と共同で、低軌道衛星通信を活用した砂防観測情報手法の確立に向けた実証実験を開始。

#### 低軌道通信衛星



低軌道衛星通信による監視・観測体制のイメージ

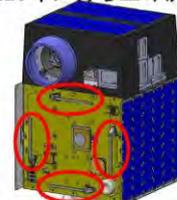
通信状態が悪い砂防の現場における観測情報収集手段の改善として、**低軌道衛星の活用**を検討中。

低軌道衛星(高度約600km)は、静止軌道(高度約36,000km)と比較すると、地球に近いので、**低出力、小型、安価な送信機で衛星との通信が可能**。

50kg(50cm<sup>3</sup>サイズ)級;ほどよし衛星(赤丸位置がアンテナ。2機ともH26年に打ち上げ済み)

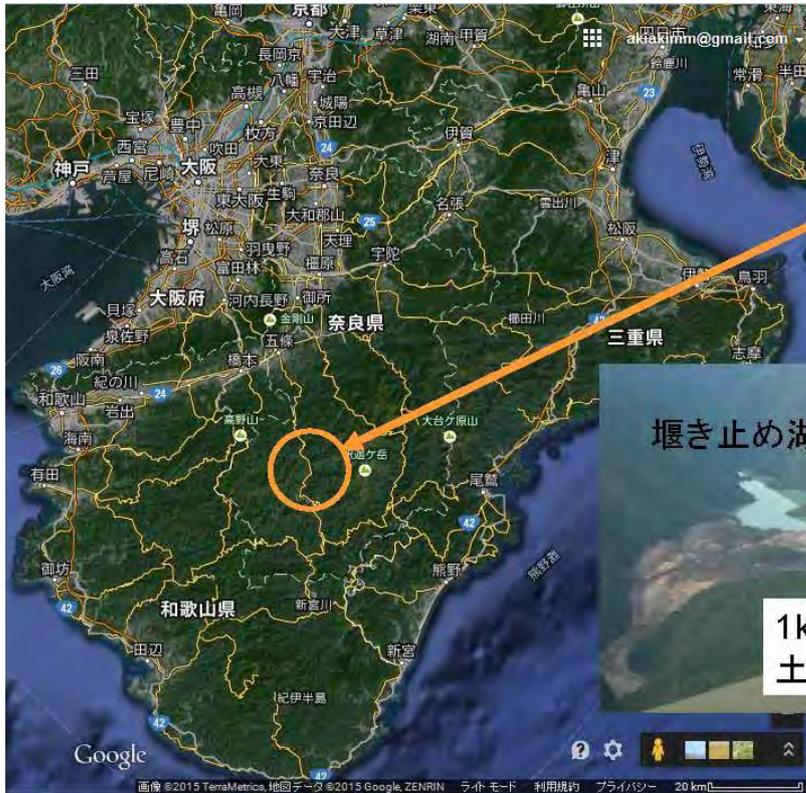


Hodoyoshi-3

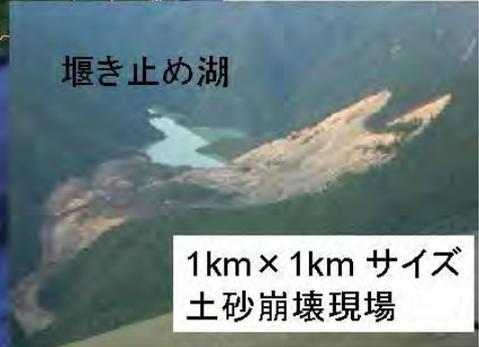


Hodoyoshi-4

- ・周波数: 400MHz帯
- ・送信電力: 1W以下
- ・保存データのデジタル転送速度: 最大10Mbps



Wifi無し  
携帯電波無し



## センサーネットワーク利用実証

奈良県十津川村での防災実験  
(国交省・和歌山大学)



衛星通信装置

無線センサー子機

2016年1月28日

### 3. 改善手法:低軌道衛星通信の活用

・低軌道衛星通信と衛星携帯電話通信の比較

		衛星携帯電話通信	低軌道衛星通信
電源		消費電力大;商用電源、発動発電機 ・電源喪失による観測不能の危険大	消費電力小;ソーラーパネル+蓄電池 ・電源喪失による欠測リスク小
コスト	通信機	機器高価;120万円	機器安価; 10万円(オープコム使用)
	通信費	2~3万円/月	6千円/月(オープコム使用)
設置の容易性		機器構成が複雑、設置大変	小型・機器構成単純で設置容易
データ転送頻度		10分間隔	40分間隔
課題		・コスト、電源確保、維持管理	・データ転送頻度



### 世界中にセンサをおきます



- ・ 環境モニターの作り方をオープンソース化
- ・ キット販売
- ・ 利用サーバー、スマホソフトを提供

- ・ 防災モニタ (水位、地崩れ、雨量…)
- ・ 環境モニタ (天気、不法廃棄物監視…)
- ・ 廃棄物トラッキング



Wi-fi対応版  
現在価格1000円  
単三電池1本で  
3ヶ月近く稼働!



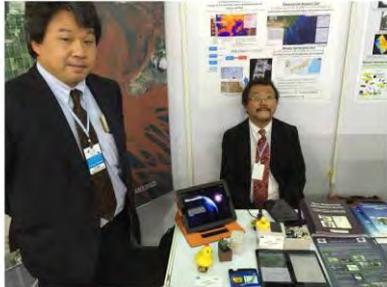
User aprsaf  
Pass aprsaf



2016年1月28日

2015.11.13~27

## タイ科学技術博覧会にて



タイ科学技術大臣も興味津々！  
近日、水農業研究所でも利用を開始！



11月30日～12月4日、パリで開催される  
APRSF(アジア太平洋宇宙機関会議)でも展示！

## 平成 27 年度 大規模土砂災害対策研究機構年報

---

発 行 平成 28 年 4 月  
編集・発行 国土交通省 近畿地方整備局  
住 所 大阪府大阪市中央区大手前 1-5-44  
連 絡 先 河川部 河川計画課 TEL 06-6942-1141 (代表)  
機 構 HP <http://www.kkr.mlit.go.jp/kiisanchi/kikou/>