ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究

大阪大学大学院　小田和広

1. プロジェクトの概要
2. 事例に基づくゲリラ豪雨時の道路パトロールの問題点の抽出
3. ゲリラ豪雨の局所性の検討
4. ゲリラ豪雨時に道路のり面において生じる現象の推定
5. 道路のり面の監視方法

ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究

プロジェクトリーダー　小田和広　大阪大学准教授

■研究の目的又は背景

近年，様々なタイプの集中豪雨が多発している．これにより，道路通行規制区間（防災点検箇所）だけでなく，それ以外の箇所においても斜面災害が発生し，道路通行の障害となっている．

集中豪雨の中でもゲリラ豪雨に代表される突発的かつ局所的な集中豪雨は，空間的にも時間的にも発生の予測が非常に難しい．このため，このような集中豪雨に対する道路のり面の監視方法を新たに策定する必要がある．

本研究では，①過去の豪雨事例およびのり面災害の事例を収集整理，分析する．②道路パトロールの実態を把握する．③のり面防災の観点からゲリラ豪雨を定義する．そして，ゲリラ豪雨によってもたらされる現象（崩壊パターンおよび予兆現象）を検討・整理する．④ゲリラ豪雨に対応した道路のり面のモニタリング監視システムを検討する．最後に，⑤ゲリラ豪雨を対象とした道路パトロールの着目点の検討を行い，道路パトロール要領（案）策定に資する技術資料を作成する．

■研究の内容

- 降雨と通行規制のデータ整理，分析
  - 過去の降雨と崩壊事例データの収集整理，分析する．特に短時間雨量が強い場合に発生する現象に着目して整理を行う．また，最新の気象予測技術の動向に関する情報収集に努める．
- 豪雨時の道路パトロールの実態把握
  - 近畿地方整備局内道路パトロールの実態把握を目的に，パトロール日誌などの資料収集整理，ヒアリングならびに実際のパトロール状況を確認することによって，道路パトロールの実態把握を行う．
- ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測（崩壊パターン及び予兆現象）の検討
  - 降雨と通行規制のデータ整理，分析ならびに豪雨時の道路パトロールの実態把握の結果をもとにサイトを限定してゲリラ豪雨時に発生する現象の整理，シミュレーション降雨による現象の予測を行う．
- モニタリング監視システムの検討
  - 道路パトロール時に有効な指標について検討を加えて，モニタリング監視システムならびにOSV技術との連携について検討する．
- 豪雨時道路パトロールの着目点の検討
  - これまでの研究によって得られた知見をもとにゲリラ豪雨に関する道路パトロールの着目点について整理し，道路パトロール要領策定のための技術資料を作成する

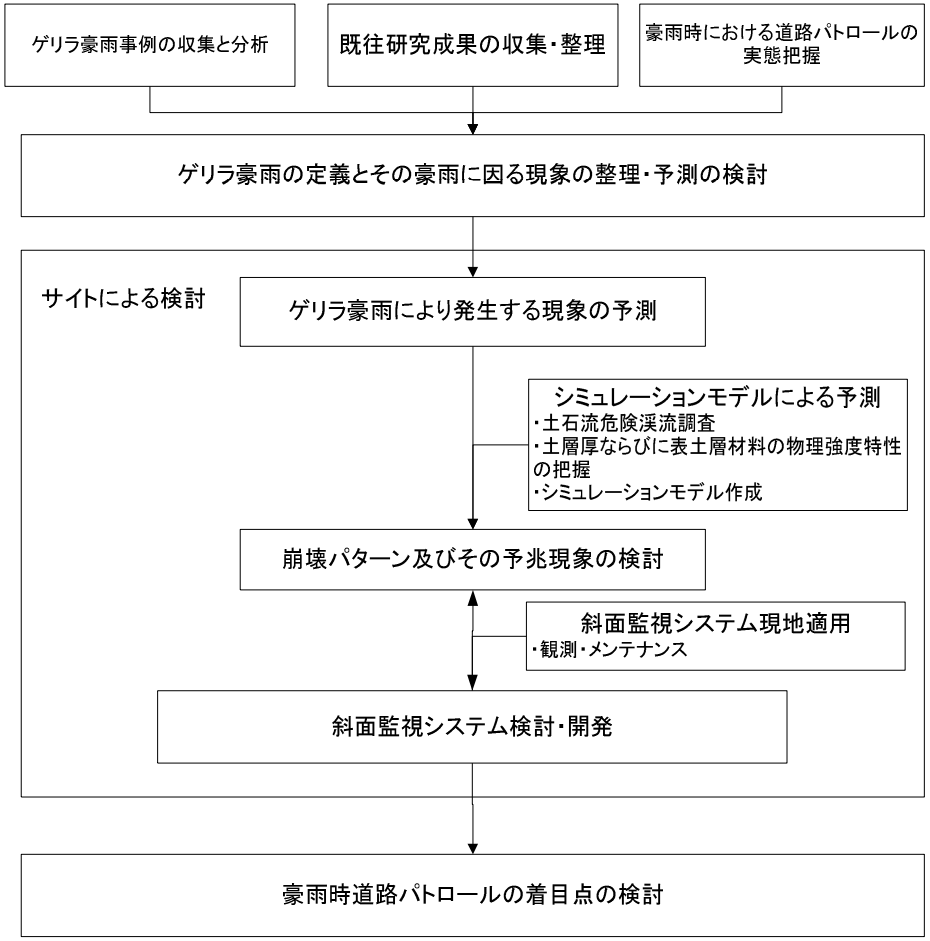
ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究
プロジェクトリーダー　小田和広　大阪大学准教授

■研究スケジュール

- 平成25年度
  - 降雨と通行規制のデータ整理，分析
  - 豪雨時の道路パトロールの実態把握
  - ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測（崩壊パターンおよび予兆現象）の検討
- 平成26年度
  - ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測（崩壊パターンおよび予兆現象）の検討
  - モニタリング監視システムの検討
- 平成27年度
  - ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測（崩壊パターンおよび予兆現象）の検討
  - モニタリング監視システムの検討
  - 豪雨時道路パトロールの着目点の検討

■参加予定メンバー（体制）

- 【顧問】 沖村　孝　神戸大学名誉教授（（一財）建設工学研究所）
- 【学】小田和広准教授（PL），小泉圭吾助教（大阪大学），鳥居宣之准教授（神戸市立高専），芥川 真一教授（神戸大学），中谷加奈助教（京都大学）＋追加メンバー
- 【産】国際航業（株），（株）ダイヤコンサルタント，ハイテック（株），パシフィックコンサルタンツ（株），川崎地質（株），東亜エルメス（株），気象工学研究所＋α



ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究

プロジェクトリーダー　小田和広　大阪大学准教授

研究計画

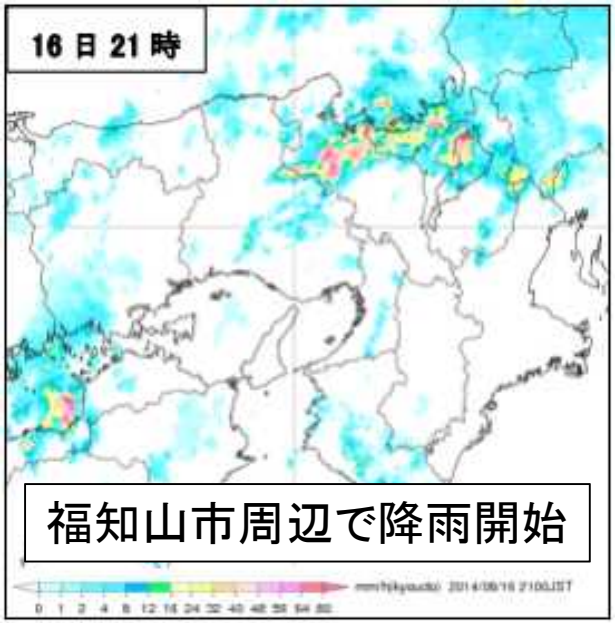
	検討項目	平成25年度	平成26年度	平成27年度
1	ゲリラ豪雨事例の収集と分析			
2	既往研究成果の収集・整理			
3	豪雨時における道路パトロールの実態把握			
4	ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測（崩壊パターン及び予兆現象）の検討			
	モデル地区での概略検討			
	モデル地区の土石流危険渓流調査			
	モデル地区のサンプリングおよび室内試験			
	モデル地区のシミュレーションモデル作成			
	モデル地区の想定降雨によるハザード検討			
5	斜面監視システム検討・開発			
	監視システム検討・開発			
	観測・メンテナンス			
6	豪雨時道路パトロールの着目点の検討			

1. プロジェクトの概要
2. 事例に基づくゲリラ豪雨時の道路パトロールの問題点の抽出
3. ゲリラ豪雨の局所性の検討
4. ゲリラ豪雨時に道路のり面において生じる現象の推定
5. 道路のり面の監視方法

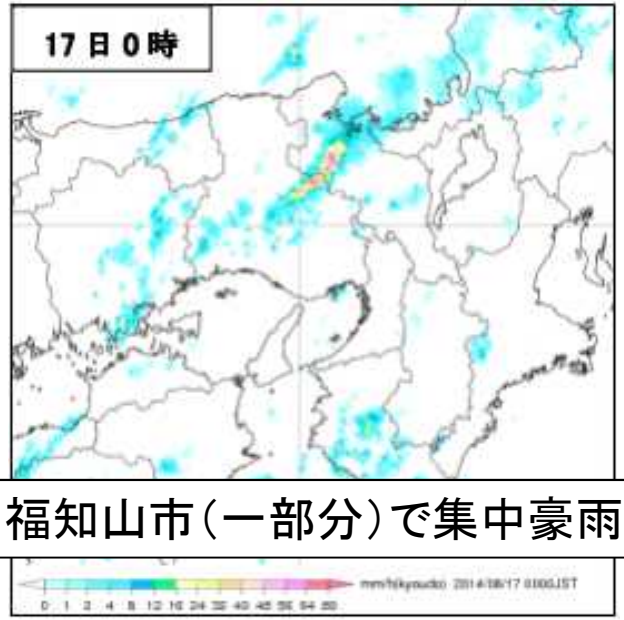
平成26年8月豪雨

- 被害の概要（福知山市発表）
  - 土砂崩れ（民家の裏山など） 96件
  - 道路被災箇所　249箇所　175路線
  - 通行止め路線数（10/14現在）　11路線
  - 河川被害箇所　132箇所　45河川
- 事例収集の目的
  - 集中豪雨に対する現在のパトロール体制の適用の実態の確認

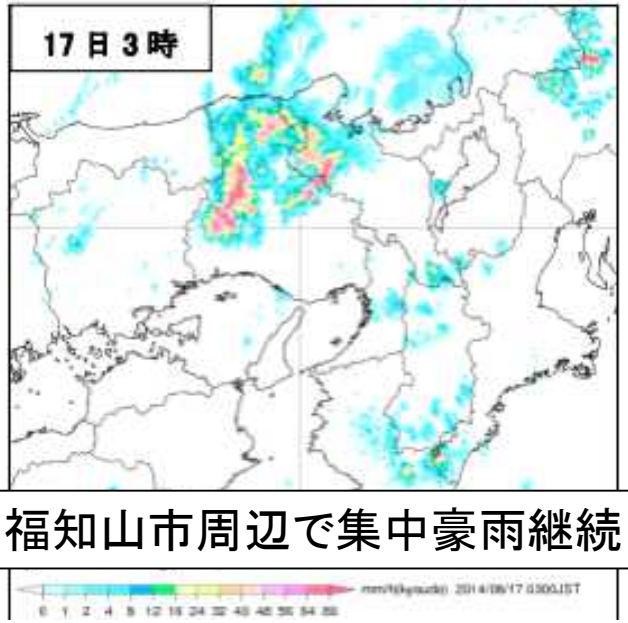
平成26年8月16日から17日にかけての雨域



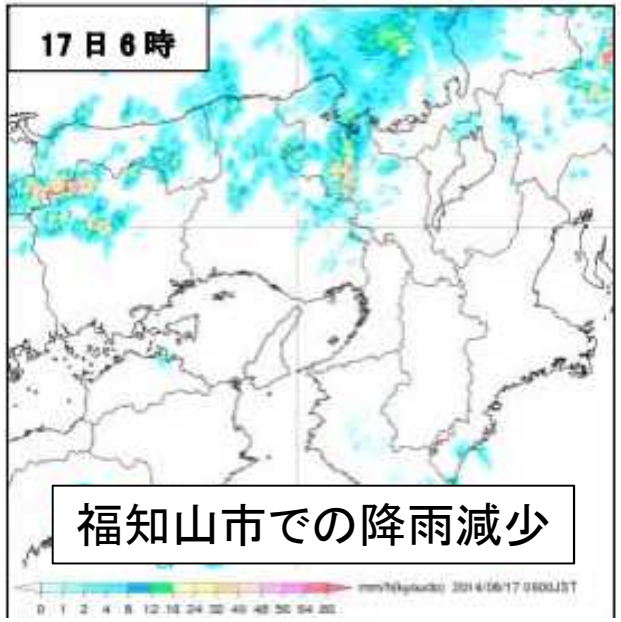
福知山市周辺で降雨開始



福知山市（一部分）で集中豪雨

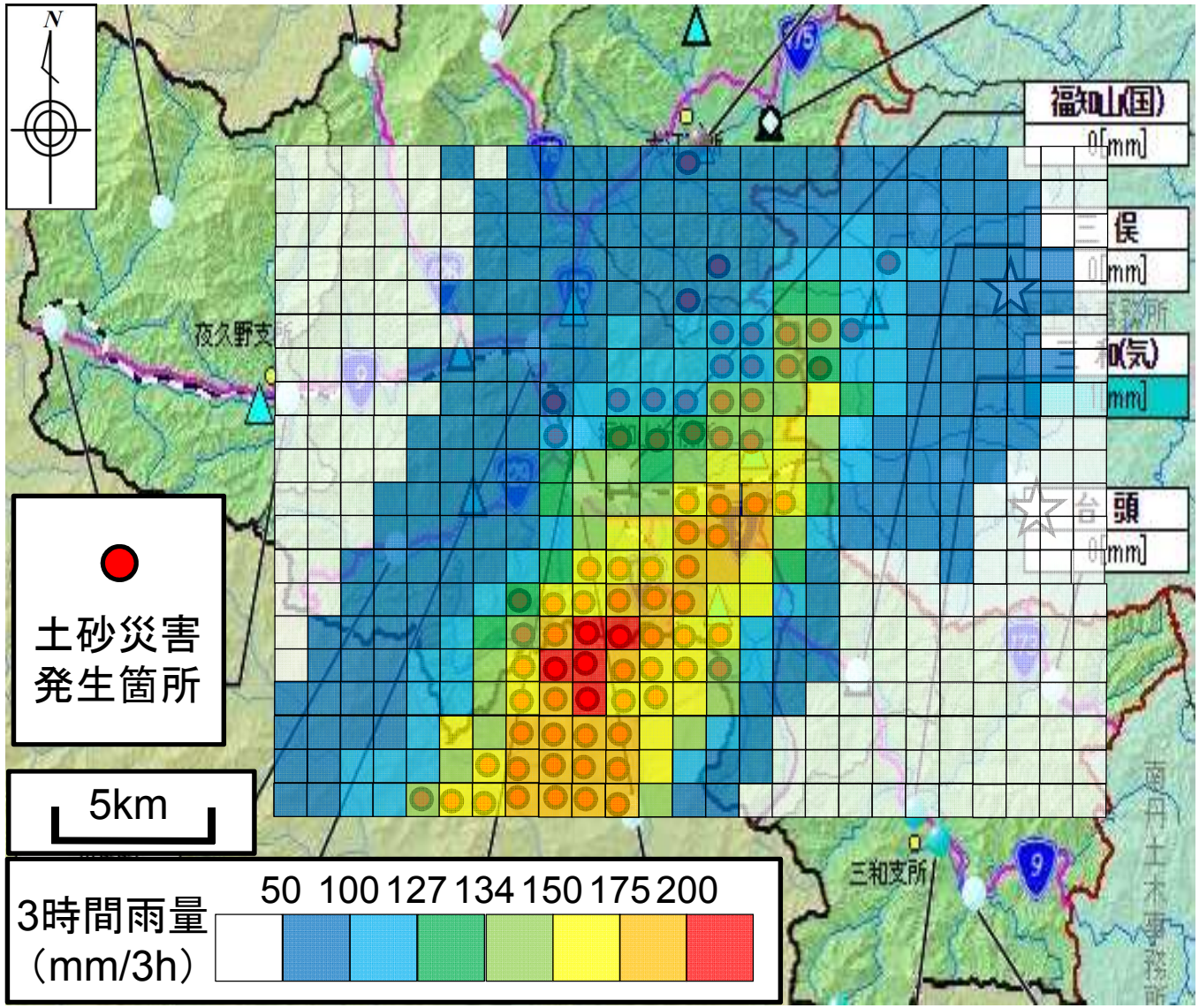


福知山市周辺で集中豪雨継続



福知山市での降雨減少

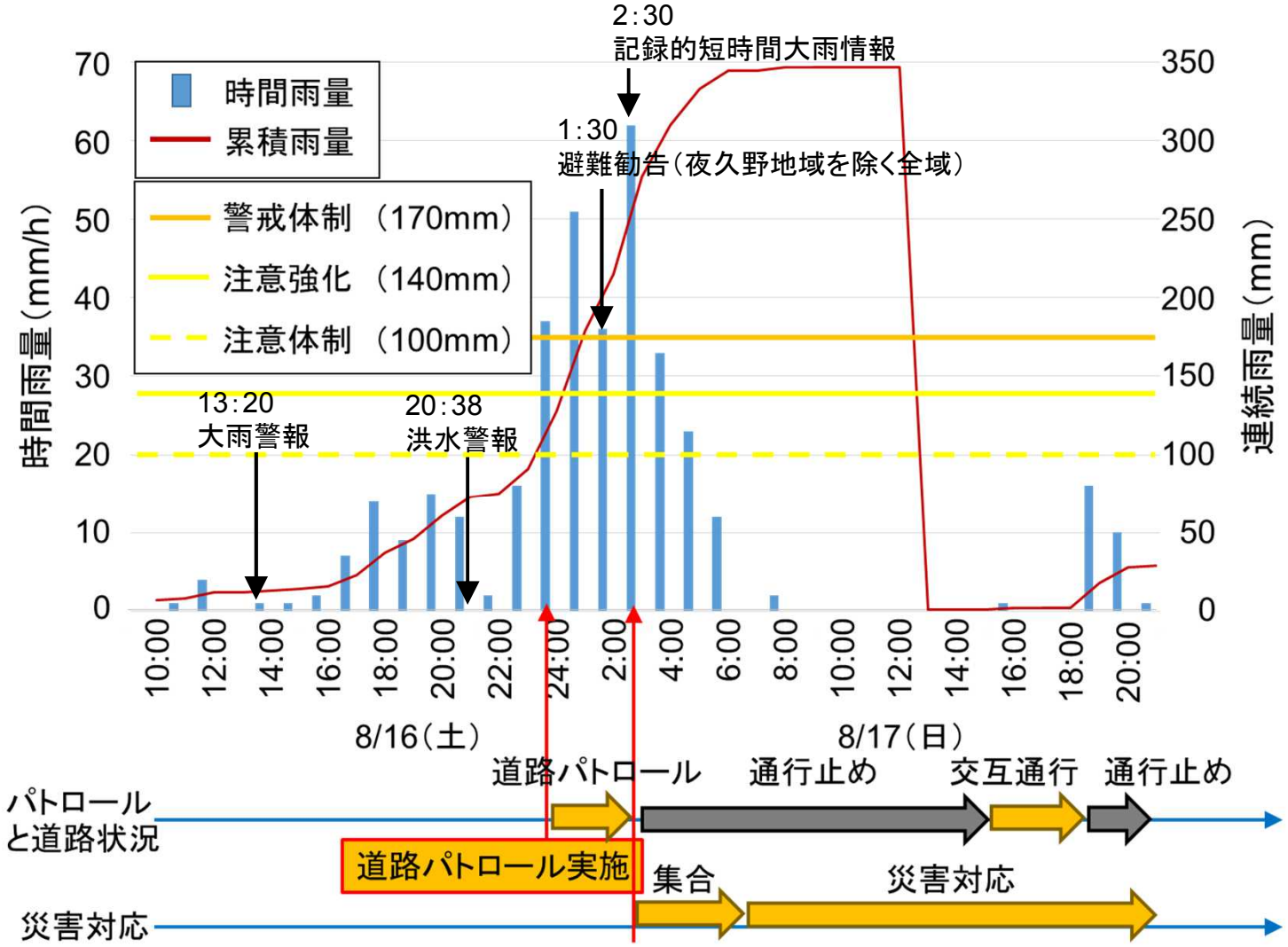
最大3時間雨量（8月16日23時～17日5時）



豪雨は南西から北東に延びた約10km程度の狭い範囲に集中

それ以外は有為な降雨は観測されていない

雨量（福知山市街地）と体制・パトロール



20:30 福知山河川国道事務所が注意強化体制
23:49 事務所係長から福知山出張所にパトロール要請
0:33 京丹波方面パトロール出発、夜久野方面準備中
1:21 夜久野方面パトロール報告 異常なし

2:45 下水道課の方から情報提供 長田野で土砂崩れ発生
3:07 長田野状況報告
14:46 長田野片側交互通行
19:40 雨により再度通行止め

～平成26年8月豪雨時の課題～

- 雨量観測
  - ゲリラ豪雨は局所的であるため，それを一つのテレメーターで捕らえることは困難であった.
- パトロールの範囲
  - 国道9号線上で雨が降っていたのは10km程度であるにも関わらず，管内全体のパトロールを行っていた.
- 累積雨量に基づく警戒体制の限界
  - 雨量が急増するため，累積雨量に基づく警戒体制では対応が困難であった.
- 車中からの視認
  - 降雨中，夜間等視界の限られた状況では，車上からの目視によるパトロールには限界があった.

～集中豪雨時の道路パトロールに対する提案～

- 雨量観測の高度化
  - 高解像度降水ナウキャスト等の降雨予測の利用することにより，①降雨の面的な分布，②近未来の予測降雨を把握する．
  - 予測に基づくパトロール体制の準備，パトロール範囲の決定
  - 局所的な降雨特性を独自の雨量計によって観測することによって，高解像度降水ナウキャスト等の降雨予測の適用性の検証する
- ハザードマップの活用
  - 迅速なパトロールのため，ハザードマップを活用することが必要．すなわち，すべての道路のり面を監視するのではなく，予め災害発生の危険性が高いのり面に着目する．そして，発生する災害のシナリオについても予め推定しておく．
  - ゲリラ豪雨時において研究対象サイトにおける現象を数値シミュレーションによって再現し，崩壊パターン及びその予兆現象を検討する．
- 直接目視に頼らない監視方法
  - 昼夜や降雨状態に関わらず危険性を迅速に知らせる方法の開発
  - OSVを活用することにより，車中からでものり面の状況を迅速に監視できる方法の開発

1. プロジェクトの概要
2. 事例に基づくゲリラ豪雨時の道路パトロールの問題点の抽出
3. ゲリラ豪雨の局所性の検討
4. ゲリラ豪雨時に道路のり面において生じる現象の推定
5. 道路のり面の監視方法

ゲリラ豪雨に対応するために

- 降水量を指標とし，ゲリラ豪雨に対するハザードマップと連動させるとことにより，のり面の現在の危険度の判定を行う
- 雨域を考慮した道路パトロールのあり方を検討するにあたり,高解像度降水ナウキャスト等の降雨予測と地上雨量計とのキャリブレーションが必要である.（豪雨の局地性）
- 独自に密に雨量計を設置，観測を行うことにより，降雨予測と地上雨量とのキャリブレーションを行い，ゲリラ豪雨時における局所的な降雨特性の変化を解明することを目指す.

雨量計設置場所の検討

A地点：西北西からの風の収束域
B地点：南風と東西方向の風の収束域
C地点：西風，あるいは，南東風(それぞれ川づたいに吹いてくる風)が北側の山の斜面とぶつかる場所 (地形により急激に風向きが曲げられる(ブロックされる)ので収束域となる)

1. プロジェクトの概要
2. 事例に基づくゲリラ豪雨時の道路パトロールの問題点の抽出
3. ゲリラ豪雨の局所性の検討
4. ゲリラ豪雨時に道路のり面において生じる現象の推定
5. 道路のり面の監視方法の検討

崩壊パターン及びその予兆現象の検討

- 土石流渓流調査
- 現地調査および室内試験
- シミュレーションモデルの作成
  - 平成21年災害の再現計算による崩壊シミュレーションモデルの作成
  - 平成21年災害の再現計算による土石流シミュレーションモデルの作成
- 想定降雨によるハザード検討

⇩

研究対象サイトにおけるハザードマップの作成

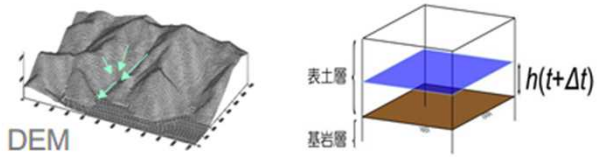
- 監視すべきポイントと現象の把握
- 雨量に応じた監視場所の抽出
- 通常時の点検

崩壊の危険度評価手法

近年、土砂災害に対する警戒避難のために実用化されている集水モデルを用いた無限長斜面安定解析による土砂災害危険度評価手法[1), 2)] をゲリラ豪雨時の減少回目のために適用する。

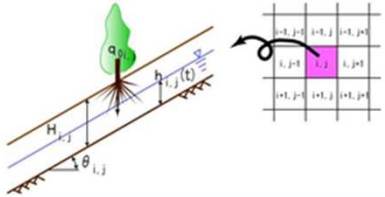
「集水モデルを用いた無限長斜面安定解析」
INSSAM : Infinite Slope Stability Analysis Method

表土層内の浸透水（降雨）が集まって，斜面内あるいは谷部で地下水位が形成される過程をシミュレート



・・・集水モデル

地下水位の上昇に伴う単位体積重量の増加，間隙水圧の上昇（有効応力の低下）に伴う安全率の変化を算定

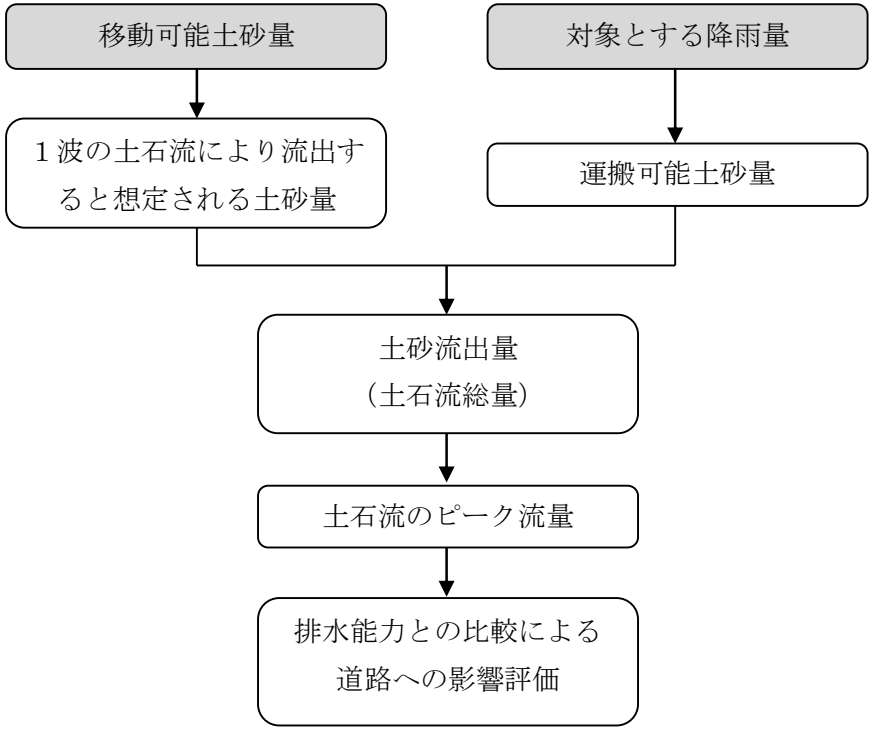


・・・無限長斜面安定解析

1）沖村孝・市川龍平：数値地形モデルと潜在崩土層厚による雨水の飽和横流れ浸透流解析、土木学会論文報告集、1985.
2）沖村孝・鳥居宣之・尾崎幸忠・南部光広・原口勝則：豪雨による土砂災害を対象としたリアルタイムハザードシステムの構築、新砂防、63（6）、4-12、2011.

土石流の危険度評価手法

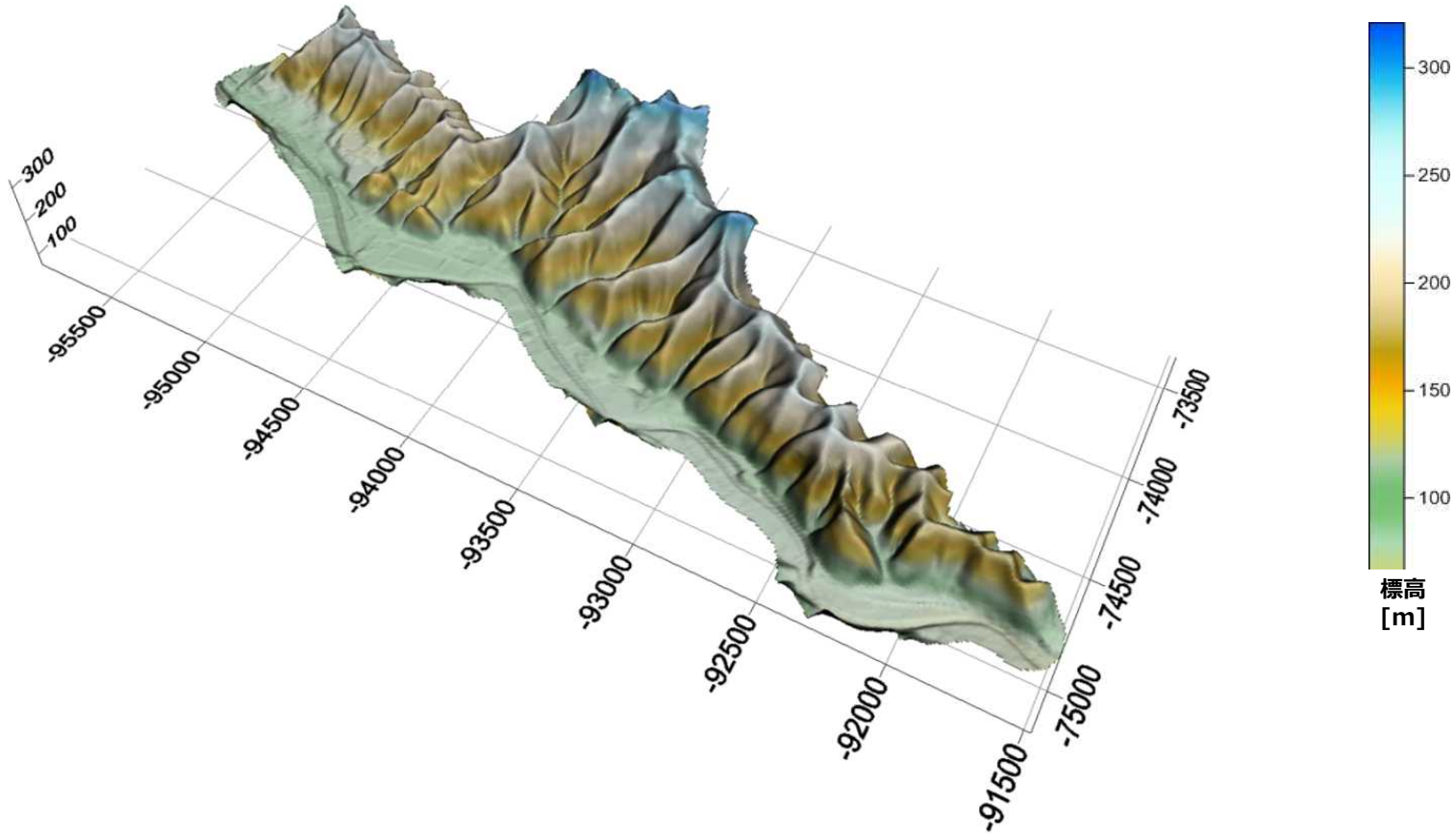
国土交通省による「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）H19.3」に基づき，道路への土砂流出量を指標とした危険度評価のための土石流シミュレーションモデルについて検討した.



指針に基づく土石流シミュレーションモデルと道路への影響評価の流れ

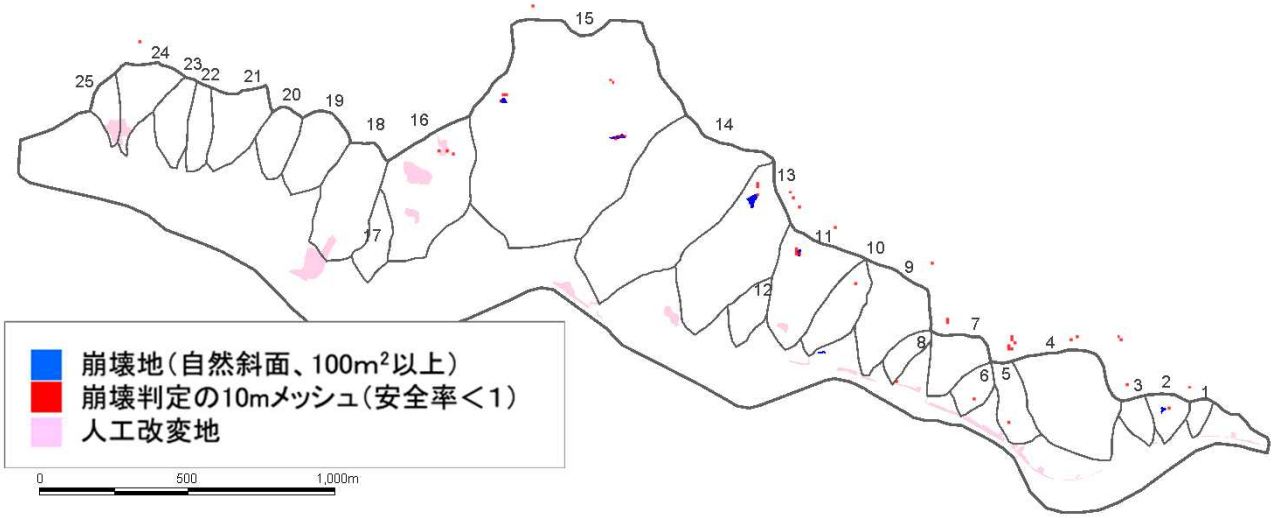
数値地形モデル

京都府の砂防基盤図（1/2500、2004年）を収集し10mDEMを作成



モデル地区 10mDEM鳥瞰図

平成21年災害の再現計算による崩壊シミュレーションモデルの検証



最適モデルの崩壊捕捉数

崩壊箇所数	捕捉箇所数	適　用
6	5	自然斜面かつ崩壊面積100m²以上の崩壊地
29	13	人工斜面・崩壊面積100m²未満の適用外を含む

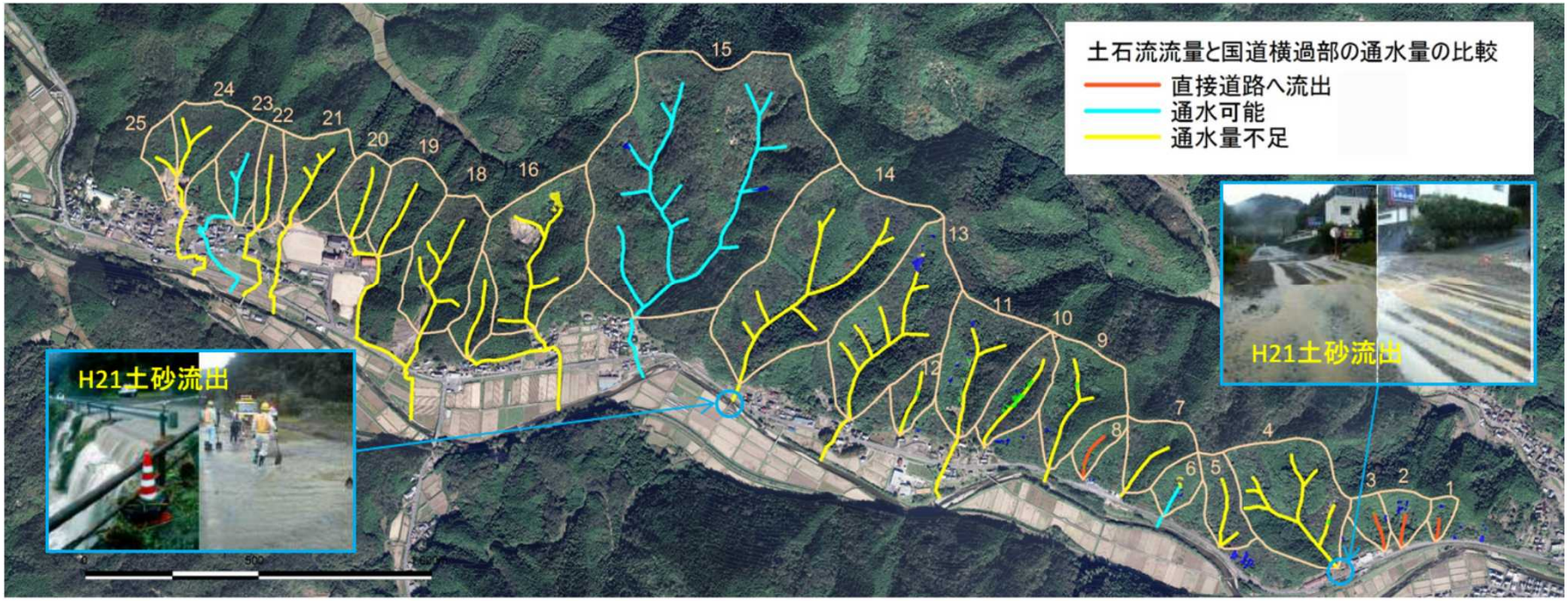
10mメッシュごとの予測・実績集計

実績＼予測	発生予想（10mセル数）		非発生予測（10mセル数）		計
崩壊発生〔セル数〕	A	235	B	31	266
崩壊非発生〔セル数〕	C	13	D	17,949	17,962
計	248		17,980		18,228

崩壊の発生・非発生の両者に対する適中率が99.8%
崩壊の捕捉率が88.3%

⇨ 良好に崩壊実績を再現

平成21年災害の再現計算による土石流シミュレーションモデルの検証



渓流ID			25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
横過構造			No24渓流と砂防堰堤上流で合流	横過部: 管 φ=0.8m	横過部: ボックスカルバート 幅1.1m×高1.1m	横過部: 管 φ=1.0m	横過部: 管 φ=1.0m	国道の横過なし (No19渓流へ合流)	国道の横過なし (No18渓流へ合流)	横過部: 管 φ=1.0m	国道の横過なし (No18渓流へ合流)	横過部: 管 φ=0.8m	横過部: 橋 幅3.4m×高2.0m	横過部: 管 φ=0.8m	横過部: ボックスカルバート 幅2.3m×深1.2m	横過部: 管 φ=0.3m	横過部: 管 φ=1.0m	横過部: 管 φ=0.3m	横過部: Box 幅0.8m×深0.8m	なし	横過部: 管 φ=0.6m	横過部: 管 φ=0.8m	横過部: 管 φ=0.6m	横過部: 管 φ=0.8m	なし (側溝へ流入)	なし (側溝へ流入)	なし (側溝へ流入)
横過部の通水量	種別		-	管	Box	管	管	-	-	管	-	管	橋梁	管	Box	管	管	管	Box	-	管	管	管	管	-	-	-
	通水量	(m^3/s)	-	2.25	9.78	2.73	4.73	-	-	6.33	-	3.52	111.59	4.09	27.96	0.26	6.24	0.31	4.56	-	0.70	5.71	1.61	4.03	-	-	-
通水量と洪水流量の比較	比較		-	○	○	○	○	-	-	○	-	○	○	○	○	○	○	通水量不足	○	-	○	○	○	○	-	-	-
	水のみのピーク流量 (2009.8.9降雨)	(m3/s)	0.101	0.231	0.182	0.139	0.273	0.168	0.269	0.452	0.143	0.675	2.595	1.288	1.046	0.183	0.637	0.326	0.533	0.124	0.280	0.149	0.250	0.858	0.119	0.141	0.067
通水量と土石流流量の比較	比較		-	通水量不足	○	通水量不足	通水量不足	-	-	通水量不足	-	通水量不足	○	通水量不足	通水量不足	通水量不足	通水量不足	通水量不足	通水量不足	直接道路へ流出	通水量不足	○	通水量不足	通水量不足	直接道路へ流出	直接道路へ流出	直接道路へ流出
	土石流ピーク流量	(m3/s)	6.59	7.55	8.40	3.72	13.96	20.36	10.88	16.98	7.57	26.88	60.70	44.80	38.76	3.23	22.16	8.79	3.77	1.92	0.21	0.26	2.39	17.74	1.23	1.08	0.32

土砂流出の状況に関する記録がほとんどないため十分な妥当性の評価は困難であるが，部分的にある記録写真と比較して大きな矛盾はない

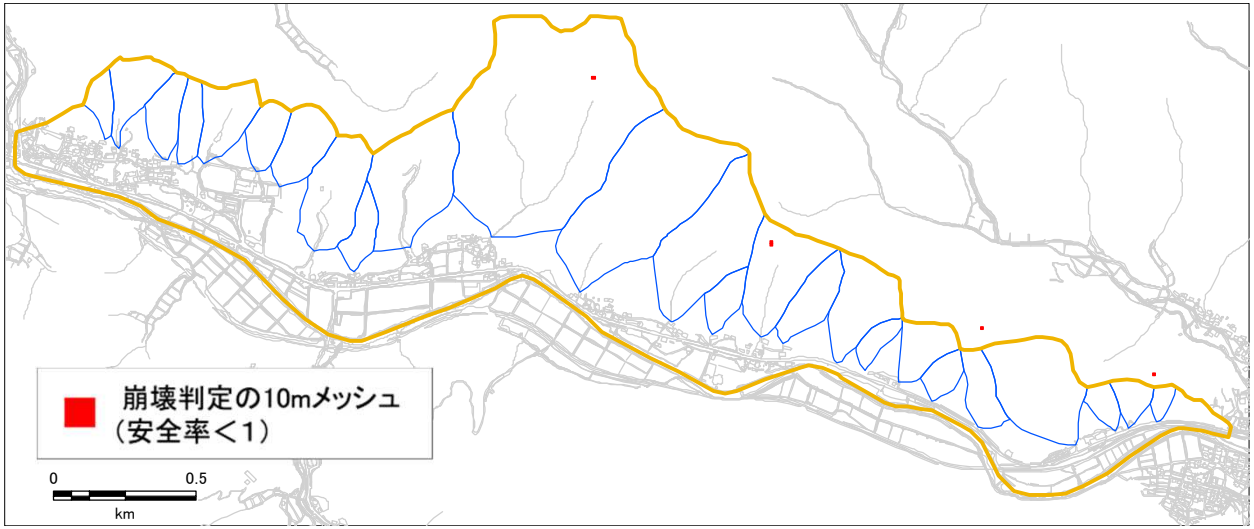
検討ケースの一覧

降雨期間	ピーク位置	先行降雨	非ゲリラ豪雨	ゲリラ豪雨		
			100mm	140mm	170mm	200mm
1時間	中央	なし	100-0	140-0	170-0	200-0
3時間	前方	なし	100-1	140-1	170-1	200-1
3時間	中央	なし	100-2	140-2	170-2	200-2
3時間	後方	なし	100-3	140-3	170-3	200-3
14時間	中央	100mm	-	140-4	170-4	200-4
16時間	後方	100mm	-	140-5	170-5	200-5

【想定降雨の総雨量】

① 100mm　3時間雨量127mm未満，　パトロール準備レベル
② 140mm　3時間雨量127mm以上，　注意体制強化基準レベル
③ 170mm　3時間雨量127mm以上，　警戒体制レベル
④ 200mm　3時間雨量127mm以上，　非常体制（通行規制）レベル

非ゲリラ豪雨



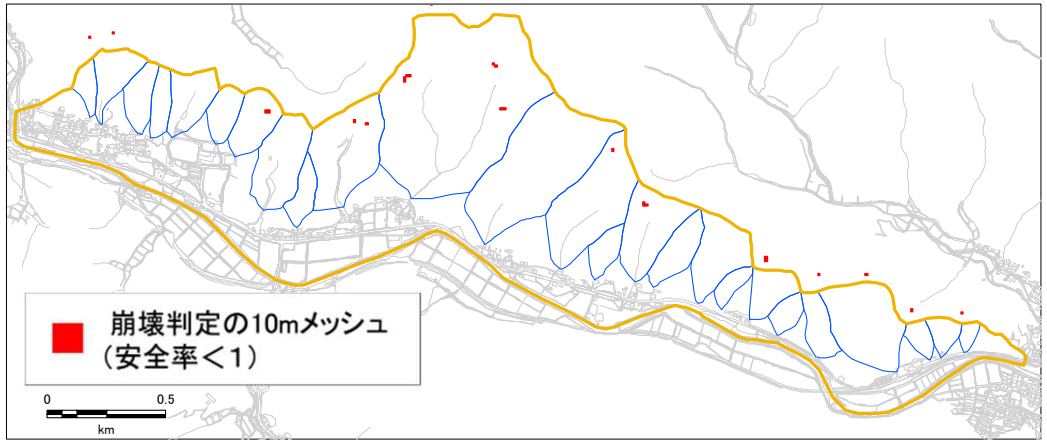
非ゲリラ豪雨ケース

100-0　降雨期間1時間，ピーク位置中央，先行降雨なし，100mm
100-1　降雨期間3時間，ピーク位置前方，先行降雨なし，100mm
100-2　降雨期間3時間，ピーク位置中央，先行降雨なし，100mm
100-3　降雨期間3時間，ピーク位置後方，先行降雨なし，100mm

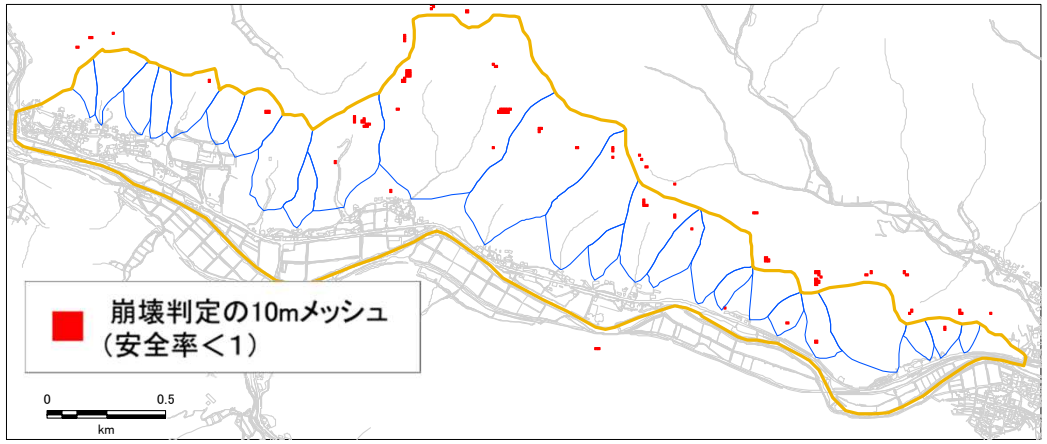
⇩

いずれの結果も同じ
ほとんど，崩壊なし

降雨量の影響



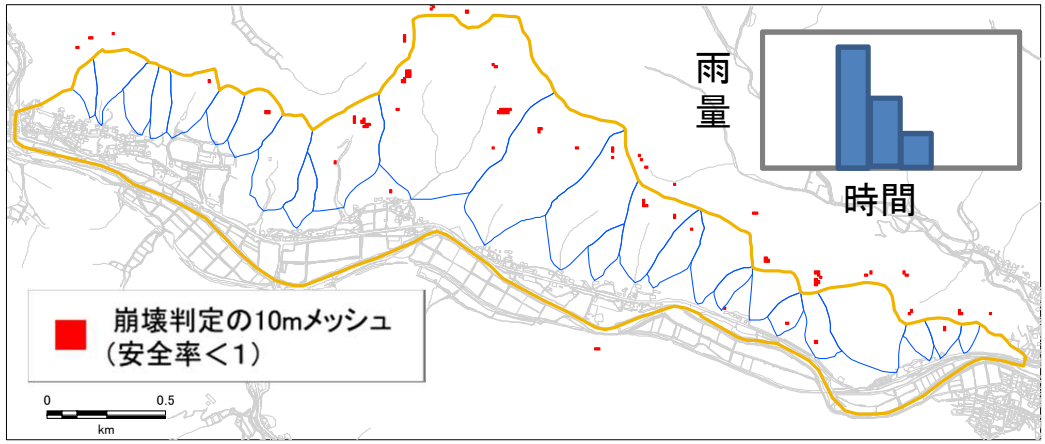
140-2　雨期間３時間，ピーク位置中央，先行降雨なし，140mm（特別警報相当）



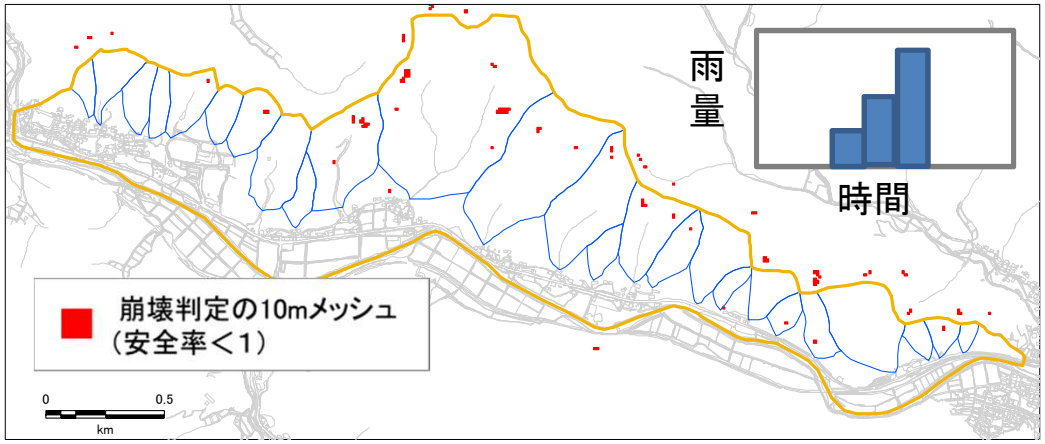
200-2　雨期間３時間，ピーク位置中央，先行降雨なし，200mm

雨量の増加に応じて徐々に崩壊予測箇所が増加する

降雨パターンの影響



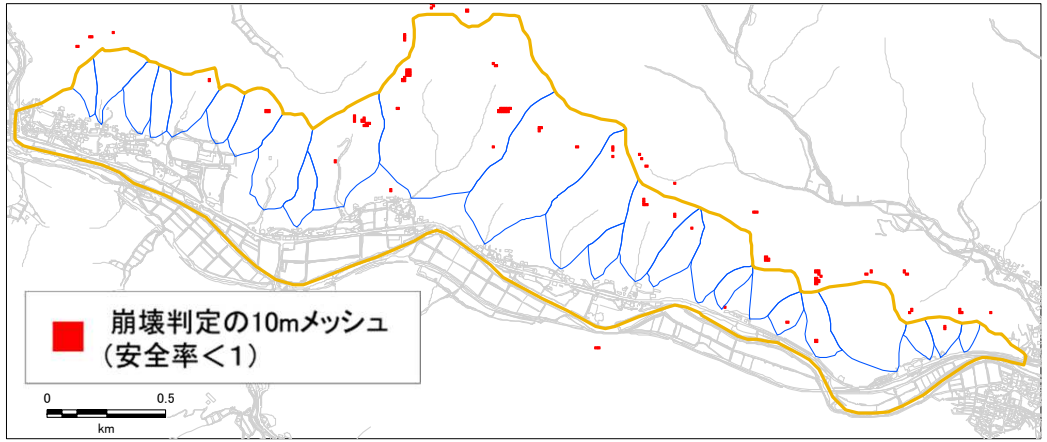
200-1　雨期間３時間，ピーク位置前方，先行降雨なし，200mm



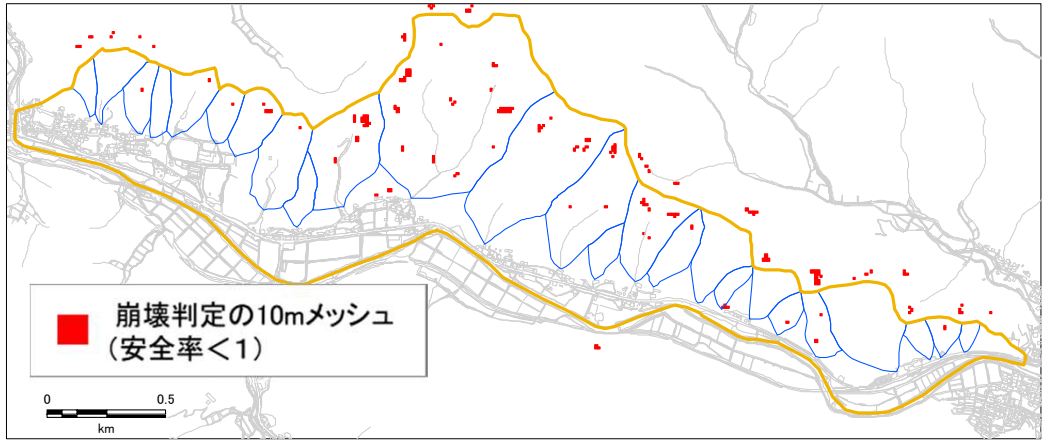
200-3　雨期間３時間，ピーク位置後方，先行降雨なし，200mm

降雨波形の違いによる崩壊予測箇所の分布に変化が見られない

先行降雨の影響



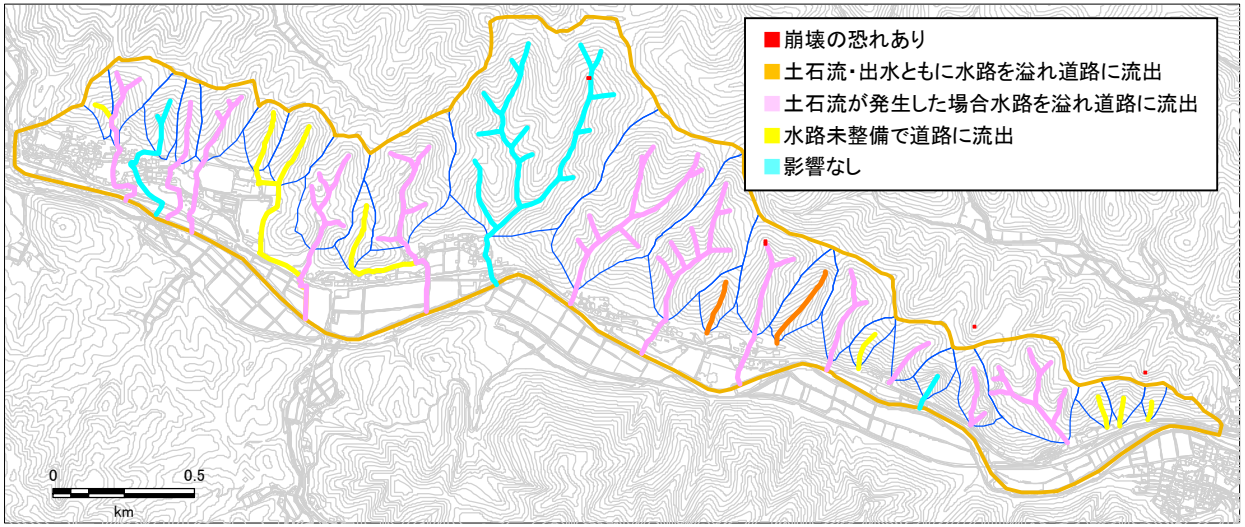
200-2　雨期間３時間，ピーク位置中央，先行降雨なし，200mm



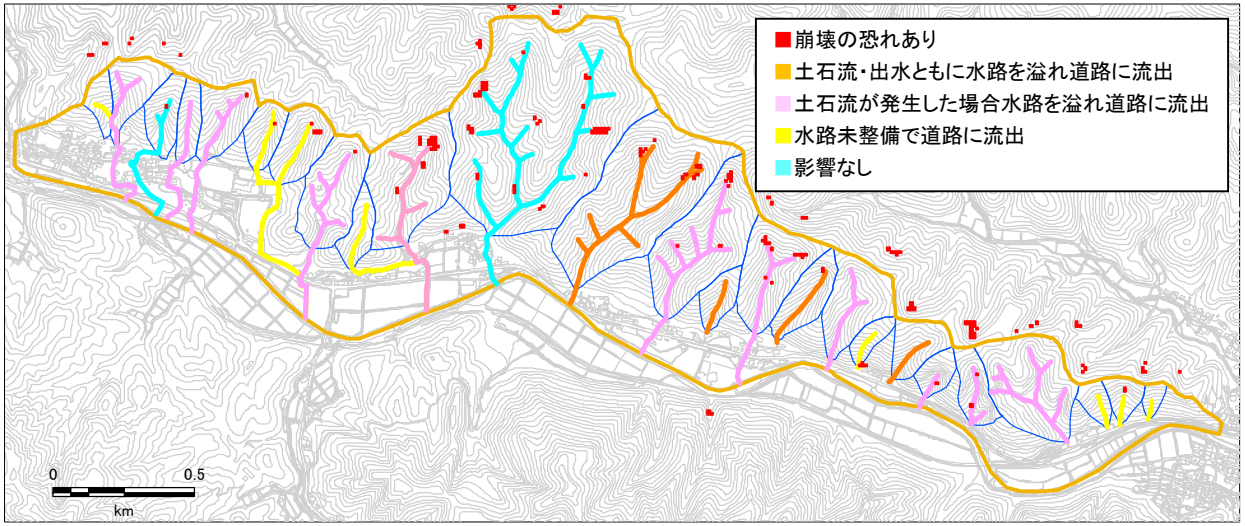
200-5　降雨期間１６時間，ピーク位置後方，先行降雨100mm，200mm

先行降雨があるとき崩壊予測箇所が多く，雨量の増加に応じて崩壊予測箇所が急増する

土石流による渓流からの土砂流出



非ゲリラ豪雨ケース



200-5　降雨期間１６時間，ピーク位置中央，先行降雨100mm，200mm

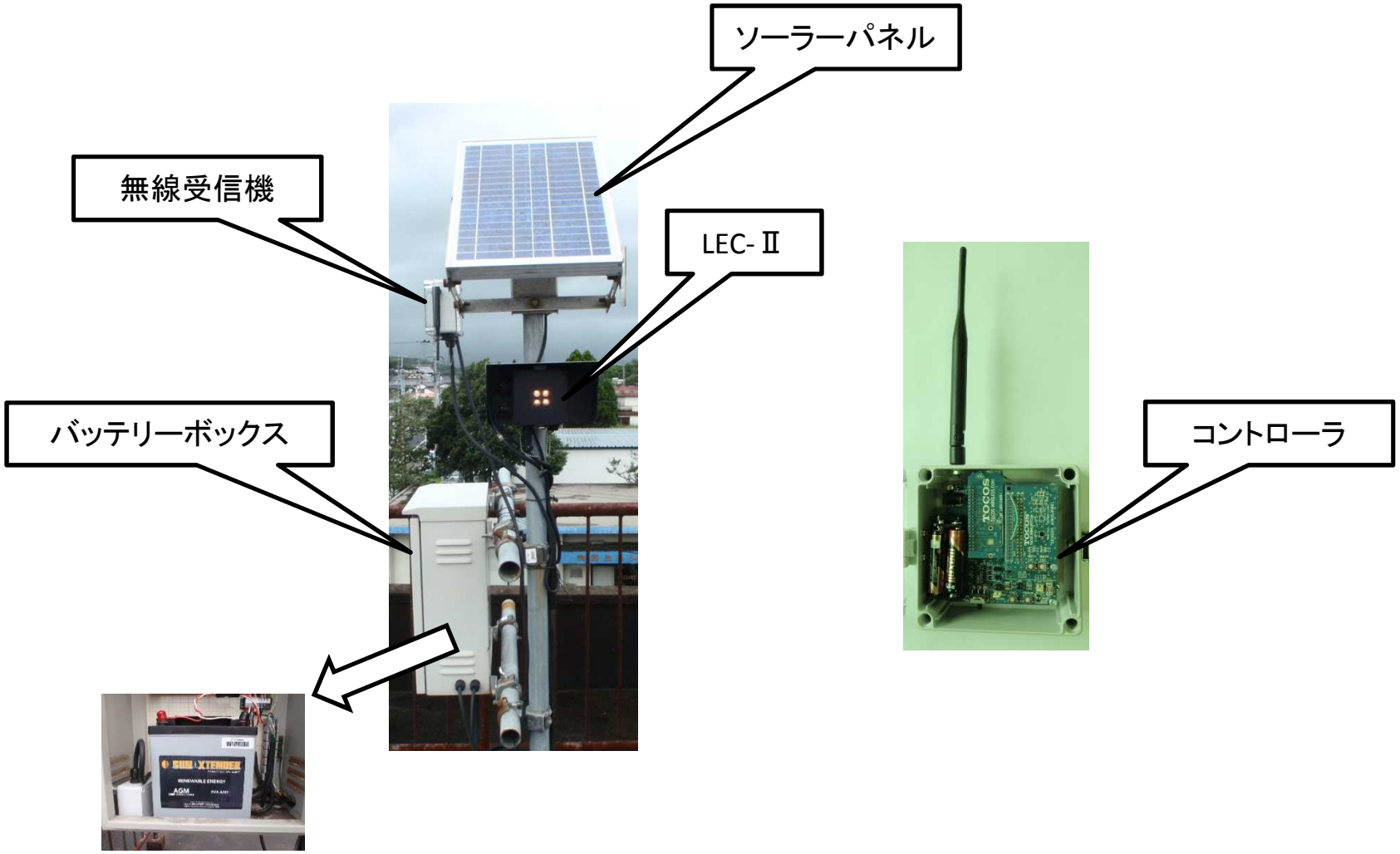
1. プロジェクトの概要
2. 事例に基づくゲリラ豪雨時の道路パトロールの問題点の抽出
3. ゲリラ豪雨の局所性の検討
4. ゲリラ豪雨時に道路のり面において生じる現象の推定
5. 道路のり面の監視方法

豪雨に伴い道路沿いで発生する変状とその程度を車中から検出するための手法を検討することを目的とする。

○危険性を判断する現象と観測方法（何をどこで測るか）、閾値（どの状態が危険か）の検討
→雨量を媒体としたハザードマップとの連動

○危険性を知る、知らせる方法
⇒道路パトロール時に色で危険性を知る
光るコンバーターLEC-Ⅱを利用し、検討

道路のり面の監視方法

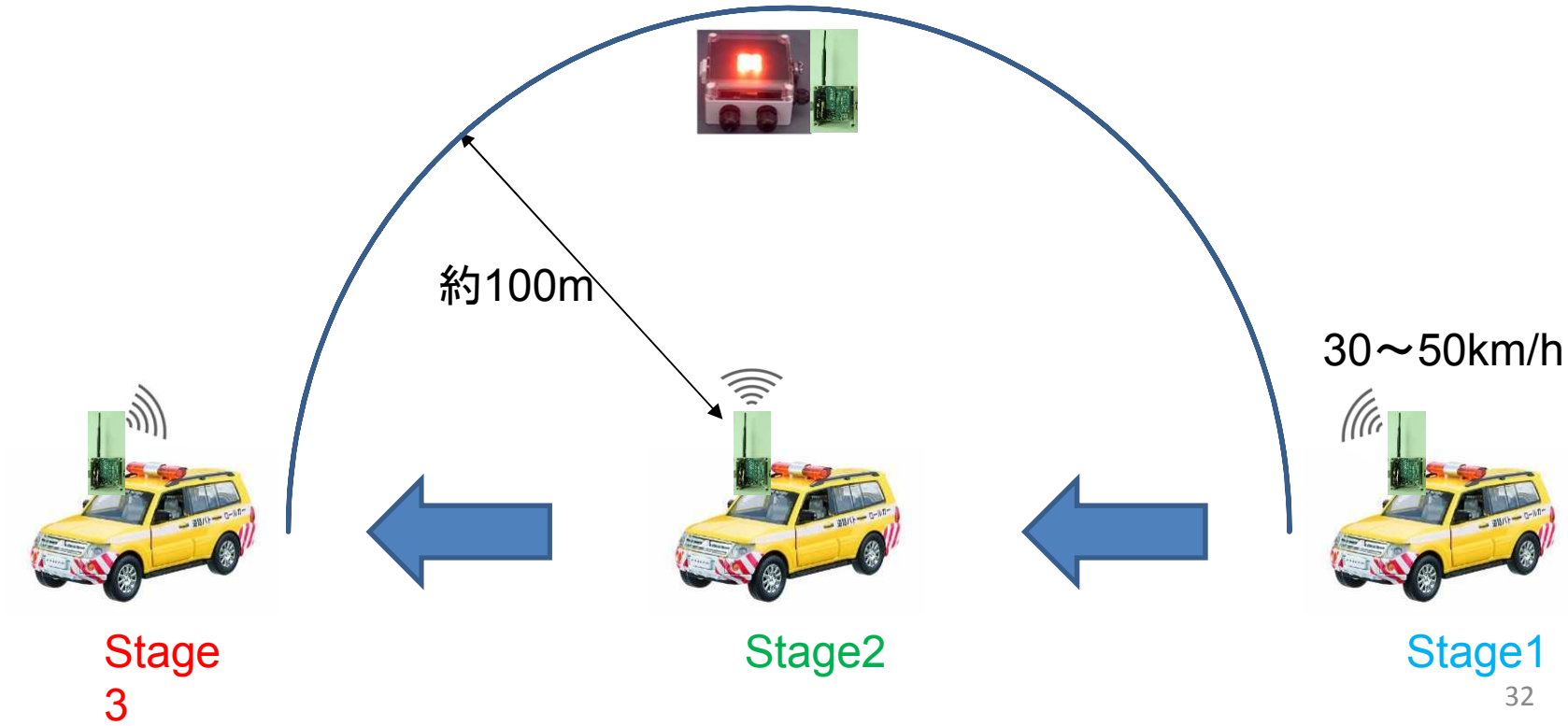


作動概要

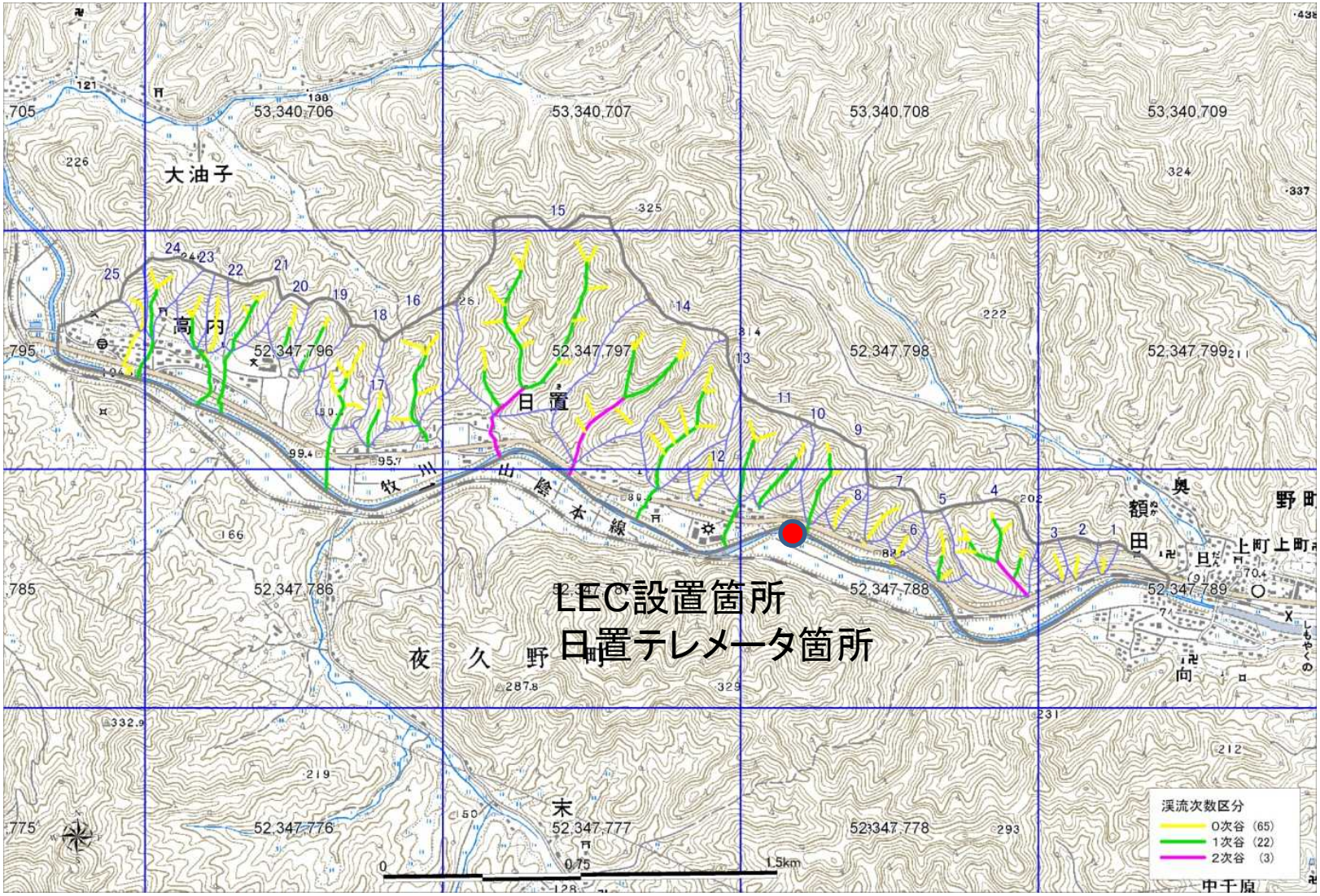
Stage1. パトロール車が圏外にあるときLECは消灯状態にある

Stage2. パトロール車が圏内に入るとLECは点灯状態になる

Stage3. パトロール車が遠ざかり圏外へ出るとLECは消灯状態に戻る



LEC設置箇所


大油子
高円
日置
牧川
山陰本線
夜久野
末
奥
額田
上町
LEC設置箇所
日置テレメータ箇所
53,340,706
53,340,707
53,340,708
53,340,709
52,347,796
52,347,797
52,347,798
52,347,799
52,347,786
52,347,788
52,347,789
52,347,776
52,347,777
52,347,778
渓流次数区分
0次谷 (65)
1次谷 (22)
2次谷 (3)
0
0.75
1.5km

今後の課題

- 想定降雨によるハザード検討
  - 10分雨量の降雨波形に応じたハザード検討
  - シミュレーションモデルの高度化
- 道路のり面監視方法の検討
  - 雨量観測の実施による降雨特性の分析
  - 雨量計とLECの連動のための閾値検討
- 豪雨時道路パトロールの着目点の検討