

2023年10月20日
第20回新都市社会技術セミナー

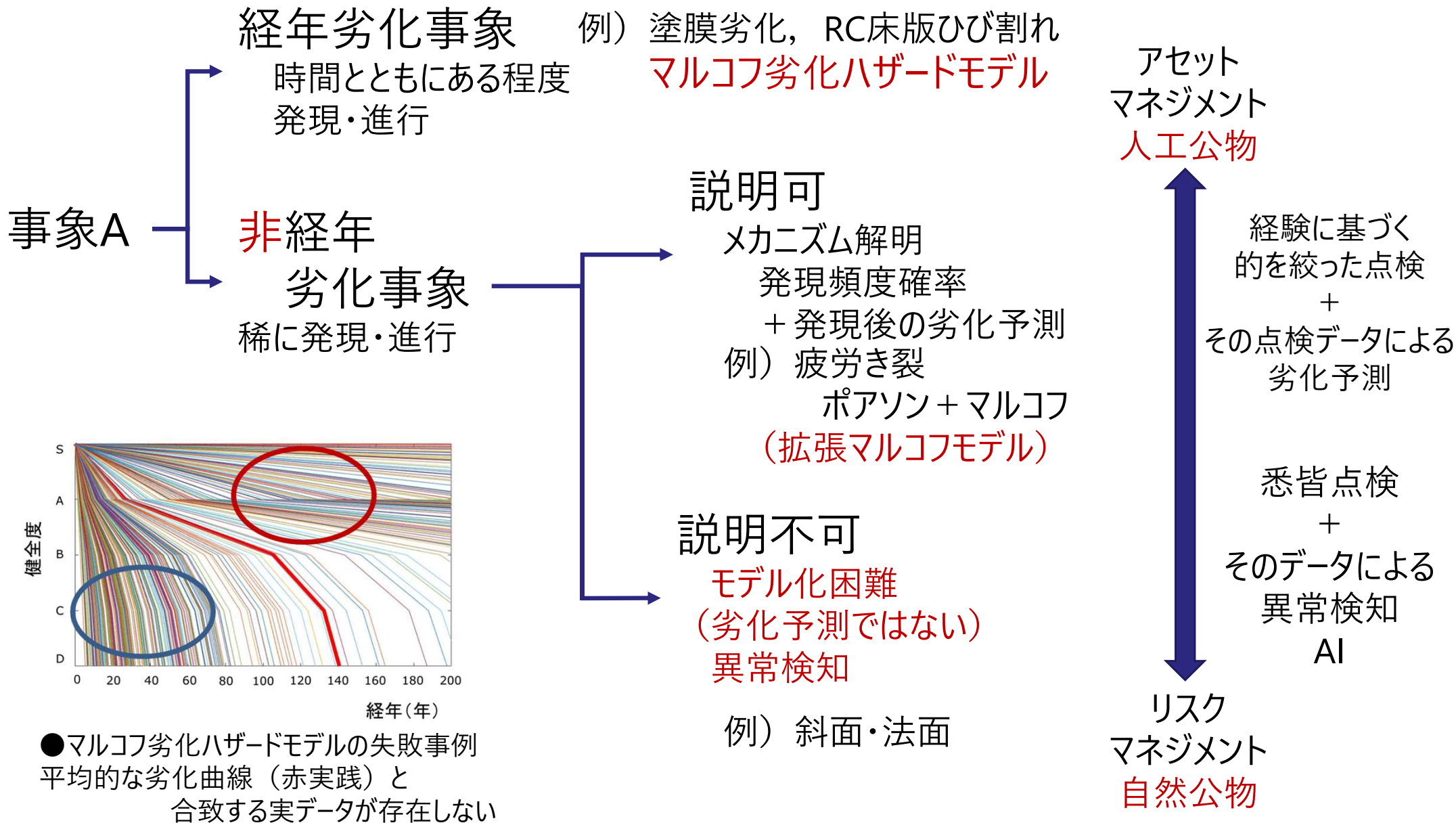
大阪大学大学院 工学研究科
社会基盤マネジメント学領域
Osaka University Infrastructure Management Lab.



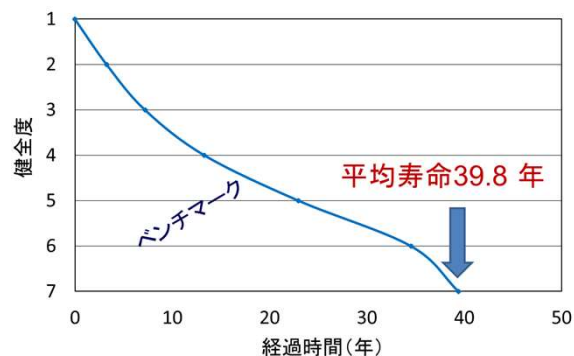
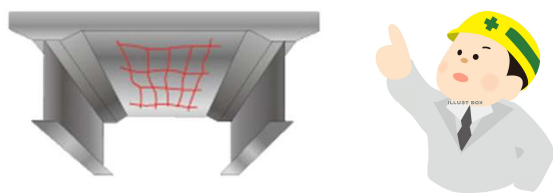
道路管理の高度化・効率化に資する 4次元インフラマネジメント手法の開発

大阪大学大学院 貝戸清之
社会基盤マネジメント学領域

<http://www.infra-assetmetrics.com/>
kaito@civil.eng.osaka-u.ac.jp

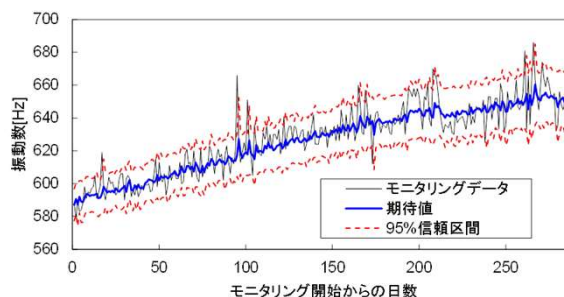
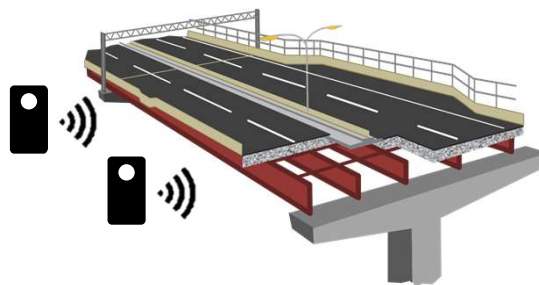


第一世代



定期的な目視検査
+
統計的劣化予測

第二世代



常時モニタリング
+
時系列解析

第三世代

MMS



航空レーザ



UAV



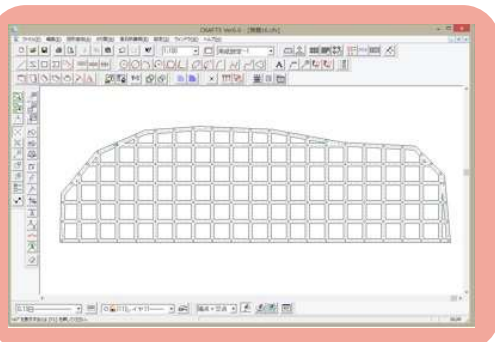
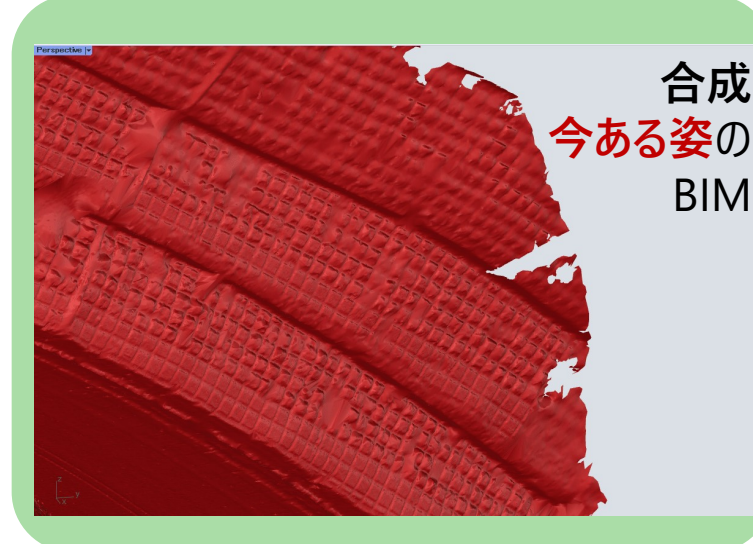
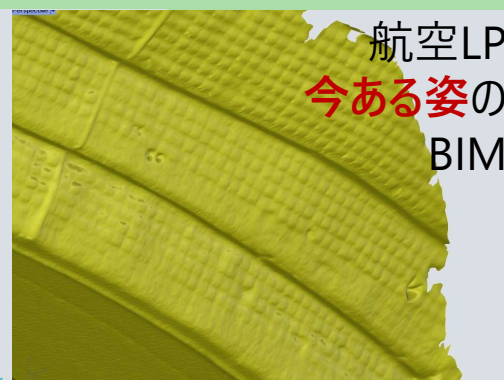
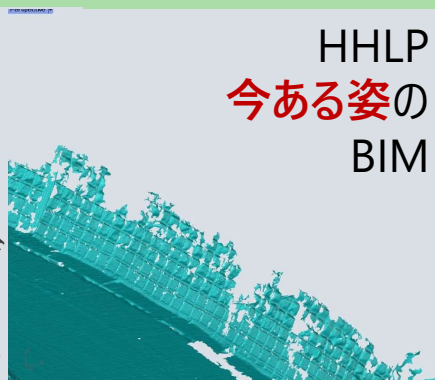
レーザースキャナ



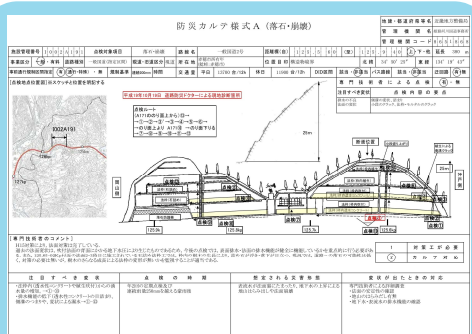
ドローン技術や3次元計測技術
+
デジタルツイン

デジタルトランスフォーメーション

3次元モデルとその履歴データに基づく 4次元インフラマネジメントシステムを構築する



防災カルテ
特定土工点検



将来の姿のBIM
過去の姿のBIM

学

大阪大学 京都大学
東北大学 名古屋工業大学
岐阜大学

要素技術・方法論の
主体的開発

官

近畿地方整備局道路部
近畿道路メンテナンスセンター
近畿技術事務所

研究開発のアドバイザー
・データ提供

産

中央復建コンサルタンツ
株式会社パスコ
応用地質株式会社

データ計測・モデル作成
ノウハウ提供

1 3次元モデルの作成と標準化

- フィールド試験を実施し、既存点群データ・施工時図面と統合し3次元モデルを作成
- 点群データによる土工構造物維持管理のためのマニュアル作成

2 データベースとしての3次元モデルの活用

- 4次元インフラマネジメントのプラットフォームとなる3次元サーフェスモデルを作成

3 シミュレーション空間における3次元モデルの活用

- ミクロ・メゾスケール変状検知手法の開発
- マクロスケール変状検知手法の開発

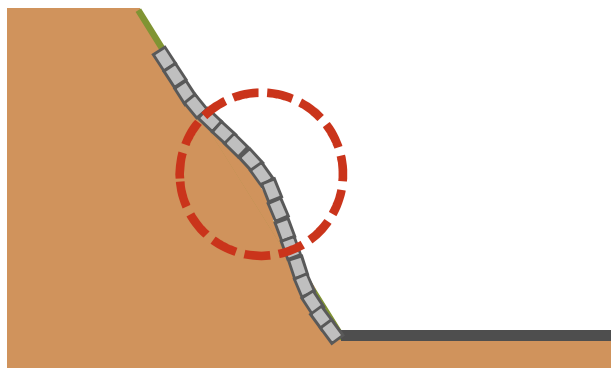
本日の発表内容

点群深層学習を用いた斜面における 異常検知システムの体系化

(マイクロ・メゾスケール変状検知手法の開発)

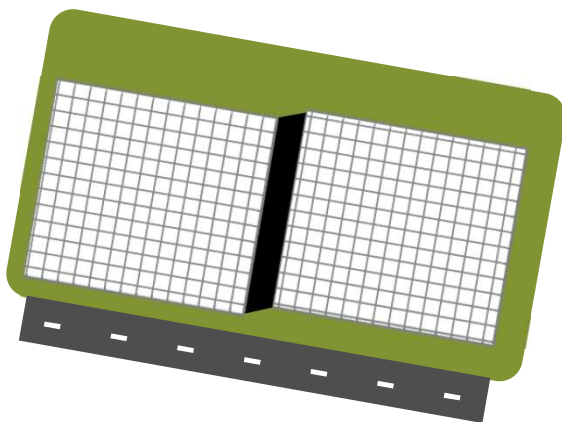
点群データを用いた**マイクロスケール（法枠）**の異常検知手法が未確立であった

マイクロスケール
(法枠はらみ出し)



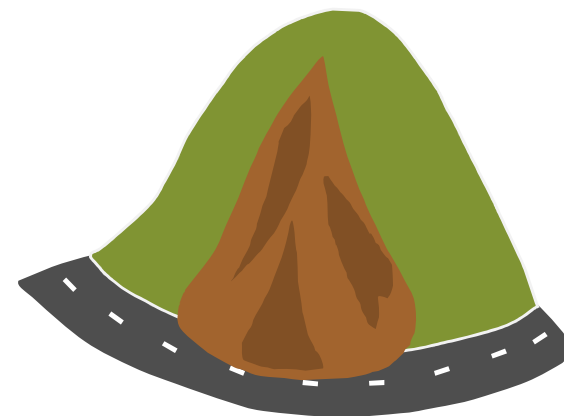
?

メゾスケール
(法面のずれ)



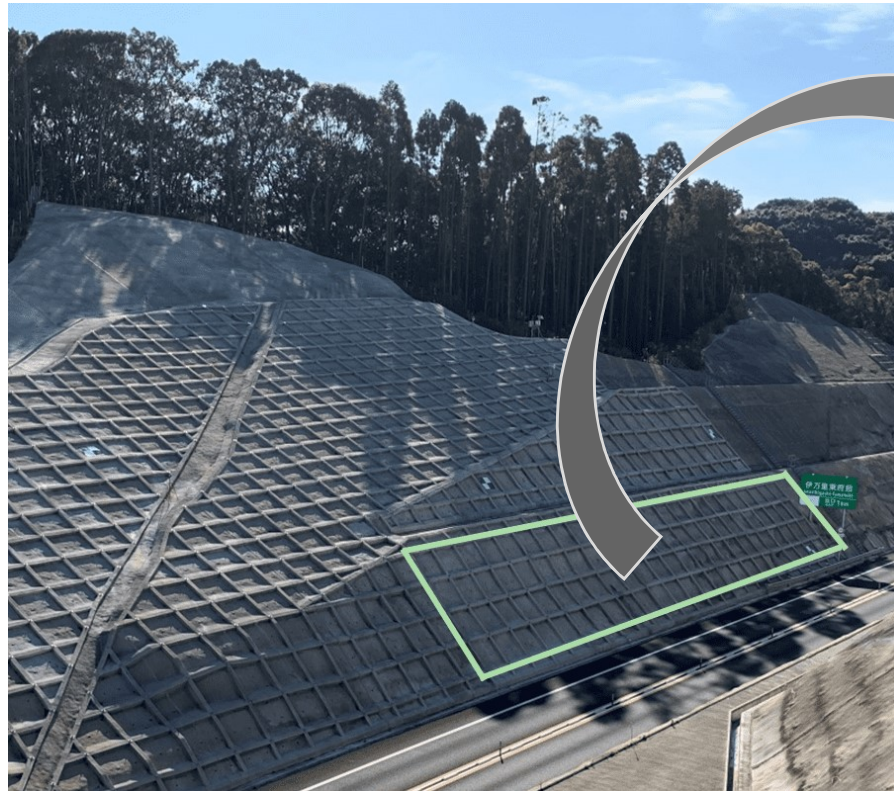
差分解析等

マクロスケール
(斜面崩壊)

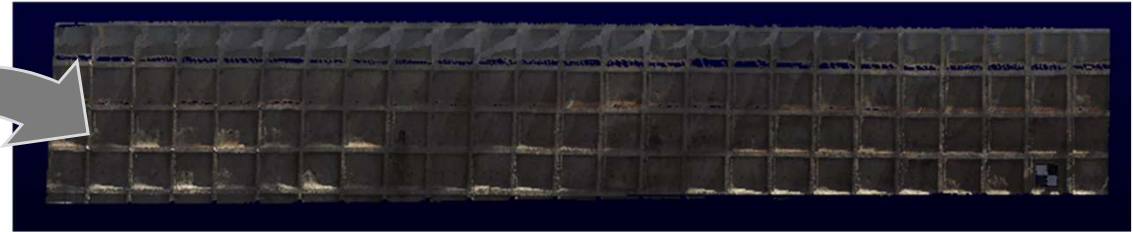


衛星SR等

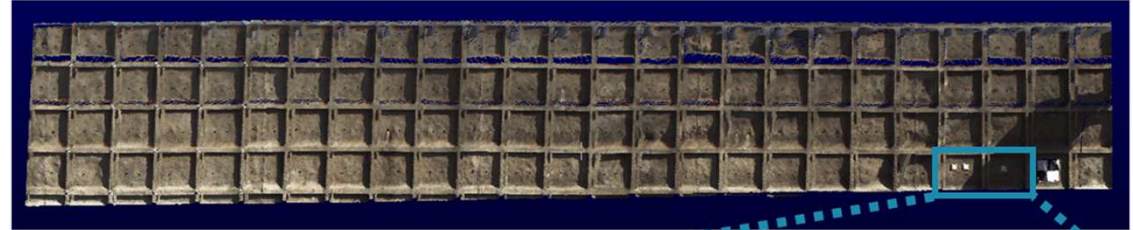
長大法面と，MMSによる点群計測



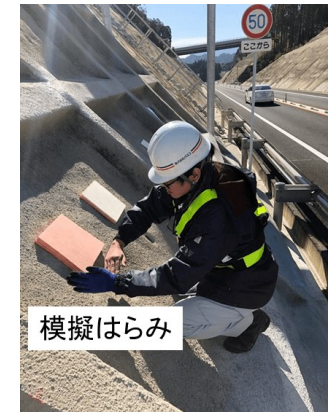
1期点群データ



2期点群データ

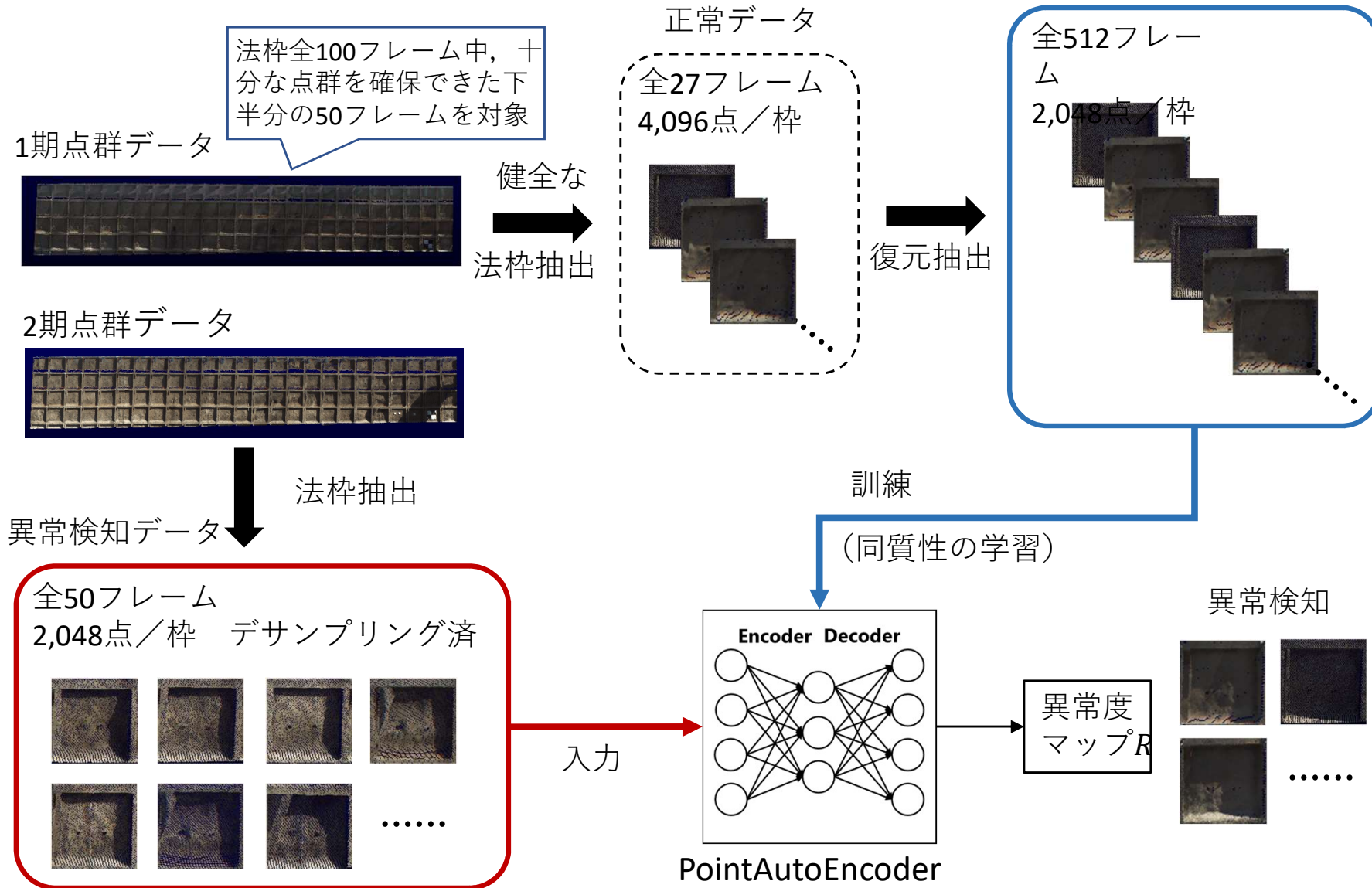


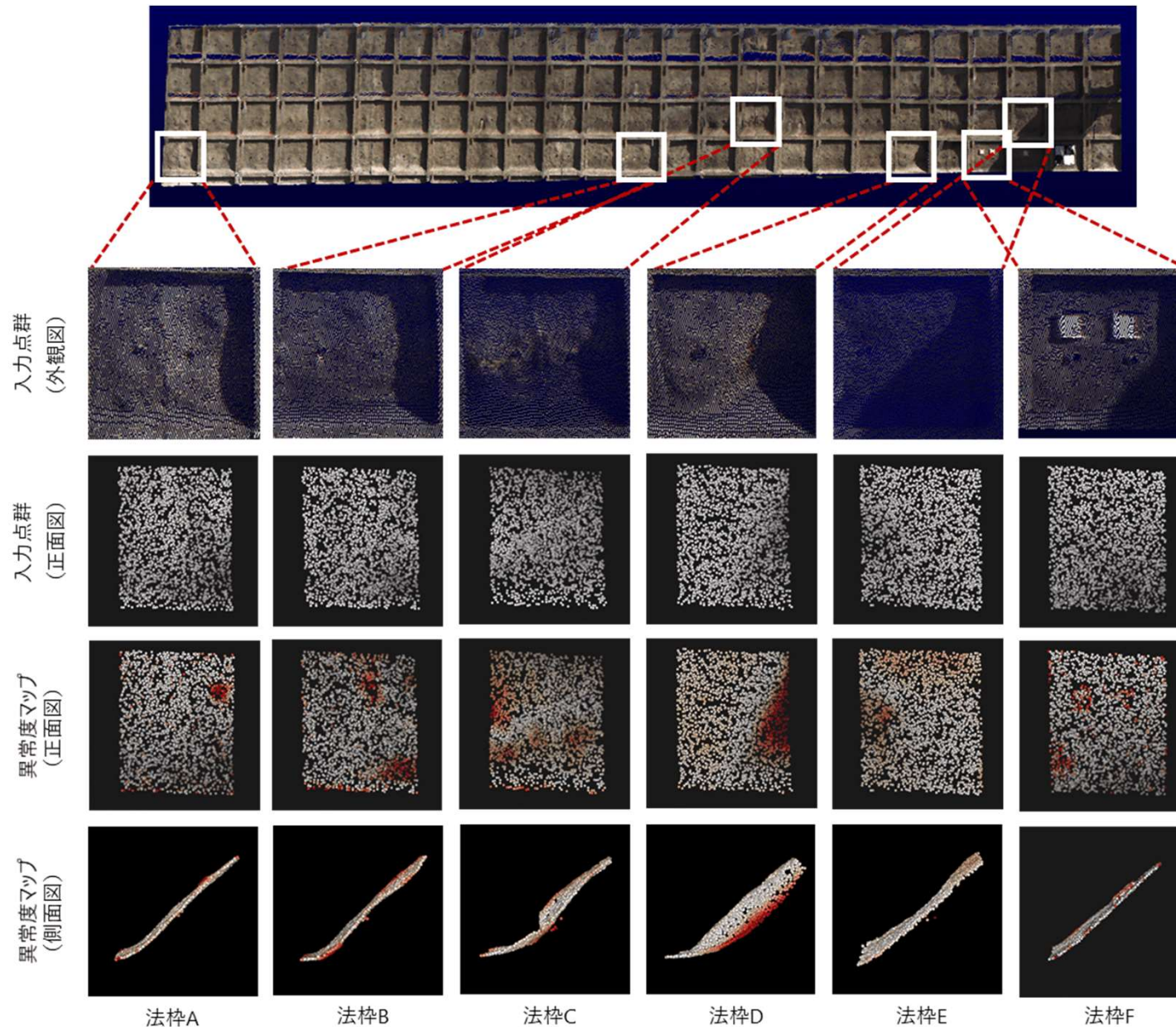
2期点群データに関しては、
検知可能性検証のために、
厚さの異なるはらみ出しを
右のように3箇所を設置した。



同質性の点群深層学習と異常検知のスキーム

訓練データ





法枠

A：特定箇所隆起

B：特定箇所隆起

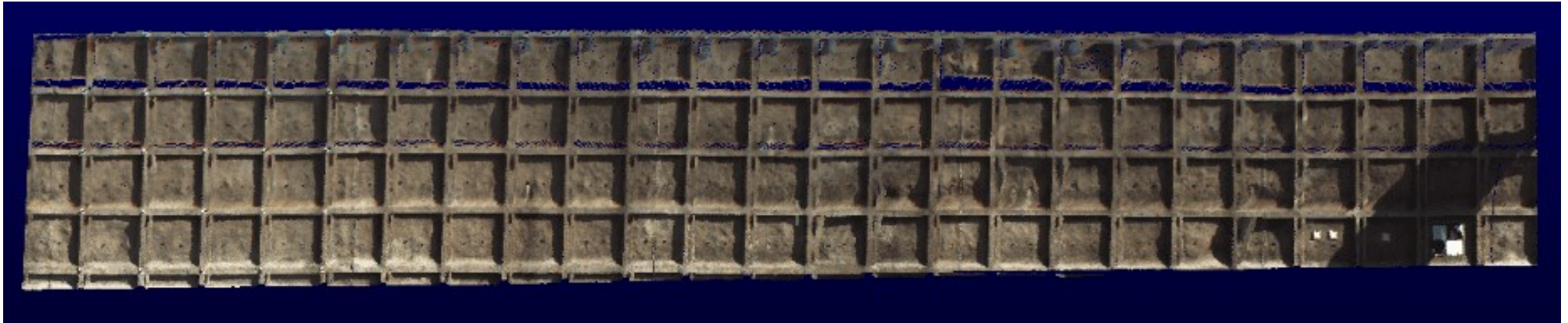
C：ひずみ

D：右部ねじれ

E：ひずみ

F：中心部はらみ
(疑似的付与)

◆ 点群データ（法面全体）



◆ 異常度マップ（法面全体）

※ 異常度に対し、カラースケールを[0,0.005]に統一して全体のマップを比較



航空LP 点群データを用いた 危険斜面スクリーニングの高度化

(マクロスケール変状検知手法の開発)

斜面崩壊の危険のある 溪流の抽出が不可欠

宮崎県耳川
(2005年)



出典：国交省・近畿地整『「大規模な土砂災害」への備えに』

既往研究

構造化データに整理された
特徴量を用いた統計分析

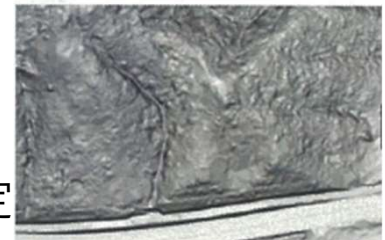
	x_1	x_2
1		
2		
3		
4		

課題

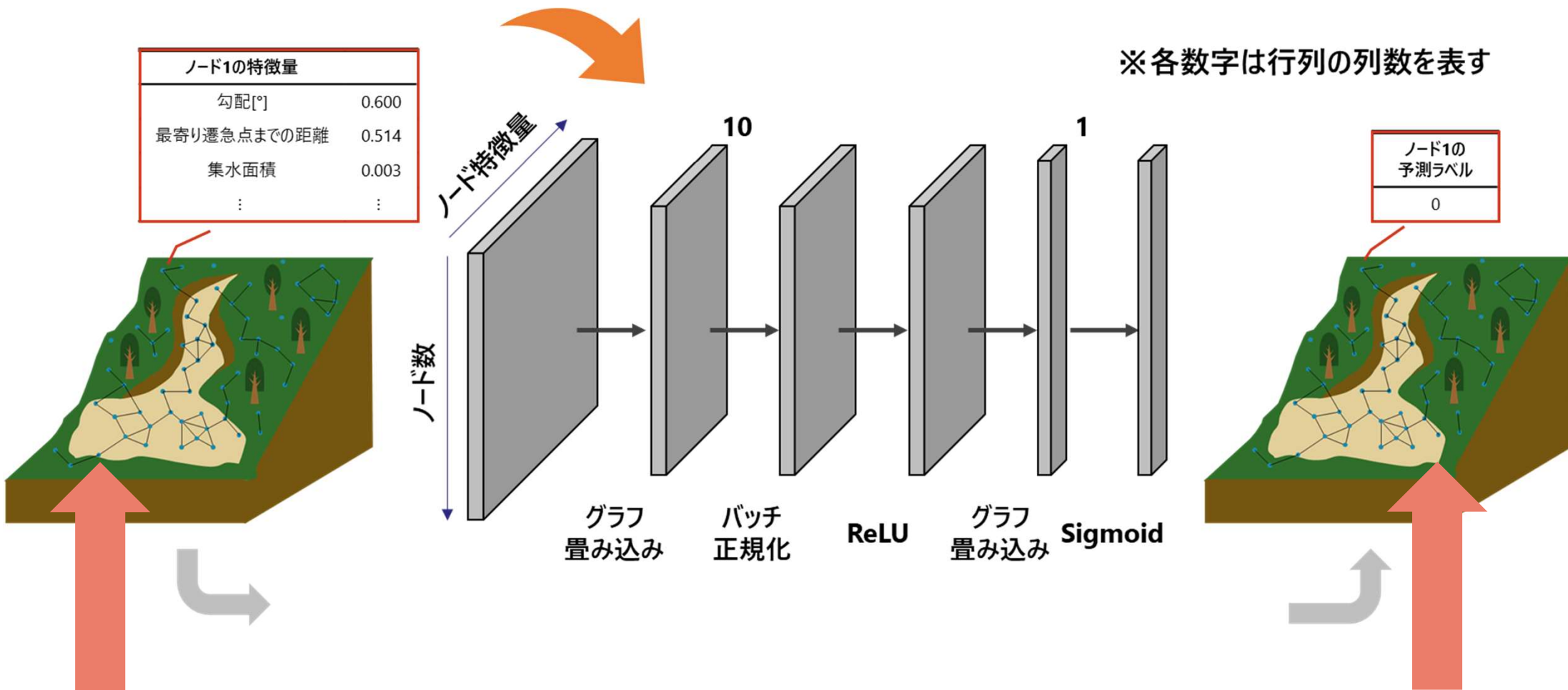
空間的位置情報が考慮されていない

本研究

航空LP点群データ
を用いた調査優先順位の決定



斜面を構成する点単位の情報による
ミクロな斜面崩壊予測モデルを構築



点群データをグラフのノードと定義

崩壊部に帰属するノードを学習・予測

◆ H30年7月豪雨土砂災害 LP点群（NEXCO西日本中国支社）

広島県山陽道・呉道のデータ：81溪流

各溪流が含むメッシュ数は膨大かつ溪流ごとに大きなばらつき

▶ 【崩壊・非崩壊メッシュ数をバランス調整】

各溪流に対し、崩壊メッシュ数に合わせて非崩壊メッシュをサンプリングし、崩壊メッシュ数は500個に調整



- ◆ 訓練データ：66溪流
- 検証データ：8溪流
- テストデータ：7溪流
- を使用

◆ 用いた特徴量：計16個

特徴量

勾配[°]（災害前）

最寄り遷急点までの距離[m]

集水面積（ArcGISにより算出）[m²]

災害前DEMデータ標高値[m]

縦断曲率（窓領域x=3, 5, 11, 31, 51[m]

横断曲率（窓領域x=3, 5, 11, 31, 51[m]

座標値 (x, y)[m]

※ 検証データ：モデルの訓練に使用しないデータ
ハイパーパラメータの調整に使用

※ テストデータ：モデルの訓練に使用しないデータ
汎化性能（見たことのないデータ
に対する性能）の算出に使用

◆ テストデータにおける結果（近傍半径 $\varepsilon = 0.01$ ）

7溪流のうち，3溪流の例を示す

・ 溪流A（最も精度が良い）

		推定		的中率[%]
		崩壊	非崩壊	
実績	崩壊	250	0	100.0
	非崩壊	71	179	71.6

・ 溪流B

		推定		的中率[%]
		崩壊	非崩壊	
実績	崩壊	197	45	81.4
	非崩壊	42	216	83.7

・ 溪流C（特異的に精度が悪い）

		推定		的中率[%]
		崩壊	非崩壊	
実績	崩壊	1	240	0.41
	非崩壊	30	229	88.4

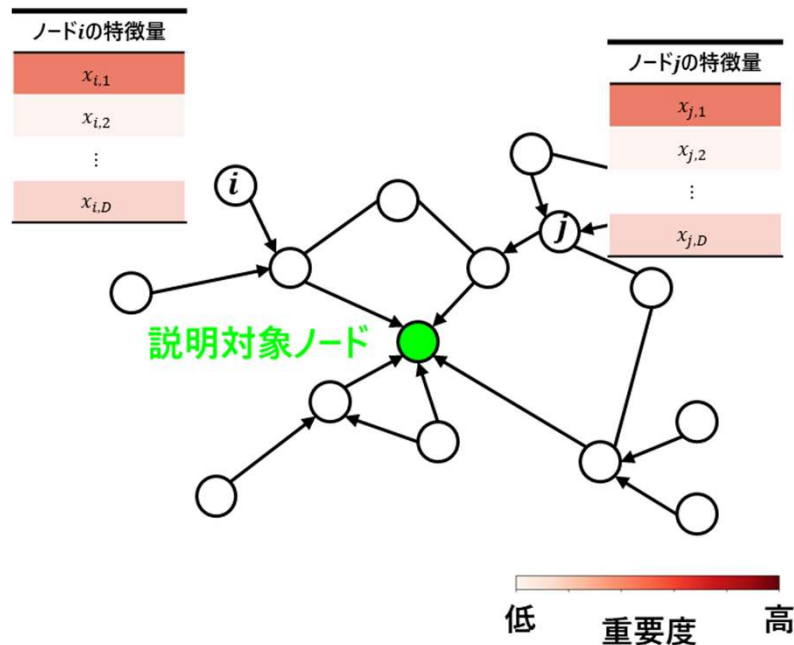
- ・ 溪流によって精度のばらつきは大きい
 溪流A：見逃しゼロ，的中率良
 溪流B：的中率バランス良
 溪流C：崩壊の検出率が極めて低い

▶ データ内に含まれる溪流の特徴のバラつきが大きいことが起因している可能性がある

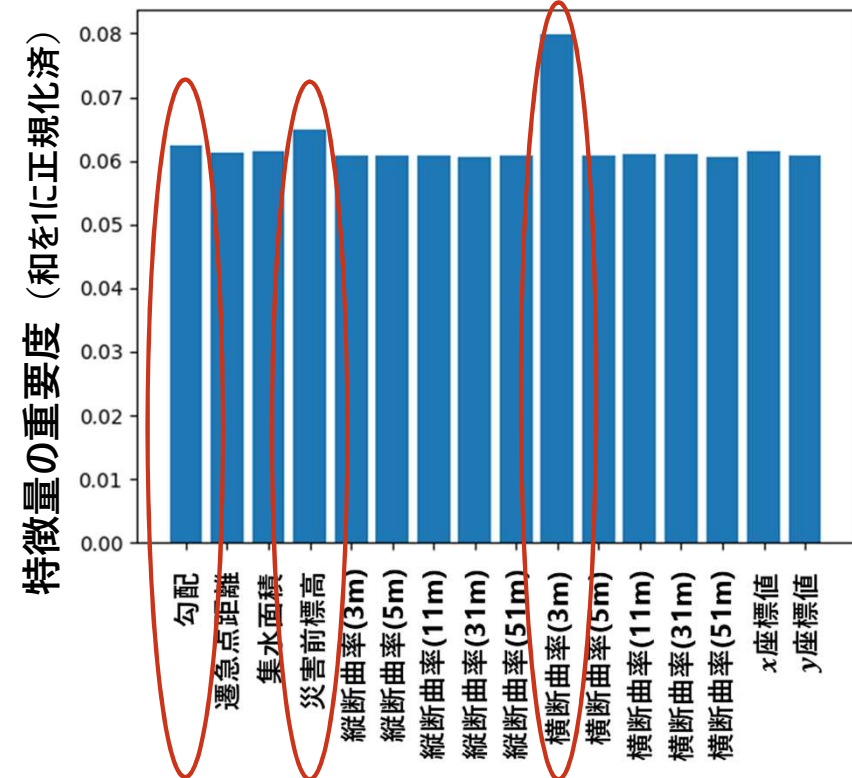
- Explainable AI技術を用いて、崩壊発生予測に寄与したノード特徴量を特定

GNNExplainer [Ying+, 2019]

特徴量を制限した際の予測分布と元の予測分布の相互情報量を最大化するようにノード特徴量の重要度を算出



テストデータ内の斜面点群において、全ノードに対する重要度を算出し、全ノード・全斜面点群にわたって平均化



- **横断曲率 (3m)**、**標高**、**勾配**などで重要度が高い → 重点管理項目に設定
- 勾配の重要性などは既往の研究結果と一致
ローカルな横断曲率の重要性を示唆

■ 国内学会

- 石川大智, 貝戸清之: 点群深層学習に基づく斜面の局所的異常検知, 2021年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, 土木学会, DVD-ROM, VI-5, ウェブ開催 (京都大学), 2021.5
- 石川大智, 貝戸清之: 点群深層学習に基づく法面の多時期・多点異常検知, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会講演概要集, 土木学会, DVD-ROM, CS14-62, ウェブ開催 (東海大学), 2021.9
- 石川大智, 貝戸清之, 小林潔司: 点群深層学習を用いた法面の異常検知, 第34回日本道路会議, 日本道路協会, No.4002, 都市センターホテル, 2021.11
- 石川大智, 貝戸清之: 点群深層学習を用いた法面の異常検知手法の開発, 第64回土木計画学研究・講演集, 土木学会, CD-ROM, No.7179, ウェブ開催 (福島大学), 2021.12
- 石川大智, 貝戸清之: グラフニューラルネットに基づくLP点群データを用いた危険斜面スクリーニング手法の高度化, 第66回土木計画学研究・講演集, 土木学会, CD-ROM, No.30-15, 琉球大学, 2022.11

■ 国際学会

- Ishikawa, T., Kaito, K. and Kobayashi, K.: Local Anomaly Detection on Slopes Based on Deep Learning with A Point Cloud, 4th Symposium Infrastructure Asset Management- SIAM4, Northwestern Univ. Illinois, 2022.6
- Ishikawa, T., Kaito, K. and Kobayashi, K.: Development of Slope Anomaly Detection Method using a Point Cloud, 4th IRF Asia Pacific Regional Congress & Exhibition, World Trade Centre. Kuala Lumpur, 2022.10
- Ishikawa, T., Kaito, K. and Kobayashi, K.: Local Anomaly Detection on Slopes Using Point Cloud Data, Transportation Research Board (TRB) 102nd Annual Meeting, Washington, D.C., 2023.1

■ 博士後期課程進学

- 大阪大学博士前期課程 (構築会賞受賞)
→ 東京大学博士後期課程
- 応用地質株式会社
→ 大阪大学博士後期課程

■ 履歴データをデジタルアーカイブ化した4次元インフラマネジメント

異常検知解析

PointAutoEncoder
ICP他

+

構造物点検結果等
近接目視点検結果

+

3Dプラットフォーム

MMS点群データ
BIM/CIMデータ

デジタルツインの実用化

劣化予測

対策優先度の決定

対応優先度の設定例※1

		発生確率		
		小	中	大
影響度	特大	B	A	AA
	大	B	B	A
	中	B	B	A
	小	C	B	B
手法	リスクランク	対応方針		
回避	AA	道路の通行止めが必用		
低減	A	恒久対策が必用.対策が完了するまで常時監視		
	B	維持管理レベルの応急対応後経過観察		
保有	C	定期点検等で経過観察が必用		

- ① 3次元プラットフォーム上に構造物点検結果や異常検知解析結果を重ねデジタルツインを実現する.
- ② 各種の履歴データをデジタルアーカイブ化し意思決定過程の体系化を図る.

※1 出典：地質リスク低減のための調査・設計マニュアル（案）（R3.3 近畿地方整備局）に一部加筆