

14:30～15:20

地形画像診断とボーリングコアのDX化 —地表と地下をつなぐ、新しい地盤診断技術—



原口 強 東北大学特任教授
(株)STORY代表

博士（工学）東京大学・技術士（応用理学）

上高地「再生と安全」プロジェクトアドバイザー

元 文化庁文化審議会文化財分科会第三専門調査会会長

元 内閣府原子力安全委員会原子炉安全専門審査会委員

専門分野：
地質工学
自然災害科学
地形画像診断



- 地質調査は、なぜ変わらなければならないのか
 - 国内外での事例
- 地表を診る—地形画像診断
 - 等高線・空中写真判読
 - 地形は表情・微地形表現図
- ボーリングコアのDX化
 - 現状と課題
 - コア検診車・コアビューア
- 地質PACS構想
 - 医療PACSに学ぶ
 - 地質PACS—地表と地下をつなぐ

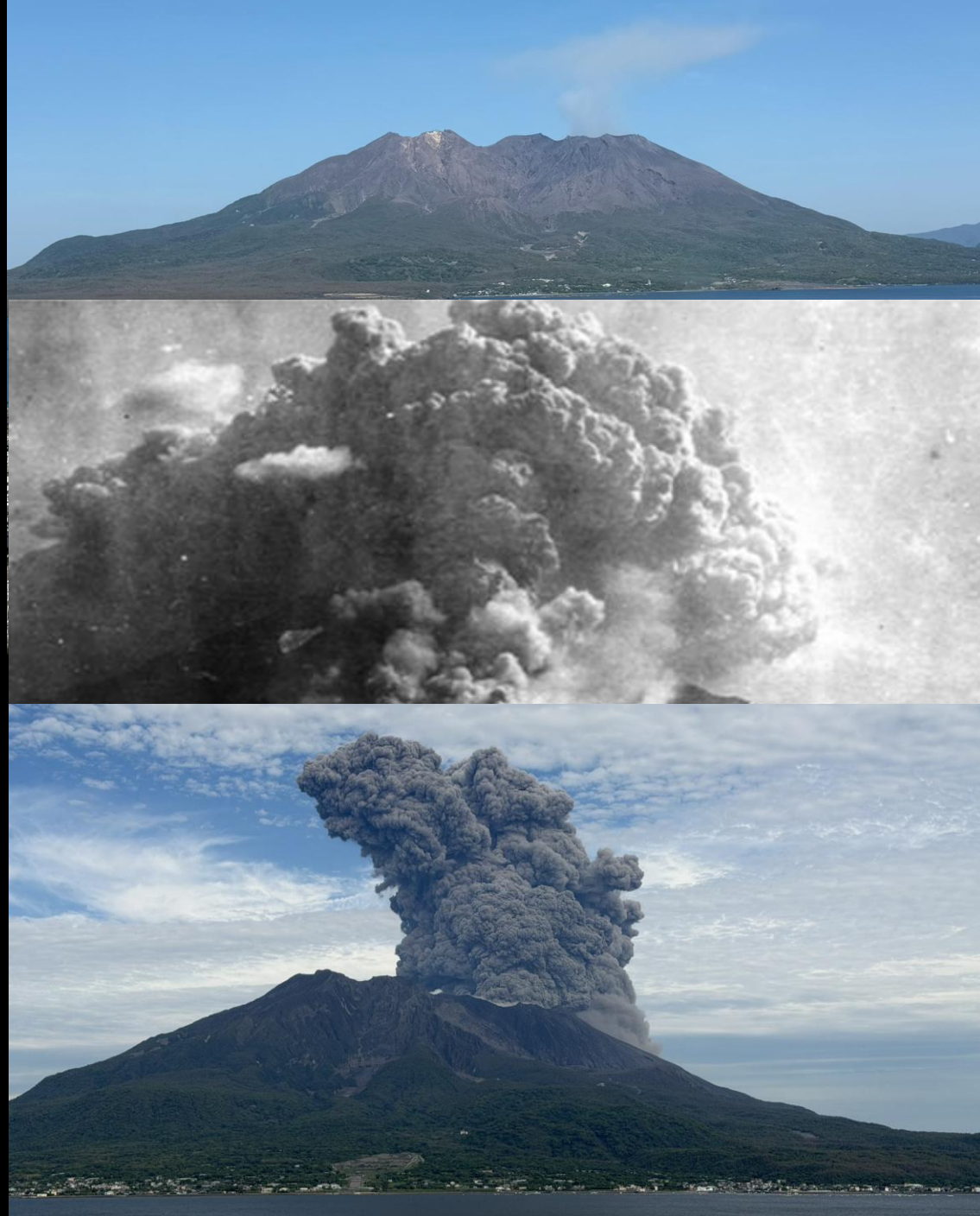
景観を維持する
河床掘削の作業

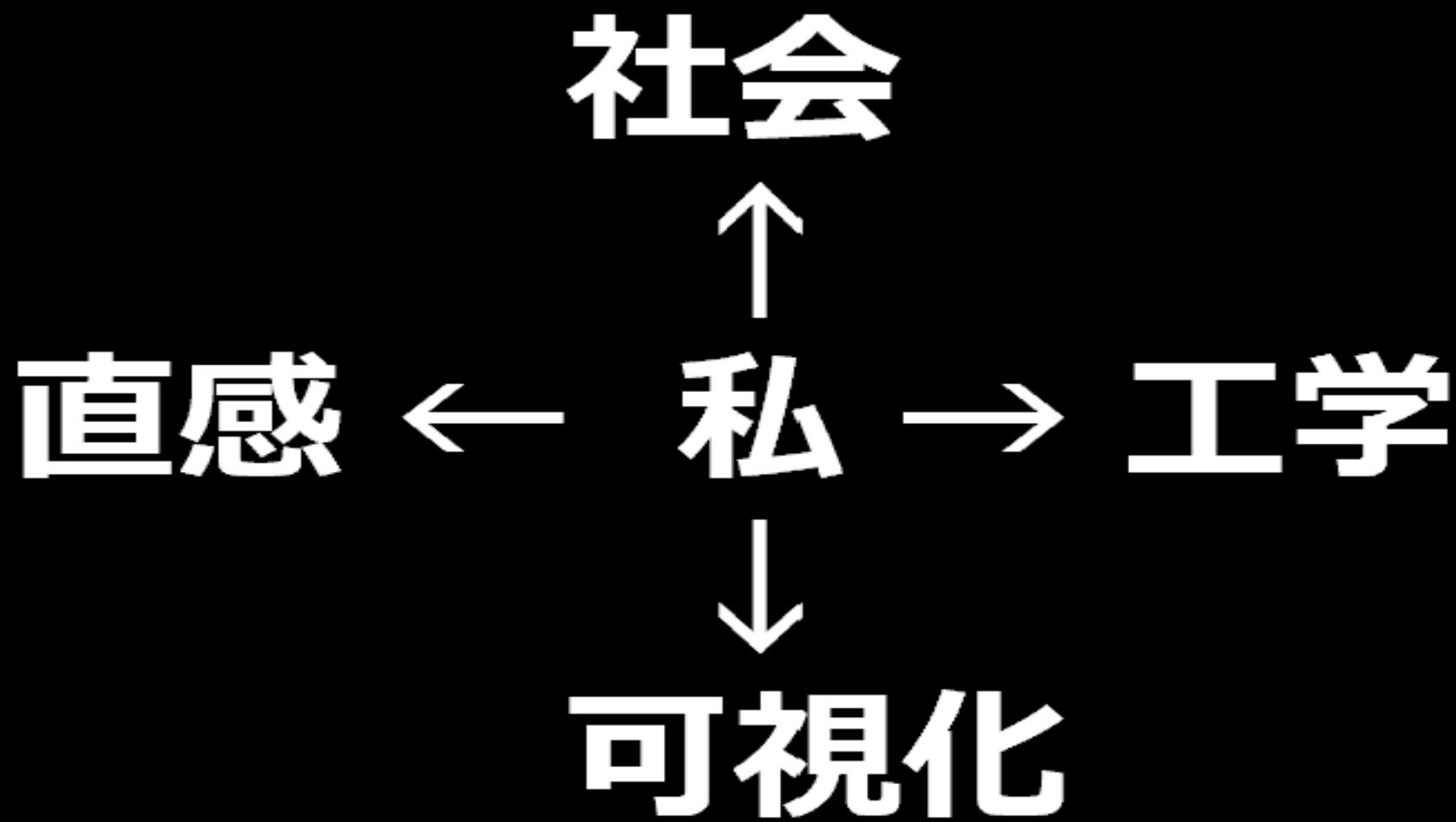
A wide-angle landscape photograph showing a calm lake in the foreground, which perfectly reflects the sky, clouds, and the surrounding mountains. The mountains in the background are covered in dense forests with some autumn-colored trees. A white oval highlights a construction site on the left side of the lake, where several orange excavators and other machinery are visible on a cleared area. The sky is a vibrant blue with scattered white clouds. The overall scene is peaceful and majestic.

大正池も人の手によってその
地形と景観が保存されてきた

地質との出会いと違和感

- 鹿児島出身です。
 - 大学で地質学を学びました。
 - 最初から地質学が好きだったわけではありません。
 - 大学で地質学を学ぶ中で、露頭を観察し、地層を読み解き、夜はお酒を飲みながら仲間と議論を重ねました。
 - その面白さに、いつしか夢中になっていました。
-
- 一方で違和感もありました。
 - 地質学は「解釈」の学問です。
 - 専門家が観察し、自らの知識と経験をもとに説明します。もちろん、それは極めて重要です。
 - しかし、その解釈を支える客観的なエビデンスは、十分には残されていませんでした。
 - この違和感が、50年間にわたる私の研究の原点です。
-
- 子どもの頃から、噴火は日常の風景でした。
 - 自然は、頭で理解する前に、まず身体で感じるものでした。
 - 気がつけば、地質を生業として50年になります。
 - 桜島は今でも、先日もそうであったように、私の目の前で変わらず噴火を続けています。
 - だから私は、解釈を支えるエビデンスをデジタルで記録し、未来に残すことを目指してきました。





この4つを統合したものが、これからお話しする『地形画像診断』と『ボーリングコアDX』です。



カザフスタン
バルハシ湖



モンゴル

トルコ・活断層

東北津波

アメリカ西海岸津波
シアトルラハール
活断層

中国・活断層

大阪都市地盤

古代アメリカ文明

エジプト・ピラミッド

台北・活断層

フィリピン・火山

グアテマラ
マヤ遺跡群

スリランカ
インド洋津波

タイ インド洋津波



カンボジア・アンコール遺跡群
バイヨン寺院, トンレサップ湖

ペルー
ナスカ地上絵
チチカカ湖
シカン文明



最新技術が4500年前の技術に挑む！ピラミッド建造の謎解明へ。



河江肖剰 (Giza 3D Survey プロジェクト・リーダー)

約4000万年前の地層



スフィンクスは山を削って造った！

俺、スフィンクス！

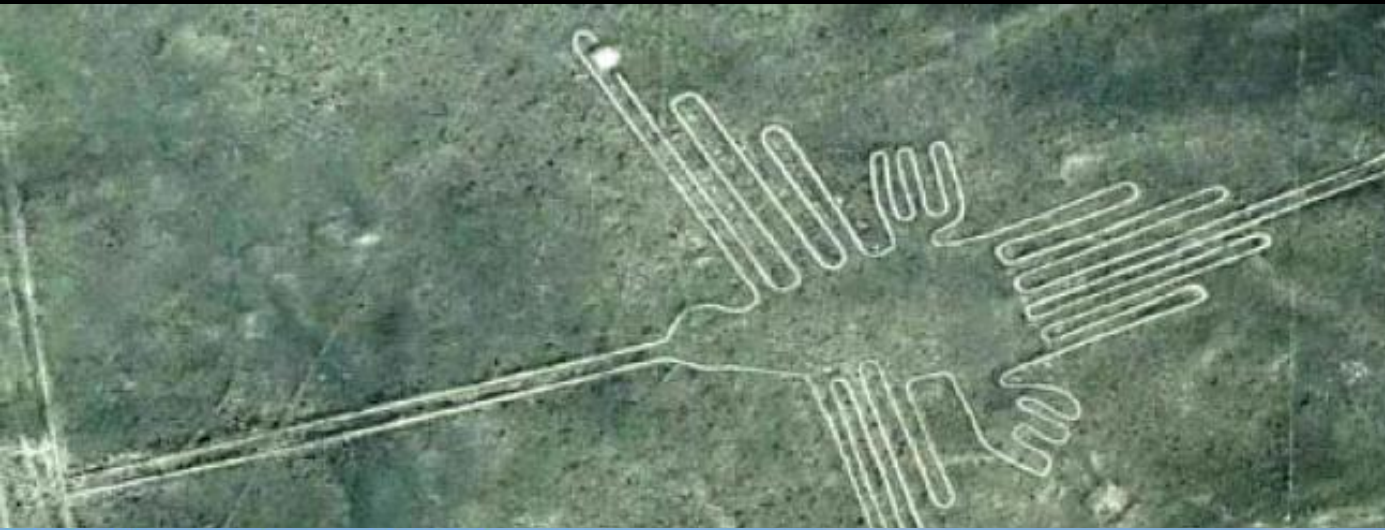
地層の構造が明瞭！

ピラミッドを3Dモデル化

DEPTH NO.	LOG	TEXTURE	FOSSILS											
25		Mudstone												
		Wackestone												
		Packstone												
		Boundst												
20														
15														
10														
5														

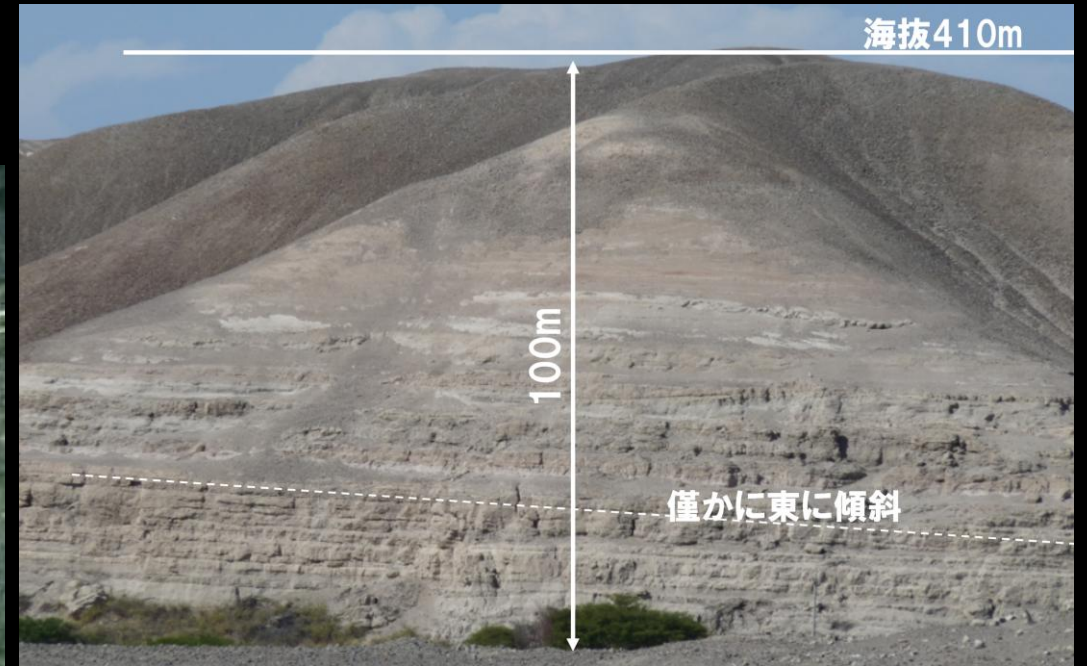


ナスカ 地上絵



地上絵に近づいてみると
広大で平坦な地形
白い生地と黒い礫の組合せ

キャンパスの白い生地は
①何で出来ているか？
②どうやってできたか？



台地中央上流部
海拔+510m

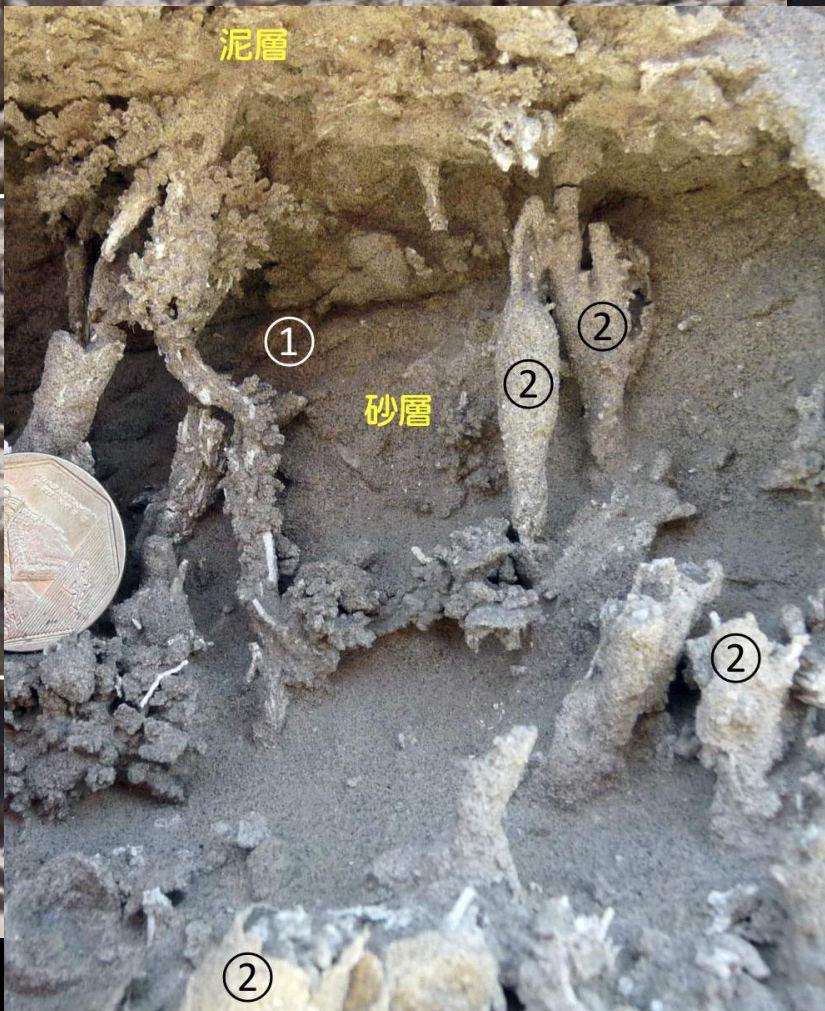
生痕化石！



内湾・干潟の環境

海拔+510m台地中央

⇒海成層



動物の地上絵



地上絵のキャンバスを可視化

◆なぜ2000年も保存されるのか？

◆台地の上で水の影響がない

◆粘土は乾燥→白く固結

◆強い風が吹くと

◆砂は動き、礫は動かない

◆動く砂が線を掃除

◆幅は10～15センチ



遺跡の可視化・水と文明の解説



アンコール・ワット

アンコール朝
8C~14C (600年間)
人口60万人

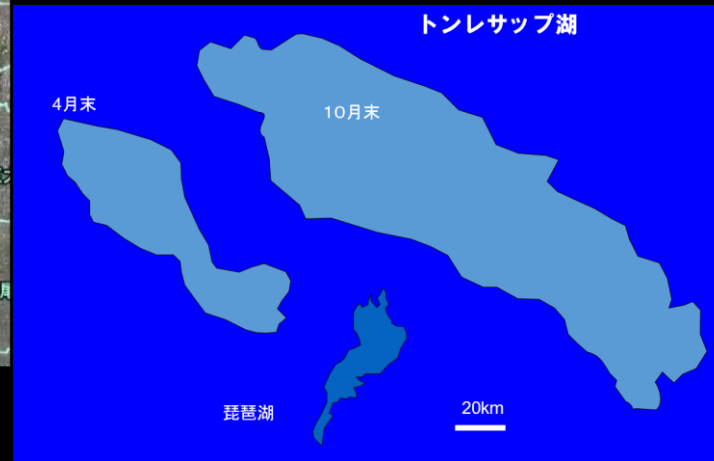
当時のロンドン・パリ 5万人



現在のジェムリアップ16万人



現在の大阪262万人



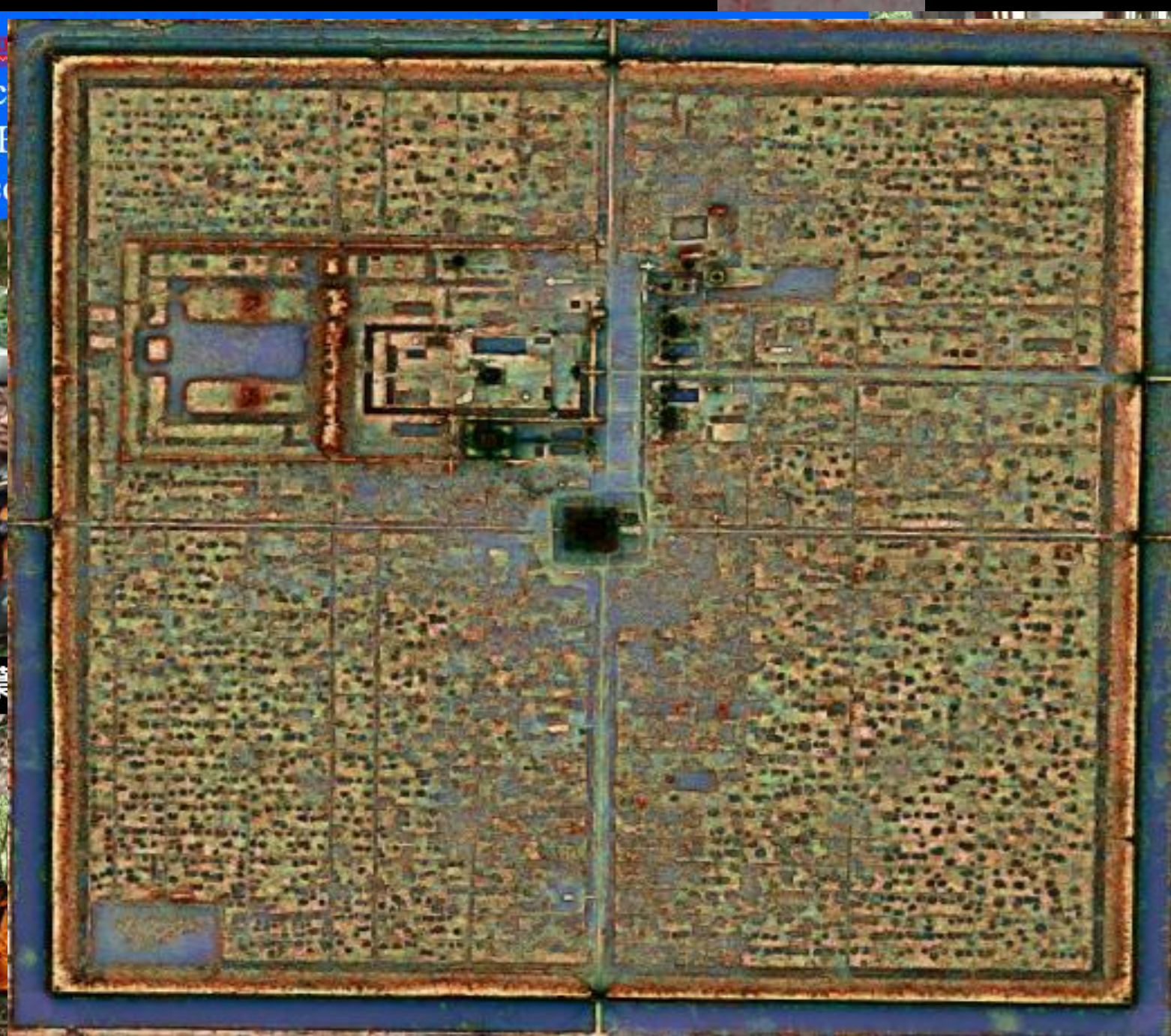
毎年の洪水は災害ではない



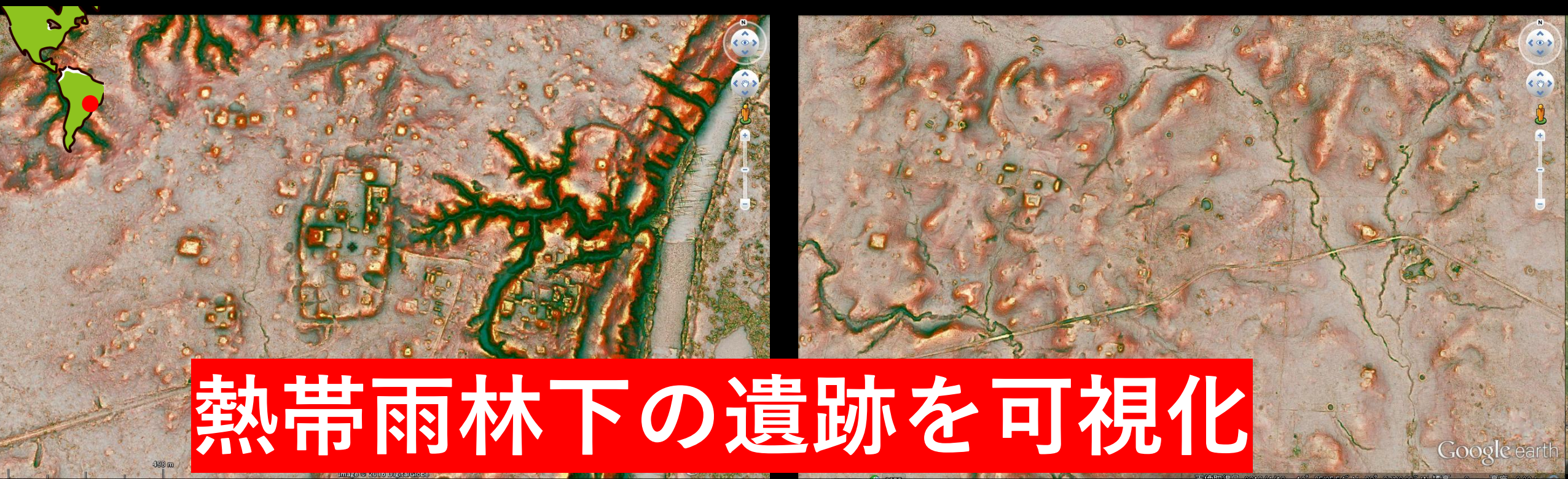
I. Shimoda, T. Haraguchi
Hydraulic City Structure
Revealed through a
Archaeological Discovery



熱帯雨林下の 都市を可視化



2013/06/17



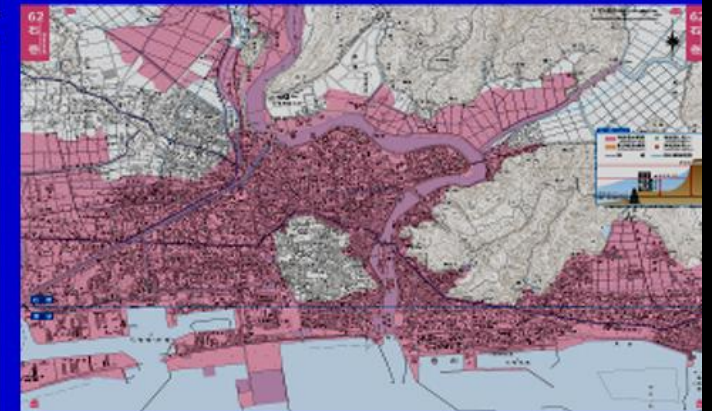
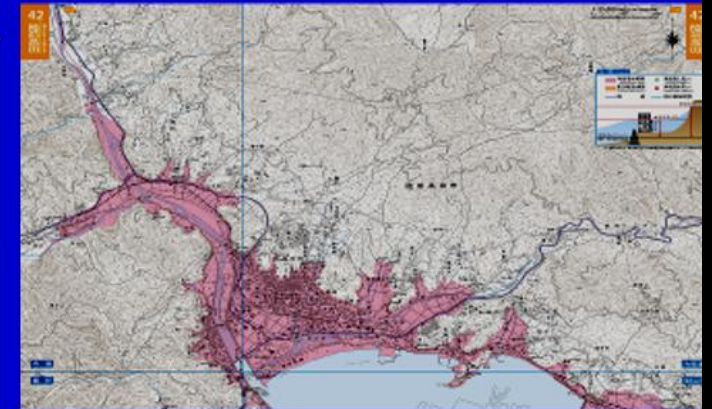
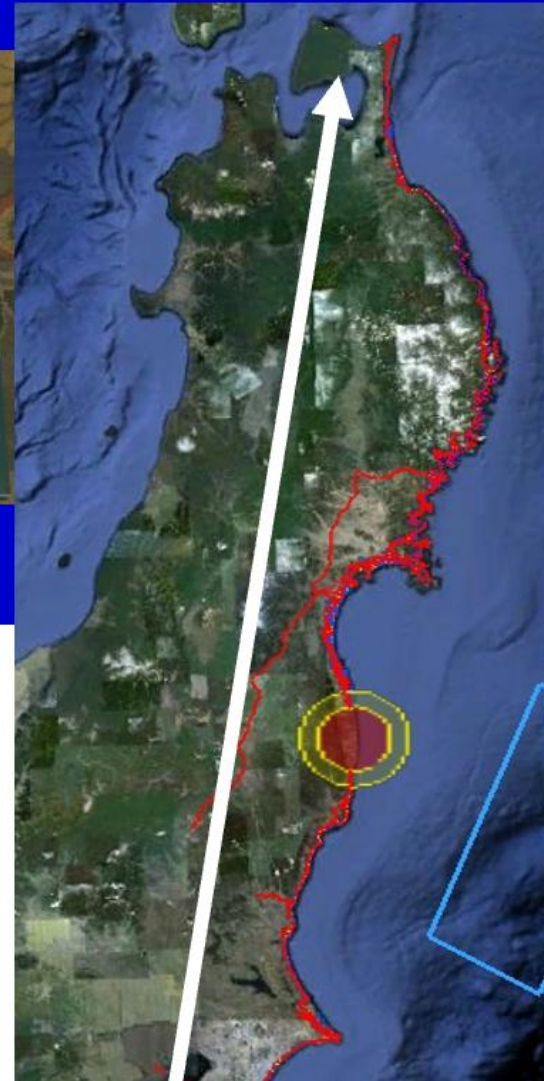
北米最大ピラミッド：メキシコ・ Cholula 遺跡

古代遺跡を可視化



東日本大震災・津波浸水域調査

災害調査



津波浸水域の全域を可視化

2011 15:18:32

Time 00:32:14

津波詳細地図にみる
東日本大震災の10年

山口 隆・今村文彦・菅原大助・岩松 隆幸

古今書局



南三陸町①

津波CG

(作成：菅原大助)

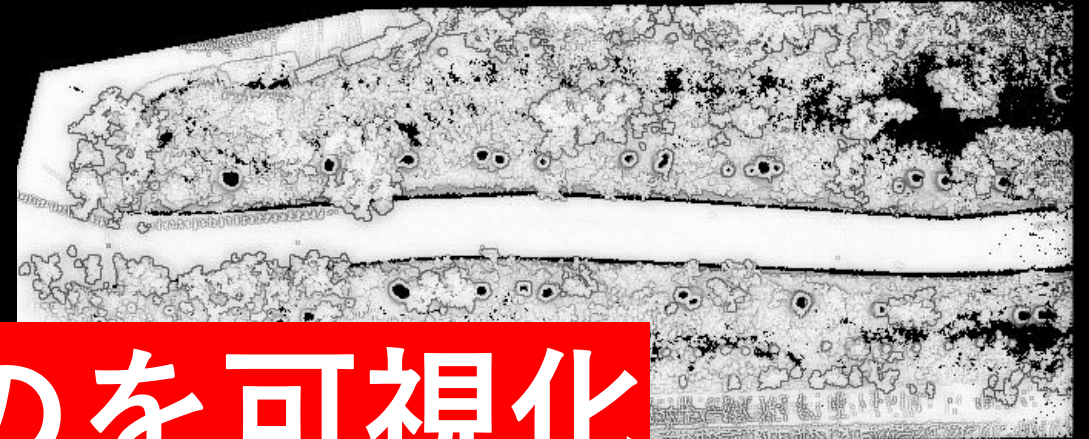
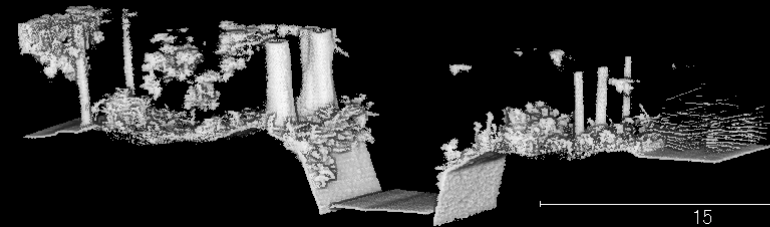
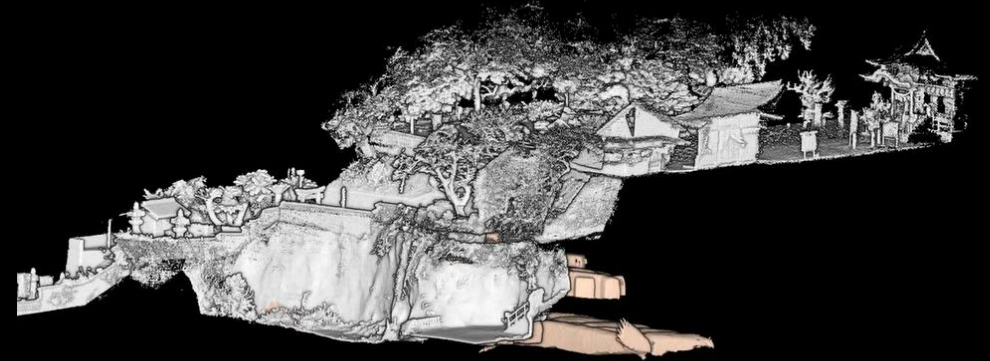
浸水域を動的に可視化

2016 熊本地震



地震断層の変位と被害を可視化

SLAM : 2018より実装



日光杉並木

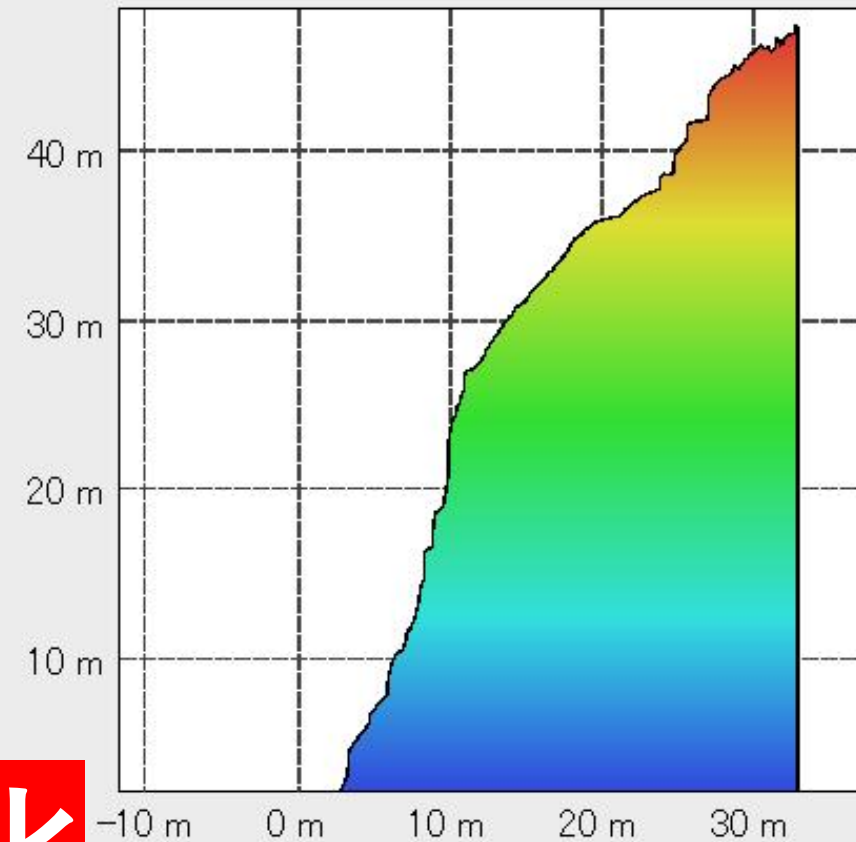
樹木・橋梁・地下のを可視化

フォトグラメトリー



Measure Profile

Profile



変化する海食崖を可視化

屏風ヶ浦 3Dモデル 動画



変化する地形を 3Dで可視化

地形判読から地形画像診断へ

- これまで、等高線や空中写真から地形を読み取ることを、地形判読と呼んできました。
- もちろん、地形判読は極めて重要です。
- ただし、判読はどうしても技術者個人の経験や感覚に依存します。
- また、最終的には地形分類図や判読図に整理されるため、元の地形が持っていた微細な情報の一部は失われます。
- 現在は、LiDAR、SfMなどによって、地形そのものを高密度な画像データとして保存できるようになりました。
- 単に地形を区分するのではなく、地形に現れた小さな違和感を抽出し、その原因や進行性、災害との関係まで診断できるようになりつつあります。
- この新しい段階を、従来の地形判読と区別して、**地形画像診断**と呼びたいと思います。

地形判読	地形画像診断
地形を分類する	地形の状態を診断する
形態を読み取る	異常や変化を抽出する
技術者の経験が中心	経験＋高密度データ＋定量解析
一時点の地形を見る	時系列で変化を追う
判読図を作成する	証拠画像と診断結果を残す
既に形成された地形を扱う	進行中の変化や前兆も扱う

地形判読から地形画像診断へ

- 地形判読は「地形を読む」技術である。
- 地形画像診断は「地形の状態を診る」技術である。

医療との対比

- 地形判読：解剖学的な形態の理解
- 地形画像診断：画像から異常や病変の兆候を見つける診断に相当する。

等高線という“解釈”

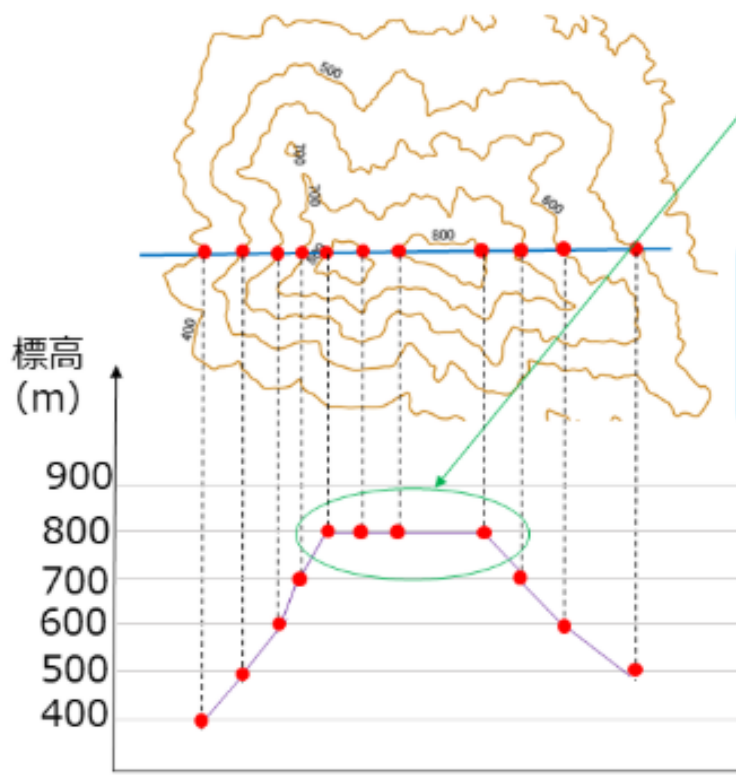
国土交通省国土地理院

- 等高線は地形そのものではなく、人が地形を線に置き換えた「解釈」である。
- 読める人には地形が見えるが、読めない人には見えない。これが従来の地形判読の限界である。
- だから、地形を画像として直接可視化する「地形画像診断」が必要になる。

地形図はどのように作られるか(いちから地形図を作製)

地形断面図を学ぼう

■ 地形断面図の作り方 (ステップ3)

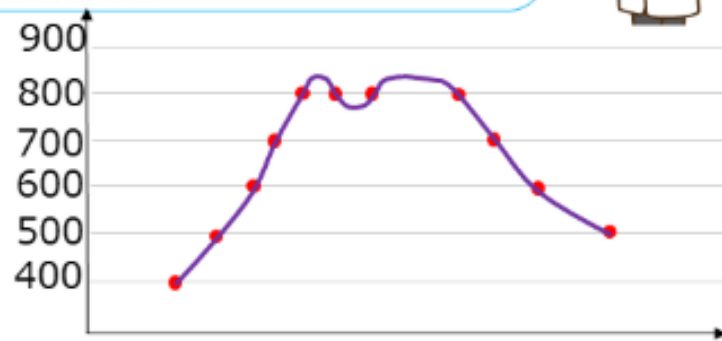


でも、このグラフだと
800mの部分は平らにみえるよ！

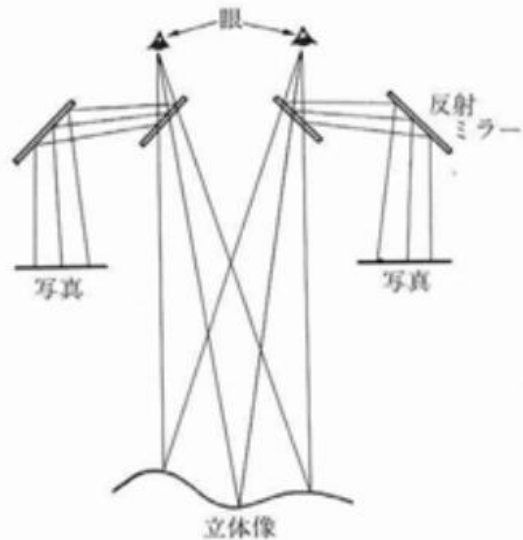


あれ？
どうしたらいいんだろう？

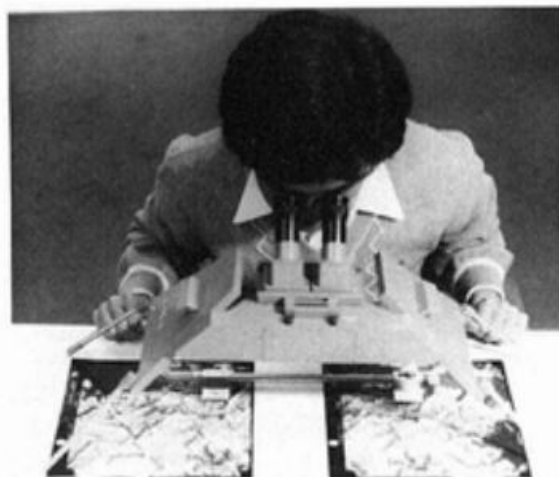
！ここがポイント！
800mより高く900mより低い部分
700mより高く800mより低い部分
に注目すると地形断面図は下のよう
にできるよ。



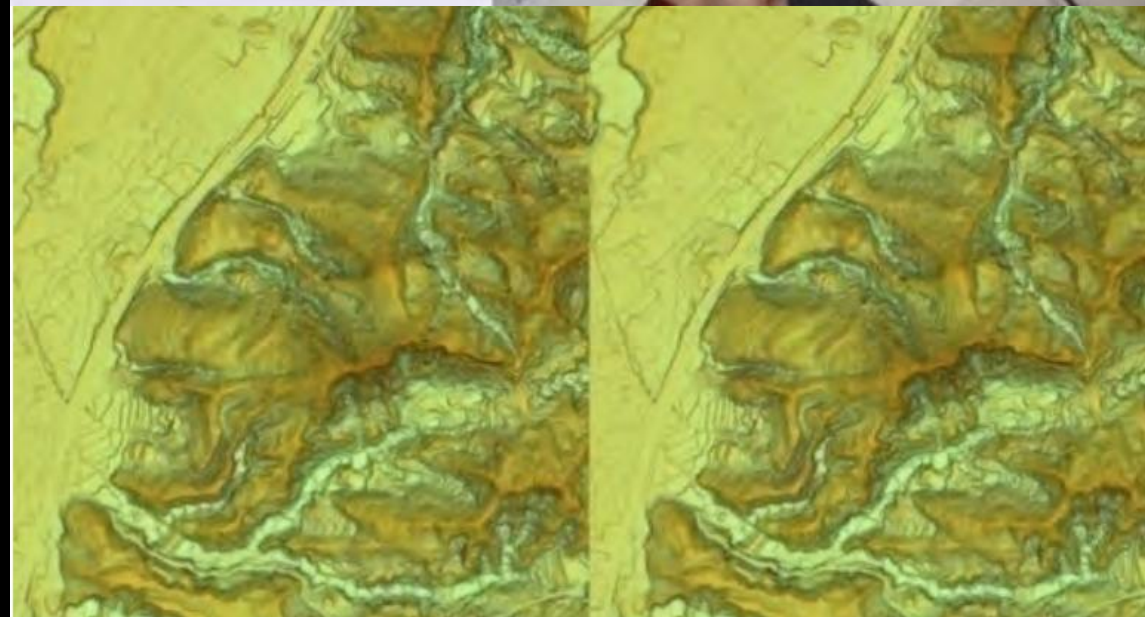
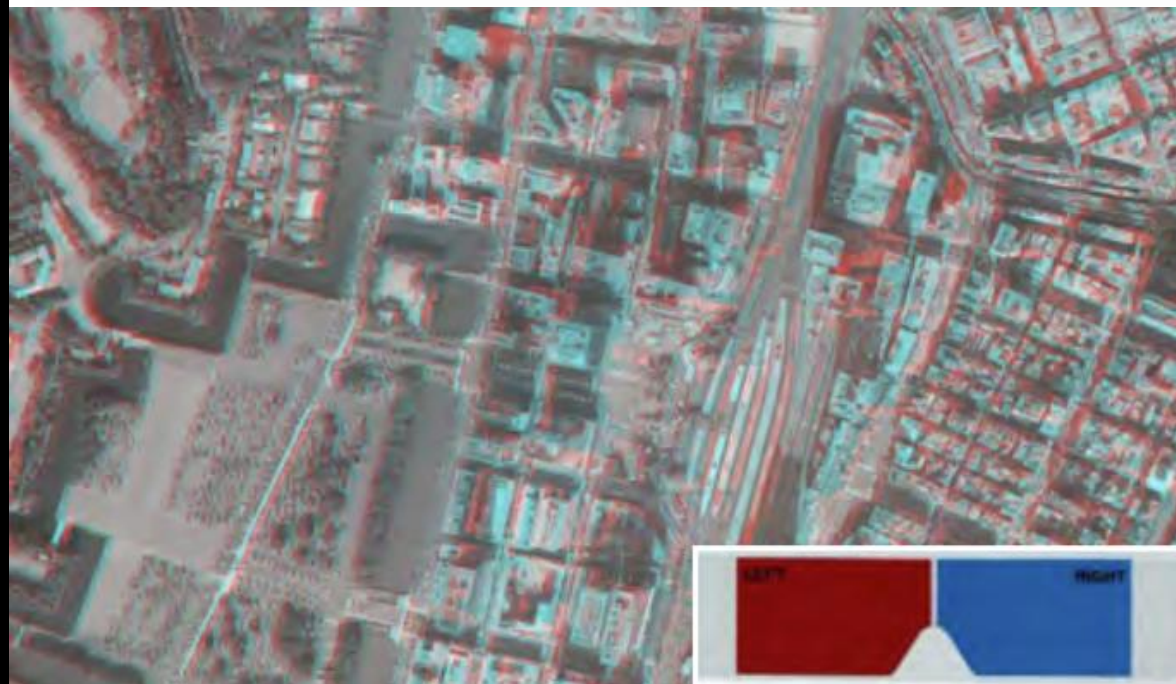
空中写真立体視による地形判読



(a) 反射立体鏡の原理(西尾)⁸⁾



(b) 反射立体鏡で立体視している状態



地形判読

地形図から遷急・遷緩線をトレースして隣り合う地形面をそれぞれ認定



段丘地形

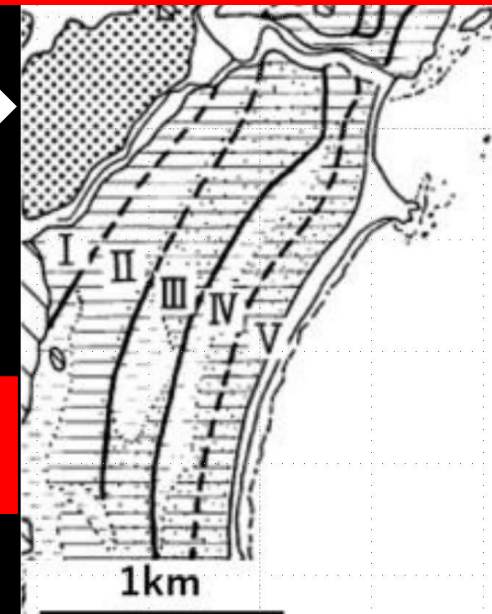
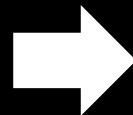
境界の確からしさを
実線と破線で区分し、
地形判読図作成



例：カシミール3Dスーパー地形では、地形画像そのものが、判読結果と同様の情報を提供



地形判読を画像化・共有化したものが、地形画像診断である



- 判読者能力に依存
- 時間を要す

地形は表情である

- 人の顔を見れば
 - 怒っているか、
 - 笑っているか、読み取れる
- 地形は
- 「読む」ものではなく
- 「感じる」もの
- **地形は表情**である
 - 谷の深さ、
 - 尾根の張り出し、
 - 斜面の緩み
 - そこには“表情”が感じられる



点群と微地形表現図・SV立体図

地形の表情をそのまま可視化することで、地形判読は地形画像診断へ進化する。

- 等高線は読む地形
- 点群は見る地形
- 微地形表現図
 - 可視化技術
 - 例：SV立体図（鈴木）
 - 地形の表情がそのまま
- 点群データ
 - 地形を多数の点の集合
 - 地形をそのまま
 - 崩壊地形が読める
 - 三次元で表現
 - 分かり易い



現場：ドローン

データは現地で取得

➤ 私もドローンパイロット

弊社の今野と一緒に

➤ 現場で運用

➤ 計測

➤ 解析

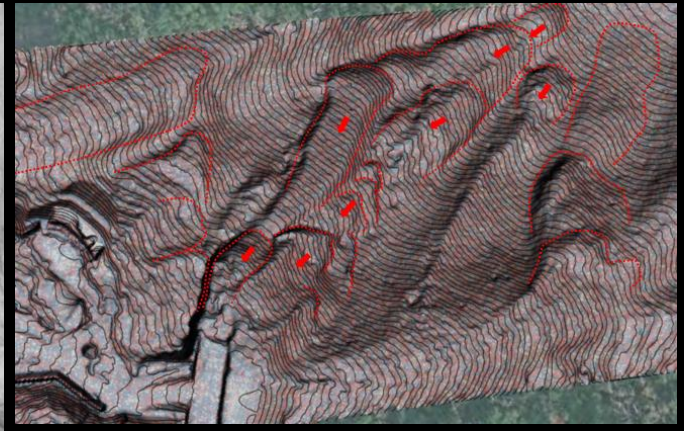
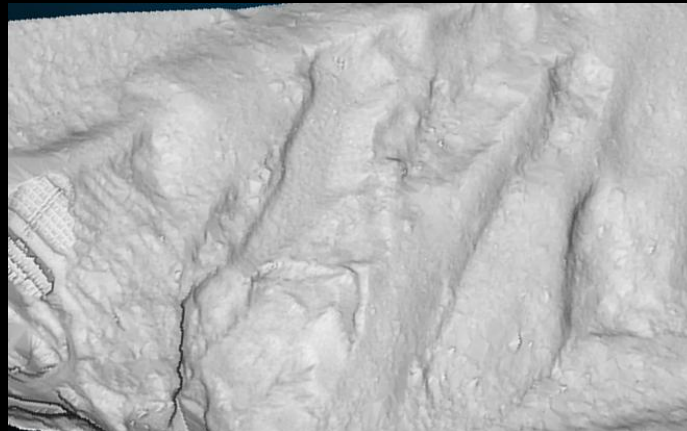
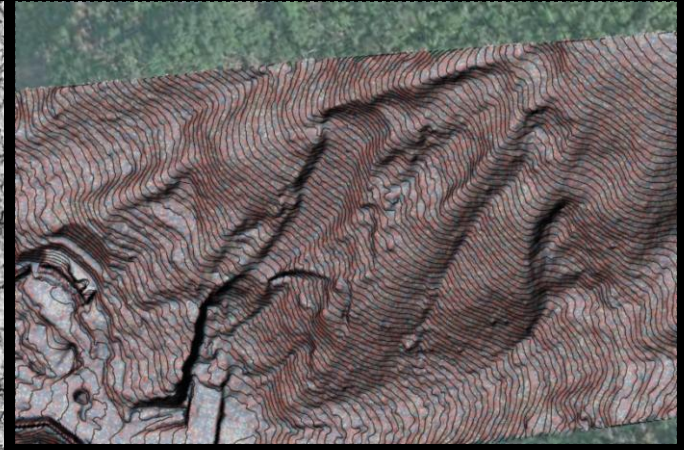
➤ 可視化

➤ 地形画像診断には

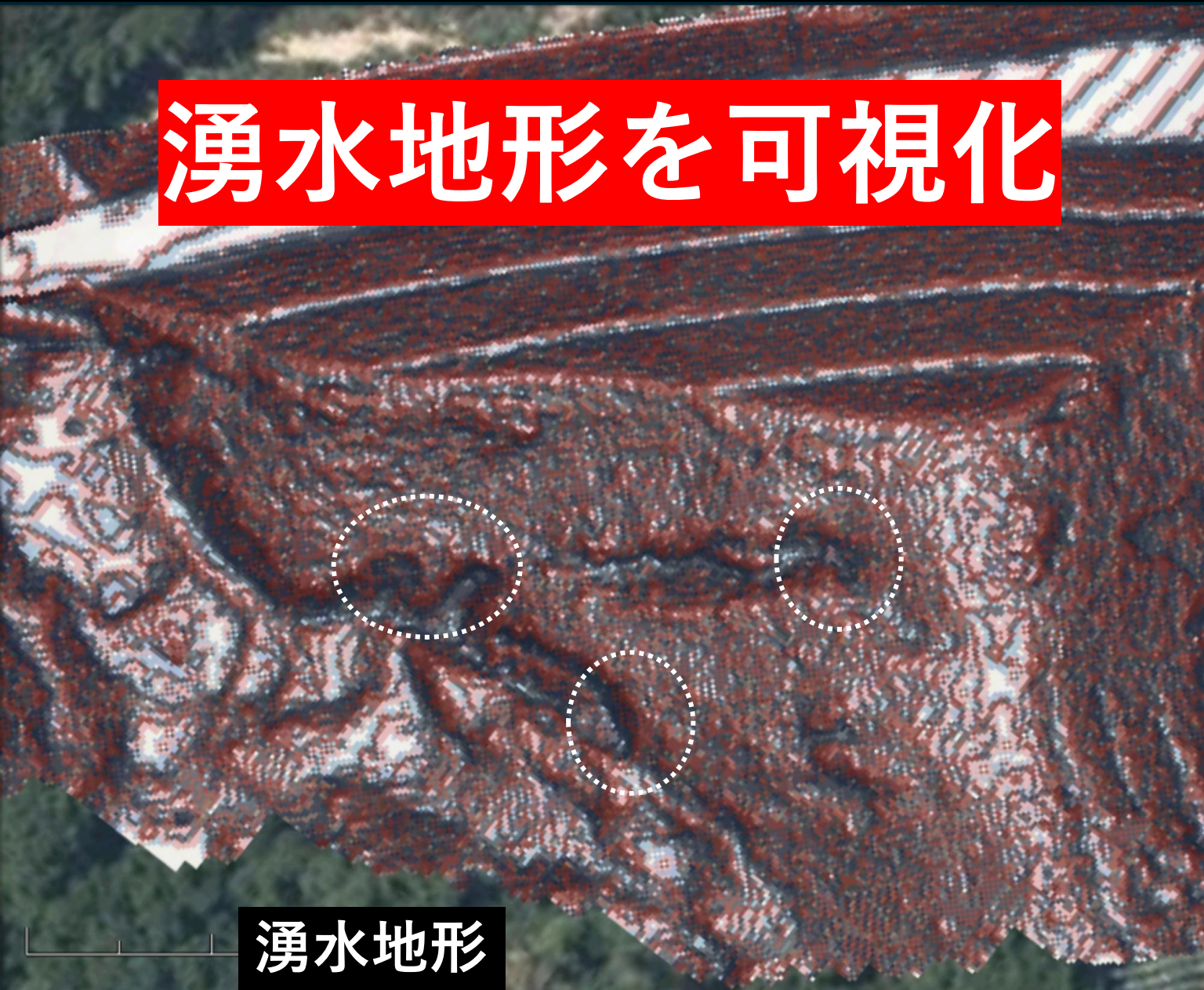
① 現場を知る力と

② データ処理技術

➤ その両方が必要



湧水地形を可視化

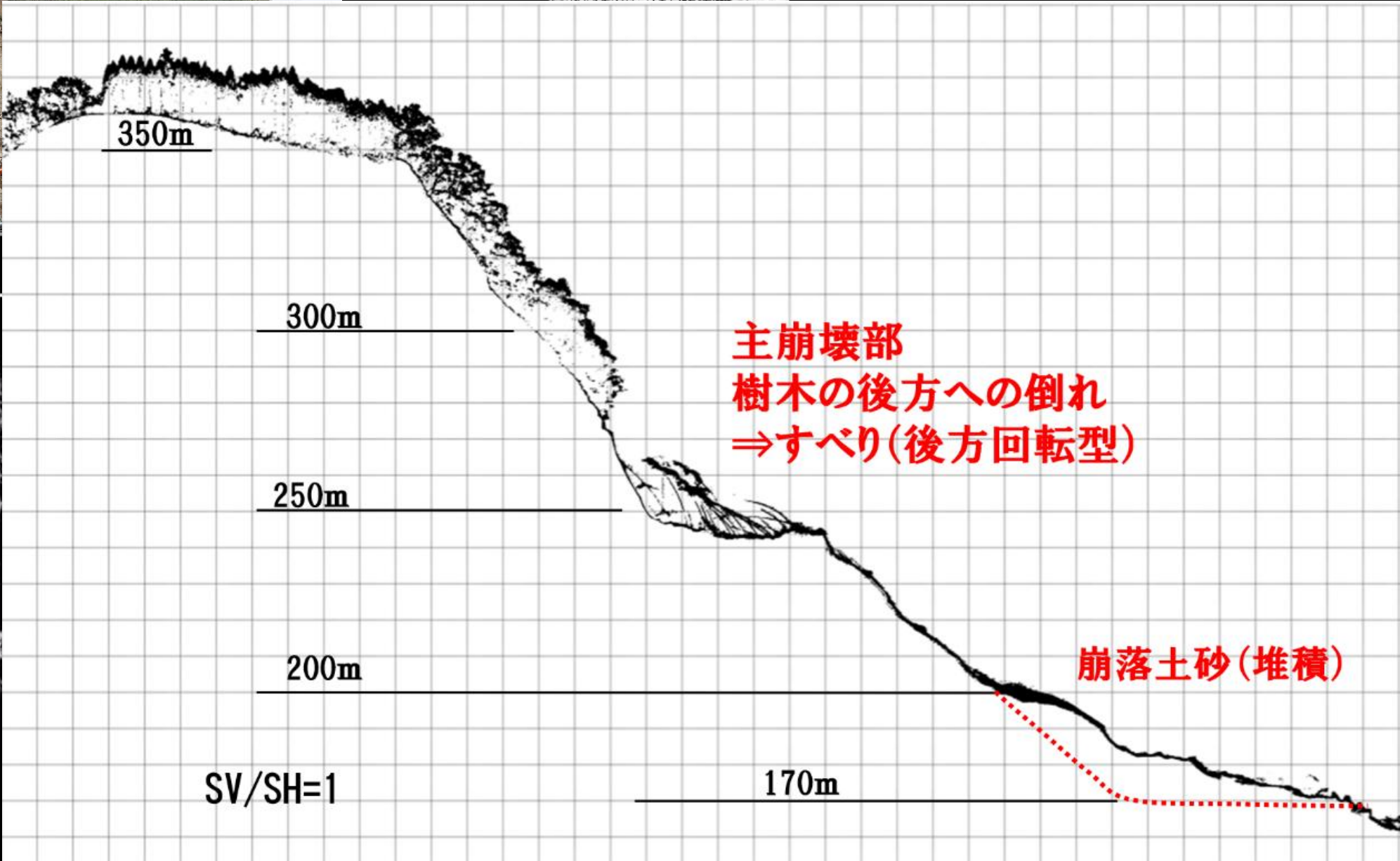
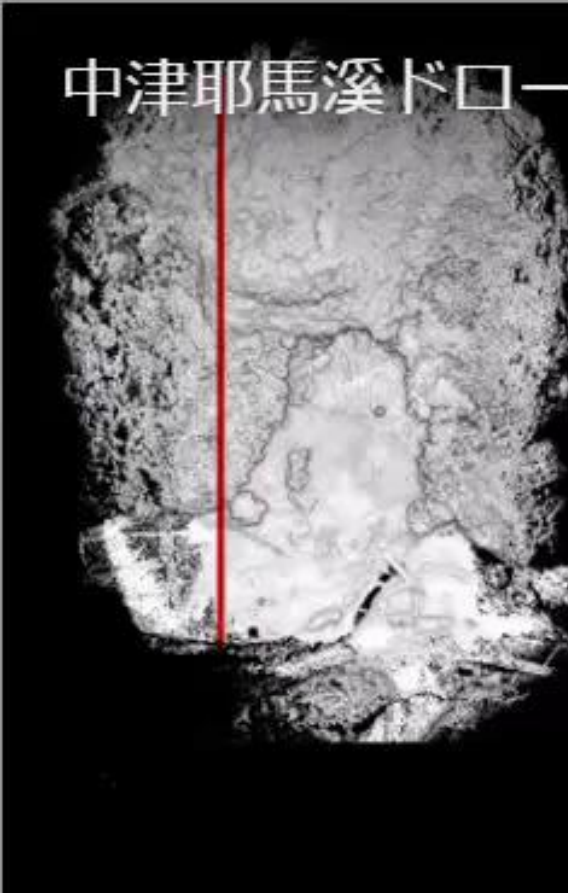


湧水地形



模型実験崩壊

斜面災害



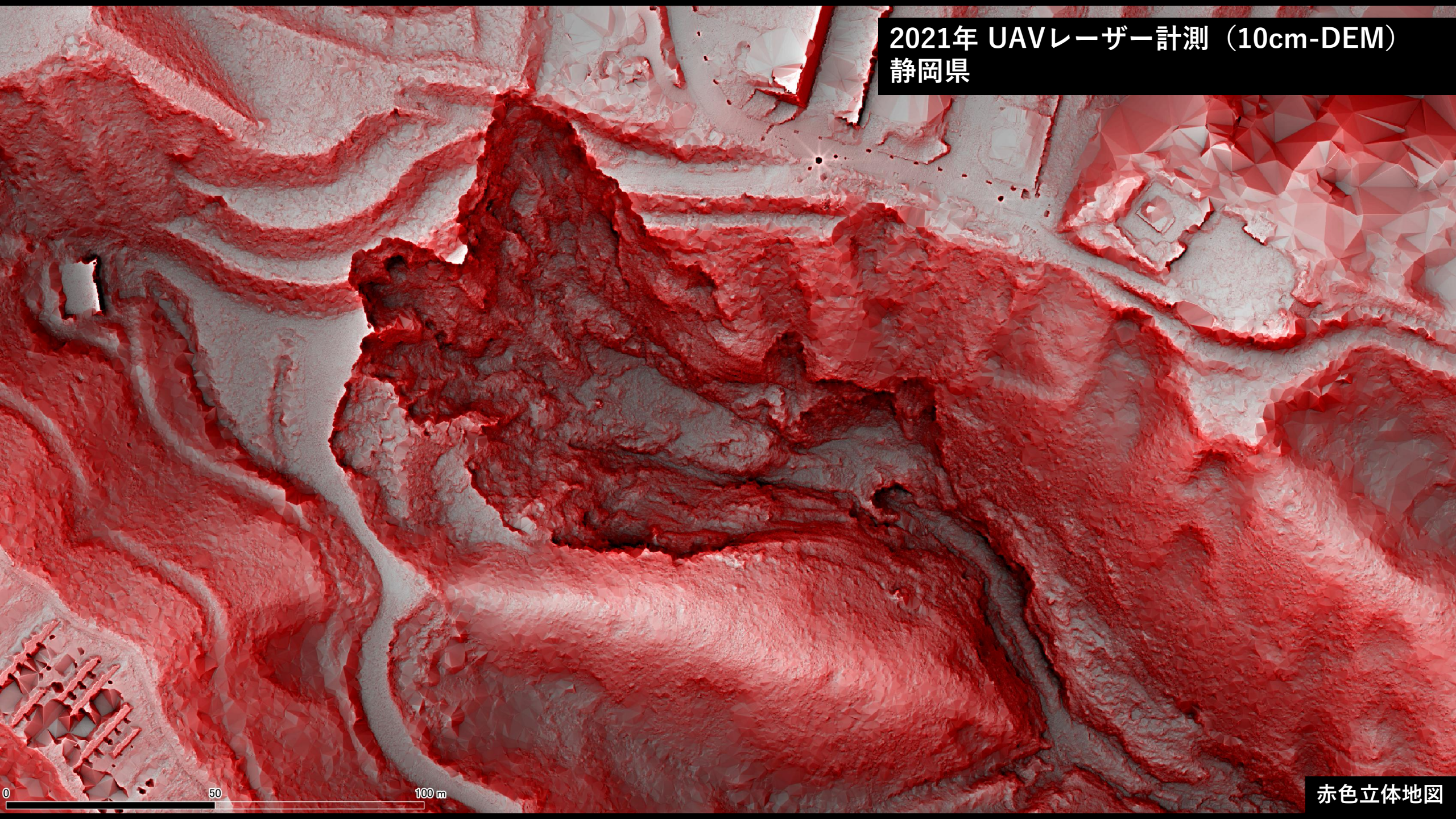
土砂災害時の点群データ活用と地形画像診断の提案 - 2021年7月熱海土石流災害を例として -

鈴木雄介¹⁾・杉本直也²⁾・増田慎一郎³⁾・原口 強³⁾

- 1) (株) STORY e-mail: ysk.suzuki@gmail.com
- 2) 静岡県交通基盤部建設政策課イノベーション推進班 e-mail: naoya2_sugimoto@pref.shizuoka.lg.jp
- 3) 静岡県交通基盤部建設政策課未来まちづくり室 e-mail: shinichiro1_masuda@pref.shizuoka.lg.jp
- 4) 大阪市立大学大学院理学研究科 e-mail: haraguchi@osaka-cu.ac.jp

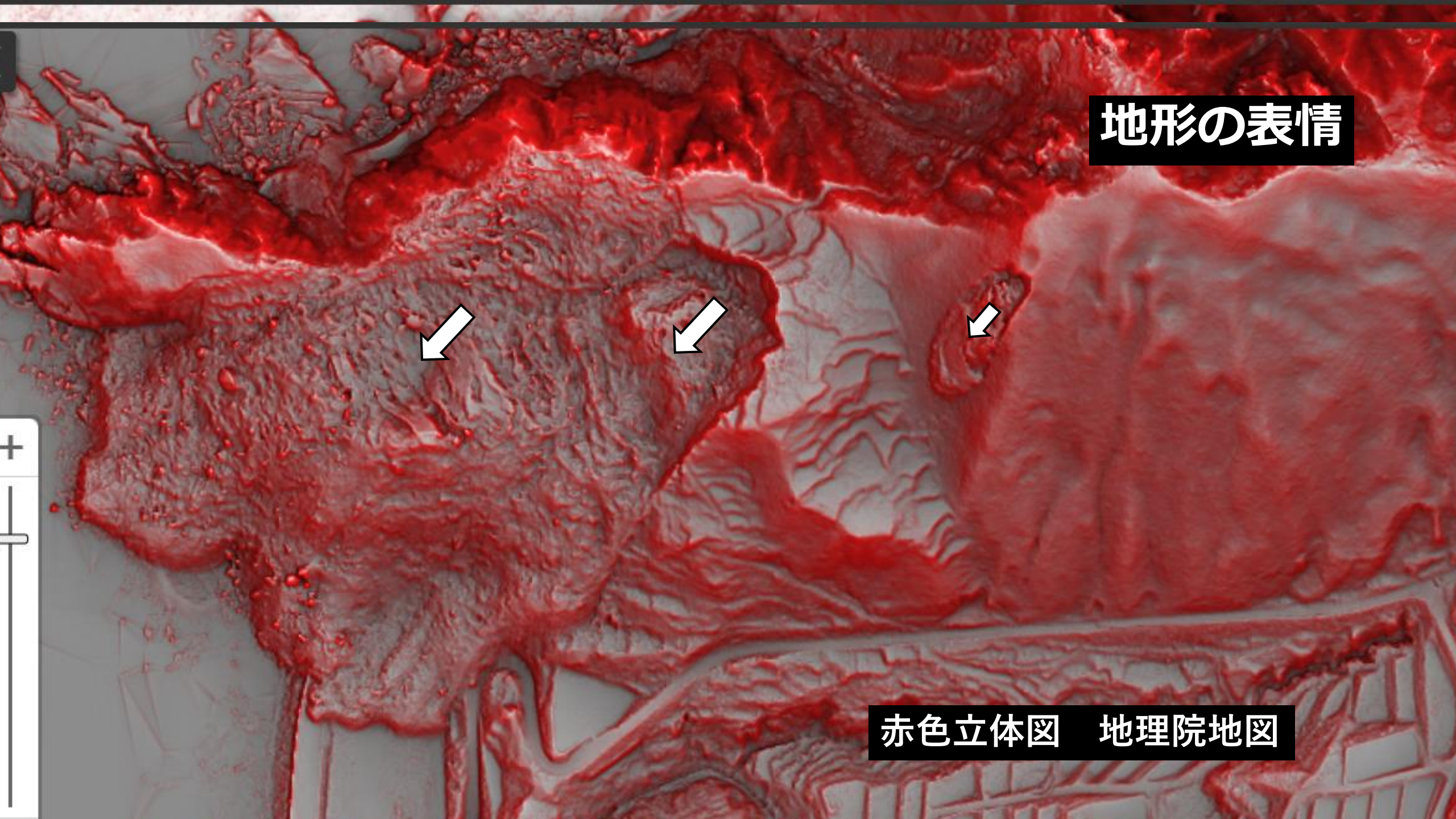
土砂災害が発生した際，被害状況の地形把握は必須である．救助活動が最優先される一方，二次災害を防ぐ視点から救助隊員の安全確保も重要な課題である．熱海伊豆山土石流災害では，地形のオープンデータによる解析により短時間で崩壊地の盛土が特定された．ここではこれを可能とした地形のオープンデータの概要と点群を活用した地形画像診断例を示す．これらを踏まえ，災害時の点群活用と地形画像診断の在り方について提案する．

2021年 UAVレーザー計測（10cm-DEM）
静岡県



0 50 100 m

赤色立体地図



地形の表情

赤色立体図 地理院地図

地形画像診断の核心 – 地形の表情

— 地形の表情を読む —

1. 地形には「表情」がある

地形には、人の顔と同じように、
変化や崩壊の前兆となる小さな違和感が現れる。

2. 従来の地形学

等高線や空中写真から、地形の特徴を抽象化し、
図面として読み解いてきた。

3. 地形画像診断

LiDAR、SfM、SARなどの高密度データを用いて、
地形の表情を、より細かく、定量的に読み取る。

崩壊前に現れる違和感

- 斜面のごく小さな張り出し
- 地表の微妙な沈下
- 植生の不自然な歪み
- 微地形の非対称性
- 水系や湧水位置の変化

結論

地形の表情を抽出することが、
デジタルツインと地形画像診断の出発点である。

ボーリングコアの画像診断とDX 化

背景と目的

1. コア品質

- 採取技術はこの50年で大幅に改善
- コア品質が大きく向上
- 高品質ボーリングによって
- 構造を乱さない
- コア採取が可能に



コア処理の現状

✓ 「ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・保管要領(案)・同解説」に従い

✓ コアは丁寧にコア箱に収納



✓ コアパックを外し



✓ コア表面のマッドケーキを
✓ 洗浄・除去



✓ 高品質コア提供される

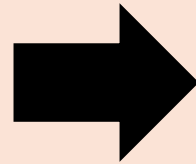
✓ ここまでは素晴らしい



コアの取り扱い，特にコア写真について

要領には
撮影時期は

掘削直後のコア写真



実態は

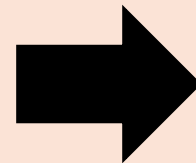
直後のコア写真は全くなし

➤ 全てのコアがコア箱へ収納されて

同じコア箱へのコアが
すべて収納された直後

66mm ⇒ 5 mごと

86mm ⇒ 3 mごと



数日から数週間後

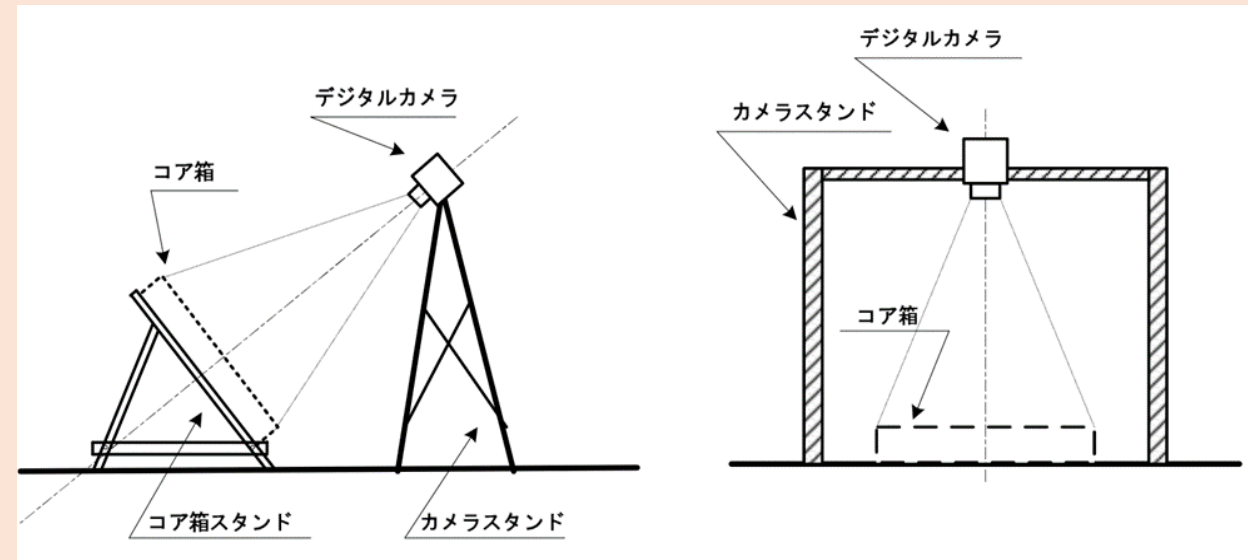
➤ 全長100mなら
日進5 mとして

掘削の**1か月後**

要求事項（解像度）

- ① コアの色調・鉱物・粒子・組織・割れ目，風化程度，変質程度などを
- ② 的確に判読でき
- ③ 画面上で拡大した場合
1mm 以上解像度の確保が必要

撮影方法（現状）



「ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・保管要領(案)・同解説」より

コア処理とコア写真の課題（整理すると）

- ① コア採取後洗浄してコア箱に収めてすぐに撮影していない
- ② 1mm解像度以上で鉱物が判定できる
- ③ 高精細なコア写真撮影を行うことは難しい

理由

- ① 規定通りに撮影できる照明の確保は困難
- ② 推奨されたデジタルカメラはエリアカメラ
- ③ 性能上縁辺部の画像に歪が生じるのは必然

誰でもできる**撮影処理システム**がない

コア検診車の開発と社会実装

要領の要求事項

満足する現実的な対応

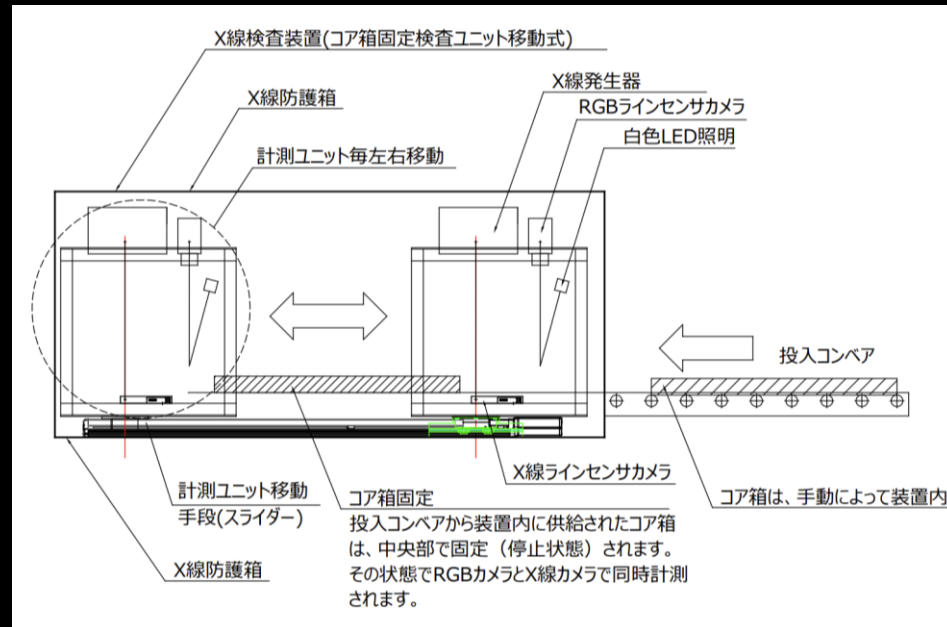
コア検診車を開発

現場で撮影

誰でも自動撮影

社会実装







- ② 現場からネット回線を通じ
- ③ 画像を事務所へ転送



コア画像：4Kラインカメラ→歪のない鮮明画像

画素分解能0.08mm/pix





ひずみの無い 高精細画像

画素分解能0.08mm/pix



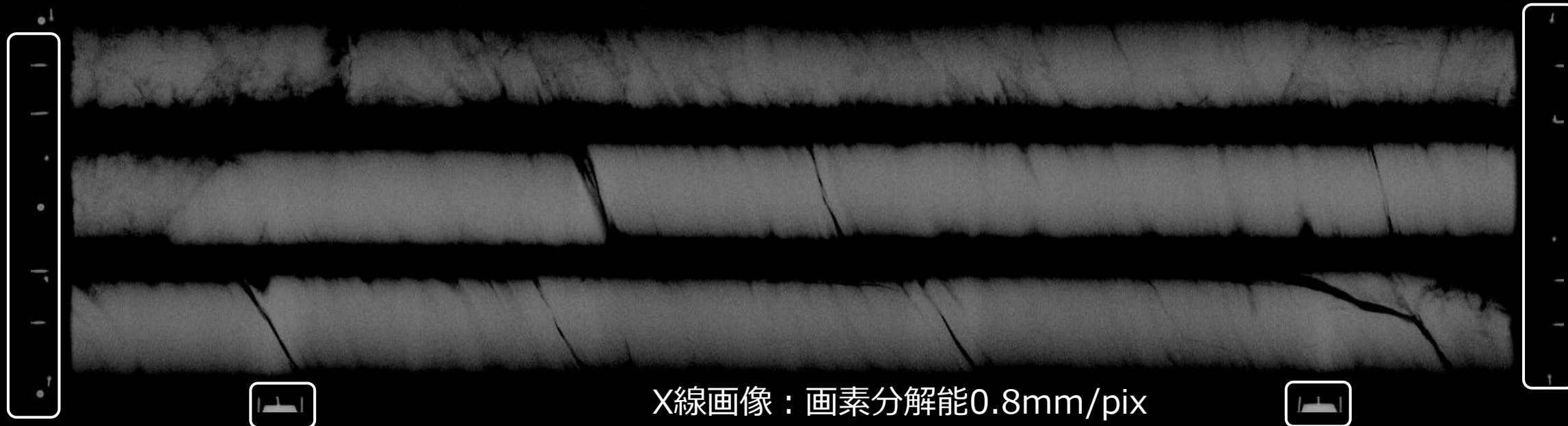
コア画像：4Kラインカメラ→歪のない鮮明画像 画素分解能0.08mm/pix



X線画像の同時撮影

開口亀裂鮮明化

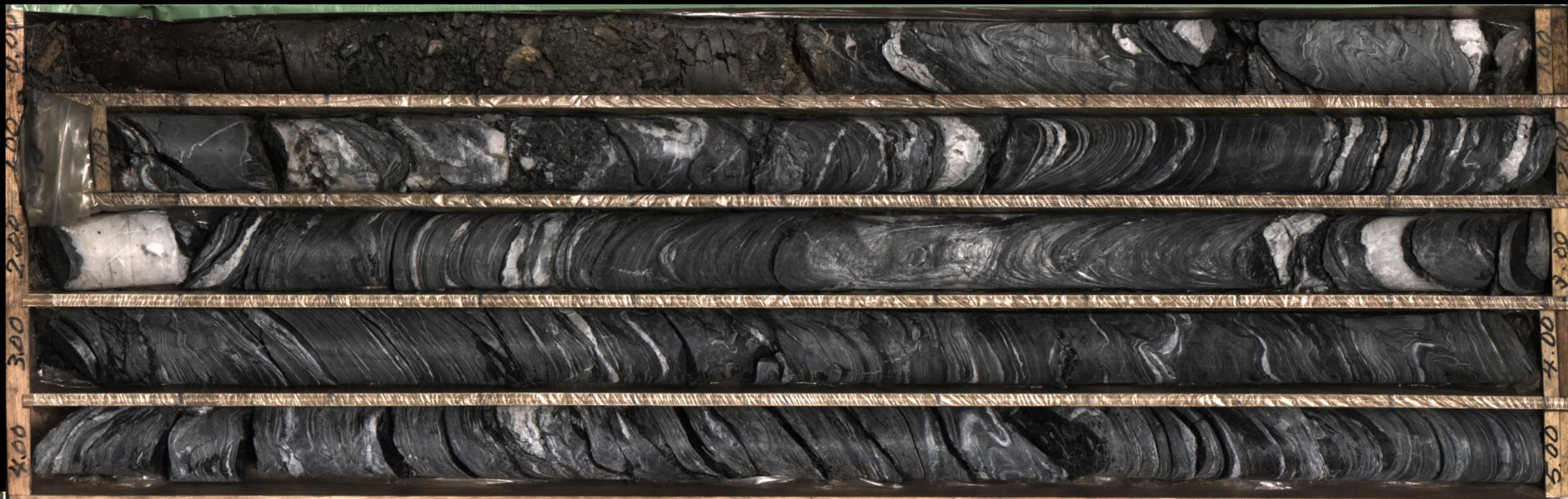
分解能→コア箱の釘・留金



X線画像：画素分解能0.8mm/pix

コアの観察の客観化

X線画像→開口亀裂の可視化 →開口亀裂鮮明化 →カラー画像で確認



サンドサンプラー 供試体 X線写真

①

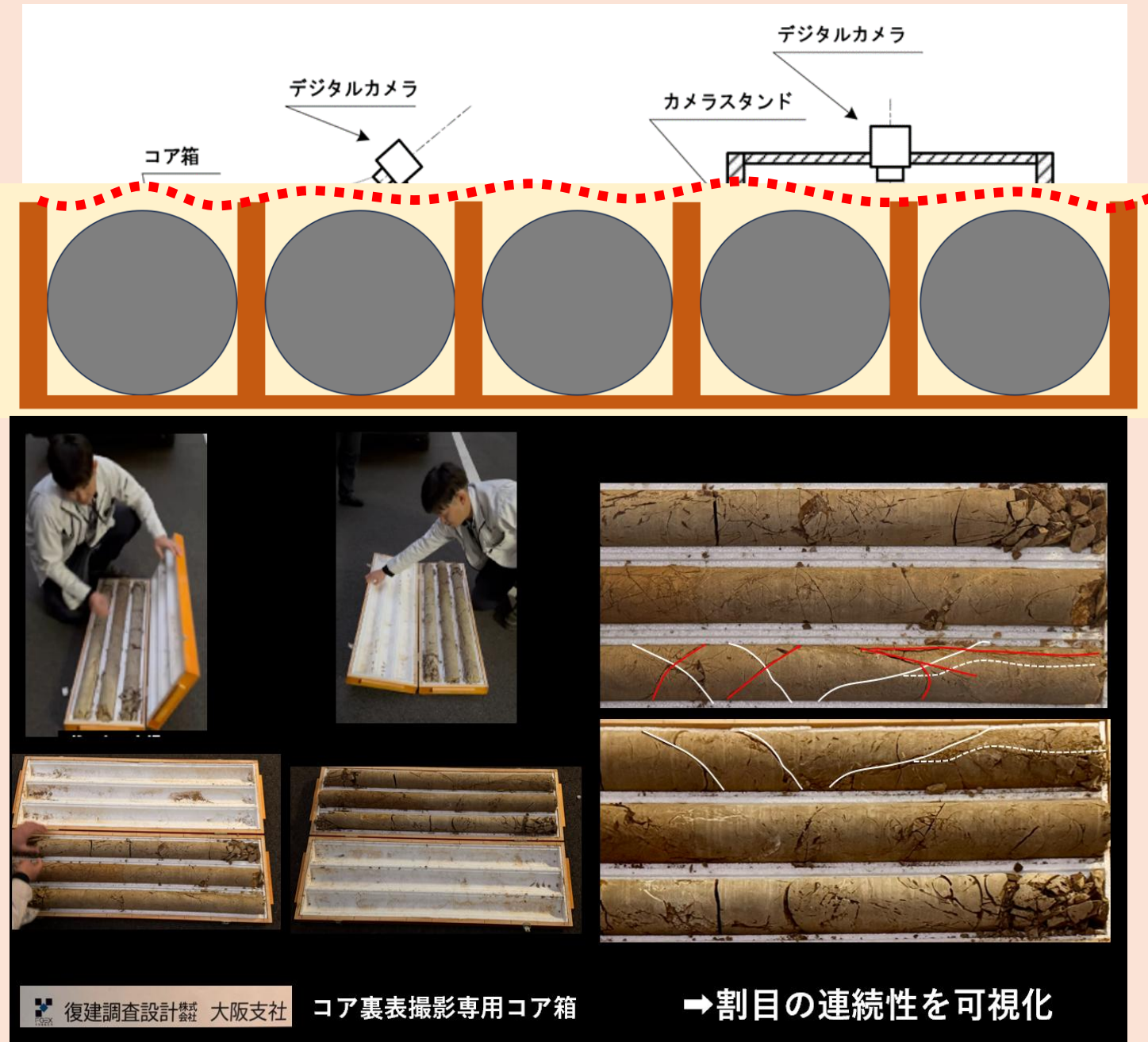
②

③

砂層の堆積構造の可視化：①→②→③（画像処理）

コアの裏表撮影の重要性

- ① 通常コア写真は表だけ撮影
- ② 本来は全て面の観察が必要
- ③ 両面撮影用コア箱
- ④ 表裏のコア写真を観察する
- ⑤ 亀裂・脈の3次元的な形態
- ⑥ 地質構造が理解しやすい



亀裂の可視化と評価

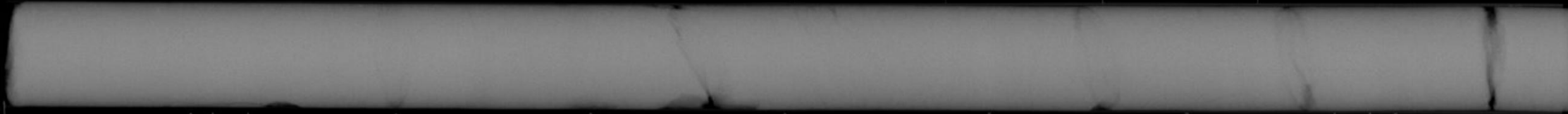
コア写真 表



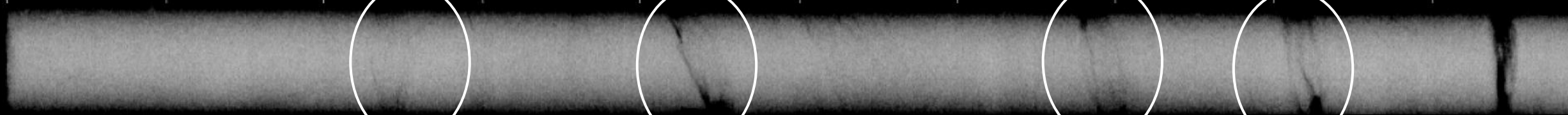
コア写真 裏



X線写真



X線写真 調整



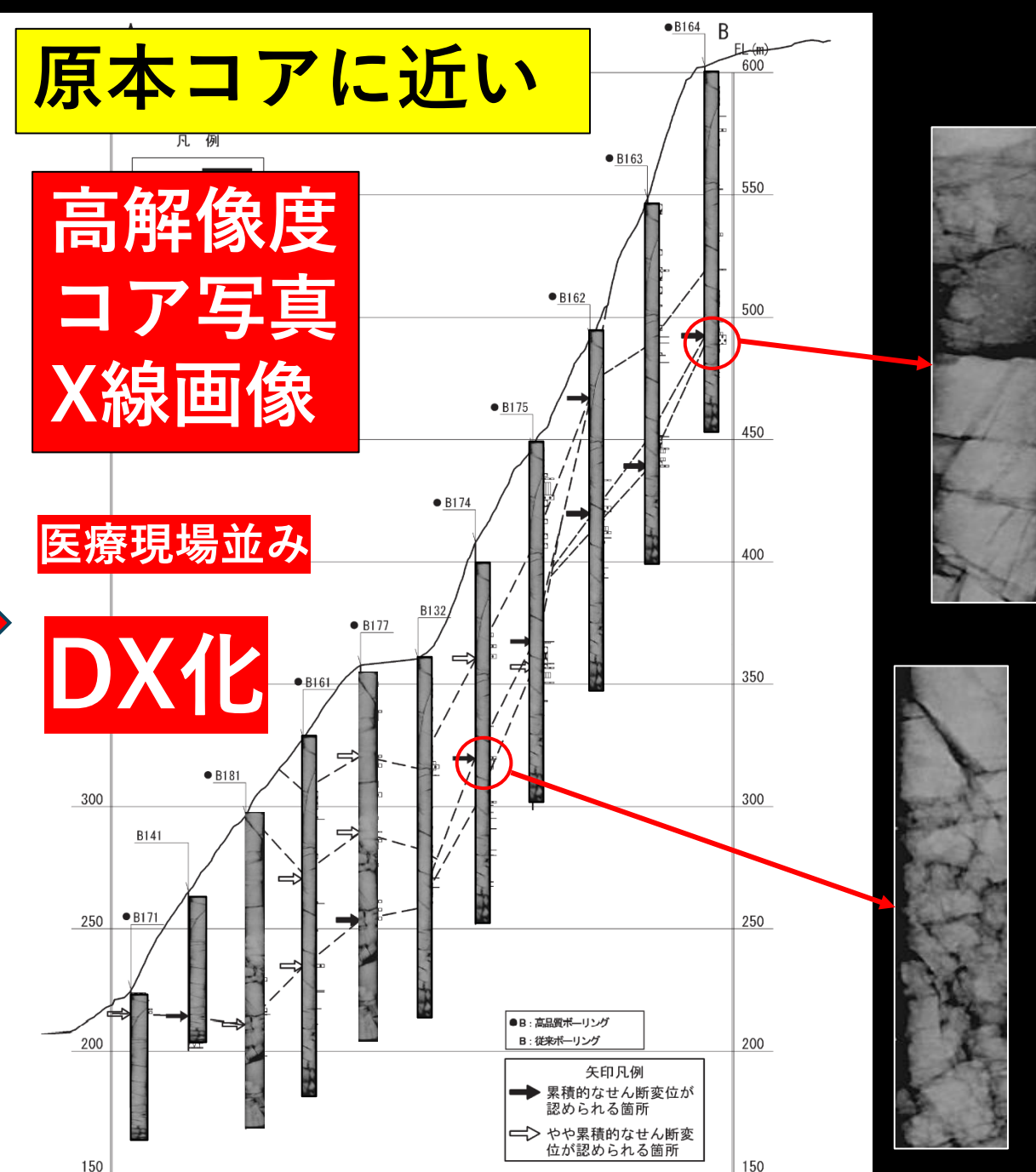
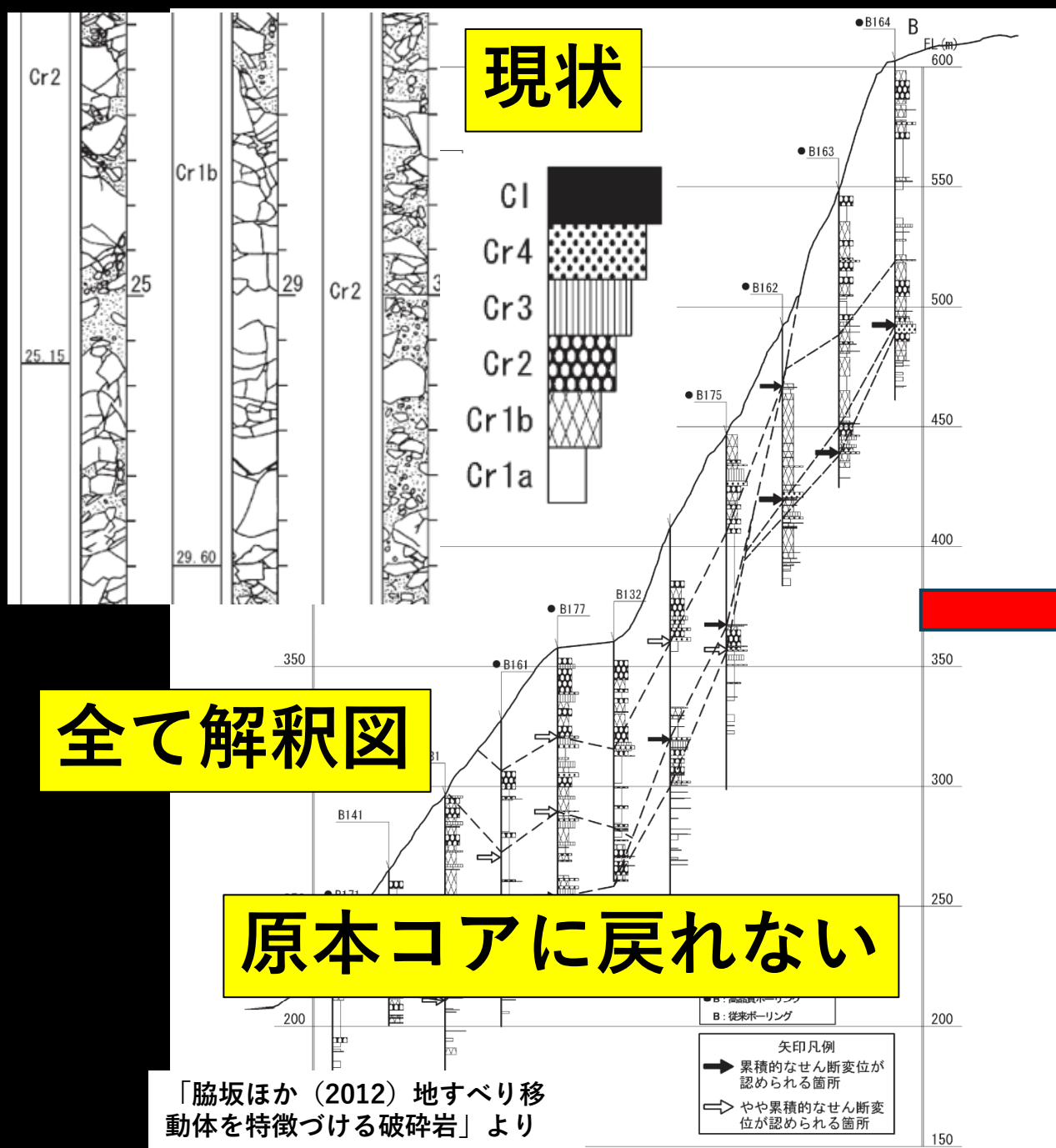
亀裂：不明瞭

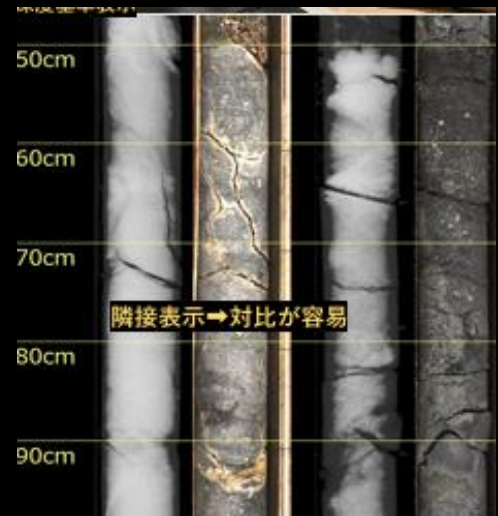
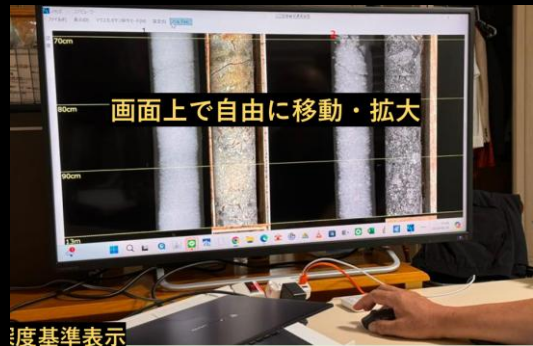
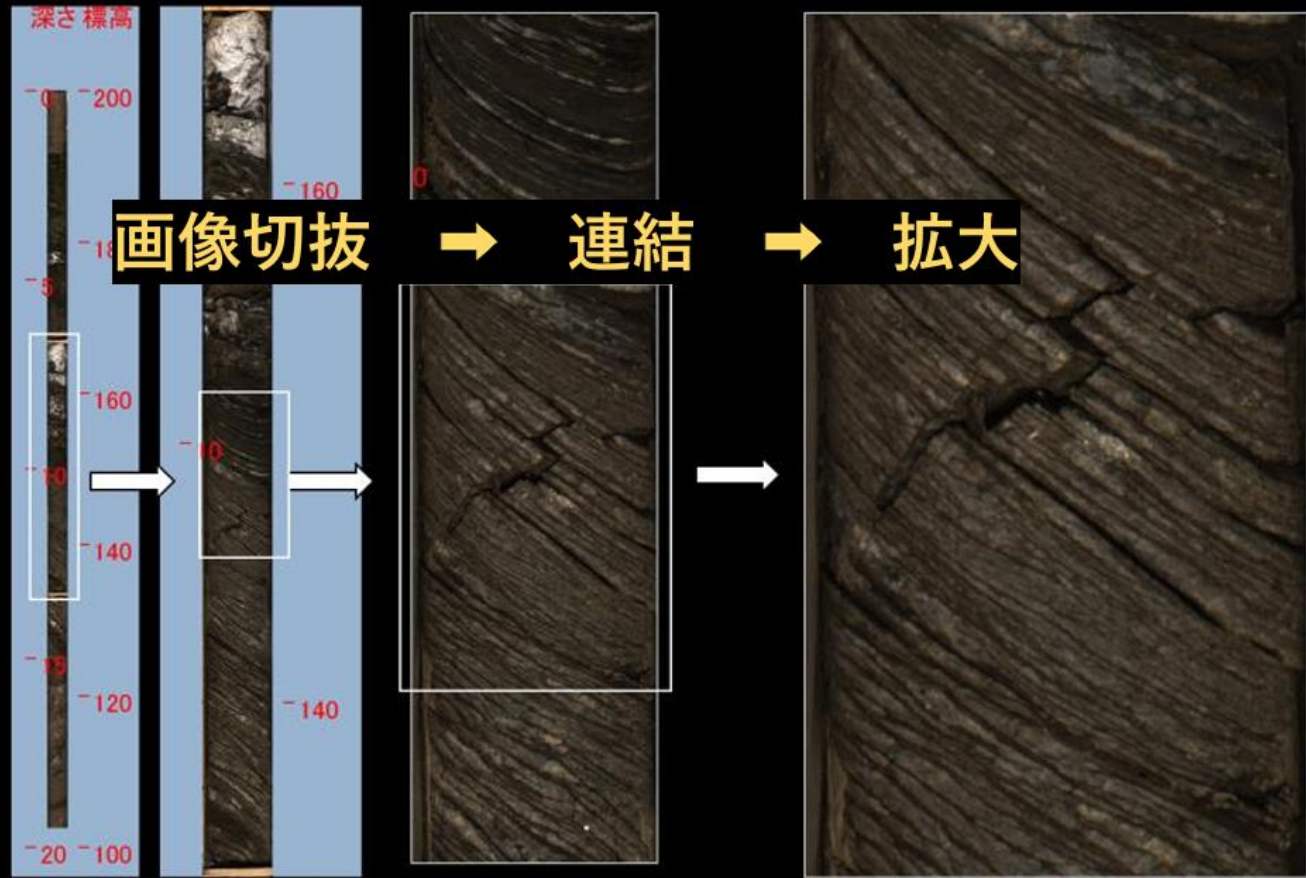
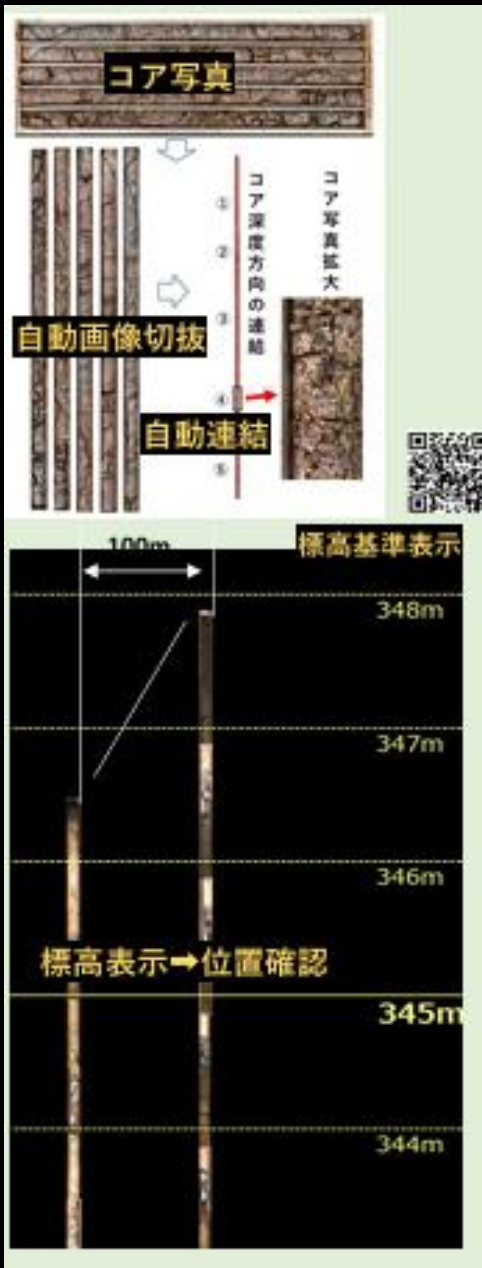
亀裂

亀裂に沿う風化・溶脱

モニター画面での**コア観察システム**

- **コア判定会：体育館や広場で**
 - 本物に直接触れることは重要だが
 - コア箱の横で多人数が同時に観察し
 - コア対比は殆ど不可能である。
- **箱に入ったコアの観察ではなく**
 - 採取直後のコアを掘削方向に連続的に
 - 観察できるシステムが欲しい
- **コア写真からコア画像を自動的に切出し**
 - 連続コアとして並べ自由に拡大・縮小し、
 - 移動させながらコアの対比できるシステム





深度

37m

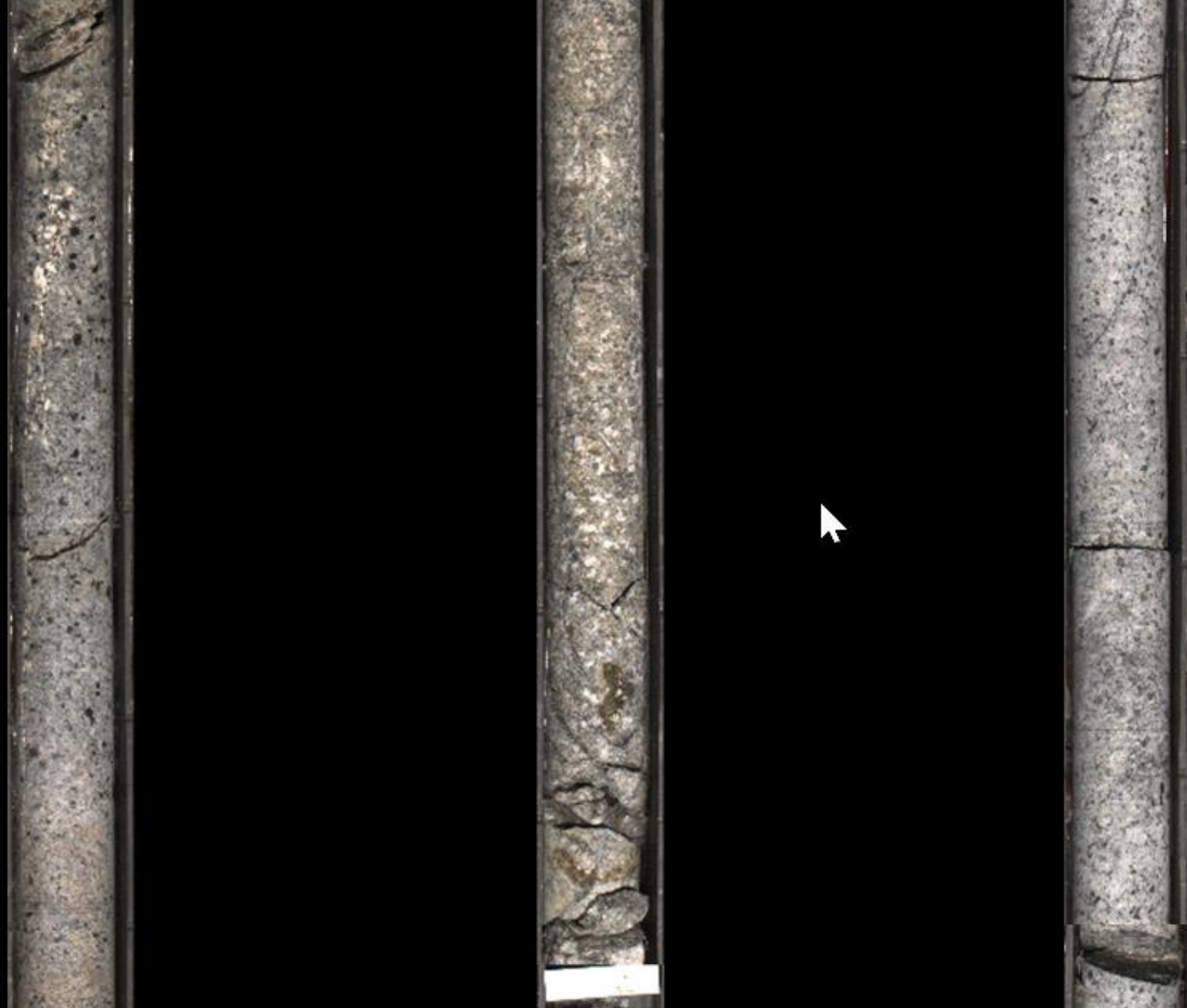
38m

70cm

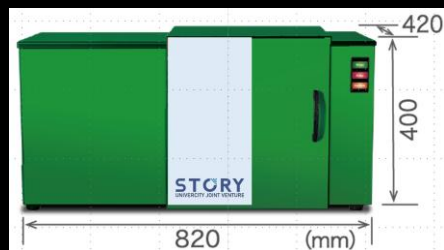
80cm



41.00



ボーリングコア X線CT画像撮影システム



約70kg



専用パソコンで撮影条件を入力し撮影
3Dの場合は約400枚、2Dの場合は1枚撮影

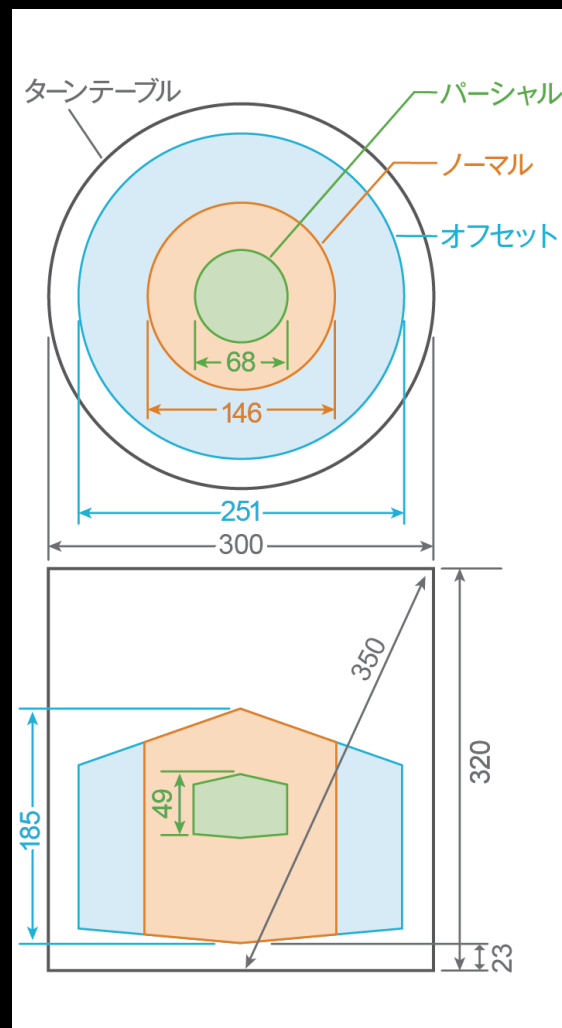
◆分解能 LP/mm (ラインペアパーミリ)
1mm中に確認できる白黒の線のペア数
4LP/mm 0.125mm

◆搭載可能サイズ
φ300 × H320mm

◆ターンテーブル耐荷重：約10kg

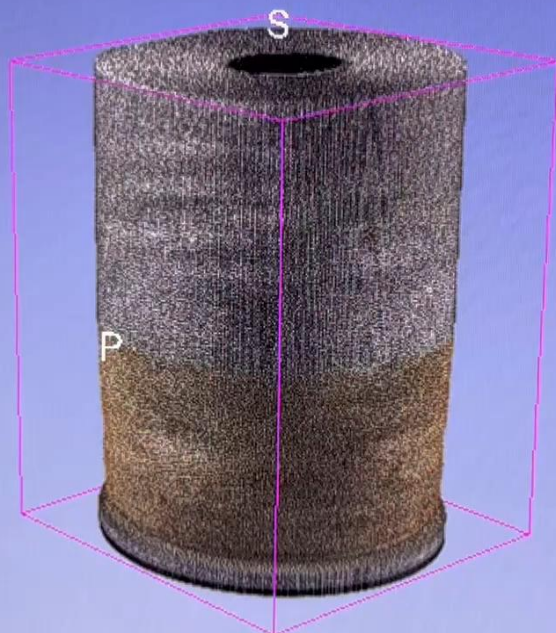
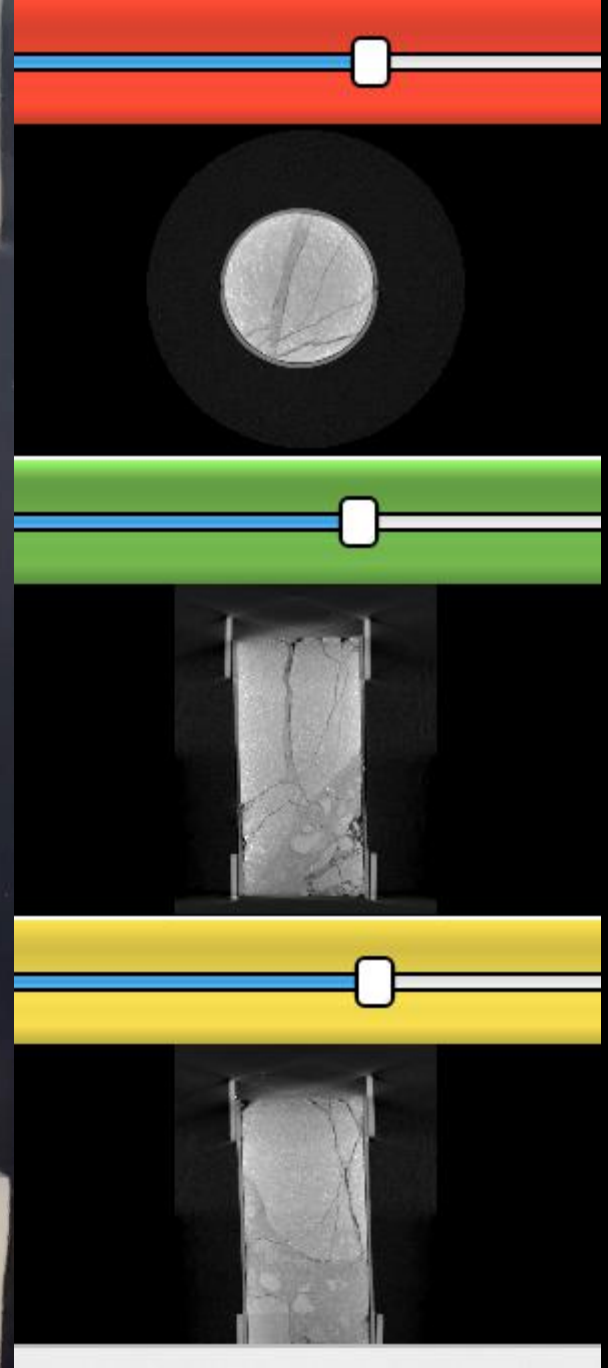
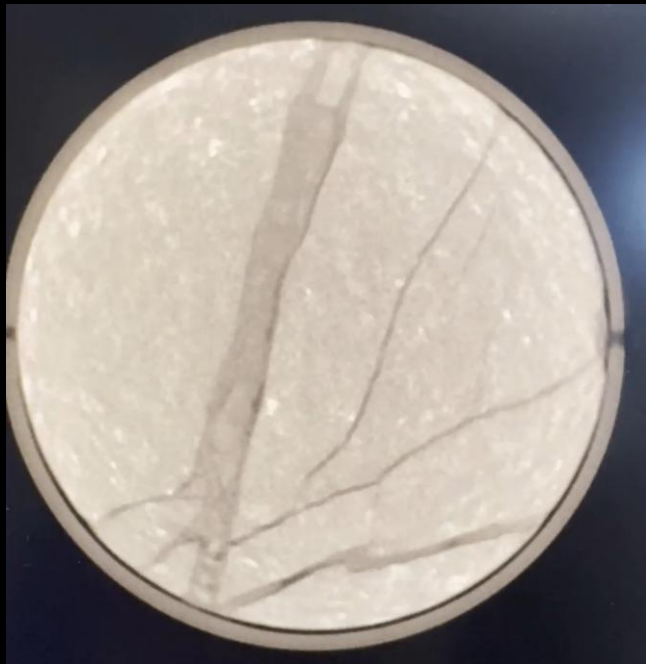
仕様

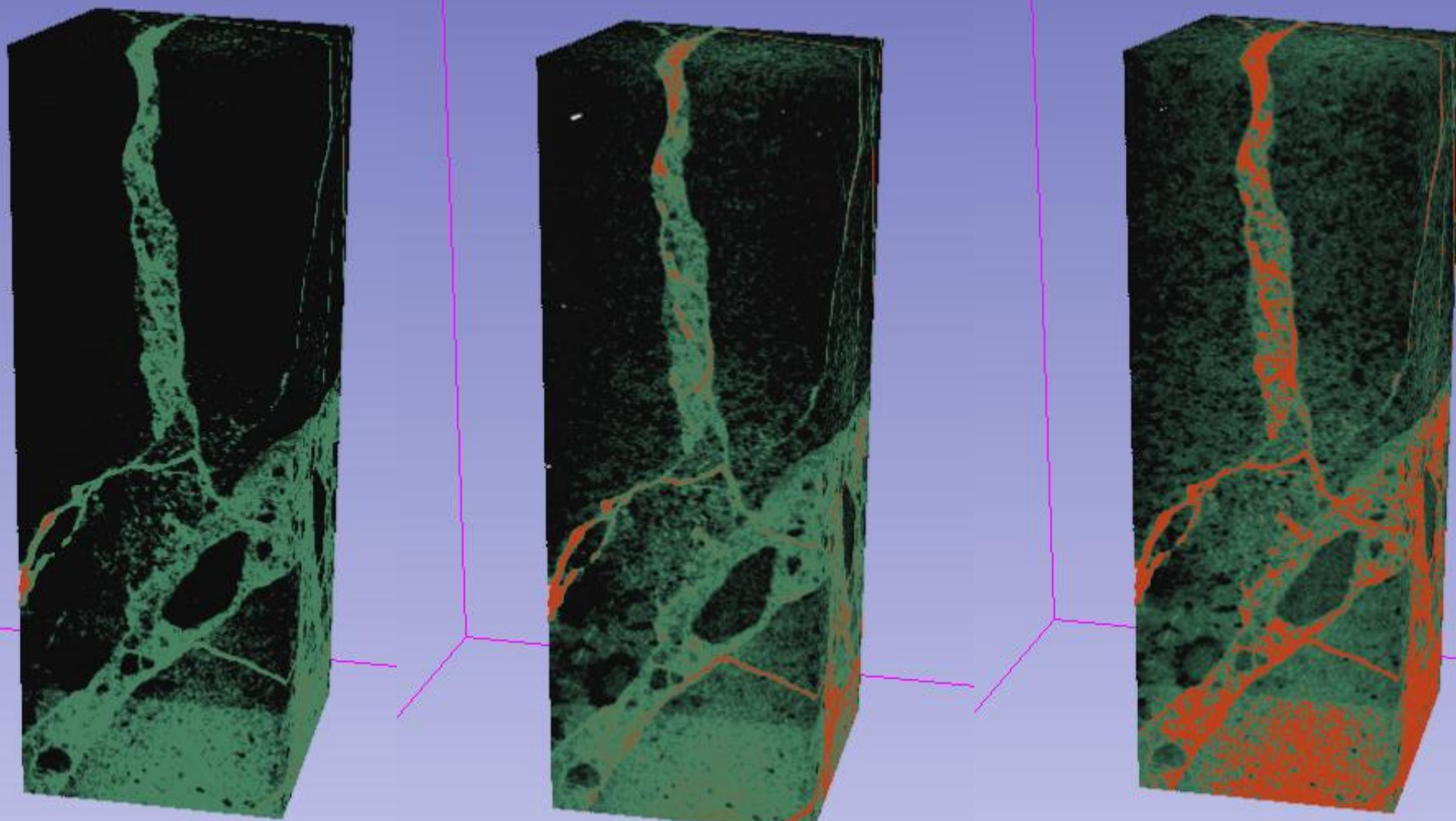
- ・AC100V 50/60Hz
- ・1.0kVA (照射時ピーク電力)
- ・X線発生部
- ・管電圧：50～100kV 管電流：2～10mA
- ・最大出力電力：500W
- ・X線漏洩線量：1μSv以下 (装置外側に管理区域不要) 「X線作業主任者」資格：不要



素材	透過厚 mm	原子番号
樹脂	150	13以下
アルミ	100	13
鉄	10	26
重金属	5以下	銅29/亜鉛30/銀47/金79

φ68 × H38～49mm
画素サイズ：0.083mm
φ146 × H153～185mm
画素サイズ：0.16mm
φ251 × H130～185mm
画素サイズ：0.24mm
ピクセルサイズ 120μm
諧調 16bit
有効受光面サイズ
H263 × w213mm
画素数 400万画素





破砕帯への流入粘土を可視化

地質PACS（Picture Archiving and Communication System）構想

画像保存通信システム

医療PACSから何を学ぶのか

患者ごとに、

- いつ撮影したか
- どの装置で撮影したか
- どの部位を見たか
- 過去と比べてどう変化したか
- 医師がどこを異常と判断したか
- その判断の根拠は何か

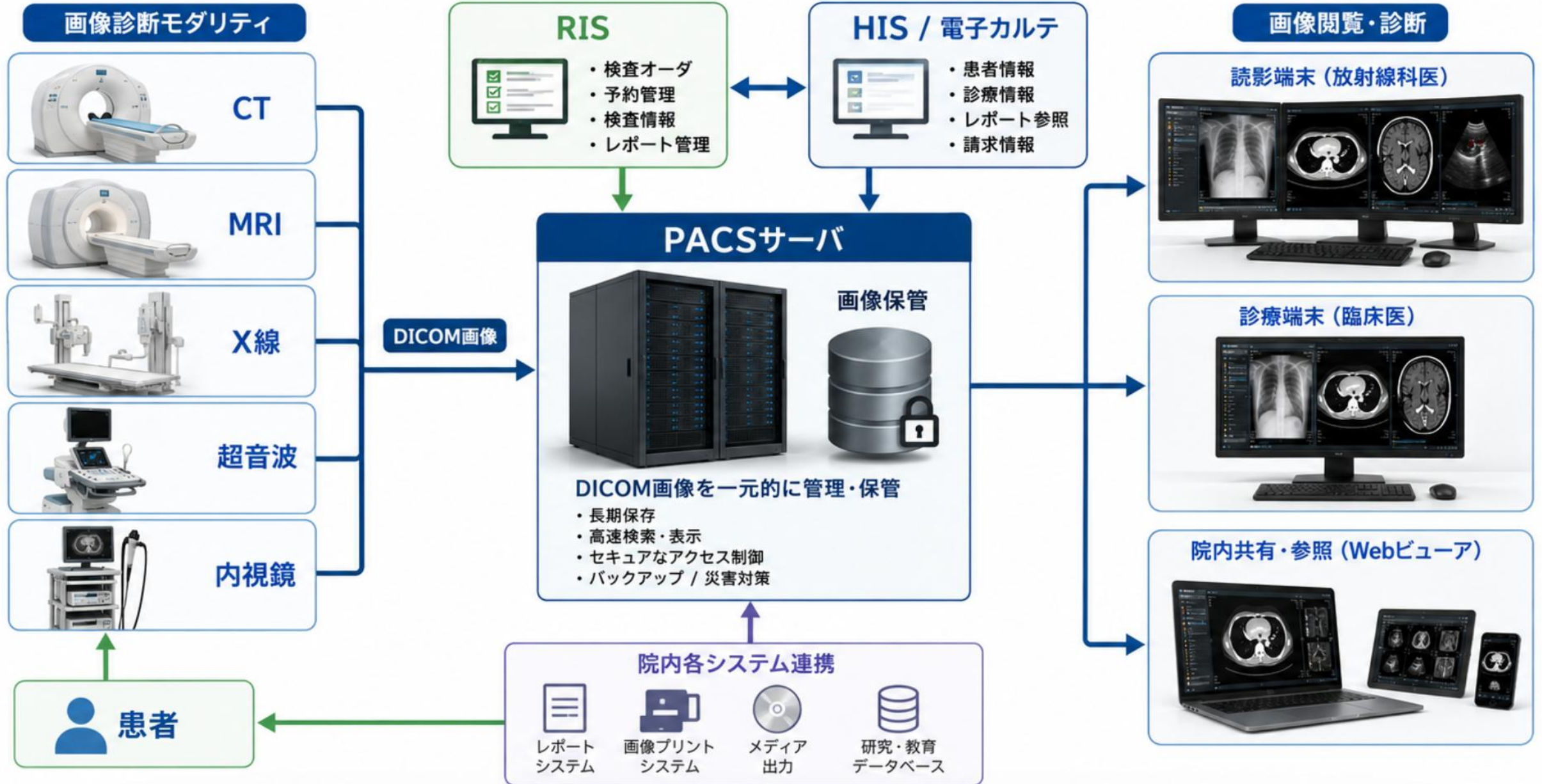
を**一体的に管理し、診断と経過観察に利用する仕組み**です。

重要なのは、**画像、位置情報、検査条件、診断所見が分離していないこと**です。

地質調査も本来は同じです。

- ◆地形画像、ボーリングコア、柱状図、試験値、地下水、地質断面図などは、同じ場所を診断するための検査結果です。
- ◆しかし現状では、別々のファイル、報告書、機関に分散しています。
- ◆**地質PACSは、これらを一つの診断体系に戻す構想**です。

医療PACSの概念図



地質PACSとは何か

- 地質PACSとは、地形画像、ボーリングコア画像、地質・地盤調査データ、専門家の所見を、
- 位置・深度・時間によって統合し、
- 地表から地下までを継続的に診断する基盤である。

地質PACSの核心は、結論だけでなく、結論に至った証拠を残すことです。

① 証拠

- 地形画像
- コア画像
- X線画像
- CT画像
- 点群
- 試験値
- 観測値

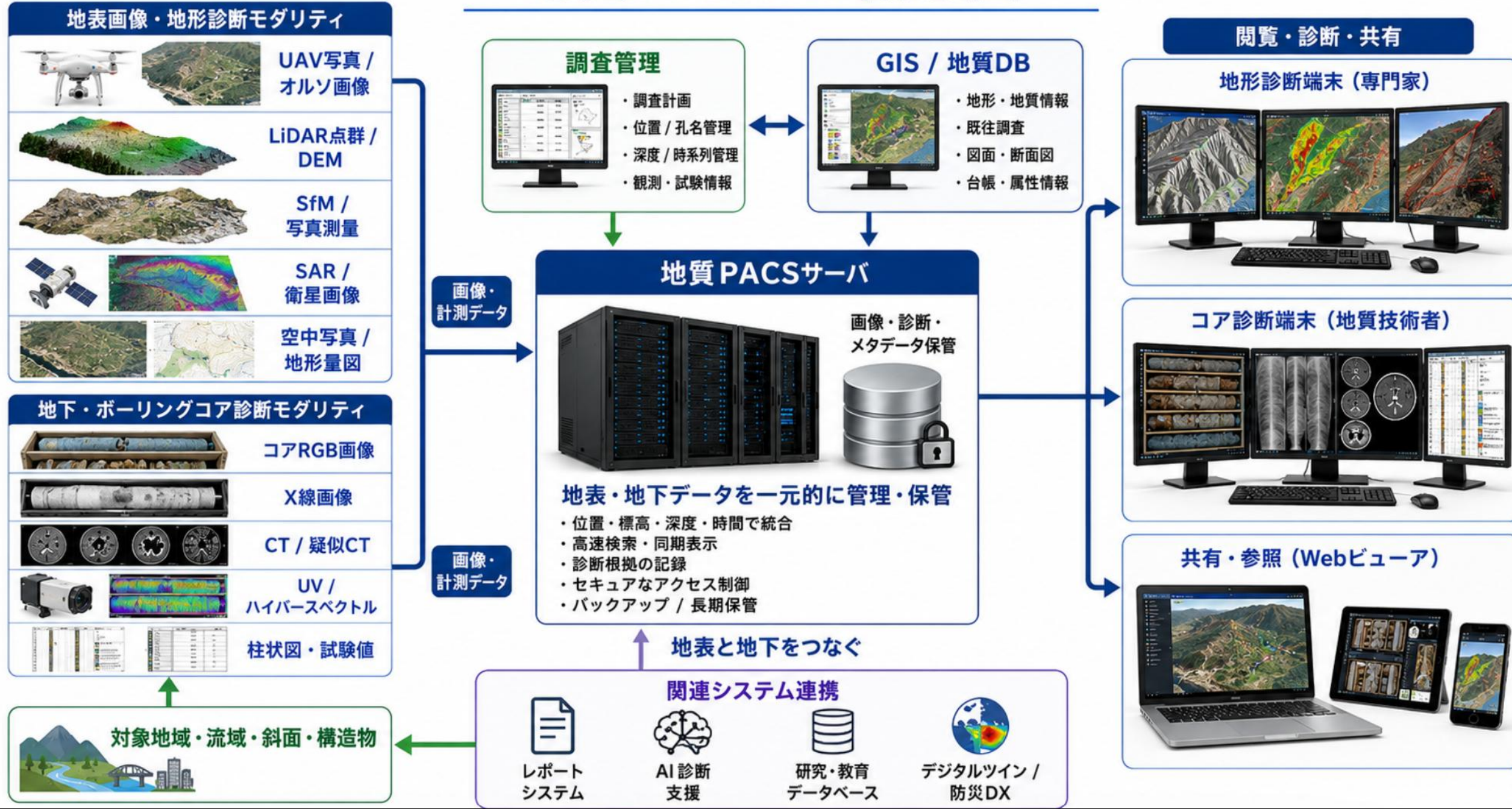
② 診断

- 断層
- 破砕帯
- 風化帯
- 地すべり
- 盛土
- 湧水帯
- 地形変状

③ 診断根拠

- 画像のどこを見たか
- どの深度を見たか
- 何と比較したか
- 誰が判断したか
- 確信度はどの程度か

地質PACSの概念図



医療PACSとの対応関係

- ◆ 医療では、同じ患者の過去画像と現在画像を比較して、病変の進行を診ます。
- ◆ 地質PACSでは、同じ斜面、流域、地すべり、道路、ダムについて、過去と現在の地形・地下情報を比較し、変化を診ます。

医療	地質
患者	地域・流域・構造物・地すべり
CT・MRI・X線	LiDAR・SfM・SAR・コアRGB・X線・CT
撮影部位	調査位置・ボーリング孔・深度
検査履歴	調査・観測履歴
画像所見	地形・地質所見
病変	断層・破碎帯・風化・地すべり
経過観察	地形変化・地下水変化・変位監視
電子カルテ	地質カルテ
PACS	地質PACS

地質PACSの基本画面

1. 地図上で調査地点を選ぶ
2. 地形画像や点群を表示する
3. ボーリング位置を選ぶ
4. 柱状図を表示する
5. 任意深度のコア画像を見る
6. RGB、X線、UV、CTを同期比較する
7. 地質断面上の対応位置を確認する
8. 試験値や地下水位を見る
9. 技術者の所見と根拠を確認する
10. 過去の調査結果と比較する

- 重要なのは、地図、柱状図、コア画像、断面図がそれぞれ独立して動くのではなく、**同期して動くこと**です。
- 例えば、コア画像の深度35mをクリックすると、地質断面上の該当位置が示される。地形上の線状地形をクリックすると、近傍のボーリングと破砕帯が表示される。そのような仕組みです。

地質PACSの最終像

- 地質PACSが目指すのは 全国の地質データを一か所に集めること
だけではありません。

目指すのは、

- 国土の各地点について、
- 過去に何を調べ、
- 何が見え、
- 誰がどう診断し、
- その後どう変化したかを追跡できる状態

- これは、**国土のための「地質カルテ」**です。

おわりに

- 地形画像診断は地表の画像診断であり、
- ボーリングコアDXは地下の画像診断である。
- 地質PACSは、その両者を位置・深度・時間によってつなぎ、診断の根拠を将来に残す仕組みである。
- 地表を診る。地下を診る。両者をつなぎ、証拠を残す。
- それが地質PACSである。
- 地質調査を、
 - 報告書を納めて終わる仕事から、
 - 国土を継続的に診断する仕組みへ変える。
 - 地質PACSは、そのための基盤である。