

# 環境DNA調査技術を活用した 生物調査の効率化と高度化

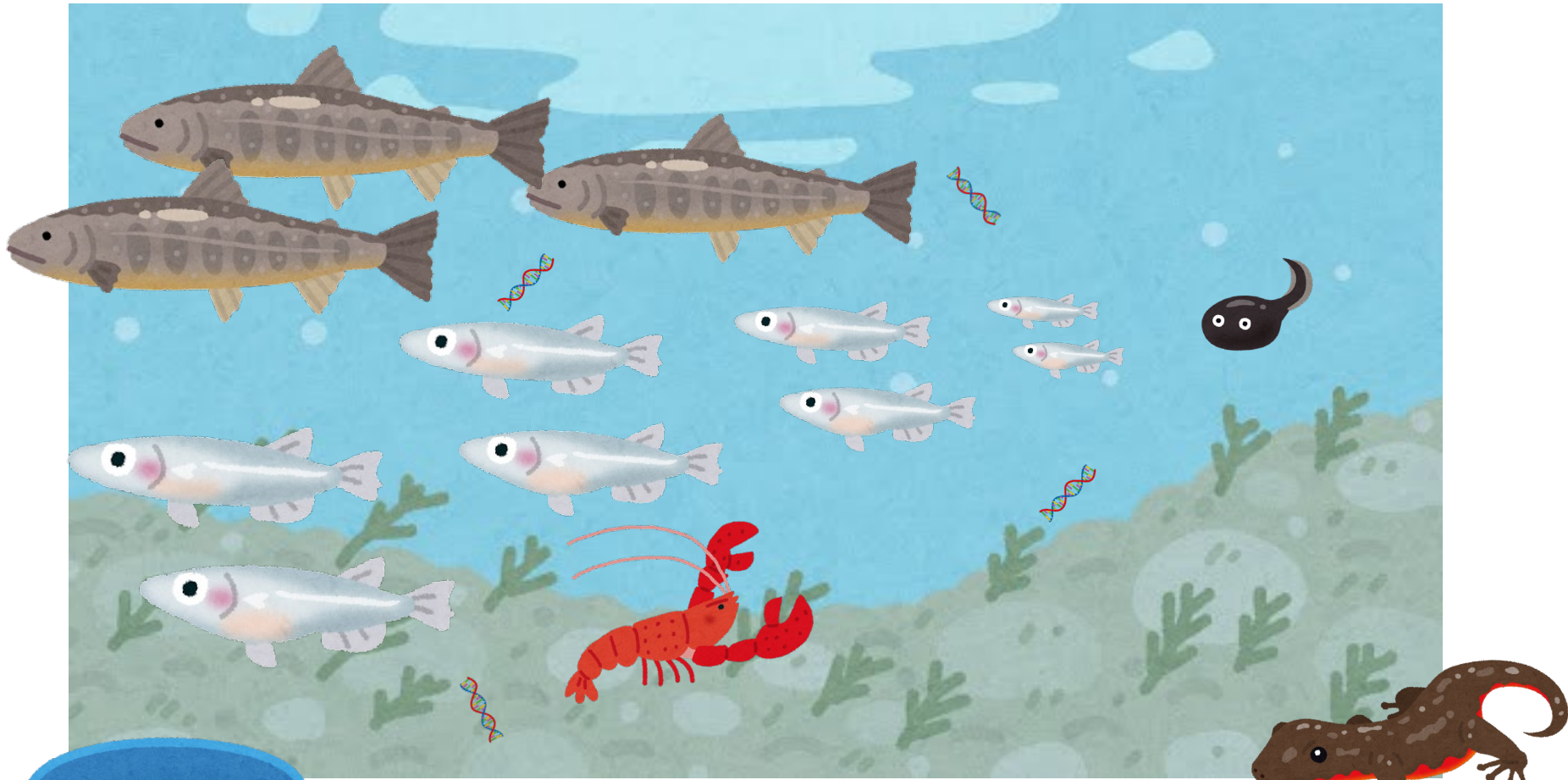
---

国立研究開発法人 土木研究所

流域水環境研究グループ 流域生態チーム

特任研究員 村岡敬子

# 環境DNA たったバケツ一杯の水から生物情報！



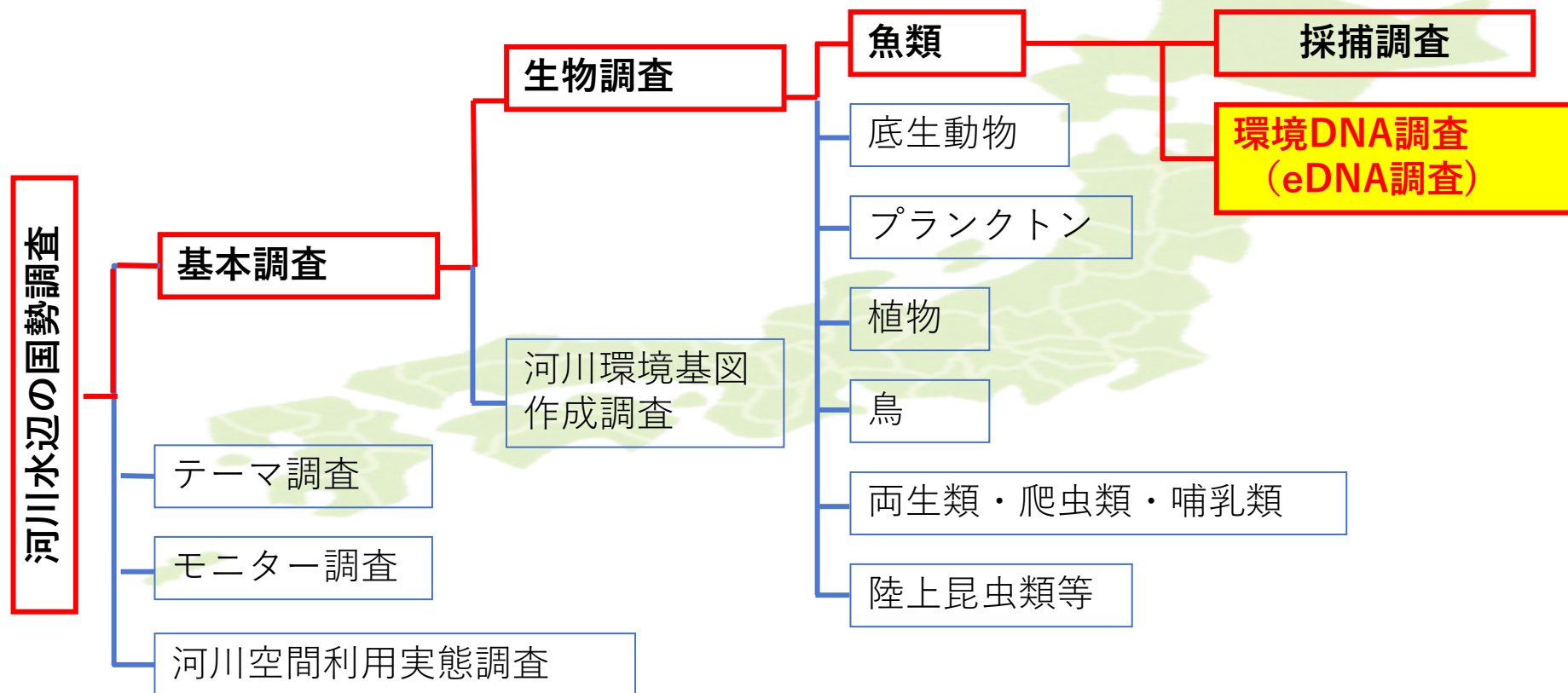
河川や湖沼の水の中には、そこに連続する環境中にいた様々な生物の組織片等が含まれている。この組織片等からDNAを取り出せば、必要な生物情報を得ることができる。

魚類を対象としたMiFishに関する論文は、2015年に公表

# 河川水辺の国勢調査（国土交通省）

1990年から5～10年間隔で実施される日本で最も大きな環境調査

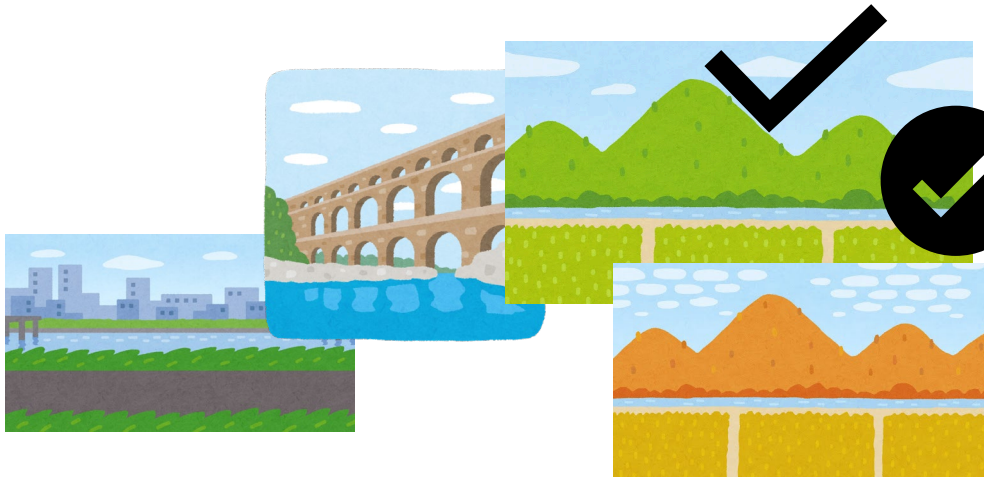
これまで捕獲により生物情報を得てきた**魚類調査**を対象に、環境DNA調査の導入を検討中



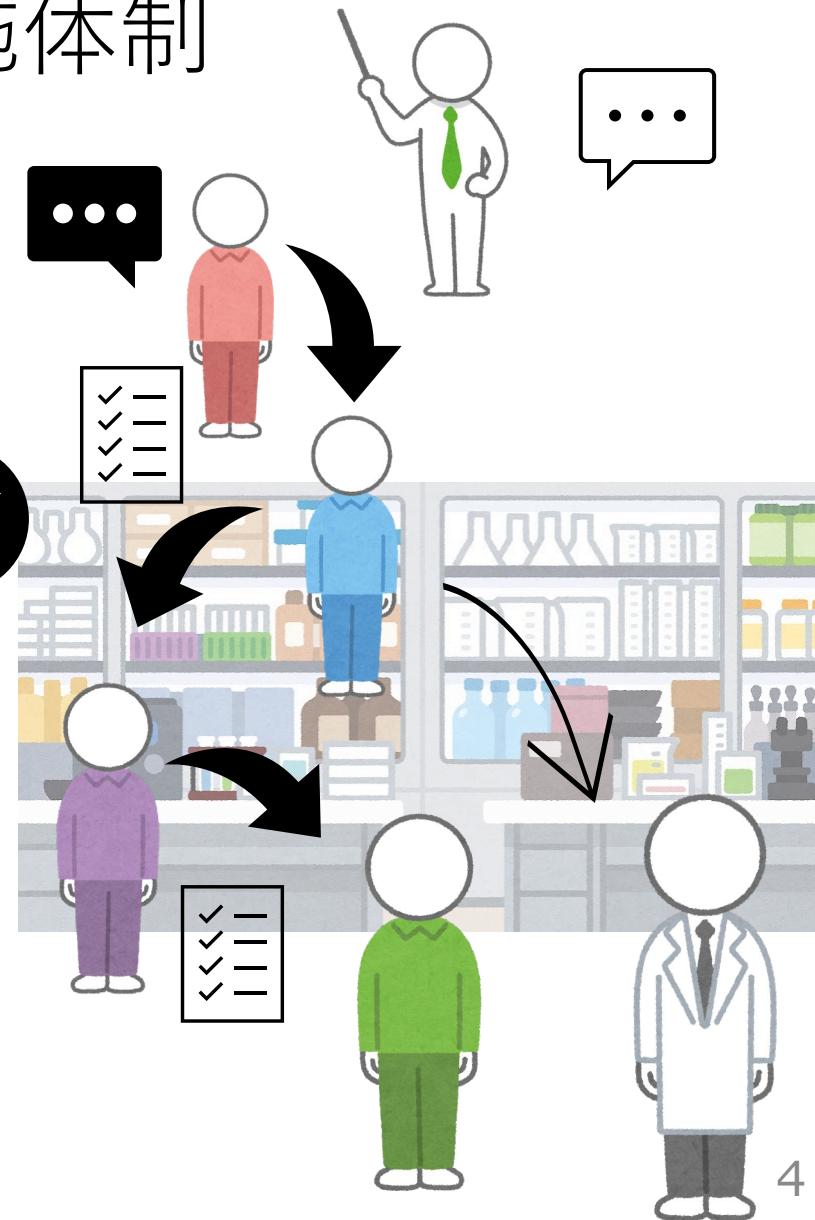
# なぜ標準化が必要？

## 環境DNA 大学等の実施体制

研究課題に適した調査サイト、調査時期、対象生物を選んで、研究計画を立案



- ・一連の作業の流れは、代々受け継がれる
- ・同じ手法で、同じ機材等の条件で分析



# なぜ標準化が必要？

## 河川水辺の国勢調査における実施体制

あらかじめ定められた調査地区や調査対象に応じて調査計画を立案

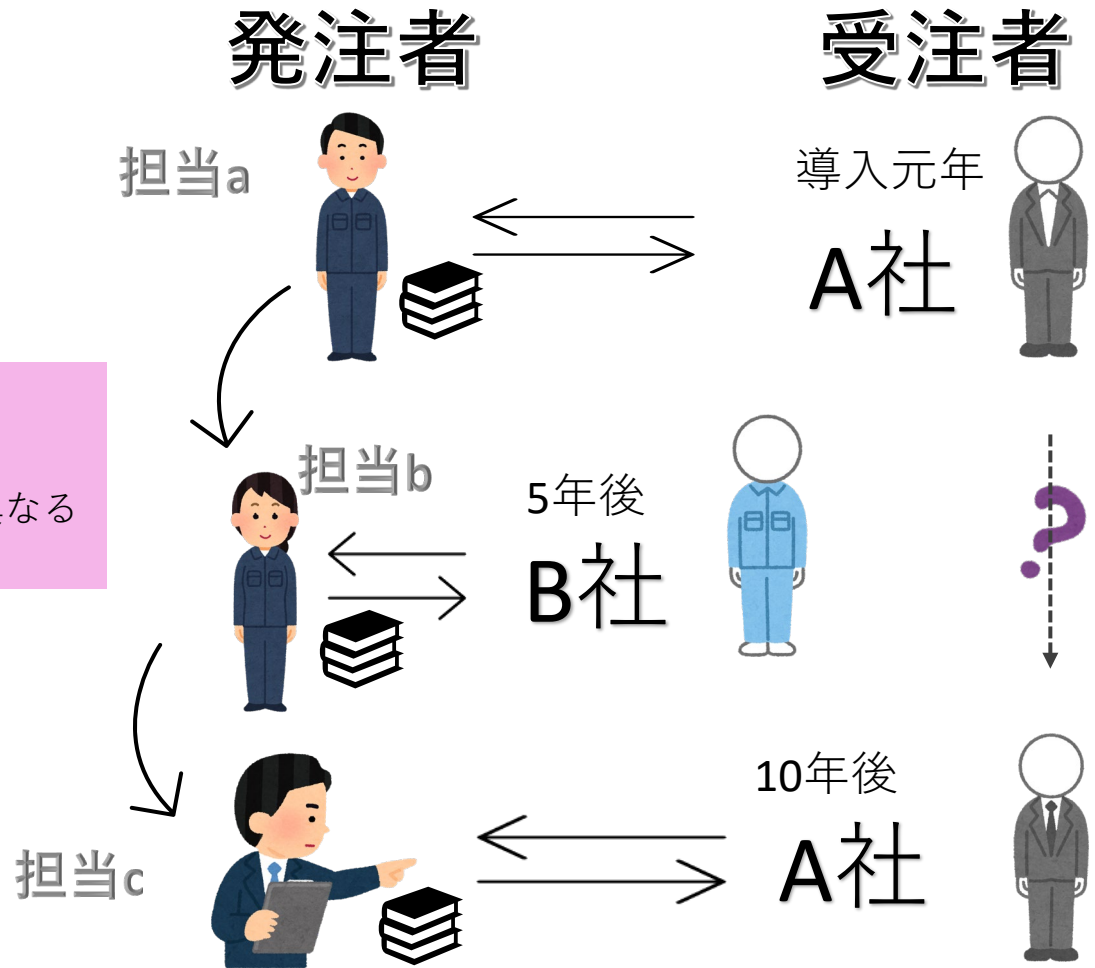


調査年ごとに受注者を決める

- ・ 調査を実施する体制が調査年ごとに異なる
- ・ 異なる装置や機器類を使用

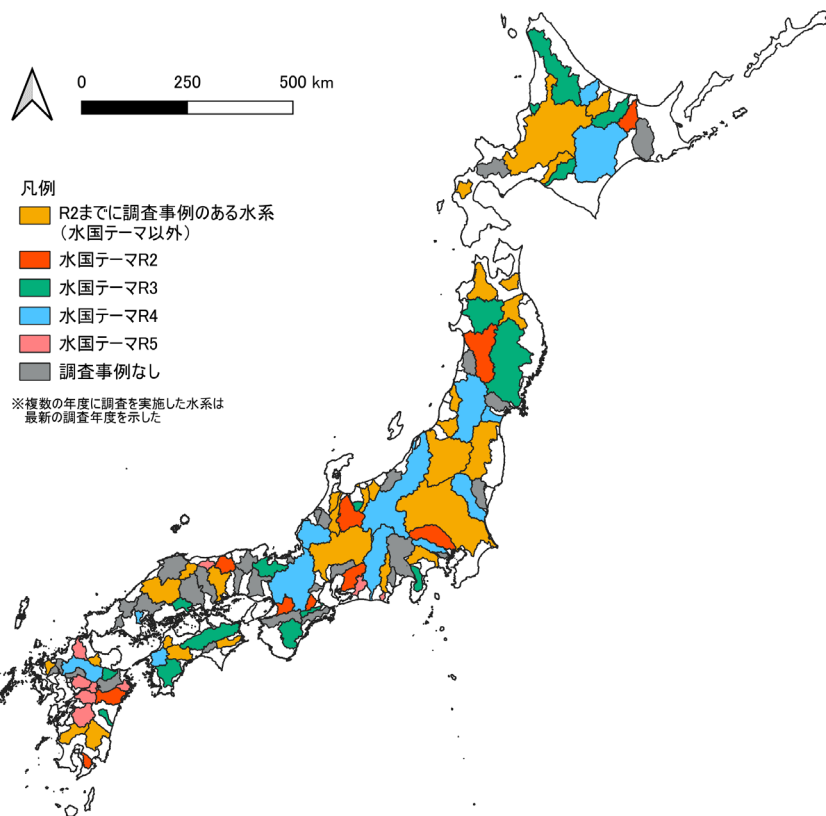


実施体制によらず  
同じデータを得るための  
標準化が必要



# 水国調査への環境DNA導入に向けた取り組み

## 水国テーマ調査：水国調査時に環境DNA調査を実施



河川水辺の国勢調査への環境DNA導入に向けた  
全国調査対象地域 (R4.11現在, 除ダム)

水国魚類調査(魚類)に合わせて 約1,300地点  
底生動物・プランクトン調査：約150地点 (10ダム含む)  
水質調査時に：約600地点・回  
汽水域の干満に合わせて (R4) :約350地点・回...

令和元年度  
水国調査への環境DNA導入に向けた基礎的な確認 (文献調査)

令和2年度  
調査地点の選定に関する調査検討

令和3年度  
令和2年度の知見を踏まえた、調査地点の選定に関する調査検討、他

令和4年度  
令和3年度と同様。特に汽水域

令和5年度  
マニュアル (案) 作成にむけて

約2,400種類の環境DNAサンプルを収集・分析中

# 捕獲調査と環境DNA 反映する情報の範囲が違う

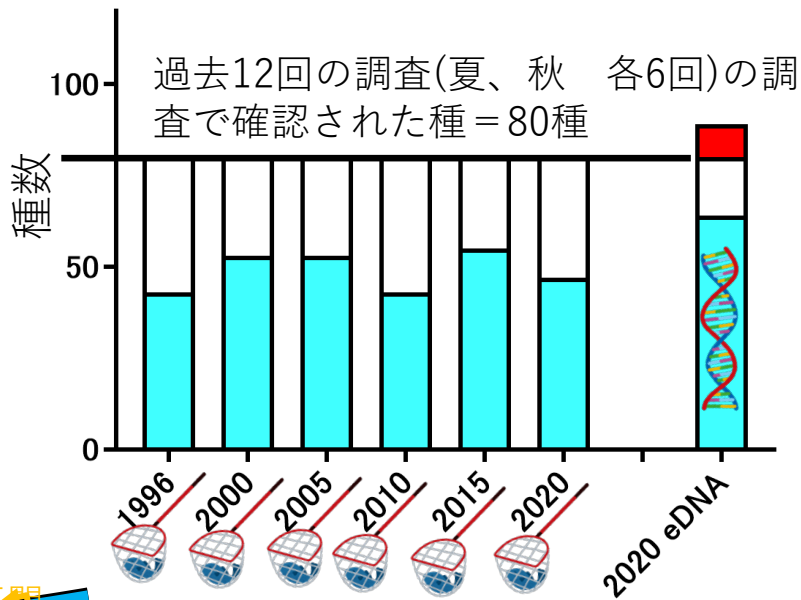


## ◀ 捕獲調査

捕獲地点と生物種  
体調や個体数の情報が得られる

## 環境DNA調査▶

採水地点につながる面的な水域の生物情報  
生息場や個体への影響無



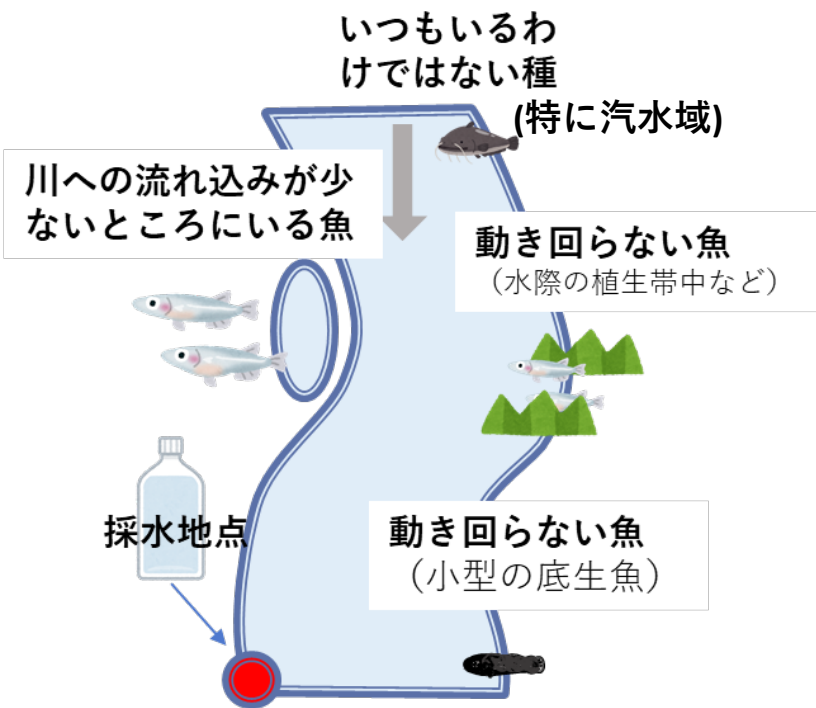
- 新しく確認された外来種など
- 未確認
- 確認



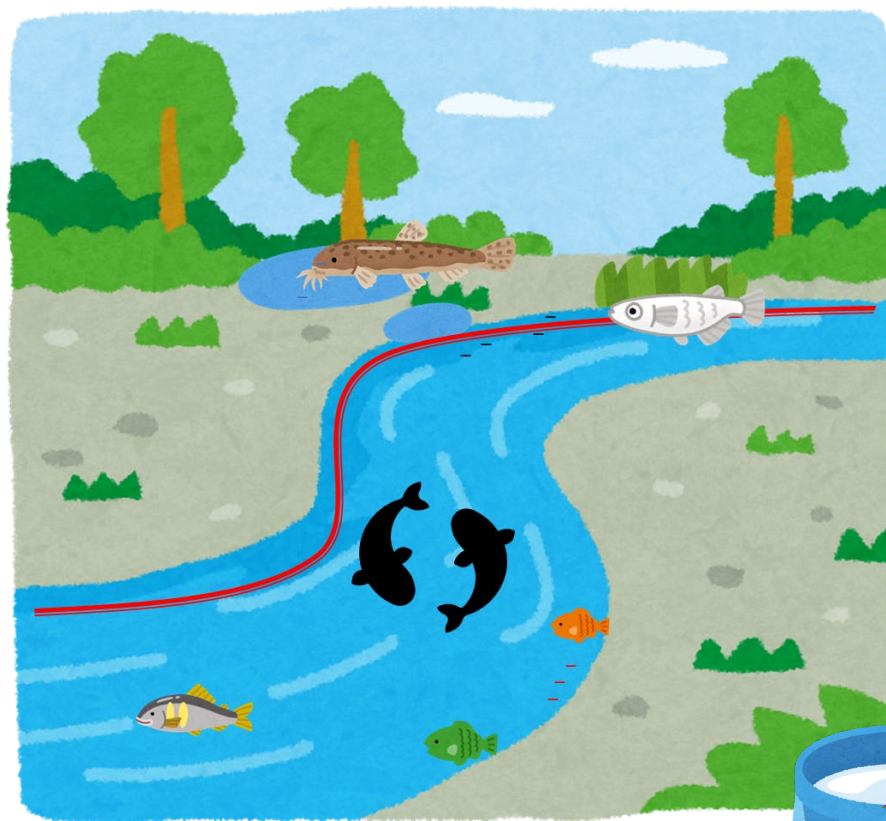
神通川水国調査地区5地区で確認された種数

捕獲調査は夏・秋2回の合算、環境DNAは秋季のみ。いずれも環境区分ごとに調査を実施

# 採水瓶 1 本の水で得られる生物情報



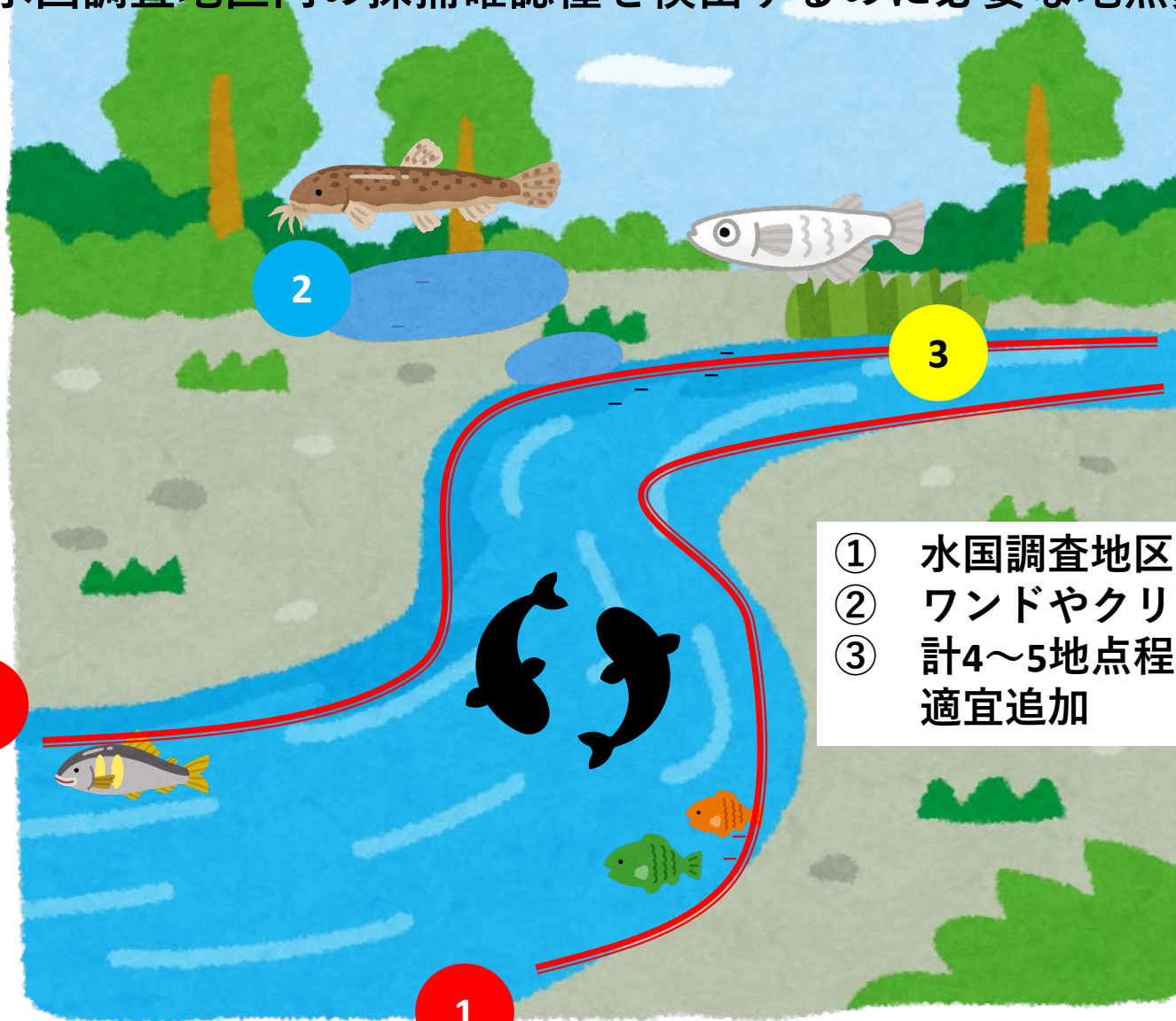
直接採捕で確認され、  
環境DNAで検出されない種の特徴



ワンドやクリークから本川に流れ込む水の量は、本川の水量に比べ少ない。小型の魚種は、1個体あたりの組織片等の放出量が小さい。そのため、本川で採水したサンプル水中に含まれる、上記該当種の組織片量は少ないと考えられる。さらに、河岸の環境の多くは左右岸で異なり、水際の植生帯やワンド・クリークが対岸のみにある場合には、片岸1地点の採水地点では調査地区内の生物相を反映することは難しい。

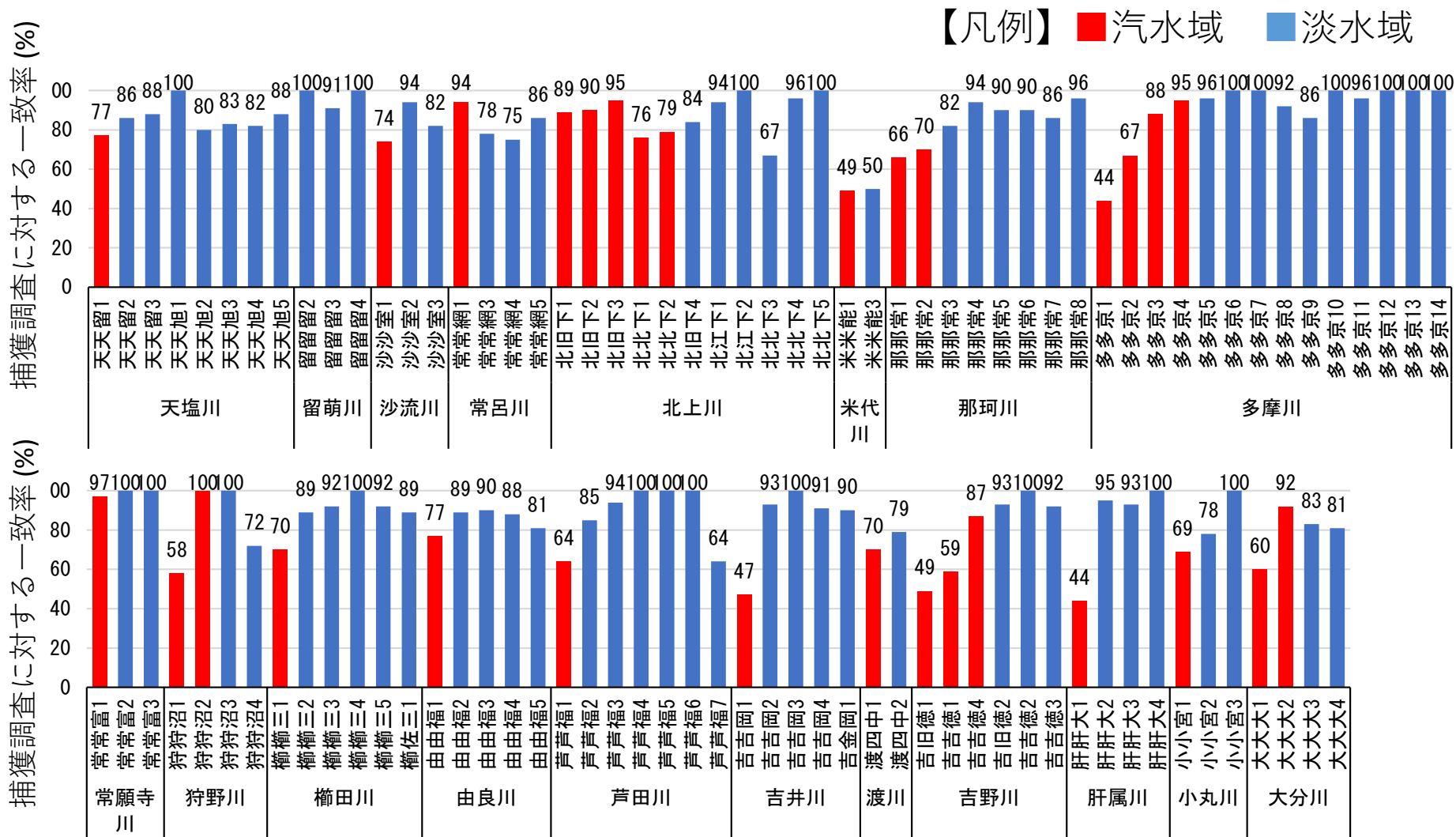
# 河川における採水地点の標準化案

水国調査地区内の採捕確認種を検出するのに必要な地点数は、4～5地点



- ① 水国調査地区の最下流端両岸
- ② ワンドやクリークなど
- ③ 計4～5地点程度となるように、適宜追加

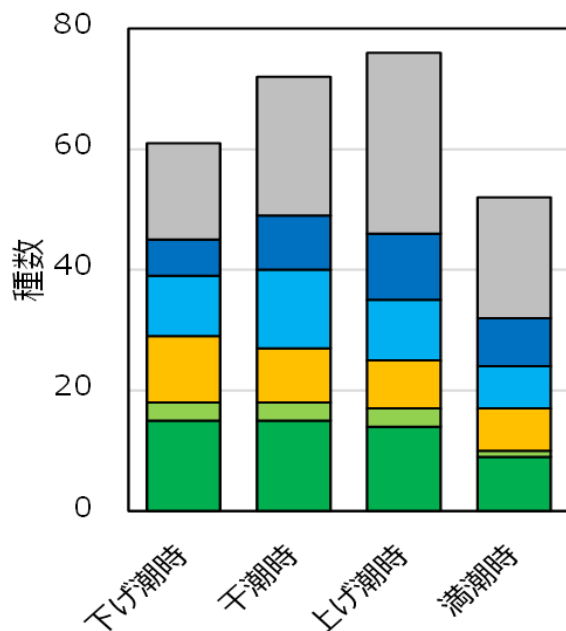
# 標準化案による環境DNA調査の結果



捕獲調査に対する一致率は、

淡水域で平均92%と高いが、汽水域は平均77%と有意に小さい(P<0.0001)

# 汽水域における採水の標準化

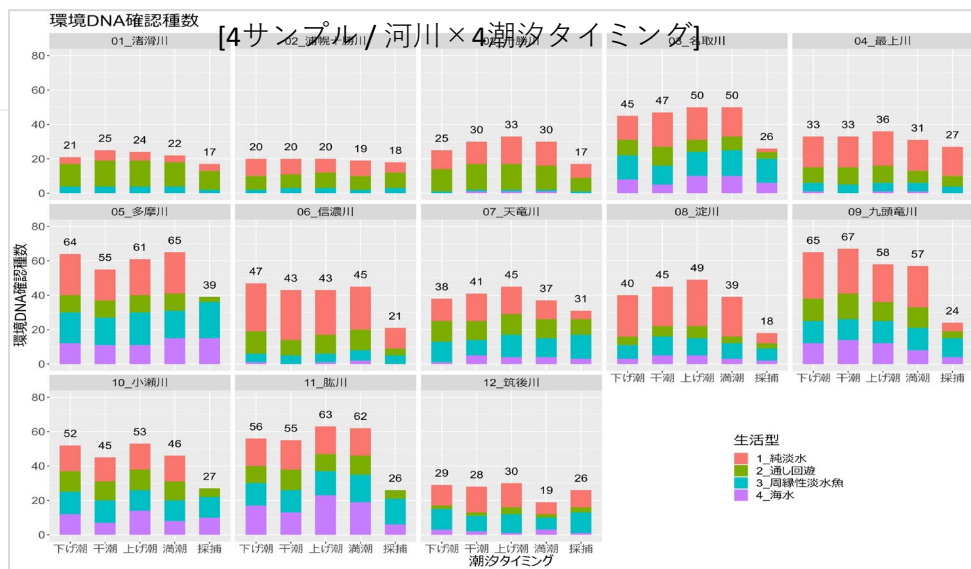
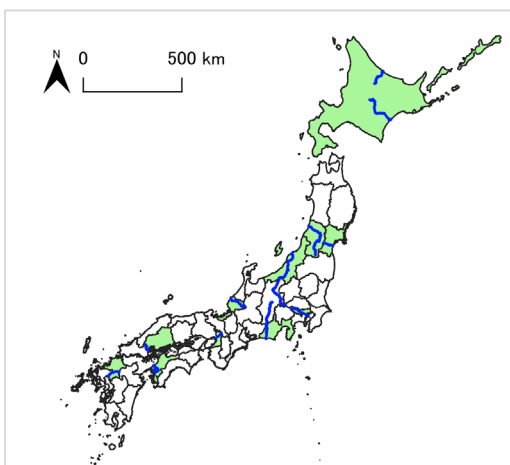


那珂川（茨城県）の調査結果の例

- ノイズ種 漁港や水族館由来のノイズと考えられる種  
ホッケ、ヒラマサ、ニシン、マグロ属など
- 海水魚 アカエイ、マイワシなど
- 周縁性淡水魚 ハゼ、スズキ、ボラなど
- 通し回遊魚 ニホンウナギ、アユ、ウキゴリなど
- 純淡水/通し回遊魚 チチブ/ヌマチチブ/ナガノゴリなど
- 純淡水魚 コイ、オイカワ、ドジョウなど



採水時の潮の干満と環境DNA検出魚類の傾向



・・・さらに9水系を対象に追加調査を実施中

# PCR

## 微量なDNAを検出可能レベルまで増やすPCR

「ポリメラーゼ連鎖反応」 (Polymerase Chain Reaction) ノーベル賞受賞技術

対象生物の遺伝子に反応するタグ (プライマー) を使って、ターゲットの遺伝子を増やす

### PCR検査



### コロナウィルス

(推定\*\*) 200,000  
~50,000,000,000(500億)倍\*

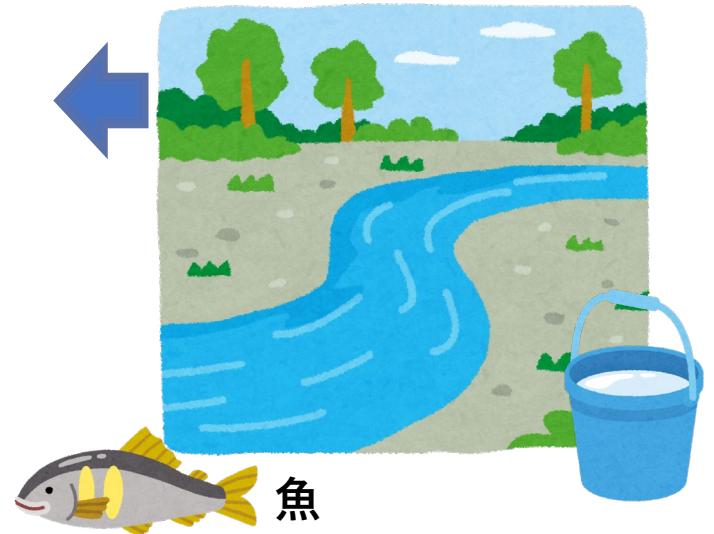


OR



PCR装置

### 魚類の環境DNA調査



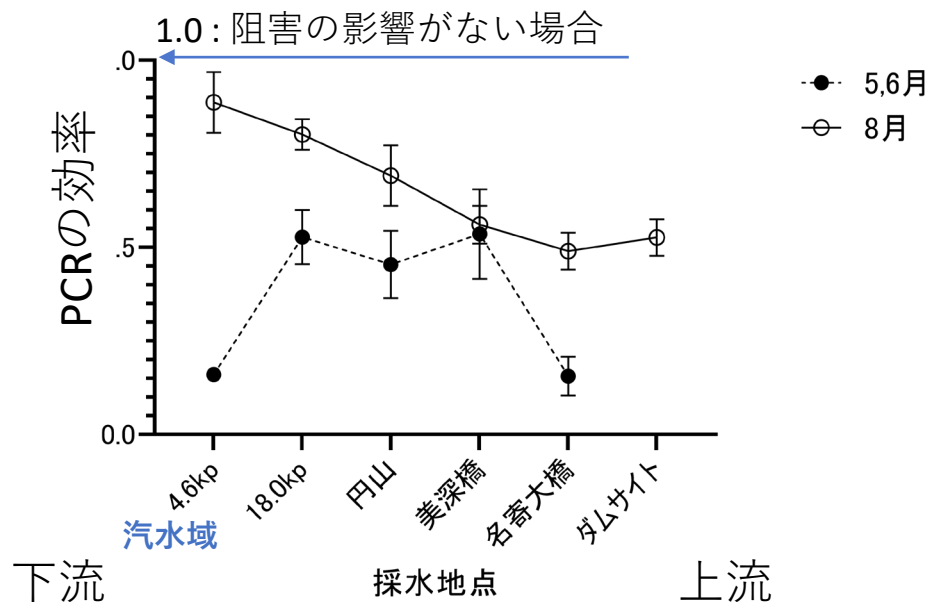
魚  
~50,000,000,000倍\*

※増幅効率0.85とした場合

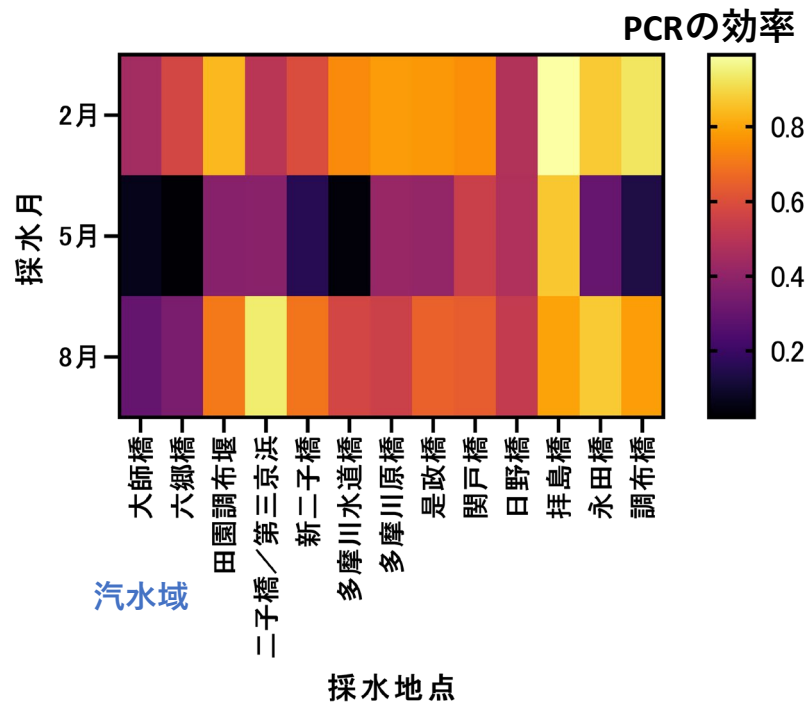
# PCR阻害物質

## 分析不調 (PCR効率の低下)

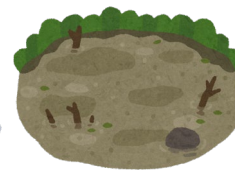
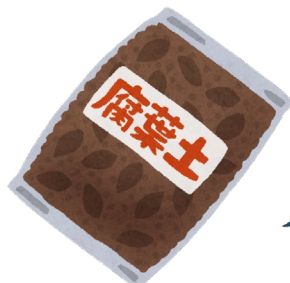
濁りや富栄養化に関連する水質項目が高い場合に、分析不調は生じやすい傾向がある。自然界には様々な阻害物質が存在する。



天塩川におけるPCR効率



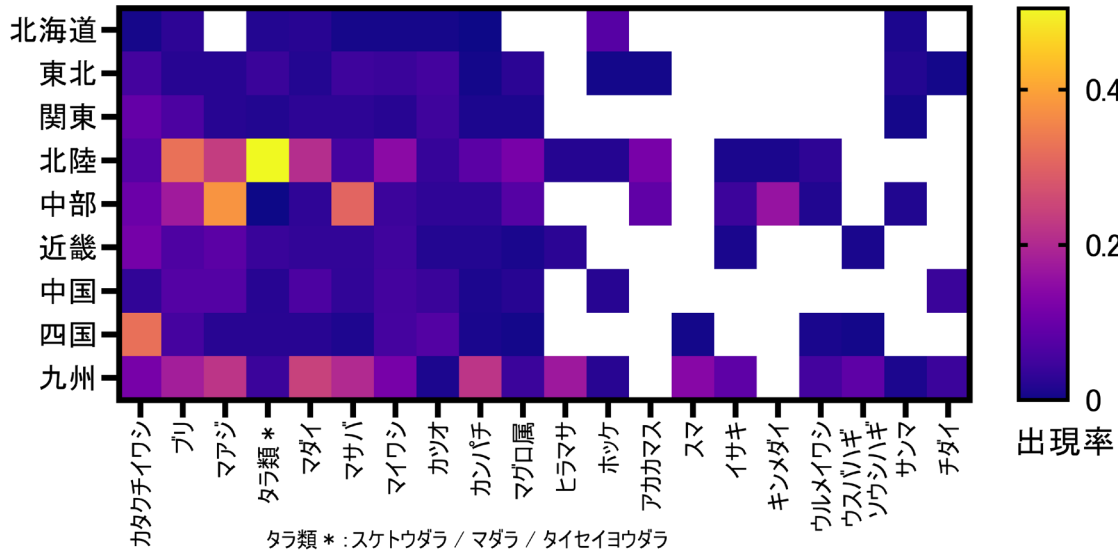
多摩川におけるPCR効率



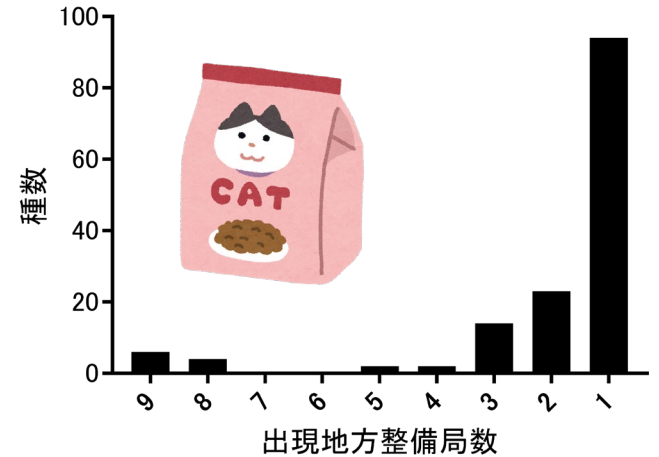
# ノイズ



# 河川の水からブリ・マグロ!!!



淡水域における海産魚の出現頻度



海産魚の出現地方整備局数

あちらもこちらも

キャットフード

この種はいったい何？

水産系学部など

数キロにわたり影響も！

養魚場  
川添いにある水産加工場

この種もあの種も・・・

単独処理浄化槽  
(古いタイプの家庭用浄化槽)

人家はどこに？

下水道未整備地区の小規模河川

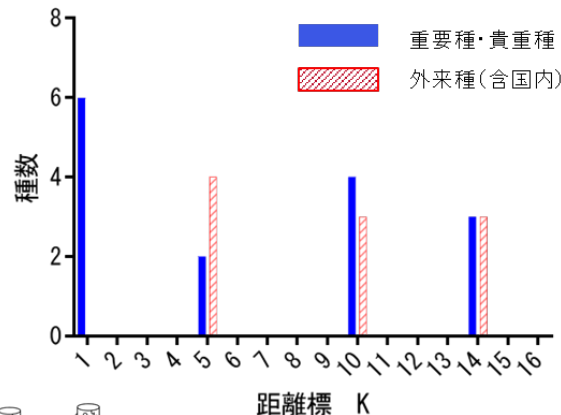
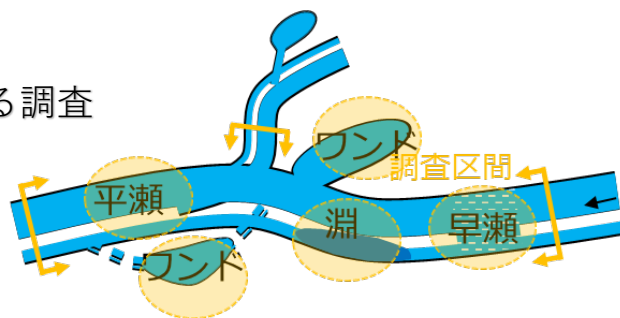


# 水国の枠組みにとらわれない使い方

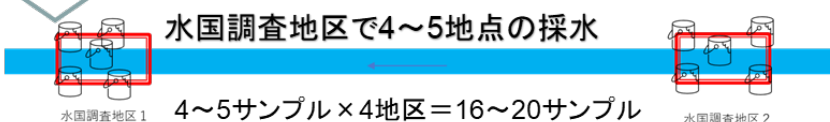
## 環境DNA：粗くても水系全体を俯瞰する生物情報

貴重種・重要種・外来種の分状況の把握

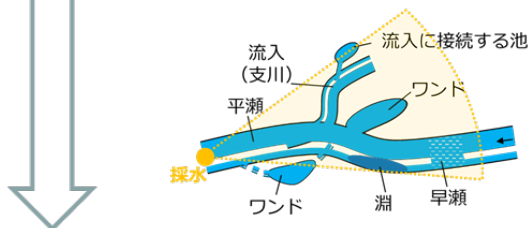
「水国調査地区」における調査



これまでの検討



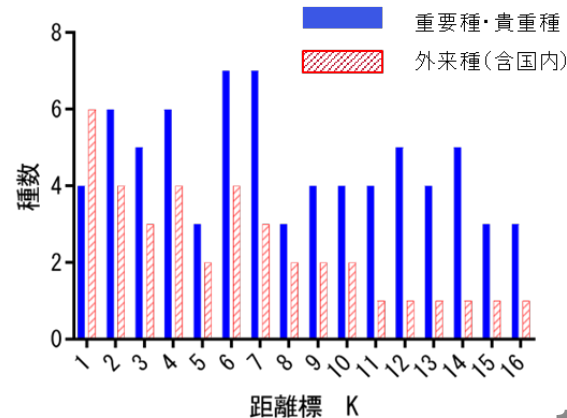
現水国調査による分布情報



同じ数の採水地点を1km間隔に配置



直轄区間16km/1km(間隔)=16サンプル

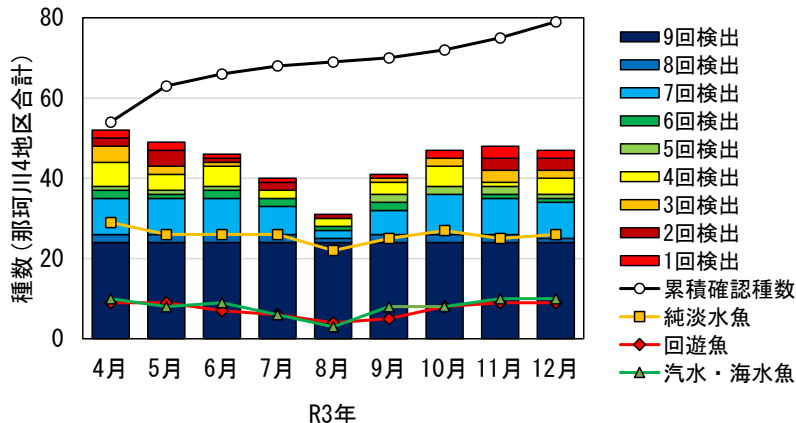


片岸等間隔サンプリングによる分布情報

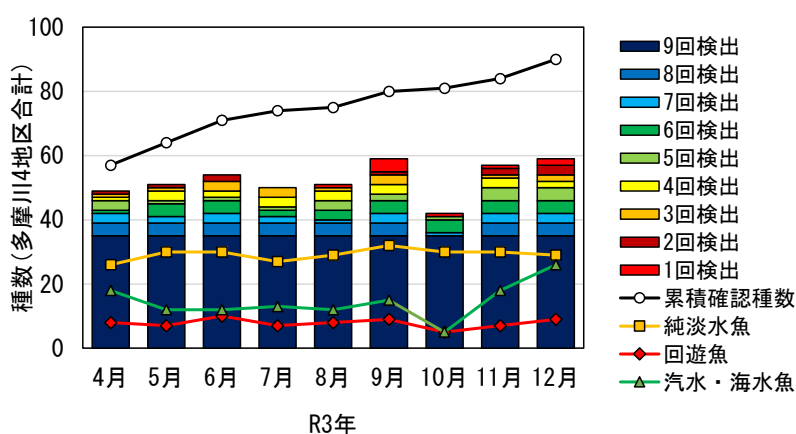
# 定期水質調査を利用した通年の生物情報の取得

月別の魚類相の変化 (R3: 那珂川4地区、多摩川4地区)

## 那珂川



## 多摩川



回遊性魚類の月別検出状況 (令和3年、那珂川、多摩川)

河川	種名	遊泳型	生活型	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
那珂川 4地区	ニホンウナギ	底生	回遊	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	マルタ	遊泳	回遊	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	アユ	遊泳	回遊	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	サケ	遊泳	回遊	●						●	●	●
	シラウオ	遊泳	回遊		●							
	ウツセミカジカ (降海回遊型)	底生	回遊	●	●	●	●		●	●	●	●
	カマキリ	底生	回遊			●						●
	オウギハゼ	底生	回遊								●	
	ウキゴリ	底生	回遊	●	●	●	●			●	●	●
	スミウキゴリ	底生	回遊	●	●					●		●
	シロウオ	底生	回遊	●	●							
	ボウズハゼ	底生	回遊	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ミミズハゼ	底生	回遊									●
	多摩川 4地区	ニホンウナギ	底生	回遊	●	●	●	●	●	●	●	●
マルタ		遊泳	回遊	●	●	●	●	●	●	●	●	●
アユ		遊泳	回遊	●	●	●	●	●	●	●	●	●
シラウオ		遊泳	回遊					●				
テンジクカワアナゴ		底生	回遊						●			
ウキゴリ		底生	回遊	●	●	●	●	●	●	●	●	●
エドハゼ		底生	回遊	●	●	●						●
スミウキゴリ		底生	回遊	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ニクハゼ		底生	回遊			●						●
ピリンゴ		底生	回遊	●	●	●	●	●	●		●	●
ボウズハゼ		底生	回遊			●	●		●			
ゴクラクハゼ	底生	回遊			●		●	●		●	●	
イソミミズハゼ	底生	回遊	●									

- 毎月出現する種が、那珂川で25種、多摩川で35種存在し (主に淡水性魚類)、環境DNAの結果に一定の再現性が確認された
- 那珂川のシロウオ、多摩川のボウズハゼなど、回遊生態と一致した検出状況がみられ、環境DNAでも回遊性魚類の生態がある程度評価可能であると考えられた



# 魚だけじゃない、環境DNA

他の生物への展開、大気環境DNA、堆積物を使った過去環境の調査などの研究も進んでいます



川辺で目視確認された鳥の90%を、  
河川水の環境DNAで検出！

# 生物調査だけではもったいない、環境DNA

環境DNAの特徴

水から生物情報

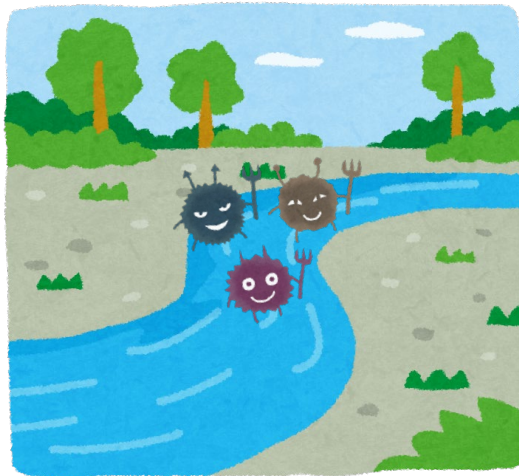
大気からも、土からも

生物組織片由来のDNA

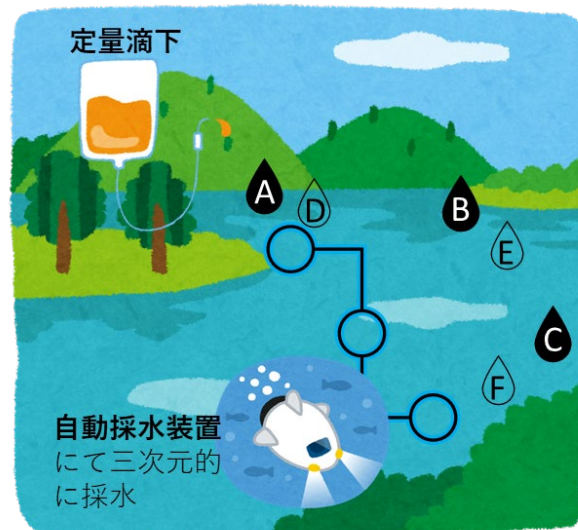
組み合わせは無限大

検出感度が高い

自然素材・自然分解



地下水調査



湖内の流動調査



発生源調査

# 環境DNA調査技術を活用した 生物調査の効率化と高度化

## まとめ

調査技術としては開発途上の環境DNAですが

**調査手法の得手不得手を理解し、  
効果的な使い方を考えていきませんか！**

土木研究所 流域水環境研究グループ 流域生態チーム  
のHPにも、適宜情報を掲載しています

# 地すべり災害対応のBIM/CIMモデル

---



**AIST** 国立研究開発法人 土木研究所  
土砂管理研究グループ 地すべりチーム

- ・ 地すべり災害が発生した場合、**緊急に現地調査**が行われ、調査結果の分析に基づいて、**警戒避難体制整備**や**応急対策工事**が行われる。



緊急的な現地調査



分析・対策検討

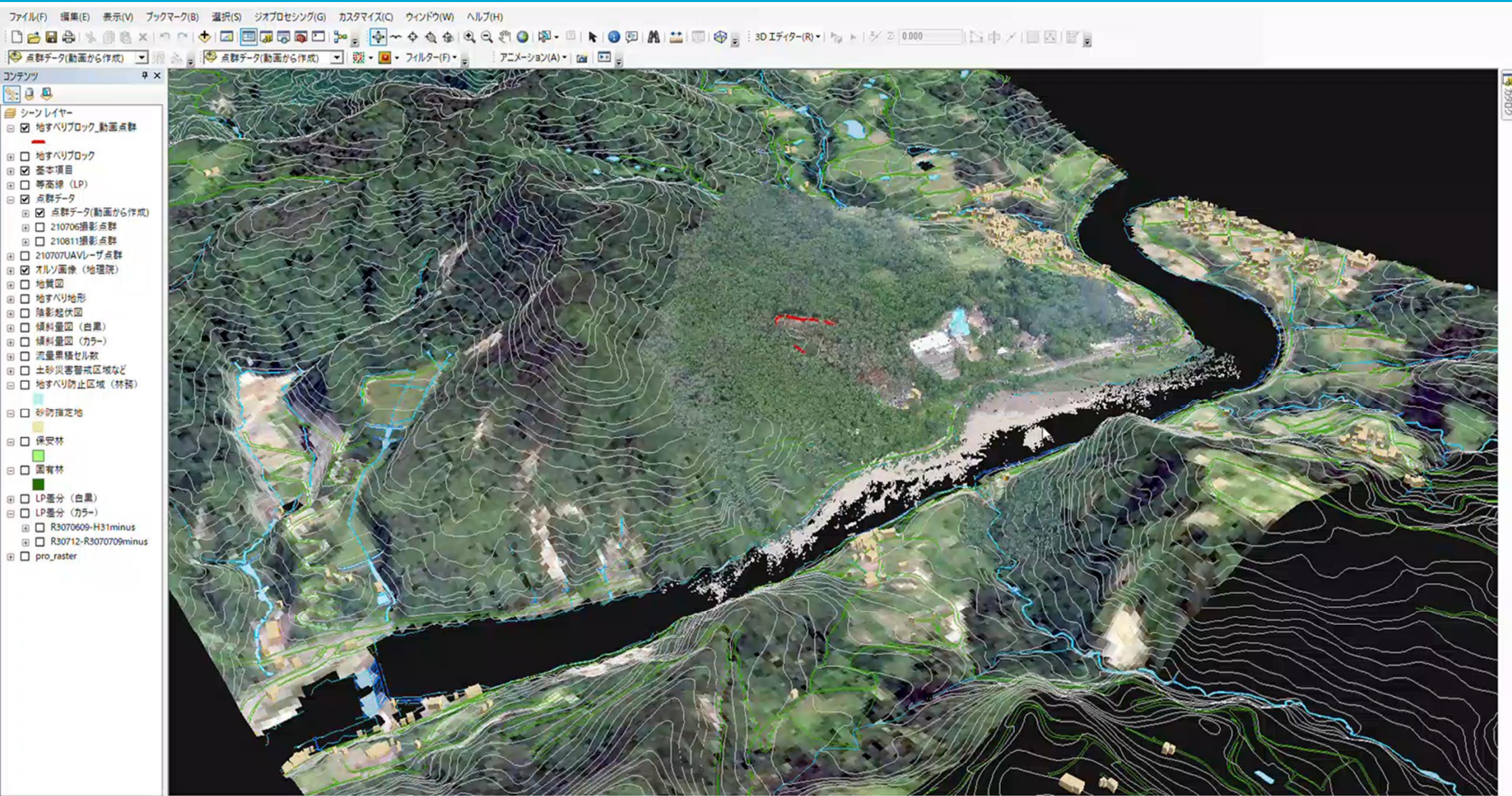


警戒避難体制整備



応急対策工事







カラー点群データ



地すべり災害対応の  
BIM/CIMモデル

地形

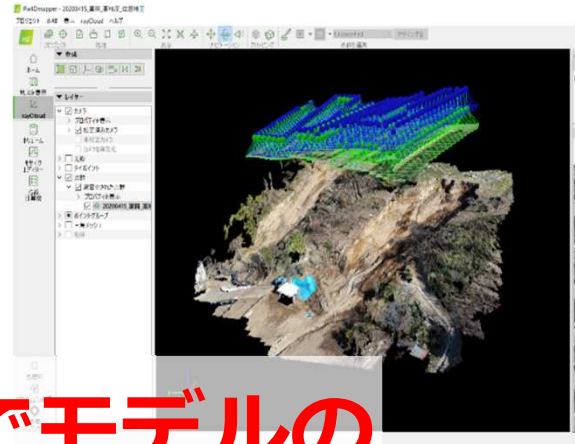
地物

地質

オープンデータ



① UAVによる撮影

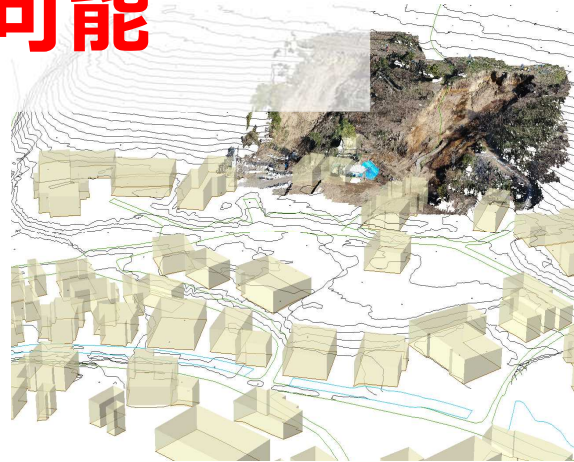


② SfMによる点群データ作成

**1日以内でモデルの作成可能**



③ オープンデータのダウンロード



④ GIS/CADによるデータの重ね合わせ

ISSN 0386-5878  
土木研究所資料 第4412号

土木研究所資料

地すべり災害対応のBIM/CIMモデルに関する技術資料

令和3年3月

**作成手法を標準化**

BIM/CIM活用ガイドライン(案)

国立研究開発法人 土木研究所 地すべり対策編

令和3年3月

国土交通省

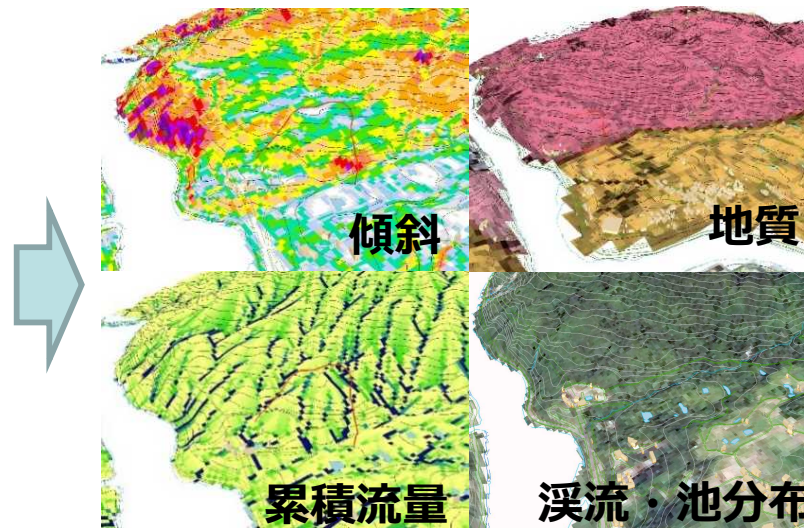
発災当日午前中に国道事務所がUAV撮影した動画の提供を受け、**当日午後**には土木研究所でCIMモデルの作成、**災害の全体像把握、発生機構の分析、災害リスクの分析を実施。**



災害の全体像把握

- ① 地すべり上部は範囲が明確
- ② 背後斜面の安定性は不明
- ③ 末端土砂の状況が不明
- ④ 河道閉塞状況が不明
- ⑤ トンネルへの影響が不明

⇒現地で速やかに確認



発生機構の分析

- ① 地質は凝灰岩
- ② 地質構造線の近傍
- ③ 地形的に水を集めやすい

⇒脆弱な地質と豊富な地下水が  
主要な要因か



災害リスクの分析

- ① 地すべり本体の更なる移動・滑落
- ② 末端土砂の小規模な崩壊・流出
- ③ 溪流の河道閉塞

⇒各リスクに対して監視体制と  
応急対策が必要

- ・ 発災翌日には、**事前分析を基に現地調査**を行い、**発生機構や災害リスク分析の精度を高めて対策への助言**を実施。
- ・ 複数の関係機関が連携する必要があるため、地すべり現象や対策計画について**共通理解**を持つことが重要。**CIMモデルを用いて分かりやすい説明**となるよう留意した。



河道閉塞の状況の確認



地すべりとトンネル位置の確認



技術指導でのCIM活用

# 各分野の専門家チームによる遠隔技術支援



地方整備局、国道事務所

土木研究所、国土技術政策総合研究所

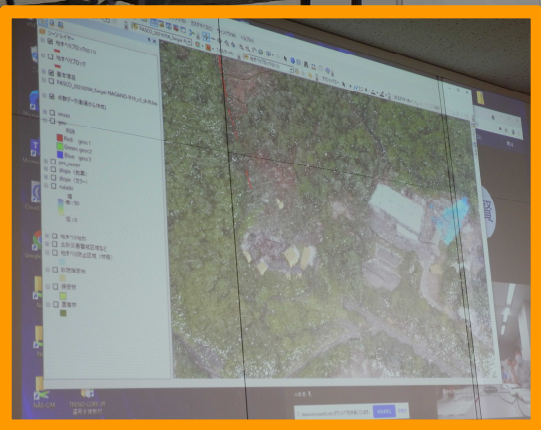
トンネル  
専門家

地すべり  
専門家

道路防災  
専門家

道路  
専門家

地すべり災害CIM  
との画面共有切替



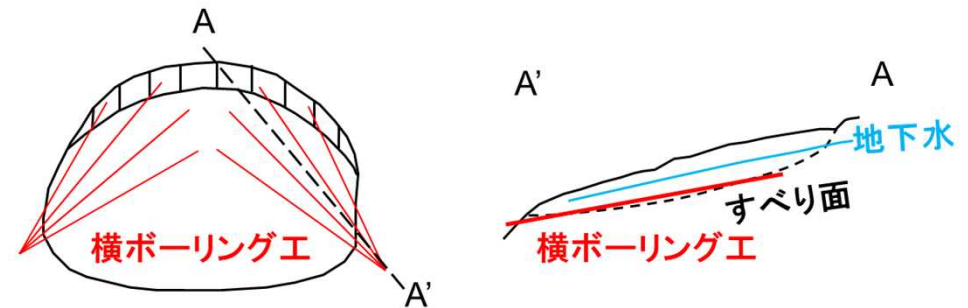
# 応急対策検討例(応急横ボーリング工)

- 地すべり移動を抑制するため、地すべり外から上向き5-10°、延長50m程度で地下水排除ボーリングを施工。
- 安全な作業スペースが確保できる必要がある。
- 地すべりに影響を与えている地下水を排除することが重要

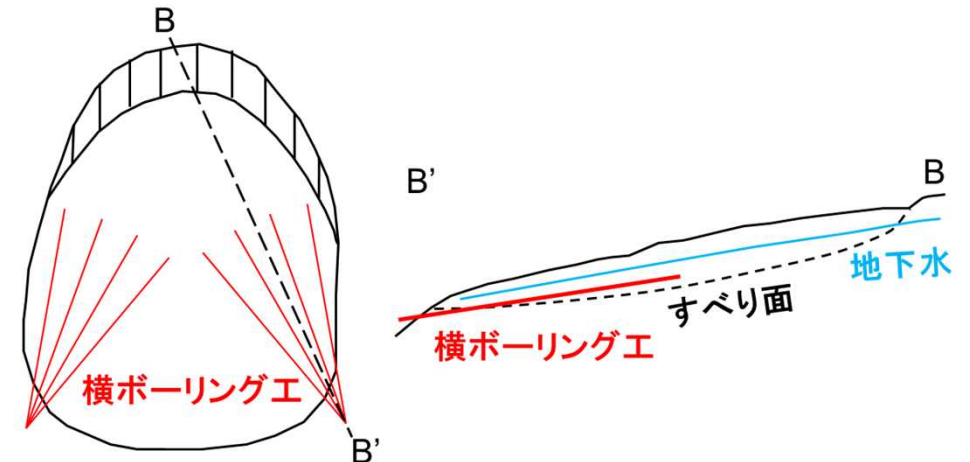


応急横ボーリング工の施工

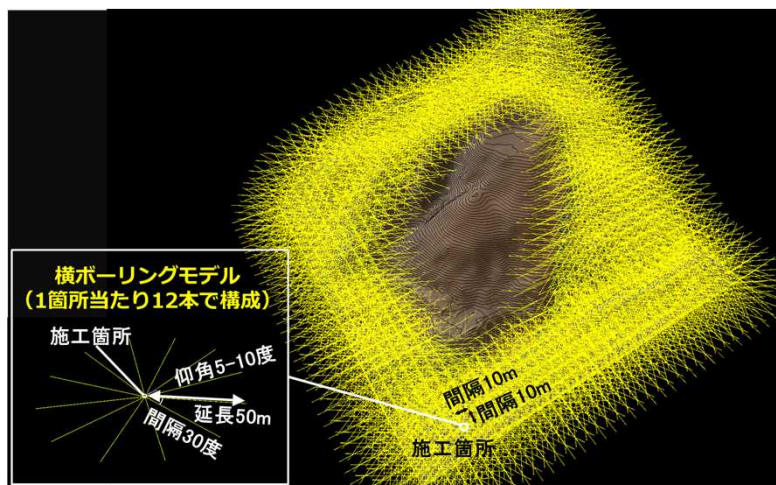
(A) 横ボーリング延長がすべり面に到達する場合



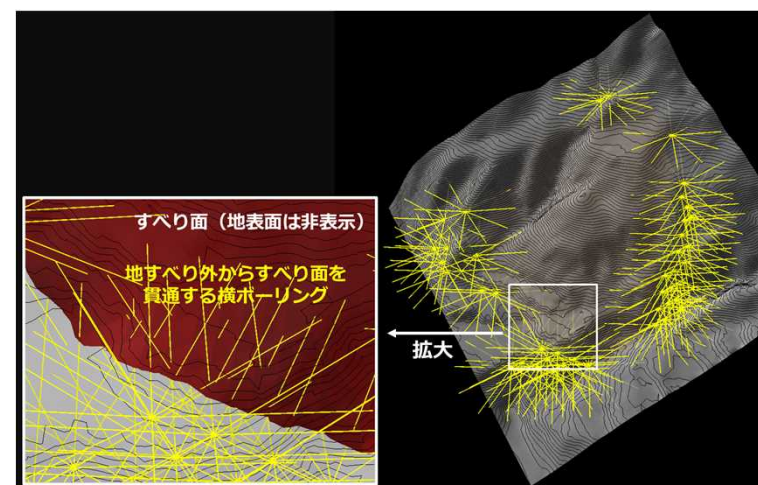
(B) 横ボーリング延長がすべり面に到達しない場合



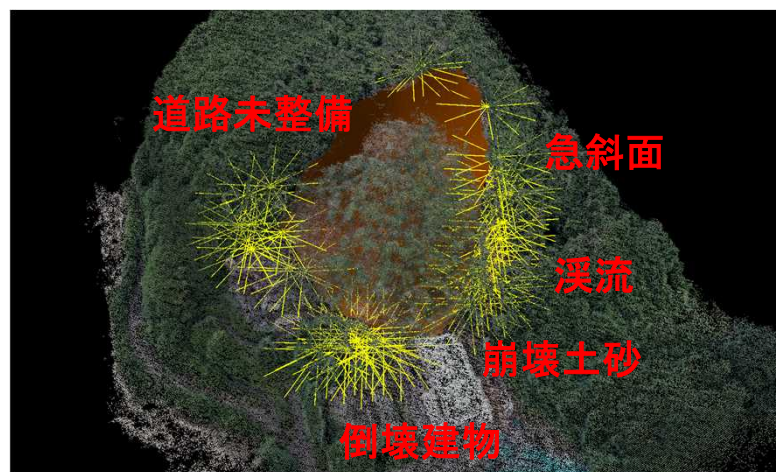
すべり面を貫通する横ボーリングを干渉チェック機能で抽出し、カラー点群データによって施工条件等を確認して優先順位を設定。



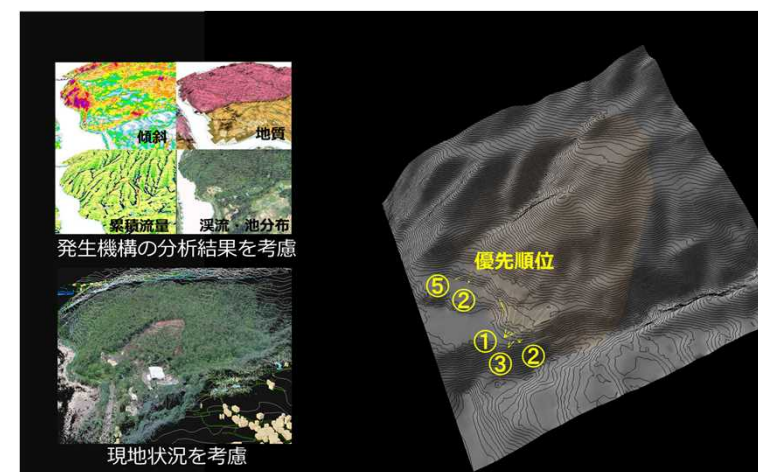
①横ボーリングモデルの配置



②すべり面を貫通する横ボーリングの抽出



③施工困難箇所の除外



④施工優先順位の設定

## (1) 横ボーリングモデルのメッシュ状配置

横ボーリングモデル  
(1箇所当たり12本で構成)

施工箇所

仰角5-10度

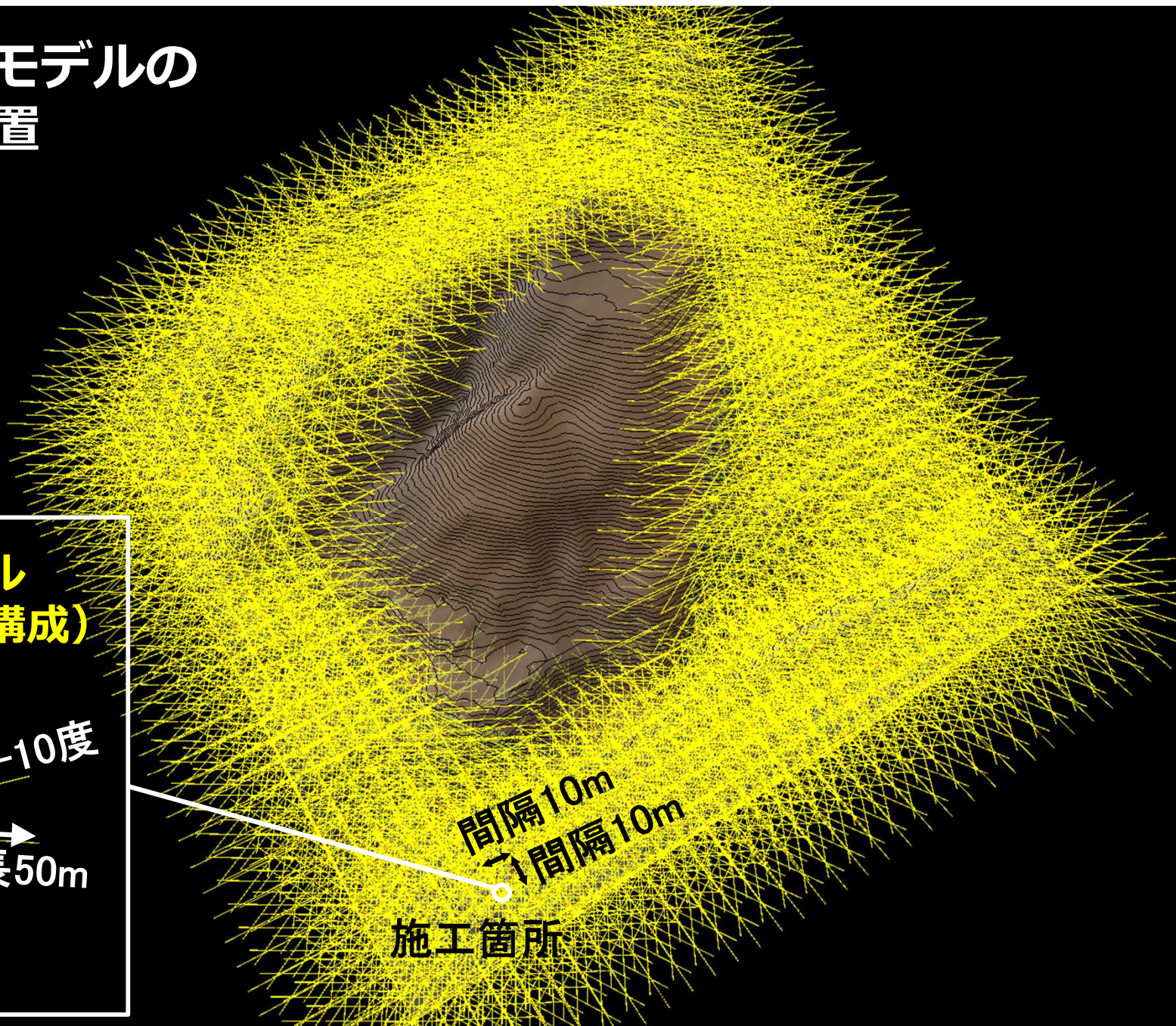
延長50m

間隔30度

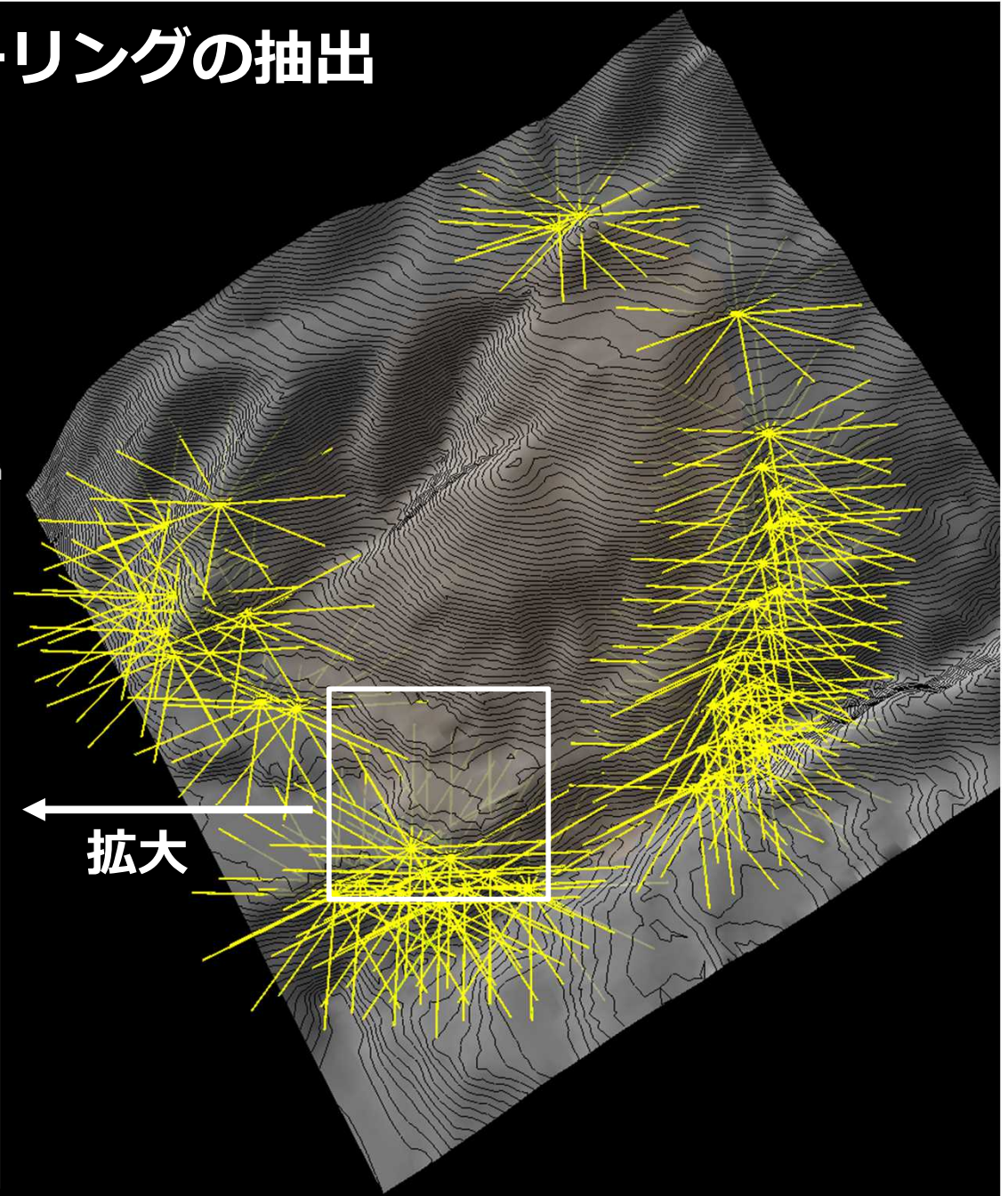
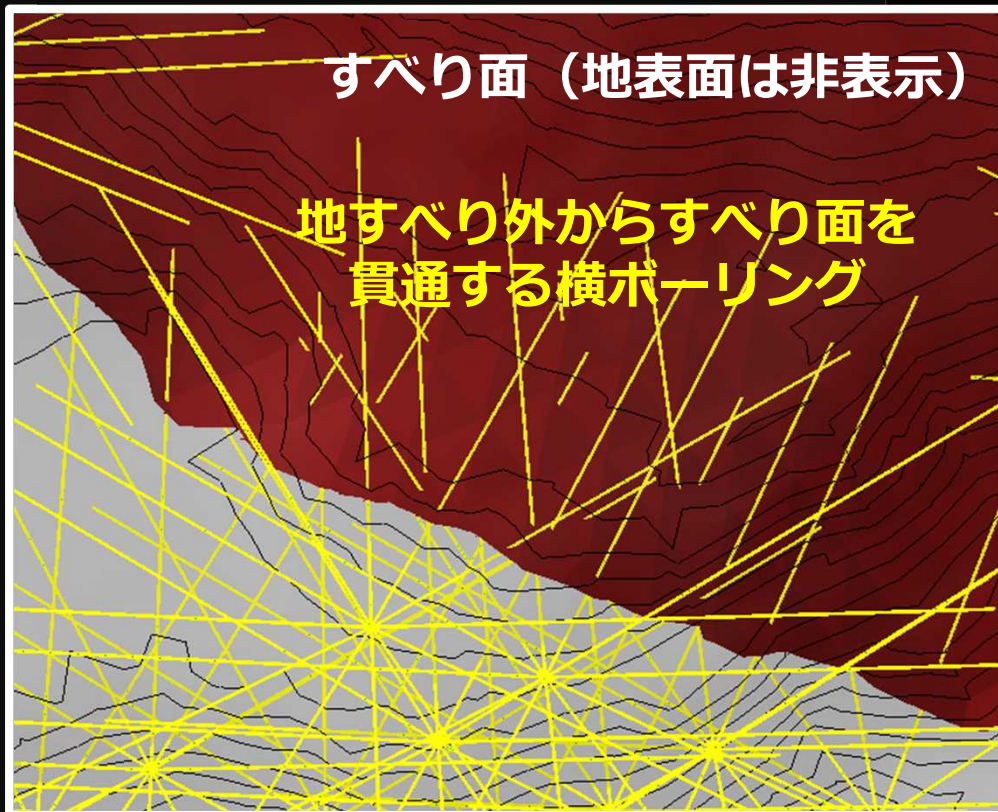
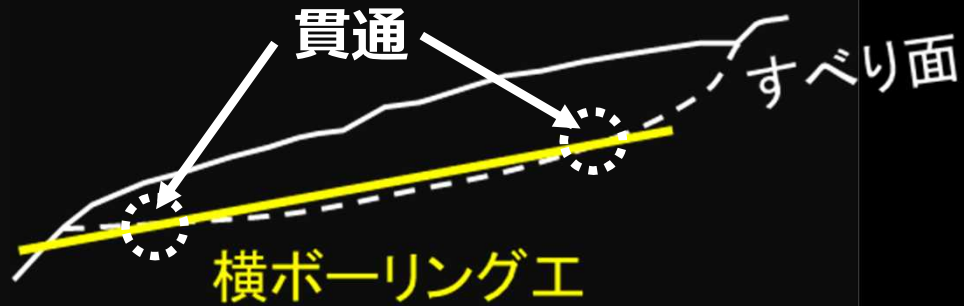
間隔10m

間隔10m

施工箇所



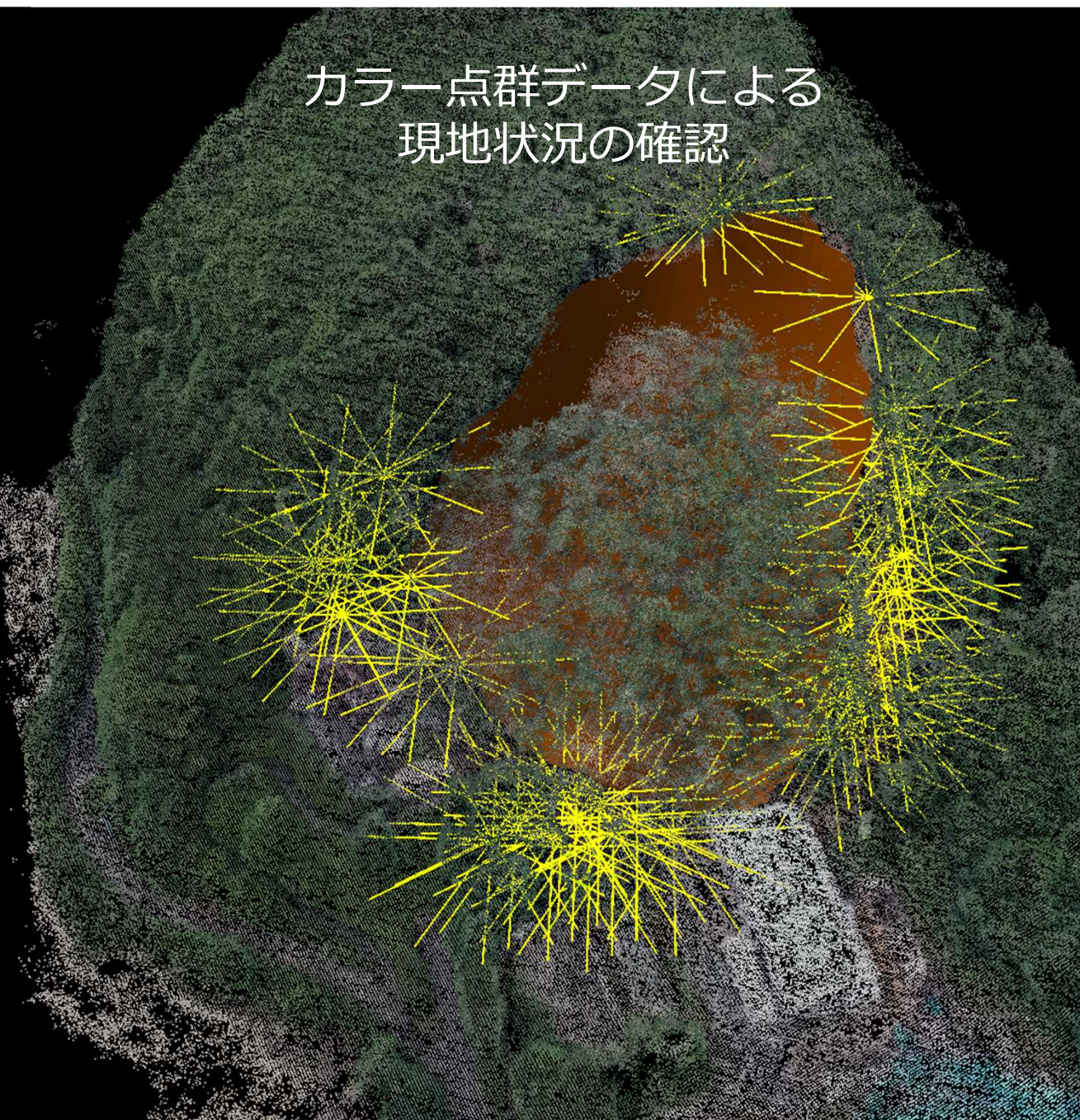
## (2) すべり面を貫通する横ボーリングの抽出



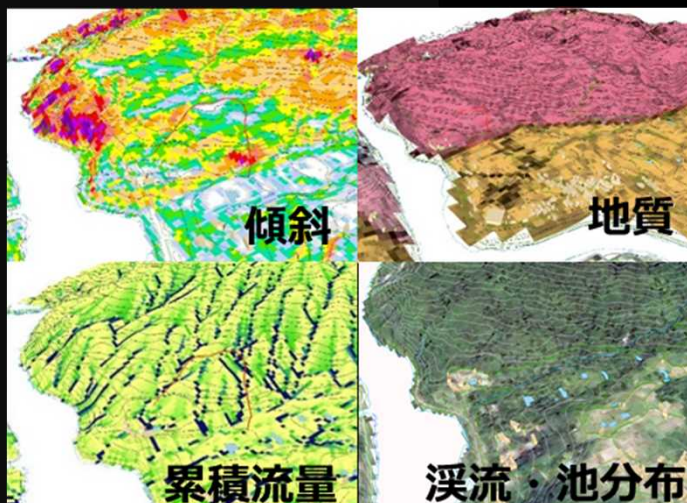
## (3) 施工困難箇所の除外

- 安全確保が困難  
(崩壊地、崩壊土砂等)
- アクセスが困難  
(道路未整備等)
- ヤード整備に時間を要する  
(倒壊建物、倒木等)
- 施工効率の低い地形条件  
(溪流、急傾斜等)

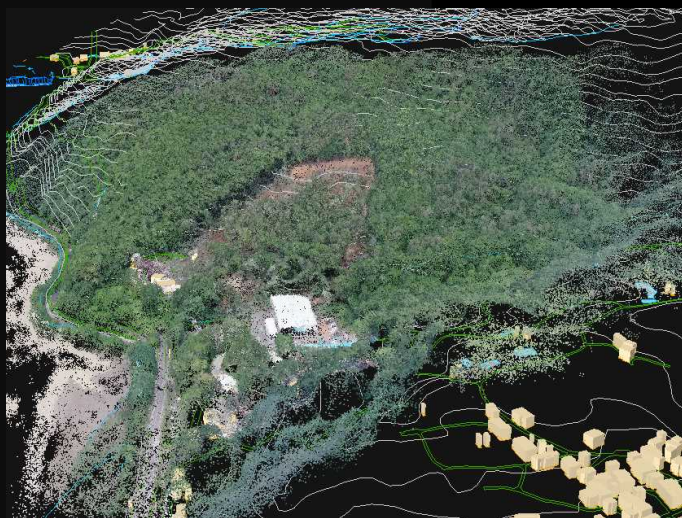
カラー点群データによる  
現地状況の確認



## (4) 施工優先順位の設定



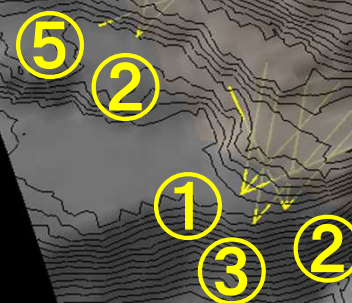
発生機構の分析結果を考慮



現地状況を考慮

- 地下水の多寡  
(湧水、谷地形等を考慮して推定)
- ボーリングの貫通状況  
(地すべり土塊を貫通する長さや本数)
- 施工性  
(アクセス、ヤード整備等)

優先順位



## ①地すべりを含む周辺の災害全体の概要把握

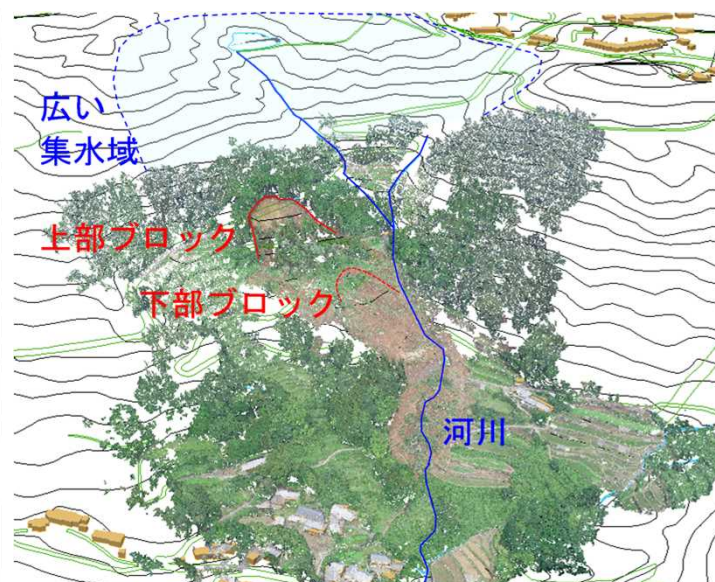
3次元的な位置関係をふまえ、地すべり災害の全体像を的確に把握

## ②発生機構の推定

地すべりの状況や周辺地形、変状の位置等の調査結果を3次元的に確認し、発生機構の推定等を行う



地すべりを含む周辺の災害全体の概要把握



発生機構の推定への活用イメージ



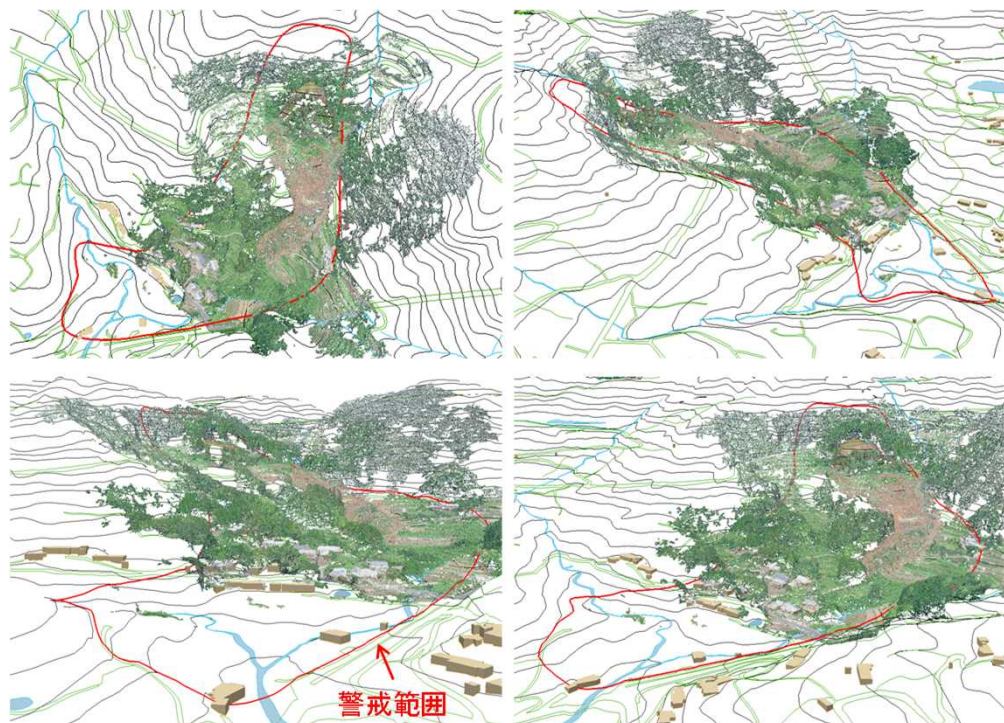
BIM/CIMモデルを用いた分析・検討

## ③警戒避難体制の検討

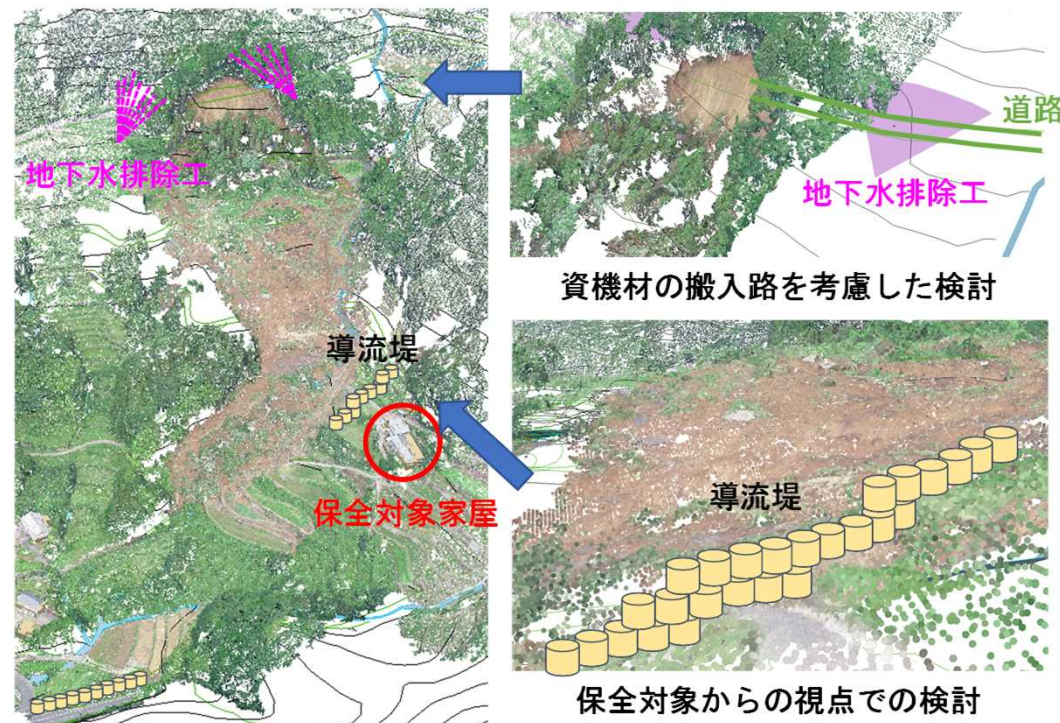
地すべり範囲、動きの方向、拡大可能性のある範囲、保全対象の位置等の3次元的な位置関係を確認し、地すべりの影響範囲を予測

## ④応急対策の検討

土砂の堆積や地形、構造物の配置等の現地状況をふまえ計画を立案



BIM/CIMモデルを用いた警戒範囲等の検討



BIM/CIMモデルを用いた応急対策の検討

## ⑤ BIM/CIMモデルの共有

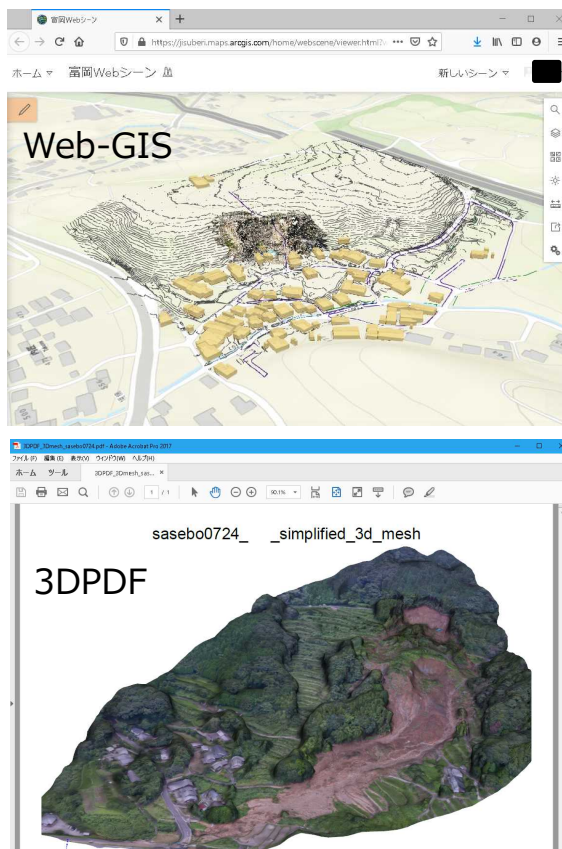
状況認識の共通化、判断の迅速化、誤解による間違い防止

## ⑥ 会議や説明会への活用

災害状況等についての理解の向上、コミュニケーションの迅速化



Web会議による  
BIM/CIMモデルの共有

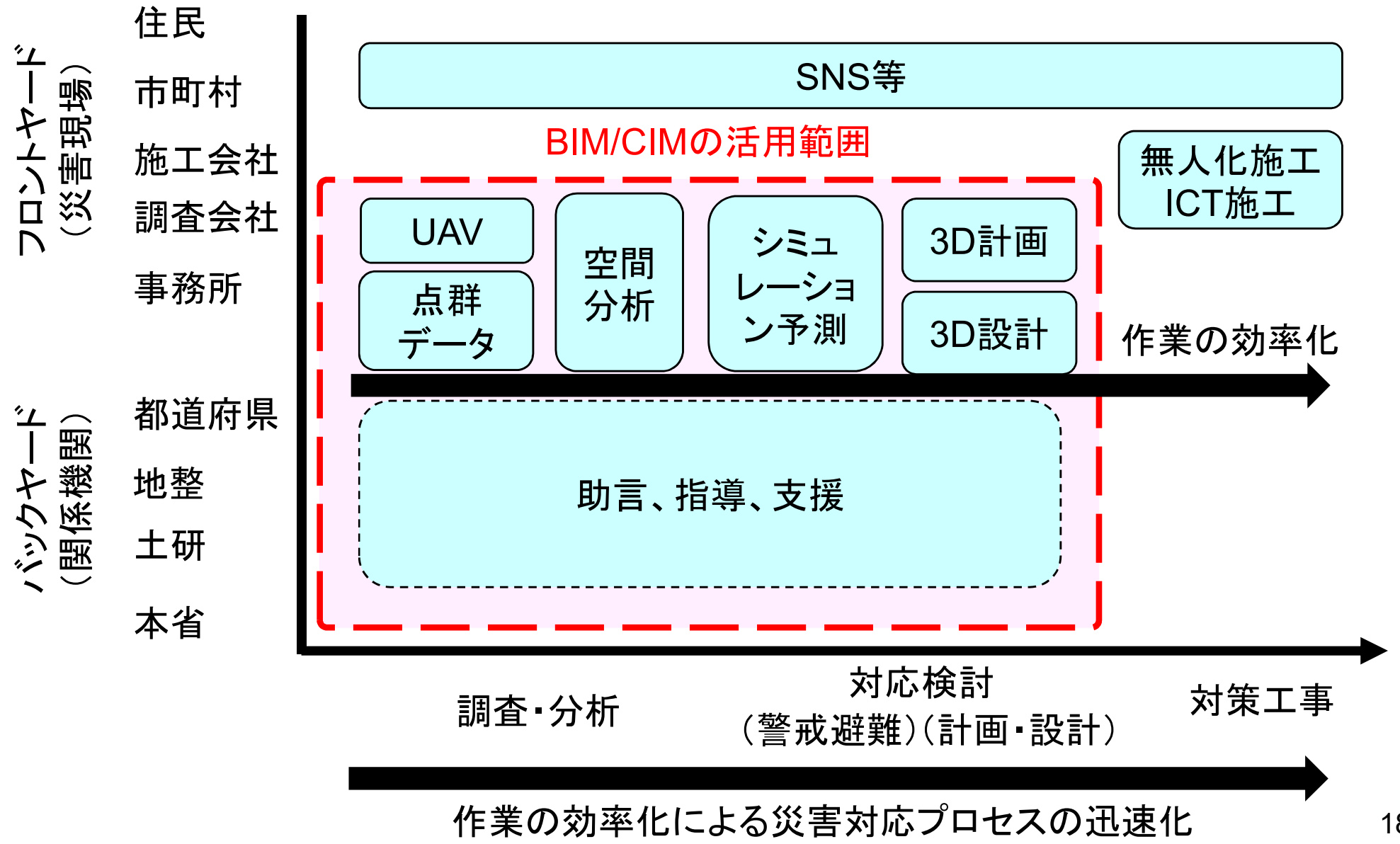


汎用性の高いツールによる  
BIM/CIMモデルの共有

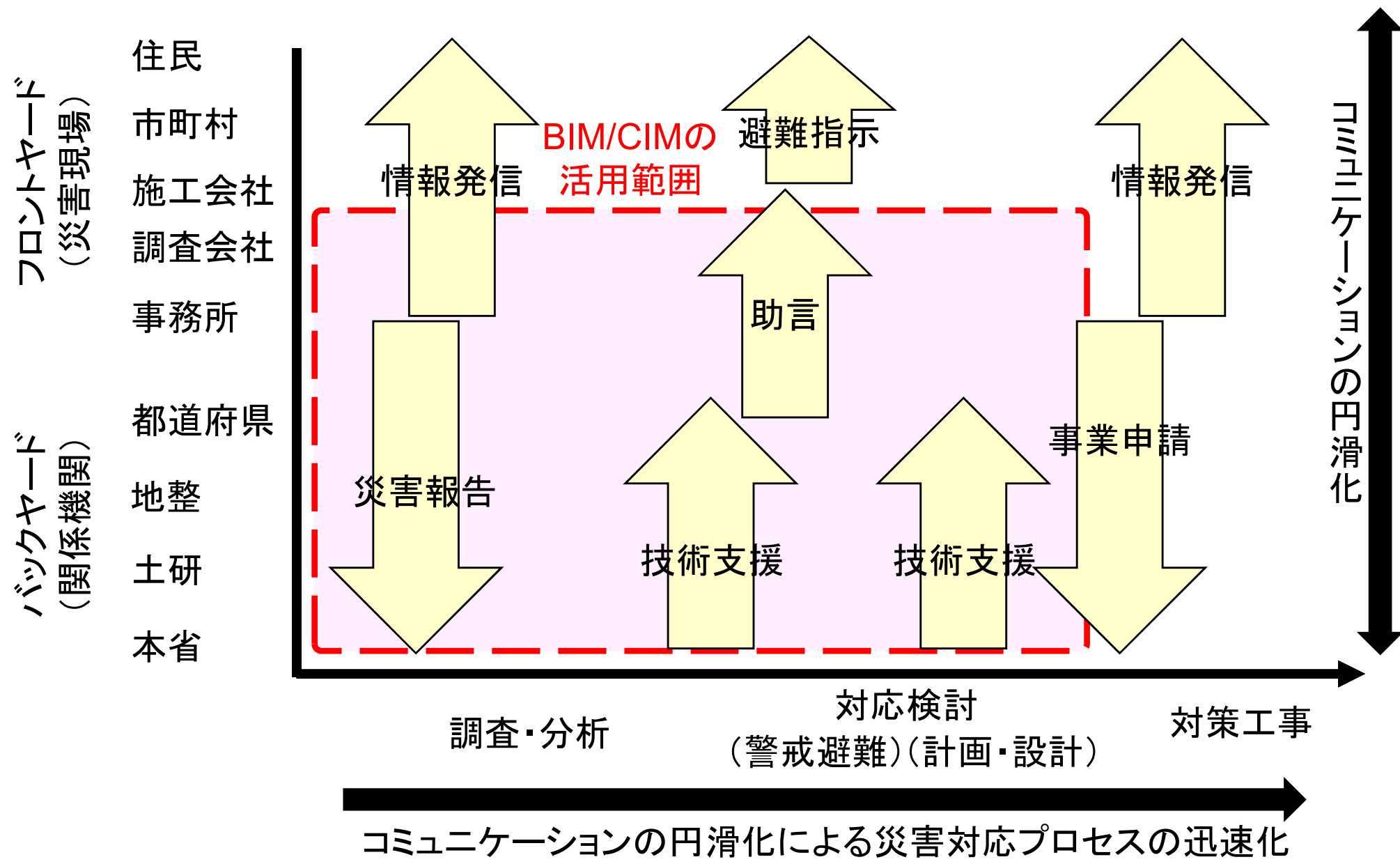


会議や説明会での活用

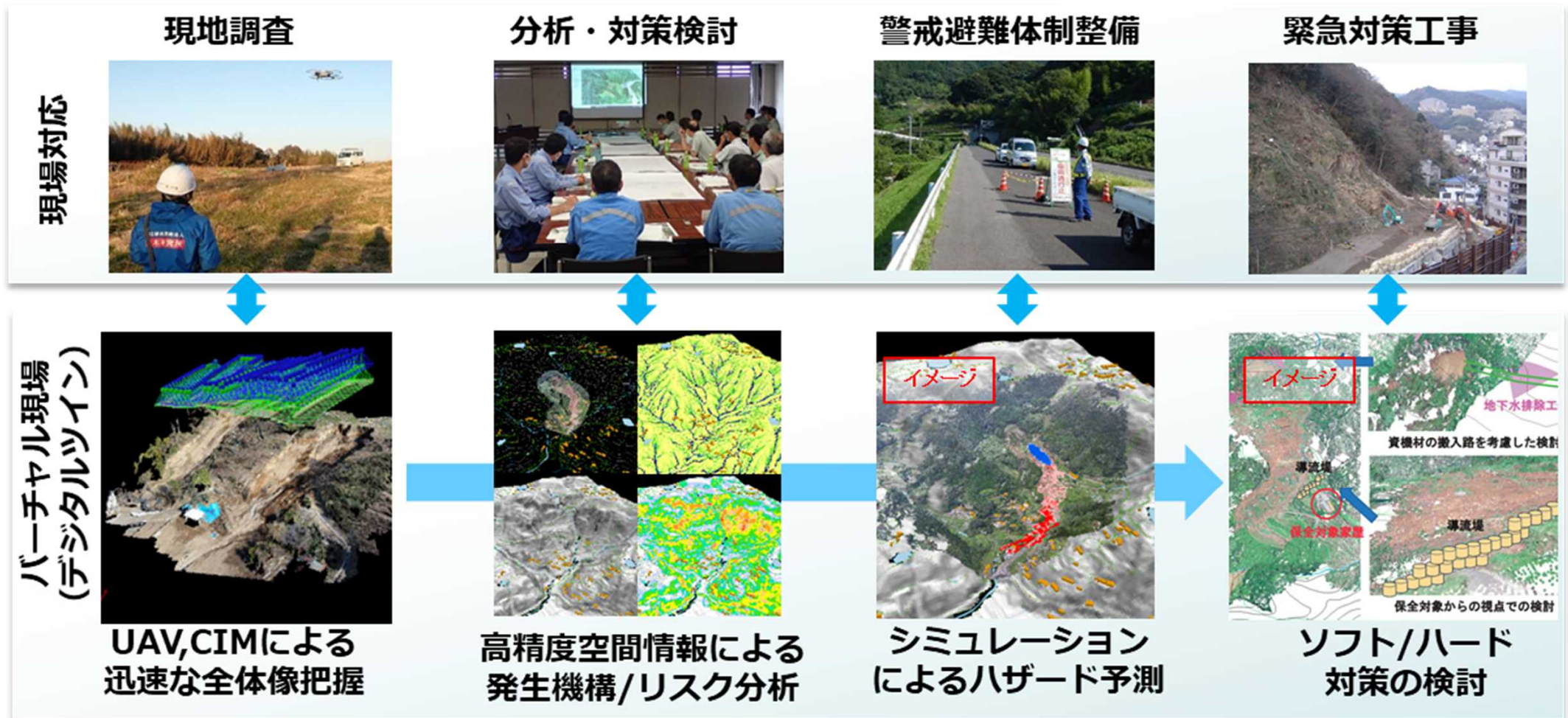
# 災害対応のデジタル化（プロセス）



# 災害対応のデジタル化（コミュニケーション）



- 将来的には、状況把握→分析→予測→対策という**一連の災害対応を3次元モデルで実施**することで、**対策検討の迅速化・効率化**も期待される。



## 「地すべり災害対応のBIM/CIMモデルに関する技術資料」

- ・土木研究所地すべりチームのHPからダウンロード可能。

[https://www.pwri.go.jp/team/landslide/kanrisya/cim/cim\\_model.pdf](https://www.pwri.go.jp/team/landslide/kanrisya/cim/cim_model.pdf)



地すべり災害対応のBIM/CIMモデル

ISSN 0386-5878  
土木研究所資料 第4412号

土木研究所資料

地すべり災害対応のBIM/CIMモデル  
に関する技術資料

令和3年4月

国立研究開発法人土木研究所  
土砂管理研究グループ  
地すべりチーム

ぜひ一度、「地すべり災害対応のBIM/CIMモデル」をお試し下さい