

## シンガポールにおける広域3次元地質モデリング

Kisjiban 基礎地盤コンサルタンツ株式会社

## &lt;概要&gt;

国土面積が狭いシンガポールでは、地下空間の有効活用が国家戦略として考えられており、実際にその必要性が増し開発が増えている。地下開発に先立ち地質状況を理解するために、5つのエリアで地質調査を実施し、3次元地質モデルを構築した。また、大深度地下の開発に適した場所を見つけるために、3次元ハザードマップを作成した。

シンガポール島の約40%をカバーした広域3次元地質モデルの構築について、その成果を紹介するとともに課題を報告する。

## 1. はじめに

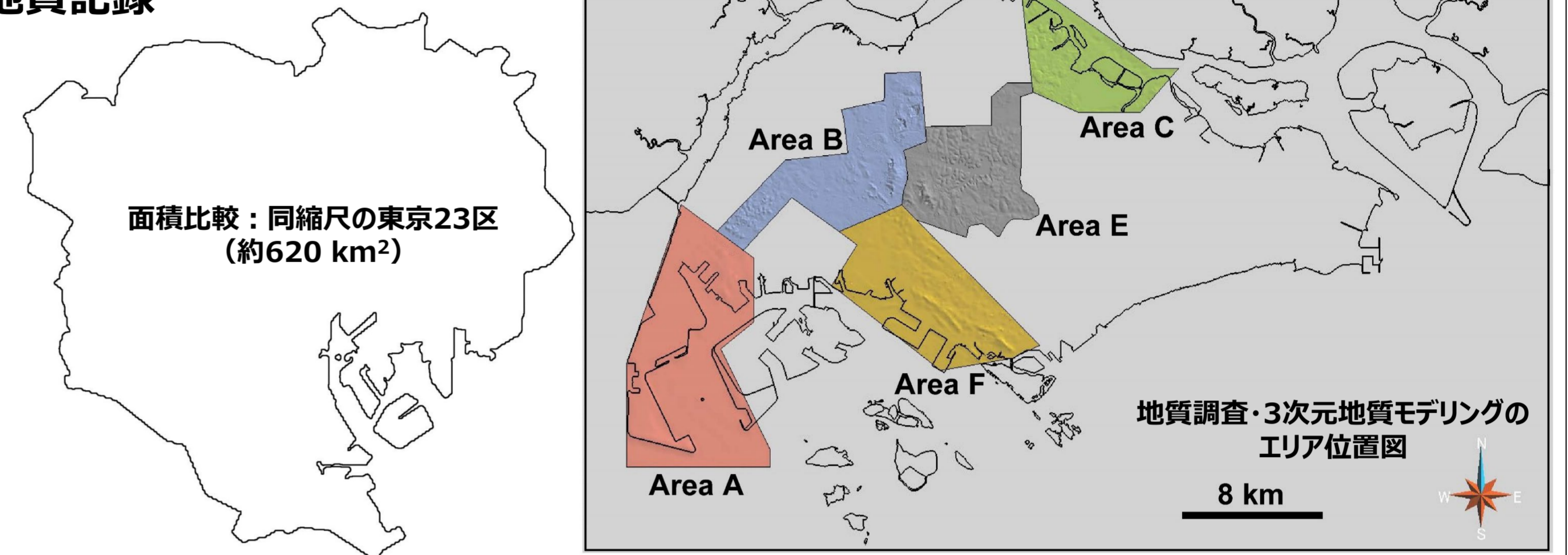
近年、シンガポールでの地下空間の有効活用の必要性が高まり、開発が増えている。シンガポールの基礎岩は主として三畳紀のブキティマ花崗岩 (BT) と三畳紀～ジュラ紀のジュロン層 (JF) の堆積岩で構成されており、後者には北東-南西の圧縮場による褶曲・断層が多く認められる。過去の地下開発工事で起こった事故は、地質状況やそれに伴うリスクの理解不足によるものである。

地下開発に先立ち地質状況を理解するために、2012～2017年にかけて、シンガポール建築・建設庁 (BCA) の依頼で、基礎地盤コンサルタンツ (株) が5つのエリアで地質調査を実施し、3次元地質モデルを構築した。作成した3次元地質モデルは英国地質調査所 (BGS) による照査を受け、2018年に完成した。

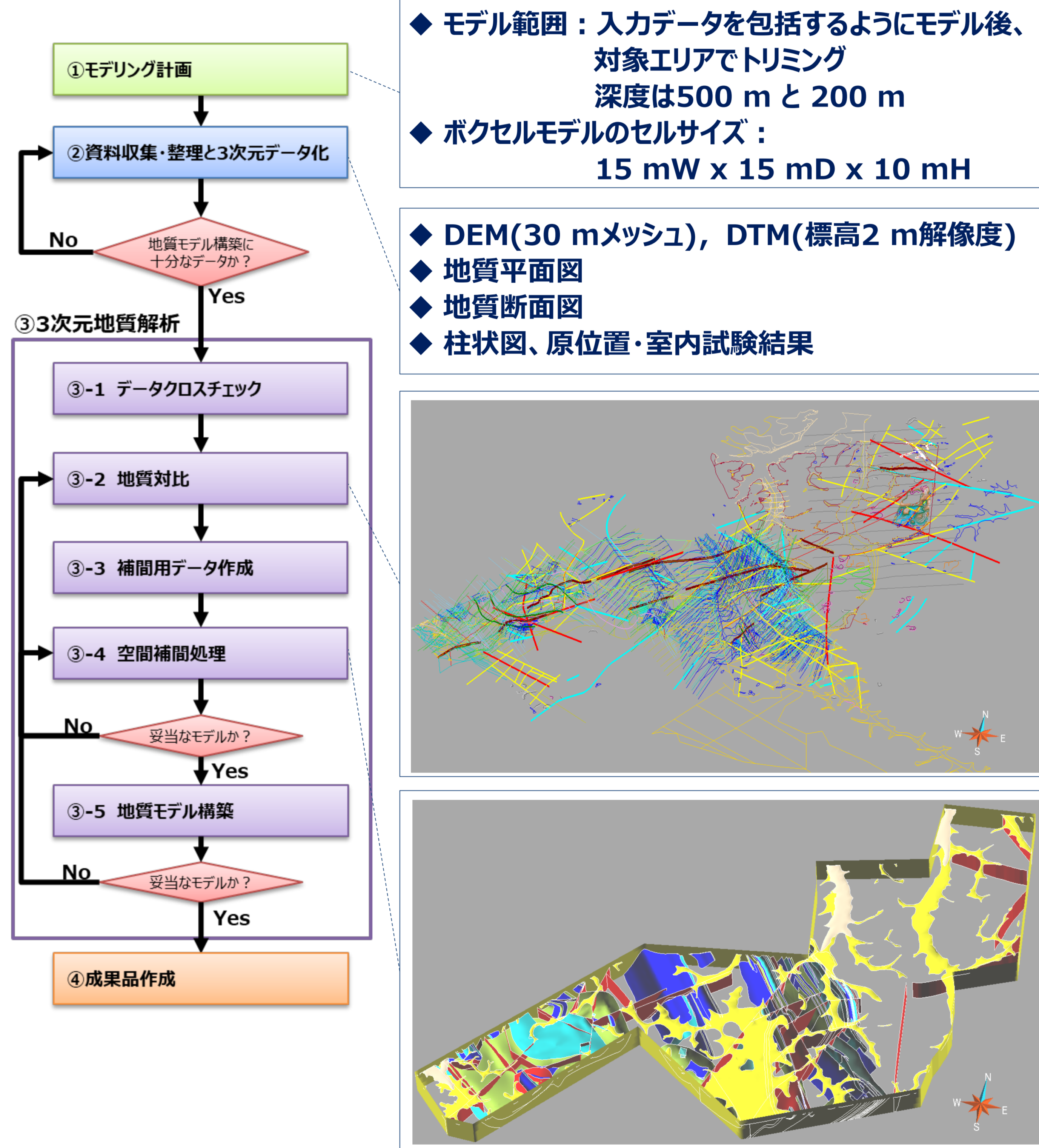
3次元地質解析システムとしてGOCADを使用し、トレーニングを受けた地質技術者とオペレータがモデリングを実施した。

## 2. 使用した地質情報

- ◆ 深掘りボーリング (掘進長100～200 m主体, オールコア) : 約170地点
- ◆ ボーリング (掘進長30～70 m主体) : 約13,200地点 (公共データおよび民間データ)
- ◆ 弾性波探査結果 (探査深度300～500 m) : 約155 km
- ◆ 公表地質平面図・断面図, 地質記録
- ◆ 空中写真
- ◆ 地表地質踏査結果
- ◆ 原位置試験結果
- ◆ 物理検層結果
- ◆ 室内試験結果
- ◆ DEM, DTM

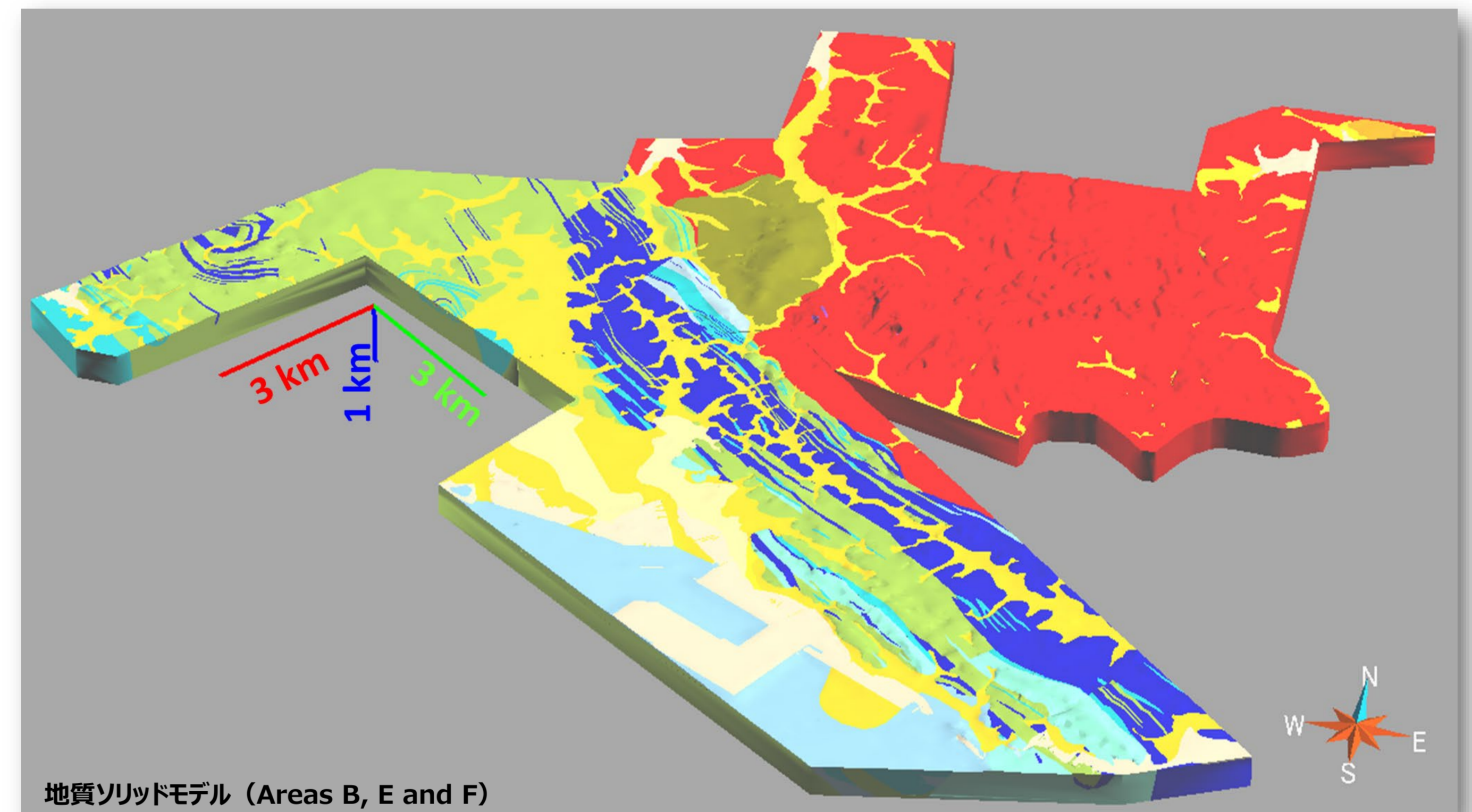


## 3. ワークフロー

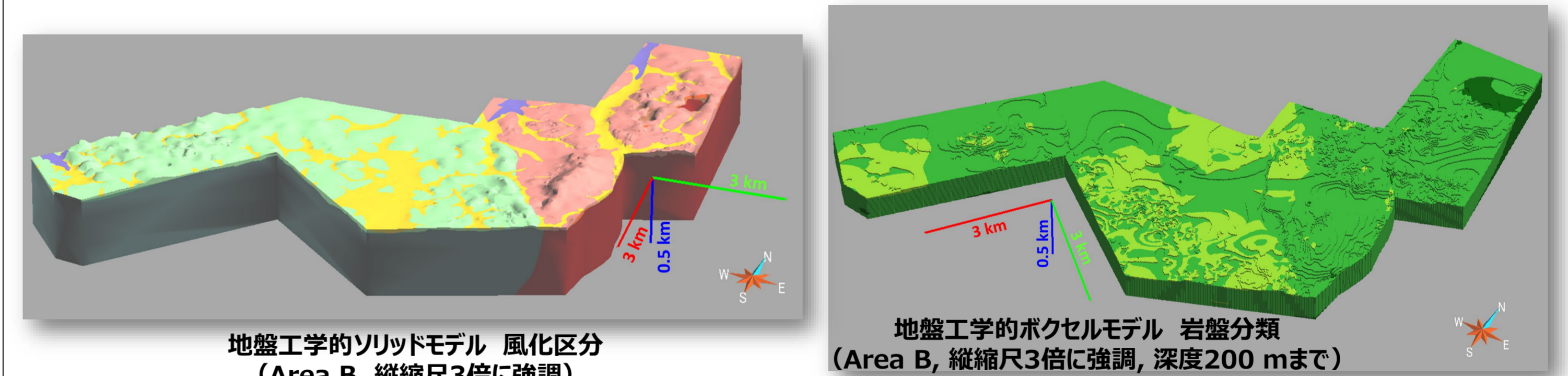
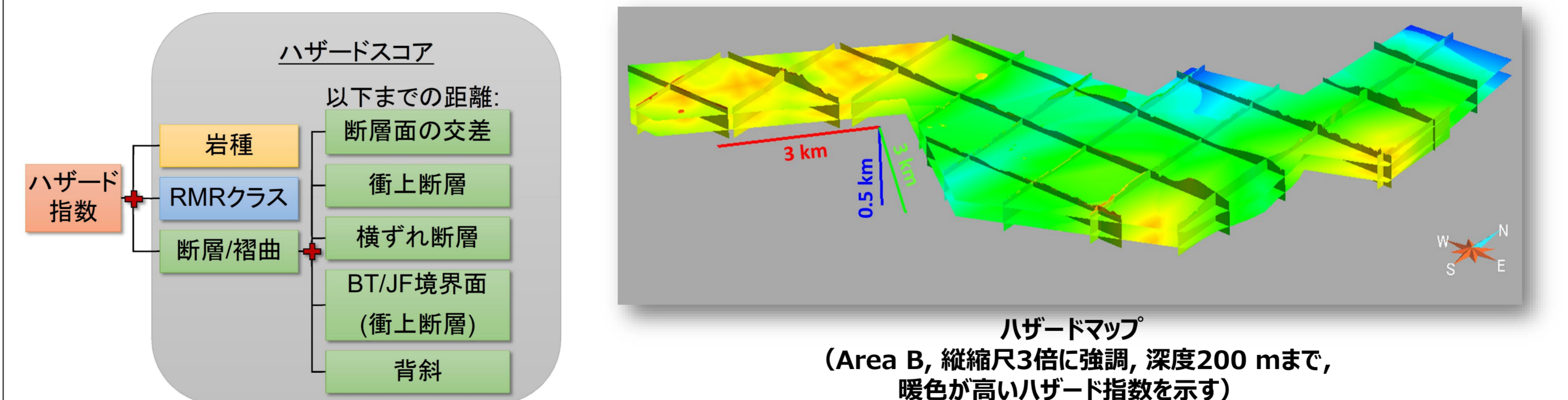


## 4. 構築した3次元モデル

## ① 地質モデル: 地層(地質構造)と断層の3次元分布



## ② 地盤工学的モデル: 風化区分および岩盤分類(Rock Mass Rating, RMR)に基づく

③ ハザードマップ: ハザード指数による相対的・概略的な地盤災害リスクの可視化  
ハザード指数は、岩種・RMRクラス・断層/褶曲からの距離に応じて決めたハザードスコアの総和。算出したハザード指数をフェンスダイアグラム上にカラースケールで表示した。

## 5. 品質管理

## ◆ 入力データの妥当性・整合性チェック

入力データセット毎に、その妥当性や整合性を3次元上で確認し、一覧表に記録した。チェック結果に基づき、ボーリングデータを信頼度で以下の3区分に振り分けた。

区分A: 信頼度高。ほぼ全項目が適切に明記しており、その妥当性が確認されたデータセット。モデリングに使用。

区分B: 信頼度中。妥当性・整合性を判断するための項目については最低限記載があり、妥当と判断されたデータセット。モデリングに使用。

区分C: 信頼度低。モデルへ組み込まない。

## ◆ 記載基準の統一

強度・風化区分の記載基準が既往調査と今回調査で異なったため、既往調査での区分を今回調査で適用した基準に基づき再解釈した。

## ◆ メタデータの作成・納品

## ◆ BGSによる第三者照査

モデリングの入力データおよび地質学的解釈、構築した3次元モデル自体についての照査

## 6. シンガポールでの3次元モデルの利活用と課題

## ◆ 3次元地質モデルの利用

地質データベースとして利用  
シンガポールの複雑な地質・地質構造を理解・解釈するためのツール

## ◆ 3次元ハザードマップの利用

大深度地下開発の適地の選定に利用できた。  
しかし、ハザード指数の算定について定量的手法の更なる研究が必要。  
また、断層や褶曲の影響範囲を推定するための調査データが少ない。

## ◆ 3次元モデルの限界

モデル範囲の面積は約300 km<sup>2</sup>に及ぶが、その範囲に約170本の深掘りボーリングしかない。また、用地占有許可の関係で調査地点の分布には偏りが見られる。結果として、深掘りボーリング間の距離は0.5～3 kmとなっている。さらに、弾性波探査は最大で深度500 mまでカバーしているが、深掘りボーリングのほとんどは深度200 mまでしか掘進していない。地質情報が少ない部分は特にモデルの不確実性が増し、信頼性が損なわれている。より多く、深く、ボーリング調査を実施することでこの課題を軽減することができる。

## 参考文献

1) Tomohiro Yasuda, Khun Tun Lu, Lau Chui Leh, Kiefer Chiam and Lau Sze Ghiong (2019). "Development of 3D Geological Model of Singapore". Japanese Geotechnical Society Special Publication Volume 6 Issue 2, 67-72