



試作開発支援プログラム 2024年度  
成果報告書

# 人工衛星による合成開口レーダー (SAR) 技術を使用した地盤沈下測定

佐鳥電機株式会社

# 要約

|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| タイトル  | 人工衛星による合成開口レーダー（SAR）技術を使用した地盤沈下測定   |   |  |
| 会社名   | 佐鳥電機株式会社  |   |  |
| 1. 解決を目指す防災・減災課題と解決方法   | 2. 実施内容   | 3. 実施結果   | 4. 今後の展開   |
| <p>解決を目指す防災・減災課題<br/>現在、防災マップやハザードマップ等は10年以上前のデータから算出されている物がほとんどです。しかし、防災マップやハザードマップの基となる地盤沈下/隆起は日々徐々に発生しております。</p> <p>解決方法<br/>弊社では測量等による測定に時間とコストのかかる方法では無く、人工衛星を使用した合成開口レーダー（SAR）技術を使用し、安価で容易に地盤沈下測定する技術を使用し、過去から現在までの変化を量や推移を測定することに成功しました。</p> | <p>【合成開口レーダー（Synthetic Aperture Radar; SAR）とは？】<br/>人工衛星からマイクロ波を照射し、地表からの散乱を受信します。受信したSARデータは波のデータ（複素数）です。SAR解析とは、2時期の観測データの位相（複素数の偏角）差から地表面の変位を測定する技術です。</p> <p>【特徴】</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・mm～cmのオーダー（マイクロ波の波長の1/10程度）で変位を検出</li><li>・基本的に衛星データのみで解析可能</li><li>・雲を透過する（全天候型）</li><li>・夜間も観測が可能</li></ul> <p>・今回の試作開発では、2021年11月～2024年10月までの3年間を対象期間とし、2年間隔、2.5年間隔、3年間隔の干渉ペアを解析することで、各期間の地表変位を調査します。<br/>・使用する人工衛星のデータはSentinel-1（欧州宇宙機関）を使用します。</p> | <p>今回は2021年11月を基準点として、2年間/2.5年間/3年間分のデータを解析。<br/>仙台市全体としては、3年間で1～4cm程度、隆起していることが分かった。特に沿岸に近いほど隆起は高く、七ヶ浜町周辺では3年間で7cm以上の隆起を測定している。（黒い部分は森林又は海や河川）</p> | <p>今回の試作開発で地盤の沈下/隆起を測定することが出来る事が分かった。本技術を応用することで、防災マップやハザードマップ等をWeb上で毎年更新するなどにより安心/安全な社会を低コストで実現できると考えております。</p> <p>今後は、本技術を応用し、</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・橋梁や橋脚の崩落事前予測</li><li>・地下トンネル工事による地盤への影響調査</li><li>・土砂災害発生危険地域の予測</li><li>・高速道路や列車の盛土変化予知</li></ul> <p>等への応用を進め、安心/安全な社会の実現に向けてチャレンジしていきたいと考えております。</p> |

# 1. 解決を目指す防災・減災課題と解決方法

## ■ 解決を目指す防災・減災課題

現在、防災マップやハザードマップ等は10年以上前の測量データから算出されている物がほとんどです。

しかし、現実には大雨や集中豪雨等により防災マップやハザードマップには安全と記載されているエリアでも洪水が発生したりしております。これは、人手による測量では時間及びコストが掛かる為と予想されます。

しかしながら、現在使用されている防災マップやハザードマップの基となる地盤沈下/隆起は日々徐々に発生しており、気が付かないうちに、洪水等の危険にさらされております。

弊社では測量等による測定に時間とコストのかかる方法では無く、人工衛星を使用した合成開口レーダ（SAR）技術を使用し、安価で容易に地盤沈下測定する技術を使用し、過去から現在までの変化を量や推移を測定することに成功しました。

# 1. 解決を目指す防災・減災課題と解決方法

## ■ 解決に向けたアプローチ

【合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar; SAR）とは？】

人工衛星からマイクロ波を照射し、地表からの散乱を受信します。受信したSARデータは波のデータ（複素数）です。SAR解析とは、2時期の観測データの位相（複素数の偏角）差から地表面の変位を測定する技術です。SARには下記3バンドがあり、それぞれ特徴があります。今回は仙台市街地がメインの為、多少の植生が有っても測位可能な「C」バンドを使用します。SARのデータ観測周期は約2週間、観測幅は5m四方です。

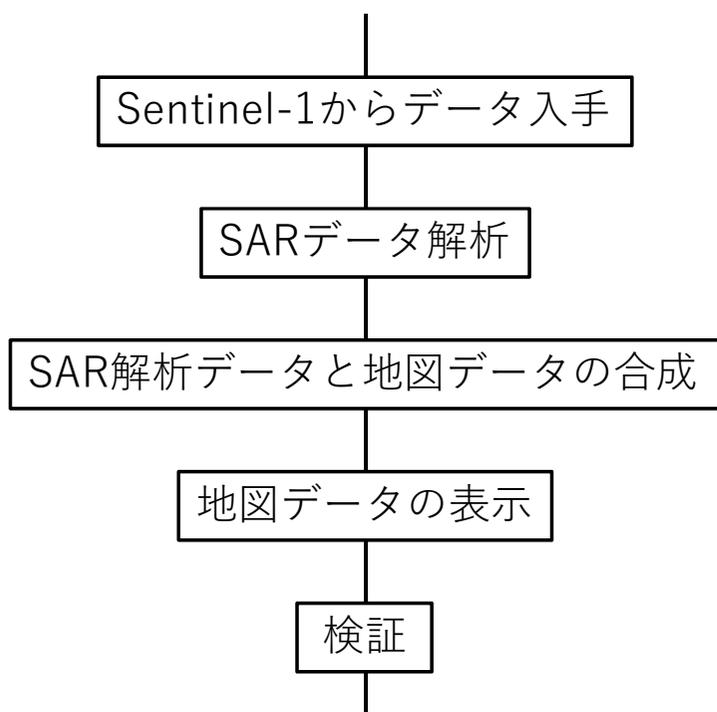
| バンド  | 波長     | 検出分解能 | 特徴              | 主な衛星          |
|------|--------|-------|-----------------|---------------|
| Lバンド | 23.6cm | 約2cm  | 森林の中でも測位可能      | ALOS2 PALSAR2 |
| Cバンド | 5.6cm  | 約5mm  | 多少の植生が有っても測位可能  | Sentinel-1    |
| Xバンド | 3.1cm  | 約3mm  | 植生の無い場所であれば測位可能 | COSMO-SkyMed  |

今回の試作開発では、2021年11月～2024年10月までの3年間を対象期間とし、2年間隔、2.5年間隔、3年間隔の干渉ペアを解析することで、各期間の地表変位を調査します。

使用する人工衛星のデータはSentinel-1（欧州宇宙機関）を使用します。

## 2. 実施内容

### ■ 実施概要（試作開発・実証実験の内容・実施方法）



- ① Sentinel-1からデータ入手  
Sentinel-1のHPサイトからSARデータを入手
- ② SARデータ解析  
2つの期間のSARデータから差分データの解析処理実施
- ③ SAR解析データと地図データの合成  
SAR解析データと地図データの合成するソフトを開発し  
②のSAR差分データと地図データを合成
- ④ 地図データの表示  
地図データを表示するアプリを開発。見た目で地盤の沈下/隆起が分かる。
- ⑤ 検証  
過去3年間のデータを比較し、沈下/隆起の場所がほぼ一致していることを確認

## 2. 実施内容

### ■ 実施体制と役割

- ・SAR解析データ作成/販売：地球科学総合研究所様 ⇒ 佐鳥電機（データ購入）
- ・SAR解析データ+地図データ合成：佐鳥電機
- ・地図データ表示アプリ作成：佐鳥電機

### ■ 日程・場所

- ・日程：2025年1月22日（水）～1月29日（水）
- ・場所：佐鳥電機社内
- ・実施内容：SAR解析データ+地図データ合成

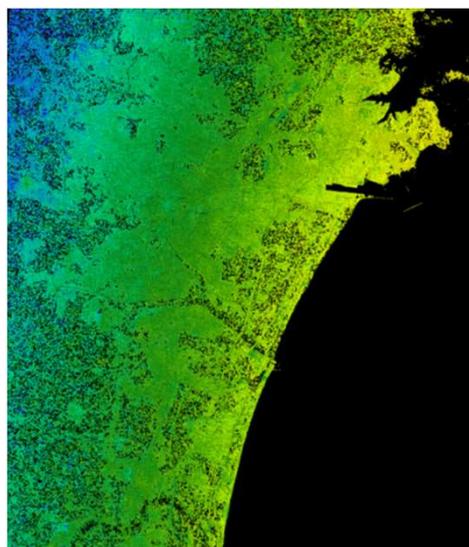
### ■ 具体的な検証作業・手順

- ・2年間/2.5年間/3年間のSAR解析地図データを作成。作成後、地盤沈下の変化を確認し、地盤変化が徐々に発生していることを確認する。

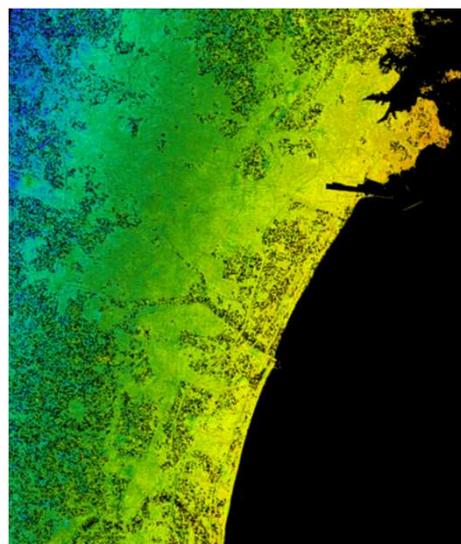
### 3. 実施結果

#### ■ 検証方法

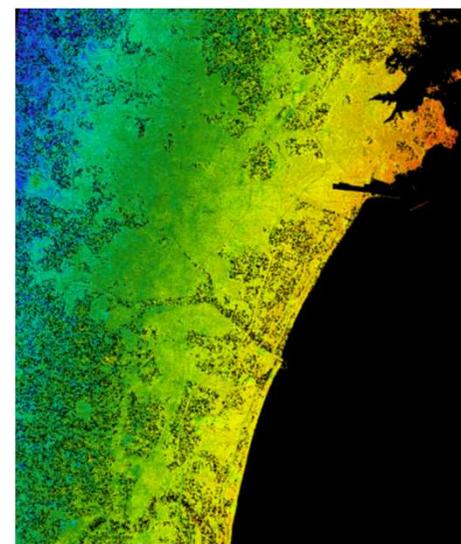
本来であれば仙台市全体の測量を実施し、測定データとの比較を実施すべきだが実現的では無い為、下記図の様に2年後/2年半後/3年後のデータを比較し、沈下/隆起が徐々に発生している事でデータの正当性を確認した。



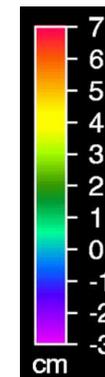
2021年11月～2023年10月



2021年11月～2024年4月



2021年11月～2024年10月

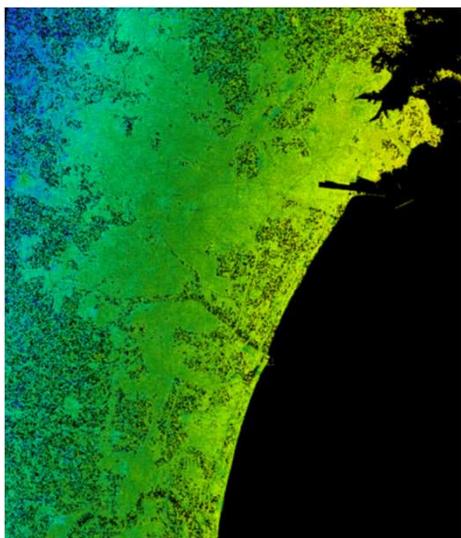


## 3. 実施結果

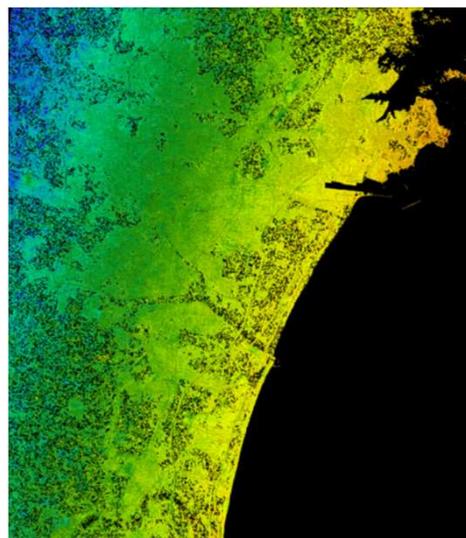
### ■ 得られた結果

今回は2021年11月を基準点として、2年間/2.5年間/3年間分のデータを解析。

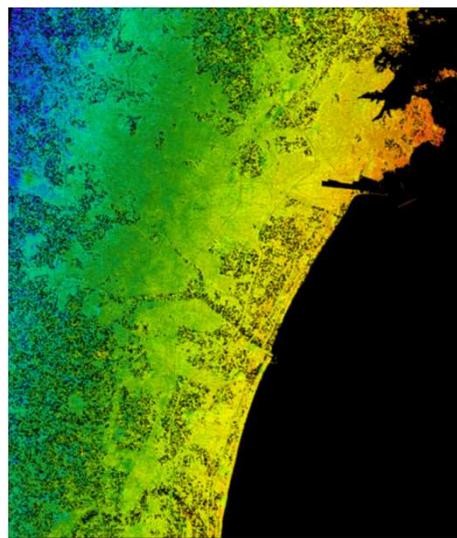
仙台市全体としては、3年間で1～4cmほど隆起していることが分かった。特に沿岸に近いほど隆起は高く、七ヶ浜町周辺では3年間で7cm以上の隆起を測定している。（黒い部分は森林又は海や河川）



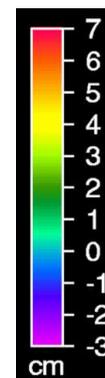
2021年11月～2023年10月



2021年11月～2024年4月



2021年11月～2024年10月



七ヶ浜町周辺の3年間の隆起

## 3. 実施結果

### ■ 新たに見えてきた課題：防災分野への活用

今回は2021年11月を基準点として、2年間/2.5年間/3年間分のデータを解析したが、解析したデータは基準点からの相対値であり、絶対的な地表面の高さを示すものではない為、このままでは防災マップへの展開は難しい。防災マップへの展開を考えるのであれば、測量した日を基準点としてSAR解析を実施する必要がある。

## 4. 今後の展開

### ■ 社会実装・事業化に向けた可能性、今後の取り組み

今回の試作開発で地盤の沈下/隆起を測定することが出来る事が分かった。

本技術を応用することで、防災マップやハザードマップ等をWeb上で毎年更新するなどにより安心/安全な社会を低コストで実現できると考えております。

今後は、本技術を応用し、

#### 【防災分野】

- ・地盤沈下/隆起の状況把握による防災マップ作成

#### 【建設分野】

- ・橋梁や橋脚の崩落事前予測
- ・地下トンネル工事による地盤への影響調査
- ・地滑り/土砂災害発生危険地域の予測
- ・高速道路や列車の盛土変化予知

等への開発を進め、安心/安全な社会の実現に向けてチャレンジしていきたいと考えております。

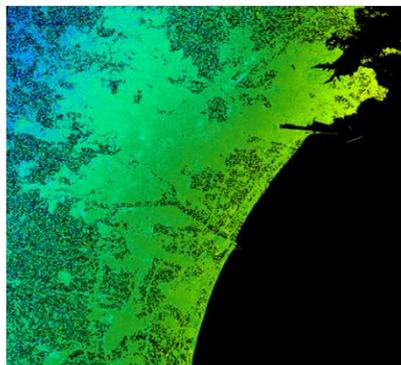
## 5. APPENDIX (今回測定参考データ)



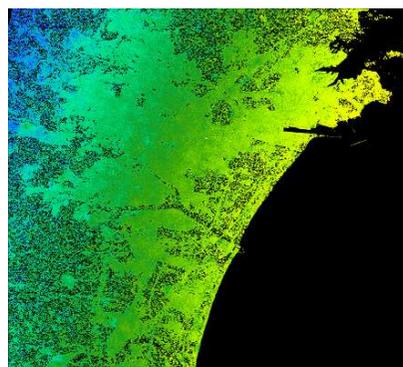
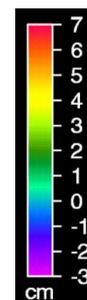
2021年11月～2022年4月



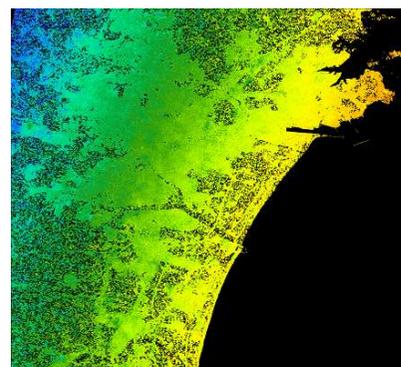
2021年11月～2022年10月



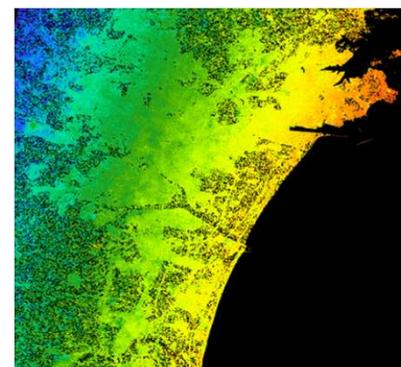
2021年11月～2023年4月



2021年11月～2023年10月



2021年11月～2024年4月

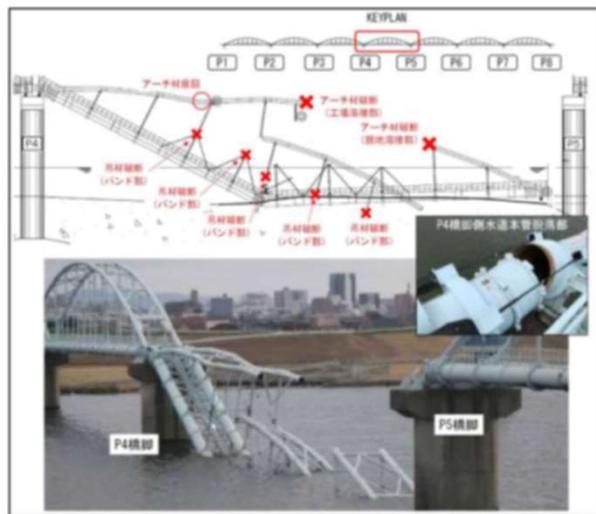


2021年11月～2024年10月

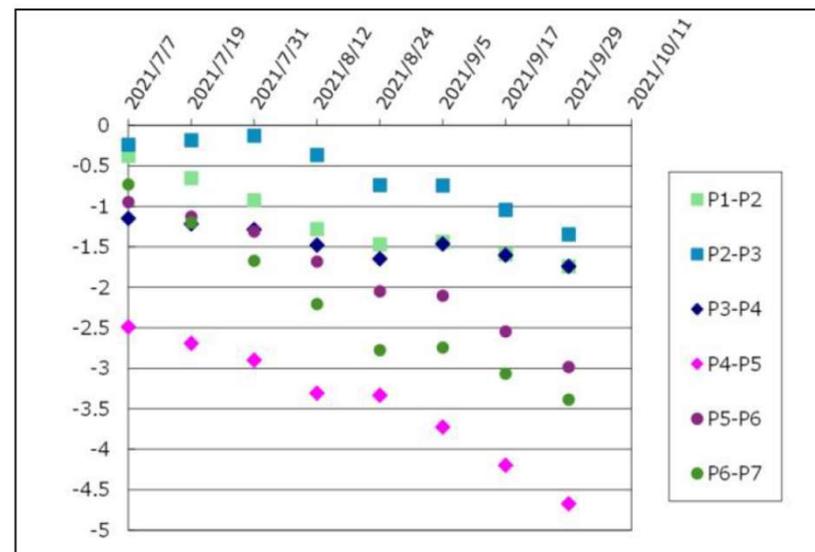
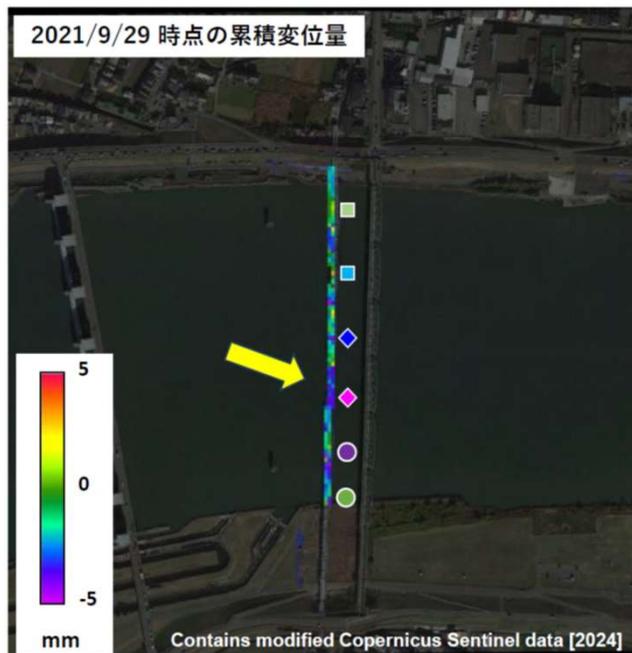
# 5. APPENDIX (落橋測定)

和歌山市六十谷水管橋  
2021年10月3日に落橋

【橋梁のSAR解析】



[https://www.city.wakayama.wakayama.jp/\\_res/projects/default\\_project/\\_page\\_001/046/310/hokoku\\_main.pdf](https://www.city.wakayama.wakayama.jp/_res/projects/default_project/_page_001/046/310/hokoku_main.pdf)

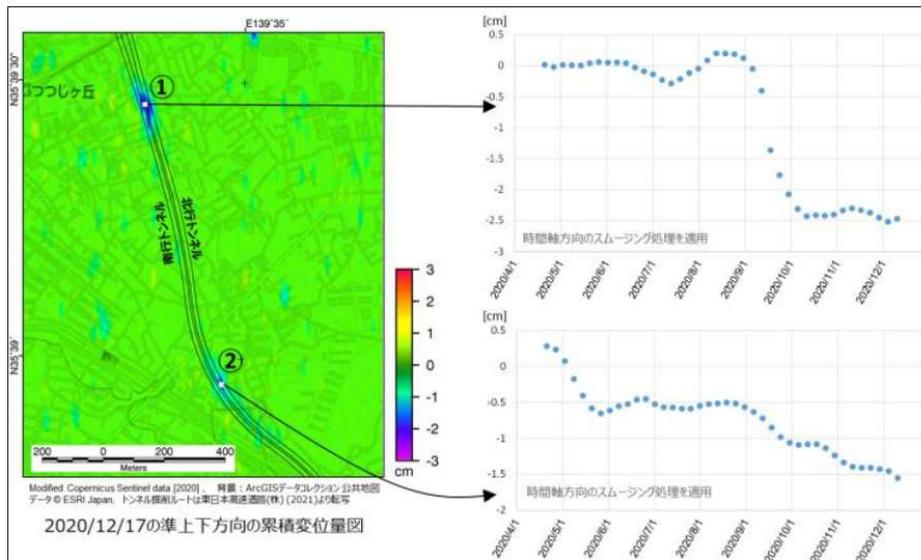


1か月以上前から落橋の兆候が出ているのが分かる。

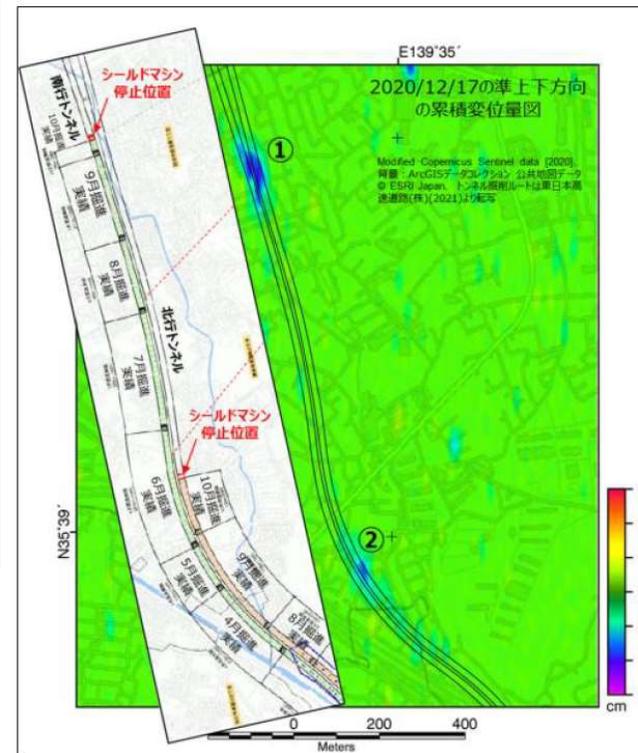
出典：株式会社地球科学総合研究所作成データ

# 5. APPENDIX (地表面陥没事故)

【調布市地表面陥没 (時系列解析の変位履歴と工事進捗状況)】



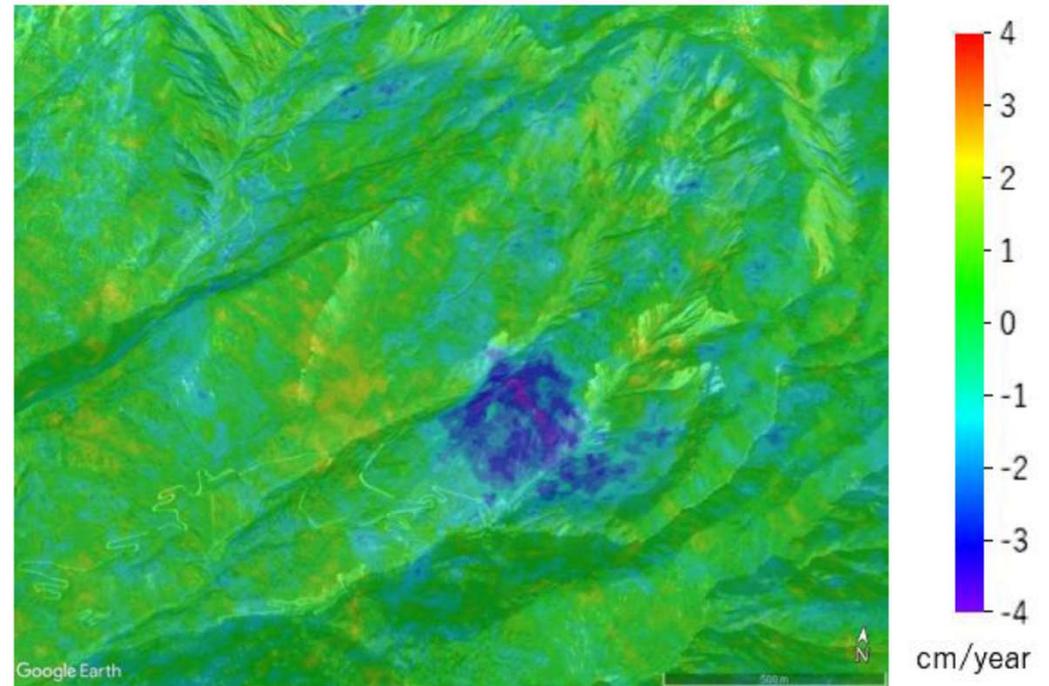
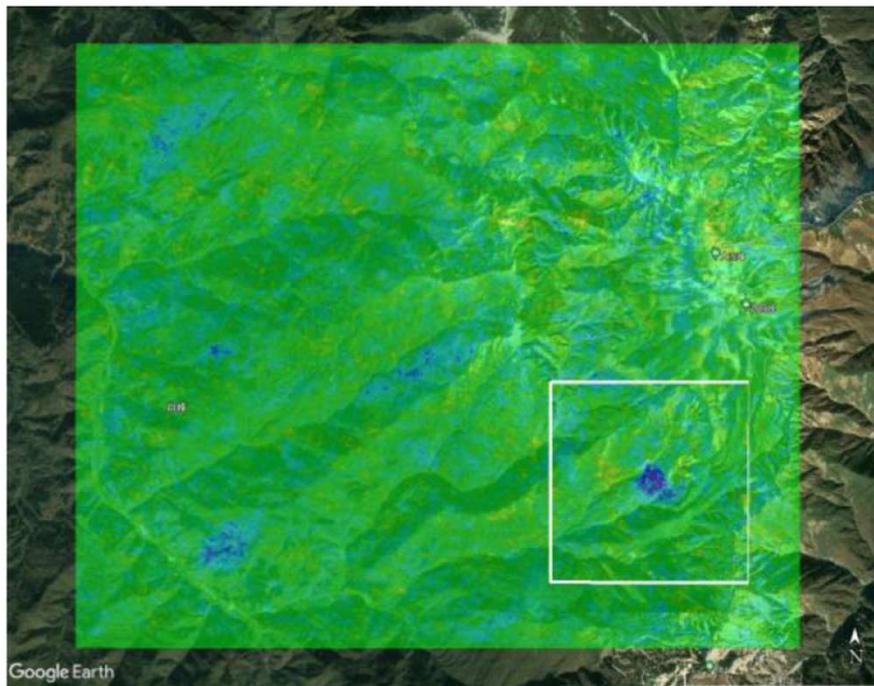
- ① 9月中旬～10月初めにかけて南行トンネルルートにてシールドマシンが通過
  - ② 4月下旬～5月にかけて南行トンネルルートにてシールドマシンが通過、その後9月中旬～下旬に北行トンネルルートにてシールドマシンが通過
- シールドマシン通過時に陥没が発生していることが分かる。



出典：株式会社地球科学総合研究所作成データ

## 5. APPENDIX (地滑り)

小規模な地滑りが発生しており、今度大規模な地滑りに発展する可能性が有る。

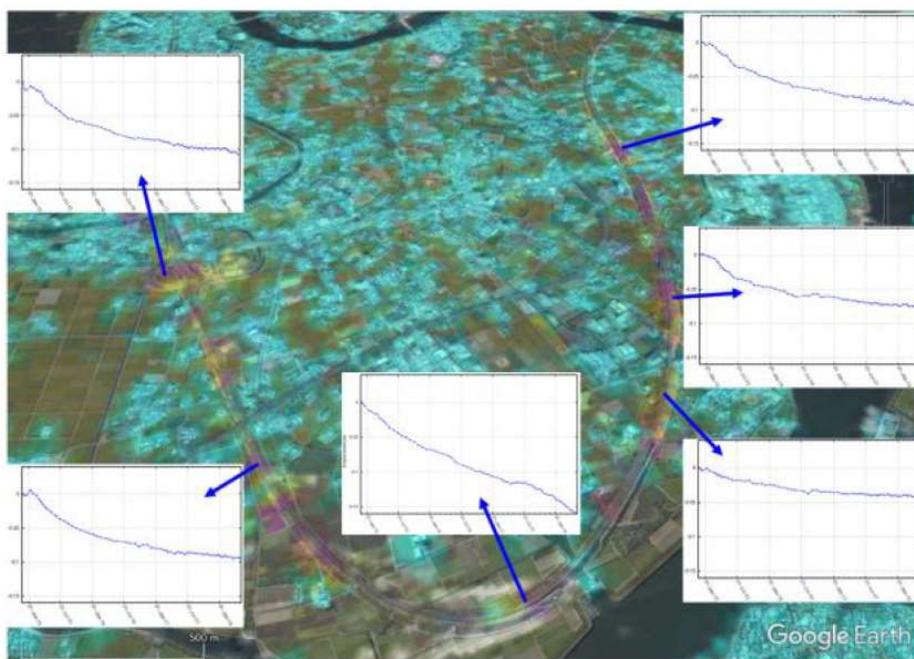


出典：株式会社地球科学総合研究所作成データ

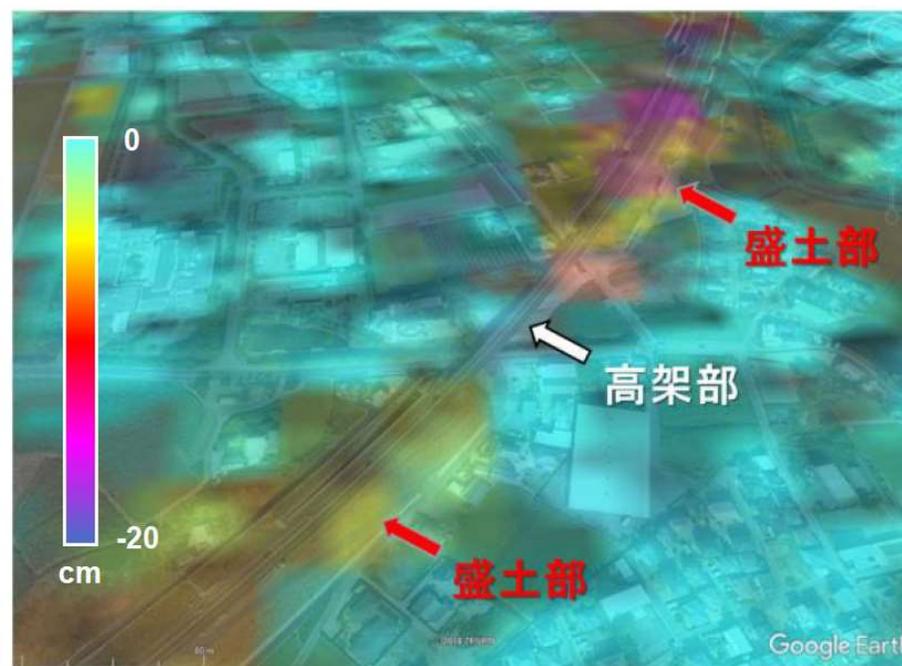
## 5. APPENDIX (盛土沈下)

【徳島自動車道盛土の変位】

2014/11～2018/5の累積変位



盛土部分の沈下量を時系列で表示



盛土により沈下量に違いがある

出典：株式会社地球科学総合研究所作成データ

# THANK YOU!

 SENDAI BOSAI TECH