

## LiCSBASを用いた瑞浪超深地層研究所付近の地盤変動

田中俊行(東濃地震科学研究所)

### 1. はじめに

国土の多くが植生で覆われる日本はLバンドSAR衛星を運用し、解析でも主に活用されている。しかし、回帰周期がより短く、全球カバー率も高く、干渉画像までが公開されている、CバンドSAR (Sentinel-1)も極めて有効な地殻変動監視ツールとなっている(Morishita et al., 2020; Morishita 2021)。ここでは、英国Leeds大学グループが開発・公開するシステムを用いた、瑞浪超深地層研究所(MIU)およびその周辺のCバンドInSAR解析の予備的な解析結果を紹介する。ただし、公式ドキュメント記載内容との重複はなるべく避けて、入門者の立場からそれらを補間・補足する内容を述べる。なお、従来のInSAR時系列解析ツールと比べ、任意地点の時系列出力がGUIで指定出来ることは特筆すべき機能である。

### 2. インストール

導入するInSAR時系列解析パッケージLiCSBASはPython3で記述され、GitHub(オンラインのコード公開サービス)上で公開されている。Pythonは多くのプラットフォームに対応している一方で、依存関係にあるモジュールの構築方法やバージョンとの組み合わせによってはスクリプト動作に支障が出る。GitHub上の公式ドキュメントに複数の環境構築及びインストール方法が掲載されているが、最も単純に見えるAnaconda(科学計算に特化したPython及びR言語用の環境を提供するパッケージ)を利用する方法は、著者利用のプラットフォーム(macOS Big SurとUbuntu 20.04の両方)については、LiCSBASの必須モジュールの一つであるGDAL(地理空間情報データフォーマット変換用ライブラリ)においてコンフリクトが発生するために断念せざるを得なかった。最終的にUbuntu 20.04にpyenv(Python環境を目的毎に切り替えるツール)とMiniconda(Anacondaの軽量版)の組み合わせで環境構築に成功した。成功したか否かはLiCSBASパッケージ内に環境チェック用Pythonスクリプトを利用する。GitHub上にはイタリアCampi Flegreiのサンプルデータが公開されており、付属のbatchスクリプトにより、解析結果がオートで得られ、動作及びGUIの使用感を確認出来る。ちなみに、ここで用いたUbuntuはmacOS Big Sur上の仮想環境構築ソフトウェアParallels Desktopでインストールしたものである。デフォルトではキーボードレイアウトが日本語キーボードと一致しないので、Ubuntuの「設定」内の「入力ソース」に「日本語」を加える必要がある。

### 3. 瑞浪超深地層研究所周辺地域への適用

ここでもbatchスクリプトを編集する事で自動的に結果を得る事も出来るが、個々のステップを理解するために手動でコマンドを実行した。

#### ステップ0-1

MIUが撮像されているフレームIDは“COMET-LiCS Sentinel-1 InSAR portal”サイトで調べる事が出来る。本稿執筆時点では2014年11月から2020年7月までに得られたアセンディング(北行軌道)、デセンディング(南行軌道)ともに400枚ほどのアンラップ画像がアーカイブされている。これに対して、植生地域に適したLバンドSARのALOS2はMIUを含むパス・フレームの組み合わせは3種類と思われるが、合計して40シーン程度(広域観測モードを除く)しかない。また、ALOS, ALOS2はユーザー自身がアンラップまで行う必要がある。研究対象がMIUの周辺のみでも、1シーンが8 Gbもあるデータをダウンロード(TRIESのネットワーク環境では半日を要しかねない)しなければならな

い。それが40シーンとなれば膨大な時間とストレージが必要となる。これらで時系列解析を行おうとすれば、作業ファイルを含めれば1 TBがすぐに消費されるだろう。今回、Sentinel-1の南行軌道の全画像(434枚)をダウンロードしたが、2時間弱で終了した。

#### ステップ0-2

ダウンロードされた画像はGeoTIFFフォーマットであるが、以降の処理のため単精度浮動小数点バイナリーに変換する必要がある。この際、目的によってはダウンサンプリング(マルチルック)する事も可能だが、ここでは解析範囲が狭く、高分解能で処理したいので適用しない。

#### ステップ0-3

GACOS(大気補正データ提供サイト)のURLがGitHub上のドキュメント記載のものから代わって、現在は“<http://www.gacos.net>”になっている。必要な範囲とダウンロードしたシーンの撮像日時を指定すると、しばらくしてEmailでダウンロード用URLが送られてくる。一度のリクエストは20個の制限がある。撮像回数は138個なので、計7回に分けてダウンロードしたが、結局エラーが出て大気補正はスキップすることにした。エラーメッセージの内容から、範囲の指定ミス(撮像範囲より小さすぎた?)が原因と思われるが、ここで対象とする空間スケールが10 km程度なので、大気補正の影響は小さいと仮定した。

#### ステップ0-4

コヒーレンスの悪い領域やアンラップエラーの多い非解析対象領域を指定してマスクする事が出来る。ここでは、デフォルト値の平均コヒーレンス値以下の部分をマスクした。

#### ステップ0-5

解析範囲を経緯度を指定して矩形でクリップする。ここでは、137.17/137.31/35.33/35.42 (E/W/S/N)の範囲を指定した(図1)。クリップはデータサイズを小さくすることで処理速度向上するのに加え、アンラップエラーの低減にも寄与する。以降は時系列解析に移る。

#### ステップ1-1

アンラップデータの品質チェックを平均コヒーレンスとアンラップデータのカバーレッジから行い、時系列解析に不都合なデータを除外する工程である。ここではいずれもデフォルト値を採用し、418ペアのうち、3ペアが除外された。

#### ステップ1-2

環閉合により不良アンラップを特定する工程である。20150306\_20150411のペアにループが閉じないメッセージが出たが、20141120-20200607の全期間でネットワークが繋がった旨の表示が出た。

#### ステップ1-3

SBAS(Small Baseline)法というInSAR時系列解析では主要な手法の一つであるNSBASを用いて、アンラップデータから時系列を計算する工程である。また、複数の統計指標からリファレンスポイントが選定される。ここでもオプションは全てデフォルト値を採用した。

#### ステップ1-4

ここは視線方向(LOS)変位速度の標準偏差を計算する工程である。デフォルト値で実行した。

#### ステップ1-5

この工程で複数のノイズ指標によりピクセル毎にマスクされる。デフォルト値で実行した。

#### ステップ1-6

この工程で得られた時系列は時・空間的なフィルターを経てスムージングされる。デフォルト値の空間2 km, 時間 44日(平均撮像間隔の3倍), そして, 空間0.5 kmと0.1 km(時間は同じ)を比べた結果, 1ピクセルに相当する0.1 kmがMIU付近の時系列の収束が優れていたため, これを採用

する(図2)。後述の議論では、フィルター適用の時系列のみを扱う。変動の基準点はデフォルトのリファレンスポイントがMIUに近かったので、地下水系が独立しており、地質図(図3)で花崗岩領域である土岐市駄知町北部を新たな基準領域とした(図2c左の黒破線矩形領域、点ではなく面平均を基準に出来る)。

作図

解析途中で処理の評価に用いる画像は解析範囲北西端を原点とするピクセル単位の直交座標のpngフォーマットで得られる。特定地点の時系列出力(テキストファイル)はこのピクセル座標を指定する。経緯度を付与した解析結果はGeoTIFFフォーマットで得られる。公式ドキュメントでは、図の表示・利用にフリーのGISソフトであるQGISの利用を推奨しているが、ここでは別法で簡易的な表示を行う。以下のLiCSBASで始まるコマンド群は、このパッケージに含まれている。まず、以下のコマンドで、累積変形のバイナリーファイルを生成した。

```
$LiCSBAS_cum2ft.py -d 20200607 -r 52:69/85:90 -i TS_GEOCml1clip/cum_filt.h5
```

ここで、“cum\_filt.h5”(HDF version.5フォーマット)が最終結果を格納しているファイルであり、-iオプションでパスを指定している。-dオプションで出力したい日付(ここでは最終撮像日を指定した)、-rオプションで基準領域(ピクセル座標)を指定する。ステップ1-6の平面図(図2)左上に表示される値を指定すれば良い。出力ファイル名は、ここでは“20141130\_20200607.com”となり、最初の撮像日と出力したい日付が自動的にファイル名に入る。次に、これをGeoTIFFフォーマットに変換するために以下のコマンドを実行する。

```
$LiCSBAS_ft2geotiff.py -i 20141130_20200607.cum -p
```

```
TS_GEOCml1clip/info/EQA.dem_par
```

ここで、“EQA.dem\_par”は解析範囲のコーナーの座標や測地系などが格納されたテキストファイルである。出力ファイルは“20141130\_20200607.com.geo.tif”である。このGeoTIFFファイルはGoogle Earthでオープン出来るはずだが、著者の環境では正常に表示出来なかったため、これを以下のコマンドでkmzファイルに変換する。

```
$LiCSBAS_disp_img.py -i 20141130_20200607.cum.geo.tif -c insar -p
```

```
TS_GEOCml1clip/info/EQA.dem_par --kmz 20141130_20200607.cum.geo.kmz
```

ここで、-cオプションはカラーパレットの指定で、insarは商用SAR解析ソフトGAMMAのカラーパレットを意味し、デフォルトで  $3 \times 2\pi/\text{cycle}$  で色が一巡する。Sentinel-1は波長約5.5 cmなので、LOS方向の長さ変化が約16.5 cmで一巡する事になる。カラーイメージでは、LOS変位量が読み取りにくいので、コンター図を作成するために以下のコマンドを実行した。

```
$LiCSBAS_contour.py -i 20141130_20200607.cum.geo.tif -c 1
```

ここで、-cオプションでコンター間隔を1 mmと指定している。出力ファイルは“20141130\_20200607.cum.geo.cont.geojson”(GeoJSONフォーマット)である。このファイルを地理院地図(<https://maps.gsi.go.jp/>)のツールメニューの中の「作図・ファイル」から取り込んだ後にkmlフォーマットで書き出すと、Google Earthで正しく取り込みと表示が出来た(図4)。

#### 4. 結果

本稿で述べる変位はLOS方向であり、基準領域(図2c破線矩形領域)に対する相対変位である事に注意する。Sentinel-1の南行軌道の入射角は $38^\circ$ である。また、南北方向の変位については感度が極めて小さい。したがって、以下で述べる変位は、西方向変位と沈降はLOS変位の伸び(negative value)であり、東方向変位と隆起はLOS方向の縮み(positive value)である。今回解析範囲が狭いので相対的な水平変位が充分小さいと仮定すると、MIU付近は駄知町北部を基準として

大局的には沈降傾向にあると言える(図4). 瑞浪地科学研究館(MGA)付近のピクセル(図2a,b左, 図2d)に注目すると, 2017年と2018年にのみ年周変化のような変動が現れた(図2a,b右). 西側ピクセル(図2b)2019以降は隆起に転じているように見える(図2b右). ただし, これらのピクセルはノイズ指標によりマスクされた領域と接している. 北行軌道データも解析して水平・鉛直成分の分離により, 信頼性の高い結果を得る必要がある.

## 5. まとめ

LiCSBASによるCバンドInSAR時系列解析をMIU周辺に適用した. これまでの様々なInSAR解析ソフトウェアに比較してインストールおよび中間評価・操作が容易で, ユーザーのインターネットやストレージへの負荷も小さい. 植生領域はLバンド衛星に比べて低干渉の印象があるが, 都市部では豊富な撮像数と回帰周期の短さで時系列解析の品質は高いと思われる. 学生はもとより, 周辺分野の研究者・技術者にも手軽に着手できる地殻・地盤変動解析ツールと言える.

## 引用文献

Morishita et al. (2020): LiCSBAS: An Open-Source InSAR Time Series Analysis Package Integrated with the LiCSAR Automated Sentinel-1 InSAR Processor, *Remote Sensing*, <https://doi.org/10.3390/rs12030424>.

Morishita (2021): Nationwide urban ground deformation monitoring in Japan using Sentinel-1 LiCSAR products and LiCSBAS, *PEPS*, <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00402-7>.

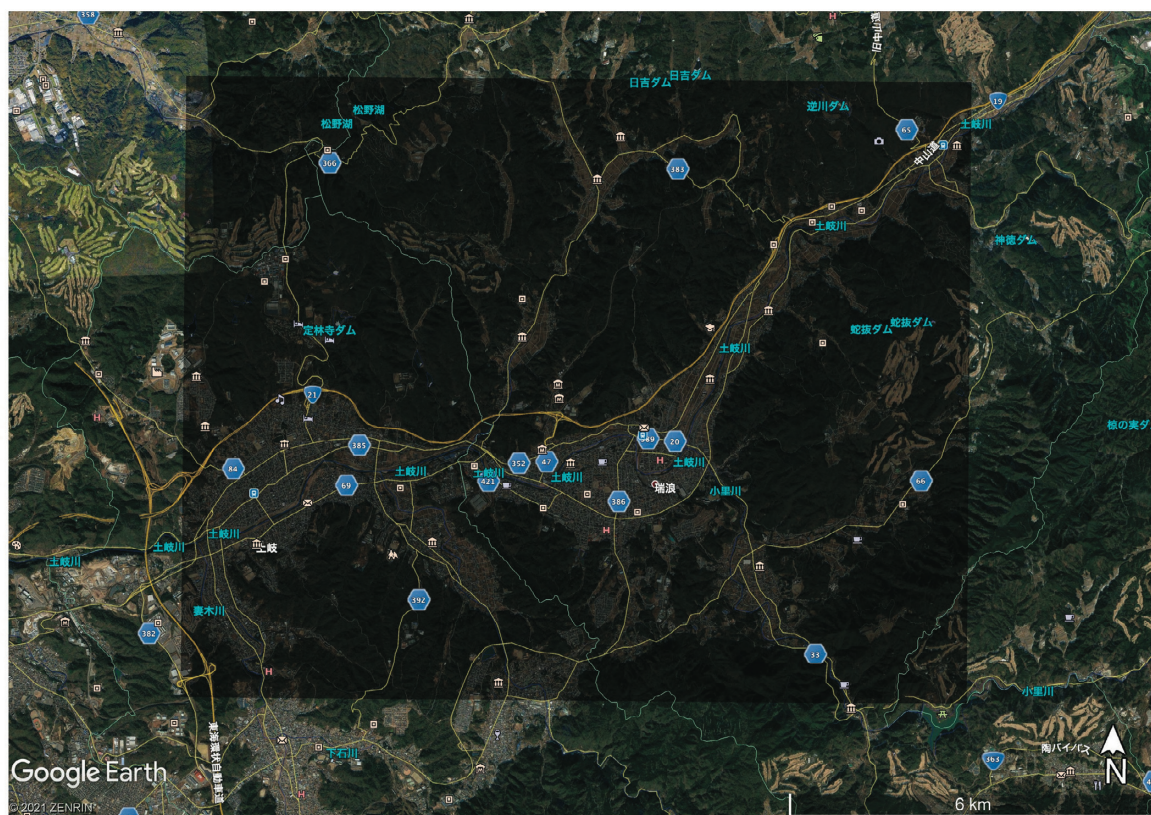


図1. 解析対象領域(黒矩形範囲).



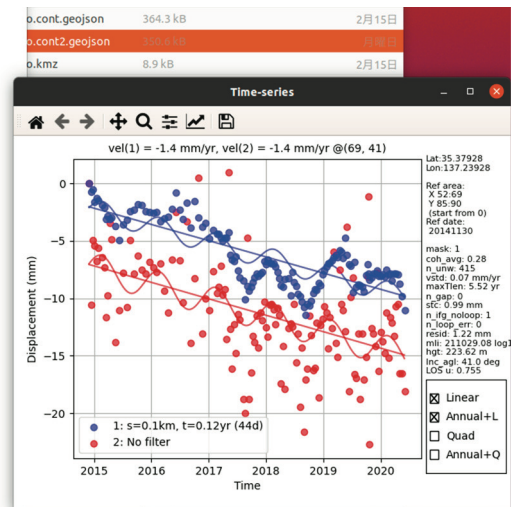
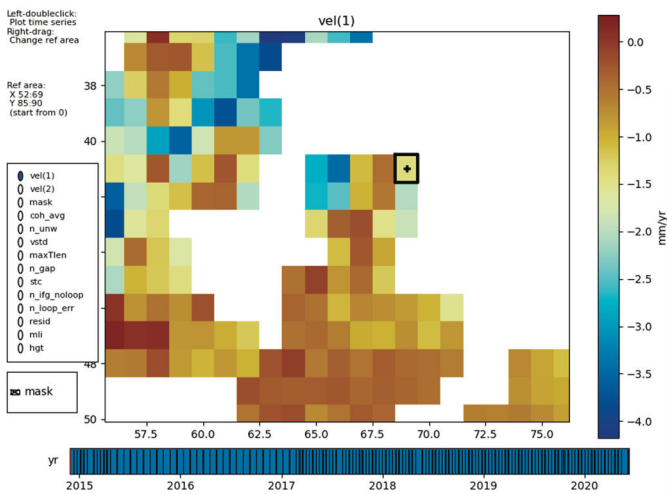


図2a. ステップ1-6で表示する平面図(左)と時系列プロット(右)の画面ダンプ. (左):左端の枠内で様々な変位速度, ノイズ指標を選択して表示出来る. 西暦年の入ったバーをマウスでドラッグする事で, 時間変化をアニメーションのように表示出来る. 黒枠のピクセルは瑞浪地科学研究館付近地点を示し, 2020年6月頃は  $-1.5 \text{ mm/yr}$  程度の変位速度を示す. (右):平面図の黒枠ピクセルの時系列が表示されており, 赤点が時空間フィルター未適用, 青点が時空間フィルター適用済の結果である. 回帰曲線は右下枠で選択出来る. 右上に各種パラメーターやクオリティ指標が表示されている.

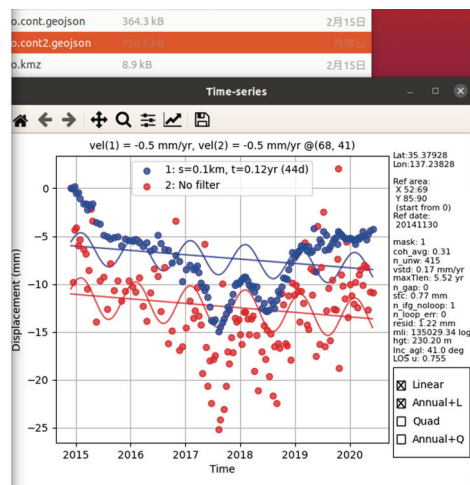
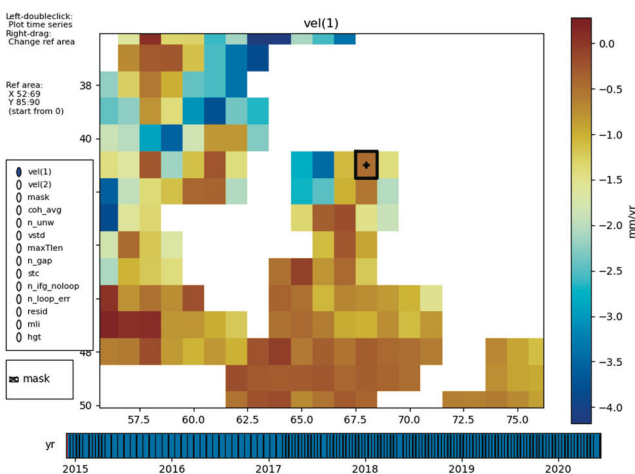


図2b. 図2aで選択したピクセルの西隣のピクセルの結果. 2020年6月頃は平面図では  $-0.5 \text{ mm/yr}$  程度の変位速度を示すが, 時系列図では隆起傾向が読み取れる.

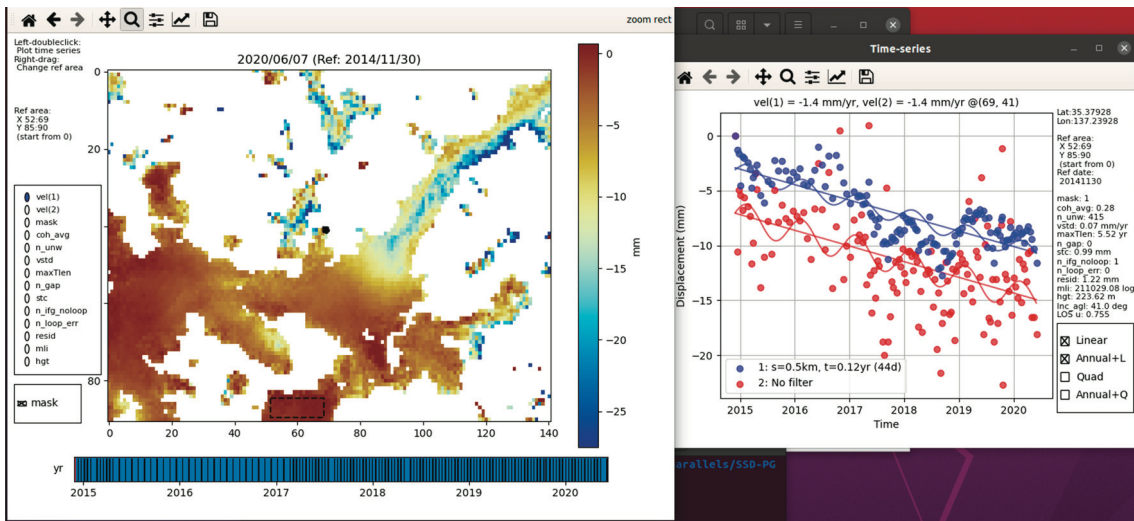


図2c. 図2aと同じピクセル位置において、空間フィルターを0.5 kmにしたケース. 平面図は全解析範囲を表示. 平面図内の黒破線枠が変動の基準領域(駄知町北部).

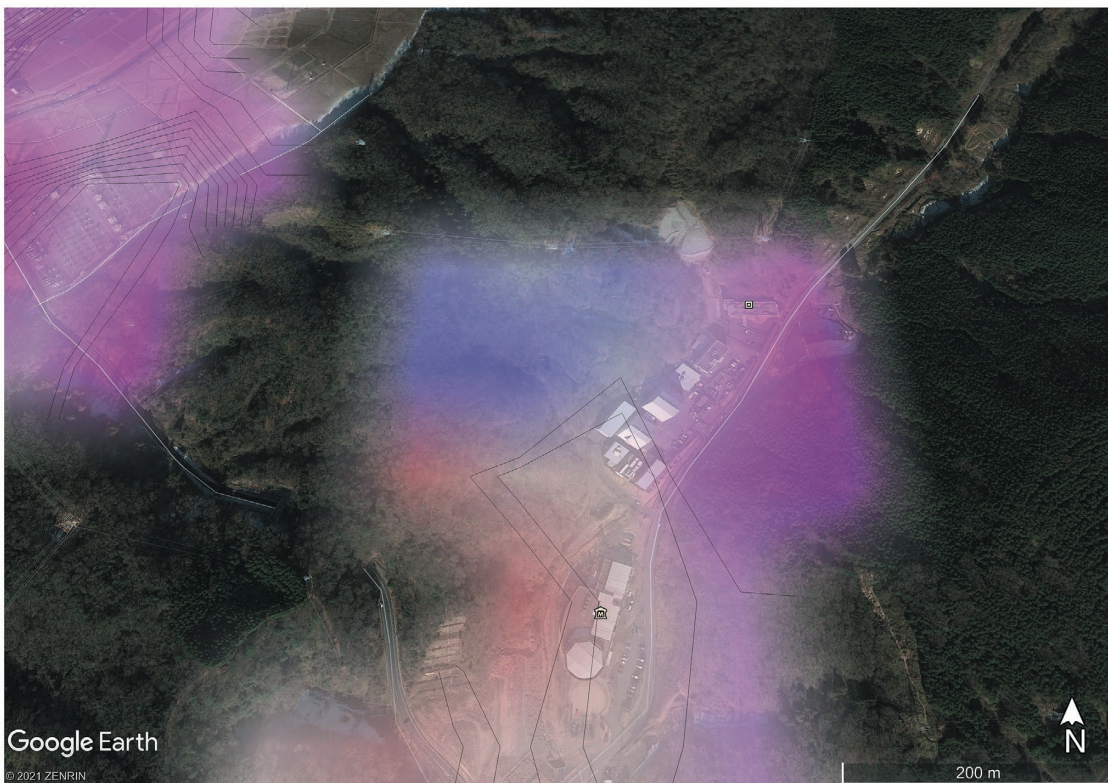


図2d. MIU, MGA付近のGoogle Earthによる表示. カラーイメージで覆われた部分がInSAR解析の結果が得られている領域.



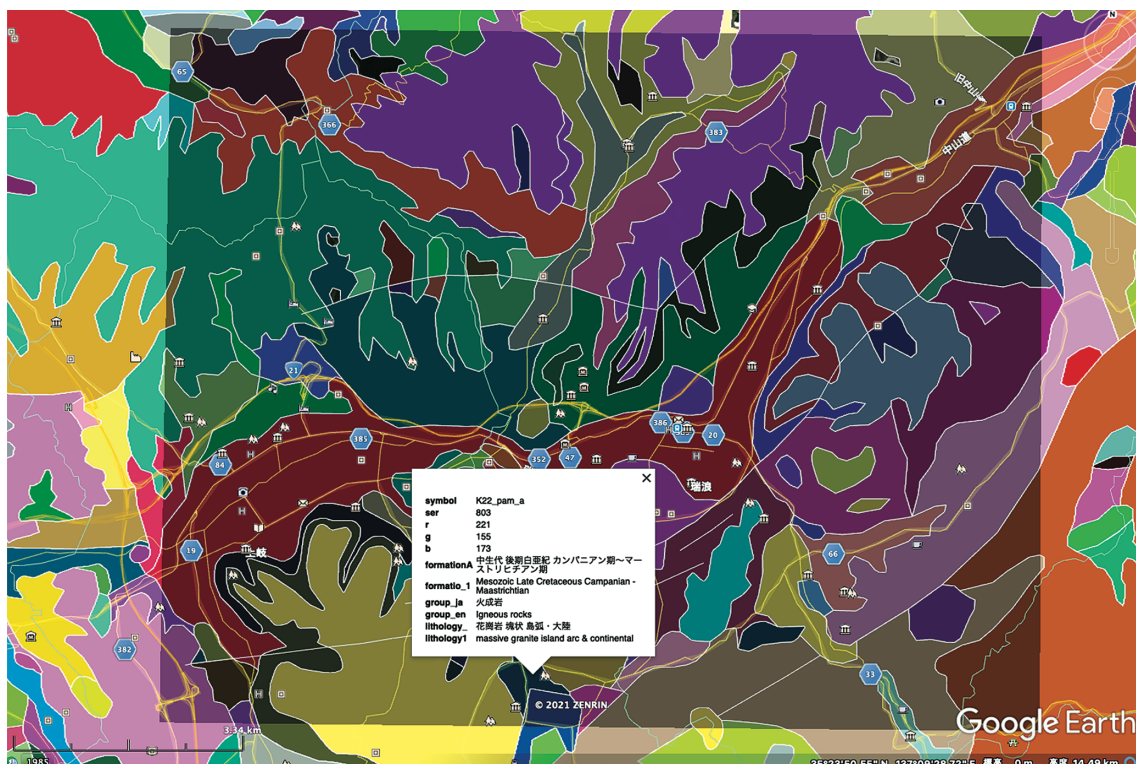


図3. 解析対象領域(黒矩形範囲)周辺の地質図(産総研シームレス地質図より)と基準領域(図2c)の地質情報.

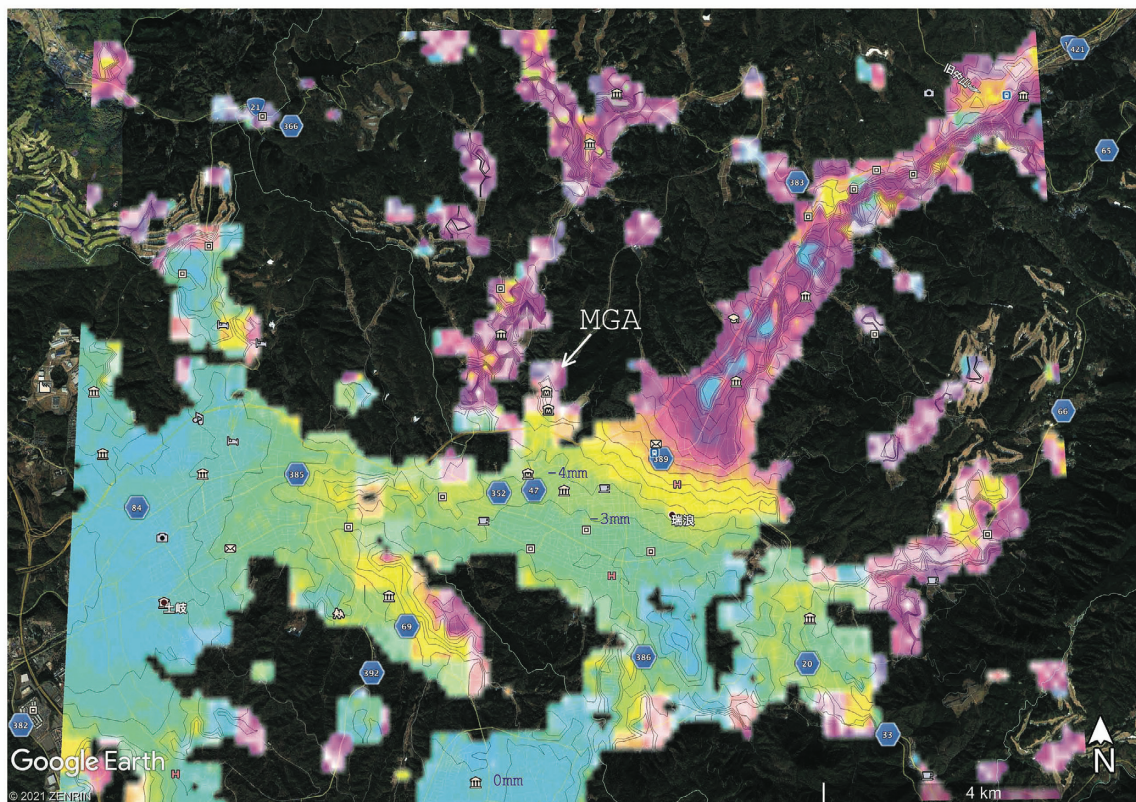


図4. 2014年11月30日～2020年6月7日の累積変位量. コンター間隔は1 mm.

