

令和 2 年 4 月 1 5 日

海外特別研究員最終報告書

独立行政法人 日本学術振興会 理事長 殿

採用年度 平成 3 0 年

受付番号 201860298

氏 名 森下 遊

(氏名は必ず自署すること)

海外特別研究員としての派遣期間を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。

なお、下記及び別紙記載の内容については相違ありません。

記

1. 用務地（派遣先国名）用務地： リーズ大学 （国名： 英国 ）
2. 研究課題名（和文）※研究課題名は申請時のものと変わらないように記載すること。
高精度な全国規模の地表変位計測のための干渉 SAR 技術に関する研究
3. 派遣期間：平成 3 0 年 6 月 4 日 ～ 令和 2 年 3 月 2 8 日
4. 受入機関名及び部局名
University of Leeds, Institute of Geophysics and Tectonics, School of Earth and Environment, Faculty of Environment
5. 所期の目的の遂行状況及び成果…書式任意 書式任意 (A4 判相当 3 ページ以上、英語で記入も可)
(研究・調査実施状況及びその成果の発表・関係学会への参加状況等)
(注)「6. 研究発表」以降については様式 10－別紙 1～4 に記入の上、併せて提出すること。

1. はじめに

SAR (Synthetic Aperture Radar, 合成開口レーダー) は、合成開口という技術を用いて数 m という高い空間分解能で地表面を観測できるマイクロ波レーダーであり、人工衛星や航空機に搭載される。干渉 SAR は、地表の同一地点に対する 2 回以上の SAR 観測データに含まれる位相の差を計算することで、観測の間に発生した地表の変動を面的かつ高精度 (数 mm~数 cm) に計測できる技術である。地表面は、プレート運動・地震・火山活動・地盤沈下・地すべり等、さまざまな要因によって変動するものであり、その変動を高密度かつ高精度に計測・監視することは、現象の原因やメカニズムの解明、将来の活動・変動予測や変動抑制のための対策等を通して、防災・減災への貢献につながる。

筆者が所属する国土地理院では、2014 年に JAXA によって打ち上げられた L バンド (波長: 約 24cm) SAR 衛星「ALOS-2」のデータを用いて、日本全国を対象に干渉 SAR の解析を実施し、国土の地表変動を監視・計測することで、防災・減災へ貢献してきた。世界では、2014 年に ESA (欧州宇宙機関) によって打ち上げられた C バンド (波長: 約 6cm) SAR 衛星「Sentinel-1」のデータが広く用いられ、各国で科学的・社会的利用が進んでいる。L バンドは、微小変位検出能力は C バンドよりも少し劣るが、植生があっても高い干渉性 (良好なシグナル) が得られるという長所があり、国土の大部分が植生に覆われている日本域に適している。

Sentinel-1 は世界中を対象に高い頻度 (年 15-60 回程度) で観測を行っており、膨大なデータが利用可能である。その多量のデータを統計的に処理し、SN 比の高い情報を抽出して変動計測精度を向上させる「時系列解析」と呼ばれる手法が盛んに研究・開発され、用いられている。ALOS-2 は観測頻度が低く (年 2-4 回程度)、Sentinel-1 のように時系列解析に適しているとはいえないが、2021 年度には観測頻度が年約 20 回程度まで大幅に向上する後継機「ALOS-4」が打ち上げられる予定であり、日本全国を対象とした L バンド SAR データを用いた時系列解析による高頻度・高精度地表変動監視がデータ面では可能になると見込まれる。

しかし、既存の時系列解析手法は膨大な計算処理を必要とするとともに、解析者による調整が欠かせず、全国を対象とすると非現実的な処理時間を要するため、ALOS-2 のデータ量ですら実現できていない。本研究の目的は、**広域を対象に実現可能な効率的な時系列解析手法を開発し、ALOS-2 及び将来の ALOS-4 データを用いて、全国を対象に高精度な地表変動監視を可能にし、防災・減災に貢献することである。**

派遣先の Leeds 大学を含む、地震・火山に関する英国の研究グループである COMET (Centre for Observation and Modelling of Earthquakes, Volcanoes and Tectonics) では、Sentinel-1 データを利用して「LiCS」(Looking inside the Continents from Space) という大型プロジェクトを 2015 年から実施している。LiCS は、全球の地殻変動帯及び火山を対象に Sentinel-1 のデータを準リアルタイムで自動的に解析し、変動を監視するとともに、地殻変動によるひずみ場をこれまでにない高分解能で解明し、世界の地震ハザードの評価に貢献することを目的としている。Sentinel-1 は広い観測幅 (約 250km) と高頻度観測により膨大なデータが利用可能であり、ALOS-4 を想定した広域時系列解析手法の開発・検証には最適である。本研究では Sentinel-1 データも利用して研究を行い、LiCS プロジェクトへの貢献も目指した。

派遣開始後には、まず LiCS プロジェクトメンバーに加わり、Sentinel-1 自動干渉解析システムである「LiCSAR」へのアクセス許可を得た。ソースコードやシステムを把握し、実データ解析と一部の機能開発やバグ修正等も担当した。その LiCSAR を参考に、国土地理院で利用するための ALOS-2 自動干渉解析システム「GsiSM2SB」の開発を行った。また、自動生成された膨大な干渉画像を利用して自動的に時系列解析を行う機能を開発し、「LiCSBAS」というパッケージを作り、GitHub でオープンソースとして公開した (Morishita et al., 2020)。公開直後からその性能や使いや

すさに対して好意的な反響が多くあり、世界中で少なくとも数十以上の研究者に使用されている。LiCS プロジェクトや関連する火山プロジェクトでも標準的に利用される予定であり、LiCS プロジェクトの大きな課題の一つである大規模自動時系列解析を可能にした点で非常に大きな貢献ができたといえる。また、これら開発した LiCSAR, GsiSM2SB, LiCSBAS を用いて、Sentinel-1 及び ALOS-2 の膨大な量の実データの時系列解析を行ったところ、ほぼ全自動で効率的に解析が完了し、非常に有益な結果が得られた。さらにデータ量が増大する予定である ALOS-4 でも十分に処理可能であることが確認でき、より高品質な情報が得られる見込みが立った。

以下では、各開発内容と LiCSBAS 適用事例について簡潔に記述する。さらに、その他に取り組んだ地震に関するデータ解析や国土地理院向けの機能開発などについても記述する。

2. 解析手法・機能の開発

2.1. LiCSAR (Sentinel-1 自動干渉解析システム)

LiCSAR は、LiCS プロジェクトの一環として COMET が構築している Sentinel-1 自動干渉解析システムである。膨大なデータを処理するため、ストレージ容量 40PB 以上、コア数 10000 以上で構成される JASMIN という大規模データ解析環境を利用している。解析対象領域は独自に定義された約 250km 四方のフレーム単位で分けられる。LiCSAR が生成した約 100m 分解能の干渉画像、コヒーレンス画像及びその他メタデータはウェブ(<https://comet.nerc.ac.uk/COMET-LiCS-portal/>, 図 1) 上で公開され、誰もがダウンロード可能となっている。現時点では全データを自動解析するには及んでおらず、優先地域（アルプスーヒマラヤ造山帯と全世界の火山）を対象に過去の全データの解析を完了することを目標に進めている。過去のデータ解析が完了したフレームでは自動解析による更新が行われるようになっている。LiCSAR の詳細については、Lazecky et al.を参照されたい。

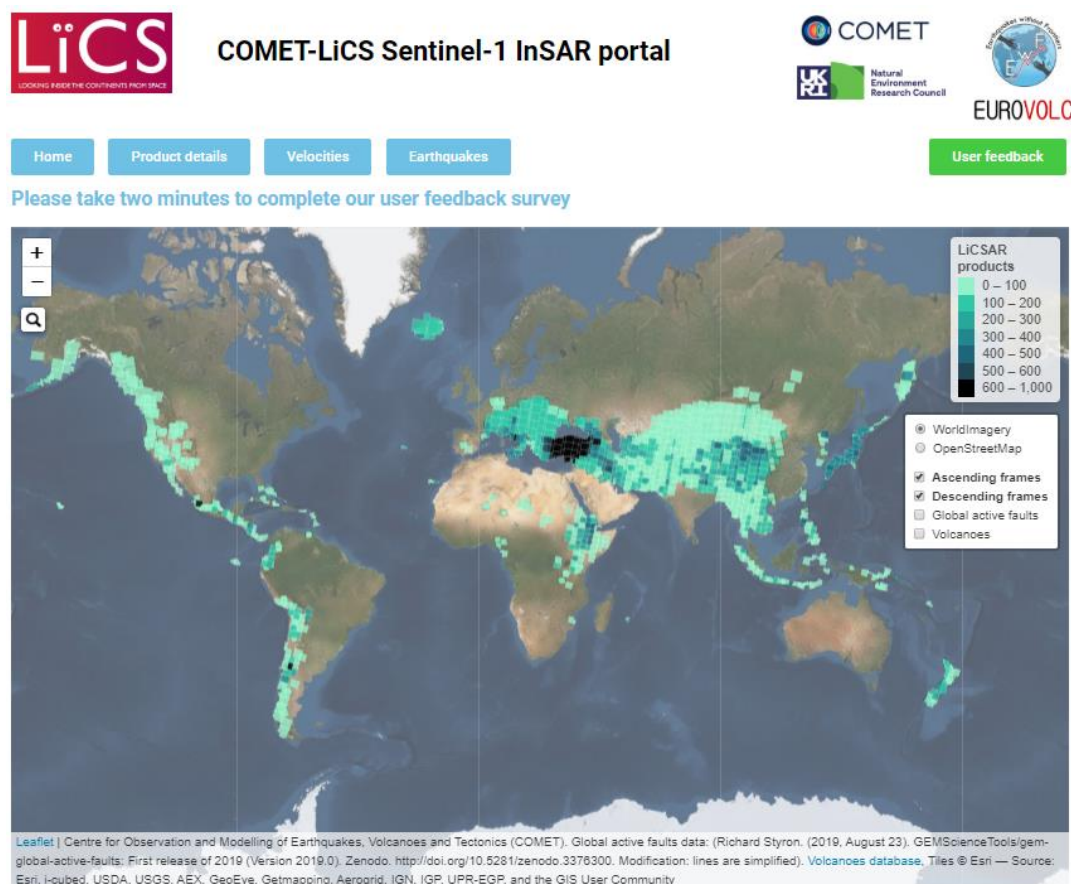


図 1. COMET-LiCS ウェブポータル画面 (<https://comet.nerc.ac.uk/COMET-LiCS-portal/>).

筆者の派遣開始時には、システムの大枠とコアプログラムはできていたが、バグも多く、解析済みデータ数も少なかった。筆者は主にトルコと日本のデータ解析を行い、バグの抽出や修正、補助プログラムの作成などを通して LiCSAR システム開発に貢献した。筆者の要請により、本来は主な解析対象には含まれていなかった日本域も今後の自動更新対象領域に含まれた。日本域をカバーするデータはほぼ全て解析済みであり、今後も自動的に月一回のペースで更新されていく予定である。これにより、LiCSAR と LiCSBAS を利用した日本全国の詳細な変動監視が可能になった (3.2 参照)。

2.2. GsiSM2SB (ALOS-2 自動干渉解析機能)

LiCSAR を参考にして、国土地理院で利用するための ALOS-2 自動干渉解析機能「GsiSM2SB」を開発した。国土地理院では ALOS-2 データの前処理 (具体的には位置合わせまで) の自動化をすでに実現しており、GsiSM2SB はその後の干渉画像作成を自動で実行する。GsiSM2SB は全 6 ステップ (準備, 干渉処理, 対流圏誤差低減, アンラップ, ジオコード, LiCSBAS 形式への変換) で構成される。全国を解析するのに必要な機能はそろっているが、将来的には、電離層補正, 傾斜補正, 長波長誤差低減も実装する可能性がある。本機能は国土地理院の事業でそのまま利用可能であり、事業効率化への貢献が期待できる。

実際に国土地理院の解析サーバー 4 台を使い、日本全国で利用可能な ALOS-2 過去データ (約 5 年間, 131 フレーム, 1700 枚) を自動処理したところ、約 1 週間弱で処理を完了することができた。2021 年度打ち上げ予定の ALOS-4 でも利用可能なように設計しており、データ量が予定通り 5 倍程度増大しても本機能で十分に処理可能であることが確認できた。今後もプログラムの改良により高速化・効率化を試みる予定である。

2.3. LiCSBAS (時系列解析パッケージ)

LiCSBAS は、LiCSAR によって生成・公開されているアンラップ画像及びコヒーレンス画像を利用して、自動的に時系列解析を行うパッケージである。全てのスクリプトのコーディングを筆者が行った。bash 及び Python で書かれており、利用にあたって Matlab や GAMMA などの商用ソフトは不要である。GitHub (<https://github.com/yumorishita/LiCSBAS>) でソースコードを公開しており、GPLv3 ライセンスに基づき、商用も含めて誰もが自由に利用・改変・再配布可能である。公開直後から関連研究者間で拡散され、少なくとも世界で 10 ヶ国以上、数十名以上の研究者に利用されている。

処理内容は、大まかに「解析データの準備」(Step 0) と「時系列解析」(Step 1) の 2 つに分かれている (図 2)。解析データの準備は 5 ステップで構成される。まず公開されているデータをダウンロードし (Step 0-1)、次にフォーマット変換を行う (Step 0-2)。この際、解析処理高速化と容量削減のため、空間分解能を犠牲にしてダウンサンプルを行うことも可能にしてある。その後、気象モデルに基づく GACOS データを使用した対流圏誤差低減処理 (Step 0-3)、指定範囲のマスク (Step 0-4)、指定範囲の範囲切り出し (Step 0-5) をオプションで実行可能である。

続く時系列解析は 6 ステップで構成される。最初の 2 ステップ (Step 1-1, 1-2) で、有効画素割合やコヒーレンス、位相環閉合などの情報から、条件の悪い干渉画像を自動的に抽出する。次に、干渉ペアの差分変動量から各観測日の変動量を得るため、時間方向のインバージョンを行う (Step 1-3)。この際、干渉ペアネットワークに不連続があると、通常の最小二乗法ではランク不足により現実的な解を得ることはできないが、線形を仮定した時間方向の拘束条件を考慮することで、現実的な解を得ることができるよう工夫した。そして、得られた時系列データを用いて、ブートストラップ法により、変動速度の標準偏差を推定する (Step 1-4)。次に、これまでの処理過程で得られ

た複数の誤差指標を基に、条件の悪い画素を抽出し、マスクする (Step 1-5)。最後に、時空間フィルタを適用して残存している大気誤差を低減し、最終結果である変動時系列と変動速度を得る (Step 1-6)。

全てのステップは自動的、連続的に 1 つのスクリプトで実行可能である。Step 0-1 及び 0-2 は LiCSAR と連携するための機能であるが、ALOS-2 などの他の衛星のデータも Step 0-3 以降で扱うことができる。また、結果の解釈を容易にするため、操作性に優れた解析結果表示機能を備えている。膨大な量のデータを効率的に処理できるように設計されており、広域を対象とする場合でも現実的な処理時間で完了することを実現している。詳細な内容については、Morishita et al. (2020)を参照されたい。

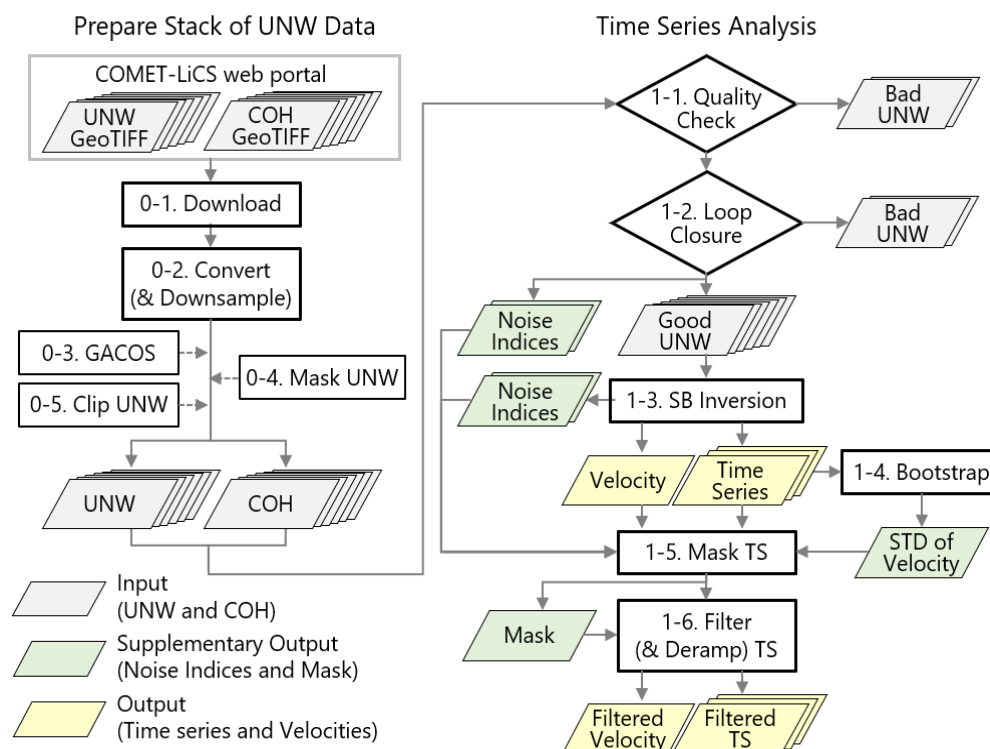


図 2. LiCSBAS のフローチャート。Morishita et al. (2020)より。

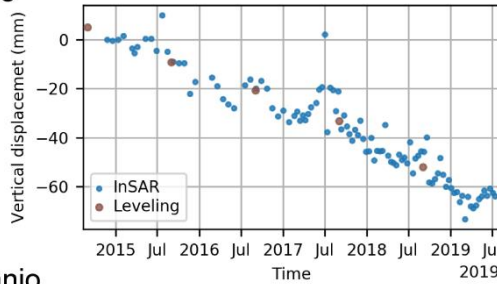
3. LiCSBAS 適用事例

3.1. 東北南部と新潟県 (Sentinel-1)

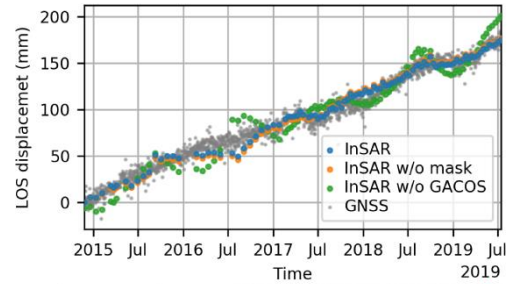
LiCSAR 及び LiCSBAS の性能を評価するため、LiCSAR によって生成された東北南部及び新潟県をカバーする約 300 枚の Sentinel-1 干渉画像を利用して、LiCSBAS による時系列解析を行い、得られた変動速度及び時系列を GNSS や水準測量の結果と比較した (図 3)。100km 以上に及ぶ広域を対象とする解析では、2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9.0) に伴って現在も継続している最大約 5cm/yr の余効変動が明瞭に検出された (図 3 右上, 右下)。新潟県に着目した局所的な解析では、新潟市の定常的な地盤沈下 (図 3 左上)、三条市の 2018 年 2 月頃の急激な不可逆地盤沈下 (図 3 左中)、小千谷市の季節変動 (図 3 左下) を時空間的に詳細に明らかにした。計測精度は、GNSS や水準測量との比較から、変動速度で約 2mm/yr、各観測日の変動量で 1cm 未満と推定された。これらの結果から、LiCSAR 及び LiCSBAS は、干渉 SAR 以外の計測手法や Sentinel-1 以外のほとんどの SAR データでは達成不可能な時空間的に詳細な変動を検出できることが示された。詳細な内容については、Morishita et al. (2020)を参照されたい。

Processed by LiCSBAS using LiCSAR products

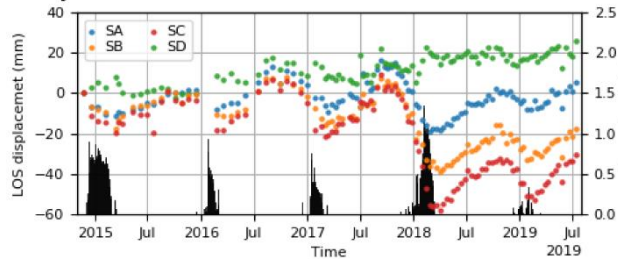
Niigata



GNSS 950179



Sanjo



Ojiya

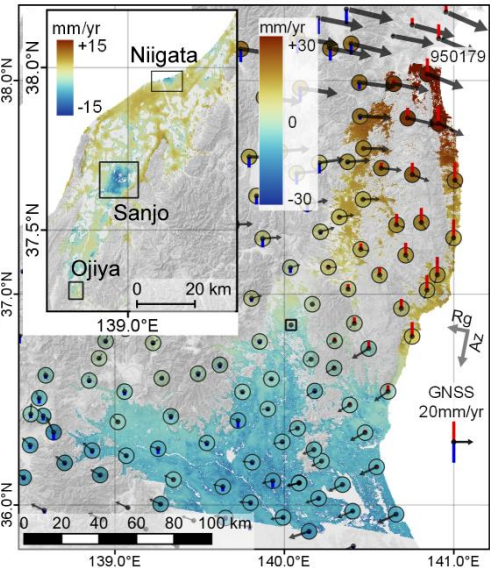
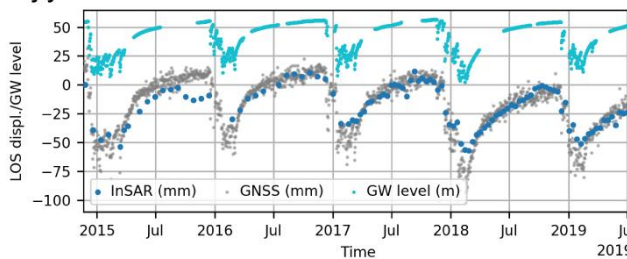


図 3. 東北南部及び新潟県の LiCSBAS 解析結果. Morishita et al. (2020)より.

3.2. 日本全国都市域 (Sentinel-1)

日本全国に分布する全主要都市域を対象に、LiCSAR によって生成された Sentinel-1 干渉画像を利用して、LiCSBAS による時系列解析を行った。解析対象地域は、人口 10 万人以上の人口集中地区 (DID)、県庁所在地、定期的な水準測量実施地域を全て含むようにし、計 70 地域を対象として選択した (図 4)。解析対象期間は 2014 年 11 月から 2019 年 12 月である。日本全国は全 34 フレーム (北行 18 フレーム、南行 16 フレーム) で覆われ、各フレームで約 100 観測日、約 300 枚の干渉画像が利用可能であり、合計で約 3500 観測日、約 11000 枚の干渉画像を利用した。各地域で 1 つ以上の北行・南行のデータセットが利用可能であり、Step 0-5 で対象地域を切り出し、184 の独立な時系列解析を行った。解析対象地域を都市域に限定した理由は、C バンドでは都市域以外では良好な干渉性が得られないことが多く、都市域以外を含めると解析結果全体の品質が大きく低下してしまうためである。また、都市域のみを切り出すことにより、データ容量や解析時間を大きく削減できる利点もある。

解析の結果、全地域で時空間的に詳細な変動時系列が明らかになり、少なくとも 17 地域で明らかな変動が検出された。その中には、既知の定常的な地盤沈下の他、非定常的な隆起や沈降、季節変動、熊本地震の余効変動など、未知の変動も多数含まれる。個々の解析結果については、論文作成中であるためここでは紹介しないが、本解析により、高頻度な Sentinel-1 の観測データが日本の都市域の変動検出において非常に有効であり、LiCSAR 及び LiCSBAS によって容易かつほぼ自動的に良質な解析結果が得られることが証明された。一方で、都市域以外、特に植生領域では有効な結果を得られず、当該領域の変動監視には L バンドが必要であることが示された。今後、本解析結果を論文として公開する予定である。

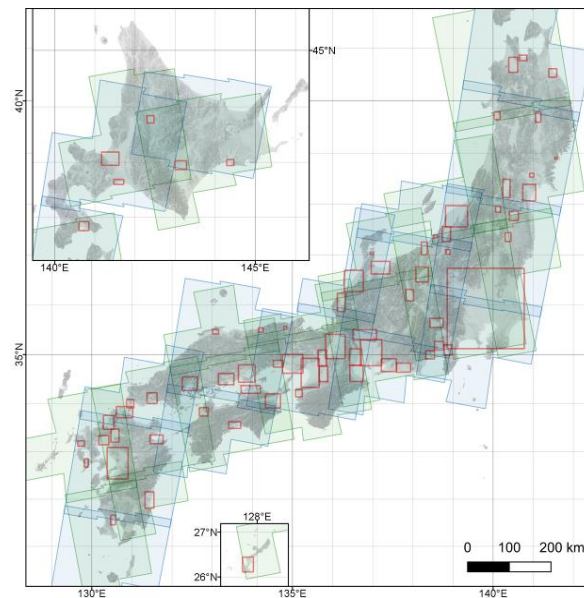


図 4. LiCSAR フレーム（水色：南行，緑色：北行）と都市域解析対象地域（赤枠）。

3.3. 日本全国（ALOS-2）

国土地理院が所有する日本全国の ALOS-2 データ（位置合わせ済み）に GsiSM2SB を適用して干渉画像を自動生成し，それらを用いて LiCSBAS による時系列解析を行った．解析対象期間は 2014 年 8 月から 2019 年 12 月である．前述の通り，ALOS-2 データは Sentinel-1 よりも観測頻度が非常に低く，利用可能なデータは各フレームで 10-15 個程度しかなかった．電離層誤差が大きいため，2 次多項式位相曲面を Step 1-6 で差し引いた．また，時間間隔が長く時間方向のフィルタが有効ではないため，10km の空間フィルタのみを適用した．

解析の結果，植生地域も含めて国土全域をほぼ網羅する変動速度が得られた（図 5）．これは L バンドの高い干渉性によるものである．C バンドの Sentinel-1 では検出できなかった山地における地すべり性の変動などが数多く検出された（詳細は論文作成予定のためここでは省略する）．一方で，観測頻度が低いため，時系列データとしては使い物にならず，季節変動や非定常変動を検出することはほぼ不可能であった．これらのことから，L バンドで高い観測頻度を実現する ALOS-4 では，Sentinel-1 及び ALOS-2 の両者の欠点が解消され，国土全域を高頻度で非定常変動も含めて検出することが可能になると期待できる．今後，使用するデータを追加して解析結果の改善を試み，論文として公開する予定である．

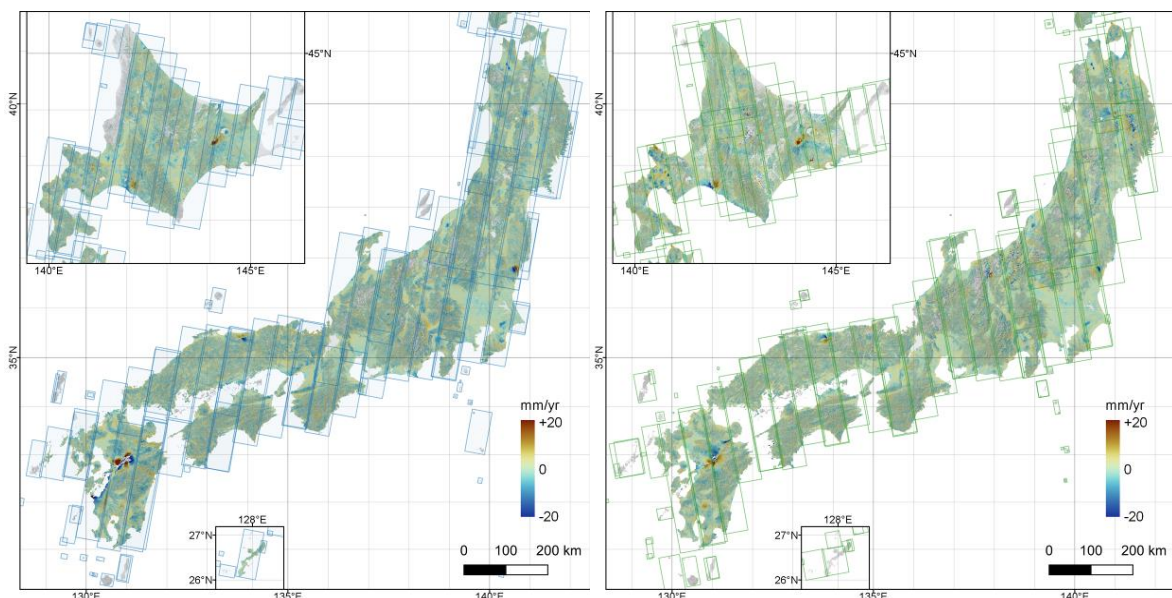


図 5. ALOS-2 フレームと変動速度．（左）南行（右）北行．

3.4. アナトリア半島（トルコ, Sentinel-1）

アナトリア半島（トルコ）北部では、北アナトリア断層（NAF）が約千 km にわたって東西に横切っている。同断層沿いでは巨大な被害地震が頻発しており、世界で最も活発な断層の一つである。GNSS により断層沿いで右横ずれの変動（最大約 3cm/年）が観測されている。干渉 SAR は主に上下及び東西方向の変動にしか感度がないが、当該領域の主な変動方向は東西方向であるため、干渉 SAR の事例研究対象としても適している。LiCS プロジェクトでは、全球の地殻変動域のひずみ場解明へ向けた最初の事例として、アナトリア半島を重点研究対象としてきた。本研究で開発した LiCSBAS により、LiCSAR プロダクトから容易に広域の変動速度場を算出すること、ひいては空間的に詳細にひずみ場を推定することが可能になった。

解析には、計 40 のフレーム、約 28000 枚の干渉画像を用いた。ひずみ速度算出には 1km 程度の空間分解能で十分であるため、処理時間短縮と容量削減のため、 10×10 でダウンサンプルを適用した。（これ以降の解析・議論は Weiss 博士によって実施された。）フレーム毎に異なる変動量の基準を合わせるため、GNSS で検出された変動速度を LOS 方向に投影し、干渉 SAR で得られた LOS 変動速度を GNSS にフィットさせた。北行・南行それぞれの LOS 変動速度と GNSS から内挿により推定した南北方向の変動速度から、3 次元の変動速度を算出した（図 6 上）。得られた上下変動速度では、Konya 平野などで発生している地盤沈下が明瞭に捉えられた。また、東西変動速度では、北アナトリア断層及び東アナトリア断層沿いで大きな変動勾配が検出された。得られた変動速度場からひずみ速度を推定したところ、北アナトリア断層及び東アナトリア断層沿いで顕著なひずみ蓄積が推定された（図 6 下）。GNSS のみから推定した場合に比べて、干渉 SAR 及び GNSS から推定した場合はより詳細なひずみ速度分布を得ることができた。これらの結果は、ひずみ蓄積と地震発生の関係や地震サイクルの解明にとって重要なものである。詳細な内容については、Weiss et al. (2020)を参照されたい。

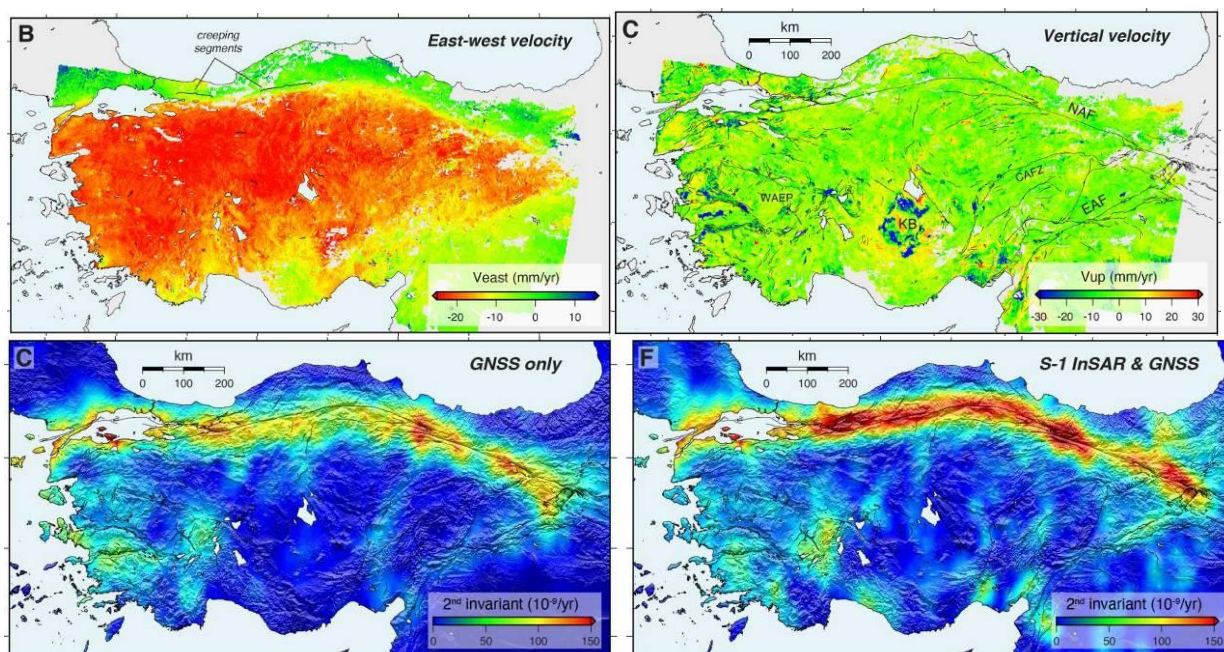


図 6. （左上）東西方向の変動量．（右上）上下方向の変動量．（左下）GNSS のみから推定した歪み速度．（右下）干渉 SAR 及び GNSS から推定した歪み速度．Weiss et al. (2020)より．

3.5. アルプスーヒマラヤ造山帯（Sentinel-1）

LiCS プロジェクトの長期的大目標の一つである全球の地殻変動帯におけるひずみ場の解明へ向

けて、2020 年 2 月時点で利用可能な LiCSAR プロダクトを全て使用して、LiCSBAS によって変動速度を算出した。変動速度の精度は観測期間長に依存し、極端に短期間のデータセットでは有意な変動速度は得られないため、1 年以上の連続した干渉画像ネットワークが利用可能なフレームのみを対象とした。対象フレーム数は約 500 であり、多くは優先対象地域として設定されているアルプスーヒマラヤ造山帯のものである。解析した干渉画像は約 20 万枚に及んだ。アナトリア半島の事例と同様に 10×10 でダウンサンプルすることにより、計算時間を大幅に短縮した。それでも大量のデータの処理が必要であったが、LiCSAR が利用している大規模計算システムである JASMIN を利用し、100 個の並列計算を走らせることで、わずか半日程度で全ての計算を終えることができた。

解析結果では、多くのフレームで安定した結果が得られた（図 7 上）。一部のフレームでは実際の変動とは考えられないほど大きな傾斜が見られ、これは電離層誤差の影響などが考えられる。Step 1-6 で 2 次多項式曲面による傾斜補正を適用すると、多くの傾斜が除去され、より安定した結果が得られた（図 7 下）。しかし、傾斜補正によって実際の長波長変動も除去している可能性があるため、傾斜補正を利用するかは今後の検討が必要である。いずれにせよ、これだけの大量のデータを短時間で処理可能であることが示されたこと、多くのフレームで良好な結果が得られたことは、LiCS プロジェクトにとって大きな一歩となった。

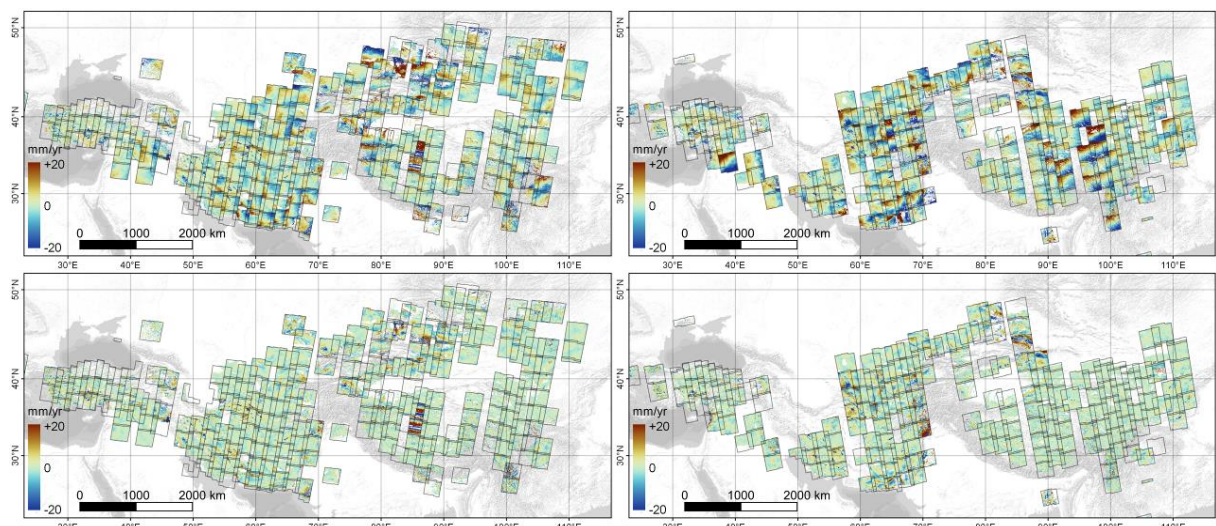


図 7. アルプスーヒマラヤ造山帯の変動速度. (左上) 南行, 傾斜補正無し. (右上) 北行, 傾斜補正無し. (左下) 南行, 傾斜補正有り. (右下) 北行, 傾斜補正有り.

4. その他の研究

4.1. 2018 年スラウェシ島地震の解析

2018 年 9 月 28 日に、インドネシアのスラウェシ島で Mw7.5 の大地震が発生した。大きな津波が発生するとともに、内陸では液状化現象による大規模な泥流が発生し、2000 人を超える死者が出るなど、人的・社会的に大きな被害をもたらした。

この地震に伴い、ALOS-2 による緊急観測が実施された。筆者は所属機関である国土地理院を通して ALOS-2 データを取得し、干渉 SAR, MAI, Pixel Offset の解析を行った。その結果、広域にわたる複雑な 3 次元変動を明らかにすることができた。一方、Sentinel-1 では良好な結果は全く得られず、ALOS-2 の有用性が示された。この解析結果を派遣先及びデルフト工科大学の研究者と共有し、共同で研究及び論文作成を進めている。

4.2. 2019 年ミンダナオ島地震の解析

フィリピンのミンダナオ島で、2019 年 10 月 16 日の Mw6.4 の地震を皮切りに、10 月 29 日に Mw6.6、10 月 31 日に Mw6.5、12 月 15 日には Mw6.8 の大地震が相次いで発生した。多くの建物の倒壊や合計 10 名以上の死者が発生し、大きな被害をもたらした。

これらの地震に伴い、筆者は所属機関である国土地理院を通して ALOS-2 データを取得し、干渉 SAR の解析を行い、詳細な地震時地殻変動分布や地表断層の位置などを明らかにした。解析結果をオックスフォード大学、フィリピン大学及びフィリピン火山地震研究所の研究者と共有し、共同で研究を進めている。

4.3. 解析機能開発・改良

国土地理院で実施している ALOS-2 を利用した地表変動の監視・計測事業の発展・効率化のため、様々な機能開発・改良を行った。具体的には、位相アンラップが不要な長波長成分抽出機能の開発、Statistical Cost 法による位相アンラップ機能の改良、電離層誤差低減処理の効率化、電離層誤差レベル確認機能の開発、Pixel Offset・MAI 機能の開発、シャドウ・レイオーバーマップの作成、解析ソフトウェア全面改修の設計などである。これらの成果は国土地理院の事業や研究ですでに利用されているか、もしくは今後 ALOS-4 を利用した事業へ向けて利用される予定である。

5. まとめと今後の展望

本研究の目標である、広域を対象に実現可能な効率的な時系列解析手法の開発は、LiCSBAS の開発によって十分に達成できた。さらに、LiCSBAS を GitHub で公開して世界中で利用されるようになったことから、目標以上のことが達成できたといえる。LiCS プロジェクトへの貢献についても、LiCSBAS がプロジェクトで標準的に利用される予定となったことや、アナトリア半島及びアルプス—ヒマラヤ造山帯の解析を通して、期待された以上の成果を出すことができた。

日本を対象とする実データの解析では、ALOS-2 データを利用して国土全域をほぼ網羅する高精度な変動速度が得られた。また、Sentinel-1 データを利用して都市域の時系列解析を実施し、これまでにない精度で時空間的に詳細な変動を明らかにすることができた。これらの結果から、全国を対象とする高精度な地表変動監視は、本研究によって技術面では十分に可能になったといえる。また、ALOS-2 及び Sentinel-1 の解析処理とそれらの結果から、本研究で開発した機能は ALOS-4 の膨大なデータでも十分に処理可能であり、さらに有益な結果が得られる見込みが立った。

今後は、国土地理院に戻り、LiCSBAS 及び ALOS-2 を利用した全国解析の改良、ALOS-4 利用への準備をさらに進めていく。また、得られた高精度な変動情報をどのように公開し、社会に役立てていくかを検討していく必要がある。さらに、COMET の LiCS プロジェクトは続いており、派遣終了後も連絡を取り合って可能な限り協力してほしいと打診されており、筆者側にも技術面や情報交換などで協力するメリットはあるため、無理のない範囲で可能な限り協力を継続していく予定である。

所感・謝辞

日本では所属組織の研究以外の業務も多く、研究になかなか集中しにくい環境であったが、今回 2 年弱という期間にわたって自らの研究に集中でき、非常に貴重な時間であった。このようなまとまった期間があったからこそ、新たな知識や技術を習得し、完成度の高いものを作ることができた。本来はもう 2 か月滞在する予定ではあったが、新型コロナウイルスの影響で英国では外出禁止になるなど状況が急激に悪化したため、急遽帰国することとなったのは残念であった。それでも、筆

頭著者論文 1 本は出版済みであり、派遣先でやろうと考えていたことはほぼ達成済みだったことはよかった。

LiCS プロジェクトへの貢献度が認められ、今後も協力を打診されたことは光栄であった。関係の継続は筆者にとってもメリットがあるので、可能な限り連絡を取り合い、国際的なネットワークを今後もつなげていきたい。

最後に、貴重な機会と経費を提供していただいた日本学術振興会、快く受け入れていただいた Tim Wright 教授、リーズ大学及び COMET の方々、長期間にわたる不在を許可していただいた国土地理院に心より感謝いたします。

参考文献

- Lazecky, M., Spaans, K., Gonzalez, P. J., Maghsoudi, Y., Morishita, Y., et al. LiCSAR: An Automatic InSAR Tool for Measuring and Monitoring Tectonic and Volcanic Activity. Manuscript in Preparation.
- Morishita, Y., Lazecky, M., Wright, T. J., Weiss, J. R., Elliott, J. R., Hooper, A. (2020), LiCSBAS: An Open-Source InSAR Time Series Analysis Package Integrated with the LiCSAR Automated Sentinel-1 InSAR Processor, Remote Sensing, 12(3), 424, doi:10.3390/rs12030424.
- Weiss, J., Walters, R. J., Morishita, Y., et al. (2020, February 4). High-resolution surface velocities and strain for Anatolia from Sentinel-1 InSAR and GNSS data. <https://doi.org/10.31223/osf.io/8xa7j>