

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 9 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03353

研究課題名（和文）リモートセンシングと現地観測による永久凍土融解過程と速度の定量化

研究課題名（英文）Quantification of permafrost thawing process and rate by remote sensing and field observation

研究代表者

岩花 剛（Iwahana, Go）

北海道大学・北極域研究センター・海外研究員

研究者番号：70431327

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：永久凍土が分布する国内外の4エリアについて、ALOS2（Lバンド）およびSentinel-1（Cバンド）データを用いた干渉SAR解析を実施し、現地観測を交えて温暖化や地表面かく乱の影響による地表面変位の時空間変化の定量化を行った。対象地においては、SAR画像の空間分解能に応じて数十m程度の分解能で凍土動態に応じた変位の空間分布を捉えられ、かつ現地調査結果や凍土地帯の物理過程と整合的であることを確かめた。永久凍土を対象とした干渉SAR解析の現場検証は本研究が初めてである。積雪や植生層による影響を受けにくいLバンド干渉解析は、永久凍土地帯においてCバンド利用解析に対して優位性があることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化が進行する中、永久凍土の融解が進行し、季節的凍土帯における地表面の凍結融解機構が変化している。こうした凍土動態の変化は、高緯度地域あるいは高標高地域のインフラや生態系の破壊や大規模変化をもたらすため、リモートセンシングによる凍土動態の把握は喫緊の課題であった。本研究で得られた現地調査および干渉SAR解析の永久凍土地帯の地表面変位動態評価手法の知見は、永久凍土動態のリモートセンシング手法を大きく前進させるものである。永久凍土変化を広域的に把握することによって、融解する永久凍土から放出される炭素量の把握や凍土地帯における温暖化適応の効率化につながる。

研究成果の概要（英文）：Interferometric SAR (InSAR) analysis using ALOS2 (L-band) and Sentinel-1 (C-band) data was conducted for four areas in Japan and overseas where permafrost is distributed, and the temporal and spatial changes in land surface displacement due to warming and surface disturbance were quantified with field observations. The spatial distribution of the displacement in accordance with the frozen ground dynamics at a resolution of several tens of meters depending on the spatial resolution of the SAR image was confirmed to be consistent with the results of the field survey and the physical processes in the frozen ground area. This is the first field verification of InSAR analysis for permafrost. L-band interferometry, which is less affected by snow cover and vegetation layers, was found to be superior to C-band interferometry in permafrost areas.

研究分野：地球雪氷学

キーワード：永久凍土 干渉SAR 現地測量 サーモカルスト 凍結融解 凍上 融解沈下 ALOS

1. 研究開始当初の背景

高緯度地域、特に北極域においては気候変動がより強く、より早く起こる (Chapin et al. 2000; Serreze et al., 2000など)。永久凍土は、地球温暖化によって融解が危惧されており、近年では有機炭素や地下氷の巨大な貯蔵庫と捉えられてきた (Hugelius et al., 2014など)。しかし、永久凍土の分布と融解速度などの変化動態の基礎情報が不足しているため、気候変動予測における大きな不確定要素となっている (Schuur et al., 2011; IPCC第五次報告書; 北極環境研究の長期構想テーマ12)。

体積の大半 (60~90%) を氷が占め、上記の大量の有機炭素を取り込みながら成長した永久凍土を特に“エドマ層”と呼ぶ。このエドマ層が融解すると、地形が不可逆的に崩壊し、水文環境や物質循環、植生の変化を通じて生態系全体を大きく変化させてしまう。最終的に、地盤沈下の規模は深さ50mにも及ぶ。このエドマが北極陸域の広範囲に存在していることから、気候変動に多大な影響を及ぼしうる永久凍土として、その変動の研究が特に重要となる。近年、エドマの融解が引き起こした大規模な地盤沈下 (サーモカルスト) 発達事例の報告は増加している (例えば、Mann et al., 2010; Jones et al., 2013) いるが、永久凍土の損失量を広域的に評価する研究が立ち遅れており、将来予測が難しい。

2. 研究目的

高緯度および北極の陸域の中でも永久凍土地帯は最も激しい変動が観測されており、陸域環境を大きく変えつつある。こうした変化は、ポイントごとの現地観測では確認されているものの、永久凍土は地表植生に覆われた地面の下に存在するため、従来の光学画像を使った土地変化モニタリングでは広域的な実態を把握できなかった。一方、近年になり植生の影響を受けにくい周波数Lバンドの合成開口レーダ (SAR) を利用した永久凍土変化リモートセンシングが報告され始めた (Liu et al, 2015; 業績3) が、現場における検証観測データはほとんど得られていない。そこで本研究は“永久凍土の融解はどの程度の規模および速度で進行しているのか?” という問いに答えることを大目的として、LバンドSARによる永久凍土状態変化の把握手法について現地調査を基に検証した。今後、大きな長期的変化が予測される永久凍土 (特に含氷率の高い凍土であるエドマ層) 分布域であるシベリアとアラスカを主対象として、本研究の5年間の個別目的を以下のように設定した。

- A) 研究対象地域について、SAR 画像の干渉 SAR 解析を行い、永久凍土融解による地盤沈下 (サーモカルスト) とその後の地表面の時空間変化を評価する。
- B) 現地測量による詳細な地形変化と干渉 SAR 解析結果を比較し、永久凍土地帯における L バンド SAR の有効性と課題を検証する。
- C) A)および B)が対象とする比較的小さな空間スケールの現象評価から、数 km 以上のスケールの広域的評価に拡張する。得られた知見を基に複合リモートセンシングによる永久凍土変化の監視手法についての知見をまとめる。

3. 研究方法

2018～2022年度の研究期間において、COVID19およびウクライナ戦争の影響、あるいはその他の海外事情で実際の研究対象地は、アラスカ北部（ダルトンハイウェイ沿い）、北海道（大雪山系頂上部）、シベリア・中央ヤクーチア（マイヤ周辺）およびバタガイ周辺の4エリアとなった。

SARは雲や昼夜に関係なく地表面を監視できる強みがあり、雲量の多い北極域の観測に適している。また、Lバンドマイクロ波（約24cm）を用いると表面植生の影響を受けにくいいため地表面の変動を捉えることができ、永久凍土融解現象の観測に適している。それぞれの対象エリアについて、SAR搭載の衛星ALOS2-PALSAR2およびSentinel-1センサーからのデータを取得し、干渉SAR解析を実施し、地表面の凍結融解に伴う2015年から2021年の地表面変位量の時系列変化を広域的に評価した。サーモカルストの発達過程が判別できるサブメーターの空間分解能を持つ衛星画像を利用し、地表面の変化を把握した。

永久凍土および季節凍土の凍結融解に伴う地表面変位を現地観測によって定量化するため、アラスカ北部ダルトンハイウェイ沿いのかく乱・未かく乱ツンドラ3サイトにて現地観測を実施した。各サイト60m以上のトランゼクト2 - 3本沿いに1 - 5m毎の高分解能GNSS測量点を設置した。GNSS測量に合わせて、地表面水分量と融解深を測定した。また、シベリアエリアおよび北海道大雪山系の山岳永久凍土サイトにおいても同様の現地観測を実施した。

4. 研究成果

（アラスカ・ダルトンハイウェイ）

現地観測によって様々な未かく乱ツンドラサイトにおいて2017 - 2019年の季節的沈下量が5.8-14.3 cmの範囲であることが分かった。一方、かく乱ツンドラサイトでは、沈下量が増加し、最大値としては季節沈降で44cm、経年沈降で56 cmであった（図1）。こうした地表面変位量と最大融解深は未かく乱地で優位な相関がみられたが、かく乱地で相関がなくなることが示された(Iwahana et al., 2021)。これらの沈降量分布は、ALOS2干渉画像解析の結果とも整合的で、初めての詳細な現地検証として発表する予定である。

（北海道・大雪山系）

大雪山系において現地測量と干渉 SAR 解

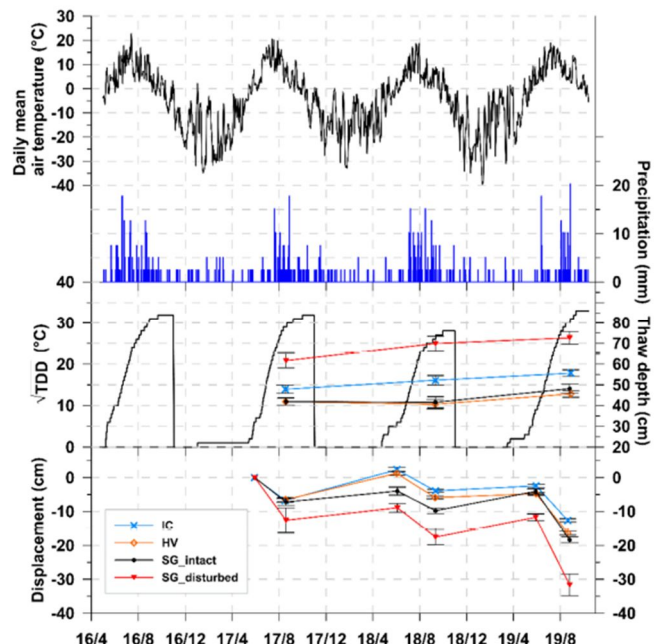


図1 アラスカ・ダルトンハイウェイ沿いの研究対象地、観測期間における日平均気温、降水量、積算暖度、融解深の変化および、地表面変位量 (Iwahana et al., 2021)

析による凍土の季節的な融解沈降量の検出を国内で初めて試みた。現地測量の結果，2020年5月下旬から6月下旬にかけて2cm強の沈降が検出され、その後8月下旬までに0.5cm強の沈降を示した。Sentinel-1干渉SARの結果，2019年・2020年共に主に風衝砂礫地での沈降が見られた。現地観測からは、雪解け直後の5月中旬から6月初旬の早い時期に季節的融解沈下量の8割の変位が起こることが確かめられた。干渉解析で得られた沈降の空間分布は、表面植生に乏しい風衝砂礫地と概ね一致していた。現地測量点における沈降の時間変化は、実測変位データの結果と同様の变化傾向を示した。しかしながら、5-6月の沈降量は1cm弱であり、実測変位データと比べ過小評価となった。これは、干渉SARと現地測量の空間代表性の違いによるところが大きいと考えられる。今後の山岳永久凍土融解速度の監視手法開発に向けて、さらなる検証が必要であるものの、なだらかな山容の大雪山系では山岳季節凍土の融解に伴う地表面変位観測を目的とした干渉SAR利用の有効性が確認できた（阿部ほか、2021）。

（シベリア・中央ヤクーチア）

シベリアでは、中央ヤクーチアの調査地マイヤ近郊において、森林、住宅地、牧草地、火災跡地を含む様々な土地を対象にALOS2およびSentinel-1データを用いた詳細な干渉画像解析を実施し、季節的・経年的な地表面変位量の空間分布について火災後に起こる地表層における凍土動態と地形や土壌水分量変化との関係を明らかにした。

伐採地やアラスでは沈下や隆起のシグナルを検出したが、森林地帯では変位シグナルはほとんどなく、コヒーレンスも中程度であった。地表面変位の季節変化と経年変化の両方を含む干渉画像を用いたInSARスタッキング処理により、2007から2010年までと2015から2018年までの

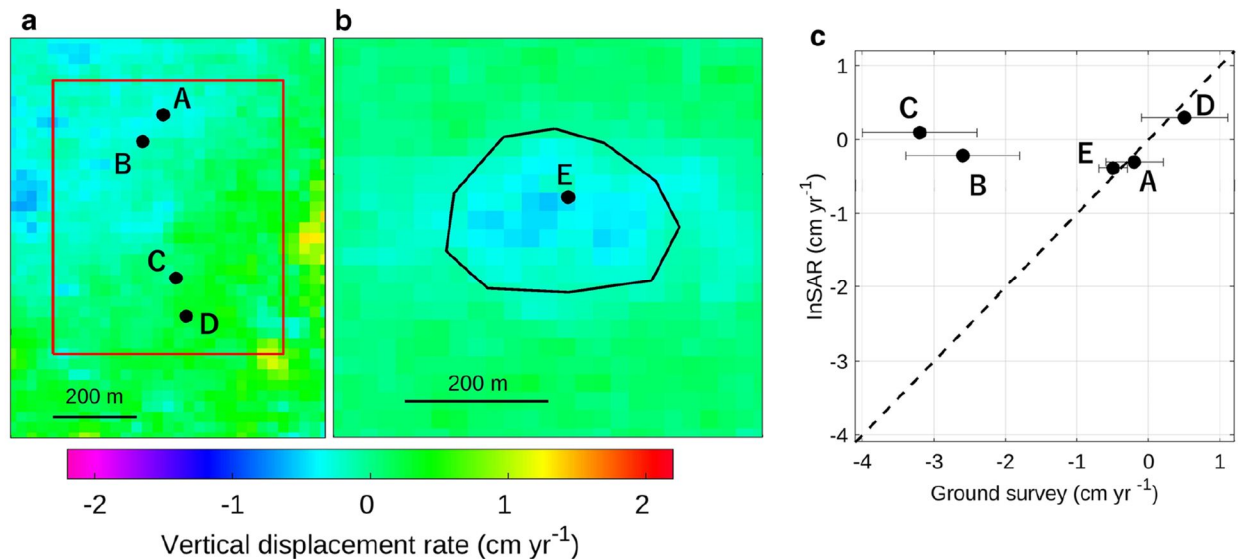


図2 シベリア・中央ヤクーチアのマイヤエリアにおける現地調査地点におけるALOS2/SM3干渉SAR解析図(a: 2017-9-29→2018-09-28), (b: 2015-10-2→2018-9-28)。(c) 現地調査および干渉SARによる変位量の比較 (Abe et al., 2020)

期間において、森林伐採域で $0.5\text{--}3\text{ cm yr}^{-1}$ の地盤沈下が検出された。また、同じ季節の異なる年に撮像されたSAR画像を用いた干渉画像を用いてスタッキング処理を行うと、2015-2018年の間で最大 2 cm yr^{-1} の沈下が検出した。沈下の大きさと空間的なパターンは、現地調査や高解像度光学画像を用いた観測と比較して、サーモカルスト沈下として定性的に妥当である（図2）。LバンドInSARのコヒーレンスは、部分的に森林に覆われた中央ヤクーチアにおけるサーモカルスト沈下を調べるために有効であり、永久凍土地域のサーモカルストプロセスをよりよく理解するために重要である（Abe et al., 2020）。

マイヤ近郊の森林火災地においては、2014年から2020年にかけて累積沈下量は最大7 cmで、そのほとんどが2016年までに発生していた。火災後の2017年から2020年にかけて、季節的な融解沈下と凍上の大きさは毎年変化していたが、凍上の経年変化は同年の融解期の降水量の経年変化と対応していた。このことから、融解期の降水量が凍土中のアイスレンズ形成の大きさに関係し、それが凍土融解に伴う地表面変位量に寄与することを示唆している（Abe et al., 2022）。

（シベリア・バタガイ）

バタガイ北西部の2014年火災跡地における先行研究（Yanagiya and Furuya, 2020）では、火災発生の前後がALOSとALOS-2の観測運用期間外であり、直後の地盤変動過程が不明だった。本研究期間においては、バタガイ周辺で2018・19年に発生した森林火災跡地において、“燃焼直後”の急速融解と凍上の時空間変化を捉えることができた。

Sentinel-1により検出した季節変化は、火災直後から2年目までに季節的な凍上期間が増加したことを示した。また、ALOS-2により検出した経年変化は、火災跡地における経年的融解沈下の振幅が焼失直後は小さく、1年目以降から卓越したことを示した。一方、沈降の開始前には凍上量そのものが増加していることも分かった。2019年から計測を開始した現地の融解深データをもとに、表層の有機層が焼失した地域では、火災前の地表から永久凍土層上端までの深さと火災発生の季節的なタイミングによって、燃焼直後の凍結融解過程が変化することを示した（Yanagiya et al., 2022）。

中央ヤクーチア・マイヤを加えた、上記三つの火災跡地の観測では、永久凍土上層の融解と活動層土壌水分の増加が共通している。これに加えて、バタガイ2014年火災跡地ではガリー浸食が発生した（図3）。

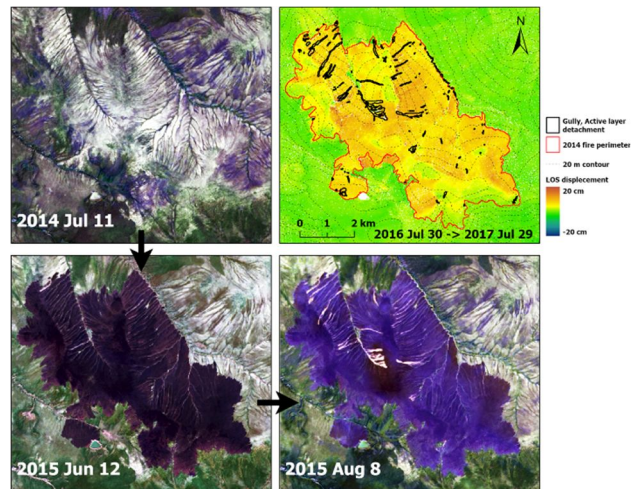


図3 （左上・左下・右下）バタガイ2014年火災跡地の変化、（右上）ALOS2画像を用いた干渉SAR解析結果、カラーマップは鉛直方向の2016年から2017年までの1年間の変位を示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 阿部隆博, 岩花 剛, 曾根敏雄, 内田昌男	4. 巻 84
2. 論文標題 合成開口レーダによる大雪山系における季節的凍土融解に伴う地表面変位量分布	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 雪氷	6. 最初と最後の頁 13-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5331/seppyo.84.1_13	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Abe, T., Iwahana, G., Efremov, P. V., Desyatkin, A. R., Kawamura, T., Fedorov, A., et al.	4. 巻 72
2. 論文標題 Surface displacement revealed by L-band InSAR analysis in the Mayya area, Central Yakutia, underlain by continuous permafrost	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-020-01266-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Yanagiya K., Furuya M., Danilov P., Iwahana G.	4. 巻 128
2. 論文標題 Transient Freeze Thaw Deformation Responses to the 2018 and 2019 Fires Near Batagaika Megaslump, Northeast Siberia	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Earth Surface	6. 最初と最後の頁 NA
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022JF006817	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Iwahana Go, Busey Robert, Saito Kazuyuki	4. 巻 10
2. 論文標題 Seasonal and Interannual Ground-Surface Displacement in Intact and Disturbed Tundra along the Dalton Highway on the North Slope, Alaska	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Land	6. 最初と最後の頁 22 ~ 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/land10010022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Abe Takahiro, Iwahana Go, Tadono Takeo, Iijima Yoshihiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Ground Surface Displacement After a Forest Fire Near Mayya, Eastern Siberia, Using InSAR: Observation and Implication for Geophysical Modeling	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth and Space Science	6. 最初と最後の頁 NA
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022EA002476	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計22件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Go Iwahana, Robert Busey, Reginald Muskett, Simon Zwieback, Franz Meyer, Hiroshi Ohno, Masao Uchida, Kazuyuki Saito
2. 発表標題 Fine-scale ground truth of ground displacement in the Anaktuvuk River Fire (ARF) for satellite and airborne L-band SAR
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuki Yanagiya, Masato Furuya, Go Iwahana, Petr Danilov, Alexandr Fedrov
2. 発表標題 Thaw subsidence and frost heave after 2018-20 forest fires around Batagay detected by InSAR and field observation
3. 学会等名 JpGU (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Go IWAHANA, Takahiro ABE, Kazuki Yanagiya, Masato FURUYA, Petr DANILOV, Takumi KAWAMURA, Petr EFREMOV, Alexey DESYATKIN, Syunji KANIE, Yoshihiro Iijima, Yuri ZHEGUSOV, Anastasia TSEEVA, Takeo TADONO, Alexander FEDOROV
2. 発表標題 Remote Sensing of Permafrost Land Deformation
3. 学会等名 Northern Forum (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Kazuki Yanagiya, Masato Furuya, Go Iwahana, Petr Danilov
2 . 発表標題 High- resolution frost heave map at fire scars in Batagay, NE Siberia, derived by L-band InSAR and validation with field observation
3 . 学会等名 Regional conference on permafrost (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Go Iwahana, Elizabeth LaDouceur, Hiroshi Ohno, Robert Busey, Benjamin Jones, Masao Uchida, Kazuyuki Saito
2 . 発表標題 Geochemical characteristics of frozen active layer and near-surface permafrost in the Anaktuvuk River Fire scar, Alaska
3 . 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Go Iwahana, Toshio Sone, Masao Uchida, Tokuta Yokohata
2 . 発表標題 Changes in surface conditions and permafrost environment of a summit area of the Daisetsu Mountains, Hokkaido, Japan
3 . 学会等名 JpGU (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Go IWAHANA, Takahiro ABE, Kazuki Yanagiya, Masato FURUYA, Petr DANILOV, Takumi KAWAMURA, Petr EFREMOV, Alexey DESYATKIN, Syunji KANIE, Yoshihiro Iijima, Yuri ZHEGUSOV, Anastasia TSEEVA, Takeo TADONO, Alexander FEDOROV
2 . 発表標題 Monitoring of permafrost land deformation and adaptation to related subsidence - 2017-2019 Case studies in the Sakha Republic, Russia -
3 . 学会等名 The 35th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 Go IWAHANA, Takahiro ABE, Kazuki Yanagiya, Masato FURUYA, Petr DANILOV, Takumi KAWAMURA, Petr EFREMOV, Alexey DESYATKIN, Syunji KANIE, Yoshihiro Iijima, Yuri ZHEGUSOV, Anastasia TSEEVA, Takeo TADONO, Alexander FEDOROV
2. 発表標題 Monitoring of permafrost land deformation and adaptation to related subsidence - 2017-2019 Case studies in the Sakha Republic, Russia -
3. 学会等名 第35回北方圏国際シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masato Furuya, Kazuki Yanagiya, Go Iwahana, Alexander Fedorov
2. 発表標題 Post-wildfire surface deformation at Batagay, Eastern Siberia: detection by L- and C-band InSAR and preliminary report of field observations
3. 学会等名 AGU Fall meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Abe, T., G. Iwahana, T. Tadono
2. 発表標題 Surface subsidence due to ground ice melting in Central Yakutia revealed by ALOS/ALOS-2 InSAR analysis
3. 学会等名 ESA Living Planet Symposium 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部隆博, 岩花剛, 田殿武雄
2. 発表標題 LバンドSARによる中央ヤクーチアにおけるサーモカルストに伴う地盤沈下マッピング
3. 学会等名 JpGU2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部隆博, 岩花剛, 田殿武雄
2. 発表標題 LバンドSARによるヤクーツク周辺の永久凍土融解に伴う地盤変状の検出
3. 学会等名 雪氷研究大会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部隆博, 岩花剛, 田殿武雄
2. 発表標題 衛星SAR 干渉解析によるシベリア・ヤクーツク周辺の永久凍土モニタリング
3. 学会等名 日本測地学会第132回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部隆博, 岩花剛, 田殿武雄
2. 発表標題 衛星リモートセンシングでみる東シベリアにおける森林火災に伴う地表面変化
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会第67回(令和元年度秋季) 学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Abe, T., G. Iwahana, T. Tadono
2. 発表標題 Thermokarst subsidence in Central Yakutia revealed by ALOS/ALOS-2 InSAR analysis
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Abe, T., G. Iwahana, T. Tadono
2. 発表標題 Thermokarst settlement in Central Yakutia detected by ALOS/ALOS-2 L-band SAR Interferometry
3. 学会等名 ISAR-6 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部隆博, 岩花剛, 田殿武雄
2. 発表標題 LバンドSARによるヤクーツク周辺の永久凍土融解に伴う地盤変状の検出
3. 学会等名 JpGU2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部隆博, 岩花剛, 田殿武雄
2. 発表標題 LバンドSARによるヤクーツク周辺の永久凍土融解に伴う地盤変状の検出
3. 学会等名 雪氷研究大会2018, 2018年9月 (北海道胆振東部地震により中止・誌上開催)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部隆博, 岩花剛, 田殿武雄
2. 発表標題 衛星SAR 干渉解析によるシベリア・ヤクーツク周辺の永久凍土モニタリング
3. 学会等名 日本測地学会第130回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部隆博, 岩花剛, 田殿武雄
2. 発表標題 衛星リモートセンシングでみる東シベリアにおける森林火災に伴う地表面変化
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会第65回(平成30年度秋季)学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Abe, T., G. Iwahana, T. Tadono
2. 発表標題 Ground deformation over permafrost region in Eastern Siberia, reveal by L-band SAR Interferometry
3. 学会等名 The Ninth Symposium of Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Abe, T., and others
2. 発表標題 Assessing and mediating damages on infrastructure and changes in ground surface due to permafrost thaw
3. 学会等名 The 34th International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	内田 昌男 (Uchida Masao) (50344289)	国立研究開発法人国立環境研究所・地球システム領域・主幹 研究員 (82101)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	阿部 隆博 (Abe Takahiro) (90809287)	三重大学・生物資源学研究所・研究員 (14101)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	柳谷 一輝 (Yanagiya Kazuki)	宇宙航空研究開発機構・EORC	
研究協力者	古屋 正人 (Furuya Masato) (60313045)	北海道大学・理学研究科・教授 (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
米国	University of Alaska Fairbanks		
ロシア連邦	Melnikov Permafrost Institute	Ist. of Bio. Prob. in Cryolithozone	