

(別紙様式6)

平成 29 年度 北極域研究共同推進拠点 共同研究等報告書

申請区分: 萌芽的異分野連携共同研究 共同推進研究
 産学官連携フュージビリティ・スタディ
 共同研究集会 産学官連携課題設定集会

研究課題名: 永久凍土融解に伴うインフラ破壊および地表面変化の把握と対策

研究期間: 平成 29 年度～平成 30 年度

共同研究員	氏名	所属・職名
研究代表者	岩花 剛	北海道大学・海外研究員
研究分担者(拠点外)	河村 巧	岩田地崎建設 土木本店 技術部長
	蟹江俊仁	北海道大学工学研究科・教授
	田殿武雄	JAXA・EORC
	Anastasia Tseeva	ヤクーツク国立建築計画科学研究所・所長
研究分担者(拠点内)	古屋正人	北海道大学理学研究院・教授
研究協力者	飯島慈裕	三重大学・准教授
	阿部 隆博	JAXA・EORC
	Alexsandr Fedorov	Yakutsk Permafrost Institute
	Yuri Zhegusov	Institute of the Humanities and the Indigenous People of North

【研究の内容】

1. 本研究の目的

本フュージビリティ・スタディ(FS)では、ロシアの永久凍土帯が直面する融解沈下による破壊過程(サーモカルスト)とその対策について、日露の産学官が連携して課題解決を探る取り組みへの実現可能性を検討する。2年間の研究期間で、現地観測データと予測される変化に対するこれまでの知見とロシア側のニーズを整理すること、日本側から提供可能なリモートセンシング技術・情報と現地観測データを併せたインフラ破壊過程のモニタリング技術の開発を進めること、また、得られるインフラ破壊のモニタリング情報を現地の建築・土木工学的な対策につなげて、日露の技術者およびステイクホルダーが北極陸域の変化に対応する共同体制構築について検討することを目的とする。

2. 活動報告

本年度は、二度のプロジェクト会議を北極域研究センターで開催し、ヤクーツク周辺において現地観測を実施した。

A) 第一回会合

2017年8月3日 14:00-18:00、北大創成研究棟 3F セミナー室 D において第一回会合を



写真1（左）ジグーソフ氏による永久凍土融解沈下現場の説明（チェルケフ村）：写真2（右）ヤクーツク市の集合住宅周辺の永久凍土地盤を安定化させるためのヒートパイプを視察する河村氏

開いた。田中雅人特任教授より産学官連携支援事業の概要が説明された後、それぞれの自己紹介と研究内容、本 FS に関連した話題と要望について各研究構成員が発表を行った。発表後の質疑応答に加え、FS の進め方、現地調査内容などについての意見交換を行った。現地調査については、研究対象地ヤクーチアにおけるインフラ被害の実例について、基礎建設の違いによる被害度合いの変化、地域差についてなどをロシア側のカウンターパートを通じて調査することが議論された。また、衛星観測の実務者の立場から現場に求める情報についての意見が交換された。

B) ヤクーツク現地調査

現地調査には、岩花・阿部・河村の三名が参加し、9月23日から10月6日の日程で実施した。ロシア側の研究協力者ジグーソフ氏の協力の下、ヤクーツク市やサハ共和国全体で必要とされる永久凍土の融解に関わる環境変化に対する現地の要望について情報収集を行った。また、分担研究者ツェーエバ氏との会談では、日本側の衛星リモートセンシングとヤクーツク市におけるインフラモニタリングデータを併せた今後の研究体制について議論し、今後の共同研究の実施可能性について検討した。ツェーエバ氏を含む現地共同研究者との情報交換からは、ヤクーツク市街における建築物変位量の測量データの提供の難しさが示唆された。一方、ヤクーツク郊外、特にレナ川右岸域における村落周辺のサーモカルスト沈下、道路や鉄道における融解沈下の程度について、その空間分布が衛星から捉えられるならば、温暖化に伴う永久凍土融解がもたらす土地変化への対策について、現地の住人やステイクホルダーにとって大きな助けになることが確認された。

ヤクーツク市での会合および視察の後は、レナ川右岸のトゥングルー村、チュラプチャ村およびチェルケフ村で進行するサーモカルストの視察を行った。次に、マイヤ村に移動し、今後のサーモカルスト進行を現地で計測し、衛星リモートセンシングの検証データを取得するための測量点を設置した。

C) 第二回会合

2018年2月19日15:00-18:00、北大北極域研究センター・セミナー室において第二回会合を開催した。本会合では、2017年9月に実施された現地調査の報告および2017年末までに取得されたSAR画像の解析結果についての議論を行った。まず、岩花より本FSの目的の確認と2017年現地調査報告、ヤクーツクにおける共同研究者Tseeva氏とのヤクーツク・ステーキホルダーからの要望や入手できそうな現地測量データについてのやりとりが報告された。続いて、阿部よりMayyaエリアのPALSAR1/2画像を用いたInSAR解析が開地部分のサーモカルスト沈下を捉えている可能性について発表された(詳細は次章に記述した)。飯島からは、Churapchaエリアにおける現地調査報告とPALSAR2を用いたInSAR解析の有効性およびCosmoSkyMed画像を用いたサーモカルスト検知の可能性について報告された。最後にゲストスピーカーとして、北大理学部・古屋研究室の柳谷よりサハ共和国北部バタガイ周辺におけるPALSAR2画像を使ったInSAR解析についての発表があり、森林火災後の地表面変動の空間分布が捉えられることについて報告された。すべての研究対象エリアにおいて、サーモカルストの空間分布に対するL-band InSARの有効性が報告され、本FSにおいて柱となるリモートセンシング手法の実用性が確認された。

最後に、2018年度に予定されている現地調査内容や実施時期などについての意見交換を行った。2018年度は、9月から10月にかけての現地調査において検証データの取得が予定された。また、現地調査の前に第三回会合(現地調査検討会)、年度末までに第四回目会合(最終統括)を開く予定である。

3. InSARを利用した永久凍土融解のリモートセンシングについてのFS詳細

本研究では、シベリア・ヤクーツク周辺(図1)における永久凍土融解に伴う地盤沈下量とその

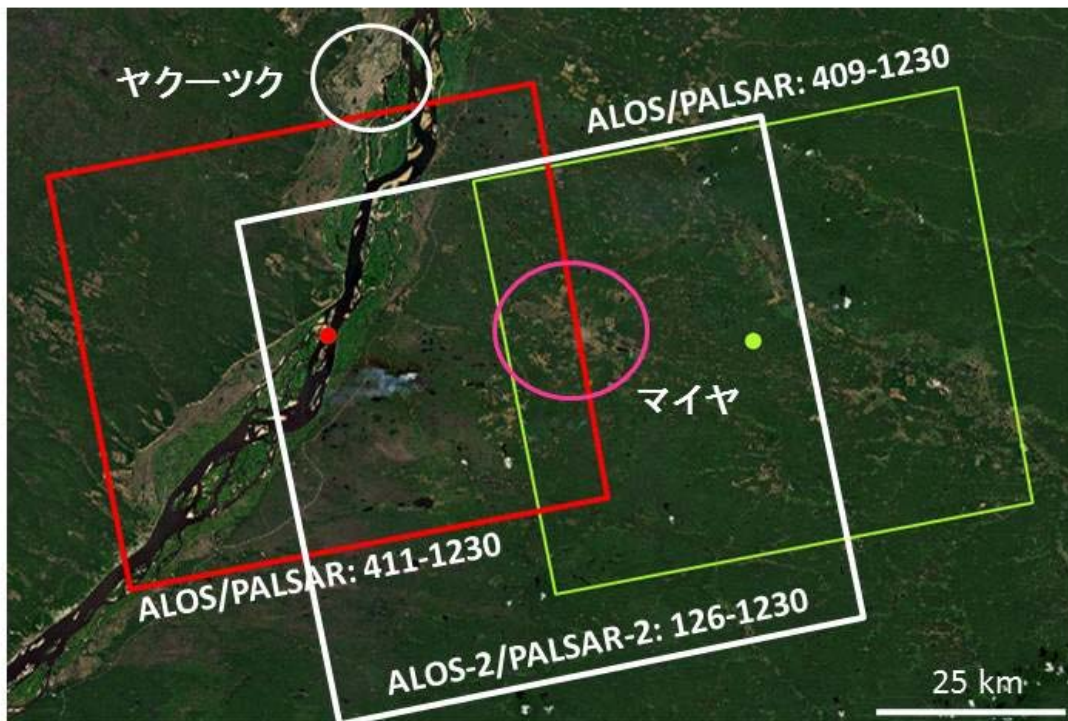


図1 研究対象地域とALOSおよびALOS-2の撮像範囲

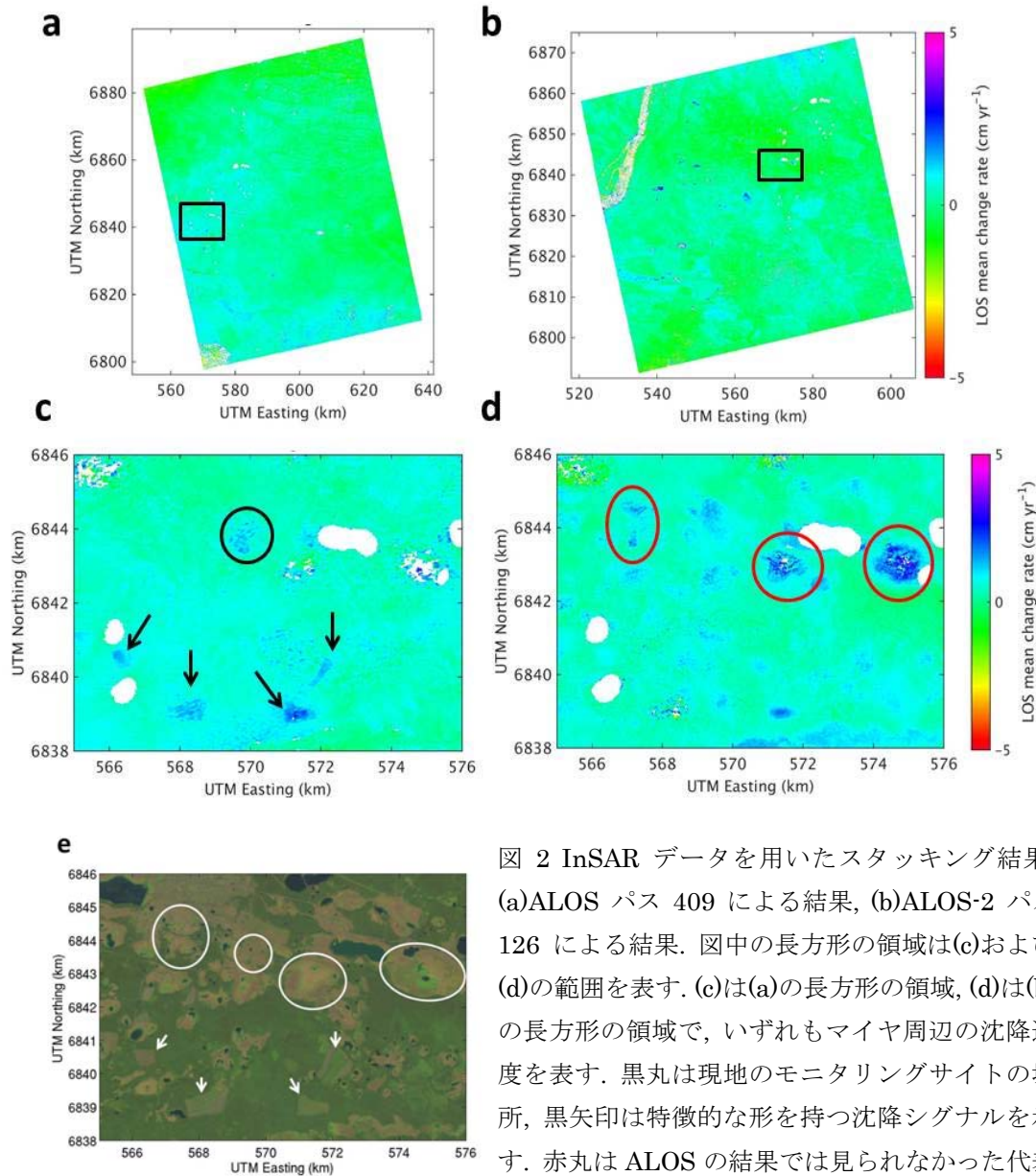


図 2 InSAR データを用いたスタッキング結果. (a)ALOS パス 409 による結果, (b)ALOS-2 パス 126 による結果. 図中の長方形の領域は(c)および (d)の範囲を表す. (c)は(a)の長方形の領域, (d)は(b)の長方形の領域で, いずれもマイヤ周辺の沈降速度を表す. 黒丸は現地のモニタリングサイトの場所, 黒矢印は特徴的な形を持つ沈降シグナルを示す. 赤丸は ALOS の結果では見られなかった代表的な沈降シグナル. (e) は Landsat-8 のカラー合成画像で(c)や(d)と同じ領域を示す. 白の矢印や丸は(c)や(d)の矢印や丸と対応する.

空間分布を調べるために, 日本の人工衛星だいち(ALOS)およびだいち 2 号(ALOS-2)に搭載されている L バンド合成開口レーダー (PALSAR および PALSAR-2)が取得した夏季 (7月から10月上旬まで)のデータを用いた. ソフトウェアは Gamma を使い, ALOS は Lv1.0, ALOS-2 は Lv1.1 データから解析を行った. DEM は ALOS/PRISM から生成された 5 mメッシュのものを用いた. 位置合わせ済みの 2 枚の SLC 画像を用いて干渉処理(InSAR)を行い, 2 時期間の視線方向(Line Of Sight; LOS)の変位を得た. ALOS, ALOS-2 とともに複数の干渉画像(InSAR 画像)を生成し, 干渉性が良好なものを選定した.

DEM の精度エラーや大気由来のノイズを除くと、どの解析結果も概ね±3 cm 程度の範囲で収まっており、一般的に考えられている InSAR での検出精度と同等であった。永久凍土融解に伴う地盤沈下量は年間数 cm 程度と極めて小さく、それぞれの干渉画像では予想されるシグナルが平均的なノイズレベルと同等になってしまうため、検出および判断が難しい。そこで干渉画像中に含まれるランダムノイズを低減するために、各ペアの 2 時期間の日数に応じた重み付き平均を施し（スタッキング処理）、衛星視線方向(LOS)の平均沈降速度を求めた。そして得られたシグナルを光学画像と比較し、沈降場所の確認を行った。

図 2 は ALOS および ALOS-2 の InSAR 結果を用いたスタッキング処理によって得られた平均変位速度である。元のそれぞれの干渉画像と比較して、シーン全体に渡ってスムーズな変位速度場が得られている（図 2a, 2b）。

レナ川の右岸に位置するマイヤ(図 1)では、ではサーモカルストの進行が顕著であり、また現場観測も従来から行っていることからこの地域の変動について注目した。図 2c および 2d はマイヤ周辺の LOS の平均変位速度場の拡大図である。図 2c では、中央の黒丸がモニタリングサイトの場所であり、1-2 cm/yr 程度の LOS 伸長のシグナルが得られた。その他の箇所でも 2-3 cm/yr 程度の沈降を示唆する LOS 伸長のシグナルが見られ（矢印）、その形状が特徴的である。図 2d でも同様のシグナルが得られているが、その場所や変動量が図 2c とは異なる。これらの沈降シグナルは森林伐採後の開地の場所（図 2e）と一致し、その沈降量は場所によって異なっていた。ALOS と ALOS-2 の解析結果を比べると沈降速度が大きくなっている場所と小さくなっている場所があり、これはサーモカルストの沈下の進行度合いを表していることが示唆される。

【研究論文や著書等】

1) Go IWAHANA, Takahiro ABE, Takumi KAWAMURA, Syunji KANIE, Takeo TADONO, Masato FURUYA, Yoshihiro IJIMA, Aleksandr FEDOROV, Yuri ZHEGUSOV, Anastasia TSEEVA. 2018. Assessing and mediating damages on infrastructure and changes in ground surface due to permafrost thaw. Proc., 33rd Intl. Symp. on Okhotsk Sea and Polar Oceans 2018: 126-128.

【研究発表】

1) Go IWAHANA, Takahiro ABE, Takumi KAWAMURA, Syunji KANIE, Takeo TADONO, Masato FURUYA, Yoshihiro IJIMA, Aleksandr FEDOROV, Yuri ZHEGUSOV, Anastasia TSEEVA, Assessing and mediating damages on infrastructure and changes in ground surface due to permafrost thaw. 2017. 第 33 回北方圏国際シンポジウム, 2018 年 2 月 20 日, 紋別市.

【アウトリーチ、取材、その他】

2017年6月、朝日新聞特集「地球異変」の取材協力