

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2013

課題番号：22404001

研究課題名（和文） レーダを用いた永久凍土水分・凍結状況推定アルゴリズムの開発

研究課題名（英文） Algorithm development to detect moisture, thaw/freeze condition by using radar.

研究代表者

渡邊 学 (Watanabe Manabu)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・地球観測研究センター・主任研究員

研究者番号：10371147

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は以下を明らかにすることであった。

- 1) 永久凍土の水分量の違い、凍結・融解状態でのレーダの散乱特性の解明。
- 2) 衛星データを用いて、永久凍土の水分量の違い、凍結・融解を広範に推定するアルゴリズムの作成
- 3) シベリアで凍結/融解マップを作製し、温暖化が住人の生活に与える影響を評価する。
1) については、2層散乱モデルを提案し、PALSAR/フルポーラリメトリモードデータがモデルでよく再現できることを明らかにした（雑誌論文③）。また、凍結・融解状況による違いで、後方散乱係数の値が大きく異なることを示した（雑誌論文⑦）。2) については、上記の結果を元に、アルゴリズムの提案を行った（雑誌論文⑦）。3) については、PALSAR/full polarimetryモードのデータを用いてロシアのレナ川沿いの凍結/融解マップを作製した。そして、2007年にロシアのMarkhaという町で起こった大規模極域洪水の原因が、急激な地表面の融解である可能性があることを明らかにした（雑誌論文⑨）。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study is to clarify the following issues.

- 1) Understanding the radar reflection mechanism from permafrost with different moisture condition, and with thaw/freeze condition.
- 2) Develop an algorithm for estimating moisture and detect thaw/freeze condition in the permafrost area.
- 3) Produce the thaw/freeze map in Siberia and discuss the effect for the local life.

To address issues 1), two layer model was suggested for a permafrost area, and it is shown that the model well explains the PALSAR/full polarimetry data (Paper ③). Thaw/freeze condition was classified by the backscattering coefficient (Paper ⑦). To address issues 2), an algorithm to estimate the soil moisture was suggested (Paper ⑦), based on the results in 1). To address issue 3), freeze/thaw map was produced around the Lena River in Russia from PALSAR full polarimetry mode. The map indicates that one of the possible reasons for inducing the large ice jam in Markha in 2007 was rapid ground thawing.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22年度	3,000,000	900,000	3,900,000
23年度	1,300,000	390,000	1,690,000
24年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
総計	5,400,000	1,620,000	7,020,000

研究分野：環境学

科研費の分科・細目：環境解析学—環境動態計測

キーワード：土壌水分、永久凍土、SAR、フルポーラリメトリ

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化の影響は北極圏で大きく現れる。アラスカでも凍土が融けたことによる、家屋の倒壊などが報告されており、永久凍土の融解が温暖化の影響でどこまで進んでいるかを広範囲で知ることが求められている。また、アラスカでは温暖化に伴う森林と地表面の乾燥のため、雷に起因する森林火災が増加している。森林火災の広がりやすさは土壌水分に大きく影響するため、広域にわたる永久凍土地帯での水分量推定が求められている。一般的に土壌水分と地表面粗さはLバンド合成開口レーダ（SAR）の後方散乱係数を用いてよく推定されると考えられている。そしてこれまでの研究で航空機搭載 SAR データに基づいた、いくつかの土壌水分量推定アルゴリズムが提案されている。Shi ら¹⁾は IEM 理論モデルをやや簡易化した推定アルゴリズムを提案し、航空機搭載 SAR のデータとよく合うことを示した。また、Oh²⁾らも地上設置型散乱計のデータを用いてアルゴリズムを提案し、航空機搭載 SAR で検証を行った結果、数 dB の範囲で合っていることを確認した。

これに対し、2006 年に日本で打ち上げられた衛星に搭載された Lバンド SAR(PALSAR) は、世界で初めてフルポーラリメトリモードを持ち、広域にわたる土壌水分の推定が期待された。しかし、申請者らが PALSAR と同期した地上実験を行った結果、PALSAR データがこれまで提案されたモデルと合わないことが明らかになった。

1) Jiancheng Shi, et al., Trans. Geosci. Remote Sensing, VOL. 35, NO. 5, pp1254-1266, 1997

2) Y. Oh, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, Vol. 42, No 3, pp596-601, 2004

2. 研究の目的

本研究の目的は以下を明らかにすることであった。

- 1) 永久凍土の水分量の違い、凍結・融解状態でのレーダの散乱特性の解明。
- 2) 衛星データを用いて、永久凍土の水分量の違い、凍結・融解を広域に推定するアルゴリズムの作成
- 3) シベリアで凍結/融解マップを作製し、温暖化が住人の生活に与える影響を評価する。

3. 研究の方法

衛星観測と同期した地上実験を行い、精度の

高い検証データを収集し、PALSAR データに合う散乱モデルの開発を行う。また、PALSAR は、同時期に広域を取得するような計画観測が行われていることから、ロシアレナ川流域で雪解け洪水が起こる 3 月～5 月のデータのモザイク画像を作成し、地面と川の融解の様子を調べることで、雪解け洪水の起源について探る。

4. 研究成果

1) については、永久凍土域では表面に数 cm～数十 cm あるミズゴケの影響が大きいことを明らかにし、このミズゴケ層とその下にある土壌層の、2 層散乱モデルを提案した。そして永久凍土域で得られた PALSAR/フルポーラリメトリモードの後方散乱係数が、提案したモデルでよく説明されることを示した（〔雑誌論文〕③）。また、永久凍土の凍結・融解による違いで、後方散乱係数 (σ^0) の値が大きく異なることを示した（雑誌論文⑦）。2) については、上記の結果を元に、以下に示すような土壌水分推定アルゴリズムの提案を行った。

$$ks = \left[-3.125 \ln \left\{ 1 - \frac{\sigma_{vh}^0(\text{Winter})}{0.11(M_v(\text{winter}))^{0.7} (\cos(\theta))^{2.2}} \right\} \right]^{0.556}$$
$$M_v = \left[\frac{1}{0.11(\cos(\theta))^{2.2}} \frac{\sigma_{vh}^0(\text{Summer})}{1 - \exp \left\{ \frac{(ks)^{\frac{1}{0.556}}}{-3.125} \right\}} \right]^{0.556}$$

ここで、 M_v は冬の凍結した時期の永久凍土の誘電率で、現地で測定された値を入れている。また、 $\sigma_{Hv}^0(\text{Winter})$ は冬季に観測さ

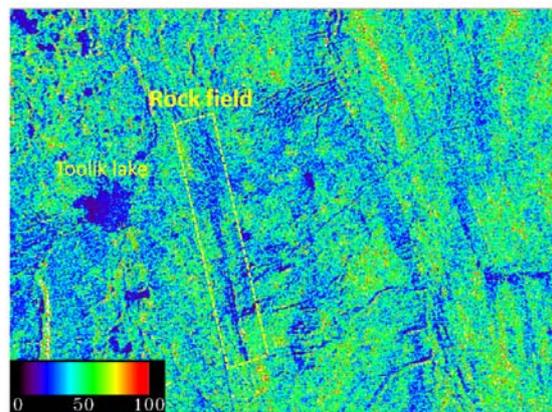


図 1、永久凍土域の水分量マップ

れたHV偏波の後方散乱係数、 θ は入射角で、これらを元にまず表面粗さを見積もる。次に σ_{HV}^{0} (Summer)と、上記で得られた表面粗さを使って水分を求める。得られた水分マップを図1に示す(雑誌論文⑦)。得られたマップは数%~10%程度の精度で現地データの値と一致した。

3) については、凍結・融解を広範に推定するアルゴリズムの作成を行った。具体的には凍結時と融解時でHV後方散乱係数が約8dB違うことを利用し、地表面が凍結しているかどうかを調べた。極域洪水が多く起こった2007年と、ほとんど起こらなかった2009年のデータで融解/凍結マップを作成したところ、2007年4月上旬に、地表面の融解が急激に起こっていることが分かった。図2で2007年3月29日とほぼ同時期の2009年4月3日に観測されたパス416の画像を比較してみると、2009年の画像で緑が強く表れており、この時点では2009年の方が森林部の融解が進んでいることが分かる。一方、12日後の2007年4月10日と2009年4月15日に観測されたパス414の画像を比較すると、逆に2007年の画像で緑が強く表れた。このことから2007年は2009年に比べ、この12日の間に森林部の樹木の融解が急速に進んだと考えることができる。さらに5日後の2007年4月15日と2009年4月20日に観測されたパス417の画像比較では、両方共に緑が同じ程度現れており、森林樹木はほぼ融解したことが分かる。実際、パス417の森林部の σ_{HV}^{0} 値は、サイクル10(2007年4月10日)で13.5 dB、46日後のサイクル11(5月31日)では12.1 dBとなり、ほぼ同じ値であった。ロシアの新聞情報によると、この場所より下流のMarkhaで2007年5月7日に洪水が起こっていた。今回のMarkha周辺で観測された陸域、河川の融解状況の変化を考えると、2007年は2009年に比べ、より急激に地表面の融解が起こったことが、2007年のアイスジャム洪水につながった可能性があるかと推定された(第53回(平成24年度秋季)リモートセンシング学会講演論文集)。この結果については、現在査読付き論文に投稿し、査読審査を受けている。また、温暖化によって引き起こされた洪水が与える影響について評価するのに使用するため、洪水が起こった箇所の検出についても、衛星データ(PALSAR/4偏波モード)を用いて行った。そして、4偏波パラメータの内、 $\gamma_{(HH+VV)-(HH-VV)}$ が有力な手法であること明らかにした(Proceedings of International Symposium on Remote Sensing 2013)。この結果は、

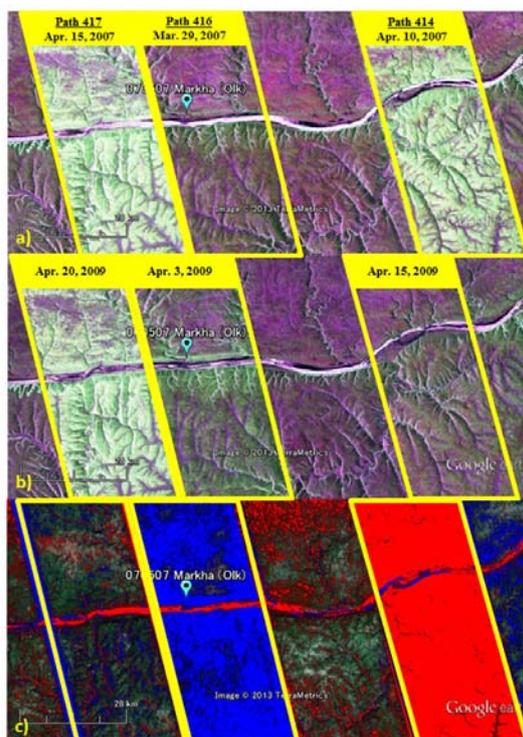


図2、PALSAR/full polarimetry モザイクイメージ。赤：HH 偏波 緑：HV 偏波 青：VV 偏波。a) 2007年、b) 2009年、c) 2007年と2009年の差。Red： $\sigma_{HV}^{0}(2007) - \sigma_{HV}^{0}(2009) \geq 2\text{dB}$ 、Blue： $\sigma_{HV}^{0}(2007) - \sigma_{HV}^{0}(2009) \geq -2\text{dB}$

査読付き投稿論文に投稿準備中である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14件)

- ①米澤千夏 齋藤元也 渡邊学 石塚直樹 根岸正浩 村木広和 東健太 小川茂男、RADARSAT-2 の単偏波・全偏波観測データによる水田モニタリング、第48回(平成22年度春季)リモートセンシング学会講演論文集、査読なし、p73-74、2010
- ②佐藤 源之 渡辺学 井上 尚明、奥の山古墳地中レーダー探査実験について、埼玉県立史跡の博物館紀要、査読無、4、pp41-49、2010
- ③ Manabu Watanabe Gaku Kadosaki Yongwon Kim Mamoru Ishikawa Keiji Kushida Yuki Sawada Takeo Tadono Masami Fukudah and Motoyuki Sato、Analysis of the sources of variation in L-band backscatter from terrains with permafrost、IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing、査読有、50、pp44-54、2012
- ④ M. Watanabe K. Kushida C. Yonezawa M. Sato M. Fukuda、PALSAR full-polar

imetric observation for peatland, Asian Journal of Geoinformatics (<http://www.geoinfo.ait.ac.th/ajg/index.php/journal>), 査読有、11、2011

⑤ Manabu Watanabe, Takeshi Motohka, Yousuke Miyagi, Chinatsu Yonezawa, and Masanobu Shimada, Analysis of Urban Areas Affected by the 2011 off the-Pacific-Coast of Tohoku Earthquake and Tsunami with L-band SAR Full-Polarimetric Mode、IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing Letter、査読有、9、pp536-540、2012

⑥ Manabu Watanabe Keiji Kushida Masami Fukuda Motoyuki Sato, Moisture & Roughness Map in Arctic National Wildlife Refuge/Alaska、Proceedings of Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar 2011、査読無、pp265-268、2011

⑦ Manabu Watanabe, Keiji Kushida, Koichiro Harada, Masami Fukuda, Motoyuki Sato, Moisture & roughness estimation algorithm over permafrost area、Proceedings of 2011 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium、査読無、pp2598-2601、2011

⑧ Chinatsu Yonezawa Manabu Watanabe and Genya Saito, Polarimetric Decomposition Analysis of ALOS PALSAR Observation Data before and after a Landslide Event、Remote Sensing、査読有、4、pp2314-2328、2012

⑨ 渡邊学 高倉浩樹 米澤千夏 吉川泰弘 島田政信、PALSAR フルポーラリメトリによる極域洪水原因の推定、第 53 回 (平成 24 年度秋季) リモートセンシング学会講演論文集、査読無、pp243-244、2012

⑩ Manabu Watanabe, Hiroki Takakura, Masanobu Shimada, Detection of ice jam floods using PALSAR full polarimetry data、Proceedings of International Symposium on Remote Sensing 2013、査読無、2013

⑪ 渡邊学 河野宣幸 直木和弘 島田政信、PiSAR-L2 を用いた農地塩害域検出の試み、第 53 回 (平成 24 年度秋季) リモートセンシング学会講演論文集、査読無、pp39-40、2012

⑫ 渡邊学 米澤千夏 本岡毅 白石知弘 ラジェッシュタパ 島田政信、小型気球カメラを用いた樹高推定、第 52 回 (平成 24 年度春季) リモートセンシング学会講演論文集、査読無、pp227-228、2012

⑬ 白石知弘 本岡毅 ラジェッシュバドールタパ 磯口治 渡邊学 島田政信、教師付分類を用いたリモートセンシング画像の土地利用分類、第 11 回情報科学技術フォーラム、講演論文集、査読無、3、pp173-174、2012

⑭ 島田政信 河野宣幸 渡邊学 本岡毅

大木真人、Pi-SAR-L2 の開発と校正検証、第 53 回 (平成 24 年度秋季) リモートセンシング学会講演論文集、査読無、pp37-38、2012

[学会発表] (計 8 件)

① Manabu Watana, Motoyuki Sato, Koichi Iribe, Masami Fukuda, Masanobu Shimada, Takeo Tadono, Gaku Kadosaki, Kazuki Nakamura, and Kazuo Ouchi、Observation of active layer in permafrost using the PALSAR/full polarimetry mode、The 4th Joint PI Symposium of ALOS Data Nodes for ALOS Science Program 2010 Tokyo, Nov. 15-17, 2010、Tokyo/Otemachi Sankei Plaza

② Manabu Watanabe, Hiroki Takakura, Masanobu Shimada, Detection of ice jam floods using PALSAR full polarimetry data、International Symposium on Remote Sensing 2013, 16 May 2013, Makuhari Seminar House, Chiba, Japan

③ Manabu Watanabe Noriyuki Kawano Kazuhiro Naoki Masanobu Shimada, PiSAR-L2 observation of agricultural area damaged by seawater during the Great East Japan Earthquake in 2011、Asia-Pacific Remote Sensing、Nov. 1, 2012、Kyoto/Kyoto international conference center

④ 渡邊学 河野宣幸 直木和弘、PiSAR-L2 を用いた農地塩害域検出の試み、第 53 回 (平成 24 年度秋季) リモートセンシング学会、Nov. 18-19, 2012、広島/広島大学

⑤ 島田 政信 河野 宣幸 本岡 毅 渡邊学、航空機搭載合成開口レーダーPi-SAR-L2 の校正検証及び環境監視、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、May 19-24, 2013、千葉/幕張メッセ国際会議場

⑥ Hiroki Takakura, Yasuhiro Yoshikawa, Manabu Watanabe, Toru Sakai, Tetsuya Hiyama, Ice movement in the Lena River and the typology of spring flooding: An interpretation of local sources integrated with satellite imagery using a multidisciplinary approach、Third International Symposium on the Arctic Research、January 14-17, 2013、Tokyo/Miraikan

⑦ 島田政信 河野宣幸 渡邊学 本岡毅 大木真人、Pi-SAR-L2 の開発と校正検証、第 53 回 (平成 24 年度秋季) リモートセンシング学会、Nov. 18-19, 2012、広島/広島大学

⑧ Manabu Watanabe, Analysis of Urban Areas Affected by the Great East Japan Earthquake in 2011with L-band SAR Full-Polarimetric Mode、RESES、Sept. 1-3, 2012、山梨/Laforet Yamanakako

〔図書〕（計 0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 学 (Watanabe Manabu)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・地球
観測研究センター・主任研究員

研究者番号：10371147

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：