

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 20 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350415

研究課題名(和文) 多年度ステレオ写真解析による過去半世紀の南極氷床縁変動の追跡

研究課題名(英文) Detection of marginal fluctuation of the Antarctic ice sheet of the past half-century by multi-temporal stereo images.

研究代表者

澤柿 教伸 (SAWAGAKI, Takanobu)

法政大学・社会学部・准教授

研究者番号：70312410

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、空中写真と衛星画像という2種類のリモートセンシングデータから数値標高モデルを生成・比較することで、南極・宗谷海岸における過去45年間の氷床の表面高度変化を検出することを目的として実施した。その結果、南極・宗谷海岸地域を撮影した1960年代以降のステレオペア画像のカタログ化を完了した。実際にラングホブデ地域において氷床の表面高度変化と末端の前進を解析した結果、ラングホブデ氷河が、末端位置を1975年から2007年にかけて大きく後退させた一方、表面高度は定常状態もしくはわずかに増加傾向であったことがあきらかとなった。

研究成果の概要(英文)：This study aims to detect in the marginal fluctuation of the Antarctic ice sheets of the past 45 years long the Soya Coast, by comparison of two types of digital elevation models of aerial photographs and satellite images. As a result, the catalog of the stereo pair images of since the 1960s, covering this region has been completed. The actual result of the analysis of the surface elevation change and the terminus position of the Langhovde glaciers shows that its terminal position is retreated significantly from 1975 to 2007, while surface elevation was slightly increased or steady state.

研究分野：自然地理学

キーワード：南極氷床 写真測量 リモートセンシング 地球温暖化

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化によって、極域雪氷圏の変動、特に氷床の融解が海面変動に及ぼす影響が懸念されている。最近の人工衛星による観測では、数年から10年程度の時間スケールで氷床の質量変化や表面高度変化が検出されるようになった。その結果、南極氷床に関しては、最近数年間の質量減少傾向が明らかになりつつある。しかしながら、人工衛星技術によってさかのぼれるのはせいぜい20年程度であり、それ以前の南極氷床の変動傾向は良くわかっていない。

過去25年間、3度の南極調査により、昭和基地周辺の氷床末端がこの間に目視でも判断できるほどの変化があったことを体感している。しかしそれを裏付けるような実データは、意外にもまだ存在しない。一方、日本の南極観測は、国際地球観測年への参加を契機に1952年に開始され、これまで半世紀以上にわたって観測を継続してきた実績がある。その中で、未踏地域の偵察や公的地形図の作成を目的とした空中写真撮影が断続的に実施されており、相当の収集量がある。また2007年以降は地球観測衛星「だいち」(ALOS)による可視光ステレオペア画像も取得されている。これらを使えば、昭和基地周辺の氷床縁変動を証明する実データが得られるはずである。

申請者は南極観測に携わると同時に、山岳氷河とその周縁地形の形態を高い空間分解能で図化する技術の開発と、経年変動の解明に取り組んできた。その結果、ステレオペア画像から複数のデジタルモデルを作成してそれらを数値的に比較する技術の開発に成功し(澤柿・ラムサール, 2011; Lamsaletal., 2011など)、それをヒマラヤの山岳氷河やグリーンランドの氷床に適用することで、氷河湖やカービング氷河の経年変化を明らかにしてきた。この手法を過去50年の観測実績がある日本の南極観測隊の活動範囲に適用することで、人工衛星で検出可能な時間スケールを凌駕するより長い氷床縁や溢流氷河の変動を明らかにすることができると思われる。

2. 研究の目的

本研究では上記の見通しに基づき、南極氷床沿岸域において、日本および諸外国の南極観測隊が過去半世紀にわたって撮影してきたステレオ写真を収集し、それらをデジタル図化することによって、氷床縁の雪氷・地形変動を検出する。高精度の Digital Surface Model (DSM)を作成して、最新の人工衛星データとも対応させ、サブメートル精度の図化測量での変化を捉える。この作業によって、以下の a~c の3点について氷床変動を見出す。

- a 氷床末端の後退・前進の数十年オーダーの経年変化
- b 氷床末端付近の表面高度(氷厚)の数十年オーダーの経年変化
- c 氷床末端露岩域の地形の数十年オーダーの

経年変化、数十年オーダーの氷床末端変化の基礎データと新知見を与える。

以上が本研究の目的である。

3. 研究の方法

南極・昭和基地周辺でこれまでに撮影された国内外のステレオ画像を収集し、それらをカタログ化して今後の解析の基礎資料とする。目標としているのは、日本の南極地域観測隊が活動範囲としてきた、東南極・東ドローニングモードランドに位置するプリンスオラフ海岸および宗谷海岸地域である(図1)。

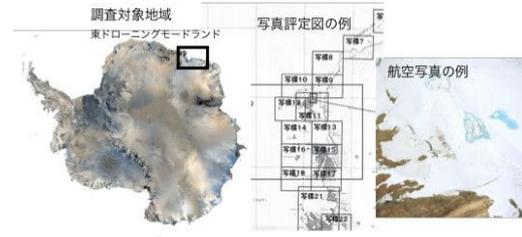


図1：研究対象地域

カタログ化した画像の中から、撮影範囲・撮影時期・撮影のクオリティなどをもとに、経年変化を追跡できる多年度ペアを選定して、デジタル図化を行う。図化によって得られた DSM から多年度差分を算出することで、経年変化を数値的に明らかにする。同時に、ステレオ画像判読によって地形解析を行い、氷床表面のクレバスや氷床表面湖の形態をマッピングし、質的な表面変動も明らかにする。判読の解釈から得られる質的な情報は、氷床縁変動をよりよく理解するための新たな知見を生み出すことが期待され、さらには予想もしなかった現象を発見する可能性もある。

4. 研究成果

① 各種地理空間データの収集・整理

2014年3月に、国土地理院が、第1次観測隊(1956年)以来南極観測隊に職員を派遣して取得・整備してきた、地形図・空中写真・衛星画像・基準点測量等の成果の提供を Web サイトで開始した。ここで提供されているデータのうち、地図画像については、これまでに作成した紙地図等の画像化データ(TIFF形式)であり、衛星画像と地形図を重ね合わせた地図もある。また、2006年から2011年に撮影された地球観測衛星「だいち」(ALOS)の衛星画像を使用して計測したデジタル標高データも提供されており、南緯約73度以北の東経約21度付近から東経約45度付近までの広範囲に及んでいる。

国土地理院がこのデータを公開する以前より、本研究でも、国立極地研究所と共同で、国土地理院や極地研究所に保管されていた空中写真を発掘・整理してきたところであるが、その結果、撮影年は1959年から始まり断続

的に 2004 年まで撮影された総数 10181 枚にのぼる空中写真を収集できていた。公開画像と独自収集画像を整理した結果、航空機による撮影画像には、斜め写真、垂直写真、ステレオペア画像があり、これらのうち表面高度変化を解析するのに適したステレオペア画像でかつ多時期で比較できる地域は、幾つかに限られることが明らかとなった（表 1）。

表 1：ステレオペア画像カタログ

Place/Year	1957	1962	1969	1971	1975	1983	1991	1993	2000	2004	2007
<<Soya coast>>											
Origo island											
Langhede											
Skarvnes											
Skallen											
Shirase											
Date/year/month/day	57/1/28-2/1	62/1/5 -23	69/1/16 -27	71/2/14 -24	75/1/14 -3/29	82/1/12 -8/12/22	90/12/4 -9/1/22	92/1/12 -17	00/1/19 -22	03/12/22 -24	2007/11/29
Camera	Fachak170	Zeiss RMK 11.5/18	Zeiss RMK 11.5/18	W4 RC9	W4 RC9	W4 RC9	W4 RC9	W4 RC10	W4 RC10	W4 RC10	ALOS
Flight altitude(m)	1500	3000	3000	3000	3000	3000	1800	2000	4500	4500	69159m
Focal length(mm)	153	115.02	115.02	88.43	88.43	151.85	151.85	151.85	151.85	151.85	

② 画像補正と解析精度検証

収集整理した画像のうち、本研究では、ラングホブデ地域を解析対象に選定して、初期解析を行うこととした。

ラングホブデ地域で撮影された空中写真（1975年4枚と1991年の54枚）、及び2007年の衛星画像2枚を用いて、ステレオ実体視モニターと写真測量用ソフトウェアからなるデジタル解析図化機によって、画像の実体視を行いながら3D地形データの取得・操作・編集を行った。これによって得られた異なる2時期のDEMを比較することによってラングホブデ氷河の変動を解析した。DEMの作成には、ステレオ実体視モニター（SD2020）と写真測量用ソフトウェア（Leica Photogrammetry Suite; LPS）からなるデジタル図化機を使用した。LPSによって得られる、高度誤差数m以内で、多時期のDEMの差分を検出することが可能である（図2）。

本来、不動点上での残差は0にならないが、LPS内の測量処理、または空中写真の画像状態によって生まれた誤差がある。この高度誤差を除去して氷河変動を正確

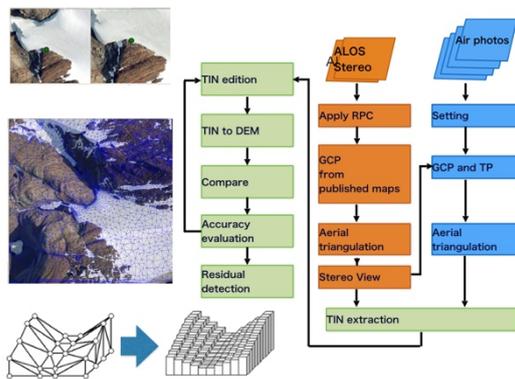


図 2：解析手順

に測定するための補正プロトコルを確立した。

DEMの補正方法には様々な方法があるが、本研究では、DEMの範囲全体に一律に加減の補正を加えるDEMのシフト処理、および不動点上の標高差（補正対象DEMと参照DEM）から回帰面を計算し、回帰式をDEMに適用する2次曲面近似処理を適用させた。DEMの精度評価をおこなった結果、DEMの補正に2次曲面近似を用いることによって、 2σ で $\pm 10m$ の誤差で垂直変位を検出可能であることが判明し、古い写真画像と最新の衛

③ 経年変動

ラングホブデ氷河地域の多時期画像を解析・比較した結果、1975~2007年の35年間でラングホブデ氷河の末端位置は406m後退し、表面高度は $0.14 \pm 3.8m$ 変化していることが明らかとなった。特に1991~2007年の変動についてみると、氷河の末端位置には変化はみられず、 $1.74 \pm 3.0m$ 変化していた。したがって、氷河の末端位置は1975年から2007年にかけて大きく後退したものの、表面高度は定常状態もしくはわずかに増加傾向であったことになる（図3）。

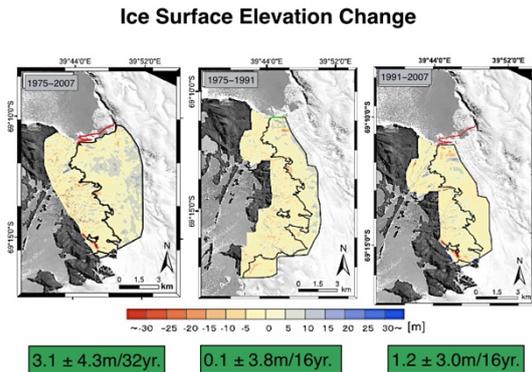


図 3：氷床表面高度変化

1930~1970年代のリュツォホルム湾の海水は比較的安定で、1980年代以降に頻繁に流出したことが明らかになっており、これと氷河の後退とが関係している可能性がある。また、昭和基地での気温データからPDD値を算出すると、1970~1994年と比較して1995~2010年では大幅に減少しており、これが表面融解量の減少を引き起こしている可能性もある（図4）。

近年、グリーンランド氷床や南極氷床の表面硬度変化の検出に成果をあげている人工衛星に搭載されたレーザー高度計の垂直誤差は10cm以下と高精度である。しかし測点データが衛星軌道上の離散的な値しか得られない、という問題が指摘されている。本研究の空中写真解析で得られた結果では、測定誤差以上の変動は測定されていないが、検出可能な氷河表面標高変動自体は空間解像度などを総合すると他のリモートセンシング技術に比べて遜色はない結果が得られている。

Terminal Fructuation of Langhovde Glacier

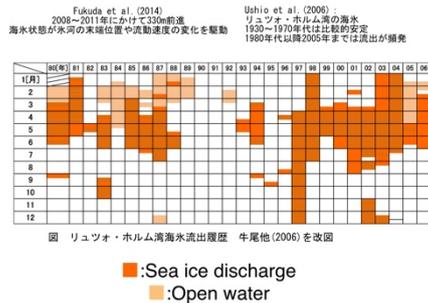


図 4 : 末端変動と海水変動

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 2 件)

- 1) Fukuda, T., Sugiyama, S., Sawagaki, T. and Nakamura, K. (2014): Recent variations in the terminus position, ice velocity and surface elevation of Langhovde Glacier, East Antarctica. *Antarctic Science* 26(6), 636-645. 査読有.
- 2) Sugiyama, S., Sawagaki, T., Fukuda, T. and Aoki, S. (2014): Active water exchange and life near the grounding line of an Antarctic outlet glacier. *Earth and Planetary Science Letters*, 399, 52-60. 査読有.

[学会発表] (計 7 件)

- 1) Sawagaki, T., Komazawa, K. and Miura, H.: Evaluation of public geospatial data around Syowa Station in detection of ice sheet fluctuation. The 5th Symposium on Polar Science. 2014.12.3. NIPR, Tokyo (東京都・立川市).
- 2) 澤柿教伸・駒澤皓・三浦英樹: 公開された南極・昭和基地周辺の各種地理空間データとステレオペア画像を用いた氷床表面標高変化の検出. 2014.9.21. 雪氷研究大会 2014・八戸工業大学 (青森県・八戸市)
- 3) 澤柿教伸・駒澤皓・三浦英樹: 南極・昭和基地周辺の空中写真アーカイブデータ発掘とステレオペア画像を用いた氷床表面標高変化の検出. 日本地理学会発表要旨集 85, 1873. 日本地理学会春季学術大会. 2014.3.27. 国土館大学 (東京都・世田谷区).
- 4) Sawagaki, T. and Komazawa, K.: Preliminary results of the detection of the marginal fluctuation of the Antarctic ice sheet by multi-temporal stereo images in the vicinity of the Syowa Station. The

4th Symposium on Polar Science. 2013.11.15. NIPR, Tokyo (東京都・立川市).

- 5) 駒澤皓, 澤柿教伸: 多時期ステレオペア画像を用いた南極昭和基地近傍の氷床縁変動の検出. 2013.9.19. 雪氷研究大会 2013・北見. 北見工業大学 (北海道・北見市).
- 6) 福田武博, 杉山慎, 澤柿教伸, 中村和樹: 南極・ラングホブデ氷河の末端位置・流動速度・表面標高の変化. 2013.9.19. 雪氷研究大会 2013・北見. 北見工業大学 (北海道・北見市).
- 7) Sugiyama, S., Sawagaki, T., Fukuda, T.: Warm water and life beneath the grounding zone of an Antarctic outlet glacier. EGU General Assembly 2013, held 7-12 April, 2013 in Vienna, Austria, id. EGU2013-7117. (オーストリア・ウィーン).

[図書] (計 1 件)

- 1) 公益社団法人日本雪氷学会編「新版雪氷辞典」, 古今書院, 2014年, 307pp. (総勢 186名の分担執筆陣に加わり, 澤柿が「雪線」(102p)の項目を分担執筆)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澤柿 教伸 (SAWAGAKI TAKANOBU)
法政大学・社会学部・准教授
研究者番号: 70312410

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

本山 秀明 (MOTOYAMA HIDEAKI)
国立極地研究所・教授
研究者番号: 20210099

杉山 慎 (SUGIYAMA SHIN)
北海道大学・低温科学研究所・准教授
研究者番号: 20421951

三浦 英樹 (MIURA HIDEKI)
国立極地研究所・准教授
研究者番号: 10271496

斎藤 隆志 (SAITO TAKASHI)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号: 10225716