

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23651002

研究課題名(和文)南極沿岸における溢流水河の短期流動変化

研究課題名(英文)Short-term ice speed variations in an Antarctic outlet glacier

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：南極氷床から溢流する氷河の流動変化とそのメカニズムを明らかにするため、昭和基地近傍のラングホブデ氷河において長期連続GPS測定を行った。2012年1月に設置したGPSを翌年まで無人運転し、極夜期間を除く約9ヶ月のデータを得た。その結果、流動速度が潮汐に影響を受けて大きく変動することが明らかになった。流動の季節変化、突発的な変動は観測されず、長期的には流動速度が安定していることを示している。以上の成果は、潮汐に起因する氷河の流動変化に新しい知見を与えるものである。また、長期的な流動の安定性はラングホブデ氷河の比較的安定な振る舞いと調和的であり、氷河変動と流動の関係に重要な示唆が得られた。

研究成果の概要(英文)：To better understand the flow variation and its controlling mechanism of Antarctic outlet glaciers, we performed GPS measurements on Langhovde Glacier located near Syowa Station. GPS receivers were kept running in the field from January 2012 to January 2013. As a result, continuous GPS data were obtained except for a few months during the polar night. The GPS data showed short-term flow speed variations modulated by the ocean tide. We observed no seasonal flow variations or speed-up events, which indicated relatively stable long-term ice flow of Langhovde Glacier. Our data provide insights into the flow variation of outlet glaciers in Antarctica. The relatively stable flow condition is consistent with the recent stability of Langhovde Glacier. The results are important particularly because data on glacier dynamics are sparse in East Antarctica.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：南極 カービング氷河 棚氷 氷河変動 GPS ラングホブデ氷河 海洋

### 1. 研究開始当初の背景

近年の人工衛星による観測は、南極氷床の質量が縮小傾向にあり、その変化が溢流水河の流動変化に起因することを示している。すなわち、溢流水河から海洋への氷流出量が増加して、これまで考えられていたよりも短い時間スケールで氷床が変動する可能性が示されている。しかしながら、溢流水河の流動を高い時間分解能で測定した例は少なく、流動変化のメカニズムは良くわかっていない。

山岳氷河におけるこれまでの研究結果は、氷河の底面水圧が上昇すると流動が加速し、特に水圧が氷の上載荷重に近いとき、わずかな水圧変化が顕著な流速変化を引き起こすことを示している。この知見を南極沿岸の溢流水河に適用すると、海水に浸かった氷河の末端は常に水圧が高く、流動変化を生じやすいと考えられる。従って、海洋との相互作用（潮汐、底面融解）、海水の消失、氷河底面からの排水、表面融解などが、顕著な流動速度変化を駆動する可能性が高い

### 2. 研究の目的

本研究では上記の仮説に基づき、南極の溢流水河にて通年の GPS 測定を行い、流動速度の短期変動を見出すことを目的とする。溢流水河の観測がほとんど行われていない東南極に着目し、典型的な溢流水河であるラングホブデ氷河を観測対象に選んだ。氷河の接地線付近にて通年の流動観測を行い、流動速度の季節変動（海水厚、底面融解、表面融解などに起因）、周期変動（表面融解や潮汐などに起因）、突発変動（底面水の流出、大規模なカービングなどに起因）の存在を確かめる。また同地点において熱水ドリルによる全層掘削を行い、氷河底面環境を観測して流動変化と比較する。これらの観測結果から流動変化とその原因を解明することで、溢流水河の流動メカニズムに新しい知見を与える。

### 3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、南極昭和基地の南西約 20km に位置するラングホブデ氷河（図 1）において、GPS による連続流動測定を行った。氷河の接地線（氷床と棚氷との境界）から末端にかけて 4 台の GPS を設置し、GPS 衛星シグナルを連続的に記録する。長期間にわたって GPS を無人運転するために、ソーラーパネルを用いた電源システムを使用した。現地では、2011/2012 年の南半球夏シーズンに約 1 ヶ月の野外観測を実施。その後残置して観測を継続した測定装置は、2012/2013 年に回収された。回収した GPS データを後処理することで、数時間の時間分解能で流動速度の変化を解析した。

上記の観測と並行して、熱水ドリルによる氷河の全層掘削を行い、氷河内部と底面の環境を観測した。具体的には氷河底面水圧、氷温・水温、底面堆積物の有無などを測定、観察した。南極での観測は、国立極地研究所に

よる第 53 次南極地域観測隊の研究活動として実施された。

また野外観測に加えて、高分解能の人工衛星データから氷河末端位置、流動速度、標高変化を測定した。その結果から、氷河変動と流動変化との関係を解析した。

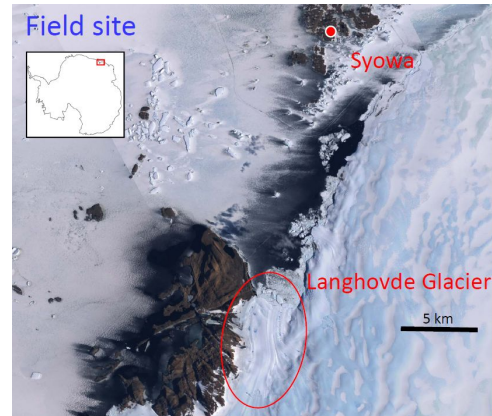


図 1. ラングホブデ氷河の衛星写真

### 4. 研究成果

#### (1) ラングホブデ氷河での観測

2011 年 12 月 28 日から 2012 年 2 月 9 日にかけて、ラングホブデ氷河末端付近の棚氷域にて観測を実施した。観測地域の詳細を図 2 に示す。氷河末端から 0.05、1.3、2.8、3.2 km の地点に GPS を設置し、流動速度を連続的に測定した。また、氷河末端付近約 2 km x 4 km の範囲でアイスレーダによる氷厚探査、表面高度の精密測定を行った。末端から 2.8 および 3.2 km 地点では、熱水ドリルによる全層掘削に成功した。掘削地点は接地線よりも上流と予想していたが、氷河下には厚さ 10-24 m の海水層が存在し、観測域が棚氷上にあることが確認された (Sugiyama et al., in press)。掘削孔内には、棚氷下の海水温度と水圧を測定するセンサを設置した。

現地観測中に得られた GPS 測定結果から、氷河末端部の流動は潮汐の影響を受けて大きく変動することが明らかになった (図 3)。流動速度は潮位が下がる途中で最大値を示し、その変動幅は氷河末端に向かって増加する。末端付近での流動変化は 10 倍以上に達することが判明した。

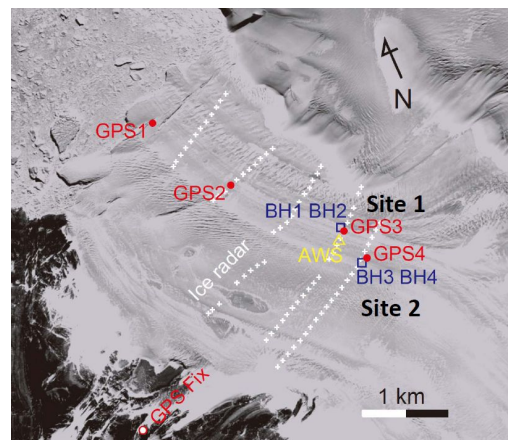


図 2. ラングホブデ氷河上での観測地点

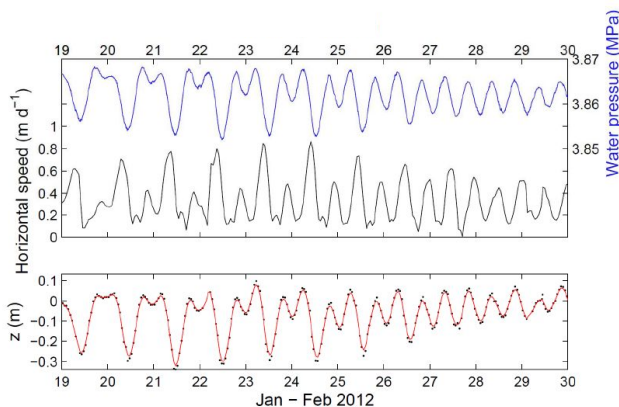


図3. 末端から 1.3km 地点における底面水圧（潮位）と氷の流動速度および鉛直変位。

### (2) 氷河流動の長期観測

2012 年 1 月に設置以来無人観測を続けた GPS2 台、底面水圧と水温測定装置を、第 54 次南極地域観測隊の夏オペレーションにて回収した。2013 年 1 月 29 日に装置は全て無事に回収され、電源が不足する厳冬期を除いてデータの取得に成功した。この結果、ソーラーパネルと蓄電池を使って、南極の氷河で長期流動観測が実施できることを確認した。残念ながら、国土地理院が氷河近隣で運用する GPS 固定局が、トラブルで停止しており、干渉測位による GPS データ解析は 2012 年 1 月から 5 月の期間のみ可能となった。

得られたデータを解析したところ、流動速度、鉛直変位ともに潮汐の影響を受けた変動を示した（図 4）。流動速度の変化は明瞭な 2 週間周期を示し、潮汐と流動の複雑な関係を示唆している。末端から 1.3km の地点では潮汐による顕著な鉛直変位が見られたのに対して、3.2 km 地点では有意な周期変動は見られない。棚氷上にもかかわらず鉛直変位が見られなかった結果は、接地線がごく近傍に位置することを示唆する。

潮汐に起因する短期変動の他に、顕著な流動変化は観測されなかった。氷河下の海水温度はゆるやかな季節変動を示したのみであり、氷河底面からの融解水流の証拠は得られていない。これらの結果から、ラングホブデ氷河の流動速度は潮汐によって大きな短期変動を示すものの、長期的には比較的安定していることが確認された。

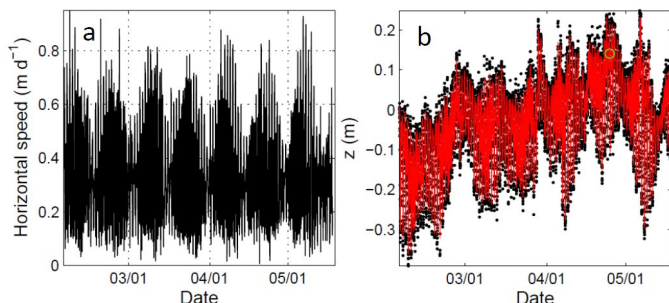


図4. 2012 年 1 月から 5 月にかけての (a) 流動速度および (b) 鉛直変位。

### (3) 衛星データ解析

2000 年から 2012 年に撮影された ALOS PRISM および ASTER 画像を用いて氷河末端位置を解析したところ、末端変動幅は 450 m 以下であった。また 2006 年から 2010 年の間に有意な表面高度変化は得られなかった。衛星データによって測定した流動速度は、2003 年から 2012 年の間に最大 20% 程度の変化を示したものの、末端変動との明瞭な関係はない。衛星データをさらに詳しく解析したところ、数年に一度起きる大規模なカービングが末端位置の変動をコントロールしていることが明らかとなった (Fukuda et al., in press)。

これらの解析から、ラングホブデ氷河の末端位置と流動速度は 2000 年以降比較的安定していることが示された。この結果は GPS による流動測定と調和的であり、東南極の溢流水河の安定性を示唆するものである。

### (4) 得られた成果の位置づけとインパクト

本研究の成果は、南極における溢流水河の流動変化に関して新しいデータを提供するものであり、特に長期間のデータを得たことに意義がある。数か月以上にわたる連続観測はこれまでに数例報告されているのみであり、特に東南極での観測データは貴重である。また、流動速度と底面水圧の関係を測定した例は過去に例がなく、溢流水河の流動メカニズム解明に貢献するものである。

厳しい環境で長期の観測データを得たことは、南極における今後の氷河氷床研究に可能性を開くものである。また、比較的調査が進んでいない昭和基地周辺の氷河氷床において、今後研究を推進する上での技術的な基礎情報を与えるものである。

### (5) 今後の展望

本研究によって、流動速度と鉛直変位が潮汐に強い影響を受けていることが示された。しかしながら流動変化のメカニズムは明らかになっていない。今後は、潮汐が流動に与える影響に関して、他の氷河で提案されている仮説の検証、新しいメカニズムの検討を予定している。また、国土地理院の GPS 固定局が停止している期間について、昭和基地の固定局を利用した解析を検討する。昭和基地のデータを用いることで、数週間から数か月の時間スケールで、流動変化を明らかにできる可能性がある。

さらに本研究を発展させて、昭和基地近傍で氷河氷床の変動、流動に関する観測を推進することが重要である。困難な現場観測と、高度な衛星データ解析技術を統合して、同地域の氷河氷床変動を解明することは、日本の南極観測が担う責務である。日本南極地域観測隊の新規プロジェクトとして、より高度な観測研究の提案を計画している。

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 7件)

Sugiyama, S., T. Sawagaki, T. Fukuda and S. Aoki. 2014. Active water exchange and life near the grounding line of an Antarctic outlet glacier. *Earth and Planetary Science Letters*, in press,

doi:10.1016/j.epsl.2014.05.001. 査読有

Fukuda, T., S. Sugiyama, T. Sawagaki and K. Nakamura. 2014. Recent variations in the terminus position, ice velocity and surface elevation of Langhovde Glacier, East Antarctica. *Antarctic Science*, in press. 査読有

杉山慎, 澤柿教伸, 福田武博, 南極ラングホブデ氷河における熱水掘削, 2012, 北海道の雪氷, 査読無, 31, 89-92.

[http://www.seppyo.org/hokkaido/journal/j31/2012\\_snowhokkaido31\\_22\\_sugiyama.pdf](http://www.seppyo.org/hokkaido/journal/j31/2012_snowhokkaido31_22_sugiyama.pdf)

澤柿教伸, 杉山慎, 福田武博, 南極ラングホブデ氷河における熱水掘削孔を用いたビデオ観察, 2012, 北海道の雪氷, 査読無, 31, 93-96.

[http://www.seppyo.org/hokkaido/journal/j31/2012\\_snowhokkaido31\\_23\\_sawagaki.pdf](http://www.seppyo.org/hokkaido/journal/j31/2012_snowhokkaido31_23_sawagaki.pdf)

福田武博, 杉山慎, 澤柿教伸, 南極ラングホブデ氷河における表面流動速度測定と氷厚探査, 2012, 北海道の雪氷, 査読無, 31, 97-100.

[http://www.seppyo.org/hokkaido/journal/j31/2012\\_snowhokkaido31\\_24\\_fukuda.pdf](http://www.seppyo.org/hokkaido/journal/j31/2012_snowhokkaido31_24_fukuda.pdf)

福田武博, 杉山慎, 澤柿教伸, 樋口和生, 2012, ラングホブデ氷河熱水掘削, 雪氷, 査読無, 74(3), i-ii.

[http://www.seppyo.org/atelier/p-087.pdf/at\\_download/file](http://www.seppyo.org/atelier/p-087.pdf/at_download/file)

福田武博, 杉山慎, 澤柿教伸, ALOS/PRISMデータの解析によるラングホブデ氷河表面高度測定, 2011, 北海道の雪氷, 査読無, 30, 75-78.

[http://www.seppyo.org/hokkaido/journal/j30/2011\\_snowhokkaido30\\_20\\_fukuda.pdf](http://www.seppyo.org/hokkaido/journal/j30/2011_snowhokkaido30_20_fukuda.pdf)

[学会発表](計 17件)

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, 日本雪氷学会雪氷研究大会, 2013年9月18日, 北見.

Sugiyama, S., T. Sawagaki and T. Fukuda, Warm water and life beneath the grounding zone of an Antarctic

outlet glacier, EGU (欧州地球科学連合) General Assembly 2013, 2013年4月9日, Vienna.

澤柿教伸, 杉山慎, 福田武博, 南極・ラングホブデ氷河における熱水掘削, 日本地理学会, 2013年3月29日, 東京.

Sugiyama, S., T. Sawagaki, T. Fukuda, S. Aoki and S. Imura, Hot water drilling and measurements beneath the grounding zone of Langhovde Glacier, East Antarctica, National Institute of Polar Research, 3rd Symposium on Polar Science, 2012年11月27日, 東京.

Sawagaki, T., S. Sugiyama and T. Fukuda, Borehole video observation of Langhovde Glacier, Antarctica, National Institute of Polar Research, 3rd Symposium on Polar Science, 2012年11月27日, 東京.

Fukuda, T., S. Sugiyama and T. Sawagaki, The change of terminus and grounding positions and ice velocity field in Langhovde glacier, Antarctica, National Institute of Polar Research, 3rd Symposium on Polar Science, 2012年11月27日, 東京.

杉山慎, 澤柿教伸, 福田武博, 南極ラングホブデ氷河の接地線近傍における熱水掘削, 日本雪氷学会雪氷研究大会, 2012年9月27日, 福山.

澤柿教伸, 杉山慎, 福田武博, 南極ラングホブデ氷河における熱水掘削孔を用いたビデオ観察, 日本雪氷学会雪氷研究大会, 2012年9月27日, 福山.

福田武博, 杉山慎, 澤柿教伸, 南極ラングホブデ氷河における表面流動速度測定と氷厚探査, 日本雪氷学会雪氷研究大会, 2012年9月27日, 福山.

Sugiyama, S., T. Sawagaki and T. Fukuda, Hot water drilling and subglacial measurements at the floating tongue of Langhovde Glacier, East Antarctica, IGS International Symposium on Glaciers and Ice sheets in a Warming Climate, 2012年6月29日, Fairbanks, Alaska.

Fukuda, T., S. Sugiyama and T. Sawagaki, Ice velocity, surface elevation and grounding line position of Langhovde Glacier, an outlet glacier in East Antarctica, IGS International Symposium on Glaciers and Ice sheets in a Warming Climate, 2012年6月29日, Fairbanks, Alaska.

Sugiyama, S., T. Sawagaki, and T. Fukuda, Hot water drilling and subglacial observations at the floating tongue of Langhovde Glacier, East Antarctica, FRISP (Forum for

Research into Ice Shelf Processes),  
2012年6月13日, Stockholm.

杉山慎、澤柿教伸、福田武博、南極ラングホブデ氷河における熱水掘削、雪氷学会北海道支部研究発表会、2012年5月19日、札幌。

澤柿教伸、杉山慎、福田武博、南極ラングホブデ氷河における熱水掘削孔を用いたビデオ観察、雪氷学会北海道支部研究発表会、2012年5月19日、札幌。

福田武博、杉山慎、澤柿教伸、南極ラングホブデ氷河における表面流動速度測定と氷厚探査、雪氷学会北海道支部研究発表会、2012年5月19日、札幌。

福田武博、杉山慎、澤柿教伸、衛星データを用いた Langhovde 氷河表面標高の解析、日本雪氷学会雪氷研究大会、2011年9月20日、長岡。

福田武博、杉山慎、澤柿教伸、ALOS/PRISM データの解析によるラングホブデ氷河表面高度測定、雪氷学会北海道支部研究発表会、2011年5月16日、札幌。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

・研究プロジェクトの紹介ホームページ

<http://www.ice.lowtem.hokudai.ac.jp/~sugishin/research/hokudai2/langhovde/langhovde.html>

・北海道大学低温科学研究所広報誌での研究紹介

<http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/newsletter/news33.pdf>

報道関連情報

・2013年5月19日：NHK 番組サイエンスゼロにて、本研究に関わる成果の紹介。

・2012年7月6日：北海道テレビの番組にて本研究課題の観測成果を紹介。

[http://www.htb.co.jp/mikio\\_journal/newsvod/1207/m\\_journal120706.asx](http://www.htb.co.jp/mikio_journal/newsvod/1207/m_journal120706.asx)

アウトリーチ活動情報

・2013年11月26日：北海道大学「平成遠友夜学校」にて本研究課題に関する一般市民向け講演。

・2013年9月20日：本研究に関する福田らの研究発表が雪氷研究大会学生優秀発表賞を受賞。

・2013年8月11日：愛媛県総合科学博物館「南極の自然」にて本研究課題に関する一般向け講演。

・2013年6月8日：北海道大学低温科学研究

所公開事業において本研究に関する展示

・2013年6月8日：札幌立命館慶祥高校のSSH事業に協力して南極に関する出前授業

・2012年10月6日：寒冷地形談話会において本研究課題に関する講演。

・2012年8月25日：北海道大学総合博物館「南極フロンティア展」にて本研究課題に関する一般市民向け講演。

・2012年6月9日：北海道大学低温科学研究所公開事業において本研究に関する展示

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

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

### (2) 研究分担者 なし

### (3) 連携研究者

澤柿 教伸 (SAWAGAKI, Takanobu)

北海道大学・地球環境科学研究所・助教

研究者番号：70312410

本山 秀明 (MOTOYAMA, Hideaki)

国立極地研究所・教授

研究者番号：20210099

### (4) 研究協力者

福田 武博 (FUKUDA, Takehiro)

北海道大学・環境科学院・大学院生