

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

Measurements of flow velocity and ice thickness at the Langhovde Glacier, Antarctica

福田 武博 (北海道大学 大学院環境科学院・低温科学研究所)

杉山 慎 (北海道大学 低温科学研究所)

澤柿 教伸 (北海道大学 地球環境科学研究科)

Takehiro Fukuda, Shin Sugiyama, Takanobu Sawagaki

1. はじめに

近年の衛星観測技術の進歩により、大規模な棚氷の崩壊に伴う氷河流動の加速¹⁾や、広範囲に及ぶ溢流氷河の表面標高低下²⁾など、氷床沿岸部での顕著な氷河変動が多く報告されている。末端が海洋に接している氷河では、潮位変化が棚氷にかかる浮力を変化させて氷河流動に影響を及ぼすという報告もあり³⁾、「海洋」と「棚氷」の相互作用は非常に重要なものである。この相互作用解明を目的とし、我々は第53次南極地域観測の一つとして、宗谷海岸のラングホブデ氷河において氷床・棚氷および海洋での観測を行った。2011年12月から2012年2月にかけて行った野外観測で、熱水掘削システム⁴⁾を用いて氷河を貫通する掘削を行い、氷河底面の映像や水圧変化などのデータを得た^{5),6)}。本報では、潮位変化と流動速度の関係、および長期的な流動場の変化、そして氷厚と表面高度の測定結果を報告する。

2. 手法

2.1. 表面流動速度測定

ラングホブデ氷河の末端から約3kmの範囲で、高精度GPSを用いて流動速度を測定した。また、過去の流動速度変動履歴を明らかにするため、衛星画像を用いた解析も行った。

2.1.1. GPSによる流動測定

2012年1月3日から1月29日にかけて、氷河末端や熱水掘削地点の近傍など4か所でGPSによる氷河表面の流動速度観測を行った(図-1:GPS1-4)。1.5m長のポールをGPSアンテナ設置架台とし、強風や融解の影響でアンテナが動かないよう氷河表面に1.0m以上埋め込んで観測局とした。氷河左岸の露岩上にはGPSの基準局を設置し(図-1:GPS Fix)、スタティック干渉測位により1時間毎に各観測局の座標を測位した。過去の同様な観測によれば、測定誤差は水平方向に2-3mm、垂直方向に約10mmである。なお観測期間終了後は、2地点の観測局(GPS2,4)を現場に残置して測定を継続している。このデータは2013年に回収予定である。

2.1.2. 衛星画像解析

2006, 07, 10年に撮影された、ALOS(Advanced Land Observing Satellite)に搭載されたPRISM(パナクロマチック立体視センサー)による衛星画像を解析した。いずれの画像も、氷河表面が積雪でおおわれていない11月に撮影された画像を選んだ。異なる時期に撮影された2枚の画像組(2006-07年と2007-10年)について、それぞれ共通して確認できる氷河上の特徴(クレバスや融解水がたまった池など)を100地点以上選択した。地理情報システムArcGIS(ESRI)を用いて得た位置座標から、1年間ない

し3年間の流動速度を求めた. 位置座標の測定に起因する流動速度の誤差は最大で 1.6 m a^{-1} であった.

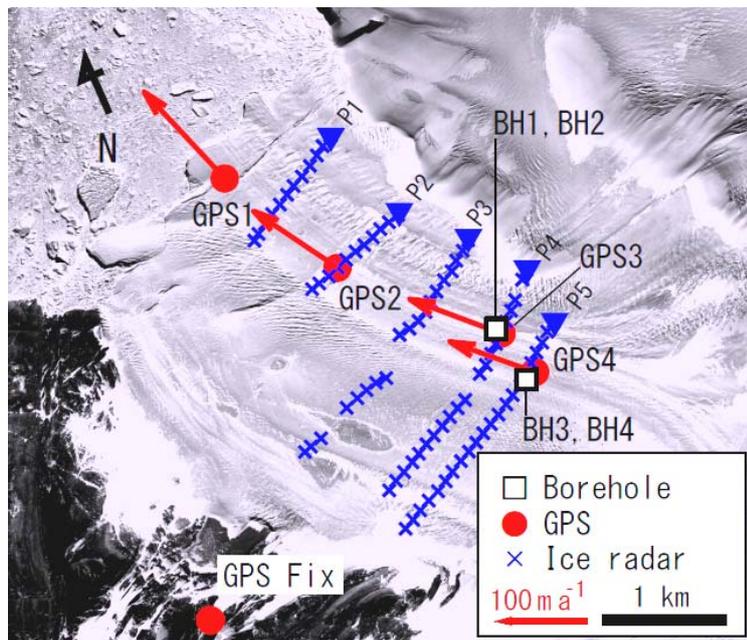


図-1 流動速度と氷厚の観測地点

GPS 測定の観測局 (● : GPS1- 4) と基準局 (● : GPS Fix), 氷厚測定線 (▼, × : P1- 5), 熱水掘削地点 (□ : BH1- 4) を示す. GPS1- 4 の水平流動速度ベクトルを矢印で表す.

2. 2. 氷厚測定

氷河を横断する測定線を設定し(図-1), アイスレーダ(Ohio 州立大学製作)を用いた氷厚探査を行った. このアイスレーダは 5 MHz の電磁波パルスを発生させる送信機と受信機からなり, 氷を伝播し氷河底面で反射した電磁波を受信するものである. 反射波が受信機に到達する遅延時間をもとに, 測定地点での氷厚を決定した. 本観測では送受信機間の距離は 20 m とし, 測定線上を約 100 m 間隔で氷厚を測定した.

3. 結果

3. 1. 表面流動速度測定

3. 1. 1. GPS による流動測定結果

GPS2 において観測された水平流動速度および垂直変位を図-2 に示す. 図には掘削孔(図-1: BH3)で測定した氷河底面水圧も併せて示す. 1日2回のピークを持つ潮位変化に起因する氷河底面の水圧変化および垂直方向の変位が観測された. 水平流動速度についても, 潮位変化と同じく1日2回の周期をもつことが観察された. しかし, 潮位のピークと水平流動速度のピークは同期しておらず, 潮位が極少値となる直前に流動速度が極大値となっていた. また, その流動速度変化は数倍にも及び, 2 m 程度の僅かな海水

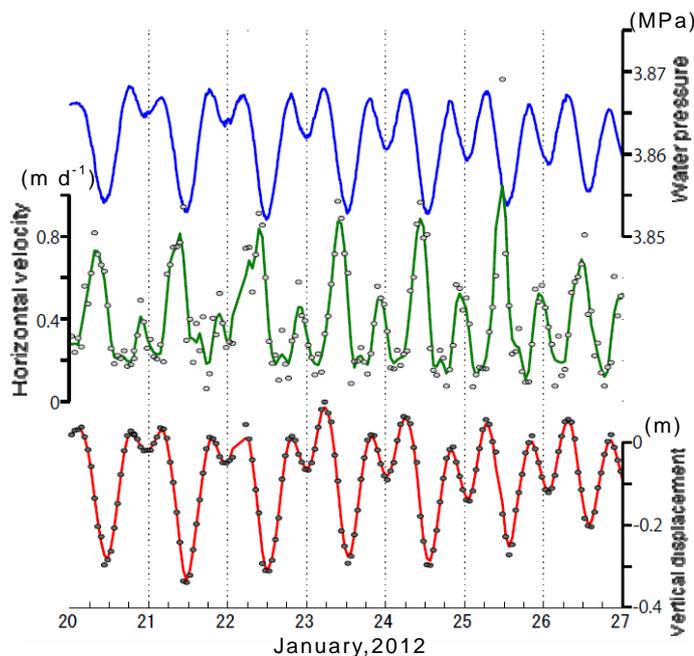


図-2 氷河流動速度と潮位の変化

1月20 - 27日のBH2における氷河底面水圧の変化(上)と, GPS2における水平流動速度(中)および垂直変位(下)を示す.

位の変化が流動速度に大きな影響を与えることが明らかになった。

3.1.2. 衛星画像解析によって得られた流動速度の比較

人工衛星画像によって得られた流動速度分布を図-3 に示す。氷河中央末端部における最大流動速度は、2006/07 年では 134 m a^{-1} であったが、2007/10 年には 123 m a^{-1} に低下していた。末端部だけでなく、氷河全域にわたって流動速度の減少が確認された。

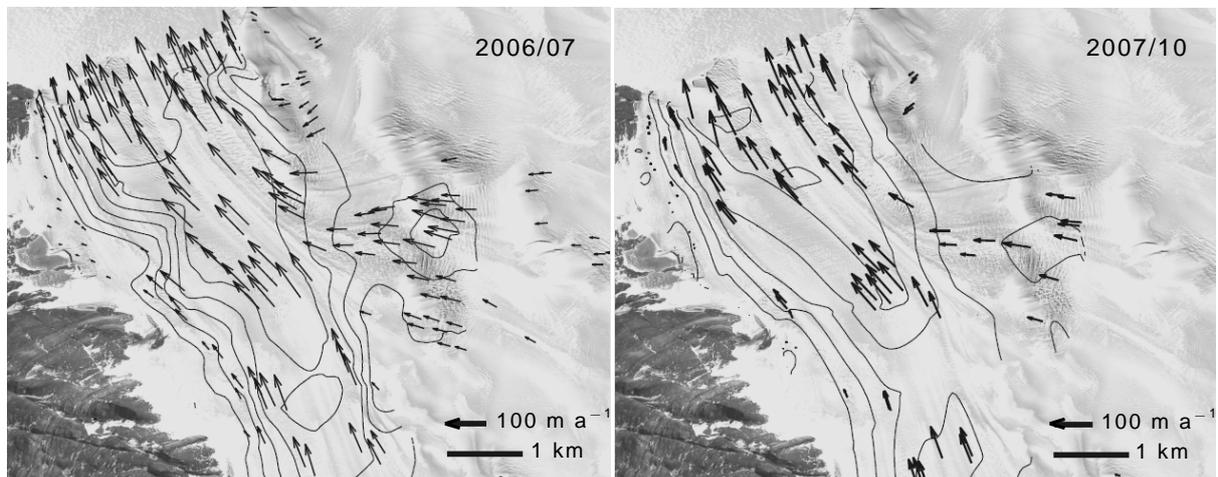


図-3 衛星画像解析による氷河流動速度分布

(左)2006/07 年, (右)2007/10 年の流動速度分布. 追跡した特徴の流動速度を矢印で示す. 流動速度の分布を 20 m a^{-1} 間隔の等値線で表す.

また、GPS 測定地点における過去の流動速度を表-1 に比較する。GPS2 および 3 の地点において、GPS 観測による流動速度は、衛星画像解析によって得られた 2007/10 年の流動速度よりも約 10 m a^{-1} 増加していた。一方、上流に位置する GPS4 の地点では大きな変化は確認できなかった(表-1)。このことより、観測地の流動速度分布に変位が生じていることが確認できた。

表-1 GPS 観測と衛星画像解析によって得られた流動速度の比較

GPS1 の地点は 2007 年までは氷河が存在せず比較ができないので、表では省略した。

	2006- 07(衛星画像)	2007- 10(衛星画像)	2012(GPS)
GPS2	118.9	105.9	112.2
GPS3	109.7	100.0	110.5
GPS4	110.2	100.8	101.8

(m a^{-1})

3.2. 氷厚測定結果

深さ 400 m の熱水掘削を行った地点(BH2)において、反射波遅延時間は $4.35 \mu\text{s}$ であった。このことから、氷中の電磁波伝播速度は $181.1 \text{ m } \mu\text{s}^{-1}$ と求められた。この速度を用いて、各地点で観測された遅延時間より氷厚を決定した。クレバス帯や末端付近においては、明瞭な反射波を確認できない傾向が強かった。これは、電磁波が氷河底面だけではなく、氷-空気界面でも反射してノイズを与えるためと考えられる。反射波が確認できた地点に限ると、氷厚は末端付近でおよそ 250 m、観測地上流端で約 400 m であった(図-4)。

図-4 氷厚測定結果

横軸を測定線東端からの距離、縦軸を標高とした、氷厚測定線 P1- 5 における氷河横断面。表面地形 (実線)、測定線東端 (▼)、測定された氷厚 (○)、熱水掘削地点 (□: BH1- 4) を示す。破線は静水圧平衡を仮定したときの氷厚である。測定された氷厚が破線よりも上にある場合、氷河が接地していることを意味する。

謝辞

ラングホブデ氷河観測にあたり、様々な支援を受けた第 52 次および第 53 次日本南極地域観測隊のみなさま、観測装置の準備や測定へのアドバイスをいただいた北海道大学低温科学研究所 青木茂准教授と国立極地研究所 伊村智教授に厚くお礼申し上げます。本研究は第 53 次日本南極地域観測隊の一般研究観測として実施し、その一部に科研費(挑戦的萌芽研究 23651002)と日本極地研究振興会の助成を受けた。ここにお礼申し上げます。

参考・引用文献

- 1) Scambos, T. A., J. A. Bohlander, C. A. Shuman and P. Skvarca, 2004: Glacier acceleration and thinning after ice shelf collapse in the Larsen B embayment, Antarctica, *Geophysical Research Letters*, **31**, L18402, doi:10.1029/2004GL020670.
- 2) Pritchard, H. D., R. J. Arthern, D. G. Vaughan and L. A. Edward, 2009: Extensive dynamic thinning on the margins of the Greenland and Antarctic ice sheets, *Nature*, **461**, 971 - 975.
- 3) Aðalgeirsdóttir, G. and 6 others, 2008: Tidal influence on Rutford Ice Stream, West Antarctica: observations of surface flow and basal processes from closely spaced GPS and passive seismic stations. *Journal of Glaciology*, **54** (187), 715-724.
- 4) Tsutaki, S. and S. Sugiyama. 2009. Development of a hot water drilling system for subglacial and englacial measurements. *Bulletin of Glaciological Research*, **27**, 7-14.
- 5) 杉山慎, 澤柿教伸, 福田武博, 2012: 南極ラングホブデ氷河における熱水掘削, *北海道の雪氷*, **31**.
- 6) 澤柿教伸, 杉山慎, 福田武博, 2012: 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, *北海道の雪氷*, **31**.

