

# 氷河上での GPS 連続運用による流動速度測定

津滝 俊<sup>1,2</sup>、杉山 慎<sup>1</sup>、中坪 俊一<sup>3</sup>、新堀 邦夫<sup>3</sup>、千貝 健<sup>4</sup>、森 章一<sup>4</sup>

1. 雪氷新領域部門氷河氷床分野
2. 国立極地研究所北極観測センター
3. 技術部装置開発室
4. 技術部先端技術支援室

## はじめに

末端が湖や海に流れ込むカービング氷河は、通常の氷河と比べて急激に変動する。たとえばグリーンランドや南極氷床沿岸では、カービング氷河が急速に後退し、氷床の質量変化に大きく影響を及ぼしている。近年の人工衛星画像解析技術の目覚ましい進歩により、カービング氷河の急速な後退は氷河流動の加速と密接に関係していることが明らかになってきた。しかしながら、現地観測の困難さから、カービング氷河の流動加速のメカニズムについては理解が進んでいない。

我々はこれまでに、カービング氷河の流動機構の解明を目的として、スイスアルプス、南米パタゴニア氷原、南極、グリーンランドの氷河において GPS を用いた流動観測を実施してきた (Sugiyama et al., 2011; Tsutaki et al., 2013)。GPS を連続運用して流動速度を測定することで、カービング氷河の流動機構の解明に成果を挙げている。本稿では、氷河上で長期間自動運転することを目的とした GPS 観測システムの紹介、2013 年夏に実施したグリーンランド氷河観測の成果を報告する。

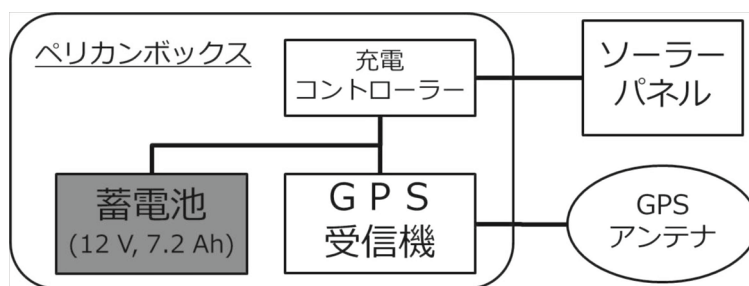


図 1 GPS 連続運用システム概念図。

## GPS 連続運用システムによる流動速度の測定

図 1 に GPS 連続運用システムの模式図を示す。GPS を長期間連続で自動運転するために、蓄電池 (12 V、7.2 Ah) とソーラーパネル (20 W) を組み合わせた電源ユニットを使用している (杉山ら 2010)。蓄電池、ソーラーパネル、GPS 受信機の間には充電コントローラー (モーニングスター社製 SS-10L-12V) を設置し、ソーラーパネルからの充電を制御している。図 2a に氷河上での設置風景を示す。GPS 受信機、蓄電池、充電コントローラーはペリカンボックス内に収納される (図 2b)。ペリカンボックスの防水

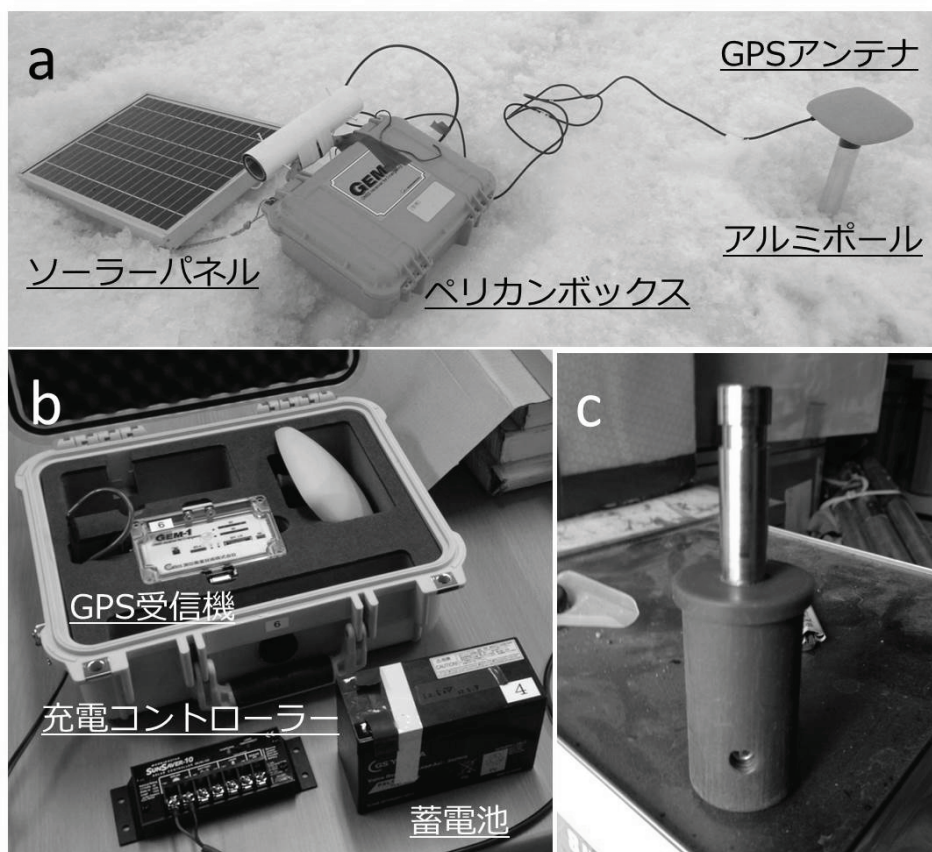


図 2 (a) グリーンランドのカービング氷河上に設置した GPS 運用システム。GPS アンテナとソーラーパネルのケーブルはペリカンボックス側面のアタッチメントに接続する。氷に埋設しているアルミポールは長さ 2 m。(b) ペリカンボックス内部。GPS 受信機、充電コントローラー、蓄電池を収納する。(c) アンテナとアルミポールを接続するアタッチメント。

効果は高いため、雨雪にさらされる氷河上に設置しても浸水することなく運用が可能である。GPS アンテナは、氷河上に埋設した長さ 2 m のアルミポールの先端にアタッチメントを使用して固定する（図 2c）。直流電源を GPS 受信機に導くためのアダプター、アンテナを固定するためのアタッチメント等、本システムで使用している様々な部品を技術部にて製作している。我々は 2 種類の GPS（Leica System 1200、測位衛星技術株式会社 GEM-1）を使用しているが、両者とも同じ運用システムを使用している。

GPS 衛星からのデータは、受信機にセットした SD カードに 1 秒間隔で記録される。1 秒間隔で記録した場合、16 GB のメモリを使用することで約 200 日間の記録が可能である。氷河外の岩盤上でも同時期にデータを取得し、基準点として処理することで 5 mm 程度の誤差でポールの位置と標高を測定できる。GPS データ処理ソフト（RTKLIB）を使用して 15 分間隔でポールの位置座標を求め、ガウシアンフィルターで平滑化して水平、鉛直方向の流動速度を求めた。

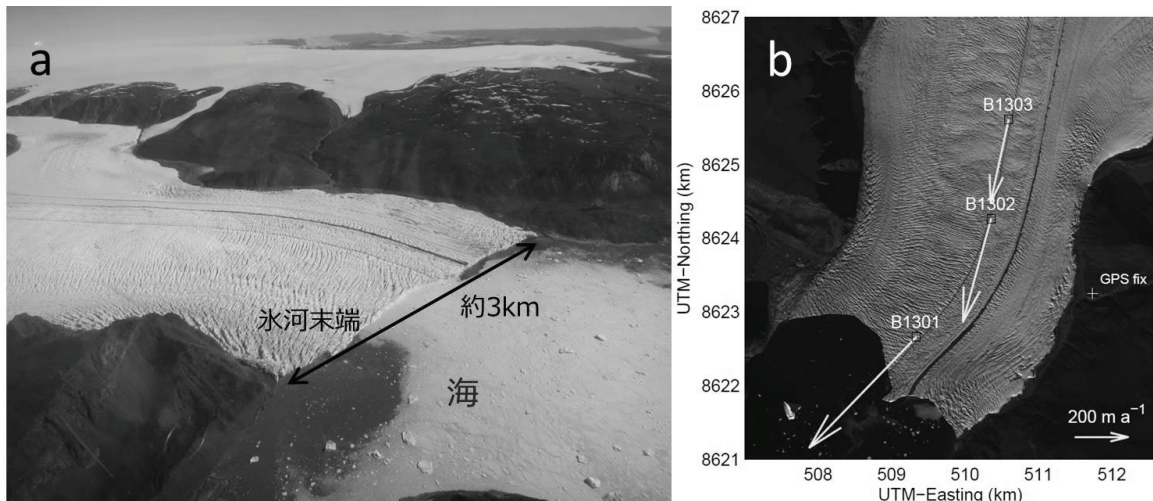


図3 (a) ボードイン氷河末端付近の空撮画像。(b) 流動速度測定点。矢印は2013年7月6–21日の流動ベクトル。気温、降水量はGPS基準局(GPS fix)付近に設置した自動気象ステーションで観測した。

### グリーンランド・ボードイン氷河での流動観測

ボードイン氷河はグリーンランド北西部に位置する、長さ約10 km、幅約3 kmのカービング氷河である(図3a)。本研究では氷河末端から約0.5–4 kmを観測地とし、2013年7月5日から26日にかけてGPSによる流動測定を3地点で行った。また同時期に氷河左岸でGPS基準局を設置し、その付近で気象観測も行った(図3b)。ボードイン氷河から約130 km離れたチューレ空港にて測定された潮汐データも解析に利用した。

### GPS連続測定による短期氷河流動速度変化

観測期間中における氷河表面の平均流動ベクトルを図3bに示す。流動速度は氷河末端に近づくにつれ増加し、B1301では年間500 m以上の速度で流動していた。次にB1301–B1303における流動速度、気温、降水量、潮汐の変化を図4に示す。期間を通して氷河末端に近いB1301が最も速く流動しているが、流動速度変化はB1301–B1303でよく似ている。流動速度は干潮時にあわせて1日に2回のピークを伴って変化をしていた。反対に満潮時には、流動速度は最少となっていた。両者の一致は特にB1301で顕著であり、氷河末端付近の流動は潮汐の影響を強く受けていることを示している。7月13日には激しい降雨イベントと重なって著しい流動加速が観測された。また7月18–20日も気温の上昇に伴って流動速度が増加していた。降雨や気温の上昇に伴う流動加速は全観測点で見られることから、これらの気象要素は氷河全体の流動に影響を及ぼすと考えられる。降雨や気温上昇時には多くの融解水が氷河底面に流入し、氷河底面と基盤との間で潤滑剤としての役割を果たすことで、一時的に氷河流動が加速することが知られている(e.g. Iken and Bindshadler, 1986)。ボードイン氷河でも同様のメカニズムで流動速度が増加したと考えられる。このようなカービング氷河特有の流動現象は、非常に

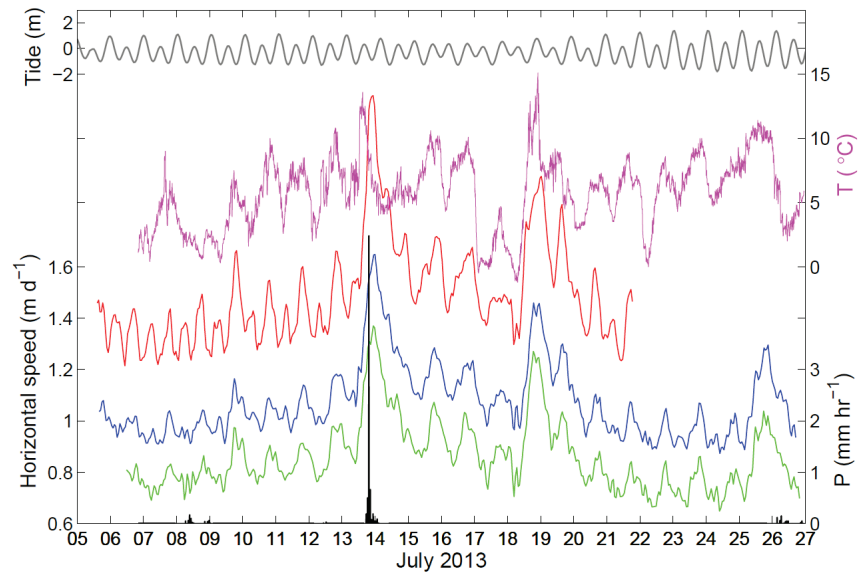


図4 B1301 (赤)、B1302 (青)、B1303 (緑) で観測された 2013 年 7 月 5 日から 7 月 26 日の流動速度変化。同時期に観測された潮汐 (灰色)、気温 (桃色)、降水量 (黒) をそれぞれ示す。

短時間かつ高精度で流動速度を観測したことで得られた成果であり、人工衛星画像解析では得られない。また本研究の成果は、氷河流動の観測例が少ないグリーンランドにおいて、カービング氷河の流動特性の理解に大きく貢献すると考えている。

## 謝辞

ボードイン氷河での観測は、北大環境科学院・澤柿教伸氏、北大大学院生・榊原大貴氏、丸山未妃呂氏、斉藤潤氏、片山直紀氏の協力を受け、GRENE 北極気候変動研究事業の一環として行われた。

## 参考文献

- Iken, A. and R. A. Bindschadler, 1986. Combined measurements of subglacial water pressure and surface velocity of Findelengletscher, Switzerland: conclusions about drainage system and sliding mechanism. *Journal of Glaciology.*, **32**(110), 28–47.
- 杉山 慎、刀根 賢太、新堀 邦夫、高塚 徹「パタゴニア・ペリートモレノ氷河での熱水掘削と GPS 連続測定」北海道大学低温科学研究所技術部技術報告、**16**、2010 年 12 月。
- Sugiyama, S., P. Skvarca, N. Naito, H. Enomoto, S. Tsutaki, K. Tone, S. Marinsek and M. Aniya, 2011. Ice speed of a calving glacier modulated by small fluctuations in basal water pressure. *Nature Geoscience*, **4**, 597–600.
- Tsutaki, S., S. Sugiyama, D. Nishimura and M. Funk, 2013. Acceleration and flotation of a glacier terminus during formation of a proglacial lake in Rhonegletscher, Switzerland. *Journal of Glaciology.*, **59** (215), 559–570.