南極ラングホブデ氷河における熱水掘削 Hot-water drilling at Langhovde Glacier in Antarctica

杉山慎(北海道大学 低温科学研究所) 箕輪昌紘(北海道大学 低温科学研究所,チリ・アウストラル大学) 伊藤優人(北海道大学 低温科学研究所) 山根志織(北海道大学大学院 環境科学院,低温科学研究所) Shin Sugiyama, Masahiro Minowa, Masato Ito, Shiori Yamane

1. はじめに

南極氷床はその周縁の93%で氷が海洋と接し,うち74%で棚氷や氷河末端の浮氷舌を形成 する¹⁾.最近になってこれら浮氷の底面融解量が南極全域で測定された結果,カービングと 並ぶ重要な氷床消耗プロセスであることが判明した^{2,3)}.また西南極における近年の氷床質量 減少は棚氷の融解増加が原因との指摘があり⁴⁾,上記の発見と相まって棚氷底面融解の定量 化とそのプロセスの理解が急務となっている.また厚い氷に覆われた棚氷の下は特殊な環境 であり,生態系や堆積物など興味深い研究課題を提供している.しかしながら棚氷下での観 測は非常に困難で,直接的な観測データは少ない.

そこで本研究では、東南極リュツォホルム湾に位置するラングホブデ氷河の末端部で熱水 掘削を行い、棚氷下での海洋観測とサンプリングを行った.同氷河では2011/12年に熱水掘削 が実施されており、接地線の近傍における観測成果が報告されている⁵⁾. 今回2017/18年の観 測では棚氷の広い範囲で掘削を実施して、接地線から氷河末端まで棚氷下環境の全貌を明ら かにすることを目的とした.本発表では熱水掘削と観測活動の概要について報告する.

2. 研究対象地

ラングホブデ氷河(69°12'S, 39°48'E)は昭和基地の南方約20kmに位置する溢流氷河である(図1).氷床沿岸部で長さ約10kmにわたって,比較的流れの速い氷が収束してリュツォホルム湾に流入している.幅約3kmの氷河末端からは年間約120ma⁻¹の速度で氷が海洋に流出し,末端から数km上流にわたって棚氷が形成されている⁶.その規模は比較的小さいものの,南極沿岸に数多く見られる典型的な溢流氷河といえる.上述した2011/12年の観測の他には,氷河上の湖を人工衛星データで解析した研究が報告されている⁷⁾.この氷河の末端から約3kmの範囲内で,2017年12月29日から2018年2月4日にかけて,熱水掘削を含む各種の観測活動を実施した(図2).



図1. 研究対象地(Landsat LIMA 画像).

図2. ラングホブデ氷河末端部の掘削地点.

3. 熱水掘削

掘削には北大低温科学研究所にて開発された熱水掘削システムを使用した(図3). このシ ステムは高圧熱水装置(Karcher HDS1000)数台を使用し,掘削ノズルから約80℃の熱水を毎 分30Lで噴出する.これまでにスイス,パタゴニア,南極半島などで氷河掘削に使用された 実績がある^{8,9}. 掘削中は氷河上を流れる融解水をポンプで汲み上げて熱水装置に供給する. 熱水は掘削深よりも長く準備した高圧ホースによってノズルに導かれる.このホースをウィ ンチで孔内に降ろしながら,適当な速さで氷河を掘削する.掘削孔が棚氷底面に達すると孔 内の水位が海水面まで下がるため,掘削の完了を知ることができる.掘削,観測,キャンプ 生活に必要な機材約5tは,砕氷船しらせによって昭和基地近傍まで輸送し,しらせ搭載の CH-101型および観測隊のAS350型へリコプターを使って氷河へ輸送した.また氷河上ではス ノーモービルを用いて掘削機材の移動を行った.



図3. 氷河上で運用中の熱水掘削システム.



4. 掘削の結果

氷河末端から 0.5-2.5 km の範囲にほぼ等間隔で設定した 4 地点にて掘削を行い(図 2),棚 氷を貫通する縦孔 5 本の掘削に成功した.各掘削孔の深さ(氷の厚さ)は 234-412 m であり, 35-48 m hr⁻¹の速度で 5-11 時間掘削することによって棚氷底面に達した(図 4).掘削孔の総 延長は 1740 m,掘削に要した時間は合計 46 時間,平均掘削速度は 38 m hr⁻¹であった.また これら 5 回の掘削にヒーター燃料の軽油を 880 L,ポンプ燃料のガソリンを 220 L 消費した. 5 本の掘削とは別に,直径 140 mmの係留系センサを挿入するための拡大掘削(BH1802),お よび凍結して閉塞した孔の再掘削(BH1803) を行っている.

掘削の結果,氷河末端から 0.5 km の地点 BH1801 では氷厚が 234 m,棚氷下の海水層は厚 さ 302 m と判明した(表 1). この地点から上流に向けて氷厚は徐々に増加し,海底の標高が 上昇する.最も上流側の掘削点 BH1804(末端から 2.5 km)では氷厚 412 m,海水層厚 12 m であった.この結果,ラングホブデ氷河末端から接地線付近まで,棚氷の全域で氷河と海洋 の形状が初めて明らかになった.

各掘削地点の氷河表面標高を GPS で測量して氷厚と比較したところ,各地点において必ず しも静水圧平衡状態が保たれていない,すなわち氷に作用する重力と浮力が釣り合っていな いことが明らかになった.例えば BH1803 においては,静水圧平衡を仮定して表面標高から 推定される値よりも 40 m (11%)氷が厚く(表 1),局所的には重力よりも著しく大きな浮力 が作用していることになる.実際には周辺の氷から作用する力によってつり合いが保たれて いると考えられる.この結果から,比較的小規模で複雑な地形を持った棚氷では,表面標高 から氷の厚さを推定する際に慎重な検討が必要であることが示された.

掘削地点	BH1801	BH1802	BH1803	BH1804
掘削日	2018/01/16	2018/01/09	2017/12/31	2018/01/22-23
氷厚(m)	234	294	389	412
表面標高(m a.s.l)	21.7	25.8	31.5	37.3
海底標高(m a.s.l)	-514.7	-507.8	-468.0	-387.8
静水圧平衡氷厚(m)	241	287	349	414

表1 各掘削地点における氷厚,表面標高,海底標高,静水圧平衡から推定した氷厚.

5. まとめと今後の展望

本研究によって、比較的小規模ながらも典型的な南極氷床の溢流氷河で、接地線から氷河 末端に至る全域で棚氷形状と海底地形を明らかにすることに成功した. 大規模な棚氷の限ら れた地点で実施されてきた従来の研究に対して、棚氷の全体で観測を実現したことが本研究 の特色といえる. 掘削孔を使って行われた観測では、棚氷下の水温・塩分・流速の測定、海 水と海底堆積物の採取、掘削孔カメラ観察を実施している¹⁰⁾. さらに BH1802 と BH1804 で は、棚氷の直下に温度・塩分・流速センサと圧力・温度センサをそれぞれ設置して、長期的 な測定を開始した. これらの測定データは氷河上のデータロガーに記録され、2018/19 年に回 収される計画である. 一方氷河上では、GPS を使った氷流動測定、氷レーダーによる氷厚・ 底面融解測定、地震波観測、気象観測などを行った.

今後は棚氷下で得られたデータから水温・塩分構造と海水循環を解析し、底面融解の定量 化と融解メカニズムの理解を進める.また係留系観測によって、底面融解と棚氷下海洋環境 の長期的な変動を明らかにする.さらに掘削孔カメラの映像から棚氷下海洋生態系の概要を 把握し、海底堆積物サンプルの分析によって物質循環と氷床変動の解析を目指す.氷河上で 得られたデータ、人工衛星データとも合わせて、南極における溢流氷河の変動と海洋との相 互作用に関して、新しい知見を得ることが本プロジェクトの目的である.

【謝辞】

本研究は南極地域観測第9期重点研究観測「氷床・海氷縁辺域の総合観測から迫る大気-氷 床-海洋の相互作用」の一部として,第59次日本南極地域観測隊の夏期オペレーションとし て実施した.また科研費新学術領域研究「熱-水-物質の巨大リザーバ全球環境変動を駆動す る南大洋・南極氷床」(17H06316)の助成を得た.青木茂氏,田村岳史氏ら研究プロジェクト 関係者の協力,高村真司氏,土屋達郎氏を中心とした観測隊メンバーによる野外活動へのサ ポートに謝意を表する.

【参考・引用文献】

- Bindschadler R. *et al.*, 2011 : Getting around Antarctica: new high-resolution mappings of the grounded and freely-floating boundaries of the Antarctic ice sheet created for the International Polar Year. *The Cryosphere*, 5, 569–588.
- Rignot, E., S. Jacobs, J. Mouginot and B. Scheuchl, 2013 : Ice-shelf melting around Antarctica. *Science*, 341(6143), 266–270.
- Depoorter, M. A., J. L. Bamber, J. A. Griggs, J. T. Lenaerts, S. R. Ligtenberg, M. R. van den Broeke and G. Moholdt, 2013 : Calving fluxes and basal melt rates of Antarctic ice shelves. *Nature*, 502(7469), 89–92.

- Pritchard, H. D., S. R. M. Ligtenberg, H. A. Fricker, D. G. Vaughan, M. R. van den Broeke and L. Padman, 2014: Antarctic ice-sheet loss driven by basal melting of ice shelves. *Nature*, 484(7395), 502–505.
- 5) 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*, **399C**, 52–60.
- 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*, **326**(6), 636–645.
- 7) Langley, E. S., A. A. Leeson, C. R. Stokes and S. S. R. Jamieson, 2016: Seasonal evolution of supraglacial lakes on an East Antarctic outlet glacier. *Geophysical Research Letters*, **43**, 8563–8571.
- 8) Tsutaki, S. and S. Sugiyama, 2010: Development of a hot water drilling system for subglacial and englacial measurements. *Bulletin of Glaciological Research*, **27**, 7–14.
- Sugiyama, S., P. Skvarca, N. Naito, K. Tone, H. Enomoto, K. Shinbori, S. Marinsek and M. Aniya, 2010: Hot-water drilling at Glaciar Perito Moreno, Southern Patagonia Icefield. *Bulletin of Glaciological Research*, 28, 27–32.
- 10) 山根志織,杉山慎,箕輪昌紘,伊藤優人,2018: 南極ラングホブデ氷河における棚氷下の 海洋環境.北海道の雪氷,37,(本号内参照).