

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：35403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540474

研究課題名(和文)カービング氷河の後退が急加速する水理条件の解明

研究課題名(英文) Study on hydraulic conditions for sudden acceleration in retreat of calving glaciers

研究代表者

内藤 望 (NAITO, Nozomu)

広島工業大学・環境学部・教授

研究者番号：90368762

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：南米パタゴニアのペリート・モレノ氷河を対象とした現地観測により、氷河末端部の位置変動と流動速度分布の経年変化、ならびに氷河下流域における氷厚変動などを明らかにした。そして氷河末端部が流入している湖の水深データも利用して、末端変動や氷厚変動と湖水圧との水理学的な相関関係の解明を目指したが、残念ながら本研究課題期間中には達成できていない。ただしカービング氷河としては比類なき稀少な観測データ・セットが蓄積されており、今後も継続的に研究を進めることで、カービング氷河の変動メカニズムの解明に貢献するものとなろう。

研究成果の概要(英文)：We carried out field observations on the Glaciar Perito Moreno, Patagonia in the South America. From those results, annual variations in location of the glacier terminus, distribution of the terminal flow speed, and ice thickness of the glacier ablation area, are revealed. We, however, have not yet accomplished to investigate hydraulic correlations between the glacier terminal / ice thickness variations and water pressure of the proglacial lake evaluated from the lake depth data, unfortunately. Nevertheless, we have stored precious data set for the glacier, those have been seldom obtained on other calving glaciers. We are convinced that our data set should contribute to clarify mechanism of calving glaciers' variations through continuing the analysis.

研究分野：氷河変動学

キーワード：氷河変動 カービング氷河 氷河湖 パタゴニア ペリート・モレノ氷河 現地観測

### 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化に伴う全球的な氷河体積の変動量の予測が急務となっているが、氷河末端部が海や湖に流入して氷塊が水中へ崩落しているカービング氷河の場合、特異な末端変動を示すことが多い。例えば、南米の南パタゴニア氷原に位置するペリート・モレノ氷河は、周囲の氷河が軒並み後退傾向を示す中であって、前進と後退を繰り返す特異な変動を示している。一方、その北方に位置するウプサラ氷河については、1980年代以降後退を続けているものの、その後退速度は一定ではなく、突如として後退が急加速する時期がみられる。カービング氷河の変動を予測するためには、これらの末端変動のメカニズムを解明する必要がある。

カービング氷河の末端変動は、末端部におけるカービング速度と氷河流動速度との差として決まる。そしてカービング氷河の末端部には大きな水圧による浮力が働いており、カービング速度と流動速度の双方に影響していると考えられている。具体的には、氷の自重圧力から水圧を差し引いた「有効圧力」と両速度との定量的関係を探る研究が積み重ねられているものの、未だ観測データは乏しく、汎用的な定式化には至っていない。

### 2. 研究の目的

前述の背景に対して本研究課題では、南米パタゴニアのカービング氷河を対象として、氷河から氷河前面湖へのカービングが活発化し、氷河末端が急激に後退し始める水理条件を解明することを、当初の目的とした。具体的には、氷河末端部の比高測量と前面湖における測深から有効圧力を求め、流動速度およびカービング速度との関係を探ろうと考えた。

さらには、人工衛星データの解析を通じて、過去に遡って有効圧力と末端後退速度の履歴関係も調べようと当初は目論んでいた。ただし残念ながら、予算規模やマンパワーの制約等から、この人工衛星データ解析による研究には本研究課題期間中には着手できず、結果として、現地観測に基づく以下の項目に焦点を絞って研究を進めてきた。

- (1) ペリート・モレノ氷河末端の位置変動と流動速度、カービング速度を把握
- (2) 前項と湖水圧、有効圧力との関係
- (3) ペリート・モレノ氷河消耗域の氷厚変動

### 3. 研究の方法

基本的に本研究課題は、全て現地観測に基づくデータ解析によっており、本研究課題期間中に2012年12月～2013年1月および2013年12月～2014年1月の2回の現地観測を実施した。いずれもアルゼンチン共和国のペリート・モレノ氷河を対象とした観測を実施し

た。なお2回の観測はともに、連携研究者らと連携、協力しながら共同で実施した。またペリート・モレノ氷河における過去の観測データも解析に使用した。

前述の具体的な目的ごとの方法は以下の通りであり、観測対象地を図1に示す。

- (1) ペリート・モレノ氷河末端氷崖上に特徴ある測点を多数設定し、トータル・ステーションを用いた三角測量を繰り返すことにより、末端位置の測量および測点の流動速度を算出した。カービング速度は、流動速度と末端後退速度の和として評価する。
- (2) ペリート・モレノ氷河前面湖 (Brazo Rico) において測深を実施し、その結果から評価される氷河末端における湖水圧を、末端氷崖の湖水面からの比高を含めた氷の自重圧力から差し引くことで有効圧力を求める。さらに前項の末端における流動速度やカービング速度との関係を考察、検討する。
- (3) ペリート・モレノ氷河消耗域上に1990年以来設定されている10点の測点座標をカバーしながら、GPS干渉測位により氷河表面高度を測量する。過去の測量結果と比較することにより、氷厚変動を把握する。



図1. ペリート・モレノ氷河下流部 (Google Earthより)。 (1), (3)の破線が、観測対象地域を示す。

### 4. 研究成果

- (1) ペリート・モレノ氷河末端の変動と流動
 

図2, 3に、それぞれ末端位置と流動速度分布を示す。末端位置は、2007と2008年1月にはほぼ同じ位置にあったが、2008～2010年には30～40 m年<sup>-1</sup>ほどの後退を示していた。流動速度は0.5～2.5 m日<sup>-1</sup>の範囲であり、氷河の右岸から中央流線に近づくほど大きくなっている。これは中央ほど氷厚が厚いことに対応していた。

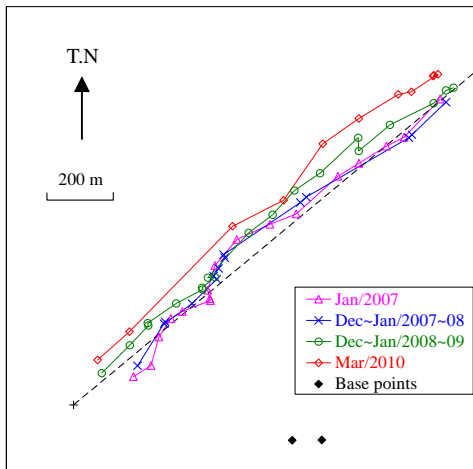


図 2. 各観測期間中に平均した氷河末端氷崖の水平分布。黒破線は、図 3 の横軸座標。

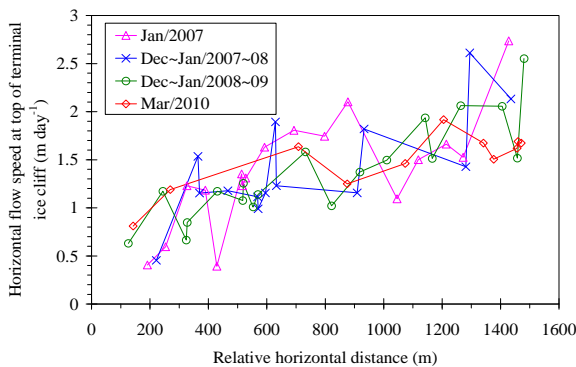


図 3. 氷河末端における流動速度分布。横軸は、図 2 の黒破線に投影した水平距離。(図 2, 3 とともに、Naito *et al.*, 2012 より)

### (2) 湖水圧、有効圧力との関係

Brazo Rico における測深は、連携研究者らと共同で実施し、貴重な水深データを得た。そこで、前項の氷河末端における流動速度を、Brazo Rico における湖水圧および氷河末端における有効圧力と比較検討したが、残念ながら未だ明確な関係を見出すに至っていない。流動速度は有効圧力と負の相関になるはずである一方で、氷厚や表面傾斜に比例する駆動応力とは正の相関関係になるはずであり、この駆動応力との相関に紛れて不明瞭となっている可能性がある。今後もさらに検討を重ねていく必要がある。

### (3) ペリート・モレノ氷河消耗域の氷厚変化

1990 年以来的の表面測量結果を図 4 に示す。2000～2003 年頃にいったん氷厚は厚くなった後、2003～2008 年頃は  $1.0\sim 1.5\text{ m 年}^{-1}$  のほぼ一定の速度で薄くなり続けていた。ところが 2009 年頃以後は、この氷厚減少が鈍化もしくは停止したようである。振り返ると 2000～2009 年頃の約 10 年間をかけて氷厚増大と減少のイベントが発生していたとも考えられる。このイベントの原因について、その期間中にわたる氷河流動場（伸張流 / 圧縮流の分布傾向）の変化の面から。現在も検討を続けているところである。

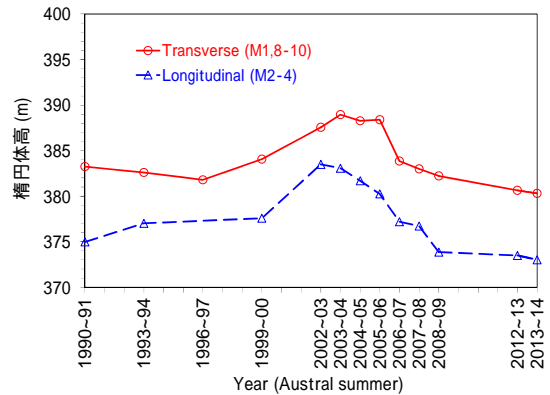


図 4. 氷河流動方向および横断方向で平均した 1990 年以来的の表面高度変化。(内藤ら, 2014)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Naito, N., H. Enomoto and P. Skvarca. Glaciological monitoring regarding dynamic behavior of Glaciar Perito Moreno, Southern Patagonia Icefield in 2003-2010. Glaciological and Geomorphological Researches in Patagonia: 2003-2009 (ed. by M. Aniya and R. Naruse), Isabu Inc., Tsukuba, 2012, 170-174 (査読無)

〔学会発表〕(計 9 件)

内藤望, 箕輪昌紘, 榊原大貴, 大橋良彦, 澤柿教伸, 杉山慎, Pedro Skvarca. 2013 年 12 月南パタゴニア氷原ペリート・モレノ氷河における表面測量. 雪氷研究大会 (2014・八戸) 2014 年 9 月 20 日、八戸工業大学 (青森県八戸市)

榊原大貴, 箕輪昌紘, 杉山慎, 澤柿教伸, 内藤望, Pedro Skvarca. 南パタゴニア氷原ウブサラ氷河の後退および流動加速に底面地形が与える影響. 雪氷研究大会 (2014・八戸) 2014 年 9 月 20 日、八戸工業大学 (青森県八戸市)

箕輪昌紘, 杉山慎, Pedro Skvarca, 榊原大貴, 大橋良彦, 澤柿教伸, 内藤望. 南パタゴニア氷原ペリート・モレノ氷河における末端変動メカニズムの解明. 雪氷研究大会 (2014・八戸) 2014 年 9 月 20 日、八戸工業大学 (青森県八戸市)

杉山慎, 箕輪昌紘, 榊原大貴, 大橋良彦, Pedro Skvarca, 澤柿教伸, 内藤望, 知北和久. 南パタゴニア氷原におけるカービング氷河前縁湖の水溫構造. 雪氷研究大会 (2014・八戸) 2014 年 9 月 20 日、八戸工業大学 (青森県八戸市)

Sugiyama, S., M. Minowa, D. Sakakibara, Y. Ohashi, P. Skvarca, T. Sawagaki and N. Naito. Thermal structures in

proglacial lakes in the Southern Patagonia Icefield. International Glaciological Society Symposium on Contribution of Glaciers and Ice Sheets to Sea-Level Change, May 27, 2014, Chamonix (France)

内藤望, 箕輪昌紘, 榊原大貴, 澤柿教伸, 武藤みなみ, 杉山慎, Pedro Skvarca. 南パタゴニア氷原ペリート・モレノ氷河における氷厚変動観測. 雪氷研究大会 (2013・北見). 2013年9月19日、北見工業大学 (北海道北見市)

箕輪昌紘, 杉山慎, 澤柿教伸, 内藤望, 榊原大貴, 武藤みなみ, Pedro Skvarca. 南パタゴニア氷原ヴィエドマ氷河前縁湖における観測. 雪氷研究大会 (2013・北見). 2013年9月19日、北見工業大学 (北海道北見市)

杉山慎, 澤柿教伸, 内藤望, 榊原大貴, 箕輪昌紘, 武藤みなみ. 南パタゴニア氷原の3つの氷河における短期流動変化の同時測定. 雪氷研究大会 (2013・北見). 2013年9月20日、北見工業大学 (北海道北見市)

内藤望. ヒマラヤにおける氷河変動と氷河湖決壊洪水. 第17回知能メカトロニクスワークショップ (招待講演). 2012年8月30日、広島工業大学 (広島県広島市)

#### 〔図書〕(計 1 件)

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、内藤が「応答時間(氷河の)」「層流近似」2項目を分担執筆)

#### 〔その他〕

##### 報道関連情報

教育学術新聞 (日本私立大学協会発行) 2012年8月22日、「キャンパス万華鏡」にて研究紹介

##### アウトリーチ活動情報

講演「氷河縮小にみる地球温暖化」、広島市佐伯区女性団体連合会・石内公民館共催環境講座、2013年6月5日、石内公民館 (広島市佐伯区)

講演「地球温暖化とヒマラヤ・南極の氷河」、広島県環境計量証明事業協会平成24年度秋の講演会、2012年10月12日、ワークピア広島 (広島市南区)

講演「地球温暖化とヒマラヤ・南極の氷河」、広島経済同友会地球環境委員会、2012年8月27日、広島商工会議所 (広

島市中区)

講演「地球温暖化と氷河」、富士企業(株) 全国安全週間に係る講習会、2012年7月7日、廿日市市産業交流センター (広島県廿日市市)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

内藤 望 (NAITO, Nozomu)  
広島工業大学・環境学部・教授  
研究者番号: 90368762

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

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

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