

令和 2 年 5 月 18 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H05734

研究課題名(和文) パタゴニアにおけるカービング氷河末端と湖との相互作用

研究課題名(英文) Interaction of calving glaciers and lakes in Patagonia

研究代表者

杉山 慎 (Sugiyama, Shin)

北海道大学・低温科学研究所・教授

研究者番号：20421951

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：南米チリ・アルゼンチン国境に位置するパタゴニアでは、淡水性カービング氷河(湖に流入する氷河)が急速に縮小して海水準上昇に影響を与えている。本研究では、研究事例の少ないこれらの氷河に着目し、急激な氷河変動とそのメカニズム、氷河・湖相互作用の解明に取り組んだ。現地観測の結果、湖底付近に冷たい氷河融解水が停留して水中融解が抑制されること、氷河末端の水中融解が氷河の季節変動を駆動すること、カービング(氷山分離)による津波の規模から氷山の質量を推定できること、などが明らかになった。また人工衛星データの解析によって近年の氷河変動(末端後退、氷厚減少、流動変化)の定量化に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

将来の海水準上昇を正確に予測する上で、パタゴニアにおける氷河変動は重要な不確定要素である。本研究の成果は、同地域で急速に縮小する淡水性カービングの変動を定量化し、そのメカニズムの理解を推し進めるものである。特に、急速な変動の原因と考えられる湖との相互作用に関して、水中融解とその季節性、湖水の温度構造、カービングフラックスの推定方法など、新しい知見を見出した。これらの結果は、パタゴニアおよび世界各地における淡水性カービング氷河の変動予測に貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：In the Patagonia Icefield situated along the border of Chile and Argentina, many glaciers are terminating in lakes and called freshwater calving glaciers. These glaciers are rapidly retreating, which results in significant contribution to the sea level rise. This study focuses on the freshwater calving glaciers in Patagonia to better understand the mechanism of the rapid glacier retreat and interaction with the lakes. Based on field observations, we found that cold glacial meltwater occupies the deeper region in the lakes and suppresses the underwater melting, underwater ice front melting causes seasonal glacier variations, and calving flux can be estimated by measuring tsunami waves associated with calving events. Recent glacier changes (e.g. front position, ice thickness and flow speed) in the study region were quantified by satellite data analyses.

研究分野：雪氷学・氷河学

キーワード：カービング氷河 氷河湖 パタゴニア 氷河流動 リモートセンシング 環境変動 海洋物理・陸水学
国際研究者交流

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) パタゴニアにおける氷河変動

南米チリ・アルゼンチン国境に位置するパタゴニア氷原は、南半球では南極に次ぐ規模を持つ氷河群である(図1)。多くの氷河が縮小傾向にあるものの研究事例は少なく、海水準上昇を予測する上で重要な不確定要素となっている(Gardner et al., 2013)。パタゴニア氷原から溢流する氷河の多くがカービング氷河であり、その多くが近年急速に後退している。カービング氷河とは末端が海・湖に流れ込む氷河で、陸上に末端を持つ通常の氷河よりも急速な変動を示す。パタゴニアでは多くの氷河が湖に流入しており、これら淡水性カービング氷河の後退が、氷原全体の質量損失に大きく寄与していることが、申請者らの近年の研究によって明らかになった(Sakakibara and Sugiyama, 2014)。

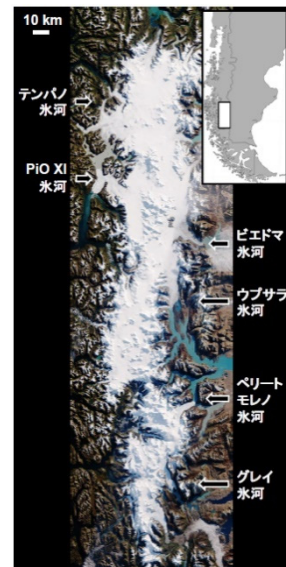


図1. 南パタゴニア氷原。

(2) カービング氷河の変動メカニズム

氷河縮小の主要因は気温上昇にあるが、カービング氷河の変動は温暖化だけでは説明できない。カービング(冰山分離)、氷河末端の水中融解、氷の流動加速、底面地形からの力学作用など、氷河末端で起きるプロセスが急激な後退の原因と考えられている(図2)。しかしながら、カービング氷河末端での観測は困難で、プロセスの理解は進んでいない。また、これまでの研究は海洋性カービング氷河に集中しており、湖と氷河の相互作用に関する知見は少ない。したがって、淡水性カービング氷河の急激な後退メカニズムを理解するためには、氷河と湖の境界における直接観測が必要である。

これまでに実施した申請者らの研究から、氷河と湖の相互作用が、海洋との相互作用と大きく異なることが明らかになってきた。例えばグリーンランドの海洋に流入する氷河前縁では、氷河底から湧昇する融解水がフィヨルド底層に暖水と呼び込んでいるのに対し(Motyka et al., 2013)、パタゴニアの氷河前縁湖では、冷たい氷河融解水が底層を占める(Sugiyama et al., 2016)。従って湖に流入する融解水が増えれば、湖水温度が下がって水中融解が減少する可能性がある。これらの背景に基づいて、カービング氷河と前縁湖の観測を行い、湖と氷河の相互作用を明らかにし、パタゴニアにおける急激な氷河変動のメカニズムを解明する研究課題の着想に至った。

2. 研究の目的

(1) 研究目的

本研究ではパタゴニアのカービング氷河を対象に現地観測と衛星データ解析を実施して、カービング氷河の急激な変動に氷河前縁の湖が果たす役割を解明する。またグリーンランドと南極において実施する別プロジェクトの観測結果とも合わせて、湖と海洋に流入するカービング氷河の末端プロセスを比較し、カービング氷河と湖および海洋との相互作用について包括的な解釈を与える。具体的には、以下項目の解明を目指す(図2参照)。

①カービング氷河末端の水中融解速度

氷河と湖での観測から、氷河末端での水中融解、カービング、末端消耗量(カービング+水中融解)を推定する。その結果から、末端消耗に対して水中融解が占める割合を明らかにする。

②湖底地形が氷河後退に与える影響

氷河付近の湖底地形を測定し、詳細な底面地形図を作成する。人工衛星データに基づく過去の氷河位置と比較して、末端の安定・後退と、底面地形の関係性を明らかにする。

③末端の後退によって氷河が加速するメカニズム

氷厚、底面地形、気象の観測結果を、流動速度の短期(数時間~数日)、中長期(季節~数年)変動と比較する。その結果から、カービング氷河が加速する原因と氷河後退への影響を解明する。

④海洋と湖に流入する氷河の末端プロセスの比較

上記①~③について、グリーンランドと南極で得られたデータと比較する。淡水と海水が氷河に与える影響の差異を解析して、湖に流入する氷河特有の変動メカニズムを明らかにする。

(2) 学術的特色と意義

本研究の特色は、パタゴニアにおける詳細な現地観測である。カービング氷河末端部での観測は技術的に困難で、特に淡水性カービング氷河での実施例は少ない。氷河、湖、地形の複合的な観測によって、カービング氷河末端部のプロセスを解明する。

本研究の成果は、パタゴニアにおける氷河変動の理解に新しい知見を与えるものである。またカービング氷河の末端プロセスの解明は数値モデルの精緻化につながり、カービング氷河の正確な変動予測が可能となる。その結果、氷河氷床の変動と海水準上昇の将来予測、および極域海洋の循環・生態系の理解に貢献が期待できる。

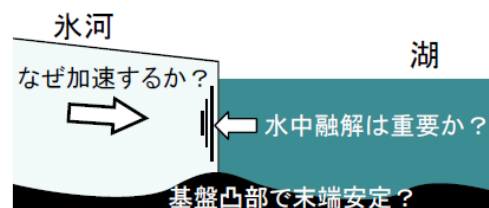


図2. カービング氷河末端の模式図に、本研究が解決を目指す問いを示す。

3. 研究の方法

(1) 現地観測

2017年3月、2018年11月、2020年3月にパタゴニア南氷原にて観測を行った(図3)。チリ側ではグレイ氷河とテンパノ氷河、アルゼンチン側ではペリート・モレノ氷河、ウプサラ氷河、ヴィエドマ氷河で活動を実施した(図1)。チリではオーストラル大学、アルゼンチンではカラファテ氷河博物館の協力を得て、現地での移動や観測船の手配を行った。

グレイ氷河前縁のグレイ湖では、サイドスキャンソナー(Imagenex社製、Yellowfin)を使用して氷河末端の水中形状の測定を行った(図4a)。2016年に同氷河東側末端で測定を行い、約1年後に再測定を試みたものである。2017年3月にはグレイ湖に水温・流速を測定する係留系を設置し、2018年11月にその回収に成功した。回収した係留系はアルゼンチンに輸送してウプサラ湖に設置したが、2020年3月の作業では浮上せず回収に失敗した。何等かの原因でフロートが浮力を失って、測定装置が湖底に沈んでいると考えている。グレイ湖とウプサラ湖を含む各地の湖では、測深装置(Lowrance社製ソナー、Airmar社製振動子)を用いた湖底地形測量、CTDプロファイラ(JFE Advantec社製、ASTD101)を用いた水温・濁度の測定を実施した。

ペリート・モレノ氷河の前縁では、水圧センサ(HOBO社製、U20; Geokon社製、振動弦水圧計)を用いて、カービングによって発生する津波を測定した。水圧測定と同時にカービング端をインターバルカメラによって測定し、その画像からカービングイベントを特定して、崩れた氷の体積を見積もった。その他、グレイ氷河、ペリート・モレノ氷河、テンパノ氷河にてGPSを使った流動と表面高度測定、年々の雪尺観測による質量収支測定を行った。またペリート・モレノ氷河の末端付近では自動気象測器の連続的な運用を行って、氷河の長期的な変動傾向、カービング頻度や氷流動速度などの解析に利用した。

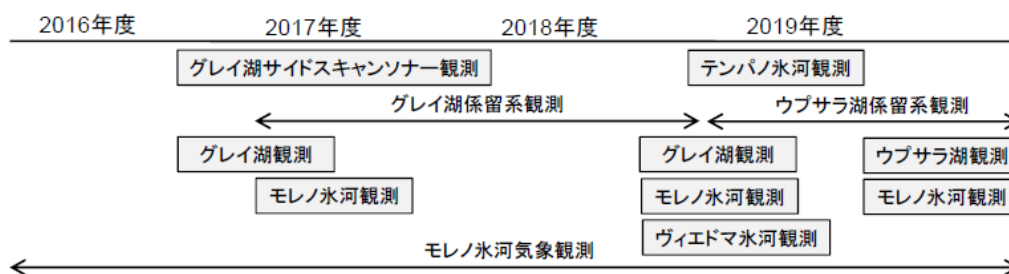


図3.パタゴニアで実施した氷河と湖の観測

(2) 人工衛星データ解析

主にLandsatとSentinelの可視画像を用いて、氷河末端位置の解析を行った。特にグレイ氷河においては、Landsat画像を用いて1970年代以降の氷河末端変動を明らかにし、湖底地形との比較を行った。またLandsatとSentinelの可視画像と、ALOSおよびSentinelによって取得されたレーダー画像を使って、氷河流動速度の測定を行った。この解析には、画像相関法を用いた解析プログラムを使用している。ペリート・モレノ氷河およびPio XI氷河では、末端付近の流動速度を末端位置変動と比較することによって、末端消耗量とその季節変動を定量化した。さらにALOSやASTERのステレオペア画像から得られたデジタル標高モデル(DEM)、SRTMによって2000年に測定されたDEMなどを用いて、氷河表面標高の変化を解析した。特にPio XI氷河においては、ALOS PRISM画像をデジタル写真測量ソフトウェアによって解析し、精度の高いDEMを新たに作成した。その解析によって、前進を続けるPio XI氷河における2000年以降の表面高度変化を詳しく解析した。

4. 研究成果

(1) グレイ氷河における氷河末端水中構造の直接測定

2016年2月と2017年3月のサイドスキャンソナー測定により、グレイ氷河東側末端の直接観測に成功した。その結果、氷河が水面下数10メートルでテラスのように突き出しており、最大約100メートルの長さで湖に張り出している様子が観測された(図4b)。カービング氷河の先端でこのような形状が確認されたのは初めてのことである。観測された氷河水中形状は、水中の氷に作用する浮力によって氷河先端が持ち上げられて崩壊し、大きなカービングが起きる可能性を示唆するものである。実際に2017年10月にはそのようなイベントが現地で観察され、淡水性氷河におけるカービングの頻度や規模を理解する上で重要なプロセスであることが確認された。

グレイ氷河で確認された水中の氷形状は、海洋性カービング氷河で報告された結果とは全く異なるものである。氷河底面から排出される融け水は、海水中では強い浮

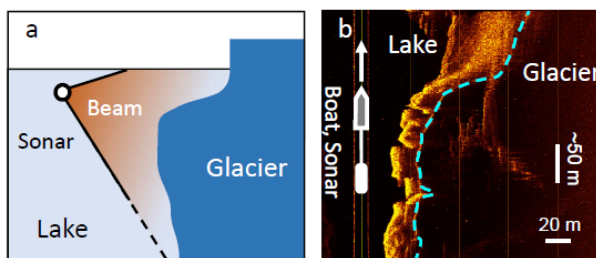


図4. (a)氷河末端の水中観測を示す模式図と、
(b)グレイ氷河末端で得られたソナー画像。

力を得て湧昇して水中融解を促進するが、淡水中では沈み込んで湖の深い部分に停留する。その結果、淡水性カービング氷河では、大気熱が届かない水中で氷が融け残ってテラス状に突き出すと考えられる。この氷河水中形状は大規模なカービングの要因となるため、淡水性カービング氷河の変動に重要な役割を果たすものである。この成果を国際誌に論文として公表し (Sugiyama et al., 2019)、プレスリリースを行ったところ、海外の複数のオンラインメディアで紹介を受けた。

(2) グレイ氷河の末端変動に対する基盤地形の影響

1979年から現在にわたるグレイ氷河の末端変動を解析し、観測によって明らかになった湖底地形との比較を行った。その結果、2000年以降に氷河が基盤の深みに向けて後退を開始して、2016年までに1.7 kmを失ったことが明らかになった (図5)。この間氷河の表面標高は継続的に低下しており、末端における標高が Flotation level (氷に作用する浮力が重力と等しくなる氷河表面標高)に達すると後退が始まる傾向が確認された。すなわち、近年の温暖化と流動状態の変化によって減少する氷厚と、湖の基盤地形によって、末端位置の後退がコントロールされていることが示された。

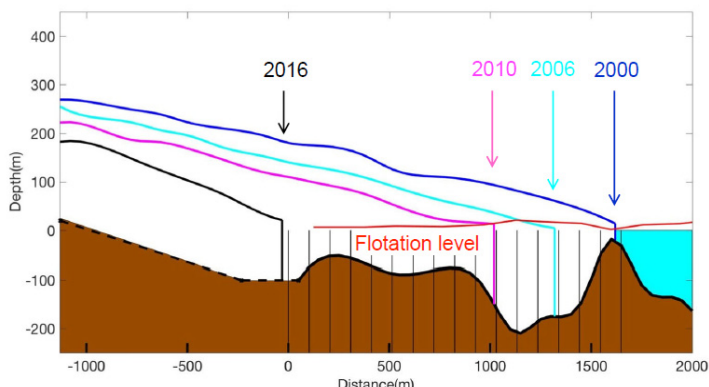


図5. グレイ氷河西側末端と基盤地形の断面図。末端位置の経年変化と Flotation level を示す (山本ら、2017)。

(3) グレイ湖の水温季節変動

通年の水温・流速測定を目的に、2017年3月から2018年11月にかけてグレイ湖にて係留系測定を行った。5つの水深で得られた水温は、表層を除いて夏期に低温化を示した (図6)。氷河前縁湖でこのような通年データが得られたのは初めてのことであり、観測結果は、夏期に比較的冷たい氷河融解水が流入し、湖に停留することを示唆している。湖水温の低下は水中融解を抑制すると考えるため、氷河末端の水中融解とその季節変動に重要な発見である。

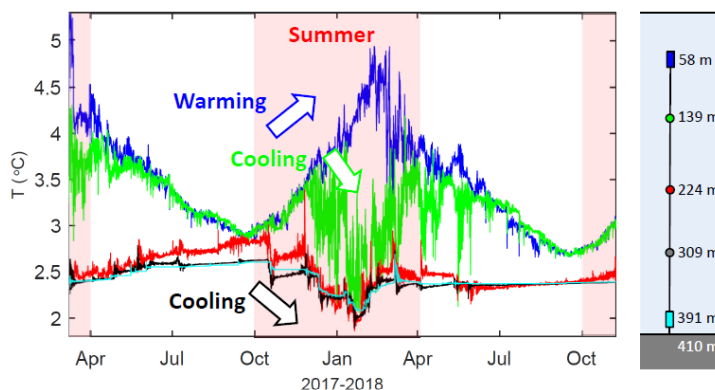


図6. 係留系(右図)によって得られたグレイ湖の水温季節変動。

(4) ペリート・モレノ氷河における氷河末端季節変動

ペリート・モレノ氷河において1999～2013年の15年間にわたる末端変動を解析したところ、末端位置は長期的にはほぼ一定であるものの、顕著な季節変動が明らかになった (図7b)。夏から冬にかけて前進する季節的な末端位置の変化は、流動速度と末端位置から推定された末端消耗量と負の相関関係を示した (図7c-d)。すなわち、氷河は末端消耗が増加する夏期に後退し、末端消耗が抑制される冬期には前進する。気温と湖水温の季節変動を解析したところ、湖水温と末端消耗の間により強い相関関係が得られた (図7e)。

以上の結果は、湖水温に伴って変化する水中融解速度が、氷河末端消耗速度とその結果生じる末端位置季節変動を駆動することを示す。湖水の上昇によって水中融解が増加すると、水面付近の融解測深によって氷河末端部が不安定となってカービングを駆動する。すなわち、水中融解とカービング両方の末端消耗プロセスに影響を与える湖水温度は、淡水性カービング氷河の変動を理解する上で重要な環境要素であることが示された。以上の成果は国際誌に論文として公表した (Minowa et al., 2017)。

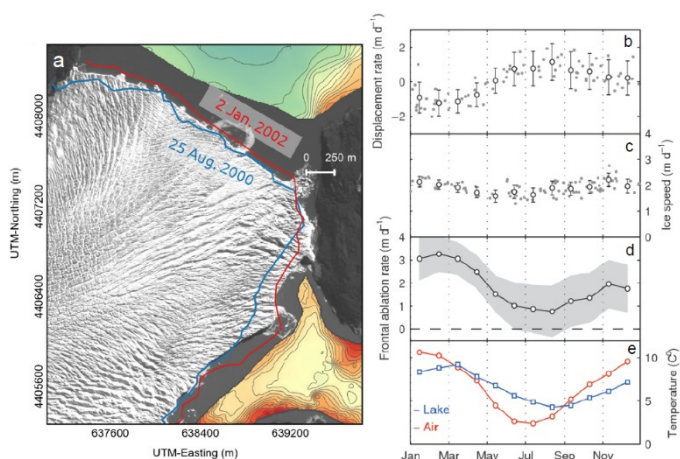


図7. (a)ペリート・モレノ氷河末端部と、(b)末端位置、(c)流動速度、(d)末端消耗速度、(e)気温・湖水温の季節変動。

(5) カービングによって発生する津波の解析

ペリート・モレノ氷河において、インターバルカメラによって撮影したカービング現象と、カービングに起因する津波を解析した。その結果、津波測定によってカービング発生頻度を長期間にわたって定量化することに成功し、夏期(12~1月)には春季(10月)と比較して2倍の頻度でカービングが発生していることが明らかとなった。さらに、観察されたカービングと津波特性の関係を解析したところ、津波の振幅とカービングの規模に相関関係が得られた。また津波測定地点からカービング発生地点までの距離が、津波到達時間の波長分散に反映されることが明らかになった(図8)。この結果は、カービングフラックスの長期間にわたるモニタリングが、比較的安価な測定によって実現する可能性を示すものである。

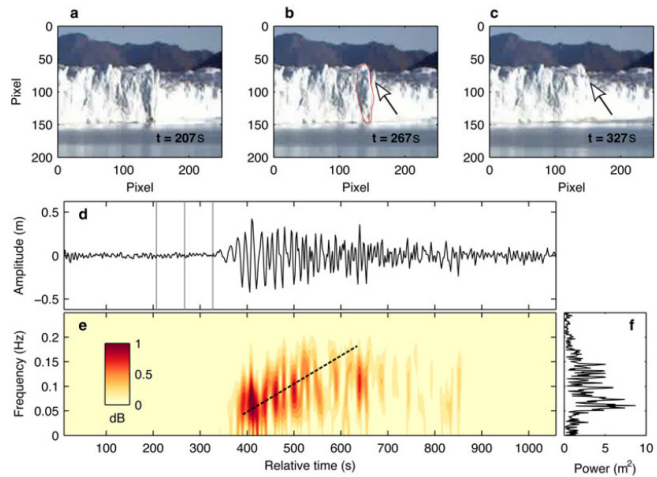


図8. (a-c) インターバルカメラによって撮影されたカービングと、(d-f) カービングによって発生した津波周波数解析の一例。

本研究成果は国際誌に公表され (Minowa et al., 2018)、その後グリーンランドのカービング氷河にも適用されて大きな成果を挙げた (Minowa et al., 2019)。新しいカービング測定方法として評価を受け、新聞とオンラインメディアで紹介を受けた。

(6) Pio XI 氷河の変動解析

パタゴニアにおいて唯一顕著な前進傾向にある Pio XI 氷河を対象に、末端位置、流動速度、表面標高の変動を人工衛星データによって解析した。その結果、氷河は2000年以降も拡大を続けており、2000~2019年に1.4kmの前進が観測された。その間、表面高度が上昇して氷厚の増加を示している(図9)。その一方で氷河末端付近の流動速度は著しく減少し、氷河末端部に堆積した土砂に氷が乗り上げている様子が確認された。

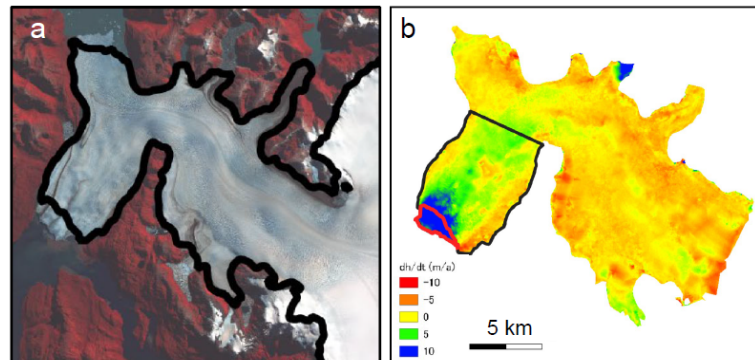


図9. 2000~2007年のPio XI氷河標高変化速度(波多ら, 2019)。

以上の解析から、Pio XI氷河における近年の末端前進は、堆積物が末端消耗を抑制したためと結論づけた。特に末端付近で顕著な氷河表面上昇は、氷河底面での土砂堆積による影響を含むと考えられる。これらの結果は、特異な振る舞いを続けるPio XI氷河の最新データを報告し、変動メカニズムに新しい知見を与えるものである。本成果の発表は、雪氷研究大会・学生最優秀発表賞を受賞した(波多ら, 2019)。

(7) 淡水性カービング氷河と海洋性カービング氷河の比較

本研究によって、淡水性カービング氷河の融解水は湖深層に滞留するため、氷河融解が水中融解を抑制する働きを果たすことが強く示唆された(図10)。この結果は、融解水が湧昇して水中融解を促進する海洋性カービング氷河とは全く異なる。今後は海洋性カービング氷河も含めた観測によって、パタゴニアにおける氷河変動のさらなる解明が必要である。

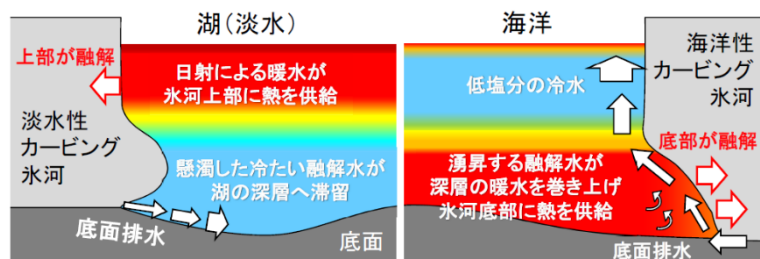


図10. 本研究によって明らかになった(左)淡水性カービング氷河と(右)海洋性カービング氷河の前縁プロセスの比較。

・参考文献(その他は発表論文等リストを参照)

Gardner, A. S. et al., 2013. *Science*, **340**, 852-857.

Motyka, R. J. et al., 2013. *Geophys. Res. Lett.*, **40**, 5153-5158.

Sakakibara, D. and S. Sugiyama, 2014. *J. Geophys. Res. Earth Surface*, **119**, 2541-2554

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 23件）

1. 著者名 Sugiyama Shin, Minowa Masahiro, Sakakibara Daiki, Skvarca Pedro, Sawagaki Takanobu, Ohashi Yoshihiko, Naito Nozomu, Chikita Kazuhisa	4. 巻 121
2. 論文標題 Thermal structure of proglacial lakes in Patagonia	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Earth Surface	6. 最初と最後の頁 2270 ~ 2286
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2016JF004084	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 山本淳博, 箕輪昌紘, 杉山慎	4. 巻 36
2. 論文標題 南バタゴニア氷原・グレイ氷河の末端変動メカニズム	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 北海道の雪氷	6. 最初と最後の頁 53 ~ 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Minowa, M., S. Sugiyama, D. Sakakibara, P. Skvarca	4. 巻 5:1
2. 論文標題 Seasonal Variations in Ice-Front Position Controlled by Frontal Ablation at Glaciar Perito Moreno, the Southern Patagonia Icefield	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Frontiers in Cryosphere Science	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/feart.2017.00001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 MINOWA MASAHIRO, PODOLSKIY EVGENY A., SUGIYAMA SHIN, SAKAKIBARA DAIKI, SKVARCA PEDRO	4. 巻 64
2. 論文標題 Glacier calving observed with time-lapse imagery and tsunami waves at Glaciar Perito Moreno, Patagonia	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Glaciology	6. 最初と最後の頁 362 ~ 376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jog.2018.28	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 波多俊太郎, 杉山慎, 古屋正人	4. 巻 37
2. 論文標題 南バタゴニア氷原Pio XI 氷河の表面流動速度分布	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 北海道の雪氷	6. 最初と最後の頁 111 ~ 114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sugiyama Shin, Minowa Masahiro, Schaefer Marius	4. 巻 46
2. 論文標題 Underwater Ice Terrace Observed at the Front of Glaciar Grey, a Freshwater Calving Glacier in Patagonia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 2602 ~ 2609
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018GL081441	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 MINOWA Masahiro, SCHAEFER Marius, SKVARCA Pedro, MATOBA Sumito, GACIT?A Guisella	4. 巻 37
2. 論文標題 Glaciological traverse across the Southern Patagonian Icefield	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of Glaciological Research	6. 最初と最後の頁 47 ~ 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5331/bgr.19R03	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 波多俊太郎, 杉山慎, 古屋正人	4. 巻 38
2. 論文標題 南バタゴニア氷原Pio XI 氷河の近年の流動速度と末端位置の変化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 北海道の雪氷	6. 最初と最後の頁 31 ~ 34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Minowa Masahiro, Podolskiy Evgeny A., Juvet Guillaume, Weidmann Yvo, Sakakibara Daiki, Tsutaki Shun, Genco Riccardo, Sugiyama Shin	4. 巻 515
2. 論文標題 Calving flux estimation from tsunami waves	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 283 ~ 290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2019.03.023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 SUGIYAMA SHIN, NAVARRO FRANCISCO J., SAWAGAKI TAKANOBU, MINOWA MASAHIRO, SEGAWA TAKAHIRO, ONUMA YUKIHIKO, OTERO JAIME, VASILENKO EVGENY V.	4. 巻 65
2. 論文標題 Subglacial water pressure and ice-speed variations at Johnsons Glacier, Livingston Island, Antarctic Peninsula	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Glaciology	6. 最初と最後の頁 689 ~ 699
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jog.2019.45	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計16件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Minowa, M., S. Sugiyama, D. Sakakibara, E. Podolskiy, Y. Ohashi and P. Skvarca
2. 発表標題 High-frequency surface wave measurements of micro-tunamis generated by glacier calving
3. 学会等名 European Geosciences Union, General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 杉山慎, 箕輪昌紘, M. Schaefer
2. 発表標題 パタゴニア・グレイ氷河のカービング端は水面下で湖に突き出している
3. 学会等名 日本雪氷学会, 雪氷研究大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 箕輪昌紘, 杉山慎, 榊原大貴, P. Skvarca, 大橋良彦, 澤柿教伸, 内藤望
2. 発表標題 南パタゴニア氷原におけるカービング氷河の末端消耗プロセスに関する研究
3. 学会等名 日本雪氷学会, 雪氷研究大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山本淳博, 箕輪昌紘, 杉山慎
2. 発表標題 南パタゴニア氷原・グレイ氷河における最近の末端後退
3. 学会等名 日本雪氷学会, 雪氷研究大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 杉山慎, 箕輪昌紘, 山本淳博, シェーファー・マリウス
2. 発表標題 パタゴニア・グレイ氷河における氷河末端の水中構造がカービングに果たす役割
3. 学会等名 雪氷研究大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本淳博, 杉山慎, 箕輪昌紘
2. 発表標題 南パタゴニア氷原・グレイ氷河における後退と基盤地形の関係性
3. 学会等名 雪氷研究大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本淳博, 箕輪昌紘, 杉山慎
2. 発表標題 南パタゴニア氷原・グレイ氷河の末端変動メカニズム
3. 学会等名 日本雪氷学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sugiyama, S., M. Minowa, M. Schaefer
2. 発表標題 Calving front of Grey Glacier in Patagonia is protruding into water under the lake surface
3. 学会等名 International Symposium on the Cryosphere in a Changing Climate (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Minowa, M. Schaefer, S. Sugiyama, D. Sakakibara, P. Skvarca and G. Casassa
2. 発表標題 Calving velocity controlled by velocity gradients at lake-terminating glaciers of the Southern Patagonia Icefield
3. 学会等名 AUG fall meeting, Washington, December 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hata S., Sugiyama S., Furuya M.
2. 発表標題 Seasonal changes in ice velocity and terminus positions of Pio XI Glacier, Southern Patagonia Icefield, Chile
3. 学会等名 AUG fall meeting, Washington, December 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 箕輪昌紘, 澤柿教伸, 安藤卓人, P. Skvarca
2. 発表標題 パタゴニア・ピエドマ氷河における流線型氷食地 形と氷成堆積物
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2018・札幌)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 波多俊太郎, 杉山慎, 古屋正人
2. 発表標題 南パタゴニア氷原Pio XI 氷河における流動速度の季節変化
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2018・札幌)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 波多俊太郎, 杉山慎, 古屋正人
2. 発表標題 南パタゴニア氷原Pio XI 氷河の表面流動速度分布
3. 学会等名 日本雪氷学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 箕輪昌紘, 波多俊太郎, M. Schaefer
2. 発表標題 パタゴニア・テンパノ氷河における短期氷河流動変化
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2019・山形)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 波多俊太郎, 杉山慎、古屋正人
2. 発表標題 南パタゴニア氷原Pio XI氷河における近年の末端前進とそのメカニズム
3. 学会等名 日本雪氷学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 波多俊太郎, 杉山慎、古屋正人
2. 発表標題 南パタゴニア氷原Pio XI氷河の近年の流動速度と末端位置の変化
3. 学会等名 雪氷研究大会(2019・山形)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>・プロジェクト紹介ページ http://www.ice.lowtem.hokudai.ac.jp/~sugishin/research/hokudai2/patagonia/patagonia.html ・所属機関ニュースレター記事「南米パタゴニアで氷河と湖の境界に迫る」 http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/newsletter/news42.pdf ・論文発表プレスリリース「水中に突き出した氷が氷河の崩壊を引き起こす」 https://www.hokudai.ac.jp/news/190311_pr.pdf https://www.global.hokudai.ac.jp/blog/beware-a-glaciers-tongue/ ・論文発表プレスリリース「津波を使って氷河から流出する氷山の量を測定」 https://www.hokudai.ac.jp/news/2019/04/evgeny-podolsky.html ・発表論文オンライン記事 https://www.sciencedaily.com/releases/2019/04/190402113047.htm https://phys.org/news/2019-04-underwater-ice-terrace-front-grey.html https://geographical.co.uk/places/wetlands/item/3206-glacier-tongues-a-freshwater-phenomenon ・発表論文新聞紹介(日刊工業新聞2019年5月13日) ・学会発表賞(2019年9月11日) 波多 俊太郎: 雪氷研究大会 学生優秀発表賞 最優秀発表賞「南パタゴニア氷原Pio XI氷河における近年の末端前進とそのメカニズム」</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	箕輪 昌紘 (Minowa Masahiro)	チリ・アウストラル大学・物理・数学科・日本学術振興会・海外特別研究員	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	マリウス シェーファー (Schaefer Marius)	チリ・アウストラル大学・物理・数学科・助教	
研究協力者	スクヴァルカ ペドロ (Skvarca Pedro)	カラファテ氷河博物館	
研究協力者	波多 俊太郎 (Hata Shuntaro)	北海道大学・低温科学研究所・環境科学院・博士課程大学院生 (10101)	
連携研究者	深町 康 (Fukamachi Yasushi) (20250508)	北海道大学・北極域研究センター・教授 (10101)	
連携研究者	澤柿 教伸 (Sawagaki Takanobu) (70312410)	法政大学・社会学部・准教授 (32675)	
連携研究者	青木 茂 (Aoki Shigeru) (80281583)	北海道大学・低温科学研究所・准教授 (10101)	
連携研究者	山崎 新太郎 (Yamasaki Shintaro) (40584602)	京都大学・防災研究所・准教授 (14301)	