



## 融け水で氷河が加速：パタゴニアで氷河流動のメカニズムを解明

### 研究成果のポイント

- ・南米パタゴニアではじめて、氷河全層 515 メートルの熱水掘削に成功。
- ・カービング氷河(海・湖に流入する氷河)の底面に高い水圧を確認。
- ・底面水圧のわずかな上昇による氷河の大幅な加速を確認。
- ・気温上昇による氷河の融解がカービング氷河を加速させる可能性を指摘。
- ・激変する世界の氷河、南極・グリーンランド氷床の変動予測に貢献。

### 研究成果の概要

末端が海や湖に流れ込むカービング氷河は、パタゴニア、アラスカ、南極、グリーンランドなどで急激に縮小して、海水準上昇に大きな影響を与えています。北海道大学低温科学研究所(古川義純所長)の杉山慎講師を中心とするグループは、パタゴニアを代表するカービング氷河、ペリート・モレノ氷河に深さ 515 メートルの縦孔を掘削し、底面水圧のわずかな上昇が氷河を大きく加速させることを確認しました。底面水圧は気温、すなわち氷河の融解量にコントロールされており、気温上昇に伴って海や湖への氷流出が増加し、氷河縮小の引き金となる可能性が示されました。

この研究成果は、2011 年 8 月 7 日付で英国の科学誌『*Nature Geoscience*』にオンライン先行出版されました。

なお、本研究は、科学研究費補助金(課題番号 18251002, 23403006)の助成を受けて、筑波大学の安仁屋政武教授らとの共同研究として実施されました。

### 論文発表の概要

研究論文名: Ice speed of a calving glacier modulated by small fluctuations in basal water pressure  
(底面水圧のわずかな変動によって生じるカービング氷河の流動変化)

著者: 杉山慎 (北海道大学), Pedro Skvarca (アルゼンチン南極研究所), 内藤望 (広島工業大学),  
榎本浩之 (国立極地研究所), 津滝俊 (北海道大学), 刀根賢太 (北海道大学),  
Sebastián Marinsek (アルゼンチン南極研究所), 安仁屋政武 (筑波大学)

公表雑誌: *Nature Geoscience* (ネイチャー・ジオサイエンス) オンライン先行出版

公表日: 日本時間(現地時間) 2011 年 8 月 8 日(月) 午前 2 時 (英国時間 2011 年 8 月 7 日午後 6 時)

## 研究成果の概要

### (背景)

末端が水に浸かった氷河はカービング氷河と呼ばれ、通常の氷河よりも大きな速度で流動し、海や湖に大量の氷を流出しています。パタゴニア、アラスカ、南極、グリーンランドなどの地域では、巨大なカービング氷河が近年急激に縮小し、海水準の上昇に影響を与えています。カービング氷河縮小の原因として、氷河流動の加速にともなう氷流出量の増加が挙げられていますが、氷河が加速するメカニズムは明らかになっていません。水に浸かったカービング氷河の末端部は底面の水圧が高く、氷が滑りやすくなっていると考えられます。この底面水圧の変化によって氷が加速する可能性があります。厚い氷に閉ざされた氷河底、特にカービング氷河の底面はほとんど調査されていませんでした。そこで本研究では、カービング氷河の流動メカニズム解明を目的として、2008年から2010年に南米パタゴニアのカービング氷河で観測を行いました。

### (研究手法)

パタゴニア氷原の南東部に位置するペリート・モレノ氷河は、末端が湖に流入するカービング氷河です(図1a)。氷河末端部の氷は約60%が湖水面より低い位置にあり(図1b)、年間400メートルを超える大きな速度で流れています。本研究では、熱水掘削という技術を駆使して氷河を高速で掘削し(図2)、氷河底水圧の直接測定を試みました。その結果、熱水ジェットで氷を融かしながら深さ515メートルの縦孔を2本掘削することに成功。この縦孔を使って氷河底面の水圧を測定し、氷の流動速度、および気温との関係を調べました。カービング氷河の底面観測は世界で2例目、パタゴニアでは初めてとなります。

### (研究成果)

今回の観測によって以下3点の重要な発見がありました。

- (1) 氷河の底面に高い水圧(氷の圧力の90%以上)が発生していること(図3a)
- (2) わずか数%の水圧上昇によって氷河の流動速度が最大40%増加すること(図3c)
- (3) 気温の上昇に伴って流動速度が増加(1℃の気温上昇で約4%の速度増加)すること(図4)

観測結果(1)は、カービング氷河末端部は氷が水圧で浮いてしまうギリギリの状態にあり、底面が非常に滑りやすいことを示しています。この結果は、通常の氷河よりも大きな速度で流れるカービング氷河の流動メカニズムに新しい知見を与えるものです。また観測結果(2)は、水圧のわずかな変化によって流動速度が大きく変化することを示しており、カービング氷河の流動が環境によって変化しやすいことが明らかになりました。さらに観測結果(3)は、氷河の融解水が底面に流れ込んで水圧と流動に影響を与えていることを示唆しています。その結果、「気温上昇⇒融解量増加⇒底面水圧上昇⇒氷河の加速」というメカニズムでカービング氷河が加速することが、観測によって初めて示されました。もしこのメカニズムが働くと、気候の温暖化によって海や湖への氷流出量が増加し、カービング氷河の急激な縮小をもたらす可能性があります(図5)。

以上の成果は、近年の急激な氷河氷床の縮小に関する理解を進め、その将来予測に貢献するものです。

### (今後への期待)

本研究成果によって、カービング氷河のより正確な変動予測が可能になります。特に南極やグリーンランド氷床には巨大なカービング氷河が多く、数値シミュレーションによる氷床変動予測、及び海水準変動予測の精度向上が期待されます。また、2011年11月に日本を出発する第53次南極地域観測隊では、杉山慎講師を中心としたチームが南極のカービング氷河で熱水掘削と氷河観測を予定しており、さらなる成果を求めて準備を進めています。熱水掘削は世界でも限られた研究機関が保有する技術であり、南極氷床底面に存在する湖の調査、その存在が議論されている氷底生物の探査など、今後は氷河研究の枠を超えた応用が検討されています。

## お問い合わせ先

所属・職・氏名：北海道大学低温科学研究所 講師 杉山 慎（すぎやま しん）  
TEL: 011-706-7441 FAX: 011-706-7142 E-mail: sugishin@lowtem.hokudai.ac.jp  
ホームページ: <http://wwwice.lowtem.hokudai.ac.jp/~sugishin/>  
本研究に関する情報：  
[http://wwwice.lowtem.hokudai.ac.jp/~sugishin/photo\\_album/moreno2010/moreno2010.html](http://wwwice.lowtem.hokudai.ac.jp/~sugishin/photo_album/moreno2010/moreno2010.html)

## 【参考図】

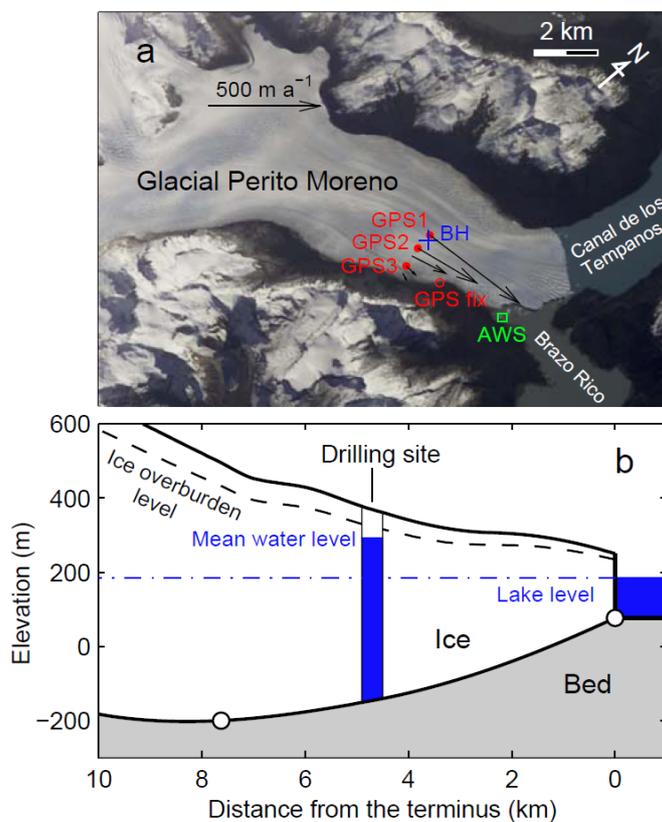


図 1. (a) 観測を行ったペリート・モレノ氷河の人工衛星写真。地点 BH(+)で熱水掘削と底面水圧測定を行い、GPS1~3(●)における流動速度、AWS(□)における気温と比較しました。

(b) 氷河中央に沿った縦断面図。氷厚の半分以上が湖の水位よりも低い高さにあります。掘削した縦孔の水位は湖水面よりも 100 メートル以上高いことが判明しました。



図 2. ペリート・モレノ氷河における熱水掘削の様子。熱水ジェットで氷を融かしながら，約 2 日間で約 500 メートルを掘削しました。

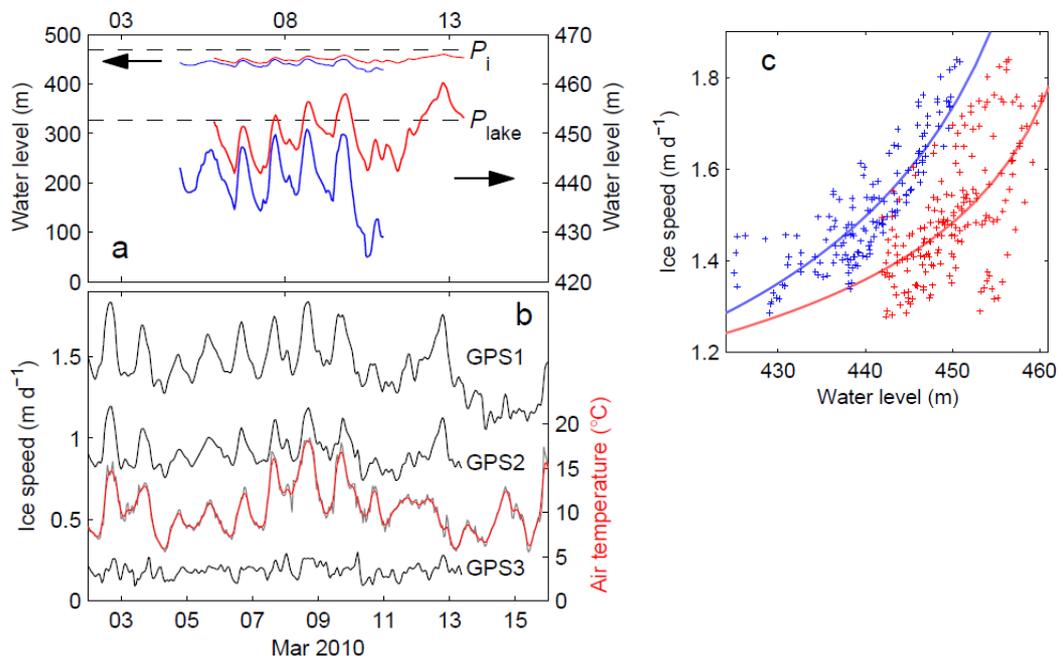


図 3. (a) 氷河底面を基準とした掘削孔の水位（すなわち氷河底面水圧）。図中上部の赤線及び青線は 2 本の掘削孔で測定した水位を左軸にプロットしたもので，湖水面 ( $P_{\text{lake}}$ ) と比較して水位が高く水圧が氷の圧力 ( $P_i$ ) に近いこと，水位の変化がわずかであることを示しています。中央部に示した赤線・青線は水位を拡大して右軸にプロットしたもので，氷河が良く融ける日中に水位が高くなる日周期変動を示しています。

(b) 氷河上の 3 箇所 (GPS1~3, 図 1a 参照) で測定した氷の流動速度 (黒線) と気温 (赤線)。掘削孔の水位と同期して流動速度が大きく変化しています。

(c) 流動速度と掘削孔内の水位との関係。水位のわずかな変化 (20~30 メートル程度) で流動速度が大きく変化 (最大 40%) しています。

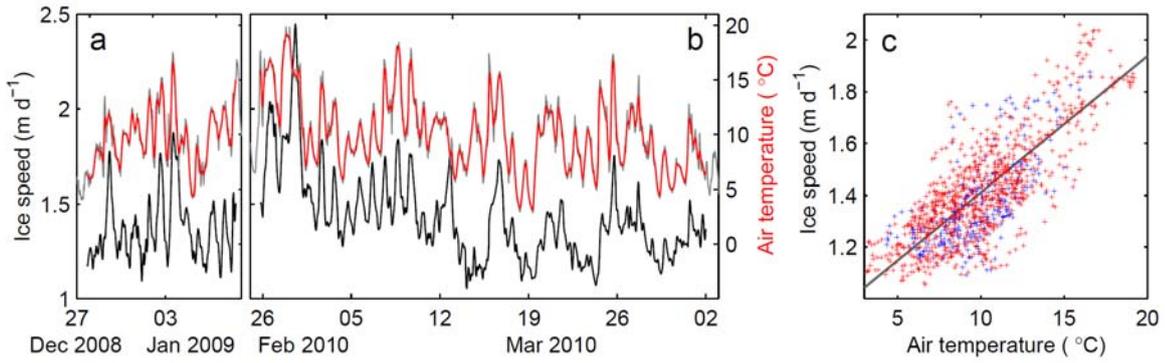


図 4. (a) 2008 年 12 月 27 日から 2009 年 1 月 8 日及び(b) 2010 年 2 月 25 日から 4 月 2 日に観測された氷河の流動速度（黒線）と気温（赤線）。日周期の気温変動に伴って氷河の流動速度が大きく変化しています。

(c) 気温と流動速度の関係（青：2008/2009 年，赤：2010 年）。気温が 10 度上昇すると 1 日の流動距離が 0.53 メートル増加します。

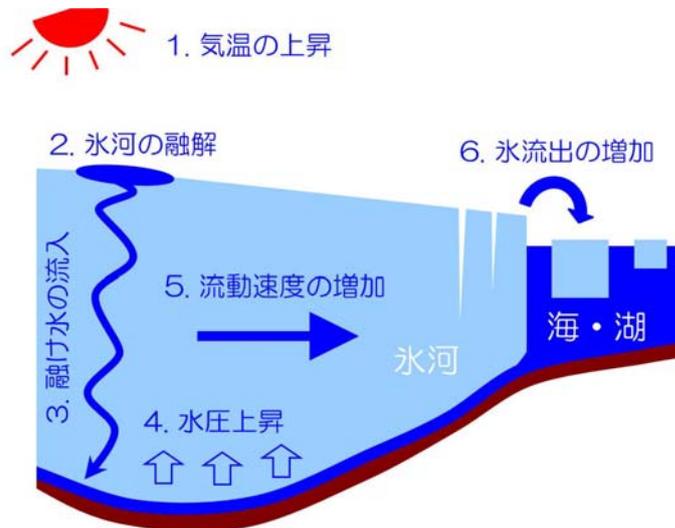


図 5. 本研究によって明らかになった，カービング氷河の流動変化を示す模式図。気温の上昇によって氷河底に流入する融け水が増加し，通常でも高い水圧がさらに上昇します。その結果，氷河の流れが速くなり，氷流出量の増加と氷河の縮小が起きます。