

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2014

課題番号：22401003

研究課題名(和文)南米・北パタゴニア氷原の氷河変動と環境変動の対応解析

研究課題名(英文)Glacier Variations of Northern Patagonia Icefield, South America and Environmental Changes

研究代表者

安仁屋 政武 (ANIYA, Masamu)

筑波大学・

・名誉教授

研究者番号：10111361

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究期間の2010年度から2014年度までの4年間で氷河後退により面積が8.43km²減少した。最大の後退はサン・キンティン氷河の3.35km²であった。その他顕著な後退をした氷河は、コロニア、シュテフェン、HPN3、フィエロ、ベニートである。一方、サン・ラファエル氷河、グアラス氷河、レイチェル氷河(以上氷原西側)、ピスシス氷河、パレド・スール氷河、レオン氷河(以上氷原東側)、エクスプロラドール氷河(北側)、はほとんど変化しなかった。細かく変動を見ると、2013 - 15年の1氷河当たりの後退速度は2011-12の1/5、2012-13の約1/3となっており、後退速度が鈍化した。

研究成果の概要(英文)：The total glacier recession of the HPN during the study period of 2010-2014 (4 years) is 8.43km². The largest recession is found at Gl. San Quintin that lost an area of 3.35km². Other fast retreating glaciers include Gl. Colonia (1.5 km²), Gl. Fiero (0.76 km²), HPN3 (0.71 km²), Benito (0.67 km²), and Gl. Steffen (0.65 km²). On the other hand, I found several glaciers that did not vary substantially during the study period. These are Gl. San Rafael, Gl. Gualas, and Gl. Reicher on the west of the icefield, Gl. Piscis, Gl. Pared Sur, Gl. Arco and Gl. Leon on the east side, and Gl. Exploradores on the north side.

When we look at the recession rate closely, the average recession speed per glacier for 2013-15 is 1/5 of that for 2011-12 and 1/3 of that for 2012-13, indicating that the recession speed has decreased during the study period.

研究分野：自然地理学

キーワード：パタゴニア 北パタゴニア氷原 氷河変動 環境変動

1. 研究開始当初の背景

研究代表者はこの研究開始以前から、空中写真、衛星データ、空撮により北パタゴニア氷原の溢流水河の変動を明らかにし、その特徴や傾向、要因等を論じてきた。この研究は変動を継続的にモニターするものである。

2. 研究の目的

南米南端に発達している北パタゴニア氷原の21の溢流水河を対象として、小型機による斜め写真の空撮とソレール氷河ならびにエクспロラドール氷河の垂直写真撮影により、氷河変動を明らかにして環境変動との関連を考察する。

3. 研究の方法

小型航空機をチャーターして氷原の周回飛行を行い、主な溢流水河の末端位置や側谷の氷河湖を中心に空撮を行う。さらに、過去に現地調査を行ったソレール氷河とエクспロラドール氷河を対象に(準)垂直写真を撮影する。これらの写真からチリ政府が発行している5万分の1の地形図に末端位置を落とし、異なった年次のこれらの末端位置図を重ね合わせ、その期間の変動(面積および距離)を抽出する。ソレール氷河とエクспロラドール氷河では実体視可能なオーバーラップのある垂直写真撮影を行い、モザイクを作成して末端付近の変化をより克明に明らかにする。

4. 研究成果

(1) 空撮概要

空撮は2011年2月(2010/11の夏)、2011年7月(冬)、2012年2月(2011/12の夏)、2013年2月(2012/13の夏)、2013年12月(2013/14の夏)、2014年12月(2014/15の夏)の6回行った。この内、2013年12月は天候不良の為、3回試みたが、氷原東側に位置する一部の氷河のみしか空撮できなかった。

従って、図化したのは2011年、2012年、2013年と2015年の4時期の21の溢流水河の末端位置である。2011年7月の冬の空撮では末端位置に大きな変化は見られなかったため、図化したのが計測は行わなかった。変動を計測したのは、以前のデータを含めて2009-11、2011-2012、2012-13、2013-15の4時期である。

(2) 溢流水河の変動

期間全体

2011-15の4年間の変動は8.43km²の後退である。これを1氷河1年の平均に直すと、0.1km²となる。最大の後退はサン・キンティン氷河の3.35km²で、コロニア氷河が1.5km²、フィエロ氷河が0.76km²、HPN3氷河が0.71km²、シュテフェン氷河が0.65km²、ベニート氷河が0.58km²、と続く。

変動ゼロあるいは実質ゼロの氷河は、レイチェル、グアラス、ピスシス、パレドール

ール、アルコ、カセット、レオン、エクспロラドール、など8氷河に上った。グロッセ氷河、サン・ラファエル氷河、パレドール、ノルテ氷河、ネフ氷河は僅かな後退であった。

一方、ソレール氷河は僅かではあるが前進した(0.025km²)。しかし、これはクレバス伸張による見かけで、末端崩壊前の前進と解釈される。

各時期の変動

A) 2009-11

氷原全体の面積減少は6.42km²で、1年平均にすると3.21km²となる。1氷河の1年当たりの後退量は0.153km²である。以下、比較のために1年当たりの数値を示す。最大はサン・キンティン氷河の1.84km²である。次いでシュテフェン氷河の0.41km²、コロニア氷河の0.37km²、ベニート氷河の0.16km²、HPN1氷河の0.14km²、HPN3氷河の0.1km²、HPN2の0.09km²と続く。

一方、実質変動なしだった氷河は、グアラス、サン・ラファエル、ピスシス、アルコ、レオン、エクспロラドールの5つである。さらにグロッセ、レイチェル、パレドール、フィエロ氷河の変動はそれぞれが僅か0.005km²であった。すなわち、21氷河の内9氷河の変動がゼロか僅かであった。大きく後退した氷河とほとんど変動しなかった氷河の両極端に分かれていることを示す。

B) 2011-12

氷原全体の面積減少は4.31km²であった。これを1氷河平均にすると0.205km²となる。最大の後退はサン・キンティン氷河で2.64km²であった。これに次いでコロニア氷河が0.37km²、シュテフェン氷河が0.34km²、フィエロ氷河が0.34km²、ベニート氷河が0.32km²であった。

変動ゼロの氷河は、グアラス、ピスシス、パレドール、アルコ、ソレール、レオンなど6氷河であった。グロッセ、レイチェル、サン・ラファエル、HPN1、カセット、エクспロラドールなどは変動が0.02km²以下だった。この時期も、大きく後退した氷河とほとんど変動しなかった氷河の両極端に分かれた。

C) 2012-13

氷原全体の面積減少は2.47km²で、1氷河平均にすると0.118km²である。前時期に比べると、後退量は40%減少した。特に顕著に変化したのはサン・キンティン氷河で、0.69km²の後退は前時期の1/3以下であった。最大の後退はHPN3氷河で0.71km²であった。これは末端大崩壊による結果である。コロニア氷河は0.57km²、ベニート氷河が0.25km²、フィエロ氷河が0.14km²である。

シュテフェン氷河は若干の前進であった。これは過去の観察から、浮いている末端がカービングする前に前進した時期をたまたま空撮で捉えたものと解釈できる。他に、ソレール氷河が前進した。これも空撮時の観察か

ら、氷河前縁湖にある末端がクレバス伸張等で前進したものと解釈できる。変動が少ない氷河は前時期と同じのものに加えてネフ氷河であった。

D) 2013-15

2013年12月の空撮は悪天のため失敗だったので、2年間の変動を抽出した。それによると面積減少は1.65km²で、1年では0.83km²となる。1氷河1年の平均は0.04km²となり、前時期と比べると約1/3、前々時期と比べると約1/5で、非常に少なくなっている。後退した氷河はコロニアが0.56km²、次いでシュテフェンが0.35km²、フィエロが0.28km²、HPN2が0.20km²、HPN1が0.16km²である。

サン・キンティン氷河は後退した部分と前進した部分があり、ネットでは僅かであるが前進となった。これは恐らく空撮のタイミングの問題で、クレバスが伸長して前進し、カービングで後退する前の瞬間と考えられる。その他、サン・ラファエル氷河でも右岸側が僅かに前進していた。また、前時期に大崩壊を起こして大きな後退をしたHPN3は前進していた。これもタイミングの結果である。ソレル氷河は前進を続けているが、末端が堰止めモレインに押しつけられて真ん中に縦の亀裂が入り、水が溜まっているのが観察された。

一方、ほとんどあるいは僅かしか（後退）変化しなかった氷河は、グロッセ氷河、エクスプロラドーレス氷河、ネフ氷河、カチェット氷河、アルコ氷河、パレド・スール氷河、ピスシス氷河、サン・ラファエル氷河、グアラス氷河、レイチェル氷河など10氷河である。

(3) 顕著な氷河の変化

エクスプロラドーレス氷河：現地調査によると、右岸末端近く、大きな岩塊に覆われた丘を切って発達していた氷河表面水路が2012年12月には一部干上がり、2013年12月には水路が消滅して幾つかの池となっていた。これは、末端に近づくにつれて氷河の上昇流が大きくなり、水流の侵食が追いつかなくなった結果と解釈できる。実際、2014年12月の観察では、融解水の排出湖に露出している氷河の面積が隆起によって増大し、氷河上にあった多くの池が消滅していた。

ソレル氷河：2012年に始まった顕著な前進が垂直写真によってはっきりと捉えられた。前進により末端が堰止めモレインに到達した。さらに押しつけられた結果、真ん中に縦の裂け目でき、水が進入した。これらは、この前進が質量収支増加によるものではなく、クレバス伸張等の見かけのものであることを示している。近いうちに、末端崩壊が起きることが予測される。

コロニア氷河：左岸側方で堰止めていた氷河湖、カチェット・ドス湖がGLOF（氷河性決壊洪水）を2008年に起こしてから、末端は急速に後退していた。数年前から鳥の嘴のよ

うに細まっていた末端部分が2014年12月までに完全になくなり、末端の輪郭は直線状になった。この先、どのように末端が後退していくかが興味深い。

シュテフェン氷河：末端付近では常に横断方向に長いクラックが入り、大きなテーブル状の氷山を生産し続けている。末端は浮いていると推測される。

右岸側谷の氷河湖、ラゲーナ・デ・ロス・テンパノスがGLOFを起こしていることが、空撮により判った。衛星データの判読と併せて、少なくとも1980年代から頻繁にGLOFが発生していることが明らかになった。

サン・キンティン氷河：激しく後退し続けていたが、2013-15では見かけではあるが、後退がストップした。これが涵養と消耗が新たな平衡に達した結果なのか、それとも単なる一時的な現象なのか、今後の変動が注目される。

(4) 環境変動との関連

氷河変動と環境変動の関連を見るために、チリ水資源局が北氷原の周辺に位置する幾つかの町（プエルト・アイセン、プエルト・チャカブコ、コジャイケ、プエルト・グアダール、プエルト・イバニェース、バイア・ムルタ）で観測している気温と降水量データをチェックした。北氷原の溢流氷河の降水量変動に対する反応時間は15~20年ぐらいと推定されているので、1990年以降のデータをチェックしようとしたが、データが揃っているステーションは皆無であった。

降水量で意味のある統計がとれたのはバイア・ムルタ（1994-2009）とプエルト・チャカブコ（2000-2009）のみである。それによると、氷原の東側（風下）に位置するバイア・ムルタの降水量は、1994年（約1450mm）から2007年（870mm）までは顕著な減少傾向であったが、2008年と2009年（1600mm）で増加傾向となっている。氷原の約100km北北西に位置するプエルト・チャカブコでは2000年（2700mm）から2007年（2070mm）まで減少傾向にあったが、やはり2008年から増加し2009年は3190mmとなっている。2000年からの変動パターンは両者似ている。

気温データではバイア・ムルタの1998年から2012年があるが、年平均気温に上昇・下降といった傾向はない。北氷原の約100km北に位置するコジャイケの2003-2011年でも特に変化傾向はない。両者とも夏（11月から翌年の2月まで—融解量に影響）あるいは冬（6, 7, 8月—降雪の割合に影響）の変動を見ても特に傾向はない。

このように気象データは不備なので細かい解析はもちろんできないが、2013-15年の後退が非常に少なかったのは2008年からの降水量増大が影響した可能性が指摘できる。反応時間が5-6年と非常に短い、ノルウェーの氷河はこのような短い反応時間で変動

することが知られているので、パタゴニアの氷河がこのような短い時間で反応することもありうるかもしれない。

安仁屋政武 (ANIYA, Masamu)
筑波大学・名誉教授
研究者番号：10111361

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

Aniya, M. (2013): Holocene glaciations of Hielo Patagónico (Patagonia Icefield), South America: A brief review. *Geochem. J.* 47:1-9. 査読有、DOI なし

Aniya, M. and Skvarca, P. (2012): Little Ice Age advances of Glaciar Perito Moreno, Hielo Patagónico Sur, South America. *Bull. Glaciol. Res.*, No. 30: 1-8. 査読有、DOI なし

〔学会発表〕(計3件)

安仁屋政武 (2014): 南米・北パタゴニア氷原・シュテフェン氷河側谷の湖、ラグーナ・デ・ロス・テンパノスの GLOF. 雪氷研究大会 (2014・八戸) 講演要旨集、p. 7. 八戸工業大学 (青森県八戸市) 2014年9月20日～23日.

Aniya, M. (2012): Glacier Variations of Northern Patagonia Icefield since 1945 and Contrasting Behaviors of San Rafael and San Quintin Glacier. CD-ROM, Annual meeting of Association of American Geographers, Hilton Hotel, New York City, NY, USA. 2012年2月25日.

安仁屋政武 (2011): 南米・北パタゴニア氷原エクスプロラドール氷河面水路の移動. 雪氷研究大会 (2011・長岡) 講演要旨集、p.10. 長岡 (ハイブ長岡-長岡産業交流会館) 2011年9月19日～23日.

〔図書〕(計4件)

Aniya, M. ed. (2015): *Hielo Patagónico (Patagonia Icefield)—The Selected Works of Masamu Aniya*. Isebu, Inc., Tsukuba, Japan. 448p.

Aniya, M. and Naruse, R, eds. (2012): *Glaciological and Geomorphological Researches in Patagonia: 2003-2009*. Isebu, Inc., 213p.

Aniya, M. (2012): Vertical aerial surveys at Glaciar Exploradores, HPN, and migration of a meandering supraglacial stream channel. In M. Aniya and R. Naruse (eds.), *Glaciological and Geomorphological Researches in Patagonia: 2003-2009*. Isebu, Inc., Tsukuba, Japan, 154-161.

Aniya, M. (2012): Neoglaciations of Hielo Patagónico, South America: A new scheme. In M. Aniya and R. Naruse (eds.), *Glaciological and Geomorphological Researches in Patagonia: 2003-2009*. Isebu, Inc., Tsukuba, Japan, 185-194.

6. 研究組織

(1) 研究代表者