

特集：気候変動

地球温暖化による熱帯アンデスの氷河消失 —中央アンデス高地の影響を中心に—

山口 和 敏

1. はじめに

世界的に地球温暖化問題への関心が急速に高まっている。「気候安全保障」の言葉も生まれた。温暖化は世界に一樣に現れるのではなく、極地や高地により大きな影響を及ぼすと指摘されている。

我が国では、熱帯氷河が集中するアンデス高地での影響が報じられることは少ないが、現地では「緊急事態を宣言すべき」との警鐘が鳴らされた。

アンデス高地は南米の貧困地域であり、かつ気候変動に最も脆弱な地域だ。また歴史的に先住民が多く、ボリビア首都ラパスをはじめ都市も集中していることから、氷河後退の影響は極めて大きいと懸念される。本稿では、熱帯アンデスの氷河消失の一端を紹介したい。

2. 「ラテンアメリカ気候変動国際会合」が発した警鐘

(1) ラテンアメリカ気候変動国際会合の概要

2007 年 10 月、南米エクアドルにてアンデス共同体(CAN)主催による「ラテンアメリカにおける気候変動に係る国際会合(CLIMALATINO)」¹が開催された。会議には世界 40 カ国から研究者、各国政府高官、国際機関職員、NGO 代表ら 1,550 名が参加した



(courtesy: Comunidad Andina (CAN))

(写真)。ラテンアメリカにおける気候変動に特化した初めての大規模な国際会議であり、世界的にも注目を浴びた。

この会合は、ラテンアメリカにおける気候変動問題の現状と影響について情報を共有し、気候変動から派生する問題に取り組むための解決策を提示することを目的とした。

ラテンアメリカにおける気候変動の影響は地域によって多様であるため、講演、報告及び協議のテーマは多岐に亘った。海岸部、山岳部など地域別の被害と対応、食糧安全保障、災害リスク管理、気候変動適応策と緩和策、炭素市場と CDM (クリーン開発メカニズム) 事業、バイオ燃料等が取り上げられている。IPCC (気候変動に係る政府間パネル) 第二作業部会共同議長 Osvaldo Canziani 氏は、

気候変動の影響が確実に中南米諸国においても生じていると強調した。

ラテンアメリカにおける「地球温暖化の証人」は、「解けゆく氷河」である。会合の最終日に採択された「21 の提言」²の中で、「アンデスの氷河後退は深刻な水供給不足を惹起するものであり、アンデス諸国は緊急事態を宣言し、科学的根拠に基づき早急に対処策を実施すべし」との警鐘が鳴らされた。

(2) アンデス高地への警鐘

ラテンアメリカの氷河は南米アンデス山脈にのみに存在するが、大別して①低地性氷河（アルゼンチンとチリの高緯度に存在）と②高地性氷河（エクアドル、ペルー、ボリビア等低緯度に生じるため「熱帯氷河」との異名も持つ）がある。双方ともに温暖化に起因する氷河の後退傾向が認められるが、以下人口密度も高く温暖化による被害が甚大になると懸念されるアンデス高地性氷河について論を進めたい。

会合では IPCC 第二作業部会 Graciela Magrin 氏(アルゼンチン国立農牧技術研究所 INTA)から、氷河後退により飲料水、灌漑用水及び発電用の水資源が枯渇する可能性が指摘された。

また、フランス国立開発研究所(IRD)エクアドル駐在員 Bernard Francou 氏から、エクアドルのコトパシ火山にある氷河面積が 1976 年に 19.2km²から、97 年 13.5km²、2006 年 11.8km²へと減少している観測値が公表された。また、ペルーでは、国内における氷河面積の合計が 1989 年は 2,042km²に対し、97 年には 1,595km²と、8 年間で 447km²消失したと報告された。うち、ブランカ山系にあっては

氷河面積の合計が 1970 年代の 723.37km²から 97 年には 611.48km²まで減少している。

次に高地アンデス氷河の現状と機能、そして加速する氷河後退の実例を示そう。

3. 急速に後退する「高地アンデス」の熱帯氷河

世界最長のアンデス山脈は南北に約 8,000km にも及ぶ。ヒマラヤ山脈の 3 倍の大きさである。地域によって地形、気候、植物相、動物相が大きく異なり多様性に富む。アンデス山脈の中で人口が集中するのは、標高 2,500m を超える「中央アンデス高地」である。そして、こうした地域の水の供給源となる高地アンデス「熱帯氷河」が重要視されている。

(1) 氷河が集中する「中央アンデス」の高地
低緯度にある世界の熱帯氷河のうち 99% が「アンデス高地」に集中する。その面積は東京都の 1.25 倍で 2,744Km²に及ぶ。国別の熱帯氷河面積と比率を示したのが表 1 である。

表 1: 南米諸国における熱帯氷河面積の割合

国	面積(Km2)	割合(%)	観測年
ペルー	1,958(1,370)	71.1	1970(2006)
ボリビア	562(393)	20.4	1975(2006)
エクアドル	112.8(79)	4.1	1976(2006)
コロンビア	108.5(76)	3.9	1950(2006)
ベネズエラ	2.7(1.8)	0.09	1950(2006)
南米全体	2,744(1,920)	99.68	2006

出所: ¿El fin de las cumbres nevadas? glaciares y cambio climático en la Comunidad Andina. 表 1.1

ペルー(71%) とボリビア(20%)だけで南米熱帯氷河全体の 9 割を占める。低緯度アンデス高地の氷河はいわゆる「中央アンデス」地域

に集中している。なお、これら 2 カ国の氷河面積は 1970 年初頭から 2006 年までに 30% も激減したことは注目に値する。

(2) 熱帯氷河の後退とエルニーニョ現象の関係

熱帯氷河後退の原因とされる温暖化に、1970 年以降増加の傾向が見られるペルー沖のエルニーニョ現象が深く関係しているらしい。エルニーニョ現象が発生した年は、エクアドルでは気温が上昇している。標高 5,100m から 5,300m の高地では降雨量が増加し、太陽光の反射率（アルベド）が低いいため氷河の融解を招く。一方で、ボリビアの高地では降雨量は 10% から 30% に止まり、夏期に旱魃を引き起こす。この間、日射量が増加するため、氷河の表面を覆う雪は解けて減少する。2008 年初めにボリビアやエクアドルに豪雨被害をもたらしたラニーニャ現象は反対に、アンデス高地に雨や雪を適度に降らせ、氷河の年間質量収支³を保つと言われる。このように、近年の研究はアンデス高地の熱帯氷河の融解が地球規模の温暖化とあわせて、ペルー沖の海水温の変動が地域気候に大きな影響を与えていることを示している。

(3) 加速する氷河の融解速度

中央アンデスの主要氷河の後退速度をグラフに表したのが次頁図 1 である。図中、ペルーの Broggi 氷河は 1970 年から 2007 年までの 35 年間に 700m 後退し、18 万 m² の面積が消失している。いずれの氷河においても近年このように急速な後退傾向が認められる。

中央アンデスの氷河が加速度的に進行し

ている様子を、ペルーの Qori Kalis 氷河の例に写真と絵図で見てみよう（次頁図 2）。この図によれば 1998 年から融解水による氷河湖の形成が始まっている。こうした氷河湖は、後述するように地震や雨季の増水で容易に決壊し、下流域に甚大な被害を及ぼす可能性がある指摘されている。

(4) 氷河湖の決壊のリスク

氷河後退は、自然災害の直接または間接的な要因にもなりうる。氷河の後退によってモレーン⁴は氷河と切り離され、そこにできた空間に融解水が溜まり、氷河湖を形成する。地震活動が活発なアンデスではモレーン崩壊によって決壊する氷河湖が周辺に暮らす人々にとって新たな脅威となっている。氷河融解で氷河湖が決壊し、瞬時にして崩壊したモレーンによる土石流が発生し、下流にある他の湖の氾濫を引き起こす。特に降雨量が増す雨季では氷河湖決壊による洪水の危険性はさらに高まる。

1941 年 12 月にはペルー・ブランカ山系 Palcacocha 湖の決壊により、下流ワラス市街が壊滅、4,000 人余が土石流に飲み込まれるという災害が発生した。1962 年及び 70 年にはワスカラン北峰の雪崩によって 22,000 人の死者⁵を出している。

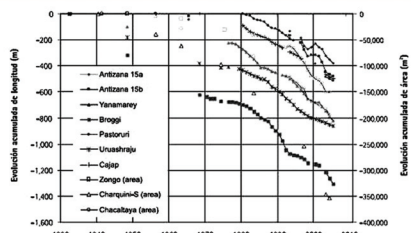
1877 年に噴火したエクアドルのコトパシ火山や 1985 年のコロンビアのネバド・デル・ルイス火山噴火によって解け出した氷河が泥流となって流下する災害も起きた。後者の場合、泥流が山麓のアルメロ市街まで達し、25,000 人もの死者を出す史上最悪の火山災害となった。

エクアドルのアルタル火山から崩落した岩塊が氷河湖に落下したことが原因となった洪水災害も記憶に新しい。2000 年 12 月に発生したこの災害は、アルタル火山から 100km 離れた地域にまで拡大し、何十人もの犠牲者を含む被害を出した。氷河後退により、今後アルタル火山に雪崩が発生し、同様の災害が起きる可能性は少なくないとされている。

アンデス高地の氷河（「巨大な真水の貯蔵庫」）の後退は、高地先住民の農業生産を脅かし、下流域の人々の生活、灌漑及び産業用水に不足を来し、また膨張した氷河湖の決壊という大規模災害を引き起こすだろう。

図 1：中央アンデスの主要氷河の経年後退傾向

- Evolución de la longitud (izquierda) y área (derecha) de diez glaciares en los Andes Centrales -

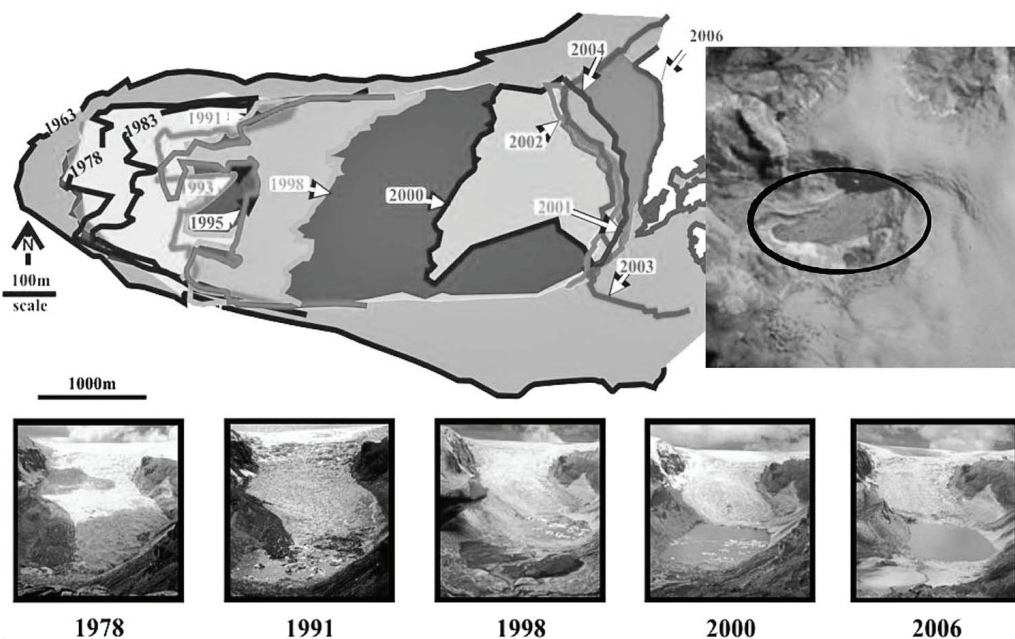


Fuente: RID, IRI, SENAMHI-Bolivia, INREDA, BUSHILL, DAMAP-Q

出所: ibid

注: 縦軸左側が氷河後退距離(単位:m)、右側縦軸が消失面積(単位:平米)。

図 2：ペルー-Qori Kalis 氷河の経年変化



資料提供: Ohio State University / Lonnie Thompson 教授

4. 熱帯氷河が果たす役割

アンデスの熱帯氷河は経済活動や社会生活そして生態系において重要な役割をいくつか担っている。その2つの重要な機能を見てみよう。

(1) 安定した水資源としての機能

氷河から解けた水は、飲料水や産業用水として人口が集中するラパス、キト、リマなどの首都やアンデス山麓の他の都市に供給されている。熱帯氷河は貴重な「巨大な真水の貯蔵庫」と言える。アンデス諸国が消費する電力の大部分(70%)は氷河の融解水による水力発電に依存しているとも言われる。

こうした貴重な氷河の水資源がどのように機能しているのか、またその後退がどのような影響を及ぼすのか中央アンデスのペルーとボリビアの例を概観する。

①ペルーの例

ペルーの総人口の70%が太平洋沿岸に暮らし、同地域はペルー国家経済を支えている。世界でも最乾燥地帯の一つであるため、農業は灌漑が前提で、その供給源は氷河から流れる水である。氷河は水資源として食糧生産を支える「泉」であり極めて貴重である。

近年、農業技術の向上にともなって、ペルーの乾燥地帯に輸出向けアスパラガス、アーティチョーク、またバイオ燃料としてサトウキビなどの非伝統的農作物の導入が進んでいる。大量の灌漑用水を必要とするこれら農産物の高い需要が続けば、水源となる氷河の後退と相まって沿岸部における水の供給は一層危ぶまれることになるだろう。

②ボリビアの例

首都ラパスと先住民の人口増加率が急伸する衛星都市エルアルトにとって熱帯氷河は、飲料水、水力発電ならびに農業用水の貴重な供給源である。しかし、両市が依存する氷河群は、2006年までに3分の1以上の面積を失ったと言われる。2025年から2050年にかけては全ての氷河が失われるとの予測もある。そして、氷河後退の影響により、早くとも2009年には200万人を超える人々が水ストレスに陥るとの危惧が急速に高まっている。

気温が上昇し、氷河消失のペースが加速すれば、(a)水をめぐる社会情勢の不安定化、(b)観光業、手工業、伝統農業衰退による失業率の増加、(c)低地への人口移動、(d)アンデス先住民文化の崩壊等、社会・経済基盤に深刻な影響を与えるだろう。

(2) 河川水量の補完機能

アンデス高地には氷河の融解水を水源とする流域がいくつも存在する。どの流域も、生態系の維持には不可欠であり、周辺に住む先住民の農業用水として大きな役割を果たす。

例えば、ペルーのブランカ山系では10月から3月にかけて雨季となる。この時期は気温が最も高く、毎月の降雨量と比例して、氷河流域の河川に一定の水量が保たれる。しかし、近年のエルニーニョ現象により、このバランスが崩れ始めている。ボリビア、ペルー、エクアドルにおいて気温が上昇し、ボリビアやペルー南部の降雨量は激減した。他方、氷河から解けた水が、氷河流域の河川や支流に

至り、降雨量の減少による水不足を補ってきた。ただし氷河流域が小さく、融解水量も少ない場合には、降雨量の減少による水不足を補える程度の供給量は期待できない。氷河が後退することで水量補完のバランスが崩れ、水資源の不足が懸念される。この問題は人口の増加にともない深刻化し、標高 2,500m 以上の高地のみならず、沿岸部のペルーの首都リマにまで波及しよう。

5. アンデス高地の生活を支える氷河

インカ文明の中心となった標高 2,500m 以上のアンデス高地には、いまだ多くの「インカの末裔」たちが自給自足的な農業を営んでいる。その多くが貧困層だ。彼らと氷河との緊密かつ重要な関係についても触れておきたい。

2,500m以上の高地となれば、気温と気圧と酸素量が低下して人体に「高度反応」の苦痛が現れる。富士山頂より高い地域、それも森林限界を越え、乾季も厳しい高地になぜ多くの人が住めるのか？そもそもこれ程の人口を養う農業生産力は何を基盤として成立するのか？⁶ 山本らはその理由を、低緯度地帯に広がる①広大な高原と②自然を改変した特異的な「寒冷高地適応型の生活」と説明する。

「寒冷高地適応型の生活」とは、ジャガイモを中心とした根菜類の栽培、高度差を利用した多様な作目の導入、そして家畜化したリャマやアルパカとの「農牧複合的な自給自足的生活様式」である。先住民は、長い歴史をかけて熱帯高地の特性⁷を活かし、野生の動植物を家畜や栽培作物へと改良し、農地を造成し、灌漑農業を導入した。こうして高地の気候のメリットを活用し、また一方で気候リスクを分散させるシ

ステムを構築していった。しかしそれは農耕限界地での極限状況下で成立した農業体系である。

農業を成立させる基本要因は気温と降雨量である。年間降水量が少ない中央アンデス高地では、もう一つ決定的に重要な要因が氷河と雪の融解水である。5,000m 級の高地に分布する氷河や雪は「巨大な真水の貯蔵庫」であり、その融解水が乾季のアンデス高地に水を供給し牧草を維持し家畜を養う。そしてこれら家畜の糞尿や堆肥が、元々瘦薄な山岳地帯土壌に養分を補給して辛うじて「持続的農業」を支える。こうした水は降雨の少ない農地に、また急峻な土地に造成した階段畑の貴重な灌漑水としても利用される。さらに中央アンデス高地住民の乾季の貴重な飲料水にもなっている。

氷河の後退・消失は、1 万年以上にわたり高地住民を支えてきた農業体系の根幹を崩壊させる危機を孕んでいるといっても過言でない。



イリマニ山と高原に広がる放牧地帯
(撮影：篠 克彦)

6. 動き始めた国際援助機関

こうしたアンデス氷河の急速な後退に対して国際協力機関が対応に動き始めている。世銀は、地球環境ファシリティ(GEF)を利用したプロジェクト「熱帯アンデス氷河後退適応策パイロット計画」を2007年に発表した。ペルー、ボリビア、エクアドル3カ国に対して、気候変動の影響を受ける生態系及び経済活動に対する適応策の支援を進める計画だ。

国際エルニーニョ現象研究センター(CIIFEN)は防災分野への協力姿勢を打ち出した⁸。また、アンデス共同体(CAN)とEUとの間では「アンデス共同体防災支援プロジェクト(PREDECAN)」の計画が進んでいるという⁹。

7. おわりに

氷河の消失は中期的に生活用水、農業用水、エネルギーそして工業用水の不足をもたらし、中央アンデス諸国に多大な影響を及ぼすと予測されている。特に、ボリビア、ペルーは、南米の中でも最も貧困率が高い国¹⁰であり、水資源となる氷河の急速な後退は両国が抱える数百万人の貧困層に大きな打撃を与えると懸念される。

しかし、氷河の後退観測データは蓄積されつつあるが、その社会・経済インパクトに係る詳細な研究は未着手である。既に、雨季の降水量を貯水するダムや貯水池の造成の必要性が叫ばれているが具体的取り組みは始まっていない。

地球温暖化による熱帯アンデスの氷河消失問題に対して、我が国のODAによる積極的な取り組みが望まれる。

(やまぐち・かずとし 国際協力機構 中南米部)

¹CLIMALATINO国際会合の詳細は以下のHPを参照。

<http://www.comunidadandina.org/climalatino.htm>

²「21の提言」詳細についても上記HPで閲覧可能。

³夏の融解量と冬の蓄積量の差。質量収支が負の値であり続ければ、氷河は消滅してしまう。

⁴氷河の融解により削り取られた岩石の堆積が形成した堤防状の地形。

⁵ペルー国立天然資源研究所(INRENA)。

⁶こうした疑問に応える好著に山本紀夫らの著作「アンデス高地」や「ジャガイモとインカ帝国」がある。本項は、これら書籍に多くを依っている。

⁷熱帯高地では気温の日較差は大きい年較差は小さい。太陽高度が高く、大気が希薄であるため日射量は豊富である。晴天が多いことは低緯度高地の農業に必須だが、それも水の供給が保証されていることが前提だ。

⁸1997年から98年にかけてのエルニーニョ現象によってエクアドル全体損失額では35～40億ドルもあったと言われているが、自然災害の教訓は十分に生かされていない。

⁹主な活動として、防災政策強化、災害リスク情報・情報・モニタリング体制導入、地域開発・土地利用におけるリスク管理、防災教育、地方パイロット事業が実施されている。投入規模：EUから945万ユーロ、CANから295万ユーロ、計1,240万ユーロ、協力期間：2003年から2008年まで。

<http://www.comunidadandina.org/predecan/predecan.html>

¹⁰1人当たりGNI(2006)：ボリビアUS\$1,100、ペルーUS\$2,920、人間貧困指数(HPI)：ボリビア13.6%、ペルー11.6%(UNDP人間開発報告書2007/08)。

参考文献

Comunidad Andina Secretaria General. “¿El fin de las cumbres nevadas? glaciares y cambio climático en la Comunidad Andina”.(http://www.comunidadandina.org/public/cambio_climatico_fin_cumbres_nevadas.pdf)

Eissen, Jean-Philippe. 2004. “El deslave del 13 de octubre del 2000 del volcán El Altar,” Investigaciones en Geociencias 1.(<http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc15666/doc15666-a.pdf>)

Painter, James. “Deglaciation in the Andean Region,” *Human Development Report 2007/08*.

UNDP. “Fighting climate change: human solidarity in a divided world”, *Human Development Report 2007/08*.

IPCC Working Group II. 2007. “Impacts, Adaptation and Vulnerability,”(<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter13.pdf>)

山本紀夫. 2004. 『ジャガイモとインカ帝国』東京大学出版会。

山本紀夫編. 2007. 『アンデス高地』. 京都大学出版会。