

滞 在 記

アンデス山脈熱帯氷河調査

水 津 重 雄¹⁾

はじめに

2009 年 3~4 月に、独立行政法人国際協力機構がエクアドル、ペルー、ボリビアで行った「アンデス熱帯氷河後退に対する適応策に係る基礎情報収集・確認調査」に参団した。現地で得た知見を報告する。

「熱帯氷河」を奇異に感じる方が多いと思うが、この熱帯は気候としての熱帯ではなく、緯度を意味し、北回帰線と南回帰線との間にある氷河を指す。世界の熱帯氷河の 71% がペルー、20% がボリビア、4% がエクアドルにあり、南米全体で 99% 以上に達する。熱帯にあるので、氷河は高地にしか存在できず、これら 3 国ではアンデス山脈にある。これらの氷河は気候変動により急速に後退しており、氷河後退が水資源へ与える影響や災害の発生が懸念されている（たとえば General Secretariat of the Andean Community, 2007；山口, 2008）。

調査の目的は、今後の日本の支援に資するため、熱帯氷河後退によってアンデス高地が直面する水資源と災害リスク、各国の機関、他ドナーや国際機関の動向に関する情報を収集、整理、分析することであった。政府機関等からの情報収集が主ではあったが、氷河の視察も行った。本号の雪氷写真館にも写真が掲載されているので、そちらも参照していただきたい。

気候の特徴

これら 3 国の気候は、熱帯なので、1 年を通じて気温の変化は小さい。アンデス山脈の東側のアマゾン川流域は降水量が多いが、西側の太平洋側では少ない。雨季と乾季があり、緯度や地域に

よって多少違うが、12~3 月が雨季である。また、詳細は省くが、太平洋岸を北上する寒流のフンボルト海流が気候に果たす役割も大きい。

エクアドルの氷河

エクアドルの首都キトの裏山である Pichincha 山へはロープウェイで簡単に上ることができる。そこから見渡すと、雲海の上に飛び出た孤立峰がいくつも見えた。これらすべてが火山であり、その中でも標高の高い火山には氷河が存在する。

世界一高い活火山といわれる Cotopaxi 山にも氷河がある。キトから車で 2 時間半で山の北側にある駐車場に到着する。図 1 に示すようにきれいな成層火山である。山腹には氷河からの融解水を運ぶ水路が見られ、氷河は水資源として利用されている。駐車場から歩き始める。日本の春のような暖かさの中、火山性の多孔質の黒い砂礫の道を登っているのが、氷河は目の前に見えてはいるが、とても氷河に向かっていと思えない登りである。

駐車場から 1 時間ほどで、山小屋につき、東に



図 1 エクアドルの Cotopaxi 山と氷河。

1) 株式会社地球システム科学

〒160-0022 東京都新宿区新宿 1-23-1

回り込みながら行くと、ほどなく氷河の末端に至る。標高は約 4800 m である。熱帯氷河は末端高度も高い。末端の下側には、デブリを被ったデッドアイスらしきものが見られ、氷河が後退中であることが伺える。斜面傾斜が急なので、氷河によって運ばれたデブリは自然に斜面を落下してしまうようで、エンドモレーン形成されていない。エクアドルの最高峰である Chimborazo 山の氷河も同様であり、これらの火山の氷河では氷河後退による氷河湖形成の可能性は少ないようだ。一方、火山活動による氷河融解やカルデラ湖への氷河の崩壊が原因となる土石流という、火山にある氷河ならではの災害があるとのことである。

この日は氷河の上には上がらないので、日焼けはたいしたことないと高を括り、日焼け止めを塗らず出かけた。翌朝には顔がぼろぼろになってしまった。熱帯の、しかも高標高の直射日光の強烈さを実感することになった。

キト市の水道局で「気候の記憶」と題した展示が行われていた。ここで最初に展示されていたのが、図 2 である。「水はどこで生まれますか？」と書かれ、キト市の水源となる 3 つの山の氷河が描かれている。最も右側に描かれているのが Antisana 山で、太平洋と大西洋の分水嶺に位置する。アマゾン側からの貿易風にのった水蒸気の流入があるので、降水量も多く、図に示すように太平洋側に位置するほかの氷河よりも発達している。キト市の水源や氷河の後退の様子子供たちにも分かるようにイラストや写真で説明されていた。水

処理の方法などについては実験や体験もでき、これらを通じて、氷河後退で水資源の減少が懸念されるので、「水を無駄にしない、大事に使う」という啓蒙活動に結び付けられていた。

ペルーの氷河

世界で熱帯氷河が最も集中しているのはペルーの Blanca 山脈であり、700 km² 以上が氷河で覆われている。ここでは中心都市の Huaraz 市を基地に、Paron 谷、Llanganuco 谷、Ulta 谷、Llaca 谷を訪れた。これらの谷には、氷河湖がある。モレーンの様子から氷河が後退中であることも確認できた。

Blanca 山脈の氷河からの融解水は Santa 川に集まり、やがて太平洋に注ぐ。この水は、生活用水、農業用水、鉱工業用水、水力発電に使われている。山麓では農業と生活用水に使われており、小さな取水施設も多く、そこから下流の町に給水されている。Santa 川には多くの発電所がある。ペルーの海岸部は年間を通じてほとんど降水がなく、灌漑しなければ農業は成り立たない。下流では大規模な農場に供給されており、農場拡張の計画もある。乾季になると Santa 川の水量は減るが、氷河からの融解水は安定して供給されるので、重要な水資源である。

Blanca 山脈は、世界で最も雪害を受けてきた地域である。18 世紀以降、雪崩や氷河湖の決壊が 25 回以上記録に残っている。最大の被害をもたらしたのは、1970 年 5 月にペルーの最高峰 Huascarán 山からの、地震を引き金とした雪崩である。岩や土砂も巻き込み、その右手を流れる谷を乗り越え、Yungay の町を埋め尽くし、ほとんど全員の居住者、23000 人が死亡した。

Blanca 山脈には 986 の湖があるとされ、ほとんどが 17 世紀以降の氷河の後退に伴って形成された氷河湖である。氷河湖決壊洪水による被害も大きく、18 世紀以降、10000 人以上の人が命を失っている。1941 年 12 月には Huaraz 市の約 25% が破壊され、4000 人以上が死亡した。これを契機に、ペルー地質調査所により、Blanca 山脈の氷河と湖のインベントリ作成や氷河湖決壊洪水対策プロジェクトが始まった。その事業は創設された Glaciological Unit に引き継がれ、氷河や氷河

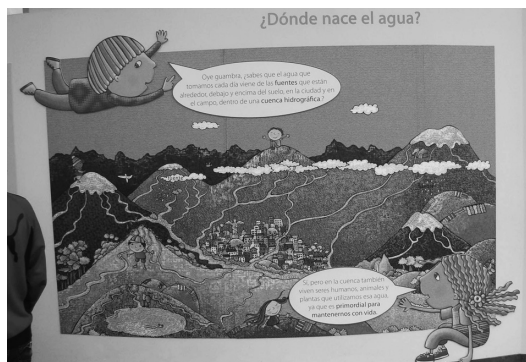


図 2 キト市水道局での「水はどこで生まれますか？」という展示、キト市の水源となる 3 つの火山の氷河が描かれている。

湖の観測、氷河湖の危険度評価や防災工事が行われてきた。

Glaciological Unit ではこれまでに 37 の氷河湖で防災工事を行ってきた。防災工事には 2 種類ある。一つは、氷河湖の水位を下げるため、トンネルを掘って湖の外に排水する方法である。Paron 湖ではこの工法が取られた。1970 年に工事を開始したものの、失敗による再掘削の後、1984 年に完成した。これにより、湖の水位は 4200 m から 4155 m に下げられた。トンネルの出口ではパーシャル・フリュームで排水量が測定されている (本号の雪氷写真館の写真 7, 8 参照)。バルブを調節することで、水位の調節が可能である。Paron 湖の自然堰堤上には排水用の開渠があり、トンネル工事以前から、水位が堰堤を超えた場合でも堰堤を壊すことなく排水できる対策が取られていたことを示している。

もう一つの防災工事は氷河湖の自然堰堤となっているエンドモレーンを開削、湖水を排水し水位を下げた後、排水用の暗渠を設置し、その上に人工堰堤を作る方法である。Llaca 湖でこの堰堤を見ることができた。この氷河湖には流動していないと思われるデブリを被った氷体があり、その上部から氷河が流れ込んでいる (本号の雪氷写真館の写真 3~5 参照)。

本稿執筆中の 2010 年 4 月には Blanca 山脈で、氷河湖決壊洪水が起き、3 人が行方不明で、給水施設が破壊されたというニュースが入ってきた。ネパールやブータンの氷河湖決壊洪水がよく報道されるが、規模や被害においては、Blanca 山脈のほうがはるかに大きく、対策もとられてきたのである。

ボリビアの氷河

ボリビアでは、実質的な首都であるラパス市の北側にある山や氷河を訪れた。標高 5400 m の Chacaltaya 山は、5300 m のロッジまで車で上がることができる。かつては氷河があり、世界で一番高いスキー場として有名であったが、2009 年に氷河は消失し、行った時にはわずかの積雪が認められるだけであった。その近くには Huayna Potosi 山 (標高 6088 m) がある。この山の氷河はラパス市およびその近郊の重要な水資源である。

Huayna Potosi 山や北東方向へ連なる Condriti 山の東側の氷河の融解水は自然の河川や人工の水路で下流の Tuni 湖に集められる。ここからラパス市に隣接するエル・アルト市の浄水場に送られ、両市の水道水となる。Huayna Potosi 山の南には氷河湖を人工化した Zongo 湖がある。山の西側の氷河の融解水は自然および人工の水路で Zongo 湖に集められる (本号雪氷写真館の写真 2 参照)。Zongo 湖は標高 4750 m で、アマゾン側に 53 km 下る間に、標高は 941 m まで下がる。この間にこの落差を利用する 10 の水力発電所がある。図 3 はその水力発電所を示す標識である。この電力はラパス市や近郊に供給される。この谷の住民のほとんどが電力会社の職員であり、道も最も低い発電所で行き止まりである。まさに発電のための谷である。ラパス市近郊や Huayna Potosi 山周辺では植生はほとんどないが、アマゾン側の谷を下っていくとどんどん緑が増える。2000 m まで降りると、バナナや亜熱帯性の樹木も出てく



COBEE BPCo		
Andean Region		
CENTRAL	Distancia desde Plataforma Km.	Elevación m.s.n.m.
ZONGO	5	4.264
TIQUIMANI	12.2	3.891
BOTIJLACA	15	3.492
CUTICUCHO	24	2.697
SANTA ROSA	26	2.505
SAINANI	29	2.210
CHURURAQUI	34	1.830
HARCA	39	1.480
CAHUA	46	1.195
HUAJI	52.8	941

図 3 Zongo 湖にある水力発電所を示す標識。COBEE BPCo は電力会社、10 発電所までの距離と標高が示されている。

る。冷涼かつ乾燥した気候区から、アマゾン側の降水量が多く、かつ気温が高い気候区に極めて短時間に移ることが経験できた。この日は 2700 m 地点の電力会社の宿舎に宿泊した。久しぶりにぐっすり眠ることができた。ここも高標高とはいえ、これまで滞在していたラパスに較べると 1000 m も低く、濃い空気が深い眠りをもたらしてくれたようだ。

氷河の観測や研究

ペルーでは Glaciological Unit と気象・水文庁が、エクアドルとボリビアでは大学や気象・水文庁が氷河の観測や研究に携わっており、いろいろな問題を抱えながらも、精力的に活動している。これらの組織や研究者をサポートしている組織に IRD がある。IRD はフランス国立の研究所で、発展途上国に事務所を設け、現地の研究者と共同で研究を進めながら、研究者の育成にあたっている。エクアドル、ペルー、ボリビア事務所を訪問したが、事務所というよりはきれいな庭をもった開放的な研究所で、研究者も陽気で、開放的であった。

おわりに

今回の調査で、熱帯氷河は人間の生活に密接な関係を持っていることを実感した。氷河は乾季の水資源となるので、農業や生活にとっては利点となる。同じ年平均気温をもつ高緯度の地域では、気温の年較差が低緯度に較べて大きいので、極寒の冬を過ごさなくてはならない。しかし、この地域ではもっと暖かい冬を過ごすことができる。このような理由で、地球上のほかの地域に較べ、氷河に近い地域で生活することになるのであろう。生活と氷河との関係はより密接となり、益にもなるが、氷河や雪氷が原因となる災害も受けやすい。

気候変動による氷河の後退は明瞭であり、アンデスの熱帯氷河は気候変動の影響を受けやすいという。氷河と密接な生活をする人たちにとってそ

の影響は大きいものとなる。

今回の調査では非常に多くの人の協力を得た。そのうちの代表者として、4 人の方を訪問順に紹介し、すべての協力者への感謝の気持ちとしたい。

Dr. Bernard Francou はエクアドルの IRD の所長であるとともに、長期にわたって精力的に熱帯氷河の研究を行っており、南米の氷河研究者の育成にも尽力している。

Ing. Benjamin Morareles Arnao は氷河湖決壊洪水への対応のため、スイスに留学し、1966 年に帰国後、防災対策を計画実施した人であり、現在の Glaciological Unit の生みの親である。ペルーで最初の氷河台帳の取りまとめを行い、リタイア後の今も第 3 版の氷河台帳の作成に携わっている。現在最も力を入れているのは、Huaraz 市の山岳博物館の建設準備の様である。

Ing. Marco Zpata Luyo は、昨年引退されたとのことであるが、調査に伺った時の Glaciological Unit の所長で、調査の便宜を図っていただいた。Blanca 山脈ばかりでなく、ペルー全体の氷河、氷河湖の観測、解析に精力的に取り組んでこられた。

Dr. Ing. Edson Ramirez はボリビアのサンアンドレス大学水理水文研究所の副所長であり、非常に有益な情報を頂いた。日本の科学技術振興機構 (JST) と国際協力機構 (JICA) による地球規模課題対応国際科学技術協力事業として、東北大学とサンアンドレス大学の共同で行われている「氷河減少に対する水資源管理適応策モデルの開発」プロジェクトのボリビア側の研究代表者でもあり、研究の成果が期待される。

文 献

- General Secretariat of the Andean Community, 2007: Is it the end of snowy heights?, http://www.comunidadandina.org/public/cambio_climatico_fin_cumbres_nevadas_english.pdf, 103pp.
- 山口和敏, 2008: 地球温暖化による熱帯アンデスの氷河消失, ラテンアメリカ時報, No. 1382, 6-12.

(2010 年 7 月 15 日受付)