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・確認調査報告書

平成 21 年 6 月

(2009 年)

独立行政法人　国際協力機構

中南米部

中南
JR
09-004

目次

添付資料：

1. 調査日程
2. 主要面談者リスト
3. 現地視察記録
4. PRAA 概要
5. キト市の上水道施設概要（EMAAP-Q）
6. ラパス市、エルアルト市の上水道施設概要（EPSAS）
7. 面談議事録
8. 収集資料リスト

図表一覧

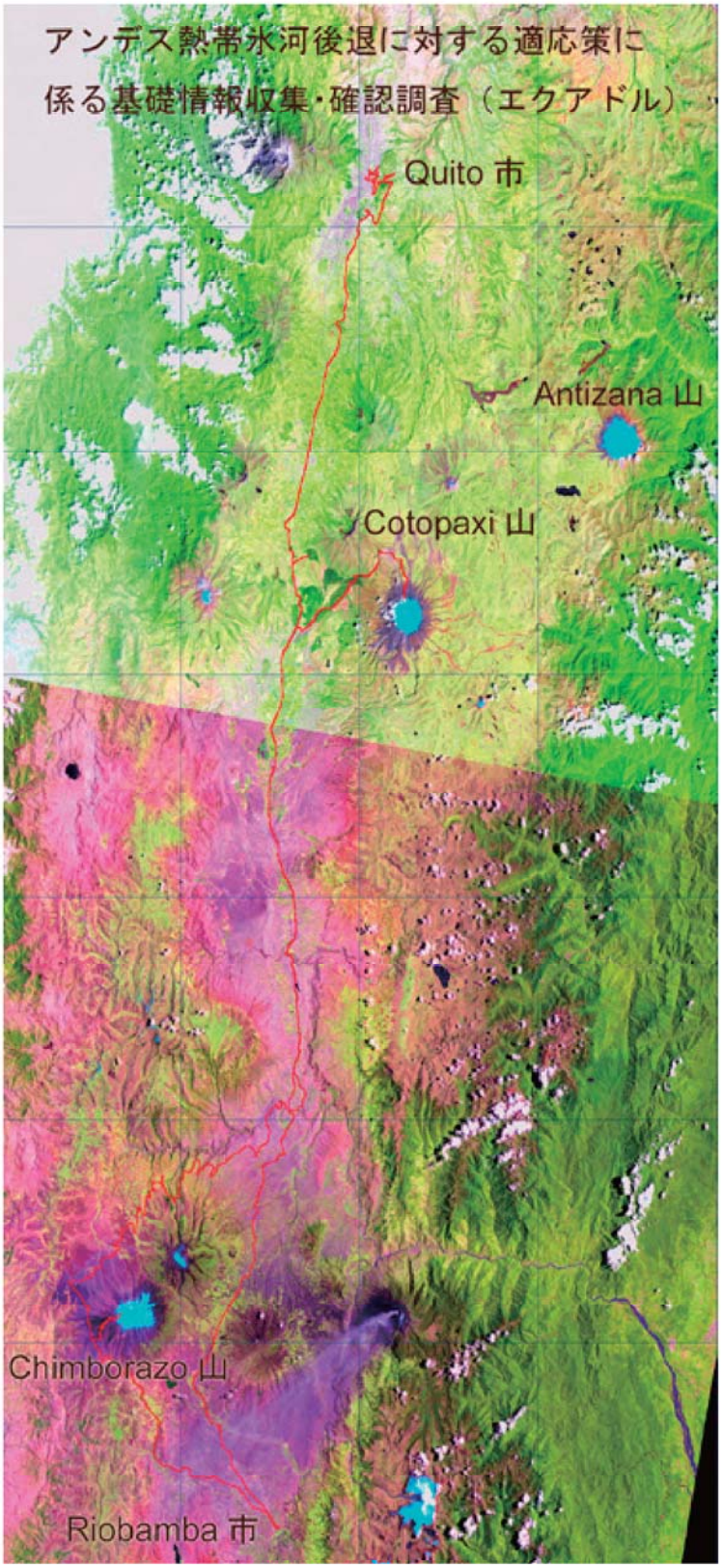
表

図

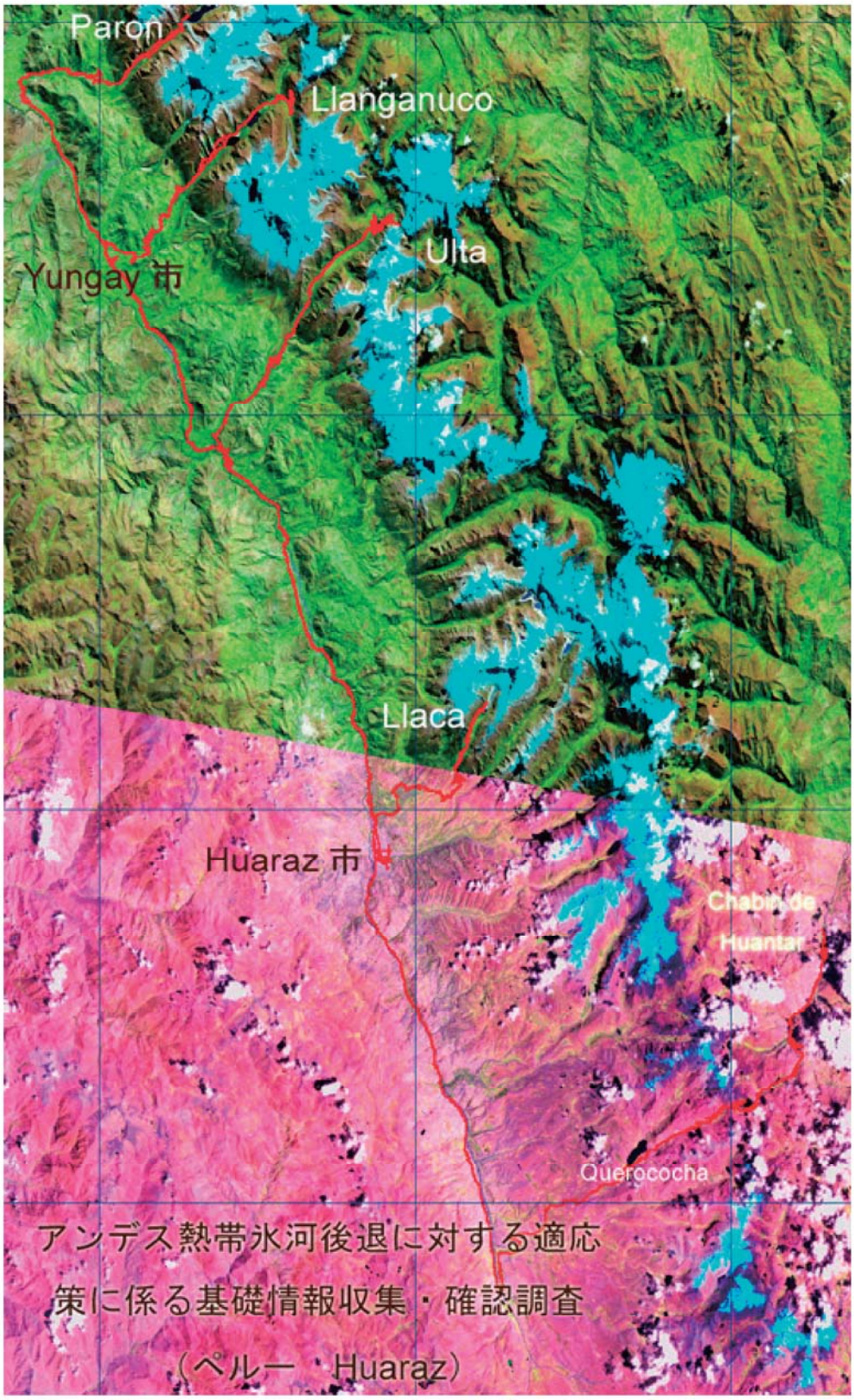
略語一覧

略語	国	正式名称	和訳（仮訳も含む）
ANA	ペルー	Autoridad Nacional del Agua, Ministerio de Agricultura	国家水局
CAN		Comunidad Andina	アンデス共同体
COBEE	ボリビア	Compañía Boliviana de Energía Eléctrica S. A.	ボリビア電力エネルギー会社
CONAM	ペルー	Consejo Nacional del Ambiente	環境諮問委員会
DICA	エクアドル	Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental Unidad de Ciencias del Agua, Escuela Politécnica Nacional	国立工科大学　土木・環境学部　水科学科
EMAAP-Q	エクアドル	Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito	キト市水道公社
EPN	エクアドル	Escuela Politécnica Nacional	国立工科大学
EPS	ペルー	Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento	上下水道企業体
EPSAS	エクアドル	Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento	水道公社
ESPE	エクアドル	Escuela Superior Politécnica del Ejército	陸軍工科大学
FONAG	エクアドル	Fondo de Protección del Agua	水の保護基金
GEF		Global Environment Facility	
Glaciological Unit	ペルー	Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos - Huaraz, ANA	氷河調査ユニット
IG	エクアドル	Instituto Geofísico, Escuela Superior Politécnica del Ejército	地球物理研究所
IGP	ペルー	Instituto Geofísico del Perú	ペルー地球物理研究所
IHH	ボリビア	Instituto de Hidráulica e Hidrología, UMSA	
INAMHI	エクアドル	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología	国立気象水文研究所
INAR	エクアドル	Instituto Nacional de Riego	国立灌漑研究所
INDECI	ペルー	Instituto Nacional de Defensa Civil	防災研究所
IRD		Instituto de Investigación para el Desarrollo	フランス国立開発ための調査研究所
MINAM	ペルー	Ministerio de Ambiente	環境省
PACC		Proyecto Nacional de Adaptación al Cambio Climático	気候変動適応プロジェクト
PNUD		Programa de las Naciones Unidas	国連開発計画

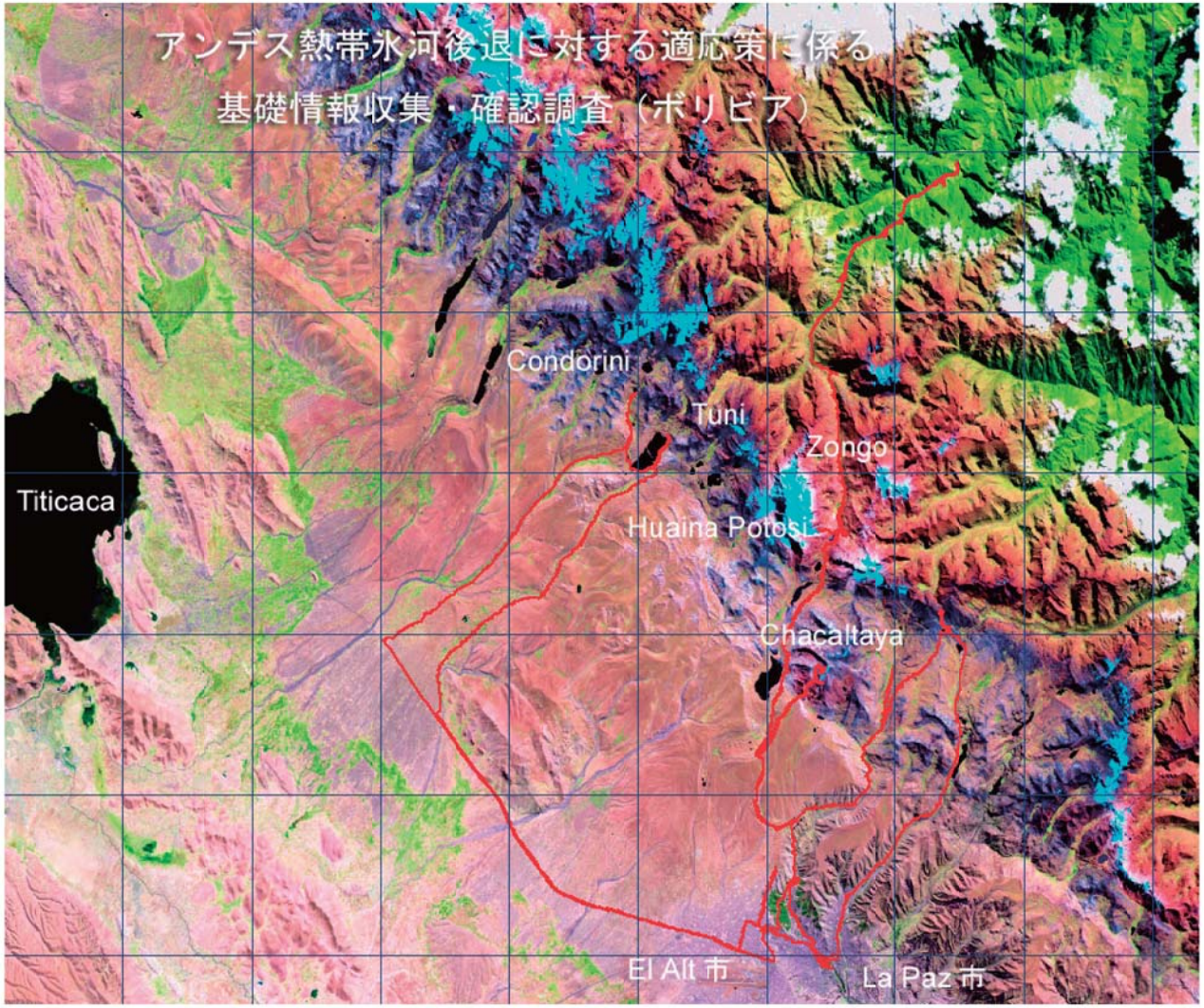
(UNPD)		para el Desarrollo	
PRAA		Proyecto EF/WB/SGCAN/MAE Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales	熱帯アンデス氷河後退適応プロジェクト
SEDAPAL	ペルー	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima	リマ上下水道公社
SEI		Stockholm Environment Institute in USA	ストックホルム環境研究所
SENAMHI	ペルー	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú	ペルー国立気象水文庁
SENAMHI	ボリビア	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología	気象水文庁
SFNACYT	エクアドル	Secretaría Nacional de Ciencias y Tecnología	国家科学技術庁
SNAGUA	エクアドル	Secretaría Nacional de Agua	国家水資源庁
UMSA	ボリビア	Universidad Mayor de San Andrés	サン・アンドレアス大学



エクアドル現地調査行程図



ペルー現地調査行程図（ワラス）



ボリビア現地調査行程図（ラパス首都圏後背地）

第１章　基礎情報収集･確認調査団の派遣

１−１　基礎情報収集･確認調査の背景

全世界における熱帯氷河の 99%が集中する南米のアンデス高地では、気候変動によって氷河の消失が急速に進んでおり、1970 年から 2006 年までに約 30%減少したと報告されている。

アンデス高地では古くから都市が形成され、人口が集中している地域であり、気候上降雨は少ないが、氷河からの融解水は生活、農業、発電、工業などに利用されている。中でも、アンデス諸国の消費電力の約 70%は氷河融解水の水力発電に依存していると言われている。氷河消失による水資源供給の減少は、これらの住民生活、経済発展に大きな影響を及ぼすと予測され、水供給不足への対策が急務である。特にアンデス高地には先住民貧困層が集中しており、水資源となる氷河の急速な後退は各国が抱える数百万人の貧困層に深刻な打撃を与えると懸念される。

また、氷河の後退は、水資源の枯渇のみならず、自然災害も引き起こす要因となる。アンデス高地においても、これまで火山噴火による氷河湖決壊によって下流での洪水・土石流災害を引き起こしているが、急速に進行するアンデス氷河の融解によって、各流域最上部に氷河湖が形成されて成長しつつあり、氷河湖決壊による大規模災害のリスクが高くなりつつある。

JICA は、日本政府の方針を踏まえ気候変動対策を積極的に実施しようとしているが、かかる状況を受けて、今後の協力の可能性について検討するためには、これまで具体的な協力実績を有さず、しかも未だ氷河後退については十分な調査･観測が行われていないため､将来の予測についても未知数であるアンデス熱帯氷河後退に係る基礎的な情報を収集し、まずは実態を把握する必要がある。

１−２　調査目的

アンデス高地において、熱帯氷河が集中しており、あわせて高地先住民の居住地域とも一致するペルー、ボリビア、エクアドルの 3 カ国を対象として、気候変動の影響と考えられる熱帯氷河後退によってアンデス高地が直面する水資源・水供給への影響及び災害リスク、水資源管理及び災害管理実施機関の取り組みと課題、他ドナーや国際機関等の動向、中長期的に改善すべき実現可能な支援ニーズに係る情報を収集する。

１−３　調査内容

(1) 気候変動によって影響を受けているアンデス高地における山岳氷河及び氷河の融解によって涵養されている流域の水資源量の現状、これまでの調査研究

(2)アンデス諸国が直面する課題及び（水資源保全を中心とした)適応策への取り組み状況（飲料水だけでなく、灌漑用水、産業用水など複数セクターが直面する課題の抽出)

(3)氷河湖決壊リスク、防災活動の基礎となる危険箇所のインベントリー及びハザードマップ作成状況、早期警戒体制などの確認

(4)他ドナー及びNGOの動向やプロジェクト実施状況の調査･分析

想定される主な活動：

・フランス（国立開発研究所IRD)

・UNESCO 国際水文学プログラムのラテンアメリカ氷雪・氷河に関する作業グループ

・世銀・地球環境ファシリティ(GEF)及び宇宙航空研究開発機構(JAXA)による陸域観測技術衛星(ALOS)の画像活用に関するプロジェクト

・世銀・地球環境ファシリティ(GEF)「熱帯アンデス氷河後退適応策プロジェクト」

(5)大学や研究所で実施された調査･研究の整理

(6)我が国協力リソースの確認

(7)(1)から(6)を踏まえた上記調査結果に基づく熱帯氷河後退における我が国協力可能性の検討

1-4　団員構成

担当分野	氏名	所属
氷河後退影響調査 （雪氷科学)	水津　重雄	株式会社地球システム科学 水資源･環境事業部流域環境部次長
氷河後退適応策 （水資源管理／流域管理)	大鹿　祐介	株式会社地球システム科学 水資源･環境事業部水資源開発部次長

1-5　調査日程（添付資料１）

現地調査期間：平成21年3月2日(月)から同年4月18日(土)まで計48日間

第２章　現地調査結果　～熱帯氷河後退に対する取り組みの現状と課題～

2-1　エクアドル

2-1-1　氷河後退の実態及びそれに伴う災害（氷河湖決壊）の危険性

(1)　氷河の分布と特性

エクアドルの地形、山と降水量分布を図 2-1-1 に示す。氷河は西山脈（Cordillera Occidental）と東山脈（Cordillera Oriental)に存在する。氷河の一覧を表 2-1-1 に示す。

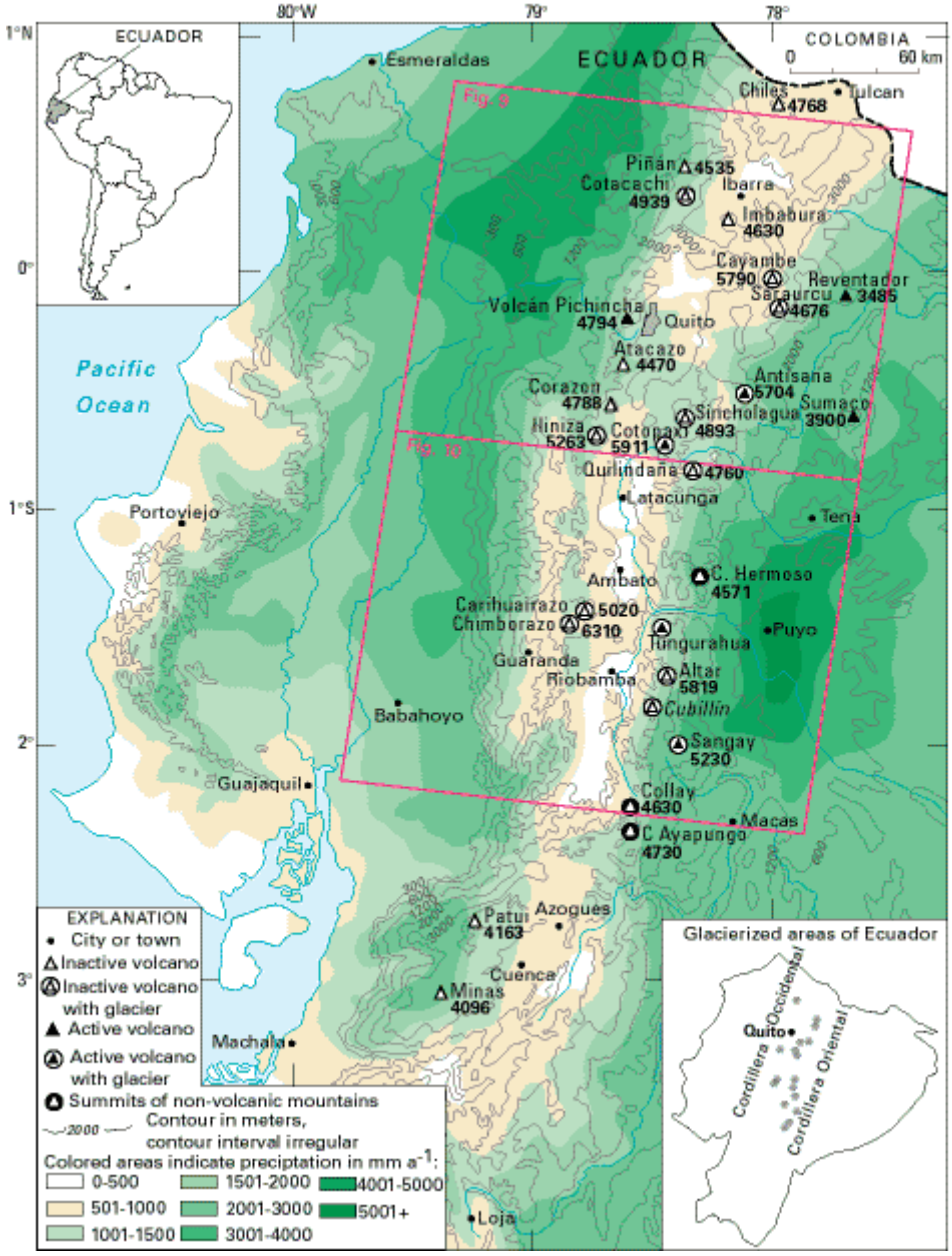


図 2-1-1　エクアドルの地形、山、氷河と降水量分布

（出典：Glaciers of Ecuador、http://pubs.usgs.gov/pp/p1386i/ecuador/）

表 2-1-1　エクアドルの氷河（1977～84 年の調査結果）

（出典：Glaciers of Ecuador、http://pubs.usgs.gov/pp/p1386i/ecuador/）

山	地域	緯度	経度（西経）	氷河の型	氷河の数	面積 (km^2)	最高高度	末端高度
Cordillera Occidental（西山脈）								
	Cordillera Occidental	0° 22'N.– 1° 29'S.	78° 20'– 78° 48'	--	--	--	6,310	4,600
IV	Cotacachi	0° 22'N.	78° 20'	Mountain	--	0.06	4,939	4,750
IV	Iliniza	0° 39'S.	78° 42'	Ice cap	10	0.84	5,263	4,800
IV	Carihuairazo	1° 24'S.	78° 45'	Ice cap	9	0.78	5,020	4,600
IV	Chimborazo	1° 29'S.	78° 48'	Ice cap	22	20.24	6,310	4,600
					Total	21.92		
Cordillera Oriental（東山脈）								
	Cordillera Oriental	0° 1'N.– 2° 20'S.	77° 54'– 78° 33'	--	--	--	5,911	4,150
IV	Cayambe	0° 1'N.	77° 59'	Ice cap	20	17.73	5,790	4,200
IV	Saraurcu	0° 4'S.	77° 54'	--	--	0.05	4,676	4,500
AV	Antisana	0° 29'S.	78° 08'	Ice cap	17	22.58	5,704	4,200
IV	Sincholagua	0° 32'S.	78° 22'	3 ice	--	0.18	4,893	4,700
AV	Cotopaxi	0° 41'S.	78° 25'	Ice cap	23	19.09	5,911	4,400
IV	Quilindaña	0° 47'S.	78° 19'	2	--	0.06	4,760	4,650
NVM	Cerro Hermoso	1° 17'S.	78° 17'	Mountain	--	0.02	4,640	4,600
AV	Tungurahua	1° 28'S.	78° 26'	Ice cap	--	0.78	5,016	4,800
IV	Altar	1° 40'S.	78° 24'	Ice cap, 3	6	14.8	5,319	4,150
IV	*Cubillín*	--	--	--	--	--	--	--
AV	Sangay	1° 58'S.	78° 20'	Snowpack or ice cap ?	--	3.32	5,230	--
NVM	Collay	2° 14'S.	78° 32'	--	--	--	4,630	--
NVM	Cerro Ayapungo *(Soroche)*							
		2° 20'S.	78° 33'	--	--	--	4,730	--
					Total	75.29		
					Grand total	97.21		

註）山: IV, 完新世に火山活動がない;　AV, 活火山;　NVM, 火山以外

エクアドルには全世界の熱帯氷河の約 4%が存在している。エクアドルの氷河を特徴づける要素として以下の 3 つがあげられる。

・火山にかかる氷河がほとんどであり、氷帽とそこから谷に流れ下る溢流氷河が多い。

・熱帯に位置しているため月平均気温の差は 2℃以下であるが，1 日の日較差は大きく，標高が高くなるほど大きくなる.

・アマゾン流域からの水蒸気が流入する東山脈の氷河の方が標高は低い。東山脈ではアマゾン流域から一年を通じて、ほぼ変化なく水蒸気が供給される。一方、西山脈では太平洋からの水蒸気により降水がもたらされるが、南にいくほど減少する。また、乾季と雨季が顕著になり、3～4 月が雨量の最大となる。

(2)　現地氷河視察

2009 年 3 月 7、8 日に Cotopaxi 山と Chimborazo 山の氷河の視察を行った。Cotopaxi 山（標高 5,911m）は世界で最も高い活火山であり、Chimborazo 山（6,310m）は死火山でエクアドルの最高峰である。両山の氷河の写真を図 2-1-2、2-1-3 に示す。氷河と周囲が新雪に覆われているので、氷河の形を確認することはできないが、いずれも、山頂部の氷帽と谷に流れる溢流氷河である。

図 2-1-2　Cotopaxi 山北面と氷河

図 2-1-3　Chimborazo 山西面と氷河

両山とも写真正面から、ほぼ雪の高さまで登り、そこから左寄りに上った。Chimborazo 山では 5,200m まで登ったが、氷河の末端に行きつくことはできなかった。Chimborazo 山の氷河は途中で寸断されている部分も多く、断続的である。小屋の管理人の話によると、6 年前管理人になった時には、写真 2-1-3 の正面の壁の半分ぐらいまで氷河に覆われていたが、それ以後、末端は 100m 程度上昇したとのことである。

Cotopaxi 山では氷河末端まで行くことができた。標高はおおよそ 4,850m である。図 2-1-4～2-1-8 は氷河末端付近の写真である。西側遠くからの末端の写真が図 2-1-4、近づいた写真が図 2-1-5、末端少し上部の氷河の側面が図 2-1-6、氷河末端付近に見られた地形が図 2-1-7 である。

図 2-1-4　Cotopaxi 山氷河末端の遠景

図 2-1-5　Cotopaxi 山氷河末端

図 2-1-6　氷河末端の少し上部の側面

図 2-1-7　氷河末端付近の地形

氷河の末端は岩盤の上に載っており（図 2-1-5）、そこで融解している。少し上部では、図 2-1-6 に示すように、氷の側壁が崩れ落ち、下には氷の塊が散乱している。融解だけではなく、破壊によっても氷体を失っていることが分かる。氷河末端近くには、図 2-1-7 に示す地形がみられた。左側の細かい土砂に覆われた斜面の一部は濡れており、下には氷河本体とは切り離された、流動していない氷体があると推測できる。氷河の後退に伴ってできた地形であり、氷河が後退中であるということができる。この氷河末端の標高は約 4,850m であり、表 2-1-1 の Cotopaxi の氷河末端標高の 4,400m と比較すると、末端は大きく後退している。

氷河末端から下方を見た写真が図 2-1-8 である。

図 2-1-8　氷河末端より下流側の写真

氷河の後退に伴って形成されるモレーンのうち、サイドモレーンは確認できるものの、エンドモレーンは見られない。図 2-1-2 や 2-1-4 に示すように、氷河末端部分の傾斜が急なため、氷河末端から排出された岩屑は自然に崩れ落ち、エンドモレーンが形成出来にくいと考えられる。氷河湖はサイドモレーンとエンドモレーンに囲まれた凹地に形成されるのが一般的であるので、傾斜が急な場合には、氷河湖は形成されにくいと考えられる。

(3)　現地機関による氷河調査の現況

エクアドル国内で氷河に関する調査を行っているのは、主に INAMHI とフランス IRD である。氷河後退に対する適応策作成のためは勿論であるが、気候モデルによる計算ではアンデス地域の高標高での気温上昇が大きいと予測されており、その直接の影響を受ける地域での研究が必要であるという観点からも研究を進めている。

INAMHI は Secretaría National de Agua の下にあり、エクアドル全土の気象、水文観測を担当する組織である。全国で 114 の気象観測所と 163 の雨量観測所の運営、水文分野では、22 の流域で 449 の水位あるいは流量観測所を運営している。観測以外にも、水文に関する調査、たとえば水力発電、水に関するリスクマネージメント、灌漑、氷河の調査などを行っている。

IRD はフランス国立の研究教育組織で、発展途上国と共同で調査研究を行いながら、途上国の研究者の育成を行っている。ラテンアメリカ、アフリカ、アジアの 44 の発展途上国に事務所があり、フランス政府、大学、各国からのファンドで運用されている。エクアドルでは 15 人のフランス研究者が氷河、火山、地震、水資源の研究を現地研究者とともに行っている。

INAMHI と IRD は 1994 年以降共同で、Antizana15、Carihuairazo や Cotopaxi 氷河で質量収支、エネルギー収支、水文収支の観測などの調査を行っている。

INAMHI、IRD 以外では、キト水道公社（EMAAP-Q）も水資源確保の目的で、独立あるいは INAMHI、IRD と共同で、氷河の調査を行っている。

(4)　氷河の現況

エクアドルの氷河は 1730 年ごろに最大に発達し、それ以降、小さい前進はあるものの後退を続けている。1730 年ごろには、氷河の平衡線（涵養と消耗が等しい標高）は現在より 250m 程度低かったと考えられている。

2006 年に INAMHI と IRD により、表 2-1-1 に示す氷河インベントリーが更新され、氷河の面積が 70km^2 であることが確認された。表 2-1-1 が 1977～84 年の調査の結果であるので、この四半世紀に約 27 km^2(28%)の面積の氷河が消失したことになる。

エクアドル、ペルー、ボリビアの 3 国の代表的な氷河の後退あるいは面積減少の様子を図 2-1-9 に示す。

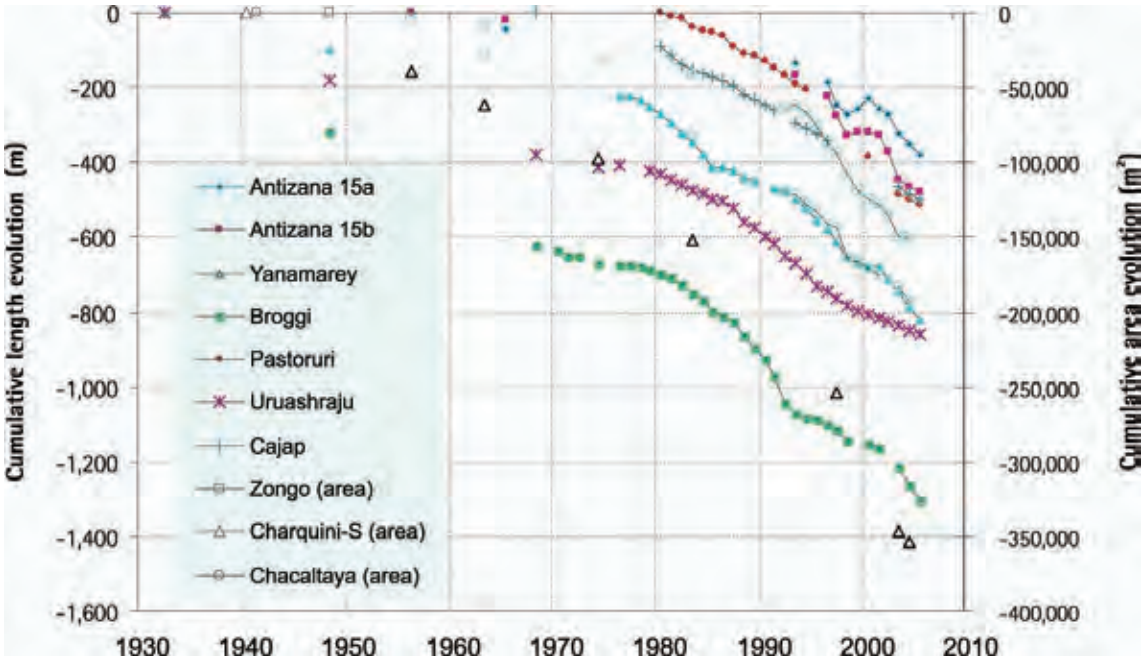


図 2-1-9　エクアドル、ペルー、ボリビアの氷河の後退あるいは面積減少

（出典：Is it the end of snowy height? Glaciers and climate change in the Andean Community, Comunidad Andina）

図 2-1-9 に示すように、3 国の氷河は後退している。後退速度は 1980 年代後半と 1990 年代前半に大きく、1990 年代後半と 2000 年代初めは鈍っている。2002 年以降は後退速度が加速している。図 2-1-9 のうち、Antizana15 氷河がエクアドルの氷河である。Antizana15 氷河は首都キトの 40km 東に位置し、Antizana 山の氷河からの流出はキトの水源であるので、特に重要である。図 2-1-10 にキト近郊の Pichincha 山からの雲海に浮かぶ Antizana 山を示す。

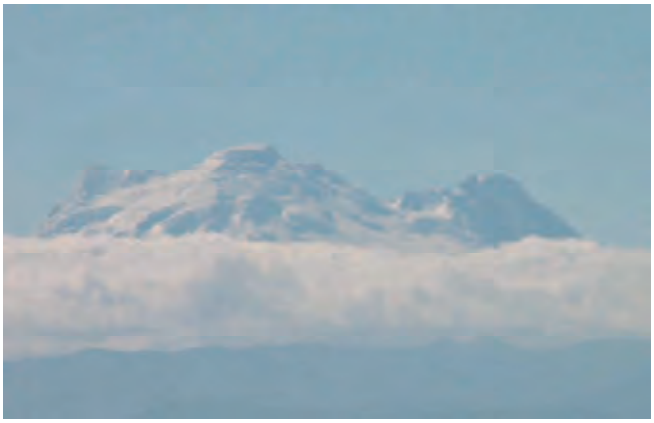


図 2-1-10　Antizana 山

1956 年以降の空中写真解析による氷河面積、末端の位置の解析、氷河末端の現地での測量、設置した計測棒や積雪コアサンプリング、積雪断面観測による質量収支、また気象観測データによるエネルギー収支、氷河からの流出量観測による水文収支の解析が行われている。これらの調査により、以下のことが明らかになった。

・ 1995～1999 年の氷河の後退は、それに先行する 1956～1995 年の後退速度の 7～8 倍であり、急速に氷河が後退した。
・ 2000～2005 年の氷河末端の年間後退速度は 18m、19m、31m、31m、28mであり、5 年間で 127m、全長の 6.8%ほど後退した。最初の 2 年間の後退が小さいのは寒冷湿潤なラ・ニーニャ現象による影響であり、この間には氷河が前進することもあった。その後は再び前進のスピードを速めている。
・ 1995 年以降の平均降水量は 936 mm/year である。平均質量収支は水に換算して－627 mm/year であるが、年による変動は非常に大きい。2004、2005 年はそれぞれ、－572 と－789 mm/year であった。

Cotopaxi 氷河の 1976、1997 年の面積の変化を図 2-1-11 に示す。1956～1976 年はほとんど変化がなかった。1976～1997 年に、最大で 1,000m、平均で 500m ほど氷河末端は後退し、表面積の 30%を失った。また、それほど正確ではないが、レーダーによる氷河厚さの推定を基に計算すると、体積では 500,000m^3 減少したことになる。
Cotopaxi 氷河での観測結果も Antizana15 と同様であり、エクアドルの氷河の近年の後退は著しく、エル･ニーニョ現象とラ･ニーニャ現象の影響も強く受けると考えられる。氷河の保存にはラ･ニーニャ現象の条件が好ましい。
これまでの研究から、エネルギー収支や質量収支の解析では、アルベド（日射の反射率）と氷表面の昇華蒸発が重要な役割を果たすことがわかってきた。今後の解析では、この二つの要素を考慮に入れなければならない。

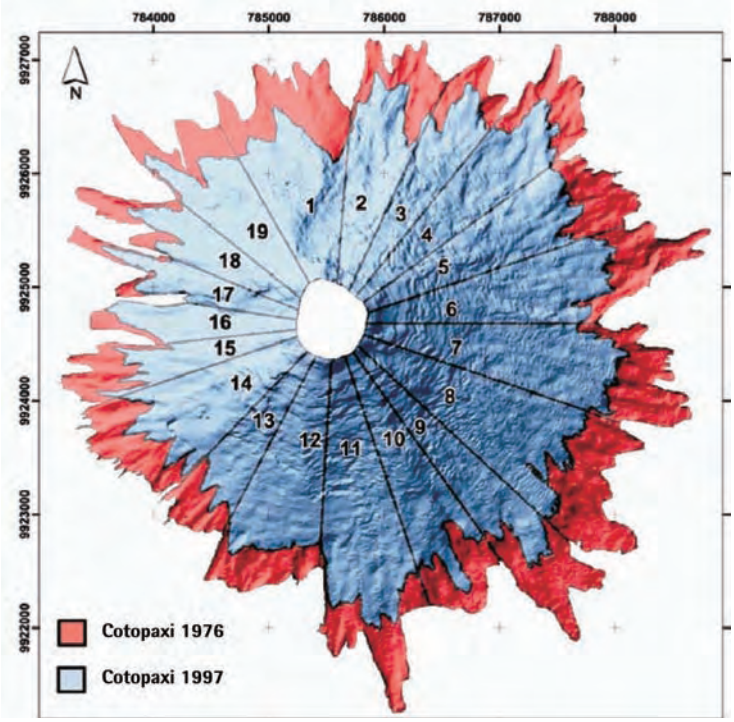


図 2-1-11　Cotopaxi 氷河の面積の変化
（出典：Is it the end of snowy height?　Glaciers and climate change in the Andean Community, Comunidad Andina）

(5)　災害の可能性およびその対策の現況

1)　氷河湖決壊による洪水

2000 年 10 月に、El Altar 山の氷河が湖に落ち、あふれた水が地滑りを引き起こし、人的被害が発生した。しかし、湖は頂上付近のカルデラ湖であり、氷河の後退によって形成された湖ではない。

実際に視察した氷河は Cotopaxi と Chimborazo だけである。そのほかの氷河は、非常に遠くから眺めた、あるいは地図で確認しただけであるが、ほとんどは Cotopaxi と Chimborazo と同様に、比較的頂上に近い部分の氷帽と溢流氷河である。この場合、氷河末端部の傾斜は急で、氷河末端から排出された岩屑は自然に崩れ落ちるため、エンドモレーンは形成されにくい。したがって、サイドモレーンとエンドモレーンに囲まれた凹地も形成されにくく、氷河湖も形成されにくいと考えられる。Cayambe には氷河湖があるとの情報もあるので、すべての氷河について、氷河湖形成の可能性の解析を行わなければ断言することはできないが、一般的には氷河湖は出来にくく、氷河湖決壊による洪水が起こる可能性も低いといえる。

2) ラハール（Lahar：火山噴出物が降雨、山頂の氷河の融水、火口湖水等と混合し斜面を流下する現象）

氷河の後退とは直接の関係はないが、ラハールによる災害の危険性がある。エクアドルのほとんどの氷河は火山にある。火山活動が活発化した時に、氷河底面の融解量が増大し、ラハール発生の危険性がある。Cotopaxi 氷河は 1877 年に火山活動による氷河の融解水が原因で土砂崩壊を起こし、大きい被害を出している。Instituto Geofísico では、土石流の痕跡をもとにシミュレーションを行い、Cotopaxi 氷河の北側と南側の町で数万人規模の被害が出ると、予測している。

エクアドルには火山が多く、また地震も多いため、地震や火山噴火による直接的な災害が身近であり、ラハールについての危険性の認識はあまり認識されていないようであるが、防災を考えておく必要がある。

(6)　今後の計画と課題

1)　氷河と気候変動の解析

これまで、INAMHI と IRD の共同により、空中写真や現地での観測に基づきエネルギー収支、質量収支、水文収支の解析がおこなわれてきた。

2009 年から「氷河の後退が水資源、災害に与える影響の検討とその対策に資するため」のプロジェクトが開始される。スポンサーは IRD、SFNACYT で、参加組織はこれまでの INAMHI, IRD, SFNACYT, EMAAPQ に、大学の研究所である DICA-EPU が加わる。調査対

象はこれまでと同じ Antizana（Mica 川流域）と Cotopaxi 氷河（Pitae 川流域）であるが、これまでの観測及びその解析中心の研究から、モデルの構築、将来予測に発展する。まず、地域に適用できる氷河―水文、水文―地下水モデルの構築を行う。また、全球気候モデルをダウンスケーリングし、地域気候モデルを構築する。地域気候モデルによる気象予測値を氷河―水文、水文―地下水モデルに入力し、氷河、表流水、地下水の予測を行い、温暖化による氷河の後退が将来の水資源に与える影響や災害発生の推定を行う。

2) 洪水、土砂崩れ対策

エクアドル全土の日常的な気象、水文観測は INAMHI が行っている。旧式な機器で人手に頼る観測が主体であり、データの入手も遅れがちで、データの信頼度も低い。今後、温暖化により豪雨の頻度も高くなり、洪水や土砂崩れなどの災害の増加が予想される。災害の危険予知の点では、水位や雨量を時間の遅れなく、中央に連絡するシステムや警報発生システムが必要である。また、正確な気象、水文データを中央で集中管理することは防災対策策定の基礎資料となる。したがって、今後の洪水や土砂崩れの防災のためには、INAMHI への通信システムを含む気象・水文観測機器のアップグレード、人員の拡充、研修が必要である。

2-1-2 水資源に関わる現況

（1）エクアドルにおける水資源管理体制と主要政府関係機関

エクアドルでは、従来、水資源管理に種々の組織がそれぞれの立場から関わっていたが、2008 年 5 月、全国レベルで水資源全般を統括的に管理することを目的として、Secretaría del Agua （SENAGUA）が設立された。その後、2008 年 9 月の国民投票結果（新憲法承認）を受けて、政府が水資源を直接統制・管轄するための法整備が進められることとなっているものの、現段階では、未だ水法は草案段階にある。その為、今のところ、各組織の活動は依然として個別に行われている。

ただし、水資源管理に関するマスタープランとして位置づけられる Plan Nacional del Agua（収集資料参照）、があり、行政施策はこれに沿って検討されている。

水資源利用については、大きくその用途別に①飲料・生活用水、②農業用水、③発電/工業・産業用水の 3 分野に分けることが出来る。このうち、上水道（飲料・生活用水及び工業・産業用水の一部）の供給は地方自治体の管轄となっており、市町村が経営する公共事業体が上水道サービス全般を担っている。農業用水については、国レベルでの大規模灌漑施設は国家灌漑局(Instituto Nacional de Riego)が管轄しているが、それ以外にコミュニティレベルで管理している小規模灌漑水路が多数ある。また発電用水（及び鉱工業用水の一部）は再生エネルギー・電力省の管轄である。今回の調査期間中には、以下の政府関係機

関を訪問した。

① 飲料・生活用水；EMAAP-Q（キト市水道公社）
② 農業用水；Instituto Nacional de Riego（国家灌漑局）
③ 発電/工業・産業用水；Ministerio de Electricidad y Energía Renovable（電力・再生エネルギー省）
上記機関に加え、Ministerio de Transporte y Obras Publicas（交通・公共事業省）及び、水資源保全とのかかわりを持つと考えられる Ministerio de Ambiente（環境省）を訪問した。

（2）関連政府機関の氷河後退に対する考え方と取り組みの現況

1) Secretaría Nacional del Agua （SENAGUA）
組織としては、職員数 50 人余として確立されている。しかし、先述のとおり活動の根拠となる水法がまだ制定されておらず、氷河後退、気候変動には、大きな関心を持っているものの、実務的な役割はまだ果たせないのが実状である。水法が発布されれば、関連プロジェクト企画・立案の主導的組織となる。重要な下部組織の一つとして INAMHI がある。

世界銀行、UNDP などの支援による PRAA、PACC などについては、法令が整備されれば、これらプロジェクトの共同実施組織（Co-Ejecutor）として役割を担う、とのことである。同じく法律制定が前提となるが、水資源に関わる各国からの支援への要請は SENAGUA が審査、要請することとなる。ただし、この対象は国家レベルのプロジェクトであり、上水案件は市町村管轄のため SENAGUA の対象外となっている。

マスタープランとして位置づけられる Plan Nacional del Agua は、以下の 13 項目からなっている。

1. 水の包括的管理
2. 水資源法の草案作成
3. 水資源流域（Cuenca）の行政に向けた新組織の設立
4. 水の有効利用のため需要・供給に従い、均衡の取れた配水をする水資源収支の構築
5. 水質の保証
6. 高原地帯、河川、水源の維持
7. 水資源ライセンス付与に係わる手続き上の問題解決
8. 水利用の関心向上
9. 水料金の適正政策
10. SENAGUA とコミュニティとの恒常的な国レベルの対話維持
11. 防災のための水リスク管理

12.　水文化の啓蒙
13.　水資源の国境意識撤廃

2)　キト水道公社 EMAAP-Q（飲料・生活用水）
エクアドルにおいては、飲料生活用水は、それぞれの地方都市、コミュニティ単位で開発・供給されている。EMAAP-Q（Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito）は、職員 2,500 名ほどをかかえ、首都キト市の上下水道サービスを担当する市の公共組織の一つである。供給される上水の 70%が一般の家庭・生活用水、30%が商業・工業用水として利用されている。

上水道供給のための水源として主要なものは、①キト市西側ピチンチャ（Pichincha）山からの水、②キト市南方のコトパクシ（Cotopaxi）山ふもとのピタ（Pita）水源、③キト市南東方向のアンティサナ（Antizana）山北麓からの Papallacta 水源、④Antizana 山南西麓からの Mica 水源、の四水源だが、このうち②、③、④の３つの水源、すなわち Cotopaxi 山、Antizana 山からの水源で水供給の 80%をまかなっている。（添付資料参照）

Cotopaxi 山、Antizana 山はその頂に氷河を持ち、EMAAP-Q では、氷河後退はそれぞれの水源の水量及び周辺環境にも何らかの影響を与えるものと懸念している。さらに、過去 25 年間で 2 倍に増加したキト市の人口増加傾向が、今後も続くものと考え、将来の水資源確保が重要課題であるとの認識を示している。そのような背景から、世銀のプロジェクト PRAA の一環として実施される Antizana 流域の水資源管理プロジェクトに参画すると共に、独自にいくつかのプロジェクトを進めたり、検討したりしている。それらのプロジェクトの概要を以下にまとめた。

先ず、すでに 2000～2002 年にかけて、Antizana 北側に、二つの貯水池（Salvefaccha、Mogotes）を建設した。また Antizana 南麓 Tamboyacu にダムを建設しそこから送水トンネルを掘削し Papallacta へ運ぶ計画がある。これは 2010 年には最終の F/S 報告書が提出されることとなっている。
それ以外に、Antizana からの水量の減少に備えたものとしてキト市の地下水実態調査を始めようとしている。とりあえず、調査ボーリングを実施した。将来は 200ℓ/s の地下水開発を考えている。キト市の地下水は予備水源としても重要である。
加えて、まだアイデアの段階ではあるが、以下のような計画がある。
①　貴重な水源となっている Antizana 山麓高原地域の環境実態調査・地下水実態調査。
②　Pichincha 山崩壊進行の懸念があり、キト市に土砂災害が発生する懸念がある。その為、土砂流の動きの調査や防災対策が必要である。
③　衛星を使った観測で、アンデス、アマゾン地域の温度変化の将来予測が出来るのではないか。

これらの計画とは別に、水利用の無駄を減らすため、市民の節水意識を高める必要があるとしている。また漏水率については、水圧調整システムの利用などにより 25%まで減らすことが出来たが、現在、水道管をコンクリート管から鉄管に替える工事を進めており、さらに漏水が減らせるだろうとの説明があった。

今回調査では訪問することが出来なかったリオバンバ市(チンボラソ県)なども、同じように氷河を頂く Chimborazo 山麓を都市給水の水源としており、氷河後退に対して同様の懸念を持っている可能性がある。

3）Instituto Nacional de Riego（国家灌漑局）
国レベルでの農業用灌漑用水を管轄する局である。同組織では、比較的規模の大きい、河川表流水を利用した灌漑施設が主であるため、氷河後退については、あまり関係ないだろうと考えている。その為、特に対策などは検討していない。
ただし、国レベルの管轄とは別に、コミュニティレベルで管理している小規模な灌漑施設が数多くある。Cotopaxi 山麓から水路を引き導水している施設もあり、それらを利用しているコミュニティでは氷河後退問題に対して、どの程度の認識があるかは不明である。

4）Ministerio de Electricidad y Energía Renovable（再生エネルギー・電力省）及び Ministerio de Transporte y Obras Públicas（公共事業・交通省）
エクアドルの電力は、現在 42%が水力、5%が再生可能エネルギー、残りが火力発電である。2020 年までに水力発電の割合を 82%にする計画である。再生エネルギー・電力省の考えとしては、水力発電のための主要河川は降水による涵養を受けており、氷河後退の影響はほとんど無いものと思っており、特に対策なども考えていない。
また、公共事業・交通省は、氷河後退は問題としては知っているが、省として特に対応などを考えているものではない。省は、道路、運輸などを担当しており、水供給については、先述のとおり責任は各市、地方自治体にある。

5）Ministerio de Ambiente（環境省）
現在職員は全国で 500 人（本省 200 人）程度。気候変動・氷河後退にかかわるものとして環境質次官室（Subsecretaría de Calidad Ambiental）の下に気候変動部がある。ここでは、防災計画の準備、CO_2 取引、省エネなどの啓蒙、などを行っている。省はプロジェクトの実施主体とはならず、実施する機関の管理・支援などを行うので、省として独自の具体的な対策計画などは無い。
現在、環境省が管理調整を行っている氷河後退に関するプロジェクトとして、世銀の支援により実施されている PRAA、UNDP の支援により実施されている PACC、という 2 件がある。関係する省庁でグループを作り、プロジェクトの中の具体的研究課題については、

各担当部署責任者が行っている。PRAA は、Secretaría Nacional del Agua、INAMHI、EMAAP-Q、EPN（Escuela Politécnica Nacional 国立工科大学）、ESPE（Escuela Politécnica del Ejército 軍工科大学)などで構成されたグループで活動している。PACC は、Secretaría del Agua、Secretaría del Planificación、Secretaría de Riegos と連携しながら実施している。（PRAA 及び PACC の活動内容については後述）

(3)　世銀、PNUD (UNDP)、IRD などによるプロジェクト

1）世界銀行

PRAA を実施している。これは、エクアドル、ペルー、ボリビアの三ヶ国で 8 つの地域を対象に、氷河後退に関する調査、氷河の動きのモデリング、観測、将来予測（シミュレーション）を行うものである。日本とは気象庁気象研究所（MRI）、宇宙航空研究開発機構（JAXA）、RESTEC と提携している。2013 年までの計画だが、世銀では、これは第一段階であり長期に続ける必要があると考えている。流域管理の必要もあり、そのためにはさらにデータの取得が必要、としている。「日本の技術には期待しており、JICA による支援もありうるのではないか」との発言があった。

エクアドルでは、主に Antizana 山麓の水資源環境調査および小流域での水資源管理プロジェクトを実施することになっている。

2）PNUD (UNDP)

UNDP の支援により PACC (Proyecto Nacional de Adaptación al Cambio Climático; 気候変動適応計画)が実施されている。このプロジェクトは、以下に記すように全体としては、氷河後退というより気候変動（に伴う異常気象＝洪水、旱魃など）に対処するためのプログラムである。

PACC は、エクアドルの水資源の将来予測を行う。プロジェクトとしての正式活動は 1 年前（2008 年）から始まり 2012 年まで続く。それ以前には準備期間があり、今まで収集した情報を元にこれから解析研究を始めるところである。その結果を、対策につなげてゆくのがこれからの課題となる。最初の 2 年間で気候変動に対する対策ガイドを作り、4 年後には、すべての情報を公開する予定となっている。最終的には、気候変動リスクに対処するためのキャパシティを高めることがプロジェクトの目標である。地方レベルのスタッフを含め、組織/人材育成等のキャパシティデベロップメントを行う。この活動をベースに対応策を考えてゆくことになる。「気候変動のシナリオ、モデルなどの分野で日本の技術が重要である。JICA が協力できるのではないか。」との発言あり。

PACC では、6 つの流域について水文情報収集調査を行っている。3 つは海側の流域、3 つは山側の流域であり、氷河後退が影響を持つのは主にこの山側の 3 流域である。

UNDP では、今までの活動で、気候変動・氷河後退の問題が広く認識されつつあり、地方政府レベルでも対処のための組織で出来つつありそれは成果の一つであると考えている。気候変動、エル・ニーニョ現象などのモニタリングを通じ、自然災害予測を行えればと考えている。

3）IRD

IRD はフランス国立の研究所で、ラテンアメリカ、アフリカ、アジアの 44 の発展途上国に事務所があり、フランス政府、大学、各国からのファンドで、現地と共同で研究を進める機関である。エクアドルでは、年間約 2 百万ユーロ(€)の予算で、15 人の研究者が氷河、火山、地震、水資源の研究を行っている。氷河後退に関しては、INAMHI、EMAAP、EPN と共同し、Antizana 氷河、Cotopaxi 氷河で観測を行っている。観測および研究を主体とした機関であり、政策立案などには関わっていない。

（4）エクアドルにおける水資源関係まとめ

国レベルで見ると、水資源としては、氷河の占める割合に比べ、降水起源の占める割合が圧倒的に大きい。その為、農業灌漑、水力発電などに要する水資源にかかわる政府機関では、氷河後退に対する対応策などの検討については消極的であるという印象を受けた。一方、キト市の上水道を担う EMAAP-Q は、氷河を頂く Antizana 山、Cotopaxi 山を主要な水源としているため氷河後退に関する懸念もあり PRAA にも積極的に参画するとともに独自の計画を検討している。これは氷河後退への対処のみならず将来の人口増加に伴う需要量増加に備えるための新規水源開発計画や、その前提となる地下水調査や環境調査を含んでいる。都市給水は、各都市、地方自治体が責任を持っているため、同じような状況にある Chimborazo 山麓を水源としているリオバンバ市なども、キト市と同様に氷河後退に対する懸念を持っている可能性がある。