

2-3 ポリビア

2-3-1 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

ポリビアの山脈と降水量分布を図 2-3-1 に、氷河の一覧を表 2-3-1 に示す。

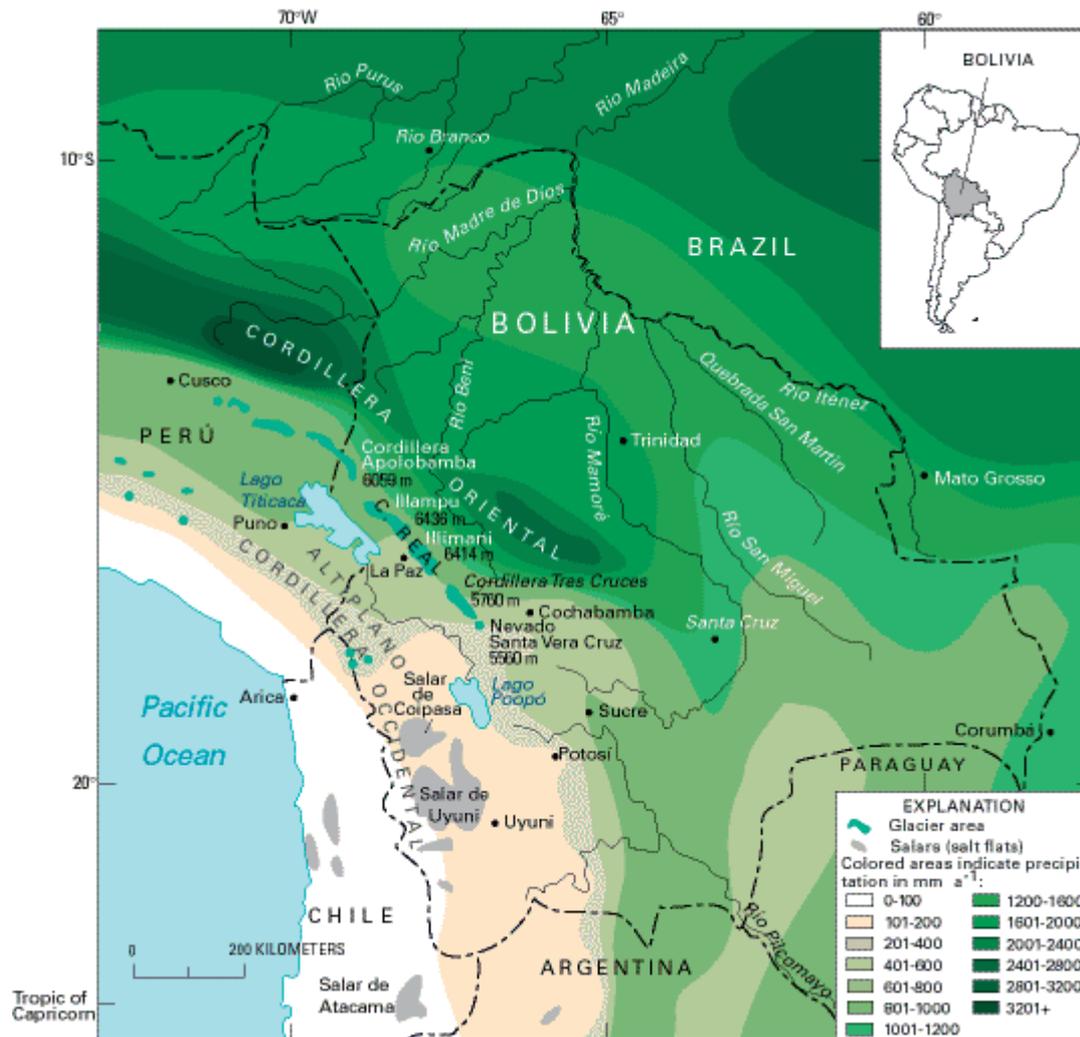


図 2-3-1 ポリビアの山脈、氷河と降水量分布

(出典：Glaciers of Bolivia、<http://pubs.usgs.gov/pp/p1386i/bolivia/>)

表 2-3-1 ボリビアの氷河（1975 年の空中写真と 1984 年の現地調査による）

（出典：Glaciers of Bolivia、<http://pubs.usgs.gov/pp/p1386i/bolivia/>）

山系	緯度 (南緯)	経度 (西経)	氷河面積 (km ²)	氷河の数	最高標高 (m)	最低末端 標高(m)
CORDILLERA ORIENTAL						
CORDILLERA ORIENTAL	14° 37'– 17° 04'	67° 13'– 69° 14'	591.60(includ ing 35.590 in Perú)	1826	6,436	4,311
CORDILLERA APOLOBAMBA	14° 37'– 15° 04'	68° 58'– 69° 14'	219.80	652	6,059	4,311
Chaupi Orko	14° 40'	69° 10'	129.36	346	6,059	4,365
Cololo	14° 50'	69° 06'	43.07	135	5,774	4,311
Ulla Khaya	15° 00'	69° 03'	47.38	171	5,669	4,390
CORDILLERA DE MUÑECAS	15° 20'– 15° 38'	68° 33'– 68° 55'	0.68	16	5,237	4,828
Morocollu	15° 20'	68° 55'	0.15	8	5,156	4,828
Cuchu	15° 38'	68° 33'	0.54	8	5,237	4,886
CORDILLERA REAL						
CORDILLERA REAL	15° 45'– 16° 40'	67° 40'– 68° 34'	323.60	964	6,436	4,420
NORTHERN CORDILLERA REAL	15° 45'– 16° 20'	68° 01'– 68° 34'	262.77	784	6,436	4,420
Illampu–Ancohumá	15° 50'	68° 30'	103.10	147	6,436	4,438
Calzada–Chiaroco– Chachacomani	16° 00'	68° 20'	94.07	251	6,127	4,676
Nigruni–Condoriri	16° 08'	68° 15'	40.87	241	5,752	4,420
Saltuni–Huayna Potosí	16° 15'	68° 08'	14.50	50	6,088	4,804
Zongo–Cumbre– Chacaltaya	16° 18'	68° 05'	10.22	95	5,519	4,578
SOUTHERN CORDILLERA REAL	16° 20'– 16° 40'	67° 40'– 67° 58'	60.84	180	6,414	4,499
Hampaturi–Taqesi	16° 26'	67° 52'	11.69	70	5,548	4,723
Mururata	16° 30'	67° 47'	17.21	75	5,836	4,592
Illimani	16° 38'	67° 44'	31.95	35	6,414	4,499
CORDILLERA TRES CRUCES						
CORDILLERA TRES CRUCES (QUIMSA CRUZ)	16° 47'– 16° 09'	67° 22'– 67° 32'	45.276	177	5,760	4,708
Choquetanga	16° 54'	67° 22'	6.99	21	5,541	4,812
High region of Tres Cruces	16° 56'	67° 24'	38.28	156	5,760	4,708
NEVADO SANTA VERA CRUZ						
NEVADO SANTA VERA CRUZ	17° 03'– 17° 04'	67° 13'– 67° 14'	2.233	17	5,560	4,853
CORDILLERA OCCIDENTAL						
CORDILLERA OCCIDENTAL	18° 03'– 18° 25'	68° 53'– 69° 09'	10	--	6,542	5,100
Nevado Sajama	18° 06'	68° 53'	4	--	6,542	5,100
Nevados Payachata	18° 09'	69° 09'	4	--	6,222	5,500
Cerros Quimsachata	18° 23'	69° 03'	2	--	6,032	5,500

ボリビアには全世界の熱帯氷河の約 20%が存在している。ボリビアの氷河は、チリとの国境沿いの西の Cordillera Occidental と東の Cordillera Apolobamba – Real – Tres Cruces – Nevado Santa Vera Cruz 山系に存在する。Cordillera Occidental の氷河は火山にかかる小さい

氷河だけであり、ほとんどは東の山系に存在する。

図 2-3-1 に示したボリビアの年降水量分布のように、降水量は変化に富んでいる。アマゾン流域で多く、南西部に行くに従って、降水は少なくなる。氷河の分布もその影響を受けて、ほとんどが東の山系に集中する。

(2) 現地氷河、氷河湖視察

ラパス市、エルアルト市の上水、水力電力の源である Huayana Potosi、Tuni、Condoriri 一帯の氷河、氷河湖の視察を行った。この中の Chacaltaya、Zongo 氷河では IHH および IRD が集中的な観測を行っている。

図 2-3-2 は、かつては世界で一番高いスキー場として有名だった Chacaltaya 山である。1980 年頃には、山頂から写真を撮影した場所まで氷河が広がっていたが、2009 年には氷河はすべて、消滅した。山頂直下に白く見えるのは、氷河ではなく積雪である。写真を撮影した地点の岩の上には、擦痕（氷河が岩を削った痕）が見られ、氷河がここまで延びていたことが確認できる（図 2-3-3-参照）。

図 2-3-4 は Chacaltaya 山から見た Northern Cordillera Real の氷河群の写真である。左から Illampu、Chachacomani、Condoriri、Tuni にかかる氷河である。



図 2-3-2 Chacaltaya 山



図 2-3-3 氷河の擦痕



図 2-3-4 Chacaltaya 山から見た Northern Cordillera Real の氷河群

図 2-3-5 は IHH および IRD が集中的な観測を行っている Zongo 氷河のある Huayana Potosi の写真である。右手前の湖は Jankho Kotta 湖で、この水はラパス市、エルアルト市の水源である。図 2-3-6 は同じく Huayana Potosi であり、太平洋側とアマゾン側の流域界となる Zongo 峠からの撮影である。頂上から左手前方向に流れ下っているのが Zongo 氷河で、下流部は手前の尾根に隠れている。その尾根の手前が Zongo 湖である。Zongo 湖は元々自然にできた氷河湖であったが、拡張のため図 2-3-7、図 2-3-8 に示すように人工のダムを作った。わかりづらいが図 2-3-8 の左から 1/3 ぐらいにほぼ垂直に下りているのが導水管で、水をアマゾン側の Zongo 川に落とし、発電している。なお、Zongo 川には標高 4264m から 945m までの間に全部で 10 の水力発電所があり、同時可能発電量は 187.6MW で、電力はラパス市、エルアルト市に送られている。



図 2-3-5 Huayana Potosi と Jankho Kotta 湖



図 2-3-6 Zongo 氷河と Zongo 湖



図 2-3-7 Zongo 湖



図 2-3-8 Zongo ダム

図 2-3-9 は Zongo 氷河の末端の写真である。氷河は頂上から左手前に流れたあと、中央左から右側に流れている。中央部左から 1/3 に見られる盛り上がりは、表面に岩屑が露出した氷河の下流部である。末端は壁状になっており、崖錐状の堆石が見られる。氷河湖もあるにはあるが、きわめて浅い。この氷河では集中的に観測がおこなわれており、図 2-3-10 に示す Zongo 峠、図 2-3-11 に示す Zongo 氷河右岸のモレーン上でも気象観測がおこなわれ

ている。図 2-3-11 の左側のフェンス内には自動観測システムが、右側にはマニュアルの観測機器が見られる。右側の黒い筒はトータライザーと呼ばれる降水量計で、筒の中には降水の蒸発が起こらないように薄く油を入れ、一定期間の降水量の計測ができる。風の影響のため降雪を 100%捕捉することはできず、実際の降水量より少なく計測されるが、その影響を小さくするために、受水口は大きい。このほかに、氷河中流部の氷河上でも気象観測が行われているとのことである。図 2-3-12 は Zongo 氷河からの流出量観測所で、V ノッチの水位を記録することで流量を観測している。



図 2-3-9 Zongo 氷河の末端



図 2-3-10 Zongo 峠の気象観測所



図 2-3-11 Zongo 氷河の右岸モレーン上の気象観測所



図 2-3-12 Zongo 氷河からの流出量観測所

Huayana Potosi とその西に連なる Tuni、Condriiri 山の氷河の融解水は Tuni 湖に集められ、ラパス市、エルアルト市の水源となっている。図 2-3-13 は Tuni 湖で、右下の湖岸の建造物の下にはエルアルト浄水場への導水トンネルがある。図 2-3-14 は Tuni 氷河で、ここから Tuni 湖へ流入する水量は図 2-3-15 の量水所で観測されている。図 2-3-16 は Condriiri 氷河で、手前が氷河の水が流れ込む Kallen Kota 湖である。Condriiri はコンドルが羽を広げている形から名づけられた。Kallen Kota 湖から Tuni 湖へ流入する水量は図 2-3-17 の量水所

で観測されている。ここでは気象観測も行われている。



図 2-3-13 Tuni 湖



図 2-3-14 Tuni 氷河

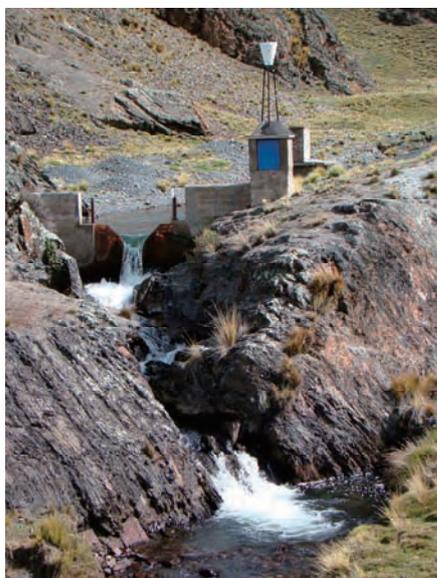


図 2-3-15 Tuni 氷河からの
流入量観測所



図 2-3-16 Condriri 氷河と Kallen Kota 湖



図 2-3-17 Condriri 氷河からの流入量観測所

(3) 現地機関による氷河調査の現況

ボリビア国内で氷河に関する調査を行っているのは、主に SENAMHI、IRD と IHH である。SENAMHI は Ministerio de Medio Ambiente y Agua に属し、ボリビア全土の気象、水文観測およびそれらに関する解析を担当する組織である。全国で 263 の気象および雨量観測所と 20 の水位観測所を運営している。気象および雨量観測所のうち 53 が自動で、残りはマニュアルで、観測者からの電話連絡等で、データの入手を行う。水位観測所では、9 が自動で、あとはマニュアルである。これらの観測を通じて、氷河の観測を行っている。

マニュアル観測のデータの入手は遅れがちとのことで、今後、NGO にマニュアルの観測所の管理を委託し、PC や人員を提供してもらい、毎日遅滞なく、データの連絡を受ける予定である。現在、UNDP が経済、技術的に SENAMHI を援助するプロジェクト (Fortalecimiento de Capacidades Técnicas para el Mejoramiento de la Calidad Hidro Meteorológicas) を実行中である。気候変動部門では、日本の気象研究所 (MRI) で研修を受けた研究者が気候モデルのダウンスケーリングを行い、その結果を用いてハザードマップの作成をしている。

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、フランス政府の資金のほか、大学、各国からのファンドで運用されている。年間予算は百万ユーロ (€) である。ボリビアには 1968 年に設立され、現在はフランスからの 13 人の研究者がボリビア国内の大学や研究所において、気候変動、水、魚などの分野の 80 人の研究者を指導している。この中でも、生物多様性の研究に重点を置いている。

氷河については、1994 年以來 IHH と共同で、Huayna Potosi の Zongo 氷河、Chacaltaya、Charquini 氷河の研究を行ってきた。空中写真や衛星データによる解析、気象観測、流量観測、積雪断面観測や氷のコア採取による涵養量調査、計測棒による消耗量調査、流出量の観測により、エネルギー収支、質量収支、水文収支の解析を行ってきた。また、温暖化や ENSO イベントが与える影響についても解析を行っている。氷河についての解析では、エクアドル、ペルーよりも進んでいる。ラパス市、エルアルト市の水源である Tuni, Condriiri の氷河の観測は始めたばかりである。ただし、氷河の観測には非常に多くの費用がかかるので、これ以上調査を拡張するキャパシティはないとのことである。

IHH は国立 Universidad Mayor de San Andrés に所属する研究所で、水文、水理の研究を行っている。大学の資金で運営されているが、プロジェクトで得た資金も運営に使っている。研究範囲は、Hydromechanics, Applied Hydraulics, Geophysics, Climatology, Hydrology, Hydrogeology, Glaciology, Climate Change, Water Resources, Water resources management, Remote Sensing, Digital Photogrammetry と多岐にわたっている。上級スタッフは 13 人で、そのほかにプロジェクトごとに参加するアシスタントや大学院の学生がいる。氷河に関する調査は、1994 年以來、IRD と共同で行ってきており、調査内容は IRD と同じである。SENAMHI、IRD、IHH 以外で氷河の観測を行っている機関に ESPAS や電力会社がある。

これらの組織は、氷河の下流で水位や流量を観測している。

(4) 氷河の現況

ボリビアの氷河は 17 世紀後半に最大に発達した後、後退を始めた。1730 年代と 1760 年代には Cordillera Real では小さい前進があった。その後、氷河は徐々に後退し始め、19 世紀後半からは後退速度も早まった。1940 年以降、さらに 1980 年代以降にはさらに後退を速めた。

ボリビアで最も集中的に観測がおこなわれているのは Huayana Potosi の Zongo 氷河である。その表面地形や観測位置を図 2-3-18 に示す。ここでは、IHH と IRD が気象観測、流量観測、涵養量観測、消耗量観測、流出量観測を行っており、空中写真解析と合わせ、エネルギー収支、質量収支、水文収支解析を行ってきた。Zongo 氷河の面積は図 2-1-9 に示すように、減少しているが、1990 年代半ば以降は急激である。図 2-3-19 には質量収支の解析結果を示す。

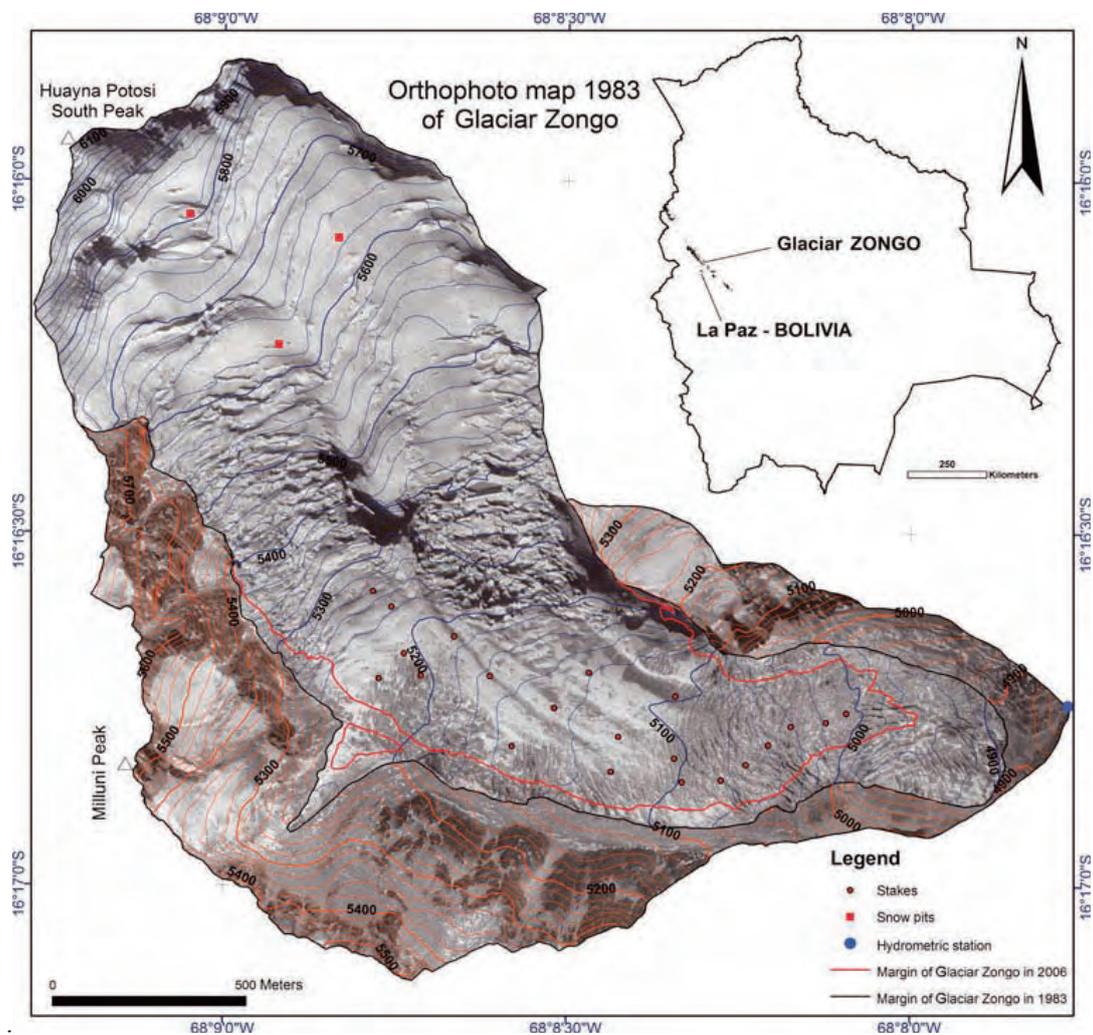


図 2-3-18 Zongo 氷河の 1983 年の表面地形（20m の等高線）と 2006 年の氷河の外形
（出典：”Mass balance of Glaciar Zongo, Bolivia, between 1956 and 2006, using glaciological, hydrological and geodetic methods”, A. Soruco *et. al.*, Annals of Glaciology, Vol.50, 2009）

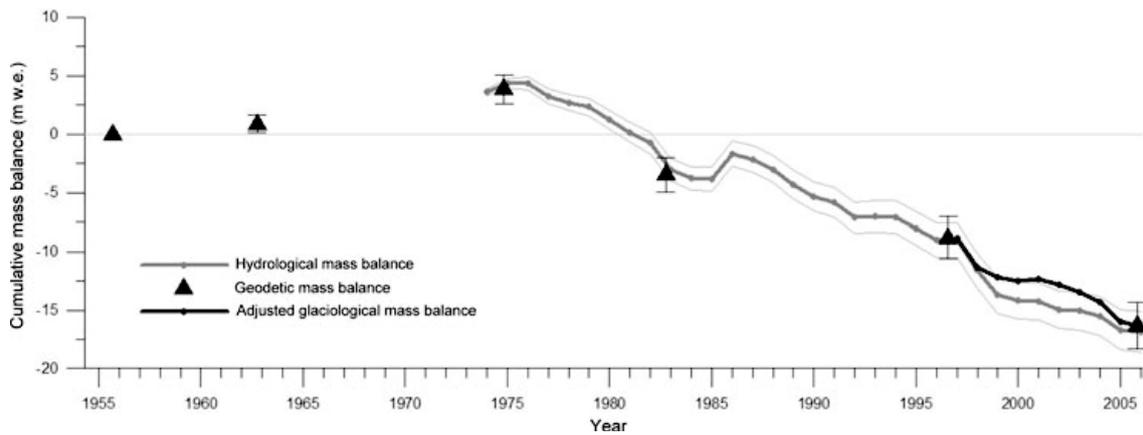


図 2-3-19 Zongo 氷河の積算質量収支 (Hydrological mass balance:降水量・流出量・蒸発量による計算、Geodetic balance:空中写真による氷河の体積変化、Glaciological mass balance:積雪断面観測や氷のコア採取による涵養量と計測棒による消耗量による計算)

(出典: "Mass balance of Glaciar Zongo, Bolivia, between 1956 and 2006, using glaciological, hydrological and geodetic methods", A. Soruco *et. al.*, *Annals of Glaciology*, Vol.50, 2009)

図には 3 つの質量収支計算法の比較があるが、計算法による差は小さい。1975 年までの空中写真による体積変化の解析結果では収支の差はあまりないが、その後は時々小さい増加はあるものの、質量収支は減少し続けている。

Zongo 以外で、集中的な観測が行われていたのは、Chacaltaya 氷河である。この氷河は、かつては世界で最も高いスキー場として有名だった氷河である。前出の図 2-1-9 に面積の変化を、2009 年 3 月の写真を図 2-3-2 に示す。また、図 2-3-20 に外形の変化を示す。

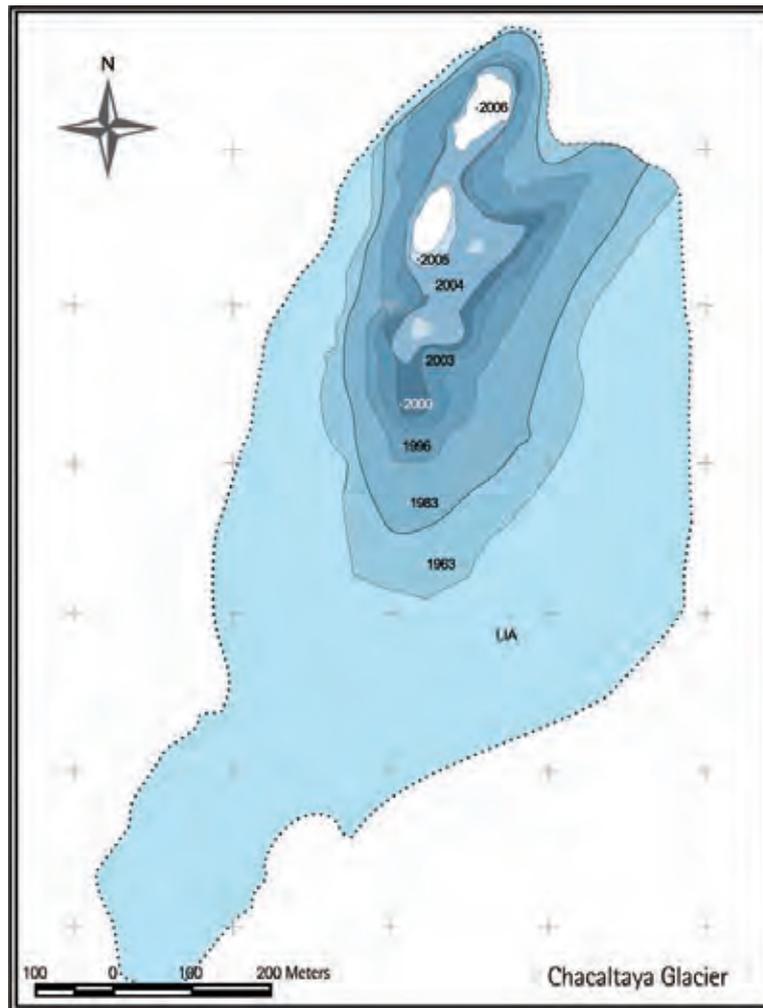


図 2-3-20 Chacaltaya 氷河の変化、小氷期 (LIA、17 世紀後半)、1963、1983、1996、2000、2003、2004、2006 年の氷河の外形。

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

Chacaltaya 氷河は 1990 年過ぎから急激に面積を減少させている。2009 年 3 月の写真ではかろうじて氷河が残っているように見えるが、これは積雪で、2009 年にはすでに氷河は消滅している。1990 年代の消耗速度は 80 年代の 3~5 倍と非常に速まり、1992~1998 年の 6 年間で、氷河の厚さの 60%、全体積の 2/3 を失った。

Chacaltaya 氷河の最高と末端標高差は 1991 年で 270m と小さく、平衡線標高 (涵養量と消耗量が等しい標高、これ以上では質量収支がプラスで、以下ではマイナスになる) が少し上昇しただけで、全域で氷河が消耗することになる。また、ほかの地域の氷河に比べ、熱帯氷河では氷河周囲の岩の温度が高く、日中には 20℃を超えるため、周囲からの熱の移流による融解も大きい。したがって、氷河が小さくなると、消耗は加速度的に進むことになる。

このようにボリビアの氷河は後退を続けており、特に、小さい氷河での後退、消滅が著し

い。

(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

2007年11月に、Cordillera Tres Cruces の標高 5,000m の氷河湖に、氷河の一部が崩壊して落ち、湖があふれ、土石流が下流を襲い、ラパス県 Inquisivi 郡 Quime 村の鉱山の機材、工具、住居が総額百万ドルの被害を受けた。鉱山は停電、断水、連絡不能で孤立した。この日は非常に熱く、この暑さが何らかの原因になったと考えられている。

これまで、ボリビア国内で氷河湖決壊による災害の報告はこの一例だけであり、氷河湖決壊洪水への認識は低い。視察したなかで決壊洪水をおこす可能性の高い氷河湖は確認できなかったが、今後、温暖化が進み、氷河湖が増える可能性があるので、監視を行う必要がある。

2) 豪雨による洪水や土石流

2003年2月に Santa Rosa 川中流で、ここ 80 年には無かった豪雨により地滑りが起き、電力会社の COBEE の施設に被害がでた。また、別の電力会社 Hidroeléctrica Bolivia では 2006年1月に Taquesi 流域での大雨のために貯水槽や発電所に水が入り、400 万ドルの被害があった。双方とも、施設建設前の想定を大きく超える大災害であった。温暖化により、豪雨の頻度が増えることが予想されており、今後、豪雨による洪水や土石流の被害が増えることが予想される。電力会社では、氷河湖決壊洪水よりも豪雨による洪水や土石流を警戒している。

(6) 今後の計画と課題

1) 氷河と気候変動の解析

IHH と EPSAS が共同で、JICA にプロジェクトを 2 件要請中である。どちらも、氷河後退、気候変動の影響を解析し、水利用への気候変動適応策を策定するものである。一つは JST と JICA の科学技術協力対象案件への東北大学との共同研究であり、もう一つは開発計画調査型技術協力である。

IHH の説明によると、調査対象は Cordillera Real 全域と広大であるが、まず優先度の高いエルアルト市、ラパス市の水源地域で行い、EPSAS（水道公社）のマスタープランの修正に役立てる。その後順次、優先順位の低い地域に移る予定である。IHH による調査解析のフローを図 2-3-21 に示す。

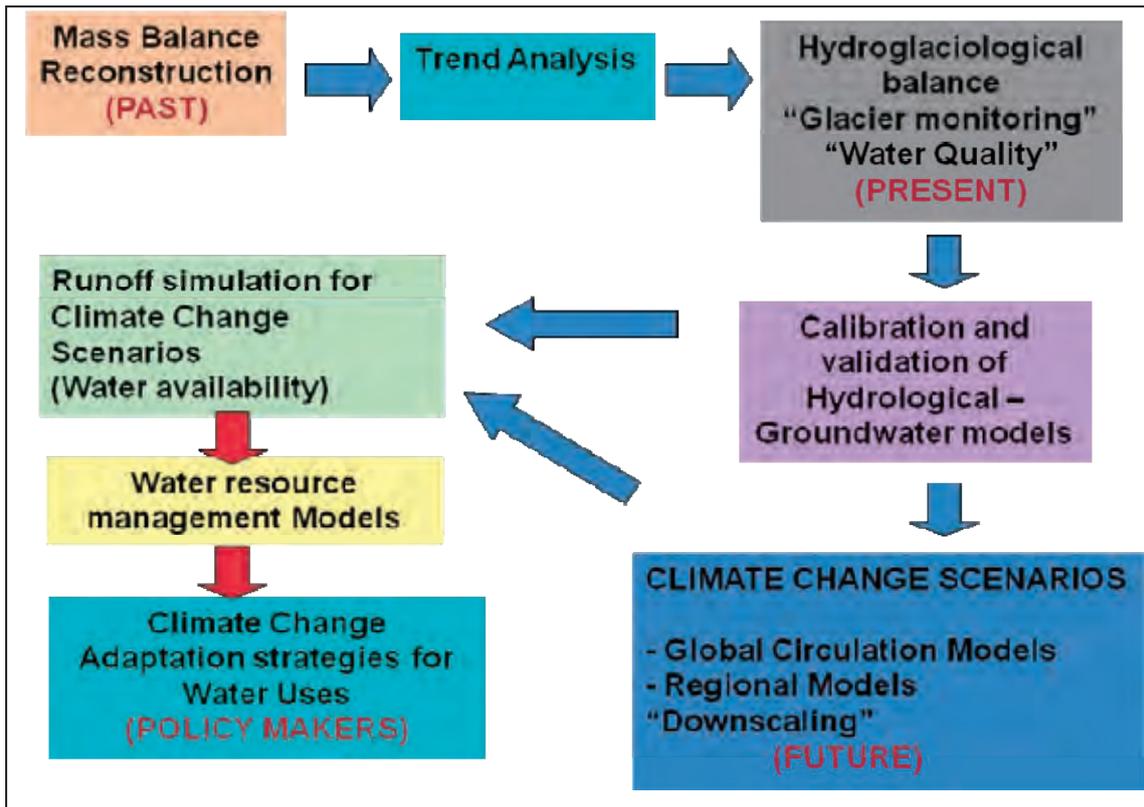


図 2-3-21 IHH と EPSAS 共同の氷河後退、気候変動影響解析プロジェクトのフロー図

以下にプロジェクトの解析手順を説明する

- ・ Mass balance reconstruction(質量収支モデルの再構築)

デジタル空中写真解析、気象観測、流量観測、涵養量観測、消耗量観測、GPS と地中レーダーによる氷河の厚さの測定データをもとに、対象氷河のエネルギー収支モデル、質量収支モデルを構築し、過去を再現できるようにする。Zongo 氷河を対象にしたモデルはすでにできており、それを応用する。

- ・ Trend Analysis(傾向分析)

過去の氷河面積、質量収支計算結果から、変化傾向を抽出し、将来予測を行う。

- ・ Hydroglaciological balance(水文・氷河収支モデル)

氷河の質量収支モデルの結果を用いて、地下水・水文モデル、水質モデルを構築する。

- ・ Calibration and validation of Hydrological - Groundwater models(水文—地下水モデルのキャリブレーションと評価)

構築したモデルに使用するパラメータの値を評価し、最適値の選択を行う。モデルのキャリブレーションを行い、実態を再現できるモデルに改善する。

- ・ CLIMATE CHANGE SCENARIOS (気候変動シナリオ)

日本の気象研究所の全球循環モデルをダウンスケーリングし、気候変動シナリオに基づく地域気候変動モデルを構築する。

- ・ Runoff simulation for Climate Change Scenarios (気候変動に基づく流出シミュレーション)

気候変動シナリオに基づく地域気候モデルの計算結果を水文—地下水モデルに適用、流出量の計算を行い、利用可能な水量を算出する。

- ・ Water resource management Models(水資源管理モデル)

利用可能な水量に基づき、水資源管理モデルを構築する。

- ・ Climate Change Adaptation strategies for Water Uses (POLICY MAKERS) (水利用への気候変動適応策の策定)

水利用可能量、水質、水資源管理モデルに基づき、気候変動への水利用適応策を策定し、政策提言を行う。

この計画は、長期的な研究としては問題ないが、実験的な部分も多く、EPSAS の水道マスタープランの修正に必要な精度をもつ結果が出るまでに長い時間がかかるのではないかという危惧がある。今後、JICA の開発計画調査型技術協力として実行する場合には、IHH、EPSAS も含め協議し、分担、解析方法について検討する必要があるだろう。

2) SENAMHI の気象、水文観測

ボリビア全土の日常的な気象、水文観測は SENAMHI 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。SENAMHI では UNDP によるキャパシティ・ディベロップメントプロジェクトや NGO を活用した観測システムで改善を目指しているが、災害の危険予知の点では十分ではない。危険予知のためには、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、道路の防災他策はもちろん、SENAMHI 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。

SENAMHI は、JICA に対して気象・災害リスク管理アドバイザー派遣の要請を検討しており、今後、対応していく必要があると考えられる。

2-3-2 水資源に関わる現況

(1) ボリビアにおける水資源管理体制と主要政府関係機関

09年2月の憲法改正で Ministerio de Medio Ambiente y Agua（環境・水省）が組織され、水資源の一元管理を目指すこととなった。現在、環境・水省の中に Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego（灌漑・水資源次官室）が設けられ Plan Nacional de Cuencas（国家流域計画）の実施に当たろうとしているところである。環境・水省には、このほかに Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico（飲料水・基礎衛生次官室）、Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad, y Cambios Climáticos（環境・生物多様性・気候変動次官室）という二つの次官室がありそれぞれ上下水道に係わる水管理、気候変動問題に対処しようとしている。スタッフは省全体で150名程度、Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego（水資源・灌漑次官室）の灌漑部で15名、水資源流域管理で30名ほどである。今後、国家流域計画に基づき、水資源に係わる分野での、各地方からの要請に応じた資金配分、人材の強化・教育、水資源関連情報の一元化と国の水資源ポテンシャルの把握、などをすすめる将来の政策を検討してゆくことになる、との説明であった。ラパス県における実務については、上水道サービスは EPSAS、発電は、政府の監督を受けた発電企業（2社）が担当している。農業用水については、氷河後退の影響がほとんど考えられないアマゾン流域では国レベルの大規模灌漑が行われているものの、氷河後退の影響があり得ると考えられるような地域で行われている農業は、コミュニティレベルでの開発管理による小規模なものがほとんどである。

今回の調査期間中には、水資源に係わる以下の機関を訪問した。

- ① Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego（水資源・灌漑次官室）
- ② Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad, y Cambios Climáticos
- ③ Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento（EPSAS）水道公社
- ④ Compañía Boliviana de Energía Eléctrica S.A（COBEE）発電企業
- ⑤ Hidroeléctrica Boliviana S.A（発電企業）
- ⑥ Viceministerio de Inversión Pública y Financiamiento Exterior（VIPFE）
- ⑦ ラパス県
- ⑧ ラパス市
- ⑨ エルアルト市

(2) 関連政府機関の氷河後退に対する考え方と取り組み

1) Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego（水資源・灌漑次官室）

Ministerio de Medio Ambiente y Agua（環境・水省）の中に設置され、水資源の統合的流域管理を目指している。2月に行政組織の改変、人事異動があったばかりであり、責任者との

面談では、総論的な話題は出るものの、個別のプロジェクトなどの話題になると具体的な部分はまだはっきりとしていない状態である。面談で確認できたのは以下の諸点である。

次官室としては、氷河後退と気候変動については懸念しているが、この問題は政府だけではなく一般市民の問題でもありと考へており、その為、節水意識を高めるためのキャンペーンなども実施している。政府の計画としては、(将来の水需要に対応して)ダム(貯水池)の建設、地下水の開発なども考へている。生活用水、農業用水、発電・工業用水としてそれぞれどの程度の割合が使われているかについての情報は今のところ無い。当面は、Plan Nacional de Cuencas(国家流域計画)を推進してゆく。すなわち、人材の強化・育成および水資源調査体制の強化、情報の一元化などにより、国の水資源ポテンシャルを先ず把握しなければならない。また河川、湖沼、氷河など水資源の区別をおこない、それを基に将来の水資源管理方針を検討する。また、チチカカ湖の水が減少しているとの話がある。(ただし、これについてはチチカカ湖周辺の水文気象調査について質問したところ、省として具体的な情報は持っていない、との答えであった。)

2) Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad, y Cambios Climáticos 環境・生物多様性・気候変動次官室

環境・水省に設置された気候変動問題に対応する組織である。現在の活動は、主に今年12月に開催されるコペンハーゲン気候サミットへ向けての準備であるとのことである。水資源問題への対処、貯水池の建設などについてもEPSAS(水道公社)と協力して進めている。水資源・エコシステム・農業用水・飲料水に関する総合計画を作成しようと検討中であるとの話も出たが、具体的な内容、いつまでに、という点はまだあいまいである。いずれにしても氷河後退に特化した具体的な対応策は現段階では無い。しかし、将来の水供給を確保するために貯水池の増設が必要であるとの認識でEPSASなどと協力しているとのことであった。

3) Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento (EPSAS) 水道公社

ラパス市、エルアルト市の上水道サービスを実施している公共事業体である。両市の後背にあるアンデス山脈(氷河を頂くHuainapotosi山、Tuni-Condoriri山などがある)を水源としているため、氷河後退に懸念を持ち、研究機関IHH、IRDや世銀のプロジェクト(PRAA)などにも積極的に協力している。研究機関との活動は、主に氷河の観測調査への協力であり、またPRAAではTuni-Condoriri流域を対象とした小規模な流域管理計画を実施している。EPSASでは、これらへの協力をすすめながらも、氷河後退はすでに進行中であり残された時間は少ないとして、従来の貯水施設の拡充や新規の水資源確保を検討中である。その前提となる水資源開発管理マスタープランについて、90年代に策定されたマスタープランを基に氷河後退、気候変動の今後の影響を加味した見直しを年内に始めたい

としている。新しいマスタープランの目標年度は 2035 年である。EPSAS としては、長期の研究に時間を使うのではなく、短期の成果の積み重ねを大事にしたいと考えており、その為の日本との技術協力にも関心を持っているとの発言があった。EPSAS の現在の下水道施設の概要については添付資料を参照されたい。

4) Compañía Boliviana de Energía Eléctrica S.A (COBEE) 発電企業

Huainapotosi 山、Zongo 氷河流域を流れる Zongo 川を利用した水力発電を行っている政府の監督を受けた発電会社である。氷河後退の問題については、IRD の観測作業のサポートなどを行っている。会社としては、氷河の Zongo 川への貢献はそれほど大きな割合ではないだろうと考えているが、例えば異常渇水のような最も条件が厳しくなるときに効いてくるだろうことは認識している。また氷河がなくなると、気候への影響も出てくるのではないかと懸念も持っている。しかし、特に、独自の具体的な対策を検討しているわけではない。ボリビア全土では、50%は天然ガスによる発電であり、Zongo 氷河の影響が最も大きい Zongo 湖での発電量も国全体の 2%程度であるとして、氷河後退への関心は限られたものとなっているのが実状である。発電した電力は、全国ネットワークに接続され給電される。ラパス、エルアルト地域の 7 割近い給電をまかなっている。現在でも、乾季では他地域で発電された電力がラパス地域に供給されており、地域ごとにそれぞれの発電会社で電力を確保しなければならないというシステムとはなっていない。その為もあり、会社としては氷河後退に対する危機感は希薄である。

5) Hidroeléctrica Boliviana S.A (発電企業)

Mururata 氷河から流れる Taquesi 流域で水力発電を行っている企業である。発電のための貯水量を確保するため 4 つの自然湖を利用し、各湖に小規模の取水堰を設置し発電施設へ導水し利用している。この 4 つの湖の利用により乾季の際も発電量が確保されるようになっている。Mururata 氷河が影響しているのは、一箇所の発電プラント (Yanacachi Norte) だけであり、その割合も非常に小さいと考えている。流域への氷河後退の影響についてもいまのところ何もわかっていないし、特に調査をしているわけでもない。全体として降水の影響のほうが大きいと考えられ、集中豪雨の発生の方をむしろ危惧している。

6) Viceministerio de Inversión Pública y Financiamiento Exterior (VIPFE) 公共投資・外部融資次官室

Ministerio de Planificación del Desarrollo (開発企画省) に属する公共投資及び海外からの支援等の窓口となる次官室である。氷河後退について EPSAS、IHH などは検討していると聞いているが、現在のところ国家プロジェクトは何も無い、との説明であった。2 月に組織変更、人事異動があったばかりで、各省からの情報の把握・整理がまだ進んでいないという印象を受けた。世銀による PRAA についても情報は得られなかった。

7) ラパス県

県知事との面会。県知事は Universidad Mayor de San Andrés サン・アンドレス大学の学長だった人物であり、氷河後退についても知識、問題点などについては十分認識している。しかし、県として直接、氷河の観測調査、氷河後退に対する対応策などの施策を持っているわけではない。ただし、水資源問題に関しては貯水池の建設、地下水開発、水資源管理など、EPSAS とも関係するいくつかのプロジェクトを検討中である。

8) ラパス市

氷河後退の市への給水への影響については懸念している。しかし、飲料水については現在のところ市の管轄ではなく、また主な水源も市の管理区域に含まれているわけではないので、市として直接に出来ることはあまり無いと考えている。EPSAS の改編が予定されているので、市としての考えを環境水省に提出しているとのことである。

9) エルアルト市

ラパス市と同様、氷河後退に伴う水供給への影響についての懸念はあるものの、市として出来ることはあまり無いとの認識を持っている。実際、給水に関しては、市が直接の責任を負っているわけではなく、EPSAS が担当している。ただし、市として資金を出さなければならないときはあると考えている。現在、市の予算を使った井戸掘削も実施されている。水問題では、政府との協力が必要であると考えている。技術レベルの高い専門家によって市としても中長期的なプログラムを策定する必要があるのではないかと考えている。

(3) 他ドナーによる氷河後退に係わるプロジェクト

1) 世銀

エクアドル、ペルーと同様 PRAA が開始された。エクアドルにおいてはパイロットプロジェクトとして Tuni-Condoriri 流域管理、Parca 小流域の水資源管理、Rio La Paz の洪水災害対策などが計画されている。また PRAA とは別に、気候変動適応策及び水資源問題に係わる経済的問題についての調査研究が実施されている。前者 (Estudio de Economía de Adaptación al Cambio Climático) は 2008 年 9 月～10 年 9 月まで、後者 (Estudio de Economía relacionado a los Recursos Hídricos) は 2009 年 2 月からはじめられ 16 ヶ月間で完了する予定となっている。気候変動対策のための予算はあるが、世銀ボリビア事務所としてはプロジェクトを直接手がけるよりも、ドナー同士の重複を避けるためにも国からの要請に応じて調整を行いながら、経済的支援を実施したいと考えているとの話であった。

2) デンマーク

デンマークでは、現在、環境・水省が中心となって推し進めようとしている国家流域計画への支援に加え、小規模なプロジェクトとして、Parca 市を対象とした水資源管理プロジェクト、インターネット・ホームページを利用した気候変動情報の啓蒙活動などを行っている。水資源管理プロジェクトについて中心となって活動しているのは NGO である。Parca 流域では IHH とも協力し、Mururata 氷河の影響についても考慮している。デンマーク政府は従来から、ソフト面を中心に管理システムの強化、人材育成などに力を入れてきた。貯水池などの施設建設に係わる分野は世銀、JICA などをお願いしたい分野だ、との発言があった。

3) スウェーデン

スウェーデンは、ボリビアの自然環境、水資源、気候変動に係わる支援として、デンマーク、オランダなどとともバスケット・ファンドに参加している。また、スウェーデンの資金援助による、ラパス市・エルアルト市への水供給及び気候変動に関するセミナー開催について環境・水省と協議中である。このセミナーは 5 月に開催予定であり、関連する政府機関を初めその他のドナーなども招待される。いくつかの関連機関から出されている水資源問題に関するプログラムの調整や、ボリビア政府、ドナーなどの気候変動問題への適応策策定についての方針の統一などもこのセミナーで行おうと考え、そのための準備も行っている。

(4) ボリビアにおける水資源関係まとめ

ボリビアにおいて、現在、氷河後退問題に最も積極的に取り組んでいる機関はサン・アンドレス大学付属の研究機関 IHH である。IHH では IRD と協力し、ラパス市、エルアルト市後背に位置し、それらの市への水供給の源となっている Huaynapotosi 山、Tuni-Condoriri 氷河などの観測調査を行っている。ただし、氷河の融解が水資源に対しどの程度貢献しているかという点で、定量的には明らかになっていないこともあり、水資源を利用する実務機関では、対応に差があるのが実状である。

ラパス、エルアルト地域における、実務分野については、上水道サービスは EPSAS、発電は、政府の監督を受けた発電企業（2 社）が担当している。また、氷河後退の影響があり得ると考えられるような地域で行われている農業は、コミュニティレベルでの小規模なものがほとんどである。

ボリビアにおける水資源管理については、2009 年 2 月の憲法改正で Ministerio de Medio Ambiente y Agua（環境・水省）が組織され、水資源の一元管理を目指すこととなっているが、09 年 4 月初旬の段階では、組織としての体制が確立されたとは言い難いとの印象を受

けた。

国レベルでは、環境・水省において、氷河後退問題に関係する政府機関（SENAMHI、IHH など）との情報交換は行っているものの、今のところ、具体的な対策などは検討されていない。

<上水道水源>

EPSAS は、上水道供給という住民の生活に直結する分野を担っていることもあり、IHH による氷河後退の観測調査などに積極的に協力している。先述した Huaynapotosi 山、Tuni-Condoriri 山の氷河は、ラパス市、エルアルト市の上水道給水に利用されている Tuni-Condoriri 貯水池（既存の 5 貯水池のうち最も貯水量が大きく、そのほとんどがエルアルト市への給水に利用されている）が位置する流域内にあり、影響が懸念されるためである。また、Huaynapotosi 山は、Milluni 水系にも属しており、Milluni 貯水池は Tuni-Condoriri 貯水池に次ぐ貯水量を持ち、ラパス市への水供給に利用されている重要な貯水池である。EPSAS では観測調査に協力すると同時に、氷河後退による水資源量の減少、住民増加による将来の水需要増加に備え、従来施設の拡充、新規の貯水池の建設、地下水を含む新規水源の確保などを検討し、90 年代に策定された水資源開発マスタープランの見直しを始めようとしている。

<水力発電用水源>

Huaynapotosi 山東北側（アマゾン側）にある Zongo 氷河の属する流域内では、ラパス市、エルアルト市への給電の 7 割を供給する水力発電施設（10 発電所）が稼働している。これらの発電施設を運営する COBEE は、氷河後退に関して多少の懸念は持っており、IRD の観測に協力し、情報の提供を受けている。しかし、その影響度合いはそれほど大きくは無い、との判断から独自の対応策などは検討していない。

Mururata 氷河が属している Taquesi 流域では、上記とは別会社の運営による発電施設が稼働しているが、Mururata 氷河が影響しているのは、一箇所の発電プラント（Yanacachi Norte）だけであり、その割合も非常に小さいと考えており、氷河後退問題に関しては特別関心を払ってはいない。

上記の流域はアマゾン川にあり、降水量もある程度確保できるため、発電会社は、氷河の融解が占める割合をそれほど大きなものとはみなしていない。融解水は地下浸透により発電用水確保のための貯水池の貯水量にも影響を与えていると考えられるが、まだ定量的にその量を把握するには至っていない。

<農業灌漑用水>

ラパス市、エルアルト市の後背地域では、大規模な農業灌漑は行われていない。地元コミ

ユニティレベルの小規模農業が実施されている。EPSAS（水道公社）は地元コミュニティと協定を結び農業用水の確保に努めている。

また、アンデス山脈は Tuni-Condoriri 山から北西方向へ伸びており、氷河が発達している。チチカカ湖に面している西側下流域及び東側アマゾン流域に入る下流域の両地域において、地元コミュニティレベルでの灌漑農業が行われている。チチカカ湖は雨水及びアンデス山脈から流入する水で涵養されている。現在のところ、アンデス山脈西側下流域の農業、チチカカ湖への涵養について、氷河の融解水がどの程度の役割を果たしているかについての、観測、解析は行われていない。

国レベルでの農業灌漑が行われていないため、現在のところ、氷河後退による影響やその対策について国として特に計画があるわけでもない。

2-4 対象3カ国における氷河後退適応策のプロジェクト優良事例および留意事項

2-4-1 既存プロジェクト

- 氷河後退に関するプロジェクトは、世銀によるもの、UNDP の支援によるものなどいくつかあるが、いずれも現在進行中かまたは着手されたばかりであり、評価できる段階ではない。
- IRD が3カ国それぞれで活動をしており成果を挙げている。いずれも10年以上前から現地で観測を始め、継続的に活動しており、数年交代でフランス本国から派遣される研究者が直接に氷河観測に携わっている。また、現地の人材育成にも力を入れており留学生の受け入れなども行っている。
- ボリビアではデンマークにより実施された小規模プロジェクトがある。これは5,000人程度の人口を擁する市を対象とした水資源管理プロジェクトだが、市役所の人材に問題があり、なかなか順調に進まなかったとの報告がある。

2-4-2 留意事項

- 当然のことではあるが、前項で記した例からも考えられるように、支援受け入れ対象機関の人材レベルに留意しておく必要がある。ラパス市、エルアルト市などは人口規模から言っても前項で記した市とは状況が異なるものと考えられるが、何らかのプロジェクトを進める場合には、ボリビアに限らず相手側人材の知識・技術レベル、業務遂行の様子などを見極めながら進める必要がある。
- ボリビアのラパス市、エルアルト市への浄水給水を担当している EPSAS は、過去に政府方針がさまざまに変転した経緯もあり、組織の改編、名称の変更などの歴史がある。また、近い将来（今後1～数年以内）にも組織の改編が予定されている。ただし、実務を担う技術者などは継続的に業務を担当しており、面談の印象では技術レベルに大きな問題は無いと感じた。
- 農業用水については、国レベルで計画される灌漑農業は、そのほとんどが降水起源と考えられるある程度の規模の河川を利用した大規模なものである為、氷河後退問題に関する国レベルでの対策は、いずれの国でも検討されていない。しかし、氷河が含まれる流域内や、その下流域では小規模零細農家が多数を占めるだろうコミュニティレベルでの灌漑農業が営まれている場合が多い。これらの農業に対する氷河後退の影響は現在のところまったく明らかにされていない。
- いずれの国でも、氷河後退問題に加えて気候変動への対応を検討している。ここで言う気候変動とは、いわゆる温暖化現象に伴って生じる異常気象（集中豪雨、異常渇水など）を念頭においている。

第3章 調査結果の考察～熱帯氷河後退における今後の課題と必要な対策～

3-1 エクアドル

(1) 氷河後退観測、防災分野

- 氷河の調査について、これまでは観測に基づきエネルギー収支、質量収支、水文収支の解析が行われてきた。今後は、観測と解析中心の研究から、モデルの構築、将来予測に発展させる。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。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。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。
- 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。
- 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。土石流の痕跡をもとにしたシミュレーションによると、数万人規模の被害が出ると予測されている。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、対策を考えておく必要がある。

(2) 水資源分野

- 首都キト市の上水道は、氷河を頂く Antizana 山、Cotopaxi 山の山麓からの表流水を主要な水源としている。その為、キト市の上水道を担う EMAAP-Q はそれらの山の氷河後退が及ぼす影響について懸念を持っている。その為、以下のようないくつかのプロジェクトについて考慮中だが、資金的な問題もあり具体化しているわけではない。

- Antizana 山麓の地下水・自然環境調査：氷河後退の及ぼす影響について把握すると共に、新規の地下水開発の可能性を探る。
- キト市地域の地下水調査：Antizana からの水量減少、非常時の水源として 200L/s 揚水規模程度の地下水開発が可能であるか調査したい。
- Pichincha 山の土砂崩壊対策：気候変動による集中豪雨が、Pichincha 山麓の崩壊＝土砂災害を起こす恐れがある。
- Chimborazo 山麓を水源とするリオバンバ市などについても、キト市と同様の懸念がありうるが、今回の調査期間中には訪問・確認は出来なかった。
- 国レベルでの大規模農業灌漑用水については、氷河後退の影響はほとんどないものと考えられる。しかし、上記の氷河を頂く山麓を水源とする小規模な灌漑用水路がいくつかあり、これらの小規模灌漑用水に対する氷河後退の影響は、現状ではまったく明らかにされていない。

3-2 ペルー

(1) 氷河後退観測、防災分野

- ペルーではこれまで、Glaciological Unit を中心に、氷河、氷河湖の観測、氷河湖決壊洪水への防災対策を行ってきた。対象地域が全国にわたり広いこと、対象氷河も多いこと、アクセスが難しいこと、機材・人材の不足などのため、今後の氷河や氷河湖の予測に必要なデータは得られていない。また、Glaciological Unit の組織も縮小傾向にある。

氷河湖決壊洪水では、1975 年以降、10,000 人以上の人が命を失っており、被害は非常に大きい。今後も温暖化は進むと予測され、氷河湖決壊は発生すると考えられる。氷河後退への適応策策定を行うためには、氷河・氷河湖の観測はさらに重要になり、その観測に基づく氷河の質量収支、エネルギー収支、水文収支の解析も必要である。防災の面では、水位や降雨をリアルタイムで監視し、必要な場合には警報を発生するシステムも必要である。

Glaciological Unit がその責務を担うためには、通信システムの改善を含む気象、水文観測機材のアップグレード、観測データのデータベース化、人員の拡充や研修が必要である。また、氷河の厚さを測る地中レーダー、涵養量測定のために積雪・氷のコアの採取機など、氷河そのもののデータ取得のための器具も必要である。

- チャビン・デ・ワントルは自然災害に遭いやすい場所に作られた経緯がある。発掘以前も土砂に埋もれていたわけであり、近年でも氷河湖決壊による被害にあっている。1934 年には湖の氾濫で起こった地滑りにより、建造物の一部が破壊されていたことが確認されている。また、1945 年 1 月 17 日の氷河湖決壊により、チャビンの集落の一部が破壊され、300 人が死亡、同遺跡の大部分も土砂に覆われた。以上のことから、

今後も、氷河湖決壊洪水の被害を受ける可能性は高いと考えられる。また、氷河湖決壊以外にも、洪水や土砂崩れにもあいやすいと考えられる。洪水対策のため、堤防が作られてはいるが、高さ 1m のもので増水時の川岸の浸食には対処できるが、氷河湖決壊洪水には対処できるものではない。遺跡の保護のためには、さらなる対策工事が必要である。

- 雨季の山岳部では、いたるところで土砂崩れが発生している。今後、温暖化により豪雨の可能性も高くなり、土砂崩れなどの災害の頻度はさらに高くなることが予想される。

ペルー全土の日常的な気象、水文観測は SENAMHI が行っている。旧式の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。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、道路の防災対策はもちろん、SENAMHI 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。

また、災害の情報収集、リスク評価、防災プログラムの作成、地方政府への対策の指示、およびその追跡調査は INDECI が行い、実際の防災対策は地方政府の責務である。したがって、SENAMHI、INDECI、地方政府の連携も必要である。

(2) 水資源分野

- 水資源の分野においては、氷河が水資源に対してどれだけ貢献しているかという定量的研究結果が得られていないこともあり、水資源利用者の側でも関係機関（あるいは担当者）によって氷河後退に対する懸念には差がある。
- 国レベルでは、将来の水需要増加への対策が必要であるという認識がある。その為、世銀などの支援を受けた流域ごとの水資源管理計画を進め、関係機関の人材育成、節水農業の普及、水問題に対する啓蒙などを通し、水資源利用の効率化を図っている。

3-3 ポリビア

(1) 氷河後退観測、防災分野

- IHH と EPSAS が共同で、JICA に科学技術協力を要請している。IHH の計画では、まず、質量収支、水文・氷河、水文—地下水モデルを構築する。全球気候モデルをダウンスケーリングした地域気象モデルを構築し、それによる気象予測値を質量収支、水文・氷河、水文—地下水モデルに入力し、表流水、地下水予測を行う。その結果をもとに、水利用適応策の策定を行い、その一環として、水道マスタープランの修正を行うものである。この計画は、研究としては問題ないが、実験的な部分も多く、EPSAS の水道マスタープランの修正に必要な精度の高い結果が出るまでに長い時間がかかる

のではないかという危惧がある。今後、JICA のプロジェクトとして実行する場合には、IHH、EPSAS も含め協議し、分担、解析方法について検討する必要がある。

- ボリビア全土の日常的な気象、水文観測は SENAMHI 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。SENAMHI では UNDP によるキャパシティ・ディベロップメントプロジェクトや NGO を活用した観測システムで改善を目指しているが、災害の危険予知の点では十分ではない。危険予知のためには、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、道路の防災他策はもちろん、SENAMHI 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) 水資源分野

- ラパス市、エルアルト市の上水道サービスを担当している EPSAS では、水源となる地域の氷河後退に懸念を持ち、既存の貯水施設の拡充や新規建設、地下水を含めた新たな水源確保を検討中である。
- EPSAS では、90 年代に策定された水資源開発管理マスタープランについて、氷河後退、気候変動の影響を加味した見直しを年内に始めたいとしている。しかし、具体的にどのように進めるかについては未だ明確になっていない。
- 氷河後退と直接に係わり得る地域での国レベルの大規模農業灌漑プロジェクトは無い。しかし、ラパス市、エルアルト市の後背から北西域に伸びるアンデス山脈のふもとには、アンデス山脈からの表流水を利用した小規模灌漑を行っている多くの村落がある。それらの小規模灌漑農地への氷河後退の影響が懸念されるものの、現時点ではその為の調査、対策などは特に計画されていない。
- アンデス山脈からの表流水が流入するチチカカ湖の水位が下がっているという話が出た。チチカカ湖はペルーとの共同管理の一環として通常の気象水文観測は行われているものの、氷河後退との係わりに注目した観測調査は、実施されていない。

3-4 対象3カ国に共通する課題

前項までの、国別の課題から抽出された対象3国に共通する課題を以下にまとめた。

A. 氷河後退への危機感に政府関係機関内でも大きな差がある。

氷河後退を観測している研究機関では危機感が共有されているものの、農業用水、産業・発電用水などの水利用を担当する関係機関では、氷河後退に対する危機感が薄い。

B. 氷河融解水の水資源に対する貢献が定量的に明らかにされていない。

上記の主要な原因は、氷河の融解水が水資源（地下水、表流水）への程度貢献しているかについて定量的に明らかにされていない、ことである。（氷河が後退していることは、政府関係機関などでは比較的広く知られている）。

C. 氷河の観測体制が十全とは言えない

氷河融解水の水資源への貢献度を推定するためには、将来予測を可能とするシミュレーションモデルの構築が必要となる。その為には、氷河・氷河湖の観測に基づく氷河の質量収支、エネルギー収支、水文収支の解析が必要である。現在のところ、そのような解析やシミュレーションモデルを使った予測を行うための観測データが得られているのはごく一部の氷河に限られている。また防災の面では、水位や降雨をリアルタイムで監視し、必要な場合には警報を発生するシステムも必要である。

D. 防災面から見て、水文・気象観測体制が十全とは言えない

水文・気象観測においても旧式の機器で人手に頼る観測が主体であり、データの入手が遅れがちで信頼度も低い。災害の危険予知の面からは、水位や雨量をリアルタイムで把握できるシステムや警報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ためにも必須である。

E. 小規模農業灌漑、零細農家に対する影響がまったく検討されていない

国レベルで農業用水を管轄する機関（農業灌漑省など）は、表流水を利用した大規模灌漑を対象に考えており、氷河後退に対する危機感は無い。しかし、大規模灌漑以外にも、地元コミュニティの利用する小規模灌漑施設が数多く存在する。それら零細農家が数多く従事している小規模灌漑農業に対する氷河後退の影響可能性については何も明らかにされていない。現在のところ調査などもなされていない。

F. 水資源管理体制の脆弱性（組織強化・人材育成の必要性）

それぞれの国で、水資源の一元管理を目指した組織が設立されている。しかし、法整備の遅れ、組織の歴史が浅い、人材の不足などで、水資源管理に関する指導、情報の収集管理などの分野を初めとして、実質的にはまだその機能を発揮できていない。

3-5 今後の日本側協力の可能性

3-1～4 において、今回の調査で明らかとなった氷河後退に対する適応策策定に係わるそれぞれの国における課題を示し、また 3 カ国における共通課題を抽出した。これらの課題は、氷河後退問題、及び氷河後退により形成される氷河湖と直接係わる災害などに焦点を絞って選択したものである。

(1) 課題の重要性と協力の可能性

これらの共通課題及び国別課題について、その概要と解決すべき点などを表 3-1「対象 3 国における課題のまとめ」としてとりまとめた。さらに以下に述べる諸点を考慮し、表 3-1 に、「考えられる支援」「重要・優先度」をまとめた。重要・優先度「◎」は、その実施と成果がその後の氷河後退問題への具体的対応を検討する上において必須と思われるもの、あるいは実施が遅れた場合に社会・経済的に大きな影響が及ぶと考えられるもの。「○」は、「◎」に引き続き実施が望まれるもの、「△」は、緊急の危険性はそれほど大きくは無いと考えられるものである。

共通課題 A :

政府関係機関の氷河後退問題に対する認識の差については以下の 3 点に要約できる。

- ① 氷河後退を調査・観測している研究機関は、近年、より早く進む傾向を示している氷河後退に対して、大きな危機感を持っている。
- ② 氷河の存する地域を水源として上水道サービスを提供している公共機関（エクアドルの EMAAP-Q、ボリビアの EPSAS）は、それぞれ首都圏の水供給を担っていることもあり、氷河後退に伴う水資源の減少可能性に懸念を持っている。その為、既存水源からの水供給の減少と将来の水需要増加への対処の必要性から、種々の対策を検討しているところである。
- ③ 上記以外の機関では、水資源問題に大きなかかわりを持つ政府機関（環境省など）や、農業灌漑用水を管轄する政府機関（農業省、環境・水省の灌漑局など）など水を利用する側の機関においても、氷河後退問題に対する危機感は希薄であり、その調査や対応策についてもなんら検討されていないのが実状である。

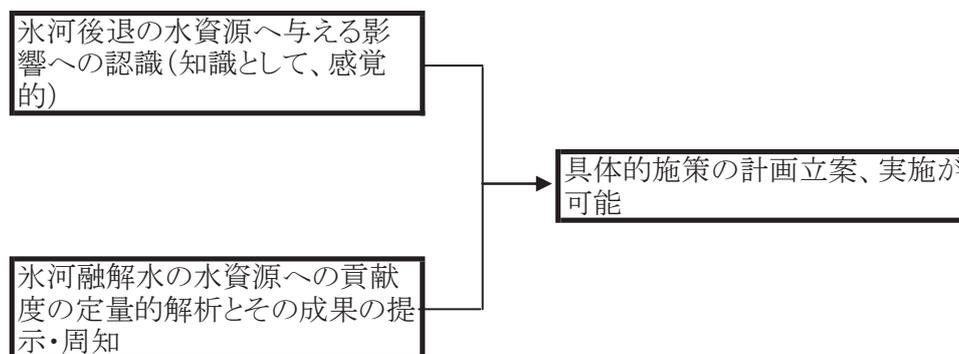
③に示した政府機関では、個人レベルでは氷河後退問題に対してそれなりの認識がある場合が多いが、機関としての立場となると、それほど重要な問題として捉えていない。その理由として、以下のような点を挙げることが出来る。

- ・ 国レベルの機関では、主要河川からの導水による大規模灌漑施設に関心が集中している。水源となる河川は降水による涵養が主となっており、氷河の影響は特に無いもの、あるいはあったとしてもそれほど大きなものではないと思われる。
- ・ 農業灌漑用水についてと同様、水力発電のための水資源確保を考えなければならない政府機関や発電会社においても、表流水が利用されていることから危機感は薄い。
- ・ 全国レベルで見た場合、氷河の存する流域の割合が相対的に少ないということも、危機感の希薄さに影響している。
- ・ 氷河の存する流域においても、上流域の貯水池・自然湖に年間を通して水が蓄えられていること、一定の表流水が確保されていることなどから危機感を持ちにくい。

氷河の融解水が、水資源としての表流水や地下水に何らかの影響を与えていることは、個人レベルでは理解されている。しかし、見かけ上は湖沼、貯水池、河川などの表流水が確保されており、実際上の問題は何も生じていないため、水を利用する立場の機関においても、氷河後退問題に対処するための具体的計画については未検討のままである。

自然湖沼、貯水池、河川は降水によって直接涵養されているのはもちろんだが、上流域からの表流水、地下水によっても涵養を受け、その貯水量、流量を維持していることは言うまでも無い。とりわけ、降水のほとんどなくなる乾季においては、氷河の融解水による表流水や、その地下浸透による地下水の流れなどが水源の維持に大きな貢献をしている可能性が十分考えられる。しかしながら、現状では、この氷河の融解水が下流域の湖沼、河川、地下水に対してどの程度の貢献をしているかについての定量的な解析がなされていない。その為、感覚的には氷河後退が水資源へ与える影響についての認識が理解されているものの、それに対する具体的対処計画を立案し、実施に向けるための説得力ある根拠を示すことが出来ないし、また、どの程度の緊急性があるのかという点についての評価も不可能な状況である。

以上のように、共通課題 A は、共通課題 B として挙げた「氷河融解水の水資源に対する貢献が定量的に明らかにされていない」と密接なかかわりを持っており、この課題がある程度解決されない限り政府部内を始めとする関連機関が氷河後退問題に関する危機意識を共有するのは難しいと言える。



共通課題 B :

各国の氷河後退を調査・観測している研究機関では、氷河融解水の水資源への貢献が定量的に明らかにされていない、という問題は認識している。

氷河融解水の定量的な算定は、エネルギー収支、質量収支、水文収支解析により行う。エネルギー収支は氷河表面での熱の収支計算に基づく融解量算定であり、質量収支は氷河の

涵養量および消耗量の解析であり、水文収支は涵養量と氷河からの流出量の解析である。これらの解析のためには様々な観測データが必要である。エネルギー収支に必要なのは、氷河上および周囲での気象観測、消耗量観測（氷河の表面低下量の観測）である。質量収支のためには氷河の涵養量観測（氷河の涵養域での積雪断面観測や積雪・氷のボーリーングコアの取得）と消耗量観測を行うと同時に、氷河の厚さの測定、空中写真解析による氷河の大きさ、厚さの変化のモニタリングも必要である。水文収支のためには、氷河からの流出量の観測が必須である。

これらの観測および解析が行われているのは、エクアドルでは Antizana 山の氷河群の一部、ボリビアでは Zongo 氷河だけである。氷河も多く、水資源への貢献は高いと思われるペルーでは氷河が多いこと、アクセスが難しいことから、観測のしやすい、限られた数の小さい氷河だけで観測が行われている。氷河融解水の水資源への貢献を明らかにするためには、観測範囲を広げ、さらに観測内容の充実を図る必要がある。しかしながら、古い機材が利用されており人員に頼る非効率な観測体制や、人材そのものの不足もあり、現状ではこれ以上の観測範囲拡大や、内容の充実は難しくなっている。

エクアドル、ボリビアでは、さらに進んで、上記の観測が行われている一部の氷河からの融解水の将来予測を行う計画がある。予測値は氷河—水文モデルを構築し、そのモデルに気候シナリオに基づく気象予測値を入力することによって得られる。モデルの構築のためには、エネルギー収支、質量収支、水文収支解析を進め、それぞれをモデル化し、統合しなければならない。エクアドルでは Antizana と Cotopaxi を対象に 2009 年より開始する計画となっている（IRD、SFNACYT による支援が決定している）。ボリビアでは、Zongo 氷河を対象としたプロトタイプモデルは作られている。今後、IHH、EPSAS により、まず、ラパス市、エルアルト市の水源地域である Huayana Potosi、Tuni、Condriiri を対象にモデル化をはじめたいとしている。その後、順次 Cordillera Real の北東側の氷河に広げる計画である。しかしながら、両国とも、計画はたてられているものの、実際のところはモデル構築のためのデータの取得さえ、まだ始まっていないのが実状である。以上のとおり、共通課題 B の解決のためには、氷河観測体制のよりいっそうの充実が必要とされている。この点で、日本では国内に氷河は無いものの、ネパール、ヒマラヤなどでの観測、その解析などの実績は世界レベルに達しており、一部の分野では世界をリードしているものもあり、日本による技術支援は意義あるものとなろう。

共通課題 C：

氷河の観測体制が十全とは言えない、という状況を解決すること、すなわち、氷河観測体制をより充実した内容のものとするのは、氷河融解水の水資源に対する貢献を定量的に明らかにするために必要不可欠である。

氷河の涵養量には、氷河の涵養域での積雪断面観測や積雪・氷のボーリーングコアの取得が必要である。軽く持ち運びができる積雪・氷用のドリルが必要となる。消耗量は氷河表面に垂直方向の穴をあけ、その中に計測棒を設置し、氷河の表面低下量の観測を行う。計測棒用の穴を能率よくあけることのできる熱を利用したドリルが必要となる。水文収支のためには、氷河からの流出量の観測が必須であるが、これも自動かつデータ送信システムが必要である。気象観測の項目としては、氷河上および周囲での気温、湿度、風向・風速、日射量、放射収支量である。連続してデータを取り続けなければならないので、自動的な記録が必要である。また、氷河へのアクセスは大変なので、データを自動的に送信するシステムも必要となる。

エクアドル、ボリビアでは氷河—水文モデルの構築計画に伴って、観測も強化する予定である。

ペルーは、エクアドル、ボリビアと比べ、氷河は多く、氷河の水資源への貢献も大きいと考えられる。高地に住む先住民にとって大事な、特に乾季は大事な水資源である。ペルーで氷河の観測、解析を担当しているのは **Glaciological Unit** である。**Glaciological Unit** は組織が縮小され、予算も不十分で機器の更新もままならず、責務の全うが難しい現状であり、**Glaciological Unit** 自身も現状ではその責務を果たすことが難しいことを十分に理解している。**Glaciological Unit** を強化することで、氷河の水資源への貢献を定量的に明らかにすることができ、氷河後退に伴う適応策の策定に大きく貢献することができると考える。具体的には、①人員の拡充、②観測の拡張、③気象、水文観測機器の自動化およびデータの自動送信化、④涵養・消耗測定用機器、⑤観測データのデータベース化、⑥職員への研修が必要である。職員の研修については、観測やデータベースばかりではなく、エネルギー収支、質量収支、水文収支の解析やそのモデル化についての技術協力も必要となる。

共通課題 D :

氷河湖決壊洪水、あるいは温暖化により増加が危惧されている洪水や土砂崩れを防ぐためには、気象、水文観測の改善が必要である。防災のためには、もちろん、土木工事も必要であるが、ソフトなやり方での防災も可能である。エクアドルでは **INAMI** が、ペルー、ボリビアでは **SENAMHI** が気象、水文観測を担当しており、ほとんどの観測がマニュアルであり、データの受信も遅れがちである。

観測を自動化し、危険な水位や累積降雨量になった時には警報を発令するシステムを取り入れれば、被害を軽減できる。警報は観測担当だけではなく、防災担当の部門や地方政府にも連絡がいくようにしていれば、規制も遅れなくできるようになり、被害の軽減に役立つ。また、データを中央に遅滞なく送り、データベースを構築すれば、災害発生時の条件の解析や危険度の評価も可能になる。この分野においても、日本は世界的レベルのシステムを構築しており、技術支援の実績も数多い。

共通課題 E :

山岳貧困地域を含む零細農家、小規模灌漑農業に対する影響がまったく考慮されていない。標記の問題は、国レベルではまったく考慮されていないのが実状である。既述のとおり問題意識も無い。理由としてもっとも大きなものは、見かけ上は、現在、一定の表流水が確保されていることに加え、コミュニティレベルでの灌漑用水管理の仕組みがそれぞれ独立しており、国レベルでは特に管理していないためと考えられる。もう一つは、共通課題 B と関係してくるが、氷河の融解水の影響が定量的に明らかにされていないため、国の関係者などもその社会的インパクトが想定できない、という点にある。しかし、氷河を頂くアンデス山脈の山麓は先住民の多く住む地域でもあり、古くから山麓に建設された水路などを利用した小規模灌漑が営まれている。氷河融解水が水資源へ貢献している割合が比較的大きいものであれば、氷河後退により水資源が減少することとなり、現在でも零細農業を営んでいる多くの住民に多大な影響を及ぼし、大きな社会・経済的影響が生じる可能性もある。水資源の効率的利用・管理を進めるような施策をとるとともに、国、地方政府の関係者に問題意識を持ってもらう必要がある。その為にも、定量的な解析が必要である。

共通課題 F :

以上述べてきたこととも関係すると思えるのが国としての水資源管理体制の脆弱性である。いずれの国も水資源の統括的管理を目指して組織を改編したばかりである。今後の方針として、流域管理（流域内の水収支を把握し、水資源の利用・管理・維持をどのように進めるかを検討）の考え方を基に進めるとしているが、必要な法整備が遅れているなどの理由から、実質的な活動はまだこれからという状況にある。日本では、国レベルの水資源管理政策に係わる技術協力として専門家派遣などの実績があるが、そのような協力は、現地の組織強化のために有効であろう。

(2)国別課題について

1) ラハール発生の危険性（エクアドル）

ラハールの被害についてはエクアドルの Instituto Geofísico がシミュレーションを行っており、Cotopaxi 山で 1877 年と同規模のラハールが起これば数万人規模の被害が出るとしている。研究機関では、その危険性を認識しているが、政府関係者あるいは一般の認識は低く、防災計画も存在しない。エクアドルには火山や地震が多く、その直接的な災害に関心が集中するため、関心を持たれないのであろう。しかしながら、想定される被害は大きい、被害は谷筋で起こるため、防災の対象範囲は絞ることができ、効率的な防災計画を立てることができる。日本はこれまでも、火山や地震の防災に協力を続けており、この分野でも協力することが望まれる。シミュレーションを行った Instituto Geofísico と連携し、政府部内への周知活動を行うとともに、Defensa Civil や関連機関と共同し、防災計画の作成、実施が望まれる。まず、前提となる社会経済的影響評価を実施し、同時にエクアドルの政府機関、地方政府の防災に関する役割分担の確認を行い、防災関連機関を所掌したうえで、協力を進めることになる。

2) キト市の都市給水への影響（エクアドル）

キト市では、上水道供給水源として Cotopaxi 山、Anthisana 山からの水で供給の 80%をまかなっている。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、いくつかの水資源開発プロジェクトを独自に進めている。加えて、以下のようなプロジェクトに手を付けたいと考えているがまだ具体化はしていない。

①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、調査ボーリングだけを実施した。将来は 2000/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。

② 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。キト市地域の、表流水、地下水、そして氷河を含めた統合水資源管理は、重要な課題であるとともに、統合水資源管理に実績のある日本に協力可能な分野である。

3) 氷河湖決壊災害の可能性（ペルー）

ペルーでの氷河湖決壊洪水の防災については、氷河湖のモニタリング、危険度評価を行っている Glaciological Unit への支援が必要であると考え。共通課題 B の解決の前提となる氷河の観測の強化（共通課題 C）に加え、ペルーで特に懸念される氷河湖災害への対応策として、氷河湖と流出河川の水位観測を自動化し、危険水位になった時には警報が届くシステムも設置する、などが考えられる。また、気象、水文データにより氷河湖の危険度評

価をアップデートする。支援としては、共通課題 C の支援に加え、氷河湖の水位観測および警報システムの機材提供および研修である。

共通課題 B、C と関係すると共に、比較的最近も大きな被害が生じていることなどから、「表 3-1 対象 3 国における課題のまとめ」において、この課題解決の重要・優先度を「◎」とした。

4) チャビン・デ・ワントル遺跡（ペルー）

チャビン・デ・ワントル遺跡が洪水、土石流にあう可能性は高く、遺跡保護のための防災工事が必要である。防災計画の作成に向けた支援ニーズは存在する。

5) エルアルト、ラパス圏の都市給水への影響（ボリビア）

両市の後背にあるアンデス山脈（氷河を頂く Huainapotosi 山、Tuni-Condoriri 山などがある）を水源としているため、水供給を担っている EPSAS は、氷河後退に懸念を持ち、研究機関 IHH、IRD や世銀のプロジェクト（PRAA）などにも積極的に協力している。EPSAS では、これらへの協力をすすめながらも、氷河後退はすでに進行中であり残された時間は少ないとして、従来の貯水施設の拡充や新規の水資源確保を検討中である。その前提となる水資源開発管理マスタープランについて、目標年度を 2035 年として、90 年代に策定されたマスタープランを基に氷河後退、気候変動の今後の影響を加味した見直しを年内に始めたいとしているが、実際のところ開始のめどはまだ立っていない。水資源の統合開発管理計画を含んだマスタープランの策定は、日本の海外技術協力分野でも数多くの実績がある。氷河の影響を考慮した水収支の検討を初め、日本の氷河解析に係わる技術力も重要な役割を果たすと考えられる。また、IHH が主体となり氷河からの融解水を定量的に求める計画に対して JICA の科学技術協力での支援が決定した。これは長期間にわたる実験的なプロジェクトであるが、本マスタープランの策定に関しては必要とされる時期までにこのプロジェクトの成果が生かせるかどうかは現段階では未定である。場合によってはモデルの単純化などによりマスタープラン策定に必要な情報をより早い時期に得る必要がある。共通課題 B とも関係し、人口増加が続く首都圏の給水に係わる水資源開発管理計画であり、出来るだけ早い時期に貯水施設の拡充や新規の水資源確保をすすめる必要があると考えられるため、「表 3-1 対象 3 国における課題のまとめ」において、この課題解決の重要・優先度を「◎」とした。

6) ラパス市北西域の小規模灌漑への影響可能性、およびチチカカ湖への影響可能性（ボリビア）

氷河の融解水からの涵養が、地域の水資源へ影響を与えている可能性はあるものの、定量的な解析が行われていないこともあり、実際のところは不明であり、国、県での危機感は薄い。定量的な解析をすすめることにより、影響可能性を具体的に検討し、国、県の関係

者の意識を高める必要がある。同時に、専門家により対象域の農業の実態を出来るだけ正確に把握する必要がある。耕作作物、耕作期間、水利用の実態、水管理体制の詳細などを明らかにすることにより氷河の融解水が減少した場合の社会経済的影響についての検討と有効な施策が可能となる。なお、水問題については、地元コミュニティは敏感であり、きちんとしたデータを基にした議論を進めてゆかないといたずらに不安をあおるだけの結果になりかねない点に、十分な留意が必要である。

(3) 支援を検討するに当たっての今後の課題

「表 3-1 対象 3 国における課題のまとめ」には、現時点で考えられる支援内容がまとめられている。これは、いずれもすでに日本が世界各地で実績を積んでいる次項を中心にまとめたものであり、その経験を十分に生かすことが出来るものとする。

ただし、支援を考える場合においても、いくつかの課題については、さらに詳細な実状把握が必要とされるものもある。

先ず、エクアドルのラハール発生の危険性、及びペルーでのチャビン・デ・ワンタル遺跡の災害については、今回、詳細な調査を行うことは出来なかった。その為、日本が支援を行う場合の C/P 機関はどこかなどについてはあいまいなままである。アンデス高地における小規模灌漑農業を営む零細農家やボリビアにおけるラパス市北西域の小規模灌漑地域への影響、チチカカ湖への影響については、一応、水資源問題として環境・水省などが担当するはずの問題ではあるものの、既述のとおりほとんど関心を持っていないのが実状である。氷河後退の影響可能性は十分に考えられるものの、農業や水文環境の実態を把握しておかなければ、その社会経済的インパクトについての検討も始められない。同時に、地元コミュニティは水の問題に敏感である点を留意しつつ、まずは日本側がどのようなアプローチでこの問題に取り組むべきか検討しなければならない。氷河後退に焦点を絞った今回調査では触れる余裕はなかったが、それぞれの国でいわゆる山岳貧困地域に対してどのような施策がとられているのかについても改めて確認しておく必要がある。

その他の国別課題（エクアドル・キト市給水、ペルー氷河観測・防災、ボリビアエルアルト・ラパス圏給水）については、いずれも内容とその責任を担う機関が明確であり、問題に対する認識も十分に持っている。個別の事前調査、協力準備調査などにより、より詳細な支援内容について具体的検討が可能になると思われる。通常の水資源関連プロジェクトの事前調査などで得られる情報に加え、氷河に関するものとして以下のような情報が得られれば非常に有効である。

- ・氷河観測機器およびその仕様、必要とされる機器およびその仕様
- ・使用可能な通信システムの確認

- ・ 気象、水文データ、氷河の涵養、消耗、厚さ観測データの保存先、保存形態（紙、DB）、精度の確認
- ・ 最新の氷河インベントリ、氷河、氷河湖、氷河湖災害、水資源に関する文献、調査報告書
- ・ 氷河、氷河湖の観測・解析体制の確認
- ・ これまでの氷河、氷河湖の解析結果の確認
- ・ 過去の雪氷、洪水、土砂崩れ等の災害発生状況（場所、被災規模、災害の種類）のデータと現地での確認
- ・ 氷河湖周辺、下流部の人口、農業・産業実態など社会経済的情報
- ・ 住民（市民、農民）の氷河湖決壊洪水および水資源に関する意識

表 3-1 対象3国における課題のまとめ

	共通課題	解決すべき点/必要とされる点	考えられる支援	想定されるJICA協力規模・スキーム	想定されるJICA以外の協力	主な関連機関	重要・優先度
A	氷河後退への危機感に大きな差がある。	<ul style="list-style-type: none"> 危機意識の共有 氷河の融解水の水源への貢献度を明らかにする＝共通課題B 	<ul style="list-style-type: none"> 啓蒙 定量的解析の実施と、その結果の共有 定量的解析が可能になるような観測体制、人材 ＝共通課題C 	<p>短期専門家；啓発活動、研修、セミナー</p>		水資源関連主要政府機関	○
B	氷河融解水の水源に対する貢献が定量的に明らかにされていない。	<ul style="list-style-type: none"> 氷河、河川での気象、水文データ自動取得システム。 氷河での涵養量、消費量の観測。 取得データのデータベース化。 氷河の質量収支、エネルギー収支、水文収支の解析。 今後の氷河・氷河湖の変化の予測。 	<p>ソフト面</p> <ul style="list-style-type: none"> 関連機関相互の情報共有、啓蒙 観測データのデータベース化とその活用 既存資料の収集と整理解析 調査手法・解析手法の確立 将来予測手法の確立 それぞれの分野での人材育成・強化 <p>ハード面</p> <ul style="list-style-type: none"> 通信システムの改善を含む気象、水文観測機器のアップグレード 水河観測機器 洪水予警報システムの導入 調査・観測体制を強化するための車両・コンピュータなど資機材の補強 	<p>エクアドル、ボリビアでは一部氷河対象ではあるが観測の強化と氷河水文モデル構築計画に前者はIRD、SFNACYT、後者はJSTIによる支援が決まっている。</p> <p>ペルーでは特に他ドナーによる支援は無い。「氷河決壊問題」欄参照</p>	<p>北海道大学低温科学研究所、名古屋大学大学院環境工学研究科 地球環境科学専攻では、主にアジアの水河を、また、北海道大学大学院理学研究自然史科学部門ではネバールの氷河湖の研究を行っている。これらの機関による共同研究、研修生・留学生の受け入れなどが考えられる。</p>	<p>研究機関（ペルー Geological Unit、ボリビアIHH など）</p> <p>水河観測実施機関（エクアドル INAMHI、ペルー Geological Unit、ボリビア SENAMHI&IHH）</p>	◎
C	氷河の観測体制が十全とは言えない。	<ul style="list-style-type: none"> 水位や雨量を時間の遅れなく連絡するシステム、や警報システムが必要である。 正確な気象、水文データの中央での集中管理 		<p>専門家派遣；気象水文観測機材供与；気象水文観測機器・テレメーター・コンピュータ</p>		エクアドル INAMHI、ペルー、ボリビア SENAMHI	○
D	水文・気象観測体制が十全とは言えない（防災面から）。	<ul style="list-style-type: none"> 氷河後退の影響を明らかにする（定量的解析の実施＝共通課題B、C） 流域内での効率的な水資源管理 	<p>ソフト面</p> <ul style="list-style-type: none"> 住民への啓発活動 節水農業の普及 効率的な水資源管理の確立 適切な作物、経済的農法などの指導 ハイロットプロジェクトの実施 <p>ハード面</p> <ul style="list-style-type: none"> 既存灌漑施設の改修 	<p>（先ず専門家による農業実態調査が必要）</p>		エクアドル SENAGUA、ペルーANA、ボリビア水環境省	○
E	小規模灌漑農業、零細農家に對する影響がまったく考慮されていない。	<ul style="list-style-type: none"> 活動の根拠となる法整備 組織体制の強化 人材育成 関連情報の一元管理 	<p>ソフト面</p> <ul style="list-style-type: none"> 法体系の整備 水資源管理手法の確立 情報管理とその活用手法の確立 人材育成強化 <p>ハード面</p> <ul style="list-style-type: none"> 組織強化に必要とされる資機材（コンピュータなど）の補強 	<p>専門家派遣；水資源管理</p>			○
F	国レベルでの水資源管理体制が脆弱である。						

個別課題	解決すべき点/必要とされる点	考えられる支援	想定されるJICA協力規模・スキーム	想定されるJICA以外の協力	主な関連機関	重要・優先度
<p>Lahar発生の危険性がある。 Laharの危険性の認識は低い。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 政府関係者の認識が低い(一部研究機関だけの認識) 情報が共有されていない 防災計画なども存在しない 	<ul style="list-style-type: none"> 政府部内への周知活動 住民への啓発活動 防災計画の作成 ハザードマップの作成 観測体制の強化 	<p>(まず社会的影響評価、防災システムの確認などが必要)</p>	Defensa Civil 他	△	
<p>エクアドル</p> <p>氷河を頂く山麓を水源とする都市給水への氷河後退の影響可能性が高い(首都Quito市、Riobamba市など)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 氷河の融解水への貢献度を明らかにする(共通課題B) 節水・水利用の効率化 新規水源の確保 	<p>ソフト面</p> <ul style="list-style-type: none"> 水資源管理手法の確立 効率的な水利用の推進 Antizana山麓の環境・地下水実態調査 Quito市の地下水調査 <p>ハード面</p> <ul style="list-style-type: none"> 地下水開発 	<p>開発計画調査型技術協力(2年)</p> <p>水資源開発管理計画</p> <p>〈専門家〉・水資源開発管理・地下水開発・氷河水文・地下水モデル・給水計画・社会配慮・物理探査・衛生画像解析</p> <p>〈機材〉・車両・コンピュータ・GISソフト・地下水モデルソフトその他</p>	EMAAP-Q	○	
<p>ペルー</p> <ul style="list-style-type: none"> 氷河湖決壊発生可能性は高く、決壊洪水被害も非常に大きい。 全国的に対象氷河が多い。 氷河へのアクセスが難しく、機材・人材も不足している。 	<ul style="list-style-type: none"> 氷河湖のリアルタイムでの警報システム 氷河、氷河湖での気象、水文データ自動取得システム 氷河での涵養量、消費量の観測 取得データのデータベース化 氷河の質量収支、エネルギー収支、水文収支の解析 今後の氷河・氷河湖の変化の予測 	<p>ソフト面</p> <ul style="list-style-type: none"> 住民への啓発活動 観測データのデータベース化とその活用 調査手法・解析手法の確立 将来予測手法の確立 人材育成・強化 <p>ハード面</p> <ul style="list-style-type: none"> 通信システムの改善を含む気象、水文観測機材のアップグレード 氷河観測機器 洪水予警報システムの導入 調査・観測体制を強化するための車両・コンピュータなど資機材の補強 	<p>技術協力プロジェクト(3-4年)</p> <p>〈専門家〉・氷河水文・観測体制及び警報システム強化・データベース構築・解析モデル構築・水資源管理</p> <p>〈機材〉・車両・気象水文観測機器・通信ネットワーク・氷河観測機器(地中レーダ、コア採取ドリルなど)</p>	<p>北海道大学低温科学研究所、名古屋大学大学院環境学研究科 地球環境科学専攻では、主にアジアの氷河を、また、北海道大学大学院理学研究院自然科学史学部門ではネパール氷河湖の研究を行っている。これらの機関による共同研究、研修生・留学生の受け入れなどが考えられる。</p>	Glaciological Unit	◎
<p>世界遺産 Chavin de Huantar遺跡</p> <ul style="list-style-type: none"> 自然災害にあいややしい場所に作られ、近年でも氷河湖決壊による被害を受けている。 今後も、氷河湖決壊洪水の被害を受ける可能性がある。 洪水や土砂崩れにもあいややしい。 	<ul style="list-style-type: none"> 政府関係者の認識が低い 防災計画が無い 護岸工事が不十分 	<p>ソフト面</p> <ul style="list-style-type: none"> 政府部内への周知活動 防災計画の作成 <p>ハード面</p> <ul style="list-style-type: none"> 護岸工事の施工 観測体制の強化 	<p>護岸工事(環境プログラム無償)</p>	INDC他	△	

個別課題	解決すべき点/必要とされる点	考えられる支援	想定されるJICA協力規模・スキーム	想定されるJICA以外の協力	主な関連機関	重要・優先度
<p>El Alto、La Paz圏給水への水河後退の影響可能性がある</p>	<p>・水河の融解水への貢献度を明らかにする(共通課題B) ・節水・水利用の効率化 ・新規水源の確保 ・水源開発管理マスタープランの策定</p>	<p>ソフト面 ・水資源開発管理マスタープランの策定 ・水資源管理手法の確立 ・効率的な水利用の推進 ・地下水調査 ハード面 ・既存貯水池、水路のリハビリ ・新規貯水池の建設 ・地下水開発</p>	<p>開発計画調査型技術協力(2-3年) マスタープラン策定 <専門家>・水資源開発管理・水文 水理・水河環境・社会経済・地下水 モデル・GIS・水供給施設計画・社 会配慮・物理探査・衛生画像解析 <機材>・車両・コンピュータ・GISソ フト・地下水モデルソフトその他</p>		EPSAS	◎
ボリビア						
<p>LaPaz市北西域の小規模灌漑への影響可能性がある</p>	<p>・水河後退の影響を明らかにする(定量的解析の実施=共通課題B、C) ・流域内での効率的な水資源管理</p>	<p>ソフト面 ・住民への啓発活動 ・節水農業の普及 ・効率的な水資源管理の確立 ・適切な作物、経済的農法などの指導 ・パイロットプロジェクトの実施 ハード面 ・既存灌漑施設の改修</p>	<p>(先ず専門家による農業実態調査が必要)</p>		水環境省	○
<p>チチカカ湖の水位低下の可能性はある</p>	<p>・水河後退の影響を明らかにする(定量的解析の実施=共通課題B、C) ・現状の把握が出来ていない。観測体制の未整備。 ・地域への影響が未検討 ・流域内での効率的な水資源管理</p>	<p>・現状把握のための調査 ・観測体制の整備</p>	<p>(先ず専門家による水文環境実態調査が必要)</p>		水環境省	△

