

案件名	ALOS 高解像度衛星画像を用いたアルゼンチン・アンデス山岳地帯における氷河台帳作成
派遣専門家	浮田甚郎・奈良間千之
所属機関	新潟大学 自然科学系・教授 大学共同利用研究機関 総合地球環境学研究所・プロジェクト研究員 (※)
相手国研究機関	アルゼンチン雪氷環境研究所 (Argentinean institute for Snow, Ice and Environmental Research (IANIGLA-CONICET))

※派遣時の役職

## ALOS 高解像度衛星画像を用いたアルゼンチン・アンデス山岳地帯における氷河台帳作成

(平成 24 年 3 月)

### 背景

アルゼンチン国のアンデス山岳地帯には、北部の乾燥・半乾燥地域であるメンドーサ州やサンフアン州に小規模な山岳氷河が存在し、南部のパタゴニア南部氷原には巨大な氷河が分布する。国内に多数存在する氷河は、地域人口約 250 万人の飲料水や灌漑用水として活用されており、地域社会経済にとって重要な役割を果たす。ところが、近年の地球規模の温暖化により、アンデス山岳地帯の氷河の後退(融解)が、都市部の飲料水や灌漑用水及び発電用などに用いる水資源の枯渇を伴うことが指摘されはじめた。これと同時に、鉱山開発による氷河の破壊、除去もしくは移動が懸念され、アルゼンチン国では 2010 年 10 月に「氷河保護法」が制定された。このような背景から、氷河観測技術の能力強化と氷河台帳の整備が急務となっている。現地カウンターパートである IANIGLA (Argentinean Institute for Snow and Ice Research; アルゼンチン北部の都市メンドーサを拠点)は、氷河保護法のもとでアルゼンチン国内の氷河台帳を整備する責任が課されており、ヒマラヤ・ブータンで氷河湖研究に関して既に実績のある我々チームにコンタクトを取ったことが本派遣事業の発端である。アンデス山岳地帯における氷河に関するデータは、1963 年の航空写真による調査以来、情報の蓄積が進んでおらず、私たちの研究チームが氷河台帳の作成について協力することになった。

### 現地調査(2012 年 3 月 8 日～21 日)

本プロジェクトでは、アルゼンチン国内に南北に長く延びるアンデス山脈の地域特性を鑑みて、研究の対象地域を北から A)メンドーサ州の Mendoza River Basin、B)リオ・ネグロ州の Tronador Area、C)チュブット州の Turbio River Basin、D)サンタ・クルーズ州の Santa Cruz River Basin の 4 つのサイトを設定している。今回の調査では、A)の Mendoza River Basin 地域の調査をおこなった。日本側のメンバーは、浮田専門家、奈良間専門家である。調査の目的は、1)日本の陸域観測技術衛星「だいち」(Advanced Land Observing Satellite、ALOS)の衛星画像の位置・高度の精度検証のための地上基準点(GCPs)の取得、2)岩石氷河の流動観測、3)ALOS 衛星データ(PRISM)の受け渡し、4)プロジェクトの打ち合わせである。

3 月 10～11 日、奈良間専門家、IANIGLA のマシオカス氏とルイズ氏の 3 名で、ALOS が北～南に撮影した 3 つのパスにまたがる範囲を対象に、メンドーサからチリ側に通じる幹線道路沿いで Trimble 社の GPS を使用して GCPs 計測をおこなった(図 1)。計測地点は、ALOS が撮影した衛星画像上で確認できる橋や建物の角や道路の合流地点など計 11 カ所で、それぞれ 2～3 地点の GCPs を取得した。初日は天候が悪く、強い風雨の中、20 時まで GCPs 計測活動をおこなった。翌日は天候に恵まれ調査は順調に終了した。

3 月 12～15 日、浮田専門家、奈良間専門家と IANIGLA の 6 名の計 8 名のメンバーで El Salto 地域にある岩石氷河の流動に関する調査をおこなった。乾燥・半乾燥気候であるメンドーサでは、凍土と岩屑からなる岩石氷河も貴重な水資源として注目されており、IANIGLA では岩石氷河台帳の作成も計画されている。日本側のプロジェクトメンバーの山之口(RESTEC)による合成開口レーダーを用いた InSAR 事前解析により、El Salto の岩石氷河が年間 50cm ほど動いている可能性が示されており、そこで、この画像解析の結果を検証するため、岩石氷河上の 5 地点で GPS 観測(各 1 時間計測)をおこなった(図 2)。この衛星画像解析の結果が正しければ、広範囲に岩石氷河の状態を明らかにでき、IANIGLA の岩石氷

河台帳作成に貢献できる。調査は標高 2000m の村から徒歩で出発して、二日かけて 3600m の岩石氷河上にある IANIGLA 小屋に到着した。この小屋は 1980 年代初頭に IANIGLA の観測小屋として建設されたもので、そこを中心に岩石氷河上で、GPS 観測、気温・地温センサーの設置、マッピング等の調査をおこなった。

3 月 16 日、日本側と IANIGLA のメンバー、ヴィラルバ所長をまじえ、今回の GPS データの集計(観測ノートの情報交換)と今後のプロジェクトの打ち合わせをおこなった。また、現地メンバーには ALOS データの受け渡しと衛星画像の使い方に関する説明をおこなった。3 月 19 日には首都ブエノスアイレスで JICA 現地事務所と日本大使館で今回の調査に関する報告をおこない、3 月 21 日に帰国した。

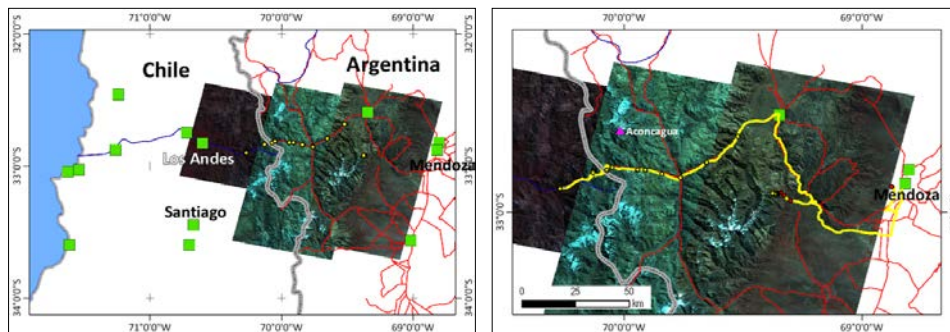


図 1 GCPs 観測地点

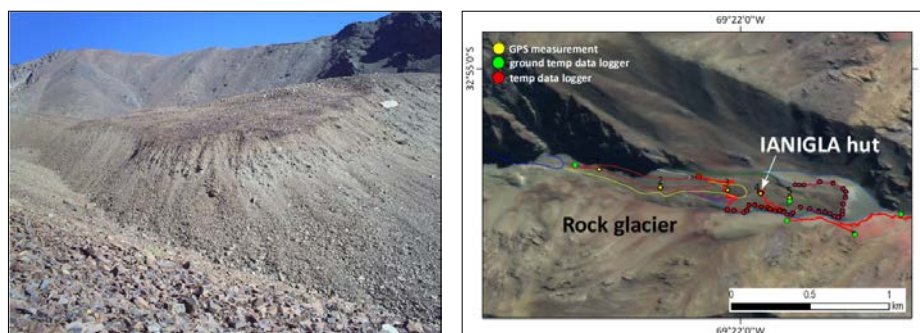


図 2 岩石氷河と GPS 観測地点

案件名	ALOS 高解像度衛星画像を用いたアルゼンチン・アンデス山岳地帯における氷河台帳作成
派遣専門家	田殿武雄・山之口勤
所属機関	(独)宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター・主任研究員 (財)リモート・センシング技術センター つくば事業所 ALOS 解析研究プロジェクトグループ・副主任研究員
相手国研究機関	アルゼンチン雪氷環境研究所 (Argentinean institute for Snow, Ice and Environmental Research (IANIGLA-CONICET))

## ALOS 高解像度衛星画像を用いたアルゼンチン・アンデス山岳地帯における氷河台帳作成

(平成 24 年 9 月 - 10 月)

### 1. 概要

今回の訪問は、氷河台帳作成のための DSM (Digital Surface Model: 数値標高モデル) 高精度化のための現地調査、及びカウンターパートである IANIGLA(Argentinean Institute for Snow and Ice Research : 窓口マリアーノ氏)における衛星データからの DSM 作成研修・GPS 使用方法研修とディスカッションを目的とし、9 月 24 日日本発 10 月 6 日日本着の日程で実施した。内容の詳細を以下に記す。

### 2. 現地調査(2012 年 9 月 26 日～29 日)

9 月 24 日日本発、25 日ブエノスアイレス着後、IANIGLA のマリアーノ氏、田殿、山之口の 3 名にて、9 月 26 日にブエノスアイレス発、パタゴニア地方カラファテ空港へ AM10:15 に到着し、空港内で予約していたレンタカーを借り、すぐに現地調査・GCP 取得作業に取り掛かった。初日は最南部のペリートモレノ氷河近傍、Lago Argentino(アルヘンティーノ湖)南部付近にて、6 点の GCP を取得した。またあわせて、車の移動中にその移動軌跡も GPS にて取得した。移動軌跡データは、DSM の Validation に用いられる予定である。翌 27 日は、カラファテから GCP を取得しつつ次の宿泊地であるエル・チャルテンへ移動しつつ、アルヘンティーノ湖北部、Lago Viedma(ビエドマ湖)東部にて 10 点の GCP 点及び移動軌跡を GPS にて取得した。28 日は、午前中に IANIGLA が定点観測を行なっている氷河をエル・チャルテン北部の高台より確認したのち、午後よりビエドマ湖北部から東部の GCP 点を 5 点取得した。現地調査最終日の 29 日は、エル・チャルテンからカラファテ空港への移動軌跡と、カラファテ空港そばにて GCP を 1 点取得したのち、13:25 カラファテ発、IANIGLA の本拠地があるメンドーサへ移動した。

### 3. IANIGLA における研修

9 月 30 日(日曜日)の休息日をはさみ、10 月 1 日より IANIGLA における研修を開始した。初日の午前中は、Open Lecture として本プロジェクトについて、IANIGLA のプロジェクト責任者である Ricard Villarba、日本側から田殿、山之口がプレゼンテーションを行った。当初予定ではそれぞれ発表とディスカッションに 40 分を割り当て、2 時間 30 分の講演を予定していたが、それぞれ非常に活発な質疑が行なわれ、3 時間ほどの講演となった。Lecture の内容は以下のとおりである：

- ・ Overview and Current Status of National Glacier Inventory Project : Ricard Villarba
- ・ Japanese Space Activities and ALOS Research Program : Takeo Tadono
- ・ Principle and Applications of Synthetic Aperture Radar : Tsutomu Yamanokuchi

午後から、本プロジェクトにて供与した高精度 GPS である Geo6000XH の使い方、及び Geo6000XH 取得データの PostProcessing 方法についての講義及び測定実習を行った。26 日～29 日の現地調査で Geo6000XH の使用法について先に学んでいたマリアーノ氏と我々により、実際の測定方法や測定時の留意事項等について説明と使い方のレクチャーを

実施した。

翌 10 月 2 日から 3 日午前中にかけては、IANIGLA に本プロジェクトで供与したソフトウェア ENVI にある DSM (Digital Surface Model, 数値標高モデル) 作成機能を用いた DSM の作成実習を行った。使用したデータは ALOS 衛星搭載の PRISM センサの 3 方向視データであり、ターゲットエリアはアルヘンティーノ湖周辺であった。2 日間の衛星データ利用実習を通じて、ほぼ全員が DSM を作成することが出来た。3 日の午後には、受講生に対して Certification の授与を行い、研修を終了した。その後、マリアーノ氏やリカルド氏と、今後のプロジェクトについてのディスカッションを行い、メンドーサでの活動を終了した。



写真 1 GCP 点取得作業の様子



写真 2. IANLIGLA における研修風景



写真 3. GPS 使用方法実習

案件名	ALOS 高解像度衛星画像を用いたアルゼンチン・アンデス山岳地帯における氷河台帳作成
派遣専門家	奈良間千之・富山信弘
所属機関	新潟大学 理学部・准教授 (財)リモート・センシング技術センター 研究開発部・副主任研究員
相手国研究機関	アルゼンチン雪氷環境研究所 (Argentinean institute for Snow, Ice and Environmental Research (IANIGLA-CONICET))

ALOS 高解像度衛星画像を用いたアルゼンチン・アンデス山岳地帯における氷河台帳作成

(平成 25 年 2 月～3 月)

本プロジェクトでは、アルゼンチン・アンデスの北部から Cordon Del Plata、Tronador area、Turbio River basin、Delas Vueltas River basin の 4 つの対象地域を設定し(図 1)、陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS: Advanced Land Observing Satellite)で撮影された衛星画像を用いて、氷河台帳を作成することを目的としている。これまでの現地調査では、Cordon Del Plata と Delas Vueltas River basin で高精度 GPS による GCP 取得や岩石氷河の流動観測をおこなってきた。2013 年 2 月 27 日～3 月 15 日に実施した第 3 回目の調査では、北パタゴニア地方の Tronador area のトロナドール山において氷河の現地調査をおこなった。参加した日本側のメンバーは、奈良間と富山である。本プロジェクトのカウンターパートであるアルゼンチン北部の都市メンドーサに拠点を置く、アルゼンチン国立氷河・環境科学研究所 (IANIGLA; Argentinean Institute for Snow and Ice Research)からは研究員のレイズ氏とピッテ氏が参加した。そのほか現地山岳ガイド 3 名とブエノスアイレスの映像制作会社のスタッフ 3 名を加えた 10 名のパーティで活動した。日本隊は、ブエノスアイレス到着後、すぐに国内線でバリローチェへ移動し、バリローチェ空港で IANIGLA スタッフと合流した。バリローチェ市内で食糧を購入後、車でトロナドール山のベースキャンプであるパンパリンダ村へ向かった。



図 1 アルゼンチン氷河台帳プロジェクトの対象地域

氷河上流部では、1973 年に建設されたオットー・メイリング小屋を拠点に、6 日間の氷河調査をおこなった。今回の日本側の調査目的は、1) 日本の陸域観測衛星技術衛星 ALOS のオルソ画像の位置の精度検証のための地上基準点 (GCPs)の取得、2) GPS データによる ALOS/PRISM や Pleiades から作成された氷河表面の数値標高モデル (DEM) の精度検証、3) 3D 画像解析のためのステレオ画像撮影である。トロナドール山の急斜面上を流れる氷河の表面には無数のクレバスが発達している。氷河上を歩き回る GPS 観測は危険な作業であるため、トロナドール山に精通する山岳ガイドと共に活動した。3 つのパーティに分かれ、それぞれのパーティはザイルを用いたアンザイレンで確保され、登山靴には 12 本爪アイゼンをつけ、ピッケルを持ち氷河調査を実施した(図 2)。日本隊は、4 つの氷河上 (Castano Overa、Alerce、Frias、Ventisquero Megro) で GPS のキネマティック測量をおこない(図 3、4)、ALOS 画像の位置精度を検証するため、露岩上の 14 地点で GPS のスタティック測量により GCP を取得した(図 5)。



図 2 氷河上での GPS キネマティック観測の様子

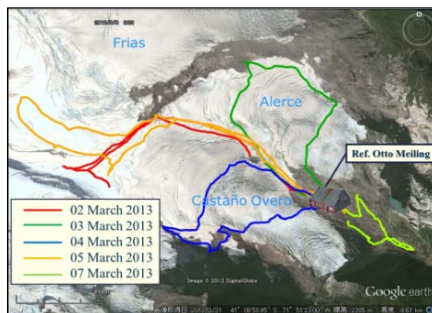


図 3 トロナドール山の 4 つの氷河上での GPS 観測

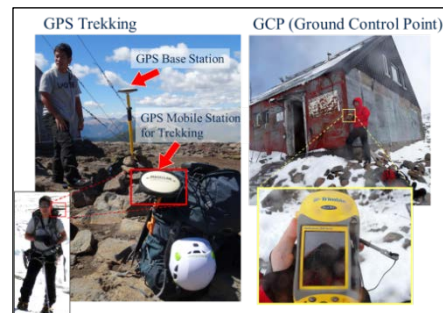


図 4 GPS 観測の様子



図 5 露岩地点での GCP 観測の様子



図 6 アルゼンチン隊の涵養量観測



図 7 3 月 7 日のアウトリーチ活動

アルゼンチン隊は、今年からトロナドール山で氷河の質量収支観測を開始するため、1)本プロジェクトで購入した気象測器を氷河周辺の 3 か所に設置、2) 最近数年間の積雪量を把握するためクレバス断面の雪の密度と深度の観測 (図 6)、3) 氷河の消耗域で融解量を観測するため、IANIGLA 製のスチームドリルを用いて氷河上の 3~4 地点で 6~7m の穴を掘り、竹のステークを設置した。ステークの設置は、来年の同じ時期にステークの再測をおこない氷河表面の低下量を観測するものである。

我々は、トロナドール山の氷河上流部の調査を終え、パンパリンダに戻り、氷河下流部の岩石被覆氷河である Ventisquero Blanco 氷河で調査をおこなった。この氷河前面には巨大な氷河湖があり、2009 年 5 月 29 日に決壊している。この氷河では GPS 観測と写真測量のためのステレオ画像の撮影をおこなった。アルゼンチン隊によって氷河の融解量観測のために 3 つの氷河上でのステークと気象測器 (JICA 購入) の設置がおこなわれた。

今回の調査では、我々の調査に関心を示したオットー・メイリング小屋のスタッフから調査内容を知りたいというリクエストがあり、IANIGLA のスタッフと合同で調査内容に関するアウトリーチ活動をおこなった (図 7)。アウトリーチ活動後は、山小屋スタッフにより、調査中さまざまな点で便宜を図っていただいた。さらに、バリローチェの登山協会でも地元新聞の取材をうけ、活動内容の記事は 2013 年 3 月 16 日付けの Rio Negro 新聞に掲載された (図 8)。



図 8 3 月 16 日付けの Rio Negro 新聞記事