

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究課題別終了時評価報告書

1. 研究課題名

南米における大気環境リスク管理システムの開発 (2013年4月～2018年3月)

2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者： 水野 亮 (名古屋大学 宇宙地球環境研究所 教授)

2. 2. 相手国側研究代表者：

Francisco Manzano¹ (アルゼンチン共和国 レーザー応用技術研究センター (CEILAP)
ライダー部門 部門長)

Felix de la Cruz Zamorano Banda (チリ共和国 マゼラン大学 大気研究所 所長)

3. 研究概要

南米では環境・生態系や住民の健康等へ影響を与える火山、土壌、森林火災、鉱山開発等に由来するエアロゾルやオゾンホールに伴う紫外線等への対策が重要な課題となっている。しかし同地域は大気環境リスクへの社会対応が立ち後れており、これらの分野の国際的な観測網における「空白域」となっている。

本国際共同研究では、(1)日本の最先端遠隔計測技術を活用した観測網の整備を進め、地域社会および世界各国で活用される基本的な大気質データを提供すること、および(2)取得された観測データをもとにリアルタイムな社会対応システムのプロトタイプを構築し、相手両国における具体的な研究開発及び施策に貢献することを目指す。

本研究は以下の二つの研究題目で研究を進める。

研究題目 1：オゾンホール・紫外線リスクの高精度実態把握と住民への情報伝達に関する研究

研究題目 2：対流圏エアロゾルの監視・予測・警報システムの構築および大気環境リスクに対する統合的なデータ解析手法に関する研究

4. 評価結果

総合評価：A-

(所期の計画とほぼ同等の取組みが行われ、一定の成果が期待できる。)

これまでの観測空白地域でのアルゼンチンとチリにまたがる大気質の観測体制・観測網の構築や、エアロゾルライダーといった観測技術の開発を行った点は高く評価できる。2015年に起きた火山噴火の影響を観測とモデルで解析した結果や、南極のオゾンホールに関しても観測とモデルからエアロゾルおよびオゾンの挙動に関して、いくつかの知見を得ることができた。

¹ 2017年1月にEduardo Jaime Quel氏の後任としてアルゼンチン側研究代表者に就任

一方で、観測網の維持・管理のための技術支援や人材育成などに研究資源が投じられたにも関わらず、エアロゾルライダーの観測トラブルへの対策が遅れたため、観測データの取得期間が短くなり、長期的な良質な観測データの取得があまりできなかつたため、一部の予測モデルの検証ができなかつた面がある。データ解析やモデリングは既存の衛星データやアメリカからのデータに依存することになり、せっかくの観測網のデータを十分に活用することにはならなかつた。エアロゾル分布の予測・予報システム構築にも未達な部分があり、地域特性を生かした解析やモデリング、観測網とリスク管理の連携等に関しては今後の課題である。また、共同研究の面で相手国の研究者との共著論文も少ない。

社会実装の面では、ほぼ計画通りの達成が見られ、本プロジェクトの成果が、アルゼンチン政府の危機管理委員会下の紫外線サブ委員会の設置や「紫外線プロトコル」の制定、チリ・マゼラン大学が進めてきた大気研究・レーダーによる遠隔計測・地質研究・農業研究を包括した総合的な研究センター構想への貢献などにつながつた。

アルゼンチンの相手国側研究機関の選定などに時間を要し、プロジェクト前半に研究の遅れがみられたが、研究代表者らの努力もあり、アルゼンチン気象局の積極的な参画を得たこと、チリ側ではマゼラン州の支援及びマゼラン大学の積極的な参画が続いたこと、さらには、研究機関の連携体制および人的ネットワークの構築に成功したこともあり、今後の進展は十分に期待できよう。

4-1. 地球規模課題解決への貢献

【課題の重要性とプロジェクトの成果が課題解決に与える科学的・技術的インパクト】

両国における重大な課題であり、地域の環境リスクに影響を与える問題に対し、初めて科学的に対応することに成功した。オゾンや火山、土壌などに由来するエアロゾルの観測網空白地帯で、南米アルゼンチンとチリに跨る大気環境のモニタリング拠点を拡大し、これらの分布状況の観測体制とネットワークを稼働させ、観測網を整備したことは高く評価される。また、国際的なデータ共有を行うことに成功した点も評価できる。

実際に2015年にチリで起きた火山噴火では本研究の有用性が示された。火山噴火を観測網が捉え、その影響を観測とモデルで解析し、噴煙情報が航空関係機関に提供されたことは貴重な成果である。さらに南極のオゾンホールについても観測とモデルからいくつかの知見を得ることができた。このように地球規模研究としては良い成果を得たと評価できる。

さらに観測機器の改良における高感度化・高精度化への貢献も大きい。マルチモード高スペクトル分解ライダーを開発し、特許を取得した点も評価できる。

一方で主要達成目標の一つであった「エアロゾル分布の短期予測システム」は本プロジェクト期間内では未達成に終わった。また、観測網が整備されてからの観測期間が十分でなかつたこともあり、今回の空白域での観測を通して、どのような学術的なブレイクスルーが得られたのか明確ではない。

【国際社会における認知、活用の見通し】

本プロジェクトで開発された観測技術は地域を問わず使われる可能性が高い。特許の出願も進められている。アルゼンチンは、大気環境リスクにおける世界的な連携の中では南米地域の中心となっていることから、プロジェクトのこれらの成果は世界的に貢献し得るものである。ただし、観測網空白域での観測をチリとアルゼンチンが継続的に実施し、信頼に足るデータ取得を継続することで国際社会への貢献がはじめて可能となる。終了時評価時点では、成果の国際的な認知を大きく高めるまでには至っておらず、アルゼンチン・チリでの観測データが今後世界でどのように利用されるのか、プロジェクトの成果をどのように活用し、地球規模課題解決のためにどのような貢献をしようとしているかは明確ではない。

アルゼンチン政府は、火山活動のモニタリングとしてのライダー観測は社会的な影響が大きいことからその活動を維持することはあまり問題ないという見方もあるが、現在の観測網の管理・維持が気象庁に移管される交渉がうまく決着するまでは予断を許さない。ライダー観測点のうち、5測点は主としてアルゼンチン側政府の経費で設置したものであるが、全体としての観測稼働状態が2017年を除いて低いことは、プロジェクトが終了した後の自律的な観測体制の維持に少なからず疑問が残る。

2015年に起こったチリのカルブコ火山の噴火の際に、観測の有効性を示したように、観測データをさまざまな国際的ネットワークに供給し、利用されることが望まれる。

【他国、他地域への波及】

本課題で、アルゼンチンとチリという南米の2カ国が共同で観測体制を作り上げた意義は大きい。また、両国の気象庁によってこれらの観測データを生かしたリスクの情報公開が進展しつつあることも重要な成果である。それらの成果は、アルゼンチン・チリに特化した事柄である側面が強く、直接周辺諸国へ波及する可能性は低い。本プロジェクトで、アルゼンチンにおけるエアロゾルライダーの観測体制整備が遅れた例を見ても、相手国側にある程度の基礎的な基盤がないと波及は難しい。しかし、周辺諸国に影響を与えることは考えられる。

【国内外の類似研究と比較したレベルや重要度】

本研究は世界トップレベルの研究であり、エアロゾルとオゾンという大気環境リスクの観測・分析・情報伝達の面で、アルゼンチンとチリはもちろん、南米でパイオニアとしての成果を上げた。マルチモード高スペクトル分解ライダー、ミリ波分光計などを用いた計測機等の開発が行われた点も重要である。

一方で、本研究は、観測の空白域を埋めるための観測網の確立が主要テーマであり、その意味で、しっかりしたデータを両国研究者との連携で取得することに主眼があった。データの解析やモデリングなどはこれまでの方法に準拠するところが多かったように思われる。また、観測の科学的レベルは高いが、さまざまなモデルを実際の観測データで検証するという点では不十分であった。

4-2. 相手国ニーズの充足

【課題の重要性とプロジェクトの成果が相手国ニーズの充足に与えるインパクト】

南米のアンデス山脈では、数年に1回程度の頻度で大規模な火山の噴火が起きているので、エ

エアロゾルの観測や分布モデルなどは航空機運行などにとって極めて重要な情報である。オゾンホールについては、紫外線がチリ、アルゼンチン両国の国民の健康に重要な影響・リスクを与える可能性があることから、いずれも本研究によって観測網を立ち上げたことは、両相手国の強いニーズに直接応えるものである。

エアロゾルとオゾン（紫外線）のオンライン・モニタリングならびに、短期予測はそれぞれ重要な課題である。本プロジェクトの成果がアルゼンチンの紫外線プロトコルの制定に貢献したことは評価できる。また、今後、農業、水産業などへの貢献も期待できる。大気環境リスク情報の一般住民への発信については、現段階では十分な目標レベルに達したとはいえないが、一般市民に対する紫外線信号機によるリスクアラート情報の提供等は既に開始している。

【課題解決、社会実装の見通し】

全体としては、課題解決に向けた作業の根幹はほぼ終了しており、社会実装の見通しは高いと判断される。成果の主要ユーザーである両国の気象局が本格参入し積極的に活動しており、成果が活用される見通しである。

ただし個別にみれば、オゾン層の観測やリスク評価などに関しては順調に進展している一方で、エアロゾルについては、観測体制は確立できたものの、プロジェクト期間中では最後の1年程度しか計測期間がなく、とくにアルゼンチン側の今後の観測体制の持続性などにやや懸念がある。結果として、エアロゾルの短期予測はできておらず、社会実装の見通しに関しても未だ予断を許さない。

【継続的発展の見通し（人材育成、組織、機材の整備等）】

継続的発展の見通しに関しては、人材、組織、機材などの基盤はある程度整ったが、未だ十分とはいえない。両国で観測機器を管理・維持していくための人材育成を、研究期間を通して行い、現地への技術移転が進んだ一方で、若手研究者の育成などは、必ずしも十分ではなかった。日本側研究者の渡航回数や滞在時間があまり多くなかったためか、観測トラブルの認識やその修復などの対応が遅れた面がある一方で、それをカバーするのに十分な人材育成に成功しているとも言えない。チリ、アルゼンチン両国の若手人材なども互いの研究への参加や交流が多いとは言えない。プロジェクト終了後の両相手国の政府および関係機関の予算確保、日本側の支援など樂觀できず、観測機器の気象庁への移転、維持管理について懸念が残る。

【成果を基とした研究・利用活動が持続的に発展してゆく見込み（政策等への反映、成果物の利用など）】

アルゼンチンとチリの連携体制が強化されたこと、人的、技術的ネットワークが構築されたことは評価できる。チリ側に関しては、新しいセンターなどで持続的にこの分野の研究が発展する基盤が作られつつあるが、アルゼンチン側に関しては、気象局はすでに観測用の予算をつけているものの、防衛科学技術研究所から気象局への機材移転や観測の協力体制の構築にやや不安がある。両国の気象局がそれぞれ参画しモニタリングを続ける予定となっているので、本プロジェクトの成果に基づいて、両国の研究者や研究機関がそれをさらに継続・発展させていくことは十分可能であろう。

4-3. 付随的成果

【日本政府、社会、産業への貢献】

相手国政府は本プロジェクトを高く評価しており、現地では日本の国際貢献として認められている。日本におけるエアロゾルの測定にも有効であることがある程度想定されるが明確ではない。観測機器は産業としては大きなものではなく、本研究の特性から、日本への直接的な貢献は期待しにくい、それなりの貢献はあると言えよう。

【科学技術の発展】

観測技術の向上、エアロゾルおよびオゾン分布の挙動解明に関する成果は世界トップレベルであり評価できる。多くの先端的技術をアルゼンチン・チリ向けに加工したことに加え、「多周波同時観測用導波管型マルチプレクサ」や、「マルチモード高スペクトル分解ライダー」を開発した。後者は特許を取得した点で大きな貢献であると言える。ただし、観測網空白域で計測されたデータがどのように活かされるかについては明確でない。

【世界で活躍できる日本人人材の育成（若手、グローバル化対応）】

日本から距離的に離れていること、言語の問題（スペイン語圏）があったほか、日本側のポスドクを多くは採用せず、若手研究者の参画が少なかったことに加えて、当初から若手人材の積極的な現地への派遣計画もなかったことなどから、世界で活躍できる日本人人材育成の側面が高いとはいえない。ただ、予算の多くを機材に割いたことに加え、通貨レートの変化による予算の制約等もあって、渡航した日本側研究者が多くなかった面もある。本課題は、研究代表者と共同研究代表者の二人で主に遂行されていたような感があり、もっと若手を長期に観測の場に置くようなことも日本側の人材育成では必要ではなかったか。

【知財の獲得や、国際標準化への取り組み、生物資源へのアクセスや、データ入手方法】

本プロジェクトでは、国際的にも十分な精度の観測・評価データが国際的ネットワークに供給されていることから、国際標準化への指向性があり、現段階の取組みには不十分な点があるものの、グローバルな観測網への貢献は大きい。また知財については、日本側とアルゼンチン側で特許が共同出願されていることは評価できる。

【その他の具体的成果物（提言書、論文、プログラム、試作品、マニュアル、データなど）】

国際誌などへの論文等は少なくはないが、その多くが日本側のみであり、対象国の研究者との共著論文が少ないのは残念である。アルゼンチンで GEILAP をカウンターパートにしたのはこの分野でアルゼンチンを代表する研究機関であるとの判断があったと思うが、共同研究があまり進まなかったのは、双方の意図にズレがあったためかもしれない。

【技術および人的ネットワークの構築（相手国を含む）】

おおむね技術移転が進み、人的ネットワークも形成された。また、両国と日本の3カ国間の連携体制が構築されたことは評価できる。アルゼンチンとチリの研究者、研究機関間のネットワーク作りに成功したことは特に高く評価される。チリとアルゼンチンとの交流が非常に活発となり、相互の情報交換が行われて、システムの共有が進んだことなど利点は大きい。また、データはグローバルなネットワークに提供され、国際的ネットワークにもつながったので、技術ネットワークの構築も評価できる。

4-4. プロジェクトの運営

【プロジェクト推進体制の構築（他のプロジェクト、機関などとの連携も含む）】

当初の計画では、チリはマゼラン大学と州政府の限定された活動となっており、アルゼンチンは、軍の科学技術担当部署が中心であった。また、アルゼンチン、チリ間の連携も不十分であり、研究の遅れにつながった。また、プロジェクト前半では、観測トラブルに気づくのが遅れ、またその対策も後手にまわった。その原因は、やはり日本人研究者の頻繁なチェックがなかったという点が大きいのではないかと。後半にその問題の大部分を解決したが、観測データが不足して、一部のモデルの検証ができなかった。

プロジェクト開始後、とくに中間評価後、日本側研究代表者を中心に両国の研究リーダーが尽力した結果、アルゼンチンおよびチリの気象局が全面的に参画し、研究開発からその活用まで含めた体制が構築された。結果として、最終的には予定していた観測網に近い形になった。

【プロジェクト管理および状況変化への対処（研究チームの体制・遂行状況や研究代表者のリーダーシップ）】

プロジェクト開始から中間評価に至るまでは、対象国の研究機関間の関係や慣習などから共同研究の展開への困難さがみられた。当初の体制の不備、日本人の現地常駐研究者の不在と現地の状況把握の遅れ、予測システムの構成および担当機関の決定の遅れなど、様々な理由により、測器は設置されているが観測は不調である状態が初期に長かった。現地の調整員だけでは全ての地点の動向をなかなか把握できなかったにしろ、どうにかして対処する必要があったのではなかろうか。他方、中間評価後は、これらの点について適切な対応が行なわれ、研究代表者のリーダーシップにより多くが改善された。アルゼンチン、チリ両国の研究者、研究機関もよい協力関係にあり、日本側研究者とも信頼関係にある。3ヶ国の研究代表者を始め、キーパーソンの努力は評価に値する。

【成果の活用に向けた活動】

観測と一部モデルとの対応がうまく連結されていないなど未到達の点があるほか、現段階で成果の公表がやや遅れているものの、主要ユーザー機関である両国の気象局が参画するなど、プロジェクト終了後の体制は整っているため、成果の活用が促進することが十分期待できる。観測が継続されれば、データは国際的に活用されるであろうし、両国内のさまざまな面で活用されると思われる。両国に対して、そのためのワークショップやトレーニングコースの実施を進めており、関係者間には理解が広がっている。

【情報発信（論文、講演、シンポジウム、セミナー、マスメディアなど）】

論文、講演、公開セミナー、ワークショップなどは積極的になされている。相手国機関の広報や相手国のマスメディアに再三紹介されるなど、本プロジェクトは注目されるようになっていく。また、一般市民が目にしやすい場所や国立公園などを利用した情報発信などを積極的に行ったことを評価したい。ただし、日本人の論文はあるが、相手国研究者との共著論文が少なく、今後の観測成果の積極的な発表を望みたい。

【人材、機材、予算の活用（効率、効果）】

機材や予算の活用については、一部の機材が故障したままであったこともあり、機材の効率的な活用に不十分な点がみられたが、全般的には適切に、また有用に活用されているようである。本プロジェクトでは、観測機器の整備に予算の多くを費やし、何とか最終的には観測体制を構築した。ただし、もっと早期に観測継続上の問題点が検出できた可能性もあり、今後の継続にもやや懸念がある。また、アルゼンチン側のライダーの移管の問題もあり、観測継続を当初から想定して機材の供与先を決めるべきだったのかもしれない。人材活用については、ポスドクなどの若手人材の活用が不十分であった。

5. 今後の研究に向けての要改善点および要望事項

- 研究体制の早期の見直しと状況に応じた再構築、観測・予測・予報システムなど主要な研究内容とその分担の早期明確化と合意、研究者の常駐などによる絶えざる意思疎通などが本プロジェクトの教訓といえる。
- 今後も、何らかの研究協力を続け、観測体制の確実性を増し、安定したデータの国際ネットワークへの供給を継続すると同時に、論文なども積極的に発表してもらいたい。
- 本プロジェクト終了後に、研究成果の実装を効果的・効率的に行えるよう、代表者らが他の研究資金などを得るよう努力し、軌道に乗り始めた3ヶ国間の協業を継続・発展させてほしい。

以上

研究課題名	南米における大気環境リスク管理システムの開発
研究代表者 (所属機関)	水野 亮 教授 (名古屋大学 太陽地球環境研究所)
研究期間	平成24年度採択 平成24年6月1日～平成30年3月31日
主要相手国 研究機関	アルゼンチン共和国/レーザー応用技術 研究センター(CEILAP) チリ共和国/マゼラン大学(UMAG)

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> 国際気象機関WMOが進めるライダーによる火山灰測定手法の検討への貢献 日本の技術投与による世界的な観測網空白域における観測拠点整備による日本のプレゼンス向上
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> ミリ波超伝導ヘテロダイン分光技術の高感度化・高精度化
知財の獲得。国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> マルチモードレーザーを用いた新方式の高スペクトル分解ライダーの開発 国際的環境データベースへの観測データの提供
世界で活躍できる日本人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> 国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成(国際会議への指導力、レビュー付雑誌への論文掲載など)
技術および人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> 主要相手国機関はもとより、両国の気象局、火山鉱山局、危機管理委員会関係者らも包括した良好な協力関係へと発展
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データ等)	<ul style="list-style-type: none"> オゾンホール境界領域におけるオゾン混合比の高度別季節変動、日変動と中緯度帯へのオゾン欠損空気塊の輸送・拡散の実態解明 東アジア(黄砂)におけるエアロゾルデータ解析、モデル計算の他地域に対する有効性の実証

 はほぼ完了
 は50%以上は完了

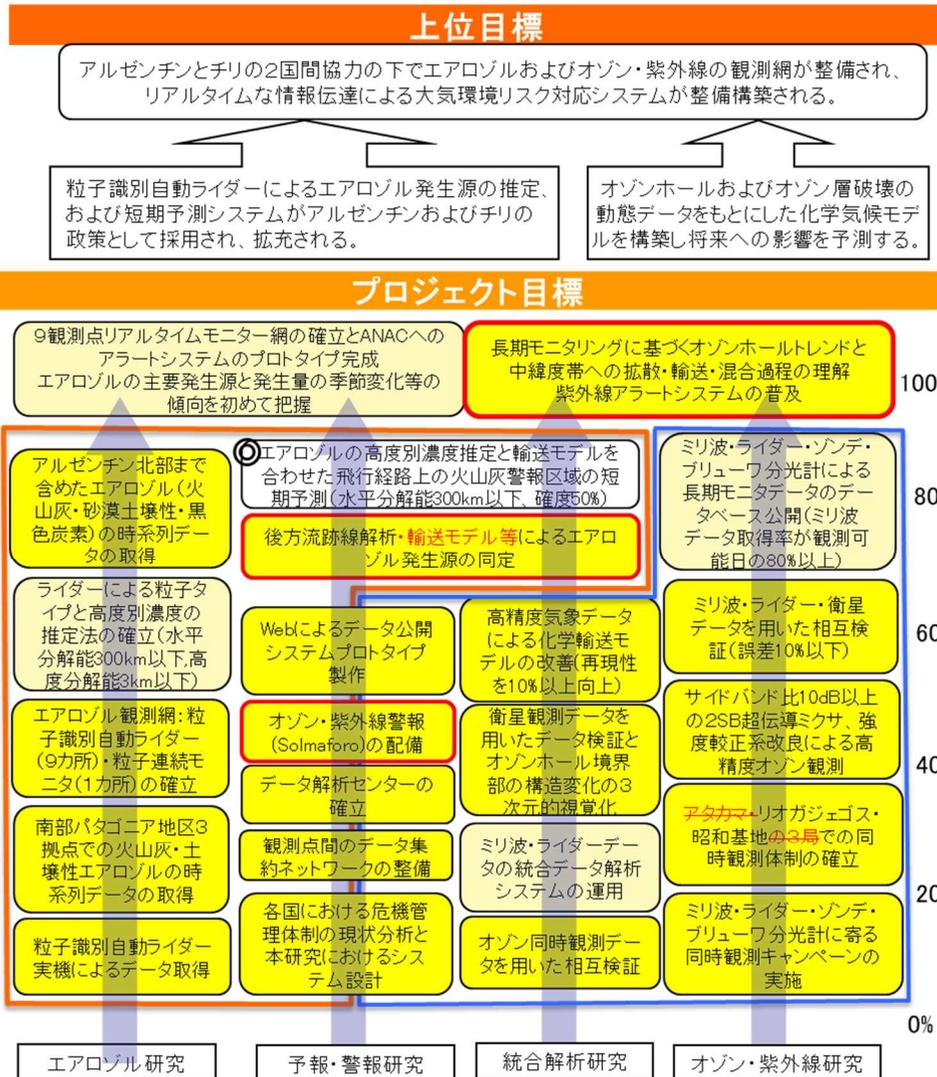


図1 成果目標シートと達成状況 (2018年1月時点)