

地球規模課題対応国際協力プログラム (SATREPS) 研究課題別追跡調査報告書

I. 序文

SATREPS 追跡評価実施要領 (<https://www.jst.go.jp/global/kadai/hyouka/pdf/follow-up-evaluation-procedure.pdf>) に基づき、追跡調査を実施した。具体的には、プロジェクト終了後の研究課題の国際共同研究の成果の発展状況や活用状況を明らかにするために、対象課題に関連した文献およびインターネットによる調査（関連論文、特許、受賞、外部資金等）、対象課題の研究者に対する質問票による基礎データ調査を実施した。さらにそれらの結果を踏まえた研究者インタビュー調査を行い、得られた情報を総合的に整理しまとめた¹。

今般の研究課題別追跡調査においては、以下の方にご協力頂いた。御礼申し上げる。

水野 亮（名古屋大学 宇宙地球環境研究所 教授）

西澤 智明（国立環境研究所 地球システム領域（大気遠隔計測研究室） 室長）

II. プロジェクト基本情報

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

2. 日本側研究代表者名

水野 亮（プロジェクト終了時 名古屋大学 宇宙地球環境研究所 教授）

（ 現在 同上 ）

3. 相手国側研究代表者名

Eduardo Jaime Quel（エドゥアルド ハイメ ケール）

（アルゼンチン共和国 レーザー応用技術研究センター ライダー部門 部門長）

Felix Zamorano Banda（フェリックス サモラーノ バンダ）

（チリ共和国 マゼラン大学 大気研究所 所長）

4. 国際共同研究期間

2013 年 4 月～2018 年 3 月

¹ 2023 年 11 月から 2024 年 3 月に各種調査および報告書のとりまとめを実施した。

5. 研究概要

(1) 目的

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。

(2) 各グループの研究題目と実施体制

プロジェクトは下記の2つの研究題目で構成され、それぞれのグループにて実施された。

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
(オゾン・紫外線研究グループ)

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に関する研究
(対流圏エアロゾル研究グループ、統合データ解析研究グループ)

(3) SATREPS 期間中の各グループの成果

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

オゾンホール直下にしばしば位置する南米南端のパタゴニア地域におけるオゾン層破壊と紫外線量変動の実態を把握するためのモニタ観測を実施し、地域住民への迅速な情報伝達システムを開発に貢献した。また、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」の制定への貢献などにつながった。

地球規模の大気環境問題のひとつに挙げられる南極オゾンホールとその人間活動等への影響の理解に資する情報の提供を目的とし、短期的なオゾン等の大気組成濃度の予報ができるモデルを開発した。

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に関する研究

人間活動に影響を及ぼす火山灰や森林火災の煙、ミネラルダストなどの対流圏のエアロゾルイベントを常時監視するとともに、エアロゾルの輸送を予測して関係機関に警報を発するのためのシステムを構築した。

Ⅲ. 追跡調査結果まとめ

1. 研究の継続・発展について

[プロジェクト全体]

- ー 継続・発展している。2018 年度より科研費・国際共同研究強化 B および住友財団、名古屋大学宇宙地球環境研究所国際共同研究などの支援をもとに、プロジェクトを継続させている。
- ー ただし、世界的なコロナウイルスのパンデミックにより、2020 年から 2022 年の間は人の交流が滞り、共同研究、特に観測機器の故障に対する対処や装置の改良を進めることができず、観測データの取得ができなくなり、事実上共同研究の活動が中断した。
- ー コロナパンデミックの規制が緩和し、2023 年 1 月から水野研究代表者がアルゼンチンとチリに渡航し、共同研究の具体的なアクティビティを再開した。

[(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（オゾン・紫外線研究グループ）]

- ー 継続・発展している。
- ー 紫外線に関しては、SATREPS で導入した機器が conventional で完成度の高いものであったため、相手国側の新たな負担も少なく、観測は継続した。さらに、新たな拠点を開拓して新規の研究グループが成長している。一方、ミリ波・ライダー（DIAL）は最先端である反面、技術的にまだ未成熟の部分もあり、多くの発展の可能性を有しているものの複雑であるため、相手国側研究者が装置の維持管理を十分なレベルで継続させるのは容易ではなかった。そのため、コロナパンデミックにより日本人研究者が現地に渡航できなかった期間は、実質的に共同研究活動は中断することとなった。また、コロナパンデミック前の 2019 年は、水野研究代表者が南極昭和基地でのミリ波観測装置の多周波化にほとんどのエフォートを費やさなければいけない状況になってしまい、南米との共同研究に十分な時間を割くことができなかったのも一因である。しかしながら、人的交流が中断している期間に、日本側ではプロジェクトで開発した新たな技術を用いて 20 GHz 以上離れた大気分子からのミリ波線スペクトルを同時に観測可能な超伝導ミリ波分光計を開発し、昭和基地での観測に世界で初めて実用化した。さらに、長期間原因が不明であった極低温冷凍機の冷却水を循環させるチラー（冷却水循環装置）の故障について日本国内の製造メーカーと議論し、その対応策を考案した（しかし、コロナパンデミックのため、その対応策の有効性を確かめるのに 3 年余りの時間を有した）。また、アルゼンチン側では、研究所の OB の一人が現在所属している NASA ジェット推進研究所 (JPL) のテーブルマウンテン観測所のライダーグループと調整し、ライダー（DIAL）を稼働させる上で不可欠だがプロジェクト期間中から種々の問題で入手が困難であったキセノンガスや塩化水素ガスなどの高価なガスの提供を受けられる見通しがでてきた。現時点

では、ミリ波、DIAL 共に再稼働のための故障部品などの手配を行っているが、ミリ波は遅くとも 2024 年度中、DIAL は 1、2 年のうちには再稼働させ、両観測装置による協働観測を実現させたいと考えている。

- ー シミュレーションによるオゾンホール予測においては、化学気候モデルの開発を継続している。化学気候モデルに、さらに気象データとオゾンデータを同化することによって全球のオゾン・気象場データを作り、それを初期値にして 2～3 週間程度のオゾン層予報を行うシステムを開発した。

[(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 (対流圏エアロゾル研究グループ、統合データ解析研究グループ)]

- ー 継続・発展している。コロナパンデミック期間中は移動が制限されたことから、観測装置の保守ができず一部のエアロゾルライダーは観測を中断した。2022 年後半からは移動制限が緩和され、順次観測が再開されている。また、エアロゾルライダーの観測データの品質向上に向けた取り組みを継続的に行っている。コロナ期間中にオンライン会議でエアロゾルライダーの改良方法についてアルゼンチン気象局と議論し、2023 年 7 月に国立環境研究所の神研究員が現地で改良を実施した。
- ー また、日本から新たに導入された可搬型エアロゾルライダーとの比較観測を実施し、良好な結果を得ている。上記可搬型ライダーは、南米における森林火災や農業残渣の野焼きで発生するスモーク等のエアロゾルを観測するため、2024 年度にはアルゼンチン北部トゥクマンに設置する計画である。
- ー さらに、アルゼンチンの風上側に位置するボリビアでのエアロゾル観測を強化するため、2023 年 8 月にボリビアのラパスにおけるエアロゾルライダーを改良し、大気汚染エアロゾルと鉱物ダストを分離して観測できるようにした。
- ー 上記の通りエアロゾル観測を継続・発展させる一方で、これまでに得られた観測データを用いて南米エアロゾルの動態を研究している。例として、エアロゾルライダーの連続的な観測データの解析によって、アルゼンチン北部コルドバでは、南風～西風の時はアンデス山麓の乾燥地帯から鉱物ダストが輸送され、北風の時はアルゼンチン北部やパラグアイ、ボリビアなどからスモークプルームが輸送されていることが初めて明らかになった。

2. 地球規模課題の解決に向けた科学技術の進展への貢献について

国際学会での発表：

- ー 4 年に 1 回開催される国際オゾンシンポジウム QOS2021、欧州地球物理学会 (EGU)、世界気候研究計画 (WCRP) のコアプログラムの一つである「成層圏過程とその気候影響 (SPARC)」総会などにおいて、本プロジェクトで推進したオゾンホール予測モデルや大

気微量分子の最先端観測技術の開発等に関する研究発表を行った。また、南米ライダー観測に関する国際学会やライダー研究全般に関する大規模国際学会、国際的な次期地球観測衛星計画である EarthCARE の国際学会等で、本プロジェクトで得られた観測的知見、ライダーの技術開発、ライダー観測網による衛星観測検証等に関する研究発表を行った。特に衛星観測に必要不可欠な地上検証において、空白地域である南米のライダー網に対して大きな期待が寄せられた。

論文投稿：

- ー 本プロジェクトで推進したオゾンホール予測の基盤技術である化学輸送モデルおよび化学気候モデルの高精度化開発を進めたり、それらのモデルを用いることで南米のオゾンホールにとどまらない全球的なオゾンおよびオゾン破壊物質の変動予測、また太陽活動のオゾンへの影響の予測と評価、スパコンを用いた地球全体の大気環境予測／評価について多くの論文を発表した。また、本プロジェクトで開発した技術をさらに改良・発展させたミリ波受信技術（3編）やライダー技術（2編）に関する報告を行い、新たな地球大気環境の測定技術の発展に寄与した
- ー SATREPS を含む地上ライダーネットワーク観測用に開発した解析アルゴリズムによる広域エアロゾル解析について論文化した（1編）。また、本解析技術は、米地球観測衛星 CALIPSO や日欧共同地球観測衛星 EarthCARE に搭載されているライダーデータの解析に利用される等広く活用されている。その成果の一部を論文（1編）ないし解説記事（4編）として公表した。これらの成果は南米だけでなく広く地球規模の課題解決に資するものである。

確立した研究手法の展開：

- ー オゾンミリ波観測の中で開発した周波数マルチプレクサを応用し、南極昭和基地においてオゾン、一酸化炭素、一酸化窒素分子の地上ミリ波多輝線同時観測を世界で初めて実現した。
- ー エアロゾルライダーにおいてアルゼンチン・チリでも有効性が実証された偏光解消度測定に基づく球形・非球形のエアロゾル識別手法を、ボリビアにおける南米北部からの森林火災起源スモークの観測に応用すべくボリビアに技術移転を開始した（コロナパンデミックのため実施が遅れ、2023年度より具体的な活動が始まった）。また、地上ライダー観測用に開発したエアロゾル解析アルゴリズムを、衛星ライダー観測へ応用するための開発が進められている。

3. 地球規模課題の解決、及び社会実装に向けての発展について

- ー 政策および地域コミュニティへの貢献として、プロジェクト終了以降新たに加わった点はない。企業との共同開発も、最先端の先鋭的観測装置の開発を行なった元々のプロジェクトの性格上、企業が目指すような汎用性／大きな市場性とは方向性を異にしており、具体的な共同開発としては進んでいない。

- ー 全世界的な国際観測ネットワーク NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change : 大気成分変動検出ネットワーク) の運営委員会への参画。2019 年に運営委員会を日本のつくばで実施した際、それまでの水野研究代表者に加え、国立環境研究所の中島英彰氏 (本プロジェクトのメンバー外) が追加の日本代表委員として承認された。また 2021 年より、本プロジェクトの参加研究者であった国立環境研究所の杉田孝史氏が衛星ワーキンググループの共同議長 (2 名) として国際的な貢献を果たしている。
- ー 世界気象機関 (WMO) のエアロゾル科学助言グループ (Scientific Advisory Group on Aerosols) の委員として、本プロジェクトの参加研究者であった杉本伸夫氏は国際的な貢献を果たした。2021 年より杉本氏に代わり同プロジェクト参加研究者の西澤智明氏が任命され、引き続き国際的な貢献を果たしている。
- ー 気象学・大気科学に関する研究活動を調整する国際機関である国際気象学・大気科学協会 (International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences) の国際委員会である国際放射委員会 (International Radiation Commission) に 2021 年より本プロジェクト参加研究者の西澤智明氏が任命され、国際的な貢献を果たしている。
- ー 2024 年に打ち上げ予定の日欧共同地球観測ミッション EarthCARE の地上検証として、本プロジェクトの南米エアロゾルライダー観測網を活用する研究計画が JAXA 受託研究の支援のもとで進められ、地上ライダーネットワーク観測用に開発したライダーデータを用いたエアロゾル解析アルゴリズムの衛星観測への応用が進められている。
- ー キャパシティ・ディベロップメント／日本人若手研究者の育成としては、博士過程学生および研究員から様々な研究グループの中核・中堅を担う研究員を輩出している。

4. 日本と相手国の人材育成や開発途上国の自立的な研究開発能力の向上について

- ー プロジェクトに参画した相手国の若手研究者が相手国および第 3 国の研究機関で活躍し、現場での研究の推進や国際協力を推し進めている。(J. Salvador, スウェーデン; F. Orte, レーダー応用研究局 (DEILAP) / アルゼンチン; J. V. Pallotta, DEILAP / アルゼンチン)。特に、J. V. Pallotta 氏は南部パタゴニア大気観測所 (OAPA) の責任者として、オゾン観測用ライダー DIAL の長い運用経験をもつ NASA-JPL の Table Mountain Facility (TMF) と連携し、プロジェクト後半から頓挫していたエキシマレーザーの発振に必要なガスの入手と自動測定技術の導入を行うための準備を進め、リオガジェゴスでのライダーオゾン観測の再開に向け自立的な活動を続けている。
- ー プロジェクトに参画した中堅の研究者が相手国の別機関に異動しリーダー的な役割を果たすようになり、その働きにより国内の新たな研究グループの育成が推し進められている (E. Walfram, DEILAP⇒アルゼンチン気象局)。ブエノスアイレス近郊の Tandil の国立ブエノスアイレス州中央大学 (UNCPBA)、国立ブエノスアイレス州工科大学 (FRBA-UTN) と連携して新たな紫外線観測装置を設置し、同校の大気観測グループを育成。またトウクマン国立大学の大気観測グループと連携し、エアロゾルライダーの共同運用体制

を構築しつつある。

- ー プロジェクト終了後、アルゼンチンの申請が JICA の第三国研修プログラムに採択され「ラテンアメリカにおける地上遠隔測定の研究（2020 年-2023 年）」を実施している。また、フランスのアメリカ研究所の国際共同研究プログラム ECOS-Sud の研究プロジェクトとして「南半球の大気力学と南北循環：成層圏オゾン、地表紫外線、気候変動への影響（2018 年-2019 年）」が採択されている。

5. 日本と開発途上国との国際科学技術協力の強化、科学技術外交への貢献について

- ー 新たに北側の隣国ボリビアへの技術支援・移転（特にライダーの偏光解消度データを用いた球形・非球形エアロゾルの識別技術）を名古屋大学宇宙地球環境研究所国際共同研究の支援のもとで進めている。

6. 終了時評価における要望事項に対する現状報告（要望事項を下線で表示）

要望事項と現状：

- (1) 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。

- ー（アルゼンチン）アルゼンチンは、本プロジェクトで多くの装置を投入している。プロジェクト期間中に主要カウンターパートを技術開発メインの DEILAP から観測運用経験の豊富な気象局に変更して体制の再構築を行った。さらに、プロジェクト終了後 DEILAP のリーダー的メンバーであった Elian Wolfram 氏が気象局に移籍し環境計測関係の部門を立ち上げて、気象局が本プロジェクトを継続する体制を固めた。一方で、情報公開プログラム開発を担当していた DEILAP の部門は、プロジェクト終了後に担当部門責任者が他の部署に移動したため新たな開発はできなくなり、プロジェクト終了時の状態で上述の Wolfram 氏の部署で運用を継続している。また、アルゼンチン南端部の南部パタゴニア大気観測所（OAPA）では、現地責任者の Jacobo Salvador 氏がプロジェクト終了後にスウェーデンの研究所に移籍し、比較的手がかからない紫外線関連の放射計やブリュワー分光計による観測はブエノスアイレス DEILAP 本部が引き継いだ。終了時に懸案となっていたエキシマレーザーを用いた差分吸収ライダーによるオゾン観測については、対応できる専門的スキルをもった人材が不在となったため頓挫することとなった。ただし、最近 DEILAP の OB で現在 NASA-JPL に在籍する研究者の協力がえられることになり、差分吸収ライダー再開のための準備を進めている。

（チリ）主要カウンターパートのマゼラン大学では、プロジェクト中に着任した若手の Boris Barja 氏が中心となり本プロジェクトで導入したライダーの観測運用と装置の維

持・改良を継続している。さらに、終了後はドイツのグループとの共同研究や本プロジェクト後に開始した別の SATREPS プロジェクト（海洋・漁業関連課題）および日本人研究者とのバイオエアロゾル観測など多方面に研究を展開している。チリ気象局では、紫外線観測を着実に継続しているが、プロジェクト終了後は連絡が疎遠になっている。マゼラン大学のグループは、サンチャゴ大学やラ・フロンテラ大学とも紫外線やライダー観測による共同研究を拡大しようとしたが、コロナパンデミック等の影響もありまだ活発な交流には至っていない。

（日本）日本側の研究体制では、ポスドク研究員であった大山氏が国立環境研究所の温室効果ガス観測衛星のグループに移動しプロジェクトから離れた。また、プロジェクト最終段階で加わった国立極地研究所のメンバーにより、アンデス山脈で励起される大気重力波の研究がプロジェクト終了以降発展を見せている。ライダー関係では、次期地球観測衛星 EarthCARE の地上検証測器としてプロジェクトで構築したライダー網に期待が寄せられ国立環境研究所のグループが中心になり、より安定した運用体制確立のための装置改良に取り組んでいる。また、南米北部から南下する森林火災性のスモークの影響評価を行うため、ボリビアの研究グループとの共同研究も始めた。また、ミリ波オゾン観測では、プロジェクト期間中に開発を進めた周波数マルチプレクサの新技术を用いて、オゾンを含む多輝線同時観測を地上観測として初めて実現し、南極地域における観測を多角的に深化させた。オゾンホール予測関係では、プロジェクトで進めた化学気候モデルをさらに進めて九州大学の廣岡教授のもとで中村氏（プロジェクト時は非メンバー）が博士論文にまとめている。コロナパンデミックにより 3 年間ほど相手国に研究者を派遣することができず、装置の改良や故障の復旧ができず、相手国との関係がやや疎遠になったが、本プロジェクトで築くことができた相手国との関係、また本プロジェクトで生まれた研究のシーズを起点として国内での新たな研究の展開へとつながっている。また、コロナによる規制が緩和された後の 2023 年からは、科研費国際共同研究強化 B などにより相手国への派遣を再開し、プロジェクト当初の目的達成と更なる発展を目指すため、装置の改良や不具合の改善を始めている。

- ー データの国際データベースへの提供と論文発表：比較的手がかからず現地研究者のみで運用できるブリューワ分光光度計に関しては、データを継続的に EuBrewNet（欧州ブリューワネットワーク）に提供しているが、DIAL、ミリ波、エアロゾルライダーは機器トラブルやコロナパンデミックの影響などで滞っている。

(2) 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。

- ー 科研費国際共同研究強化 B、住友財団、名古屋大学宇宙環境研究所国際共同研究等。
- ー 科研費では、特に 6 年計画の中で、火山灰のアースケアという衛星を使って取得した

データの精度を高めるための地上からの検証網の整備などを 2024 年から行う予定。地域もボリビアまで観測拠点を拡大。特に、アマゾン、南米大陸の森林火災などを観測できるようにする。

- ー 住友財団は、SATREPS 時の課題だったオゾンホール予測の実用化しようとするもの。

7. プロジェクトの上位目標を踏まえた現状報告（上位目標を下線で表示）

上位目標「アルゼンチンとチリの 2 国間協力の下でエアロゾルおよびオゾン・紫外線の観測網が整備され、リアルタイムな情報伝達による大気環境リスク対応システムが整備構築される。」

観測網の運用状況については、コロナパンデミックに伴う渡航困難な状況が続いたことで、2023 年度末時点ではプロジェクト終了時に比べて後退している。ただし、安定した運用を行うための改善に関する検討は進んでおり、2023 年以降その改善点を具体化するための活動を再開した。一方、情報公開システムに関しては、相手国側の主要機関の方針で担当者の異動等があり、終了時の段階でほぼ止まっている。プロジェクト終了時に JICA を通して提言はなされているが、相手国側の各機関の事情によるもので如何ともし難い面がある。またコロナパンデミックにより観測運用が滞り、情報公開システムに上げる観測データが十分取得できなかったことも、情報伝達システムの改良を活性化できなかった一因である可能性も考えうる。スマートフォンの普及や紫外線情報を含む”お天気アプリ”の高度化、さらには AI の普及など、現在必要とされる情報公開システムはプロジェクト終了段階に想定されていたものよりもより高度な機能が望まれる。最近南米では大きな火山噴火もなく、リアルタイムの火山灰計測と予測については、一般の人々の関心が薄れてきているように思われる。こうした状況の中で、相手国の中で人材と資金をどのように確保し情報伝達システムの開発体制を整備していくかが大きな問題である。

以上