

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/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各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、対象課題の研究者に対し質問票による基礎データ調査を行い、その結果を踏まえた研究者インタビュー調査を経て得られた情報を整理しまとめた¹。

今般の研究課題別追跡調査にあたっては、以下の方々にご協力頂き厚く御礼申し上げます。

若松 伸司 (愛媛大学名誉教授、大気環境総合センター 代表理事)

前田 恒昭 (大気環境総合センター 理事)

II. プロジェクト基本情報

1. 課題名 :

Ozone、VOCs、PM2.5 生成機構の解明と対策シナリオ提言共同研究プロジェクト

2. 日本側研究代表者名 :

若松 伸司 (愛媛大学 農学部 教授)

(現 愛媛大学名誉教授、大気環境総合センター 代表理事)

¹ 2021 年 11 月から 2022 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。

3. 相手国側研究代表者名：

Dr. Victor Hugo Paramo Figueroa

(メキシコ合衆国 メキシコ環境・気候変動庁² (INECC) General Coordinator)

4. 国際共同研究期間

2011年1月～2015年12月

5. 研究概要

(1) 目的：

都市域における光化学オゾンや PM2.5(大気微小粒子)などの大気環境動態を日本とメキシコにおいて統一した測定システムや解析手法を用いて把握し、二国間に共通の側面や地域独自の特徴を明らかにし、対策についての提言をまとめる。

(2) 各ワーキンググループ(WG)の研究題目と実施体制：

WG1： オゾンと気象の立体分布測定システムの開発と立体分布の解明 (愛媛大学、SMN³)

WG2： VOCs 成分測定システムの開発と環境動態の解明 (産総研・愛媛大、CENAM⁴)

WG3： PM2.5 成分測定システムの開発と環境動態の解明 (大阪府立大学・愛媛大学・CESS⁵)

WG4： 大気汚染暴露測定システムの開発と暴露レベルの把握と沿道大気汚染研究 (産総研・東大・愛媛大、UNAM⁶)

² 当初は INE：メキシコ国立環境研究研修センター(GENICA)

³ SMN：メキシコ気象庁

⁴ CENAM:National Metrology Center メキシコ国立計量研究所

⁵ CESS:埼玉県環境科学国際センター

⁶ UNAM:メキシコ国立自治大学

WG5 : 大気汚染モニタリングデータ解析と発生源把握並びに大気汚染モデリングシステムの構築 (愛媛大・千葉大)

WG6 : 大気汚染対策と気候変動対策の両方に資する対策シナリオの検討と提言 (愛媛大・NIES⁷、ITESM⁸)

(3) SATREPS 期間中の各 WG の成果 :

WG1 : オゾンと気象の立体分布測定システムの開発と立体分布の解明

- ・メキシコ市盆地内のオゾン生成総量が初めて明らかとなり定量的な対策シナリオ策定の根拠を得た。
- ・火山からの SO₂ 排煙の鉛直構造を初めて明らかにし、地域への影響評価を行った。
- ・メキシコ気象庁 (SMN) 長官に対してオゾンゾンデ⁹のルーチン観測の実施を提言し了解を得た。

WG2 : VOCs 成分測定システムの開発と環境動態の解明

- ・日本の標準ガスがメキシコに輸送されメキシコにおける標準として VOCs 分析に供された。
- ・高精度での環境大気中における VOCs 動態解明が可能となった。
- ・メキシコにおける高精度な VOCs 成分測定のための標準ガス供給システムが構築された。
- ・全環境基準項目の SI トレースブルな日本の標準ガスをメキシコに導入することに成功した。
- ・信頼性の高いデータに基づく大気環境政策の立案、実施、評価への貢献が期待出来る。
- ・メキシコのみならず中南米の諸国への技術移転と大気環境分野での貢献も期待出来、波及効果は大きい。

WG3 : PM_{2.5} 成分測定システムの開発と環境動態の解明

- ・日本とメキシコで同じサンプリングシステムを用いて PM_{2.5} と PM coarse (PM₁₀-PM_{2.5}) の試料採取が出来た。
- ・このような試料は世界的にも例が無く極めて貴重である。

WG4 : 大気汚染暴露測定システムの開発と暴露レベルの把握と沿道大気汚染研究

- ・アルデヒドの測定が今回新たにメキシコで実施出来た。
- ・グアダハラでのガソリンスタンドの調査がハリスコ州におけるガソリンスタンドにおけるベーパーリターンの規制立案に貢献した。ハリ

⁷ NIES: 国立研究開発法人国立環境研究所

⁸ ITESM: モントレー工科大学トルーカ校

⁹ オゾンゾンデ: 気球に取り付けて大気中のオゾンの濃度を測定する装置

スコ州の要請でプロジェクトリーダーからガソリンスタンドにおけるペーパーリターン規制の重要性に関するレターがハリスコ州政府に対して提出された。

WG5: 大気汚染モニタリングデータ解析と発生源把握並びに大気汚染モデリングシステムの構築

- ・メキシコ市においては従来、ドイツのコンサルが提供した数値モデルを用いていたが、2014年からWRF/Chem¹⁰によるシミュレーションを採用する事が決まり、メキシコ全体が同じモデルフレームワークの下に相互協力し合える状況を作り出すことに成功した。

WG6: 大気汚染対策と気候変動対策の両方に資する対策シナリオの検討と提言

- ・モンテレーでのプロアイル¹¹に本プロジェクトのアウトプットが取り込まれた。また本研究成果に基づいた3都市を対象とした大気汚染対策の提言書が作成され、プロジェクト名にてINECC¹²長官へ提出された。

III. 調査結果まとめ

1 研究の継続・発展について

SATREPS メキシコプロジェクト終了後、プロジェクトに参加していたシニア研究者(退職者)を中心に一般財団法人大気環境総合センター(IIAE)を設立し、セミナー活動を中心に大気環境研究成果の普及促進活動を行っている。2021年現在の構成は、IIAE 代表理事・若松伸司氏(WG1)、理事(前田恒昭氏 WG2)、研究員(斎藤正彦氏 WG5、山本充弘氏 WG6)である。

また、2021年現在で現役の岡崎友紀代氏(WG1)、神田勲氏(WG1, 4)、篠原直秀氏(WG4)は講師として参画し、メキシコプロジェクトでの成果並びに、その後の調査研究活動の紹介を行っている。

2021年11月26日現在でIIAEセミナー85回中でのメキシコプロジェクトメンバーの講演は17回、モデリングに関する講習(WG5: 斎藤氏)は20回実施した。

¹⁰ WRF/Chem: (Weather Research and Forecasting model coupled with Chemistry) 天気予報と学術研究の両方に大気化学をカップルしたモデル

¹¹ プロアイル(ProAire): メキシコの州ごとの大気環境管理計画

¹² INECC: National Institute of Ecology and Climate Change 国立経済気候変動研究所

(1) WG1 : オゾンと気象の立体分布測定システムの開発と立体分布の解明

オゾンゾンデシステム¹³を初めてメキシコに導入する事が出来、メキシコ気象局(SMN)においてオゾンと気象の立体分布観測を開始する事が出来た。これと共に車載型測定装置の運用が可能となり、光化学大気汚染の立体的な動態を把握することが出来るようになった。

2016年明星電気のGPSラジオゾンデ(7,300個、地上受信機15局)が、SMNと正式に契約できた。SMN局長は、今後はオゾン観測も取り入れていきたいとの意見で大気汚染に関連して、オゾン観測のニーズが高まっている。INECCも、オゾン観測を行いたい意向である。SATREPSプロジェクトで設置された地上受信機を用いて行うことになる。

(2) WG2 : VOCs成分測定システムの開発と環境動態の解明

本プロジェクトでの研究内容の一つであるVOCsの測定は、日本側の(国研)産業技術総合研究所および相手側のINECC(メキシコ国立経済気候変動研究所(元環境研修研究所))で継続しており、測定値の信頼性を確保する為の校正用標準ガスの開発と供給がCENAMにおいて、研究業務の一つとして継続して行われている。

(3) WG5 : 大気汚染モニタリングデータ解析と発生源把握並びに大気汚染モデリングシステムの構築

メキシコ市が作成した最新版の排出量データの問合せや日本からのモデル研究の提案を行っている。最新版の排出量データが入手できれば直ちにモデル研究を開始できるように準備を進めている。

(4) WG3、WG4、WG6

これらのグループはメキシコとは継続研究はしていない。

¹³ オゾンゾンデシステム : オゾンセンサ部(ポンプ、モーター、反応管など)とGPSゾンデ部(気圧センサ、気温センサ、湿度センサ、GPSアンテナなど)で構成されるオゾンゾンデを気球に吊り下げて飛揚し、大気中を上昇しながら外気を取り込み、高度約35kmまでの空気中に含まれるオゾンの鉛直分布を直接観測するシステム

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

科学的な知見に基く地域と地球のコベネフィット¹⁴大気環境保全対策シナリオの策定が出来るようになった。各Gの成果は以下の通りである。

(1) WG1 : オゾンと気象の立体分布測定システムの開発と立体分布の解明

メキシコでのオゾン立体分布観測の端緒を開いた。

(2) WG2 : VOCs 成分測定システムの開発と環境動態の解明

- メキシコでのVOC(揮発性有機化合物)のモニタリングシステム構築に貢献した。
- 本プロジェクトにおいて、INECCとGENAMとの機関間での協力契約が締結され自立した研究継続が可能な枠組みを構築した。相手側へ技術移転した成果を元にGENAMにて標準ガスの校正サービスが立ち上がり、INECCでこれを用いて機器を校正するという運用が開始された。信頼性の高い標準ガスを用いた分析機器の校正、および校正された分析機器を用いた環境測定が行われることで、信頼性の高い環境計測データの取得が実現した。

このデータを元にメキシコ側で科学技術政策を策定、運用、評価が行われ、中米地域を中心とした地球規模課題の解決に向けた科学技術の進展に貢献している。なお、この機関間協力契約はVOCに限定されず、環境計測に必要な標準ガス供給を含むので、他のグループにも波及する効果が得られている。

(3) WG3 : PM2.5 成分測定システムの開発と環境動態の解明

- メキシコでのPM2.5濃度と組成が解明され、PM2.5対策の指針を示した。
- 本プロジェクトでは、メキシコと日本の比較研究が実施されたが、プロジェクト終了後は、本プロジェクトで用いたと同じシステムを用いて、JICAの大気関連プロジェクトにおいて、モンゴル・ウランバートル、イラン・テヘランでの大気汚染濃度が測定された。これにより世界の大都市間での比較検討が可能となり、地域と地球の大気環境の保全シナリオ策定に貢献している。

¹⁴ コベネフィット：環境保全と経済成長の両立

(4) WG4 : 大気汚染暴露測定システムの開発と暴露レベルの把握と沿道大気汚染研究

- ー メキシコでのこれまでの対策に伴う大気汚染個人暴露の歴史的な変化を明らかにすると共に、沿道大気汚染の実態を把握した。
- ー VOC の多くは有害化学物質であると共に光化学大気汚染(光化学オゾン)の原因物質である。対流圏の光化学オゾンは SLCP(短寿命気候汚染物質)なので、その先駆物質である VOC 対策は地球温暖化対策にも資する。

(5) WG5 : 大気汚染モニタリングデータ解析と発生源把握並びに大気汚染モデリングシステムの構築

- ー メキシコでの大気汚染モデルユーザーグループ(連邦政府、州政府、大学の連携)の組織を構築し、更なる発展継続の提案を行った。
- ー 本プロジェクトの研究対象物質はオゾンと PM2.5 であり、これらは SLCP(短寿命気候強制力因子)として知られている。メキシコ合衆国の主要都市であるメキシコ市、グアダハラ、モンタレーにおいて、オゾンや粒子状物質の都市域の汚染対策が地球規模の温暖化対策になることをセミナーなどの活動により周知を図った。

(6) WG6 : 大気汚染対策と気候変動対策の両方に資する対策シナリオの検討と提言

- ー メキシコ 3 大都市(メキシコシティ、グアダハラ、モントレレー)のプロアイレのシナリオを示し策定や更新に役立った。
- ー コベネフィット対策の提案を行った。

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

(1) 地球規模課題の解決、社会実装

メキシコでは、オゾン立体分布観測の開始、VOC 測定にかかる校正システムの構築、エミッションインベントリーとモデリンググループの構築、プロアイレ策定、等の社会実装を行った。

(2) 自立的研究開発能力の向上日本への波及効果

メキシコでは、3 モデル都市でのベーパーリターン対策の制度化に貢献した。日本では、本プロジェクトで実施したメキシコと日本でのガ

ソリINSTANDでの実態調査(日本での実態調査は初めて)を基に大気環境学会の中にペーパーリターン研究会を発足させ、VOCの発生実態把握を始めた。

①WG2 : VOCs 成分測定システムの開発と環境動態の解明

技術移転した成果を元に CENAM が標準ガスの校正サービスを立ち上げ、2016 年に最初の校正器物(標準ガス)が INECC 側に提供された。提供された標準ガスを用いて環境モニタリングステーションなどの測定機器の校正が行われ、当該機器を用いた大気環境中の VOC 濃度について、高い信頼性を付与する形で社会実装された。

また、この測定データが、メキシコ側での科学技術政策の策定、運用、評価において、活用されている。日本では、「物質変換による新規校正システムの構築」として普及活動を行い、研究成果を企業と共同研究して開発した装置に技術移転した。この装置は、純度決定が困難な標準物質について、計量法計量標準供給制度(JCSS)における標準物質供給や、供給対象を拡張する研究に発展した。得られた成果は、今後の環境分野での活用が期待されている。

②WG3 : PM2.5 成分測定システムの開発と環境動態の解明

PM2.5 の成分中の黒色炭素は SLCP(短寿命気候汚染物質)でもあるので、その対策は地域と地球の大気環境保全に極めて効果的である。

③WG4 : 大気汚染暴露測定システムの開発と暴露レベルの把握と沿道大気汚染研究

ガソリINSTANDでの最新のデータの取得、日本での問題提起、ペーパーリターンなどが必要である。

④WG5 : 大気汚染モニタリングデータ解析と発生源把握並びに大気汚染モデリングシステムの構築

— 大気質モデルの運用には、数年間の経験が必要とされている。しかし、基本的な操作方を身に付ければ早く実務に携わることができる。そこで、「Model User Community」の創設を毎回セミナー開催時に提案した。

— 具体的には、手間の掛かる入力データ(排出量、気象)やモデル出力データ(CMAQ¹⁵による濃度)を参加者間で共有して大気質モデルについて

¹⁵ CMAQ(Community Multi-scale Air Quality) : 米国環境保護庁(EPA)の主導により開発された3次元オイラー型の大気質モデリングシステム

て理解を深めることを試みた。残念ながら、大きな進展は認められなかった。このような Community 作りには、1年に1回程度の出張では醸成されず、方向性だけを示すことが成果になった。

- － プロジェクト終了後、IIAEにおいて斎藤氏(WG5)により輸送モデル、化学反応モデルを組み合わせた大気汚染モデリングシステム利用の講習会を継続的に実施している。
- － 大気質モデル CMAQ の活用方法について国内の自治体、大学、企業の方を対象に、IIAE で Web セミナー「CMAQ の使い方」を開催し、2021年11月現在までに20回程度の Webinar を実施し、延べ人数で約130名の参加があった。今後も継続実施の予定である。
- － メキシコ市では古い大気質モデル(ドイツの支援)を利用していたため、本プロジェクトにより最新モデルである CMAQ モデルの導入を提案した。
- － 大気質データ管理と大気質モデルの運用を目的とする計算機システムとソフトウェアを INE¹⁶へ導入した。このシステムにより全国のモニタリングデータが INE で一括管理出来るようになり、高い効率改善がされた。
- － モデル運用に関しては、プロジェクト終了時には未完の状況であった。プロジェクト終了後の詳細は不明。

⑤WG6 : 大気汚染対策と気候変動対策の両方に資する対策シナリオの検討と提言
プロアイレへの反映を計画している。

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

(1) 人材育成

博士2名(メキシコ1、日本1)や修士3名(日本)を育成した。現在は各国で大気環境保全に関連する仕事に従事している。また、日本における研修やメキシコでの技術指導によりメキシコメンバーの大気汚染測定技術能力が高まった。

¹⁶ INE(National Institute of Ecology) : 環境庁

(2) 自立的研究開発能力の向上

オゾン立体分布観測能力の向上、VOC 測定技術能力の向上、PM2.5 成分分析能力の向上、大気汚染モデリング活用能力の向上などが挙げられる。

①WG1：オゾンと気象の立体分布測定システムの開発と立体分布の解明

プロジェクト終了後も日本とメキシコでの若手研究者の育成に注力した。

②WG2：VOCs 成分測定システムの開発と環境動態の解明

本プロジェクト実施時の技術を元にして、プロジェクト終了後もさまざまな調査研究活動が行われ、報告、公表がなされている。本プロジェクトが、メキシコ側の自立的な研究開発能力の向上に寄与したものと認識している。

③WG5：大気汚染モニタリングデータ解析と発生源把握並びに大気汚染モデリングシステムの構築

“Model User Community”ワークフロー案を作成し、提案した。

④WG3、WG4、WG6：

日本国内での研修や現地での指導共同研究により、分析能力・解析・評価能力が向上した。

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

メキシコで実施したと同様の手法を用いてモンゴル、イラン等の途上国での大気環境保全支援を行っている。得られたデータを相互比較することにより、それぞれの国や地域の特徴が明確になり対策シナリオ検討に役だっている。

①WG5：大気汚染モニタリングデータ解析と発生源把握並びに大気汚染モデリングシステムの構築

日本、メキシコで実施したと全く同じ採取・分析システムをモンゴル、イランに JICA の大気保全支援プロジェクトで導入設置・運用する事により、相互比較が可能となった。

得られたデータを比較解析評価することにより、それぞれの国や地域の特徴が明確になり対策シナリオ検討に役だっている。例えば、ウランパートルは、特に冬は濃度が非常に高い。暖房に使用の石炭由来が主要因である。春は土壌粒子(大粒子)が増加する。テヘランでは工場排気など、特定の物質の濃度上昇がみられる。また、NO_xが高い目で、時季により高濃度化する(車排出は少なめ)。

6. 終了時評価における要望事項に対する現状報告

(1) 要望 1. プロジェクト終了後の相手国の観測・分析、研究および政策への反映のための体制の維持・強化と、それに対する日本側の協力、支援体制を維持・強化して頂きたい。それに関連し、本プロジェクトを通じて形成されたモデルコミュニティが、継続的に維持されるように協力して頂きたい。

(2) 要望 2. 提言案の内容については、科学的根拠に基づくものであることを貫いて頂きたい。相手側の要請でやや政治的に項目を追加、削除することは認めるとしても、提言案の内容と研究の結果をできる限り明確にしておいて頂きたい。研究の結果対策が必要との結論が得られながら提言から削除されたものはその記録を残して頂きたい。

(3) 要望 3. 今回のプロジェクトでは、大気汚染の住民への健康被害に関してはその範囲外であったが、今後、大気質のモニタリングと同時に、現地¹⁾の医学系の研究グループとの連携で健康被害の調査が地方都市でも行われると、研究の出口がより明確になると思われる。

要望 3 の健康影響を中心とした共同研究を実施する事で、要望 1、2 も実施して行こうとの観点から、プロジェクト終了後、若手の研究者がシニア研究者の助言を受けて、2017 年に『メキシコ首都圏における粒子状物質への曝露評価およびヒト健康影響評価・リスク評価に関する国際共同研究』(日本側研究代表者:産総研 篠原主任研究員)を申請したが不採択であった。翌年の 2018 年にもメキシコ側と再度相談し、同じテーマで内容をブラッシュアップして『メキシコ首都圏における粒子状物質への曝露評価およびヒト健康影響評価・リスク評価に関する国際共同研究』(日本側研究代表者:愛媛大学 鑪迫教授)を愛媛大学から SATREPS 申請したが、これも不採択であった。

その後は、個人的に交流を継続し、論文発表や授業等を行っている。また、メキシコの大気汚染の調査やメキシコ政府機関へのヒアリングを希望される方への情報提供や人的な橋渡しを行い感謝された。

7. プロジェクトの上位目標を踏まえた現状報告

プロジェクトの上位目標は「地域における大気汚染が削減され生活環境の改善が達成されると共に地球環境の改善に役立つコベネフィット対策の構築」と設定されている。

2 国間対等の SATREPS 共同研究が実施可能となり、多くの成果をおさめた後、科学的な知見にもとづいてのメキシコ連邦政府や各州の大気汚染対策シナリオの策定が出来るような提案を行った。この成果や提案を社会実装し、更に共同研究発展的に展開する為に 2 回にわたっての SATREPS 研究課題提案をしたが不採択であった。それ故、SATREPS 研究成果の社会実装は確認出来ていない状況である。

以上