

地球規模課題対応国際科学技術協力

(環境・エネルギー分野「地球規模の環境課題の解決に資する研究」領域)

オゾン、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

(メキシコ合衆国)

平成 25 年度実施報告書

代表者：若松 伸司

愛媛大学農学部 教授

<平成22度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

・本プロジェクトの達成目標

本共同研究プロジェクトでは、光化学オゾンや PM2.5（大気微小粒子）の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する。

具体的には地上から高度 10km 以上までのオゾンと気象の立体分布の把握、不確かさ 10%以下の測定精度での VOCs（揮発性有機化合物）成分の環境動態の把握、質量濃度との差が 15%の誤差以内の精度で計測された多成分同時測定による PM2.5 の環境動態の把握、アルデヒドの項目を含む個人暴露量の把握、全国規模での大気汚染モニタリングデータの解析評価や大気汚染モデリングによる発生源と環境濃度との関連性の把握を行う。

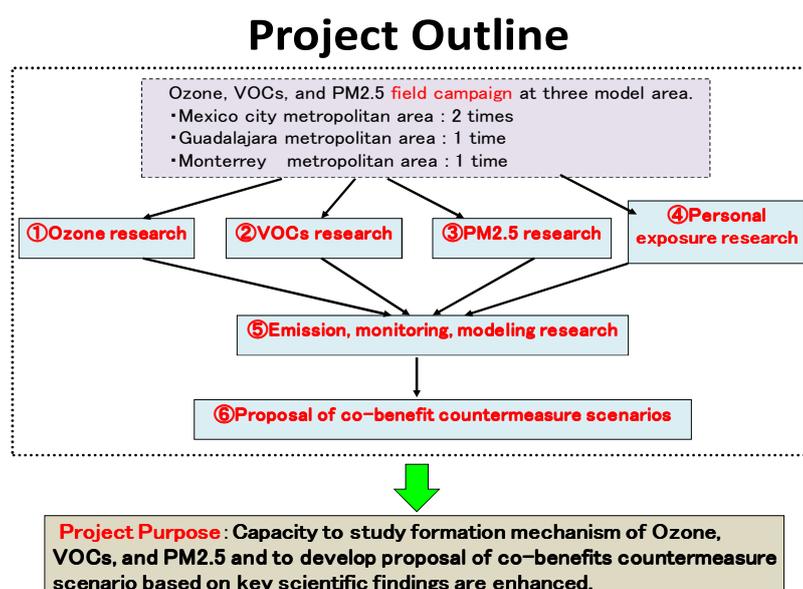
これらの研究結果を総合してメキシコにおける光化学オゾンや PM2.5 大気汚染の生成機構を解明し、メキシコのモデル都市やモデル地域における大気汚染対策シナリオの検討を行う。

・これまでのプロジェクトの概要

愛媛大学とメキシコ環境研究研修センター（CENICA）をそれぞれ日墨の代表機関として平成 22 年（2010 年）9 月に RD、平成 22 年（2010 年）12 月に MOU の署名がなされ、平成 23 年（2012 年）1 月から国際共同研究が実施されている。研究の実施に当たっては、生成機構解明と影響評価、対策シナリオ策定を行う為に、

- ① 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
- ② VOCs 成分測定システムの開発と環境動態の解明
- ③ PM2.5 成分測定システムの開発と環境動態の解明
- ④ 大気汚染暴露測定システムの開発と暴露レベルの把握
- ⑤ 大気汚染モニタリングデータ解析システムの構築と大気汚染モデリングシステムの構築
- ⑥ 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

の六つの研究課題を設定し、それぞれの課題を中心的に実施するワーキンググループ（WG）を設け相互に協力し合いながら調査研究が行われている。



2. 研究グループ別の実施内容

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

① 研究のねらい

これまで地上 500m 程度の高さ迄の情報しか得られていなかったオゾンの垂直分布情報を、高度 4000m 迄の山岳地域における地上のオゾン分布や上空 25km 程度までオゾン分布の把握に拡張して計測することによりメキシコにおける地上 10km までの対流圏オゾンの詳細な動態解明を行うことが研究のねらいである。

② 研究実施方法

オゾンの立体分布と気象の関連性の把握を図るため、オゾンゾンデによる計測と車載型のオゾン測定システム開発を行い、これを用いた観測を実施する。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

オゾンの立体分布測定システムの開発に関しては、機器整備を行い、野外観測を実施する順番で研究計画が作成されている。平成 22 年度(2010 年度)にメキシコ市において現地調査を実施しオゾンゾンデによる計測と車載型のオゾン観測を実施するための地点の検討を行った。また、日本においては、センサーの時間応答性能や、観測システムの構成に関する学術的検討を実施した。平成 23、24、25 年度には、日本とメキシコにおいて観測を実施し、データを収集・解析した。また解析結果を国内学会、国際学会で発表した。

以下、2 国間の比較から得られた結果を示す。

ゾンデ観測の 2 国間の比較

日本の都市部とメキシコシティを比較すると、オゾン濃度最大値のレベルは大きくは異ならず、午前中は濃度が低く、午後の地上付近で濃度が高くなるというパターンは共通している。

一方、以下の相違点が明らかになった。

○対流圏中層のオゾン濃度は、メキシコのほうが日本より低い。これは、従来、衛星観測により得られていた結果を in-situ 観測によって確認したものである。

○メキシコ盆地を囲う山地の上端と大気境界層の上端とがほぼ同じ高度にあり、この高度付近で風向・風速が複雑な鉛直構造を持つ。日本における通常の観測では見られない構造であり、最新の数値気象モデルによっても再現できていない。気象の鉛直構造の解明は、次の項目の活火山からの排出物の輸送を予測する上でも、重要な課題である。

○オゾンセンサーは SO₂ ガスの干渉を受けるが、メキシコシティでは、近くの活火山、発電所、精油所からの排出により、頻繁に測定値への影響が出るのが明らかになった。日本では三宅島の噴火後など、ごく限られた機会にしか SO₂ ガスは検知されていない。今後、SO₂ の干渉を防止するフィルターを用いたオゾンゾンデ観測技術の確立が課題となる。また、メキシコシティにおける SO₂ 排煙の鉛直構造を観測したのはこのプロジェクトが初めてであり、大気拡散モデルの検証用データとして活用してゆく予定である。

車載観測の 2 国間の比較

愛媛県では石鎚山系を中心に実施し、西日本での特徴である広域移流(中国大陸などから)によるオゾン濃度の変化をとらえた。

メキシコシティでは、盆地である地形の特徴と汚染の排出が大きい大都市であることから、地域に汚染が蓄積している様子がよく観察された。

オゾンの濃度分布を明らかにする上で、共に NO_xの濃度が重要な役割をすることが明らかとなり、現時点で

は、NO がオゾンを消費する役割が大きいことがわかっている。

④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)
 これまでの技術移転の成果により、メキシコ独自の立体分布観測の実施が可能となった。メキシコでは実施されていなかったオゾンゾンデ観測が実施されるよう調整中である。

⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)
 UNAM(メキシコ国立自治大学)との共同研究が実施できるようになった。
 SMN(メキシコ中央気象局)との共同研究が実施できるようになった。

特筆すべきは SMN(メキシコ中央気象局)との関係が深められた点である。当初の計画には無かった部分である。共同観測やデータ交換等の実質的な共同研究の進展に加えて、本プロジェクトの貢献により CENICA と SMN が協力してメキシコ政府においても独自にオゾンゾンデ観測を実施する方向で協議が進展している。これ迄、空白となっていた中米でのオゾン立体分布ルーチン観測が実現出来れば世界的なオゾン観測ネットワークが構築される事となる。前政権時に SMN 内では実施の方向で検討が深められていたが、新政権での更なる協議・調整が必要である。

WG2: VOCs 成分測定システムの開発と環境動態の解明

① 研究のねらい

今回新たに作製する標準ガスシステムを用いて機器精度管理を向上させ、日本において認証された不確かさ10%以下の標準ガスによる校正システムを用いて、メキシコの環境 VOCs 成分濃度を高精度で把握し動態解明を行うことが研究のねらいである。

☆数値目標について

一般に供給されている標準ガスの仕様(例)

VOCs 測定では分析機器の校正が必須であり、その校正のために標準ガスが用いられる。メキシコで入手可能な標準ガスの成績書の例を以下に示す。

CERTIFICATE OF ANALYSIS			
Sales#:	108257356	Cylinder Size:	6A (3.2" X 9.4")
Production#:	1184764	Cylinder #:	AB-100679
Certification Date:	Jul-12-2011	Cylinder Pressure:	1800 psig
P.O.#:	11-093	Cylinder Valve:	CGA 180 / Aluminum
Blend Type:	CERTIFIED	Cylinder Volume:	0.8 Liter
Material#:	24086383	Cylinder Material:	Aluminum
Traceability:	NIST by weight	Gas Volume:	104 Liter
Expiration Date:	Jul-12-2012	Blend Tolerance:	10% Relative
Do NOT use under:	150 psig	Analytical Accuracy:	5% Relative

COMPONENT	CAS NUMBER	REQUESTED CONC	CERTIFIED CONC
Ethylene	74-85-1	1.00 ppm	1.10 ppm
Acetylene	74-86-2	1.00 ppm	1.10 ppm
Ethane	74-84-0	1.00 ppm	1.10 ppm
Propylene	115-07-1	1.00 ppm	1.08 ppm
Propane	74-98-6	1.00 ppm	1.06 ppm
Isobutane	75-28-5	1.00 ppm	1.06 ppm

図. メキシコ(CENICA)で使用された標準ガスの成績書(一部)

この成績書の場合、標準ガスの不確かさのみで 5%であり、これは標準ガスに含まれる成分すべてについて一律である。なお、標準ガスのトレーサビリティについては不十分であるが、世界的に共通する問題でありメキシコだけの問題ではない。

標準ガスの濃度値の信頼性については、その標準ガスによって大きく異なっている。そのため、実際の不確かさは 5%よりも大きいものが存在していると考えられている。

標準ガス同士の比較例

CENICA が所有している標準ガス(Linde 社製および PRAX 社製)を用いて、同じ濃度レベルが付与されている 2 本について比較測定を行った。その結果を以下に示す。

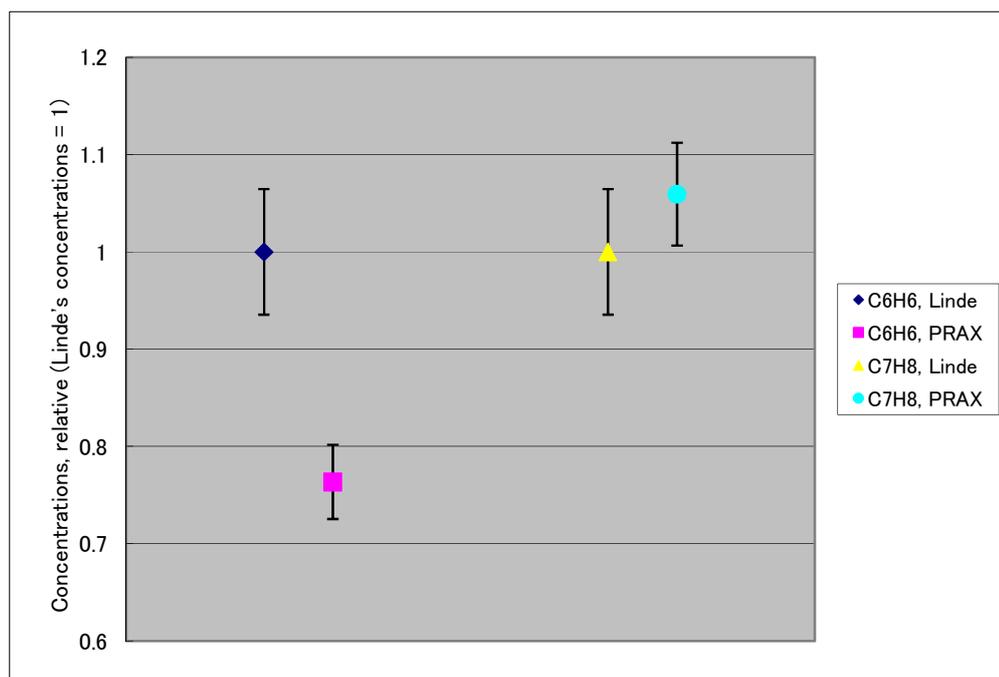


図. CENICA 所有標準ガス中に含まれるベンゼン、トルエンの濃度の比較

得られた結果によると、トルエンについては2つの結果が不確かさの範囲内で一致しているが、ベンゼンについては明らかな差が確認できた。この差は相対値でおよそ 24%であった。この結果のみでは結論を導くことはできないが、標準ガスに付与されている濃度値そのものについて、見積もられていない不確かさが存在していることを示唆している。分析機器による測定そのものに起因する不確かさは、現状で 10%程度である。

このような現状を踏まえ、VOCs 測定の不確かさを 10%以下にする、という目標を設定した。具体的には、標準ガスに起因する不確かさの見積りをより詳しく行ってこれを 5%以下に低減、分析機器による測定について装置最適化等を行ってこの測定に起因する不確かさを一桁後半パーセント(5%~9%)に低減、これらの不確かさを合成して得られる VOCs 測定の不確かさを 10%以下にするものである。

② 研究実施方法

より高精度で多項目の計測が可能な測定システムを構築し、これを用いての環境大気中における VOCs の動態解明を行う。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

VOCs 測定システムの開発に関しては、機器整備を行った上で、計測を実施する順番で研究計画が作成されていた。平成 22 年度(2010 年度)には、標準ガスによる校正システムを構築した。メキシコの環境 VOCs 成分濃度を高精度で把握し動態解明を行った。平成 23、24、25 年度には校正手法を確立し、サンプリングと分析を実

施した。

- ・道半ばではあるものの、大気の質の改善傾向を確認した。
- ・VOCs 発生源対策を行う上で、LPG に関わる部分も重要であることを確認した。
- ・VOCs 濃度を測定する機器を校正するために用いる PAMs 標準ガスについて、標準ガス中の成分濃度値を不確かさ 5%以下のレベルにて値付けできることを確認した。
- ・当初メンバーに入っていなかった CENAM(メキシコ計量センター)との連携を確保した。これについては、WG2 の VOCs のみならず NO_x などを含む環境基準項目全体の精度管理の確立、各環境基準項目の測定精度の向上が期待できるものである。また、より広範で信頼性の高いデータに基づく大気環境政策の立案、実施、評価への貢献を期待できる。

このプロジェクト実施中に得られた結果の一例を以下に示す。

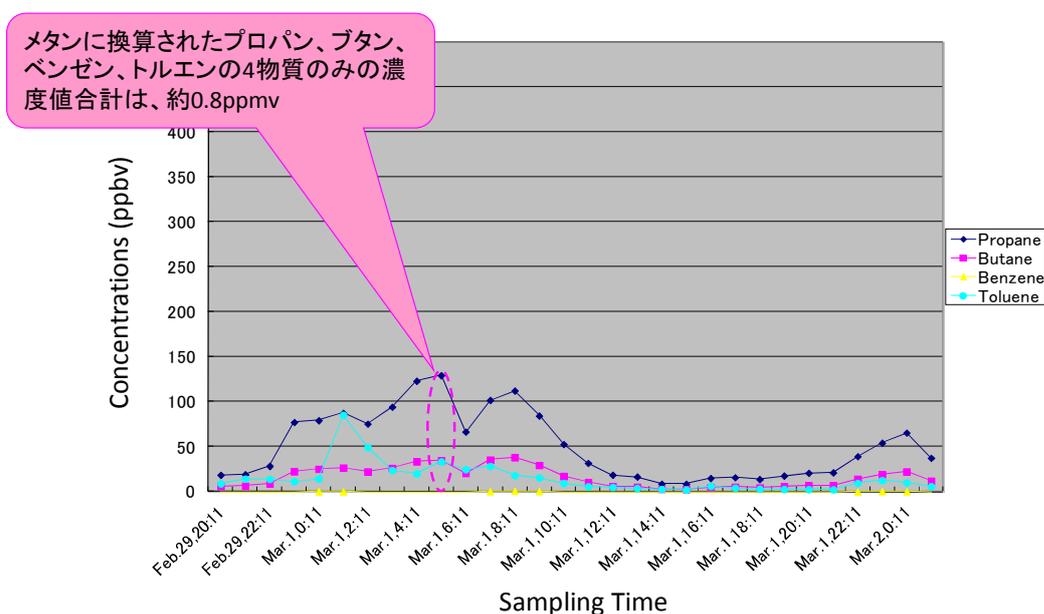


図. 測定点 CENICA における大気中炭化水素濃度の測定例(2012 年 3 月)

日没とともに VOCs 濃度が上昇、日昇とともに VOCs 濃度が下降していった。この動きは、日本でも同じ傾向を示している。

プロパン、ブタン、ベンゼン、トルエン濃度の合計値の最大値は、メタンに換算されたもので約 0.8 ppmC であった。

日本では環境省大気汚染物質広域監視システム (Atmospheric Environmental Regional Observation System) による測定値が公開されているが、その数値は成分毎の結果ではなく非メタン炭化水素(C₂~C₉)の濃度である。これによると日本国内における大気汚染がひどいところでも、メタン濃度に換算された値で 1 ppmC 程度であった。日本の大気汚染に関わる指針値では、日中オゾンの日最高 1 時間値 0.06 ppm に対応する午前 6 時から 9 時までの非メタン炭化水素濃度値の 3 時間平均値は 0.20 ppmC から 0.31 ppmC とされている。

単純比較はできないが、メキシコシティでは 4 成分の合算値のみで日本の非メタン炭化水素の濃度に達している。

データ解析・評価の例を以下に示す。

本プロジェクトの開始前のデータ例として、CENICA で 2000 年 3 月に得られた結果を示す。

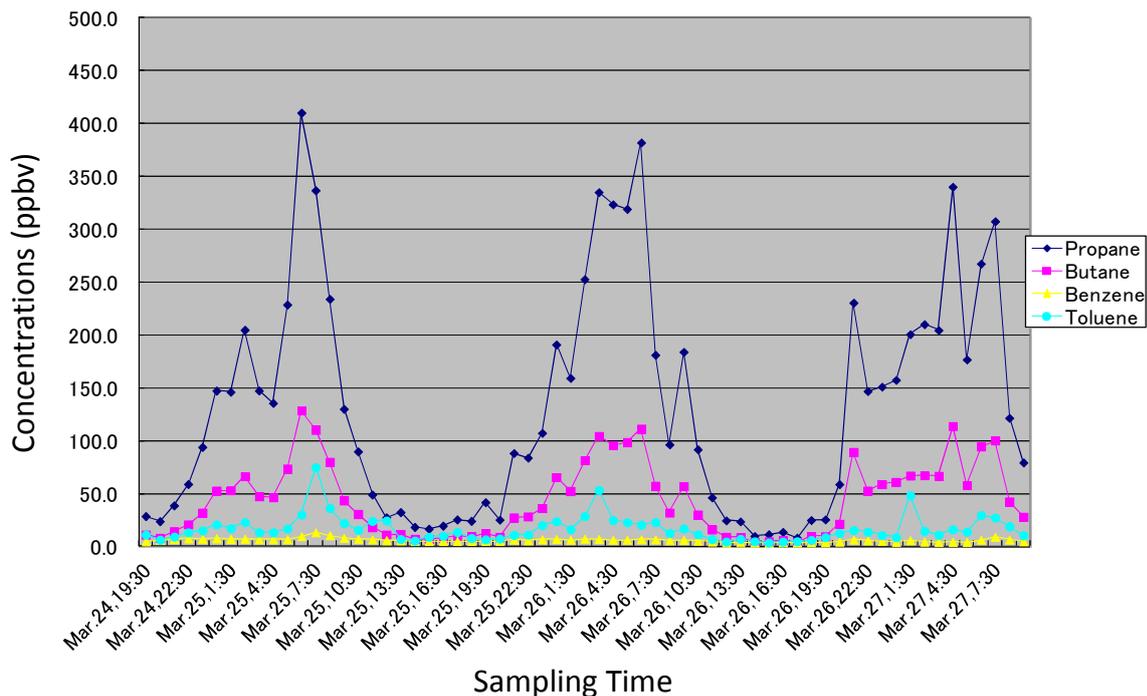


図. 測定点 CENICA における大気中炭化水素濃度の測定結果(2000 年 3 月)

次に、本プロジェクトで得られた観測例として、同じ観測点 CENICA で 2012 年 3 月に得られた結果を示す。

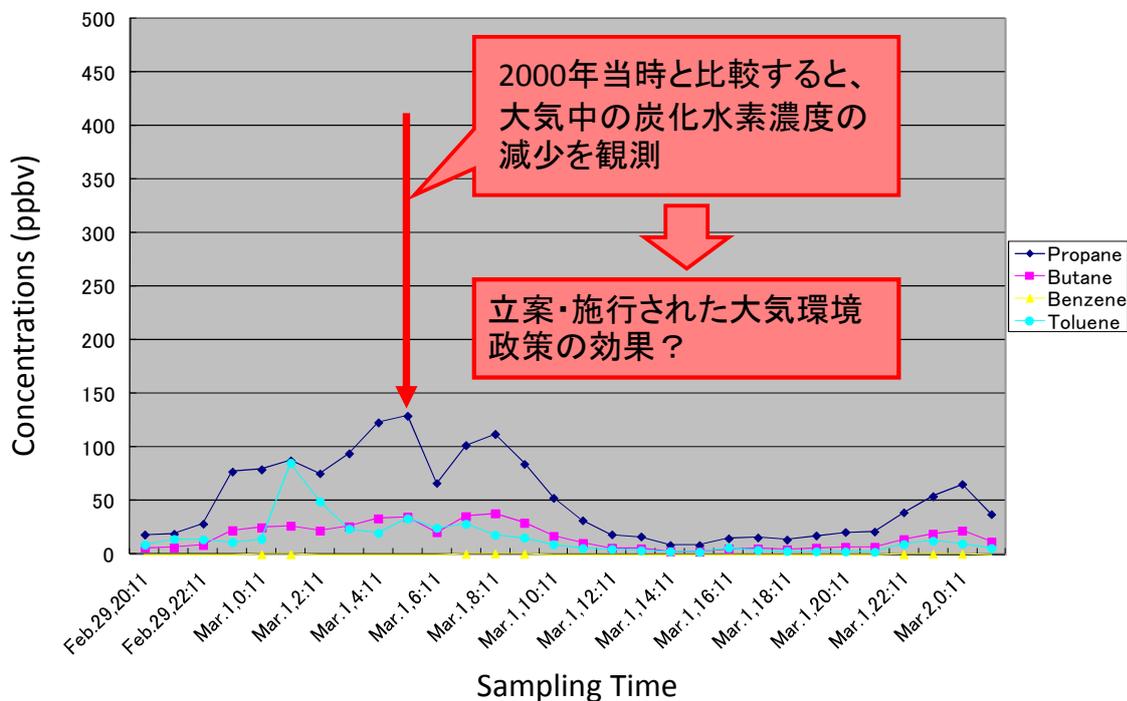
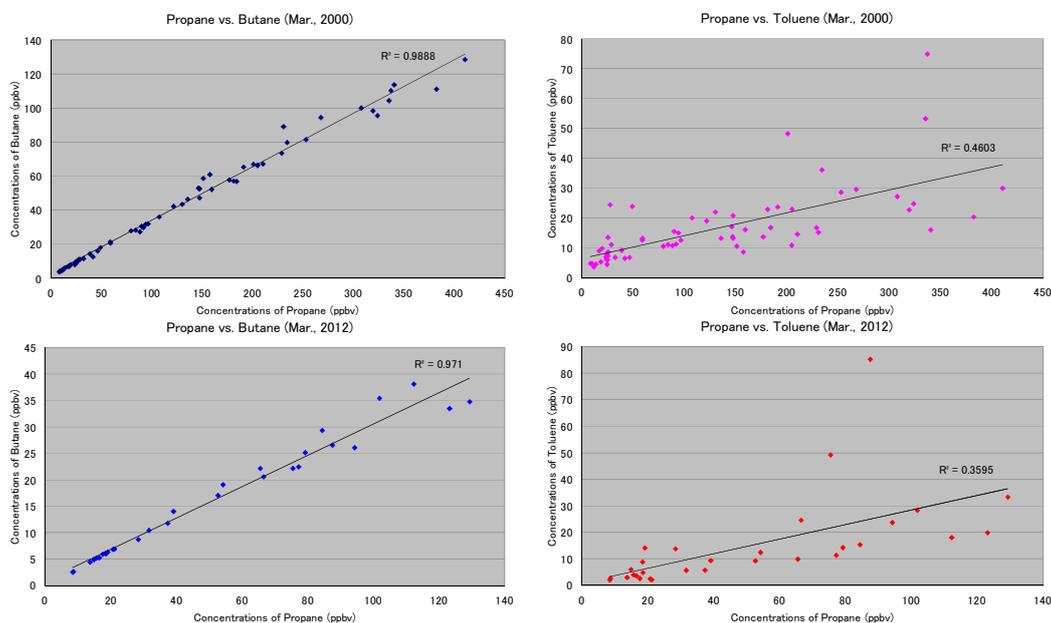


図. 測定点 CENICA における大気中炭化水素濃度の測定結果(2012 年 3 月)

2 つの測定結果を比較すると、明らかに大気中炭化水素濃度が減少していた。とくに、ベンゼンの濃度の減少は顕著である。

2012 年の測定結果では、深夜にトルエン濃度の異常な上昇が観測されており、自動車以外の想定していない発生源の存在を示唆している。

次に、得られた VOCs 各成分濃度の相関関係を確認した。



二組いずれの相関関係も、2000年のものと2012年のものが類似→発生源そのものは変わっていない

図. 濃度値の相関関係

プロパンとブタン、プロパンとトルエン、について相関関係を確認すると、これら二組の相関関係は、2000 年のものと 2012 年のものが類似していた。このことから、発生源そのものは変わっていないことが示唆された。

CENICA 以外の観測点で得られた結果について、次の図に示した。

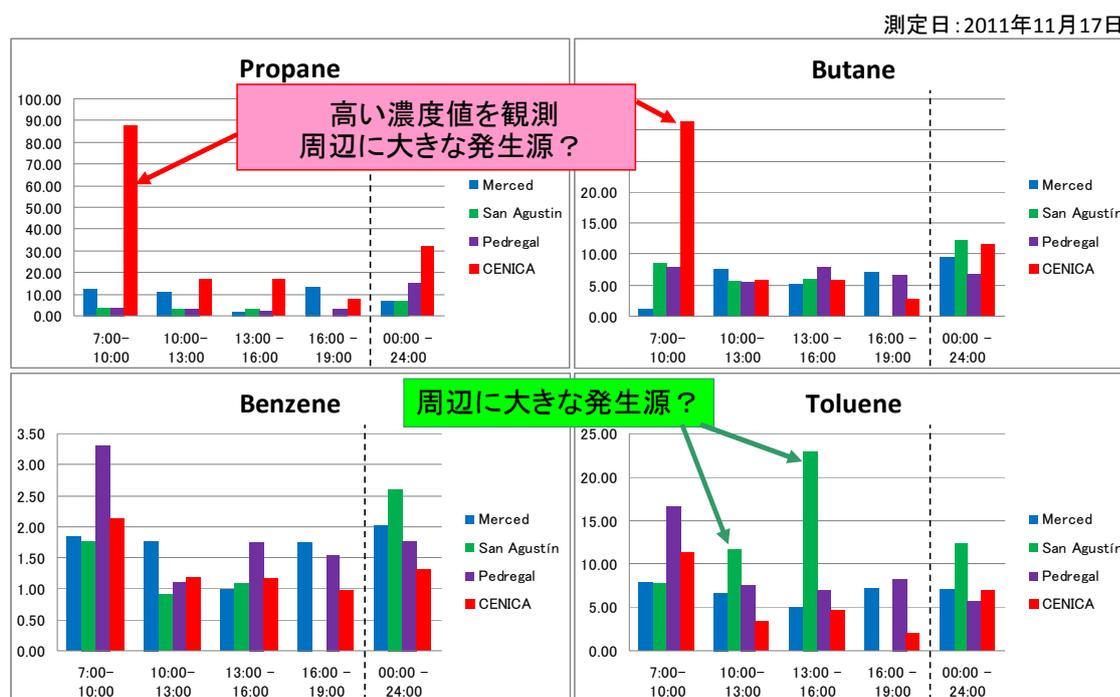


図. 本プロジェクトで得られた観測データの解析・評価結果

得られた結果を解析すると、基本的には日昇とともに大気中 VOCs 濃度が低下し、日没付近で VOCs 濃度の上昇が確認された。San Agustin では、日中にトルエン濃度の上昇がみられたが、これは工業地域における産業活動によってトルエンの排出が行われたものと考えられ、予想通りの結果であった。

大気中のベンゼンの濃度については、CENICA での観測を除いて 24 時間平均で 1.50 ppbv を超えていた。日本では大気中のベンゼンの濃度が大気環境基準によって規制されており、その基準値は 0.003 mg/m^3 (約 1.5 ppbv) である。健康影響に関わるベンゼン濃度の観点からも、メキシコシティの大気の質には改善の必要がある。

CENICA ではプロパンおよびブタンについて、非常に大きな濃度値が観測された。この 2 成分の発生源は LPG と考えられる。メキシコシティでは全般的にプロパン、ブタンの濃度は高いが、観測点 CENICA ではそれが異常に高い。これらのことから、LPG 由来と考えられる発生源対策を企画立案施行することが望まれる。

④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

これまでの技術移転の成果により、VOCs 測定機器類は利用可能な状況にあったが、一部老朽化した箇所の修理が必要な為、これに対する検討を行い、機器の整備が完了した。

⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

平成 23 年度(2011 年度)から CENAM(メキシコ国家計量センター)との共同研究を開始し、平成 24 年度(2012 年度)には 12 月に CENAM より 1 名、日本の産総研へ共同実験に訪れ、BTEX の標準ガス作製を行った。ガスはメキシコに輸送され、今後 CENICA と連携してメキシコにおける標準として VOCs 分析に供する。

特筆すべきは CENAM(メキシコ標準局)との関係が深められた点である。当初の計画には無かった部分である。本プロジェクトの貢献により、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る見通しであり、このシステムはメキシコにおける VOCs 成分分析精度管理のスタンダードとなる。CENICA と CENAM との間での MOU は締結したが、今後はメキシコ国内における運用方法に関する調整が課題である。

WG3:PM2.5 成分測定システムの開発と環境動態の解明

① 研究のねらい

PM2.5 の無機イオン成分、有機及び元素状炭素成分、金属成分を質量濃度の 15%以内の誤差で同時に把握し、これを用いての発生源推計を行うことが研究のねらいである。

☆数値目標について

PM2.5 の秤量濃度に対して、次の主要 7 分類成分濃度の合計によってほぼ説明できることが知られている。すなわち、1) 硫酸アンモニウム $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、2) 硝酸アンモニウム NH_4NO_3 、3) 有機物、4) 元素状炭素、5) 土壌、6) 海塩、7) 非土壌性カリウムである。

従って、炭素成分、水可溶性イオン及び各種元素を十分な精度で分析して成分濃度を得ると、上述の 7 分類成分の濃度で秤量濃度を説明できる。秤量濃度に対して、これを説明する各種化学成分濃度の組をもって統計解析に供するので、十分な精度が求められる。当然、分析にともなう誤差があるので、総合的な要求精度を 15%とした。

② 研究実施方法

PM2.5 の重量計測に加え全成分測定システムの開発を行う。これを用いての環境大気中における PM2.5 の動態解明を行う。

それぞれの地域での発生源の比較とともに、アジア大陸の東側に位置する日本列島と高地の盆地であり緯度の低いメキシコとの、地理的相違に基づく気象に関する大気場の相違によって、生成するPM成分がどのように異なるかを比較する。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

PM2.5 測定システムの開発に関しては、機器整備を行った上で、計測を実施する順番で研究計画が作成されている。平成 22 年度(2011 年度)にはメキシコにある無機イオン成分、有機及び元素状炭素成分、金属成分濃度計測システムを構築した。平成 23 年度には分析手法を確立し、日本とメキシコでのサンプリングと分析を実施し、現在問題となっている PM2.5 成分の国際比較研究への道を拓いた。平成 23、24、25 年度には、日本とメキシコでの試料採取を実施した。また、三回にわたって集中観測を行い、試料採取と分析、解析を行った。

日本では、PM2.5 試料捕集は 3 日毎に 2 年間以上続けており、成分分析も大略終了している。これまでに得られたこれら観測データから、大阪で PM2.5 濃度の日平均値が環境基準値である $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過する理由が成分濃度から明らかになった。特に春季では土壌性粒子(黄砂)による場合が多かった。また、季節によって硫酸塩粒子、炭素成分の場合も観測された。

汚染源の同定について、捕集した PM2.5 試料捕集量の秤量(電気天秤法)、PM試料の炭素成分(OC/EC 炭素分析法)、水可溶性イオン(イオンクロマト法)および各種元素(蛍光X線分析法)の分析定量によって得られるPM2.5 の化学成分データの組が必要である。それぞれの操作手順は、蛍光X線分析によるデータ解析を除いて、極めて簡単であるが、継続して行うことが肝要である。

分析データが得られないと当然同定することはできない。また統計解析が行える十分な数のデータの組が得られないときには、個々の分析データを指標元素法で解析することも可能である。

日本では、PM2.5 試料捕集は 3 日毎に 2 年間以上続けており、成分分析も大略終了しており、現状では環境基準濃度を超過した日をレセプターモデルによる解析のため、2 年間分を目途に分析データ値の精査を進めている。我が国では環境基準を超過する高濃度時に、どの主要分類成分が最も大きく寄与しているかが明らかになっている。

メキシコについては、モンレー、グアダハラにおける観測が全く実施されていない。メキシコ側ではデータ解析はあまり進捗していなかったが、捕集された試料について一部日本側で分析を進め、メキシコシティでの PM2.5 成分が明らかとなってきた。また、2013 年の 10 月に 1 週間のサンプルを採取し持ち帰って分析を実施した。この結果により、特定の期間ではあるがメキシコシティにおける PM2.5 の組成が明らかとなった。日本とメキシコとで、同じサンプリングシステムを用いての PM2.5 と PM coarse (PM10-PM2.5)の試料採取が出来た事が特筆すべき成果である。当初の計画に含まれていたものである。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。大阪での 1 年間の採取試料の成分分析は実施されてデータが確定しているが、メキシコの成分分析結果は精査が必要な状況にある。今後の分析精度向上が課題である。

④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

これまでの技術移転の成果により、PM2.5 測定機器類は概ね利用可能な状況にあるが、一部、取り扱い方法の問題で不都合が生じている部分がある為、分析機器の修理調整を行った。分析技術者の養成が必要である。

進捗度が他と比べてやや遅れている最大の理由は、メキシコ側の人員不足である。プロジェクト開始時にはメ

キシコ側に意欲的なカウンターパートとして Arturo がおり、順調に試料捕集が開始されたが、翌年 3 月末で退職し、その後、後任が長期間決まらなかったことである。また、メキシコのシステムとして、WG3 に関する実務がほぼアルバイトによって担当されていて、上からの指令がないと動かないことにもある。

また、電源不安定等の為、分析機器(OC/EC 炭素分析装置および蛍光X線分析装置)の故障が多く発生しており、データの精査と機器整備、分析指導が今後の課題である。

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

① 研究のねらい

メキシコのモデル都市での対象とするグループや活動パターンに対応した、オゾン、VOCs(アルデヒドを含む)、PM2.5の個人暴露レベルの把握がなされることであり、大気汚染個人暴露量を基にモデル地域における大気汚染リスクが評価されることが研究のねらいである。また、沿道大気汚染の生成機構を明らかにする。

② 研究実施方法

大気汚染個人暴露計測データ、環境計測データ、モデル計算データを組み合わせて大気汚染暴露測定システムを開発する。これを用いて暴露量の評価を行う。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

大気汚染暴露測定システムの開発に関しては、サンプリングシステムや分析システムの構築を行った上で、計測を実施する順番で研究計画が作成されている。

平成 22 年度(2010 年度)には測定システムの設計・試作を行った。また、メキシコのモデル都市での対象とするグループや活動パターンに対応して、大気汚染リスクが評価出来るかどうかに関する協議を実施した。

平成 23 年度に暴露評価手法を確立し、平成 23、24 年度にはこの手法を用いて交通機関における個人暴露調査を三回に亘って実施した。

これまでにメキシコにおいて行ってきた曝露調査は、通勤・通学時の車内における曝露調査(メキシコシティー 2011 年 5 月)、通勤・通学時の車内・屋外における曝露調査(メキシコシティー 2011 年 11 月、2012 年 3 月)、ガソリンスタンドにおける曝露量調査(グアダラハラ 2012 年 5 月)である。これらについて、物質間の相関関係や交通機関や場所ごとの曝露濃度の比較は行っている。対策効果につなげるための解析として、費用対効果分析を検討しているが、メキシコシティーにおける対策実施に関わる費用についての確からしい情報が得ることができておらず、今後の課題である。

データの解析の結果、日本では、バスや地下鉄や鉄道における曝露調査事例があり、アルデヒド類や VOC 類の多くが、バスにおいて他の交通機関の倍以上の曝露濃度を示している。ただし、呼吸由来のアセトンやイソプレン、衣服の防虫剤由来の p-ジクロロベンゼン等は乗客密度に比例して、鉄道 > 地下鉄 > バスの順に高い。メキシコでは、マイクロバスに比べてバスにおける曝露濃度は低く、バスにおけるホルムアルデヒドやトルエンへの曝露濃度は、東京とメキシコシティーで大きな違いはない。ベンゼンについては、メキシコの交通機関において日本の数倍と高い。

④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

この課題に関してはメキシコにおいて過去に多くの実績があるので、メキシコ側独自の観測・解析が行われている。測定機器類の調整、整備を完了した。

⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

平成 23 年度(2011 年度)に、この課題と関連して、沿道大気汚染の動態把握に関する UNAM(メキシコ国立自治大学)との共同研究を実施した。25 年度には外部資金が獲得出来、共同研究を開始した。

特筆すべきは沿道大気汚染研究に関して UNAM(メキシコ国立自治大学)との関係が深められた点である。当初の計画には無かった点である。本プロジェクトを補完する形で外部機関(DF)への委託研究予算の申請を行い 2013 年に実施する研究に対しての予算が獲得出来た。UNAM においては観測、愛媛大学(神田、若松)においてはモデル解析を実施する。

WG5:大気汚染モニタリングデータ解析システムの構築と大気汚染モデリングシステムの構築

① 研究のねらい

メキシコ全土の大気汚染状況が同じ解析手法を用いて統一的に把握されること、大気汚染シミュレーションモデルやデータ解析に基づいてメキシコのモデル都市における大気汚染と発生源の関連性が、気象状況及び発生源の地域分布・排出量の時間変化の寄与の程度を基に定量的に把握されることが研究のねらいである。

② 研究実施方法

大気汚染モニタリングシステム(SINAICA 等)により得られたデータの解析システム構築を行う。更に、発生源の把握、気象条件の把握を行い、輸送モデル、化学反応モデルを組み合わせ、大気汚染モデリングシステムの構築を行う。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

大気汚染モニタリングデータ解析システムの構築と大気汚染モデリングシステムの構築に関しては、データ解析手法や発生源把握手法の検討と情報収集、次いでモデルシステムの構築を行った上で解析評価を実施する順番で研究計画が作成されている。平成 22 年度にはメキシコにおける大気汚染モニタリングデータの把握とデータ解析を実施した。これと共に発生源データ、気象データなど各種データ収集・利用のためのコミュニティの構築を提案した。更に利用するモデルシステムに関する協議を行った。平成 23 年度には、大気汚染発生源把握のための計算機システムを構築した。平成 24 年度にはモデル都市における、モニタリングデータの解析を行った。また、大気汚染発生源の把握に関する実務チームを立ち上げ作業を行った。これと共にモデル計算機システムの構築を完了した。

メキシコ市やメキシコ全土を対象とした排出量データを調べ、1999 年、2005 年、2008 年における排出量データを収集した。

大気汚染モデリングシステムに必要な機材は、愛媛大学と CENICA へ導入済みである。愛媛大学では、稼働を開始しており、気象モデルによるシミュレーションを行っている。CENICA では、WRF/Chem によるシミュレーションを行っている。

輸送・化学反応統合モデルについては、モデリングとは、気象モデルと大気質モデル(輸送・化学反応モデル)のことであり、これまで収集してきた排出量データを用いて、メキシコ市とグアダハラを対象に気象モデルと大気質モデル(輸送・化学反応モデル)によるシミュレーションを実施している。今後は、各対象都市での高濃度日のモデルの再現性を確認し、さらに NO_x や VOCs の排出量を削減した場合の大気質の応答を調べ、各対象都市の大気汚染対策のシナリオ作り(WG6)の基礎資料として提供したい。

収集したモニタリングデータを日本において解析した結果より、メキシコシティはその地形と、自動車の急激な増加などから大気汚染が深刻な国であったが、近年対策が進み、汚染物質の排出は大幅に削減されてきている。一方、排出される汚染物質からの二次生成により発生するオゾンについては、減少率が小さいこと、オゾンの最大濃度時間が増加している事などが明らかとなってきた。上記は、日本の全国的な濃度傾向においても同様のことが示唆されており、オゾンの生成における、NO_x と VOCs の関係を明らかにすることが重要であるといえる。

④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む) モニタリングデータ、発生源データに関しては、整備が不十分であるので精査を行い、独自にデータを収集した。モデルに関してはメキシコサイドとの協議を行った。

⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

平成 23 年度には、この課題と関連して、沿道大気汚染モデルに関する UNAM(メキシコ国立自治大学)との共同研究を開始した。平成 24 年度には CENICA、INECC、UNAM、DF 等をメンバーとするモデルコミュニティを構築しワークショップが開催出来た。

特筆すべきはモデルユーザコミュニティの構築がなされた事である。これは本プロジェクトの実施過程で斎藤研究員の提案で試行錯誤的に構築がなされて来たものである。含まれる組織・機関は UNAM(メキシコ国立自治大学)、SEMARNAT(メキシコ環境天然資源省)、INECC (National Institute of Ecology and Climate Change:メキシコ国立環境気候変動研究所)、GDF(メキシコ市)、IMP(メキシコ石油研究所)、CENICA(環境研究研修センター)、モントレー工科大学トルーカ校(Tecnologico de Mty Campus Toluca :ITESM)、COFEPRIS(連邦衛生保健委員会)、並びに、コンサルや自治体等である。このような試みは日本においても無いものであり日本においても大いに今後の参考になると考えられる。

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

① 研究のねらい

メキシコのモデル都市における大気汚染の生成メカニズムが明らかになり、発生源と環境濃度の関連性が把握され、モデル地域における大気汚染対策メニューが示されること、また得られた研究成果を基にセミナーや研修を通じて情報交換や技術移転を行い大気汚染生成メカニズムの把握方法や対策シナリオ策定技術の普及がなされることが研究のねらいである。

② 研究実施方法

WG1~5 の研究成果を踏まえ、社会・経済的検討を行い、モデル都市やモデル地域における地域大気汚染対策と気候変動対策に資する対策シナリオをメキシコ環境省や地方自治体に対して提言する。

また得られた研究成果を基にセミナーや研修を通じて情報交換や技術移転を行い大気汚染生成メカニズムの把握方法や対策シナリオ策定技術の普及を実施する。得られた成果をプロアイル等に反映させる。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

大気汚染対策シナリオの提言に関しては、モデル都市における大気環境実態の情報収集を行った。

平成 23、24 年度にはメキシコ首都圏地域、グアダラハラ都市圏地域の関係機関へのヒアリングと意見交換を実施した。

各都市圏の大気汚染対策を取りまとめたプロアイルの最新版のレビューとヒアリング調査を行い、対策状況の把握を行った。特にメキシコ首都圏においては、予想以上に広範な対策を行っており、温暖化対策とのコベネ対策にもなっていることが分かった。グアダラハラ都市圏も、都市計画や公共交通に関する対策を進めているが、政権交代により、流動的な側面がある。他方で、コベネ対策や持続可能な地域の発展に関する最新の議論を対策シナリオに反映させることを検討している。

今後、WG1-5 の成果の反映と、より先進的な対策の提案を含む対策シナリオの策定を進めたい。

具体的には、各 WG からの期待されるアウトプットとして

・WG1 からは地上のみならず都市域全体の 3 次元的なオゾンの量や分布、オゾン移動の情報が(新規性、数値目標あり)、

- ・WG2 からは VOCs 成分の情報が(高精度のデータが初めて得られる。数値目標アリ)、
 - ・WG3 からは PM2.5 成分の情報が(高精度のデータが初めて得られる。数値目標アリ)、
 - ・WG4 からは都市の生活、特に自動車影響による大気汚染個人暴露の情報と、沿道大気汚染の動態に関する情報が、
 - ・WG5 からは大気汚染濃度の実態・トレンドの情報、大気汚染発生源の情報、発生源と環境濃度との関連性に関する情報が、
- それぞれ得られる。

モデル都市の DF、グアダハラ、モンテレー3 都市総てで同じ質の情報が得られるかどうかは未定だが、これらを組み合わせて WG6 につなげて行く。WG6 の課題として具体的に以下の三つを想定している。

課題1 局所大気汚染対策として、沿道大気汚染対策と暴露量の低減シナリオ

(WG2,3,4,に深く関連)沿道大気汚染

課題2 都市大気汚染対策として、オゾン濃度低減のための前駆物質(NO_x、VOCs)の削減シナリオ

(WG1,2,3,5 に深く関連)都市大気汚染

課題3 地球規模大気環境対策(CO₂ や短寿命気候汚染物質 SLCPs であるオゾン、EC、並びに VOCs 成分～オゾン生成に間接的に関連～)との関連を考えた、沿道および都市大気汚染対策両面からの、交通システムや都市システム(エネルギーシステムを含む)の見直しのシナリオ(課題1と課題2の両面からのコベネ対策シナリオ)。

現段階では、以下のような各グループの結果が、対策提案につながると想定される。

WG2 の結果より、自動車等の移動排出源やその関連施設であるガソリンスタンド等への対策は重要である。また観測結果から、家庭で一般的な熱源として使用される LPG についても、さらなる対策(LPG 使用機器や LPG 供給関連インフラに関わる規制の強化など)が必要と考えられる。

WG3 で得られた成果に基づいて、種々の発生源の寄与が明らかになれば、発生源対策の優先度が明らかにできることが期待できる。

WG5 より、各対象都市での高濃度日のモデルの再現性を確認した後、さらに NO_x や VOCs の排出量を削減した場合の大気質の応答を調べ、各対象都市の大気汚染対策のシナリオ作り(WG6)の基礎資料として提供したい。

以上の WG1-WG5 の成果を踏まえ、地域と地球の大気環境改善に資する対策シナリオの検討を行うことが課題である。これまでに情報収集やプロアイルの精査を行って来たがメキシコ環境庁 INE(National Institute of Ecology) がメキシコ環境・気候変動庁 INECC(National Institute of Ecology and Climate Change)となり、新たに地球環境問題が加わったので、今後は INECC の職員とのコンタクトを深め具体的な作業を進めていきたい。

④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

モデル都市に関しては都市毎の大気環境管理計画(プロアイル)のレビューを行った。今後、それぞれの都市に対して特化して取り組むべき課題についての協議を実施する。平成 25 年度に現地での研究組織が再構築された。

3. 成果発表等

(1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数(国内 1 件、国際 2 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 5 件、海外 3 件)

③ 論文詳細情報

- ・松橋啓介、米澤健一、有賀敏典「市町村別乗用車 CO2 排出量の中長期的動向を踏まえた排出量削減策の検討」都市計画論文集, 46(3), 805-810 (2011)
- ・斎藤 正彦, 若松 伸司, 岡崎 友紀代, 堀越 信治, 山根 正伸, 相原 敬次:数値モデルを用いた丹沢山地のオゾンの挙動解析. 大気環境学会誌, 47, 5, 217-230, 2012
- ・Akira Mizohata, Norio Ito and Junko Matsumoto : A&WMA, Speciality conference " Air Quality and Measurement Methods and Technology" April 24-26,2012 at Durham,NC
- ・若松伸司*, 斎藤 正彦, 神田勲*, 岡崎 友紀代*:ブナ林の大気環境. 森林科学, 第 67 号, 2013
- ・松橋啓介、村山麻衣、増井利彦、原澤英夫「持続可能社会への転換に向けた叙述シナリオ構築に関する試みー生産活動の観点からー」環境科学会誌, 26(3),226-235 (2013)
- ・斎藤 正彦, 若松 伸司, 相原 敬次:丹沢山地における樹木のオゾン取込み量の推定. 大気環境学会誌, 48, 6, 251-259, 2013
- ・Shinji Wakamatsu, Tazuko Morikawa, Akiyoshi Ito "Air Pollution Trends in Japan between 1970 and 2012 and Impact of Urban Air Pollution Countermeasures" Asian Journal of Atmospheric Environment, Vol. 7-4, pp.177-190, December 2013
- ・I. Kanda, R. Basaldud, N. Horikoshi, Y. Okazaki, S. E. Benitez Garcia, A. Ortinez, V. R. Ramos Benitez, B. Cardenas, S. Wakamatsu
Interference of sulphur dioxide to balloon-borne ECC ozone sensors over the Valley of Mexico
Atmospheric Measurement Techniques Discussions, Vol.7, 2014, pp.293-320

(2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳 (国内 0 件、海外 0 件、特許出願した発明数 0 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件、海外 0 件)

4. プロジェクト実施体制

(1) 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

- ① 研究者グループリーダー名:若松伸司(愛媛大学・教授)
- ② 研究項目
 - ・オゾンゾンデによりオゾンを測定する。
 - ・車載型測定装置によりオゾンを測定する。
 - ・大気環境中のオゾン分布と気象を観測する。
 - ・大気環境中の光化学大気汚染の立体的な動態を把握する。
 - ・メキシコと日本における立体的な光化学大気汚染を比較する。

(2) VOCs 成分測定システムの開発と環境動態の解明

- ① 研究者グループリーダー名:渡邊卓朗((独)産業技術総合研究所・研究員)
- ② 研究項目
 - ・VOCs 測定の精度管理レベルを改善する。
 - ・大気環境中の VOCs 濃度を測定する。
 - ・メキシコの大気環境中における VOCs の動態解明を行う。

- ・メキシコと日本の大気環境中の VOCs の動態を比較する。

(3) PM2.5 成分測定システムの開発と環境動態の解明

① 研究者グループリーダー名：溝畑朗(大阪府立大学・特認教授)

② 研究項目

- ・ PM2.5 の成分分析システムを構築する。
- ・ 大気環境中の無機イオンの動態を把握する。
- ・ 大気環境中の有機炭素成分及び元素状炭素成分の動態を把握する。
- ・ 大気環境中の金属成分の動態を把握する。
- ・ 3-2 から 3-4 の結果を用い大気環境中の PM2.5 の動態を評価する。
- ・ メキシコと日本の大気環境中の PM2.5 の動態を比較する。

(4) 大気汚染暴露測定システムの開発と暴露レベルの把握

① 研究者グループリーダー名：篠原直秀((独)産業技術総合研究所・研究員)

② 研究項目

- ・個人暴露レベルの測定方法を構築する。
- ・対象グループにおける個人暴露レベルを測定する。
- ・個人暴露レベルを評価し、大気環境の寄与度を評価する。
- ・沿道大気汚染の動態を把握する。

(5) 大気汚染モニタリングデータ解析システムの構築と大気汚染モデリングシステムの構築

① 研究者グループリーダー名：斎藤正彦(愛媛大学・社会人博士課程)

② 研究項目

- ・発生源インベントリと気象条件に関するデータを収集する。
- ・大気汚染モニタリングシステム(SINAICA)により得られたデータの解析システムを構築する。
- ・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を構築する。
- ・大気汚染モデリングシステムにより大気汚染のモデル解析を行う。
- ・モニタリングデータ、モデル解析結果を用いて大気汚染発生源の寄与度を解析する。
- ・セミナー等を通じ研究により得られた科学的知見を普及する。

(6) 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

① 研究者グループリーダー名：山本充弘((社)海外環境協力センター・参与)

② 研究項目

- ・社会・経済的検討を踏まえ主にオゾン、VOCs、PM2.5 を原因とする大気汚染の対策シナリオを策定する。
- ・気候変動と大気汚染対策の双方に資するコベネフィット的対策シナリオを策定する。
- ・セミナー等を通じ研究の成果を普及する。

以上