

# 「キロメートル級分解能を備えた新世代大気汚染観測衛星データの科学・政策利用研究：オゾン・PM2.5問題解決へ向けて」の成果について

実施体制	主管実施機関	海洋研究開発機構	実施期間	平成27年度～平成29年度 (3年間)	実施規模	予算総額（契約額） 50.0百万円		
	代表者名	研究開発センター長代理 金谷 有剛				1年目	2年目	3年目
	共同実施機関	国立環境研究所、情報通信研究機構				12.2百万円	17.9百万円	19.9百万円

## 背景・全体目標

東アジアにおけるPM2.5大気汚染の広域化と越境問題に象徴されるように、人間活動が地球環境に与える負荷は近年拡大し、要因の解明と喫緊の課題解決が国際的に求められている。代表的な大気汚染トレーサーであるNO<sub>2</sub>（二酸化窒素）をかつてなく高い水平分解能（キロメートル四方位程度）で計測する「新世代大気汚染衛星観測」が世界的に計画され、オゾンやPM2.5の二次汚染を個別発生源と結びつけ、効果的な対策を導くことが期待されるが、具体的な方法は確立されていない。

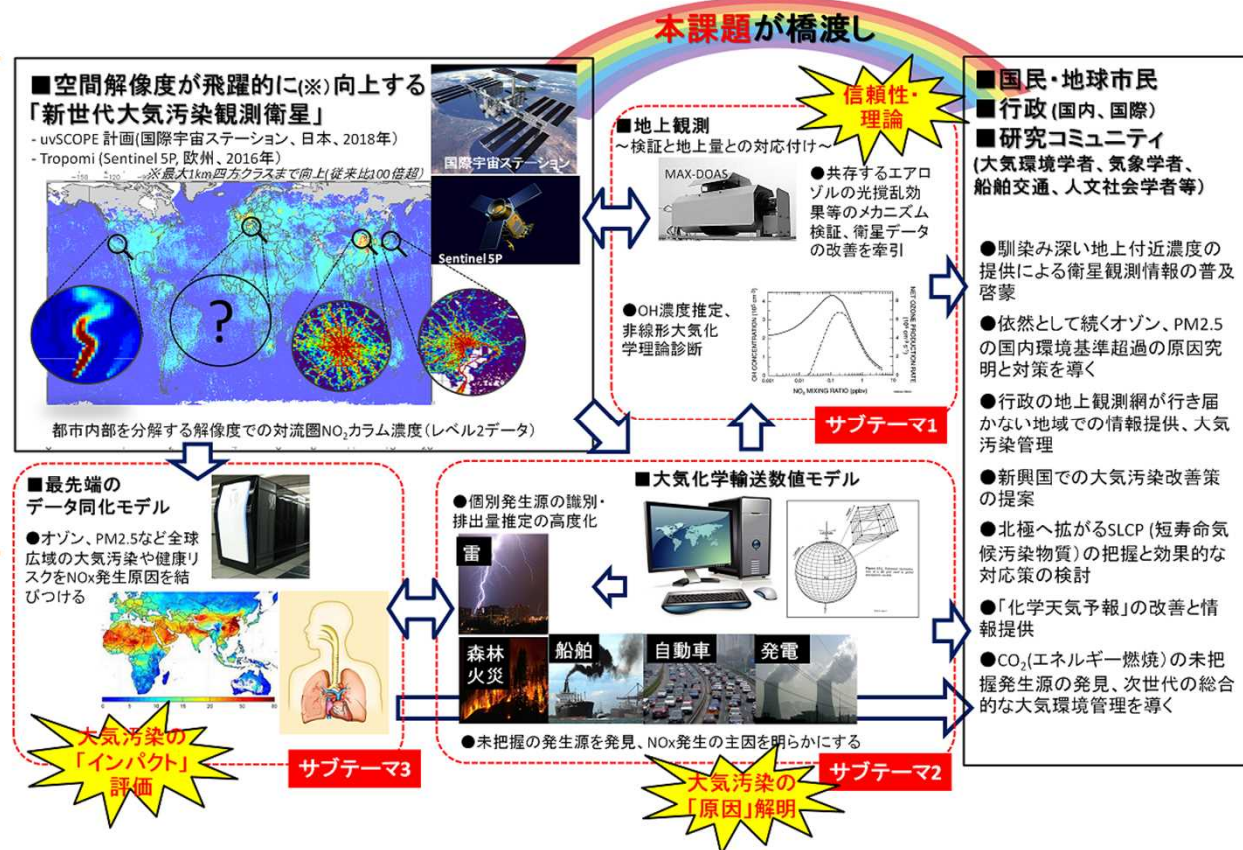
本課題では、この道筋の明確化を目指し、**A. 排出量の高度な推定と個別発生源ごとの評価 B. 健康リスクに対する発生源ごとのインパクト評価 C. 大気化学理論の診断**等を可能とする方法論を世界で初めて構築し、実証する。

## 全体概要と期待される効果

最新の大気化学輸送モデル、データ同化技術等を駆使し、以下の方法論を開発して実証することで、ツールとして確立した。

- A. 衛星NO<sub>2</sub>濃度分布を元に、「消失効果」を分離して「排出量」を高度に推定し、社会経済情報に基づく排出インベントリの評価を実践した。
- B. 「排出量」と「オゾン・PM2.5二次汚染」との関係、「二次汚染」と「健康リスク」との関係をそれぞれ評価したのちに統合し、「健康リスク」を「発生源」と直接結び付ける知見を得て、社会での活用を促した。
- C. 「消失効果」の項を解析し、大気化学の心臓部であるOHラジカルの非線形理論の診断へ応用し、基礎科学の突破口を見出した。

そのほか、地上観測によって衛星精度を担保するための知見を得た。また、衛星・地上観測を融合して「地表付近濃度」を導出し、専門的な「カラム濃度」を、国民・行政、研究コミュニティが「使える」情報へ転換した。国民生活の質の向上や、総合的な大気汚染・地球温暖化対策に貢献する道筋を明らかにした。



## 「国民との科学・技術対話」の推進に関する取組について

海洋研究開発機構・施設一般公開(横須賀本部：平成28・29年、横浜研究所：29年)において、PM2.5計測機や観測データ等を広く公開し、最新の知見をわかりやすく伝えるとともに、専門家以外の視点からの疑問点や知りたい情報などのニーズを汲み取り、行政～一般向けのパンフレット「SLCP衛星からのキロメートルメッシュ大気汚染計測計画」の作成等に反映した。

# A.「衛星データを用いた排出量の高度な推定」: 国～都市～個別発生源までの評価法確立(サブテーマ2,3A)

## 実施内容及び主な成果

NO<sub>2</sub>濃度分布を元に、「消失効果」を考慮して分離することで「**排出量**」とその**推移を高度に推定**する手法を確立した。また、社会経済情報に基づく排出インベントリを比較検証し、**世界の排出動向の新知見**を得た。社会にも成果を発信し(プレス発表)、新聞等メディアが取り上げた。最新のTROPOMI衛星(平成29年10月打上)の観測から、**個別発生源の排出についても初めて評価**した。

### ■世界最高の同化技術:

アンサンブルカルマンフィルター法による衛星データ同化技術に基づき、「消失効果」を適切に加味して「濃度」から「排出量」を最適に推計した。

### ■世界最新の成果:

長期衛星観測データに基づき、

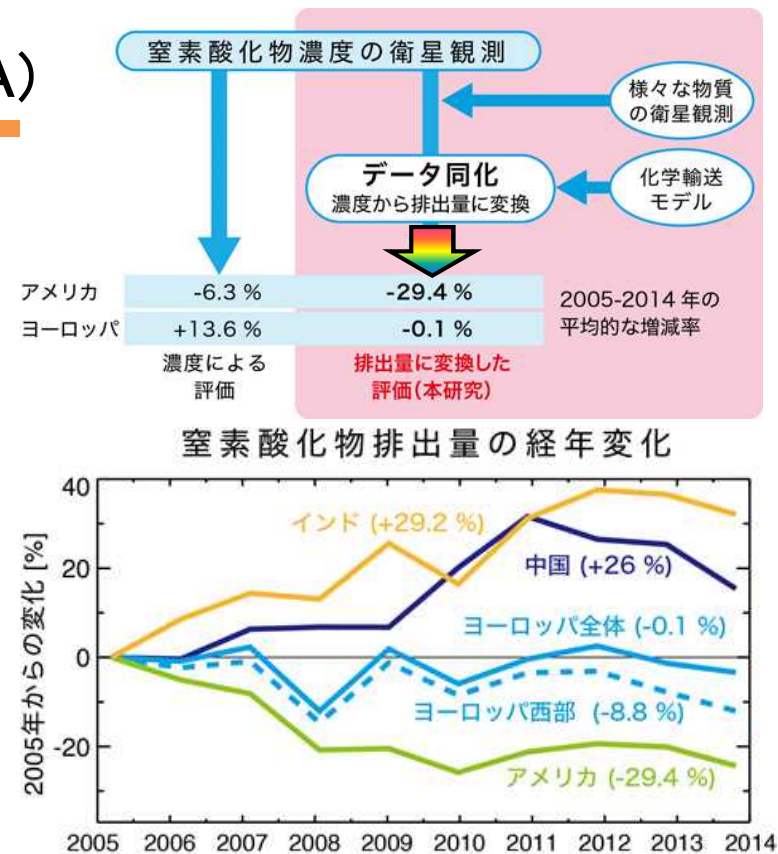
- ・ **中国**では排出量が急増してきたが、**2011年以降減少**に転じたこと
- ・ **インド**では**大幅な増加**が続き、**欧州総排出量並みに達した**こと
- ・ **米国**で**排出削減が鈍り**、**ディーゼル排出の改善が計画どおり進んでいない**こと、などの具体的な知見を得た。新興国に加え先進国においても排出抑制政策の効果を検証し、実証を越えて「**社会と一体化した実践レベル**」に達した。

### ■個別発生源への適用:

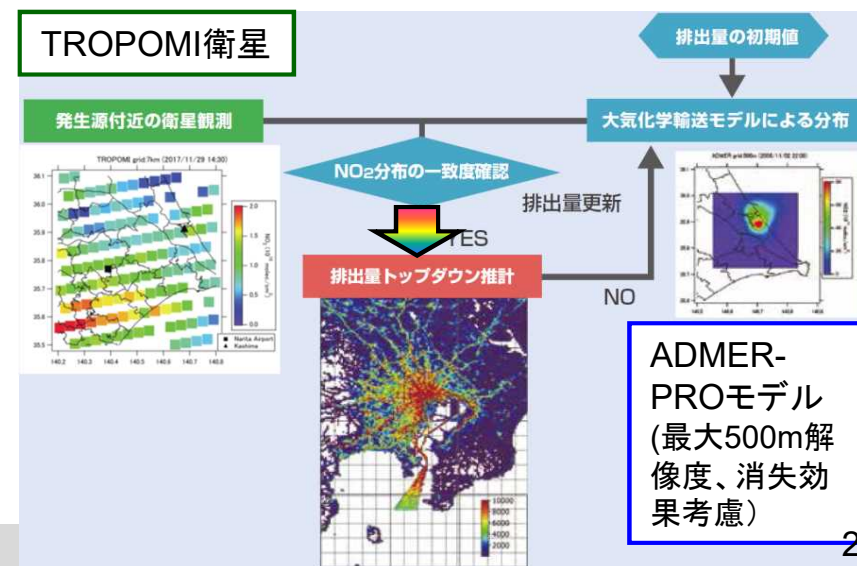
**個別発生源スケール**でも消失の効果織り込んだ形で**排出量を評価**する手法を開発した。500m解像度が可能な大気化学輸送モデルADMER-PROを利用。

TROPOMIで鹿島工業地帯からのプルームを解像し、濃度増分を  $2.0 \times 10^{16}$  (molec cm<sup>-2</sup>, 感度考慮済) と定量。消失効果を考慮したADMER-PROで再現するための排出量を約  $0.7 \text{ kg s}^{-1}$  と見積もった。全球排出インベントリEDGAR4.3.2での値  $0.6 \text{ kg s}^{-1}$  とほぼ整合。

以上の排出量推定ツールを開発し実証した。将来の本格的なキロメートル級の衛星にも適用。



2017年1月27日プレスリリース、Miyazaki et al., 2017

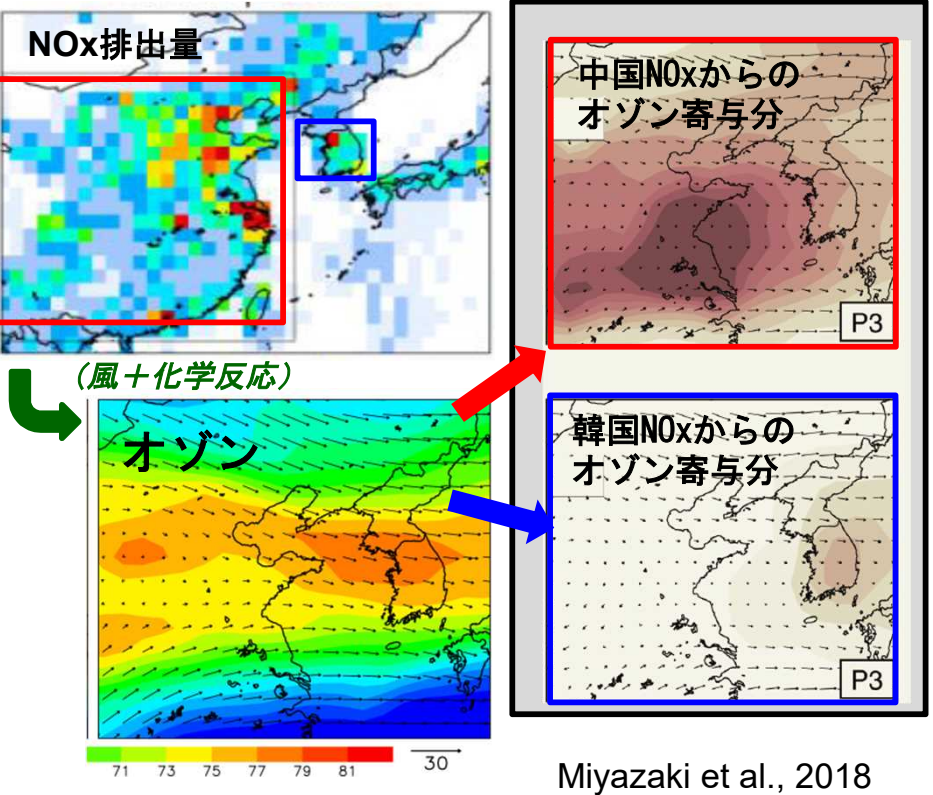


# B.「健康リスクに対する発生源ごとのインパクト評価」(サブテーマ3A,B総合)

## 実施内容及び主な成果

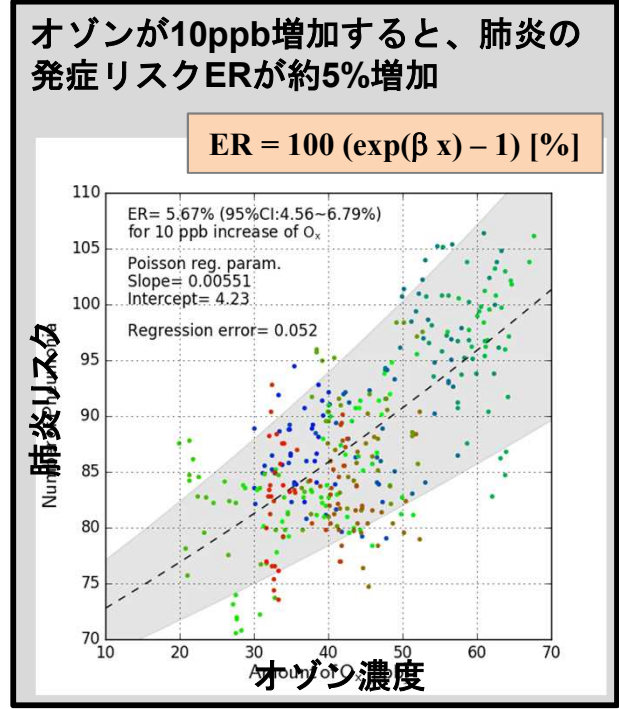
「NOx排出量」と「オゾン等二次汚染」との関係、「二次汚染」と「健康リスク」との関係をそれぞれ評価。両者を統合し、「健康リスク」を「発生源」と直接結び付ける新知見を得た。

### 「NOx排出量」と「オゾン等二次汚染」との関係



■ **データ同化モデル** (前述) では、NOx排出量と化学反応の後の二次的なオゾンの広がりとを統合的に評価 (世界初)。さらに**排出地域ごとのオゾン寄与**まで精度よく評価。

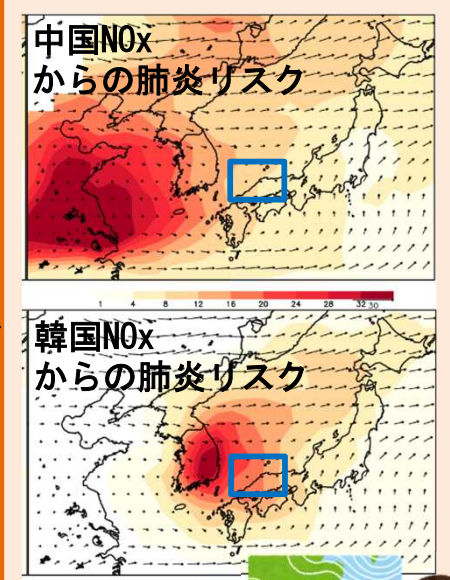
### 「二次汚染」と「健康リスク」との関係



Sato et al., in prep.

■ 国内の疫学ビッグデータを用いて大気汚染の健康インパクトを網羅的に解析。**肺炎とオゾン濃度の変動に非常に強い正相関**があることを発見。まずはオゾン暴露量を極力抑える行動を促すなど、**具体的な対応を導く**ことができる知見であり、有効性が高い。

◎「健康リスク」を「発生源」と直接結び付ける新知見



今日の山陰地方では、中国汚染による肺炎リスク増が15%、韓国汚染による肺炎リスク増が25%でしょう。

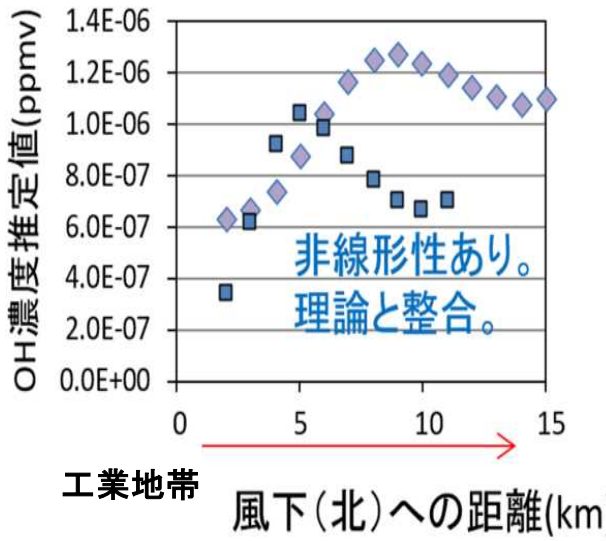
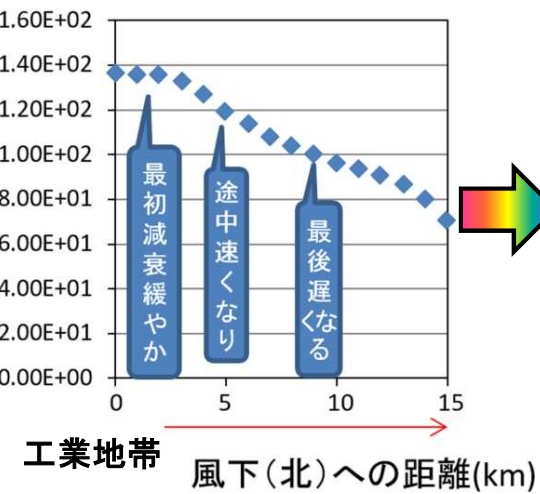
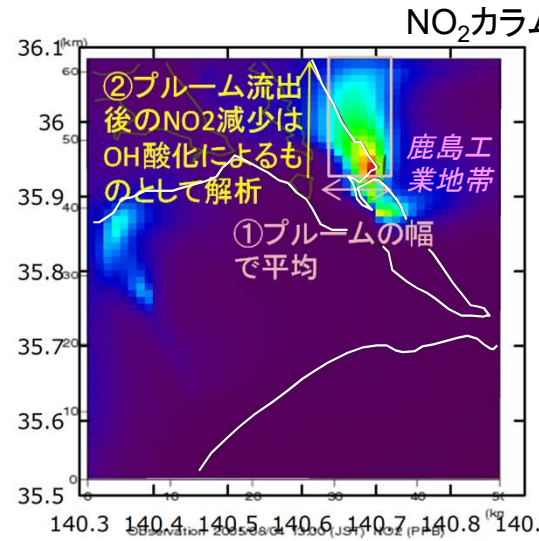
京浜工業地帯の郊外への影響評価も可能。**政府・自治体レベルでの活用が期待**できる。

# C.「大気化学非線形理論の診断」「衛星と地上観測による検証と地表付近濃度推定」(サブテーマ1)

## 実施内容及び主な成果

### ■大気化学非線形理論の診断

個別発生源周辺のNOx減少を解析することで、消失を支配するOHラジカル濃度の分布が**非線形理論**と整合するかを検証する手法を考案。衛星観測擬似データを用いて実証。**基礎科学の突破口**としても注目。



### ■衛星と地上観測による検証と地表濃度推定

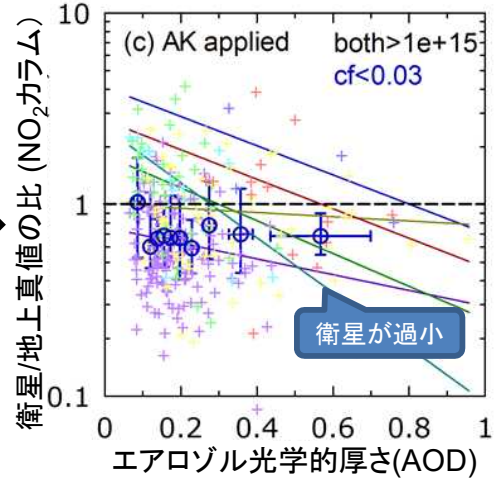
衛星データの高度な利用のためには**品質保証**が肝要。10年超運用するMAX-DOAS地上国際観測網で**TROPOMI**も検証した。**エアロゾル光攪乱効果**を追加で考慮する必要があることを示した。

#### 衛星(TROPOMI等)

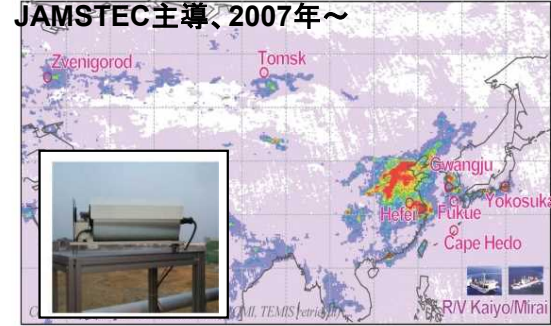


X

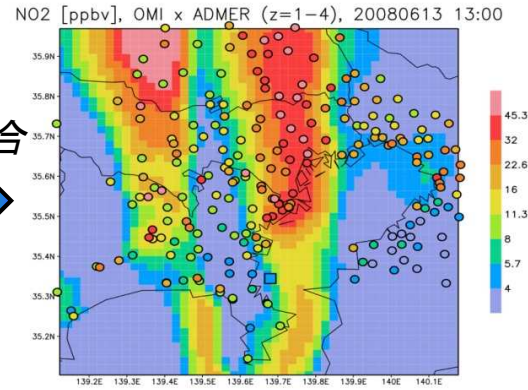
#### ①検証



#### 地上観測: MAX-DOAS国際網



#### ②融合



②融合: 「高度分布形」を地上観測とモデルから提供、衛星観測から「地表付近濃度」を推定。行政監視網と整合する補完情報を提供。「使いやすい」情報へ転換。

# その他の成果

Web of Science (Clarivate Analytics)において、GEOSCIENCESフィールドおよび出版年に対する高被引用文献のしきい値に基づいてアカデミックフィールドの上位1%にランクされる高頻度引用論文 (2019年1・2月時点)

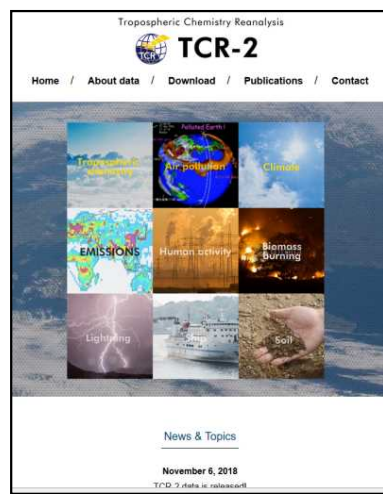
これまで得られた成果 (特許出願や論文発表数等)	特許出願	査読付き 投稿論文	その他研究発表	実用化事業	プレスリリース・取材対応	展示会出展
	国内 : 0 国際 : 0	国内 : 2 国際 : 9 (うち事後3)	国内 : 6 国際 : 38	国内 : 0 国際 : 0	国内 : 2 (記事4) 国際 : 1 (記事9超)	国内 : 0 国際 : 0
受賞・表彰リスト			2 (日本地球惑星科学連合西田賞、NASA Group Achievement Award)			

## 成果展開の状況について

1. 背景を含め成果全体をわかりやすいパンフレットにまとめ、地方自治体・地方研究所、国の研究所、関係各省庁、コンサルティング等を実施する一般社団法人等、各大学の研究者、民間企業等、諸方面に配布(120部超)
2. 世界初の「対流圏大気組成3D再解析データ TCR-1, 2」をウェブ公開。
3. 南関東でのNO<sub>2</sub>地表付近濃度推定マップestOMI、数値データ(2008年日ごと、通年)ウェブ公開。  
[https://ebcrpa.jamstec.go.jp/~yugo/km\\_airpoll\\_sat/data.html](https://ebcrpa.jamstec.go.jp/~yugo/km_airpoll_sat/data.html)



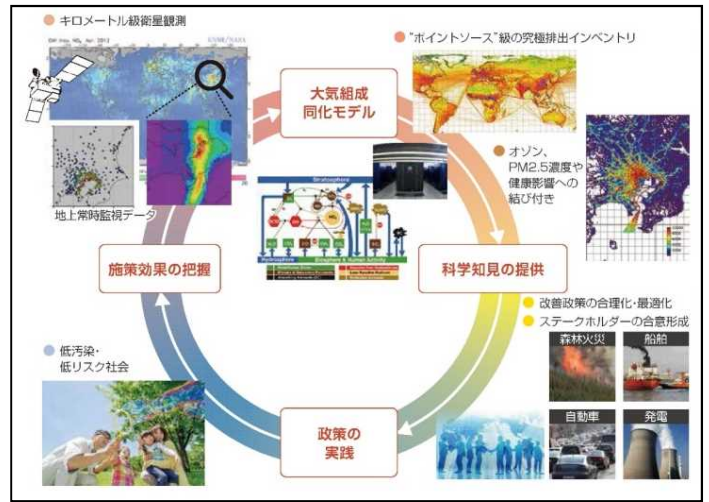
パンフレット : 全16ページ



<https://ebcrpa.jamstec.go.jp/~miyazaki/tcr2/index.html>

## 今後の研究開発計画

1. 大気汚染対策へ貢献：ツール群を今後打ち上げる準キロメートル級衛星や静止衛星、本格的なキロメートル級衛星に順次適用し、情報化。  
“観測—科学解析—社会政策—政策評価の観測”の好循環ループを生みだし、低汚染・低リスクで持続発展可能な社会の形成(SDGs3(健康)、11(都市)、13(気候))に貢献。日本発の小型衛星提案を後押し。
2. 温暖化対策へ貢献：大気汚染物質は「短寿命気候汚染物質(SLCP)」としてIPCCなども注目。見落としてきたCO<sub>2</sub>と共通の燃焼排出源の発見、長寿命温室効果気体と合わせた将来排出抑制の総合政策に活用。GOSAT-3への活用議論。
3. 管理ばかりでなく、健康ツーリズムなどビジネス創出にも貢献。汚染物質排出の把握は、経済活動動向の把握。国際動向分析・国家戦略構築にも資する。



# 事後評価票

平成30年3月末時点

1. 課題名	キロメートル級分解能を備えた新世代大気汚染観測衛星データの科学・政策 利用研究：オゾン・PM2.5問題解決へ向けて
2. 主管実施機関・研究代表者	国立研究開発法人海洋研究開発機構・ 金谷有剛 分野長代理
3. 共同実施機関	国立研究開発法人国立環境研究所 国立研究開発法人情報通信研究機構
4. 実施期間	平成27年度～平成29年度
5. 総経費	50.0百万円
6. 課題の実施結果	
(1) 課題の達成状況	
「所期の目標に対する達成度」	
◆ 所期の目標	
<p>東アジアにおけるPM2.5大気汚染の広域化と越境問題に象徴されるように、人間活動が地球環境に与える負荷は近年拡大し、要因の解明と喫緊の課題解決が国際的に求められている。代表的な大気汚染トレーサーであるNO<sub>2</sub>(二酸化窒素)をかつてなく高い水平分解能(キロメートル四方位程度)で計測する「新世代大気汚染衛星観測」が国内外で計画されており、オゾンやPM2.5の二次汚染を、個別発生源と結びつけ、効果的な対策を導く科学情報が得られるようになることが期待されるが、具体的な方法は確立されていない。本課題では、このような道筋の明確化を目指し、地上観測や最新の大気化学輸送数値モデルシミュレーション、データ同化技術も併用して、個別発生源の識別、排出量推計の高精度化、広域汚染と発生源の関係解明、大気化学メカニズム診断等を可能とする方法論を世界で初めて構築し、実証する。このことにより、専門家による「新世代大気汚染衛星観測」の科学利用を推進すると同時に、必ずしもこれまで十分に衛星データが活用されてこなかった研究分野や省庁部署等(大気環境分野など)が「使える」高度な情報に転換する方法論を確立し、利用拡大と活用を促す。</p>	
◆ 達成度	
<p>目標を十分に達成し、開発したツール群を将来の本格的なキロメートル級衛星に適用できる段階に達した。具体的には、大気汚染トレーサーであるNO<sub>2</sub>の衛星観測データを元に、発生源を識別し、国・都市・個別発生源からの排出量を高精度に推計する手法を構築し実証した。世界最高級のデータ同化手法を開発し、中国・インドや米国での10年規模NO<sub>x</sub>排出量推移を高精度に見積もり、新興国に加え先進国においても排出抑制政策の効果を検証する知見を得て、社会と一体化した実践レベルに達した。準キ</p>	

ロメートル級衛星 TROPOMI (2017年10月打上、解像度  $7 \times 3.5$  km) データから個別排出量を見積もる方法を開発し、鹿島工業地帯からのプルームを例に実証した。発生源と二次的なオゾン・PM2.5の広域汚染との間の関係に加え、それに伴う健康リスクも併せて評価する方法を確立し、韓米共同大気質調査 (KORUS-AQ) 時の広域大気汚染等を例として実証した。非線形大気化学メカニズムの診断解析手法を開発し、基礎科学研究も推進した。その他、地上リモート計測により衛星データを検証し、エアロゾルの光攪乱効果を負バイアスの一要因として明らかにし、両者との融合から、非専門家が活用しやすい「地表付近濃度」を導出する方法も開発した。さらには「小型衛星」からでもキロメートル級のNO<sub>2</sub>計測が実現可能であることも見極め、計画を牽引した。これらの成果を国際専門誌や学会等で公表するとともに、16ページの平易なパンフレットとしてまとめ、大気環境・船舶交通・環境疫学などの研究分野や行政機関等に配布して意見交換し、利用コミュニティの裾野を拡大した。衛星データを、科学エビデンスに基づく政策検討や各種アセスメントに用いやすい高次情報とし、新たな利用を促すことができた。実際に行政やコミュニティにおいて今後早期に実現すべき衛星観測として有望視されるに至った。

## 「必要性」

本課題は以下の観点から、十分な必要性が認められる。

### 1. 社会的価値（安全・安心で心豊かな社会等）の創出：

オゾン、PM2.5による年間の早期死者数は全世界で300万人超、日本でも2万人超とされ、対策は喫緊の課題である。「宇宙からの詳細な大気汚染計測マップ」は、現状把握のための可視化だけでなく、排出源の識別・定量化や健康リスクに対する発生源ごとのインパクト評価、さらには排出削減施策の評価にもつながる。つまり対策を効果的に導くために不可欠な手段であり、国民生活の質の向上に直結する意味で公益性、実用性が高い。加えて、パリ協定が目指す1.5度シナリオなどでは、地球温暖化の緩和のためには、二酸化炭素だけでなく、オゾンなども大気汚染ガスであり、かつ、温暖化にも寄与する Short-lived Climate Pollutants (SLCPs) についても総合的に対策を進めることが必要となっており、その対策の道筋作りの点でも政策に直結する。

### 2. 科学的・技術的意義（先導性等）：

世界最先端のデータ同化技術により、欧米に先駆けて、オゾン等の二次汚染を原料物質であるNO<sub>x</sub>発生源に結びつける方法論を開発した点は先導的であり、我が国が世界をリードするため、科学的・技術的意義が大きい。世界で取り組まれている4次元変分法によるデータ同化ではなく、アンサンブルカルマンフィルター法を採用したことと、オゾンやPM2.5二次汚染の化学反応に関わる多くの化学成分の衛星観測を同時に同化したことにより、データ同化から排出量の最適推定も併せて実現した。この点は世界に類がなく、顕著といえる。そのほか、最新の分光技術を踏まえ、世界でまだ実現していないキロメートル級大気汚染計測の実現可能性が「小型衛星」からでも十分に高いことを本課題で見出した点の発展性は高い。大気化学非線形理論の検証は、基礎研究へのインパクトも大きく革新性に富んでいる。以上のように、大気汚染衛星観測データの科学利用面で我が国がリードするために必要な研究開発を進展させたものである。

## 「有効性」

本課題は以下の観点から、十分な有効性が認められる。

### 1. 国～都市～個別発生源からの「排出量」を高度に推定する手法を確立：

従来、衛星データからのNO<sub>x</sub>排出量推移の解析では、NO<sub>2</sub>濃度の変動そのものが指標とされてきたが、濃度は排出だけでなく、「消失速度」の変動の影響も受けるため不正確であった。今回、データ同化手法によってその「消失速度項」を支配するOHラジカル濃度を精密に評価したうえで、排出量を評価する新しい手法を世界に先駆けて開発した。その結果、中国での排出量急増が2011年以降減少に転じたこと、インドでは大幅な増加が続くこと、米国での排出削減が鈍り、ディーゼル排出の改善が想定より進んでいないことなどを精密に評価できるまでになった。このことにより、当初予定していた、方法の確立と実証だけでなく、大気環境管理に有効な知見をもたらす「社会と一体化した実践レベル」に達した。さらに、キロメートル級の衛星観測に対しても、この消失の効果を織り込んだ形で、個別発生源からの排出量を評価する手法を開発した。このような方法論の有効性は、パンフレット配布等によって環境省や関係各方面へ周知された。

### 2. 発生源と健康リスクの結びつきに関する新たな知見を創出：

大気汚染の健康インパクトに関し、国内の疫学ビッグデータを用いて網羅的な解析を行ったところ、肺炎とオゾン濃度の変動に非常に強い正相関があることが初めて発見された。オゾンが10ppb増加すると、肺炎の発症リスクERが約5%増加する定量関係も見出された。国民生活の改善の観点で、まずはオゾン暴露量を極力抑える行動を促すなど、具体的な対応を導くことができる知見であり有効性が高い。また、上述の同化モデルからは、NO<sub>x</sub>排出源ごとのオゾン生成量も導き出す手法が開発された。これらの二つの知見を統合して、「発生源と健康リスク」を直接結び付ける知見が新たに創出された。中国等での排出がもたらす西日本の健康リスクを例示したほか、例えば国内都心部の工業地帯がもたらす郊外への健康影響なども定量化できるものである。今後、健康リスク削減目標と発生源管理対策とを直結する有効性の高い指標として、国際～国内対応を含め政府や自治体レベルで活用することができる。今回開発したこれらのツールは、将来の本格的なキロメートル級衛星データの高次解析に適用できるものであり、波及効果が高い。

## 「効率性」

本課題は以下の観点から、十分な有効性が認められる。

### 1. サブテーマ間の連携の効率性：

本課題でのサブテーマ体制は、衛星から得られる大気汚染データの高度情報化のために最適化したものであり、課題遂行のために効率を重視した。具体的には、①扱う衛星データのサブテーマ間共有（全サブテーマ）、②鹿島工業地帯など同じ発生源に着目し、またADMER-PRO大気化学輸送モデルを共通利用して、排出量推定と大気化学非線形性解析とを行ったこと（サブテーマ1、2）、③発生源とオゾン等二次汚染との関係性の解明（サブテーマ3A）と、二次汚染から健康リスクへの結びつきの評価（サブテ



ーマ 3B) を連動させて、効率よく発生源ごとの健康インパクト評価(サブテーマ 3 全体)を進めた点が例として挙げられる。また、当初予定以上の成果もあった。具体的には、衛星データの質を担保する目的だった地上検証観測に付随して得られた分光計測の最新技術情報(サブテーマ 1)と、物理量導出アルゴリズムの開発知見(サブテーマ 3)とを総合して、小型衛星プラットフォームでもキロメートル級観測が実現可能であることを見出すなどの成果があった。コストの高い大型衛星でなくとも目的が実現できる方向性が見いだせたことから、将来的に費用対効果を一層高める成果となった。

## 2. 他事業との相乗効果：

同時に進行した総務省「宇宙×ICTに関する懇談会」、環境省「光化学オキシダント調査検討会」、経済産業省「大気環境に係る科学的知見等に関する調査検討会」での議論や報告書作成に本課題の知見が活用されており、独立に調査検討された場合と比較して、より効率的に事業を推進することができた。

## (2) 成果

### 「アウトプット」

全体として、個別発生源から全球までのあらゆるスケールにおいて、衛星観測から大気汚染の適切な管理を導くための方法論を確立し、知見を向上させた。

まず、NO<sub>2</sub>衛星観測からNO<sub>x</sub>一次排出量を最適に評価し、二次的なオゾン・PM<sub>2.5</sub>の広域汚染との間の関係を明らかにした。その際に用いた「アンサンブルカルマンフィルター法に基づくデータ同化システム」はJAMSTECが世界に先駆けて開発したもので、他の追随を許していない。諸外国では二次汚染を発生源と結びつけるソースレセプター解析はなされているが、その際の排出量は最適化されていない場合が多かった。次に二次汚染を健康リスクに結び付け、健康リスク削減目標と発生源管理対策とを直結する有効な指標を提示することが可能となった。その際に用いた、オゾンと肺炎リスクの関係性の知見は堅牢性が高く、評価の信頼度を高めた。

NO<sub>x</sub>排出量推移の解析では、社会実践レベルの知見を得た。中国では2011年を境に急増から減少に転じ、排出削減の効果がみられること、インドでは増加が続いていること等を初めて明らかにし、高頻度引用論文を創出した。個別発生源レベルでも排出量推計法を確立し検証した点、プルーム内の化学反応解析から大気化学の非線形性理論を検証する方法論を提示した点も世界をリードする成果である。NO<sub>2</sub>観測衛星の精度検証では、エアロゾルの光攪乱効果を負バイアスの一要因として系統的に明らかにし、今後の世界的な衛星アルゴリズム開発の指針を提供した。この点は、JAMSTECが主導するMAX-DOAS地上観測網からの大規模検証データを統計解析に用いたことで初めて実現した成果である。衛星観測から地表付近濃度を導出する方法の開発では、超高解像度モデルの高度分布を地上リモート計測で検証したのちに取り込む工夫を実践した。

衛星観測技術や大気環境サービス情報化が進む欧州でも、大気環境行政には衛星データをまだ十分に活用できていない現状を踏まえ、本課題では、その際に鍵となっている信頼度を十分に高めるツール群を開発できた。得られた知見はすでに韓国等での大気環境改善の議論へ結びついており、社会実装への道筋を明らかにした。またパンフレット作成・配布等を通じ、我が国の大気環境・船舶交通・環境疫学などの新たな利用コミュニティを開拓した。論文、学会発表を通じた専門的な成果発表も十分に行うこ

とができた。

「アウトカム」 (平成 30 年 10 月末時点)

1. NOx 排出量推移に関する知見を国内外メディアが取り上げ社会へ情報提供した：

衛星観測のデータ同化に基づいて世界各地の NOx 排出量を精密に推定する方法を確立し、実際の変動を評価した成果については、プレス発表 (2017. 1. 27) を受けて日刊工業新聞が取り上げた。この 10 年で NOx 排出量がインドや中東で増加し、欧米や日本などで減少したことを報じた。アメリカでの NOx 排出量削減が 2011-2015 年に予想外に停滞していたことを明らかにした成果のプレス発表 (2018. 5. 1) に対しては、国内では科学新聞等 3 誌、米国 ABC News, USA today, LA times, AP News, AFP などの主要メディアがカバーした。ディーゼル車からの排出が想定ほど改善されていない点などに関心が集まった。米国 NASA が韓国上空で行った 2016 年 KORUS-AQ 航空機観測期間の集中的な解析から、韓国での現在のオゾン等大気汚染の起源を明らかにした成果については、韓国での環境政策への提言レポート「The KORUS-AQ Rapid Science Synthesis Report」が取り上げた。韓国においてオゾン濃度の環境基準を達成するには、越境輸送されてくる高濃度のバックグラウンドオゾン濃度を下げる必要があり、国内対策だけでは対処できず、国際協力が必要な旨、記述している。このように、衛星観測に基づいた大気環境改善政策のための科学エビデンス提供はすでに社会と一体となった実践段階に入り、活用されている。

2. わが国の衛星計画でキロメートル級 NO<sub>2</sub> 観測実現の議論が進展：

本課題での方法論や成果を含む形で、NO<sub>2</sub> 計測がもたらす情報の価値や科学の成熟度が行政やコミュニティに浸透し、日本の温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT シリーズ 3 号機等へのキロメートル級 NO<sub>2</sub> 計測の導入が本格的に議論されている。とくに、NO<sub>2</sub> を燃焼起源排出のマーカールとして利用することで、これまで見落としてきた CO<sub>2</sub> 発生源の情報も掴むことができる点が重要視され、地球温暖化と大気汚染に対する総合的な対策が誘引されつつある。

その他、衛星アルゴリズム開発等で専門的な波及効果も見られた。当課題で重要性を指摘した「エアロゾルの光攪乱効果」を考慮した、衛星からの NO<sub>2</sub> 物理量導出アルゴリズム (POMINO) の改良が北京大で進展したこと等が例としてあげられる。

---

(3) 今後の展望

1. キロメートル級大気汚染観測衛星等への本格的なツール適用と低汚染社会の実現：

本課題で開発したツール群を、すでにデータ提供の始まった TROPOMI に加え、2020 年以降に打ち上げが予定される準キロメートル級の新世代衛星や静止衛星からの大気環境観測へ順次適用する。学区レベルの水平分解能、1 時間分解能での情報を得て、これまで見逃してきた重要排出源の特定と究極の排出インベントリ作り、オゾン・PM2.5 分布への結びつきの解明、健康リスクの評価を進める。科学エビデンスに基づく排出削減政策を促すとともに、その効果を再び衛星観測で評価する。こうした“観測—科学解析—社会政策—政策評価の観測”の好循環を生み出し、低汚染・低リスクで持続発展可能な社会の形成に貢献する。また、本課題において、小型衛星でもキロメートル級観測が実現可能と確かめたこと

を受け、日本大気化学会から「SLCP イメージング分光計衛星」として衛星地球観測ミッション公募（第一回試行）へ 2018 年度応募した(2017 年度 3 位を獲得した提案を改良)。日本発の小型衛星提案等を実現し、本格的なキロメートル級観測時代を牽引する。

## 2. 温暖化対策へ貢献：

大気汚染物質は「短寿命気候汚染物質 (SLCP)」として温暖化を左右する観点で国連気候変動に関する政府間パネル (IPCC) などでも注目が高まっている。CO<sub>2</sub> と共通の燃焼排出源の発見や、CO<sub>2</sub> 等長寿命温室効果気体 (GHG) と SLCP を合わせた将来排出抑制の総合政策づくりへの貢献が期待される。世界の衛星観測計画も GHG と大気質 (AQ) を合わせた観測を目指す流れとなっており、その動きをわが国としても牽引してゆく。パリ協定の 1.5 度シナリオづくりや、GHG と SLCP の両者を国別インベントリの対象としてゆく構想を進める IPCC インベントリタスクフォースへの貢献も期待される。

## 3. その他：

管理ばかりでなく健康ツーリズムなどビジネス創出にも貢献する。汚染物質排出の把握は、経済活動動向を把握することに他ならず、準リアルタイムでの把握は国際動向分析・国家戦略構築にも資する。

## 7. 評価点

A

評価を以下の 5 段階評価とする。

S) 優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献した。

A) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献した。

B) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献しているが、一部の成果は得られておらず、その合理的な理由が説明されていない。

C) 一部の成果を挙げているが、宇宙航空利用の明確な促進につながっていない。

D) 成果はほとんど得られていない。

## 8. 評価理由

本課題では、国際社会で喫緊の課題となっている、大気汚染・健康影響・温暖化の課題に対し、宇宙からの高解像度計測から合理的な対策戦略を練るために必要な方法論を、世界最高水準のデータ同化法などを用いて開発した。具体的には、直近 10 年間の世界の排出動向を明らかにした成果は国際的な学術雑誌に論文として発表され、国内外から多数引用されている。また、個別発生源を健康リスクに結び付けるなど、具体的な対策とその効果の評価を可能にする方法論を確立した。キロメートル級の計測での排出量管理や大気化学理論検証に関する優位性を示しつつ、その先駆けとして、観測衛星 Sentinel-5P TROPOMI データの有効性を評価した。衛星からのカラム(鉛直積分)濃度を、非専門家でも扱いやすい地表付近濃度情報へ転換する方法の考案や、パンフレット作成などを通じて成果を発信し、大気環境・船舶交通・疫学解析分野などでも新たに利用者を拡大するための活動も行った。

以上により、本課題は相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献したと評価する。

今後は、国際的な議論への戦略的な展開を踏まえて、本課題の成果が着実に発展することを期待する。