

# 地球の健康診断

## -温暖化対策効果の早期検証と大気汚染実態把握のためのSLCPイメージング分光観測-

笠井康子<sup>1</sup>, 金谷有剛<sup>2</sup>, 谷本浩志<sup>3</sup>, 佐藤知紘<sup>1</sup>, 日本大気化学会 大気環境衛星検討委員会

<sup>1</sup> 情報通信研究機構, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 国立環境研究所

**概要:** 人間活動により排出される短寿命気候汚染物質(SLCP(注))のインベントリ把握を行う世界衛星コンステ計画である。SLCPは大気汚染と気候変動の双方に複雑に関係しており、それらを紐解き効果的な改善を導く。SLCPはCO<sub>2</sub>と比較し削減効果が短期的に得られるため、地球温暖化対策の新たな手法として、閣僚級の国際的取組みが2012年より開始された(CCAC)。また、大気汚染に起因する死亡者数は世界で370万人程度であり(WHOレポート2012),これは交通事故死者数の約3倍に相当する。特に我が国の早期死亡者率はOECD国で最高レベルにあり事態は深刻である。また、農作物への影響も無視できない。

SLCPは排出源が局所的であり、実態把握のためには空間分解能1kmクラスの観測が必要であるが、技術的困難さのためこれまで存在していない。本提案SLCPイメージング分光計(UV/VIS/SWIR)は、太陽非同期の低軌道衛星に搭載、世界で初めての高水平分解能(目標:水平分解能1~2km)、日変化観測を実現する。さらに追加機能としてMIR+MW分光観測シナジーにより、地上付近SLCP物質(特に健康被害に影響のあるオキシダント)検出を提案する。**空間分解能と観測ローカルタイム(LT)から本センサは世界の大気汚染衛星観測の「標準機」としての機能を有し、本機存在により、世界衛星を結んだコンステレーションが可能になる。**これにより、世界中の衛星データを統合し、最高水準の科学的知見を得て、エビデンスに基づく施策を促すものである。

(注)ここでは対流圏オゾンと前駆物質としてのNO<sub>2</sub>、ブラックカーボン、PM2.5を想定。

### ミッション概要一覧

期待される科学の成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>世界SLCP観測衛星の均一なクオリティでのデータ統合</li> <li>SLCP排出源の特定。モデルと合わせた排出量の実態把握とプロセス解明。</li> <li>健康評価や温暖化評価に重要であるもののこれまで抽出が困難であった対流圏オゾンについて、役割の異なる地表付近、自由対流圏、上部対流圏を分離し、動態の解明と影響度の評価を実施。</li> <li>アジアにおけるエアロゾルについて、ブラックカーボンやPM2.5など、気候や健康に影響を及ぼすエアロゾルの広域的な分布や時間変動を解明。</li> </ul>
アウトカム	SLCP実態把握によるホットスポット排出源検知、大気汚染状況把握による健康被害推定および予測。農地や森林火災等からのSLCP発生の実態把握と発生軽減手法開発への貢献、工業地域からの農地へのSLCP流入の実態把握と農作物被害の軽減手法開発への貢献。地球温暖化施策への短期的な効果検証、特に2018年に打ち出されたIPCC主導型SLCP排出インベントリの方向性を踏まえたSLCP排出のトップダウン評価と削減監視、CCAC(短寿命気候汚染物質削減のための気候と大気浄化の国際パートナーシップ)でのSLCP管理への貢献、SDGs3(健康),11(都市),13(気候変動)への貢献等。
技術	<p>①コア技術:センサ開発ではODUS/OPUS研究やEOS-CHEM、静止軌道からの大気汚染ミッション観測の検討等によりJAXA等国内で検討された実績を有す。本TF推薦ミッション第3位の実績。また、データ解析ではUV/VIS/NIRとIR, MWを合わせたシナジーリトリバルなどの実績を有す。モデル解析では、複数衛星を利用したデータ同化の実績。また、地上評価検証の実績がある。</p> <p>②優位性:日変化観測(太陽非同期)かつ低高度周回衛星搭載による高水平分解能観測は世界初。局所的であるSLCP排出源の特定や、反応性が高く局在化しやすいSLCP挙動の解明には高分解能が求められている。</p> <p>③成熟度:UV/VIS/SWIRはODUS/OPUS開発の実績。広空間分解能センサは欧米では気象衛星搭載されるほど成熟している。赤外MIRはIMG, GOSATなどFTS搭載の実績。欧米ではTES, IASIと協力関係にある。MWはSMILES, JUICE/SWI, Terexシリーズ開発の実績。</p> <p>④人材確保と育成:大気質は気象ビジネスとしても関心が高くウエザーニュースなどでビジネス化を促進。こういった衛星データサイエンス人材育成に貢献。大学や国研による先進的衛星開発人材の確保。</p>
開発体制	各省+情報通信研究機構、国立環境研、海洋研究開発機構を想定
研究体制	日本・海外の研究機関や大学(NICT, JPL, プレーメン大学etc.)による国際的な協力体制を整備。大気化学会のバックアップ。サイエンスリーダー:金谷有剛(JAMSTEC) 検証リーダー:谷本浩志(NIES) 測器リーダー:研究レベルではJAXAとプレーメン大学
関連団体	日本大気化学会、大気環境学会、エアロゾル学会、日本気象学会、日本リモートセンシング学会、日本地球惑星科学連合など。NIES, JAMSTEC, NICT.
継続性/新規性	新規性:日変化観測(太陽非同期)かつ低高度周回衛星搭載による1km級高水平分解能観測は世界初。 継続性:従来の7~20kmスケールでの衛星観測データ解析実績や同化処理技術等のレガシーを活用し継続発展させる。
緊急性 タイムリーさ	SLCPは地球温暖化対策効果が早期に得られるため、IPCC 1.5°C特別報告書(2018)にもあるように対策は喫緊である。また、各SLCP施策は始まったばかりであり、グローバルな検証は大きな課題である。WHOレポートにあるように年々深刻になる大気汚染による死亡数の軽減の観点から可及的速やかなネットワーク観測が重要。
国際的分担	空間分解能7~8km程度のSentinel-4(ESA), TEMPO(NASA), GEMS(KARI)の時間的に連続な自治衛星や、太陽同期軌道で決まった時間での観測を行うSentinel-5、-5pに対し、日本はピンポイントな時間ではあるが太陽非同期軌道により各Local Timeにおけるグローバルな、そして高分解能(1~2km) Human Activity実態把握を行う。これにより世界衛星観測の「標準観測データ」提供者として、国際政策に対しイニシアチブをとる。これらの衛星群全体をコンステレーションととらえ、標準化した全データを統合して用いるデータ同化解析システム等により、世界を牽引しつつ最高水準の科学的知見を得る。
予算	1測器3~20億程度(UV/VIS/NIR, MIR, MWそれぞれ) 現在は文科省などの競争的資金や運営費交付金による基礎技術開発。今後はGOSAT-IIIなど、各省による大型センサ開発のほか、民間小型衛星による多数展開を期待。
コスト削減策	それぞれの技術は熟練した完成されたものであり、「早く・安く・軽く」が技術課題
将来展望	分光計の静止衛星・小型衛星への搭載。政府が作る標準衛星を軸に、民間の小型衛星群が多数展開することが望ましい。将来的には同分光技術を用いたひまわり10,11などの静止衛星に搭載するセンサを開発し、韓国GEMS衛星後継機として国際分担によるシリーズ継続を想定している。
実利用の可能性	越境汚染には国境が存在しない。健康被害を及ぼす大気汚染物質の衛星グローバルモニタリングには高いニーズがある。科学エビデンスに基づく公衆衛生行政や健康ビッグデータへの活用へ向けた衛星データへの期待は大きい。日本海側のPM2.5等の大気汚染物質のモニタリングやその情報配信を行っている。健康大国を目指す我が国としては、生気象学や予防医療分野など新たな知の体系を創造するとともに、SLCPデータなどを利用した大気汚染情報の社会還元や健康ツーリズムなどの新産業創出が見込まれる。汚染物質排出の把握は、経済活動動向を把握する活動にほかならず、準リアルタイムでの経済活動把握は国際動向分析・国家戦略構築にも資する。

共同提案者	所属会社・機関名
金谷 有剛	海洋研究開発機構
谷本 浩志	国立環境研究所
北 和之	茨城大学
野口 克行	奈良女子大学
入江 仁士	千葉大学
斎藤尚志	千葉大学
江口 菜穂	九州大学
宮崎 和幸	海洋研究開発機構
滝川 雅之	海洋研究開発機構
佐藤 知紘	情報通信研究機構
関谷 高志	海洋研究開発機構

### 解決すべき課題:大気汚染による深刻な被害

**日本: 大気汚染 早期死亡者数は年間6万人**  
100万人当たりの率: OECD国では第1位

**①「データ同化」によるNO<sub>2</sub>濃度分布から排出インベントリ決定版**  
■世界最高の同化技術: アンサンブルカルマンフィルタ法による衛星データ同化技術に基づき、「消失効果」も適切に加味して「濃度」から「排出量」を最適に推計。  
・中国、インド、米国での排出増減を宇宙から監視。政策の効果まで評価可能。  
・個別発生源へも適用。

**②PM2.5・オン汚染の「健康リスク」と各発生源の因果関係**  
■NOx排出量とオン等二次汚染との関係  
■PM2.5と「健康リスク」の関係  
■中国NOxからの肺炎リスク  
健康管理目標に応じた施策づくりをサポート 政府・自治体や国際交渉の場での削減議論を支えるエビデンス

### 実現目標:衛星観測により大気汚染ソースをキロメートルスケールで実態把握

Name	Orbit	Spatial Resolution	Swath
Aura/OMI	Sun-synchronous LEO (Cross. Eq. at 1:45 / 13:45)	Spatial zoom-in observation mode: 13 x 24 km <sup>2</sup> (UV1), 13 x 12 km <sup>2</sup> (UV2 & Vis)	2600 km
Sentinel 5/UVNS	Sun-synchronous LEO (Cross. Eq. at 9:30 / 21:30)	50 x 50 km <sup>2</sup> (UV1)	2670 km
Sentinel 5p/TROPOMI	Sun-synchronous LEO (Cross. Eq. at 1:35 / 13:35)	21 x 28 km <sup>2</sup> (UV1), 7 x 1.8 km <sup>2</sup> (NIR2)	2600 km
GEMS	GEO (over Asia Pacific)	3.5 km (N/S) x 8 km (E/W) at 38°N	--
TEMPO	GEO (over North America)	2.22 km (N/S) x 5.15 km (E/W) at 35°N	--
Sentinel 4	GEO (over Europe)	8 km (N/S) x 8 km (E/W) at 45°N	--
<b>本提案</b>	<b>Non Sun-synchronous LEO</b>	<b>1 km x 1 km</b>	<b>2000 km程度</b>

### 実現される社会:衛星観測による産官学連携(科学→政策・SDGs実現)

静止衛星観測による「次世代大気汚染天気予報」

SDGsアクションプラン2019  
2019年に日本のSDGsキルンの実現を目指して

<キレイな空気のブランド化>  
日本全国1720万戸のClean Air Index (2016年4月)

数字が1に近いほどキレイな空気

リモートワーク移行誘致、ヘルスツーリズムなどへの応用 大気汚染と健康

**参考 レビューワーからのコメントと回答**

・提案内容が、温暖化対策と、大気汚染実態把握に分かれており、それぞれに問題点がある。温暖化対策としては重要なメタンが含まれていないのと、ブラックカーボンは含まれているが、その観測は極めて難しく、解決策が示されていない。大気汚染に関しては、全球観測に2週間ほどかかり、警報等を出すのは難しい。  
ご指摘ありがとうございます。ご指摘を踏まえ、また、調査や環境省や経済産業省などへのヒヤリングの結果、SLCPの温暖化対策効果の実現性はすぐには厳しいと理解しましたので、大気汚染にフォーカスした内容にいたしました。また、低軌道の小型衛星コンステにより時間連続性を確保する計画でございます。

・これほど多くの機器を積むとなると、予算的にも開発体制にも実現が難しい。FOVの違いも議論する必要がある。BCや下層のオゾンを狙うなど、サイエンスをもっと絞ってはどうか? また、TEMPO・Centinel-4・GEMS計画が進む中で、低軌道でこれらの静止系の補充を狙うか、静止系に拡張するか、本ミッション実現のためにTFとしての検討も必要であろう。  
ご指摘ありがとうございます。確かに総花的な計画でした。欧米や韓国の検討も踏まえ、ロードマップを作りました。まずは、小型の衛低軌道衛星搭載のSLCPイメージング分光計(UV/VIS/SWIR)をGOSAT-IIIなどで実現し、その後、TEMPO・Centinel-4・GEMSなども含めてコンステレーションを作り、将来的(2035年代頃)にGEMS後継機を目指して静止衛星(ひまわり12.13号など)を目指したロードマップといたしました。

・丁寧でわかりやすい説明の提案書でしたが、欧州の衛星がある中、日本が担わなければならない必然性と利点をもう少し詳しく示してほしかったと思います。また、今後は世界の衛星や観測ミッションのコンステレーションが重要なことは大いに賛同致しますが、具体的な(あるいは事例的な)道筋があるとよりわかりやすくなると思います。  
ご指摘ありがとうございます。日本の観測の特徴<1km水平分解能>を強調いたしました。また、TEMPO・Centinel-4・GEMSなども含めたコンステレーション計画ロードマップを追記いたしました。