

アジア静止軌道からのGHGs/SLCFs測定と排出量評価

大気環境物質(GHGsとSLCFs)の天気予報

*笠井康子、金谷有剛、谷本浩志、齋藤尚子、江口菜穂、佐藤知紘、藤縄環、山下陽介、Prabir Patra、関谷高志、滝川雅之、
眞木貴史、出牛真、今須良一、日本大気化学会大気環境衛星検討委員会
(NICT, JAMSTEC, NIES, 千葉大, 九大, 気象研, 東大)

**「見えないものを観る」「予報する＝民主化」
温室効果ガスと大気汚染物質**

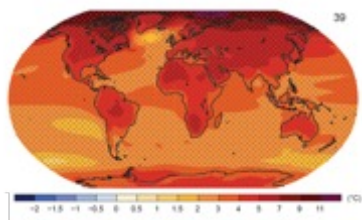
大気環境物質(GHGsとSLCFs)の天気予報

■ 大気汚染と健康被害

見えない空気の品質を知りたい時代

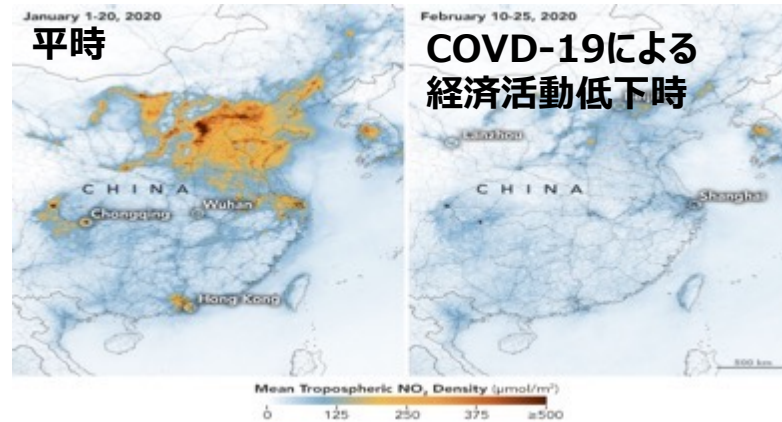
アジア大気汚染

CO₂、メタン、NO_x、BC、O₃、PM_{2.5}、SO₂ etc



■ 経済エネルギー活動の指標としてのCO₂(GHGs), NO₂

NO₂



<https://earthobservatory.nasa.gov/images/146362/airborne-nitrogen-dioxide-plummets-over-china>



静止衛星観測
により
天気予報を
実現

- ・世界で年間数百万人の早期死亡（交通事故死の5倍以上）
- ・2.6兆ドルの経済的損失
- ・森林火災や黄砂など。
- ・気候変動により影響はますます深刻化

応募カテゴリ：	A. 衛星観測ミッション
ニーズ・期待される成果 実利用	社会的◎国民の健康対策・経済活動指標などのための大気環境物質と温室効果ガスの天気予報（見えないガスの見える化・民主化） 行政的◎環境行政に貢献： アジア局所発生源から全球に広がる大気汚染物質・GHGsの排出源別の温暖化影響評価と削減合理化 学術的◎対流圏オゾン非線形光化学反応プロセス、光合成など自然プロセスの日変化摂理, OHラジカル化学
緊急性・タイムリーさ：	新興国に加え我が国でも越境オゾン汚染・死亡数の軽減は喫緊。脱炭素とその合理化は世界的に喫緊。
目標打上げ時期	①まずは韓国GEMS衛星データを使用し大気環境物質天気予報を実現。②我が国として、それに温室効果ガス観測性能を追加した性能のものをHIMAWARI12-13(2034-2036年打上げ想定)への搭載を目指す。 2024年には概念検討を終えConcept論文を目指す
衛星・センサ仕様：	静止軌道：センサはGOSAT-GW用センサの実績を踏まえて静止軌道搭載型紫外可視・近赤外回折格子型分光イメージャ(CO ₂ , CH ₄ , NO ₂ 他)を開発。 <u>HIMAWARI10-11に搭載される赤外サウンダ(O₃, CO他)とのシナジーにより、対流圏ー地表面の“必要な高度領域”の情報を抽出。</u> センサ重量：800 kg程度（TBD）；消費電力：3 kW程度（TBD）；設計寿命：10年；水平（鉛直）分解能；1-4km程度（対流圏カラム/全カラム）；走査幅：10S-60N, 80-150E (tbd)
技術特色：継続性/新規性	<u>大気化学・GHGs気象衛星シナジー計測は世界初。</u> 日変化観測かつ高水平分解能観測（キロメートル級）を実現。（GOSAT-GW開発等のヘリテージ、差分吸収アルゴリズムは成熟。）
国際的分担：	アジア域を観測する静止衛星 韓GEMS(2021-)の後継として、韓国はもちろんのこと欧米の静止衛星や軌道衛星と連携。
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，大学を想定
研究体制	日本・海外の研究機関と大学による国際協力体制、人材の育成、ビジネス界とも人材流通。
関連団体	日本大気化学会・大気環境衛星検討委員会、大気環境学会、日本気象学会、日本リモートセンシング学会、JpGUなど
予算、低コスト化	< 約100億円

準備状況 1) ヘリテージと我国の強み： GOSAT-GW(2023年打上予定)では 大気汚染物質と温室効果ガスを同時観測

(Global Observing SATellite for Greenhouse gases and Water cycle)

TANSO-3 (Total Anthropogenic and Natural emissions mapping Spectrometer-3)

Project: NIES, funded by MoE-Japan

Instrument Development: JAXA, Mitsubishi

Expected Launch: FY2023 (Apr 2023 – Mar 2024)

Lifetime: 7 yrs

Orbital altitude: 666 km

Sensor: grating imaging spectrometer

Band: VIS (420-490 nm), NIR (746-783 nm), SWIR (1589-1654 nm)

Species: CO₂, CH₄, NO₂

Swath: 911 km/90 km

Spatial resolution: 10 km/1-3 km

Global coverage: 3 days

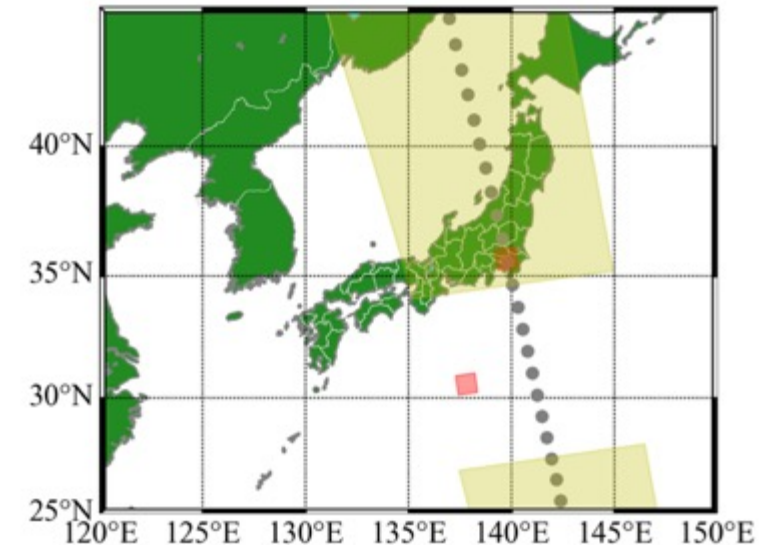
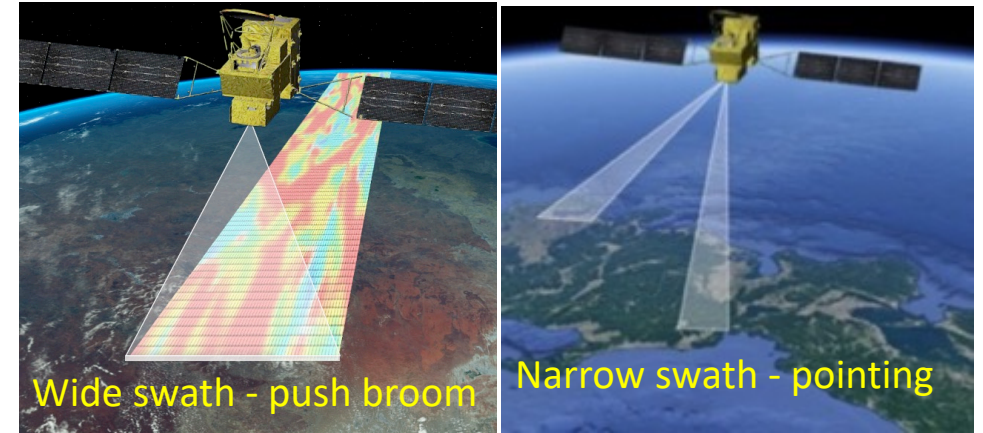
Local time: 13:30

NO₂ Team:

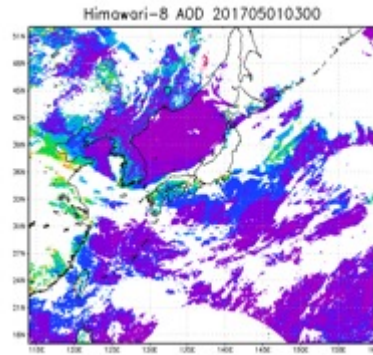
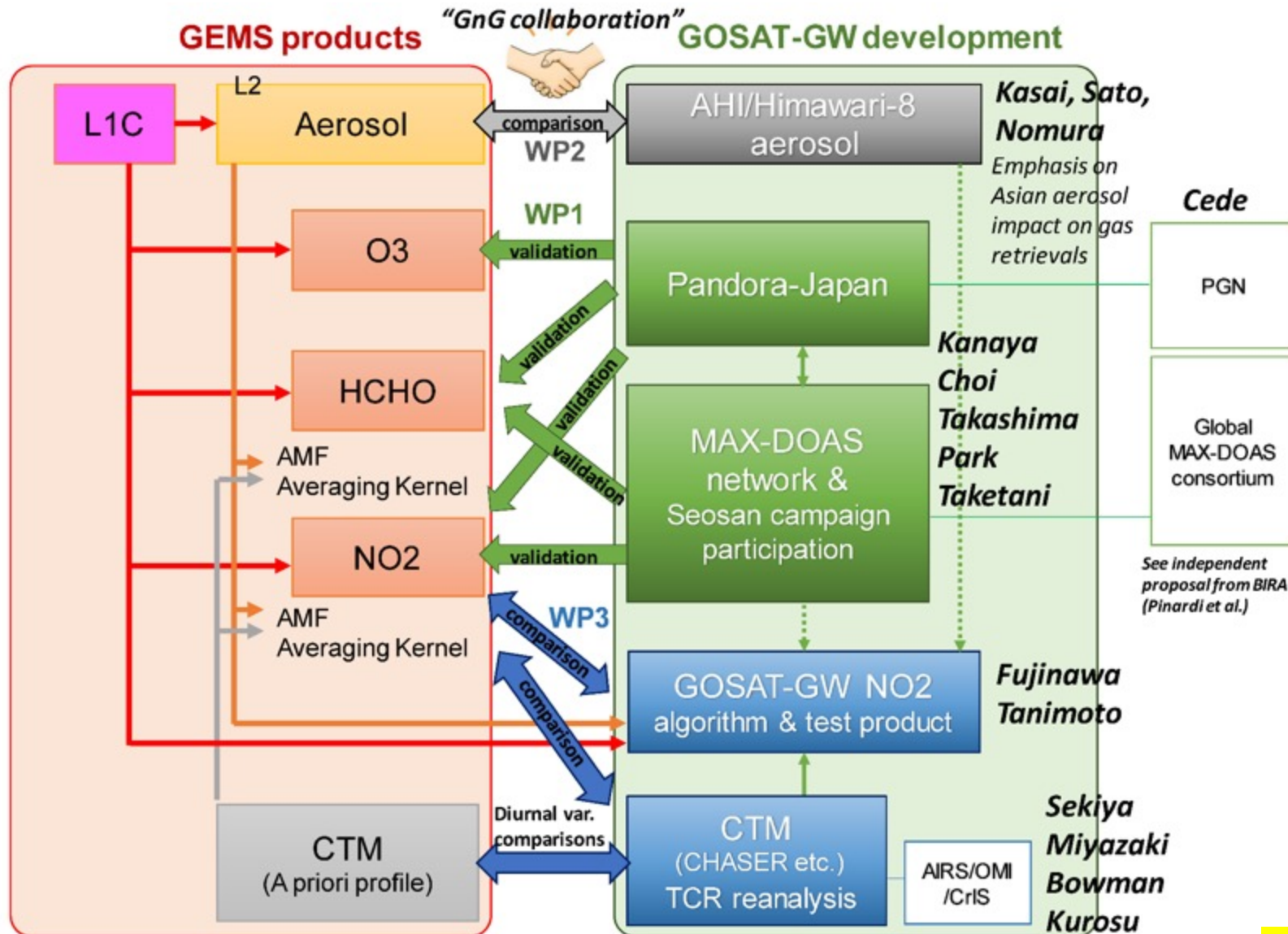
- Joint NIES-JAMSTEC-NICT project (NIES-algorithm, JAMSTEC-validation, NICT-data processing) – H. Tanimoto, Y. Kanaya, Y. Kasai
- NIES-JAMSTEC-JAXA collaboration on aircraft obs., power plants, modeling, etc. – A. Kuze

Toward Global Stocktake 2023/2028:

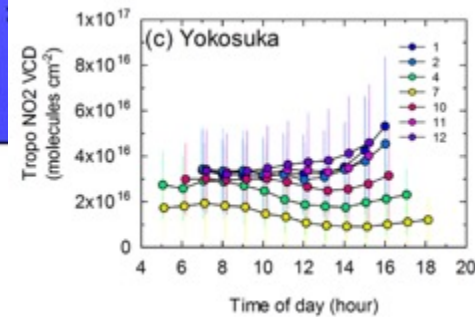
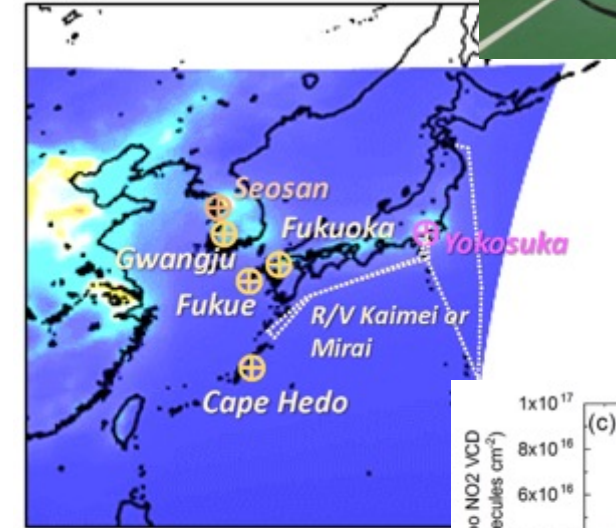
- Monitoring of global-mean atmospheric column of GHGs, on monthly basis
- Evaluation of national inventories of anthropogenic emissions of GHGs
- Identification of large point sources



準備状況2) 大気汚染物質観測静止衛星 韓国GEMSとの強い連携



● ガス導出へのエアロゾル影響 (ひまわり利用)



● 日内変化計測が画期的。
→ 光化学反応・輸送過程、人間の生活リズム (排出)

金谷ほか18名、GnGVal: GEMS L2 validation from polluted to remote areas over East Asia & co-development toward GOSAT-GW

準備状況3) 赤外サウンダの実利用への取り組み例

◎ 気象庁数値予報での気象・季節予測向上の可能性

- ✓ オゾン解析値の精度向上を介して、気象場の初期値の精度向上
ECMWF (Dragani et al., 2013; Dragani et al., 2018)
- ✓ IASIの オゾンチャンネルを他とまとめて同化する事で、オゾンだけでなく気温や湿度の解析精度が向上 (気象予測とのシナジー) :
フランス気象局 (Coopman et al., 2018; Coopman et al. 2020)

◎ 大気環境予報 (越境大気汚染含む) に活用

- ✓ 大気汚染気象情報を提供する領域化学輸送モデル (NHM-Chem) に同化、精度向上

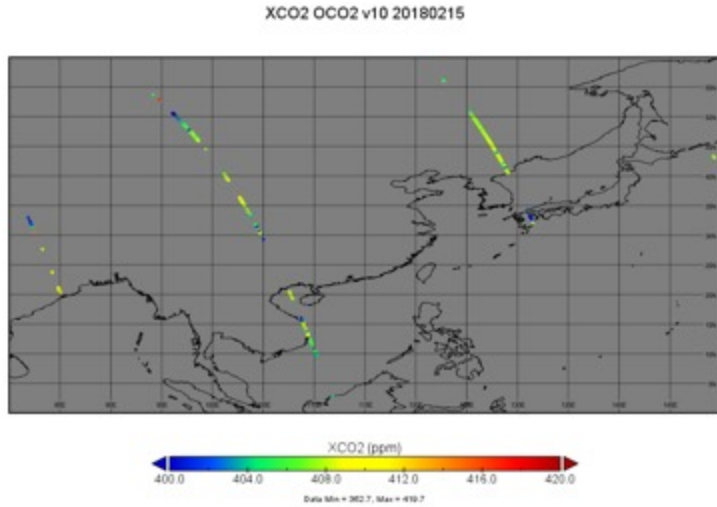
**新たなに何が観えるのか？
それは何故，必要なのか？**

(1) xCO₂, CH₄科学要求: 日毎・日内変化観測

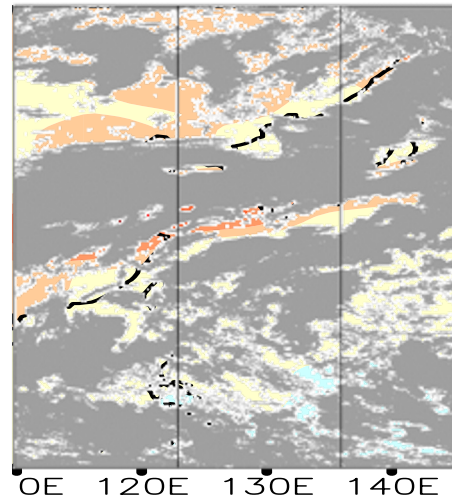
Prabir Patra (JAMSTEC), 2020

◎晴天域観測頻度・地表面カバレッジの大幅向上、局所～アジア全域の濃度連続分布

現OCO-2の日毎計測

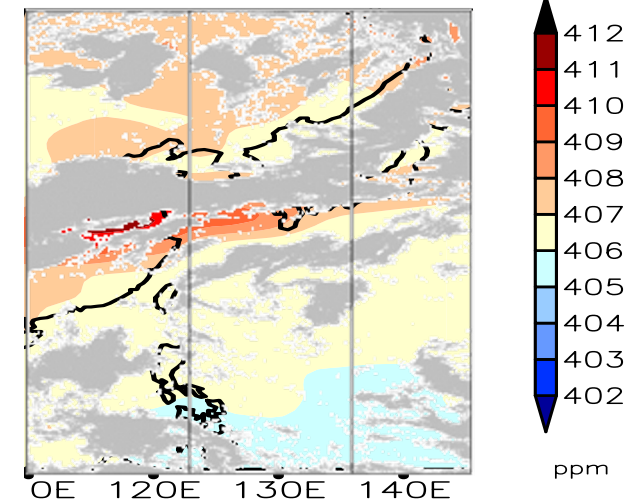


最新LEO: (TROPOMI, GOSAT-GW: 1-3日1度)



本GEO提案

※1日のうち08-17JSTで一度は観測

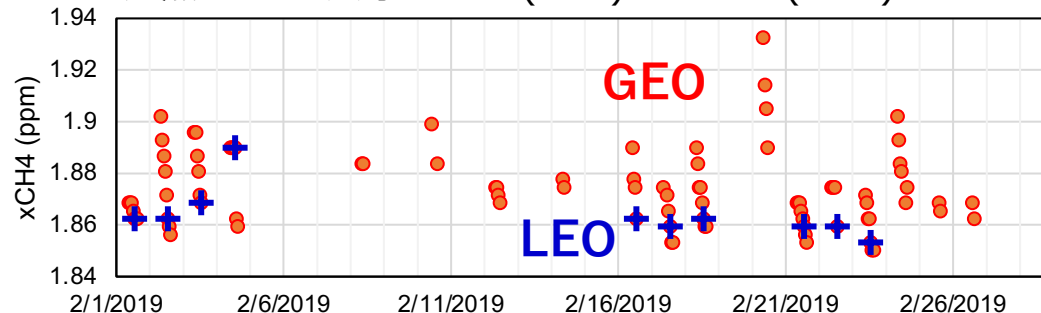


雲の隙間の観測で
領域全体で2倍の情報

※雲マスク: ひまわり8号の
TAOT(band2) <1
[宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
の分野横断型プロダクト提供サービス
(P-Tree) より]
(海上は本来はsun glintに限られる。)

晴天域では9倍にも。例: 関東冬季

定点当たり1か月で10回 (LEO) → 88回 (GEO)



◎日変化観測:
生態系の光合成/呼吸のサイクル、
人間活動の排出サイクル、両者寄与の分離定量

xCH₄は13時のTROPOMI-地表濃度相関回帰直線から外挿推定した仮想的な値(埼玉市役所)。

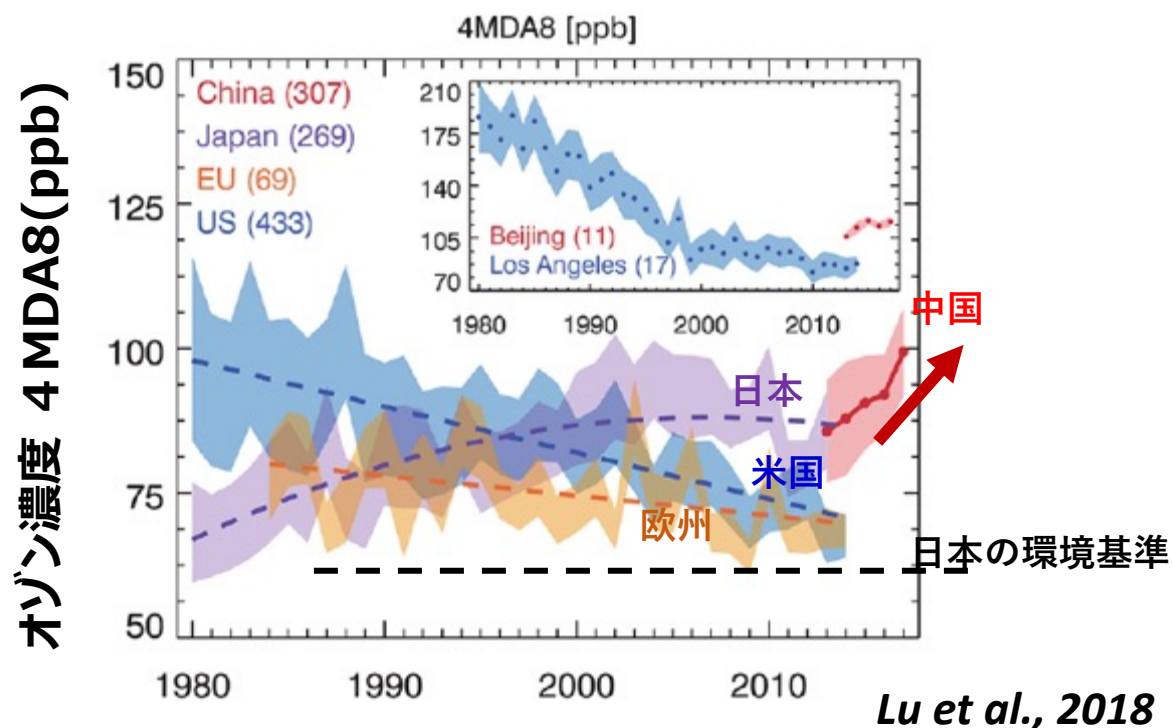
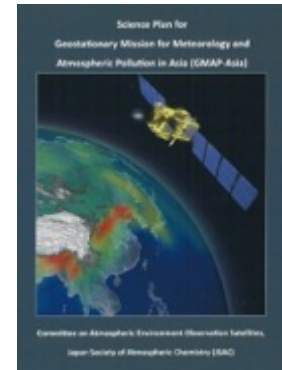
(2)対流圏オゾン：半球規模汚染と排出削減

O₃ とその前駆物質(CO)日変化、対流圏下層分離

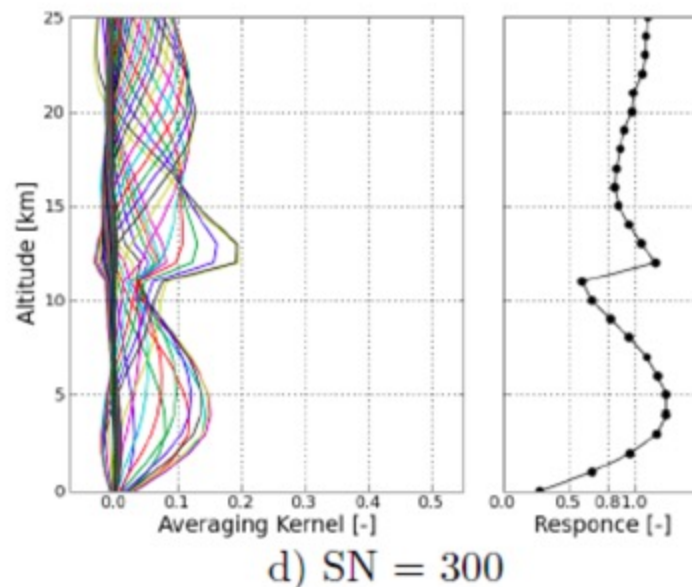
- 中国ではオゾン急増 (PM2.5低下を反転させた形)
日本への越境汚染はあと20年は続く

- 導出フィージビリティ検討済

日本大気化学
会 GMAP-
Asia 静止衛
星観測ミッ
ションサイ
エンスプ
ラン(2012)



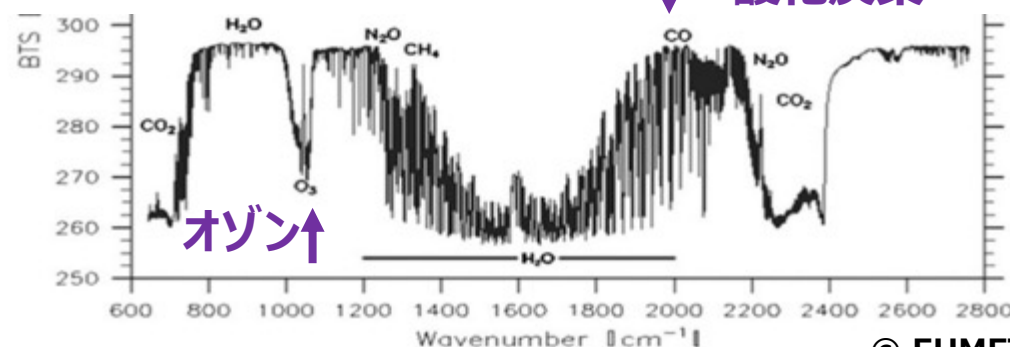
<オゾン導出AVK, 導出精度>



SNR=300、下部対流
圏オゾン (0-6km)導
出精度**13-24%**

<CO導出精度>
SNR=100としてCO
カラム濃度 <20%

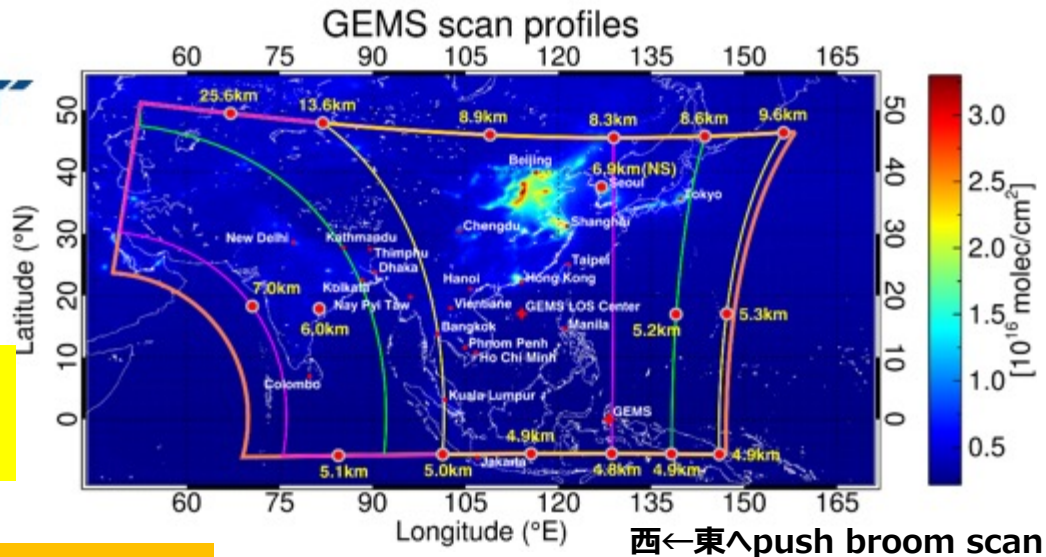
↓一酸化炭素



LWIR: 680 to 1210 cm⁻¹ (8.26-14.70 μm) → オゾン
MWIR: 1600 to 2250 cm⁻¹ (4.44-6.25 μm) → 一酸化炭素
波数分解能：0.6-0.7 cm⁻¹程度 (IRS並み)
空間範囲：100-150E, 20-50N, 1時間ごと、IFOV：4km程度 (IRS並み)
→「ひまわり10/11号」の赤外サウンドから実施

(2)対流圏オゾン：前駆物質NO₂計測で排出源識別、オゾン化学OSSE実施

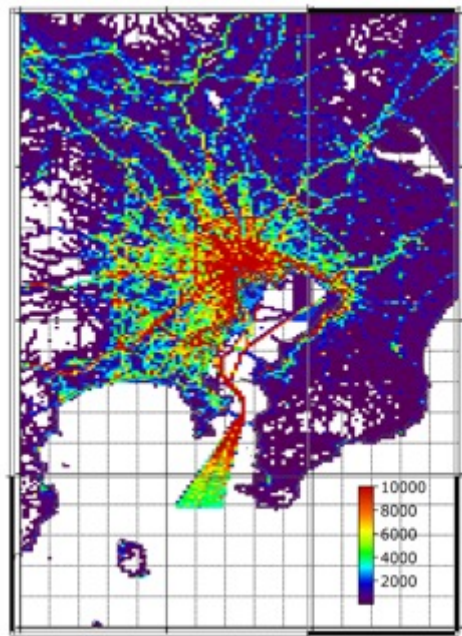
GEMS
Kim et al.,
BAMS, 2020



水平解像度
8km四方



2km級まで高解像度化

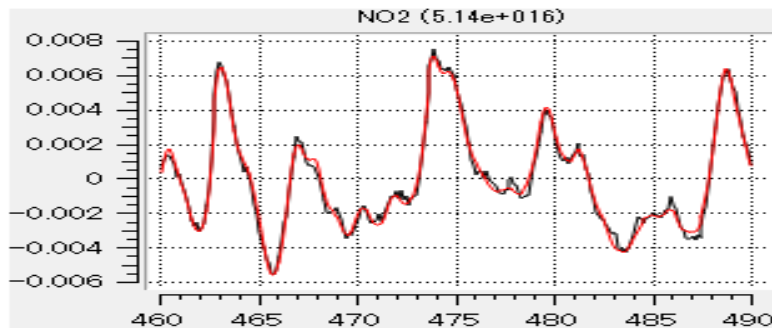


個別発生源まで
識別 + 日変化



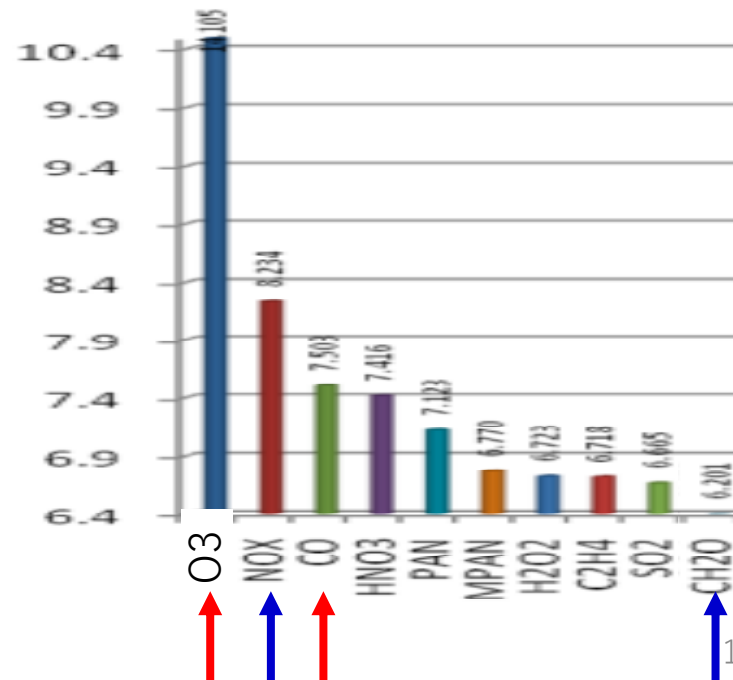
● SNRはGEMS同等(~1000)を維持できる：
光量：1/16 (面積比例)
露光時間：16倍で補償
GEMSは1列同時2.6秒：1時間に700列
(30分はGOCI-II割当)
→本研究1列同時42秒：1時間に~100列
4000km(同時)一列同時計測を
push broom scan:200km幅をカバー

※低軌道GOSAT-GW基準では
光量1/2500, 露光時間140倍、共通スリット制約
がなければスループット5倍：SNRは半減程度



可視光での差分
吸収でNO₂計測

<OSSE> CHASERモデル化学データ同化に、
オゾンおよびCOの計測値を取り入れると、**地表
付近オゾン推定精度(縦軸、%)**が大幅に改善



2022年現在のGEO衛星（観測中・打上げ予定）

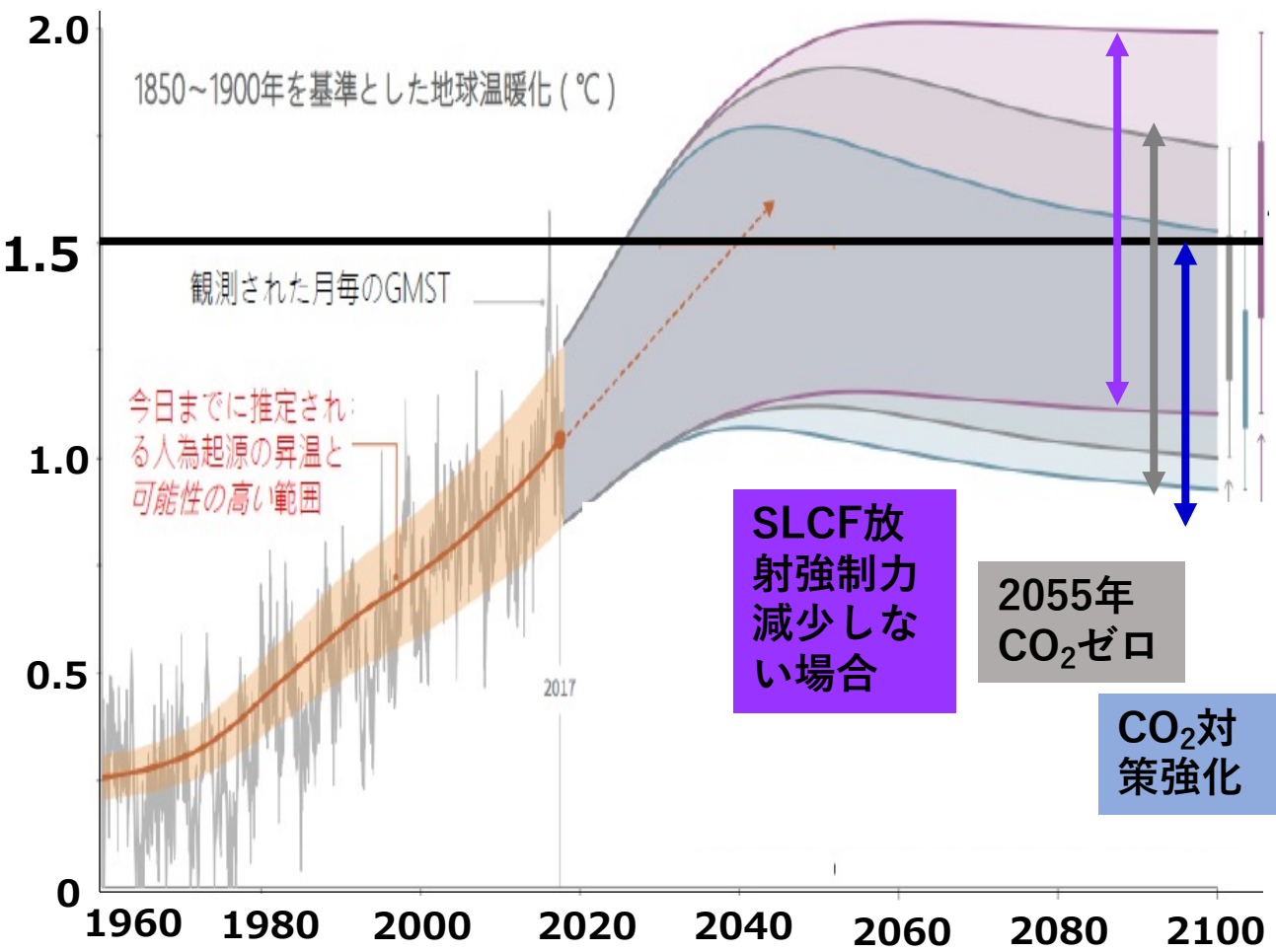
		アジア	欧州	米国
GHGs類 (CO ₂ , CH ₄)	NIR/SWIR			GeoCarb (Early 2020's)
	TIR		IRS(CH ₄)	
SLCF類 (NO ₂ , O ₃ , CO, HCHO, NH ₃)	UV/vis	韓国GEMS (ただし本州以東は午前のみ) 空間分解能 8 km	Sentinel-4 (NO ₂ , HCHO)	TEMPO 2022
	TIR	ひまわり10/11号(対流圏中部以上の高度)	IRS/MTG 2023 (O ₃ , CO)	

アジア静止軌道からのGHGs/SLCFs測定

- VIS, NIR, TIRによりGEMSとひまわりのヘリテージを生かしたミッション
- 更なる空間高分解能を目指す

GHGと大気汚染物質同時測定の意味

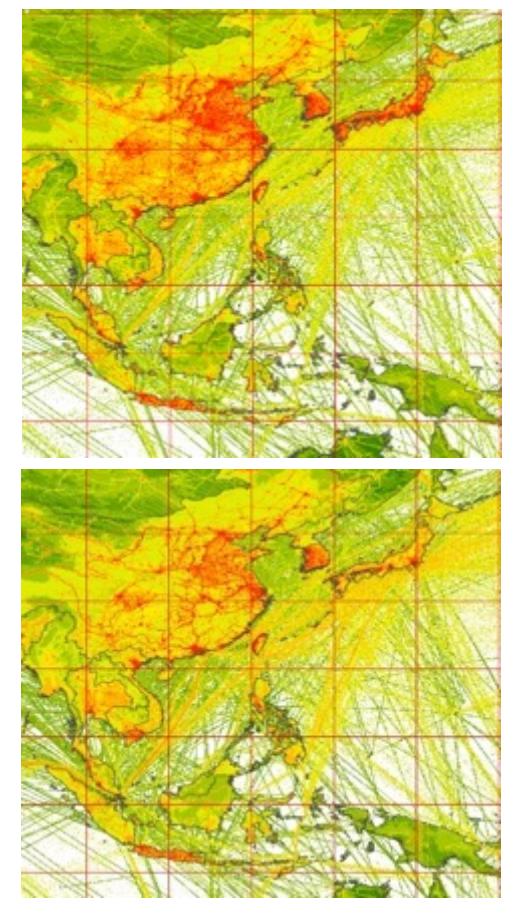
◎ 大気汚染物質も気候変動因子 (SLCF) 排出制御しないと1.5度達成可能性が減少



IPCC1.5度特別報告書、環境省、2018 を一部改

https://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/ar6_sr1.5_overview_presentation.pdf

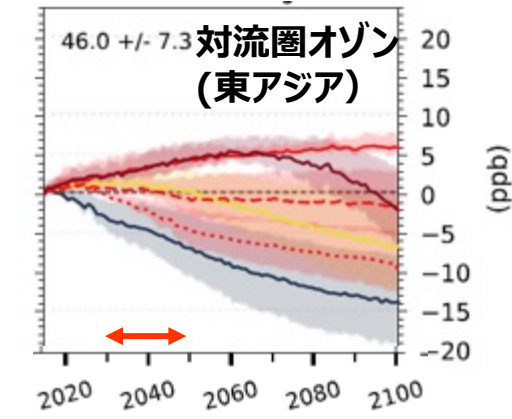
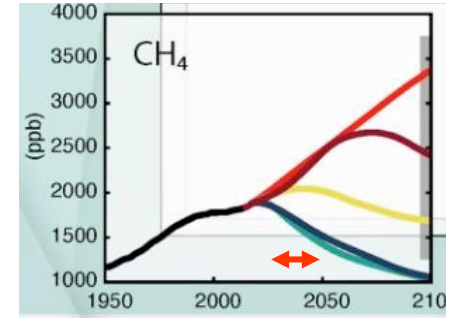
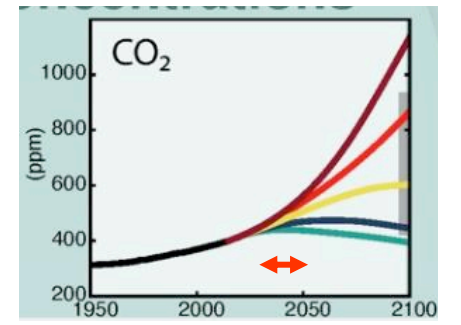
◎ 小さなCO₂発生源を燃焼トレーサーNO₂の目を通じて定量化



CO₂排出推計 (上) はNO_x排出推計 (下) と酷似。

両者の相関と、NO₂の方が衛星感度が高いことから、CO₂小規模排出源推定・管理が可能となる

◎ 2030-50年は将来が決まるシナリオ分岐点



IPCC AR6, 2021

まとめ

・見えないもの大気環境物質(GHGsとSLCFs : CO_2 ,メタン、オゾン、 CO , NO_2) の静止軌道からの時事刻々観測を提案

・フィージビリティ: GOSAT-GW, ひまわり解析, 韓国GEMSのヘリテージ

・静止衛星により新たに得られるもの: 1時間ごとの「常時観測」の実現. 日変化情報.

・科学的意義: 排出と分離された「化学過程」「生物地球化学」

GOSAT-GW/GEMS/Sentinelを超えて、非線形大気化学理論(OHラジカル) の解明、光合成・呼吸、世界最高の化学データ同化

・実利用: 国民に大気環境天気予報を提供. 気象数値予測の向上

課題: 静止衛星と低軌道衛星とのシナジーなど.

