

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

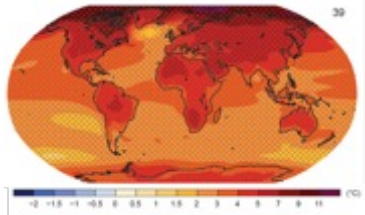
大気環境物質(GHGsとSLCFs)の天気予報

■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

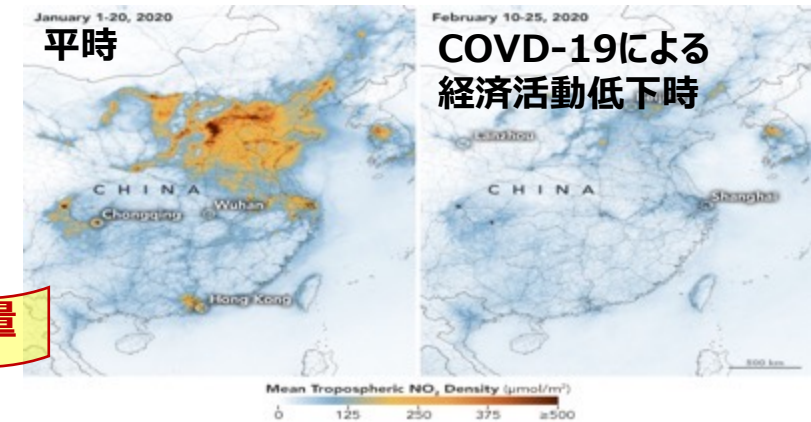
アジア大気汚染

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>

- ・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



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 ◎ 大気環境物質と温室効果ガスの同時天気予報 （見えないガスの見える化・民主化） 健康・エネルギー分野への利用. 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	<u>HIMAWARI12-13(2034-2036年打上げ想定)への搭載を目指す.</u> 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(CO₂,CH₄,NO₂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—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

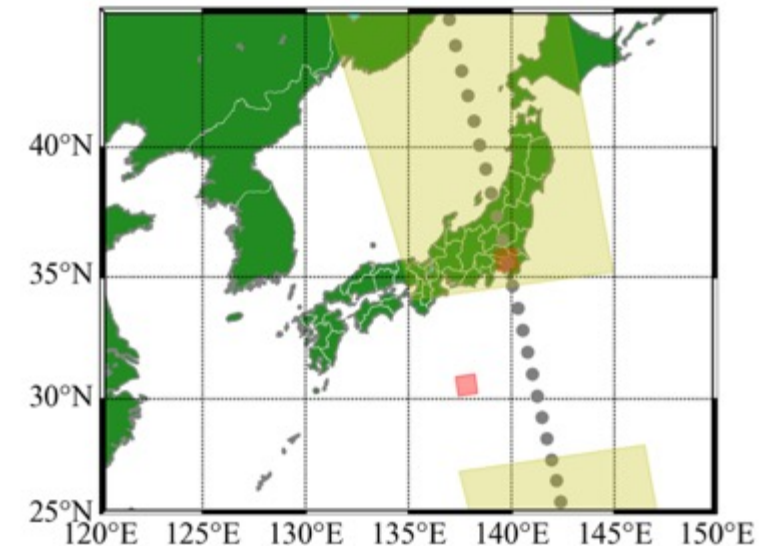
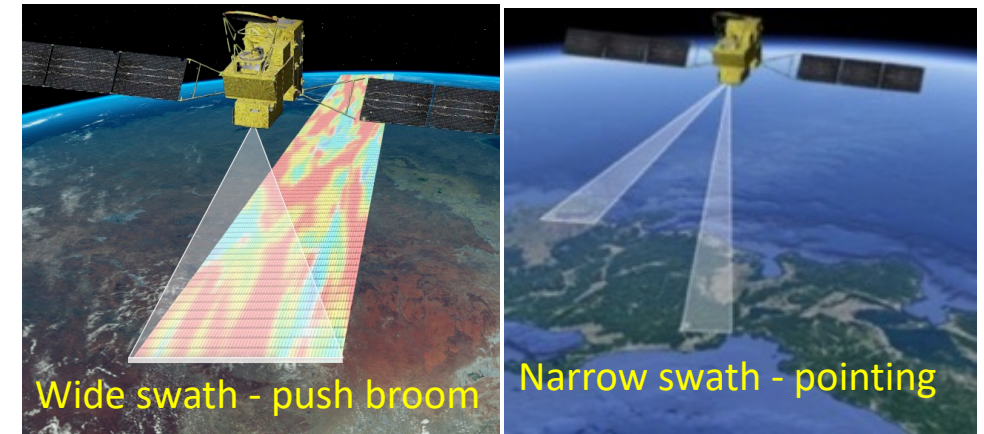
Local time: 13:30

NO₂ Team:

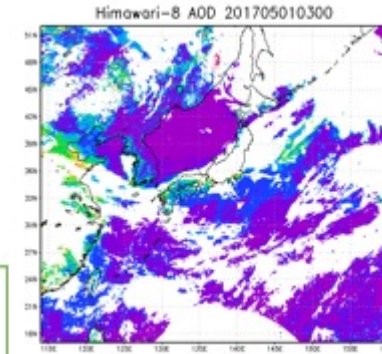
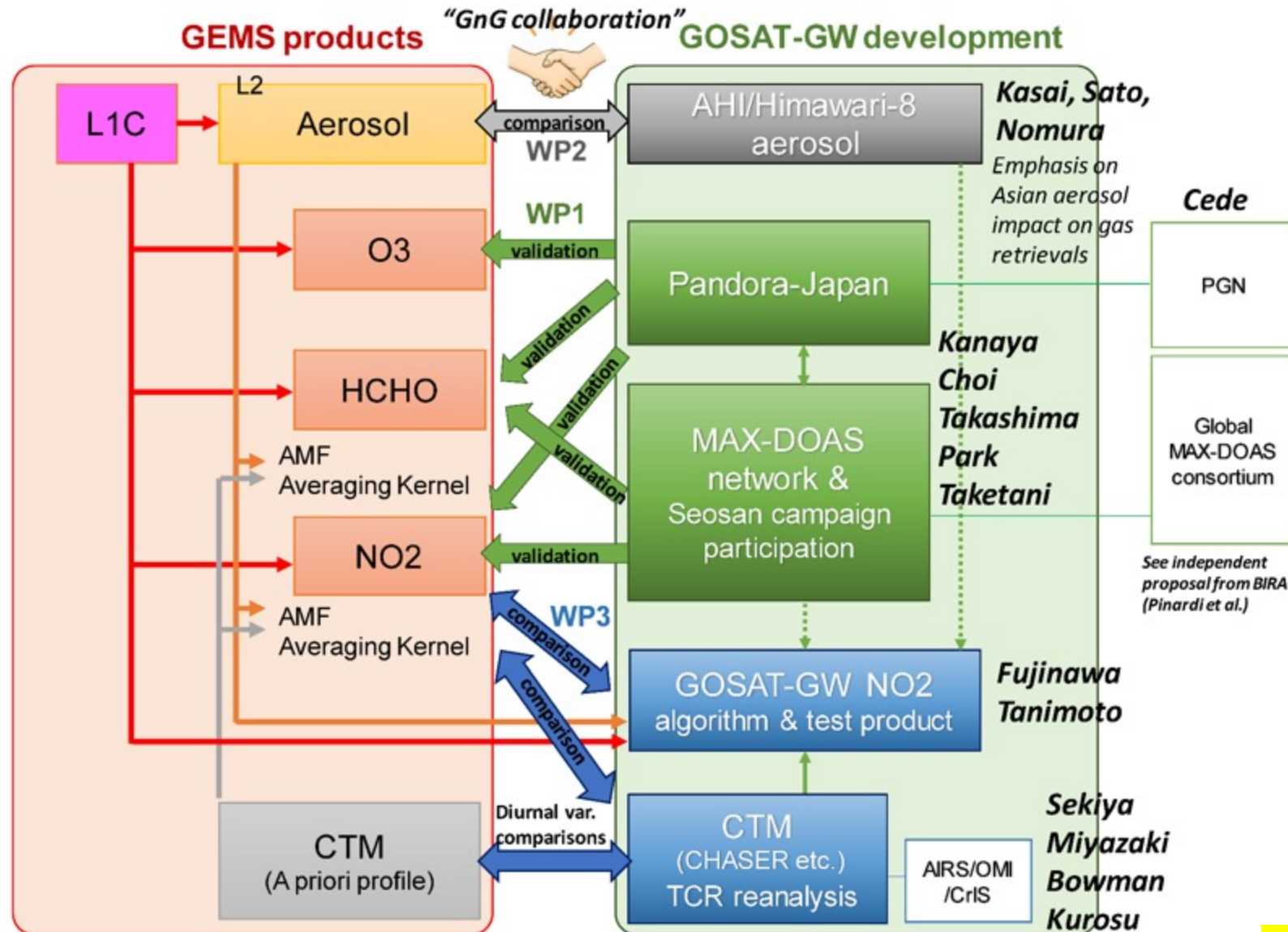
- Joint NIES-JAMSTEC-NICT project (NIES-algorithm, JAMSTEC-validation, NICT-data processing) – H. Tanimoto, Y. Kanaya, Y. Kasai
- NIES-JAMSTEC-JAXA collaboration on aircraft obs., power plants, modeling, etc. – A. Kuze

Toward Global Stocktake 2023/2028:

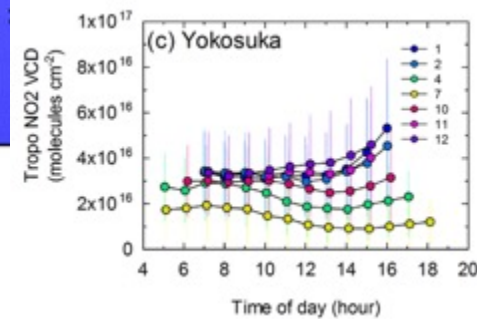
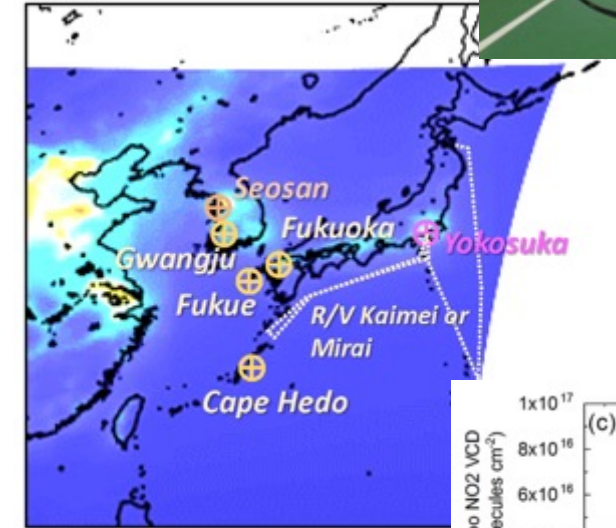
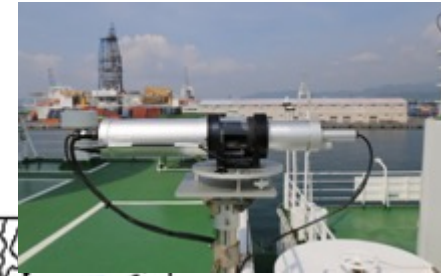
- Monitoring of global-mean atmospheric column of GHGs, on monthly basis
- Evaluation of national inventories of anthropogenic emissions of GHGs
- Identification of large point sources



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)



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

● 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)

準備状況 3) 赤外サウ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

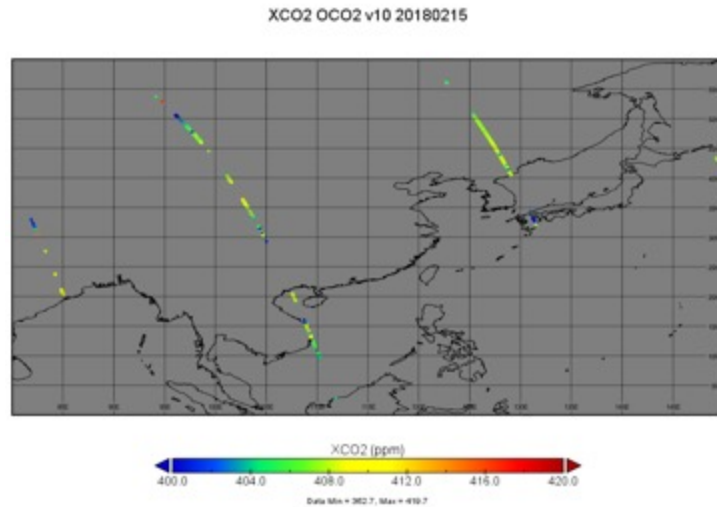
**新たに何が観えるのか？
それは何故，必要なのか？**

(1) xCO₂, CH₄科学要求: 日毎・日内変化観測

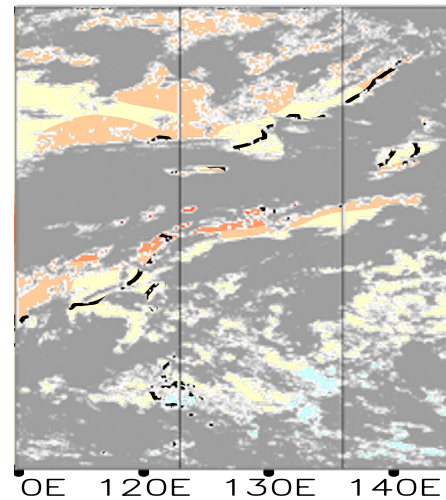
Prabir Patra (JAMSTEC), 2020

◎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

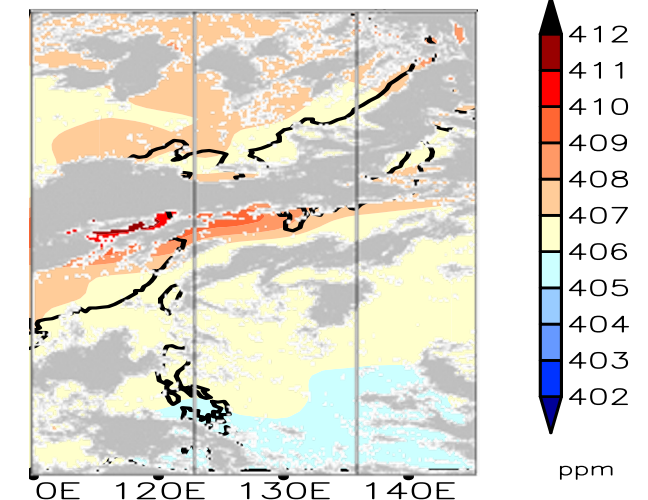


最新LEO: (TROPOMI, GOSAT-GW: 1-3日1度)



本GEO提案

※1日のうち08-17JSTで一度は観測

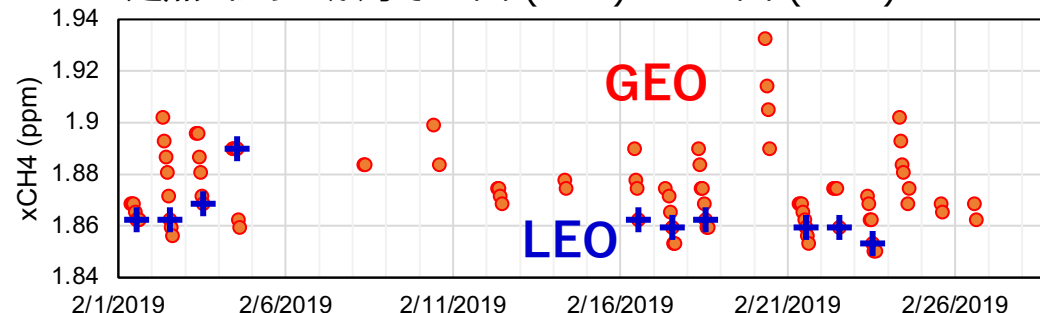


雲の隙間の観測で
領域全体で2倍の情報

※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)



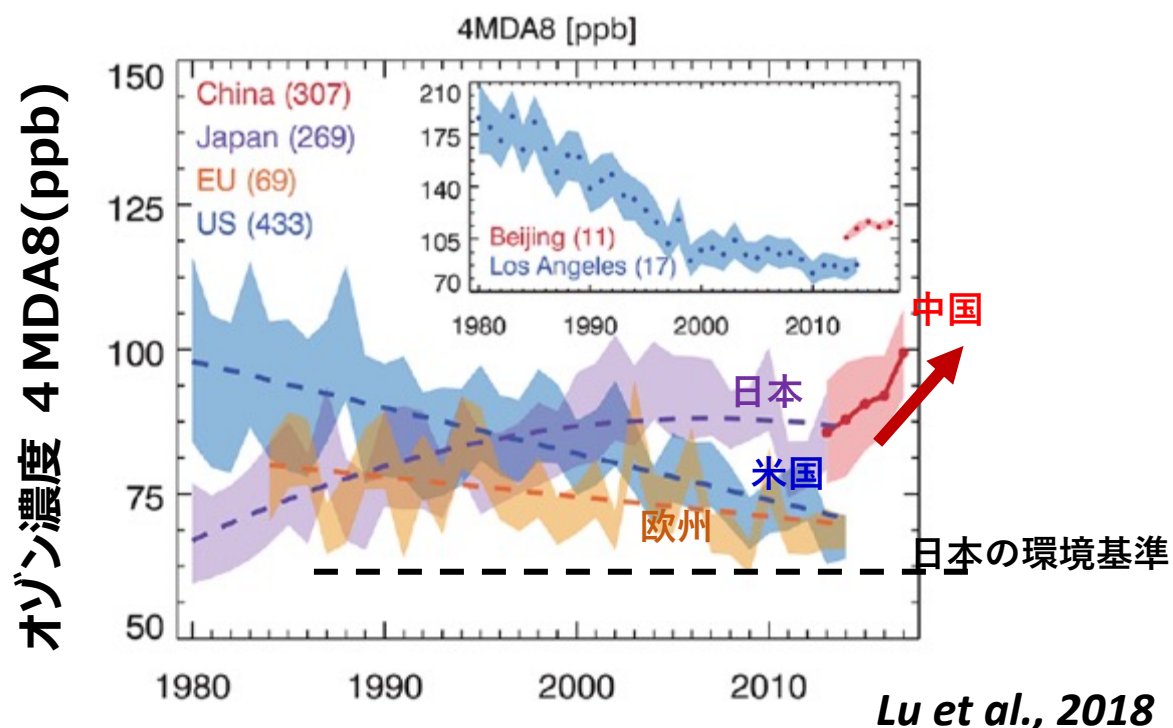
xCH₄は13時のTROPOMI-地表
濃度相関回帰直線から外挿推定
した仮想的な値(埼玉市役所)。

◎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

(2)対流圏オゾン：半球規模汚染と排出削減

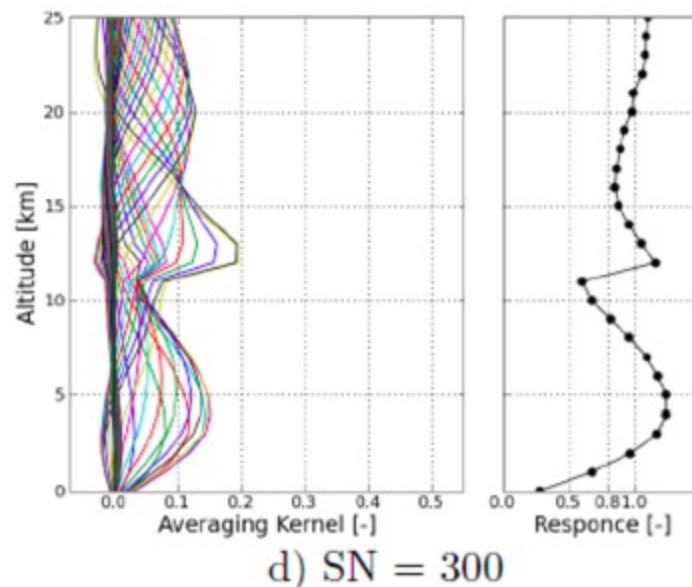
O₃ とその前駆物質(CO)日変化、対流圏下層分離

- 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

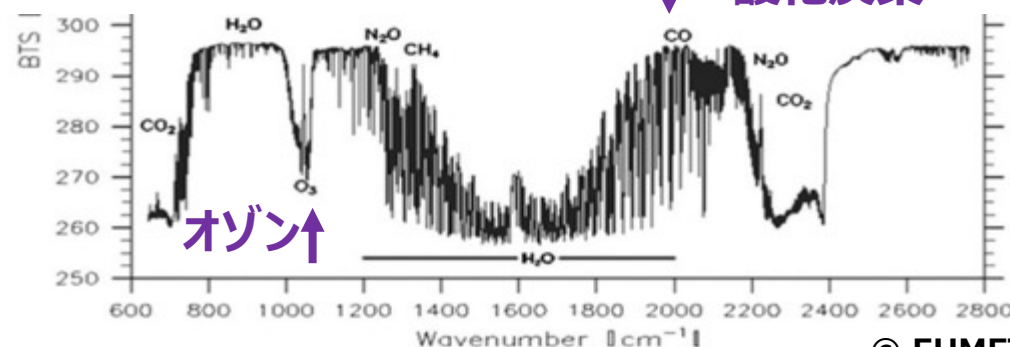
<オゾン導出AVK, 導出精度>



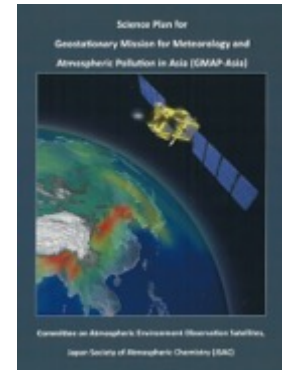
SNR=300、下部対流圏オゾン (0-6km)導出精度**13-24%**

<CO導出精度>
SNR=100としてCOカラム濃度 <20%

↓一酸化炭素



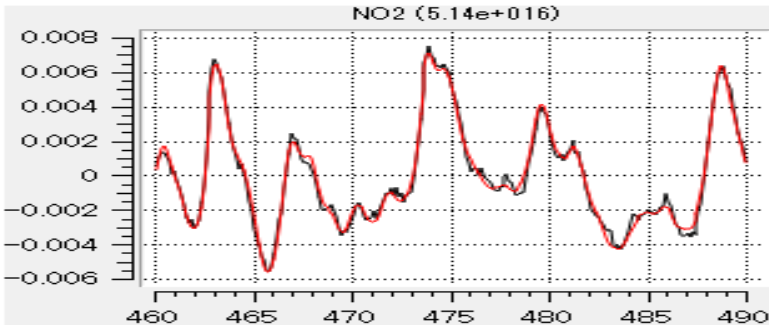
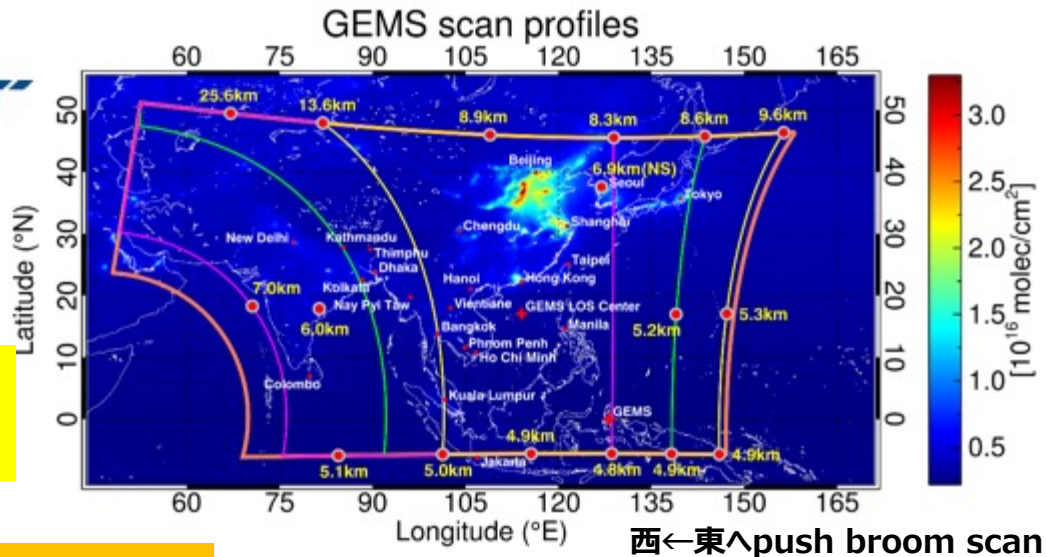
日本大気化学会 GMAP-Asia 静止衛星観測ミッションサイエンスプラン(2012)



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」の赤外サウナから実施

(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

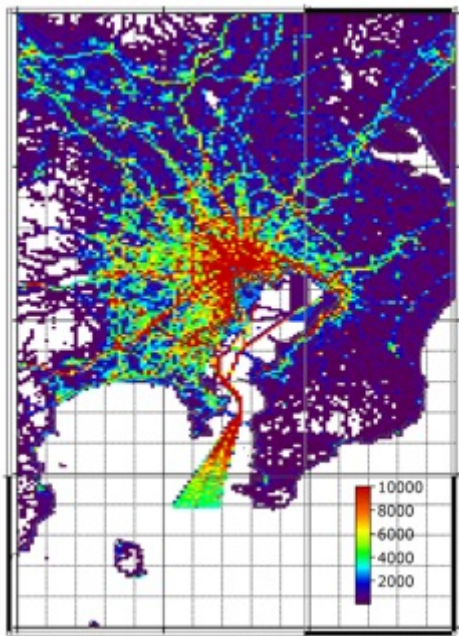
GEMS
Kim et al.,
BAMS, 2020



可視光での差分
吸収でNO₂計測

水平解像度
8km四方

2km級まで高解像度化



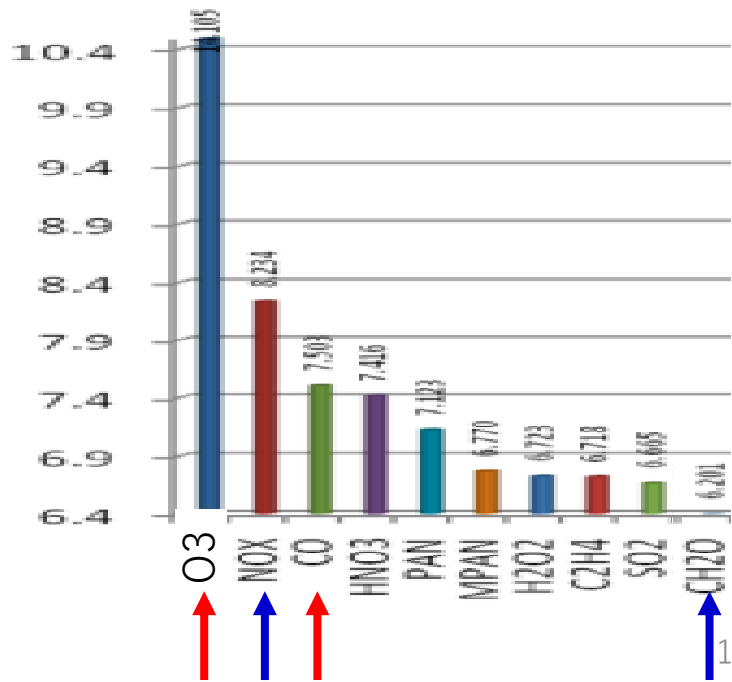
個別発生源まで
識別 + 日変化



● 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

<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



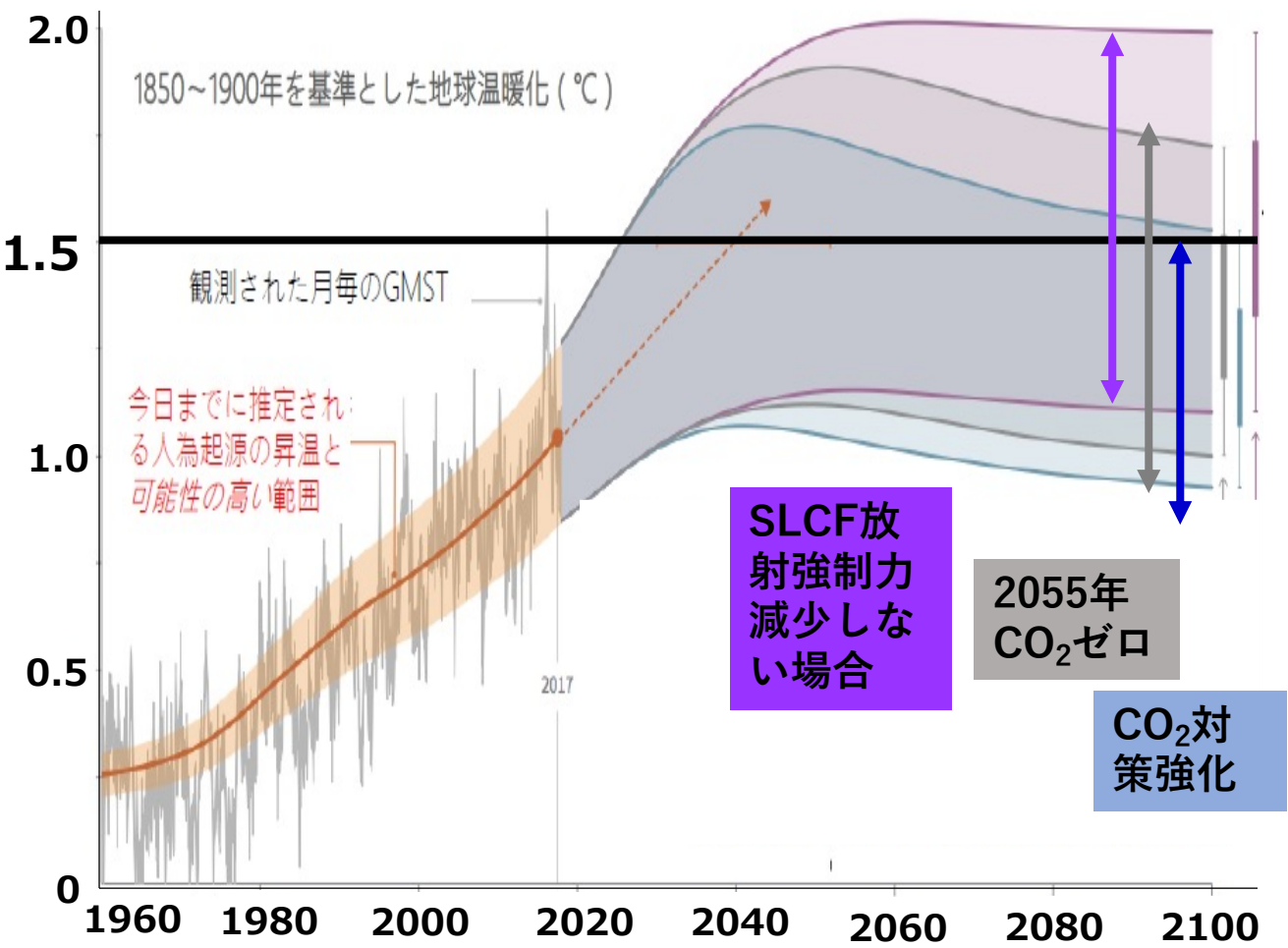
2022年現在のGEO衛星（観測中・打上げ予定）

		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

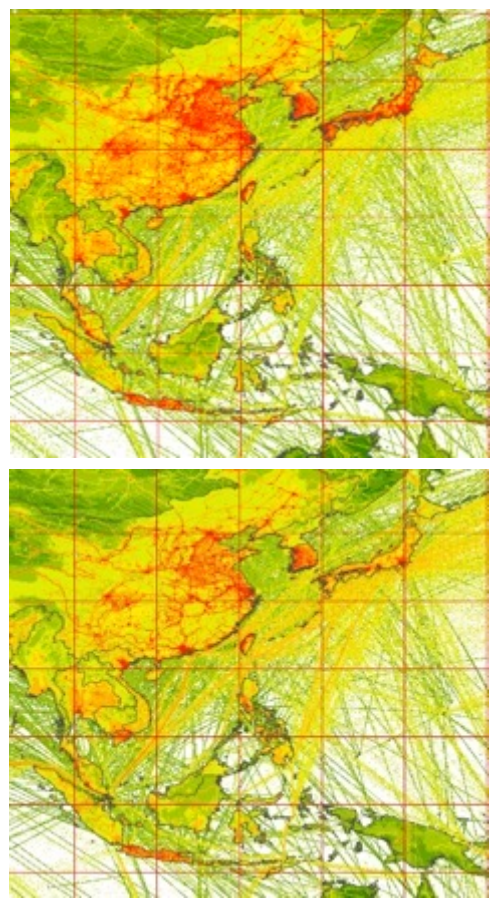
◎大気汚染物質も気候変動因子（SLCF）
排出制御しないと1.5度達成可能性が減少



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

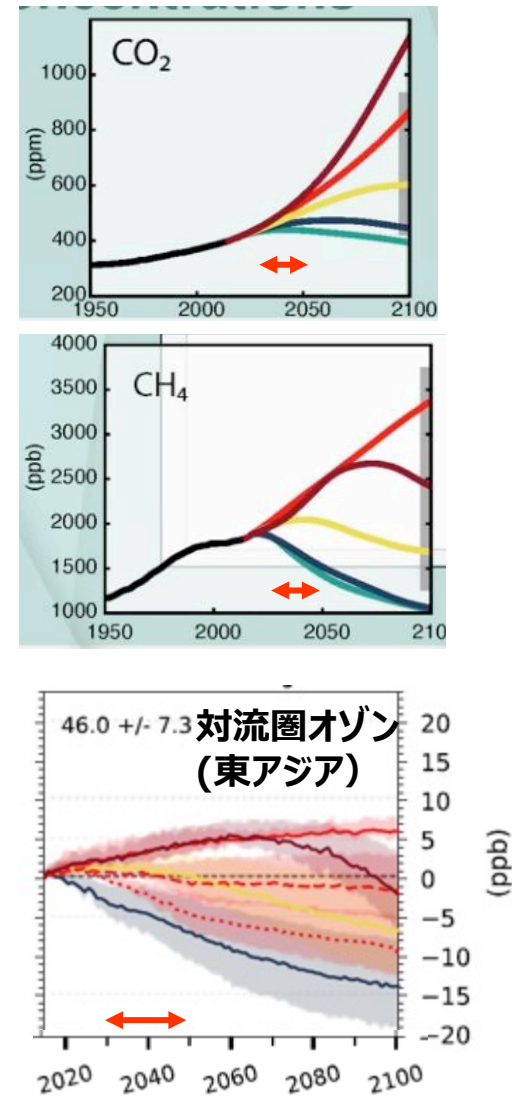
◎小さなCO₂発生源を燃焼トレーサーNO₂の目を通じて定量化



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



まとめ

- ・見えないもの的大気環境物質(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.

