

国立環境研究所による 温室効果ガス観測と標準ガスの概要

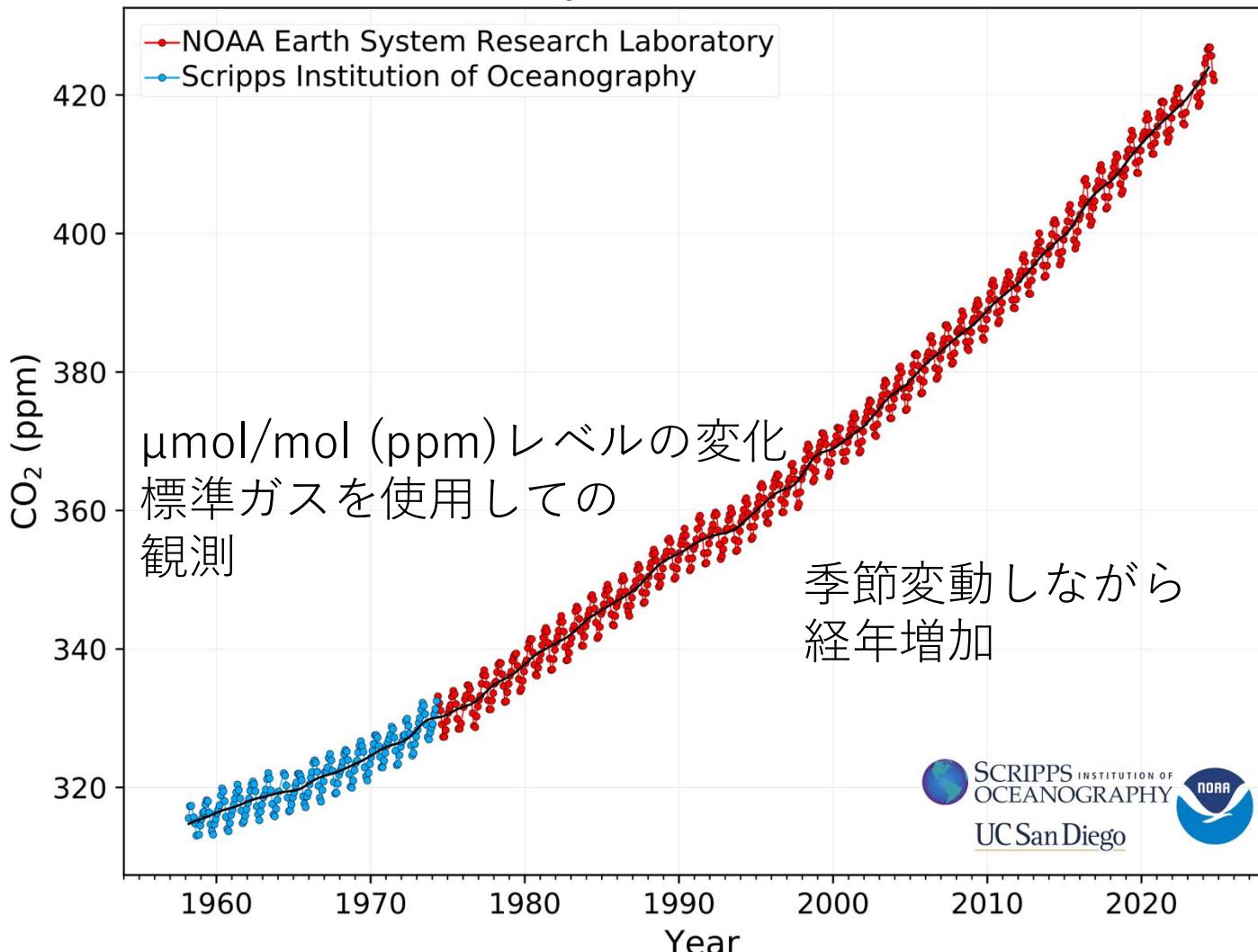
笹川 基樹

国立環境研究所
地球システム領域
地球環境研究センター
大気・海洋モニタリング推進室



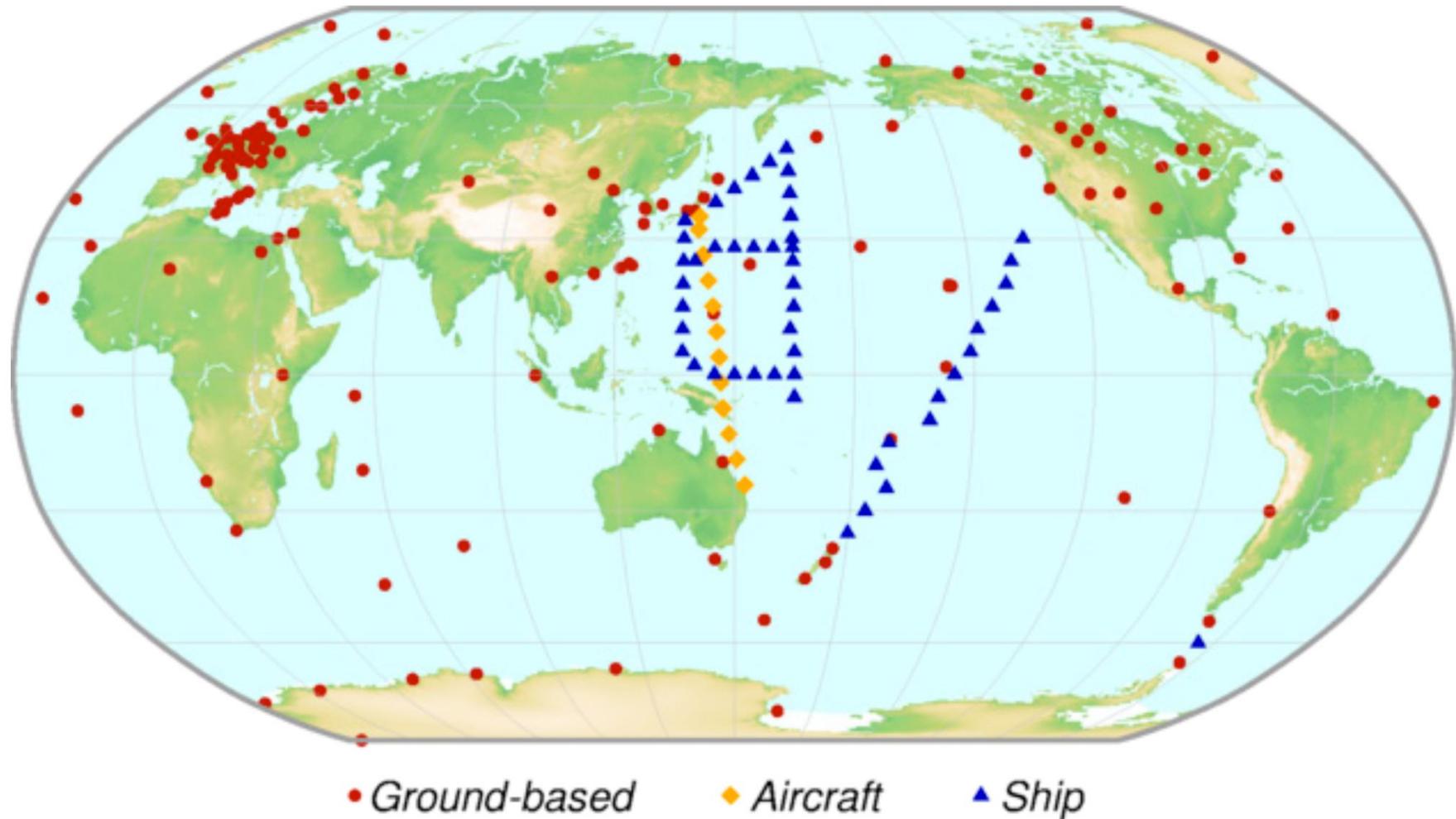
大気中二酸化炭素 (CO₂) 濃度の経年変化

Mauna Loa
Monthly Mean Carbon Dioxide



Atmospheric carbon dioxide monthly mean mixing ratios from the Mauna Loa Observatory, Hawaii. Data prior to May 1974 are from the Scripps Institution of Oceanography (SIO, blue), data since May 1974 are from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, red). A long-term trend curve is fitted to the monthly mean values. Contact: Dr. Arlyn Andrews, NOAA Global Monitoring Laboratory, Boulder, Colorado, arlyn.andrews@noaa.gov, and Dr. Ralph Keeling, SIO GRD, La Jolla, California, (858) 534-7582, rkeeling@ucsd.edu.

世界気象機関 (WMO) の全球大気監視 (GAW) ネットワーク による最近10年間のCO₂観測地点



大気中CO₂の全世界平均上昇率

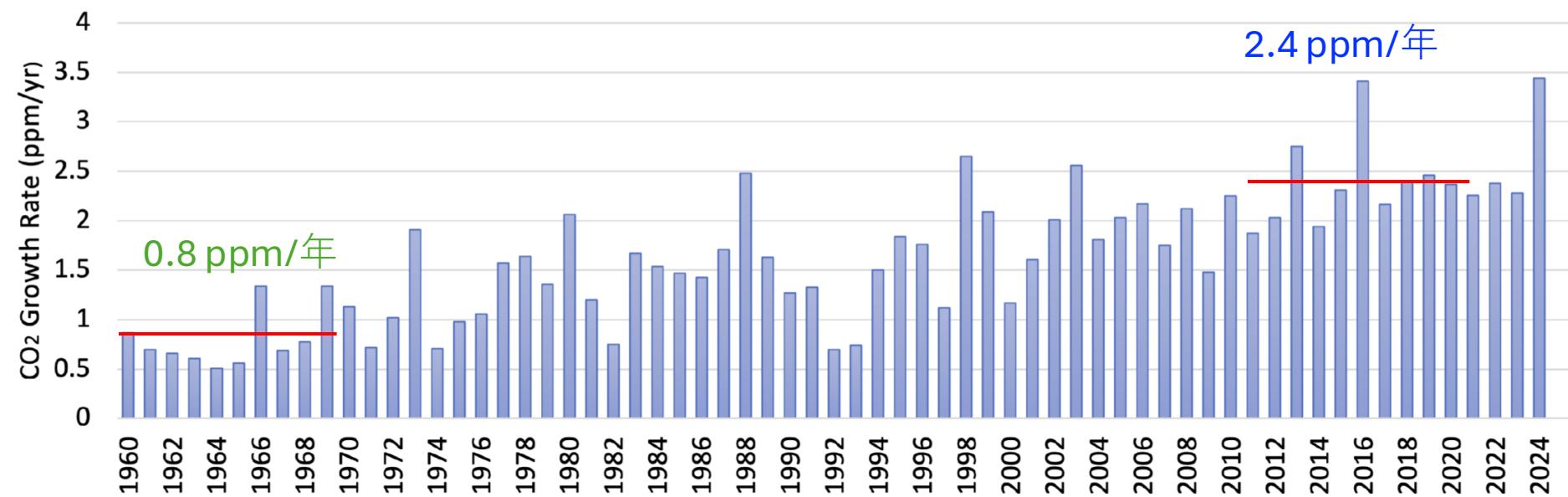


100地点以上の現場観測から算出

WMO GREENHOUSE GAS BULLETIN

The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere
Based on Global Observations through 2024

No. 21 | 16 October 2025



2.4 ppm/年

0.8 ppm/年 (1960年代)
2.4 ppm/年 (2011-2020年)

2023年→2024年の上昇率は過去最高

大気中CO₂の全世界平均に使用されたデータ

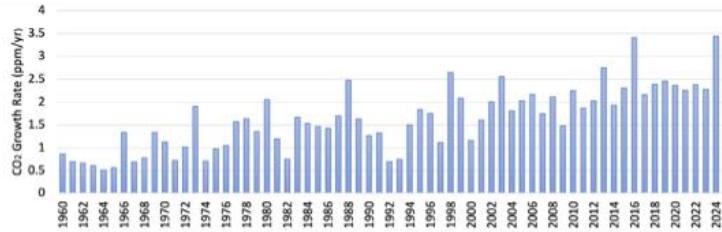


Home > Current State of GHGs

Latest WMO GHG Bulletin

Preliminary WMO WDCGG Summary Figures

Global Monitoring Laboratory, NOAA	NOAA	United States of America
Hong Kong Observatory	HKO	Hong Kong, China
Hungarian Meteorological Service	HMS	Hungary
Institute for Nuclear Research	ATOMKI	Hungary
Integrated Carbon Observation System Research Infrastructure	ICOS	Multinational
Italian Air Force Mountain Centre	IAFMS	Italy
Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development	ENEA	Italy
Japan Meteorological Agency	JMA	Japan
Kenya Meteorological Department	KMD	Kenya
Korea Meteorological Administration	KMA	Republic of Korea
Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement	LSCE	France
Meteorological Research Institute	MRI	Japan
National Institute for Environmental Studies	NIES	Japan



2024年のCO₂の全球平均
179地点、 43機関のデータ

気象庁がデータの収集・解析
全世界から複数の機関が貢献

NOAA
(アメリカ海洋大気庁)

CSIRO
(オーストラリア連邦
科学産業研究機構)

•
•
•

NIES
(国立環境研究所)

大気中CO₂の全球平均・長期的な変化のポイント

- ・数十年スケールの長期変化
- ・サブppmレベルの変化

標準ガスの長期的な濃度の統一性が求められる

標準ガスが長期的に濃度が安定していることが必要

- ・複数の機関による測定

多くの機関はWMOスケールを利用

独自のスケールを利用する機関も存在

スケール間の差異があるとバイアスを生む

- ・季節変動のある成分

装置の故障などでの空白期間がある季節に偏ると

バイアスを生む

→ 補完するデータ処理で対応 (Tsutsumi et al., 2009)

同じ大気を異なるメソッドで測定した時に現れる差異に関する基準
 Network compatibility (WMO, 2025)

<i>Component</i>	<i>Network compatibility goal¹</i>	<i>Extended network compatibility goal</i>	<i>Range in unpolluted troposphere (approx. range for 2022)</i>	<i>Range covered by the WMO scale</i>
CO_2	0.1 ppm (NH) 0.05 ppm (SH)	0.2 ppm	380–450 ppm	250–800 ppm
CH_4	2 ppb	5 ppb	1800–2250 ppb	300–5900 ppb
N_2O	0.1 ppb	0.3 ppb	335–345 ppb	260–370 ppb

地域的なフラックスを推定するために、全球モデルで使用されるバックグラウンド大気の測定において、許容可能な最大のバイアス

Network compatibility目標は、計測器性能の直接的な指標ではないが、短期的な不正確さが著しく高い計測器はNetwork compatibilityの評価を困難にする

大気中CO₂観測によく使用される測器

非分散型赤外分析計 (NDIR)



キャビティリングダウン分光分析計 (CRDS)



LI-COR Inc., LI6262

ゼロドリフト : <1 ppm per hour at 25°C

スパンドリフト : <1 ppm in 24 hours at 25°C

Network compatibility: 0.1 ppm
適度な頻度の校正が必要

Picarro Inc., G2401

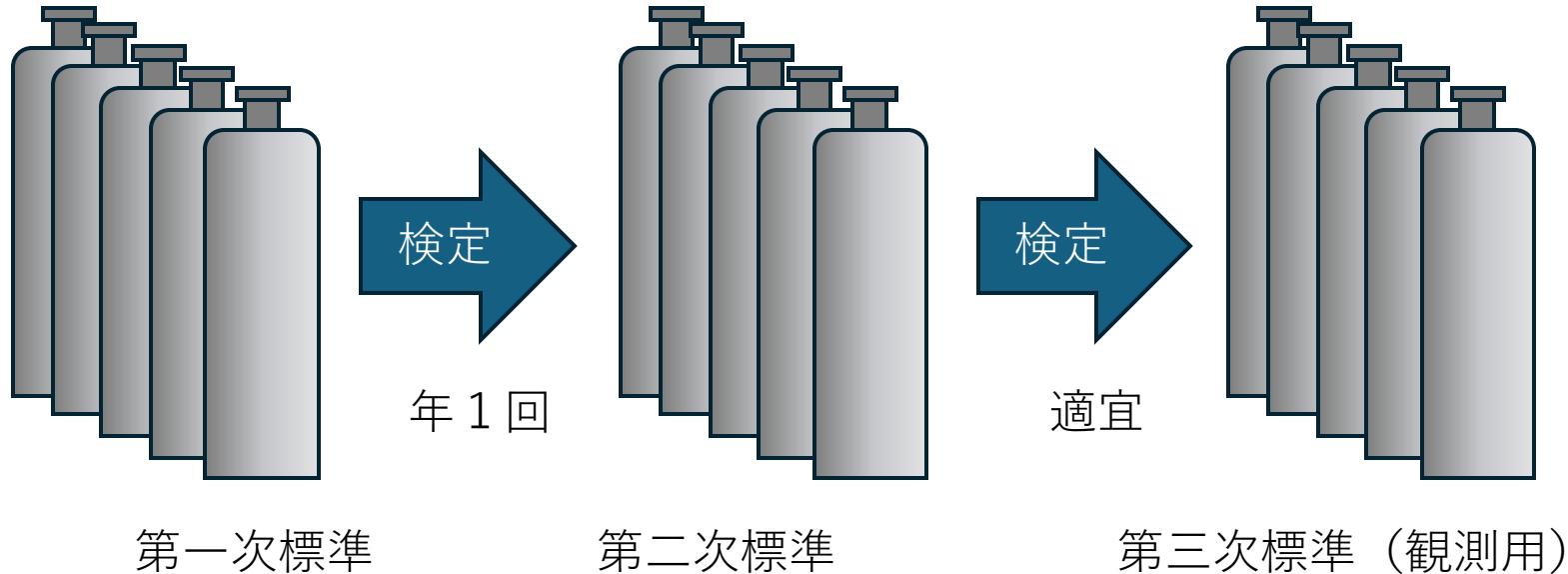
ドリフト : 0.1 ppm (max) in 24 hours

“Reference gas not needed”と記されているが、個体差があり、出力値として1 ppmの差が出ることもある



長期的に統一性があり安定したWMOスケールとの
差異が求められている標準ガスが必要

温室効果ガスの観測に用いる標準ガスの構成



第一次標準の使用量を抑え、長期に同じ標準ガスセットを利用する

長期的に統一性があり 安定したWMOスケールとの
差異が求められている標準ガス

国立環境研究所のCO₂第一次標準ガスの調製（1）

大陽日酸技報 No. 25 (2006)

技術紹介

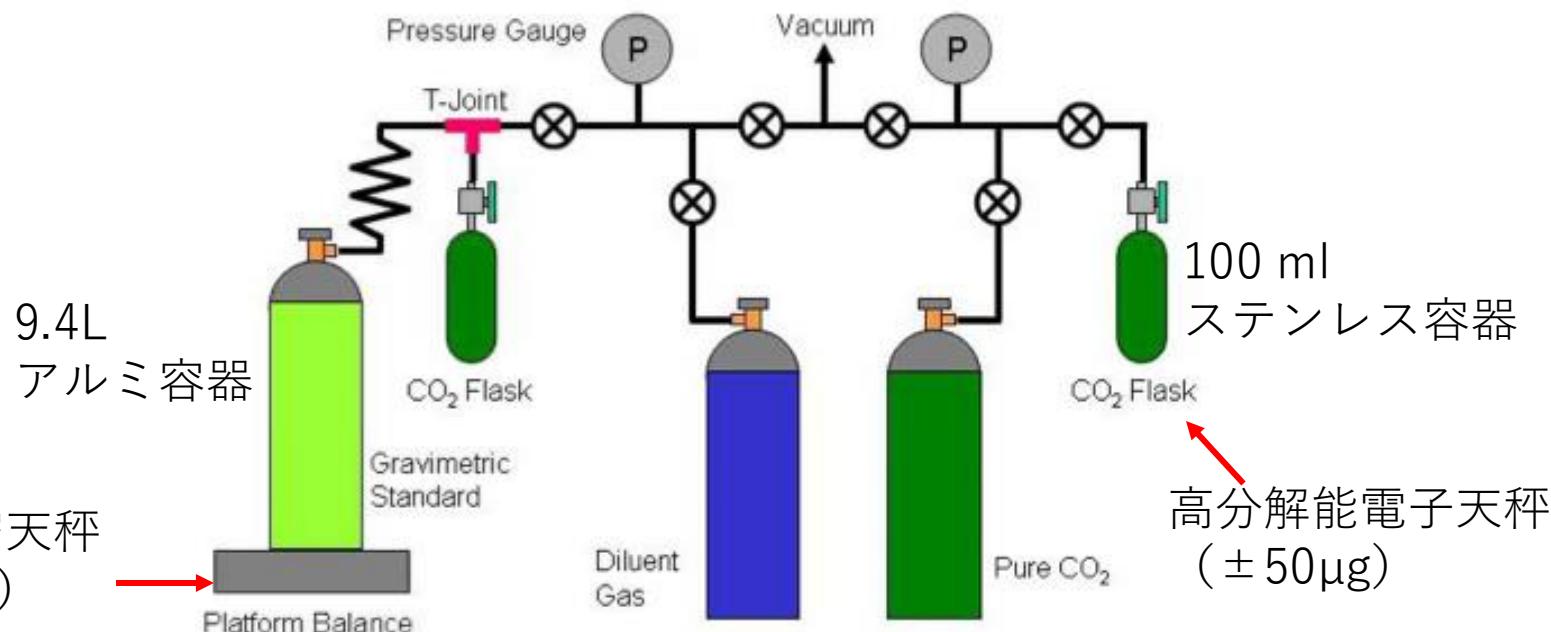
1段希釈重量充填法による二酸化炭素標準ガスの調製

Preparation of Gravimetric CO₂ Standards by One-Step Dilution Method

甘利岳人*	遠嶋康徳**	町田敏暢**	向井人史**
AMARI Taketo	TOHJIMA Yasunori	MACHIDA Toshinobu	MUKAI Hitoshi
渡井智則***	丸山正暁****	西野朋恵****	赤間功*
WATAI Tomonori	MARUYAMA Masaaki	NISHINO Tomoe	AKAMA Isao

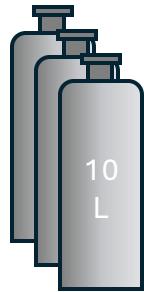
ジャパンファインプロダクツ株式会社
財団法人化学物質評価研究機構
国立環境研究所
の共同開発

大質量精密天秤
($\pm 2.5\text{mg}$)



1段希釈質量比混合法 (Tohjima et al., 2006)
不確かさ $\pm 0.045\text{ ppm}$

国立環境研究所のCO₂第一次標準ガスの調製（2）



2007/4

340, 360, 380, 390, 400, 410, 430, 450 ppm

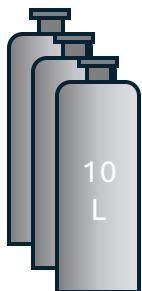
1段希釀質量比混合法

(Tohjima et al., 2006)

燃焼起源の純CO₂を精製空気で希釀



- 2006年以降に整備された10L容器内では、CO₂濃度が数ヶ月で増加
- 2005年以前に整備された10L容器内では、CO₂濃度の増加なし
→ 1段希釀質量比混合法で調整した標準ガスで、
2005年以前に調整した標準ガスを検定（24日以内）

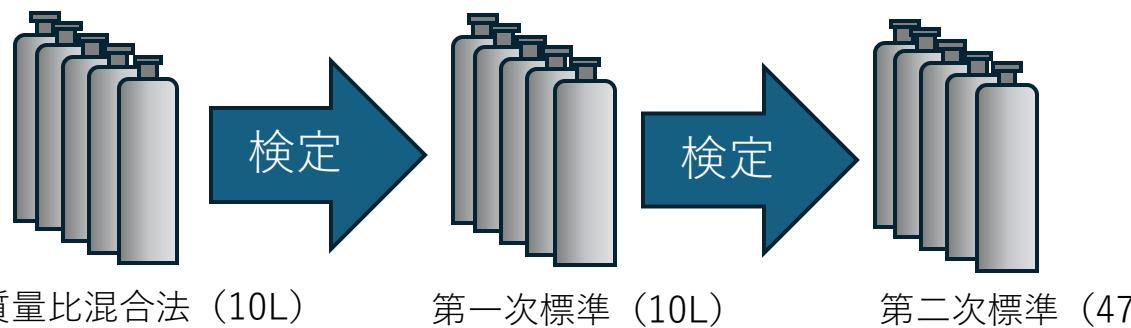


2007/4-5

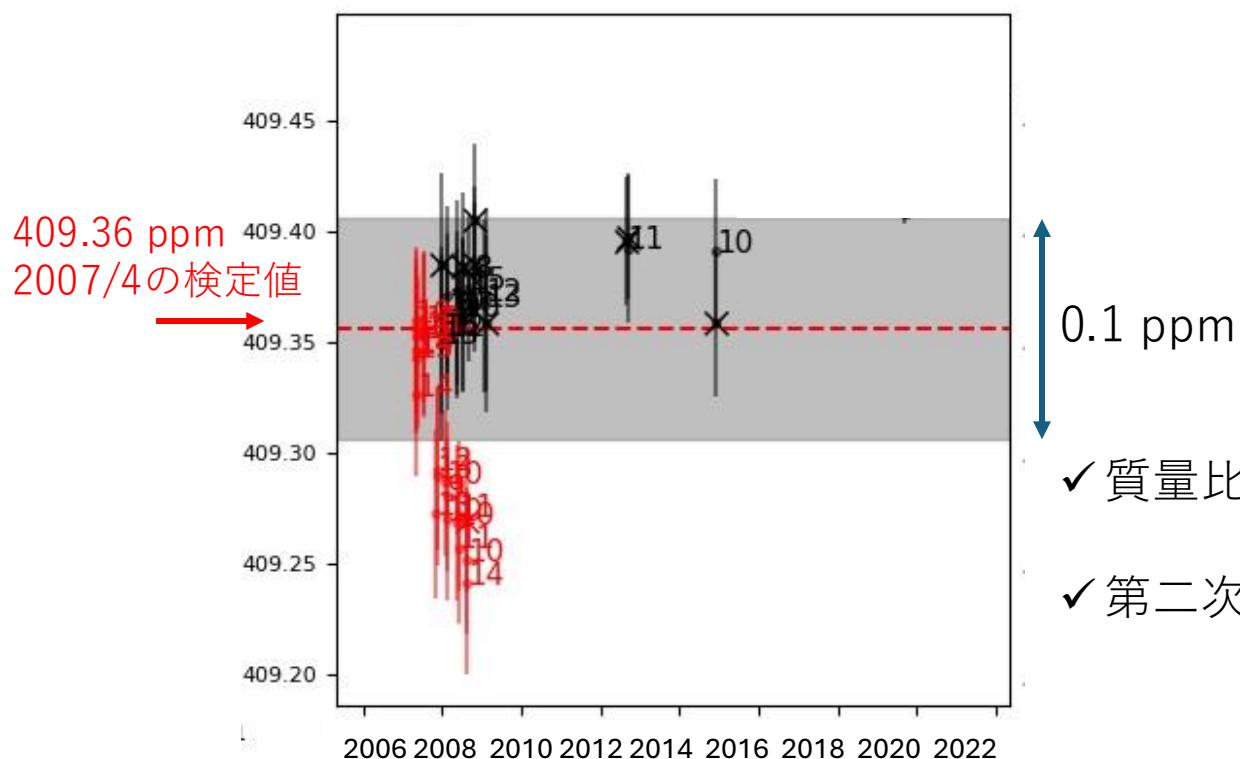
第一次標準ガス (N=8)

340, 360, 380, 390, 400, 409, 430, 450 ppm

2004年に圧力比混合法で調製された標準ガス群



第一次標準の経年変化；質量比混合法基準、第二次標準基準

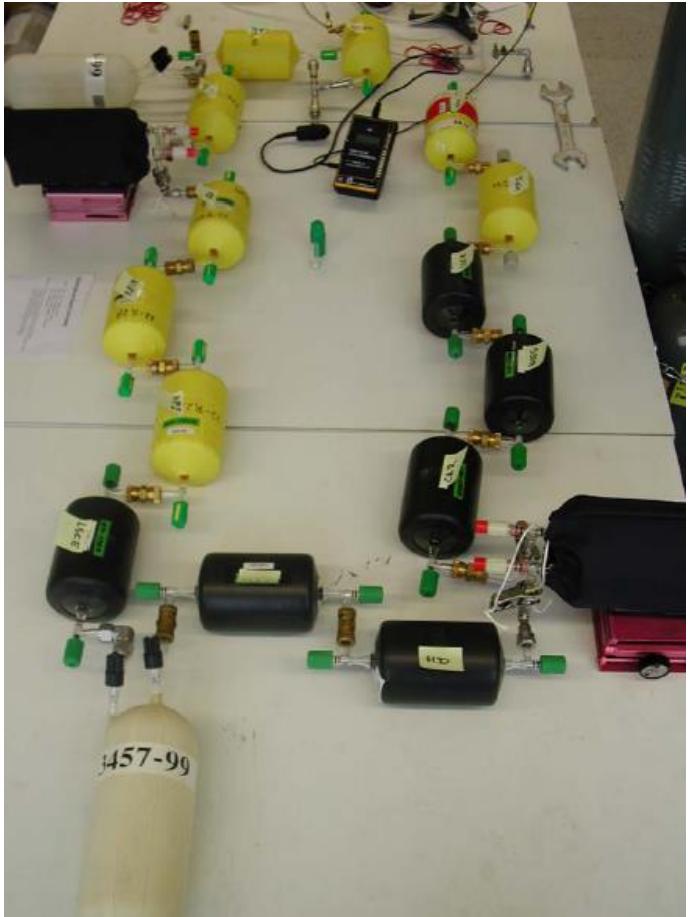


- ✓ 質量比混合法に使用した容器内で CO₂ 濃度の増加
- ✓ 第二次標準との間に変化なし
→第一次標準は安定

長期的に統一性があり **安定した** WMOスケールとの
差異が求められている標準ガス

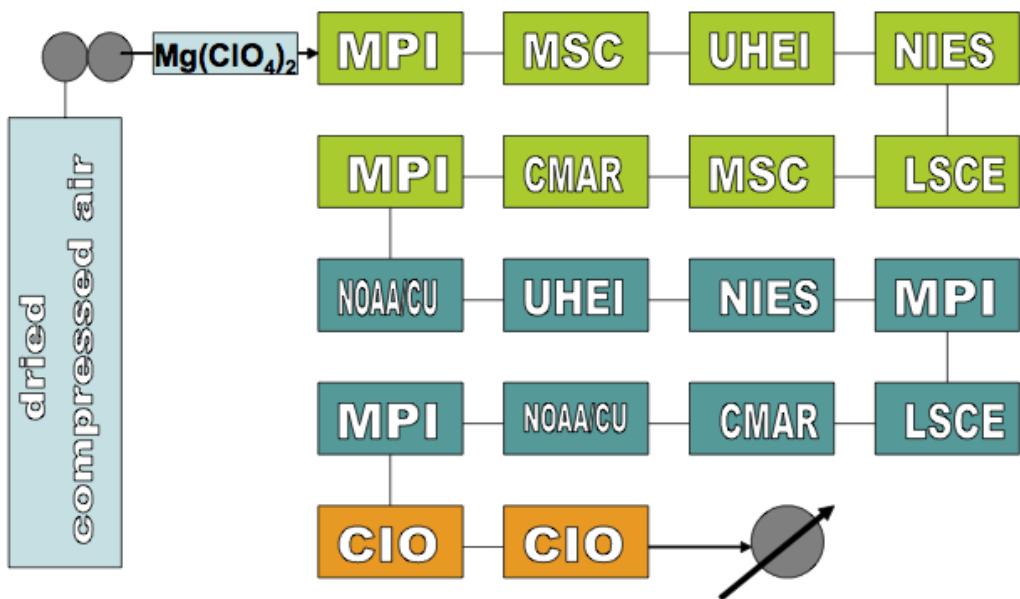
乾燥空気充填試料相互比較実験：Sausage

スケール + 測定メソッド + 使用フラスコの差異の確認



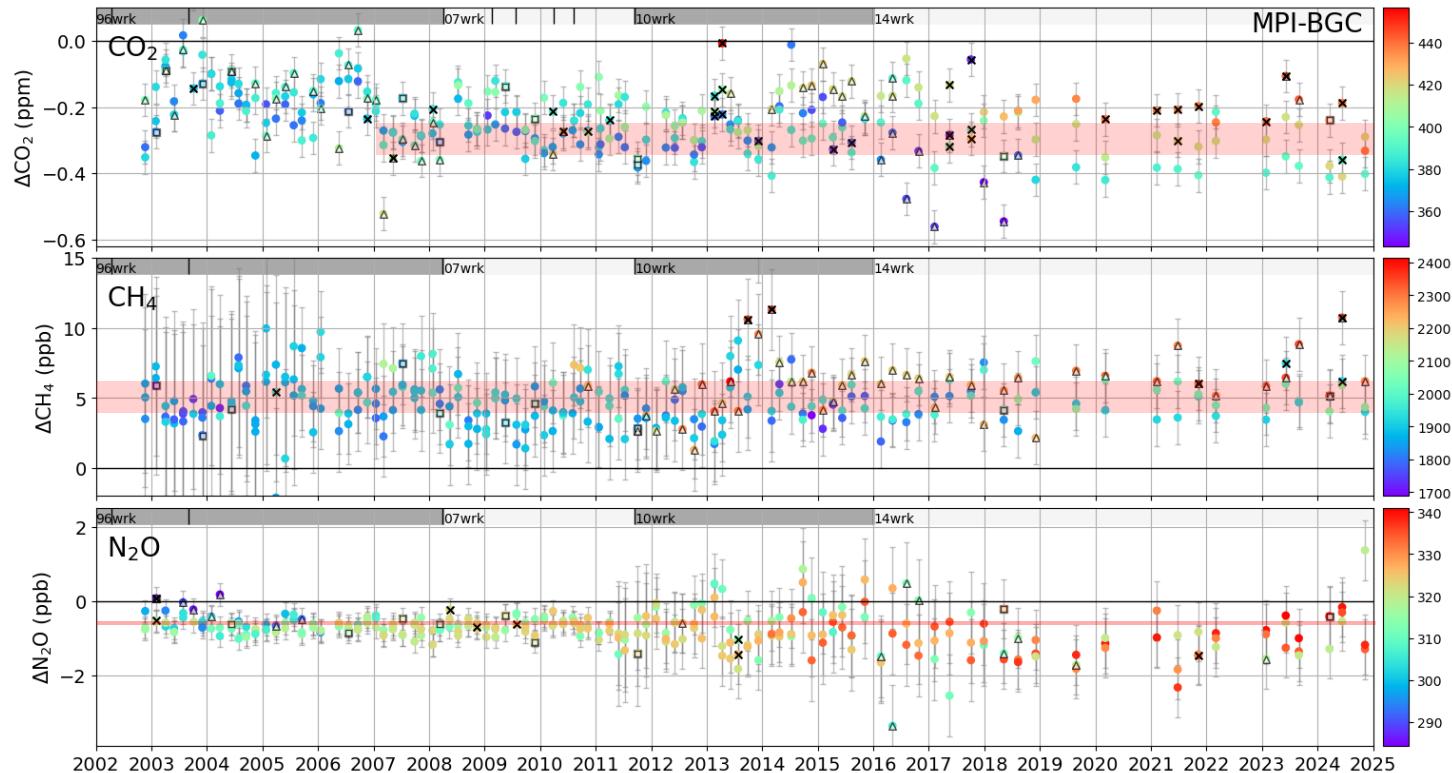
2 bar
1.5 bar
1 bar

Sausage Flask filling and distribution



Sausage比較実験の結果

マックス・プランク研究所との比較 (NIES – WMO)



- 20年間で長期的な差異の傾向は無い
- CO_2 : WMOスケールより約0.3 ppm低い
- CH_4 : WMOスケールより約5 ppb高い
- N_2O : WMOスケールより約0.5 ppb低い

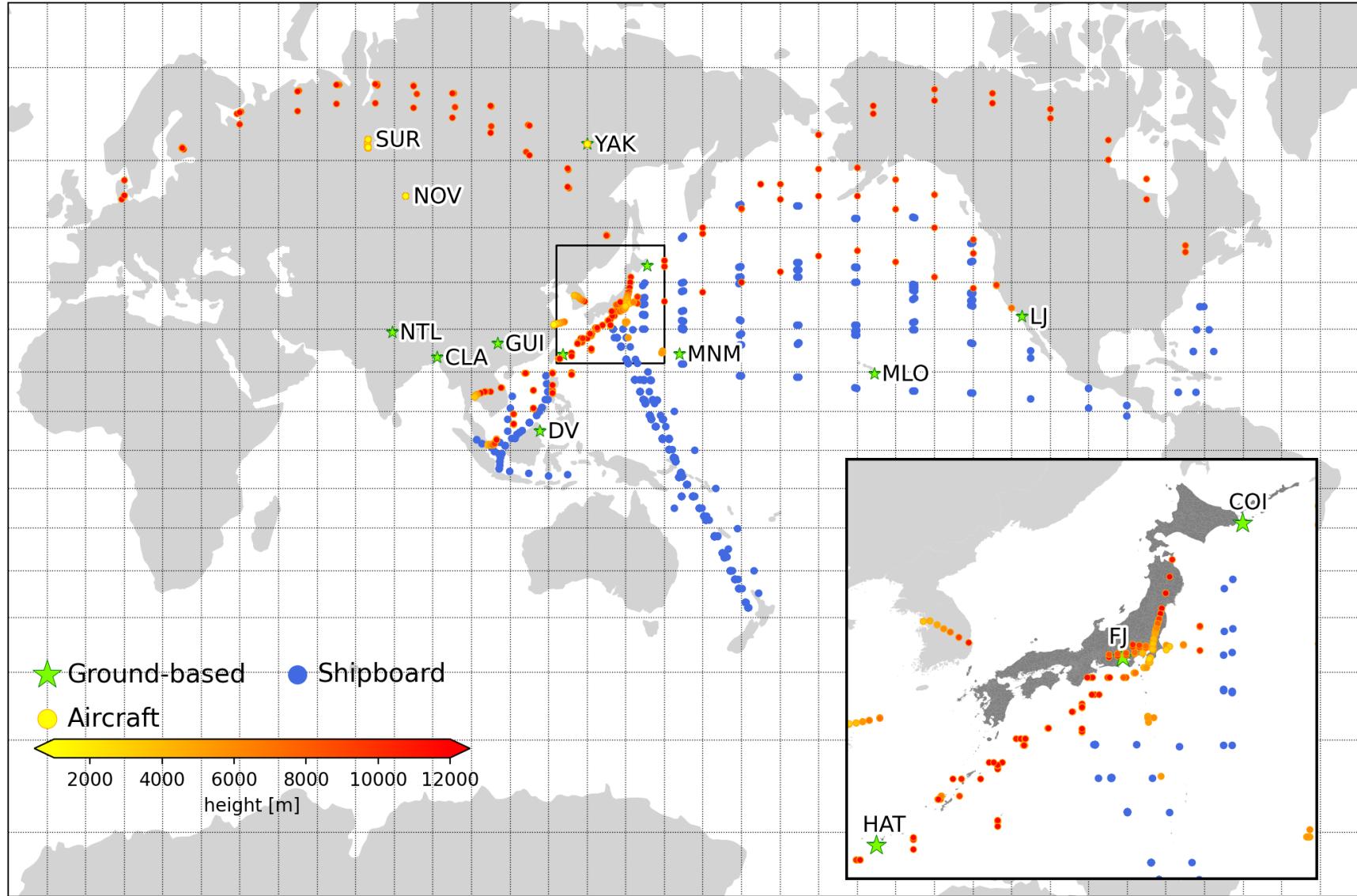
(近年は検出器の問題で不明瞭)

国環研のスケールは
長期的に統一性があり安定した**WMOスケール**
との差異が求められている標準ガス



- 大気濃度の長期的な変動解析が可能
- バイアス補正で他機関のデータとも
合わせた解析が可能

国環研による温室効果ガスの観測ネットワーク



2020年のサンプリング地点

大気観測から中国のCO₂排出量の準リアルタイム推定法を開発

—波照間島・与那国島で観測されるCO₂/CH₄変動比に基づき推定が可能に—

(筑波研究学園都市記者会、環境省記者クラブ、環境記者会、文部科学記者会、科学記者会共同配付)

2023年3月23日 (木)
国立研究開発法人国立環境研究所
海洋研究開発機構

国立環境研究所地球システム領域の遠嶋康徳らの研究チームは、波照間島および与那国島における大気中の二酸化炭素およびメタンの大気濃度観測データを用い、中国から排出される化石燃料起源二酸化炭素の排出量変化を準リアルタイムに推定する手法を開発しました。本手法では、大気輸送モデルの解析から得られた、二酸化炭素とメタンの濃度変動比と中国の排出量比の関係を用いることで、観測される濃度変動比から冬季（1月から3月）の中国起源の二酸化炭素排出量を推定します。この手法により、2020年から2022年の中国からの化石燃料起源二酸化炭素排出量の変化の推定に成功しました。本手法は今後パリ協定に基づく排出量削減の検証に役立つことが期待されます。

本研究の成果は、2023年3月2日付でSpringer社から刊行される地球惑星分野の学術誌『Progress in Earth and Planetary Science』に掲載されました。

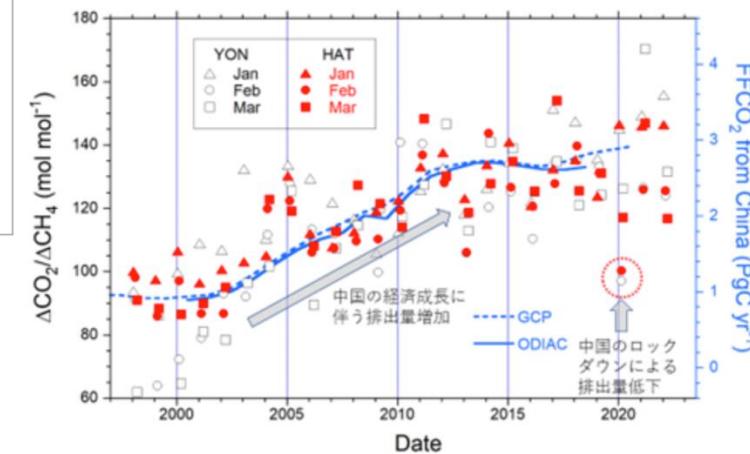
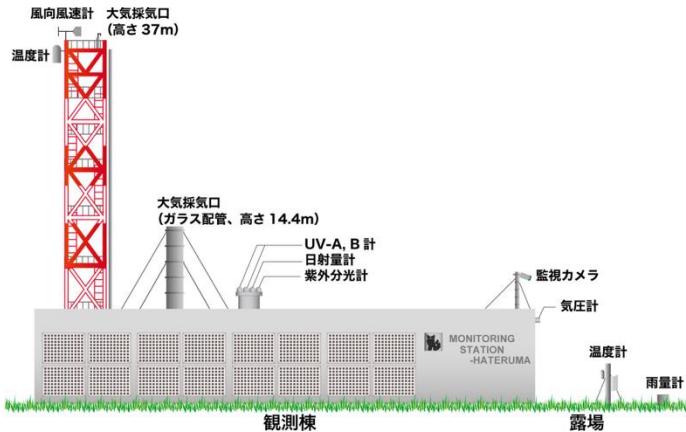


図2 波照間島（赤）および与那国島（白）における大気観測に基づくCO₂とCH₄の変動比の1~3月の月別変動比の時間変化。変動比は2000年代に増加するが、この期間は中国が著しい経済成長を示し化石燃料消費量が増加した時期に相当する（青線・青破線は中国の化石燃料消費量の推定値）。また、2020年2月に変動比が低下するが、これは中国でロックダウンが実施された時期に一致する。

長期観測データの統合解析から 2022年までのメタン濃度の変動が明らかに —国環研と協力機関による日本独自の観測の貢献—

(筑波研究学園都市記者会、環境省記者クラブ、環境記者会同時配付)

2025年7月7日（月）
国立研究開発法人国立環境研究所
気象庁気象研究所
獨協大学

国立環境研究所と協力機関からなる研究チームは、アジアや西太平洋を中心とした独自の地上観測ステーションや貨物船、航空機、人工衛星等、様々な手法による大気中のメタン濃度の長期観測結果を統合し、過去20年以上にわたる時空間変動を解析しました。その結果、メタン濃度の増加は2000年代前半に停滞したものの、2000年代後半以降に再び増加に転じました。また、南アジアや東南アジア、シベリアで、世界的にも特徴的な高濃度のメタンが観測されること等が明らかになりました。さらに、2020年から2022年にかけて記録的な濃度増加が観測されましたが、2020年の濃度増加は北半球中高緯度帯で顕著に見られ、2021年以降に増加傾向が南方に伝播したことでも明らかになりました。今後、本研究で示されたデータが、メタン収支推定のためのモデル研究等に活用されるとともに、各地域からのメタン放出量の推定精度が向上することにより、地球温暖化緩和策への貢献が期待されます。

本研究の成果は、2025年6月3日付でSpringer社から刊行される地球惑星分野の学術誌『Progress in Earth and Planetary Science』に掲載されました。

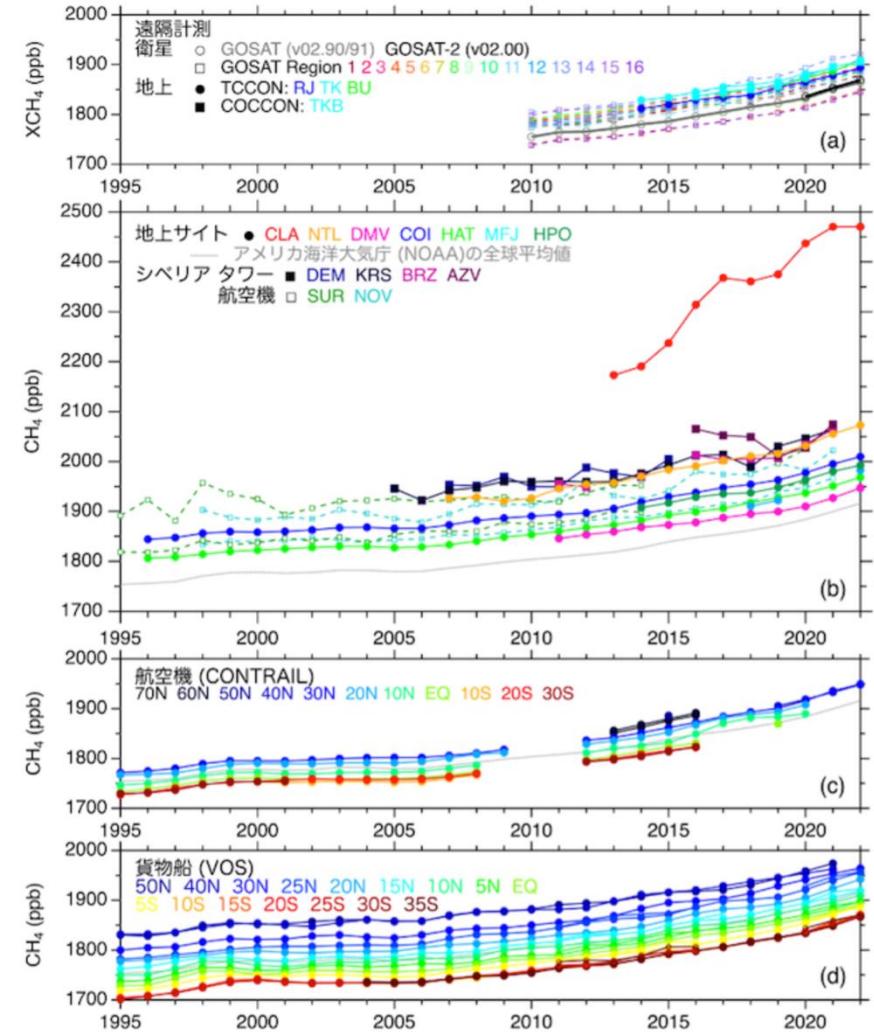
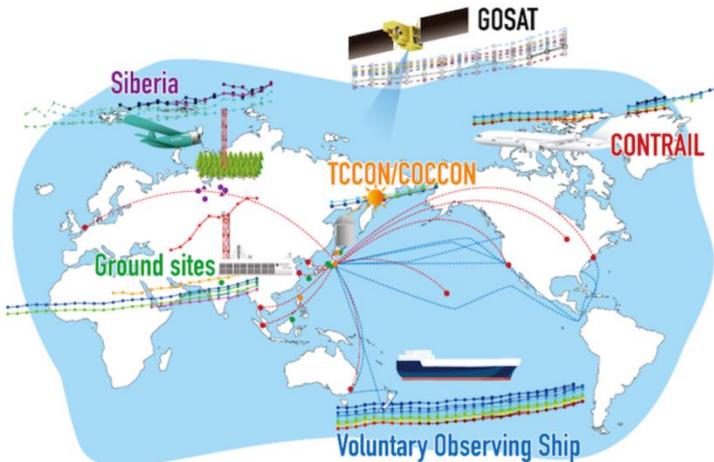
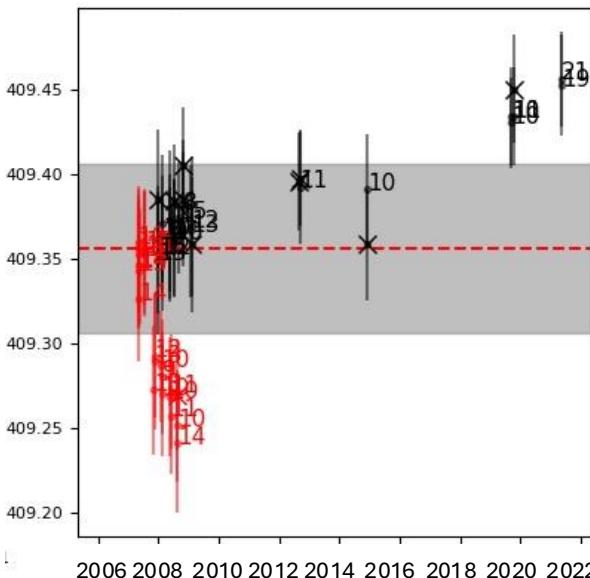


図3 メタン濃度またはカラム平均メタン濃度の年平均値の経年変化。「ppb」は十億分率。各パネルはそれぞれ、(a)地上 (TCCON/COCCON) および人工衛星 (GOSAT/GOSAT-2) による遠隔観測、(b)地上観測およびシベリア上空航空機観測、(c)旅客機 (CONTRAIL) による観測、(d)貨物船 (VOS) による観測、の結果を表す。旅客機および貨物船の結果は緯度帯ごと色を変えて示した。(b)のシベリア上空航空機観測は高度0.5kmと4.0kmの結果のみ表示した。なお、(b)(c)(d)に示された灰色線は、アメリカ海洋大気庁 (NOAA) の観測で得られた全球平均濃度を示す。地上サイトの表記コードは以下の通り：(a) RJ (陸別・日本)、TK/TKB (つくば・日本)、BU (ブルゴス・フィリピン)、(b) CLA (コミラ・バングラデシュ)、NTL (ナイニタール・インド)、DMV (マレーシア・ダナンバレー)、COI (落石岬・日本)、HAT (波照間島・日本)、MFJ (富士山頂・日本)、HPO (八方尾根・日本)、DEM (デミヤンスカヤ・ロシア)、KRS (カラシボエ・ロシア)、BRZ (ベレゾレチカ・ロシア)、AZV (アゾボ・ロシア)、SUR (スルグート・ロシア)、NOV (ノボシビルスク・ロシア)。

おわりに

- ✓ 国環研の温室効果ガス観測は、
質量比混合法に基づいたスケールが基準
- ✓ WMOスケールとの差は安定
(CO₂: 約-0.3 ppm、CH₄: 約5 ppb、N₂O: 約-0.5 ppb)
- ✓ 標準ガスを使用することで温室効果ガスの数十年スケールの変化や
短期的で不規則な変化の検出も可能
- ✓ 大気中CO₂の濃度上昇で450 ppmより上の標準ガスが必要
- ✓ 近年は、CO₂の第一次標準に濃度変化が現れている
- ✓ 産業技術総合研究所 計量標準総合センターによる
CO₂スケールの構築を期待



160, 250, 330, 380, 420, 460, 500, 550, 600 $\mu\text{mol/mol}$

