

研究課題番号： 2A-1102

# 『「いぶき」観測データ解析により得られた温室効果ガス濃度の高精度化に関する研究』

研究代表者：森野 勇(国立環境研究所)

研究実施期間：平成23～25年度  
累積予算額：191,492千円(含間接経費)

## 研究の背景と研究開発目的

- ◆ 2009年1月23日「いぶき」打ち上げ成功(現在運用中、約5年間の観測データ)
- ◆ データ解析処理・校正・検証業務(これまでの研究成果に基づく研究的要素の低い業務を実施)
- ◆ 2010年2月一般公開(一部の不具合を改訂した版を8月に公開)「いぶき」TANSO-FTS SWIRデータ(Ver. 01.xx)の初期検証結果

値:全て「約」	バイアス (accuracy)		1 $\sigma$ (precision)		不確かさ (uncertainty)
	(ppm)	(%)	(ppm)	(%)	(ppm)
XCO <sub>2</sub>	-9	-2	4	1	10
XCH <sub>4</sub>	-0.02	-1	0.02	1	0.03

緯度分布: バイアスを除けば検証データと傾向が類似

- ◆ ミッション目標(1000kmメッシュ・3ヶ月平均で、XCO<sub>2</sub> バラツキ: 1 %、XCH<sub>4</sub> バラツキ: 2 %)は達成したものの、インバースモデル解析による温室効果ガス収支を含む科学的利用に利用されるためには不十分
- ◆ 2012年4月SCIAMACHY運用停止→世界唯一温室効果ガス気柱量観測衛星

本研究では、「いぶき」観測データ解析により得られた温室効果ガス濃度のバイアスとバラツキの半減を目指す

## 研究体制: 研究機関と分担者

### (1) 長期間検証データの評価、「いぶき」データ検証とアルゴリズム改良に関する研究

(独)国立環境研究所      森野 勇、吉田 幸生、横田 達也

### (2) 重点サイトにおける巻雲・エアロゾル光学特性観測に関する研究

気象庁気象研究所      永井 智広、真野 裕三、酒井 哲、  
内山 明博、山崎 明宏

### (3) 重点サイトにおける高精度温室効果ガス観測に関する研究

(独)宇宙航空研究開発機構      川上 修司、  
大山 博史(平成23～24年度)

# 研究体制：サブテーマ間関係

環境研究総合推進費 平成25年度終

「いぶき」

重点検  
証観測サイ  
重焦点サイトで取得したサブテーマ共通検証と誤差要因の特定

「いぶき」観測データ解析により得られた温室効果ガス濃度の高精度化

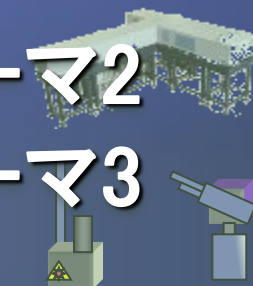
サブテーマ共通

「いぶき」解析アルゴリズム改良



サブテーマ2  
サブテーマ3

地上設置高分解能FTS



ライダー 放射計

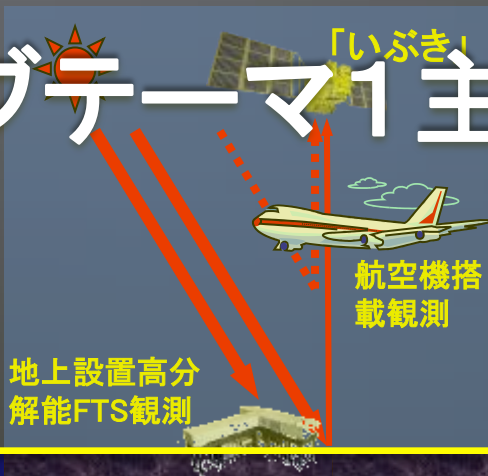
長期検証データを用いた季節変動・経年変動などの大気化学的検証



「いぶき」温室効果ガスデータ

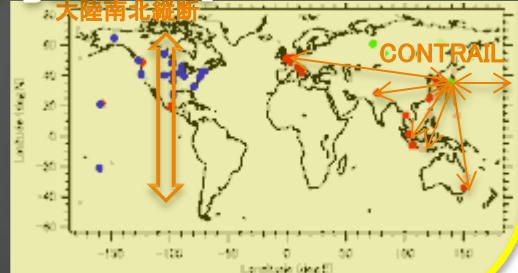
サブテーマ1主担当

地上設置高分解能FTS観測網



地上設置高分解能FTS観測

比較  
大気化学的航空観測網





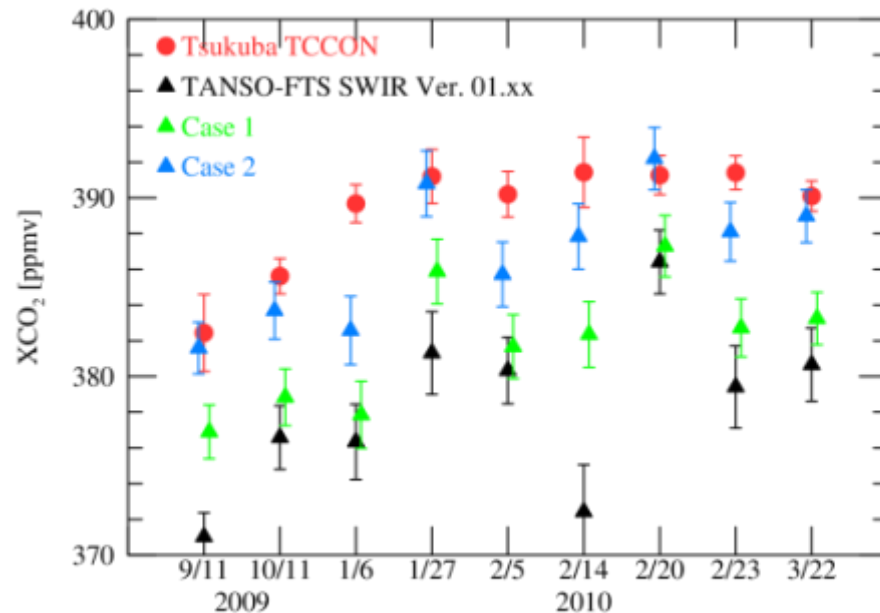
# 本研究により得られた主な成果(科学的意義)

- ◆ 重点検証観測サイトつくばにおけるケーススタディ(横断) 互いに連携し
- ◆ 参照値・アルゴリズムの改良とTCCONデータによる検証(サブ1) 進めた成果

## 目標を達成→更なる「いぶき」データの高精度化

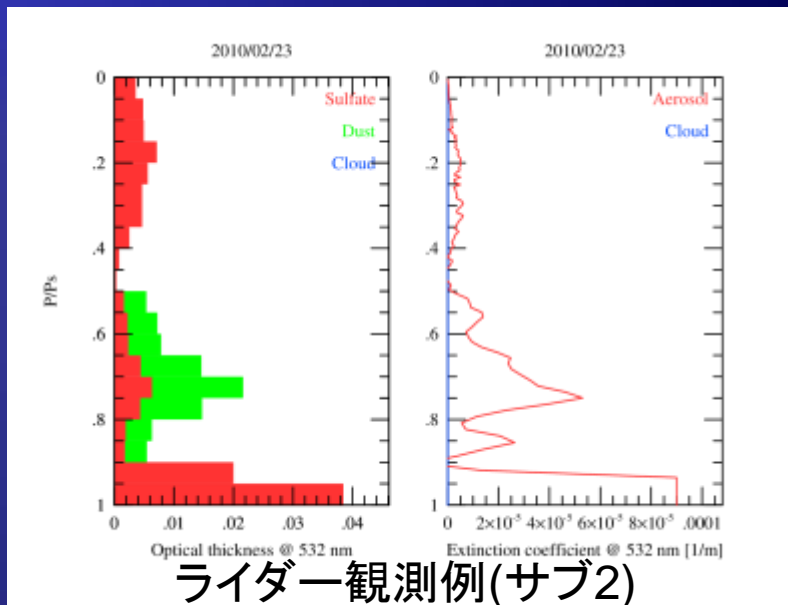
- ◆ 長期検証データを用いた季節変動・経年変動などの大気化学的検証(サブ1)
  - ◆ TCCONデータを用いたバイアスの季節変動・経年変動
  - ◆ 航空機観測データによる検証
  - ◆ 経験的補正法の開発と補正データ検証→フラックス推定に活用【範囲外】
- ◆ 重点検証観測サイトでの同期観測(サブ2、サブ3)と取得データを用いた検証と誤差要因特定(横断)
  - ◆ エアロゾル・雲の分布と「いぶき」データとの対応
  - ◆ 巻雲スクリーニング・解析方法の改善、下層エアロゾル過小評価の可能性、成層圏エアロゾル影響
  - ◆ 全重点検証観測サイトで取得したデータを用いたケーススタディ
  - ◆ ライダーによる火山性成層圏エアロゾルの観測→気候変動の把握のためにも貴重な知見【間接的研究成果】
  - ◆ ライダーとスカイラジオメーターによる桜島噴火火山灰の観測→地域災害に関する情報提供【間接的研究成果】
- ◆ 更なる参照値・アルゴリズムの改良(サブ1)

# 重点サイトつくばにおけるケーススタディ(横断)



TCCON観測(サブ3)

「いぶき」観測期間: 9データセット  
2009年9月11日～2010年3月22日



ライダー観測例(サブ2)

	エアロゾル高度分布	エアロゾル光学的特性	巻雲	太陽照度スペクトル
Ver. 01.xx	0～2 km	SPRINTARS	No	Kurucz
Case 1	lidar	sulfate and dust	Yes	Kurucz
Case 2	lidar	sulfate and dust	Yes	Toon
Case 3	導出 (SPRINTARS出力を先験値)	SPRINTARS	Yes	Toon

バイアス  $\pm 1\sigma$

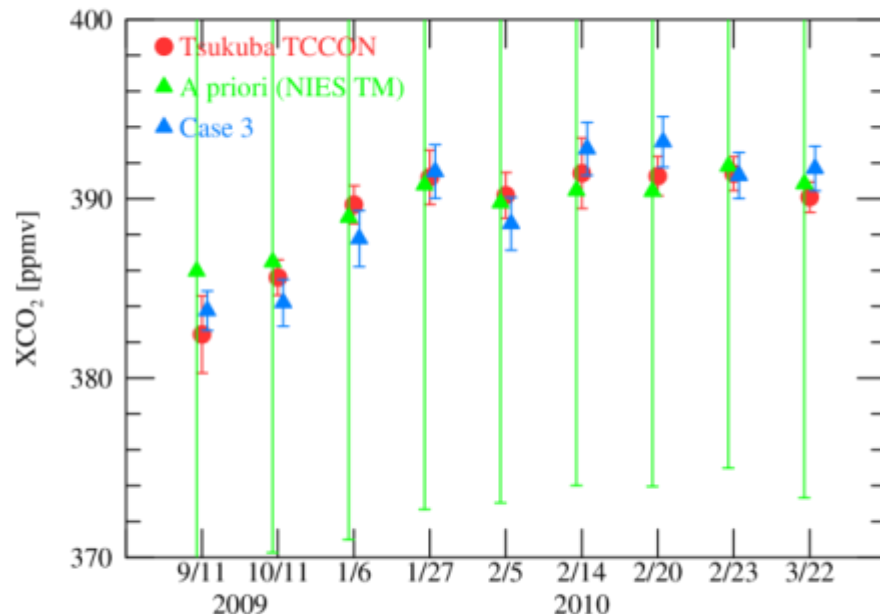
$-10.99 \pm 3.83$  ppm

$-7.40 \pm 2.39$  ppm

$-2.43 \pm 2.45$  ppm

次ページ

# 重点サイトつくばにおけるケーススタディ(横断)



バイアス  $\pm 1\sigma = 0.17 \pm 1.49$  ppm

(Case 3)

SPRINTARSに基づくエアロゾル高度分布と光学特性を先験値として用いエアロゾル高度分布を導出

## つくばケーススタディのまとめ

- ◆ エアロゾル及び薄い巻雲の高度分布を考慮し、エアロゾル高度分布を導出すること
- ◆ より誤差の小さい太陽照度スペクトルを用いること
- ◆ データセット数: 不十分
- ◆ 他の観測条件では?

→ 重点サイト4地点における研究  
→ サブ1のアルゴリズムと  
初期値の改良に活用

O. Uchino, et al., ACP, 12, 3393–3404 (2012) “Influence of aerosols and thin cirrus clouds on the GOSAT-observed CO<sub>2</sub>: a case study over Tsukuba”

## 参照値・アルゴリズム改良によるバイアスの変化(サブ1)

	XCO <sub>2</sub>	XCH <sub>4</sub>
Ver. 01.xx	-8.85 ppm	-20.4 ppb
太陽照度データ	(+3 ppm)	(-7 ppb)
エアロゾル光学特性	(+3 ppm)	(+12 ppb)
エアロゾル高度分布	(-1 ppm)	(-4 ppb)
O <sub>2</sub> 分光パラメータ	(+2 ppm)	(+10 ppb)
Ver. 02.00	-1.20 ppm	-7.2 ppb
Ver. 01.xx, Ver. 02.00: TCCON データ (GGG 2009) を使用 Ver. 02.xx: TCCON データ (GGG 2012) を使用	-1.48 ppm	-6.0 ppb

Ver. 01.xx: 2009/06～2010/11 観測分

Ver. 02.00: 2009/06～2010/07 観測分

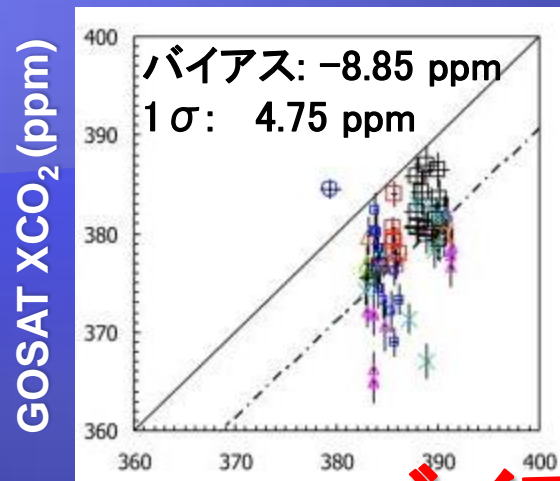
Ver. 02.xx: 2009/06～2012/11 観測分

Y. Yoshida et al., AMT, 6, 1533–1547 (2013)

“Improvement of the retrieval algorithm for GOSAT SWIR XCO<sub>2</sub> and XCH<sub>4</sub> and their validation using TCCON data”

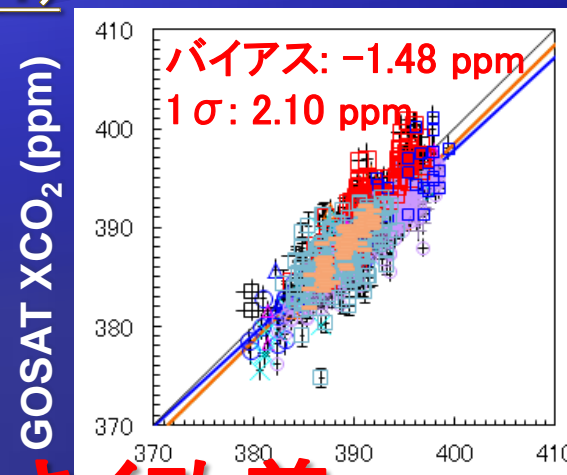


# アルゴリズムと初期値の改良後のTCCONデータを用いた 検証(サブ1)

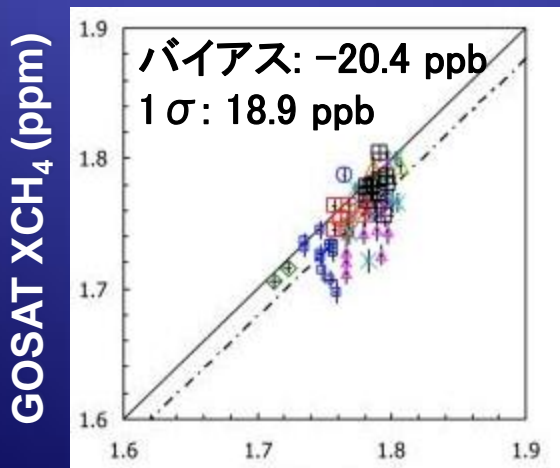


TCCON XCO<sub>2</sub> (ppm)  
SWIR L2 Ver. 01.xx

XCO<sub>2</sub>

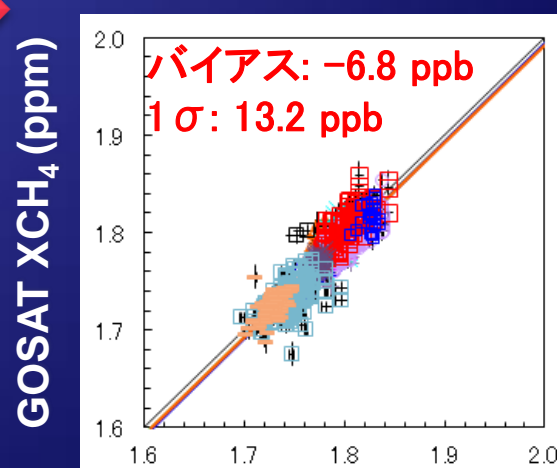


TCCON XCO<sub>2</sub> (ppm)  
SWIR L2 Ver. 02.xx



TCCON XCH<sub>4</sub> (ppm)

XCH<sub>4</sub>



TCCON XCH<sub>4</sub> (ppm)

## 環境政策への貢献

- ◆ GOSAT後継機への反映事項の提言を目的にGOSAT中間総括会議が開催(2012年1月～3月、3回)

本会議では、本研究の成果である解析アルゴリズムと参照値の改良による「いぶき」データの改善の見通しが示され、GOSAT後継機を推進する環境省、JAXA及びNIESに重要な知見を与えた。

- ◆ 「いぶき」データ Ver. 02.xxデータの一般公開

本研究の成果である解析アルゴリズムと参照値の改良結果を反映した「いぶき」データの再処理が行われ、そのデータ質の大幅な改善が確認された。この結果を基に新バージョンプロダクトが公開された。

- ◆ 研究公募課題代表者の会合(2012年6月、2013年6月)での国際アピール

GOSATプロジェクトから得られる成果をさらに豊かに有効なものとするため、一般からの研究公募を実施している。本会合は2012年は米国カリフォルニア工科大学、2013年は横浜シンポジアで、環境省、NIES、JAXAの主催で行われ、本研究の成果である解析アルゴリズムと参照値の改良結果を用いて再処理された「いぶき」データの改善結果を報告した。

## 環境政策への貢献

- ◆ GOSATサイエンスチーム会合における研究成果の発表  
環境省、NIES、JAXAによって設置され定期的に開催されているGOSATサイエンスチーム会合で、本推進費の研究成果である航空機観測データを用いた検証解析について、情報を提供し、議論を行った。
- ◆ 温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT)定常運用終了審査会における本推進費の成果の活用  
温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT)定常運用終了審査会(2014年2月14日、JAXA筑波宇宙センター)において、環境省、NIES、JAXAの作成した資料を用いて発表が行われた。本研究の研究成果である解析アルゴリズムと参照値の改良結果を用いて、再処理された「いぶき」データを用いた成果が報告された。

# 研究成果の発表状況

## ◆ 論文

	掲載・受理	投稿中	準備中	計	サブテーマ横断	サブ1	サブ2	サブ3
23年度	0	0	0	0	0	0	0	0
24年度	3	0	0	3	2	☆3	☆2	☆1
25年度	4	2	1	7	3	☆6	☆4	☆1
計	7	2	1	10	5	☆9	☆6	☆2

## ◆ 口頭発表

	計	サブテーマ横断	サブ1	サブ2	サブ3
23年度	17	1	☆17	☆3	☆1
24年度	26	10	☆22	☆13	☆2
25年度	26	6	☆26	☆6	☆5
計	69	17	☆67	☆23	☆8

☆サブテーマ横断の成果はそれぞれのサブテーマに同数を加えた。

## ◆ シンポジウム、セミナー等の開催(主催のもの)

25年度:1件、佐賀大学シンポジウム(サブテーマ全体の成果)

## ◆ マスコミ等への公表・報道等

25年度:2件、NHK佐賀放送局、佐賀新聞(サブテーマ全体の成果)



## まとめ

「いぶき」観測データ解析により得られた温室効果ガス濃度の高精度化を目的に研究を実施し、下記の成果を得た。

- ◆ 重点検証観測サイトつくばにおけるケーススタディ
- ◆ 参照値・アルゴリズムの改良とTCCONデータによる検証

→ 目標達成:  $\text{XCO}_2$  バイアス:  $-1.48 \text{ ppm}$  ( $-0.4 \%$ )、 $\sigma: 2.10 \text{ ppm}$  ( $0.5 \%$ )

[目標(申請時半減)バイアス:  $-4 \text{ ppm}$  ( $-1 \%$ )、 $\sigma: 2 \text{ ppm}$  ( $0.5 \%$ )]

- ◆ 更なる「いぶき」データの高精度化
  - ◆ TCCONデータを用いたバイアスの季節変動・経年変動の解明
  - ◆ 航空機観測データによる検証
  - ◆ 経験的補正法の開発と補正データ検証→フラックス推定に活用され良好な結果【本推進費の範囲外】
  - ◆ 重点検証観測サイトでのエアロゾル・雲の分布と「いぶき」データとの対応
  - ◆ 巻雲スクリーニング・解析方法の改善、下層エアロゾル過小評価の可能性、成層圏エアロゾル影響
  - ◆ 全重点検証観測サイトで取得したデータを用いたケーススタディ
  - ◆ 更なる参照値・アルゴリズムの改良、等
- ◆ 間接的研究成果
  - ◆ ライダーによる火山性成層圏エアロゾルの観測→気候変動の把握のためにも貴重な知見
  - ◆ ライダーとスカイラジオメーターによる桜島噴火火山灰の観測→地域災害に関する情報提供
- ◆ 研究成果発表
  - ◆ 論文: 7報、投稿中: 2報、準備中: 1報、口頭発表: 69件
  - ◆ シンポジウム: 1件(佐賀大学シンポジウム)
  - ◆ マスコミ等への公表・報道: 2件(NHK佐賀放送局、佐賀新聞)

# 研究成果のポンチ絵

参照値・アルゴリズムの改良とTCCONデータによる検証

## 更なる「いぶき」データの高精度化

- バイアスの季節変動・経年変動の解明
- 航空機観測データによる検証
- 経験的補正法の開発と補正データ検証
- 重点検証観測サイトでのエアロゾル・雲の分布と「いぶき」データとの対応
- 巻雲スクリーニング・解析方法の改善、下層エアロゾル過小評価の可能性、成層圏エアロゾル影響
- 全重点検証観測サイトで取得したデータを用いたケーススタディ
- 更なる参照値・アルゴリズムの改良等

重点検証観測サイトにける同期観測

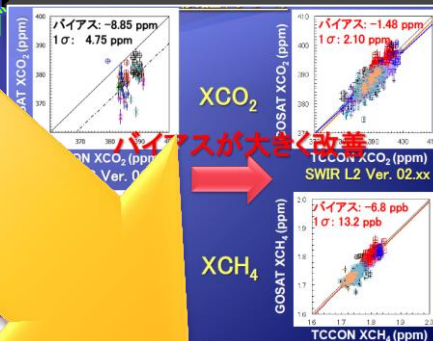
地上設置高分解能FTS

重点検証観測サイトつくばにおけるケーススタディ

ライダー 放射計

## 目標達成

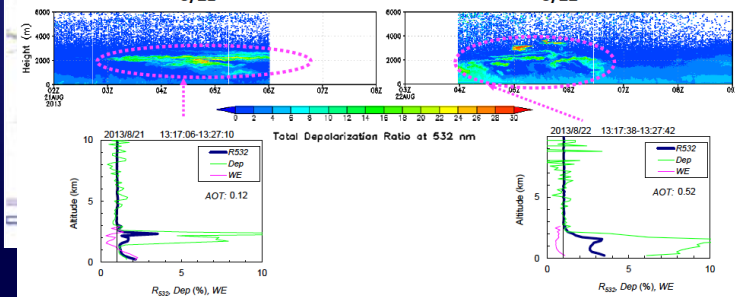
$\text{XCO}_2: -1.48 \pm 2.10 \text{ ppm}$   
( $-0.4 \pm 0.5 \%$ )



## 間接的成果

- ライダーによる火山性成層圏エアロゾルの観測
- ライダーとスカイラジオメーターによる桜島噴火火山灰の観測

桜島噴煙(2013年8月18日噴火)を佐賀で観測



航空機搭載観測

## 環境政策への貢献

- GOSAT-1、GOSAT-2 プロジェクトの推進
- 地球温暖化の解明の知見
- 気候変動の把握
- 地域災害に関する情報提供

以下資料

# 研究成果の発表状況(論文)

## [掲載・受理]

- ◆ Y. Yoshida, N. Kikuchi, T. Yokota: Atmospheric Measurement Techniques, 5, 2515–2523, (2012) “On-orbit radiometric calibration of SWIR bands of TANSO-FTS onboard GOSAT”
- ◆ O. Uchino, T. Sakai, T. Nagai, K. Nakamae, I. Morino, K. Arai, H. Okumura, S. Takubo, T. Kawasaki, Y. Mano, T. Matsunaga, T. Yokota: Atmospheric Chemistry and Physics, 12, 11975–11984, (2012) “On recent (2008–2012) stratospheric aerosols observed by lidar over Japan”
- ◆ O. Uchino, N. Kikuchi, T. Sakai, I. Morino, Y. Yoshida, T. Nagai, A. Shimizu, T. Shibata, A. Yamazaki, A. Uchiyama, N. Kikuchi, S. Oshchepkov, A. Bril, T. Yokota: Atmospheric Chemistry and Physics, 12, 3393–3404 (2012) “Influence of aerosols and thin cirrus clouds on the GOSAT-observed CO<sub>2</sub>: a case study over Tsukuba”
- ◆ Y. Yoshida, N. Kikuchi, I. Morino, O. Uchino, S. Oshchepkov, A. Bril, T. Saeki, N. Schutgens, G. C. Toon, D. Wunch, C. M. Roehl, P. O. Wennberg, D. W. T. Griffith, N. M. Deutscher, T. Warneke, J. Notholt, J. Robinson, V. Sherlock, B. Connor, M. Rettinger, R. Sussmann, P. Ahonen, P. Heikkinen, E. Kyrö, J. Mendonca, K. Strong, F. Hase, S. Dohe, and T. Yokota: Atmospheric Measurement Techniques, 6, 1533–1547 (2013) “Improvement of the retrieval algorithm for GOSAT SWIR XCO<sub>2</sub> and XCH<sub>4</sub> and their validation using TCCON data”
- ◆ Y. Miyamoto, M. Inoue, I. Morino, O. Uchino, T. Yokota, T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, C. Sweeney, P. P. Tans, A. E. Andrews, S. C. Biraud, P. K. Patra: Atmospheric Chemistry and Physics, 13, 5265–5275 (2013) “Atmospheric column-averaged mole fractions of carbon dioxide at 53 aircraft measurement sites”
- ◆ M. Inoue, I. Morino, O. Uchino, Y. Miyamoto, Y. Yoshida, T. Yokota, T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, C. Sweeney, P. P. Tans, A. E. Andrews, S. C. Biraud, T. Tanaka, S. Kawakami, P. K. Patra: Atmospheric Chemistry and Physics, 13, 9771–9788 (2013) “Validation of XCO<sub>2</sub> derived from SWIR spectra of GOSAT TANSO-FTS with aircraft measurement data”



# 研究成果の発表状況(論文)

## [掲載・受理]

- ◆ 酒井哲、内野修、森野勇、永井智広、赤穂大河、川崎健、奥村浩、新井康平、内山明博、山崎明宏、松永恒雄、横田達也: 日本リモートセンシング学会誌(2014年3月19日受理)「佐賀のライダーとスカイラジオメータによって検出された桜島の火山灰の高度分布と光学特性」

## [投稿中]

- ◆ A. Uchiyama, A. Yamazaki, and R. Kudo: J. Meteorol. Soc. Japan, (2013年11月12日投稿) “Column Water Vapor Retrievals From Sky-radiometer (POM-02) 940nm Data”
- ◆ K. Nakamae, O. Uchino, I. Morino, B. Liley, T. Sakai, T. Nagai, T. Yokota: Atmospheric Chemistry and Physics (2014年1月10日投稿) “Lidar observation of the 2011 Puyehue-Cordón Caulle volcanic aerosols at Lauder, New Zealand”

## [投稿準備中]

- ◆ M. Inoue, I. Morino, O. Uchino, Y. Miyamoto, T. Saeki, Y. Yoshida, T. Yokota, C. Sweeney, P. P. Tans, S. C. Biraud, T. Machida, J. V. Pittman, E. A. Kort, T. Tanaka, S. Kawakami, Y. Sawa, K. Tsuboi, H. Matsueda: Atmospheric Measurement Techniquesに投稿予定 (2014) “Validation of XCH<sub>4</sub> derived from SWIR spectra of GOSAT TANSO-FTS with aircraft measurement data”

## 研究成果の発表状況(他)

[シンポジウム、セミナー等の開催(主催のもの)]

- ◆ 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」による温室効果ガスの全球観測から分かったこと(平成25年8月6日、佐賀大学本庄キャンパス、観客 25名)

[マスコミ等への公表・報道等]

- ◆ NHKニュース(佐賀放送局)(平成25年8月6日、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」による温室効果ガスの全球観測からわかったことについて 1分30秒ほど紹介)
- ◆ 佐賀新聞(平成25年8月7日、朝刊、「予測精度の成果報告、衛星いぶき参画の佐大」)

佐賀大学シンポ講演資料

### 《公開シンポジウム》

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」による  
温室効果ガスの全球観測から分かったこと

講演資料



日時:2013年8月6日(火) 13:30~

会場:佐賀大学本庄キャンパス

理工6号館2階多目的セミナー室

主催: 環境省(環境研究総合推進費 2A-1102)

独立行政法人国立環境研究所

国立大学法人佐賀大学