

GOSAT データのモデル適用：レベル4 プロダクト

レベル4 プロダクトには、全球を二酸化炭素では 64、メタンでは 43 に分割した亜大陸規模（数千キロ四方）の地域における月毎の正味の吸収排出量（L4A）と、それに基づいて大気輸送シミュレーションにより求めた 3 次元濃度分布（L4B）があります。これらのプロダクトも一般に公開されています。

レベル 4A プロダクト（CO₂ と CH₄ の全球月別吸収排出量）と レベル 4B プロダクト（3 次元濃度分布）

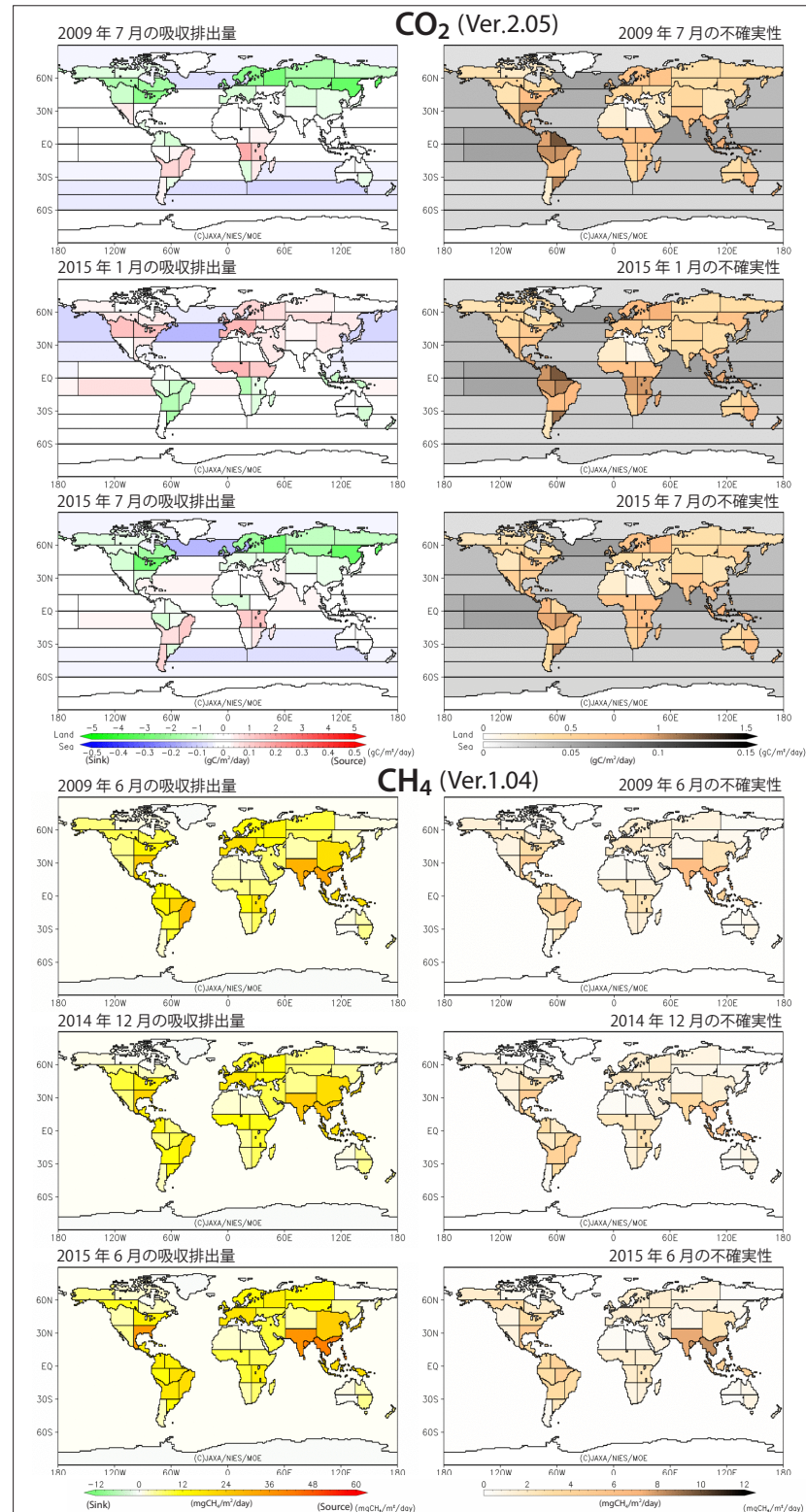


図 8 各気体の地域別吸収排出量の推定とその不確実性（L4A）

二酸化炭素とメタン（以下 GHG と記す）の地域別の正味吸収排出量（L4A プロダクト）は、GOSAT の L2 プロダクトと地上観測データから推定されます。

推定プロセスは 2 段階から成っています。まず地上と GOSAT の観測点での GHG 濃度を大気輸送シミュレーションにより予測します。このシミュレーションでは、初期値の GHG 吸収排出量データが入力値として使用されます。入力されるのは、人為的排出・森林火災のデータ、陸上生態系と大気間、及び海洋と大気間における GHG の交換量です。次に、この予測した GHG 濃度値と観測値を比較し、両者の差が最小となるように、上記シミュレーションで使った初期値の GHG 吸収排出量を計算により調整します。二酸化炭素の吸収排出量の推定では、大気と陸上生態系、大気と海洋との交換量に関してのみ調整がなされます。メタンの場合、調整は全ての入力値について行われます。

二酸化炭素の吸収排出量推定値は、北半球の多くの地域で、夏は正味でマイナス（吸収源）となりますが、冬は正味でプラス（排出源）になっています（図 8 上段）。

L4B プロダクトは、地上と GOSAT による濃度観測データから推定された吸収排出量分布（L4A プロダクト）に基づき、GHG の大気輸送シミュレーションを実行することで得られます。L4B プロダクトでは全球濃度分布を 6 時間毎に、2.5 度格子で地表付近から大気上端までの 17 階層で 3 次元データ化しています。高度別、平均期間別の濃度分布（L4B のマップ）については、下記サイトをご覧ください。<https://data2.gosat.nies.go.jp/>（「ギャラリー」→「L4B」の各図（ただし英語））

人工衛星による温室効果ガスの全球観測

GOSAT

Greenhouse gases
GOSAT PROJECT
Observing SATellite

から得られた最新の成果 (2019年6月現在)

2009 年 1 月 23 日に打ち上げられた GOSAT（温室効果ガス観測技術衛星、Greenhouse gases Observing SATellite、愛称「いぶき」）は、計画された 5 年間の定常観測期間を過ぎた現在も順調に観測を行っており、主要な温室効果ガスである二酸化炭素（CO₂）やメタン（CH₄）のカラム平均濃度*の全球の晴天域における観測データが日々蓄積されています。

データ質の向上のため、国立環境研究所（NIES）では XCO₂** と XCH₄** を導出するアルゴリズムの改訂、及び高精度地上観測データとの比較を進めてきました。これらの比較作業による検証済みデータは、GOSAT レベル 2 プロダクトとして世界の研究者と一般ユーザに提供されています。最新のデータは Ver.2.80 のアルゴリズムにより処理されています。

レベル 2 プロダクトから CO₂ と CH₄ の地域別収支の月別推定量などの高次プロダクトが生成されます。また、この収支推定に基づいたシミュレーションにより、CO₂ と CH₄ の 3 次元濃度分布が得られます。これらは L4A（吸収排出量）、L4B（3 次元濃度分布）の各プロダクトとして公開されています。

*「カラム平均濃度」は、地表面から大気上端までの鉛直の柱（カラム）の中にある乾燥空気全量に対する対象気体量の比率を示す平均濃度のこと。

** CO₂ と CH₄ のカラム平均濃度は、このように分子式の前に「X」を付けて表す。

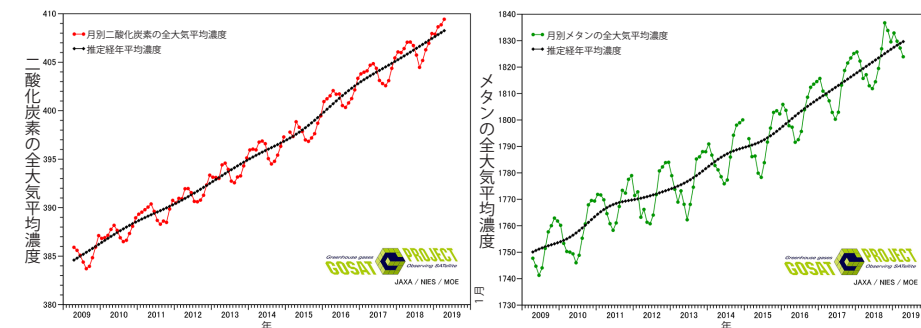


図 1 大気における二酸化炭素／メタン濃度の月平均値と経年平均値のグラフ。「いぶき」観測データを使って、地上から上空までの地球大気全体（全大気）の二酸化炭素の平均濃度を算出した結果を示す。月別平均濃度（●）は季節変動をしながら年々上昇している様子がわかる。さらに推定経年平均濃度（●）は単調に上昇している様子がわかる。詳細、速報値は下記にて掲載。
<http://www.gosat.nies.go.jp/recent-global-co2.html>
なお、ここでの数値は速報値であり、今後詳しい検証によって変更される可能性がありますのでご注意ください。

大都市等の人為起源二酸化炭素濃度の推定結果について

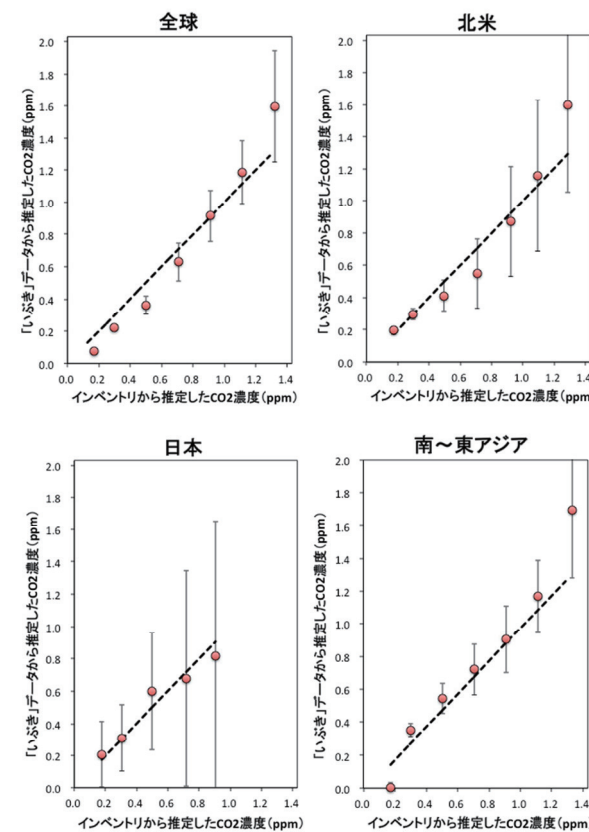


図 2 3 つの領域及び日本におけるインベントリ等による人為起源 CO₂ 濃度と「いぶき」による人為起源 CO₂ 濃度との関係。

2009 年 6 月から 2014 年 12 月までの 5 年半に大都市等とその周辺で取得された「いぶき」データの解析を進め、世界の大都市等に加え、東京都市域において初めて人為起源二酸化炭素（CO₂）濃度の推計を行いました。さらに、日本における人為起源 CO₂ 濃度について、「いぶき」データからの推計結果と統計データ等から算出した排出量データ（インベントリ）からの推定結果を比較したところ、両者が概ね一致することを初めて確認できました。国レベルで概ね一致することが確認できたことにより、今後世界各国が「パリ協定」に基づき作成・公表する CO₂ 排出量の監視・検証を衛星観測により実現できる可能性が示されました。今後はデータの蓄積及び解析方法の改善をさらに進め、「いぶき」及び「いぶき 2 号」の観測データとインベントリの比較を行う予定です。

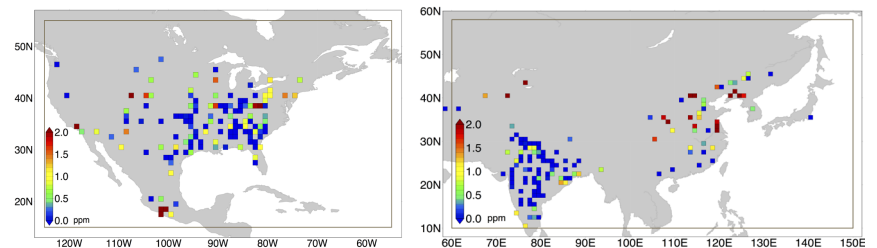
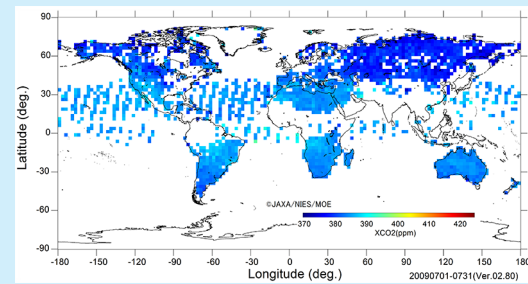


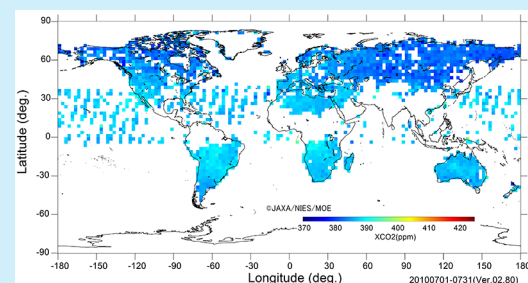
図 3 「いぶき」により高濃度（2009 年 6 月～2014 年 12 月の平均）の人為起源 CO₂ が観測された領域（1 度グリッド。赤道で 100km グリッドに相当。25 個以上の「いぶき」データがあるグリッドのみ表示。）。色は「いぶき」による人為起源 CO₂ 濃度を示す。

温室効果ガス濃度の季節変動、年々変動

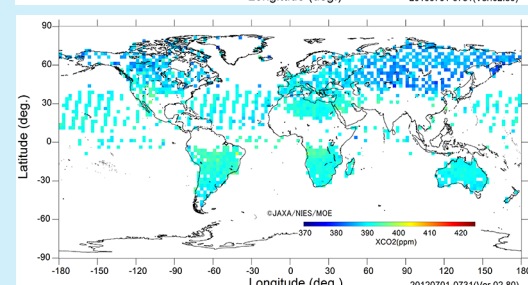
GOSAT から得られた最新の成果 (2019年6月現在)



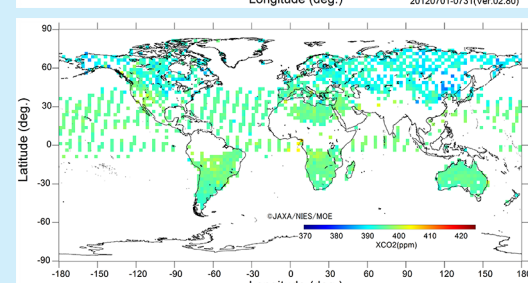
2009年
7月



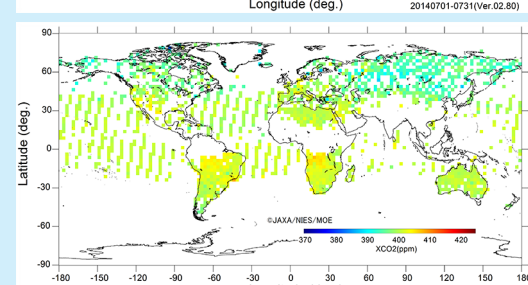
2010年
7月



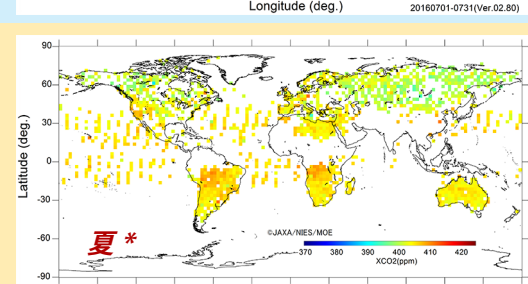
2012年
7月



2014年
7月



2016年
7月



2018年
7月

図5 2009年～2018年の7月における
二酸化炭素カラム平均濃度 (Ver.2.80) の月平均値マップ

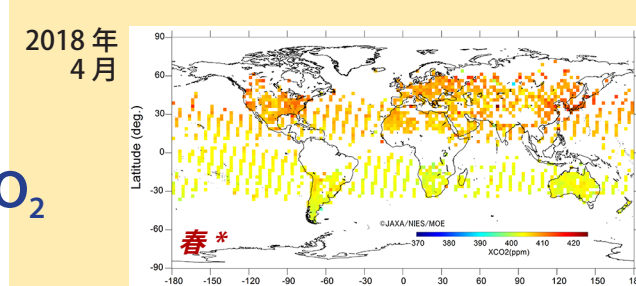
GOSAT でこれまで10年以上にわたり観測されたデータの蓄積により、二酸化炭素やメタンのカラム平均濃度分布の季節変動や年々変動を、全球的、地域別に捉えることが可能になりました。

図4は2018年から2019年にかけての四季の代表月における二酸化炭素カラム平均濃度 XCO_2 (Ver.2.80) の月平均値マップです。青から黄、赤になるにつれて濃度が高くなることを示します。7月の図を見ると、夏季には盛んな植物の光合成により、北半球高緯度で XCO_2 が低いことがわかります。一方、1月(冬季)と4月(春季)には、その濃度は南半球に比べて高いことがわかります。

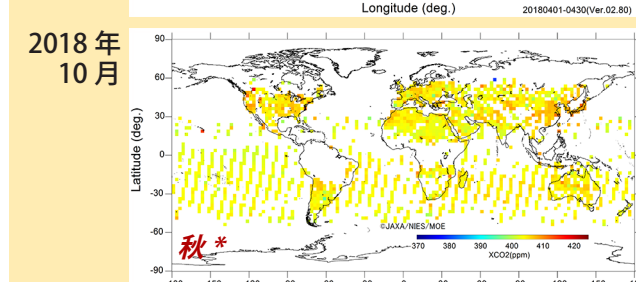
図5は2009年から2018年の各7月における(2011, 2013, 2015, 2017年は省略)、 XCO_2 の月平均値マップです。 XCO_2 の地域間の差や、年々上昇している様子が読み取れます。

* マップ中に茶色のイタリックで示した季節は北半球における季節です。

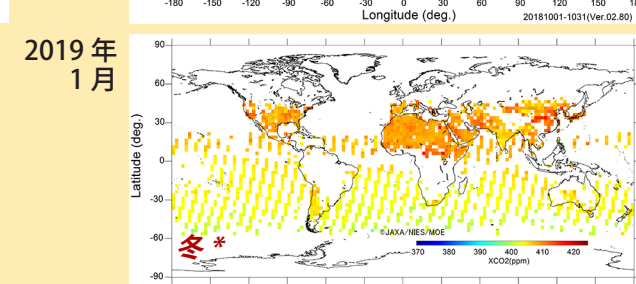
XCO_2



2018年
4月



2018年
10月



2019年
1月

図4 2018年～2019年の四季の代表月における
二酸化炭素カラム平均濃度 (Ver.2.80) の月平均値マップ

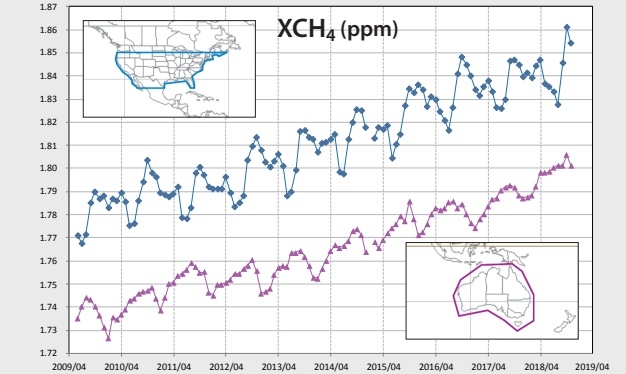
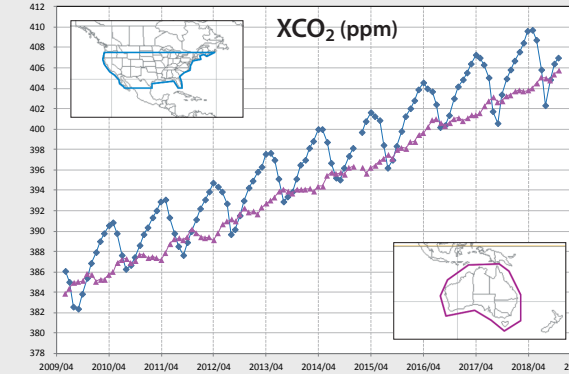


図6 北米(青)とオーストラリア(赤紫)における二酸化炭素とメタンのカラム平均濃度月平均値の推移(グラフは領域別の各月平均値を直線で連結したもので、いずれもバイアスは未補正)。

図6は、北アメリカの南半分とオーストラリアの全域(グラフ内に図示)における二酸化炭素とメタンのカラム平均濃度の月平均値の推移を示します。データは2009年より蓄積されたレベル2プロダクトから算出したもので、どちらも年々増加していることがわかります。

北半球にある北米の XCO_2 の季節変動は、南半球のオーストラリアに比べて大きく、またこれらの領域における季節変動の山と谷は、おおそ逆のパターンを示しています。

XCH_4 の季節変動は XCO_2 に比べてより複雑です。これはメタン放出源の分布が複雑であり、またその放出時期が地域によって様々であることが原因のようです。

■地上設置高分解能 FTS による検証結果

レベル2の濃度データを科学的に利用するには、その不確かさ(バイアスとばらつき)を明らかにする必要があります。この検証作業には TCCON (Total Carbon Column Observing Network, <https://tccon-wiki.caltech.edu/>) の地上設置高分解能フーリエ分光計(FTS)や航空機による高精度の観測データを使用しています。

図7に GOSAT のレベル2データ(XCO_2 , XCH_4 , XH_2O)を TCCON データと比較検証した結果を示します。二酸化炭素とメタンのいずれについてもカラム平均濃度のバイアスとばらつきは1%未満であり、TCCON データとの高い整合性が示されました。水蒸気に関してはバイアスが1%、ばらつきは30%程度ありますが、これは水蒸気の時空間変動が激しいためであり、特段悪い値ではありません。(Ver.2.80のバイアスとばらつき(1 σ)は、 XCO_2 が -0.3 と ± 2.2 ppm、 XCH_4 が -2 と ± 13 ppb^{***}、 XH_2O が -0.78 と ± 33 %です。)

*** 1 ppb = 1/1000 ppm。

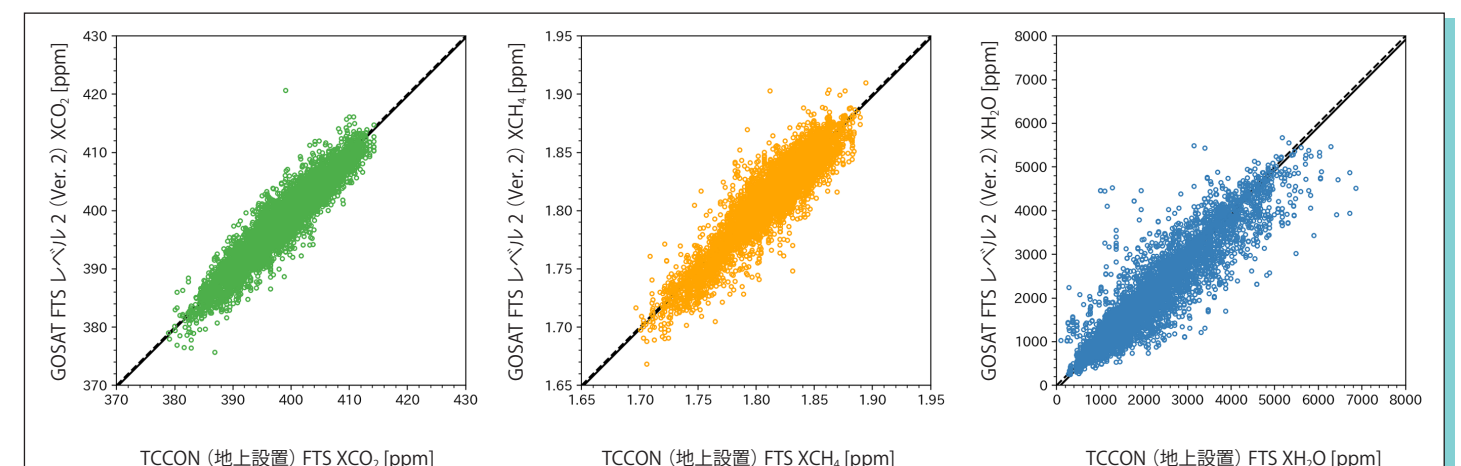


図7 TCCON データを用いた GOSAT レベル2プロダクト (Ver.2.80) の検証結果
検証の期間は2009年4月～2018年11月。TCCON データは GOSAT が上空を通過した前後30分間の観測データの平均値、GOSAT データは TCCON 地点を中心とした ± 2 度の正方形内で算出された陸域観測データ。破線は $y=x$ の直線(両者が一致した場合)、実線は $y=x+b$ の回帰直線 (b はバイアス)。
(左: XCO_2 中: XCH_4 右: XH_2O)