

「いぶき」(GOSAT) 観測データによる 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

平成 28 年 9 月 1 日 (木)
環境省 地球環境局総務課研究調査室
(代表 : 03-3581-3351)
室長 : 竹本 明生 (内線 6730)
補佐 : 小沼 信之 (内線 6731)
担当 : 千々松 聡 (内線 6733)
瓜田 真司 (内線 7718)
国立研究開発法人国立環境研究所 (NIES)
衛星観測センター
GOSAT プロジェクト (代表:029-850-2966)
観測センター長 : 松永 恒雄
室長 : シャミル・マクシュートフ
研究員 : 齊藤 誠
特別研究員 : ラジェッシュ・ジャーナルダナン
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
GOSAT-2 プロジェクトチーム
GOSAT-2 ミッションマネージャー : 中島 正勝
(050-3362-6130)

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)は、環境省、国立環境研究所 (NIES) 及び宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が共同で開発した、世界初の温室効果ガス観測専用の衛星であり、平成 21 年 1 月の打上げ以降、現在も観測を続けています。

今般、平成 21 年 6 月から平成 26 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」及び現在開発中の後継機の観測データとインベントリの比較を行う予定です。

1. 衛星による人為起源二酸化炭素監視の重要性

二酸化炭素（CO₂）は温室効果ガスの一つであり、最も温室効果の寄与が大きい気体です。発生源は植物の呼吸や、森林火災、海洋による排出等の「自然起源」のものに加え、産業革命以降は大規模な火力発電所や大都市における化石燃料消費に起因する「人為起源」のものが増加しています。CO₂の大気中濃度は、1万年前より産業革命前まではほぼ一定で280ppmであったものの、現在では400ppmを突破しています。

このような状況のもと、2015年12月の気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）において「パリ協定」が採択され、世界各国でCO₂を始めとする温室効果ガスの排出削減に取り組むことになりました。排出削減のためには温室効果ガス排出量の監視が必要であり、人為起源発生源におけるCO₂排出量を精度良く評価することが求められています。そして、今後各国が「パリ協定」に基づき透明性の高い排出量報告を行うためには、多面的な観測が可能となる衛星を活用した監視・検証が有効となります。

2. 前回発表からの変更点

前回の発表¹では全球、北米、南～東アジアといった非常に広い範囲の人為起源CO₂濃度について3.5年分の「いぶき」データとインベントリの比較を行い、衛星によるCO₂濃度観測が、インベントリの監視ツールとして有効利用できる可能性があることを示しました。今回はより長期間（5.5年）の「いぶき」データを改良された手法で解析しました。

3. 「いぶき」による人為起源CO₂濃度の推定結果

1) 「いぶき」による人為起源CO₂濃度の全球分布

今回算出した「いぶき」による人為起源CO₂濃度の全球及び地域分布を図1、図2に示します。また図1、2において特に人為起源CO₂濃度の高かった領域について表1にまとめます。人口が密集した、または火力発電、油・ガス田開発を含めた産業活動が盛んな北米、欧州、中東、インド、中国等において人為起源CO₂の濃度が高いことが分かります。

¹温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)による大都市等における二酸化炭素観測データと人為起源排出量との関係について（平成26年12月4日）

さらに、日本についても前回はデータ数が少なく、人為起源 CO₂ の濃度を算出できませんでしたが、今回の解析ではデータの蓄積により、東京都市域で人為起源 CO₂ 濃度が高いことを確認できました。

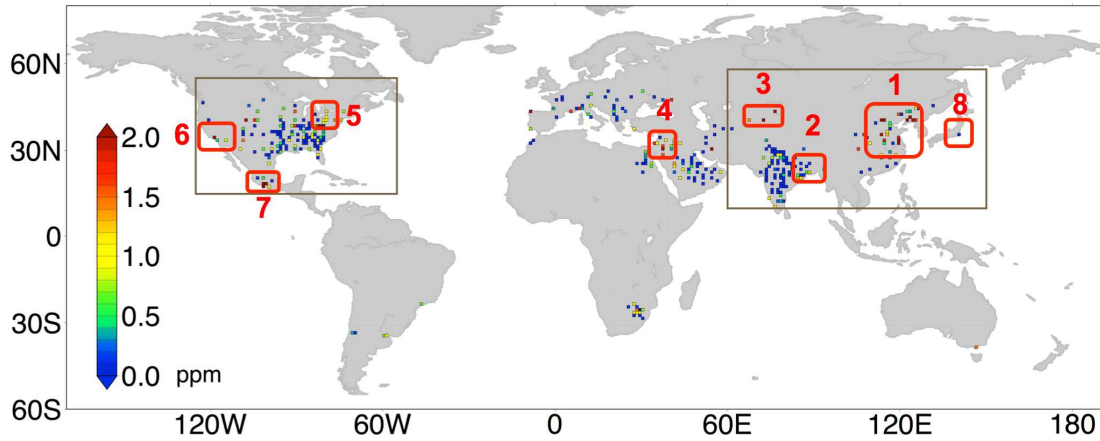


図1 「いぶき」により高濃度（平成21年6月～平成26年12月の平均）の人為起源 CO₂ が観測された領域（1度グリッド。赤道で100kmグリッドに相当。25個以上の「いぶき」データがあるグリッドのみ表示。）。色は「いぶき」による人為起源 CO₂ 濃度を示す。

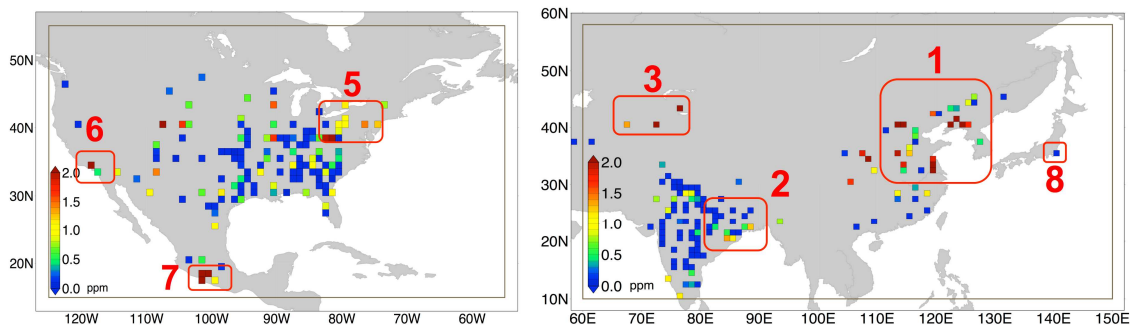


図2 図1の拡大図。左) 北米、右) 南～東南アジア

表1 図1、2中に示された「いぶき」により高濃度の人為起源CO₂が観測された領域とそこでの人為起源CO₂濃度（平成21年6月～平成26年12月までの間で25個以上「いぶき」データがあり、かつ人為起源CO₂濃度が平均1ppm以上となるグリッドが複数近接している領域。）

地図上の番号	人為起源CO ₂ 濃度が高い領域の概略範囲	国・地域・主な都市等	左記範囲の人為起源CO ₂ 濃度（1度グリッド、5.5年間の最大値）
1	北緯33～46度 東経114～127度	中国：張家口市、鞍山市、ハルビン市、天津市	6.2 ppm
2	北緯20～23度 東経84～89度	インド：コルカタ	2.1 ppm
3	北緯40～41度 東経67～73度	ウズベキスタン他	2.8 ppm
4	北緯30～32度 東経37～38度	サウジアラビア北部／ヨルダン	2.1 ppm
5	北緯38～41度 西経79～83度	米国：ピッツバーグ	2.1 ppm
6	北緯33～35度 西経114～119度	米国：ロサンゼルス	3.5 ppm
7	北緯17～19度 西経99～102度	メキシコ：アカプルコ	2.7 ppm
8	北緯35～37度 東経139～141度	日本：東京都市域	0.5 ppm

※日本については1度グリッド当りのデータ数が5～14と少ないため、他の都市と異なる手法で最大値を算出している。

2) 人為起源CO₂濃度増分についての「いぶき」とインベントリ等の比較

次に、図1、2に示す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^{注釈ア}と「いぶき」による人為起源CO₂濃度との関係(過去5年半の平均値)を図3に示します。また表2に前回の結果との比較を示します。

図3、表2より以下のようなことが言えます。

- ・データ使用期間が長くなりデータ数が増えたこととデータ処理手法の改善により、前回と比べて「いぶき」と「インベントリ」の間の相関が向上し、絶対値の差も小さくなった。

- ・「全球」「北米」「南～東アジア」において、「いぶき」による人為起源 CO₂ 濃度とインベントリ等による人為起源 CO₂ 濃度の相関は高く、その差は「いぶき」の誤差の範囲程度である。
- ・前回、相関関係が見られなかった「日本」においてもデータの蓄積により 1 対 1 の相関関係が見られるようになった。ただし、まだ不確実性は大きく、国レベルの解析を行うためには、さらなる手法の改善、データの蓄積、衛星観測の高精度化が必要。

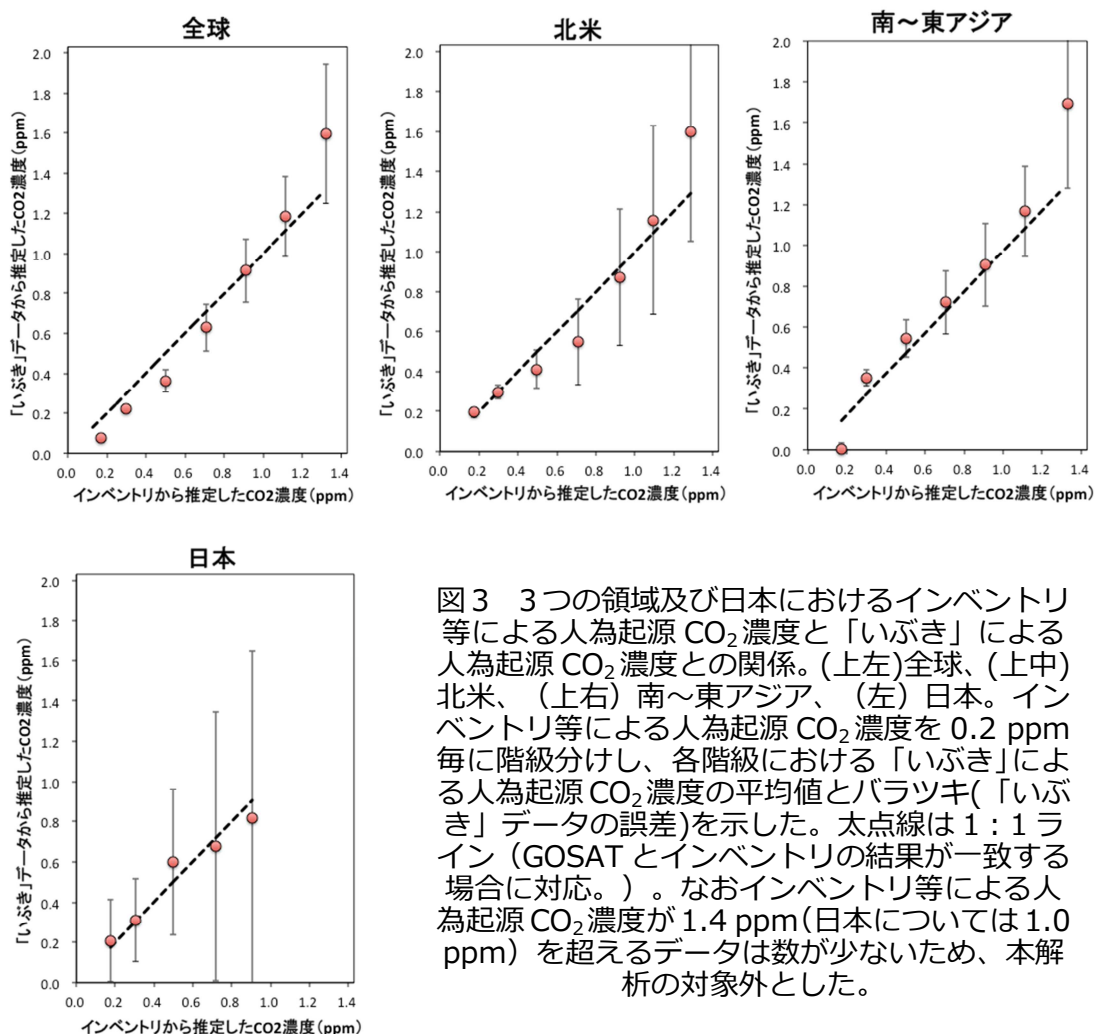


図3 3つの領域及び日本におけるインベントリ等による人為起源 CO₂ 濃度と「いぶき」による人為起源 CO₂ 濃度との関係。(上左)全球、(上中)北米、(上右)南～東アジア、(左)日本。インベントリ等による人為起源 CO₂ 濃度を 0.2 ppm 毎に階級分けし、各階級における「いぶき」による人為起源 CO₂ 濃度の平均値とバラツキ(「いぶき」データの誤差)を示した。太点線は 1 : 1 ライン (GOSAT とインベントリの結果が一致する場合に対応。)。なおインベントリ等による人為起源 CO₂ 濃度が 1.4 ppm (日本については 1.0 ppm) を超えるデータは数が少ないため、本解析の対象外とした。

表 2 3つの領域及び日本における前回と今回の解析結果の比較

	前回の結果 (2009～2012年のデータ)		今回の結果 (2009～2014年のデータ)	
	データ数	プロットの傾き	データ数	プロットの傾き
全球	8315	1.21±0.21	13616	1.08±0.13
北アメリカ	3011	1.05±0.38	4684	0.99±0.28
南～東アジア	3243	1.22±0.32	5589	0.99±0.17
日本	262	0.81±1.42	396	0.95±0.79

4.今後について

今回の結果より、「いぶき」や現在開発中の「いぶき」後継機を含む将来の衛星によるCO₂濃度データを用いることで、今後世界各国が「パリ協定」に基づき作成・公表する人為起源CO₂排出量(インベントリ)の監視^{注釈イ}に利用できる可能性を示しました。今後は衛星による人為起源CO₂濃度の推定精度をさらに高めるために、高頻度・多数の衛星CO₂濃度データの取得方法^{注釈ウ}を検討するとともに、大規模排出源周辺での地上観測を行うなど人為起源排出量を衛星CO₂濃度データから推定する手法の開発及び推定結果の実証に取り組む予定です。

【本件問い合わせ先】

(「いぶき」衛星搭載センサデータ及びその解析結果について)

国立環境研究所 衛星観測センター 松永 恒雄 電話：029-850-2838
(ただし、9月1日から6日については 090-2412-2540 も可)

(「いぶき」衛星、搭載センサ及び観測状況について)

宇宙航空研究開発機構 第一宇宙技術部門 GOSAT-2プロジェクトチーム
GOSAT-2ミッションマネージャー 中島 正勝 電話：050-3362-6130

【別添】

○温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)とは

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)は、環境省、国立環境研究所(NIES)及び宇宙航空研究開発機構(JAXA)が共同で開発した、世界初の温室効果ガス観測専用の衛星です。二酸化炭素とメタンの濃度を宇宙から観測し、その吸収・排出量の推定精度を高めることを主目的にしています。さらに炭素循環の将来予測の高精度化への貢献を目指しています。平成21年1月23日の打上げ以降、現在も観測を続けています。

○「いぶき」による二酸化炭素観測の特徴とその意義

世界気象機関(WMO)を含む世界のいくつかの気象機関でも、地表面の各地の観測地点や、それらのデータを用いて算出した地上での二酸化炭素の全球平均濃度を発表しています。しかし、二酸化炭素は高度によって濃度差があるために、地上観測点だけの濃度データでは地球大気の全体濃度を表しません。

これに対して「いぶき」は二酸化炭素の地表面濃度ではなく、地表面から大気上端までの大気中の二酸化炭素全体を観測できます。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第5次評価報告書において予測されている将来の二酸化炭素濃度は「全大気」の平均濃度であることから、今後の二酸化炭素の増加による地球温暖化のリスクを算出・予測する上では、地球全体の二酸化炭素の平均濃度の算出が重要であり、上空の大気まで含めた「全大気」を把握することが不可欠です。

○「いぶき」による人為起源二酸化炭素濃度の算出方法

「いぶき」に搭載されている「温室効果ガス観測センサ」により観測されたCO₂ラム平均濃度^{注釈エ}(以下「CO₂濃度」といいます。)データの精度は約0.5%(2ppm程度)であることが地上観測データとの比較により既に示されています。前回の発表では、平成21年6月から平成24年12月までの3.5年分の「いぶき」のCO₂濃度データを使用して、衛星観測から人為起源CO₂排出によるCO₂濃度上昇が検出できることを示しました。今回はさらに2年分のデータを追加し、平成21年6月から平成26年12月までの5.5年分のデータを使った解析を行いました。

「いぶき」によるCO₂濃度は、人為起源排出によるCO₂だけではなく、植物の光合成による吸収と呼吸による排出や、森林火災による排出、海洋による吸収・排出を含むCO₂濃度です。このため、「いぶき」によるCO₂濃度と人為起源CO₂排出との関係を調べるためには、これらの過程を考慮することが必要です。そこで本研究では前回同様に以下の手順で「いぶき」による人為起源CO₂濃度を求めました。

まずはじめに、人工衛星から見た夜間の地球表面の明るさと火力発電所のデータベースに基づく化石燃料消費による人為起源CO₂排出量データ(排出インベントリ)と大気輸送モデルを用いて、人為起源CO₂排出によるCO₂濃度の時空間分布を推定します。つぎに、この推定結果をもとに「いぶき」によるCO₂濃度データを人為起源CO₂排出の影響を受けているデータと受けていないデータとに分類します。最後に、人為起源CO₂排出の影響を受けていると判断されたデータとその周辺で影響を受けていないと判断されたデータの差の平均値を求め、更に森林火災やコンピュータシミュレーショ

ンで推定した植物の影響等を取り除いたものを「いぶき」による人為起源 CO₂ 濃度としました。

さらに今回は前回の手法に対し、

- ・ より新しいインベントリ^{注釈工、カ}を利用しました。
- ・ 大気輸送モデルとして、前は FLEXPART* (Version 8) のみを使用しましたが、今回は CO₂ の背景濃度の計算には NIES TM** (08.1i、10 度グリッド) を、化石燃料、陸域生態系、火災による CO₂ 濃度増分の計算には FLEXPART を用いました。NIES TM の併用により全球の CO₂ 吸収排出量分布の影響も考慮出来るため、CO₂ の背景濃度の計算がより正確になります。

*FLEXPART：ラグランジュ型と呼ばれる大気輸送モデルで、点排出源からの局所的な拡散計算等に向いています。

**NIES TM：オイラー型と呼ばれる大気輸送モデルで、全球／広域の計算に向いています。

といった改良も行いました。

○注釈

(ア) インベントリ等による人為起源 CO₂ 濃度

本研究では「インベントリ等による人為起源 CO₂ 濃度」の算出に、

- 化石燃料による CO₂ 排出インベントリ^{注釈オ}
- 森林火災による CO₂ 排出インベントリ^{注釈カ}
- 陸域生態系モデル
- 大気輸送モデル

を用いている。

(イ) 衛星 CO₂ 濃度観測による人為起源 CO₂ 排出(インベントリ)の監視

一例として『衛星による人為起源 CO₂ 濃度とインベントリ等による人為起源 CO₂ 濃度の差が衛星の誤差より大きい場合には、インベントリに問題が生じている可能性があるため、インベントリの内訳の精査を行なう』といったことが考えられる。

(ウ) 高頻度・多数の衛星 CO₂ 濃度データの取得方法

衛星 CO₂ 濃度データの数は「温室効果ガス観測センサ」の視野内への雲の混入に大きく左右される(「いぶき」では雲の混入のないデータは全データの 10%程度。) ため、データ数を増やすには、

- a) 過去のデータから雲が少ないと考えられる場所の観測を優先する。
- b) 軌道上で雲の有無を判別し、雲のない領域を自分で探し、観測する機能を衛星に付加する。

といった方法が考えられる。a)は既に GOSAT の最近の運用で試験的に実施している。b)は「いぶき」後継機の新機能の 1 つである。

- (工) CO₂ カラム平均濃度
地表面から大気上端までの乾燥空気に対する CO₂ 分子の割合。現在は晴天域のみ算出されている。
- (オ) 化石燃料による CO₂ 排出インベントリ
本研究では「化石燃料による CO₂ 排出インベントリ」として、ODIAC(Open-source Data Inventory for Anthropogenic CO₂)を利用している。ODIAC は化石燃料による CO₂ 排出量は人工衛星から見た夜間の地球表面の明るさのデータと火力発電所のデータベース^{注釈キ}から算出されているインベントリである。今回は ODIAC v2015 を使用した。
Oda et al., Atmos. Chem. Phys., 11, 543–556, 2011 <http://odiac.org>
- (カ) 森林火災による CO₂ 排出インベントリ
本研究では「森林火災による CO₂ 排出インベントリ」として、GFAS(Global Fire Assimilation System)を使用している。GFAS では火災からの放射エネルギーを衛星から観測することにより、火災の範囲や強度、CO₂ の排出量等を推定している。今回は GFAS Version 1.2 を使用した。
Kaiser et al., Biogeosciences, 9, 527-554, 2011
- (キ) 火力発電所のデータベース
ODIAC では火力発電所のデータベースとして CARMA(Carbon Monitoring for Action) を使用している。CARMA には全世界の 60,000 以上の火力発電所が登録されている。 <http://www.carma.org/plant>