

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)の観測データによる 二酸化炭素吸収排出量等の推定結果の公開について

(筑波研究学園都市記者会、環境省
記者クラブ、宇宙航空研究開発機構
同時発表)

平成 24 年 12 月 5 日(水)
(独)国立環境研究所 地球環境研究センター
衛星観測研究室長: 横田 達也(029-850-2550)
物質循環モデリング・解析研究室長:
シャミル・マクシュートフ(029-850-2212)
環境省地球環境局総務課研究調査室
代 表: 03-3581-3351
室 長: 辻原 浩 (内線 6730)
補 佐: 森 芳友 (内線 6731)
係 長: 後藤 敦史 (内線 6756)
(独)宇宙航空研究開発機構広報部
報道グループ 050-3362-4374

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」は、環境省、(独)国立環境研究所(NIES)及び(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)が共同で開発した、世界初かつ唯一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することを主目的としており、平成 21 年 1 月 23 日の打上げ以降、現在も順調に観測を続けています。

今般、温室効果ガス濃度の算定手法の改良等により精度の向上した「いぶき」による二酸化炭素濃度の観測データと、地上観測点における観測データとを用いて、平成 21 年 6 月から平成 22 年 5 月までの 1 年間について、全球の月別・地域別の二酸化炭素吸収排出量(正味収支)を推定した結果等を一般に公開します。

世界で初めて、衛星観測による二酸化炭素濃度データを活用して全球の二酸化炭素収支を定量的に推定するとともに、衛星観測濃度データの有用性を定量的に実証しました。

これまで、地上観測データのみによって二酸化炭素吸収排出量の推定を行っていましたが、「いぶき」により得られた観測データを加えることにより、より精度の高い(不確実性の低い)二酸化炭素吸収排出量の推定値が得られました。これにより、二酸化炭素吸収排出量の推定における、衛星観測濃度データ活用の有効性が確認されました。

このような全球炭素循環の研究の進展により、気候変動予測の精度が向上し、その結果、将来のより効果的な地球温暖化対策の政策立案にも資することが期待されます。

今後は、推定結果を定量値としてより確実に求めるために、さらに研究を進め、濃度算出方法及び吸収排出量推定モデルの改良を行っていく予定です。

1. 今回の「いぶき」(GOSAT)によるデータ公開の概要

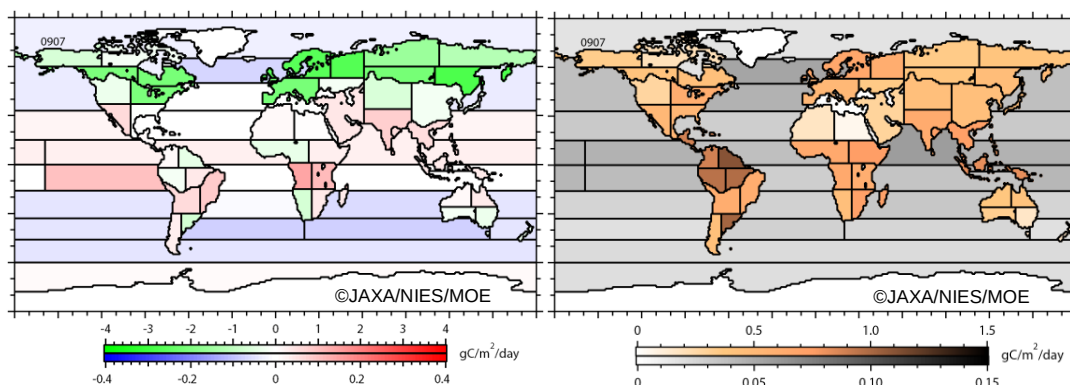
(1) 二酸化炭素吸収排出量(正味収支)の推定結果の公開

平成 21 年 6 月から平成 22 年 5 月までの 12 ヶ月分の全球における月別および地球を 64 分割した地域別の二酸化炭素吸収排出量(正味収支)(以下単に「吸収排出量」とします。(注1))の推定結果を一般に公開します。世界で初めて、衛星観測による二酸化炭素濃度

データを活用して全球の二酸化炭素収支を定量的に推定(図1)するとともに、衛星観測濃度データの有用性を定量的に実証しました。(詳細な解説は別紙を参照)。

図1は、国立環境研究所が独自に開発した大気輸送モデル(注2)を用いて、「いぶき」による二酸化炭素濃度分布データと地上観測点での濃度データ(注3)から、各地域の吸収排出量を推定する手法(インバースモデル解析)(注4)により求めました。

平成 21 年 7 月の推定結果



平成 22 年 1 月の推定結果

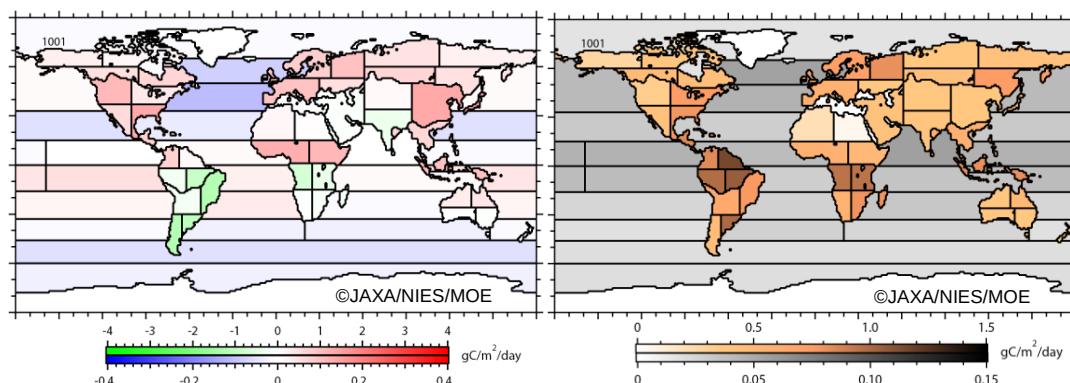


図1 地上測定ネットワークで得られた観測結果と「いぶき」の観測結果から推定した、全球64地域における吸収排出量(左列)とその不確実性(右列)。上段は平成21年7月(北半球の夏)、下段は平成22年1月(北半球の冬)の結果を示す。凡例のカラーバーの上段は陸域の、下段は海域の二酸化炭素の吸収排出量(右列ではその推定誤差)の大きさを表す。正が正味の排出、負が正味の吸収を表す。単位は $\text{gC/m}^2/\text{日}$ 。(注5)

(2) 不確実性の低減

地上観測データに「いぶき」の観測データを加えることで、月別・地域別の吸収排出量の推定値に関する不確実性が、地上観測データだけからの推定値にくらべ、大幅に(年平均値で最大で 40%程度)低減され吸収排出量の推定結果がより確実となることがわかりました。

顕著な例として、地上観測点の空白域(例えば、アフリカギニア湾沿岸域、アフリカ南東部、中近東及びインドなど)において従来よりも 20~30%低減されました(図2)。これらの地域では、正味の収支として、吸収になっているか、排出になっているかが、より明確になりました。

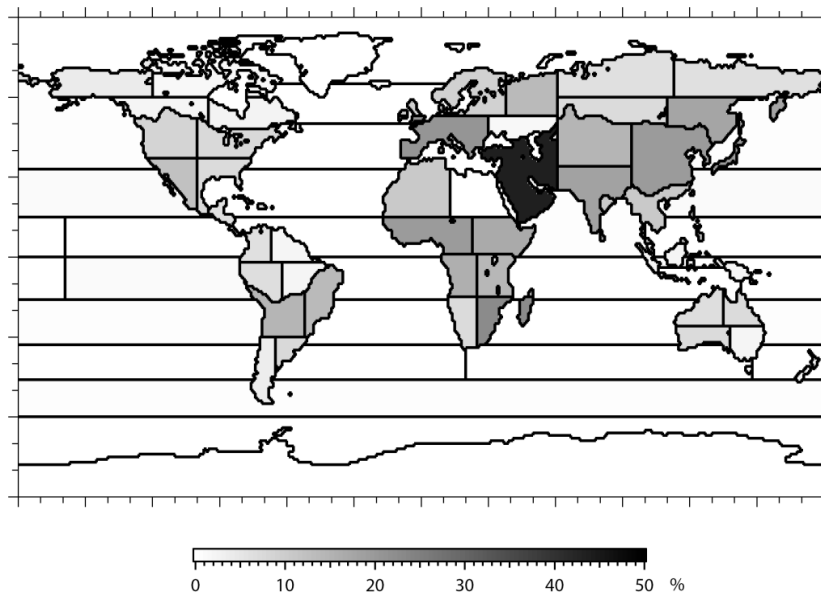


図2 地上観測データに「いぶき」観測データを加えたことによる、全球の64地域における二酸化炭素収支推定値の不確実性の低減率(%)の年平均値。平成21年6月から平成22年5月までの月ごとに評価された低減率を平均して求めた。

(3) 二酸化炭素濃度の三次元分布推定データについて

上記の二酸化炭素吸収排出量の推定結果に基づいたモデルシミュレーションにより、大気中の二酸化炭素の三次元分布を推定することも可能であり、今回これらの結果も公開します。この結果は、全球的な炭素循環の研究の進展に貢献することが期待されます。ただし、これらはシミュレーションに基づく推定結果であり、推定誤差が含まれることに留意する必要があります。(結果と詳細な解説は別紙を参照)

なお、シミュレーション結果については、国立環境研究所内ホームページ(<https://data.gosat.nies.go.jp/> 左列の“ギャラリー”のコーナーの一番下の項)にて閲覧することができます。

2. 今後の予定

(1) 推定期間の拡張とデータプロダクト公開の継続

今回求めた月別の全球を64分割した地域における正味収支の推定について、対象期間を平成22年6月から平成23年5月まで、さらに1年間延長します。その推定結果を「いぶき」の研究公募により採択された関連研究者等に提供するとともに、海外の他機関による同様の解析結果との比較研究などを通して、その妥当性について評価・確認を行った上で、今回と同様に一般に公開する予定です。

(注1) 地域毎の、陸域生態系(植物、土壌)による光合成や呼吸に伴う吸収排出、海洋による吸収排出、化石燃料消費や森林火災等による排出を合わせた、全体としての正味の吸収排出量(全吸収量と全排出量の差分)を意味する。

(注2) 二酸化炭素やメタンなどの大気微量成分の、大気中での輸送・拡散の様子を、気象データを用いて数値シミュレーションするための計算プログラムのこと。大気微量成分の空間分布と変動を再現することができる。

(注3) 米国海洋気象庁(NOAA)より公表されている二酸化炭素全球データ (GLOBALVIEW-CO2)。
(http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/globalview/co2/co2_intro.html 参照)
別紙では「GVデータ」と記す。

(注4) 国立環境研究所の開発した大気輸送モデル(NIES-TM version NfIES-08.1i)を用いた地域別二酸化炭素収支の解析。(S. Maksyutov, H. Takagi, et al. (2012): Regional CO₂ flux estimates for 2009-2010 based on GOSAT and ground-based CO₂ observations, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 12 29235-29288, doi: 10.5194/acpd-12-29235-2012 参照)。利用した気象データ(JCDAS)は、気象庁及び電力中央研究所による JRA-25 長期再解析プロジェクトにより提供されたものである。

(注5) 「gC/m²/日」とは、二酸化炭素の質量を炭素(カーボン; C)の質量に換算した場合、対象とする地域から1㎡当たり、1日当たりに総量として何グラムの炭素が吸収または排出されるかを表す単位。「グラム・カーボン・パー・平方メートル・パー・日」と読む。

(参考)

「いぶき」後継機(GOSAT-2)の開発について

今回、「いぶき」の観測データを利用した二酸化炭素吸収排出量の推定結果を世界で初めて公開しますが、温室効果ガス濃度の観測データを利用した吸収排出量の推定結果の精度を高めるには、「いぶき」の特徴・強みである、宇宙からの全球の多数点での観測を今後さらに充実させることが必要です。このため、平成 29 年度の打ち上げを目指して、さらに性能を向上させた GOSAT-2 の開発に、環境省、NIES、JAXA で共同して平成 24 年度に着手しました。

後継機開発に当たっては、観測データ数を大幅に増加させるために高度化された観測センサの開発に加えて、衛星観測データの処理手法や解析手法の高度化、収支推定に利用するインバースモデルの改良等を行う予定です。

また、今後、米国等で二酸化炭素等の温室効果ガスの観測を専用で行う衛星の打ち上げが計画されていることから、衛星からの温室効果ガスの観測に関する国際的な連携・協力を推進していく予定です。

【本件問い合わせ先】

(今回の解析結果および「いぶき」衛星搭載センサデータについて)

(独)国立環境研究所 地球環境研究センター 衛星観測研究室
室長(国環研 GOSAT プロジェクトリーダー) 横田 達也
電話: 029-850-2550
ただし、平成 24 年 12 月 3 日～12 月 7 日は 080-2103-6396

(独)国立環境研究所 地球環境研究センター 物質循環モデリング・解析研究室
室長(国環研 GOSAT プロジェクトサブリーダー)
シャミル・マクシュートフ(Shamil Maksyutov)
電話: 029-850-2212

(「いぶき」衛星、搭載センサ及び観測状況について)

(独)宇宙航空研究開発機構 宇宙利用ミッション本部 衛星利用推進センター
ミッションマネージャ 中島正勝
電話: 050-3362-6130

「いぶき」(GOSAT)の観測データを用いた 全球の月別・地域別の二酸化炭素吸収排出量の推定と それに基づく二酸化炭素濃度の三次元分布の推定

これまで環境省、(独)国立環境研究所(NIES)及び(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)により取得されたデータのうち、晴天域の観測データを用いて解析された、全球の大気中の二酸化炭素とメタンのカラム平均濃度(地表の単位面積直上の大気柱に含まれる当該ガス量の、乾燥空気量に対する体積比)に関するプロダクトを作成し、一般に公開してきました。また、平成 24 年 6 月からは改良された算出手法による濃度プロダクトを Ver.2 として一般に公開しています。Ver.2 プロダクトでは、地上設置高分解能フーリエ変換分光器による「いぶき」との同期観測による参照データと比べて、バイアス(参照データからの平均的なずれ量)とばらつき(参照データ周りの変動の幅、統計量としては 1 標準偏差)がそれぞれ-1.2 ppm と 2.0 ppm 程度に改善されました。更に、カラム平均濃度が導出されたデータ数がそれまでの Ver.1 より 3~5 割程度増えました。

今般、こうして得られた二酸化炭素カラム平均濃度データを使用して、大気輸送モデルを用いた逆解法解析(インバースモデル解析)を行い、全球の月別・地域別の二酸化炭素吸収排出量を推定しました。従来は、世界に点在した地上観測点(船舶および航空機による観測点を含む約 200 点あまり)における観測値(本文(注3)を参照。以下GVデータとする。)を用いて同様の推定が行われておりましたが、観測地点の偏在と地点数の少ないことが影響して、地域によっては推定値に大きな不確実性(推定誤差)が含まれていました。今回、「いぶき」データ(Ver.2 プロダクト)を導入することによってこの不確実性が低減されるとともに、より確からしい月別・地域別の吸収排出量が得られました。平成 21 年 6 月から平成 22 年 5 月までの 12 ヶ月分の全球の月別・地域別の二酸化炭素吸収排出量の推定結果を、それぞれの地域の不確実性の大きさとともに、レベル 4A プロダクトとして一般ユーザに公開いたします。

1. 二酸化炭素吸収排出量(収支)の推定方法

GVデータと「いぶき」による二酸化炭素カラム平均濃度データとを用いて、インバースモデル解析(二酸化炭素の濃度分布の変化から各地域ごとの吸収排出量を逆推定する手法)によって全球 64 の地域(図 1 左)における月別の吸収排出量を推定しました。使用したGVデータ観測点の位置を図 1 右に示します。南米、アフリカ、中近東、アジアの大部分は、地上観測の空白域となっています。「いぶき」による二酸化炭素カラム平均濃度データは、GV データとは独立の観測データを用いた検証結果に基づいてバイアス(1.2 ppm)を一律に補正し、緯度・経度(5°×5°)の格子ごとに月平均化してインバースモデル解析に使用しました。

解析期間である平成 21 年 6 月から翌年 5 月までの 1 年間のうち、例として北半球の夏(平成 21 年 7 月)と冬(平成 22 年 1 月)について、「いぶき」による二酸化炭素カラム平均濃度データの 5°×5°月平均値(バイアス補正済)と、GVデータの月平均値とを図2に示し

ます。雲や大気中の塵(エアロゾル)に頻繁に覆われる地域や、太陽の南中高度が低くなるためデータ取得が困難な冬季の北半球高緯度地域を除き、多くの地上観測の空白域を「いぶき」のデータが補完しています。

この二つの月における地域別の吸収排出量の推定値とその不確実性を図3に示します。なお、この手法による地域別の吸収排出量は、当該月の二酸化炭素濃度分布だけではなく、その前後の月の濃度分布状況も含めて推定がなされています。植物の光合成が活発な夏季の北半球各地域では二酸化炭素が正味で吸収されており(緑色で表示)、また光合成活動が低下し、土壌の呼吸による放出が相対的に卓越する冬季には北半球の多くの地域では正味で排出(赤色)となっています。植生が少ない砂漠(図1左の地域番号20)では年間を通じ月別の収支は小さくなっています。

2. 「いぶき」データの有効性の評価

(1) 不確実性について

「いぶき」データが月別・地域別収支の推定にどれだけ有効であることを明らかにするために、「いぶき」による連続的な観測が開始された平成21年6月から翌年5月までの1年間(1.の推定期間と同様)について、全球の64地域における月別の吸収排出量とその不確実性を、

① GVデータのみを用いた地域別吸収排出量の推定

② GVデータと「いぶき」データ双方を用いた地域別吸収排出量の推定

からそれぞれ求めました。「いぶき」の観測データを地域別吸収排出量の推定に用いることによる不確実性の低減の程度を百分率

$$\left[\{ 1 - (\text{②での不確実性} / \text{①での不確実性}) \} \times 100 \right]$$

で表し、「いぶき」データの有効性を評価しました。この値が大きい地域・月ほど吸収排出量の推定が、「いぶき」データによってより確からしくなったと考えられます。

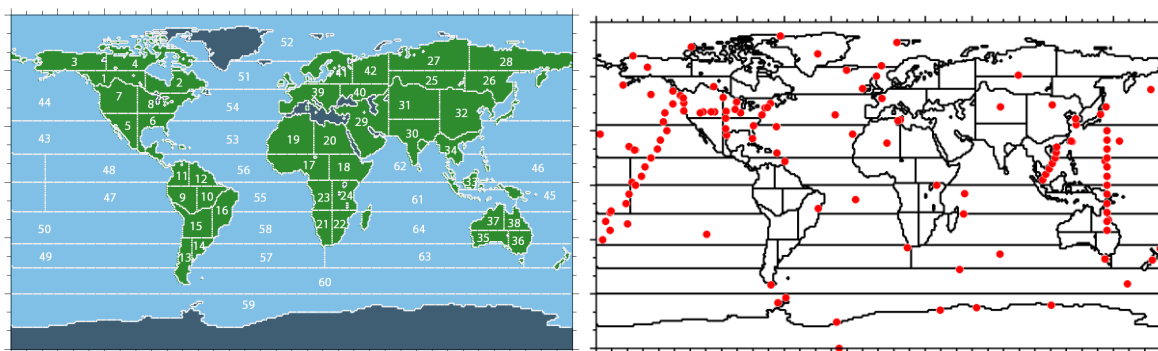


図1 月別の吸収排出量を推定する全球64分割の地域(左図)(数値は地域番号を示す。濃紺の地域は収支をゼロと仮定して推定対象から外している。)と、地上観測点(赤点。船舶、航空機による観測点を含む)の配置図(右図)。

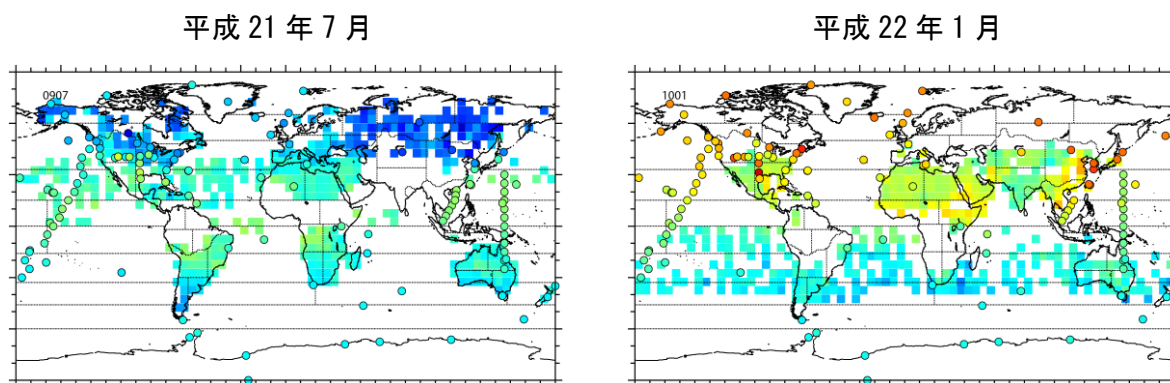


図2 インバースモデル解析への入力として用いた「いぶき」による晴天域の全球観測濃度データ(5°×5°月平均値)と GV データ(月平均値)。(左図):平成21年7月(北半球の夏), (右図):平成22年1月(北半球の冬)。

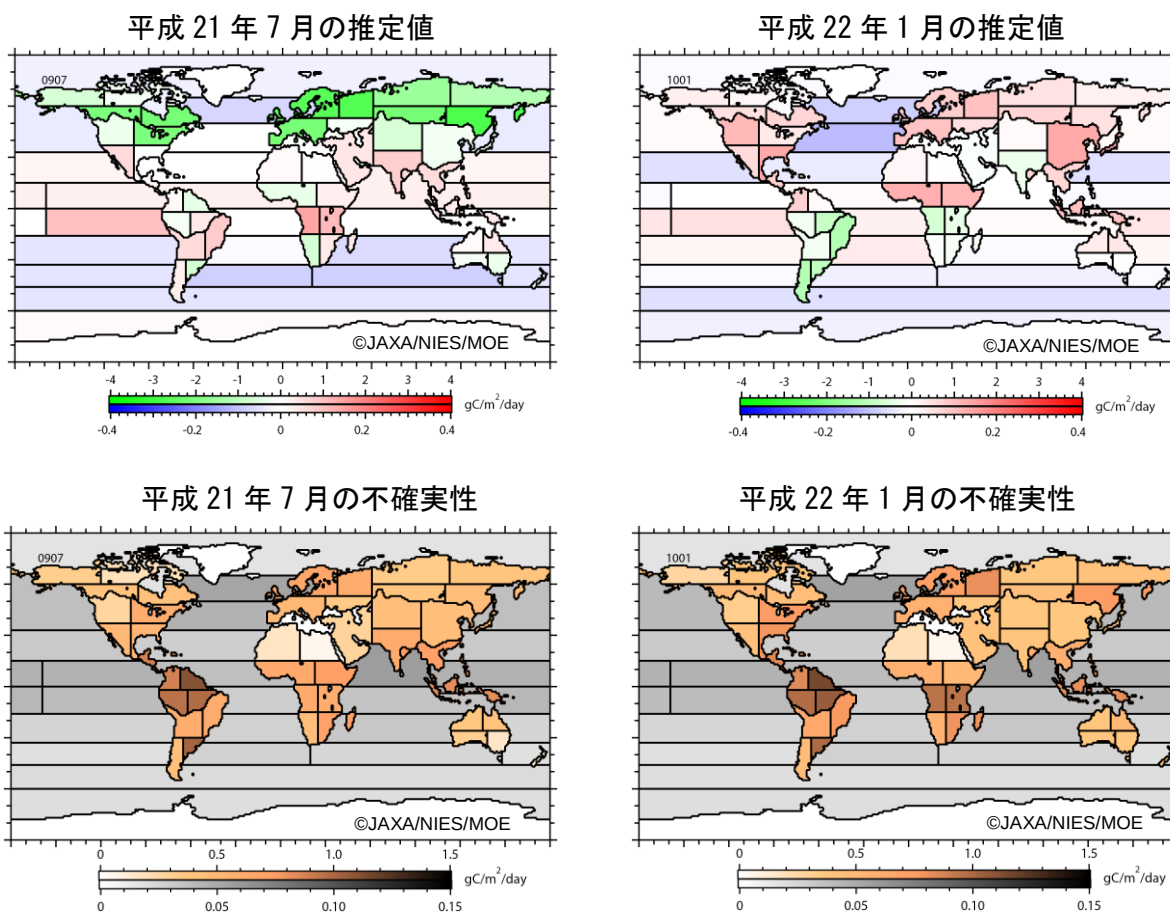


図3 図2の観測結果から推定した、全球64地域における吸収排出量(収支)分布(上段)と各地域のその不確実性(下段)。(左列):平成21年7月(北半球の夏), (右列):平成22年1月(北半球の冬)。

(2) 不確実性の低減について

地上観測点の空白域である南米・アフリカ・中近東・アジアなどの地域では、月々の吸収排出量推定値の不確実性は、「いぶき」観測データを加えることによって最大6割程度減少

し、年平均値では不確実性は最大4割程度減少することがわかりました（地域別の不確実性低減率の「年平均値」を図4に示します。）。

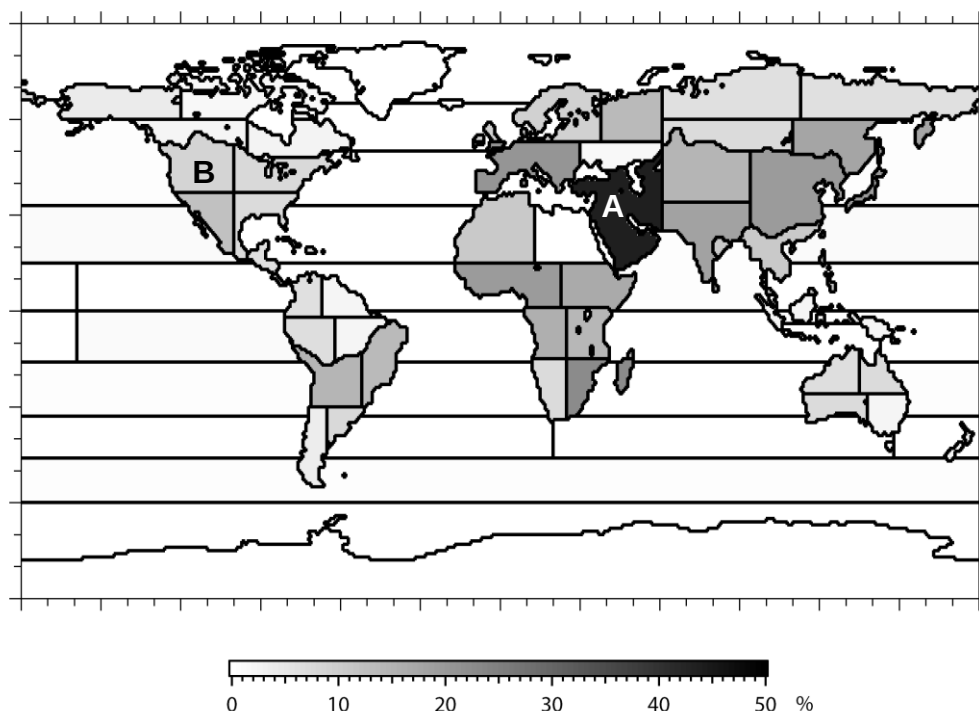


図4 GVデータに「いぶき」データを加えたことによる、全球の64地域における吸収排出量推定値の不確実性の低減率(%)の年平均値。平成21年6月から平成22年5月までの月ごとに評価された低減率を平均して求めた。

例として、二つの地域の月別二酸化炭素収支の変化と推定値の不確実性の低減について紹介します。GV データのみ(①)からと、GV データに「いぶき」のデータを加えたデータ(②)から推定した吸収排出量と不確実性低減率の月ごとの変化を図5に示します。上段は地上観測点がなく、「いぶき」のデータを加えることによって最も不確実性が低減した中近東(図4中 A で示す地域)における変化を、下段は地上観測点の豊富な北米中緯度域北西部(図4中 B で示す地域)での変化を表します。図中の灰色の棒グラフは不確実性の低減率(縦軸は右目盛)を、赤色・青色の実線および縦棒はそれぞれ①、②のデータから推定された吸収排出量(縦軸は左目盛)およびその月変化を示します。緑色の実線と網掛け部はインバースモデル解析で使用した吸収排出量の第一推定値(統計データや陸域生態系モデルなどによる予測値)とその不確実性です。

周辺に地上観測点がない A の中近東におけるGVデータのみを用いた解析(①)(赤実線)では、遥か遠方で得られた地上観測データに基づいて吸収排出量が計算されるため、推定値には大きな不確実性(縦の赤棒線)が伴います。しかし、「いぶき」のデータが使われること(青実線)により吸収排出量の不確実性(青の縦棒)はかなりの程度減少(灰色の棒グラフ)することがわかりました。これに対し、B の北米中緯度域北西部では、地域内およびその周囲で比較的多数の精度の高い地上観測データが取得されており、これらのデータが吸収排出量の決定に大きく寄与しているために、吸収排出量推定値(青実線と赤実線)やそれらの不確実性には大きな差は見られません。

インバースモデル解析では、人為起源の二酸化炭素排出量と森林火災による二酸化炭素排出量を統計データ等に基づいて既知として扱い、陸域生態系と海洋の吸収排出量を調節（最適化）します。したがって、図5の赤実線から青実線への変化は、「いぶき」の観測データがもたらす追加的情報によって、陸域生態系の吸収排出量が調節された結果であると解釈されます。たとえば、地上観測データのみからの推定に比較して、Aの6月には陸域生態系は不確実性の幅を考慮してもそれほど大きな吸収はなく、3月・4月には逆に陸域生態系からの排出は少なかった可能性を示しています。

以上のように、これまで地上観測点のデータのみからの推定では不確実性の高かった地域（たとえば、アフリカギニア湾沿岸域、アフリカ南東部、中近東及びインドなど）について、「いぶき」による濃度データを加えることにより、より確からしい推定が可能となりました。

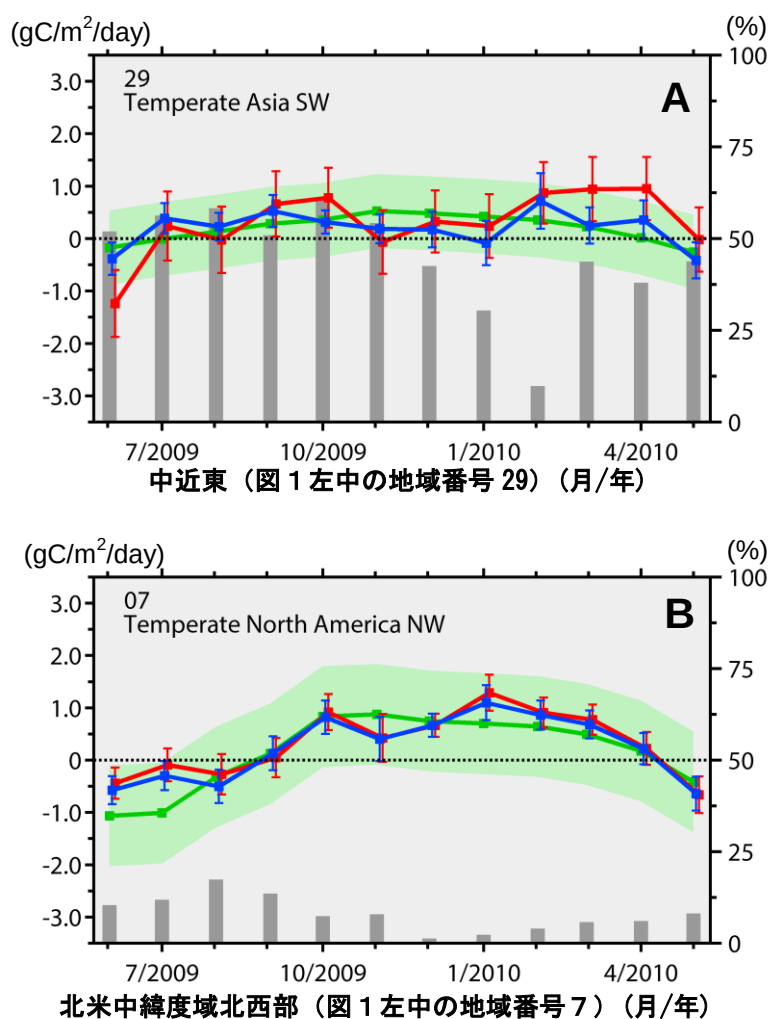


図5 月ごとの吸収排出量の推定とその不確実性、及び不確実性の低減率についての図

赤線はGVデータのみからの推定、青線はGVデータに「いぶき」の観測データを加えたデータからの推定を示し、上下の縦棒は推定誤差の幅を示す。

上段は中近東（図1左中の地域番号29、図4中Aで示された地域）、下段は北米中緯度域北西部（図1左中の地域番号7、図4中Bで示された地域）についての解析結果。緑色の折れ線と網掛け部はインバースモデル解析で使用した吸収排出量の第一推定値（統計データや陸域生態系モデルなどによる予測値）とその不確実性を表す。灰色の縦棒は推定誤差の低減率（右縦軸目盛り）を示す。

ただし、これらの結果は利用する「いぶき」による濃度データの質に依存します。現在、「いぶき」による二酸化炭素カラム平均濃度は、国立環境研究所に加え、世界の複数の研究機関や大学（英、米、蘭）によっても、それぞれ独立に導出されています。図6には、5つの独立な手法により算出された「いぶき」による二酸化炭素カラム平均濃度データを用いて、本報告で用いたインバースモデル解析手法により推定されたAとBの地域における月別二酸化炭素吸収排出量の変化の幅を示します。図6からは、利用する衛星観測濃度データの精度と解析手法によって、推定される吸収排出量には幅があり、改善の余地があることがわかります。

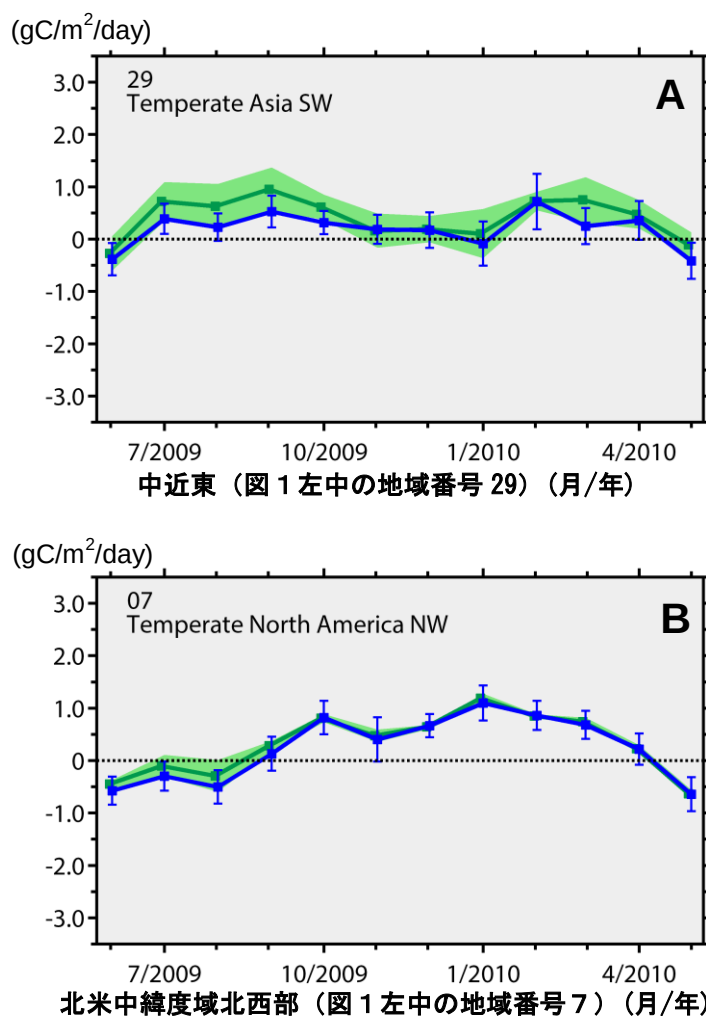


図6 「いぶき」観測データ解析手法が吸収排出量推定値に与える影響についての図

国立環境研究所が導出した二酸化炭素カラム平均濃度に基づく二酸化炭素吸収排出量の推定値（青線）と、国内外の大学・研究機関（5機関）それぞれが導出した二酸化炭素カラム平均濃度に基づく二酸化炭素吸収排出量の推定（緑線は5機関の平均値、緑に塗った部分は各推定値の上限と下限）。二酸化炭素吸収排出量の推定には、同じインバースモデル解析手法を適用した。上段は中近東（図1左中の地域番号29、図4中Aで示された地域）、下段は北米中緯度域北西部（図1左中の地域番号7、図4中Bで示された地域）についての解析結果。

なお、今回の結果は「いぶき」によるカラム平均濃度のバイアスが解析期間中全球で一様であるという仮定に基づくものであり、今後の研究の進展によって吸収排出量の推定結果が変化する可能性があります。

3. 月別吸収排出量の推定結果に基づく二酸化炭素濃度の三次元分布の推定

二酸化炭素吸収排出量の推定結果を利用して、大気輸送モデルの数値シミュレーションにより二酸化炭素の全球分布(三次元分布)とその時間変化を推定することができます。こうして得られた全球の各格子点(緯度経度 2.5 度間隔、鉛直方向に17層)での 6 時間ごとの二酸化炭素濃度値をレベル 4B プロダクトとして一般に公開します。

図7は、平成21年7月(左図)及び平成22年1月(右図)の、高度約 5000 メートルにおける二酸化炭素濃度の月平均値の全球分布の推定例です。これらの濃度分布には、人為起源・森林火災による排出の影響が考慮されています。これらの推定結果は、地上観測や「いぶき」によっても濃度データが得られない地域の炭素循環の研究に貢献することが期待されます。なお、この推定結果(レベル 4B プロダクト)にも一定程度の誤差が含まれており、今回の推定結果と地上観測との比較等により、推定結果の妥当性について検証を進める必要があります。

なお、数値シミュレーション結果については、国立環境研究所内ホームページ(<https://data.gosat.nies.go.jp/> 左列の“ギャラリー”のコーナーの一番下の項)で閲覧することができます。

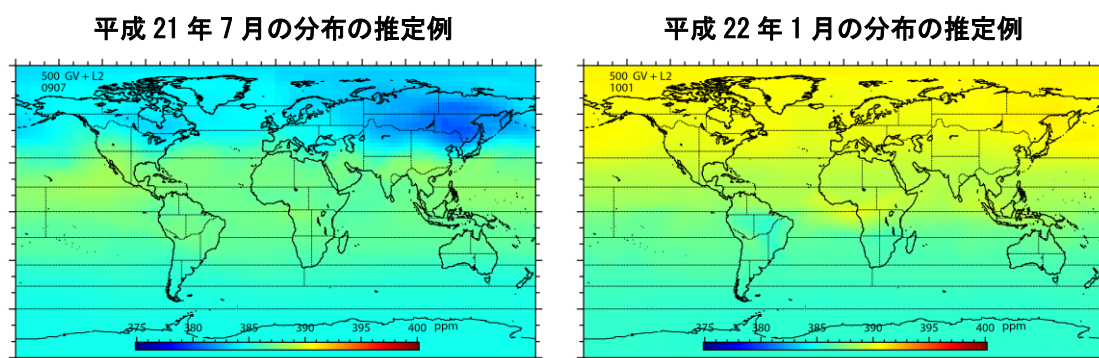


図7 二酸化炭素収支推定結果に基づいて大気輸送モデルを用いた数値シミュレーション計算から得られる二酸化炭素の濃度分布の推定例。

高度約 5000 m における、平成21年7月の月平均推定値(左)及び平成22年1月の月平均推定値(右)。これらはシミュレーションに基づく推定結果であり、推定誤差が含まれることに留意する必要がある。