

「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か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。

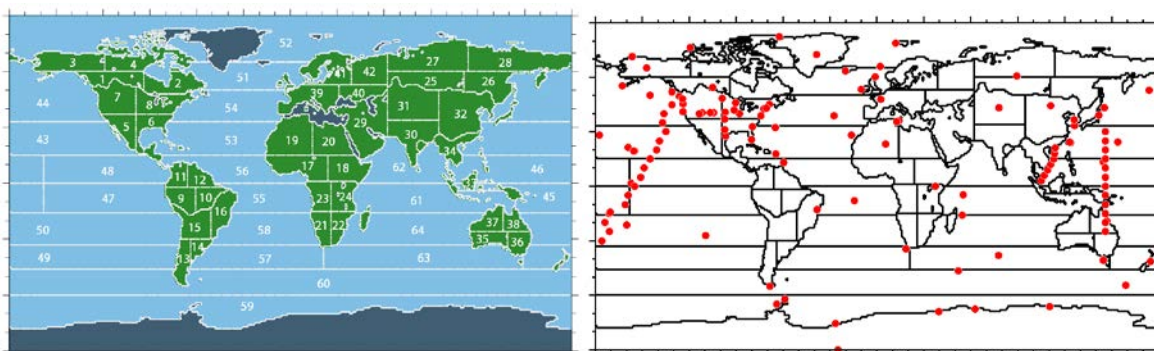
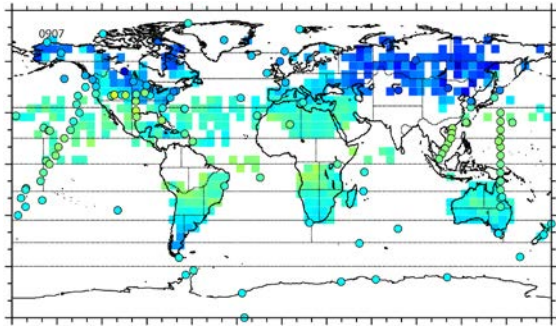


図1 月別の吸収排出量を推定する全球64分割の地域(左図)(数値は地域番号を示す。濃紺の地域は収支をゼロと仮定して推定対象から外している。)と、地上観測点(赤点。船舶、航空機による観測点を含む)の配置図(右図)。

平成 21 年 7 月



平成 22 年 1 月

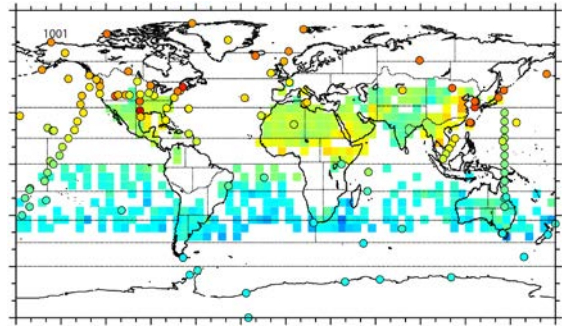
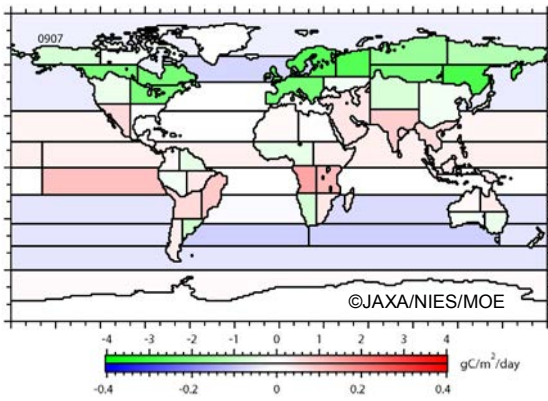
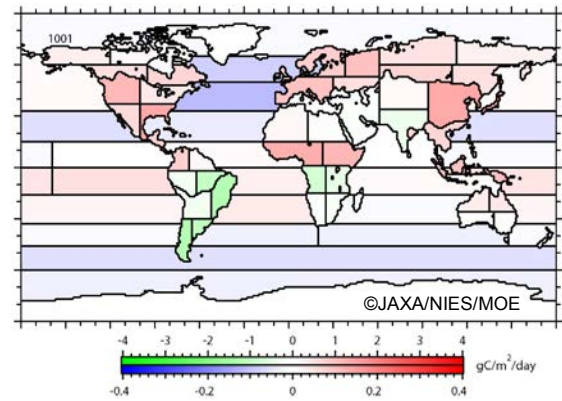


図2 インバースモデル解析への入力として用いた「いぶき」による晴天域の全球観測濃度データ(5°×5°月平均値)とGV データ(月平均値)。(左図):平成21年7月(北半球の夏), (右図):平成22年1月(北半球の冬)。

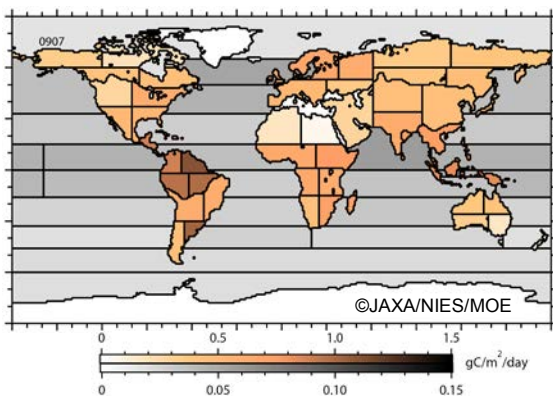
平成 21 年 7 月の推定値



平成 22 年 1 月の推定値



平成 21 年 7 月の不確実性



平成 22 年 1 月の不確実性

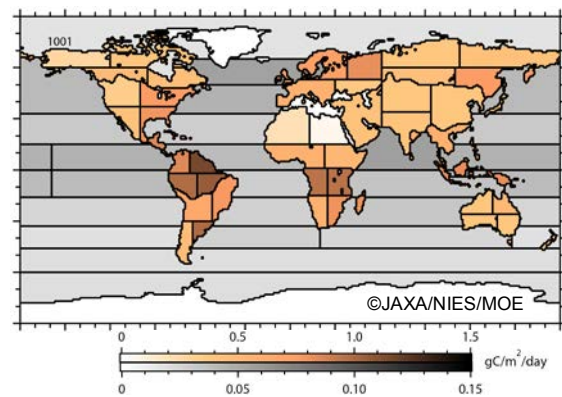


図3 図2の観測結果から推定した、全球64地域における吸収排出量(収支)分布(上段)と各地域のその不確実性(下段)。(左列):平成21年7月(北半球の夏), (右列):平成22年1月(北半球の冬)。

(1) 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。)

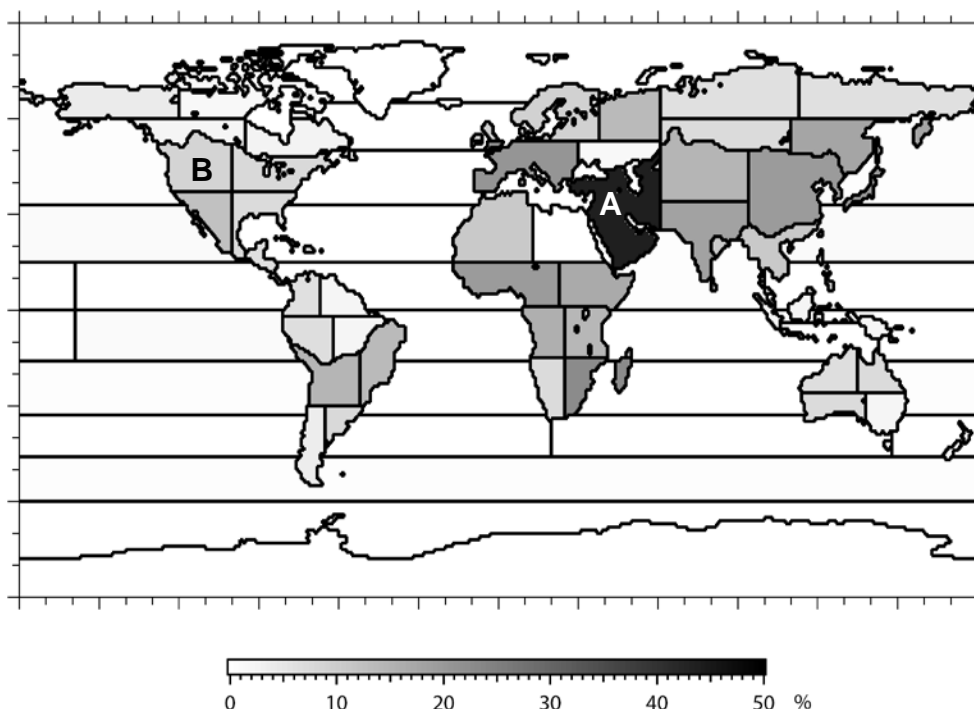


図4 GVデータに「いぶき」データを加えたことによる、全球の64地域における吸収排出量推定値の不確実性の低減率(%)の年平均値。平成21年6月から平成22年5月までの月ごとに評価された低減率を平均して求めた。

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と比較して、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。

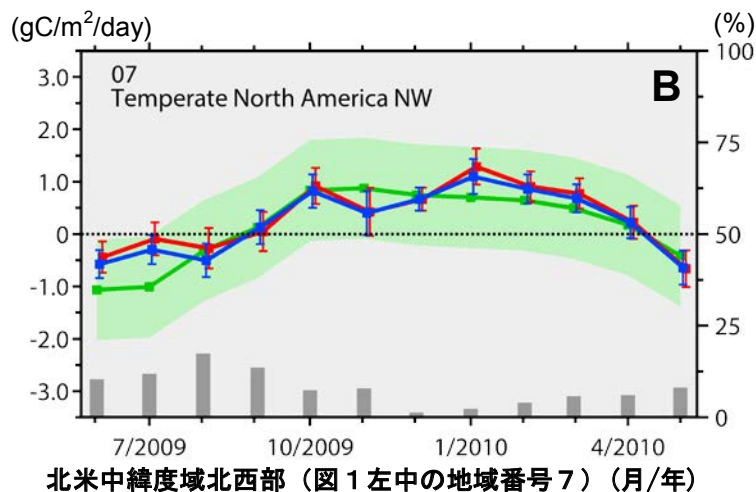
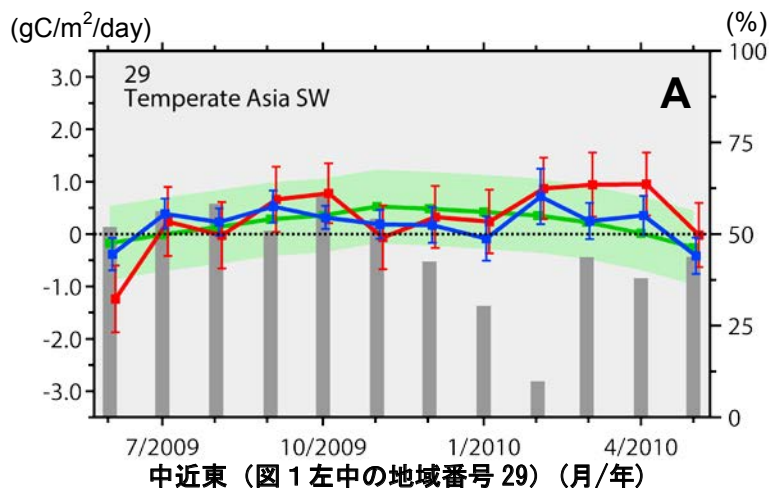


図5 月ごとの吸収排出量の推定とその不確実性、及び不確実性の低減率についての図

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。

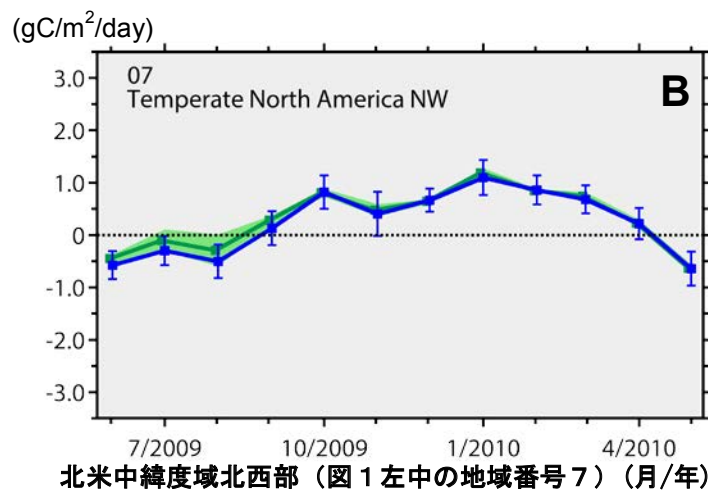
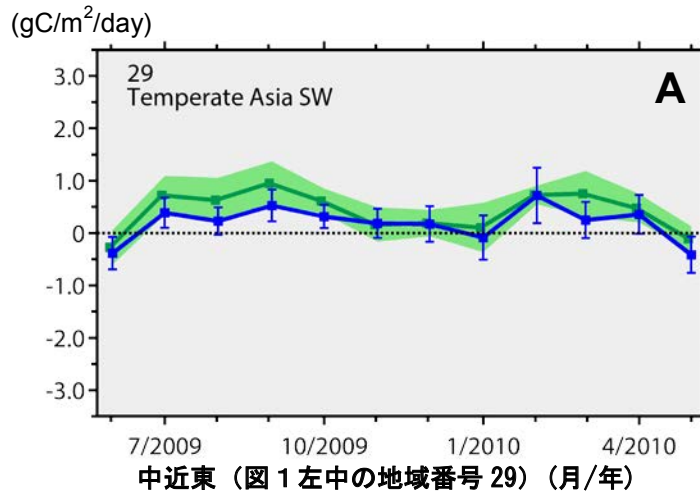


図6 「いぶき」観測データ解析手法が吸収排出量推定値に与える影響についての図

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ことが必要です。

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。

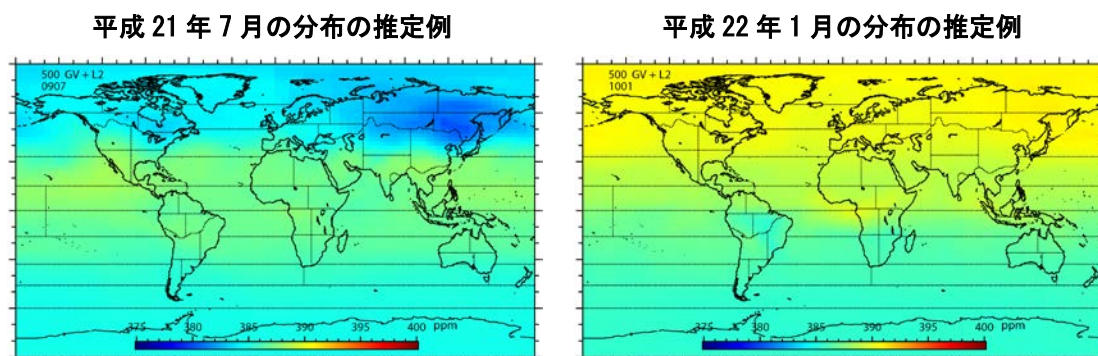


図7 二酸化炭素収支推定結果に基づいて大気輸送モデルを用いた数値シミュレーション計算から得られる二酸化炭素の濃度分布の推定例。

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。