



## 気象庁における二酸化炭素濃度の全球分布情報

藤 田 建\*

気象庁では、気象庁ウェブサイトの温室効果ガス監視情報のページ ([http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/ghghp/info\\_ghg.html](http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/ghghp/info_ghg.html)) や各種刊行物において、気象庁が観測した大気バックグラウンドの温室効果ガス濃度データや、各国から収集した温室効果ガス観測値を解析した経年変化などのデータを公開してきた。

しかし、これらの解析は、世界の観測点の位置に偏りがあるため、従来は緯度帯別の解析にとどまっていた。これでは、炭素循環の理解や気候変動予測などの研究には不十分であったことから、気象庁では解析手法の開発を進め、温室効果ガスのうち二酸化炭素について、過去20年以上の格子点値として解析した地表における全球濃度分布を2009年2月から公開している。公開した内容は、研究者など専門家向けの月別濃度の格子点数値データのほか、地球温暖化対策に関する理解を促進するため、格子点値をもとに二酸化炭素の分布や変化の状況などをわかりやすく表示した図である。

### 1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) が2007年に発表した第4次評価報告書 (AR4) によると、「気候システムの温暖化には疑う余地がなく、そのほとんどが人為起源の温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性が非常に高い」とされている。そのうち二酸化炭素は最も重要な人為起源の温室効果ガスであ

る。

気候変動の予測は不確実性をともなうものであるが、この予測をより精度の高いものにするためには、炭素循環のさらなる理解が重要であり、それには二酸化炭素の空間的・時間的分布の情報が不可欠である。このような研究面での利用のほか、気候変動問題への理解や対策のためには、温室効果ガスについての正しい知識が必要となっている。

気象庁は、世界中で観測された温室効果ガスの観測データの収集と提供を行う世界気象機関 (WMO) 温室効果ガス世界資料センター (WDCGG) を運営し、その活動の一環として、収集した観測データをもとにした温室効果ガスの緯度帯別の平均濃度などの解析結果を提供している。しかし、温室効果ガスの観測地点が偏在し、観測地点が少ない地域の濃度分布が得られないことから、経度方向の分布状況については解析結果を提供できず、炭素循環などの研究における高度な利用にとって十分なものではなかった。

以上を背景に解析手法の開発を進めた結果、温室効果ガスのうち最も重要とされている二酸化炭素について、地表における濃度を全球にわたって推定することができるようになった。

提供する二酸化炭素濃度分布は1985年から2007年までの23年間にわたって月別に解析したものである。

### 2. 解析

解析は逆解析法 (Baker *et al.* 2006) による。これは、移流拡散の結果である二酸化炭素濃度観測値から、原因である地表面における二酸化炭素排出吸収量、すなわち二酸化炭素フラックスをさかのぼって求める方法である。このフラックスがわかれば、移流拡

\* Tatsuru FUJITA, 気象庁地球環境・海洋部環境気象管理官付。

© 2009 日本気象学会

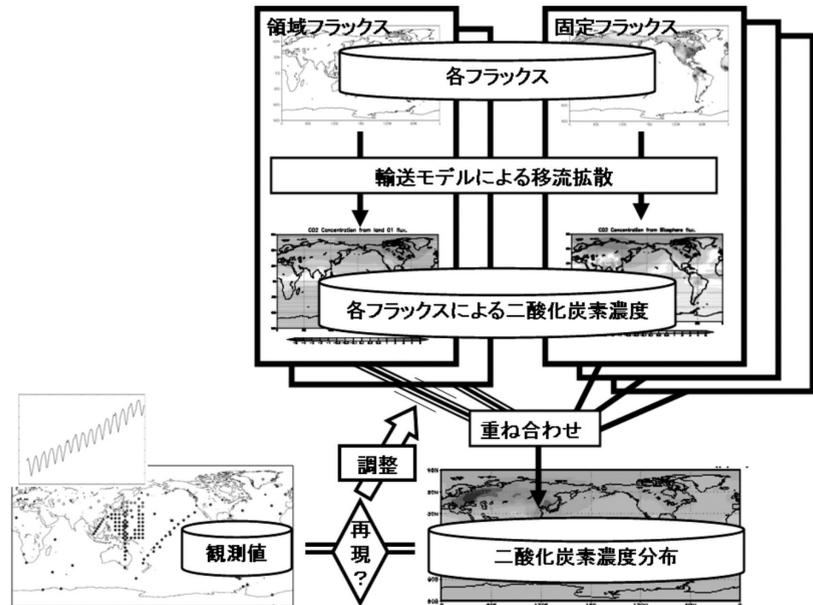
散の結果である二酸化炭素濃度が、観測点以外を含めた分布として求められる。

解析の概要を第1図に示す。まず各月ごとに、仮定された各種のフラックスから二酸化炭素の移流拡散による二酸化炭素濃度分布を、輸送モデルを用いて計算しておく。次に、この各フラックスによる二酸化炭素濃度分布を重ね合わせ、その結果が各観測点における観測値を再現するよう、各フラックスを変動させ調整する。しかし、このとき全ての観測値を完全に再現することは、観測点の数などによる自由度やモデルの精度、フラックスの不確かさ、観測の誤差などにより不可能である。よって、より自然なフラックスを表し、より観測値に近い二酸化炭素濃度を表現するよう、フラックスと観測値の不確かさを勘案しながら近似計算を行い、フラックスを求める。すでにフラックスと二酸化炭素濃度の関係は求められているため、このフラックスを求めた時点で、重ね合わせにより二酸化炭素濃度分布は解析されていることになる。

解析に使用するフラックスのパラメータとして大気トレーサー輸送モデル相互比較計画 (TransCom3, Gurney *et al.* 2000) で使用されたものを用いた。各月の固定フラックスとして人為起源、海洋、植生による各種の全球フラックスを用い、各月変動する領域フラックスとして全球を陸域11と海域11の計22領域に分割したフラックスを仮定した。

各フラックスからの移流拡散による二酸化炭素濃度分布の計算には二酸化炭素輸送モデル (CDTM, Sasaki *et al.* 2003) を用いた。CDTMの主要な諸元は第1表に示す。気象データとして、2004年12月以前についてはJRA-25長期再解析データ (Onogi *et al.* 2007) を、2005年1月以降については気象庁気候同化システム (JCDAS) データを使用した。

入力する観測データとして、この解析を公表することについての利用許諾が得られた機関 (15機関, 第2



第1図 二酸化炭素濃度分布の解析法の概要。

第1表 二酸化炭素輸送モデル (CDTM) の主要諸元。

モデル名称	JMA_CDTM (Sasaki <i>et al.</i> 2003)
モデル種類	オフラインモデル (全球解析等を利用)
解像度	2.5°, L32 (~10 hPa)
水平移流	セミ・ラグランジュ法
鉛直移流	上流差分法
鉛直拡散	乱流拡散, 積雲対流による拡散等
積雲対流	Kuo スキーム準拠
乱流拡散	Mellor-Yamada level 2
浅い積雲対流	全球モデル (GSM9603) 準拠

表) の観測点の月平均濃度を使用した。このうち気象観測船や航空機による移動体の観測データはモデル上の2.5度格子内で平均したものをその格子の月平均値データとした。

近似計算への入力となる各観測点における月平均濃度値の不確かさは、観測値の時系列解析つまり回帰曲線と観測値そのものとの差の標準偏差をおいた。この時系列解析は、Nakazawa *et al.* (1991) と同様な方法で、観測値の平均的季節変動と低域通過フィルタである Lanczos フィルタをかけた長期変動成分の和による。

### 3. 観測点選別

逆解析には、大気バックグラウンドの観測値を入力する必要があるが、観測所の立地環境や季節などにより局地的影響が入りこむ可能性がある。観測点の品質管理としてこの可能性を除くため、観測点の選別を行った。

選別は逆解析を利用して行い、手順は以下のとおり。

- (1) 利用可能なすべての観測値を入力として、逆解析計算を行う。

第2表 観測値の二酸化炭素分布情報への利用許諾が得られた機関。

国名	機関名
米国	米国海洋大気庁地球システム研究センター (NOAA/ESRL)
豪州	豪州連邦科学産業研究機構 (CSIRO)
ロシア	中央地球物理観象台 (MGO)
カナダ	カナダ環境省 (EC)
ハンガリー	ハンガリー気象局 (HMS)
豪州	オーストラリア気象庁 (BoM)
イタリア	新エネルギー技術・環境庁 (ENEA)
フィンランド	フィンランド気象研究所 (FMI)
スペイン	スペイン気象庁 (AEMET)
スウェーデン	ストックホルム大学 (ITM)
南アフリカ	南アフリカ気象局 (SAWS)
イタリア	国家南極調査計画 (PNRA)
アルゼンチン	国家南極部 (DNA)
日本	気象研究所
日本	気象庁

- (2) 逆解析による各観測所の推定値と観測値の標準偏差  $\sigma$  を求める。
- (3)  $\sigma$  を基準に推定値より大きくはなれた観測値を除外する。ここでしきい値は1順目は  $1\sigma$ 、 $\sigma$  が小さくなる2順目以降  $2.5\sigma$  とした。
- (4) (3)で観測値が半分以上除外された観測所を除外する。
- (5) (3)と(4)による観測値セットにて再び逆解析を行う。
- (6) 観測値の除外が(4)の観測所の除外への影響がなくなるまで(2)~(5)の手順を繰り返す。
- (7) 残った観測所が解析の入力に適した観測所であると、これらの観測所の観測データを用いて逆解析を行う。

この結果、第2図に示す153の観測点、局地的な影響が小さな地点として、逆解析への入力として使用されることとなった。

### 4. 検証

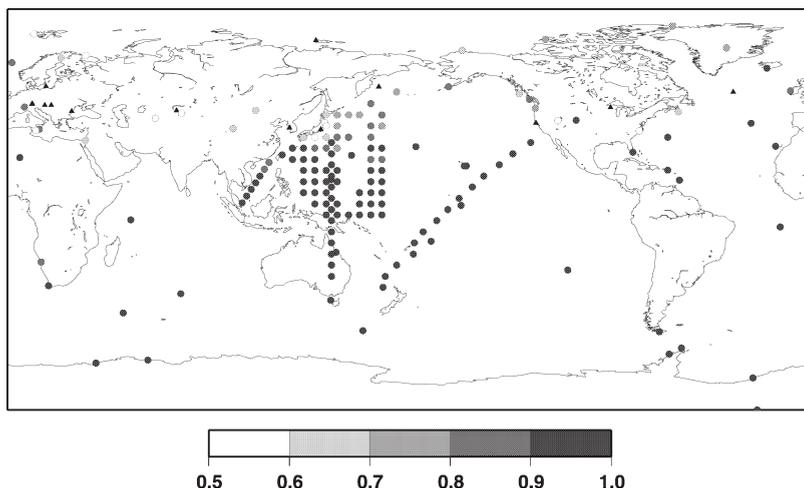
#### 4.1 観測値のない地点の解析値の検証

この分布解析の解析値が、実際に観測点のない地点の二酸化炭素濃度を精度よく表しているかを検証するため、任意の1つの観測点を除外して解析する実験を行った。

実験はいくつかの観測点について行い、除外しない場合と除外する場合とでその観測点での観測値と解析値の差の標準偏差を比較した。

観測点を除外した場合は、除外しない場合より観測値と解析値の差がひろがる。つまり観測値と解析値の差の標準偏差が増加するが、検証した観測点では標準偏差の増分は  $0.02 \sim 0.31$  ppm の範囲であり、これは各観測点における観測値の不確かさより一桁小さい。この検証実験から、観測値がない地点でも観測値がある場合とほぼ同様の二酸化炭素濃度を推定していることがわかる。

一例として南鳥島についての実験における解析値と



第2図 逆解析に使用した観測点。●は選別された観測点で、濃度は除外されなかった月観測値の割合を示す。▲は除外された観測点。

観測値の差を時系列で第3図に示す。観測値がない場合は、観測値がある場合より観測値と解析値の差がほぼ各月においてわずかに大きくなっている。観測値と解析値の差の標準偏差をみると観測値を除外することにより0.40 ppm から0.45 ppm へと増加しているが、この増加幅は0.05 ppm と解析値の標準偏差の1割程度である。

なお、この検証法は観測点の存在するところだけによるものであるため、一定の限界がある。観測点が周辺に存在しない地域などでは、移流拡散モデルの誤差の影響により解析値と真の濃度との差が大きくなっている可能性があることに注意が必要である。

#### 4.2 他の解析との比較

この解析のように二酸化炭素濃度の全球分布を解析したものに、米国海洋大気庁 (NOAA) による CarbonTracker (Peters *et al.* 2007) がある。いくつかの代表的な観測点における解析値について、この CarbonTracker との比較を2000年から2007年の期間について行った。これは CarbonTracker のデータが入手できる期間である。観測値と解析値の差の標準偏差は、CarbonTracker の0.3~1.5 ppm に対し気象庁は0.3~2.1 ppm であり、ほぼ同等である。

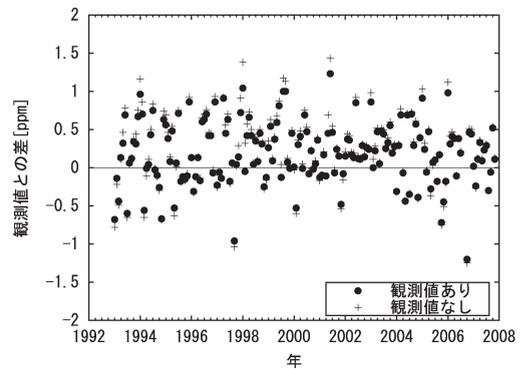
第4図に、比較した観測点の一例として南鳥島の時系列図を示す。観測値に対する解析値のずれ方には両解析法で相違があるが、ずれ幅つまり標準偏差に注目するとどちらも0.7 ppm とほぼ同じであった。

両解析法の違いは、仮定するフラックス、求めるフラックスの時間・空間解像度、輸送モデル、解析手法と多岐に渡っており、ずれ方の相違の原因を確かめるためには今後の研究が必要である。

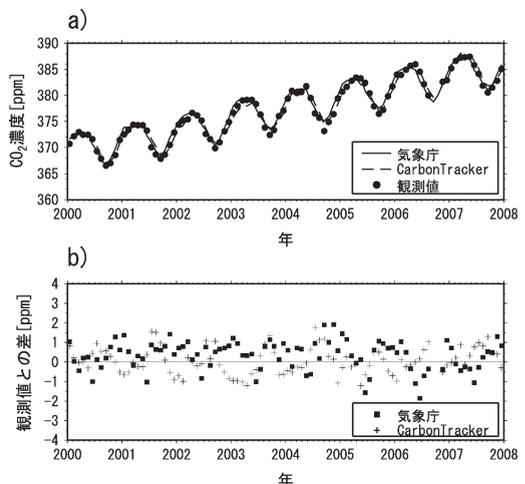
### 5. データと表示

解析された二酸化炭素濃度の格子点数値データは、炭素循環の理解や気候変動予測などの研究への利用が期待される。このような研究には気象庁との共同研究による利用を想定しており、その1つとして気象研究コンソーシアム (<http://www.mri-jma.go.jp/Project/cons/>) の枠組みが利用できる。研究以外の目的のためには、(財) 気象業務支援センターからの提供を行っている。

データは地表面における月別の二酸化炭素濃度の格子点数値で、格子の間隔は緯度経度とも2.5度である。1985年から2007年までの23年間という長期間にわたる二酸化炭素の全球分布解析データは世界で初めてのもの



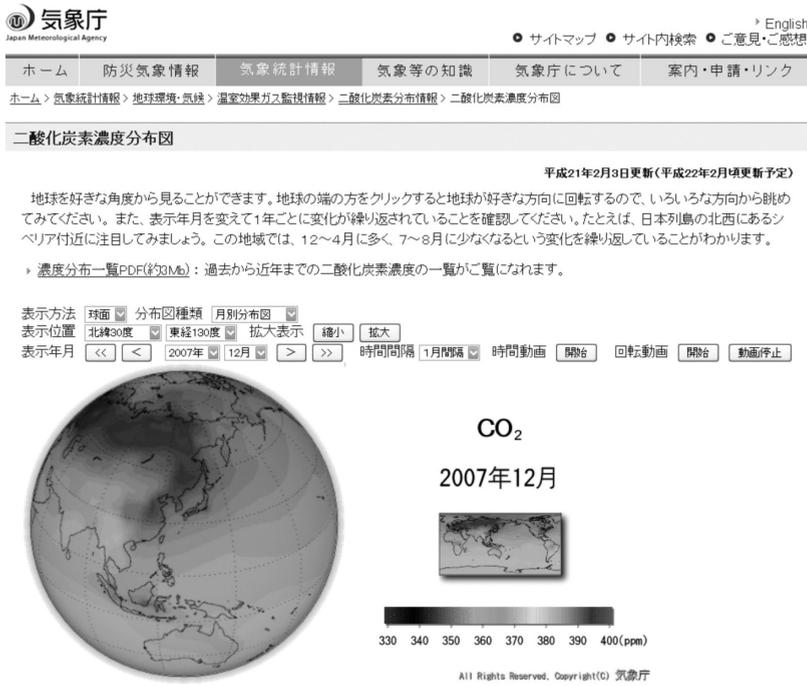
第3図 南鳥島の観測値を除外した場合と除外しない場合での、南鳥島における解析値と観測値の差。●は解析の入力として観測値を除外しない場合、+は解析の入力として観測値を除外した場合。



第4図 南鳥島における気象庁解析値と CarbonTracker との比較。a) は観測値と各解析値の比較。実線は気象庁の解析値、破線は CarbonTracker の解析値、●は観測値である。b) は観測値に対する各解析値。■は気象庁の解析値、+は CarbonTracker の解析値。

のであることから、この格子点数値データが炭素循環などの研究に資するものと考えている。今後、主に解析期間を1年延長する形で、分布情報の更新を毎年行う予定である。

また、気象庁のウェブサイトでは、二酸化炭素の濃度分布や経年変化を第5図に示したように地球を投影



戻る

第5図 二酸化炭素分布情報のページイメージ。実際はカラーで表示される。

した図として表し、マウス操作などにより任意に地球を回して地域による二酸化炭素濃度の違いを見ることができ、動画により季節変化しながら増加する様子を見ることができる。これにより、二酸化炭素の濃度について直感的に知ることができるよう作られている。ほかに「温室効果ガス Web 科学館」のページでは、濃度分布の図で着目すべき点などについてツアー形式での解説を行っており、二酸化炭素の濃度分布や経年変化についての理解を深めることができるようになっている。また、気象庁や気象研究所が作成した地球温暖化の知識のページへのリンクもあることから、これらもあわせて利用することにより、気候変動問題の啓発や、環境教育などに利用していただくことを期待する。

参 考 文 献

Baker, D. F., R. M. Law, K. R. Gurney, P. Rayner, P. Peylin, A. S. Denning, P. Bousquet, L. Bruhwiler, Y.-

H. Chen, P. Ciais, I. Y. Fung, M. Heimann, J. John, T. Maki, S. Maksyutov, K. Masarie, M. Prather, B. Pak, S. Taguchi and Z. Zhu, 2006 : TransCom 3 inversion intercomparison : Impact of transport model errors on the interannual variability of regional CO<sub>2</sub> fluxes, 1988-2003. *Global Biogeochem. Cycles*, 20, GB1002, doi : 10.1029/2004 GB002439.

Gurney, K., R. Law, P. Rayner and A. S. Denning, 2000 : TransCom 3 Experimental Protocol. Department of Atmospheric Science. Colorado State Univ., USA, 97 pp.

Nakazawa, T., K. Miyashita, S. Aoki and M. Tanaka, 1991 : Temporal and spatial variations of upper tropospheric and lower stratospheric carbon dioxide. *Tellus*, 43B, 106-117.

Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira, 2007 : The JRA-25 Reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, 85, 369-432.

Peters, W., A. R. Jacobson, C. Sweeney, A. E. Andrews, T. J. Conway, K. Masarie, J. B. Miller, L. M. P. Bruhwiler, G. Pétron, A. I. Hirsch, D. E. J. Worthy, G. R. van der Werf, J. T. Randerson, P. O. Wennberg, M. C. Krol and P. P. Tans, 2007 : An atmospheric perspective on North American carbon dioxide exchange : CarbonTracker. *PNAS*, 104, 18925-18930.

Sasaki, T., T. Maki, S. Oohashi and K. Akagi, 2003 : Optimal sampling network and availability of data acquired at inland sites. *GAW Report series*, (148), 77-79.