

東アジアの温室効果ガス収支推定のための大気多成分観測データの診断モデル解析

独立行政法人国立環境研究所

地球環境研究センター Shamil Maksyutov (シャミル マクシュートフ)

地球環境研究センター 古山祐治

地球環境研究センター Vinu Valsala (ビニュー バルサラ)

平成18～20年度合計予算額	54,092千円
(うち、平成20年度当初予算額	16,278千円)

[要旨] 東アジア・東南アジア諸国では、この10年間に約2倍増という速度で大気汚染ガスや温室効果ガスの排出量が増加している。大気汚染規制と温室効果ガス排出削減の政策を実施するためには、地域・都市スケールでの排出量を正確に見積もることが特に重要となっている。そのため本研究では、東アジア地域における大気多成分（主として二酸化炭素等の温室効果ガス）の発生・吸収の空間分布（フラックス）を定量的に解析及び導出する手法を確立することを目的としている。

平成20年度は、観測データとモデル計算値から二酸化炭素のフラックスを推定するモデル（インバースモデル）を開発し、亜大陸スケールで月平均フラックスの季節変動を計算した。インバースモデルに使用する観測データには、米国海洋大気庁（NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration）の地球システム研究所（ESRL: Earth System Research Laboratory）が提供しているフラスコデータを採用した。更に、東アジアのフラックス解析の精度を高めるため、国立環境研究所・地球環境研究センターが波照間及び落石岬の両ステーションで行っている連続観測のデータも併せて使用した。インバースモデルに導入する大気輸送モデルには、全球規模のグリッド型輸送モデルと地域規模のラグランジアン型輸送モデルを組み合わせた“結合モデル”を採用した。

[キーワード] 地球温暖化、二酸化炭素、インバース計算、大気輸送モデル、フラックス

1. はじめに

中国・東南アジアの各国の急速な経済発展は、大気汚染ガス（主として NO_x ）や温室効果ガス（主として二酸化炭素）の排出の急速な増加をもたらしており、この10年間でほぼ2倍に達している。現在、深刻な問題として取り上げられている地球温暖化を抑制するためには、これらの国々の温室効果ガス排出量の削減が必須である。そのためには、統計データが不十分な国々でも、限られた大気観測データから温室効果ガス排出量を地域・都市スケールで算出する手法が求められる。

現在、地球規模では百を超える二酸化炭素濃度の観測データから、二酸化炭素の発生源や吸収

源を、全球を20または64領域程度に分割した分解能で推定する手法（大気輸送のインバースモデル）が成果をおさめている。最近では分解能を100程度にあげる努力がなされており、成果が生まれつつある。更に、北米やヨーロッパでは地域レベルにこの手法を適用する研究が進んでいる。しかし、これらのインバースモデルの手法は高密度の観測ネットワークを有する地域でないと精度よく収支分布を推定できない。諸事情により、東アジアでは欧米のような高密度の観測ネットワークを早急に形成できる見込みがない。しかしながら、国立環境研究所のモニタリングステーションなど、高度なモニタリング技術をもつ機関によって、二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスだけでなく、一酸化炭素、酸素／窒素比、二酸化炭素やメタンの同位対比、ハロカーボンや六フッ化硫黄など、多成分の観測データの蓄積がなされている。そのため、これらのデータを駆使することで観測点数が少ない東アジア等の地域においても、インバースモデルにより温室効果ガスの発生・吸収の空間分布を、欧米地域並みの水準で推定できると期待される。

インバース計算においては、インバースモデルに導入する大気輸送モデルの影響が結果に大きく反映する。異なった大気輸送モデルが全球的な二酸化炭素の収支分布に与える影響の体系的な評価の国際的な取り組みとして、TransComによる研究が知られている^{1) 2) 3) 4) 5)}。東アジアのような地域的に温室効果ガスの収支分布の推定を行う場合、比較的低空間分解能な大気輸送のシミュレーションに適したグリッド型輸送モデルと、高空間分解能なシミュレーションに適したラグランジアン型輸送モデルを併用することが有効であると考えられる。

2. 研究目的

本研究の目的は、限られた観測地点のデータしか有していない東アジア地域の温室効果ガスの発生・吸収の空間分布を、可能な限り正確に推定することである。観測データの不足に関しては、国立環境研究所・地球環境研究センターが波照間及び落石岬で行っている連続観測のデータで補填する。従って、大量にある連続観測データを取り扱うことが可能であるインバースモデルの開発が必要となる。

3. 研究方法

図1は本研究課題の研究手法の概要である。平成18年度、平成19年度は主に図中の“グリッド型とラグランジアン型を併用した輸送モデル（結合モデル）”の開発を行った。その際、グリッド型モデルにはNIES輸送モデル⁶⁾を、ラグランジアン型モデルにはFLEXPART⁷⁾を採用した。本研究課題の最終年度にあたる平成20年度は、最終目的である“温室効果ガスの発生源のタイプと空間分布”を定量的に導出するインバースモデルの開発に重点を置いて研究を行った。

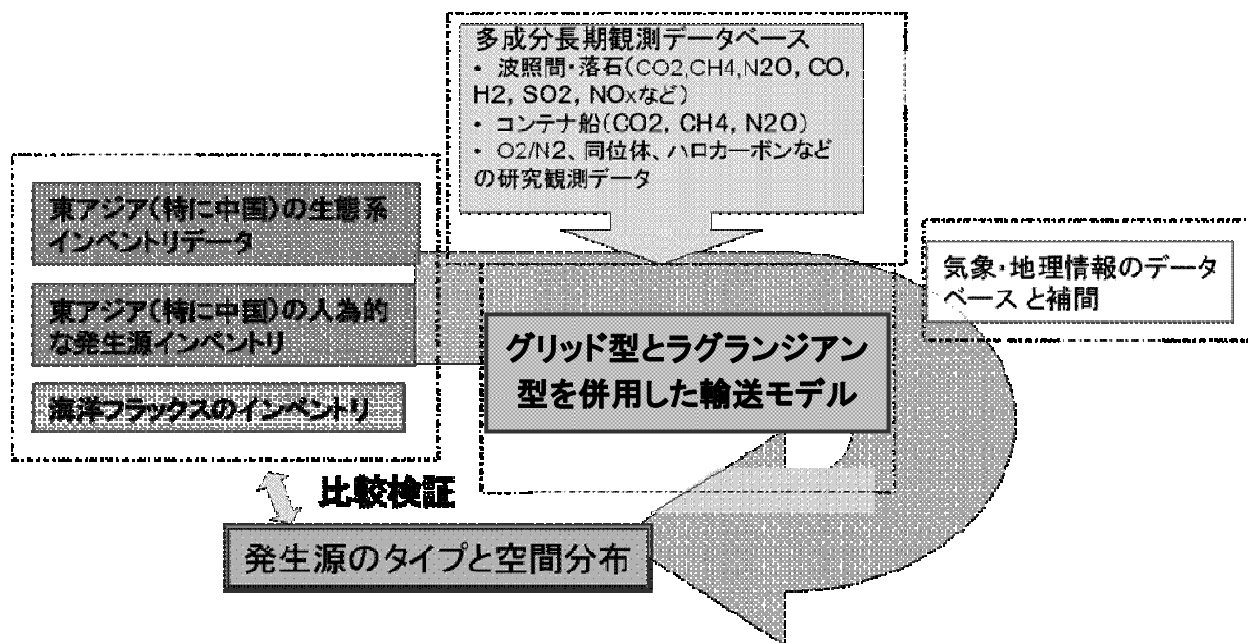


図1 本研究課題における研究手法の概要 (3ヵ年度分)

(1) 結合モデルの概要

結合モデルで温室効果ガス濃度を計算するには、ラグランジアン型粒子拡散モデル (FLEXPART) で観測地点から放出された空気塊のバックトラジェクトリを計算しなければならない。バックトラジェクトリとは、放出時刻から時間を過去に遡って追跡した空気塊の軌跡であり、バックトラジェクトリを計算することで我々は、空気塊が如何なる経路を辿って観測地点に到達したかを知ることができる。この空気塊のバックトラジェクトリと地表面フラックスを用いることで、空気塊が観測地点に到着するまでに、空気塊が内包する温室効果ガス濃度の変化量を計算することが可能となる。以下に、どのような数式に基づいて濃度計算が行われるかを説明する。

空気塊が観測地点に到着するまでの、地表面フラックスの影響による、個々の空気塊中の温室効果ガス濃度の収支の総和(ΔC)は式(1)のように表される⁸⁾。

$$\Delta C = \frac{1}{M} \int_{T_b}^{T_e} dt \int^{\Delta z} dz \int^{N_y} \int^{N_x} C_{FLEX}(x, y, z) \cdot \frac{\delta C}{\delta t} dx dy \quad \text{式(1)}$$

ここで、 T_b はバックトラジェクトリの追跡開始日時(濃度の観測日時)、 T_e はバックトラジェクトリの追跡終了日時、 M は放出した空気塊の総質量、 Δz は鉛直方向に配置された最下層のモデル・グリッドの高さ、 N_y 、 N_x はそれぞれ緯度、経度方向のシミュレーション・グリッドの個数、 $C_{FLEX}(x, y, z)$ は経度方向 x 、緯度方向 y 、高度 z に位置するシミュレーション・グリッド内の空気塊密度である。ただし、高度方向の積分範囲の上限が Δz であるため、積分の対象となるグリッドは最下層グリッドのみとなる。

式(1)における $\delta C / \delta t$ はシミュレーション・グリッド内の温室効果ガス濃度の変化率であり、それは地表面フラックス(F)を用いて式(2)のように与えられる。

$$\frac{\delta C}{\delta t} = \frac{F(x, y, t)}{\Delta z} \quad \text{式(2)}$$

式(2)を式(1)に代入し z に関して積分を行うと、以下の式(3)が導出される。

$$\Delta C = \frac{1}{M} \int_{T_b}^{T_e} dt \int^{N_y} \int^{N_x} C_{FLEX}(x, y) \cdot F(x, y, t) dx dy \quad \text{式(3)}$$

地域規模のラグランジアン型モデルであるFLEXPARTのみ(式(3)のみ)で、温室効果ガスの季節変動といった全球規模の気象現象を再現するためには、最低でも3ヶ月程度のバックトラジェクトリ計算が必要となる。しかし、インパースモデルに必要な空気塊の全バックトラジェクトリを3ヶ月も計算することは膨大な計算資源を要するため、効率的な方法とは言いがたい。バックトラジェクトリの現実的な追跡期間はせいぜい数週間程度である。

そこで、全球規模のグリッド型モデルであるNIES輸送モデルを使用して、全球の温室効果ガス濃度分布を計算し、下記の式(4)に基づいてバックトラジェクトリ追跡終了日時(T_e)に、予め空気塊中に含まれる温室効果ガス濃度(C_{init})を計算する。

$$C_{init}(T_e) = \frac{\int^{n_z} \int^{n_y} \int^{n_x} C_{FLEX}(x, y, z, T_e) \cdot C_{NIES}(x, y, z, T_e) dx dy dz}{\int^{n_z} \int^{n_y} \int^{n_x} C_{FLEX}(x, y, z, T_e) dx dy dz} \quad \text{式(4)}$$

式(4)において、 n_y 、 n_x はそれぞれ緯度、経度方向のNIES輸送モデルのシミュレーション・グリッドの個数であり、 n_z はNIES輸送モデルの鉛直レベル数である。 C_{NIES} はNIES輸送モデルで計算した温室効果ガスの全球の三次元濃度分布である。尚、式(4)の積分を行う際、FLEXPARTのグリッド解像度を N_x 、 N_y 、 N_z からNIES輸送モデルのグリッド解像度 n_x 、 n_y 、 n_z にスケーリングする。

結合モデルで最終的に求められる温室効果ガス濃度(C)は、式(5)のように式(3)で求めた ΔC と式(4)で求めた C_{init} を足し合わせたものである。

$$C(T_b) = \Delta C + C_{init}(T_e) \quad \text{式(5)}$$

式(5)に基づいて濃度を計算することにより、数週間程度のバックトラジェクトリからでも、観測地点周辺のフラックスの影響による細かい濃度変化だけでなく、季節変動といった大規模な気象現象も再現することが可能となる。

(2) インバースモデルの概要

結合モデルから計算される、温室効果ガス濃度の結果を左右する大きな要因のひとつは地表面フラックスである。従って、地域的なフラックスの値を調整することで、モデル結果を実測値に近づけることが可能である。このようなアプローチから地表面フラックスを決定するモデルがインバースモデルである。

本研究では、ベイズ統計学を応用したBayesian synthesis inversion⁹⁾ (Bayesian インバージョン) を用いてフラックスの推定を行った。この手法では、観測データ (\mathbf{D}^0) とインバースモデルによって推定されるフラックス (ア・ポステリオリ・フラックス, \mathbf{S}) を使用して、モデル計算値 ($\mathbf{D}=\mathbf{G}\cdot\mathbf{S}$, ここで \mathbf{G} は輸送演算子マトリックス) と実測値との差異が減少するように、コスト関数(\mathbf{F})を最小化する。フラックスの初期値 (ア・プリオリ・フラックス) を \mathbf{S}^0 、ア・ポステリオリ・フラックスを \mathbf{S} とすると、コスト関数は式(6)のように表される。

$$\mathbf{F} = (\mathbf{GS} - \mathbf{D}^0) \cdot \mathbf{C}_{\mathbf{D}^0}^{-1} \cdot (\mathbf{GS} - \mathbf{D}^0)^T + (\mathbf{S} - \mathbf{S}^0) \cdot \mathbf{C}_{\mathbf{S}^0}^{-1} \cdot (\mathbf{S} - \mathbf{S}^0) \quad \text{式(6)}$$

ここで、 $\mathbf{C}_{\mathbf{D}^0}$ は観測データの不確かさの共分散行列、 $\mathbf{C}_{\mathbf{S}^0}$ はア・プリオリ・フラックスの不確かさの共分散行列である。ちなみに、ア・ポステリオリ・フラックスの不確かさ($\mathbf{C}_{\mathbf{S}}$)は式(7)から数学的に予測できる。

$$\mathbf{C}_{\mathbf{S}} = (\mathbf{G}^T \cdot \mathbf{C}_{\mathbf{D}^0}^{-1} \cdot \mathbf{G} + \mathbf{C}_{\mathbf{S}^0}^{-1})^{-1} \quad \text{式(7)}$$

本研究では、全球を64領域 (陸域44領域、海域22領域) に分割し (図2) 、各領域における二酸化炭素の月平均フラックスをインバース計算より推定した。

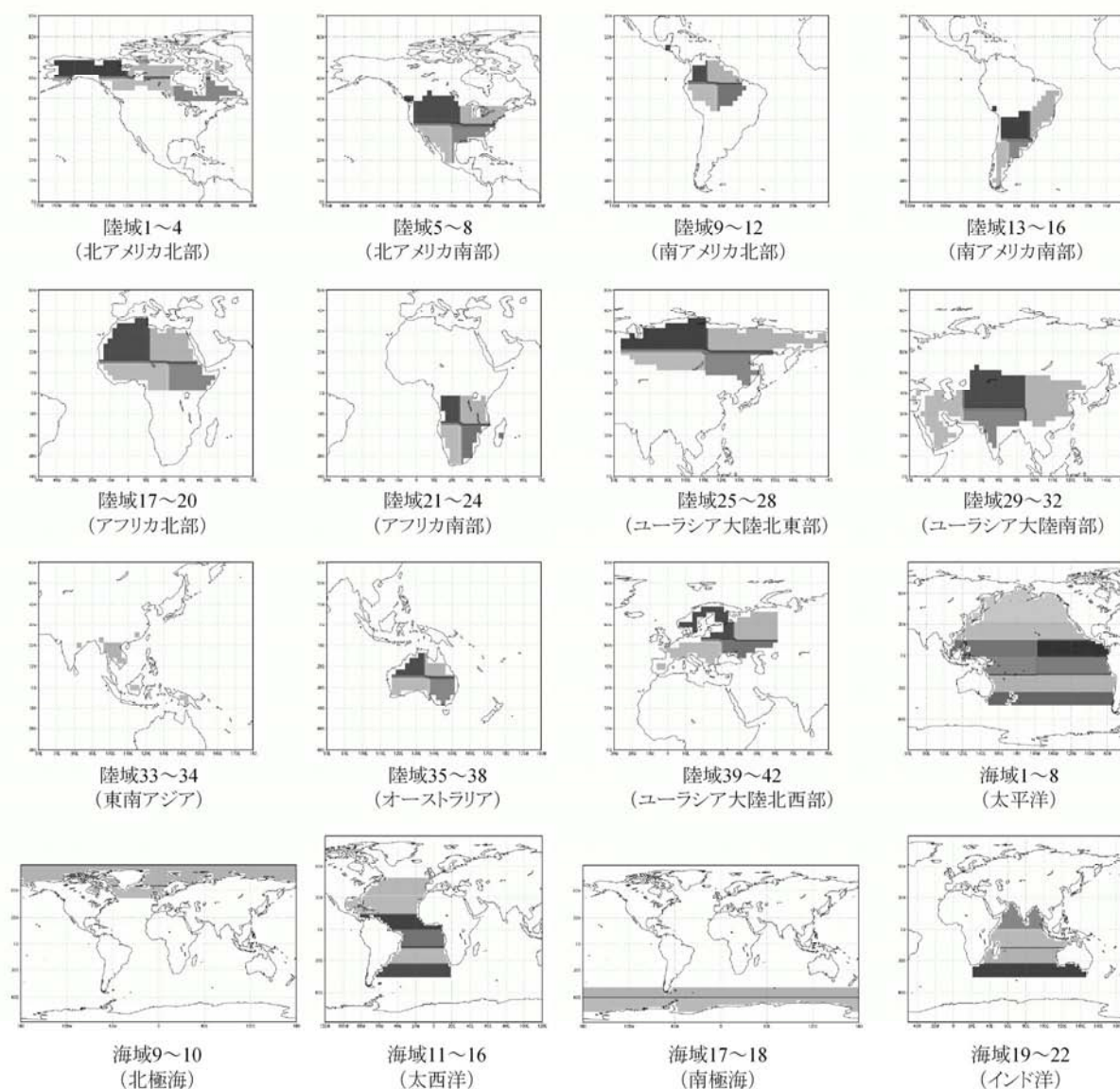


図2 インバース計算によりフラックス推定を行った64領域

インバース計算に使用する観測データは、米国海洋大気庁 (NOAA) の地球システム研究所 (ESRL) が提供しているデータ¹⁰⁾を採用した。結合モデルはグリッド型モデルでは捕らえきれない観測データの細かい濃度ピークの変動も再現することが可能である (平成19年度報告書参照)。この結合モデルの利点を生かすため、観測データは近似曲線化 (データフィッティング) がなされていないフラスコデータを使用した。更に、東アジア地域のフラックス推定の精度を高めるために、国立環境研究所・地球環境研究センターが波照間及び落石岬の両ステーション (図3) で行っている連続観測のデータ¹¹⁾も併せて使用した。波照間の連続観測は1993年から、落石岬の連続観測は1995年から行われているが、両観測ステーションの1年分のデータが揃っているのは1996年からである。そこで、本研究ではインバース計算の端緒として1996年を対象年として選んだ。

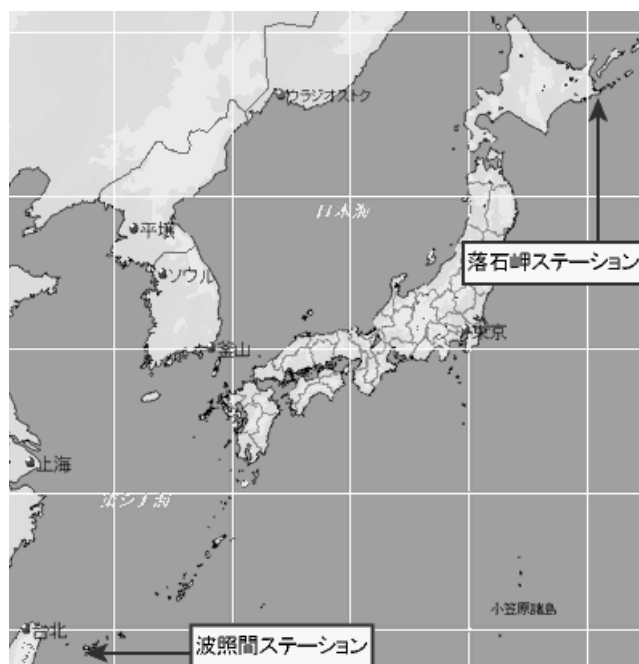


図3 波照間及び落石岬ステーションの所在地

多くのインバース計算で採用されている“batchモード”¹²⁾と呼ばれる解法では、計算の対象期間に含まれる全ての観測データとモデル計算値を使用して、一度に全領域のフラックス推定値の最適解を求める。従って、データ数が多ければ多いほど、計算に多くの時間を要する。例えば、データの年平均値を用いて年平均フラックスを推定する場合と、月平均値を用いて月平均フラックスを推定する場合は、後者の輸送演算子マトリックス(G)のサイズは前者の12乗倍大きくなる。本研究では、月平均フラックスを推定する際に観測データの平均化は行わず、オリジナルのデータのまゝを用いた。従って、batchモードでインバース計算を行うには、扱う行列のサイズが大きすぎるため、多くの計算資源が必要となる。この問題を避けるために、我々はBruhwiler等によって提唱されたアルゴリズムである“fixed-lag Kalman smoother technique”¹³⁾に基づいてインバース計算を行い、月平均フラックスを推定した。この手法では一定の時間窓を設け、設定した時間窓内でのインバース計算を、時間窓を1月ずつずらして繰り返し行っていく。従って、時間窓を N ヶ月と設定した場合、各月の平均フラックスは N 回推定されることになる。その際、 M 回目 ($M \leq N$) のインバース計算には、 $M-1$ 回目で推定されたフラックスをア・プリオリ・フラックスとして使用する。この手法を用いることで、計算資源を大幅に節約することができ、効率よくフラックスの推定を行うことができる。

(3) ア・プリオリ・フラックス

本研究では、表1に示してある三通りのフラックスセットを、ア・プリオリ・フラックスとして用いインバース計算を行った。使用したフラックスの空間分解能は全て $1^\circ \times 1^\circ$ (緯度 \times 経度)である。尚、フラックス1には表中に挙げたフラックスの他に、NIES輸送モデルによるインバージョンから得られた補正フラックスも加えた。

表1 インバース計算で使用したア・プリオリ・フラックス

	化石燃料燃焼起源	純生態系生産	大気-海洋間交換
フラックス1	fossil98 ¹⁴⁾	CASA ¹⁵⁾	Takahashi-2002 ¹⁶⁾
フラックス2	fossil98	CASA	OTTM
フラックス3	fossil98	Optimized CASA	OTTM

① Optimized CASAフラックス

純生態系生産とは、純一次生産（植物が光合成によって取り込んだ炭素量と呼吸によって放出した炭素量の差）と従属栄養呼吸（森林内の微生物や動物などの呼吸）による放出炭素量の差のことである。純一次生産と従属栄養呼吸によって放出される炭素量は、CASAモデル内において最大光利用効率と反応速度増加率といった二種類のパラメータでコントロールされている。

“Optimized CASA” はこれら二種類のパラメータを最適化することによって求められたフラックスである。

パラメータの最適値(\mathbf{p})は、Bayesian インバージョンに基づき、下記の式(8)で表されるコスト関数(J)を最小化することで求めた。

$$J = (\mathbf{x} - \mathbf{M}(\mathbf{p}))^T \mathbf{C}_x^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{M}(\mathbf{p})) + (\mathbf{p} - \mathbf{p}_0)^T \mathbf{C}_{p0}^{-1} (\mathbf{p} - \mathbf{p}_0) \quad \text{式(8)}$$

ここで、 \mathbf{x} は二酸化炭素の観測データ、 $\mathbf{M}(\mathbf{p})$ は最適なパラメータより得られるフラックス (Optimized CASA) から計算したNIES輸送モデルの濃度、 \mathbf{p}_0 はパラメータの初期値、 \mathbf{C}_x と \mathbf{C}_{p0} はそれぞれ観測値とパラメータ初期値の不確かさの共分散行列である。

Optimized CASAを得る際のア・プリオリ・フラックスとしては、van der Werf 等が熱帯地方の森林火災や木質燃料燃焼による放出炭素量を考慮して最適化したCASAモデル¹⁷⁾を採用した。ただし、森林火災の経年変動は、純生態系生産の平均季節変動を得る際、その値に不規則性を生じさせてしまうため¹⁸⁾、全てのモデル・グリッドの火災発生率のパラメータ値にゼロを与えて森林火災の影響を排除してインバース計算を行った。

インバース計算に使用する観測データには、NOAA/ESRLの[GLOBALVIEW-CO2, 2007]¹⁹⁾データの内、15カ所のサイトのものを選択した。サイトの地表面付近の濃度データと部分気柱量データの二種類のデータセットでインバージョンを行ったところ、部分気柱量データを使用したインバース計算の方から、より良く最適化されたフラックスが得られた。これは、NIES輸送モデルの鉛直方向の拡散が弱いことに起因している。

② OTTM フラックス

海洋は、化石燃料の燃焼等により人為的に発生する二酸化炭素の相当数（およそ三割）を吸収している。観測データは毎年1.45ペタグラムの二酸化炭素（炭素換算値）を取り込む吸収源としての役割を、海洋が果たしていることを示唆している²⁰⁾。この吸収量は長期的なトレンドを示しながら変化しているが²¹⁾、変則的に大きな変動も起こる。例えば、エルニーニョ現象が発生する年には通例、その吸収量は0.6ペタグラム程度増加する²²⁾。

海面における海水の二酸化炭素分圧($p\text{CO}_2$)は多くの船舶により各海域で観測されており、 $p\text{CO}_2$

の分布や大気-海洋間フラックスのデータは Takahashi 等のデータベースに収められている。しかし、数年以上にわたる期間において観測が行われているのは北太平洋といった主要な海域に限られている。1995年に開始された北太平洋域における船舶による観測プログラムは現在も継続されており、当該地域の海水及び大気中 $p\text{CO}_2$ の変動に関する貴重な情報を提供し続けている。この観測は日本と米国、また他のアジア太平洋地域の国々との間を定期航行する貨物船により行われている。

複数年にわたる北太平洋での $p\text{CO}_2$ 観測データは、海面 CO_2 フラックスの経年傾向や $p\text{CO}_2$ の季節変動を調査するにあたり大変重要であり²³⁾、これらの観測データを使用して生物地球化学大循環モデルより $p\text{CO}_2$ 計算値の調節や修正をすることも可能である。 $p\text{CO}_2$ の計算には、シンプルな生物地球化学モデルを使用した。このモデルは再解析海流データを基にする海洋大循環モデル (OGCM: Ocean General Circulation Model) と連動する。OGCM では、海水の物理的循環のシミュレーションは Valsala 等²⁴⁾が開発したオフライン海洋輸送モデル (OTTM: An off-line Ocean Tracer Transport Model) により行われる。OTTM では、三次元空間での循環速度や温度、塩分濃度に加え他の物理的パラメータを海流再解析データより取り入れ、大気-海洋間の気体交換により平衡が保たれている溶存無機炭素 (DIC: Dissolved Inorganic Carbon) をトレーサーとし、その濃度が計算される。海水中の DIC は、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^{-} 、溶存する CO_2 から成る。これら DIC の構成系はモデル内で1つのトレーサーとして扱われる。また、化学反応のシミュレーションは、第二次海洋炭素循環モデル比較プロジェクト (OCMIP-II: Ocean Carbon-Cycle Model Intercomparison Project-II) で使用された溶解ポンプモデルと、生態系モデル²⁵⁾により行われる。

海流再解析データに関しては、米国プリンストン大学地球物理流体力学研究所より提供されているものを使用した。このデータは気候モデル (CM2.1) と連動するモジュラー海洋モデル (MOM4-SIS) により処理される。再解析処理の中では、モデル計算の海水温度プロファイルを米国海洋データセンターの提供する観測値に同化している。
([http://nomads.gfdl.noaa.gov:9090/dods/GODAE0cean Assimilation/om3siscoreassimv7c/](http://nomads.gfdl.noaa.gov:9090/dods/GODAE0cean%20Assimilation/om3siscoreassimv7c/))

トレーサーである DIC 濃度を線形処理する簡易な生態系及び化学アルゴリズムを用いると、随伴行列は比較的容易に得ることができ、それを用いて $p\text{CO}_2$ モデル計算値を観測値に調整することが出来る。計算値と観測値の調整には、Ikeda 等²⁶⁾の手法に似たコスト関数を低減する同化方法を用いた。この方法は以下の (a)~(c) の段階に分かれている。

- (a) 海洋輸送モデルの計算を初期設定日時より同化が必要な2ヶ月の区切りまで実行する。海面の $p\text{CO}_2$ や DIC、その他の変数は船舶観測の航路に沿って計算、保存される。計算期間の区切りを2ヶ月としたのは、海面 $p\text{CO}_2$ は比較的早く大気と平衡になるためであり、またそれにより長期の逆計算において随伴行列は初期値に対し僅かな調整しかできないためである。
- (b) 観測値-モデル計算値間の不均衡シミュレーションは終了60日目から1日目へと逆方向に計算される。ここでは混合と拡散の方向を変更せずに海流の向きのみを反転させ、モデル計算を逆の時間方向に実行するという方法を使った。この手法は Fukumori 等の示す方法²⁷⁾に類似する。モデルのコントロール変数は DIC のみである。海面 $p\text{CO}_2$ 観測値は、再解析データに含まれる海面高度と海面塩度を基にして相当する二酸化炭素濃度に変換される。DIC の生物系及び真水フラックスに対する感度は線形に保たれており、これらのフラックスは随伴行列に線的に

貢献する。

(c) コスト関数は下降型アルゴリズム²⁸⁾を用いて最小化される。このアルゴリズムでは、それぞれの反復において初期値がコスト関数の勾配により修正される。この反復は航路におけるモデル pCO_2 計算値の不均衡がある基準より低くなるまで繰り返し行われる。

上記(a)～(c)の手順を基にして、1996年から2004年までのデータに関してモデル計算値の同化を行い、 pCO_2 の月平均値及び大気-海洋間の月平均 CO_2 フラックスを求めた。

(4) 結合モデルのシミュレーション条件

① FLEXPARTのシミュレーション条件

FLEXPARTのモデル空間分解能は水平方向が $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 、鉛直方向には3個のグリッドを、0(地表面)～300 m、300 m～2,000 m、2,000 m～10,000 mの間隔で配置した。各観測サイトから放出する空気塊の個数は10,000個、軌跡の追跡期間は1週間とした。また、気象データは気象庁の気候データ同化システム(JCDAS: JMA Climate Data Assimilation System)の再解析データを使用した。

② NIES輸送モデルのシミュレーション条件

NIES輸送モデルの空間分解能は、水平方向 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 、鉛直方向は σ 座標(気圧座標を地表面気圧で規格化した座標系)で15層、上端は 0.03σ である。モデルに入力する気象データは米国国立環境予報センター(NCEP: National Centers for Environmental Prediction)の客観解析データを使用した。

4. 結果・考察

(1) NOAA/ESRLフラスコデータとア・プリオリ・フラックスを用いた計算値の比較

インバース計算を行う際、大気輸送モデルが十分正確であることが前提となる。少なくとも、人為的汚染の影響の少ないサイト(バックグラウンドサイト)において、実測値と計算値の季節変動が一致することが望ましい。図4, 5, 6はそれぞれ高緯度、中緯度、低緯度に位置する代表的な3カ所のバックグラウンドサイト(高緯度:アラート, カナダ 中緯度:マウナロア, ハワイ 低緯度:昭和基地, 南極)における、ESRLフラスコデータと計算値との比較である。図を見ると、細かいピークに関しては実測値と計算値の間に多少の違いが見られるが、季節変動はほぼ一致している。また、フラックス1を用いた計算値とフラックス2, 3を用いた計算値を比較すると、夏場は両者との間にほとんど差異はないが、冬場は若干の違いが見られる。これは、おそらく夏場よりも冬場の方が海風が強いために、使用した海洋フラックスの違いの影響が現れているものと思われる(フラックス1: Takahashi-2002 フラックス2, 3: OTTM)。

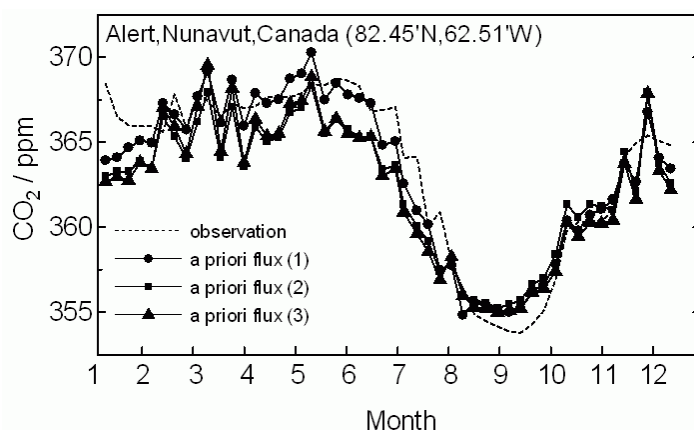


図4 アラート（北緯82.45度, 西経62.51度）の二酸化炭素濃度変動

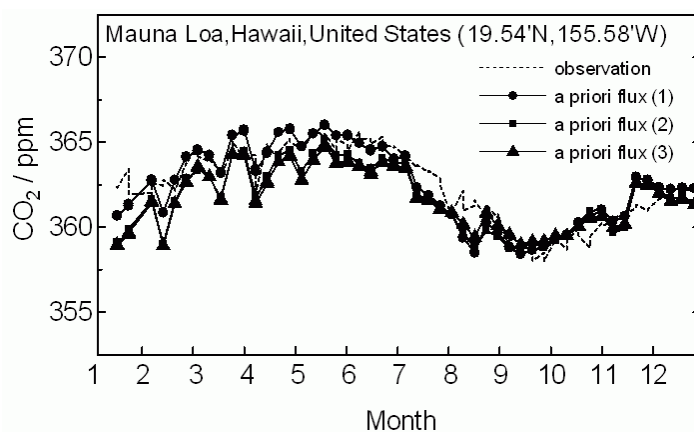


図5 マウナロア（北緯19.54度, 西経155.58度）の二酸化炭素濃度変動

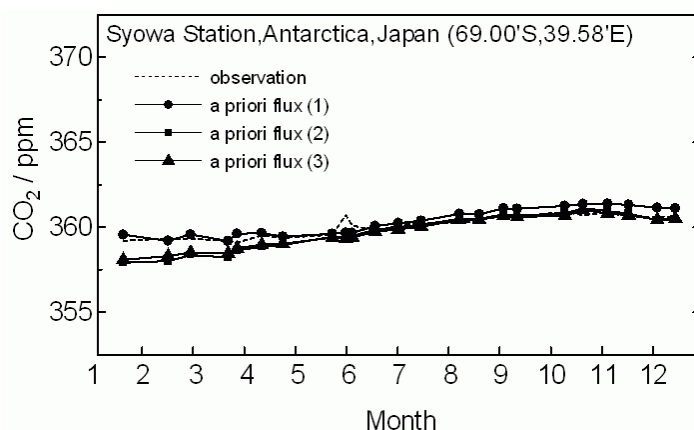


図6 昭和基地（南緯69.00度, 東経39.58度）の二酸化炭素濃度変動

(2) インバース計算の結果

① フラックス推定回数と推定値の関係

本稿3章2節“インバースモデルの概要”で述べたように、fixed-lag Kalman smoother techniqueに基づいたインバース計算では時間窓をNヶ月と設定した場合、各月のフラックスはN回推定され

ることになる。図7～図10は全64領域の中で全球を代表し得る4領域（陸域3：アラスカ地方、陸域7：アメリカ合衆国北西部、陸域10：アマゾン川下流地域、海域5：太平洋東部赤道付近）の7月のフラックスを、時間窓を6ヶ月として推定した場合の、推定回数に対する計算結果の依存性を示している。尚、ア・プリアリ・フラックスとしてはフラックス1を使用している。領域10（アマゾン川下流地域）を除いた3領域のフラックスに関しては、1回目の推定から2回目の推定で大幅にその値が変動し、後の4回の推定ではそれほど大きな変化は見られない。フラックス推定値の不確かさに関しては、どの領域も一回目の推定から二回目の推定で大きく減少したあとは、ほぼ一定の値となり、最後の推定で再び減少するといった傾向が見られる。尚、時間窓を4ヶ月とした場合も、時間窓が6ヶ月と同様の結果が得られた（図11～図14）。

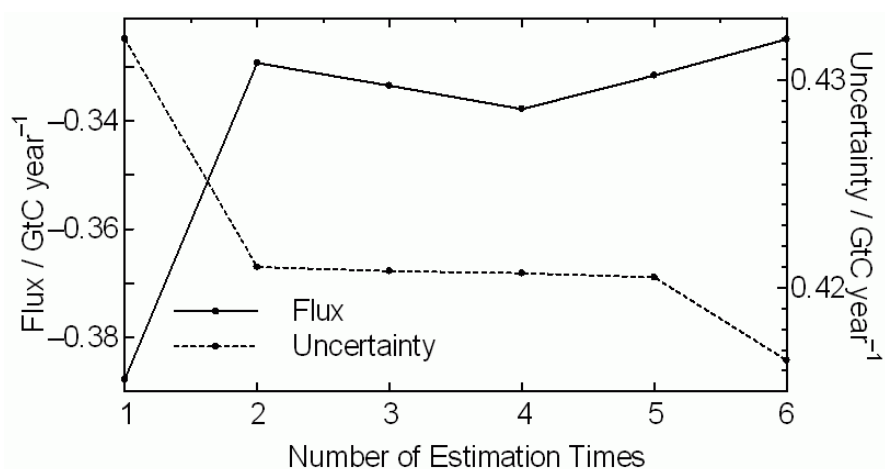


図7 陸域3（アラスカ地方）のフラックスと不確かさの推定回数依存性（時間窓：6ヶ月）

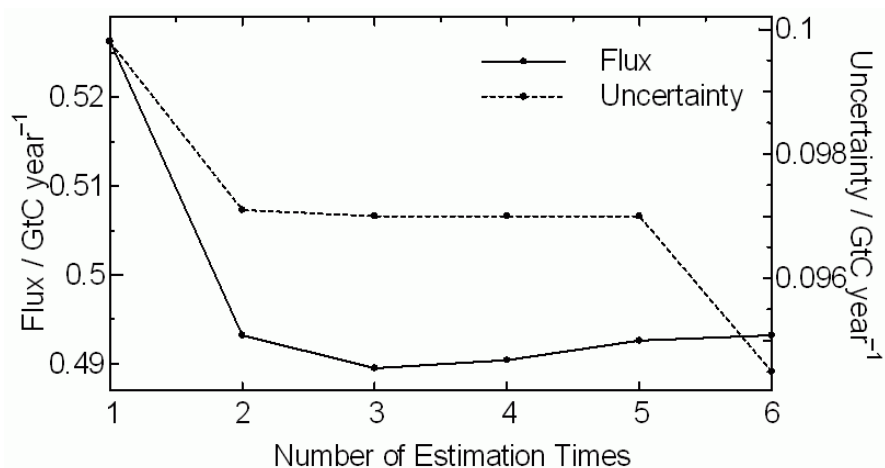


図8 陸域7（アメリカ合衆国北西部）のフラックスと不確かさの推定回数依存性（時間窓：6ヶ月）

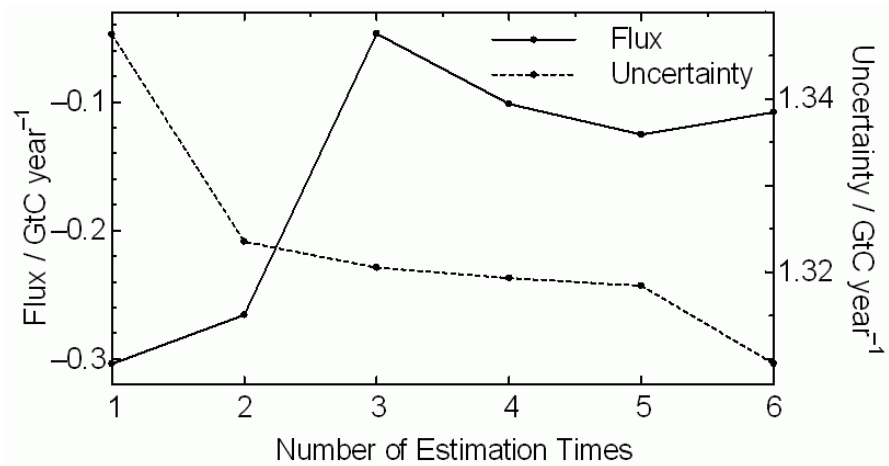


図9 陸域10（アマゾン川下流地域）のフラックスと不確かさの推定回数依存性（時間窓：6ヶ月）

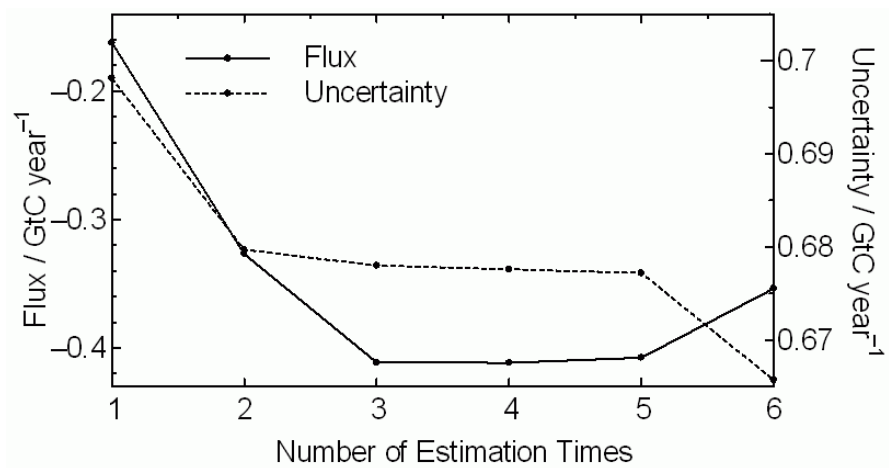


図10 海域5（太平洋東部赤道付近）のフラックスと不確かさの推定回数依存性（時間窓：6ヶ月）

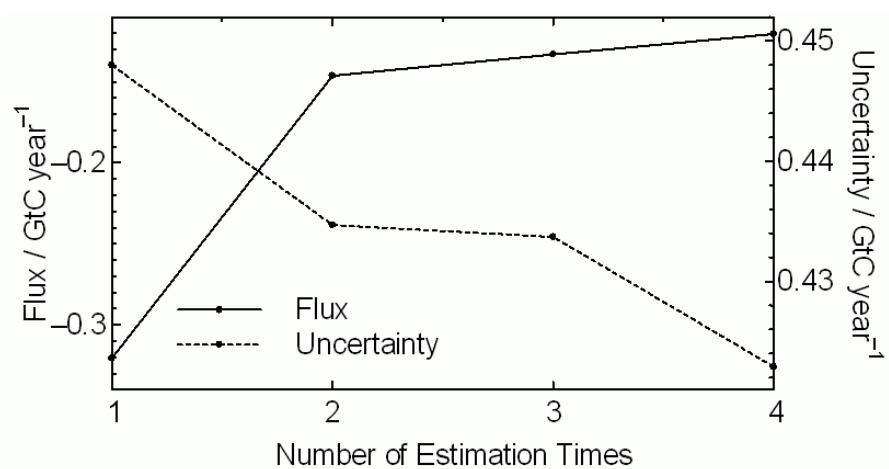


図11 陸域3（アラスカ地方）のフラックスと不確かさの推定回数依存性（時間窓：4ヶ月）

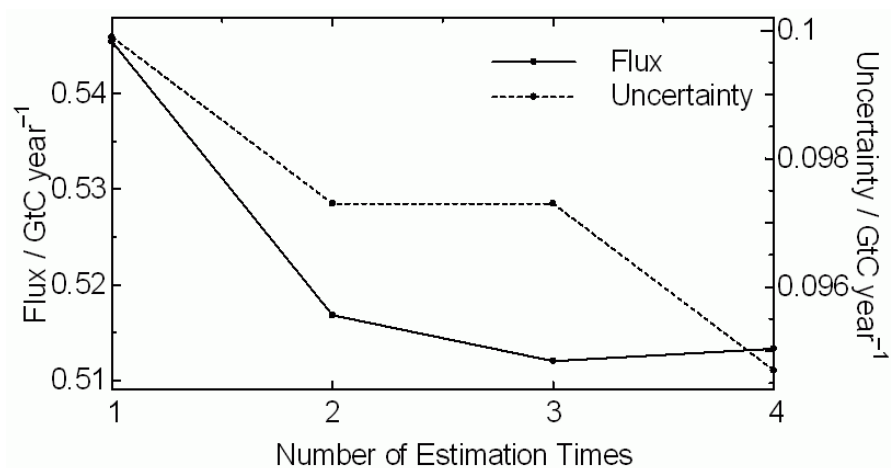


図12 陸域7 (アメリカ合衆国北西部) のフラックスと不確かさの推定回数依存性 (時間窓: 4ヶ月)

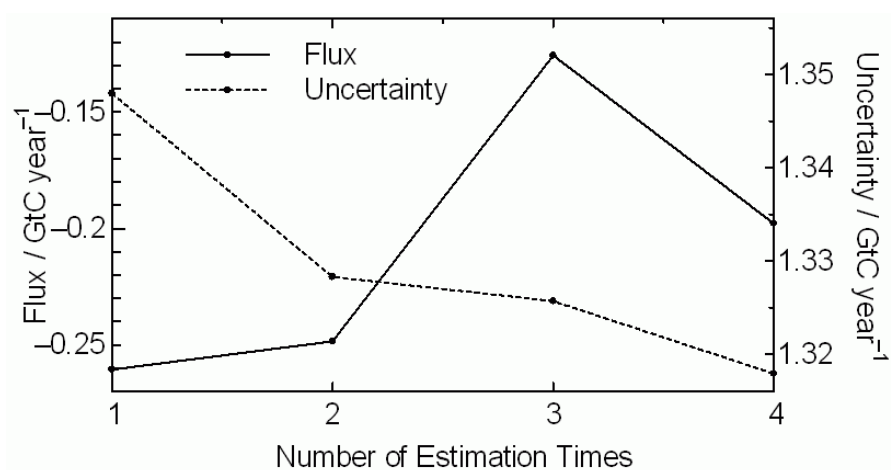


図13 陸域10 (アマゾン川下流地域) のフラックスと不確かさの推定回数依存性 (時間窓: 4ヶ月)

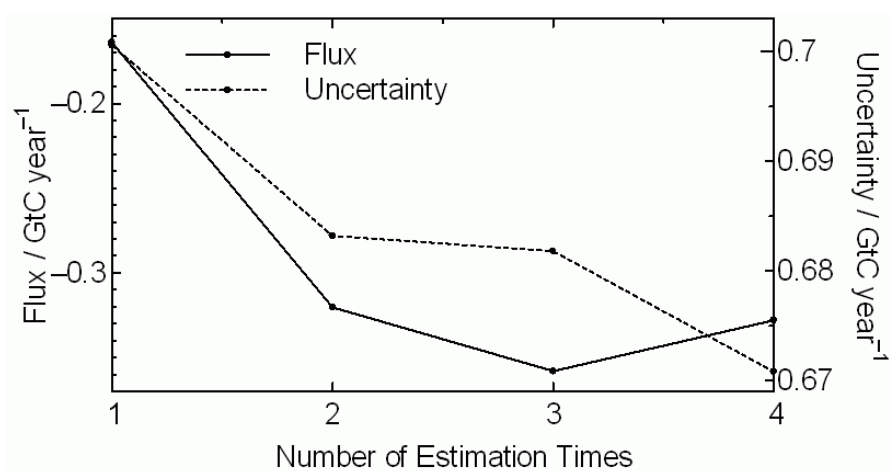


図14 海域5 (太平洋東部赤道付近) のフラックスと不確かさの推定回数依存性 (時間窓: 4ヶ月)

② 時間窓の間隔がインバース計算に及ぼす影響

fixed-lag Kalman smoother technique に基づいてインバース計算を行う場合、設定した時間窓の違いによって、得られるフラックスの推定値が異なることが予想される。図15～図18は、前述の4領域のフラックスを6種類の時間窓（1～6ヶ月）を使用して推定した結果である。

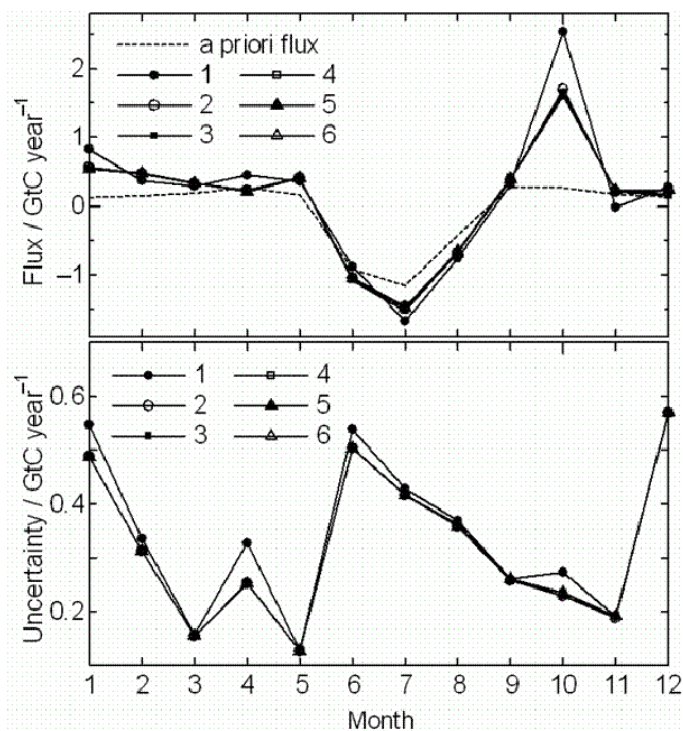


図15 陸域3（アラスカ地方）のフラックス（上段）と不確かさ（下段）

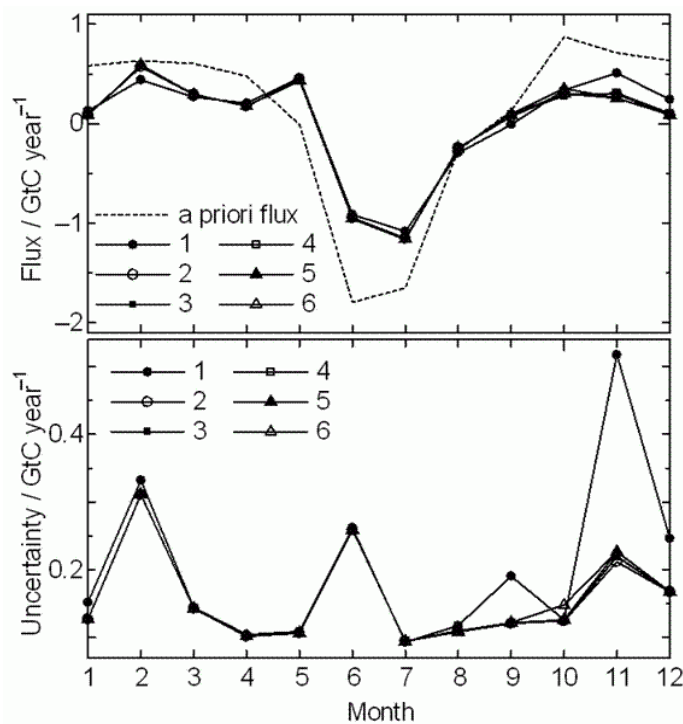


図16 陸域7（アメリカ合衆国北西部）のフラックス（上段）と不確かさ（下段）

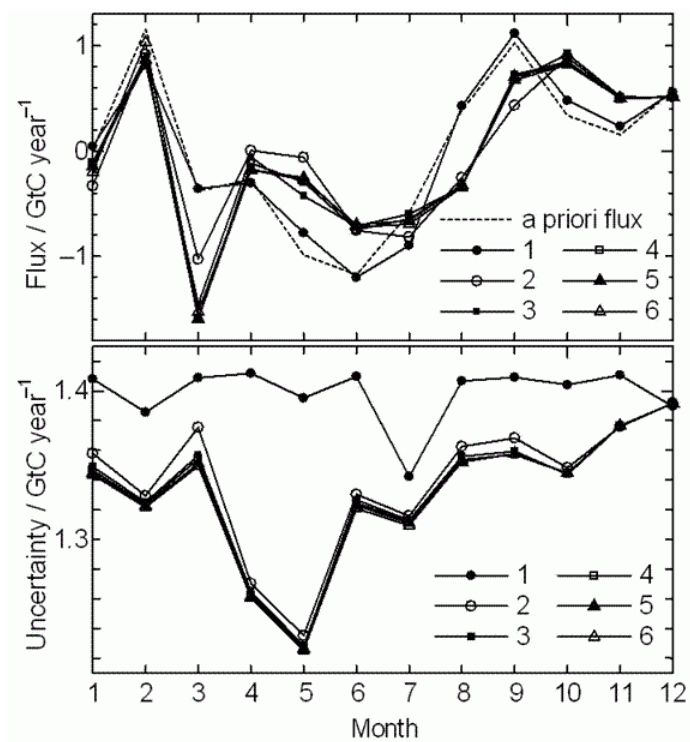


図17 陸域10（アマゾン川下流地域）のフラックス（上段）と不確かさ（下段）

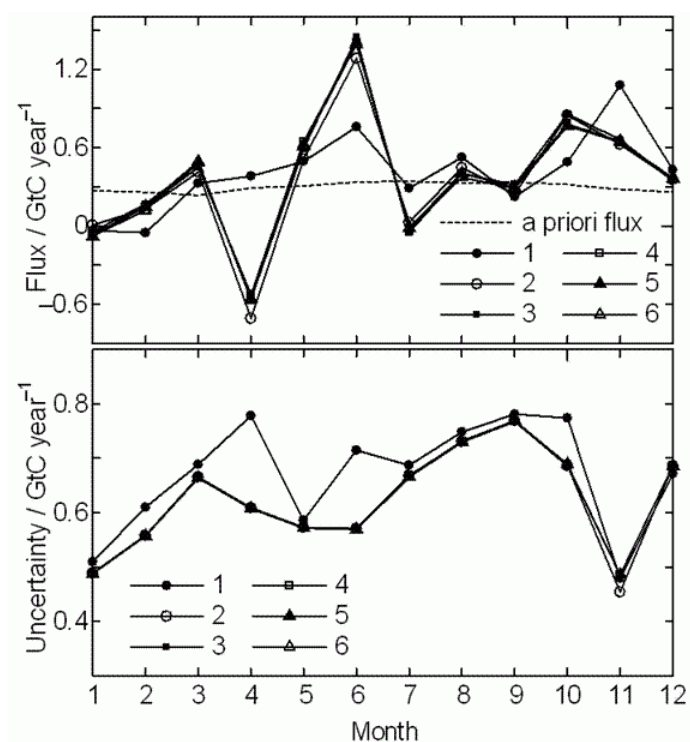


図18 海域5（太平洋東部赤道付近）のフラックス（上段）と不確かさ（下段）

図を見ると、どの領域に関しても時間窓1ヶ月のフラックス推定値と他の推定値との間には明確な違いが確認でき、時間窓3ヶ月ではほぼ推定値は収束していることが分かる。フラックス推定値の不確かさに関しても同様のことが言える。計算結果の精度と計算時間の両方を考慮に入れると、時間窓は3ヶ月が妥当であると考えられる。以下、本稿で示す計算結果は全て時間窓を3ヶ月として計算したものである。

③ 全64領域の月平均ア・ポステリオリ・フラックス

図19～図42は全64領域のア・ポステリオリ・フラックスである。図19～図30は全44陸域のフラックス、図31～図42は全22海域のフラックスを示している。

アジア地域（陸域26, 29～34）に注目してみると、東アジア南部（陸域32）はほぼ毎月二酸化炭素の放出源となっているのに対し、他の地域に関しては、冬場は放出源、夏場は吸収源となる季節変動が見てとれる。これは、人為的な活動が活発な東アジア南部では、化石燃料の燃焼に伴う二酸化炭素の排出量が、植物の光合成による吸収量を上回っていることを示唆している。

海域に関しては、東太平洋の熱帯域（海域5, 6）が年間を通して二酸化炭素を排出していることが興味深い。これは赤道付近においてDICが多い海水が深層より海面へ上昇してくることに由来している²⁹⁾。

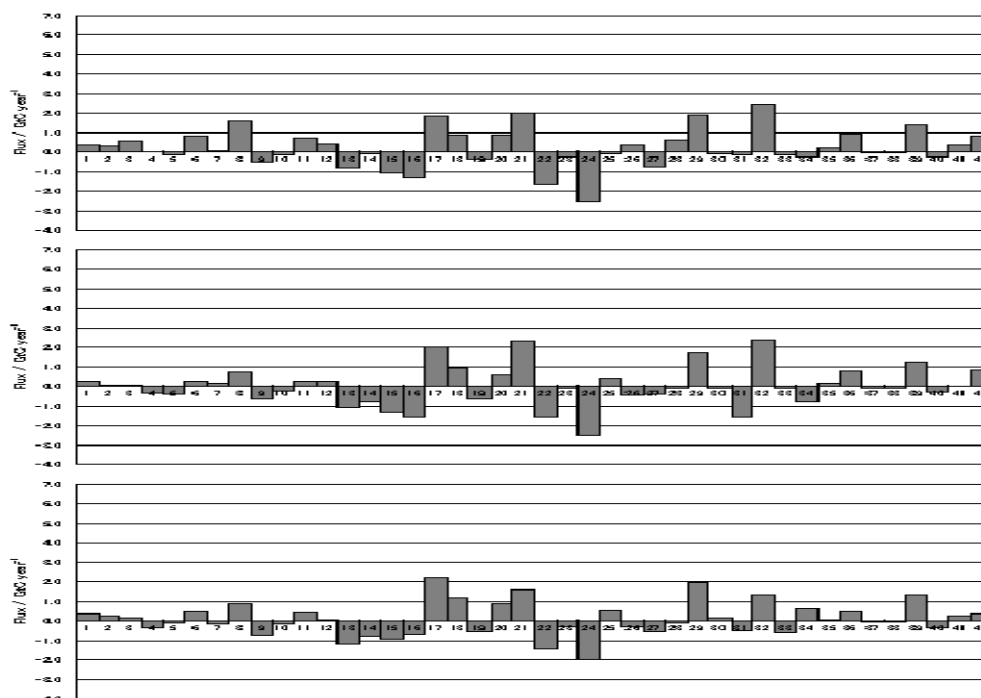


図19 全44陸域の1月のア・ポステリオリ・フラックス
(上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

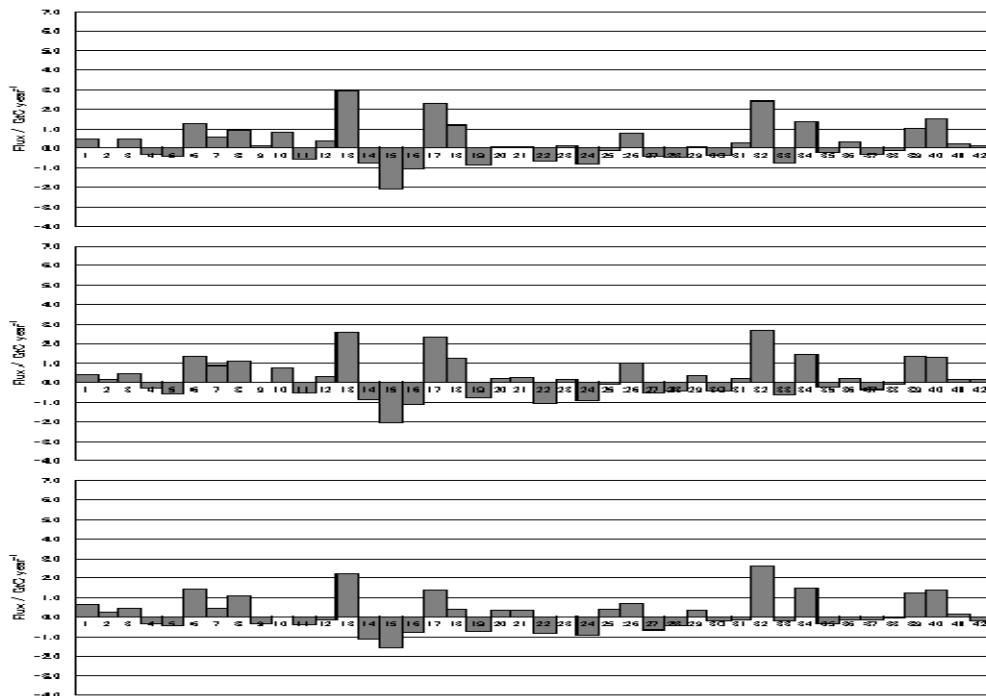


図20 全44陸域の2月のア・ポステリオリ・フラックス
(上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

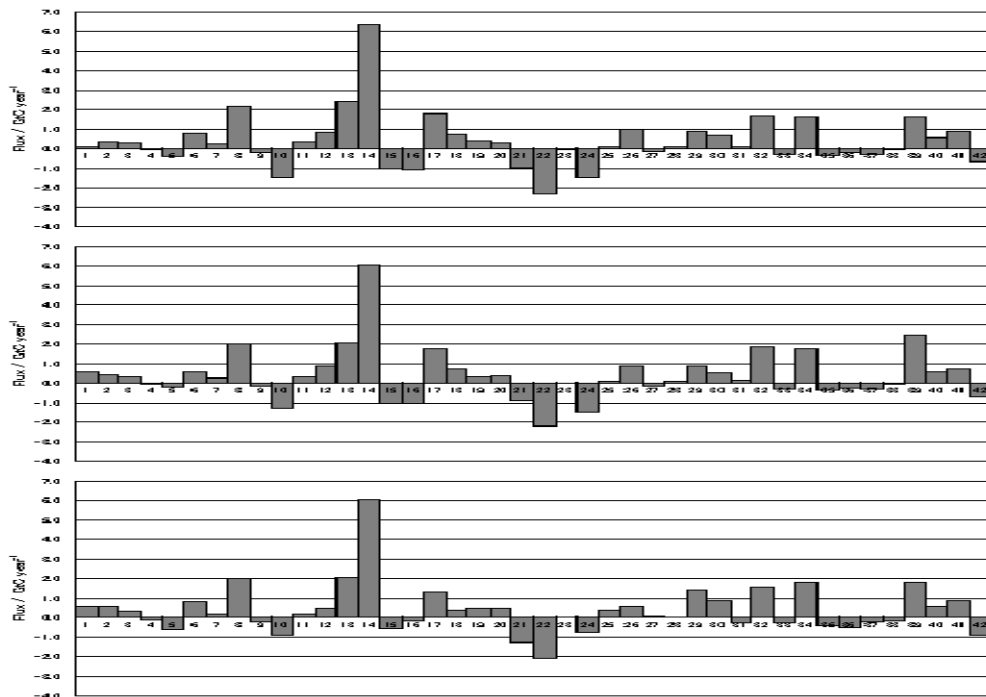


図21 全44陸域の3月のア・ポステリオリ・フラックス
(上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

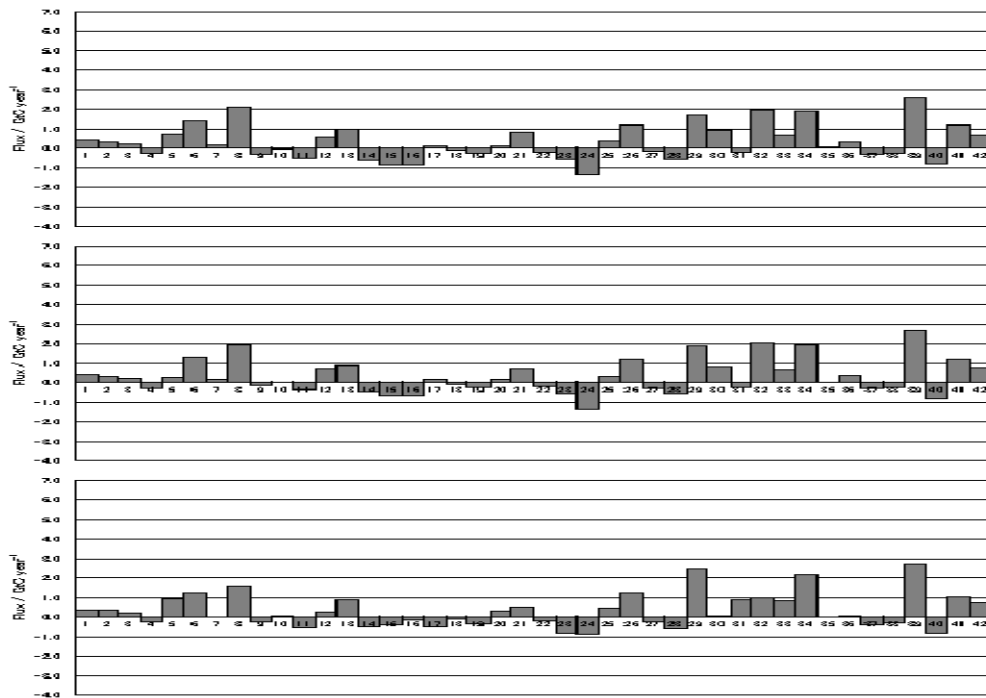


図22 全44陸域の4月のア・ポステリオリ・フラックス
(上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

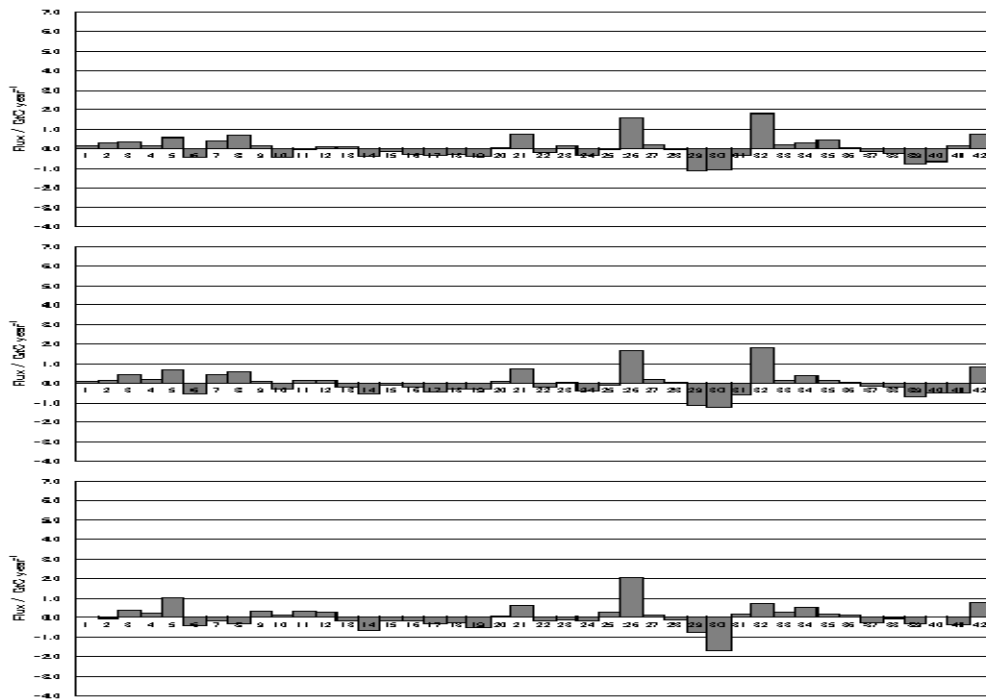


図23 全44陸域の5月のア・ポステリオリ・フラックス
(上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

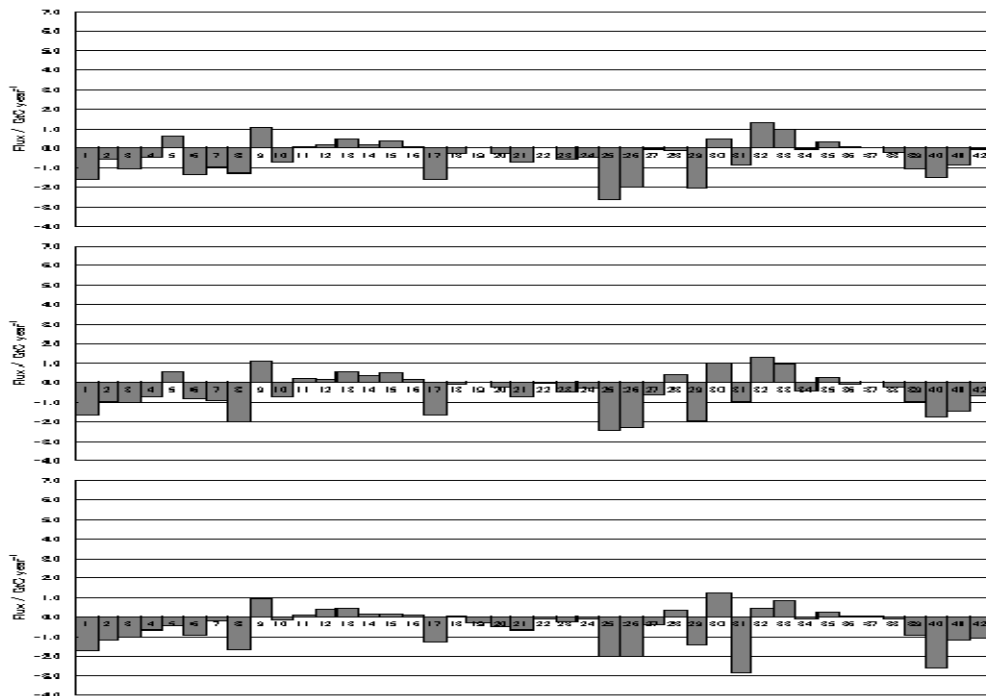


図24 全44陸域の6月のア・ポステリオリ・フラックス
 (上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

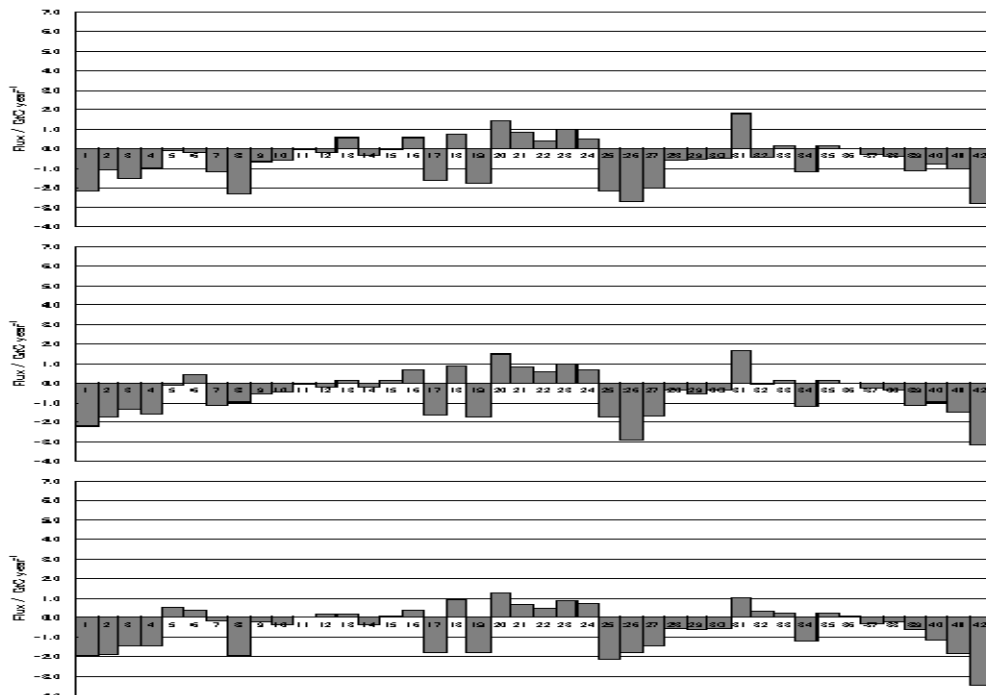


図25 全44陸域の7月のア・ポステリオリ・フラックス
 (上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

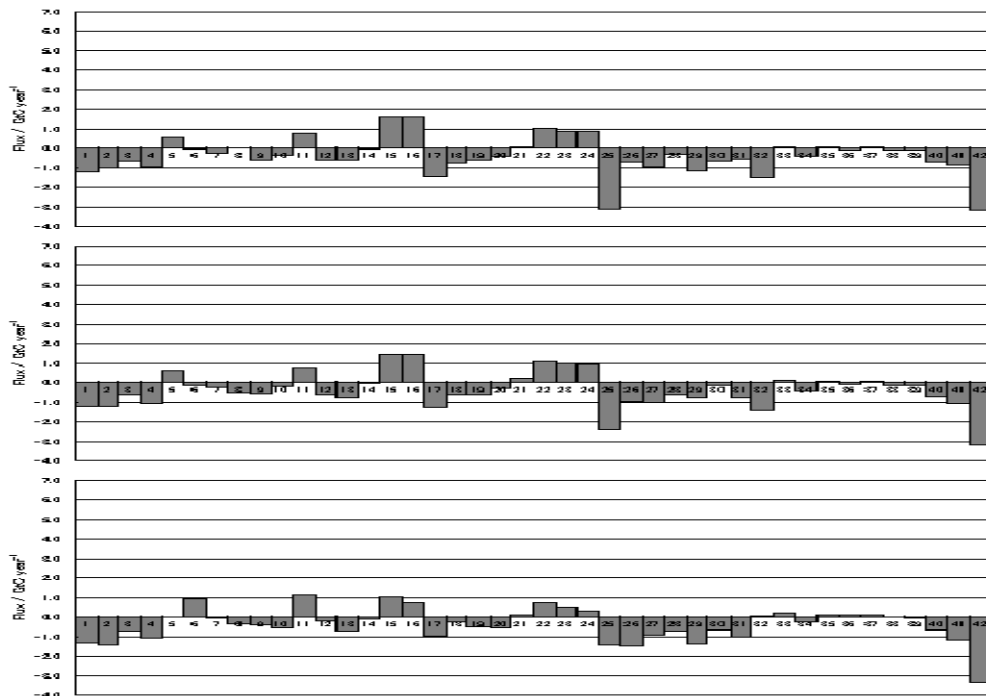


図26 全44陸域の8月のア・ポステリオリ・フラックス
 (上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

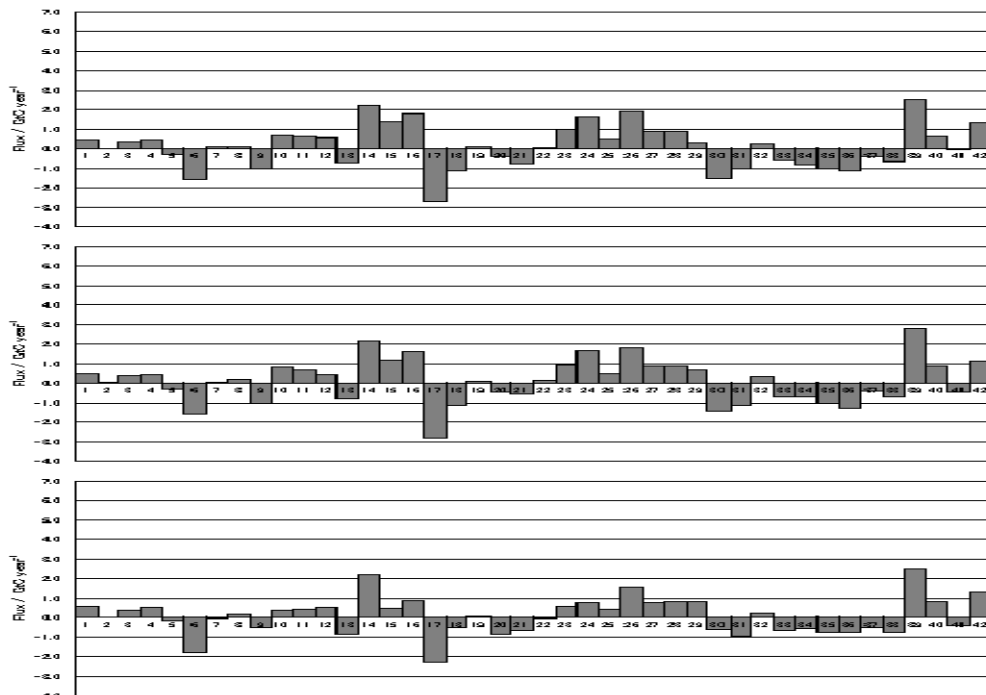


図27 全44陸域の9月のア・ポステリオリ・フラックス
 (上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

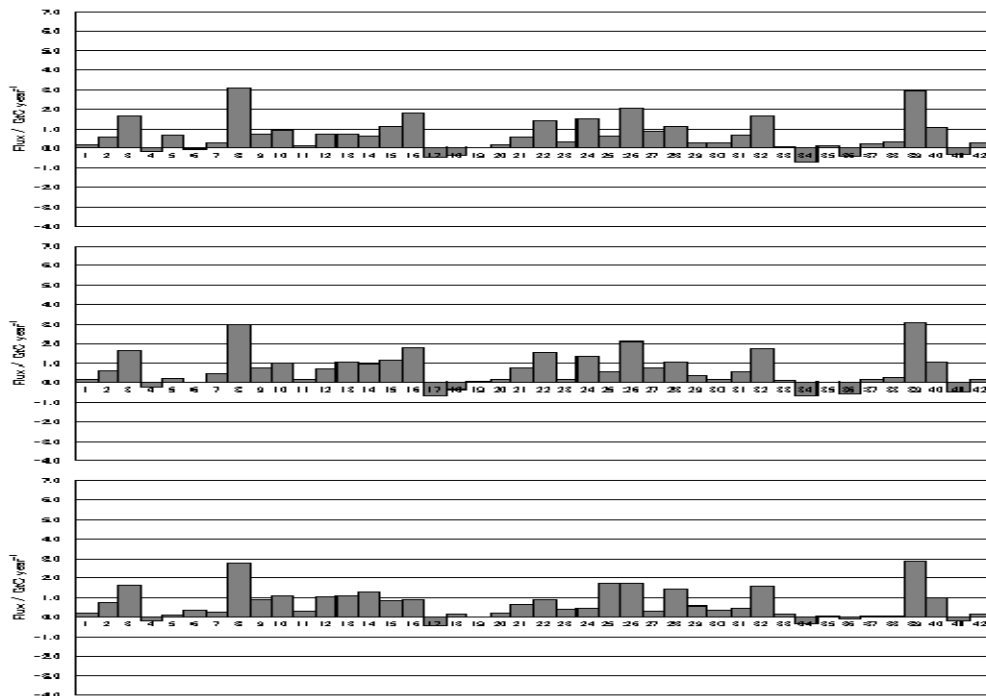


図28 全44陸域の10月のア・ポステリオリ・フラックス
(上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

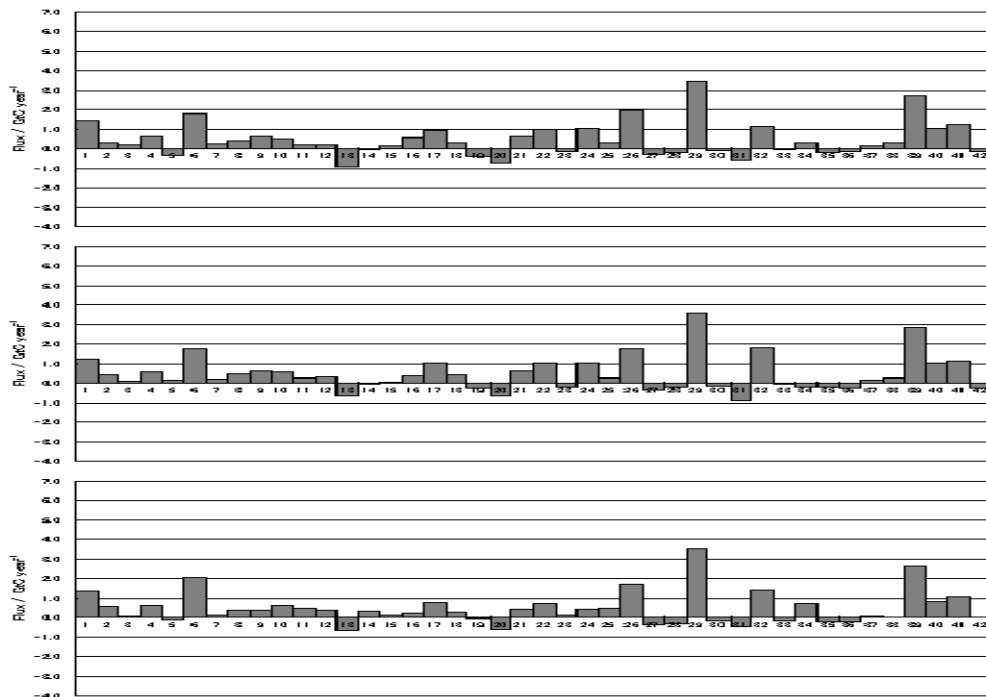


図29 全44陸域の11月のア・ポステリオリ・フラックス
(上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

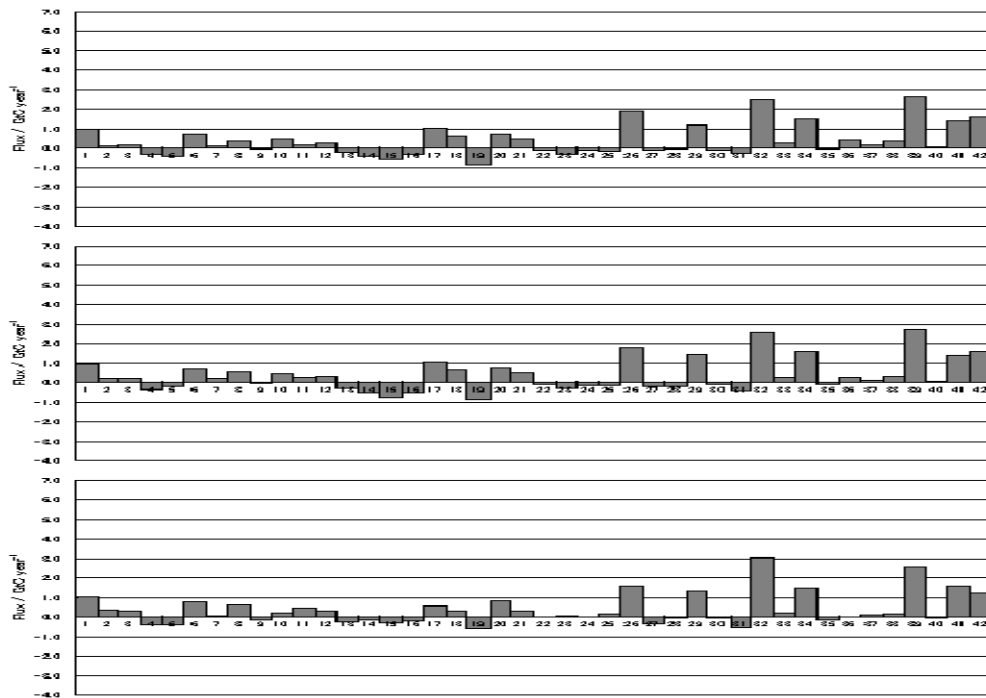


図30 全44陸域の12月のア・ポステリオリ・フラックス
 (上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

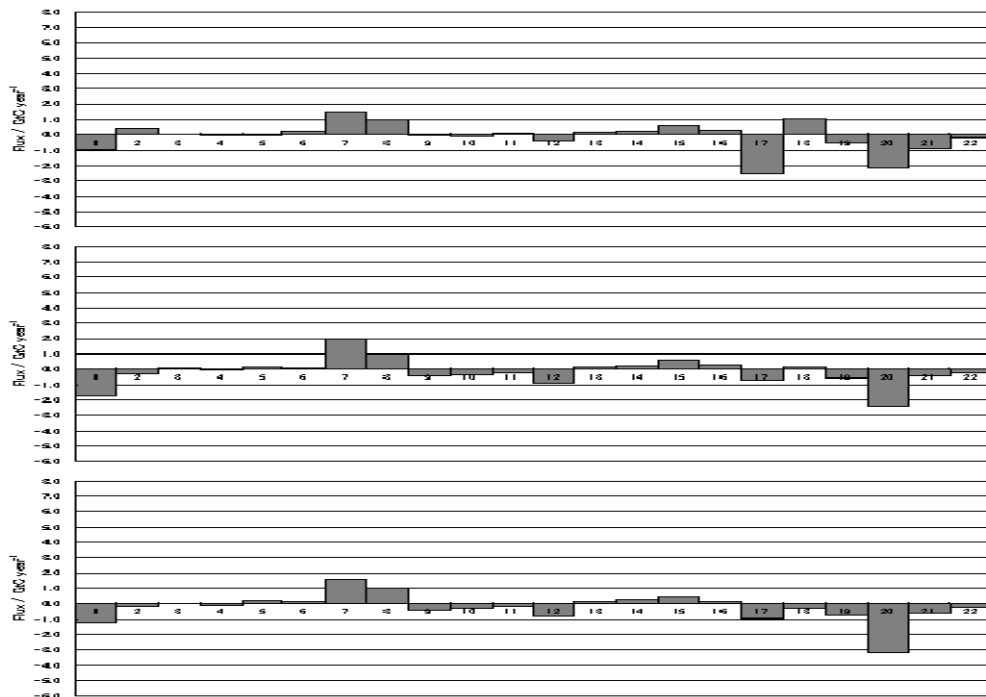


図31 全22海域の1月のア・ポステリオリ・フラックス
 (上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

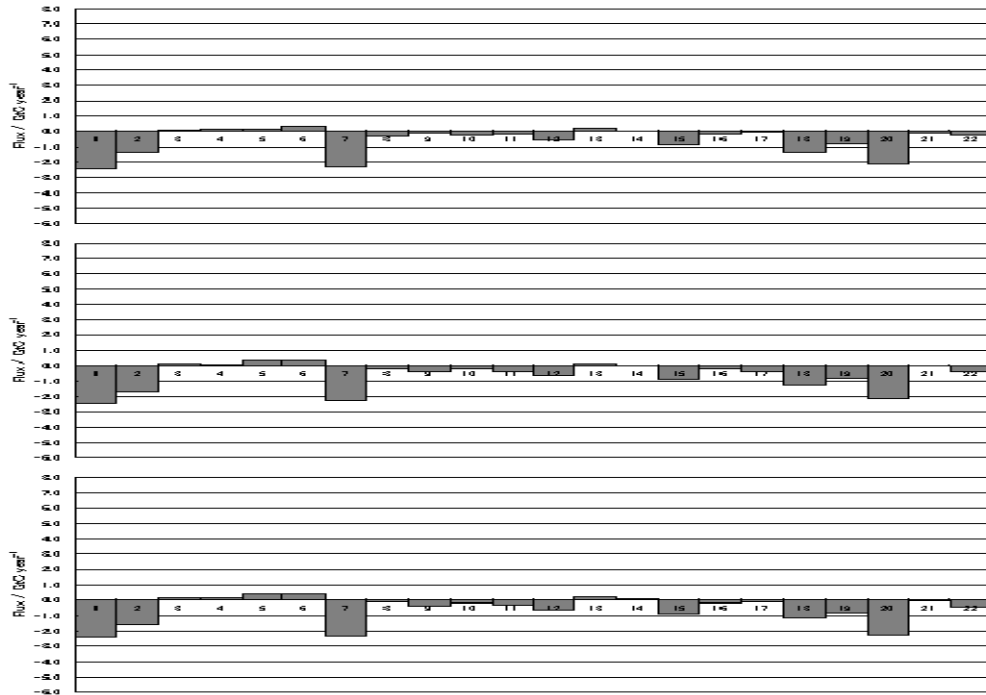


図32 全22海域の2月のア・ポステリオリ・フラックス
 (上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

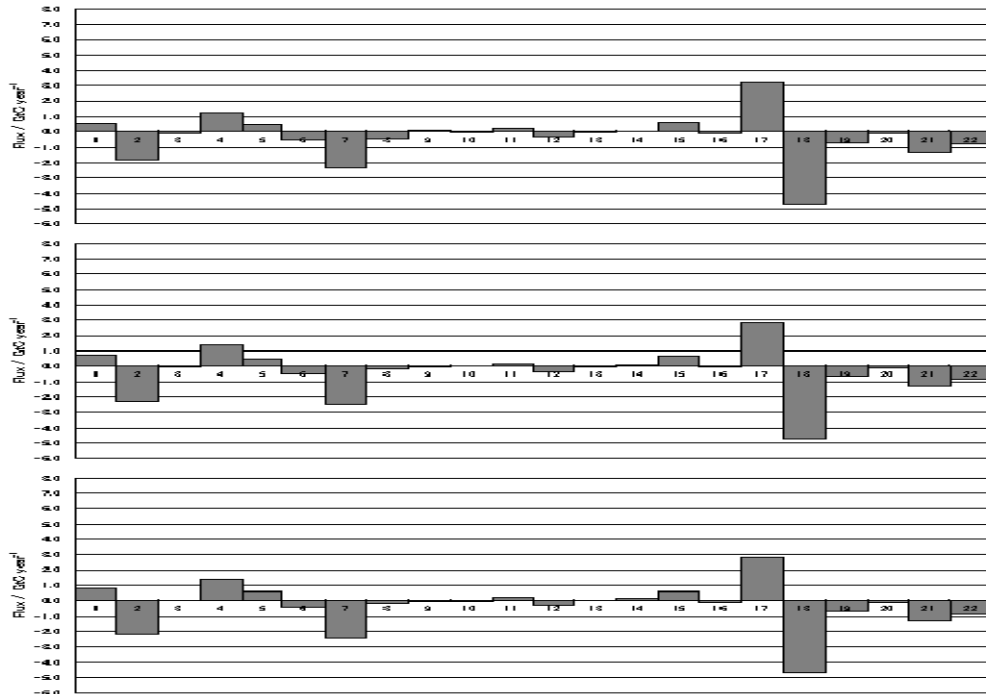


図33 全22海域の3月のア・ポステリオリ・フラックス
 (上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

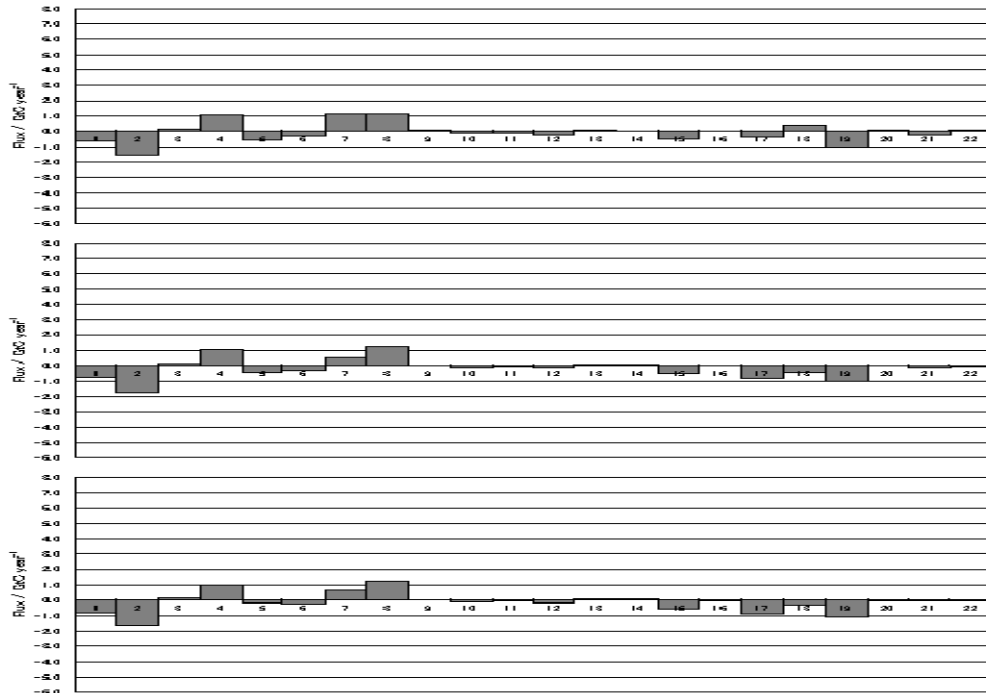


図34 全22海域の4月のア・ポステリオリ・フラックス
(上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

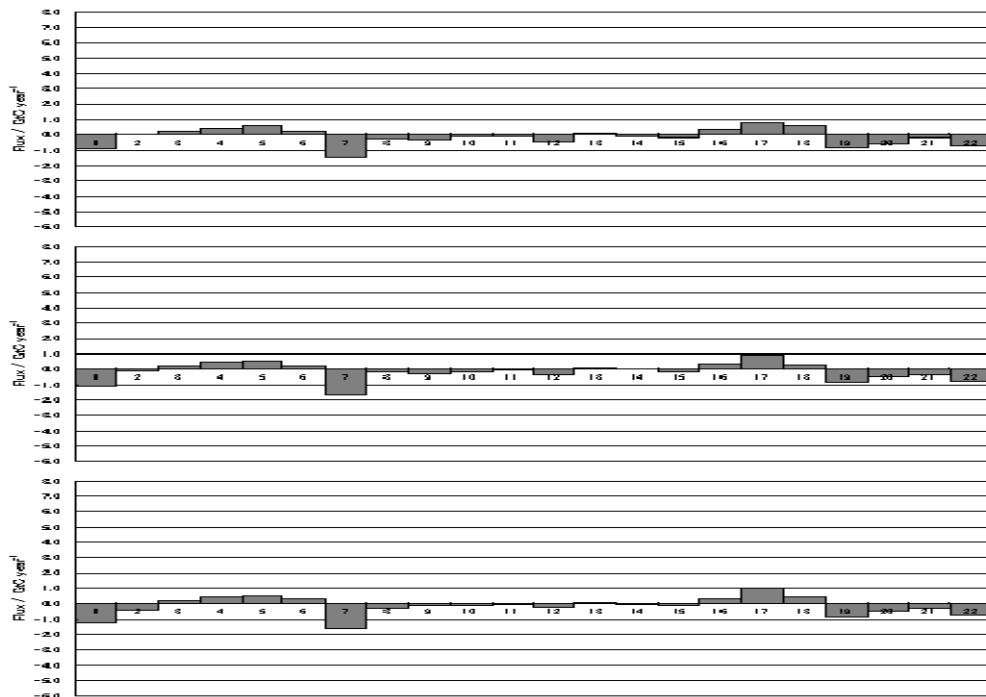


図35 全22海域の5月のア・ポステリオリ・フラックス
(上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

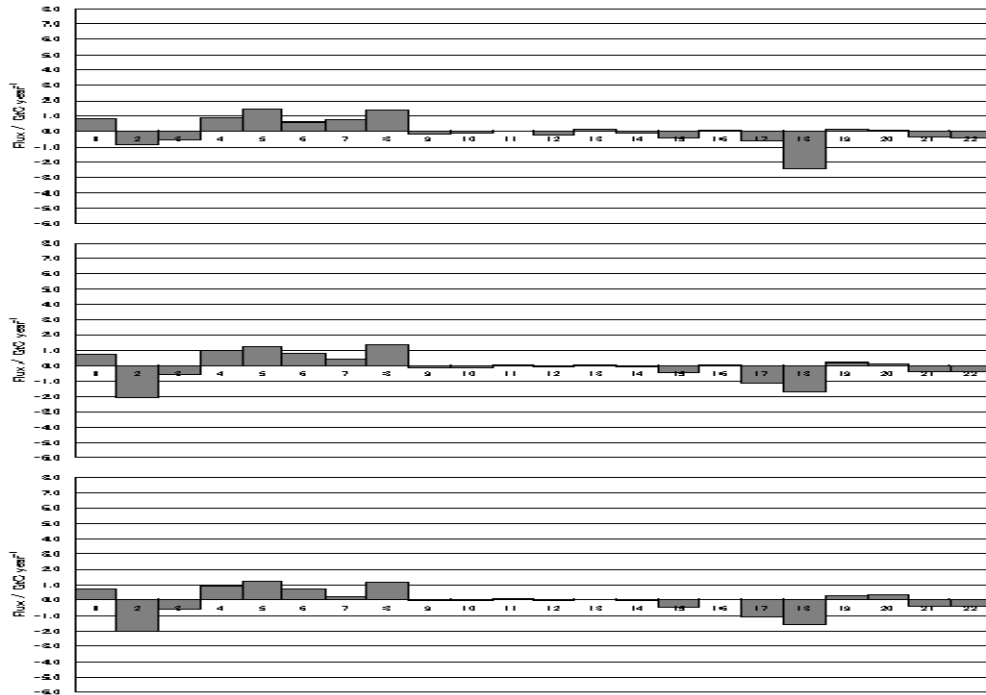


図36 全22海域の6月のア・ポステリオリ・フラックス
(上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

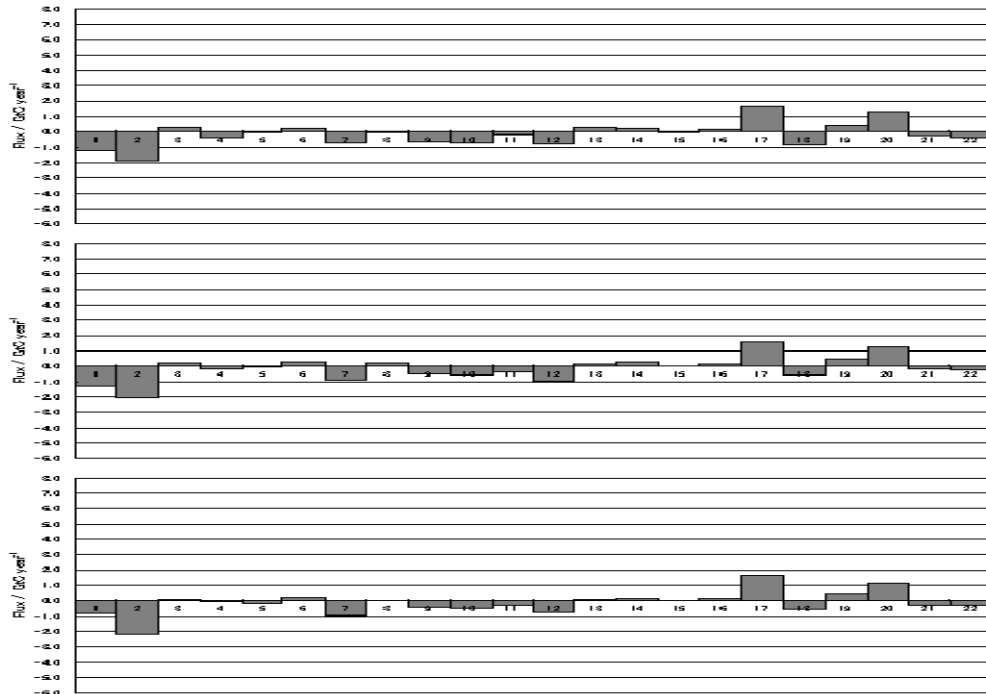


図37 全22海域の7月のア・ポステリオリ・フラックス
(上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

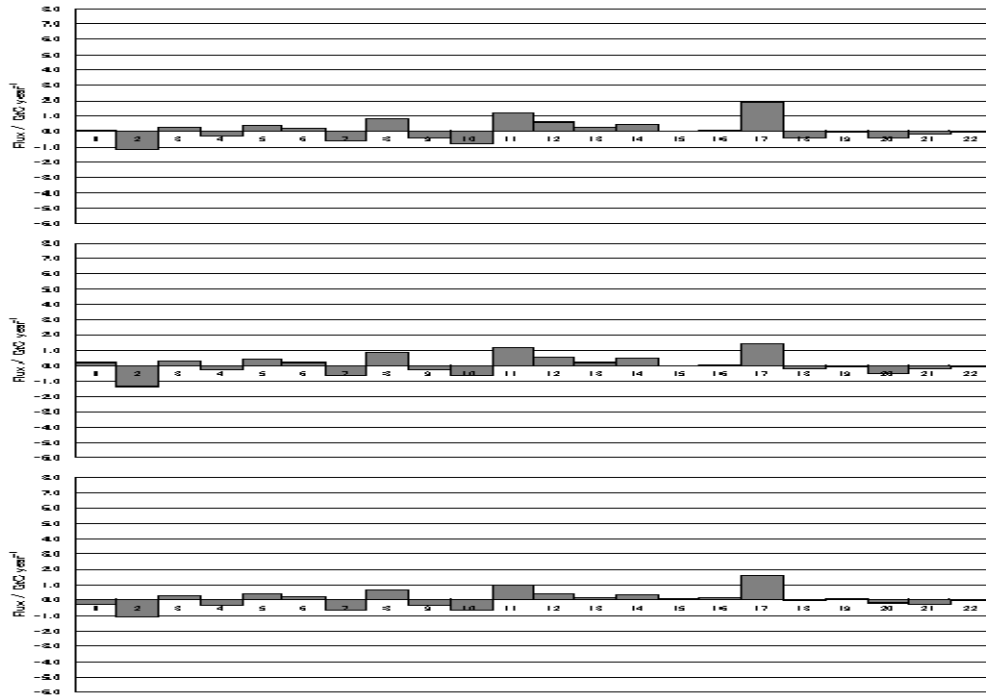


図38 全22海域の8月のア・ポステリオリ・フラックス
 (上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

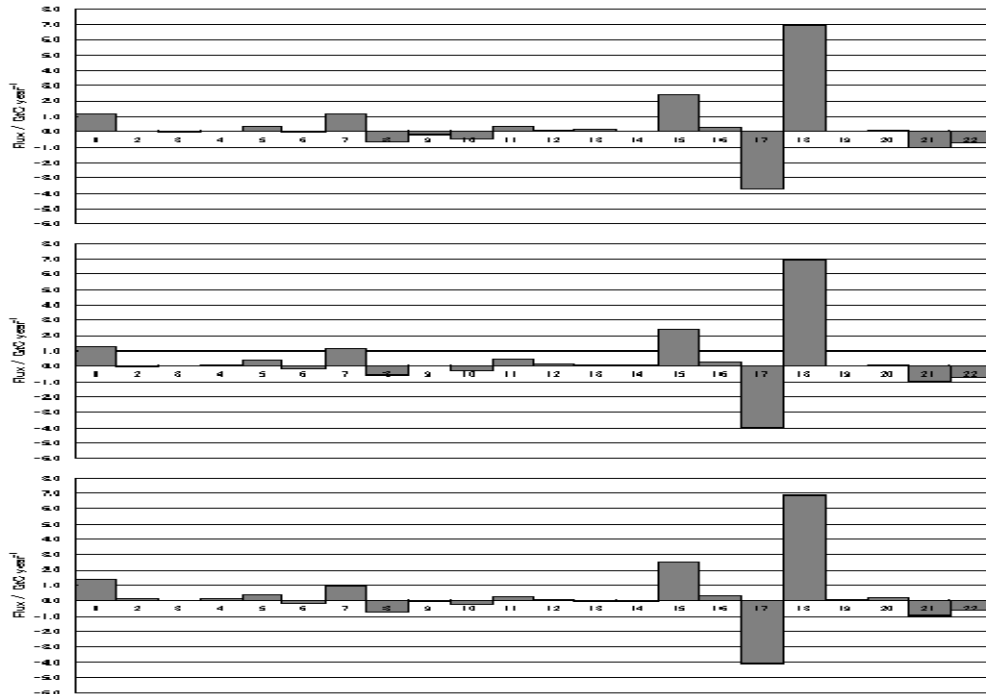


図39 全22海域の9月のア・ポステリオリ・フラックス
 (上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

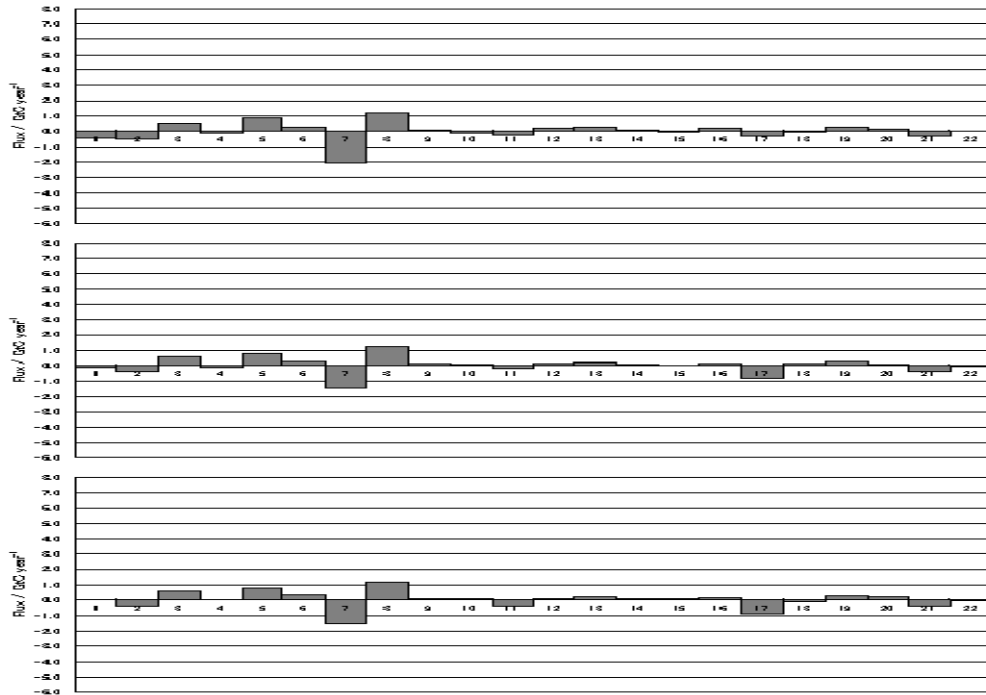


図40 全22海域の10月のア・ポステリオリ・フラックス
 (上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

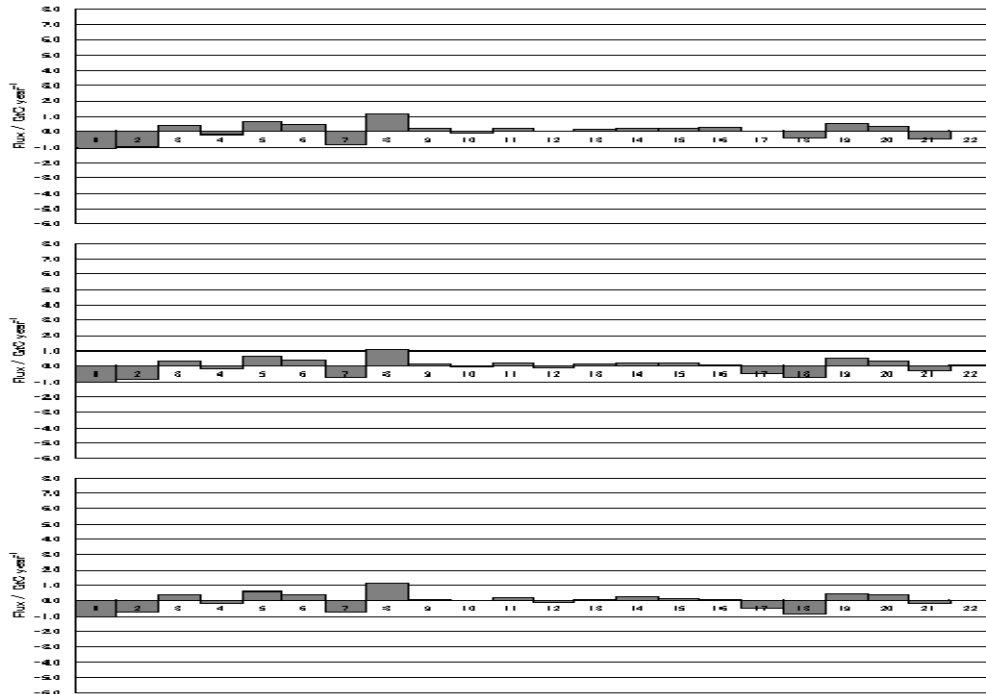


図41 全22海域の11月のア・ポステリオリ・フラックス
 (上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

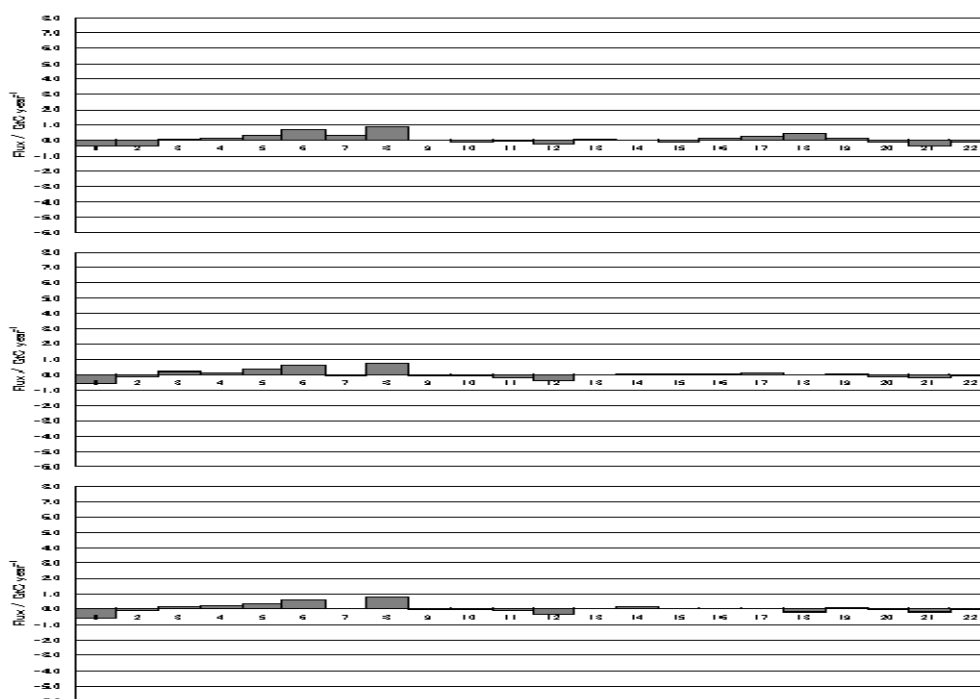


図42 全22海域の12月のア・ポステリオリ・フラックス
(上段：フラックス1, 中段：フラックス2, 下段：フラックス3)

④ 波照間・落石岬の連続観測データがフラックス推定値に及ぼす影響

インバースモデルにおいて計算に使用する観測データ数が多いほど、得られるフラックス推定値の精度は増してくる。国立環境研究所・地球環境研究センターが行っている、波照間・落石岬での温室効果ガス観測は連続観測システムで行われているため、NOAA/ESRLのフラスコデータよりもデータ量が多い。本節では、波照間・落石岬の連続観測データがインバース計算の結果に及ぼす影響について言及する。

図43～図51はインバース計算で得られた各月のフラックス推定値である（ア・プリアリ・フラックスはフラックス1）。図中の実線は波照間・落石岬の連続観測データを使用した結果、点線は使用せずに得られた結果である。尚、図中のエラーバーは各月のフラックスの不確かさを表している。

図43～図45に示してあるような、波照間・落石岬から遠く離れた地域のフラックスに関しては実線と点線の間には大差は見られず、各月のフラックスの不確かさにも大きな違いはない。一方、図46～図51に示したような、波照間・落石岬に近い地域のフラックスに関しては、実線と点線の間には明確な違いがあり、連続観測データを使用した結果の方からより多く不確かさの小さいフラックス推定値が得られている。特に落石岬に近い陸域26（東アジア北部）や波照間に近い陸域32（東アジア南部）では、ほぼ全ての月に関して実線の方が点線よりもエラーバーの幅が狭くなっており、不確かさが減少している。

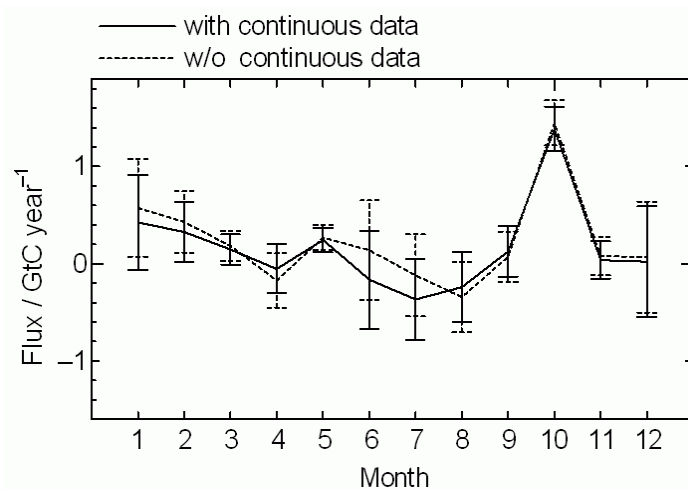


図43 陸域3 (アメリカ合衆国北西部) のフラックス季節変動

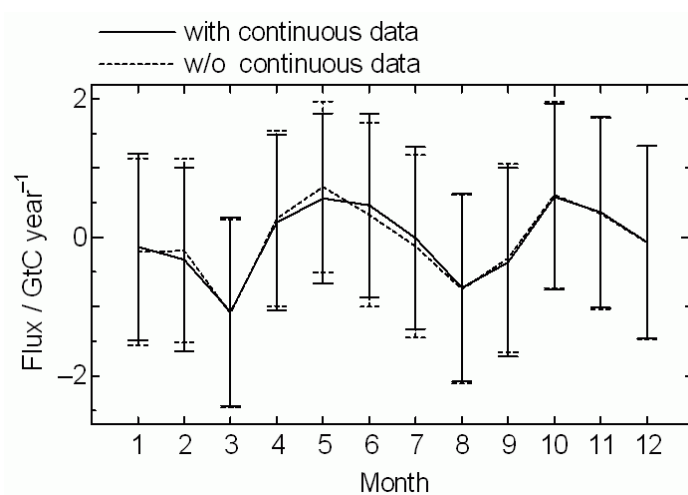


図44 陸域10 (アマゾン川下流地域) のフラックス季節変動

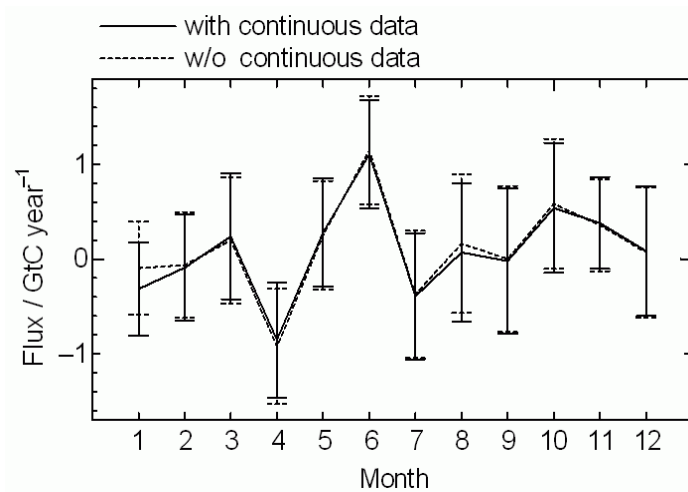


図45 海域5 (太平洋東部赤道付近) のフラックス季節変動

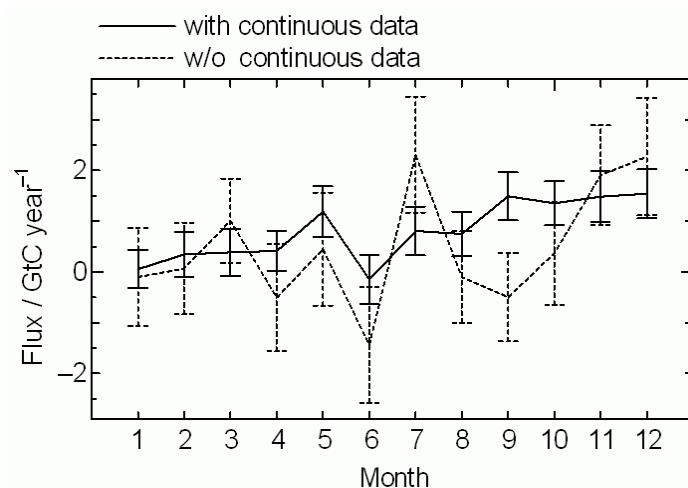


図46 陸域26（東アジア北部：ロシア南東部）のフラックス季節変動

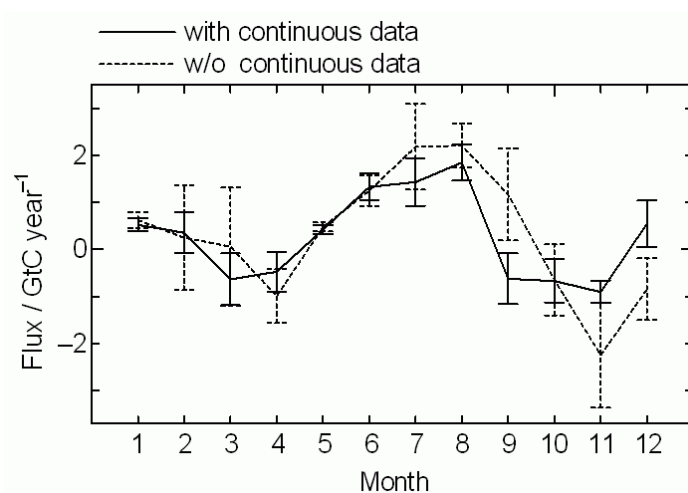


図47 陸域32（東アジア南部：中国東部・韓国・日本）のフラックス季節変動

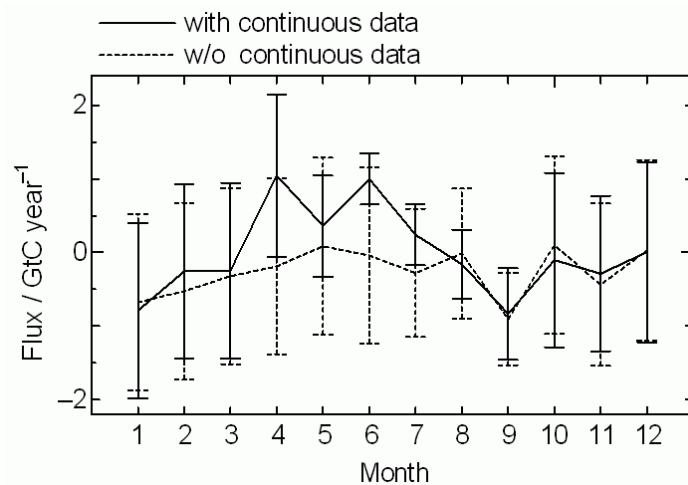


図48 陸域33（東南アジア：インドネシア諸島）のフラックス季節変動

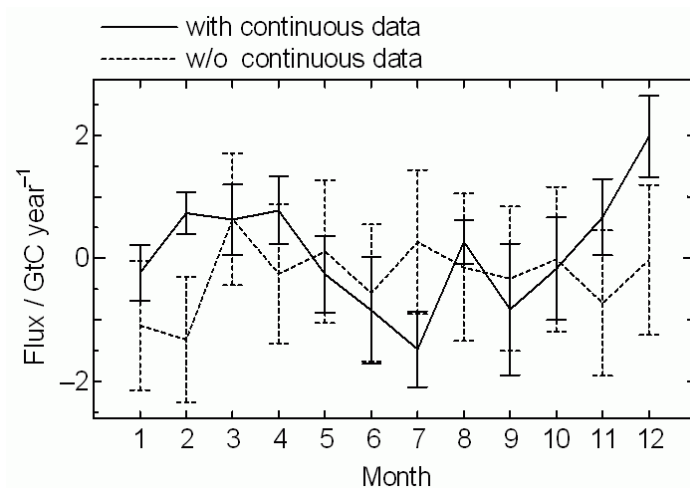


図49 陸域34（東南アジア：インドシナ・マレー半島）のフラックス季節変動

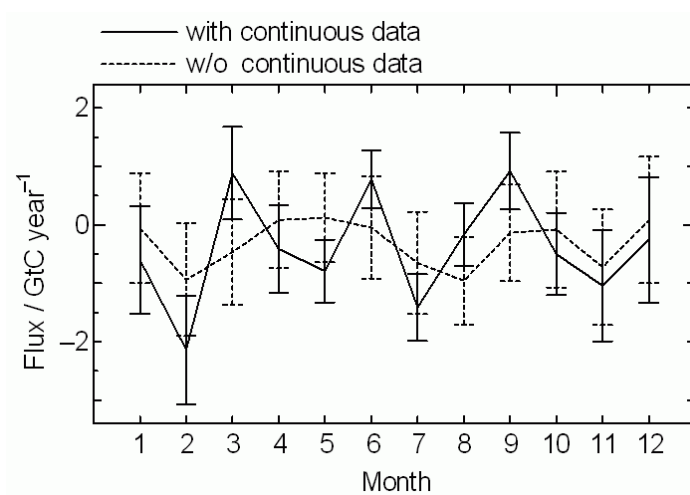


図50 海域1（太平洋：北緯15度～30度）のフラックス季節変動

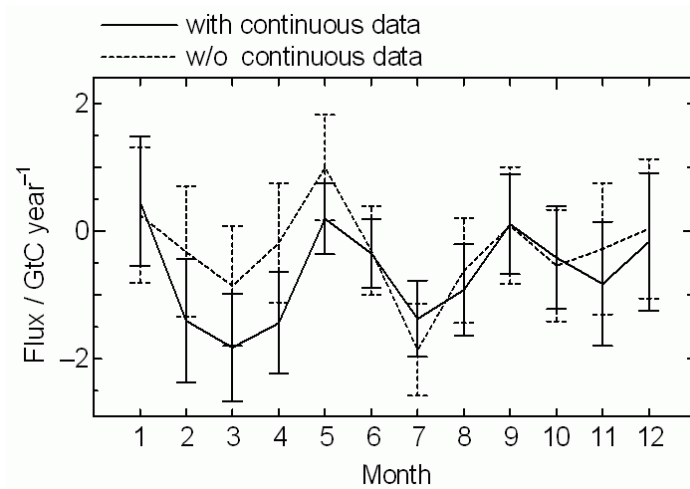


図51 海域2（太平洋：北緯30度～60度）のフラックス季節変動

⑤ ア・ポステリオリ・フラックスによる二酸化炭素濃度

図52と図53はそれぞれ波照間と落石岬の二酸化炭素濃度の実測値と計算値である。計算値に関しては、ア・プリオリ・フラックスから得られた結果と、ア・ポステリオリ・フラックスから得られた結果を示してある。

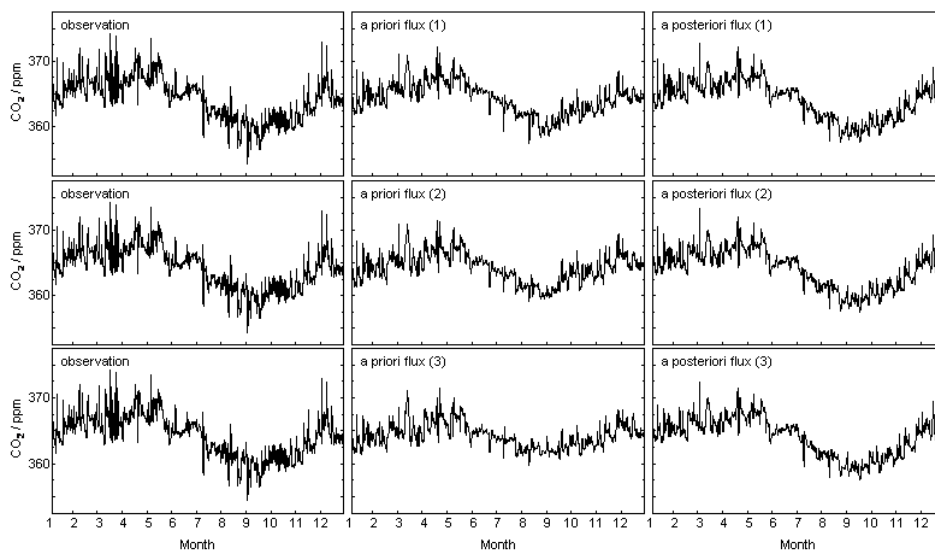


図 52 波照間の二酸化炭素の濃度変動

フラックス 1 (上段) , フラックス 2 (中段) , フラックス 3 (下段)

実測値(左), 計算値-ア・プリオリ・フラックス(中), 計算値-ア・ポステリオリ・フラックス(右)

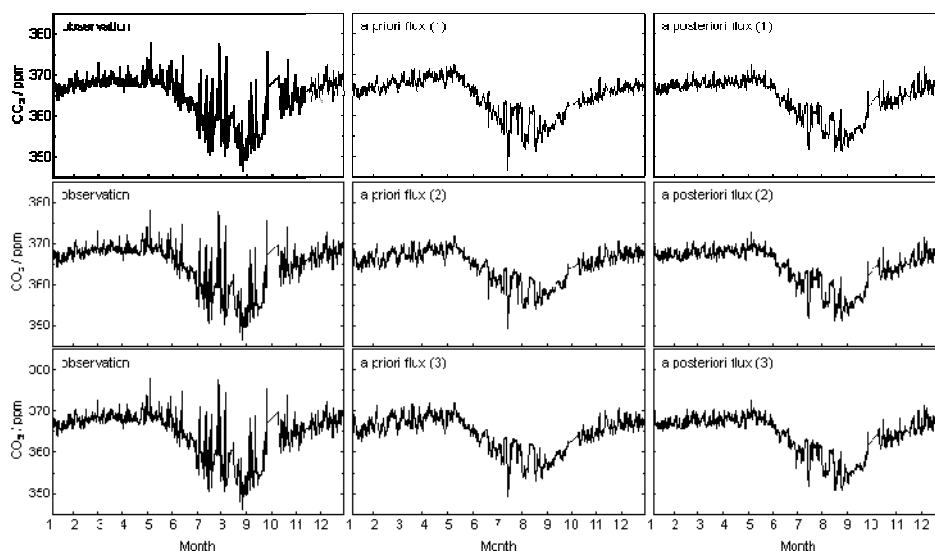


図 53 落石岬の二酸化炭素の濃度変動

フラックス 1 (上段) , フラックス 2 (中段) , フラックス 3 (下段)

実測値(左), 計算値-ア・プリオリ・フラックス(中), 計算値-ア・ポステリオリ・フラックス(右)

グラフからでは、ア・プリオリ・フラックスからの結果とア・ポステリオリ・フラックスからの結果との間に大きな違いは確認しづらいが、ア・プリオリ・フラックスからの結果に見られる幾つかの夏場の鋭い濃度減少のピークがア・ポステリオリ・フラックスからの結果では幾分弱まっている。

表2と表3はそれぞれ波照間と落石岬の実測値と計算値との相関係数である。尚、相関係数を計算する前に、移動平均法によって実測値及び計算値から季節変動は除去してある。表より、ア・ポステリオリ・フラックスから得られた計算値の方がア・プリオリ・フラックスから得られたものよりも、実測値と良い相関を示している。実測値とア・プリオリ・フラックスからの計算値との相関係数を見ると、フラックス2とフラックス3はほぼ同程度の値であるが、フラックス1は他の二つより若干良い相関を示している。これは、フラックス1には補正フラックスが加味されていることが理由のひとつと考えられる。しかし、実測値とア・ポステリオリ・フラックスからの計算値との相関係数に関しては、フラックスセット間で相関係数の値に違いは殆ど見られない。

表 2 波照間の季節変動を除去した実測値と計算値の相関係数

	フラックス 1	フラックス 2	フラックス 3
実測値－計算値(ア・プリオリ・フラックス)	0.501	0.446	0.443
実測値－計算値(ア・ポステリオリ・フラックス)	0.569	0.557	0.569

表 3 落石岬の季節変動を除去した実測値と計算値の相関係数

	フラックス 1	フラックス 2	フラックス 3
実測値－計算値(ア・プリオリ・フラックス)	0.410	0.379	0.379
実測値－計算値(ア・ポステリオリ・フラックス)	0.513	0.508	0.504

5. 本研究により得られた成果

観測データとモデル計算値から二酸化炭素のフラックスを推定する新規のインバースモデルを開発し、同モデルを利用して亜大陸スケールで月平均フラックスの季節変動を計算した。インバースモデルにラグランジアン型大気輸送モデルを導入することで、観測地周辺からの影響による汚染イベントもフラックスの推定に考慮され、また“fixed-lag Kalman smoother technique”のアルゴリズムを適用することで大量の観測データをインバース計算に使用できるとともに、フラックスの経年変化も推定可能となった。このようなインバースモデルは世界でも類を見ないものである。

本研究では、主に東アジア地域の二酸化炭素排出量をより正確に知るために、国立環境研究所・地球環境研究センターが波照間及び落石岬の両ステーションで取得している連続観測データを利用してインバース計算を行い、月平均フラックスの推定を行った。その結果、両ステーションの連続観測データが、東アジア地域のフラックス推定に大きな影響を及ぼし、得られる推定値の不確かさを大幅に減少することが確認された。また、波照間と落石岬の二酸化炭素濃度をインバース計算によって得られたフラックスから計算し、実測値との相関係数を求めたところ、ア・プリ

オリ・フラックスから計算した濃度よりも良い相関を得ることができた。

本報告書では、波照間及び落石岬の連続観測データが一年分揃った最初の年である1996年をインバース計算の対象年としたが、両ステーションでは現在も連続観測が行われている。従って、それらの観測データと本研究で開発したインバースモデルを使用することで、10年以上の長期間に及ぶ東アジア地域のフラックスの経年変動を、精度の高いインバース計算によって推定することが今後期待される。

6. 引用文献

- 1) Gurney, R., K., Law, R. M., Denning, A. S., Rayner, P. J., Baker, D., et al. 2002. Towards robust regional estimation of CO₂ sources and sinks using atmospheric transport models. *Nature* **415**, 626-630.
- 2) Gurney, R., K., Law, R. M., Denning, A. S., Rayner, P. J., Baker, D., et al. 2003. TransCom 3 CO₂ inversion intercomparison: 1. Annual mean control results and sensitivity to transport and prior flux information. *Tellus* **55B**, 555-579.
- 3) Law, R. M., Chen, Y. H., Gurney, K. R. and Transcom 3 modellers. 2003. Transcom 3 CO₂ inversion intercomparison: 2. Sensitivity of annual mean results to data choices. *Tellus* **55B**, 580-595.
- 4) Gurney, R., K., Law, R. M., Denning, A. S., Rayner, P. J., Pak, B. C., et al. 2004. Transcom 3 inversion intercomparison: Model mean results for the estimation of seasonal carbon sources and sinks. 2004 *Global Biogeochem. Cycles* **18**, GB1010, doi:10.1029/2003GB002111.
- 5) Baker, D. F., Law, R. M., Gurney, K. R., Rayner, P. and Peylin, P. 2006. TransCom 3 inversion intercomparison: Impact of transport model errors on the interannual variability of regional CO₂ fluxes, 1988-2003. *Global Biogeochem. Cycles* **20**, GB1002, doi:10.1029/2004GB002439.
- 6) Maksyutov, S., Patra, P.K., Onishi, R., Saeki, T. and Nakazawa, T. 2008. NIES/FRCGC Global Atmospheric Tracer Transport Model: Description, Validation, and Surface Sources and Sinks Inversion, *J. Earth Simulator* **9**, 3-18.
- 7) Stohl, A., Hittenbeger, M. and Wotawa, G. 1998. Validation of the Lagrangian particle dispersion model FLEXPART against large scale tracer experiments. *Atmos. Environ.* **32**, 4245-4264.
- 8) Sibert, P. and Frank, A. 2004. Source-receptor matrix calculation with a Lagrangian particle dispersion model in backward mode, *Atmos. Chem. Phys.* **4**, 51-63.
- 9) Tarantola, A. 1987. Inverse Problem Theory: Methods for Data Fitting and Parameter Estimation, *Elsevier*, New York. 630 p.
- 10) Conway, T. J., Lang P.M. and Masarie, K. A. 2008. Atmospheric Carbon Dioxide Dry Air Mole Fractions from the NOAA ESRL Carbon Cycle Cooperative Global Air Sampling Network, 1968-2007, Version: 2008-07-24, Path:ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/flask/event/.

- 11) Mukai, H., Katsumoto, M., Ide, R., Machida, T., Fujinuma, Y., Nojiri, Y., Inagaki, M., Oda, N. and Watai, T. 2001. Characterization of atmospheric CO₂ observed at two-background air monitoring stations (Hateruma and Ochi-ishi) in Japan (abstract), paper presented at Sixth International Carbon Dioxide Conference, Org. Comm. of Sixth Int. Carbon Dioxide Conf., Sendai, Japan.
- 12) Gelb, A. 1974. Applied Optimal Estimation, MIT press, Cambridge, MA.
- 13) Bruhwiler, L. M. P., Michalak, A. M., Peters, W., Baker, D. F. and Tans, P. 2005. An improved Kalman Smoother for atmospheric inversion. *Atmos. Chem. Phys.* **5**, 2691-2702.
- 14) Law, R. M., et al. 2008. TransCom model simulations of hourly atmospheric CO₂: Experimental overview and diurnal cycle results for 2002. *Global Biogeochem. Cycles*, **22**, doi:10.1029/2007GB003050.
- 15) Randerson, J. T., Thompson, M. V., Conway, T. J., Fung, I. Y. and Field, C. B. 1997. The contribution of terrestrial sources and sinks to trends in the seasonal cycle of atmospheric carbon dioxide. *Global Biogeochem. Cycles* **11**, 535-560.
- 16) Takahashi, T., Sutherland, S. C., Sweeney, C., Poisson, A., Metzl, N., Tilbrook, B., Bates, N., Wanninkhof, R., Feely, R. A., Sabine, C., Olafsson, J. and Nojiri, Y. 2002. Global sea-air CO₂ flux based on climatological surface ocean pCO₂(2), and seasonal biological and temperature effects. *Deep-Sea Research II* **49**, 1601-1622.
- 17) van der Werf, G. R., Randerson, J. T., Collatz, G. J. and Giglio, L. 2003. Carbon emissions from fires in tropical and subtropical ecosystems. *Global Change Biology* **9**, 547-562.
- 18) van der Werf, G. R., Randerson, J. T., Giglio, L., Collatz, G. J., Kasibhatla, P. S. and Arellano, A. F. 2006. Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004. *Atmos. Chem. Phys.* **6**, 3423-3441.
- 19) GLOBALVIEW-CO₂: Cooperative atmospheric data integration project - carbon dioxide., in, CD-ROM, NOAA ESRL, Boulder, Colorado [Also available on Internet via anonymous FTP to ftp.cmdl.noaa.gov, Path: ccg/co2/GLOBALVIEW], 2007.
- 20) Takahashi, T., Sutherland S. C. and Kozyr A. 2008. Global Ocean Surface Water Partial Pressure of CO₂ Database: Measurements Performed during 1968-2006 (Version 1.0). ORNL/CDIAC-152, NDP-08. Oak Ridge National Laboratory, 20 pp.
- 21) Le-Quere, C., Rodenbeck C., Buitenhuis E. T., Conway T. J., Langenfelds R., Gomez A., Labuschagne C., Ramonet M., Nakazawa T., Metzl N., Gillett N. and Heimann, M. 2007. Saturation of the southern ocean co₂ sink due to recent climate change. *Science* **316**, 1735-1738.
- 22) Patra, P. K., Maksyutov, S., Ishizawa, M., Nakazawa, Takahashi, T. and Ukita, J. 2005. Interannual and decadal changes in the sea-air CO₂ flux from atmospheric CO₂ inverse modeling. *Global Biogeochem. Cycles* **19**, doi:10.1029/2004GB002257.
- 23) Zeng, J., No jiri, Y., Murphy, P. P., Wong, C. S. and Fujinuma Y. 2002. A comparison

- of pco2 distributions in the northern north Pacific using results from a commercial vessel in 1995–1999. *Deep Sea Research Part II* **49**, 5303–5315.
- 24) Valsala, K. V., Maksyutov, S. and Ikeda, M. 2008. Design and validation of an offline oceanic tracer transport model for a carbon cycle study. *J. Climate* **21**, 2752–2769.
- 25) McKinley, G. A., Follows, M. J. and Marshall, J. 2004. Mechanism of air–sea CO₂ flux variability in the equatorial Pacific and North Atlantic. *Global Biogeochem. Cycles* **18**, doi:10.1029/2003GB002179.
- 26) Ikeda, M. and Sasai, Y. 2000. Reconstruction of subsurface DIC and alkalinity fields in the north pacific using assimilation of upper ocean data. *Mar. Chem.* **72**, 343–358.
- 27) Fukumori, I., Tong, L., Cheng, B. and Menemenlis, D. 2004. The origin, pathway, and destination of Nino-3 water estimated by a simulated passive tracer and its adjoint. *J. Phys. Oceanogr.* **34**, 582–604.
- 28) Bennett, A. F. 2002. Inverse modeling of the ocean and atmosphere. Cambridge University Press, 234 pp.
- 29) Feely, R. A. et al. 2002. Seasonal and interannual variability of CO₂ in the equatorial pacific. *Deep-Sea Research II* **49**, 2443–2469.

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表

- ① V. Valsala, S. Maksyutov, and M. Ikeda: *J. Climate*, 21, 2752–2769 (2008)
 “Design and Validation of an Offline Oceanic Tracer Transport Model for a Carbon Cycle Study”
- ② S. Maksyutov, P. K. Patra, R. Onishi, T. Saeki, and T. Nakazawa: *J. Earth Simulator*, 9, 3–18 (2008)
 “NIES/FRCGC global atmospheric tracer transport model: Description, validation, and surface sources and sinks inversion.
- ③ R. Law et al.: *Global Biogeochem. Cycles*, 22, GB3009, doi:10.1029/2007GB003050 (2008).
 “TransCom Model simulations of hourly atmospheric CO₂: Experimental overview and diurnal cycle results for 2002”
- ④ P. K. Patra et al.: *Global Biogeochem. Cycles*, 22, GB4013, doi:10.1029/2007GB003081 (2008).
 “TransCom Model simulations of hourly atmospheric CO₂: Analysis of synoptic-scale variations for the period 2002–2003”

(2) 口頭発表

- ① S. Maksyutov, T. Machida, K. Shimoyama, C. Carouge, A. Peregon, P. Patra, and G. Inoue: AGU Fall Meeting, San Francisco. USA, 2006
 “Top-down approach to West Siberian regional carbon budget: Combination of the CO₂ observations and inverse modeling”

- ② V. Valsala, M. Ikeda, and S. Maksyutov: COE-Symposium on Prediction and Avoidance of abrupt change in Bio-geosphere system, Sapporo. Japan, 2007
“CFC-11 cycle in the ocean simulated using assimilated ocean currents”
- ③ S. Maksyutov: 4th Siberian workshop on parallel computations, Tomsk. Russia, 2007
“Global atmospheric tracer transport modeling using multiprocessor computing systems”
- ④ Y. Nakatsuka, N. Kadygrov, T. Machida, and S. Maksyutov: Discussion meeting on atmospheric chemistry, Nagoya. Japan, 2007
“Optimization of the seasonal cycles of CO₂ flux of CASA and effects of weak vertical mixing in a transport model”
- ⑤ Y. Koyama, S. Maksyutov, Y. Tohjima, H. Mukai, and T. Machida: AGU Fall meeting, San Francisco. USA, 2007
“High resolution simulation of the atmospheric greenhouse gases variability with Lagrangian particle dispersion mode”
- ⑥ S. Maksyutov, T. Machida, N. Kadygrov, C. Carouge, P. Peylin, and P. Patra: AGU Fall meeting, San Francisco. USA, 2007
“Study of the regional carbon fluxes through inverse modeling of the Siberian”
- ⑦ A. Peregon and S. Maksyutov: EGU 2008, Vienna. Austria, 2008
“Land-cover classification for inventory of the methane fluxes in west Siberian wetlands”
- ⑧ Y. Nakatsuka and S. Maksyutov: Transcom 2008 Workshop, Utrecht. Netherlands, 2008
“Optimization of the terrestrial biospheric flux seasonality against airborne profile data of CO₂”
- ⑨ Y. Koyama, S. Maksyutov, D. Belikov, Y. Tohjima, H. Mukai, and T. Machida: Transcom 2008 Workshop, Utrecht. Netherlands, 2008
“High resolution simulation of the atmospheric greenhouse gases variability with a coupled Eulerian-Lagrangian transport model”
- ⑩ 古山祐治、シャミル・マクシュトフ、遠嶋康徳、向井人史、町田敏暢：日本気象学会 2008 年度秋季大会（2008）
「High resolution simulation of the atmospheric greenhouse gases variability with a coupled Eulerian-Lagrangian transport model」
- (3) 出願特許
なし
- (4) 受賞等
なし
- (5) 一般への公表・報道等
なし
- (6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について
多成分のモニタリングデータの総合的利用・解析方法が確立されることにより、東アジア・

東南アジアの正確な排出インベントリの作成が可能となる。これにより、東アジア・東南アジア諸国の温室効果ガス排出削減の努力が促進される。