

大気と海洋における 地球温暖化原因物質の長期変動に関する観測研究

地球化学研究部 松枝秀和

1. はじめに

地球温暖化による気候変動は、人類が直面する最も重要な課題の一つである。温暖化の効果的な対策には、将来予測とその影響評価の不確実性をできる限り低減しなければならない。そのためには、地球規模の炭素循環の実態とその変動メカニズムを様々な観測を通して把握することが不可欠である。

気象研究所地球化学研究部では、大気と海洋を対象とした長期的な観測によって、二酸化炭素を中心とする温暖化原因物質の挙動とそれらの変動要因の解明を目的として研究を進めている。本報告では、定期航空機や海洋観測船を利用した観測で得られた長期的変動の実態を紹介するとともに、観測データの解析によって明らかになってきた人類活動や気候変化の影響について報告する。

2. 定期旅客機による上空の観測研究

2.1. 二酸化炭素濃度の変動

図1は、1993年4月から2005年3月の期間に定期航空機で観測された上空（高度約10km）の二酸化炭素（CO₂）濃度の変動を示してある。北半球では、明瞭な季節変化を伴いながら、CO₂濃度が増加の一途をたどってきた。一方、南半球では季節変動の振幅が大きく減衰するが、長期的増加は北半球と同様であった。陸上生態系と人類活動による変動が、大気の循環を通して地上から上空へと迅速に伝播している実態が、旅客機を利用した12年間の長期観測で明瞭に捉えられた⁽¹⁾。

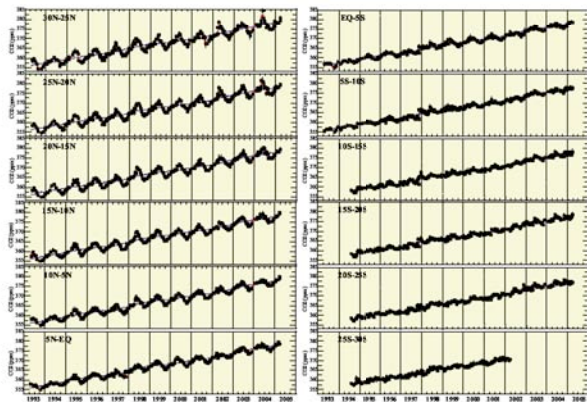


図1：日本と豪州を結ぶ旅客機で観測された高度約10kmにおける緯度別の二酸化炭素濃度の変動。

長期的なCO₂増加は上空でも地上でもほぼ同程度である。しかし、その増加速度は年々大きく変動し、年によって3倍以上異なっていることが上空の観測データから読み取れる(図2)。CO₂増加の年々変動は、エルニーニョ現象を表す指標（南方振動指数：SOI）と強い関連性がある。これは、数年スケールの気候変化に対応して海洋や陸上生態系のCO₂交換が変動することによって、大気に蓄積するCO₂の量が大きくコントロールされている結果と見なすことができる。

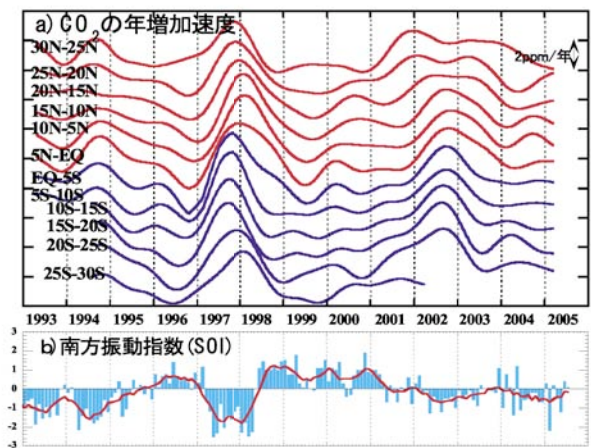


図2：上空における(a)二酸化炭素濃度の年増加速度の変動と(b)南方振動指数(SOI)。

2.2. 森林火災の影響

1997年から1998年にかけては、大規模なエルニーニョ現象が発生した。この期間、上空における微量気体の濃度分布に異変が起こった⁽¹⁾。図3は、定期航空機で観測された上空の一酸化炭素濃度(CO)の分布を示している。

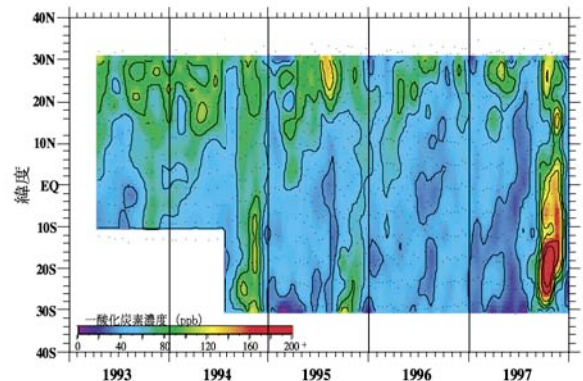


図3：日本と豪州を結ぶ旅客機で観測された高度約10kmにおける一酸化炭素濃度の分布。

1997年10月から11月にかけて、CO濃度が南半球を中心とした地域で異常上昇する現象が観測された。詳細なデータ解析の結果、インドネシアの早魃による森林や泥炭の大規模な延焼の影響が、上空の大気化学環境を激変させていたことがわかった。この現象は、全球のCO₂やメタンなどの温室効果気体の収支に少なからぬ影響を与えたと見積もられている。熱帯地域特有の激しい気候変化と強い上昇流によって、地球規模の炭素循環が変動するメカニズムの一端を理解することができた。

3. 観測船による海洋の炭素循環研究

3.1. エルニーニョと海洋のCO₂変動

熱帯太平洋は、強い放出域として大気のCO₂濃度の変動に影響を与えている。この海域を対象とした海洋観測船による観測を長期にわたって繰り返し実施し、CO₂交換の原動力となる表面海水中のCO₂分圧の年々変動の実態を明らかにしてきた⁽²⁾。その結果、太平洋赤道域におけるCO₂分圧の東西分布の変化は、エルニーニョ現象によって生じる湧昇域の縮小と連動しており、SOIや水温との明瞭な対応関係が見出された。これらの観測から導かれた関係と同化モデルによる水温データを利用して、大気・海洋間のCO₂分圧差の年々変動を高分解能で再現することが可能となった(図4)。さらに、長期再解析データの風速を用いてCO₂の交換係数を算定し、赤道域から大気に放出されるCO₂量を評価した。1990年から2000年の期間の年間放出量は、0.1PgCから0.8PgCの範囲で大きく年々変化していたことが明らかになった。

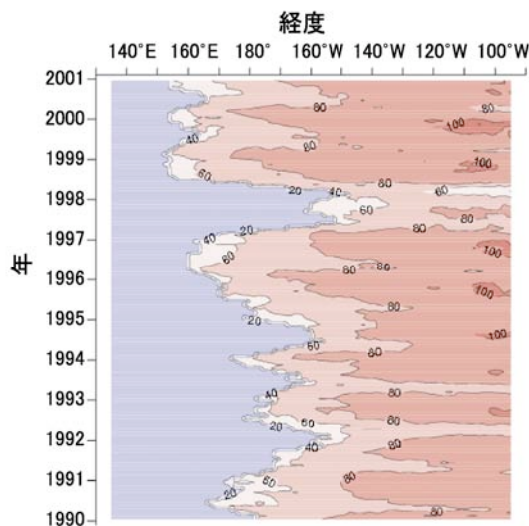


図4：赤道域における大気・海洋間のCO₂分圧差の経度—時間分布。

3.2. 海洋CO₂の長期的増加

気象研究所では、気象庁地球環境・海洋部と協同して、海洋気象観測船により本州南方の東経137度線に沿った亜熱帯海域を対象として長期観測を実施している⁽³⁾。海洋のCO₂分圧は1983年から2003年の間で長期的増加を示し、大気のCO₂増加にほぼ追従していることが認められた(図5)。このことは、人類活動による化石燃料起源のCO₂が海洋に蓄積していることを強く示唆した。人為起源CO₂の海洋内部への蓄積は、1994年から本格的に開始した高精度の全炭酸濃度測定によって直接確認されつつある。

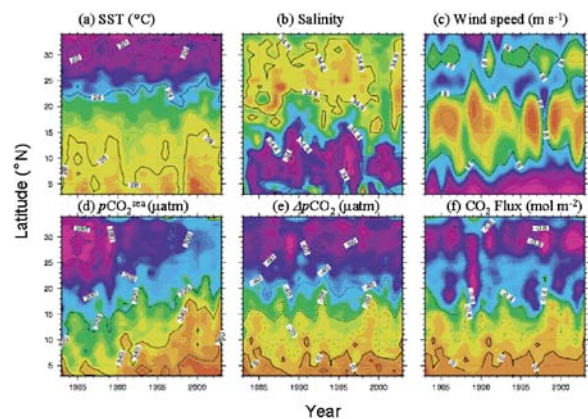


図5：本州南方東経137度の冬季における海洋表面の(a)水温、(b)塩分、(c)風速、(d)CO₂分圧、(e)大気・海洋の分圧差、(f)CO₂フラックスの緯度分布の経年変化。

4. まとめと今後の課題

10年以上にわたる長期の観測研究を通して、大気と海洋における温暖化原因物質の大規模な変動の実態と、数年スケールの気候変化に誘起される変動メカニズムが徐々に明らかになってきた。また、これらの観測データは、炭素循環モデルの高度化や衛星観測の検証に有効に活用されてきている。地球化学研究部では、さらに10年スケールの変動解明を目指した研究を推進するために、観測の継続と高頻度・高密度データ収集に向けた次世代観測技術の開発にも取り組んでいる。今後も、国内外の研究機関と連携し、民間企業の協力も得て、観測研究を進めていく必要がある。

参考文献

- (1) 松枝秀和 2005. 旅客機を利用した大気中微量気体の長期観測, ぶんせき, No.9, 490-495.
- (2) Ishii, M., et al., 2004. Variability of surface layer CO₂ parameters in the western and central equatorial Pacific. In: Shiyomi et al. ed., *Global Environmental Change in the Ocean and on Land.*, pp. 59-94, Terrapub, Tokyo.
- (3) Midorikawa, T., et al., 2005. Persistently strong oceanic CO₂ sink in the western subtropical North Pacific. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L05612 doi:10.1029/2004GL021952.