

陸上生態系炭素循環と大気環境の相互作用に関するモデル解析

A model analysis of the interaction between terrestrial ecosystem carbon cycle and atmospheric environment

伊藤 昭彦[1]

Akihiko Ito[1]

[1] 地球フロンティア

[1] Frontier Research System for Global Change

陸上生態系の炭素収支における年々変動は気象データを変数とするモデルを用いてある程度は解析することができた。演者の従来の研究では米国 NCEP/NCAR-再解析データを用いていたが、他の再解析データと比較して差異点が指摘されているため、モデル解析のデータ依存性を検討する必要性が生じた。そこで、米国 NCEP/AMIP-II DOE-再解析データと英国 ECMWF-再解析データを加え、3つの気象データについて 1979-93 年を対象に陸上生態系炭素収支の年々変動を計算して比較した。その結果、これらの再解析データを用いた結果は従来のものと定性的には一致したが、1980 年代前半などには相当の量的差異が生じており、モデル解析のデータ依存性が明確になった。

1. はじめに

陸上生態系はグローバル炭素循環において重要な役割を担っていると考えられているが、その不均質性・多様性・複雑性のために、その全容を定量化することは容易ではない。よって、観測およびモデル研究において、総量を直接に問題とするよりもその変動成分に着目する方が高い定量性が得られると期待される。大気 CO₂ 濃度には人間活動による上昇成分と規則的な季節成分に加えて、変則的な経年変動成分が含まれていることが示されているが、本研究ではそれに対する陸上生態系の寄与をモデルを用いて解析した。

2. 方法の説明

陸上生態系炭素循環モデル Sim-CYCLE を用いてモデル解析を行った。Sim-CYCLE は物質生産理論ベースの生態系炭素動態モデルであり、主に以下のような特徴を持っている。(1) 個葉における気孔ガス交換を組み入れた、(2) 土壌炭素を 2 分割した、(3) すべてのバイオームに適用できるよう成長スキームを汎用化した。モデルは 5 コンパートメント-システムを採用し、植生の炭素蓄積は葉、幹枝、根、土壌の炭素蓄積は枯死物(リター)、鉱質土層とした。大気-陸上生態系間の CO₂ 交換は、植生の光合成活動による吸収(総一次生産 : GPP)と、植生の呼吸(AR)および土壌微生物呼吸(HR)による放出により行われる。これら CO₂ フラックスの差分である NEP (純生態系生産量、=GPP - (AR+HR))は生態系が全体として CO₂ のソース(-)であるかシンク(+)であるかを示す。

陸上植生の分布は実験期間中は一定とし、Matthews (1983)による潜在植生と耕作強度から各格子点ごとに決定した。気象条件の時系列には、地表面での下向き短波放射量、表面温度、可能蒸発散量、潜熱輸送量、地表から 10 および 200cm の地温、同じ深度の土壌含水量について再解析データを使用した。1953~1999 年のモデル解析には米国 NCEP/ NCAR が作成した再解析データ(NCEP1)を利用した。また、モデル解析のデータ依存性を調べるため、1979~1993 年については NCEP1 を改良した NCEP/DOE による再解析データ(NCEP2)およびヨーロッパ中期予報センターによる再解析データ(ERA15)を用いた計算も行って比較を試みた。

3. 結果

NCEP1 を用いた 47 年間の実験期間において、全陸上生態系の植物バイオマスは平均して 537.1 Pg C であり、全土壌有機炭素は 1495.4Pg C であった。陸上生物圏による対流圏 CO₂ の年間固定量は平均 121.3Pg C yr⁻¹ におよんでいたが、植生の呼吸により 59.4 Pg C yr⁻¹ が放出されるので、陸上生態系の正味の固定力(純一次生産力(NPP)と呼ばれる)は 61.9 Pg C yr⁻¹ となっていた。CO₂ の gross フラックスである GPP、AR、HR にはそれぞれ ±0.60、0.58、0.65Pg C yr⁻¹ の標準偏差(SD)をもつ経年アノマリーが生じていた。NEP の SD は ±1.06Pg C yr⁻¹ であり、最大負アノマリー(相対的に陸上から放出)は 1998 年に発生した -2.6Pg C であった。1973 年、1983 年、1998 年には -2.0Pg C yr⁻¹ 以上の顕著な負の NEP が発生していたが、これらはいずれも ENSO の発生と対応しているように見えた。個々の気象要素に含まれるアノマリー成分と、Sim-CYCLE によって推定された陸上生態系炭素収支のアノマリー成分とで線形回帰を行うと、全球スケールでは温度要因のみが NEP と有意な相関があった ($r^2=0.373$; $p<0.0001$)。NCEP2 および ERA15 を加えた 3 つの再解析データによるモデル解析結果を比較すると、定性的には同様な結果が得られたが量的な差異は大きかった。例えば、温度アノマリーとの相関は NCEP2 で最も強くなり、逆に ERA15 を用いると弱くなった。

4. 考察

ここで行ったモデル解析は、陸上生態系の炭素収支が少なくとも短期的には気候変動に明敏な応答性を持ち、それが大気CO₂に影響を与えるほどの規模であったことを示唆している。一方、入力気象データによって量的な違いが出たことはモデルの結果を解釈する際に十分に注意を払う必要があるだろう。そのため、今後は大気輸送拡散モデルとの結合して大気CO₂濃度の時空間分布を再現して実測データと比較するなど、結果の検証を重点的に行う必要がある。