

共分散構造分析に基づいた大気中CO₂濃度変動のメカニズムに関する研究

宇都宮大学工学部
宇都宮大学大学院工学研究科
宇都宮大学大学院工学研究科

○ 学生員 山口 香
正会員 鈴木 善晴
正会員 長谷部 正彦

1. はじめに

近年，地球温暖化は急激に深刻化しており，その結果，人類にも多大な被害を及ぼすことが懸念されている．地球温暖化を引き起こす原因としては温室効果ガスであるCO₂の影響が大きいとされており，その中でも，人為起源によるCO₂排出が，主な原因であると考えられている．そのため，地球温暖化対策を講ずる上でCO₂の挙動を把握することは重要であり，CO₂に関する様々な研究が行われている．従来の研究から，大気中CO₂濃度変動には季節変動以外に経年変動という数年間にわたる変動の存在が明らかになっている¹⁾．しかし，大気中CO₂濃度に対し，どのような影響因子がどのようなプロセスでどの程度影響しているのか明確でないのが現状である．

清水・富永らの研究²⁾によれば大気中CO₂濃度の周期変動には，1年周期を表す短周期成分と，10年程度の長期的な周期を表す長周期成分が存在することが明らかになっている．短周期成分は季節変動を示し，主な影響因子は植生活動とされているが，長周期成分は地球環境変動因子と人為的CO₂排出の影響を複合的に受けて生じるため，影響が複雑に絡み合いその変動メカニズムは明らかになっていない．そこで，本研究では，大気中CO₂濃度の観測データを用い，共分散構造分析を行うことで，大気中CO₂濃度変動の長周期成分に影響を与える因子の把握及びそれらの因果関係を解明することを目的とする．

2. 共分散構造分析の概要

共分散構造分析とは，社会・自然現象の因果関係を調べるための統計手法であり，パス図によりモデル化することで，視覚的な資料分析が可能になる．分析方法としては，図-1に示すようなパス図より得られる母数（パス係数，分散・共分散）と観測されたデータより得られる分散・共分散を適合するよう，最尤法により最適な母数を決定していく．図-1において，矢印上に記載された α ， β などの数値をパス係数という．観測変数は実際に観測データが得られている変数（図中の長方形），潜在変数は観測データが得られていない変数（図中の楕円形）である．なお，本研究では共分散構造分析ソフト Amos を使用し分析を実行した．

3. 本研究で利用したデータの概要

大気中CO₂濃度に直接影響を与える因子として，人為的CO₂排出量，植生活動，土壌呼吸量，海面水

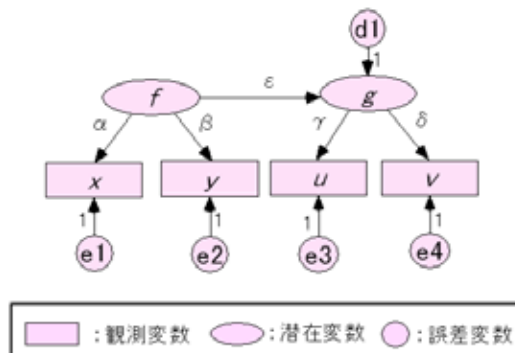


図-1 共分散構造分析に用いられるパス図の例

温などが挙げられる．またこれらの因子は太陽日射などの影響を受け，相互に影響し合っていると考えられる．そこで，本研究では，大気中CO₂濃度変動のメカニズムを解明するため，これら影響因子のデータを用い，共分散構造分析を行った．以下，本研究で利用したデータについて概説する．

(1) 大気中CO₂濃度データ

温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）³⁾および二酸化炭素情報解析センター（CDIAC）⁴⁾によって収集された全93地点における大気中CO₂濃度の月平均実測データを用いた．なお，本研究では，ある程度長期間のデータを必要とするため，データ期間が200ヶ月以上の29地点のデータを用いた．また，同データを領域別に月単位で平均化し，領域平均時系列データを作成して分析を実行した．更に，大気中CO₂濃度の原型列からトレンドを除き（残差成分），残差成分から短周期成分を取り除くことで，長周期成分と確立変動成分に分離した．本研究の分析には長周期成分を用いる．

(2) 人為的CO₂排出量

本研究では，人間が排出したCO₂が大気中CO₂濃度変動に対してどの程度影響を与えているかを確認するため，これを直接影響因子の一つとして考え，分析には二酸化炭素情報解析センター（CDIAC）⁴⁾が提供し，Global Environment Outlookで公開されている，Marland et al. のデータを用いた．これは個体，液体と気体燃料の消費，ガス燃焼やセメント製造により生産されたCO₂の全世界総和の放出量の時系列データである．同データは，年単位データであり，且つトレンドが存在するため，月単位データに変換し，トレンドを除くことで，経年変動を取り出して分析に用いた．

Key Words: 大気中CO₂濃度，気温，長周期成分，地球温暖化，共分散構造分析

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6214 Fax.028-689-6213

(3) 植生活動

植生活動を表すデータとして、NDVI (Normalized Difference Vegetation Information: 正規化植生指標) を直接影響因子の一つと考えた。NDVIとは、人工衛星の観測値から求められる植生の有無・多寡・活性度を示す指標である。本研究では、人工衛星 NOAA の AVHRR センサーによる $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ グリッドの全球月単位グリッドデータ (1981 年 7 月～2001 年 9 月) から時系列の季節変動データを除いた経年変動を用いた。

(4) 土壌呼吸量

土壌呼吸量とは、土壌から放出される CO_2 の量のことであり、植生の根の呼吸や土壌中の微生物の有機分解による呼吸量が含まれる。植生・土壌温度・水分などにより変化するため、植生活動 (NDVI)・地温・降雨量から大きな影響を受けると考えられる。本研究では、二酸化炭素情報分析センター (CDIAC) ⁴⁾ が公表している全球土壌呼吸量グリッドデータ (1980 年 1 月～1994 年 12 月) を用い、このグリッドデータから全球、半球平均時系列データを作成して分析を行った。

(5) 海面水温

海面水温の変動は、海水面の炭素収支に影響を与える。水温が上昇すると大気中 CO_2 は溶けにくくなり、海洋の CO_2 吸収が阻害される。その結果、大気中 CO_2 濃度は増加する。逆に水温が下降すれば濃度は減少すると考えられる。そこで本研究では気象庁によりまとめられた、1946 年 1 月～2002 年 11 月までの GPV (Grid Point Value) データを用いて、分析を行った。

4. CO_2 濃度変動に関する共分散構造分析

本研究では、まず、全球域において、大気中 CO_2 濃度に直接影響を与えと考えられる、人為的 CO_2 排出量、植生活動、土壌呼吸量、海面水温のデータを用いて、図-2 に示すような直接影響モデルを用いて分析を行った。同モデルは植生活動、土壌呼吸量、海面水温を独立であると考えているが、実際これらの因子は地表面日射や地温などの様々な因子を通して太陽放射が影響を与えていると考えられる。そこで、この直接影響モデルを基にして、影響因子の因果関係を具体的に検討するために図-3 に示すような間接効果を考慮したモデルを考えた。また、同じモデルで半球ごとでも分析を実行した。

その結果得られた各因子のパス係数および寄与率を表-1 に示す。同表より、大気中 CO_2 濃度変動には人為的 CO_2 排出量と土壌呼吸量が大きな影響を与えていることが分かる。寄与率について見ると、南半球は全球・北半球に比べ寄与率が小さくなっており、これらの因子では長周期成分を十分に説明できていないという結果になってしまった。そのため、今後は、更に地球環境因子数を増やして分析を進めていく必要がある。

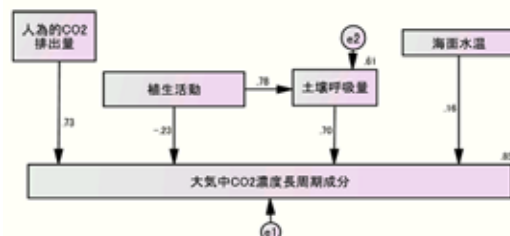


図-2 大気中 CO_2 濃度変動に関する共分散構造分析で使った直接影響モデル

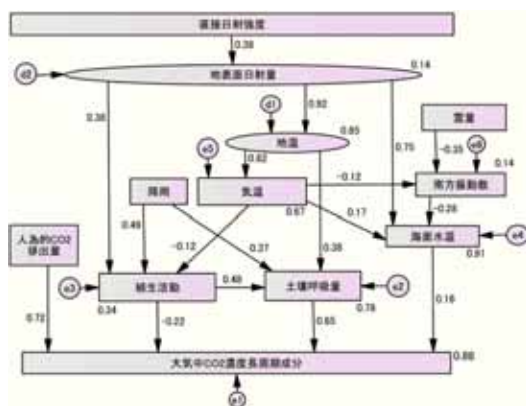


図-3 大気中 CO_2 濃度変動に関する共分散構造分析で使った間接効果を考慮したモデル

表-1 領域を考慮した各因子の長周期成分に対する直接影響因子のパス係数および寄与率

影響因子	全球	北半球	南半球
植生活動 (NDVI)	-0.22	0.14	-0.24
土壌呼吸量	0.65	0.24	0.43
海面水温	0.16	0.27	0.25
人為的 CO_2 排出量	0.72	0.74	0.73
寄与率 (%)	86	81	77

5. まとめと今後の課題

本研究では、大気中 CO_2 濃度変動に影響を与える因子の把握及びそれらの因果関係を解明することを目的として、共分散構造分析を行った。その結果、人為的 CO_2 排出量の他に土壌呼吸量も大気中 CO_2 濃度変動に大きな影響を与えるという結果が得られた。今後は、地域ごとに分析を行うとともに、また、地球環境因子の数を増やして更に詳細な分析を進めていく予定である。

参考文献

- 1) Keeling, C.D. et al.: Aspects of Climate Variability in the Pacific and the Western Americas, 1989.
- 2) 清水保, 富永綾乃, 長谷部雅彦, 鈴木善晴, 日野幹夫: 大気中 CO_2 濃度の時系列変動特性とそのメカニズムに関する基礎研究, 土木学会水工学論文集, 第 49 巻, pp.31-36, 2005.
- 3) 温室効果ガス世界資料センター: World Data Center for Greenhouse Gases (WDCGG), <http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg/>
- 4) 二酸化炭素情報分析センター: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), <http://cdiac.ornl.gov/>