

大気中 CO₂ 濃度の長周期変動特性とそのメカニズムに関する研究

宇都宮大学大学院工学研究科

宇都宮大学工学部

宇都宮大学工学部

JR 東日本コンサルタンツ（株）

○ 学生員 富永 綾乃

正会員 長谷部 正彦

正会員 鈴木 善晴

清水 保

1. はじめに

近年、深刻化している地球温暖化の要因の一つに CO₂ の影響が報告されている¹⁾。そのため、CO₂ に関する研究が、様々な分野で行われてきた。従来は、限られた大気中 CO₂ 濃度観測値から逆解析を行い、吸収・放出域を推定するインバースモデルを用いた研究が主軸となっており行われてきたが、輸送モデルや逆解析手法に課題が残っているため、解析の精度に限界があると考えられる。また並行して、データ解析も行われており、経年変動と呼ばれる変動の存在が明らかになった²⁾が、未だそのメカニズムは解明されていない。そこで、本研究は、近年充実してきた大気中 CO₂ 濃度の観測データを用い、特性³⁾をもった時系列構成成分に着目してデータ解析及び統計処理を行うことで、大気中 CO₂ 濃度の変動特性及びその影響因子の解明を目指し、解析を行った。

2. 大気中 CO₂ 濃度データ

(1) 解析地点

本研究では、WDCGG（温室効果ガス世界資料センター）及び CDIAC（二酸化炭素情報解析センター）の全 93 地点の大気中 CO₂ 濃度の月平均実測データのうち、長期的な周期の解析を行う場合は、ある程度長時間のデータを要するため、データ期間が 200 ヶ月以上ある図-1 に示す 29 地点のデータを用いた。

(2) 時系列構成成分

本研究では、大気中 CO₂ 濃度変動の時系列は傾向成分、短周期成分、長周期成分、確率変動成分の 4 つの時系列構成成分から成り立っていると考えた。傾向成分は、原系列（図-2（1））にスプライン関数を適用し、曲線トレンドを用いた。原系列から傾向成分を除いた残差成分に対して、1 年を基本周期としたフーリエ級数を求め、これを短周期成分とした。長周期成分は残差成分から短周期成分を除き、移動平均で定常確率過程の確率変動成分と分離することで得られる（図-2（2））。本研究では、特に周期性を明らかにするため、長周期成分について解析を行った。

3. 相互相関解析

まず、本研究では、長周期成分への影響因子として、植生活動、土壌呼吸量、エルニーニョ/ラニーニャ現象、気温、海面水温、太陽活動、経済活動そして人為的 CO₂ 排出を考えた。

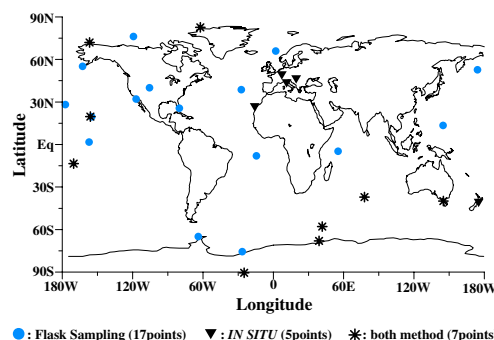


図-1 観測期間が 200 ヶ月以上の解析地点（全 29 地点）

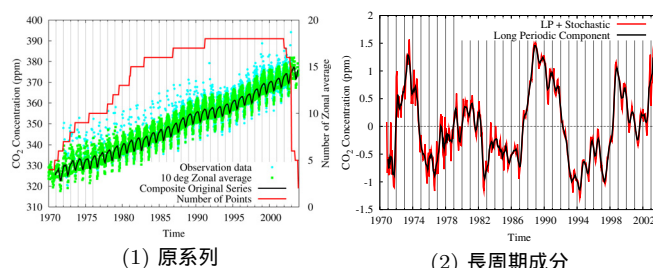


図-2 全球の大気中 CO₂ 濃度平均変動の時系列構成成分

大気中 CO₂ 濃度の長周期成分と各影響因子について相互相関係数を求めることで、タイムラグを考慮した相関関係を確認する。その際、空間変動特性を考慮して、全球平均の大気中 CO₂ 濃度の長周期成分と各因子の経年変動を用いた。なお、影響を受ける指標を過去に向かって位相をずらし、位相差 30 ヶ月以内で相関係数がピークをとる時間をタイムラグとした。

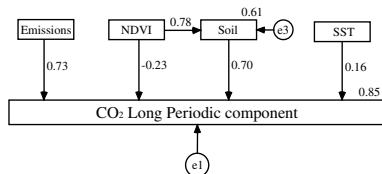
このタイムラグを考慮して相互相関解析を行った結果、長周期成分は支配的な因子の影響で生じる振幅変動ではなく、様々な因子の複雑な因果関係の上に生じる変動であると考えられるので、タイムラグを考慮して共分散構造分析を行うことで、その因果関係の解明を試みる。そのため、各因子についてタイムラグを決定する必要があるのだが、ピークが明確ではないものやタイムラグを示さないものが存在するため、決定することができない。そこで、タイムラグを相関係数の最大値から 0.02 を差し引いた相関係数以上における範囲とした。そして、因果関係にあると考えられる因子間についても、同様にタイムラグを求め、表-1 に示すような各因子のタイムラグを決定した。

Key Words: 大気中 CO₂ 濃度、長周期変動、相互相関解析、タイムラグ、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

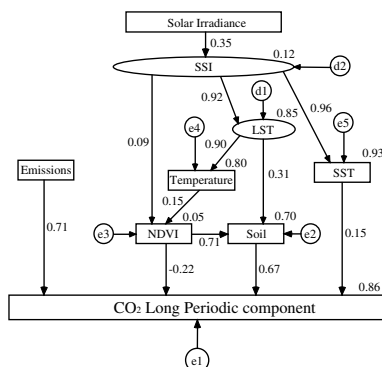
表-1 大気中 CO₂ 濃度の長周期成分に対する各影響因子のタイムラグ

影響因子	タイムラグ
GDP	4 ヶ月
人為的 CO ₂ 排出量	6 ヶ月
土壌呼吸量	9 ヶ月
植生活動	9 ヶ月
気温	9 ヶ月
海面水温	11 ヶ月
太陽活動	11 ヶ月
SOI	13 ヶ月



AIC=108.688 GFI=.758 CFI=.822 RMR=.317

図-3 直接的影響モデル



AIC=116.800 GFI=0.876 CFI=0.886 RMR=0.235(<0.434)

図-4 最終的な因果関係モデル

4. 共分散構造分析

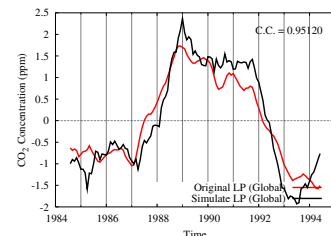
共分散構造分析は、データから得られる分散・共分散と、モデルの母数（係数や分散，共分散など）で表現された分散・共分散を適合させるように最尤法で母数を決定する．本研究ではモデルの評価として，RMR（残差平均平方根）と GFI（適合度指標），CFI（比較適合度指標）を用いた．RMR は，モデルに対して，全変数が独立と仮定した際に得られる独立 RMR より低いことが望まれる．GFI と CFI は共に 1.0 に近いほど有意なモデルを表わし，一般に 0.9 以上で適合が良いとされる．

全球域において，大気中 CO₂ 濃度の長周期成分に直接影響を与える因子を用いて，図-3 に示す直接影響モデルを考えた．しかし，同モデルには独立成分が多いため，適合度が悪い．そこで，人為的因子と地球環境変動因子が影響し合うとは考えられないので，本研究では GFI と CFI の基準を 0.8 以上にして対応することで解析を進めた．

同モデルの適合度を上げるために，影響因子間の因果関係を検討し，図-4 に示す因果関係モデルを考えた．同モデルは，直接影響モデルに比べ独立な因子が減ったため，適合度が高い．次に同モデルから得

表-2 全球域で考えた各影響因子の長周期成分に対する寄与率

影響因子	直接効果	間接効果	総寄与率
植生活動	5.1%	-12.5%	-7.4%
土壌呼吸	45.4%	-7.1%	38.3%
海面水温	2.3%	3.6%	5.9%
地球環境に関する因子の総寄与率			36.8%
人為的 CO ₂ 排出量	49.8%	-	49.8%
人為起源因子の総寄与率			49.8%
全総寄与率			86.6%

図-5 全球の大気中 CO₂ 濃度の長周期成分と影響因子から再現した長周期成分

られた寄与率を表-2 に示す．重相関係数の平方を求める過程で直接効果と間接効果が算出され，本研究では，これらの和を総寄与率とした．その結果，地球環境因子に比べ，人為起源因子の寄与率が高く，人為的な CO₂ 排出量が長周期成分に大きな影響を与えていると考えられる．

最後に，共分散構造分析によって得られたパス係数を用いて，長周期成分の再現を試みた．その結果を図-5 に示す．大きな変動だけでなく，細かい変動もある程度再現できており，大気中 CO₂ 濃度の長周期成分は本研究で考えた因子である程度説明付けできた．

5. 結論と今後の課題

本研究では，大気中 CO₂ 濃度変動を時系列構成成分に分け，長周期成分の変動要因を解明することができた．まず，各影響因子のタイムラグを相互相関解析により決定し，それを考慮した上で，長周期成分に対する共分散構造分析を行った．その結果，CO₂ 濃度の長期的な変動には，全球規模の地球環境変動だけでなく，人為的 CO₂ 排出も大きく影響していることが確認された．

本研究では，因子間の影響を考慮して，タイムラグを決定したが，データ期間が長くなると明確に決定できなくなると考えられる．そこで今後，タイムラグの扱い方の検討，また，移流拡散や炭素循環モデルによる本研究結果の裏付けが必要である．

参考文献

- 1) IPCC: Climate Change 2001 : The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC, 2002
- 2) C.D.Keeling *et al.* : A three-dimensional of atmospheric CO₂ transport based on observed winds: 1. Analysis of observational data, Geophysical Monograph, vol.55, pp.165-236, 1989
- 3) 清水・長谷部ら：地球規模における大気中 CO₂ 濃度の時空間変動及び空間分布特性，水工学論文集，第 47 巻，pp.91-96，2004