

# 大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の長周期変動に対する影響因子に関する研究

宇都宮大学大学院  
宇都宮大学

学生員 富永 綾乃  
正会員 鈴木 善晴

宇都宮大学大学院  
宇都宮大学大学院

学生員 清水 保  
生会員 長谷部 正彦

## 1. はじめに

近年、世界各地で頻発する異常気象の原因として、地球温暖化による気候変動の可能性が指摘されており、今後更に異常気象による災害が深刻化していくことが懸念されている。この地球温暖化の原因として、人為起源による CO<sub>2</sub> 増加の影響が大きいと報告されており<sup>1)</sup>、CO<sub>2</sub> 濃度の変動を把握することは、地球温暖化の適切な対策を講ずる上で大変重要である。清水ら<sup>2)</sup>によれば、CO<sub>2</sub> 濃度には、1 年周期の他に、約 10 年の長期的な周期変動が存在すると報告されているが、その詳細なメカニズムについては現在のところ明らかでない。そこで本論文では、CO<sub>2</sub> 濃度に対する影響因子として気温や経済活動等に着目し、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の長周期変動に影響を与える因子と、その相互関係を明らかにすることを目的としている。

## 2. 解析データ

### (1) 大気中 CO<sub>2</sub> 濃度データ

本論文では、WDCGG (温室効果ガス世界資料センター) 及び CDIAC (二酸化炭素情報分析センター) による全 93 地点における大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の月平均実測データを用いた。これらには、2 通りの測定手法のデータが混在しているが、両手法で測定された 7 地点で検討を行った結果、それらに大きな相違が見られなかったため<sup>2)</sup>、同様のものと考えた。また、使用したデータにはいくつかの欠損期間があるため、スプライン関数とフーリエ級数を用いてデータの内挿を行った。

### (2) 気温

気温上昇の原因は大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の増加にあるという節は一般的だが、このメカニズムは未だ明確にされていない。一方で、気温の変化が CO<sub>2</sub> 濃度の変化に先行する<sup>3)</sup>という報告もある。そこで本論文では、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の影響因子として気温に着目した。気温データは、Climate Research Unit が公表している 1856 年から 2002 年までの全球偏差データを用いた。これは、1961 年から 1990 年までの平均値を基準としている。

### (3) 経済活動データ

従来から大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の上昇は、化石燃料の大量消費により、自然界の吸収能力を超える CO<sub>2</sub> が発生したために起きていると言われている。そこで本論文では、化石燃料消費量を表す指標として、世界銀行がまとめた世界全体の年単位 GDP を用いて解析を行った。

表-1 清水ら<sup>2)</sup>に基づいた大気中 CO<sub>2</sub> 濃度時系列の各構成成分の算出方法

傾向成分	スプライン関数を適用して算出した曲線トレンド
短周期成分	1 年を基本周期としたフーリエ級数
長周期成分	原系列から傾向成分と短周期成分を除去

## 3. 時系列解析

### (1) 時系列構成成分の算出

清水ら<sup>2)</sup>によれば、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の時系列は、傾向成分 (Trend Component)、1 年周期を持つ短周期成分 (Short Periodic Component)、長期的な周期を持つ長周期成分 (Long Periodic Component) の 3 成分から構成されると報告されている。各成分の算出方法は表-1 に示す。本論文においても、同様な観点から時系列解析を行った。

ただし、本論文では、この算出方法における長周期成分には、確率変動成分 (Stochastic Component) が含まれていることを考慮し、移動平均値を用いて、長周期成分から確率変動成分の分離を試みた。

ここで、分離後の確率変動成分の定常性について、95 %信頼水準で統計的に検定した。5ヶ月の移動平均を用いることで、自己相関係数は信頼限界線の中にほぼ入ることが確認でき、確率変動成分は定常確率過程に属することが明らかになった。よって、本論文では、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度時系列の原系列は式 (1) のように構成されるとして解析を行った。

$$y_t = T_t + SP_t + LP_t + \xi_t \quad (1)$$

ここに、 $T_t$  は傾向成分、 $SP_t$  は短周期成分、 $LP_t$  は長周期成分、 $\xi_t$  は確率変動成分 (誤差成分) を表している。

### (2) 長周期成分の空間変動特性

本節では、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の長周期成分の相関分析に用いるデータを決定するために、各解析地点における CO<sub>2</sub> 濃度の長周期成分のスペクトル解析を行い、空間変動特性の把握を試みた。なお、長期的な成分を対象とするため、データ期間が 200ヶ月以上ある 26 地点で解析を行った。

スペクトル強度、つまり周期性の強さの分布を図-1 に示す。これにより、長周期成分は北半球の高緯度を除き、全球で一様な強さで存在することが確認できた。よって、本論文では、全球平均大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の長周期成分を用いて、各影響因子の比較・検討を行った。

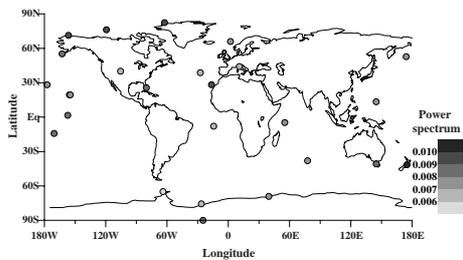
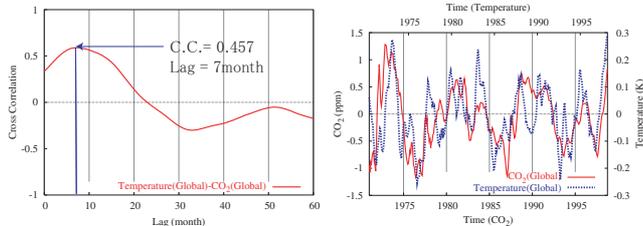
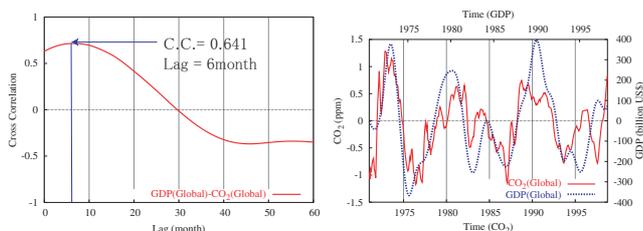


図-1 各解析地点における長周期成分のスペクトル強度の分布



(a) 相互相関図 (b) 遅れ時間を考慮した比較図

図-2 全球平均大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の長周期成分と全球平均気温との相関分析結果



(a) 相互相関図 (b) 遅れ時間を考慮した比較図

図-3 全球平均大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の長周期成分と世界総 GDP との相関分析結果

#### 4. 長周期成分の影響因子

本節では、目的変数として大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の長周期成分、説明変数として気温と GDP を用いて、重回帰分析を行った。なお、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の長周期成分に対する影響因子として着目した気温と GDP には、時系列にトレンドが存在するため、CO<sub>2</sub> 濃度と同様に傾向成分や確率変動成分を除いて、振幅変動のみの成分を用いる。また、偏回帰係数から説明変数の寄与度を推定するために、標準化した CO<sub>2</sub> 濃度の長周期成分と各因子データを用いる。

##### (1) 各影響因子の位相差

重回帰分析を行うにあたり、各因子の影響が長周期成分に現れるには、ある程度の時間を要すると考えられるため、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の長周期成分と因子との相互相関により、最も良い相関を示す位相差を遅れ時間として考慮した。

図-2,3に相互相関図及び遅れ時間を考慮した因子と CO<sub>2</sub> 濃度の長周期成分との比較を示す。これより、GDP と気温は、CO<sub>2</sub> 濃度の長周期成分に対して、それぞれ 6, 7ヶ月程度の遅れ時間を持つことが明らかになった。また、両者とも CO<sub>2</sub> 濃度の長周期成分と対応良く変動していることが確認できた。

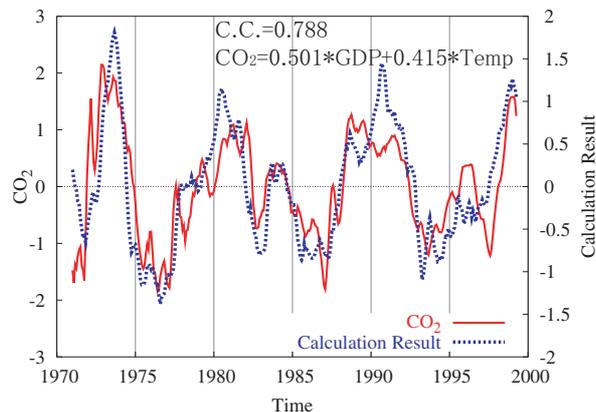


図-4 気温と GDP を用いた重回帰分析による長周期成分の推定値と実測値との比較

表-2 気温と GDP を用いた重回帰分析結果

	標準偏回帰係数	信頼区間	推定寄与度
気温	0.415	±0.08	17.2%
GDP	0.501	±0.06	25.1%

##### (2) 各影響因子の寄与度

遅れ時間を考慮した重回帰分析による、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の推定値を図-4に示す。振幅に多少差があるものの、重相関係数は 0.788 を示し、変動傾向は良く再現されていると言える。

更に、*t* 分布を用いて偏回帰係数の 95 % 信頼区間を算出し、その有意性を確認した。表-2 に示した各因子の信頼区間が小さいことより、標準偏回帰係数の有意性が、統計的に高いことが確認できた。よって、CO<sub>2</sub> 濃度の長周期成分に対する気温と GDP の寄与度は、それぞれ 25.1 % , 17.2 % 程度であると推定できる。

よって、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の長周期成分に対する影響因子として、気温等の地球環境だけではなく、人間活動も考慮する必要があることが定量的に明らかになった。

#### 5. まとめと今後の課題

大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の原系列から、傾向成分、短周期成分と確率変動成分を除いた長周期成分は、GDP や気温とそれぞれ 6, 7ヶ月程度の位相差を持って、対応良く変動している。そして、その位相差を考慮し、重回帰分析を行った結果、CO<sub>2</sub> 濃度の長周期成分の変動傾向を良く再現することができた。

今後は、その他の因子も取り入れた共分散構造分析を行うことにより、因果関係を明確にした上で、各因子の寄与度を解明していくことが求められる。

#### 参考文献

- 1) IPCC, Climate Change 2001 : The Scientific Basis (Summary for Policymakers), Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC, 2002 .
- 2) 清水・長谷部：地球規模における大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の時空間変動及び空間分布特性，水工学論文集，2004 .
- 3) Keeling, C.D. et al. : Aspects of Climate Variability in the Pacific and the Western Americas , 1989 .