

時系列解析による 全球規模の大気中 CO₂ 濃度の時間変動特性について

宇都宮大学工学部
宇都宮大学工学部
宇都宮大学工学部

○ 学生員 佐々木 絵美
正会員 鈴木 善晴
正会員 長谷部 正彦

1. 背景と目的

近年、地球温暖化は悪化の一途をたどっており、現在では異常気象や海水面の上昇等、世界各地でその影響が顕在化してきている。その一義的要因は化石燃料等による人為的温室効果ガスである CO₂ 排出によるものであり、このまま CO₂ が増加し続けられれば、今世紀末には平均気温が 2.4~6.4 上昇すると予測されている¹⁾。その気温上昇に対して適切な対策を講ずる上でも CO₂ の挙動を把握することは大変重要ではあるが、大気中 CO₂ による気温上昇との関係は未だ十分に解明されていないのが現状である。そこで、本論文では、大気中 CO₂ 濃度の観測データを用いて時系列解析を行い、大気中 CO₂ 濃度の時間変動特性を把握することで、その経年変動の要因を含め、大気中 CO₂ 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いる。

2. 大気中 CO₂ 濃度の時系列解析

(1) 大気中 CO₂ 濃度データ

本論文では、WDCGG(温室効果世界資料センター)によって収集された大気中 CO₂ 濃度の月平均実測データを用いた。²⁾ これらには、現場で継続的に測定されたもの (INSITU)、現場でサンプリング後、室内で測定されたもの (Flask Smpling)、の 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、双方に大きな相違がなかったため³⁾、同様のものと考えた。なお使用したデータには欠損のあるものがあるため、スプライン関数とフーリエ級数を用いて内挿した。

(2) 時系列構成成分

本論文では大気中 CO₂ 濃度の原系列は式 (1) のように、曲線的な増加傾向を表す傾向成分、1 年周期をもつ短周期成分、長期的な周期を持つ長周期成分、不規則成分と考えられる確率変動成分の 4 成分から構成されていると考える。

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

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、 ξ_t は確率変動成分を表している。これらの決定方法は、以下の通りである。

傾向成分 T_t は、原系列にスプライン関数を適用し、曲線トレンドを用いた⁴⁾。原系列から傾向成分を除いた成分 (残差成分) に対して、1 年を基本周期とした

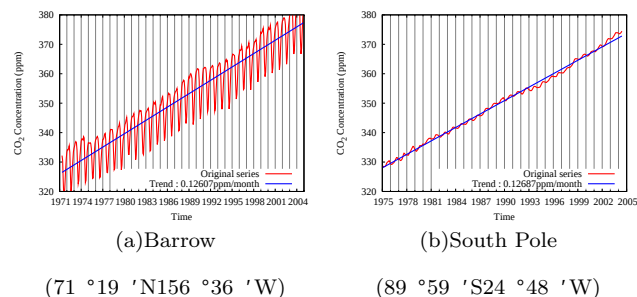


図-1 各解析地点における大気中 CO₂ 濃度の原系列と傾向成分

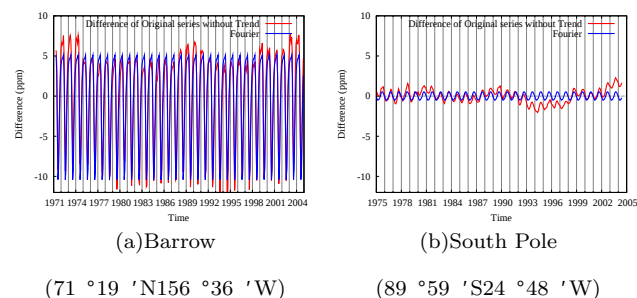


図-2 原系列から傾向成分を除いた (残差成分) と 1 年を基本周期とした短周期成分

フーリエ級数を短周期成分 SP_t とした。また、残差成分から短周期成分を除いた成分に対して、移動平均を適用することにより、長周期成分 LP_t と確率変動成分 ξ_t と分離した。

3. 大気中 CO₂ 濃度の時間変動特性

本論文では、比較的データ期間の長い北半球の Barrow(71°19'N, 156°36'W) と南半球の South Pole(89°59'S, 24°48'W) についての解析結果のみを示す。

図-1 は、代表地点の大気中 CO₂ 濃度の原系列と傾向成分を示している。また、原系列から傾向成分を除いた成分 (残差成分) と 1 年を基本周期とした短周期成分を比較した図-2 より、両者にずれが生じる部分が存在することが分かる。

そこで、この残差成分に対してスペクトル解析を行い、周期変動を定量的に計った。(図-3) この図から、強度に相違はあるが、どの地点でも 1 年周期が卓越していることが分かる。また、1 年以下の周期である高周波数域と 1 年以上の低周波数域においていくつかのピークが見られるが、後で述べるように高周波数域は見かけ上の周期であり、低周波数域は長期的な約 10 年周期である。

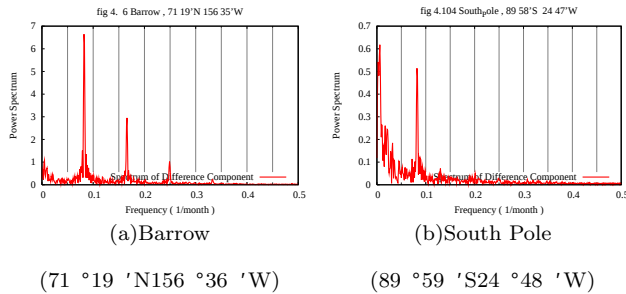


図-3 原系列から傾向成分を除いた成分(残差成分)のスペクトル強度

スペクトル強度を比較すると、北半球における長期的な周期は1年周期に比べて非常に弱い、南半球における長期的な周期は1年周期と同程度、あるいは長期的な周期の方が強く検出される地点も存在した。

更に詳細に変動特性を把握するために、残差成分から短周期成分を除いた成分に対してスペクトル解析を行う。(図-4) この図より低周波数域に顕著なピークが見られ、先ほど存在していた高周波数域におけるピークは消失していることが確認できる。これにより、前述した残差スペクトル(図-3)の高周波数域におけるピークは、1年以下の周期の見かけ上の周期であったことが明らかとなった。

次に、CO₂濃度の長期的な成分が見かけ上の周期ではない、実際に存在している周期であることを式(2)に示す連続ウェーブレット変換 $T(a, b)$ を用いて検証する。

$$T(a, b) = \frac{1}{\sqrt{c_\phi}} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi^{(a,b)}(t) f(t) dt$$

$$\varphi^{(a,b)}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

ここに $\varphi^{(a,b)}(t)$:ウェーブレット関数, $f(t)$:任意の記号, c_ϕ :アナライジングウェーブレットのフーリエ変換で定義される有限値の定数, a :周波数に相当するパラメータ, b :時間パラメータ, $\varphi(t)$:アナライジングウェーブレット, である。なお、本研究では、長周期成分の変動形態が滑らかであることから、アナライジングウェーブレットとして式(3)に示すメキシカンハットを用いた。

$$\varphi(t) = \left(1 - t^2\right) \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \quad (3)$$

図-5は、長期的な周期成分について連続ウェーブレット変換を施し3次元表示したものを、低周波域についてカットしたものである。これにより、約10年に相当する長期的な周波数成分の振幅が存在していることが分かる。その結果、長期的な周期変動は見かけ上の周期ではなく実際に存在する周期変動である可能性が示唆された。

4. 結論と課題

本論文では、未だに十分に解明されていない大気中CO₂濃度変動のメカニズムを解明することを目的と

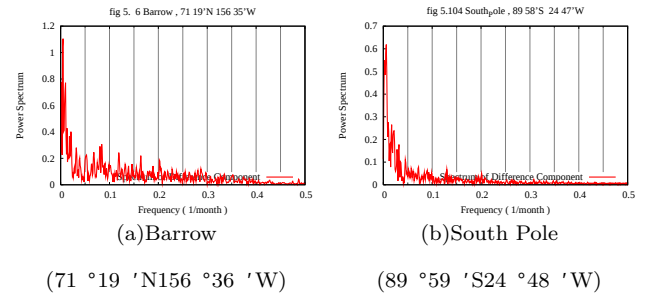


図-4 確率変動成分を含む長周期成分のスペクトル強度

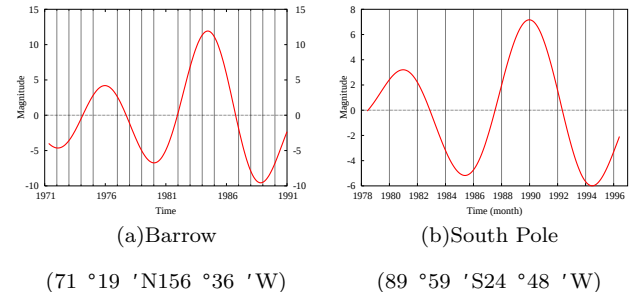


図-5 大気中CO₂濃度の長期的な成分の低周波域におけるウェーブレットカット

し、時系列解析を基に検討を行った。まず、大気中CO₂濃度変動を傾向成分、短周期成分、長周期成分及び確率変動成分の4成分に分離し、周期性に着目しながらスペクトル解析を行う。そこから大気中CO₂濃度の時間変動特性を見出し、周期変動の把握を試みた。以下に、本研究から得られた結果及び今後の課題を示す。

1. 大気中CO₂濃度の周期変動には、1年周期と約10年の長期的な周期が存在している。
2. 北半球における大気中CO₂濃度の長期的な周期は、1年周期に比べて非常に弱い周期性を示す。
3. 南半球における大気中CO₂濃度の長期的な周期は、1年周期と同程度、あるいは長期的な周期の方が強い周期性を示す。
4. 本研究によって、北半球と南半球において異なる強度の周期性を示すことが明らかになったが、その要因は明らかではない。そのため、今後は空間変動に焦点をおいて、大気中CO₂濃度変動の特性を解明していく。

参考文献

- 1) IPCC: Climate Change 2007: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC, 2007.
- 2) WDCGG: WMO WDCGG CD-ROM, JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY in cooperation with WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2008.
- 3) 富永・長谷部: 太陽活動、地球規模の大気中CO₂濃度及び気温の因果関係に関する研究、水工学論文集, 2005.
- 4) 清水・長谷部: 大気中CO₂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、水工学論文集, 2005.