

1. はじめに

気温と大気中の CO₂ 濃度には強い相関関係がある。例えば、南極の氷柱の分析から、氷期-間氷期の数万年スケールの気温変動の結果として、大気中の CO₂ 濃度が気温に同期して増減することが知られている。この現象は気温の変動によって CO₂ (C) の巨大な貯蔵圏である海水や陸地から大気中へ放出される CO₂ 量が増えるためだと考えられる。

近年における気温と CO₂ 濃度の関係についての議論の出発点となったのは、南極とハワイで CO₂ 濃度の連続精密観測を行った C.D.Keeling の功績による。図 1 は Keeling による南極における CO₂ 濃度観測値と世界平均気温偏差の 13 ヶ月の移動平均値の経年変化を示したものである (13 ヶ月の移動平均をとることによって、季節変動による影響を取り除いている。)

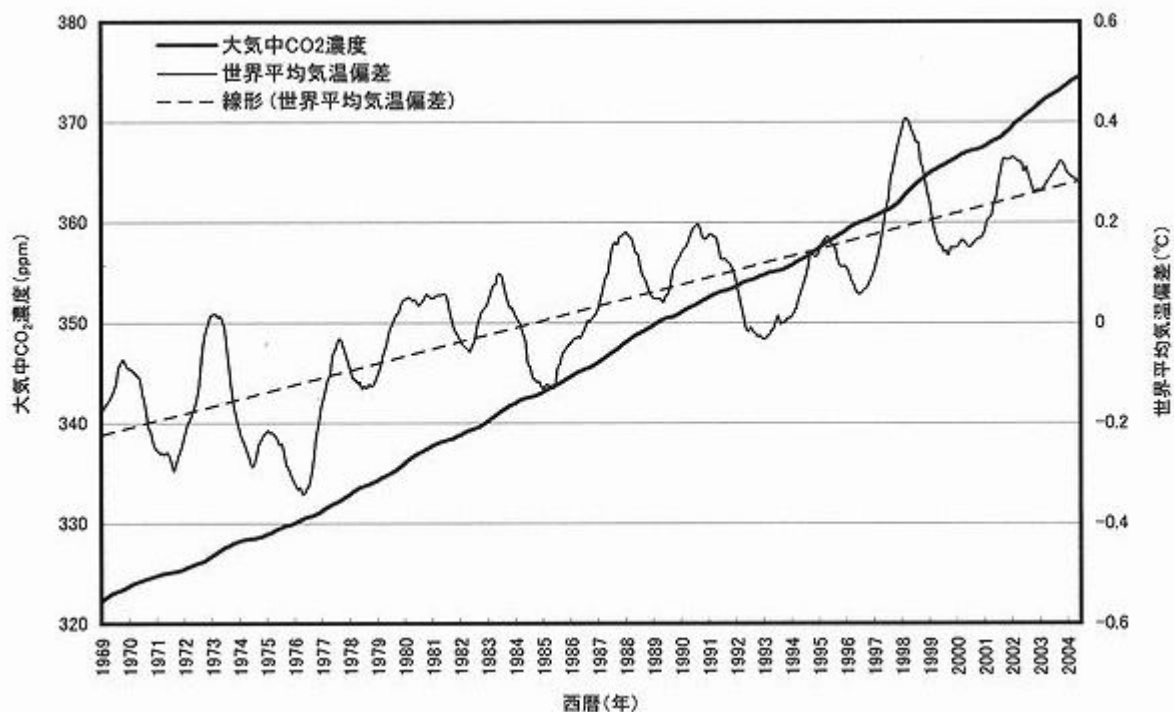


図1 大気中 CO₂ 濃度と世界平均気温偏差

図 1 から CO₂ 濃度と気温にどのような因果関係があるのか、いずれが変動の原因でいずれが結果であるのかを判断することは困難である。

標準的な CO₂ 地球温暖化仮説では、図中に示した世界平均気温偏差の回帰直線の示す気温の上昇傾向について、大気中の CO₂ 濃度の上昇が原因となって気温が上昇すると主張する。これは非常に乱暴な議論のように思える。

Keeling は、彼の観測データを基に気温と大気中 CO₂ 濃度の 2 者関係に着目して、CO₂ 濃度の長期的な増加傾向を取り除くことによって、CO₂ 濃度と気温の変動の対応関係を明らかにした。その結果、CO₂ 濃度の数年周期の不規則変動と気温の変動が極めてよく対応していることを示した (図 2)。しかも大気中 CO₂ 濃度の変動は、気温変動から一年程度遅れて現われることから、気温変動が原因となって大気中の CO₂ 濃度が増加することを示した。

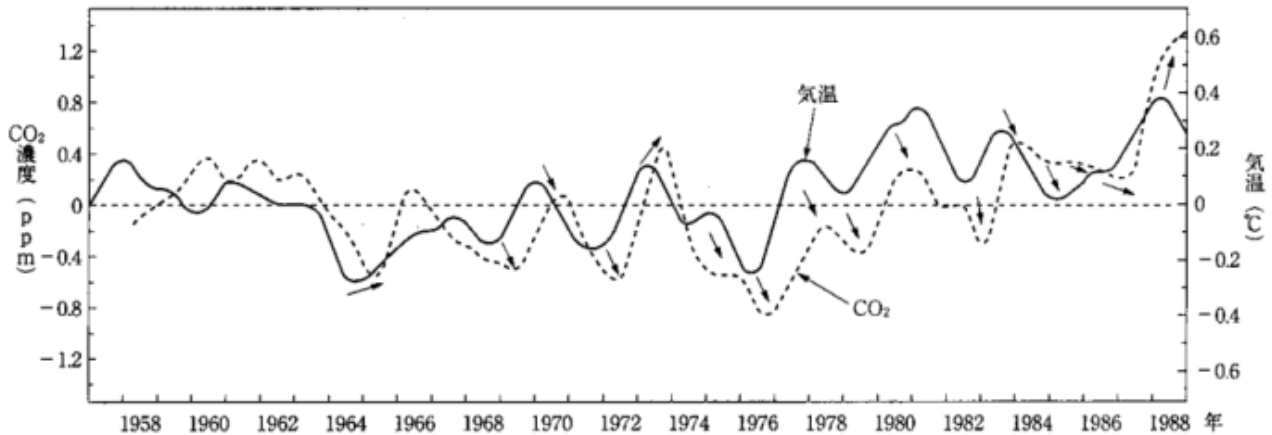


図2 気温変化とCO₂ 濃度変化の関係

(C.D.Keeling ; in D.H.Peterson(ed.) ; Geophysical Monograph 55 (1989)210, Fig.63)

Keeling の研究に対して、日本の気象学会は、気象学会誌「天気」2005年6月号において、「問題とされている図に関してまず注意しなければならないのは、質問中でも指摘されている通り、二酸化炭素の長期的な上昇傾向が除いてあるという点です。地球温暖化の原因となるのは正にこの長期的な上昇傾向です。それが取り除かれたこの図で表されているのは自然起源の変動であり、人間活動に端を発する地球温暖化とは比較的関連の少ないものと言えます。」という簡単なコメントをただけで、詳細な検討を行わずに現在に至っている。

このコメントは現在の標準的な CO₂ 地球温暖化仮説の基になっている、人為的な CO₂ 放出量の半量程度が選択的に大気中に蓄積されていることを前提に述べられている。しかし、これは無理である。年間の CO₂ 放出量は自然起源のものが 210Gt/年程度、人為起源のものが 7.2Gt/年程度といわれている。人為起源の CO₂ 放出量は全体の 3.3%程度に過ぎないのである。Keeling の取り除いた長期傾向の大部分は自然起源の CO₂ なのである。しかしながら、Keeling の行った大気中 CO₂ 濃度の長期的な増加傾向を取り除くという操作は、このような批判を正当化させる曖昧さを残していた。

筆者等は、Keeling の報告に注目し、彼の研究をさらに進めて大気中 CO₂ 濃度の長期的な変動傾向も含めて、気温と大気中 CO₂ 濃度にどのような関係にあるのかを観測データから明らかにする。

2. 気温変化率—大気中 CO₂ 濃度変化率の因果関係

まず筆者等は、大気中 CO₂ 濃度の長期的な変動傾向を取り除かずに Keeling の示した結果を検証するために、世界平均気温偏差と大気中 CO₂ 濃度のそれぞれの 1 年間の平均的な変化率を比較することにした。図 3 は気象庁による世界平均気温偏差の変化率 (°C/年) と Keeling による南極における大気中 CO₂ 濃度の変化率 (ppm/年) の経年変化を示している。

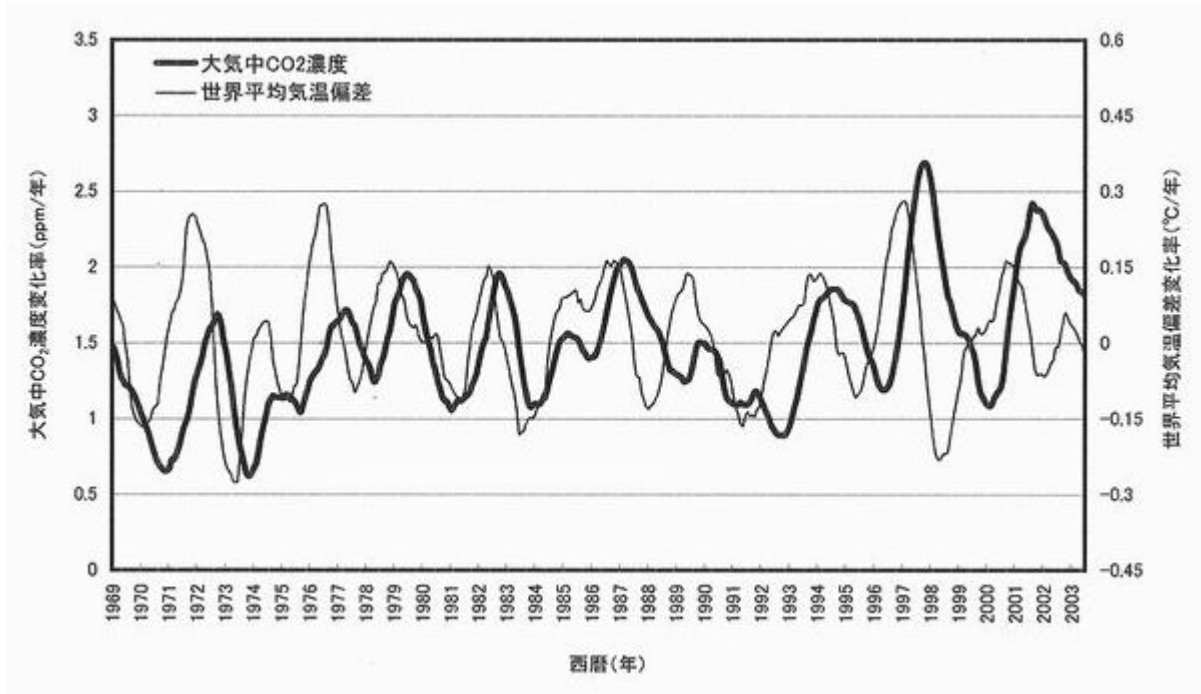


図3 気温変化率と CO₂ 濃度変化率の経年変化(13ヶ月移動平均)

図 3 から明らかなように、世界平均気温偏差変化率の変動に対して 1 年間程度の遅れで大気中 CO₂ 濃度変化率が変動している。変化率を比較することによって、大気中 CO₂ 濃度の長期傾向を取り除くことなく、世界平均気温偏差の変動に 1 年程度の遅れで大気中 CO₂ 濃度が変動することが確認された。

また、大気中 CO₂ 濃度変化率は概ね 1.5ppm/年の周辺で変動していることがわかる。これが Keeling の取り除いた大気中 CO₂ 濃度の長期的な増加傾向に対応する。

註) 平均変化率のデータ処理について

世界平均気温偏差と Keeling による CO₂ 濃度観測値は月毎の離散的なデータである。これらのデータをつないだ曲線を時間変数を t として仮に関数 $F(t)$ とする。関数 $F(t)$ の着目する年月 t_n における微分係数を次式 (中央差分) で近似する。

$$\frac{dF(t_n)}{dt} \cong \frac{F(t_{n+6}) - F(t_{n-6})}{h} = \Delta F \quad (\because h = 1.0)$$

上式において区間幅を 1 年間 (12 ヶ月) にしたのは、世界平均気温偏差と大気中 CO₂ 濃度の季節変動の影響を取り除くためである。

ΔF の物理的な意味は、世界平均気温偏差あるいは大気中 CO_2 濃度の 1 年あたりの平均的な変化率、あるいは関数 $F(t)$ で表される曲線の着目年月における勾配である。世界平均気温偏差についての単位は $^{\circ}\text{C}/\text{年}$ であり、大気中 CO_2 濃度についての単位は $\text{ppm}/\text{年}$ である。今回の分析では、1 年間当たり 12 点（月毎）について ΔF を計算し、これを結んだ曲線を示す。

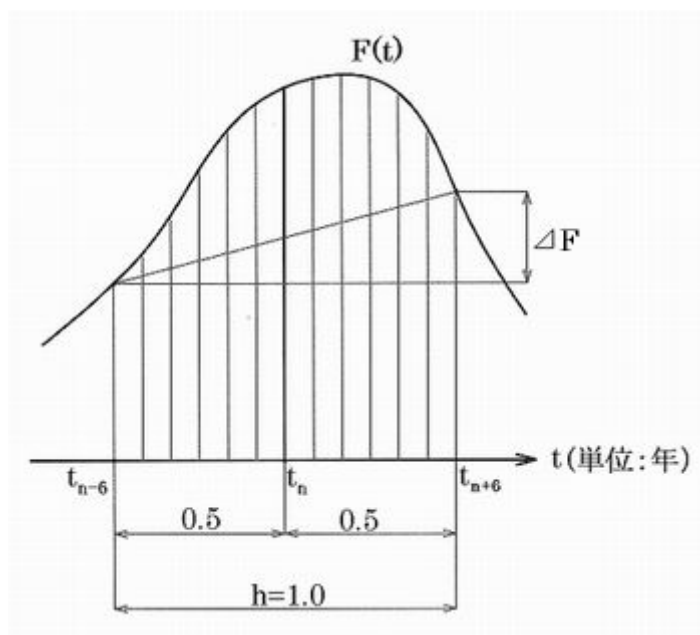


図 4 変化率の定義

これまでこの HP では着目年月 t_{n+6} の観測値から 1 年（12 カ月）前の観測値を差し引いた値

$$(t_{n+6} \text{ の年増分}) = \frac{F(t_{n+6}) - F(t_{n-6})}{h} = \Delta F \quad (\because h = 1.0)$$

を「年増分」として用いてきたが、年増分を積分すると観測値そのものとの時間的な対応関係に 6 ヶ月の位相のずれが生じるため、今回新たに変化率を導入した。定義から明らかなように、これまでの年増分は 6 ヶ月遡った時点の変化率と等しい。気温と CO_2 濃度の年増分どうし、あるいは変化率どうしの相対的な位相差は変化しない。

3. 気温－大気中 CO_2 濃度変化率の関係

図3 について、槌田敦氏から次のような指摘があった。

「図3 について、これまで気温の微分（年増分）が CO_2 濃度の微分（年増分）に 1 年ほど先行すると解釈してきたが、この図において気温の微分がゼロの時、 CO_2 濃度の微分は極値を取っているように見える。気温の微分がゼロということは、気温が極値であることを示すから、気温と CO_2 濃度の年増分が直接対応するのではないかと思われる。つまり気温そのものが CO_2 濃度上昇の原因である」。

図 3 では、世界平均気温偏差変化率のゼロ点が大気中 CO_2 濃度変化率の極値に同期して現われている。世界平均気温偏差変化率のゼロ点は、その積分値である世界平均気温偏差

の極値に対応する。つまり、世界平均気温偏差と大気中 CO₂ 濃度変化率の変動が直接同期するのである。図 5 は世界平均気温偏差と大気中 CO₂ 濃度変化率の経年変化を示す。

これを現象的に解釈すると、大気中へ CO₂ を放出するという過程の反応速度が環境温度に比例することを示していると考えられる。

一方、図 5 において、例えば 1990 年前後の気温と CO₂ 濃度変化率について、極値の発現状況は対応しているが、他の期間に比較して両曲線間にかなり大きな開きが見られる。この時期は、エルニーニョの発現と同時にフィリピンのピナツボ火山において大噴火が起こるといふ、気象現象に大きな影響を与える可能性のある特殊な条件が重複して起こった。この特殊な条件が大気中 CO₂ 濃度の変動に影響した可能性が高い。

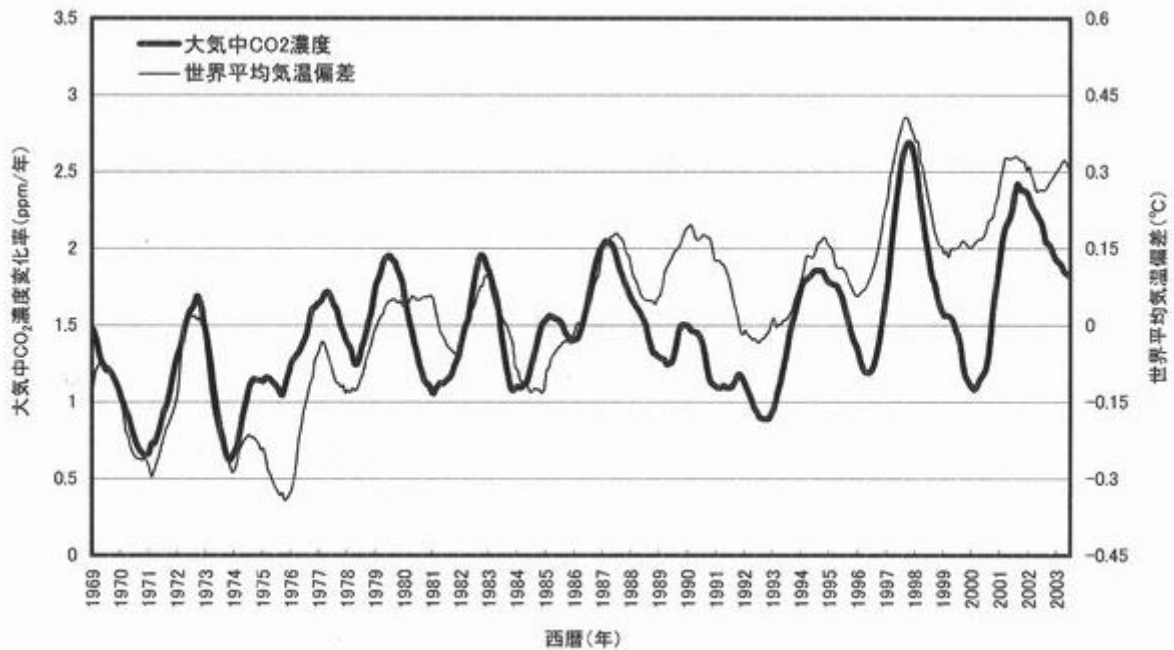


図 5 気温と CO₂ 濃度変化率の経年変化(13ヶ月移動平均)

以上より、気温以外の地表環境の条件が安定している期間は、大気中 CO₂ 濃度変化率は主に環境温度によって支配されていると考えられる。しかし、背景となる地表環境に大きな変動が生じた場合には、その影響が顕在化するために、気温と CO₂ 濃度変化率の関係に乖離が生ずると考えられる。

4. 大気中 CO₂ 濃度の数学モデル

地球の表層～大気環境における炭素循環の詳細は未だに解明されていないが、過去の観測データから、気温と大気中の CO₂ 濃度には強い相関があることが推測される。海洋表層水の CO₂ 溶解度は気温変動に速やかに反応すると考えられる。また長期的には、炭素の巨大な貯蔵圏である海洋の中・深層におよぶ炭素循環や、表層環境における生態系の活動や、地表面環境の変化なども影響するものと考えられる。

ここでは、簡単のためにここに挙げた4つの要因に支配されるものとして、大気中の CO₂

濃度の変化を表す関数 F_c をこれらの4つの関数の線形和で表せるものとする。

$$F_c(T, X_1, X_2, X_3) = F_0(T) + F_1(T, X_1) + F_2(T, X_2) + F_3(T, X_3)$$

ここに、

$F_0(T)$: 海洋表層水の CO_2 溶解度に関する部分。

$F_1(T, X_1)$: 海洋中・深層との炭素循環による部分。

$F_2(T, X_2)$: 地球表層の生態系の活動による部分。

$F_3(T, X_3)$: 地表面環境の変化による部分。

$X_1(t), X_2(t), X_3(t)$: それぞれの関数を特徴付ける変数。

$T(t)$: 気温。

t : 時間。

大気中 CO_2 濃度に対する各要因の寄与率は定かではないが、図5の結果から、1990年前後の期間を除けば、気温 T の影響が支配的であると考えられる。

図6に前節で示した世界平均気温偏差を横軸、大気中 CO_2 濃度変化率を縦軸とする散布図と、その回帰直線を示す。

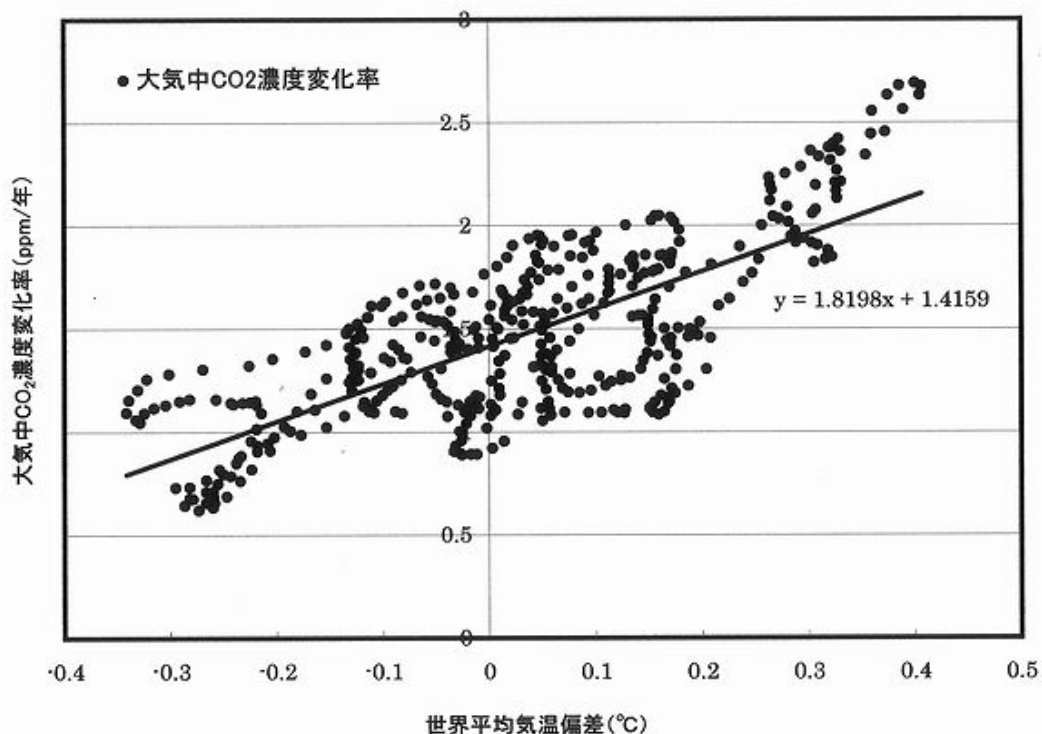


図6 散布図及び回帰直線

回帰直線を大気中 CO_2 濃度の数学モデルの表現で表すと次式を得る。

$$\frac{\partial F_c(T, X_1, X_2, X_3)}{\partial t} \cong 1.8198T + 1.4159$$

$$\therefore F_c(T, X_1, X_2, X_3) \cong \int_t (1.8198T + 1.4159) dt$$

上式において、被積分項の第一項は短期的な大気中CO₂濃度の不規則変動を示し、第二項は定常的な増加を表している。

$$\frac{\partial F_c(T, X_1, X_2, X_3)}{\partial t} \cong 1.8198T + 1.4159 = 0$$

を満足する温度を基準温度T₀とおくと、T₀ = -0.778°Cを得る。T₀は、対象期間中にX₁、X₂、X₃の条件に大きな変動がなかった場合に大気中CO₂濃度が定常状態となる気温である。F_cを書き直すと、

$$F_c(T, X_1, X_2, X_3) \cong \int_t [1.8198 \times (T + 0.778)] dt$$

つまり、対象期間の世界平均気温は、大気中CO₂濃度が定常状態にある場合に比較して、0.778°C高温であったと解釈することが出来る。図7に南極における大気中CO₂濃度の観測値（13ヶ月移動平均）とF_cの経年変化を示す。

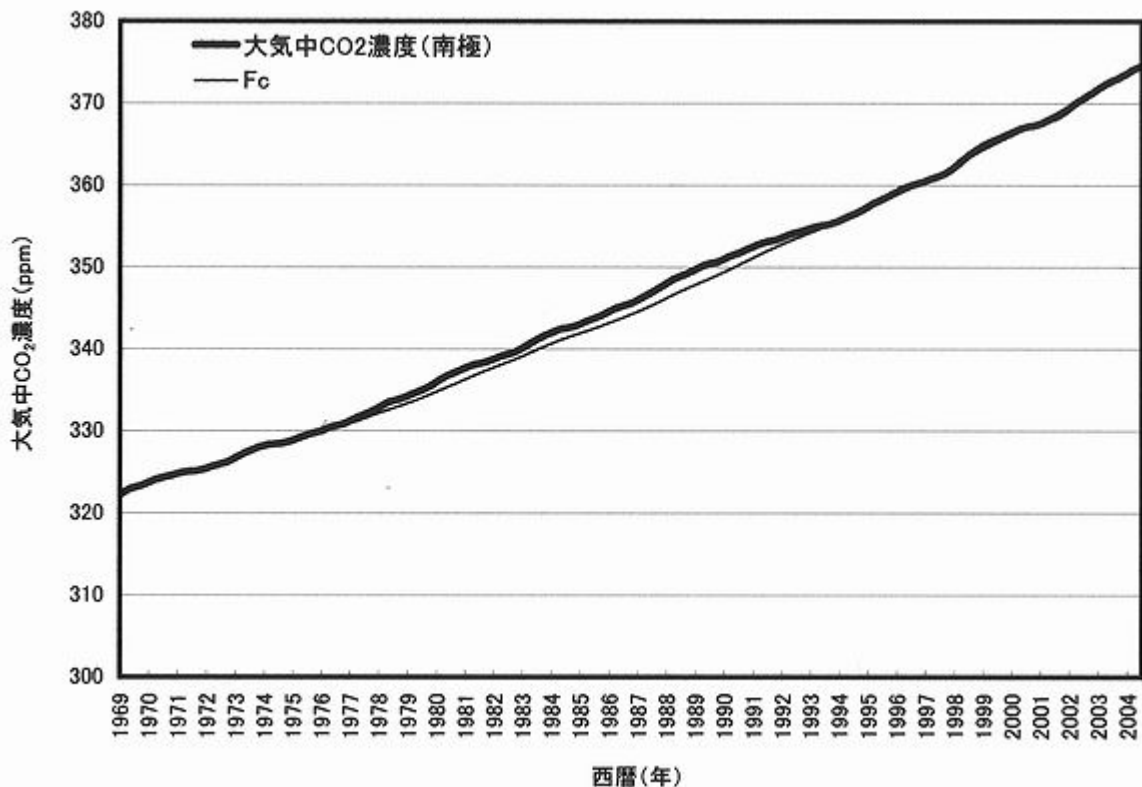


図7 大気中CO₂濃度(13ヶ月移動平均)とF_c

5. 結論

今回の分析から、大気中 CO₂ 濃度変化率が環境温度に比例すると解釈することによって、観測期間の世界平均気温偏差と大気中 CO₂ 濃度の変動をうまく説明できることがわかった。

大気中 CO₂ 濃度は、変化率の積分値なので位相に遅れが生じ、その結果として世界平均気温偏差に 1 年程度の遅れで大気中 CO₂ 濃度の変動するのである。つまり、気温と大気中 CO₂ 濃度の 2 者関係において、標準的な CO₂ 温暖化仮説とは逆に、気温が原因となって大気中 CO₂ 濃度の変動するのである。

また、この間、大気中 CO₂ 濃度が継続的な上昇傾向を示しているのは、対象期間の世界平均気温（1971～2000 年の平均気温）が大気中 CO₂ 濃度が定常状態にある基準温度よりも 0.778°C 程度高温で推移した結果だと考えられる。

現在広く信じられている CO₂ 地球温暖化仮説は、CO₂ が地球放射を吸収する温室効果気体であることを理由に、移動しない大気に対する放射平衡過程で気温が決まるとして組み立てられている。仮にこのモデルが正しいとするならば、その効果は大気中の温室効果気体の濃度に長期・短期を問わず瞬時に応答するはずである。

CO₂ 地球温暖化仮説が正しいと主張するならば、まず Keeling の示した数年周期の気温と大気中 CO₂ 濃度の不規則変動において、なぜ気温変動に遅れて大気中 CO₂ 濃度の変動するのかを合理的に説明しなければならなかった。数年周期の不規則変動に関しては気温変動が原因となって大気中 CO₂ 濃度の変動するが、より長期の現象においては因果関係が逆転して大気中 CO₂ 濃度の変動が原因となって気温が変動するという主張は非科学的なものである。

今回の分析によって、気温と大気中 CO₂ 濃度の観測値だけを用いて Keeling が示しえなかった、より長期の大気中 CO₂ 濃度変動についても気温変動が原因となって大気中 CO₂ 濃度の変動することを合理的に解釈できることが明らかとなった。CO₂ 地球温暖化仮説は完全に否定されたのである。

(2008/03/11)

- 1) C.D.Keeling et al. ; in D.H.Peterson (ed.) ; Geophysical Monograph 55 (1989) p.210. Fig.63.
- 2) 河宮未知夫「気温の変化が二酸化炭素の変化に先行するのはなぜ？」（気象学会誌「天気」2005年6月号pp.71-72）
- 3) 近藤邦明「大気中に含まれる人為起源二酸化炭素量の推計」（2008/01/15）