

奈良産業大学構内で測定された二酸化炭素濃度変化の特徴

向井 厚志・大原 荘司・藤原 昇
Atsushi Mukai, Soji Ohara, Noboru Fujiwara

1. はじめに

地球の平均的な二酸化炭素濃度（以下、CO₂濃度）は2010年に389ppmとなり、有史時代において過去最高値を示した（[1] 温室効果ガス世界資料センター, 2012）。18世紀後半に起きた産業革命以降、化石燃料の大規模な利用が広まり、CO₂濃度は産業革命以前の280ppmから急速に上昇し続けている。現在、CO₂濃度の上昇速度は約2ppm/yearであり、近い将来、CO₂濃度の平均値が400ppmを上回る勢いとなっている。二酸化炭素（以下、CO₂）は温室効果ガスのひとつであることから、20世紀末以降、地球の平均気温が上昇し続けている現象（地球温暖化）と結び付けて考えられるようになった。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）では、第4次評価報告書の中で、CO₂を含む温室効果ガス的人為的な排出が地球温暖化に重大な影響を及ぼしていると推定している（[2] IPCC, 2007）。一方、CO₂濃度の上昇は地球温暖化の原因ではなく結果であるとする考え方もあり（例えば、[3] 植田, 2010）、平均気温の上昇に対するCO₂の寄与については確定的な結論は出されていない。これは、CO₂が生物、大気、土壌、陸水、海洋の間を複雑に循環しているためであり、この循環に対する人間活動の影響を正しく評価することが困難であることに起因している。特に、気候や土地利用状況によって様々な土壌環境が存在することから、陸域におけるCO₂収支を解明することが重要な課題となっている。

本稿では、陸域におけるCO₂収支過程の解明に取り組む研究活動の初段階として、奈良産業大学構内でCO₂濃度変化の連続観測を実施し、観測環境による差異やCO₂濃度変化の特徴を明らかにした。奈良産業大学は宅地造成された住宅街の外れに位置し、CO₂の発生源である都市部（大阪市など）と吸収源である森林地域に囲まれた地点にある。そうした地域的な特徴から、都市部で発生したCO₂が移動および拡散し、森林地域で吸収される過程を調べる際に適切な場所と言える。

2. 奈良産業大学における二酸化炭素濃度変化の連続観測

奈良産業大学は大阪府との県境に近い奈良県北西部にあり、生駒山系南端の東側に位置する。同大学周辺は南東の大和川に向けて下りの傾斜地となっており、大学の施設は標高95～125mに建てられている（図1（a））。大学の東側は住宅街であり、大学の北側から西側にかけてCO₂の吸収源である森林が広がっている。

奈良産業大学ではCO₂濃度測定装置（Vaisala社製CO₂プローブGMP343）を導入し、2010年2月以降、大学構内において断続的にCO₂濃度変化の連続観測を実施してきた（[4] 藤原・大原, 2011）。2011年には同型の測定装置を1台追加し、大学構内での2台並行観測や、生駒山系を挟んだ2地点での同時観測を行なった。それらの観測成果として、[5] 大原・藤原（2012）は、湿度、風速、日射量などの気象要素とCO₂濃度変化との相関について報告している。

本研究で使用する CO₂ 濃度測定装置からの出力は 60 秒間の平均化フィルタを通しており、1 分以下の短周期成分はカットされている。しかし、2012 年 4 月までは測定間隔が 1 時間であったことから、エイリアジングによって偽のシグナルを検出する危険性があった。そこで、2012 年 5 月以降、CO₂ 濃度の測定間隔を 1 分に変更した。測定装置 2 台の設置地点は、奈良産業大学 1 号館 2 階 C#01 および 10 号館 2 階 C#10 とした (図 1 (b), (c))。いずれの測定装置も建物の外壁面に固定し、USB ケーブルを通して室内の収録装置 (ノート PC) に接続している。観測点 C#01 周辺には人通りがほとんどなく、静穏な環境が保たれている。その西側には、1 号館に隣接するように森林が広がっている。一方、観測点 C#10 は、C#01 の東北東 160m に位置する 10 号館にある。その標高は C#01 よりも約 15m 低い。10 号館は学生活動が盛んな場所であることから、人為的な活動による CO₂ 放出の影響を受けている可能性がある。ただし、C#10 の設置地点は 3 階建ての壁に囲まれた中庭に面していることから、C#01 と比べて大気の変動が緩やかであると予想される。

観測点 C#01 と C#10 における CO₂ 濃度の同時連続観測は 2012 年 5 月 30 日に開始された。図 2 は、2012 年 5 月 30 日～8 月 10 日の 73 日間に 1 分間隔で観測された CO₂ 濃度変化を示す。CO₂ 濃度観測値には、深夜に最大、日中に最小となる 1 日周期の変化成分がみられる。しかし、2012 年 6 月のように CO₂ 濃度変化が乱れ、その日周成分が不明瞭になる期間も存在する。図 2 には同時に、奈良産業大学の北方 9 km に位置する生駒山地域気象観測所 (標高 626m) で観測された地上気温、風向および毎時降水量も示されている。これらの気象データは 1 時間値であり、[6] 気象庁が Web サイトで公開している「気象統計情報」からダウンロードした。

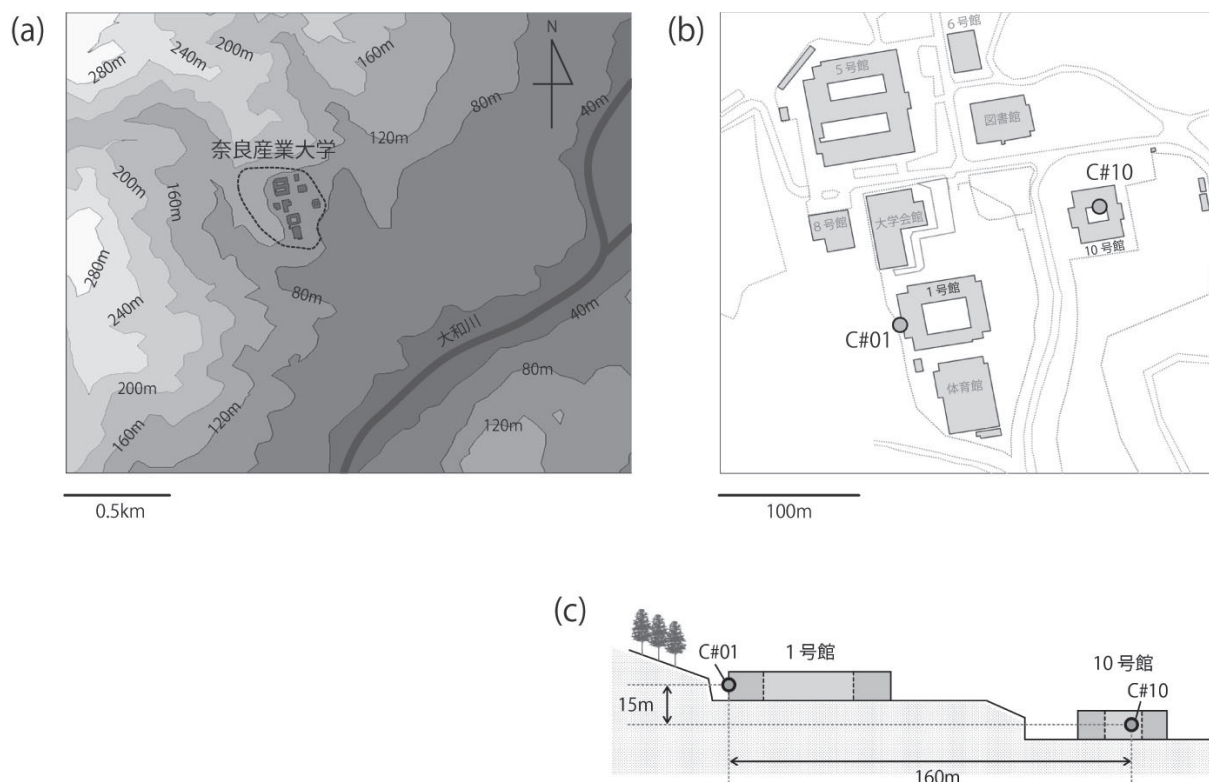


図 1 奈良産業大学における二酸化炭素濃度観測地点の配置

(a) 奈良産業大学周辺の地形図。(b) 奈良産業大学構内における CO₂ 濃度測定装置の配置。観測点 C#01 および C#10 は、それぞれ 1 号館 2 階および 10 号館 2 階の外壁に位置する。なお、観測点 C#10 は 10 号館の中庭に面した場所にある。(c) 観測点 C#01 と C#10 を通る東北東方向の鉛直断面図。

観測点 C#01 で観測された CO₂ 濃度には、7月上旬および中旬など、一部の期間で観測値の欠落がみられる。これらの欠測は、収録ソフトの動作障害に起因しており、現在、プログラムの調整を進めている。また、観測点 C#10 には、8月初旬にスパイク状の CO₂ 濃度変化が現れた。これは、換気のために観測点脇の窓を開けた結果であり、人の呼気に含まれる CO₂ によって一時的に CO₂ 濃度が 490ppm まで上昇した。この高い CO₂ 濃度は、再び窓を閉めた後、約3分の時定数で指数関数的に元のレベルに戻った。通常、測定装置脇の窓は密閉しており、建物内の CO₂ によって観測が乱されないようにしている。

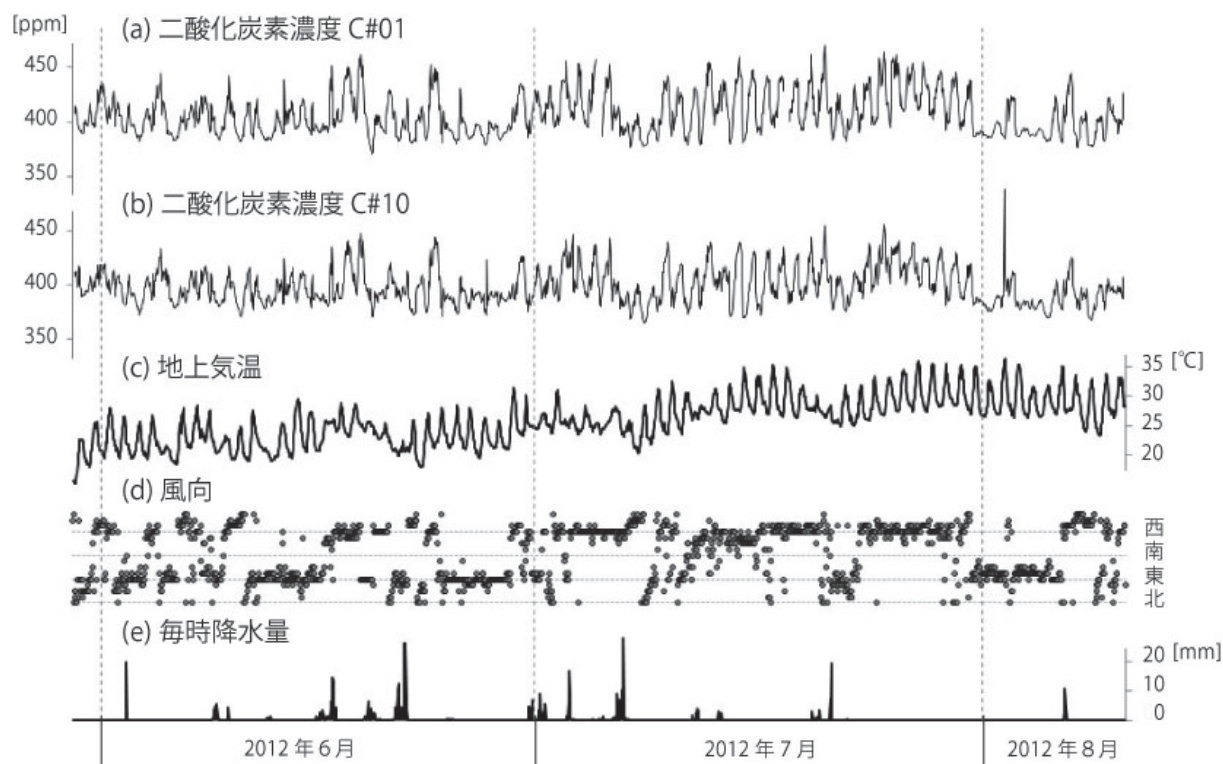


図2 奈良産業大学で観測された二酸化炭素濃度変化

(a)および(b)は、それぞれ観測点 C#01 および C#10 において2012年5月30日～2012年8月10日に観測された CO₂ 濃度を示す。(c)、(d)および(e)は、それぞれ同期間に生駒山地域気象観測所で観測された地上気温、風向および毎時降水量を示す。

3. 二酸化炭素濃度変化の周波数特性

図2に示した CO₂ 濃度観測値にFFTを適用して、CO₂ 濃度変化のスペクトルを計算した(図3)。この計算では、ひとつのスペクトルを求める際に11.4日間(16384個)の観測値を使用した。この計算区間を1日(1440個)間隔で移動させながら複数の計算区間におけるスペクトルを計算した後、それらの平均スペクトルを求めた。なお、計算区間内の観測値に欠測がある場合は、スペクトルの計算および平均処理から除外した。

図3にみられるように、いずれの観測点においても CO₂ 濃度変化のシグナル・レベルは24時間周期帯で卓越している。それ以外に顕著なスペクトルのピークがみられないことから、CO₂ 濃度変化の主要なシグナルは日周変化成分であることがわかる。1～10時間の周期帯(0.1～1cph)におけるスペクトルの傾き $\log(\text{振幅})/\log(\text{振動数})$ は、両観測点とも、ほぼ一定の-0.8である。一方、20分以下の短周期帯では、観測点によってスペクトルの傾き

に差異がみられる。同周期帯における C#01 の傾きは -0.8 のままであるのに対して、C#10 では傾きが -1.4 となり、周期が短くなるにつれてシグナル・レベルが急速に低下している。これは、観測点 C#10 が「口の字型」の建物中央にある中庭に位置しているためであり、建物上空からの大気変動が伝播しにくく、大気の揺らぎを抑える観測環境に起因すると推察される。

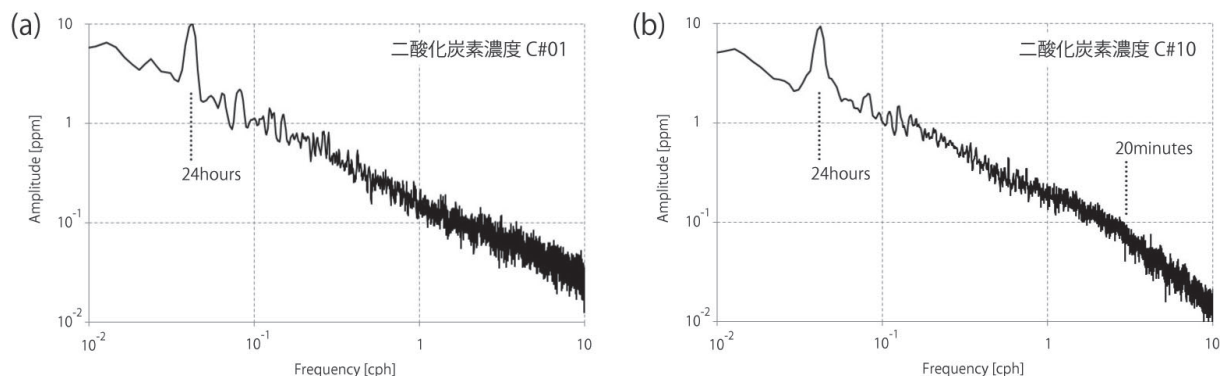


図3 二酸化炭素濃度変化の周波数特性

(a)および(b)は、それぞれC#01およびC#10におけるCO₂濃度観測値を用いて計算された振幅の周波数依存性を示す。縦軸はCO₂濃度であり、横軸は1時間あたりの振動回数(cycle per hour)を表す。

4. 観測点 C#01 と C#10 における二酸化炭素濃度変化の比較

観測点 C#01 と C#10 は同じ大学構内にあり、高々 160m 強しか離れていない。両観測点が距離的に近いこともあり、C#10 における 20 分以下の短周期成分が減衰している点を除くと、両観測点における CO₂ 濃度の時間変化はほぼ一致している(図2)。図4は、1分間隔のCO₂濃度観測値にアンチエイリアジング・フィルタを当てはめて1時間値に変換した後、横軸をC#01のCO₂濃度、縦軸をC#10のCO₂濃度として両者の相関を描いた図である。両観測点のCO₂濃度変化は極めて高い相関を示しており、その相互相関係数は0.91であった。したがって、観測点C#01とC#10では、ほぼ同じシグナルを観測していると言える。

両観測点におけるCO₂濃度変化の相関がもつ周波数依存性を調べるため、1分間隔のCO₂濃度観測値を用いてコヒーレンスを計算した(図5)。この計算では、前節のスペクトルの計算と同様に、11.4日間(16384個)の計算区間を1日(1440個)間隔で移動させながら複数のコヒーレンスを計算した後、その平均値を求めた。図5にみられるように、2時間以上の長周期帯においてコヒーレンスはほぼ0.7以上となり、両観測点におけるCO₂濃度変化の相関が高いことを示している。一方、2時間よりも短周期帯へいくにつれてコヒーレンスの急速な低下がみられ、周期1時間以下では平均0.6弱となる。このことは、1時間以下の短周期帯で得られたCO₂濃度変化の大部分が、両観測点で異なる発信源に起因することを示している。

図5にみられるように、2時間以上の長周期帯では、両観測点とも共通の発信源に基づくシグナルを観測している。しかし、そのシグナルの大きさに関しては、観測点によって明らかな差異がみられる。観測点C#10のCO₂濃度がC#01のCO₂濃度に関する1次式で表されると仮定したとき、その直線の傾きは0.79と求められた(図4)。このことは、C#10におけるCO₂濃度変化の大きさがC#01の0.79倍にすぎないことを示している。C#10におけるシグナルの減衰は、20分以下の短周期成分の減衰と同様に、周囲を壁に囲まれた中庭というC#10の観測環境に起因していると考えられる。したがって、観測点C#10では、実際よりも小さなCO₂濃度変化が観測されている可能性がある。

両観測点におけるシグナル・レベルの周波数依存性を比較するため、観測点 C#10 の CO₂ 濃度が C#01 の CO₂ 濃度変化に応答していると仮定して、応答係数および応答の遅れの周波数依存性を計算した (図 6)。なお、これらの応答特性は、11.4 日間 (16384 個) の計算区間を 1 日 (1440 個) 間隔で移動させながら複数の応答特性を計算した後、その平均値として求めた。周期 24 時間付近の応答係数は 0.78 であり、図 4 で求めた C#01 に対する C#10 のシグナル・レベル比 (0.79) とほぼ一致する。これは、CO₂ 濃度変化の主要なシグナルが日周成分であることによる。応答の遅れは周期 24 時間付近で約 70 分であり、C#10 の CO₂ 濃度が C#01 の CO₂ 濃度変化に対して約 1 時間遅れて追従していることを示している。C#10 は四方を壁に囲まれた中庭に位置しており、20 分以下の短周期成分が減衰したのと同様に、10 号館周辺の CO₂ 濃度変化が中庭という「窪み」の中へ減衰しながら時間をかけて伝播していった様子が推察される。

図 6 (a) にみられるように、10 時間～20 分の短周期帯では、C#10 のシグナル・レベルが C#01 よりも高い。特に、周期 40 分付近でシグナル・レベルの差異が大きく、C#10 の CO₂ 濃度変化が C#01 の 1.5 倍以上となっている。ただし、周期 2 時間以下ではコヒーレンスが低いことから、この C#10 の高いシグナル・レベルは 10 号館近辺の CO₂ の排出を伴う人的活動を検出している可能性がある。一方、2～10 時間の周期帯では、コヒーレンスが 0.8 前後と高く、両観測点で共通のシグナルを検出している。そのシグナル・レベルは、中庭という閉鎖的な観測環境にありながら、C#01 よりも C#10 の方が高い。同周期帯における応答の遅れは、C#10 の CO₂ 濃度が C#01 にやや遅れて追従していることを示しているため、C#10 が存在する 10 号館付近が同周期帯のシグナルの発信源であるとは言えない。図 1 に示す学生会館には食堂があり、人為的な活動が盛んであることから、大学構内における主要な CO₂ 排出源となっている。C#10 は C#01 と比べて学生会館から遠いことから、学生会館を CO₂ の発信源とする場合、C#10 で応答が遅れることを説明できる。また、CO₂ は平均大気よりも比重が大きいため、排出された CO₂ は標高の低い 10 号館方向に流出すると考えられることから、C#10 でシグナル・レベルが高くなることは妥当と言える。

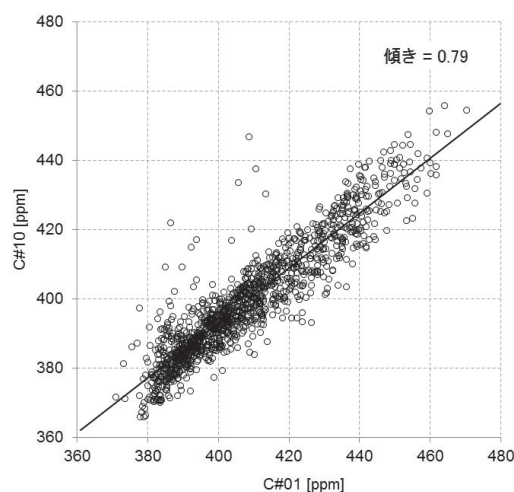


図 4 観測点 C#01 と C#10 の二酸化炭素濃度変化の相関

図中の○印は、1 時間値に変換した CO₂ 濃度観測値を示す。図中の直線は、最小二乗法によって○印のデータに当てはめた 1 次式である。図右上の数値はその 1 次式の傾きを表す。

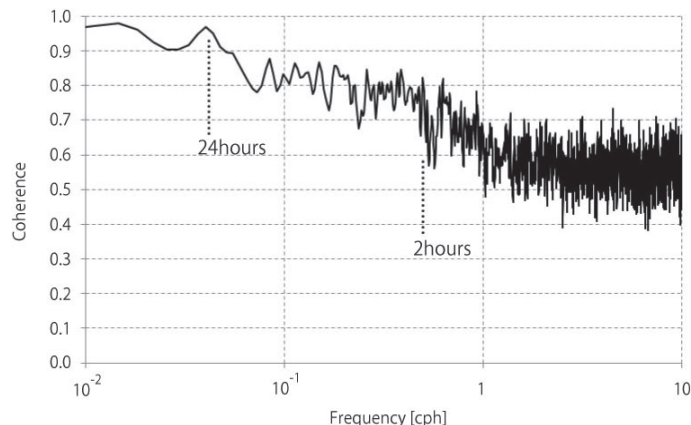


図5 C#01 と C#10 における二酸化炭素濃度変化のコヒーレンス
 C#01 と C#10 における CO₂ 濃度変化を用いて計算されたコヒーレンス（周期ごとの相関）を示す。

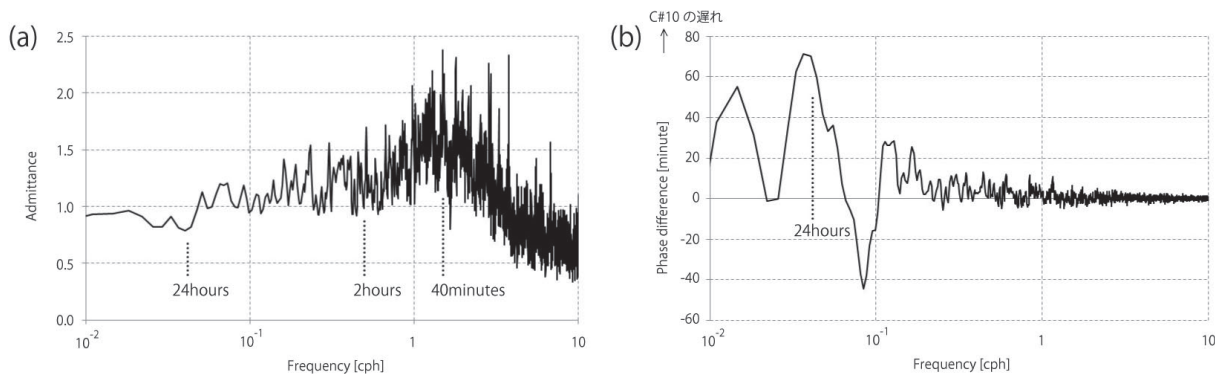


図6 C#01 に対する C#10 の二酸化炭素濃度変化の応答特性
 C#01 に対して C#10 の CO₂ 濃度が応答していると仮定し、(a) 応答係数および (b) 応答の遅れを計算した結果を示す。応答の遅れの単位は時間（分）であり、正值は C#10 の CO₂ 濃度が C#01 に遅れて追従していることを表す。

5. 二酸化炭素濃度変化のモデル化

[4] 藤原・大原（2011）が示したように、CO₂ 濃度変化は気温変化と高い相関をもつ。一般に CO₂ 濃度は、光合成が活発となる日中に低下することから、CO₂ 濃度の日周変化は気温変化に対して逆相関となる。一方、図2にみられるように、数日以上の上長周期帯では、CO₂ 濃度変化と気温変化は正の相関を示す。そこで、周期 30 時間を挟んで気温変化を短周期側 T_H と長周期側 T_L に分割し、次式を用いて CO₂ 濃度変化のモデル化を試みた。

$$CO_2(t) = a_0 \left\{ T_H(t) + b_0 \frac{dT_H(t)}{dt} \right\} + a_1 \left\{ T_L(t) + b_1 \frac{dT_L(t)}{dt} \right\} + c_1 t + c_0 + \varepsilon \tag{1}$$

ここで、式中の CO₂ は時刻 t における CO₂ 濃度であり、本学で 1 分ごとに観測された値にアンチエイリアシング・フィルタを当てはめて 1 時間値に変換したデータを用いた。また、気温変化 T_H および T_L としては、それぞれ生駒山地域気象観測所の気温観測値にハイパス・フィルタおよびローパス・フィルタを施して得られたデータを用いた。式中の ε は当てはめ誤差を表す。この (1) 式で a_k、b_k、c_k (k=0,1) が推定すべきモデル・パラメータとなる。このとき、a_k および b_k は、それぞれ気温変化に対する CO₂ 濃度変化の応答係数および応答の遅れを表す。

表1に、(1)式のモデル・パラメータの推定結果がまとめられている。また、図7には、推定されたモデル・パラメータを(1)式に当てはめて得られた計算値がCO₂濃度観測値とともに示されている。気温の短周期成分T_Hに対する応答係数a₀は、いずれの観測点においても負値となり、1日の周期帯でCO₂濃度変化が気温変化と逆相関をもつことを示している。日中の気温変化は主に日射量に比例しており、森林地域の光合成によって吸収されるCO₂量と正の相関をもつことから、応答係数a₀が負値となることは妥当と言える。また、気温の短周期成分T_Hに対する応答の遅れb₀は観測点によって符号が異なり、C#01でCO₂濃度変化が気温変化に先行し、C#10でCO₂濃度変化が気温変化に遅れる結果となった。一般に、1日の最高気温は各日14時頃に現れ、日射量が最大となる12時頃よりも約2時間遅れる。一方、光合成の活動は、日射量変化に対してほぼタイムラグなしで応答する。そのため、C#01においても、日射量変化に伴うCO₂吸収量の変化に対しては遅れて応答していると推察される。2つの観測点で求められた応答の遅れを比較すると、C#01に対してC#10は0.7時間遅れており、図6(b)で求められた1日周期帯における応答の遅れ(約70分)とほぼ同じ値が得られた。

気温の長周期成分T_Lに対する応答係数a₁は、いずれの観測点においても正值で得られた。一般に、気温の上昇は、生物活動の活発化、土壌や陸水からのCO₂放出の増大などによって、CO₂濃度を上昇させる。本研究で得られた正の応答係数a₁は、これらの気温とCO₂濃度の関係からみて妥当と言える。

表1 二酸化炭素濃度変化のモデル・パラメータの推定値

CO₂濃度観測値および気温観測値に(1)式を当てはめて推定したモデル・パラメータの値を示す。短周期気温応答成分および長周期気温応答成分は、それぞれ周期30時間以下および周期30時間以上の気温変化に対するCO₂濃度の応答成分を表す。応答の遅れは、気温変化に対してCO₂濃度変化が遅れる場合を正值とする。括弧内の数値は推定誤差である。当てはめ誤差は、(1)式の残差εの標準偏差として求めた。

		C#01 (1号館)	C#10 (10号館)
短周期気温応答成分	応答係数 a ₀ [ppm/°C]	-2.8 (± 0.5)	-2.5 (± 0.5)
	応答の遅れ b ₀ [hour]	-0.4 (± 0.2)	0.3 (± 0.2)
長周期気温応答成分	応答係数 a ₁ [ppm/°C]	4.3 (± 8.6)	3.1 (± 7.9)
	応答の遅れ b ₁ [hour]	0.9 (± 2.4)	1.3 (± 3.7)
線形トレンド	傾き c ₁ [ppm/hour]	-0.50 (± 0.04)	-0.41 (± 0.03)
	切片 c ₀ [ppm]	322.3 (± 4.7)	339.5 (± 4.2)
当てはめ誤差 [ppm]		15.6	14.2

図7には、CO₂濃度観測値から(1)式で表される計算値を取り除いた後の残差が示されている。CO₂濃度変化に含まれる顕著な日周成分および長周期のトレンドはある程度、(1)式で表すことができている。しかし、必ずしも十分とは言えず、解析対象とした全期間を通して、残差の時系列に日周成分が残された。その原因のひとつは、CO₂濃度変化に含まれる日周変化の振幅が期間によって極端に変化することにある。[5]大原・藤原(2012)は奈良産業大学および大阪府柏原市におけるCO₂濃度の連続観測を通して、CO₂濃度の日周変化が明瞭に現れる期間と不明瞭な期間が存在することを指摘している。本研究で使用したCO₂濃度観測値においても、例えば、7月下旬のCO₂濃度変化には明瞭な日周成分が含まれているが、8月初旬には日周変化が極めて小さくなっている(図2)。一方、気温の日周変化には、7月下旬以降、顕著な振幅の変化はみられない。また、同期間に奈良地方気象台で観

測された日射量にも、日周変化の振幅に明瞭な時間変化は認められない(図8)。これらのことから、特定の期間にCO₂濃度の日周変化が抑えられているのは、気温や日射量以外に原因があると言える。

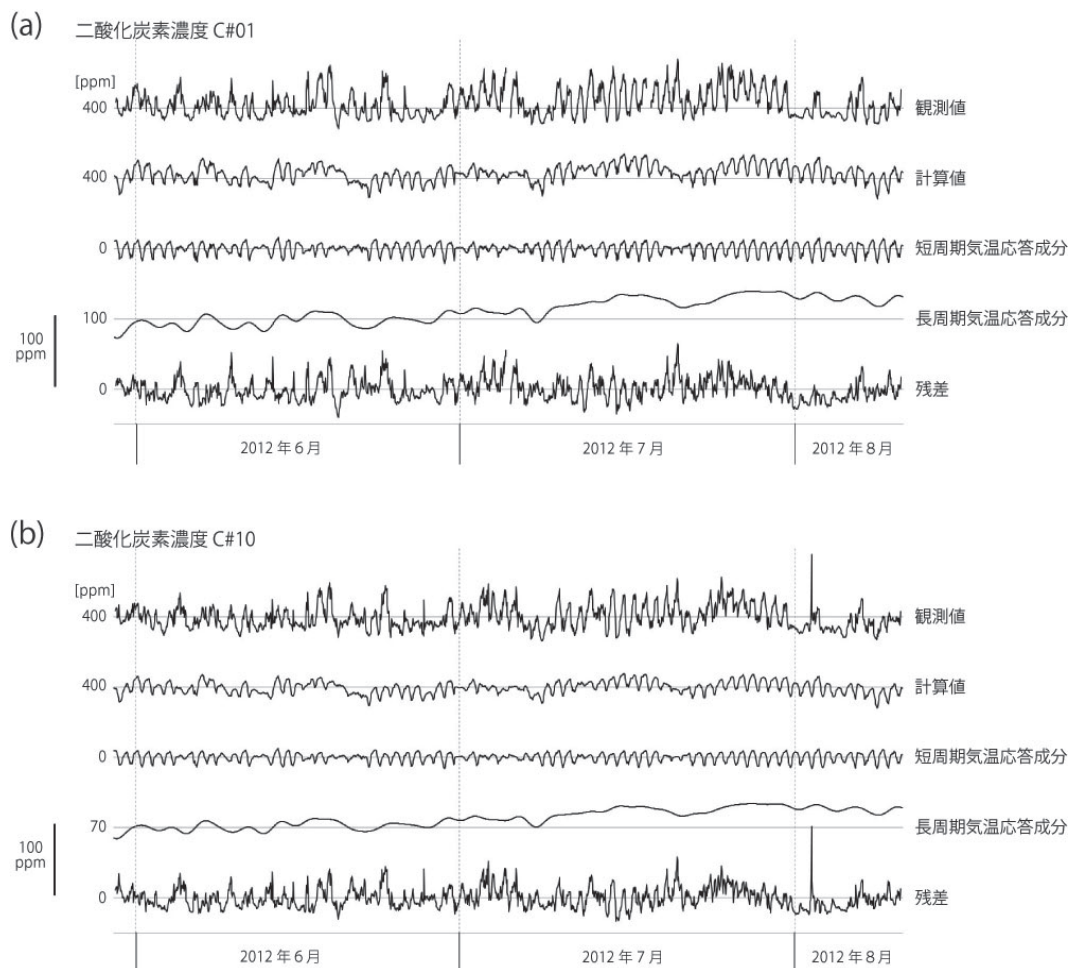


図7 二酸化炭素濃度変化の観測値とモデル計算値の比較

(a)および(b)は、それぞれC#01 およびC#10 におけるCO₂濃度変化の観測値と計算値を示す。計算値は(1)式で表される。その計算値のうち、短周期気温応答成分は(1)式の第1項、長周期気温応答成分は(1)式の第2項の計算結果を示す。また、残差は、観測値から計算値を取り除いた後の時間変化である。

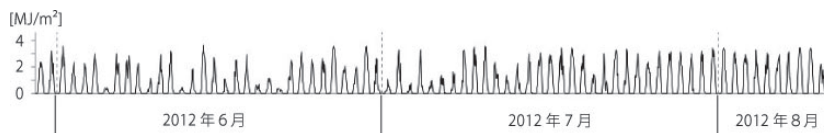


図8 奈良地方気象台で観測された全天日射量

奈良地方気象台は奈良産業大学の北東17kmの地点にあり、奈良盆地の北部に位置する。

図2にみられるように、生駒山地域気象観測所では東風が卓越する期間と西風が卓越する期間が交互に現れている。そのうち、東風が卓越する期間において、CO₂濃度の日周変化が小さく不明瞭になる傾向が認められる。実際、各日でCO₂濃度の最高値と最低値の差を計算し、その度数分布を求めたところ、東北東の風、東風、東南東の風が吹く「東風」の期間では、その他の風向の期間と比べて、CO₂濃度の日変化が5割程度小さくなった(図9)。

奈良産業大学の西方には都市部である大阪市が存在し、東方には奈良県と三重県の森林が広がっている。そのため、西風が都市部で発生したCO₂を運んでくるのに対して、東風は広大な森林地域からの大気を運んでくることになる。東風には日中の光合成によって生成されたCO₂濃度の低い大気が含まれているため、東風が吹く期間は、夜間においてもCO₂濃度が上昇しにくく、CO₂濃度の日周変化が不明瞭になるものと推察される。ただし、現在の観測データのみから明確な推論を述べることは困難であり、今後、観測値の蓄積と広範囲のCO₂濃度の観測によって、この推測の真偽を明らかにしていく必要がある。また、図2には、まとまった降雨の直後にCO₂濃度が急落するケースも認められる。[7] 堀田他(2010)は、降雨によって土壌表面が水で覆われ、一時的に土壌内部のCO₂放出が弱まることを報告している。CO₂濃度変化のモデル化を進める場合、気温変化に加えて、降水量などの様々な気象要素を考慮していくことが求められる。

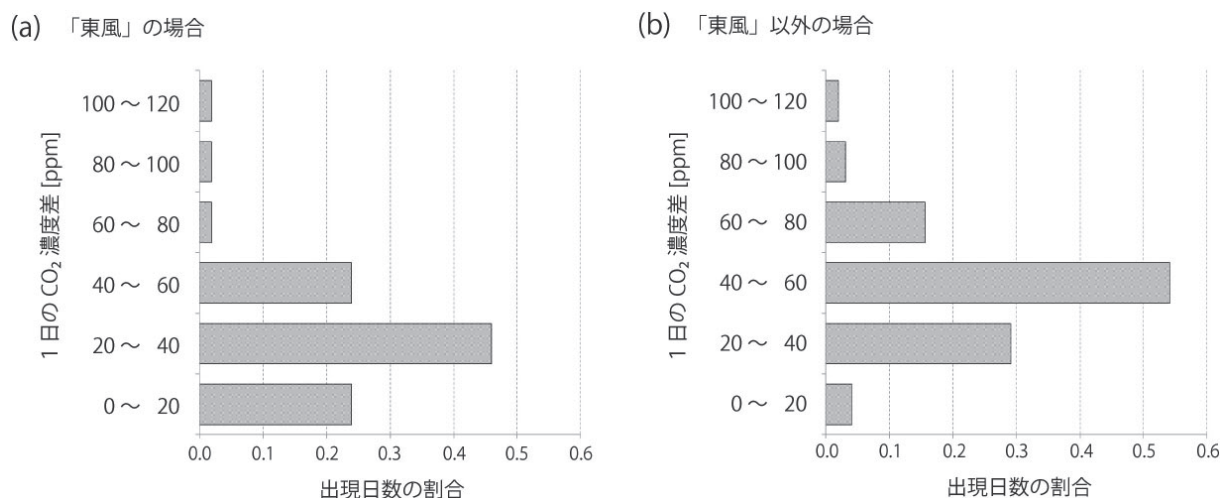


図9 1日のCO₂濃度差の出現頻度

各日のCO₂濃度の最高値と最低値の差を「1日のCO₂濃度差」として、その値の出現頻度を表す度数分布図を示す。図中の縦軸に記した「A~B」は「A以上B未満」を表す。(a)は東北東、東、東南東の風が吹く「東風」の場合の度数分布図、(b)はそれ以外の風向の場合の度数分布図を表す。

6. まとめ

奈良産業大学構内の1号館C#01および10号館C#10に観測点を設置し、CO₂濃度変化の連続観測を実施している。2012年5月に測定間隔を1時間から1分へ変更し、1時間以下の短周期帯も含め、CO₂濃度変化の周波数特性を調べた。CO₂濃度変化には、顕著な日周成分が含まれている。この1日周期のCO₂濃度変化を両観測点で比較したとき、C#10のシグナル・レベルはC#01の0.78倍であり、C#10のCO₂濃度変化はC#01に対して70分遅れて追従していることがわかった。観測点C#10は四方を壁に囲まれた中庭に位置しているため、CO₂濃度変化が減衰しながら時間をかけて伝播していると考えられる。C#01とC#10のCO₂濃度変化間のコヒーレンスは、2時間以上の長周期帯で0.7以上と高く、両観測点でほぼ同じシグナルを検出していることがわかる。そのうち、24時間以上の周期帯では、C#01に対するC#10の振幅比が0.78~0.96と1よりも低く、中庭という「窪地」に位置するC#10の観測環境によってシグナルが減衰している様子が認められる。一方、2~10時間の周期帯では、C#01よりもC#10の振幅が数10%大きい。同周期帯におけるCO₂濃度変化は、大学会館を中心とする人的活動で放出されたCO₂が発信源であると推察され、比重の大きなCO₂が主に低地のC#10方向に移動するため、C#10の

シグナル・レベルが大きくなったと考えられる。

CO₂濃度変化は1日周期の気温変化に対して逆相関をもち、数日以上の中長期帯では正相関となる。気温の日周変化は日射量変化によって引き起こされることから、光合成によるCO₂吸収と呼吸によるCO₂排出を含む1日周期のCO₂濃度変化と気温変化は高い逆相関を示す。一方、気温の上昇は、生物活動度の上昇や土壌・陸水からのCO₂放出の増大によってCO₂濃度の上昇を促すため、長期的な気温変化はCO₂濃度変化と正相関をもつことになる。そこで、周期30時間を挟んで気温変化を短周期成分と長周期成分に分け、CO₂濃度変化を気温変化の各成分に関する多項式でモデル化した。このモデルによって主要なCO₂濃度変化を再現することはできたが、日周成分を十分に表すことができなかった。その原因として、CO₂濃度変化に含まれる日周成分の大きさが極端に変化することが挙げられる。CO₂濃度の日周変化がほぼ消失する期間には、東風が卓越する傾向がみられる。奈良産業大学の東方には、奈良県および三重県の森林地域が広がっており、日中の光合成によってCO₂濃度が低下した大気を作り出している。東風はこうした低CO₂濃度の大気を運んでくるため、通常、CO₂濃度が上昇する夜間においても低いCO₂濃度が保たれ、明瞭なCO₂濃度の日周変化が生じないものと推察される。

参考文献

- [1] 温室効果ガス世界資料センター (2012) : WMO WDCGG Data Summary, WDCGG No.36, GAW DATA Volume IV-Greenhouse Gases and Other Atmospheric Gases, 100pp.
- [2] IPCC (2007) : IPCC Fourth Assessment Report (AR4) : Climate Change 2007, 996pp.
- [3] 槌田敦 (2010) : 原因は気温高, CO₂濃度増は結果, 日本物理学会誌, Vol.65, No.4, 266-269.
- [4] 藤原昇・大原荘司 (2011) : 奈良周辺の二酸化炭素濃度, 奈良産業大学地域公共学総合研究所年報, 第1集, 3-11.
- [5] 大原荘司・藤原昇 (2012) : 二酸化炭素濃度の時間変化, 奈良産業大学地域公共学総合研究所年報, 第2集, 11-21.
- [6] 気象庁 : 気象統計情報「過去の気象データ検索」, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- [7] 堀田紀文・奈良康平・小田智基・鈴木雅一 (2010) : 降雨イベント中の土壌中二酸化炭素濃度と土壌呼吸速度の変化, 東京大学農学部演習林報告, 123, 17-32.