

《研究ノート》

奈良県東吉野村における
二酸化炭素濃度の動態解析

海老名 桜子

(奈良女子大学・大学院人間文化研究科)

村松 加奈子・古川 昭雄

(奈良女子大学・共生科学研究センター)

醍醐 元正・古海 忍

(同志社大学・経済学部) (佐保短期大学)

森 麻美

(奈良女子大学・大学院人間文化研究科)

1 はじめに

温室効果ガスは、人間活動などによって大気中に放出される。その濃度増加は、将来の気候を温暖化させ、これによって人間の活動だけでなく、生態系をはじめとする地球環境に多大な影響を及ぼす恐れのあることが懸念されている。この温暖化を予測するためには、温室効果ガスの動向を理解する必要がある。温室効果ガスの1つである二酸化炭素は、他の温室効果ガスと同様に、人間活動によって大気中に放出され、植生による光合成によって吸収される。このような植生の環境緩和能力を評価していくために、奈良女子大学共生科学研究センターでは、衛星データを用いて植生の二酸化炭素固定量の動態解析とモニタリングを1999年から奈良県東吉野村で、2002年から奈良女子大学屋上で、2005年から生駒山で行なっている。

本研究ではこれらの測定データのうち、奈良県東吉野村の2004年から2006年のデータを用いて、二酸化炭素濃度の動態解析を行う。

2 測定方法

本研究で使用した二酸化炭素濃度測定データの測定は、奈良県東吉野村大字小川字小の山頂にある気象観測塔（以下、タワー）で行なっている。山頂の標高は685.5 m、測定場所の緯度経度は北緯34°24′1″、東経は135°59′3″である。緯度経度はGARMIN社製のGPSⅢplus型を用いて測定した。タワーの高さは17 mで、二酸化炭素濃度の測定場所の高さは地上19 m

である。周囲にはコナラ、マツなどの雑木林がある。また、東吉野村は林業が盛んな地域であり、周辺の山にはスギ、ヒノキの植林がある。また、奈良県奈良市北魚屋西町にある奈良女子大学新 E 棟屋上でも測定を行なっている。標高は 120 m、測定場所の緯度経度は北緯 $34^{\circ}41'6''$ 、東経 $135^{\circ}49'4''$ である。二酸化炭素濃度の測定場所の高さは地上 15 m である。奈良市は、奈良県内で最も人口密度が高い地域である。二酸化炭素濃度の測定には、LI-COR 社製の CO_2 分析計 (LI-6262 型)、その他の測定項目である風向風速は、クリマテック社製の超音波風向風速計 PGWS-100-3 型、光量子は LI-COR 社製の LI-190 SA 型、湿度は Vaisala 社製の HMP 45 A 型を用いて測定を行なっている。

3 測定データの解析

3.1 二酸化炭素濃度の経年変化

東吉野村での 2004 年から 2006 年の二酸化炭素濃度の経年変化を調べるために、測定データを 60 分ごとに平均した結果を以下に示す。図 1 は、横軸が年月を表し、縦軸は 60 分平均の二酸化炭素濃度 ($\mu mol/mol$) のグラフである。図 1 を見ていくと、各年の 2 月頃に二酸化炭素濃度が最大になり、9 月に最小となっている。季節変動幅は、2004 年に 20 ($\mu mol/mol$)、2005 年に 22 ($\mu mol/mol$)、2006 年は 25 ($\mu mol/mol$) 程度であることがわかった。各年の年平均二酸化炭素濃度を計算すると、2004 年が 381.6 ($\mu mol/mol$)、2005 年が 387.6 ($\mu mol/mol$)、2006 年が 389.8 ($\mu mol/mol$) となり、少しずつ濃度が上がってきている。

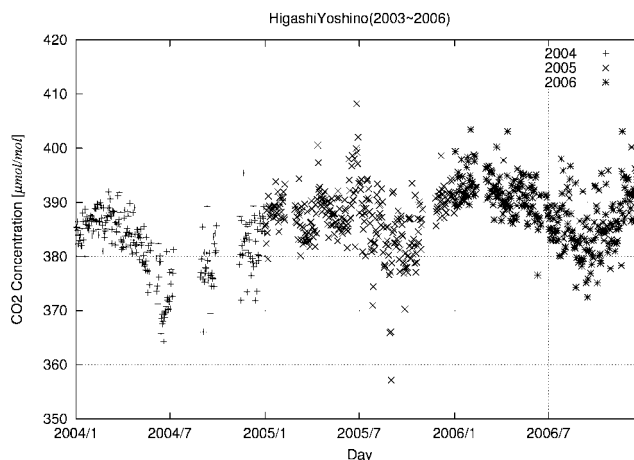


図 1 2004 年から 2006 年の二酸化炭素濃度の経年変化

3.2 二酸化炭素濃度の時間変化

2004 年から 2006 年までの東吉野村における二酸化炭素濃度の経年変化を調べる事ができた。次に、二酸化炭素濃度の月毎の時間変化を調べた。二酸化炭素濃度の時間平均値を各月毎

に各時間毎に平均をとった。2004年の結果を図3(a)に、2005年を図3(b)に、2006年を図3(c)に示す。グラフの横軸は時間(0時から23時)、縦軸は二酸化炭素濃度($\mu\text{mol/mol}$)である。図3(a)から(c)を見ていくと、各月毎に時間変動の幅に違いが見られ、光合成が盛んになる昼頃に二酸化炭素濃度が下がり、夜間には上がっていく。図3(a)の2004年は、昼に約365から約380($\mu\text{mol/mol}$)の間まで下がり、夜間には約385($\mu\text{mol/mol}$)まで上がっている。図3(b)の2005年は昼に、約375から約385($\mu\text{mol/mol}$)の間まで下がり、夜間には約390($\mu\text{mol/mol}$)まで上がっている。図3(c)での2006年は、約385から約377($\mu\text{mol/mol}$)の間まで下がり、夜間には約390($\mu\text{mol/mol}$)まで上がっている。特に2004年6,7月の昼に365($\mu\text{mol/mol}$)、2005年と2006年は9月の昼頃に377($\mu\text{mol/mol}$)まで下がり、1年の中で平均的に最も二酸化炭素濃度が低くなる。

東吉野村の結果と比較するために、2004年から2006年までの奈良市(奈良女子大学屋上)での測定データについても同様に解析した。図3(d)から(f)は2004年から2006年までの奈良市における二酸化炭素濃度の時間変化を示す。横軸は時間(0時から23時)、縦軸は二酸化炭素濃度($\mu\text{mol/mol}$)である。図3(d)から(f)を見ていくと、3年間とも午前8時頃に二酸化炭素濃度が最も高くなっている。1年で見ると、2004年(d)は12月に、2005年(e)では11月に約430($\mu\text{mol/mol}$)、2006年(f)は12月、1月に約433($\mu\text{mol/mol}$)まで上がり、昼に向かって濃度が下がっていく。また、昼頃に二酸化炭素濃度が下がり、夜に上がっていく傾向は東吉野村と似ているが、図3(a)から(c)と図3(d)から(f)を比べると、図3(a)から(c)の東吉野村は時間変動幅が約15($\mu\text{mol/mol}$)、図3(d)から(f)の奈良市は約30($\mu\text{mol/mol}$)となり時間変動の幅が大きく異なっている。

3.3 他の測定項目の時間変化

二酸化炭素濃度以外に、風向風速、光量子密度の時間変化についても調べた。その結果を図3から図6に示す。

図4は2004年から2006年までの風向の時間変化を示す。(a)から(c)は東吉野村、(d)から(f)は奈良市である。グラフの横軸は時間(0時から23時)、縦軸は風向(*degree*)である。図4(c)は2006年4月から測定機器が故障のため、データが欠測している。図4(a)から(c)と(d)から(f)を比べると、東吉野村と奈良市の特徴が顕著の現れている。東吉野村の風向(図4(a)から(c))を見ていくと、夜にほぼ同じであった風向が昼に270(*degree*)(西)よりになることがわかるが、各月で方角は様々である。奈良市の風向(図4(d)から(f))を見ていくと、1年を通してほぼ同じ時間変動をしていることがわかる。夜は風向が100から150(*degree*)(東から南東)で、昼には180から250(*degree*)(南から西)である。

図5は2004年から2006年までの風速の時間変化を示す。(a)から(c)は東吉野村、(d)から(f)は奈良市である。グラフの横軸は時間(0時から23時)、縦軸は風速(*m/s*)であ

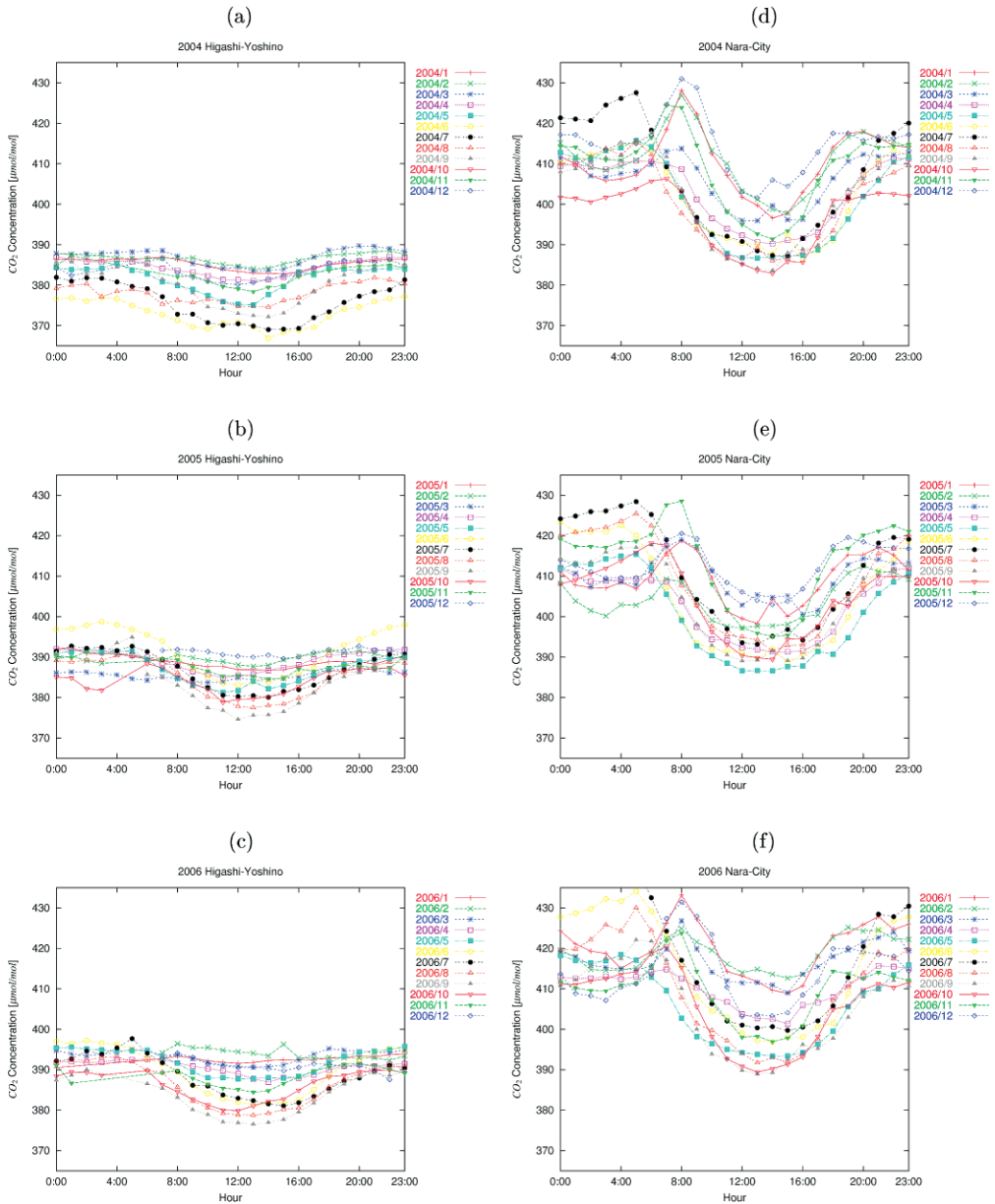


図3 二酸化炭素濃度の時間変化：東吉野村 (a) 2004年 (b) 2005年 (c) 2006年 奈良市 (d) 2004年 (e) 2005年 (f) 2006年

る。図5(c)は風向と同様に、2006年4月から測定機器の故障のため欠測している。東吉野村の風速(図5(a)から(c))を見ていくと、1年を通して約4(m/s)以下の風が平均的に吹き、風速の時間変化はあまりみられないが、風速は各月で異なることがわかる。また、風速は1月から4月までは2から4(m/s)、その他の月は2(m/s)以下になっている。奈良市の風速(図5(d)から(f))を見ていくと、風速が夜から朝にかけて約3(m/s)で、午前8時頃から少しずつ風速が速くなり、12時から13時にかけて風速が4から5(m/s)の速さで最大にな

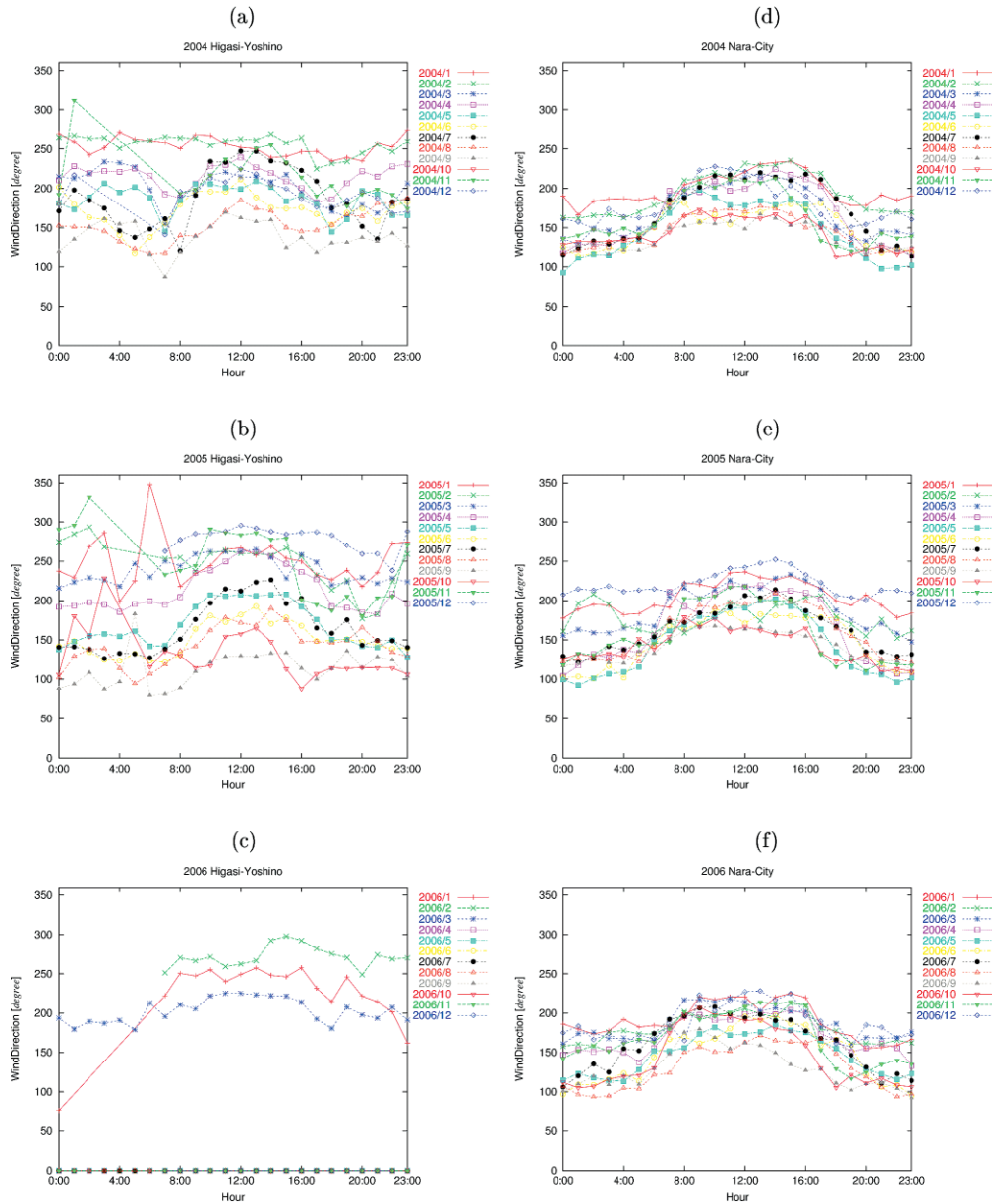


図4 風向の時間変化：東吉野村 (a) 2004年 (b) 2005年 (c) 2006年
奈良市 (d) 2004年 (e) 2005年 (f) 2006年

り、夜になるにつれて風速が約3 (m/s) まで弱くなっている。

図6は2004年から2006年までの光量子密度の時間変化を示す。(a) から (c) は東吉野村、(d) から (f) は奈良市である。グラフの横軸は時間 (0時から23時)、縦軸は光量子密度 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) である。東吉野村の光量子密度 (図6(a) から (c)) と奈良市の光量子密度 (図6(d) から (f)) を見ていくと、日がでない夜から朝にかけて光量子密度は0 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) になり、日の出から正午に向かって少しずつ上がり、日の入りに向かって下がっていく。

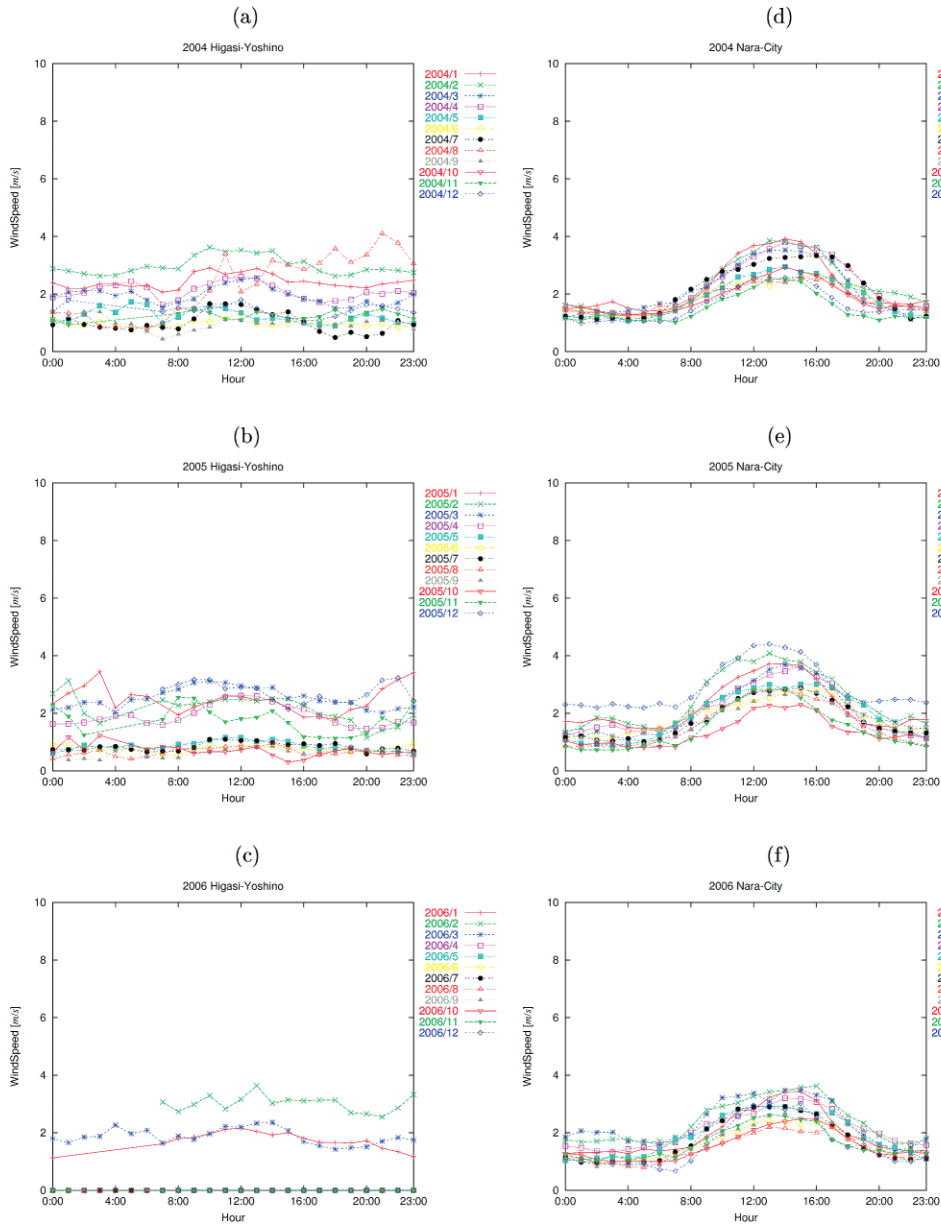


図5 風速の時間変化：東吉野村 (a) 2004年 (b) 2005年 (c) 2006年
奈良市 (d) 2004年 (e) 2005年 (f) 2006年

この時間変動は各月、各年とも東吉野村、奈良市で同じであるが、正午で最大になる光量子密度の値が異なる。図6の東吉野村2004年(a)は、7月に $1362.28 (\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s})$ 、2005年(b)は4月に $1037.52 (\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s})$ 、2006年(c)は8月に $779.54 (\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s})$ で最大になり、図6の奈良市2004年(d)は4月に $1581.63 (\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s})$ 、2005年(e)は5月に $1551.10 (\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s})$ 、2006年(f)は8月に $1870.20 (\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s})$ で最大になっている。この結果から、東吉野村の光量子センサーの感度が下がっている可能性があるため、今後確認する必要がある。

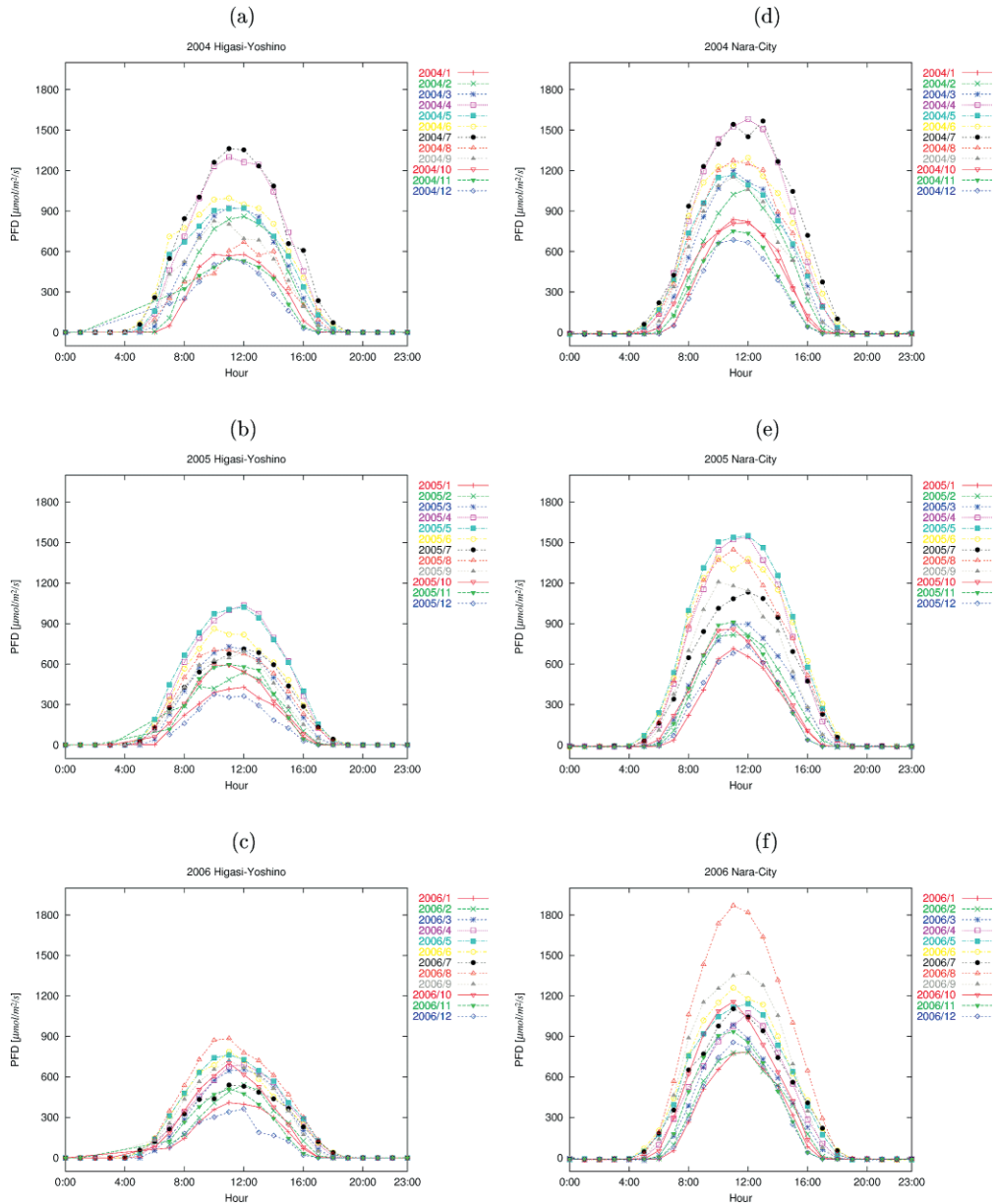


図6 光量子密度の時間変化：東吉野村 (a) 2004年 (b) 2005年 (c) 2006年
奈良市 (d) 2004年 (e) 2005年 (f) 2006年

3.4 昼と夜の二酸化炭素濃度差

次に、東吉野村において、二酸化炭素濃度が夜間と昼間でどの程度の差があり、季節毎で濃度差にどのような違いがあるかを調べるために、夜間と昼間の平均的な濃度差を計算した。初めに、光量子密度の時間平均の計算結果から、昼と夜の時間を決めることにした。東吉野村の光量子密度(図6(a)から(c))を見ていくと、各月、各年で光量子密度が大きくなり始める時間が違う。そこで、光量子密度が $10 (\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s})$ 以上である時間帯を各月、各年で調べ、

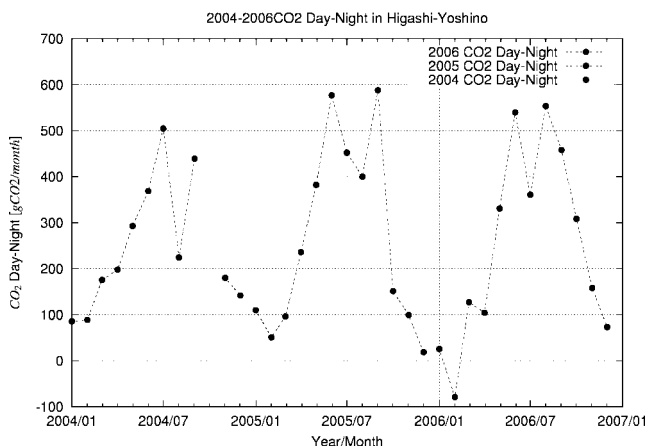


図2 2004年から2006年の昼と夜の二酸化炭素の濃度差

その時間帯を昼とし、 $10 (\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s})$ より低くなる時間帯を夜として各月の夜の平均二酸化炭素濃度を計算した。この夜間の平均濃度と昼の各時間の二酸化炭素濃度の差を計算した。この値から各月の積算値を求め、単位を $(\mu\text{mol}/\text{mol})$ から (gCO_2) に変換した。2004年から2006年までの変

化の様子を図2に示す。図2は縦軸が年月、横軸が昼と夜の濃度差 (gCO_2) である。図2より、2004年は7月に $504.59 (\text{gCO}_2)$ 、2005年は9月に $587.92 (\text{gCO}_2)$ 、2006年は8月に $553.45 (\text{gCO}_2)$ で最大になり、3年間では2005年の9月が最も昼と夜の二酸化炭素濃度差が大きいことがわかる。また、濃度差が最小になるのは、各年とも2月頃で2006年は $-79.04 (\text{gCO}_2)$ という値になった。各月ごとの昼と夜の濃度差を調べる事ができたので、次に4ヶ月ごとに積算値を求め、季節ごとに見ていく。その結果を表1に示す。表1より、1月から4月は昼と夜の濃度差が2006年では $178.13 (\text{gCO}_2)$ 、2005年は $492.73 (\text{gCO}_2)$ 、2004年は $547.57 (\text{gCO}_2)$ と3つの期間の中で1番低くなっている。逆に、植生が活発に光合成を行なう5月から8月は、2006年が $1784.57 (\text{gCO}_2)$ 、2005年は $1811.08 (\text{gCO}_2)$ 、2004年は $1390.52 (\text{gCO}_2)$ と他の期間に比べ、昼と夜の二酸化炭素の濃度差が大きくなっている。

表1 2004年から2006年期間別年間積算値の比較

期間	$(\text{gCO}_2/\text{期間})$		
	2006	2005	2004
JAN-APR	178.13	492.73	547.57
MAY-AUG	1784.57	1811.08	1390.52
SEP-DEC	997.73	857.13	
年間	2960.44	3160.94	

4 まとめと今後の課題

本研究では、衛星データを用いて植生の二酸化炭素固定量を推定した研究と比較検討していく上で必要な、大気中の二酸化炭素濃度の動態を解析することを目的とした。東吉野村、奈良市、生駒山での測定データのうち、特に、2004年から2006年の東吉野村の測定データの解析

を行なった。測定データの平均値を計算し、経年変化、時間変化、昼と夜の濃度差を調べた。経年変化では、東吉野村における二酸化炭素濃度の季節変動や年々濃度が上昇している様子が明らかになった。時間変化では、東吉野村のデータと比較するために奈良市のデータ解析も行なった。各測定項目毎に時間による変動の様子をそれぞれ調べた。また奈良市と比較すると、東吉野村の時間変動の幅が奈良市よりも約 15 ($\mu\text{mol/mol}$) 小さいことがわかった。昼と夜の濃度差では、東吉野村において、昼と夜の二酸化炭素濃度差が冬になると 0 (gCO_2) 程度まで小さくなり、夏になると 600 (gCO_2) 程度まで大きくなるという違いがあった。今後は、今回求めた平均的な二酸化炭素濃度と土壌呼吸、植物の呼吸量などと合わせて、森林による吸収量を推定していきたい。

謝辞

本研究で使用した地上観測データは、奈良女子大学共生科学研究センターより提供されたものである。

また、本研究は文部科学省フロンティア推進事業（平成 11 年～平成 20 年度）により行なわれた。ここに感謝の意を表したい。

参考文献

- [1] 森 麻美. 「大気中の二酸化炭素の変動要因に関する研究」. 奈良女子大学人間文化研究科生物科学専攻・2003 年度修士論文, 2004.
- [2] 森 麻美. 「奈良県東吉野村における冷温帯林の林床からの CO_2 放出に影響を与える要因」. 大気学会誌, 第 42 巻, 第 2 号, pp 75-83. 2007.
- [3] 西岡秀三. /原沢英夫. 「地球温暖化と日本—自然・人への影響予測—」. 1997.
- [4] 浦 昭二・原田賢一. 「C 入門」. 2002.
- [5] 近藤純正. 「地表面に近い大気の科学—理解と応用」. 2000.
- [6] 独立行政法人, 産業技術総合研究所. (<http://www.aist.go.jp/>)