

奈良県東吉野村における CO₂ 濃度の動態解析 III

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

(同志社大学・経済学部)

古 海 忍

(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

近年，世界中で地球環境問題への関心が高まっている。地球環境問題の中でも，地球温暖化を引き起こす温室効果ガスの濃度増加は深刻な問題となっている。温室効果ガスの1つである CO₂ は，主に人間活動によって排出され，産業革命以降の濃度増加が顕著な物質であり，日本で排出される温室効果ガスの約9割を占めている。この濃度増加は将来の人間活動だけでなく，地球生態系にも多大な影響を与えることが懸念されている。例えば，気候の変化による砂漠化や食糧難，海面上昇による陸地の水没など様々な影響が予測されている。この CO₂ を吸収，固定するもとして，陸域では植生による光合成が注目されている。この光合成による CO₂ 固定量を衛星データから推定する研究が現在行なわれている。奈良女子大学共生科学研究センターでは，CO₂ 濃度のモニタリングを奈良県東吉野村（1999 年開始），奈良県奈良市（2002 年開始），生駒山（2005 年開始）で行なっている。本研究では，2004 年から 2007 年までの CO₂ 濃度モニタリングデータを用いて奈良県東吉野森林内の植生による CO₂ 吸収の季節変動をとらえる。前回までに，2004 年から 2007 年の CO₂ 濃度の経年変動，日変化の解析を行ない，CO₂ 濃度の昼夜差から東吉野森林内の植生による CO₂ 吸収の季節変動の解析を行なった。今回は，CO₂ の移流や気柱高の昼夜差の影響の検討を目的に，CO₂ 濃度のモデル計算値を用いた解析を行う。本報告では CO₂ 濃度のモデル計算の途中経過まで述べる。

2 地上観測データ

本研究で利用したデータの詳細について述べる。解析には、奈良県東吉野のデータの他に、参考データとして奈良市（2004年、2005年、2006年）、岐阜県高山（2004年、2005年）のデータを用いた。奈良県東吉野のCO₂濃度モニタリングデータは、1999年から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）で測定された。タワーの場所は標高678 m、北緯34°24.388′、東経135°59.425′（2008年10月9日測定、世界測地系（WGS 84））で、タワーの高さは12.56 m、CO₂濃度の測定場所の高さは地上17.32 mである。周囲にはコナラ、マツなどの雑木林がある。東吉野は林業が盛んな地域であり、周辺の山にはスギ、ヒノキの植林地帯がある。また、奈良市のCO₂濃度モニタリングデータは、2002年から奈良県奈良市北魚屋西町にある奈良女子大学新E棟屋上で測定された。測定場所は標高120 m、北緯34°41′6″、東経135°49′4″で、CO₂濃度の測定場所の高さは地上15 mである。

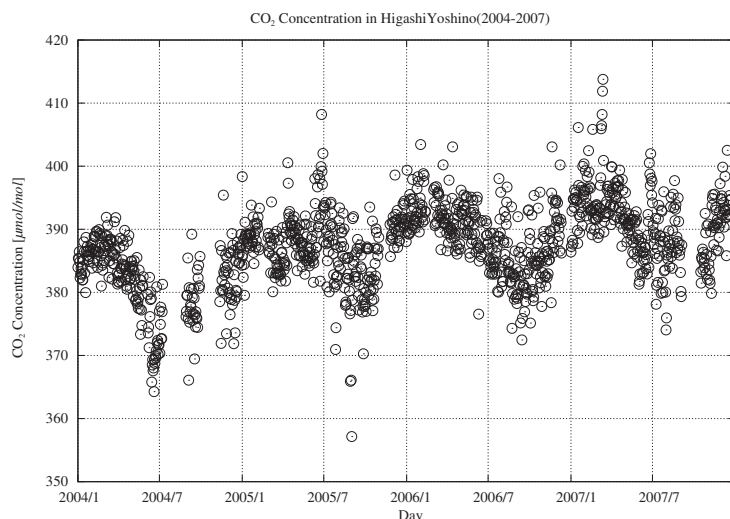
測定項目は、各測定場所で異なるが、主にCO₂濃度、風向、風速、光量子密度、気温、日射量で、測定は全て1分間隔で行なわれている。測定項目の詳細は参考文献[6]を参照していただきたい。CO₂濃度の測定には、LI-COR社製のCO₂分析計（LI-6262型）、その他の測定項目である風向風速は、クリマテック社製の超音波風向風速計PGWS-100-3型、光量子はLI-COR社製のLI-190 SA型、湿度はVaisala社製のHMP 45 A型を用いて測定を行なっている。緯度経度はGAR MIN社製のGPSIIIplus型を用いて測定した。

岐阜県高山の地上観測データは産業総合技術研究所より提供いただいた（WDCGGよりダウンロード）。測定場所は、標高1420 m、北緯36°08′、東経137°25′、タワーの高さは27 mでCO₂濃度の測定場所の高さは地上27.0 m、18.0 m、8.8 m、5.8 mで、主な樹種はカンパ類、ミズナラである（産業総合技術研究所HP参照）。

3 CO₂濃度モニタリングデータの解析結果

3.1 CO₂濃度の経年変化

東吉野での2004年から2007年のCO₂濃度の経年変化を調べるために、CO₂濃度の測定値を1日ごとに平均した結果を以下に示す。図1は、横軸が年月（2004.1–2007.12）を表し、縦軸は日平均のCO₂濃度（ $\mu\text{mol/mol}$ ）である。図1より、各年の2月頃にCO₂濃度が最大、9月に最小となり、その季節変動幅は22（ $\mu\text{mol/mol}$ ）である。2004年、2005年、2006年、2007年の平均CO₂濃度は、それぞれ381.6、387.6、389.8、391.7（ $\mu\text{mol/mol}$ ）であり、その結果を表1にまとめる。4年間の平均で2.5（ $\mu\text{mol/mol/year}$ ）の上昇がみられる。

図1 2004年から2007年のCO₂濃度の経年変化

3.2 CO₂濃度の日変化

CO₂濃度の月毎の日変化をみるために、各月の時間毎にCO₂濃度の平均を計算した。東吉野における2004年から2007年の奇数月のCO₂濃度の日変化を図2(a)(c)(f)(i)に示す。グラフの横軸は時間(0時から23時)、縦軸はCO₂濃度(μmol/mol)である。2006年の東吉野のCO₂濃度の日変化(図2(c))を見ると、日変化の幅に季節的な違いが見られる。1月はCO₂濃度が395(μmol/mol)でほぼ一定であるのに対して、9月は夜に390(μmol/mol)であるCO₂濃度が正午には377(μmol/mol)まで下がる。その変動の幅は18(μmol/mol)である。その他の年(図2(a)(f)(i))の場合も同様の傾向を示す。

東吉野の結果と比較するために、奈良市(奈良女子大学屋上)、岐阜県高山での測定データについても同様に解析した。2004年から2007年の奈良市におけるCO₂濃度の日変化を図2(b)(d)(g)(j)に示す。グラフの横軸は時間(0時から23時)、縦軸はCO₂濃度(μmol/mol)である。2006年の奈良市のCO₂濃度の日変化(図2(d))を見ると、午前8時頃にCO₂濃度が最も高くなり、昼に向かって濃度が下がり、夜に再び上昇する。2006年9月は、朝6時頃に420(μmol/mol)であったCO₂濃度が、昼には385(μmol/mol)まで下がり、その変動の幅は35(μmol/mol)であり、東吉野よりも17(μmol/mol)大きい。その他の年(図2(b)(g)(j))の奈良市の結果も同様の傾向を示す。また、昼頃にCO₂濃度が下がり、夜に上がっていく傾向は

表1 東吉野における年平均CO₂濃度 [μmol/mol]
年平均CO₂濃度 [μmol/mol]

2004	381.6
2005	387.6
2006	389.8
2007	391.7

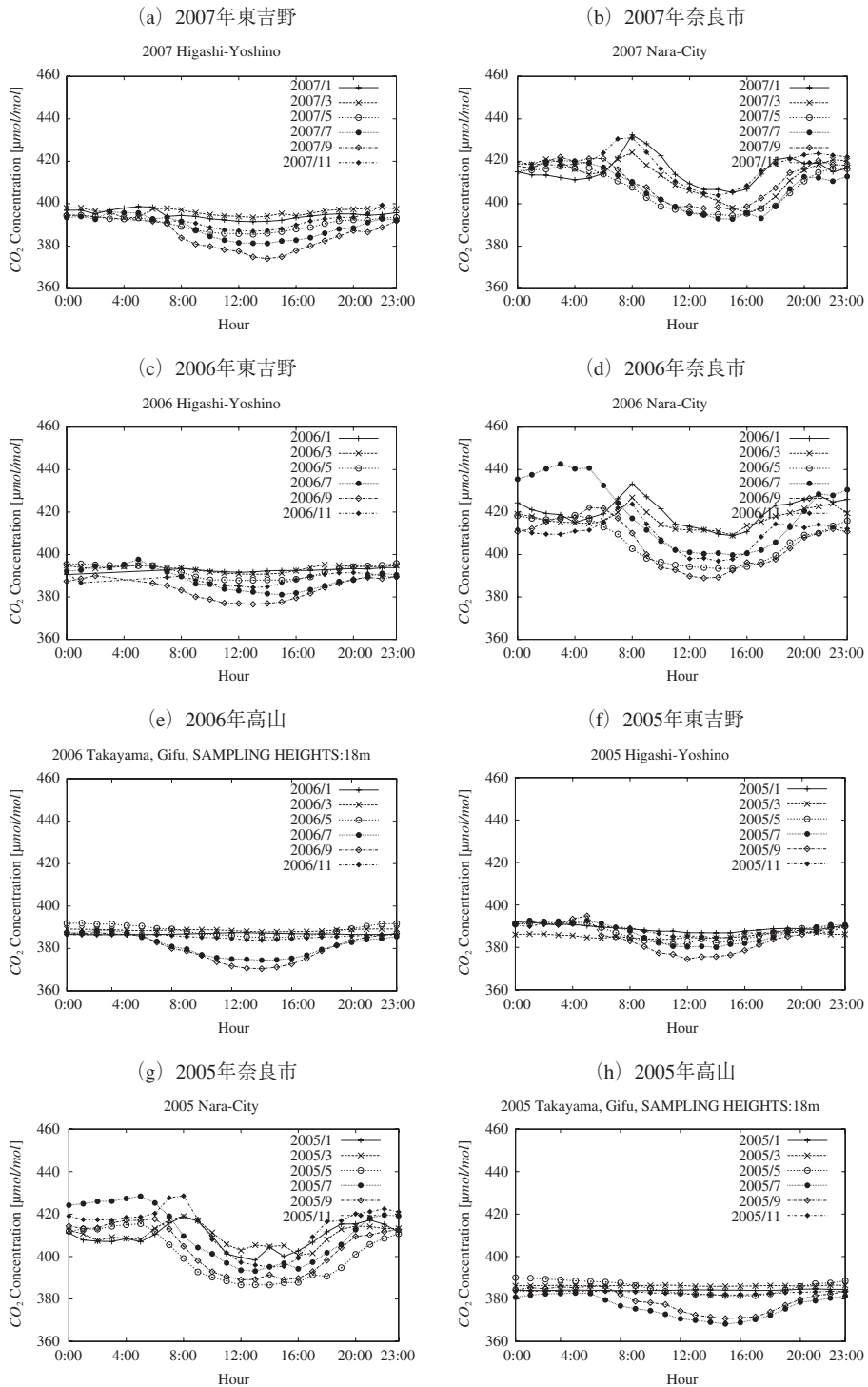
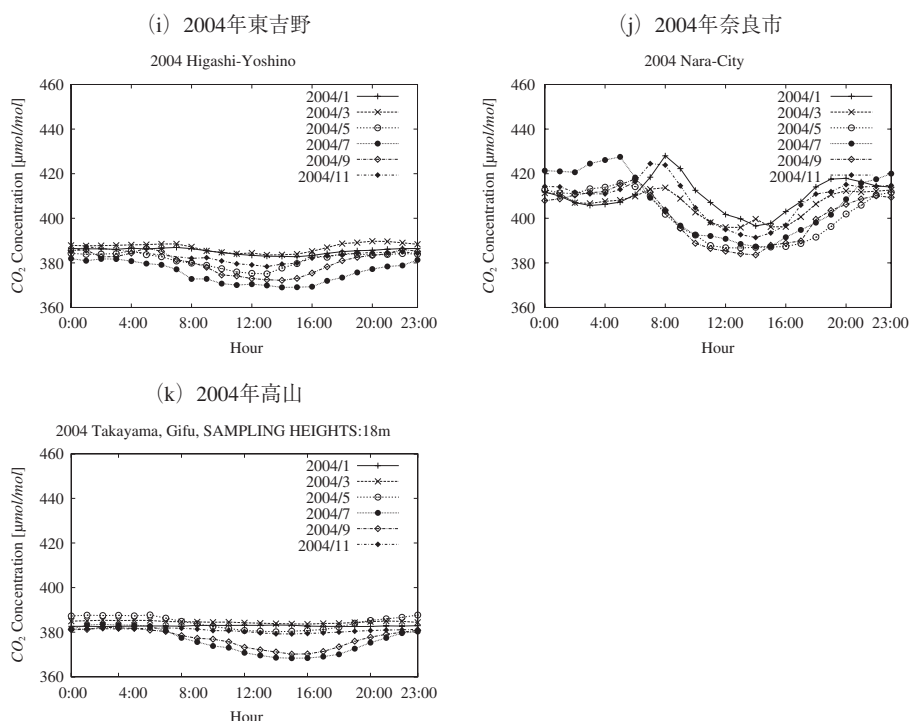


図2 東吉野、奈良市、高山における CO_2 濃度の日変化 (1)

図2 東吉野、奈良市、高山における CO₂ 濃度の日変化 (2)

東吉野の結果と似ているが、東吉野の CO₂ 濃度の変化の仕方には季節的な違いが見られ、奈良市の CO₂ 濃度の変化は1年を通してほぼ同じである。2004年から2006年の高山における CO₂ 濃度の日変化を図2(e)(h)(k)に示す。グラフの横軸は時間(0時から23時)、縦軸は CO₂ 濃度(ppm)である。図2(e)(h)(k)を見ると、東吉野(図2(a)(c)(f)(i))と同様に日変化の幅に季節的な違いが見られる。1月と3月は CO₂ 濃度が385(ppm)でほぼ一定であるのに対して、7月と9月は夜に380(ppm)である CO₂ 濃度が正午には365(ppm)まで下がり、その変動の幅は15(ppm)である。東吉野(図2(a)(c)(f)(i))よりも変動の幅が3(ppm)小さく、冬に濃度が一定になる様子も東吉野よりはっきりとわかる。これは、東吉野の植生は常緑樹林帯である一方、高山の植生は落葉樹林帯である事と関連づけられる。

3.3 CO₂ 吸収の季節変動

各測定場所の CO₂ 濃度の日変化の結果から、東吉野のデータに植生の CO₂ 吸収の季節変動が反映されていると考えられる。ある気柱の中での CO₂ 収支のプロセスは、(a)夜：土壤呼吸、植生による呼吸、他からの移流、(b)昼：土壤呼吸、植生による呼吸、他からの移流、光合成による吸収から成る。いま、他からの CO₂ 移流、気柱高の昼夜差、呼吸の昼夜差、気柱からの夜の放出はないと仮定できれば、気柱内の夜の CO₂ 量から昼の CO₂ 量を引く事により、生態系の吸収をとらえることができる。光量子密度が10($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)以上である時間帯を昼

とし、 $10\ (\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s})$ 以下である時間帯を夜とした。それぞれの時間帯の気柱内の CO_2 濃度は一様であると仮定し、夜の CO_2 量から昼の CO_2 量を引いた。その結果を図 3(a) に示す。図 3(a) は東吉野のデータを用いて計算した結果で、単位を $(\mu\text{mol}/\text{mol})$ から (gC/m^2) に変換している。グラフは横軸が年月、縦軸が昼と夜の CO_2 の差 (gC/m^2) である。2004 年 7 月に $29.81\ (\text{gC}/\text{m}^2)$ 、2005 年 9 月に $34.73\ (\text{gC}/\text{m}^2)$ 、2006 年 8 月に $32.69\ (\text{gC}/\text{m}^2)$ 、2007 年 8 月に $34.07\ (\text{gC}/\text{m}^2)$ で最大になる。また、2004 年 1 月に $5.05\ (\text{gC}/\text{m}^2)$ 、2005 年 2 月に $2.99\ (\text{gC}/\text{m}^2)$ 、2006 年 2 月に $-4.67\ (\text{gC}/\text{m}^2)$ 、2007 年 2 月に $1.83\ (\text{gC}/\text{m}^2)$ で最小になる。その変動の幅は、それぞれ $24.76, 31.74, 37.36, 32.24\ (\text{gC}/\text{m}^2)$ である。参考として、岐阜県高山のデータを用いて同様の解析を行なった結果を図 3(b) に示す。図 3(b) のグラフは、横軸が年月、縦軸が昼と夜の CO_2 の差 (gC/m^2) である。2004 年 6 月に $33.80\ (\text{gC}/\text{m}^2)$ 、2005 年 8 月に $29.69\ (\text{gC}/\text{m}^2)$ 、2006 年 8 月 $17.24\ (\text{gC}/\text{m}^2)$ で最大、2004 年 1 月に $-0.85\ (\text{gC}/\text{m}^2)$ 、2005 年 2 月に $-0.13\ (\text{gC}/\text{m}^2)$ 、

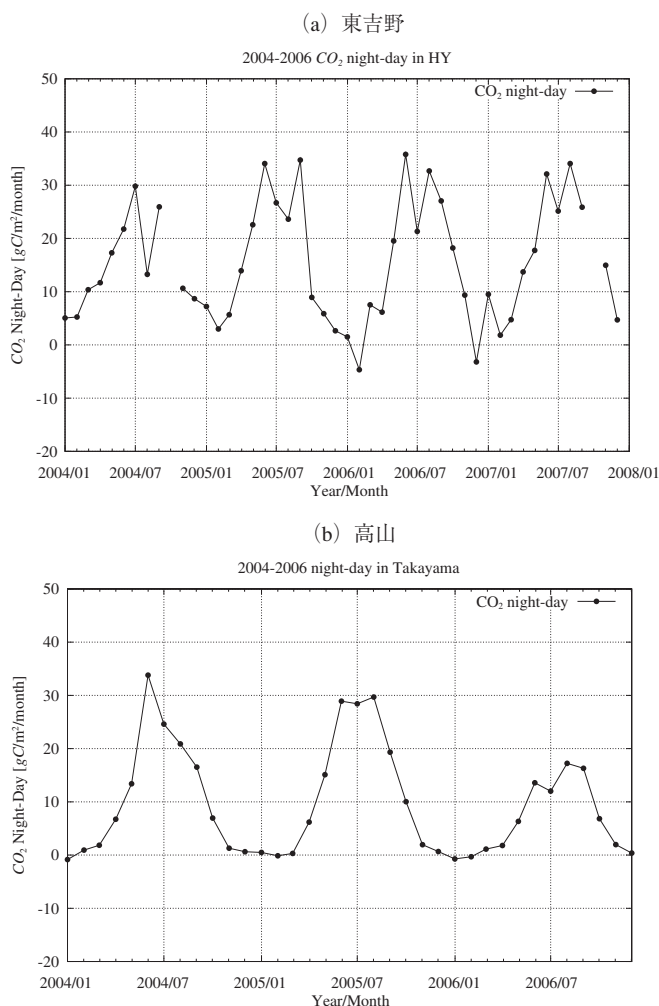


図 3 昼と夜の気柱内 CO_2 量の差

表 2 昼と夜の CO₂ 気柱量差の年間積算値（東吉野，高山）

年	東吉野[gC/m ²]	高山[gC/m ²]
2004		126.75
2005	189.00	140.95
2006	171.29	76.51

2006 年 1 月に -0.73 (gC/m²) で最小となる。その変動の幅は、それぞれ 34.65, 29.82, 17.97 (gC/m²) となった。また、東吉野と高山の昼と夜の気柱内 CO₂ 量の差の年間積算値を表 2 に示す。東吉野と高山の年間積算値を比較すると、東吉野が 2005 年では 48.05 (gC/m²)、2006 年では 94.78 (gC/m²) 大きく、植生の違いや他地域からの移流も異なることとの関連が考えられる。

4 CO₂ 濃度のモデル計算

前述の CO₂ 吸収の評価手法で考慮できなかった CO₂ の移流や気柱高の昼夜差の影響を検討するために、CO₂ 濃度のモデル計算値を用いて CO₂ 吸収の評価を行なう。今回は、CO₂ 濃度のモデル計算を行なうための気象場の計算結果までを報告する。

4.1 気象場計算手法

気象場の計算には、PSU/NCAR (Pennsylvania State University/National Center for Atmospheric Research) が開発した MM5 (5th generation Mesoscale Modeling) を用いた。境界条件として、3 時間毎、10 km×10 km 気象庁のメソ客観解析データを用いた。土地利用情報のデータとして USGS (U.S. Geological Survey) の解像度 30 秒、格子間隔 0.9 km と解像度 5 分、格子間隔 9 km のデータを用いた。これらのデータを用いて MM5 にて 1 時間毎 3 km×3 km の気象場を計算する。計算領域は北緯 33.37 度から 35.36 度、東経 134.97 度から 136.89 度で、解析期間は 7 月 28 日 18 時から 8 月 10 日 18 時 (日本時間：7 月 29 日 3 時から 8 月 11 日 3 時) である。

4.2 気象場計算結果と観測値の比較

MM5 による気象場の計算結果をアメダスの観測結果と比較し、計算結果の精度を検討した。各図の (26) 東吉野 (27) 奈良市の観測値は、本研究で測定した値を比較に用いている。その結果を図 4 から図 9 に示す。ピンク色が MM5 の計算結果、青色がアメダスによる観測値である。図 4 と図 5 は風向の結果で、横軸が計算時間 (1 時間毎)、縦軸が風向 (16 方位) である。図 5 (26) 東吉野 (27) 奈良市は縦軸が 0 度から 360 度である。風向は気象場の計算結果が u 成分、v 成分であるため、アメダスの観測結果と比較するために、風向 (0 から 360 度) を算出して 16 方位に変換した。図 4 と図 5 を見ると、全体的に MM5 の結果とアメダス

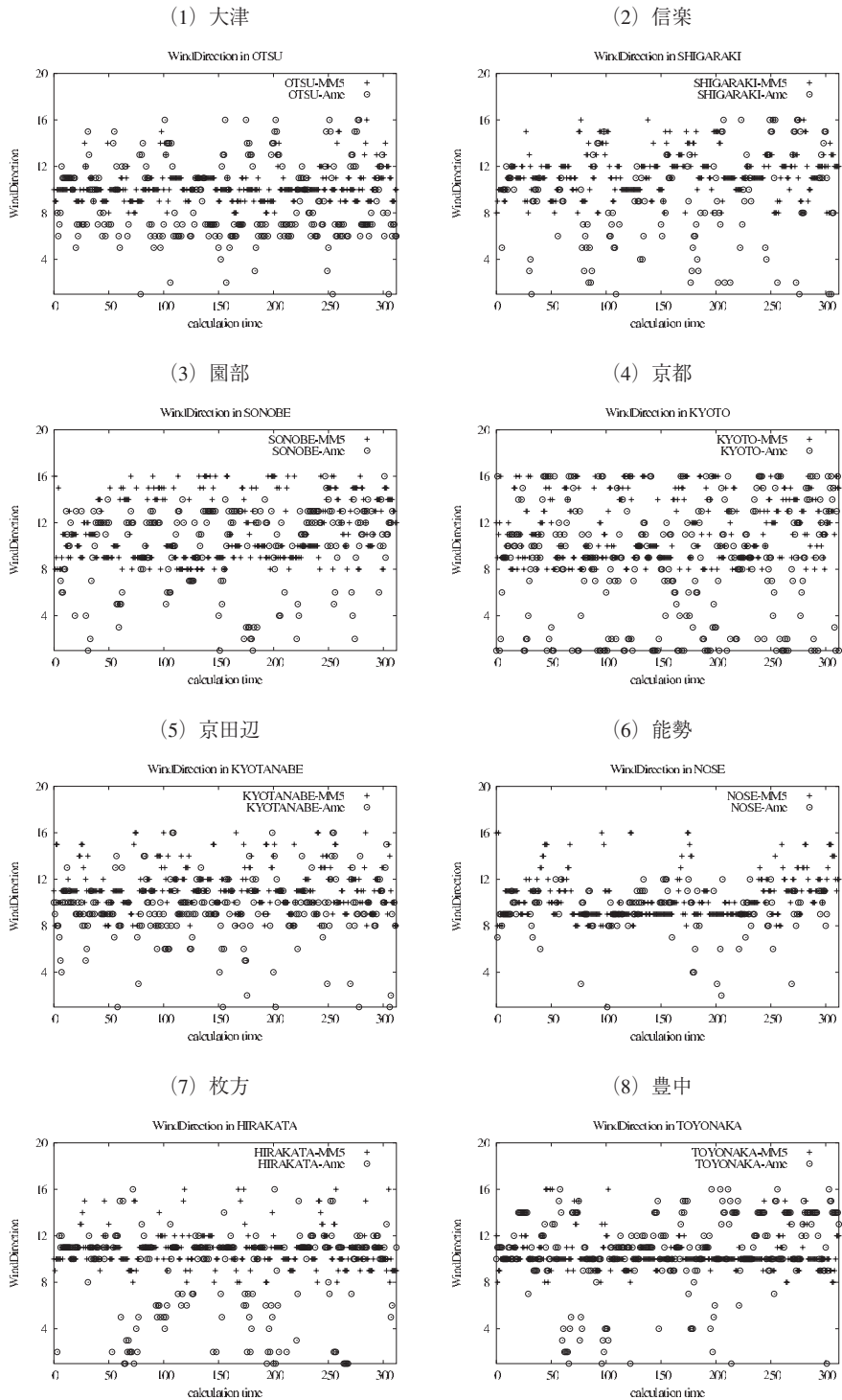


図4 MM5による気象場計算結果とアメダス観測値の比較(風向)(1)

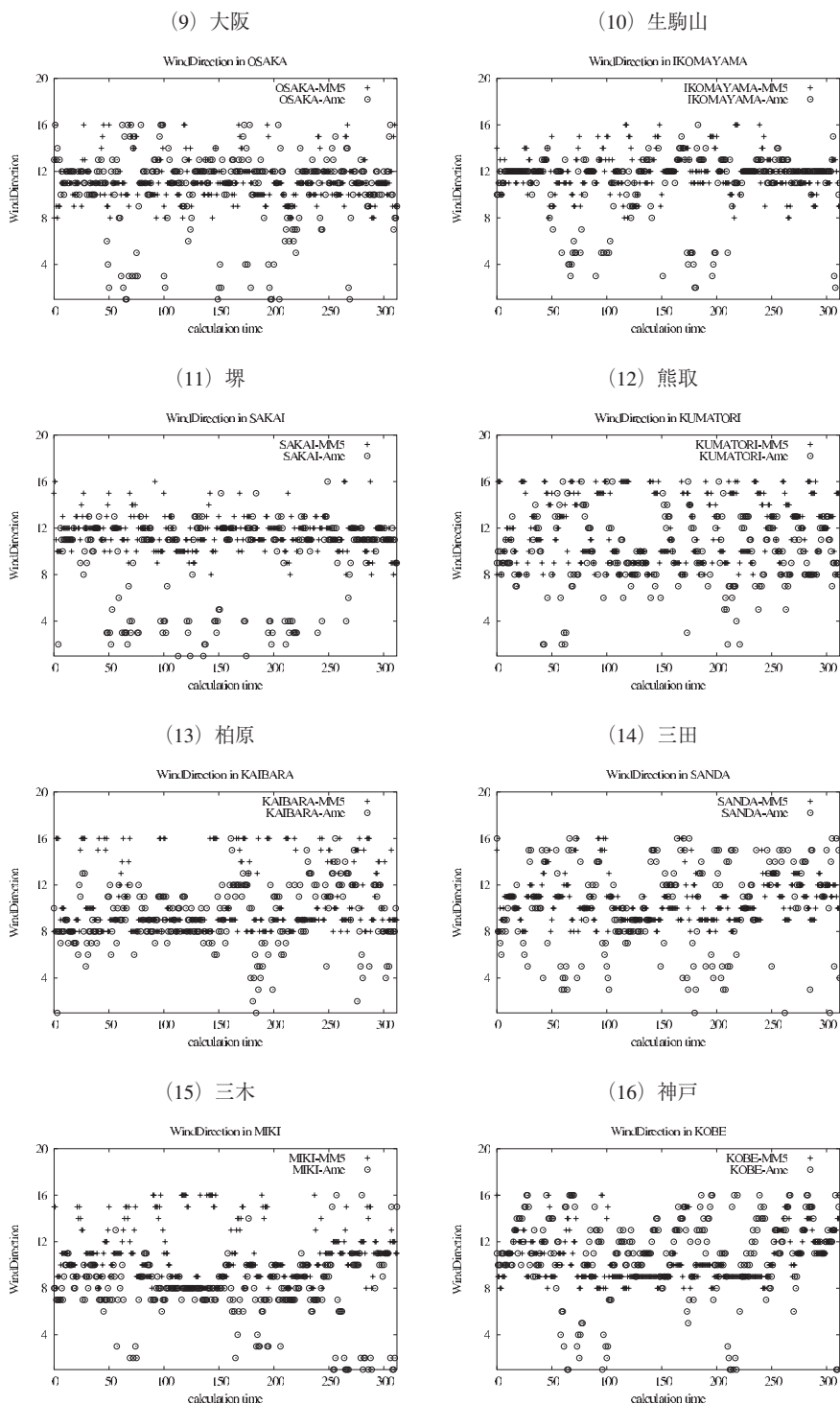


図4 MM5 による気象場計算結果とアメダス観測値の比較 (風向) (2)

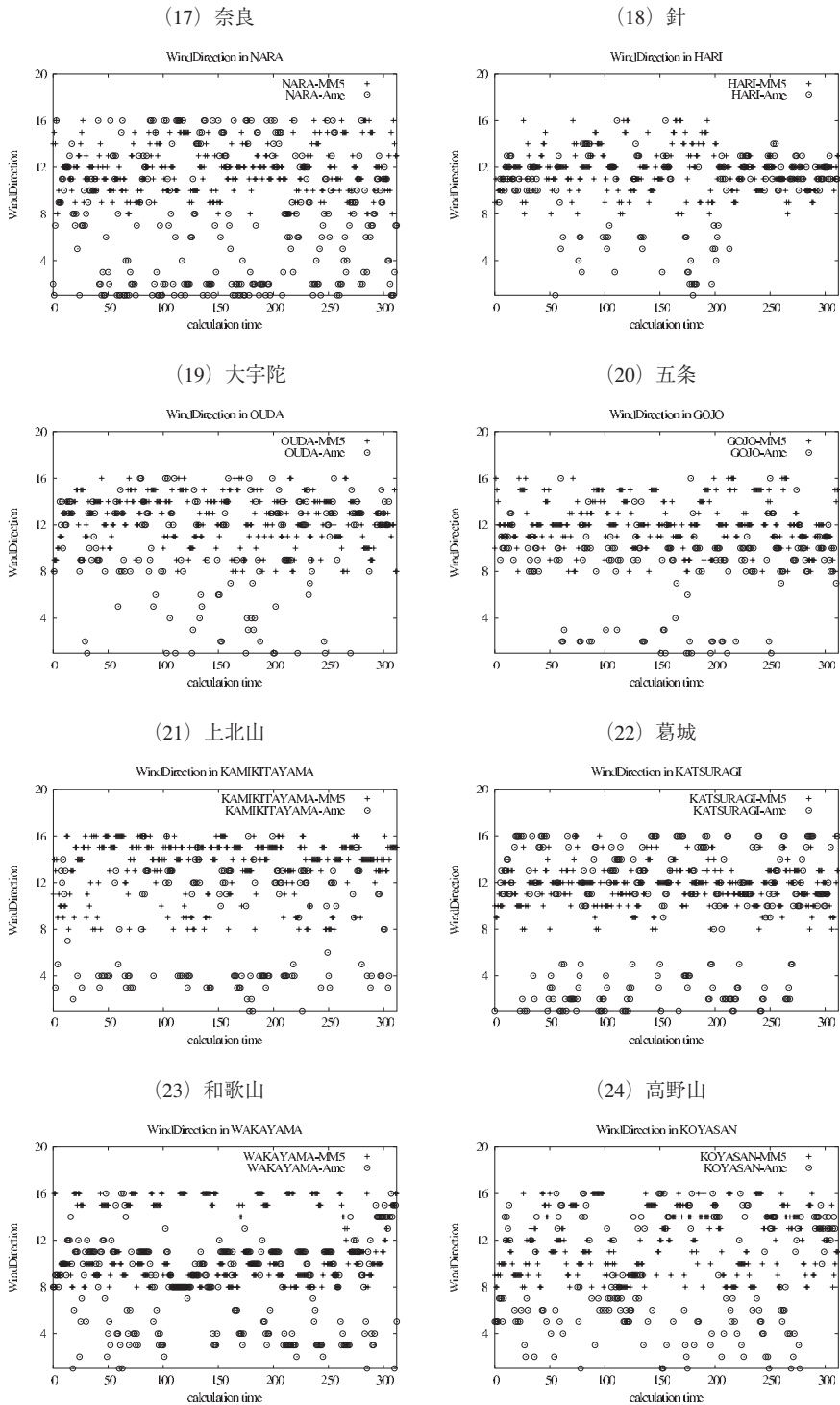


図5 MM5による気象場計算結果とアメダス観測値の比較(風向)(1)

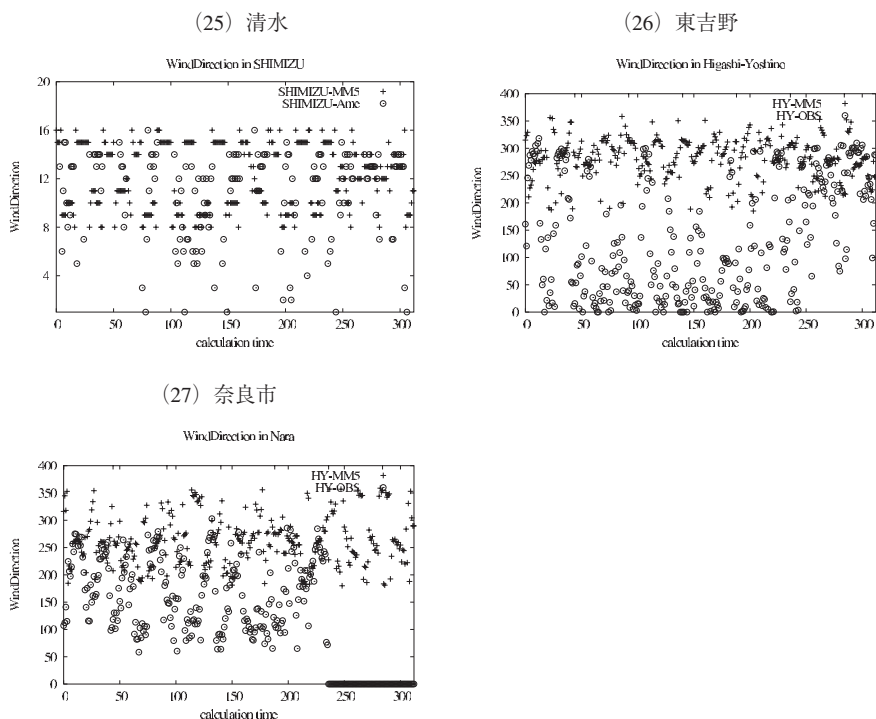


図5 MM5 による気象場計算結果とアメダス観測値の比較（風向）(2)

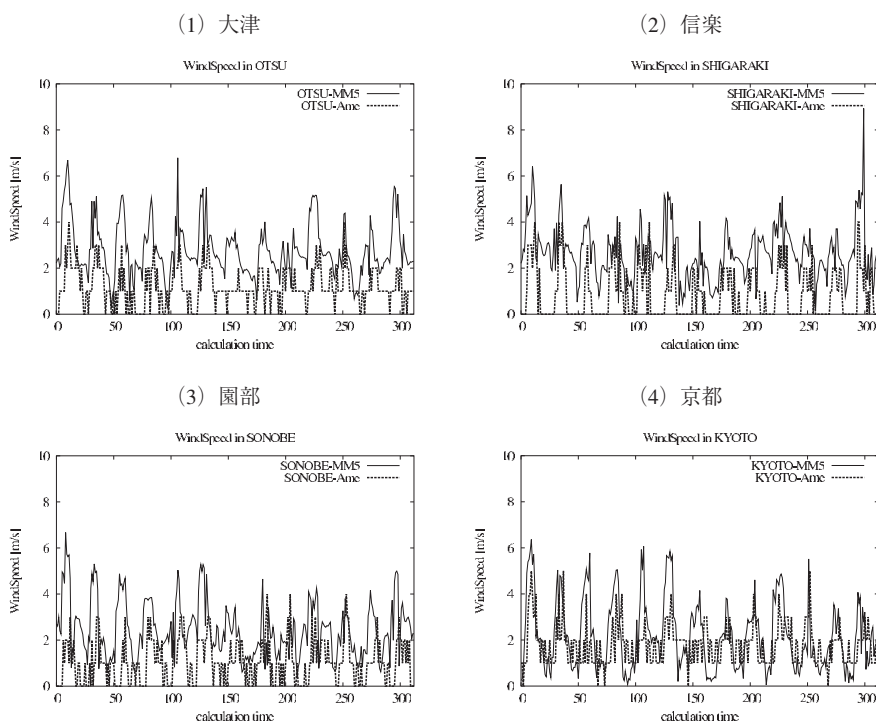


図6 MM5 による気象場計算結果とアメダス観測値の比較（風速）(1)

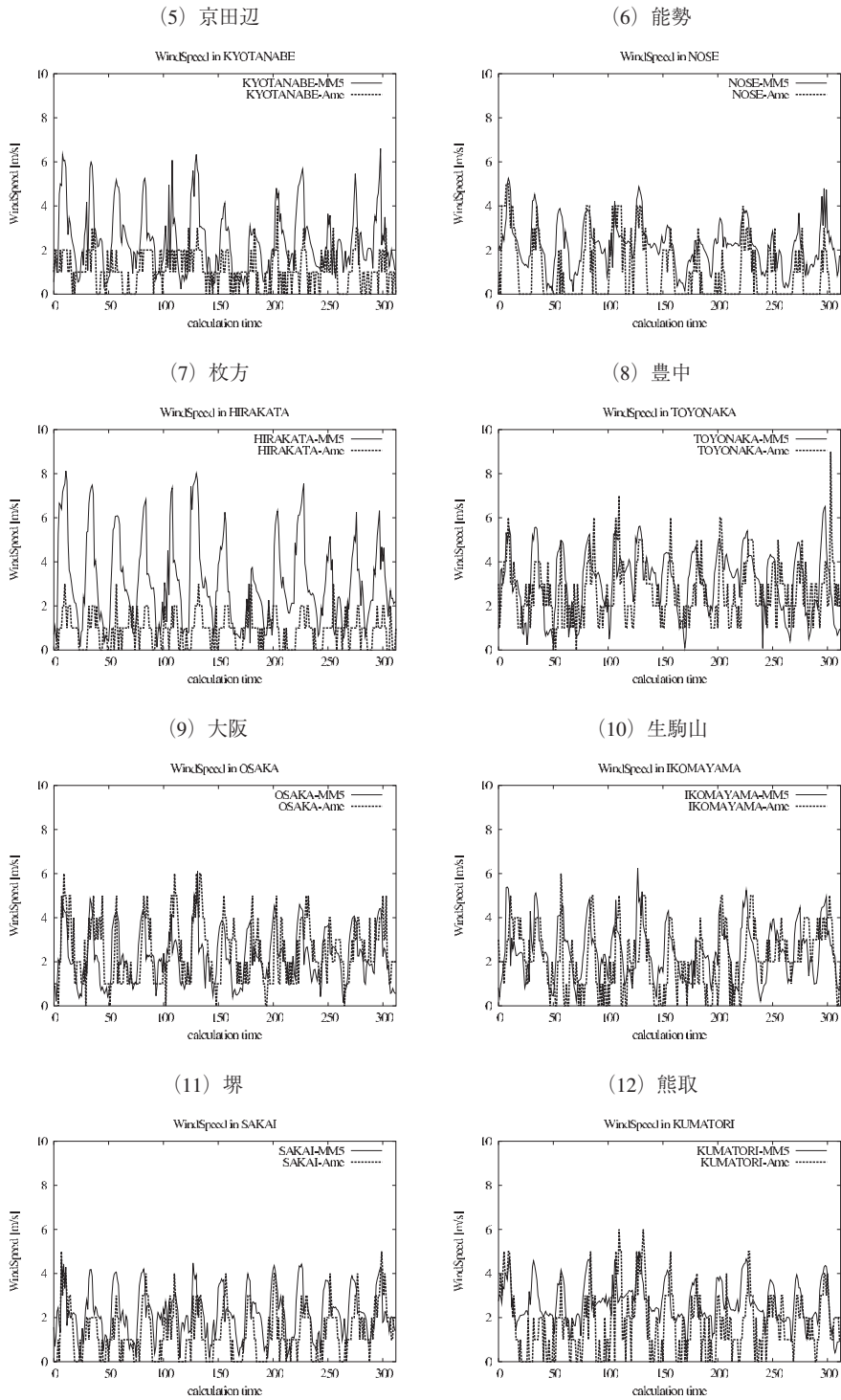


図6 MM5による気象場計算結果とアメダス観測値の比較(風速)(2)

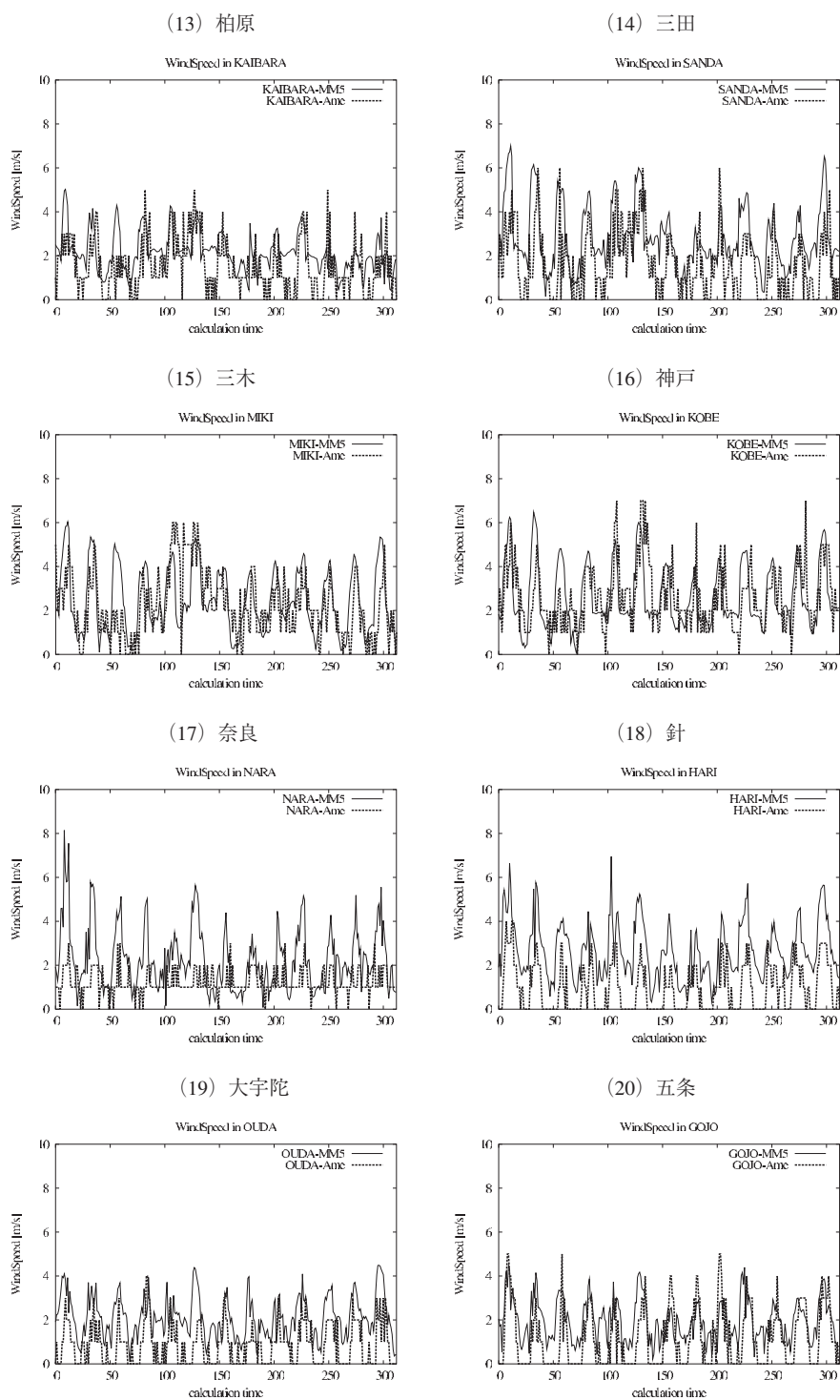


図7 MM5 による気象場計算結果とアメダス観測値の比較(風速) (1)

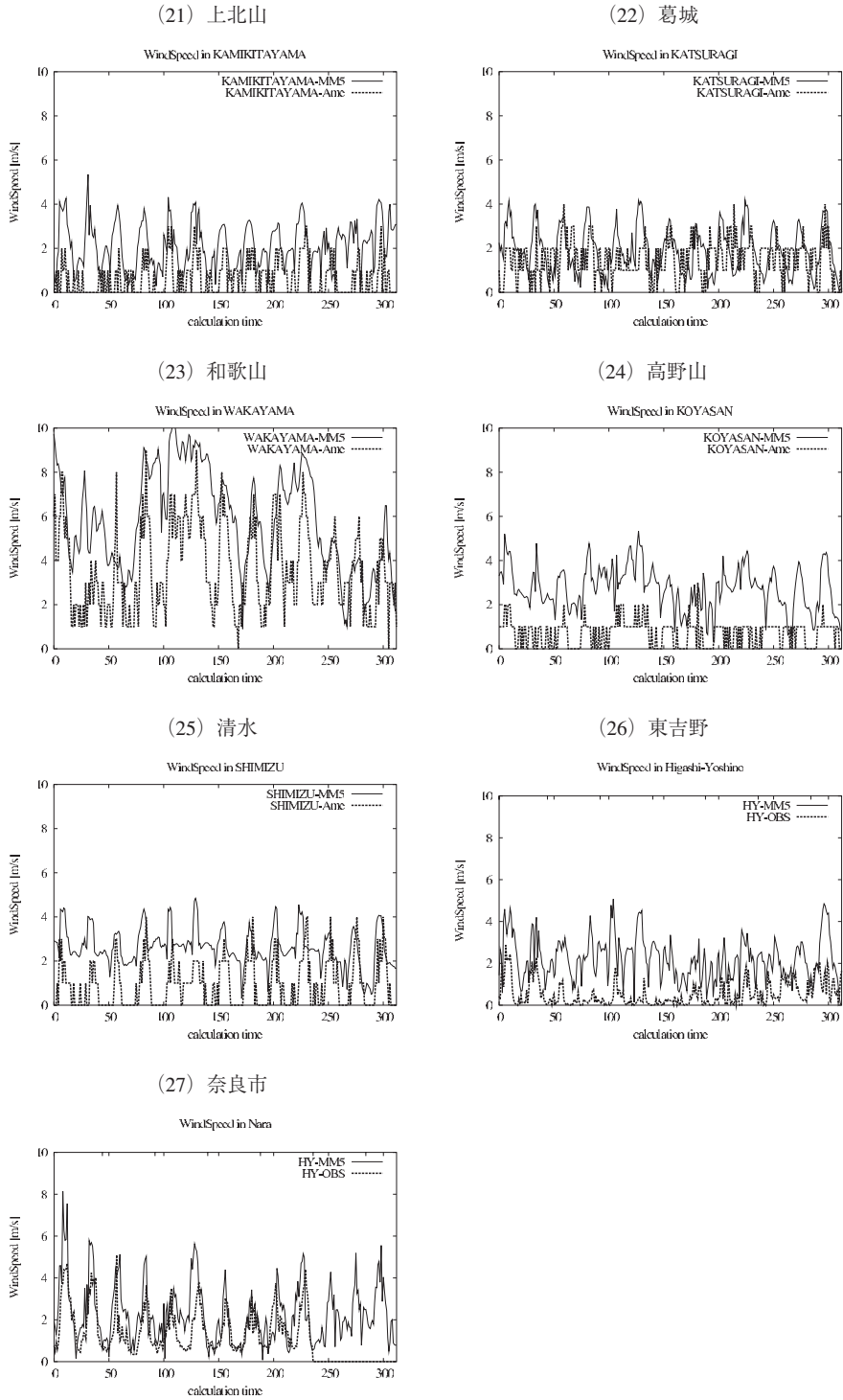


図7 MM5による気象場計算結果とアメダス観測値の比較(風速)(2)

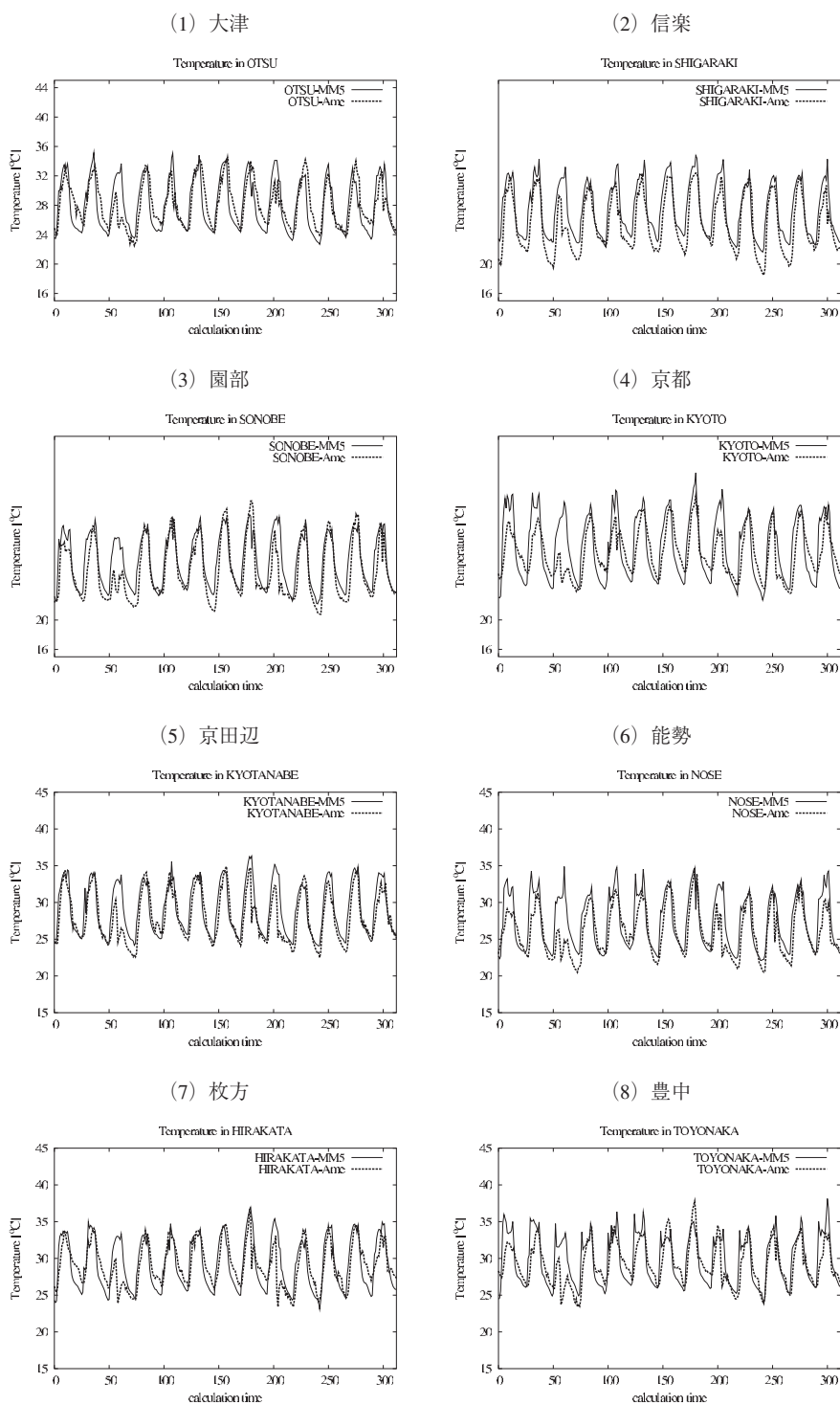


図8 MM5 による気象場計算結果とアメダス観測値の比較(気温) (1)

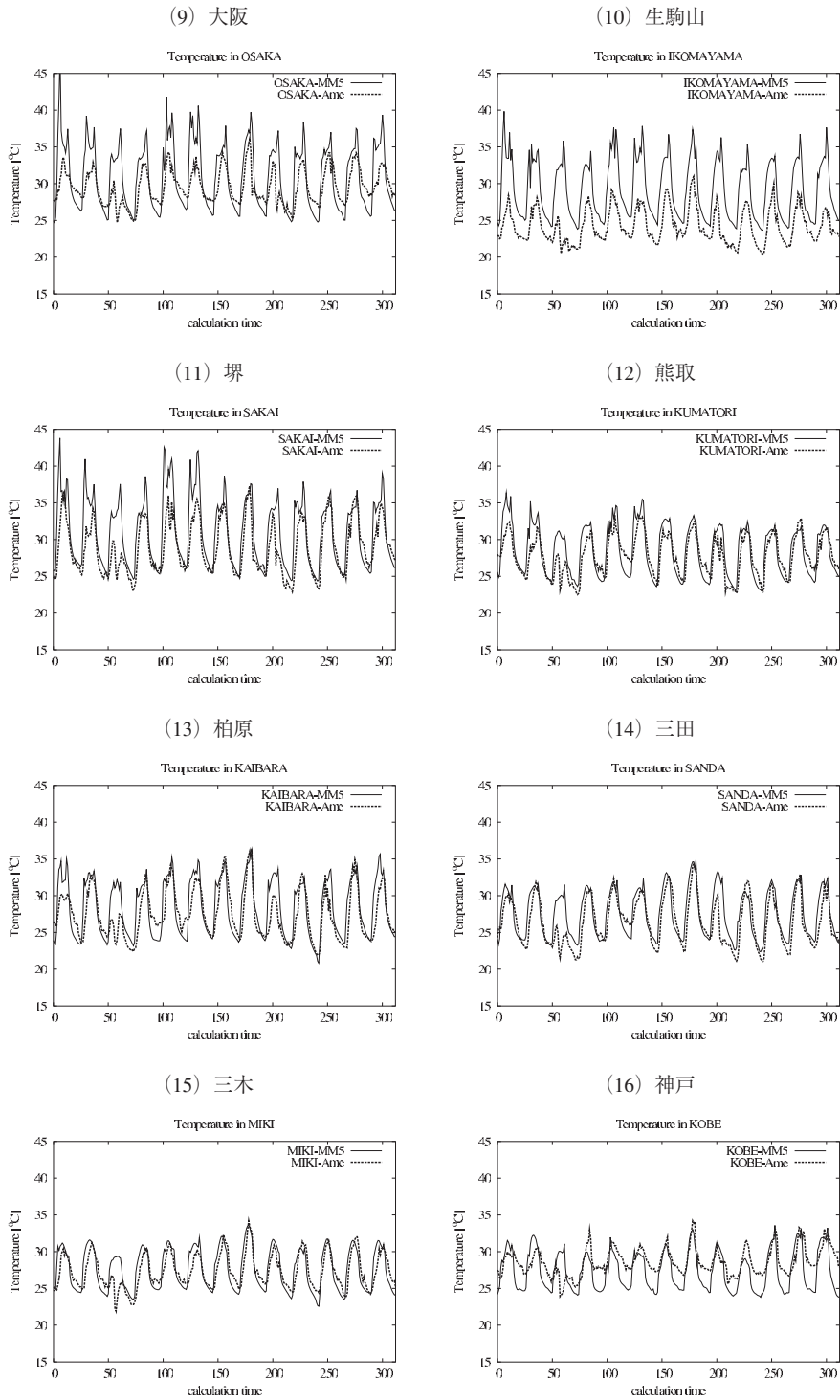


図8 MM5による気象場計算結果とアメダス観測値の比較(気温)(2)

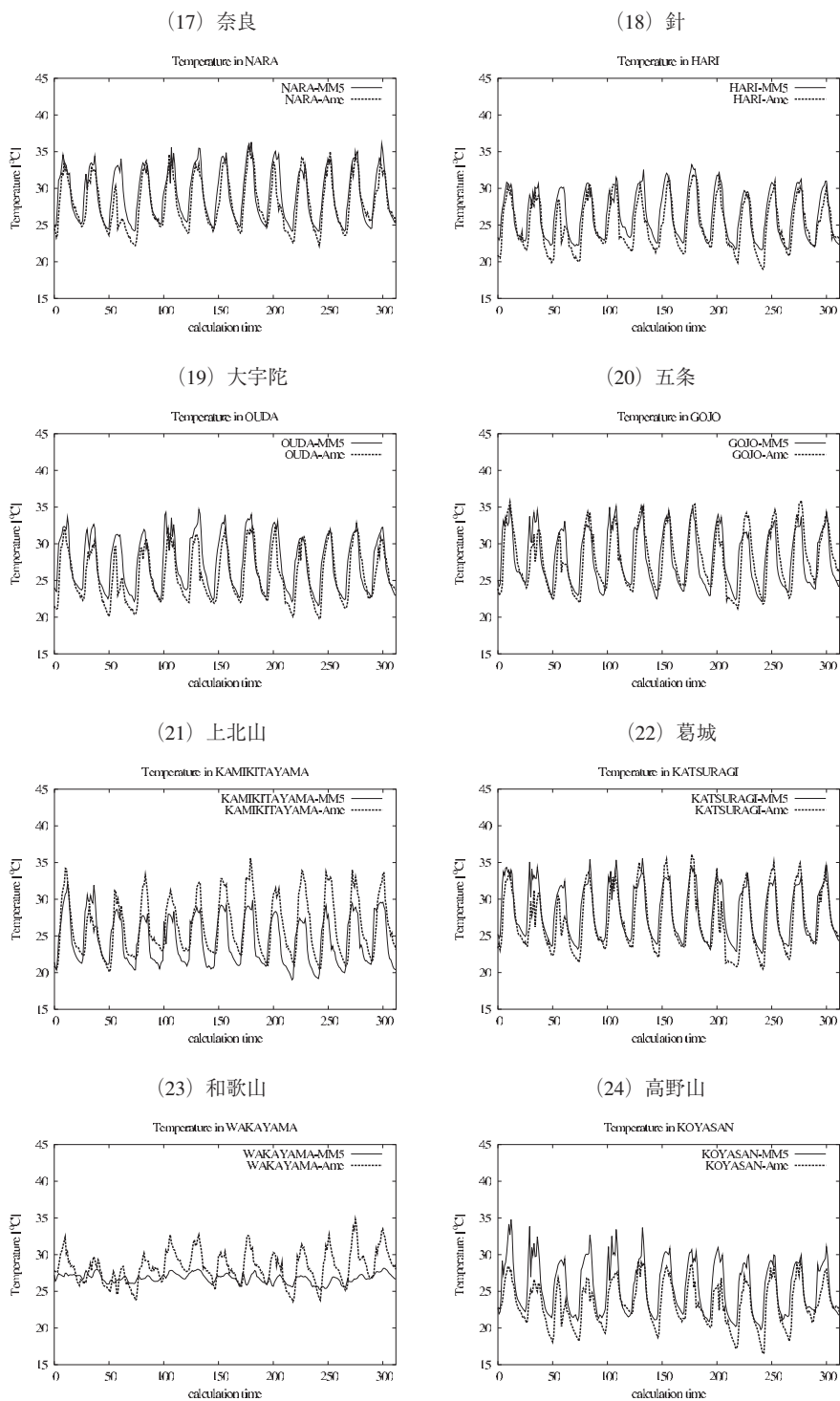


図9 MM5 による気象場計算結果とアメダス観測値の比較(気温) (1)

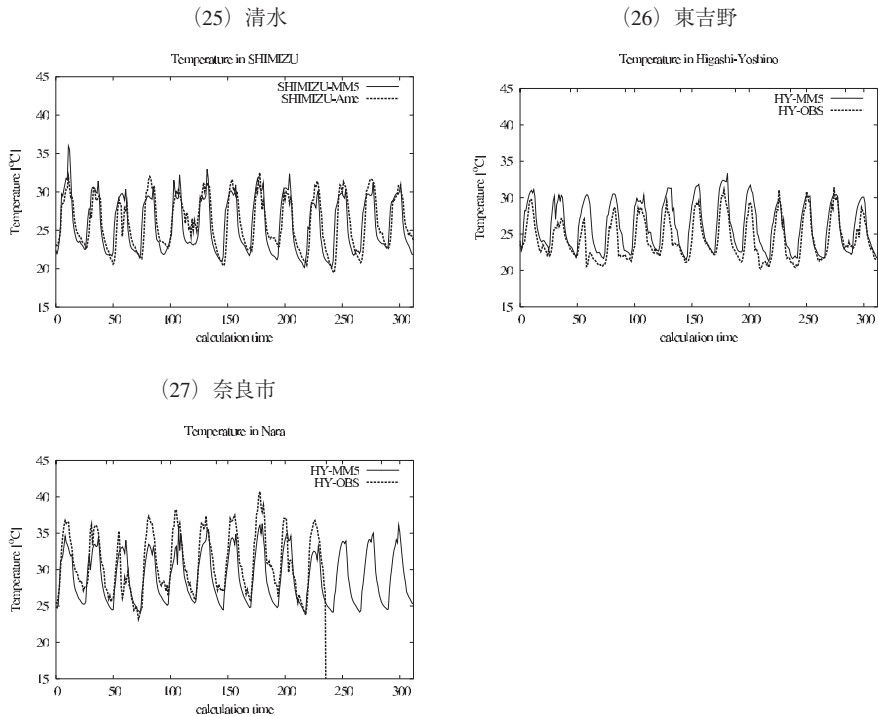


図9 MM5による気象場計算結果とアメダス観測値の比較(気温)(2)

の観測値のずれが大きい。MM5の計算結果は西よりの風を示す傾向にある。図6と図7は風速の結果で、横軸が計算時間(1時間毎)、縦軸が風速(m/s)である。図6と図7をみると、全体的にMM5の方が1から4(m/s)程度強く計算されている。図7(26)の東吉野の結果は、MM5の結果が実測値よりも約2から4(m/s)程度強く、風速の日変化の幅も観測値の2、3倍になっている。図8と図9は気温の結果で、横軸が計算時間(1時間毎)、縦軸が気温(°C)である。図8と図9をみると、全体的にMM5の計算結果が2(°C)程度高く計算されているようである。しかし、和歌山の気温の結果(図9(23))を見ると、MM5による気温が約4(°C)小さくなっている。これらは土地利用情報のデータの精度が低いことが原因の1つと考えられ、このデータを改善していく必要がある。今後は気象場の精度向上と、CO₂濃度のモデル計算を行ない、紀伊半島全体のCO₂吸収量の評価を行なっていく。

5 まとめと今後の課題

本研究は、紀伊半島全体の植生のCO₂吸収の評価を行なうため、まず奈良県東吉野村森林内における植生のCO₂吸収の評価を行うことを目的とした。2004年から2007年のCO₂濃度モニタリングデータを用いてCO₂濃度の動態解析を行ない、CO₂の昼夜差からCO₂吸収の季節変動をとらえた。また、CO₂の移流や気柱高の昼夜差の影響を検討するために、CO₂濃度の

モデル計算を行うことにした。今回は、CO₂ 濃度のモデル計算を行なうための気象場の計算までを行なった。気象場を計算した結果をアメダスの観測値と比較すると、MM5の結果が風向は西よりで、風速は1から4 (m/s) 強く、気温は約2 (°C) 高い結果となった。これらの原因の1つとして、土地利用情報の精度が低いことが考えられる。今後は気象場の精度をあげるとともに、CO₂ 濃度のモデル計算を行ない、紀伊半島全体の植生による CO₂ 吸収の評価を行っていく。

謝辞

本研究で使用した奈良県東吉野の観測データは、奈良女子大学共生科学研究センターより、岐阜県高山の観測データは産業技術総合研究所より、気象場の計算に用いたメソ客観解析データは気象庁より提供された。本研究の CO₂ 濃度のモデル計算には国立環境研究所の小田知宏氏の協力を得た。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 Nobuko Saigusa・Susumu Yamamoto・Shohei Murayama・Hiroaki Kondo. 「Inter-annual variability of carbon budget components in an AsiaFlux forest site estimated by long-term flux measurements」. *Agriculture and Forest Meteorology* 134, 4–16. 2005.
- 2 Susumu Yamamoto・Shohei Murayama・Nobuko Saigusa・Hiroaki Kondo. 「Seasonal and inter-annual variation of CO₂ flux between a temperate forest and the atmosphere in Japan」. *Tellus* 51 B, 402–413. 1999.
- 3 海老名桜子, 村松加奈子, 古川昭雄, 醍醐元正, 古海 忍, 森 麻美. 「奈良市街域と森林地帯での CO₂ 濃度測定タワーで観測した風向風速の特徴解析」. *ワールドワイドビジネスレビュー* 第9巻, 第1号, 2007年9月 pp 153–166
- 4 海老名桜子, 村松加奈子, 古川昭雄, 醍醐元正, 古海 忍, 森 麻美. 「奈良県東吉野村における CO₂ 濃度の動態解析」. *ワールドワイドビジネスレビュー* 第9巻, 第2号, 2008年3月 pp 78–86
- 5 海老名桜子, 村松加奈子, 古川昭雄, 醍醐元正, 古海 忍, 森 麻美. 「奈良県東吉野村における CO₂ 濃度の動態解析 II」. *ワールドワイドビジネスレビュー* 第10巻, 第1号, 2008年9月 pp 180–187
- 6 海老名桜子, 村松加奈子, 古川昭雄, 醍醐元正, 古海 忍, 森 麻美. 「奈良市街域と東吉野における 2007 年の CO₂ 濃度モニタリング報告」. *ワールドワイドビジネスレビュー* 第10巻, 第2号, 2009年3月 pp 76–83
- 7 近藤純正. 「地表面に近い大気科学—理解と応用」. 2000.
- 8 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.
- 9 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.
- 10 全国地球温暖化防止活動推進センター. (<http://www.jccca.org/index.php>)
- 11 独立行政法人, 産業技術総合研究所. (<http://www.aist.go.jp/>)