

B-1 気候・物質循環モデルによる気候変動の定量的評価に関する研究
(7) 森林生態系を含む局地気候モデルによる局地気候変動の評価に関する研究

研究代表者 通産省資源環境技術総合研究所
環境影響予測部大気環境予測研究室 近藤裕昭

通産省資源環境技術総合研究所
環境影響予測部 大気環境予測研究室 三枝信子、村山昌平
首席研究官 山本 晋

平成9-11年度合計予算額 11,876千円
(平成11年度予算額 3,956千円)

【要旨】

岐阜県高山市郊外にある広葉落葉樹林での測定値を基に、森林の年間の生態系純生産量(NEP)、総生産量(GPP)、および生態系呼吸(R)を光合成有効放射量、気温、葉面積指数の関数として見積もった。このデータを基本として、年間の平均日射量と気温を変化させた場合の生態系純生産量の変化を調べた。他の条件を一定として日射量が10%増えた場合は年間のNEPは17%増加した。また梅雨期前後の日射量の減少は短期間でも年間のNEPの低下に大きく寄与することがわかった。年間平均気温を1℃上昇させると生育期間がのびて年間のGPPは増加するが、呼吸の温度依存性のほうが大きく、年間のNEPは11%減少した。

複雑地形上にある高山の測定データの大まかな精度を調べるため、高山で得られたデータと植生データを用いて中部日本の生態系純生産量を植生区分毎に算出し、さらに人為起源の二酸化炭素排出をも考慮して夏期の二酸化炭素濃度変化のシミュレーションを行った。結果はおおむね測定値と一致した。また、結果より移流の効果や水平方向の非均一性に基づく濃度変化が大きいことがわかった。同じモデルを用いて雲量の変化に伴う夏期の生態系純生産量の変化を求めた。

【キーワード】 落葉広葉樹林、生態系純生産量、二酸化炭素濃度変化、局地気候モデル

1. 序

気候変動に伴い、東アジアや日本においてどのような局地的影響が現れるかが危惧されている。また、農耕や産業化などによって人間が地表面を大規模に改変した影響が地域規模での気候システムに大きな影響を与えている可能性も指摘されている。森林生態系は局地規模の二酸化炭素の循環や水の循環に対しても重要な役割を果たしているが、それ自体が非常に多種・多様であり、その役割については不明確な部分が多い。本研究では、日本の冷温帯・広葉落葉樹林における長期観測データをもとに森林生態系のモデル化を行い、局地規模での気候変動の評価を試みる。

2. 研究目的

本研究では、日本における冷温帯・広葉落葉樹林での二酸化炭素およびエネルギーフラックスの長期観測に基づいて森林生態系のモデル化を行う。これをもとに、気候変動によって気候パラメータが変動した場合の局地規模での森林生態系への影響を評価する。

3. 研究方法

資環研では1993年以降、岐阜県高山市郊外の標高1420mの稜線上で岐阜大学流域環境研究センターと共同で温帯落葉樹林の生態系と大気間の二酸化炭素フラックスの長期測定を行っている。このデータを基に局地気候モデルに組み込むための、蒸発散とCO₂吸収・発生量を計算できる簡単なモデルおよび土地利用データの作成を行った。また、人為起源のCO₂発生源データマップを燃料使用量などから作成した。両者を局地気候モデルに組み込んで1997年7月23-25日の中部日本域の二酸化炭素濃度分布の日変化を計算し、測定結果のおおまかな評価を行った。

次に、高山の落葉広葉樹林で渦相関法により観測されたCO₂フラックスのデータを用いて、森林の長期間にわたる生態系純生産量と総生産量のパラメータ化を行った。また、フラックスの変化を生む要因として植物の生育期間、総生産量の光依存性、呼吸の温度依存性の3点に注目し、これらの要因の変化に対する年間CO₂収支の敏感度を調べた。最後に局地気候モデルを用いて、夏期の雲量の変動を一つの気候変動のモデルとしてこれに対する中部日本における気温と森林生態系の純生産量の変化を調べた。

4. 結果・考察

4. 1 局地気候モデルのための土地利用データの作成、および蒸発散とCO₂吸収・発生量の計算

局地気候モデルによる計算に使用する目的で、12種類のカテゴリーに分けた土地利用区分を作成した。使用した土地利用データは、環境庁自然環境保全基礎調査・植生調査ファイル(財, 自然環境研究センター)、メッシュサイズは約1×1 kmである。このデータに記載されている766種類の群落分類を、表1に示すような12種類のカテゴリーに再分類した。

表1. 土地利用区分と、区分ごとに与えたパラメータの値.

No.	土地利用区分	G_s mm s ⁻¹	a J ¹ s m ² ×10 ⁻⁴	b mgCO ₂ J ⁻¹ ×10 ³
1	低木・灌木林	9.4	6.80	0.79
2	常緑針葉樹林	20.6	6.80	1.71
3	落葉針葉樹林	11.4	6.80	0.95
4	落葉広葉樹林	20.7	6.80	1.72
5	常緑広葉樹林	12.1	6.80	1.01
6	針広混交林	13.8	6.80	1.15
7	草原	23.0	6.80	1.92
8	湿地	5.0	6.80	0.42
9	耕作地	32.5	6.80	2.70
10	その他	25.1	6.80	2.08
11	市街地	--	--	--
12	水面	∞	--	--

次に、地表面からの蒸発散量とCO₂吸収・発生量を表す式を示す。まず、蒸発散量Eを

$$E = \rho \frac{G_a G_s}{G_a + G_s} (q^*(T_s) - q) \quad (1)$$

と表す。ここでρは空気密度、q*(T_s)は地表面温度T_sに対する飽和比湿、qは空気の比湿、G_aは輸送効率(=C_HU)、G_sは群落コンダクタンスである。群落におけるCO₂吸収量Aは、日射量I(W m⁻²)と気温T(°C)の関数として以下のように表す。

$$A = \frac{bI}{1+aI} - R \quad (2)$$

$$R = R_{25} Q^{\frac{T-25}{10}} \quad (3)$$

ここで、Rは光がないときに植生から放出されるCO₂の量、R₂₅は気温25°CでのRの値で、簡単のため各土地利用区分で共通にR₂₅=0.078 mgCO₂ m⁻²s⁻¹とした。QはRの温度係数でQ=2とした。パラメータG_s、a、およびbの値は、土地利用区分ごとに、Schulze et al.(1994)にもとづいて表1のように与えた。

4. 2 人為起源二酸化炭素発生量の推定

人為起源の二酸化炭素については、大規模固定発生源、小規模固定発生源、事業場、家庭、自動車、船舶、航空機の7つに分け、化石燃料の燃焼とセメントキルンからの発生に限定した。これらを次に示す大規模固定発生源を除いて局地気候モデルのメッシュである1/8°×1/12°メッシュにまとめた。大規模固定発生源のうち排ガスの熱量が10⁶cal s⁻¹より大きいものについては煙上昇をCONCAWE式で考慮した。

$$\Delta H = 0.175 Q_H^{\frac{1}{2}} u^{-\frac{3}{4}} \quad (4)$$

ここでΔHは煙上昇高度、Q_Hは排ガスの熱量、uは実煙突高での風速である。データは特別・月別に整理した。8月の各発生源からのCO₂排出の時間変化を図1に示す。

4. 3 CO₂濃度変動の計算

計算対象とした期間は1997年7月23日から25日の3日間であり、計算領域を図2に示す。風の計算には、NIRE-MMを用い、領域外からの影響を取り入れるために気象庁GPV-RSMのデータを3時間毎にnudgingを用いて導入した。二酸化炭素についてはさらに以下の方程式を加えて'on-line'によって計算を行った。

$$\frac{\partial(DC)}{\partial t} + \frac{\partial(DCu)}{\partial x} + \frac{\partial(DCv)}{\partial y} + \frac{\partial(DC\dot{s})}{\partial s} = K_{cx} D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_{cy} D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{1}{D} \left(\frac{\partial}{\partial s} K_H \frac{\partial C}{\partial s} \right) + Q_c$$

ただし、Cは二酸化炭素濃度、Dは領域の上端高度と地表の高度の差、Q_cは4.2節で示した二酸化炭素の放出・吸収である。大規模固定発生源以外の二酸化炭素吸収・発生源は地上10mにおいた。二酸化炭素の側面境界条件は、7月23日に行った高山上空と御前崎上空の飛行機観測の結果から2.5 ppmv・deg⁻¹の南北濃度勾配(北側が濃度が低い)を与え、計算期間中は濃度の変化が無いものとした。

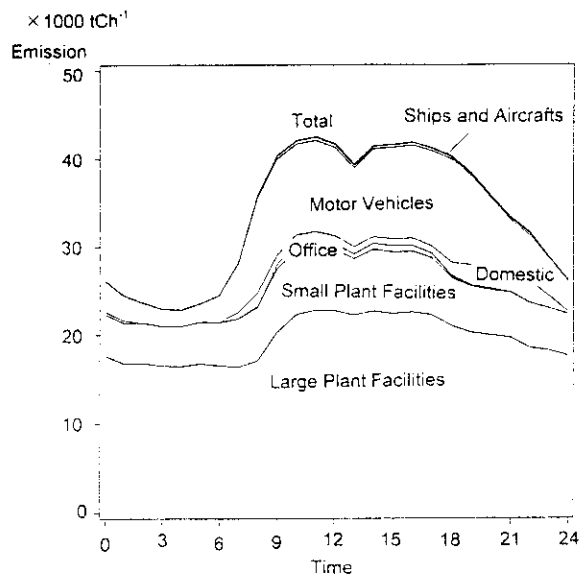


図1 人為起源二酸化炭素発生量の日変化（8月）。

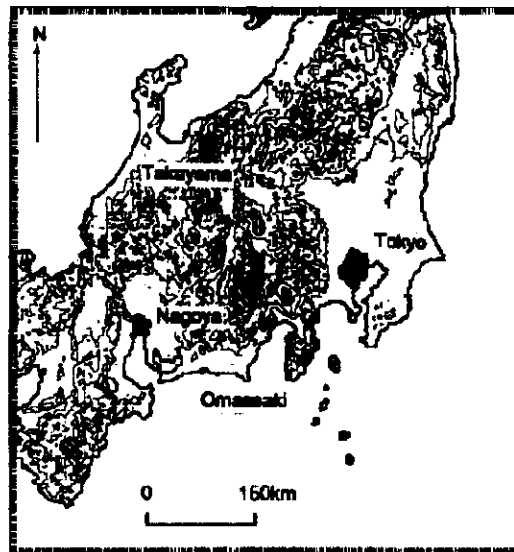


図2 計算領域

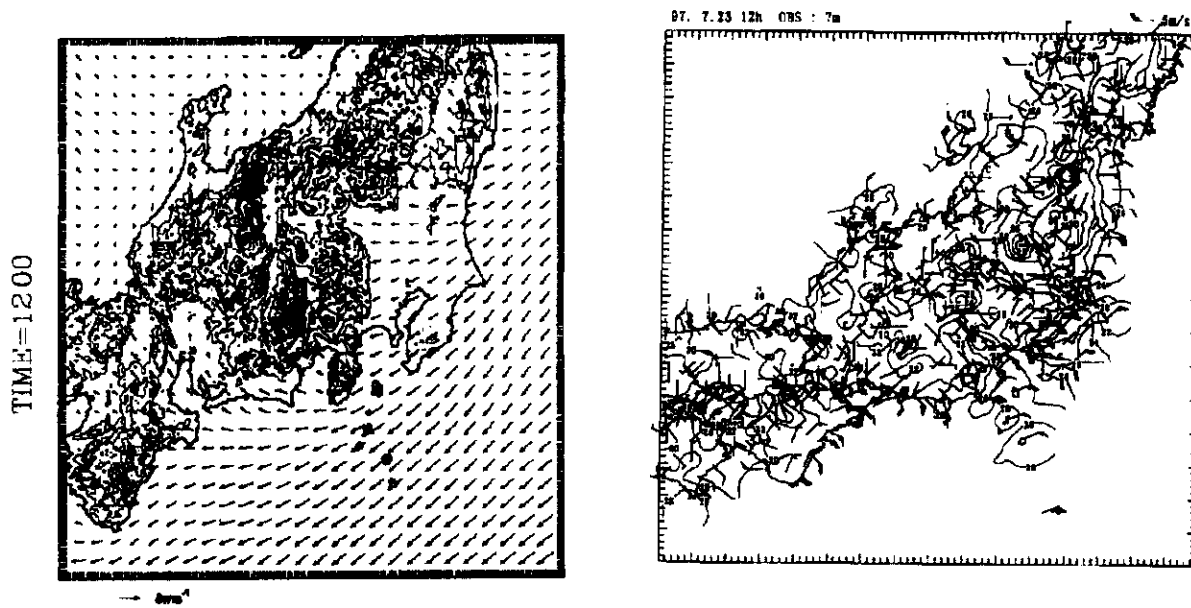


図3 7月23日12時の地上風の計算結果（左）と AMeDAS（右）。

計算された地上 10m の風と AMeDAS の比較を図 3 に示す。また、高山における 23 日から 25 日までの濃度変化を図 4 に、人為起源発生源のみを考慮した場合の二酸化炭素濃度の増加分の 3 日間の平均値の分布を図 5 に示す。計算結果はおおむね観測された二酸化炭素濃度の振幅を説明している。また、濃度の時間変動に対する移流の効果も無視できないことが二酸化炭素収支の解析からわかった。大都市からの二酸化炭素の寄与は広い範囲で数 ppmv 以上有り、都市の中心付近では 10ppmv 以上となる。高山へもいわゆる広域的海風による大都市からの寄与があり、これは近くにある高山市からの影響よりも大きい、絶対値はあまり大きくなかった。

4. 4 CO₂ フラックス観測から求めた冷温帯落葉広葉樹林の総生産量と生態系純生産量

岐阜県の落葉広葉樹林で渦相関法により観測された CO₂ フラックスのデータを用いて、森林の生態系純生産量と総生産量のパラメータ化を行った。また、フラックスの変化を生む要因として植物の生育期間、総生産量の光依存性、呼吸の温度依存性の 3 点に注目し、これらの要因の変化に対する年間 CO₂ 収支の敏感度を調べた。

(1) 冷温帯落葉広葉樹林の総生産量と生態系純生産量

観測は岐阜県高山市の乗鞍岳山麓にある落葉広葉樹林で行なっている。観測点周辺の植生は落葉広葉樹二次林で、ダケカンバ (*Betula ermanii*)、シラカンバ (*Betula platyphylla*)、ミズナラ (*Quercus mongolia*) を主体とし、林床にはクマイザサ (*Sasa senanensis*) が生育している。樹高は 15 - 20 m である。林床にササを持つ冷温帯落葉広葉樹林は、北日本から中部山岳地帯にかけて広く見られる植生である。

観測点には高さ 27 m の気象観測用タワーが設置されている。このタワーを使って、1993 年以降、樹冠上 2 高度の CO₂ 濃度差を用いた CO₂ フラックスの連続観測が行われている (Yamamoto et al., 1999)。また、森林の熱収支や CO₂ フラックスと気象条件の関係を詳しく調べる目的で、1998 年 7 月以降、渦相関法による顕熱・水蒸気・CO₂ フラックスの連続観測を行っている。渦相関法によるフラックス観測には、三次元超音波風向風速温度計 (Kaijo, DAT-600) と closed-path 式の赤外線分析計 (LI-COR, LI-6262) を用いている。

図 6 に 1995 年から 1999 年の間に測定された 1 日ごと葉面積指数 LAI (幹・枝面積含む。ササは含まない) を示す。毎年 11 月から 4 月にかけて樹冠にほとんど葉はなく、樹木の幹や枝による光の減衰を反映して LAI は約 0.6 で推移した。5 月になると樹木の展葉開始に伴って LAI は急速に増加した。LAI の増加は早い年 (1998 年) で 120 日 (4 月 30 日) 頃、遅い年 (1999 年) で 140 日 (5 月 20 日) 頃であり、年によって生育期間に約 20 日という大きな違いが生じていることがわかった。6 月末から 9 月までの夏季には、LAI の時間的な変化は小さく、3.5~4 の安定した値で推移した。落葉期は 9 月末から 10 月末までの約 1 ヶ月間で、落葉開始時期は展葉開始時期ほどには年々の違いが大きいことがわかった。

図 6 の中に記されている曲線は、LAI の季節変化を表す以下のような実験式である。

$$LAI = \begin{cases} F_0 & (t \leq t_1) \\ F(t) & (t_1 < t < t_2) \\ F_1 - F(t) + F_0 & (t_2 \leq t) \end{cases} \quad (5)$$

$$F(t) = \frac{F_1}{1 + k \exp(-\lambda t)} \quad (6)$$

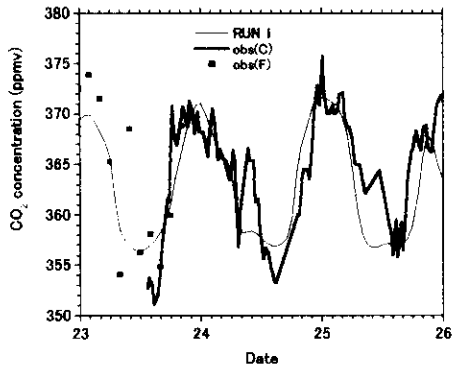


図4 1997年7月23-25日の高山でのCO₂濃度変化。太い実線が測定値(連続測定)、細い実線が計算値、■はフラスコサンプリングである。

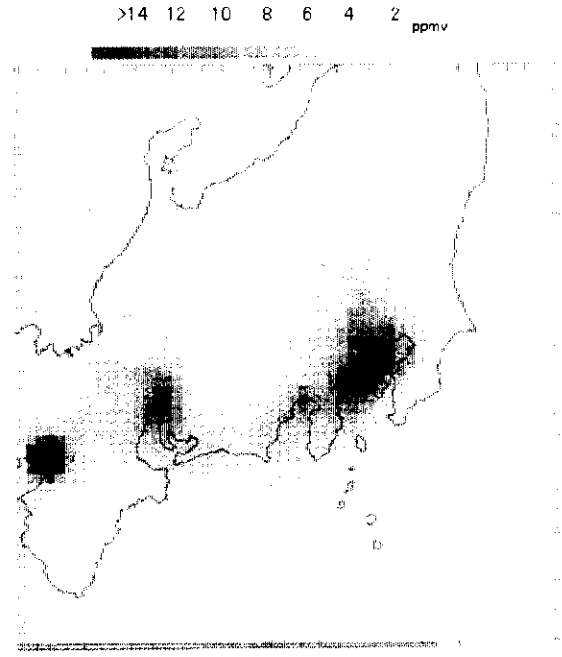


図5 人為発生源のみを置いた場合の二酸化炭素濃度の増加分の3日間(7/23-26)平均値。

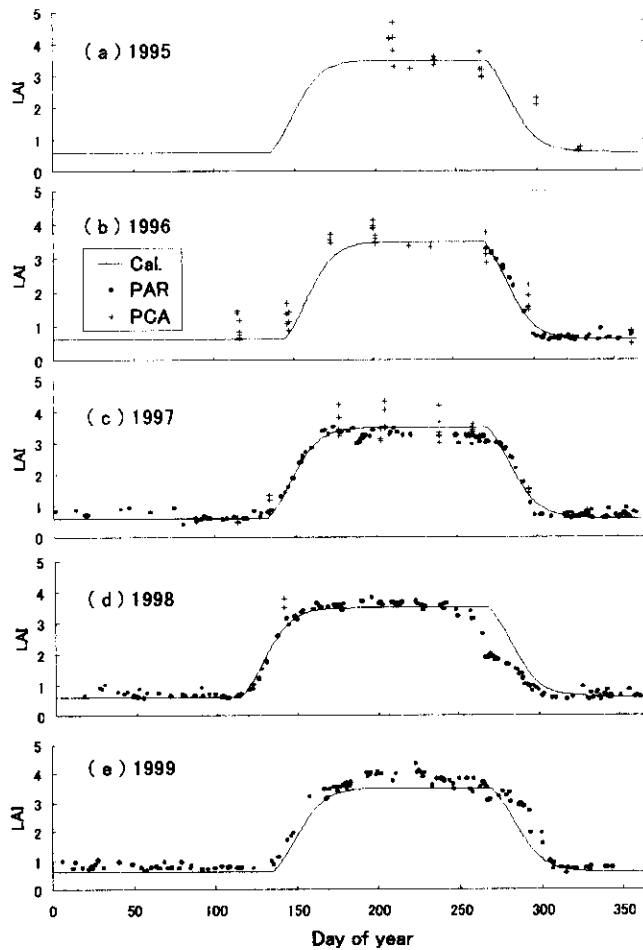


図6 1995年~1999年に観測されたLAIの季節変化と年々変化。記号は観測値(黒丸は光合成有効放射の減衰量から推定したLAI, 十字はプラントキャノピーアナライザによる測定値)。曲線は式(5), (6)によって表される実験式。

F_0 と F_1 はそれぞれ冬季と夏季の平均的な LAI で、ここでは $F_0=0.6$, $F_1=3.5$ とした。 $F(t)$ はロジスティック曲線と呼ばれ、生物の成長による個体重の時間変化などを解析する目的で広く使われている。 t は1月1日から数えた日数で t_1 は展葉開始日、 t_2 は落葉開始日である。 λ は成長係数、 k は初期条件によって決まる定数で、 $k=F_1/F_0-1$ である。ここでは観測された LAI の季節変化をもとにして λ の値を定めた ($\lambda=0.113 \text{ day}^{-1}$)。なお、展葉開始日 t_1 は年による春先の気温の違いを考慮するため、便宜的に1月1日からの積算温度 (日平均気温 5°C 以上) が $250 \text{ degree}\cdot\text{day}$ を超えた日と定めた。一方、落葉開始日 t_2 は年によらず9月27日 ($t_2=270 \text{ day}$) とした。

さて、森林の生態系純生産量 NEP, 総生産量 GPP, および生態系呼吸 R (植物の呼吸と土壌有機物の分解による CO_2 放出量) の関係は以下のように表される。

$$NEP = GPP - R \quad (7)$$

ここで、1998年から1999年にかけての1年間に観測された夜間の CO_2 フラックスから、Rの値を一晩ごとに求め、夜間平均気温 T ($^\circ\text{C}$) との関係を求めた結果を図7に示す。

R と T の関係は以下のような指数関数を用いて表されることがわかった。

$$R = R_{10} Q^{T-10} \quad (8)$$

ここで Q は R の気温依存性を表すパラメータ、 R_{10} は $T=10^\circ\text{C}$ の時の R の値である ($Q=2.57$, $R_{10}=0.173 \text{ mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, $r^2=0.48$)。

次に、 CO_2 フラックスの観測値から1日当たりの NEP を求め、式(7)と $GPP=NEP+R$ の関係から1日当たりの GPP を求めることができる。ここでは、1日当たりの GPP を、森林の樹冠部が吸収した光合成有効放射量 APAR の関数として次のような式で表した。

$$GPP = \frac{P_{\max} \cdot APAR}{\frac{P_{\max}}{\phi} + APAR} \quad (9)$$

P_{\max} と ϕ はそれぞれ群落レベルでの最大光合成速度と光の利用効率を表す。ここでは P_{\max} と ϕ がどのような要因によって変化しているかを調べるため、1998年7月から1999年10月の期間に得られた GPP と APAR を10日ごとに式(9)にあてはめ、二乗誤差が最小になる P_{\max} と ϕ の組み合わせを求めた。その結果得られた P_{\max} と ϕ の値が LAI の変化によってどのように変わるかを調べたところ、 P_{\max} は LAI に対して正の相関関係にあること [$P_{\max}=0.439(\text{LAI}-0.6)+0.0645$, $r^2=0.62$]、 ϕ は観測期間を通してほぼ一定の範囲に含まれること (平均値 $0.0427 \text{ mol CO}_2/\text{mol photon}$) がわかった。現実の P_{\max} と ϕ は、さまざまな気象条件や生物条件によって変化することが予想される。例えば P_{\max} は温度、葉内 CO_2 濃度、気孔コンダクタンスなどの関数、 ϕ はクロロフィル量や温度、群落構造などの関数であることが予想される。しかし今回 P_{\max} が LAI の関数、 ϕ がほぼ一定値となった結果には、①観測を行った落葉広葉樹林では LAI の季節変化が GPP の季節変化を決める最も大きな要因であること、②気温の高い季節に LAI も高い値をとるなど、気温と LAI が強い正の相関関係にあること、③湿潤な気候下での結果のため光合成に対する水ストレスの影響が小さかったことなどの原因が関与していると予想される。

以上の結果、生態系純生産量 NEP は(7), (8), (9)式を使って気温と光合成有効放射量の関数として表すことができる。図8に、1998年から1999年にかけて観測された1日ごとの NEP (観測

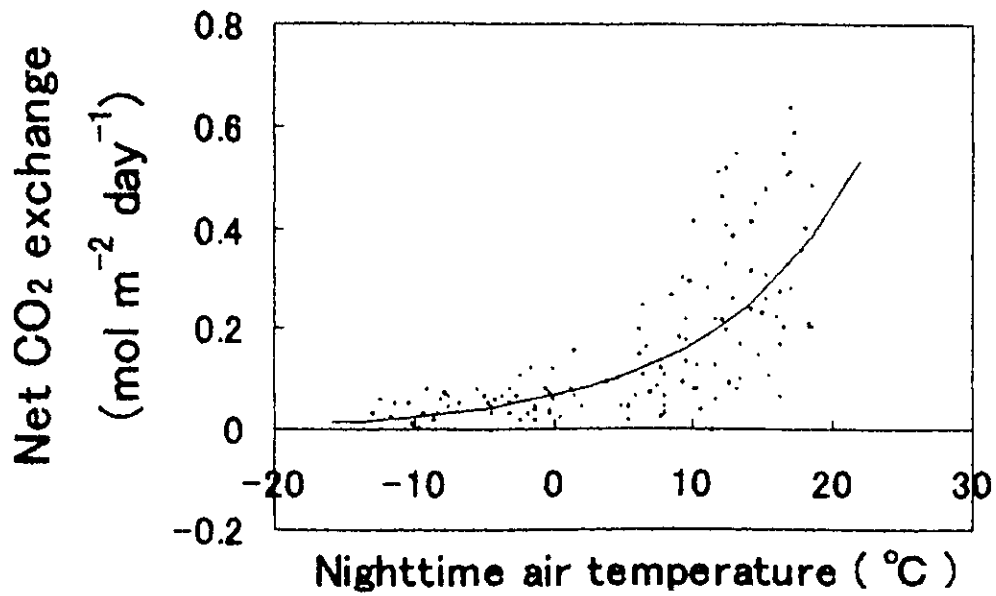


図7. 1998年7月～1999年7月の期間，降水がなく大気が中立成層に近い条件の日に測定された夜間CO₂放出量R(記号)。実線は式(8)によって表される実験式。

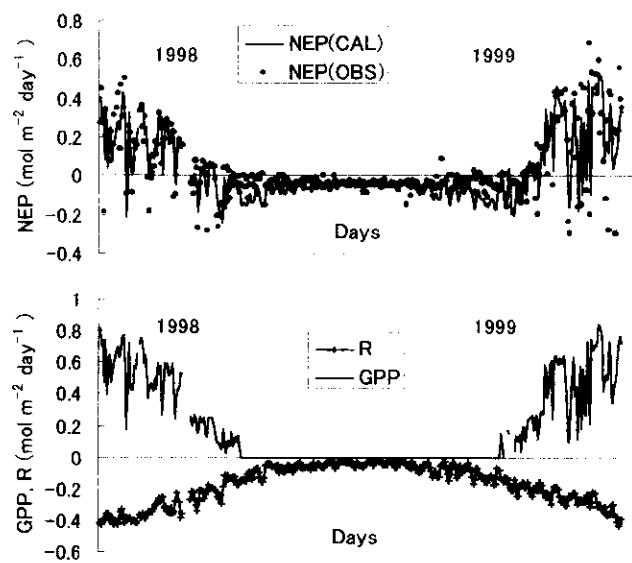


図8. 1998年から1999年にかけて観測された1日ごとのNEP(観測値と計算値)，および式(8)と(9)により計算されたGPPとRの季節変化。(注意：この図中では，CO₂放出量Rを負の値で表している。)

値と計算値)、および計算された GPP と R の季節変化を示す。

(2) 光と温度の変化に対する純生産量の敏感度

森林による年間の炭素収支が落葉樹林の生育期間、気温、光量の変化に対してどの程度影響を受けるかという点について、NEP, GPP, および R の実験式を用いて考察した。

まず、1994~1998 年の 5 年間に観測点で測定された日射量と気温を使って、5 年間の日射量と気温の平均値を 1 日ごとに求めた (5 年間の平均値をここでは「平年値」と呼ぶ)。次に、日射量と気温の平年値を用いて、平年の気象条件の下での NEP を推定した。その手順は以下のとおりである。

- ① 各年 1 月 1 日からの積算温度を求め、式(5)、(6)を使って LAI の季節変化を求める。
- ② 日平均日射量 と LAI から 1 日ごとの APAR を求める。
- ③ 式(7)、(8)、(9)を用いて、日平均気温と APAR から GPP, R, NEP を推定する。

続いて、日射量と気温の平年値をわずかに変化させた場合に GPP, R, および NEP がどれだけ変化するかを調べた。以下では気象条件の平年値を用いた場合を Case 0, 日射量を 1 年間にわたって 10% 増加させた場合を Case 1, 梅雨期にあたる 6 月と 7 月の 2 ヶ月間について日射量を 10% 低下させた場合を Case 2, 梅雨期に特に日射量の少ない日が続いたことを想定して 7 月 1~14 日の 2 週間について日射量を 50% 低下させた場合を Case 3 とした。Case 2 と Case 3 では、6~7 月の日射量の積算値はそれぞれ平年値の 90.0%, 90.2% とほぼ同じである。さらに、気温変化に対する NEP の敏感度を調べるため、1 年間にわたって気温を 1°C 上昇させた場合を Case 4, 展葉開始日以前についてのみ気温を 1°C 上昇させた場合を Case 5, 7~8 月の 2 ヶ月間のみ気温を 1°C 上昇させた場合を Case 6 とした。なお、Case 4 と 5 では春先の高温によって展葉開始が早くなる効果が含まれている。

Case 1 から 6 までの条件で GPP, R, および NEP を計算し、Case 0 に対して年間の CO₂ 収支がどれだけ変化したかを調べた結果を表 2 にまとめた。表 2 によると、気温変化がなく日射量のみ増加した場合 (Case 1) には、GPP の増加により年間 NEP は大きく増加した (+17.3%)。一方、梅雨期の 2 ヶ月間平均的に日射量が低下した場合 (Case 2), 年間 NEP は 7.8% 低下したが、梅雨時の 2 週間のみ日射量が極端に低下した場合 (Case 3) の方が年間 NEP の低下は著しい (-11.9%) ことがわかった。わずかに 2 週間の日射量低下も年間 NEP を大幅に低下させてしまう原因は、観測点における落葉樹の生育期間が年間 100~130 日と短く、年間 NEP が夏季の気象条件に敏感であることにありと予想される。

気温を変化させた場合について見ると、年間を通して +1°C 昇温させた場合 (Case 4), 展葉が早まるために生育期間が伸び (+5 日間), GPP が増加 (+4.0%) した。しかし、年間を通して R が増加した効果 (+9.9%) の方が顕著だったため、NEP は大幅に低下する結果となった (-10.7%)。一方、気温の上昇が展葉期前だけに限られた場合 (Case 5), 生育期間伸長の効果が R 増加の効果を上回ったために NEP は増加した (+10.2%)。この結果、もし夏季に比べて冬季に気温がより上昇するようなことが起こると、積雪量の低下や融雪期間の短縮などにより春先の気温が上昇し、落葉樹林の生育期間が伸び、NEP が増加する可能性があることがわかった。また、夏季 2 ヶ月間について日射量に変化なく気温が +1°C 昇温した場合 (Case 6) には、R の増加 (+3.9%) により年間 NEP の低下 (-9.6%) が見られた。年間の NEP に対する気温上昇の影響をまとめると、春の高温は NEP に正の効果、夏季の高温は NEP に負の効果、年間を通して高温になると NEP に負

の効果を及ぼすこと、気温 1℃の上昇が年間 NEP にそれぞれ 10%前後の影響を及ぼすことがわかった。

表 2. 日射量と気温変化に対する GPP, R, および NEP の敏感度

Case	日射量変化率 (%)	気温変化量 (℃)	GPP 変化率 (%)	R 変化率 (%)	NEP 変化率 (%)
0	0 (平年値)	0 (平年値)	0.0	0.0	0.0
1	+10 (年間)	0	+4.9	0.0	+17.3
2	-10 (梅雨期 2 ヶ月)	0	-2.2	0.0	- 7.8
3	-50 (梅雨期 2 週間)	0	-3.4	0.0	-11.9
4	0	+1 (年間)	+4.0	+9.9	-10.7
5	0	+1 (展葉前)	+4.0	+1.5	+10.2
6	0	+1 (夏季 2 ヶ月)	0.0	+3.9	- 9.6

4. 5 雲量変動と生態系純生産量の変化 (中部日本)

局地気候変動の評価のパフォーマンスを見るため、4. 3 節で用いたモデルを使って雲量を変動させてこの領域の生態系純生産量の変化を調べた。計算対象期間は 4. 3 節と同じであり、7 月 23 日～25 日の 3 日間平均で雲量 0 と雲量 4 のケースを比較した。日射量に直すと約 28%の変動、長波放射量で 10%程度の変動に相当する。計算結果は陸上の地上 10m の平均気温で約 0.17° の気温変化 (雲量 0 の方が高い)、生態系純生産量で約 10% (雲量 0 の方が大きい) の変化を示した。

5. 本研究により得られた成果

冷温帯広葉落葉樹林での測定値を基に、森林生態系の生態系純生産量を生育期間、光依存性、温度依存性でパラメタライズし、気温や日射量などの気候変動因子に対する年間の CO₂ 収支の敏感度を調べた。中でも梅雨期の低日射量と気温の上昇は年間の CO₂ の吸収量を 10%程度減少させることがわかった。気温と生態系純生産量の関係は高温がどの季節に現れるかによって変化し、年間および夏期の高温は純生産量を減らす、春先の高温は純生産量を増やす方向に働く。中部日本の領域について、生態系と人為起源による吸収・発生源を用いた二酸化炭素濃度変動の計算を夏期を対象として行った。濃度変動を実測と比較することにより高山での測定結果に基づく生態系純生産量をおおむね中部日本に当てはめてよいことがわかった。これらの結果をもとに、局地気候変動の一つの要素として雲量の変化に着目して生態系純生産量の変化を調べた。

6. 参考文献

Schulze et al., (1994): Relationships among maximum stomatal conductance, ecosystem surface

conductance, carbon assimilation rate, and plant nitrogen nutrition. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, **25**: 629-660.

Yamamoto S, Murayama S, Saigusa N, Kondo H (1999) Seasonal and inter-annual variation of CO₂ flux between a temperate forest and the atmosphere in Japan. *Tellus*, **50B**, 402-413.

[国際共同研究等の状況]

日・ハ科学技術協力取極に基づき、ハンガリー共和国気象局・エトボッシュローランド大学と共同でハンガリー共和国西部のヘジハッシュル測定点で二酸化炭素フラックスの連続観測を行っている。

[研究成果の発表状況]

(1) 口頭発表

Saigusa, N., T. Oikawa, M. Toda and S. Liu, 1997: Seasonal variation of canopy-scale carbon dioxide flux over a grassland., International Workshop on Global Change and Terrestrial environment in Monsoon Asia, (Tsukuba), 1-4.

山本晋・村山昌平・近藤裕昭・三枝信子, 1997: 森林地域において観測された CO₂ 濃度変動と広域移流拡散シミュレーション. 日本気象学会 1997 秋季大会.

三枝信子・近藤裕昭・村山昌平・山本晋, 1998: 落葉広葉樹林における熱・水・CO₂ フラックス観測. 日本気象学会 1998 春季大会.

三枝信子・村山昌平・山本晋・近藤裕昭, 1998: 渦相関法による CO₂・H₂O フラックスの長期測定. 日本気象学会 1998 秋季大会.

近藤裕昭・山本晋・三枝信子・村山昌平・神成陽容, 1998: 局地風モデルによる二酸化炭素輸送の解析. 日本気象学会 1998 春季大会.

近藤裕昭, 1999: 二酸化炭素拡散のメソスケールモデリング. 大気環境学会モデリング・動態解析分科会.

三枝信子・村山昌平・山本晋・近藤裕昭・西村格, 1999: CO₂ フラックス観測で求めた森林の総生産量と生態系純生産量. 日本気象学会 1999 春季大会.

近藤裕昭・三枝信子・山本晋, 1999: 植生群落コンダクタンスを用いた蒸発効率の推定. 日本気象学会 1999 春季大会.

Saigusa, N., Susumu Yamamoto, Shohei Murayama, and Hiroaki Kondo: Eddy covariance measurement system for CO₂ and H₂O fluxes over a cool-temperate deciduous forest, 2nd IGBP Congress. Shonan Village.

三枝信子・村山昌平・山本晋・近藤裕昭, 1999: 落葉樹林の総生産量と生態系純生産量のパラメータ化. 日本気象学会 1999 秋季大会.

近藤裕昭・三枝信子・山本晋・村山昌平・Z. Bercza, L. Haszpra, Zs. Ivanyi, 1999: ハンガリーにおける二酸化炭素フラックス観測. 日本気象学会 1999 秋季大会.

三枝信子・村山昌平・山本晋・近藤裕昭, 2000: 渦相関法を用いた森林生態系の純生産量測定手法. 日本生態学会, H207 (広島).

三枝信子・近藤裕昭・村山昌平・山本晋, 2000: 夜間の CO₂ フラックス観測に及ぼす斜面下降流の影響. 日本気象学会 2000 春季大会.

近藤裕昭・三枝信子・村山昌平・山本晋・神成陽容, 2000: 中部日本における夏期の二酸化炭素の広域的日変化. 日本流体力学会年会 2000.

Saigusa, N., Susumu Yamamoto, Shohei Murayama, Hiroaki Kondo, 2000: Gross primary production and net ecosystem exchange of a cool-temperate deciduous forest estimated by the eddy covariance method. American Meteorological Society, 24th Conference on Agricultural and Forest Meteorology, Davis, USA.

(2) 論文発表

○Saigusa, N., S. Liu, T. Oikawa, and T. Watanabe, 1996: Seasonal Change in CO₂ and H₂O exchange between grassland and atmosphere. *Annales Geophysicae*, **14**, 342-350.

Saigusa, N., T. Oikawa, S. Liu, and T. Watanabe, 1996: Seasonal and Inter-annual Changes in CO₂ and H₂O Exchange between a Grassland and the Atmosphere. Proceedings of IGBP/BAHC-LUCC Joint Inter-Core Projects Symposium on Interactions between the hydrological cycle and land use/cover, 96-99.

○三枝信子, 1997: 陸上生態系の微気象解析, 日本生態学会誌, **47**(3), 321-326.

○Uchida, M., Y. Nojiri, N. Saigusa, T. Oikawa, 1997: Calculation of CO₂ flux from forest soil using ²²²Rn calibrated method. *Agric. For. Meteorol.*, **87**, 301-311.

○Mabuchi, K., Sato, Y., Kida H., Saigusa, N. and Oikawa T., 1997: A biosphere-atmosphere interaction model (BAIM) and its primary verifications using grassland data. *Papers in Meteorology and Geophysics*, Vol.47, No.3, 115-140.

○Yamamoto, S., S. Murayama, N. Saigusa and H. Kondo, 1999: Seasonal and inter-annual variation of CO₂ flux between a temperate forest and the atmosphere in Japan, *Tellus*, **50B**, 402-413.

○Saigusa, N., T. Oikawa, S. Liu, 1998: Seasonal variations of the exchanges of CO₂ and H₂O between a grassland and the atmosphere: An experimental study. *Agricultural and Forest Meteorology*, **89**, 131-139.

三枝信子, 1998: 陸上生態系のモデル化, 資源と環境, **7**(2), 63-71.

○Toda, M., N. Saigusa, T. Oikawa, F. Kimura, 2000: Seasonal variations of the CO₂ and H₂O exchanges over a temperate grassland. *Agricultural Meteorology*, **56**(3), (in press).

三枝信子: オープンパス型とクローズドパス型の赤外分析計を用いたフラックス観測の比較, 微量気体のフラックス, 気象研究ノート, (in press).

三枝信子: 植物群落の水・熱・CO₂ フラックス測定法, 地球環境調査事典(陸上編), (submitted).

○Saigusa, N., S. Yamamoto, S. Murayama, H. Kondo, and N. Nishimura: Gross primary production and net ecosystem production of a cool-temperate deciduous forest estimated by the eddy covariance method. (submitted to *Agricultural and Forest Meteorology*).

○Kondo, H., N. Saigusa, S. Murayama, S. Yamamoto, and A. Kannari: A numerical simulation of the daily variation of CO₂ in the central part of Japan –Summer case-, submitted to *J. Meteor. Soc. of Japan*.

(3) 出願特許、受賞等

なし