

関 東 の 農 業 気 象

第 28 号

日本農業気象学会 関東支部会誌

平成 14 年 10 月 (2002)

< 巻頭言 >

温暖化の時代 野内 勇 1

< 研究トピックス >

中国の水田 FACE における微気象特性とエネルギー収支
吉本真由美・LUO Weihong・ZHU Jianguo・小林和彦 2

富士山樹木限界付近に生育する 2 種のタデ科の先駆植物イタドリ・
オンタデの純光合成速度および水分収支の日変化 中野隆志 6

< 施設紹介 >

閉鎖型生態系実験施設 CEEF 多胡靖宏 10

< 関東支部 2002 年度例会 >

関東支部 2002 年度例会のご案内 12

一般研究発表 14

シンポジウム講演要旨 35

< 支部報告 >

2001 年度事業報告 53

2002 年度事業計画案 53

2001 年度決算報告 54

2001 年度会計監査報告 54

2001 年度剰余金処分 54

2002 年度予算案 55

編集投稿規定 56

賛助会友 57

日本農業気象学会 関東支部事務局

〒305-8666 茨城県つくば市観音台 3-1-1

中央農業総合研究センター 耕地環境部 気象立地研究室

振替口座番号 東京 00100-7-57945

日本農業気象学会関東支部規約

昭和28年	6月	6日	制定
昭和33年	2月	14日	一部改正
昭和43年	2月		一部改正
昭和46年	5月		一部改正
昭和47年	5月	26日	一部改正
昭和48年	9月	28日	一部改正
昭和50年	1月	30日	一部改正
昭和52年	1月	30日	一部改正
昭和57年	1月	29日	一部改正
昭和62年	1月	21日	一部改正
平成2年	1月	26日	一部改正
平成6年	11月	25日	一部改正

- 第1条 名称
本支部は日本農業気象学会関東支部と称する。
- 第2条 事務所
本支部事務所は支部長の指定するところにおく。
- 第3条 目的
本支部は日本農業気象学会の目的達成に必要な地域的活動を行う。
- 第4条 事業
本支部は前条の目的を達成するために次の事業を行う。
事業年度は4月から3月までとする。
1. 支部総会は年1回開催する。
2. 支部例会は年1回以上行うことを原則とする。
3. 研究部会活動を行う。
4. その他目的達成に必要と認める事業を行う。
- 第5条 支部会員及び会友
1. 日本農業気象学会の会員のうち下記の区域内に居住し、又は勤務するものを支部会員とする。
東京、神奈川、千葉、埼玉、茨城、栃木、群馬、山梨、長野
2. 前項の他、支部の趣旨に賛同するものは本人の申出により普通会友（個人）ないし、賛助会友にすることができる。
- 第6条 支部会費
支部を維持運営するために、会友が納入すべき会費は年額それぞれつぎのとおりとする。
1. 会友1人1,000円
2. 賛助会友1口5,000円、1口以上
- 第7条 支部役員
1. 支部に次の役員をおく。支部長1名、理事10名以内、評議員若干名、会計監査2名
2. 支部長および理事は会員の全体の選挙によって選出する。
3. 評議員、会計監査は理事会の議をへて支部長が委嘱する。
4. 役員任期は2年とする。但し、支部長ならびに理事は原則として連続2期を越えないことにする。また、支部役員に事故が生じた時は理事会の承認を得て、その役員代行者をおくことができる。
- 第8条 本規約の改定は総会決議による。

巻頭言

温暖化の時代

体温なみの 35 ~ 36 °C という気温が当たり前のような今年の暑い夏の終わりとともに、南アフリカ・ヨハネスブルグで開かれた「持続可能な開発に関する世界首脳会議（環境開発サミット）」が終わった（2002年8月26日～9月4日）。この環境開発サミットは1992年にリオデジャネイロで開かれた地球サミットで採択された地球再生計画「アジェンダ21」の実施状況を検証し、次の計画をまとめるのが目的であった。この会議に関しては手厳しい批判が多いが、漁業資源の回復や有害化学物質の管理、水と公衆衛生、生物多様性、天然資源管理など「ヨハネスブルグ実施計画」をまとめ、各国に実効策をとるよう求めている。実施計画では、先進国の温室効果ガスの排出量削減を定めた京都議定書（1997年12月）に関しても、京都議定書を批准したした国は、まだ批准していない国に対して、適切な時期に批准するよう強く求めている。日本は議定書から離脱したアメリカに復帰を強く呼びかけねばならない。「環境の21世紀」に踏み出すために。

気象庁「気候変動監視レポート2001」によると、世界の平均地上気温は100年につき0.7°Cの割合で上昇しており、さらに日本では100年につきおよそ1.0°Cの割合で上昇しているという。世界の平均地上気温は1998年が最も高温で、次いで1990年、さらに2001年と続き、高温年の出現が1990年以降に集中している。まさに温室効果ガスの増加による地球温暖化が実感される気がする。国際協調によりオゾン層破壊の進行阻止にメドが立った今、地球環境問題として温暖化の阻止が最大のターゲットであり、そのための行動が求められている。総合科学技術会議が掲げる科学技術重点4分野の一つの「環境」の中でも、温暖化は主要な位置を占め、数多くの公募型プロジェクトが組み立てられて研究を推進している。農業気象学会の多くの会員もそれらプロジェクトに参画し、農業気象学の知識を駆使し、学問分野を越えた幅広い研究協力を行っているであろう。

国立研究機関の多くは2001年4月から独立行政法人となった。国立大学も2004年には独立行政法人化する予定である。独立法人化した研究機関では、あらゆる面で評価がなされており、給与とムチの強化により劇的な変化が迫りつつあるのを感じる。これまで評価を受けたことのない世代の人達が、とまどいながらも部下を評価する時代である。国研時代の人頭研究費に該当する運営交付金はまもなく消滅し、研究費のすべてが公募型プロジェクト資金からとなる日が近いかもしれない。国立研究所として残ったある省の研究所においてさえ、すでに人頭研究費に類する配分は完全になくなったと聞いている。たくましく積極的に打って出なければ生き残れない、そういう時代となったのだ。

農業環境技術研究所地球環境部気象研究グループ 野内 勇

研究トピックス

巻頭

中国の水田FACEにおける微気象特性とエネルギー収支

吉本真由美¹⁾・LUO Weihong²⁾・ZHU Jianguo³⁾・小林和彦¹⁾

(¹⁾農業環境技術研究所, (²⁾中国南京農業大学, (³⁾中国科学院南京土壤研究所)

1. はじめに

大気CO₂濃度増加が農作物の生長や収量に及ぼす影響を調べるため、制御温室やオーブントップチャンバー等による高CO₂実験が行われるようになって久しい。しかし、高CO₂濃度が生態系における物質循環やエネルギー収支に及ぼす影響については、定量的に未解明な点が多い。開放系高CO₂ (Free-Air CO₂ Enrichment, FACE) 実験は、自然状態の生態系全体を対象範囲とするので、生態系における物質・エネルギーフローを解明するために有効な実験手法の一つである。

2001年度より中国江蘇省無錫の水田地帯 (31° 37'N, 120° 28'E) において、FACE実験が行われている。この中国FACEは、日本のRice FACEプロジェクト (1996~2000) で開発された純CO₂放出システムを導入し、日本側からの技術協力のもとに行われている。同システムは、CO₂ガスの放出にブローラーを用いない。このため、ガス放出に伴う群落内の気流の攪乱や熱収支構造に対するアーティファクト (ブローラー効果) を無視できるという最大の利点がある (小林, 2001 ; Okada *et al.*, 2001) 。

著者らは、高CO₂濃度が水稲群落の微気象環境や熱収支構造に及ぼす影響を定量的に解明するため、中国FACEにおいて微気象観測を実施している。本稿では、水稲出穂期頃の対照・FACE両区の蒸散特性と、それが群落の微気象と熱収支構造に及ぼす影響について紹介する。

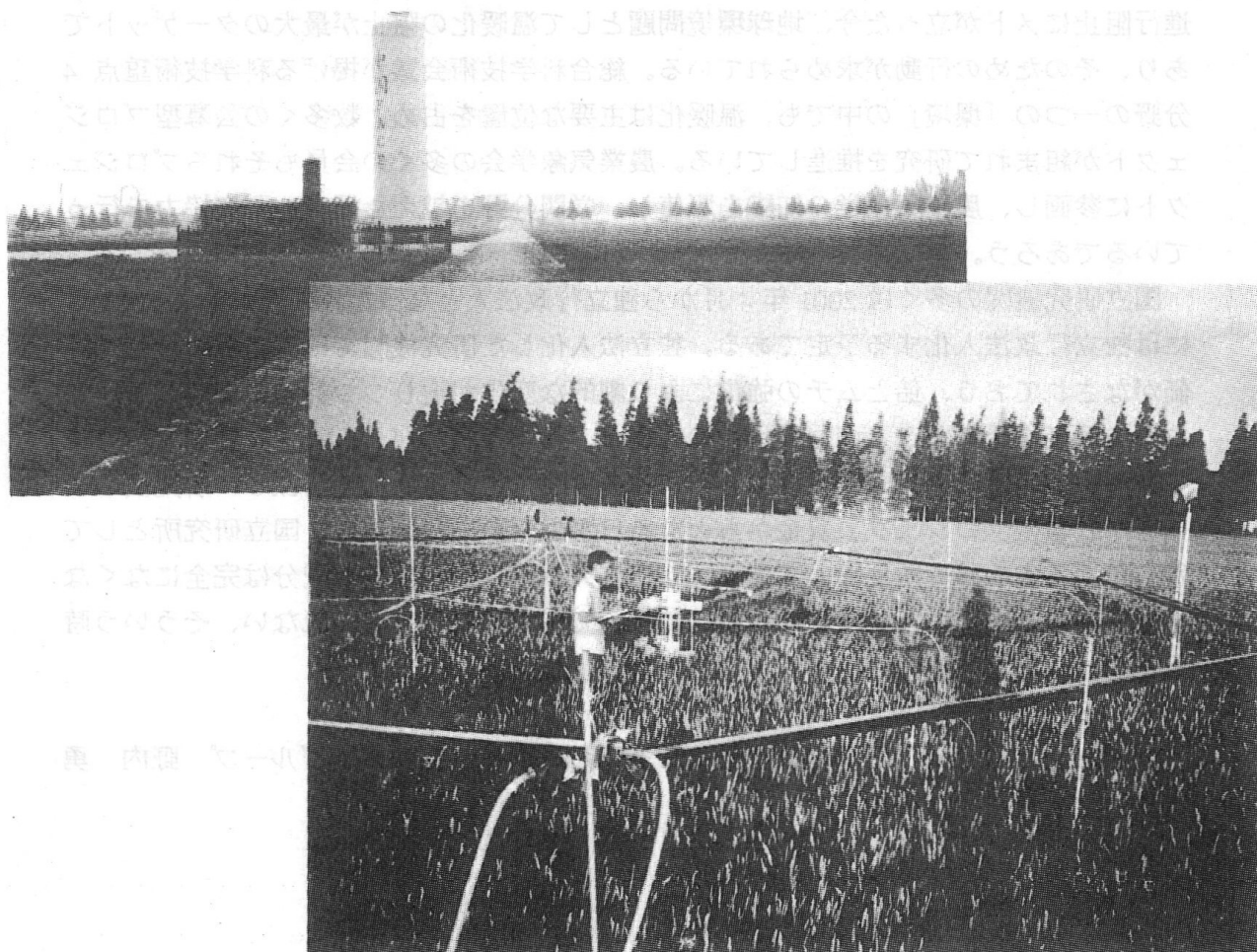


Fig.1 Rice FACE in Wuxi, China (CO₂ tank and FACE ring)

2. 方法

2001年8月26日～10月13日、中国FACE実験圃場の対照区（現CO₂）とFACE(高CO₂)区において微気象観測を行った。出穂日は、対照区で8月28日、FACE区では高CO₂濃度に伴う生長促進のためそれより4日早い8月24日（Huang *et al.*, 2002a）であった。両区の測定項目は、風向・風速、群落上の放射収支、群落内外の温湿度、群落表面温度、地温等である。

個葉の気孔抵抗を、定常型ポロメータ（LI-1600）で測定し、PAR、大気飽差、葉の高さにより定式化した。これと、各高さでの葉面境界層抵抗・空気力学的抵抗を合成することにより、水蒸気輸送に関する水稲群落のバルクコンダクタンス g_c を求めた。次式をバルク葉温 T_c について解くことにより各熱収支要素を評価した。

$$R_n - G - Q_w = \rho c_p g_h (T_c - T_a) + l g_c \{q_s(T_c) - q_a\} \quad (1)$$

ここで、 T_a , q_a は群落上の気温、絶対湿度で、 $q_s(T_c)$ は葉温 T_c に対する飽和水蒸気絶対湿度（ g/m^3 ）である。 g_h は顕熱輸送に関するバルクコンダクタンスで、風速測定値から推定した葉面境界層抵抗・空気力学的抵抗を合成して求めた。

3. 結果

3.1 個葉の気孔コンダクタンス

Fig.2に、中国FACEにおける出穂期（2001年8月30日～9月3日）の個葉の気孔コンダクタンスを示す。測定期間中のFACE区の気孔コンダクタンスは対照区に比べて約25～30%小さい。また、大気飽差（VPD）が大きい乾燥した気象条件下では、対照区・FACE区共に気孔コンダクタンスの低下が認められた。

比較のため、Fig.3に、同じ出穂期頃（2000年7月28日～8月3日）における日本のRice FACE実験での気孔コンダクタンスの測定結果を示した。日本での高CO₂濃度による気孔コンダクタンスの低下は10%程度であり、中国の水田の方が高CO₂濃度による気孔の反応が顕著である。これは、日中間の品種や施肥条件の違い、あるいは、FACE区と対照区の出穂日の差が、日本では約2日、中国では4日であったことが影響している可能性がある。

また、中国での群落中下層の葉の気孔コンダクタンス（Fig.2b）は、上層葉で同じPAR強度の場合と比べて約半分であり、日本での気孔コンダクタンスレベルの上層～中下層の差（Fig.3）に比べて大きかった。出穂期頃の葉面積指数LAIが日本で4程度であるのに対し、中国では9に達した（Huang *et al.*, 2002b）ことから、群落内の日射条件の違いが、植物体内の窒素分布及び群落中下層の葉の老化に影響している可能性が考えられる。

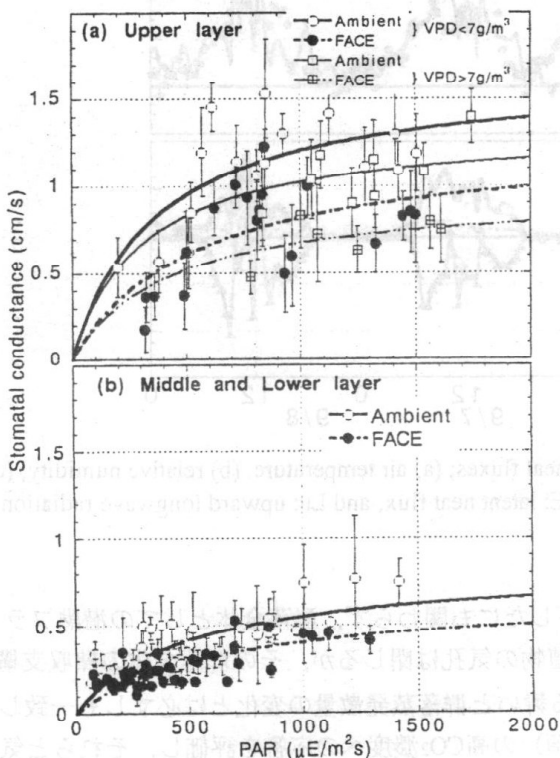


Fig.2 Stomatal conductance of leaves in heading period(2001.8.30-9.3) at FACE in Wuxi, China.

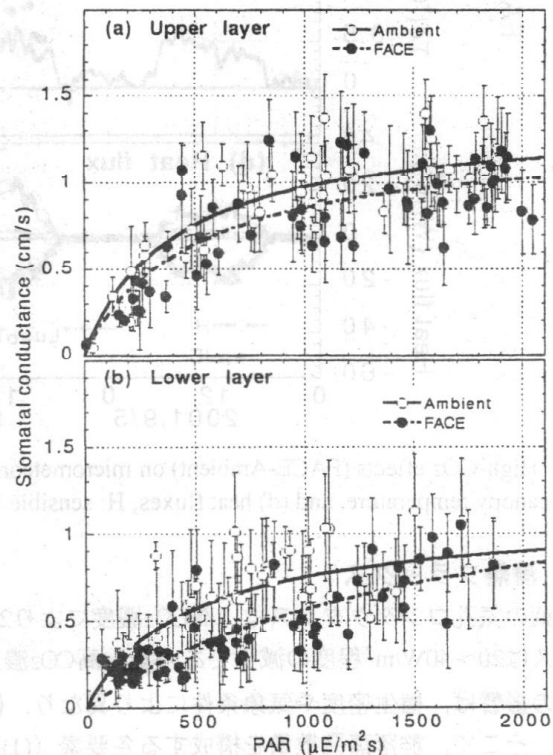


Fig.3 Stomatal conductance of leaves in heading period(2000.7.28-8.3) at FACE in Shizukuishi, Japan

3.2 群落微気象と熱収支

Fig.4a~cは、中国FACEでの温湿度環境への高CO₂濃度影響（FACE-対照）である。日中の植生面高さでの気温は、FACE区が対照区より0.5~1℃高く（Fig.4a）、相対湿度は最大5%程度低かった（Fig.4b）。絶対湿度でみると、FACE区は対照区より最大で約1 g/m³小さかった。また、(1)式で解析的に見積もったバルク葉温T_cは、日中、FACE区が対照区に比べて0.5~1.5℃高かった（Fig.4c）。この温度上昇は、赤外放射温度計による群落表面温度の実測値と大きさ・トレンド共にほぼ合致しており、気孔コンダクタンスの定式化、及びそれを組み込んだバルク熱収支式（(1)式）による解析方法が妥当であると判断した。

Fig.4dに、(1)式で評価した各熱収支要素への高CO₂濃度影響（FACE-対照）を示す。高CO₂濃度によるバルク葉温の上昇に伴い、上向き長波放射量Luはわずかに増加した。また、顕熱フラックスHは10~30W/m²の増加、潜熱フラックスIEは20~40W/m²の減少と見積もられた。

以上の結果は、高CO₂濃度による気孔の閉鎖→蒸散量（潜熱フラックス）の減少→葉温の上昇→群落内の気温上昇・乾燥化という群落の応答が観測されたものである。

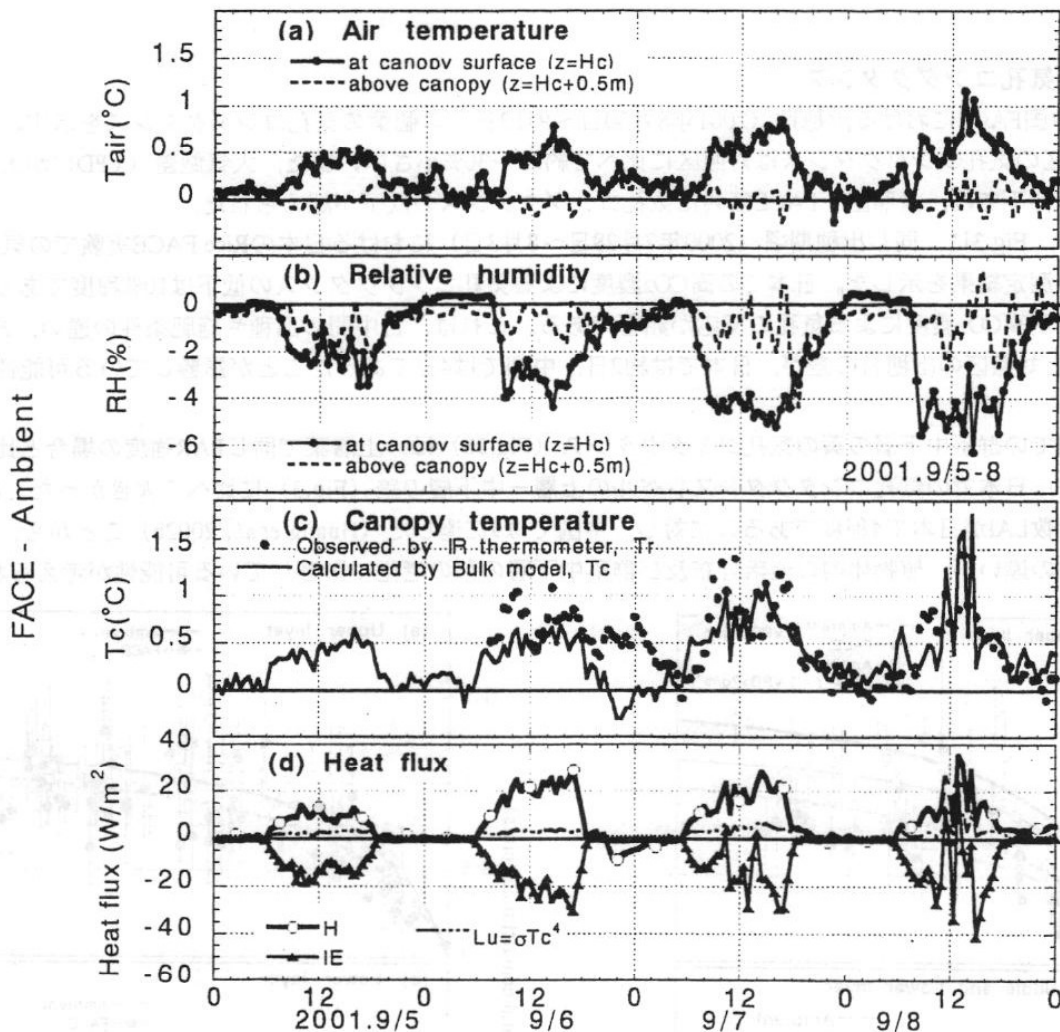


Fig.4 High-CO₂ effects (FACE-Ambient) on micrometeorology and heat fluxes; (a) air temperature, (b) relative humidity, (c) canopy temperature, and (d) heat fluxes, H: sensible heat flux, IE: latent heat flux, and Lu: upward longwave radiation.

3.3 潜熱フラックス

個葉の気孔コンダクタンスは、高CO₂濃度により2~3割低下したにも関わらず、群落全体としての潜熱フラックスは20~40W/m²程度の減少であった。高CO₂濃度により植物の気孔は閉じるが、その群落全体の熱収支構造への影響は、植生密度や気象条件により異なり、個葉の振る舞いと群落蒸発散量の変化とは必ずしも一致しない。そこで、群落蒸発散量を構成する各要素（(1)式の最終項）の高CO₂濃度への応答を評価し、それらと気象条件との関係を調べ、プロセスの解明を試みた。

Fig.5は、群落蒸発散量の各要素（水蒸気輸送バルクンダクタンス g_c と、群落-大気間の葉面飽差 $LVPD=q_s(T_c) - q_a$ ）の高 CO_2 濃度による変化（FACE/対照）を風速に対してプロットしたものである。 g_c の高 CO_2 濃度による減少は10~15%であった。風速が大きいくほど、 g_c に対する空気力学的抵抗等の寄与が小さくなるため、高 CO_2 濃度による g_c の減少が顕著である。一方、葉温上昇により $LVPD$ は約10%増大し、その増大率は風速の増大と共にやや大きくなる傾向が認められた。

g_c と $LVPD$ の積である潜熱フラックス IE は、それらが相殺した結果1~5%の減少となり、風速が大きいくほど高 CO_2 濃度による減少率が大きかった。これはバルクンダクタンス g_c の風速依存性が反映したためである。

以上のことから、水田生態系では、 CO_2 濃度上昇に伴うバルクンダクタンスの低下の殆どが、葉面飽差の増大によって相殺されるため、群落蒸発散量の高 CO_2 影響は小さいことがわかる。これは、高 CO_2 濃度に対する個葉の気孔反応が、群落としての水利用量の変化よりも、植物周辺の温湿度環境の変化（高温・乾燥化）に顕著に反映していることを意味する。植物周辺の温湿度環境が長期間にわたり変化すれば、植物の生理・代謝や生長速度や土壌微生物の組成なども変化すると予想される。それらはさらに、生態系における物質・エネルギーフローに影響すると考えられ、このような生態系内の相互作用を解明していく必要がある。

4. 今後の展望

気孔コンダクタンスの高 CO_2 反応の日本と中国との違い（Fig.2, 3）の原因として、出穂日のずれ・品種の違いの他、窒素レベルの違いを挙げた。生育期間中の窒素施肥量は、日本での慣行では高々100 kg/haであるのに対し、中国では250 kg/haと2倍以上である。これにより、中国の水稲群落での最大葉面積指数（LAI）は9を超え、収量は10 t/ha以上である。このように窒素投入量を始め、栽培環境の大きく異なる日本と中国でのFACE実験結果を比較することは、水田生態系の窒素・炭素・水のフローのプロセスを解明する上で非常に有意義であると考えられる。

また、中国FACEでは、草丈・葉面積や収量調査等の農学的な基礎データの収集、個葉の光合成速度・蒸散等の植物生理の研究等の他、微量気体の土壌からのフラックスの測定や、水田雑草間の競争等の生態系影響に焦点をあてた研究も実施されている。日本からは、 CO_2 制御システム開発グループが常に連携を取っている他、著者ら微気象・エネルギー収支観測グループが参加しており、今夏から ^{13}C を利用した光合成産物の転流・分配のメカニズム解明のグループも参加した。さらに、日本でも、来年度より岩手県雫石町の水田においてFACE実験が再開される予定である。今後、日中のFACE実験をプラットフォームとして、農学、植物生理学をはじめ、気象学、土壌学・微生物学、生態学など異分野の研究者が集まり、環境変化に伴う生態系応答のプロセスを解明することが期待される。

引用文献

- Huang, J.Y., Yang, H.J., Dong, G.C., Yang, L.X., Shan, Y.H. and Wang Y.L.(2002a) Effects of free-air CO_2 enrichment (FACE) on yield formation in rice. Chinese Journal of Applied Ecology (応用生態学報) . in press. (in Chinese)
- Huang, J.Y., Dong, G.C., Yang, H.J., Yang, L.X., Shan, Y.H. and Wang Y.L.(2002b) Effects of free-air CO_2 enrichment (FACE) on biomass accumulation and partition in rice (*Oriza Sativa* L.). Chinese Journal of Applied Ecology (応用生態学報) . in press. (in Chinese)
- 小林和彦(2001) FACE（開放系 CO_2 増加）実験. 日本作物学会記事, 70(1): 1-16.
- Okada, M., Liefferring, M., Nakamura, H., Yoshimoto, M., Kim, H.Y. and Kobayashi, K.(2001) Free-air CO_2 enrichment (FACE) using pure CO_2 injection: system description. *New Phytologist* 150, 251-260.

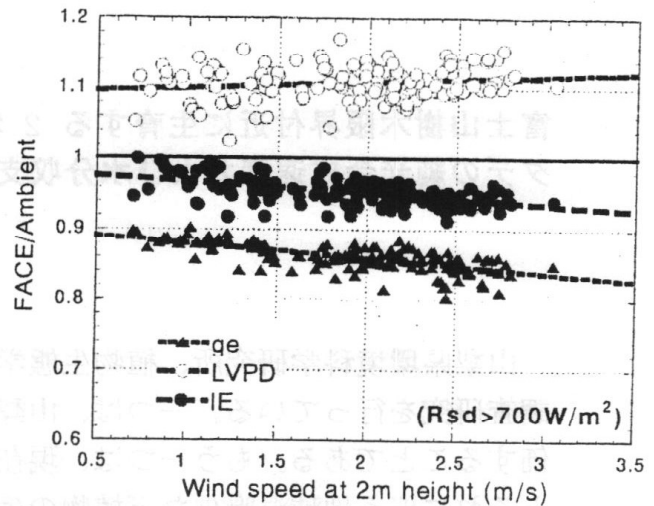


Fig.5 High- CO_2 effect (FACE/Ambient) on canopy evapotranspiration. Latent heat flux, IE was estimated by bulk canopy conductance, g_c , multiplied by water vapor deficit between canopy and the air, $LVPD$.

富士山樹木限界付近に生育する 2 種のタデ科の先駆植物イタドリ・オンタデの純光合成速度および水分収支の日変化

山梨県環境科学研究所
中野 隆志

山梨県環境科学研究所、植物生態学研究室は、ふたつの大きな目標を設定し調査研究を行っている。一つは、山梨県の自然を植物の分布や生態をもとに評価することである。もう一つは、現在問題となっている二酸化炭素濃度の増加とそれに伴う地球温暖化など植物の生育環境の変化が、植物の分布や生態にどのような影響を及ぼすかを予想し、明らかにしていくことである。これらの目標の解明のため、ふたつのレベルから研究を行っている。植物の分布や生態を明らかにする一方、ミクロな視点からは環境に対して植物が生理面、形態面、生態面でどのように反応するかについて研究を行っている。一方、マクロな視点からは、植生の遷移を明らかにする研究や生態系の一部として植物が吸収する二酸化炭素量の解明を中心に環境と生態系とのかかわり合いを明らかにするような研究を行っている。

現在の主な研究テーマは、プロジェクト研究として「富士山の自然生態系の構造と維持機構の解明に関する研究」と「森林による地球温暖化ガスの吸収効率に関する研究」を、基盤研究として「富士山樹木限界付近に生育する植物の環境適応機構に関する研究」と「富士北麓剣丸尾アカマツ林の遷移と純一次生産量に関する研究」である。その他に、受託研究や筑波大学、都留文化大学、岐阜大学、茨城大学、東邦大学、東京都立大学、北里大学、静岡大学、独立行政法人森林総合研究所等といくつかの共同研究を行っている。

今回はこれまでの調査研究の中から、特に、筆者が中心となった「富士山樹木限界付近に生育する 2 種のタデ科の先駆植物イタドリ・オンタデの純光合成速度および水分収支の日変化」について紹介する。なお本研究は、茨城大学の田中厚さん、山村靖夫さん、東邦大学の三田村理子さん、丸田恵美子さん、筑波大学の鞠子茂さん、山梨県環境研の大塚俊之さん、安部良子さんとの共同研究である。本文の責任は、すべて著者である中野にある。

はじめに

富士山は、火山であること、歴史が新しいこと、独立峰であることなど日本の中部山岳域の高山と比較して特異な山岳である。富士山の樹木限界上部では、火山性噴出物であるスコリアの荒原が広がっている。スコリア荒原上は強い放射による土壌温度の上昇とそれに伴う土壌表面の乾燥化、極端な貧栄養条件、強風、土壌の不安定さなど植物の定着に困難な条件である。イタドリとオンタ

デは、ともに富士山樹木限界付近のスコリア荒原の先駆植物として知られている。両種ともにタデ科タデ属の多年草であり、スコリア上にパッチを形成する。これまでの両種についての生態学的な研究は、野外での個体群動態に関する研究や群落構造に関する研究が中心に行われてきた。一方、生理生態学的な研究は、実験室内で環境に対する光合成速度の反応の測定を中心に行われてきた。しかしながら、野外で光合成速度の日変化を測定した例はなく、水収支に関する測定もほとんどなされていない。それゆえ、両種の野外での光合成や気孔開度の制限要因は明らかになっていない。

本研究ではイタドリとオンタデの野外での光合成の制限要因を明らかにするため、夏の晴れた日に野外で微気象の測定を行うとともに、光合成速度(P_n)と葉の水蒸気に対するコンダクタンス(g_{leaf})の測定を行った。また、両種の水分収支についても明らかにするため、葉の水ポテンシャル(ψ_{leaf})の日変化の測定を行った。さらに、葉の水分特性に関するパラメータをP-V曲線法により推定した。

調査地

調査は富士山北斜面五合目付近(35.23' N, 138.45' E, alt 2250m)で行った。調査地付近はスコリア堆積物による荒原が広がり、イタドリとオンタデのパッチが散在していた。イタドリとオンタデのほかに見られた主な植物は、ミネヤナギ、カラマツ、ダケカンバ、ミヤマハンノキ、ヤハズヒゴタイ、イワツメクサ、フジハタザオ、ミヤマオトコヨモギであった。

材料

イタドリ(*Polygonum cuspidatum*)とオンタデ(*Polygonum weyrichii*)はともにタデ科タデ属に属する多年草で、富士山樹木限界付近ではスコリア荒原上に同所的に生育する。イタドリは標高0mから標高2700m付近まで生育する。調査地はイタドリの分布の上限付近に当たる。一方オンタデは標高2000mから3200m付近まで分布し、調査地はオンタデの分布の中心付近に当たる。両種とも外観はよく似ているが、イタドリと比較しオンタデがより太い茎と太い直根を持つのが特徴である。また、オンタデの方がイタドリよりも約1月早く地上部が枯れる。調査地からイタドリ、オンタデとも直径約60センチメートル高さ約50センチメートルのパッチを選んだ。

方法

日変化の測定は測定は1997年8月20日に行った。微気象は、群落直上部の光合成有効波長域の光量子束密度、気温、相対湿度と葉温を1分間隔で測定した。光合成速度と葉の水蒸気に対するコンダクタンスは開放系の光合成蒸

散測定ポロメータを用い測定毎に5枚ずつ測定した。葉の水ポテンシャルはプレッシャーチェンバーを用い測定した。野外での測定終了後に葉を採取し、実験室に持ち帰り8月21日にPV曲線の測定を行った。

結果及び考察

測定を行った日は12時頃まで晴れその後霧が出る、富士山ではよく見られる典型的な夏の日であった。光合成速度(P_n)は両種ともに午前早くに最大となりその後減少した。 P_n の最大値はイタドリの方が高い傾向が見られた。 P_n の日変化に両種で大きな差は見られなかった(図1)。光と光合成速度、温度と光合成速度の関係から、野外で最も光合成を制限している環境要因は、両種とも光であると推定された。

葉の水蒸気拡散コンダクタンスは(g_{leaf})はオンタデの方が有為に高かった。イタドリは午前8時頃に g_{leaf} が最も高かったが、その後減少した。オンタデは午前8時頃から15時頃まで高い g_{leaf} が維持されていた(図2)。 g_{leaf} が高かったオンタデは、蒸散速度も有為に大きかった(図3)。また、葉内二酸化炭素濃度は g_{leaf} が高かったオンタデではあまり下がらなかったが、 g_{leaf} が低かったイタドリでは大きく低下した(図4)。

葉の水ポテンシャル(ψ_{leaf})はオンタデの方が僅かに低くなる傾向が見られた。(図5) ψ_{leaf} は、両種ともターガーロスポイント(TLP)近くまで下がった。PV曲線から得られた水収支に関する葉のパラメータは、TLPでの ψ_{leaf} がオンタデでわずかに低かったことをのぞき、十分吸水したときの浸透ポテンシャル、壁の弾性係数、TLPでの葉の相対含水率ともに有為な差はみられなかった。

以上、生育期間が1月短かったオンタデは g_{leaf} を高くすることで葉内二酸化炭素濃度の低下を防ぎ、光合成速度を維持していると考えられた。一方、イタドリは気孔コンダクタンスが低く、葉内二酸化炭素濃度が低下した。にもかかわらずイタドリが高い光合成速度を維持していたのは、光合成の生理的な活性がオンタデよりも高いことによると考えられた。光合成を維持するために高い g_{leaf} を維持していたオンタデでは、蒸散による葉からの水分損失が大きかった。このことは、オンタデがより水消費的であることを意味する。一方、イタドリの方が g_{leaf} が低く蒸散速度を抑えて光合成を行っていたことからイタドリの方がより水保持的な種であると考えられた。日中の葉の水ポテンシャルに大きな違いがないことから、オンタデの高い g_{leaf} の維持による大きな水分ロス、高い土壌から葉までの水分通導コンダクタンスにより補償されていると考えられた。オンタデがより太い根や茎を持つという形態的な特性が高い通導コンダクタンスに寄与しているのではないかと考えた。PV曲線法から得られた

葉の水分収支に関するパラメーターに両種に大きな違いがないことから、両種の葉の乾燥性に関しては大きな違いがないと考えられた。

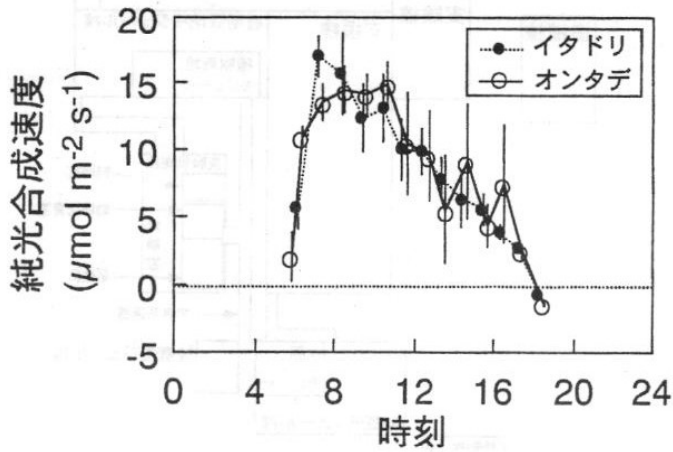


図1. 純光合成測度の日変化

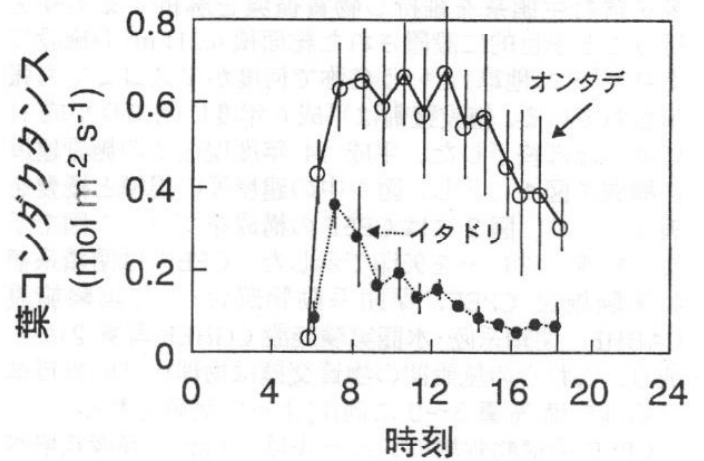


図2. 気孔コンダクタンスの日変化

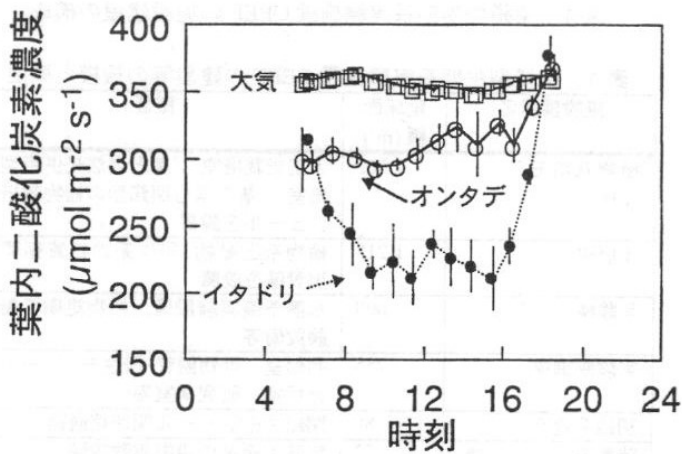


図3. 大気と葉内二酸化炭素濃度の日変化

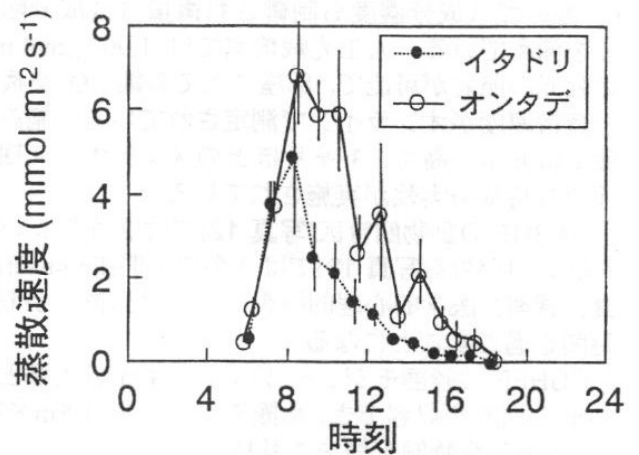


図4. 蒸散速度の日変化

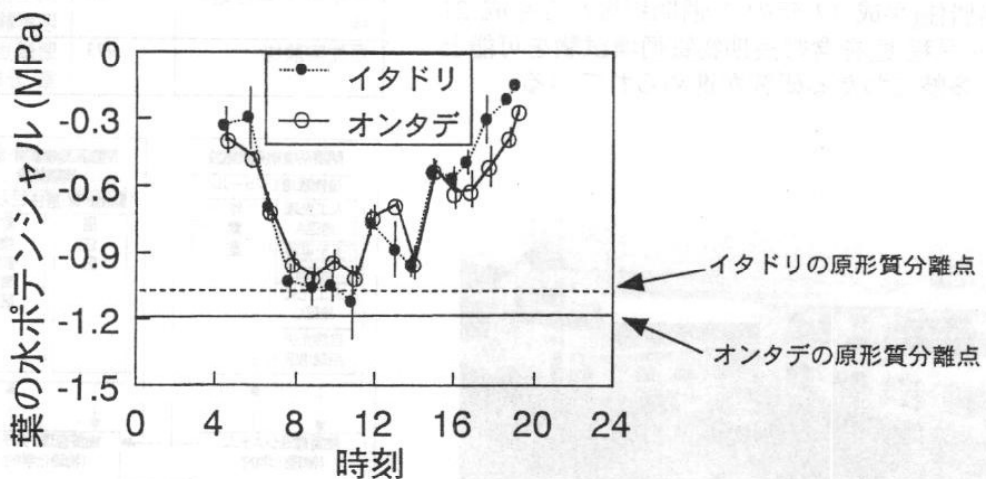


図5. 葉の水ポテンシャルの日変化 - 9 -

施設紹介

(財)環境科学技術研究所 多胡靖宏

閉鎖型生態系実験施設 CEEF(写真 1)は、青森県六ヶ所村にある旧科学技術庁系の財団法人 環境科学技術研究所に、外部と物質を一切交換しないで人・動物・植物等を含む生態系を維持し物質循環を解析する実験を行うことを目的に設置された総面積 6,211 m² の施設であり、「ミニ地球」という名称で何度かマスコミでも報道されている。施設整備は平成 6 年度に始まり平成 11 年度にほぼ終了した。平成 14 年度現在での施設建屋の構成を図 1 に示し、図 1 中の建屋等の規模と概要を表 1 に示す。図 2 には CEEF の構成をブロック図で示し、物質のフローを矢印で示した。CEEF は閉鎖系植物実験施設 CPEF、閉鎖系動物飼育・居住実験施設 CABHF、閉鎖系陸・水圏実験施設 CGHEF(写真 2)から成り、これらの施設間の物質交換は物理化学的物質循環処理設備(写真 3~9 に例)によって制御される。

CPEF の植物栽培モジュールは、5 m² の養液栽培ベッドを 6 台設置した人工光栽培室(写真 10)3 基と、それを 12 台設置した自然光併用型栽培室 1 基(写真 11)を持つ。光強度、明暗周期、温湿度はもちろん、CO₂、O₂ 等のガス成分濃度も制御され微量ガス成分除去機能を備えている。人工光栽培室では 1,900 μmol m⁻² s⁻¹ の強光の照射が可能で、部屋ごとでの純 CO₂ 交換速度と蒸散速度がオンラインで測定されている。施設の稼働率は非常に高く、3 ヶ月ほどのメンテナンス期間を除き常時栽培実験が実施されている。

CABHF の動物飼育区(写真 12)では 2 頭のシバヤギを飼い、居住区(写真 13)では 2 名の人間(Eco-naut)が寝食、調理、医学的・心理的検査、データ交換、余暇等の時間を過ごすことになる。

CGHEF の陸圏モジュールは深さ 4 m の土壌と高さ 10 m の樹木を収容でき、水圏モジュールは 5 m × 3 m × 2 m の海生物飼育槽を 2 基持つ。

現在、それぞれの施設を使って基礎的な試験・研究が進められているが、特に CPEF と CABHF では、平成 17 年~21 年に計画されている植物栽培モジュールと動物飼育・居住モジュールを結合して Eco-naut 2 名の閉鎖系内居住(平成 17 年の 1 週間程度から平成 21 年頃の 4 ヶ月程度)を含む長期物質循環試験を可能とするため、多岐にわたる研究が進められている。

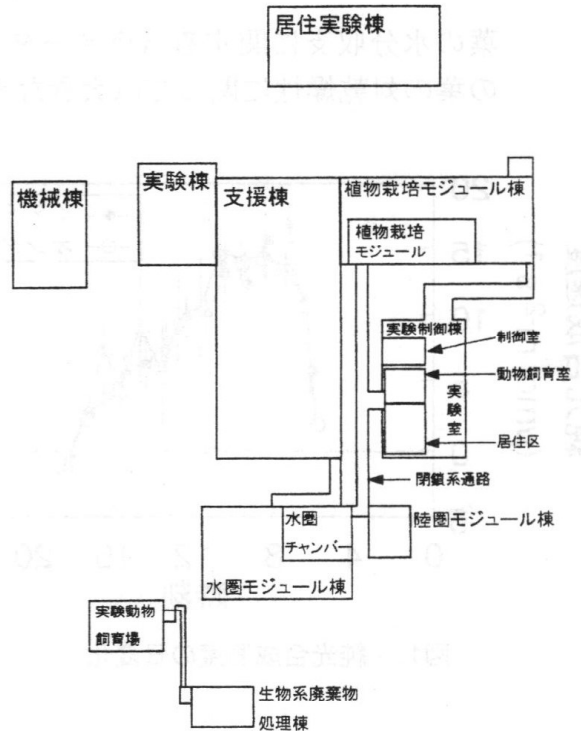


図 1 閉鎖型生態系実験施設 CEEF の施設建屋の構成

表 1 閉鎖型生態系実験施設 CEEF の建屋等の規模と概要

施設建屋名	延床面積 (m ²)	概要
植物栽培モジュール棟	1,162	人工光栽培室 3 基と自然光併用型栽培室 1 基を含む閉鎖型の植物栽培モジュールを設置
支援棟	1,215	植物系と動物・居住系の物質循環処理設備を設置
実験棟	600	水圏予備実験設備、植物組織培養実験設備等
実験制御棟	755	制御室、動物飼育・居住モジュール、分析室、研究室等
閉鎖系通路	80	閉鎖系モジュール間連絡通路
陸圏モジュール棟	72	陸圏生態系の模擬実験設備
水圏モジュール棟	840	水圏生態系の模擬実験設備
実験動物飼育場	128	実験動物シバヤギの飼育実験場
機械棟	300	空調用冷温水・補給水・圧縮空気の供給設備
生物系廃棄物処理棟	86	微生物による生物系廃棄物の分解処理実験設備
居住実験棟	973	閉鎖居住実験に必要な研究室・作業室・分析室等



写真 1 閉鎖型生態系実験施設 CEEF 外観

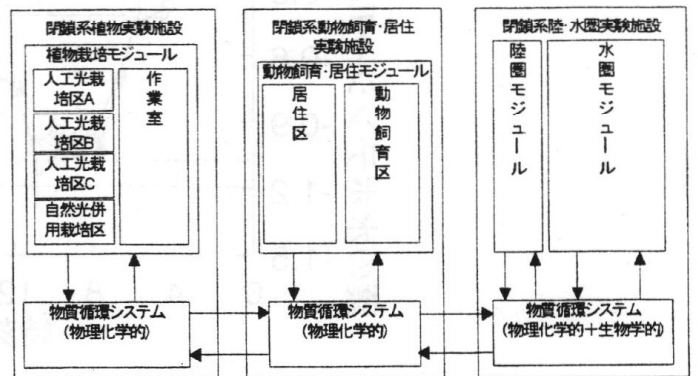


図 2 閉鎖型生態系実験施設 CEEF の構成

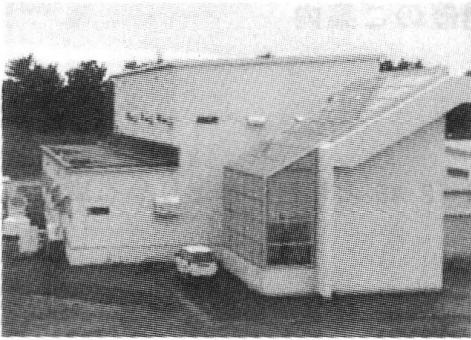


写真2 閉鎖系陸・水圏実験施設 CGHEF 外観

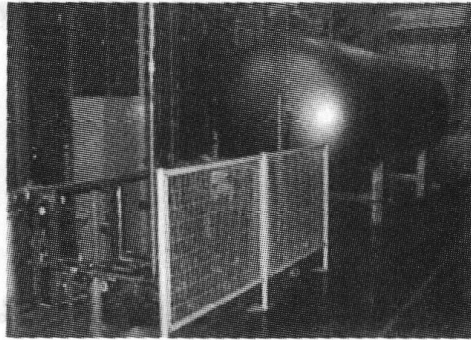


写真6 閉鎖系内大気の膨張・収縮を吸収するためのエアタンクおよび空気移送用コンプレッサー

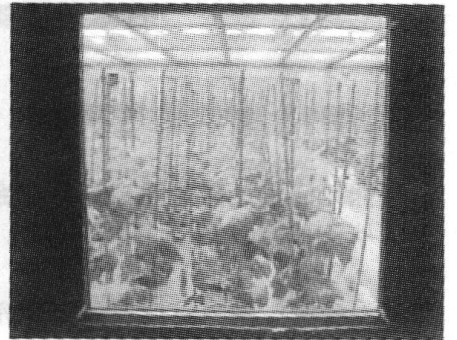


写真10 植物栽培モジュールの人工光栽培室の1つ

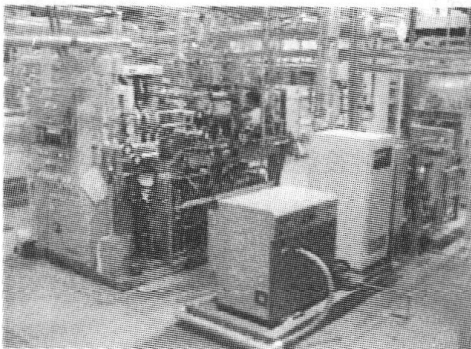


写真3 閉鎖系内大気から特定のガス成分(CO₂、O₂、N₂)を分離する装置

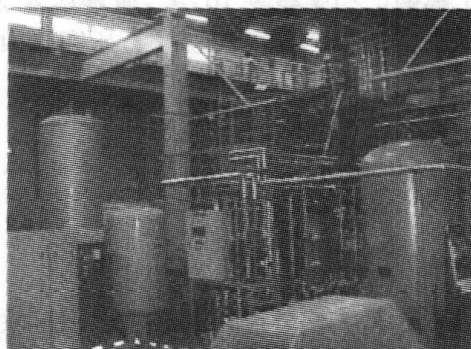


写真7 生物系廃棄物を高温・高圧・触媒で分解し、CO₂とミネラル成分(肥料原液)を得る装置

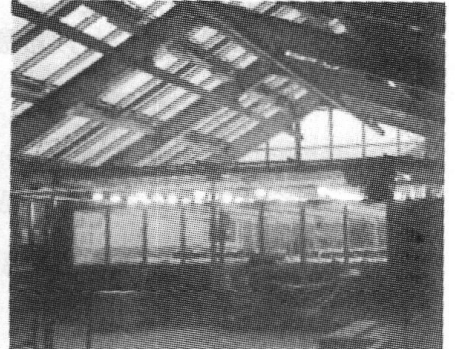


写真11 植物栽培モジュールの自然光併用型栽培室の外観

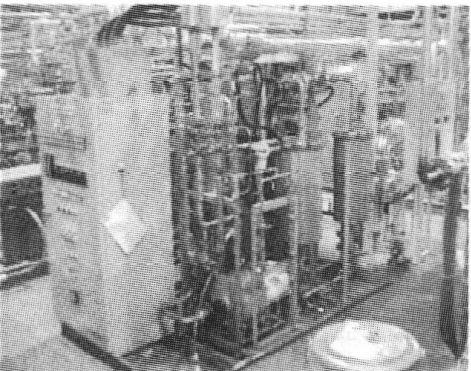


写真4 閉鎖系内大気から微量有害ガスを除去する装置

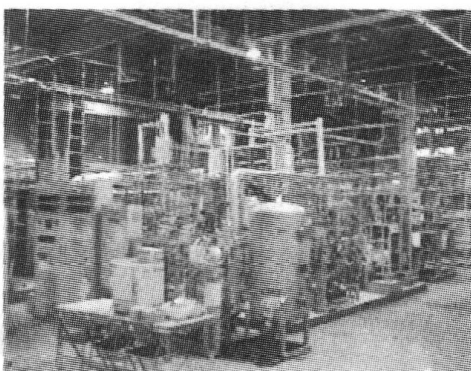


写真8 N₂とH₂Oからアンモニアと硝酸を得る装置

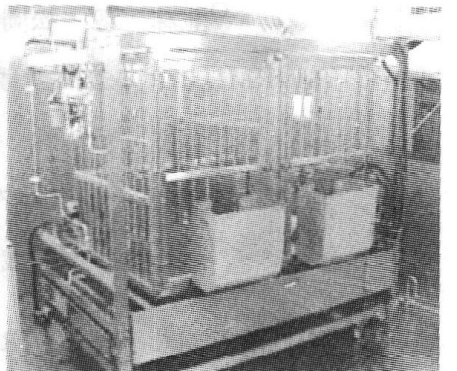


写真12 動物飼育・居住モジュールの動物飼育区内に設置されている飼育檻(シバヤギ2頭用)

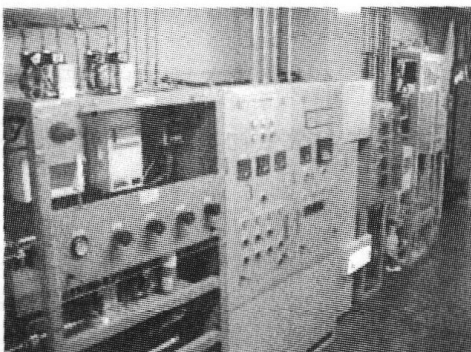


写真5 閉鎖系内大気に特定のガス成分(CO₂、O₂、N₂)を必要に応じて注入する装置

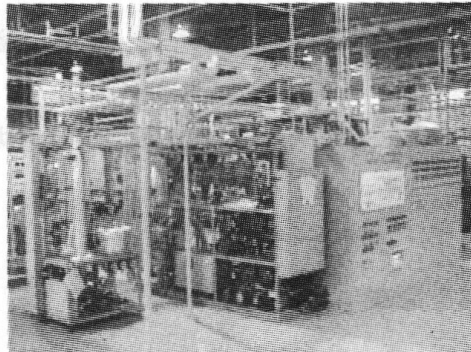


写真9 CO₂の還元、CH₄の熱分解、H₂Oの電解によりCO₂からO₂を回収する装置

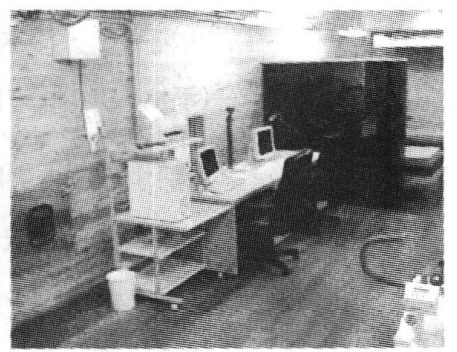


写真13 動物飼育・居住モジュールの居住区

日本農業気象学会関東支部 2002 年度例会開催のご案内

1. 日時：2002 年 11 月 7 日（木）～8 日（金）

開始時刻は評議員会・理事会は 7 日 11:45 より、一般講演は 7 日 12:45 よりと予定よりやや早くなりましたのでご注意ください。

2. 会場：山梨県環境科学研究所（山梨県富士吉田市上吉田剣丸尾 5597-1）

3. 日程及び内容

11 月 7 日

11:45～12:45 評議員会、理事会

12:45～15:10 一般講演（1 課題につき発表 10 分、質疑応答 2 分）

(1) 中山間地域における最低気温分布の予測に関する研究（山梨県秋山村の例）

○松岡延浩・今 久・佐々木寛隆*・久保田孝*・関戸 寛**・原田大甫**

（千葉大園芸、*日本エレクトリックインスルメント、**秋山村役場）

(2) 館林アメダスと農試観測の気温較差について

○高橋行継（群馬県農試）

(3) 快晴日における散乱・全天 B 領域紫外線の季節変化と特徴

○今 久・一林 類・松岡延浩・岡野通明*（千葉大園芸、*森林総研）

(4) 1998 年に那珂川流域で発生した洪水前後の衛星データの比較

○北林 毅・松岡延浩・今 久（千葉大園芸）

(5) VRML による森林景観可視化

○本條 毅・林 恩美（千葉大）

(6) 植物生育モデルベースでの類似モデル検索インターフェイスの改良

李 紅梅・○蔵田憲次・後藤英司（東大院）

(7) 埋設可能な小型 NDIR センサーの土壌 CO₂ 濃度測定への適用：センサーの出力特性

○濱田洋平（筑波大地球科学）

(8) 密閉チャンバー法を用いた土壌-大気間のガスフラックス計算

○中野智子・澤本卓治*・森下智陽**・井上 元***・波多野隆介**

（都立大地理、*農環研、**北大農、***国環研）

(9) インドネシア・ジャンビ地域における異なる土地利用の土壌呼吸特性と微生物バイオマスに関する室内実験

○李 載錫・横沢正幸・米村正一郎（農環研）

(10) アカマツ林のテルペン高度分布

○野副 晋・谷 晃*・青木正敏**（農工大院、*東海大開発工学、**農工大農）

(11)カラマツ群落内および群落上のテルペン濃度変化

谷 晃・[○]西方涼子・平野高司* (東海大開発工学、*北大農)

(12)個葉のCO₂交換から樹冠レベルのCO₂交換へのスケールアップ

[○]安田幸生・渡辺 力・岡野通明 (森林総研)

15:10~15:40 総会

15:40~17:40

シンポジウム『高地アカマツ林における炭素循環過程』

乱流変動法による森林生態系純生産量の測定 (富士吉田アカマツ林)

大谷義一 氏 (森林総合研究所)

生態学的手法による炭素固定量の推定

大塚俊之 氏 (山梨県環境科学研究所)

土壌呼吸の長期連続測定

鞠子 茂 氏 (筑波大学)

18:00~ 懇親会 (懇親会は研究所近くの共済施設にて行います)

11月8日

9:00~11:30 見学会

山梨県環境科学研究所および研究内容の紹介、観測施設の見学。

4. 参加費用

一般講演、シンポジウム:

会員 (一般) 1,500円 (学生) 1,000円

非会員 (一般) 2,000円 (学生) 1,500円

懇親会費: 5,000円

見学会: 参加費徴収の予定はありません。

5. 会場への交通

JR利用: 東京-大月間はJR特急、大月-河口湖間は富士急行を利用し、約2時間30分。

バス利用: 新宿あるいは東京から河口湖まで高速バスがでており、渋滞無しで約2時間30分。

自家用車: 中央自動車道河口湖I.C.で降り、富士スバルライン料金所手前を左折したところ。

河口湖I.C.からおよそ5km。詳しい地図は、以下の研究所ホームページをご覧ください。

<http://www.yies.pref.yamanashi.jp/map.html>

なお、河口湖-研究所はタクシー利用となり、約10分かかります。

6. 問い合わせ先

農業技術研究機構 中央農業総合研究センター

耕地環境部 気象立地研究室 脇山 恭行 (関東支部事務局)

〒305-8666 つくば市観音台3-1-1

TEL. 0298-38-8418 FAX. 0298-38-8515 E-mail waki@affrc.go.jp

7. その他

研究所は富士山山麓の高地に位置するため、天候に応じた服装、準備をお願いします。

中山間地域における最低気温分布の予測に関する研究(山梨県秋山村の例)

○松岡延浩, 今久 (千葉大園芸), 佐々木寛隆, 久保田孝(日本エレクトリック・インスルメント), 関戸 寛, 原田 大甫(秋山村役場)

はじめに

山梨県南都留郡秋山村内の3カ所に, 山梨県営中山間地域総合整備事業秋山村農村情報化施設として, 防災無線装置および気象情報伝達システムが設置された。これらは, 農村生活に係わる農業情報, 気象情報, 防災情報, 定時放送の提供を目的とした物で, 現在秋山村はこれらのシステムを有効利用法の検討中である。本研究はこの一環として, 同システムの3観測所のデータを用いて, 播種や定植時期の決定に必要とされる最低気温およびこのシステムを利用した霜害警報の可能性を考察した。

観測方法および観測期間

秋山村は図1に示すように谷型の地形をしており, その中央を東西に流れる秋山川に沿った谷に耕地が存在している。谷は東西方向に伸び, 西端の標高は650m, 東端は280mである。図中に示された富岡(標高290m), 中野(標高370m), 無生野(標高530m)の3地点に, 防災無線装置と気象観測点が設けられ, 気温(測定高度地上1.5m), 湿度, 風向・風速(測定高度地上10m), 降水量, 日射が測定されている。これらの測器の他に, 中野に赤外放射計(英弘精機:MS-22F), 村内の13地点に無通風気温計(TR-72S:T&D, 測定高度地上 1.5m)を設置した。このシステムにはデータ収録装置だけでなく音声モデムも装備されており, 必要に応じて公衆電話回線を用いて情報を発信することが可能である。解析の対象とした期間は, 2001年5月15日から12月31日である。

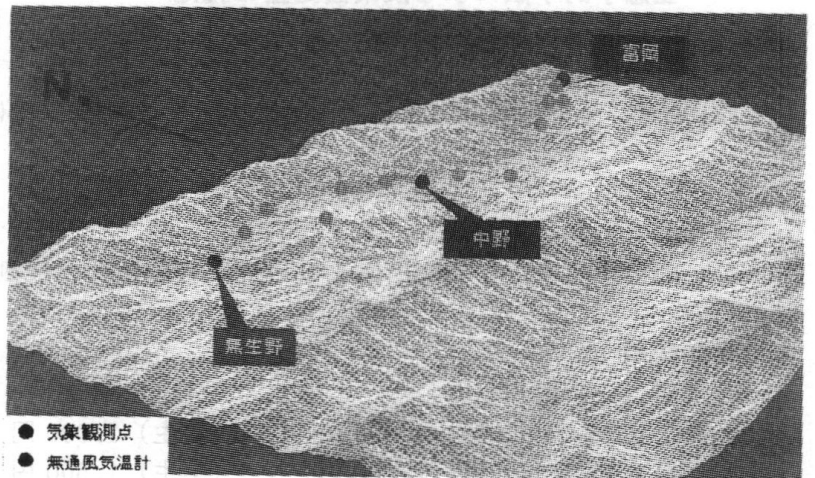


図1 秋山村の地形と観測点の配置

結果および考察

1)最低気温と標高の関係

晴天夜間であった2001年11月25, 27日と曇天夜間であった11月3, 8日を例として, 最低気温と標高の関係を図2に示す。晴天夜間には標高の増加とともに最低気温も直線的に上昇しており, 放射冷却によって形成された逆転層内の一般的な温度分布であった。また, 曇天夜間には標高の増加とともに最低気温は低下しており, 中立に近い気層逆転層内の一般的な温度分布であった。観測期間を通じて, ほぼ同様な傾向がみられた。気象情報伝達システムの気象観測点(富岡, 中野, 無生野)は

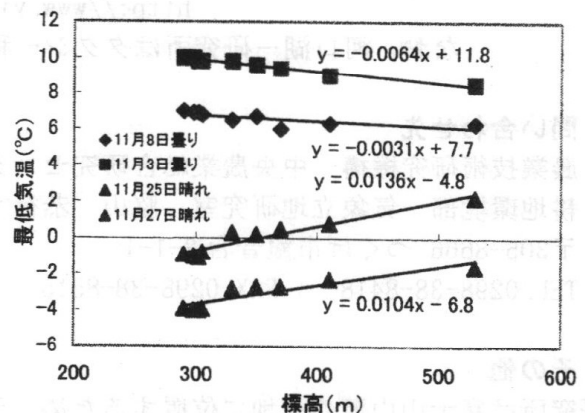


図2 秋山村における標高と最低気温の関係
晴天夜間(11月25, 27日)と曇天夜間(11月3日と8日)の例

3地点もこれらの直線上に位置しており、これら3地点のデータから秋山村の最低気温のメッシュ化が可能と考える。

2) 最低気温と下向き長波放射量の関係

最低気温勾配と全観測点最低気温の平均値の関係を図3に示す。最低気温勾配が大きくなる(逆転強度が大きくなる)と秋山村全体の最低気温が低下することが示された。また、最低気温勾配は下向き長波放射量の減少とともに増大する傾向が見られ(図3)、無生野で観測された風速(夜間)の増大とともに最低気温勾配が増大する傾向が見られた。風速と勾配の関係は一般と逆の傾向である。これは、谷の中で夜間に観測される風が、上空の一般風の影響によるものではなく、放射冷却によって生ずる斜面降下風であることを示唆するものである。従って、霜害予知などを行うために、単純な放射冷却による気温の推定モデルだけでなく、風の影響も考慮していく必要がある。

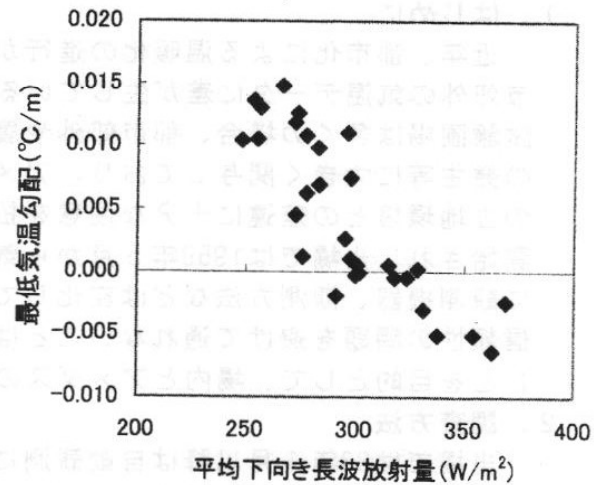


図3 最低気温勾配と平均下向き放射量の関係
平均値は日別全観測地点の平均値

3) 霜害警報の可能性

霜害警報は一般に翌朝の最低気温に基づいて出される。用いられる最低気温の予測法は過去に多数提案されているが、日没時の気象要素から翌朝の最低気温の予測ものが多い。しかし警報を出すには、霜害が発生する時刻から、①農家が霜害対策を行うのに要する時間+②情報を伝達するのに要する時間だけ遡った時刻までのデータを利用することができるはずである。従って、秋山村に設置されたシステムは、音声モデムを利用して警報を農家に伝達することができるから、②情報を伝達するのに要する時間が不要であり、①農家が霜害対策を行うのに要する時間のみを考慮すればよいことになる。

気温の予測モデルは多数存在するが、ここでは対策に要する時間をn時間とした場合、予想される霜害発生時刻の気温Tは、警報を出す時刻tの気温 T_t とその1時間前の気温 T_{t-1} を用いて、

$$T = T_t + (T_t - T_{t-1}) \times n$$

とする。対策に要する時間を1時間とした場合の、気温の実測値と予測値の関係を、晴天であった2001年11月27日を例として図4に示す。観測期間全体の予測誤差の平均値は、 $n=1$ のとき 0.9°C 、 $n=2$ のとき 1.3°C 、 $n=3$ のとき 2.6°C であった。対策が2時間程度で可能な経営規模であれば、複雑なモデルを用いなくても気温変化のみから警報が可能であると考えられる。

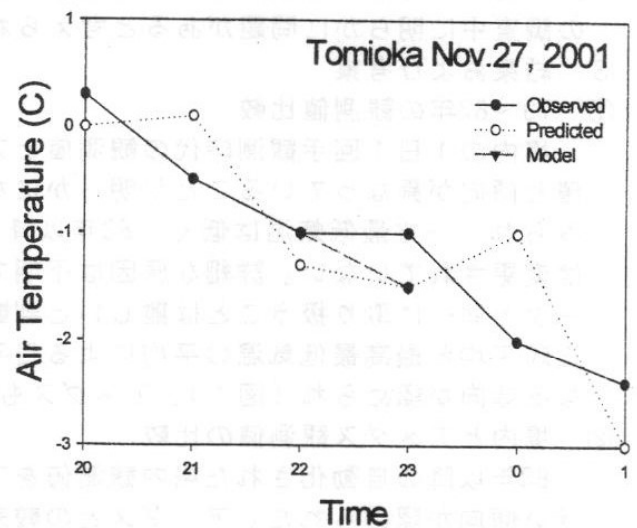


図4 気温と予測値の経時変化
2001年11月27日の富岡の例

1. はじめに

近年、都市化による温暖化の進行が著しい。このため、市街地に設置されたアメダスと都市郊外の気温データに差が生じている場合が多い。農業気象は主な研究対象が農作物であり、試験圃場は多くの場合、都市郊外や農村部に位置している。気温は、作物の生育や気象災害の発生等に大きく関与しており、アメダスデータを利用する場合、観測点周辺と試験圃場との立地環境との差違に十分な注意を払う必要がある。館林アメダスは1979年1月から運用が開始され、当场では1959年5月から気象観測を開始している。当然のことながら、時代と共に観測機器、観測方法などは変化しており、場内観測値はアメダスと比較した場合、精度、信頼性の問題を避けて通れないことはいうまでもない。当场の観測データを有効に活用することを目的として、場内とアメダスの気温データの比較検討を行ったので報告する。

2. 調査方法

当场では83年1月以降は自動観測に移行しており、それ以前は1日1回の手動観測であった。79年～82年の4か年はアメダスと当场の手動観測が並行実施されており、まず過去の観測値の検証を行うため、この期間の観測値を比較した。82年以前の場内観測では日平均気温は最高気温と最低気温の算術平均であるため、アメダスの最高最低気温との比較を行い、83年以降の同観測値との傾向が大きく異なっていないかを検証した。特に問題がないようであれば、83年以降の毎正時気温による日平均気温と最高最低気温の平均値との相関を求め、回帰式を作成して82年以前の日平均気温を補正することにした。なお、83年以降の観測装置は定期的な保守点検を実施しているため、観測値は信頼できるものと判断した。しかし、一連の調査中に明らかに問題があると考えられたデータは対象外とした。

3. 結果および考察

① 79～82年の観測値比較

場内の1日1回手観測時代の観測値とアメダスを比較した結果、83年の自動化以降の観測値と傾向が異なっていることが明らかになった。アメダスとの比較で最高気温は高い傾向がみられ、一方最低気温は低く、83年以降よりもさらに低かった（表1）。この間、観測地点は変更されていない。詳細な原因は不明であるが、以上の結果から82年以前と83年以降のデータと同一に取り扱うことは難しいと判断した。なお、83年以降の場内観測値を使用して毎正時平均と最高最低気温の平均による日平均気温を比較した結果、後者が前者よりも高温となる傾向が認められ（図1）、アメダスも同様の傾向を示した。

② 場内とアメダス観測値の比較

83年以降の自動化された場内観測値をアメダスと比較すると、日平均、最高最低気温共に低い傾向が認められた。アメダスとの較差は季節によって異なる。最高気温は夏期に、最低気温は冬期に較差が大きくなっており、市街地にあり都市化による温暖化の影響を受けやすい立地条件にある館林アメダスと、それらの影響が小さい郊外との差を示していると考えられる。日平均気温は季節による明らかな傾向は認められなかった。館林アメダス対比でみた場合、場内の年平均の日平均気温は -1.2°C である。最低気温は同様に -1.9°C であるが、冬期は特に低く、較差は最大で -2.4°C に達する。最高気温は同 -0.6°C で夏期に低く、較差は最大で -1.5°C 、冬期には較差が小さくなることが明らかとなった。この要因としては、当地で冬期に卓越する強い西寄りの季節風が当场の西側に位置する市街地との較差を縮小させているものと推察される。また、近年場内観測の最高気温が上昇傾向にあり、アメダスとの較差が平均気温と共に年々縮小しつつある点が注目される（図2～4）。

表1 場内とアメダス気温観測値比較 (°C)

年次	79~82			83~02		
	最高	最低	平均	最高	最低	平均
アメダス	19.0	9.8	13.9	19.7	10.5	14.8
場内	19.4	7.1	13.1	19.0	8.5	13.4
較差	0.4	-2.7	-0.8	-0.7	-2.0	-1.4

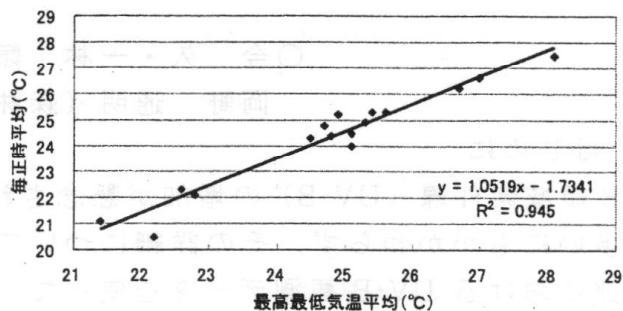


図1 算出方法の異なる平均気温の比較(7月)

それぞれの数値は期間内の平均値

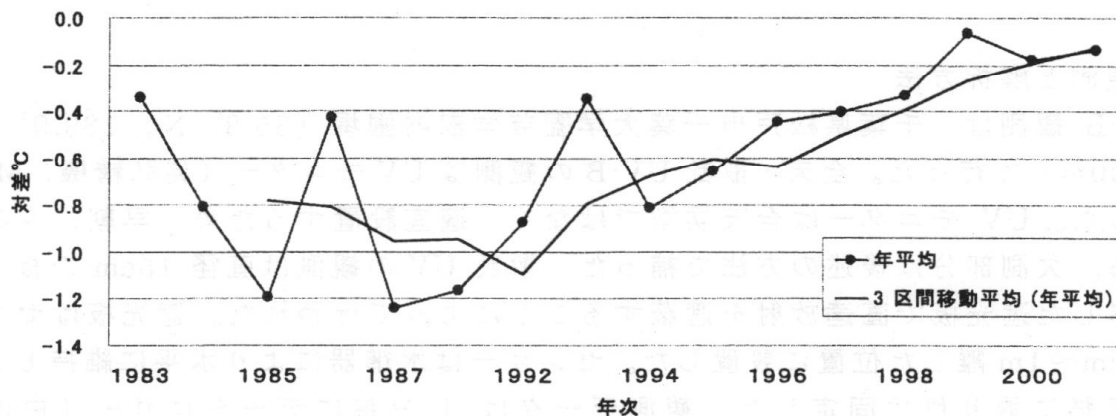


図2 農試東部とアメダスの比較(最高気温)

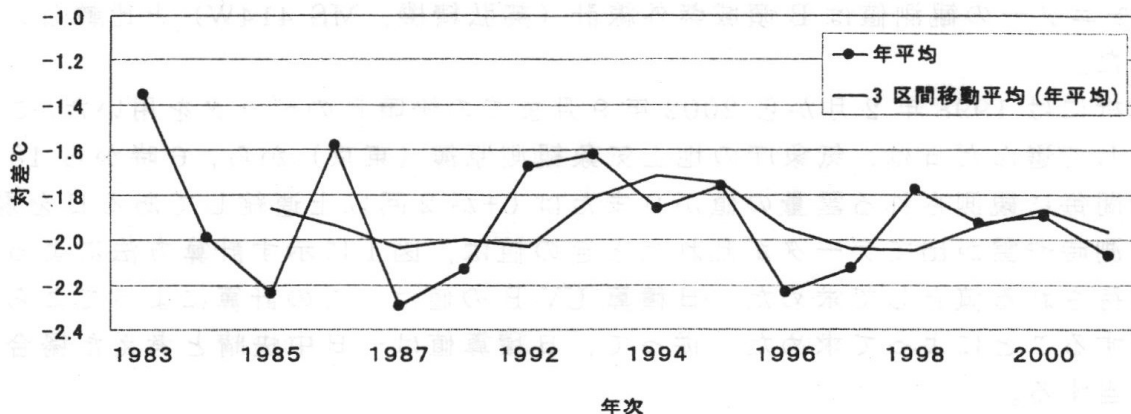


図3 農試東部とアメダスの比較(最低気温)

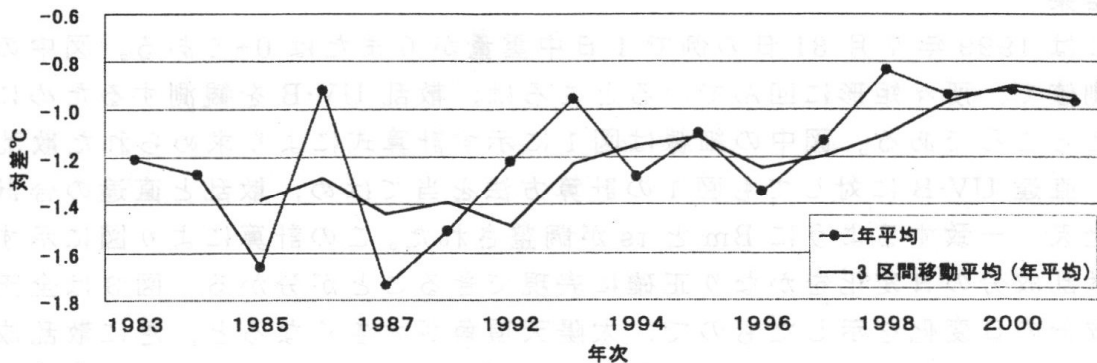


図4 農試東部とアメダスの比較(平均気温)

1989~91年の3か年は、観測データに不備があり対象外とした。

○今 久・一林 類・松岡 延浩 (千葉大園芸)

岡野 通明 (森林総合研究所)

1. はじめに

B 領域紫外線 (UV-B) の増加が懸念されている。紫外線は、日射に比べて散乱成分が多いにもかかわらず、その詳細についての研究は少ない。ここでは、千葉大学園芸学部における UV-B 観測データを使って、散乱成分の変化について解析したので報告する。

2. 観測と解析方法

UV-B 観測は、千葉県松戸市千葉大学園芸学部内圃場 (35.3° N, 139.9° E, 海拔高度 20m) で行った。全天・散乱 UV-B の観測は UV モニター (英弘精機, MS-210I) で行った。UV モニターは全天候型ではなく、適宜設置するため、早朝、夕刻に欠測がある。欠測部分は後述の方法で補った。散乱 UV の観測は直径 15cm の板を黒く塗りつぶした遮光板で直達放射を遮蔽することによって行われた。遮光板はセンサーから 50cm~1m 離れた位置に設置した。センサーは水準器により水平に維持し、カメラ用の三脚に取り付け固定した。観測データは 1 分毎にデータロガー (白山工業, DATAMARK, LS-3300P t V) に記録し、コンピュータに取り込んで解析に用いた。UV モニターの観測値は B 領域紫外線計 (英弘精機, MS-414W) と比較し、校正して用いた。

解析には 1998 年 2 月から 2002 年 9 月までの快晴日のデータを用いた。ここで快晴日として選んだ日は、気象庁の地上気象観測原簿 (東京) から、6 時から 18 時までの 3 時間毎に観測される雲量の値が 0 または 0+ が 2 回以上連続してある日を選んだ。

欠測時や雲が出てデータが乱れたときの値は、図 1 に示す計算方法によって快晴時に期待される値として求めた。日積算 UV-B の値は、この計算によってよられた値を積算することによって求めた。従って、日積算値は一日中快晴と考えた場合の積算値に相当する。

3. 結果

図 2 は 1999 年 7 月 31 日の例で 1 日中雲量が 0 または 0+ である。図中の薄い実線は観測値で、所々矩形に凹んでいるところは、散乱 UV-B を観測するために遮光板で覆ったところである。図中の細線は図 1 に示す計算式により求められた散乱 UV-B である。直達 UV-B に対しても図 1 の計算方法を当てはめ、散乱と直達の合計が観測された全天と一致するように B_m と t_s が調整された。この計算により図に示すように全天、散乱成分の日変化をかなり正確に表現できることが分かる。図 3 は全天に対する散乱成分の日変化を示したもので、太陽天頂角が大きくなると、急に散乱成分が多くなる事が分かる。図 4 に全天・散乱 UV-B 量の日積算値の季節変化を示す。図 5 には日積算全天 UV-B に対する散乱 UV-B の割合の季節変化を示した。図 6 には天頂角 48 度の時、12 時の視程による散乱成分の全天 UV-B に対する割合を示した。

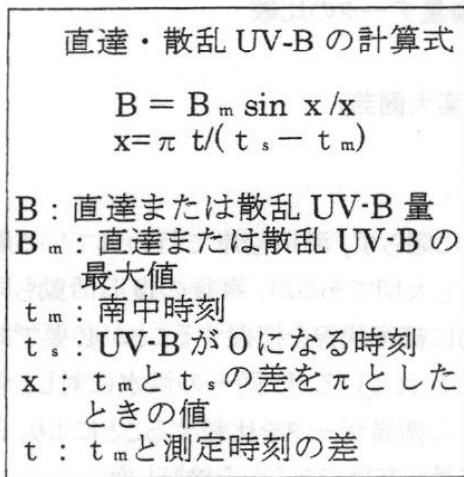


図 1. 直達・散乱 UV-B の計算式説明図。

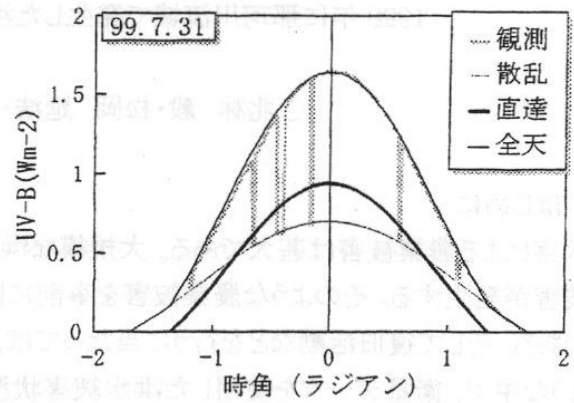


図 2. 1999 年 7 月 31 日の UV-B 量の日変化。薄い線は実測値，中線，太線，細線は計算による全天・直達・散乱 UV-B を示す。散乱成分は矩形の下端の値として得られる。

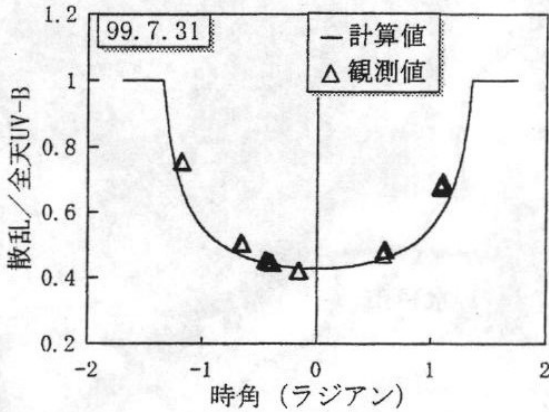


図 3. 全天 UV-B に対する散乱 UV-B の日変化。

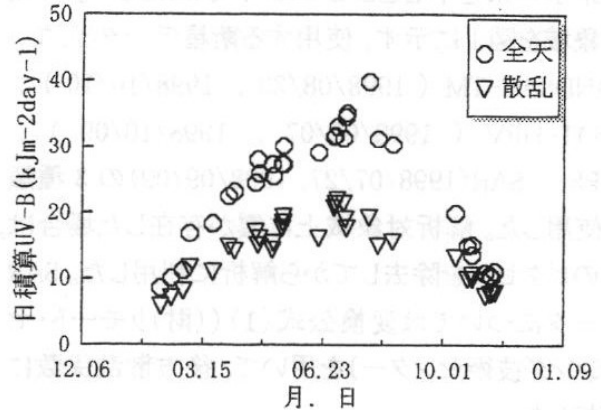


図 4. 終日快晴と見なしたときの全天・散乱 UV-B の日積算値の季節変化。

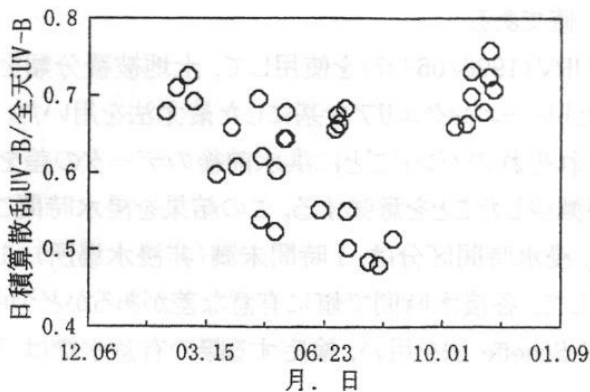


図 5. 日積算全天 UV-B に対する散乱 UV-B の季節変化。

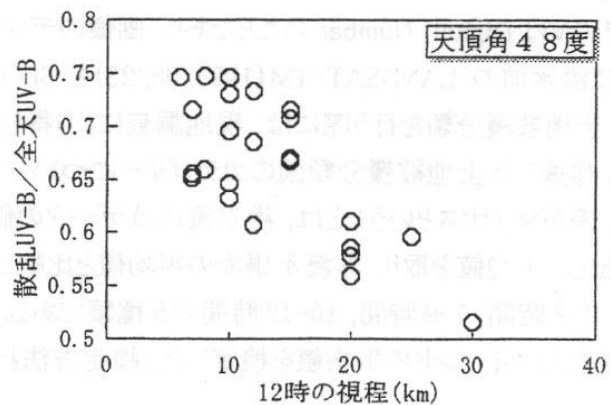


図 6. 太陽天頂角 48 度における，12 時の視程に対する散乱 UV-B の全天に対する割合。

1998年に那珂川流域で発生した洪水前後の衛星データの比較

○北林 毅・松岡 延浩・今 久 (千葉大園芸)

1. はじめに

水害による農業被害は甚大である。大規模な洪水では水稻に限らず、河川沿岸で行われている農業全般に被害が発生する。そのような農業被害を事前に防止することも大切であるが、事後の復旧活動も同様に重要である。そして復旧活動などを行うに当たっては、面的、量的に被害状況を把握することが必要であろう。そのような中で、衛星データを使用した洪水被害状況の把握も行われているが、同一の洪水に対し、多数の衛星を用いた研究は多くはない。そこで、洪水前と洪水後の多数の衛星データを比較することにより、どの衛星のどのバンドを利用することが、洪水被害状況を把握することに最も有効であるかを検証した。

2. 解析方法

研究対象事象として、1998/08/26～31に那珂川流域で発生した洪水を選んだ。研究対象域は茨城県水戸市を中心とした225平方kmとした。研究対象域を図1に示す。使用する衛星データとして、LANDSAT-TM(1998/08/23, 1998/10/10), SPOT-HRV(1998/05/07, 1998/10/09), JERS-1-SAR(1998/07/27, 1998/09/09)の3種類を使用した。解析対象域上に雲が存在した場合は、雲のピクセルを除去してから解析に利用した。SARデータについては変換公式(1)((財)リモートセンシング技術センター)を用いて、後方散乱係数に変換した。

$$\sigma_0 = 20 \times \log_{10}(DN) - 85.34 \dots(1)$$

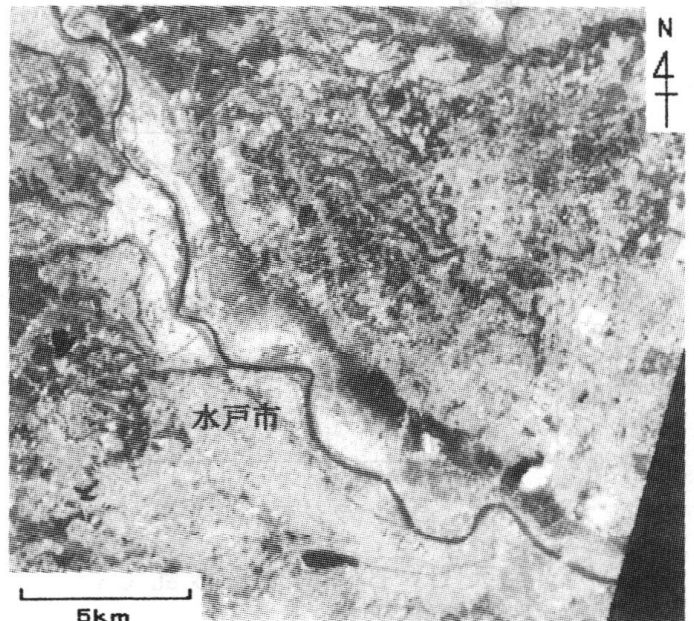


図1 研究対象域(SPOT false color 1998/05/05)

ここで DN は Digital Number のことであり、画像のデジタル値である。

次に洪水前の LANDSAT-TM(1998/08/23)と SPOT-HRV(1998/05/07)を使用して、土地被覆分類を行った。土地被覆分類を行う際には、現地調査により得られたトレーニングエリアを基にした最尤法を用いた。その後、作成した土地被覆分類図のカテゴリーについて、それぞれのバンドごとに洪水前後のデータの差を求めた。差がマイナスということは、洪水後にはデータの値が減少したことを意味する。この結果を浸水時間ごとに抽出し、平均値を取り、非浸水場所の平均値と比較した。浸水時間区分は、1時間未満(非浸水場所)、1-3時間、4-6時間、7-9時間、10-12時間の5種類である。そして、各浸水時間で値に有意な差があるかどうかを調べるため、各バンドの平均値を検定した。検定方法として Scheffe 法を用い、検定する際の有意水準は5%とした。

3. 結果および考察

畑と水田の2カテゴリーにおける各平均値と検定結果を表1に示す。表1を見ると、SPOTのBand2は畑に

対しても水田に対しても、5種類の浸水時間区分を識別できている。このバンドは可視域(赤)の波長帯であり、植生によく反応する性質があるためである。畑に対しては、SPOTのBand2の他に、LANDSATの全バンド、JERS-1-SARが5種類の浸水時間区分を識別できている。水田に対しては、5種類の浸水時間区分を識別できているのはSPOTのBand2だけである。水田に対してはSPOT-Band2に次いで、LANDSATのBand2, 3が浸水時間区分を識別できる可能性があるが、これらのバンドでは非浸水場所と10-12時間浸水した場所を識別できない。

以上のことから、畑に対してはSPOTのBand2, LANDSATの全バンド, JERS-1-SARを利用することが、洪水被害状況を把握することに対して有効である。同様に水田に対してはSPOTのBand2を利用することが、洪水被害状況を把握することに対して有効である。今後の方針として、RADARSATやERSなどの衛星に対しても同様の解析を行い、今回の結果と比較する必要があるだろう。

表1 各浸水時間区分における洪水前後の衛星データの差の平均値

畑	非浸水場所	1-3 時間	4-6 時間	7-9 時間	10-12 時間
SPOT-Band1	-29.71 _a	-24.20 _b	-31.48 _c	-31.30 _c	-29.11 _d
SPOT-Band2	-24.02 _a	-18.33 _b	-27.69 _c	-24.94 _d	-22.86 _e
SPOT-Band3	-33.48 _a	-24.44 _b	-34.09 _c	-35.75 _d	-35.04 _d
LANDSAT-Band1	-19.30 _a	-20.35 _b	-13.19 _c	-40.01 _d	-16.34 _e
LANDSAT-Band2	-9.08 _a	-8.67 _b	-5.62 _c	-19.09 _d	-8.20 _e
LANDSAT-Band3	-5.76 _a	-1.77 _b	0.59 _c	-27.72 _d	-3.08 _e
LANDSAT-Band4	-36.32 _a	-44.25 _b	-34.40 _c	-27.15 _d	-38.75 _e
LANDSAT-Band5	-8.15 _a	7.51 _b	1.62 _c	-34.96 _d	-0.07 _e
LANDSAT-Band7	3.26 _a	11.68 _b	8.70 _c	-12.72 _d	7.50 _e
JERS-1 SAR	-0.05 _a	0.29 _b	0.03 _c	-0.96 _d	-0.18 _e

水田	非浸水場所	1-3 時間	4-6 時間	7-9 時間	10-12 時間
SPOT-Band1	-15.43 _a	-16.67 _b	-16.02 _c	-16.08 _c	-16.84 _{bc}
SPOT-Band2	-3.46 _a	-7.48 _b	-5.83 _c	-4.08 _d	-8.92 _e
SPOT-Band3	10.29 _a	3.06 _b	5.49 _c	6.86 _d	8.20 _d
LANDSAT-Band1	-20.51 _a	-15.42 _b	-14.14 _b	-33.74 _c	-15.67 _{ab}
LANDSAT-Band2	-9.51 _a	-7.21 _b	-6.64 _c	-15.34 _d	-7.89 _{abc}
LANDSAT-Band3	-1.96 _a	1.31 _b	3.21 _c	-9.50 _d	0.33 _{ab}
LANDSAT-Band4	-43.22 _a	-37.09 _b	-42.05 _a	-53.38 _c	-43.44 _{abc}
LANDSAT-Band5	13.90 _a	19.99 _b	18.35 _b	6.77 _c	11.44 _{ac}
LANDSAT-Band7	12.65 _a	15.69 _b	16.24 _b	9.88 _c	12.89 _{abc}
JERS-1 SAR	-0.92 _a	-0.51 _b	-0.44 _b	-0.74 _c	-0.56 _{abc}

*各Bandで同一文字には有意水準5%で有意な差がない(Scheffe法)

李紅梅・蔵田憲次・後藤英司(東京大学大学院)

はじめに 気候条件、土壌条件などから植物の生育・収量を予測する植物生育モデルが多く開発されている。しかし、これらのモデルは世界中に分散的に存在しているため、ユーザがどこにどのようなモデルがあるかを調べるのが困難な状況にある。筆者らは植物生育モデルの情報を蓄積したデータベースを構築し、それを Web サーバと連携することにより、インターネット上で植物生育モデルが検索できる植物生育モデル検索システムを開発した。同システムは大きく二つの部分に分けられる。つまりモデルユーザがインターネット上で自分のニーズに最も合致したモデルを検索するための検索インターフェイスとモデル開発者が自分の開発したモデルをモデルデータベースに登録するための登録インターフェイスである。登録インターフェイスについては、筆者らは既存のモデルデータベースから新たに登録しようとするモデルに似ているモデルをキーワードに基づいて検索し、それを修正して登録するインターフェイスをすでに開発しているが、キーワードだけによる検索は不十分であるので、それを改良した。検索システムの概要はすでに発表しているが、記述の統一性のために、以下本システムの概要を説明し、登録インターフェイスの改良点を述べる。

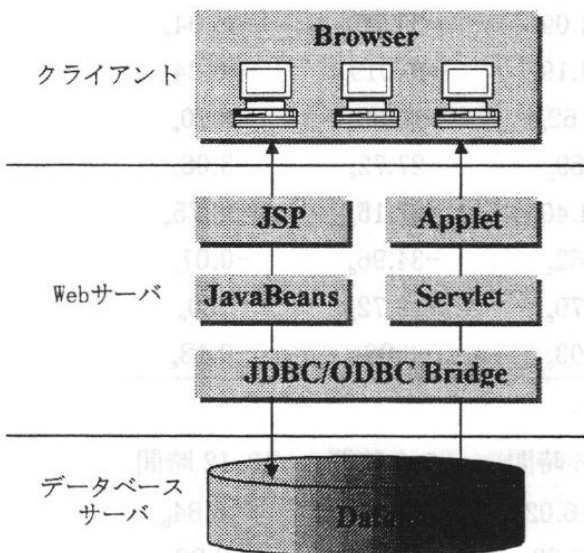


図1 植物生育モデル検索システムの構造図

データベースを構築するためにはモデルを一定の形式でデータベース化する必要がある。本検索システムではコンポーネントとイフェクターの概念を導入してモデルの記述した。コンポーネントとはモデルを構成している要素であり、イフェクターとはコンポーネントに直接影響を及ぼす因子である。図2に示した典型的な植物生育モデルのダイアグラムで、「気温」、「光合成」、「維持呼吸」、「成長」、「葉面積」...などは同

植物生育モデル検索システムの構造 本システムはクライアント、Webサーバ、データベースサーバからなるクライアント/サーバ型三層構造を採用した(図1)。クライアントはインターネットに接続できるコンピュータを必要とする。データベースサーバにはモデル情報を蓄積したリレーショナルデータベースが置いてあり、RDBMS(Relational DataBase Management System)によって管理される。Webサーバはクライアントとデータベースを連結するための中間層である。この層のアプリケーション開発にはJSP(Java Server Page)、Applet、Servletなど多様なJavaのWeb開発技術を用いた。

植物生育モデルのデータベース化 植物生育モデル

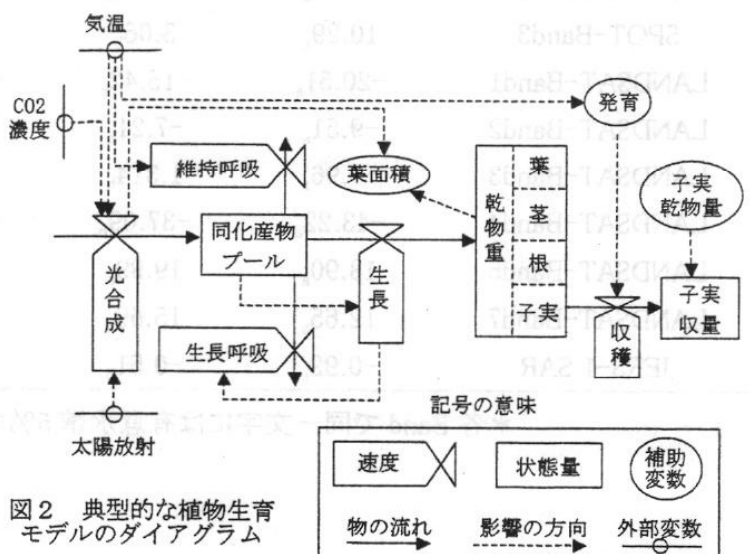


図2 典型的な植物生育モデルのダイアグラム

デルを構成している要素で、コンポーネントという。一方、「光合成」に直接影響を及ぼす因子に「気温」、「CO2 濃度」、「太陽放射」、「葉面積」があるため、これらを「光合成」コンポーネントのイフェクターという。また、「光合成」は「同化産物プール」に直接影響を及ぼすため、「光合成」は「同化産物プール」コンポーネントのイフェクターになる。このような記述方法は、ユーザの要求に適したモデルを検索する機能を可能にする。

植物生育モデル登録インターフェイス

第三者によるモデル登録は間違っただ入力や著作権問題などが避けられない。そのため、本システムではモデル開発者がインターネット上で自分の開発したモデルを自らモデルデータベースに登録する登録インターフェイスを開発した。また、登録作業を簡素化するため既存のモデルデータベースから

新たに登録しようとするモデルに似ているモデルを見つけ出し、それを修正して登録する方法を開発した。既存のインターフェイスでは、キーワードだけで、類似モデルの検索を行ったが、今回、次のように改良した。植物生育モデルにおいて光合成、窒素収支、水分収支は最も重要なコンポーネントであり、それらを計算するか、しないかによって植物生育モデル構造が大きく分かる。図4に似ているモデルを見つけ出す画面を示す。ユーザは「光合成を計算するモデルであるか」、「窒素収支を計算するモデルであるか」、「水分収支を計算するモデルであるか」の質問に対して答える（Yesの場合、チェックを入れる）。チェックを入れる場合は関連コンポーネント名を横のフィールドに入力する。またこれら以外に重要なコンポーネントがあれば「Other keywords」に入力する。似ているモデルを検索するプログラムは、まずそれぞれ3つの質問に対してチェックを入れた場合は入力されたコンポーネントを使用しているモデルを探し出し、チェックを入れなかった場合はそのコンポーネントを使用していないモデルを探し出す。更にそれらのモデルの中から「Other keywords」に入力されたキーワードをコンポーネントとして使用しているモデル

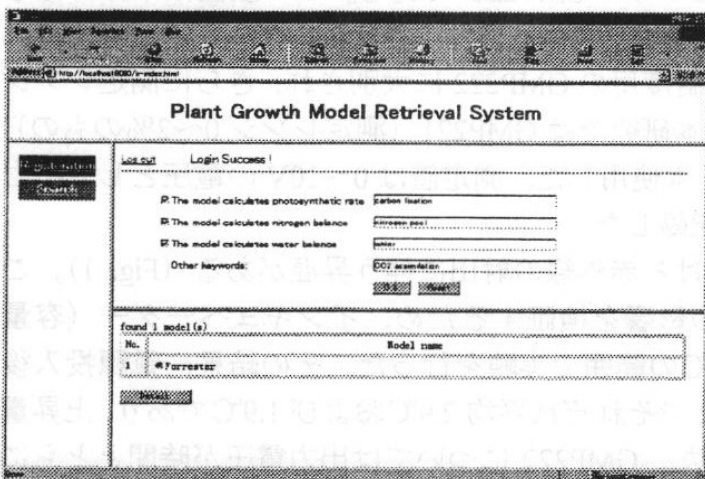


図4 似ているモデルを探し出す画面

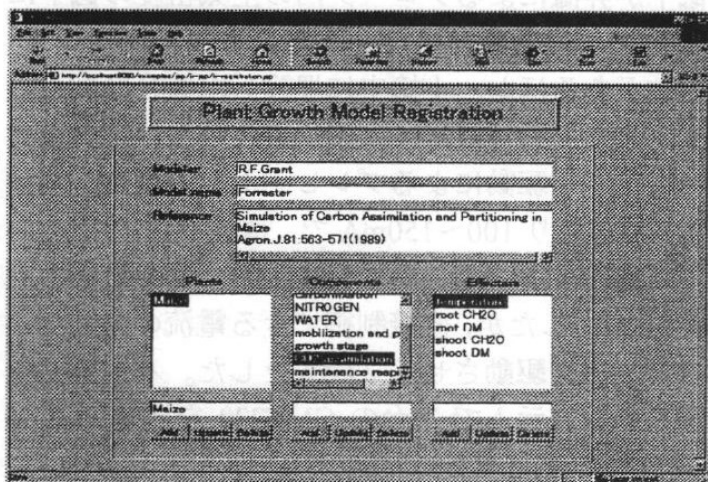


図5 似ているモデルを編集してモデルを登録する登録インターフェイス

デルを最終的に似ているモデルとして判定する。似ているモデルの詳細は図5に示した画面に表示される。モデル開発者は自分の登録しようとするモデルと共通の部分はそのままにし、違う部分だけを修正して登録を行う。

埋設可能な小型 NDIR センサーの土壌 CO₂ 濃度測定への適用

—センサーの出力特性—

○濱田洋平（筑波大学地球科学系）

近年、非分散型赤外線式 CO₂ センサー（NDIR センサー）の測定セルを小型化し、プローブの先端に直接取り付けられたタイプの装置が開発されている。同タイプのセンサーの土壌中の CO₂ 濃度測定への適用については、平野¹、中本ほか²などの報告があるが、センサーの特性や測定精度を詳細に検証した事例はない。本稿では同タイプのセンサーの出力特性について、室内および野外における実験から得られた結果を報告する。

使用したセンサーはヴァイサラ社製 CO₂ センサー GMT220 である。この装置は本体である CO₂ 変換器 GMT220 とプローブからなり、変換器とプローブは長さ 2m のケーブルで接続されている。プローブは高濃度用の GMP221 と低濃度用の GMP222 に大別され、さらに測定レンジ別にそれぞれ 5 種類ずつが用意されている。本研究では GMP221（測定レンジ 0~2% のもの）および GMP222（0~5000ppm のもの）を各 1 本使用した。測定値は 0~10V の電圧として出力され、T&D 社製電圧ロガー VR-71 を用いて記録した。

同センサーの特徴として、プローブ中における赤外線の射出に伴う昇温がある（Fig. 1）。この昇温と周辺温度との関係および測定値への影響を検証するため、インキュベーター（容量 126 l）内にプローブのみを設置し、-10~30°C の範囲で実験を行った。その結果、電源投入後 30 分における温度上昇は GMP221 および 222 でそれぞれ平均 2.9°C および 1.9°C であり、上昇量の周辺温度に対する依存性は認められなかった。GMP222 については出力電圧が時間とともに低下する傾向が見られたが、その低下は全般的にプローブの昇温よりも遅れ、また電圧低下が見られないケースもあったため、出力電圧の低下が昇温によるプローブ内の空気密度の低下によるものか、装置全体の電氣的な安定化によるものかは判断できなかった。

プローブの昇温は測定値に直接影響する可能性があるほか、土壌中に埋設した場合は周辺の地温を上昇させることで間接的に影響を及ぼす。また、野外観測への適用のためには消費電力が小さい方が望ましい。これらの観点から、バッテリー駆動によるプレヒート式の測定システムを開発した（Fig. 2）。GMT220 の消費電流は 1 台あたり 100~150mA で、直列 24V の電源が必要となるため、市販の 12V 充電式バッテリー（28Ah）を 2 台直列で配線した。プレヒート制御にはロガー用の拡張ユニット VR-00P1 の機能を利用したが、直接制御できる電流の範囲が小さいため、より大きな電流に対応したリレースイッチを駆動させる 2 段式とした。バッテリー電圧の持続時間は様々な要因に影響されるが、このシステムで 2 台の GMT220 を測定間隔 15 分・プレヒート 5 分で運用した場合、持続時間は約 2 週間であった。

プレヒートに必要な時間を決定するため、いくつかの測定間隔とプレヒート時間を設定し、センサーの出力を毎分測定してプレヒート中の出力値の変化を調べた。測定には上述のシステムを使用し、筑波大学構内のアカマツ林土壌において実際に土壌中の CO₂ 濃度を測定した。プローブは直接濡れることを避けるために小孔を多数開けた塩ビパイプ内に入れ、GMP221 は深度 50cm、222 は 10cm にそれぞれ埋設した。測定の結果、GMP221 の出力値はプレヒート開始後 1~2 分で急上昇し、3~5 分で逆に急低下した後、6~8 分以降安定するという特徴的な変動パターンを示した（Fig. 3）。このため、測定間隔 30 分および 60 分とプレヒート 5 分の組み合わせでは極めて低い出力値となった。逆に測定間隔 15 分・プレヒート 10 分という、非通電時

間が最も短い場合では比較的早く安定し、特徴的なパターンは見られなかった。一方の GMP 222 はプレヒート開始と同時にほぼ安定した値を示したが、非通電時間が最も長い測定間隔 60 分・プレヒート 5 分での出力値は、他の組み合わせの半分程度の低い値であった。これらのことから、センサーの安定に要する時間はプレヒート時間だけではなく非通電時間によっても左右されるため、測定間隔に応じて適切なプレヒート時間を設定する必要がある。

引用文献

1. 平野高司 (2002) : 落葉樹林における積雪下の土壌 CO₂ 濃度および土壌呼吸. 農業環境工学関連 4 学会 2002 年合同大会講演要旨, 35.
2. 中本恭子・神近牧男・大勝圭司・早川誠而・大場和彦 (2002) : 砂丘地裸地圃場における土壌中 CO₂ 濃度分布の特徴. 同上, 42.

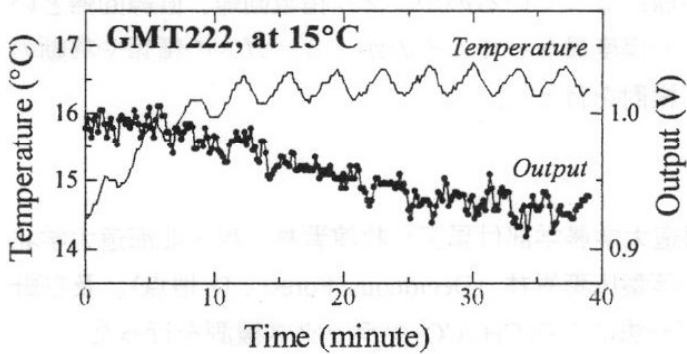


Fig.1 電源投入後の時間経過に伴うプローブの温度および出力電圧の変化 (温度の周期的な変化はインキュベーターの温度制御に伴うもの)

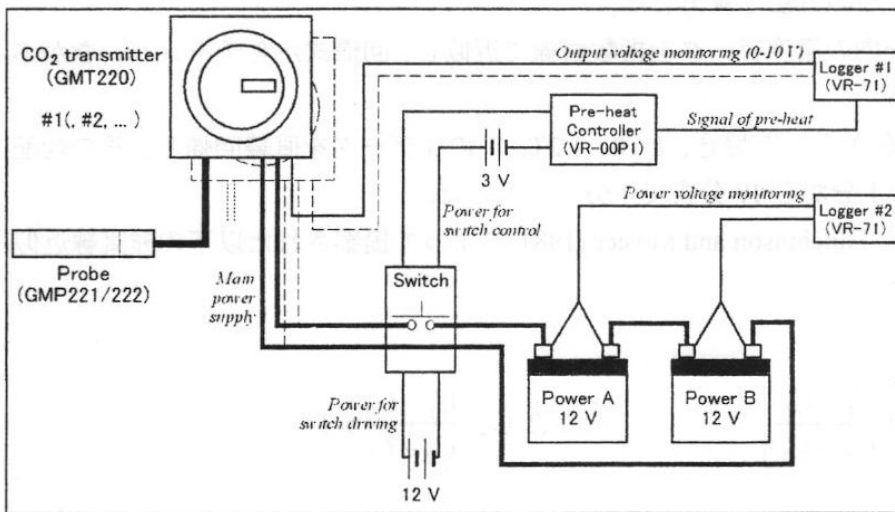


Fig.2 プレヒートシステムの配線図

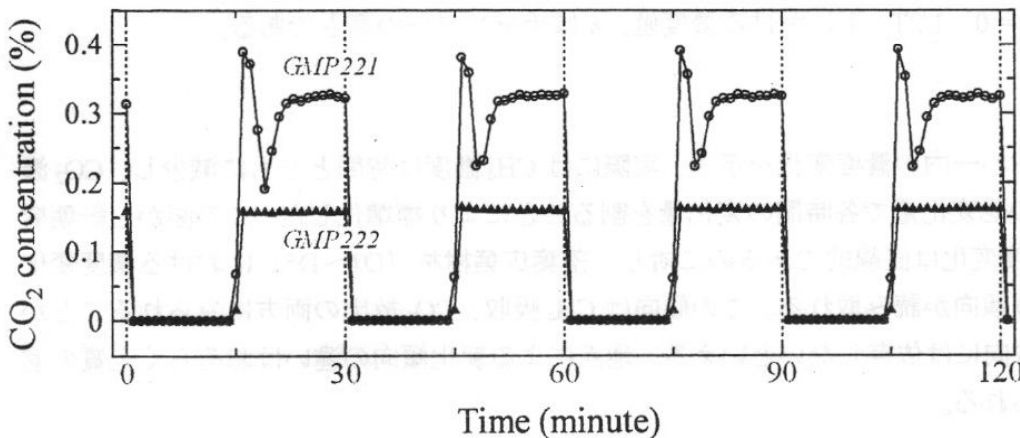


Fig.3 プレヒート中の出力値の経時変化 (測定間隔 30 分・プレヒート 15 分の場合)

密閉チャンバー法を用いた土壌-大気間のガスフラックス計算

中野智子 (都立大・地理)・澤本卓治 (農環研)・森下智陽 (北大院・農)
井上 元 (国環研)・波多野隆介 (北大・農)

1. はじめに

大気-土壌間のガスフラックスを測定する方法には様々なものがあるが、中でも密閉チャンバー法は最も簡便で、適用範囲の広い手法である。密閉チャンバー法では、チャンバー内のガス濃度変化を測定し、通常その濃度変化を直線回帰してフラックスを算出するが、ガスの移動が拡散によっている場合、ガス濃度は指数関数的に変化することが知られている。そこで、本研究では、拡散によってガスの移動が生じている森林土壌を対象として、半導体を利用した携帯型 CH_4/CO_2 濃度測定器を用いて、チャンバー内空気中の CH_4 及び CO_2 濃度を同時かつ連続的に (5 秒毎に) 測定・記録した。そこで得られたデータから、1) チャンバー内の濃度変化が実際にどの様になっているのか、2) 指数回帰、直線回帰といった計算方法の違いによって、フラックスの値がどの程度異なってくるのか、3) ガスの種類や移動の方向によって違いがあるのか、といった点について検討を行った。

2. 研究方法

2000 年 5 月 16 日・17 日の 2 日間にわたり、北海道大学農学部付属苫小牧演習林 (現・北海道大学北方生物圏フィールド科学センター苫小牧研究林) の落葉広葉樹林 (Deciduous Forest : D 地点)、及び針葉樹林 (Coniferous Forest : C 地点) で密閉チャンバー法による CH_4/CO_2 フラックス観測を行った。

CH_4 及び CO_2 フラックスは次の 3 つの方法で算出した。

- 1) 5 秒ごとに測定されたチャンバー内の濃度データを指数曲線で近似し、回帰式からチャンバーをかぶせた瞬間のフラックスを算出する。
- 2) チャンバーをかぶせている時間を T とした場合、 $t=0, 1/2T, T$ の 3 データを直線回帰し、その勾配からフラックスを算出する。 T は 1 分から 10 分まで 1 分ごととした。
- 3) 2) と同様に離散データを抽出し、Hutchinson and Mosier (1981) によって提案された以下の非直線近似式を用いてフラックスを算出した。

$$F(0) = \frac{h(C_1 - C_0)^2}{1/2 T(2C_1 - C_2 - C_0)} \ln \left[\frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_1} \right] \quad \text{ただし、} \frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_1} > 1$$

ここで、 C_0, C_1, C_2 は $t=0, 1/2T, T$ における濃度値、 h はチャンバーの高さである。

3. 結果と考察

図 1 に標準化したチャンバー内の濃度変化を示す。実際には CH_4 濃度は時間とともに減少し、 CO_2 濃度は増加したが、10 分間の総変化量で各時間の変化量を割ることにより標準化した。この図から針葉樹林 ($C1 \sim C3$) における濃度変化は直線的であるのに対し、落葉広葉樹林 ($D1 \sim D5$) における濃度変化はより曲線的であるという傾向が読み取れる。この傾向は CH_4 吸収、 CO_2 放出の両方にみられることから、ガスの種類や移動の方向には依存しないといえる。地点による変化傾向の違いはおそらく土質の違いを反映したものと考えられる。

次に上記3つの方法で算出したそれぞれのフラックス値の差異について検討した。表1にチャンバーを閉鎖した時間が10分間である場合の地点ごとに平均したフラックスの値を示す。この表から、 CH_4/CO_2 フラックスともに、直線回帰によって算出されたフラックス値(絶対値)が、指数回帰、非直線回帰によるものよりも小さくなっていること、またその傾向は針葉樹林(C地点)よりも広葉樹林(D地点)で顕著であることがわかる。D地点においては、チャンバー内の濃度変化がより指数関数的であり、直線回帰した場合のエラーが大きいものと考えられる。

引用文献

Hutchinson, G. L. and Mosier, A. R. 1981: Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 311-316.

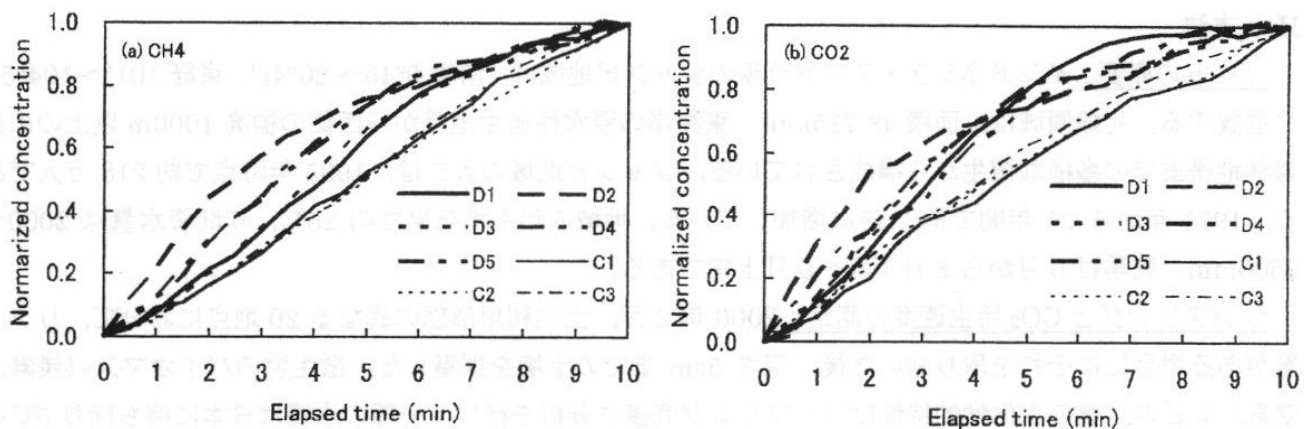


図1 標準化したチャンバー内の濃度変化. (a) CH_4 濃度, (b) CO_2 濃度.

表1 指数回帰、直線回帰、非直線回帰の3つの方法で算出した CH_4/CO_2 フラックス。チャンバーを閉鎖していた時間は10分間であり、各地点で平均したフラックスの値を示す。

Regression method	CH ₄ flux		CO ₂ flux	
	Site C	Site D	Site C	Site D
Exponential	-0.071	-0.091	74.7	125
Linear	-0.063	-0.043	51.0	48.9
Nonlinear	-0.068	-0.095	75.1	136

インドネシア・ジャンビ地域における異なる土地利用の土壤呼吸特性と微生物

バイオマスに関する室内実験

○李 載錫*・横沢正幸・米村正一郎（農業環境技術研究所，*現：国立環境研究所）

I. はじめに

近年、アジア地域では土地利用形態の変化とそれに伴う植生変化が急速に進んでいる。特に東南アジアの熱帯多雨林地域では、農耕地の拡大に伴う伐採や経済的価値の高い林産物の植林地に変化している。このような人間活動による土地利用および植生の変化は生態系の炭素循環に多大な影響を及ぼすと考えられる。このような観点から、日本をはじめとするいくつかの研究グループによって、炭素循環に関する総合的な現地観測研究が行われているが、様々な環境要因が相互的に関連する野外条件の下では、得られたデータの解析が困難な場合がある。従って、より正確な生態系の炭素循環の機構を把握するためには、現地観測とともに室内実験に基づく要因解析も必要である。

本研究では、土地利用の変化とそれに伴う植生変化が著しいインドネシア・ジャンビ地域を対象として、土地利用形態の異なる土壤について、生物化学的な特性と土壤微生物呼吸との関係を制御環境下で調べた。

II. 方法

サイトの概要：インドネシア・スマトラ島のジャンビ地域は、南緯 $0^{\circ}45'$ ～ $20^{\circ}45'$ 、東経 101° ～ $104^{\circ}55'$ に位置する。対象領域は、面積 $48,715\text{km}^2$ 、東海岸の浸水性植生地帯から西側の標高 1000m 以上の山岳森林地帯までの多様な植生から構成されている。ジャンビ地域の人口は、1995 年時点で約 218 万人であり、1971 年から 25 年間で約 2 倍に増加している。地域の年平均気温は約 25°C 、年間降水量は $2000\sim 2500\text{mm}$ 、乾季は 6 月から 8 月下旬～9 月上旬である。

サンプリングと CO_2 発生速度の測定：2000 年 2 月、土地利用形態の異なる 20 地点において、リター層がある場合にはそれを取り除いた後、深さ 5cm までの土壤を採集した。微生物のバイオマス（炭素、窒素）などの土壤の生化学的特性はサンプリング直後に分析を行い、一部の土壤は日本に持ち帰り 5°C の冷蔵庫に保管した。

各植被の土壤について、サンプル 30g を 450ml の広口ビンに入れ、最大容水量の 60% （年平均土壤水分に相当）に土壤水分を保ち、 15°C 、 25°C 、 35°C で 1 週間のインキュベーションした後、密閉してビン内の CO_2 濃度を測定した。発生速度は、密閉直後、2 時間後、および 4 時間後にそれぞれビンから空気を採取してガスクロで CO_2 濃度を測定し、その時間変化から算出した。

III. 結果と考察

図 1 は、土地利用が異なる 20 地点のサンプル土壤について、 CO_2 発生速度と微生物バイオマス（炭素量）との関係を示している。 15°C 、 25°C および 35°C のすべての場合において、発生速度とバイオマス量の間には高い線形の相関関係が存在し、とくに 25°C における決定係数が最も大きかった。この温度は当該地域の年平均気温と一致する。このように、温度を固定した場合、土壤からの CO_2 発生量は微生物バイオマス量でほぼ決まり、この関係に対して土地利用の影響は見られない。

図 2 は、4 種類の土地利用の異なる植生（1 次遷移林、林木伐採地、キャッサバ畑、オイルパーム園）について、温度と CO_2 発生速度との関係を示している。その結果、1 次遷移林、キャッサバ畑、林木伐採地、オイルパーム園の順に大きい CO_2 発生速度を示した。このことは、地上部から土壤への有機物供給量が多いほど微生物のバイオマス量も多く、ひいては呼吸速度が大きくなることから明らかである。また、発生速度の温度依存性も同じ順で高く、1 次遷移林が温度に対する感受性 (Q_{10}) が最も大きい。こ

のことは、伐採などの土地利用変化によって地表面温度が上昇した場合、放出される CO₂ 量に影響すると考えられる。生態系全体の炭素循環は地上部の生産力も併せて考えなければならないが、気候変化による生態系の炭素循環への影響評価およびその管理手法を考える場合、ここで示したような土地利用の違いによる土壌炭素動態に関する知見は重要になってくると思われる。



インドネシア・スマトラ島ジャンビの位置

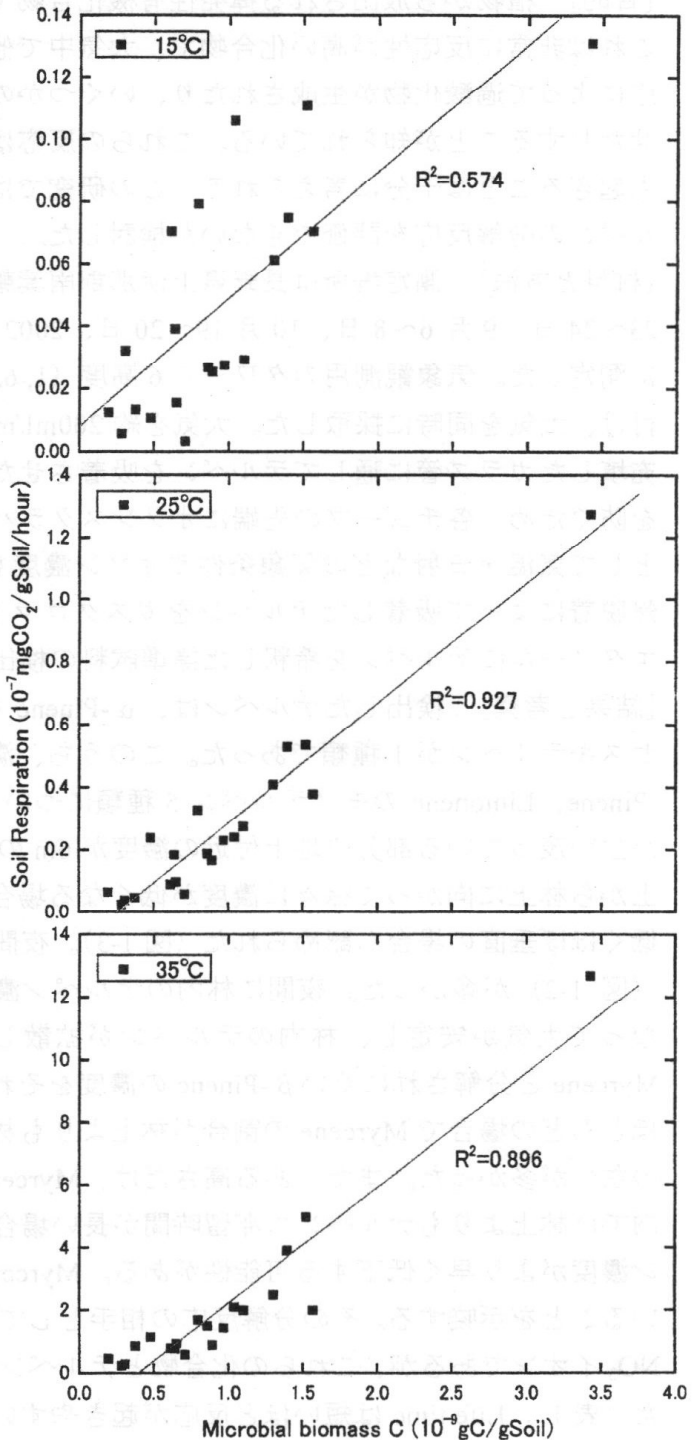


図1. 一定温度条件下における微生物バイオマスの炭素量と CO₂ 発生速度との関係

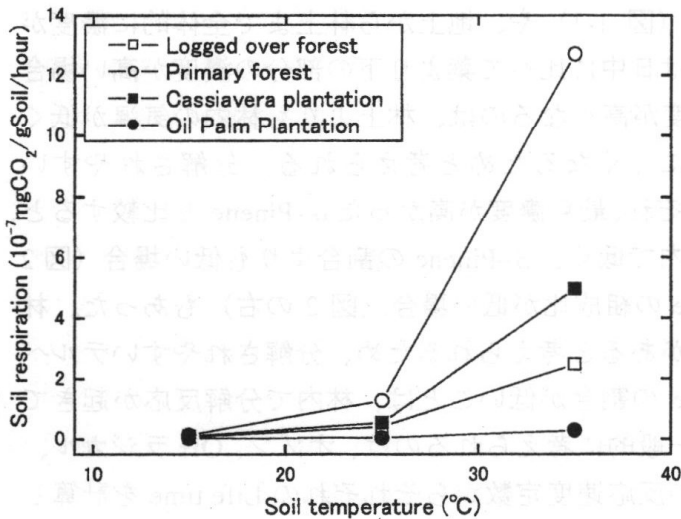


図2. 土地利用形態別の土壌からの CO₂ 発生速度の温度依存性

アカマツ林のテルペン高度分布

○野副 晋（東京農工大学大学院 連合農学研究科）

谷 晃（東海大学開発工学部），青木 正敏（東京農工大学農学部）

〔目的〕 植物から放出される揮発性有機化合物（VOC）の一種で「テルペン」という物質があるが、これは非常に反応性が高い化合物で、大気中で他の化合物と反応して分解されやすい。この分解反応によって過酸化物が生成されたり、いくつかの反応を経て結果的に大気中のオゾン濃度を増加させたりすることが知られている。これらの反応は決して林の外だけで起こるわけではなく、林内でも起きることは十分に考えられる。この研究では、テルペンの高度分布を測定し、林内で起こるテルペンの分解反応を評価できないか検討した。

〔材料と方法〕 測定場所は長野県上伊那郡南箕輪村のアカマツ林で、2001年5月26～27日、7月23～24日、9月6～8日、10月19～20日、2002年5月25～27日、6月12～15日、7月29～31日に測定した。気象観測用のタワーの6高度（1, 6, 12, 15, 17, 21m）に6本のテフロンチューブを取り付け、大気を同時に採取した。大気を約200ml/minで1時間（約12～15L）、吸着剤（Tenax TA）を充填したガラス管に通してテルペンを吸着させた。吸着剤上で起こるオゾンによるテルペンの分解を防ぐため、各チューブの先端にオゾンスクラバーを取り付けた。林内の分解反応に影響する要因として気温・日射などの気象条件やオゾン濃度も同時に測定した。ガラス管は実験室に持ち帰り、熱脱着によって吸着したテルペンをガスクロマトグラフ質量分析計に導入して分析した。定量は、エタノールにテルペンを希釈した標準試料の検出量をもとに行った。

〔結果と考察〕 検出したテルペンは、 α -Pineneなどのモノテルペンが13種と、(+)-Longifolleneのセスキテルペンが1種類であった。このうち、濃度が高かった α -Pinene、Camphene、Myrcene、 β -Pinene、Limoneneのモノテルペン5種類について高度分布を解析した（図1-1～1-4）。日中では葉が生い茂っている部分や地上付近の濃度が6mの高さの濃度よりも高い場合（図1-4）が多いが、地上から林上に向かって徐々に濃度が低くなる場合（図1-1）や、地上から林上まで全体的に濃度が低くほぼ垂直の場合も認められた（図1-3）。夜間は日中に比べて葉より下の部分の濃度が高い場合（図1-2）が多かった。夜間に林内のテルペン濃度が高くなるのは、林上よりも林内の気温が低くなって大気が安定し、林内のテルペンが拡散しにくくなるためと考えられる。分解されやすいMyrceneと分解されにくい β -Pineneの濃度をそれぞれ、最も濃度が高かった α -Pineneと比較すると、ほとんどの場合でMyrceneの割合が林上よりも林内で低く、 β -Pineneの割合よりも低い場合（図2の左）が多かった。また、ある高さだけ、Myrceneの組成比が低い場合（図2の右）もあった。林内では林上よりもテルペンの滞留時間が長い場合があると考えられるため、分解されやすいテルペン濃度がより早く低下する可能性がある。Myrceneの割合が低いことは、林内で分解反応が起きていることを示唆する。その分解反応の相手として一般的に考えられるのは、オゾン、OHラジカル、NO₃イオンであるが、これらの化合物とテルペンの反応速度定数からそれぞれのLife timeを計算した（表1）。Life timeは短いほど反応が起きやすいことになるが、このアカマツでは日中に林内でも60ppb程度のオゾン濃度が観測されているため、日中ではOHラジカルよりもオゾンとの反応が起きやすいことになる。また、夜間ではオゾン濃度が10ppb程度になるため、NO₃イオンとの反応のほうが起きやすいことがわかった。今後、オゾンだけではなくOHラジカルやNO₃イオン濃度も同時に測定し、また、エアロゾルやピノンアルデヒドなどの反応生成物の高度分布などとも比較して、林内の分解反応の程度をより詳細に評価していく必要がある。

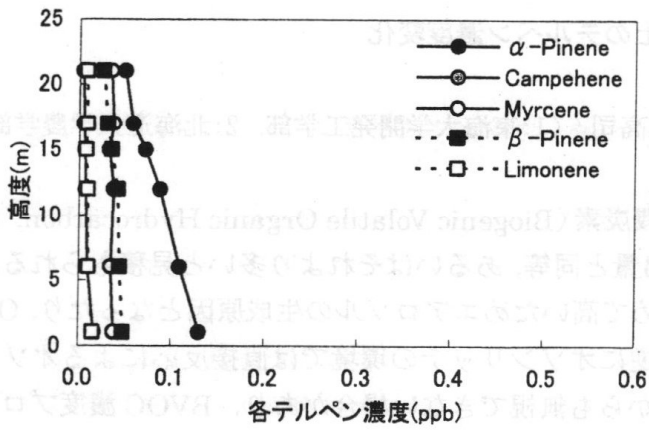


図 1-1. 2002 年 6 月 12 日 16:00~17:00 のテルペン高度分布

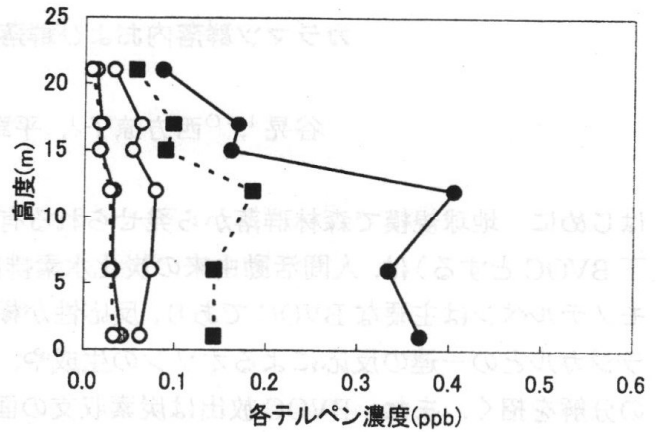


図 1-2. 2002 年 6 月 12 日 23:00~24:00 のテルペン高度分布

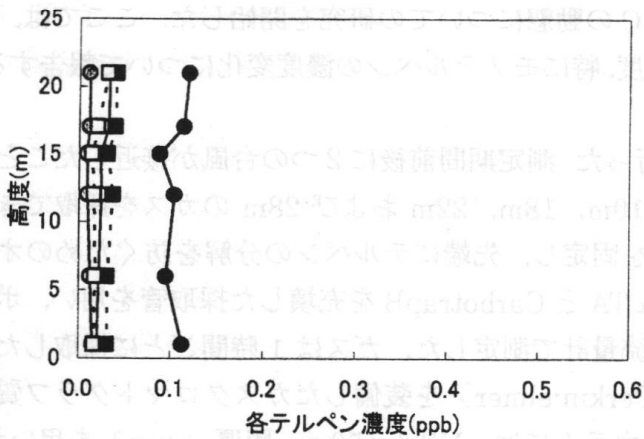


図 1-3. 2002 年 6 月 14 日 12:00~13:00 のテルペン高度分布

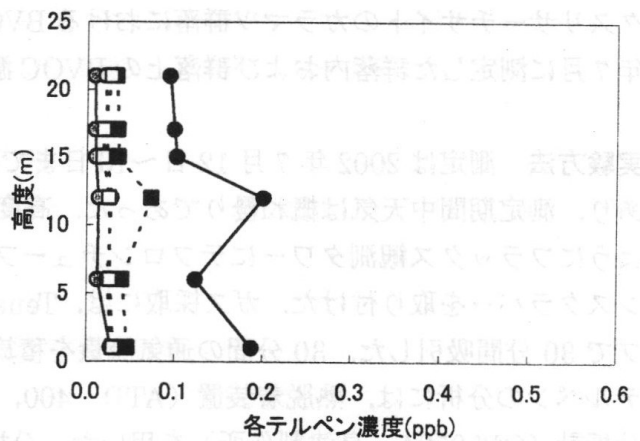


図 1-4. 2002 年 6 月 15 日 12:00~13:00 のテルペン高度分布

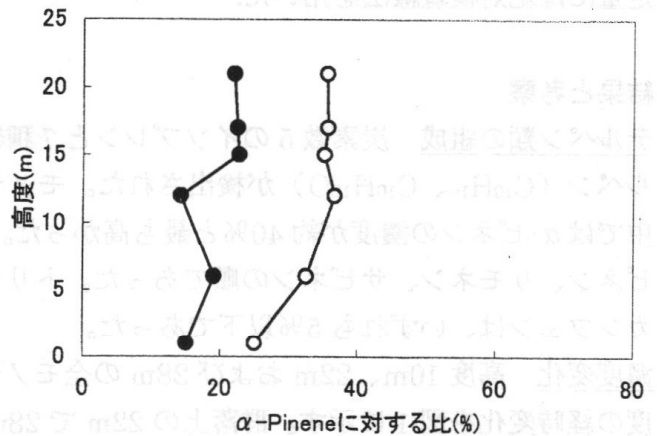
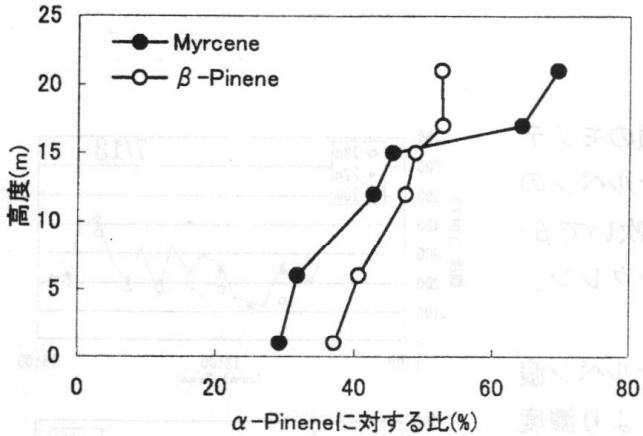


図 2. α -Pinene に対する Myrcene と β -Pinene の割合(%)

左: 2002 年 6 月 12 日 12:00~13:00, 右: 2002 年 6 月 12 日 23:00~24:00

表 1. オゾン、OH ラジカル、 NO_3 イオンに対する反応速度定数(Atkinson ら, 1997)から計算した各テルペンの Life time(h)

テルペン	オゾン (60ppb)	オゾン (10ppb)	OH ラジカル (0.02ppt)	NO_3 イオン (4ppt)
α -Pinene	2.0	12.0	10.0	0.5
Camphene	192.0	1152.3	10.5	4.2
Myrcene	0.4	2.2	2.6	0.2
β -Pinene	11.5	69.1	7.0	1.1
Limonene	0.9	5.2	3.2	0.2

オゾン濃度の 60ppb と 10ppb は、それぞれアカマツ林の夜間、および日中の一般的な濃度
OH ラジカルと NO_3 イオンの濃度は、文献値(Atkinson ら, 1997)を参考にした

カラマツ群落内および群落上のテルペン濃度変化

谷晃¹, 〇西方涼子¹, 平野高司² (1:東海大学開発工学部, 2:北海道大学農学部)

はじめに 地球規模で森林群落から発せられる有機炭素 (Biogenic Volatile Organic Hydrocarbon, 以下 BVOC とする) は, 人間活動由来の炭化水素排出量と同等, あるいはそれより多いと見積もられる。モノテルペンは主要な BVOC であり, 反応性が極めて高いためエアロゾルの生成原因となったり, OH ラジカルとの一連の反応によるオゾンの生成や, 逆にオゾンリッチの環境では直接反応によるオゾンの分解を招く。また, BVOC 放出は炭素収支の面からも無視できない場合があり, BVOC 濃度プロファイルや放出フラックスの詳細なデータを収集する必要がある。発表者らは今年度から苫小牧フラックスリサーチサイトのカラマツ群落における BVOC の動態についての研究を開始した。ここでは, 今年7月に測定した群落内および群落上の BVOC 濃度, 特にモノテルペンの濃度変化について報告する。

実験方法 測定は2002年7月12日~16日まで行った。測定期間前後に2つの台風が接近したこともあり, 測定期間中天気は概ね曇りであった。高度10m, 18m, 22m および28m のガスを採取できるようにフラックス観測タワーにテフロンチューブを固定し, 先端にテルペンの分解を防ぐためのオゾンスクラバーを取り付けた。ガス採取には, Tenax TA と CarbotrapB を充填した採取管を用い, ポンプで30分間吸引した。30分間の通気流量を積算流量計で測定した。ガスは1時間ごとに採取した。テルペンの分析には, 熱脱着装置 (ATD-400, Perkin-elmer) を装備したガスクロマトグラフ質量分析計 (QP5050A, 島津製作所) を用いた。分析カラムには, NB-1 (50m, 膜厚1 μ m) を用いた。定量には絶対検量線法を用いた。

結果と考察

テルペン類の組成 炭素数5のイソプレンと7種類のモノテルペン ($C_{10}H_{16}$, $C_{10}H_{16}O$) が検出された。モノテルペンの中では α -ピネンの濃度が約40%と最も高かった。次いで β -ピネン、リモネン、サビネンの順であった。トリシクレン、カンフェンは、いずれも5%以下であった。

濃度変化 高度10m, 22m および28m の全モノテルペン濃度の経時変化を図1に示す。群落上の22mで28mより濃度が高い場合が多く, モノテルペンが森林群落から上空へ輸送されていることがわかる。キャノピー下部の空気層に相当する高度10mの濃度のみ連続的に測定したが, 7月15日の測定では, 早朝に濃度が高く, 午後日射が弱まると再び濃度が高まった。これは, この期間にモノテルペンがキャノピー下部の空気層に貯まっていることを示す。モノテルペンの発散速度を求めるには貯留を考慮する必要がある。イソプレンは同様な濃度変化を示したが, 雨天の14日に濃度が著しく低く, その放出が光に依存した放出であることが予測される。

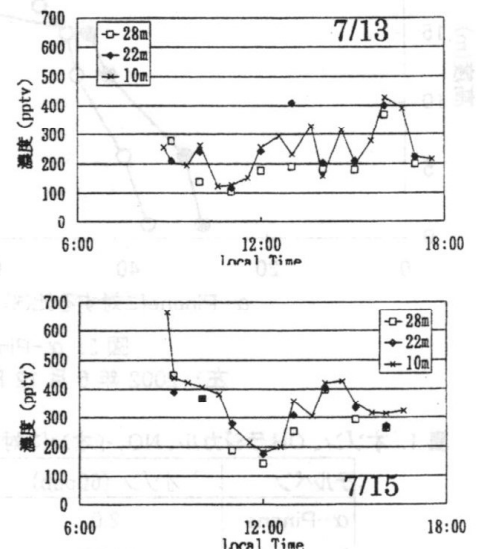


図1 高度10m, 22m および28m の全モノテルペン濃度の経時変化

○安田幸生・渡辺 力・岡野通明 (森林総研)

1. はじめに

森林生態系の CO₂ 交換量を予測するためには、キャノピー葉群の CO₂ 交換をモデル化する必要がある。葉群の CO₂ 交換をモデル化するためには、まず個葉レベルの CO₂ 交換をモデル化し、その個葉モデルを葉群レベルの CO₂ 交換を予測するモデルへ拡張するという方法がある。この方法では、植物の環境応答が葉群 CO₂ 交換量の計算に直接反映されるので、より良い予測が可能になると考えている。今回は、Farquhar の個葉光合成モデルとキャノピー層内の日射量分布を用いて、落葉広葉樹林におけるキャノピー葉群 CO₂ 交換量の計算を試みたので、その結果について報告する。

2. 方法

Farquhar et al.(1980)は個葉の正味 CO₂ 交換速度(A_n)をつぎのようなモデルで表した。

$$A_n = \min\{W_j, W_c\} - R_d$$

ここで、 W_j ・ W_c は電子伝達速度に制限されるとき CO₂ 吸収速度および RuBP (リブローズ 2リン酸) が飽和しているときの CO₂ 吸収速度、 R_d は呼吸による CO₂ 放出速度。つまりこれは、光合成の明反応と暗反応のどちらか遅い反応が個葉の CO₂ 吸収速度を律速することを表現したものである。この個葉モデルを用いて CO₂ 交換速度をもとめるためには、最大カルボキシル化速度 V_{max} や最大電子伝達速度 J_{max} などのパラメータ値が必要となる。パラメータ値は実測された個葉の CO₂ 交換速度に対して、Farquhar モデルを最もよく適合するようにフィッティングさせることにより得ることができる (図 1)。

キャノピー層内の日射量分布の計算には、渡辺・大谷(1995)の放射伝達モデルを用いた。これにより、キャノピー頂部の日射量から、ある葉面積深さにおける日向の葉と日陰の葉が受ける光量を算出できる。この受光量と温度・湿度条件が与えられると葉面積深さ毎に個葉の正味 CO₂ 交換速度が算出でき、さらにキャノピーの全葉面積分の積算をすることにより葉群の正味 CO₂ 交換速度を予測できる。本報告ではキャノピー葉群を日向と日陰の部分に分けて CO₂ 交換速度の計算を行なった (キャノピーの葉面積指数は 5 とした)。

3. 結果

図 2 に実測と計算による個葉の CO₂ 交換速度 (吸収が正值) の比較を示す。両者がよく一致していることから、個葉光合成モデルが妥当であることがわかる。図 3 では葉群の正味 CO₂ 交換速度の日変化を全葉群・日向部分・日陰部分に分けて示した。今回の計算では全天日射に対する散乱日射の比を 0.2 としているため、日陰部分の値が小さめに見積もられている可能性がある。日向部分の CO₂ 交換速度は、日中、ほぼ一定になる傾向がみられた。キャノピー上の光合成有効光量子束密度 (PPFD) と葉群 CO₂ 交換速度の関係を図 4 に示す。日向の CO₂ 交換速度は強光条件下で飽和に達しているが、日陰の交換速度は PPFD の増加に対して直線的に増加している。このため、全葉群の CO₂ 交換速度は強光条件下においても PPFD の増加にともない増加している。最後に、LAI 値を変化させてモデル計算することにより、正味 CO₂ 交換量を最大にする葉面積指数 (最適葉面積指数) の推定を行なった (図 5)。キャノピー葉群の最適葉面積指数は約 6 であった。

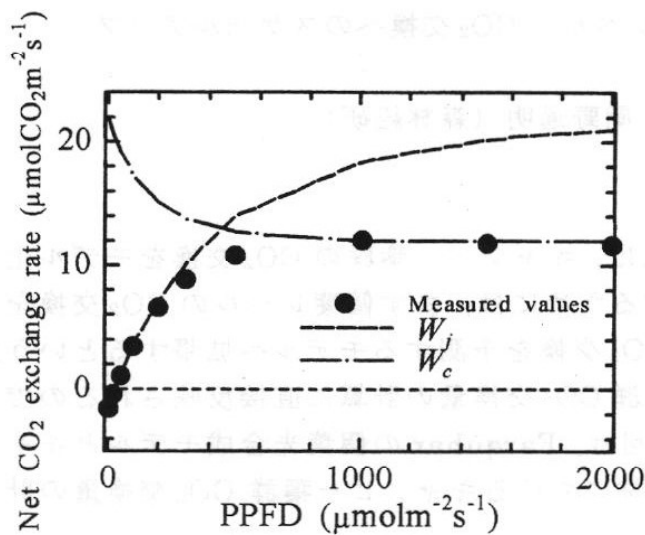


図1 個葉のCO₂交換速度とFarquharモデルの近似
 実測値は2000年7月17日に、森林総研川越森
 林気象試験地のコナラ葉で測定したもの。

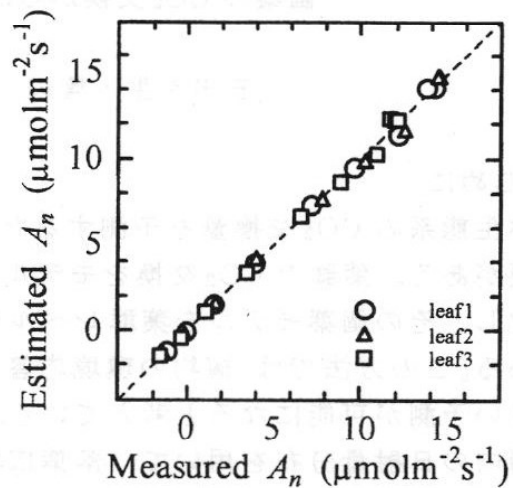


図2 個葉CO₂交換速度の実測値と計算
 値の比較

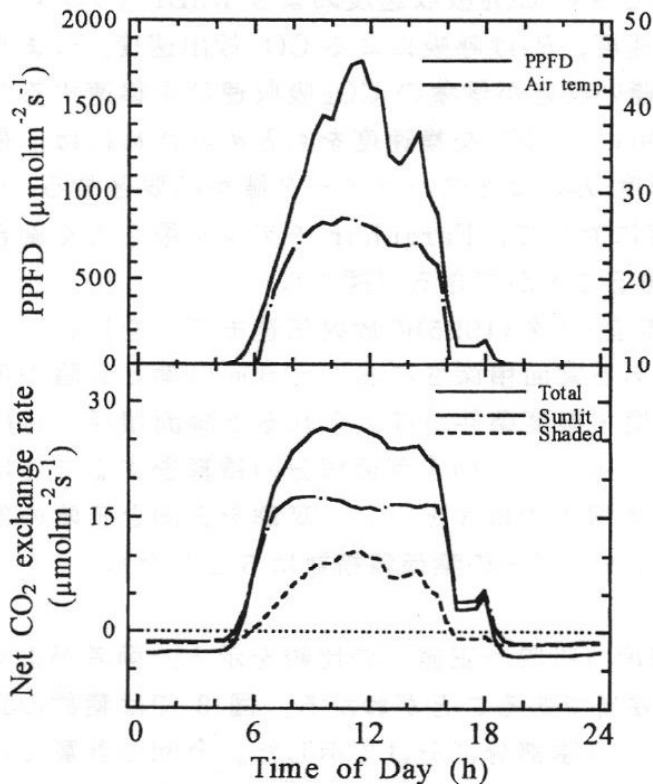


図3 計算に用いられた光合成有効量子束密
 度(PPFD)・温度の日変化(上図)とキャノ
 ピー葉群の正味CO₂交換速度(下図)
 気象データは2000年7月17日に川越森林
 気象試験地で得られたもの。

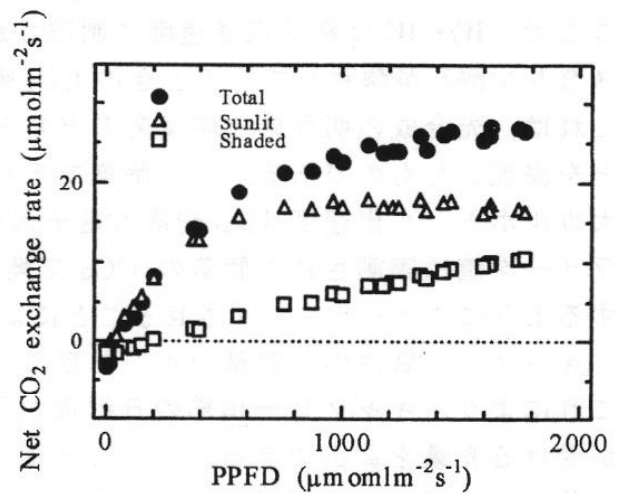


図4 葉群の正味CO₂交換速度のPPFDに
 対する反応

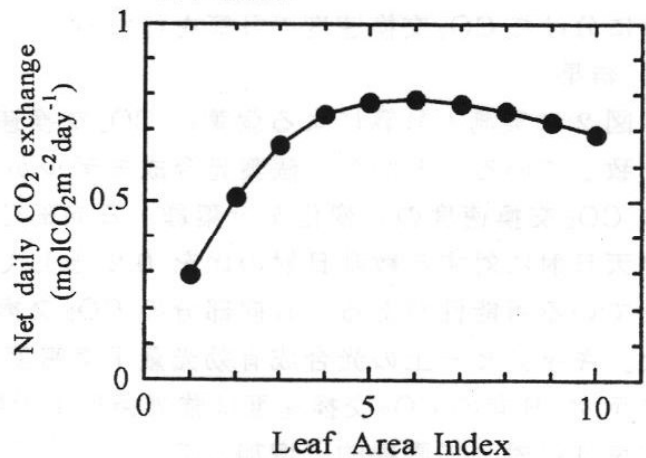


図5 葉面積指数と葉群の正味CO₂交換量
 の関係(最適葉面積指数の推定)

引用文献:Farquhar et al.(1980), Planta 149, 78-90
 渡辺・大谷(1995), 農業気象 51, 57-60

乱流変動法による森林生態系純生産量の測定

—富士吉田アカマツ林—

大谷義一, 溝口康子, 渡辺 力, 安田幸生 (森林総合研究所)

戸田 求 (科学技術特別研究員)

1. はじめに

森林生態系の CO₂ 吸収量は, 温暖化防止に関連した社会的な要請と, 森林の炭素循環に対する科学的な関心から, 世界各国で観測研究が行われている. その中で東アジアに位置する我が国の森林サイトは, 比較的温暖多雨な気候に立地するという点で, 既往の北アメリカやヨーロッパのサイトに対して特徴づけられる. また, 平坦な森林を求めることが難しいという現実から, 必然的に複雑地形上のフラックスを解明すると命題を担うことになる. 本報で紹介する富士吉田市のアカマツ林は比較的一様な緩斜面上にあり, 風向を選べばフェッチも長いことから, 森林群落のエネルギーや CO₂ 輸送過程や収支を観測・研究するサイトとしては, 比較的条件に恵まれていると思われる. 冷温帯の常緑針葉樹林 (アカマツ林) を対象に 1999 年に開始した森林生態系の CO₂ 吸収量の観測概要と, 生態系純 CO₂ 交換量の季節変化について報告する.

2. 観測サイトの概要

観測を行った森林は, 山梨県富士吉田市の山梨県環境科学研究所構内 35°27'N, 138°46'E に位置する. 富士山北麓の剣丸尾溶岩流上に成立する面積約 36km² の常緑針葉樹天然林 (アカマツ林) 内にあり, 周辺の地形は傾斜 3.5° のほぼ一様な北向きの緩斜面で, タワー位置の標高は 1030m である. 土壌の発達が悪く, 基岩である溶岩のくぼみに A₀ 層がみられるほかは A 層, B 層を欠き, ところどころに溶岩が露出する. 常緑針葉樹林を構成する樹種はアカマツを主体とし, 中層以下にソヨゴ, ミツバツツジ, ミズナラ, ダンコウバイなどの常緑・落葉広葉樹が混交する. 群落高は約 19m で, 上部樹冠を構成するアカマツの胸高直径は約 30cm, 林齢は約 80 年である. プラントキャノピー・アナライザ (LI-2000/LI-COR) を用いて測定した群落の葉面積指数は, 3.1(12月)~5.0(7月)である. 試験地周辺の年降水量と年平均気温の平年値は, それぞれ 1505.6mm, 10.1°C (河口湖測候所) である.

3. 微気象観測

試験地に高さ 32m のアルミ足場製の微気象観測タワー (図 1) を設置した. 観測項目は, クローズドパス型赤外線ガス分析計を使用した乱流変動法による森林群落上の CO₂, 顕熱, 潜熱フラックスを主体に, 表 1 に示す要素を測定した.

3.1 CO₂ フラックス測定

超音波風速温度計などの乱流変動法に用いるセンサは, 観測タワーの高さ 26m に設置した (図 2). ここから内径 6mm のテフロンチューブ (長さ約 40m) で大気を吸引し, 観測小屋に設置した赤外線ガス分析計で CO₂ 濃度変化を測定した.

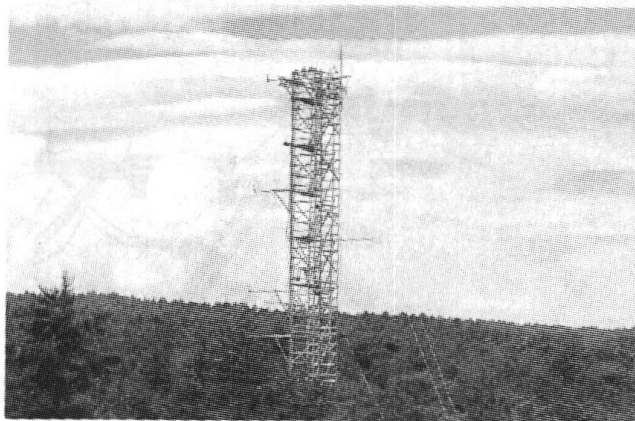


図 1 微気象観測タワー (32m)

また、CO₂貯留変化量を測定するため、高さ26m以下林床付近までの5高度から大気を吸引し、別の赤外線ガス分析計でCO₂濃度を測定した(図3)。CO₂濃度がそれぞれ0ppm、400~450ppmの2種類の標準ガスを用いて、1日1回23:40~23:50に赤外線ガス分析計のキャリブレーションを行い、データを校正した。クローズドパス型赤外線ガス分析計を使用したCO₂フラックス測定システムを図4に示す。

変動値を測定するための乱流観測系のデータは、カットオフ周波数が24Hzの低域フィルタ

表1 観測に使用した測器

乱流変動法による顕熱・潜熱・CO₂フラックス(測定高度26m)

風速・気温変動：超音波風速温度計(DAT-600/KAIJO)；CO₂濃度変動：Closed-path型赤外線ガス分析計(LI-6262/LI-COR)
 湿度変動：温度湿度計(HMP-45A/VAISALA)；気圧変動：気圧計(PTB-210/VALSALA)；大気サンブラ(DSE-01A/Dylec)
 群落下部CO₂濃度プロファイル(5高度)：Closed-path型赤外線ガス分析計(LI-6262/LI-COR)；大気サンブラ(DSG-08A/Dylec)

微気象要素

群落下部の上・下向き放射：全天日射計(CM-6F/Kipp&Zonen)，長波放射計(PIR/EP-Lab)，PPFD(LI-190SA/LI-COR)
 群落下部の下向き放射：全天日射計(CM-03/Kipp&Zonen)，PPFD(3点)(LI-190SA/LI-COR)
 群落下部の正味放射：正味放射計(Q*7/Rebs)
 気温・湿度プロファイル(8高度)：温度湿度計(通風)(HMP-45D/VAISALA)；風速プロファイル(8高度)(WM-30P/IKEDA)
 気圧：気圧計(PTB-100/VAISALA)，風向(A-802/YOKOGAWA)，地中熱流：熱流板(MF-81/EKO)
 地温プロファイル(6深度)：熱電対温度計；土壌水分(4点)：土壌水分計(EQ2/DELTA-T)
 降水量(林外)：ヒータ付溢水式雨量計(B-071/YOKOGAWA)；積雪深(林内，林外)：雪尺

その他

樹液流束：Granier型樹液流速計(3点)(TDP-30，TDP-80/DELTA-T)

不定期測定要素

水蒸気・CO₂濃度変動：Open-path型赤外線ガス分析計(LI-7500/LI-COR)；葉面積：葉面積計(LAI-2000/LI-COR)

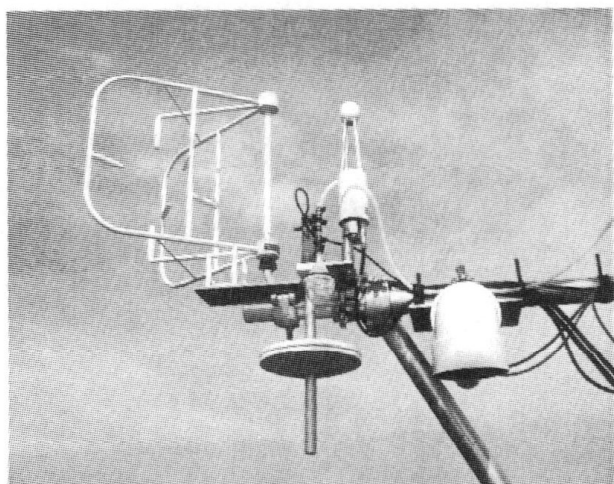


図2 タワーに取り付けられたフラックス測定用測器群(左から超音波風速温度計，気圧計，大気吸引口，オープンパス型赤外線ガス分析計，温度湿度計)

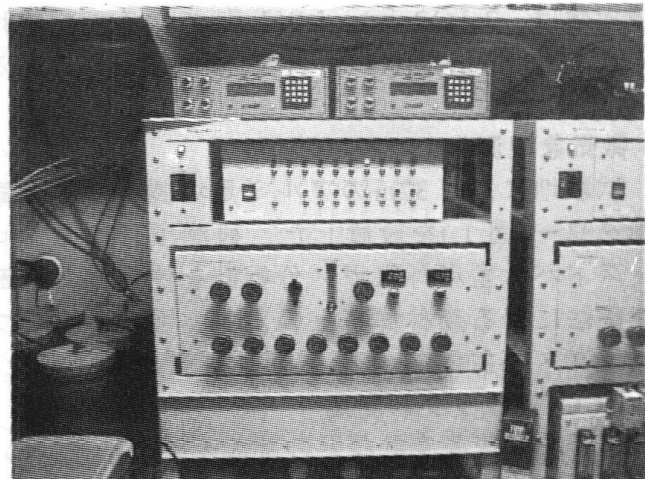


図3 観測小屋内に設置されたクローズドパス型赤外線ガス分析計と大気サンブラ

を通過した信号を、光磁気ディスクを搭載したデータロガー(DR-M3b/TEAC)を使用して5Hzで記録した。また、CO₂貯留変化量の測定は、PCで測定高度切り替えのための電磁弁・ポンプを制御しながら、赤外線ガスアナライザの出力を収録した。1高度当たり2minの所要時間で5高度をスキャンし、10minで1ラウンドの測定が完了する。その他の微気象等要素は、データロガー(CADAC-2/ ETO Denki)を用いて20s間隔で測定し、5minの平均値をPCのハードディスクに記録した。記録されたデータを2~3週間隔で回収し、研究室で解析を行った。

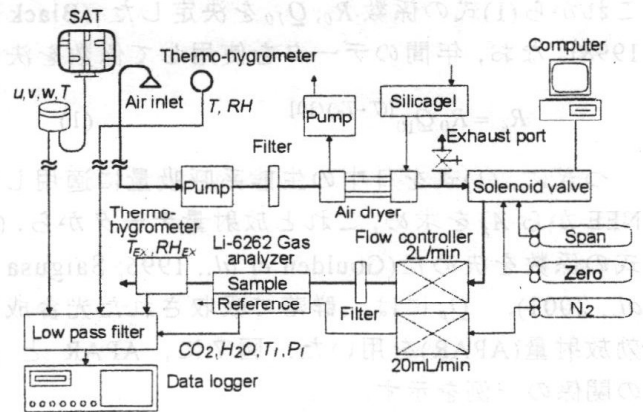


図4 クローズドパス型赤外線ガス分析計を使用したCO₂フラックス測定システム

4. データ処理

4.1 フラックスの計算

フラックス計算の平均化時間は30minとした。風速場の3次元座標変換(McMillen, 1988)を行ってw'を分離し、スカラ量はリニアトレンドを除去して変動値を分離した。

クローズドパス型のCO₂フラックス測定では、大気吸引に伴う遅れ時間を見積もる必要がある。この遅れ時間は、計算の中でw'とc'の相互相関から、観測期間毎にDay of year (DOY)の関数として求めた。大気吸引の流量10Lmin⁻¹で8s~10sの遅れ時間となり、この状態で安定してCO₂フラックスを測定できた。また、CO₂フラックス、顕熱フラックスそれぞれのコスペクトルを比較することで、チューブ、ガス分析計カラムなどの測定系内で生じるCO₂フラックスの高域減衰の影響を総合的に評価し、高域減衰関数(図5)を観測期間毎に決定して、周波数領域でCO₂フラックスの補正を行った(Ohtani *et al.*, 2001a)。なお、観測システムでは吸引された空気中の水蒸気をCO₂濃度測定前に除去しているが、WPL補正(Webb *et al.*, 1980)の補正項を毎回計算し、CO₂フラックスに対する水蒸気の影響が無視できることを確認した。

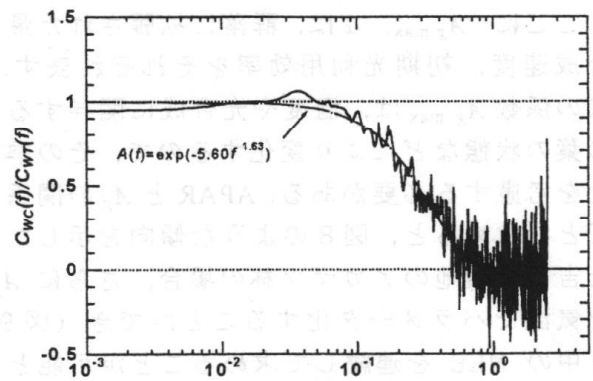


図5 CO₂フラックスの高域減衰と減衰関数の例

生態系純CO₂交換量(NEE; N_e)は、CO₂フラックス(F_c)とCO₂貯留変化量(S_c)から、 $N_e = F_c + S_c$ で求めた。NEEの符号は F_c の符号と同一で、CO₂が群落から大気へ放出された場合を正とした。

潜熱フラックスは、通常は応答速度の比較的遅いセラミック型の温度湿度計(HMP-45A/VAISALA)を使用したバンドパス・コバリエンス法によって求め、集中観測時にオープンパス型赤外線ガス分析計(LI-7500/LI-COR)によるフラックスの値と比較した。

4.2 欠測値の補完

NEEの補完には、(1)式、(2)式のパラメタリゼーションを用いた。生態系総生産量(A_g)、生態系呼吸量(R_e)とNEE(N_e)の間には、 $N_e = -A_g + R_e$ の関係がある。夜間の生態系総生産量は0なので、生態系の呼吸量そのままNEEとなる。まず、夜間の気温(T)とNEEの関係をプロットし(図6)、

これから(1)式の係数 R_0, Q_{10} を決定した (Black *et al.*, 1996; Greco and Baldocchi, 1996; Lindroth *et al.*, 1998). なお, 年間のデータを使用して係数を決めため, R_0, Q_{10} の季節変化は反映されていない.

$$R_e = R_0 Q_{10}^{(T-T_0)/10} \quad (1)$$

つぎに, (1)式を日中の生態系呼吸量に適用して NEE から A_g を求め, これと放射量データから, (2)式の係数を決定した (Goulden *et al.*, 1996; Saigusa *et al.*, 2001). Q_p には, 群落で吸収された光合成有効放射量 (APAR) を用いた. 図 7 に, APAR と A_g の関係の一例を示す.

$$A_g = \frac{A_{g \max} \cdot Q_p}{(A_{g \max} / \alpha) + Q_p} \quad (2)$$

ここに, $A_{g \max}, \alpha$ は, 群落に拡張された最大光合成速度, 初期光利用効率をそれぞれ表す. (2)式の係数 $A_{g \max}$ は, 温度や光合成に関与する群落の葉の状態などにより変化するので, その季節変化を考慮する必要がある. APAR と A_g の関係を月ごとに求めると, 図 8 のような傾向を示した. 富士吉田試験地のアカマツ林の場合, さらに $A_{g \max}$ を気温でパラメータ化することができ (図 9), 日中の NEE を連続して求めることが可能となった (大谷, 2002).

これより, Q_p と T の測定値が得られている場合は, (1)式, (2)式から NEE の推定値を求め, 得られていない場合は, 河口湖 AMeDAS の日照時間と気温データから観測地点の APAR と気温の推

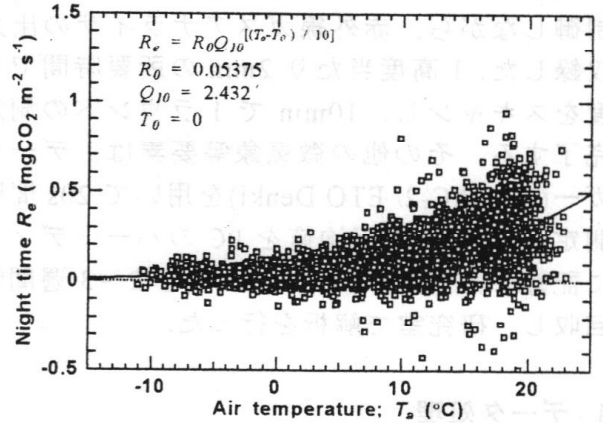


図 6 気温と生態系呼吸量の関係

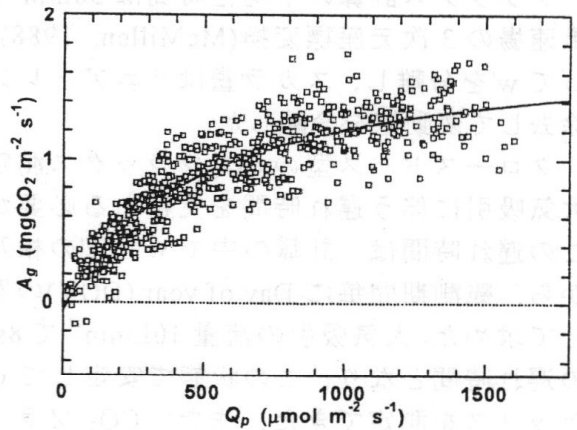


図 7 放射量と群落総生産量の関係

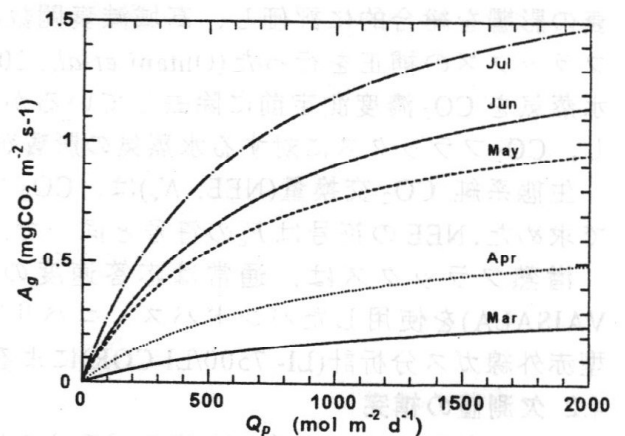
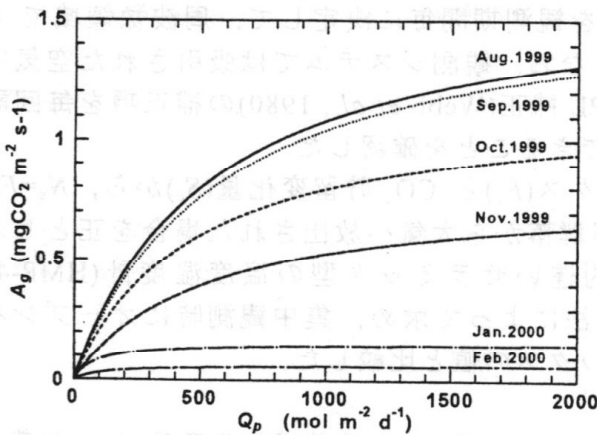


図 8 月別の放射量と群落総生産量の関係

定を経て A_g , R_e を求めた(Ohtani *et al.*, 2001b). 欠測値の補完は 30 分データに対して行った.

5. 生態系純 CO₂ 交換量の季節変化と変動要因

暦年 2000 年の気温, 全天日射量, 降水量, 生態系純 CO₂ 交換量の季節変化を図 10 に示す. 横軸は週を表し, S_d , P , NEE は週単位の量で示した.

アカマツの葉の寿命は 2~3 年であるため, 樹冠には 1 年を通じて緑の葉が存在するが, 最大葉量の 1/2~1/3 が 1 年間に入れ替わる. 1999 年から 2000 年にかけて, 試験地では 11 月頃にアカマツの落葉が見られ, 5 月上旬に新葉の展開が始まった.

富士吉田のアカマツ林では, 森林から大気へ CO₂ が連続して放出(正の NEE)される期間は, ほぼ 1 月中旬から 3 月上旬までで, その値は $2.9 \sim 3.8 \text{ gC m}^{-2} \text{ week}^{-1}$ ($1.5 \sim 2 \text{ gCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) であった. これより, アカマツ林は試験地周辺の落葉広葉樹林に比べて, 休眠期間が短いことが推察される. それ以外の期間は概ね森林によって CO₂ が吸収され, 気温が低く呼吸量が少ない 4 月上旬から 6 月上旬に大きな CO₂ 吸収量(負の NEE)が観測された. CO₂ 吸収量は 5 月下旬に約 $23 \text{ gC m}^{-2} \text{ week}^{-1}$ に達し, それ以降, 気温の上昇による生態系呼吸量の増加にともなって, 森林の正味 CO₂ 吸収量は減少した.

この間, 気温は比較的緩やかに変化しているのに対し放射量の変動は大きく, 16 週, 20 週, 24 週, 26 週, 33 週, 37 週に見られる NEE の増加(生態系純生産量 NEP の減少)は, 日射量の減少と良く対応していることから, NEE の大きな変動は主に放射量の変化によると考えられた. とりわけ, 26 週, 37 週には NEE が 0 あるいは正まで増加し, 呼吸量が多い暖候季の日射量減少が年間の NEP に大きな影響を与えることが示唆された.

なお, 現在データの Quality control を行って, 解析データを見直しており, ここに示した値は, 今後の詳細な検討によって, 修正される可能性がある. 試験地において連続測定体制が確立されたので, 今後は乱流変動法の適用に伴う各種補正をその必要性も含めて検討し, CO₂ フラックスの測定精度を確保しつつデータを蓄積する予定である.

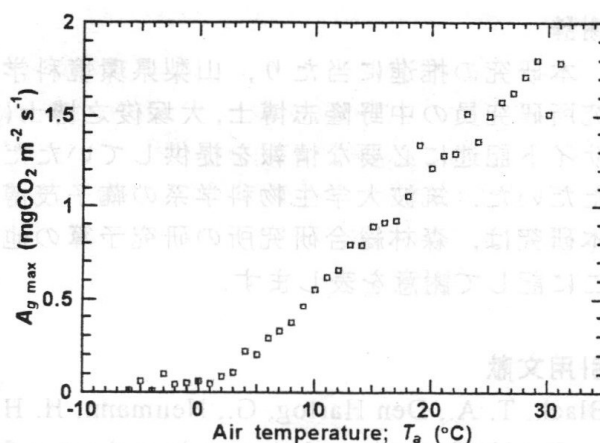


図 9 気温と $A_{g \text{ max}}$ の関係

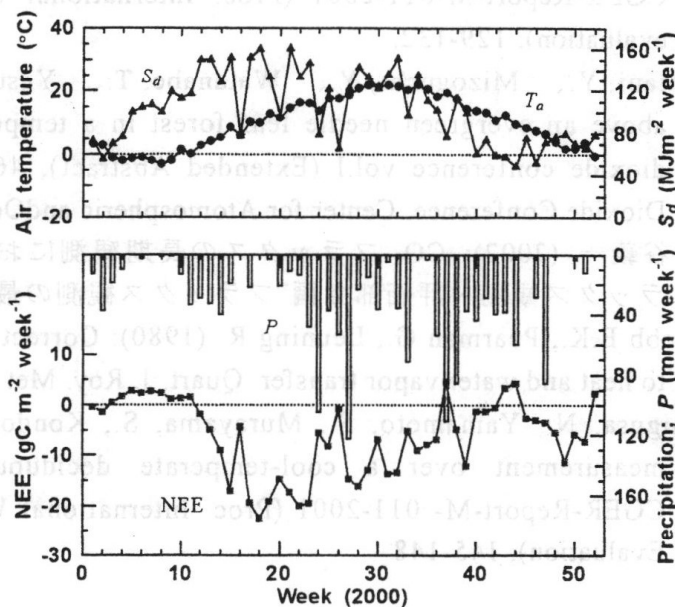


図 10 気温 (T_a), 全天日射量 (S_d), 降水量 (P), 生態系純 CO₂ 交換量 (NEE) の季節変化 (富士吉田試験地, 2000 年)

謝辞

本研究の推進に当たり、山梨県環境科学研究所に試験地を提供していただいた。また、同研究所研究員の中野隆志博士、大塚俊之博士には、試験地の維持全般に渡り御高配頂くとともに、サイト記述に必要な情報を提供していただき、元助手の安部良子氏にはシステム保守をしていただいた。筑波大学生物科学系の鞠子茂博士には、試験地設定に際して御配慮をいただいた。本研究は、森林総合研究所の研究予算の他、環境省地球環境研究予算を得て実施している。ここに記して謝意を表します。

引用文献

- Black, T. A., Den Hartog, G., Neumann, H. H. *et al.* (1996): Annual cycles of water vapor and carbon dioxide fluxes in and above a boreal aspen forest. *Global Change Biology*, 2, 219-229
- Goulden, M. L., Munger, J. W., Fan, S. M., Daube, B. C., and Wofsy, S. C. (1996): Measurement of carbon storage by long-term eddy correlation: Methods and a critical assessment of accuracy. *Global Change Biol.*, 2, 169-182
- Greco, S., and Baldocchi, D. D. (1996): Seasonal variations of CO₂ and water vapor exchange rates over a temperate deciduous forest. *Global Change Biol.*, 2, 183-198
- Lyndroth, A., Grelle, and A., Moren, A. S. (1998): Long-term measurements of boreal forest carbon balance reveal large temperature sensitivity. *Global Change Biol.*, 4, 443-450
- McMillen R.T. (1988): An eddy correlation technique with extended applicability to non-simple terrain. *Boundary-Layer Meteorol.* 43, 231-245.
- Ohtani Y., Mizoguchi Y., Watanabe T., Yasuda Y., and Okano M. (2001a): Seasonal change of CO₂ flux above an evergreen needle leaf forest in temperate region, Fujiyoshida, Japan. CGER-Report-M-011-2001 (Proc. International workshop for advanced flux network and flux evaluation), 129-132.
- Ohtani, Y., Mizoguchi, Y., Watanabe, T., Yasuda, Y., Toda, M. (2001b): Carbon dioxide flux above an evergreen needle leaf forest in a temperate region of Japan., 6th International carbon dioxide conference vol.I (Extended Abstract), 469-472, Organizing Committee of Sixth Carbon Dioxide Conference, Center for Atmospheric and Oceanic Studies, Tohoku University
- 大谷義一 (2002): CO₂ フラックスの長期観測における欠測データの補間 (日本農業気象学会フラックス観測・評価部会編"フラックス観測の最近の進歩"), 37-41
- Webb E.K., Pearman G., Leuning R. (1980): Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 106, 85-100.
- Saigusa, N., Yamamoto, S., Murayama, S., Kondo, H., and Gamo, M. (2001): A long-term flux measurement over a cool-temperate deciduous forest by the eddy covariance method. CGER-Report-M- 011-2001 (Proc. International Workshop for Advanced Flux Network and Flux Evaluation), 145-148

高地アカマツ林における炭素循環過程 —生態学的手法による炭素固定量の推定—

大塚俊之・安部良子(山梨県環境科学研究所・植物生態学研究室)

1. はじめに

平成9年12月の気候変動枠組条約第3回締約国会議(通称京都会議)の決議を受けて、人間活動に伴う二酸化炭素の削減およびその固定・吸収量増大のための対策技術の定量的評価が緊急の課題となっている。しかし陸域生態系、特に森林での二酸化炭素の収支についての研究が不足しているために、現在のところ大気中の二酸化炭素の将来推移に関する予測は困難を極める状況にある。岐阜大学高山試験地での先駆的な研究から、正味のCO₂吸収量を示す生態系純生産量(NEP)は年によりかなり変動することが明らかとなり(Yamamoto *et al.* 1999)、今後のモデリング研究等に重大なインパクトを与えた。このため近年になって、アジア各地の様々な陸上生態系でタワー観測を利用した微気象学的手法によるNEP(NEE)の測定が始まり、本研究所に隣接する剣丸尾アカマツ林においても1999年から森林総合研究所による調査がすでに始まっている(Ohtani *et al.* 2001)。

森林生態系の年間NEPの正確な推定と年変動メカニズムの解明のためには、タワー観測を使った微気象学的手法による測定と連動して、生物の機能変化を直接調べる生態学的手法による調査を行うことが必要となる。NEPは植物の純一次生産量(NPP)から土壌呼吸量(厳密には根の呼吸量を除いた土壌微生物の呼吸量)を差し引いたものであり、植物の物質生産による有機物の蓄積速度と、土壌微生物による土壌有機物の分解速度のバランスで決まっている。そこで、本研究ではタワーフラックス測定と連動した生態学的手法によるNEPの連続測定を目指し、その年変動メカニズムを解明するための基礎データを得ることを目的としている。本発表では、まず第一に年間純一次生産量(ANPP)の連続測定および、生態学的手法で推定したNEPについて報告する。

2. 方法

2-1. 調査地

調査地は富士北麓の剣丸尾溶岩流上に成立したアカマツ林である。剣丸尾溶岩は西暦937年に富士山の北麓の割れ目火口より流出したとされ(小山1998)、現在では標高850~1200m、面積約520haの広範囲にアカマツ林が存在している。剣丸尾アカマツ林の林齢は約90年であり、その土壌は蓄積したアカマツのリターと腐植からなる未成熟土壌で、土壌学的な層構造はほとんど観察されない。剣丸尾溶岩流上の立地は江戸時代から柴刈りな

どに利用されてきた入会地であり、長い間草原や低木林として維持されていたと考えられる。しかし明治維新での所有権の混乱から濫伐・盗伐が行われ、一時的にかなり荒廃したことが知られている。その後明治45年に設立された恩賜林保護組合により、富士北麓地域の適切な植林や森林の保護・管理が行われるようになった。この中で剣丸尾溶岩流上は植林が難しいために、雑木を除去してアカマツの天然更新施業が行われたことが記録に残っており、剣丸尾アカマツ林は大正初期以降に天然更新してできた二次林である。

調査地に隣接する山梨県環境科学研究所の気象観測によれば（1998～2000年の3年間の平均値）、年平均気温は9.7℃、最暖月平均気温は8月の20.3℃、最寒月平均気温は2月の-0.7℃であり、冷温帯落葉広葉樹林地域に相当する。研究所内の調査地から北に約5kmに位置する河口湖測候所（標高860m）における年平均降水量（1995-1999）は1484mmであった。一般的にこの地域では冬季には降水量はやや少なくなるが、11月から3月までは降雪があり積雪量は年変動がかなり大きい。

2-2. 群落調査

1999年に、山梨県環境科学研究所に隣接する剣丸尾アカマツ林内（35°27'N、138°46'E、標高約1030m）に0.89haの永久コドラートを設置した。コドラート内に出現する高さ1.3m以上の全ての樹木個体（萌芽や枝等を含むので厳密にはすべての幹）にナンバーを打ち、成長の停止した2000年の3月に胸高直径（DBH, cm）を測定した。この際、DBH 5cm以上の個体については、高さ1.3mの幹周囲にペンキをつけて測定位置を決め、金属製の直径巻尺を用いて0.01cm単位で正確に直径を測定した。DBHと樹木個体の乾燥重量との間には一般的に高い相関関係があり、本調査地の樹木（主にアカマツ）についてこの関係式が調べられている（田辺ら・未発表）。毎木調査の結果から、この関係式を用いて2000年春の時点での森林の現存量を推定した。森林現存量中の炭素量は50%と仮定した。

2-3. 森林の純一次生産量

純一次生産量とは植物による二酸化炭素取りこみ量の森林全体での総量をいい、一定期間内に植物の組織とか貯蔵物質のかたちで具現化し蓄積された有機物量である。森林の純一次生産量は積み上げ法（JIBP 1977）と呼ばれる方法により推定した。2000年から2001年までの一年間の純一次生産量（ANPP）は動物による捕食が無視できる量であると仮定した場合、以下の式1で表すことができる。

$$ANPP = (B_{01} - B_{00}) + L \quad \text{式1}$$

B_{01} :2001年の現存量, B_{00} :2000年の現存量, L :1年間の植物の枯死・脱落量

森林全体での枯死・脱落量を測定するために、林冠から落ちてくる葉や小枝（リターフォール）の量を測定する方形のリタートラップ20個（各1m²）を永久コドラート内にランダムに設置した。リタートラップは毎月一回回収して葉・枝・樹皮・果実・花などに仕分けした後、70℃で48時間以上乾燥後重量を測定した。また乾重測定後、仕分けした各器官ごとにCNアナライザーを用いて炭素含有量を測定した。さらに2001年時点での森

林現存量推定のために、測定位置をペンキで記した DBH 5 cm 以上の全個体について 2001 年 3 月に DBH の再測を行った。さらに同年の夏に生死の確認を行い、枯死していた幹については立ち枯れ木として年間の枯死量に含めた。

3. 結果と考察

3-1. 剣丸尾アカマツ林の群落構造

2000 年 4 月の時点で、永久コドラート内には 52 種の樹木が存在し、樹高 1.3 m 以上の幹数密度は 1 ha あたり 7595 本であった (表 1)。全個体の胸高断面積合計 (樹高 1.3 m の位置での幹の断面積の合計値) は 53.89 $m^2 ha^{-1}$ で、最大直径はアカマツの 47.9 cm であった。胸高断面積合計はよく発達した広葉樹林で 0.5% 程度、針葉樹林で 0.7% 程度になり、アカマツ林としては比較的よく発達した森林である。常緑高木の樹種はすべて針葉樹でアカマツ・ツガ・モミ・ウラジロモミの 4 種が存在した。また常緑亜高木のソヨゴ・ネズ・アセビの 3 種を除く亜高木・低木種はすべて落葉樹であった。幹数が最も多いのは常緑亜高木のソヨゴの 1725 本 (ha^{-1}) であり、落葉亜高木のネジキ (984 本)、アカマツ (912 本) がそれに続いている。優占種はアカマツ 1 種で、RBA (胸高断面積合計の相対値) が 79.71% と圧倒的な量であった。それ以降はソヨゴ (6.87%)、コナラ (1.87%)、ネジキ (1.70%)、リョウブ (1.16%)、ミズナラ (1.06%) の順であり、この 5 種以外はすべて RBA が 1% 以下であった。

表1. 2001年春の時点での永久コドラート内の種組成(樹高1.3m以上の個体)。

樹種	胸高断面積		胸高直径 (cm)		幹数	
	($m^2 ha^{-1}$)	(%)	平均	最大	(ha^{-1})	(%)
高木種						
アカマツ	42.96	79.71	23.5	47.9	912	12.01
コナラ	1.01	1.87	8.6	24.2	137	1.80
ミズナラ	0.57	1.06	6.4	20.2	137	1.80
クマシデ	0.42	0.79	4.9	22.4	164	2.16
ミヤマザクラ	0.39	0.73	9.6	23.9	44	0.58
ミズメ	0.24	0.44	18.3	38.9	7	0.09
ツガ	0.12	0.23	10.0	27.3	7	0.09
シナノキ	0.12	0.22	6.0	16.1	32	0.41
シラカンバ	0.10	0.19	14.2	21.8	6	0.07
カラマツ	0.10	0.18	23.0	27.3	2	0.03
その他(10種)	0.23	0.43	8.6	28.0	26	0.34
小計	46.50	86.27			1473	19.39
亜高木種						
ソヨゴ	3.70	6.87	4.8	16.7	1725	22.71
ネジキ	0.91	1.70	3.1	10.4	984	12.96
リョウブ	0.62	1.16	4.6	9.4	344	4.53
マルバアオダモ	0.40	0.74	3.4	8.5	375	4.94
ヒロハツリバナ	0.26	0.48	2.9	9.1	248	3.27
ウリカエデ	0.26	0.48	6.5	13.4	67	0.89
ネズ	0.25	0.47	9.7	18.1	29	0.38
アズキナシ	0.14	0.26	5.6	11.4	47	0.62
アオハダ	0.11	0.21	5.2	10.0	44	0.58
その他(6種)	0.22	0.41	3.5	12.9	180	2.37
小計	7.11	13.20			4044	53.24
低木種						
ミツバツツジ	0.26	0.48	1.8	4.3	885	11.66
ナツハゼ	0.18	0.32	1.8	4.6	575	7.57
ノリウツギ	0.16	0.29	3.8	7.4	116	1.52
その他(14種)	0.15	0.28	1.6	8.1	502	6.61
小計	0.89	1.65			2079	27.37
合計	53.89	100.00	6.1	47.9	7595	100.00

3-2. 剣丸尾アカマツ林の1年間の純一次生産量 (ANPP)

落葉広葉樹林だけでなく常緑針葉樹林でもリターフォールは一般的に秋の落葉季に集中する場合が多い。本調査地はアカマツとソヨゴを中心とする常緑針広混交林であるが落葉季は秋で、リターフォールのほとんどが10月に集中した(図1)。

2000年4月から2001年3月までの1年間のリターフォール量は $3.29 \text{ ton C ha}^{-1}$ であった。このうち $2.17 \text{ ton C ha}^{-1}$ が葉(58%がアカマツ葉)、 $1.12 \text{ ton C ha}^{-1}$ が小枝や樹皮などであった。

2000年4月から2001年4月までの1年間における永久コドラート内の群落変化を表2にまとめた。2000年4月の段階では永久コドラート内の直径5cm以上の幹数は2225本であった。このうちアカマツは812本であったが、この中の7本が立ち枯れて1年後には805本となった。その他の高木種は321本から322本にわずかに増加した。亜高木・低木種は立ち枯れが7本あったが、5cm未満からの新規加入個体数が41本と多く、幹数は増加した。

図2にアカマツの1年間の直径成長量を示す。年間の直径成長の最大値は約7mmであり、ほぼ樹木サイズに比例して成長がよくなる傾向が見られた。しかし主に直径が20cm以下の1割程度の個体につい

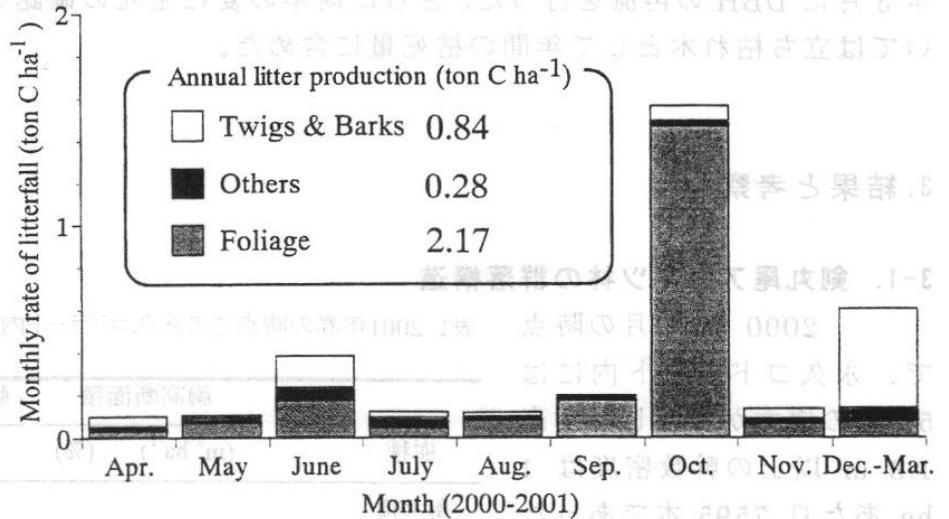


図1. リタートラップによるリターフォール量の季節変化

表2. 剣丸尾アカマツ林・永久コドラート内の1年間の群落動態

	2000年4月	枯死	新規加入	2001年4月
幹数密度(0.89 ha^{-1} , $\text{DBH} \geq 5\text{cm}$)				
アカマツ	812	7	0	805
その他の高木種	321	2	3	322
亜高木・低木種	1092	7	41	1126
合計	2225	16	44	2253
現存量(ton C ha^{-1} , $\text{DBH} \geq 5\text{cm}$)				
アカマツ	107.82	0.27		109.26
その他の樹種	13.45	0.06		13.77
合計	121.27	0.33		123.03

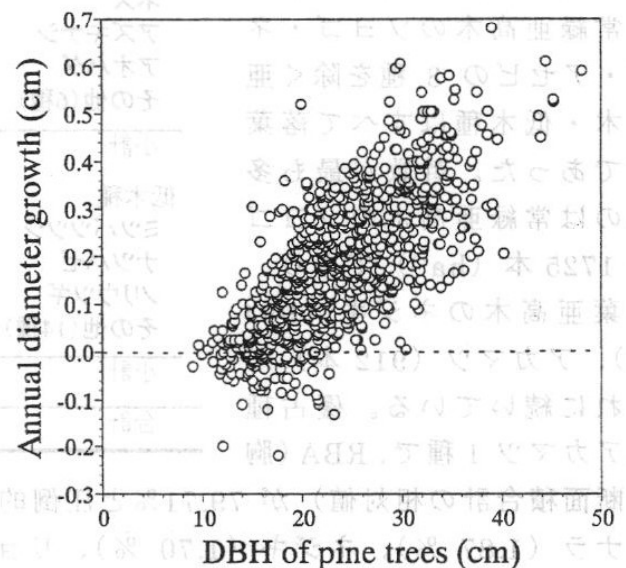


図2. 永久コドラート内のアカマツ全個体の直径年間成長量

ては成長がマイナスとなり、ほぼ成長が停止していると考えられた。この直径成長量から現存量の変化を推定すると(表2)、アカマツ及びその他の樹種とも増加傾向にあり、全体では $121.27 \text{ ton C ha}^{-1}$ から $123.03 \text{ ton C ha}^{-1}$ に増加した。また1年間の立ち枯れ木は16本でその重量は $0.33 \text{ ton C ha}^{-1}$ と換算された。リターフォールによる枯死・脱落量 ($3.29 \text{ ton C ha}^{-1}$) と立ち枯れ木の量、現存量の変化から、本調査地の1年間でのNPPを式1から計算すると以下のようなになる。

$$\text{ANPP} = (123.03 - 121.27) + (0.33 + 3.29) = 5.38 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$$

アカマツ林の地上部NPPは(JIBP 1977)、平均で $13.64 \pm 5.00 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ であった。この値の半分が炭素量だとすると本研究の値よりやや大きい。しかしながら本調査地は標高1030mの冷温帯落葉広葉樹林帯で、アカマツ林としてはかなりの高標高に成立する森林であり、降雪量も多い。また一般的に森林の発達に伴って純一次生産量はやや減少しながら安定した値になることが知られており、アカマツ林の研究では樹齢20年前後でNPPがピークとなり、その後減少して70年生ぐらいでほぼ安定した値になることも知られている(蜂屋ら 1989)。本研究ではアカマツの地下部の年間成長量も算入されているが ($0.36 \text{ ton C ha}^{-1}$)、この値を差し引いても貧栄養の溶岩立地上に成立した90年生の成熟したアカマツ林としては比較的大きなNPPを持っていることがわかった。

3-4. 剣丸尾アカマツ林の1年間の生態系純生産量

以上のように剣丸尾アカマツ林の2000年1年間でのNPPは $5.38 \text{ ton C ha}^{-1}$ であり、また同時期の年間土壌呼吸量は $3.74 \text{ ton C ha}^{-1}$ であることが調べられている。森林生態系の実質的な二酸化炭素吸収能力を示す生態系純生産量(NEP)は以下の式によって表せる。

$$\begin{aligned} \text{NEP} &= \text{NPP} - \text{微生物呼吸量} \\ \text{微生物呼吸量} &= \text{土壌呼吸量} - \text{根の呼吸量} \end{aligned}$$

根の呼吸量についてはその測定法について現在検討中であるが、仮にこれを過去の文献の単純な平均値である土壌呼吸量の46%とすると、微生物呼吸量は $2.02 \text{ ton C ha}^{-1}$ になる。この結果から、2000年1年間のNEPは $3.36 \text{ ton C ha}^{-1}$ であると計算された。このように剣丸尾アカマツ林の生態系は CO_2 のシンクとして機能しており、空気中の CO_2 を固定して植物体中に $1.76 \text{ ton C ha}^{-1}$ 、土

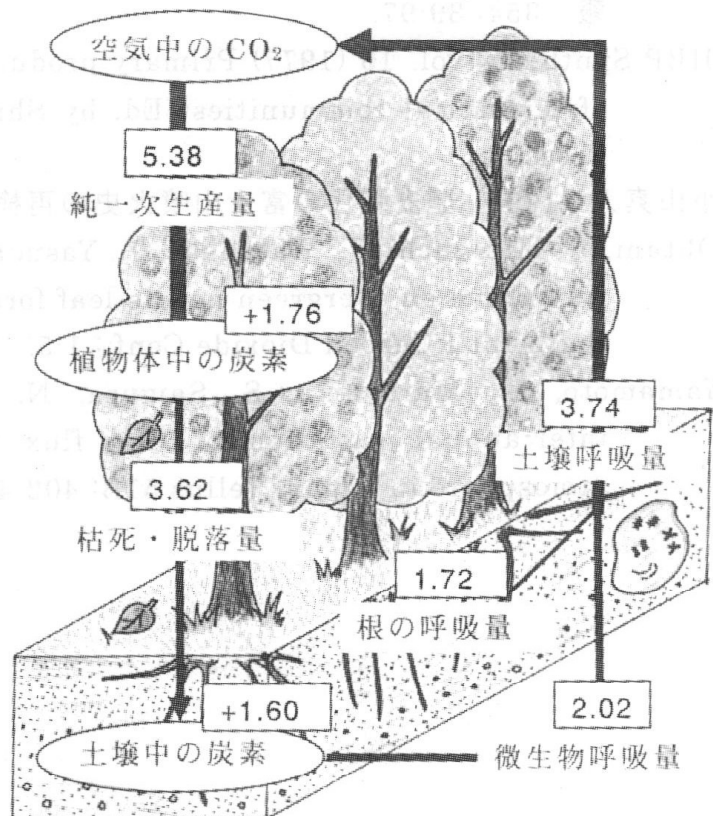


図3. 本調査地での一年間の炭素の流れ(単位は ton C ha^{-1})

壤中に $1.60 \text{ ton C ha}^{-1}$ の炭素が 2000 年の 1 年間に蓄積されたことになる (図 3)。この生態系は、溶岩立地上に成立した先駆性のアカマツ林であり、生態系の発達に伴って植物体中の炭素だけでなく、土壤炭素量が急速に増加していく傾向にある。

4. まとめ

森林の NPP に関する今までの多くの研究は、年輪解析などによって、基本的にはその森林の過去の何年かの平均値としての NPP を算出する場合がほとんどであった。タワーフラックスと連動するためには、現在から将来にわたって NPP を連続的に測定する必要があり、土壤呼吸と合わせて方法論的な検討が必要である。本研究の結果は今のところ 1 年間だけのデータであるが、ここで示した手法により、今後 NPP を連続測定して年変動を追っていくことが可能であると考えられる。しかし日本のような温帯地域では熱帯の森林と比べて樹木成長量はわずかであり、森林タイプによっては 1 年間での直径成長量を測定することが難しい場合もある。今後、植物の光合成や呼吸量の測定による生理生態学的手法による NPP の算出についても検討していく必要があるだろう。

引用文献

- 蜂屋欣二・竹内郁雄・秋一延 (1989) 高密度のアカマツ林の一次生産の解析. 林試研報 354: 39-97.
- JIBP Synthesis Vol. 16 (1977) Primary productivity of Japanese forests -productivity of terrestrial communities- Ed. by Shidei, T. & Kira, T., University of Tokyo Press.
- 小山真人 (1998) 歴史時代の富士山噴火史の再検討. 火山 43(5): 323-347.
- Ohtani, Y., Mizoguchi, Y., Watanabe, T., Yasuda, Y. and Toda, M. (2001) Carbon dioxide flux above an evergreen needle leaf forest in a temperate region of Japan. Proc. Sixth Int'l Carbon Dioxide Conf.: 1-5.
- Yamamoto, S., Murayama, S. Saigusa, N. and Kondo, H. (1999) Seasonal and inter-annual variation of CO_2 flux between a temperate forest and the atmosphere in Japan. Tellus 51B: 402-413.

1. はじめに

近年、地球温暖化と関連して生態系の炭素循環機能が注目されている。生態系レベルの炭素収支(生態系純生産、NEP)の定量的評価には二つの手法がある。一つは微気象学的な観測により直接的に測定する手法であり、もう一つは生態学的プロセスにおける個々のフラックスを積み上げて間接的に推定する手法である。本シンポジウムの講演者である森林総合研究所の大谷義一氏は前者の手法で、山梨県環境科学研究所の大塚俊之氏と筆者(鞠子)は後者の手法で生態系炭素収支を明らかにしようとするものである。両手法は異なる測定原理や測定装置を使用しているため、得られたデータの質と量には違いがあるものの、地球規模の炭素収支の解明という共通の目的がある。より正確な炭素フラックスの定量評価を目指して、両者はそれぞれの手法に内在する長所を生かし、短所を互いに補い合う関係であることが望ましい。実際に、最近の傾向として、微気象学的な手法と生態学的な手法が同一の調査地において行われることも珍しいことではなくなっている。

生態系炭素収支を支配する重要なプロセスは、独立栄養生物(主に緑色植物)による有機物生産プロセスと従属栄養生物による有機物の分解プロセスである。それぞれのプロセスに伴う炭素フラックスは純一次生産(NPP)と土壌呼吸(soil respiration, SR)で近似的に評価される。後者の土壌呼吸は土壌から放出されるCO₂量と定義されており、そのCO₂の由来は土壌で行われている微生物と植物根の呼吸作用と無機的作用によるものと考えられているので、厳密には生態系全体の有機物の分解フラックスを表すものではない。しかし、生態系の分解プロセスの基本的な部分は土壌微生物が担っていると考えられているため、分解フラックスは土壌呼吸の測定を通じて評価していくことが多い。こうした生産と分解のフラックスを測定することは、生態系の構造と機能を明らかにするという生態学的な意義だけでなく、生態系炭素収支における時空間的変動のメカニズムを解明したり、炭素収支モデルへパラメータを提供したりするために必要である。しかし、土壌呼吸のデータはNPPのデータに比べて質と量ともに劣っており、これが炭素収支のグローバルな評価において常に問題とされている。現在、土壌呼吸のデータの質を向上させ、量を増やす努力が土壌プロセスの研究者により行われているところである。

土壌呼吸の測定は古くから行われてきたが、要求されるデータの質と量は時代とともに変化し、それに対応して測定法も進化してきた。現在の土壌呼吸測定はシステム化され電源を要するものが主流であるが、改良すべき点として次のようなものがある。

- 1) 長期連続測定システムの開発
- 2) 環境改変の無い測定システムの開発
- 3) 多点同時測定システムの開発
- 4) 携帯型測定システムの開発
- 5) 植物根と微生物呼吸を分離する測定手法の開発

これらの改良点のうち、1~3)は微気象学的なフラックス観測と土壌呼吸の測定をリンクさせていく上でどうしてもクリアしなければならない問題である。本講演では、これらの問題点の克服に向けて開発された二つの新土壌呼吸測定システムについて紹介する。一つはOTC法を用いたシステム、もう一つは自動開閉式チャンバーを用いた測定システムである。後者のシステムは筆者が山梨環境科学

研究所に在籍していた頃に剣丸尾アカマツ林に設置し、1998年より測定を開始したものである。筑波大学へ転任してから以後の測定は、当研究所に赴任された大塚俊之氏によって測定が引き継がれ、今日まで測定が続けられている。この場を借りて、大塚氏のご協力に感謝申し上げる次第である。

2. 土壌呼吸測定手法の種類と特性

土壌呼吸の測定は古くから行われ、時代とともに測定手法は進化してきた。表1は現在知られている土壌ガスフラックス測定法の種類と特性をまとめたものである (Rolston 1986; Mariko et al. 1994; Bekku et al. 1995, 1997)。測定方法は様々なタイプのものがあり、類別するとチャンバーを用いる方法、Fickの法則から計算する方法、微気象学的方法に大別される(表1)。チャンパー法は最もポピュラーな方法で、その種類も多いが、大気に対して開放しているかないか、通気しているかないかで、いくつかのグループに分けることができる。それぞれの方法には一長一短あって、どれが最も優れた方法であるのかを言及することは難しい。むしろ、研究の目的や調査地の条件によって使い分けることが重要である。また、方法によっては、CO₂以外のガスも測定対象となり得る。

表1 土壌ガスフラックス測定方法の分類と特性

	チャンパー法					濃度勾配法	微気象学的方法			
	密閉型			開放型				Fickの法則に基づいて計算する方法	渦相関法	
	非通気式密閉型		通気式密閉型							OTC法**
	密閉法	アルカリ吸収法	通気法	LI-6400	AOCC法*					
測定精度	○	×	◎	◎	◎	○	○/×			
多点測定	◎	◎	×	○	×	×/○	○	— (広範囲)		
連続測定	×	○/×	○	×	◎	◎	×	◎		
環境改変	小	大	中	小	極小	小	なし	なし		
電源	なし	なし	AC/DC	DC	AC	AC/DC	なし	AC		
持ち運び	可	可	可	可	不可	可	可	不可		
コスト	安	安	高	高	高	高	安	高		
測定ガス	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	CO ₂	CO ₂ , (CH ₄)	CO ₂	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	CO ₂ , (CH ₄)	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O		
生態系	森林	可	可	可	可	可	可	可/不可		
	草原	可	可	可	可	可	可 (時期によって不可)	可	不可	
	湿地	可	可	可	可	可	可 (時期によって不可)	不可 (積雪があれば可)	不可	

*AOCC法：自動開閉式チャンパー法、**OTC法：オープントップチャンパー法

3. 長期連続測定システムの開発

土壌呼吸は生物学的な呼吸作用による CO₂ 放出過程であることから、水分や温度などの環境要因によって強く影響を受ける。土壌呼吸の環境依存性を関数化することはモデルへのデータ提供において重要であるから、土壌呼吸を測定する際には、同時に温度や水分のデータが取られなければならない。この点を踏まえて言うと、これまでに最も良いとされていた方法は通気式密閉型チャンバー法（単に通気法と呼んでいる）であった。通気法は改良を加えることにより、寒冷地における積雪を介した土壌呼吸の測定にも適用できる (Mariko et al. 2000)。しかし、通気法は密閉系であるがゆえに、チャンバー内部圧の不安定性、環境改変、降雨やリターなどの影響を評価できないなどの不備から、長期連続測定には不向きである。これを解決するべく開発されたのがオープントップチャンバー法 (open top chamber method, OTC 法) である (Fang and Moncrieff 1998)。チャンバー上部が開いているため、圧の変化や外部の環境変化を追従できるなどの長所がある。筆者はこの OTC 法の長所を生かして長期連続測定が可能ないように設計し (図 1)、筑波大学菅平高原実験センター (長野県) 内のススキ草原にシステムを設置し、1999 年より測定を開始している。

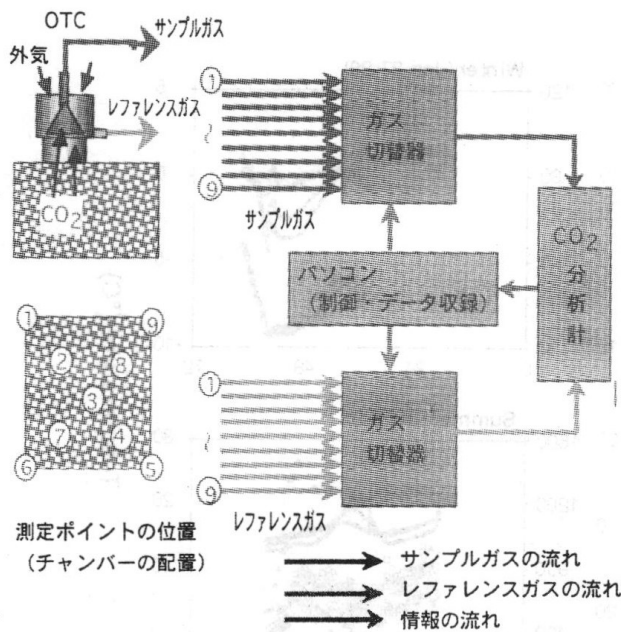
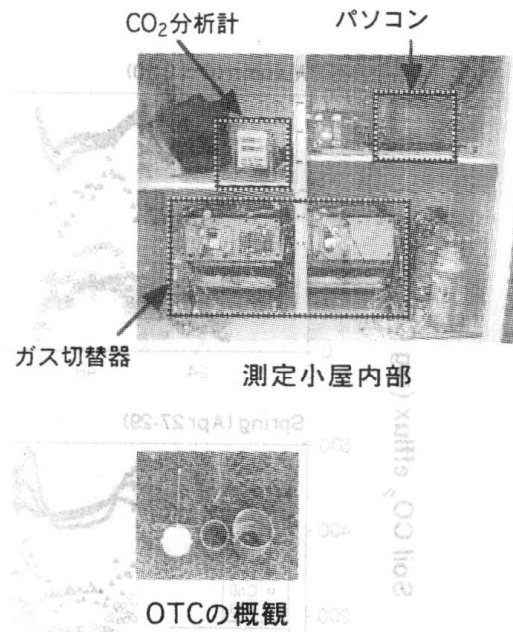


図 1 OTC 測定システム



OTC は開放系であっても、チャンバー上部に漏斗状の覆いがあるため、降雨の影響やリターフォールによる有機物供給などを十分に考慮できない。そこで、筆者は OTC 法の改良とともに、1998 年より自動開閉式のチャンバーを用いた新しい測定方法 (自動開閉式チャンバー法: automated open/closed chamber method, AOCC 法) の開発に着手した (図 2)。AOCC は、弁当箱の形をしていて、上部の蓋がモーターで自動開閉できる仕組みになっている。測定中は蓋が閉じて密

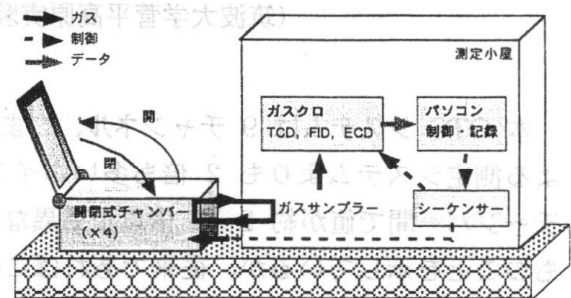


図 2 OTC 測定システム

閉系になり、その間はポンプが作動してチャンバーにつながれたループ状のラインの中をガスが循環する。一定の時間間隔（通常は 10 分間）でラインから引き抜いたガスをガスクロマトグラフに注入して、CO₂ 濃度の分析を行う。ガスの採取と分析は 4 回繰り返され、環境データとともにパソコンに記録される。チャンバーは 4 基あるので、以上のプロセスが 4 回繰り返されて 1 循の測定が終了する。すべての作業はパソコンと専用のプログラムで自動的に行われる。この測定システムでは、ガスの分析がガスクロで行われるために、TCD のほかに FID や ECD を組み込んで、CO₂ だけでなく CH₄ と N₂O の土壌フラックスも測定可能である。

4. OTC 法と AOCC 法による土壌呼吸の長期連続測定

図 3 は菅平の冷温帯ススキ草原で OTC 法により測定した土壌呼吸速度の例である。季節ごとの土壌呼吸速度は土壌温度と同じパターンで日変化している。これは OTC 測定システムが土壌呼吸をうまく測定できていることを意味するが、静岡大学の木部剛氏が風洞実験により OTC 法は強風に弱いことを指摘している (Kibe et al. 投稿中)。しかし、林冠が閉鎖した群落や葉群密度の高い草原などでは OTC 法の有効性が確認されている。

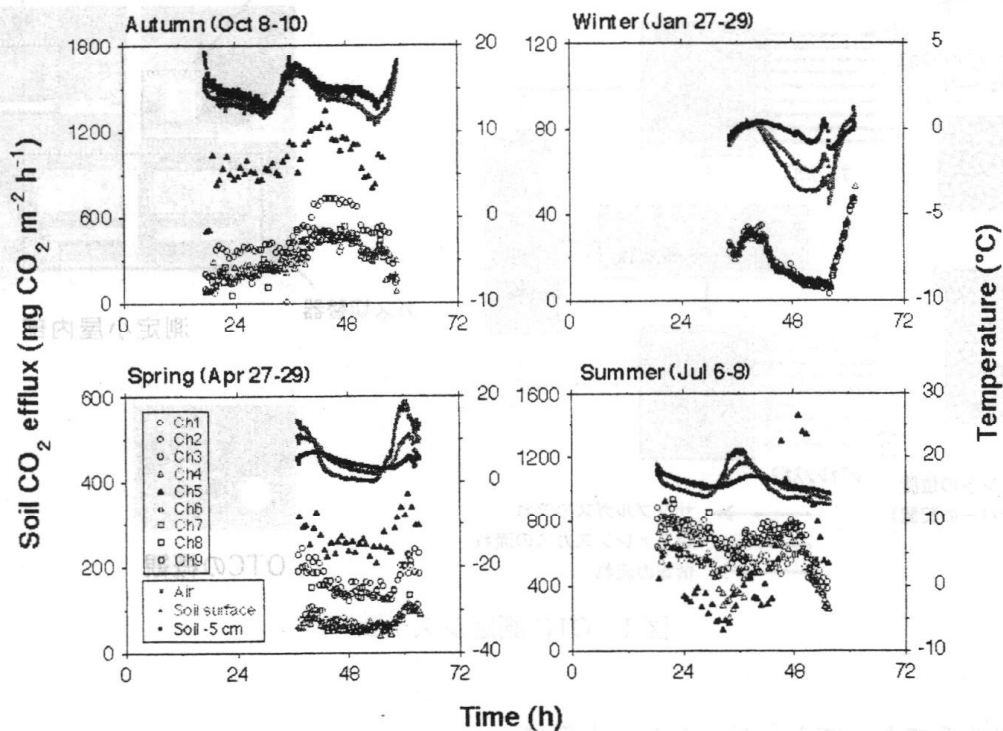


図3 OTC 法による土壌呼吸の測定例
(筑波大学菅平高原実験センタ内のススキ草原、1999-2000)

本 OTC システムは 9 チャンネル、つまり 9 地点での測定が可能であるが、これは従来の通気法による測定システムよりも 2 倍も多いポイント数である。測定ポイントが増えて注目すべきことは、チャンバー間で値が約 2~3 倍以上も異なることである。これは土壌呼吸が大きな空間的バラツキをもつことを示しているが、従来であればこのような値は異常値として除外することも多かった。しかし、後にこれはシステムのエラーではなく、土壌動物の巣穴があったため生じた現象であることが確認されている。生態系の分解プロセスは従属栄養生物である土壌動物による呼吸も含めて評価されな

ければならない。空間的バラツキをどの程度評価できるかが生態系の土壌呼吸推定における精度を規定する一因であり、そのためには、多点測定がどの程度できるかが鍵となる。筆者が最近開発した携帯型 OTC 測定システムは 16 チャンネルの多点測定が可能であり、これまで測定が不可能だった地域でもバラツキを考慮した測定ができると考えている。

図 4 は AOCC システムによる土壌呼吸の長期連続測定例である。測定した場所は山梨県環境科学研究所のアカマツ林である。停電や機械トラブルなどにより欠測した期間もあるが、地温とリンクした経時変化が 3 年間に渡って測定が行われている。これだけの期間の連続測定はあまり例がなく、貴重なデータであるといえる。最近、類似した測定システムがカナダの研究グループによって開発され、精度の高い土壌呼吸データが得られたことを報告している (McGinn et al. 1998)。しかし、AOCC 測定システムは積雪期間中の測定はできないので、積雪地域での年間測定には別の手法を取り入れて補足データを取らなければならない。今後は、問題点の解決に向けた努力をしていかなければならない。

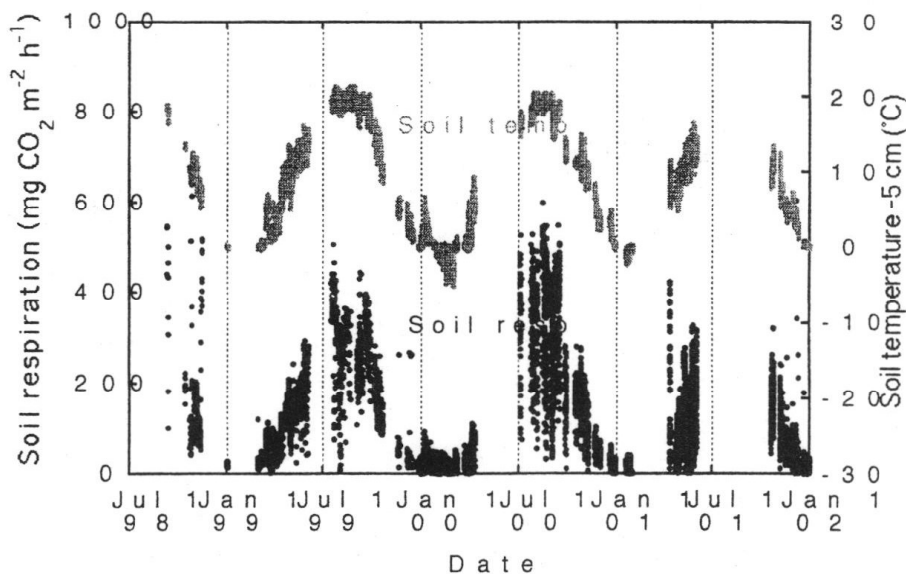


図 4 AOCC 法による土壌呼吸の測定例
(山梨県環境科学研究所内の陰丸尾アカマツ林、1999-2002)

5. まとめ

Lal et al. (1995) は、炭素収支研究における問題点として、測定手法の標準化、データの質と信頼性の向上、測定困難な地域での測定を指摘しているが、これらの問題点は前記 1~5) の土壌呼吸測定手法の問題点と密接に関係している。

6. 引用文献

- Bekku, Y., H. Koizumi, T. Nakadai and H. Iwaki (1995) Measurements of soil respiration using closed chamber method: An IRGA method, *Ecol. Res.*, **10**, 369-373.
- Bekku, Y., H. Koizumi, T. Oikawa and H. Iwaki (1997) Examination of four methods for measuring soil respiration, *Appl. Soil Ecol.*, **5**, 247-254.
- Fang, C. and J.B. Moncrieff: (1998) An open-top chamber for measuring soil respiration and the influence of

- pressure difference on CO₂ efflux measurement, *Funct. Ecol.*, **12**, 319-325.
- Kibe, T., S. Sekikawa, M. Yoshimoto, T. Nakadai, T. Masuzawa, H. Koizumi and S. Mariko. Evaluation of the influence of wind on measuring soil CO₂ efflux using an open-top chamber technique. *Funct. Ecol.* (in contribution).
- McGinn, S. M., O.O. Akinremi, H.D.J. McLean and B. Ellert (1998) An automated chamber system for measuring soil respiration, *Can. J. Soil Sci.*, **78**, 573-579.
- Mariko, S., Y. Bekku and H. Koizumi (1994) Efflux of carbon dioxide from snow-covered forest floors, *Ecol. Res.*, **9**, 343-350.
- Mariko, S., N. Nishimura, W. Mo, Y. Matsui, M. Yokozawa, S. Sekikawa and H. Koizumi (2000) Measurement of CO₂ fluxes from soil and snow surface with open dynamic chamber technique. *Environ. Sci.*, **13**, 69-74.

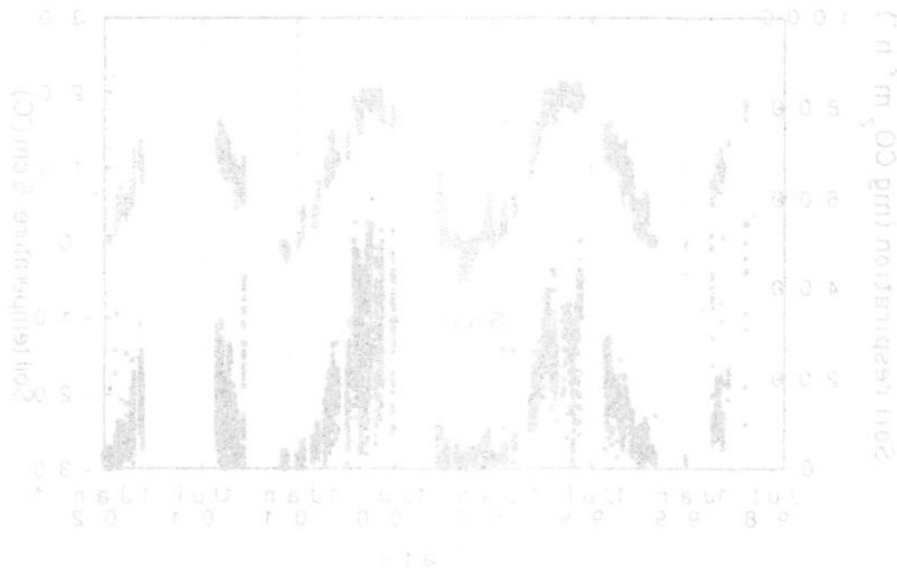


図4 2000年7月～2002年7月の山梨県清原村の森林床の土壌呼吸と土壌温度の月別変動

2. まとめ

本研究は、森林床の土壌呼吸を測定するための標準的な測定手法の標準化、データの質と信頼性の向上、測定困難な地域での測定を可能にするための問題点を前記(1～5)の土壌呼吸測定手法の問題点と密接に関連している。

3. 引用文献

- Bekku, Y., H. Koizumi, T. Nakadai and H. Iwada (1997) Measurements of soil respiration using closed chamber method. An IRGA method. *Ecol. Res.*, **12**, 349-353.
- Bekku, Y., H. Koizumi, T. Oikawa and H. Iwada (1997) Examination of four methods for measuring soil respiration. *Appl. Soil Ecol.*, **5**, 247-254.
- Fang, C. and J.B. Moncrieff (1998) An open-top chamber for measuring soil respiration and the influence of

会誌「関東の農業気象」編集投稿規定

会誌「関東の農業気象」は日本農業気象学会関東支部が年1回以上、発行する機関誌で、農業気象に関する経験と知識の交流を図ることを目的とする。本会誌には農業気象に関する調査・研究についての報告や解説記事および支部活動に必要な記事などを掲載する。関東支部の会員、会友は自由に投稿することができる。

1. 編集

- 1.1. 投稿原稿の採否の決定ならびに会誌の編集は理事会が行う。
- 1.2. 理事会は投稿原稿の加筆、修正および削除を求めることがある。

2. 投稿

- 2.1. 本会誌への寄稿は投稿を原則とする。
- 2.2. 投稿者は本支部の会員、会友もしくはこれと連名でなければならない。
- 2.3. 投稿者は原稿を支部事務局あてに送付する。
- 2.4. 投稿原稿は4.2で指定するワープロ原稿(A4版)を提出すること。
- 2.5. 投稿原稿の受理日は支部事務局がこれを受理した日とする。

3. 投稿の種類

- 3.1. 「関東の農業気象」は巻頭言(とびら)、研究短報、総説、研究トピックス、講座・(解説)、報告、書評、支部例会の講演要旨その他理事会が認めた農業気象に関する記事、および本支部の活動の記録の連絡記事より構成される。
- 3.2. 原稿の長さは原則、研究短報、総説、研究トピックスは刷り上がり4ページ以内、その他の原稿2ページ以内とする。
- 3.3. カラー印刷に必要な経費は著者の負担とする。

4. 執筆要領

- 4.1. 次のような構成を原則とし、英文要旨は必要としない。
 1. はじめに(序文)
 2. 材料および方法
 3. 結果
結果および考察としてもよい。
 4. 考察
 5. 引用文献
必要に応じて小見出しをつける。
 - 4.2. A4版上質紙を使用し、上25mm、下25mm、左17mm、右17mmのマージンをとり、その枠内に約42(全角)×40行、文字サイズ約11ポイントで印字すること。
 - 4.3. 図表は用紙に直接書くか、張り付けて提出すること。写真は、挿入部の部分をあげ、別途、印画紙に焼き付けたものを提出すること。図表の説明は和文とするが、座標軸の説明は英文でもよい。
 - 4.4. 表題を1行目、著者名及び所属を3行目に書き、本文は行間を1行あけて書き始めること。
 - 4.5. 単位はSIかCGS単位系のどちらかに統一する。
 - 4.6. 引用文献は最小限度にする。本文中での引用は、三原(1969)によれば、などとする。引用文献はABC順に本文末に一括する。その書き方は次のようにする。
三原義秋, 1969: 無加温小温室の夜間温度について, 農業気象, 25, 1-8
 - 4.7. 別刷は請求があれば実費で入手できる。その場合、50部の倍数を単位として、投稿時に支部事務局に申し込む。
- ### 5. 支部例会の講演要旨の執筆要領
- 5.1. 「関東の農業気象」掲載用
執筆用紙・書式は、全国大会の形式に準ずる。長さは1ページ以上。
 - 5.2. 「農業気象」(全国紙)掲載用
200字程度にまとめる。テキストファイル形式で保存した電子媒体の原稿を同時に提出すること。

賛助会友

株式会社牧野応用測器研究所 (2)

〒165-0025 東京都中野区沼袋 3-19-4 tel:03-3387-6241 fax:03-3319-9996

光電式微風速計。小型・軽量のロガー（新製品mx-c11シリーズ）により簡便に長期の計測が可能になりました。電話回線による伝送システム。

英弘精機株式会社 (2)

〒151-0073 東京都渋谷区笹塚 2-1-6 笹塚センタービル

tel:03-5352-2911 fax:03-5352-2917

各種日射計、放射計の製造販売を行い、気象観測、農業、工業、土木、建築方面に広く使用されております。

グリーンテック株式会社 (1)

〒136-0076 東京都江東区南砂 2-36-10 tel:03-3646-3111 fax:03-3648-3492

温室トプライト並びに付帯設備の設計、製作、施工及び販売。環境制御機器の設計、製作、施工及び販売。緑化造園工事の設計、施工及び管理。

太陽計測株式会社 (1)

〒143-0023 東京都大田区山王 1-2-6 tel:03-4426-5000 fax:03-4426-5115

横河電機・日本HP・横河電子機器製品販売サービス、計測・制御・情報処理・ハード/ソフトの開発・設計・製造・施工。

日本農園芸資材研究会 (1)

〒103-0004 東京都中央区東日本橋 2-24-14 ダヴィンチビル 2階

tel:03-5820-7082 fax:03-3865-0763

農業関連資材、施設の改良に関する調査、試験研究、研究成果の普及。資材、機材の利用法と技術に関する調査、試験研究。

太陽計器株式会社 (1)

〒160-0004 東京都新宿区四谷 1-2-6 アーバンビルサカス 5 3-B

tel:03-3226-6682 fax:03-5363-6230

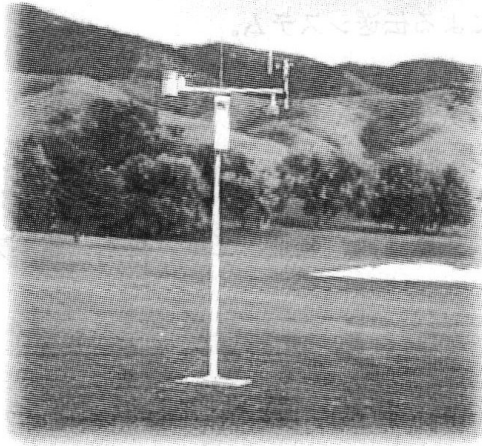
キャンベルの各種データロガー・測器の輸入元、販売を行っています。

<http://www.taiyokeiki.co.jp/>

一体型ウェザーステーション

Campbell Scientific, Inc.

ET106



一体型ウェザーステーションET106はキャンベル社のデータロガーCR10X相当の回路とセンサーの組み合わせで構成されます。

センサーには予めコネクター付きケーブルが接続され、本体部のコネクターに接続するだけでシステムを組み上げることができ、設置が容易です。

また、一体型のためデザイン的にもすっきりとまとまっています。

ポールは2m或いは3mのどちらかを選択していただきます。

オプションとして、必要に応じて太陽電池やPC接続のためのインターフェイスも取り付けることができます。

データロガー	CR10X相当
電源	PS12LA相当
収納ケース	組込済
風速・風向センサー	034A-ET
気温・湿度センサー	CS500-ET
温湿度センサー容遮光シールド	8葉シールド組込済
日射センサー	LI200X-ET
日射センサー用マウント	組込済
雨量センサー	TE525-ET
ポール	2メートル 又は 3メートル



Campbell Scientific, Inc. 日本総代理店 太陽計器株式会社

<http://www.taiyokeiki.co.jp/>

本社

〒105-0004 東京都港区新橋2-8-14

山田ビル

sales@taiyokeiki.co.jp

電話 03-3591-4101 / FAX 03-3591-4088

四谷分室

〒160-0004 東京都新宿区四谷1-2-6

アーバンビルサカス5

campbell@taiyokeiki.co.jp

電話 03-3226-6682 / FAX 03-5363-6230

2002年度日本農業気象学会関東支部役員名簿

支部長

蔵田 憲次 東京大学大学院 農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻
〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1
Tel. 03-5841-5353 Fax.03-5841-8172 E-mail akurata@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

理事

(事務局)

脇山 恭行 中央農業総合研究センター 耕地環境部 気象立地研究室
〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1
Tel.0298-38-8418 Fax.0298-38-8515 E-mail waki@affrc.go.jp

(例会)

石郷岡康史 農業環境技術研究所 地球環境部 気象研究グループ
〒305-8604 茨城県つくば市観音台3-1-3
Tel. 0298-38-8202 Fax.0298-38-8211 E-mail isigo@niaes.affrc.go.jp

鈴木 純 信州大学農学部 農山村環境学講座
〒399-4598 長野県上伊那郡南箕輪村8304
Tel. 0265-77-1523 Fax.0265-72-5259 E-mail jsuzuki@gipmc.shinshu-u.ac.jp

(会計)

清水 庸 東京大学大学院 農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻
〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1
Tel. 03-5841-5342 Fax.03-5841-8175 E-mail ayosh@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

吉本真由美 農業環境技術研究所 地球環境部 気象研究グループ
〒305-8604 茨城県つくば市観音台3-1-3
Tel. 0298-38-8205 Fax.0298-38-8211 E-mail yoshimot@niaes.affrc.go.jp

(発送)

小林 卓也 電力中央研究所 応用生物部
〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646
Tel. 0471-82-1181 Fax. 0471-53-4306 E-mail t-koba@criepi.denken.or.jp

(編集)

鞠子 茂 筑波大学 生物科学系
〒305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1
Tel.0298-53-6681 Fax.0298-53-6614 E-mail marikos@sakura.cc.tsukuba.ac.jp

溝口 康子 森林総合研究所 気象環境研究領域 気象研究室
〒305-8687 茨城県稲敷郡茎崎町松の里1
Tel.0298-73-3211(ex.374) Fax.0298-74-3720 E-mail pop128@ffpri.affrc.go.jp