

# VI. 平成7年度 環境科学研究科プロジェクト報告

## 1. 地球環境変化に伴う陸上生態系の炭素・水循環過程の解析

(代表) 及 川 武 久  
寺 島 一 郎  
東 照 雄  
田 瀬 則 雄

### はじめに

大気中の二酸化炭素濃度上昇を主因とした温暖化が地球規模で進行中であり、二酸化炭素濃度の倍増が見込まれる来世紀後半には、地球全体の平均で3度前後昇温するものとGCM（大気大循環モデル）によって予測されている。このような環境変化は陸上生態系を構成する植物に、光合成、呼吸、蒸散といった生理生態過程を通じて大きな影響を及ぼし、その結果、土壌も含めた陸上生態系にも変動をもたらすものと考えられる。このような観点に立って、我々は昨年度から次の4つのテーマを定めて研究を行っている。

1. 草原における炭素・水フラックスの解析
2. 光合成・呼吸過程の解析
3. 森林における分解過程の解析
4. 森林における水循環過程の解析

### 成果概要

#### 1. 草原における炭素・水フラックスの解析

1996年の植物生育期間（4～11月）に、筑波大学水理実験センターの草原（この草原は約40種の主に多年生の草本植物で構成され、その中には高温と乾燥に耐性があるイネ科のC<sub>4</sub>植物が5種含まれている）を試験地として、群落上のCO<sub>2</sub>フラックスの連続観測を行った。その結果、植物の呼吸や土壌呼吸を差し引いた正味のCO<sub>2</sub>フラックスの最大値は7月に53.7gCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>dを記録した。また、CO<sub>2</sub>フラックス観測データと水理実験センターのルーチン気象観測データを用いて、草原と大気との間のCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>O交換過程の季節変化を解析した結果、草原の水利用効率は葉面積指数（最大値は夏の3.6で、夏にはC<sub>4</sub>植物が非常に優勢）の季節変化と類似した変化を示し、草原の地表面湿潤度（草原のH<sub>2</sub>O輸送効率）は月降水量の変動とよく対応した変化を示した。

尚、この研究を行うに当たり、三枝信子博士（資源環境技術研究所）、戸田求君（環境科学研究科学生）、田中克季君（生物学類学生）の協力を得た。

## 2. 光合成・呼吸過程の解析

常緑木本のシラカシなどの葉面積当たりの光合成速度は、シロザなどの一年生植物に比べて低い。この光合成速度の差は、単位葉面積当たりのrubisco量の差によっては全く説明できない。常緑樹木、落葉性樹木、多年生草本、一年生草本を含む数種の葉肉細胞の細胞壁の厚さと光合成速度を調べたところ、これらの間には極めて強い負の相関( $r^2=0.52$ )があった。以上のことから、私たちは、細胞壁が内部抵抗として重要であると予想し、さらに常緑木本の葉の光合成速度が低い原因は、葉肉の細胞壁が厚いためであると推論した。

もし、常緑広葉樹の細胞壁の拡散抵抗が大きいのであれば、常緑広葉樹は、草本植物よりも葉緑体内の $CO_2$ が低い状態で光合成をしていることになり、地球環境変化にともなう $CO_2$ 濃度上昇にともなう応答も異なるはずである。このような、研究をさらに進めるために、ガス交換法による $CO_2$ 交換速度の測定と炭素同位体比やクロロフィル蛍光の測定とを同時に行うことによって、葉緑体内の $CO_2$ 濃度を推定するシステムを構築した。現在、ガス交換測定装置に接続した、同位体分析用のサンプル調製ラインの試運転を行っている。

前年度から継続して、葉の呼吸系の制御機構を、陽生植物のハウレンソウと陰生植物のクワズイモとの間で比較した。昼間は、光合成系が関与して問題が複雑になるので、この研究では、特に夜間の呼吸に注目している。これまでに、i)夜間の、葉の炭水化物(デンプン+ショ糖+グルコース)含量の呼吸と転流による減少にともなって、ハウレンソウでは呼吸速度も減少するのに対して、クワズイモでは、呼吸速度は一定の低いレベルに保たれること、ii)ハウレンソウの呼吸速度は、呼吸基質であるsucroseの添加によって著しい増加を示すのに対し、クワズイモではそれほど反応しないこと、iii)クワズイモの呼吸速度は脱共役剤であるFCCPの添加によって著しく増加すること、などを明らかにしてきた。これらのことは、この二種間で、呼吸の調節系が明らかに異なっていることを示している。

植物のミトコンドリアには、動物などとは異なってシアンに耐性を示す呼吸経路がある。この経路では、呼吸電子伝達鎖のユビキノンのプールから直接Alternative oxidaseに電子が流れ、この間、プロトンのtranslocationを行わないのでATP合成にも関与しない。したがって、シアン耐性呼吸経路がどの程度の割合で働いているのかを知ることは、生体エネルギー論を定量的にするためにはきわめて重要な事である。シアン耐性経路の電子伝達速度は、チトクロム経路とシアン耐性経路の末端酸化酵素の酸素同位体分別が異なることを利用して測定できるが、世界で一カ所、米国Duke大Siedowらが用いているにすぎない。現在、我々は、世界で2番目のシステムを組み立て、これを使って、ハウレンソウとクワズイモの呼吸にどの程度シアン耐性呼吸系が関与しているかを調べている。

研究科プロジェクトによる研究費は、主としてこれらの装置の開発・改良にあてた。なお、これらの研究は、半場祐子氏(森林総合研究所・科技庁特別研究員)、彦坂幸毅氏(東北大学理学部)、野口航氏(筑波大学生物科学研究科)、上田真吾氏(通産省・資源環境技術研究所)との共同で進めている。

### 3. 森林土壌の土壌呼吸量に及ぼす温度・水分の影響

温暖化に伴う森林生態系の応答の中で、土壌呼吸量の温度依存性は、炭素循環のフラックス変化を考える上で非常に基本的なことである。そこで、今年度は、茨城県内の代表的植生・土壌の組み合わせであるアカマツ林下の淡色黒ボク土における土壌呼吸量の温度依存性を大容量の不攪乱土壌コア試料を用いて研究した。筑波台地の北東部および南西部の2地点で、1地点につき不攪乱土壌試料(50cm<sup>2</sup>×20cm)を2個ずつ、季節をかえて、1995年4月から1996年5月まで、合計5回採取した。昨年度開発した温度制御型大容量チャンバー(東ら、1995)内で、所定の温度に温度平衡させた後、チャンバー内に外気を通気し、赤外線ガス分析計で、チャンバー内と外気のCO<sub>2</sub>濃度を測定した。両者のCO<sub>2</sub>濃度の差を、供試コア試料の土壌表面からの土壌呼吸量とした。土壌呼吸量の温度依存性を調べるために、チャンバー内の温度を5, 10, 15, 20, 25, 30℃とした。また、O層を除去した土壌コア試料についても、前述と同様に測定を行い、無機質土壌試料のみの呼吸量を求めた。両呼吸量の差から、O層試料のみの呼吸量を求めた。さらに、乾土およびO層乾物1kgあたりの呼吸量を計算によって求めた。なお、無機質土壌試料とO層試料の水分含量は、105℃で16時間乾熱して求めた。

結果は、以下のとおりであった。1) 供試コア試料の土壌表面からの土壌呼吸量は、地点および季節により異なり、例えば20℃で、1.05ないし4.79(g CO<sub>2</sub>/h/m<sup>2</sup>)の範囲にあった。これは、冬期に採取した土壌試料でも、温度変化に対する応答性は高く、Q<sub>10</sub>などの値からみると、季節的な温度依存性は認められなかった。2) 無機質土壌試料およびO層試料の土壌呼吸量が、土壌試料全体からの土壌呼吸量に占める割合は、それぞれ約3割ないし6割と温度により変化し、必ずしも明瞭な温度依存性あるいは顕著な有機物層の寄与を示さなかった。3) 1995年夏は、降水量が例年より少なく、乾燥の程度が高かったためか、低い温度依存性を示した。このように、土壌温度変化はつねに土壌水分変化を伴うため、温度・水分依存性の両面から研究する必要があることが改めて示唆された。4) 無機質土壌試料のみの呼吸量は、含水率の増加とともに、増加する傾向が認められたが、O層試料のみの呼吸量では、含水率との間には、明確な関係がみられなかった。

今後、この他の森林植生-土壌の組み合わせについてさらに検討を加え、日本の代表的な植生帯ごとの土壌呼吸量の温度依存性を研究し、将来予測に役立てて行きたいと考えている。

### 4. 森林における水循環過程の解析

森林における水循環過程については、すでに多くの研究があり、かなりのことが理解されてきている。しかし、森林と言ってもその背後にある地形・地質、水文条件などは様々であり、地球環境変化に対する応答も複雑であることが予想される。

今回は、土浦市の穴塚大池地区の林地、芝地、谷地(笹地)の3ヶ所において、土壌水分量の測定を開始し、それらの変動の差異を明らかにすることを試みている。特に、谷地である荒れ地は湿地的環境下にあり、そこでの水分の挙動については未知の点が多い。本調査では、谷地部に埋設型のテンシオメータを設置し、降雨への応答、蒸発散との関係を明らかにすることを第一の目的とした。埋設型のテンシオメータはサンケイ理化製

のもので、深度30cm, 60cm, 80cm, 120cm, 160cmに埋設し、Uロガーにより30分間隔で自記記録した。このセンサーの特徴は負圧(テンション)だけでなく正圧(地下水位)も測定できることである。また、深度2.6mの観測井を設置した。観測は1994年12月に一部開始したが、1995年7月に全深度の設置が完了し、1996年は年間を通して観測が行え、貴重なデータを得ることができた。観測した圧力水頭を深度160cmを基準とした水理水頭に変換した結果の一部を日降水量とともに図1に示した。図をみると、降雨に対し、鋭く反応しているのが読みとれる。基本的には浅層の水頭が高く、土壌水は下方へ浸透して行く。降雨により、下部が飽和し、上下間の水頭差は減少する。降雨後の乾燥過程では初期には浅層で、乾燥が継続すると深部の乾燥が進行する。地下水は降雨に対し明瞭に応答しているが、これまでと同様に大雨時(例えば9月22日, 178mm)でも地下水位の上昇は限られており、土壌水と直接連続しているとは考えられない。この他、観測からは以下のような点が認められた。

60cm以浅では降雨時に正圧(飽和)になるが、通常は不飽和の状態である。浅層の変動が激しいが、全体として、応答は飽和、不飽和にかかわらず、浅層から深層までほぼ対応しているとみられる。無降雨期には、蒸発散に対応した日変動がみられる。特に、地下水に明瞭にみられ、変動幅は20mm程度である。今後も観測を継続し、蒸発散との関係、ゼロフラックス面の挙動なども検討したいと考えている。

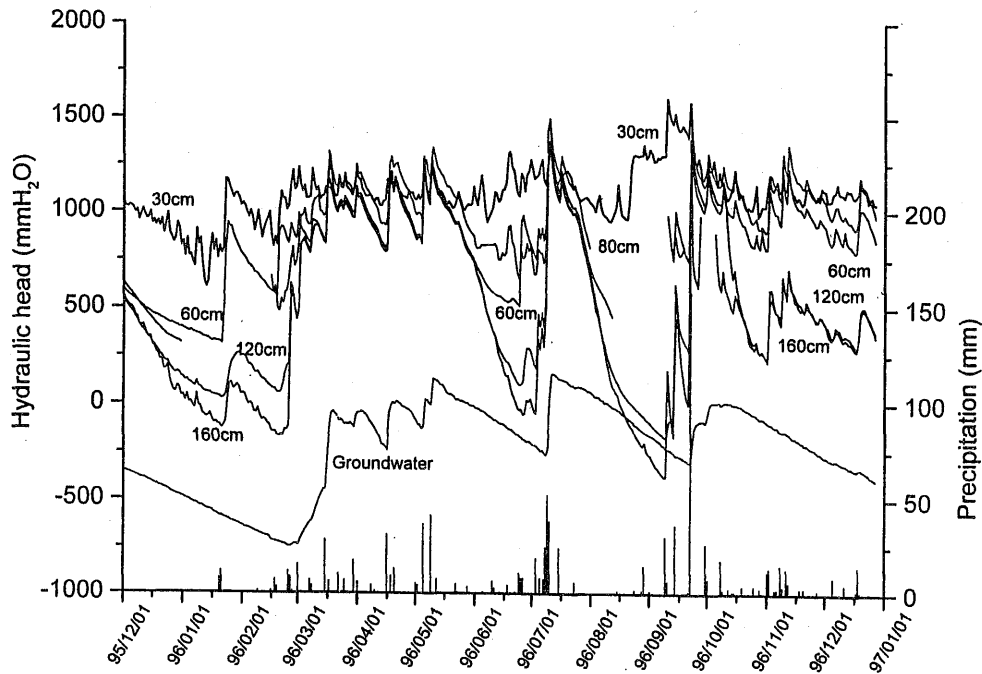


図1 降水量，地下水位と水理水頭の変化