

B-6 陸域生態系の二酸化炭素動態の評価と予測・モデリングに関する研究

(1) 自然生態系の二酸化炭素変動機構のモデル化と予測

③ 冷温帯林生態系におけるモデル化と予測

研究代表者 農林水産省 農業環境技術研究所 地球環境研究チーム 袴田共之

(委託先) 岐阜大学 流域環境研究センター 秋山 侃
菊池多賀夫、小泉 博、安藤辰夫、西條好迪、津田 智、莫 文紅、車戸憲二
大塚俊之(現在、山梨県環境科学研究所)、西村 格(現在、富山大学)

平成8～10年度合計予算額 6,156 千円

(平成10年度予算額 1,988 千円)

[要旨] ササを林床植生にもつ冷温帯林生態系における炭素循環過程を定量的に解明し、これをモデル化するために、岐阜県高山市にある試験林で、森林樹木層、林床ササ層、土壌層における炭素の動態を6年間にわたって実測した。また、約1ヘクタールの試験林内における無機環境や植生量の変異・バラツキについても調査し、変動幅を明らかにした。

その結果、樹木層には33種、1,868本の樹木が存在し、その合計乾物現存量が186.4ton/haであり、このうち、幹、枝、葉、根の重量はそれぞれ132.0, 18.7, 3.3, 32.4ton/haであった。また、樹幹解析等によって求めた樹木層の年間炭素固定量は4.05ton/haと推定された。

林床に生息するクマイザサ群落の平均現存量は、地上部が6.7ton/ha、地下部が5.9ton/haと推定され、炭素に換算したササ群落の純生産量は1.18tonC/ha/yrとなった。これを月別にみると、4・5・6・9・10・11月がプラス(固定)で、7・8月はマイナス(放出)となった。これは同地点で資源環境技術総合研究所が観測タワーで連続測定しているCO₂フラックスからの結果とほぼ符合している。

土壌からの炭素フラックスは、夏期に最大で600-650mg/m²・hr、積雪期には雪面から30-50mg/m²/hrが観測された。1日当たりの炭素フラックス量は地表面温度と高い相関があり(R²=0.86)、これをもとに計算した1994年から3年間の毎年の土壌からの炭素放出量は、6.03、5.78、5.03tonC/ha/yrであった。以上から、森林樹木、林床ササ群落、土壌を含めた森林生態系純生産量(NEP)は2.19tonC/ha/yrと推定された。

林内の10m x 10m格子点で、ササ群落の上と下で光環境を観測し、光環境の時・空間変化を明らかにした。また、同地点でササ現存量についても調べ、将来的には微細環境の変動を組み込んだ炭素循環モデルの構築を可能にした。

[キーワード] クマイザサ、落葉広葉樹林、炭素循環、生態系純生産量、土壌呼吸

1. 序

地球温暖化ガスの中で量的に最も多いのが二酸化炭素ガスである。しかし地球規模の炭素循環においては、まだ多くのミッシング・シンクが残されている。なかでも、陸域生態系としては、

温帯から寒帯林にかけての植物群落の炭素収支と、その土壌からの放出量に多くの未解決の問題があることが指摘されている。1997年のC O P 3京都会議の決議案を受けて、炭素固定・吸収における森林生態系の役割の定量的評価が、緊急かつ重要な課題となっているが、まだ見通しが立っていないのが現状である。その理由は、総合的な研究が少ないうえに研究手法の標準化が遅れていることにある。すなわち今までの研究は、生態系の一部を対象とすることが多く、森林を一つのシステムとして捉え、その炭素循環過程を総合的に評価した研究が少なかった。

2. 研究目的

当研究センターでは1993年から1995年までの3年間、「冷温帯林生態系におけるササ型林床植生の炭素循環の定量解析に関する研究」を担当してきた。その研究過程で冷温帯生態系としての炭素循環の全容を把握することが必要であり、同時に、それを統一的にモデル化し、炭素循環量のシンクあるいはソースとしての評価をすることが温暖化予測には重要であると認識された。

モデル化に当たっては、これまで実施してきた林床植生だけでなく、地下部分や林冠部分を含めた冷温帯林生態系全体の炭素循環量の推定を行う必要がある。このため、今回は、樹木の肥大成長や落葉・落枝量の測定、地下部の現存量の推定、およびそれらの分解速度の測定などを行う。また、試験林内の微細環境の変異や植生ムラを把握するための調査を行う。

当研究の特色は、(1) 冷温帯林生態系は豊富な林床植生をもつ生態系であり、この林床植生を含む炭素循環量をモデル化した例は極めて少ない。次に(2) 資源環境技術総合研究所が同じ場所に観測タワーを建て、渦相関法などで炭素フラックスを測定しているので、同地点、同期間に別手法で炭素循環を比較できる。(3) 冷温帯林生態系の炭素循環のモデル化にあたり、森林内の微細環境や植生のムラを把握することにより、点の情報を面として評価できる。

3. 研究方法

(1) 森林生態系における炭素循環経路

森林における炭素の循環経路を模式的に示すと、図1のようになる。大気中の炭素は、樹木と林床植生の光合成によって総生産として固定される。その一部が呼吸として消費され、大気中に戻っていく。その残りの炭素が純生産として植生に固定される。この固定された炭素の一部は、落葉・落枝・倒木として土壌中の分解者に供給される。さらに一部の植物葉は昆虫等に摂食されたのち、糞として土壌に供給される。一方、土壌からの炭素の移出は、土壌微生物・動物の呼吸による土壌有機物の分解に伴って起こる。

このように 樹木等に固定された大気中の炭素 (CO_2) は、樹木等の呼吸によって大気にかえる経路、昆虫等の捕食者に利用されたあと大気にかえる経路、そして落葉・落枝等の有機物として土壌に入り、そこから大気にかえる経路、から成り立っている。したがって、森林生態系の炭素収支を評価するためには、主要な経路における炭素の移入と移出の量的バランスを正確に計測することが必要である。

(2) 試験地の位置と環境

調査地は、岐阜県高山市岩井町日影平、北緯36度08分、東経127度26分、乗鞍岳南西斜面の標高

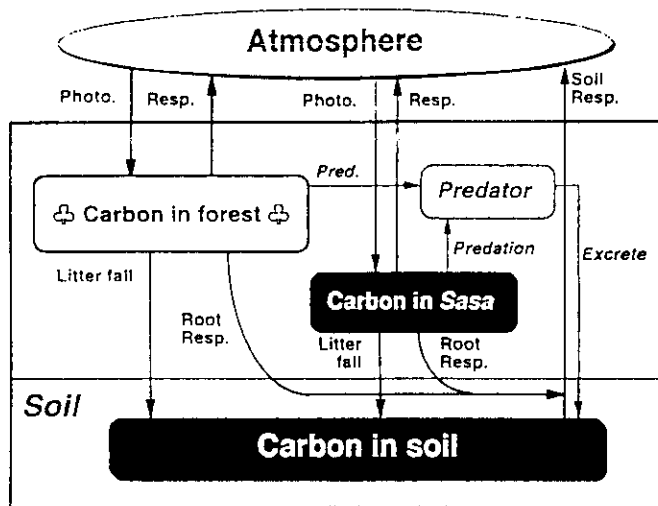


図1 森林生態系における炭素循環経路 (小泉 1999)

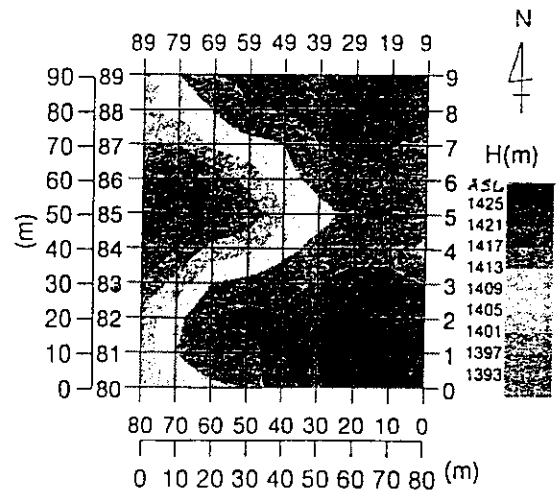


図2 試験林の微細環境 (標高分布図)

1,420mに位置する。当地点の環境は、太平洋型気候と日本海型気候の移行帯にあり、1980~1997年の18年間の年平均気温は7.2℃、年降水量は2,344mmと、冷涼多雨な気候帯に属する。毎年の降雨量は変動が大きい、その約70%が夏期に集中している。最暖月と最寒月は8月と1月で、それぞれの平均値は19.8℃と-5.0℃である。

調査対象地は約1ヘクタールあり、微地形は図2に示すとおり、南北に尾根を持ち、西方向に開けた谷状の場所である。この試験林内の北側の尾根に、通産省資源環境技術総合研究所が高さ27mの観測タワーを建て、大気中の炭素濃度の変化を通年観測している。

試験林の植生はブナ (*Fagus crenata*) 林の伐採跡地に成立したダケカンバ (*Betula ermanii*) とミズナラ (*Quercus mongolica*) を主体とする落葉広葉樹の二次林で、その林床にはクマイザサ (*Sasa senanensis* (Franch. et Savat.) Rehder) が密生している。

(3) 現存量・成長量の調査・分析方法

クマイザサの刈取調査は試験地に隣接する谷で1993年から行っている。4月から10月までの間、毎月1回、地上部は原則として1 m x 2 m (1996年以降は1 m x 1 m) を地際から刈り取った。地下部については面積0.5 m x 1 m、深さ30~50 cmまでを掘り取った。その後、地上部は生死別の葉と稈ならびにリター部に分け、地下部については、地下茎と細根、ならびに枯死部に区分した。これを80℃で通風乾燥後、秤量してあとの化学分析に供した。

樹木に関しては、1993年と1999年に毎木調査を行い、樹種、立木位置、胸高直径、樹高等を調べた。樹木の成長量は、デンドロメータ法 (105本・毎年調査) と 試料木を用いた樹幹解析 (15本・1998年) による方法で測定した。樹木の地下部重については 試料樹7本 (5種) の伐倒を行い、地上部重と地下部重を測り、その比を他の樹に適用した。このほか、樹木の現存量は胸高直径と器官別重量の相対成長関係から推定した。

植物の分解・消失速度は埋設したリターバッグで測定した。また、林内14箇所に1 m x 1 mのリタートラップを設け、毎月の落葉・落枝量を調査した。

このほか、総生産量推定に必要な植物体の呼吸量の測定は、赤外線ガス分析装置を用いて、葉、稈、地下部に区分して測定した。土壌呼吸は通気法 (Nakadai et al. 1993) によった。

土壌および植物体中に含まれる炭素量はNCコーダーを用いて調べた。可溶性全炭水化物 (TAC)

の定量は Somogyi-Nelson 法によった。

(4) 試験林内の微細環境

約1haの調査地を10m×10mのメッシュに分割し、林内90箇所の光環境の季節変動や土壌の空間的変異ならびに林床クマイザサ植生のバイオマスの面的変異を調べた。

一方、前述のとおり、試験地内の胸高直径(DBH)2cm以上の樹木については、1999年春に各メッシュ内の位置と樹種、DBHを調べて再登録した。また台風等によって倒れた15本(7樹種)の樹木を試料木として樹幹解析を行い、DBHと各部位間の相対成長関係を求め、登録全樹木のバイオマスとその面的分布を推定した。

林床の光環境は、簡易型フィルム日射計をササ層上(約150cm)と、地際ササ株もと(約10cm)に設置し、約2週間置きに回収することにより、この間の90地点×2高度の積算受光量の時・空間変動を推定した。

一方、90箇所のクマイザサの地上部現存量を携帯型分光放射計を使って非破壊的に推定した。この分光放射計は可視・近赤外の6波長の反射係数を数秒で計測し、その比演算値などからバイオマスや植被率を推定できるが、明るい直達光が必要であるため、この方法で林床ササ植生の現存量を推定するには、融雪後、樹木層が展葉する以前の4月が測定に最も適している。

4. 結果・考察

(1) 林床ササ群落における炭素固定

林床植生であるクマイザサの炭素固定に関する調査の大部分は、当プロジェクト研究の第2期(1993-1995年度)に行った。以下はその後に行った調査データを含めた集約結果である(西村1999)。

① クマイザサ各器官の生育とその特徴

クマイザサの桿は、5月上旬から新桿の萌出が始まり、6月から7月にかけて急伸長し、10月に草丈は最大の113cmに達した。新桿の乾物重も約120g/m²となる。この主桿の寿命は平均5年であった。葉身は7月から8月にかけて着葉数、葉重ともに増え、10月には主桿の葉重が平均33g/m²となった。葉の寿命は平均3年であった。一方地下茎は、地上部の成長が止まる8月頃から伸長し、1年間の増加量は細根も含めると113g/m²に達した。

② クマイザサ群落の乾物重の季節変化

地上部乾物重の年間平均値は670g/m²(図3左)であり、調査年次間での差は小さかった。林床クマイザサ群落の地上部重は、林外の群落の平均値2,000g/m²に比較すると約1/3に相当する。地上部重の季節変化は、越冬明け直後の680g/m²から春の間になぜか増加し、5月末には730g/m²と最大になる。その後、落葉広葉樹の葉の展開と夏を経過するなかで540g/m²まで減少し、秋の樹木の落葉後に再び730g/m²まで回復する。そして冬季間は徐々に減少して春を迎えるという季節変動のパターンをとった。

一方、地下部については、年平均乾物重は590g/m²であった(図3右)。地下部重も越冬後は漸増し、6月に最大800g/m²に達し、夏に最低の420g/m²となり、秋の樹木落葉後に610g/m²に回復して越冬期を迎える。この結果、全植物体重に対して夏期には地上部の比率が高く、秋から春にかけては地下部の割合が高くなった。重量の季節変動幅は地下部の方が大きかった。また、

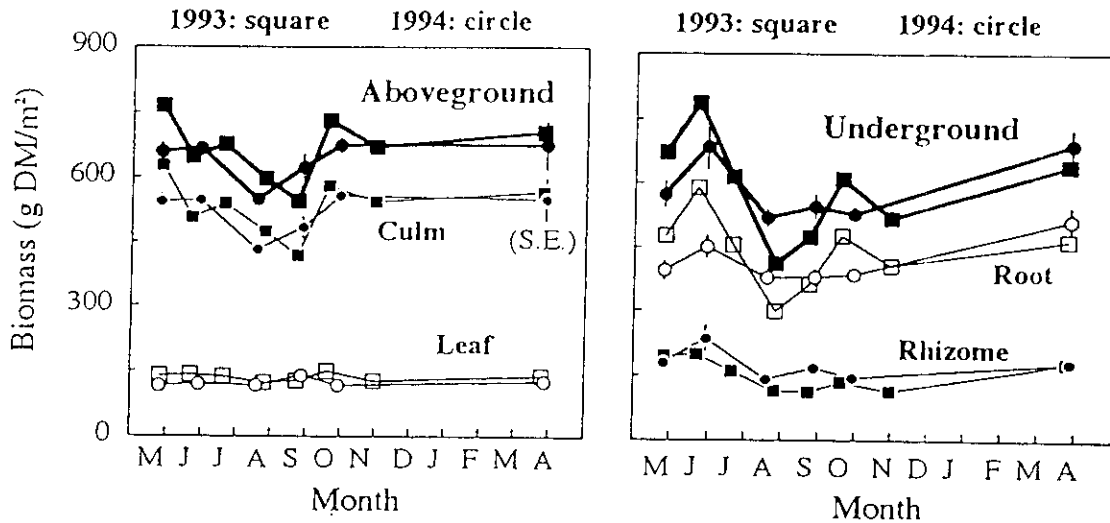


図3 ササ地上部（左）および地下部（右）の現存量の季節変化

2年間の乾物重の推移から見て、大きな年次変動はなく、ほぼ安定平衡状態にある群落とみなすことができた。

③クマイザサ群落の炭素収支

クマイザサの炭素含有量および可溶性全炭水化物（TAC）の季節変化については、第2期の報告書等に詳しく示した（西村 1996, Nishimura et al. 1998）。

器官別の炭素含有量は、桿（46.4-47.8%）と地下茎（45.3-48.9%）がやや高く、ついで根（43.5-47.6%）、葉身（41.5-45.6%）の順であった。炭素含有率の季節変動は小さかったので 単位面積当たりの炭素含有量は乾物重の季節変化に準拠したパターンを示した。純生産の一部となる当年成長量をみると、地上部最大現存量は炭素換算で 約 $111\text{g}\cdot\text{C}/\text{m}^2$ であり、地下部は $54\text{g}\cdot\text{C}/\text{m}^2$ となった。

TACは、葉が32.2-37.6%と変動幅が小さいのに対して、桿は20.0-47.1%、地下茎が27.3-49.6%、根が34.3-49.6%と季節間で大きく変動した。一般に地下茎と葉は当年器官が高く、秋に向かって低下するが、桿と根では経年器官が高かった。

植物体の呼吸量は、地上部が約 $180\text{g}\cdot\text{C}/\text{m}^2/\text{year}$ であり、地下部では 250g であった。

ササの純生産量と総生産量推定には、木村（1976）の示した下式を用いた。

$$Pg = Pn + R \quad (\text{ここで } Pg; \text{総生産量、} Pn; \text{純生産量、} R; \text{呼吸量})$$

$$Pn = (b + c) - a \quad (b = \text{当年成長量、} c = \text{貯蔵器官への当年蓄積量、} a = \text{貯蔵器官から当年成長に利用された量})$$

当年成長 b は約 $165\text{g}\cdot\text{C}/\text{m}^2$ であり、当年に可溶性の糖類として蓄積された量 c は、 $103\text{g}\cdot\text{C}/\text{m}^2/\text{yr}$ である。木村のいう当年成長に利用された可溶性の糖類 a は、計算上はTACのマイナス分にあるが、これには呼吸で消費された部分が含まれている。したがって総生産量を出す際の呼吸量から差し引く必要がある。しかし、ここでは a をTACのマイナス部分として計算した。これが $150\text{g}\cdot\text{C}/\text{m}^2/\text{yr}$ である。したがって、純生産 Pn は、 $118\text{g}\cdot\text{C}/\text{m}^2/\text{yr}$ であった。その結果、総生産量 Pg は、 $550\text{g}\cdot\text{C}/\text{m}^2/\text{yr}$ と推定された。この林床クマイザサ群落が安定群落であるとすれば、1年間に純生産と同じ $118\text{g}\cdot\text{C}/\text{m}^2$ が土壌に蓄積されていくと推定される。これらの月別のバランスシートから求めた林床クマイザサ群落の炭素収支は図4のようになった。純生産でみると、4・5・6・9・10・11月がプラスで、7・8月がマイナスになった。林床ササ群落の純生産量がプラスと

なった6カ月は、上層の広葉樹の葉が無くて光条件が良く、かつ気温もある程度高い期間に限られた。

(2) 森林における炭素動態

樹木の成長ならびに炭素固定については、1993年から継続的に調査されているが、データの蓄積に時間が掛かるため、とくに当プロジェクトの後半部分(1996~1998年)で急速に研究が進展した(小泉 1999)。しかし森林の成長や炭素動態を正確に把握するには、10年以上の年数が必要と思われる。

① 樹木の現存量と器官別重量の推定

試験地林の樹種構成および主要3樹種のDBHの分布は、それぞれ表1、図5のようになった。

また、樹木密度、胸高断面面積合計および器官別現存量を表2に示した。毎木調査(DBH<2cm)の結果、樹木密度はヘクタール当たり1868本、胸高断面面積合計は32.41m²であった。さらに、毎

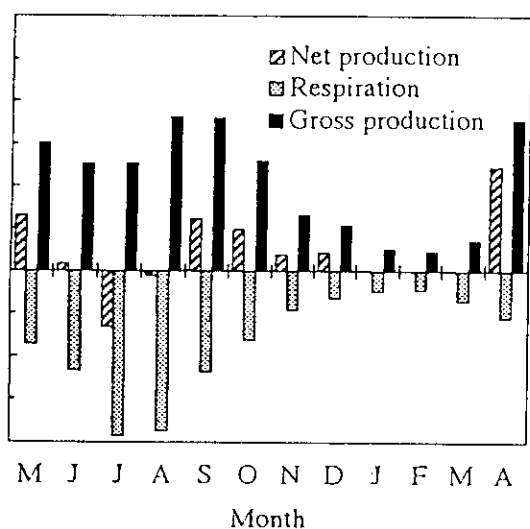


図4 林床ササ群落の月別純生産量、呼吸量、総生産量の季節変化

表1 本調査地の森林の種構成

Species	Basal area		DBH		Number of stems	
	Density (m ² /ha)	RBA (%)	Mean (cm)	Max (cm)	Density (N/ha)	Density (%)
1. ミスナラ	9.239	28.5	17.3	61.9	318	17.0
2. タケカン	7.575	23.4	21.3	67.9	183	9.8
3. シラカバ	4.434	13.7	20.3	47.2	124	6.6
4. ホオノキ	2.247	6.9	15.3	36.5	94	5.0
5. カエデ sp.	2.054	6.3	8.8	29.6	223	11.9
6. not identified	2.030	6.3	7.7	36.1	242	13.0
7. シカラ sp.	0.784	2.4	10.2	26.4	67	3.6
8. ウツギ sp. カエデ	0.681	2.1	11.7	29.9	49	2.6
9. アオダマ	0.542	1.7	9.9	37.7	45	2.4
10. クラリノミ	0.479	1.5	13.8	49.2	15	0.8
33. オオノキ	0.000	0.0	0.8	0.8	1	0.05
Total	32.414	100	11.6	67.9	1868	100

表2 本調査地における樹木密度、胸高断面面積合計および現存量

Tree stem density (ha ⁻¹)	1868
Basal area (m ² ha ⁻¹)	32.41
Biomass (ton d.w. ha ⁻¹)	
Trunk	132.0
Branch	18.7
Leaf	3.3
Aboveground total	154.0
Root	32.4
Total biomass	186.4

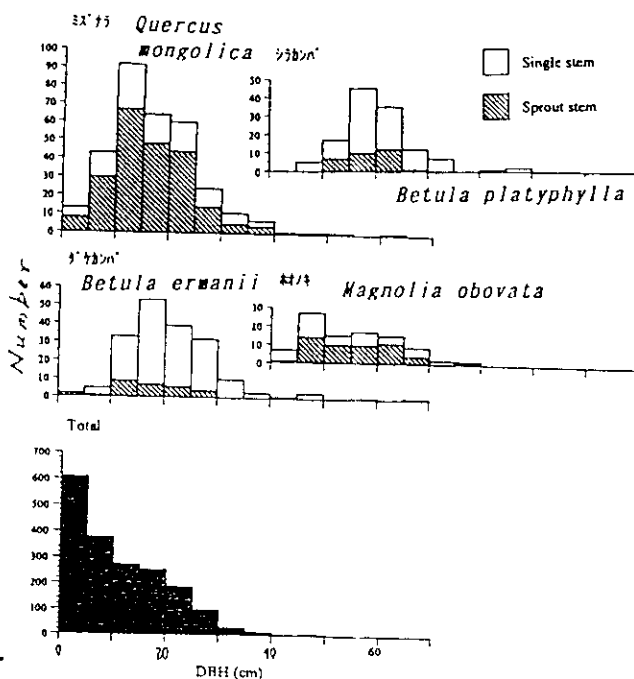


図5 主要樹種のDBH分布

Allometry

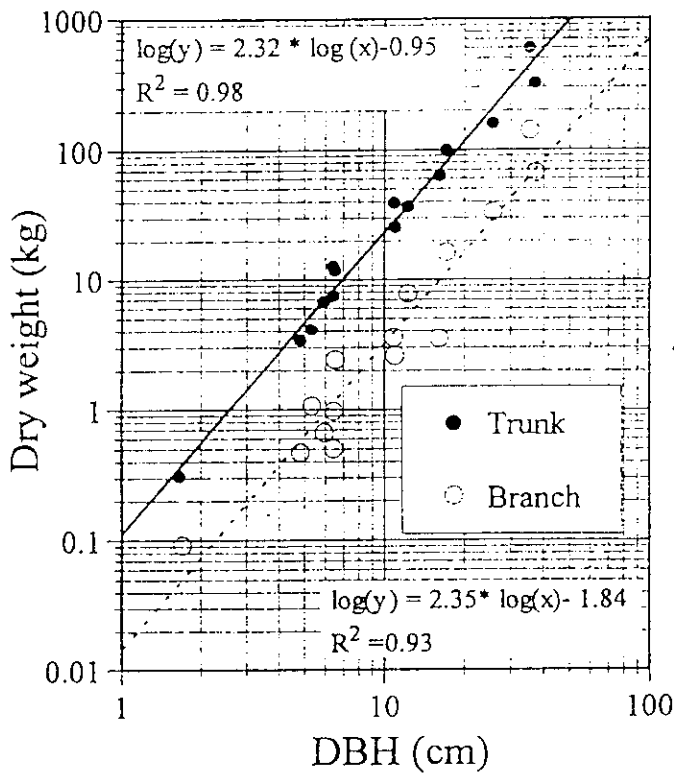


図6 試料木から得られたDBHと幹、枝乾物重の相対成長関係 (サンプル数15)

表3 各器官の固定量と本調査地

	Annual growth (ton d.w. ha ⁻¹ yr ⁻¹)	(ton C ha ⁻¹ yr ⁻¹)
Trunk	2.33	0.93
Branch	0.22	0.09
Root	0.36	0.14
Loss biomass		
Leaf	3.30	1.32
Trunk & root	2.84	1.14
Branch	1.09	0.44
NPP	10.14	4.05

表4 本調査地の森林生態系におけるNEP (tonC/ha/yr)

NPP t (tree)	4.05
NPP s (Sasa)	1.18
SR	5.61
RR	2.57
NEP	2.19

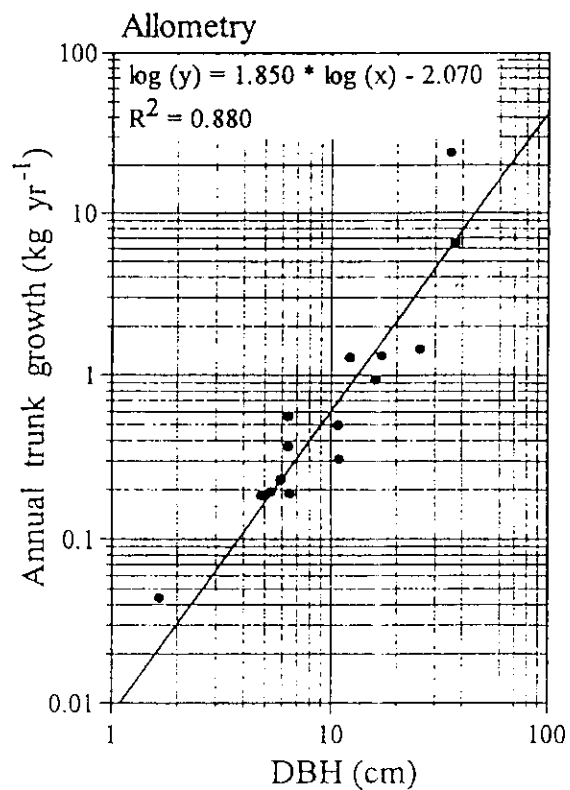
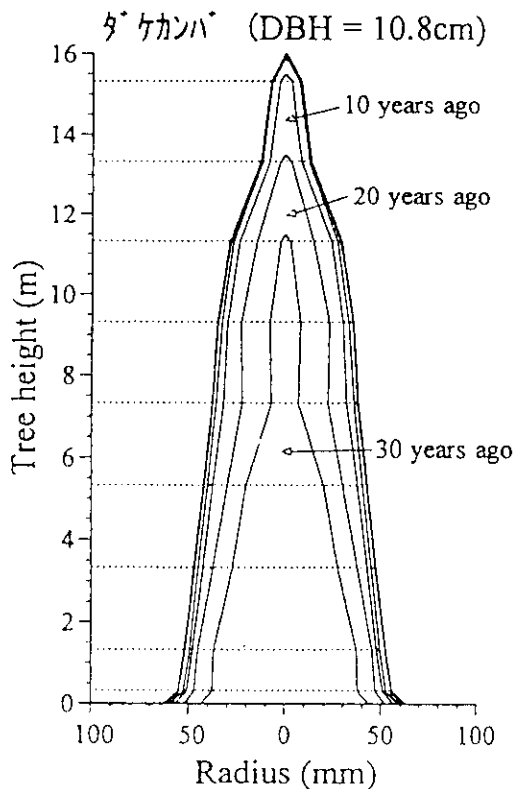


図7 ダケカンバの樹幹解析例 (左) と、DBHと最近1年間の幹成長量の関係 (右、11種、15本)

木調査と樹幹解析から推定されたDBHと各器官の現存量との相対成長関係は図6のようになり、いずれの器官とも高い相関が認められた。この結果をもとに各器官の現存量を求めると、幹、枝、根でそれぞれ132.0、18.7、32.4ton/haの値を示した。これに年間の落葉量から推定した葉の現存量3.3ton/haを加えると、この森林の樹木の現存量合計は186.4ton/haと見積もられる。この現存量は、他の研究者による森林現存量データと比較すると低い方に入るが、高標高の冷温帯林としてはほぼ妥当であり、1999年春に行った毎木調査(DBH<2cm)で微増する見通しである。

②炭素固定量

樹木による炭素固定量は、樹木の純生産量から推定することができる。純生産量 P_n は一定期間内に植物体として具現化した有機物の量であるから、その期間の開始時(t_1)と終了時(t_2)の植物体現存量を B_1 、 B_2 とすると、次のように表すことができる。

$$P_n = dB + L + G$$

$$dB = B_2 - B_1$$

ここで dB は $t_1 \sim t_2$ 間の現存量の変化、つまり成長量であり、 L はその間の枯死・脱落による損失量、 G は食植性動物の摂食による損失を表す。

単位面積当たりの樹木の純生産量は、毎木調査の結果と、抜倒木に関する種々の測定値から推定することができる。図7に単木のDBHとその幹の最近1年間の成長量との間に存在する相対成長関係を示した。このような関係と調査林分のDBH分布から、調査時に生きている全立木の幹、枝、根の生産量を推定することができる。また、葉の生産量は、リタートラップで測定した年間の全落葉量をもって全生産量とした。さらに、リタートラップで測定した落枝量と毎木調査で推定した立ち枯れ木の量を加えることにより、この森林の樹木による生産量、すなわち炭素固定量を推定することができる。

以上の仮定に基づき推定された各器官の固定量を表3に示した。幹、枝、根による炭素固定量はそれぞれ、0.93、0.09、0.14tonC/ha/yrと推定される。葉による固定量は1.32tonC/ha/yrであった。これらの値に落枝量0.44tonを加えると、この森林の全炭素固定量は4.05tonC/ha/yrと推定された。この推定では動物による摂食量を無視しているため、全炭素固定量の見積もりはやや過小評価している可能性がある。

(3) 土壌からの炭素放出量

現地では、1994年12月から1995年12月までの13カ月間にわたり、土壌表面および雪面からの CO_2 フラックスを測定した。フラックスの測定は約1カ月間隔で、赤外線ガス分析装置を用いた通気法(Nakadai et al. 1993, Koizumi et al. 1991)で行った(図8)。

土壌からの CO_2 フラックスは7～8月に最も高い値を示し、その値は600-650mg CO_2 /m²・hrであった。また積雪期においても雪の表面から30-50mgの CO_2 の放出が認められた。さらに、土壌および雪面からの CO_2 フラックスの日変化は少なかった。

1日当たりの CO_2 フラックス量 y は地表面温度 x と高い相関($R^2=0.86$)を示し、

$$y = 0.197x + 0.200$$

の一次式で近似することができた。この式と1994年から1996年の3年間にわたり調査した地表面温度を用いて、各年毎の炭素フラックス量を推定したところ、それぞれ6.03、5.78、5.03tonC/ha/yrの値を示したが、年により10～20%の変動が認められた。また1年間の炭素放出量のうち、

約11%が12月～4月の積雪期に雪面から放出されていた。この割合は、近年世界の各地で報告されている値に近似していた。

(4) 生態系純生産量 (NEP)

森林生態系の炭素固定・吸収能を評価するには、森林の生態系純生産量 (NEP) を推定しなければならない。NEPは土壌を含めた生態系全体での炭素の収支を意味し、次式で表すことができる。

$$NEP = NPP - (SR - RR)$$

$$SR - RR = HR$$

NPPは森林内の全植物の純生産量 (Pn)、SRは土壌からの炭素放出量すなわち土壌呼吸量、RRは根の呼吸量、HRは土壌微生物・動物の呼吸量を表す。すなわち、NEPは純生産量から土壌微生物・動物の呼吸量を差し引くことにより推定することができる。

以上のコンセプトに基づき、測定したデータを用いて、森林のNEPの推定を試みた (表4)。NPPは、前項で推定した樹木による固定量 4.05tonC/ha/yr に林床のクマイザサの固定量1.18tonC/ha/yr を加えることにより、5.23tonC/ha/yr と推定された。さらに、SRは3年間の値を平均して5.61tonC/ha/yrと見積もられた。NEPを推定するには、さらに根の呼吸量 (RR) を明らかにする必要がある。地下部器官の呼吸速度については測定方法も含めて検討中であるため、ここでは今までに報告されている結果を平均して45.9%という値を採用した。森林生態系を対象に、土壌呼吸量に占める地下部器官の呼吸量の割合を推定した研究はいくつか報告されているが、対象とした森林タイプや土壌タイプの違い、さらには測定手法の違いによって、推定値に20～40%の違いが生じている。これにより、RRの推定値は2.57tonC/ha/yr、HRは3.04tonとなり、この森林の生態系純生産量 (NEP) は2.19tonC/ha・yr と見積もられた。この値は同地で行われている長期タワー観測の結果 (山本ら1998) よりやや大きく出ている。

(5) 林内の微細環境の時空間変動

1 ha弱の調査地を10m x 10mのメッシュに分割し、その微細環境の時空間的変異を調べた。

① 光環境

林内の光環境は、日陰する樹木の種類や密度によって大きく異なる。また、季節的な変動も大きい。そこで最近開発されたジアゾ感光紙の褪色程度から積算日射量を推定するフィルム式簡易積算日射計を用いて、ササ群落上 (150cm) と地際 (ササ群落下) をセットにして、林内90地点で2週間置きに計測した (秋山ら 1999)。

3月31日から12月1日まで18回計測したうち、図9には4月、8月、10月の相対光強度 (林外の光強度に対する割合) が示されている。ササ上では地形や樹木層の密度による影響が強く現れている。一方、ササ下ではササの密度の影響が大きいと考えられる。図10は林内の光環境の季節変化を示している。観測した全90地点の平均値で表してある。相対値で示した上の図は、ササ上

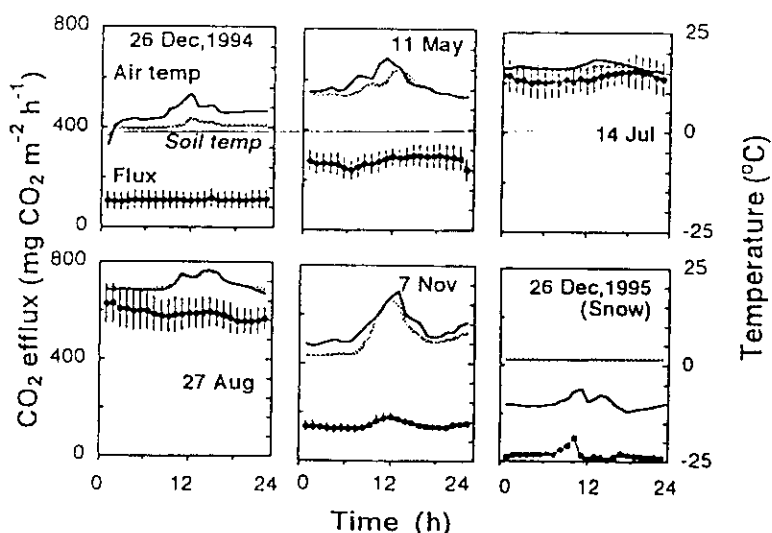


図8 本調査地の土壌呼吸速度と温度の日変化

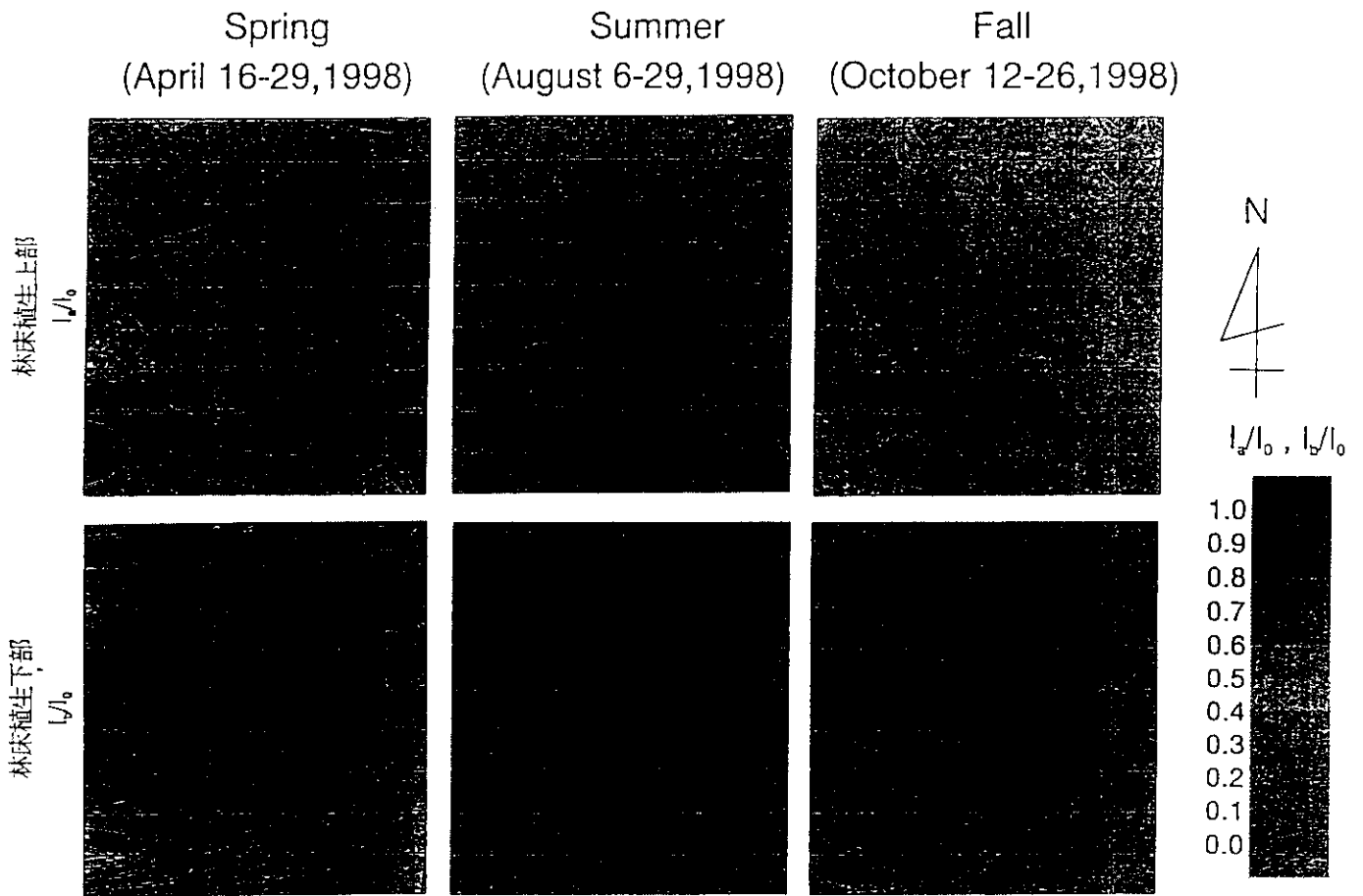


図9 試験林の微細環境（ササ群落上部と下部における光環境の季節変化）

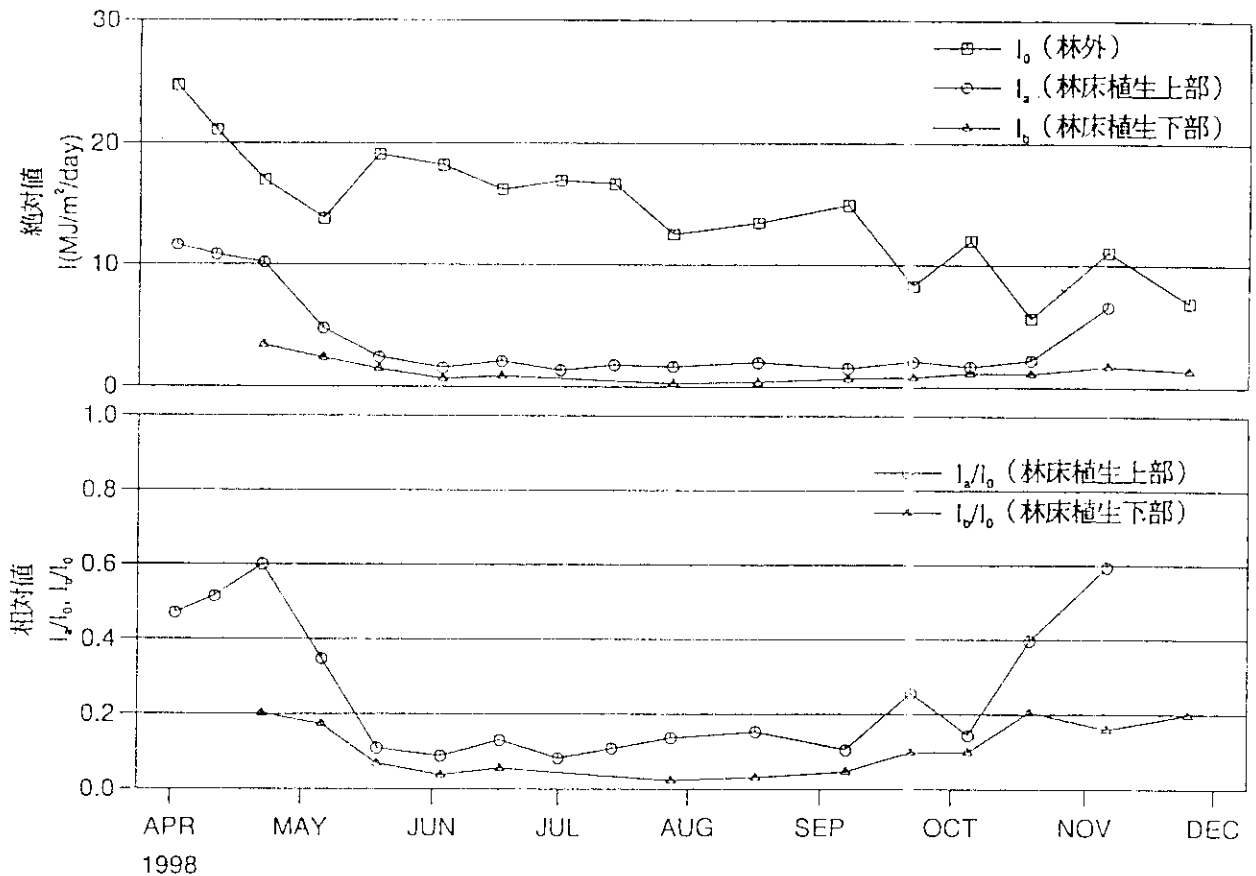


図10 林内光環境の季節変化（上；絶対値、下；林冠部に対する相対値）

では樹木の葉が展開する前の4月以前と落葉する10月以降は林外光強度の50%以上になるが、5月から9月までは10%程度に落ち込むことを示している。ササ下はさらに暗く、5月から10月は5%以下になっていることが分かった。ササ下では樹木の落葉期間でも20%を超えることは少なかった。絶対値で示した下の図からは、林外の光の季節変化曲線とササ上の曲線に挟まれる部分が樹木層が吸収（一部は反射も含む）した光の量、ササ上の曲線とササ下の曲線に挟まれた部分がササ層が吸収した光量に相当すると思われる。

②ササ現存量の面的分布

上と同じ90地点で、携帯型分光放射計を用いてササの現存量の空間分布状況を推定した（秋山ら 1998）。この分光放射計には、450、550、650、699、750および800nmの6波長用のフィルターが内蔵されていて、6波長の反射強度を数秒で測り記録する。このうち、実際に刈り取りを行って乾物重が判っている14地点について、4波長を用いて緑色バイオマスを推定する検量線を作った（図11）。これを用いて90地点のササ現存量を推定し、分布図を作成した（図12）。

以上、(1)から(4)までの結果をコンパートメントモデルに統一的に表現したものが図13である。モデルのデータは更新できるようになっているが、1999年3月に行った毎木調査の一部や、(5)の面的変異の評価は現時点では含まれていない。今回はコンパートメント・モデルの提示と、各層における炭素循環過程の定量的表示の段階にとどまったが、今後、さらにデータを蓄積することにより、精度の高い森林生態系の炭素循環モデルの構築が可能となり、将来予測や対策技術と結びつくことが期待できる。

5. 本研究により得られた成果

- ・冷温帯林生態系の主要林床植生であるササ層の炭素循環の季節変動を明らかにし、冷温帯林生態系内でのササの働きを定量的に示した。
- ・従来データが不足していた冷温帯林の樹木層の現存量や肥大成長、地下部分のバイオマスを推定した。
- ・土壌圏における炭素の動態を測定する新たな手法を導入し、その炭素収支を年間を通じて明らかにした。
- ・同じサイトで実施されている観測タワーでの大気計測データと比較できたと同時に、早春・晩秋のCO₂固定がササ層によるものであることなど、これを補完する情報も得られた。
- ・試験地内の微細環境や植生量のバラツキの状態を把握できたことから、今後のモデル構築に際して、より精度の高い予測や対策技術の確立が期待できる。

6. 参考文献

- 1) 秋山侃・酒井徹・富久尾歩・賈書剛・篠田成郎 1999. フィルム式簡易積算日射計による林内光環境の計測. 1999年度日本写真測量学会春期学術講演会論文集. p.23-26.
- 2) 秋山侃・富久尾歩・莫文紅・西村格 1998. 冷温帯落葉広葉樹林の炭素循環 1. 林内光環境の計測とモデル化. 1998年度春期講演会要旨集, システム農学 14(別号1):14-15.
- 3) 秋山侃・富久尾歩・莫文紅・板野志郎 1998. 分光反射計測による林床クマイザサ群落の現存

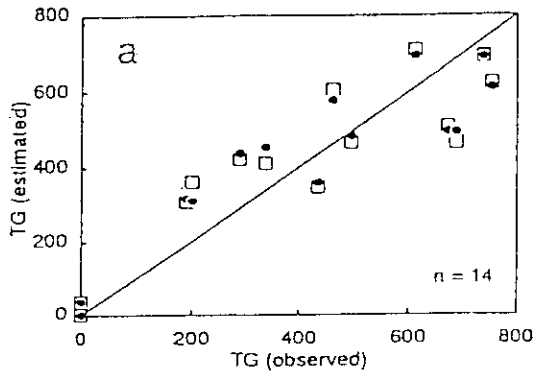


図11 実測したササ地上部緑色現存量と分光反射率演算値から推定した同現存量の関係

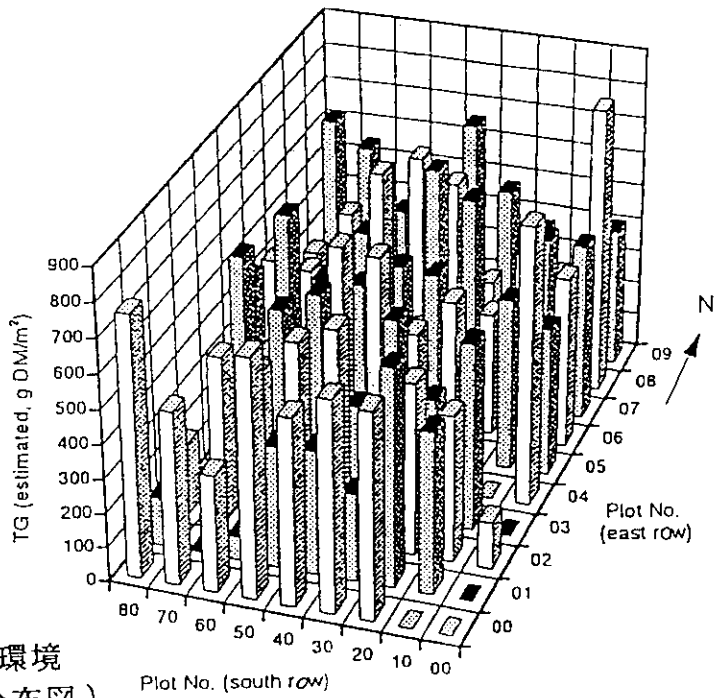


図12 試験林の微細環境 (ササ緑色現存量分布図)

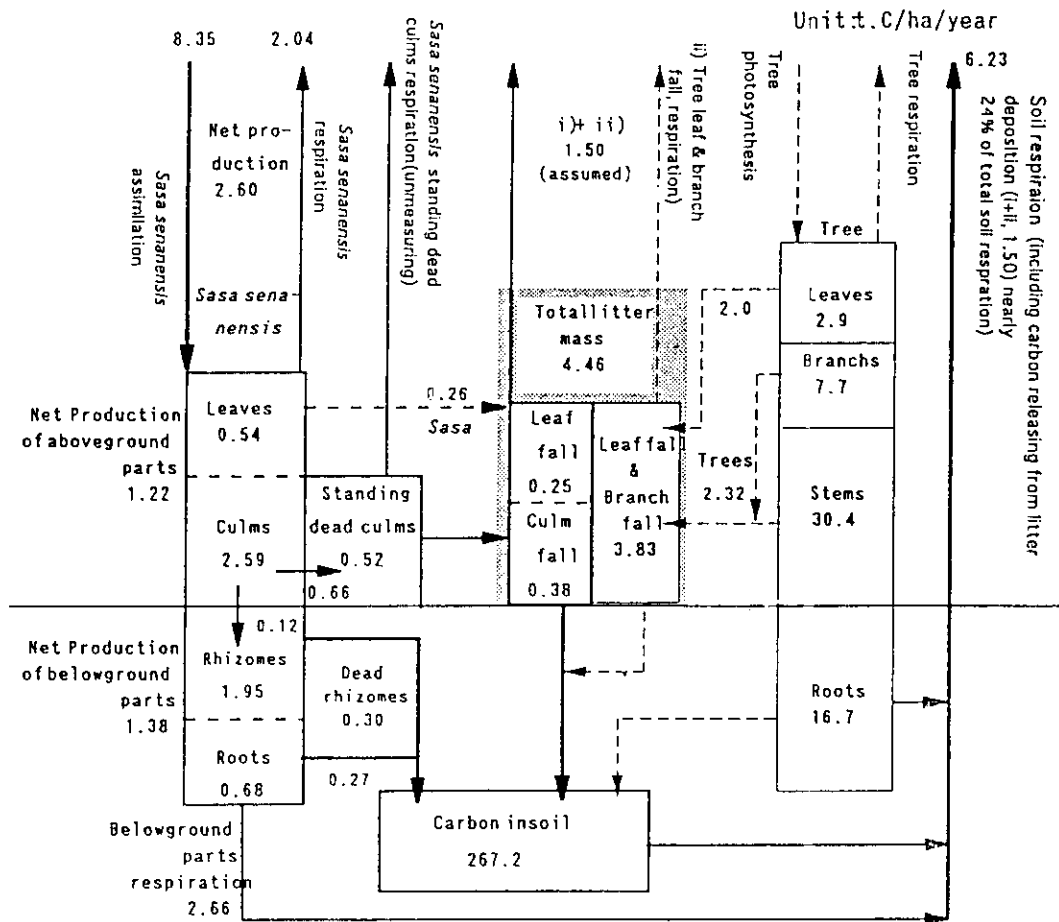


図13 林床にササをもつ落葉広葉樹林の炭素循環のコンパートメント・モデル (未定稿)

量推定. 日本草地学会誌45(別号):386-387.

- 4) 木村充 1976.陸上植物群落の生産量測定法 生態学研究法講座8 共立出版株式会社 pp.112.
- 5) 小泉博 1999. 森林および土壌における炭素動態と収支. 「森林は地球の温暖化を止められるか」 岐阜大学流域環境研究センター第6回シンポジウム要旨集. p.18-22.
- 6) Koizumi, H., T. Nakadai, Y. Usami, M. Satoh, M. Shiyomi and T. Oikawa 1991. Effect of carbon dioxide concentration on microbial respiration in soil. *Ecological Research*, 6:227-232.
- 7) Nakadai, T., H. Koizumi, Y. Usami, M. Satoh and T. Oikawa 1993. Examination of the method for measuring soil respiration in cultivated land; Effect of carbon dioxide concentration on soil respiration. *Ecological Research*, 8:65-71.
- 8) 西村格・西條好迪・安藤辰夫・松井喜祐・津田智・大久保忠旦・莫文紅・車戸憲二 1996. 冷温帯林生態系におけるササ型林床植生の炭素循環の定量解析に関する研究. 環境庁地球環境研究総合推進費平成7年度研究成果報告集. 分冊II, p.73-85.
- 9) 西村格 1999. 冷温帯落葉広葉樹林の林床ササ群落における炭素固定能の評価. 「森林は地球の温暖化を止められるか」 岐阜大学流域環境研究センター第6回シンポジウム要旨集. p.14-17.
- 10) Nishimura, N. T. Akiyama, Y. Matsui, Y. Saijo, S. Tsuda, T. Okubo and W. Mo 1997. Role of the Sasa type floor vegetation for carbon cycling in cool temperate forest ecosystem. *Sumposium on "Cool Temperate Forests in Korea and Japan"*, p.91-97.
- 11) 山本晋 1999. タワー観測による森林生態系CO₂吸収能の評価. 「森林は地球の温暖化を止められるか」 岐阜大学流域環境研究センター第6回シンポジウム要旨集. p.8-14.
- 12) 山本晋・村山昌平・三枝信子・近藤裕昭・西村格 1998. 森林生態系の二酸化炭素吸収・交換量についての一考察. *資源と環境*, 7:73-81.

[国際共同研究等の状況]

(1) 海外に向けての成果の発表

平成9年9月16-17日に広島で開催された'Comparative Studies on CO₂ Fluxes Observed by Towers at Several Forests in the World'ならびに同年10月10-12日に韓国の忠州清州市で開催された'Cool Temperate Forests in Korea and Japan: Vegetation and Carbon Cycle'においてこれまでの成果を発表した。

(2) 国際共同研究等の状況

海外調査の一環として、西村格教授が平成10年1月5-15日まで、ニュージーランドを訪れ「冷温帯林生態系における炭素循環の定量的解析」に関する研究の状況を調査した。Palmerston North市にあるAgResearch GrasslandsにDr. J.Hodgsonを、Christchurch市でManaaki Whenua Landcare ResearchおよびLincoln大学にDr. W.Harrisを訪問し、炭素循環研究の実状を視察した。ニュージーランドにおける生態系レベルの炭素循環の定量的解析に関する研究はLincoln大学で実施されているものの、まだ開始されたばかりでその成果物は発表されるに至っていない。

AgResearch Grasslandsでは二酸化炭素の増加に伴う牧草生産量の変化をオープン・フィールドの放牧地で測定していた。一方、Manaaki Whenua Landcare Researchでは樹木を対象として市の污水处理施設から排出される二酸化炭素を集めて大きなオープントップ・チャンバーに送り込み、樹木の生産量の増加を測定していた。それぞれの現地で手法についての論議を行った。

[研究成果の発表状況]

口頭発表

- 1) Nishimura, N. T. Akiyama, Y. Matsui, Y. Saijo, S. Tsuda, T. Okubo and W. Mo 1997. Role of the Sasa type floor vegetation for carbon cycling in cool temperate forest ecosystem. Symposium on "Cool Temperate Forests in Korea and Japan", p.91-97.
- 2) 秋山侃・富久尾歩・莫文紅・西村格 1998. 冷温帯落葉広葉樹林の炭素循環 1. 林内光環境の計測とモデル化. 1998年度春期講演会要旨集, システム農学 14 (別号1):14-15.
- 3) 秋山侃・富久尾歩・莫文紅・板野志郎 1998. 分光反射計測による林床クマイザサ群落の現存量推定. 日本草地学会誌, 45 (別号):386-387.
- 4) 秋山侃・酒井徹・富久尾歩・賈書剛・篠田成郎 1999. フィルム式簡易積算日射計による林内光環境の計測. 1999年度日本写真測量学会春期学術講演会論文集. p.23-26.
- 5) 小泉博 1999. 森林および土壌における炭素動態と収支. 「森林は地球の温暖化を止められるか」 岐阜大学流域環境研究センター第6回シンポジウム要旨集. p.18-22.
- 6) 西村格 1999. 冷温帯落葉広葉樹林の林床ササ群落における炭素固定能の評価. 「森林は地球の温暖化を止められるか」 岐阜大学流域環境研究センター第6回シンポジウム要旨集. p.14-17.

論文発表

- 1) 秋山侃・酒井徹・富久尾歩・賈書剛・篠田成郎 1999. フィルム式簡易積算日射計による林内光環境の計測. 写真測量とリモートセンシング (投稿予定).
- 2) 山本晋・村山昌平・三枝信子・近藤裕昭・西村格 1998. 森林生態系の二酸化炭素吸収・交換量についての一考察. 資源と環境, 7:73-81.
- 3) 大塚俊之ほか 1999. 冷温帯林生態系の炭素循環, 1. 落葉広葉樹林の現存量と成長量の推定 (生態学会投稿予定)
- 4) 賈書剛ほか 1999. 冷温帯林生態系の炭素循環, 2. 微細環境の時・空間変異 (システム農学会投稿予定)
- 5) 小泉博ほか 1999. 冷温帯林生態系の炭素循環, 3. 土壌呼吸量の季節変化 (投稿予定)
- 6) 西村格ほか 1999. 冷温帯林生態系の炭素循環, 4. 林床ササ群落の炭素動態 (投稿予定)
- 7) 秋山侃ほか 1999. 冷温帯林生態系の炭素循環, 5. モデル化と予測 (投稿予定)