

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

(3) 土壤生物機能のモデル化と定量的評価

① 土壤微生物機能の定量的評価

研究代表者 農業環境技術研究所環境管理部生態管理研究室 三島 慎一郎

農林水産省農業環境技術研究所

環境管理部 資源・生態管理科 生態管理研究室 三島慎一郎・織田健次郎

平成8-10年度合計予算 7,506千円

(平成10年度予算額 2,500千円)

[要旨]

本研究では森林生態系の炭素循環において林床からのCO₂発生に占める土壤微生物の寄与を明らかにすることを目的とする。気候条件の異なる二つの森林(岐阜大学流域環境研究センター高山試験地:以下高山と、栃木県西那須野町草地試験場:以下草地試)において、リターと土壌を時期を変えて採集し、微生物バイオマスと微生物バイオマス当たりの呼吸速度(Metabolic Quotient: MQ)の温度依存変化を調べた。また、現地における地温を測定した。微生物バイオマスの季節変動は、両森林において異なっていた。高山の土壌中では、冬季にバイオマスが高くなり秋に向かって減少していた。草地試では土壌の15-35cm層を除きバイオマスはほぼ一定の値であった。A₀層中では、両調査地ともバイオマスは変動したが一定の傾向は見られなかった。両調査地ともMQの温度依存変化は、時季により変動はしなかった。微生物バイオマスとMQの温度依存変化、及び調査地における地温から、微生物バイオマス由来のCO₂発生量を推定した。対照として過去の研究による地温と林床からのCO₂発生速度の相関式を用いて林床からのCO₂発生量を求めて比較を行なった。1998年1年間をトータルしてみた場合、林床からのCO₂発生量に占める微生物バイオマス由来のCO₂発生量の割合は、高山では48%、草地試では77%であった。しかしこの割合は月毎に見ると、微生物バイオマスの変動に比例して変化していた。重回帰分析により、微生物バイオマスを介して発生するCO₂量に与える温度と微生物バイオマスの変動の影響を求めたところ、微生物バイオマスの変動よりも温度の変化の方がより強く影響していることが示された。

[キーワード] 微生物バイオマス, 土壤呼吸, 森林生態系, 炭素循環

1. 目的

微生物は森林土壌の有機物分解において主要な役割を果たしており、土壌における物質循環過程において重要な位置を占めている。よって、微生物の量と有機物分解活性等を調べることは、土壌における物質循環を解明する上で重要である。しかし、陸域生態系の炭素循環において大きな位置をしめる森林において、微生物を介して動く物質

を定量的に捉えた研究は少ない。本研究では、微生物の有機物分解による二酸化炭素の発生は、微生物のバイオマスと微生物バイオマスの温度に依存した呼吸速度によって決定されるという仮定の下に、二つの冷温帯二次林において、土壤微生物バイオマスとその呼吸速度の季節変動を調べ、林床から発生する CO₂ 量へのそれらの寄与を定量的に明らかにすることを目的として行なった。

2. 方法

(1) 調査地の設定と概要、試料の採集

調査地として岐阜県高山市にある岐阜大学流域環境研究センター高山試験地のシラカバ-ミズナラ林(以下、高山とする)と栃木県西那須野市にある草地試験場藤荷田山のクリ-コナラ林(以下、草地試)を選定した。両調査地の土壤は、火山灰を母材とするいわゆる黒ボク土であり、土性は高山は重埴土、草地試は軽埴土であった。標高と年平均気温、年降水量はそれぞれ、草地試では 310m、11.0°C、997mm(黒磯 AMeDAS 1996 年による)、高山では 1400m、7.2°C、2439mm であった。

選定した両調査地に 20×25m のコドラートを設置し、以下の調査を行なった。

① 微生物バイオマスの土壤断面における垂直分布

調査地内において土壤断面を切り、A₀層と深さ 0-5cm、5-10cm、10-20cm、20-40cm、40-60cm、60-80cm の各層の土壤を採集し、微生物バイオマスを測定した。また 100ml 容の採土管を用いて各層の土壤を採集し、仮比重を測定した。

② 微生物バイオマスと呼吸速度の季節変動

試料の採集は、1997 年 4 月より 1999 年 3 月まで季節を変えて 9 回行なった。各試料採取においては、コドラート内の 12 点(冬季・積雪期は 6 点)で A₀層と土壤の 0-5cm 層、5-15cm 層、15-35cm 層(1997 年 11 月から)を採集した。ただし 1998 年 7 月には A₀層と 0-5cm 層のみの採集を行なった。採集した試料は、各層毎にコンポジットして実験に用いた。また、コドラート内での微生物バイオマスのばらつきを調べるため、草地試では 1998 年 11 月と 1999 年 2 月、高山では 1998 年 9 月と 1999 年 3 月に、それぞれ 12 点と 6 点で採集した時の各点での微生物バイオマスを測定した。

(2) 微生物バイオマスと呼吸速度の測定

採集した試料は、A₀層は包丁で刻んだ後、土壤はそのまま 8mm の篩に通し、細根や線虫等の土壤動物を取り除いて 5°C で保存し、実験に使用した。

保存していた試料中の微生物バイオマスは、Vance *et al.*²⁾によるクロロホルム燻蒸-抽出法を使用して測定した。A₀層に関しては、Mishima *et al.*³⁾による変法を用いて測定した。これを試料採集時における微生物バイオマスとした。試料から抽出された有機炭素は、TOC メーター(島津 TOC-5000)で定量した。

試料の呼吸速度の測定は、A₀層に関しては最大容水量の 100%、土壤の各層に関しては最大容水量の 55% に調整した後、25°C → 15°C → 5°C の順にそれぞれ 14 日ずつ培養した後の呼吸速度を赤外線ガス分析計(IRGA)を用いた連続通気法⁴⁾の変法を用いて測定し

た(図 1)。また、呼吸速度測定用の試料とは別に同様の条件で培養した試料を用いて、呼吸速度測定時の微生物バイオマス測定した。

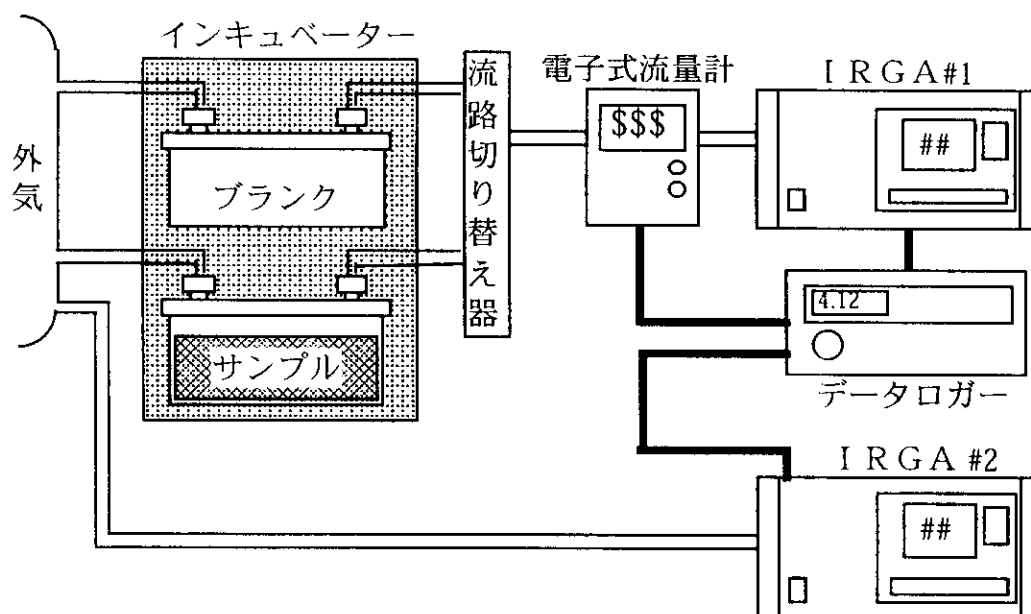


図1. 呼吸速度測定装置

IRGA #1では、ブランク(キャリアガスである大気)のCO₂濃度を測定するとともに、サンプルから発生するCO₂を加えたCO₂濃度を測定し、両者の差と大気の流れからサンプルのCO₂発生速度(呼吸速度)を求める。IRGA #2では、IRGA #1のブランク測定時以外の時の大気CO₂濃度をモニタリングする。測定された各データはデータロガーに記録される。

バイオマスの測定は3連で、呼吸速度の測定は2連で行なった。

微生物バイオマス当たりの呼吸速度(MQ : Metabolic Quotient ; 単位 : $\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}\text{ biomass C h}^{-1}$)は、各温度での呼吸速度と微生物バイオマス計算した。MQ と温度(T)とMQ の関係を指数式

$$MQ = a\text{EXP}(bT)$$

で回帰して求めた(a,b は定数)。

一つの試料をある温度で培養した後、別の温度で培養した場合、ある温度で培養されたことの前歴が残る可能性が考えられる。そこで1998年5月のサンプルを用いて、5℃での呼吸速度測定後、15℃、25℃の順に各14日培養し25℃でのMQを測定したが、先に測定した25℃におけるMQとの間に有意差は認められなかった(p>5%;表1)。

表1. 他の温度での培養前歴がMQに与える影響の評価

		25℃での測定	5℃で測定後再度25℃で測定
高山	A ₀ 層	4.76 ± 0.02	4.89 ± 0.10
	0-5cm	1.81 ± 0.03	1.97 ± 0.08
	5-15cm	0.75 ± 0.16	0.76 ± 0.12
	15-35cm	0.67 ± 0.02	0.74 ± 0.47
草地試	A ₀ 層	4.86 ± 0.32	5.12 ± 0.25
	0-5cm	2.24 ± 0.11	2.07 ± 0.23
	5-15cm	0.88 ± 0.11	0.87 ± 0.13
	15-35cm	1.50 ± 0.01	1.63 ± 0.11

(3) 現地における地温の測定

単位 : $\mu\text{gCO}_2\text{-C mg}^{-1}\text{ biomassC h}^{-1}$

両調査地において、地表面、深さ 5cm、10cm、40cm で地温を 1 時間毎に測定した。高山において、データが欠損した場合には、岐阜大学流域環境研究センターのホームページにおいて公開されている高山試験地での気象データ (<http://www.green.gifu-u.ac.jp/takayama/takayama.html>) を補正して使用した。

(4) 微生物バイオマス由来の CO₂ 発生量と林床からの CO₂ 発生量の推定

微生物由来の CO₂ 発生量と林床からの CO₂ 発生量(微生物由来の CO₂ 発生量と植物根由来の CO₂ 発生量の和)は、以下の式から求めた。

① 微生物バイオマス由来の CO₂ 発生量は、A₀ 層、土壌 0-5cm、5-15cm、15-35cm の各層について、以下の式から求めた。

$$R = MB \cdot a \cdot \text{EXP}(bT) \quad \dots \text{式}[1]$$

R : 微生物バイオマス由来の CO₂ 発生量($\mu\text{g CO}_2\text{-C h}^{-1}$)

MB : 微生物バイオマス(mgC m^{-1})

T : 地温

a, b : 定数

ここで、上式の[a EXP(bT)]は、MQ の温度依存変化の回帰式

$$MQ = a \cdot \text{EXP}(bT)$$

である。微生物バイオマス MB は、各試料採集日におけるバイオマスの値が、その前後の試料採取日の中間日まで同じであると仮定した。

② 対照として林床からの CO₂ 発生量は、

$$\text{高山} : SR(\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}) = 0.0012T^2 + 0.1748T + 0.2544 \quad \dots \text{式}[2] \quad (\text{西村}^{5)})$$

$$\text{草地試} : SR(\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}) = 33.285 \cdot \text{EXP}(0.12916T) \quad \dots \text{式}[3] \quad (\text{松本}^{6)})$$

SR : 林床からの CO₂ 発生量

T : 地表面温度

より求めた。

3. 結果と考察

(1) 微生物バイオマスの垂直分布

土壌断面における微生物バイオマスの分布を図 2. に示す。高山においては、深さ 30-40cm まで有機物に富む A 層があり、以下 B 層が続いていた。深さ 60cm 以深では多くの礫を含んでいた。草地試においては、深さ 30-40cm まで有機物に富む A 層があり、以下 B 層が続いていた。礫に富む部分は深さ 80cm 迄には見られなかった。両調査地とも、微生物バイオマスは地表面に近いほど多く分布していた。面積当たりで見た場合に 0-5cm 層で 5-10cm 層よりも微生物バイオマスが少ないのは、0-5cm 層には植物根がより多く存在しており、仮比重が小さいことが影響していると考えられた。深さ 80cm 迄に高山、草地試でそれぞれ 312gC m^{-1} 、 152gC m^{-1} の微生物が存在していた。深さ 80cm までに存在する微生物バイオマスを 100% とすると、試料採取において深さ 15cm 迄の土壌を採集した場合その約 50% に、35cm 迄の土壌を採集した場合約 80% に相当する量の微

生物バイオマスを得ることができると考えられた。

(2)微生物バイオマスおよび MQ の時期による変動

①微生物バイオマスの時期による変動

各採集時期における微生物バイオマスとMQの温度依存変化を図3と図4に示す。

高山において、微生物バイオマスは、土壌中では積雪期(冬季)に高く、秋に向かって減少する傾向が見られた。各試料採取時のバイオマス測定値の標準偏差が、12点で採集した場合には9月の場合と、6点で採集した時には3月の場合と等しいと仮定して分散分析を行なった場合、微生物バイオマスの時期による変動は有意なものであった。A0層中では、1997年4月に特に大きかったことを除くと、明確な傾向は認められなかった。

草地試では、土壌中の微生物バイオマスは、0-5cm、5-15cmでは年間を通してほぼ一定であった。15-35cm層に関しては、高山と同様に冬季-春期に高くなる傾向があった。A0層に関しては、有意な変動は認められたが、明確な傾向は見られなかった。

微生物バイオマス(gC m⁻² cm⁻¹)

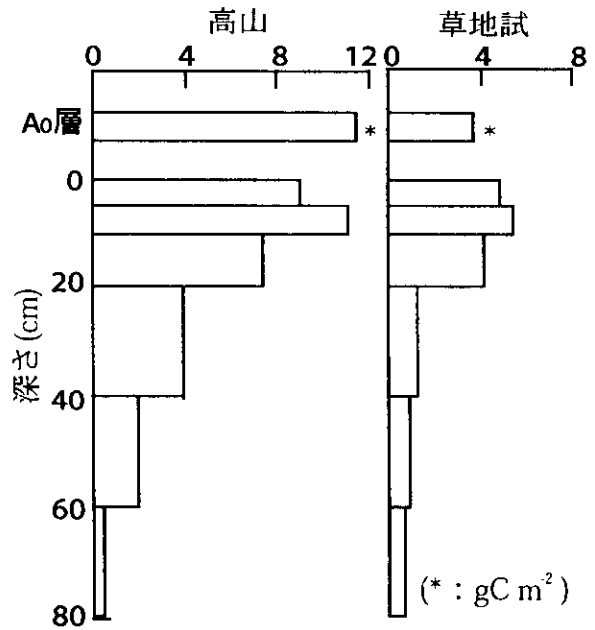


図2.土壌断面における微生物バイオマスの垂直分布

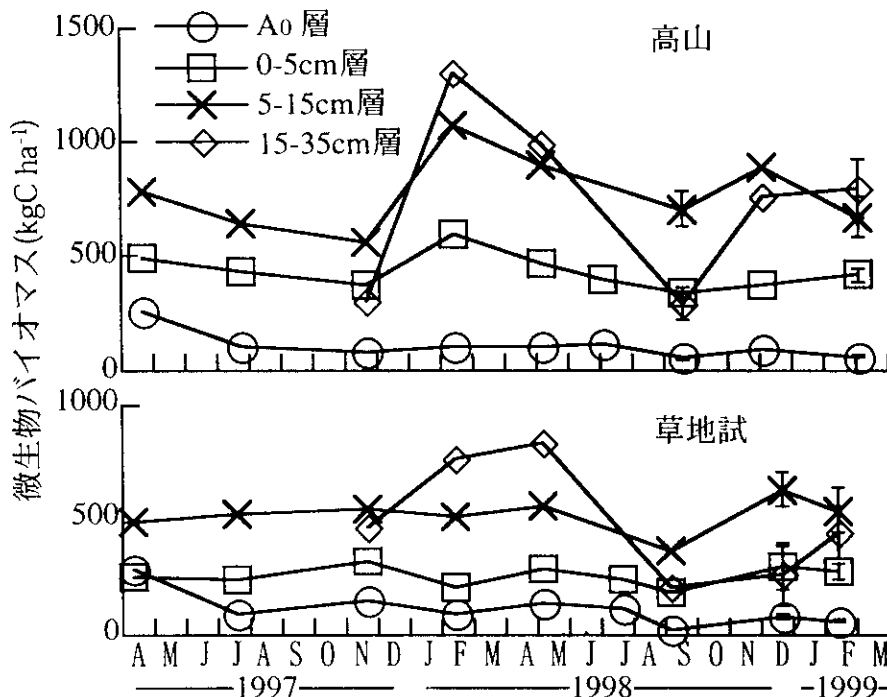


図3.調査期間中の微生物バイオマスの変動

Ross⁷⁾は、草地において微生物バイオマスに季節的変動がある場合とない場合を報告している。しかし、季節的な変動が認められる場合にその原因に関しては言及していない。West and Sparling⁸⁾は、土壌の水分量が多いことが微生物バイオマスを大きくする可能性を述べている。高山においては積雪期にもリター・土壌は凍結しておらず、湿潤な状態にあ

った。このような湿潤な状態が長期間続くことが、冬季に土壌中の微生物バイオマスを大きくしている可能性がある。

A0層中の微生物バイオマスの変動に関しては、両調査地において明確な変動の傾向は、見られなかった。A0層中の単位重量当たりの微生物バイオマスを規定する要素としては、A0層中の炭水化物の量の違いが言われている³⁾。しかし面積当たりの場合には、リターの蓄積量の変動もまた影響することから、微生物バイオマスの明確な変動の傾向は見られなかったものと考えられた。

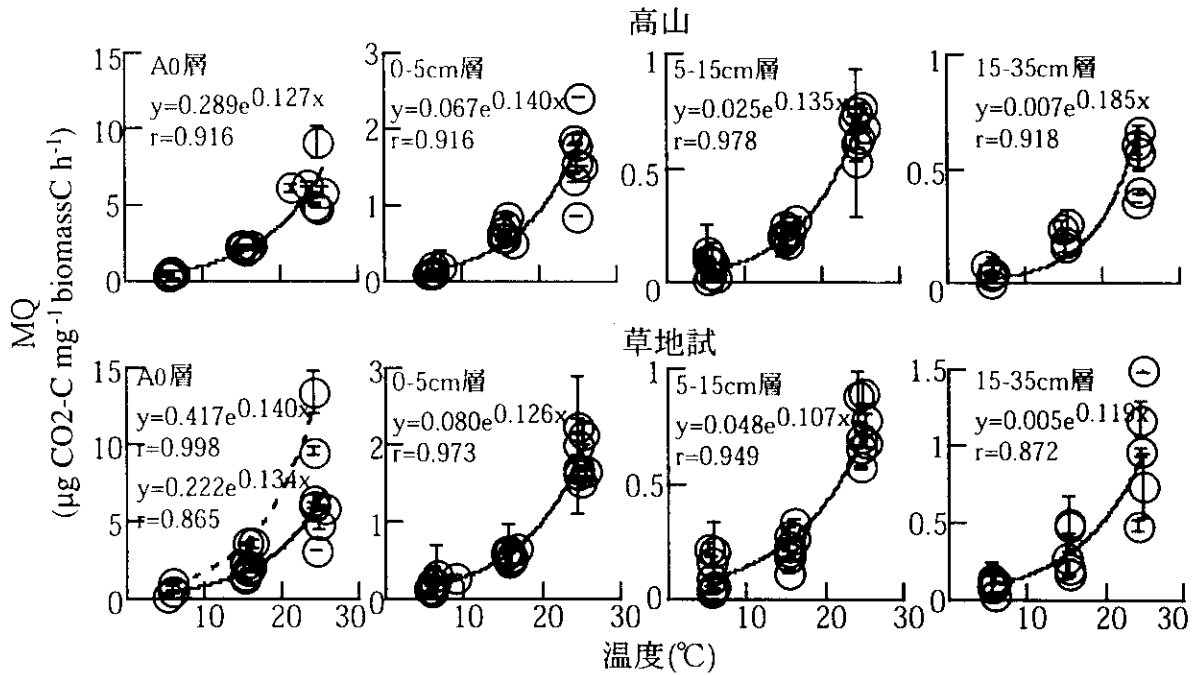


図4. MQの温度依存変化

② MQの温度依存変化とQ₁₀

草地試 1997年4月の試料を除くと、各調査地の各層位におけるMQの温度依存変化の回帰式の係数には各採集時期の違いによる有意な差は見られず、調査期間を通して一つの回帰式で回帰することが可能であった(図4)。同一の温度(25°C)で見ると、A0層におけるMQは、土壌のMQよりも5-10倍高く、土壌0-5cm層では、それより深い土壌

表2. 各調査地における試料のMQとQ₁₀

層位	(参考*)	MQ(25°C)			Q ₁₀			
		高山	草地試	参考*	高山	草地試	参考*	
A0層	(L層)	6.88	6.37**	4.3	3.55	3.83**	3.89	
	(FH層)			3.5			2.97	
土壌	0-5cm	(0-8cm)	1.77	1.86	1.1	3.71	3.52	3.68
	5-15cm	(8-20cm)	0.72	0.70	0.86	3.86	2.92	3.70
	15-35cm	(20-30cm)	0.70	0.96	0.87	6.37	3.30	1.82

* : Ross and Tate⁹⁾による

** : 1997年4月の試料を除いた回帰式による

よりもMQが高かった(表2)。地表付近に多くの微生物が存在し、またそのMQが高いことは、地表に近いほど炭素循環への寄与が大きい

ことを示すと考えられる。A0層のMQが土壌よりも大きいのは Ross and Tate⁹⁾と同様の結果である(表2)。また、25℃におけるMQは、植生、気候条件の全く異なる二つの調査地において、15-35cmを除き比較的近い値であった。

また、Q₁₀に関しても、A0層、0-5cm層に関しては両調査地で同等であり、これは、ニュージーランドの *Northofagus* 林のものにも近い値であった(表2)⁹⁾。

(3) 微生物バイオマス由来のCO₂発生量と林床からのCO₂発生量との比較

① 高山における推定

1998年の地温及び、式[1]から求められた微生物由来のCO₂量及び西村⁵⁾の式[2]を用いて求めた林床から発生するCO₂発生量を図5に示す。

微生物由来のCO₂発生量は、3.73tC ha⁻¹ y⁻¹であった。この内、28%がA0層から、72%が土壌から発生していた。また、式[2]によるCO₂発生量は、7.45tC ha⁻¹ y⁻¹であった。微生物バイオマス由来のCO₂発生量は、このうち48%を占める。

月別に見た場合、林床からのCO₂発生量に占める微生物バイオマス由来のCO₂発生量は、32~69%と変化した。これは、微生物バイオマスが時期により変化したことによると考えられる。そこで、式[1]において求めた微生物バイオマス由来のCO₂発生量と微生物バイオマスの関係を重回帰分析によって調べた。その結果を表3に示す。微生物バイオマスの変動が微生物バイオマス由来のCO₂発生量に与える影響は、温度の変動による影響によるものよりも小さかった。

② 草地試における推定

1998年の地温及び式[1]から求められた微生物バイオマス由来のCO₂量及び松本⁶⁾の式[3]を用いて求めた林床からのCO₂発生量を図6に示す。

微生物バイオマス由来のCO₂発生量は、4.52tC ha⁻¹ y⁻¹であった。この内、28%がA0

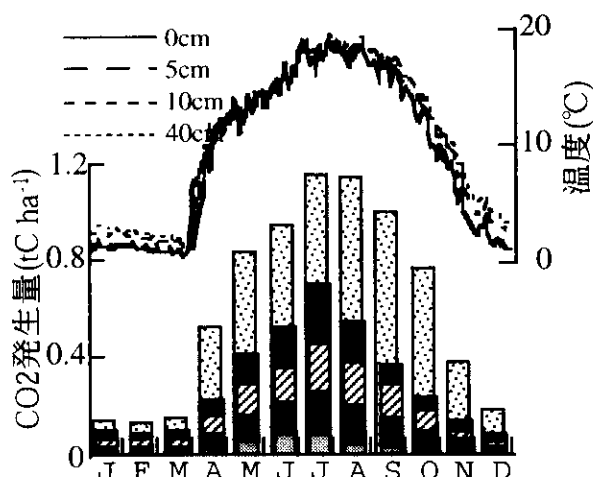


図5.1998年の高山における地温及び微生物由来のCO₂発生量と林床からのCO₂発生量

■ A0層 ▨ 0-5cm層 ■ 5-15cm層
 ■ 15-35cm層 ▩ 林床からの発生量

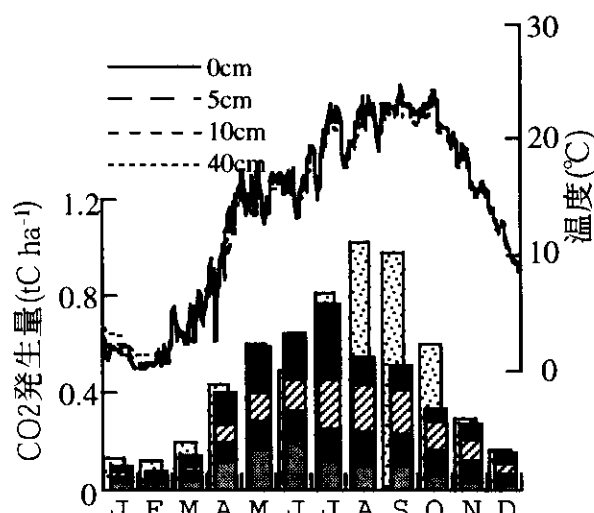


図6.1998年の草地試における地温及び微生物由来のCO₂発生量と林床からのCO₂発生量

■ A0層 ▨ 0-5cm層 ■ 5-15cm層
 ■ 15-35cm層 ▩ 林床からの発生量

層から、72%が土壌から発生していた。また、林床からのCO₂発生量は、5.86tC ha⁻¹ y⁻¹であった。よって微生物バイオマスによる微生物バイオマス由来のCO₂発生量は、このうち77%を占めた。この比率は、月により53-129%と変化した。4-6月には15-35cm層の微生物バイオマスが増加したことが(図3)、林床からのCO₂発生量に占めるバイオマス由来のCO₂発生量を大きくし、割合を増加させたと考えられた。対して、8-10月には、A₀層と15-35cm層の微生物バイオマスが大きく減少したことが、林床からのCO₂発生量に占める微生物バイオマス由来のCO₂発生量の割合を減少させたと考えられた。

表3. 重回帰分析による微生物バイオマス由来のCO₂発生量への地温と微生物バイオマスの寄与

		A ₀ 層	0-5cm層	5-15cm層	15-35cm層
高山	地温	88.93%	95.19%	97.86%	77.27%
	バイオマス	7.58%	37.54%	38.09%	27.07%
草地試	地温	68.60%	96.46%	93.96%	47.72%
	バイオマス	0.71%	0.01%	14.63%	4.73%

$$\ln(R)=\ln(MB)+bT+\ln(a)$$

③推定された呼吸量に関する総合的考察

微生物を介して発生する二酸化炭素量は、高山においては面積当たりに2倍近い微生物バイオマスがあるにもかかわらず、草地試と同程度であった。これは、高山においては草地試に比べて平均気温が低く、また積雪期間のように低温が長く続く時期があることが影響していると考えられた。

中根¹⁰⁾は、林床からのCO₂発生量において、植物根から発生するCO₂量とA₀層及び土壌から発生するCO₂量(微生物バイオマス由来のCO₂発生量)がほぼ同量であることを示している。対してTate *et al.*¹²⁾は実験室内での測定により、林床からのCO₂発生量において、根から23%、A₀層及び土壌から77%のCO₂が発生すると述べている。本研究の高山においては、より深い土壌も考慮した場合には微生物由来のCO₂発生量の割合が増える可能性があるが、60cm以深には礫が多く、また深さ80cm迄の土壌に存在する微生物バイオマスの80%に相当する微生物を対象としていることから考えて、中根¹⁰⁾の結果に近い値を得たとも考えられる。また、草地試においては、林床からのCO₂フラックスに占める微生物バイオマスを介して発生するCO₂発生量は77%で、Tate *et al.*¹²⁾に近い結果であった。

微生物バイオマス由来のCO₂発生量のうち、A₀層と土壌から発生するCO₂量はほぼ同量であることが、中根¹⁰⁾とKelting *et al.*¹¹⁾による野外における様々な植生の森林における測定において、またRoss and Tate⁹⁾およびTate *et al.*¹²⁾による室内実験による測定において述べられている。対して、本研究の両調査地における推定の結果は、A₀層から発生するCO₂量は、土壌からのその1/3程度であり、先の研究とは異なる結果となった。

本研究においては、呼吸速度測定時に試料を大気に曝している。大気中のCO₂濃度は、調査地の土壌中の空気のCO₂濃度よりも低いことが想定される。このようなCO₂濃度の低い条件下では、採集した土壌試料の呼吸速度が大きくなること、またその割合は

土壌試料により異なることが、Koizumi *et al.*¹³⁾ や Santruckoba and Simek¹⁴⁾ によって示唆されている。大気の CO₂ 濃度で測定した呼吸速度が、高山の試料と草地試の試料では 25℃ における MQ や Q₁₀ が似たものであっても、現場の CO₂ 濃度条件では異なっていた可能性が考えられる。よって、より正確に定量的な微生物由来の CO₂ 発生量を推定するためには、これらの条件も考慮する必要があると考えられた。

4. 得られた成果と今後の課題

微生物バイオマスの季節的な変動は、2つの森林により異なっていた。高山においては、冬季に土壌中のバイオマスが増加し、秋に向かって減少する傾向が見られた。対して草地試においては 15-35cm 層を除き基本的に年間を通してほぼ一定の値を示していた(図 3)。これらは、森林生態系により微生物バイオマスの変動パターンが異なることを示す。対して微生物バイオマス当たりの呼吸速度(MQ)の温度依存変化は、一例を除き時期による変動はなかった(図 4)。これらの結果は、微生物バイオマスの変動は微生物を介して発生する CO₂ 量に影響する可能性を示唆している。しかし、重回帰分析の結果からは、微生物由来の CO₂ 発生量には、微生物バイオマスの変動よりも温度の変動の方がより大きく影響することが示された(表 3)。

実験室条件で測定された呼吸速度には様々な問題が考えられるが、年間を通してみた場合、過去の報告による林床からの CO₂ 発生量と比較して大きく異なる結果ではなかった。

本研究では現場の土壌とは異なる低い CO₂ 濃度下で呼吸を測定したことによる呼吸速度の増加分を考慮していない等の問題点があるため、必ずしも定量的な評価は出来なかった可能性がある。また、MQ と水分条件の関係に関しても定式化し、変数として組み込んだモデルを構築することが、より正確で定量的な評価を行なうためには必要であると考えられた。

5. 謝辞

本研究を行なうにあたっては、岐阜大学流域環境研究センター高山試験地の皆様に多大なる御支援をいただきましたことに誠に感謝いたします。

6. 引用文献

- 1) C.L.Neely, M.H.Beare, W.L.Hargrove and D.C.Coleman (1991) Relationships between fungal and bacterial substrate-induced respiration, biomass and plant residue decomposition *Soil Biol. and Biochem.* 23 : 947-954
- 2) E.D.Vance, P.C.Brookes and D.S.Jenkinson (1987) An extraction method for measuring soil microbial biomass C *Soil Biol. and Biochem.* 19 : 703-707
- 3) Mishima, S., Nakatsubo, T. and Horikoshi, T. (1999) Microbial biomass and respiration rate of A0 layers of forests dominated by different tree species. *Microbes and Environments.* (in

press)

- 4) Cheng, W. and Coleman, D.C. (1989) A simple method for measuring CO₂ in a continuous air-flow system: modifications to the substrate-induced respiration technique. *Soil Biol. Biochem.* 21: 385-388.
- 5) 西村格 (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的解析に関する研究. 環境庁地球環境総合推進費終了課題「地球温暖化に関わる二酸化炭素・炭素循環に関する研究」: 85-96
- 6) 松本成夫 (1996) 農用林における炭素循環・収支の定量的解析. 環境庁地球環境総合推進費終了課題「地球温暖化に関わる二酸化炭素・炭素循環に関する研究」: 51-62
- 7) Ross, D.J. (1988) Modifications to fumigation procedure to measure microbial biomass C in wet soils under pasure: Influence on estimates of seasonal fluctuations in the soil biomass *Soil Biol. Biochem.* 20. 377-383
- 8) West, A.W. and Sparling, G.P. (1986) Modifications to the substrate-induced respiration method to permit measurement of microbial biomass in soils of differing water content. *Journal of Microbiological Methods* 5: 177-189
- 9) Ross, D.J. and Tate (1993) Microbial C and N, and respiratory activity, in litter and soil of a southern beech (*Northofagus*) forest: Distribution and properties. *Soil Biol. Biochem.* 25, 477-483
- 10) 中根周歩 (1980) 三タイプの極相林における土壌有機物の循環比較と総合的考察. 日生態学会誌 30, 155-172.
- 11) Kelting, D.L., Burger, J.A. and Edwards, G.S. (1998) Estimating root respiration, microbial respiration in the rhizosphere, and foot-free soil respiration in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 30. 961-968.
- 12) Tate, K.R., Ross, D.J., O'Brien, B.J., and Kelliher, F.M. (1993) Carbon storage and turnover, and respiratory activity, in the litter and soil of an old-growth southern beech (*Northofagus*) forest. *Soil Biol. Biochem.* 25, 1601-1612.
- 13) Koizumi, H., Nakadai, T., Usami, Y., Satoh M., Shiyomi, M. and Oikawa, T. (1991) Effect of carbon dioxide concentration on microbial respiration in soil. *Ecol. Res.* 6, 227-232
- 14) Santruckoba, H. and Simek, M (1997) Effect of CO₂ concentration on microbial biomass. *Biol. Fertil. Soils* 25, 269-273.

[研究発表の状況]

(1) 口頭発表

- ①三島慎一郎・織田健次郎: 第44回日本生態学会講演要旨集 p(1997) 「冷温帯における微生物バイオマスと呼吸速度の垂直分布」
- ②三島慎一郎・松本成夫・池田浩明・織田健次郎: 第14回日本微生物生態学会講演要旨集 p28 (1998) 「冷温帯林における土壌微生物バイオマス及び呼吸活性の季節変動」
- ③三島慎一郎・松本成夫・池田浩明・織田健次郎: 第46回日本生態学会講演要旨集 p98 (1999) 「冷温帯林における土壌微生物バイオマス及び呼吸活性の季節変動」