

スギ人工林と落葉広葉樹林での林床面メタン吸収速度の観測

橋本 哲, 古賀教代

Observation of rate of methane uptake at forest floor in plantations and deciduous broad-leaved forest

Tetsu Hashimoto, Michiyo Koga

Abstract Rate of methane uptake on forest floor, ground temperature and soil moisture were measured in two plantations of Sugi and in a deciduous broad-leaved forest. The average rate of methane uptake in the two Sugi forests and broad-leaved forest was $1.93\text{mgCH}_4/\text{m}^2/\text{d}$, $2.32\text{mgCH}_4/\text{m}^2/\text{d}$ and $2.75\text{mgCH}_4/\text{m}^2/\text{d}$, respectively. The seasonal variations of the rate of methane uptake were affected strongly by the seasonal variation of the soil moisture condition in two Sugi forests. In the broad-leaved forest both the soil moisture condition and the ground temperature affected the seasonal variation. Experiments of soil moisture control using soil samples in the observation sites indicated that the rate of methane absorbed by the soil surface was inversely proportional to the soil moisture contents. The rates of methane uptake were estimated using a model equation with the observed soil moisture condition and ground temperature. The prediction had good results. According to the model simulations, the order of magnitude of the methane uptake in the sites was affected by the response of the methane uptake to the ground temperature and the soil moisture and by the variations of the soil moisture condition in the sites.
Key words: methane uptake, forest floor, soil moisture, ground temperature

はじめに

削減の対象となる温室効果ガスとして二酸化炭素 (CO_2), メタン (CH_4), 亜酸化窒素 (N_2O), フロン類 (CFCs) がある。1980年から1990年の気温変化への寄与率は、二酸化炭素で55%, メタンで15%, 亜酸化窒素で6%, フロン類で24%となっている(気象庁, 1994)。

メタンは、現在、大気中に約1.8ppm存在する微量なガスであるが、1分子当たりの温室効果は二酸化炭素の23倍であるため上記のように気温上昇へ寄与することになる。二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素の1990年代の上昇率はそれぞれ、0.4%, 0.8%, 0.25%となっている(IPCC, 2001)。メタンの上昇率は、二酸化炭素や亜酸化窒素に比べると高い。

メタンの発生源は、微生物に由来するものとしては、水田、沼地、湿地、廃棄物の埋め立て地などの嫌気的土壌や反芻胃を持つ家畜動物、家畜排泄物、シロアリの消化管内などがある。これらの嫌気的な環境にはメタン生成菌が存在する。メタン生成菌は二酸化炭素または酢酸

と水素の還元反応によりエネルギーを得ている。微生物に関係しない発生源としては石油・石炭・天然ガスの採掘・輸送・使用の際の漏れや火山・地震活動、自動車の排気ガスやバイオマス燃焼などがあげられる。グローバルなメタン収支を見ると(IPCC, 2001), 研究者により推定値は異なるが、発生源としては湿地、水田、反芻動物、エネルギー利用が多い。吸収源は大気または土壌で、対流圏におけるOHラジカルとの反応による消失が約88%以上となっている。土壌による吸収や成層圏での消失がそれぞれ5%程度となっている。

好気的土壌によるメタン吸収は砂漠(Striegl et al., 1992), 草地(Moiser et al., 1991), 森林(Ishizuka et al., 2000; 山本ら, 2001; Tamai, 2003)などで行われている。好気的な土壌にはメタン酸化菌が生息している。メタン酸化菌はメタンと酸素の酸化反応によりエネルギーを得ている。

森林土壌において土壌水分量が増加すると大気と土壌の間でガス拡散が低下するため、メタン吸収速度は低くなると報告されている(Adamsen and King, 1993)。また、森林土壌において地温が増加するとメタン酸化菌の活性

が高くなりメタン吸収速度が高くなることが報告されている (Dobbie et al., 1996). 水田などの嫌気的環境からのメタン発生についての研究成果は蓄積されているが、森林土壌におけるメタン吸収量やメカニズムに関する研究はまだ少ない。森林状態によるメタン吸収速度の違いについての検討も少ない。また、森林作業がメタン吸収速度に与える影響についても研究例は少ない。実態の把握とデータの蓄積が必要である。本研究では、スギ人工林と落葉広葉樹林を対象にして、林床面におけるメタン吸収速度と地温および土壌水分との関係および森林状態の違いによるメタン吸収速度の違いについて観測値とモデル式をもとに検討する。

調査地

調査地は島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センター三瓶演習林獅子谷団地 (海拔 300~600m, 年平均気温 12.1, 年間降水量 2300mm 前後) に設けた。この団地内に 20m×20m の調査プロット (図1) をスギ人工林内 (8 林班へ小班内) に 2 箇所、天然性落葉広葉樹二

次林内 (5 林班内) に 1 箇所設けた。スギ人工林のプロットは隣接している。本研究では、スギ人工林内の 2 箇所のプロットをスギ林 1, スギ林 2 と呼び、落葉広葉樹林内のプロットを落葉樹林と呼ぶ。これら 3 つのプロットはいずれも斜面下部に位置している。スギ林 1, スギ林 2, 落葉樹林の順に、斜面傾斜は 17.0°, 17.5°, 11.5°, 斜面方位は N50W, N50W, S25W である。土壌型はいずれも黒色土である。スギ林 1, スギ林 2 とともに植栽年は 1984 年であり、林齢は 20 年である。両林分には中・下層木はない。スギ林 1 は 2003 年 11 月 10 日から 2003 年 11 月 14 日にかけて間伐を行った。落葉樹林は 1960 年以降、天然萌芽更新した林分である。植生は、上層木にクヌギ・コナラ・ミズキ、中層木にイヌシデ・ヤマボウシ・エゴノキ、下層木にアセビ・ソヨゴが多く見られる。林床はササに覆われている。平均樹高は、スギ林 1, スギ林 2, 落葉樹林の順に、12.4m, 12.4m, 8.8m である。落葉樹林の上層木の樹高はクヌギで 25.3m, コナラで 19.8m, ミズキで 16.5m である。

方 法

各調査プロットにおいて、林床のメタン吸収速度、土壌中のメタン濃度、地温、土壌水分量を測定した。測定期間は 2003 年 3 月~2003 年 12 月である。また、土壌によるメタン吸収速度と土壌水分量との関係を検討するため各調査プロットの土壌を持ち帰り室内実験を行った。

林床面メタン吸収速度は密閉チャンバー法 (森林立地調査法編集委員会, 1999) により測定した。これは、ステンレス製の円筒 (直径 40cm, 高さ 15cm) を林床面から深さ 5cm 程度挿入し放置しておき、測定時には、円筒と同じ直径の円形の蓋 (塩化ビニル製, 厚さ約 2mm) をして密閉し、チャンバー内ガスを一定時間間隔で採取し、メタン濃度の変化から吸収速度を算出するものである。ガス採取は、チャンバーの蓋の密閉後 0 分, 10 分, 20 分後に行った。採取ガスのメタン濃度をガスクロマトグラフで分析した。また、ガス採取の前後にチャンバーの表面温度を測定した。このチャンバーは、各調査プロットについて 5 箇所に設置した (図1)。チャンバーは全ての調査プロットにおいて 2002 年 10 月 19 日に設置した。ガスの採取は 2003 年 3 月から 2003 年 12 月まで毎月 1 回 (下旬) 行った。ガスの採取時刻は 10 時から 15 時の間である。メタン吸収速度は次式より求めた (森林立地調査法編集委員会, 1999)。

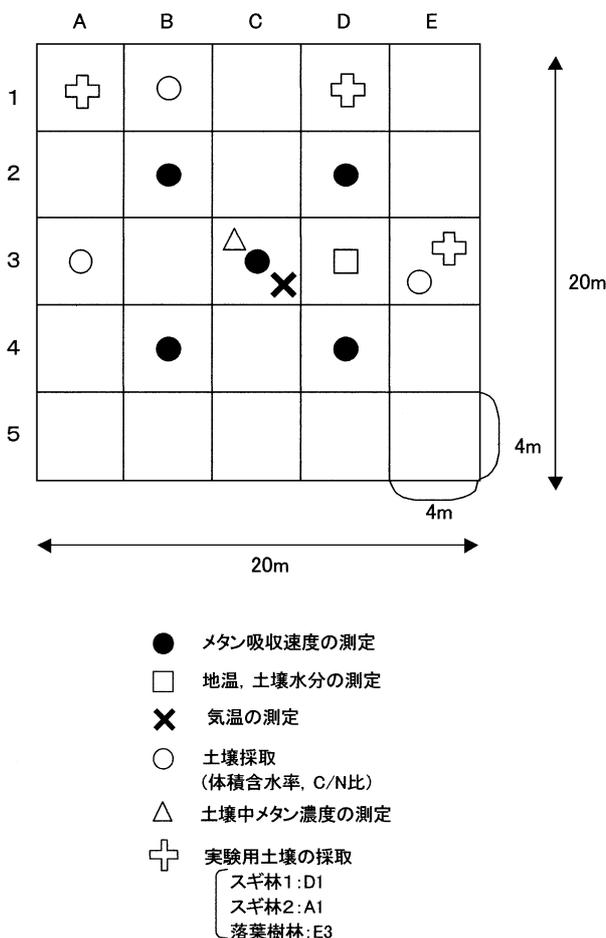


図1 調査プロット内の測定位置

$$F = 0.716 \times \frac{V}{A} \times \frac{(C_1 - C_0)^2}{t \times (2C_1 - C_2 - C_0)} \times \ln \left(\frac{C_2 - C_0}{C_2 - C_1} \right) \times \frac{273}{273 + T} \quad (1)$$

ここで、 F ：メタン吸収速度 ($\text{kg/m}^2/\text{s}$)、 0.716 ：メタンのガス密度 (kg/m^3)、 V ：チャンバーの容積 (m^3)、 A ：チャンバーの底面積 (m^2)、 T ：ガス温度 ($^{\circ}\text{C}$)、 t ：ガス採取時間間隔 (s)、 C_0 、 C_1 、 C_2 ：ここではそれぞれチャンパー密閉後 0 分、10 分、20 分に採取したチャンパー内のメタン濃度である。

土壌中メタン濃度は、ニードル法で土壌内ガスを採取しガスクロマトグラフで測定した。ガス採取日は 2003 年 12 月 18 日と 24 日である。採取した土壌深は 5cm、10cm、20cm、40cm である。ニードル部として外径 2.41mm、内径 1.99mm のステンレスチューブを用いた。このチューブの先端を潰してふさぎ、先端から約 3cm のところに横穴を開けガスの採取口とした。このチューブを測定深度ごとに土壌へ挿入した。林上面上に突き出たチューブ先端とシリンジ（容量 50ml、SS-50LZ、テルモ社）をシリコンチューブでつなぎ、まず、チューブ内のガスを排気した後、40ml の土壌中ガスをゆっくりと吸引した。そのあとは、チャンパーの場合と同様である。

5cm 深の地温と土壌水分量（体積含水率）を測定した（図 1）。地温センサーはサーミスタである。土壌水分センサーは土壌のみかけの誘電率を利用して水分量を求めるもの（ECH20-20）を用いた。測定間隔は 1 時間とし測定値はデータロガー（日置電機社）で自記した。また、上記の土壌水分センサーの埋設位置近傍でテンシオメータ（DIK-3151、Daiki）により 10cm 深、20cm 深、40cm 深の土壌水分張力を測定した。テンシオメータによる測定は 2003 年 7 月からメタン吸収速度の測定時に行った。さらに、メタン吸収速度の測定時に、図 1 に示す 3 点の土壌を調査プロットごとに 100ml の採土円筒で採取し、炉乾法で体積含水率を求めた。この値を用いて土壌水分センサーによる体積含水率を補正した。

各調査プロットから 5cm 深から 10cm 深の間の土壌を 100ml サンプラーにより非攪乱で採取し、土壌水分量を変化させ、メタン吸収速度の変化を測定した。土壌水分の調節は吸引法で行った。各サンプラー内土壌の水分は水分張力で 5kPa、10kPa、12kPa の 3 通りに変化させた。この変化幅は調査期間中の土壌水分張力の範囲を参考に決定した。所定の土壌水分状態となったサンプラーの底面を密閉し、セパラフルフラスコ（VIDREX 社、容積は蓋をした状態で 587ml）内にいれてフラスコの蓋部で密閉し、0 分、10 分、20 分後のフラスコ内空気をシリンジで 10ml 採取した。採取したガスはただちにガスクロマトグ

ラフでメタン濃度を分析した。そして、(1) 式によりメタン吸収速度を求めた。土壌水分の調節とメタン吸収量の測定は、エアーコンディショナーにより 15 $^{\circ}\text{C}$ に保たれた室内で行った。

メタン濃度は、ガスクロマトグラフ（GC-14B、島津製作所製）で測定した。検出器は水素炎イオン化検出器（FID）、カラムはパックドカラム（PorapakQ、SUS 2m、60-80mesh、モレキュラーチューブ 5A）、キャリアガスはヘリウムを用いた。キャリアガスの流量は 25ml/min である。カラムの温度は 40 $^{\circ}\text{C}$ 、試料気化室の温度は 120 $^{\circ}\text{C}$ 、検出器の温度は 150 $^{\circ}\text{C}$ に設定した。ガスクロマトグラフに注入する量は 1ml である。このときのシリンジはガスタイトシリンジを用いた。キャリブレーションに用いたメタン標準ガスの濃度は 2.01ppm である。

観測結果

地温

各調査プロットにおけるメタン吸収速度測定時の 5cm 深の地温を図 2 (1) に示す。地温の調査プロット間の差は小さい。チャンパー表面温度のガス採取前後の変化はほとんど無かった。チャンパーに蓋をかぶせる事による表面温度への影響は無視できるといえる。チャンパーの表面温度は、地温との差は非常に小さく、地温と同様の季節変化をしていた。

土壌水分状態

メタン吸収速度測定時の土壌水分量を図 2 (2) に示す。調査期間を通して、落葉樹林の土壌水分量はスギ林 1、スギ林 2 に比べて低い値を示した。スギ林 1、スギ林 2 の土壌水分量はほぼ同様の値であった。調査期間中における平均土壌水分量はスギ 1、スギ 2、落葉樹林の順に 47.7%、46.8%、40.7% であった。メタン吸収量測定時における土壌水分張力と土壌水分量の関係を直線で近似して、7 月以前の土壌水分張力を推定し、調査期間中の土壌水分量の経時変化を示したものが図 2 (3) である。土壌水分張力で見ると、土壌水分量のように落葉樹林の値が小さくなることはなかった。

メタン吸収速度

本研究では、メタン吸収速度として、調査プロットの 5 つのチャンパーの値の平均値を用いた。メタン吸収速度の季節変化を図 3 に示す。スギ林 1 とスギ林 2 では地温のような明瞭な季節変化は見られない。調査期間中の平

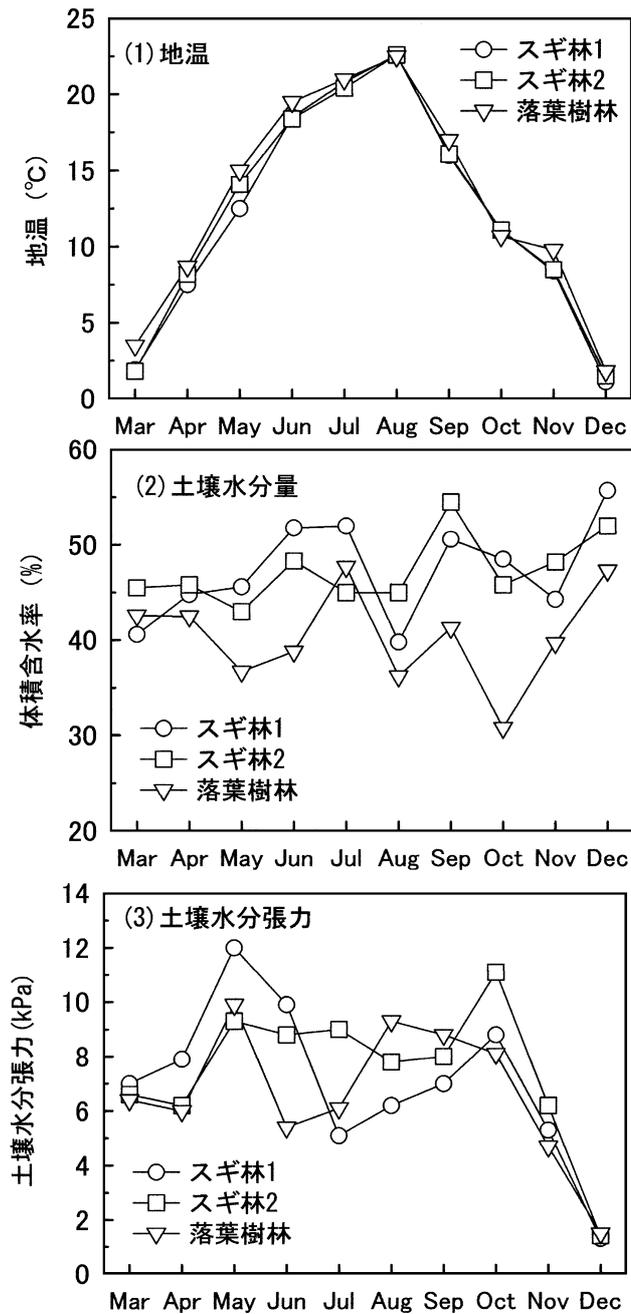


図2 地温と土壌水分状態の観測結果

均値はスギ林1, スギ林2, 落葉樹林の順に, $1.93\text{mgCH}_4/\text{m}^2/\text{d}$, $2.32\text{mgCH}_4/\text{m}^2/\text{d}$, $2.75\text{mgCH}_4/\text{m}^2/\text{d}$ となった. 本研究の平均値は森下ら (1999) の報告した値 ($0.85\sim 1.91\text{mgCH}_4/\text{m}^2/\text{d}$) より高く, Ishizuka et al (2000) が報告した値 ($0.7\sim 10.7\text{mgCH}_4/\text{m}^2/\text{d}$) の範囲内であった.

森林土壌によるメタン吸収速度を, 本研究で得られたメタン吸収速度を参考にして, $2.5\text{mgCH}_4/\text{m}^2/\text{d}$ とし, 乳牛1頭あたりの年間メタン発生量を 100kg とすると (畜産関係温室効果ガス抑制技術等調査検討委員会, 2001 を参考とした), 乳牛1頭が発生させるメタンを吸収するには約 11ha の森林が必要となる.

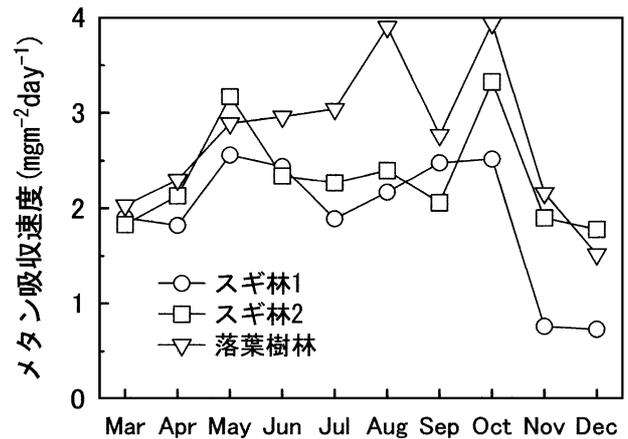


図3 メタン吸収速度の観測結果

スギ林1では11月以降のメタン吸収速度は他の2つの調査プロットに比べて顕著に減少した. これは11月中旬に行った間伐により, 土壌が踏み固められメタンが土壌内に拡散しなかった事が原因と考えられる. 稲垣ら (2003) も間伐後, 表土が侵食され土壌の容積重が大きくなりメタン吸収速度が減少すると報告している.

地温とメタン吸収速度の関係

地温とメタン吸収速度の相関係数は, スギ林1で 0.26 , スギ林2で 0.38 , 落葉樹林で 0.73 であった. ただし, スギ林1では間伐の影響を除くため11月と12月の値は除いた結果である. 地温とメタン吸収速度の相関はスギ林1, スギ林2では低く, 落葉樹林では比較的高い. 落葉樹林の結果は Dobbie et al (1996) の報告と一致している. 一方, スギ林1, スギ林2については, 地温の影響は小さいという報告 (Adamsen and King, 1993; Steudler et al., 1989; Dorr et al., 1993) と一致する. これらの報告は, メタン吸収量は地温によるメタン酸化菌の活性の変化よりもメタンや酸素の拡散・供給に影響される, としている.

土壌水分状態とメタン吸収速度の関係

土壌水分量とメタン吸収速度の相関係数は, スギ林1で -0.60 , スギ林2で -0.76 , 落葉樹林で -0.72 であった. この結果は, 土壌水分量の増加に伴いメタン吸収量は減少する傾向にあるという報告 (Castro et al., 1994; Born et al., 1990; Adamsen et al., 1993; Dorr et al., 1993; Dobbie et al., 1996; Singh et al., 1997) と一致している. 土壌水分量が増加すると, メタンや酸素の土壌内拡散の減少や嫌気的な土壌環境の増加によるメタン発生量の増加により, メタン吸収速度が減少すると考えられる. 本調査期間におけるメタン吸収速度測定時の土壌水分量の

変動幅は絶対値で10%以下であり地温の変動幅に対して小さい．このような変動幅でも土壌水分量はメタン吸収速度に影響を与えている．土壌水分張力とメタン吸収速度の関係には正の相関があった．相関係数は土壌水分量の場合と同程度であった．

土壌中メタン濃度の深度分布

土壌中のメタン濃度の測定結果を図4に示す．各調査プロットで40cm深におけるメタン濃度は約0.2ppmであり，森林土壌で報告されている値と同様の値であった (Ishizuka et al., 2000; Dobbie, K.E. et al., 1996; Castro, M.S et al., 1994)．各調査プロットともメタン濃度はおよそ20cm深までに急激に減少していることからメタンの酸化は20cm深より上層の土壌で行われていると考えられる．山本ら (2001) は5cm深付近にメタンを酸化する部位があると報告している．Adamsen and King (1993) の報告によるとインキュベーション実験によるメタンの最大吸収速度を示した深度は5cm深~15cm深であった．また，Ishizuka et al (2000) はメタン吸収深度が0cm深~10cm深の調査地と10cm深~20cm深の調査地があったことを報告

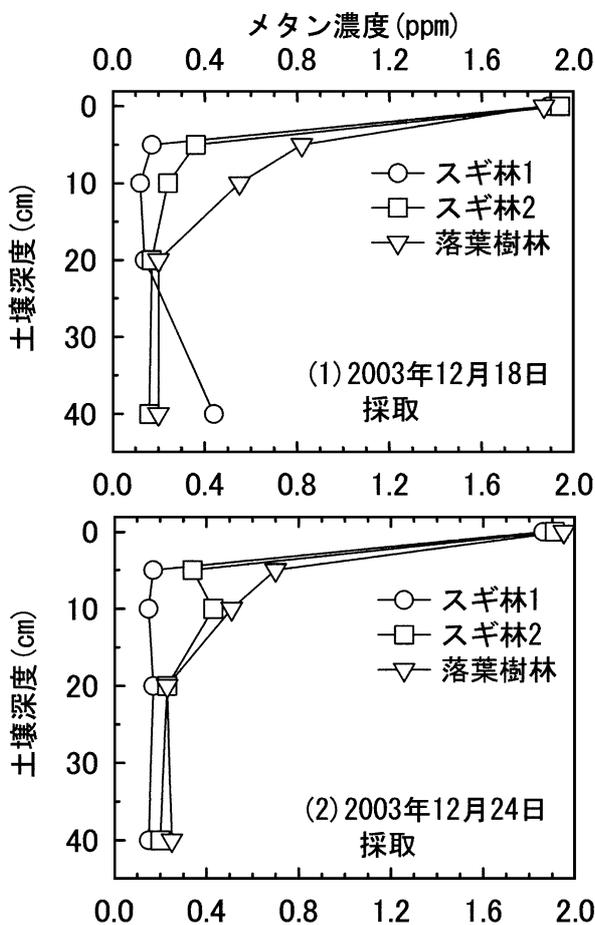


図4 土壌内メタン濃度の鉛直分布

している．スギ林に比べて落葉樹林のほうが深度に伴うメタン濃度の減少量が緩やかであった．これは，スギ林に比べて落葉樹林では大気から土壌へのガス拡散が大きいためと考えられる．

メタン吸収速度に対する土壌水分張力の制御実験

図5に実験結果を示す．どの調査プロットでも土壌水分張力の増加に対してメタン吸収速度は直線的に増加する傾向を示した．つまり，土壌水分量の増加に伴ってメタン吸収速度が減少するということである．これは，土壌水分が増加することで土壌内のガス拡散が抑制されることが原因とされているが，土壌水分の増加に伴う嫌氣的部分の増加により，メタン生成量が増加した可能性もある．

メタン吸収速度の経時変化と調査プロットによる相違の検討

まず，地温と土壌水分張力を用いてメタン吸収速度を推定する．そして，推定式をもとに本調査プロットのメタン吸収速度に関する特性を検討する．メタン吸収速度と土壌水分張力の関係は上記の実験結果より1次式で表した．地温とメタン吸収速度の関係式は，土壌呼吸量と地温の関係でよく用いられる指数式を用いた．推定式は次式である．

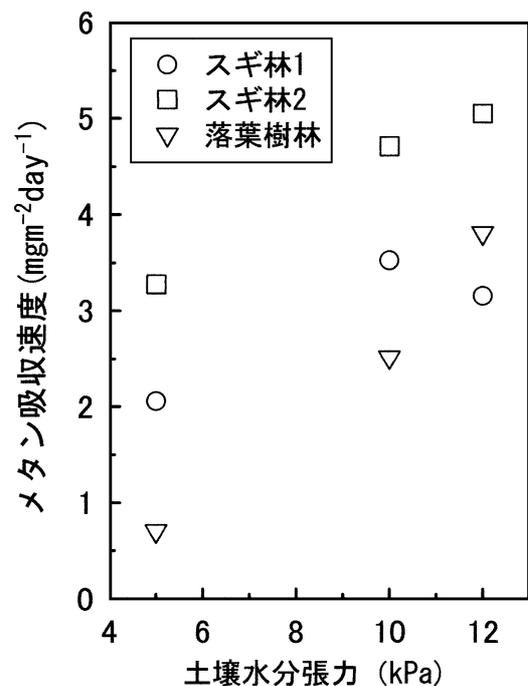


図5 室内実験により制御した土壌水分張力に対応したメタン吸収速度

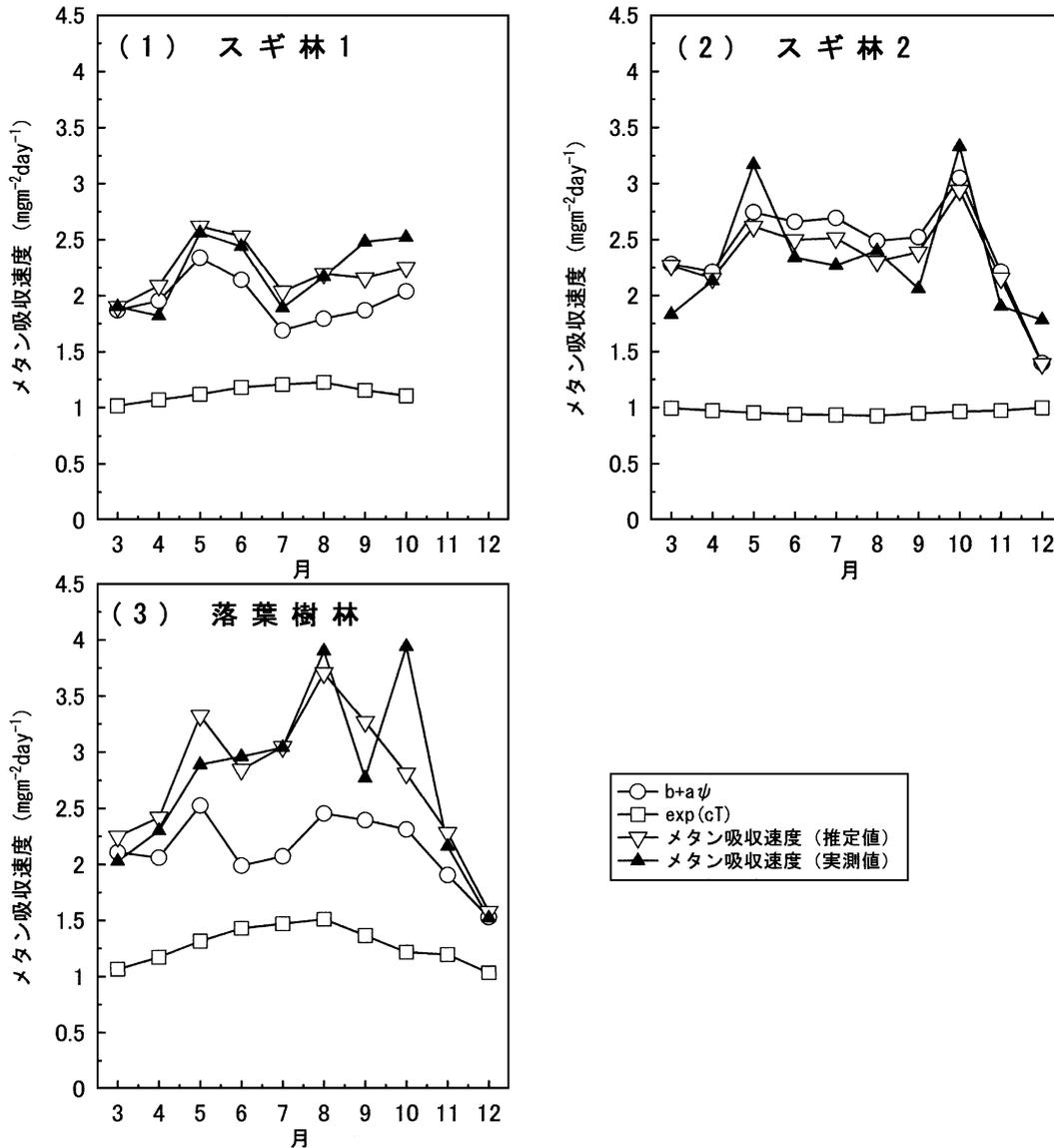


図6 メタン吸収速度の推定結果

$$F_E = (b + a\psi) \exp(cT_g) \quad (2)$$

ここで、 F_E はメタン吸収速度 ($\text{mgCH}_4/\text{m}^2/\text{d}$)、 b 、 a は土壌水分張力とメタン吸収速度の線形関係を表す係数、 ψ は土壌水分張力 (kPa)、 c はメタン吸収速度の地温に対する感度を表す係数、 T_g は地温である。ここでは、 ψ として 10cm 深の土壌水分張力の実測値、 T_g として 5cm 深の地温の実測値を用いた。係数 a 、 b 、 c は F_E に実測値を与えて最小二乗法により求めた。その結果、スギ林 1、スギ林 2、落葉樹林の順に、係数 a は 0.0944、0.171、0.119、係数 b は 1.21、1.15、1.35、係数 c は 0.009、-0.0034、0.0183 となった。推定結果を図 6 に示す。どの調査プロットも比較的良好に再現されている。推定値の実測値に対する平均相対誤差はスギ林 1 で 7%、スギ林 2 で 13%、落葉樹林で 10% となった。

図 6 には (2) 式における $(b + a\psi)$ の値と $\exp(cT_g)$ の

値もプロットされている。これにより、スギ 1 とスギ 2 ではメタン吸収速度の経時変化は土壌水分量力の経時変化に大きく影響されていることがわかる。落葉樹林では土壌水分張力と地温の経時変化に同程度の影響を受けている。

最後に、メタン吸収速度の調査プロットによる相違について推定値を用いて検討する。まず、地温と土壌水分張力が各調査地で同じ時の特性を見ておく。図 7 の直線は地温 T_g が 5 (図 7 (1))、15 (図 7 (2))、25 (図 7 (3)) の場合について各調査プロットのメタン吸収速度の計算値を土壌水分張力の関係で示したものである。地温が 5 と低い場合、メタン吸収速度の大きい順で、落葉樹林、スギ林 2、スギ林 1 となる場合が多い。スギ林 2 のメタン吸収速度は、土壌水分張力が小さい場合、スギ林 1 と同程度となり、土壌水分張力が大きくなると落葉

樹林と同程度になる。地温が 25 と高い場合は、メタン吸収速度は落葉樹林、スギ林 1、スギ林 2 の順に大きい。土壤水分張力が大きくなると 2 つのスギ林の差は小さくなってゆく。地温が 15 の場合、落葉樹林のメタン吸収速度が最大である。土壤水分張力が小さい場合、スギ林 1 がスギ林 2 より大きいが土壤水分張力の増加に伴い両者の大小関係が逆転する。

実際は、調査プロット間で地温や土壤水分張力も異なっていた。図 7 には、(2) 式によるメタン吸収速度の推定値が土壤水分張力との関係でプロットされている。ただし、図 7(1) には地温が低いと判断した 3 月、4 月、11 月、12 月についてプロットされ、図 7(2) には地温が中程度と判断した 5 月、6 月、9 月、10 月についてプロットされ、図 7(3) には地温が高いと判断した 7 月と 8 月についてプロットされている。図 7(1) では、4 月以外の月では土壤水分張力に調査プロット間の差がない場合に示される直線の大小関係をほぼ満たしている。4 月については、スギ林 1 の土壤水分張力がスギ林 2 よりも高かったために、スギ林 1 とスギ林 2 との差が小さくなっている。図 7(2) では、プロットされた範囲では調査プロットによる土壤水分張力の差が小さければ、メタン吸収速度の大きな調査プロットから順に、落葉樹林、スギ林 2、スギ林 1 となるが、この順序通りになっているのは 9 月のみである。5 月と 6 月はスギ林 1 の土壤水分張力がスギ林 2 よりも高くなったためにスギ林 1 のメタン吸収速度はスギ林 2 と同程度となっている。10 月はスギ林 2 の土壤水分張力が落葉樹林より高くなったため両調査プロットのメタン吸収速度が同程度となっている。図 7(3) では、土壤水分張力の調査プロット間の差が小さければ、メタン吸収速度の大きな調査プロットの順に落葉樹林、スギ林 1、スギ林 2 となる。しかし、7 月、8 月ともにスギ林 2 の土壤水分張力がスギ林 1 よりも大きかったために、スギ林のメタン吸収速度の大小関係が逆転している。

なお、メタン吸収速度測定時の調査プロット間の地温の差は最大で 2.5、平均値は 1.1 であった。従って、図からわかるように、調査プロットの地温の相違が与えるメタン吸収速度の大小関係への影響は小さい。

以上のように、調査地間のメタン吸収速度の相違は、地温や土壤水分張力に対する敏感度が異なることによる潜在的相違に加えて、土壤水分張力の調査地間による相違が影響して発生している。

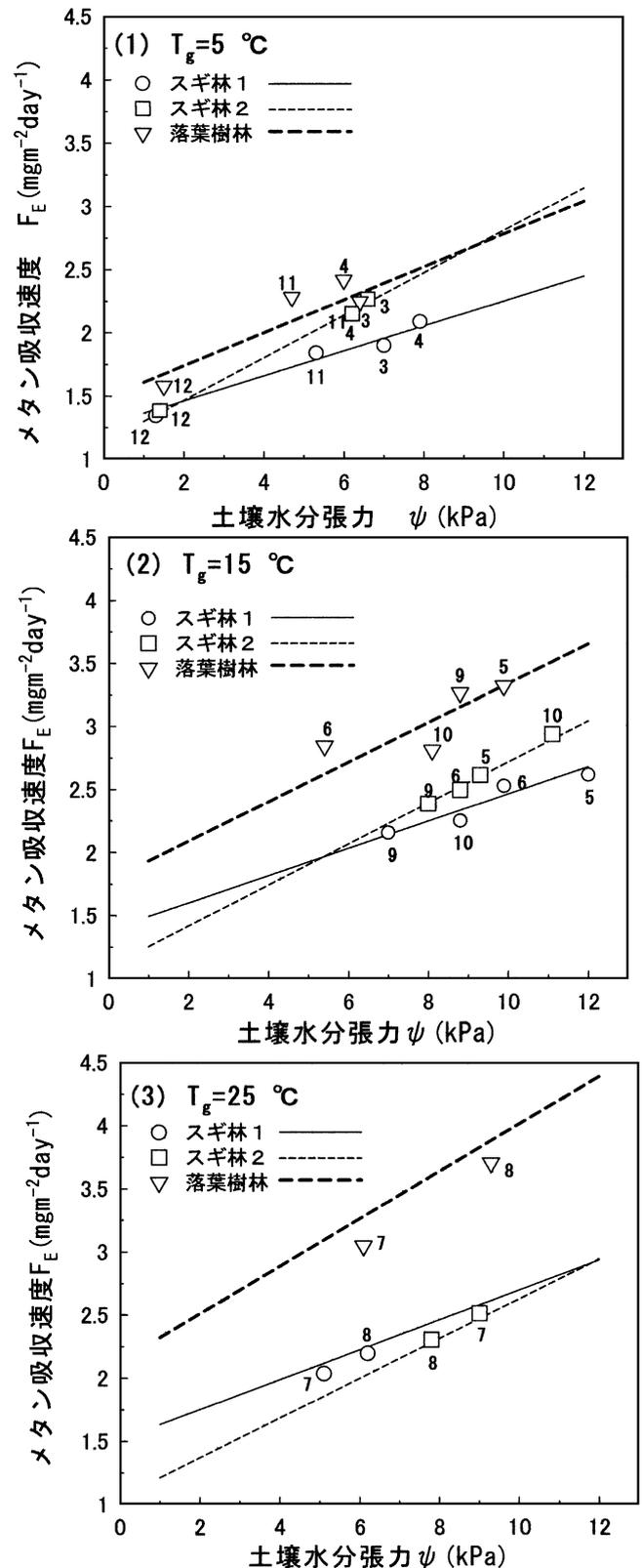


図 7 推定される地温別の土壤水分張力とメタン吸収速度の関係

直線は地温 T_g を (1) 5、(2) 15、(3) 25 とした場合の (2) 式による土壤水分張力とメタン吸収速度の関係。各プロットは実際の土壤水分張力と地温を用いた推定値。プロット近傍の数字は、推定した月を表す。

おわりに

2つのスギ人工林と落葉広葉樹林を対象に林床面におけるメタン吸収速度を地温と土壌水分とともに測定した。メタンの平均吸収速度はスギ林1で $1.93\text{mgCH}_4/\text{m}^2/\text{d}$ 、スギ林2で $2.32\text{mgCH}_4/\text{m}^2/\text{d}$ 、落葉樹林で $2.75\text{mgCH}_4/\text{m}^2/\text{d}$ であった。これらの値は森林土壌を対象とした既往の報告の範囲内にあった。

既往の研究において、森林土壌におけるメタン吸収速度あるいはメタン酸化能力は土壌温度との関係や土壌水分量との関係で議論されていることが多い。本研究ではスギ人工林では土壌水分量との相関が非常に高かった。落葉樹林では土壌水分量だけでなく地温も影響していた。落葉樹林では地温の上昇と共にメタン吸収速度も上昇したことによりスギ人工林よりもメタン吸収速度が大きくなったといえる。森林土壌内でのメタン生成菌とメタン発生菌の活性の違いが土壌水分状態とどのような関係にあるかを探る必要がある。

謝 辞

生態環境科学科の片桐成夫教授、川口英之助教授、長山泰秀助手には多くの助言を頂いた。三瓶演習林の寺田和雄技官、尾崎嘉信技官、葛西絵里香技官には調査に協力して頂いた。生態環境科学科の巢山弘介助教授には、ガスクロマトグラフとC/Nアナライザーを使わせていただき、使用方法など多くの指導をいただいた。地域開発科学科の木原康孝講師と森也寸志助教授には土壌水分の調節法を教えていただき、吸引法の測器を貸していただいた。農業生産学科の一戸俊義助教授には畜産分野でのメタンガスへの対応についてご教示頂いた。

引用文献

- Adamsen, A.P.S. and King, G.M. (1993) Methane consumption in temperate and subarctic forest soil: rate, vertical zonation and responses to water and nitrogen. *Applied and Environmental Microbiology*, **59**: 485-490.
- Born, M., Dorr, H. and Levin, I. (1990) Methane consumption in aerated soils of the temperate zone. *Tellus*, **42B**: 2-8.
- Castro, M.S., Melillo, J.M., Stedler, P.A. and Chapman, J.W. (1994) Soil moisture as a predictor of methane uptake by temperate forest soil. *Canadian Journal of Forest Research*, **24**: 1805-1810.
- 畜産関係温室効果ガス抑制技術等調査検討委員会編 (2001) 畜産における温室効果ガスの発生抑制 (総集編). 174pp: 79-79.
- Dorr, H., Katruff, L. and Levin, I. (1993) Soil texture parameterization of the methane uptake in aerated soils. *Chemosphere*, **26**: 697-713.
- Dobbie, E., Smith, K.A., Prieme, A., Christensen, S., Degorska, A. and Orlanski, P. (1996) Effect of land use on the rate of methane uptake by surface soils in northern Europe. *Atmospheric Environment*, **30**: 1005-1011.
- IPCC (2001) The Scientific Basis: Scientific contribution of WG1 to the Third Assessment Report of IPCC on Climate Change, Cambridge University Press, 881p.
- Ishizuka, S., Sakata, T. and Ishizuka, K. (2000) Methane oxidation in Japanese forest soil. *Soil Biology & Biochemistry*, **32**: 769-777.
- 稲垣善之・石塚成宏・阪田匡司・高橋正通・深田英久 (2003) 間伐がヒノキ林土壌のCO₂発生量およびCH₄吸収量に及ぼす影響。日本林学会関西支部大会研究発表要旨集, **25**。
- 森下智陽・波多野隆介 (1999) 新設ダム湖からのメタン放出量と森林土壌へのメタン吸収量。日本土壌肥科学雑誌, **70**: 791-798。
- Mosier, A., Schumel, D., Valentine, D., Bornson, K. and Parton. (1991) Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grassland. *Nature*, **350**: 330-332.
- Prieme, A. (1997) Seasonal and spatial variation of methane oxidation in a Danish spruce forest. *Soil Biology & Biochemistry*, **29**: 1165-1172.
- Singh, J.S., Singh, S., Raghubanshi, A.S., Singh, S., Kashyap, A.K. and Reddy, V.S. (1997) Effect of soil nitrogen, carbon and moisture on methane uptake by dry tropical forest soils. *Plant and Soil*, **196**: 115-121.
- 森林立地調査法編集委員会 (1999) 森林立地調査法。博友社。209-213。
- Stedler, P.A., Browden, R.D., Melillo, J.M. and Aber, J.D. (1989) Influence of nitrogen fertilization on methane uptake in temperate forest soils. *Nature*, **341**: 314-316.
- Striegl, R.G., McConnaughey, T.A., Thorstenson, D.C., Weeks, E.P. and Woodward, J.C. (1992) Consumption of atmospheric methane by desert soils. *Nature*, **357**: 145-147.
- Tamai, N., Takenaka, C., Ishizuka, S. and Tezuka, T. (2003)

Methane flux and regulatory variables in soils of three equal-aged Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) forests in central Japan. *Soil Biology & Biochemistry*, **35**: 633-641.

山本吾一・永田修・田中夕美子・波多野隆介（2001）森林 湿地境界面の土壌におけるメタンフラックスと土壌中メタン濃度分布．*日本土壌肥科学雑誌*，**72**: 673-675．