

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20380182

研究課題名(和文) 森林の呼吸量推定の高精度化

研究課題名(英文) High-precision estimation of forest ecosystem respiration

研究代表者

小南 裕志(KOMINAMI YUJI)

独立行政法人森林総合研究所・関西支所・主任研究員

研究者番号：70353688

研究成果の概要(和文)：京都府南部の落葉広葉樹林(山城試験地)において森林のCO<sub>2</sub>吸収量(NEE)の高精度評価のために、解明の遅れている群落CO<sub>2</sub>放出量(呼吸量)を微気象学的手法、チャンバー法、群落モデリングの3つで比較し、その推定を試みた。その結果、群落呼吸量は植物呼吸、分解呼吸ともに高い基質サイズ依存性が認められた。また呼吸量の季節変動には春季の樹木成長呼吸の増大と秋期のリターの不足が原因となっていることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：

Estimation of forest ecosystem respiration was conducted using eddy covariance, chamber and modeling approaches at deciduous-ever green mixed forest in northern Kyoto in Japan. Both autotrophic and heterotrophic respiration, respiration intensity highly depended on medium size (e.g. root diameter). Increase of plant growth respiration in spring and decrease of heterotrophic respiration by lack of decomposable material highly affected seasonal change of forest ecosystem respiration.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2009年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2010年度	2,500,000	750,000	3,250,000
年度			
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：森林水文学

科研費の分科・細目：農学・環境農学

キーワード：森林、群落呼吸量、炭素蓄積

## 1. 研究開始当初の背景

森林-大気間のCO<sub>2</sub>交換量(NEE)は総光合成量(Ag)と生態系呼吸量(Re)の差で形成されており、光合成量と呼吸量は同等の精度で測定されることが必要である。そのため原理的には光合成も呼吸も同等に測定できる乱流変動法を用いた微気象観測によるNEEの測定が有力な手法として採用されている。微気象観測による森林-大気間の

CO<sub>2</sub>交換量(NEE)は乱流変動法に用いられる気象観測タワー上の測定器位置におけるCO<sub>2</sub>の交換量(Feddy)と測定高以下の空間に溜まったCO<sub>2</sub>の変化量(dC/Dt)の和によって測定される。しかし近年の研究により、傾斜のある地形での乱流変動法観測では、特に夜間の交換現象に関しては上記の方法では測定が十分にできないことが確認されている。これは夜に大気が安定条件になると、森

林内に貯まった気体が斜面移流などの「横方向」の大気の動きによって物質が運ばれてしまうためであり（斜面移流）、特に CO<sub>2</sub> 観測においては、これにより夜間の呼吸の測定に大きな障害がでる。そのため、森林の呼吸量定量化においては一般に測定がうまくいかなかった期間については、うまく測定できていた時の呼吸量から推定補完する方法が用いられる。通常この場合、呼吸量と温度（地温等）の関係式を作製し、温度から呼吸量を推定するという方法をとっている。しかしこのような方法を用いると、ほとんどの期間の呼吸量が温度等の非常に単純な環境要因による推定で決定されることになる。このため森林の呼吸量推定は光合成量等と比較するとモデル化や精度向上が立ち後れていると考えられる。

## 2. 研究の目的

(1) 微気象観測による昼一夜を問わない安定した呼吸量の推定手法の開発のために小型の気象観測タワーを用いて斜面移流による CO<sub>2</sub> の逸脱現象の測定とその原因の評価を行った。

(2) 従来のタワーフラックスによる生態系呼吸推定では気温や土壌含水率等の単純なパラメータによって呼吸量が算出されるため、森林内に存在する様々な CO<sub>2</sub> を放出する基質（葉・枝・根等の樹木呼吸や葉リター・枯死木等の有機物分解呼吸）のそれぞれの環境応答特性や基質量が考慮に入られていない。そのため環境変動時の推定においても基質の変化を考慮に入れることは困難である。本研究では森林内の存在するこれらの基質の CO<sub>2</sub> 放出特性をそれぞれ測定し関数化することにより群落内の各コンパートメントの呼吸-環境応答特性を考慮に入れた生態系呼吸量の推定を行った。

## 3. 研究の方法

(1) 試験地森林群落内に 2 本の CO<sub>2</sub> 濃度連続観測小型タワーを設置し群落内 CO<sub>2</sub> 濃度と風速-温度場の連続観測を行った。非常に単純化して考えると、設置した 2 つの移流タワーで測定する 2 つの空間における林 CO<sub>2</sub> 濃度分布（7 高度）の差の時系列変動（ $\Delta C$  (Tower2-Tower1)）と 2 つの空間を水平に移動する空気の流れ（Vh）から、2 つの空間の間を輸送された CO<sub>2</sub> 量が測定されることになる。しかし実際には 2 空間内での鉛直方向の空気の動きや CO<sub>2</sub> フラックスの発生があり、また移流観測では CO<sub>2</sub> 濃度変動の測定に比べて風速の測定において極端に高い精度が求められる。そこで本研究においては 2 空間同士の濃度変動のレスポンスと風速-温度場の関係から複雑地形上の森林における夜間移流現象の評価を試みた。

(2) 森林生態系呼吸量の高精度定量化のために 1g 以下のサンプルから数十 Kg のサンプルに適合した複数のチャンバーを用い CO<sub>2</sub> フラックス測定装置を開発した。これらを用いて森林群落内に存在する様々な基質（葉、幹、枝、枯死木、枯葉等）からの CO<sub>2</sub> 放出特性を測定しその関数化を試みた。樹木呼吸量に関しては葉、枝、幹、根からの CO<sub>2</sub> 放出量を連続的に測定する装置を開発しこれらの呼吸特性の季節変動の測定を行った。分解呼吸に関しては森林林床面において存在する空間位置とそれに規定される環境因子（主に含水比）が分解呼吸に与える影響の評価を行い、関数化を行った。

(3) このようにして得られた群落内の基質からの CO<sub>2</sub> 放出特性と有機物分解モデルを組み合わせることで森林群落呼吸量における樹木呼吸と有機物分解呼吸の季節変動特性の関数化を行った。これによって従来乱流変動法によって推定される場合、環境因子では説明ができず、ばらつきとして表現されていた生態系呼吸量の季節変動の原因を明らかにすることを試みた。

## 4. 研究成果

(1) 夜間の群落呼吸量の移流に伴う損失に関して林内タワーと樹冠上からの表面温度により鉛直移流に伴う低濃度 CO<sub>2</sub> の供給のスケーリング観測を行った。その結果、夜間 CO<sub>2</sub> 濃度の鉛直移流に伴う低下は 2 点に水平距離で 60m 程度離れていても応答性が非常に高く、また樹冠上からの冷却大気の供給にリニアに対応していることがわかった。これは数十 m の群落オーダーを越える大きさでの鉛直移流に伴う大気供給が行われていることを示唆しており、多点観測平均を行っても貯留量変動量からは夜間 CO<sub>2</sub> フラックスを直接求めることは困難であった。

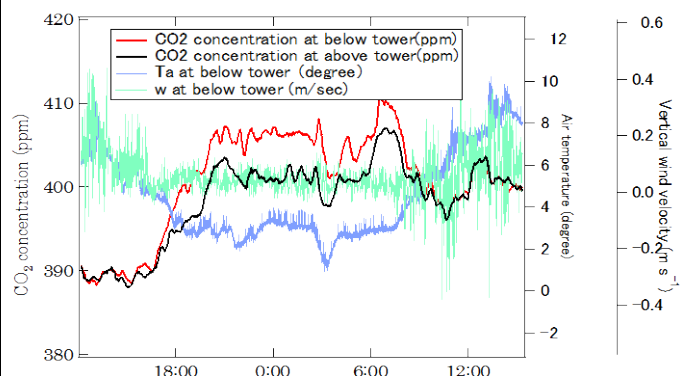


図1 流域 2 カ所における夜間 CO<sub>2</sub> 濃度変

動と鉛直風速、樹冠表面温度の時系列変動

(2) プロセスベースで群落呼吸量推定の高精度化を行うために、落葉・枯死根・枯死木呼吸量の測定手法の開発を行い群落における様々な有機物の分解呼吸量と環境因子(温度、含水率)の関係の評価を行った。その結果落葉分解呼吸量は、最大  $1200 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  という非常に高い値を示し、落葉分解呼吸量は、枯死木分解呼吸量の 10 倍を越えていた。また枯死細根に関しても分解呼吸量の連続観測を行い、その放出量が高いサイズ依存性を持っていることを明らかにした(図2)。

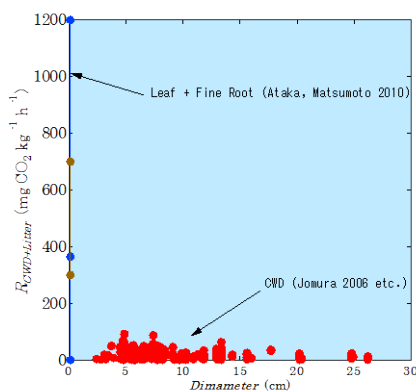


図2 枯死有機物分解呼吸量のサイズ依存性

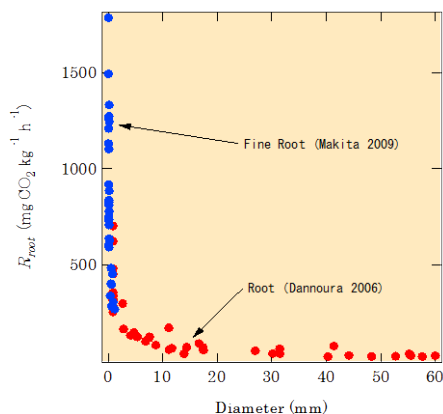


図3 根呼吸量のサイズ依存性

また根呼吸量においても微細な細根からの呼吸量の測定手法の開発を行い、根圏において細根の先端部が他の部分と比較して非常に高い呼吸活性を持っていることを明らかにした(図3)。

(3) 得られた結果を、森林用に改良した群

落土壌炭素収支モデル(Modified Roth-C)に適応し推定群落分解呼吸量と土壌呼吸、タワーフラックス群落呼吸量との比較を行ったところ、群落に投入されたリターの分解にともなう易分解性炭素量の季節変化が土壌や群落呼吸量の季節変動に大きく関与していることが分かった(図4)。

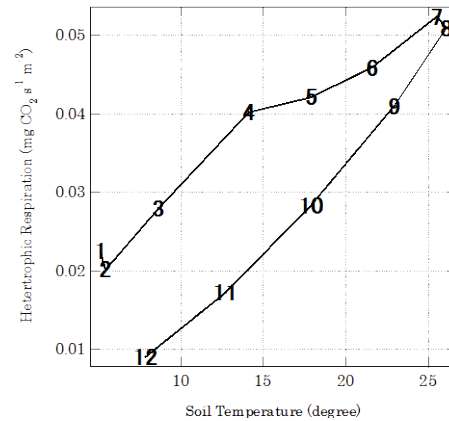


図4 Roth-C model によって算出された群落有機物分解呼吸の月別値と地温の関係

乱流変動法による夜間呼吸量の連続観測から得られた群落呼吸量の季節変化(図5)は等温度下であっても春季に高く、秋期に低い結果が得られた。この傾向は地上部呼吸量に

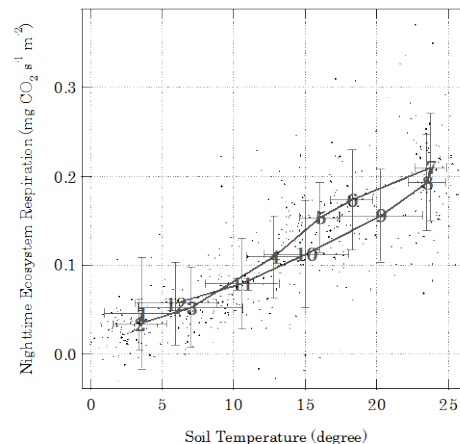


図5 タワーフラックスにおける夜間呼吸量と地温の関係

関しては春季の成長呼吸の増大が寄与しており秋期の低減は林床面上の前年葉リターの分解呼吸が秋期にはリターそのものの減少によって抑制されることが原因となっていることが明らかとなった(図6)

これまで群落呼吸量を推定する場合には地上部呼吸量と地上部呼吸量といったおおまかな部位の関数化を温度や含水率といったパラメータを用いて帰納法的に行うのが一般的な手法であった。しかし本研究により地上部においては幹・枝、地下部では根、枯

死木、枯死根、葉リター等のコンパートメント毎の呼吸量とその量の時間変動測定を行うことにより、それぞれの呼吸要素が環境要因と異なった関数型の応答性を持つことが明らかとなった。また夜間 CO<sub>2</sub> 貯留量の連

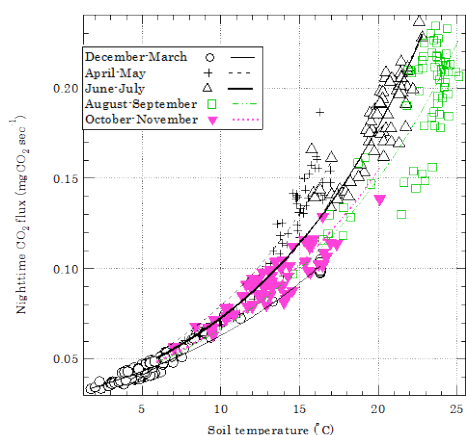


図6 チャンバー法と有機物分解モデルによって算出された生態系呼吸量と地温の関係

続測定から大気安定状態における斜面水平移流にともなう CO<sub>2</sub> フラックスの逸出現象の原因と現象のスケールが明らかとなった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

① Yuji Kominami, Mayuko Jomura, Mioko Ataka Heterotrophic respiration causes seasonal hysteresis in soil respiration in a warm-temperate forest

*et. al.* Journal of forest res. Accepted (2011) 印刷中(掲載確定)、査読有

② 松本 晃・小南裕志・石井弘明, 野外における小型チャンバー法を用いた枯死根の分解呼吸量の直接測定, "森林学会誌、92(5),269-272(2011) 査読有

③ Naoki Makita,Yasuhiro Hirano,Takeo Mizoguchi,Yuji Kominami, Masako Dannoura, Hiroaki Ishii, Very fine roots respond to soil depth: biomass allocation, morphology, and physiology in a broad-leaved temperate forest, Ecological Research, 26,91-104 (2010) 査読有

④ Makita Naoki, Hirano Yasuhiro, Dannoura Masako, Kominami Yuji, Mizoguchi Takeo, Fine root morphological

traits determine variation of root respiration, Tree physiology, 29, 579-585, (2009) 査読有

⑤ Yuji Kominami, Mayuko Jomura, Masako Dannoura *et. al.*, Biometric and eddy-covariance-based estimates of carbon balance for a warm-temperate mixed forest in Japan, Agricultural and Forest Meteorology, 148(5),723-737 (2008) 査読有

⑥ Tamai Koji, Kominami Yuji, Miyama Takafumi, Goto Yoshiaki, Ohtani Yoshikazu, Topographical effects on soil respiration in a deciduous forest-The case of weathered granite region in southern Kyoto Prefecture-, 農業気象、64(4) : 215-222, (2008) 査読有

[学会発表] (計 26 件)

① M. Jomura, Y. Kominami, M. Ataka, N. Makita, M. Dannoura, T. Miyama, Input-decomposition balance of heterotrophic processes in a warm-temperate mixed forest in Japan, AGU2010 fall meeting (2010),モスコークンベンションセンター (サンフランシスコ、USA)

② Yuji Kominami, Mayuko Jomura, Masako Dannoura, Takafumi Miyama, *et. al.* Longterm estimation of carbon balance for for a warm temperate mixed forest in Japan, 8th International Carbon Dioxide Conference Abstracts, T2-028, (2009) ,フリードリッヒシラー大学 (イェーナ市、ドイツ)

③ KOMINAMI Yuji, MIYAMA Takafumi, ATAKA Mioko, MAKITA Naoki, MATSUMOTO Akira, Characteristics of CO<sub>2</sub> concentration change at warm temperate forest situated in complex terrain, Proceedings of AsiaFlux Workshop 2009, 136 (2009) ,北海道大学 (札幌)

④ 小南 裕志, 深山 貴文, 奥村 知憲, 牧田直樹, 金澤 洋一, 林内タワーを用いた斜面 CO<sub>2</sub> 濃度分布と林内風速の関係, 第120回日本森林学会大会(2009),京都大学 (京都市)

⑤ 安宅未央子, 小南裕志, 上村真由子, 金澤洋一, 広葉樹二次林の炭素循環における葉リター分解呼吸量の評価, 第120回日本森林学会大会(2009),京都大学 (京都市)

[その他]

ホームページ等

[http://www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/flux/YM\\_S\\_j.html](http://www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/flux/YM_S_j.html)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

小南 裕志 (KOMINAMI YUJI)  
独立行政法人森林総合研究所・関西支所・  
主任研究員  
研究者番号：70353688

(2) 研究分担者

上村 真由子 (JOMURA MAYUKO)  
日本大学・生物資源科学部・助手  
研究者番号：60444569  
深山 貴文 (MIYAMA TAKAFUMI)  
独立行政法人森林総合研究所・関西支所・  
主任研究員  
研究者番号：40353875  
溝口 岳男 (MIZOGUCHI TAKEO)  
森独立行政法人林総合研究所・関西支所・  
グループ長  
研究者番号：603533869