

S-1 21世紀の炭素管理に向けたアジア陸域生態系の統合的炭素収支研究

テーマI ボトムアップ（微気象・生態学的）アプローチによる

陸域生態系の炭素収支解析に関する研究

(3) 土壌圏における炭素収支の定量的評価に関する研究

2) 土壌炭素収支におけるプロセスの相互作用と時空間変動

筑波大学 大学院生命環境科学研究科

鞠子 茂

独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター

藤沼康実

玉川大学 農学部

関川清広

〈研究協力者〉 独立行政法人国立環境研究所
 静岡大学理学部（現文部科学省）
 玉川大学農学部

梁 乃申

木部 剛

鈴木あづさ

平成14～18年度合計予算額 57,097千円

(うち、平成18年度予算額 8,302千円)

※上記予算額には、間接経費13,177千円を含む

[要旨] 土壌圏における炭素循環を理解し、広域の土壌炭素動態の評価ならびに管理に資するために、炭素フラックスの年変動におけるプロセス間の相互関係、呼吸の分離（植物根と従属栄養生物呼吸）評価、土壌呼吸測定手法の比較検討について、研究を行った。総一次生産は植物呼吸との間に相関が見られたが、従属栄養生物呼吸との間には相関が認められなかった。日本における複数の生態系において測定した結果から、土壌呼吸に対する従属栄養生物呼吸の比は0.4から0.85の範囲となった。現時点で有効な土壌呼吸測定手法としては、通気法、オープントップチャンバー法、LI6200法が挙げられた。世界的によく利用されているLI6400法は過大評価となりやすいことが明らかとなった。これらの手法にはそれぞれ長短があり、使用時には注意が必要である。これらの成果（生態学的アプローチ）を微気象学的アプローチと統合解析することにより、炭素フラックス間の関係の実態が明らかとなった。加えてこれらのデータ蓄積に基づいて、今後の研究の発展、より確かな予測シミュレーション、それに基づく大気CO₂濃度管理に関わる政策に貢献できると考えられる。

[キーワード] 土壌炭素、二酸化炭素、土壌炭素貯留量、土壌呼吸測定法、森林生態系

1. はじめに

土壌圏における炭素循環を理解し、広域の土壌炭素動態の評価ならびに管理を行うためには、土壌圏内の炭素動態に関与する要素を精度良く測定するとともに各要素の関係を有機的につなげ、さらに土地利用、遷移に伴う生態系の炭素循環プロセスの相互作用とその時空間変動を解明する必要がある。本サブサブテーマは、二次遷移系列の生態系を対象として、炭素循環プロセスの相互作用とその時空間変動を解明することにより、本テーマおよびサブテーマ内における連携およ

び統合化に向けた貢献を行う。

2. 研究目的

本サブサブテーマ「土壌炭素収支におけるプロセスの相互作用と時空間変動」における過去5年間の研究成果は次の3点に集約される。

- (1) 炭素フラックスの年変動におけるプロセス間の相互関係
- (2) 土壌呼吸の分離（植物根と従属栄養生物呼吸）評価
- (3) 土壌呼吸測定手法の比較検討

以下に、それぞれの目的について簡略に述べる。

(1) 炭素フラックスの年変動におけるプロセス間の相互関係

本プロジェクトでは様々なフラックス観測サイトがあり、その主要なサイトでは土壌圏グループによるプロセス調査とタワー観測が平行して行われている。タワー観測からはNEP(生態系純生産)、GPP(総一次生産)、ER(生態系呼吸)の結果が得られる。また、土壌圏プロセス測定からは、土壌呼吸または従属栄養生物呼吸が得られる。ここでは、これらのフラックスの年変動が互いにどのような関係になっているのかを解析し、その結果を報告する。

(2) 土壌呼吸の分離（植物根と従属栄養生物呼吸）評価

生態系内の有機物の分解量はNEPを推定する際に重要な量である。しかし、分解量の推定は比較的測定が容易な土壌呼吸(SR)の実測値から間接的に求めることが多い。その際に必要となる値は、土壌呼吸に対する従属栄養生物の呼吸(HR)の割合(HR/SR比)である。この数値は炭素循環プロセスモデルなどのパラメータとしても重要であり、ここでは、いくつかの測定値を紹介する。

(3) 土壌呼吸測定手法の比較検討

これまでに開発された土壌呼吸測定法は十数種類に及ぶ。その多くはチャンバー法に属すが、それぞれには測定原理の違いにより、測定精度や時間・空間分解能に差異がある。そこで、チャンバー法の比較解析を必要とする研究が求められてきた(莫、関川2005)。本研究では、5種類のチャンバー法の精度に関する比較検討を行った結果を報告する。

3. 研究方法

(1) 炭素フラックスの年変動におけるプロセス間の相互関係

ここでは、タワー観測と土壌炭素フラックスが同時測定されている苫小牧(カラマツ林、高山(ミズナラ林)、富士吉田(アカマツ林)のサイトにおいて、得られたデータからNEP、GPP、 R_e 、 R_s (土壌呼吸)、 R_p (植物呼吸)、 R_a (植物の地上部呼吸)、 R_h (従属栄養生物呼吸)の年間量を求め、サイト間比較を通じて明らかとなった知見について報告する。

(2) 土壌呼吸の分離（植物根と従属栄養生物呼吸）評価

土壌圏グループの調査サイトのうち、5サイト・7生態系でHR/SR比を測定した結果を報告する。なお、 $HR=R_h$ 、 $SR=R_s$ である。従属栄養生物呼吸HRの推定方法は主として二つである。一つは、土壌呼吸と根呼吸を測定して、両者の差から従属栄養生物呼吸を求める方法である。もう一つは、トレンチ法で根呼吸をゼロにしたときに測定される呼吸である。こうして得られたデータをまとめた結果を報告する。

(3) 土壌呼吸測定手法の比較検討

独立行政法人農業環境技術研究所の圃場において、8月に5種類の土壌呼吸測定手法を用いて土壌呼吸の同時測定を行った。比較対象とした手法は、通気 (OF) 法、自動開閉チャンバー法 (AOCC 法)、携帯式光合成測定器 (LI6400法、LI6200法)、オープントップチャンバー (OTC法)、および密閉法 (CC法) である。CC法以外の採気系は、OF法、AOCC法およびOTC法が開放系、LI6400とLI6200が閉鎖系である。

4. 結果・考察

(1) 炭素フラックスの年変動におけるプロセス間の相互関係

図1は年間のGPP (総生産)、Rs (土壌呼吸)、Ra (植物地上部呼吸 = 生態系呼吸 - 土壌呼吸)、NEPの年変動をサイトごとに示したものである。GPPは苫小牧と富士吉田で大きい値を示し、高山で小さい値を示した。Rsは苫小牧と高山で大きい値を示したが、富士吉田はそれらの二分の一以下であった。Raは富士吉田で最も大きく、次いで苫小牧、高山の順で小さかった。とくに高山のRaは小さかった。これらの結果を反映して、NEPは富士吉田、高山、苫小牧で大きかった。

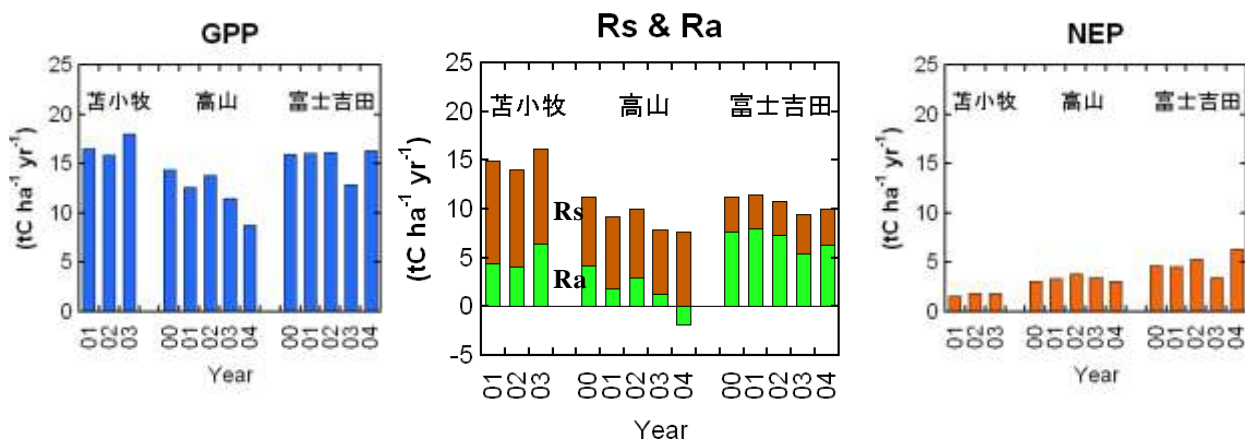


図1 苫小牧、高山、富士吉田における年間フラックス

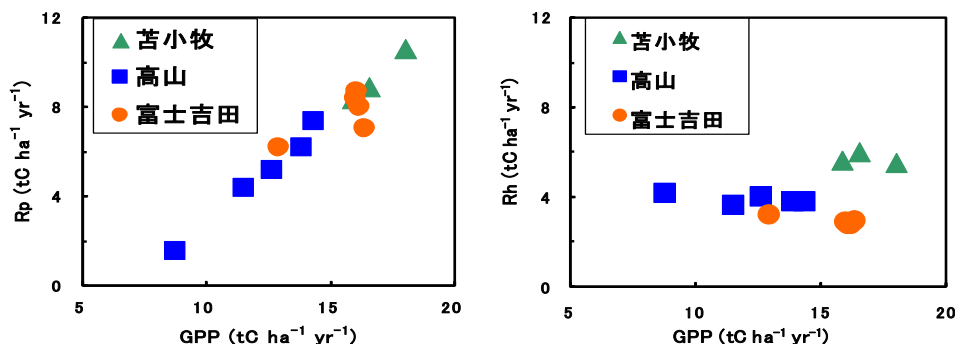


図2 苫小牧、高山、富士吉田における年間フラックス間の関係

年間GPPとRpおよびRhとの関係をみたのが図2である。この結果から、GPPの年変動に対して、年間Rpとは正の相関があり、Rhとは相関が見られないことである。また、これらの相関関係にはサイト間に差異が見られないことも明らかとなった。以上より、植物呼吸は総一次生産に依存する

が、従属栄養生物呼吸は総一次生産に依存しないことが明らかとなった。この理由として、気象の年変動に対して、GPPとRpはセンシティブであり、Rhはインセンシティブである可能性を指摘できるが、今後の確認研究が必要である。

(2) 土壌呼吸の分離（植物根と従属栄養生物呼吸）評価

土壌呼吸は温度依存性が高いことから、横軸には調査サイトの年平均気温を取り、それとHR/SR比との関係を見たのが図3である（HR=Rh、SR=Rs）。その結果、HR/SR比は生態系ごとに異なり、0.4から0.85の間にあることが明らかとなった。気温との関係については明確でなかった。また、同じ生態系でも年によって値が異なることが明らかとなった。以上より、HR/SR比は生態系ごとに測定し、少なくとも数年間の継続測定が必要である。一方、HR/SR比がどのような要因によってコントロールされているのかという点についても今後研究を進めていくべきであろう。

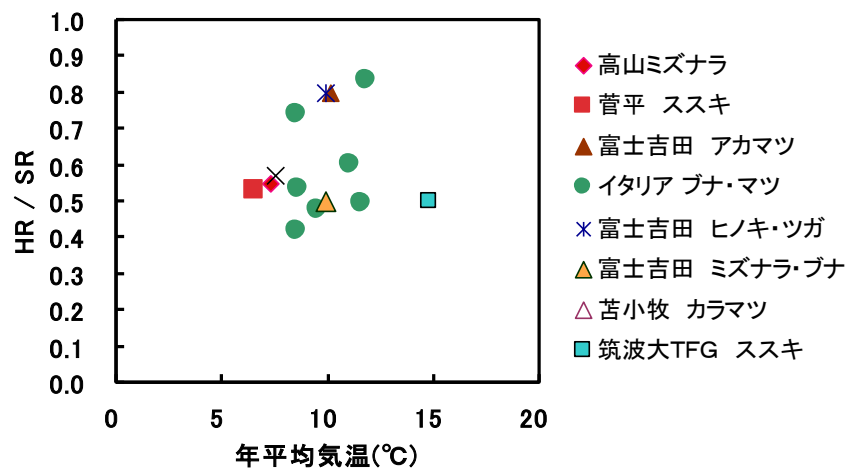


図3 年平均気温とHR/SR比との関係

(3) 土壌呼吸測定手法の比較検討

同時測定された土壌呼吸は、OF法、LI6200法、およびOTC法ではほぼ同じ測定結果となったが、LI6400法はそれらよりも有意に高く（約1.5倍）、CC法は有意に低くなった（図4）。本研究で使用したOF法とAOCC法は、本質的には同一のチャンバー法と言える。LI6400法の測定値が高い値を示したのは、測定システムに内在するエラーの可能性がある。LI6400法は世界的によく利用されており、使用時に他の手法とのバリデーションが必要である。また、CC法による測定値が低い理由は、チャンバー

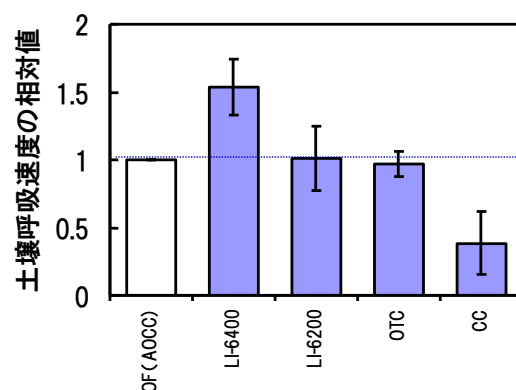


図4 Rs測定手法間比較（OF法を1としたときの相対値）

内CO₂濃度がはじめから高かったため（操作時の人為的影響と考えられる）、その後の濃度上昇が抑制されたためと考えられた。今回の結果から、OF法（通気法、AOCC法を含む）、LI6200法、OTC法の3手法が標準的な手法として適当であると考えられた。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

微気象学的アプローチと生態学的アプローチから得られた結果を統合解析することにより、炭素フラックス間の関係の実態が明らかとなった点は、今後の炭素循環研究を展開する上で貴重な知見をもたらしたと言える。また、土壌呼吸測定手法の比較検討や土壌呼吸に対する従属栄養生物呼吸の割合の測定など、これまでデータがなかったため議論が十分でなかった点も今回の研究で明らかにされた点は今後の研究の発展に繋がるものと期待される。

（2）地球環境政策への貢献

土壌圏調査により得られたデータから、土壌呼吸に対する微生物呼吸と根呼吸の寄与など、有用と思われる土壌炭素フラックスの情報が得られた。これらのデータが炭素収支モデルに組み込まれることにより、より確かな予測シミュレーションなど可能となり、その結果は大気CO₂環境に関わる政策に貢献できるであろう。

6. 引用文献

莫文紅、関川清広、土壌からの炭素放出の定量、日本生態学会誌 55 : 125-140 (2005)

7. 国際共同研究等の状況

「特に記載すべき事項はない。」

8. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) S. Sekikawa, H. Koizumi, T. Kibe, M. Yokozawa, T. Nakano, and S. Mariko: Journal of the Japanese Agricultural Systems Society, 18, 44-54 (2002)
“Diurnal and seasonal changes in soil respiration in a Japanese grapevine orchard and their dependence on temperature and rainfall”
- 2) H. Kojima, S. Mariko, T. Nakamura, and I. Hayashi: Vegetation Science, 20, 55-64 (2003)
“Bud burst process and late-frost experiments on *Fagus crenata* and *Quercus mongolica* ssp. *Crispula*”
- 3) S. Mariko, T. Kibe, S. Sekikawa, M. Hirota, N. Kinoshita, K. Mochizuki, and T. Oikawa: Journal of the Japanese Agricultural Systems Society, 19, 160-165 (2003)
“In situ measurement of soil respiration using the open-top chamber technique”
- 4) S. Sekikawa, T. Kibe, H. Koizumi, and S. Mariko: Environmental Science, 16, 97-104 (2003)

- “Soil carbon budget in peach orchard ecosystem in Japan”
- 5) S. Sekikawa, T. Kibe, H. Koizumi, and S. Mariko: Journal of the Japanese Agricultural Systems Society, 19, 141-150 (2003)
- “Soil carbon sequestration in a grape orchard ecosystem in Japan”
- 6) H. Tanabe, T. Nakano, M. Mimura, Y. Abe Y, and S. Mariko: Journal of Forest Research, 8, 247-252 (2003)
- “Biomass and net primary production of a Pinus densiflora forest established on a lava flow of Mt. Fuji in central Japan”
- 7) M. Hirota, Y. Tang, Q. Hu, S. Hirata, T. Kato, W. Mo, G. Cao, and S. Mariko: Soil Biology and Biochemistry, 36, 737-748 (2004)
- “Methane emissions from different vegetation zones in a Qinghai-Tibetan Plateau wetland”
- 8) Y. Yazaki, S. Mariko, & H. Koizumi: Ecological Research, 19, 511-520 (2004)
- “Carbon dynamics and budget in a miscanthus sinensis grassland in Japan”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 木部剛、鞠子茂：地球環境，9，203-212（2004）
「土壌呼吸の測定と炭素循環」
- 2) 莫文紅、関川清広：日本生態学会誌55，125-140（2005）
「土壌からの炭素放出の定量」
- 3) 関川清広：玉川大学農学部研究報告，45，23-44（2005）
「果樹園生態系における炭素シーケストレーション機能の評価（学位論文抄録）」

(2) 口頭発表（学会）

- 1) 関川清広、広田充、唐艶鴻、小泉博、鞠子茂：第49回日本生態学会大会（2002）
「中国青海高山草原における土壌呼吸速度の日変化」
- 2) 広田充、加藤知道、唐艶鴻、関川清広、鞠子茂：第49回日本生態学会大会（2002）
「中国青海高山湿地における土壌環境と植生分布-水生植物のガス交換機能からの考察-」
- 3) 関川清広、広田充、加藤知道、莫文紅、鞠子茂、唐艶鴻：第50回日本生態学会大会（2003）
「青海草原の炭素動態に関する研究-通気法と渦相関法による夜間CO₂フラックスの比較-」
- 4) 広田充、加藤知道、胡后武、曹広民、唐艶鴻、関川清広、莫文紅、鞠子茂：第50回日本生態学会大会（2003）
「青海草原の炭素動態に関する研究-高原湿地生態系におけるCO₂、CH₄フラックス-」
- 5) M. Hirota, Y. Tang, Q. Hu, S. Hirata, T. Kato, W. Mo, and S. Mariko: Societies International Limnology (SIL) XXIX International Congress, Lahti, Finland, pp 36 (2004)
“CO₂ and CH₄ dynamics in different vegetation zones in a Qinghai-Tibetan Plateau Wetland, during a growth period”
- 6) 関川清広、木部剛、横沢正幸、小泉博、鞠子茂：第51回日本生態学会大会（2004）
「プロセスアプローチによる農地生態系の炭素収支比較」

- 7) 関川清広：第52回日本生態学会大会（2005）
「草原生態系における土壌炭素放出フラックス-チャンバー法に基づく測定と評価-」
- 8) S. Yonemura, M. Yokozawa, Y. Shirato, S. Sekikawa, S. Mariko, and I. Nouchi : The 2nd. Scientific Congress of East Asian Federation of Ecological Societies, Niigata, Japan (2006)
“Soil CO₂ concentration profiles in some ecosystems in Japan”
- 9) 木谷好希、鞠子茂：第54回日本生態学会大会（2007）
「ススキ草原とアカマツ林の純一次生産量の比較」
- 10) 関川清広、川尻浩史、藤島理、村岡裕由、西田顕郎、鞠子茂：第54回日本生態学会大会（2007）
「LAI に基づく冷温帯半自然草原のNPP推定」

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) 第1回菅平高原実験センター研究集会（2006年12月14日、筑波大学菅平高原実験センターA308、観客30名）

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

(6) その他

なし