

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 18 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24380086

研究課題名(和文) 多雪地域の森林における大気-積雪層・土壌間の温室効果ガス動態の解明とその定量評価

研究課題名(英文) Evaluation of the GHGs emission processes from forest soil surface to atmosphere in snow cold areas.

研究代表者

小野 賢二 (ONO, Kenji)

国立研究開発法人 森林総合研究所・東北支所・主任研究員

研究者番号：30353634

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,300,000円

研究成果の概要(和文)：地球温暖化に伴い森林の温暖化緩和機能が注目されている。温室効果ガスの吸収・放出量は地温や土壌水分に応じて変動する。多雪地域では冬期の土壌は低温で、微生物活性が低いことから、実観測やそれに基づく評価例は数少ない。故に、降雪・積雪・融雪による物理化学的プロセスを加味した大気-積雪層・土壌間の温室効果ガス動態の解明が必要である。本課題では安比高原ブナ林にて積雪・融雪過程と各種温室効果ガス動態の関係解明を目的に、大気-土壌・積雪層間のガス動態を解析した。その結果、積雪は温室効果ガス動態の抵抗層となっていること、融雪期の大量の融雪水は積雪層・土壌内のガス濃度分布に大きな影響を与えることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Studies on winter respiration from forest soils in cool-temperate zone are rather scarce because of low respiration of root-rhizospheres and microbial due to low soil temperature. Therefore, we investigated daily and seasonal dynamics of soil GHGs flux in a cool-temperate deciduous broad-leaved forest located at about 800 m in the Appi Highland, Iwate Prefecture. Throughout our winter surveys, we found that the thick fallen snow lamination became the resistance to GHGs flux from forest soil, and that the vertical distribution of GHGs concentrations in forest soil were affected by the passing of the snowmelt during the early spring.

研究分野：森林土壌学

キーワード：多雪地帯 冷温帯落葉広葉樹林 温室効果ガス 森林土壌 積雪 融雪

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化に伴い森林が持つ温暖化緩和機能が注目され、森林土壌由来の温室効果ガス動態の観測が日本各地で行われている。森林土壌では、二酸化炭素 (CO₂) と亜酸化窒素 (N₂O) は放出源、メタン (CH₄) は吸収源となっている (Morishita et al. 2007)。また、温室効果ガスの吸収量、放出量は地温や土壌水分量に応じて変動する (Ishizuka et al. 2006; Morishita et al. 2007)。しかし、寒冷な多雪地域では冬期の地温が低いため、土壌微生物の活性はわずかであると考えられ、実観測やそれに基づく正確な評価は、ほとんどなされていない。厳冬期に積雪がある地域は、日本の約 5 割を占め (JAXA 2008)、雪に覆われる期間は数ヶ月から半年以上に及び、したがって、年間のガス収支に及ぼす冬期の影響は大きいと考えられる。さらに積雪層の形成は大気 - 土壌間におけるガス交換の抵抗となる (小南 2005; Takagi et al. 2005)。これらから、積雪地域の森林においては、降雪・積雪・融雪による物理化学的プロセスを加味した大気 - 積雪層・土壌間の温室効果ガスの吸排出プロセスの解明と精度の高いガスフラックスの観測が求められている。

2. 研究の目的

本研究は、地温が低く土壌微生物活性がわずかであると考えられ、従来は重要視されていない冬期の大気 - 土壌間におけるガス収支に焦点を当てる。本課題では、冬期に森林内で形成された積雪層や融雪水が大気 - 積雪層・土壌間における温室効果ガス収支へ及ぼす物理化学的な影響を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 調査地は、岩手県八幡平市の西森山北麓の緩傾斜地に位置する安比岳国有林内の安比二酸化炭素動態観測共同試験地である。本試験地は約 80 年生のブナを主体とする冷温帯性落葉広葉樹二次林で構成される。標高は 825 m、土壌型は火山放出物を母材とする適潤性褐色森林土である。年平均気温は約 5.9、年平均降水量は概ね 2000 mm である。厳冬期の最大積雪深は約 2 m である。

(2) 森林土壌からの温室効果ガスフラックスに及ぼす積雪の影響を明らかにするため、試験地内においてチャンパー法によりそれぞれの温室効果ガスフラックスを全年で測定した。無雪期には土壌に無底円筒型チャンパーを設置し、観測時にフタをしてガス採取を行った。積雪期には毎観測時に有底円筒型チャンパーを雪面にかぶせてガス採取を行った。ガス採取はシリンジにて行い、採取したガス試料は真空バイアルに封入し、実験室に持ち帰り、ガスクロマトグラフ (島津製作所 GC-14A) にて CO₂、CH₄、N₂O を定量分析し、ガスフラックスを算出した。

(3) 鉍質土壌や積雪層の中の CO₂ 濃度に及ぼす積雪、融雪の物理化学的な影響を明らかにするため、小型赤外線 CO₂ 濃度計 (Yasuda et al. 2008) を試験地内の土壌中および積雪中に設置し、積雪層および鉍質土壌層中の CO₂ の鉛直分布の経時変化を観測した。また、土壌呼吸連続測定装置 (溝口ら 2003) を同試験地内の林床面に設置し、密閉チャンパー法に準じて赤外線 CO₂ 濃度計 (LI-COR 社 LI-820) を用いて 1 時間ごとに観測した。それぞれの観測データを 1 時間ごと、あるいは 1 日ごとの平均値に変換し、各土壌深度における CO₂ 濃度と土壌呼吸フラックスとを比較し、それぞれの関係性を調べ、鉍質土壌や積雪層の中の CO₂ 濃度に及ぼす積雪や融雪の影響を検討した。

4. 研究成果

(1) 土壌および雪面の温室効果ガスフラックスは、CO₂ および N₂O に関しては全ての観測値において放出フラックス、CH₄ に関しては吸収フラックスであった。CO₂ 放出と CH₄ 吸収は地温の高い夏に大きく、地温が低い冬の積雪期間は非常に小さく、明瞭な季節変化を示した。N₂O 放出は地温変化に伴う明瞭な季節変化は見られなかった。また、積雪期間中も大きくはなかったが N₂O の放出が観測された。

CO₂ 放出は地温の影響を強く受け、深さ 5cm の地温 (T (°C)) と有意な指数関数式で示された (図 1)。積雪期の測定値を含む場合と含まない場合においてその関係式のパラメータに大きな違いが見られなかった (式 1: 非積雪期のみ, 式 2: 積雪期を含む)。

$$\text{CO}_2 \text{ 放出速度} = 25.7 \cdot e^{(0.105 \cdot T)} \cdot \dots \cdot (\text{式 1})$$

$$\text{CO}_2 \text{ 放出速度} = 23.7 \cdot e^{(0.109 \cdot T)} \cdot \dots \cdot (\text{式 2})$$

CH₄ 吸収も地温の影響を受けていると考えられた (図 1)。ただ、積雪期間中の測定値が非常に小さく、非積雪期間の測定値と地温から得られた指数回帰曲線から離れて、不連続的であった。そこで、地温と積雪深 (D (cm)) とを説明変数として重回帰分析をおこなった結果、下記のような有意な回帰式が得られた (式 3: 非積雪期のみ, 式 4: 積雪期を含む (ガス観測時の最小積雪深は 45cm))。

$$\text{CH}_4 \text{ 吸収速度} = 28.6 \cdot e^{(0.105 \cdot T)} \cdot \dots \cdot (\text{式 3})$$

$$\text{CH}_4 \text{ 吸収速度} = 24.6 + 1.51 \cdot T - 0.141 \cdot D \cdot \dots \cdot (\text{式 4})$$

N₂O 放出は温度や水分、積雪深などの説明要因では有意な関係式が得られなかった。上記の CO₂ および CH₄ の回帰式を用いて年間フラックスを推定すると、積雪期の観測値を考慮しない場合とした場合で、CO₂ 放出は 2%、CH₄ 吸収は 29% ほど異なっていた。

温室効果ガスの年間フラックス推定における積雪影響について、CH₄ 吸収の年間推定におよぼす影響が大きく、本調査地においては積雪期の測定値を考慮しないと 3 割ほど過大評価していた。積雪深が大きくなるほど CH₄ 吸収は小さくなることから (式 4) 積雪が大気から土壌への CH₄ の拡散を抑制しているこ

とが示され、積雪期の測定値は重要であることが示された。

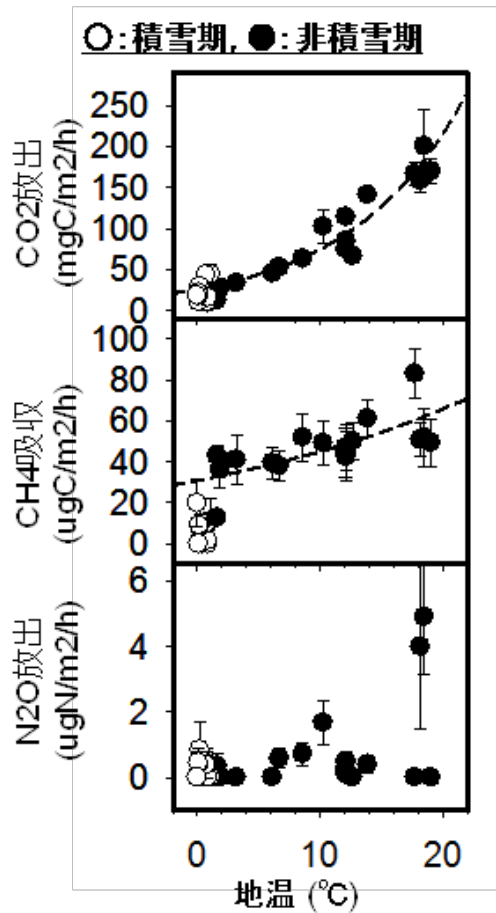


図 1. 温室効果ガスフラックスの温度特性 (点線は積雪期データの回帰曲線. エラーバーは標準誤差 (n=5))

(2) 積雪期～融雪期～夏季に移行する期間の土壌呼吸速度と土壌 CO₂ 濃度の鉛直分布の経時変化を図 2 に示した。土壌 CO₂ 濃度の鉛直分布は土壌深が深くなると増加し、75～100 cm 深で 0.8～1.9% となり、極大を示した。

積雪期には土壌 CO₂ 濃度は全層にわたって高い傾向を示した。これは積雪層が土壌呼吸フラックスの抵抗層となっていることを示唆する。その後、融雪期となり、融雪水が土壌に侵入を始めると、土壌 CO₂ 濃度は極端に低下した。このとき、土壌の体積含水率は大きく変化しないことから、融雪水の浸入による土壌の気相率の低下が土壌 CO₂ 濃度の低下に起因していないことが示唆された。故に、融雪水への土壌 CO₂ の融解が土壌中の CO₂ 濃度の低下の原因ではないかと考えられた。

展葉期において土壌呼吸速度の増加がみられたが、表層土壌における地温上昇およびそれに伴う土壌呼吸活性の増加が主因であることが示唆された。このとき、土壌表層部の CO₂ 濃度のみ上昇する結果も得られており、前述の示唆を支持するものである。

梅雨期においては、一時的に土壌呼吸速度が低下する事象が観測された。このとき、年

平均降水量の 5% に相当する総降雨量 120 mm の降雨が観測され、土壌の体積含水率も大きく変動し、さらに表層土壌における土壌 CO₂ 濃度の上昇が観測されていることから、土壌の気相率低下による土壌 CO₂ の拡散阻害に起因したものと考えられた。

1 時間ごとの観測値における土壌呼吸速度と土壌深度ごとの CO₂ 濃度の関係を図 3 に示した。土壌呼吸速度の変動は、各深度の土壌 CO₂ 濃度と有意な相関関係を示した。土壌呼吸速度と土壌 CO₂ 濃度の相関性は、落葉層 (0 cm 深) で最も高く、30 cm および 50 cm 深で低くばらつきも大きかった。下層の鉾質土層における CO₂ 濃度は、土壌呼吸速度に俊敏に反応しないことが明らかとなった。また、降雨や融雪などの水移動に伴うイベントには反応していた。5 cm および 10 cm 深では、土壌 CO₂ 濃度が高濃度 (0.5～1.0%) に振れる事象をたびたび観測した。これらも降雨に伴う一時的な事象に対する反応とみられた。

以上により、積雪は温室効果ガス動態の抵抗層となること、融雪期の大量の融雪水は積雪層、土壌内のガス濃度分布に影響することが明らかとなった。

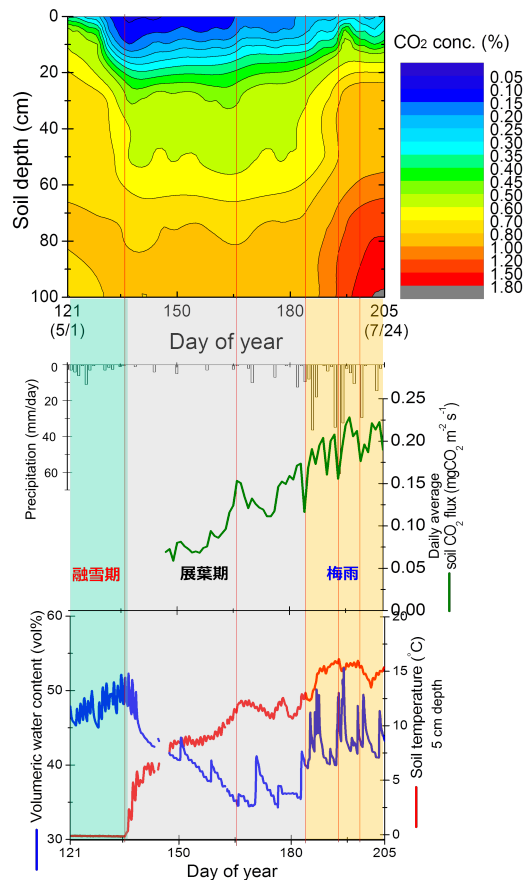


図 2. 融雪期～展葉期～梅雨期における土壌 CO₂ 濃度の鉛直分布と土壌呼吸速度、地温 (5 cm 深) 土壌の体積含水率、日降水量の経時変化 (2013 年)

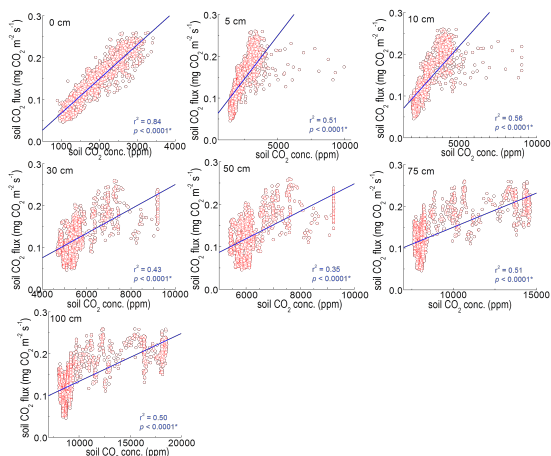


図 3. 土壌呼吸速度と土壌 CO₂ 濃度の関係

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3件)

阪田匡司、橋本徹、小野賢二、森下智陽、石塚成宏、平井敬三、積雪期と非積雪期における森林土壌からの温室効果ガスフラックスの違い、関東森林研究、65、315-318、査読有、2014

Ono K., Yasuda Y., Matuso T., Hoshino D., Chiba Y., and Mori S., Estimating forest biomass using allometric model in a cool-temperate *Fagus crenata* forest in the Appi Highlands, Iwate, Japan., Bulletin of Forestry and Forest Products Research Institute、12、125-141、査読有、2013

Yasuda Y., Saito T., Hoshino D., Ono K., Ohtani Y., Mizoguchi Y., and Morisawa T., Carbon balance in a cool-temperate deciduous forest in northern Japan: seasonal and interannual variations, and environmental controls of its annual balance., Journal of Forest Research、17、253-267、査読有、2012

[学会発表](計8件)

小野賢二、安田幸生、阪田匡司、森下智陽、多雪地域の落葉広葉樹林における土壌および積雪層中 CO₂ 鉛直分布の経時変化、日本森林学会、2016年3月27日~30日、日本大学

小野賢二、安田幸生、阪田匡司、森下智陽、冷温帯落葉広葉樹林における土壌 CO₂ フラックスと土壌 CO₂ 濃度の関係、日本生態学会、2016年3月20日~24日、仙台市国際センター

小野賢二、安田幸生、阪田匡司、森下智陽、多雪地域の落葉広葉樹林における土壌由来温室効果ガス動態に対して積雪層が及ぼす影響、日本土壌肥科学会 2015年

度京都大会、2015年9月9日~11日、京都大学

安田幸生、小野賢二、星野大介、冷温帯ブナ林における純一次生産量の変動は純生態系 CO₂ 交換量の変動を追いかける、日本農業気象学会、2015年3月16日~19日、茨城県つくば市文部科学省研究交流センター

森下智陽、橋本昌司、石塚成宏、阪田匡司、三浦覚、金子真司、高橋正通、我が国の森林土壌における年間メタン吸収量の推定、農業気象学会、2014年3月17日~21日、北海道大学

小野賢二、安田幸生、星野大介、千葉幸弘、森茂太、安比二酸化炭素動態観測共同試験地ブナ二次林における地上部・地下部バイオマス現存量の推定、東北森林科学会、2013年8月29日~30日、山形市保険センター

小野賢二、落葉の分解とそれに伴う有機物組成の経時変化、日本腐植学会、2012年11月21日~22日、首都大学東京
阪田匡司、橋本徹、小野賢二、森下智陽、石塚成宏、平井敬三、積雪期と非積雪期の森林土壌からの温室効果ガスフラックスの挙動、関東森林学会、2012年10月26日、燕三条地場産業振興センター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野 賢二 (ONO KENJI)

国立研究開発法人森林総合研究所・東北支所・主任研究員

研究者番号：30353634

(2) 研究分担者

阪田 匡司 (SAKATA TADASHI)

国立研究開発法人森林総合研究所・立地環境研究領域・主任研究員

研究者番号：50353701

安田 幸生 (YASUDA YUKIO)

国立研究開発法人森林総合研究所・気象環境研究領域・主任研究員

研究者番号：50353892

森下 智陽 (MORISHITA TOMOHIRO)

国立研究開発法人森林総合研究所・四国支所・主任研究員

研究者番号：90391185