

令和元年5月8日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14934

研究課題名(和文) 寒冷積雪環境下における、樹木の地上部-地下部間の物質の伝達

研究課題名(英文) Response of tree roots activity to atmospheric temperature through its trunk in deep winter snowpack

研究代表者

高木 健太郎 (TAKAGI, Kentaro)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・准教授

研究者番号：20322844

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：温度・水分環境が一定である厳冬期積雪下の森林土壤中、地上気温変化に反応してCO₂濃度が変動する現象を先行研究において観測した。この現象の詳細を明らかにすることを目的として、厳冬期積雪環境下において森林土壤中のCO₂濃度を複数林分で観測した。この現象はシラカンバ、トドマツ、アカエゾマツ林の土壌で観測され、シラカンバ林で特に反応が強かった。積雪内樹幹中のCO₂濃度も気温変化に反応し変動していたことから、樹木は厳冬期においても気温に反応し生物活性を変化させており、地下部の活性変化に影響を与えている可能性が高いことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

冷温帯林以北の森林では、厳冬期の気温はマイナス数十℃にまで低下し、樹体内の大部分の水は凍っている。木部形成層周辺の柔細胞は厳冬期も生命活動を維持しているが、この活動はあまり能動的ではないと考えられてきた。本研究により、厳冬期の樹木の活動は従来考えられているよりも能動的であり、地下部においても、地上部の環境変化に敏感に反応している可能性が高いことが明らかになった。このような知見はこれまでの研究では報告されていない。

研究成果の概要(英文)：In order to certify and clarify previously observed dynamic variation of CO₂ concentration in the forest soil positively correlated with that in the air temperature during a snow-covered period in a cold winter, we developed multi-channel CO₂ concentration profiler and measured the concentration in the soils at three stand types (spruce, fir, and birch) in winter under the ca. 1-2 m deep snowpack in a cool-temperate forest. Similar temporal variation of CO₂ concentration was observed in the soil for all of the three stands, but that in birch stand showed the highest sensitivity and correlation coefficient to the air temperature above the deep snow cover. Because the CO₂ concentration in a birch tree trunk also showed the same temporal variation in the snow with that in the soil, trees would change the biological activity in response to the air temperature even under < 0 deg. C condition, and the change would affect the root activity in the soil at constant heat and water condition.

研究分野：農林気象学

キーワード：二酸化炭素 森林土壌 北方林 厳冬期 積雪 シラカンバ ササ 樹幹

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

森林の炭素循環に関する近年の観測研究により、根や外生菌根菌、土壌微生物の活動は樹木の光合成活動を介して、地上部の環境変化に敏感に反応しており、根の呼吸量は地下起源の総呼吸量への寄与も高いことが明らかにされている(e.g. Boone et al., 1998)。また光合成産物は数日程度の短期間に地下部に移動し、根の呼吸や成長、外生菌根菌の活動に利用されていることも明らかにされている(Högberg, et al., 2001, 2007; Dannoura, et al., 2011)。しかし、このような樹木の地上部から地下部への光合成産物の転流に関する研究は、植物生育期に限られている。

冬季、気温が - 10°C以下になり、深い積雪に覆われるような北方林では、冬季着葉している常緑樹においても厳冬期は休眠状態にあり(織部, 2006)、地下部においては、土壌微生物の活動による二酸化炭素の生成(e.g. Sommerfeld, et al., 1993)や若干の根の維持・更新活動(e.g. Fukuzawa et al, 2014)が行われているのみと考えられている。

研究代表者は、厳冬期の北方林において、1mの厚さを持つ積雪下の土壌間隙中の CO₂ 濃度が気温の日々変動に反応して変動していることを明らかにした(図1)(Takagi et al., 2005)。しかし、厚い積雪によって外気から遮断され、温度が一定である土壌中において、なにか、どのようにして雪面上の外気の情報を知りえて反応しているのか、その詳細については明らかにすることができなかった。

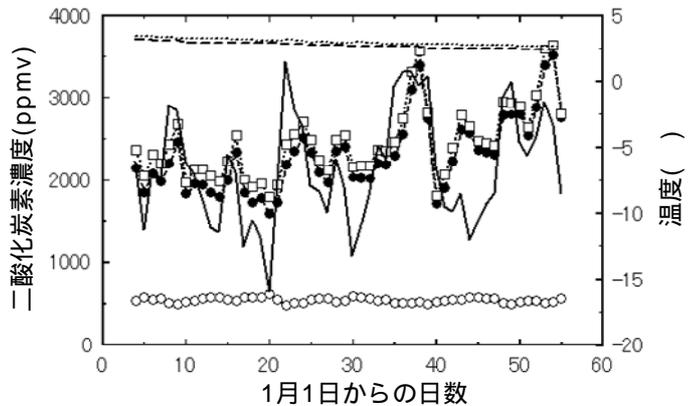


図 1 厳冬期における二酸化炭素濃度と温度の日々変化。
、 、 はそれぞれ、外気、土壌 5cm 深、土壌 15cm 深の二酸化炭素濃度、実線、破線、点線はそれぞれ、外気、土壌 5cm 深、土壌 15cm 深の温度。Takagi et al. (2005) を加筆修正。

2. 研究の目的

本研究では、この現象の一般性や詳細を明らかにすることを目的として、土壌中 CO₂ 濃度を多地点で連続観測するシステムを開発し、厳冬期積雪環境下において森林土壌中の CO₂ 濃度の観測を行った。

3. 研究の方法

2016 ~ 2019 年の積雪期 3 期に北海道大学天塩研究林の複数林分において観測を行った。2016 年 12 月 ~ 2017 年 3 月の積雪期は、針広混交林を構成する主要樹種 3 種(トドマツ、アカエゾマツ、シラカンバ)の林分を対象として、各樹種 2 個体、それぞれの個体の幹からの水平距離 0.5 m および 2 m の 2 か所(計 4 反復であるが、シラカンバとアカエゾマツのセンサが、観測途中で 1 つずつ故障したため、これらの樹種では 3 反復)において、土壌中 5 cm 深における CO₂ 濃度(GMD20, Vaisala, Helsinki, Finland)と地温(T 熱電対)の 2 時間毎の連続観測(CR3000, Campbell Scientific, Logan, UT, USA)を行った。土壌水分(CS615, Campbell Sci.)は各樹種につき 1 地点、気温(T 熱電対)と積雪深(SR50, Campbell Sci.)は 1 地点で連続観測を行った。

2017 年 12 月 ~ 2018 年 3 月の積雪期は、シラカンバ林において、半径 3 m の林床のササを刈り払う個体を 4 本、ササを刈り払わない個体を 6 本設定し、計 10 個体のシラカンバ直下の土壌 5 cm 深における CO₂ 濃度・地温・土壌水分の 2 時間毎の連続観測を前年と同様の測器を用いて行った。気温と積雪深は 1 地点で連続観測を行った。前年の観測において、シラカンバ林の土壌中 CO₂ 濃度の気温への反応が顕著であったこと、またシラカンバ林に下層植生であるササが顕著に優占していたことを踏まえて、ササの影響を分離できる実験区を設定した。両年とも観測値はすべて日平均値として、積雪が十分にあり、融雪の影響がない時期(1 月 ~ 2 月上旬)について解析を行った。

2019 年 1 月 ~ 2 月の積雪期は、冬季に積雪に埋もれる高度(40 cm)においてシラカンバの幹に穴を空け、樹体内の CO₂ 濃度の連続

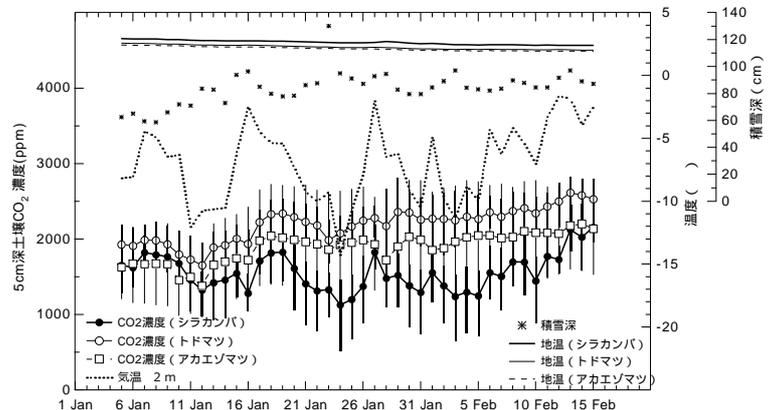


図 2 厳冬期の土壌中 CO₂ 濃度、気温、地温、積雪深の日々変化(2017 年)。濃度の垂線は各樹種複数反復の最大最小のレンジを表す。

観測を行った。同時に積雪上および積雪内の気温プロファイルと積雪内同高度の CO₂ 濃度の観測を行った。

4. 研究成果

2017 年の解析期間(1 月 5 日~2 月 15 日)は積雪深が 59~97cm、2018 年の解析期間(1 月 1 日~31 日)は積雪深が 113~177cm であった。両年ともこの期間、地温や土壌水分には変動が見られなかった(図 2)。

2017 年の観測において、すべての樹種で、複数地点平均の日平均 CO₂ 濃度と日平均気温の日日変化の間に有意な相関がみられ(図 2, 図 3)、シラカンバ林においてその傾向が特に強かった。この結果より、気温変動に対応した土壌中の CO₂ 濃度変動は、樹種によって反応の強さに差があるものの、普遍的にみられる可能性が高いものであること、また厳冬期に着葉している常緑樹のトドマツ林やアカエゾマツ林よりも、落葉樹であるシラカンバ林でその傾向が強いことが明らかになった。

シラカンバを対象にした 2018 年の観測において、気温変動との相関が低い個体も存在するものの、ほぼすべての個体において、気温変動に対応する濃度の変動が認められた(図 4)。気温変動との相関の強さや、濃度変動の個体間の相関、濃度の絶対値について、ササの影響は認められなかったことから、この期間の CO₂ 動態にササの影響は小さいと考えられた。

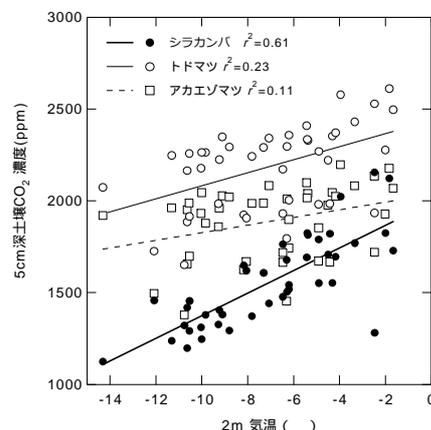


図 3 2m 高度の日平均気温と日平均土壌中 CO₂ 濃度との関係(2017/1/5-2/15)。

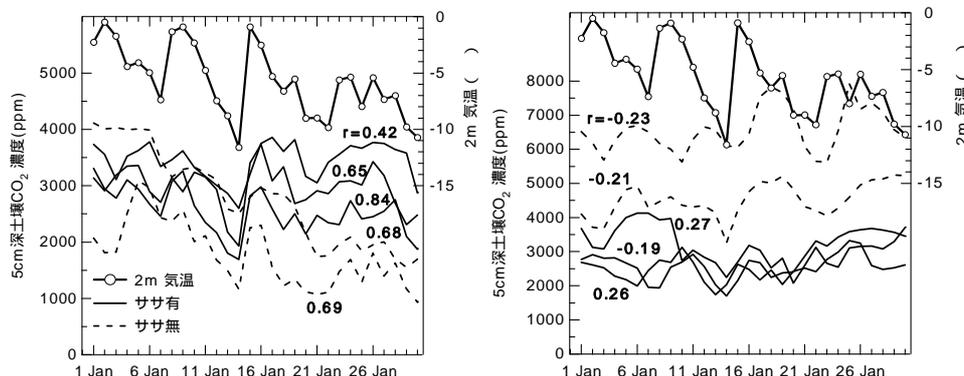


図 4 シラカンバ林における厳冬期の日平均土壌中 CO₂ 濃度と 2m 高度の日平均気温の日々変化(2018 年)。CO₂ 濃度は個体毎の値。左図は気温との相関(図中の数値)が高い個体で、右図は相関が低い個体。

両年の観測結果から、厳冬期においても樹木は外気温に反応して、地下部の生物活性を変化させている可能性が高くなり、その反応は特に落葉樹のシラカンバで顕著であることが明らかになった。

十分雪が積もった 2019 年の 1 月~2 月にかけて、樹体内の温度は -5°C~0°C の範囲で緩やかに変動し、積雪内部の温度伝達の位相と保温効果のために気温との相関が認められなかった(図 5)。一方、樹体内の CO₂ 濃度は、積雪深の増加に伴い緩やかに増加する季節変化に加えて、積雪上の気温変化に瞬時に反応し、気温が低くなると濃度が低くなる変動をしていた。このような変動は、同高度積雪内の CO₂ 濃度には認められなかった。このことから、樹木は樹体が 0°C 以下となる厳冬期においても周囲の気温に反応し生物活性を変化させており、この変化が地下部の活性に影響を与えている可能性が高いことが明らかになった。樹体内の大部分の水は凍っているものの、形成層周辺の柔細胞は厳冬期も生命活動を維持しているが、この活動は従来考えられているよりも能動的で環境変化に敏感に反応している可能性が考えられた。

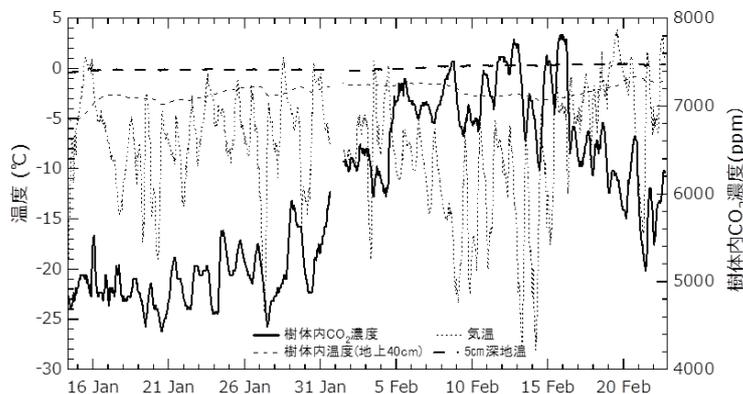


図 5 シラカンバにおける厳冬期の樹体内中 CO₂ 濃度と気温、地温、樹体内温度の経時変化(2019 年)。

< 引用文献 >

- Boone RD, Nadelhoffer KJ, Canary JD, Kaye JP (1998) Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. *Nature*, 396, 570-572.
- Högberg P, Nordgren A, Buchmann N, Taylor AFS, Ekblad A, Högberg MN, Nyberg G, Ottosson-Löfvenius M, Read DJ (2001) Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. *Nature* 411, 789-792.
- Högberg P, Högberg MN, Göttlicher SG, Betson NR, Keel SG, Metcalfe DB, Campbell C, Schindlbacher A, Hurr V, Lundmark T, Linder S, Näshol T (2007) High temporal resolution tracing of photosynthate carbon from the tree canopy to forest soil microorganisms. *New Phytologist*, 177, 220-228;
- Dannoura M, Maillard P, Fresneau C, Plain C, Berveiller D, Gerant D, Chipeaux C, Bosc A, Ngao J, Daesin C, Loustau D, Epron D (2011) *In situ* assessment of the velocity of carbon transfer by tracing ¹³C in trunk CO₂ efflux after pulse labelling: variations among tree species and seasons. *New Phytologist*, 190, 181-192.
- 織部 雄一朗(2006) 針葉樹における形成層および木部分化の再活動に関する研究. *林木育種研究報告*, 22, 61-146.
- Sommerfeld RA, Mosier AR, Musselman RC (1993) CO₂, CH₄ and N₂O flux through a Wyoming snowpack and implications for global budgets. *Nature*, 361, 140-142.
- Fukuzawa K, Shibata H, Takagi K, Satoh F, Koike T, Sasa K (2013) Temporal variation in fine-root biomass, production and mortality in a cool temperate forest covered with dense understory vegetation in northern Japan. *Forest Ecology and Management*, 310, 700-710.
- Takagi K, Nomura M, Ashiya D, Takahashi H, Sasa K, Fujinuma Y, Shibata H, Akibayashi Y, Koike T (2005) Dynamic carbon dioxide exchange through snowpack by wind-driven mass transfer in a conifer-broadleaf mixed forest in northernmost Japan. *Global Biogeochemical Cycles*, 19, GB2012.

5 . 主な発表論文等

[学会発表](計7件)

- 高木 健太郎, 小林 真, 北海道北部厳冬期積雪下の森林土壌内の CO₂ 濃度の挙動, 日本農業気象学会 2019 年全国大会, 2019 年
- 高木 健太郎, 小林 真, 北海道北部冬季積雪下の森林土壌内の CO₂ 濃度の挙動, 日本農業気象学会北海道支部 2018 年北海道支部大会, 2018 年
- 高木 健太郎, 北海道北部の森林における物質循環長期モニタリング, 第 25 回大気環境学会北海道東北支部総会, 2018 年
- 孫 力飛, 高木 健太郎, 梁 乃申, 寺本 宗正, 平野 高司, 矢崎 友嗣, 崔 鋭, 異なる施業・攪乱履歴のある三林分における土壌呼吸特性の比較, 日本農業気象学会 2018 年全国大会, 2018 年
- 高木 健太郎, 梁 乃申, 寺本 宗正, 孫 力飛, Ryhti M. Kira, Aguilos Maricar, 10 年間の土壌温暖化操作が北海道北部の植林泥炭地の微生物呼吸量に与えた影響, 日本農業気象学会 2018 年全国大会, 2018 年
- 小林 真, 片山 歩美, 丸毛 絵梨香, Bryanin Semyon, 高木 健太郎, 雪解け時期の早まりが森林の下層植生と成木に及ぼす影響の違い: 大面積操作実験による検証, 第 64 回日本生態学会, 2017 年
- 高木 健太郎, 北海道北部の森林における CO₂・オゾンフラックスの長期モニタリング, 第 57 回大気環境学会年会植物分科会, 2016 年

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 小林 真

ローマ字氏名: (KOBAYASHI, makoto)

所属研究機関名: 北海道大学

部局名: 北方生物圏フィールド科学センター

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 60719798

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。