

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K06331

研究課題名(和文) 温暖化によって高標高の森林は炭素の吸収源になるのか? : 生産量と土壌呼吸の標高変化

研究課題名(英文) Elevational changes in production and soil respiration rates in subalpine forests

研究代表者

高橋 耕一 (Takahashi, Koichi)

信州大学・学術研究院理学系・教授

研究者番号：80324226

交付決定額(研究期間全体) : (直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文) : 標高傾度にしたがって亜高山帯林の生産量と土壌呼吸速度を調べた。その結果、(1)どの標高でも個体間競争によって成長が減少し、また成長率は成長期間の気温と正の相関、降水量とは負の相関がみられた。さらに、成長率の減少は死亡率を高めていた。(2)各標高での土壌呼吸速度は地温と含水率、森林のバイオマスから推定できた。(3)どの標高でも根の呼吸速度と微生物の呼吸速度は地温と正の相関があった。細根量は高い標高ほど減少したが、細根量あたりの根の呼吸速度は高い標高ほど高かった。(4)土壌呼吸速度の日変化と季節変化は地温と含水率から再現できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この研究では、樹木個体の成長率、死亡率、そして土壌呼吸速度を森林のバイオマス、個体間競争と気象条件から推定できることを示した。樹木個体の成長率と死亡率に対する気象の影響については、まだデータ数が少ないため、推定精度は高くないが、今後、データを積み上げることで、より精度が高まることが期待される。樹木の成長に対する気象の影響は年輪年代学的手法でよく研究されてきたが、一般的に行われている毎木調査のデータから推定できれば、今後、多くの森林データに適用でき、また温暖化の影響予測にも利用できる。

研究成果の概要(英文) : We investigated the production and soil respiration rate of subalpine forests along an elevation gradient. (1) The results showed that growth decreased due to competition at all elevations, and that the growth rate was positively correlated with the temperature during the growth period and negatively correlated with the precipitation. Furthermore, a decrease in growth rate increased the mortality rate. (2) Soil respiration rate at each elevation could be estimated from soil temperature, soil moisture, and forest biomass. (3) At all elevations, root respiration rate and microbial respiration rate were positively correlated with soil temperature. Fine root mass decreased with higher elevations, but it was revealed that root respiration rate per fine root mass was higher at higher elevations. (4) Seasonal and diurnal variations in soil respiration rates could be reproduced by soil temperature and soil moisture.

研究分野：植物生態学

キーワード：土壌呼吸 競争 森林動態

### 1. 研究開始当初の背景

高標高の森林では冷涼な気象条件のため、樹木の成長は抑制されている。温暖化は樹木の成長を高める一方で、土壌中の根や微生物などの従属栄養生物の呼吸量(土壌呼吸)を促進させる。土壌呼吸速度は特に低温域で温度の感受性が高いため、高標高では土壌からのCO<sub>2</sub>排出量が温暖化によって増加すると考えられる。そのため、高標高の森林がCO<sub>2</sub>吸収源になるか不明である。日本のような山岳環境では、標高傾度にそった炭素循環の変化を理解することは、温暖化の予測に重要な研究課題である。そのため、標高傾度にそった森林の炭素バランスに対する温暖化の影響を定量的に明らかにする必要がある。

### 2. 研究の目的

高い標高では樹木の成長は低い気温によって抑制されているため、森林の生産量は低い。一方で、森林のバイオマスも生産量に大きく影響する。バイオマスの大きな森林では、生産量、根の呼吸量は増加する。しかし、森林のバイオマスは一定ではない。森林のバイオマスが個体の成長や死亡に影響することで、さらにバイオマスは変化する。そのため、森林の生態系生産量は気象条件とバイオマスによって解析できる。そのために、この研究では、長期観測データを用いて樹木個体の成長や死亡、そして土壌呼吸量を明らかにすることである。

### 3. 研究の方法

長野県乗鞍岳(3026 m)の5標高(1600, 2000, 2300, 2500, 2800 m)に設置してある調査区において、樹木個体の幹直径の再測定と土壌呼吸速度の測定を行った。土壌呼吸速度は、各標高で雪解け後から10月まで週1回の頻度で手動で測定した。さらに標高1600 mと2800 mでは、自動測定器を用いて、1時間間隔で測定した。

土壌呼吸速度は植物の根の呼吸と土壌微生物の呼吸の合計値である。根の呼吸量と微生物の呼吸を分けるため、根を除去した実験区を設置した。この実験区での土壌呼吸速度は微生物のみの呼吸量となる。無処理のコントロール区での土壌呼吸速度は植物の根と微生物の呼吸量の合計値のため、コントロール区での土壌呼吸速度から根除去区での土壌呼吸速度を引いた値が植物の根の呼吸量となる。さらに、細根量を各標高で調べた。

### 4. 研究成果

#### (1) 個体の成長と死亡に対するバイオマスと気象の影響

標高1600 m, 2000 m, 2300 mに設置されている調査区において、個体識別されている全個体(胸高直径5 cm以上)の再測定を行い、さらに新規加入個体、死亡個体の記録を行った。各標高でこれまで10数年の間に数年間隔で再測定を行っていた。各測定期間での成長率と死亡率、そして気象データを用いて、個体間競争と気象条件の成長と死亡に対する影響を解析した。その結果、どの標高でも個体間競争によって成長が減少し、また成長率は成長期間の気温と正の相関、降水量とは負の相関がみられた。さらに、成長率の減少は死亡率を高めていた。

#### (2) 土壌呼吸速度に対するバイオマスと気象条件の影響

標高1600, 2000, 2300, 2500, 2800 mに根除去区とコントロール区を設置して、土壌呼吸速度を非積雪期間に毎週、測定を行った。高い標高ほど、森林のバイオマスは減少した。各標高での土壌呼吸速度は地温と含水率から推定でき、さらに、5標高での土壌呼吸速度はバイオマスを変数に加えることで推定できた。

#### (3) 根の呼吸量と土壌微生物の呼吸量

どの標高でも根の呼吸速度と微生物の呼吸速度は地温と正の相関があった。細根量は高い標高ほど減少したが、細根量あたりの根の呼吸速度は高い標高ほど高いことが明らかとなった。

#### (4) 土壌呼吸速度の連続測定

標高1600 mと2800 mにおいて、土壌呼吸速度を1時間間隔で自動測定を行った。それぞれの標高での土壌呼吸速度の日変化や季節変化は、地温と含水率から再現できた(図1, Takeda et al. 2024)。2800 mはスコリア質の土壌のため、1600 mとは含水率への応答が異なっていた。

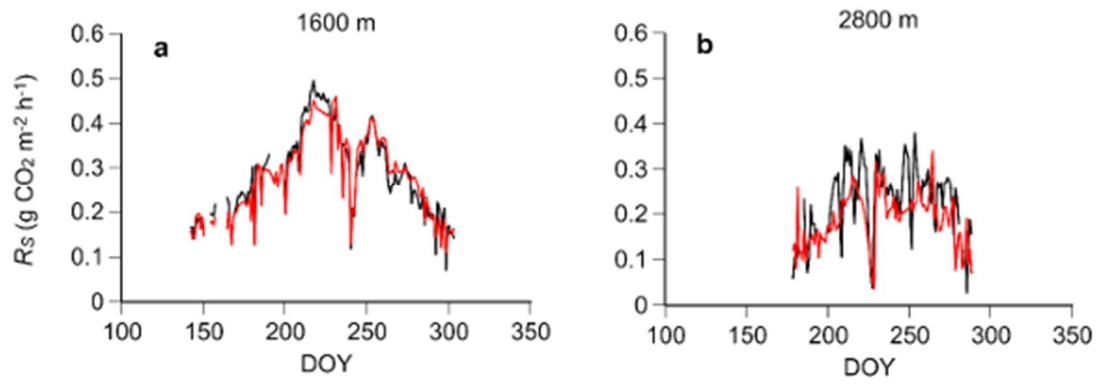


図1 . 乗鞍岳の標高 1600 m (a) と 2800 m (b) での土壌呼吸速度 ( $R_s$ ) の季節変化の実測値 (黒線) と推定値 (赤線) .

< 引用文献 >

Takeda, S., Makita, N. & Takahashi, K. (2024) Seasonal and diurnal variations in soil respiration rates at a treeline ecotone and a lower distribution limit of subalpine forests. *Journal of Plant Research* 137: 179-190.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Takahashi, K.	4. 巻 197
2. 論文標題 Productivity does not decrease at the climate extremes of tree ranges in the Japanese archipelago	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Oecologia	6. 最初と最後の頁 259-269
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00442-021-05015-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shimada, R., Takahashi, K.	4. 巻 54
2. 論文標題 Diurnal and seasonal variations in photosynthetic rates of dwarf pine <i>Pinus pumila</i> at the treeline in central Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Arctic, Antarctic, and Alpine Research	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/15230430.2021.2022995	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Nakamura et al.	4. 巻 37
2. 論文標題 Evaluating the soil microbe community level physiological profile using EcoPlate and soil properties at 33 forest sites across Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 432-445
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/1440-1703.12293	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takahashi, K., Ikeda, K., Okuhara, I., Kurasawa, R., Kobayashi, S.	4. 巻 12
2. 論文標題 Competition and disturbance affect elevational distribution of two congeneric conifers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 e8647
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ece3.8647	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Suzuki, R., Takahashi, K.	4. 巻 18
2. 論文標題 Responses of photosynthetic rates to temperature in two conifers dominating at different elevations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Landscape and Ecological Engineering	6. 最初と最後の頁 389-395
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11355-022-00500-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Suzuki, R., Takahashi, K.	4. 巻 135
2. 論文標題 Elevational changes in productivity of saplings relate to distribution of two congeneric tree species	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Plant Research	6. 最初と最後の頁 647-658
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10265-022-01400-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takeda, S., Majima, R., Makita, N. & Takahashi, K.	4. 巻 6
2. 論文標題 Five-year measurement data along a 1200 m elevational gradient reveals that global warming increases soil respiration	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Forest and Global Change	6. 最初と最後の頁 1145474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/ffgc.2023.1145474	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takeda, S., Makita, N. & Takahashi, K.	4. 巻 137
2. 論文標題 Seasonal and diurnal variations in soil respiration rates at a treeline ecotone and a lower distribution limit of subalpine forests	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Plant Research	6. 最初と最後の頁 179-190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10265-023-01516-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 増田春樹, 高橋耕一
2. 発表標題 亜高山帯における標高傾度にそった土壤呼吸の変化とその要因
3. 学会等名 日本生態学会第70回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋耕一, 池田圭吾, 奥原勲, 倉澤倫太郎, 小林克
2. 発表標題 異なる標高で優占するモミ属2種の分布の形成: 競争と攪乱による更新特性の変化
3. 学会等名 日本生態学会第69回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田春樹, 高橋耕一
2. 発表標題 標高傾度にそった土壤呼吸: 根の除去実験
3. 学会等名 日本生態学会第68回大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------