

氏名	王 莫非
本籍（国籍）	中華人民共和国
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	連研第 808 号
学位授与年月日	令和 3 年 9 月 2 4 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当課程博士
研究科及び専攻	連合農学研究科 生物環境科学専攻
学位論文題目	モウソウチク地上部呼吸のスケーリングータケノコから成熟タケへー （Scaling of above-ground respiration of Moso bamboo （ <i>Phyllostachys pubescens</i> ）—from sprouting to mature stage—）
学位審査委員	主査 山形大学教授 森 茂太 副査 山形大学准教授 吉村 謙一 副査 弘前大学准教授 赤田 辰治 副査 岩手大学教授 真坂 一彦

論文の内容の要旨

呼吸はあらゆる生物個体のエネルギー生産過程であり、生態系のエネルギーフローや炭素収支評価の指標である。大小サイズの生物個体呼吸速度 R は個体サイズ M とともに一定傾向で増加するとされ、両者の関係は一般的に両対数軸上のスケーリング式（単純累乗式 $R = aM^b$ ）でモデル化される。 a は M が 1 の時の切片で、 b は両対数軸上の傾きである。様々な生物で、この式の傾き b は $3/4$ であるとするマックスクライバー法則が知られる。その制御メカニズムについて、理論モデル（WBE モデル）が提案されているが実測例に乏しく議論は続いている。

呼吸スケーリングに生物の系統や環境を越えた一般性が存在するか否かも不明な点が多い。結論がつかない背景には、大小連続サイズの植物個体呼吸実測が乏しい事に一因がある。問題解決のため、成長ステージの異なるモウソウチクのタケノコ（枝葉が未発達なステージ）、成熟したモウソウチク地上部全体（以降「タケノコ」、「タケ」と記述）の呼吸を実測した。さらに、タケと系統や成長特性の異なる樹木芽生え～大木の地上部呼吸スケーリング (Mori et al. 2010) と比較を試みた。本研究では、タケノコ、タケ、樹木の呼吸スケーリングに共通性が存在するか否か正確な実測による検証、およびその傾き b の制御メカニズム解明を目的とした。

本研究では、タケノコ、タケの呼吸を直接正確に測定できる大小測定装置を自作した。できるだけ広い地上部生重量レンジに渡るようタケノコ (83 本) とタケ (58 本) を選定した。タケノ

コとタケの生重量のレンジはそれぞれ $5.00 \times 10^{-3} \sim 20.1 \text{ kg}$ 、 $0.275 \sim 31.0 \text{ kg}$ であった。このうち、タケノコ 16 本は高さ別に、タケ 30 本に関しては個体全体で葉、枝、幹の器官別に呼吸を測定した。タケ、タケノコと比較する樹木呼吸は、本研究と同じ方法で実測したものであり、国内種その他シベリア、熱帯の種も含まれる。呼吸は $Q_{10} = 2$ を仮定して 20°C に補正した。

タケノコの呼吸 $R \mu \text{ mol CO}_2 \text{ s}^{-1}$ とその生重量 $M \text{ kg}$ の関係は、 $R = 2.086M^{.850}$ ($r^2 = 0.962$, $n = 83$, 95 % CI of $b = 0.814\text{--}0.883$, 95 % CI of $a = 1.945\text{--}2.241$) で、タケ呼吸では $R = 0.414M^{.843}$ ($r^2 = 0.941$, $n = 58$, 95 % CI of $b = 0.797\text{--}0.885$, 95 % CI of $a = 0.379\text{--}0.459$) でモデル化された。一方、これまで測定してきた樹木芽生え～大木の地上部呼吸スケーリングは $R = 0.306M^{.826}$ ($r^2 = 0.980$, $n = 254$, 95 % CI of $b = 0.799\text{--}0.851$, 95 % CI of $a = 0.267\text{--}0.348$) でモデル化されている (Mori et al. 2010)。伸長途上のタケノコ呼吸は樹木やタケより明らかに高かった。しかし、驚いたことに伸長を停止したタケ呼吸は樹木呼吸の範囲内にあった。また、タケノコ、タケ、樹木の呼吸スケーリングの傾き b に差はなく、いずれの値も従来法則の $3/4$ より有意に高かった。

タケ 30 本の葉、枝、幹の器官毎の呼吸スケーリングの傾き b は 1 と差は無く、器官呼吸は器官生重量に比例していた。葉、枝、幹の生重量当たりの平均呼吸速度はそれぞれ 1.19 、 0.224 、 $0.0978 \mu \text{ mol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ と器官で大きく異なるものの一定値を示した。これは、タケは地下茎でつながっており生理統合されて、活発な炭素転流が生じた結果であろう。さらに、大きなタケほど高呼吸の葉への重量配分は低く、逆に低呼吸の幹への配分は高かった。このためタケ呼吸スケーリングの傾き b は樹木同様 1 より低かった。

一方で、小さいタケは明るい林縁に多く出現して炭素獲得を担い、大きなタケは幹重量分配率が高く炭素貯蔵を担い、大小のタケで炭素貯蔵と獲得の分業化が示唆された。このように、タケの傾き b の制御メカニズムは、「樹木で $b < 1$ となる制御メカニズム：太い幹ほど低呼吸組織を内部に多く蓄積する」と異なっていた。さらに、大小の独立個体間で競争する樹木群落と異なり、クローンの大小タケ間の分業化によって協力的関係が生じ、これがタケの隣接森林への侵入の一要因となる可能性がある。

樹木やタケと同様に、タケノコの呼吸スケーリングの傾きが $b < 1$ となるメカニズムを検討した。その結果、大小のタケノコ全てで、先端部よりやや下部に位置する介在分裂組織の部位

で呼吸が高かったが、伸長した大きなタケノコほど介在分裂組織の占める割合が低下し、このため傾き $b < 1$ となった。このように、傾きを制御するメカニズムはタケノコと成熟したタケのステージで変化した。

以上、タケノコ、タケ、樹木の呼吸スケーリングの傾き b に共通性が確認されたが、傾き b の制御メカニズムは3者で異なっていた。本研究で明らかにした「クローンのタケ群落と独立個体からなる森林群落における個体呼吸スケーリングの類似点と器官呼吸スケーリングの相違点」は両者の動態や炭素収支比較の新たな手掛かりを提供する。

論文審査の結果の要旨

本研究では、モウソウチクのタケノコ(伸長途上の地上部)、タケ(成長を停止した地上部)の呼吸を実測できる大小測定装置を自作した。できるだけ広い生重量レンジに渡るよう大小のタケノコ(83本)とタケ(58本)を選定した。このうち、タケノコ16本は高さ別に、タケ30本に関しては個体全体で葉、枝、幹別に呼吸を測定した。タケ、タケノコと比較する樹木254個体の芽生え～成木呼吸は、本研究と同じ方法で実測したものであり、国内種その他シベリア、熱帯の種も含まれる(Mori et al. 2010)。

タケノコの呼吸 $R \mu\text{mol CO}_2 \text{ s}^{-1}$ とその生重量 $M \text{ kg}$ の関係は、 $R = 2.086M^{0.850}$ ($r^2 = 0.962$, $n = 83$, 95 % CI of $b = 0.814\text{--}0.883$) で、タケ呼吸では $R = 0.414M^{0.843}$ ($r^2 = 0.941$, $n = 58$, 95 % CI of $b = 0.797\text{--}0.885$) でモデル化された。一方、樹木地上部の呼吸スケーリングは $R = 0.306M^{0.826}$ ($r^2 = 0.980$, $n = 254$, 95 % CI of $b = 0.799\text{--}0.851$) でモデル化されている(Mori et al. 2010)。伸長途上のタケノコ呼吸は樹木やタケより明らかに高かった。しかし、驚いたことにタケ呼吸は樹木呼吸の範囲内にあった。また、タケノコ、タケ、樹木の呼吸スケーリングの傾き b に差はなく、いずれも法則とされる $b = 3/4$ より有意に高かった。

タケの葉、枝、幹呼吸はそれぞれの生重量に比例しており、葉、枝、幹の生重量当たりの呼吸速度はそれぞれ 1.19 、 0.224 、 $0.0978 \mu\text{mol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ と器官により異なっていた。これは大小のタケ地上部が生理統合されて、活発な炭素転流が生じた結果であろう。さらに、大きなタケほど高呼吸の葉への重量配分は低く、逆に低呼吸の幹への配分は高かった。このためタ

ケ呼吸スケーリングの傾き b は樹木同様 1 より低かった。一方で、小さいタケは明るい林縁に多く炭素獲得を担い、大きなタケは幹重量分配率が高く炭素貯蔵を担い、大小のタケで炭素貯蔵と獲得の分業化が示唆された。また、伸長途上のタケノコは大きいほど介在分裂組織が占める割合が低下し、このため傾き $b < 1$ となることを明らかにした。

以上、タケノコ、タケ、樹木の傾き b に共通性が確認されたが、傾き b の制御メカニズムはこれら 3 者で異なっていた。本研究で明らかにした「生態や生理が異なるモウソウチクと樹木の間には、地上部呼吸スケーリングの類似点、器官呼吸スケーリングの相違点」はモウソウチクと樹木の動態や炭素収支を比較するための新たな手掛かりを示した点で高く評価できる。

以上より、本審査委員会は「岩手大学大学院連合農学研究科博士学院論文審査基準」に則り審査した結果、本論文を博士（農学）の学位論文として十分価値あるものと認めた。

学位論文の基礎となる学術論文

主論文

1. Wang, M., Mori, S., Kurosawa, Y., Ferrio, J. P., Yamaji, K., Koyama, K. (2021) Consistent scaling of whole-shoot respiration between Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) and trees. *Journal of Plant Research* 134: 989–997. (doi:10.1007/s10265-021-01320-5)

参考論文

1. Ferrio, J. P., Kurosawa, Y., Wang, M., Mori, S. (2018) Hydraulic constraints to whole-tree water use and respiration in young *Cryptomeria* trees under competition. *Forests* 9:449
2. Kurosawa, Y., Mori, S., Wang, M., Ferrio, J. P., Yamaji, K., Koyama, K., Haruma, T., Doyama, K. (2020) Initial burst of root development with decreasing respiratory carbon cost in *Fagus crenata* Blume seedlings. *Plant Species Biology* 36:146–156
3. 黒澤陽子, 王莫非, 森茂太, 春間俊克, 野路建太, 土山紘平, 山路恵子, 富山眞吾 (2021) 鉾山集積場の緑化のための多様な植物の初期成長と呼吸特性の評価. *環境資源工学* 67(3):122–127