

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：10105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K06406

研究課題名(和文) 樹木光合成の自己相似モデルの検証

研究課題名(英文) Empirical assessment of a self-similar model of photosynthesis of trees

研究代表者

小山 耕平 (KOYAMA, Kohei)

帯広畜産大学・畜産学部・助教

研究者番号：70709170

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：国際的に高い評価を受けている学術雑誌Annals of Botany掲載論文をはじめとする原著論文(全て査読あり、ScopusまたはWeb of Scienceのいずれかに収録)を筆頭著者または責任著者として9編、それ以外の著者役割として3編、合計12編出版した。また、これらの研究成果は新聞記事などのメディアで合計9件報道された。さらに、これらの成果を市民にわかりやすく発信するため、それぞれの論文の平易な日本語解説を作成して以下のページで公開した：小山耕平 Researchmap: <https://researchmap.jp/koyamakohei>

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球上の生物は、それぞれの環境に適応した多様な形態を持っています。そのため植物の形態などを研究する際、1つの種で見つかった法則が他の種で成立しないことが多くあります。しかし以前から、地球上の様々な気候帯に生育する非常に多くの植物種に対して、「同種内で葉1枚の面積は長さとの積に比例する」という関係が成立することが知られており、植物学だけでなく森林科学や園芸学など様々な分野で応用されています。今回の研究成果で、小山耕平らは世界で初めて、陸上植物の互いに大きく離れた分類群(単子葉類、モクレン目、真正双子葉類)から選んだ植物5種に対して、この関係式をシュート(枝)レベルに拡張することに成功しました。

研究成果の概要(英文)：We focused on an established leaf-level relationship that the area of an individual leaf lamina is proportional to the product of its length and width. Based on this equation, we proposed a new length-times-width equation predicting total shoot leaf area from the collective dimensions of leaves that comprise a shoot. We tested the model predictions using five species, all of which have simple leaves, selected from diverse taxa (Magnoliids, Monocots, and Eudicots) and from different growth forms (trees, erect herbs and rosette herbs). For all five species, the length-times-width equation explained within-species variation of total leaf area of a shoot with high accuracy. Our model can be incorporated to improve previous models of allometry that do not consider within-shoot size variation of individual leaves, providing a cross-scale linkage between individual leaf-size variation and shoot-size variation.

研究分野：植物生態学

キーワード：植物生態学

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、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

地球上の生物は、それぞれの環境に適応した多様な形態を持っている。例えば、植物の葉の形は種によって大きく異なる。そのため、植物の形態などを研究する際、1つの種で見つかった法則が他の種で成立しないことが多くある。しかし以前から、地球上の様々な気候帯に生育する非常に多くの植物種に対して、「同種内で葉1枚の面積は長さ(注1)と幅の積に比例する」という関係が成立することが知られている。この関係を利用して、いくつかの葉を採取して比例係数を測定しておけば、それ以降は葉が植物に付いたままの状態でも葉の長さや幅を測定すれば葉面積が簡単に計測できる。この関係式は、植物学だけでなく森林科学や園芸学など広い分野で応用されている。

## 2. 研究の目的

森林など生態系全体の光合成は、1枚1枚の葉の光合成の合計値である。そこで、葉の光合成の地球温暖化に対する応答などの葉1枚レベルの生理学的知見を、個体および生態系全体の理論(アロメトリーやスケーリングの理論)へと統合していく際に、大きさや性質の異なる葉を足し合わせるという理論が必要となる。そこで今回、「1枚1枚が大きさの異なる葉の合である1本のシュートの合計葉面積を求める理論式」を提唱し、その正しさを実験的に確かめることを目的とした。

## 3. 研究の方法

今回、世界で初めて、陸上植物の互いに大きく離れた分類群(単子葉類、モクレン目、真正双子葉類)から選んだ植物5種に対して、この関係式をシュート(枝、注2)レベルに拡張した。1本のシュートには、様々な大きさの葉がついている(例えばコマツナ)。そのため、1本のシュートの合計葉面積を求めるためには、それぞれの葉の面積を測定して合計する必要がある。しかし、1本のシュートについている葉の集団をまるごと大きな1枚の葉とみなし、大きさの異なるシュートを比較したところ、全体が同じ形を保持したまま拡大・縮小した関係(注3)になっていることを発見した。1枚の葉の時と同様、この葉の集団の「長さ」と「幅」の積を求めたところ、全体の合計葉面積と非常にきれいな比例関係が見つかった。さらに、「長さ」と「幅」のどちらか1方だけでも、かなり良い精度で合計葉面積を推定できた。つまり、シュート全体の中で1番大きい葉の長さを測定すれば、シュート全体の葉面積が推定できることを示した。

## 4. 研究成果

実施期間内の3年間にかけて、国際的に高い評価を受けている学術雑誌 *Annals of Botany* への掲載論文(筆頭著者、[Koyama & Smith \(2022\) Annals of Botany, mcac043, <https://doi.org/10.1093/aob/mcac043>](https://doi.org/10.1093/aob/mcac043))をはじめとする原著論文を筆頭著者または責任著者として8編、それ以外の著者役割として3編、

合計 11 編出版した。また、これらの研究成果は新聞記事などのメディアで合計 9 件報道された。さらに、これらの成果を市民にわかりやすく発信するため、それぞれの論文の平易な日本語解説を作成して以下のページで公開した：

小山耕平 researchmap: <https://researchmap.jp/koyamakohei>

(注1)「葉の長さ」とは、正確には「葉身長」(葉の平らな部分の長さ)のこと。葉柄(葉と茎をつなぐパイプの部分)は含まない。また、「葉の幅」とは「葉身幅」のこと。

(注2) シュート (shoot) とは、日本語の「枝」に相当する語句で、1本の茎と、それに付いている葉、花、果実、芽をまとめてシュートと呼ぶ。木本にも草本にも使う(例えば、根を除いたコマツナやチンゲンサイ1株は、茎の短いシュート1本に相当する。)日本語の「枝」は、主に樹木について、葉を含まない茎の部分のみを指す場合があるため、植物学ではシュートを用いることも多い。

(注3) 直感的には、大きなコマツナと小さなコマツナは全体として引き延ばしたような、同じような形をしているということ。ただし、縦横の拡大倍率は同じとは限らない。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Abe Nanako, Koyama Kohei, Okamoto Azumi, Katayama Kowa, Kato Yura, Mimura Natsuki, Okoshi Shoji, Tanaka Yuki	4. 巻 14
2. 論文標題 Seed mucilage promotes dispersal of <i>Plantago asiatica</i> seeds by facilitating attachment to shoes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 6909
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/su14116909	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 Koyama Kohei, Smith Duncan D	4. 巻 mcac043
2. 論文標題 Scaling the leaf length-times-width equation to predict total leaf area of shoots	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Annals of Botany	6. 最初と最後の頁 mcac043
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/aob/mcac043	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 該当する
1. 著者名 Okamoto Azumi, Koyama Kohei, Bhusal Narayan	4. 巻 11
2. 論文標題 Diurnal Change of the Photosynthetic Light-Response Curve of Buckbean ( <i>Menyanthes trifoliata</i> ), an Emergent Aquatic Plant	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 174
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/plants11020174	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 該当する
1. 著者名 Wang Mofei, Mori Shigeta, Kurosawa Yoko, Ferrio Juan Pedro, Yamaji Keiko, Koyama Kohei	4. 巻 134
2. 論文標題 Consistent scaling of whole-shoot respiration between Moso bamboo ( <i>Phyllostachys pubescens</i> ) and trees	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Plant Research	6. 最初と最後の頁 989
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10265-021-01320-5	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 該当する

1. 著者名 Iwabe Risa, Koyama Kohei, Komamura Riko	4. 巻 10
2. 論文標題 Shade Avoidance and Light Foraging of a Clonal Woody Species, <i>Pachysandra terminalis</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 809
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants10040809	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 Komamura Riko, Koyama Kohei, Yamauchi Takeo, Konno Yasuo, Gu Lingshuang	4. 巻 12
2. 論文標題 Pollination Contribution Differs among Insects Visiting <i>Cardiocrinum cordatum</i> Flowers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/f12040452	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 該当する

1. 著者名 Koyama Kohei, Tashiro Mayu	4. 巻 10
2. 論文標題 No Effect of Selective Maturation on Fruit Traits for a Bird-Dispersed Species, <i>Sambucus racemosa</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants10020376	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 Deguchi Ray, Koyama Kohei	4. 巻 11
2. 論文標題 Photosynthetic and Morphological Acclimation to High and Low Light Environments in <i>Petasites japonicus</i> subsp. <i>giganteus</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 1365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/f11121365	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 Koyama Kohei, Shirakawa Hiroyuki, Kikuzawa Kihachiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Redeployment of Shoots into Better-Lit Positions within the Crowns of Saplings of Five Species with Different Growth Patterns	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 1301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/f11121301	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 Kurosawa Yoko, Mori Shigeta, Wang Mofei, Ferrio Juan Pedro, Yamaji Keiko, Koyama Kohei, Haruma Toshikatsu, Doyama Kohei	4. 巻 36
2. 論文標題 Initial burst of root development with decreasing respiratory carbon cost in <i>Fagus crenata</i> Blume seedlings	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Species Biology	6. 最初と最後の頁 146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1442-1984.12305	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 該当する

1. 著者名 Kitagawa H, Tanimoto A, Kubota T, Koyama K, Alfata MNF	4. 巻 294
2. 論文標題 A field experiment on green walls taking into consideration wind flow in the hot-humid climate of Indonesia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	6. 最初と最後の頁 12088
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1755-1315/294/1/012088	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 該当する

1. 著者名 Koyama Kohei, Masuda Teruhisa	4. 巻 8
2. 論文標題 The arrangement of lateral veins along the midvein of leaves is not related to leaf phyllotaxis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 16417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-34772-2	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 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 小山 耕平, Duncan D Smith
2. 発表標題 葉1枚の面積は長さとは幅に比例する」を枝レベルへ拡張する。
3. 学会等名 ESJ69
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阿部 菜々子, 小山 耕平, 岡本 あずみ, 片山公我, 加藤結良, 三村菜月, 大越証路, 田中侑季
2. 発表標題 オオバコ種子の靴への付着散布
3. 学会等名 ESJ69
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡本 あずみ, 小山 耕平
2. 発表標題 猛暑日におけるミツガシワの光合成速度の日内変化
3. 学会等名 ESJ69
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森茂太, 黒澤陽子, 王莫非, 山路恵子, 西園朋広, 小山耕平, 石田厚
2. 発表標題 草本、木本の個体根系/地上部呼吸比のスケーリング
3. 学会等名 ESJ68
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koyama Kohei
2. 発表標題 Intra-plant variation of leaf phenology in elm trees
3. 学会等名 English session of Ecological Society of Japan 67th annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤航介, 出口怜, 小山耕平
2. 発表標題 アキタブキの開花フェノロジーと花の形態
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森茂太(山形大), 黒澤陽子(山形大), 王莫非(山形大), 山路恵子(筑波大), 春間俊克(原子力機構, 筑波大), 土山紘平(筑波大), 小山耕平(帯広畜産大学)
2. 発表標題 林冠ギャップによる林床個体呼吸上昇がもたらす芽生え~大木の呼吸スケーリングの収斂
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 KOYAMA Kohei
2. 発表標題 Allometric relationship between twig length, maximum leaf length on the shoot, and twig leaf area of Japanese elm ( <i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> )
3. 学会等名 EAFES-8 (East Asian Federation of Ecological Societies), Nagoya, Apr. 2018, P2-47. (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 KOYAMA Kohei
2. 発表標題 Intra-plant organ size variation of Quercus crispula.
3. 学会等名 ESJ66 (日本生態学会大会), Kobe, Mar 2019, D01-08.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruka Kitagawa, Aoi Tanimoto, Tetsu Kubota, Kohei Koyama, Muhammad Nur Fajiri Alfata
2. 発表標題 A field experiment on green walls in consideration of wind flow in the hot-humid climate of Indonesia.
3. 学会等名 SBE2019 (Sustainable Built Environment Conference 2019), Tokyo, 2019. (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 公益社団法人日本動物学会	4. 発行年 2018年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 800
3. 書名 動物学の百科事典	

〔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
研究分担者	山本 健 (YAMAMOTO Ken) (00634693)	琉球大学・理学部・准教授  (18001)	

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			
米国	University of Wisconsin			
韓国	Seoul National University			
スペイン	ARAID			