

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：82645

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20433

研究課題名(和文) 光合成有効放射 (PAR) の日射に占める割合は気候変動でどう変わるか？

研究課題名(英文) How does the ratio of photosynthetically active radiation (PAR) change depending on climate change?

研究代表者

秋津 朋子 (Akitsu, Tomoko)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・第一宇宙技術部門・主任研究開発員

研究者番号：90590597

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、日射と光合成有効放射 (PAR) の高精度観測によるデータを用いて、日射に占めるPARの割合 (PAR比) を推定する2つの簡易モデルを作成した。1つ目は、水蒸気圧のみから推定する最も簡易的なモデルであり、2つ目は、雲の影響を加味したモデルで、水蒸気圧とclearness indexを用いる。本研究では、大気放射伝達コードRstar6bを用いて、様々な大気モデル(高緯度、中緯度、熱帯)においても、これらの推定モデルが適用可能であることを確かめた。また、全球のPAR比分布とその季節変動を示した。年平均のPAR比は、地球全体では、0.409から0.477の変動幅があった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

PAR比は、日射からPARを推定するために、多くの生態学的研究で使用されてきた。しかし、その比が0.45なのか0.46なのか、またその全球分布や季節変化については、わかっていなかった。本研究では、これまで確立されていなかった「汎用的かつ簡易的なPAR比推定モデル」を作成した。これにより、PAR比を約3%以内の誤差で推定でき、一定の比を使用した場合と比較して、PAR推定誤差を大幅に削減することが可能になった。また、PAR比の変動幅(約0.41から0.48)や、PAR比の全球分布、その季節変動が明らかになった。本モデルからは、環境変動による水蒸気圧上昇がおこるとPAR比の上昇が予測される。

研究成果の概要(英文)：A constant ratio of photosynthetically active radiation (PAR) to solar radiation (SR) (about 0.45 to 0.46) has been used in many ecological studies to convert SR into PAR by multiplication. The constant ratio is useful and convenient. However, there is no general agreement on whether the ratio is 0.45 or 0.46 and how distributed globally. In this study, we created two simple empirical models to estimate the ratio. The models were created based on accurate data of SR and PAR observed using a direct and diffuse separation method at Tateno in Tsukuba, Japan. At three validation sites in Japan, the ratio could be estimated with an error within 3%, a considerable reduction from 15% in using a constant. The numerical model also produced the ratio within approximately 3% errors. Using the proposed model, we demonstrated a global distribution of the ratio and its changing range: The annual mean of the ratio had a range from 0.409 to 0.477.

研究分野：分光生態学

キーワード：光合成有効放射 日射に対する割合 簡易推定モデル 全球分布 季節変化

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 植物の二酸化炭素吸収量 (GPP) を地球規模で見積ることは、地球上の炭素収支を把握する上で非常に重要である。GPP を推定するためには、植物が光合成に使うことができる光の量 (光合成有効放射、PAR: 波長が 400 nm から 700 nm の範囲内の光) を知ることが必須である。

(2) 地球規模 (広域) での生態系モデルでは、多くの場合、日射量を入力値として用い、その日射量に一定の日射に対する PAR の比 (PAR 比: 0.45 や 0.46) をかけて PAR を算出している。しかしながら、PAR 比は一定ではなく、水蒸気圧の変化によって約 15% 変化する (Akitsu et al., 2015)。したがって、日射と一定の PAR 比を用いた場合、PAR の推定には約 15% のエラーが含まれてしまう。これは、地球温暖化予測の基礎データである「植生による二酸化炭素吸収量推定」の大きな誤差要因となってしまう。

(3) 日射と気象データ (太陽天頂角、露点温度等) を用いて PAR を推定する「地域ごとに調整されたモデル」は多く報告されているが、全球に適用可能な PAR 比推定モデルはこれまでほとんど報告されていない。

### 2. 研究の目的

(1) PAR 比の値や PAR 比の変動要因が明らかにならなかった原因としては、日射と PAR それぞれの観測機器の角度特性の違いや、PAR 観測に一般的に用いられている光量子センサの観測精度の問題があげられる。そこで、サントラッカーとコリメーションチューブを用いた直達光のみを観測するシステムと、サントラッカーと直達光を遮蔽するシャドーボールを用いた散乱光のみを観測するシステム (直達散乱分離方式) を用いて、日射と PAR それぞれを高精度観測すること、また、分光放射計を用いて PAR を観測することで、高精度な PAR 比観測を行い、信頼性の高いモデルを作成する。

(2) ある特定の地域や観測サイトだけに通用するモデルではなく、汎用性の高い (広域で通用する) シンプルな PAR 比推定モデルを構築する。

### 3. 研究の方法

(1) 日射と PAR それぞれを、直達散乱分離方式を用いて高精度観測を行い、PAR 比推定モデルを作成する。

(2) 国内 3 サイトで地上検証を行う。

(3) 大気放射伝達モデルに様々な大気モデル (高緯度夏・高緯度冬・中緯度夏・中緯度冬・熱帯) を適用することで、PAR 比推定モデルの汎用性を確かめる。

(4) 全球の PAR 比分布やその季節変化を示す。

### 4. 研究成果

(1) 日射と PAR それぞれを、直達散乱分離方式を用いて高精度観測を行い、2 種類の PAR 比推定モデルを作成した:

$$\text{Model 1: } f_1(e) = \frac{P}{R_S} = 0.04275 \ln\left(\frac{e}{\text{hPa}} + 8.6\right) + 0.3170, (\text{Akitsu et al., 2022})$$

$$\text{Model 2: } f_2(e, k_T) = \frac{P}{R_S} = 0.9480f_1\left(\frac{e}{\text{hPa}}\right) - 0.04322k_T + 0.05285. (\text{Akitsu et al.,}$$

2022)

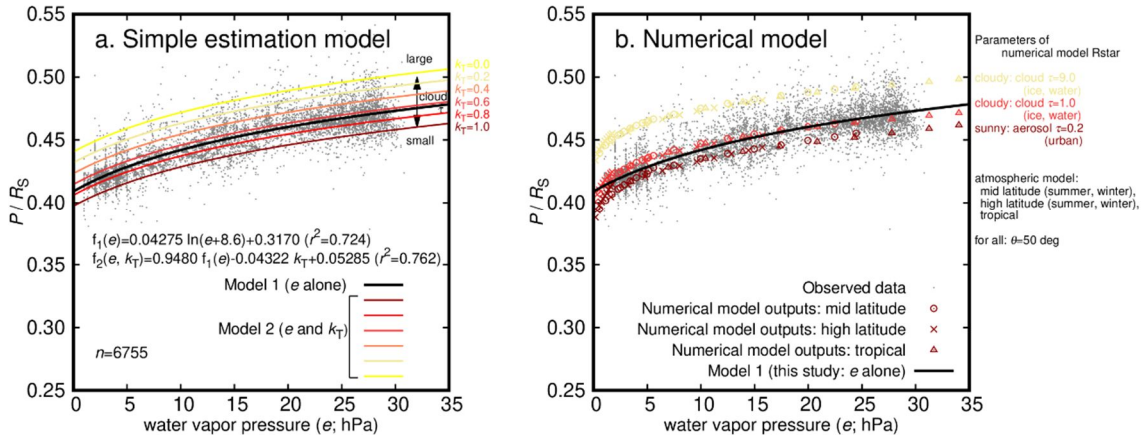


図 2: PAR比モデル (左図) と大気放射伝達モデル (右図) の比較 (Akitsu et al., 2022).

小さな点は、観測データ。

1 つ目は、水蒸気圧のみから推定する最も簡易的なモデル (Model 1) であり、2 つ目は、雲の影響を加味したモデル (Model 2) であり、水蒸気圧と clearness index を用いる。

(2) 国内 3 サイトで地上検証を行い、PAR 比推定モデルによる推定誤差が約 3% であることがわかった (Akitsu et al., 2022)。

(3) 大気放射伝達モデルに様々な大気モデル (高緯度夏・高緯度冬・中緯度夏・中緯度冬・熱帯) を適用することで、本 PAR 比推定モデルが汎用的に使用できることが明らかになった (図 1)。

(4) 高エアロゾル環境では、通常の PAR 比変動範囲を大きく超えて急激に減少する (図 2)。そのような環境下では、エアロゾル濃度が最も PAR 比に影響を与える。エアロゾルと PAR 比の関係は、エアロゾルの種類によって異なるため、モデル化は、きわめて困難である。

(5) 年平均の PAR 比は、地球全体では、0.409 から 0.477 の変動幅があることや、PAR 比の全球分布とその季節変動を推定した (図 3)。PAR 比は、(i) 赤道付近で高く、高緯度で低い。(ii) 沿岸部で高く、内陸部で低い。(iii) 夏に高く、冬に低い。という傾向を示した。

< 引用文献 >

Akitsu T., Kume A., Hirose Y., Ijima O., Nasahara K. N. (2015). On the stability of radiometric ratios of photosynthetically active radiation to global solar radiation in Tsukuba, Japan. *Agricultural and Forest Meteorology*, 209-210, 59-68.

Akitsu T. K., Nasahara K. N., Ijima O., Hirose Y., Ide R., Takagi K., Kume A. (2022). The variability and seasonality in the ratio of photosynthetically active radiation to solar radiation: A simple empirical model of the ratio. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 108, 102724.

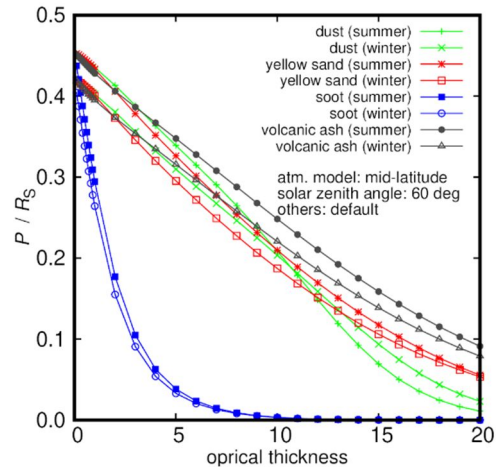


図 1: PAR比とエアロゾルの光学的厚さとの関係 (Akitsu et al., 2022)

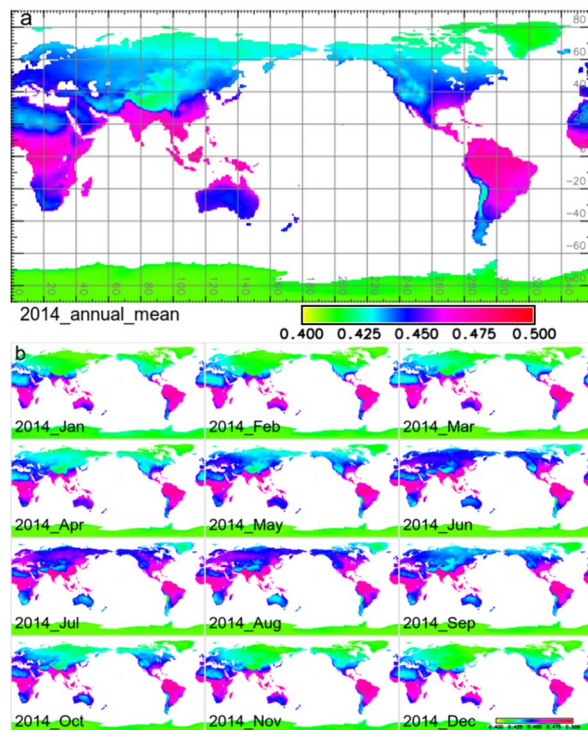


図 3: PAR比の全球分布とその季節変動 (Akitsu et al., 2022)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Akitsu Tomoko Kawaguchi, Nasahara Kenlo Nishida, Ijima Osamu, Hirose Yasuo, Ide Reiko, Takagi Kentaro, Kume Atsushi	4. 巻 108
2. 論文標題 The variability and seasonality in the ratio of photosynthetically active radiation to solar radiation: A simple empirical model of the ratio	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation	6. 最初と最後の頁 102724 ~ 102724
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jag.2022.102724	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1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 秋津 朋子
2. 発表標題 富士北麓サイトと天塩研究林における研究成果報告 「日射に対するPAR比」の季節変化と全球分布，陸域生態系衛星プロダクトの地上検証における誤差評価方法
3. 学会等名 令和3年度陸域生態系モニタリング研究集会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 秋津 朋子	4. 発行年 2022年
2. 出版社 丸善	5. 総ページ数 未定
3. 書名 5-3 光合成有効放射，リモートセンシング事典（一般社団法人日本リモートセンシング学会 『リモートセンシング事典』編集委員会編）	

〔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
研究協力者	奈佐原 顕郎  (Nasahara Kenlo)  (40312813)	筑波大学・生命環境系・准教授    (12102)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	居島 修  (Ijima Osamu)		
研究協力者	廣瀬 保雄  (Hirose Yasuo)		
研究協力者	井手 玲子  (Ide Reiko)		
研究協力者	高木 健太郎  (Takagi Kentaro)  (20322844)	北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター 天塩研究 林・准教授    (10101)	
研究協力者	久米 篤  (Kume Atsushi)  (20325492)	九州大学・大学院農学研究院 環境農学部門・教授    (17102)	

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