

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：14602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25340007

研究課題名(和文) 光-光合成曲線に基づく人工衛星データによる総生産量推定アルゴリズムの開発

研究課題名(英文) Algorithm of estimating GPP based on light response curve using satellite sensor data

研究代表者

村松 加奈子 (MURAMATSU, Kanako)

奈良女子大学・自然科学系・教授

研究者番号：20252827

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：衛星データを用いた総生産量推定アルゴリズムの開発を行った。本研究の特徴は、光合成曲線を導入し、植物がストレスなく光合成をおこなっている場合の総生産キャパシティとその抑制量に分けてアルゴリズムを構築している点である。光-光合成曲線のパラメータの推定式を植生タイプ毎に決定した。その結果、疎な灌木と草本タイプ、熱帯林を除く木本タイプ、熱帯林と3つのグループに分けられることが明らかとなった。光合成の抑制量に関しては、光合成における気孔の開閉に着目し、個葉レベル、樹冠レベルでの熱赤外イメージャーを用いた実験から樹冠コンダクタンスは、絶対値より日変化のパターンの推定性がよいことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The algorithm of estimating gross primary production of vegetation using satellite sensor data was developed. The main characteristics of the algorithm are using the light response curve of photosynthesis in the algorithm, and dividing two parts as photosynthesis capacity, which is in the condition plants photosynthesize with less stress, and its suppression. The parameters of a light-response curve were determined using the estimation formula. The formulas were divided into three groups as grass and open shrubs, woody plants except for a tropical rain forest. The suppression part was studied focusing on stomata opening and closing using thermal imagers for leaf and canopy level. The estimation accuracy of the diurnal variation pattern of the leaf and canopy conductance was better than the absolute value.

研究分野：環境科学

キーワード：総生産量 衛星データ クロロフィルインデックス 熱赤外イメージャー 光-光合成曲線 気孔コンダクタンス 樹冠コンダクタンス

1. 研究開始当初の背景

地球規模での炭素・水循環の解明は気候予測や環境対策等にとって重要課題であるが、これらの解明のためには、現状における各プロセスのモニタリングが大きな役割を果たす。植物の光合成による炭素固定は、炭素循環の中の重要なプロセスの1つである。

衛星データを主として用いる総生産量推定方法には、光利用効率モデル(Monteith, 1981)、クロロフィル量から推定を行うモデル(Gitelson, A.A., et al., 2003, 2006)がある。また、近年陸上での主要な過程をシミュレートする陸域生物圏モデルが開発されており、気候データに加えて衛星データを入力とする診断型モデル(Sasai, T., et al., 2007)からの総生産量推定も行われている。このモデルでは光利用効率の概念や衛星から求めた葉の量である葉面積指数、森林内の光吸収率などが利用されている。また、光合成過程に基づくモデル(Chen, J.M., et al., 1999, Ryu, Y., et al., 2011)も開発されているが多くのパラメータが必要である。

光利用効率モデル、診断型陸域生物圏モデル、光合成過程モデルいずれにおいても衛星から推定された葉面積指数は葉の量を表す重要なパラメータの1つであるが、葉面積指数の推定誤差が総生産量推定の大きな誤差要因であることが報告されている(Ryu, Y. et al., 2011)。葉面積指数は、全地球観測衛星では、赤と近赤外の波長帯を用いて定義されている正規化差分植生指標から非線形関係で推定されることが多いが、正規化差分植生指標値は葉の量が多い場合飽和することが知られており、これが葉面積指数推定の際の誤差要因である。ある期間(1日あるいは1年間など)の総生産量と、光利用効率モデルでは森林に吸収される光量と、クロロフィル量を用いたモデルでは入射光量との線形関係が仮定されている。しかし、光合成速度と光量は非線形関係であることが知られ

ており、全球の総生産量推定に光-光合成曲線を導入したモデル(Furumi, S., et al., 2005, Xiong, Y., 2005, Muramatsu, K., 2009)も提案されている。しかしこのモデルではすべての植生タイプに対して1つの形の光-光合成曲線が用いられており、環境要因などのストレスは考慮されていない。また、Ide等(2009)はカラマツ林の総生産量推定を光-光合成曲線を用いて行っている。

樹冠内の光のあたっている場所で光合成速度は高いと仮定すると、衛星観測の反射輝度値は光のあたっている部分からのレスポンスであるため、葉面積指数を介さずに直接衛星観測の反射輝度を用いた方が推定精度を向上できるのではないかと考えた。また、光合成速度は、光合成のキャパシティーと環境条件による抑制量に依存する。クロロフィル量は光合成抑制要因とは関連がないため、クロロフィル量と関連づける事ができるのは、総生産量ではなくそのキャパシティーではないかと考えた。

2. 研究の目的

本研究では、葉面積指数を介さず、植生の生理的情報を衛星データから抽出し、光-光合成曲線を総生産量推定アルゴリズムに導入する方法を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、光合成のキャパシティーと環境条件による抑制量とに分けてアルゴリズムを開発する。本研究で開発するアルゴリズムの概要は以下の通りである。

アルゴリズムの概要

低ストレス下における総生産量を総生産キャパシティーと定義し、総生産キャパシティーの推定は、光-光合成曲線のパラメータを衛星データから観測することにより推定を行う(図1参照)。植生域で樹冠内外のガス交換量を観測しているフラックスサイトか

ら計算された総生産量のうち、低ストレスのデータを選び、2週間毎の光—光合成曲線のパラメータを求めた。これまでの我々の研究で、光—光合成曲線のパラメータの1つである光飽和時の光合成速度($P_{max_capacity}$)は、クロロフィルインデックスと線形関係にあった(参考文献)。この関係を用いて、衛星観測の反射率データから計算したクロロフィルインデックスより、光—光合成曲線のパラメータ $P_{max_capacity}$ を求める。初期勾配は、植生タイプ毎に同じ値を用いる。

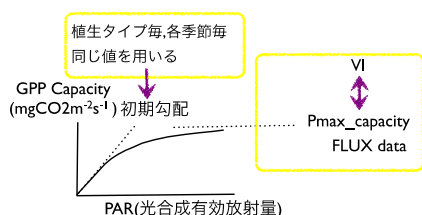


図 1:光—光合成曲線に基づく総生産キャパシティー推定方法の概略

また、乾燥している気象条件の場合には、植物は葉面にある気孔を閉じ、葉内水分の欠乏を防ぐ。気孔を閉じた場合は二酸化炭素を葉内に取り込む事ができないため、光合成速度が低下する。そのため、たとえ葉内のクロロフィル量が同じ状態の葉に同量の光があたったとしても、葉の気孔開度により光合成速度は異なる。気孔が開いている場合は、蒸散により気孔が閉じている場合に比べて、葉温の上昇が抑えられる。熱赤外イメージャーで葉温の上昇具体が異なる点は、実験により確認した。本研究では、葉の気孔開度を熱赤外波長帯を用いて観測する方法を開発し、樹冠にスケールアップし、気孔開度係数を乗じた光—光合成曲線により総生産量を衛星データから推定する。

本アルゴリズムの開発のために具体的には以下の項目について研究を進める。

- 1) 衛星データからの光合成キャパシティー推定アルゴリズムの構築

- 2) リモートセンシング技術を利用した植生の気孔開度観測方法の開発
- 3) 衛星データによる植生機能タイプ分類を本アルゴリズムに特化させる
- 4) 本アルゴリズムでの推定結果と他アルゴリズムとの比較検討

4. 研究結果

1) 衛星データを用いた総生産キャパシティー推定アルゴリズム：これまでに取り組んでいない植生タイプである、open shrub, closed shrub, 混交林, アマゾンの熱帯林, 北方林に関して、光—光合成曲線のパラメータの推定式を決定した。

その結果、草地と open shrub は同一の推定式を用いることができること、closed shrub は熱帯林を除く木本タイプの植生と推定式の傾きが同様であることが明らかとなり(発表論文2)、3つの植生グループに分けられることが明らかとなった。水田に関しては6年間のデータを用いて解析を行い、推定式の精度を向上させた(発表論文1)。アマゾンの熱帯林, 北方林に関しては、衛星データに付随の雲フラグ以外にも、うす雲などの影響を受けている可能性があり、それらのデータの除去が必要であることが解析により明らかとなり、現在再解析を進めている。

また、これまでは主にアメリカのフラックスデータ、日本のフラックスデータを用いて解析を行ってきたが、ヨーロッパのフラックスサイトを用いて解析を行い、同じ植生タイプでも推定式が異なるのかどうかを調べた。その結果については、現在論文に執筆中である。

2) リモートセンシング技術を利用した植生の気孔開度観測方法の開発：これまで、個葉に対する観測(光合成の日内変動測定、熱赤外イメージを用いた葉温の日内変動の測定)を高山サイトでミズナラ・ダケカンバ、山城サイトでコナラでの観測を行ってきた。測定データを用いて、個葉の気孔コン

ダクタンス推定方法の確立を行った。Baldocchi等によるモデル(1994)を使って、ルックアップテーブルを作成し、推定した気孔コンダクタンスは、日内変動パターンをほぼ再現できるが、その絶対値は異なるという問題点があった。本研究では、総生産キャパシティーからの光合成速度の減少量がわかればよいと考え、気孔コンダクタンスの絶対値ではなく、日内変動パターン、特に最大値からの変化がわかることが重要であると考えた。そこで、コナラの気孔コンダクタンスの最大値を1として規格化した結果を図2に示す。図2では、推定した気孔コンダクタンスを規格化した日内変動は、実測値をほぼ再現した。

衛星データへの適用に向けて、総生産量と総生産キャパシティーがどの程度異なるかについて調べた。その結果を図3に示す。図3は、5月後半の2週間平均の日内変動である。総生産量と総生産キャパシテ

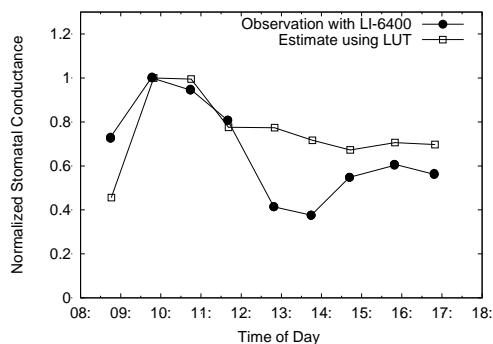


図2: コナラの規格化気孔コンダクタンスの日内変動、測定値(●), 推定値(□)は午前10時半頃までほぼ同じ値であり、午前10時半以降総生産量の値は総生産キャパシティーより低くなり、夕方19時頃に両者はほぼ同じ値となる。そこで、フラックスデータを用いてビックリーフモデル(Monteith et al., 1973)を用いて樹冠コンダクタンスの計算を行なった。総生産キャパシティーは午前10時半頃までは、総生産量と同じ値であること、衛星観測から樹冠温度が得られるため、樹冠コンダク

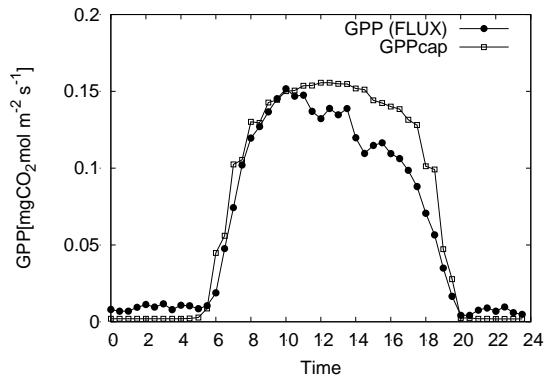


図3: 疎な灌木サイト(5月後半)の CI_{green} から推定した総生産キャパシティー(□)とフラックスサイトで観測された総生産量(●)

ンスを衛星観測時の10時半の値を用いて規格化し(樹冠コンダクタンス係数と名付ける)、10時半からの変化量を総生産キャパシティーに掛け、どの程度フラックス観測の総生産量と値が一致するのかを調べた。その結果を図4に示す。10時半からの光合成速度が遅くなる様子は、ほぼ再現した。衛星観測の10時半、MODIS観測の14時半、この時刻の樹冠コンダクタンス係数がわかれば、その傾きより、総生産キャパシティーからの低下量が推定できると考えた。樹冠コンダクタンス係数の10時半からの

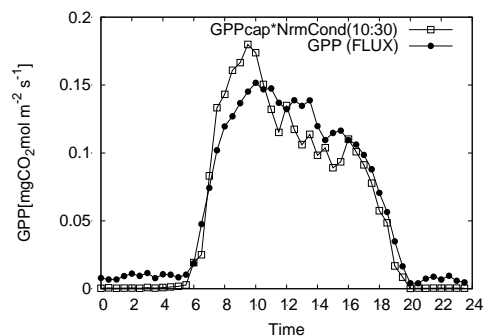


図4: 疎な灌木サイト(5月後半)での総生産キャパシティーに衛星観測時間10時半の値で規格化した樹冠コンダクタンスの値をかけたもの(□)と、FLUX観測の総生産量(●)

傾きは、樹冠コンダクタンス指標の1つの候補と考えている(発表論文4)。

3) 衛星データによる植生機能タイプ分類を本アルゴリズムに特化させる:衛星データによる植生タイプ分類手法について研究を進めるとともに(発表論文3,5,6),本研究で必要な植生分布図における植生の項目について検討を行った。その結果,総生産キャパシティー推定式が大きく3つのグループに分けられることより,非常に細かい植生項目は不要であると考えている。衛星データからの植生タイプの分類では,細かい植生項目への分類を行う場合,誤分類も増える。その誤分類が総生産量推定の誤差にも反映されるためである。

4) 本アルゴリズムでの推定結果と他アルゴリズムとの比較検討:本研究で推定した総生産キャパシティーとMODISチームの総生産量プロダクト,フラックスサイトで観測された総生産量の季節変化の比較を疎な灌木サイトについて行った。その結果,総生産キャパシティーはMODISチームの総生産量プロダクトより,全体的に高めの値であったが,降水量が増え乾燥していない条件では,総生産キャパシティーは,フラックスサイトで観測された総生産量とほぼ等しかった(発表論文2)。また,水田におけるフラックスサイトの6年分のデータ解析から,総生産量は,総生産キャパシティーの91%であった(発表論文1)。

以上より,ストレスの少ない場合には,総生産キャパシティーは総生産量の第一近似と考えられる。

今後の方針:

本研究より,植生の乾燥ストレスが低い場合には,総生産キャパシティーは総生産量の第一近似と考えられることから,全地球の植生域で,乾燥によるストレスの高い地域と低い地域を把握することにより,総生産キャパシティーからどの程度光合成量が抑制さ

れるのかをまずは見積もりを行うことが重要であると考え。光合成の抑制量推定には,日内変動項目をもった気象データが必要となり,そのデータの利用可能性の検討も重要課題である。

参考文献

Thanyapraneedkul J, Muramatsu K, Daigo M, Furumi S, Soyama N, Nishida Nasahara K, Muraoka H, Noda H M, Nagai S, Maeda T, Mano M, Mizoguchi Y, (2012), A vegetation index to estimate terrestrial gross primary production capacity for the GCOM-C/SGLI satellite sensor, Remote sensing, Vol.4, 3689-3720. (査読あり)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 3件) 査読あり
[Proceedings](計 5件) 査読なし

1. Muramatsu, K., Ono, K., Soyama, N., Thanyapraneedkul, J., Miyata, A., Mano, M., (2017), Determination of rice paddy parameters in the global gross primary production capacity estimation algorithm using 6 years of JP-MSE flux observation data, Journal of Agricultural Meteorology, 受理. (査読あり)
2. Mineshita, Y., Muramatsu, K., Soyama, N., Thanyapraneedkul, J., Daigo, M., (2016), Determination of parameters for shrubs in the global gross primary production capacity estimation algorithm, リモートセンシング学会誌 (36巻3号), 236-246. (査読あり)
3. 花木なるみ, 村松加奈子, 落合史生, 曾山典子, 醍醐元正, (2015), ALOS/AVNIR-2 多時期データを用いた奈良県・京都府南部における竹林の抽出, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.35, No.2, 77-88. (査読有り)
4. Muramatsu, K., Furumi, S., Daigo, M., (2015), Algorithm developing of gross primary production from it's capacity and a canopy conductance index using flux and global observing satellite data. Proc. of SPIE, Vol. 9237-55, V14. p1-6. (査読なし)
5. Soyama, N., Muramatsu, K., Ohashi, I., Daigo, M., Ochiai, F., Tadono, T., Nasahara, K., (2015), A scale-up method for reference data for validation of global land cover maps using ALOS/AVNIR-2 satellite data, Proc. of SPIE, Vol.9644-44, V14. p1-6. (査読なし)

6. Soyama, N., Sasai, T., Muramatsu, K., Daigo, M., Ochiai, F., Nasahara, K., (2015), Production method of reference data focusing quality assessment for global land cover map validation using degree confluence project information, Proc. of 30th International symposium on space technology and science. (査読あり)
7. Muramatsu, K., Furumi, S., Soyama, N., Daigo, M., (2014), Estimating the seasonal maximum light use efficiency, Proc. of SPIE, Vol. 9260, 92603R-1-9. (査読なし)

〔学会発表〕(計 13件)

1. 村松 加奈子, 馬淵 和雄, 曾山 典子, (2016年11月2日), 光-光合成曲線を用いた総生産量推定アルゴリズムの開発: 気候モデルによる気象要素の時間変化データ利用に関する考察, 社) 日本リモートセンシング学会第61回(平成28年度秋季) 学術講演会, 新潟テルサ
2. 米田 詠美, 村松 加奈子, (2016年11月2日), 全球の総生産量キャパシティ推定アルゴリズムの開発: 植生指標CIgreenの異常値検出条件, 社) 日本リモートセンシング学会第61回(平成28年度秋季) 学術講演会, 新潟テルサ
3. 曾山典子, 佐々井崇博, 村松加奈子, 醍醐元正, 落合史生, 奈佐原顕郎, (2015年11月27日), 全球土地被覆分類データのための精度検証データ作成: ボランティアによる情報の利用, 日本リモートセンシング学会第59回学術講演会, 長崎大学
4. 村松加奈子 (2015年6月3日) 総生産キャパシティと気孔開度指標を用いた総生産量推定アルゴリズムの枠組み. 日本リモートセンシング学会第58回学術講演会. 千葉
5. 村松加奈子 (2015年6月3日) 最大光利用効率の季節変化推定アルゴリズム. 日本リモートセンシング学会第58回学術講演会. 千葉
6. 米田詠美, 村松加奈子, Ballesteros, A.L. (2015年6月3日) 全球の総生産キャパシティ推定アルゴリズム~ヨーロッパサイトに着目して~. 日本リモートセンシング学会第58回学術講演会. 千葉
7. 服部由梨, 村松加奈子, 醍醐元正, 曾山典子, 落合史生(2014年5月15日) 衛星観測による地表面温度データの常緑樹/落葉樹における特徴解析. 日本リモートセンシング学会第56回学術講演会. つくば
8. Muramatsu, K., Furumi, S., Daigo, M., Algorithm developing of gross primary production from it's capacity and a canopy conductance index using flux and global observing satellite data,

- SPIE remote sensing 2015, 21-24 Sep., 2015, Toulouse, France
9. Soyama, N., Muramatsu, K., Ohashi, I., Daigo, M., Ochiai, F., Tadono, T., Nasahara, K., A scale-up method for reference data for validation of global land cover maps using ALOS/AVNIR-2 satellite data, SPIE remote sensing 2015, 1-24 Sep., 2015, Toulouse, France
10. Soyama, N., Muramatsu, K., Ochiai, F., Daigo, M., Sasai, T., Nasahara, K., Validation method of global land cover map using reference data with quality level, 30th International symposium on space technology and science, 4-10, Jul., 2015, Kobe, Japan
11. Muramatsu, K., Furumi, S., Soyama, N., Daigo, M., Estimating the seasonal maximum light use efficiency, 13-17, Oct., 2014, SPIE Asia-Pacific Remote sensing, Beijing, China
12. Muramatsu, K., Soyama, N., Furumi, S., Daigo, M., An algorithm of gross primary production capacity from GCOM-C1/SGLI, the 40th COSPAR scientific assembly, 2-10 Aug., 2014, Moscow, Russia
13. Muramatsu, K., Mineshita, Y., Furumi, S., Soyama, N., Daigo, M., An estimation method of capacity of gross primary production from global observation satellite, Asia Oceania Geosciences Society 11th annual meeting (AOGS 2014), 28 July to 1 Aug., 2014, Sapporo, Hokkaido, Japan.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村松 加奈子 (MURAMATSU, Kanako)

奈良女子大学・自然科学系・准教授

研究者番号 20252827

(2) 連携研究者

古海 忍 (FURUMI, Shinobu)

奈良佐保短期大学・地域子供学科・准教授

研究者番号: 90397844

曾山 典子 (SOYAMA, Noriko)

天理大学・人間学部・教授

研究者番号: 50309522

鎌倉 真依 (KAMAKURA, Mai)

奈良女子大学・共生科学研究センター・研

究支援推進員

研究者番号: 40523840