

令和元年6月14日現在

機関番号：14602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00514

研究課題名(和文) 光-光合成曲線と樹冠コンダクタンス指標を導入した総生産量推定アルゴリズムの開発

研究課題名(英文) Algorithm of gross primary production estimation using light-response curve and canopy conductance index

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、総生産キャパシティーと光合成の日中低下を表す樹冠コンダクタンス指標から、総生産量推定アルゴリズムを開発することを目的とする。

総生産キャパシティー推定では、緑波長を用いたクロロフィル指標により、光-光合成曲線のパラメータを植生タイプ毎に求め、いくつかの気候帯へ適用できた。樹冠コンダクタンスの変化率を樹冠コンダクタンス指標と定義し、全地球観測衛星の11時と13時の地表面温度データから推定した。乾燥域において、光合成の日中低下が衛星観測時頃開始した場合は、日中低下を再現できたが、日中低下が11時より早い場合は、過少評価であった。気象衛星の陸域解析への利用可能性を今後検討する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光-光合成曲線に基づく推定手法であるため、光合成速度の日変化が計算できることに特徴があり、このことにより光合成速度の日中低下を反映したモデル作成が可能となる。また、本研究の光-光合成曲線を決めるための1つのパラメータは、入射光に対する最大光利用効率と考えられ従来一定値と取り扱われていた最大光利用効率の季節変化を求めることができ、診断型モデルのインプットデータとなりうる可能性がある。また、推定結果は、全地球の炭素循環のメカニズム解明のための基礎データとしての貢献が期待される。

研究成果の概要(英文)：This study focused on an algorithm development of gross primary production from its capacity and canopy conductance index.

In the part of gross primary production capacity part, it was applicable to vegetation types in several climates that the method to determine a parameter of light-response curve of photosynthesis using chlorophyll index of green band. The canopy conductance index was defined as the changing rate of canopy conductance, and it was estimated using land surface temperatures at 11 a.m. and 1 p.m. observed by global observing satellite. In dry area, estimation results were in good reproducibility when the depression of photosynthesis around 11 a.m. However, daily depression occurred earlier than 11 a.m., it was under estimation. I will examine availability to land area analysis of the weather satellite in future.

研究分野：陸域リモートセンシング

キーワード：総生産量 光-光合成曲線 光合成の日中変化 クロロフィル指標 熱赤外 人工衛星データ 地表面温度

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にとって重要な課題であり、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。植物の光合成により炭素の吸収や固定は、炭素循環の中の重要なプロセスの一つである。全地球観測衛星では、陸面の広領域を瞬時に周期的にモニタリングすることができるため、全地球での炭素の吸収量や固定量の推定に利用されている。

日本の宇宙航空研究開発機構は2016年度に Global Change Observing Mission-Climate (GCOM-C) 衛星を打ち上げ予定であり、Second generation Global Imager (SGLI) センサが搭載される。SGLI では、250m の空間分解能で陸域を紫外から可視、近赤外での7つの波長帯で観測を行う。アメリカの NASA (National Aeronautics and Space Administration) の Terra と Aqua 衛星で MODIS (Moderate resolution Imaging Spectroradiometer) センサが搭載されており、2000年から現在まで観測を行なっている。MODIS では、250m の空間分解能は、赤と近赤外波長のみである。一方、SGLI では赤波長よりクロロフィルに感度領域が広い緑の波長を250m の空間分解能で使用することができる。

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)が多く利用されている。光利用効率モデルを基礎とした衛星データを用いた総生産量推定には衛星から推定された葉の量である LAI (Leaf Area Index)が重要なパラメータの一つとなっていることが多い。しかしながら LAI の推定誤差が GPP 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. 他, 2011)。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。LAI を介さず、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、光利用効率モデルでは、GPP と光強度は線形と仮定されているが、これはある時間積分の概念が含まれている。たとえば、日単位、月単位、年単位などであり、光合成の日中変化を組み込むことはできない。一方、光-光合成曲線は光利用効率モデルの微分系と捉えることができ、光合成の日変化をあらわすことができる。一般に、植物の光合成では、気象条件によっては日中光合成速度が低下することが知られている。どのような条件で日中低下を起こすかに関しては、様々な研究が行われてきたが、乾燥度(VPD)が高くなると気孔が閉じ光合成速度は低下する。この日中低下を推定モデルに組み込むことができれば植物の光合成の生理応答に対応したモデルが構築できると考えた。

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要因に依存する。クロロフィル量は葉の色に影響を与えるため光学系センサでの観測が可能であり、これまで我々は SGLI で観測可能な緑と近赤外波長帯で定義されるクロロフィルインデックス(Gitelson 他, 1996)と個葉のクロロフィル量との線形関係があることを示した(Thanyapraneeedkul 他, 2012)。Gitelson 等(2003, 2006)等は樹冠内の総クロロフィル量と日中の GPP との線形関係を Wu 等(2009) は午前中の入射光に対する光利用効率(GPP/PAR)は、全クロロフィル量と線形関係にあることを報告している。これらの研究では、光合成キャパシティーとその抑制要因への分離は行っていない。我々は、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ことができるのは、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。

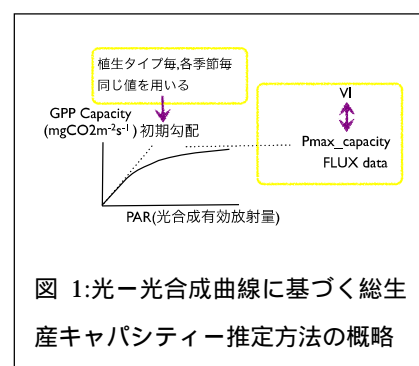
2. 研究の目的

本研究では全地球観測衛星データを用いて、全地球スケールでの総生産量推定のアルゴリズムの開発を行い、総生産量推定の精度向上を目的とする。本研究で開発するアルゴリズムの特徴は、生産量を総生産キャパシティーとその抑制要因に分け、キャパシティー推定には光-光合成曲線を導入し、光合成の日中低下を樹冠コンダクタンス指標の開発により推定することである。

3. 研究の方法

(1) 衛星データから総生産量キャパシティー推定アルゴリズムの精度向上

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推定する。FLUX データを用いて、光-光合成曲線を衛星の観測期間に合わせて解析し、パラメータを求める。その値と衛星データで観測されたクロロフィルインデックスとの関係を求める。これまでに、FLUX データと MODIS データを用いて、9つの植生機能タイプ(カナダの草地、日本の落葉針葉樹、落葉広葉樹、常緑針葉樹、水田、タイの常緑広葉樹、アメリカの Open Shrub, Closed Shrub, アマゾン



の熱帯林)での解析を進めてきた。まだ解析を行っていない、他の気候帯の植生機能タイプ(北方林)や同じ植生機能タイプでも生育環境の異なるヨーロッパのFLUXサイトのデータ解析,農地(ダイズ,コーン)のデータについても解析を進める。

(2) 総生産量と総生産キャパシティーの比較

GPPのGPPキャパシティーからの低下量を各気候帯における植生タイプ毎に明らかにする。

(3) 熱赤外イメージを用いた植生コンダクタンス指標の開発とその推定

個葉に対する光合成速度と気孔コンダクタンスの日変化,熱赤外イメージャーを用いた葉温の観測を行ってきた。実験データとBaldochi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,気孔コンダクタンスを推定した。その結果,日変化パターンは再現できるが,その絶対値は異なるという結果を得た。以上より,総生産キャパシティーからの光合成の減少量を推定するという考えのもと,樹冠コンダクタンスの日変化パターンを抽出する樹冠コンダクタンス指標を, BigLeaf モデル(Penman-Monteith Eq. (Monteith 他, 1973)の考えを用いて開発する。

(4) 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

植生タイプ毎の(1)の光 光合成曲線のパラメータの推定式より,決定する。

(5) 全地球における総生産キャパシティーとその低下量による総生産量の推定

2016年度に打ち上げ予定のGCOM-C/SGLIデータを用いて推定を行う。

4. 研究成果

(1) 衛星データから総生産量キャパシティー推定アルゴリズムの精度向上

光合成有効放射量が現実的に十分高い $2000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ でのFluxデータの総生産キャパシティー($GPP_{\text{capacity}}(2000)$)と衛星データの緑(G)と近赤外(NIR)の反射率を用いた植生指標クロロフィルインデックス($CI_{\text{green}} = NIR/G-1$, Gitelson 他, 2003, 2006)との関係について, Open shrub, Closed shrubの解析結果は論文にまとめ投稿し受理された。水田に関しては, 6年間の観測データを用いて解析し,論文に投稿し受理された。 CI_{green} と $GPP_{\text{capacity}}(2000)$ の関係は,線形関係で,かつ,植生タイプ毎に傾きが異なり,

これまでの研究では3つのグループに分けられた。草地,疎な灌木,水田では,広葉落葉樹,針葉落葉樹,針葉常緑樹より傾きが大きかった(図2)。アマゾンやタイの常緑広葉樹では両者の分布は一カ所にまとまっていた。また,ヨーロッパのopen shrub,落葉広葉樹,常緑針葉樹,常緑広葉樹のサイトと,ロシアのシベリアの常緑針葉樹,落葉針葉樹のサイトのデータの解析を行なった。その結果は植生機能タイプ毎に図2に示す結果と同様の傾向を示した。現在,これまでの解析結果を全てまとめた論文を作成中である。

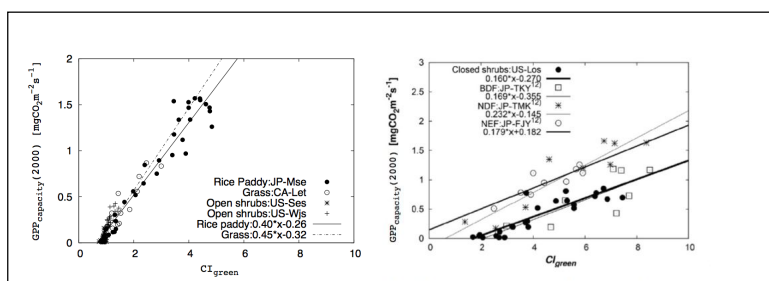


図2: CI_{green} と光-光合成曲線のパラメータの関係;左図)草地,疎な灌木,水田 [Muramatsu 他, 2017], 右図)広葉落葉樹,針葉落葉樹,針葉常緑樹 [Mineshita 他, 2016].

ロシアのシベリアの常緑針葉樹,落葉針葉樹のサイトのデータの解析を行なった。その結果は植生機能タイプ毎に図2に示す結果と同様の傾向を示した。現在,これまでの解析結果を全てまとめた論文を作成中である。

(2) 総生産量と総生産キャパシティーの比較

Fluxデータを用いて総生産キャパシティーと総生産量の比を調べたところ,日本の水田に関しては,6年間の平均でフラックス観測の総生産量は,総生産キャパシティーの91%であり,第一近似では総生産キャパシティーが総生産量とみなせることが明らかとなった。またアマゾンの熱帯林でも同様の結果であった。一方,疎な灌木で,日中低下量が大きい時期について調べた結果,日中低下量は総生産キャパシティーの18%であった。

以上より水ストレスが低い地域では,総生産量キャパシティーは総生産量の第一近似とみなせ,乾燥域において,日中低下量を推定する方法を開発する必要があると考えた。

(3) 熱赤外イメージを用いた植生コンダクタンス指標の開発とその推定

図2の関係より、衛星データから光合成曲線のパラメータが推定でき、その値を図1の光合成曲線を利用し、光合成キャパシティーの日中変化が計算できる。図3の実線のヒストグラムが地上測定の総生産量であり、点線のヒストグラムが植生指標と光合成有効放射量を用いて計算した総生産キャパシティーの計算結果である。日中低下量は、樹冠を大きな1枚の葉と考えたBigLeafモデルで、樹冠での水の交換量(樹冠コンダクタンス)の寄与率について調べた。その結果、日中においては乾燥度である飽差の寄与が高いこと、飽差が地表温度と相関が高いことが明らかとなった。そこで、全地球観測衛星の観測時間(11時と13時)を用いて、樹冠コンダクタンスの相対的な変化を求め、日中低下量を推定した。その結果を図3の印で示す。一方、地上観測の衛星観測の時間帯の飽差を用いて計算した結果を印で示す。この例では、光合成の日中低下は10時から起こっており、衛星観測時間帯の日中低下は再現できなかった。地表温度の観測頻度が上げれば、より正確に日中低下の推定が行える可能性がある。

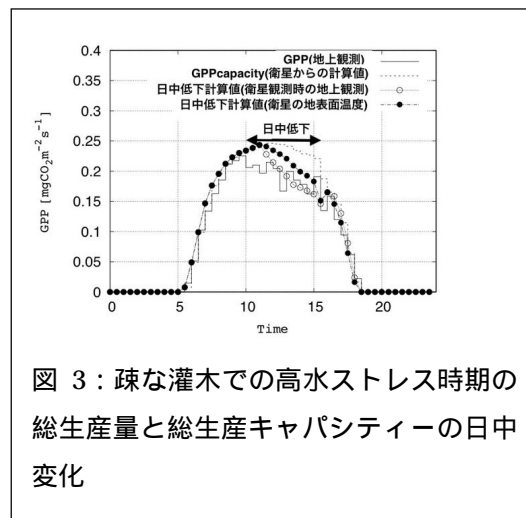


図3：疎な灌木での高水ストレス時期の総生産量と総生産キャパシティーの日中変化

(4) 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

図2の傾きが異なるもので植生機能タイプ分類を行う。現在は大きく分けて3つのグループを考えている。図2左図の草地、疎な灌木、水田タイプと図2右図の落葉広葉樹林、落葉針葉樹林、常緑針葉樹林、と、広葉常緑樹林である。

(5) 全地球における総生産キャパシティーとその低下量による総生産量の推定

GCOM-C/SGLI データを使用する予定であったが、GCOM-C 衛星の打ち上げが2017年12月23日となり、本研究期間では使用できなかったため、アルゴリズムの開発を主として行なった。

今後の課題

GCOM-C/SGLI データが2018年の観測分が提供され始めたので、実際にGCOM-C/SGLI センサを用いて総生産キャパシティーの推定を行い、アルゴリズムの問題点があれば改良を行う。一方で、本研究では、全地球観測衛星の利用を主に考え緑の波長を用いたクロロフィルインデックスを使用した。2015年にヨーロッパで打ち上げられた衛星では陸域クロロフィル量により感度の高い波長を組み込んでいる。全地球観測衛星ほど観測頻度は高くないが、今度よりクロロフィルに感度の高い波長帯を用いたインデックスを用いることも検討したい。

光合成の日中低下の推定に関して、これまで、全地球観測衛星の11時と13時の地表温度観測データが存在するとして、開発を行ってきた。一方で気象衛星の空間分解能が高くなってきており、地表面の解析への利用可能性がある。気象衛星の毎時観測のデータの利用可能性についても検討したい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5件)

1. 村松加奈子, 奈良県スギ・ヒノキ林における生長量調査, 『経済学論叢』(同志社大), 70/4, 277-288, 2019, 査読なし
2. Kanako Muramatsu, Canopy conductance index for GPP estimation from it's capacity, Proc. SPIE 10777, Land Surface and Cryosphere Remote Sensing IV, 107770M (24 October 2018); doi: 10.1117/12.2324247,9637 ,2018/10/24, 査読なし
3. Kanako Muramatsu, Keisuke Ono, Noriko Soyama, Juthasinee Thanyapraneedkul, Akira Miyata, Masayoshi Mano, 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, 73 3 119-132, 2017/07, 査読あり

4. Yukiko Mineshita, Kanako Muramatsu, Noriko Soyama, Juthasinee Thanyapraneedkul, Motomasa Daigo, 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/ 3, 236-246, 2016/12, 査読あり
5. Noriko Soyama, Takahiro Sasaki, Kanako Muramatsu, Motomasa Daigo, Fumio Ochiai and Kenlo Nasahara, Production Method of Reference Data Focusing Quality Assessment for Global Land Cover Map Validation using the Degree Confluence Project Information, ISTS Special Issue: Selected papers from the 30th International Symposium on Space Technology and Science, Transactions, JSASS, Aerospace Technology Japan, 14/ists30, Pn1-Pn6, 2016/09, 査読あり

〔学会発表〕(計 10件)

1. 村松加奈子, 乾燥域における総生産キャパシティーと樹冠コンダクタンス指標を用いた総生産量推定の再現性, (社)日本リモートセンシング学会第65回(平成30年度秋季)学術講演会, 2018/11/28
2. A. Wakai, K. Muramatsu, Determination of Tropical Forests Parameters in Gross Primary Production Capacity Estimation Algorithm in Brazil, "the 39th Asia Conference on Remote Sensing, 2018", 2018/10/15
3. K. Muramatsu, Canopy conductance index for GPP estimation from its capacity, SPIE Asia-Pacific remote sensing, 2018/9/26
4. K. Muramatsu, An algorithm of gross primary production capacity estimation from global observing satellite and the difference between GPP capacity and GPP, "COSPAR, 2018", 2018/7/20
5. 若井愛香・村松加奈子(奈良女子大), ブラジルの熱帯地域における総生産量キャパシティー推定アルゴリズムの決定, (社)日本リモートセンシング学会第64回(平成30年度春季)学術講演会, 2018/5/17
6. 村松加奈子, 総生産量推定のための樹冠コンダクタンス指標 II, (社)日本リモートセンシング学会第64回(平成30年度春季)学術講演会, 2018/5/17
7. 村松加奈子, 総生産量推定のための樹冠コンダクタンス指標, (社)日本リモートセンシング学会第63回(平成29年度秋季)学術講演会, 2017/11/21
8. Noriko Soyama, Kanako Muramatsu, Motomasa Daigo, Koji Kajiwara, Yoshiaki Honda, DIFFERENCES BETWEEN NEEDLE-LEAVES FOREST AND BROAD-LEAVES FOREST FROM PSEUDO MULTIDIRECTIONAL OBSERVATION DATA, International Symposium on Remote Sensing 2017, 2017/5/17
9. 米田 詠美・村松加奈子(奈良女大), 全球の総生産量キャパシティー推定アルゴリズムの開発: 植生指標 C_{Igreen} 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, 2016/11/2
10. 村松加奈子(奈良女大)・馬淵 和雄(千葉大)・曾山 典子(天理大), 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, 2016/11/2

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況（計0件）

取得状況（計0件）

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者 なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名：曾山 典子

ローマ字氏名：Noriko Soyama

研究協力者氏名：峯下有紀子

ローマ字氏名：Yukiko Mineshita

研究協力者氏名：米田 詠美

ローマ字氏名：Emi Yoneda

研究協力者氏名： Juthasinee Thanyapraneedkul

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、研究者個人に帰属されます。