

S-1 21世紀の炭素管理に向けたアジア陸域生態系の統合的炭素収支研究

テーマI ボトムアップ（微気象・生態学的）アプローチによる

陸域生態系の炭素収支解析に関する研究

(2) 草原・農耕地生態系における炭素収支の定量的評価に関する研究

3) 青海・チベット高原草原の炭素吸収速度の即時・広域推定

独立行政法人国立環境研究所 生物圏環境研究領域 生理生態研究室

唐艶鴻

<研究協力者> 独立行政法人国立環境研究所

陳 晋

平成14～18年度合計予算額 5, 180千円

(うち、平成18年度予算額 1, 602千円)

※上記予算額には、間接経費1, 196千円を含む

[要旨] 草原の植物現存量は、植物・土壌炭素蓄積量や草原生態系の炭素吸収速度の推定にきわめて重要なパラメータである。広範囲の植物現存量を推定するためには、衛星データを利用することは有効な手段である。しかし、このような推定を行うためには、植生の分光反射率と地上部バイオマスの関係を解明する必要がある。当該研究では、衛星データを利用するための二つのもっとも困難な課題に取り組んだ。(1) 衛星計測データを利用した生産力推定モデルの推定精度を向上するため、生態系の光利用効率(LUE)の推定向上を図った。青海草原のCO₂フラックス計測データを使って、散乱光と直射光の貢献を考慮し、調整した反射光合成有効放射とLUEを求め、生態系のGPPを高い精度で推定できるモデルを構築した。また、衛星計測データを利用できるように、MODIS衛星の撮影時間の調整LUEと一日の平均LUEとの相関を調べ、衛星データから草原生態系の生産力をより高い精度で推定することも可能にした。(2) 植生の被覆率が高くなると、分光反射率からの推定結果が悪くなる。この問題を解決するための方策を探った。42個のコドラートの分光反射率と地上生物量の測定データを用いて、地上生物量と分光反射率、植生指数、1次微分した反射率(FDR)およびバンド深を表す指数との関係をPLS回帰法によって調べた。その結果、まず、高山草原の地上バイオマスを推定するため、もっとも有効な波長帯は、レッドエッジ(クロロフィルの吸収帯)、近赤外エッジ(水分の吸収帯)およびグリーンエッジであることがわかった。つぎに、1次微分した反射率は、地上バイオマス推定のためのモデル構築において、最も推定の精度が高くなることが示された。さらに、RDVI、TVI、MTVI1等植生指数は、他の植生指数より地上バイオマスとの相関が高いことがわかった。以上の結果から、植物の被覆率が高い地域における地上バイオマスを高精度で推定するためには、より多くの波長域、特に上記のレッドエッジ、近赤外エッジとグリーンエッジの波長域を利用することが有効であることが示唆されている。

[キーワード] CO₂フラックス、散乱光、直射光、放射、生産力

1. はじめに

渦相関法より観測した草原生態系の炭素フラックスを衛星データと組み合わせれば、広

範囲の炭素フラックスを推定できる。これは、陸域の炭素収支を解明する際にきわめて重要な課題である。その推定方法のひとつとして、光利用効率 (LUE) を利用することである。LUEは渦相関法観測と衛星観測データを結び付ける橋渡し役として、GPP/NPPの推定モデルに利用されている。しかし、さまざまな環境要因によってLUEの日内または日間変化が大きいため、LUEの広範囲の利用は制限される。そこで、本研究はまずLUEを推定するため、これまでの渦相関法で測定したデータと衛星データとの関連性を検討した。

一方、リモートセンシング研究における最も大きな困難の一つが、高い被覆率の植生の地上バイオマスを推定することである。この困難を克服するため、本研究では、自然条件下で近距離測定したハイパースペクトル反射率と地上バイオマスを測定し、異なるモデルから、推定方法の比較を行った。

2. 研究目的

本研究は、以下の目的がある。まず、青海・チベット高原の最も広い典型的な草原におけるLUEの変動特性と変動要因を解明し、精度の高いLUE-GPPモデルを構築する。つぎに、高い被覆率の植生における地上バイオマスを正確に推定するための良い方法を見いだすことである。

3. 研究方法

2003年からの2年間の渦相関フラックスデータを使い、LUEの推定を行った。同時に、散乱光光合成有効放射 (PAR) と直射光PARを算定し、APARを以下のようなモデルで推定した。

$$APAR_a = \omega_1 \times DAPAR + \omega_2 \times BAPAR \quad (1)$$

上記のAPAR_aは調整したAPAR指数である。DAPARは散乱光APAR、BAPARは直射光APARである。 w_1 と w_2 はそれぞれ散乱光APARと直射光APARの加重係数である。 w_1 と w_2 の和は1になるように正の値をとる。

バイオマスとスペクトルの測定は海北高山草原で行った。その結果を利用し (1) ナローバンド反射率の生データ、(2) 狭帯域植生指数、(3) 一次微分した反射率 (FDR) と (4) バンド深指数から、地上バイオマスの推定を行った。

4. 結果・考察

一連の解析を通して、LUEからGPPをより正確に推定するための調整APAR (APAR_a) を提案した。回帰モデルでは調整APAR指数とGPPが直線関係となり、求めた係数 w_1 が0.67、 w_2 が0.33で、 R^2 がかなり高かったことを示した。そこで、多重回帰からLUEを推定すると、推定されたLUEは雲量によって大きく左右されていた。調整APARとLUEは $LUE = -0.009APAR_a + 0.028$ ($R^2 = 0.405$, $n = 251$, $P < 0.0001$) によって概算できる。また、LUEに及ぼす環境要因の影響を調べるため、ステップワイズ回帰分析によって調整APAR指数、9:00~19:00の平均気温 (T_{mean})、日間最低気温 (T_{min})、およびVPDと日LUEとの間で、以下の経験的モデルを構築した。

$$LUE_{mult} = 0.028 - 0.001 \times APAR_a - 0.014 \times VPD + 0.001 \times T_{mean} + 0.001 \times T_{min} \quad (2)$$

$$(n = 251, R^2 = 0.705, P < 0.0001)$$

また、異なる方法によってLUEの推定誤差を評価した。LUE_{mult}の誤差の平均値2.9%に対して

LUE-APARa は8.5%、コンスタントLUE は9.1%の数値を示した。

さらに、地上バイオマスの推定ために、以下の評価指標について検討を行った。

狭帯域反射率の生データ

狭帯域反射率の生データと地上バイオマスの間の相関関係をピアソンの相関係数を用いて評価した結果、最大の負の相関係数は、681nmあたりで、最大の正の相関係数は、NIRの846nmあたりであった。しかし、さまざまな方法をつかっても、狭帯域反射率の生データを利用した地上バイオマス推定は、あまりよい効果が得られなかった。

一次微分反射率

そこで、一次微分反射率と地上バイオマスの相関を検討した。最も高い正相関は221帯域の中の720~768nmあたりで、狭帯域反射率の生データを用いたモデルと比較すると、この帯域R二乗値は、0.48から0.67に改善されていた。したがって、高山草原の地上バイオマスの推定には、FDR帯域は、狭帯域反射率の生データよりも効果的であるとの結論を得た。

バンド深指数

さらに、バンド深指数を利用して、地上バイオマスの推定をした。いろいろな波長域を検討した結果、グリーン光域内では、バイオマスと相関が550nmあたりでもっとも高かったことが見られた。更に、694~750nm部分のr値は、550~667nmの部分よりも高いことから、レッドエッジの帯域は、バイオマス変動の影響をより受けやすいことが示唆されている。

狭帯域VI

線形回帰分析および非線形回帰分析は、42のコドラートの全てのデータを用いて、地上バイオマスと各VIの間で行った。非線形回帰分析からのR²値は、線形回帰分析からのR²値よりも高いことから、地上バイオマスとVIの間には、非線形相関が存在することを示唆している。最高R²値を達成したのはRDVIであった。

本研究での重要な問題は、スペクトル反射計測を用いて、高い植生被覆率の生態系における地上バイオマス推定の精度を向上させる方法である。高山草原の地上バイオマスの推定に最も効果的なスペクトル部分は、レッドエッジ域（690~750nm）およびNIR域（760~959nm）であることが分かった。水分吸収帯のNIRエッジ（984nmと1,010nm）、グリーンエッジ（526nm）、青帯域（460~473nm）も、優れた推定指標である可能性が高い。特に、本研究における高山草原のような葉比率が高い植生においては、生理作用に関するパラメータを追加することで、バイオマス推定の精度が上がる可能性が高い。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

衛星データから地上バイオマス、とくに炭素収支を推定することは、科学的な「難問」であり、世界的に注目されている研究分野である。本研究は、散乱光と直射光を考慮したLUE-GPPのモデルを構築することより、草原生態系GPPの推定精度を大幅に改善できた。この結果は青海チベット高原全体の草原の炭素収支をより高い精度で推定するための準備ができた。また、より多くの波長域、特にレッドエッジ、近赤外エッジとグリーンエッジの波長域を利用することによって、植物の被覆率の高い地域における地上バイオマスを高精度で推定できることを提案したことも、今後の衛星データの解析への貢献が期待できる。

(2) 地球環境政策への貢献

本研究の成果を早急に論文として公表し、またその応用方法を含め広く紹介することに努める。

6. 引用文献

なし

7. 国際共同研究等の状況

本研究は、国際交流研究制度を利用し、陳晋を招聘して実施した。また、中国北京師範大学と共同研究を実施している。

8. 研究成果の発表状況

誌上発表（学術誌・書籍）

< 査読あり >

- 1) J.Chen, Y.Tang, X. Chen, W. Yang. Journal of Remote Sensing in press (2007)
“A review on the estimation of light use efficiency using photo-chemical index” (In Chinese with English abstract)

< 査読なし >

なし

書籍・報告書類など なし

(2) 口頭発表

- 1) Chen, J., Tang, Y: 2nd East Asian Federation of Ecological Societies International Congress, Niigata, Japan, 498 (2006)
“Daily variability of light-use efficiency (LUE) and its implication to LUE-based GPP model in an alpine meadow on the Qinghai-Tibetan plateau”

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし