

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 1 日現在

機関番号：16401
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22710011
 研究課題名（和文）空間解像度の異なる衛星データの相補的利用による純一次生産量算定手法の高精度化
 研究課題名（英文）Improvement in the estimation of net primary production by the combination of the several spatial resolutions of remote sensing data
 研究代表者
 松岡 真如 (MASAYUKI MATSUOKA)
 高知大学・教育研究部自然科学系・准教授
 研究者番号：50399325

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、低空間解像度データと高空間解像度データを相補的に利用することで、陸上植生の純一次生産量の算定精度を向上させることである。そのために、(1)高空間解像度データによる植生情報の取得(2)低空間解像度データによる時系列植生モニタリング(3)気象データの整備(4)植物動態モデルによる純一次生産量算定を実施した。その結果、(1)～(3)について手法の開発とデータセットの整備が達成された。一方、(4)については現実的な結果を得ることができなかった。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to improve the accuracy of the estimation of the net primary production (NPP) of the ground vegetation by means of the combinational use of low and high spatial resolution geographical data. The following results were derived; (1) pansharpening methods were evaluated, and vegetation maps were generated, (2) time series of MODIS cloud-free composite data were generated, (3) meteorological grid data were prepared, and (4) estimation of NPP resulted, however, in un-realistic values.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境計測・リモートセンシング・純一時生産量・空間解像度

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化を監視・抑制する上で、陸上植生の純一次生産量（単位面積の植物が光合成によって単位時間あたりに固定する正味の炭素量、Net Primary Production:NPP）の算定精度を向上させる事の必要性は言うを俟たない。地球スケールの算定の高精度化には、地域スケール算定の高精度化が不可欠であ

り、ローカルな高精度化の積み上げとしてグローバルな高精度化が達成できるといえる。加えて、近年ではバイオエネルギーなどへの関心が高まっており、地域スケールの視点からも高精度な純一次生産量の算定が重要視されている。

2. 研究の目的

本研究では、リモートセンシングを用いた純一次生産量の算定を高精度化するため、低空間解像度データと高空間解像度データを相補的に利用した新しい手法を開発する。これまで利用されてきた空間解像度 1km のデータを 250m に向上させ、加えて、植生情報(樹種やサイズなど)の把握に空間解像度 2.5m と 10m のデータを導入することで算定精度を向上させる。本研究により、地球スケール(地球温暖化等)での算定精度の向上のみでなく、地域スケールの議論にも耐えうる精度の純一次生産量の算定を実施できる。国内各所でバイオ燃料生産が実用化されつつある現状を鑑み、リモートセンシングによる広域かつ高精度な算定手法を開発することは有意義であるといえる。

(1) 高空間解像度データに含まれる地形の影響を除去する手法の標準化

地形による位置のずれについては有理関数モデルで対応可能である。一方、斜面による反射率の補正については現在開発中の手法を確立させる。本課題ではこちらを中心に開発を行なう。

(2) 低空間解像度データのミクセル分解アルゴリズムの評価と選定

空間解像度の低いデータでは、一画素の中に様々な土地被覆が混在してしまう(mixed pixel: ミクセル)。ミクセル内の土地被覆構成を推定するミクセル分解アルゴリズムは多数提案されているが、各種法が純一次生産量の算定精度に与える影響については未知である。本課題では、純一次生産量算定精度の視点からミクセル分解アルゴリズムの評価と選定を実施する。

(3) 植物動態モデルの校正・検証手法の構築

純一次生産量の算定には植物動態モデルである Biome-BGC を利用する。これは、植物の生理学的パラメータ、気象条件(日射、気温、降水)、土地条件などから植物の生長(=生産量)を算出するモデルである。植物動態モデルを用いた従来の研究では、植生情報を広域で取得することの困難さから、生理学的パラメータを代表的な値に固定している事が多い。本課題では、高空間解像度データを利用し、樹種やサイズ毎にパラメータ設定を行なう。加えて、モデルの算出結果と低解像度センサによる観測値の逐次比較を実施する事で、多空間解像度データを利用した植物動態モデルに対する校正・検証手法を確立する。

以上の三点を明らかにする事で、本課題の目的である「空間解像度の異なる衛星データを併用した純一次生産量算定の高精度化」を達成する。なお、開発結果はソフトウェアパッケージとして公開する。その際、各処理プログラムをモジュール化する事によって、現在開発されている新しいセンサ GCOM/SGLI、

ALOS-3 にも適用可能とする予定である。

3. 研究の方法

本研究の手法は(1)高空間解像度データによる植生情報の取得、(2)低空間解像度データによる時系列植生モニタリング、(3)気象データ(日射量、気温、降水量)の整備、(4)植物動態モデルによる純一次生産量算定、の四つで構成されている。本手法では、高空間解像度データが得意な「植生情報(種類・サイズなど)の取得」と、低空間解像度データが得意な「高頻度観測による季節変化の把握」を相補的に植物動態モデルに取り込む事で純一次生産量算定を高精度化する。このとき、衛星データをそのまま用いる事はせず、誤差要因となる地形やミクセルの影響を可能な限り除去する事で不確定要素を排除している。また気象データとして地上観測ネットワークを利用する事で精度向上を図っている。以上から、これまでの純一次生産量の算定手法と比較して大きな高精度化が望める方法であるといえる。

(1) 高空間解像度データによる植生情報の取得

高空間解像度データとして ALOS(だいち)に搭載された PRISM(空間解像度 2.5m の白黒画像)と AVNIR-2(解像度 10m の多波長分光画像)を使用する。初めに有理関数モデルと地形データ(Digital Elevation Model: DEM)を使用して、地形による位置ずれ(倒れ込み)を補正したオルソ画像を作成する。その後、PRISM は森林や農地のキメを把握するためのテクスチャ画像に変換する。一方、AVNIR-2 は分光反射率に変換する。その際、地形補正により、山の斜面傾斜や方位による明るさの違いを補正する。これにより、植物が持つ本来の反射率を算出することができる。最終的に Decision Tree(決定木)分類法による土地被覆分類を行ない、土地利用と植生情報(樹種やサイズ)を取得する。

(2) 低空間解像度データによる時系列植生モニタリング

低空間解像度データには Terra に搭載された MODIS を使用する。MODIS は 250m の空間解像度で、毎日観測を行なう事ができるため、森林や農地の季節変化のモニタリングに有効である。初めに、5~10 日間ごとのデータを用いてコンポジット処理を行ない、可能な限り雲を除去する。その後、AVNIR-2 と同様の地形補正を施し、続けてミクセル分解を行なう。この際、観測面積内の土地被覆の混在度を把握するために、AVNIR-2 の土地被覆分類の結果を利用する。これにより、土地被覆の混在を補正した植生指数(植生活性度の指数)の時系列を作成する。

(3) 気象データ(日射量、気温、降水量)の整備

植生動態モデルを実行する上で気象情報は不可欠である。現在一般的に行なわれている「衛星プロジェクト単位の純一次生産量の算定」では、気象条件についても該当する衛星の観測値を使用する事が多いが、本研究では、より高精度なデータとして地上の観測ネットワークを利用する。気象データのうち日射量と気温についてはアメダス年報(気象業務支援センター)とアメダスメッシュ化プログラム(農業環境技術研究所)を使用する。なお、アメダスでは日射量の計測を行なっておらず、日照時間から日射量が推定されている。これが問題となった場合には、ひまわりを用いた日射量推定を行なう事も想定している。降水量についてはレーダーアメダス解析雨量(気象業務支援センター)を使用する。以上の三データを空間解像度 1km、時間解像度 1 時間で整備し、日単位のデータに統合した上で Biome-BGC に入力する。

(4) 植物動態モデルによる純一次生産量算定

上記のデータと Biome-BGC を組み合わせて純一次生産量の算定を行なう。算定に必要な植物の生理学的パラメータは土地被覆分類図、現地観測結果、文献などをもとに決定する。気象データを入力しながら日々の植物生長量を算定し、その妥当性を植生指数の時系列によって判定する。モデルの校正については、この時系列データの比較結果と地形条件(標高、傾斜など)に基づいて生理学的パラメータを調整する事で行なう。モデルの精度検証は、農地における作物データと森林における樹木データを用いて行なう。作物データは代表者の所属機関である高知大学農学部附属農場の結果を、樹木データについては演習林において定期的実施している毎木調査結果を利用する。また、他の地域については高知大学と共同研究協定を結んでいる高知県農業技術センター、高知県森林総合センターおよび森林総合研究所四国支所の支援を受ける予定である。

4. 研究成果

(1) 高空間解像度データによる植生情報の取得

衛星画像の空間解像度を向上させ、ミクセルを分解する手法の一つであるパンシャープン処理について、7つの手法を採用し、それらが分光特性に与える影響を評価した。オルソ補正の後、パンシャープン処理を施した AVNIR-2 と PRISM の画像を図 1 に示す。オリジナルの AVNIR-2 (図中の Degraded) と比較し、空間解像度の向上とミクセルの軽減が図られていることが分かる。また、相関係数、ERGAS、Q index を用いた定量的な評価を表 1 に示す。これらから、分光情報を維持したまま空間解像度を向上させる方法としては Gram-Schmidt sharpening(GS)、Generalized

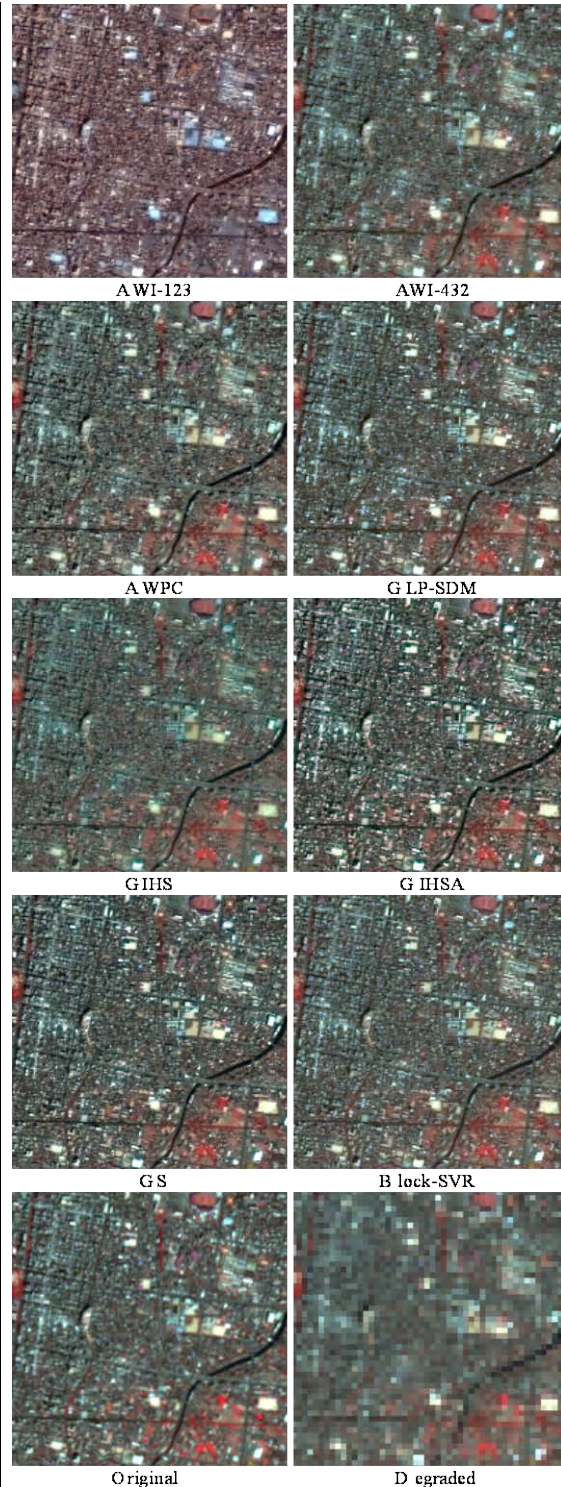


図 1 PRISM と AVNIR-2 のパンシャープン画像

表 1 パンシャープン画像の評価結果

Forest	Correlation Coefficient				ERGAS	Q index: [1 23x123]			
	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4		Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
AWI-123	0.79	0.95	0.95	-	0.76	0.75	0.95	0.95	-
AWI-432	-	0.89	0.92	0.96	1.41	-	0.83	0.93	0.96
AWPC	0.88	0.94	0.93	0.95	1.21	0.88	0.94	0.94	0.93
GLP-SDM	0.68	0.93	0.95	0.96	1.24	0.53	0.92	0.95	0.95
GIHS	0.76	0.92	0.93	0.95	1.60	0.75	0.93	0.94	0.94
GIHSA	0.68	0.91	0.89	0.96	1.31	0.60	0.88	0.90	0.96
GS	0.89	0.95	0.92	0.96	1.15	0.89	0.95	0.93	0.95
B lock-SVR	0.60	0.89	0.94	0.96	1.26	0.50	0.90	0.94	0.94

Laplacian Pyramid with Spectral Distortion Minimization (GLP-SDM) が適用していることが明らかとなった。

AVNIR-2 を用いて作成した香川県屋島の植生図を図 2 に示す。主な落葉広葉樹はコナラ、アベマキ、クス、常緑広葉樹はウバメガシであった。また常緑・落葉混交林はマツと落葉樹、ウバメガシと落葉樹との混交林であった。

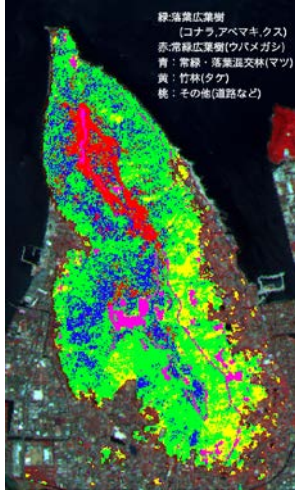


図 2 香川県屋島における土地被覆分類

(2) 低空間解像度データによる時系列植生モニタリング

Terra/MODIS から作成した 2010 年 7 月のコンポジット画像を図 3 に示す。これまで用いられてきた植生指数のみを用いた手法を改良し、雲除去の判別に可視と近赤外域の分光反射率を使用することで、空間的・時間的な局所変動が軽減された時系列データを作成することができた。また、当初のコンポジット期間を 5-10 日としていたが、雲の多い地域（特に山地）や時期（夏季）には雲を除去することができなかつた。そのため、時期に応じてコンポジット期間を調整することとした。

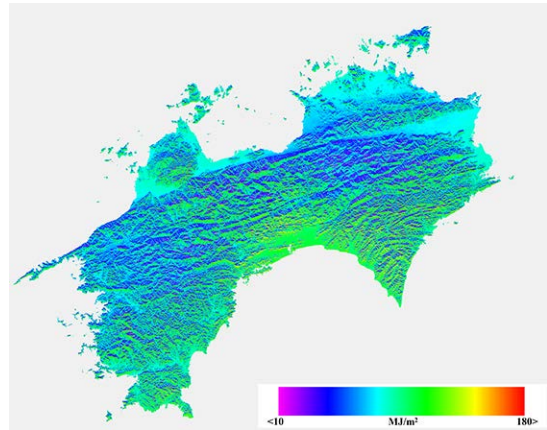


図 3 MODIS コンポジット画像

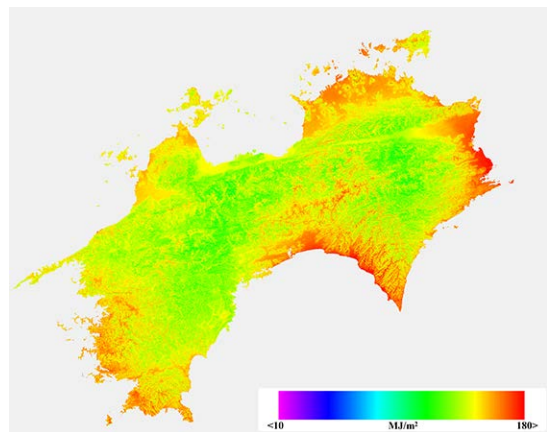
(3) 気象データ（日射量、気温、降水量）の整備

アメダス年報とアメダスメッシュ化プログラムを用いて、1979 年～2009 年の各気象データの時系列をメッシュ化した。

気象データの中で、日射量は地形による影響を大きく受け、傾斜や斜面方位によって植物が受ける日射量に差が生ずる。そこで、50m メッシュの地形データを用い、地形を考慮した日射量データを作成した。初めにアメダスからメッシュ化した（水平面）日射量を直達成分と散乱成分に分離し、地形の傾斜と方位に応じて斜面が受ける直達成分を補正した。また、散乱成分については各メッシュの開空率（地形を考慮した空の見える割合）に応じて按分した。1999 年 1 月と 7 月の日平均日射量を図 4 に示す。山の南側斜面で日射量が高く、北側斜面では低くなるのが分かる。また、平地と比べて雲の出現頻度の高い山地では日射量が少なくなっている。



(a) 1999 年 1 月



(b) 1999 年 7 月

図 4 地形を考慮した日射量

(4) 植物動態モデルによる純一次生産量算定
純一次生産量算定の上で重要な林相情報

を取得するため、地上型 LIDAR を用いて樹木位置と胸高直径の取得を行なった。調査地は高知大学農学部附属演習林のヒノキ林分とした。LIDAR データから胸高(地盤から 130cm)付近の点群を抜き出し、円に回帰することで樹木位置と胸高直径を算出した。同時に、現地においてトータルステーションを用いて樹木位置を、巻尺で胸高直径を取得した。精度評価の結果を図 5 に示す。(a)は樹木位置の誤差分布を示し、二乗平均平方根誤差(RMSE)は 4.76cm であった。(b)は胸高直径の比較である。RMSE は 4.35cm であった。樹木の直径の平均値が 29cm であったことを考慮すると、樹木位置については実用的な精度を満たしているが胸高直径については精度不足と結論づけられた。その原因は LIDAR の精度が $\pm 2.5\text{cm}$ と低いこと、多点から測定した点群データを統合する時に誤差を生じたことと考えられた。

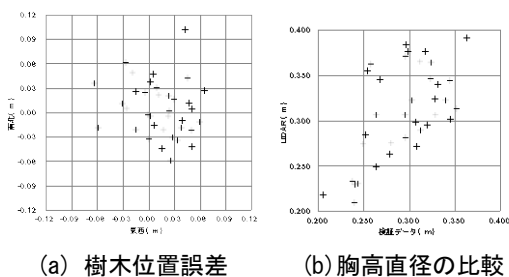


図 5 LIDAR と現地調査の比較

これらのデータを元に Biome-BGC を用いた純一次生産量算定を行なう計画であったが、パラメータ調整用データの不足などから現実的な値を得ることはできなかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① M. Matsuoka, "Comparison of the Spectral Properties of Pansharpened Images generated from AVNIR-2 and PRISM Onboard ALOS", ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 査読有, I-7, pp. 291-296, 2012.
- ② M. Matsuoka, "The Influence of Spectral Wavelength on the Quality of Pansharpened Image Simulated using Hyperspectral Data", ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 査読有, I-7, pp. 297-302, 2012.

[学会発表] (計 16 件)

- ① 松岡真如, 立山恭造, 寺岡征哉, 高木方隆, 地上型 LIDAR を用いた森林情報の取

得, 四国 GIS シンポジウム, 2013. 03. 01, 高知.

- ② M. Matsuoka, Extraction of Agricultural Greenhouse from High-resolution Remote Sensing Imagery, Asian Conference on Remote Sensing, 2012. 11. 26-11. 30, Pattaya, Thailand.
- ③ 松岡真如, マルチスペクトルデータを用いてパンシャープン処理したハイパースペクトルデータの分光特性の評価, 日本リモートセンシング学会, 2012. 11. 19-11. 20, 広島.
- ④ M. Matsuoka, H. Yoshioka, Quality evaluation of pansharpened hyperspectral images generated using multispectral images, SPIE Asia Pacific Remote Sensing, 2012. 10. 29-11. 01, Kyoto.
- ⑤ M. Matsuoka, K. Obata, and H. Yoshioka, Scaling effect of area-averaged NDVI derived from ALOS-AVNIR2 data, International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2012, 2012. 07. 22-07. 27, Munich, Germany.
- ⑥ 松岡真如, パンクロマチック画像の分光特性がパンシャープン画像に及ぼす影響: ハイパースペクトルを用いた数値実験, 日本写真測量学会, 2012. 05. 20-05. 21, 東京.
- ⑦ 松岡真如, 吉岡博貴, ALOS/AVNIR-2 を用いた NDVI の解像度依存性に関する数値実験, 日本写真測量学会, 2012. 05. 20-05. 21, 東京.
- ⑧ M. Matsuoka, Remote sensing of land surface by optical sensors - data processing and applications -, Fourth International Remote Sensing and GIS Workshop Series on Demography, Land Use-Land Cover, Disaster, 2011. 11. 10, Bandung, Indonesia.
- ⑨ 松岡真如, ALOS/AVNIR-2 画像を用いた領域分割と決定木分類手法による熱帯森林地域の土地被覆分類, 日本写真測量学会, 2011. 10. 21, 大分.
- ⑩ 松岡真如, ALOS/AVNIR-2 と PRISM を用いたパンシャープン画像作成手法の比較, 日本写真測量学会, 2011. 10. 21, 大分.
- ⑪ 松岡真如, RPC と地上基準点を用いた AVNIR-2 の幾何精度の評価, 日本写真測量学会, 2010. 05. 17, 東京.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松岡 真如 (MASAYUKI MATSUOKA)

高知大学・教育研究部自然科学系・准教授
研究者番号: 50399325