

全球植生純一次生産量の推定結果の比較

陳 璐

(奈良女子大学・人間文化研究科)

熊 彦, 古 海 忍

村 松 加奈子

(奈良女子大学・共生科学研究センター)

醍 醐 元 正

(同志社大学経済学部)

Abstract

The global NPP (Net Primary Production) distribution of 2003 was estimated by ADEOS-II/GLI. For comparing the result, NPP derived from climatic model and NPP estimated using other satellite data. Using climatic data of 2003, ANPP (Annual NPP) was used to calculate with Chikugo model in this study. With the results of the other two models (LUE model based estimation results using NOAA/AVHRR data and Zhao (2005) using Terra/MODIS data), the global ANPPs of selected nine regions were compared. All of the estimations show the similar tendency of ANPP roughly in the selected nine regions, but the values of ANPP estimated from GLI data were larger than the others, especially the difference is large in high latitude regions.

1 はじめに

地球温暖化を把握するために、植生が CO₂ を吸収する機能が注目された。その機能を評価する全球植生純一次生産量 NPP に関する研究が多く行われている。特にリモートセンシング技術の発展で、広範囲、短期で衛星データから全球 NPP を求めることが実現できた。この中で、植生指標 MVIUPD (Modified Vegetation Index based on Universal Pattern Decomposition) から、総光合成量推定アルゴリズムを用いた人工衛星 ADEOS-II/GLI データより 2003 年全球 NPP を推定した¹。その結果と比較するために、気候モデル (筑後モデル²) を利用して同じ年の気候データから全球 NPP を推定する³。また、他の衛星データ (NOAA/AVHRR と Terra/MODIS⁴) の他研究で得られた NPP の推定結果を加えて、この四つの結果を比較する。

2 MVIUPD により全球 NPP の推定

2.1 推定手法

この推定手法¹では地上測定データに基づき植物光合成及び植生被覆率の両者の線形関係を満たすような植生指標 MVIUPD を使用して、光飽和を考慮した総光合成量推定モデルである。植生純一次生産量 (Net Primary Productivity: NPP) は総生産量 (Gross Primary Productivity: GPP) より呼吸の損失量 R_p を差し引いて求められる。

$$NPP = \text{総生産量}(GPP) - \text{呼吸量}(R_p) \quad (1)$$

上式の総生産量 GPP はある期間総光合成量 (gross photosynthesis) を積分することにより推定できる。

$$GPP = \int P(\text{PAR}(t), \text{MVIUPD}(t)) dt \quad (2)$$

また、総光合成量 $P(\text{PAR}(t), \text{MVIUPD}(t))$ は下式のように光合成有効放射量 (Photosynthetically Active Radiation: PAR) 及び植生指標 MVIUPD の関数である。

$$P(\text{PAR}(t), \text{MVIUPD}(t)) \simeq \frac{\text{MVIUPD}(t)}{\text{MVIUPD}_{std}} \times P_{std}(\text{PAR}(t)) \quad (3)$$

$P_{std}(\text{PAR}(t))$ は下式で示す光・光合成曲線である。

$$P_{std}(\text{PAR}(t)) = \frac{0.52 \times 0.028 \times \text{PAR}(t)}{1 + 0.028 \times \text{PAR}(t)} \quad (4)$$

時系列 PAR データはグローバルなスケールでは入手不可能だが、全天日射量の日平均 (或は月平均) 値は世界の気象局の観測値に基づいたモデル計算値が提供されている。このデータを用いて PAR データの日平均 (或は月平均) 値は算出できる。ここで全天日射量の 48% が光合成有効放射量 PAR と見なす。植生指標 MVIUPD は以下の通りに定義する：

$$\text{MVIUPD} = \frac{uC_v - uC_w - 0.2 \times uC_s - uC_4}{uC_w + uC_v + uC_s} \quad (5)$$

上式の $(uC_w + uC_v + uC_s)$ は各基本パターンとなる水、植生、土壤の反射率の総和を表す。雪などでおおわれ植物を欠く領域に対して、植生指標 MVIUPD は負の値になる。式 (3) の MVIUPD_{std} は地上実測反射率データより算出し定数 0.77 である。

呼吸量 R_p は以下の経験式⁶より求められる。T は気温 [°C] である。

$$R_p = \frac{7.825 + 1.145 \times T [^\circ\text{C}]}{100} \times GPP \quad (6)$$

2.2 衛星データと衛星データの推定結果

人工衛星データから植生純一次生産量の推定に関しては Xiong (2005) に詳しく説明されているので、以下は概略を述べる。2003 年 4 月から 10 月までの ADEOS-II/GLI(L 2 A_LC, version 180) の 16 日間コンポジット反射率データを用いて、植生指標 MVIUPD を算出した。また、4 月から 9 月までの各月には、2 シーンのコンポジットデータがあり、雲などを除去するた

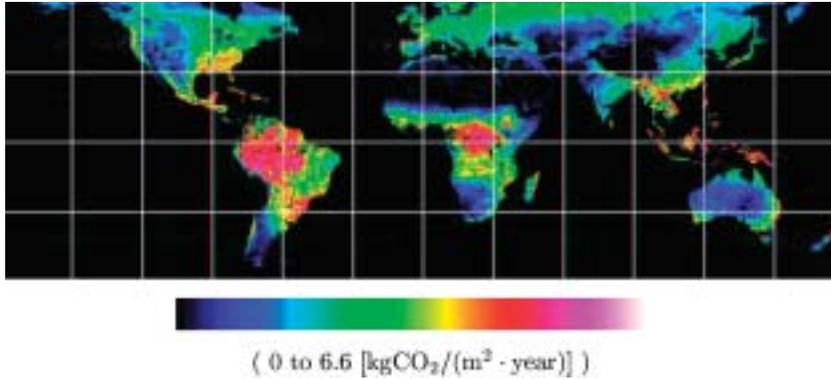


Fig. 1 Global ANPP in 2003 using ADEOS-II/GLI L 2 A_LC data. The upper left is (180° W, 60° N), the lower right is (180° E, 60° S). The ranges of colors from black to white represent the annual NPP are from 0 to 6.6 [kgCO₂/m² · year].

め、月毎に MVIUPD の大きい方の値を使用した。さらに GLI データが提供されていない月 (2003 年 1 月, 2 月, 3 月, 11 月, および 12 月) について線形補完して MVIUPD を算出した。

2003 年全球の月平均日射量データは NCEP/NCAR (National Center for Atmospheric Research) の 2.5° メッシュ再解析データを用いた。全球の月平均 PAR データは月平均日射量より計算した。2003 年の気温データは ECMWF (the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) より 0.5° メッシュ、一日の 0 時, 6 時, 12 時, 及び 18 時, 4 時点の再解析海拔 2 m 気温データを入手した。全球の月平均気温データはこれらのデータより平均した。

本研究は、光合成に対する気温条件は月平均気温が 10℃ 以上とした。ADEOS-II/GLI の多波長反射率データと共に光合成有効放射量 PAR や気温などの気象データを用いて、式 (1) の通り月毎の NPP 値を推定した。毎月の植生純一次生産量 (NPP) を積算し、年間植生純一次生産量 (ANPP) を推定した。推定した全球の ANPP 分布は Fig. 1 に示す。

3 筑後モデルによる全球 NPP の推定

3.1 推定手法

筑後モデル²は植生の水利用効率の考え方を基づいて、純一次生産量と気候条件とを関係づけるモデルである。このモデルで、NPP は純放射量に比例して増加し、その比例係数は気候の乾燥度を示す放射乾燥度につれて急減する。ここで、純放射量 R_n と放射乾燥度 RDI から次の式を用いて、NPP を計算する。

$$NPP = 0.29 [\exp(-0.216 RDI^2)] R_n \quad (7)$$

放射乾燥度 RDI は純放射量 R_n , ある期間の降水量 p と蒸発熱 l (580 cal/gH₂O) から定義される。

$$RDI = \frac{R_n}{l \times p} \quad (8)$$

また、純放射量 R_n は気温 (T_a) から以下の経験式⁵で求める。

$$R_n = 10.18 + 3.13 T_a (T_a \approx 0)$$

$$R_n = 10.18 + 0.80 T_a (T_a \approx 0) \tag{9}$$

3.2 使用データと解析結果

2003 年全球の降水量データは気候予報センターの 2.5° メッシュ高分解能全球降水量分析 (CMORPH: Climate Prediction Center MORPHing method) のデータを用いた。このデータは降水量推定アルゴリズム⁸を用いて、3 時間の静止衛星と極軌道衛星の赤外放射データと、極軌道衛星の受動型マイクロ波センサーのデータの瞬間値から平均したデータで、一日 8 時点の再解析データである。欠測データは 0 と仮定し、年間の全球降水量データはこれらのデータより積算した。Fig. 2 に 2003 年年間降水量データの全球分布を示す。

2003 年 ECMWF のより再解析海拔 2 m 気温データ (節 2.2) を用いて、式 (9) から純放

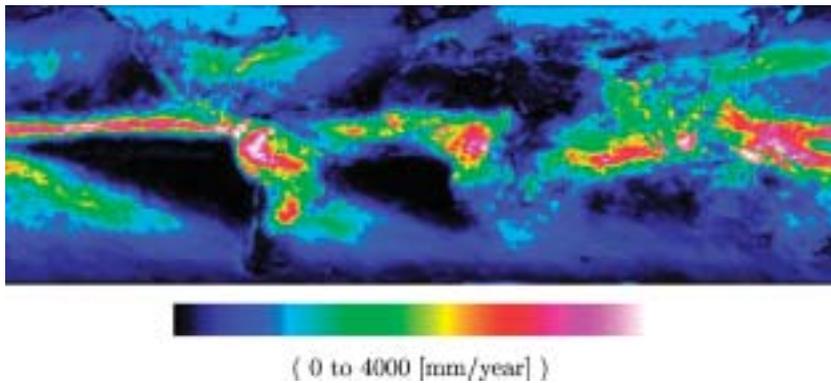


Fig. 2 Global precipitation in 2003 by using CMORPH global precipitation analyses data with high spatial and temporal resolution. The upper left is (180° W, 60° N), the lower right is (180° E, 60° S). The ranges of colors from black to white represent the annual precipitation are from 0 to 4000 [mm/year].

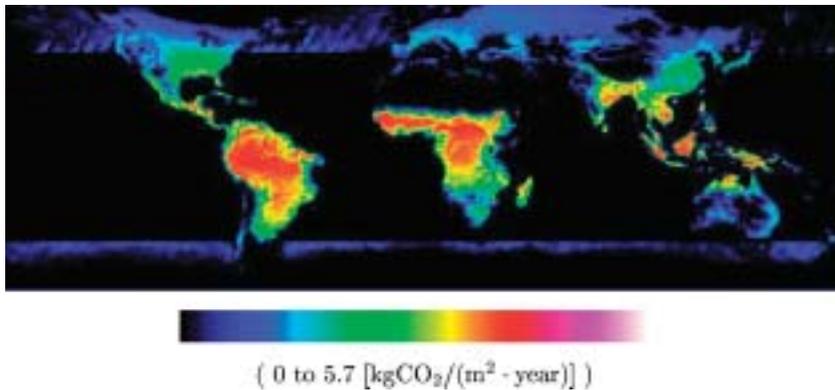


Fig. 3 Global ANPP in 2003 using Chikugo model. The upper left is (180° W, 60° N), the lower right is (180° E, 60° S). The ranges of colors from black to white represent the annual NPP are from 0 to 5.9 [kgCO₂/m²·year].

射量 R_n を求めた。また、年間降水量のデータと合わせて、式 (7) の通り 2003 年全球年間植生純一次生産量を推定した。その結果を Fig. 3 に示す。

4 比較結果と考察

GLI データ¹、MODIS データ⁴と AVHRR データ³及び筑後モデルから推定した全球 ANPP の比較を行う。ここで、MODIS データから推定した全球 ANPP⁴は 2001 年～2003 年の平均値で、AVHRR データから推定した全球 ANPP³は 1989 年の値である。ANPP の分布特徴がある 9 つの地域についての結果を Fig. 4 に示した。その 9 つ地域に関する詳細は表 1 に示す。

Fig. 4 により、全球 ANPP の分布パターンについて、四つのモデルから推定した全球 ANPP はほぼ同じ傾向を示した。四つのモデルとも赤道付近の熱帯地域では ANPP 値が高くて、砂漠、シベリア地域では ANPP 値が低いことが見られる。ただ、GLI データから推定した結果

Tab. 1 Details of the selected regions

No.	緯度	経度	地域
(1)	20° N-30° N	0° E-10° E	北アフリカ
(2)	10° S-30° S	125° E-135° E	オーストラリア
(3)	50° N-60° N	40° E-50° E	シベリア
(4)	35° N-40° N	140° E-141° E	日本関東
(5)	35° N-40° N	89° W-92° W	北アメリカ南部
(6)	15° N-20° N	100° E-105° E	東南アジア
(7)	5° N-5° S	26° E-29° E	アフリカ中部
(8)	5° N-10° S	65° W-70° W	南アメリカ北部
(9)	5° N-5° S	111° E-113° E	熱帯森林

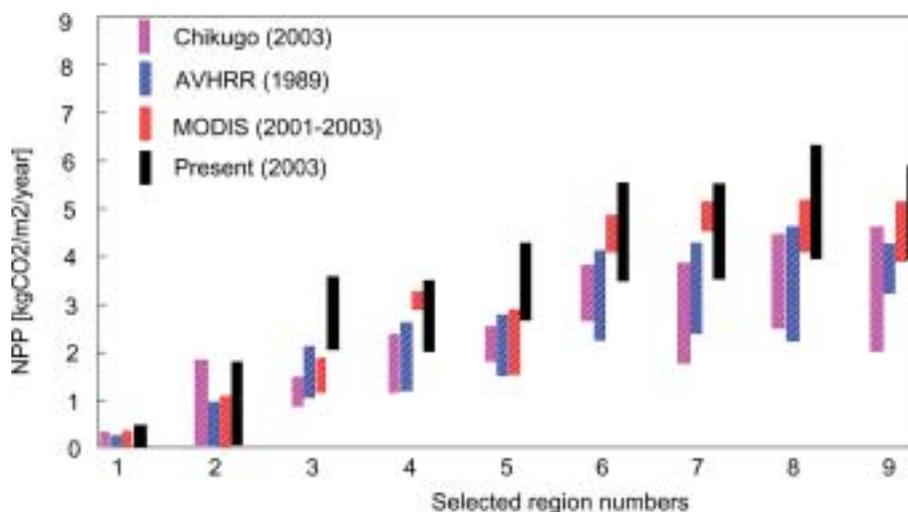


Fig. 4 Global ANPP distribution estimated by climatic model (the *Chikugo* model), Awaya (2004) using NOAA/AVHRR data, Zhao (2005) using Terra/MODIS data, and Yuu (2005) using GLI data.

は全体的に他の結果より高めになる。特に、この差異が高緯度地域（地域3と5）で大きくて、低緯度地域（地域7,8と9）で小さいと見られる。これは、異なる気象データを用いたことが一つ原因として考えられる。なお、各モデルで生産力に影響を与えるストレスがそれぞれ特徴があることも原因として考えられる。例えば、AVHRR データから全球 ANPP を推定する際に、気温関数で生産力をコントロールした。その温度関数で特に高緯度地域で生産力が抑えられた。今後、その差異の原因をもっと詳しく調べていきたい。

5 まとめと今後の課題

本研究は ADEOS-II/GLI 全球モザイクデータより推定した 2003 年年間 NPP 値と比較するために、同じ年の気候データを用い、気候モデル（筑後モデル）を利用して全球 NPP を推定した。その上、二つ NPP 値を他の衛星データ（NOAA/AVHRR と Terra/MODIS）の他研究で得られた年間 NPP の推定結果と比較した。四つのモデルから求めた全球 ANPP の分布パターンは同様だったが、GLI データから推定した結果は全体的に他の推定結果より高いことが見られる。

また、今回比較した年間 NPP データは違う時期のデータがある。MODIS と AVHRR データから推定した全球年間 NPP 値はそれぞれ 2001 年～2003 年の平均値でと 1989 年のデータである。今後、同じ年の衛星データから他研究のアルゴリズムで全球年間 NPP を推定して、比較していきたい。

謝辞

本研究は文部科学省フロンティア推進事業（平成 11 年度～平成 20 年度）により行われた。また、農林水産省森林総合研究所栗屋善雄先生の御指導を頂きまして、心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1 Y. Xiong, "A Study on Algorithm for Estimation of Global Terrestrial Net Primary Production using Satellite Sensor Data," Doctor Thesis (2005)
- 2 Z. Uchijima and H. Seino "Agroclimatic Evaluation of Net Primary Productivity of Natural Vegetations (1) Chikugo Model for Evaluating Net Primary Productivity," J. Agr. Met, vol 40(4), pp. 343-352, 1985.
- 3 Y. Awaya, E. Kodani, K. Tanaka, J. Liu, D. Zhuang, and Y. Meng, "Estimation of the Global Net Primary Productivity Using NOAA Images and Meteorological Data: Changes between 1988 and 1993," Int. J. Remote sensing, vol 25(9), pp. 1597-1613, 2004.
- 4 M. Zhao, F. A. Heinsh, R. R. Nemani, S. W. Running, "Improvement of the MODIS Terrestrial Gross and Net Primary Production Global Data Set" R. S. Environmet, pp. 164-176, 2005.
- 5 H. Seino and Z. Uchijima, "Global Distribution of Net Primary Production of Terrestrial Vegetation," J. Agr. Met, vol 48(1), pp. 39-48, 1992.
- 6 J. H. Chang, "The agricultural potential of the humid tropics," The Geographical Review, vol 58(3), pp. 333-361, 1968.
- 7 Download from <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/janowiak/cmorph-description.html>

- 8 J. J. Robert, E. J. John, A. A. Phillip, P. P. Xie, "CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution," *Journal of Hydrometeorology*, vol 5, pp. 487-503, 2004.