

日本における現状の森林植生と潜在自然植生の NPP の比較

星加康智・羽島知洋・清水 庸・大政謙次

(東京大学大学院農学生命科学研究科)

A Comparison of Estimated Net Primary Productivity between under the Current Forest Vegetation and under the Potential Natural Vegetation in Japan

Yasutomo HOSHIKA, Tomohiro HAJIMA, Yo SHIMIZU, and Kenji OMASA

(Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo)
1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8657 JAPAN

Abstract

The global warming caused by greenhouse gases such as carbon dioxide is one of the major environmental issues. Because forest vegetation absorbs carbon dioxide from the atmosphere through the process of photosynthesis, the assessment of carbon uptakes by forest vegetation is important for controlling the global warming. The net primary productivity (NPP) is one of indices for the assessment. The estimation of NPP under future climate conditions will change when the assumption of vegetation distributions are different. Therefore, in this study, we examined how the estimated NPP of forest vegetation in Japan is affected by the difference in vegetation distribution, using a modified model of BIOME3 (Ishigami *et al.*, 2002).

The process-based model, BIOME3 (Haxeltine and Prentice, 1996) enabled us to simulate NPP and the potential natural vegetation, i.e., the vegetation distribution that is in equilibrium with a given climate condition. By this model, the estimated total annual NPP of the current forest vegetation, 0.15 Pg C y^{-1} was about 11% lower than NPP of potential natural vegetation. This difference is caused by the difference in vegetation distribution. It follows that the effect of the difference in vegetation distribution on NPP needs to be considered for the future projection. To verify the model validity, we also compared the calculated NPP with the Chikugo model and the observation.

Key Words: BIOME3, Climate change, Net primary productivity (NPP), Process-based model

キーワード: 気候変化, 純一次生産力(NPP), プロセスモデル, BIOME3

1. はじめに

温室効果ガスの濃度上昇が招く地球温暖化の問題は、世界各国が対処せねばならない環境問題の1つである。IPCC(気候変動に関する政府間パネル)における第3次報告書では、地球の平均地上気温は19世紀後期から現在にいたるまで、 0.6°C 上昇しており、また、最近50年間において観測された温暖化のほとんどは人間活動に起因するものであると報告している(IPCC, 2001)。こうした情勢の中、2005年2月に、温暖化防止の取り組みとして京都議定書が発効され、日本は2008年から2012年の2006年2月15日 受付, 2006年9月16日 受理

5年間の温室効果ガス排出量平均を1990年比6%削減することが、義務づけられた。この設定された削減目標に対し、吸収源として森林生態系の役割が注目されている。植生は、光合成を通じて地球上の炭素循環に多大な影響を与えており、温室効果ガスの削減目標の達成において、森林による吸収量として最大で3.9%分含むことが認められた。これにより、森林の炭素吸収量の定量的評価が求められるようになり、森林における炭素固定量、すなわち呼吸によって消費された有機物を差し引き、植物体として蓄えられた有機物のある期間当たりの量を示す純一次生産力(Net Primary Productivity; NPP)の推定が重要となってきた。しかし、現状ではその確固たる手法は、い

まだ確立されていない。現在、森林の炭素固定能の定量的評価法として、様々な方法が考えられており、実際の森林内にて毎木調査とリタートラップの測定から推定を行ったもの (Koizumi, 2001) や、フラックスタワーによる観測 (Fujinuma *et al.*, 2003), リモートセンシングデータによる吸収源評価のためのパラメータの計測 (Yamagata *et al.*, 2002) がなされている一方で、近年、従来の経験的モデル (Uchijima and Seino, 1985) と並び、生理生態学的知見に基づいたプロセスベースのモデルによる推定が有力な推定手法となってきた (Ito, 2003)。

Haxeltine and Prentice (1996) はグローバルスケールでの潜在自然植生分布を推定するために BIOME3 を開発し、潜在自然植生分布とその時の純一次生産力を推定した。Ishigami *et al.* (2002) は BIOME3 を使用して、各植生タイプが分布可能と判断される気候条件の閾値の変更とともに、緯度経度 0.5×0.5 度 (日本付近で約 50×50 km) と低空間解像度での推定を、緯度 30 秒、経度 45 秒 (約 1×1 km, 3 次メッシュ) に変更した。そして、日本における 3 次メッシュスケールの潜在自然植生分布と純一次生産力の推定をおこない、潜在自然植生分布を高い精度で推定できた。BIOME3 はある気候条件における植生分布の平衡状態として、潜在自然植生分布を推定する。よって、潜在自然植生分布に基づく NPP 推定は、将来の温暖化に向けて、現状の森林植生分布から最大限変化した状況に基づいた NPP の推定を可能とすると考えられる。しかし、将来、植生分布がそれほどには変化しない可能性も指摘されており (IPCC, 2001), 植生分布をどのように仮定するかにより、NPP 推定値に予測の幅が生じると考えられる。したがって、潜在自然植生分布に基づく推定値と現状の森林植生分布に基づく推定値を比較することで、まず、現状の気候条件下で分布可能な植生分布の範囲における NPP 推定値の予測の幅を考えることとした。

本研究では、Ishigami *et al.* (2002) が、BIOME3 を日本において NPP と潜在自然植生分布を推定できるよう改良したモデルを用いて、現気候条件下において、潜在自然植生分布に基づく NPP 推定値と現状の森林植生分布に基づく推定値との比較から、植生分布の違いが NPP の推定値に及ぼす影響を評価することを目的とする。

2. データと方法

2.1 BIOME3 モデル

BIOME3 モデルは、潜在的な植生の分布を気候、土壌と関連して予測する生物地理モデル (Biogeography model) と、与えられた植生分布のもとで生態系内の物質循環などを計算する生物地球化学モデル

(Biogeochemistry model) の融合を目的として作られたモデルである (Haxeltine and Prentice, 1996)。

BIOME3 では、NPP 推定のプロセスにおいて、草本・木本の種別や葉のフェノロジー (常緑・落葉), 光合成経路 (C3・C4) などの植物の生理生態学的プロセスに影響を与える特性を考慮して、植物機能タイプ (木本 7 種・草本 2 種) をあらかじめ作成し、そのタイプごとに最低気温への耐性など、少数の生理生態学的な制約条件を決めておく。それらの制約条件 (最寒月気温や年間における最低気温) 下において、気象データより、第一にその場所に最低限分布可能と判断される植物機能タイプが選ばれる。次に、選出された植物機能タイプをもとに、土壌のテクスチャータイプ (Fine・Medium・Coarse) による保水性と根の深さに応じた土壌からの吸水を考慮した水分制約条件のもとで、葉面積指数 (Leaf Area Index, LAI) を変化させる。ここで、水循環と光合成を結合させたモデルにて、水分制約条件を群落コンダクタンスを通して、計算する。そして、LAI を増加させていくことで、光合成量が大きくなることと水を失うことのバランス点を考えることで、NPP を最大化する最適化問題として解く。その結果、最大 NPP をもつ植物機能タイプが、そのエリアに優占的に分布する植物機能タイプとなり、その NPP とともに出力される。

2.2 方法

BIOME3 は気候条件をもとに、潜在自然植生と潜在自然植生分布に基づく NPP の推定を行っている。本研究では、現状の森林植生における NPP 推定を行うため、植生データに基づいた植物機能タイプのデータを作成し、これを入力データとした。次に、この入力された植物機能タイプのデータにもとづいて NPP の推定を行うこととした。本研究のシミュレーションの概略を Fig. 1 に示す。入力データとした植物機能タイプのデータの作成に関しては、後述の 3 次メッシュ単位の植生データを基にした。植生データの各メッシュには、植物群落タイプ、類似の植物群落タイプをまとめた集約群落タイプ、植生帯などの区分による植生タイプと階層的に決められた区分が割り当てられている。そこで、メッシュごとに、集約群落タイプをもとにフェノロジー・葉の形を考慮して、最適と考えられる植物機能タイプの割り当てを行った。農地や草本植生、市街地が分布する地域は、対象から外した。また、針広混交林等、植物機能タイプの判別が難しいものに関しては、植物群落タイプを参照し、それら説明をもとに植物機能タイプの割り当てを行った。植物機能タイプの入力データと、後述する気候データ (気温・降水量・日射量) が揃った 367,238 メッシュを使用し、現在の森林植生分布から判断される植物機能タイプに基

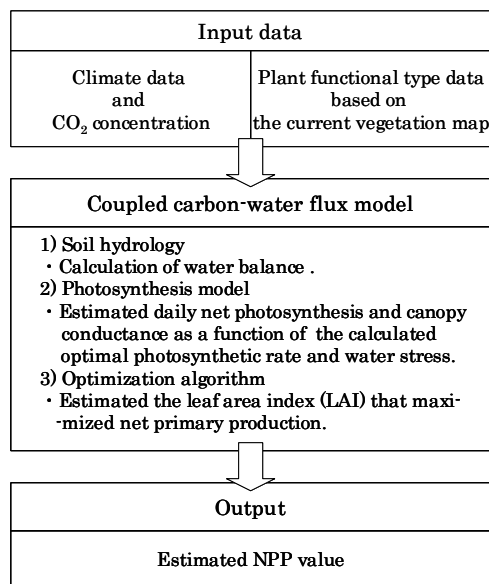


Fig. 1. The outline in our simulation.

づいた、現気候条件下での森林植生の NPP の推定を行った。

2.3 植物機能タイプ

本研究において使用した森林植生の植物機能タイプの各パラメータを Table 1 に示す。

パラメータ P はフェノロジーである。常緑林 (Evergreen), 夏緑林 (Summergreen), 雨緑林 (Raingreen) の 3 つに分類され (Prentice *et al.*, 1992), 夏緑林は冬季に、雨緑林は乾季に葉を落とす。常緑林は 1 年を通して、葉をつけているため、葉面積は変化しないものとしている。この落葉による葉面積の変化によって、光合成有効放射吸収率に影響を与える。夏緑林は気温が 5℃ を越えると、葉が生長をはじめ、温量指数 (5℃ 起算の月単位気温の年間積算値) が 200 となるまで生長し、これに加えて、落葉に関しては、葉の生長がピークに達した後、日平均気温が 5℃ を下回ると葉が落ちるものとして考えている。雨緑林については、土壤水分のかかわりを考慮にいれている。土壤水分量は、まず、Prentice *et al.* (1992) に基づいて設定された、土壤のテクスチャータイプごとの保水容量のパラメータに基づき AWC (Available soil water capacity) の計算を行い、さらに、バケツモデルによる水収支計算によって、推定を行っている。この水収支計算により、雨緑林は、葉がついている状態では、根の部分の土壤水分量が AWC の 20% を下回ると落葉し、落葉した状況において AWC の 30% を越えると開葉する。土壤水分の推定に際しては、日本の森林が分布するエリアでは、傾斜地が多いため、土壤水の水平移動を考慮した

Table 1. PFT parameters used in the BIOME3.

P: Phenology (E=Evergreen, R=Raingreen, S=Summergreen)

Φ_c : The rate of reduction of the photosynthetic rate by leaf longevity

g_{min} : Minimum canopy conductance

PFT	P	Φ_c	g_{min} (mm s ⁻¹)
Tropical evergreen	E	1	0.5
Tropical raingreen	R	1	0.5
Temperate broadleaved evergreen	E	1	0.5
Temperate summergreen	S	1	0.5
Temperate evergreen conifer	E	0.8	0.3
Boreal evergreen	E	0.8	0.3
Boreal deciduous	S	1	0.5

推定が必要となってくるが、本モデルでは、各メッシュ単位での推定にとどまっている。

パラメータ Φ_c は葉齢に伴う光合成速度の減少率である。このパラメータは、常緑針葉樹の葉齢が高くなるに従って光合成速度が低下する観察に基づいている (Chabot and Hicks, 1982; Reich *et al.*, 1992)。BIOME3 は、Farquhar 光合成モデルを、Collatz *et al.* (1991) が簡略化したモデルを用いているが、針葉樹の葉齢による光合成速度の低下は、光による律速部分に、このパラメータを係数として乗ずることで反映される。

パラメータ g_{min} は、葉の表面からの蒸発といった光合成に直接関係しない水分損失として表現される最小群落コンダクタンスである。これは、Körner (1994) によってまとめられた観察に基づいて決定されている。BIOME3 では、群落コンダクタンスと光合成速度をリンクさせ、水ストレスの考慮を行っている。植生が十分に茂って土壤水分が十分な時の蒸発散量である可能蒸発散量と、土壤の水収支計算より算出された水供給関数との比較により、水ストレス状況を判断する。可能蒸発散量を、水供給が満たしている場合には、水ストレスによる制限がないとする。しかし、可能蒸発散量を、水供給が下回る場合には、水ストレスによって制限を受ける日平均群落コンダクタンスから、最小群落コンダクタンスを引くことで、光合成に関わる群落コンダクタンスの値とし、光合成速度への水ストレスの影響を反映している。

2.4 使用したデータ

現状の森林植生に基づく NPP の推定を行うため、植生データとして、1993~1998 年に実施された第 5 回植生調査をもとに、環境省生物多様性センターが作成した 3 次メッシュ単位 (約 1 km × 1 km) の植生データを用いた。

モデルは、気温・降水量・日射量の 3 種の気候デー

タを必要とする。現状の気候データとして、1971年～2000年の30年間の観測値の平均値である平年値をもとに気象庁がメッシュデータ化したメッシュ気候値2000を使用した。また、土壌データとしては、適切なデータセットが存在しなかったために、BIOME3に設定されているテクスチャータイプのmediumを適用した。なお、残りのテクスチャータイプであるfineおよびcoarseを適用した場合、森林が分布する地域のNPPの総計でmediumを適用した場合と比較すると、それぞれ0.2%、1.6%の差となった。

3. 結果および考察

3.1 現植生データに基づくNPP推定値

Fig. 2 (A)に現状の森林植生分布に基づくNPP推定結果の分布図を示す。気温が低く、標高の高い山岳地域や北海道では低いNPP値となり、温暖な南に行くに従い、高いNPP値をとっていることがわかる。本研究において推定した日本の森林植生におけるNPPの推定結果は森林が分布する地域の総計で0.15 Pg C y⁻¹となった。Fig. 2 (B)に、BIOME3が気候条件から最適と推定した潜在的な植物機能タイプ分布に基づくNPP推定値を示す。現状の森林植生分布に基づくNPP推定値と、BIOME3が気候条件から最適と推定した潜在的な植物機能タイプ分布に基づくNPP推定値の比較のため、両者とも植生データにおいて森林植生の分布するエリアのみを使用した。潜在的な植物機能タイプ分布に基づくNPP推定結果は総計で0.17 Pg C y⁻¹となり (Fig. 2 (B))、現状の森林植生分布に基づく推定結果の方が約11%小さくなった。Fig. 3に植生データに応じた植物機能タイプの分布と、BIOME3が気候条件に基づき、最適と推定した潜在的な植物機能タイプの分布を示す。両者を比較すると、九州、瀬戸内海沿岸、紀伊半島、北海道の沿岸部において大きく異なっていることが分かる。植生データに応じた植物機能タイプは九州、瀬戸内海沿岸、紀伊半島では温帯常緑針葉樹林が、北海道沿岸部では温帯夏緑樹林が分布している。これに対し、BIOME3の推定する潜在的な植物機能タイプでは九州、瀬戸内海沿岸、紀伊半島にかけては温帯常緑広葉樹林が分布しており、北海道沿岸部では、温帯常緑針葉樹林が分布している。これらの地域では、

Fig. 2で両者を比較すると、NPP推定値に差が生じていることが分かる。よって、こうした植物機能タイプの分布の違いがNPP推定値の結果の差となって現れたと考えられる。

次に、実測値との比較検証のため、Cannell (1982)のデータを使用した。このデータは、1960年代から1980年代にかけての森林のバイオマスと一次生産に関する約600の文献から、国ごと、植生タイプごとにNPP実測データをまとめたものである。このうち、本研究の対象である日本のデータのみを対象として、植物機能タイプごとにまとめた。NPP実測データが1956～81年に観測されたものであるため、モデルの入力データとして、1961～90年の観測値から作成された旧メッシュ気候値を使用し、推定されたNPPと、実測データを比較した。比較において、植物機能タイプごとに実測データをまとめると、温帯常緑広葉樹林・温帯夏緑樹林・温帯常緑針葉樹林の3つとなり、本研究のモデルによるNPP推定値と実測値を、植物機能タイプごとに、最大値・最小値を比較したものがTable 2である。比較した3つの植物機能タイプいずれも実測値の最小・最大値の範囲内となった。マツなどの人工林が代表的である温帯常緑針葉樹林に関しては、最大値は実測値の方が大きく、温帯常緑針葉樹林に関して、モデル内では過小に評価している可能性が考えられる。

3.2 他の手法による推定値との比較

既往のモデルの推定結果との比較として、まず、統計モデルであるChikugoモデル (Uchijima and Seino, 1985)を用いたNPPの3次メッシュにおける推定結果 (Seino, 1992)と比較を行った。Chikugoモデルは純放射量と放射乾燥度を変数としてNPP (乾物重)を推定する経験的モデルであり、IBP (International Biological Programme: 国際生物学事業計画) 研究で得られた世界各地の森林のNPPに関する資料や気候データ (日射量、降水量)に基づいて作成されている。Chikugoモデルとの比較に関しては、Chikugoモデルが1980年当時の気候条件下でのNPP推定を行っていることから、実測値の比較と同じく、旧メッシュ気候値を入力データとして用いたNPP推定値と比較することとした。本研究で推定した各メッシュについて、Chikugoモデルの推定結果との比をとることとした。また、比較の際に、旧メッシュ気

Table 2. Comparison of NPP database with NPP estimated by this research

PFT	NPP data base		NPP estimated by this reserch	
	Minimum (gC m ² y ⁻¹)	Maximum (gC m ² y ⁻¹)	Minimum (gC m ² y ⁻¹)	Maximum (gC m ² y ⁻¹)
Temperate broadleaved evergreen	485	1177	638	1014
Temperate summergreen	194	974	200	986
Temperate evergreen conifer	138	1159	310	742

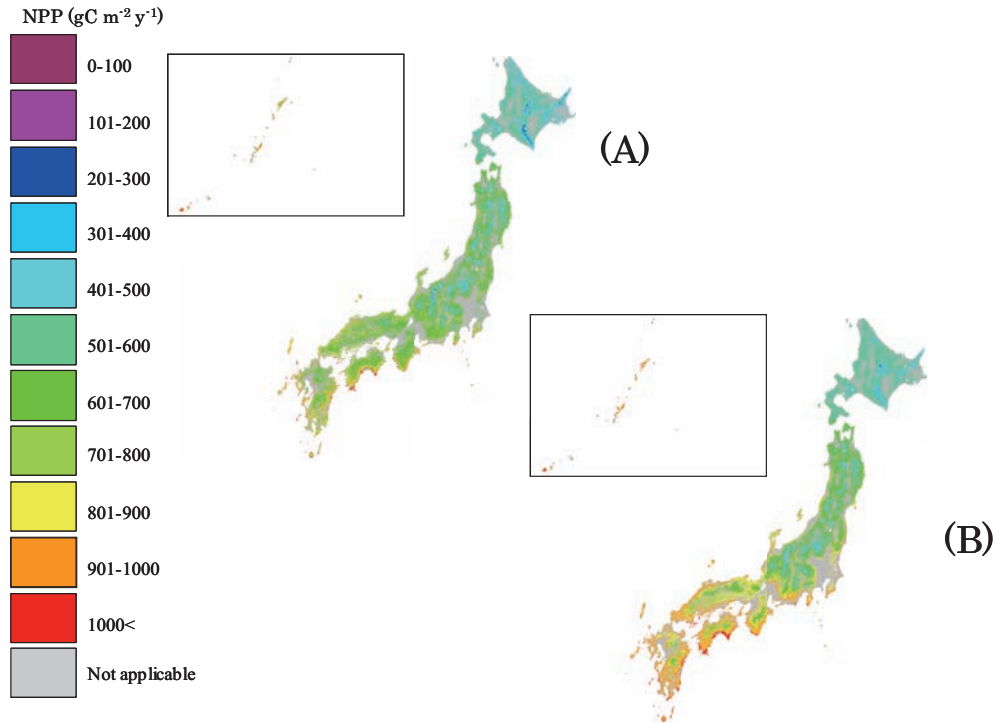


Fig. 2. Estimated NPP in Japan based on current vegetation data (A) and the potential natural vegetation simulated by BIOME3 (B).

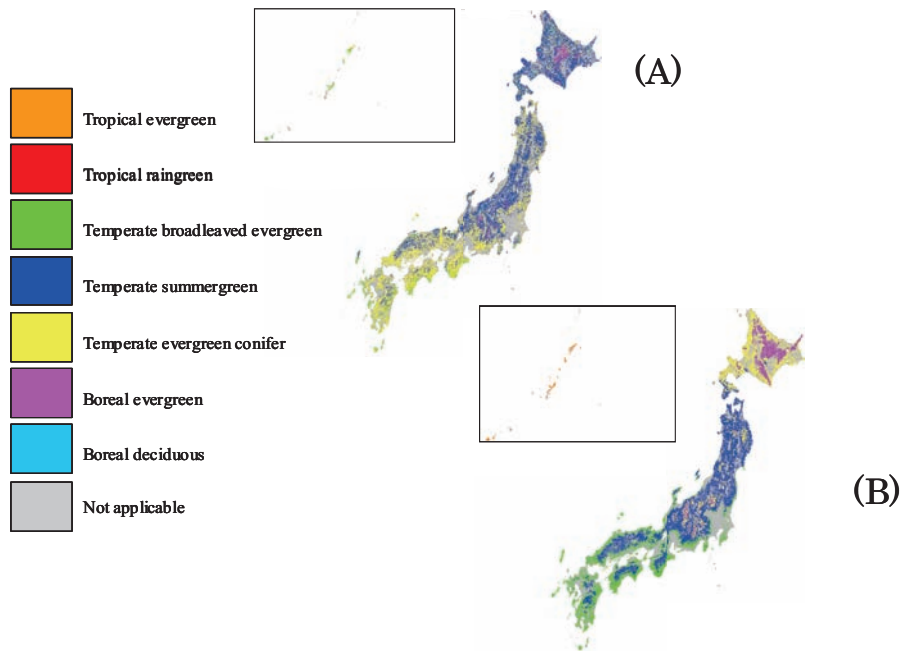


Fig. 3. Distribution of PFT based on current vegetation data (A) and the potential natural vegetation estimated by BIOME3 (B).

候値において南西諸島のデータが欠落していたため、南西諸島は対象外とした。Fig. 4 にその空間分布図を示す。各メッシュにおける比を平均すると、本研究の推定結果は Chikugo モデルの推定結果の 1.04 倍となった。日本海側が本研究の推定結果の方が大きく、また、瀬戸内海沿岸や北海道の日高山脈・大雪山付近などが本研究の推定結果の方が小さくなるなど、ばらつきが生じている。ここで、Fig. 3 (A) に示す植物機能タイプの分布と Fig. 4 との比較から、植物機能タイプごとの傾向があるのではないかと考えた。植物機能タイプの分布は、日本海側海岸部には温帯夏緑樹林となっており、瀬戸内海沿岸から紀伊半島北部にいたる地域には温帯常緑針葉樹林となっている。九州や四国・紀伊半島の南岸に温帯常緑広葉樹林が分布している。また、北海道日高山脈では寒帯落葉樹林、大雪山付近では、寒帯常緑樹林が分布している。以上より、植物機能タイプごとに本研究の推定結果と Chikugo モデルの推定結果との比をまとめると、傾向としては、温帯常緑広葉樹林・温帯夏緑樹林では本研究の推定結果の方が大きく推定しており、また、温帯常緑針葉樹林・寒帯落葉樹林では本研究の結果の方が小さく推定する結果となった。Seino (1992) は Chikugo モデルにて推定する際に、森林・畑地・水田・樹園地の 4 つの土地利用ごとに、生産効率を乗ずる計算を行っている。森林であるメッシュにて NPP 推定を行っている本研究との比較において、局所的にはメッシュごとの土地利用状況の設定の違いの

可能性もあるため、一概にこの傾向が正しいとはできない。しかし、同じ気候条件である場合においても、森林を植物機能タイプの違いを考慮することによって NPP 推定値が変化するという BIOME3 の特徴があらわれた結果と考えられる。

Alexandrov *et al.* (1999) は、NPP を推定した上で、純生態系生産力を林齢を考慮に入れたモデルにて推定した。その際、日本国内の森林の NPP 推定値は森林が分布する地域の総計で 0.14 Pg C y^{-1} となり、本研究の推定値と近い値となった。さらに、Ito (2003) において、東アジアの NPP を陸域生態系の炭素動態を推定するプロセスモデル Sim-CYCLE にて推定 (5' メッシュ単位) している中で、日本の NPP 推定値についても記述があり、 0.24 Pg C y^{-1} と推定されている。これは、本研究の推定値より 60% ほど異なるが、この違いは、Ito (2003) の推定が、森林植生だけでなく、耕作地植生や、草本植生も対象として、推定していることも影響していると考えられる。

4. まとめ

現在の植生調査データを用いて、詳細な植生タイプの区分である集約群落タイプから植物機能タイプの入力データを作成することで、現在の日本の森林植生分布で、3 次メッシュ単位による現気候条件下での NPP 推定結果を得て、潜在自然植生分布に基づく NPP 推定値との比較を行った。現在の日本の森林植生の NPP 推定結果は、

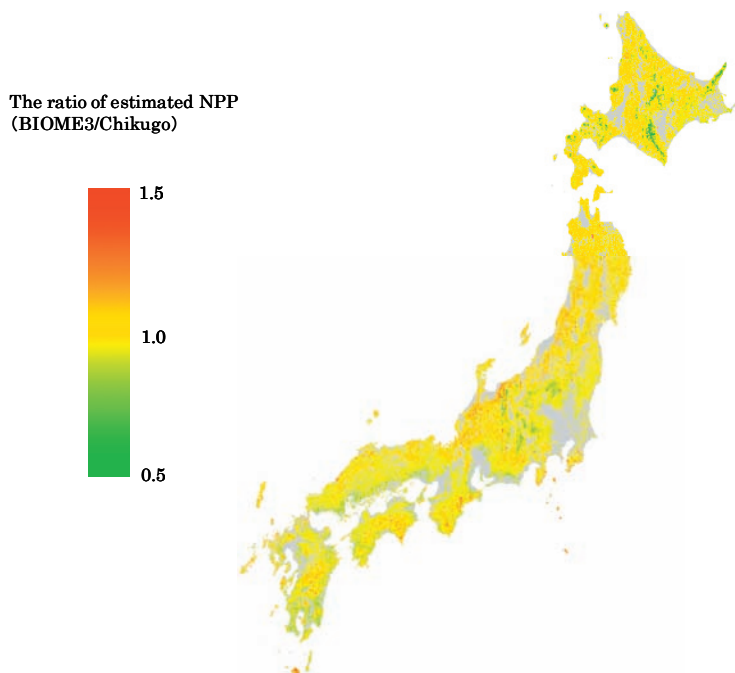


Fig. 4. Comparison of NPP estimated by modified BIOME3 with Chikugo model.

総計で 0.15 Pg C y^{-1} と推定された。BIOME3 を基に、Ishigami *et al.* (2002) が改良したモデルを用いることによって、潜在自然植生分布に基づくNPP推定値との比較を行い、現植生に基づく推定値の方が、約11%小さく推定される結果となった。この結果から、温暖化時の予測に向け、植生分布の違いがNPPの推定値に及ぼす影響の考慮は必要となってくるといえる。

References

- Alexandrov, G. A., Yamagata, Y., and Oikawa, T., 1999: Towards a model for projecting Net Ecosystem Production of the world forests. *Ecol. Modell.*, **123**, 183–191.
- Cannell, M. G. R., 1982: *World Forest Biomass and Primary Production Data*. Academic Press, London, New York, Paris, San Diego, San Francisco, Sao Paulo, Sydney, Tokyo and Toronto, 391pp.
- Chabot, B. F., and Hicks, D. J., 1982: The ecology of leaf life spans. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, **13**, 229–259.
- Collatz, G. J., Ball, J. T., Grivet, C., and Berry, J. A., 1991: Physiological and environmental regulation of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration: A model that includes a laminar boundary layer. *Agric. For. Meteorol.*, **54**, 107–136.
- Fujinuma, Y., Saigusa, N., and Hirano, T., 2003: GHGs monitoring, and measurement of forest flux. *THE IDEN*, **17**, 48–57 (藤沼康実・三枝信子・平野高司, 2003: 温室効果ガスのモニタリングと森林フラックスの測定. 生物の科学「遺伝」別冊, **17**, 48–57).
- Haxeltine, A., and Prentice, I. C., 1996: BIOME3: An equilibrium terrestrial biosphere model based on ecophysiological constraints, resource availability, and competition among plant functional types. *Global Biogeochem. Cycles.*, **4**, 693–709.
- Ishigami, Y., Shimizu, Y., and Omasa, K., 2002: Estimation of Potential Natural Vegetation Distribution in Japan Using a Process Model. *J. Agric. Meteorol.*, **58**, 123–133 (石神靖弘・清水庸・大政謙次, 2002: プロセスモデルを使用した日本における潜在的な自然植生分布の推定. 農業気象, **58**, 123–133).
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001 The scientific Basis: Contribution of Working Group I to the third assessment report of the intergovernmental Panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, 881pp.
- Ito, A., 2003: High-Resolution Mapping of the Net Primary Productivity of Terrestrial Ecosystems in East Asia Using a Process-Based Model. *J. Agric. Meteorol.*, **59**, 23–34 (伊藤昭彦, 2003: 東アジア陸域生態系の純一次生産力に関するプロセスモデルを用いた高分解能マッピング. 農業気象, **59**, 23–34).
- Koizumi, H., 2001: Carbon cycle in the cool-temperate broad-leaved deciduous forest. –as an example of Takayama test area– *Environ. Cons. Engin.*, **30**, 442–445. (小泉博, 2001: 冷温帯落葉広葉樹林における炭素循環—高山試験地を例にして—. 環境技術, **30**, 442–445)
- Körner, C., 1994: Leaf diffusive conductances in the major vegetation types of the globe, in Ecophysiology of photosynthesis. *Ecol. Stud.*, **100**, 463–490.
- Prentice, I. C., Cramer, W., Harrison, S., Leemans, R., Monserud, R. A., and Solomon, A. M., 1992: A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *Global Biochem. Cycles.*, **7**, 785–809.
- Reich, P. B., Walters, M. B., and Ellsworth, D. S., 1992: Leaf life-span in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. *Ecol. Monogr.*, **62**, 365–392.
- Uchijima, Z., and Seino, H., 1985: Agroclimatic evaluation of net primary productivity of natural vegetation (I) Chikugo Model for Evaluating Net Primary Productivity. *J. Agric. Meteorol.*, **40**, 343–352.
- Seino, H., 1992: Grid Mesh Maps of Biomass Resources in Natural Vegetation. *J. Agric. Sci.*, **47**, 29–33 (清野 裕, 1992: 自然植生の生物資源利用可能量メッシュ分布図. 農業技術, **47**, 29–33).
- Yamagata, Y., Oguma, H., Sekine, H., and Tsuchida, S., 2002: The Role of Remote Sensing for Monitoring the Carbon Sink Activities. *J. Remote Sens. Soc.*, **22**, 494–509. (山形与志樹・小熊宏之・関根秀真・土田 聡, 2002: 吸収源を用いた地球温暖化対策とりモートセンシングの役割. 日本リモートセンシング学会誌, **22**, 494–509).