

一次生産量のグローバルマッピング

下田 陽久

(東海大学 情報技術センター)

摘 要

世界で初めての、全球一次生産量マップを衛星データを用いて作成した。陸域では主として中国大陸において、また海域では太平洋北西部と赤道海域において、検証用の地上実験を行った。両者とも地上実験結果と、衛星から得られた推定結果の相関は0.7程度であり、ある程度の信頼性は得られ、第一次近似としては十分な精度が得られたと考えられる。しかし、一次生産量の推定には問題点も多々あり、今後より一層の精度向上の努力が必要である。

キーワード：衛星データ、純一次生産量、全球、マッピング

1. はじめに

最近100年間にわたって、大気中の温室効果ガスが急速に増加しているのはよく知られた事実であるが、温室効果ガスの発生源、吸収源の地理的分布は必ずしも明らかではない。特に、地球温暖化に大きな影響を持つ二酸化炭素(CO₂)の吸収源については不明な点が多い。現在もこの点を明らかにすべく、陸域、海域で多くの研究が行われている。しかしながら、これらの研究は局所的なものであり、特に森林の研究に関しては1カ所で10年を要するなど、全世界の森林調査には何年かかるか解らないというのが現状である。

そこで、1998年から2002年にかけて行われた、文部科学省総合研究「炭素循環に関するグローバルマッピングとその高度化に関する国際共同研究」の中で、地球観測衛星データを用いてグローバルな炭素循環のマップの作成が試みられた。本論文は、その概要をまとめたものである。

2. 一次生産量

CO₂の吸収源を特定するには、炭素フラックスの推定が必要になる。しかし、本研究では、一次生産量マップの作成までを行った。その理由は以下の通りである。陸上の植物、および海中の植物プランクトンは光合成により大気中のCO₂を固定する。この量は、総一次生産量(GPP; Gross Primary Production)と呼ばれる。一方、これら植物は呼吸によりCO₂を大気中に放出する。この呼吸量(R; Respiration)をGPPから差し引いたものが、純一次生産量(NPP; Net Primary Production)となる。これに対して、正味の炭素フラックスの

計算は、陸域と海域で大きく異なる。陸域では、土壤呼吸により、一般には更にCO₂が大気中に放出される。正味の炭素フラックスはこの分を考慮に入れる必要がある。しかし、衛星データからこれら土壤呼吸を見積もるのは極めて困難である。

一方、海域では植物プランクトンがCO₂を固定した後、死骸として海底に沈む、あるいは他の動物(動物プランクトンや魚類など)によって食され、糞として海底に沈むなどのプロセス(生物ポンプ)により、最終的な固定が行われる。この量も衛星から見積もるのは極めて困難である。更に海域の場合、このような生物過程によるCO₂吸収の他に、物理過程による吸収・放出が発生する。この分を見積もるためには、海中と、海面直上のCO₂分圧の差を知る必要があるが、この量に関しても衛星から推定するのは極めて困難である。

以上のような理由から、第一次の研究として、炭素フラックスではなく、純一次生産量の見積もりを行うこととした。もとより、本研究で得られた全球純一次生産量マップは、精度の点で完全なものではない。後に述べるように、陸域、海域とも多くの仮定の上に推定されたものである他、地球全域を対象とした精密な検証は行われていない。しかし、本研究で得られた純一次生産量マップを詳細に検討することにより、さらに高精度な純一次生産量マップの作成が可能になると考えられる。

3. 純一次生産量推定の概要

3.1 推定方法

一般に純一次生産量は、吸収光量と光合成効率の積で与えられる。吸収光量は、全光量と吸収率の積で与えられ、光合成効率は気温、水、栄

養塩濃度等によって影響を受ける。純一次生産量を推定する場合、まず全光量を衛星データから求め、光合成効率を対象に応じて決定していくことになる。全光量(光合成有効放射)、すなわちPAR (Photosynthetically Active Radiation)は、可視域の全光量であり、衛星データから得られる雲量と、大気圏外太陽照度から得られる。PARは本来、1日の積算量であるため、静止気象衛星から得られたデータが最も信頼性が高い。その他のパラメータに関しては、それぞれのアルゴリズムによって異なる。

3.2 陸域での推定

陸域に関しては、3種類の推定法を比較することとした。一つは、吸収率、すなわちfAPAR (fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation)を衛星データから推定するとともに、光利用効率を固定する手法。一つは、光利用効率を実験値、文献値等から求め、対象植生毎に変化させる手法。および比較として、プロセスモデルを使用する手法である。プロセスモデルは基本的に土地被覆と気象データを入力として用いる。衛星データ利用手法の2種類を比較した結果、前者、すなわちfAPARを衛星データから推定する手法の方が比較的現実と整合性があったため、全球マップの作成にはこちらの結果を用いた。なお、この手法の詳細については、栗屋等の報告^{1),2)}を参照のこと。後者の方法は、農地で一般的に過大な結果が得られた。この原因として、日本における実験結果を用いたため、発展途上国等における施肥の少ない地域で過大評価につながったと考えられる。

3.3 海域での推定

海域では、一つの手法のみを用いた。この分野では、Behrenfeld and Falkowski³⁾の有名な論文

があるが、これは光利用効率を実測値からの回帰で求めた、海面水温の7次式で与えるという比較的 unnaturalな手法である。これに対して、本研究では、深度方向の光減衰を考慮し、これを衛星データから得られるクロロフィルa濃度の関数として与えた。この結果、実測値との回帰に際して、PARと海面水温の3次式で光利用効率を与えることにより、比較的良好な結果を得た。なお、この手法の詳細については、浅沼ら⁴⁾の報告を参照のこと。

4. 結果

4.1 全世界一次生産量マップ

図1にこれらの手法によって得られた、1998年の全球一次生産分布の年間変動を示す。1998年は、20世紀最大のエルニーニョの発生した年であり、平常年とは若干異なることに注意する必要がある。陸域では、赤道域の熱帯雨林およびサバンナと、北緯50~60度付近の寒帯林で大きな値を示している。海域でも太平洋赤道域の湧昇帯で比較的大きな値を示している他、大陸沿岸、特にアフリカ西海岸、東シナ海、南アフリカ西岸等で大きな値を示している。また、地域的な季節変化も大きいことがわかる。

4.2 検証

1章でも述べたように、これらのデータの地上検証は容易ではない。今回の研究では、陸域では主として中国大陸において、また海域では太平洋北西部と赤道海域において、検証用の地上実験を行った。詳細は、各報告^{1),2),4)}に記載されているが、両者とも地上実験結果と衛星から得られた推定結果の相関は0.7程度であり、ある程度の信頼性は得られたと考えられる。

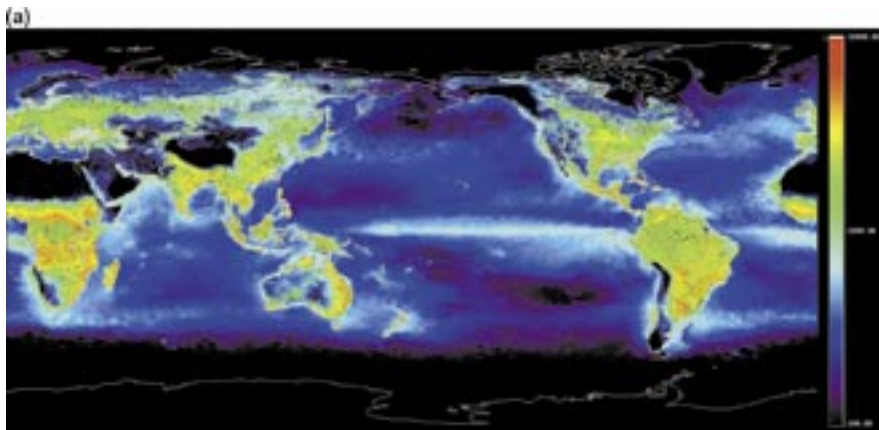
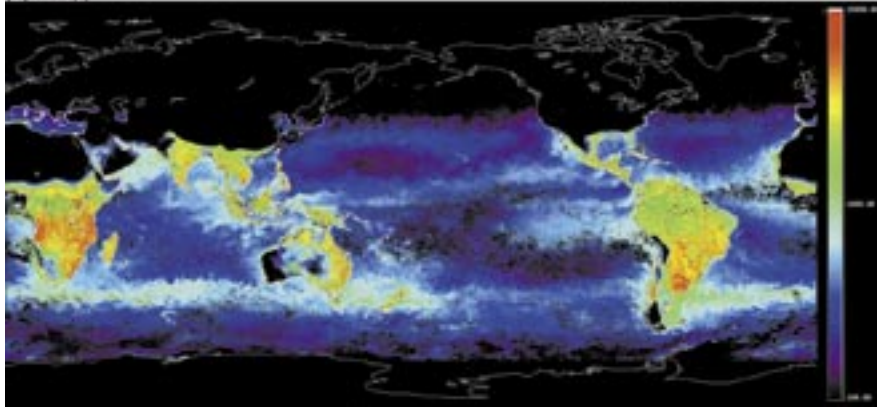
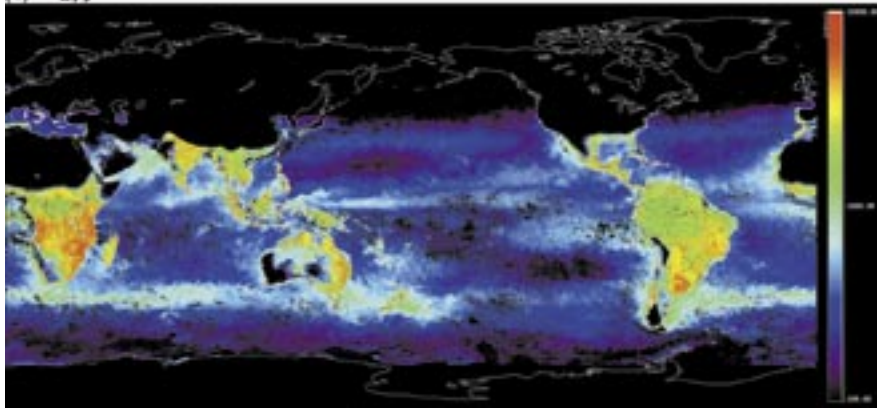


図1 全球一次生産分布図。
a: 年間の一次生産量, b~m: 1月から12月までの月間の一次生産量を示す。図の単位は $\text{mg Cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ である。

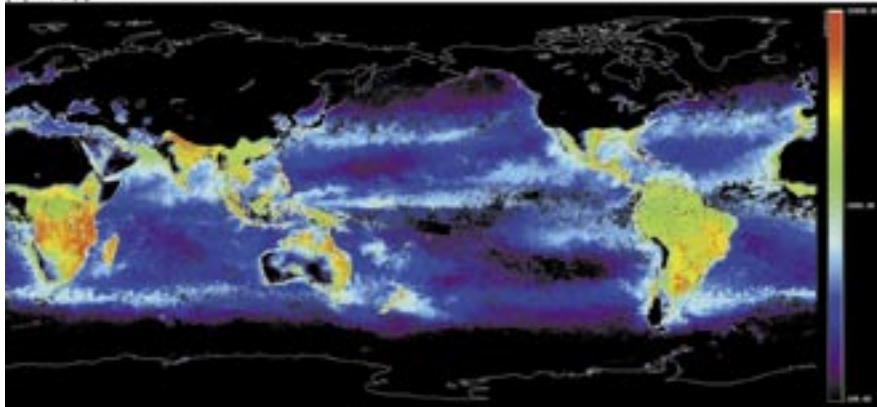
(b) 1月



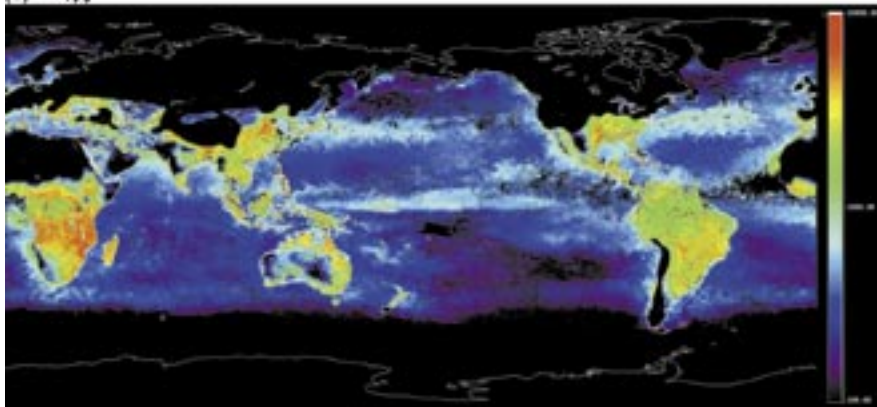
(c) 2月



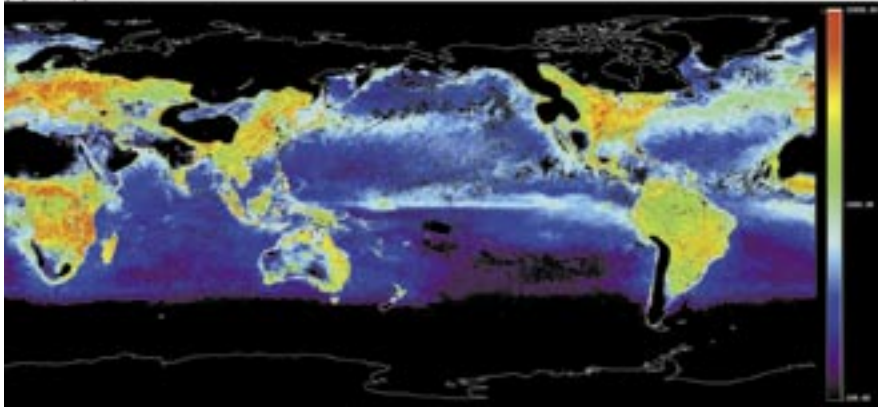
(d) 3月



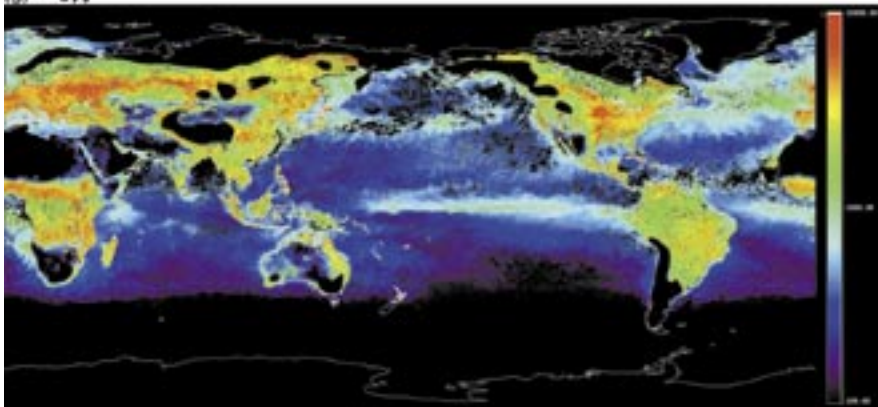
(e) 4月



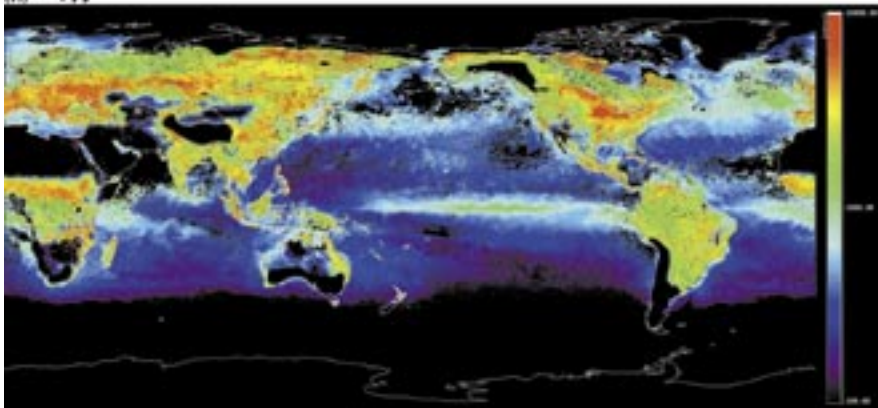
(f) 5月



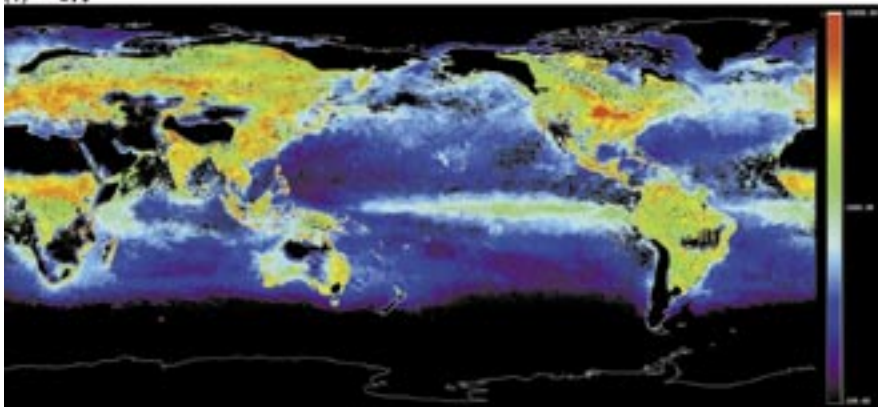
(g) 6月



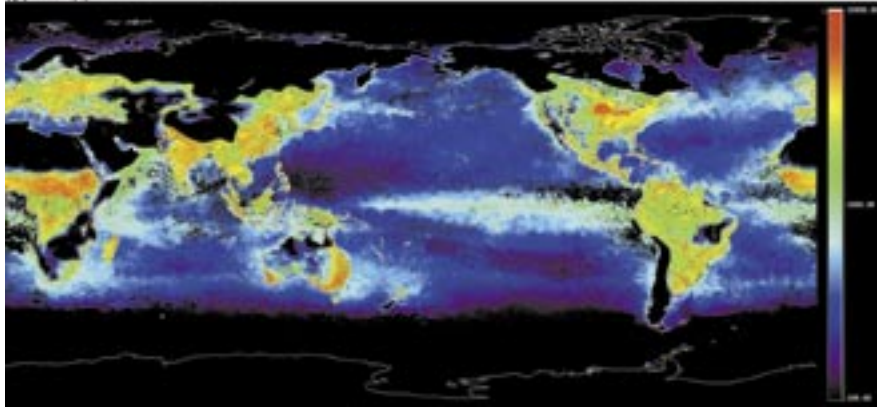
(h) 7月



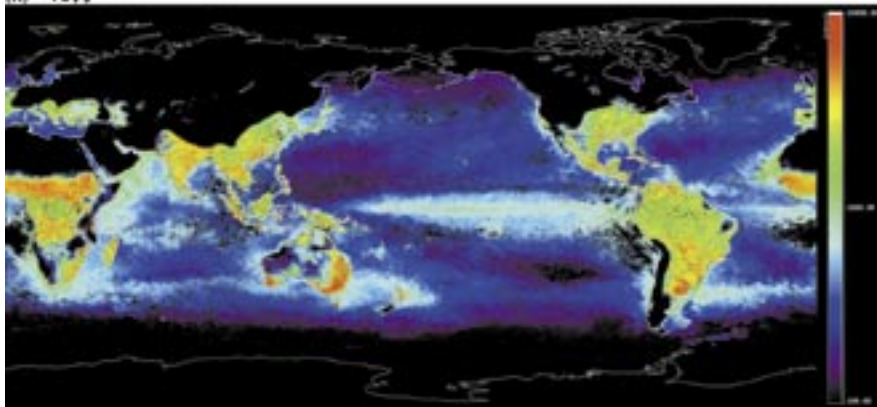
(i) 8月



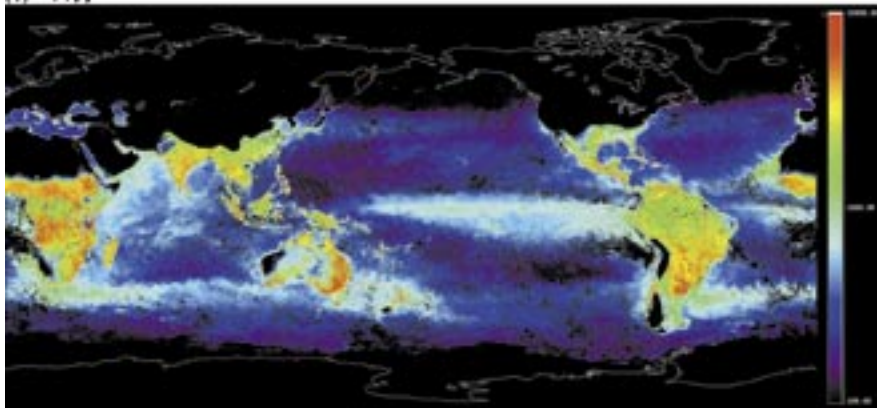
(j) 9月



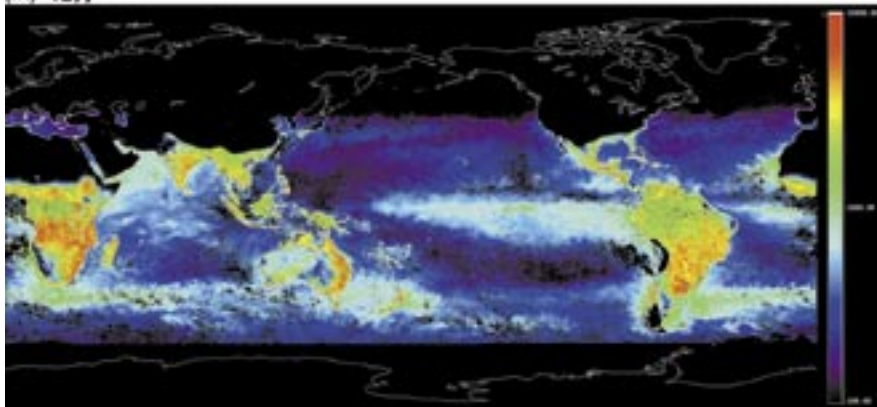
(k) 10月



(l) 11月



(m) 12月



5. 結論

世界で初めての、全球一次生産量マップを衛星データを用いて作成した。数少ないとはいえ、検証データとの比較により、第一次近似としては十分な精度が得られたと考えられる。しかし、問題点も多々あり、今後より一層の精度向上の努力が必要である。

参考文献

- 1) Awaya, Y., E. Kodani, K. Tanaka, J. Liu, D. Zhuang and Y. Meng (2004) Estimation of the global net primary productivity using NOAA images and meteorological data: Changes between 1988 and 1993. *Int. J. Remote Sensing*, 25-9, 1597-1613.
- 2) 栗屋善雄・小谷英司・庄大方 (2004) 衛星データを利用した全球一次生産の推定：陸域生態系の純一次生産量の分布. *地球環境*, 9(2), 231-238.
- 3) Behrenfeld, M.J. and P.G. Falkowski (1997) Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 1-20.
- 4) 浅沼市男・松本和彦・河野 健 (2004) 衛星データを利用した全球一次生産の推定：海洋の一次生産量モデルと分布. *地球環境*, 9(2), 239-244.

(受付2004年4月1日、受理2004年6月13日)