

「地球変動のメカニズム」

平成 11 年度採択研究代表者

才野 敏郎

(名古屋大学地球水循環研究センター 教授)

「衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム」

1. 研究実施の概要

地球規模の気候変化、環境変化において海洋における熱・エネルギー循環と物質循環が大きな役割を果たすと考えられている。その実態を解明するためには、今までの船舶観測に加えて、人工衛星観測と定点観測を組み合わせた時系列の観測が必要であることは、海洋における過去 10 年間の種々の国際協同観測計画の結果ますます強調されるようになってきた。特に、海洋の物質循環に関しては物質の鉛直輸送を担う生物ポンプの活動の地理的分布とその系時的变化を明らかにすることが中心的な課題となっているが、そのためには人工衛星海色リモートセンシングによる植物プランクトンの量と基礎生産の測定が唯一の現実的な観測手法として大きな期待が寄せられている。

本研究では、海洋現場に設置した自動昇降式ブイに搭載した光学的なセンサー類によって海洋の基礎生産を自動的に計測し、実時間的にデータ転送を行うことによって、人工衛星水色データから推定した基礎生産を実時間で検証するための計測システムの開発と、各種光学的データから基礎生産を推定するためのアルゴリズムの開発の双方を目的としている。

平成 13 年度においては、各グループの独自の研究活動に加えて東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター、東京水産大学青鷹丸、東京大学海洋研究所淡青丸を利用して共同観測研究を実施した。本年度は特に、昨年までに単位クロロフィル量、1 時間あたりの総基礎生産力 (GPP) を見積もることができることを確認した、高速フラッシュ励起蛍光光度計 (FRRF) による測定から、衛星データの検証のために必要な、単位海表面積の水柱を鉛直に積分した一日あたりの純基礎生産力 (NPP) を求めるための手順を確立することを目標に、海水中のクロロフィル濃度の鉛直分布の推定法、ブイ係留点における日射量の連続的な推定法、総基礎生産と純基礎生産の比較、等の検討を行った。また、FRRF 法による推定においては、植物プランクトンの生理学的状態の変動を考慮する必要があるために、さまざまな海域において計測を実施し、光合成パラメータの変動の幅とその要因についての検討も実施した。また、昨年度末に納入されたブイシステムの試作 1 号機の水槽試験、実海域試験を日油技研工業(株)と協同で実施した。また、ブイシステム係留系の水中での挙動を解析するための試験係留も実施した。

基礎生産推定手法の開発における本年度の主な成果としては、気象衛星データを利用したブ

イ係留点における光合成有効放射の連続測定法を開発したこと、ニューラルネットワークの手法を用いて計測ブイに取り付けた水中分光放射計のデータからクロロフィル濃度の鉛直分布を求める手法を開発したこと、それらのデータと FRRF のデータを組み合わせることによって、一日・深度積算の総基礎生産力を求める手順を確立したこと、これによって得られたデータを相模湾における周年の酸素法、 ^{13}C 法による総基礎生産、純基礎生産、群集呼吸の測定データと比較したこと、などを挙げるができる。

ブイシステムの開発においては、計測ブイと昇降装置の連結部にラッチシステムを採用し、開発をすすめた結果、年度末の水槽試験では 1000 回の昇降動作に成功した。実海域試験と平行して実施した、水中超音波通信、携帯電話によるデータ通信の試験結果を参考に実機 1 号機の仕様を策定した。

2. 研究実施内容

- ・ 高速フラッシュ励起蛍光(FRRF)法による日・深度積算総基礎生産の推定
観測は、相模湾中央部(35° 00'N, 139° 20'E)において、表 1 の日程で実施した。

表1. 平成13年度における相模湾観測

日 付	観 測 船
平成13年9月6日～9日	東京大学「淡青丸」
平成13年10月4～5日	東京水産大学「青鷹丸」
平成13年11月15～16日	東京水産大学「青鷹丸」
平成13年12月16～17日	東京水産大学「青鷹丸」
平成14年1月17～18日	東京水産大学「青鷹丸」

FRRF による観測は計 26 回行い、単位クロロフィル量・一時間あたりの総基礎生産力(炭素同化数)を算出した。9 月 8 日の結果を図 1 に示す。これらの結果から、一日あたりの総基礎生産力を推定するために、まず観測時における日射量(光合成有効放射。観測船の甲板で連続測定)と FRRF で求めた基礎生産力(炭素同化数)の関係を検討した。

昨年度の報告書で採用した双曲線正接関数を用いた式(Platt and Jassby, 1976)を用いた場合、9 月に行った数日以内の観測データだけを使った場合は、比較的良い相関が得られたが、上記の 9 月から 1 月の全てのデータを扱った場合、データのばらつきが非常に大きいことが明らかとなった。種々の関数を検討した結果、次の(1)式がもっとも良い推定を与えることがわかった(図 2)。

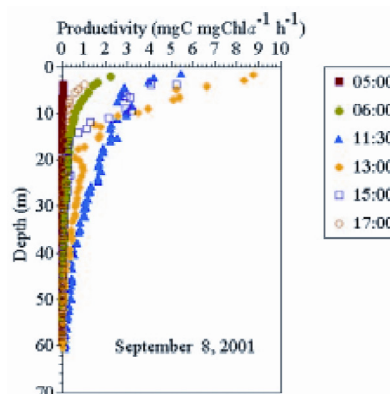


図 1 相模湾中央部の FRRF で求めた炭素同化数の一例

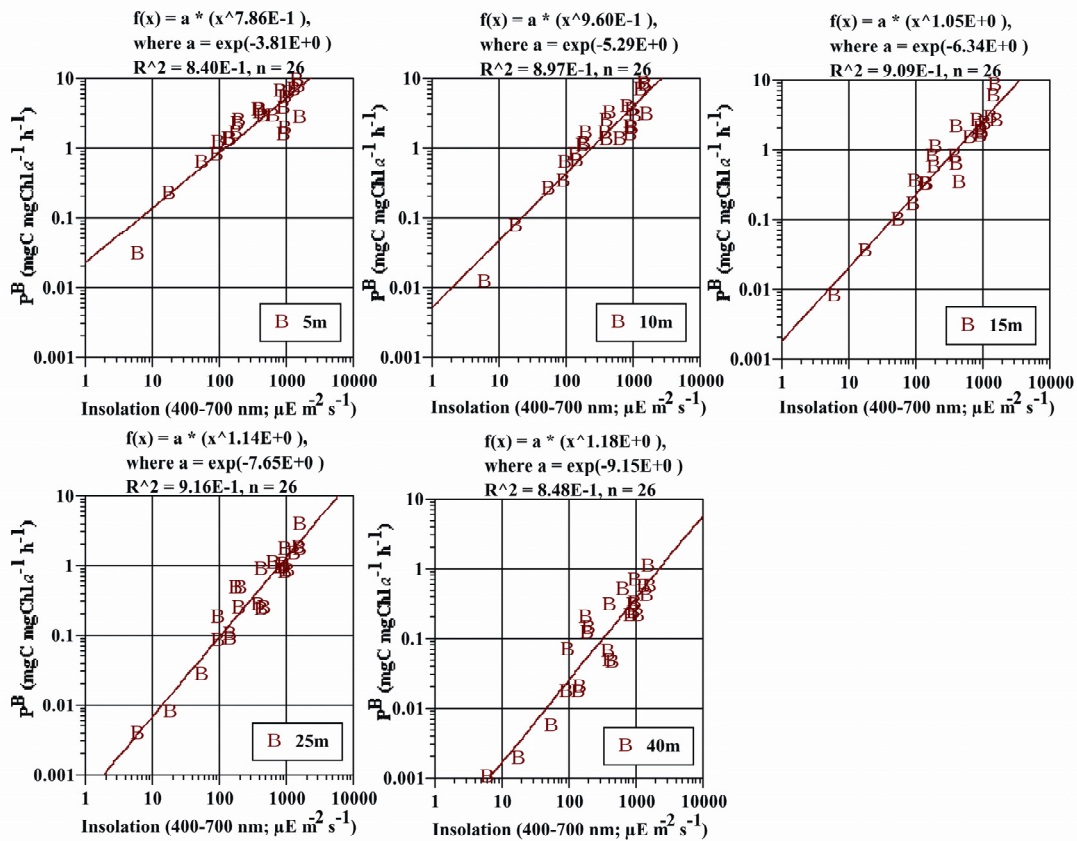


図2 光合成有効放射とFRRF で求めた炭素同化数との関係。

$$P^*_C = \exp(a) * (x^b) \quad (1)$$

ここで、 P^*_C は FRRF で求めた炭素同化数 ($\text{mgC mgChl a}^{-1} \text{h}^{-1}$)、 x は日射量 (400-700 nm、 $\mu\text{Em}^{-2} \text{s}^{-1}$)、 a と b は回帰係数。

なお、FRRF のデータは 1m 毎に得られるので、各深度で (1) 式を使った関係式 (アルゴリズム) を作成することができるが、ここでは、5m、10m、25m、40m 層について、アルゴリズムを作成した (相模湾の有光層は約 40m 深以浅)。この結果、日射量と FRRF で求めた炭素同化数との間に非常に良い相関があることから、この海域の光合成有効放射の連続記録と、クロロフィルの鉛直分布を別途求めることにより、日・深度積算の総基礎生産力を推定できることがわかった。

次に、航海時に測定した ^{13}C 法で求めた基礎生産力 (炭素同化数) と比較するために、 ^{13}C 法実験の試料培養時間における日射量データ (観測船の甲板で測定) と図 2 の関係式を用いて、各時刻での炭素同化数を求めた (図 3)。そして、時間積分することにより、一日当たりの炭素同化数を見積もった。また、 ^{13}C 法の炭素同化数は、元素分析計-質量分析計を使って測定した基礎生産力をターナー蛍光光度計で測定したクロロフィル a 濃度で除算することにより求めた。FRRF と ^{13}C 法で測定した炭素同化数の鉛直分布の比較を図 4 と図 5 に示す。また、これらの相関関係を評価するために、最小自乗法を用いて、直線回帰を行った (図 6)。その結果、両者の間に良い相関が見られ ($R^2 = 0.811$)、統計的に FRRF の方が ^{13}C 法に比べて 1.08 倍高い値を示した。

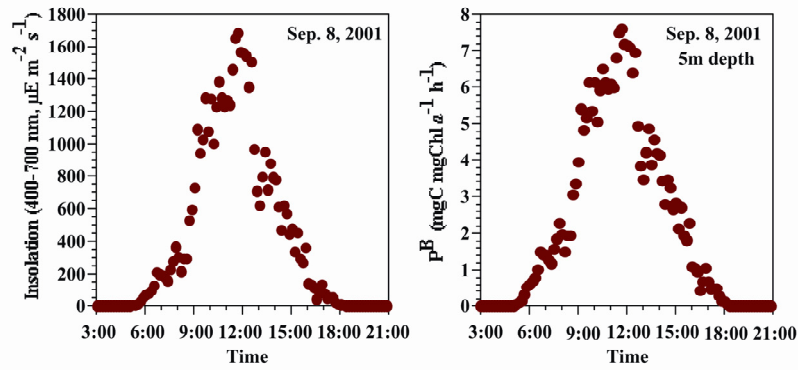


図3 光合成有効放射(左図)から見積もった FRRF の基礎生産力(右図)の一例。

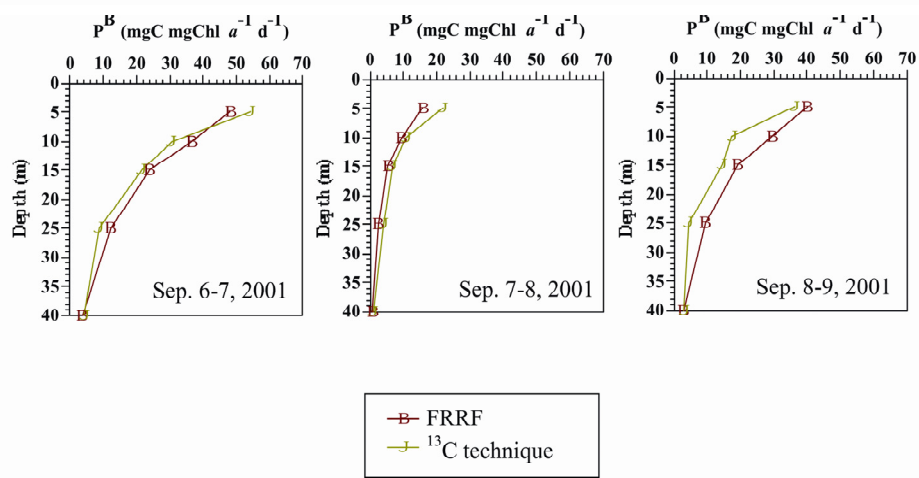


図4 2001年9月の淡青丸航海(KT-01-13)におけるFRRFと¹³C法(現場法)による基礎生産力(炭素同化数)の鉛直分布。

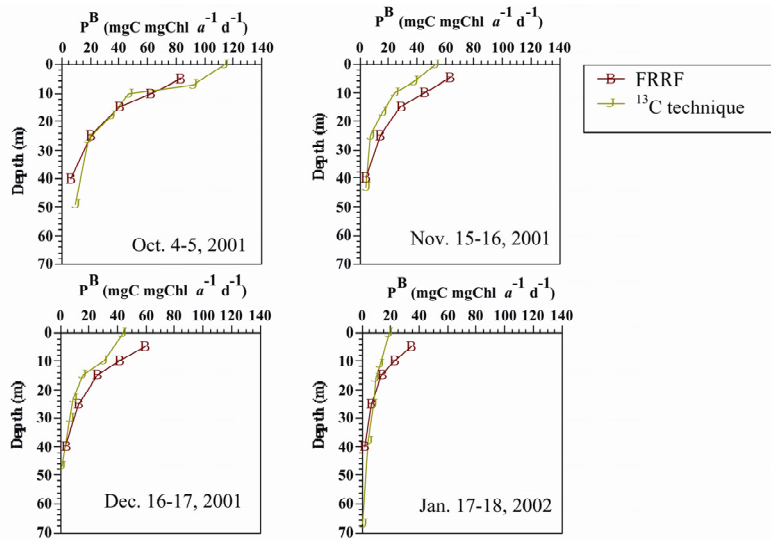


図5 2001年10月から2002年1月の青鷹丸航海におけるFRRFと¹³C法(疑似現場法)による基礎生産力(炭素同化数)の鉛直分布。

現在、一般的に用いられている基礎生産力を測定する方法は、 ^{13}C または ^{14}C を用いて有機炭素の取り込み速度を測定する方法と酸素生産速度を測定する方法である。24 時間の培養を行うことによって前者は純基礎生産を、後者は総基礎生産を見積もることができると考えられている。

現在の衛星アルゴリズムは ^{14}C 法によって測定されたデータに基づいているので、FRRF の推定値はこれと比較する必要がある。図7に相模湾における ^{13}C の取り込み速度から見積もられた純基礎生産と酸素法から見積もられた総基礎生産の関係を示す。 ^{13}C 法による純基礎生産と酸素法による総基礎生産との間には有意な正の相関性が認められ、その傾き(純基礎生産/総基礎生産)は 0.54 であった。このことは総基礎生産の約 1/2 は植物プランクトン自身の呼吸として消費されたり、溶存有機炭素として細胞外に排出されたりしていることを意味している。FRRF 法では総基礎生産力を測定していると思われるので、FRRF 法の定量性に関してはさらに検討を進める必要があるが、この結果は、FRRF による測定データが衛星リモートセンシングの検証データとして使用できる可能性を示すものである。

3. 研究実施体制

高速フラッシュ励起蛍光法による基礎生産測定グループ

- ① 研究分担グループ長
才野敏郎(名古屋大学地球水循環研究センター教授)
- ② 研究項目
高速フラッシュ励起蛍光法による基礎生産測定法

現場培養法による基礎生産測定及び自動昇降ブイの開発グループ

- ① 研究分担グループ長
石丸隆(東京水産大学水産学部教授)

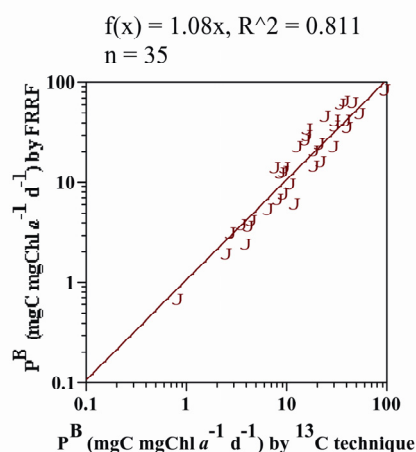


図6 FRRFと ^{13}C 法で測定した炭素同化数の比較。FRRF と ^{13}C データの深度が一致しない場合、図5よりFRRF データを直線で内挿して値を求めた。

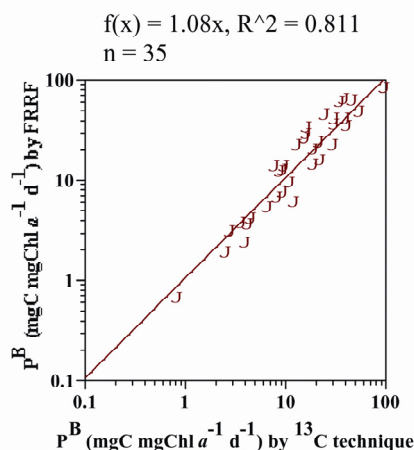


図7. 相模湾における酸素法で得た総基礎生産力と ^{13}C 取り込み速度(純基礎生産力)との関係。

② 研究項目

現場培養法による基礎生産測定法及び自動昇降ブイ開発

自然蛍光による基礎生産測定グループ

① 研究分担グループ長

古谷研(東京大学大学院農学生命科学研究科, 教授)

② 研究項目

自然蛍光法による基礎生産測定法

光吸収による基礎生産測定グループ

① 研究分担グループ長

石坂丞二(長崎大学水産学部, 教授)

② 研究項目

光吸収法による基礎生産測定法

4. 研究成果の発表

論文発表

本研究と関連の深い論文

- Goes, J.I., H. R. Gomes, A. Limsakul, W. Balch and T. Saino (2001)

El-Nino related interannual variations in biological production in the north Pacific Ocean as evidenced by satellite and ship data.

Progress in Oceanography, 49, 211-225.

- Hashimoto, S. and Shiomoto, A. (2001)

Chlorophyll a and primary productivity in the Bering Sea basin in summer and winter.

Bulletin of the Research Center for North Eurasia and North Pacific Regions, Hokkaido University, 1, 19-24.

- Hashimoto, S. and Shiomoto, A. (2002)

Light utilization efficiency of size-fractionated phytoplankton in the subarctic Pacific, spring and summer 1999: high efficiency of large-sized diatom.

Journal of Plankton Research, 24, 83-87.

- Hayashi, M., Ken Furuya and H. Hattori (2001)

Spatial heterogeneity in distributions of chlorophyll a derivatives in the subarctic North Pacific during summer.

Journal of Oceanography, 57, 323-331.

- Horimoto, N., Y. Yamaguchi and T. Ishimaru (2001)

The distribution of picophytoplankton across Kuroshio Current off the Western Pacific Coast of Japan. *La Mer*. 39.

- Liu, H., K. Suzuki, and T. Saino (2002)

Phytoplankton growth and microzooplankton grazing in the subarctic North Pacific Ocean and Bering Strait during summer 1999. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, Volume 49, Issue 2, February 2002, Pages 363-375*

- Obayashi, Y., E. Tanoue, K. Suzuki, N. Handa, Y. Nojiri and C. S. Wong (2001)
Spatial and temporal variabilities of phytoplankton community structure in the northern North Pacific as determined by phytoplankton pigments. *Deep-Sea Res. I*, 48, 439-469.
- Shiomoto, A. and Hashimoto, S (2001)
Size-fractionated chlorophyll a and primary productivity in the offshore Oyashio water in July 1992. *Lamer*, 39, 9-18.
- Suzuki, K., A. Tsuda, H. Kiyosawa, S. Takeda, J. Nishioka, T. Saino, M. Takahashi, and C. S. Wong (2002) Grazing impact of microzooplankton on a diatom bloom in a mesocosm as estimated by pigment-specific dilution technique. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 271, 99-120.
- 石坂丞二(2001)
沿岸域での海色リモートセンシングの現状と将来,
沿岸海洋研究, 39, 21-26.(8月)
- 石坂丞二, 田島清史, 岸野元彰(2002)
海色データから推定した大村湾のクロロフィルa濃度の検証,
海の研究, 11, 235-240.(3月)
- 岸野元彰, 古谷研, 田口哲, 平譚亨, 鈴木光次, 田中昭彦(2001)
海水の光吸収係数の測定(総説)
海の研究. 10, 537-560.
- 岸野元彰(2002):
連載講義海洋リモートセンシング第1回リモートセンシングによる海洋観測、
日本リモートセンシング学会誌、22、79-88.
- 鈴木光次, 吉川尚, 古谷研, 才野敏郎(2002)
クロロフィル蛍光による植物プランクトンの光合成活性の測定.
Bull. Plankton. Soc. Japan, 49, 27-36.
- 田中昭彦、岸野元彰、大石友彦、久保田正(2001)
黄海を例としたケース2海域におけるリモートセンシングの多成分抽出、
東海大学紀要海洋学部、52、1-8.
- 平譚亨, 鈴木光次, 岸野元彰, 古谷研, 田口哲, 斎藤誠一, 才野敏郎, 松本和彦, 播本孝史, 佐々木宏明, 藤木徹一, 古原慎一, 柏敏行(2001)
QFT 法及び現場型水中分光吸光度計による植物プランクトンの光吸収スペクトル測定プロトコル, *海の研究 10, 471-484.*