

D-3 衛星可視域データのグローバルマッピングによる広域環境変動に関する研究

(1) 衛星可視域センサーによるマッピングと基礎生産力モニタリング手法に関する研究

研究代表者 遠洋水産研究所 松村 卓月

水産庁 遠洋水産研究所

海洋・南大洋部 高緯度域海洋研究室 川崎 清・塩本 明弘
(委託先) 千葉大学 工学部情報工学科 安田 嘉純
(委託先) 東海大学 海洋研究所 福島 甫

平成2年度-4年度合計予算額 62,436千円

[要旨] 海洋の環境維持能力のうち、生物活動による物質循環機能は大きなウエイトを占める。衛星観測からクロロフィル濃度や基礎生産力を算定するために多くのステップを踏まなければならないが、ここでは水中分光アルゴリズム、基礎生産力実験、大気補正、情報処理と大別して研究を進めた。水中分光アルゴリズムについては、沿岸部にて係留ブイおよび沖合域にて漂流型ブイによる連続海面分光照度測定を行ない、現場に於ける基礎生産力を測定した。係留ブイによる測定は、水塊の移動によるプランクトンバッチの移動と水平スケールを測定している事になる。それは近い将来得られるであろう、数日に1回約1Km四方の分解能で測定される衛星データの、現場対応価値評価指標になる。ブイによる連続観測と衛星による広域観測の一体化は、海況変動総合解析技術の大きな進歩をもたらすであろう。

一方、基礎生産力アルゴリズム作成のために、沿岸の影響を全く受けない赤道域における基礎生産力実験を行なった。沿岸水域の環境変動指標として基礎生産力を見る時のリファレンスとなる。とくに、今回の実験では、エルニーニョ時の結果を得る事が出来たために、海況の自然変動による変化と人為的影響による変化を較べる際のよき指標となろう。

大気補正に関しては、西部北太平洋における黄砂性エアロゾルによる大気の光学現象をほぼ明らかにし、実情にあった海域独自の大気補正アルゴリズムを作成した。一方、近赤外2チャンネルを用いた大気補正技術も開発し、その有効性を確認した。

衛星データ自動処理技術開発の成果として、CZCSデータ4129シーンを処理した西部北太平洋クロロフィルマップを海域別(日本海、親潮等)季節別に作成した。成果品として、1.5GBのデータ量(5,000画像)となり、それをデータセットとしてCD-ROM1枚におさめた。それは、国内外の水色研究者に配布されている。

[キーワード] 可視域リモセン、基礎生産力、CZCS、クロロフィルマップ、分光照度

1、序

海洋の環境維持能力は、大きく分けて、熱量の許容力、化学物質の吸収力および生物活動による物質循環能力になる。当研究課題では、生物活動による物質循環過程を明らかにし、その変動

を広域かつ長期にわたり観察する手法開発を目的とした。具体的には、植物プランクトンの現存量および基礎生産力を、可視域衛星リモートセンシングデータを用いてマッピングすることの可能性を検討した。

海洋のクロロフィルを測定し得る衛星としては、今までの所1978年にNASAが打ち上げたNIMBUS-7搭載のCZCS(Coastal Zone Color Scanner)が唯一のものである。CZCSは実験衛星であったため、組織的な観測データは得られていないが、10年間を費やしたデータセット作成とクロロフィル濃度算定アルゴリズムの開発は、その後の水色リモートセンシングの発展に大きく寄与するものであった。

1994年7月、NASAは海洋生物衛星 Sea WiFS打ち上げを予定しており、1996年には我が国宇宙開発事業団(NASDA)がADEOS/OCTSの打ち上げを予定している。それらの衛星がデータ取得を開始する時には、植物プランクトンバイオマス等のマップ化が計れるような基礎研究を前もって始めておく必要がある。

2、研究目的

生物地球化学的循環過程の一部として基礎生産力を考える時、まず広域クロロフィル濃度分布の把握からはじめなければならない。クロロフィルを測定し得る衛星としては、今までの所CZCSが唯一のものである。CZCSデータによる複合画像作成については、既にNASAによる全球画像の例があり、研究目的に利用されてもいる。しかしながらNASA作成の複合画像では、日本近海の黄砂性エアロゾルの影響が排除されていない点、解像度が粗い点に不満が残っていた。これに対し、本研究は、基礎生産力の実態把握、水中分光アルゴリズムの開発に加えて、黄砂性エアロゾルを考慮した新たな大気補正手法を適用して日本近海のクロロフィルマップを作成することを目的とする。衛星観測からクロロフィル濃度や基礎生産力を算定するために多くのステップを踏まなければならないが、ここでは水中分光アルゴリズム、基礎生産力実験、大気補正、情報処理と大別して研究を進めた。水中分光アルゴリズムについては、沿岸部にて係留ブイ、及び沖合域にて漂流型ブイによる連続海面分光照度測定を行ない、現場に於ける基礎生産力を測定した。係留ブイによる測定は、水塊の移動によるプランクトンバッチの移動と水平スケールを測定している事になる。

広域環境変動を長期的に観測するにあたり人為的汚染のおよんでいない海域における基礎生産の実態を把握しておくことも重要である。エルニーニョ海域は自然的広域変動の起る典型的な海域である。この水域での基礎生産力実測値を、大洋のリファレンスとする。

3、研究方法および結果

3-1 係留ブイによる水中放射照度の測定

海中および海面における分光データ収集のために、係留型水中分光放射計を導入し、三浦半島城ヶ島沖距岸2.5Km地点に設置した。衛星リモートセンシングによる海面クロロフィル濃度は、可視域分光測定によって算定される。しかし、現在のところ、海面の上向き分光輝度と海況の関係が十分に把握されているとは言い難い。

海の生物分布は大小様々な時空間変動をしているが、衛星データは数日に1回1ピクセル(1Km四方)について nano·sec の単位で観測される。衛星観測の最大メリットとして、広域データの

空間的同一性が上げられるが、時間的的代表性はない。また、衛星センサーの空間分解能に比し、シートルス用に採水分析されるサンプルはピンポイントのデータでしかない。それらのギャップを埋め、衛星データを正しく理解するために、ブイによる連続観測結果が大きな役割を果たす事になる。ブイデータを自動的に処理するためには、先ずブイによって得られたデータ解析手法を確立しておかねばならない。

ブイには海況把握のため風向、風速、波（高、向、周期）、気圧、水温計が取り付けられており、クロロフィル測定のために、天空照度計、蛍光光度計および分光照度輝度計が取り付けられている。

係留ブイによる測定は、水塊の移動によるプランクトンパッチの移動と水平スケールを測定している事になる。それは、近い将来得られるであろう、数日に1回約1 Km四方の分解能で測定される衛星データの、現場対応価値評価指標になる。

3-1-1 空照度変化に対する海面入射光の波長特性

分光測定値からのクロロフィル濃度は、海面斜出輝度比 $Lu(\lambda 1)/Lu(\lambda 2)$ より計算される。そのために、海面入射光分光強度比は常に安定している事が前提になるのであるが、ブイによる時系列観測からそれは一部否定された。

先ず、高度 20° 以下では太陽直達光は海面反射の影響を強く受け、殆ど海中に入らない。そのため低太陽高度においては、海中照度に及ぼす天空散乱光の影響が大きくなる。

ブイのデータ取得時間を6時から18時までとセットし、データを解析した結果、水中分光比が安定するのは冬至周辺で9:30から14:30の間である事が分った。太陽高度 $22^\circ - 23^\circ$ 以上になると水中分光照度比は安定してくる。一方、十分な太陽高度下での大気状況の変化による入射光分光照度比は、大きく変化しない。入射光照度が30%変化しても海面斜出輝度比 $Lu(\lambda 1)/Lu(\lambda 2)$ の変化は10%以下である。10%の変化はクロロフィル濃度値で約18%の誤差を導く。衛星画像から求めるクロロフィル濃度信頼限界の期待値 ($\pm 30\%$) よりはやや低い。

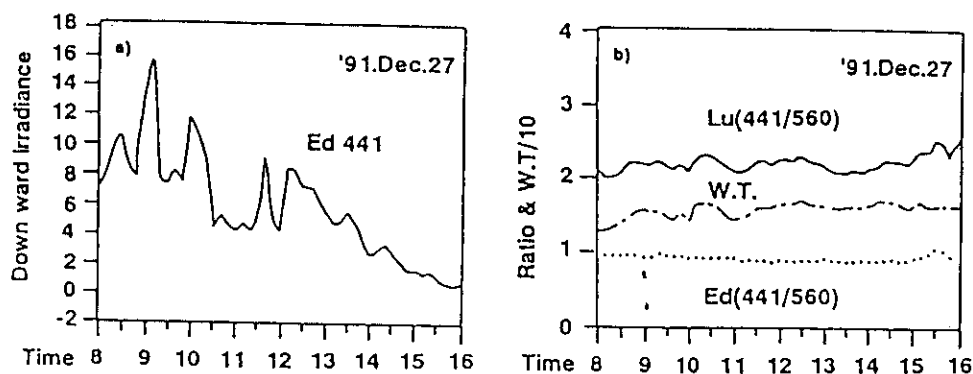


図 1 ブイによる時系列観測の1例、a) 海面入射光Ed441 b)海面輝度比RLuと水温WT

冬季2ヵ月間にわたる観測の結果、この地点で十分な太陽高度が得られるのは午前9時30分から午後2時30分までであり、その間においては入射照度の変化と植物プランクトンによる海面分光照度比変化との間には大きな関係はなく、基準化海面輝度が計算されれば、従来より用いられているチャンネル間演算によるクロロフィル算出アルゴリズムをそのまま (10%の誤差以内)

利用できる事が示唆される結果を得た。図1 a は、入射光 (Ed441)を、b は入射光分光照度比EdR (Ed441/Ed560)、上向き分光輝度比(Ld441/Ld560)、及び水温の日変化を表している。aにおいて、雲や大気の影響等によりEd441が大きく変化しているにも関わらず、bにおけるEdRが殆ど変化していない事、クロロフィルの指標となるLuRの変化は水温変化に沿っており、つまり水塊の移動によってLuR変化が起っていると考える事が出来る点から、太陽照度と関係なくチャンネル間比によりクロロフィルを求めても差し支えない事になる。また、観測点の様な沿岸域ではクロロフィル濃度変化は生物作用によるよりも水塊移動等の物理作用による傾向が強い事を示唆する結果も数多く得た。

3-1-2 漂流ブイによる水中放射照度の測定

係留系ブイは、係留点をうまくとれば最適のデータが得られるが、係留系が高価な事や設置・回収に困難が伴う。それに反し漂流ブイは価格が安く取扱が容易である事その他、水塊の移動に沿ってブイ自身が移動するため、生物の変動のみを追及できる利点がある。そこで、漂流型の水中分光放射計OCM (Ocean Color Monitor)ブイを購入し、その有効性を調べた。

OCMブイは水温、下向き分光照度 (490nm)、上向き分光輝度 (412nm、443nm、490nm、510nm、555nm、670nm、683nm)、電源電圧センサを持つ。サンプリングは90秒で、1時間毎に以前の40回のデータを平均し、上向き分光輝度については平均値以外にも最少値・最大値・標準偏差値を求めている。これらのデータはARGOSシステム(気象衛星NOAAにテレメータ情報を送り、そのデータをARGOS社が処理し、受信時間・位置データ・テレメータ情報に直し、ユーザに配布するシステム)を通してデータを得る事ができる。このため、大洋中を漂流していても1日に4回程度、準リアルタイムにデータを取得できる。

1993年7月にOCMブイの有効性を調べるため、水産庁調査船俊鷹丸を用い北西太平洋にてOCMブイを調査船に6時から16時まで係留し、アルゴステッカーを用いブイの出している電波を直接受信した。7月24日の空中照度が高かった時の空中分光照度Ed490の時系列と、上向き分光照度Lu443の時系列を図2に示す。空中照度は5分サンプリングのアイテクノ社製分光照度計と対比させている。このように、計9回観測を行なったが気象条件が悪くて晴れた期間はほとんどなく、衛星で観測できるような条件の時のデータは取得できなかった。

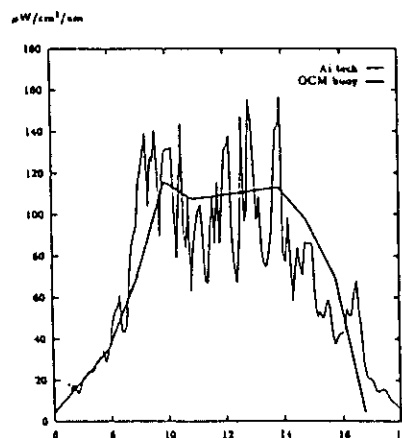


図2 1993年7月24日の490nmの空中分光照度の時系列。横軸は時刻、太線がOCMブイ (1時間間隔測定)、細線が(株)アイテクノ製の分光照度計 (5分間隔測定)。

図3に7月24日のLu443/Lu555、Lu510/Lu555の時系列を示すが、朝及び夕方に大きく値がばらついているのが認められる。この時は、係留ブイの項でも述べたように、空中照度の分光特性が昼間と異なっている事、上向き分光輝度のレベルが低いため量子化の影響が大きく出る事が考えられ、衛星との比較データとしては除外したほうが良い。

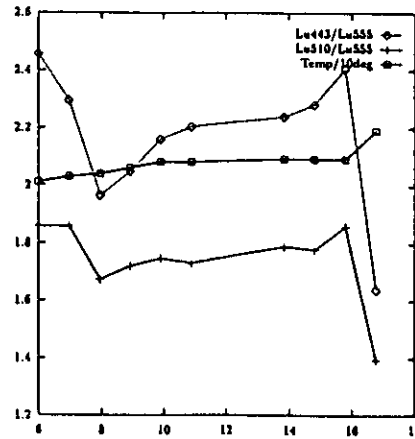


図3 1993年7月24日のOCMブイの上向き分光照度の比Lu443/Lu555、Lu510/Lu555の時系列と水温の時系列。横軸は時刻。

OCMブイのLu443/Lu555と表面のクロロフィル量の比較を図4に示す。クロロフィル採取はOCMブイ投入に先だって6時ころ行なっている。OCMブイの輝度値の比が6時～8時で変動が大きいため、9時をすぎた値をもって比較した。測点によっては観測期間中変動が大きな測点もあり、この比較は必ずしも妥当とはいえないが、OCMブイによって測定したLu443/Lu555はクロロフィル量の指標となっている事がわかる。

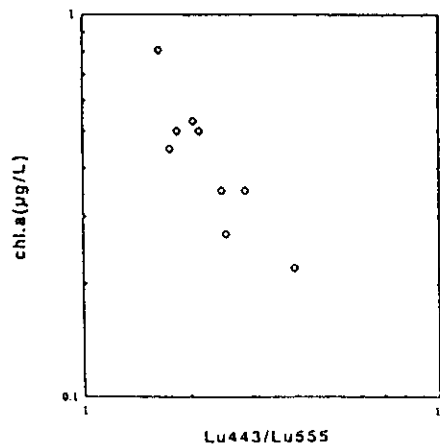


図4 OCMブイの上向き分光照度Lu443/Lu555 (横軸) と表面のクロロフィル量 (縦軸、単位は $\mu\text{g l}^{-1}$)。

3-2 基礎生産力実験

基礎生産力の実験は1991年11-12月における水産庁開洋丸による赤道海域調査において行なわれた。試水を海面光の100、50、25、10、1及び0.5%に相当する深さからG0-FL0採水器を用いて午

前中に採水した。採水後直ちに、3-lの透明なポリカーボネイト瓶に小分けし、 ^{13}C - NaHCO_3 を現場濃度の10%程度となるように添加した。添加後は、表面海水を流し続けた各光の強さに調節された水槽中でほぼ1日（午前9時頃～翌朝4-5時頃）インキュベートした。海水中の光の波長分布を再現するように50%には白いフィルター、25-0.5%には青いフィルターを組合わせて用いた。インキュベート後はWhatman GF/Fフィルターを用いてろ過し、3.5%食塩水を用いてリンスしてから凍結保存した。 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比は日本分光社製 ^{13}C CO_2 アナライザー（EX-130S）を用いて測定した。

有光層以浅の水柱あたりの基礎生産力は、Leg 1で $69\text{-}337\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 、Leg 2で $98\text{-}338\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 、Leg 3で $81\text{-}391\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 、Leg 4で $131\text{-}331\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ であった。有光層以浅の水柱あたりのクロロフィル a は、Leg 1で $11.9\text{-}16.6\text{mg m}^{-2}$ 、Leg 2で $9.9\text{-}18.5\text{mg m}^{-2}$ 、Leg 3で $9.2\text{-}16.1\text{mg m}^{-2}$ 、Leg 4で $9.9\text{-}16.6\text{mg m}^{-2}$ であった。各Legにおける基礎生産力の変動は5倍、クロロフィル a の変動は2倍程度であった。最大値は基礎生産力、クロロフィル a とともに 5°N から 5°S の間にみられた。さらに、単位クロロフィル a あたりの基礎生産力を求めた（図5）。この値は、Leg 1で $5.8\text{-}23.9\text{mgC mgChl. a}^{-1} \text{d}^{-1}$ 、Leg 2で $9.3\text{-}25.8\text{mgC mgChl. a}^{-1} \text{d}^{-1}$ 、Leg 3で $8.8\text{-}28.0\text{mgC mgChl. a}^{-1} \text{d}^{-1}$ 、Leg 4で $13.2\text{-}25.8\text{mgC mgChl. a}^{-1} \text{d}^{-1}$ であった。いずれのLegにおいても最大値は最小値の数倍高かった。また、Leg 1、2、3における最大値は 4°S あたりにみられ、Leg 4の単位クロロフィル a あたりの基礎生産力には南に向い増加する傾向がみられた。

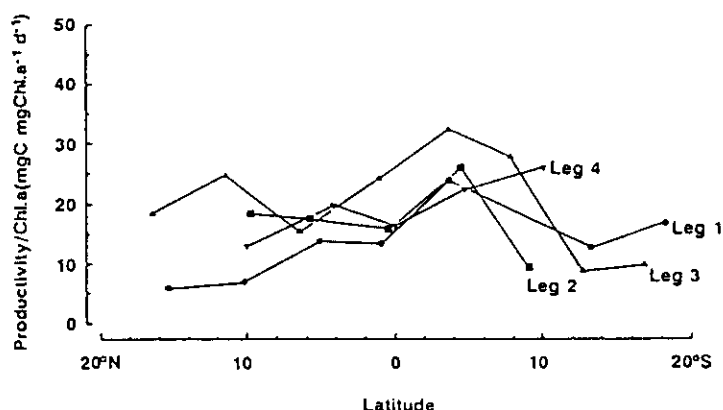


図5 各Legにおける単位クロロフィル a あたりの基礎生産力の南北変動。白抜き丸（○）は平均値を、縦のバーは標準偏差を示す。

基礎生産力、クロロフィル a、単位クロロフィル a あたりの基礎生産力の赤道に沿った東西の変動を明らかにするために、各Legにおける 5°N から 5°S の間において得られた値を平均した。基礎生産力と単位クロロフィル a あたりの基礎生産力（図6）は 160°E （Leg 1）から 150°W （Leg 3）に向かい増加したが、 120°W （Leg 4）では 150°W に比べておよそ30%減少した。一方、クロロフィル a には、Leg 1、2はLeg 3、4に比べて若干高いものの、顕著な変動がみられなかった。

通常期の赤道海域の 160°E （Leg 1）付近における基礎生産力は $278\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 、クロロフィル a は 15.3mg m^{-2} 、単位クロロフィル a あたりの基礎生産力は $18.1\text{mgC mgChl. a}^{-1} \text{d}^{-1}$ 、 180° （Leg 2）付近における基礎生産力は $320\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 、クロロフィル a は 16.7mg m^{-2} 、単位クロロフィル a あたりの基礎生産力は $19.0\text{mgC mgChl. a}^{-1} \text{d}^{-1}$ 、 150°W （Leg 3）付近における基礎生産力は $573\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 、クロロフィル a は 19.6mg m^{-2} 、単位クロロフィル a あたりの基礎生産力は 29.3

mgC mgChl.a⁻¹ d⁻¹、120°W (Leg 4) 付近における基礎生産力は610mgC m⁻² d⁻¹、クロロフィル a は18.5mg m⁻²、単位クロロフィル a あたりの基礎生産力は33.6mgC mgChl.a⁻¹ d⁻¹であった¹⁾。Leg 1、2における赤道に沿った基礎生産力、クロロフィル a、単位クロロフィル a あたりの基礎生産力は、これらの値にほぼ等しかった。Leg 3の単位クロロフィル a あたりの基礎生産力は通常期の値¹⁾とほぼ等しかったが、基礎生産力、クロロフィル a は通常期の値¹⁾の60-70%であった。Leg 4の基礎生産力は通常期の値¹⁾の44%、クロロフィル a は通常期の値¹⁾の73%、単位クロロフィル a あたりの基礎生産力は通常期の値¹⁾の58%であった。すなわち、基礎生産力は通常期の値に比べて顕著に低かった。エル・ニーニョ時のこのような東部赤道域における基礎生産力の顕著な減少は、表層混合層の増加による深層からの栄養塩供給の抑制によると考えられる。

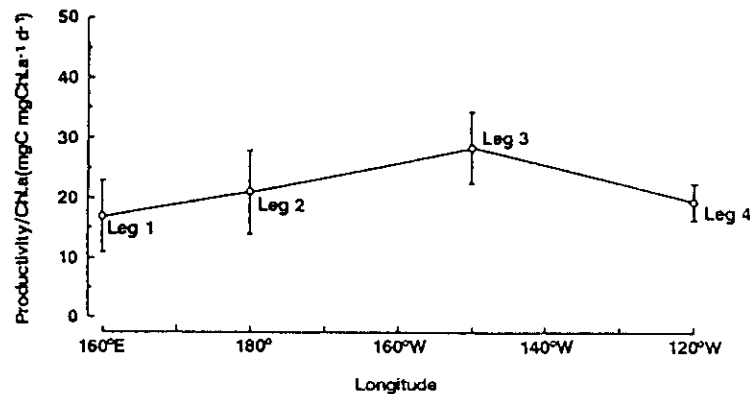


図6 赤道に沿った単位クロロフィル a あたりの基礎生産力の東西変動。白抜き丸 (○) は平均値を、縦のバーは標準偏差を示す。

3-3 大気効果補正の高精度化

可視、近赤外域の大気効果の光学的特性の測定、および Mie 散乱理論やロートラン大気モデルを用いた計算機シミュレーション、実際の衛星データ中に含まれる大気効果の解析を行ない、衛星データ中に含まれる大気効果の高精度な補正方法について検討した。

3-3-1 大気エアロゾルの粒径分布とエアロゾルパラメータの波長依存性

エアロゾルの粒径分布とエアロゾルの光学的厚さの波長依存性との関係を Mie 散乱理論を用いて求め、オングストローム指数則を大気効果補正へ適用したときの問題、および色素濃度推定における誤差等について検討した。エアロゾル粒子による吸収効果がない場合 (複素屈折率の虚数部が 0 の場合)、パワーロー粒径分布ではオングストローム指数則によく合致するが、双峰性分布の場合にはオングストローム指数則からは大きくはずれる。また、エアロゾル粒子の吸収がある場合 (複素屈折率の虚数部が 0 でない場合) には、パワーロー粒径分布のエアロゾルでもオングストローム指数則が成り立たないことが分った。地上での分光放射測定による実大気のエアロゾルパラメータの波長依存についても、計算機によるシミュレーションの結果と対応した。

3-3-2 近赤外 2 波長によるエアロゾルパラメータの推定

エアロゾル・バスマジアンズは時空間変動が大きく、同一画像上で一定であると限らない。そのため、近赤外の 2 つの基準波長、たとえば OCTS の 765nm および 865nm バンドに含まれる大気エア

ロゾル効果を画素ごとに求め、それから画素ごとにオングストローム指数を求める方法を考案した。この方法では、Gordonのアルゴリズムのようにクリアウォーターラヂアンスを用いる必要はなく、また、アイテレシヨンプロセスも不要となり、計算時間も短縮される。実際にCZCSデータのバンド4と5($\lambda=670\text{nm}$ と 750nm)の波長を用いてこのアルゴリズムの有用性を検証した。

3-3-3 統計手法(空間相関)による大気エアロゾルパラメータの推定方法

大気エアロゾル・バスマジアンスタターンと海色放射輝度パターンとは相関がないことを利用してエアロゾルパラメータを衛星データから空間相関を用いて統計的に推定する方法を考案した。この方法はオングストローム指数則を用いずに直接的に短波長のパラメータを求めることができるので、 412nm や 433nm のような可視短波長バンドのエアロゾルパラメータの推定に特に有用となる。

3-3-4 Sea WiFS、OCTSデータのための大気効果補正アルゴリズム

近赤外の2波長を用いて、画素ごとにエアロゾルパラメータを求めることができるが、短波長のエアロゾルパラメータの推定にはオングストローム指数則を用いて外挿により求める必要があり、推定精度の点で問題となる。他方、空間相関法を用い統計的にエアロゾルパラメータの波長依存性を推定することができるが、ある程度の空間的広がりが必要となる。したがって、画素ごとのエアロゾルパラメータの変動を推定することはできない。

ここで、近赤外2波長を用いて画素ごとにエアロゾルパラメータを求め、そのヒストグラムを求めたとする。対象海域の大気エアロゾルタイプが変らず一様な場合、ヒストグラムは単峰性となる。この様な場合には、全海域を対象に空間相関法を用いてエアロゾルパラメータを求め、得られた値を用いて大気効果の補正を行えば良いことになる。同一画像内に異なるエアロゾルタイプが存在する場合、近赤外2波長を示すようになる(または、単峰性でも幅広いものとなる)。この場合、例えば一つのピークは日本海側のエアロゾルタイプに対応し、他のピークは太平洋側のエアロゾルに対応する。また、一つのピークは外洋域のエアロゾルに、他のピークは沿岸域のエアロゾルタイプに対応する。したがって近赤外2波長を用いて画素ごとにエアロゾルパラメータを求め、そのヒストグラムをもとに、エアロゾルタイプの異なる海域を分割することが可能となり、それぞれの領域について空間相関法(統計的手法)を用いてエアロゾルパラメータを推定し、大気補正を行なうことができる。

3-4 エアロゾル補正技術と衛星データの自動処理技術開発

3-4-1 CZCSデータにおよぼす黄砂性エアロゾル補正技術の開発

日本近海では中国大陸から飛来する陸性のエアロゾル粒子が多く、その年間総量は北米沿岸の $100\sim 1000$ 倍にも及ぶ。特に春先を中心に発生する「黄砂現象」は、CZCSデータにも顕著な影響を与える。本研究では、まず典型的な「黄砂シーン」、すなわち黄砂の明かな影響がみられるCZCSデータの解析を通じ、エアロゾルの吸収パラメータである単散乱アルベドを導入した新しい大気補正モデルを提唱し、併せて各画素ごとに繰り返し演算を行うエアロゾル補正方式を提唱した。また、単散乱アルベドの値自体がエアロゾルのタイプによって変わることを考慮して、典型的な黄砂シーンの統計的な解析をもとに、各波長の単散乱アルベドを各画素ごとに決定する

手法を開発し、これを同季節の海洋観測データ等と比較した。その結果、従来の補正手法で見られた広い範囲にわたる数十 $\mu\text{g/l}$ 以上といった非現実的なクロロフィル濃度は解消し、統計的にも現実的にもよい一致をみることが示された。

3-4-2 エアロゾル補正アルゴリズムを組み入れた大量自動連続処理システムの開発

まず、自動連続処理システムの基本的な設計を行い、次にマイアミ大学の開発した衛星データ処理システムDSPを移植し、目的とする複合画像作成システムを開発した。システムの最終調整の結果、CZCSデータ（原データで1シーンあたり約10MB）を、1日あたり100シーン程度処理する能力を達成した。

3-4-3 開発したシステムを用いた北西太平洋の全CZCSデータ処理、複合画像の作成 以下のように処理した。

- (1)原データセット：対象海域（北緯20度～50度、東経120度～180度）4129シーン、データ量；約40GB、データ媒体；12インチ光ディスク。
源データの3×3の間引き処理。
- (2)作成したデータセット：各海域、各期間について、10個のパラメータの画像。
 - (a)海域：北西太平洋域全体、（画像サイズ512×256）
日本海、親潮・オホーツク域、東シナ海・黄海、黒潮域（同512×512）
 - (b)出力パラメータ：植物プランクトン色素濃度（平均値および標準偏差）、エアロゾル散乱光輝度（同）、443nm帯正規化海水射出輝度（同）、550nm帯正規化海水射出輝度（同）、有効観測回数、全観測回数。
 - (c)期間：各月、各季節（3～5月、6～8月、9～11月、12～1月）、各年、
 - (d)作成画像総数：約5000画像。
- (3)雲識別： $n\text{La}(670) \geq 1.5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ の場合、そのピクセルを雲と判定。
- (4)幾何補正：等緯度経度（方形図法）に投影。
- (5)画像のクオリティ・チェック：作られた画像を一つ一つチェック。
- (6)期間別平均画像の作成：平均値はすべてJ.Campbellの提唱する最尤推定子による対数尺度上の平均。
- (7)各海域の複合画像の作成：図7に、最終的に得られた画像の例として、北西太平洋全体の季節別平均色素濃度画像を示す。これは、1978年～1986年の全データを通算しての平均画像であり、それぞれの画像は500～700シーンの個別画像から作られている。

3-4-4 考察と今後へ向けての展望

以上の様に、3年間のあいだに一応の成果が得られたが、これで水色衛星データの複合データ作成に関する問題がすべて解決された訳ではない。例えば「黄砂性エアロゾルの補正アルゴリズム」にしても、CZCSデータの範囲では衛星観測と同時の船舶観測データがなく、完全な検証ができなかった。これに関しては今後次世代の水色センサーSeaWiFS（1994年打ち上げ予定）の観測に合わせて検証作業を行うべきである。また、今回の複合画像作成はCZCSデータを対象とした

ものであるが、SeaWiFSはCZCSとはまた異なる仕様を持つセンサーであり、データ量も増大し、必要とされる処理も複雑化するなど異なる点が多い。従って、SeaWiFSの利用を促進し、地球環境研究を推進するために、SeaWiFSをもちいた研究の展開が必要である。

なお、本研究で生成された北西太平洋域CZCS複合画像データセットは、既に以下のCD-ROMとして国内外の研究者に配布されている。今後、このデータセットの解析が進み、多くの知見が得られ、さらにSeaWiFS、OCTSなどの次世代の水色衛星データの高度利用が進むことを期待したい。

4 引用文献

1) Barber, R.T. and F.P. Chavez (1991): Regulation of primary productivity rate in the equatorial Pacific. *Limnol. Oceanogr.*, 36, 1803-1815.

5 国際共同研究等の状況

衛星による地球観測は各国の宇宙機関を軸とした国際共同計画の路線にそって進行している。当研究テーマも、研究代表者が議長を勤める日米水色ワークショップの重要議案となっている。当面の研究対象となる水色衛星Sea WiFSについては、NASAが主催するSea WiFS Science TeamのPrincipal Investigatorとして、松村、福島が登録されており、当テーマの成果を議論の俎上に出している。

当研究に代表者として名を列ねている、松村、安田、福島は宇宙開発事業団が1996年に打ち上げようとしている水色衛星ADEOS/OCTSのサイエンススタッフとして、国際的な活動を続けている。

6 研究発表の状況

松村卓月 (1991) : 地球環境に関わる海洋基礎生産力の観測、システム農学会、Vol.7、No.1、79-89.

松村卓月、塩本明弘、下田徹 (1992) : 開洋丸による'91赤道海域の基礎生産力測定、平成4年度日本海洋学会春季大会講演要旨集、298-299.

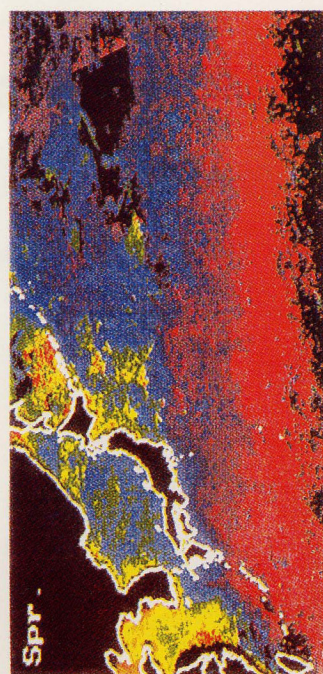
Matsumura, S. et al. (1992): Development of ADEOS Sea-truth Moored Buoy System. *Proceedings of Autonomous Bio-optical Ocean Observing System*, NOAA NASA NSF.

礼華、大沼一彦、安田嘉純 (1992) : 統計的手法によるエアロゾルバスマチアランスの評価とCZCSデータの大气補正効果への応用、写真測量とリモートセンシング、Vol.11、No.2、29-38.

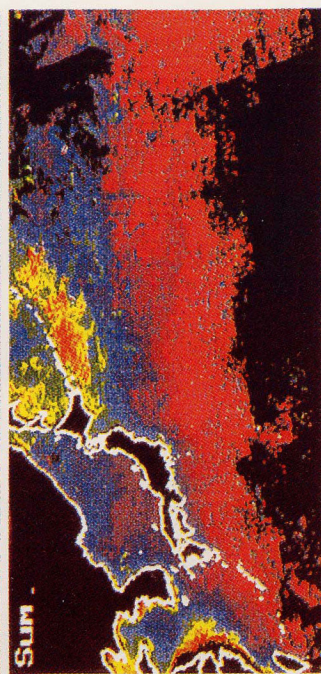
Hua Qi, K. Ohnuma and Y. Yasuda (1992): A Statistical Method to Determine Aerosol Path-radiance and its Application on Atmospheric Correction for CZCS Imagery, *Proceedings of PORSEC-92 in Okinawa*, Vol.1, 15-20.

福島甫、虎谷充浩、中島登志男 (1993) : Nimbus-7/CZCSデータによる北西太平洋の海色複合画像、写真測量とリモートセンシング、Vol.32、No.3、34-38.

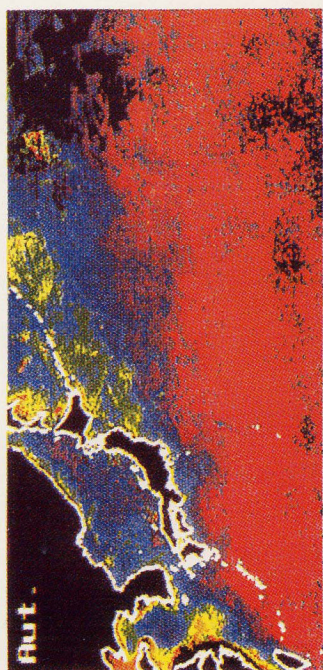
Takagi M., H. Fukushima, I. Asanuma and J. Ishizaka (1993): *Northwestern Pacific Coastal Zone Color Scanner Monthly Composite*, a CD-ROM publication.



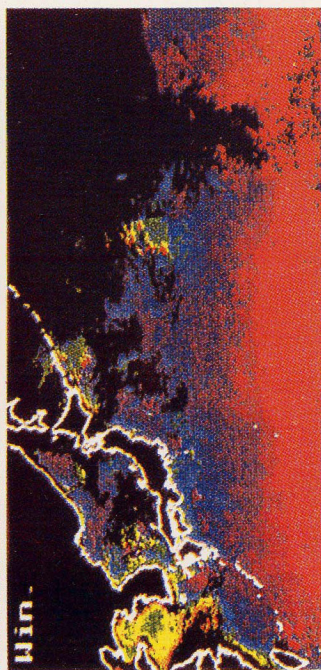
春



夏



秋



冬



Fig. .06 .10 .19 .33 .57 1.0 2.3 3.2 5.6 10.3 [$\mu\text{g/l}$]

図7 北西太平洋における植物プランクトンの季節別平均色素濃度画像(1979-1986)