

海洋観測衛星 (MOS-1) の可視近赤外放射計 (MESSR) による沿岸水質観測法に関する研究

佐々木保徳^{*1} 浅沼 市男^{*1} 宗山 敬^{*1}

昭和61年度に打ち上げられる予定のわが国初の海洋観測衛星 (MOS-1) に搭載される可視近赤外放射計 (MESSR) により, 沿岸域における水質を観測するためのデータ解析法に関する予備的検討を行った。

水質要素としてクロロフィルに着目し, クロロフィル濃度を推定するうえで有効なバンドを評価するためのバンドアセスメントを行った。あわせて, データの前処理において不可欠の大気効果の補正法につき検討した。

得られた結論は以下のとおりである。

- (1) クロロフィル濃度の推定には, 第1および第2バンドの組み合わせが有効である。得られた回帰式は, $[\text{chl} - a] (\text{mg}/\text{m}^3) = 4.08 \cdot [L_w (\text{第2バンド}) / L_w (\text{第1バンド})] - 5.30$ である。(ここで $[\text{chl} - a]$ はクロロフィル濃度, L_w は回復された海面直下上向光強度)。
- (2) クロロフィルと相関の強い透明度, 照度消散係数などの推定にも MESSR が有効である。
- (3) 可視域バンドデータの大気効果補正のための基準バンドには, 第3バンドが有効である。

STUDIES ON THE OBSERVATION METHOD OF WATER QUALITY IN THE COASTAL ZONE BY MULTISPECTRAL ELECTRONIC SELF SCANNING RADIOMETER (MESSR) ON-BOARD MARINE OBSERVATION SATELLITE -1 (MOS-1)

Yasunori Sasaki^{*2} Ichio Asanuma^{*2}
Kei Muneyama^{*2}

*1 海洋保全技術部

*2 Marine Environment Department

Preliminary discussions on the method of data analyses are made for the observation of water quality in the coastal zone by means of Multispectral Electronic Self Scanning Radiometer (MASSR) on-board Marine Observation Satellite-1 (MOS-1), which is to be launched in Japan in 1986.

Among many water quality parameters, chlorophyll concentration has been given particular attention, and band assessment is made to evaluate the effectiveness of each band to predict chlorophyll concentration. Furthermore, discussions on the atmospheric correction are made.

Conclusions are as follows:

1. The combination of bands 1 and 2 is most effective for the prediction of chlorophyll concentration. The relation obtained is $[\text{chl-a}] (\text{mg/m}^3) = 4.8 [L_w (\text{band 2}) / L_w (\text{band 1})] - 5.30$, where $[\text{chl-a}]$ and $[L_w]$ are the chlorophyll-a concentration and the intensity of upwelling radiation just below the sea-surface, respectively.
2. MASSR is also effective for such parameters as Secchi disc depth, irradiance extinction coefficient, etc. which have close relationships with the chlorophyll concentration.
3. Atmospheric effects in the visible bands are effectively corrected from the 3rd band (near infrared) data.

1. はじめに

わが国でも、地球観測衛星の技術基盤の確立および海洋を中心とした地球観測を目的として、海洋観測衛星1号(MOS-1)が、昭和61年度に打ち上げられる予定である。しかし、実際には、観測データから海洋の情報を抽出するためのアルゴリズムに関する提案はほとんどなされておらず、緊急を要する課題である。

MOS-1に搭載される三つのセンサーのうち沿岸域の水質の監視、基礎生産力調査等には可視近赤外放射計が最も有効と考えられる。本報告では、水質に関係し、基礎生産力のバロメーターでもあるクロロフィルの濃度を推定するうえで効果的な波長帯の評価とアルゴリズムを提案する。また、このほかの2, 3のパラメーターに関しても多少の検討を試みる。

2. 海洋観測衛星および可視近赤外放射計

2.1, 海洋観測衛星(MOS-1)の概要

海洋観測衛星1号(Marine Observation Satellite-1。以下MOS-1という)の概観を図1に示す。MOS-1には、センサーとして可視近赤外放射計(MESSR; Multispectral Electronic Self Scanning Radiometer), 可視熱赤外放射計(VTIR; Visible and Thermal Infrared Radiometer)およびマイクロ波放射計(MSR; Microwave Scanning Radiometer)が搭載される予定である。

MESSRは、電荷結合素子(CCD; Charge Coupled Device)を配列した配列素子により走査を行う高解像度の放射計である。VTIRは、可視および近赤外に感度をもち、水質、植生、地質、都市域などが観測対象である。地球表面温度の観

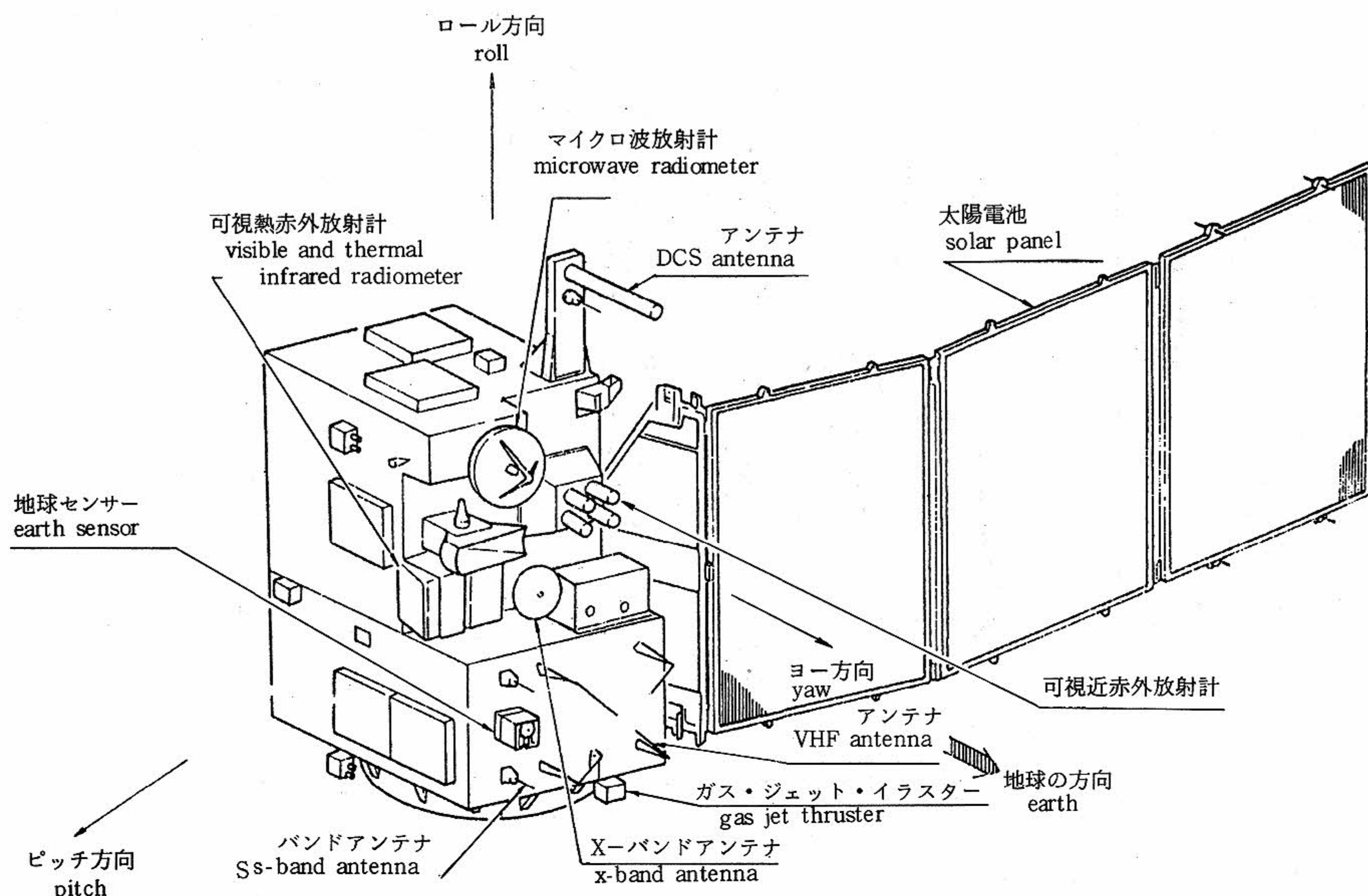


図1 海洋観測衛星 (MOS-1) の概観図

Schematic sketch of Marine Observation Satellite-1 (MOS-1)

測を主目的とする機械的方式による走査放射計で、可視および熱赤外域に感度をもつ。また、MSRは、大気中の水蒸気量、海面温度、積雪量、その他の観測を主目的とするディック型の2周波マイクロ波放射計で、23.8 GHz および31.4 GHz に感度をもつ。

MOS-1には、これらのセンサーのほかに、データ収集システム (DCS; Data Collecting System) のためのトランスポンダーも搭載される予定である。これにより、海上に配置されたデータ収集用プラットフォーム (DCP; Data Collecting Platform) の位置決定や、衛星を経由してDCPからデータを収集するための基礎的実験も行われる予定である。また、テレメトリー・データを一時的に貯えておくためのテープレコーダが1台装備される予定である。

MOS-1の軌道要素を表1に示す。なお、MOS-1の全重量は約750kgで、寿命は打上げ後約2年と予定されている。

MOS-1に対する地上からの支援は、追跡制

御システム、操作制御システムおよび地球観測データ取得・配布システムにより行われる。これらの詳細については、宇宙開発事業団から出されている各種報告書、その他がある。

表1 MOS-1の軌道要素

Orbital parameters of MOS-1

高	度	909. km
軌道傾斜角		99.1°
軌道の型		太陽同軌型準回帰軌道
周期		約103分
赤道交叉時刻		10:00-11:00 AM(地方時)
姿勢制御方式		モーメントバイアス式三軸安定型
姿勢精度	ロール	0.6°
	ピッチ	0.6°
	ヨー	1.0°

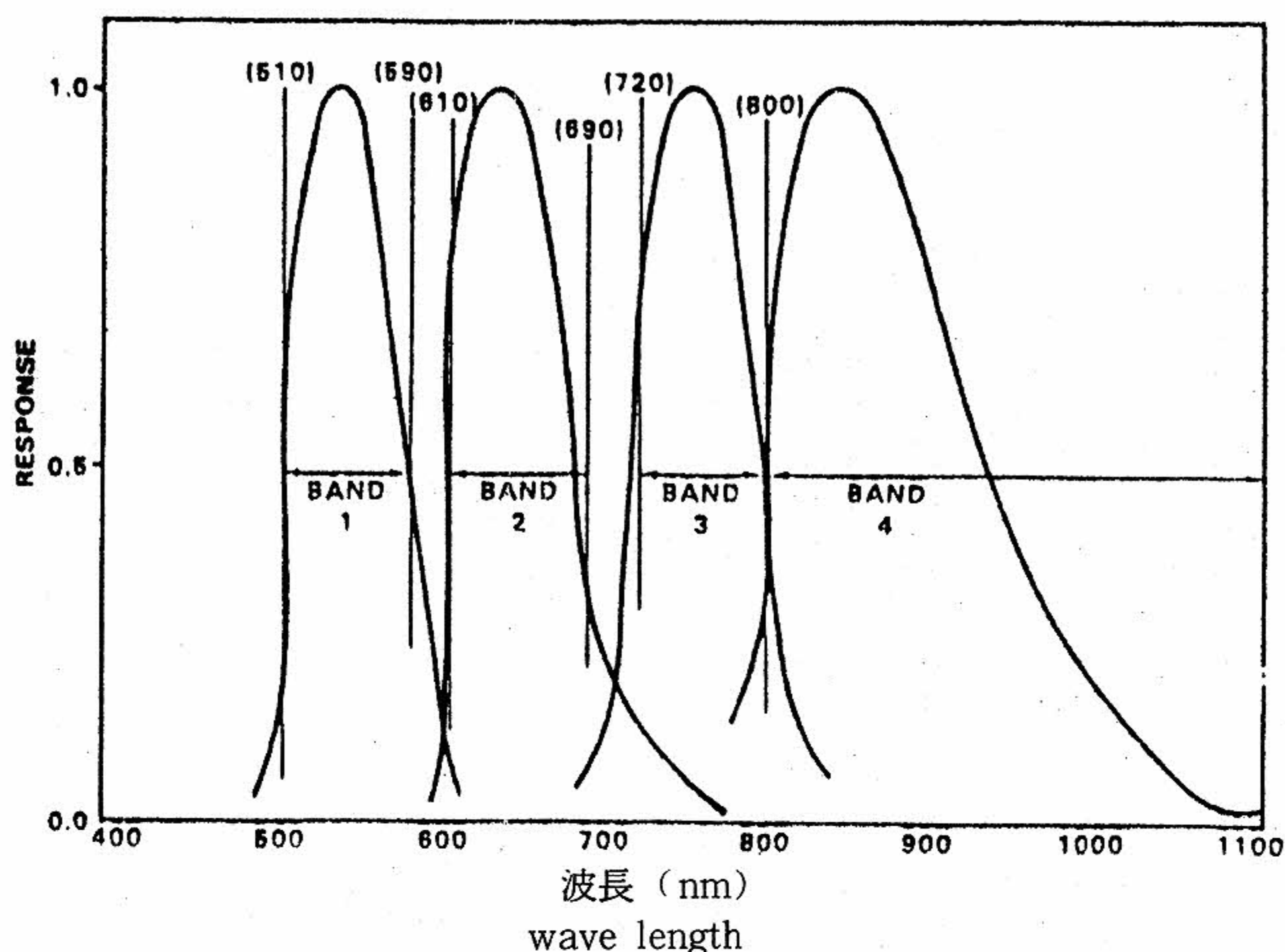


図2 可視近赤外放射計のバンド別応答関数
Response function of MESSR

表2 可視近赤外放射計の仕様

Design parameters of MESSR

項 目	主 要 機 能 ・ 性 能
ス ペ ク ト ル 帯 幅 域 (μm)	0.51 - 0.59 0.61 - 0.69 0.72 - 0.80 0.80 - 1.10
瞬 時 視 野 角 (μrad)	54.5 (地上で、 $50 \times 50^{\text{m}}$ の画) 素に相当)
地上走査幅(km)	100
走 査 方 式	電子走査によるプッシュ ブルームスキャン方式
光 学 系	ガウス型
検 出 器	2048 電荷結合素子アレイ
S/N比 (dB)	39 - 15
量子化ビット数	6 ビット (64 ステップ)
走査回数(rpm)	132
消 費 電 力	117.4 ワット以下 (片側伝送時) 234.1 ワット以下 (両側伝送時)

2.2 可視近赤外放射計 (MESSR)

可視近赤外放射計 (以下 MESSR という) の仕様を表2に示す。各波長帯 (以下バンドという) 別の応答関数を図2に示す。また、有効とされているバンドを主な対象分野別にまとめたものを表3に示す。海洋に限って言えば、バンド1, 2および4が有効とされているが、現段階ではこれらのバンドのデータ解析法はまだ明確になっていない。

3. MESSR による沿岸水質観測のためのアルゴリズム

3.1 大気効果の補正法

衛星で観測した上向光から海中情報を得るには、各バンドごとの海面直下上向光強度を回復しなければならない。そのためには、まずはじめに大気効果などの補正をしなければならない。

NIMBUS-7のCZCSでは、可視域バンドの波長帯域幅が全バンドとも20nmと狭く、このうち670nmに中心をもつ第4バンドを他のバンドの大気補正のための基準バンドとする方法が一般的である (H.R.Gordon の提案による方法)。この方法では、画像中、先験的に低いクロロフィル濃度 ($0.25 \text{ mg} / \text{m}^3$ 以下) の海域に対応する画

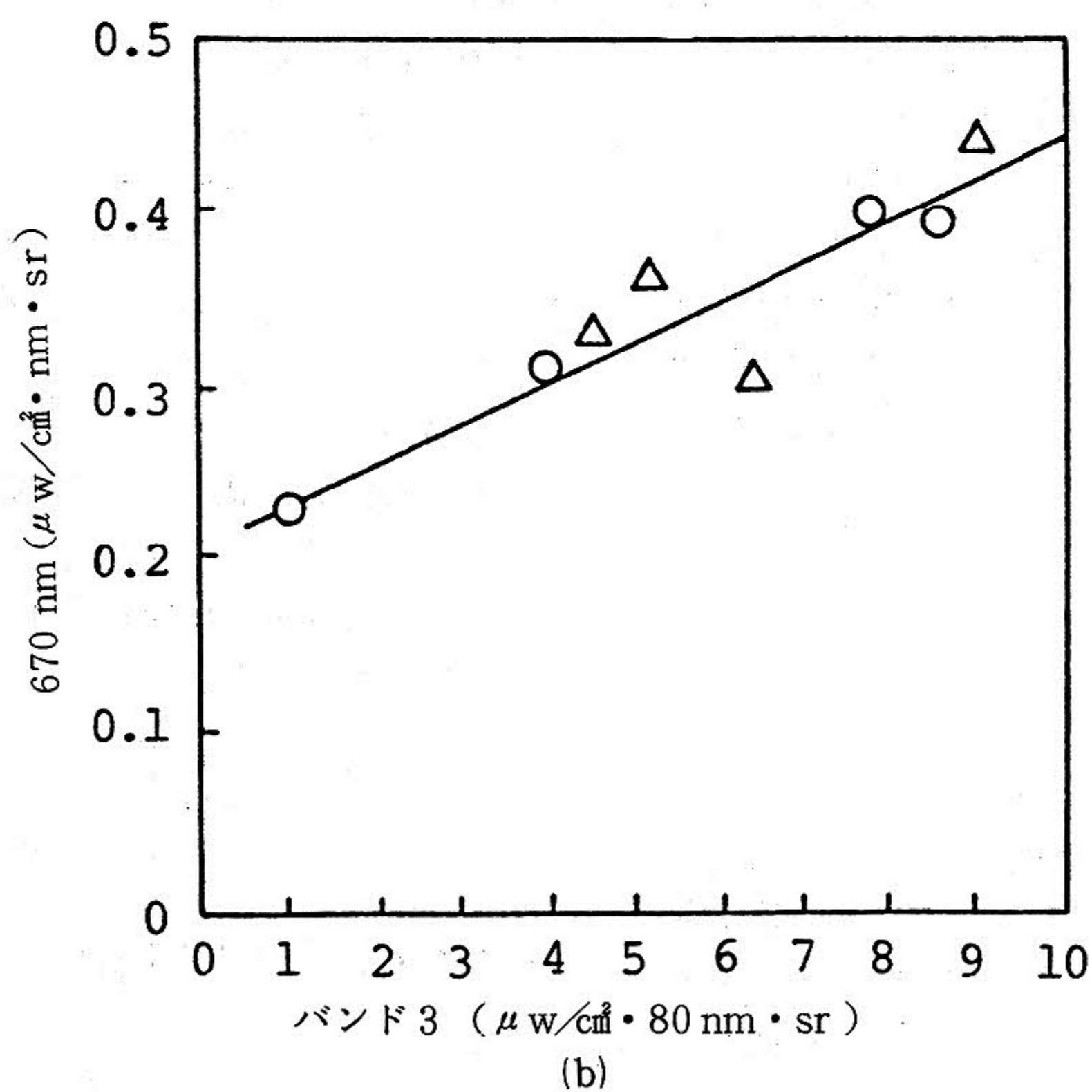
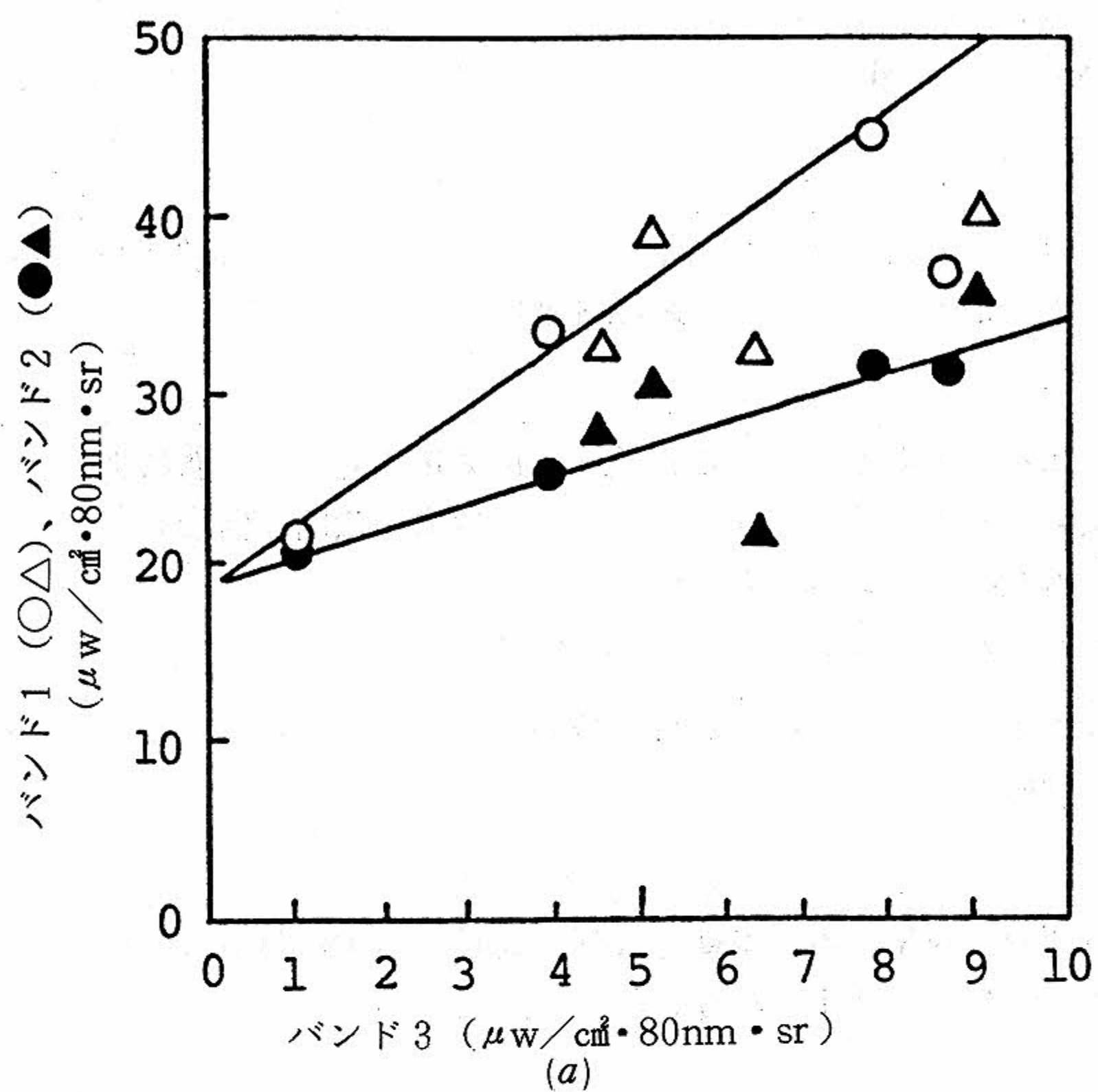


図3 近赤外バンドと可視バンドとの間での
エアロゾルパスラディアンスの関係。○, ●;
A点、△, ▲; B点 (図6)
Relationships of the path-radiance
between near infrared band and
visible bands

表3 可視近赤外放射計の主要観測対象分野

Main objectives of MESSR

主要対象分野	信号処理条件	有効波長帯
海洋	クロロフィル識別（バンド1）には信号レベルの高分解能が必要となるが、信号レベル範囲は狭い。	バンド 1 2 4
農業	異種植物で反射率の近いこと及び同種植物でも発育状態により反射率が大きく変化することから、植物の識別は信号レベル分解能の良否以外の要素の影響が大きい。 信号レベル範囲は広い。（バンド3、4）	バンド 1 2 3 4
地質学	土壌による反射率の広がり是比较的広く、特に信号レベルの高分解能は要求されない。	バンド 1 2 4
都市の土地利用	都市部では対象要素が多種となり、信号レベル範囲が広いが特に高分解能は要求されない。	バンド 2 4

素における第4バンドでの上向光はすべてパ斯拉ディアンス（光路輝度ともいう）であると仮定する。そして、大気の大気散乱とエアロゾルのミュー散乱の両効果によるものに分けて用いている。

これに対して MESSR の場合、LANDSAT の MSS と同様に波長帯域幅が広いこと、水蒸気の吸収やエアロゾル、空気分子などの散乱の波長特性が平滑化されてしまい、各バンドごとの大気効果の補正を行ううえで基本となるバンドを特定することは容易ではない。

一方、佐々木らは、ヘリコプターにより観測した上向光のデータを用いて、MESSR の第3バンドに対応するバンドでのエアロゾル・パ斯拉ディアンスは、第1および第2バンドに対応する各バンドでのエアロゾル・パ斯拉ディアンスとほぼ直線的な関係にあることを報告している（図3(a)）。さらに、佐々木らは、同じデータから、MESSR の第3バンドに対応するバンドでのエアロゾル・パ斯拉ディアンスは、670 nm でのエアロゾル・パ斯拉ディアンスともほぼ直線的な関係にあることを報告している。（図3、(b)）。（ただし、これらはいずれも大気中の水蒸気およびエアロゾルが少ない場合である）。このことは、近赤外域のバンドにおけるエアロゾル・パ斯拉ディアンスの推定が可能なことを示唆するものである。したがっ

て、MESSR においても、第1および第2バンドのデータに大気効果の補正を施す場合、両バンドでのエアロゾル・パ斯拉ディアンスは第3または第4バンドでのエアロゾル・パ斯拉ディアンスから推定するのが適当と考えられる。なお、空気分子の分布は空間的に規則的であり、時間的にも不変とみなしてさしつかえないため、空気分子のレーリー散乱によるパ斯拉ディアンスの評価は比較的容易である。

以上の過程から誘導される MESSR の大気補正法について以下に述べる。

人工衛星で観測される全上向光強度 $L_T(\lambda)$ は式1で与えられる。

$$L_T(\lambda, \theta) = t(\lambda, \theta) \cdot \left[\frac{t_w(\lambda)}{n_w^2(\lambda)} L_w^0(\lambda) + L_u(\lambda) \right] \cdot P(\lambda) + [L_R(\lambda, \theta) + L_M(\lambda, \theta)] \cdot P(\lambda) \quad (1)$$

ここで

λ ; 波長

θ ; 衛星センサーが鉛直方向となす角

$t_w(\lambda)$; 海面での透過率

$t(\lambda, \theta)$; 大気中での透過率

$n_w(\lambda)$; 海水の屈折率

$L_w^0(\lambda)$; 海面直下上向光強度

$L_u(\lambda)$; 空気分子のレーリー散乱によるパス
ラディアン

$L_M(\lambda, \theta)$; エーロゾルのミー散乱によるパス
ラディアン

$P(\lambda)$; MESSR の応答関数

また、 $L_w^\circ(\lambda)$ と $L_u(\lambda)$ とは、実際には複雑な角度分布を示すが、ここでは便宜的に等方性を仮定している。

したがって、MESSR の任意のバンド (λ_i , λ_{i+1}) ($i = 1, 2, 3, 4$) が観測する全上向光強度 L_s^i は、式(2)で与えられる。

$$\begin{aligned} L_s^i &= \int_{\lambda_i}^{\lambda_{i+1}} L_T(\lambda, \theta) \cdot d\lambda \\ &= \int_{\lambda_i}^{\lambda_{i+1}} t(\lambda, \theta) \cdot \left[\frac{t_w(\lambda)}{n^2(\lambda)} L_w^\circ(\lambda) + L_u^\circ(\lambda) \right] \\ &\quad \cdot P(\lambda) \cdot d\lambda + \int_{\lambda_i}^{\lambda_{i+1}} L_R(\lambda, \theta) \cdot P(\lambda) \cdot d\lambda \\ &\quad + \int_{\lambda_i}^{\lambda_{i+1}} L_M(\lambda, \theta) \cdot P(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2) \end{aligned}$$

一般に、MESSR の第3バンド (720~800nm) に相当する波長域では、海面出発光強度が非常に小さいため、海域ごとに先験的に適当な値を仮定するか、または無視すれば、第3バンドでの観測値 L_s^3 から全パスラディアン $L_s^{3'}$ が求められる。また、第3バンドでのレーリー散乱によるパスラディアンを L_R^3 とすると、エーロゾル・パスラディアン L_M^3 は式3により求められる。

$$L_M^3 = L_s^{3'} - L_R^3 \quad (3)$$

ただし、

$$L_R^3 = \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} L_R(\lambda, \theta) \cdot P(\lambda) \cdot d\lambda \quad (4)$$

したがって、任意の波長における $L_R(\lambda)$ および $L_M(\lambda)$ はそれぞれ式(5)および式(6)で近似的に与えられる。

$$L_R(\lambda) = L_R^3 \cdot (\lambda_0/\lambda)^a / [\text{第3バンドの帯域幅}] \quad (5)$$

$$L_M(\lambda) = L_M^3 \cdot (\lambda_0/\lambda)^b / [\text{第3バンドの帯域幅}] \quad (6)$$

ここで、 a および b はそれぞれレーリー散乱およびミー散乱の波長依存性指数、 λ_0 は第3バンドの中心波長である。

さらに、大気透過率も同様に、近似的に式(7)で与えられる。

$$t(\lambda, \theta) = \exp \left[- \left\{ \zeta_R^3 \cdot (\lambda_0/\lambda)^a + \zeta_M^3 \cdot (\lambda_0/\lambda)^b \right\} / \cos \theta \right] \quad (7)$$

ここで、

τ_R^3 , τ_M^3 ; 第3バンドでのレーリー散乱およびミー散乱の光学的厚み

式(2)において、 $n_w(\lambda)$ および $t_w(\lambda)$ の波長依存性は小さいためこれらを定数とみなせば式(8)が得られる。

$$\begin{aligned} &\int_{\lambda_i}^{\lambda_{i+1}} t(\lambda, \theta) \cdot L_w^\circ(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot d\lambda \\ &= \frac{n_w^2(\lambda)}{t_w(\lambda)} \left\{ \left[L_s^i - L_R^i - L_M^i \right] - \int_{\lambda_i}^{\lambda_{i+1}} t(\lambda, \theta) \cdot L_u(\lambda) \right. \\ &\quad \cdot P(\lambda) \cdot d\lambda \left. \right\} \quad (8) \end{aligned}$$

式(8)中の $L_u(\lambda)$ は、海面の状態に関する情報が与えられれば推定できる。海面状態から $L_u(\lambda)$ を推定するにあたっては、多くの場合、Cox と Munk の理論が用いられている。また、 $t(\lambda, \theta)$ は式(7)によって与えられる。したがって式(8)から

$$\int_{\lambda_i}^{\lambda_{i+1}} L_w^\circ(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot d\lambda \quad (9)$$

の値を近似的に推定することができる。

ところで、 $P(\lambda)$ は各バンドごとにあらかじめ与えられる既知関数であり、センサー系の経時変化がないものとすれば真の海面直下上向光 $\int_{\lambda_i}^{\lambda_{i+1}} L_w^\circ(\lambda) \cdot d\lambda$ を求めるかわりに式(9)の値にとどめておく方が望ましい。これは、式(9)から $\int_{\lambda_i}^{\lambda_{i+1}} L_w^\circ(\lambda) \cdot d\lambda$ を推定すると、得られる値は一層大きな誤差を伴うことになるからである。

3.2 クロロフィル濃度の推定のためのバンド・アセスメント

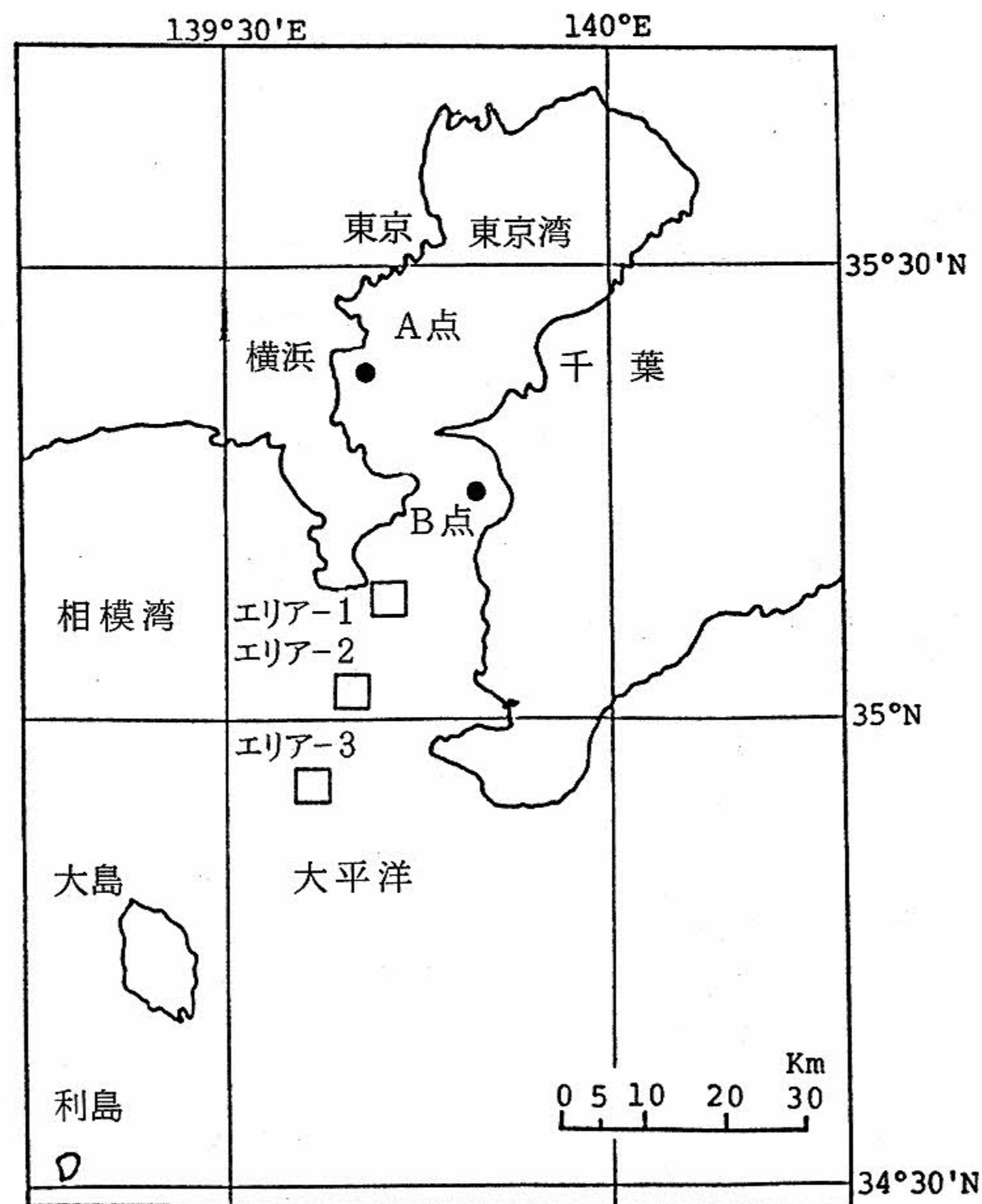
海中のクロロフィルの濃度変化に呼応して、いくつかのバンドが相関をもち対応変化することを報告した文献が散見される。しかし、実際に衛星

データからクロロフィル濃度を回復するには、複数のバンドのデータの組み合わせがより効果的であることは最近の研究で明らかである。

そこでわれわれは、MESSRの可視域バンド（第1および第2バンド）のほか、410~490nmに仮設定したバンド（以下では第0バンドという）を含めて、3つのバンド間での組み合わせ（海面直下上向光についてのバンド比）とクロロフィル濃度との関係を調べる。なお、第0バンドに対応する応答関数は存在しないので、410~490nmでは $P(\lambda)=1$ とする。他の2バンドに対しては、MESSRの応答関数を適用する。なお、ここで用いたクロロフィル濃度および $L_w(\lambda)$ に関するデータは、

図4中のA、B两点において観測したものである。

第5図は、クロロフィル濃度に対して三つのバンド間の比をプロットしたものである。この図から明らかのように、第2バンドと第1バンドの比をのぞけば、他のバンド比はクロロフィル濃度との間に特に明瞭な相関を示していない。理由としては、第0バンドには、クロロフィルの最も強い吸収帯が存在するが、短波長域であるため懸濁粒子による散乱、溶存有機物による吸収、その他の要因による消散効果も非常に大きく、海面直下上向光強度が必ずしもクロロフィルの吸収効果のみと強い相関を有するものではないことによると考えられる。また、第2バンドには、一般にいう反



A点およびB点；1979年12月13~14日

Station A and B；Dec. 13-14, 1979

エリア-1~3；1981年11月23~24日および
1981年12月11日~12日

Area 1-3；Nov. 23-24 and
Dec. 11-12, 1981

図4 海洋観測海域
Sea-truth sites

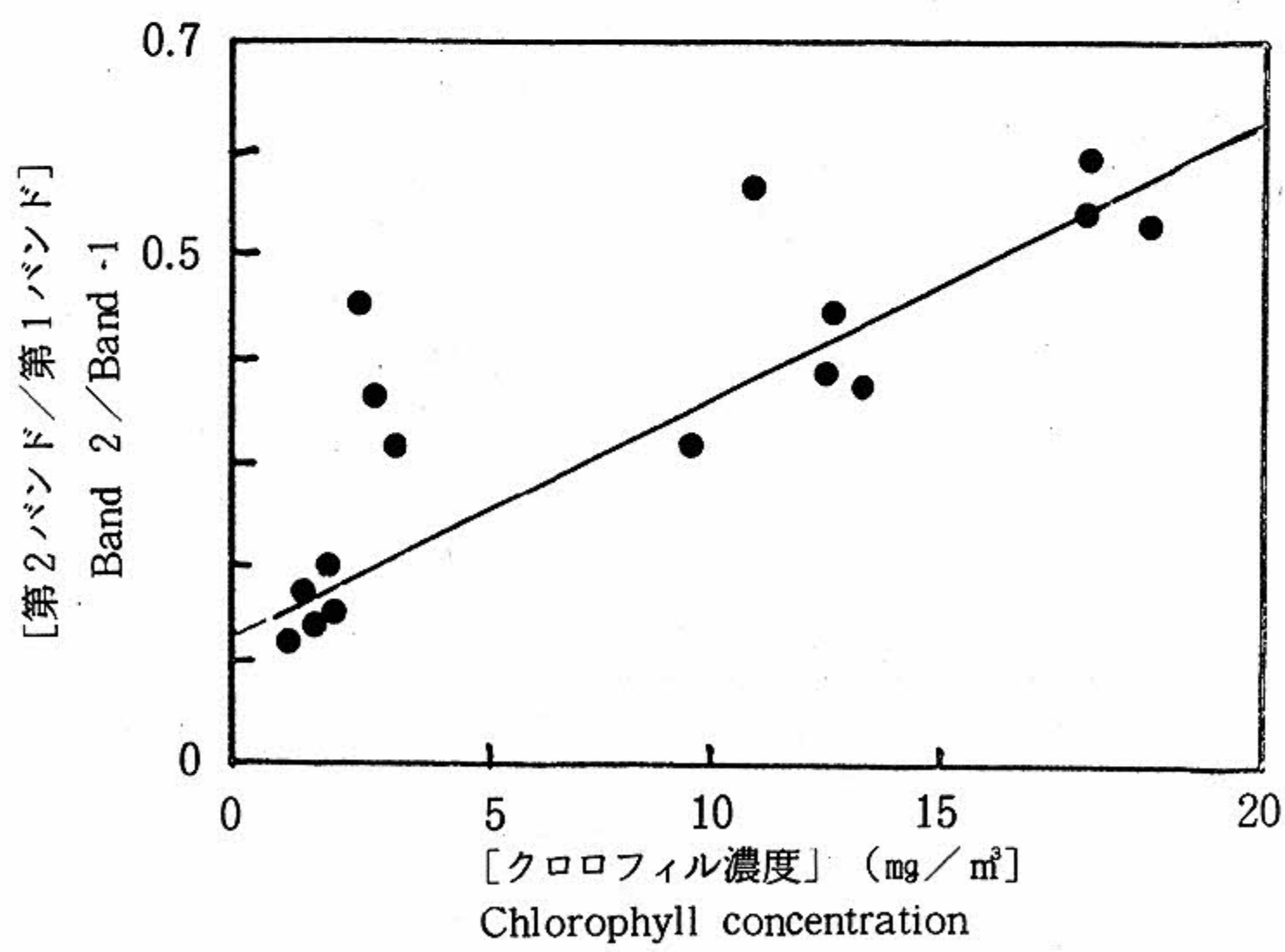
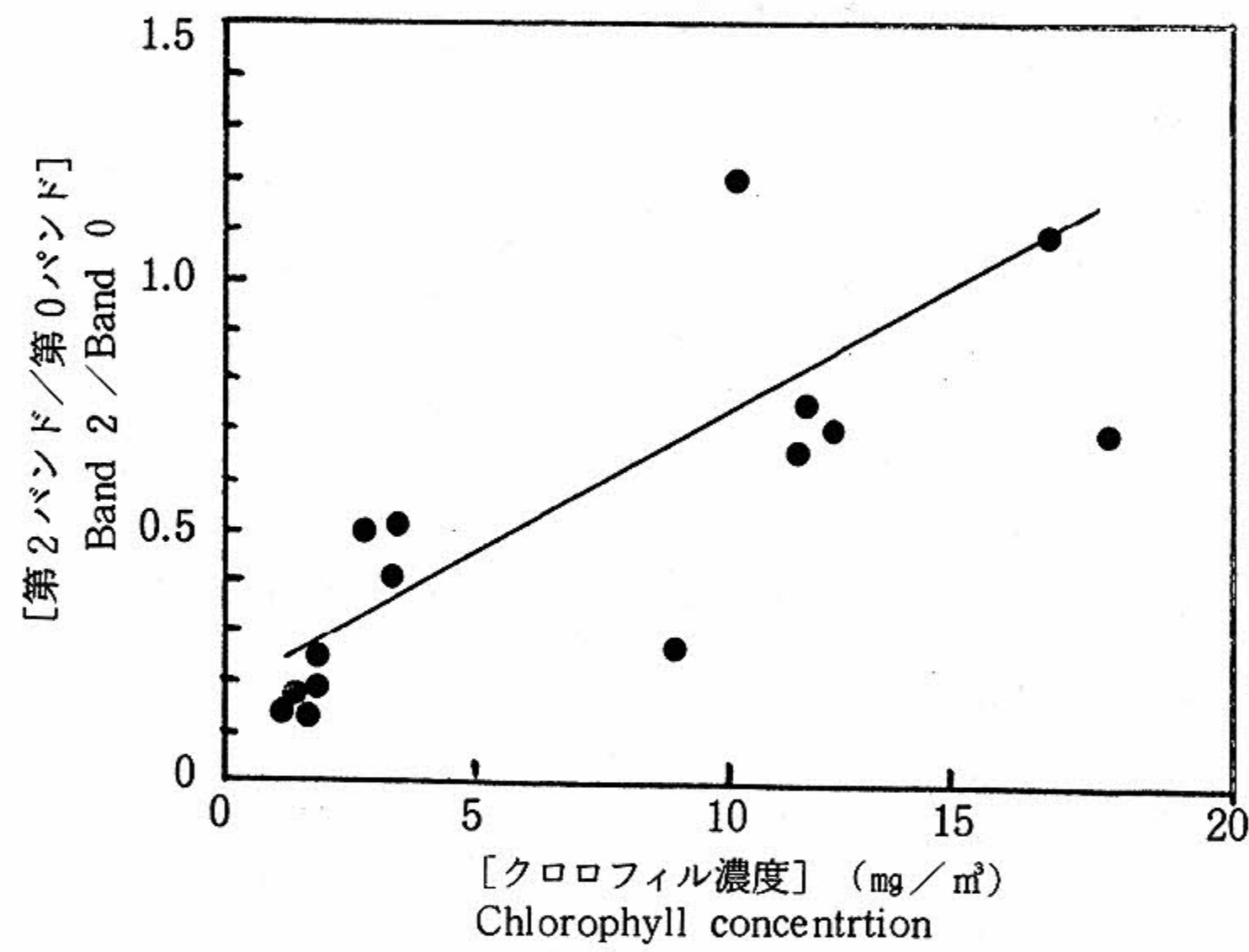
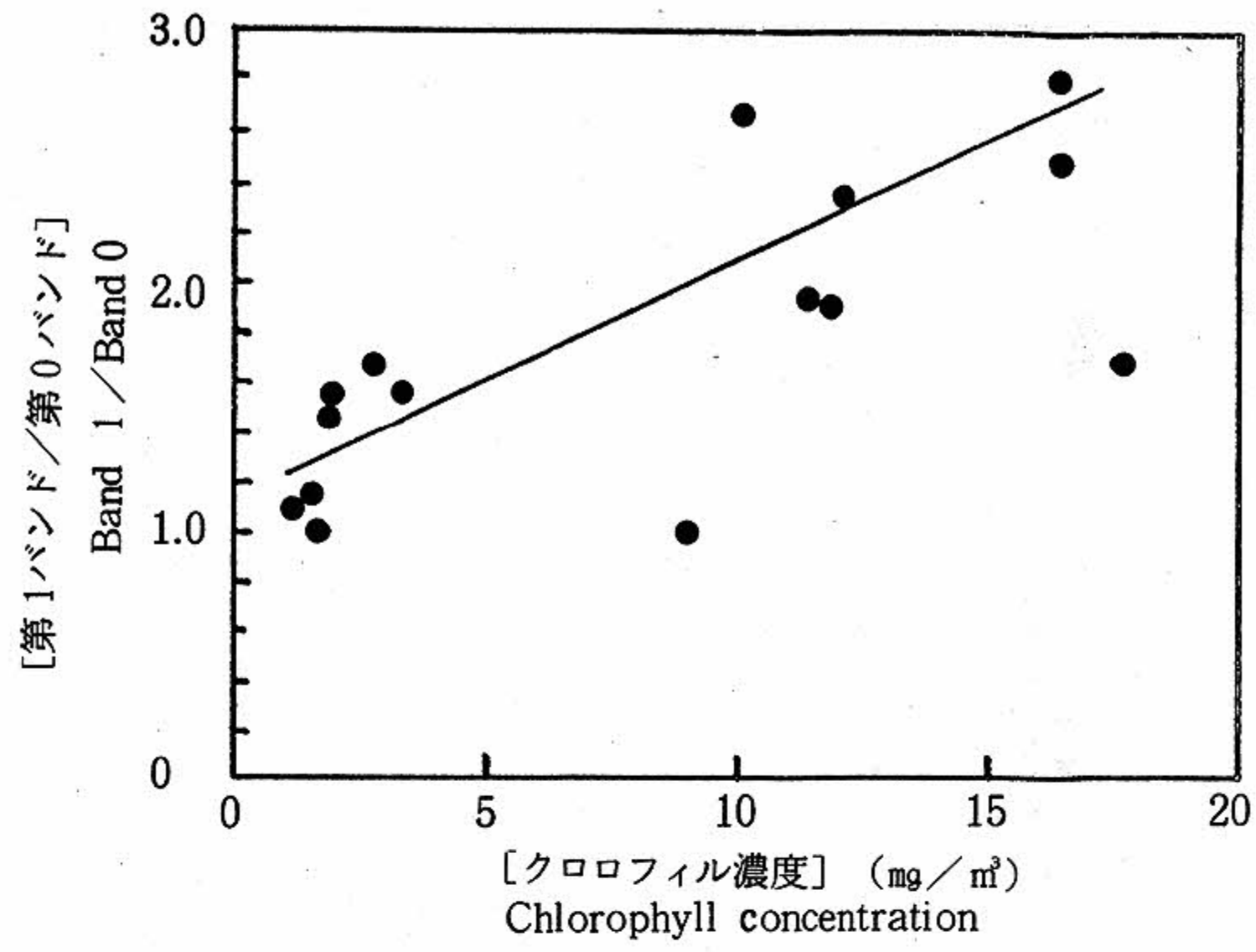


図5 クロロフィル濃度とバンドの関係

Relationships between chlorophyll concentration and band ratios

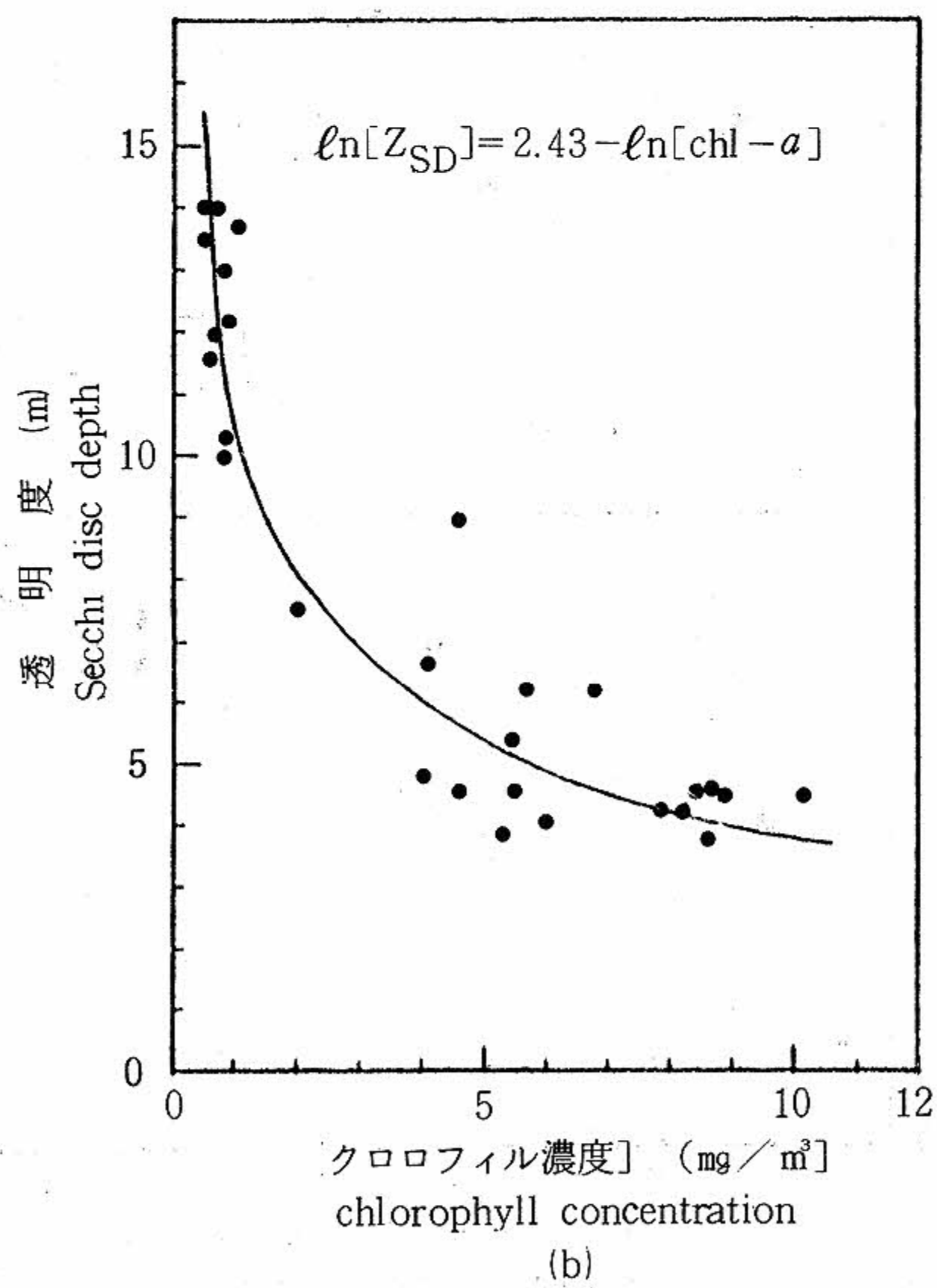
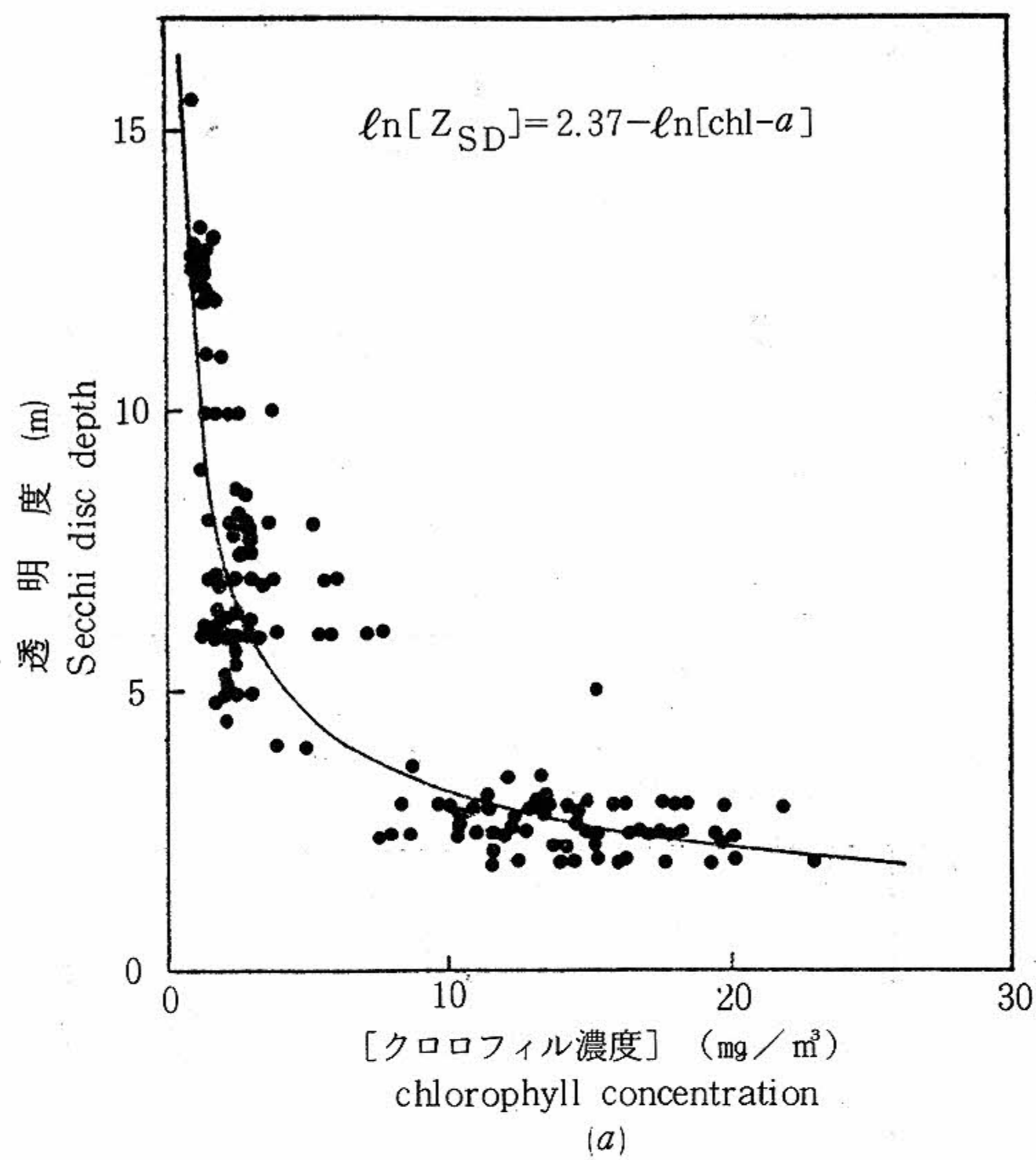


図6 透明度とクロロフィル濃度の関係
Relationship between Secchi disc
depth and chlorophyll concentration

射率の不変点が存在する。第3バンドでは、短波長域に比して反射率が小さいうえ、パスラディアンスの強い吸収帯が存在している。これら両効果の相乗により、第2バンドと第1バンドの比がクロロフィル濃度に対して比較的よい相関を示していると考えられる。

なお、第2バンドと第1バンドとの比($L_w(2)/L_w(1)$)とクロロフィル濃度($[chl-a]$)との間に得られた回帰式は、式(10)である。

$$[chl-a] = 4.08 \cdot [L_w(2)/L_w(1)] - 5.30 \quad (10)$$

3.3 その他の水質パラメーター

3.3.1 透明度

第6図に、透明度とクロロフィル濃度との関係を示す。(a)中のデータは、4図中のA、B两点およびその間の数点において、1977~1979年に観測したものである。(b)中のデータは、図4中のエリア1~3において1980年に観測したものであ

る。(a)、(b)とも、透明度とクロロフィル濃度との間には明瞭な関係が存在することを示しており、両者の関係を示す回帰式は図中に示すとおりである。これから、MESSR データをもとに、クロロフィル濃度に引き続き透明度の推定も可能となると考えられる。

3.3.2 照度消散係数

海水中での照度の消散係数は、海水中でのバイオマスエネルギー、その他を考えるうえで最も基本的なパラメーターの1つである。

海水中での照度消散係数を、海面直下での下向照度を I_0 、海面下 z における下向照度を I_z とすれば

$$I_z = I_0 \cdot e^{-Kz} \quad (11)$$

であるから

$$K = \frac{1}{z} \ln(I_0/I_z) \quad (12)$$

ところで、セッキ透明度板による透明度に相当

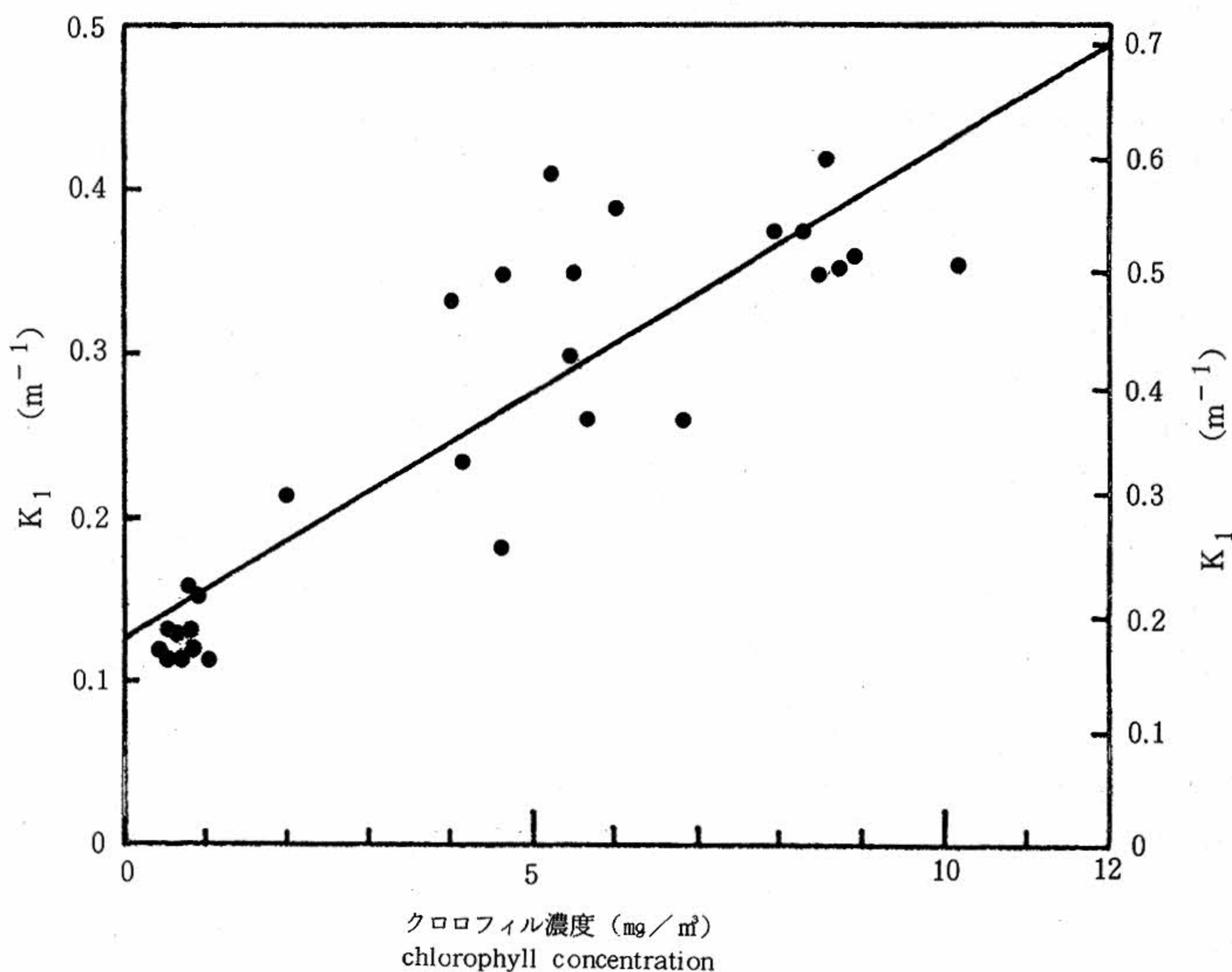


図7 クロロフィル濃度の関係と下向照度
消散係数の関係

Relationship between chlorophyll
concentration and extinction coefficient
of downwelling irradiance (K)

する水深 z において $I_z/I_0 \approx 0.1$ (J. E. Tyler) とすれば $K_1 = 2.30/z$ であり, $I_z/I_0 \approx 0.2$ (R. E. Carlson) とすれば $K_2 \approx 1.61/z$ となる。

そこで, 両式をもとに, 二つの場合についてクロロフィル濃度に対して照度消散係数 K_1 , K_2 をプロットしたものが図7である。

図7に示すとおり, 照度消散係数はクロロフィル濃度に対して強い相関を示すことが認められる。これにより, 照度消散係数も, クロロフィル濃度と同様に MESSR により推定可能な量となるものと考えられる。

4. 結 論

以上の検討により, 次の結論が導かれる。

(1), MESSR の可視バンドに大気効果を施す場合, 近赤外バンドを基準バンドとして用いるべきであり, とりわけ第3バンドが水蒸気の吸収効果が小さいため適している。(大気中の水蒸気が少ない場合)

(2), MESSR の第1および第2バンドのデータの組み合わせにより, クロロフィル濃度の推定が可能となる。クロロフィル濃度を推定するうえで MESSR が400~500nmの波長域にバンドをもたないことが必ずしも不利となるとは考えられない。

(3), クロロフィル濃度, 換言すれば植物プランクトン量と相関を有する量は, いずれも MESSR の観測対象となる。

(4), MESSR データから各バンドの海面直下上向光強度を回復する場合, 応答関数が乗じられた値を回復すればよく, 以後の取り扱いにも不都合はない。

5. おわりに

本報告では, 特に沿岸域における水質を MESSR により観測するうえでのバンドアセスメントを試みた。これにより, クロロフィルをはじめ, これと相関の強いパラメーターについては MESSR により観測できるであろうとの結論を得た。

しかし, 本報告中では, MESSR の可視域の2バンドにつき両者の比をとって, これをクロロフィル濃度と比較しただけであって, これ以外のバンド間演算は行っていない。そのため, 単なる

バンド比以外により効果的な演算も存在する可能性がある。

また, データの予備処理において避けられない問題に大気効果の補正がある。そして, この補正処理の良否がデータの可否の鍵を握っているといっても過言ではない。大気効果の補正のアルゴリズムを考えるうえで, 本報告のように近赤外バンドを基準バンドに選ぶという考えに立脚するとすれば, 最も問題となるのは, 水蒸気量の水平分布の問題をどう克服するかということであろう。水平的に大きな水蒸気分布変化がある場合, 水蒸気の吸収のために, 近赤外バンドでの真のエーロゾル・パスラディアンスを把握することが困難なためである。

本報告で述べた MESSR データの処理のためのアルゴリズムを評価, 改良するために, MESSR のモデルによる観測にあわせて空海同時観測実験の1日も早い実施を願うものである。

文 献

- 1) Carlson, R.E., "A Tropic State Index for Lakes", *Limnol. Oceanogr.*, 22 (2), p.361-369(1977) .
- 2) Carlson, R.E., "More Complications in the Chlorophyll-Secchi Disc Relationship", *Limnol. Oceanogr.*, 25 (2), p.379-382(1980) .
- 3) Edmondson, W.T., "Secchi Disc and Chlorophyll", *Limnol. Oceanogr.*, 23 (2), p.378-379(1980)
- 4) Lorenzen, M.W., "Use of Chlorophyll-Secchi Disc Relationships", *Limnol. Oceanogr.*, 25 (2), p.371-372(1980) .
- 5) Tyler, J.E., "The Secchi Disc", *Limnol. Oceanogr.*, 13 (1), p.1-6(1967) .
- 6) Smith, R.C., "The Optical Characterization of Natural Waters by means of an Extinction Coefficients", *Limnol. Oceanogr.*, 13, p.423-429(1968) .
- 7) NASDA, "Marine Observation Satellite-1 (MOS-1) to Ground Station Interface Description", 東京, 1982.

- 8) 科学技術庁ほか, “第6回リモートセンシングシンポジウム予稿資料. 1983-03東京, 1983
- 9) Clark, D.K., “Phytoplankton Pigment Algorithms for the NIMBUS-7 CZCS”. Oceanography from Space, New York, Plenum Press, 1981, p.227-237.
- 10) Gordon, H.R., “A preliminary Assessment of the NIMBUS-7 CZCS Atmospheric Correction Algorithm in a Horizontally Inhomogeneous Atmosphere”, Oceanography from Space, New York, Plenum Press, 1981, p.257-265
- 11) Gordon, H.R., “Removal of Atmospheric Effects from Satellite Imagery of the Oceans”, Appl. Opt., 17 (10), p.1631-1636.
- 12) Kneizys, F.X. et al, “Atmospheric Transmittance and Radiance; the LOWTRAN 5 Code”, Proc. Soc. Photo-Optical Instrumentation Engineers, 160, p.116-124(1981)
- 13) Gordon, H.R. et al, “Atmospheric Effects in the Remote Sensing of Phytoplankton Pigments”, J Boundary-Layer Meteorol., 18, p.299-311(1980)
- 14) Sasaki, Y. et al, “Development of Atmospheric Correction Algorithms for NIMBUS-7 CZCS, LANDSAT MSS and MOS-1 MESSR”, Proc. 17th Int. Sympo. Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, 1983-05. (掲載予定)