

## 日本海南部におけるクロロフィル $a$ 量と透明度との関係

長田 宏<sup>1)</sup>

### The Relationship between Chlorophyll $a$ and Transparency in the Southern Japan Sea

Hiroshi NAGATA<sup>1)</sup>

#### Abstract

This paper examines the effects of chlorophyll  $a$  concentration on transparency. Data were derived from observations in the southern Japan Sea from 1973 to 1989. There is a significant inverse relationship between integrated chlorophyll  $a$  in the upper 30m water column and transparency. Transparency can be used as an indicator of the relative abundance of chlorophyll  $a$ .

**Key words:** chlorophyll  $a$ , Japan Sea, seasonal variations, transparency

#### 緒 言

植物プランクトン現存量と、その季節変動を把握することは、海洋の低次生物生産過程を解明する上での基礎であるとともに、餌料環境を通して有用魚類の生残、成長に与える影響を評価、予測するうえでも不可欠である。

日本海における植物プランクトン現存量の季節変動は、山口県沿岸(中原ら 1987)、舞鶴湾(古橋 1980)、七尾湾(下村 1953)、佐渡西岸(ABE *et al.* 1984)、佐渡海峡および新潟沿岸(長田・木谷 1987; NAGATA 1993)、忍路湾(元田 1971)等から報告されている。しかし、これらはいずれも沿岸域の調査の結果である。日本海で、植物プランクトンの細胞数、クロロフィル  $a$  量等の分布調査を、通常の海洋観測項目として、広域的かつ定期的を実施している機関は、現在のところ舞鶴海洋气象台のみである。

一方、透明度は、海水の濁りを概略的に表すものとして、古くから多くの機関によって測定されており、日本海洋データセンター(JODC)には、現在、1925年から1991年間の日本海の透明度のデータが21,000件以上、蓄積されている(長田 1994)。透明度の変動をもたらす要因には、各種溶存物質、河川あるいは大気中から供給される無機懸濁粒子のほか、生物粒子としての植物プランクトンも含まれる。したがって、植物プランクトン現存量と透明度の関係が明らかになれば、豊富に蓄積されている透明度のデータを、植物プランクトンの多寡を示す指標として利用できる可能性が生まれてくる。

---

1993年11月20日受理 日本海区水産研究所業績A第492号

<sup>1)</sup> 〒951 新潟市水道町1丁目5939-22 日本海区水産研究所

(Japan Sea National Fisheries Research Institute, Suido-cho, Niigata 951, Japan)

クロロフィル  $a$  量と透明度について、ICHIMURA(1956)は日本の湖沼から、SHIBATA and ARUGA(1982)は東京湾から、両者の間には双曲線によって表わされる関係があることを示している。また、イギリス周辺域(ATKINS *et al.* 1954)、瀬戸内海(松田ら 1990)からは負の直線関係が、黒潮域ではクロロフィル  $a$  量の対数値と透明度の間に同様の関係があることが報告されている(ICHIMURA and SAIJO 1959)。さらに世界各地の外洋、沿岸、陸水域について検討した SHEMSHURA *et al.* (1982)は、クロロフィル  $a$  量の対数値と透明度の対数値が、負の直線関係に回帰できることを指摘している。このように、クロロフィル  $a$  量と透明度に関しては、各地からさまざまな関係が報告されている。しかし日本海においては、ネットプランクトン量と透明度の関係を検討した例はある(丸茂 1951)ものの、クロロフィル  $a$  量との関係は明らかでない。

そこで本論文では、(1)植物プランクトン現存量としてのクロロフィル  $a$  量が透明度にどの程度の影響を与えているかを調べ、(2)もし影響を与えているとすれば、透明度が植物プランクトン現存量の指標として有効かどうかを検討した。

本文に先立ち、原稿のご校閲と貴重なコメントをいただいた日本海区水産研究所小川嘉彦海洋環境部長、平川和正生物環境研究室長、平井光行海洋動態研究室長に深謝する。また、透明

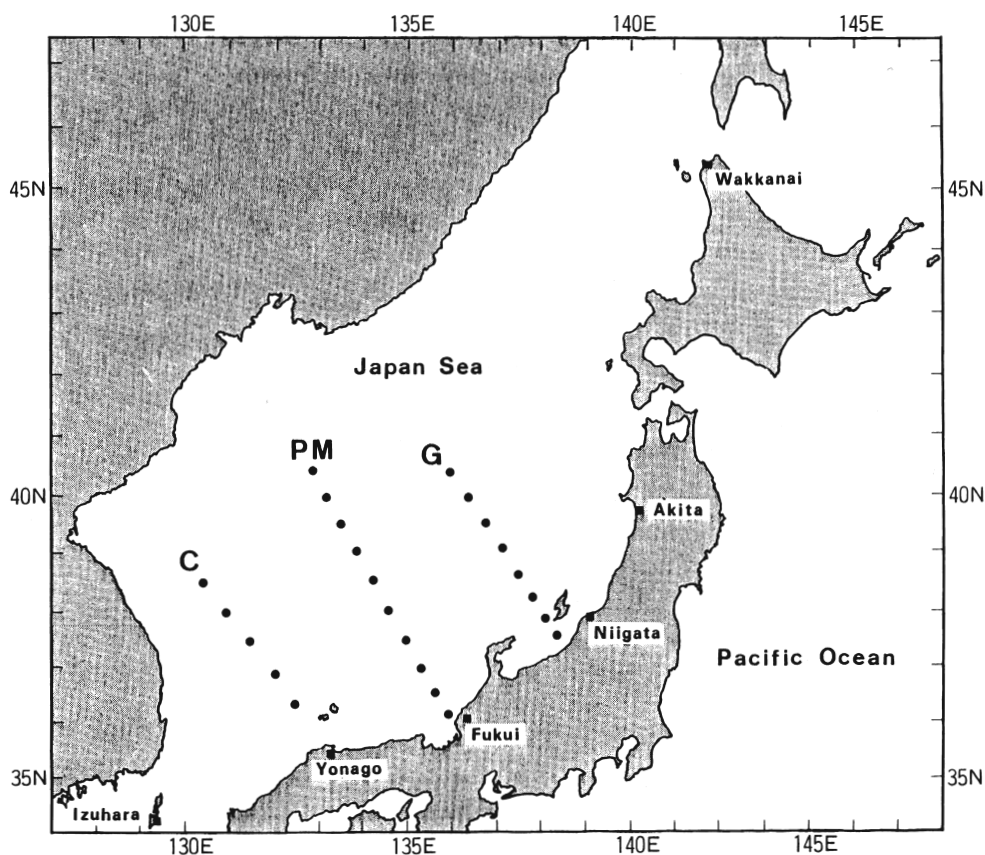


Fig. 1. Station locations along PM, C and G lines in the Japan Sea which are quarterly occupied by the Maizuru Marine Observatory.

度のデータをご提供いただいた日本海洋データセンターにお礼申し上げる。本論文は、気象庁の海洋観測資料を利用して、困難な観測業務を長期にわたって継続実施されている舞鶴海洋気象台に敬意を表する。

## 資 料

透明度とクロロフィル *a* 量を同時に観測しているデータとして、舞鶴海洋気象台が行った1973-1989年のPM線、1984-1989年のC線(1988年は欠測)、1982-1989年のG線の各定点(Fig. 1)における2(冬季)、5(春季)、7(夏季)、9(秋季)月の観測データ(気象庁 1974-1991)を利用した。日本海では、親潮前線にはほぼ相当する日本海亜寒帯前線が平均して40°N付近に存在している(川合 1991)ことから、これら3線は、前線以南の対馬暖流域をほぼカバーしていると考えてよく、本論文では、この海域を日本海南部と呼ぶことにする。

## 結果および考察

透明度に対するクロロフィル *a* 量の影響を評価するために、PM、C、G線における両者の関係を検討した(Fig. 2)。この検討に際し、PM線におけるデータ数は53~87、G線では20~37、

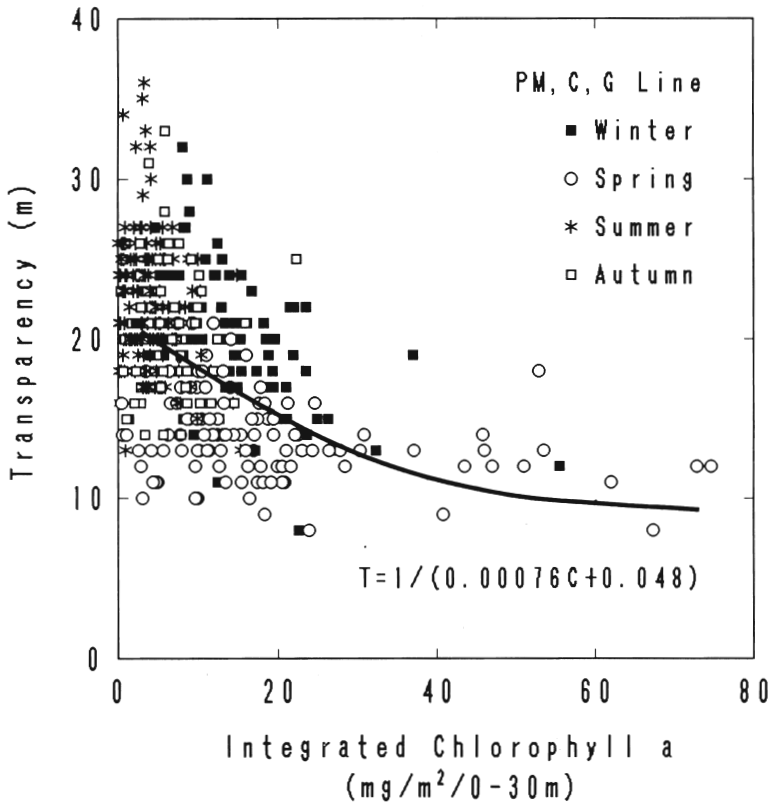


Fig. 2. Relationship between integrated chlorophyll *a* in the upper 30m water column and transparency.

C線では7~13と、観測線によってデータ数に大きな差があるので、観測線相互の比較は行わず、3本の観測線のデータを合わせて、日本海南部の広域的な特徴を検討した。また、透明度は、表面からその深度までの水柱内における光学的特性を積算したものであることと、日本海南部における透明度は、大部分、30m以下であった(Fig. 2)ことから、本論文ではクロロフィルa量として、表面から30mまでの積算量を用いてある。Fig. 2のクロロフィルaと透明度の散布図から言えることは、(1)点の分布範囲は極めて広いこと、(2)分布範囲は季節によって異なっていること、(3)それにもかかわらず、年間を通してみれば両者の間に双曲線の関係があることが示唆されること、の3点である。

まず点の分布範囲が広いという点についてみると、クロロフィルa量及び透明度の年間の変動は、それぞれ0.1-76mg/m<sup>2</sup>/0-30m、8-36mの範囲にあり、変動の幅はクロロフィルa量はおよそ75mg/m<sup>2</sup>/0-30m、透明度は28mにも及んでいる。しかし、季節毎の値の分布をみると、

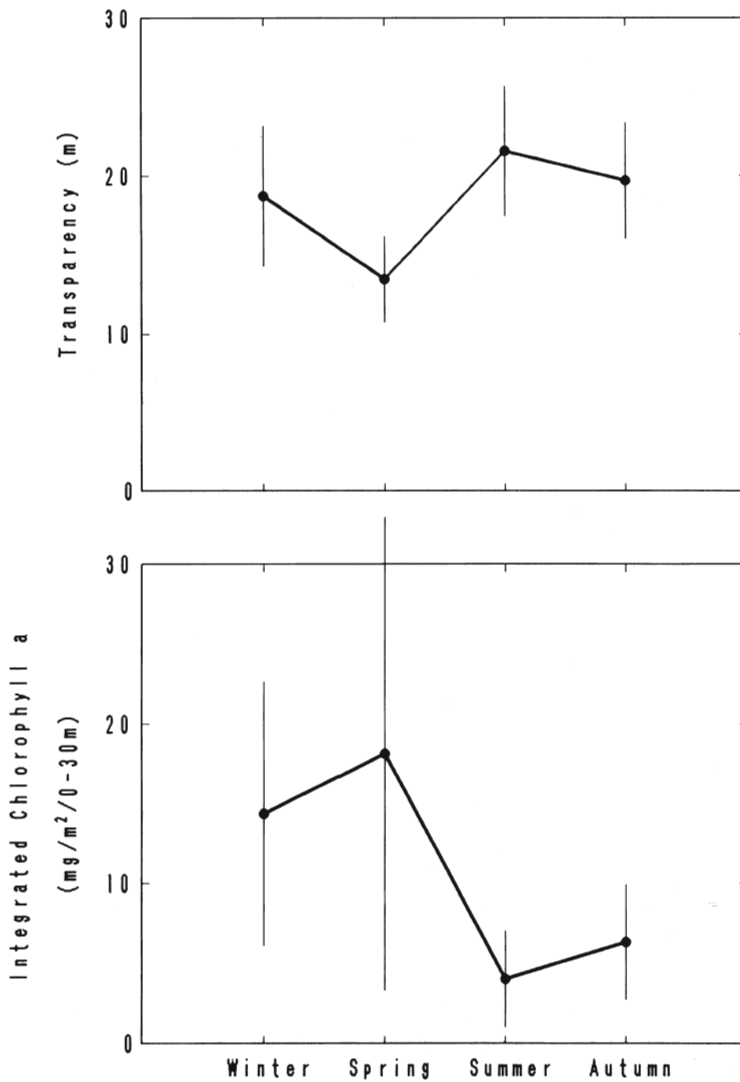


Fig. 3. Seasonal changes in mean±SD transparency and chlorophyll a.

それぞればらつきは大きいものの、ある異なった特定の位置を中心に分布していることがわかる。このことは、クロロフィル *a* 量と透明度の関係に季節変化があることを示唆していると考えられる。

Fig. 2 の中で、クロロフィル *a* 量と透明度の値を季節毎にみると、冬季のクロロフィル *a* 量は、およそ  $10\text{--}25\text{mg/m}^2/0\text{--}30\text{m}$ 、透明度は 20m 前後であるが、春季にはクロロフィル *a* 量は著しく増加し、 $70\text{mg/m}^2/0\text{--}30\text{m}$  を超えることもある。しかし変動幅が広く、夏季、秋季並みに少ない場合もみられる。その一方、透明度は 12~14m と低い場合が多く、年間で最も低下している。夏季、秋季のクロロフィル *a* 量は  $5\text{mg/m}^2/0\text{--}30\text{m}$  前後、透明度は 20m 前後と、分布パターンは比較的似ている。こうした季節変化が存在するために、分布図(Fig. 2)上ではクロロフィル *a* と透明度の間に一定の関係が示唆される結果となっている。そこで年間を通じた両者の関係を双曲線に当てはめると、

$$T=1/(0.00076C+0.048)$$

の回帰式が得られた。ただし、*T* は透明度(m)、*C* は表面から 30m までのクロロフィル *a* 積算量 ( $\text{mg/m}^2$ ) である。ちなみに、*T* と  $1/C$  の相関係数は 0.52 であり、1% の危険率で有意である。

クロロフィル *a* 量と透明度の変動は、季節によって異なっていたことから、各季節の透明度とクロロフィル *a* の平均値を用いて季節変化のパターンを検討した(Fig. 3)。Fig. 2 から明らかであるが、標準偏差の大きさに示されているように、クロロフィル *a* 量、透明度ともに、同

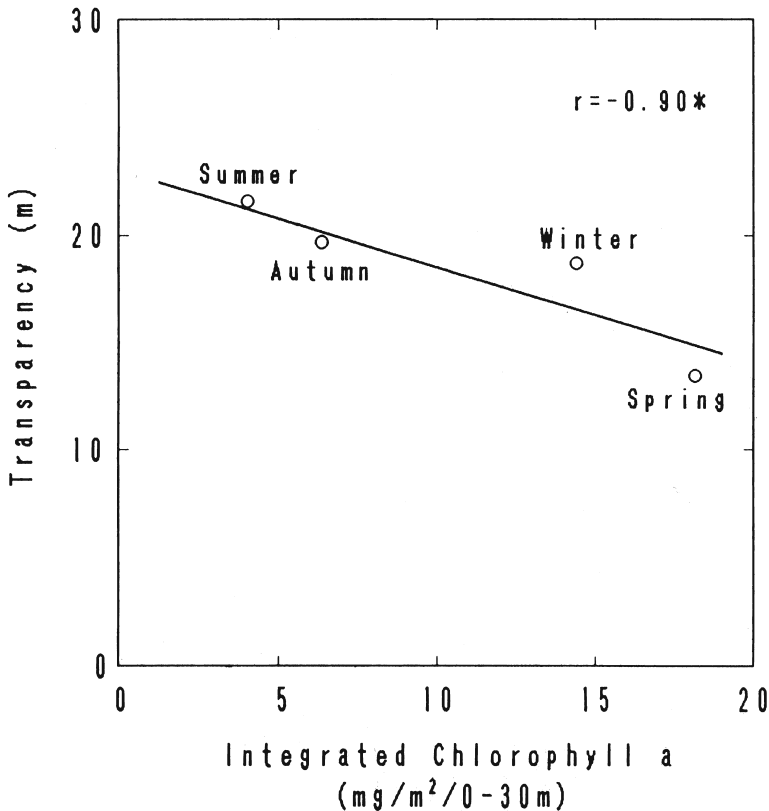


Fig. 4. Relationship between mean chlorophyll *a* and transparency in each season. \* $P < 0.10$ .

じ季節でも年、海域等によって、変動の幅は大きいことを示している。しかし、平均値に着目すると、透明度は春季に13.5mと最も低くなり、夏季に21.6mと最大になる季節変化を示している。一方、クロロフィルa量については、春季は18.1mg/m<sup>2</sup>/0-30mと最大となり、夏季、秋季は4.0-6.4mg/m<sup>2</sup>/0-30mまで減少する季節変化のパターンを示す。平均値の季節変動から明らかなことは、クロロフィルa量が最も多い春季に透明度は最低になっていること、反対にクロロフィルa量が最も少ない夏季に透明度は最大になっていることである。すなわち、両者の間には、逆の季節変動が認められる。

平均値からみたクロロフィルa量と透明度の季節変動の間には、-0.90という高い負の相関係数が得られる(Fig. 4)。データ数が4点であるため、有意な相関係数と判定する際の危険率は10%と大きいですが、原データ(Fig. 2)でみられる両者の関係が、ここでは負の相関関係として、明瞭に現れていると言えよう。このように周年にわたってみると、両者の間には負の関係があり、クロロフィルa量の変動が透明度に影響を及ぼしていると判断することができる。すなわち、季節的にはクロロフィルa量が多い時に透明度は低く、クロロフィルa量が少ない時に透明度

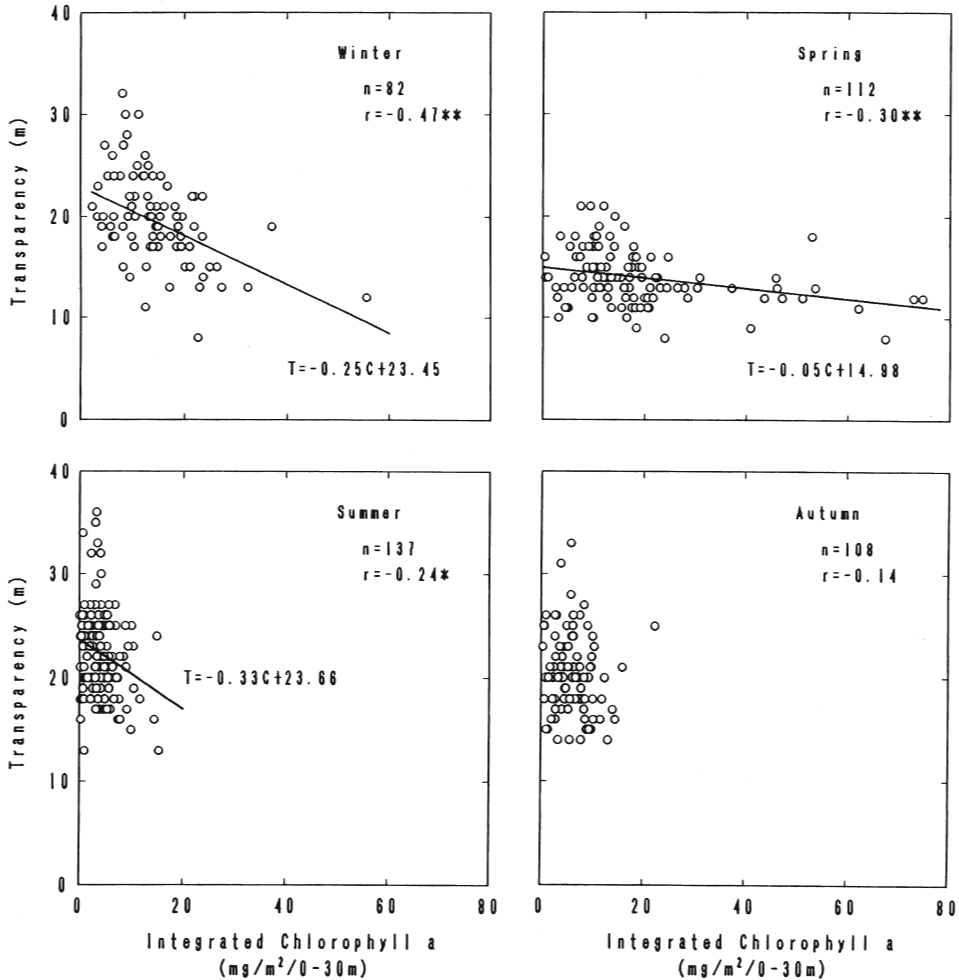


Fig. 5. Relationship between integrated chlorophyll a in the upper 30m water column and transparency. \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ .

**Table 1.** Linear regression between transparency (T in m) and integrated chlorophyll *a* (C in mg/m<sup>2</sup>/0-30m) in each season.

	n <sup>a)</sup>	r <sup>b)</sup>	Regression equation	SE <sup>c)</sup>
Winter	82	-0.47**	T = -0.25C + 23.45	3.97
Spring	112	-0.30**	T = -0.05C + 14.98	2.60
Summer	137	-0.24*	T = -0.33C + 23.66	4.02
Autumn	108	-0.14		

<sup>a)</sup> No. of data   <sup>b)</sup> correlation coefficient   <sup>c)</sup> standard error   \**P* < 0.05   \*\**P* < 0.01

は高くなる傾向にあると結論づけることができる。反面、それぞれの季節の中で、クロロフィル *a* 量が透明度に反映されているかどうかは、Fig. 2-Fig. 4 からは明らかではない。Fig. 2 の散布図及び Fig. 3 の標準偏差にみられる通り、各季節の中でもクロロフィル *a* 量と透明度の変動の幅は大きい。もし、それぞれの季節の中での値のばらつきが、クロロフィル *a* 量と透明度の海域差を反映しているものであれば、両者の間には一定の関係がみられるであろうことが予想される。そこで、次にそれぞれの季節内におけるクロロフィル *a* 量と透明度の関係を検討した。

クロロフィル *a* 量と透明度の関係を季節毎に比較すると、次のような特徴が認められる (Fig. 5)。すなわち、(1) 冬季においてはクロロフィル *a* 量、透明度ともにばらつきは大きいものの、両者は全体に右下がりの分布傾向にあり、負の相関が示唆される。(2) 春季は透明度の変動範囲は冬季よりも小さい一方、クロロフィル *a* 量のばらつきは極めて大きく、右下がりの傾向は冬季と同様にみられるが、その傾きは小さい。(3) 夏季、秋季については、透明度のばらつきは冬季と同程度に大きかったのに対し、クロロフィル *a* 量は絶対値、ばらつきともに四季の中では最も小さく、少なくともこの図からは、クロロフィル *a* 量と透明度の間に明瞭な関係をみてとることはできない。

そこで季節毎に、クロロフィル *a* 量と透明度の相関係数を求め、それが有意であった季節については回帰式を示した (Table 1)。各季節の相関係数を検定したところ、冬、春季については 1% の危険率で負の相関が認められたほか、夏季についても 5% の危険率で同様の関係があることが示された。回帰式は冬、春、夏季ともに負の直線であるが、このうち冬、夏季の回帰式の係数は、互いに類似していた。しかし、春季の回帰式は、冬、夏季のそれに比べて、傾きの程度、切片ともに小さかった。このことは、クロロフィル *a* 量だけでなく、他の要因も透明度の変動に関わっており、季節によってその程度が異なっていることを示唆している。しかしながら、この結果 (Fig. 4, Table 1) は、秋季を除く各季節の中において、クロロフィル *a* 量が多い海域は透明度は低く、クロロフィル *a* 量が少ない海域は透明度が高いという関係が成り立つことを示している。

この関係を、例えば長田 (1994) が報告した日本海の平均的な透明度の分布と、その季節変化 (Plate 1) に当てはめると、透明度の変動は、おおむねクロロフィル *a* 量の変化を反映したものとみることができる。すなわち、(1) 季節的には春季に透明度は最も低下し、冬、夏、秋季には高くなっていることから、四季のうちでは、春季にクロロフィル *a* 量が最も多くなると考えることができる。また、(2) 春季の透明度の低下は、日本海のほぼ全域でみられていることから、春季には広い海域でクロロフィル *a* 量が増加していることが示唆される。さらに (3) 海域別にみると、冬、夏季では、透明度の高い海域は山陰～北陸沿岸から、日本海中央部にかけて分布し



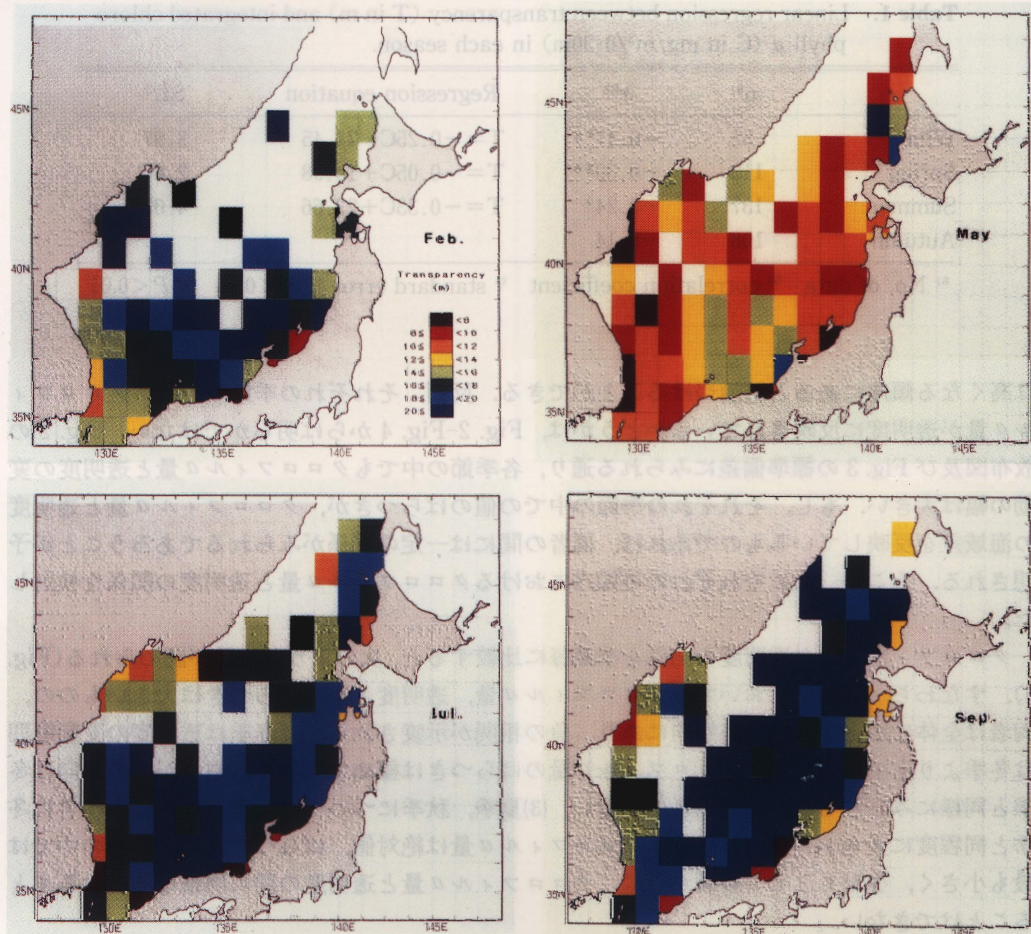


Plate 1. Mean transparency in the Japan Sea in winter (February), spring (May), summer (July) and autumn (September), modified after NAGATA (1994).

ており、この海域におけるクロロフィル $a$ 量は特に少ないと推定することができる。このように、透明度はクロロフィル $a$ 量の地理的分布、季節変動を概略的に知り、生物的環境を評価するための基礎を与える指標として有効であると言える。

### 要 約

植物プランクトン量の変動が透明度にどのような影響を与えているかを調べ、透明度から植物プランクトン量を推定できる可能性を検討するため、日本海南部で行われた1973-1989年の海洋観測結果を用いて、クロロフィル $a$ 量と透明度の関係を解析した。その結果、両者の間には有意な負の相関があることが明らかになった。すなわち、クロロフィル $a$ 量が多い場合に透明度は低く、クロロフィル $a$ 量が少ない場合に透明度は高い傾向がみられた。透明度はクロロフィル $a$ 量の地理的分布、季節変動を概略的に知る指標として有効であることを確認した。



## 文 献

- ABE, N., HONMA, Y. and KITAMI, T. (1984) Species composition and seasonal fluctuation of plankton communities in Tassha Bay of Sado Island. *Rep. Sado Mar. Biol. Stat., Niigata Univ.*, (14), 1-21.
- ATKINS, W. R. G., JENKINS, P. G. and WARREN, F. J. (1954) The suspended matter in sea water and its seasonal changes as affecting the visual range of the Secchi disc. *J. Mar. biol. Ass. U. K.*, **33**, 497-509.
- 古橋賢造 (1980) 舞鶴湾のプランクトン. 海洋科学, **12**, 717-729.
- ICHIMURA, S. (1956) On the standing crop and productive structure of phytoplankton community in some lakes of central Japan. *Bot. Mag. Tokyo*, **69**, 7-16.
- ICHIMURA, S. and SAIJO, Y. (1959) Chlorophyll content and primary production of the Kuroshio off the southern midcoast of Japan. *Bot. Mag. Tokyo*, **72**, 193-202.
- 川合英夫 (1991) 対馬暖流系での総観スケールの構造と水産生物に及ぼす影響. pp 35-48. 川合編 流れと生物と—水産海洋学特論—, 京都大学学術出版会, 京都.
- 気象庁 (1974-1991) 気象庁海洋気象観測資料. No. 53-81.
- 丸茂隆三 (1951) 日本近海におけるプランクトン量と透明度との関係. 日本海洋学会誌, **7**, 9-13.
- 松田 治・岸本幸典・濱崎 聡 (1990) 呉港における海況諸要素の季節変動とその変動要因. 広島大学生物生産学部紀要, (29), 135-144.
- 元田 茂 (1971) 忍路湾のプランクトン暦. 日本プランクトン学会報, **18**, 73-80.
- NAGATA, H. (1993) A phytoplankton bloom recorded in a long-term monitoring of chlorophyll *a* concentration in the Japan Sea. *J. Plankton Soc. Japan*, **39**, 145-147.
- 長田 宏 (1994) 日本海における透明度の分布とその季節変動(予報). 日水研報告, (44), 31-38.
- 長田 宏・木谷浩三 (1987) フェリーボートによる冬～春季の低次生産環境調査. 日水研報告, (37), 21-26.
- 中原民男・小川嘉彦・田中良治 (1987) 山口県日本海沿岸に出現する植物プランクトンの分布. 山口県外海水試報告, (22), 1-19.
- SHEMESHURA, V. Y., URDENKO, V. A. and FEDIRKO, V. I. (1982) Relationship between relative transparency and chlorophyll *a* concentration in water. *Oceanology*, **22**, 298-300.
- SHIBATA, Y. and ARUGA, Y. (1982) Variations of chlorophyll *a* concentration and photosynthetic activity of phytoplankton in Tokyo Bay. *La mer*, **20**, 75-92.
- 下村敏正 (1953) ミクロプランクトンの生産・分布及び海況との関係に関する研究. 日水研報告, (3), 1-136.