

## 相模湾真鶴港における海洋環境の周年ならびに経年変化 —1995年から1999年—

戸田 龍樹・菊池 知彦・濱崎 恒二・高橋 一生・  
藤木 徹一・Victor KUWAHARA・吉田 輝明・田口 哲

### Seasonal and annual variations of environmental factors at Manazuru Port, Sagami Bay, Japan from 1995 to 1999

Tatsuki TODA・Tomohiko KIKUCHI・Koji HAMASAKI・Kazutaka TAKAHASHI・  
Tetsuichi FUJIKI・Victor KUWAHARA・Teruaki YOSHIDA and Satoru TAGUCHI

**Abstract.** Seasonal and annual variations of environmental factors were examined to understand marine environments in the coastal area of Sagami Bay, Japan in the 1990s. Temperature, salinity, chlorophyll *a*, and dry weight (DW) and ash free dry weight (AFDW) as zooplankton biomass were measured at Manazuru Port located in the north-western part of Sagami Bay, every week from 1995 to 1999. Rainfall data taken at Manazuru village office was used during the same period. Irradiance was also measured at Manazuru Marine Laboratory for Science Education, Yokohama National University from 1997 to 1999. Temperature ranged between 11.8°C and 28.2°C and salinity between 24.0 and 37.0. Salinity values were often influenced by the amount of the rainfall, which caused sudden decreases of salinity in surface waters. Chlorophyll *a* concentrations ranged from 0.19mg/m<sup>3</sup> to 106mg/m<sup>3</sup>. Chlorophyll *a* concentrations increased during summer and showed maximum values of more than 30mg/m<sup>3</sup> every year. This annual pattern was different from that in the typical temperate area as showing two peaks in the chlorophyll *a* concentration of spring and autumn through the year. The chlorophyll *a* concentration in the present study was compared with the published data, and the long-term variation in the coastal area of Sagami Bay was discussed. DW and AFDW increased during April and June throughout the period. The maximum abundances were 506mg/m<sup>3</sup> as DW and 202mg/m<sup>3</sup> as AFDW. The average DW was 55.8mg/m<sup>3</sup> and AFDW was 24.8mg/m<sup>3</sup>. AFDW occupied nearly half the portion of DW throughout the period. This result suggests that biomass values of zooplankton should be denoted in terms of AFDW rather than DW in near shore areas such as Manazuru Port. Monitoring the environmental factors continuously is needed to understand the changes of the environmental conditions in the coast of Sagami Bay.

戸田 龍樹・藤木 徹一・Victor KUWAHARA・吉田 輝明・田口 哲

創価大学工学部生物工学科 〒192-8577 八王子市丹木町1-236 <✉ toda@t.soka.ac.jp>

菊池 知彦：横浜国立大学教育人間科学部 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-2

濱崎 恒二：広島大学生物生産学部 〒389-8528 広島県東広島市鏡山1-4-4

高橋 一生：水産庁東北区水産研究所 〒985-0001 宮城県塩釜市新浜町3-27-5

人類の活動による様々なレベルでの環境破壊により、現在、地球上ではかつて経験したことのない速さで生態系の構造変化や生物種の大量絶滅が進行している (Reid & Miller 1989, World

Conservation Monitoring Centre 1992)。日本各地の沿岸生態系においても例外ではなく、今日、富栄養化や赤潮の発生が恒常化し、生物種の消失や生物生産の変化が報告されている (代田

1992, 岡市友利編 1997, 玉井 1999, 本城・今田 1999, 本城・松山 2000)。東京湾では、1960年代に進行した富栄養化にともない、微小動物プランクトンや中・大型動物プランクトンの種組成や生物量が変化し、現在もなお種組成が瀬戸内海などの日本の温暖な内湾とは異なっていることが報告されている(村田 1973, 野村ほか 1992, 野村・村野 1992)。

創価大学工学部生物海洋学研究室と横浜国立大学教育人間科学部自然環境講座は、1990年代の相模湾沿岸域の海洋環境とその周年変化を記録し、把握することを目的に、1995年より真鶴港岸壁において各週、真鶴半島沖において各月の定期調査を実施してきた。今回、真鶴港岸壁における4年間にわたる各週定期調査が終了し、観測データが本報告にまとめられた。この観測結果は、過去に観測、公表されたデータと比較検討され、またこれからの10年後、20年後のデータと比較されることにより、相模湾の沿岸環境が中・長期的にどのように推移していくかを知る手助けとなるであろう。

### 調査海域概要

相模湾は本州中部太平洋岸に位置し、西側を伊豆半島、東を三浦半島と房総半島で囲まれ、南側の湾口を太平洋に広く開いた開放型の湾である(Fig 1)。湾には南方より黒潮が流入し、中深層には北方より親潮水の流入が認められる。また、相模川、酒匂川をはじめとする大小20の河川から淡水が流入し、湾奥西岸の表層に低塩分水を形成する(岩田 1985)。この様な複雑な水塊構造が、相模湾における暖水性種と冷水性種からなる多様な生物相の形成を可能にさせている要因となっている(中田 1985)。

本研究が行われた真鶴半島は、相模湾湾奥の西側に位置し、大陸棚は発達せず、海岸線から急勾配の斜面が続き、深度1,000mを越える相模舟状海盆へと連なる。真鶴半島周辺は、大島沖から流入した黒潮の支流と湘南海岸に沿って流れてきた海水とが合流し、潮目を形成しており、相模湾における好漁場の一つである(日本海洋学会編 1985)。

### 材料および方法

水温、塩分の測定、採水ならびにプランクトン採集を、1995年5月から1999年5月までの4年間にわたって、正午前後に神奈川県真鶴港内の観測定点(35°09' 49" N, 139° 10' 33" E)において、通常毎週1回行なった(Fig 1)。

水温と塩分は、現場表面海水を採取し、それぞれ水銀温度計と海水塩分計(ATAGO)で測定された。

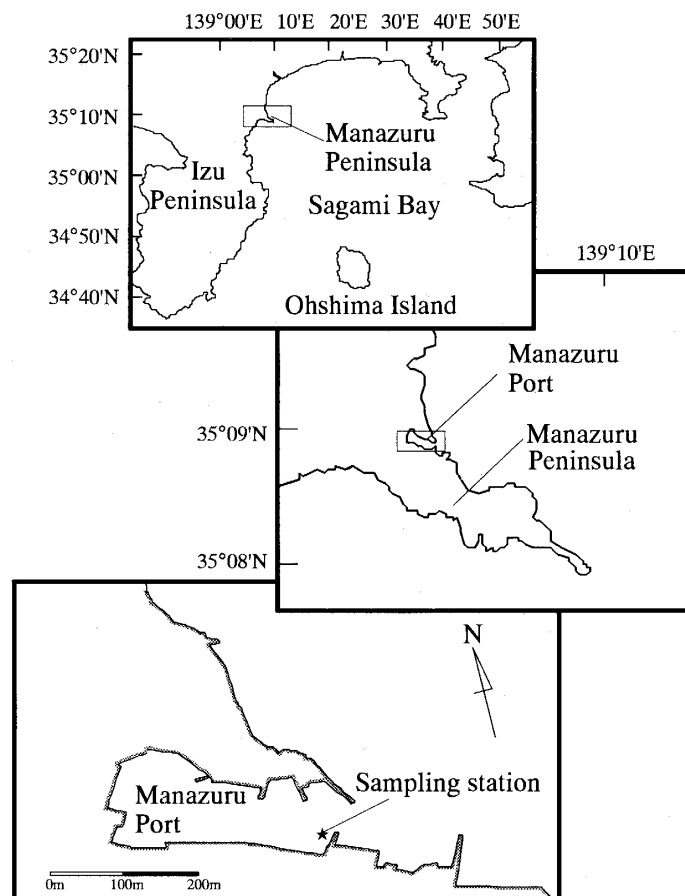


Figure 1 Location of sampling station in this study.

植物プランクトン量の指標となるクロロフィル *a* 濃度 (Chl. *a*) は、25mmのグラスファイバーフィルター (Whatman GF/F) に、現場表面海水 400ml を濾過し、NN-Dimethyl formamide (DMF) に 4°C で 24 時間以上抽出後 (Suzuki & Ishimaru 1990)、蛍光法により (Holm-Hansen et al. 1965)、蛍光光度計 (Turner Designs, Fluorometer Model 10-AU) を用いて測定した。

動物プランクトン量として、目合180 $\mu$ m、口径30cm、長さ160cmのプランクトンネットで採集した試料の乾燥重量 (DW) と乾燥有機物重量 (AFDW) を求めた。プランクトン試料は2.0~2.5mの深度から傾斜曳によって採集した。採集された試料は、マッフル炉 (ISUZU STR-28K) を使って、事前に500°Cで2時間焼いて重量を測定した、47mmのグラスファイバーフィルター (Whatman GF/A) 上に現場で濾過した。濾過後、冷蔵して3時間以内に実験室に持ち帰り、-60°Cで冷凍保存した。数ヶ月毎に、これらの冷凍試料をオープン乾燥機 (EYELA, NDO-600ND) を用いて、60°Cで48時間充分に乾燥し、秤量計 (SARTORIOUS, MC5) で乾燥重量 (DW) を測定した。乾燥重量測定後、これらの試料は乳鉢を用いて粉末にし、元素分析用試料として4ml クリューバイアル瓶 (日電理化 S-1) に入れ暗所に保管した。元素分析には CHN コーダー (FISONS, Model NA1500NCS) を使用し、約2~5mgの粉末試料を正確に秤量し、全炭素量と全窒素量を測定した (大森・池田 1976)。試料中の灰分を求めるために、全炭素量、全窒素量測定後の粉末試料の残りをマッフル炉で、500°Cで4時間焼いて、試料中の有機物を燃焼させ、灰分乾重量 (AW) を測定した。この灰分乾重量 (AW) を乾燥重量 (DW) から引くことによって乾燥有機物重量 (AFDW) を求めた (Hirota & Szyper 1975, Nagao et al. 2001)。

使用したプランクトンネットには、網口に濾水計 (離合社) が取り付けられており、濾水計の値から、濾水量を計算し (大森・池田 1976)、乾燥重量 (DW) と乾燥有機物重量 (AFDW) の値を海水単位体積当たり (1 m<sup>3</sup>当たり) に換算した。本観測においては、上述した項目のほか、

プランクトン群集の同定と分類を行うための植物プランクトンと動物プランクトンの試料を採集した。これらは中性ホルマリンで固定され、現在解析中で炭素および窒素量の結果と併せて後日報告する予定である。

日射量の観測は、横浜国立大学教育人間科学部理科教育実習施設に設置した光量子計 (LI-190 SA, LI-COR) によって、上記の観測より2年遅れて1997年5月より1999年5月までの期間、計測を行った。毎月の日射量は月ごとの平均値を、その月の日射量とした。

降雨量は、神奈川県真鶴町役場に設置されている、ヒーター付の雨雪量計で計測されたデータを利用した。毎月の降雨量は月ごとで積算した値とした。

## 結果および考察

### 水温・塩分・降雨量

調査期間を通して、水温は最高28.8°C (1995年8月) から最低11.8°C (1996年1月)、塩分は最高37.0 (1996年10月) から最低24.0 (1995年7月) の間で変動した (Figure 2)。

周年の水温の変化は、ほぼ同様の季節的変遷を示した。1月から4月にかけては、15°C前後の低水温で、5月から8月にかけて25°C以上の高水温期にむけて上昇、推移した。高水温の時期は9月下旬まで続き、その後15°C前後の低水温まで下降した。但し、1999年においては、2月下旬から3月初旬に約5°Cも急激に上昇し、それ以前にはみられなかった早い時期における温度上昇が確認された (Fig 2)。

下出 (1998) は、真鶴半島沖の定点で水温の季節的変化について4つの時期を認めた。1) 低温期：1月から4月までの表層水温が15°C前後で海水の混合がみられる時期。2) 上昇期：5月から7月までの表層水温が段階的に上昇し、季節的水温躍層の形成過程の期間。3) 高温期：8月から9月までの表層水温が年間で最高値の25°C前後となり、季節的水温躍層が最も発達し海水が成層する期間。4) 下降期：10月から12月までの表層水温が段階的に低下し、季節的水温躍層が解消過程の期間。本研究においても

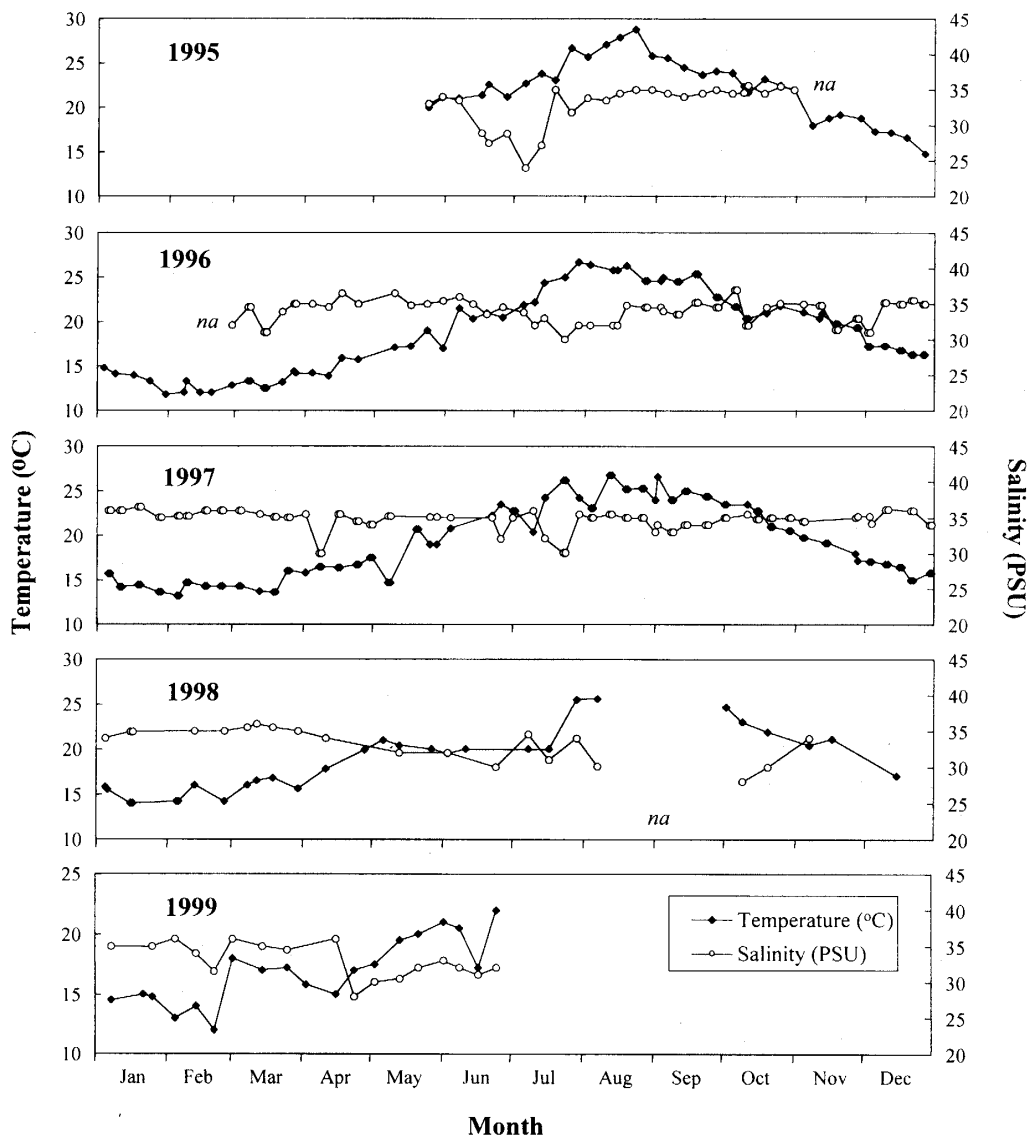


Figure 2 Annual variations of surface water temperature and salinity in Manazuru Port from 1995 to 1999. *na* : not available.

1999年を除く3ヶ年はこの季節パターンにあてはまるものと考えられる。

塩分は、周年を通してほぼ34.0~36.0であったが、梅雨時など一時的に塩分の値が下降することもあった。特に1995年の6月から7月と1999年の4月には降雨による大幅な塩分の低下が記録された (Fig 2, 3)。

真鶴半島における降雨量は、4月から7月にかけて多くなり、200~400mmとなり、8月から冬季にかけて減少し、春季までは100mm前後またはそれ以下となった (Fig 3)。総降雨量には年較差が認められ、1998年度はその他の年より多く

の雨が降った。特に、1998年の4月から10月にかけて、毎月200mm以上の平均降雨量を記録した。

各月の平均日射量は Figure 4に示した。1997年8月に最大平均日射量 $49.4 \text{ mol/m}^2/\text{day}$ を記録し、1999年3月に最小値 $13.4 \text{ mol/m}^2/\text{day}$ を示した。冬季から春季にかけては $30 \text{ mol/m}^2/\text{day}$ 以下で変動し、夏季は $30 \sim 50 \text{ mol/m}^2/\text{day}$ の範囲で変化した。なお、同時期において実施された、相模湾真鶴沖における水中への光透過に関する研究は、Kuwahara et al. (2000) に詳しい。

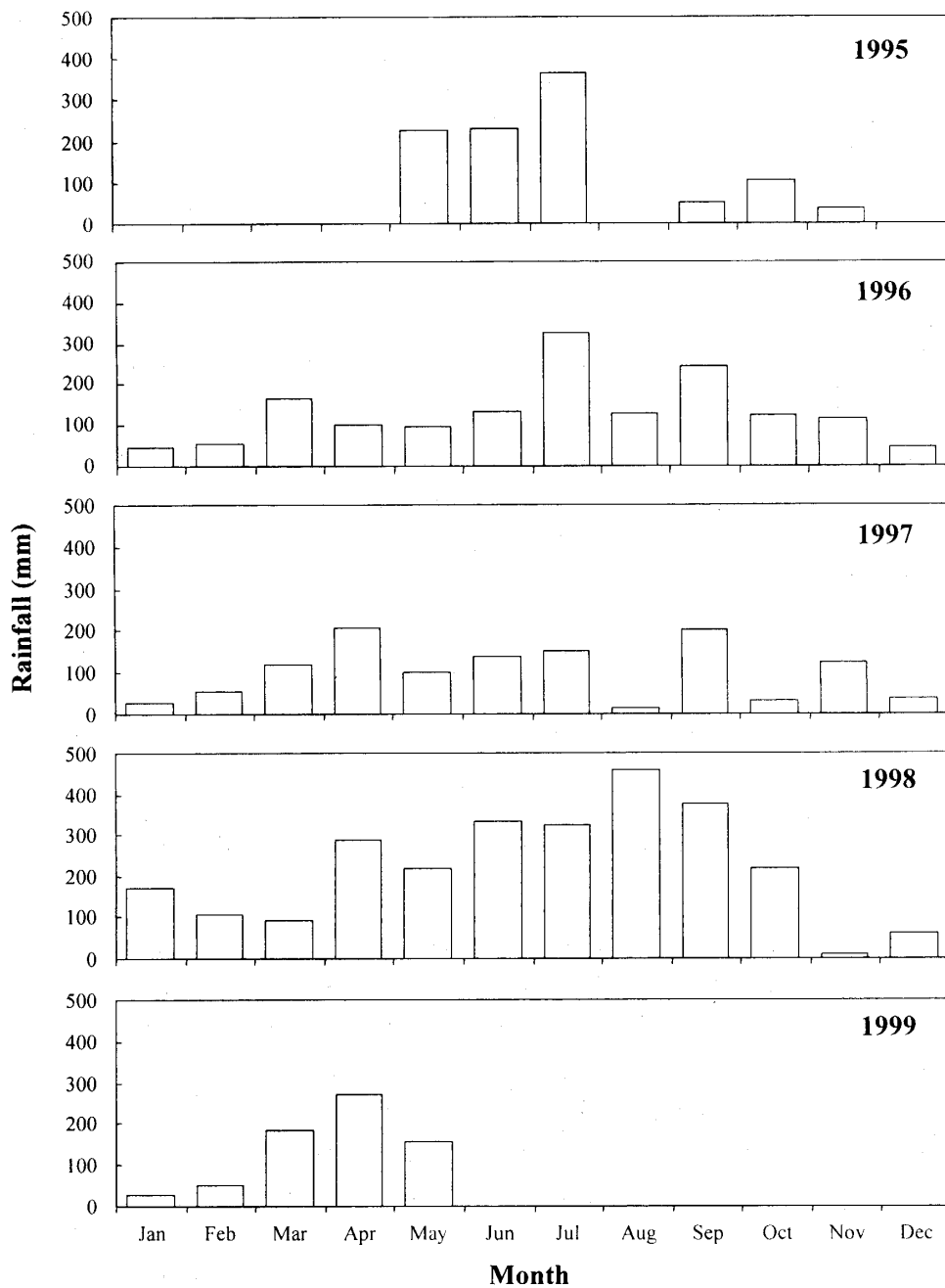


Figure 3 Annual variation of rainfall (mm) in Manazuru Port from 1995 to 1999.

#### クロロフィル *a* 量

調査期間中のクロロフィル *a* 量の最高値は、1997年7月の106mg/m<sup>3</sup>で最低値は1996年4月の0.19mg/m<sup>3</sup>であった (Fig 5)。風呂田 (1980) は20年以上前に、相模湾返子沿岸で1972年3月から1974年2月の2年間にわたって観測を行い、7月から9月の河川水の影響の大きい表層水中で、20μg/l (20mg/m<sup>3</sup>) のクロロフィル *a* 量を記

録した。Hogetsu et al. (1977) は相模湾の有光層における平均的なクロロフィル *a* 量は0.1~1.5 mg/m<sup>3</sup>で、東京湾の5~100mg/m<sup>3</sup>より低いことを報告した。また、神奈川県 (1982) による約15年前の1981年4月から1982年3月にかけての観測では、相模湾沿岸での年間の最大クロロフィル *a* 量は茅ヶ崎沖で観測された16.0mg/m<sup>3</sup>であり、真鶴沖におけるクロロフィル *a* 量の最大値は1981

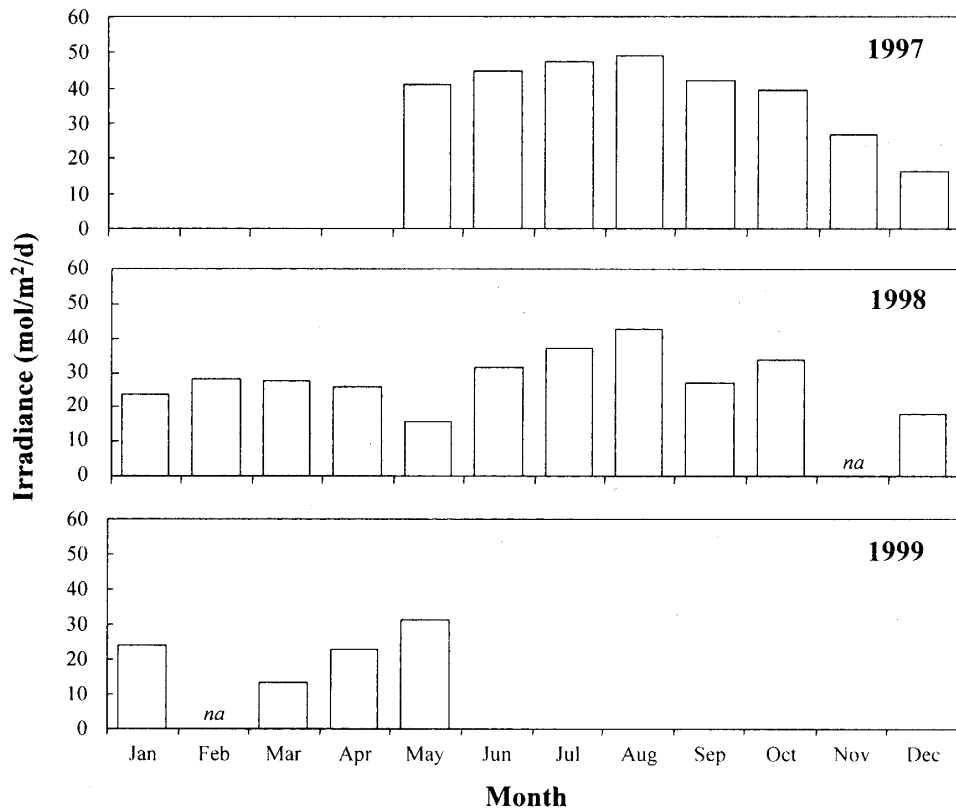


Figure 4 Annual variation of surface irradiance in Manazuru Port from May 1997 to May 1999.

年5月に7.6mg/m<sup>3</sup>であった。しかしながら、1995年から実施された本調査では、毎年、30.0mg/m<sup>3</sup>を越える値が観測され、15年間の間にクロロフィルa量の極大値が高くなっていることが印象づけられた。このことには、河川から沿岸域への栄養塩の負荷が考えられ、今後、中・長期的な河川水の流入量と栄養塩濃度の検討が必要である。

周年的なクロロフィルa量の変化は、5月から8月にかけていくつかの極大値のピークによって量が大きく変動する時期と、10mg/m<sup>3</sup>以下の量の少ない時期に大別される (Fig 5)。風呂田 (1980) は相模湾逗子沿岸の表層では、7月から9月の河川水の影響の大きい表層水中でクロロフィルa量の増加を記録し10月以降は1.0μg/l (1.0mg/m<sup>3</sup>) の低い値を示した。また、神奈川県 (1982) による観測では、相模湾沿岸域におけるクロロフィルa量は、江ノ島沖から大磯沖では5月から8月、真鶴沖では5月から7月と夏季に高くなることが報告され、相模湾沿岸全体を

みても冬季の12月から3月までの期間は1.0mg/m<sup>3</sup>以下の海域がほとんどであった。真鶴港岸壁において Satoh et al. (2000) によって、真鶴半島沖で下出 (1998) によって観測された、1995年から1997年における周年のクロロフィルa量の変化についても、同様に夏季にクロロフィルa量の増大が認められた。Satoh et al. (2000) は、夏季にクロロフィルa量が増加する現象を、“summer phytoplankton bloom” として報告し、クロロフィルa濃度の高い夏季には大型の渦鞭毛藻 *Ceratium furca* を中心とした植物プランクトンが優占し、クロロフィルa濃度の低い時期にピコプランクトンの重要性が増すことを明らかにした。

通常の温帯域や亜寒帯域では、春と秋における年に2回のクロロフィルa量の増加がみられる (Taguchi et al. 1977, Maita & Odate 1988, Falkowski & Raven 1997)。しかしながら、真鶴港や真鶴半島沖の相模湾沿岸では、晩春から夏にかけてクロロフィルa量が増加し、その後10

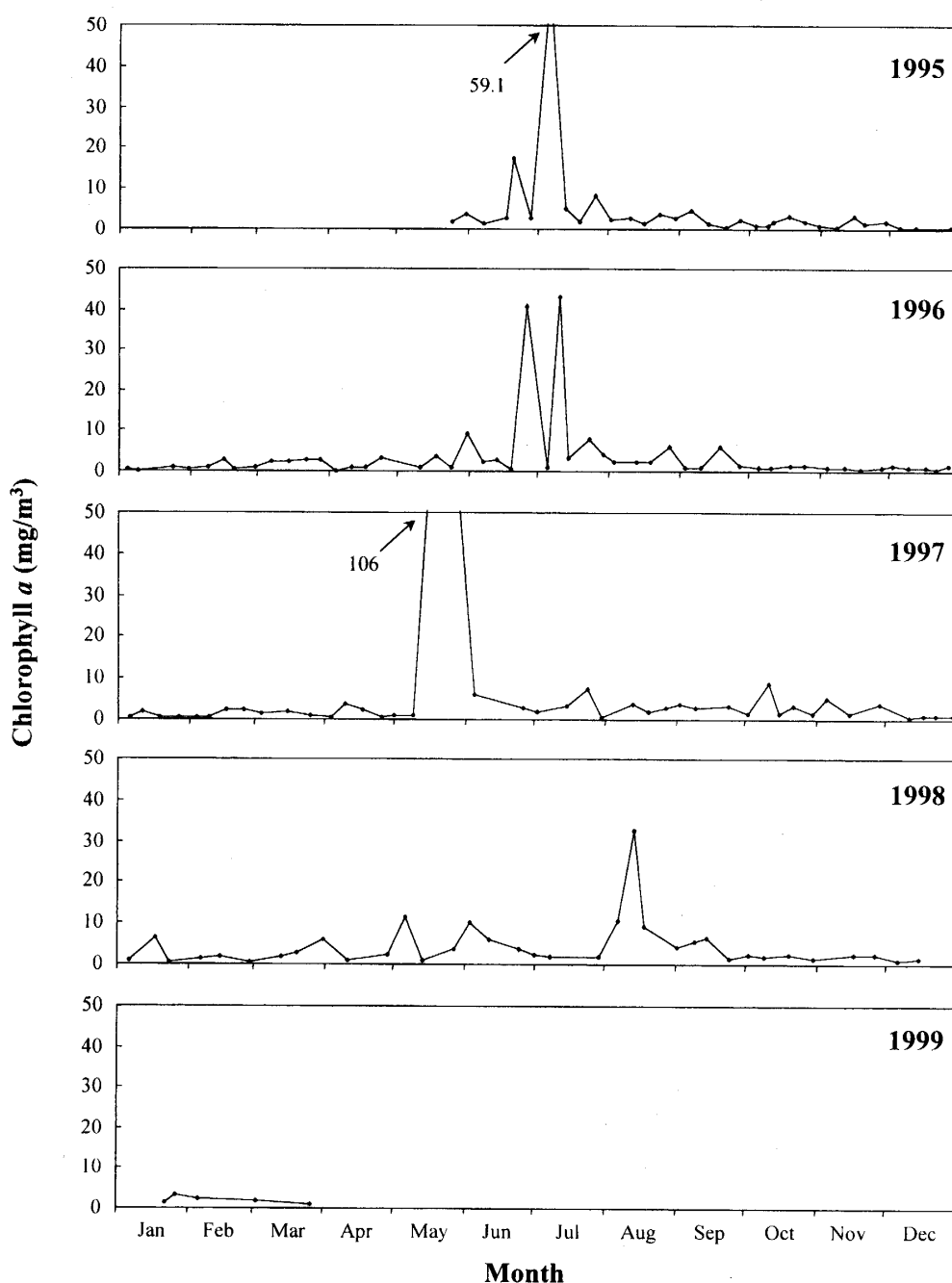


Figure 5 Annual variation of surface chlorophyll *a* pigment in Manazuru Port from 1995 to 1999.

mg/m<sup>3</sup>以下の低い値となり、春と秋のクロロフィル *a* 量の極大は見られなかった。このことには相模湾沿岸域が暖流の黒潮と寒流の親潮の両方の影響を受け、かつ河川や東京湾からの影響を受けている複雑な水塊構造を有すること（岩田 1985）と関係しているかもしれない。

#### 動物プランクトン量

乾燥重量 (DW) を Figure 6に、乾燥有機物重量 (AFDW) を Figure 7に示した。1996年6月に乾燥重量の最大値は506mg/m<sup>3</sup>を、乾燥有機物重量の最大値は202mg/m<sup>3</sup>を示した (Table 1)。乾燥重量、乾燥有機物重量ともに、4月から6月にかけて増大し、乾燥重量で約400~500mg/m<sup>3</sup>、乾燥有機物重量で約200mg/m<sup>3</sup>の最大値を示した。

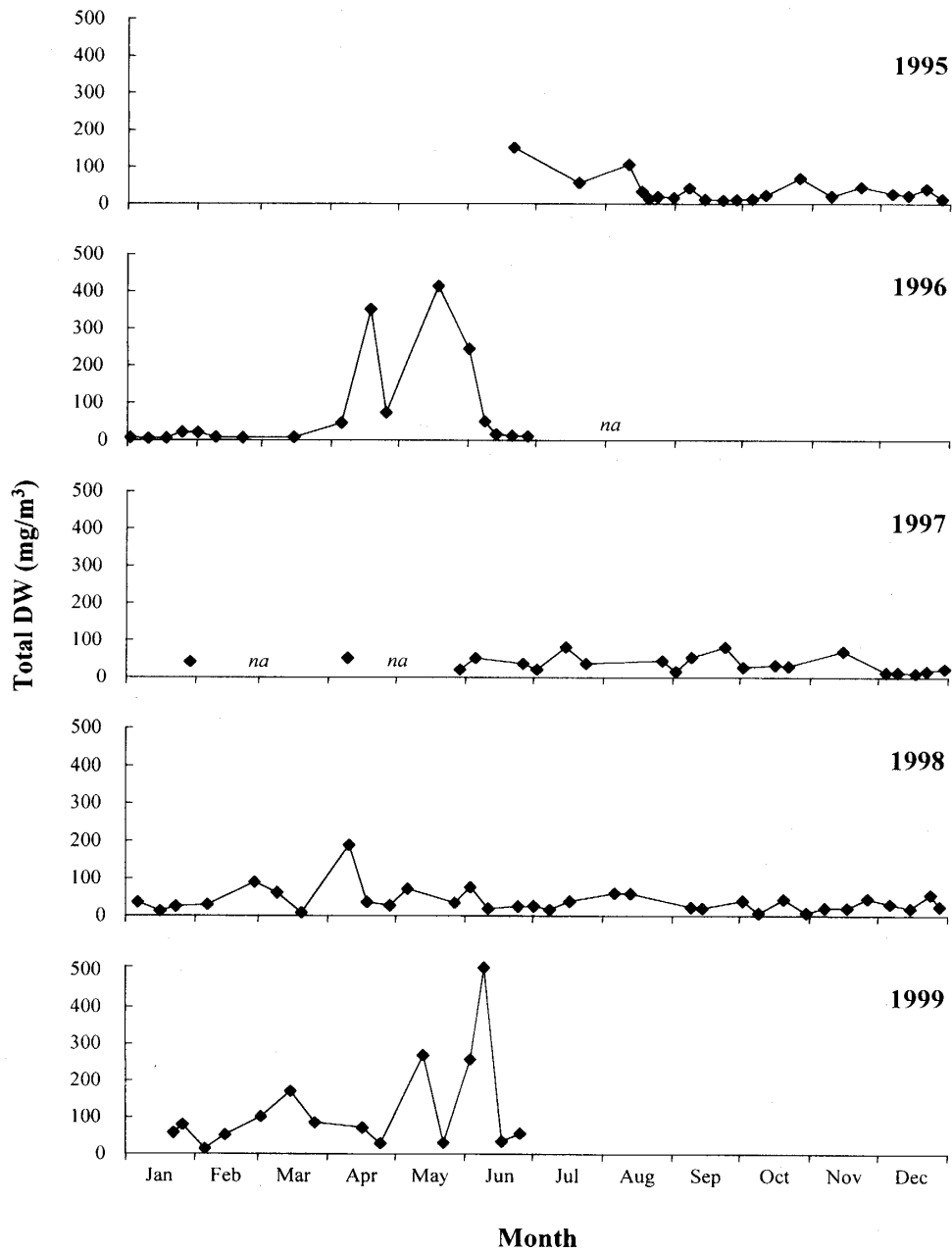


Figure 6 Annual variation of zooplankton biomass (DW) in Manazuru Port from 1995 to 1999.

7月以降、冬季を経て3月までは、乾燥重量で $100\text{mg}/\text{m}^3$ 、乾燥有機物重量で $50\text{mg}/\text{m}^3$ 前後かそれ以下の低い数値で変動した。

乾燥重量と乾燥有機物重量との間には、Fig 8に見られるような関係がみられた。乾重量の47.2%が灰分重量であり (Table 1)、本観測点のような沿岸域での動物プランクトン群集の生物量の評価には、乾燥有機物重量の測定が必要であることが示唆された (Nagao et al. 2001)。

Table 1. Zooplankton biomass in Manazuru Port throughout the study period.

	Minimum	Maximum	Average
DW ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	4.21	506	55.8
AFDW ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	1.98	202	24.8
AFDW/DW (%)	9.70	82.3	47.2



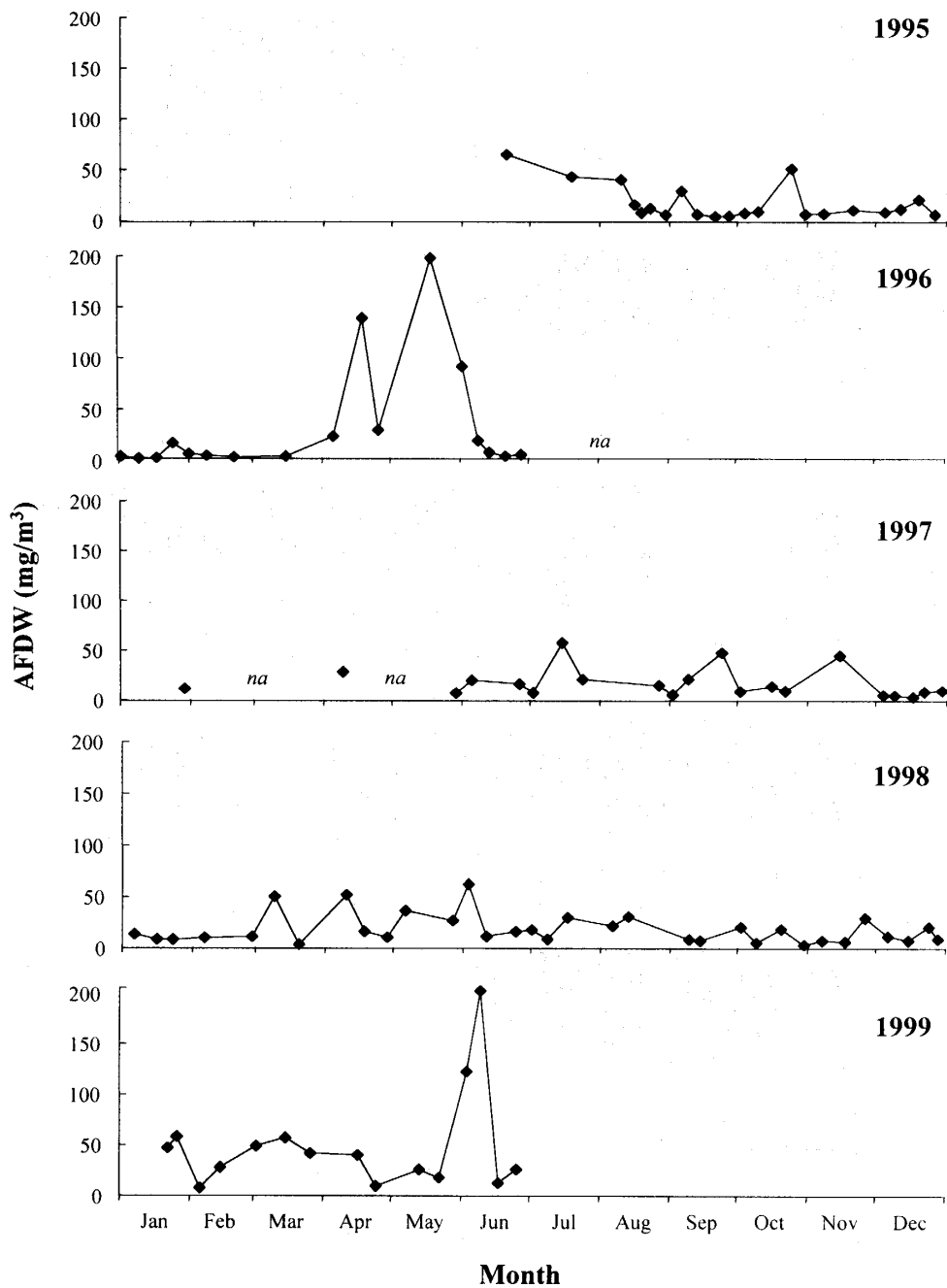


Figure 7 Annual variation of zooplankton biomass (AFDW) in Manazuru Port from 1995 to 1999.

### おわりに

本調査は1990年代後半の4年間に実施され、相模湾真鶴沿岸における21世紀直前の、海洋環境の周年変化と数値レベルを把握することができた。相模湾沿岸には、鎌倉や小田原などをはじめとする中規模都市が連なり、海洋環境への人為的影響は無視できないものと考えられる。また、相模湾沿岸は、漁場としても重要な海域

であり、広く関東地方全域の水産食料を担っている。物理・化学的環境や低次段階生物群集の動態が、重要水産物の分布や生物量にも影響することが考えられ、引き続き環境要因やプランクトン群集をモニターしていくことが必要である。さらに、現在解析中のプランクトン群集の組成が明らかにされれば、今回の報告と併せて、環境の質における変化も理解できるであろう。

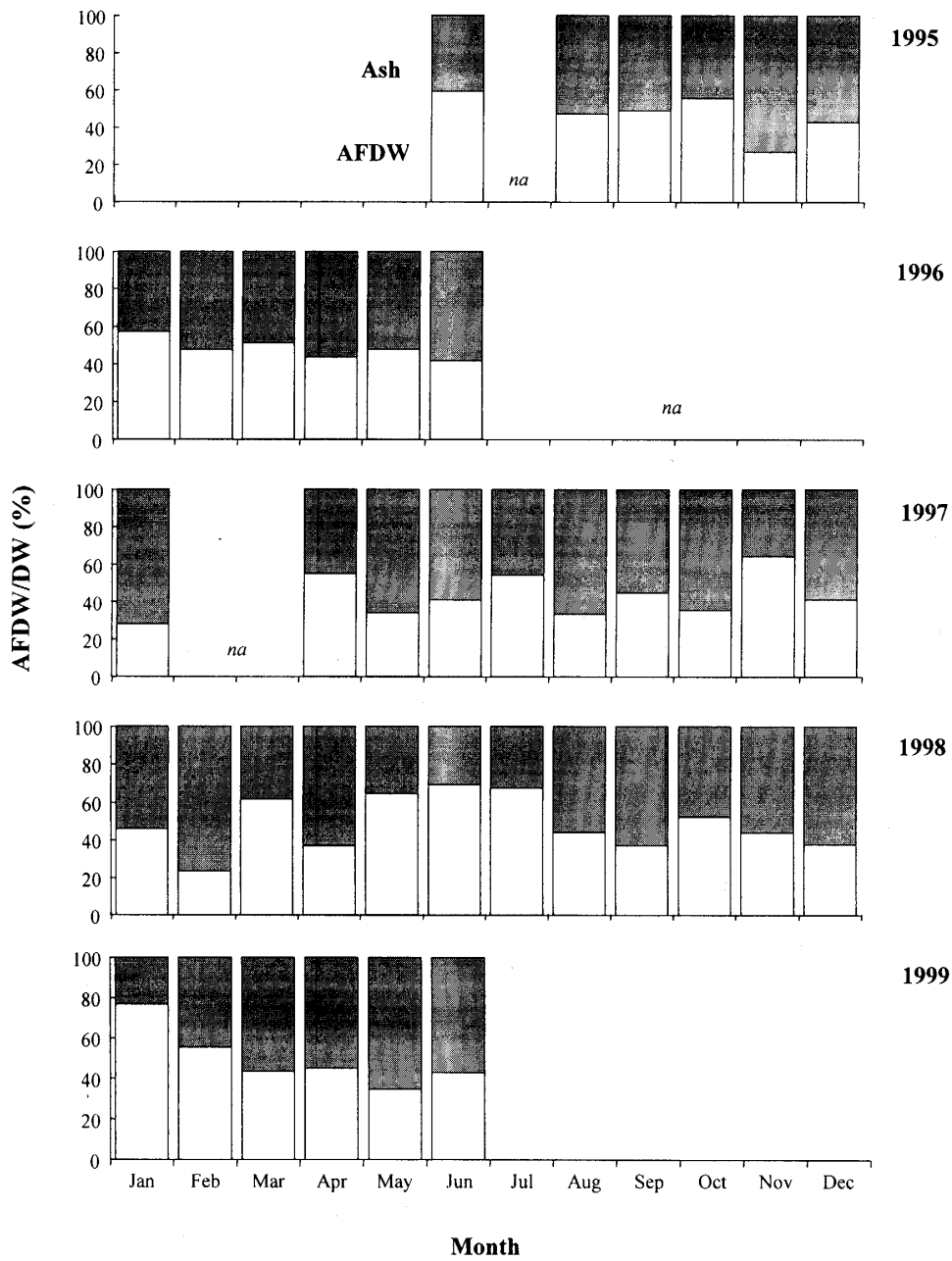


Figure 8 Ratio of AFDW to DW of zooplankton biomass in Manazuru Port from 1995 to 1999.

謝 辞

本研究は、1995年から4年間にわたって継続して行われ、その間多くの方々の御協力と御助言を頂いた。特に横浜国立大学教育人間科学部附属理科教育実習施設の皆様には長期間にわたって多大な御協力を頂き深謝いたします。また、本研究で解析の一部に用いた降雨量のデータをお貸し下さった、神奈川県真鶴町役場にお礼申し上げます。本研究を継続し、多量のデータを整理、解析するに当たり、創価大学工学部生物海洋

学研究室ならびに横浜国立大学教育人間科学部自然環境講座の以下の大学院生、学生、スタッフの方々には御尽力を頂いた。高辻英之君(現 広島県水産試験場)、飛松久美子さん(現 東京都)、佐藤文夫君(現 水産庁)、長尾宣夫君(現 シーウェル)、下出信次君(現 京都大学理学研究科)、菅原隆君、中辻浩一君(現 エクセルシア)、中尾賢治君(現 兵庫県庁)、青野英樹君(横浜国立大学教育学研究科)、山田亜由美さん(創価大学工学部)にはこの場を借りてお礼申し上げます。

なお、本研究は、財団法人水産無脊椎動物研究所、財団法人風戸研究奨励会、宇宙開発事業団からの助成金ならびに創価大学工学部特殊研究費の一部を利用して行われた。

### 引用文献

- Falkowski, P. G. and J. A. Raven. 1997. *Aquatic Photosynthesis*. Blackwell Science, 375pp.
- 風呂田利夫. 1980. 温帯内湾域における植物プランクトン現存量の季節変動. 日本プランクトン学会報 27(2), 63-73.
- Hirota, J. & J. P. Szyper, 1975. Separation of total particulate carbon into inorganic and organic components. *Limnology and Oceanography* 20, 896-900.
- Hogetsu, K., M. Hatanaka, T. Hanaoka & T. Kawamura. 1977. *Productivity of Biocenoses in Coastal Regions of Japan*. JIBP Synthesis, Vol. 14, University of Tokyo Press, Tokyo, 394pp.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes & J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. *Journal du conseil / Conseil permanent international pour l'exploration de la mer* 30, 3-15.
- 本城凡夫・今田信良. 1999. 今後の展望-*Heterocapsa circularisquama* 赤潮の伝播と対策. 日本プランクトン学会報 46 (2), 180-181.
- 本城凡夫・松山幸彦. 2000. 赤潮植物プランクトン. 月刊海洋, 号外 No. 21 (総特集 海洋植物プランクトンⅡ), 76-84.
- 岩田静夫. 1985. 相模湾, II 物理. 日本全国沿岸海洋誌 (日本海洋学会 沿岸海洋研究部会編, 東海大学出版会, 東京), 401-409.
- 神奈川県. 1982. 昭和56年度神奈川県水産調査年表 288-327.
- Kuwahara, V. S., T. Toda, K. Hamasaki, T. Kikuchi & S. Taguchi. 2000. Variability in the relative penetration of ultraviolet radiation to photosynthetically available radiation in Japan. *Journal of Oceanography* 56, 339-408.
- Maita, Y. & T. Odate. 1988. Seasonal changes in size-fractionated primary production and nutrient concentrations in the temperate neritic water of Funaka Bay, Japan. *Journal of Oceanographical Society of Japan* 44, 268-279.
- 村田靖彦. 1973. 東京湾におけるプランクトンの季節変動. 千葉県内湾水試調査報告 14, 49-60.
- Nagao, N, T. Toda, K. Takahashi, K. Hamasaki, T. Kikuchi & S. Taguchi. 2001. High ash content in net-plankton samples from shallow coastal water : Possible source of error in dry weight measurement of zooplankton biomass. *Journal of Oceanography* 57, 105-107.
- 中田尚宏. 1985. 相模湾, 生物. 日本全国沿岸海洋誌 (日本海洋学会 沿岸海洋研究部会編, 東海大学出版会, 東京), 417-427.
- 日本海洋学会 沿岸海洋研究部会. 1985. 日本沿岸海洋誌. 東海大学出版会, 東京, 1,106pp.
- 野村英明・石丸隆・村野正昭. 1992. 東京湾の微小動物プランクトンとその季節的消長. *La mer* 30, 57-72.
- 野村英明・村野正昭. 1992. 東京湾における中・大型動物プランクトンの季節的消長. *La mer* 30, 49-56.
- 岡市友利編. 1997. 赤潮の科学 (第2版). 恒星社厚生閣, 東京, 337pp.
- 大森信・池田勉. 1976. 動物プランクトン生態研究法 (生態学研究法講座5). 共立出版, 東京, 229pp.
- Reid, W. V & K. R. Miller. 1989. *Keeping options alive : The Scientific Basis for Conserving Biodiversity*. World Resources Institute, Washington DC.
- Satoh, F., K. Hamasaki, T. Toda & T. Taguchi. 2000. Summer phytoplankton bloom in Manazuru Harbor, Sagami Bay, central Japan. *Plankton Biology and Ecology* 47 (2), 73-79.
- 下出信次. 1998. 相模湾真鶴半島周辺海域における動物プランクトンの分布構造. 横浜国立大学大学院教育学研究科 修士論文, 150pp.
- 代田昭彦. 1992. 赤潮の対策研究と技術開発試験の経緯と展望. 月刊海洋 21 (1), 3-16.
- Suzuki, R & T. Ishimaru. 1990. An improved method for the determination of phytoplankton chlorophyll using N, N-Dimethyl formamide. *Journal of Oceanographical Society of Japan* 46, 190-194.
- Taguchi, S., K. Iseki & T. Kawamura. 1977. The estimation of annual production by phytoplankton in Akkeshi Bay, Japan. *Journal of Oceanographical Society of Japan* 32, 97-102.
- 玉井恭一. 1999. *Heterocapsa circularisquama* 赤潮の発生と被害の現状. 日本プランクトン学会報 46 (2), 153-154.
- World Conservation Monitoring Center. 1992. *Global Biodiversity : Status of the Earth's Living Resources*. Chapman & Hall, London, 594pp.