

La mer

うみ

昭和 56 年 8 月

日 仏 海 洋 学 会

La Société franco-japonaise
d'océanographie
Tokyo, Japon

日 仏 海 洋 学 会

編 集 委 員 会

委員長	富永政英 (鹿児島大学)		
委員	有賀祐勝 (東京水産大学)	半沢正男 (神戸商船大学)	井上 実 (東京水産大学)
	神田献二 (東京水産大学)	増田辰良 (東京水産大学)	森田良美 (東京水産大学)
	西村 実 (東海大学)	杉浦吉雄 (鹿児島大学)	高木和徳 (東京水産大学)
	高野健三 (筑波大学)	宇野 寛 (東京水産大学)	柳川三郎 (東京水産大学)

投 稿 規 定

1. 報文の投稿者は本会会員に限る。
2. 原稿は簡潔にわかりやすく書き、図表を含めて印刷ページで10ページ以内を原則とする。原稿（正1通、副1通）は、(〒101)東京都千代田区神田駿河台2-3 日仏会館内 日仏海洋学会編集委員会宛に送ること。
3. 編集委員会は、事情により原稿の字句の加除訂正を行うことがある。
4. 論文（欧文、和文とも）には必ず約200語の欧文（原則として仏語）の要旨をつけること。欧文論文には欧文の要旨のほか必ず約500字の和文の要旨をつけること。
5. 図及び表は必要なもののみに限る。図はそのまま版下になるように縮尺を考慮して鮮明に黒インクで書き、論文の図及び表には必ず英文（又は仏文）の説明をつけること。
6. 初校は原則として著者が行う。
7. 報文には1編につき50部の別刷を無料で著者に進呈する。これ以上の部数に対しては、実費（送料を含む）を著者が負担する。

Rédacteur en chef	Masahide TOMINAGA (Kagoshima University)
Comité de rédaction	Yusho ARUGA (Tokyo University of Fisheries) Masao HANZAWA (Kobe University of Mercantile Marine) Makoto INOUE (Tokyo University of Fisheries) Kenji KANDA (Tokyo University of Fisheries) Tatsuyoshi MASUDA (Tokyo University of Fisheries) Yoshimi MORITA (Tokyo University of Fisheries) Minoru NISHIMURA (Tokai University) Yoshio SUGIURA (Kagoshima University) Kazunori TAKAGI (Tokyo University of Fisheries) Kenzo TAKANO (University of Tsukuba) Yutaka UNO (Tokyo University of Fisheries) Saburo YANAGAWA (Tokyo University of Fisheries)

RECOMMANDATIONS A L'USAGE DES AUTEURS

1. Les auteurs doivent être des membres de la Société franco-japonaise d'océanographie.
2. Les notes ne peuvent dépasser dix pages. Les manuscrits à deux exemplaires, dactylographiés sur papier fort, doivent être envoyés au Comité de rédaction de la Société franco-japonaise d'océanographie, c/o Maison franco-japonaise, 2-3, Kanda Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo, 101 Japon.
3. Le Comité de rédaction se réserve le droit d'apporter, le cas échéant, des modifications mineuses aux manuscrits ainsi que de demander aux auteurs de les corriger.
4. Des résumés en langue japonaise ou langue française sont obligatoires.
5. Les figures au trait seront tracées à l'encre de Chine noire sur papier blanc ou sur calque. Les légendes des figures et des tableaux sont indispensables.
6. Les premières épreuves seront corrigées, en principe, par les auteurs.
7. Un tirage à part des articles en cinquante exemplaires est offert gratuitement aux auteurs. Ceux qui en désirent un plus grand nombre peuvent les faire établir à leurs frais.

大阪湾・紀伊水道の津波の数値モデル*

中 村 重 久**

A Numerical Tsunami Modeling in Osaka Bay and Kii Channel*

Shigehisa NAKAMURA**

Abstract: Tsunamis in Osaka Bay and Kii Channel were studied by using a numerical model in which finite difference method was utilized. The aim of this study was to find a possible relation of wave form to tsunami-source parameters. The parameters were the disturbance of the water surface at the source area and its duration time. It was clarified numerically that the size and location of the source were also important factors to determine tsunamis on the coast. One of the most interesting results was the arrival time of the tsunamis in the model.

1. 緒 言

大阪湾に侵入した津波については、従来、多くの研究例がある(たとえば、U. S. COAST and GEODETIC SURVEY, 1964)。なかでも、大阪湾の水位変動に顕著な影響を及ぼした津波は、宝永・安政大津波、1944 東南海津波、1946 北海道津波および1960チリ津波である。これらの津波の波源域推定については、逆伝播図による手法が用いられてきた(たとえば、羽鳥, 1974)。また、このような歴史津波に関する現地調査も続けられている(たとえば、羽鳥, 1980)。

一方、大阪湾・紀伊水道を含む近畿圏沿岸域は、近年とくに高度利用がすすみ、わが国の産業・経済などの発展とも密接なかわりがあり、このような津波の対策は、重要な問題である。

ここでは、南海道沖に津波の波源を想定し、有

限差分法によって、大阪湾に侵入する津波の数値モデルをつくった。数値計算の便宜上、波源の特性は、水面擾乱の規模と持続時間とをあらわすパラメーターの組合せとして与えることとした。数値計算の結果から、数値モデルとして使用する津波の第1波の特性を検討し、また、東南海津波の記録を説明できそうなパラメーターの組合せについて考察する。とくに、津波の到達時刻については、興味深い結果が得られたので、これを検潮記録上の津波到達時刻と対比してみる。

2. 数値モデルの対象海域

ここでは、数値モデルの対象海域として、Fig. 1 に示すように、大阪湾、紀伊水道、播磨灘を含む水域を考えた。図中の実曲線は海岸線を意味し、破線は等深線(m 単位)を示す。この水域内の水深分布や海岸線の形状は複雑であり、凹凸が顕著であるが、数値計算の便宜上、北向き(I軸)および西向き(J軸)をとり、それぞれ4540m間隔の格子網となるように区切り、各格子点の水深は海上保安庁水路部発行の海図(No. 100A)より内挿によって与えた。この水域の最大水深は2,600mととった。

既往の地震と津波との関係については、地震学

* 1981年4月3日受理 Received April 3, 1981

** 京都大学防災研究所, 〒611 宇治市五ヶ庄
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto
University, Uji, 611 Japan
現所属: 京都大学防災研究所附属白浜海象観測所,
〒649-22 和歌山県西牟婁郡白浜町堅田
Present address: Shirahama Oceanographic
Observatory, Kyoto University, Shirahama,
Wakayama Pref., 649-22 Japan

的研究(たとえば, KANAMORI, 1973; 相田, 1978)もみられるが, ここでは, 数値モデルにおける津波の波源域の水面条件のみを考えることにする。すなわち, 津波を特徴づけるパラメーターとして, 波源域の規模を示すものと波源域の水面の変位を示すものとをえらんだ。波源域の規模と特性を与えるパラメーターとしては, 波源域の南北幅D(北に向けて正としたI軸に平行), 東西幅B(西に向けて正としたJ軸に平行), 波源初期フロントの位置Pを与えた。また, 波源域内では, ある時刻に水面が鉛直上方にWだけ変位し, 時間Tだけその状態が続いた後初期の水位にもどるものとした。実際の計算で与えた数値は Table 1 のA~Eに示した範囲のものである。

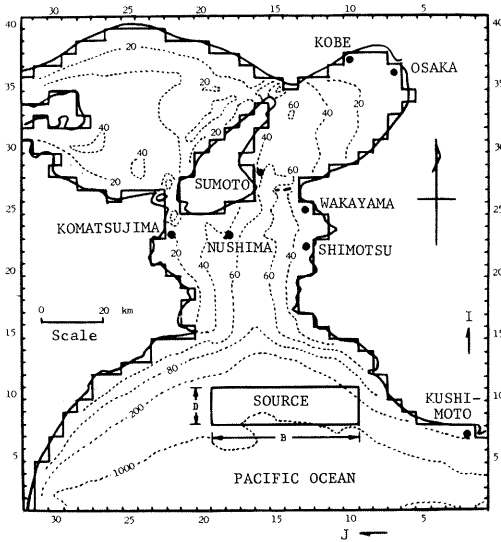


Fig. 1. Area for numerical tsunami modeling. Dotted lines are the bathymetric contours in the metric unit.

3. 数値計算の理論的基礎

ここで用いた有限差分法は, すでに LOOMIS (1972) が長波の伝播の数値計算に応用したものであり, とくに目新しいものではなく, 中村(1980)が1977年スンバワ津波の数値実験に用いたものと基本的には同じである。ここでの計算の都合で, 計算プログラムのうち波源域の水面条件に対する入力に関して若干の変更を行なった。数値計算にあたり, 時間間隔は $\Delta t = 14.2 \text{ sec}$ ととり, 可能なかぎり安定な計算条件を満たすようにした。計算は, 京都大学大型計算機センターの FACOM-M200 によった。

4. 波源域パラメーターと各地の津波

波源域の位置は, 東海・南海道沖における大津波の波源に対応するように, 羽鳥(1974)を参考にして, Fig. 1 のようにとった。

(1) 波源域の初期水面条件

波源域の初期水面条件を特徴づけるものとして, 水面の変位高Wとその持続時間Tとを考える。また, 波源域の寸法を Table 1 に示した, D, B, P に対して 3, 10, 10 ととった。

(i) 津波に対する持続時間Tの効果 数値計算の都合で, $W = 0.1 \text{ m}$ ととる。このとき, いろいろのTの値に対して計算された各地の津波は, Fig. 2(a)~(d)のようになる。対象水域のすべての格子点について津波の計算が得られるが, ここでは, そのうち, 大阪, 神戸, 洲本, 小松島, 沼島, 和歌山, 下津の各検潮所に最も近いと考えられる格子点 (Fig. 1 参照) における計算結果を示した。すなわち, Fig. 2(a)は $T = 200 \text{ sec}$ の例で, そのような擾乱が, 上記7点ではそれぞれ異なった波形

Table 1. Categories of tsunami source parameters.

Source parameter	Category	A	B	C	D	E
Vertical displacement of water surface, W (m)		0.1	0.5	1.0	2.0	3.0
Duration time of disturbance, T (sec)		200.0	400.0	800.0	1200.0	1600.0
Size of source	Length, D	2ΔX	3ΔX	4ΔX	5ΔX	6ΔX
	Position of front, P (I)	4	6	8	10	12
	Width, B*	10ΔY	8ΔY	6ΔY	4ΔY	2ΔY

* $\Delta X = \Delta Y = 4540 \text{ m}$. Tsunami source is characterized by a combination of the parameters such as W, T, D, P and B of each category.

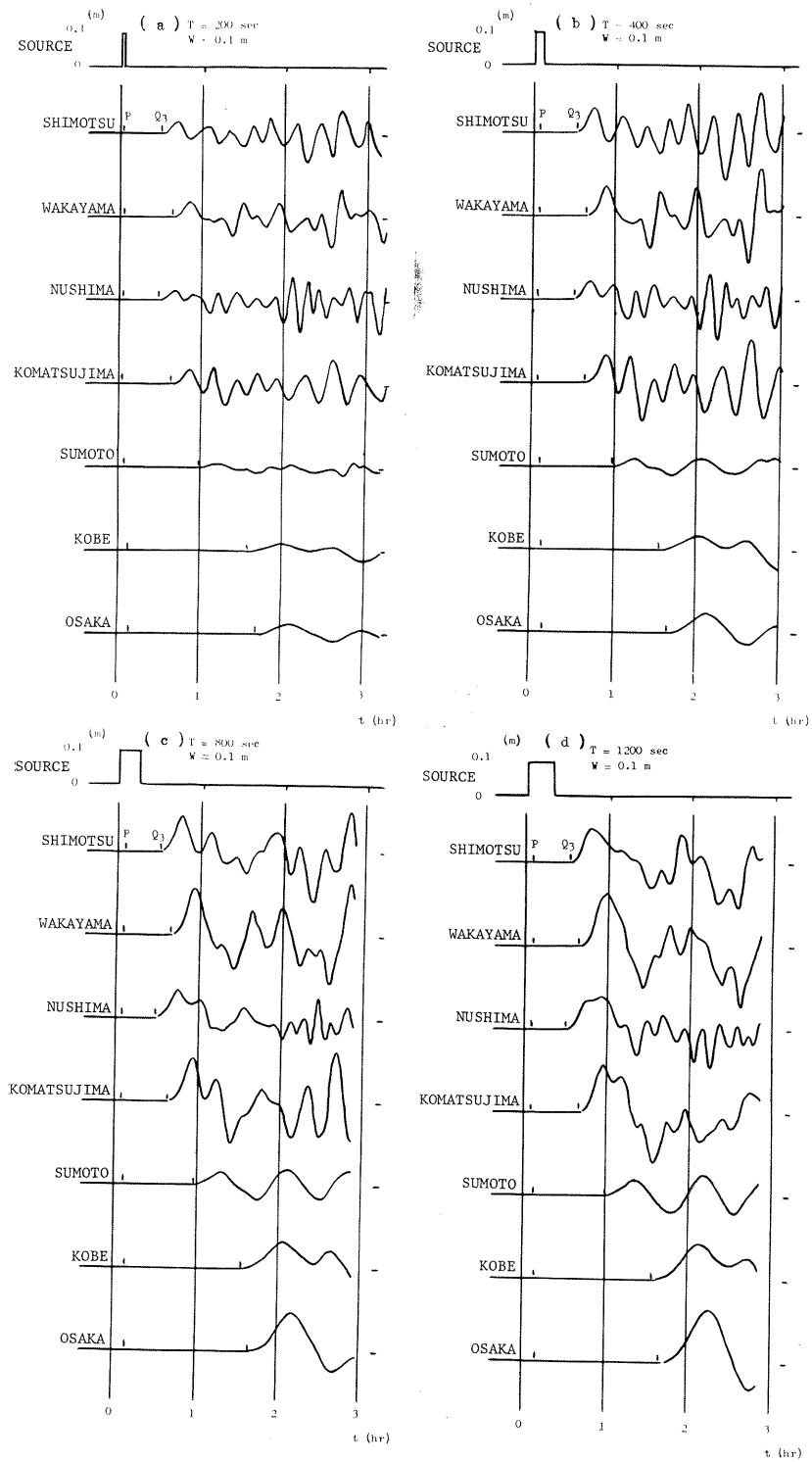


Fig. 2. Effect of duration time T . (a) $T=200$ sec, (b) $T=400$ sec, (c) $T=800$ sec and (d) $T=1200$ sec.

の波としてとらえられている。この Fig. 2(a)によれば、下津では計算のはじまる時刻Pは、波源域の擾乱が生じた時刻を起点とすると3 minであり、変位がはじめて1 mmとなる時刻Qは30 minである。この時刻PおよびQについては、すでに中村(1980)が述べている。当然のことながら時刻PおよびQは波源から計算点が遠くなるほど遅くなる傾向があり、ここで考えている波源域から最も遠い大阪では、時刻PおよびQは8.3 minおよび100 minである。

ここでは、 $T=200$ sec の場合のほか、 $T=400, 800, 1,200$ sec の場合についても計算し、それぞれ Fig. 2 に示した。いずれの場合も、波源域の規模および位置は同一であり、 W も同じ値をとった。図をみればわかるように、 T の値によって同一の計算点(たとえば大阪)における津波の波形は異なる。全般的傾向として T の値が大きくなると波高および峯高が大きくなる傾向がある。しかし、数値計算の結果からみると、時刻PおよびQは、

この場合 T の値に関係しない。

計算の都合によって、ここでは、波源域で水面が変位を生じてから3時間 にわたる間の津波を検討の対象とした。

とくに、大阪における計算結果にもとづき津波の第1波の波形と T との関係を図. 3 に示した。Fig. 3(a) および (b) では、 T の値が200~2,000 sec の範囲について、 T の値が増加するとともに第1波の峯高が高くなるのがわかる。この傾向は、さきに中村(1980)が1977 スンパワ津波について示したものに对应する。Fig. 3(a) をよくみると、第1波の峯高は T の値とともに大きくなるだけでなく、第1波の峯のあらわれる時刻が T の値とともに遅くなるのがわかる。

(ii) 津波に対する波源域の初期変位の効果 波源域が Fig. 2 および Fig. 3 の場合と同じであっても、波源域の初期水面変位 W の値が異なれば、津波の波形も異なったものとなる。いまもし、 T

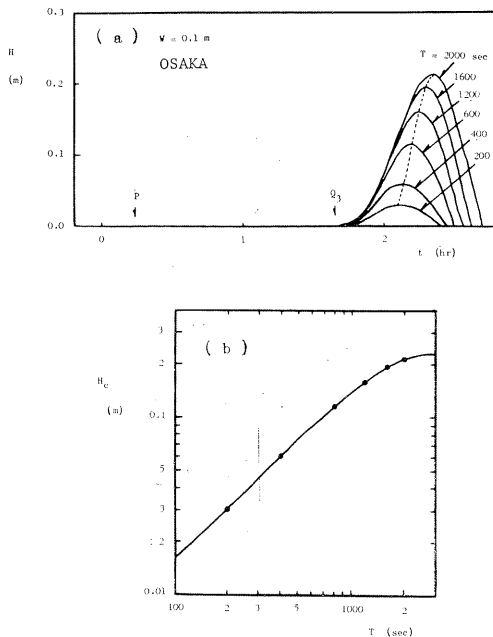


Fig. 3. Duration time T and the leading wave at Osaka. (a) Wave patterns of the leading wave for $W=0.1$ m. (b) Relation between the crest height H_c of the leading wave and duration time T .

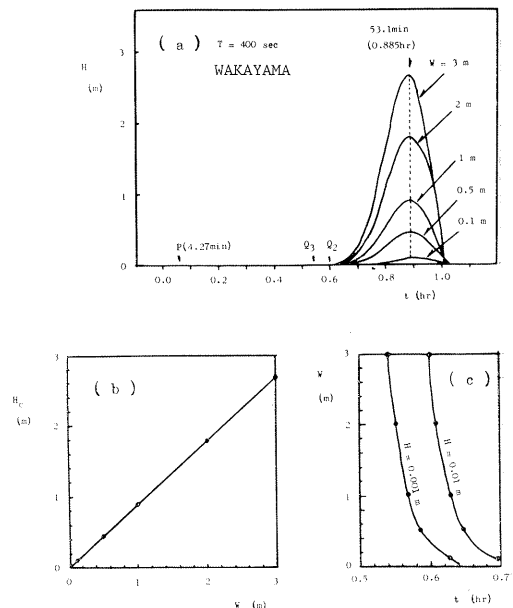


Fig. 4. Effect of initial disturbance W at Wakayama. (a) Wave patterns of the leading wave for $T=400$ sec. (b) Relation between the crest height H_c of the leading wave and the initial disturbance W . (c) Tsunami-arrival time Q_3 and Q_2 as a function of W (see text for details).

=400 sec のみについて、 W が $0.1\sim 3\text{ m}$ を考えると、たとえば和歌山における津波の第1波は Fig. 4 (a)~(c) によって特徴づけられる。すなわち、時刻 $P(=4.27\text{ min})$ は W の値に関係しない。水面の変位がはじめて 10^{-2} m となる時刻 Q_2 を過ぎると、 W の値に応じて津波の第1波の峰を特徴づける波形が描かれ、同一時刻の水位 H は W のことによって異なることがわかる。しかも、Fig. 4 (a) をみればわかるように、 W の値が $0.1\sim 3\text{ m}$ の範囲では、 W の値の如何にかかわらず第1波の峰高のあらわれる時刻は一定 ($=53.1\text{ min}$) である。また、波源域の初期水面変位 W と和歌山の第1波の峰高 H_c との関係は Fig. 4 (b) に示すように比例関係にあることがわかった。さらに、和歌山での水面変位がはじめて 10^{-3} m および 10^{-2} m となる時刻 Q_3 および Q_2 と W との関係は、数値的にみると、Fig. 4 (c) のようになり、 W が小さいほどその出現時刻は遅い。

5. 考 察

ここでは、波源を特徴づけるパラメーターとして比較的単純化した量を考えた。実際にはもっと複雑なものを考えるべきであったかもしれない。さらにまた、これらのパラメーターを地震に関する要素と関連づけて検討する必要がある。

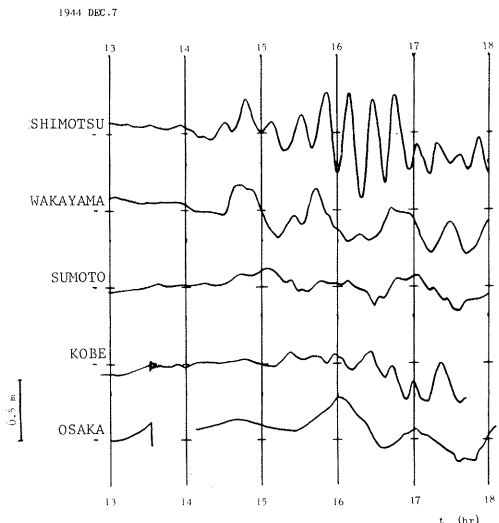


Fig. 5. Mareograms including 1944 Tonankai Tsunami on Dec. 7, 1944.

ここで入手できた津波の記録は 1944 東南海津波 (Fig. 5) の例である。神戸の検潮記録では、地震と同時に起った変動が記録されており、これは潮位に相対的な検潮儀の振動と思われる。この時刻を地震発生時刻と対応するように補正したのが Fig. 5 である。

同一の場所で記録された津波は、波源が異なってもほぼ同様な波形となる例が多いという経験的事実をよりどころにして、Fig. 5 に示された実測例を数値計算結果と比較してみると、Fig. 2 (b) の波形がかなりよい対応を示しているようにみえる。ただし、この場合、津波の到達時刻についての詳細を議論はできないが、相対的にみて妥当であると考えられる。KANAMORI (1973) によれば、地震は $10\sim 20\text{ sec}$ の現象で特徴づけられるが、津波は数百 sec の時定数をもつような変動によって生ずるものとされている。また、KAJIURA (1979) は、津波発生に関する最近の研究成果をとりまとめ、津波発生につながる地動の時間スケールは 20 min 以下、地動速度は 1 m/s 以下としている。Fig. 5 にかなりよく対応すると考えられる Fig. 2 (b) は $T=400\text{ sec}$ であることから、ここでの数値計算での波源に関するパラメーターの力学的意義も明らかにできるものと期待される。

津波の第1波については、すでにKAJIURA (1963) が理論的研究を行なっているが、ここでは、大阪湾・紀伊水道の津波の例について検討した。計算結果の妥当性を明らかにするには、津波の実測例が限られているため、十分な検討はできなかったけれども、計算結果はもっともらしいとみてよい。ここでの計算では、いわゆる慣性項 (移流項)、海底まさつ項、コリオリ項を考慮にいれた。これらの項を無視した場合でも、ここでの計算では、数値的には第1波の峰高について 1% 以下の差異しかあらわれなかった。ただ、これらの項を考慮に入れることにより、より長時間にわたる計算が可能となった事実からみて、これらの項は、より安定な条件で数値計算をすすめるように作用したともいえるであろう。

ところで、津波の波源域を推定するのに逆伝播図がひろく利用されている (たとえば、NAKANO,

1978)。従来の津波の到達時刻 Q に対応すると考えられる時刻をよりどころとして逆伝播図をもとめ、波源域の推定をしようとする、津波のフロントの位置は、時刻 P と時刻 Q との差に相当しただけのずれを考えなくてはならない。これは、地震の震源直上の限られた水域が実際の波源であったとしても、推定波源域はその数倍以上の水面積をもつことになる可能性を示唆している。

この時刻 P および Q に関連して、ここに興味ある例を示す。MUNK (1980) は 1951 年核爆発実験時を回想して、つぎのように書いている。すなわち、彼は核爆発後 6 min で地すべりによって生じた波が測定点に到達すると計算したが、実際には 11 min 後に波の徴候を認めている。MUNK (1980) の記述は、中村 (1980) やここでの計算結果にもとづけば、時刻 P と時刻 Q の差として解釈できそうである。計算によって時刻 P を知ることができても、実際の検潮記録で時刻 P の潮位の擾乱を検出することは現在のところ困難なことと考えられる。

6. 結 語

大阪湾・紀伊水道の津波に関する数値モデルを考え、波源の特性と津波の波形との関係を検討した。とくに津波の第 1 波の波形、峯高が波源の条件によってどのように変わるかを明らかにした。また、数値モデルで計算された津波がもっともらし

いかどうかについても考察し、さらに、津波の到達時刻についても波源域や推定津波フロントとの関連を検討した。

文 献

- 相田 勇 (1978): 1978 年伊豆大島近海地震に伴った津波の数値実験. 東京大学地震研究所い報, **53**, 863-873.
- 羽鳥徳太郎 (1974): 東海・南海道沖における大津波の波源. 地震, 第 2 輯, **27**, 10-24.
- 羽鳥徳太郎 (1980): 大阪府・和歌山県沿岸における宝永・安政南海道津波の調査. 東京大学地震研究所い報, **55**, 505-535.
- KAJIURA, K. (1963): The leading wave of a tsunami. Bull. Earthq. Res. Inst., **41**, 533-571.
- KAJIURA, K. (1979): Tsunami generation. In "Tsunamis", Proc. NSF Workshop (Ed. L-S. HWANG and Y.K. LEE), Tetra Tech Inc., Pasadena, Calif. U. S. A, p. 15-36.
- KANAMORI, H. (1973): Mode of strain release associated with major earthquakes in Japan. Ann. Rev. Earth Planet. Sci., **1**, 213-239.
- LOOMIS, H. G. (1972): A package program for time stepping long waves into coastal regions with application to Haleiwa Harbor, Oahu. NOAA-JTRE-79, HIG-72-21, p. 1-33.
- MUNK, W. (1980): Affairs of the sea. Ann. Rev. Earth Planet. Sci., **8**, 1-16.
- 中村重久 (1980): 数値実験からみた 1977 スンバワ津波. La mer, **19**, 30-37.
- NAKANO, M. (1978): Path of propagation of tsunami waves. Mar. Geodesy, **1**, 331-346.
- U. S. COAST and GEODETIC SURVEY (1964): Annotated bibliography on tsunamis. IUGG Monography No. 27, 249 pp.

偏光に対する魚類の行動反応に関する基礎的研究*

高橋 正**, 市川 正和***, 松生 治**

A Fundamental Study on the Reaction of Fish to Polarized Light*

Tadashi TAKAHASHI**, Masakazu ICHIKAWA*** and Kanau MATSUIKE**

Abstract: The goldfish (*Carassius auratus*) was used to determine whether they can discriminate between different vibration planes of polarized light. The experiments were conducted under various combinations of polarized light in the cruciform water tank. Polarized lights with a uniform directional vibration plane were passed through the tank from opposite ends. The polarized lights were of a cycle of 1 second on and 0.1 second off. Three fish of 8.0cm in average body length were used, one at a time, for the experiment. Each fish was released at the center of the water tank. When the fish reached the oblong sections wherein polarized lights were sent in a pre-selected directional vibration plane, it was rewarded with feed. In contrast, the fish was punished with an electric shock when it failed to reach a selected section. During the experimental period, the vibration planes in the oblong sections were randomly changed so that the fish would not learn its location. The experiments were carried out 5 times a day for 115 days.

The number of rewards and punishments was equal for about the first 40 trainings of each experiment. Then, the number of rewards increased and exceeded 70% after the fish was trained 100 times. Thus, it was concluded that the goldfish can discriminate between different vibration planes of intermittent polarized light.

1. 緒言

回遊性の魚類においては、太陽光が水中に入るとき生ずる偏光電磁ベクトルを太陽コンパスとして利用している可能性が考えられている。

水産生物のうち頭足類や甲殻類に偏光感受の能力があることは、神経生理学的または解剖学的に証明されている (MOODY and PARRISS, 1960, 1961; TASAKI and KARITA, 1966; WATERMAN and HORCH, 1966; 江口, 1975) が、偏光と行動との関連については、まだ明確にされていない。特に魚類に関しては、偏光に対する行動反応の明

白な検証結果は得られておらず、また偏光感知機構も見いだされていない。わずかに偏光に対する生理学的な反応として、青木 (1977) はキンギョの間脳の部分に当る optic tectum の表層部からインパルスを測定し、偏光の振動面を変えたときに応答反応が変化することを報告している。

本研究では、硬骨魚類としてキンギョ (*Carassius auratus*) を選び、偏光の振動面を判別し得るか否かを生態学的な面から調べることを目的として、照射光や判別方法について種々の試みがなされた。そのうち短周期の断続偏光に対する行動反応を確認し得たので、ここに報告する。

2. 実験装置および方法

実験水槽は正八角形に4つの長方形を十字型に接続し、長方形の外面に偏光フィルター (Polaroid HN 38)、内面に電気刺激を与えるための電極 (銅

* 1981年4月22日受理 Received April 22, 1981

** 東京水産大学, 〒108 東京都港区港南4-5-7
Tokyo University of Fisheries, Konan-4, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

*** 東京製綱株式会社, 〒103 東京都中央区日本橋室町2-8
Tokyo Rope Mfg. Co., Ltd., NihonbashiMuro-machi 2-8, Chuo-ku, Tokyo, 103 Japan

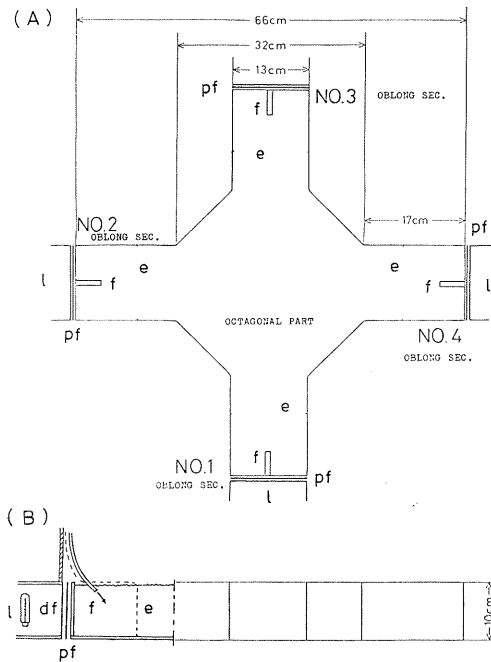


Fig. 1. (A) Plane view of the experimental water tank.

(B) Side view of one oblong section.

l, light source; df, diffusing filter; pf, polarization filter; f, feeding tube; e, electrode.

線、直径 0.65 mm) および給餌用チューブ (ポリエチレン、内径10 mm) を取付けた。底部は黒色の砂利、周囲は黒色の布でおおい、光の散乱による偏光が起らないよう配慮した (Fig. 1)。実験水槽を暗室内に定置し、上部に観測窓を設けて、離れた位置から魚の行動を観測し得るようにした。

照射光は、1 秒間 on, 0.1 秒間 off の断続光とし、4 つの長方形の外側から偏光フィルターを通して照射した。偏光フィルターは向い合った2面を同じ振動面とし、2種類の振動面の組合せが出来るようにした。偏光照射による水槽内の明るさは 40 lux である。

使用魚種はキンギョ (*Carassius auratus*) で、3尾 (個体 A, B および C) を用い、平均体長 8.0 cm である。

実験方法は、水槽の中心に透明な円筒を置き、その中にキンギョを入れ、振動面の異なる2組の

Table 1. Combinations of the polarized lights of different vibration planes: —, horizontal; |, vertical; /, 45° inclined; and \, 135° inclined.

Experiment Nos.	Combinations of polarized lights	
	Reward (Feeding)	Punishment (Electric shock)
A3-1	—	/
A3-2	—	
A3-3	—	\
B3-1		/
B3-2		\
B3-3		—
C3-1		/
C3-2		—

偏光を照射し、1分後に円筒を引き上げてキンギョを自由にし、定められた振動面の区域に入れば正解として餌を与え、そうでない区域に入れば誤解として電気刺激を与えた。場所による学習効果が見つからないように偏光フィルターの位置をランダムに変化させた (Table 1)。実験は個体別に1日5回、115日間連続して行った。実験中の水温は 20~25°C である。

3. 結果および考察

偏光の振動面が垂直の場合を正解とし、水平の場合を誤解とした時の結果を Fig. 2(A), (B) に示す。Fig. 2(A), (B) は、それぞれ個体 B および C の場合である。縦軸は賞 (餌) を受けた回数、横軸は罰 (電気刺激) を受けた回数とし、1回の実験毎に1目盛ずつ進めてプロットした。

45° の勾配の直線は、偏光振動面の識別が出来なかったことを意味する。約40回までは正誤相半ばしており、その後正解の回数が徐々に増大している。その屈折点までが学習期間と考えられる。100回の実験で70%以上の正解率になることが判る。このことからキンギョは垂直と水平との偏光振動面の相異を識別し得ると判断できる。

次に、垂直振動面と45°振動面との判別を調べた。Fig. 3(A), (B) は、それぞれ個体 B および C の場合である。約40回までは正誤相半ばしているが、それ以後正解の回数が増大し、100回の実験では正解率が70%に達する。従って、垂直振動

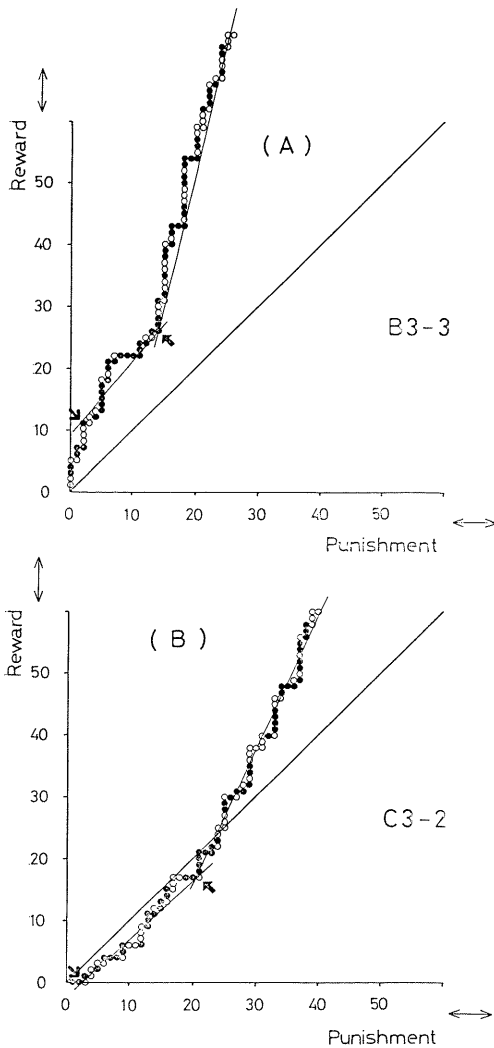


Fig. 2. Learning process in goldfish to discriminate between two vibration planes of polarized light; vertical plane (reward) vs. horizontal plane (punishment). Open circles show that the experimental fish received the treatment in Section 1 or 3. Solid circles show that the experimental fish received the treatment in Section 2 or 4. (A) Fish B. (B) Fish C.

面と 45° 振動面の相異を識別し得ると判断される。

次に、垂直振動面と 135° 振動面との判別について調べた。その結果は Fig. 4 (個体 B) のようになり、上記とほぼ同一の結果が得られた。

最後に、水平振動面と 135° 振動面との判別に

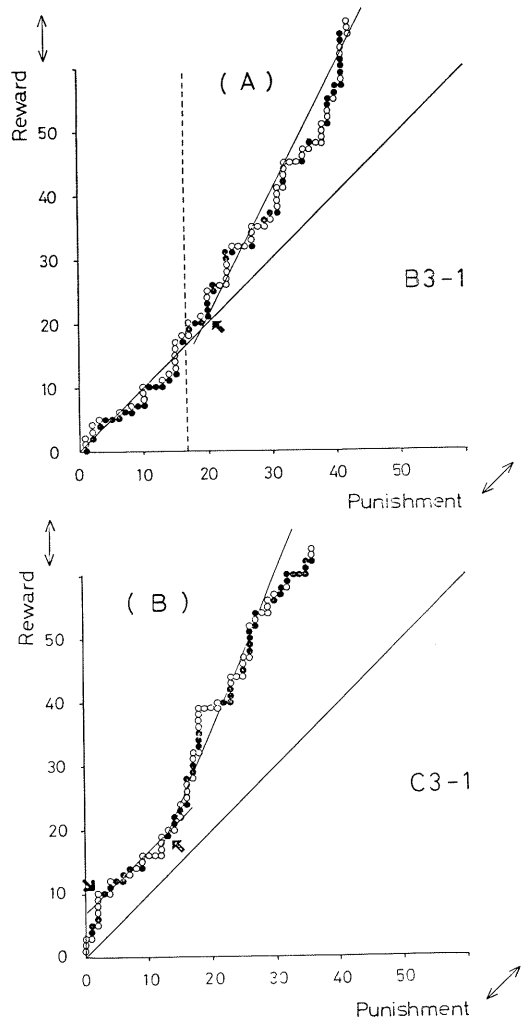


Fig. 3. Learning process in goldfish to discriminate between two vibration planes of polarized light; vertical plane (reward) vs. 45° inclined plane (punishment). (A) Fish B. (B) Fish C. For further explanation, see Fig. 2.

ついて、個体 A を用いて調べた。その結果は Fig. 5 のようになり、この場合についても上記とほぼ同様の結果となる。

以上のように、キンギョは偏光振動面の相異を識別し得ることを行動の上から検証し得た。

著者らは、これまでに種々の実験装置や方法で偏光に対する魚の行動反応実験を重ねて来たが、明確な結果を得ることが出来なかった。しかし、本研究において前述のような結果を得ることが出

来たのは、断続偏光刺激を与えたことに負うところが大きいと考えられる。また十字型水槽の中心においてキンギョに偏光識別判断の時間的余裕を与えたことも影響しているかもしれない。

正解率や反応時間の長短から判断して、垂直方向と水平方向の偏光振動面の識別が最も良いように考えられるが、これらについてはより多くの実験の積み重ねが必要である。

本研究は、青木(1977)の生理学的な面からの検証の結果をさらに生態学的な面から裏付けたことになる。海中における太陽光は、大部分が垂直振動面偏光であること、海面の波によって明暗が存在すること、また海洋における回遊魚にも偏光振動面判別能力に関して拡大解釈が出来る可能性があること等を考慮するならば、緒言で述べたように回遊オリエンテーションに偏光振動面の識別を用いている可能性があるといえる。

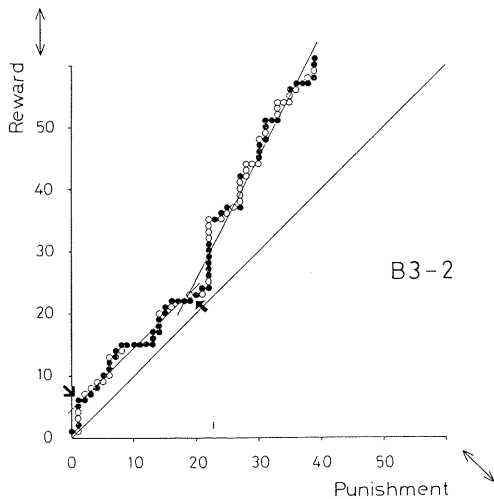


Fig. 4. Learning process in goldfish to discriminate between two vibration planes of polarized light; vertical plane (reward) vs. 135° inclined plane (punishment). For further explanation, see Fig. 2.

本研究の遂行にあたり、御指導と有益な御討議を賜った日本大学理工学部教授黒木敏郎博士に深甚なる謝意を表す。

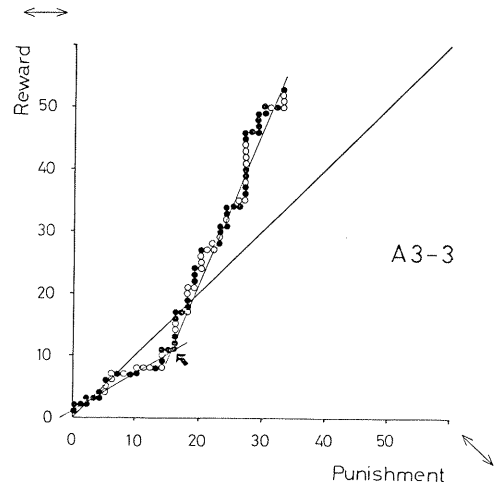


Fig. 5. Learning process in goldfish to discriminate between two vibration planes of polarized light; horizontal plane (reward) vs. 135° inclined plane (punishment). For further explanation, see Fig. 2.

文 献

- 青木 清 (1977): “魚類の方向感覚”. 科学, **47**, 386-393.
- 江口英輔 (1975): 視細胞の構造と機能—複眼の色覚および偏光受容, 日本動物学会編, 現代動物の課題 3 光感覚, 東京大学出版会, p. 89-119.
- MOODY, M. F. and J. R. PARRISS (1960): The visual system of octopus; discrimination of polarized light by octopus. *Nature*, **186**, 839-840.
- MOODY, M. F. and J. R. PARRISS (1961): The discrimination of polarized light by octopus; a behavioural and morphological study. *Zeitschr. Vergl. Physiol.*, **44**, 286-291.
- TASAKI, K. and K. KARITA (1966): Intraretinal discrimination of horizontal and vertical planes of polarized light by octopus. *Nature*, **209**, 934-935.
- WATERMAN, T. H. and K. W. HORCH (1966): Mechanism of polarized light perception. *Science*, **154**, 467-475.

夏季ベーリング海における光環境と 植物プランクトン光合成の量子収率*

芳賀正隆**, 松生 洽**

Optical Environment and the Quantum Efficiency of Phytoplankton Photosynthesis during the Summer in the Bering Sea*

Masataka HAGA** and Kanau MATSUIKE**

Abstract: The quantum irradiance, spectral irradiance and turbidity (beam attenuation coefficient) were measured in the sea areas above the abyssal plain, continental slope and continental shelf in the Bering Sea during the summer of 1978. The optical structure of the sea areas, the ratio of the attenuation coefficients of underwater quantum irradiance for chlorophyll *a*, phaeopigments and unidentified absorbants, and the quantum efficiency of phytoplankton photosynthesis (measured by the tank method) were compared.

In the upper layer of the water near the continental slope, the turbidity, chlorophyll *a* concentration and photosynthesis were very high and the light attenuation due to chlorophyll *a* was about 50 % of the total attenuation. The quantum efficiency in this area was about 0.03 mol C/mol quantum. In contrast, in the water above the continental shelf, the turbidity, chlorophyll *a* concentration and photosynthesis were low and the light attenuation due to unidentified absorbants was about 75 % of the total attenuation. The quantum efficiency in this area was about 0.04 mol C/mol quantum. Consequently, it was concluded that there is not much difference in the quantum efficiency between these water areas, irrespective of the difference in photosynthetic productivity.

1. 序 文

光合成の量子収率は光合成色素に吸収された単位光子量当りの光合成量を示すもので、光合成のエネルギー効率を知る上で重要である。従来、海洋における植物プランクトンの光合成生産力に関しては、照射光強度に対する光合成量という形で数多くの報告がなされているが、光利用効率にまで言及し量子収率を検討した例は非常に少ない (TYLER 1975, TAGUCHI 1979)。

ベーリング海は、北太平洋からの海水の流入や卓越風などによって生ずる鉛直混合により、栄養塩類が有光層に供給され、高い生産性を有する海

域となっているが、光学的な測定データは少ない (KAWANA 1975, OTOBE *et al.* 1977)。著者らは 1978 年 7 月 5 日から 8 月 22 日まで、東京大学白鳳丸 KH-78-3 次航海に乗船し、ベーリング海・チャクチ海・北部北太平洋で天空から海中に至る太陽エネルギーのスペクトル照度、光量子照度および濁度 (光束消散係数) を測定した。本論文では、高生産域である当該海域の光環境と、同時に測定された光合成、クロロフィル *a*、フェオ色素などの資料に基づいて、植物プランクトンの光合成の量子収率を検討した。

2. 方 法

(1) 海面日射量: 全光日射量はエプリー日射計を、分光日射量はシリコンフォトセルに 358, 451, 538, 630, 721 nm の干渉フィルター (半値幅約

* 1981年5月9日受理 Received May 9, 1981

** 東京水産大学, 〒108 東京都港区港南 4-5-7
Tokyo University of Fisheries, Konan-4, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

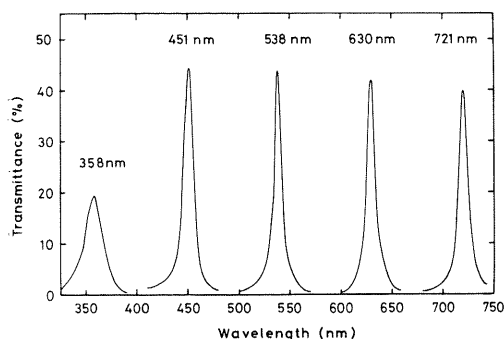


Fig. 1. Spectral transmittance of the filters for the spectro-actinograph.

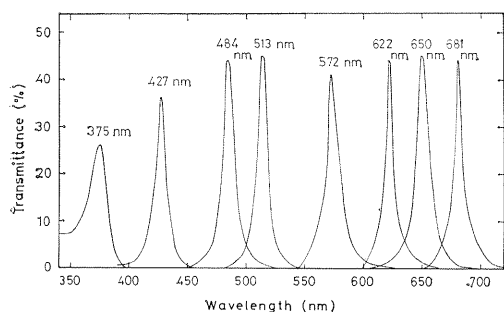


Fig. 2. Spectral transmittance of the filters for the underwater irradiance meter.

10 nm, Fig. 1) を組合せた分光日射計を用いて測定し、それぞれ連続自記記録させた。

(2) 海中分光照度: 光電子増倍管(浜松テレビ(株)製 R636) に 375, 427, 484, 513, 572, 622, 650, 681 nm の 8 種の干渉フィルター(半値幅約 10 nm, Fig. 2) を組合せた水中分光照度計により測定した。

(3) 濁度(光束消散係数): 青(重心波長 486 nm) または 赤(同 610 nm) のフィルターを装填した XMS 現場用光束透過率計(マーテック社製) 2 台を用いて測定した。

(4) 光量子照度: 3 枚のフィルター(ショット社製 UG 10, RG 610, RG 665) とブルーセルセレン光電池の組合せにより 400~700 nm の総光量子数を測定できる水中用光量子照度計(Fig. 3) により測定した。

(5) 光合成, クロロフィル a, フェオ色素: 測定は東京大学海洋研究所才野敏郎博士によって行なわれた(SAINO *et al.* 1979)。試水は相対照度 100

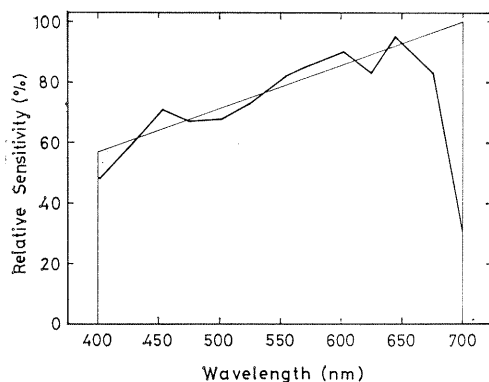


Fig. 3. Energy sensitivity of the quanta meter.

(表面), 48, 22, 11, 5, 1 および 0.1% の層から採取した。光合成は ^{14}C 法を用い, 2 時間の蛍光灯照射によるタンク法で測定した。照射照度は, 表面水については約 10 k lux, 他の試水については減光フィルターを用いてそれぞれ採水層の相対照度を乗じた照度とした。それぞれの照射照度におけるインキュベータ内の光量子量を測定した結果, 10 k lux では 123, 4.8 k lux では 59.0, 2.2 k lux では 27.1, 1.1 k lux では 13.5, 500 lux では 6.15, 100 lux では 1.23, 10 lux では 0.123μ モル光量子/ $\text{m}^2 \cdot \text{sec}$ であった。

(6) 観測点: 観測点分布を Fig. 4 に示す。ベーリング海は水深 3,000 m 以深の海盆, 水深 50 m から 200 m におよぶ大陸棚傾斜および水深 50 m 以浅の大陸棚上の海域に分けられる。各観測点はこれらの海域に跨っており, Sta. 4, 6, 8, 9, 33, 34 は海盆, Sta. 10, 11, 13, 25, 26, 28, 30, 32 は大陸棚傾斜, Sta. 14, 15, 16, 18, 23 は大陸棚上の海域に該当する。

3. 光環境

本調査で得られた夏季ベーリング海における光環境の詳細については前報(MATSUIKE *et al.* 1979) の通りであるが, その概要は次の如くである。

海面日射量の記録を Fig. 5 に示す。このうち, 典型的な晴天日(8月1日)と満天雲の日(7月27日)の日射量の時間変化を Fig. 6 に示す。晴天日の日射量(可能日射量)は $557 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$

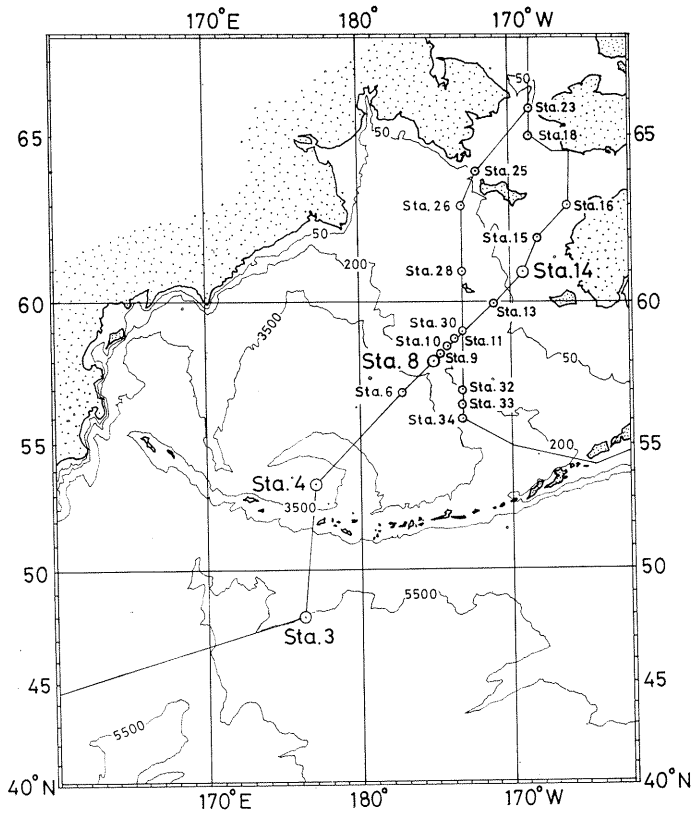


Fig. 4. Locations of the stations in the northern North Pacific and the Bering Sea.

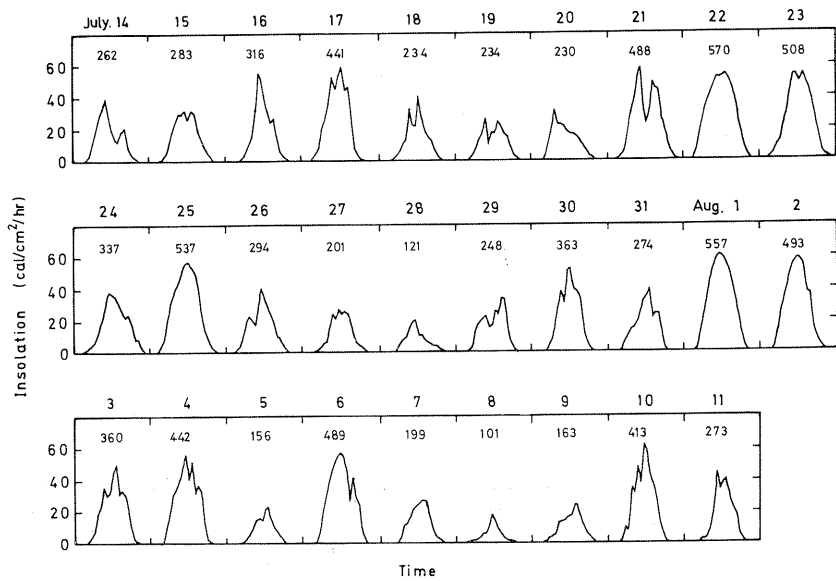


Fig. 5. Records of the insolation. Figures on the curves are total daily insolation (cal/cm²·day).

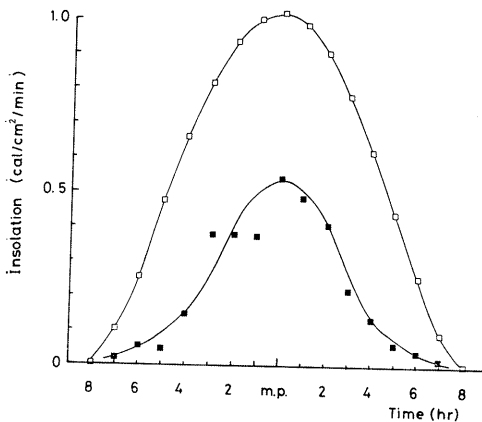


Fig. 6. A comparison of the insolation in blue sky weather (August 1, \square) and overcast weather (July 27, \blacksquare).

で、MATSUIKE *et al.* (1970) の可能日射量算出式から求めた値 ($550 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$) とほぼ一致した。一方、満天雲の日の日射量は $201 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ であった。また、典型的な晴天日と満天雲の日の分光日射量は Fig. 7 のようになり、 $400 \sim 700 \text{ nm}$ の可視部エネルギー量は晴天日で約 $200 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ 、満天雲の日で約 $80 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ であった。これを前記の全日射量と比較すると前者で約 36%、後者で約 40% となり、天候による差は小さかった。

各海域の特徴を示す代表的な測点として、Sta. 3 (北部北太平洋)、Sta. 4 (ベーリング海海盆)、Sta. 8 (大陸棚傾斜付近) および Sta. 14 (大陸棚上) を選び、海中分光照度分布を Fig. 8 に示す。分光照度分布は海域により顕著に異なっている。特に大陸棚傾斜付近の Sta. 8 では短波長側の光の減衰が著しい。このことは懸濁あるいは溶存有機物が非常に多いことを示している (BURT 1958, KALLE 1966)。

表層 (0~10 m) での波長別照度の消散係数は Table 1 のようになる。これをもとに、JERLOV (1968) に従って水塊を光学的に分類すると、Sta. 3, 4 は Ocean Type II と III の中間、Sta. 8 は Coastal Type 3, Sta. 14 は Ocean Type III に該当する。また、全波長域を含む海中相対照度を求めた結果を Table 2 に示す。

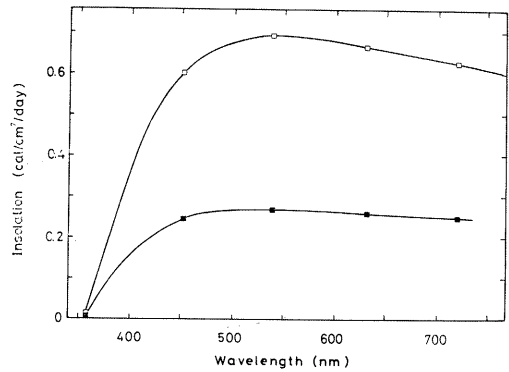


Fig. 7. Spectral irradiance at the sea surface obtained in blue sky weather (August 1, \square) and overcast weather (July 27, \blacksquare).

以上の海面日射量および海中相対照度分布にもとづいて、晴天日と満天雲の日の海中太陽エネルギー分布を算出した。その結果得られたエネルギーの深度分布を Fig. 9 に示す。ただし、海面反射率 5% (COX and MUNK 1956) を海面日射量から減じてある。 10 m 深の太陽エネルギー量は、晴天日では Sta. 3 および 4 で約 $58 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ 、Sta. 8 で約 $14 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ 、Sta. 14 で約 $40 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ 、満天雲の日では Sta. 3 および 4 で約 $20 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ 、Sta. 8 で約 $5 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ 、Sta. 14 で約 $14 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ となる。海面到達日射量が等しくとも、海水の光学的性質の違いにより、海中の太陽エネルギー分布はこのように大きく異なる。

光量子照度分布を Fig. 10 に示す。各海域における差は相当大きく、例えば 10 m 深において、Sta. 8 では表層の約 2% であるのに対し、Sta. 3 および 4 では約 25%、Sta. 14 では約 18% であった。

濁度 (青) の鉛直分布を Fig. 11 に示す。Sta. 8 (Fig. 11 (3)) では表層から約 20 m 深にわたり顕著な高濁度層 ($1.3 \sim 1.7 \text{ m}^{-1}$) が存在する。この値は、黒潮において同一測器で測定した値が $0.10 \sim 0.11 \text{ m}^{-1}$ (MATSUIKE and MORINAGA 1977) であるのに比較して非常に大きい。この高濁度層は約 25 m 深で急激に減少し、明確な濁度の境界層を形成している。この境界層における光

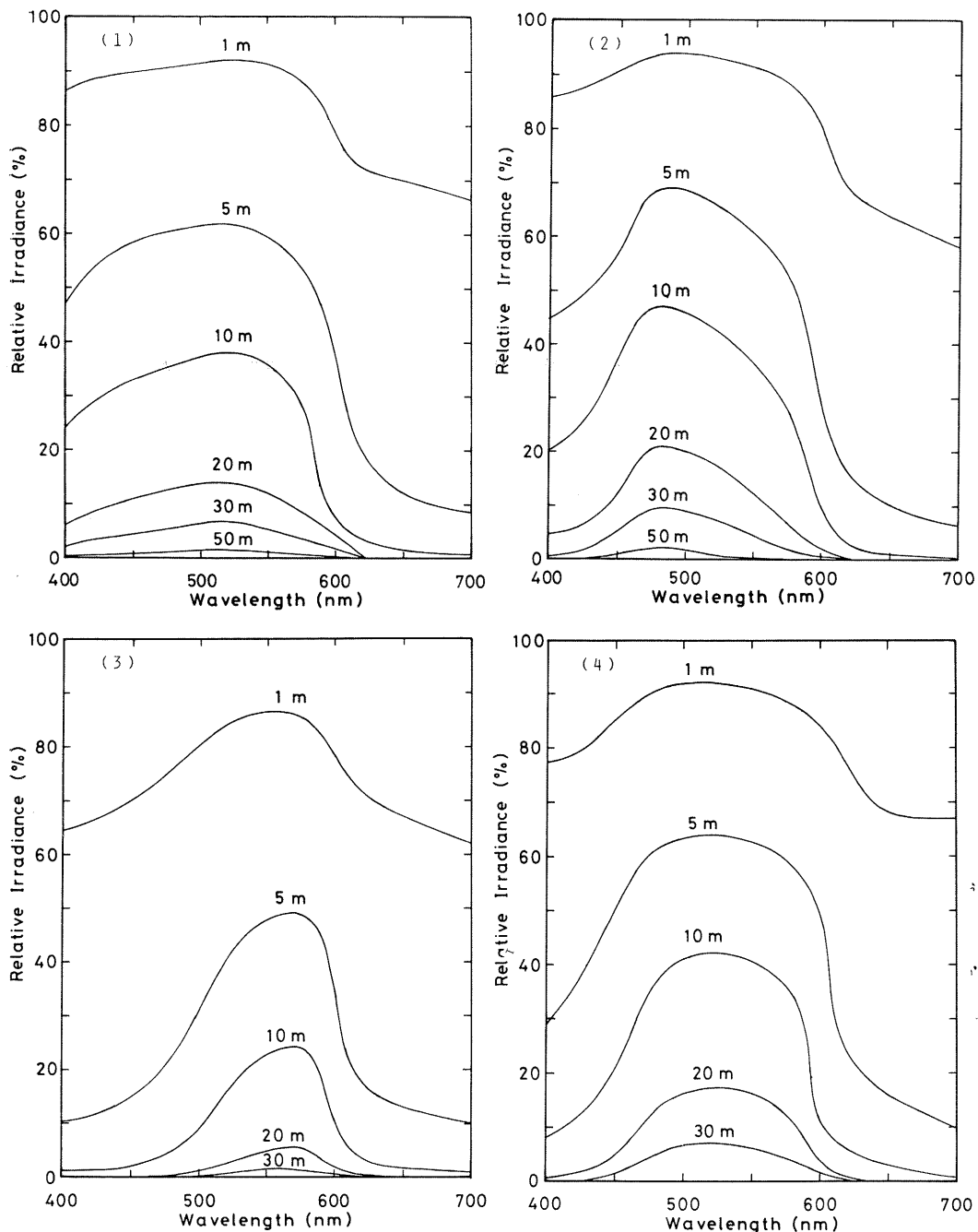


Fig. 8. Relative spectral irradiance distributions at different depths. (1) Northern North Pacific, Sta. 3; (2) Bering Sea abyssal plain, Sta. 4; (3) Bering Sea continental slope, Sta. 8; (4) Bering Sea continental shelf, Sta. 14.

Table 1. Spectral irradiance attenuation coefficients (K).

Sea Area	Depth (m)	Wavelength (nm)							
		375	427	484	513	572	622	650	681
Northern North Pacific, Sta.	0-10	0.23	0.12	0.10	0.098	0.12	0.36	0.43	0.49
Bering Sea abyssal plain, Sta. 4	0-10	0.16	0.14	0.078	0.098	0.13	0.38	0.42	0.53
Bering Sea continental slope, Sta. 8	0-10	0.36	0.36	0.26	0.20	0.15	0.35	0.41	0.43
Bering Sea continental shelf, Sta. 14	0-10	0.29	0.20	0.096	0.087	0.10	0.29	0.36	0.42

Table 2. Percentage of the total irradiance (300-2,500 nm).

Depth (m)	Northern North Pacific, Sta. 3	Bering Sea abyssal plain, Sta. 4	Bering Sea continental slope, Sta. 8	Bering Sea continental shelf, Sta. 14
0	100	100	100	100
1	41	41	33	39
2	33	33	23	30
5	20	20	9.3	17
10	11	11	2.7	7.6
20			0.29	
25	2.6	2.6		0.97
50	0.37	0.37		0.041
75	0.063	0.063		0.0018

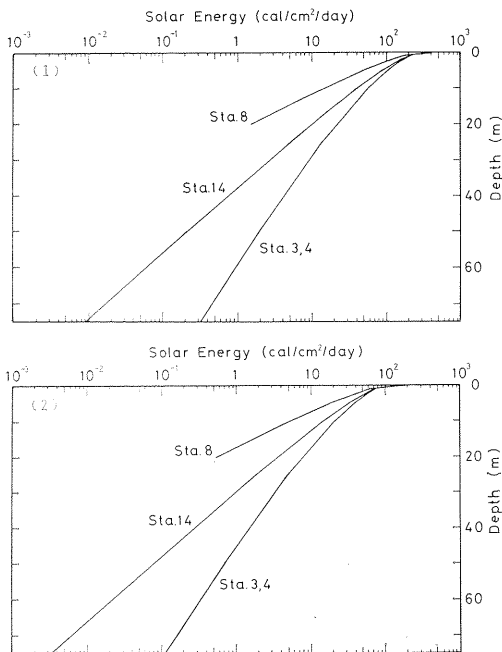


Fig. 9. Underwater total irradiance calculated in (1) blue sky weather and (2) overcast weather.

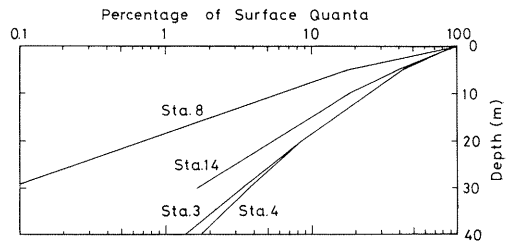


Fig. 10. Vertical distributions of the relative quanta irradiance (400-700 nm).

量を前述の照度分布 (Table 2) から求めると、全光で表層の約 0.3% である。波長別に見ると青 (484 nm) では 0.5%, 緑 (572 nm) では、5.5%, アンバー (681 nm) では 0.02% である。一方, Sta. 14 (Fig. 11 (4)) では濁度の値は小さく (0.4 ~ 0.5 m⁻¹), しかも表層から海底まではほぼ一定で、約 20 m 深から海底付近にかけてわずかな増大現象が見られた。

濁度と懸濁物量 (懸濁物量の測定は名古屋大学 田上英一郎博士によって行われた。) との関係は、懸濁物の大きさと密度によって変化するので、例

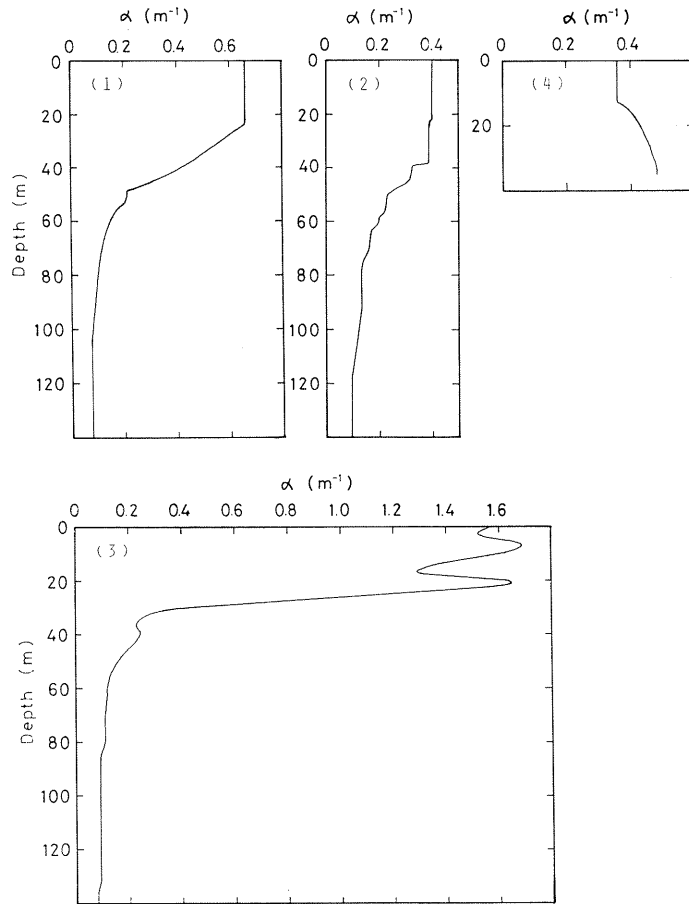


Fig. 11. Vertical distributions of the beam attenuation coefficient. (1) Northern North Pacific, Sta. 3; (2) Bering Sea abyssal plain, Sta. 4; (3) Bering Sea continental slope, Sta. 8; (4) Bering Sea continental shelf, Sta. 14.

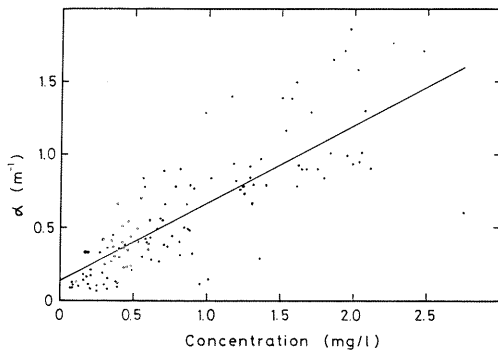


Fig. 12. Relationship between the attenuation coefficient (α) and the concentration of suspended matter.

えば表層と海底付近では両者の関係がかなり異なるものと思われるが、当該海域全体にわたって整理すると Fig. 12 のようになり、両者の間には次のような強い正の一次相関が認められる。

$$y = 0.53x + 0.14 \quad (r = 0.85, n = 131)$$

ここで、 y は濁度 (m^{-1})、 x は懸濁物量 (mg/l) である。

4. 量子収率

量子収率をクロロフィル a に吸収された単位光子当りの炭素 (C) 固定量で表わせれば、次式により算出される。

$$QE = P / [(H - He^{-K_1 C_1}) \times 3,600 \times 12] \quad (1)$$

ここで、 QE は量子収率 (モルC/モル光子), P は光合成量 ($\mu\text{gC}/\text{m}^3 \cdot \text{hr}$), H は照射光の光子照射度 (μ モル光子/ $\text{m}^2 \cdot \text{sec}$), K_1 は単位クロロフィル a 濃度当りの光子照射度消散係数 [$\text{m}^{-1}(\text{mg chl. } a/\text{m}^3)^{-1}$], C_1 はクロロフィル a 濃度 ($\text{mg chl. } a/\text{m}^3$) である。 $H - He^{-K_1 C_1}$ は $HK_1 C_1$ にほぼ等しいとみることができるから、

$$QE \doteq P / (HK_1 C_1 \times 3,600 \times 12) \quad (2)$$

として概算することができる。本研究では (2) 式により量子収率を求めた。

クロロフィル a による光子照射度の消散係数 (K_1) を求めるため、光子照射度の消散係数 (K) を次のように分解した (cf. TYLER 1975)。

$$K = \frac{\ln H_1/H_2}{\Delta Z} = K_w + K_1 C_1 + K_2 C_2 + K_x C_x \quad (3)$$

ここで、 ΔZ は深さ間隔 (10 m), H_1 および H_2 はそれぞれ現場における深さ間隔 ΔZ の上面および下面で実測された光子照射度 (μ モル光子/ $\text{m}^2 \cdot \text{sec}$), K_w は水による光子照射度の消散係数 (m^{-1}), K_2 および K_x はそれぞれ単位濃度のフェオ色素および未知物質による光子照射度の消散係数 [$\text{m}^{-1}(\text{mg}/\text{m}^3)^{-1}$], C_2 および C_x はそれぞれフェオ色素および未知物質の濃度 (mg/m^3) である。従って、 K_w と $K_x C_x$ が決まれば、 K_1 および K_2 は連立方程式により算出できる。

光子照射度の消散係数 (K) とクロロフィル a 量およびフェオ色素量の和 ($C_1 + C_2$) の関係をみると Fig. 13 のようになる。この図で、A ($K=0.037$, $C_1=0.100$, $C_2=0.032$) および B ($K=0.21$, $C_1=3.40$, $C_2=0.970$) は $C_1 + C_2$ に対し K が最小となる点である。また \times 印の3点は SCOR Discoverer Expedition で東部熱帯太平洋、カリブ海、サルガッソー海において得られた $C_1 + C_2$ に対する K の最小値である (TYLER 1975)。これらの点は本研究の調査海域で得られた A と B を結ぶ直線にほとんど一致する。このことから、直線 AB は海洋で得られる $C_1 + C_2$ に対する K の最小値をほぼ表わすものであると判断される。従って、直線 AB 上においては $K_x C_x$ は非常に小さく ($K_x C_x \doteq 0$), 他の濁った海域の基準として用いることができる。図中の各点と直線 AB との縦軸方向の距離は各海域における $K_x C_x$ に相当する。直線 AB の切片は $0.031 \text{ (m}^{-1}\text{)}$ であり、この値はサルガッソー海での光子照射度の消散係数 ($K=0.0312$, $C_1 + C_2=0.03 \text{ mg}/\text{m}^3$) に非常に近い。このことから、切片は水による光子照射度の消散係数 (K_w) と見なすことができる。

上記の値に基づいて K_1 および K_2 を算出すると、

$$K_1 = 0.045 \text{ [m}^{-1}(\text{mg chl. } a/\text{m}^3)^{-1}\text{]},$$

$$K_2 = 0.030 \text{ [m}^{-1}(\text{mg}/\text{m}^3)^{-1}\text{]}$$

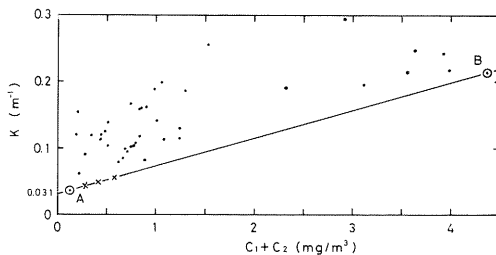


Fig. 13. The total quantum attenuation coefficient (K) vs. the concentration of chlorophyll a and phaeopigments ($C_1 + C_2$) plots. Dots, data obtained in the Bering Sea; crosses, data obtained by TYLER (1975) in Sargasso Sea; A and B, minimum values of K relative to ($C_1 + C_2$).

Table 3. Mean values of the quantum efficiency and ratios of the quantum attenuation due to chlorophyll a ($K_1 C_1$), phaeopigments ($K_2 C_2$) and unidentified absorbants ($K_x C_x$) to the total quantum attenuation coefficient (K).

Sea Area	Depth (m)	Quantum Efficiency	$K_1 C_1 / K$	$K_2 C_2 / K$	$K_x C_x / K$
Northern North Pacific, Sta. 3	0-19	0.020	0.26	0.028	0.41
Bering Sea abyssal plain, Sta. 4	0-37	0.026	0.24	0.041	0.43
Bering Sea continental slope, Sta. 8	0-16	0.025	0.49	0.12	0.27
Bering Sea continental shelf, Sta. 14	0-15	0.043	0.033	0.020	0.74

となる。この K_1 と光合成量およびクロロフィル a 量を用いて量子収率を算出した (Table 3)。また、光量子照度の消散 (主に吸収) に占めるクロロフィル a による消散 (K_1C_1)、フェオ色素による消散 (K_2C_2) および未知物質による消散 (K_xC_x) の割合を Table 3 に併せて示す。

大陸棚傾斜付近 (Sta. 8) の上層 (0~20 m) の高濁度層 ($1.3 \sim 1.7 \text{ m}^{-1}$) はクロロフィル a 量が非常に多く ($2.0 \sim 3.4 \text{ mg/m}^3$)、珪藻類が優占し ($58.6 \sim 196.9 \text{ cells/ml}$, FURUYA *et al.* 1979), 光合成量が非常に高い ($2.0 \sim 9.6 \text{ mgC/m}^3 \cdot \text{hr}$)。ここにおける光量子照度の消散はクロロフィル a による吸収が主であるが、量子収率は約 0.03 (モル C / モル光量子) である。これに対し、大陸棚上 (Sta. 14) では濁度が小さく ($0.36 \sim 0.44 \text{ m}^{-1}$)、クロロフィル a 量 ($0.11 \sim 0.14 \text{ mg/m}^3$) および光合成量 ($1.1 \sim 0.2 \text{ mg C/m}^3 \cdot \text{hr}$) が少なく、光量子照度の消散は主に未知物質によって占められているが、量子収率は約 0.04 (モル C / モル光量子) である。また、北部北太平洋 (Sta. 3) の上層は珪藻類が少なく ($13.4 \sim 2.3 \text{ cells/ml}$)、渦鞭毛藻類が非常に卓越 ($201.4 \sim 39.4 \text{ cells/ml}$) している場所であるが (FURUYA *et al.* 1979), ここにおける量子収率は約 0.02 (モル C / モル光量子) である。光合成量、光量子照度の消散係数に占める各因子の割合、および植物プランクトンの種類組成が大きく異なるにもかかわらず、量子収率の値は大差がなく約 0.02~0.04 モル C / モル光量子の範囲にあると言える。

TYLER (1975) はエクアドルのグアヤキル西方海域において得られた現場法による基礎生産量から量子収率を算出し、0.01~0.04 モル C / モル光量子を報告している。この結果は本報告の結果と近似している。

光合成の測定に関しては、擬似現場法は現場法に比して光の波長組成の違い等により光合成量が低くなる傾向があること (JITTS 1963, KIEFER and STRICKLAND 1970), また、溶存態有機炭素の細胞外排出があること (EPPLEY and SLOAN 1965, HELLEBUST 1965) 等の問題点がある。し

かし、これらの点については、量子収率の比較という観点からは未だ十分に解明されてはいない。

本研究で得られた量子収率は、今後、上記の点が明らかになった時点で更に修正が加えられてゆくべきものであろうが、現時点においては海域による生産力の相対的な比較には役立つものと思われる。また、従来、生産量の概算が海中の光分布の面から行なわれてきたが、量子収率の概算ができたことにより、海中における光量とクロロフィル a 量との値がわかれば各層における生産量をさらに良い精度で概算しうるものとなるであろう。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、貴重なる御助言と光合成に関する資料を提供いただいた東京大学海洋研究所服部明彦教授ならびに才野敏郎博士に深く感謝の意を表します。

文 献

- BURT, W.V. (1958): Selective transmission of light in tropical Pacific waters. *Deep-Sea Res.*, **5**, 51-61.
- COX, C. and W. MUNK (1956): Slopes of the sea surface deduced from photographs of sun glitter. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr., Univ. Calif.*, **6**, 401-488.
- EPPLEY, R. W. and P. R. SLOAN (1965): Carbon balance experiments with marine phytoplankton. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **22**, 1083-1097.
- FURUYA, K., Y. HIROTA and T. NEMOTO (1979): Phytoplankton distribution. Preliminary Report of the HAKUHO MARU Cruise KH-78-3, p. 75-82.
- HELLEBUST, J.A. (1965): Excretion of some organic compounds by marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, **10**, 192-206.
- JERLOV, N.G. (1968): *Optical Oceanography*. Elsevier Oceanogr. Ser., 5. Elsevier Publ. Co., Amsterdam, p. 118-123.
- JITTS, H.R. (1963): The simulated *in situ* measurement of oceanic primary production. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.*, **14**, 139-147.
- KALLE, K. (1966): The problem of the Gelbstoff in sea. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **4**, 91-104.
- KAWANA, K. (1975): Turbidity distribution of the Bering Sea in the Summer. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.*, **26**, 73-86.
- KIEFER, D. and J. D. H. STRICKLAND (1970): A comparative study of photosynthesis in seawater

- samples incubated under two types of light attenuator. *Limnol. Oceanogr.*, **15**, 408-412.
- MATSUIKE, K., T. MORINAGA and T. SASAKI (1970): The optical characteristics of the waters in the three oceans. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **26**, 52-60.
- MATSUIKE, K. and T. MORINAGA (1977): Beam attenuation and particle size distribution in the Kuroshio Area. *La mer*, **15**, 82-93.
- MATSUIKE, K., Y. NAKAMURA and M. HAGA (1979): Aerial and submarine spectral solar energy distributions and optical characteristics of the waters in the Bering Sea during the summer. *La mer*, **17**, 1-10.
- OTOBE, H., T. NAKAI and A. HATTORI (1977): Underwater irradiance and Secchi disk depth in the Bering Sea and the northern North Pacific in summer. *Mar. Sci. Comm.*, **3**, 255-270.
- SAINO, T., K. MIYATA and A. HATTORI (1979): Primary productivity measured by the ^{14}C technique. Preliminary Report of the HAKUHO MARU Cruise KH-78-3, p. 68-70.
- TAGUCHI, S. (1979): Light utilization efficiencies of phytoplankton in the tropical North Pacific Ocean. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **26**, 1-10.
- TYLER, J.E. (1975): The in situ quantum efficiency of natural phytoplankton populations. *Limnol. Oceanogr.*, **20**, 976-980.

Enrichment of Transition Metals in Deep-sea Sediments Relative to Near-shore Sediments*

Noburu TAKEMATSU**

Abstract: The relative enrichment of transition metals in deep-sea sediments compared to near-shore sediments is attributed to the presence of micro-ferromanganese oxides near the sediment-water interface of deep-sea sediments and to the sorptive properties of transition metals on the sedimentary components such as manganese and iron oxides, humic substances and silicate minerals, as well as the supply of these metals to the sea floor.

1. Introduction

The concentrations of transition metals in sediments increase remarkably from near-shore areas to deep-sea areas (WEDEPOHL, 1960; TUREKIAN and IMBRIE, 1966; CHESTER and MESSIHA-HANNA, 1970). In order to explain the distribution, three principal theories have been proposed: the trace element veil theory (WEDEPOHL, 1960), the differential transport theory (TUREKIAN and IMBRIE, 1966; TUREKIAN, 1967) and the active ridge theory (BOSTRÖM *et al.*, 1969). The trace element veil theory can not specify the mechanism for enrichment. Although terrigenous particles are subjected to the differentiation by particle size during transport, the differential transport theory has required modification since the chemical composition of non-lithogenous fraction of deep-sea sediments has been found to be similar to that of manganese nodules (ELDERFIELD, 1972; CHESTER *et al.*, 1973). The sediments associated with submarine volcanic activities are localized and have a distinct chemical composition as the so-called metalliferous sediment (BOSTRÖM and PETERSON, 1969), although transition metals of hydrothermal origin may be supplied to deep-sea sediments through the water column.

The relative enrichments of transition metals in deep-sea sediments compared to near-shore sediments are $Mn > Co \geq Cu > Ni > Zn > Fe$ (WEDEPOHL, 1960). This order can not be

explained by the theories described above. The relative enrichment of transition metals is controlled by many factors such as their relative fluxes to the sediment, diagenesis after burial, the mechanisms of their incorporation into the sediment. This paper discusses the cause of the enrichment differences of these metals, focussing on the incorporation processes occurring at the sediment-water interface and taking sorption phenomena into consideration.

2. Removal of minor transition metals from sea water

The concentrations of transition metals in sea water, except iron and manganese, are much lower than those predicted from the solubilities of their least soluble compounds. In order to explain this discrepancy, scavenging (sorption, in a broad sense) processes by particles settling through the water column have been proposed as the removal mechanisms of minor transition metals from sea water (GOLDSCHMIDT, 1937; GOLDBERG, 1954; KRAUSKOPF, 1956). Minor transition metals in sea water are incorporated into organisms in the surface layer and most of them are regenerated in the intermediate layer, and their vertical distribution is similar to that of nutrients (SCLATER *et al.*, 1976; BOYLE *et al.*, 1977; BRULAND *et al.*, 1978; BRULAND, 1980). The remaining organic detritus and faecal pellets of zooplankton transport transition metals to the sea floor. These rapidly settling biogenous particles and oxides of manganese and iron scavenge transition metals during settling through the deeper water

* Received April 21, 1981

** The Institute of Physical and Chemical Research, Hirosawa 2-1, Wako-shi, Saitama Pref., 351 Japan

Table 1. The concentrations of transition metals in sea water, suspended matter, settling particles, faecal pellets and sediments.

	Fe	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
Sea water ($\mu\text{g/l}$)						
deep water	1 ^{a)}	0.02 ^{b)}	0.04 ^{a)}	0.65 ^{c)}	0.35 ^{c)}	0.60 ^{c)}
Suspended matter (ppm)						
surface water ^{d)}	—	529	13	—	109	220
deep water (Atlantic) ^{e)}	15,000(37)	320(26)	16 (14)	130(5)	200(3)	1,000(0.6)
Settling particles (ppm)						
deep water (Sargasso Sea) ^{f)}	37,000(86)	980(35)	17 (46)	—	150(28)	510(13)
intermediate water (Atlantic) ^{g)}	5,800(100)	67(97)	2.5(68)	—	29(33)	520(2)
deep water (Atlantic) ^{g)}	17,000(100)	400(53)	9.6(44)	—	110(24)	410(8)
Faecal pellets (ppm)						
surface water (Mediterranean) ^{h)}	24,000	243	3.5	20	226	950
Sediments (ppm)						
deep water ⁱ⁾	50,700(89)	4,780(10)	101 (11)	211(27)	323(19)	200(43)

a) SUGIMURA *et al.* (1978); b) KLINKHAMMER and BENDER (1980); c) BRULAND (1980); d) CHESTER and STONER (1975); e) BUAT-MENARD and CHESSELET (1979); f) SPENCER *et al.* (1978); g) BREWER *et al.* (1980); h) FOWLER (1977); i) CRONAN (1969). The values in parentheses are the percentage of the lithogenous fraction.

column (TUREKIAN, 1977; MARTIN and KNAUER, 1980; SPENCER *et al.*, 1978; BREWER *et al.*, 1980).

The elemental composition of settling particles collected with the sediment traps (SPENCER *et al.*, 1978; BREWER *et al.*, 1980) and suspended particulate matter in sea water (CHESTER and STONER, 1975; BUAT-MENARD and CHESSELET, 1979) is different from that of the sediment (Table 1). This indicates that transition metals in these freshly sedimented particulate materials undergo significant chemical differentiation by diagenesis at the sediment-water interface before their final incorporation into the sediment, that is, some metals are released back into overlying water column (BENDER *et al.*, 1977; BOYLE *et al.*, 1977). The most effective agents incorporating transition metals into the sediment are considered to be manganese and iron oxides.

3. The states of transition metals in deep-sea sediments

Marine sediments consist of lithogenous and non-lithogenous (authigenic) materials. The average transition metal contents in the lithogenous fraction of deep-sea sediments are similar to those of the total near-shore sediments (CHESTER and MESSIHA-HANNA, 1970). There-

fore, the enrichment of these metals in deep-sea sediments is mainly attributed to that in the non-lithogenous fraction.

Based on the similarity between element/manganese ratios in the non-lithogenous fraction of deep-sea sediments and manganese nodules, ELDERFIELD (1972) has concluded that the concentration of trace metals by manganese nodules and the enrichment of these metals in slowly accumulating sediments are related processes. Certain sediments from the south-west region of the North Atlantic Ocean have contents of non-lithogenous transition metals similar to those of manganese nodules (CHESTER *et al.*, 1973). Further, the behavior of non-lithogenous transition metals in deep-sea sediments for the acid and reducing agent extractions is similar to that in manganese nodules (TAKEMATSU, 1978). The calcium carbonate phase is essentially free from transition metals (TUREKIAN *et al.*, 1973; TAKEMATSU, 1978). Therefore, the major part of non-lithogenous transition metals in deep-sea sediments is incorporated in fine ferromanganese oxide minerals dispersed in and coated on sediments.

In Table 2, element/manganese ratios in the non-lithogenous fraction of deep-sea sediments are compared with those of manganese nodules.

Table 2. Comparison of element/manganese ratios in the non-lithogenous fraction of deep-sea sediments with those in manganese nodules.

	Fe	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
Average contents (%) in Pacific deep-sea sediments (CRONAN, 1969)	5.0669	0.4784	0.0101	0.0211	0.0323	0.020*
Average contents (%) in lithogenous fractions (CHESTER and MESSIHA-HANNA, 1970)	5.0	0.052	0.0012	0.0063	0.0067	0.0095*
Average contents (%) in non-lithogenous fractions	0.5669	0.4316	0.00902	0.01543	0.02627	0.01145
Element/manganese ratios in non-lithogenous fractions	1.3	1.0	0.021	0.036	0.061	0.027
Average contents (%) in Pacific manganese nodules (CRONAN, 1976)	11.96	19.78	0.335	0.634	0.392	0.068
Element/manganese ratios in Pacific manganese nodules	0.60	1.0	0.017	0.032	0.020	0.0034

*: WEDEPOHL (1960)

The chemical composition of the non-lithogenous fraction in deep-sea sediments is obtained assuming that 90 % of the total sediment is of lithogenous origin. The ratios of cobalt and nickel to manganese in the non-lithogenous fraction of deep-sea sediments are similar to those of nodules, while the ratios of copper and zinc in the former are larger than those in the latter. This suggests that most of the non-lithogenous cobalt and nickel in deep-sea sediments is associated with micro-manganese nodules, and that the significant part of non-lithogenous copper and zinc is associated with sedimentary components other than micro-manganese nodules. This conclusion is consistent with the sorptive properties of these metals on sedimentary components.

The sorption affinity of transition metals for hydrated manganese oxides (birnessite and δ -MnO₂) follows the sequence of: Cu > Mn ≥ Co > Zn > Ni (MURRAY, 1975; TAKEMATSU, 1979a). The sorption affinity for hydrated ferric oxide and silicate minerals is in the order: Cu > Zn > Ni > Co > Mn, although hydrated ferric oxide has much stronger sorption affinity than silicate minerals (TAKEMATSU, 1979a). This order is similar to the so-called Irving-Williams order. The humic substances, which are the most important constituents of organic matter in the sediment, have the same sequence of sorption affinity as hydrated ferric oxide and silicate minerals (RASHID, 1974).

4. The mechanisms of enrichment of minor transition metals in manganese nodules

Manganese oxide minerals found in nodules are todorokite (10 Å manganite), birnessite (7 Å manganite) and δ -MnO₂. The formation mechanisms of the different manganese oxide minerals are considered as follows. Todorokite is formed as a result of diagenetic remobilization and δ -MnO₂ is precipitated from sea water (CALVERT and PRICE, 1977; USUI, 1979a). This concept is consistent with the view that todorokite is formed in less oxidizing environments than δ -MnO₂ (GLASBY, 1972) and with the observation that nodules rich in todorokite are abundant in the underlying areas of high organic productivity, where diagenesis takes place actively and the redox potential is lower (CRONAN, 1975).

The concentrations of minor transition metals in nodules are one or two orders of magnitude higher than those in the continental crust. The enrichment is explained by the sorption process and the lattice substitution. Nodules rich in δ -MnO₂ are enriched in cobalt and lead, while nodules rich in todorokite are enriched in nickel and copper (BARNES, 1967; CRONAN and TOOMS, 1969; CRONAN, 1975). The enrichment of cobalt and lead in δ -MnO₂ is attributed to the oxidation of these metals to their higher valency states to substitute for Mn⁴⁺ in the [MnO₆] octahedra (BURNS, 1976). The same process has been proposed for nickel (BURNS and FYFE, 1967; BURNS, 1970). The

concentrations of minor transition metals due to the sorption have been calculated using their distribution coefficients of sorption between δ - MnO_2 and sea water and their concentrations in sea water (TAKEMATSU, 1979b). The calculated concentrations of copper and zinc were comparable to their concentrations in nodules, while those of cobalt and nickel were an order of magnitude lower than their concentrations in nodules. The discrepancies in cobalt and nickel can probably be ascribed to the substitution.

MCKENZIE (1971) and USUI (1979b) have found in the laboratory experiment that birnessite (7 Å manganite) is transformed into todorokite in the presence of divalent ions of metals such as cobalt, nickel, copper and so forth. This appears to indicate that mineralogy of nodules is controlled by the supply of these transition metal ions to nodules. However, this is not the case because some todorokite-rich nodules from continental margin environments are not enriched in these minor transition metals (GRILL *et al.*, 1968; CRONAN and TOOMS, 1969). As BURNS and BURNS (1978) have stated, todorokite which contains divalent manganese in the lattice is formed in the less oxidizing (organic rich) sediment and divalent manganese in todorokite is replaced by divalent ions of nickel and copper. Further, todorokite and birnessite which are precipitating in sea water of the similar concentrations of minor transition metals have the similar concentrations of these metals (TAKEMATSU *et al.*, submitted for publication in J. Oceanogr. Soc. Japan). Therefore, the correlation between todorokite and nickel and copper may be due to the supply of these metal ions available to todorokite rather than mineralogy.

Calculated on the world average abundances of transition metals in manganese nodules (CRONAN, 1976) and their recently reported concentrations in sea water (BRULAND, 1980; KLINKHAMMER and BENDER, 1980; SUGIMURA *et al.*, 1978), the enrichment relative to sea water follows the order: $\text{Mn} \gg \text{Fe} > \text{Co} \gg \text{Ni} \geq \text{Cu} \gg \text{Zn}$

5. The factory which produces micro- and macro-manganese nodules located near the sediment-water interface of deep-sea sediments

Raw materials are supplied to the sea floor as organic and inorganic particulate matter from overlying sea water. After deposition, the greater part of the raw materials except silicate minerals is dissolved by diagenesis due to the decomposition of organic matter, although some part is preserved according to chemical environments such as Eh and pH. Dissolved iron and manganese are transported to the sediment-water interface by advection and diffusion, and transformed into solid phases as ferromanganese oxide minerals which are present as coatings on silicate minerals, fine particles dispersed in the sediment or nodules at the sediment-water interface. Some part of dissolved iron is precipitated as free iron oxides. Transition metals other than iron and manganese are partitioned among ferromanganese oxides, free iron oxides, humic substances and silicate minerals according to their sorptive and substitutive properties. Some fraction of transition metals supplied is not captured by sedimentary components and released back into bottom water as wastes.

In the oxidized deep-sea environments where manganese oxides such as todorokite, birnessite and δ - MnO_2 are stable, the greater part of cobalt and nickel supplied are incorporated into ferromanganese oxide phases because they are sorbed very strongly on the manganese oxides and substituted for the manganese in the lattices. Most of copper and zinc is also incorporated into ferromanganese oxide minerals but a considerable fraction is associated with silicate minerals and humic substances because they are sorbed much more strongly on these substances than cobalt and nickel.

In the near-shore areas, the supply of silicate minerals from continents relative to biogenic and hydrogenous materials extracted from sea water is much larger than that in the open sea areas. Further, in the near-shore sediments, in which redox potential is lower than that in the deep-sea sediments because of a large amount of organic matter, a considerable fraction of manganese dissolved by dia-

genesis is released from the sediments. The non-lithogenous manganese in the near-shore sediments may be present as oxyhydroxides and oxides of its lower valency states or the solid solution of calcium carbonate (WINTERHALTER, 1966; CRERAR and BARNES, 1974; MANHEIM, 1961; CALVERT and PRICE, 1970). Since cobalt and nickel are only weakly sorbed on the manganese compounds described above, most of these metals supplied through the interstitial water are released from the sediment, although some fractions of copper and zinc are retained in the sediment because they are strongly sorbed on all the sedimentary components. The concentrations of transition metals in the near-shore sediments are not significantly different from those in the lithogenous fraction of deep-sea sediments.

The cause of the relative enrichments of transition metals in deep-sea sediments compared to near-shore sediments ($Mn > Co \geq Cu > Ni > Zn > Fe$) can be understood when the average contents in deep-sea sediments and in manganese nodules are divided by those in the lithogenous fraction of the sediments and the relative enrichment in the former is compared with that in the latter (Table 2). The elemental composition of the sediments is controlled by the amount and the chemical state of manganese oxides in the sediments, as well as the supply of the lithogenous and non-lithogenous metals to the sea floor.

Acknowledgements

The author would like to thank Prof. Y. KITANO of Water Research Institute, Nagoya University, for helpful discussion and criticism on the manuscript.

References

- BARNES, S.S. (1967): Minor element composition of ferromanganese nodules. *Science*, **157**, 63-65.
- BENDER, M. L., G. P. KLINKHAMMER and D. W. SPENCER (1977): Manganese in seawater and the marine manganese balance. *Deep-Sea Res.*, **24**, 799-812.
- BOSTRÖM, K. and M.N.A. PETERSON (1969): The origin of aluminum-poor ferromanganean sediments in areas of high heat flow on the East Pacific Rise. *Mar. Geol.*, **7**, 427-447.
- BOSTRÖM, K., M.N.A. PETERSON, O. JOENSUU and D. E. FISHER (1969): Aluminum-poor ferromanganean sediments on active oceanic ridges. *J. Geophys. Res.*, **12**, 3261-3270.
- BOYLE, E. A., F. R. SCLATER and J. M. EDMOND (1977): The distribution of dissolved copper in the Pacific. *Earth Planet. Sci. Letts.*, **37**, 38-54.
- BREWER, P. G., Y. NOZAKI, D. W. SPENCER and A. P. FLEER (1980): Sediment trap experiments in the deep North Atlantic: isotopic and elemental fluxes. *J. Mar. Res.*, **38**, 703-728.
- BRULAND, K.W. (1980): Oceanographic distribution of cadmium, zinc, nickel, and copper in the North Pacific. *Earth Planet. Sci. Letts.*, **47**, 176-198.
- BRULAND, K.W., G.A. KNAUER and J.H. MARTIN (1978): Zinc in northeast Pacific water. *Nature*, **271**, 741-743.
- BUAT-MENARD, P. and R. CHESSELET (1979): Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth Planet. Sci. Letts.*, **42**, 399-411.
- BURNS, R.G. (1970): *Mineralogical Applications of Crystal Field Theory*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 224 pp.
- BURNS, R.G. (1976): The uptake of cobalt into ferromanganese nodules, soil, and synthetic manganese (IV) oxides. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **40**, 95-102.
- BURNS, V.M. and R.G. BURNS (1978): Post-depositional metal enrichment processes inside manganese nodules from the north equatorial Pacific. *Earth Planet. Sci. Letts.*, **39**, 341-348.
- BURNS, R.G. and W.S. FYFE (1967): Crystal field theory and geochemistry of transition elements. *In* P.H. ABELSON (ed.), *Research in Geochemistry*, Vol. 2. John Wiley & Sons, New York. p. 259-285.
- CALVERT, S.E. and N.B. PRICE (1970): Composition of manganese nodules and manganese carbonates from Loch Fyne, Scotland. *Contr. Mineral. Petrol.*, **29**, 215-233.
- CALVERT, S.E. and N.B. PRICE (1977): Geochemical variation in ferromanganese nodules and associated sediments from the Pacific Ocean. *Mar. Chem.*, **5**, 43-74.
- CHESTER, R., L.R. JOHNSON, R.G. MESSIHA-HANNA and R.C. PADGHAM (1973): Similarities between Mn, Ni and Co contents of deep-sea clays and manganese nodules from the south-west region of the North Atlantic. *Mar. Geol.*, **14**, M15-M20.
- CHESTER, R. and R.G. MESSIHA-HANNA (1970): Trace element partition patterns in North Atlantic deep-sea sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*,

- 34, 1121-1128.
- CHESTER, R. and J. H. STONER (1975): Trace elements in total particulate material from surface sea water. *Nature*, **255**, 50-51.
- CRERAR, D.A. and H.L. BARNES (1974): Deposition of deep-sea manganese nodules. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **38**, 279-300.
- CRONAN, D.S. (1969): Average abundances of Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Pb, Mo, V, Cr, Ti and P in Pacific pelagic clays. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **33**, 1562-1565.
- CRONAN, D.S. (1975): Manganese nodules and other ferromanganese oxide deposits from the Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, **80**, 3831-3837.
- CRONAN, D.S. (1976): Manganese nodules and other ferro-manganese oxide deposits. *In* J.P. RILEY and R. CHESTER (ed.), *Chemical Oceanography* (2nd ed.), Vol. 5. Academic Press, London. p. 217-263.
- CRONAN, D.S. and J.S. TOOMS (1969): The geochemistry of manganese nodules and associated pelagic deposits from the Pacific and Indian Oceans. *Deep-Sea Res.*, **16**, 335-359.
- ELDERFIELD, H. (1972): Compositional variations in the manganese oxide component of marine sediments. *Nature*, **237**, 110-112.
- FOWLER, S.W. (1977): Trace elements in zooplankton particulate products. *Nature*, **269**, 51-53.
- GLASBY, G.P. (1972): The mineralogy of manganese nodules from a range of marine environments. *Mar. Geol.*, **13**, 57-72.
- GOLDBERG, E.D. (1954): Marine geochemistry 1. Chemical scavengers of the sea. *J. Geol.*, **62**, 249-265.
- GOLDSCHMIDT, V. M. (1937): The principles of distribution of chemical elements in minerals and rocks. *J. Chem. Soc.*, **1937**, 655-673.
- GRILL, E.V., J.W. MURRAY and R.D. MACDONALD (1968): Todorokite in manganese nodules from a British Columbia fjord. *Nature*, **219**, 358-359.
- KLINKHAMMER, G.P. and M.L. BENDER (1980): The distribution of manganese in the Pacific Ocean. *Earth Planet. Sci. Letts.*, **46**, 361-384.
- KRAUSKOPF, K.B. (1956): Factors controlling the concentrations of thirteen rare metals in sea-water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **9**, 1-32B.
- MANHEIM, F.T. (1961): A geochemical profile in the Baltic Sea. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **25**, 52-70.
- MARTIN, J.H. and G.A. KNAUER (1980): Manganese cycle in northeast Pacific water. *Earth Planet. Sci. Letts.*, **51**, 266-274.
- MCKENZIE, R.M. (1971): The synthesis of birnessite, cryptomelane, and some other oxides and hydroxides of manganese. *Miner. Mag.*, **38**, 493-502.
- MURRAY, J.W. (1975): The interaction of metal ions at the manganese dioxide-solution interface. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **39**, 505-519.
- RASHID, M.A. (1974): Absorption of metals of sedimentary and peat humic acids. *Chem. Geol.*, **13**, 115-123.
- SCLATER, F.R., E. BOYLE and J.M. EDMOND (1976): On the marine geochemistry of nickel. *Earth Planet. Sci. Letts.*, **31**, 119-128.
- SPENCER, D.W., P.G. BREWER, A. FLEER, S. HONJO, S. KRISHNASWAMI and Y. NOZAKI (1978): Chemical fluxes from a sediment trap experiment in the deep Sargasso Sea. *J. Mar. Res.*, **36**, 493-523.
- SUGIMURA, Y., Y. SUZUKI and Y. MIYAKE (1978): Chemical forms of minor metallic elements in the ocean. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **34**, 93-96.
- TAKEMATSU, N. (1978): The chemical forms of transition elements in marine sediments. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **34**, 242-249.
- TAKEMATSU, N. (1979a): Sorption of transition metals on manganese and iron oxides, and silicate minerals. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **35**, 36-42.
- TAKEMATSU, N. (1979b): The incorporation of minor transition metals into marine manganese nodules. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **35**, 191-198.
- TAKEMATSU, N., Y. SATO and S. OKABE (1981): The partition of minor transition metals between manganese oxides and seawater. Submitted for publication in *J. Oceanogr. Soc. Japan*.
- TUREKIAN, K.K. (1967): Estimates of the average Pacific deep-sea clay accumulation rate from material balance calculations. *In* M. SEARS (ed.), *Progress in Oceanography*, Vol. 4. Pergamon Press, Oxford. p. 227-244.
- TUREKIAN, K.K. (1977): The fate of metals in the oceans. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **41**, 1139-1144.
- TUREKIAN, K.K. and J. IMBRIE (1966): The distribution of trace elements in deep-sea sediments of the Atlantic Ocean. *Earth Planet. Sci. Letts.*, **1**, 161-168.
- TUREKIAN, K. K., A. KATZ and L. CHAN (1973): Trace element trapping in pteropod tests. *Limnol. Oceanogr.*, **18**, 240-249.
- USUI, A. (1979a): Minerals, metal contents, and mechanism of formation of manganese nodules from the Central Pacific Basin (GH76-1 and GH77-1 areas). *In* J.L. BISCHOFF and D.Z. PIPER (ed.), *Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province*. Plenum Press, New York. p. 651-679.

- USUI, A. (1979b): Nickel and copper accumulation as essential elements in 10-Å manganite of deep-sea manganese nodules. *Nature*, **279**, 411-413.
- WEDEPOHL, K.H. (1960): Spurenanalytische Untersuchungen an Tiefseetonen aus dem Atlantik. Ein Beitrag zur Deutung der geochemischen Sonderstellung von pelagischen Tonen. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **18**, 200-231.
- WINTERHALTER, B. (1966): Iron-manganese concretions from the Gulf of Bothnia and the Gulf of Finland. *Geotekn. julk.*, **69**, 1-77 (in Finnish with English summary).

沿岸堆積物に対する深海堆積物への遷移金属の相対的濃縮

竹 松 伸

要旨: 沿岸堆積物に対する深海堆積物への遷移金属の相対的濃縮は、海底へのこれらの金属の供給だけでなく、深海堆積物の堆積物-海水境界面近傍に微細な鉄マンガン酸化物が存在していることおよびこの酸化物、腐植物質およびケイ酸塩鉱物のような堆積物構成成分に対する遷移金属の収着特性に起因している。

深見池における植物プランクトンの光合成量子収率*

竹松 伸**, 岸野元彰**, 岡見 登**

The Quantum Yield of Phytoplankton Photosynthesis in Lake Fukami-ike, Japan*

Noburu TAKEMATSU**, Motoaki KISHINO** and Noboru OKAMI**

Abstract: Primary production, chlorophyll *a* concentrations, spectral absorption of phytoplankton, insolation during incubation, vertical distribution of downward spectral irradiance were simultaneously measured in Lake Fukami-ike, Nagano Pref., Japan. Light energy absorbed by phytoplankters in the water column was estimated by three methods proposed by TYLER (1975) and MOREL (1978). At deeper depths, quantum yields of phytoplankton photosynthesis, calculated in consideration of spectral compositions in irradiance, were higher than those calculated without consideration for the compositions. The estimated quantum yield increases with depth, approaching 0.125 moles O₂/einstein near the compensation depth, which is the maximum reported for the quantum yield of photosynthesis.

1. はじめに

従来、現場における光合成生産は単位時間当たり、単位クロロフィル *a* 当り植物プランクトンによって固定された炭素量 (mg C/mg Chl. *a*·day) で測定され、光合成の重要な因子である光エネルギー強度は、適当な測定器がなかったこともあって、参考程度に測定されたに過ぎなかった。一方、室内実験においては、光合成生産 (mg C/mg Chl. *a*·hr) と光エネルギー強度 (lux あるいは W/m²) との関係が調べられているが、光エネルギースペクトルが現場のそれとは異なることおよびその強度の測定単位に問題があるため、現場における光合成生産の光エネルギー利用効率を推定することは困難であった。

SCOR/UNESCO/IAPSO Working Group 15 の光合成生産に有効な放射エネルギーに関する報告 (TYLER, 1969) 以来、海洋学にも光量子の概念が導入され、それに適合した測定装置が開発さ

れるに至って、現場における光合成生産の光エネルギー利用効率の測定が可能となり、二三の論文が報告されている (TYLER, 1975; DUBINSKY and BERMAN, 1976; MOREL, 1978)。しかし、光合成生産の光エネルギー利用効率は同じ方法で求められているわけではない。

深見池は長野県下伊那郡にある面積 2.2 ha, 最大水深 8.5 m の天然の小湖で、その湖沼学的特性はかなりよく調べられている (西條ら, 1980)。深見池の透明度は周年 1 m 程度であり、深さ方向における光エネルギーの減衰およびスペクトル変化は非常に大きい。このような濁った光環境における光合成生産の光エネルギー利用効率を測定することは興味深い。そこで、光合成生産と分光放射照度を測定し、これより今まで報告されている種々の方法で光合成生産の光エネルギー利用効率を計算し、比較検討した。

2. 方法

光エネルギーの測定

i) 全放射照度: 放射照度をエプリ日射計 (cal/cm²·min, 300~2,800 nm) によって、光合成生産

* 1981年5月19日受理 Received May 19, 1981

** 理化学研究所, 〒351 埼玉県和光市広沢2-1
The Institute of Physical and Chemical Research,
Hirosawa, Wako-shi, Saitama Pref., 351 Japan

測定期間中連続的に湖畔で測定し、連続記録を0.6分毎に積分し、その期間の全放射照度 (E_{tot} , $W \cdot h/m^2$) を求めた。 E_{tot} ($W \cdot h/m^2$, 300~2,800 nm) から光合成有効波長域 (400~700 nm) の放射照度 (E_{PAR} , $W \cdot h/m^2$) への変換には係数0.43を用いた (JITTS *et al.*, 1976)。また、光量子への変換には次式を用いた (MOREL and SMITH, 1974)。

$$E_q(0^+)(\text{quanta}/m^2, 400\sim 700\text{nm}) \\ = 2.77 \times 10^{18} E_{PAR} (W \cdot s/m^2, 400\sim 700\text{nm})$$

ii) 水中分光放射照度: 下方向分光放射照度 ($dE/d\lambda$, $\mu W/cm^2 \cdot nm$) は分光放射照度計 (Biospherical Instrument, MER-1,000) によって、400~700 nm の波長範囲で、水深 3~4 m まで 25 cm 間隔で測定した。水面直上と直下における放射照度比 ($E(0^-)/E(0^+)$) は 0.93 であった (JITTS *et al.* (1976) および MOREL (1978) は 0.75 を用いている)。

なお、エプリ日射計で測定した E'_{tot} (W/m^2 , 300~2,800 nm) に 0.43 を掛けて求めた E'_{PAR} (W/m^2 , 400~700 nm) と分光放射照度より求めた $E(W/m^2, 400\sim 700\text{nm})$ は誤差の範囲 (双方の差は $\pm 10\%$ 以内) で一致した。

光合成生産の測定

光合成生産は明瓶および暗瓶を用いる酸素法によって測定した。各層(0, 0.5, 1, 2 および 3 m) から、ポンプを使用して、10 l のサンプルを採水し、100 ml 酸素瓶 9 本 (明瓶, 暗瓶および対照各 3 本) に分取した。暗瓶はアルミ箔で包み、明瓶と共に採取した深さに吊した。対照は直ちに固定した。同時にクロロフィル測定用および光学的性質測定用の試料をポリ瓶に分取した。一定期間培養の後、酸素瓶を回収し、直ちに固定し、約 2 時間後常法により溶存酸素量を測定した。明瓶と暗瓶の酸素量の差から培養期間における総光合成生産量 (P_g , m moles O_2/m^3) を求めた。

クロロフィル *a* および フェオフィチン濃度の測定

クロロフィル *a* および フェオフィチン濃度は、試料をワットマン GF/C フィルターでろ過し、

90% アセトン抽出後吸光法により測定した。計算に用いた式は PARSONS and STRICKLAND (1963) の提唱によるものである。

溶存および懸濁物質の吸収係数の測定

吸収係数の測定には、広面積セルとエンドオン型光電子増倍管を装着した島津製作所のマルチパス自記分光光度計 MPS-5000 を使用した。蒸留水を基準にして、孔径 0.45 μm のミリポア・フィルターでろ過した試料の吸収を測定することにより、溶存物質のスペクトル吸収係数を求めた。試料中の懸濁物質の吸収係数は、蒸留水を基準にして未処理試水の吸収係数を測定し、これより先に測定した溶存物質の吸収係数を差引くことにより求めた。

懸濁物質には植物プランクトン以外にデトライタスや腐植物質などの有色有機物が含まれるので、このような物質は、フミン酸のようにその吸収が長波長にゆくに従って減少するものと仮定して (竹松ら, 1979), 測定した吸収係数から差引き、植物プランクトンによる吸収係数を求めた。

光合成生産の光エネルギー利用効率の計算

植物プランクトンによって吸収された光エネルギー量 ($PUR(Z)$, quanta/ m^3) の求め方は大別して 3 通り報告されている。

a) 放射照度の消散係数を用いる方法: 目的の深さを中心にして水柱 (ΔZ , m) を考え、その水柱において吸収された光エネルギー量を水柱の上面の放射照度 (E_{q1} , quanta/ m^2) と下面の放射照度 (E_{q2} , quanta/ m^2) の差 $\{(E_{q1} - E_{q2})/\Delta Z$, quanta/ m^3 から求める。次に、水柱において吸収された光エネルギー量のうち植物プランクトンによって吸収されたエネルギーの割合を、この水柱における放射照度の消散係数 $\{K_d (m^{-1}), K_d = (\ln E_{q1}/E_{q2})/\Delta Z\}$ と植物プランクトンの吸収 $[\bar{A}_{Chl} \cdot C_{Chl} (m^{-1}); \bar{A}_{Chl} \{m^{-1}/(mg\ Chl. a/m^3)\}]$, クロロフィル単位濃度当りの吸収係数の波長平均; $C_{Chl} (mg\ Chl. a/m^3)$, 水柱に含まれるクロロフィル量] の比から求める。植物プランクトンによって吸収された光エネルギー量は両者の積である:

$$PUR(Z) = (E_{q1} - E_{q2})/\Delta Z \times \bar{A}_{Chl} \cdot C_{Chl}/K_d \quad (1)$$

TYLER (1975) と DUBINSKY and BERMAN (1976) は基本的には上記の方法に従っている。この方法は測定する水柱における放射照度の消散係数が小さくしかも水柱におけるプランクトンの分布が均一な場合にのみかなりよい近似となる。

b) 放射照度と植物プランクトンの波長平均吸収係数から求める方法: この方法は MOREL (1978) が用いた方法であるが, 植物プランクトンによって吸収された光エネルギー量を目的の深さの放射照度 $\{E_q(Z), \text{quanta/m}^2\}$, 植物プランクトンの吸収係数の波長平均およびクロロフィル濃度の積から求める:

$$PUR(Z) = E_q(Z) \times \bar{A}_{Chl} \cdot C_{Chl} \quad (2)$$

c) 分光放射照度と植物プランクトンの分光吸収係数から求める方法: 水中の光エネルギースペクトルは深さと共に変化するから, 精確には, 植物プランクトンによって吸収された光エネルギー量は次式によって求められる (MOREL, 1978):

$$PUR(Z) = C_{Chl} \int_{400}^{700} A_{Chl}(\lambda) \cdot dE_q(\lambda) / d\lambda \cdot d\lambda \quad (3)$$

ここで, $A_{Chl}(\lambda) \{m^{-1}/(\text{mg Chl. } a/\text{m}^3)\}$ は植物プランクトンの分光吸収係数および $dE_q(\lambda)/d\lambda$ ($\text{quanta}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$) は下方向分光放射照度である。

いずれの計算の場合にも \bar{A}_{Chl} あるいは $A_{Chl}(\lambda)$ の値が問題となる。 \bar{A}_{Chl} に対して, 0.014~0.016 の範囲の値が報告されている (LORENZEN, 1972; BANNISTER, 1974, 1979; MOREL and PRIEUR, 1977)。このうち, MOREL and PRIEUR (1977) の値 (0.0142) は, いろいろな海域で測定された下方向および上方向分光放射照度とクロロフィル濃度から計算によって求められたものであるが, その他は培養プランクトンの吸収係数を平行光線で測ることによって求められたものである。

Fig. 1 に, 今までに報告されている $A_{Chl}(\lambda)$ と深見池の植物プランクトンのそれを示した。ただし, 深見池の植物プランクトンの $A_{Chl}(\lambda)$ は, すでに述べたように, 深見池の懸濁物の吸収係数から腐植物質に相当する吸収係数を差引き, その絶対値は \bar{A}_{Chl} が MOREL (1978) が推奨した 0.015 $\text{m}^{-1}/(\text{mg Chl. } a/\text{m}^3)$ となるように補正されている。

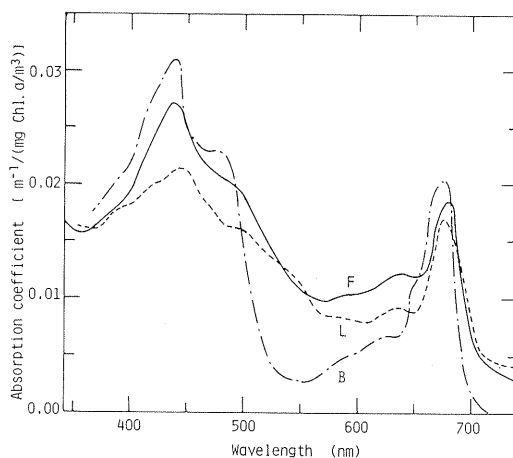


Fig. 1. Spectral absorption coefficient of phytoplankton. B: BANNISTER (1979); L: LORENZEN (1972); F: present study (Lake Fukami-ike).

る。

光合成生産の光エネルギー利用効率 (量子収率, ϕ) は次式によって計算した:

$$\phi (\text{moles O}_2 \text{ or C/einstein}) = P_B / PUR \quad (4)$$

ここで, P_B は酸素法あるいは ^{14}C 法で測定された光合成生産量 ($\text{moles O}_2/\text{m}^3$ あるいは $\text{moles C}/\text{m}^3$) および PUR は培養期間に植物プランクトンによって吸収された光エネルギー量 ($\text{einstein}^*/\text{m}^3$) である。

3. 結果と考察

1) 光エネルギーに関する測定結果

Fig. 2 に 7 月 23 日の深見池におけるエプリ日射計による連続記録を示す。これを積分し, 培養期間における放射照度を求めた (Table 1)。

Fig. 3 に深見池における分光放射照度の鉛直分布を示す。水深 0.5, 1 および 2 m における放射照度は, それぞれ表面の 36, 13 および 0.8 % で, その減衰は著しい。また, 透過率最大波長は水深 2 m では約 570 nm である。サルガッソー海のような清澄な水では透過率最大波長は 470~480 nm であり, その波長は水の吸収と溶存および懸濁物質の吸収の和が最小の波長によって決まるが, 深

* 1 einstein = 6.02×10^{23} quanta

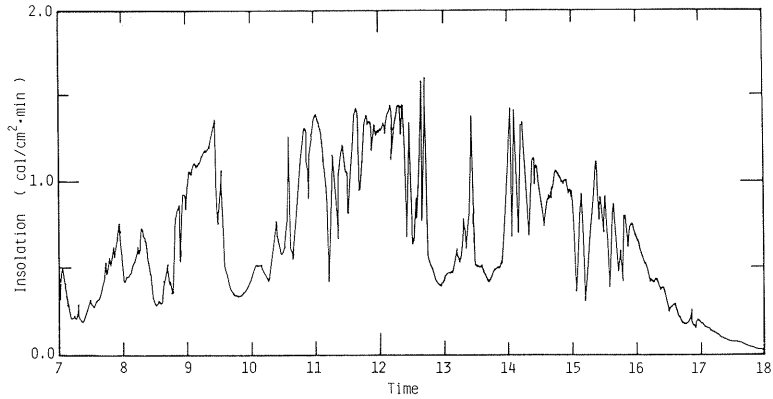


Fig. 2. Continuous record of insolation by the shore of Lake Fukami-ike on July 23, 1980.

Table 1. Primary production (P_g), chlorophyll a concentration, photosynthetically available radiation ($E_q(0^+)$), relative irradiance to the surface ($E_q(Z)/E_q(0^-)$) and diffuse attenuation coefficient (K_d) in Lake Fukami-ike.

Depth (m)	P_g (mole O_2/m^3)	Chlorophyll a (mg Chl. a/m^3)	$E_q(0^+)$ (einstein $/m^2$)	$E_q(Z)/E_q(0^-)$ (%)	K_d (m^{-1})
8:00-17:05, July 22, 1980			43.7		
surface (0.1m)	141	56.6		86.4	1.62
0.5m	108	58.0		47.3	1.84
1.0m	134	84.1		15.9	2.71
8:00-12:22, July 22, 1980			27.1		
0.5m	83.8	58.0		47.3	1.84
8:18-17:25, July 23, 1980			39.8		
surface (0.1m)	104	56.0		82.0	2.07
0.5m	114	58.6		36.3	2.06
1.0m	101	55.1		12.8	2.31
2.0m	40.7	105		0.768	2.43
7:52-17:40, Sept. 21, 1980			22.6		
surface (0.1m)	163	60.8		85.3	2.02
0.5m	140	65.1		36.4	2.03
1.0m	55.3	65.5		13.5	1.88
2.0m	24.8	63.2		3.34	1.23
3.0m	13.3	68.9		0.748	2.13
7:52-12:33, Sept. 21, 1980			12.9		
0.5m	102	65.1		35.4	1.95
12:42-17:40, Sept. 21, 1980			9.23		
0.5m	129	140		37.5	2.12

見池ではプランクトンおよび腐植物質濃度が高いために、透過率最大波長が長波長側に移動している (Fig. 4)。

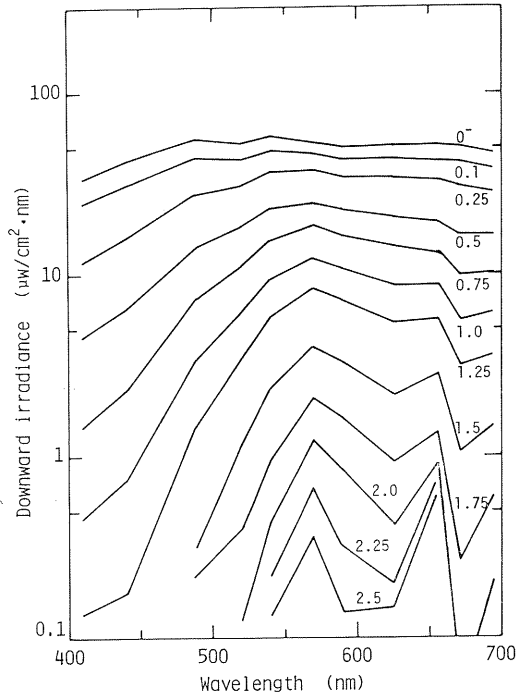


Fig. 3. Vertical distribution of downward spectral irradiance in Lake Fukami-ike on July 23, 1980.

放射照度の消散係数 (K_d) は $2 m^{-1}$ 前後であるが、クロロフィル濃度との相関は余りよくない。それは腐植物質濃度が高いためであろう (Fig. 4)。

2) 光合成生産量およびクロロフィル濃度

総光合成生産量は、表層では1日当たり $100 \sim 150 m \text{ moles } O_2/m^3$ で、当然のことながら深さと共に減少する。総光合成生産量に占める呼吸量の割合

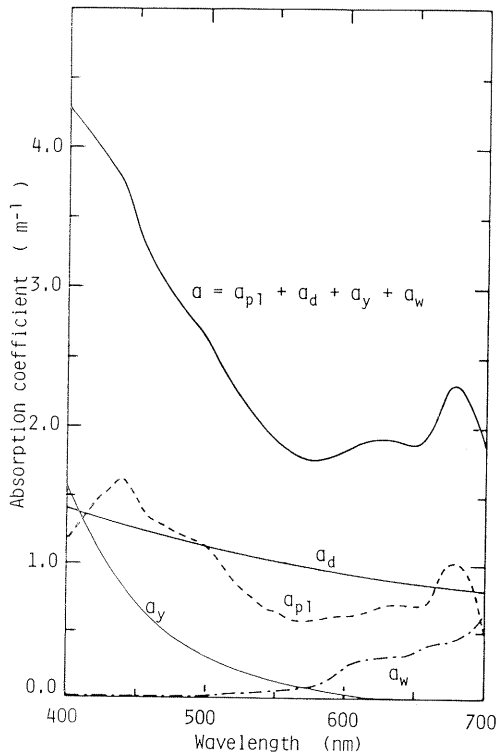


Fig. 4. Spectral absorption coefficient of dissolved and suspended matter in Lake Fukami-ike. a_{pl} , a_d , a_y , and a_w : the absorption coefficient of phytoplankton, detritus, yellow substances and water, respectively.

は、7月には20~60%(平均40%), 9月には10~60%(平均20%)であった。クロロフィル濃度はほぼ60 mg Chl. a/m^3 で7月より9月が多少高かった。

3) 光合成生産の光エネルギー利用効率

光合成生産の光エネルギー利用効率を、方法の項ですでに述べた a), b) および c) の3つの方法で計算した (Table 2)。ただし、a) の方法では、深見池では水深による放射照度の減衰が著しいことを考慮して、水柱の長さをそれぞれ 1 m および 0.5 m に取って計算した。

まず、a) の方法において水柱を 1 m と 0.5 m に取った場合を比較すると、一般的に 1 m に取った場合の方が収率が低くなっている。これは放射照度が深さに対して指数函数的に減衰するのに、計算では直線的に減衰することを仮定していることに起因する。理論的には、放射照度の消散係数

Table 2. The quantum yield of phytoplankton photosynthesis in Lake Fukami-ike. Photosynthetically usable radiation (PUR) was estimated with (a) diffuse attenuation coefficient, (b) irradiance and average absorption coefficient of phytoplankton, and (c) spectral irradiance and spectral absorption coefficient of phytoplankton.

Depth	ϕ (moles O_2 /einstein)		
	(a)	(b)	(c)
$\Delta Z=1m, \Delta Z=0.5m$			
8:00-17:05, July 22, 1980			
surface (0.1m)	0.00434, 0.00465	0.00475	0.00510
0.5m	0.00672, 0.00662	0.00650	0.00752
1.0m	0.0161, 0.0168	0.0165	0.0210
8:00-12:22, July 22, 1980			
0.5m	0.00837, 0.00824	0.00809	0.00936
8:18-17:25, July 23, 1980			
surface (0.1m)	0.00348, 0.00388	0.00411	0.00443
0.5m	0.00825, 0.00968	0.00965	0.0113
1.0m	0.0233, 0.0242	0.0258	0.0328
2.0m	0.0489, 0.0771	0.0908	0.126
7:52-17:40, September 21, 1980			
surface (0.1m)	0.00885, 0.00999	0.00999	0.0109
0.5m	0.0158, 0.0180	0.0187	0.0220
1.0m	0.0158, 0.0189	0.0198	0.0255
2.0m	0.0350, 0.0364	0.0369	0.0517
3.0m	0.0833, 0.0829	0.0812	0.121
7:52-12:33, September 21, 1980			
0.5m	0.0203, 0.0240	0.0247	0.0292
12:42-17:40, September 21, 1980			
0.5m	0.0165, 0.0181	0.0190	0.0223

が $2m^{-1}$ では、計算される収率は水柱を 0.5 m に取った場合よりも 1 m に取った場合の方が 14% 低くなるはずである。深さに対して放射照度の減衰が著しい場合には、水柱を短く取った方がよいが、実際には放射照度の測定における水深の誤差が大きくなるので、水柱を余り短く取っても意味がない。

b) の方法は a) のそれとほぼ同じ値を示す。これに対して c) の方法は前二者よりかなり高い値を示す。特に、放射照度が表面のその10%以下になる水深では、この傾向が顕著で、a) および b) の方法と c) の方法とでは 50% 以上値が異なる。

これは上層の水のフィルター効果によって透過光の波長幅が狭められたためである。したがって、放射照度が表層のその 10% 以下になる水深における収率は c) の方法で計算する必要がある。

求められた光合成生産の光エネルギー利用効率は深さと共に顕著に増大する。補償深度と考えられている表面放射照度の 1% 水深で、 ϕ は光合成生産の光エネルギー利用効率の最大値と考えられている 0.125 (RABINOWITCH and GOVINDJEE, 1969) に近づくように見える。この傾向は今まで報告されている結果と一致する (DUBINSKY and BERMAN, 1976; MOREL, 1978)。深さと共に ϕ が増大する一般的現象は、 ϕ が光合成-光曲線の飽和照度以下の領域における勾配に比例する (単位を合わせれば、この勾配が ϕ となる) ことから理解することができる。低照度域におけるこの勾配は、植物プランクトンの種類、生理学的状態および生育段階、環境の温度および栄養状態などの要素によって影響されるが (PARSONS *et al.*, 1977; STEEMANN NIELSEN, 1975)、水深によるこの勾配の変化も報告されている (JITTS *et al.*, 1976; PLATT and JASSBY, 1976)。JITTS *et al.* (1976) の外洋水に対する結果によれば、この勾配は表層より水深 11 m および 15 m において大きい。すなわち、光合成生産の光エネルギー利用効率が高い。これに対して、PLATT and JASSBY (1976) は、沿岸水に対して、この勾配が 1 m, 5 m, 10 m と深くなるに従って小さくなるという結果を報告している。2つの実験の大きな相違は、JITTS *et al.* (1976) が擬似現場法で水深による光エネルギーのスペクトル変化を考慮して青のフィルターを使用しているのに対して、PLATT and JASSBY (1976) はタングステンランプを使用してその点を無視していることである。これは、植物プランクトンの光順応性を意味しているのであろうか。

データは少ないが、日の出から日没までにわたって測定された光合成生産の光エネルギー利用効率より午前中に測定されたそれの方が高い値を示した。これは、光合成生産の日変化 (diel rhythm) なのか試水を密閉したことによって起る効果なのか (西條, 1973) 更に調べる必要がある。

謝 辞

深見池における観測は名古屋大学西條八束教授、寺井久慈博士および名古屋女子大学八木明彦博士の絶大なる援助によって遂行された。また、筑波大学高橋正征博士には基礎生産測定に関して技術的指導を賜った。なお、本研究は理化学研究所宇野木早苗博士の指揮の下に行なわれた。ここに深甚なる感謝の意を表する次第である。

文 献

- BANNISTER, T. T. (1974): Production equations in terms of chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. *Limnol. Oceanogr.*, **19**, 1-12.
- BANNISTER, T. T. (1979): Quantitative description of steady state, nutrient-saturated algal growth, including adaptation. *Limnol. Oceanogr.*, **24**, 76-96.
- DUBINSKY, Z. and T. BERMAN (1976): Light utilization efficiencies of phytoplankton in Lake Kinneret (Sea of Galilee). *Limnol. Oceanogr.*, **21**, 226-230.
- JITTS, H. R., A. MOREL and Y. SAJO (1976): The relation of oceanic primary production to available photosynthetic irradiance. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **27**, 441-454.
- LORENZEN, C. J. (1972): Extinction of light in the ocean by phytoplankton. *J. du Cons.*, **34**, 262-267.
- MOREL, A. (1978): Available, usable, and stored radiant energy in relation to marine photosynthesis. *Deep-Sea Res.*, **25**, 673-688.
- MOREL, A. and R. C. SMITH (1974): Relation between total quanta and total energy for aquatic photosynthesis. *Limnol. Oceanogr.*, **19**, 591-600.
- MOREL, A. and L. PRIEUR (1977): Analysis of variations in ocean color. *Limnol. Oceanogr.*, **22**, 709-722.
- PARSONS, T. R. and J. D. H. STRICKLAND (1963): Discussion of spectrophotometric determination of marine-plankton pigments, with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *J. Mar. Res.*, **21**, 155-163.
- PARSONS, T. R., M. TAKAHASHI and B. HARGRAVE (1977): *Biological Oceanographic Processes* (2nd ed.). Pergamon Press, Oxford, 332 pp.
- PLATT, T. and A. D. JASSBY (1976): The relationship between photosynthesis and light for natural assemblages of coastal marine phytoplankton. *J. Phycol.*, **12**, 421-430.
- RABINOWITCH, E. and GOVINDJEE (1969): *Photosynthesis*. John Wiley & Sons, Inc., New York.

- 273 pp.
- 西條八東 (1973): 海洋の基礎生産. 海洋生化学, 東海大学出版会, 東京, p. 285-366.
- 西條八東, 寺井久慈, 八木明彦, 下平 勇 (1980): 深見池の夏季の化学的性状と一次生産活性. 新井正 (編), 部分循環水域の維持機構と物質代謝, 文部省科学研究費昭和54年度報告書, p. 100~110.
- STEEMANN NIELSEN, E. (1975): Marine Photosynthesis. Elsevier, Amsterdam, 141 pp.
- 竹松 伸, 岸野元彰, 岡見 登 (1979): 海水中の濁度構成物質の光学的特性とそのモデル化の研究 (I). うみ, **17**, 117-126.
- TYLER, J. E. (1969): Technical report of sea trials conducted by the Working Group on Photosynthetic Radiant Energy. Unesco technical papers in marine science no. 13. Unesco. 53 pp.
- TYLER, J. E. (1975): The in situ quantum efficiency of natural phytoplankton populations. *Limnol. Oceanogr.*, **20**, 976-980.

海水の粘性係数の迅速測定*

福地直樹**, 阿部友三郎**

Rapid Determination of the Coefficient of Viscosity for Sea Water*

Naoki FUKUCHI** and Tomosaburo ABE**

Abstract: A viscometer is made for a stable sea foam which requires a speedy and accurate measurement of the coefficient of viscosity of sea water. A chrome plated brass disc 10 mm thick and 100 mm in diameter is horizontally suspended in about two liters of collected natural sea water, not filtered. A suspending string, made of phosphor bronze, is tied to the center of the disc. The disc is vibrated torsionally with small amplitude. Its damping feature recorded on paper gives the coefficient of viscosity. About five minutes are long enough for one measurement, because the damping vibration period is about 25 seconds. The probable error is of 0.8 % for temperatures ranging from 5 to 15°C. Since sea water is not filtered, this viscometer allows us to get the coefficient of viscosity including the effect of various surface active agents.

1. 緒言

筆者らは、冬期季節風卓越時に、沿岸に発生する安定な海水泡沫について、現場における観測によって、この泡沫の安定化の主な要因、泡沫体の示す物理的諸性質、および、これらによる災害の概要を判明させてきた(阿部, 1962; 阿部ら, 1963)。また、泡沫生成の規模、その季節的消長、発生の程度、沿岸の気象と海象との関係等の知見も得られてきた(ABE and FUKUCHI, 1974)。しかし、これまでの観測からは、現場海水の物性と安定泡沫消長との関係については、あまり明確な結果を得るまでには致していなかった。一般に、泡沫発生の一因には表面張力の低下があり、泡沫安定化の一因には粘性の増大があると考えられている。筆者らは、これまでの観測において、表面張力はデュヌーイ式張力計および吊板磁気天秤式張力計により、粘性は細管式粘性計によって測定をおこ

なってきた。細管式粘性計を使用する場合は、細管の目づまりを防止する為に、海水を濾過しなければならない。その結果、海水に溶解していると考えられる表面活性物質の濾紙への吸着が予想され、原海水の変質が考えられる。そこで、この不都合を改善し、原海水をそのまま使用出来る測定法を検討し、懸垂円盤式粘性計を試作した。この試作機を現場観測で試用し、解析をおこなって興味深い結果を得たので報告する。

2. 粘性計の試作

概略図を Fig. 1 に示す。a は原海水を入れるガラス器(直径 24 cm, 深さ 6.5 cm)である。c はクロムメッキ仕上げの真ちゅう円盤(直径 10 cm, 厚さ 1 cm)で、a の海水中に吊り下げられている。d は小型チャク付の吊下棒で、円盤 c の中心に固定されている。g は直径 0.2 mm, 長さ 10 cm のリン青銅線である。i は d と同じ吊下棒で、ベアリング軸受で支柱に固定されている。回転系 c, d, g, i は j のソレノイドおよび k のゴムによって初期回転を与えられる。その結果、円盤 c は海水中で減衰回転振動をする。この減衰回転振動は e, f,

* 1981年5月22日受理 Received May 22, 1981

** 東京理科大学理学部物理学教室, 〒162 東京都新宿区神楽坂1-3 Faculty of Science, Science University of Tokyo, Kagurazaka 1-3, Shinjuku-ku, Tokyo, 162 Japan

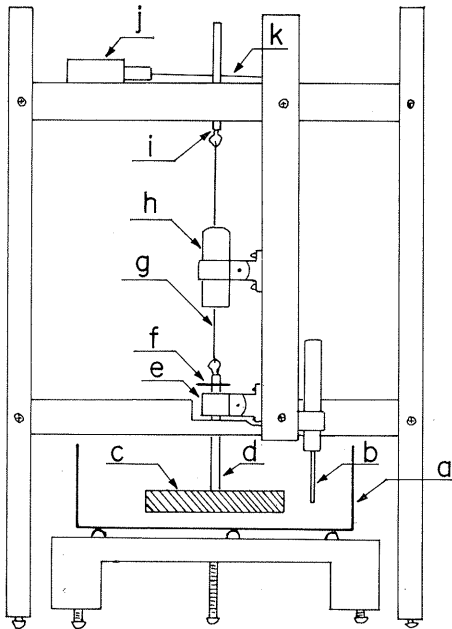


Fig. 1. Schematic illustration of the suspended disc viscometer.

h^{th} の光電系により電気信号に変換され、ペンレコーダによって記録される。h は白熱電球と散光板からなる散乱光源、f は円盤 c と共に回転する遮光板、e は扇型スリットを持つシリコン光電セルである。b は海水温度測定用のサーミスタである。以上の装置は内容 55 cm×32 cm×35 cm、板厚 1 cm の塩化ビニール製暗箱に取められている。この暗箱内部には 100 W ヒータ、ファン、ブルドン式温度調節機が組み込まれており、簡単に目的の温度に調節することができる。

以上のごとく、本試作機は一定量の海水を注入した後は、暗箱内の操作、測定はすべて外部で電気的に行う事ができる。また、円盤の回転周期は約 25 秒、1 回の測定で 10 から 15 周期の記録を取るの、測定時間はほぼ 5 分間である。

本試作機によって海水の粘性係数を算出するには、粘性係数の分っている液体（今回は純水を使用）中での減衰率と比較して算出する方法を採用した。

3. 検 定

本試作機は、海水中での円盤の回転振動につい

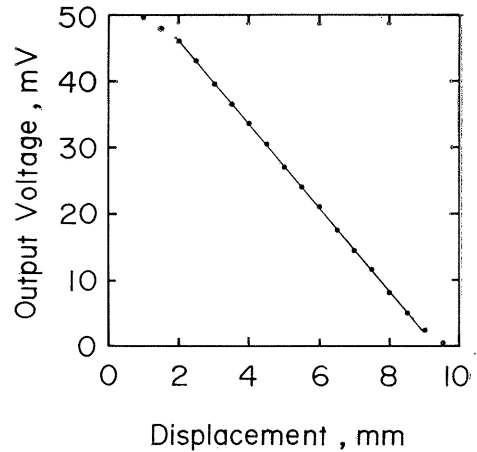


Fig. 2. Characteristics of the photo-electric transducer.

て対数減衰率を求めて粘性係数を得る装置であるので、この回転振動を電気信号に変換する光電変換系が十分な直線性を持っていなければ、測定の誤差となってしまいます。光源には白熱電球を使用し、直流安定化電源で点灯した。この電球の光は白紙を通し、散乱光とした。なお、光源筒内部の反射を防ぐため黒フェルト紙を貼りつけておく。また、シリコン光電セルには $10\text{k}\Omega$ の負荷抵抗を接続し、起電力をペンレコーダで記録した。この結果、Fig. 2 に示すように、遮光板移動距離 7 mm、出力電圧 45 mV の範囲で十分な直線性を得ることが出来た。これは円盤の回転角にすると $\pm 8^\circ$ の範囲に相当する。円盤の初期回転角をこの直線範囲より少し大きく設定し、ソレノイド等から発する雑音が無くなってから、すなわち円盤の回転の数周期間はスケールアウトするように設定し、その後、測定範囲となるようにした。シリコンホトセルの出力電圧 45 mV は、増幅はまったくせず汎用ペンレコーダに直接接続でき、かつ $10\text{k}\Omega$ の負荷が接続されていることから、外部からの雑音は無視できる出力電圧である。

次に、組立が終わった時点で、粘性既知の液体を検体として粘性率 η と対数減衰率 λ との関係を求めた。検体としてイオン交換器を通した純水を用いた。この純水の温度を変えて粘性を変え、粘性係数 η と対数減衰率 λ の関係を求めた。その結果を

Fig. 3 に示す。この実験結果から最小自乗法により

$$\eta = -0.69 + 21.64 \lambda$$

の実験式を得た。測定の確率誤差は0.8%である。

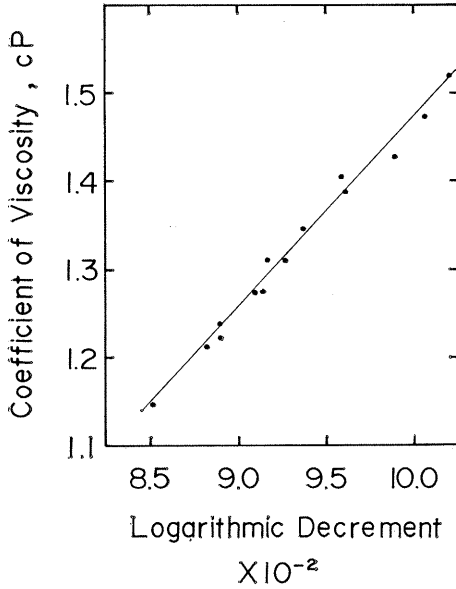


Fig. 3. Relation between the coefficient of viscosity and the logarithmic decrement of the suspended disc viscometer.

4. 結果

本試作機は、筆者らのモデル観測地である山形県吹浦海岸にて、1978年12月18日より23日までの期間、試用した。例年であると、この時期で6日間の間には少なくとも1回の中規模の安定泡沫の発生、飛散が観測され、また1日は晴天、静穏、安定泡沫の生成皆無の日がある(阿部・福地, 1968)。しかし、この観測期間中は、連日小規模の泡沫発生のみで、飛散はほとんど観測されず、変化にとぼしい期間であった。この観測期間においては、本試作機による海水の粘性測定と並行して、細管式(Ostwald式)粘性計によって測定をおこなった。その結果をFig. 4に示す。 η_b は本試作機によって測定した値である。その試料海水は現場で採水したままの海水であり、測定温度は採水時の海水温度である。Fig. 4の η_{b0} は本試作機で測定した η_b を、三宅らの実験式(MIYAKE and KOIZUMI, 1948)により0°Cに換算した粘性係数である。 η_c は細管式(Ostwald式)粘性計で測定した値である。この場合、試料としては採水した海水を濾紙で濾過し、細管の目づまりが起らないようにした海水を用いた。また、測定温度は採水時の海水

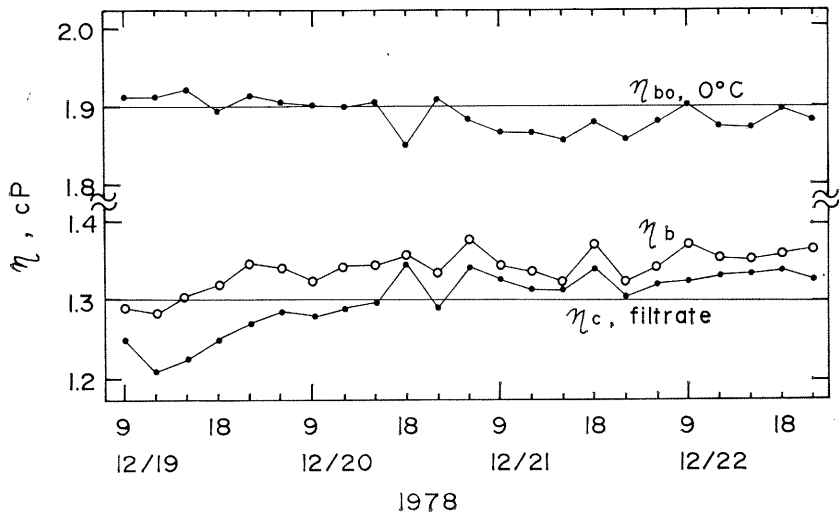


Fig. 4. Time series of coefficients of viscosity at Fukura.
 η_b : values obtained by the suspended disc method at temperature *in situ*. η_{b0} : reduced values at 0°C.
 η_c : values obtained by the capillary tube method.

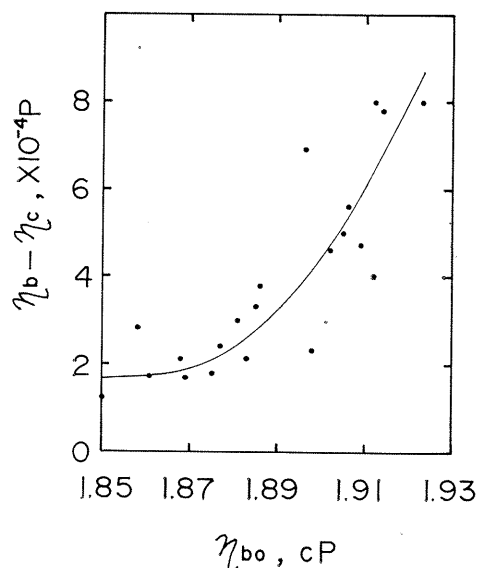


Fig. 5. Relation between η_{bo} and $(\eta_b - \eta_c)$.

温度である。

5. 考 察

筆者らは海水の安定泡沫生成の一原因として、海水中にその粘性を増大させる表面活性物質が溶解し、泡沫から海水の drain を減速させ、泡沫の安定化が助長されていると考えていた。また泡沫は、吸着等により普通海水と比較して表面活性物質の濃度がより高くなると考えていた。事実、安定泡沫の消滅して出来る泡沫残渣液で粘性は 63 cP、表面張力は 27~34 dyn/cm であると阿部ら (1963) が報告している。今回の本試作機を使用した観測においては、安定泡沫生成にもかかわらず、現場海水の粘性は一般の海水の粘性とほぼ同等と考えられる値を得た。しかし、本試作機で得た粘性係数 η_b と、濾過海水を細管式粘性計で得た粘性係数 η_c との差は一定していない。両測定法におけるレイノルズ数は同一ではないのであるから、両測定値を同等にあつかうことは多少の無理があると考えられるが、 $(\eta_b - \eta_c)$ と η_{bo} との関係

をグラフにして Fig. 5 を得た。この図から η_{bo} の増大とともに $(\eta_b - \eta_c)$ の増大が見られる。このことは両測定法の違いよりも、試料海水を濾過したかどうかによる表面活性物質の濾紙等への吸着が影響していると考えられる。今回の観測期間中、吊板磁気天秤式表面張力計によって海水の表面張力を測定した。その結果、採水した海水そのままの試料の表面張力は 74.6~73.1 dyn/cm、濾紙により濾過した試料の表面張力は 74.6~73.7 dyn/cm と各試料とも濾過試料の表面張力が大きい値を得ている。この結果も表面活性物質の濾紙等への吸着が原因していると考えられる。

以上の事から、表面活性物質が溶解していると考えられる海水の粘性を測定するには、採水した海水をそのまま試料として測定でき、かつ現場で迅速に測定可能でなければならない。このような測定には本試作機がその目的にかなった測定機であると考えられる。

謝 辞

本研究にあたり、現場観測中に多大の御援助を頂いた吹浦坂口信雄氏、ならびに実験、観測等で多くの援助を頂いた田中秀文、武田豊両氏に感謝いたします。

文 献

- 阿部友三郎 (1962): 海水泡沫と災害. 科学(岩波), **11**, 586-593.
- 阿部友三郎, 小野光昭, 岸野元彰 (1963): 海水泡沫による災害の防止に関する基礎的研究. 日本海洋学会誌, **18**, 185-192.
- 阿部友三郎, 福地直樹 (1968): 沿岸における安定海水泡沫の生成と飛散. うみ, **3**, 209-216.
- ABE, T. and N. FUKUCHI (1974): Natural stable sea foam and its meteorological significances. *La mer*, **2**, 79-85.
- MIYAKE, Y. and M. KOIZUMI (1948): The measurement of the viscosity coefficient of sea water. *J. Mar. Res.*, **7**, 466-469.

福井県梶におけるバフンウニの漁業生物学的研究—III.

個体群の殻径成長と死亡*

石渡直典**, 伏見 浩**, 前川邦輝***, 難波高志****

Studies Concerning the Fishery Biology of the Sea Urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus* (A. AGASSIZ) in Kaji, Fukui Prefecture —III. On the Test Growth and Mortality of the Sea Urchin Population*

Naonori ISHIWATA**, Hiroshi FUSHIMI**, Kuniteru MAEKAWA***
and Takashi NANBA****

Abstract: In the present study, the test growth and the mortality of the sea urchin population were obtained from size-frequency analysis of the natural population on the coast of Kaji, Fukui Prefecture, before the fishing seasons in 1967 and 1968. The results obtained are summarized as follows:

1. On the western part of the coast in water less than 2 m deep the sea urchin reaches a mean test diameter of 16.0 to 17.5 mm at 0.4 year, 26.5 to 27.8 mm at 1.4 years, and 33.0 mm at 2.4 years; in water 2 to 3 m deep 13.8 to 15.8 mm, 24.4 to 25.6 mm, and 31.0 to 31.6 mm respectively; in water more than 3 m deep (Off Takase) 12.5 to 14.5 mm, 23.0 to 24.5 mm, and 28.5 to 29.0 mm respectively. Also, in the eastern waters the animal reaches a mean size of 13.0 to 14.6 mm at 0.4 year, 20.2 to 24.1 mm at 1.4 years, and 26.0 to 28.5 mm at 2.4 years (Table 1). The maximum size in the population is 49 mm and this is probably at an age several years older. Test growth varies with the different habitats. It is roughly population density correlated and decreases with increasing population density (Fig. 3).

2. In the western waters the mortality rate between the ages of 0.4 and 1.4 years is 18% and between 1.4 and 2.4 years it is 77%. In the eastern waters the mortality rates are 0 and 73% respectively. As this animal is not captured at the age of 0 year, the former value is the natural mortality rate while the latter value is the sum of the natural mortality rate and mortality due to fishing.

前報 (石渡ら, 1977a, b) では福井県梶地先におけるバフンウニ漁場の利用状況から、主漁場は

西水域の水深 3 m 以浅、特に 2 m 以浅で、従漁場は 3 m 以深 (高瀬沖) および東水域であることを知った。また、生息場所の生態的特性から、本地先は西水域と東水域に分けられ、更に西水域は水深 2 m 線を境界として、内側帯と外側帯に分けられることを知った。本地先における本種個体群の殻径成長を調べるためには、これらの諸結果から、本地先を西水域の水深 2 m 以浅、2~3m, 3m 以深および東水域に分けて求めるのが合理的であると考えられる。そこで、本報では上記の 4 水域について、殻径頻度分布を求め、成長を調べ、更

* 1981年6月3日受理 Received June 3, 1981

** 東京水産大学, 〒108 東京都港区港南4-5-7
Tokyo University of Fisheries, Konan 4, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

*** 福井県庁農林部水産課, 〒910 福井市大手3
Fisheries Section, Agriculture & Forestry Division, Fukui Prefectural Office, Ote 3, Fukui-shi, 910 Japan

**** 福井県水産試験場, 〒914 敦賀市浦底23
Fukui Prefectural Fisheries Experimental Station, Urasoko 23, Tsuruga-shi, 914 Japan

に西水域および東水域の死亡を追究した結果を報告する。

1. 調査方法

1967年の漁期直前(6月26日~7月20日)と1968年の漁期直前(6月28日~7月14日), 福井県坂井郡三国町梶地先で, スキューバーを使用して, 調査を実施した。大略, 汀線に沿って, 西水域では20m間隔に, 東水域では40m間隔に基点を取り, 各基点から沖合に向かって北北東にマニラロープ(直径9cm)を張り, 定線を設けた。これらの定線上に各基点から20m間隔に, バフンウニがほとんど生息しなくなる地点まで, 碁盤目に採集地点を取り, 各年西水域では135, 139地点, 東水域では22, 28地点を選定した(Fig. 1)。各地点に方形わく(2×2m)を置き, 有節サンゴモその他の海藻類の基部や枝, 小石の下面などに付着している稚ウニに留意しながら, わく内の個体をできる限りすべて採集した。採集後, 直ちにディバイダーを用いて, 殻の直径を0.1mmまで測定した。西水域の水深2m以浅, 2~3m, 3m以深および東水域について, 1mm間隔の階級別に殻径頻度分布を求めて, 解析し, 殻径成長を調べ, 更に西水域および東水域について, 年齢別死亡率を求めた。

2. 調査結果

1. 殻径成長

測定個数は1967年では18,168個, 1968年では10,354個であった。各水域の殻径頻度分布はFig. 2に示す通りである。殻径範囲は1967(1968)年西水域の水深2m以浅では3~48(1~49)mm, 2~3mでは3~44(3~42)mm, 3m以深では3~37(1~37)mm, 東水域では4~37(1~36)mmであった。最大殻径は各年とも西水域の水深2m以浅では48(49)mmで最も大きく, 次に2~3mの44(42)mm, 3m以深の37(37)mm, 東水域の37(36)mmの順であった。殻径35mm以上の大形個体は各年ともやはり西水域の水深2m以浅で最も多く, 2~3m, 3m以深, 東水域の順に減少した。また, Fig. 2の形態は概して双峰型で

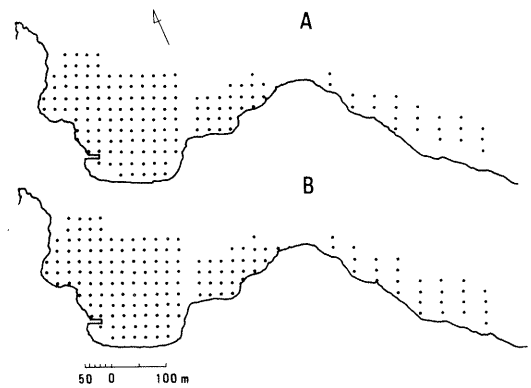


Fig. 1. Survey stations of the sea urchin population on the coast of Kaji before the fishing seasons in 1967 (A) and 1968 (B).

あり, 年級による峰の分離が見られる。これを田中(1956)の方法により各年齢群に分解し, 年齢別に殻径の平均値, 標準偏差および組成個数を求めた。その結果はTable 1に示す通りである。ただし, 福井県では産卵期は12~4月である(川名, 1938)が, 2月を基準に取り, 各年齢群は満0.4, 1.4, 2.4年の年齢群に対応すると見なした。平均殻径は各年西水域の水深2m以浅では満0.4年で16.0(17.5)mm, 1.4年で26.5(27.8)mm, 2.4年で33.0(33.0)mm, 2~3mではそれぞれ13.8(15.8), 24.4(25.6), 31.0(31.6)mm, 3m以深ではそれぞれ12.5(14.5), 23.0(24.5), 29.0(28.5)mm, 東水域ではそれぞれ13.0(14.6), 20.2(24.1), 26.0(28.5)mmになった。成長速度は各年とも西水域の水深2m以浅で最も高く, 2~3m, 3m以深, 東水域の順に低下する傾向が見られた。更に, 各年の水域別1地点当たり平均生息密度と年齢別平均殻径との関係を図示すると, Fig. 3のようになる。平均殻径はどの年齢群でも, また, どの水域でも低密度ほど大きい傾向があり, 密度効果が認められた。

2. 死亡

Table 1の年齢組成から, 年級ごとに年齢別死亡率を算出すると, それは西水域では0.4~1.4年については18%, 1.4~2.4年については77%, 東水域ではそれぞれ0, 73%になった。ただし, 1967年の漁期直前から1968年の漁期直前までの期

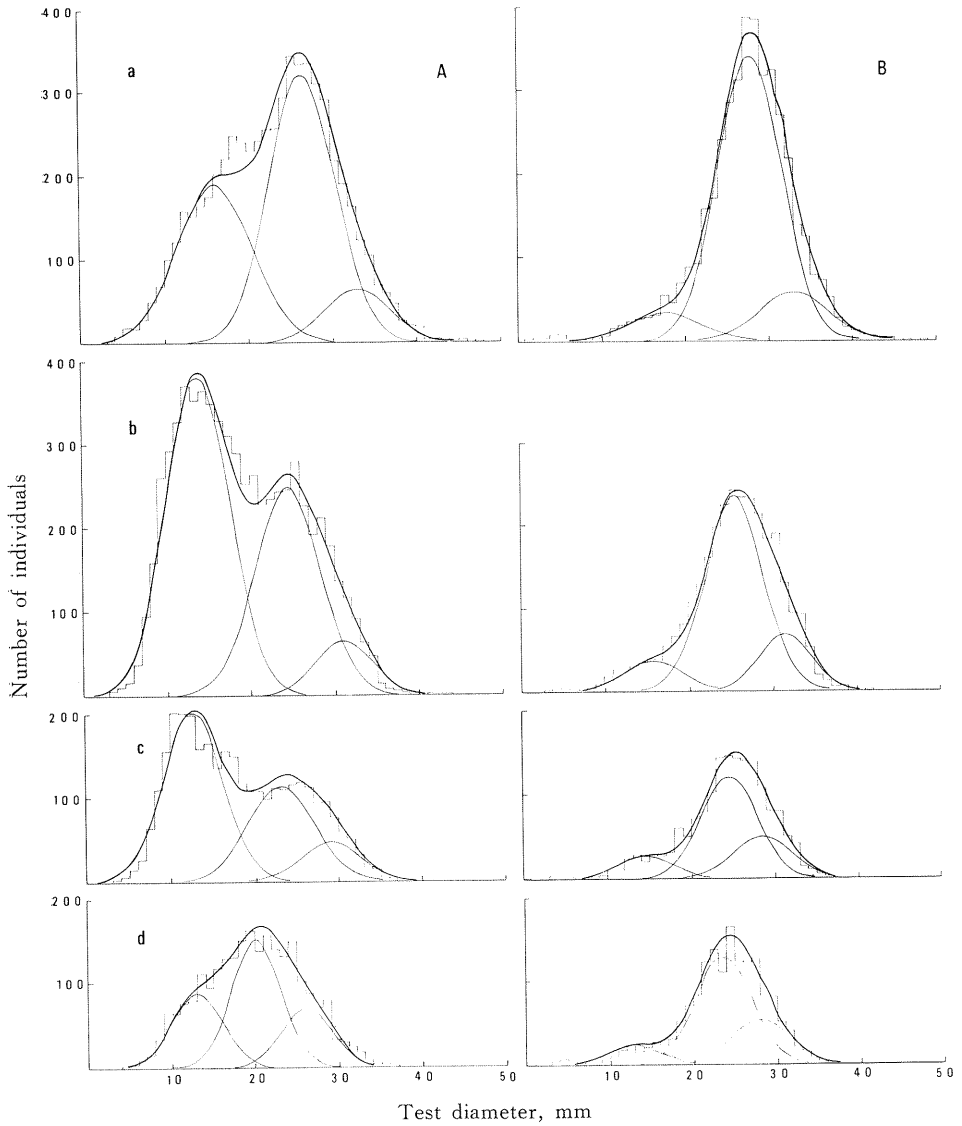


Fig. 2. Test diameter frequency distribution of the sea urchin population on the coast of Kaji before the fishing seasons in 1967 (A) and 1968 (B).

The histograms show the observed frequency, the thin lines are the normal curves fitted to each age group by the TANAKA's method and the thick lines are the sum of the normal curves. a, western waters less than 2 m deep; b, western waters 2 to 3 m deep; c, western waters more than 3 m deep (Off Takase); d, eastern waters.

Table 1. Test growth and age composition of the sea urchin population on the coast of Kaji before the fishing seasons in 1967 and 1968.

Item	Area	Year	Age		
			0.4	1.4	2.4
Mean test diameter \pm SD, mm	Western waters				
	Water less than 2 m deep	1967	16.0 \pm 2.3	26.5 \pm 2.0	33.0 \pm 2.0
		1968	17.5 \pm 2.2	27.8 \pm 1.9	33.0 \pm 2.1
	Water 2 to 3 m deep	1967	13.8 \pm 1.9	24.4 \pm 2.0	31.0 \pm 1.7
		1968	15.8 \pm 1.8	25.6 \pm 1.8	31.6 \pm 1.6
	Water more than 3 m deep (Off Takase)	1967	12.5 \pm 1.8	23.0 \pm 2.0	29.0 \pm 1.8
		1968	14.5 \pm 1.7	24.5 \pm 1.7	28.5 \pm 1.8
	Eastern waters	1967	13.0 \pm 1.3	20.2 \pm 1.6	26.0 \pm 1.6
		1968	14.6 \pm 2.2	24.1 \pm 2.1	28.5 \pm 2.2
	Composition, number of individuals	Western waters	1967	7,478	6,646
		1968	909	6,283	1,580
Water less than 2 m deep		1967	2,137	3,143	623
		1968	360	3,196	598
Water 2 to 3 m deep		1967	3,615	2,438	545
		1968	324	2,092	542
Water more than 3 m deep (Off Takase)		1967	1,726	1,065	379
		1968	225	995	440
Eastern waters		1967	707	1,226	564
		1968	185	981	416
Total		1967	8,185	7,872	2,111
		1968	1,094	7,264	1,996

Table 2. Comparison of the test growth of the sea urchin in various localities.

Researcher's name	Mean test diameter, mm							Method
	Age							
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	
MINAMIZAWA & OGAWA (1959) Fukui Prefecture	5		12-13		24-25		35-36	Size-frequency distribution
FUJI (1963) Kanagawa Prefecture	10		21		28		34	Size-frequency analysis, consecutive collection, and tagging experiment
NAKAMURA & INOUE (1965) Yamaguchi Prefecture	8-9		21-22		32-33		41-42	Size-frequency distribution
'' Yamaguchi Prefecture	8.8	22.2						Rearing experiment
INOUE <i>et al.</i> (1969) Yamaguchi Prefecture	9.0 ¹⁾	19.8 ²⁾	21.0 ³⁾	29.2 ⁴⁾		36.4 ⁵⁾		Size-frequency analysis
KAKUDA <i>et al.</i> (1970) Yamaguchi Prefecture	9.8	21.5						Rearing experiment
KAKUDA (1978) Yamaguchi Prefecture	15.1 ⁶⁾	20.6	25.8	26.6				Rearing experiment

1) Age of 0.7 year; 2) 1.3 years; 3) 1.7 years; 4) 2.3 years; 5) 3.3 years; 6) 0.6 year.

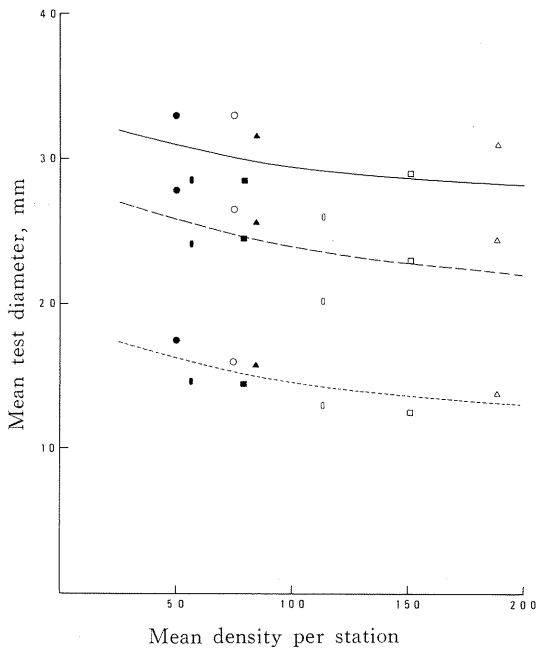


Fig. 3. Relationship between population density (number of individuals/4 m²) and test diameter of the sea urchin on the coast of Kaji before the fishing seasons in 1967 and 1968.

Dotted line, 0.4 year; broken line, 1.4 years; solid line, 2.4 years. Open circles, western waters less than 2 m deep in 1967; solid circles, western waters less than 2 m deep in 1968; open triangles, western waters 2 to 3 m deep in 1967; solid triangles, western waters 2 to 3 m deep in 1968; open squares, western waters more than 3 m deep (Off Takase) in 1967; solid squares, western waters more than 3 m deep in 1968; open ellipses, eastern waters in 1967; solid ellipses, eastern waters in 1968.

間中、東西水域間および本地先と隣接地先間の移出・移入、ならびに、転覆することのできない大石や岩礁間隙からの補充がないとし、かつ、採集地点は各年同数に換算して、推算した。

3. 考 察

本地先における本種個体群の殻径成長は上述の通りであるが、それを既往の調査結果 (Table 2) と対比すると、FUJI (1963) の神奈川県三浦市小網代、中村・井上 (1965) の山口県下関市六連

島、井上ら (1969) の山口県豊北町和久のものとは大差がない。南沢・小川 (1959) の福井県三国町崎および鷹巣町南管生のものより著しく良好で、ほぼ1年間のずれがある。この点について、先にFUJI (1963)、大島 (1962) は南沢・小川の殻径頻度分布の解析は不十分で、検討の余地があることを指摘している。また、本調査結果は中村・井上 (1965)、角田ら (1970)、角田 (1978) の人工採苗パフウニの飼育によるものとも近似している。なお、FUJI (1963)、井上ら (1969) によると、最大殻径はそれぞれ 52, 50 mm で、45 mm 以上の大形個体はまれであるという。本調査結果でもそれは 49 mm で、45 mm 以上の個体はまれであり、FUJI、井上らの結果と一致している。

本地先における成長は西水域の水深 2 m 以浅では最も速く、2~3 m, 3 m 以深、東水域の順に遅くなり、生息場所によって遅速が見られる。それは概して食物である海藻類が豊富で、生息密度が低い場所ほど速い傾向がある。MOORE (1935) はアイリッシュ海マン島の Port Erin 付近の 3 地点とスコットランドの Clyde の 1 地点の *Echinus esculentus* の殻径頻度分布と殻板の年輪から成長を求めている。この結果によると、それは生息場所によって相違が認められ、食物が豊富な場所ほど良好なことを示唆している。EBERT (1968) はオレゴン州 Sunset 湾の 3 地点の *Strongylocentrotus purpuratus* の殻径頻度分布から成長を求めている。この結果によると、それは近距離の生息場所でも差異があり、成長速度と最大殻径は利用しうる食物量や摂食量、気候に関係があるという。川村 (1973) は北海道忍路湾のエゾパフウニの殻径頻度分布の解析から成長を求め、それは海藻類が豊富な水深 2 m 以浅では、海藻類が乏しい 5~7 m の場所に比べて、良好であるという。本調査結果もこれらの結果と同様であるが、成長に最も強力に作用する要因は、生息場所における食物量と生息密度が相互に関係した個体当たり利用しうる食物量の多寡であり、それが摂食量に作用し、その結果成長に影響を及ぼすものと思われる。

一方、本地先における本種個体群の死亡率は 0.4~1.4 年については低い、1.4~2.4 年につい

ては著しく高い値をとる。殻径 20 mm 以下の 0 年群はほとんど漁獲の対象にならない* から、0.4~1.4 年の死亡率の大部分は、害敵による被害や荒天時の波浪による転石の擾乱などによって起こる自然死亡だけであるが、1.4~2.4 年の死亡率には自然死亡と漁獲死亡が含まれている。自然死亡、漁獲死亡については後報で詳細に述べるので、ここではこの点には深く触れないことにする。

文 献

- EBERT, T. A. (1968): Growth rates of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* related to food availability and spine abrasion. *Ecology*, **49**, 1075-1091.
- FUJII, A. R. (1963): On the growth of the sea urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus* (A. AGASSIZ). *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **29**, 118-126.
- 井上 泰, 中村達夫, 角田信孝, 寺尾百合正, 重宗新治, 西村忠泰 (1969): 天然漁場におけるウニ類の生態と漁場環境に関する調査研究. 山口外海水試研報, **10**, 1-46.
- 石渡直典, 伏見 浩, 前川邦輝, 難波高志 (1977a): 福井県梶におけるバフンウニの漁業生物学的研究—I. バフンウニ漁業. 日仏海誌, **15**, 146-150.
- 石渡直典, 伏見 浩, 今 攸, 難波高志 (1977b): 福井県梶におけるバフンウニの漁業生物学的研究—II. 生息場所の底質・海藻植生・大形底生動物群集. 日仏海誌, **15**, 151-162.
- 角田信孝, 寺尾百合正, 中村達夫, 井上 泰 (1970): 人工採苗バフンウニの成長と摂餌について. 水産増殖, **17**, 155-165.
- 角田信孝 (1978): ウニ類の種苗生産に関する研究—IV. 底生移行後の稚仔の飼育. 水産増殖, **25**, 128-133.
- 川村一広 (1973): エゾバフンウニの漁業生物学的研究. 北水試報, **16**, 1-54.
- 川名 武 (1938): バフンウニの増殖について. 水産研究誌, **33**, 104-116.
- 南沢 篤, 小川良徳 (1959): 投石によるバフンウニ増殖効果認定について. 昭和31年度福井水試事報, 124-139.
- MOORE, H. B. (1935): A comparison of the biology of *Echinus esculentus* in different habitats. Part II. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **20**, 109-128.
- 中村達夫, 井上 泰 (1965): 山口県のウニと築磯事業効果について. 山口外海水試研報, **6**, 1-70.
- 大島泰雄 (1962): 浅海増殖事業, その生産効果. 海文堂, 東京, 133 p.
- 田中昌一 (1956): Polymodal な度数分布の一つの取扱方及びそのキダイ体長組成解析への応用. 東海水研報, **14**, 1-13.

* 福井県では漁業調整規則により殻径 20 mm 以下の個体は漁獲が禁止されており, また, 後報で述べるように実際にはほとんど漁獲されていない。

資 料

第1回 JECSS ワークショップ*

高 野 健 三**

JECSS (ジェクス) は Japan and East China Seas Study の略である。その第1回ワークショップが6月1日から4日まで筑波大学で開かれた。参加者はアメリカから7名、大韓民国から6名、中華人民共和国から1名、日本からは27名(4日間を通しての参加者は10名たらず)であった。その内容についてはコンビーナの市栄さんが日本海洋学会誌に紹介されるので、ここでは私は会場係として、今回のワークショップがいろいろな点で異例の集会であったことを述べたい。

- (1) 国際機関など大きな機関が主催したのではない、いわば非公式の国際集会であった。公の機関からの財政援助をまったく受けていない。
- (2) 経費の面では貧しい集会である。しかし、コンビーナの要請にしたがって、つぎの(3)、(4)、(5)を完全実施した。
- (3) 外国人参加者の宿泊費は当方で負担した。
- (4) 外国人参加者の懇親会費と遠足費も当方で負担した。
- (5) 成田到着の参加者を乗用車で迎え、大学の宿舎まで運んだ。その費用も全部当方が負担した。

また、

- (6) 懇親会では、大学の管絃楽団の有力メンバー(筑波大学学生)が、とくにこのJECSSのためにトマト四重奏団を作り、Haydn, Mozartなどを演奏した(無料出演)。
- (7) 笠間焼のかま元でJECSS記念マグを作った。
- (8) “日本の倫理にもとる”という批判があった。このワークショップは当初は清水で開かれる予定だったそうである。いろいろな曲折があって結局清水では開けないことになったのが今年の2月である。私は、筑波大学で引きうけたことによって、コンビーナ、清水筋、そしてやや大きさにいえば、日本を助けたつもりである。しかし、清水筋によると、「清水で開けなくなったからといって、4カ月後にすぐ筑波で開くのは日本の倫理に反する。来

年まで延期すべきである。」こういう研究集会が倫理問題になった例を私は知らない。なぜ倫理に反するのだろうか。

- (9) 参加はタダであるが、日本人の懇親会と遠足参加は有料***とした。外国人と日本人の間に差をつけたわけの一つは、上の(8)にかかわる。日本の海洋学界では、清水筋の評価は高い。そこがひきおこした混乱を救った上に、その社会の人々の費用を、倫理にもとるとまでいわれながら、なぜ私が負担しなければならないのだろうか。
- (10) コスト・パフォーマンスが高い集会だった。準備委員、実行委員は私だけだから、「準備のための会議」を開きようがない。国際集会ともなれば準備委員会が何度か開かれるのがふつうではなからうか。一回の会議には交通時間も含めて半日かかるとして、たとえば、のべ40人の出席があったとすれば、委員の年取から考えて、会議だけで約40万円が本当は費やされてしまっていることになる。約40万円という金額は、今回のワークショップの(郵便代、国際電話代などまで含めた)総経費に近い。

(11) 外国人と日本人の数がほぼ同じ、というのも珍しいのかもしれない。日本人のほうがずっと多くなることが多いそうである。たとえば、このワークショップの直前に開かれたある国際研究集会では日本人の数は外国人の10倍に近かったそうである。ちなみに、その会が集めた寄付金と参加費の和を参加者の数で割ると、その商は今回のワークショップのほぼ10倍になる。

筑波大学で開くことがきまってから3カ月半の準備期間しかなかった。準備の進行の遅さをはたで見ている心配して下さった方々はすくなくない。私は国際集会の準備にあたったことは一度もなく、国際会議に出席の経験はまったくなく、国際研究集会に出席の経験もほとんどないから準備には手ぬかりがあり、財政の上ではたいへんミミッチイ集会であったが、会の終了後、東京に出る外国人のためにホテルを探すこと、航空機の席の予約を確認すること、外国貨幣や小切手を日本貨幣に交換する

* 1981年6月20日受理

** 筑波大学生物科学系, 〒305 茨城県新治郡桜村

*** しかし、実費以下である。日本人からたくさん徴収して外国人のぶんにまわしたのではない。念のため。

こと、などまでいちおう無事にこなせたのは、南場隆也さんら数人の筑波大学学生の大活躍——それも授業の合間をぬっての——のおかげであり、大学事務当局の寛容さのおかげである。

かんじんの学問上の成果は高かったと思う。これは1年前から準備を進めていたコンビーナの市栄さんの努力のおかげであり、座長、講演者、討論者、参加者のみなさんの協力のおかげである。

経費は40数万円で、その大部分は日高海洋科学振興財

団にまかなくなっていただいた。中華人民共和国から参加した袁さんの査証申請については、日中海洋・水産科学技術交流協会の佐々木忠義会長に助けていただいた。また、この4カ月来、関文威さんをはじめ数人の方々から有益な助言や激励の言葉をいただいた。

第2回の JECSS ワークショップは1983年の4月ころに日本のどこかで開かれることがきまった。どこで開かれるにしても第1回以上の成果が得られることを期待する。

お 知 ら せ

本学会創立20周年記念事業の一つとして、下記の記念出版物が刊行されました。

- (1) 岩波ジュニア新書
「海と人間——ジュニアのための海洋学」
(佐々木忠義編, 岩波書店, 209 pp., 定価 530円)
- (2) 学会誌 “La mer” (第1巻～第18巻) 総目次集
(56 pp., 定価 1,000 円)

La mer 総目次集ご入用の方は、学会事務局宛に1,000円を添えて申し込めば、郵送いたします。

ANNONCEMENT

La Société a publié le Sommaire complet de La mer, Tomes 1-18 (1963-1980) pour la commémoration du vingtième anniversaire, au mois de Mai dernier, si l'on désire l'obtenir, il faut en proposer au bureau de la Société avec le prix de livre 1.000 yen.

ANNOUNCEMENT

In commemoration of the 20th anniversary of the Society, a special edition of “La mer”, containing the total contents and author index for Volumes 1-18 (1963-1980), was published in May. This is obtainable on request from the office of the Society at a cost of ¥1,000 per copy.

日仏海洋学会賞受賞記念講演
動物プランクトン，特にあみ類の分類学的
ならびに漁業生物学的研究*

村 野 正 昭**

Recherches taxonomiques et biologiques pêches sur les zooplanctons,
particulièrement Mysidacés*

Masaaki MURANO**

このたび日仏海洋学会賞受賞の榮に浴し，身に余る光榮と感謝するとともに，長年続けてきたあみ類の研究が認められたことを，大変に嬉しく思っております。

あみ類は，それ自体漁獲対象となっているほか，内湾，沿岸域では魚類などの天然餌料として，生物生産の上でかなり重要な動物群となっていますが，それにもかかわらず日本のみならず，世界的にみても研究者は少なく，おきあみ類と比較しても，研究はかなり立ち遅れた状態になっています。これはあみ類の主たる棲息場所が調査の行い難い沿岸浅海域の海底近くや，500 m 以深の深海域にあるためと思われる。

生物を研究する上で最も基本となる分類学についても，あみ類はまだ研究途上にあります。現在，あみ類は世界で約 800 種が記録されていますが，毎年のように新種の報告があり，10 年単位で見ますと，1950～1959年には105種，1960～1969年には125種，1970～1979年には128種が新たに加わっており，種類数の増加傾向はまだまだ続きそうです。

日本のあみ類の分類学は，チャレンジャー号が日本に立ち寄った際，相模湾から採集した標本に，

G.O. Sars が 1883 年に *Boreomysis obtusata* と命名したのに始まります。以後中沢毅一 (1910)，丸川久俊 (1928)，井伊直愛 (1936～1940) 各氏の研究が戦前に行われています。1964 年井伊博士は極東水域のあみ類分類学の名著“Fauna Japonica, Mysidae”を発表しました。この中には 163 種が収められ，実にそのうち 49 種が新種となっています。私は井伊博士の後を引継いだ形となり，1966 年から今日まで 3 新属 36 新種を発表し，なお研究は継続中です。

あみ類はえび類やおきあみ類と似た形態をもっていますが，分類学的にはかなり離れたところに位置しています。それは，発育過程が後二者と全く異っていることに由来しています。即ち，えび類，おきあみ類では卵は海中に産み出され，卵から生まれ出た幼生は親とはかけ離れた形態をしており，変態をしつつ成長するのに対し，あみ類では卵は雌の哺育囊の中に産み出され，子供はこの哺育囊の中で育ちます。哺育囊を出る時には親とほとんど同じ形態となっています。したがって，あみ類には幼生期はなく，変態も行いません。

沿岸域であみ類を効果的に採集するには，下部にそりを取り付けたネットを用い，海底上を曳網します。このような方法での採集物は通常のプランクトンネットでのそれと比べるとかなり異っています。通常のネットの場合には，かいあし類，

* 1981年5月29日，日仏会館(東京)にて講演
Résumé de la conférence faite le 29 Mai 1981
après la remise du Prix de la Société franco-japonaise d'océanographie

** 東京水産大学 Université des pêches de Tokyo

やむし類などが主体となりますが、そりをつけたネットでは、かいあし類などが主体となることもあります。一般的にはそれらの占める割合は減少し、あみ類、端脚類、えび類などが増加します。あみ類の場合、採集物の30%を占めることもあり、近底層プランクトンの主要な構成群といえます。外洋域の深海底でも同様に近底層プランクトンの代表的な生物群ですが、まだ研究は余り進んでいません。外洋域では浮遊生活をしている種が数多くいますが、それらは主として500m以深に棲息しており、おきあみ類が500m以浅に棲息しているのと際立った対照をみせています。これら中深海、深海性のあみ類に関する情報は極めて乏しく、これまでに1回あるいは数回の採集記録しかないような種も珍しくありません。このような状態の中で、日本近海、西部太平洋での東大海洋研究所淡青丸、白鳳丸により採集された標本から12種の鉛直分布が明らかになりました。特に *Katerythroops oceanae*, *Teraterythroops robusta*, *Meterythroops microphthalma* については深度別棲息密度を出しましたが、世界でも初めての試みかと思えます。日本海の *Meterythroops microphthalma* については昼夜による鉛直分布の違いから、400mに及び日周鉛直移動の行われていることを明らかにしました。

あみ類の棲息場が主として海底や深海域にあり、そこで生物量が多いことは既に述べたとおりですが、そのような場所であみ類は主としてデトリタスを餌としています。胃内容を顕微鏡により調べてみますと、外観から判断できるものは少なく、大部分は同定不能のもので占められます。霞ヶ浦のイサザアミ *Neomysis intermedia* の独立生活直後の幼い子供を8日間飼育しての食性実験では、ブラインシュリンプのノープリウスを与えたものと、無投餌で容器の底に泥を敷いたものが最もよい結果を得ました。即ち、前者の場合には8日間の生残率は100%であり、後者の場合には生残率は70%に留まりましたが、前者を凌ぐ成長率が得られました。この飼育実験の結果からもデトリタスやそこに繁殖している微小生物が、あみ類の主要な餌となっていることが証明されたこと

と思います。このようにデトリタスを餌としていることは、デトリタス—無機塩—植物プランクトン—動物プランクトンと続く食物連鎖を、デトリタス—動物プランクトンと短縮することにより、循環を能率的にしていることとなります。特にあみ類が魚類の天然餌料として秀れていることを考えると、食物連鎖、物質循環の上での役割は高く評価されなければなりません。

霞ヶ浦においてはイサザアミがワカサギなどの天然餌料として、秀れていることは古くから知られており、その見地から、既に大正年間に諏訪湖、琵琶湖などへの移殖が試みられています。しかし、これらは失敗に終わったようで、その後、効果に関する報告は残されていないし、これらの湖沼からあみ類が採集されたという記録もありません。移殖の可能性を再び検討すべく飼育実験を試みました。その結果、諏訪湖、琵琶湖への移殖に際しては塩素量及びカルシウム含有量が制限要因となつたらしいことが明らかになりました。即ち、塩素量では20mg/l以下、カルシウム量では7mg/l以下では生存できません。日本の多くの内陸の湖沼ではこの値以下です。イサザアミは現在霞ヶ浦などの淡水湖や海岸に点在する汽水湖などに棲んでいます。元来は海産動物であり、淡水への馴化もその歴史は比較的新しく、イサザアミはまだ完全に淡水動物にはなり切っていないということのようです。ヨーロッパにおいては、近年になって *Mysis relicta* の移殖が行われ、各地で成功しているようです。この種は氷河期に形成された海跡湖沼に棲息しており、完全に淡水に馴化したあみです。

あみ類の生活史に関しては、沿岸性の一部の種についてはかなり詳しく調べられています。霞ヶ浦のイサザアミ *Neomysis intermedia* について、以下に簡単に述べます。

春季、3月中頃になりますと抱卵している雌が多数みられるようになります。この頃の成熟した雌は一年を通じ最も大型で、12mm以上に成長しています。その後、季節が進み水温が上昇するにつれ、徐々に体長は小型化し、夏季には最小の8~9mmになります。秋季には再び体長は増加

しはじめ，10月には10mm程度になり，11月になると産卵活動を中止します。このことは10月頃生まれた子供は成長を続けながら越年し，3~4月になって生殖活動を行ったのち死滅することを示しています。一方，3~4月に越年群から生まれた子供は，ほぼ1ヶ月で成熟し，新たな産卵群となります。従って，ここで同じ産卵群といっても体長の大きい越年群と小さな当年群とがあることがわかります。春から夏にかけて，産卵群は次々に交代するため，小型化が進行するわけです。

一個体の雌の産卵数も親の体長の変化に伴って変化します。大型の越年群が優占する春季には平均20粒を越しますが，小型化に伴い夏には5粒程度となり，秋季の大型化に伴い再び増加してきます。以上のように個体の大きさと産卵数との間には一応の比例関係がなり立ちますが，夏に向っての産卵数の減少は小型化に伴うだけのものではなく，同一体長の雌でも採集月により抱卵数は変化しています。1958年の場合ですと，背甲長2.5mm（体長約8.75mm）の雌の平均抱卵数は6月12.5粒，7月8.2粒，9月5.1粒，10月11.2粒となっています。恐らく高温の夏は産卵活動にとって余り好適な季節ではないことが想像されます。これまでにみられた最多産卵数は46，最少は1粒のみでした。雄は一般に雌より小型です。また，雌雄比はほぼ1:1です。哺育嚢内での成長は水温の影響を受けますが，30°Cで6日，25°Cで7日，21~22°Cで8~9日を必要とします。以下21~22°Cでの場合の経過を述べます。哺育嚢に産み落された卵は球形をしており，その直径は0.5mmです。卵は球から幾分楕円体となり，産卵後2日で哺育嚢内で孵化します。孵化した幼生は勾玉状で，ほぼこの状態で4~5日後に哺育嚢内で第1回の脱皮を行います。脱皮した個体はすでにほぼ親

と同じような形態を具えており，さらに2~3日後に親を離れ独立した生活を始めます。親の哺育嚢を出るのは日没1時間後位に始まり，1尾ないし2尾ずつ6秒から30秒の間隔で尾を先にして出てきます。そして独立生活に入った子供は直ちに餌をとり始めます。その後の成長はほぼ直線的な体長増加がみられますが，20°Cで飼育した場合には $y=0.060x+0.694$ （ y : 背甲長， x : 日数）の成長式が得られています。そして最初の産卵は独立生活25日目にみられました。

最後にあみ類の漁業について述べます。漁獲対象となっているのは主として*Neomysis intermedia*（厚岸湖，涸沼，北浦，霞ヶ浦，河北潟），*Neomysis czerniawskii*（噴火湾），*Archaeomysis kokuboi*（青森県六ヶ所村），*Acanthomysis pseudomacropsis*（象潟沖），*Neomysis japonica*（東京湾），浜名湖，有明海），*Acanthomysis mitsukurii*（八戸沖）の6種です。ここに挙げた対象種と漁場は調査がやや古いので現状とは必ずしも適応しないかもしれませんが。各地の沿岸で漁業者が釣り漁業の撒餌に使うために獲る“こませ”は複数種の混在したもので，これらは10種ぐらいで構成されています。一般的には小型底曳網で漁獲しますが，霞ヶ浦などでは“いさざ網”，河北潟では“あみぐり網”と呼ばれています。変わったところでは，噴火湾では地曳網を用い，六ヶ所村では“おかくい”と称する小型の網で波打際で漁獲しています。漁獲物は佃煮の原料としても用いられますが，煮干，素干などの乾製品が最も多く，大部分は養魚飼料に用いられ一部は食用にもなっています。東京湾では昭和35年頃迄多摩川河口域で漁業が行われ，河川敷には佃煮工場がありました。有明海などでは食料，飼料などのほか，肥料としても利用されています。

学 会 記 事

1. 昭和56年5月18日、東京水産大学において創立20周年記念事業委員会(第4回)が開かれ、感謝状贈呈、募金状況などについて検討を行った。
2. 昭和56年5月28日、日仏会館会議室において評議員会が開かれた。
 - 1) 会務報告および編集報告が行われた。
 - 2) 昭和55年度の収支決算および昭和56年度の予算案が審議された。
 - 3) 学会賞受賞候補者として村野正昭氏が推薦され、受賞者として決定された経過が報告された。
 - 4) 昭和56年度学会賞受賞候補者推薦委員の選出について協議し、最終決定を会長に一任した。その結果、下記の通り決定された。
阿部友三郎、有賀祐勝、石野 誠、井上 実、宇野寛、岡見 登、草下孝也、斎藤泰一、佐藤任弘、高野健三、根本敬久、松生 治、丸茂隆三、村野正昭、森田良美
 - 5) 創立20周年記念事業について報告がなされた。
3. 昭和56年5月29日、日仏会館会議室において第22回総会が開かれた。
 - 1) 昭和55年度の会務報告ならびに会計報告が行われた。なお、別表の収支決算が承認された。
 - 2) 編集委員長(代理)から、学会誌 La mer 第18巻の編集経過報告が行われた。第18巻は総ページ数238ページで、その内訳は原著論文16篇(英文11、和文4、仏文1)、総説2篇(英文)、寄稿2篇(和文)、資料2篇(和文)、記念講演1篇、シンポジウム1篇、その他学会記事などである。
 - 3) 学会賞受賞者として村野正昭氏が決定に至る経過が報告された。
 - 4) 昭和56年度予算案について審議の結果、別表の通り承認された。
 - 5) 創立20周年記念事業について経過報告が行われた。

昭和55年度収支決算

収 入	
事 項	決算額(円)
前年度繰越金	550
会 費	1,712,000
賛 助 会 費	600,000
学 会 誌 売 上	49,700

広 告 料	215,000
計	2,577,250

支 出	
事 項	決算額(円)
学会誌等印刷費	2,016,900
送 料 通 信 費	223,770
編 集 費	6,000
事 務 費	211,892
交 通 費	28,560
会 議 費	62,955
次年度繰越金	27,173
計	2,577,250

昭和56年度収支予算

収 入	
事 項	予算額(円)
前年度繰越金	27,173
会 費	1,755,000
賛 助 会 費	700,000
学 会 誌 売 上	140,000
広告料・雑収入	480,000
計	3,102,173

支 出	
事 項	予算額(円)
学会誌等印刷費	2,100,000
送 料 通 信 費	250,000
編 集 費	60,000
事 務 費	500,000
交 通 費	40,000
会 議 費	60,000
予 備 費	92,173
計	3,102,173

- 6) 長年にわたって本学会の運営に協力された賛助会員に感謝状が贈呈された。
4. 総会終了後、引続き学会賞授与が行われた。
昭和56年度学会賞受賞者：村野正昭氏(東京水産大)

学)。

受賞課題: 動物プランクトン, 特にあみ類の分類学的ならびに漁業生物学的研究 (別項「推薦理由書」参照)。会長から村野氏に賞状, メダルおよび賞金が授与され, 続いて受賞記念講演が行われた。

5. 受賞記念講演終了後, 引続き創立20周年記念祝賀会(懇親会)が開かれ, 盛会であった。
6. 昭和56年5月28~29日, 日仏会館会議室において昭和56年度学術研究発表会と創立20周年記講演会が次の通り行われた。

5月28日

午前の部

1. 風による内部静振生起について—その風洞実験と解析…阿部友三郎, 神代道博(東理大・理)
2. Moiréの方法による水波の解析(その2)……………阿部友三郎, 高山晴光(東理大・理), 森谷誠生(日本気象協会)
3. 打ち上げ波の挙動(その3)—引き波の挙動—……………阿部友三郎, 山本秀行(東理大・理)
4. 安定海水泡沫の飛散—岩場における風のみだれについて—……………阿部友三郎, 新井正一, 高橋一民(東理大・理)
5. 霞ヶ浦における春季植物プランクトンの動態
I. 生化生態的解析……………高橋江里子, 関文威(筑波大・生科系)
6. 霞ヶ浦における春季植物プランクトンの動態
II. 分類学的解析……………土田明, 関文威(筑波大・生科系)
7. 霞ヶ浦における春季植物プランクトンの動態
III. 有機化学的解析……………麻崎昭仁, 関文威(筑波大・生科系)

午後の部

創立20周年記念講演

世界の水産増養殖の現状と展望……………宇野寛(東水大)
世界の海洋エネルギー利用の現状と展望……………高野健三(筑波大)
わが国の海洋科学技術関連予算の現状と展望……………佐々木忠義(日仏海洋学会会長)

5月29日

午前の部

8. 硫黄島海岸の諸問題……………溝口裕, 羽島正紘(防衛医大)
9. 海水交流シミュレーションにおける

可視化法について……………加納敬(東水大)

10. 浅海漁場開発に関する研究(I) 波浪循環流の数値実験……………糸洵長敬(東水大)
11. 駿河湾奥部における表面皮層中の微細プランクトン……………Yu. P. Zaitsev(オデッサ生物研), 結城勝久, 服部寛(東海大・海洋)
12. 深見池における植物プランクトンの光合成効率……………竹松伸, 岸野元彰, 岡見登(理研)

午後の部

13. 赤道の流れと慣性項……………日高孝次
14. 海洋温度差利用海水淡水化の洋上基礎実験……………栗須正登, 東克彦(長崎大・工), 中根重勝(長崎大・水), 青山恒雄(東大・海洋研)
15. Ocean Color Spectroradiometer……………岡見登, 岸野元彰, 杉原滋彦(理研)

学会賞受賞記念講演

動物プランクトン, 特にあみ類の分類学的

ならびに漁業生物学的研究……………村野正昭(東水大)

7. 昭和56年6月6日, 東京水産大学において編集委員会が開かれ, La mer 第19巻第3号の編集を行った。
8. 昭和56年6月22日, 東京水産大学において創立20周年記念事業委員会(第5回)が開かれ, 記念講演および記念出版について報告が行われた。また, 記念事業の収支について報告がなされた。
9. 新入会員(正会員)

氏名	所属	紹介者
遠藤 泰司	日本テトラポッド㈱	佐々木忠義
前田 勝	東水大	有賀 祐勝
北川 庄司	東大・海洋研	平 啓介

10. 退会者

大村秀雄, 小泉 格

11. 会員の住所・所属の変更

氏名	新住所または新所属
服部 茂昌	南西水研・内海資源部
中村 重久	京大・防災研・白浜海象観測所
江口 一平	長崎海洋气象台
増沢 寿	神奈川県水産課
半澤 正男	神戸商船大

12. 交換および寄贈図書

- 1) 鯨研通信

第338, 339号

- 2) 神奈川県立博物館研究報告
自然科学 第12号
- 3) 日本の海洋政策 第4号
- 4) 研究実用化報告 Vol. 30 No. 4, 5
- 5) 英国産業ニュース 5月号
- 6) 季刊 海洋時報 第21号
- 7) 昭和55年度 回遊性魚類共同放流実験調査事業
瀬戸内海西部海域総合報告書
- 8) 海洋産業研究資料 Vol. 12 No. 3, 4, 5
- 9) 横須賀市博物館資料集 第5号
- 10) 海洋地質図 No. 15
- 11) 海洋地質図目録図 1981
- 12) 地質調査所
クルーズ・レポート 14, 15
- 13) なつしま No. 52
- 14) 航海 第68号
- 15) 農林水産省土木試験場場報 No. 30
- 16) 理化学研究所 科学講演会記録(第3回)
- 17) JODC ニュース 増刊号
第11回国内海洋調査一覧
- 18) 海洋調査関係文献目録
(東京湾および瀬戸内海)
- 19) Preliminary Report of the Hakuho
Maru Cruise KH 77-1
- 20) Annales de l'institut océano-
graphique Tome 56 N°2
- 21) Science et pêche N° 305, 306
- 22) La gazette de la presse de
langue française
- 23) Bulletin of the National Science
Museum, Series A (Zoology) Vol. 17 No. 2
日仏海洋学会賞受賞候補者推薦理由書

氏名: 村野正昭(東京水産大学)

題名: 動物プランクトン, 特にあみ類の分類学的ならび
に漁業生物学的研究

推薦理由: あみ類は, 湖沼, 汽水域および海洋に分布する動物プランクトンで, 主要な水産生物の一つである。海洋においては表層より深海に至る各層に広く分布し, 小型動物プランクトンの捕食者, また, より大型のマイクロネクトン・ネクトンの餌料として, 海洋生態系に重要な位置を占める生物群である。村野正昭博士は, 1955年以降あみ類についての研究を続けており, 特に分類学的研究と日本産あみ類の一種イサザアミ *Neomysis intermedia* の漁業生物学的研究をと

して多くの重要な知見を明らかにした。

村野博士は主に北太平洋より得られたあみ類の試料に基づき3新属, 34新種を1977年までに発表した。現在も引続き分類学的研究を継続中であり, 新種発表も続いている。分類の困難な *Pseudomma* 属33種のうち14種は村野博士によって記載され, 沿岸から外洋域にかけて, また海洋の表層から深海にかけて広範に分布する同属の各種の分布と形態的分化の特性が明らかにされたことは特筆される。これらの新属, 新種の記載により, 混乱していた太平洋における近似種の整理が進められ, 1977年に世界のあみ類のモノグラフとして, 北大西洋の種についての共同研究者と共著で発表された。これは, 今後のあみ類の研究に対してきわめて重要な業績となる。日本産イサザアミについては一連の漁業生物学的研究を行ない, 分布, 生長, 食性, 各種環境に対する適応性, 湖沼生産に演ずる役割等について明らかにし, 従来イサザアミの分布しない湖沼に移殖する可能性についても検討し, 成果を得た。

また村野博士は, あみ類のみならず他の動物プランクトンの生態についても研究を進め, 特にいせえび類の幼生フィロゾーマの分類, 形態, 分布, 海洋のマイクロネクトンの生物量, 東京湾における有鐘纖毛虫の分布と生物量等についても広範な研究を行ない, 論文を発表した。さらに近年は, 国際的な BIOMASS 計画の一環として南極洋のナンキョクオキアミ *Euphausia superba* の研究を進めつつある。現在までに, 1年におよぶ長期間飼育の成功により, その生長率が従来考えられていたよりおそく, 成熟に満2年以上かかる例を明らかにし, 同種の漁業生物学的研究に重要な一知見を加えた。

以上述べたように, 村野正昭博士の動物プランクトンの生態の研究, 特にあみ類に関するきわめて顕著な業績は, 国内のみならず国際的にも高く評価されている。本委員会はこれに対し, 同博士を日仏海洋学会賞の受賞者として推薦する。

学会賞受賞候補者推薦委員会

委員長 根本敬久

主要論文

- 1963: イサザアミ *Neomysis intermedia* Czerniawsky の漁業生物学的研究. I. 湖沼生産に演ずる役割. 水産増殖, **11**, 149-158.
- 1963: イサザアミ *Neomysis intermedia* Czerniawsky の漁業生物学的研究. II. 食性について. 水産増殖, **11**, 159-165.

- 1964: イサザアミ *Neomysis intermedia* Czerniawsky の漁業生物学的研究. III. 生活史, 特に生殖について. 水産増殖, **12**, 19-30.
- 1964: イサザアミ *Neomysis intermedia* Czerniawsky の漁業生物学的研究. IV. 生活史, 特に成長について. 水産増殖, **12**, 109-117.
- 1964: 海鷹丸で採集したプランクトン. 東京水産大学特別研究報告, **7**, 91-107.
- 1966: イサザアミ *Neomysis intermedia* Czerniawsky の漁業生物学的研究. V. 環境要因に対する適応性. 水産増殖, **13**, 233-245.
- 1966: イサザアミ *Neomysis intermedia* Czerniawsky の漁業生物学的研究. VI. 移殖の可能性について. 水産増殖, **14**, 79-84.
- 1966: Two new species of *Pseudomma* (Mysidacea) from Sagami Bay, Central Japan. 日本海洋学会誌, **22**, 41-49.
- 1967: Preliminary notes on the ecological study of the phyllosoma larvae of the Japanese spiny lobster. 日本プランクトン研究連絡会報, 松江記念号, 129-137.
- 1969: Three new species of Mysidacea from Japan. Crustaceana, **17**, 207-219.
- 1974: *Scolamblyops japonicus* gen. nov., sp. nov. (Mysidacea) from Suruga Bay, Japan. Crustaceana, **26**, 225-228.
- 1974: Mysidacea from the central and western Pacific. I. Genus *Pseudomma* (Tribe Erythropini). 京都大学瀬戸臨海実験所研究報告, **21**, 287-334.
- 1976: Vertical distribution of biomass of plankton and micronekton in the Kuroshio water off Central Japan. 日本プランクトン学会報, **23**, 1-12. (with Marumo, Nemoto and Aizawa)
- 1977: Mysidacea from the central and western Pacific. IV. Genera *Euchaetomera*, *Euchaetomeropsis*, *Arachnomysis*, *Caesaromysis*, *Echinomysides*, *Meterythrops* and *Nipponerythrops* (Tribe Erythropini). 京都大学瀬戸臨海実験所研究報告, **24**, 141-192.
- 1977: 東京湾の有鐘纖毛虫に関する研究. 佐々学他編「人間生存と自然環境 4」, 168-178, 東大出版会, (with Marumo, Sano and Suzuki)
- 1977: World list of the Mysidacea, Crustacea. 東京水産大学研究報告, **64**, 39-88. (with Mauchline)
- 1979: Moults and growth of the Antarctic krill in

laboratory. 東京水産大学特別研究報告, No. 3, 99-106. (with Segawa and Kato)

- 1979: Estimation of the filtering rate of the Antarctic krill under laboratory conditions. 東京水産大学特別研究報告, No. 3, 107-112. (with Kato and Segawa)

日仏海洋学会役員

- 顧問 ユベール・ブロッシェ ジャン・デルサルト
ジャック・ロベール アレクシス・ドランデール
ベルナル・フランク ミシェル・ルサージュ ロベール・ゲルムール
- 名誉会長 ジャック・マゴー
会長 佐々木忠義
副会長 黒木敏郎, 國司秀明
常任幹事 阿部友三郎, 有賀祐勝, 富永政英, 松生 洽, 三浦昭雄
庶務幹事 佐伯和昭
編集幹事 村野正昭
幹事 石野 誠, 井上 実, 今村 豊, 岩下光男, 宇野 寛, 川原田 裕, 神田献二, 菊地真一, 草下孝也, 斎藤泰一, 佐々木幸康, 杉浦吉雄, 高木和徳, 高野健三, 高橋 正, 辻田時美, 奈須敬二, 根本敬久, 半沢正男, 丸茂隆三, 森田良美, 山中鷹之助 (五十音順)
- 監事 久保田 穰, 岩崎秀人
評議員 青山恒雄, 赤松秀雄, 秋山 勉, 阿部宗明, 阿部友三郎, 新崎盛敏, 有賀祐勝, 石野 誠, 石渡直典, 市村俊英, 井上 実, 今村 豊, 入江春彦, 岩崎秀人, 岩下光男, 岩田憲幸, 宇田道隆, 宇野 寛, 大内正夫, 小倉通男, 大村秀雄, 岡部史郎, 岡見 登, 梶浦欣二郎, 加藤重一, 加納 敬, 川合英夫, 川上太左英, 川村輝良, 川原田 裕, 神田献二, 菊地真一, 草下孝也, 楠 宏, 国司秀明, 久保田 穰, 黒木敏郎, 小泉政美, 小林 博, 小牧勇蔵, 西条八束, 斎藤泰一, 斎藤行正, 佐伯和昭, 坂本市太郎, 佐々木忠義, 佐々木幸康, 猿橋勝子, 柴田恵司, 下村敏正, 庄司大太郎, 杉浦吉雄, 関 文威, 多賀信夫, 高木和徳, 高野健三, 高橋淳雄, 高橋 正, 谷口 旭, 田畑忠司, 田村 保, 千葉卓夫, 辻田時美, 寺本俊彦, 鳥羽良明, 富永政英, 鳥居鉄也, 中井甚二郎, 中野猿人, 永田 正, 永田 豊, 奈須敬二, 奈須紀幸, 西沢 敏, 根本敬久, 野村 正, 半沢正男, 半谷高久, 樋口明生, 菱田耕造, 日比谷 京, 平野敏行, 深沢文雄, 深瀬 茂, 福島久雄, 淵 秀隆, 増沢譲太郎, 増田辰良, 松生 洽, 丸茂隆三, 三浦昭雄, 三宅泰雄, 村野正昭, 元田 茂, 森川吉郎, 森田良美, 森安茂雄, 安井 正, 柳川三郎, 山路 勇, 山中鷹之助, 山中一郎, 山中 一, 吉田多摩夫, 渡辺精一 (五十音順)
- マルセル・ジュグラリス, ジャン・アングテイル, ロジェ・ベリカ

賛 助 会 員

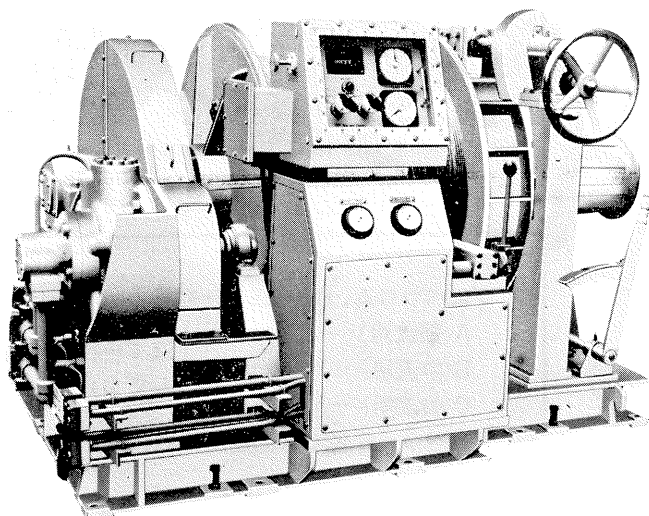
旭化成工業株式会社
 株式会社内田老鶴園新社 内田悟
 株式会社 オーシャン・エージ社
 株式会社 大林組
 株式会社 オセアノート
 小樽船用電機株式会社
 株式会社 オルガノ
 社団法人 海洋産業研究会
 協同低温工業株式会社
 協和商工株式会社
 小松川化工機株式会社
 小山 康 三
 三信船舶電具株式会社
 三洋水路測量株式会社
 シュナイダー財団極東駐在事務所
 昭和電装株式会社
 新日本気象海洋株式会社
 株式会社 鶴見精機
 株式会社 東京久米
 東京製網繊維ロープ株式会社
 株式会社 東邦電探
 中川防蝕工業株式会社
 日本アクアラング株式会社
 日本テトラポッド株式会社
 社団法人 日本能率協会
 日本プレスコンクリート株式会社
 深田サルページ株式会社
 藤 田 潔
 藤 田 峯 雄
 古野電気株式会社
 丸文株式会社
 三井海洋開発株式会社
 宮 本 悟
 株式会社ユニオン・エンジニア
 ング 佐野博持
 吉野計器製作所
 株式会社 離合社
 株式会社 渡部計器製作所

東京都千代田区有楽町 1-1-2 三井ビル
 東京都千代田区九段北 1-2-1 蜂谷ビル
 東京都千代田区神田美土代町 11-2 第1東英ビル
 東京都千代田区神田司町 2-3
 東京都世谷田区北沢 1-19-4-202
 小樽市色内町 3-4-3
 東京都文京区本郷 5-5-16
 東京都港区新橋 3-1-10 丸藤ビル
 東京都千代田区神田佐久間町 1-21 山伝ビル
 東京都豊島区目白 4-24-1
 東京都千代田区岩本町1-10-5 TMMビル5F
 東京都文京区本駒込 6-15-10 英和印刷社
 東京都千代田区神田 1-16-8
 東京都港区新橋 5-23-7 三栄ビル
 東京都港区南青山 2-2-8 DFビル
 高松市寺井町 1079
 東京都世田谷区玉川 3-14-5
 横浜市鶴見区鶴見中央 2-2-20
 東京都中央区日本橋 3-1-15 久栄ビル
 東京都中央区日本橋室町 2-6 江戸ビル
 東京都杉並区宮前 1-8-9
 東京都千代田区神田鍛冶町 2-2-2 東京建物ビル
 神奈川県厚木市温水 2229-4
 東京都港区新橋 2-1-13 新橋富士ビル9階
 東京都港区芝公園 3-1-22 協立ビル
 東京都中央区日本橋本石町 1-4
 東京都千代田区神田錦町 1-9-1 天理教ビル8階
 東京都新宿区四谷 3-9 光明堂ビル 株式会社ビデオプロモーション
 茨城県北相馬郡藤代町大字毛有 850 株式会社 中村鉄工所
 東京都中央区八重洲 4-5 藤和ビル
 東京都中央区日本橋大伝馬町 2-1-1
 東京都千代田一ツ橋 2-3-1 小学館ビル
 東京都中央区かちどき 3-3-5 かちどきビル (株) 本地郷
 神戸市中央区海岸通 3-1-1 KCCビル4F
 東京都北区西ヶ原 1-14
 東京都千代田区神田鍛冶町 1-10-4
 東京都文京区向丘 1-7-17

Exploiting the Ocean by...

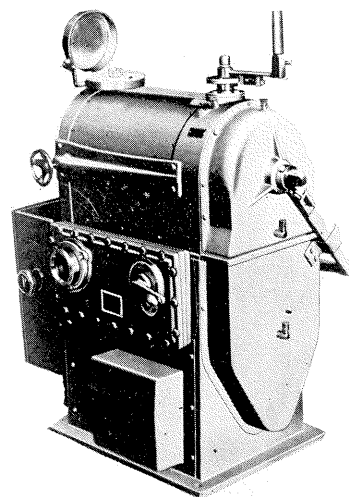
T.S.K. OCEANOGRAPHIC INSTRUMENTS

REPRESENTATIVE GROUPS OF INSTRUMENTS AND SYSTEMS



T.S.K.の
海洋調査専用
巻上機

大洋上に於て、精密・海洋調査に当るには、電氣的・油圧・物理的、機構的に過酷な使用に耐え、安全に使えるものでなければなりません。当社の50余年の歴史は充分にそれに御答え出来ます。500m~10,000mまでの深度用の各種より御選択下さい。



株式会社 鶴 見 精 機

2-20, 2-chome, Tsurumi-chuo, Tsurumi-ku, Yokohama, Japan 230 TEL; 045-521-5252

CABLE ADDRESS; TSURUMISEIKI Yokohama, **TELEX;** 3823750 TSKJPN J

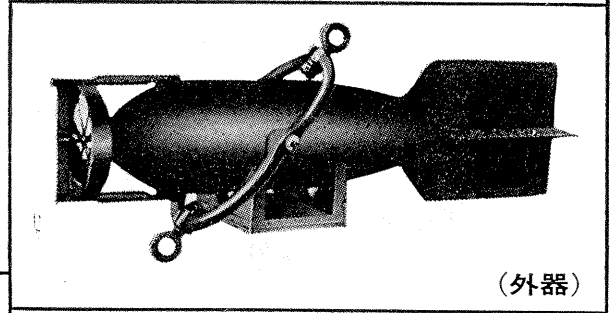
OVERSEASOFFICE; TSK-AMERICA INC. Seattle WASHINGTON

IAWMIYA INSTRUMENTATION LABORATORY

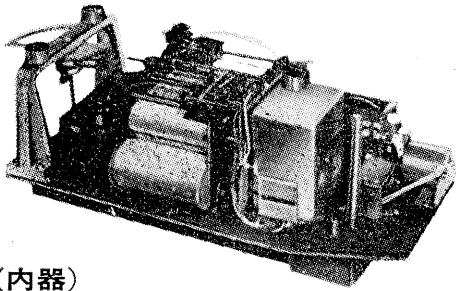
長期捲自記流速計

(NC-II)

本流速計は海中に設置し、内蔵した記録器に流速流向を同時に記録するプロペラ型の流速計で約20日間の記録を取る事が出来ます。但し流速は20分毎に3分間の平均流速を又流向は20分毎に一回、共に棒グラフ状に記録しますから読取が非常に簡単なのが特徴となっております。



(外器)



(内器)

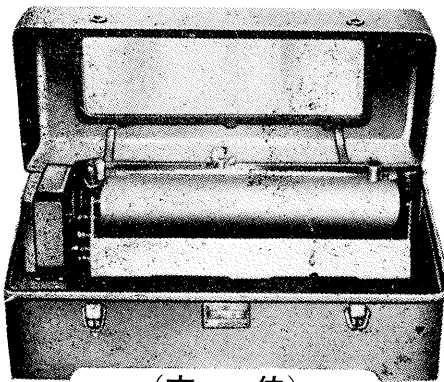
プロペラはA, B, C三枚一組になって居り

A(弱流用).....1m/sec	} 迄で一枚毎に検定 してあります。
B(中流用).....2m/sec	
C(強流用).....3m/sec	

弱流ペラーに依る最低速度は約4cm/secです。

フース型長期捲自記検潮器

(LFT-III)



(本 体)

営業品目

階段抵抗式波高計
ケーブル式波高計
フース型検潮器
小野式自記流速計
自記水位計
港施型土圧計
理研式水中カメラ
その他海洋観測諸計器

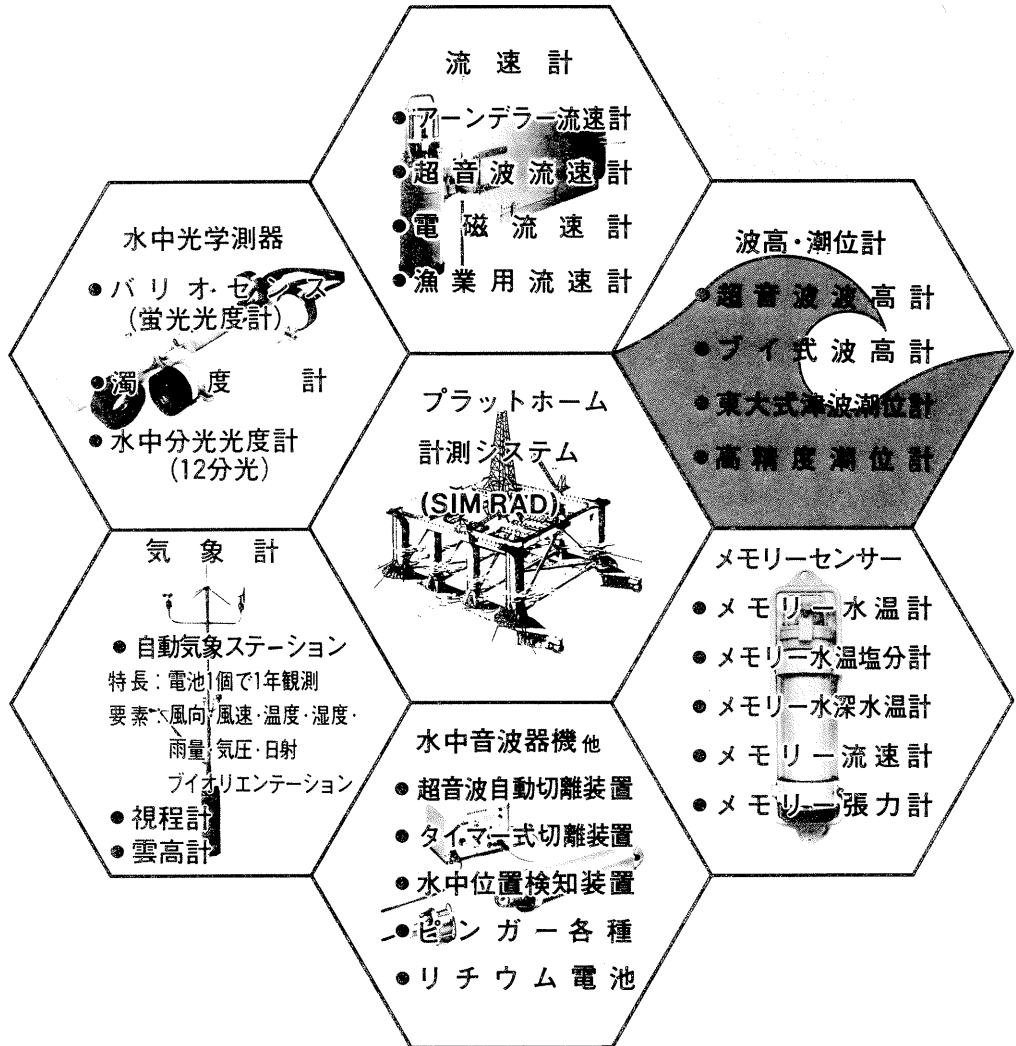
協和商工株式会社

東京都豊島区目白4丁目24番地1号
TEL (952) 1376代表 〒171

ユニオン・エンジニアリングが
パーフェクトな観測をお約束する

海象・気象計測器

優れた精度・取扱い容易・世界的な実績・豊富な部品在庫・迅速確実なメンテナンス

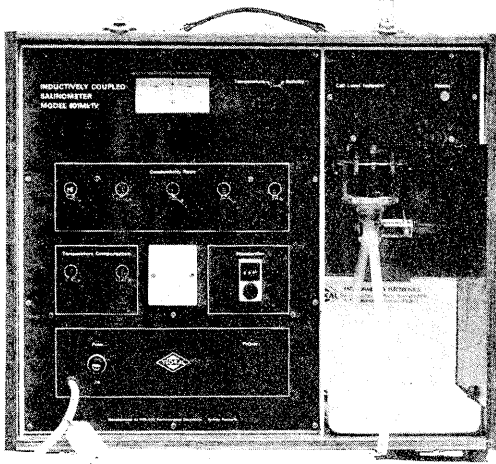


株式会社 **ユニオン・エンジニアリング**

本社 神戸市中央区海岸通3丁目1-1
〒650 KCCビル4F TEL 078-332-3381(代)

東京支店 東京都中央区銀座7丁目18
〒104 銀座スカイハイツ602号 TEL 03-543-5399

INDUCTIVE SALINOMETER MODEL 601 MK IV



海水の塩分測定の標準器として、既に定評のあるオート・ラブ 601 MK III の改良型で、小型・軽量・能率化した高精密塩分計です。試料水を吸上げる際に、レベル検出器により吸引ポンプと攪拌モーターとが自動的に切換えられます。温度はメーター指針により直示されます。

測定範囲	0~51 ‰ S
感 度	0.0004 ‰ S
確 度	±0.003 ‰ S
所要水量	約 55 cc
電 源	AC 100 V 50~60 Hz
消費電力	最大 25 W
寸 法	52(幅)×43.5(高)×21(奥行)cm

営 業 品 目

転倒温度計・水温計・湿度計・
採水器・採泥器・塩分計・
水中照度計・濁度計・S-T計・
海洋観測機器・水質公害監視機器

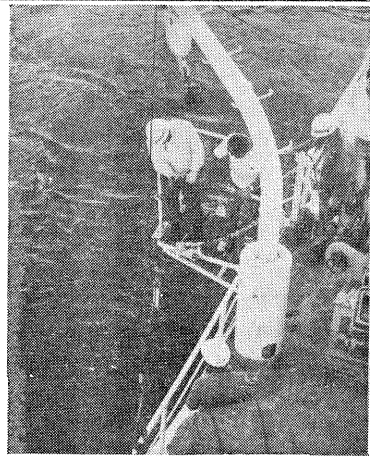


株式 渡部計器製作所
会社

東京都文京区向丘1の7の17
TEL (811) 0044 (代表) ☎ 113

海洋環境調査 海底地形地質調査

- 水質調査・プランクトン底棲生物調査・潮汐・海潮流・水温・拡散・波浪等の調査(解析・予報)
- 環境アセスメント・シミュレーション
- 海底地形・地質・地層・構造の調査・水深調査・海図補正測量



外洋における海洋調査



三洋水路測量株式会社

本 社 東京都港区新橋5-23-7(三栄ビル) ☎ 03(432)2971-5
大 阪 支 店 大阪市都島区中野町3-6-2(谷長ビル) ☎ 06(353)0858-7020
門 司 出張所 北九州市門司区港町3-32(大分銀行ビル) ☎ 093(321)8824
仙 台 出張所 仙台市一番町2-8-15(太陽生命仙台ビル) ☎ 0222(27)9355
札 幌 出張所 札幌市中央区大通東2-8-5(プレジデント札幌) ☎ 011(251)3747

総代理店



三井物産株式會社

Murayama

水中濁度計
水中照度計
電導度計



株式 村山電機製作所

本社 東京都目黒区五本木2-13-1
出張所 名古屋・大阪・北九州

TIL は無限の可能性に挑戦する

- ◆ 漁撈電子機器
- ◆ 航海計器
- ◆ 海洋開発機器
- ◆ 航空機用電子機器
- ◆ 各種制御機器
- ◆ コンピュータ端末機器
- ◆ 各種情報システム



本社 / 西宮市戸原町9-52 ☎0798(65)2111(大代) 支社 / 東京都中央区八重洲4-5藤和ビル ☎03(272)8491(代)ほか37ヶ所



昭和 56 年 8 月 25 日 印刷
昭和 56 年 8 月 28 日 発行

う み

第 19 卷
第 3 号

定価 円 1,200

編集者 富 永 政 英
発行者 佐 ☆ 木 忠 義
発行所 日 仏 海 洋 学 会

財団法人 日仏会館内
東京都千代田区神田駿河台2-3
郵便番号:101
電話:03(291)1141
振替番号:東京96503

印刷者 小 山 康 三
印刷所 英 和 印 刷 社

東京都文京区本駒込 6-15-10
郵便番号:113
電話:03(941)6500

Tome 19 N° 3

SOMMAIRE

Notes originales

A Numerical Tsunami Modeling in Osaka Bay and Kii Channel (in Japanese) Shigehisa NAKAMURA 105

A Fundamental Study on the Reaction of Fish to Polarized Light (in Japanese) Tadashi TAKAHASHI, Masakazu ICHIKAWA and Kanau MATSUIKE 111

Optical Environment and the Quantum Efficiency of Phytoplankton Photosynthesis during the Summer in the Bering Sea (in Japanese) Masataka HAGA and Kanau MATSUIKE 115

Enrichment of Transition Metals in Deep-sea Sediments Relative to Near-shore Sediments Noburu TAKEMATSU 125

The Quantum Yield of Phytoplankton Photosynthesis in Lake Fukami-ike, Japan (in Japanese) Noburu TAKEMATSU, Motoaki KISHINO and Noboru OKAMI 132

Rapid Determination of the Coefficient of Viscosity for Sea Water (in Japanese) Naoki FUKUCHI and Tomosaburo ABE 139

Studies Concerning the Fishery Biology of the Sea Urchin *Hemicentrotus pulcherrimus* (A. AGASSIZ) in Kaji, Fukui Prefecture—III. On the Test Growth and Mortality of the Sea Urchin Population (in Japanese) Naonori ISHIWATA, Hiroshi FUSHIMI, Kuniteru MAEKAWA and Takashi NANBA 143

Documentation

The 1st JECSS Workshop (in Japanese) Kenzo TAKANO 149

Conférence commémorative

Recherches taxonomiques et biologiques pêches sur les zooplanctons, particulièrement Mysidacés (en japonais) Masaaki MURANO 151

Procès-Verbaux 154

第 19 卷 第 3 号

目 次

原 著

大阪湾・紀伊水道の津波の数値モデル 中村 重久 105

偏光に対する魚類の行動反応に関する基礎的研究 高橋 正, 市川正和, 松生 治 111

夏季ベーリング海における光環境と植物プランクトン光合成の量子収率 芳賀正隆, 松生 治 115

沿岸堆積物に対する深海堆積物への遷移金属の相対的濃縮 (英文) 竹松 伸 125

深見池における植物プランクトンの光合成量子収率 竹松 伸, 岸野元彰, 岡見 登 132

海水の粘性係数の迅速測定 福地直樹, 阿部友三郎 139

福井県根におけるバフンウニの漁業生物学的研究—Ⅲ 個体群の殻径成長と死亡 石渡直典, 伏見 浩, 前川邦輝, 灘波高志 143

資 料

第 1 回 JECSS ワークショップ 高野 健三 149

日仏海洋学会賞受賞記念講演

動物プランクトン, 特にあみ類の分類学的ならびに漁業生物学的研究 村野 正昭 151

学会記事 154