

気仙沼湾における透明度の長期変動

久松和恵¹⁾・荒川久幸¹⁾・關哲夫²⁾・森永勤¹⁾

Long-term Variation of Secchi Depth in Kesennuma Bay

Kazue HISAMATSU, Hisayuki ARAKAWA, Tetsuo SEKI and Tduyomu MORINAGA

Abstract : The Secchi depth, temperature, and specific gravity of water in Moune, the head of Kesennuma Bay were measured daily from 1971 through 1989. The collected data were statistically analyzed to study the long-term variation of Secchi depth and the causes of the variation. During the 19 years of measurement, the mean value of Secchi depth was 10.0m, and the standard deviation was 0.7m. The monthly averaged variation became about 5m before the year of 1977, and after that, approximately 8m more. In particular, it had 4m larger in winter. The yearly averaged variation increased with time, showing a value of 2.1m in total. Throughout the year except in winter, the watermass of the bay was covered with the coastal surface water. In winter, the water mass at the depth of 3m to 10m was under the influence of outer ocean. The correlation among Secchi depth, temperature, and salinity was high for the water in the depth down to 1 m from the surface. The transparency was negatively correlated with temperature, while correlated positively with salinity. It is suggested that one of the causes for increase of the long-term variation is due to the sludge dredging conducted from 1976 to 1988. This probably causes the volume of the bay to increase; as a result, the transparency becomes higher. The distinct variation of the Secchi depth is the result of the effect of organic/inorganic particles carried through rivers to the bay after a downpour, and the effect of watermass originated from outer ocean.

Keywords : Secchi depth, Transparency, Water Temperature, Oyster, Historical trend, Kesennuma Bay.

1. はじめに

気仙沼湾は東北三陸のリアス式海岸に位置し、湾口を南へ開き、その中央部には大島が存在している。そのため、湾の形状は細長く湾曲した水路状になり、海水交換が悪く閉鎖的な湾といえる。また、湾奥では水産資源のカキやコンブなどの養殖業が盛んに行われて

いる。

従来、気仙沼湾における水質の研究に関しては渡辺ら（1978）、太田ら（1989）および伊藤ら（1994）がある。渡辺ら（1978）は、湾奥のCOD、BODおよび無機栄養塩濃度は湾口部の2—3倍高く、夏季では環境基準の上限を超えていると報告した。太田ら（1989）は、湾内の底質は多くの地点でCOD、全硫化物および強熱減量の水産用水基準を超えており、汚染物質が堆積していると述べた。伊藤ら（1994）は湾奥の底質環境汚染の変遷を調べ、底質改善の必要性を示唆した。

HANAWA and HITSUDERA（1986）は三陸沿岸海域における水系の分布とその変化を明らかにする目的で、1977-1981年の5年分における沿岸定線資料をT-S相関図を基に解析した。その結果、対象海域の水は6個の水系に分類できた。即ち、津軽暖流水系（水温： $t > 5$ °C, 塩分： $33.7 \leq s \leq 34.2$, 密度： $\sigma_t < 24.0$ ）、親潮水系（ $t < 7$ °C, $s > 33.0$, $\sigma_t < 26.7$ ）、黒潮水系（ $34.2 \leq s \leq 35.0$,

¹⁾ 東京海洋大学海洋科学部 〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7

Department of Ocean Sciences, Tokyo University of Marine Science and Technology 4-5-7 Konan, Minato-ku Tokyo, 108-8477, Japan

²⁾ 独立行政法人水産総合研究センター東北区水産研究所, 〒985-0001 宮城県塩竈市新浜町 3-27-5

Tohoku National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, 3-27-5 Shinhamma, Shioyama, Miyagi 985-0001, Japan

$24.0 \leq \sigma t \leq 26.7$), 沿岸親潮水系 ($t < 2^\circ\text{C}$, $s < 33.0$), 冷低層水系 ($\sigma t > 26.7$, 津軽暖流水系の範囲を除く領域) および沿岸表層水系 (上記5ヶの水系の範囲を除く領域) である。また、複雑な海況をかなりの程度表現することができたが、水温と塩分のみを扱ったのでは不適切な点もあると報告した。

近年、伊藤ら (2005, 2006) は 1963 年から 2003 年までの水質調査データを用いて 40 年間におよび漁場環境の変遷や季節変動を調べ、水質環境の改善や漁業被害の減少は主にヘドロ浚渫事業、水質汚濁防止法および公共下水道の整備などに起因すると結論づけた。しかし、これらの研究では湾内の水質環境の長期的変動を物理的視点から検討されておらず、例えば、出現する水塊の季節変化などとの関連性は不明である。

本論文では透明度を湾内の水質の指標と考え、湾奥の定点において透明度、水温および比重を毎日・定時刻に測定した長期間データを統計的に処理し、透明度の長期変動の特性やその変動要因を調べた。

2. 観測と解析方法

観測は 1971 年から 1989 年までの 19 年間、湾奥舞根の (財) かき研究所の棧橋先端で行った。(Fig. 1 参照) 観測定点の位置は岸から 28m 沖、水深は 16m に相当する。観測は毎日午前 10 時に行っている。観測項目は透明度、水温、比重および一般気象である。使用した測器は透明度板、水銀温度計および赤沼式比重計である。水温と比重の測定は、ポンプで海面、1, 3, 5 および 10m 深からそれぞれ採水して行った。透明度のデータ数は 6669 個である。なお、塩分は水温と比重から増沢・蓮沼 (1970) の Eckart の式を基に算出した。降水量の各データは気象庁アメダスの値で、毎月の平均値を使用している。(気象庁気象観測 (電子閲覧室)、気仙沼水産試験場のデータを一部使用) また、栄養塩類 (DIP, DSI および DIN)、懸濁物質質量 (SS)、プラ

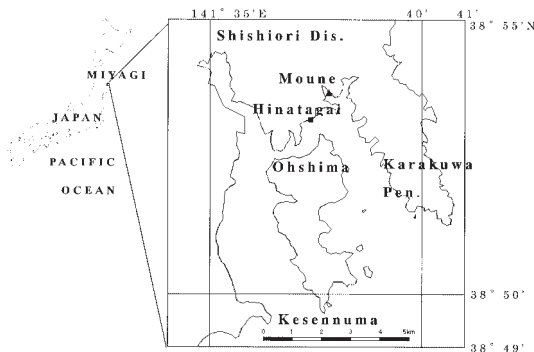


Fig. 1. Map showing the observation site, Moune in Kesennuma Bay. Hinatagai is the position conducted by Kesennuma Fishery Station.

ントン沈殿量の各データは該当年度 (1974 年~1989 年) の気仙沼水産試験場報告 (1971~2000) を参照した。

3. 結果

3-1. 透明度の出現頻度分布

Fig. 2 は透明度の出現頻度の分布を示す。出現回数が最も多いのは 10m 台の 923 回、次に多いのは 9m 台の 888 回である。反対に、出現回数が最も少ないのは 16m 台、18m 台、および 19m 台で各々 1 回である。17m 台では出現の無いのがわかる。

現場水深の 16m より大きい値は透明度の定義上、繰り出したロープが何らかの影響で斜めに下降したと考えられる。また、15m 台が 645 回と突出している。これは、潮の干満 (最大潮位差: 1.0m 程度) によって現場の水深が 15m 以下で透明度板が着底した場合、観測した透明度の深度を全て 15m と記録したためである。

透明度の 19 年間の平均値は 10.0m、標準偏差は 0.7 m とそれぞれ算出できる。

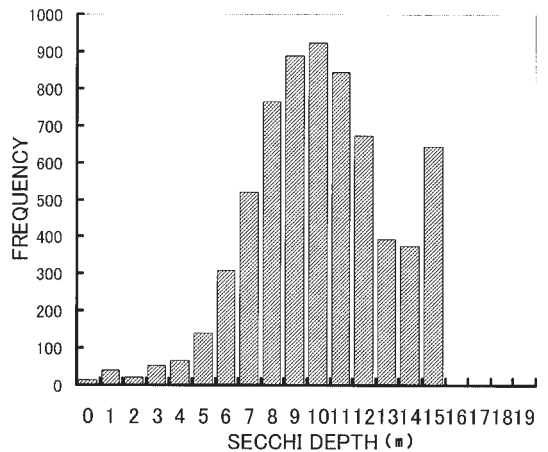


Fig. 2. Frequency distribution of transparency values from 1971 to 1989.

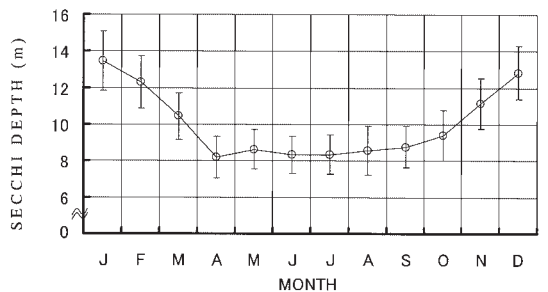


Fig. 3. Seasonal variation of monthly averaged Secchi depth during 19 years. Error bars represent standard deviations.

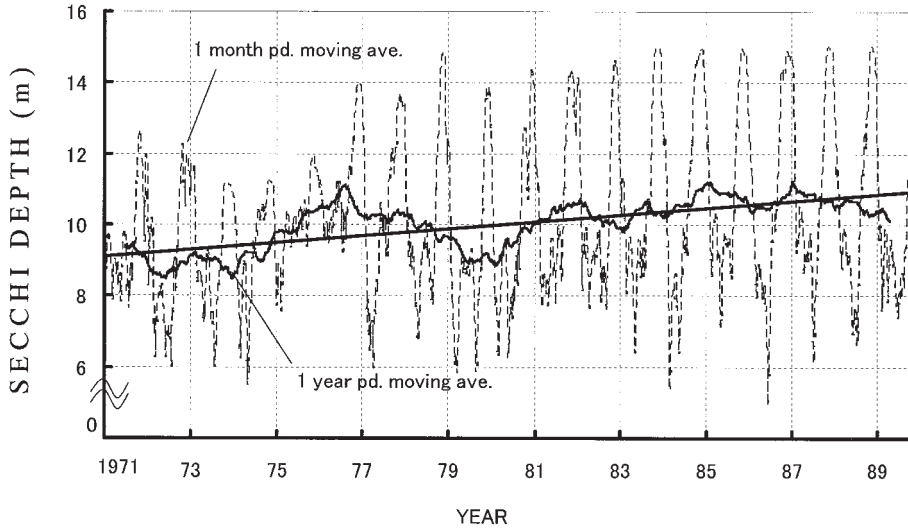


Fig. 4. Monthly and yearly averaged variations of Secchi depth from 1971 to 1989. Broken/thin line represents one month/year moving average, respectively. A straight line means a trend from 1971 to 1989.

3-2. 透明度の季節および経年変化

Fig. 3は約19年間における透明度の季節変化を示す。その変動傾向を平均値±標準偏差であらわすと、1月の 13.5 ± 1.6 mから4月の 8.2 ± 1.1 mまで低下し、その後9月まで変動幅は小さく、 8.2 ± 1.1 mと 8.8 ± 1.4 mの範囲を推移する。その後、12月の 12.8 ± 1.4 mまで上昇している。

Fig. 4は透明度の30日および365日の各移動平均と

365日の移動平均に回帰直線を当てはめた結果をそれぞれ示す。この図から、30日移動平均では周期的な上下変動を繰り返す、季節変動が見られる。特に、1977年を境に、その以前と以後では変動幅が大きく変化している。前者では5m程度であったが、後者では約8mに増大している。特に、冬季ではおよそ4m増加している。また、365日移動平均では、1972年から徐々に高くなり、1976年と1977年の間では最高値を示している

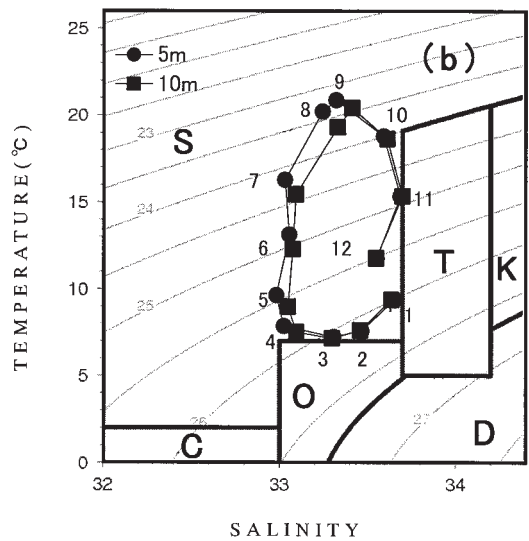
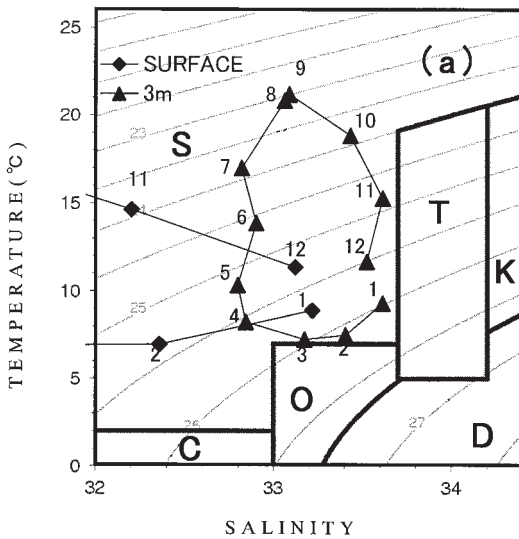


Fig. 5. Temperature-Salinity diagram. (a): surface and 3m depths. (b): 5 and 10m depths. Capital letters show water types (after Hanawa and Mitsudera, 1986). K: Kuroshio water, T: Tsugaru water, O: Oyashio water, C: Coastal Oyashio water, S: Coastal surface water, D: Cold deep water. Numerals indicate months.

る。その後 1979 年まで 2.0m 程度低下し、その後 1988 年まで再度上昇に転じる傾向を示す。19 年間でみると、透明度は有意な増加傾向（有意水準 5%）を示し、約 2.1m 上昇している。

3-3. 出現する水塊の季節変化

Fig. 5 は Hanawa and Mitsudera (1986) の水系分類に従って作成した T-S ダイアグラムへ各月の平均データを記入したものである。Fig. 5 の (a) は表層と 3m 深、Fig. 5 の (b) は 5m 深と 10m 深をそれぞれ示す。また、各図内の数値は各月を意味する。海面では、年間を通じて、特に冬季、沿岸表層水系に該当する水塊に覆われている（3月から10月までは塩分 32% 以下のため図外）。3m 深において、3月では親潮水系に近い水塊が、その他の月では沿岸表層水系が各々分布している。5m 深と 10m 深において、3月では 3m 深と同様、親潮水系に近い水塊が、11月では津軽暖流水系に近い水塊が、その他の月では沿岸表層水系の水塊が各々分布している。また、5m 深と 10m 深では水塊の出現パターンが 3m 深とほとんど同じである。これらのこと

から、湾内では年間を通して沿岸表層水系の水塊が分布していることがわかる。また、3m 深から 10m 深の各水塊では出現パターンの形状が楕円形で、同一であること、および秋季（11月）と初春季（3月）において僅かに外洋水系の影響を受けていることも伺える。

3-4. 透明度と水温・塩分との関係

Table 1 は透明度と水温の相関係数を示す。表内の数値の下線は 5% の有意水準の有意でないものを表す。この表から、透明度と水温（全層）の相関係数は 1 月から 9 月までは 0.2 以下で、相関は弱い。また、10 月から 12 月までは、全層通じて相関係数は -0.54 から

Table 1. Correlation coefficients between Secchi depth and temperature.

Depth, m	Jan.-Mar.	Apr.-Jun.	Jul.-Sep.	Oct.-Dec.	Through year
0	<u>0.15</u>	<u>0.01</u>	0.11	-0.54	-0.37
1	<u>0.12</u>	<u>0.02</u>	0.08	-0.59	-0.35
3	<u>0.09</u>	<u>0.02</u>	0.07	-0.61	-0.29
5	<u>0.11</u>	<u>0.02</u>	0.09	-0.61	-0.26
10	<u>0.13</u>	<u>0.02</u>	0.10	-0.61	-0.23

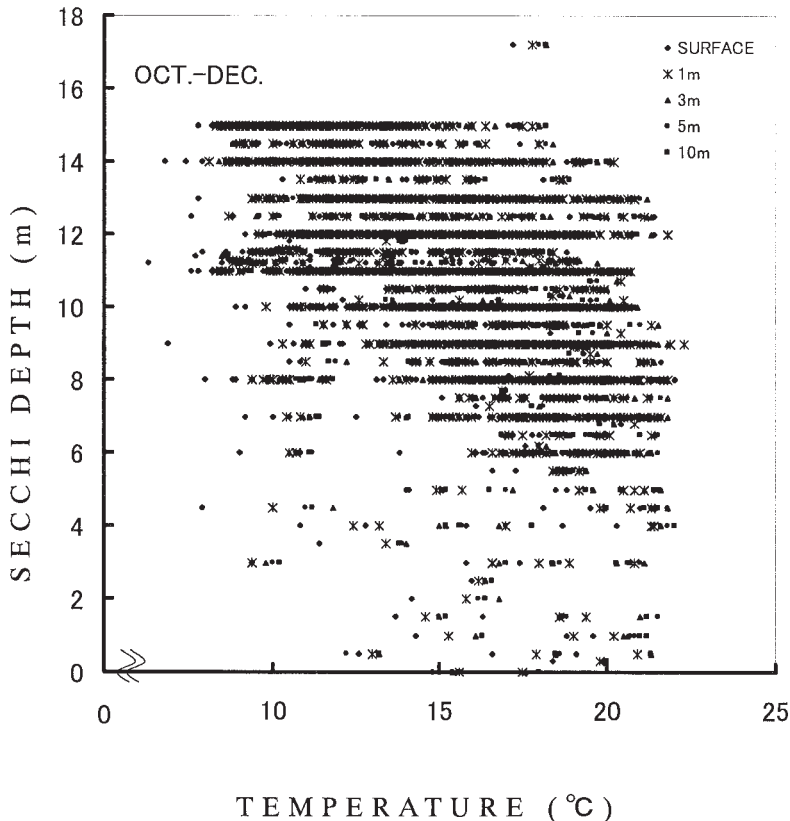


Fig. 6. Scatter diagram between Secchi depth and temperature.

-0.61 の範囲で、比較的強い負の相関がある。10 月から 12 月までの全層における相関関係の具体例として、散布図を Fig. 6 に示す。この図からみると、バラツキは大きい、水温が低下すると透明度が高くなるということが伺われる。

一方、Table 2 は透明度と塩分の相関係数を示す。下線の値は水温の場合と同様、5%の有意水準で有意でないことを示す。透明度と海面塩分の相関係数は 1 月から 12 月までの 3 ヶ月ごとでは 0.27 から 0.42 の範囲にある。また、年間を通した 0.45 の値は他の深度の場合に比べて最も大きいことが分かる。水温の場合と同様、海面における 1 月から 3 月までの相関関係の具体例として、散布図を Fig. 7 に示す。この図からみると、高塩分の領域においてデータが集中し、塩分が増加する

と透明度も高くなることが僅かに読み取れる。

以上のことから、透明度と水温の間では 10—12 月の全層において負の相関が、透明度と塩分の間では年間を通して海面と 1m 深において正の相関がそれぞれ認められる。

4. 考察

透明度の長期観測定点の位置は湾奥の唐桑地区舞根沖であった。そこで、取得データが湾奥の水質の代表値として利用できるか否かを検討するため、大島北部側水路付近で取得した日向貝のデータと比較した。この資料は気仙沼湾水産試験場が 1974 年から 1989 年までの期間に観測したもので、データ数は 133 個である。両者における透明度の平均値（標準偏差）は舞根が 9.9 (0.7) m、日向貝が 10.5 (1.4) m であり、舞根の値が約 0.6m 小さく、変動幅も少ない。しかしながら、統計的には両者の平均値に有意な差（有意水準 5%）は認められない。また、Fig. 8 は舞根と日向貝の透明度の関係を示す。両者の関係には正の相関が認められ、相関係数は 0.68 である。このことから舞根の値は湾奥における水質の指標として用いることが可能と考えられる。

30 日移動平均の透明度では、変動幅の増加時期が 1977 年および 1983 年で見られる (Fig. 4 参照)。1977

Table 2. Correlation coefficients between Secchi depth and salinity.

Depth, m	Jan.-Mar.	Apr.-Jun.	Jul.-Sep.	Oct.-Dec.	Through year
0	0.42	0.32	0.27	0.37	0.45
1	0.35	0.38	0.30	0.15	0.42
3	0.13	0.10	0.05	-0.06	0.22
5	0.07	0.09	0.00	-0.16	0.15
10	<u>0.04</u>	0.06	<u>-0.04</u>	<u>-0.21</u>	0.11

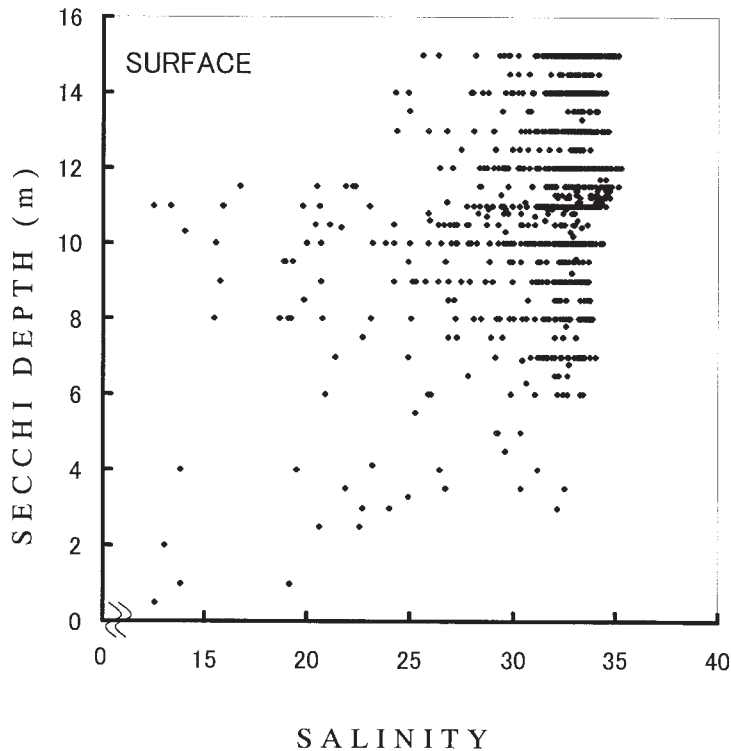


Fig. 7. Scatter diagram between Secchi depth and salinity.

Table 3. Dredged area, dredged mud volume and removed organic matters at Shishiori district in Kesenuma Bay.

Work	Year	Dredged area, m ²	Dredged volume, m ³	COD, ton	Total sulfide, ton	Ignission loss, ton
First Period	1976	47,800	29,100	437.9	37.5	1,623.1
	1977	27,460	21,200	417.9	46.6	1,632.7
	1978	66,175	52,100	960.9	65.0	311.8
	Amount	141,435	102,420	1,816.7	149.1	3,567.6
Second Period	1980	22,850	13,800	144.1	12.7	624.1
	1981	20,610	8,900	141.2	12.7	648.9
	1982	32,240	16,100	230.7	15.0	809.0
	1983	25,960	14,900	147.0	11.6	695.0
	Amount	101,660	53,100	663.0	52.0	2,777.0
Third Period	1985	18,000	7,200	122.7	5.1	418.6
	1986	36,700	14,700	229.6	12.4	847.1
	1987	28,000	13,520	288.0	10.9	791.5
	Amount	82,700	35,420	580.3	28.4	2,057.2
TOTAL		325,795	190,940	3,060.0	229.5	8,401.8

年での変動幅は 6.0–14.0m であり、それ以前の 1975 年から 1976 年の変動幅 7.5–13.1m に比べて 2.4m と著しく増大している。また、1983 年での変動幅は 6.4–15.0 m で、それ以前の 1981 年から 1982 年までの変動幅 7.6–14.4m に比べて 1.8m 増大している。これらの変動幅の増大の原因を、1976 から 83 年まで 2 期に渡る湾奥の鹿折地区 (Fig.1 参照) でのヘドロ浚渫事業 (宮城県, 1988) に関連して検討する。

Table 3 は各工期で浚渫した面積、土量および有機物量を示す。ここで、浚渫の層厚を推定してみる。例え

ば、第 I 期 (1976 から 1978 年) では浚渫面積 $141 \times 10^3 \text{m}^2$ (3 ヶ年の小計)、浚渫土量 $102 \times 10^3 \text{m}^3$ (3 ヶ年の小計) である。浚渫層厚は後者を前者で除して求めると、約 0.72m となる。他工期における浚渫層厚を Table 3 から同様な方法で算出すると、第 II 期 (1980 から 1983 年) は約 0.52m、第 III 期 (1985 から 1987 年) は約 0.42m になる。各期の層厚を比較すると、層厚の最も大きい工期は第 I 期で、次に大きい工期は第 II 期である。以上のように、浚渫の規模は面積、堆積、層厚いずれをみても、第 I 期が最も大きく、ついで第 II 期となっており、浚渫による海底地形の変化、湾口断面積の変化が外洋との海水交換や湾内の海水の動きに影響を与えたと想像される。実際、透明度の変動幅が大きくなった 1977 年は第 I 期工事の、また 1983 年は第 II 期工事の年度に該当している。そこで、浚渫工事前後での湾内水系を比較するために、工事前の 1971–75 年と工事開始後の 1976–89 年を T-S 図で比較してみると、Fig. 9 に示すように、浚渫後は特に水温の季節変化が大きくなっていることがわかる。透明度と水温との関連があることはすでに 3-4 で述べたとおりであり、このことから透明度の変動幅の増大が浚渫工事の影響であることがうかがわれる。なお、Fig. 9 で、浚渫前に湾内に見られた津軽暖流水が浚渫工事開始後に見られない理由については、このデータからはわからない。

さらに、浚渫による有機物量の増減に関して、渡辺ら (1978) は第 I 期工事の浚渫事業終了後では湾内の COD と全硫化物が浚渫以前より各々 32.4% 減少したと報告した。これらの浚渫事業が気仙沼湾の水質向上に役立ったことも判る。

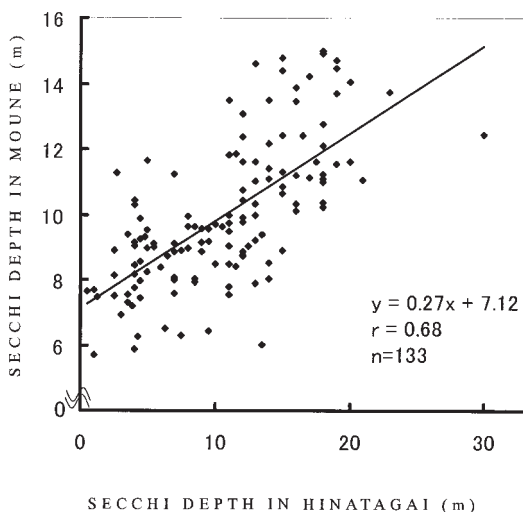


Fig. 8. Relationship between Secchi depths at Moune and those obtained at Hinatagai.

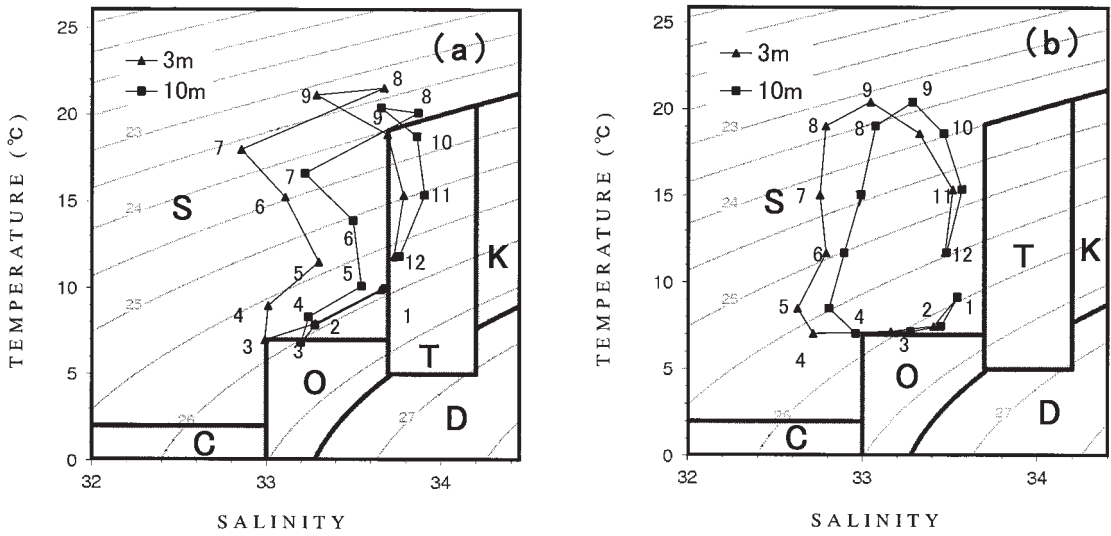


Fig. 9. Temperature-Salinity diagram. (a): diagram before dredging construction (from 1971 to 1975) (b): diagram after dredging construction (from 1976 to 1989) Capital letters and numerals are shown as in Fig. 5.

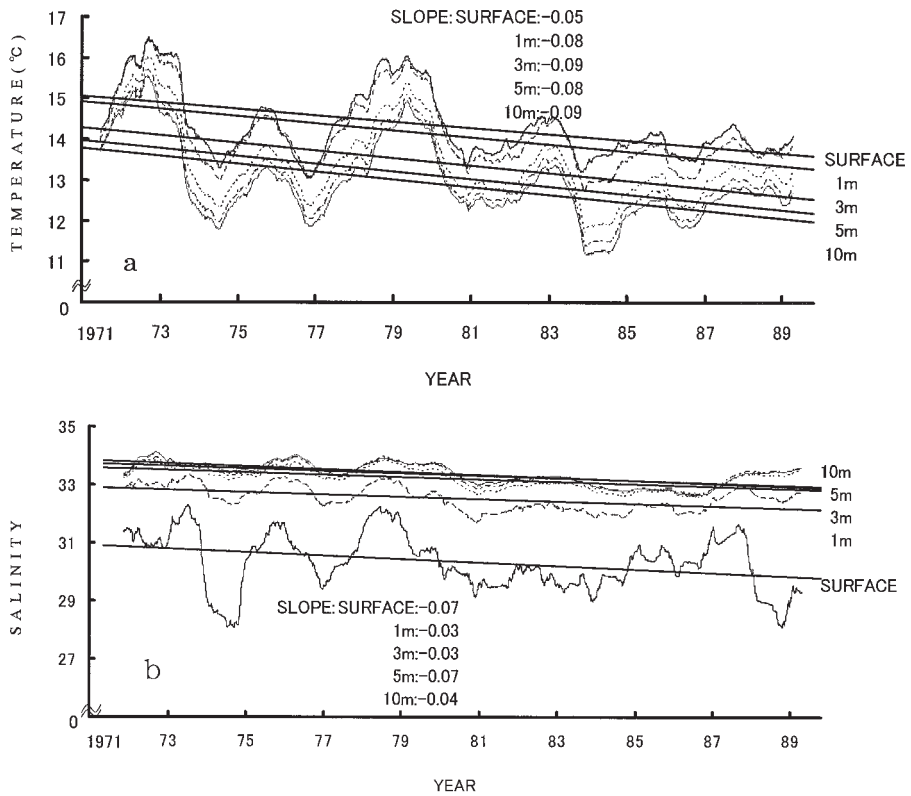


Fig. 10. Yearly averaged variations of temperature and salinity from 1971 to 1989. Strait lines are regression ones for yearly averaged variation. a: temperature, b: salinity

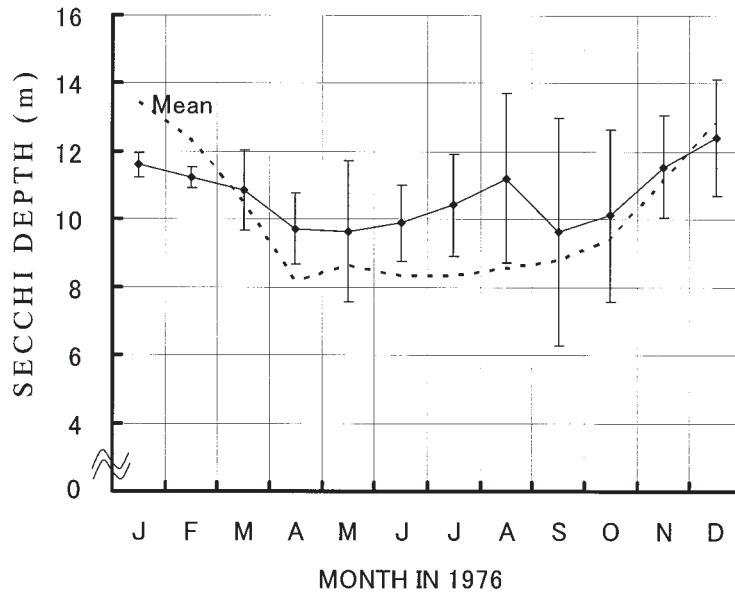


Fig. 11. Variation of transparency in 1976. Solid line represents seasonal variation in 1976. Dotted line represents seasonal variation of mean value during 19 years. Error bars represent standard deviations.

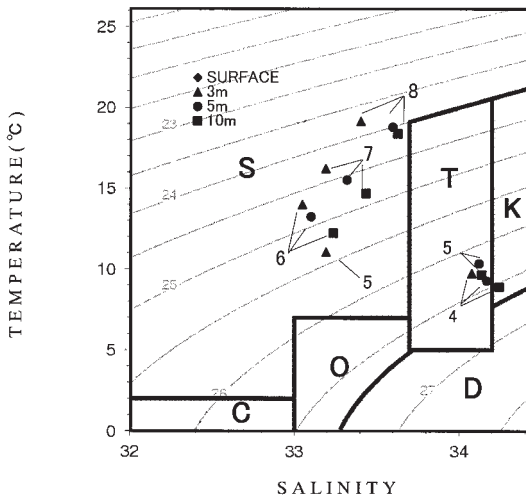


Fig. 12. T-S diagram from April to August in 1976. Capital letters and numerals are shown as in Fig. 5.

Fig. 10 は水温と塩分の各々19年間の365日移動平均を表す(久松, 2006)。水温の移動平均では19年間で有意な低下傾向を示している(Fig. 9a)。これに対して、透明度の365日移動平均は有意な上昇傾向を示している。このことは前述の両者の相関関係の結果(透明度と水温は負の相関関係)と一致している。しかし、塩分の場合では19年間で有意な低下傾向を示し、両

者の相関関係の結果(透明度と塩分は正の相関関係)とは一致していない(Fig. 9b)。このような相関関係の結果と長期的な変動傾向が一致していない現象は九州の有明海でも報告(野中, 2004)されているが、その原因は不明である。しかしながら、塩分の長期変動における低下傾向の原因の一端は、1984年から湾沿岸一帯で開始された公共水道整備の寄与と伊藤ら(2005)が推察している。

Fig. 11は透明度が特に上昇した1976年における透明度の月平均変化を示す。1976年の透明度の年平均値は10.7mで、平年値に比べて0.7m高くなっている。透明度の上昇が顕著な時期は4月から8月までの期間であり、それらは平年値より1.0~2.6m高いことがわかる。この現象を詳細に検討するため、Fig. 12に1976年の4月から8月までの各月に出現する水塊の分布を示す(表層のデータは塩分が32‰以下で図外)。この図より、4月の3m深および5m深の各水塊は津軽暖流水系、10m深は黒潮水系にそれぞれ該当している。また、5月の5m深および10m深の各水塊は津軽暖流水系の各水塊に分類される。さらに、これらの該当月における降水量、栄養塩類およびプランクトン沈殿量が例年に比べてそれぞれ3~4割、2~9割および9割減少している。従って、4月および5月における透明度の上昇要因は清澄な外洋水系の出現、降水量の低下による陸起源の栄養塩流入量の減少、およびプランクトンの増加抑制の各効果と考えられる。

7月の水塊は表層を除くいずれの深度においても沿岸

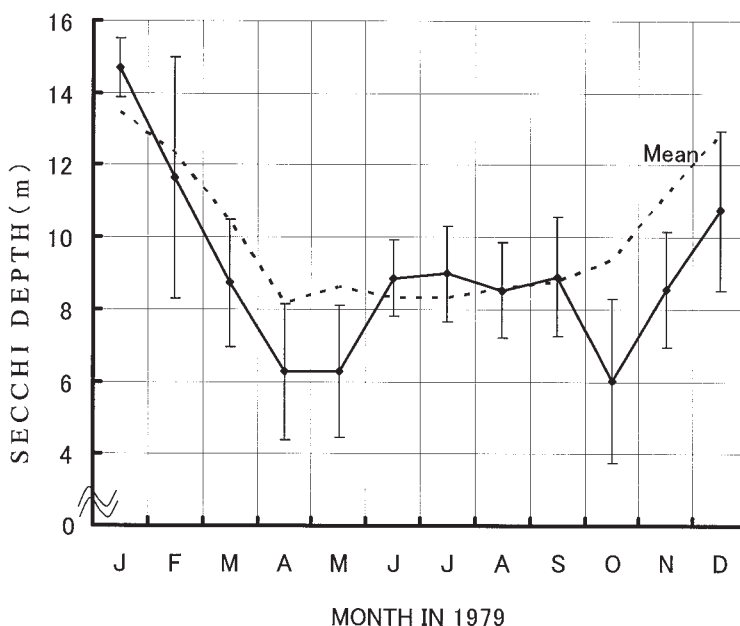


Fig. 13. Variation of transparency in 1979. Solid line represents seasonal variation in 1979. Dotted line represents seasonal variation of mean value during 19 years. Error bars represent standard deviations.

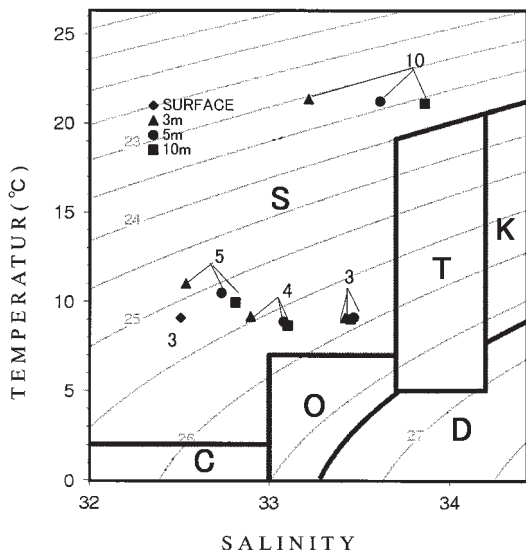


Fig. 14. T-S diagram from March to May and October in 1979. Capital letters and numerals are shown as in Fig. 5.

表層水系に分類されるが、降水量、栄養塩類およびSSは例年に比べて各々7割、3~9割および7割減少している。また、8月の水塊も7月と同様、沿岸表層水系に該当するが、この月における栄養塩類やプランクトン沈殿量が例年に比べて4~9割および4割減少している。このことから、7月および8月における透明度の上昇要因は降水量減少による陸起源の無機粒子の負荷軽減、および低濃度の栄養塩によるプランクトン増殖抑制の各効果と推察できる。

Fig. 13は透明度が特に低下した1979年における透明度の月平均変化を示す。1979年の透明度の年平均値は9.0mで、平年値より1.0m低くなっている。透明度の低下が顕著な時期は2月から5月までの期間と10月から12月までの期間にあたり、それらの値は平年値より0.7~3.4m低いことが分かる。この現象を詳細に検討するため、Fig. 14に1979年3月、4月、5月および10月に出現する水塊の分類を示す。また、Table 4は該当月における水温および塩分の平均値と各平年値との較差を示す。

透明度の低下が顕著であった3月から5月までにおける各水塊は表層から10m深まで沿岸表層水系に分類される(3月を除く表層のデータは塩分が32%以下で図外)。3月の水塊では全層における水温および塩分は例年より高温(+1.7から2.1°C)、高塩(+0.1から1.7‰)である。また、SSおよびプランクトン沈殿量が例年に比べて1.4倍および1.6~1.8倍それぞれ増大して

Table 4. Difference between value in 1979 and one averaged during 19 years. Small bars indicate no differences.

MONTH	Surface		3m		5m		10m	
	TEMP.	SAL.	TEMP.	SAL.	TEMP.	SAL.	TEMP.	SAL.
MAR.	+2.1	+1.6	+1.7	+0.2	+1.7	+0.1	+1.7	+0.1
APR.	—	+0.2	+0.8	—	+0.9	—	+1.0	—
MAY	+0.1	-2.2	+0.5	-0.2	+0.7	-0.2	+0.8	-0.2
OCT.	+1.7	-2.8	+2.4	-0.2	+2.3	—	+2.4	+0.2

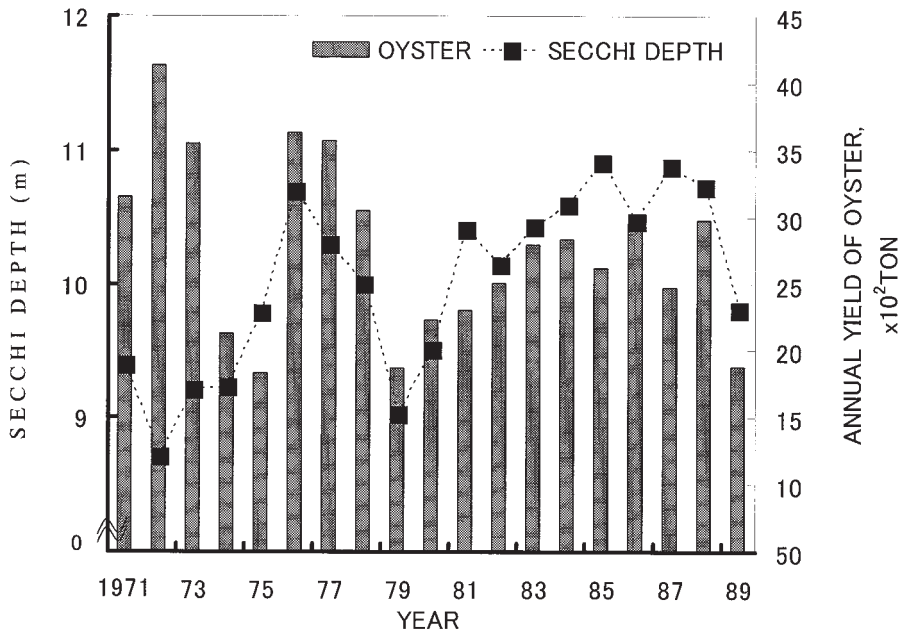


Fig. 15. Comparison of transparency with annual yield of oyster.

いる。次に、10月の水塊は前記の各月と同様、沿岸表層水系に分類され、全層における水温および塩分は例年に比べて高温(+1.7から2.4℃)、低塩(海面、3m深:-0.2から-2.8‰)である。その上、降水量、栄養塩類およびSSが例年に比べてそれぞれ2.1倍、1.4~2.2倍および1.4倍増大している。これらのことから、透明度の低下の要因は、沿岸表層水系の出現、多量の降雨による陸起源の無機粒子負荷の増大、それによる栄養塩流入量の増大およびプランクトンの増殖の影響と推察できる。

以上のことから、透明度の上昇(1976年)の場合は、黒潮や津軽暖流水の出現および少雨(年間降水量:1299mm)が、透明度の下降(1979年)の場合は、沿岸表層水の占有および多雨(年間降水量:1519mm、浚渫期間内の最高値)がそれぞれ影響していると考えられる。

終わりに、透明度の長期変動と湾内における水産資源水揚げ高の変化との関連について詳述する。長田・小川(1997)は日本周辺域において年平均透明度と年

間漁業生産量との間には負の相関関係があると報告した。Fig.15は、気仙沼湾の年平均透明度とカキ生産量との関係の経年変化を示す。カキ生産量のデータは「気仙沼の水産(気仙沼市役所・水産課)」および「唐桑町の水産業(町役場・産業振興課)」より引用し、総水揚げ販売数量(殻付)を表す。1976年および1980年から1984年までは、透明度上昇とカキ生産量増大が、1979年および1989年では透明度低下とカキ生産量減少が、それぞれ一致している。両者の相関関係においては、1971年から1975年では年平均透明度とカキ生産量の関係は負であるが、1976年以後は正($r=0.56$)が認められる。また、経年的に見ても、年平均透明度と年間カキ生産量は各々有意な差(有意水準5%)は認められず横ばい状態であり、相関関係の結果と一致している。両者の関係が負から正へと一転する1976年は浚渫開始年度に該当していることから、浚渫事業が両者の関係の変化に関連すると考えられる。また、外洋性の沿岸域でのカキ養殖を可能にした延縄式施設の台数は、1964年の162台から1969年にかけて600台レベルへ急

上昇し、1979年以降では800台レベルへと微増しており、現在では県内のカキ生産量の約9割を占めている(農林省宮城統計調査事務所)。この統計調査事務所によれば、カキ養殖が湾内から唐桑半島全体へ展開したのは1979年頃だといわれており、これらの時期は年平均透明度とカキ生産量の関係が負から正へ変わる時期に符合している。今後、気仙沼湾産のカキ生産量データを湾内と湾外に区分して両者の関係の解析を試みる必要はあるが、透明度は漁業生産量を推定する指標のひとつとみなすことができると考える。

謝辞

本論文を取りまとめるにあたり、統計的手法や貴重なコメントを賜った、東京海洋大学海洋科学部桜本和美教授に深く感謝の意を表します。また、論文査読者の方の有益なご助言に深謝の意を表します。さらに、降水量のデータをご提供いただいた宮城県気仙沼水産試験場に御礼を申し上げます。

文献

- 伊藤章・田口滋之・千葉充子(1994): 気仙沼湾および大川下流域の底質環境—II 宮城気水試研報, 9, 85-99.
- 伊藤博・藤田則孝・千葉充子(2005): 気仙沼湾湾奥部における漁場環境の変遷. 宮城水産研報, 5, 27-35.
- 伊藤博・藤田則孝・千葉充子(2006): 気仙沼湾湾奥部における漁場環境の季節変動, 宮城水産研報, 6, 51-57.
- 太田裕達・五十嵐輝夫・武川治人(1989): 気仙沼湾および大川下流域の底質環境 宮城気水試研報 8, 69-81.
- 長田宏, 小川嘉彦(1997): 日本周辺海域における漁業生産量と海域の基礎生産量の指標としての透明度との関係 Bull. Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst., 47, 23-32.
- 気象庁気象観測(電子閲覧室) <http://www.data.kishou.go.jp/etrm/index.html>.
- HANAWA, K. and MITSUDERA, F. (1986): Variation of Water System Distribution in the Sanriku Coastal Area. J. Oceanogr. Soc. Japan, 42, 435-446.
- 野中裕子(2004): 有明海の海況変動とその要因に関する研究. 第95回海洋環境セミナー <http://www.fish.nagasaki-u.ac.jp/fish/kyoukan/ishizaka/seminar03/seminar95.htm>
- 久松和恵(2006): 気仙沼湾における透明度の長期変動について.
東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科修士学位論文 1-57.
- 増沢譲太郎・蓮沼啓一(1970): 海洋科学基礎講座, 4巻海洋物理IV 海洋の水系 東海大学出版会.
- 宮城県(1988): 気仙沼湾大規模漁場保全事業(ヘドロ浚渫)の効果について. 宮城県, 1-25.
- 宮城県気仙沼水産試験場(1971-2001): 浅海漁場水質汚濁調査・浅海漁場環境調査・沿岸漁場環境調査, 宮城気水試事業報告, 宮城気水試.
- 渡辺誠樹・五十嵐輝夫・岩井拓郎・藤田則孝(1978): 気仙沼湾湾奥部の富栄養化機構 宮城気水試研報 4, 59-75.

2006年12月13日受付

2008年6月16日受理

Food resource partitioning among fishes in an estuarine nursery as revealed by stable isotope analysis

Koetsu KON¹⁾, Kouki KANOU^{2,3)}, Takashi INOUE²⁾, Atsushi KOBAYASHI⁴⁾,
Ken-ichi HAYASHIZAKI⁵⁾ and Hisashi KUROKURA¹⁾

Abstract: Various coastal fishes use shallow estuarine habitats as nurseries. To investigate the extent of food resource partitioning among juvenile fishes occurring sympatrically in such nurseries, we analyzed carbon and nitrogen stable isotope ratios from three dominant coastal fishes (Japanese seaperch *Lateolabrax japonicus*, yellowfin goby *Acanthogobius flavimanus*, and flathead mullet *Mugil cephalus cephalus*) and their food source on a tidal mudflat in the Tama River estuary, central Japan. Our isotopic data indicated that Japanese seaperch mainly feed on fish or benthic crustaceans, and yellowfin goby feed on polychaetes or benthic crustaceans. Plots of stable isotope ratios of flathead mullet showed to be far from those of sediments or deposit organic material values, signifying their food source were not of such materials. However, comparing with published literature showed that benthic microalgae maybe their plausible food source because of similarity in $\delta^{13}\text{C}$ values and $\delta^{15}\text{N}$ enrichment. Thus, isotopic compositions of those juvenile fishes differed greatly among species, indicating the evident food resource partitioning. Such resource partitioning may play an important role in reducing inter-specific competition on the estuarine mudflat.

Keywords: Juvenile fishes, Stable isotope, Food resource partitioning, Tidal mudflat

1. Introduction

Tidal mudflats in temperate estuaries function as nursery grounds for many coastal and euryhaline fishes, including several of commercial importance (KANOU *et al.*, 2000; MORRISON *et al.*, 2002). On a tidal mudflat in the Tama River estuary, central Japan, there exist the diverse communities of juvenile fishes, which may attain densities of up to 30 species and > 7000 individuals in a 100-m² area during

spring and early summer (April to June) (KANOU, 2003; KANOU *et al.*, 2007). Many of these fish species are very similar in patterns of microhabitat use (e.g., vertical distributions and intertidal movements) (KANOU *et al.*, 2004a, 2005a), implying that dietary niche segregation may play an important role in reducing inter-specific competition and maintaining high species diversity. Most recent study (KANOU *et al.*, 2004b) has found significant variation of stomach contents among these fishes, even in highly productive estuarine mudflats with plentiful food supply. However, the results of stomach contents analysis represent food consumed over a small time period and within a small area (KANOU *et al.*, 2005b). In addition, other disadvantages of stomach content analyses include difficulty of identification and uncertainty over whether all observed stomach contents, such as microalgae and cyanobacteria, are indigestible. One method that allows measurement of assimilated, and therefore nutritionally important,

¹⁾ Department of Global Agricultural Sciences, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113-8657, Japan.

²⁾ Japan Wildlife Research Center, Taito, Tokyo 110-8676, Japan.

³⁾ Present address: Center for Water Environment Studies, Ibaraki University, Itako-Ibaraki 311-2402, Japan.

⁴⁾ Keika Boys' Junior & Senior High School, Bunkyo, Tokyo 112-8612, Japan.

⁵⁾ School of Marine Biosciences, Kitasato University, Sanriku, Ofunato, Iwate, 022-0101, Japan.

materials is stable isotope analysis. The stable isotope ratios of carbon and nitrogen differ among autotrophs (FRY, 1984; BOON *et al.*, 1997; BOUILLON *et al.*, 2002). This ratio is taken on by consumers and reflected in their tissues at whatever trophic level they occur (PETERSON, 1999). Generally, carbon isotope ratio is useful in estimating the source of consumers' diets where enrichment caused by fractionation or metabolic effects is small or negligible, with reported enrichment of only 0–1 ‰ (e.g. DENIRO and EPSTEIN, 1978). For nitrogen isotope value, a higher enrichment by fractionation ranging from 2.6 ‰ (OWENS, 1987) to 3.4 ‰ (MINAGAWA and WADA, 1984) is usually assumed, and is used to estimate consumer trophic levels. These analyses also have the advantage of representing food consumed over a relatively long period of time. In this study, therefore, we use stable isotope analysis to attempt to determine which autotrophs provide nutrition to juvenile fishes occurring sympatrically on an estuarine mudflat.

2. Materials and Methods

Sampling was carried out on a tidal mudflat in the Tama River estuary (35° 32' N, 139° 46' E), located on the western shore of Tokyo Bay, central Japan. The estuary is subjected to semidiurnal tides with a tidal range of up to about 2 m. The tidal current from the bay flows along the estuary at flood tide, whereas the effect of freshwater inflows is significant at low tide. The sampling site was located on a tidal mudflat approximately 3 km from the river mouth. A map of the study site was given by KANOU *et al.* (2005a). Sediment of the surface layer in the subtidal zone consisted of about 20% silty clay and 80% sand. There was no rooted macrophyte vegetation in the site during the study period. Samples of Japanese seaperch *Lateolabrax japonicus* [$n=5$, 45–50 mm in standard length (SL)], yellowfin goby *Acanthogobius flavimanus* ($n=5$, 40–57 mm SL), and flathead mullet *Mugil cephalus cephalus* ($n=19$, 34–60 mm SL) were caught using cast nets on 14 May 2005. These fish species appear abundantly in shallow estuaries and mudflats at the end of pelagic stage (< 15 mm SL) in early spring (March), subsequently

growing within the habitat by late summer (September). Recent examinations of the stomach contents of these sympatric juveniles on the mudflat of Tama River estuary (KANOU *et al.*, 2004b) indicated that Japanese seaperch, yellowfin goby, and flathead mullet belong to crustacean/fish feeders [the main food item being small crustaceans (i.e., mysids, gammaridean amphipods, and cumaceans) and juvenile fishes], polychaete feeders (polychaetes with small crustaceans), and detritus feeders, respectively. All prey items, observed as stomach contents of these fishes by previous studies (KANOU *et al.*, 2004b, 2005b), were collected on the mudflat immediately after fish sampling. Planktonic prey animals, mainly including cladocerans, were collected using a 0.3 mm-mesh conical net (45 cm mouth diameter and 180 cm long). Benthic prey animals, such as cumaceans, gammaridean amphipods, mysids, shrimps and polychaetes, were collected with a cylindrical core sampler (11 cm diameter) that was used to extract a 300 cm³ volume (3.2 cm depth) of sediment in the subtidal zone. Epilithic macroalgae, deposit organic materials [detritus in KANOU *et al.* (2004b)], and sediments were collected by hand. During the sampling periods, the water was turbid, salinity ranged from 9.6 to 15.2 ‰ and surface water temperature from 19 to 24°C.

All samples were kept in a cool bag during transport to the field laboratory, and then washed with distilled water. The samples except fishes were immediately dried at 60 °C for at least 24 h. Muscle tissues of fishes were taken directly from the dorsal area, and they were also dried at 60 °C for at least 24 h. After drying, all samples (fish tissues and potential prey items) were ground to a fine powder and they were treated with chloroform:methanol (2:1) for 3 h and 0.1N HCl for 24 h to remove lipid and carbonates, and then re-dried. Such removal process was conducted to eliminate lipid and carbonate effects on muscle $\delta^{13}\text{C}$ measurements. Isotopic analyses were carried out on an isotope-ratio mass spectrometer (Thermo/Finnigan Delta plus XP), and expressed relative to conventional standards, i.e. PeeDee Belemnite for carbon, and atmospheric air for nitrogen, as ‰ values, defined as: δX

Table 1. Carbon and nitrogen stable isotope ratios (mean \pm SD) of the fishes and their potential food sources collected on 14 May 2005 from a tidal mudflat in the Tama River estuary. Cumaceans, shrimps and polychaetes samples were pooled for isotope analysis due to small amounts collected.

Samples	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	<i>n</i>
Fishes			
<i>Lateolabrax japonicus</i>	-16.6 ± 0.4	11.7 ± 1.6	5
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	-18.8 ± 0.9	11.4 ± 0.7	5
<i>Mugil cephalus cephalus</i>	-15.6 ± 2.5	9.0 ± 1.1	19
Food sources			
Cumaceans	-19.0	5.7	3 (pooled)
Gammaridean amphipods	-20.5 ± 1.7	5.5 ± 0.5	3
Mysids (5–9 mm in Body Length, BL)	-17.8 ± 0.6	7.5 ± 0.6	3
Mysids (10–15 mm BL)	-18.6 ± 0.3	7.5 ± 0.6	3
Shrimps	-18.3	10.6	3 (pooled)
Polychaetes (5–9 mm BL)	-20.3	10.2	3 (pooled)
Polychaetes (10–25 mm BL)	-21.5	8.2	3 (pooled)
Zooplankton	-22.6 ± 0.1	6.3 ± 0.1	3
Epilithic macroalgae	-19.7 ± 1.2	0.7 ± 1.8	3
Deposit organic materials	-27.2 ± 0.4	2.0 ± 0.5	3
Sediments	-25.0 ± 1.2	5.1 ± 0.8	3

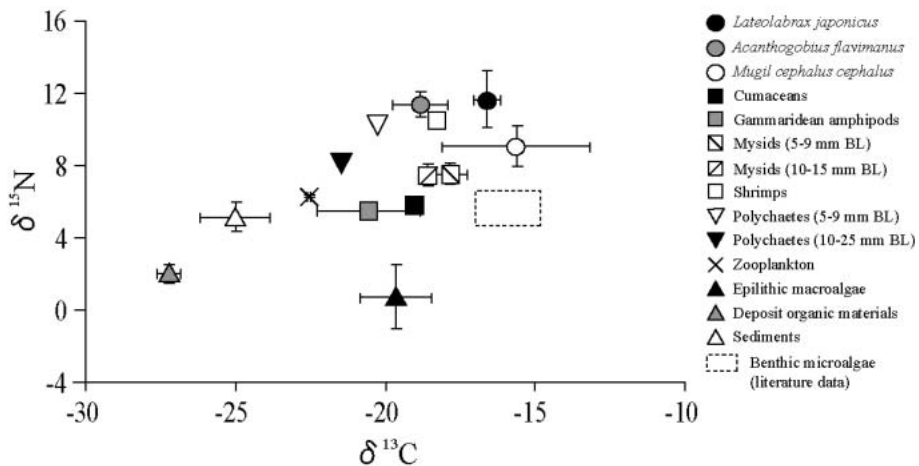


Fig. 1. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ plot of fishes and their food sources from a tidal mudflat in the Tama River estuary, central Japan. Broken line shows typical $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ range for benthic microalgae collected from similar intertidal mudflat (RIERA *et al.*, 1996; YOKOYAMA and ISHII, 2003; AL-ZAIDAN *et al.*, 2006). Error bars indicate standard deviations. See Table 1 for detailed values for samples.

$= (\text{R sample} - \text{R standard}) / \text{R standard} \times 10^3$ (‰), where X = ^{13}C or ^{15}N , and R = $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ or $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. Experimental precision (based on standard deviation of replicates of an alanine standard) was better than 0.15 ‰ for both $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$.

3. Results

The carbon and nitrogen stable isotope ratios of samples are summarized in Table 1. Isotopic compositions among three fish species showed

different values (Fig. 1). The mean $\delta^{13}\text{C}$ value from *L. japonicus* was similar to those of *M. cephalus cephalus* or benthic crustaceans (mysids or cumaceans), and its $\delta^{15}\text{N}$ value was enriched by about 3 ‰ by these two food items. *A. flavimanus* showed similar $\delta^{13}\text{C}$ value with polychaetes or benthic crustaceans (mysids, cumaceans or gammaridean amphipods), and with an enriched $\delta^{15}\text{N}$ value comparable with to these food resources. Isotopic compositions of flathead mullet were greatly different from

those of sediments or deposit organic materials.

4. Discussion

In our study, isotopic compositions of three fishes differed greatly among species (Fig.1), indicating their food preferences was different. Such dietary niche segregation may play an important role in reducing interspecific competition and maintaining high species diversity on tidal mudflat as nursery grounds.

Our isotopic data indicated that Japanese seaperch and yellowfin goby mainly fed on fish or benthic crustaceans and polychaetes or benthic crustaceans, respectively (Fig. 1). The results were consistent with previous reports (KANOU *et al.*, 2004b; KANOU *et al.*, 2005b) using stomach content analysis. However, isotopic result from flathead mullet was different. Stable isotope ratios of mullet were plotted far from sediments or deposit organic material values (Fig. 1), indicating their food source were not such materials. Their plausible food source would be benthic microalgae because they had similar $\delta^{13}\text{C}$ value to typical benthic microalgae which collected at similar intertidal mudflat ($\delta^{13}\text{C} = -14.7$ to -16.9 ‰; RIERA *et al.*, 1996; YOKOYAMA and ISHII, 2003; AL-ZAIDAN *et al.*, 2006), and had 2.4 – 4.4 ‰ enriched $\delta^{15}\text{N}$ value compared to microalgae ($\delta^{15}\text{N} = 4.6$ to 6.6 ‰; RIERA *et al.*, 1996; YOKOYAMA and ISHII, 2003). Indeed, LIN *et al.*, (2007) reported detritivorous fish including mugilidae (*Liza macrolepis*) assimilated benthic microalgae in tropical or subtropical region.

Detritus, such as deposit organic materials, is generally considered to be one of the most abundant food resources in tidal flat sediments, being utilized by most small invertebrates (e.g. copepods, ostracods, amphipods, annelids, and snails) that are in turn commonly consumed by tidal flat fishes (REISE, 1985). On the mudflat in Tokyo Bay, mugilids, blennids, clupeids, and cyprinids fed largely on detritus (KANOU *et al.*, 2004b). Despite the abundance of detritus, it is well known that the direct nutritional values of them are very low for fishes (e.g. PRINSLOW *et al.*, 1974; D' AVANZO and VALIELA, 1990; LARSON and SHANKS, 1996). Therefore, the specialist

feeders, such as flathead mullet in this study, might select higher quality detritus including microalgae by the taste buds on the gill arches (HOSSLER and MERCHANT, 1983; LARSON and SHANKS, 1996), while the generalist feeders possessing a bit of detritus might swallow it without selection when they fed on other foods. In any case, such feeding at a lower trophic level may play a role at rapidly transferring energy and materials up the food web.

Acknowledgements

The authors wish to thank JON P. ALTAMIRANO and two anonymous reviewers for critical comments on the manuscript. We would like to thank CARVALHO MATHEUS and TAKASHI YOSHIKAWA for technical support.

References

- AL-ZAIDAN, A. S. Y., H. KENNEDY, D. A. JONES and S. Y. AL-MOHANNA (2006): Role of microbial mats in Sulaibikhat Bay (Kuwait) mudflat food webs: evidence from $\delta^{13}\text{C}$ analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **308**, 27–36.
- BOON, P. I., F. L. BIRD and S. E. BUNN (1997): Diet of the intertidal callinassid shrimp *Biffarius arenosus* and *Trypea australiensis* (Decapoda: Thalassinidea) in Western Port (southern Australia), determined with multiple stable-isotope analyses. *Mar. Freshw. Res.*, **48**, 503–511.
- BOUILLON, S., N. KOEDAM, A. V. RAMAN and F. DEHAIRS (2002): Primary producers sustaining macro-invertebrate communities in intertidal mangrove forests. *Oecologia*, **130**, 441–448.
- DENIRO, M. J. and S. EPSTEIN (1978): Influence of diet on distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **42**, 495–506.
- D' AVANZO, C. and I. VALIELA (1990): Use of detrital foods and assimilation of nitrogen by coastal detritivores. *Estuaries*, **13**, 20–24.
- FRY, B. (1984): $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios and the trophic importance of algae in Florida *Syringodium filiforme* seagrass meadows. *Mar. Biol.*, **79**, 11–19.
- HOSSLER, F. E. and L. H. MERCHANT (1983): Morphology of taste buds on the gill arches of the mullet *Mugil cephalus*, and the killifish *Fundulus heteroclitus*. *Am. J. Anat.*, **166**, 299–312.
- KANOU, K. (2003): Ecology of larvae and juveniles of the oriental goby *Acanthogobius flavimanus* at the tidal flat area in Tokyo Bay, central Japan (in Japanese). PhD thesis, The University of Tokyo, 226 pp.
- KANOU, K., T. KOIKE and H. KOHNO (2000):

- Ichthyofauna of tidelands in the inner Tokyo Bay, and its diversity (in Japanese). *Japan. J. Ichthyol.*, **47**, 115–129.
- KANOU, K., M. SANO and H. KOHNO (2004a): A net design for estimating the vertical distribution of larval and juvenile fishes on a tidal mudflat. *Fish. Sci.*, **70**, 713–715.
- KANOU, K., M. SANO and H. KOHNO (2004b): Food habits of fishes on unvegetated tidal mudflats in Tokyo Bay, central Honshu, Japan. *Fish. Sci.*, **70**, 978–987.
- KANOU, K., M. SANO and H. KOHNO (2005a): Larval and juvenile fishes occurring with flood tides on an intertidal mudflat in the Tama River estuary, central Japan. *Ichthyol. Res.*, **52**, 158–164.
- KANOU, K., M. SANO and H. KOHNO (2005b): Ontogenetic diet shift, feeding rhythm and daily ration in juvenile goby, *Acanthogobius flavimanus*, on a tidal mudflat in the Tama River estuary, central Japan. *Ichthyol. Res.*, **52**, 319–324.
- KANOU, K., M. SANO and H. KOHNO (2007): Relationships between short-term variations in density of juvenile yellowfin goby *Acanthogobius flavimanus* and environmental variables on an estuarine mudflat. *Fish. Sci.*, **73**, 38–45.
- LARSON, E. T. and A. L. SHANKS (1996): Consumption of marine snow by two species of juvenile mullet and its contribution to their growth. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **130**, 19–28.
- LIN, H., W. KAO and Y. WANG (2007): Analysis of stomach contents and stable isotopes reveal food sources of estuarine detritivorous fish in tropical/subtropical Taiwan. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **73**, 527–537.
- MINAGAWA, M. and E. WADA (1984): Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **48**, 1135–1140.
- MORRISON, M. A., M. P. FRANCIS, B. W. HARTILL and D. M. PARKINSON (2002): Diurnal and tidal variation in the abundance of the fish fauna of temperate tidal mudflat. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **54**, 793–807.
- OWENS, N. J. P. (1987): Natural variations in ^{15}N in the marine environment. *Adv. Mar. Biol.*, **24**, 389–451.
- PETERSON, B. J. (1999): Stable isotopes as tracers of organic matter input and transfer in benthic food webs: a review. *Acta Oecol.*, **20**, 479–487.
- PRINSLOW, T. E., I. VALIELA and J. M. TEAL (1974): The effect of detritus and ration size on the growth of *Fundulus heteroclitus* (L.). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **16**, 1–10.
- REISE, K. (1985): Tidal flat ecology: an experimental approach. Springer-Verlag, Heidelberg. 191 pp.
- RIERA, P., P. RICHARD, A. GREMARE and G. BLANCHARD (1996): Food source of intertidal nematodes in the Bay of Marennes-Oléron (France), as determined by dual stable isotope analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **142**, 303–309.
- YOKOYAMA, H. and Y. ISHII (2003): Feeding of the bivalve *Theora lubrica* on benthic microalgae: isotope evidence. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **255**, 303–309.

Received March 4, 2008

Accepted June 12, 2008

Elemental composition of suspended particulate matter in Bangpakong River Estuary, Thailand

Nattapong LOASSACHAN¹⁾, Shettapong MEKSUMPUN²⁾,
Kazuhiko ICHIMI³⁾ and Kuninao TADA^{1)*}

Abstract: The elemental composition of various suspended matters in a large river estuary was investigated. Chlorophyll *a* (Chl *a*) concentration, particulate organic carbon (POC), particulate organic nitrogen (PON) and particulate phosphorus (PP) were determined in the Bangpakong River Estuary, Thailand, in November 2002 and November 2004. The latter observation included the upstream sites (salinity varied from 0–27). Moreover, the particulate phosphorus was determined by dividing into particulate organic phosphorus (POP) and particulate inorganic phosphorus (PIP). Good correlations between Chl *a* and POC, PON, PP (or POP) were observed. The average stoichiometric ratio of suspended matter (organic C : N : P) calculated from each slope of linear regression was consistent with the Redfield ratio. It showed that the major composition of organic particulate matter in the estuary predominantly originated from the phytoplankton—derived material. However, the PIP contribution to total PP (11–48%) in the estuary can not be ignored. Additionally, PIP contributions in the mixing zone between fresh and saline waters were particularly high (up to 75%). PIP decreased gradually toward the offshore likely, because inorganic phosphorus was released from suspended matter and PIP was also diluted with an increase of salinity.

Keywords: estuary, suspended matter, Bangpakong River, biophilic element, phosphorous

1. Introduction

In estuaries, phytoplankton production is very high due to sufficient nutrient supply from riverine run off. Also, the biogeochemical processes are active in the estuarine environment due to the dramatic change in salinity and high phytoplankton production. On the other hand, suspended matter, contains many kinds of allochthonous materials, including nutrients, organic materials and heavy metals, is transported from river to marine environments autochthonous materials are also produced

within ecosystem (TURNER and MILLWARD, 2002). Therefore, the estuaries play an important role in material exchanges and biogeochemical processes between the land and marine environments. Suspended matter is studied widely in estuarine environments in order to characterize and better understand the nutrients and organic materials supplied in the form of suspended matter from riverine input which can greatly influence coastal environments. Previous studies reported that the changes of salinity are able to regulate the adsorption and desorption of nutrients, especially phosphorus (FANG, 2000; SUZUMURA *et al.*, 2000).

Unlike carbon and nitrogen, the chemical nature and forms phosphorus has been poorly characterized in aquatic biogeochemical processes thus far, but recent studies have demonstrated that phosphorus plays a great role in limiting global primary productivity (SUZUMURA and INGALL, 2004 and references therein). Hence, it is necessary to better

¹⁾ Department of Applied Biological Science, Faculty of Agriculture, Kagawa University, Miki, Kagawa 761-0795, Japan

²⁾ Department of Marine Science, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

³⁾ Marine Environment Research Station, Kagawa University, Aji, Takamatsu City, Kagawa 761-0130, Japan

*Corresponding author. E-mail : toda@ag.kagawa-u.ac.jp

understand the characterization and behavior of phosphorus in aquatic environments.

In the present study, the biophilic elemental constituents (C, N and P) of suspended matter as well as Chlorophyll *a* (Chl *a*) were investigated in a large river, the Bangpakong River Estuary, Thailand in order to more understand about the behavior and characteristic of suspended matter in estuarine area. Moreover, we showed that the contribution of particulate inorganic phosphorus to total particulate phosphorus can not be ignored as well as the abundance and distribution of chemical fractions of phosphorus contained in suspended matter was also quantified along the Bangpakong River to the estuary.

2. Materials and Methods

2.1 Study area

The Bangpakong River is one of the most important large rivers that discharging fresh water into the head of the Gulf of Thailand and is considered to be an important source of inorganic nutrients and organic materials loaded into the eastern part of the upper Gulf of Thailand. Additionally, the Bangpakong River Estuary is a eutrophic embayment where phytoplankton bloom often occurs in the surrounding area (BURANAPRATHEPRAT *et al.*, 2002). The watershed covers 18,500 km², and the river runs from the conjunction of two smaller rivers, the Ha-nu-man and the Pra-prong, 220 km upstream of the river mouth. The Bangpakong River is strongly influenced by the wet Southeast monsoon from late May to October-mid November and the dry North-east monsoon, during the late November/February period, thus generating two well-marked seasons. Usually, the wet season lasts from June to November and the dry season from December to May. Air temperatures ranged from 23.8°C to 32.6°C, with a yearly average of 27.9°C. Annual rainfall averaged 1315mm for the period 1961–1991, and the number of rainy days covered one third of the year. Usually September has the maximum rainfall. About 96% of the annual river discharge occurs during the wet season (BORDDALO *et al.*, 2001). Recalculating the data from BOONPHAKDEE *et al.* (1999) for the period 1993–1996, the total annual

freshwater discharge into the inner Gulf of Thailand averaged 8.44km³ (512m³s⁻¹ during the wet season and 21m³s⁻¹ during the dry season). In the estuarine area, the tidal current plays an important role in transporting particles out of the estuary in a short time, and the seasonal variation in residence time depends on the variation of wind-driven circulation (BURANAPRATHEPRAT and YANAGI, 2003). Recently, the Bangpakong River Estuary is eutrophicated and the red tide (e.g., *Ceratium furca*) has often occurred. According to the large supply of inorganic nutrients from riverine input, dissolved inorganic nitrogen (DIN), phosphate and silicic acid concentration up to 75.5, 4.85 and 66.0 μM were observed in Bangpakong Estuary (MEKSUMPUN S., Kasetsart Univ., personal communication)

2.2 Sampling strategies

This study was conducted in 2 observation cruises (November 2002 and November 2004) in the Bangpakong River Estuary, including upstream of the river in the latter observation. Surface water samples were collected from sampling stations (Fig. 1) using a clean bucket and stored in plastic bags in dark and cool conditions until further filtration in the laboratory. Additionally, salinity of surface water was measured onboard using a CTD (YSI 6600).

2.3 Filtration and chemical analysis

Particulate matter measured in this study included Chlorophyll *a* (Chl *a*), particulate organic carbon (POC), particulate organic nitrogen (PON), particulate phosphorus (PP) and particulate inorganic phosphorus (PIP). PIP was not measured on the samples collected in November 2002. For Chl *a* sample, water sample was filtered through glass fiber filters (Whatman GF/F), and then Chl *a* was extracted from the filter with 90% acetone in glass tube, placed in dark at 4°C for 24 hours and determined following the spectrophotometric method of LORENZEN (1967), as detailed in PARSONS *et al.* (1984). To determine POC and PON, water sample was filtered through a pre-combusted Whatman GF/F (450°C, 2 hours) and rinsed with deionized water after filtration to remove the salt, and then the filtered sample was measured

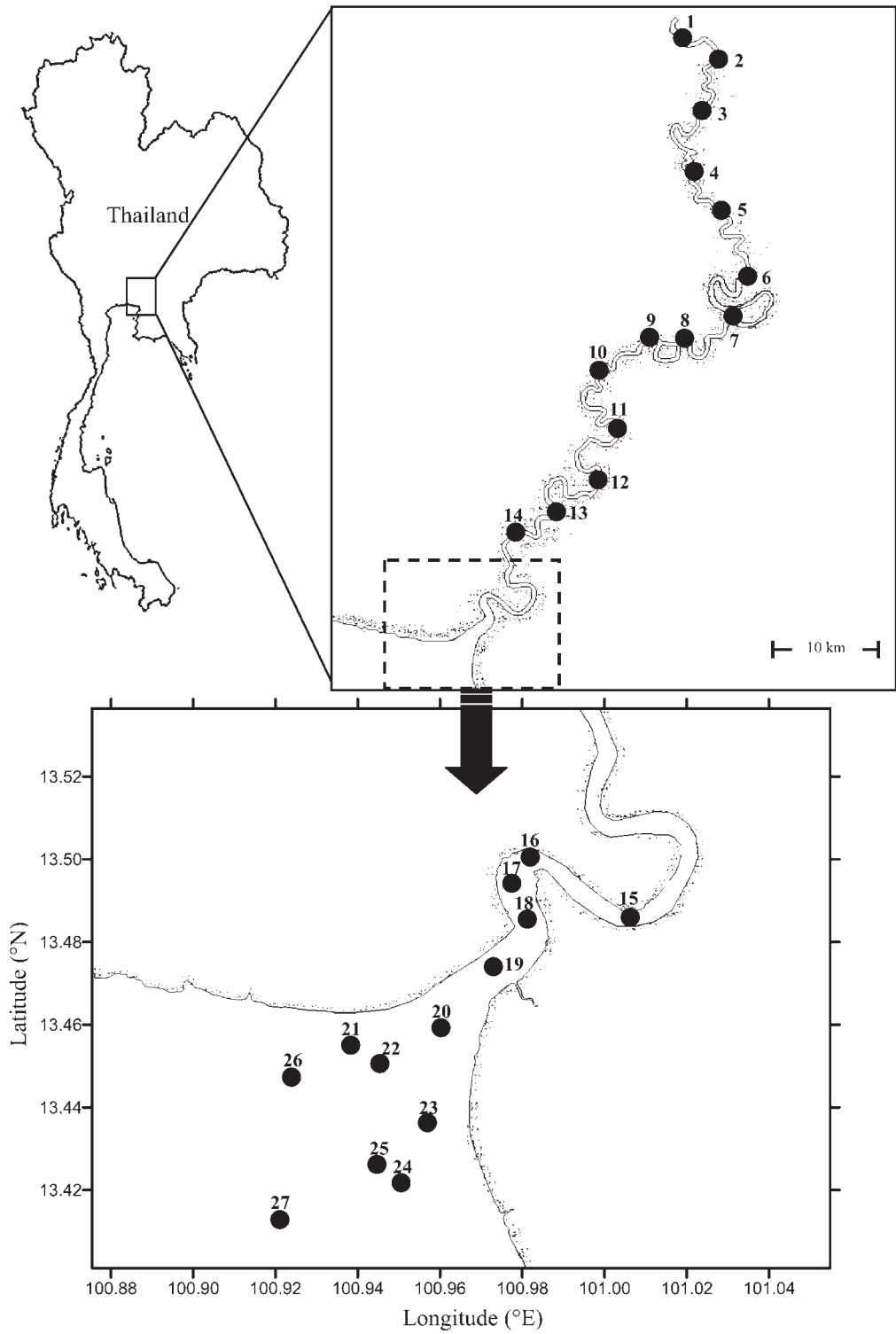


Fig. 1. Location of sampling stations in Bangpakong River and estuary.

Table 1. Salinity and concentrations of particulate biophilic elements in surface water sample from Bangpakong River Estuary (ND = no data) .

Station No.	2002					2004						
	Salinity	Chl <i>a</i> ($\mu\text{g l}^{-1}$)	POC ($\mu\text{mol-C l}^{-1}$)	PON ($\mu\text{mol-N l}^{-1}$)	PP ($\mu\text{mol-P l}^{-1}$)	Salinity	Chl <i>a</i> ($\mu\text{g l}^{-1}$)	POC ($\mu\text{mol-C l}^{-1}$)	PON ($\mu\text{mol-N l}^{-1}$)	PP ($\mu\text{mol-P l}^{-1}$)	PIP ($\mu\text{mol-P l}^{-1}$)	POP ($\mu\text{mol-P l}^{-1}$)
15	5.3	2.4	131	14.6	1.55	30.5	2.5	105	13.7	0.43	0.04	0.38
16	3.2	6.7	149	18.1	1.52	30.9	3.6	51	7.5	0.57	0.22	0.35
17	3.4	2.7	143	22.6	1.88	30.9	4.3	62	8.4	0.70	0.26	0.44
18	17.2	17.1	202	30.7	ND	31.0	5.3	92	11.9	0.84	0.16	0.68
19	13.8	40.1	415	61.9	7.33	31.6	11.3	71	7.8	1.91	0.84	1.07
20	29.1	7.5	130	17.4	1.13	31.8	8.0	85	10.8	0.81	0.36	0.45
21	24.1	8.3	194	28.6	ND	31.7	40.1	159	22.3	1.90	0.70	1.19
22	16.6	28.0	279	42.0	4.05	31.8	20.0	119	17.2	1.22	0.52	0.70
23	23.3	28.0	ND	ND	ND	32.1	8.0	67	7.0	0.48	0.14	0.35
24	18.8	17.8	122	15.7	1.38	32.0	2.7	57	6.4	0.43	0.19	0.24
25	22.1	10.7	235	22.1	ND	32.0	4.0	44	4.9	0.35	0.14	0.21
26	23.6	2.0	ND	ND	ND	32.0	10.8	88	10.3	0.76	0.32	0.44
27	28.8	2.1	ND	ND	ND	32.0	2.7	58	6.0	0.40	0.17	0.24

with a CHN corder (MT-5, Yanaco, Japan) after acidification with the fumes of concentrated HCl to remove carbonates. Prior to filtration of PP and PIP, a pre-combusted Whatman GF/F (450°C, 2 hours) was sequentially washed with 1M HCl and deionized water and rinsed thoroughly with 0.17 M Na_2SO_4 after filtration (SUZUMURA *et al.*, 2004). PP and PIP were determined based on the protocol of ASPILA *et al.* (1976) as detailed in SUZUMURA *et al.* (2004). Briefly, PIP filtered samples were extracted with 1M HCl as ortho-P at room temperature for 12 hours, while PP filtered sample was combusted at 470°C in a muffle furnace for 2 hours, kept until they cooled down and were also extracted with 1M HCl, under the same condition as was used for the PIP samples. Aliquots of the supernatant were allowed to determine the ortho-phosphate concentration using the acid molybdate-ascorbic method (PARSONS *et al.*, 1984). Particulate organic phosphorus (POP) was calculated from subtraction of PIP from PP.

3. Results and Discussion

3.1 Distribution and composition of suspended matter in estuary

The results of chemical constituents of suspended matter and salinity in the Bangpakong Estuary are given in Table 1. In 2002 observation, salinity generally increased from the riverine sites to the estuarine sites (salinity 3–

29) (Table 1). The Chl *a* concentration varied from 2.03 to 40.1 $\mu\text{g Chl } a \text{ l}^{-1}$ with the highest concentration found near the river mouth. As given in the same table, POC and PON ranged from 122 to 415 $\mu\text{mol-C l}^{-1}$ and 15 to 62 $\mu\text{mol-N l}^{-1}$, respectively. PP varied between 1.13 and 7.33 $\mu\text{mol-P l}^{-1}$. In Fig. 2, it is apparent that the concentrations of chemical constituents containing of suspended matter showed the highest concentration around the river mouth. Moreover, the distribution of organic particulate matter showed a similar trend to the distribution of the Chl *a* concentration which also increased gradually from inland river area and peaked at the river mouth. Hence, the increase of organic particulate matter in the Bangpakong River Estuary associated with the increasing relative phytoplankton biomass. Additionally, good linear correlations were observed between Chl *a* and POC, PON and PP in surface seawater (Fig. 4). In 2004 observation, the high concentration of Chl *a* was also observed near the river mouth (40.1 $\mu\text{g Chl } a \text{ l}^{-1}$). POC and PON varied from 44.3 to 159 $\mu\text{mol-C l}^{-1}$ and 4.89 to 22.3 $\mu\text{mol-N l}^{-1}$, respectively. PP and POP ranged from 0.35 to 1.90 $\mu\text{mol-P l}^{-1}$ and 2.27 to 1.19 $\mu\text{mol-P l}^{-1}$, while PIP ranged between 0.14 and 0.70 $\mu\text{mol-P l}^{-1}$. The percentage of PIP contributing to PP was between 11% and 48% with an average of 36%. The same as the results of the 2002 observation, the distribution of organic particulate matter

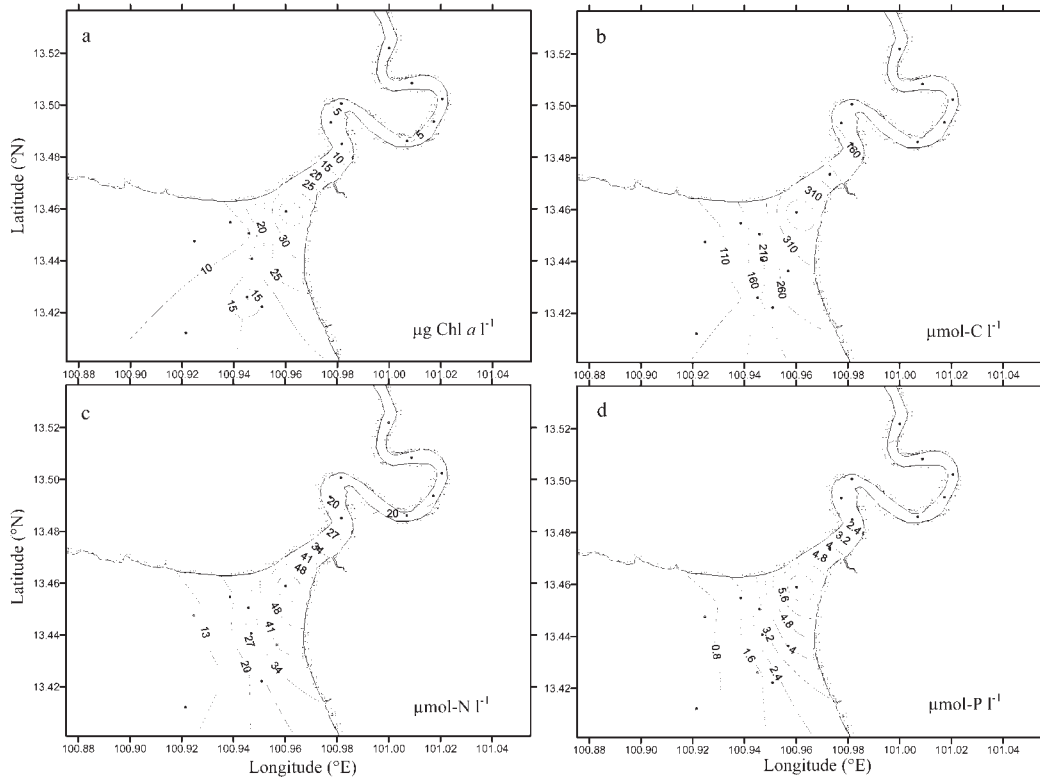


Fig. 2. Distribution of Chl *a* (a), POC (b), PON (c) and PP (d) in Bangpakong River Estuary (2002 observation).

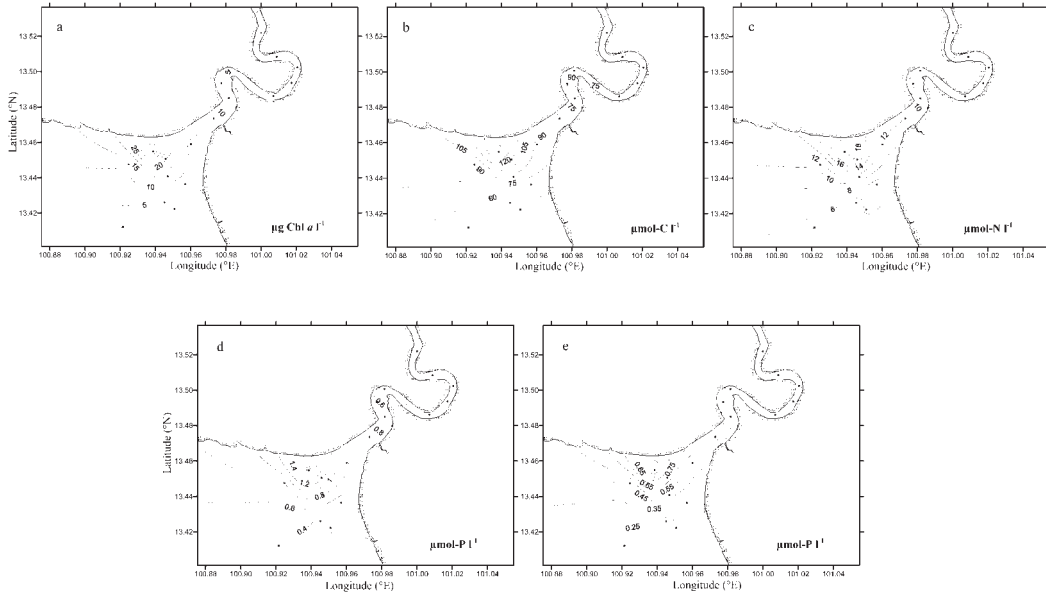


Fig. 3. Distribution of Chl *a* (a), POC (b), PON (c), PP (d) and POP (e) in Bangpakong River Estuary (2004 observation).

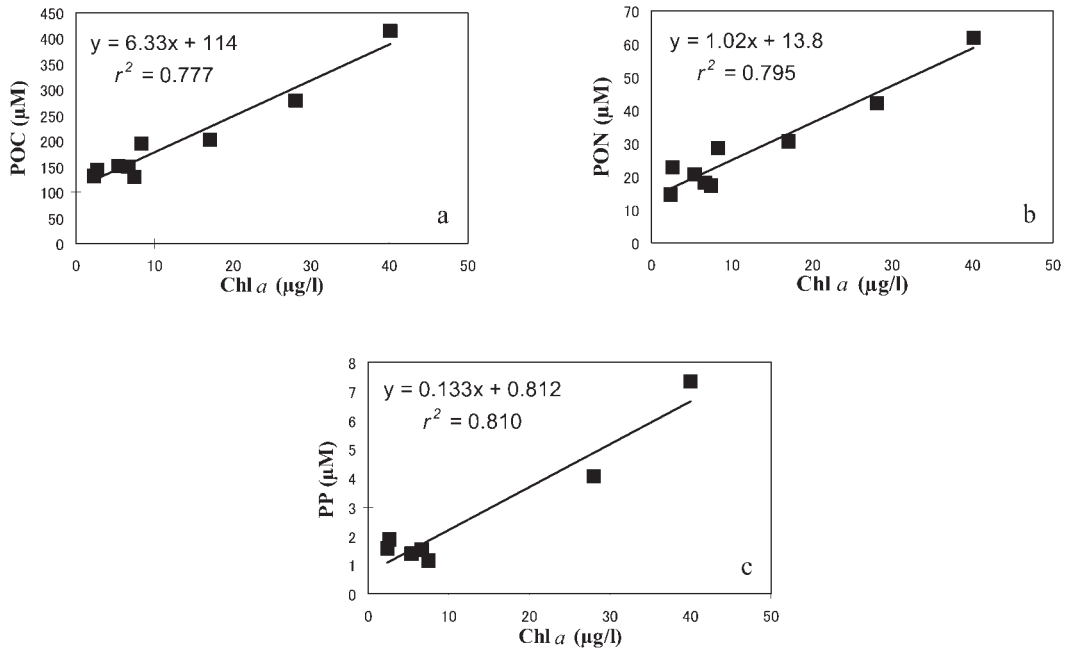


Fig. 4. Linear correlations between Chl *a* and POC (a), PON (b) and PP (c) ($P < 0.05$) in 2002 observation.

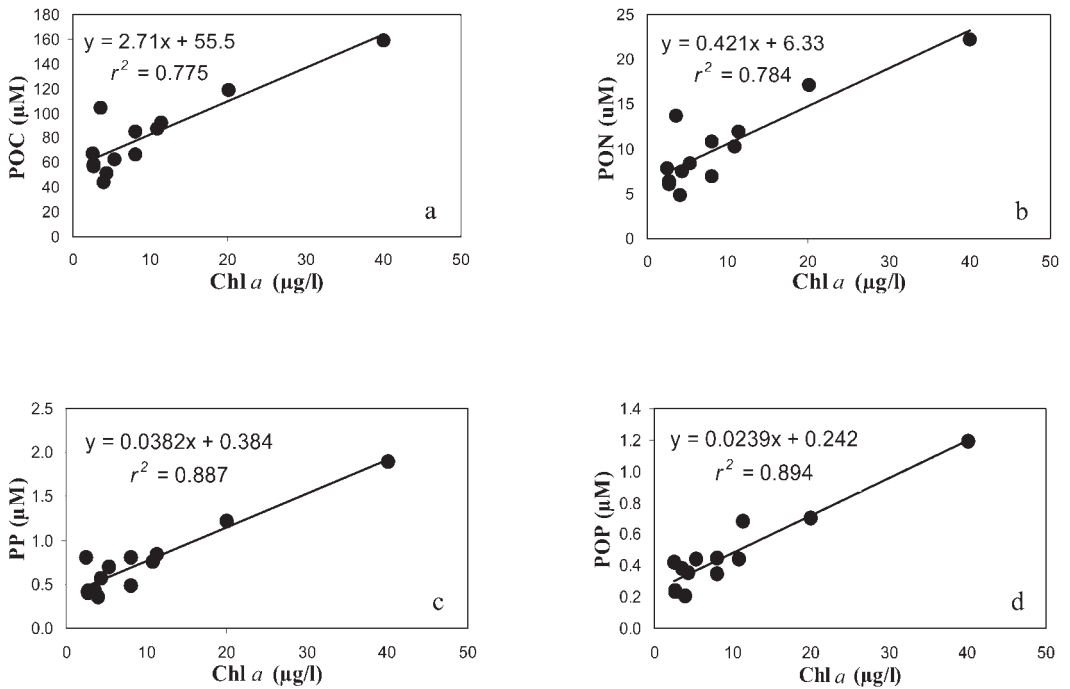


Fig. 5. Linear correlations between Chl *a* and POC (a), PON (b), PP (c) and POP (d) ($P < 0.05$) in 2004 observation.

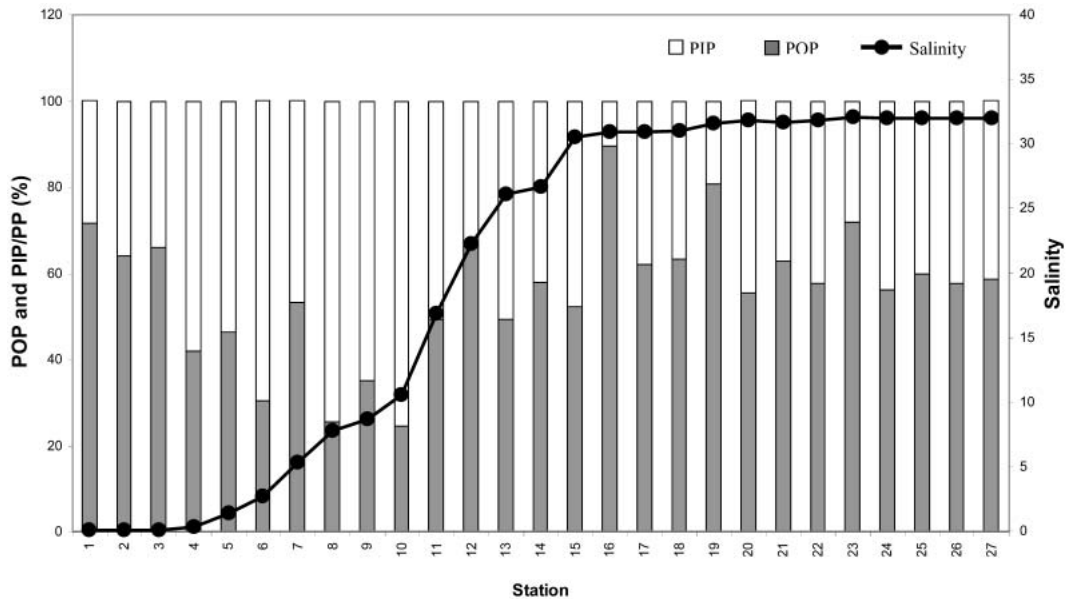


Fig. 6. Distribution of relative abundance of PIP and POP as percentage of PP plotted with salinity along Bangpakong River.

synchronized with the distribution of Chl *a*; they obviously increased around the river mouth (Fig. 3). The Chl *a* increase around the river mouth was probably due to the large supply of inorganic nutrients from riverine runoff and resulted in an increase of phytoplankton biomass at the mouth. Good linear correlations between Chl *a* and particulate biophilic elements were also noted in the 2004 observation (Fig. 5). These results strongly suggested that the particulate organic matter in the Bangpakong River predominantly originated from phytoplankton-derived materials.

Generally, the C : N : P molar ratio is commonly used to indicate chemical constituents in phytoplankton cells and also to provide a better understanding of the importance of suspended matter as a food source for suspension feeders (TANAKA *et al.*, 1998). In the present study, the stoichiometric ratio of organic suspended matter was calculated using the slope value of the linear regression of Chl *a* and POC, PON and PP, respectively. We can assume that the slope in these graphs shows the phytoplankton-derived organic matter, and that parts vary depending on the Chl *a* concentration. On the other hand, we can assume that the y-intercept

value shows the detritus-derived organic matter and that parts do not vary depending on the change in Chl *a* concentration. The calculated C : N : P molar ratio of 106 : 17 : 2.2 obtained from 2002 observation was quite similar to the average C : N : P molar ratio in living phytoplankton cells of 106 : 16 : 1 (REDFIELD *et al.*, 1963). Nevertheless, the phosphorous content was 2-fold higher than the Redfield ratio. There are two possible explanations for this result. One is that PIP in the suspended matter can not be ignored and another is that phytoplankton accumulates phosphorus in their cells.

As described above, the phosphorus content in suspended matter was determined separately into PP and PIP, and POP was calculated as the difference between PP and PIP in the 2004 observation. The elemental C : N : P ratio of 106 : 17 : 0.9 was obtained when POP was employed to assume the stoichiometric ratio of phytoplankton-derived organic matter, while the C : N : P molar ratio of 106 : 17 : 1.5 was achieved when using PP fraction. This means that the phosphorus content in suspended matter was 1.5 times higher than the Redfield ratio that corresponded well with that we found in

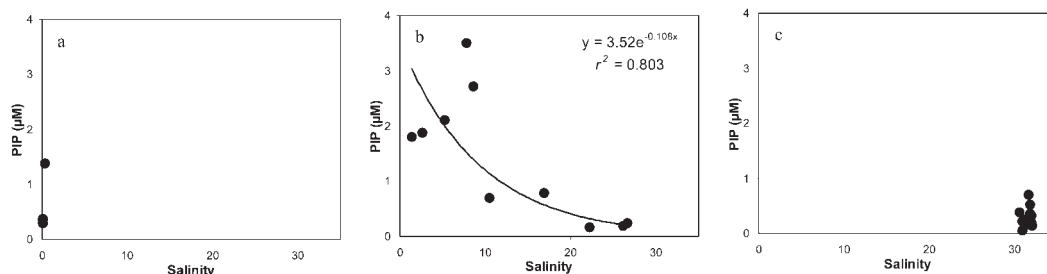


Fig. 7. Relationships between salinity and PIP concentration in different zonation ; fresh water (a), mixing water (b) and saline water (c) ($P < 0.05$).

our 2002 observation. The results clearly confirmed that the PIP in suspended particles in surface water can not be ignored in the Bangpakong River Estuary.

3.2 Characterizations of chemical fractionation of phosphorus suspended matter in Bangpakong River

PIP has contributed significantly to the PP pool and can be released into ambient water as soluble ortho-P (LEBO, 1991; SUZUMURA *et al.*, 2004; YOSHIMURA *et al.*, 2007). In this study, the distribution and characteristics of chemical fractions of phosphorus were also investigated along the Bangpakong River. The distribution of the reactive abundance of POP and PP as a percentage of PP along the river and plot against salinity are given in Fig.6. The Bangpakong River was zoned into three sections, namely freshwater (salinity 0–0.5), mixing water (salinity 0.5–30) and saline water (salinity >30) by salinity. Generally, the contribution of the PIP fraction was less than that of POP in freshwater with average PIP accounting for 39% of PP. In mixing water, PIP increased gradually and was generally higher than the POP fraction, accounting for 33% to 75% of PP with an average of 56%. Arguably, the contribution of PIP to PP was mostly lower than POP in saline water, for PIP contributed from 11% to 48% to PP. The result suggested that PIP fractions were produced and have contributed significantly to PP in mixing water and maintained a low contribution in saline water. These results also corresponded well with PIP fraction abundance in the Arakawa River, Tokyo Bay. SUZUMURA *et al.* (2004) reported that the relative abundance of PIP as a percentage of PP varied from 12% to 86% in

the Arakawa River, the PIP concentration was gradually decreased with increasing salinity, and an 11% to 75% variation was observed in this study (Bangpakong River). Fig. 7 clearly shows the significant correlation between the PIP fraction and salinity ($r^2 = 0.802$, $P < 0.05$) in mixing water. PIP fraction decreased not linearly but exponentially. If PIP fraction is diluted by saline water which contains a low PIP content, PIP fraction should decrease linearly with the increasing salinity. Our result indicates that PIP fraction in mixing water was released from suspended matter into ambient water with an increase of salinity, and PIP was also diluted with saline water with a low PIP content. A few earlier studies including field observations and laboratory experiments have demonstrated that PIP fractions was released from suspended matter as ortho-P into ambient water with increasing salinity (LEBO, 1991; SUZUMURA *et al.*, 2004). The results of the present study corresponded closely with those previous studies, investigating PIP behaviors in coastal environments.

4. Conclusion

In this study, the suspended matter in surface water was characterized in estuarine environment, and the distribution and characteristic of chemical fractions of phosphorus was also investigated along the Bangpakong River. We conclude that (1) the suspended matter in the Bangpakong River Estuary primarily originated from phytoplankton-derived matter; (2) PIP fraction can not be ignored in estuarine water; and (3) PIP has contributed largely to PP in mixing water (salinity 0.5–30), and was released

from suspended matter and also diluted with an increase of salinity.

Acknowledgements

We would like to thank all members of Dr. Shettapong MEKSUMPUN's Laboratory, Kasetsart University for their generous assistance during the field observations. We also thank Dr. Sarawut SRITHONGUTHAI and Ms. Sayaka WADA for their assistance and support during this study. We gratefully acknowledge to two anonymous reviewers for their helpful comments and suggestions on the manuscript. This study was supported by Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) Core University Program. Finally, we are indebted to Professor Yasuwo FUKUYO, Asian Natural Environmental Science Center, the University of Tokyo for giving us the opportunity to conduct this study.

References

- ASPILA, K. I., H. AGEMIAN and A. S. Y. CHAU (1976) : A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. *Analyst*, **101**, 187-197.
- BOONPHAKDEE, T., P. SAWANGWONG and T. FUJIWARA (1999) : Freshwater discharge of Bangpakong River flowing into the inner Gulf of Thailand. *La mer*, **37**, 103-109.
- BORDALO, A. A., W. NILSUMRANCHIT and K. CHALERMWAT (2001) : Water quality and uses of the Bangpakong River (Eastern Thailand). *Wat. Res.*, **35**, 3635-3642.
- BURANAPRATHEPRAT, A. and T. YANAGI (2003) : Seasonal variations in circulation and average residence time of the Bangpakong Estuary, Thailand. *La mer*, **41**, 199-213.
- BURANAPRATHEPRAT, A., T. YANAGI, T. BOONPHAKDEE, and P. SAWANGWONG (2002) : Seasonal variations in inorganic nutrient budgets of the Bangpakong Estuary, Thailand. *J. Oceanogr.*, **58**, 557-564.
- FANG, T. H. (2000) : Partitioning and behaviors of different forms of phosphorus in the Tanshui Estuary and one of its Tributaries, Northern Taiwan. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **50**, 689-701.
- LEBO, M. E. (1991) : Particle-bound phosphorus along an urbanized coastal plain estuary, *Marine Chemistry*, **34**, 225-246.
- LORENZEN, C. J. (1967) : Determination of Chlorophyll and pheopigments : spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, **12**, 343-346.
- PARSONS, T. R., Y. MAITA and C. M. LALLI (1984) : A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.
- REDFIELD, A. C., B. H. KETCHUM and F. A. RICHARDS (1963) : The influence of organisms on the composition of seawater. *In The Sea*, Vol. 2, Hill, M.N. (ed.), Inter Science, New York, 26-77.
- SUZUMURA, M. and E. D. INGALL (2004) : Distribution and dynamics of various forms of phosphorus in seawater : insights from field observations in the Pacific Ocean and a laboratory experiment. *Deep-Sea Res.*, **51**, 1113-1130.
- SUZUMURA, M., S. UEDA and E. SUMI (2000) : Control of phosphate concentration through adsorption and desorption processes in groundwater and seawater mixing at sandy beaches in Tokyo Bay, Japan. *J. Oceanogr.*, **56**, 667-673.
- SUZUMURA, M., H. KOKUBUN and N. ARATA (2004) : Distribution and characteristics of suspended particulate matter in a heavily eutrophic estuary, Tokyo Bay, Japan. *Mar. Pollut. Bull.*, **49**, 496-503.
- TANAKA, K., K. SUGAHARA, Y. OHWAKI and P. CHOO (1998) : C, N, P composition of suspended matter in Matang Mangrove Estuary, Malaysia. *JARQ*, **32**, 153-158.
- TURNER, A. and G. E. MILLWARD (2002) : Suspended particles : their role in estuarine biogeochemical cycles. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **55**, 857-883.
- YOSHIMURA, T., J. NISHIOKA, H. SAITO, S. TAKEDA, A. TSUDA and M. L. WELLS (2007) : Distributions of particulate and dissolved organic and inorganic phosphorus in North Pacific surface waters. *Mar. Chem.*, **103**, 112-121.

Received May 9, 2008
Accepted July 23, 2008

Dinophysis (Dinophyceae) in the pelagic waters of central and western Pacific

Nguyen Van NGUYEN^{1,3)}, Takuo OMURA²⁾, Ken FURUYA¹⁾
and Yasuwo FUKUYO²⁾

Abstract: *Dinophysis* species were observed in the pelagic waters of central and western Pacific. A total of 33 species, including many rare species that have been seldomly seen before, were recorded. Two species, *D. acutissima* and *D. balechii*, were confirmed for the occurrence for the first time since their first descriptions. Compared to the original descriptions, specimens found in the region usually showed some levels of morphological variations. *D. doryphorum*, *D. hastata*, *D. parvula* and *D. schuettii* each comprised more than one morphotypes, the conspecificity of which is uncertain. These uncertainties call for further studies on both morphology and genetics of the genus.

Keywords: *Dinophysis*, morphology, morphotype, western and central Pacific

1. Introduction

EHRENBERG described the genus *Dinophysis* in 1839 with *D. acutata* as the type species. It was the only genus of dinophysoids until 1883, when STEIN introduced several other genera, including the morphologically closely related genus *Phalacroma*. The basic criteria for separation of *Dinophysis* and *Phalacroma* are the height of epitheca and the inclination of the cingular list. Species with low epitheca (which is not detectable above the cingular list) and anteriorly-inclined cingular list are classified as *Dinophysis*, while those with detectable epitheca and horizontal cingular list are classified as *Phalacroma*. However, since there are many intermediate species, the delineation be-

tween the two genera is not clear and the generic assignments by taxonomists were, as KOFOID and SKOGSBERG (1928) stated, "arbitrary". Considering the problem, ABÉ (1967) and BALECH (1967) independently proposed to merge genus *Phalacroma* to *Dinophysis*. Thereafter, although there are still sporadically taxonomists such as STEIDINGER (1997) and HALLEGRAEFF (2002) keeping the two genera separated, this merging is generally accepted by taxonomists (PARKE and DIXON, 1968; LARSEN and MOESTRUP, 1992; TAYLOR *et al.* 2003 e.g.).

So far, more than 200 species of *Dinophysis* were reported world wide (SOURNIA, 1968). *Dinophysis* are well documented in many parts of the world such as the Atlantic (STEIN, 1883; MURRAY and WHITTING, 1899; SCHÜTT 1895, JØRGENSEN, 1923 and NORRIS and BERNER, 1970), the Indian Ocean (TAYLOR, 1976). In the Pacific region, however, studies on this genus are limited to the eastern waters (KOFOID and SKOGSBERG 1928) and the neritic western waters (OKAMURA 1907, 1912; BÖHM, 1936; WOOD 1954; ABÉ, 1967). The pelagic waters of central and western Pacific remain poorly understood.

This study tries to grasp the *Dinophysis* species composition in these poorly known areas.

¹⁾ Graduate School of Agricultural and Life Science, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

²⁾ Asian Natural Environmental Science Center, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

³⁾ Research Institute for Marine Fisheries, 170 Le Lai str., Hai Phong city, Vietnam

Corresponding author :

NGUYEN VAN NGUYEN, Asian Natural Environmental Science Center, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

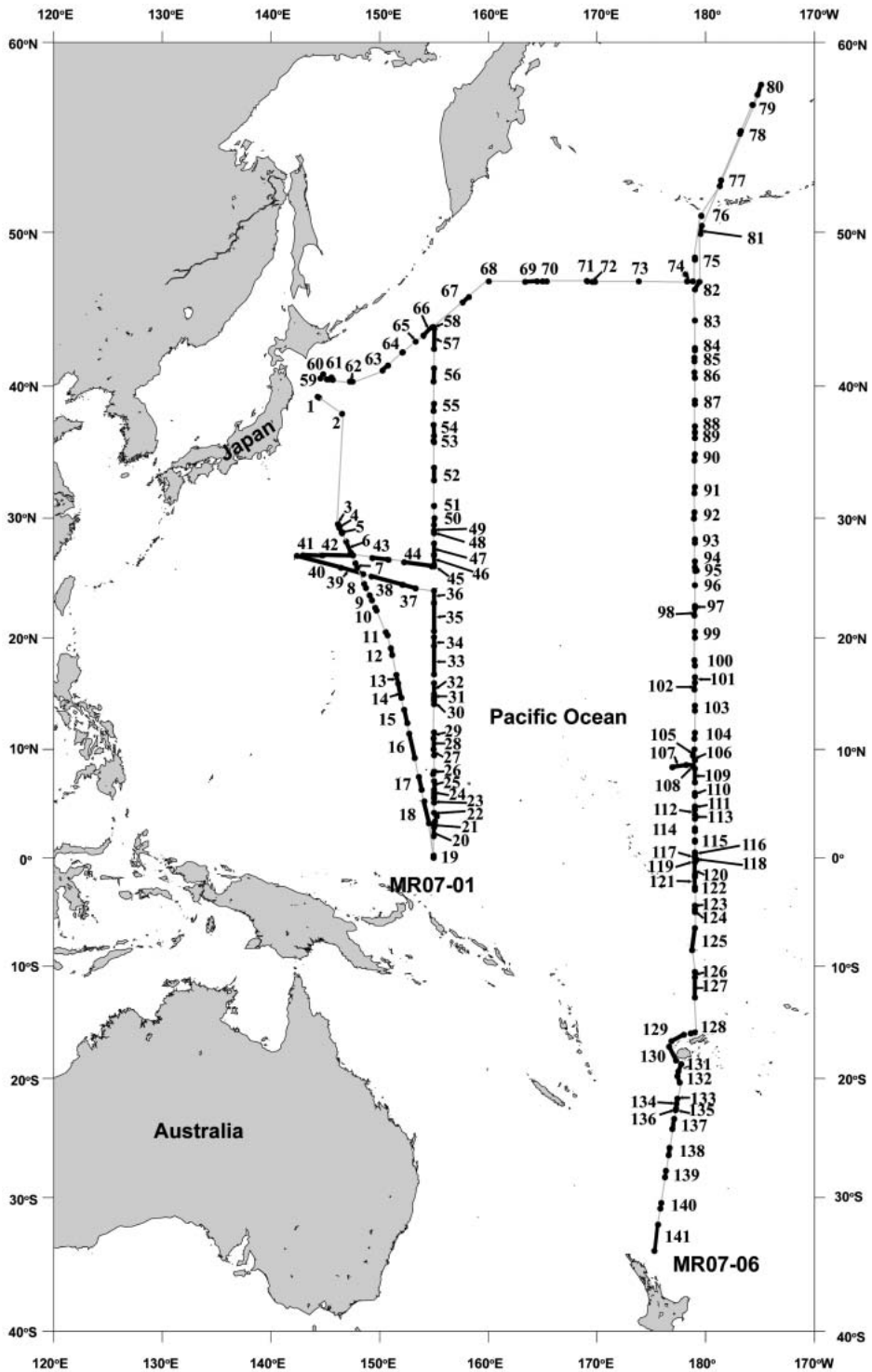


Fig. 1. Map showing the sampling stations during MR07-01 and MR07-06 cruises to the central and western Pacific Ocean. Numbers indicate station numbers.

2. Materials and methods

The study was based on materials collected during two cruises of R/V MIRAI, MR07-01 and MR07-06, in the Pacific Ocean (Fig. 1) during 16th February – 26th March 2007 and 8th October – 26th December 2007, respectively. Plankton samples (totally 141 samples) were collected by filtering the seawater, which was continuously pumped from the ship bottom (at depth of about 4.5 m) during cruising, through a plankton net with a mesh size of 20 μ m. Live cells of *Dinophysis* were microscopically isolated using a capillary pipette before transferred to a chamber made of a vinyl frame and glass slide (following Horiguchi *et al.* 2000) and covered with a coverslip for detailed observation. Morphological characteristics were ob-

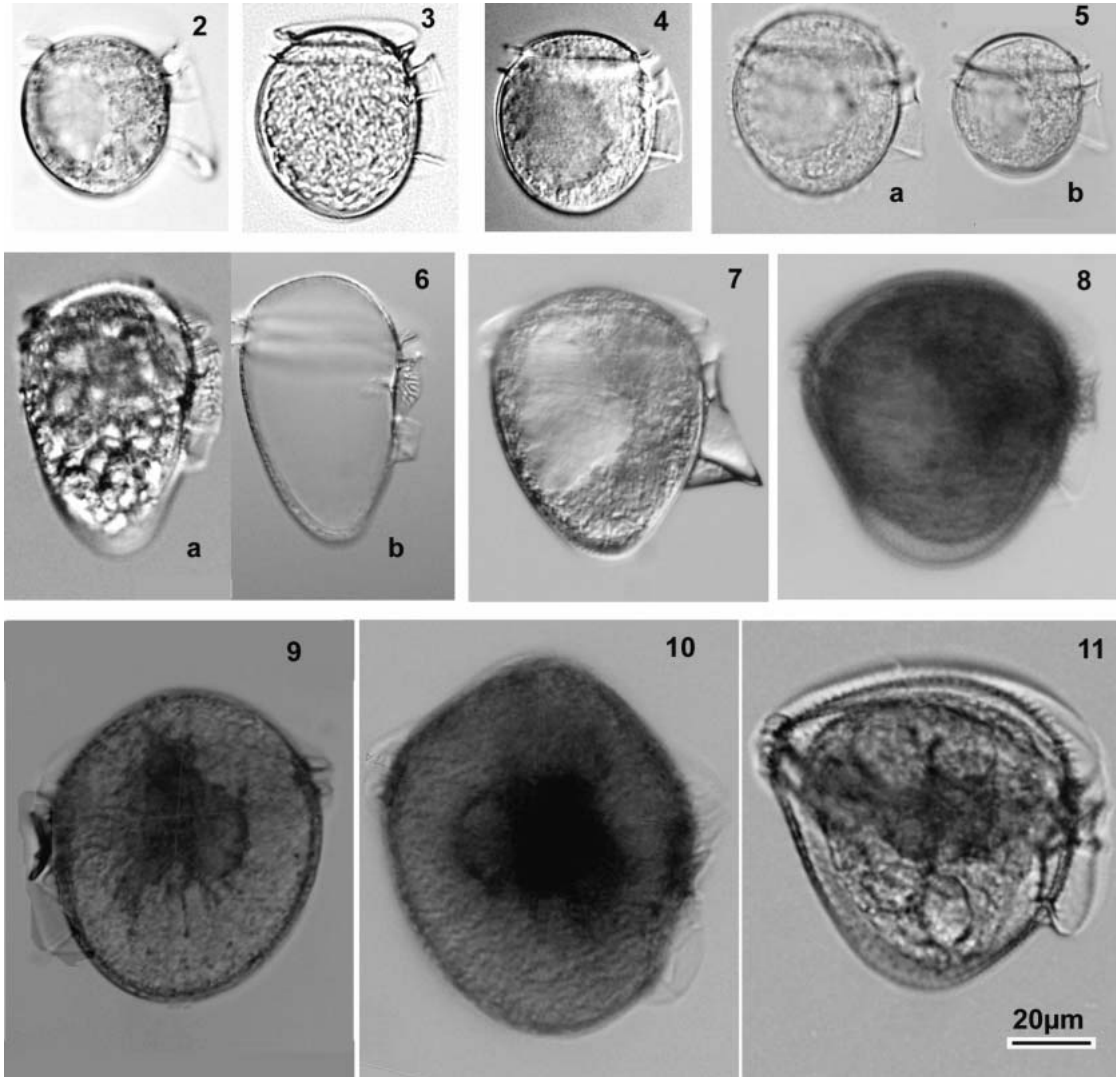
served under an Olympus BX 60 microscope, at resolutions of 100 x to 400 x (sometimes 1000 x). Images of live cells were taken using a DP 25 Digital Camera accompanied by DP2-BSW software (Olympus). Identification of species was based on original descriptions. In cases where the original description was unclear or unavailable, the classification was based on the earliest taxonomical interpretation of the species or based on major taxonomical accounts of KOFOID and SKOGSBERG (1928), JÖRGENSEN (1923), ABÉ (1967) and TAYLOR (1976). Grouping of morphological groups was made following KOFOID and SKOGSBERG (1928)'s definitions.

3. Results

A total of thirty-three species of *Dinophysis*

Table 1. List of *Dinophysis* species found in the central and western Pacific during R/V cruises MR07-01 and MR07-06.

Morphological groups and species	Stations where the species was found
Rotundatum group	
1. <i>D. lativelata</i> (KOFROID et SKOGSBERG) BALECH (fig. 2)	130
2. <i>D. rotundata</i> CLAPAREDE et LACHMANN (fig. 3)	6,15,60,62,68,70,75,77,78,82,126,128, 130,142
3. <i>D. whittingae</i> BALECH (fig. 4)	54,56,50,60,62,69,70,75,77,78,82,84,128,130
4. <i>D. parvula</i> (SCHÜTT) BALECH (fig. 5 a-b)	12,27,29 30,32,33 38,40,85,84,86
Argus group	
5. <i>D. elongata</i> (JÖRGENSEN) BALECH (fig. 6 a-b)	86,138
6. <i>D. amandula</i> SOURNIA (fig. 7)	5,15,16,17,20,24,35,40,77,82,90,91,96,105,124,126,130
7. <i>D. acutoides</i> BALECH (fig. 8)	27,38
8. <i>D. argus</i> (STEIN) ABÁ (fig. 9)	35,40,136
9. <i>D. apicata</i> (KOFROID et SKOGSBERG) ABÉ (fig. 10)	15,17,18,24,35,38,53,91,92
Cuneus group	
10. <i>D. cuneus</i> (SCHÜTT) ABÁ (fig. 11)	17,24,33,36,53,91,92,102,104,126 127,130,137
Rapa group	
11. <i>D. rapa</i> (STEIN) BALECH (fig. 12)	15,16,17,19,20,24,27,30,89,92,96,97,99
12. <i>D. mitra</i> (SCHÜTT) ABÉ (fig. 13)	15,16,60,62,91,92,93,96,97,99,105,124,126,134,141
13. <i>D. favus</i> (KOFROID et MICHENER) ABÉ (fig. 14)	18,20
14. <i>D. hindmarchii</i> (MURRAY et WHITTING) BALECH (fig. 15)	95,99,126,135,136
Doryphorum group	
15. <i>D. cf. cuneolus</i> (KOFROID et SKOGSBERG) BALECH (fig. 16)	95
16. <i>D. cf. pugiunculus</i> (JÖRGENSEN) BALECH (fig. 17)	130,137
17. <i>D. doryphorum</i> (STEIN) BALECH (fig. 18)	4,7,16,17,18,20,24,38,88,89,91,92,93,102,120,124,130,134,136,141
18. <i>D. acutissima</i> GAARDER (fig. 19)	86
Hastata group	
19. <i>D. hastata</i> STEIN <i>sensu lato</i> KOFROID et SKOGSBERG (fig. 20a-c)	7,22,23,24,30,34,35,40,96,99,100,102,105,116,122,124,128,130,131,133,137
20. <i>D. schuettii</i> MURRAY et WHITTING (fig. 21 a-b)	6,16,17,18,24,38,92,100,102,126,128,130
21. <i>D. pusilla</i> JÖRGENSEN (fig. 22 a-b)	40,96,130,136
22. <i>D. balechii</i> NORRIS et BERNER (fig. 23 a-b)	20,85,86,126,128
Acuta group	
23. <i>D. exigua</i> KOFROID et SKOGSBERG (fig. 24)	20,34,35,89,40
24. <i>D. infundibulus</i> SCHILLER <i>sensu</i> ABÉ (fig. 25)	69,77
25. <i>D. similis</i> KOFROID et SKOGSBERG (fig. 26)	17,25,30,40,90,91,100,114,130
26. <i>D. norvegica</i> CLAPAREDE et LACHMANN (fig. 27a-b)	69,70,71,72,74,75,76,77,78,81,82
27. <i>D. recurva</i> KOFROID et SKOGSBERG (fig. 28)	40,69,70,71,72,73,74,75,76,77,82
28. <i>D. cf. ovum</i> SCHÜTT (fig. 29)	88
29. <i>D. fortii</i> PAVILLARD (fig. 30)	5, 69,87,88,91
30. <i>D. schroederi</i> PAVILLARD (fig. 31)	40,41,43,44,45,50,53,62,88,133,141
Caudata group	
31. <i>D. caudata</i> SAVILLE-KENT (fig. 32)	38,43,45,50,51,53,54,60,61,62,63
32. <i>D. tripos</i> GOURRET (fig. 33)	45,50,53,54,56,60,62,69,82,83,84,85,86,92,108
Expulsa group	
33. <i>D. expulsa</i> KOFROID et MICHENER (fig. 34)	10,90,93,121

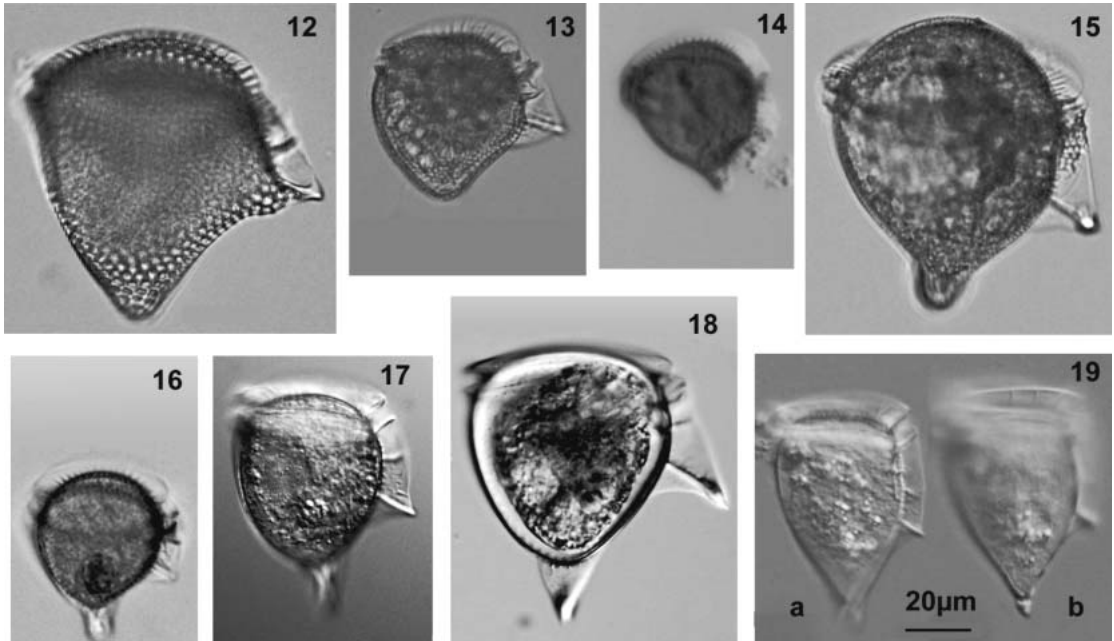


Figs. 2-11. *Dinophysis* of the *rotundata*, *argus* and *cuneus* groups. 2-5 : the *rotundata* group. 2. *D. lativelata*, 3. *D. rotundata*, 4. *D. whittingae*, 5. *D. parvula*. 6-10 : the *argus* group. 6. *D. elongata*, 7. *D. amandula*, 8. *D. acutoides*, 9 - *D. argus*, 10- *D. apicata*. 11 : the *cuneus* group : 11. *D. cuneus*. Scale bar is applied for all figures.

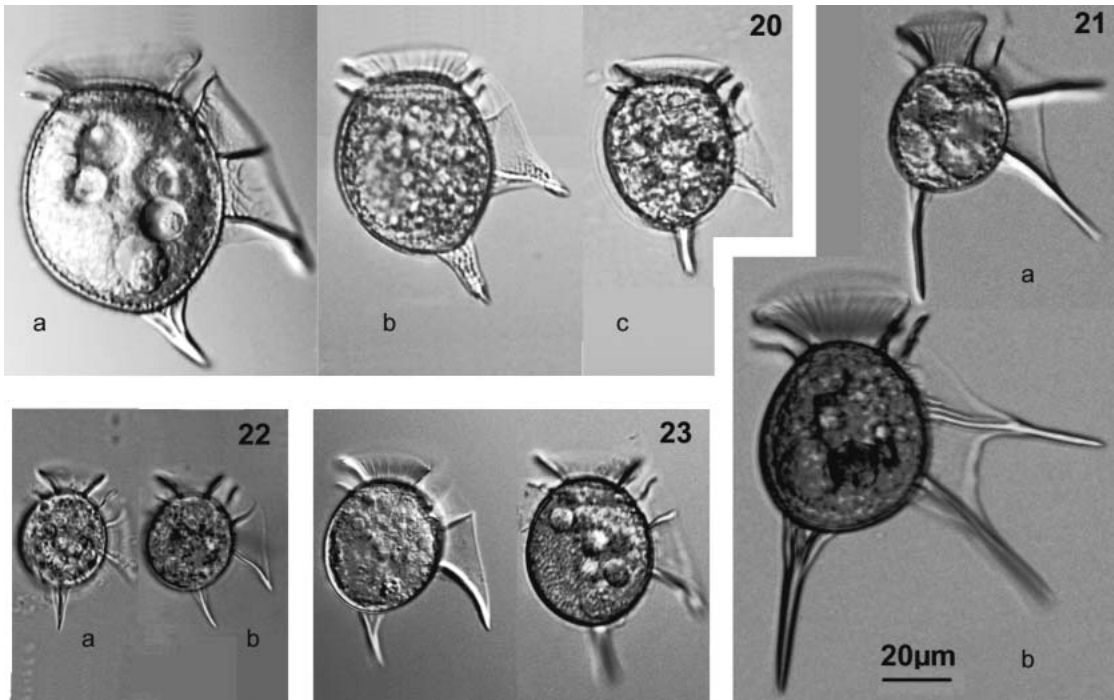
belonging to nine morphological groups were recorded (table 1). Images of live-specimen of these species are shown in Figures 2-34. Among them, fifteen species were widely distributed (recorded in more than ten stations - see table 1); nine species had very limited distribution (found in only one or two stations); and the rest nine species were moderately distributed (found in three to ten stations). Particularly, the two species, *D. cf. cuneolus* (Fig. 15) and *D. acutissima* (Fig. 19) were so rare that, for each

species, we were able to find only one cell during the two cruises.

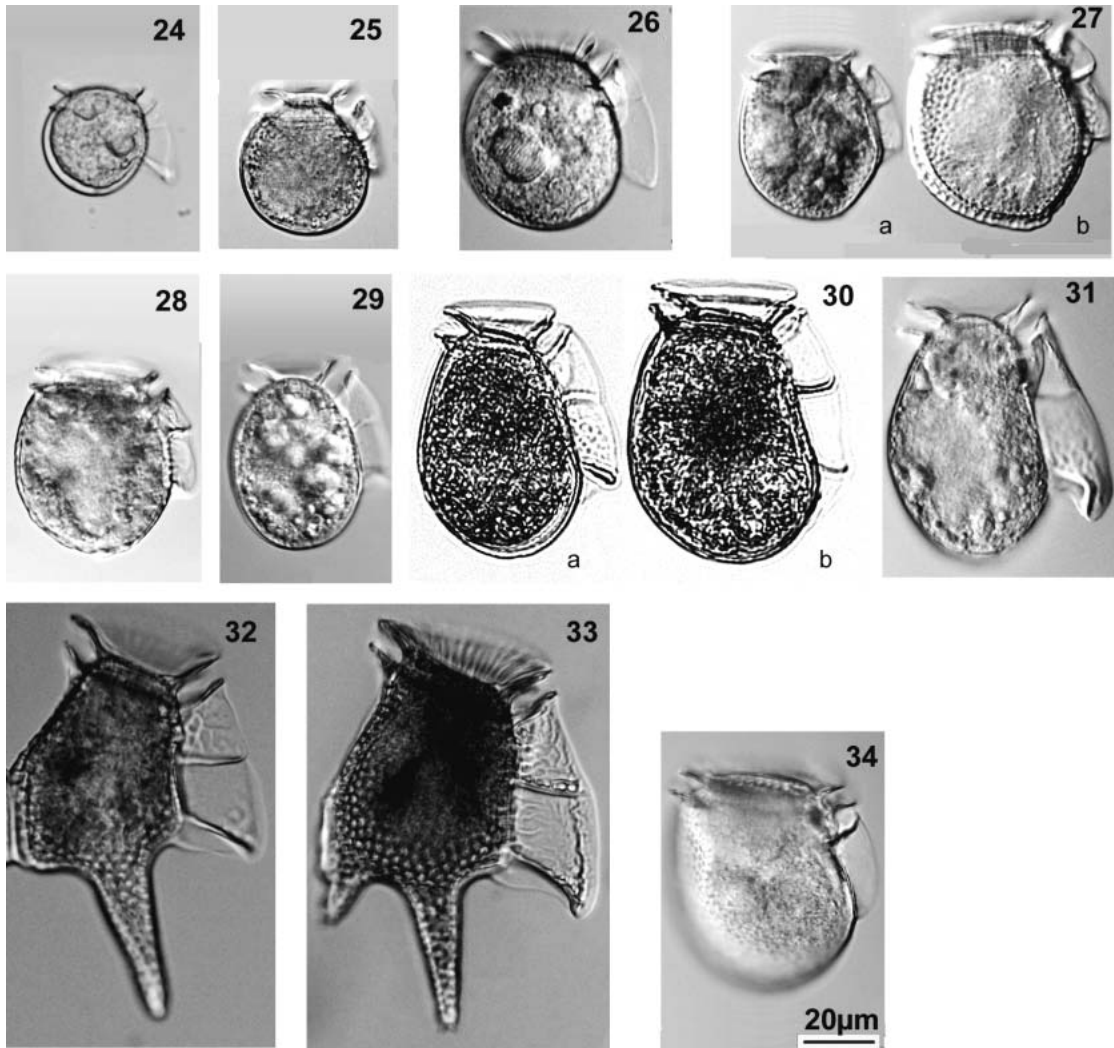
In addition to these thirty-three species, we also encountered some new species. Descriptions of these species are being prepared. In terms of morphology, most of *Dinophysis* species found in the region showed some levels of variation from their type description. Four species, *D. doryphorum* (Fig. 18), *D. hastata* (Fig. 20), *D. parvula* (Fig. 5) and *D. schuettii* (Fig. 21), each showed several morphotypes,



Figs. 12-19. *Dinophysis* of the *rapa* and *doryphorum* groups. 12-15 : *rapa* group. 12. *D. rapa*, 13. *D. mitra*, 14. *D. favus*, 15. *D. hindmarchii*. 16-19 : *doryphorum* group. 16. *D. cf. cuneolus*, 17- *D. cf. pugiunculus*, 18- *D. doryphorum*, 19- *D. acutissima*. Scale bar is applied for all figures.



Figs. 20-23. *Dinophysis* of the *hastata* group. 20. *D. hastata*, 21. *D. schuettii*, 22. *D. pusilla*, 23. *D. balechii*. Scale bar is applied for all figures.



Figs. 24–34. *Dinophysis* of the *acuta*, *caudata* and *expulsa* groups. 24–31 : the *acuta* group. 24. *Dinophysis exigua*, 25. *D. infundibulus*, 26. *D. similis*, 27. *D. norvegica*, 28. *D. recurva*, 29. *D. ovum*, 30. *D. fortii*, 31. *D. schroederi*. 32–33 : the *caudata* group. 32. *D. caudata*, 33. *D. tripos*. 34 : the *expulsa* group. 34 : *D. expulsa*. Scale bar is applied for all figures.

some of which may not be conspecific. These morphotypes are being subjected to further morphological and molecular analysis (NGUYEN *et al.*, in preparation).

4. Discussion

Prior to this study, there have been only few studies on *Dinophysis* in the central and western Pacific, although numerous studies on phytoplankton have been carried out in the region (see HASEL (1960) for the list). Except

four species, *D. hastata*, *D. schuettii*, *D. similis* (Fig. 26), and *D. caudata* (Fig. 32), which have been reported from the tropical water of middle Pacific by RAMPI (1952) and SCHRÖDER (1906), the rest twenty-nine species are new records for the region.

Most of these *Dinophysis* species (thirty out of thirty-three species), however, have been previously reported elsewhere in Pacific Ocean, either in the pelagic eastern Pacific (KOFOID and SKOGSBERG, 1928) or the neretic waters of

Australia (WOOD, 1954), Japan (OKAMURA 1907, 1912 and ABÉ, 1967) and South China Sea (BÖHM, 1936).

Three species, *D. acutissima*, *D. balechii* (Fig. 23) and *D. pussila* (Fig. 22), were for the first time recorded in the Pacific Ocean. Particularly, for *D. acutissima* and *D. balechii*, this is the first confirmation of their existence since their first descriptions were made by GAARDER (1954) and NORRIS and BERNER (1970), respectively.

It should be noted that three species *D. recurva*, *D. whittingae* and *D. amandula* are frequently documented under invalid names *D. lenticula*, *D. rudgei* and *D. ovum*, respectively in some papers such as ABÉ (1967), GARATE - LIZARRAGA *et al.* (2007).

The first species, *D. recurva*, was first described by Pavillard (1916) under the name *D. lenticula*. KOFOID and SKOGSBERG (1928) (page 228) renamed it as *D. recurva* since they recognized that the name *D. lenticula* had been pre-occupied. ABÉ (1967) used the name *D. lenticula* to refer this species, perhaps, because of overlooking KOFOID and SKOGSBERG' s argument.

The second species, *D. whittingae*, was named by BALECH (1967) for the senior synonym *Phalacroma rudgei* when he merged the genus *Phalacroma* to *Dinophysis*. In the same year, ABÉ (1967) made the same merging but this author used the name *D. rudgei* for *P. rudgei* without recognizing that the name *D. rudgei* had been previously reserved for another species by MURRAY and WHITTING (1899).

The third species, *D. amandula*, passed a complicated history of systematic. It was originally described by SCHÜTT (1895) under the name *Phalacroma ovum* (In his figure (figure 112, plate 2), however, it was noted by the name *P. operculoides*; but this was a mistake – see KOFOID & SKOGSBERG, 1928, page 121 for explanation). When merging genus *Phalacroma* to *Dinophysis*, BALECH (1967) renamed it as *D. amygdala* because the name *D. ovum* was pre-occupied (*D. ovum* SCHÜTT, 1895). Later, however, SOURNIA (1973) found that *D. amygdala* was invalid because it was a homonym for *D. amygdalus*, a species raised by PAULSEN (1949).

SOURNIA therefore again renamed it as *D. amandula*.

Acknowledgements

We would like to express our sincere thanks to Mr. Kazu MATSUMOTO of Japan Agency for Marine–Earth Science and Technology who provided us the opportunity to cruise on M/V Mirai during the MR07–01 and MR07–06 cruises. We deeply thank the two reviewers for their valuable constructive comments. Dr. Yukio NAGAHAMA and Ms. Dao Viet HA gave useful discussions on the content of the manuscript. Mr. Takuhei SHIOZAKI gave helps in plotting precisely the sampling positions on map. Ms. Leni YAP–DEJETO helped with the English check.

References

- ABÉ, T.H. (1967): The armored dinoflagellata: II. Prorocentridae and Dinophysidae (B). *Dinophysis* and its allied genera. Publis. Seto. Mar. boil. Lab, **15**(1), 37–78.
- BALECH, E. (1967): Dinoflagelados nuevos o interesantes del Golfo de Mexico y Caribe. Re. Mus. Argent. Ciene. Nat. Bernardino Rivadavia Inst. Nac. Invest. Cienc. Nat., **2**(3), 77–126 + 9 pl.
- BÖHM, A. (1936): Dinoflagellates of the coastal waters of the western Pacific. Bull. Bernice P. Bishop Mus., **137**, 1–54.
- GAARDER, K.R. (1954): Dinoflagellatae from the “Michael Sars” North Atlantic Deep–Sea Expedition 1910. Report on the Scientific Results of the “Michael Sars” North Atlant. Deep–Sea Exped. 1910, **2**(3), 1–62.
- GARATE - LIZARRAGA I., C.J. BAND–SCHMIDT, G. VERDUGO–DIAZ, M.S. MUNETÓN–GÓMEZ and E.F. FÉLIX - PICO (2007): Dinoflagelados (Dinophyceae) del sistema lagunar Magdalena–Almejas. In Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. FUNES–RODRÍGUEZ, R., J. GÓMEZ–GUTIÉRREZ and R. PALOMARES–GARCÍA (eds.), CICIMAR–IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p. 145–174.
- HALLEGRAEFF, G.M. (2002): Aquaculturists' guide to harmful Australian algae. School of Plant Sciences, University of Tasmania, Tasmania, 136pp.
- HASEL, G.R. (1960): Phytoplankton and ciliate species from the tropical Pacific. Skrifter utgitt av Det Norske Videnskaps–Akademi i Oslo. I, Matematisk–Naturvidenskabelig klasse, **2**, 1–50.
- HORIGUCHI T., J. YOSHIZAWA–EBATA, T. NAKAYAMA (2000): *Halostylodinium arenarium*, gen et sp. nov. (Dinophyceae), a coccoid sand-dwelling dinoflagellates from subtropical Japan. J. Phycol., **36**, 960–971.

- JÖRGENSEN, E. (1923): Mediterranean Dinophysia-
ceae. Rep. Dan. Oceanogr. Exped. Metiterr., **2**, 1-
48.
- KOFOID, C.A. and T. SKOGSBERG (1928): The
Dinoflagellata: the Dinophysoidae. Memoirs of
the Museum of Comparative Zoology at Har-
vard College, **51**, 1-766.
- LARSEN, J. and Ø. MOESTRUP (1992): Potentially
Toxic Phytoplankton. 2. Genus *Dinophysis*
(Dinophyceae). ICES identification leaflets for
plankton. ICES leaflet, **180**, 1-12.
- MURRAY, G. and F.G. WHITTING (1899): New
peridiniaceae from the Atlantic. Trans. Linn.
Soc. Lond., Bot. Ser., **2**(5), 321-342.
- NORRIS, D. and L.J. BERNER (1970): Thecal morphol-
ogy of selected species of *Dinophysis* (Dinoflagel-
latata) from the Gulf of Mexico. Contribution in
Marine Science, **15**, 146-192.
- OKAMURA, K. (1907): An annotated list of plankton
microorganisms of the Japanese coast. Annot.
Zool. Jap., **6**, 125-151.
- OKAMURA, K. (1912): Plankton organisms from bo-
nito fishing grounds. Rep. Imp. Bureau Fisheries
of Japan. Sci. Invest., **1**, 37-81.
- PARKE, M. and P.S. DIXON (1968): Check-list of Brit-
ish marine algae, Ibid, **48**(3), 783-832.
- PAULSEN, O. (1949): Observations on dinoflagellates.
Det Kongelige Danske Videnskaberne Selskab,
Biologiske Skrifter, **4**(4), 1-67.
- PAVILLARD, J. (1916): Recherches sur les péridiniens
du Golf du Lion. Trav. Inst. Bot. Univ. Montpel-
lier, Sér. Mix., Mém **4**: 9-70.
- RAMPI, L. (1952): Ricerche sul microplancton di
superficie del Pacifico tropicale, Bull. Inst. Océ-
anogr. Monaco, **1014**, 1-16.
- SCHRÖDER, B. (1906): Beiträge zur Kenntnis des
phytoplanktons warmer mere. Vjschr. Naturf.
Ges. Zurich, **51**, 319-377.
- SCHÜTT, F. (1895): Die Peridineen der Plankton Expe-
dition. I. Theil. Studien über die Zellen der
Peridineen. Ergebn. Plankton Exped. **4**, M, a, 1-
170 + 27 pl.
- SOURNIA, A. (1968): Atlas du phytoplancon marin. I.
Centre National de la Recherche Scientifique,
Paris, 216pp.
- SOURNIA, A. (1973): Catalogue des espèces et taxons
infraspécifiques de dinoflagellés marins actuels
publiés depuis la révision de J. Schiller. I.
Dinoflagellés libres. Beih. Nova Hedwigia, **48**, 1-
92.
- STEIDINGER, K.A. (1997): Dinoflagellates. In Identifying
marine phytoplankton. TOMAS C.R. (ed.),
Academic Press, San Diego, p. 387-584.
- STEIN, F.R.V. (1883): Der Organismus der
Arthrodelen Flagellaten nach eigene
Forschungen in systematischer Reihenfolge
bearbeitet. II. Hälfte. Leipzig, Engelmann,
30pp+25 pls.
- TAYLOR, F.J.R. (1976): Dinoflagellates from the In-
ternational Indian Ocean Expedition. A report of
material collected by R.V. "Anton Bruun" 1963
-64. Bibliotheca Botanica, Stuttgart, 234pp.
- TAYLOR, F.R.V., Y. FUKUYO, J. LARSEN and G.M.
HALLEGRAEFF (2003). Taxonomy of harmful
dinoflagellates. In Manual on harmful marine
microalgae. HALLEGRAEFF G. M., D. M.
ANDERSON and A.D. CEMBELLA (eds.), UNESCO,
Paris, p. 389-432.
- WOOD, E.J.F. (1954): Dinoflagellates in the Austra-
lian region. Austr. Jour. Mar. & Fre. Water
Res., **5**, 171-351.

Received June 17, 2008

Accepted August 20, 2008

Diurnal Tidal Current on the Eastern Shelf of Hidaka Bay —Can juvenile walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, move southeastward with the diurnal tidal current?—

Hiroshi KURODA¹⁾, Yutaka ISODA²⁾, Satoshi HONDA³⁾,
Hidetaka TAKEOKA⁴⁾ and Manabu SHIMIZU¹⁾

Abstract: It has been reported that juvenile walleye pollock (age 0) moves southeastward along the eastern shelf of Hidaka Bay, Japan, in the early summer, when the mean flow direction on this shelf is opposite to its movement, i.e., northwestward flow. A hypothesis was previously proposed that the juvenile can move against the mean flow by combining an active diurnal vertical migration with background diurnal tidal currents. A strong vertical shear of the diurnal tidal current is essential for this hypothesis, but the presence has not been clarified. In order to describe characteristics of the diurnal tidal current on the eastern shelf of Hidaka Bay and to argue the validity of this hypothesis, we conducted a mooring current measurement from December 2002 to July 2003 and one-shot/25.8-hour ADCP surveys in the early summer (June) of 2003. It is shown that the O_1 current is by far the largest of the four major tidal constituents, followed by the K_1 current. This magnitude relation is inconsistent with that of the tidal height amplitude, $M_2 > K_1 > O_1 > S_2$. The spatial structure of the O_1 current from the ADCP survey is compared with that from free coastal-trapped wave (CTW) dynamics. As a result, it is indicated that the O_1 tidal height and current are mainly governed by a basin-scale external gravity wave and a first-mode baroclinic CTW with about 100-km wavelength, respectively. The O_1 current related to the CTW exhibits a nearly barotropic structure on the shelf without a strong vertical shear, independent of the seasonal stratification. Consequently, it is concluded that the proposed hypothesis must be quantitatively invalid.

Keywords: Hidaka Bay, K_1 and O_1 current, CTW, *Theragra chalcogramma*

1. Introduction

Hidaka Bay is an open-type bay with U-shaped topography, west of Cape Erimo, in the North Pacific (Fig. 1). In this study the north-

eastern part of the shelf region of this bay with a straight coastline of 120 km is simply referred to as the eastern shelf. It has been well-known that tidal height fluctuations around this bay are mainly governed by basin-scale external gravity/Kelvin waves from the North Pacific which propagate southwestward along Kuril and Japan Islands (OGURA, 1933). It has been considered that there are spatial differences in characteristics of tidal currents around Hidaka Bay due to topographic effects of Funka Bay (SAKATA and ISODA, 1998) and tidal waves propagating from the Japan Sea through Tsugaru Strait (ODAMAKI, 1984; KURODA *et al.*, 2004). However, the focus of these previous studies is limited to steady-state tidal currents on the western part of Hidaka Bay. Thereby, it is required to understand

¹⁾ National Research Institute of Fisheries Science, 2-12-4 Fukuura, Kanazawa, Yokohama, Kanagawa 236-8648, Japan.

²⁾ Graduate School of Fisheries Science, Hokkaido University, 3-1-1 Minato-cho, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan.

³⁾ Hokkaido National Fisheries Research Institute, 116 Katsurakoi, Kushiro, Hokkaido 085-0802, Japan.

⁴⁾ Center for Marine Environmental Studies, Ehime University, 2-5 Bunkyo-cho, Matsuyama, Ehime 790-8577, Japan.

* Corresponding author; Hiroshi KURODA
E-mail : kurocan@affrc.go.jp
Tel. +81-45-788-7698/Fax +81-45-788-5001

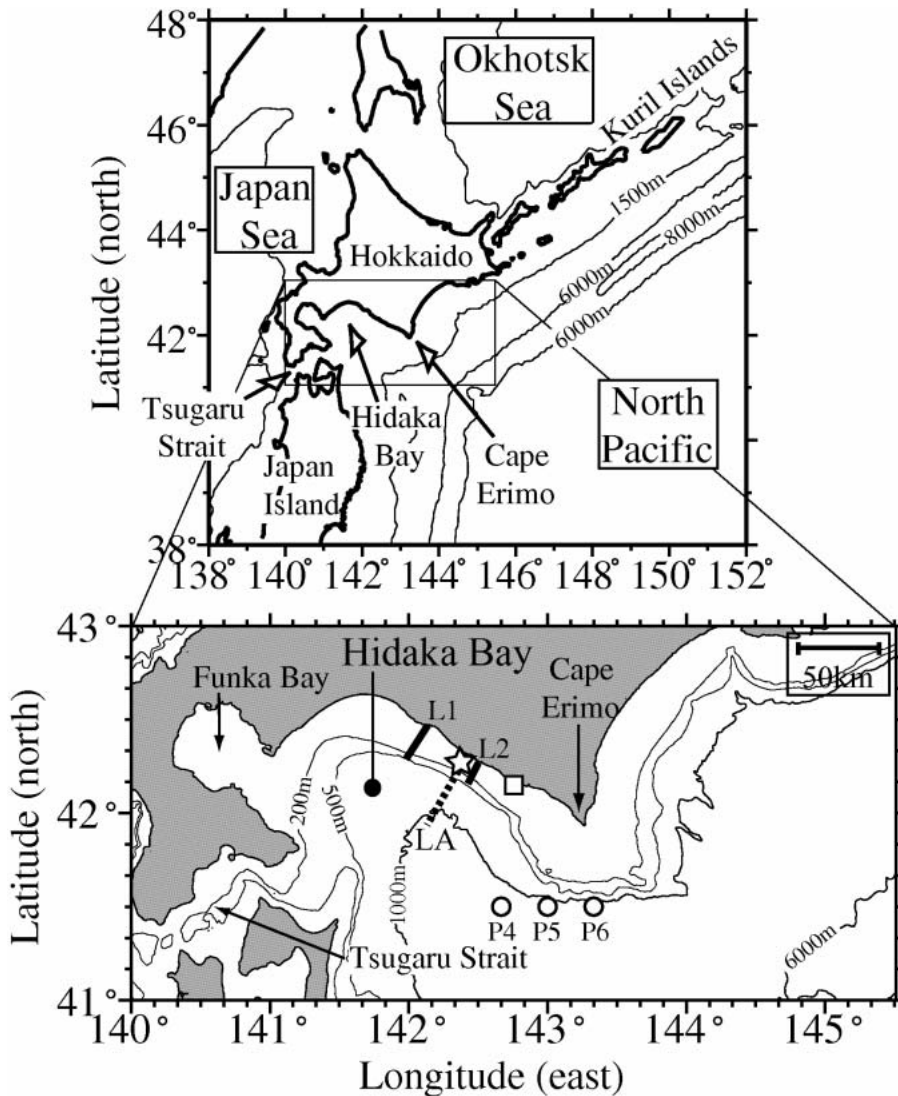


Fig. 1. Bathymetry in and around Hidaka Bay. Star mark, open square and open circle in lower panel denote locations of mooring current site, tide gauge at Urakawa, and CTD stations of P4-P6, respectively. Thick lines along L1 and L2 are transects of 25.8-hour ADCP surveys.

characteristics of the tidal currents on the eastern shelf without neglecting the unsteadiness. In addition, recently, understanding the properties of the diurnal tidal current on this shelf has become an important issue in fisheries science for the following reason.

Fig. 2 (a) illustrates the schematic view of the early life history of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) hatching in winter around the mouth of Funka Bay, the main

spawning ground of the Japanese Pacific population of this species (e.g., NISHIMURA *et al.*, 2002). Although a part of larvae and juveniles are transported southward away from the mouth of Funka Bay, the rest of them remains in Funka Bay until May. It has been observed that the juveniles begin to move southeastward on the eastern shelf with water depths less than 100 m at the beginning of summer (June), when they grow to about 50–100 mm in total

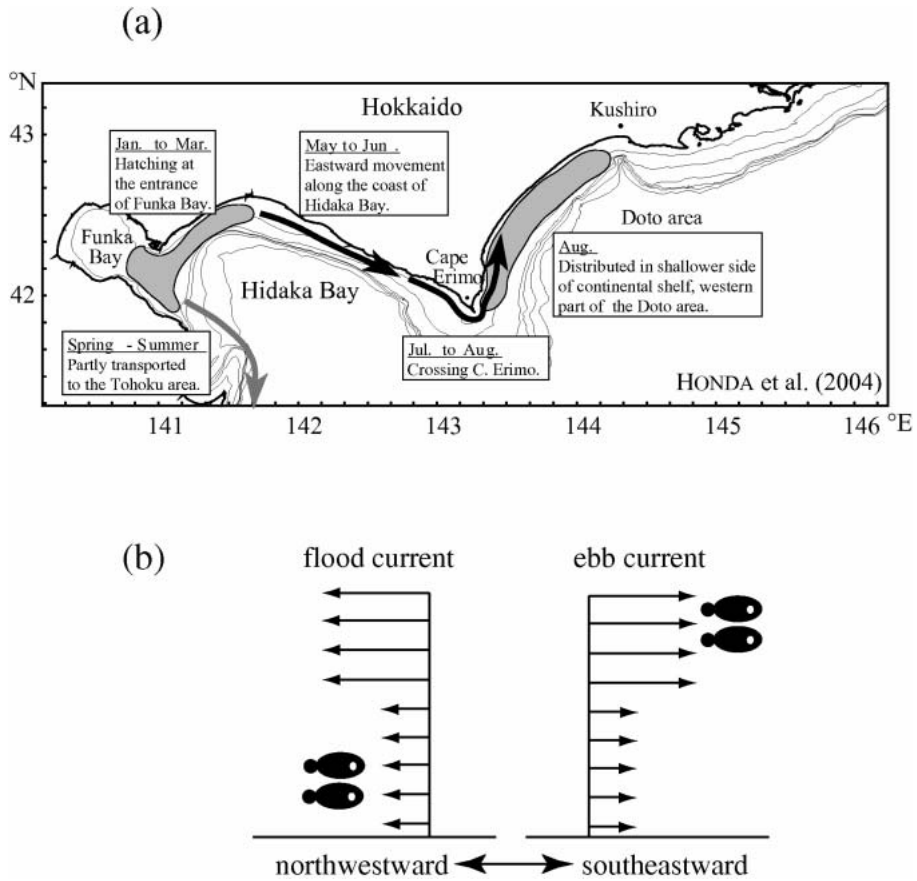


Fig. 2. (a) Early life history of walleye pollock hatching in winter around the mouth of Funka Bay (from HONDA *et al.*, 2004). (b) Schematic view of the DM hypothesis under the two-layer configuration.

length (HONDA *et al.*, 2004). However, the mean current direction on the shelf in this season is opposite to their movement, i.e., northwestward flow (KURODA *et al.*, 2006; ROSA *et al.*, 2007).

This inconsistency was discussed in symposium on Japanese Coastal Oceanography, Sapporo, October 2002 (HONDA *et al.*, 2003). The horizontal swim capability of juvenile pollock was neglected at the symposium because it was unclear. A hypothesis was proposed that juvenile pollock can move against the mean flow by combining an active diurnal vertical migration with background diurnal tidal currents (Fig. 2 (b)), as well as plaice, sole, flounder and shrimp larvae (RIJNSDORP *et al.*, 1985; GRIOCHE *et al.*, 2000; CATTRIJSSSE *et al.*, 1997; GIBSON, 2003; MCKEOWN, 1984). In the present study,

we refer to this hypothesis as “DM hypothesis”. In this hypothesis, juvenile pollock migrates vertically on a diurnal cycle as synchronizing its vertical position with a strong southeastward or a weak northwestward tidal flow (Fig. 2 (b)). A strong vertical shear of the diurnal tidal current associated with bottom friction or internal wave is crucial for the DM hypothesis. However, as mentioned above, the dominance of the diurnal tidal current and the presence of the strong vertical shear have not been understood.

The purpose of this study is twofold: firstly, to describe characteristics of the diurnal tidal current on the eastern shelf on the basis of observation data, and secondly, to discuss the validity of the DM hypothesis. On the eastern shelf of Hidaka Bay, we carried out a mooring

current measurement for about 8 months and one-shot/25.8-hour ADCP surveys in the early summer of 2003 (Section 2). Several interesting features of the diurnal tidal current are detected, which cannot be identified in the western part of Hidaka Bay, e.g., dominance of the O_1 current and high temporal variability of harmonic constant of the K_1 and O_1 current (Section 3). Spatial structures of the O_1 current from the one-shot ADCP survey are compared with those from free coastal-trapped wave dynamics (Section 4), and the validity of the DM hypothesis is discussed from observational and theoretical results (Section 5). Lastly, several findings from this study are briefly summarized (Section 6).

2. Data and data processing

A mooring current measurement was performed near the coast on the eastern shelf of Hidaka Bay from 20 November 2002 to 26 July 2003 (Fig. 1). An electromagnetic current meter (“compact-EM”, Alec Electronics Co., Ltd) was moored at 7 m below the sea surface. This mooring site is about 3 km offshore from the coast, and the water depth is 35 m. The current velocity and direction, averaged over 30 sec., were recorded every two hours. The accuracy of this current meter is 1 cm s^{-1} .

Hourly tide gauge data at Urakawa during the same period of the mooring current measurement were collected from the Japan Oceanographic Data Center (JODC). The sea level data was subsampled every 2 hours to match the sampling time of the current data.

Across-shelf ADCP transects along L1 and L2 (Fig. 1) were repeated back and forth for 25.8 hours on 17 and 16 June 2003, respectively, using the R/V *Kaiyo-maru No.7*. CTD and XCTD observations were carried out before the ADCP measurements. The transit times between the end points of each transect repetition are about 1.5 hours. The ADCP (“CI-30” (130 kHz), Furuno Electric Co., Ltd) was set to sample 3 vertical levels (17, 42 and 67 m). The bottom track-mode current velocity and direction were recorded every 15 seconds. The measurement accuracy of this system is 0.1 kt. ($\sim 5.0 \text{ cm s}^{-1}$). The original ADCP data were separated into several stations on L1 and L2,

and averaged for each transect.

For a theoretical calculation in Section 4, a density profile of 0–1000 m on the eastern shelf in June 2003 was prepared by merging CTD and XCTD data. All the CTD and XCTD profiles measured on L1 and L2 were averaged for each depth. However, the maximum depth of the mean density profile is limited to about 500 m. To extrapolate a density profile at depths greater than 500 m, we used 1-m pitch CTD data at three stations of P4-P6 (Fig. 1), obtained on 2 May 2003 by the Japan Meteorological Agency (JMA). The density profiles at 500–1000 m were averaged over P4-P6 for each depth, and then combined with the mean density profile of 0–500 m from L1 and L2.

3. Characteristics of observed tidal current

3.1. Mooring current measurement

Using the mooring current and tide gauge data during the entire mooring period, harmonic analysis for the four major tidal constituents (K_1 , O_1 , M_2 and S_2) was conducted. The current ellipses are shown in Fig. 3, and the harmonic constants are listed in Table 1. It is found that the O_1 current is by far the most dominant, the major-axis amplitude of which is

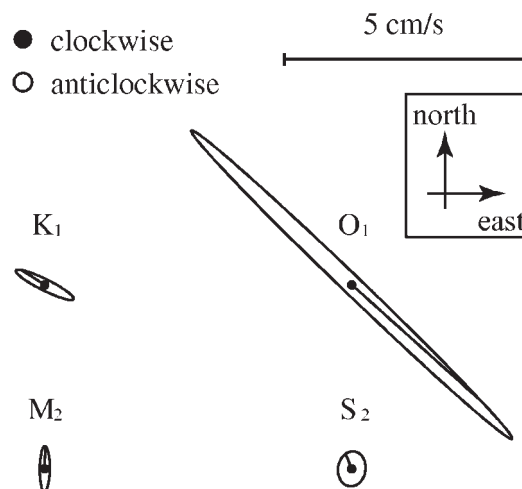


Fig. 3. Current ellipses of the four major tidal constituents, estimated from the entire mooring period from December 2002 to July 2003. Phase is denoted by straight line connecting each elliptical curve with its center, and the rotational direction of all tidal constituents is clockwise, as represented by closed circle.

4.5 cm s⁻¹. The O₁ current oscillates clockwise and rectilinearly along the northwest-southeast coastline. On the other hand, the major-axis amplitude of another constituent is less than the current meter accuracy of 1 cm s⁻¹. The major-axis directions of the M₂ and S₂ current are not parallel to the coastline and the shapes of M₂ and S₂ current ellipse are clearly different regardless of their similar periods, implying that the semi-diurnal current signals are contaminated by a non-tidal noise component.

Compared with MSA (1983), the harmonic constants of tidal height at Urakawa (Table 1)

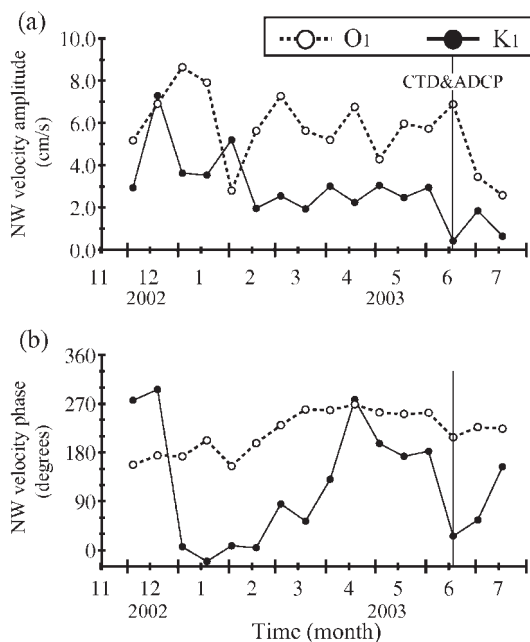


Fig. 4. Temporal variations of (a) amplitude and (b) phase for northwest component of the K₁ and O₁ current. Vertical straight line indicates the time of 17 June 2003, around which ADCP and CTD observations were conducted on L1 and L2.

are almost consistent with those along the Pacific coast of Hokkaido (not shown) since the tidal height fluctuations along the coast are mainly governed by basin-scale external gravity/Kelvin waves (OGURA, 1933). The magnitude relation of the tidal height amplitude (M₂ > K₁ > O₁ > S₂) is clearly different from that of the tidal current amplitude (O₁ >> K₁ ~ M₂ ~ S₂). This suggests that a non-divergent wave, such as Rossby and internal wave, contributes to the O₁ current on the eastern shelf of Hidaka Bay.

To examine the temporal variability of harmonic constant of the K₁ and O₁ current, the original current time series was divided into subseries with a length of 15 days. Harmonic analysis for the four major tidal constituents was sequentially conducted for each subseries. Fig. 4 shows the time series of diurnal amplitude and phase for the northwest velocity component. The amplitude of the K₁ (O₁) current varies dramatically with time from 0.4 to 7.3 cm s⁻¹ (from 2.6 to 8.6 cm s⁻¹) (Fig. 4 (a)). The amplitude of the O₁ current exceeds that of the K₁ current, except for two cases in December and February. The K₁ and O₁ current phases also vary drastically (Fig. 4 (b)) and, the variability of the K₁ phase seems higher. It is inferred that the extremely small amplitude of the K₁ current of 0.7 cm s⁻¹ from the about 8-month data (Fig. 3) is partly attributed to this higher variability of the K₁ phase. The M₂ and S₂ current amplitudes also change between 0.5 and 1.5 cm s⁻¹ (not shown), close to the current meter accuracy of 1 cm s⁻¹.

To check the influence of the P₁ current on the seasonal variability of the K₁ current (Fig. 4), a harmonic analysis for the K₁, O₁, M₂, S₂ and P₁ constituents was sequentially applied to the 15-day subseries under the assumption of a

Table 1. Harmonic constants of tidal height at Urakawa and tidal current at the mooring site estimated from time series from December 2002 to July 2003.

		M ₂	S ₂	K ₁	O ₁
Tidal Current (mooring site)	Major-axis direction (degrees)	1	8	296	314
	Major-axis amplitude (cm/s)	0.5	0.4	0.7	4.5
	Major-axis phase (degrees)	350	33	328	217
Tidal Level (Urakawa)	amplitude (cm)	29.9	12.9	26.4	21.7
	phase (degrees)	107.3	149.2	167.6	152.4

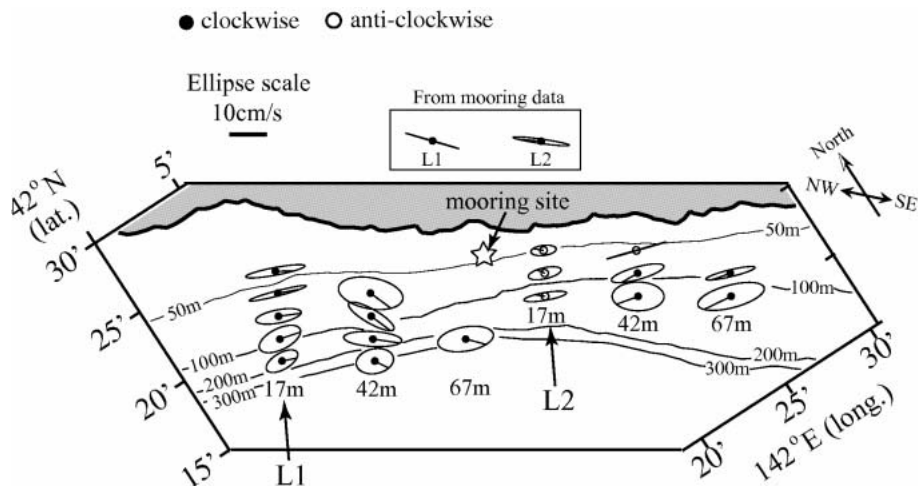


Fig. 5. Diurnal current ellipses from ADCP surveys in June 16th (L2) and 17th (L1) 2003. Location of ADCP stations is consistent with the center position of current ellipses at 17 m, in the right position of which current ellipses at 42 m and 67 m are plotted.

Table 2. Diurnal current phases for the major-axis component from 25.8-hour ADCP survey and 26-hour mooring current record. Numeral in parenthesis indicates the phase difference from a mean phase on each transect. Reference time of phase is 2000/1/1 00 : 00 : 00JST.

		7m	17m	42m	67m
ADCP (L1) 2003/6/17	L1-1	—	127.6 (−18.5)	—	—
	L1-2	—	139.6 (−6.5)	134.0 (−12.1)	—
	L1-3	—	170.4 (24.3)	156.5 (10.4)	—
	L1-4	—	164.0 (17.9)	160.3 (14.2)	133.2 (−12.9)
	L1-5	—	144.7 (−1.4)	130.4 (−15.7)	—
ADCP (L2) 2003/6/16	L2-1	—	37.6 (−7.5)	43.3 (−1.8)	—
	L2-2	—	65.8 (20.7)	48.7 (3.6)	38.7 (−6.4)
	L2-3	—	62.3 (17.2)	33.5 (−11.6)	30.7 (−14.4)
mooring	Mooring 2003/6/16	31.6	—	—	—
	Mooring 2003/6/17	59.6	—	—	—

phase reference : 2000/01/01 00 : 00 : 00JST

constant amplitude ratio (0.326) and phase difference (357.3 degrees) between the K_1 and P_1 constituents (ODAMAKI, 1989), based on the harmonic constant of the tidal height at Urakawa (MSA, 1983). It was found that the maximum difference of amplitude and phase from Fig. 4 is 1.7 cm s^{-1} and 19 degrees, respectively, but the time variation pattern is similar to that of Fig. 4. It is suggested that the influence of the P_1 current is negligible for the seasonal variability of the K_1 current.

Here, we focus on the K_1 and O_1 current amplitudes plotted at 16 June 2003 in Fig. 4 (a), when the 25.8-hour ADCP surveys were performed. It is found that the K_1 current

amplitude (0.42 cm s^{-1}) is much smaller than the O_1 current amplitude (6.9 cm s^{-1}). These diurnal amplitudes were computed from a subseries between 9 June and 24 June under the assumption of constant amplitude and phase for the 15 days. If this assumption is valid, at least, for this subseries, the diurnal current captured by the ADCP surveys depends primarily on the O_1 current.

3.2. 25.8-hour ADCP measurement

Using not only the 25.8-hour ADCP data along L1 and L2 but also the mooring current data for 26 hours corresponding to each ADCP-observation period, the diurnal, semi-diurnal

and residual components were decomposed by harmonic analysis (e.g., CACERES *et al.*, 2002). The residual northwestward flow, nearly barotropic, was described in KURODA *et al.* (2006). The diurnal current ellipses and major-axis phases based on 1 January 2000 00:00:00 JST (not the same as the lag of tide in Table 1 and Figs. 3,4 (b)) are shown in Fig. 5 and listed in Table 2, respectively. In Fig. 5, the center position of the current ellipses at 17 m on L1 and L2 corresponds to the actual position of ADCP stations, and the upper two ellipses surrounded by a solid square are from the 26-hour mooring current record.

The major-axis direction of the current ellipse tends to be parallel to the coastline. Clockwise rotations are dominant except for at 17 m on L2. Major-axis amplitudes from the ADCP survey are in a range of 4 cm s^{-1} to 11 cm s^{-1} , comparable to the major-axis amplitude of about 9 cm s^{-1} from the 26-hour mooring current data. In this regard, however, it should be noted that quantitatively accurate discussion for the diurnal current estimated from the ADCP survey may be difficult because of the ADCP system accuracy of about 5 cm s^{-1} .

The major-axis amplitude based on the 26-hour mooring current record (9.0 cm s^{-1}) (Fig. 5) is closer to the O_1 current amplitude (6.9 cm s^{-1}) at 16 June 2003 in Fig. 4 (a) than the K_1 current amplitude (0.42 cm s^{-1}). Here we assume that the diurnal current in Fig. 5 is the O_1 current. Under this assumption, the phase listed in Table 2 can be converted to the lag of the O_1 tide, the same as in Table 1 and Figs. 3,4 (b), by adding 154.18 degrees. The converted phases for the 26-hour mooring data and ADCP data on L2 are in a range of 184.9 to 220 degrees, almost consistent with the O_1 phase of 210 degrees plotted at 16 June 2003 in Fig. 4 (b). Accordingly, it is indicated that the diurnal current recorded by the ADCP survey mainly depends on the O_1 current.

Numerals in parenthesis of Table 2 are phase deviations from a mean value on each transect. The phase deviations for L1 and L2 are in a range of -18.5 to 24.3 degrees and -14.4 to 20.7 degrees, respectively. This indicates that the diurnal current is in phase for the vertical and across-shelf direction within an error

range of ± 25 degrees. A systematic phase difference is detected between L1 and L2 (Table 2). The current phase on L2 remarkably leads that on L1, indicating that a tidal wave related to the observed diurnal current propagates northwestward. The major-axis current phases averaged over L1 and L2 are 146.1 and 45.1 degrees, respectively. That is, the mean phase lag (L1 minus L2) is 101 degrees. A wavelength of 107 km is estimated from the mean phase lag and distance of 30 km between L1 and L2, if the wavelength is longer than the 30 km. This wavelength is much smaller than the spatial scale ($O(10^4 \text{ km})$) of the external gravity waves, governing tidal height fluctuations, by two orders of magnitude.

Since the O_1 frequency is subinertial at the mooring site on the shelf near the coast, one possible interpretation for the wave characteristics captured by the ADCP survey is that the dominant O_1 current is controlled mainly by coastal-trapped waves (CTWs). The CTWs generally exhibit a 100-km order of wavelength and weak divergence (e.g., WANG and MOORES, 1976), which seem to be able to explain our observational results. To confirm this possibility, the free CTWs' properties are theoretically investigated in the next section.

4. Free coastal-trapped wave dynamics

The dispersion curve and mode structure of free baroclinic CTWs are computed under a given density stratification and topographic condition. A set of linearized, inviscosity, and f-plane equations are solved by using a numerical technique in WANG and MOORES (1976), DALE and SHERWIN (1996), and ZOAKOS *et al.* (2004). An idealized configuration is designed in the Cartesian coordinate of (x, y, z) . A straight coastline along the y -axis direction is assumed at $x=0$. The positive directions of x , y and z are defined as the offshore direction, the direction toward which Kelvin waves propagate, and the upward direction, respectively. Two input variables required for this model are the bottom topography $h(x)$ and Brunt-Väisälä frequency $N(z)$, which are the functions of x and z alone, respectively.

The main solved equation is

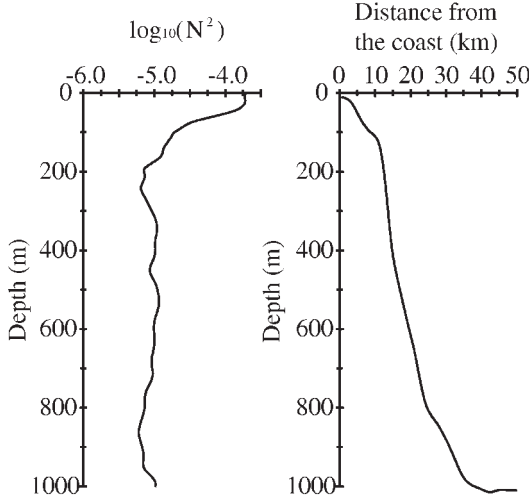


Fig. 6. Brunt-Väisälä frequency based on density profile processed in Section 2 (left panel) and bottom topography along LA seen in Fig. 1 (right panel).

$$\left[p_{xx} + p_{yy} + f^2 \left(\frac{p_z}{N^2} \right)_z + \left(\frac{p_z}{N^2} \right)_{zt} \right]_t = 0, (1)$$

where subscript denotes the partial differential, p is the pressure perturbation, and f is the Coriolis parameter. The boundary conditions at the sea surface, sea bottom, coast, and infinite offshore are

$$p_{zt} + N^2 g^{-1} p_t = 0 \text{ at } z=0, (2)$$

$$f p_{zt} + p_{zt} + N^2 h_x (p_{zt} + f p_y) = 0 \text{ at } z = -h(x), (3)$$

$$p_{xt} + f p_y = 0 \text{ at } x=0, (4)$$

and

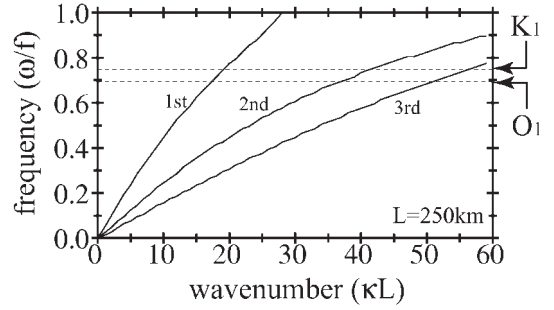


Fig. 7. Dispersion curves of the first-mode to third-mode CTWs.

$$p \rightarrow 0 \text{ at } x \rightarrow \infty, (5)$$

respectively. Equations (2), (3), (4) and (5) represent the free sea surface, no normal flows to the sea bottom and coast, and coastal trapping, respectively.

Equations (1) to (5) in the z coordinate are converted to those in the σ coordinate. The following wave solution is substituted into Eqs. (1) to (5),

$$p(x, y, \sigma) = \hat{p}(x, \sigma) e^{i(\omega t + l y)},$$

where ω and l are the angular frequency and alongshore wavenumber, respectively. This wave form is almost consistent with the observation, i.e., the O_1 current is in phase for the vertical and across-shelf direction within an error range of ± 25 degrees (Table 2). One-km horizontal grid, evenly spaced 75-sigma levels,

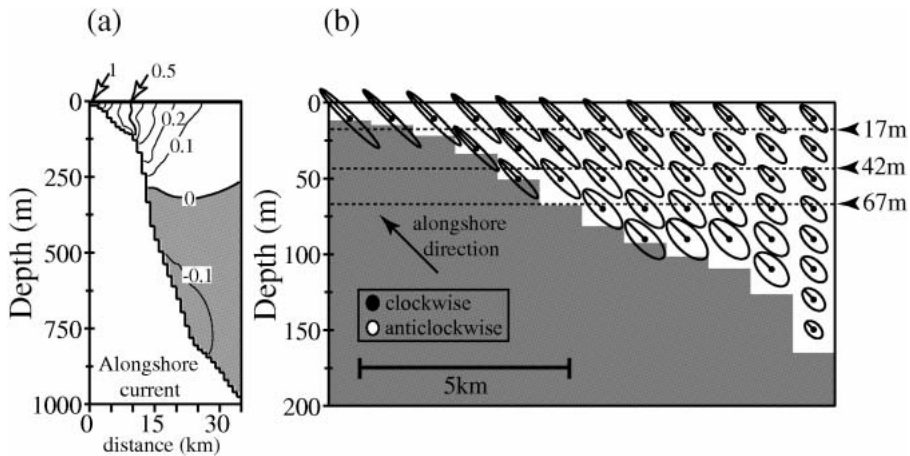


Fig. 8. Vertical sections of (a) alongshore velocity normalized by the maximum value at the coast and (b) current ellipse on the shelf, for the first-mode CTW with the O_1 frequency.

and the Coriolis parameter at 42 ($=9.73 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) are adapted. The bottom topography along LA (see Fig. 1) and Brunt-Väisälä frequency based on the density profile processed in Section 2, shown in Fig. 6, are given for the calculation. A set of equations of \hat{p} are solved by using a resonance response.

Fig. 7 shows dispersion curves of the first-mode to third-mode CTWs. It is found that the CTWs can be permitted at both the K_1 and O_1 frequencies. The wavelengths of first- to third-mode CTW for the O_1 frequency are 92 km, 42 km and 30 km, respectively. The first-mode wavelength is closest to the wavelength of 107 km estimated from the ADCP survey.

Fig. 8 (a) shows the vertical section of the normalized alongshore velocity for the first-mode CTW with the O_1 frequency. The node (0-value curve) extends along the depth of 300 m from the sea bottom just offshore the shelf edge. This indicates that the alongshore velocity is vertically in phase on the shelf and out of phase on the slope. To focus on current structures near the coast, the O_1 current ellipses on the shelf derived from the first-mode CTWs are shown in Fig. 8 (b). The O_1 current seems nearly barotropic on the shelf. Compared between Fig. 5 and Fig. 8 (b), the theoretical and observed ellipses are not quantitatively consistent with each other because of the ADCP system accuracy and some idealizations of the theoretical model, but several features are qualitatively consistent. The clockwise rotation is dominant on the shelf in the theoretical result (Fig. 8 (b)) as well as the observed result (Fig. 5). In Fig. 8 (b), the current ellipse near the coast is rectilinear and parallel to the coastline, and the ellipses around the depth of 17 m gradually approach a circular shape toward the offshore direction. This across-shelf feature is especially notable at 17 m along L1 (Fig. 5). Moreover, for the first-mode CTW with the O_1 frequency, the theoretical ratio of the alongshore current amplitude to the sea-level amplitude at the coast is estimated as 10 s^{-1} . This value indicates that the CTW is weakly divergent, as expected from Table 1. Consequently, it is concluded that the O_1 current observed in June 2003 is mainly governed by the first-mode baroclinic CTW.

5. Discussion

In this section we discuss the validity of the DM hypothesis under the two-layer configuration (Fig. 2 (b)) for the shelf with water depths less than 100 m, where juvenile pollock was in fact detected during our survey of L1 and L2 (HONDA, personal communication). Moreover, the tidal current selectivity to optimally move southeastward is explicitly given for juvenile pollock although the purpose of the juvenile migration may be to prey on zooplankton migrating vertically on day-and-night cycle (HONDA *et al.*, 2004).

Upper- and lower-layer diurnal tidal currents are assumed to be either in phase or out of phase. The amplitudes of southeast velocity component in the upper and lower layer are given as U_1 (>0) and U_2 , respectively ($U_2 > 0$ ($U_2 < 0$) means that the upper and lower currents are in phase (out of phase)). Under the assumption of the tidal current selectivity, juvenile pollock stays in the upper (lower) layer when the upper layer exhibits the southeastward (northwestward) flow. In this case the southeastward moving speed of juvenile pollock averaged over a diurnal cycle is

$$\frac{\omega}{2\pi} \left[\int_0^{\pi/\omega} U_1 \sin \omega t \, dt + \int_{\pi/\omega}^{2\pi/\omega} U_2 \sin \omega t \, dt \right] = (U_1 - U_2) / \pi,$$

where ω is the diurnal angular frequency. Moreover, since a northwestward mean flow ($U_{mean} (<0)$), nearly barotropic, was observed on the eastern shelf in the early summer of 2003 (KURODA *et al.*, 2006), the above moving speed is modified as $(U_1 - U_2) / \pi + U_{mean}$. The southeastward movement of the juvenile is feasible for $(U_1 - U_2) / \pi + U_{mean} > 0$. The actual values of U_1 and U_{mean} are approximately 8 cm s^{-1} (Fig. 5) and -7.5 cm s^{-1} , respectively (the latter is the alongshore velocity of the mooring current data averaged over June and July 2003). The relation of $U_2 < -16 \text{ cm s}^{-1}$ is derived, indicating that the strong shear flow out of phase between the upper and lower layer is required for the DM hypothesis.

However, as mentioned above, such an intense vertical shear was not observed and theoretically supported (Figs. 5,8). The strong shear should not be also theoretically explain-

able even if the bottom friction is added to the free CTW dynamics. This is because the diurnal time scale is too short for the friction to efficiently reduce/modify an alongshore barotropic current on the shelf (CHAPMAN and BRINK, 1987). As a result, it is concluded that the DM hypothesis must be quantitatively invalid.

Moreover, this conclusion implies that juvenile pollock can actively swim horizontally/southeastward against the mean flow. For the mean flow of the -7.5 cm s^{-1} near the coast (U_{mean}), if the juvenile is able to swim with a mean speed of 12 cm s^{-1} , it can move from the mouth of Funka Bay to Cape Erimo (120km) in a month. The swim speed of 12 cm s^{-1} may be reasonable according to a recent experiment of HURST (2007), which reported that the routine and maximum swim speeds of an 80 mm juvenile walleye pollock are in a range of 6 cm s^{-1} to 8 cm s^{-1} and of 22 cm s^{-1} to 31 cm s^{-1} , respectively.

6. Conclusions

To describe characteristics of the diurnal tidal current on the eastern shelf of Hidaka Bay and argue the validity of the DM hypothesis, we carried out a mooring current measurement from December 2002 to July 2003 and one-shot/25.8-hour ADCP surveys in June 2003. It was shown that the O_1 current is by far the largest of the four major tidal constituents, whereas the O_1 tidal height is the third largest. The harmonic constant of the K_1 and O_1 current changes dramatically with time. The spatial structure of the O_1 current from the ADCP survey was compared with that estimated from the free CTW dynamics. As a result, it was indicated that the O_1 tidal height and current on this shelf are mainly governed by a basin-scale external gravity/Kelvin wave and a first-mode baroclinic CTW, respectively. The O_1 current depending on the CTWs showed the nearly barotropic structure on the shelf without a strong vertical shear, independent of the seasonal density stratification. Therefore, the DM hypothesis must be invalid, implying that juvenile pollock is able to actively swim southeastward against the mean flow. This may also be supported by recent swim experiments

performed by HURST (2007).

Lastly, we remark a few dynamical issues which require clarification in future work. Two observed features in Fig. 4 seem very intriguing; one is the amplitude difference between the K_1 and O_1 currents, the other is the high temporal variability of the harmonic constant (i.e., amplitude and phase) of the K_1 and O_1 currents. In particular, for the latter point, many possible causes can be supposed, such as temporal changes of CTWs' generation, propagation, scattering, and damping process due to the change of density stratification (e.g., WILKIN and CHAPMAN, 1990; BRINK, 2006). However, since the present study is based on only one mooring current measurement and one-shot ADCP surveys restricted to June 2003, it is not possible to comprehend a spatial structure of the K_1 and O_1 tidal currents over the eastern shelf throughout the entire of the mooring period. Hence, to clarify these issues, as one of the subsequent steps, it is probably effective to examine temporal and spatial variation of the diurnal CTWs on the eastern shelf by deploying plural mooring current meters.

Acknowledgements

We are deeply indebted to the captain, officers and crew of the R/V *Kaiyo-maru No. 7* for hydrographic observations on L1 and L2. We wish to express our sincere thanks to Mr. CHIMOTO and other member in the Federation of Fisheries Cooperative Association of Shizunai, who helped us to set and recovery the mooring current meter. We would like to thank the member of the National Research Institute of Fisheries Science for patient support and encouragement. We also thank the JODC for tide gauge data at Urakawa, and the Japan Metrological Agency for CTD data along PH Line ($41^\circ 30'N$). Thanks are extended to the editor and two anonymous reviewers for helpful and constructive comments. Finally, this work was supported by a Grant-in-Aid for JSPS Fellows.

References

- BRINK, K.H. (2006): Coastal-trapped waves with finite bottom friction. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, **41**, 171-190.

- CÁCERES, M., A. VALLE-LEVINSON, H.H. SEPÚLVEDA and K. HOLDERIED (2002): Transverse variability of flow and density in a Chilean fjord. *Continental Shelf Research*, **22**, 1683–1698.
- CATTRIJSSSE, A., H.R. DANKWA and J. MEES (1997): Nursery function of an estuarine tidal marsh for the brown shrimp *Crangon crangon*. *Journal of Sea Research*, **38**, 109–121.
- CHAPMAN, D.C. and K.H. BRINK (1987): Shelf and slope circulation induced by fluctuating offshore forcing. *Journal of Geophysical Research*, **92**, 11741–11760.
- DALE, C.A. and T.J. SHERWIN (1996): The extension of baroclinic coastal-trapped wave theory to superinertial frequencies. *Journal of Physical Oceanography*, **26**, 2305–2315.
- GIBSON, R.N. (2003): Go with the flow: tidal migration in marine animals. *Hydrobiologia*, **503**, 153–161.
- GRIOCHE, A., X. HARLAY, P. KOUUBI and L. FRAGA LAGO (2000): Vertical migrations of fish larvae: Eulerian and Lagrangian observations in the Eastern English Channel. *Journal Plankton Research*, **22**, 1813–1828.
- HONDA, S., O. SHIDA and O. YAMAMURA (2003): Life history of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in the Coastal Oyashio region of Hokkaido. *Bulletin of Coastal Oceanography*, **41**, 39–47 (in Japanese with English abstract).
- HONDA, S., T. OSHIMA, A. NISHIMURA and T. HATTORI (2004): Movement of juvenile walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, from a spawning ground to a nursery ground along the Pacific coast of Hokkaido, Japan. *Fisheries Oceanography*, **13**, 84–98.
- HURST, T.P. (2007): Thermal effects on behavior of juvenile walleye pollock (*Theragra chalcogramma*): implications for energetic and food web models. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, **64**, 449–457.
- KURODA, H., Y. ISODA, M. OHNISHI, M. IWAHASHI, C. SATOH, T. ITO, T. NAKAYAMA, K. ISEDA, K. NISHIZAWA, S. SHIMA and O. TOGAWA, (2004): Examination of harmonic analysis methods using semi-regular sampling data from an ADCP installed on a regular ferry. *Oceanography in Japan*, **13**, 553–564 (in Japanese with English abstract).
- KURODA, H., Y. ISODA, H. TAKEOKA and S. HONDA (2006): Coastal current on the eastern shelf of Hidaka Bay. *Journal of Oceanography*, **62**, 731–744.
- MARITIME SAFTY AGENCY (1983): Table of tidal harmonic constants. 172pp.
- MCKEOWN, B.A. (1984): Orientation. In: MCKEOWN, B.A. (Ed.), *Fish Migration*, Croom Helm, London, 58–86.
- NISHIMURA, A., T. HAMATSU, K. YABUKI and O. SHIDA (2002): Recruitment fluctuations and biological responses of walleye pollock in the Pacific coast of Hokkaido. *Fisheries Science*, **68**, 206–209.
- ODAMAKI, M. (1984): Tide and tidal current in Tsugaru Strait. *Bulletin of Coastal Oceanography*, **22**, 12–21 (in Japanese).
- ODAMAKI, M. (1989): Tides and tidal currents in the Tsushima Strait. *Journal Oceanography Society of Japan*, **45**, 65–82.
- OGURA, S. (1933): The tides in the seas adjacent to Japan. *The Bulletin of the Hydrographic Department*, **7**, 1–189.
- RIJNSDORP, A.D., M. STRALEN and H.W. VAN DER VEER (1985): Selective tidal transport of North Sea plaice larvae *Pleuronectes platessa* in coastal nursery areas. *Transactions of the American Fisheries Society* **114**, 461–470.
- ROSA, L.A., Y. ISODA, K. UEHARA and T. AIKI (2007): Seasonal variations of water system distribution and flow patterns in the southern sea area of Hokkaido, Japan. *Journal of Oceanography*, **63**, 573–588.
- SAKATA, Y. and Y. ISODA (1998): A numerical model of tides and tidal currents around Funaka Bay. *Bulletin of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University*, **49**, 51–57 (in Japanese with English abstract).
- WANG, D.-P. and C.N.K. MOOERS (1976): Coastal-trapped waves in a continuously stratified ocean. *Journal of Physical Oceanography*, **6**, 853–863.
- WILKIN, L.J. and D.C. CHAPMAN (1990): Scattering of coastal-trapped waves by irregularities in coastline and topography. *Journal of Physical Oceanography*, **20**, 396–421.
- ZOAKOS, S., P. DYKE and D. GRAHAM (2004): Frictional effects on trapped shelf waves. *Ocean Dynamics*, **54**, 243–249.

Received March 5, 2008
Accepted August 20, 2008

魚類は干潟域のタイドプールをどのように利用しているか？

内田和嘉¹⁾, 横尾俊博^{1)*}, 河野 博¹⁾, 加納光樹²⁾

How do fishes utilize tidal pools on the mudflat?

Kazuyoshi UCHIDA, Toshihiro YOKOO, Hiroshi KOHNO AND Kouki KANOU

Abstract : Fishes occurring at small tidal pools ($n = 48, 0.4-14.4 \text{ m}^2$) were examined in the period from April to July 2007 at three sites on the tidal mudflat in the Tama River estuary, central Honshu, Japan. A total of 1,454 individuals represented by eight species belonging to the family gobiidae were collected with the dominant species of *Pseudogobius masago*, *Acanthogobius flavimanus* and *Gymnogobius macrognathos*. Among the three dominant species, *P. masago* was solely represented by juvenile to adult stages, although the juvenile and young specimens were collected in the other two species. These gobies collected at tidal pools were not pelagic but benthic stages. *Pseudogobius masago* and *A. flavimanus* occurred mainly at the upper- and middle-reach sampling sites, although most individuals of *G. macrognathos* were collected at the lower-reach one.

Keywords : Tama River estuary, tidal flat, tide pool, fish fauna, Gobiidae

1. はじめに

東京湾内湾（富津岬と観音崎を結ぶ線以北の海域）には、かつては広大な干潟域が形成されていたが、1960年代から急激に進行した埋め立てによりそのほとんどが失われ、現在では流入河川の河口付近にわずかに残された天然の干潟域と人工的に造成された小さな干潟域のみである（小倉, 1993）。近年、これらの小規模な干潟域にも、水産有用種や絶滅危惧種を含むさまざまな魚種の仔稚魚が出現することが示されており（那須ら, 1996; 加納ら, 2000; 桑原ら, 2003; 山根ら, 2004）、漁業資源の持続的利用や生物多様性保

全などの観点から干潟域の保全・再生を図ることが急務となっている [環境省 (編), 2008]。

干潟域は潮の干満にともなって冠水と干出を繰り返す平坦な砂泥地の干潟（潮間帯）とその前縁に広がる浅瀬（潮下帯）から構成される（加納, 2006）。これまでの干潟域における魚類群集の研究によって、浅瀬には仔稚魚や小型魚類が大量に出現し、この場所が水産有用種を含む内湾性魚類の成育の場として重要な役割を担っていると考えられてきた（那須ら, 1996; 本多ら, 1997; 加納ら, 2000; 日比野ら, 2002）。また、上げ潮とともに冠水した干潟には仔稚魚や小型魚類が来遊するもの（MORRISON *et al.*, 2002; KANOU *et al.*, 2005）、下げ潮とともに干出した干潟は陸上生活に適応したトビハゼ類などの一部の魚種の生息場所に過ぎないと認識されてきた。しかしながら、最近の研究によって、干潮時に干潟上に形成される小さなタイドプールが、いくつかの魚種にとって主要な生息場所の一つであることが指摘されるようになってきた（MEAGER *et al.*, 2005; 加納, 2006）。ただし、干潟のタイドプールを利用する魚類が、浅瀬に生息する魚類とどのように違うのかについては具体的に検討した事例はほとんどない。

本研究では、東京湾内湾に流入する河川のひとつである多摩川の河口干潟域において、干潮時のタイドプールに生息する魚類の種組成や体長組成などを調査する

¹⁾ 東京海洋大学海洋科学部魚類学研究室 〒108-8477
東京都港区港南 4-5-7

Laboratory of Ichthyology, Faculty of Marine Science, Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7 Konan, Minato, Tokyo 108-8477, Japan

²⁾ 茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター 〒311-2402
茨城県潮来市大生 1375

Center of Water Environment Studies, Ibaraki University, 1375 Ohu, Itako, Ibaraki 311-2402, Japan

* Corresponding author. Email: tyokoo@kaiyodai.ac.jp; TEL 81-3-5463-0523, FAX 81-3-5463-0523

とともに、その結果を当地で同時期に行なわれた浅瀬の魚類相調査のデータと比較することによって、魚類が干潟のタイドプールをどのように利用しているのかについて検討する。

2. 材料と方法

調査地 本研究では、東京湾内湾に流入する多摩川の左岸側に沿って東西約4kmに広がる河口干潟域を調査地とした。本調査地の干潟には、干潮時に上流側から河口付近まで多数のタイドプールが形成されるが、海域に向かうほど干潟の底質が粗く、塩分が高くなる傾向にある(加納, 2003)。さまざまなタイドプール環境での採集データを得るために、上流側から海側に向かってA~Cの3定点(Fig. 1)を設定した。

採集方法 東京湾の干潟域では年間を通して魚類の全採集個体数の8割以上が春季から初夏に集中して出現することが知られているため(那須ら, 1996; 加納ら, 2000)、本研究での魚類の採集期間は2007年の4月から7月までの4か月とした。採集調査の直前に各定点を踏査し、任意に13~18個のタイドプールを選定した[定点Aに17個(水深1.5~7.0cm, 表面積0.4~5.2 m²), 定点Bに18個(水深0.5~6.0cm, 表面積0.5~14.4 m²), 定点Cに13個(水深1.5~6.5cm, 表面積0.7~2.3 m²)]。定点AとBでは毎月1回、また、定点Cでは5月と6月に1回ずつ、大潮の昼の干潮時にそれぞれのタイドプールで採集を実施した。採集には手網(幅14cm, 高さ12cm, 目合1~2mm)を用い、MEAGER *et al.* (2005)に従ってタイドプール全体を掃きとるようすべての魚類を採集した。採集の終了時に、水温と塩分をハンディ電導度メーター Model EC-300 (YSI/Nanotech Inc.)を用いて測定した。採集物は現場でただちに10%ホルマリンで固定し、研究室に持ち帰った後、魚類のみを選別し、種の同定、個体数の計数、標準体長の計測、発育段階の区分を行った。和名と学名は主にNAKABO (ed.) (2002)に、発育段階の区分は加納ら(2000)に従った。本研究の標本は70%エタノール中に保存し、東京海洋大学海洋科学部水

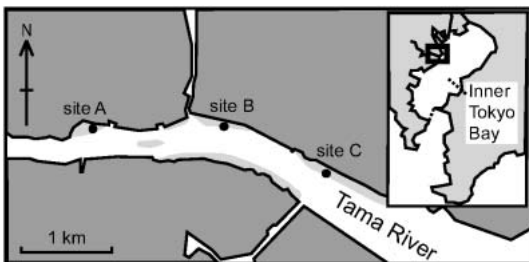


Fig. 1. Map showing the sampling sites (A-C) on the tidal mudflat in the Tama River estuary, central Japan. Shaded area indicate intertidal flats.

産資料館仔稚魚コレクション MTUF-P (L) に以下の番号で登録・保管されている: MTUF-P (L) 16152~16239。

なお、希少性が指摘されているマサゴハゼやエドハゼについては、多摩川河口干潟左岸の3km以上の区間に生息することを確認し、そのごく一部のみで採集を行うことによって個体群への影響が小さくなるように配慮した。また、調査後の2008年6月にも現地での生息状況を観察し、本研究による個体群への影響がほとんど生じていないことを確認した。

解析方法 各タイドプールに出現した魚類の種数と個体数は1m²当たりの密度に換算し、定点間または月間で比較した。また、魚類がタイドプールをどのように利用しているのかを調べるために、定点Bのタイドプールにおける魚類の種組成や体長組成のデータを、同日に定点Bの浅瀬(潮下帯)で山本(2008)により行われた魚類相調査のデータと比較した。なお、山本(2008)の魚類相調査では、小型地曳網(KANOUE *et al.*, 2002)を使用し、昼間の干潮時に水深1m以浅の砂泥底表面を汀線に対して平行に約100m曳網して魚類を採集している。

3. 結果

3.1 水温と塩分

定点AとBのタイドプールの水温は4月には約15°Cであったが、季節を経るに従って徐々に上昇し、7月には34°Cに達した(Fig. 2)。両定点と比べると、定点Cのタイドプールの水温は、5月に若干高くなる傾向がみられた。

タイドプールの塩分は、定点Aで6.2~12.1, 定点Bで10.8~15.7, 定点Cで17.1~19.9の範囲で変動した

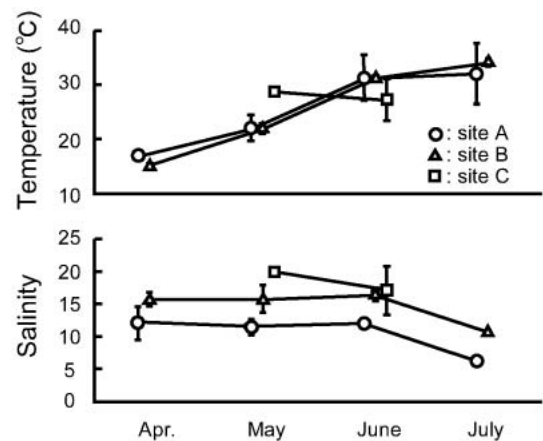


Fig. 2. Water temperature and salinity at the tidal pools on the mudflat in the the Tama River estuary from April to July 2007. Error bars indicate standard deviation.

Table 1. Fishes collected at the tidal pools on the tidal mudflat in the Tama River estuary from April to July 2007

Species	No. of individuals	Size range (SL, mm)	Developmental stages	Sampling sites	Occurrence months
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	546	12.2–46.8	J–Y	A,B,C	4–7
<i>A. lactipes</i>	1	54.7	A	A	5
<i>Gymnogobius breunigii</i>	2	29.2–35.5	Y	C	6
<i>G. macrognathos</i>	238	17.8–28.0	J–Y	A,B,C	5–6
<i>Luciogobius</i> spp.	13	11.6–57.4	J–A	B	4–6
<i>Mugilogobius abei</i>	1	25.8	A	B	7
<i>Pseudogobius masago</i>	648	7.1–24.7	J–A	A,B,C	4–7
<i>Tridentiger obscurus</i>	5	38.8–80.0	Y–A	B	5

Developmental stage: A, adult; J, juvenile; Y, young.

が、いずれの月でも上流側の定点ほど塩分が低い傾向がみられた (Fig. 2)。また、前日までの降雨が激しかった7月には、他の月よりも定点A, Bで塩分が低かった。

3.2 タイドプールの魚類相

種数と個体数 本研究で採集された魚類は8種以上の1,454個体で、すべてハゼ科魚類であった (Table 1)。各定点の平均種数は5月の定点Bで4.0種/m²、6月の定点Aで4.5種/m²と高く、それ以外では0.4~2.4/m²の範囲で変動した (Fig. 3)。個体数密度は4~6月に高く、7月に低かった。とくに5月と6月には、定点AとBで33~46個体/m²の高密度が確認されたが、同時期の定点Cでは14~22個体/m²と密度がやや低くなる傾向が認められた。

優占種の出現状況 最も優占したのはマサゴハゼ *Pseudogobius masago* で全採集個体数の44.6%を占め、次いでマハゼ *Acanthogobius flavimanus* (37.6%)、エドハゼ *Gymnogobius macrognathos* (16.4%) であった。これら個体数上位3種で全採集個体数の98.6%を

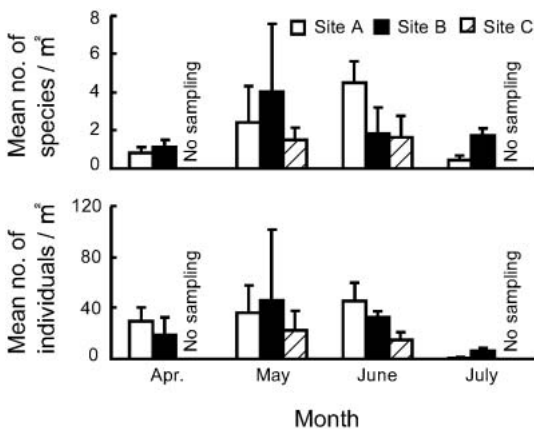


Fig. 3. Mean numbers of species and individuals / m², shown by sampling sites and months, at the tidal pools in the Tama River estuary from April to July 2007. Error bars indicate standard deviation.

占めた (Table 1)。優占種の発育段階は、マサゴハゼでは稚魚から成魚、マハゼとエドハゼでは稚魚から若魚であった。

優占種について定点間で個体数密度を比較すると、マサゴハゼは上流側の定点AとBで、海側の定点Cよりも多い傾向がみられた (Fig. 4)。マハゼは上流側から海側に向かうほど少なくなる傾向がみられた。一方、エドハゼは、上流側の定点AとBよりも海側の定点Cで多くなる傾向が認められた。これら3種の体長には、定点間で明瞭な相違は認められなかった。

3.3 浅瀬の魚類相との比較

本研究のタイドプールで採集された魚類と山本 (2008) によって浅瀬で採集された魚類 (11科29種41,285個体) を比較すると、タイドプールのみで出現する種 (アベハゼ *Mugilogobius abei*, チチブ *Tridenti-*

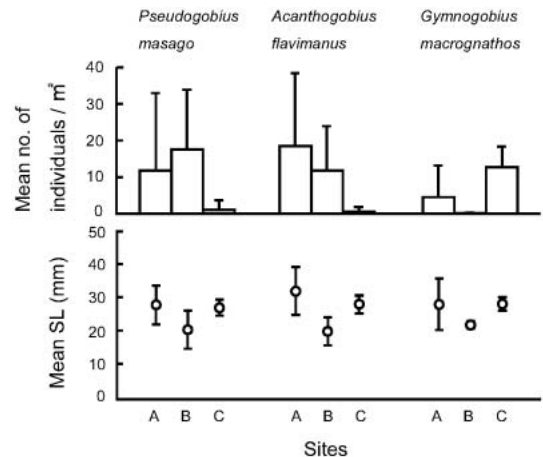


Fig. 4. Number of individuals / m² and mean body size of three dominant species of fishes collected at tidal pools on the tidal flat in the Tama River estuary, shown by three sampling sites from April to July 2007. Note that no tidal pool samplings were done at the site C in April and July. Error bars indicate standard deviation.

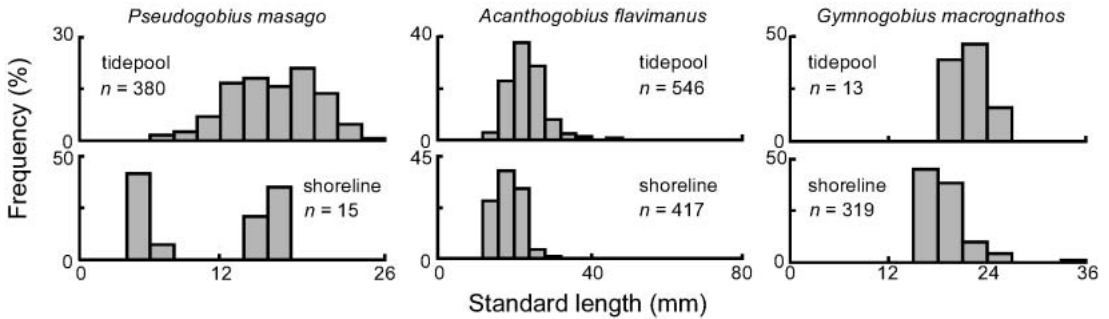


Fig. 5. Size-frequency distribution of *Pseudogobius masago*, *Acanthogobius flavimanus* and *Gymnogobius macrognathos* collected at the tidal pools (present study) and subtidal zones (data from YAMAMOTO, 2008) of site B in the Tama River estuary from April to July 2007. For detailed explanation, see text.

ger obscurus, ミミズハゼ属不明複数種 *Luciogobius* spp. の3種), 浅瀬のみで出現する種 (コノシロ *Konosirus punctatus*, サッパ *Sardinella zunasi*, スズキ *Lateorabrax japonicus*, クロダイ *Acanthopagrus schlegelii*, ボラ *Mugil cephalus cephalus*, マルタ *Tribolodon brandtii*, カタクチイワシ *Engraulis japonicus*, ウキゴリ *Gymnogobius urotaenia*, マゴチ *Platycephalus* sp. など 24 種), タイドプールと浅瀬の両方に出現する種 (マハゼ, アシシロハゼ *Acanthogobius lactipes*, エドハゼ, ビリンゴ *Gymnogobius breunigii*, マサゴハゼの5種) に分けられた。

次に、タイドプールの優占種3種 (マサゴハゼ, エドハゼ, マハゼ) について、タイドプールと浅瀬での出現状況を比較し、2つの環境をどのように利用しているのかについて検討した。タイドプールからマサゴハゼとマハゼは4月から7月にかけて出現し、エドハゼは5月と6月に出現した (Table 1)。一方、浅瀬からはマサゴハゼは4, 6, 7月に、マハゼは4月から7月に、エドハゼは4月と5月に出現していた。マサゴハゼはタイドプールからは稚魚から成魚までの幅広い体長 (7.1~24.7mm) の個体が出現し、体長組成の頻度分布はモードが18~20mmにみられる単峰型を示した (Fig. 5)。浅瀬で採集された個体はわずかであったが、それらの体長組成の頻度分布は、体長4.9~6.5mmの仔稚魚と、体長14.4~17.9mmの若魚から構成される二峰型を示した。マハゼは、タイドプールからは稚魚と若魚が、浅瀬からは仔魚から若魚が得られ、体長組成の頻度分布はそれぞれ体長20~24mmと16~20mmにモードをもつ単峰型を示した (Fig. 5)。エドハゼは、タイドプールでは稚魚と若魚、浅瀬では仔魚から若魚が出現し、体長組成の頻度分布はそれぞれ体長21~24mmと15~18mmにモードをもつ単峰型を示した (Fig. 5)。以上に示したように、優占種3種についてみると、仔魚は浅瀬では採集されるがタイドプールでは採集されないこと、体長組成の頻度分布のモードはタイドプールでやや大きい傾向がみられることが明

らかとなった。

4. 考察

多摩川河口干潟の浅瀬で干潮時にふつうにみられるマハゼ, エドハゼ, ビリンゴ, ウキゴリ, コノシロ, スズキ, ボラ, マルタなどの仔稚魚 (山本, 2008) は、上げ潮とともに干潟上にも来遊することが知られている (KANOU *et al.*, 2005)。しかしながら、本研究によって、干潮時の干潟上のタイドプールにはそれらのほとんどの種類は出現せず、ごく一部の底生性のハゼ科魚類だけが生息することが明らかとなった。ハゼ科魚類のなかでは、とくにマサゴハゼ, マハゼ, エドハゼの3種が極端に優占する傾向がみられた。これら3種の体長組成をタイドプールと浅瀬で比較したところ、いずれの種でも着底期稚魚 [マサゴハゼで体長約6~8mm (道津, 1958), マハゼで約14mm (KANOU *et al.*, 2004a), エドハゼで約17mm (KANOU *et al.*, 2004b)] よりも小さな個体はほぼ浅瀬のみで採集され、それよりも大きくなるとタイドプールでも採集されるようになることがわかった。これらのことから、東京湾の干潟上のタイドプールは、主に着底期以降のハゼ類によって底生生活の場として利用されているといえる。オーストラリア東部のモレトン湾の干潟において、本研究と同様の手法によって魚類群集の研究を実施した MEAGER *et al.* (2005) も、タイドプールでは底生性のハゼ科やキス科の稚魚が優占することを示している。

本研究で優占したハゼ類3種は、生活史のどの時期にタイドプールを利用しているのだろうか。まず、マサゴハゼについてみると、着底期以降の稚魚から成魚はタイドプールでふつうに生息していたが、浅瀬ではまれに採集されるのみであった。三重県の揖斐川下流域の干潟のタイドプールでも、周年にわたってマサゴハゼが生息し、稚魚から成魚へと成長する傾向が確認されており (伊藤・向井, 2007)、本種は生活史のほとんどすべてをタイドプールに依存しているものと考えられる。一方、エドハゼとマハゼは、稚魚と若魚が

タイドプールで出現したが、浅瀬でも同様のサイズがふつうに生息していた。エドハゼの生活史は未解明な部分も少なくないが、干潟域のタイドプールから浅瀬で産卵し、孵化した仔魚は干潟近くの浅海域で浮遊生活を送ったのちに干潟域で着底し、タイドプールや浅瀬で成長すると考えられている(加納, 2003; EGUCHI *et al.*, 2007)。また、マハゼは河口付近の水深5~10 mの泥地で産卵し(東京都水産試験場, 1985)、孵化した仔魚は湾奥の底層で浮遊生活を送ったのちに干潟域で着底し、成長とともに徐々に深い場所へと移動する(加納, 2003)。これらのことから、エドハゼとマハゼは生活史の一時期にタイドプールを利用するが、タイドプールだけに生活史を依存しているわけではないと考えられる。MEAGER *et al.* (2005)も、干潟のタイドプールを利用する魚類には、1) タイドプール上で生活史のほぼすべてを完結する種(ヒメハゼ属の一種 *Favonigobius lateralis* や *F. exquisites* など)と2) 稚魚のみが出現する種(キス属不明複数種 *Sillago* spp. など)が存在することを示している。

本調査地のタイドプールは小規模で水深が1~7 cmと浅く、夏季には水温が34℃に達し、いつ干上がるとも知れない過酷な環境である。このような場所に、なげハゼ類は生息するのであろうか。GIBSON *et al.* (2002)は、カレイ科の *Pleuronectes platessa* が体サイズの小さな時期に捕食リスク軽減のためにタイドプールを利用し、捕食を避け得るサイズに成長した後に深場へ移動することを示唆している。マハゼは最大で全長25cmを超えるが(座間, 1999)、本調査地のタイドプールでは主に2~3 cmほどの稚魚が多く出現した。このサイズのマハゼ稚魚の捕食者となるアシシロハゼの成魚などは、干潮時に浅瀬に多く出現するが、上げ潮時にも浅瀬に留まり干潟には移動しないことが知られている(KANO *et al.*, 2005)。したがって、マハゼ稚魚は干潮時のタイドプールに滞留することで、浅瀬に生息する捕食者を回避できるという利点があるかもしれない。エドハゼについては、着底後からタイドプールや浅瀬に多数存在するアナジャコ類などの甲殻類が掘った巣孔に潜む習性があり(加納, 2003; 加納・横尾, 2006)、捕食者が近づくとそれらの巣孔に逃げ込んで回避する(加納, 未発表)。これらのことから、タイドプールはハゼ類にとって捕食者からの避難所の一つとして機能しているものと推測できるが、その程度について言及するためには、さらなる実験的な研究が必要である。なお、これらの種がタイドプールで生息できるのは、幅広い塩分や水温への耐性(伊藤・向井, 2007)、干潟上の底生小型甲殻類や多毛類を餌とする習性(KANO *et al.*, 2004c)、体背面への隠蔽色の発達(KANO *et al.*, 2004a)などがあってのことであり、そういった生物学的特性を備えていない魚種では干潮時のタイドプールへの滞留は困難であろう。

優占種3種について河口汽水域の上流側と海側で生息密度を比較すると、エドハゼは海側のタイドプールで多いのに対し、マサゴハゼやマハゼは上流側のタイドプールで多い傾向がみられた(加納, 2006; 本研究)。このような種ごとの分布様式の差異には、上流側と海側のタイドプールの環境要因(塩分、底質、甲殻類の巣孔などの隠れ家の有無など)の違いが関わっている可能性があるが、どの要因が分布の決定に最も大きく関わっているかを明らかにするためには複数の環境勾配に沿って多数のタイドプールで調査を行う必要がある。

本研究によって、干潟域のタイドプールが魚類の生息場所として果たす役割は、浅瀬とはかなり異なることが示された。また、マサゴハゼとエドハゼは、近年、内湾や河口汽水域の環境悪化のために生息地が激減し、絶滅のおそれが指摘されている種であるが(環境省, 2007)、干潟域のタイドプールはこの両種の主要な生息場所であることも示された。しかしながら、これまでのわが国の干潟域の保全・再生事業において、干潟域内のタイドプールが魚類の生息場所として機能していることを示した例はわずかに過ぎない(柵瀬ら, 2002)。早急に、各地の自然干潟や人工干潟においてタイドプール環境とそこに生息する生物の現状についてモニタリング調査を開始することが望まれる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、適切な指導とご助言をいただいた東京海洋大学魚類学研究室の茂木正人博士に厚くお礼申し上げます。採集に協力していただいた山本桂子氏をはじめとする同研究室の学生諸氏に感謝の意を表す。

文献

- 道津喜衛(1958): マサゴハゼの生活史. 九州大学農学部学藝雑誌, 16, 359-370.
- EGUCHI K., R. INUI, J. NAKAJIMA, T. NISHIDA, N. ONIKURA and S. OIKAWA (2007): Geographical Distribution of Two Endangered Goby Species, *Gymnogobius uchidai* and *G. macrognaθος* (Perciformes, Gobiidae), in the Kyushu Islands, Japan. *Biogeography*, 9, 41-47.
- GIBSON R. N., L. ROBB, H. WENNHAGE and M. T. BURROWS (2002): Ontogenetic changes in depth distribution of juvenile flatfishes in relation to predation risk and temperature on a shallow-water nursery ground. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 229, 233-244.
- 日比野 学・太田 太郎・木下 泉・田中 克(2002): 有明海湾奥部の干潟汀線域に出現する仔稚魚. 魚類学雑誌, 49, 109-120.
- 本多 仁・片山知史・伊藤 絹子・千田良雄・大森迪夫・大方昭弘(1997): 河口汽水域における魚類集団の

- 生産構造と機能. 沿岸海洋研究, 35, 57-68.
- 伊藤 亮・向井貴彦 (2007): 三重県揖斐川下流域におけるマサゴハゼの生活史. 南紀生物, 49, 103-107.
- 環境省 (2007): レッドリスト, 汽水・淡水魚類. 環境省ホームページ: http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=9944&hou_id=8648
- 環境省 (編) (2008): 第3次生物多様性国家戦略 人と自然が共生する「いきものにぎわいの国づくり」を目指して. ビオシティ, 東京, 323 pp.
- 加納光樹 (2003): 東京湾の干潟域におけるマハゼ仔稚魚の生態. 東京大学博士学位論文, 226 pp.
- 加納光樹 (2006): 干潟域の魚類. 東京湾魚の自然誌 (河野 博監修・東京海洋大学魚類学研究室編), 平凡社, 東京, pp. 73-81.
- 加納光樹・小池 哲・河野 博 (2000): 東京湾の干潟域の魚類相とその多様性. 魚類学雑誌, 47, 115-129.
- KANO K., H. KOHNO, P. TONGNUNUI and H. KUROKURA (2002): Larvae and juveniles of two engraulid species, *Thryssa setirostris* and *Thryssa hamiltonii*, occurring in the surf zone at Trang, southern Thailand. Ichthyol. Res., 49, 401-405.
- KANO K., H. KOHNO and M. SANO (2004a): Morphological and functional development of characters associated with settlement in the yellow fin goby, *Acanthogobius flavimanus*. Ichthyol. Res., 51, 213-221.
- KANO K., M. SANO and H. KOHNO (2004b): A net design for estimating the vertical distribution of larval and juvenile fishes on a tidal mudflat. Fish. Sci., 70, 713-715.
- KANO K., M. SANO and H. KOHNO (2004c): Food habits of fishes on unvegetated tidal mudflats in Tokyo Bay, central Japan. Fish. Sci., 70, 978-987.
- KANO K., M. SANO and H. KOHNO (2005): Larval and juvenile fishes occurring with flood tides on an intertidal mudflat in the Tama River estuary, central Japan. Ichthyol. Res., 52, 158-164.
- 加納光樹・横尾俊博 (2006): 魚類多様性の世界を垣間見るマハゼ類. 東京湾魚の自然誌 (河野 博監修・東京海洋大学魚類学研究室編), 平凡社, 東京, pp. 199-206.
- 桑原悠宇・土田奈々・元山 崇・河野 博・加納光樹・島田裕至・三森亮介 (2003): 葛西人工渚西浜 (東京湾湾奥部) の魚類相. La mer, 41, 28-36.
- MEAGER J. J., I. WILLIAMSON and C. R. KING (2005): Factors affecting the distribution, abundance and diversity of fishes of small, soft-substrata tidal pools within Moreton Bay, Australia. Hydrobiologia, 537, 71-80.
- MORRISON M. A., M. P. FRANCIS, B. W. HARTILL and D. M. PARKINSON (2002): Diurnal and tidal variation in the abundance of the fish fauna of temperate tidal mudflat. Estuar. Coast Shelf Sci., 54, 793-807.
- NAKABO T. (ed) (2002): Fishes of Japan with pictorial keys to the species, English edition. Tokai University Press, Tokyo, 1749 pp.
- 那須賢二・甲原道子・洪川浩一・河野 博 (1996): 東京湾湾奥部京浜島の干潟に出現する魚類. 東京水産大学研究報告, 82, 125-133.
- 小倉紀雄 (1993): 東京湾 100 年の環境変遷. 恒星社厚生閣, 東京, 193 pp.
- 柵瀬信夫・金子謙一・佐野郷美・坂本和雄・佐々木春喜 (2002): 江戸川放水路トビハゼ人工干潟の 10 年. 海洋開発論文集, 18, 7-12.
- 東京都水産試験場 (1985): 東京湾奥部におけるマハゼの産卵生態について. 昭和 55-58 年度 東京湾内湾生息環境調査報告書, 東京都水産試験場, 65 pp.
- 山本桂子 (2008): 多摩川河口周辺水域に出現する仔稚魚とその食性. 東京海洋大学修士論文, 75 pp.
- 山根武士・岸田宗範・原口 泉・阿部 礼・大藤三矢子・河野 博・加納光樹 (2004): 東京湾内湾の人工海浜 2 地点 (葛西臨海公園と八景島海の公園) の仔稚魚相. La mer, 42, 35-42.
- 座間 彰 (1998): 万石浦に出現する魚類の生態学的研究. 東京水産大学博士学位論文, 595 pp.

2008 年 6 月 20 日受付

2008 年 8 月 8 日受理

資料

第46巻第1-2号掲載欧文論文の和文要旨

今 孝悦¹⁾, 加納光樹^{2, 3)}, 井上 隆²⁾, 小林 敦¹⁾, 林崎健一⁵⁾, 黒倉 壽¹⁾: 安定同位体比分析を用いた河口成育場における魚類の餌資源分割の解明

さまざまな沿岸魚類が河口汽水域の浅所を成育場として利用する。そのような成育場に同所的に出現する稚魚の餌資源分割の程度を調べるために、多摩川河口干潟において優占的に出現する沿岸魚類3種(スズキ, マハゼ, ボラ)とそれらの餌資源の炭素・窒素安定同位体比分析を行った。安定同位体比のデータから、スズキは魚類や甲殻類を、マハゼは多毛類や甲殻類を主食としていると判断された。ボラの安定同位体比は、底質や底質上にみられる有機物片のそれとはかなり異なり、底生微細藻類のそれと近く、後者を餌として同化しているものと考えられた。このように、これら3魚種の安定同位体比は互いに異なり、種間での餌資源分割は明瞭であった。こういった餌資源分割は、干潟域での種間競争を緩和する上で重要な役割を果たしている可能性がある。

(¹⁾〒164-8639 東京都文京区弥生1-1-1 東京大学大学院農学生命科学研究科 (²⁾〒110-8676 東京都台東区下谷3-10-10 (財)自然環境研究センター (³⁾〒311-2402 茨城県潮来市大生1375 茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター (⁴⁾〒112-8612 東京都文京区白山5-6-6 京華中学高等学校 (⁵⁾〒022-0101 岩手県大船渡市三陸町越喜来字烏頭160-4 北里大学海洋生命科学部

連絡先著者住所: 〒164-8639 東京都文京区弥生1-1-1 東京大学大学院農学生命科学研究科 今 孝悦 TEL: 03-5841-8115 FAX: 03-5841-5189 E-mail: aa67107@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp)

Nattapong LOASSACHAN¹⁾, Shettapong MEKSUMPUAN²⁾, 一見和彦³⁾, 多田邦尚¹⁾: タイ国バンパコン川河口域における浮遊懸濁物の化学組成

大河川の河口域における浮遊懸濁物の化学組成について調べた。2002年11月と2004年11月に、タイ国バンパコン川河口域において、表層水中の浮遊懸濁物を採取し、クロロフィルa (Chl a), 懸濁態有機炭素 (POC), 懸濁態有機窒素 (PON), 懸濁態リン (PP) を測定した。また、2004年の観測では、河川上流域(塩分0~27psu)の観測も行った。さらに、懸濁態リンを、懸濁態有機リン (POP) と懸濁態無機リン (PIP) に分別定量した。Chl a と、POC, PON, PP, およびPOPとの間には、良い正の相関関係が認められた。それぞれの相関式の傾きから計算されたC:N:P比は、レッドフィールド比(C:N:P=106:16:1)によく一致していた。このことから、河口域の浮遊懸濁物中の有機物は主に植物プランクトン由来のものと考えられた。これまで、PIPのPPに対する割合は無視できるほど小さいと考えられてきたが、今回の観測で得られた浮遊懸濁物ではPIPのPPに占める割合は11~48%であり、決して無視できるものではなかった。さらに、バンパコン川河口域の淡水と海水が混合する海域では、PIPのPPに占める割合は最高75%と特に高かった。PIP含量は、河川から沖合いに向けて徐々に減少しており、これは、塩分の上昇に伴って、浮遊懸濁物中からの無機態リンの溶出および、高いPIP含量の粒子が沖合いに向けて希釈・拡散されたためと考えられた。

(¹⁾香川大学農学部(〒761-0795香川県木田郡三木町池戸), (²⁾Faculty of Fisheries, Kasetsart University (Bangkok 10900, Thailand), (³⁾香川大学農学部附属浅海域環境実験実習施設(〒761-0130香川県高松市庵治町鎌野4511-15) e-mail: tada@ag.kagawa-u.ac.jp)

NGUYEN VAN NGUYEN^{1, 3)}, 大村卓朗²⁾, 古谷 研¹⁾, 福代康夫²⁾: 中部および西部太平洋外洋域で採取された *Dinophysis* 属

中部および西部太平洋外洋域で採取したサンプルから、これまでにほとんど報告のない種を含め、合計33種の *Dinophysis* が観察された。その中でも特に、*D. acutissima* と *D. balechii* の2種は、原記載以降報告がなく、太平洋では初めて確認されたものである。それら2種をそれぞれ原記載に記載されている模式図と比較すると、採取された試料には形態上いくつかの相違点が認められた。また、*D. doryphora*, *D. hastata*, *D. parvula*, *D. schuettii* の4種について、それぞれ1つ以上の morphotype が確認された。現在のところ、それらが同一の種かどうかは不確かである。この属は形態学および分子生物学的手法を用いたさらなる研究が必要である。

(¹⁾東京大学大学院農学生命科学研究科水圏生物科学専攻、〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1、(²⁾東京大学アジア生物資源環境研究センター 〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1、(³⁾Research Institute for Marine Fisheries, 170 Le

Lai str., Hai Phong city, Vietnam)

黒田 寛¹⁾, 磯田 豊²⁾, 本田 聡³⁾, 武岡英隆⁴⁾, 清水 学¹⁾: 日高湾東部陸棚上の日周潮流—スケトウダラ (*Theragra chalcogramma*) 0歳魚の南東移動は日周潮流に起因 するの?—

噴火湾内で成長したスケトウダラ0歳魚は、初夏に日高湾東部陸棚上を南東方向に移動することが知られている。しかし、この時期の陸棚上の平均流は彼らの移動方向とは逆向きの北西向流を示す。南東移動を可能にするメカニズムの一つとして、日周潮流と日周鉛直移動を組み合わせた能動的な移動手段が提案されている(以下、DM仮説)。DM仮説を可能にする物理的な必要条件は、陸棚上の日周潮流が強い鉛直シアを有することであるが、その存在は明らかではない。そこで、日高湾東部陸棚上における日周潮流の波動特性を理解し、DM仮説の妥当性を検討するために、2002年12月から2003年7月に係留流速観測を、また、2003年の初夏にADCP往復観測を実施した。その結果、O₁分潮流が最も卓越し、K₁分潮流は2番目に大きいことがわかった。ただし、潮流振幅と潮位振幅の大小関係は一致しない。ADCP往復観測に基づくO₁分潮流の流速構造と沿岸捕捉波(以下、CTW)の理論解を比較し、O₁分潮の潮位と潮流は主として海盆規模の外部重力波と100km規模のCTW第1モードによって支配されていることが明らかとなった。さらに、CTW第1モードに起因したO₁分潮の流速構造は陸棚上で順圧的であり、30~50m付近に形成される季節躍層にはほとんど依存しないことから、DM仮説は定量的に妥当ではないと結論付けられる。

¹⁾独立行政法人 水産総合研究センター 中央水産研究所 海洋データ解析センター 〒236-8648 神奈川県横浜市金沢区福浦2-12-4

²⁾北海道大学大学院 水産科学研究院 資源環境科学海洋モデリング 〒041-8611 北海道函館市港町3-1-1

³⁾独立行政法人 水産総合研究センター 北海道区水産研究所 亜寒帯漁業資源部 〒085-0802 北海道釧路市桂恋116

⁴⁾愛媛大学沿岸環境科学研究センター 海洋動態解析分野 〒790-8577 愛媛県松山市文京町2-5

Corresponding Author: 黒田 寛 E-mail, kurocan@affrc.go.jp; Tel./Fax, 045-788-7698/045-788-5001 (代表))

学 会 記 事

1. 2008年4月23日(水)幹事会(第1回)開催(於日 仏会館508号室)

報告事項

- 1) 今協会長就任挨拶。
- 2) 日仏海洋学シンポジウム開催のため、新しい銀行口座を開設。
- 3) 平成19年度決算報告。
- 4) 平成20年度総会および研究発表会の周知。
- 5) 平成20年度学会賞および論文賞の推薦。
- 6) 日仏学術交流のルネッサンスについて本学会の発表および要旨は八木副会長が担当。
- 7) 「Kobe 2010」の日仏海洋学シンポに向けて、八木副会長から報告があった。
- 8) 日仏海洋学シンポジウム「Marseille + Paris 2008」の近況報告があり、会員へ情報提供することとした。

審議事項

- 1) 学会誌のバックナンバーのDVD化(PDFファイル化)は終了した。そのコピー作業は吉田編集委員長が経費含めて検討。会員や海外の研究機関へは無料配布することとした。

2. 新入会員

氏名	所属	紹介者
矢後 貴英	東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科 〒108-8477 東京都港区港南4-5-7	荒川久幸
土井 学	東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科 〒108-8477 東京都港区港南4-5-7	渡邊精一
島田 啓資	東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科 〒108-8477 東京都港区港南4-5-7	吉田次郎
工藤 勲	北海道大学大学院環境科学院 〒060-0813 札幌市北区10条西5丁目	門谷 茂

3. 退会(逝去者含む)

石戸谷博範 栗田嘉宥 落合弘明 岩崎哲也

4. 所属および住所の変更

小牧加奈絵

〒105-0001 東京都虎ノ門1-15-16
海洋船舶ビル4F

海洋政策研究財団政策研究グループ研究員

清宮(旧成田)美穂

〒210-0813 神奈川県川崎市川崎区昭和
1-1-1 ファミリーレ昭和502

長谷川直子

〒112-0012 東京都文京区大塚2-1-1
御茶ノ水女子大学大学院人間
文化創成科学研究科

渡部俊広 〒220-6115 神奈川県横浜市西区みなとみ
らい2-3-3
クインズタワーB15F 水産
研究総合センター

日仏海洋学会会則

昭和35年4月7日 制定
 昭和60年4月27日 改正
 平成4年6月1日 改正
 平成19年6月9日 改正

- 第1条 本会は日仏海洋学会と称する。
- 第2条 本会の目的は日仏海洋および水産学者の連絡を密にし、両国のこの分野の科学の協力を促進するものとする。
- 第3条 上記の目的を実現するため本会は次の事業を行なう。
- (1) 海洋および水産に関する研究会および講演会の開催
 - (2) 定期刊行物、学術上の刊行物の発行
 - (3) 学会賞の授与
 - (4) 日仏両国を主とする海洋および水産に関する共同研究成果の発表、ならびに、技術開発成果の導入および普及
 - (5) 両国の海洋・水産関係者の交流促進および親睦をはかること
 - (6) その他本会の目的を達成するために必要な事業
- 第4条 本会には、海洋、水産学の分野に応じて分科会を設けることができる。
分科会は評議員会の決議によって作るものとする。
- 第5条 本会の事務所は日仏会館(〒150-0013 東京都渋谷区恵比寿3丁目9番25号)に置く。
- 第6条 本会に地方支部を置くことができる。
- 第7条 本会会員は本会の目的に賛成し、所定の会費を納めるものとする。
会員は正会員、学生会員および賛助会員とする。
- 第8条 正会員会費は年額8000円、学生会員会費は年額4000円、賛助会員会費は一口年額10,000円とする。
- 第9条 本会は評議員会によって運営される。評議員の定数は28名以内とし、24名は正会員および学生会員の投票によって選出される。
会長は評議員会の同意を得て4名以内の正会員および学生会員を評議員に委嘱することができる。
- 評議員の任期は2年とする。ただし、重任を妨げない。
- 第10条 評議員はその内より次の役員を選ぶ。ただし、監事は評議員以外からも選ぶことができる。
会長 1名、副会長 2名、
幹事 10名以上12名以内、監事 2名
役員の任期は2年とする。ただし、重任を妨げない。
- 第11条 本会に名誉会長、顧問および名誉会員を置くことができる。名誉会長、顧問および名誉会員は評議員会の決議により会長これを委嘱または推薦する。
日仏会館フランス人学長を本会の名誉会長に推薦する。
- 第12条 会長は本会を代表し、総会および評議員会の議長となる。会長事故あるときは副会長がこれに代わる。
会長、副会長および幹事は幹事会を構成し、本会の庶務、会計、編集、研究発表、渉外などの会務を行う。
幹事は本会の会計を監督する。
- 第13条 通常総会は毎年1回会長が招集する。会長は必要に応じて評議員会の決議を経て臨時総会を招集することができる。
総会では評議員会の報告に基づいて、会の重要問題を審議する。
総会は正会員および学生会員の6分の1以上の出席がなければ成立しない。ただし、出席できない正会員および学生会員は委任状により他の出席会員または議長に決議を委任し、出席会員とみなすことができる。
- 第14条 本会則の変更は総会の決議による。

日仏海洋学会評議員・役員選出規定

1. 本規定は日仏海洋学会会則第9条および第10条に基づき本会の評議員および役員の選出方法について規定するものである。
2. 評議員の選出は正会員および学生会員の24名連記無記名投票による。
評議員の選挙事務は庶務幹事が行う。ただし、開票にあたっては本会役員以外の会員2名に立会人を委嘱するものとする。
3. 会長は評議員の単記無記名投票により選出する。
会員選挙の事務は庶務幹事が行う。ただし、開票にあたっては本会役員以外の会員2名に立会人を委嘱するものとする。
4. 副会長、幹事、および監事は、会長の推薦に基づき評議員会で決定する。
5. 本規定の改正は評議員会の議を経て行う。

日仏海洋学会賞規定

1. 日仏海洋学会賞（以下「学会賞」という）および日仏海洋学会論文賞（以下「論文賞」という）を本学会に設ける。学会賞は本学会員で、海洋学および水産学において顕著な学術業績を挙げた者のなかから、以下に述べる選考を経て選ばれた者に授ける。論文賞は若手研究者や大学院生を筆頭著者とする論文を対象とする。原則として選考年度を含む3年（暦年）の間に、本学会誌に発表された論文のなかから、優秀な論文2編以内を選び、その著者（共著者を含む）に、以下に述べる選考を経て授ける。
 2. 学会賞および論文賞候補者を選考するため学会賞および論文賞受賞候補者推薦委員会（以下「委員会」という）を設ける。
 3. 委員会の委員は9名とする。委員は毎年春の評議員会で選出し、委員長は委員の互選により定める。委員の任期は2年とし、隔年に4名および5名を交代する。会長は委員会が必要と認めた場合、評議員の同意を得て2名まで委員を追加委嘱することができる。ただし、追加委嘱された委員の任期はその年度限りとする。
 4. 委員会は学会賞受賞候補者1件および論文賞受賞候補者2件以内を選び、12月末までに選考理由書をつけて会長に報告する。
 5. 会長は委員会が推薦した各候補者につき無記名投票の形式により評議員会にはかる。投票数は評議員総数の3分の2以上を必要とし、有効投票のうち4分の3以上の賛成がある場合、これらを各賞受賞者として決定する。
 6. 授賞式は翌年春の総会において行い、学会賞受賞者には賞状およびメダルを、論文賞受賞者には賞状をそれぞれ贈呈する。
 7. 本規定の改正は評議員会の議を経て行う。
- 覚書
- 1 委員は各専門分野から選出されるように十分配慮すること。
 - 2 受賞者は原則として順次各専門分野にわたるよう十分配慮すること。
 - 3 平成14年度より適用する。

日仏海洋学会誌「うみ」投稿規定

1. 「うみ」(欧文誌名 La mer)は日仏海洋学会の機関誌として、和文または欧文により、海洋学および水産学ならびにそれらの関連分野の研究成果を発表する学術雑誌であり、同時に研究者間の情報交換の役割をもつことを目的としている。
2. 「うみ」は、原則として年4回発行され、投稿(依頼原稿を含む)による原著論文、原著短報、総説、学術資料、書評その他を、編集委員会の審査により掲載する。これらの著作権は日仏海洋学会に帰属する。
3. 投稿は日仏海洋学会会員、および日仏海洋学会正会員に準ずる非会員からとする。共著者に会員を含む場合は会員からの投稿とみなす。
4. 用語は日、仏、英3カ国語のいずれかとする。ただし、表および図の説明の用語は仏文または英文に限る。原著論文には約200語の英文または仏文の要旨を別紙として必ず添える。なお、欧文論文には約500字の和文要旨も添える。ただし、日本語圏外からの投稿の和文要旨については編集委員会の責任とする。
5. 原稿はすべてワードプロセッサを用いて作成し、本文・原図とも2通(正、副各1通)ずつとする。副本は複写でよい。本文原稿はすべてA4判とし、白紙にダブル・スペース(和文ワープロでは相当間隔)で記入する。表原稿および図の説明原稿は本文原稿とは別紙とする。
6. 投稿原稿の体裁形式は「うみ」最近号掲載論文のそれに従う。著者名は略記しない。記号略号の表記は編集委員会の基準に従う。引用文献の表示形式は、雑誌論文、単行本分載論文(単行本の一部引用も含む)、単行本などの別による基準に従う。
7. 原図は版下用として鮮明で、縮尺(版幅または1/2版幅)に耐えられるものとする。
8. 初稿に限り著者の校正を受ける。
9. すべての投稿原稿について、1編あたり5万円の論文掲載料を申し受けます。
10. 会員に対しては10印刷ページまでの掲載を無料とする。会員の投稿で上記限度を超える分および非会員投稿(依頼原稿を除く)の印刷実費はすべて著者負担(1万円/ページ)とする。ただし、カラー印刷を含む場合には、別に所定の費用(1ページあたり9万円)を著者(会員、非会員とも)負担とする。
11. すべての投稿原稿について、1編あたり別刷り50部を無料で請求できる。50部を超える分は請求により50部単位で有料で作製される。別刷り請求用紙は初稿校正と同時に送付される。
12. 原稿の送り先は下記の通りとする。なお著者(共著の場合は代表者)連絡先のe-mailアドレス並びにFAX番号を付けることとする。

〒108-8477 東京都港区港南4-5-7

東京海洋大学海洋科学部海洋環境学科(吉田 次郎気付)

日仏海洋学会編集委員会

e-mail: jiroy@s.kaiyodai.ac.jp

執筆要領

1. 原稿

- (1) 和文原稿の場合: ワードプロセッサを使用し、A4版の用紙におよそ横30字、縦25行を目安に作成すること。
- (2) 欧文原稿の場合: ワードプロセッサを使用し、A4版の用紙にダブルスペース25行でタイプし、十分な英文添削または仏文添削を経て提出すること。
- (3) 和文原稿、欧文原稿いずれの場合も、要旨、表原稿および図版説明原稿はそれぞれ本文原稿とは別紙とする。
- (4) 最終原稿提出の際に、印刷原稿とともに原稿、表、図版が保存されたフロッピーディスク、CD-R/RW、MO等での提出を依頼する。この場合、原稿はMicrosoft WORD、Just System 一太郎、PDFの原稿のみに限る。また、表、図版はこれら原稿ファイルの中に取り込むか、bmp、jpg等の一般的な画像ファイルに保存したものに限る。なお、電子媒体は返却しない。

2. 原稿記載の順序

- (1) 原著(和文原稿)：原稿の第1ページ目に表題, 著者名, 研究の行われた所属機関, 所在地, 郵便番号を和文と英文で記載する。研究終了後所属機関が変わった場合は現所属機関も記載する。連絡先(共著の場合は連絡先とする著者を明示する)の住所, 電話番号, ファックス番号, E-mailアドレスも記す。最後にキーワード(4語以内), ランニングヘッドを英文で記載すること。第2ページ目に欧文要旨(欧文表題, 著者名を含む)を200語以内で記す。本文は第3ページ目から, 「緒言」「資料」「結果」「考察」「謝辞」「文献」「図版の説明」などの章立てあるいは項目で順に記載する。基本的には最近号掲載論文の体裁形式を参考にして投稿原稿を作成すること。原稿には通しのページ番号を記入すること。
- (2) 原著(欧文原稿)：原稿の第1ページ目に表題, 著者名, 研究の行われた所属機関, 所在地, 郵便番号を記載する。研究終了後所属機関が変わった場合は現所属機関も記載する。最後にキーワード(4語以内), ランニングヘッドを記載すること。第2ページ目に欧文要旨(欧文表題, 著者名を含む)を200語以内で記す。本文は第3ページ目からとする。「Introduction」「Data」「Results」「Discussion」「Acknowledgement」「References」「Figure Caption」などの章立てで順に記載する。基本的には投稿原稿の体裁形式は最近号掲載論文を参考にして作成すること。最終ページに和文の表題, 著者名, 連絡先著者住所, 電話番号, ファックス番号, E-mailアドレスおよび約500字以内の和文要旨を添える。原稿には通しのページ番号を記入すること。
- (3) 原著短報, 総説：和文ならびに欧文原稿とも原著論文に準ずる。
- (4) 学術資料, 書評：特に記載に関する規定はないが, すでに掲載されたものを参考にする。

3. 活字の指定

原稿での活字は10.5pt~12ptを目安に設定し, 英数字は半角フォントを用いること。学名はイタリック, 和文原稿での動植物名はカタカナとすること。句読点は(。)および(,)とするが, 文献リストでは(.)および(,)を用いること。章節の題目, 謝辞, 文献などの項目はボールドまたはゴシックとする。

4. 文献

文献は本文および図表に引用されたもののすべてを記載しなければならない。和文論文, 欧文論文共に筆頭著者のアルファベット順(同一著者については, 単著, 共著の順とし, それぞれ発表年の古い順)にまとめ, 以下の例に従って記載する。

(1) 論文の場合

有賀祐勝, 前川行幸, 横浜康継 (1996) : 下田湾におけるアラメ群落構造の経年変化。うみ, **34**, 45-52.

YANAGI, T. T. TAKAO and A. MORIMOTO (1997): Co-tidal and co-range charts in the South China Sea derived from satellite altimetry data. *La mer*, **35**, 85-93.

(2) 単行本分載論文(単行本の一部引用の場合)

村野正昭 (1974) : あみ類と近底層プランクトン. 海洋学講座10 海洋プランクトン (丸茂隆三編), 東京大学出版会, 東京, p.111-128.

WYNNE, M. J. (1981): Pheophyta: Morphology and classification. *In the Biology of Seaweeds*. LOBBAN, C. S. and M. J. WYNNE (eds.), Blackwell Science, Oxford, p.52-85.

(3) 単行本の場合

柳 哲雄 (1989) : 岸海洋学—海の中でもものはどう動くか—。恒星社厚生閣, 東京, 154pp.

SVERDRUP, H. U., M. W. JOHNSON and R. H. FLEMING (1942): *The Oceans: Their Physics, Chemistry and General Biology*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New York, 1087pp.

(4) 本文中での文献の引用

本文中での文献の引用方法はすでに発行された雑誌を参考にするが, 基本的には次の形式に従う。

① GREVE and PARSONS (1977)

② (AVIAN and SANDRIN, 1988),

③ YANAGI *et al.* (1997) は…… (3名以上の共著の場合)

④ ……示されている (例えば, YANAGI *et al.*, 1997) (3名以上の共著の場合)

5. 図, 表および写真

- (1) 図, 表および写真とその説明はすべて英文または仏文を用いる。
- (2) 図, 表はそのまま写真製版用の草稿となるような明瞭なもので, A4版の上質紙に作製したもの(写真は, 正原稿についてもオリジナルとは別にA4版の用紙にコピーしておくことが望ましい)のみを受け付ける。カラー図を希望する場合はその旨明記する。この場合, 別に所定の費用を著者負担とする。
- (3) 写真は光沢平滑印画紙に鮮明に焼き付けたものを受け付ける。カラー写真の印刷を希望する場合はその旨明記する。この場合, 別に所定の費用を著者負担とする。
- (4) 図, 表および写真は刷り上がり時に最大横が14cm, 縦が20cm(説明文を含む)以内であることを考慮して作製すること。
- (5) 図(写真を含む)には, Fig. 1, Fig. 2, ……のように通し番号をつけ, 一つの図中に複数の図を含む場合は Fig. 3 (a), Fig. 3 (b), ……のように指定する。本文中での引用は和文原稿の場合も「Fig. 1にみられるように……」のようにすること。
- (6) 表には, 表題の次(表の上のスペース)に説明をつけ, 表ごとに別紙とし, Table 1, Table 2, ……のように通し番号をつけること。
- (7) 図, 表および写真は1枚ごとに著者名, 通し番号をつけること。また, 本文中での挿入箇所を最終提出原稿の該当箇所右欄外に朱書きすること。
- (8) 図, 写真の説明は別紙にまとめること。
- (9) 地図にはかならず方位と縮尺または緯度, 経度を入れること。

6. 単位系

原則としてSI単位を用いること。塩分は実用塩分単位 (Practical Salinity Unit : psuまたは PSU) を用いる場合は単位なしとする。

Information for Contributors

1. The scientific journal, "La mer," the official organ of Japanese-French Oceanographic Society (JFOS), is published quarterly. "La mer" is open to all researchers in oceanography, fisheries and related sciences in the world. The journal is devoted to the publication of original articles, short contributions, reviews, book reviews, and information in oceanography, fisheries and related fields. Submission of a manuscript will imply that it has not been published or accepted for publication elsewhere. The editorial board decides the acceptance of the manuscript on the basis of peer-reviews and is responsible for its final editing. The Society reserves the copyright of all articles in the Journal.
2. *Submission*: Manuscripts must be written in French, English or Japanese. Authors are requested to submit their original manuscript and figures with one copy to the Editor in chief.
3. *Publication charges*: Each accepted article is charged 50,000 yen for publication. For members, there will be no page charge for less than ten printed pages, and 10,000 yen will be charged per page for the excess, except for color pages. For nonmembers there is a publication charge of 10,000 yen per printed page except for color pages. Color illustrations will be provided at cost.
4. *Proofs and reprints*: Fifty reprints of each article will be provided free of charge. Additional reprints can be provided in blocks of 50 copies. Proofs will be sent to the corresponding author. A reprint order form will be sent with the proofs.
5. Manuscripts should be sent to
Editor in Chief of "La mer"
Jiro Yoshida
Department of Ocean Sciences
Tokyo University of Marine Science and Technology
Konan, Minato-Ku, Tokyo, Japan 108-8477.
jiroy@s.kaiyodai.ac.jp

Manuscript Preparation

1. General
 - 1) Manuscripts must be typed with double-spacing on one side of A4 size white paper with wide margins.
 - 2) Figures, tables, and figure captions should be prepared separate from the main text.
 - 3) Authors should submit an electronic copy of their paper with the final version of the manuscript. The electronic copy should match the hardcopy exactly and should be stored in CD-R/W or FD. MS-WORD (Windows) and PDF formats are accepted.
2. Details
 - 1) The first page of the manuscript should include the title, author's full names and affiliations including Fax numbers and E-mail addresses. The corresponding author should be designated. Key words (up to four words) and running head should be written at the bottom of the page.
 - 2) An abstract of 200 words or less in English or French should be on the second page.
 - 3) The main text should start on the third page. Please adhere to the following order of presentation: main text, acknowledgements, appendices, references, figure captions, tables. All pages except the first page must be numbered in sequence.
 - 4) Mathematical formulae should be written with a wide space above and below each line. Syste me International (SI) units and symbols are preferred.
 - 5) All references quoted in the text should be listed separately in alphabetical order according to the first author's last name. Citations must be complete according to the following examples:
Article: YANAGI, T. T. TAKAO and A.MORIMOTO (1997): Co-tidal and co-range charts in the South China Sea

derived from satellite altimetry data. *La mer*, **35**, 85–93.

Chapter: WYNNE, M.J. (1981): Pheophyta: Morphology and classification. *In* the *Biology of Seaweeds*. LOBBAN, C.S. and M. J. WYNNE (eds.), Blackwell Science, Oxford, p. 52–85.

Book: SVERDRUP, H. U., M. W. JOHNSON and R. H. FLEMING (1942): *The Oceans: Their Physics, Chemistry and General Biology*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New York, 1087pp.

- 6) *Illustrations*: All illustrations should be provided in camera-ready form, suitable for reproduction (which may include reduction) without retouching. Photographs, charts and diagrams are all to be referred to as "Fig(s)." and should be numbered consecutively in the order to which they are referred. They should accompany the manuscript, but should not be included within the text. All figures should be clearly marked on the back with the figure number and the author's name. All figures are to have a caption. Captions should be supplied on a separate sheet.
- 7) *Photographs*: Original photographs must be supplied as they are to be reproduced (e.g. black and white or color). If necessary, a scale should be marked on the photograph. Please note that photocopies of photographs are not acceptable. Half-tone illustrations should be kept to a minimum.
- 8) *Color illustrations*: The printing cost of color illustrations must be borne by authors or their institution. Authors will receive information about the cost on acceptance of the manuscript.
- 9) *Tables*: Tables should be numbered consecutively and given a suitable caption on top and each table typed on a separate sheet.

賛 助 会 員

J F E ア レ ッ ク 株 式 会 社	神戸市西区井吹台東町7-2-3
株式会社 イ ー エ ム エ ス	神戸市中央区東川崎町1-3-3
	神戸ハーバーランドセンタービル 13F
有限会社 英 和 出 版 印 刷 社	北区中里2-14-8 シャンボール駒込101
財団法人 海 洋 生 物 環 境 研 究 所	千代田区神田神保町3-29 帝国書院ビル5F
ケー・エンジニアリング株式会社	台東区浅草橋5-14-10
い で あ 株 式 会 社	世田谷区駒沢3-15-1
テ ラ 株 式 会 社	文京区湯島4-1-13-402

社会基盤の形成と環境保全の 総合コンサルタント

当社は、新しい総合コンサルタントとして、社会基盤整備や環境保全にかかわる企画、調査、分析、予測評価から計画・設計、維持・管理に至るすべての段階において、お客様のニーズに常に最適で付加価値の高いサービスを提供しております。

- 社名の「いであ」(I-D-E-A)は、
- 「Infrastructure (社会基盤整備)」
 - 「Disaster (災害)」
 - 「Environment (環境)」
 - 「Amenity (快適性)」

の頭文字を合わせたもので、業務分野を表現しており、安全・安心で快適な社会の持続的発展と、健全で恵み豊かな環境の保全と継承を支えることを象徴しています。

国土環境(株)と日本建設コンサルタント(株)は2006年6月1日に合併しました。

業務内容

- 河川・海岸の整備・保全計画及び構造物の設計・管理
- 道路・交通・都市の計画・設計・管理
- 橋梁の設計・管理
- 自然及び人工災害に係る事前・事後対策調査、計画・設計
- 環境に関する現況調査、予測、解析
- 環境アセスメント(環境影響評価)、環境保全対策
- 環境に関する生物の調査、分類、同定、実験、解析、育成
- 生物生息環境の保全、再生、創造
- 理化学分析・試験(環境質)、環境リスクの評価・管理
- 気象情報配信とバイオウェザーサービス
- 海外での環境協力事業



フクジュソウ(絶滅危惧種)【植物調査】



信濃川やすらぎ堤(新潟県)【親水型堤防護岸設計】



せせらぎの道(神奈川県)【景観道路計画・設計】



周南大橋(鋼ニールセンローゼ橋)【臨港道路設計】



クマタカ(絶滅危惧種)【猛禽類調査】



ヒメマイトトンボ(絶滅危惧種)【生息環境の研究・保全対策】

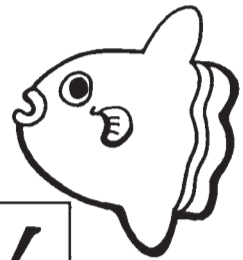
人と地球の未来のために —
いであ株式会社
<http://ideacon.jp/>

本 社	〒154-8585	東京都世田谷区駒沢 3-15-1	電話: 03-4544-7600
東 京 本 部	〒105-0004	東京都港区新橋 6-17-19 (新御成門ビル)	電話: 03-5405-3700
環 境 創 造 研 究 所	〒421-0212	静岡県志太郡大井町利右衛門 1334-5	電話: 054-622-9551
国 土 環 境 研 究 所	〒224-0025	神奈川県横浜市都筑区早瀬 2-2-2	電話: 045-593-7600
東 京 支 社	〒105-0004	東京都港区新橋 6-17-19 (新御成門ビル)	電話: 03-5405-8150
大 阪 支 社	〒553-0003	大阪府大阪市福島区福島 7-20-1 (KM西梅田ビル)	電話: 06-6453-3033
大 阪 支 社 環 境 コ ン サ ル タ ン ト 事 業 部	〒550-0002	大阪府大阪市西区江戸堀 3-2-23	電話: 06-6448-2551
札 幌 支 店	〒060-0062	北海道札幌市中央区南二条西 9-1-2 (サンケン札幌ビル)	電話: 011-272-2882
東 北 支 店	〒980-6016	宮城県仙台市青葉区中央 4-6-1 (仙台中央ビル)	電話: 022-263-6744
名古屋支店	〒460-0002	愛知県名古屋市中区丸の内 1-4-12 (アレックスビル)	電話: 052-211-4884
名古屋支店 環境コンサルタント事業部	〒455-0032	愛知県名古屋港区入船 1-7-15	電話: 052-654-2551
広 島 支 店	〒730-0051	広島県広島市中区大手町 2-1-1 (広島商中日生ビル7F)	電話: 082-545-8500
九 州 支 店	〒812-0055	福岡県福岡市東区東浜 1-5-12	電話: 092-641-7878
沖 縄 支 店	〒900-0003	沖縄県那覇市安謝 2-6-19	電話: 098-868-8884
事 務 所		北陸、四国	

青森、盛岡、秋田、山形、福島、新潟、茨城、千葉、北関東、相模原、神奈川、静岡、長野、富山、金沢、岐阜、三重、福井、滋賀、奈良、



海洋生物資源を大切に利用する企業でありたい
 —— 青魚(イワシ・サバ・サンマ)から宝を深し出す ——



母なる海・海には愛を!

La mer la mère, l'amour pour la mer!



SHIDA

信田缶詰株式会社

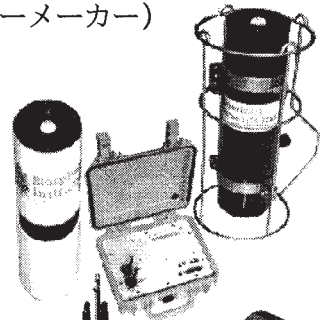
〒288-0045 千葉県銚子市三軒町2-1 TEL 0479(22)7555 FAX 0479(22)3538

● 製造品・水産缶詰・各種レトルトパウチ・ビン詰・抽出スープ・栄養補助食品・他

URL <http://www.fis-net.co.jp/shida/> メールアドレス: shida@choshinet.or.jp

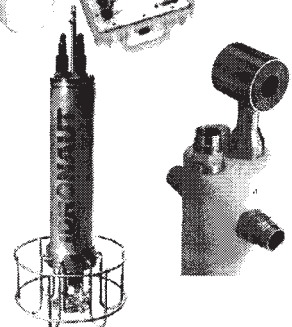
Biospherical Instruments (水中分光放射計・PAR センサーメーカー)

- 10 ダイナミックレンジ水中分光プロファイラー
- 自然蛍光光度測定
- 洋上輝度観測モニター
- Scalar・Cosine PAR センサー
- モノクロセンサー



Idronaut (WOCE CTD メーカー)

- 24 ビット分解 メモリー/FSK プロファイラー
- 6 項目測定+ROSETTE 採水装置インタフェース
- 多項目観測ブイ・ボルタンメトリー電極



Richard Brancker Research (水中ロガーメーカー)

- 24 ビット分解・RS インタフェース内蔵ロガー
- 6 項目測定



日本総代理店 **ケー・エンジニアリング株式会社**

〒111-0053 東京都台東区浅草橋5-14-10

TEL 03-5820-8170 FAX 03-5820-8172

www.k-engineering.co.jp sales@k-engineering.co.jp

日仏海洋学会入会申込書

(正会員・学生会員)

	年度より入会	年	月	日申込
氏名				
ローマ字		年	月	日生
住所 〒				
勤務先 機関名				
電話				E-mail:
自宅住所 〒				
電話				E-mail:
紹介会員氏名				
送付金額	円	送金方法		
会誌の送り先 (希望する方に○をつける)		勤務先	自宅	

(以下は学会事務局用)

受付	名簿	会費	あて名	学会
	原簿	原簿	カード	記事

入会申込書送付先：〒150-0013 東京都渋谷区恵比寿 3-9-25

(財) 日仏会館内

日 仏 海 洋 学 会

郵便振替番号：00150-7-96503