

英虞湾内における局所海洋環境の特性—II

小池 隆

三重大学水産学部

Local Marine Environments in Ago-Bay-II

Takashi KOIKE

Faculty of Fisheries, Mie University

In recent years, profound attention has been directed to conservation of the environment of various marine culture grounds in the inlet waters. For the purpose of understanding the factors vital for this conservation, there is need to clarify characteristics of the water flow, as well as the distribution and fluctuation patterns of dissolved and suspended matter. This was the purpose of the present study.

Observations were carried out for one year in Ago Bay, situated on the Pacific coast of central Japan, where pearl oysters (*Pinctada fucata martensii*) and green algae (*Monostroma latissimum*) are densely cultured.

The results obtained may be summarized as follows: Direction of the tidal flow in the upper layer was generally opposite that of the flow in the lower layer, and its velocity was always higher in the upper layer. It was estimated that most of the waters in the area studied were replaced in the course of a day. Concentrations of suspended matters were always higher in the lower layers in summer, but no trace could be found of them in winter.

Key words: culture ground, tidal flow, suspended matter

熊野灘沿岸の内湾は、ハマチ、タイ、真珠貝、カキ等種々の魚介類の養殖に徹底的に利用されて来ている。これら養殖規模の拡大によって、漁場の過密使用や養殖負荷の増大・集中により水質が悪化し、生産効率の低下のみならず有害赤潮の発生などにより養殖生物が被害を受けることもしばしば生じている。そこで、養殖漁場の生物収容力の評価にもとづく有効利用と環境の保全目標値や到達手法に関する基礎的研究は、内湾を対象とする重要課題となって来ている。

真珠貝養殖漁場の環境の特徴や水質変動に関しては、上野(1961)、柴原(1978)の報告がある。養殖漁場の環境と対象生物の生理、生態との関連性について、関(1972)、山口(1977)、楠木(1978)、伊東(1979)、植本(1979)など多くの報告がある。しかし、養殖漁場における流動と海水の交換および、それに伴う懸濁物質の移動についての究明は十分とはいえない(中村

1966, 宗景1982)。

著者は前報(坂本ら1978)で、暖期のアコヤ貝と寒期のヒトエグサの養殖場として利用されている英虞湾座賀島周辺海域の海洋環境を調査し、その季節推移の特徴について示した。本報では、同海域における潮汐に伴う流動と局地的な海水交換および光学的濁りと懸濁物質の随伴的な動きについて報告する。

観測方法及び使用測器

調査水域は、英虞湾内のほぼ中央部に位置し、志摩半島と座賀島とに挟まれた座賀島南側水道部である。当海域は東西約600m、面積約83000m²でその西口は幅約120m 水深約13m 断面積約1250m²、東口は幅約60m 水深約2.5m 断面積約106m²であり西側枝湾は閉そくし東口が非常に狭まった特徴ある地形をなしている (Fig. 1)。

この東西両口を定点として調査舟を固定し、西側 St. 1 の上層 (3 m) と下層 (10 m または 12 m) 及び東側 St. 2 (2 m) において微流速計 (東邦電探 K. K 製の CM-1 と Sensordata 社製の SD-1, 共に限界感度 2 cm/s) を使用して各層 5 分間の平均流速を 20 分ないし 60 分の間隔で 25 時間にわたるオイラー手法の潮間測流を行なった。観測日は大潮期の 1979 年 6 月 12~13 日, 8 月 7~8 日, 1980 年 1 月 16~17 日と小潮期の 1979 年 8 月 28~29 日である。測流と並行して表層から海底まで、Martek Mark III と Martek Transmissio Meter (光路長 1 m, 最大透過波長 493 nm, 半値幅 53 nm) を用いて、水温、塩分、溶在酸素、pH, と光学濁度の鉛直的分布の潮間観測と、採水を行なった。採水試料は、ワットマン GF/C によってそれぞれ 2 l ずつ直ちに現場でろ過し、残渣の一つは 8% ギ酸アンモニウム水溶液で洗浄後 60°C 24 時間乾燥による懸濁物重量

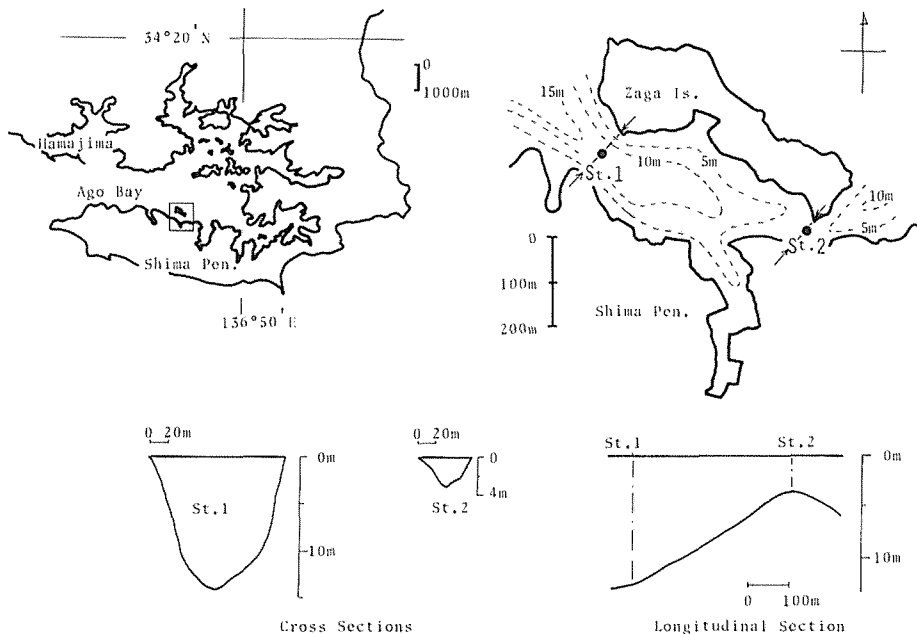


Fig. 1. Studing area

を、他の一つは90%アセトン抽出液について分光吸光度測定法によりクロロフィル a 量を測定した。

結 果

1. 流動 西口 (St. 1) 及び東口 (St. 2) における測流結果をFig. 2 ①夏季の大潮期 (St. 1), ②夏季の小潮期 (St. 1) 及び (St. 2), ③冬季の大潮期 (St. 1) に示す。

西口 (St. 1) の下層には上層流の逆流が生じ、狭く浅い東口 (St. 2) では流速が著しく加

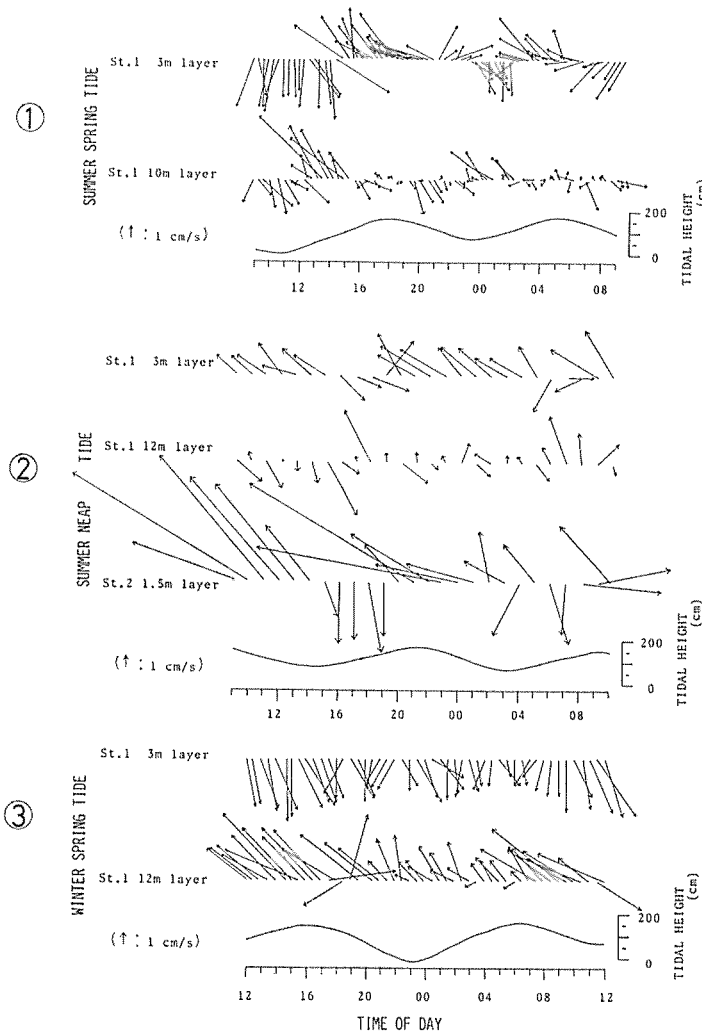


Fig. 2. Current vector diagrams.

- ① 7 ~ 8th Aug. 1979.
- ② 28 ~ 29th Aug. 1979.
- ③ 16 ~ 17th Jan. 1980.

速されている。

夏季の西口では、落潮期に上層で流速 $3 \sim 4 \text{ cm/s}$ の北西流、下層では $1 \sim 3 \text{ cm/s}$ の南東流であり、漲潮期には上下層共に流向が逆転した。さらに、転流時期は下層は上層より多少の時間おくれを生じた。また、西口 (St. 1) 上層部における流速は、大潮と小潮との潮位差に比例する程の顕著な差は認められずむしろ類似した値であった。

東口 (St. 2) では落潮期に平均流速 9.6 cm/s の北西流、漲潮期に 5.6 cm/s の南東流であり、流向は西口上層に連なる変動を示すが、流速ではしばしば2倍以上に加速された (Fig. 2-②)。測流に併せ観測した水温、塩分、溶在酸素及びpHの夏季の鉛直分布例 (Fig. 3) から評価す

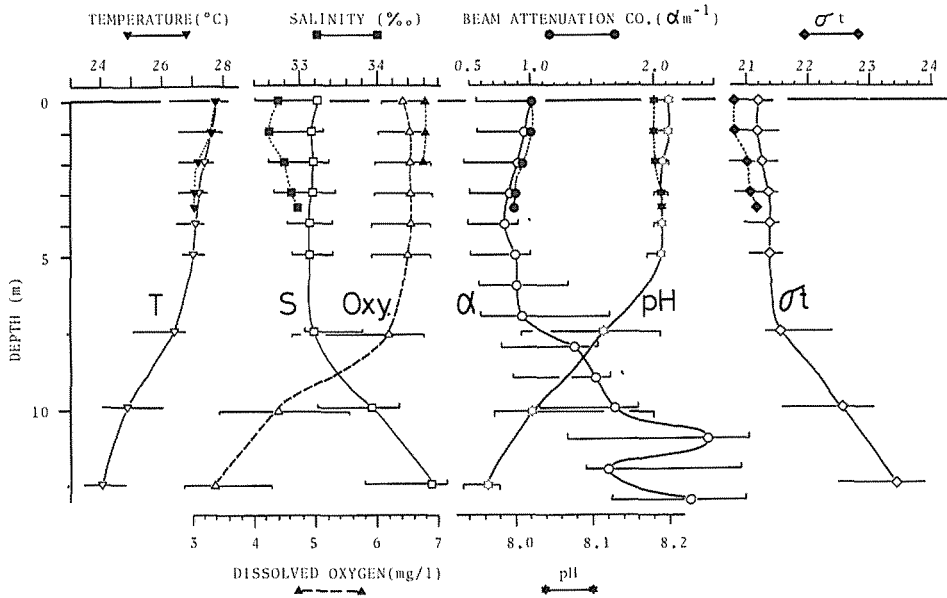


Fig. 3. Diurnal range (horizontal line) and vertical profiles of temperature, salinity, dissolved oxygen, beam attenuation coefficient (α), pH and σ_t

Open marks: at St. 1 in 11:48 on 27th Aug. 1979

Solid marks: at St. 2 in 14:00 on 28th Aug. 1979

れば (1979年8月28日14時), 東口 (St. 2) には西口の上層部がそのまま出現していると判断された。また、密度の躍層深度は西口で6~8m層の間で変動がみられた。

冬季における西口 (St. 1) の流況は、強い北西の季節風の影響によって、上層では南東流が漲・落に応じて強弱の変動を生じ、下層ではその反流が南東流となって同期的に上のせされていた (Fig. 2-③)。水温、塩分、溶在酸素、pHはいずれも海底付近まで鉛直的变化は少なく、その経時的な変動もみられなかった。対流混合の完成状態の中でも流向は上下層で逆転し、東口の地形効果が大きい事が推察された。

2. 光学濁度及び懸濁物質の変動 夏季における西口は、上層には常に低濁度 ($0.5 \sim 0.8 \text{ m}^{-1}$) 海水が去来するが、その値は昼間に増大し、夜間に減少する傾向がみられた。このことから夏

季の養殖アコヤ貝のろ水活性の日周変化と、基礎生産層の表層への移動との関係が想定される。これに対し下層は高濁度 ($>1.5^{-1}$) 海水で占められていた。また、光学濁度の躍層深度は落潮時に上昇し、漲潮時に下降がみられた (Fig. 4)。落潮では上層水の西向流動に対し、狭く浅い東口からの西向流束では不足するため下層の東向流束がそれを補い、漲潮では西口上層からの東向流束が東口によって制約されるため上層水が貯留されることによって、濁度躍層の潮時による上下変動が生じていると判断された。

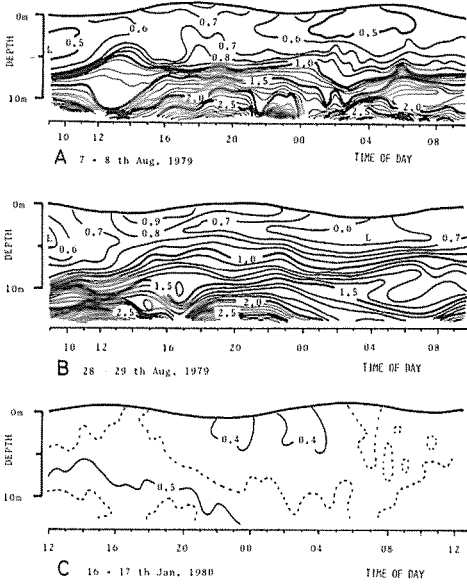


Fig. 4. Variation of beam attenuation coefficient ($\alpha \text{ m}^{-1}$) at St. 1
 A 7~8 th Aug. 1979
 B 28~29 th Aug. 1979
 C 16~17 th Jan. 1980

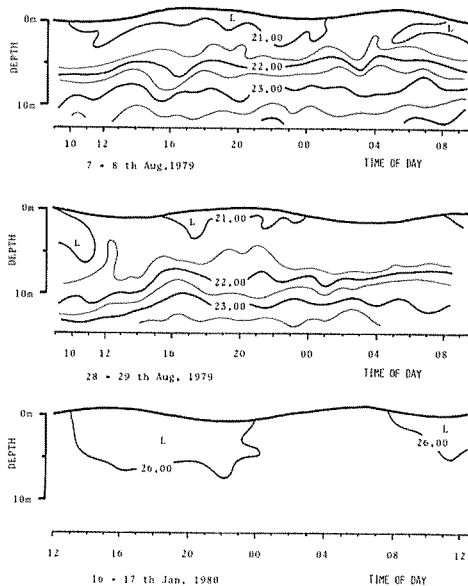


Fig. 5. Variation of σ_t at St. 1
 A 7~8 th Aug. 1979
 B 28~29 th Aug. 1979
 C 16~17 th Jan. 1980

この濁度変化の大きな西口下層 (10m層) における濁度、水温、塩分、溶在酸素及び pH の経時変化を Fig. 6 に示す。当海域では落潮期に高濁度、低酸素、低 pH の底層水が西側下層から流入し、漲潮期には低濁度、高酸素、高 pH の海水が下層から西側下層より流出している。すなわち、落潮期の下層からの湧昇と漲潮期の上層水の収束・沈降が想定され、この原因は東口で地形的に制約されるために生ずる流束不足によると推察される。

冬季において季節風による上層水の吹送が卓越する期間は、底層の高濁度水はこの海域から消滅する。この原因の一つとしては、上層水が東側で沈降して西方への強い流れとなって洗い出し効果を示したと考えられる。

夏季の成層した光学濁度の変動内容を検討するため、西口 (St. 1) の懸濁物質と植物プランクトン量の指標となるクロロフィル a ならびに両者の比の経時変動を Fig. 7 に示す。懸濁物と

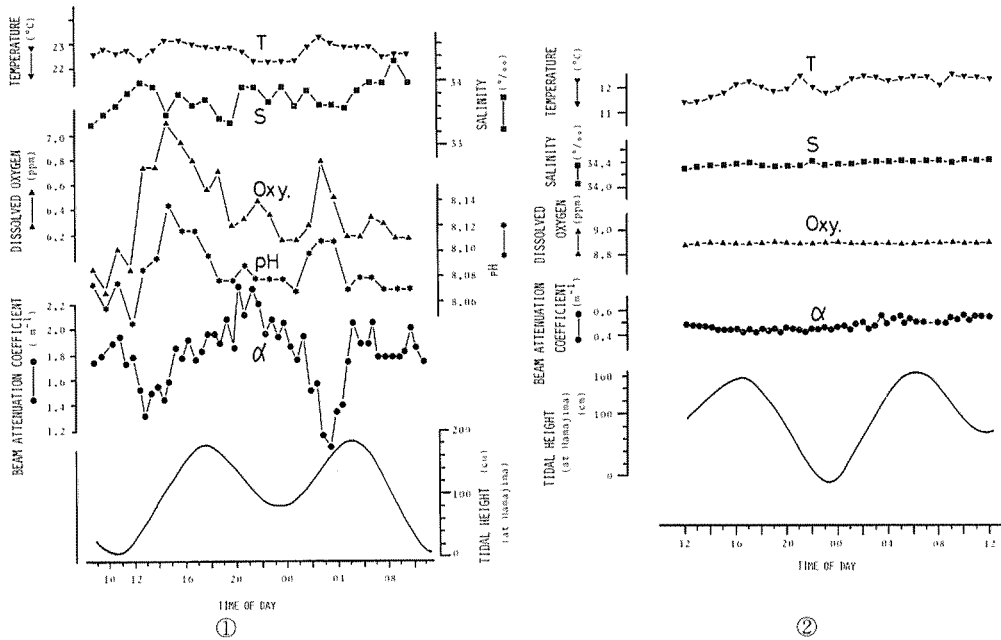


Fig. 6. Comparisons of hourly changes of water temperature, salinity, dissolved oxygen, pH and tidal height at St. 1 in 10 m layer.

① 7~8th Aug. 1979

② 16~17th Jan. 1980

クロロフィル a 及び光学濁度の 3 者は同時進行的変動を示した。また躍層に近い 7.5 m 層のクロロフィル a と懸濁物との比は特に表層のそれより低レベルを示すこともなく、昼夜・潮時についても層別による質的特性は示さなかった。

考 察

海水の流動は、懸濁物質や溶存酸素の分配のみならず養殖貝代謝産物と糞粒等の分散・輸送やその結果としての分布に直接的影響を及ぼす(楠木1978)。英虞湾では海水交換率の低い所に澄み潮や赤潮などの異常が出現するとの報告もある(沢田1968, 柴原1978)。したがって、狭い範囲の養殖漁場の環境変化レベルを正確に把握しまたは予知するには、流達範囲のBiomassの活性と現存量の把握のみならず海水の移動量や交換量の把握が不可欠である。

座賀島水道における8月28日の落潮期(9~15時)と漲潮期(15~20時)について海水流量を試算してFig. 8に示す。海面面積(一定とみなす)、潮位変動、鉛直断面面積(St. 1およびSt. 2)、平均流速(St. 1の上下層ならびにSt. 2, 測流結果から求めた)をもとに計算した。また σ_t と光学濁度の鉛直分布よりSt. 1の上層の厚みを6mとし、St. 2は全層均一とみなした。この結果、落潮期には、西口上層より約50万 m^3 の海水が流出し、東口と西口下層より約46万 m^3 流入する。潮位の低下に伴う海水容量の減少は約6万 m^3 である。漲潮期には、西口上層より約22万 m^3 の海水が流入し、東口と西口下層より約13万 m^3 流出する。潮位の上昇による海水容量の

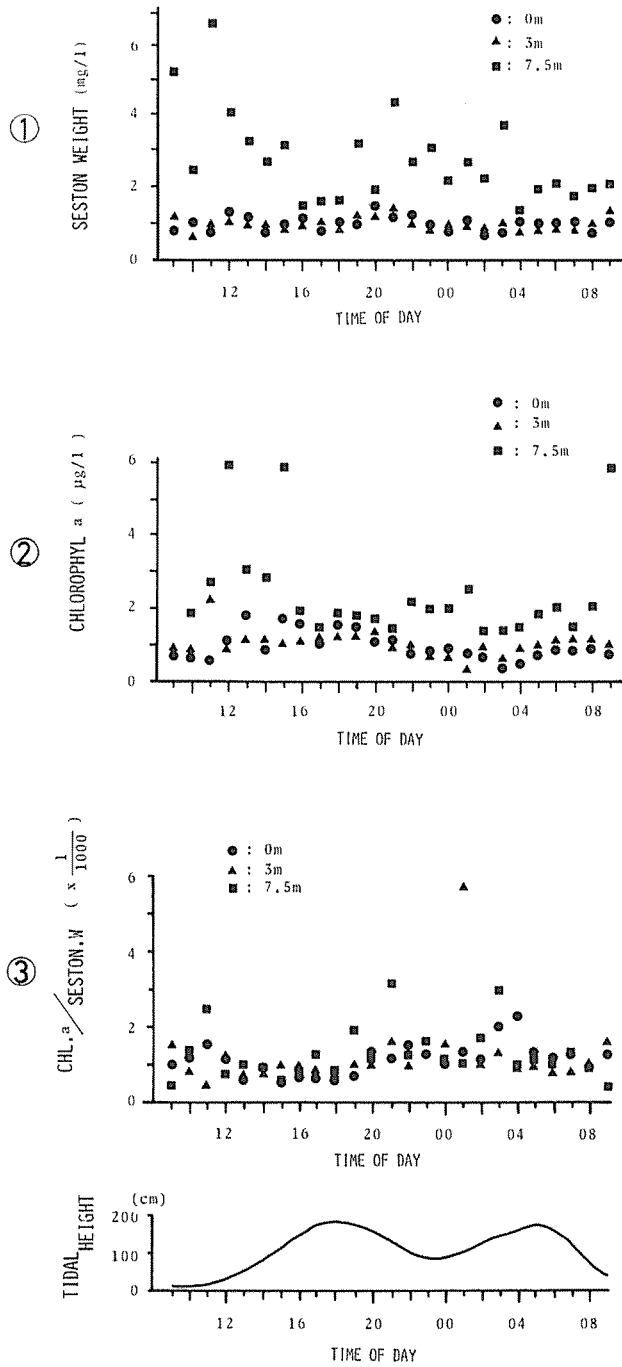


Fig. 7. Hourly fluctuation of ① seston weight, ② chlorophyll a, and ③ chl. a/seston w. at St. 1 from 09:00 on 7th to 09:00 on 8th Aug. 1979

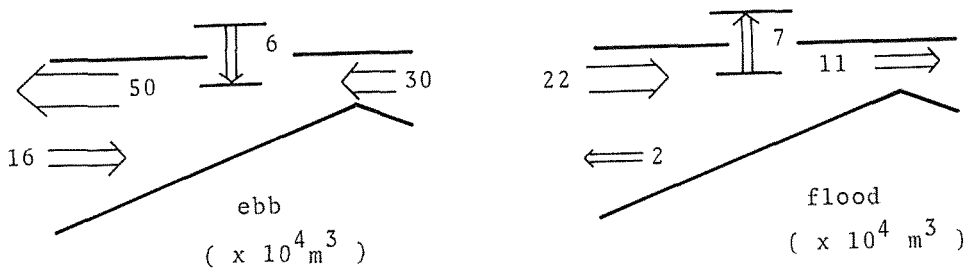


Fig. 8. Quantity of the water moved by the tide.

増加は約7万 m^3 である（満潮期・漲潮期共に流出量の5～10%の不均衡を生ずるが、これは上層の厚みを一定としたことや無流面を設定しなかったことによると推察される）。したがって、当海域では落潮期に西口上層より西側へ流出した量を東口と西口下層からの流入で補い、漲潮期に西口上層で南東流により流入した量は東口と西口下層からの流出でほぼ釣り合っていると考えられる。今後さらに当海域の流動や海水交換率を詳細に知るためには西口断面における細かな流動分布を経時的に求める必要がある。

海水の濁度と懸濁物質量については次式で表わされる関係が得られている。（松生1982）。

$$C\lambda = \frac{3 \cdot Q_{\text{ext}}}{2 \cdot D \cdot \rho} \cdot S$$

ここで $C\lambda$ は波長 λ における光束消散係数（濁度）

Q_{ext} は懸濁粒子の有効断面係数

D は懸濁粒子の平均粒径

ρ は懸濁粒子の密度

S は懸濁物重量

Q_{ext} は海洋では2に収れんするといわれ両者の関係を示す直線の勾配は粒子の大きさとその密度（有機無機の比及び含水率等）によって決まる（JERLOF, 1958）。光学濁度と懸濁物との相関は前報（坂本ら1978）で報告したように高い。今回の観測で求めた一例をFig. 8に示した。相関係数はいずれの場合でも0.8以上で、光学濁度の連続測定で懸濁物を定量的に指標し得る。

前項で、夏季に当海域の上層は、冬季と同じレベルの低濁度の均質な海水で常に覆われていることを述べた。また、下層では高濁度水が潮汐により流動していることを示した。この高濁度水は、落潮期には上層の北西流により吸引されて南東流となって西口下層より流入し、漲潮期には上層の南東流によって東側に収束して沈降した上層水によって押し出され西口下層より北西へ流出し、往復運動を繰り返していると判断される。また、海水の交換が上層では極めて良いにもかかわらず躍層は常に存在し、底層水の上層への流達は制約されていると推察される。したがって、下層の懸濁物が上層へ拡散して分解あるいはアコヤ貝等により再利用されることは少ないと考えられる。これらのことから、当海域ではアコヤ貝の過密な養殖は排せつ物の下層への輸送と貯留が一層促進され、好気分解による低酸素に連係する水質悪化をまねく一因となるおそれがある。

一方、夏季にあった高濁度の底層水は躍層の消滅した冬季にはまったくみられない。この原因としては、北西季節風により上層では南東流が卓越し、下層では北西への流出が継続するため一

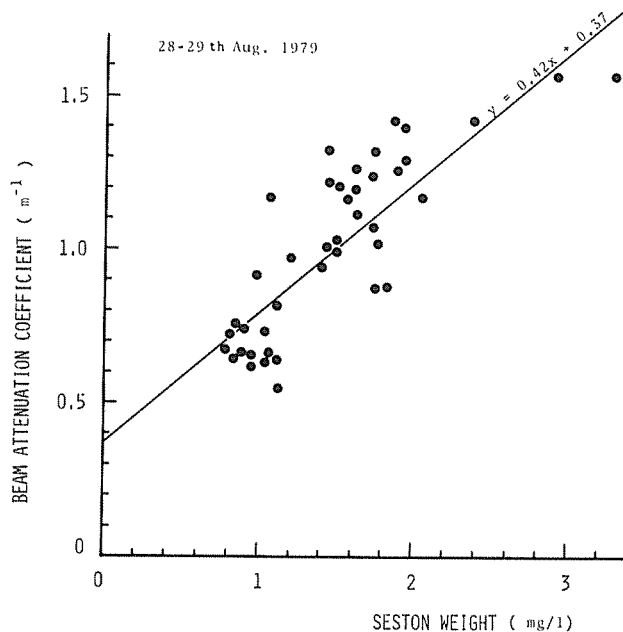


Fig. 9. Relation between beam attenuation coefficient ($\alpha \text{ m}^{-1}$) and seston weight at St. 1.

掃されると考えられるが、発生者である養殖アコヤ貝の避寒による不在という要因もある。下層の輸送懸濁物質が他の局所水域へ集中滞留するのか否か、物理要因と生物要因といずれが主導的に卓越するか等の評価は更に検討を要する。

謝 辞

本研究にあたり、有益な御討論と原稿の御校閲を賜った三重大学水産学部教授坂本市太郎博士、及び東京水産大学教授松生治博士に深甚なる感謝の意を表します。同時に、観測に御助力いただいた三重大学付属水産実験所職員の方々に深く謝意を表します。

この研究は、一部三重県受託研究費及び文部省科学研究費（1979年奨励研究A，課題番号476142）によった。

文 献

- BURT, W. V., 1957. On the attenuation of light in the sea. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **36**: 223-226.
- 早川康博, 1977. 諸磯湾における船ていの許容係留数の試算. *水産海洋研究会報*, **29**: 15-29.
- 伊東克彦・水本三郎・植本東彦, 1979. 真珠漁場の保全的漁場利用の基準. *農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究*. 第3集: 254-264.
- JERLOF, N. G., 1968. *Optical Oceanography*. Elsevier Publishing Co., Amsterdam. 194 pp
- 柏井 誠, 1984. 海水交換概念と海水交換率. *日本海洋学会誌*, **44**: 135-147.
- KAWANA, K. and TANIMOTO, T., 1981. Temporal variation of resuspended matter for one tidal cycle in the Hiuchi-nada area. *J. Oceano. S. Japan*, **37**: 173-178.
- 楠木 豊, 1978. カキ養殖漁場における漁場老化に関する基礎的研究 III. *日水誌***44**(9): 971-973.

- 楠木 豊・木村知博・馬久地隆幸・楠本俊将, 1983. カキの育成と餌料量との関係について. 広島水試研報. 13: 7-27.
- MATSUIKE, K. and MORINAGA, T. 1977. Beam attenuation and particlesize distribution in the Kuroshio area. La mer. 15: 82-93.
- 松生 洽, 1982. 海中の光学測器と測定法. 海洋環境測定. 黒木敏郎編. 恒星社厚生閣. 180-190.
- 松本英二, 1975. 大阪湾における懸濁粒子の分布. 科学. 45: 175-181.
- 三重県農林水産部, 1985. 三重県における真珠 真珠養殖の概況
- 中村 充・白石英彦・佐々木泰雄, 1966. 海水交流に関する研究. 農土試報. 4: 63-91.
- 坂本市太郎, 1985. 熊野灘—化学. 日本全国沿岸海洋誌. 日本海洋学会編. 14: 581-593.
- ・小池 隆・前川行幸, 1978. 座賀島周辺の海洋環境及び養殖生物に関する研究—I 英虞湾内における局所海洋環境の特性. 三重大水実報. 1: 1-20.
- 関 政夫, 1972. 養殖環境におけるアコヤガイ *Pinctada fucata martensii* の成長および真珠品質に影響を及ぼす自然要因に関する研究. 三重県水試研報. 1: 32-149.
- 柴原敬生, 1978. 英虞湾環境調査. 三重県浜島水試年報.
- 宗景志浩・木村晴保, 1982. 成層期の浦の内湾の水温変動と海水流動について. 水産土木. 10: 7-13.
- TAKEMATSU, N., OKAMI, N., KISHINO, M., FUKUDA, M. and SASAKI, T., 1971. The distribution of suspended matter in sea water off the coast of Tokai-mura. La mer, 9: 252-259.
- 上野福三・井上啓晴, 1961. 真珠漁場における餌料基礎生産と漁場の海洋構造について. 国立真珠研報. 829-851.
- 植木東彦・伊東克彦・水本三郎・山村 豊, 1979. 真珠養殖における水の浄化機能の解明. 農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究. 第3集. 258-263.
- 植本東彦, 1981. 真珠養殖漁場における沈降物について. 内湾・沿岸域における沈降・堆積過程—VIII. 日本水産資源保護協会. 126-138.
- 宇野木早苗, 1980. 海水交換とその素課程について. 沿岸海洋研究ノート. 89-98.
- 山本正昭・上北征男・影山智将, 1981. 浜田漁港内の海水交流について. 水工研技報. 水産土木. 2: 1-31.
- 山口一登・蓮尾真澄, 1977. アコヤ貝の活力と環境要因の季節的変動について. 国立真珠研報. 21: 2315-2324.
- ・———, 1978. 中層垂下養殖法と海底養殖法におけるアコヤ貝の活力の比較. 国立真珠研報. 22: 2405-2423.