

室戸海洋深層水取水管における生物の迷入

林 芳 弘

序 論

近年、海洋深層水（以下深層水）は、水産生物の飼育・培養水として、あるいは食材としてなど、活発に利用されるようになった¹⁾。

一般に、深海では浅海域と比較して生物の密度が小さいため、有害生物による被害、例えば、人体や飼育生物に対する健康被害や、迷入生物や付着生物による取水管の目詰まりといった物理的な被害が、表層部の海水と比較した場合、大幅に軽減されるのではないと思われる。

事実、室戸深層水中の細菌や²⁾、病原性微生物に関する調査³⁾を通じて、人体や飼育生物に健康被害を与えるような病原体の存在は現在のところ確認されていない。また、高知県海洋深層水研究所では、平成元年に運営開始されて以来9年間、迷入生物による取水の障害はほとんど発生していない⁴⁾。

しかしながら、深層水取水管への生物の迷入は全くないわけではない⁵⁾。

今後の深層水の利用促進や、取水設備の管理をするうえでは、迷入生物の実態をより詳細に把握することが望まれる。とりわけ深層水中の小型プランクトンやベントスなどに関する知見は全くなく、早急に明らかにする必要がある。

迷入してくる生物の中には、利用価値の高い生物が含まれていることも考えられる。新たな生物資源の探索という意味からも、迷入生物の研究は意義が大きい。

そこで本研究では、高知県海洋深層水研究所で取水している深層水中の大型生物、プランクトン、ベントスに関する調査を行い、その出現の実態を明らかにすることを目的とした。

高知県海洋深層水研究所およびアクアファームの概要

高知県海洋深層水研究所は高知県室戸市の室戸岬東岸に位置している。深層水取水深度は、取水管1が320m、取水管2が344mである。取水管の内径は125mmである。

高知県海洋深層水研究所の南約4kmには、室戸市主管の深層水取水施設（アクアファーム）があり、ここでは水深374mから深層水を取水している。アクアファームの取水管は、内径270mmである。

方 法

1. 大型生物の採集

取水管1と2の取水ポンプ手前にあるストレーナを、それぞれS1、S2とし（図1）、生物の採集を行った。ストレーナの目合いは約1×1cmであるため、それを通過できない大きさの生物が採集対象となった。本研究では、S1、S2で採集された生物を、大型生物として扱った。

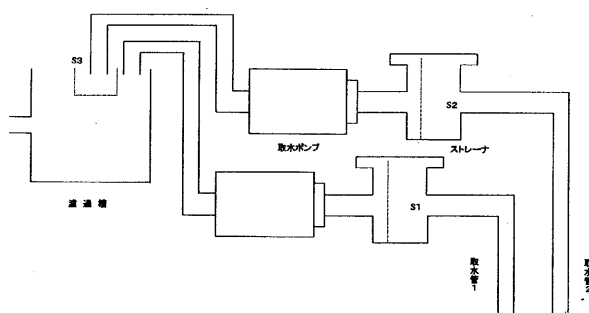


図1 海洋深層水研究所の取水システム

原則として、土曜日と日曜日を除く毎日、定期的にストレーナの点検をし、生物が迷入していれば採集した。採集した生物は、日本海洋プランクトン検索図説⁶⁾、日本海洋プランクトン図鑑⁷⁾、日本動物大百科⁸⁾、日本産魚類検索 全種の同

定⁹⁾を参考に種名の同定を行い、体重、全長などとともに記録した。

大型生物の採集は、2000年4月24日から開始され現在も継続中であるが、今回の報告では、2000年4月24日から2001年3月1日の312日間の採集結果をまとめた。

また、アクアファームで、大型生物の採集を2000年5月27日、6月22日、7月19日、11月17日に行った。

2. 小型生物の採集

取水管2を流れてきた水が濾過槽に達する手前の部分をS3とした(図1)。濾過槽へ落水している深層水をプランクトンネット(目合い45 μ m)で受け、ストレーナーを通過した生物を採集した。S3で採集された生物は、小型生物として扱った。

1998年10月12日から12月22日の期間中、24回の採集を行った。採集1回ごとの平均水量 \pm 標準偏差は 932.6 ± 31.7 l だった。調査を通じての総採水量は23314.75 l だった。

採集した生物は5%中性ホルマリンで固定し、後日、光学顕微鏡によって検鏡した。同定は、日本海洋プランクトン検索図説⁶⁾、日本海洋プランクトン図鑑⁷⁾、日本動物大百科⁸⁾を用いて行った。近年における珪藻綱の分類は、電子顕微鏡をはじめとする観察技術の進歩から、大きく見直されている^{6), 10)}。本研究では光学顕微鏡による観察しかなかったため、珪藻類についてはCentrales(円心目)と、Pennales(羽状目)の二つに大別するのみとした。

出現する動物プランクトンのサイズを明らかにするため、10月14日、18日、19日に採集された生物のうち、全ての甲殻類(N=156)の体長を測定した。

また、2000年7月19日には、アクアファームで取水している深層水を10 l 採水し、45 μ m目のプランクトンネットで濾過し、顕微鏡で観察した。出現した生物の同定ならびに、体長の測定を行った。

3. 魚類の迷入実験

採集された魚類チゴダラ *Physiculus japonicus*、ユメカサゴ *Helicolenus hilgendorfi* を飼育し、パイプ状構造物に対する行動を観察した。水槽は、縦180cm、横90cmの角形1 t水槽を用いた。水深は約50cmとした。水槽の中には、直径11.5cm、長さ22.0cmの塩化ビニール製パイプを床中央部に設置した。

水槽の中には、チゴダラあるいはユメカサゴを1個体のみ飼育した。普段は週に2回、魚の切り身を餌として与えたが、実験した日とその前後1日は給餌しなかった。

・ユメカサゴ

ユメカサゴは、水槽内であまり活発に遊泳せず底で停止していることが多かったため、1時間に1回ずつ水槽内での位置を記録した。観察を実施した時間帯は、9時~22時までの間だった。実験は、2000年11月16日と12月7日に、2回行った。

・チゴダラ

チゴダラは30分間連続して観察し、パイプに入っている時間と出ている時間を秒単位で記録した。観察は1日2回、午前(11時頃)と午後(16時頃)に行った。実験は、2001年2月1日と8日に、2回行った。

また、チゴダラをドーナツ型水槽に収容し、水流に対する走行性を確認した。時計回り、あるいは反時計回りに10回ずつ水流を起こし、チゴダラが頭を向ける方向を記録した。

結 果

1. 大型生物の採集

S1、S2における採集記録を表1に示した。21種の生物が確認された。

S1からは17種の生物が確認された。期間中を通してS1で採取された全ての生物の重量は3370.3 g だった。

S2からは6種の生物が確認された。S1に比べると生物の種数は少なく、重量も610.0 g にとどまった。

S1、S2を合わせた全ての生物の総重量は

表1 深層水中の大型生物採集記録

分類群	採集場所	採集個体数	重量 (g)
CHORDATA (脊椎動物門)			
<i>Eptatretus okinoseanus</i> ムラサキヌタウナギ	S 1	1	1108.3
<i>Meadia abyssalis</i> ヒレジロアナゴ	S 1	1	2.8
<i>Notacanthus abboti</i> キツネソコギス	S 1	3	29.6
<i>Maurolicus meuelleri</i> キュウリエソ	S 1	1	0.8
<i>Physiculus japonicus</i> チゴダラ	S 1	10	738.2
<i>Chaunax fimbriatus</i> ホンフサアンコウ	S 1	1	85.0
<i>Helicolenus hilgendorfi</i> ユメカサゴ	S 1	1	123.3
魚種不明	S 1	1	2.7
MOLLUSCA (軟体動物門)			
Octopoda (八腕形目) の1種	S 2	1	75.9
軟体動物の1種?	S 1	1	1.3
ARTHROPODA (節足動物門)			
<i>Heteralepas japonica</i> ハダカエボシ	S 1 S 2	252 70	443.7 129.8
<i>Bathynomus doederleini</i> オオグソクムシ	S 2	1	3.5
<i>Gnathophausia longispina</i> ハリナガオオベニアミ	S 1	1	0.6
Pandalidae (タラバエビ科) の1種	S 1	8	53.8
Decapoda (十脚目) の1種	S 1 S 2	1 3	0.1 0.9
Brachyura (短尾下目) の1種	S 2	2	0.2
Galatheoidea (コシオリエビ科) の1種	S 1	1	20.6
ECHINODERMATA (棘皮動物門)			
Asteroidea (ヒトデ綱) の1種	S 1	1	12.2
Echinoidea (ウニ綱) の1種	S 1	1	459.0
Holothuroidea (ナマコ綱) の1種	S 1 S 2	2 1	13.6 3.3
CHORDATA (脊索動物門)			
<i>Salpa fusiformis</i> トガリサルパ	S 1 S 2	155 157	274.7 396.4

3980.3 g だった。その中で、最も大きな割合を占めた種はムラサキヌタウナギ *Eptatretus okinoseanus* だったが、個体数は1個体のみだった。次いで、チゴダラ、トガリサルパ *Salpa fusiformis*、ハダカエボシ *Heteralepas japonica*、ウニ類の1種の割合が大きかった。個体数が最も多かったのはハダカエボシだった。トガリサルパも多数の個体が見られた。

S 1では少なくとも7種類の魚類が採集されたのに対し、S 2では魚類は全く出現しなかった。魚類において最も個体数が多かったのはチゴダラだった。チゴダラはS 1では、期間中10個体採集できた。発見時に生きていたのは1個体のみで、それ以外は全て死骸であった。中にはかなり腐敗が進んだものもあった。

アクアファームでは、チゴダラ、ムラサキヌタウナギ、ユメカサゴの他、ナヌカザメ *Cephaloscyllium isbaellum* を採集した(表2)。アクアファームの

ストレーナーで採取された魚類の中でも、チゴダラの個体数は際だって多かった。

S 1およびアクアファームで採集されたチゴダラの、体長、体重、胃内容物などについて、表3に示した。S 1で12月28日に採集された個体は腐敗がひどく、体重のみを計測した。この個体を除く16個体のチゴダラの平均体長±標準偏差は19.6 cm±5.0、平均体重は95.8 g±71.9だった。最も大きかった固体で、体長24.6cm、体重158.5gだった。最も小さい固体は、体長12.6cm、体重21.0gだった。胃内容物からは、甲殻類や魚類を摂餌している食性がうかがえた。

2. 小型生物の採集

・出現種

小型生物の採集の記録を表3に示した。全体的に採集された生物の体長が小さかったことから、種の同定までは困難なものが多かった。生物は

表2 アクアファームで採集された大型生物

分類群	採集個体数
CHORDATA (脊椎動物門)	
<i>Eptatretus okinoseanus</i> ムラサキヌタウナギ	3
<i>Cephaloscyllium isbaellum</i> ナヌカザメ	1
<i>Physiculus japonicus</i> チゴダラ	7
<i>Helicolenus hilgendorfi</i> ユメカサゴ	2
MOLLUSCA (軟体動物門)	
Octopoda (八腕形目) の1種	1
ARTHROPODA (節足動物門)	
<i>Bathynomus doederleini</i> オオグソクムシ	3
Pandalidae (タラバエビ科) の1種	1
ECHINODERMATA (棘皮動物門)	
Holothuroidea (ナマコ綱) の1種	1

表3 深層水中の小型生物

分類群	採集個体数	出現密度 (個体数/t)
ARTHROPODA (節足動物門)		
Calanoida (カラヌス目)		
カラヌス目の1種	2	0.09
カラヌス目の1種	6	0.26
Cyclopoida (キクロプス目)		
<i>Oithona</i> sp.	1	0.04
Harpacticoida (ソコミジンコ目)		
<i>Microsetella norvegica</i>	52	2.23
ソコミジンコ目の1種	10	0.43
ソコミジンコ目の1種	4	0.17
ソコミジンコ目の1種	2	0.09
Poecilostomatoida (ポエキロストム目)		
<i>Oncaea</i> spp.	282	12.10
<i>Hemicyclops</i> sp.	17	0.73
その他の橈脚類	41	1.76
Cirripedia (蔓脚下綱) のノープリウス幼生		
端脚目の1種	10	0.43
端脚目の1種	2	1.76
ノープリウス幼生	16	0.69
ノープリウス幼生	3	0.13
その他の甲殻類	8	0.34
NEMATODA (線形動物門)		
線形動物	21	0.90
PROTOZOA (原生動物門)		
有孔虫	1833	78.62
HETEROKONTOPHYTA (不等毛植物門)		
Bacillariophyceae (珪藻綱)		
Centrales (円心目)	40452	1735.04
Pennales (羽状目)	460	19.73

43361個体採集され、採水量から算出された個体数密度は1861.0/tとなった。

①珪藻

採集された生物の大部分は珪藻類であり、珪藻だけの個体数密度は1785.8/tとなった。採集された珪藻の全細胞の中で98.9%がCentrales(円心目)であった。そのうちのほとんどはCoscinodiscineae(コスキノディスクス亜目)であると思われる単体性のものであった。

珪藻の殻や破片などの死骸も多くみられたが、生細胞も多数出現することが明らかになった。羽状目珪藻では、ホルマリン固定前に検鏡したところ、遊泳運動しているものも多かった。

②有孔虫

動物プランクトン・ベントスで最も個体数が多かったのは有孔虫で、個体密度は78.6/tだった。有孔虫も、詳細な分類が困難であったため、細かい種の同定は行わなかった。

③甲殻類

有孔虫に次いで甲殻類が多く出現し、個体密度は25.8/tだった。出現した甲殻類大部分が橈脚類と蔓脚類の幼生だった。採集された甲殻類の個体数のうち、橈脚類が占めていた割合が70.4%、蔓脚類幼生では23.1%だった。

橈脚類の中では *Oncaea* 属が最も多くみられた。単独種で最も個体数が多かったのは、*Microsetella norvegica* だった。

②その他

線形動物がわずかに見られた。海洋生物の主要分類群である軟体動物や魚類は確認できなかった。

・甲殻類の体長分布

156個体の甲殻類の体長頻度分布を図2に示した。この3日間に出現した甲殻類は、橈脚類、蔓脚類の幼生、端脚類だった。出現した動物のサイズは、大部分が250~450μmであった。平均は419.8μm±147.3だった。小型の甲殻類が多く、1mmを超える個体は橈脚類で1個体出現したのみだった。

・出現周期

甲殻類および珪藻類の出現個体数の推移を図3

に示した。特に周期性はみとめられず、月齢とも無関係に出現していることがうかがえた。また、甲殻類と珪藻で共通した出現周期も見いだせなかった。甲殻類、珪藻類ともに採集日ごとの出現個体数の変動は大きく、安定していなかった。

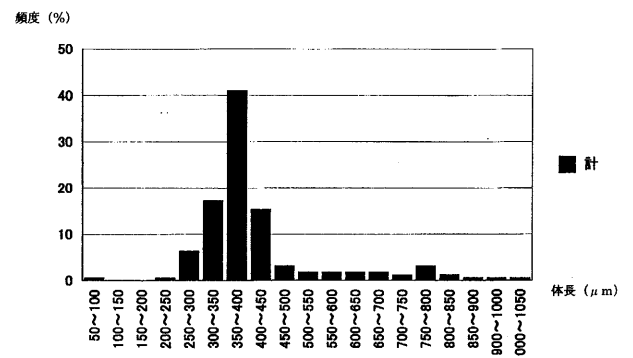


図2 甲殻類の体長頻度分布

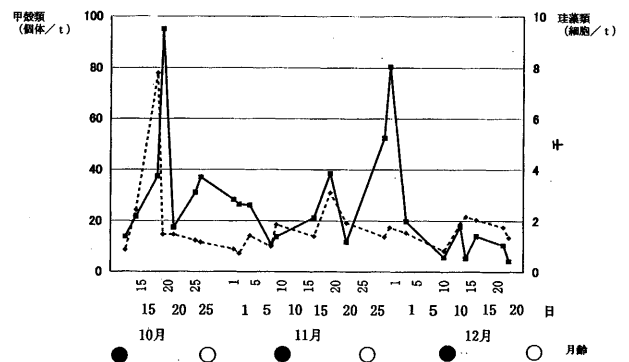


図3 出現個体数の変化

■ 甲殻類 ◇ 珪藻類 ○ 満月 ● 新月

・アクアファーム深層水中に出現した生物

深層水10ℓ中に、珪藻類が25細胞、橈脚類が1個体、端脚類が5個体出現した。橈脚類は、体長305.3μmの *Oncaea* 属の1種だった。端脚類の体長は1341.0~4550.0μmだった。甲殻類全体の体長の平均は2253.6μm±1491.0だった。高知県海洋深層水研究所で採集された甲殻類よりも大きかった。

また、個体数密度についても高知県海洋深層水研究所と比較した。アクアファームの深層水中に出現した生物の個体数密度を1tに換算した場合、珪藻は2500/t、甲殻類は600/tとなった。

3. 魚類の迷入実験

・ユメカサゴ

2回の実験を通じて26回の観察のうち、2回はパイプ内に隠れていた(7.7%)。パイプに隠れていた時間帯は午前9時と10時だった。

・チゴダラ

パイプに隠れていた時間と、パイプの外にいた時間を図4に示した。1回目とも2回目とも似たような結果となった。9:00~9:30ごろはほぼ全ての時間を、パイプの中に隠れていた。一方、16:00~16:30ごろになると、活発な遊泳行動がみられ、パイプ外で過ごす時間が大幅に増えた。ただし、常時パイプ外に出ているわけではなく、平均すると約15秒間隔でパイプの出入りを繰り返していた。

水流に対する走行性を調べたところ、20回の実験のうち20回全て、水流を起こしてから50秒以内に頭部を上流の方に向けた。

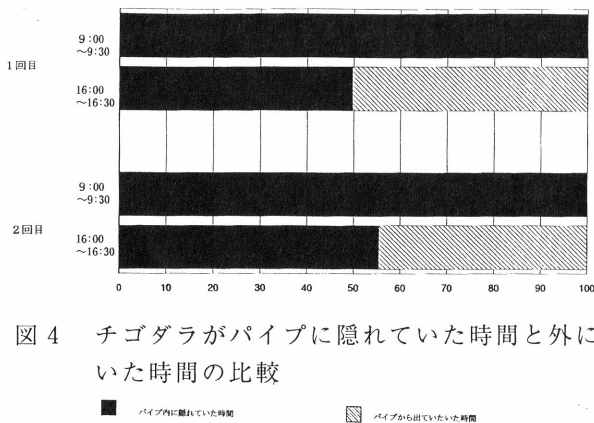


図4 チゴダラがパイプに隠れていた時間と外にいた時間の比較

考 察

・大型生物の迷入と取水の障害

今回の調査で採集された迷入魚類は、富山県で取水されている深層水取水管に迷入してくる魚類とは大きく種が異なっていた¹¹⁾。深層水の迷入生物の状況は、地域によって大きく異なることが明らかになった。

今回の研究で採集された大型生物の総重量は3980.3gにとどまった。深層水は毎日920tずつ取水されているので、生物の密度は0.01g/tと推定された。これはかなり低い値であると思われ

るが、しかし、全く無視できるものでもないと思われる。

魚類やウニ類など、取水管を詰まらせ得る大きさの生物の迷入も確認された。直径約20cm、体重459.0gのウニが迷入した際には、ごくわずかではあったが、現実に深層水取水量の低下が認められた。

また、サルパ類は、一度に大量の個体が迷入してくるため、取水障害を引き起こす危険性が強い生物であることが示唆された。トガリサルパは合計312個体確認できたが、それは2000年9月21日~27日の短期間の間に集中して迷入したものだ。この間、1日の迷入個体数が94個体に及んだことが、S1およびS2で、それぞれ1回ずつあった。毎日除去していたので取水に支障は生じなかったが、ストレーナーに目詰まりしていた個体も多数みられたため、場合によってはポンプ停止に陥っていた可能性も高い。サルパ類は、しばしば大量発生して漁網などの目詰まりの原因にもなることから⁸⁾、深層水の取水を行ううえでも警戒が必要であろう。

それから、大型のタコ類なども、注意を要する生物であると思われる。

大型生物の迷入がしばしば起こる以上、深層水取水設備においても、日常の維持管理作業は重要である。ただし、迷入の頻度はごくわずかであるため、管理作業が大きな負担となることはないと思われる。最低限の管理さえ行っていれば、大型の迷入生物による物理的な取水の障害が問題となることは少ないと考えられる。

・小型生物の出現

小型の迷入生物の個体数は、1tあたり1861.0であり、このうち94.3%が珪藻であった。深層水中にも植物プランクトンの生細胞が出現することが明らかになったが、その密度は1ℓあたり1~2個と、少なかった。

動物プランクトンおよびベントスの密度はあまり高くなかった。比較的多く出現した種は、橈脚類と蔓脚類の幼生であった。大型生物の採集の結

果、ハダカエボシが多くみられたことから、蔓脚類幼生はハダカエボシの幼生であると思われる。

今回の調査では、飼育生物に対して害のある種は確認されなかった。寄生・共生性の橈脚類である *Hemicyclops sp.* の幼生の出現が認められた。深層水中の個体数も少ないことから、飼育生物への被害などはまず問題にならないと思われる。本種の生物学的な知見はあまり多くない^{6) 12)}。

今回の小型生物の調査では、昼間の採集しかできなかった。夜間には、異なる生物が出現している可能性もある。また、採集日によって生物の種類や個体数が大きく変動したため、今回の調査だけでは深層水中の小型生物の出現動向を完全に把握したとは言い難い。今後さらなる調査が必要であり、とりわけ継続的なモニタリング体制の整備が急務である。

・ 取水管規模による迷入生物の変化

高知県海洋深層水研究所で取水された深層水中から得られた小型生物は、体長1 mm以下の個体がほとんどであったが、アクアファームで取水されている深層水では、体長4 mmを越える個体も出現した。出現個体の密度も、甲殻類では明らかにアクアファームの方が大きかった。

高知県海洋深層水研究所の取水管では吸引力が弱いため、ある一定以上の大きさのプランクトンやベントスは大部分が迷入を回避しているものと思われる。アクアファームの取水管の内径は、高知県海洋深層水研究所のもの約2倍あり、取水の際の水流も強いため、より大型の生物も大量に吸引されるものと考えられる。

遊泳力を持たない珪藻の出現密度は、高知県海洋深層水研究所とアクアファームであまり差がなかった。

このことは、深層水取水管への迷入生物の種構成や密度が、取水管の規模によって影響されることを示している。

同様の現象は、大型生物についても示唆された。チゴダラは、一般的な魚類同様、水流に逆らって泳ぐ習性が確かめられたことから、吸引力の弱い

取水管に吸引されそうになっても、ほとんどの個体は脱出するものと思われる。高知県海洋深層水研究所の迷入魚類は、採集時に死亡していたものが多かった。吸引時に圧力の変化によって死亡したと思われる個体も含まれていたが、大部分はやや腐敗がみられたことから、死亡後に吸引されたものが多かったと考えられる。それに対して、アクアファームに迷入してきた魚類は、確認した限りでは採集時に全て生存していた。これは、アクアファームの取水管の吸引力が強いため、脱出できなかった個体が多く出現したためと思われる。

・ 行動から見たチゴダラの迷入

水槽での実験の結果、チゴダラはパイプ状の構造物を隠れ場所として積極的に利用する習性があることが示唆された。特に、昼間はパイプから出てくることはほとんどなかった。海底の深層水取水管は、チゴダラにとって、休息時や外敵からの逃避の際に適した隠れ場所になるのかも知れない。ユメカサゴでもパイプの中で休む行動はみられたものの、その頻度はチゴダラよりもかなり低かった。

アクアファームでの採集結果と併せて考えても、チゴダラは室戸における代表的な深層水迷入生物といえるが、チゴダラの迷入が際立って多いのは、単に資源量が多いというだけではなく、パイプ状構造物を積極的に利用する習性が一因になっている可能性がある。

今後、深層水の利用が活発化するに従って、より大がかりな取水管で大量取水することになる場合、強い吸引力によって、より多くの生物が迷入してくることが予想される。取水口周辺の生物相に影響を与えるおそれもあるため、注意が必要であろう。

参考文献

- (1) 高橋正征 他 (2000) 総論：21世紀の資源としての海洋深層水 月刊海洋号外No.22
- (2) (1990) 海洋深層水資源の有効利用に関する研究 (第I期) 成果報告書 科学技術庁開発局

- (3) 石井 隆夫 他 (1999) 室戸海洋深層水の特性把握および機能解明(1) 高知県衛生研究所報 第45号
- (4) 谷口道子 海洋深層水研究13年間の実績 (レビュー・1985~1998) 高知県海洋深層水研究所報 第4号
- (5) 海洋深層水取水施設から回収された生物 高知県海洋深層水研究所報 第3号
- (6) 千原光雄 他 編 日本産海洋プランクトン検索図説 東海大学出版会
- (7) 山路 勇 日本海洋プランクトン図鑑 保育社
- (8) 日本動物大百科 無脊椎動物 平凡社
- (9) 中坊徹次 編 日本産魚類検索 全種の同定 東海大学出版会
- (10) 南雲 保 (2000) 珪藻の分類と系統 月刊海洋号外No.21
- (11) 小谷口正樹 (1998) 海洋深層水'97富山シンポジウム講演記録集
- (12) 伊東 宏 (2001) 東京湾および多摩川感潮域のサフィレラ型カイアシ類—その正体と生態— 月刊海洋号外No.26 181-188