

三重県尾鷲湾におけるアラメ群落の生育環境と消長

前川行幸¹・栗藤和治²

¹三重大学生物資源学部藻類増殖学研究室 (514 三重県津市上浜町 1515)

²三重県尾鷲市役所水産課 (519-36 三重県尾鷲市中央 10-43)

Miyuki Maegawa¹, Kazuharu Kurifuji² 1996: Growth environment and variation of *Eisenia* marine forest of Owase Bay, Mie Prefecture. Jpn J. Phycol. (Sôrui) 44:95-102.

Distribution and population structure of *Eisenia bicyclis* marine forest in Owase Bay were studied. Almost fronds of *Eisenia* in Owase Bay have relatively short stipe length and age. Fronds with 0-2cm and 2-5 cm long of stipe length were corresponded to the age of one and two years, respectively. So, it was thought that regeneration cycle of *Eisenia* marine forest in this bay was 2-3 years. Relationships between environmental factors and changes of *Eisenia* marine forest in Owase Bay were surveyed. *Eisenia* marine forest distributed all over the bay till 1957. Then, it reduced gradually to be scattering only in several point of the bay in 1986-1991. Recently it recovered north area near the mouse of the bay. It was thought that several environmental factors influenced to the changes of *Eisenia* marine forest in Owase Bay. One of them is inflow of thermal effluents from a thermal power plant located inner area of this bay and others are eutrophication by fish culture carried out in large scale in the bay and inflow of sewage.

Key Index Words: distribution-Eisenia bicyclis-growth environment-marine forest

¹ Laboratory of Phycology, Faculty of Bioresources, Mie University, Edobashi 2-80, Tsu, Mie 514, Japan

² Fisheries Section, Owase City Office, Chuou 10-43, Owase, Mie 519-36, Japan

褐藻類コンブ科に属するアラメ *Eisenia bicyclis* Setchell は、太平洋沿岸では岩手県南部から九州南端まで、日本海沿岸では鳥取県から九州西岸までの広く分布している。本種は大型の多年性海藻であり、低潮線付近から漸深帯にかけての水深 5m 程度までの岩礁域に海中林を形成する。海中林は本邦沿岸浅所における最も主要な一次生産生物であるばかりでなく、葉上動物群集から、植食動物、群落を隠れ場ないし摂餌の場として利用する魚類に至るまで豊富な生物相を有する固有の生物社会を構成している。水産の立場からも、沿岸海域の有用水産資源にとっての生育の場、あるいは資源増殖の場としての藻場の有効性は重要視されてきており、各地で藻場の造成事業が進められている(寺脇ら 1991)。近年、群落の衰退あるいは大型海藻が全く見られない、いわゆる磯焼けの海域が我が国沿岸にも認められる。その原因については、他の海藻との競合(岩橋ら 1979)、海況変動(河尻ら 1981)、植食

動物による摂餌圧(中久 1980) 等いくつか指摘がされてきたが、明確には分かっていないのが現状である。三重県尾鷲湾においては、過去には湾の全域に広く分布していたアラメ群落は、近年に至り急速に衰退した。しかし、ここ数年前から回復の傾向をみせている。そこで、尾鷲湾を研究対象域としてアラメ群落の現況を把握し、また生育環境と消長との関係を明らかにするために本調査、研究を行った。

調査海域と方法

三重県尾鷲湾(Fig.1)は、紀伊半島南東部、熊野灘沿岸の太平洋に面した湾で、海岸線はリアス式、半閉鎖的な水質環境となっている。湾内では、魚類の生簀養殖が盛んであり、水力発電所からの淡水の放流、火力発電所からの温排水放出等、湾内の海況、水質の環境変動が激しい。海藻植生の面から見ると、湾内には

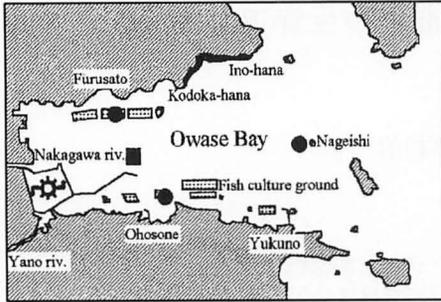


Fig. 1. Maps of Owase Bay with showing points measuring water temperature (●) and water quality (■).

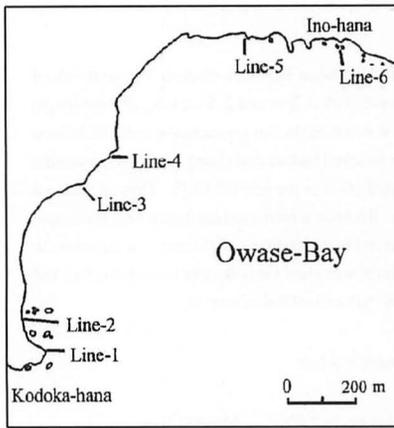


Fig. 2. Maps showing the location of line transect survey from Kodoka-hana to Ino-hana near the mouth of Owase bay.

波浪等外洋の影響を直接受ける外洋型、準外洋型から、湾内域の内海型、内湾型の海藻まで分布している(前川 1995)。本調査、研究対象域としては、アラメ群落と比較的よく発達している湾口部北側のコドーカ鼻から猪ノ鼻にかけての沿岸域を選定した。

各調査地点ではライントランセクト法(鳥田ら 1973)により、6-line (Fig. 2), 岸から沖へ 50m, line-2 についてはさらに沖合に 50m, 幅 0.5m の測帯をとり、測帯に沿って 2m 区間ごとの水深、地形、底質及びアラメの茎長組成、生育密度などを測定した。茎長・乾重量の相対生長関係および年齢組成を調べるために、line-2 周辺から 1995 年 8 月に約 50 個体、10 月に約 100 個体、大小さまざまな標本を刈り取った。採集した標本は淡水で洗浄後、茎部と葉部に分離し、茎長・茎径と茎部・葉部及び個体の乾重量の測定を行った。茎長は生長点から茎の最下部までとした。乾重量は天日乾

燥である程度水分を除去し、その後約 85°C で 1 昼夜送風乾燥し秤量して求めた。アラメの茎長・乾重量の相対生長関係および年齢解析は、前川・喜田 (1984) の方法を用いた。

アラメの高温限界については、1995 年 6 月に line-2 付近から採集した材料を三重県水産技術センター尾鷲分場に運び実験を行った。まず、材料に付着した動物や汚れを取り除き、約 20m² 程度の大きさに切り、一昼夜流海水中に静置した。光合成、呼吸の測定は改良型プロダクトメータ(作動式検容計、横浜・前川 1988)を用いて行い、光源にはプロジェクターランプを用い、光強度は 200 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とした。反応容器および対照容器には 200ml 培養瓶型フラスコに 50ml の濾過海水を入れ、反応容器にはさらに試料を入れて実験を行った。水温は 20°C から 2.5°C 間隔で段階的に上昇させ、同一個体を用いて各水温での光合成・呼吸速度を活性が失われる水温まで測定し高温限界を求めた。測定には 9:00 から 16:00 まで約 7 時間を要した。得られた結果は標準状態 (0°C, 1 気圧) における 1 時間、1cm² あたりの酸素放出量で表した。

アラメ群落の消長と環境要因の変動との関係を明らかにするため、さまざまな資料を調査した。まず、アラメ群落の消長は、喜田(未発表)、テクノ中部(1988, 1989, 1990, 1991)、前川(1995)の調査報告から、アラメの生育場所や生育量等を抜粋しとりまとめた。尾鷲湾の魚類養殖の概要については、尾鷲の漁業(1986, 1994)や栗藤・浜口(1991)を参考にした。尾鷲湾の水質については、尾鷲市水質環境データ集(1992, 1994, 1995)を引用し、水温の連続測定データは尾鷲市環境課が測定した 1988-1994 年のデータを取りまとめた。

結果

・アラメ群落の消長

湾内のアラメ群落の消長をとりまとめ、Fig. 3 に示した。1957-1962 年には、湾最奥部の漁港付近を除き、尾鷲湾のほぼ全域に広く分布していたアラメは、その後、1976 年にはコドーカ鼻から猪ノ鼻付近と、湾南岸に点在する状態にまで減少していた。1986-1991 年には、コドーカ鼻、行野付近の湾口部でわずかに点在するのみとなり、群落としては維持されていないものと考えられた。1994-1995 年では、湾南岸でアラメは全く確認されなかったが、コドーカ鼻付近では分布域を広げており、群落を形成するほどにまで回復しているの

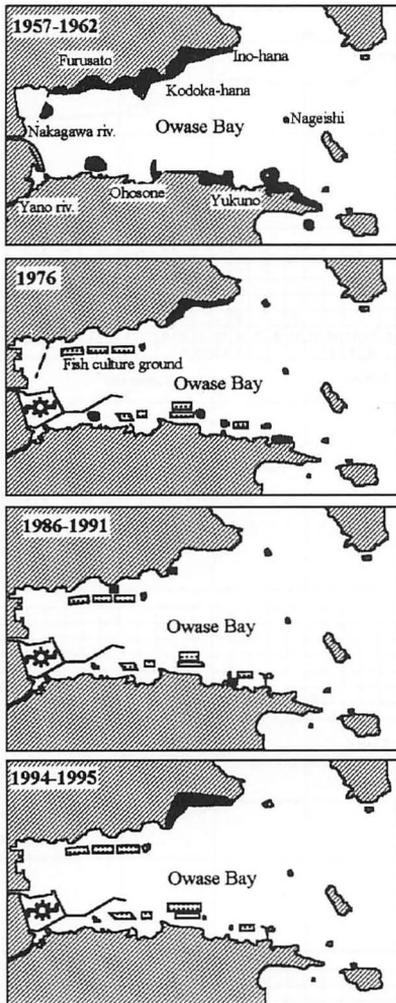


Fig. 3. Changes of the distribution of *Eisenia* marine forest from 1957 to 1995.

が確認された。

・アラメ群落の現況

ライントランセクト法による line-1-line-6 のアラメ群落の分布状況と群落構造を Fig. 4 に示した。line-2 については 0-50m を line-2-1、50-100m を line-2-2 として示した。調査は、line-2 は 1995 年 10 月 10 日、line-1、3-6 は 10 月 19 日に行った。line-1 では、岸から約 20m 付近までは 2m 前後の浅い岩盤であり、30m 付近で水深 5m、40m 付近では水深 7-8m になり、岸から約 38m 付近まで岩盤、巨礫が続き、それより沖では小礫が点在

する砂地が続いている。茎長 0-5cm のアラメが岩盤に点在しており、岸から 5m 付近に多く見られた。岸付近の波当たりの強い水深 0-1m には石灰藻が多く、水深 1-2m にはアヤニシキ、シマオオギが多く見られた。水深 5m 以深になると岩盤、転石上にノコギリモクが多く、シマオオギも点在していた。岸から 40m、礫から砂地に変わる付近にはサンゴも点在していた。

line-2 は群落が発達し、岸から 100m 付近までアラメが確認された。岸から約 10m までは水深は 1m までで浅く、石灰藻、ヒジキなどの小型海藻やホンダワラ類が岩盤上に密生しており、アラメは生育していなかった。岸から 10m を過ぎたあたりから 40m 付近までは、水深 1-2m で底質は岩盤、巨、中礫であり、アラメが密生し、アラメ群落の中にノコギリモクやトゲモク等のホンダワラ類も点在する。岸から 40m を過ぎ、水深 3-4m 付近の岩盤や比較的大きい礫上にアラメが最も密生しており、その間に石灰藻、シマオオギ、ホンダワラ類が見られた。岸から 60m を過ぎに巨礫があり、ここにもアラメが密生している。その先は水深 6-8m になり転石が続き、トゲモク、シマオオギが多くアラメは減少する。岸から 80m を過ぎたあたりから、水深 8-9m で転石、砂地が続き、砂地にある転石上に大型のノコギリモク生育し、アラメは転石上に点在するのみとなる。line-2 のアラメは、ほとんどが茎長 0-5cm、特に 2-5cm が多く、水深 6m、底質が転石、砂地になると少なく、砂地に点在する転石にもわずかではあるが生育していた。line-1 と同様、礫から砂地に変わる付近にはサンゴも点在していた。

line-3 は、岸から水深 2-4m の岩盤、転石が続き、48m 付近から砂地に変化する。全体的にみて岩盤上にアラメが広く生育しており、茎長 0-5cm のものがほとんどであるが、ここでは 5-40cm の大型個体も点在しているのが確認できた。岩盤、転石上には石灰藻が多く、大型のノコギリモクやトゲモクも点在し、トサカマツ、タマイタダキ、シマオオギなどの小型藻類も全体的に見られた。

line-4 では、岸から約 30m まで水深 2-4m の岩盤、巨礫が続き、アラメ比較密生して群落を形成していた。他の line- と同様に 0-5cm、特に 2-5cm の小型個体が多くみられた。岸付近にはイソモク、マクサもあり、トゲモク、ノコギリモクが点在していた。岸から 30m 付近からは転石でウニが多く、シマオオギ、タマイタダキなども見られた。48m からは砂地に変わり、藻類の生育は見られなくなった。

line-5 は、岸近くは岩盤で、10m 付近から転石、30m

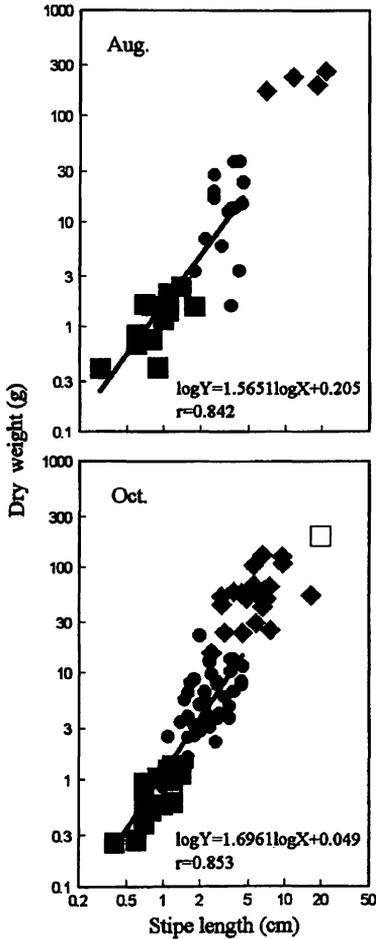


Fig. 5. The allometric relation of *Eisenia bicyclis* in August and October in 1995. Regression equation and correlation coefficients are shown together. Symbols show fronds at the age of one (■), two (●), three (◆) and four (□).

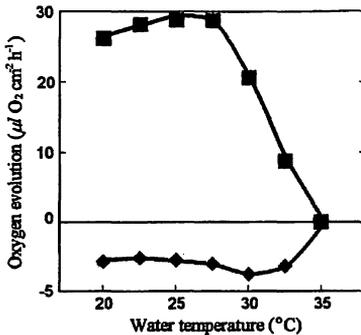


Fig. 6. Photosynthesis-temperature and photosynthesis-light curves of *Eisenia bicyclis*.

付近から砂地になるが、アラメの個体数は少なく、岸から10m、水深2-3m付近と、転石上に確認されただけであった。岸近くにはヒジキ、イソモクが多く、また、岸から10m付近まではウニが多く、岩上は石灰藻に覆われ、いわゆる磯焼けの現象を呈していた。岸から10mより沖ではノコギリモクの大型個体が転石上に多く確認できた。40m過ぎの点石上には、ミルが点在していた。

line-6は、岸付近から水深2-4mのなだらかな岩盤、転石が続き、岸から40mあたりから砂地と転石地帯となる。大型のトゲモク、ノコギリモクが全体密生し、いわゆるガラモ場を形成し、アラメはその間に点在するのみであった。石灰藻、トサカマツ、タマイタダキ、シマオオギ、ユカリ、シワヤハズなどの小型海藻も多く見られた。

アラメの相対生長を、Fig. 5に示す。相対生長式については1年目と2年目について計算した。3年目以降のアラメは基上部が分叉し、1-2年目の個体とは異なる相対生長を示すが(前川、喜田1984)、調査対象域内には3年目以上の大型個体がごく少なく、相対生長は計算することができなかった。相対生長関係と年齢組成から茎長0-2cmは1年目、2-5cmは2年目、5-10cmは3年目の藻体であるとほぼ断定できる。しかし、志摩半島のアラメに比べ、尾鷲湾のアラメでは最高で4年、多くは1-2年目までの藻体で占められていた。尾鷲湾の1-2年目のアラメの相対生長は志摩半島沿岸の1-2年目のアラメ(前川、喜田1984)とほぼ一致していた。

・アラメの高温耐性

アラメの光合成-温度曲線、呼吸-温度曲線をFig. 6に示した。光合成、呼吸活性とも温度の上昇に伴い高くなり、光合成は25-27.5°Cで、呼吸は30°Cで最も高い値を示した。光合成、呼吸は高温側で活性は急速に低下し、両者は35°Cで活性が失われた。光合成の限界水温は、2.5°C間隔で水温を上昇させていった場合、正の値を示す最高水温とし、呼吸の場合についても同様にして評価した。本実験ではアラメの限界温度は光合成、呼吸とも32.5°Cであった。

・尾鷲湾の水質とアラメ群落

尾鷲湾のアラメ群落に及ぼす可能性のある人為的な要因について、調査した資料から解析を行った。まず、沿岸土木工事についてみると、1961年からの火力発電所建設が始まり、1970年代以降、行野や大曾根等、主

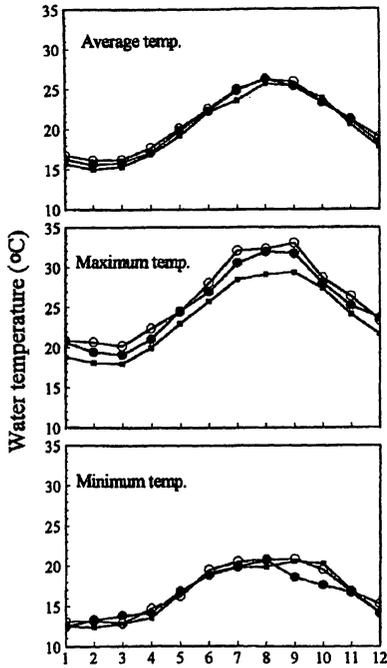


Fig. 7. Monthly changes of average water temperature, maximum temperature and minimum temperature at Furusato (●), Ohosone (○) and Nageishi (■) at depth of 1 m from 1989 to 1994.

に湾の南側において港湾整備や護岸工事が現在にまで引き続いて行われている。湾への流入水については、1964年からの火力発電所の稼働、1987年の増設による温排水放流 (54.6t/sec)、1962年稼働の中川上流の水力発電所からの淡水放流 (25t/sec)、矢の川上流の採石場からの濁水、生活様式の変化に伴う家庭排水の増加とその海洋投棄等が挙げられる。

尾鷲湾の水温データについては、尾鷲市が湾内3地点 (水深1m) において1時間間隔で測定されたデータを元に、1988年10月から1994年4月までの約5年間の平均と最高・最低水温を月別に集約し、Fig. 7に表した。最高、最低水温は、5年間を通じてその月の最も高いもしくは低い水温として表した。平均水温については、湾口部の投石がやや低い傾向がみられるものの、3地点ともほとんど差はみられなかった。これに対し、最高水温には3地点で大きな差がみられ、湾中央部南側の大曽根が最も高く、ついで北側の古里高く、湾口部の投石が最も低いという特徴的な変化を示した。特に大曽根では7月から9月にかけて30°Cを大きく越え33°Cに達した。古里でも9月には32°Cに達

している。湾口部の投石では最高水温は9月で29.4°Cであった。最低水温は3地点で大きな差はみられなかったが、湾南側の古里で9-10月にかけて他の2地点に比べ2°C程度低くなっているのが特徴的であった。

尾鷲湾中央部における水質のいくつかの項目について、1976年以降の経年変化をFig. 8に示した。透明度は変動はあるもの増加傾向にあり、1976年の5.7mから1994年には7.5mへと高くなった。DOも増加傾向にあり、6.6ppm前後から7.4ppmへと高くなっている。pHにはほとんど変化はみられず8.1-8.2程度であった。次に有機汚濁指標としての全窒素 (TN)、全リン (TP) およびCODの経年変化について述べる。TNは増加傾向にあり、1985年までは0.1-0.18mg/l程度であったものが1990年以降では0.2-0.27mg/lにまで増加している。TPは0.02mg/l程度でほとんど変化していない。CODは減少傾向ではあるが、養殖生産量と同じような変動が見られ、1980年前後の養殖の最も盛んな時期に高く、1983、1984年には2.4とピークになり、魚類生産量の減少とともに低下し、1992年には1.4まで減少した。しかし、CODは再び増加傾向をみせ、1993年には1.7、1994年には2.0に上昇した。

考察

現在、尾鷲湾のアラメ群落はやや回復傾向にあり、コドーカ鼻から猪の鼻付近、特にline-2付近を中心に群落の拡大が見られている。この沿岸付近は岩盤、転石が続いており、アラメの生育に適した水深2-5m付近に安定した着定基盤が存在する海域である。Fig. 4に示したライントランセクト調査の結果からも幼体が多数見られ、群落は安定して維持されているものと思われる。しかし、尾鷲湾のアラメは、喜田・前川 (1984) が調査した志摩半島沿岸のアラメ群落とは異なり、茎長が5cmまでの小型個体が多く。年齢も2年目までの個体が大部分であった。したがって、尾鷲湾のアラメ群落の更新周期は2-3年と、志摩半島沿岸のそれの6-7年に比べかなり短い。この原因は今回の調査からは明らかにすることができなかったが、湾内の水質悪化、特に透明度不足により、6-7年といった大型の個体となるための十分な光を得ることが困難なこと、また、志摩半島沿岸に比べやや温暖な環境であることなどが原因として考えられた。

アラメ群落の消長に及ぼすいくつかの要因について検討したが、いずれもアラメ群落の消長の原因として十分可能性があると考えられた。以下にいくつかの

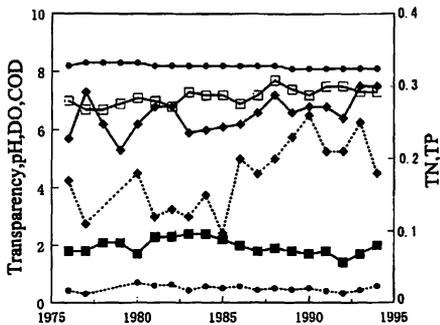


Fig. 8. Changes of transparency (—◆—), pH (—●—), DO (—□—), COD (—■—), TN (---◆---) and TP (---●---) at the central point in Owase Bay from 1976 to 1994.

例を挙げて説明する。尾鷲湾のアラム群落はFig. 3に表したように、特徴的な消長を示した。すなわち、1957-1962年には、尾鷲湾のほぼ全域に広く分布していたアラムは、1976年にはコードカ鼻から猪ノ鼻付近と、湾南岸に点在する状態にまで減少し、1986-1991年には、湾口部でわずかに点在するのみとなり、1994-1995年では、湾南岸の行野付近でアラムは全く確認されなかったが、コードカ鼻付近では分布域を広げており、群落を形成するほどにまで回復していた。この原因としてはさまざまな要因が考えられる。湾への流入水による影響として、火力発電所からの温排水の放流およびダム放水が、湾内の水温環境に大きな変化を与えていると思われる。湾奥部からの温排水は、湾南岸に沿って拡散する機会が多くみられており（関根ら1993）北岸の古里側より、南岸の大曾根側の水温が常に1-2°C程度高く、大曾根地先水温は33°Cを越える水温がしばしば測定されている。高温水がアラムに与える影響については、前川・杉山（1995）は、アラムの光合成の高温限界を33-33.5°Cと報告している。本研究においてもアラムの高温限界は32.5°Cであり、これらの数値は大曾根地先で観測した最高温度とほぼ一致する。アラム群落の衰退は湾南岸で顕著に見られることから、温排水の放流は尾鷲湾南岸域におけるアラム群落衰退の一因と考えられる。また、1980年代以降から南岸の行野や大曾根で港湾工事が進められており、埋め立てなどによりアラムの生育場所が減少したこともアラム群落衰退の要因と考えられる。

水力発電所、特に中川上流の坂本ダムからの濁水は、砂泥の海底への堆積によりアラム遊走子の着定を阻害し、さらに一時的に透明度の悪化も引き起こすと考えられる。採石場からの濁水も同様である。また、

一時に大量に放流される淡水も何らかの影響を与えている可能性がある。生活排水についても、尾鷲湾沿岸の市町村は下水浄化施設を持たず、すべて尾鷲湾に流出することから、湾内の水質悪化の一因と考えられる。

尾鷲湾全域的に見て、アラム群落衰退の大きな要因は、1970-1980年代にかけて湾内各所で盛んにおこなわれた魚類養殖に伴う有機汚濁による影響と考えられる。1970年代に魚類養殖が急激に増加し、それに伴いFig. 3に示したようにアラム群落の急速な衰退がみられている。また、養殖されている場所にも関連がみられ、魚類養殖生簀が設置されている場所付近でアラム群落の消滅が著しい。Fig. 8に示した尾鷲湾の水質の経年変化からも、魚類養殖が湾の水質に重大な影響を及ぼしている経過がうかがえる。最近にいたり、アラム群落が湾口部で回復してきたのは、魚類養殖における配合餌料の普及による生餌使用量の大幅な減少、餌の改良、ハマチからマダイへの養殖魚種の変化等が考えられる。しかし、最近では透明度は高くなっているもののTNは依然増加しており、水質が良くなっているとはいえない。魚類養殖は多量の有機物負荷を湾内水域に与え、富栄養化によるアラムの生育阻害、浮泥の堆積によるアラム胞子の着定阻害（寺脇ら1991）等がアラム群落の衰退の原因と考えられるが、詳細については今後の検討を必要とする。

以上、いくつかの要因はアラム群落の消長に対し直接・間接に影響を及ぼすことが推察されたが、主要な要因を特定することはできなかった。これは、湾内の水質に及ぼす要因が多岐にわたり、いずれの要因もアラム群落の消長の原因として十分可能性があると考えられるためである。尾鷲湾内のアラム群落は衰退したとはいうものの、現在コードカ鼻付近において群落の回復がみられていることから、この付近に着定基盤を造成し群落の拡大をはかることは可能と考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、フィールド調査の便宜をはかっていただき、また多くの資料を提供していただいた尾鷲市水産課、同環境課および三重県水産技術センター尾鷲分場、尾鷲農林水産事務所水産部に対し、深く感謝の意を表します。

引用文献

岩橋義人・稲葉繁雄・伏見 浩・佐々木 正・大須賀

- 穂作 1979. 伊豆半島沿岸のアラメ・カジメの生態学的研究－IV 分布と群落の性状. 静岡水試研報 13: 75-82.
- 河尻正博・佐々木 正・影山佳之 1981. 下田市田牛地先における磯焼け現象とアワビ資源の変動. 静岡水試研報 15: 19-30.
- 栗藤和治・浜口勝則 1991. 熊野灘での沿岸漁業をとりまく諸問題. 水産海洋研究 55: 251-258.
- 前川行幸・喜田和四郎 1984. アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究－III アラメ藻体における相対生長の季節変化. 三重大水産研報 11: 189-198
- 前川行幸 1995. 海藻調査. 温排水影響調査報告書, 43-50, 尾鷲湾調査研究会
- 前川行幸・杉山篤 1995. 潮間帯に生育する海藻の高温耐性と垂直分布の関係. 水産増殖 43: 429-435
- 中久喜昭 1980. 磯焼け漁場の海中林造成試験. 栽培技研 9: 25-30.
- 尾鷲市水産課 1986,1994. 尾鷲の漁業.
- 尾鷲市環境課 1992,1994,1995. 尾鷲市環境データ集.
- 尾鷲市環境課 1995. 尾鷲市の環境.
- 関根義彦・中川勝裕・栗藤和治・野田耕史・高芝芳裕 1993. 尾鷲湾内部の水温・塩分の水平分布. 三重大生物資源紀要 11: 113-144
- テクノ中部 1988,1989,1990,1991. 尾鷲三田火力発電所 3号機運転後環境調査報告書.
- 寺脇利信・川崎保夫・本田正樹・山田貞夫・丸山康樹・五十嵐由雄 1991. 海中林造成技術の実証. 第2報 三浦半島西部でのアラメおよびカジメの生態と生育特性. 電力中央所研究報告 U91022: 1-69.
- 寺脇利信・後藤 弘・本田正樹 1991. 海中林造成技術の実証. 第1報 技術動向の文献・事例調査. 電力中央所研究報告 U91021: 1-69.