



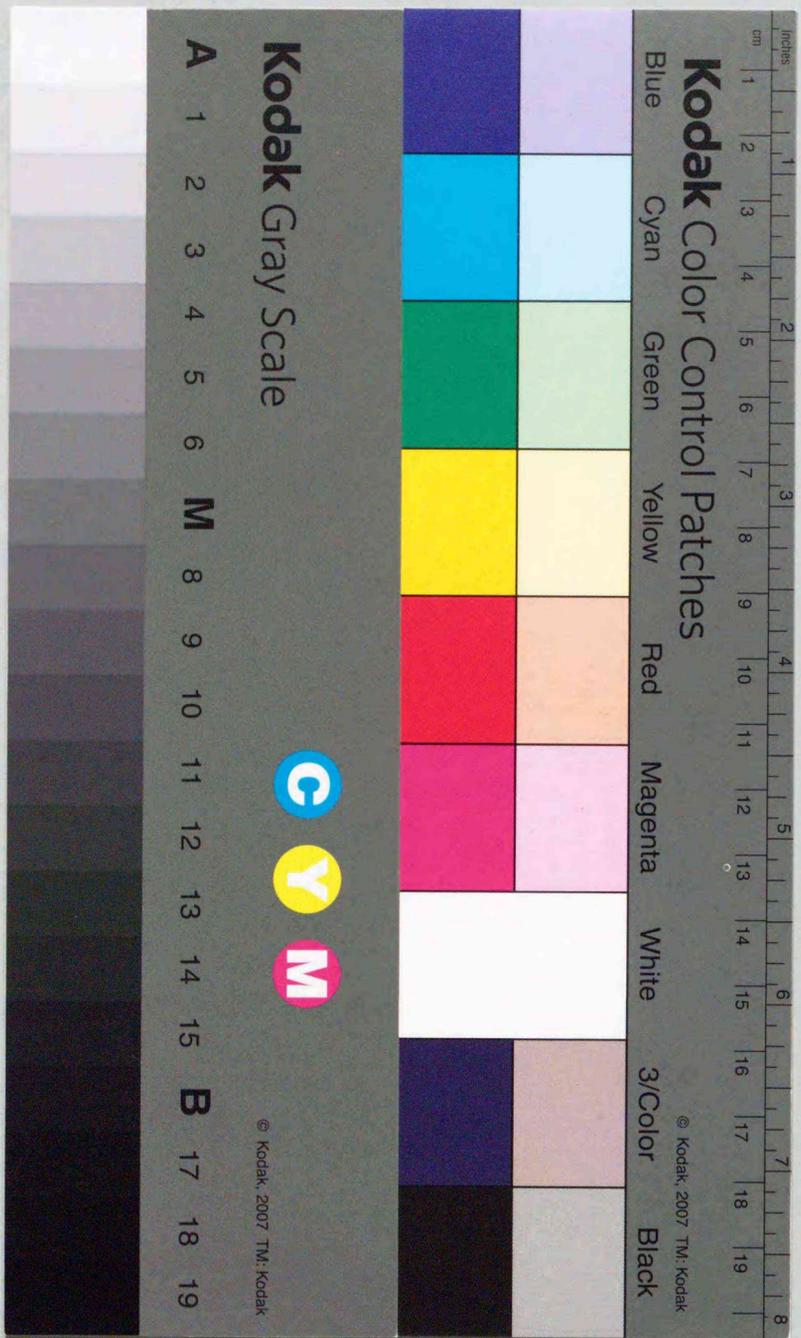
Title	大型褐藻アラメおよびカジメの群落形成に関する実験生態学的研究
Author(s)	寺脇, 利信; Terawaki, Toshinobu
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	乙第4207号
Issue Date	1992-12-25
DOI	https://doi.org/10.11501/3065045
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/49864
Type	doctoral thesis
File Information	000000257083.pdf



大型褐藻アラメおよびカジメの群落形成に
関する実験生態学的研究

寺 鷗 利 信

1992



①

大型褐藻アラメおよびカジメの群落形成に
関する実験生態学的研究

寺脇利信

1992

目次

第1章 研究の目的および方法の概要	1
1. 研究の背景	1
2. 既存研究の整理	2
3. 本研究の目的	5
4. 方法の概要	5
1) 生態調査	5
2) 室内実験	6
3) 海域での実験	6
第2章 アラメ・カジメ類の生育制限要因	7
1. 現地調査地点の選定	7
2. 要因別の検討	8
1) 光量	8
2) 砂の被覆	11
3) 藻食動物の採食	14
3. 要約	17
第3章 三浦半島西部におけるアラメおよびカジメ群落	18
1. 海底地形および底質の分布	18
2. アラメ, カジメおよび大型藻食動物の分布	22
3. 群落の季節変化	30
4. 群落の形成過程	33
5. 群落の光および水質環境	36
6. 要約	38
第4章 砂底と接する岩礁でのアラメおよびカジメ群落	40
1. 方法	41
2. 結果	44
1) 砂底と接する岩礁での群落の植生構造	44
2) 調査区に接する砂底での砂面変動および波浪環境	54
3. 考察	70
1) 砂底と接する岩礁におけるアラメおよびカジメ群落の共通点 および相違点	70
2) 砂底と離れた岩礁での群落との比較	72
4. 要約	74
第5章 アラメおよびカジメの生育への砂の被覆の影響	76
1. 方法	77
2. 結果	81

1) 加熱(滅菌処理)影響	8 1
2) 温度別影響	8 1
3) 発育段階別影響	8 2
4) 部位別影響	8 3
3. 考察	8 4
1) 各実験結果の共通点と特徴	8 4
2) 砂の被覆の影響が傷害として発現する過程	8 5
3) 砂底と接する岩礁での生態との対比	8 6
4. 要約	8 7
第6章 砂底に設置した実験用ブロックでのカジメ群落の構造	8 8
1. 方法	8 8
1) ブロック設置候補地点の選定	8 8
2) 設置候補地点の底質と海藻の垂直分布の把握	8 9
3) 設置候補地点での礫の大きさとカジメの生育の関係の把握	9 0
4) 設置点周辺でのカジメの成熟時期の把握	9 1
5) 実験用ブロックの作製	9 1
6) 実験用ブロックの投入・設置	9 2
7) ブロックに生育した海藻類の調査	9 3
2. 結果	9 3
3. 考察	9 5
1) 同時に設置された設定比高の異なるブロックでのカジメ群落 の植生構造	9 5
2) 砂底と離れた岩礁, 砂底に接する岩礁および砂底に設置した ブロックの比較	9 5
3) 人為的に海藻群落を形成させる技術へのまとめ	9 8
4. 要約	9 8
第7章 総合考察	1 0 0
摘要	1 0 3
要結	1 0 5
謝辞	1 0 6
参考文献	1 0 8
Summary	1 1 4

第1章 研究の目的および方法の概要

1. 研究の背景

人間の生活に係わる環境問題が地球規模で検出され, 環境科学における重要課題として論議されているなか(宝月ら, 1972), それぞれの地域ならびに海域の環境問題との関連性が一層重視されるようになり(伊藤, 1990), 地球と地域の環境の保全, すなわち, 地球生態系を保全する方策を模索する取り組みが, あらゆる分野で求められている(環境庁, 1991).

海域における環境の中でも, 沿岸域の藻場は, 大型の海藻群落によって形成され, 藻場生態系としての構造と機能を有し(菊池, 1973), 重要な一次生産の場としての環境価値を有するとともに資源でもある. 一方, 藻場は, 有用魚介類が多く生息する環境を形成するため, 漁場, 食糧生産, エネルギー, さらにレジャーの面からも, 経済価値を有する産業資源として極めて重要である(徳田ら, 1987)ことから, その保全ならびに維持が緊急の課題となっている.

しかし, 従来, 沿岸域での開発行為における埋め立てなどの際に, 経済価値の偏重により, 環境価値が軽視される傾向が強かったことに加えて, 大規模な地理的スケールで藻場が消失してしまう“磯焼け現象”(Noro et al., 1983)が生じるなど, 我が国沿岸では, 藻場は衰退の一途を辿っている.

そのため, 資源エネルギー庁においても, 電源立地に係わる埋め立てや大規模取放水および施設の設置の際に影響が生じる恐れのある藻場について, 代替造成に関する調査(中国電力株式会社, 1985)を含めての検討を開始し, 電力中央研究所へ藻場造成の技術開発研究を委託した. その計画では, 主に, 海草のアマモ *Zostera marina*, 大型褐藻のアラメ *Eisenia bicyclis* およびカジメ *Ecklonia cava* を対象に, 生育基盤の造成適地の選定, ならびに海域の物理特性に即した生育基盤の設計に資することが目的となっている.

著者は, 電力中央研究所において, 上述の計画のうち, 主に, 砂泥海底(以後, 砂底と略す)にアラメおよびカジメの生育基盤を造成するための基礎的知見として, 試験海域の海底地形, 底質分布, アラメ, カジメ群落および大型藻食動物の分布, 特に, 砂底に接する岩礁での生態などについての調査を担当した. また, アラメおよびカジメ藻体の生育への砂の被覆の影響に関する室内実験も実施した. さらに, 並行して同じ時期に

別の計画において実施した、アラメ・カジメ類の生育制限要因に関する調査と、砂底に設置したコンクリートブロック（以後ブロックと略す）に形成されたカジメ群落の植生構造に関する海域実験の結果とを加えて、本論文を作成した。

なお、上述したような、委託・プロジェクト研究による推進体制のもとで取得した調査・実験データについては、組織および担当した個人間での帰属を明確化しておく必要性が高い。そのため、本論文の調査・実験データについては、資源エネルギー庁と電力中央研究所との間での開示手続きを経た範囲も含めて、以下の5報の電力中央研究所報告、すなわち、

寺脇利信(1988)海中林造成技術の基礎的検討 第2報 カジメ幼体の入植と人工基盤の表面形状. 電中研研報, U88037, 26pp.

寺脇利信・山田貞夫・川崎保夫(1989)海中砂漠緑化技術の開発 第2報 アラメ・カジメ類の生育制限要因に関する現地調査. 電中研研報, U89033, 20pp.

寺脇利信(1991)海中砂漠緑化技術の開発 第4報 砂地海底に設置したコンクリートブロック上でのアラメ・カジメ類の生育. 電中研研報, U91024, 31pp.

寺脇利信・後藤弘・本多正樹(1991a)海中林造成技術の実証 第1報 技術動向の文献・事例調査. 電中研調報, U91021, 38pp.

寺脇利信・川崎保夫・本多正樹・山田貞夫・丸山康樹・五十嵐由雄(1991b)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. 電中研研報, U91022, 69pp.

に、要約または選抜されて掲載されている部分もある。本論文中で、それらに該当する図表などについては、出典を明らかにする観点から文献名を明記した。

しかし、それらの各報告書における結果の記述は、断片的な限られた範囲であり、かつ、相互の位置付けは不統一である。従って、本論文で一貫して展開される論旨については、論文発表を目的として、今回、初めて統一的に記述されているものである。

2. 既存研究の整理

我が国におけるアラメおよびカジメ（図-1-1）の分布、要因別の生育特性、従来取り組まれてきた造成技術などについて、既存文献を収集整理した。

アラメは、岩手県米崎から紀伊半島にいたる太平洋沿岸および玄海灘沿岸の広域に分布し、垂直分布の中心と解される水深範囲が、千葉県小湊では1~4 m（今野, 1984）、

三重県志摩半島では2~6 m（喜田・前川, 1981）、また、徳島県由岐町地先では7 m以浅（小島ら, 1987）などと報告されているように、2~4 mと推察される。

一方、カジメは房総半島から豊後水道にいたる太平洋沿岸、紀伊水道および九州島原湾に分布し、垂直分布の中心と解される水深範囲が、三重県志摩半島では6~12 m（喜田・前川, 1981）、また、徳島県由岐町地先では9 m以深（小島ら, 1987）などと報告されているように、5~12 mと推察される。

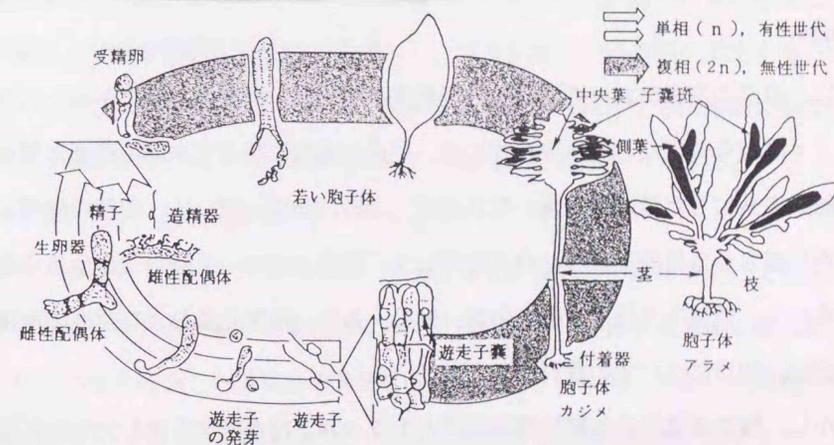


図-1-1 アラメおよびカジメの生活環および形態の特徴（寺脇ら, 1991bを改変）

なお、アラメについてはサガラメ *Eisenia arborea* との（新崎, 1953; 川嶋, 1989）、カジメについてはクロメ *Ecklonia kurome* との（吉田・寺脇, 1991; 筒井・大野, 1992）間の分類学的な検討の途上である。既に、形態的な変異に係わる論議を含めた分布と生態に関する研究（新井ら, 1991; 月館ら, 1991; 成原・寺脇, 1992）が着手されているので、分布範囲の詳細については、今後、新しい情報の加入により、改められていくものと考えている。

アラメおよびカジメの環境要因別の生育特性に関する論文・報告書類は、研究の実施時期と目的から、大きく2つの情報に分けられる。

当初は、アワビ等岩礁性貝類の漁業資源の増大に直結させるための餌料海藻の栽培技術の確立の観点から、主に、アラメについて実施された。アラメの生長と関連深い要因の中で、藻場造成技術で用いる種苗生産の観点などから、水温については、配偶体の栄養生長の適範囲が16~24°C、配偶体の成熟が16~20°C、胞子体の栄養生長の適範囲が19

～20°C (西川・吉田, 1978)と報告されている。孢子体については、成熟が24°C以下 (小島, 1981), 遊走子放出が14～18°Cとの報告 (大分浅海漁試, 1972)もある。照度については、配偶体では栄養生長の適範囲が 800～2000lux 以上 (徳島水試, 1976), 成熟の適範囲が 250～2000lux 以上 (中久, 1979), また、芽胞体では栄養生長の適範囲が 800～3500lux 以上 (秋山・谷口, 1981)とされている。また、塩分については、塩素量14‰まで影響が無いことも分かっている (月館, 1980)。栄養塩については、リン酸態リンおよび硝酸態窒素等の吸収速度を求めた報告 (日隅・石川, 1983)が出されていた。これに対し、カジメについての報告は少なく、光飽和に関する光量が 200 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ であった (有賀, 1983)。

次に、自然の海底における群落への環境変化の影響を把握する観点から、アラメおよびカジメ両種を対象にした研究が行われ、生長と成熟に及ぼす水温の影響に関する室内実験結果を基にした詳細な論議がなされた (太田, 1988)。続いて、自然の海底において群落を形成させる目的で設置した人工的な生育基盤上での、生残および生長の機構を探る観点から、最適な光量 (後藤・伊藤, 1988), また、限界光量および浮泥の堆積量 (川崎・山田, 1991)についての検討がなされている。

しかし、特定海域での物理的環境要因とアラメおよびカジメを含む大型海藻類の水平・垂直分布構造の変化との関係についてはほとんど報告はなく、千葉県小湊での研究 (今野, 1984)があるが、それらの定量的検討はなされていない。また、砂底での生育基盤の造成において不可欠な、天然の藻体から放出された遊走子の拡散、着生および生残、波浪、流況等と藻場の分布に関する研究は、秀島・上北(1983)以外には見られない。

従来取り組まれてきたアラメ・カジメ類の群落 (海中林) の造成手法は以下の4方法に大別できる (寺脇ら, 1991a)。すなわち、

- ①基質投入…既存の海中林に隣接させて基質 (生育基盤) を投入し群落の拡大を図る
- ②種苗移植…種苗糸およびブロック等に採苗し、養成後に海域展開する
- ③母藻移植…成熟期の母藻を基盤上または海中に設置し、放出された遊走子起源の新生群落の出現を期待する
- ④養殖方式…延縄式施設に種苗糸を巻きつけるか、母藻をはさみ込むなどである。

しかし、上記のいずれの手法においても、生物面では藻食動物の食害 (過剰な採食) などにより初期減耗が大きいこと、一方、物理面では波浪、砂の影響および海水の濁り

(浮泥) 等が制御されていないことが、問題点として挙げられていた。

3. 本研究の目的

上述のことなどから、アラメおよびカジメの群落を砂底に造成した基盤に形成させる技術の開発に資する基礎的知見を得るためには、今後、

- ①永続的に安定して群落が維持されるための生物・物理両面の条件を満たす生育基盤の造成適地の選定および選定条件を解明すること。
- ②基盤設置後に群落が速やかに形成されるような、周辺の天然群落における遊走子の放出時期および藻食動物の活動性を考慮した、生育基盤の造成適期を選定すること。
- ③洗掘・埋没など生育基盤の対波浪安定性の確保および対象とする海藻類の生育の促進に寄与する基本構造および表面形状などの好適な設計規準をつくること。

を指向することが、極めて重要になるであろう。

従って、本研究では、生態調査、室内実験さらに実験生態学的方法により、アラメおよびカジメの生育を制限する要因のなかで、砂の被覆 (砂による藻体の埋没および傷害) と群落の植生構造との関係を定量的に把握することにより、砂底で人為的な管理をできるだけ減らして、安定で持続する群落を形成させる技術の開発に資する。

4. 方法の概要

1) 生態調査

アラメおよびカジメの群落形成に直接関与する基本的な生育制限要因について、数地点でおおまかに、現地事例を調査した。また、砂底と接する岩礁 (砂底から露出した岩盤および巨礫等) での群落については、岩礁の表面 (以後、岩面と略する) やアラメおよびカジメ藻体への砂の被覆、砂面変動などに関して、特定の地点で季節変化などを含めて詳細な生態調査を行った。

(1) 数地点での事例調査

第2章では、アラメおよびカジメの地理的分布範囲内であるが、光量、砂の被覆および藻食動物による採食圧が、それぞれ単独で大きく作用し、局地的に明瞭な生育制限が引き起こされている太平洋岸中部海域の3ヵ所の事例について、対象とする要因による制限の程度を定量的に把握するため、海藻類を中心に調査した。

(2) 特定地点での精密調査

第3章では、アラメおよびカジメの地理的分布範囲内の三浦半島西部において、群落形成に係わる光量および藻食動物の採食圧による局地的な生育制限が無視できる範囲を明らかにした。その上で、第4章では、砂底から離れているため砂の被覆の影響も無視できる天然群落と、砂底と接する岩礁での群落の季節変化の両者を調査するとともに、波浪などによる砂面変動および岩面での砂の被覆を通年にわたり観測し、群落の植生構造への影響を定量的に把握した。

2) 室内実験

第5章では、生態の精密調査を実施した海域から採集したアラメ藻体、カジメ藻体および砂試料を実験室に持ち帰り、バクテリアの関与について検討した後、水温別、発育段階別および部位別に各々の設定条件で、藻体を砂に埋め込み、個体の生育に及ぼす砂の被覆の影響を定量的に把握するための室内実験を実施した。

3) 海域での実験

第6章では、生態の精密調査を実施した海域において、水深10mで砂層厚30cmの砂底に、天端面（ブロックの上面）の高さ35、45、55、70および75cmのブロックを設置し、3年間のブロックの洗掘・埋没および、ブロック上に形成されたカジメ群落への砂の被覆の影響を中心に、その植生構造が変化する機構を解析するための海域実験を実施した。

第2章 アラメ・カジメ類の生育制限要因

アラメおよびカジメの地理的分布範囲内でも、局地的にその生育が阻害されている場所が存在し、要因として、光量、砂の被覆および藻食動物による採食圧が知られている。しかし、自然の海中では複数の要因が重なり合っており、特定の一カ所で、単独の要因による局地的な生育制限の実態を把握することは、極めて困難である。

そこで、本章では、群落形成に関する基礎的知見として、複数のそれぞれ異なった海域ではあるが、要因がそれぞれ単独で大きく作用し、明瞭な生育制限が引き起こされている事例について、その実態を定量的に調査した。

1. 現地調査地点の選定

文献および聞き取りなどから、局地的な生育制限要因が単独で大きく作用し、明瞭な生育の制限が引き起こされている場所を、太平洋岸中部海域に3カ所見出だし、調査地点として選定した（図-2-1）。

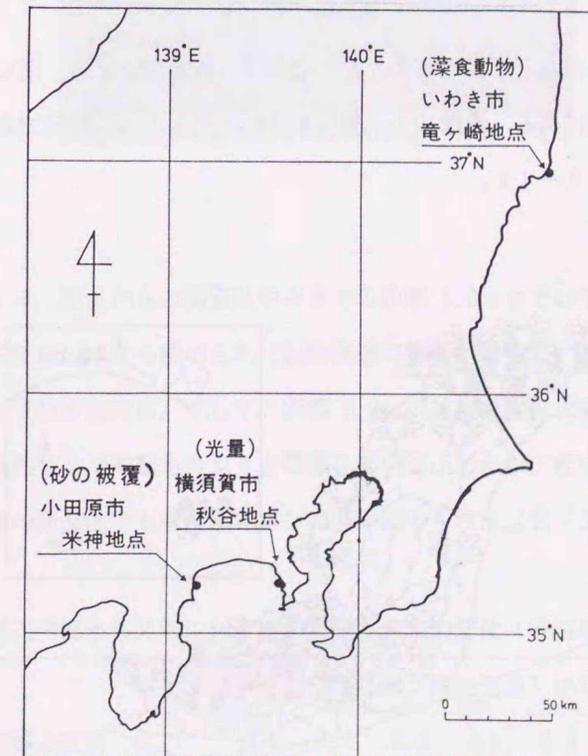


図-2-1 現地調査地点の分布図（寺脇ら，1989を改変）

現地調査にあたっては、対象とする要因による制限の程度を定量的に把握するため、潜水して、アラメおよびカジメの明瞭な生育限界域を探査し、海藻類を中心とした生物調査等を実施した。

2. 要因別の検討

1) 光量

カジメの垂直分布の下限は補償点深度によって規定されるが、カジメ群落で水深の異なる場所を比較する場合、浅所と深所では、光量・光質（新崎1976）だけでなく、海水流動および浮遊物質の堆積などの条件についても相違している。これに対し、同一水深で砂底から離れた場所の洞穴内では、スペクトル組成が類似し、かつ、光量に差が認められる点が、垂直分布の下限についての研究例と異なる点である。

このように、同一水深で砂底から離れた場所の岩礁の洞穴内であれば、光量以外の要因についてはほぼ同じ条件と見なすことができるので、洞穴の内部から外部にかけて、照度とカジメの被度等が増大する状況を定量的に調査した。

(1) 方法

調査地点は、神奈川県横須賀市の秋谷地先で、長者ヶ崎沖の「尾ガ島」と呼ばれている瀬の沖側にある、水深10m、奥行き7m、高さ3mの洞穴である（図-2-2および写真-2-1）。

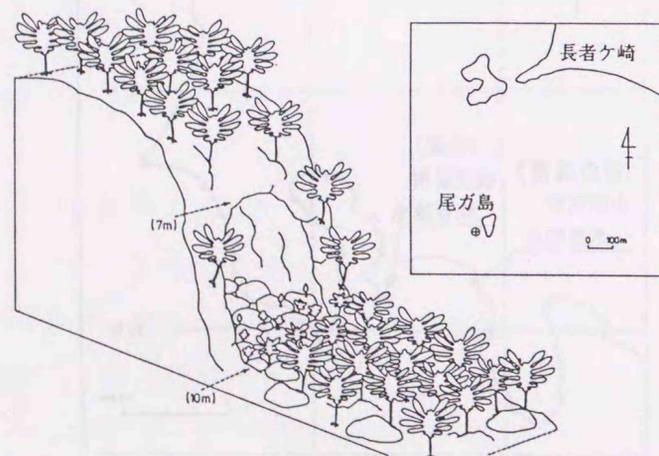


図-2-2 光量について調査した秋谷地点の海底の状況（寺脇ら, 1989 を改変）

1988年6月13日に、洞穴の中心部の調査起点から外部にかけて、一辺50cmの方形枠を用い、ベルトトランセクト法によって、海藻の被度、カジメの個体別全長を測定した。照度については、透明度の高かった1988年12月2日に海藻調査時と同じ起点から50cm毎に、水中照度計を用い、カジメが生育していない場合は海底面で、カジメが生育している場合は群落直上部で測定した。



写真-2-1 調査起点から見た洞穴の内部および外部（寺脇ら, 1989 より）

(2) 結果

カジメは、起点からの調査区中心までの距離1.8mまでは生育が認められなかったが、距離2.3mから認められ、以降急速に被度が増大し、洞穴の出口にあたる距離3.0mで被度60%に、そして、距離5.8mで被度100%に達した。その他の海藻では、無節サンゴモ類もカジメと同様な傾向を示したが、起点からの距離0.3および1.8mの調査区でも被度20および40%が認められた（表-2-1）。

表-2-1 洞穴内部から外部にかけての海藻の被度の変化（寺脇ら, 1989 を改変）

海藻の種類と被度	洞穴中心部（調査起点）からの距離（m）						
	0.3	1.8	2.3	3.0	4.3	5.8	6.7
カジメ（大型海藻）			15	60	80	100	100
無節サンゴモ類（基面被覆海藻）	20	40	70	90	90	80	90

洞穴中心部の調査起点から外部まで、照度（5.5m区を外部、即ち 100とした場合の相対値）とカジメの最大全長および個体密度の関係を図-2-3に示した。カジメについては、個体密度が最大で、最大全長もほぼ最大に近い調査起点からの距離 5.8m区を、外部、即ち 100として、照度との関係を検討する。調査起点からの距離 2.8m区では、照度が外部の9%であり、カジメは最大全長では外部の50%であったが、生育密度では10%に急減していた。カジメは、起点からの距離 2.3m、すなわち、照度が外部の0.9%までは生育が認められたが、それよりも内側では認められなかった。

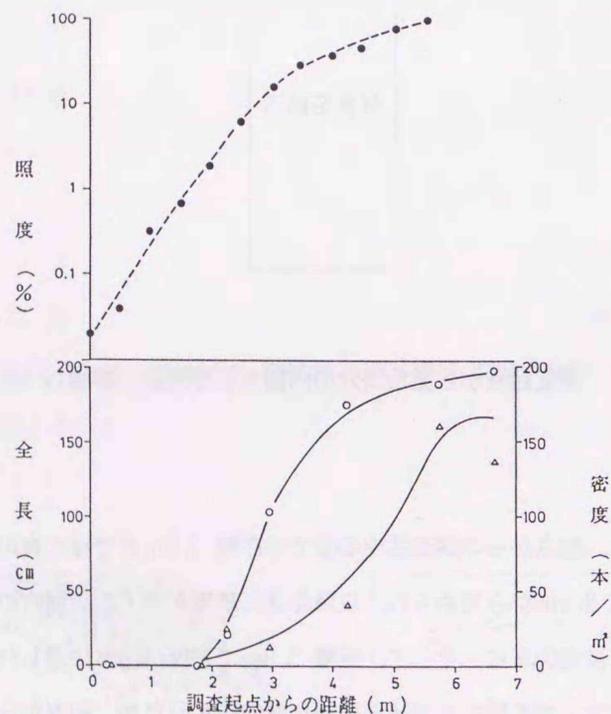


図-2-3 洞穴内部の調査起点から外部にかけての照度とカジメの生育の変化
(○:全長, △:個体密度. 寺脇ら, 1989 を改変)

(3) 考察

伊豆半島下流地先のカジメ群落では、繁茂期の群落内の相対照度が平均1%（林田, 1986）、また、志摩半島では、アラメ幼体が海面での1.0~1.5%、カジメ幼体

が0.5~1.0%の光強度の場所に生育しているとの報告（前川ら, 1988）が見られる。今回の調査とは、それぞれ、光条件に関する測定の方法や調査の目的が異なっているために、数値を直接比較することはできない。しかし、いずれも、海面の光量の1%とされる海藻生育の補償点深度（徳田ら, 1987）を想起させるような、極めて、小さな数値となっていた。

また、今回、光量の限界近くで最大全長が急激に減少し、逆に、光量が充分になると個体密度が急激に増大した。また、観察では、光量が多くなると比較的揃った全長で高密度に生育しているのに対して、光量が減少すると最大全長を示す1本以外は極めて短小な個体ばかりとなっていた。このような生育制限の現われかたは、4章で後述する、砂底と接する岩礁での砂の被覆に因る場合にも認められ、要因に対する個体および個体群としての反応の一つの特徴として、今後、更に検討する必要がある。

一方、今回の調査は、漸深帯固着生物の分布構造と岩面の傾斜度との関係でみると、大規模なオーバーハング部の対面（下面）を対象にしていることになり、洞穴の上面には、今野(1985)同様に海綿類およびウミトサカ類が見られた。さらに、Norton et al. (1971) が英国の海中洞穴で確認したと同様に、最奥部の暗所まで見られる海藻は無節サンゴモ類であり、海域は異なっても共通する現象が認められたので、光量については、従来の知見を基準に検討を進めることにする。

2) 砂の被覆

砂の被覆は、砂底と接している岩礁でカジメの生育を制限する要因の一つである。これに関連して、徳島県南部沿岸においては、砂泥の堆積によってアラメおよびホンダワラ類の生育が阻害されているとの推察（中久・小島, 1981）が報告され、さらに、砂泥地に投入された着生基盤上の海藻が砂の移動や埋没の影響を受けやすいとの指摘（木下, 1947）も見られる。しかし、現地海域におけるカジメの生育と付着器の砂底の表面（以後、砂面と略す）からの比高（砂面から付着器中心部の下端までの垂直距離）との関係を調査した例は見当たらず、海藻群落の植生構造と基質の安定性および岩面の比高別の漂砂の影響について海藻遷移の観点から論じられている（今野, 1984）のみである。

また、砂底に新しい生育基盤である石が投入されたためにカジメが入植しているも

の、石が砂中へ埋没し続けている環境は、藻体が砂に被覆されてしまうという意味で、現地海域における砂の被覆の要因が単独で明瞭に作用している典型的な事例と言える。そこで、砂底での投石地において、砂の被覆とカジメの生育状況を定量的に調査した。

(1) 方法

調査地点は、神奈川県小田原市米神漁港沖の水深約10mの砂底で、サザエ等の餌料海藻であるカジメの増殖のための投石地（昭和61および62年に 200～500kgの安山岩が2100m²ずつ投入されている）である（図-2-4）。



図-2-4 砂の被覆について調査した米神地点の海底状況（寺脇ら, 1989 を改変）

1988年6月23日に、投石地内で砂に埋没しつつある安山岩（投石1～2年後）を3個選び、それに生育しているカジメの全長および付着器の比高を測定した。葉部および茎が流失して付着器のみ残っているカジメについては、付着器の比高を測定した。

(2) 結果

カジメは最大の個体でも全長54cmで年齢1～2才の発育途上の藻体と見られ、付着器の比高0 cm以上では、全ての個体において葉部の流失も認められず、健全な状態であった（表-2-2）。

表-2-2 付着器の砂面からの比高とカジメの生育の関係（寺脇ら, 1989 を改変）

付着器の砂面からの比高 (cm)	観察された個体数 (本)		
	健全藻体	付着器のみ	付着器の痕跡
5～8	2		
3～4	1		
2	2		
1	1		
0	6		
-1	3	1	
-2		2	1
-3～-4		3	5
-5～-8			8

しかし、砂が被覆している付着器の比高-1 cmでは、枯死し、葉部が流失して茎および付着器が残ったカジメも認められた。付着器の比高-2 cm以下では、全てのカジメが枯死していたが、さらに比高の減少に伴い茎も流失し、比高-5～-8 cmでは付着器だけが残っているカジメのみとなった（写真-2-2）。



写真-2-2 砂の被覆で枯死し、付着器だけ残存したカジメ（寺脇ら, 1989 より）

(3) 考察

調査した安山岩は、大きさおよび形状からみて安定性が、また、ほぼ同水深にあり大型のカジメ成体も見られないことからみて光条件も、ほぼ同様である。

今野(1984)は、千葉県小湊地先において、漸深帯の海藻群落構造に及ぼす基質安定度および漂砂の影響を詳しく調べ、調査した大型海藻の中で、カジメが最も耐砂性の小さな種類に入れられるとしている。しかし、今野(1984)の研究の場合には、調査は海藻類主体で、主に、秋から冬の3か月間程の期間の観察に基づいており、

通年に亘る調査ではなかった。また、調査した場所および水深帯が、海藻遷移を論ずる観点から、カジメ場ではあるがアラメも生育する範囲に設定されていた。

今回調査した安山岩は、基質安定性には優れているが、砂中へ埋没途中であり、埋没については砂層の下の岩盤に到達（着岩）するまで止まらないと予想できる。また、安山岩の砂中への埋没速度が砂面上昇速度にあたり、カジメへの砂の被覆の影響についての興味深い事例である。

これらのことから、群落構造に及ぼす砂の被覆の影響の定量的な検討に当たり、第4章で後述するように、岩礁において、アラメおよびカジメの分布中心の水深帯で個別に調査区をもうけ、通年にわたり、海藻類と砂面の変動、加えて、砂面変動の要因である海水の流動状況について精査することの重要性が確認された。

3) 藻食動物の採食

藻食動物の採食圧によって、岩礁における大型褐藻類の分布が制限されている例はChapman(1981)らによって報告されており、潮間帯での実験生態学的研究から、海藻の初期遷移に違いが現れることも明らかにされている(新井・新井1984)。

また、わが国沿岸における“磯焼け(コンブ、アラメ・カジメおよびホンダワラ類の既存の天然群落が大規模に消失し、無節サンゴモ類の群落に変化して、水産的価値が低下する現象)”の原因に関しても、藻食動物の関与が重視され、磯焼け回復のための研究により、人為的な維持管理を前提とした技術開発がほぼ完成される状況にある(農林水産技術会議事務局, 1989)。

なお、上記の“磯焼け現象”に関しては、「ウニがいない場合に生育する可能性のある森林状の多肉質紅藻・褐藻の現存量が、ウニによる激しいグレージングの結果、維持されなくなっている漸深帯の岩礁域について“海中林崩壊域”という言葉を用いる」旨の提案(Harrold and Pearse, 1987)が出されており、大型海藻群落の構造と藻食動物の採食圧との関係について、共通の呼称が得られることになったとともに、現象の更に詳細な把握に向かう契機となっている。

本研究では、基盤の造成後には、人為的な海藻群落の維持管理をほとんど必要としない技術の開発に資することから、実存の海中林崩壊域において、アラメの生育と藻食動物の分布状況を定量的に調査する。なお、ここでは、藻食動物を、ウニ類および大型巻貝類のような、底生性で運動性の低い分類群に限定する。

(1) 方法

調査地点は、福島県いわき市竜ヶ崎地先の、竜ヶ崎漁港沖の水深約4~6mの岩礁で、太平洋に直接面しており、波動の影響の強い場所である(図-2-5)。

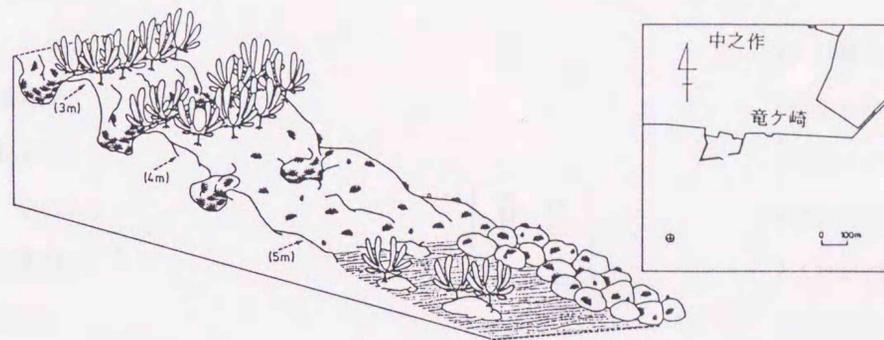


図-2-5 藻食動物について調査した竜ヶ崎地点の海底(寺脇ら, 1989 を改変)

1988年7月12日に、一辺50cmの方形枠を用い、動植物の垂直分布を明らかにするために、ベルトトランセクト法によって、岩上の海藻および固着動物の被度、および大型藻食動物の個体密度を測定した。

(2) 結果

アラメは、水深3.8mまでは被度100%であったが、4.1mでは被度60%に減少し、4.4m以深では0%となり、一方、無節サンゴモ類が被度70~80%で優占する海中林崩壊域となっていた(表-2-3)。

表-2-3 竜ヶ崎地点における海藻、固着動物および底生動物の垂直分布(寺脇ら, 1989 を改変)

種類		水深 (m)	3.8	4.1	4.4	4.8	5.2
海藻 (被度%)	アラメ(大型)		100	60			
	無節サンゴモ類(基面被覆)		60	50	70	80	70
固着動物 (被度%)	カイメン		15	20	20		
	コケムシ		5	+	5		
大型藻食動物 (個/m ²)	コシダカガンガラ		16				
	バフンウニ		4				
	キタムラサキウニ			8	8	12	8

大型藻食動物では、水深3.8mまでにバフンウニおよびコシダカガンガラが、それぞれ、4および16個体/m²出現し、4.1m以深ではキタムラサキウが8~12個/m²出現した(写真-2-3)。

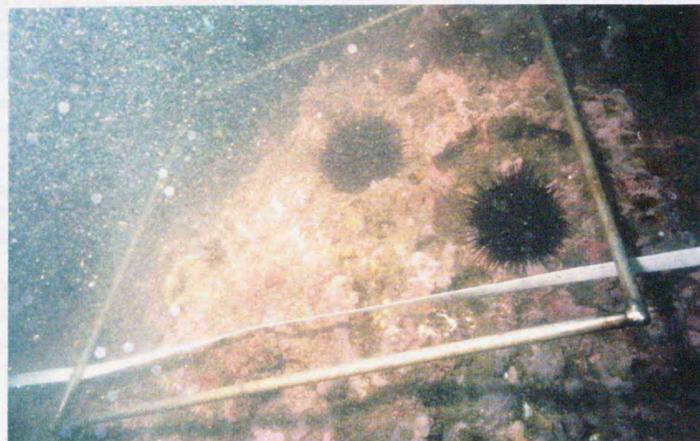


写真-2-3 水深4m以深の調査区の状況(寺脇ら, 1989より)

調査区周辺では、水深3.5mでも岩礁の凸部にはアラメ群落が発達していたが、凹部にはキタムラサキウニが集中分布し、無節サンゴモ類の優占する海中林崩壊域となっていた。また、水深4~6mの、基質安定性の大きな転石上では海中林が崩壊していたが、一方、砂底に点在する比高の小さな岩上では、アラメが生育しておりキタムラサキウニが見られなかった。

(3) 考察

本海域では、アラメ群落の構造および分布下限が冷水塊の接近・離反による変動を示し、その原因には、アラメおよびワカメ等大型褐藻の生長に及ぼす影響とウニ等藻食動物の採食圧に及ぼす影響との差異が挙げられている(谷口ら, 1986)。

これらに関し、今回の調査から、特にキタムラサキウニが、浅所では激しい波動を避けて岩棚に隠れる(Harrold and Pearse, 1987)ために、アラメが採食を受ける機会が減ることで、アラメ群落が存続することが確認された。一方、波動の小さな深所では、新井(1990)が指摘しているように、砂の被覆と砂への忌避のために、キタムラサキウニの入植ならびに採食機会が妨げられることによって、砂底に点在する比高の小さな岩上ではアラメの生育が維持されていることが示唆された。

以上のことから、大型海藻群落の構造に及ぼす砂の被覆の影響の定量的な検討に

当たり、ここでも、通年にわたる砂面の変動、ならびに、砂面変動の要因である海水流動についての精査を、生物調査に結合させる構想のもとに実施することの重要性が、改めて、確認された。

3. 要約

アラメおよびカジメの地理的分布範囲内であるが、光量、砂の被覆および藻食動物の採食が、それぞれ単独で大きく作用し、局地的に明瞭な生育制限が引き起こされている太平洋中部海域の3カ所で、対象とする要因による制限の程度を定量的に調べた。

その結果、特に、砂の被覆に関しては、藻体の埋没などによる直接的な生育の制限も引き起こすが、一方では、藻食動物の採食圧を下げる方向にも作用することが示唆されるなど、他の要因とも係わり合いながら、局地的には群落形成に重大な関与を有することを確認した。

第3章 三浦半島西部におけるアラメおよびカジメ群落

三浦半島は、アラメおよびカジメの両種の地理的分布範囲内であり、また、沿岸での海藻群落の概要が把握されている（高間, 1979a; 高間, 1979b). そこで、三浦半島西部の海域を、アラメおよびカジメの群落形成に関する生態の精密な調査地点に選定した。

本章では、当海域において、アラメおよびカジメの群落形成に関し、光量および藻食動物の採食圧がほとんど制限を及ぼしていない範囲を明らかにした後、砂底から離れているために砂の被覆の影響も無視できる群落の季節変化および形成過程を把握する。それらの結果をもとに、第4章の砂底と接する岩礁での群落の調査地点を選定するとともに、そこで群落の季節変化との比較に供するだけでなく、第5章の室内実験に用いる試料の特性の把握、ならびに、第6章の砂底に設置したブロックに形成されたカジメ群落の構造との比較などに供することとする。

以上の目的に対する有効な知見を得るため、アラメおよびカジメ両種の水平・垂直分布構造、ならびに生態の共通点と相違点について明らかにすることを重点に調査した。

1. 海底地形および底質の分布

アラメおよびカジメの水平・垂直分布を明らかにするに当たり、調査地点の海底地形および底質の分布を把握するため、対象海域内にT-1～4の基準点を設置した（図-3-1）。

基準点を基に50m間隔で61点の誘導点を設置した。海底地形については、汀線部を水準測量し、浅海部以深では海域内の61測線で精密音響測深機(RS-122)で調査した。底質分布については、海底地形と同じ61測線でサイド・スキャン・ソナー(SMS260)を用いて調査するとともに、10地点でミス・マッキンタイヤー型採泥器により底質を採集して、粒度を分析した。

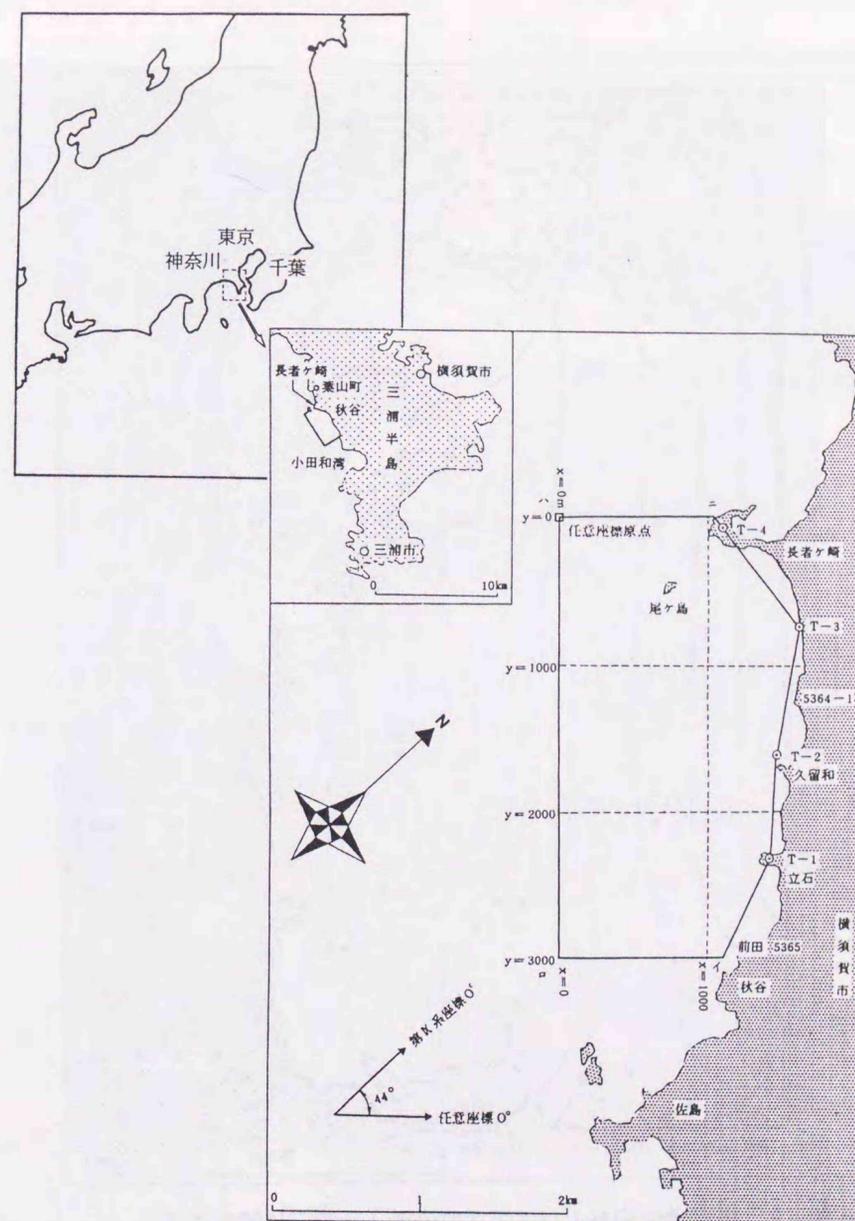


図-3-1 海底地形調査位置および基準点測量関係図（寺脇ら, 1991bより）

その結果、沿岸では岩盤が露出（露岩域、以後、岩礁とほぼ同義として用いる）し、全域をみると海岸線から沖合いに緩やかに下る単斜面地であった。露岩の起伏は、尾ヶ島沖で最も明瞭で7mに達し、長者ヶ崎沖、立石沖および秋谷沖などでも3～5mであった。水深約15mから始まる砂底の勾配が、水深20mまで1/40、水深40mまで1/20と沖へむけて傾度が増していた（図-3-2）。

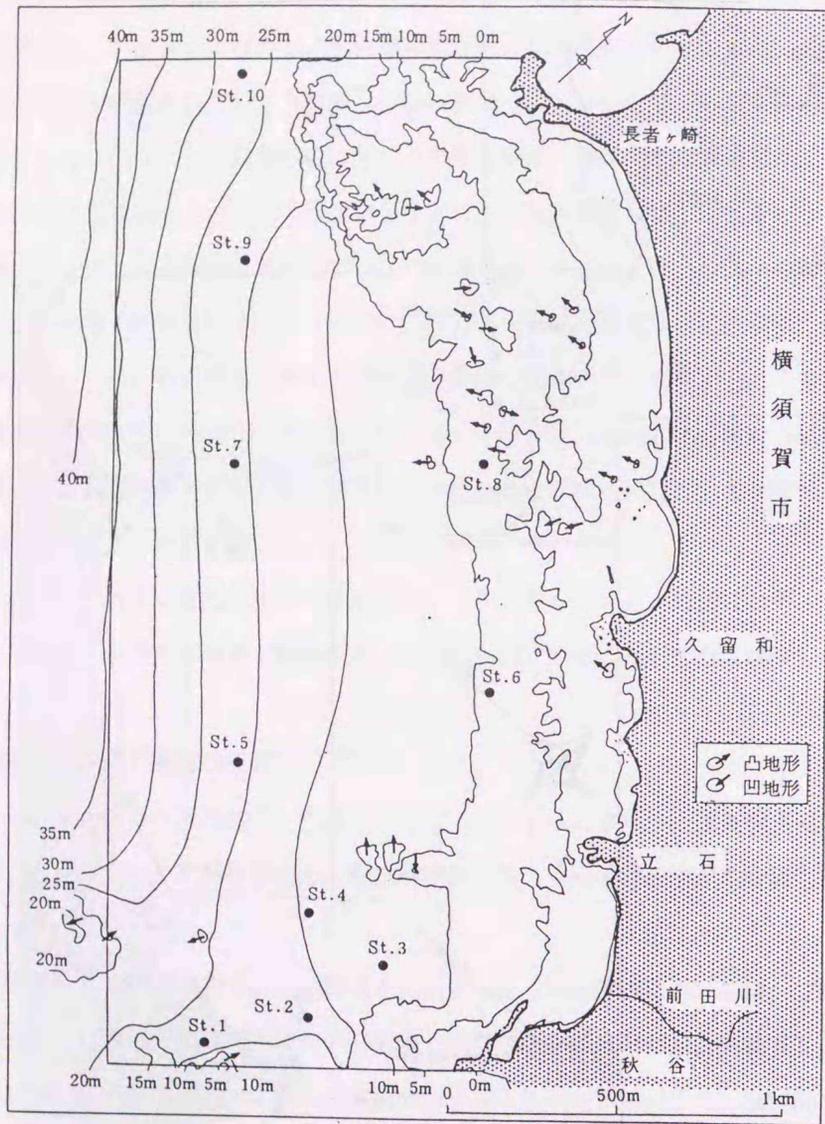


図-3-2 海底地形図および底質採取位置 (寺脇ら, 1991bより)

底質は岩盤、礫および砂に、砂は粗砂、中砂および細砂に分類して表示した。岩盤（露岩または岩礁域）は海岸線に沿って分布し、幅が長者ヶ崎沖で広く 800m、久留和沖では 300mであり、秋谷沖には独立状の分布が認められた。礫は岩盤の周辺および、岩盤に囲まれて分布した。粗砂は岩盤および礫の周辺に、中砂は立石から秋谷の沖合いの 500~1 kmに限られて分布し、細砂・砂泥が沖合い部の全域と海岸線沿いに分布していた (図-3-3)。

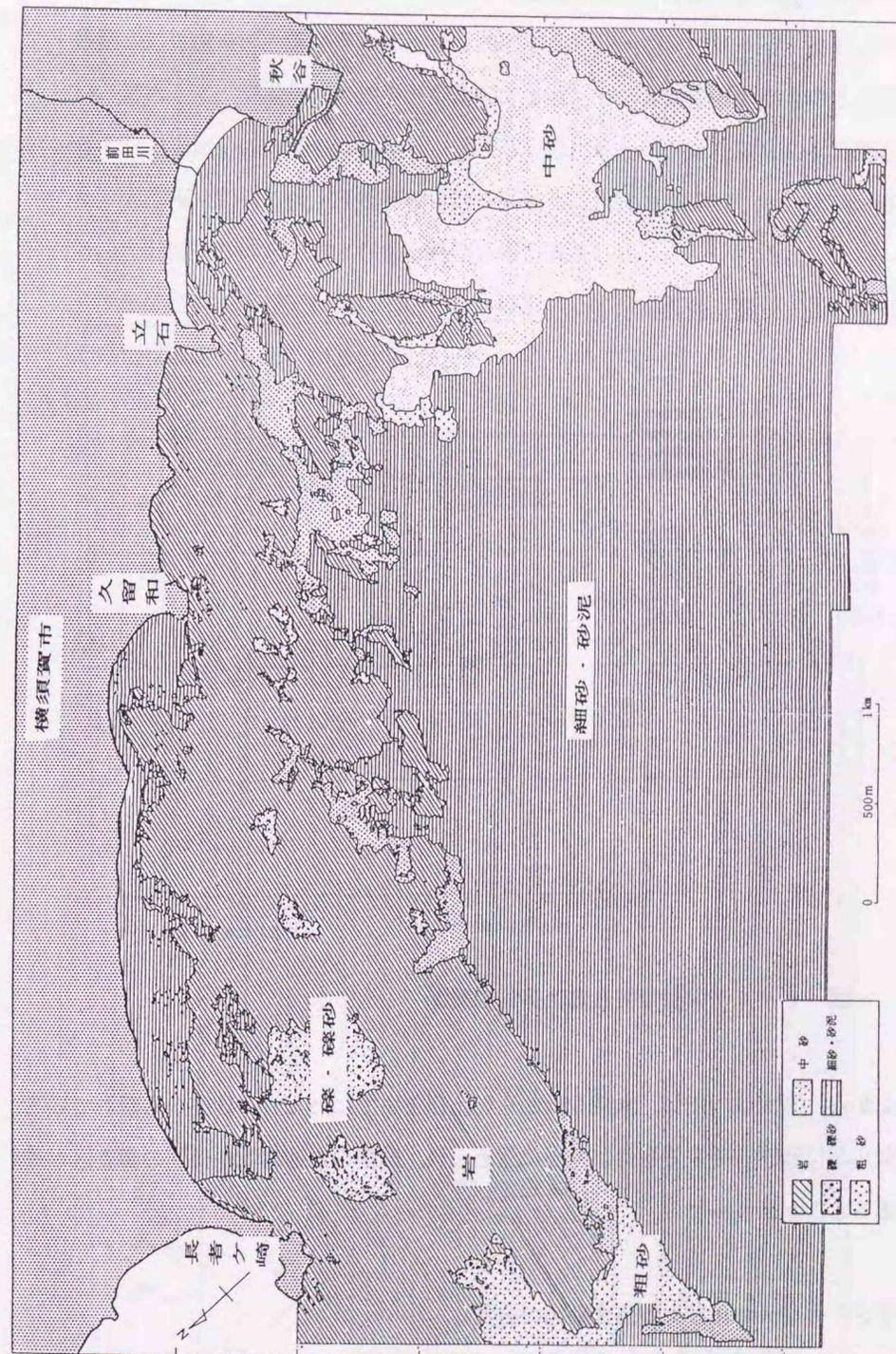


図-3-3 底質分布図 (寺脇ら, 1991bより)

底質の採取試料は、中央粒径と淘汰係数の関係から、ほとんどすべて再移動堆積物に分類された(図-3-4)。

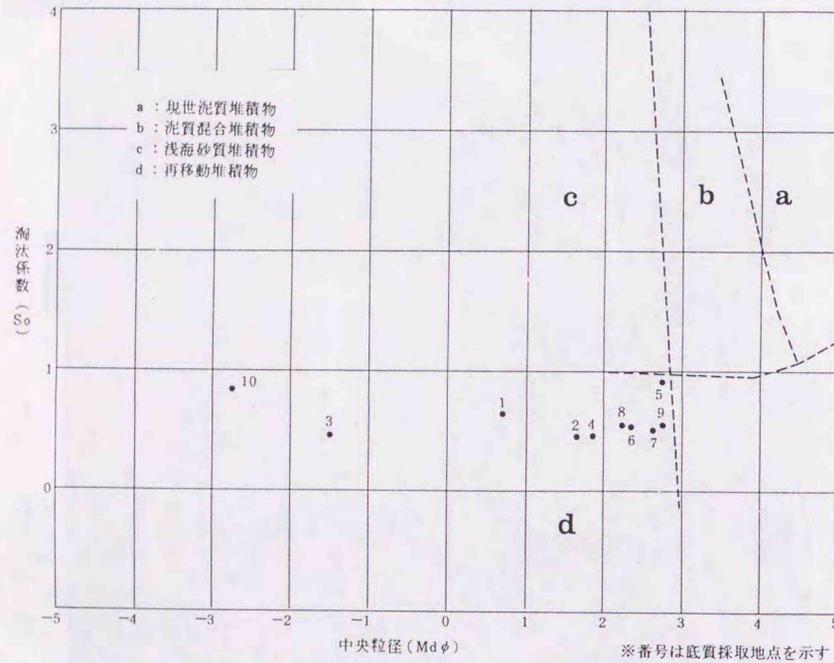


図-3-4 中央粒径と淘汰係数の関係

以上から、本海域内では、水深0mから20m以上までにわたり、砂底から離れている岩礁ならびに砂底と接する岩礁が各所に認められ、群落の立地環境条件別の調査区が選定できることが分かった。

2. アラメ、カジメおよび大型藻食動物の分布

海域内の岩礁域におけるアラメおよびカジメの水平・垂直分布の特徴を明らかにするとともに、それらの重要な生育制限要因である光量および採食圧について、大型藻食動物の分布との関係から検討した。

1) 方法

岩礁域におけるアラメ、カジメおよび大型藻食動物の分布調査測線およびスポット観察点の位置を図-3-5に示した。1987年6月18~28日に、一辺1mの方形枠を用い、潜水して、測線周辺のアラメ群落内で1点、カジメ群落内の密生および疎生域で各1点で1㎡分の海藻を刈り取り、図-3-6に示した部位を基準に生重量を測定した。大型藻食動物では、種類別個体数を計数し、大きさを測定した。また、目視により、大型海藻類の水平および垂直断面分布を調査した。

生物の名称および分類順については、原則として、海藻は吉田ら(1985a, b)に、また動物は岡田(1965)に基づいた。

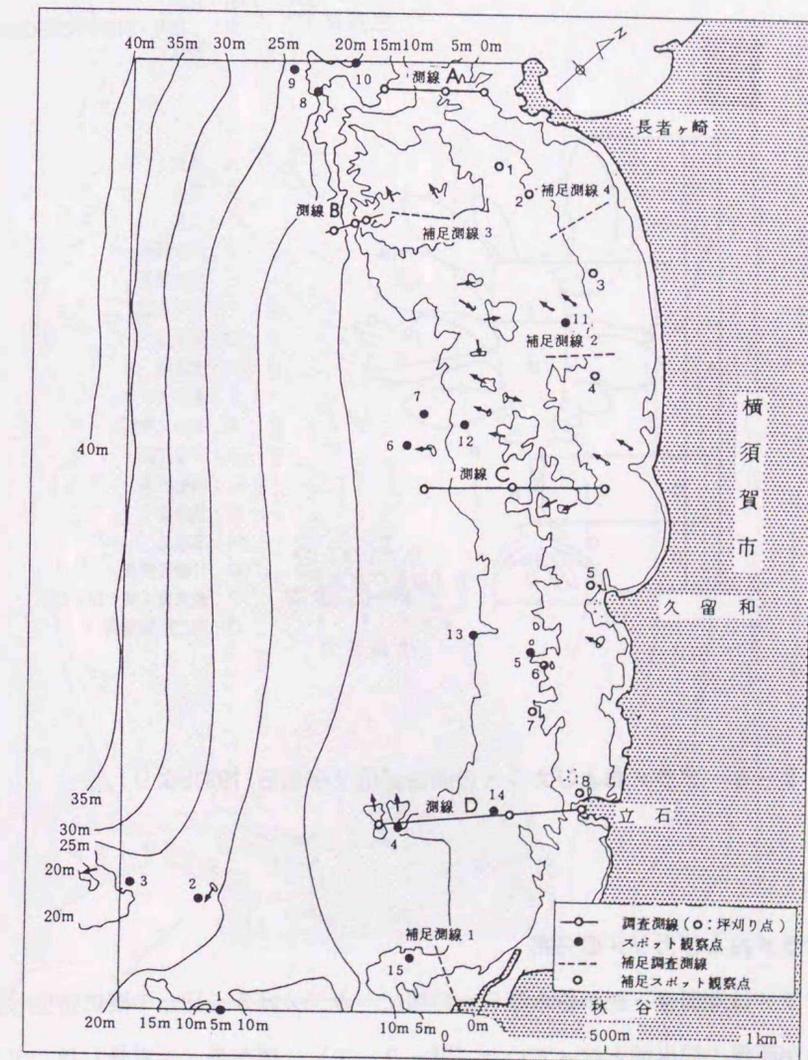
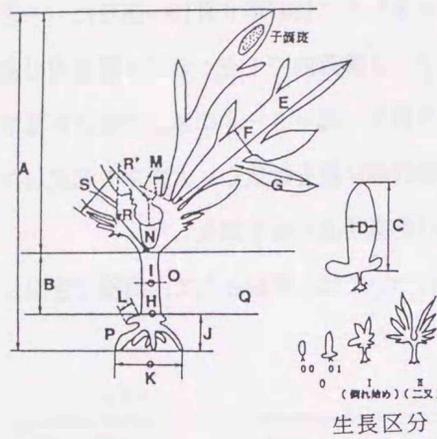


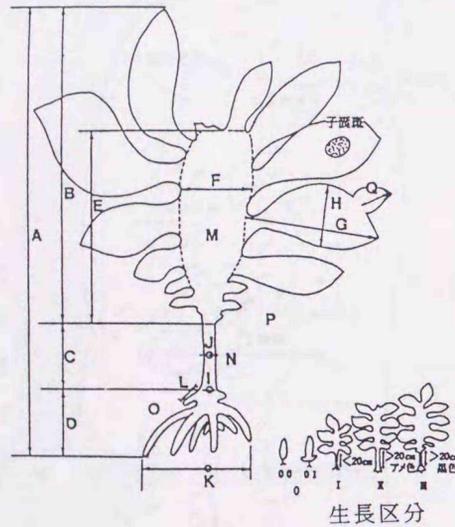
図-3-5 海藻および大型藻食動物の分布調査位置(寺脇ら, 1991bより)

<アラメ>



- A: 全長
- B: 茎長
- C: 葉長
- D: 葉幅
- E: 側葉長
- F: 側葉幅
- G: 第二次側葉長
- H: 茎径(下部)
- I: 茎径(中部)
- J: 付着器高
- K: 付着器径
- L: 親生根長
- M: 葉重量
- N: 茎重量
- O: 付着器重量
- P: 全重量(M+N+O+P)
- R: 枝長
- R': 枝長(群落形成過程調査のみ)
- S: 枝幅

<カジメ>



- A: 全長
- B: 葉長
- C: 茎長
- D: 付着器高
- E: 中央葉長
- F: 中央葉幅
- G: 側葉長
- H: 側葉幅
- I: 茎径(下部)
- J: 茎径(中部)
- K: 付着器径
- L: 親生根長
- M: 葉重量
- N: 茎重量
- O: 付着器重量
- P: 全重量(M+N+O)
- Q: 第二次側葉長

図-3-6 アラメおよびカジメの測定部位(寺脇ら, 1991bより)

2) 結果

(1) アラメおよびカジメの分布

アラメは潮間帯下部から水深5mの間に、カジメは5~18mの間に密生し、2~5mが両種の混生域となっていた(図-3-7)。現存量(生重量)は、アラメ群落で6kg、カジメ群落で平均5kg、分布中心の水深6~9mで11kgであった。

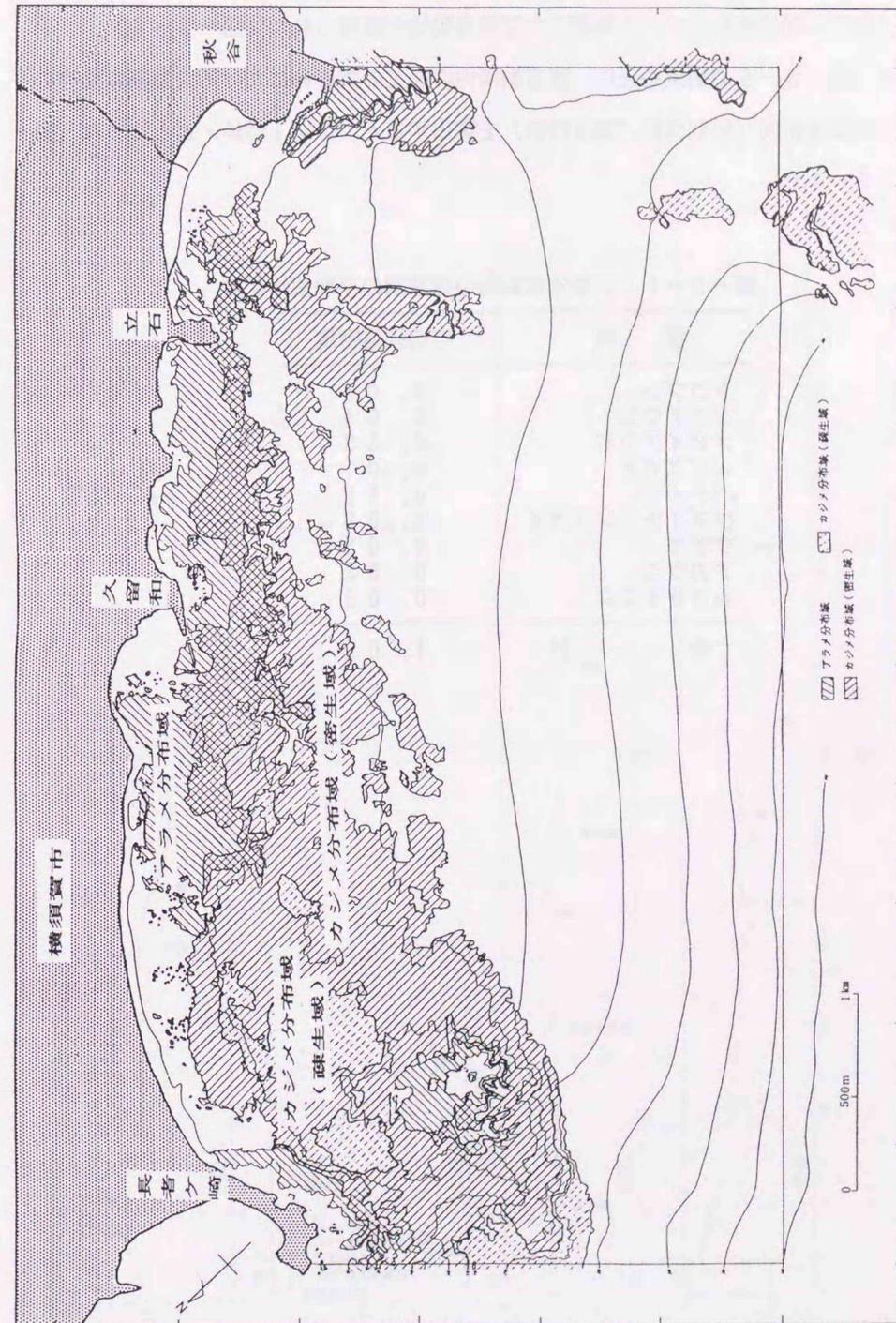


図-3-7 アラメおよびカジメの分布図(寺脇ら, 1991bより)

(2) 大型藻食動物の分布

調査測線では、アワビ類、サザエなどの巻貝およびアカウニ、ムラサキウニなどのウニ類を合わせて、9種類の大型藻食動物が観察された(図-3-8)。

図-3-8の結果を元に、調査測線内の全ての調査枠における大型藻食動物の平均個体密度(総個体数/観察枠数)を算出すると、ほぼ1個体/m²となった(表-3-1)。

表-3-1 大型藻食動物の種類別の平均個体密度

種類	平均個体密度
トコブシ	0.03
クロアワビ	0.04
メガイアワビ	0.03
エビスガイ	0.01
パテイラ	0.12
ウズイチモンジガイ	0.08
サザエ	0.65
アカウニ	0.03
ムラサキウニ	0.03
合計	1.02

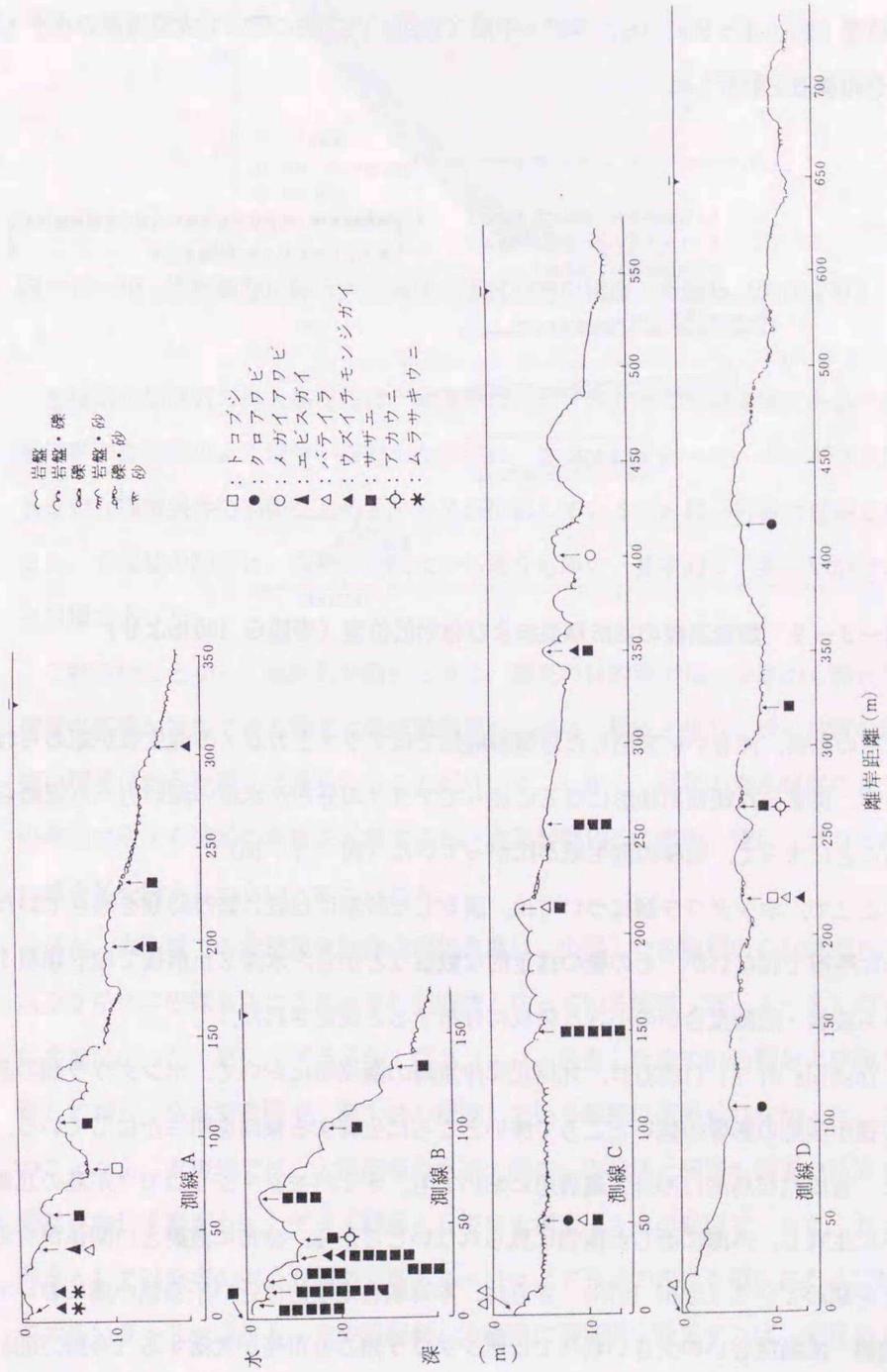


図-3-8 大型藻食動物の測線別出現状況

3) 考察

地形および波動条件により主に決定される、水深と波浪・流動度合いの相互作用と関連した大型海藻類の種毎の分布特性を検討するため、各測線の地形類型および相対的位置(図-3-9)から、今野・中嶋(1980)の方法に準じて大型海藻の水平・垂直分布構造を解析した。

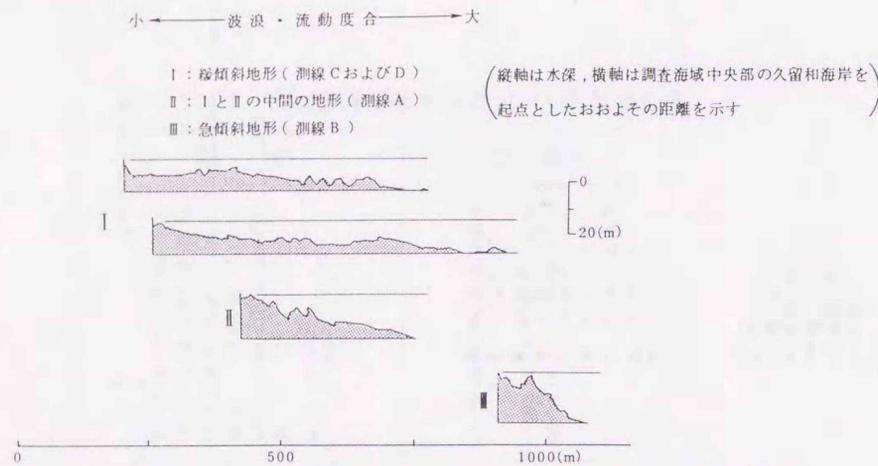


図-3-9 調査測線の地形類型および相対的位置(寺脇ら, 1991bより)

その結果、沖合いに突出した急傾斜地形ではアラメとカジメの混生域が認められないが、奥まった緩傾斜地形になるに従ってアラメの分布が水深の深い方へも認められることによって、両種の混生域が広がっていた(図-3-10)。

ここで、ホンダワラ類については、調査した時期には既に繁茂時期を過ぎていたために明瞭ではないが、その後の補足的な観察などから、水深2m前後で地形類型Iよりも波浪・流動度合いの小さな領域に分布すると推定された。

Yoshida et al. (1963)は、九州北岸津屋崎の漸深帯において、ホンダワラ類の多くの種が波動の影響の強いところで深いところに生育する傾向を明らかにしている。また、宮城県松島湾口の舟入島周辺においても、オオバモク・ジョロモクが島の北側のみに生育し、外海に面した南側に見られないことから、分布に波動との関係が有ることを認めている(吉田, 1973)。さらに、本海域と地理的に近い千葉県小湊において、波浪・流動度合いの大きい場所ではホンダワラ類の分布帯が欠落する(今野, 1984)ことから、本海域におけるホンダワラ類の分布領域についての推定は、妥当であると考えて差し支えない。

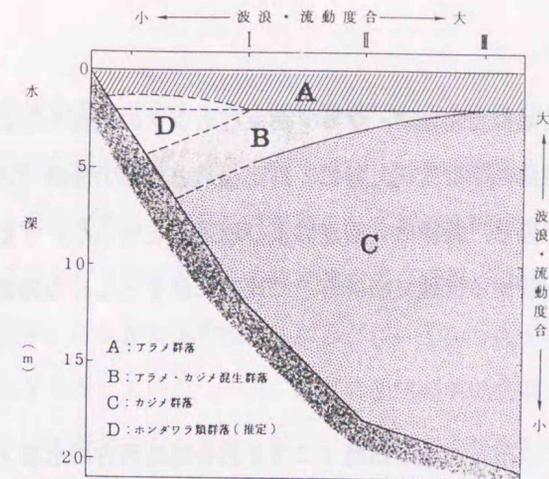


図-3-10 地形類型に伴う大型海藻の垂直分布の構造(寺脇ら, 1991bより)

宮城県松島湾口の舟入島周辺は、地理的にカジメの分布しない海域であるために、漸深帯の深所側のより環境が安定した領域に、カジメに代わって、ホンダワラ類よりも安定な環境条件の場所を占めるアラメが生育していることは、容易に理解できる。また、本海域の結果は、表現の方法は少し違うものの、基本的に千葉県小湊での結果と同様であった。

これらのことから、地形的特徴から見て、調査の目的別では、砂底から離れて砂の被覆の影響が無視できる環境は地形類型III、逆に、砂底と接して砂の被覆の影響が強い環境は地形類型Iで得られることが分かる。しかし、通年の潜水観察による調査の実施に対する波動の影響を考慮すると、地形類型IIIの浅所、特に、アラメ群落には調査区を設定しづらいと考えられる。

また、本海域での大型藻食動物の個体密度は、出現した各種類の合計値でも、キタムラサキウニの採食圧により海中林崩壊域となっている海域(表-2-3)の1/10にすぎなかった。更に、アラメおよびカジメは、調査した全ての岩盤および礫上に生育しており、全水深範囲で、海中林が崩壊している範囲は認められなかった。これらのことから、本海域では、大型海藻の水平・垂直分布構造と個別の調査の目的や効率的な実施性を勘案して、アラメ群落としては水深2~4mの範囲で、また、カジメ群落としては分布の中心水深帯である8~11m(アラメの混生を避けるために現存量の大きい6~9mよりも、やや深所側)の範囲に調査区を設定すれば、光量および藻食動物の採食圧の影響を無視でき、残る重要な生育制限要因である砂の被覆についての精密な調査の実施に適していると判断した。

3. 群落の季節変化

海域内の、砂底から離れた岩礁で、アラメおよびカジメの生育への砂の被覆の影響が無視できる環境での群落の季節変化、特に、群落構造と大型の藻体（大型体）の各部位の生長の季節変化を把握し、両種の共通点および相違点を明らかにするとともに、後述する第4章の、砂底と接する岩礁での群落との比較に供するための調査を行った。

1) 方法

アラメが最も広く分布し、地形類型Iに含まれる黒島西方の水深3mの砂底から離れた岩礁のアラメ群落内、および、カジメが最も広く分布し、地形類型IIIにあたる尾ガ島西方の水深10mの砂底から離れた岩礁のカジメ群落内に、1987年7月に一辺1mの方形枠を設置した(図-3-11)。枠内のアラメまたはカジメを個体標識し、1987年7月から1988年9月まで、毎月1回、潜水して、個体別全長などを測定し、子のう斑の有無を確認した。また、枠の近傍で毎月10個体の大型体を採集し、図-3-6に示した部位を測定した。

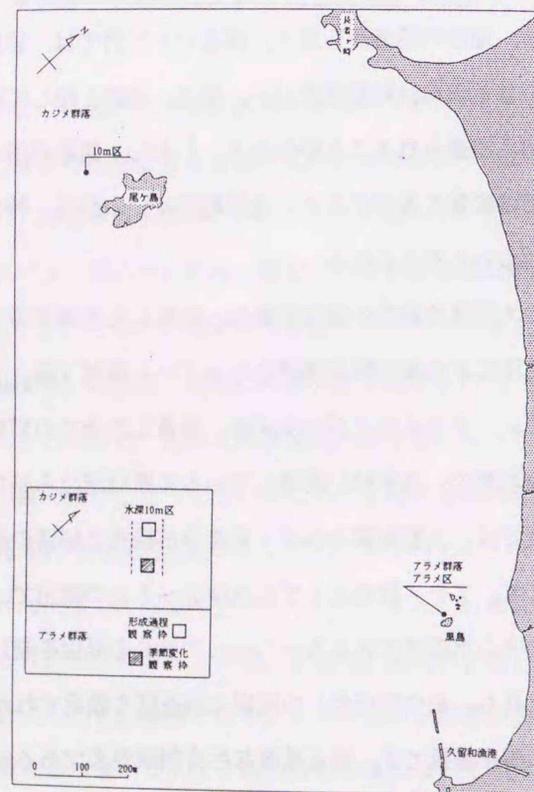


図-3-11 アラメおよびカジメ群落の調査位置(寺脇ら, 1991bを改変)

2) 結果

海中の季節性を表わす考え方や方法は多様であるが、本論文では、本章5節での本海域の水温の変化傾向から、水温が最も低い1~3月を冬、4~6月を春、水温が最も高い7~9月を夏として10~12月を秋として結果を記述する。

アラメおよびカジメ群落とも、個体密度および既存の成体(調査枠設定時に既に生育していた成体)の全長の季節変化、ならびに、子のう斑を有する個体が年間を通じてみられる点が共通していた。一方、既存の成体の成熟盛期が、アラメ群落で主に秋から冬で、カジメ群落で主に夏から秋である点、および新生の幼体がカジメでは冬から春にかけて急伸長する点が相違していた(表-3-2)。

表-3-2 アラメおよびカジメ群落における群落構造の比較(寺脇ら, 1991bを改変)

調 査 項 目		アラメ群落	カジメ群落
個体密度	最大時期(値)	冬(171本/m ²)	冬(202本/m ²)
	最小時期(値)	秋(21本/m ²)	秋(18本/m ²)
全 長	既存の成体	最大時期(値)	春(162cm)
		最小時期(値)	秋
成 熟	新生の幼体	出現時期	秋
		伸長の過程	冬~夏に緩伸長
	既存の成体	時期(盛期)	通年(秋~冬)
	新生の幼体	初年度の成熟	確認されず
		冬~春に急伸長	通年(夏~秋)
			夏以降に確認

大型体アラメおよびカジメ各部位の季節変化では、側葉長および新生根の出現時期および伸長停止時期が共通点であった。一方、葉重量および側葉数では、やや異なっていた(表-3-3)。また、変化の小さい部位については、表-3-3に全試料平均を示した。カジメには枝が無いことが、両種の重要な区別点の一つである。茎については、カジメの方が長く重い、細かった。一方、附着器については、アラメの方が、カジメよりも全ての項目で大きかった。

3) 考察

本海域でのアラメ成体の個体密度(1987年7月の生長区分II以上22本)は、牡鹿半島の10~18本(谷口ら, 1987)および志摩半島の15本(喜田・前川, 1982)に類似し、三浦市の10本(高間, 1979b)の2倍程度であった。新生幼体が秋に加入する点は、牡鹿半島の1月(谷口ら, 1987)および三浦市の11月(高間, 1979b)と同時期であった。成

熟は、牡鹿半島で10~12月(谷口・秋山, 1982), 三浦市で8月~2月に遊走子の放出(高間, 1979b)が報告されているのに対し, 本海域では, 成熟盛期が秋から冬で, 成熟個体が通年認められた。また, 大型体アラメは葉重量および側葉数が春および夏に最大で, 冬に最小となり, 松島湾での結果(吉田, 1970)に類似していた。

表-3-3 大型体アラメおよびカジメの各部位の季節変化の比較
(寺脇ら, 1991bを改変)

調査項目		アラメ	カジメ	
側葉長	最大時期(値)	春(74cm)	春(56cm)	
	最小時期(値)	秋(52cm)	秋(30cm)	
葉重量	最大時期(値)	夏(1120g/個体)	春(650g/個体)	
	最小時期(値)	冬(300g/個体)	冬(100g/個体)	
側葉数	最大時期(値)	春(34枚/個体)	冬(23枚/個体)	
	最小時期(値)	冬(22枚/個体)	秋(15枚/個体)	
新生根	出現時期(値)	秋(5本/個体)	秋(7本/個体)	
	伸長過程(値)	春に停止(13cm)	春に停止(11cm)	
枝長 枝幅 枝重量	全試料平均値	14cm 5cm 63g	--- --- ---	
	茎長 茎径 茎重量	全試料平均値	39cm 2.8cm 166g	121cm 2.0cm 316g
		附着器高 附着器径 附着器重量	全試料平均値	6cm 22cm 257g

本海域でのカジメ成体の個体密度(1987年7月の生長区分II以上12本)は, 三浦市の0~13本(高間, 1979b)および伊豆半島の10本(岩橋, 1971)に類似し, 土佐湾の21~27本(大野・石川, 1982)に比べて1/2程度であった。新生幼体が秋に加入する点は, 三浦市の11~12月(高間, 1979b), および志摩半島の12月(前川, 1985)と同時期であった。成熟が通年認められ, 盛期が夏~秋である点は伊豆半島で7月から子のう斑が観察され(林田, 1984), 土佐湾で成熟個体が7月以降多く12月に流失する(大野・石川, 1982)との報告とほぼ同様であった。また, 大型体カジメは, 葉重量が春に最大で冬に最小となり, 三浦市(高間, 1979b), 伊豆半島(岩橋, 1968)および土佐湾で春から夏に最大で秋から冬に最小(大野・石川, 1982)との報告と類似していた。側葉数は冬に最大で秋に最小となり, 土佐湾での冬に多く秋に少ないという報告(大野・石川, 1982)と類似していたが, 伊豆半島での側葉数の季節変化(千原・横浜, 1981)とは, やや異なっていた。

以上のことから, 本海域では, 砂底から離れて砂の被覆の影響を無視できる環境でのアラメおよびカジメ群落の構造, ならびに, 大型体の季節変化は, 両種が分布する他の海域での調査結果と概ね一致していたため, 砂底と接する岩礁での群落の調査結果についても, 他の海域での検討に際して, 有効な知見になると判断された。

また, 両種とも, 成熟個体が通年観察されることについては既存の報告が無く, この点が他の海域と最も異なっていた。ただ, 福島県いわき市の永崎漁港前の調査結果では, 個体標識された3~4才のアラメがほとんど通年成熟していることが報告されている(谷口, 1991a)。これに対して, 本海域の標識されたアラメおよびカジメの各個体別の記録では, アラメは同一個体で通年成熟しているものもあったが, カジメにはなかった。

同一海域に産するアラメとカジメの枝, 茎および附着器等の, 藻体を支持する部分について比較した報告も従来見られないが, 枝を加えても, 茎ではカジメの方が長く重いものに対して, 附着器ではアラメの方が全ての項目で大きく, 特に, 重量で4倍ほど大きいことが特徴的であった。このことから, 波動の影響の強い浅所に群落を形成するアラメでは生育基盤への固着に対するエネルギー配分が大きくなり, 波動の影響が弱い深所に群落を形成するカジメでは固着に対するエネルギー配分が小さくなっている様子が伺える。別の見方をすれば, 深所の光量の小さい条件に適応しているカジメ(前川ら, 1988)では, 受光に有利に作用する茎の伸長に対してエネルギー配分が大きくなっているとも受け取れる。さらに, 表皮ならびに皮層などの内部観察などにより, 砂の被覆の影響に対する耐性の差異を生じさせる機構の存在も認められる可能性がある。

4. 群落の形成過程

海域内の, 砂底から離れた岩礁で, アラメおよびカジメの生育への砂の被覆の影響が無視できる環境での群落の形成過程, 特に, 群落構造における両種の共通点および相違点を明らかにするとともに, 後述する第6章での, 砂底に設置したブロック上に形成された群落の構造との比較に供するための調査を行った。なお, 本節での群落形成過程とは, アラメおよびカジメ群落内で海底面を剥削し, 海藻の再入植(谷口, 1991b)を把握するために設けた実験的裸面(以後, 実験裸面と略する)での, 人為的な種苗添加などの手段を加えていない過程を指す。

1) 方法

本章3節で両種の群落の季節変化を調査した枠の近傍で、両種とも成熟の盛期になる直前の1987年9月に、一辺1mの方形枠内の海藻等の付着生物をワイヤブラシ等で擦ってできる限り除去して実験裸面を造成した(図-3-11)。その後、潜水して海藻被度を測定し、アラメおよびカジメについては、個体数、標識した大型の個体30本の全長および子のう斑の有無を確認した。調査の実施間隔は、1989年3月までは1カ月毎で、1989年5月以降、終了時の1990年1月までは2カ月毎とした。

2) 結果

調査した結果から、四季の代表的な調査月の記録を抜き出して、表-3-4に整理した。

アラメ区での大型海藻類の優占種は、0.5年後にはオオバモクであったが、1年後にはオオバモクとアラメ(被度が同値)となり、1.5年後以降ではアラメとなった。アラメは、実験裸面の造成1年後の夏には、最大全長が55cmで成熟個体が認められ、成熟個体が、その後、四季とも認められた。アラメは、最大全長が、実験裸面の造成2年後に100cm、2.5年後に107cmと増大し続けたが、個体密度が、1年後の75本/m²を最高に減少し続け、2.5年後で16本/m²となった。

カジメ区での大型海藻類の優占種は、0.5年後にはアラメかカジメか区別のつけられない幼体(アラメ・カジメ幼体)であったが、1年後以降ではカジメであった。カジメは、実験裸面の造成1年後の夏には、最大全長が80cmで成熟個体が認められた。成熟個体は、1989年冬には認められなかったが、それ以外では認められた。カジメの最大全長は、実験裸面の造成1.5年後には116cmに達したが、2年後の夏には92cmと減少し、2.5年後の冬には116cmと再び増大した。

以上のことから、群落内に設けた実験裸面における両種の群落の形成過程の共通点は、アラメ・カジメ幼体が初年度の冬に入植し、1年後には成熟開始した点である。一方、相違点は、アラメ区ではオオバモクのためにアラメが優占種になるまで1年以上かかったのに対して、カジメ区では3/4年経過した1988年春以降にはカジメが優占種となっていた点である。

表-3-4 アラメおよびカジメ群落の経年・季節変化を含む形成過程
(寺脇ら, 1991bを改変)

調査項目/季節	1988				1989				1990
	冬(2)	春(5)	夏(8)	秋(11)	冬(2)	春(5)	夏(9)	秋(11)	冬(1)
経過年数	0.5		1		1.5		2		2.5
大型海藻優占種	オオバモク → オオバモク カジメ								
アラメ個体密度(幼体)		75			43		17		16
アラメ最大全長		55			81		100		107
アラメ成熟個体		○	○		○	○	○	○	○
大型海藻優占種	幼体 カジメ								
カジメ個体密度(幼体)		174			92		41		19
カジメ最大全長		80			116		92		115
カジメ成熟個体		○	○			○	○	○	○

3) 考察

海底面を剝削して造成した群落内の実験的な裸面における、アラメ群落の形成過程は、牡鹿半島の結果(谷口, 1991b)と比べて、共通点のアラメの被度が高くなるまで1年以上かかった点で、相違点のアラメの被度が高くなるまでの間に大型海藻類のオオバモクが優占した点である。また、アラメの寿命は5~6年(谷口・加藤, 1984)であり、本海域でも、調査の期間中アラメの全長は伸長し続けていた。

カジメ群落内の結果と伊豆半島(岩橋, 1968)とを比べると、実験裸面の造成方法や規模が異なるものの、伊豆半島でも2年後には群落が形成されており、本海域の結果は、概ねこれと一致する。

これらのことから、両種の群落内の実験裸面における群落形成過程の特徴を整理する。アラメ群落内では、群落形成の初期に他の海藻類に1年間優占されることについては、海域の違いによって相手の種類が変化することはあっても、普遍的である可能性が示唆された。これに対して、カジメ群落内では、実験裸面の造成直後からアラメ・カジメ幼体が優占し、それらが生長してカジメとなって優占を持続するという単調な遷移過程であると推論される。このことから、カジメ群落が漸深帯において最も安定な環境で、高次の遷移段階まで進んでいるとする見解(今野, 1984)に基づき、大型海藻類の生活型(片田, 1963)とその内部での種類の違いは、単に、一海域内の地形等との対応で理解するのみならず、地理的規模での海域別に、海藻類にとっての生育環境条件を示す指標として有効であると推論される。

また、砂底において実験的にブロック等の生育基盤を付与して群落を形成させ、その構造についての検討を計画する場合には、カジメならば2~3年で群落が完成する

ために、明瞭な結果が得られれば意義深い考察を導くことが可能と推察される。これに対して、アラムの場合には、群落の完成まで4~5年は必要と考えられるため、カジメの場合に比して、約2倍の所要時間を想定する必要がある。

5. 群落の光および水質環境

本章、第4章および6章で記述する、本海域におけるアラムおよびカジメ群落についての主な生態学的調査ならびに実験生態学的検討を実施した期間の、群落が存在する場所での光量、水質および流況の概要を把握し、海域または季節的な環境の特性について検討するための調査を実施した。

1) 方法

光量については、アラム群落、およびカジメ群落の分布する深度10m地点で、海面直下、0.3m、0.5m、0.7m、1m、以下1m毎に、ライカ社製LI-92SBを使用して光量子束密度を測定した。水質については、アラム群落の表層、カジメ群落の分布する深度15m地点で、1987年10月から1990年1月まで、バンドーン採水器で採水し、海洋観測指針に従って分析した。なお、測定頻度は1987年10月から1988年9月までは月1回、1988年10月から1989年9月までは月10回、1989年10月から1990年1月までは月5回とし、同時に、水温を東邦電探社製BT-5型で測定した。なお、調査した海域に近接した小田和湾において、全天日射量(波長400~700nm;以後、日射量と略記)を測定した。

流況については、1989年7月および1990年1月の2回、海面下5m層でプロペラ式流速計(アンデラー社製PRCM流速計)を用い、また、海上0.5m層で電磁流速計(シーデータ社製620A型)を用いて、流向・流速を約2週間連続観測した。いずれの測点でも、測定は10分間隔とし、プロペラ式流速計では瞬時値流速を10分間平均値、電磁流速計では流向・流速とも64秒間の平均値とした。

2) 結果

月別平均日射量は、12~43E/m²/日の範囲で変化し、12月に最低、5または8月に最大となった。日射量と海中での光量子束密度の平均減衰率から求めた、深度別到達光量推定値の平均値は、アラム群落では4.9E/m²/日であり、カジメ群落水深10mで

は2.6E/m²/日であった(図-3-12)。

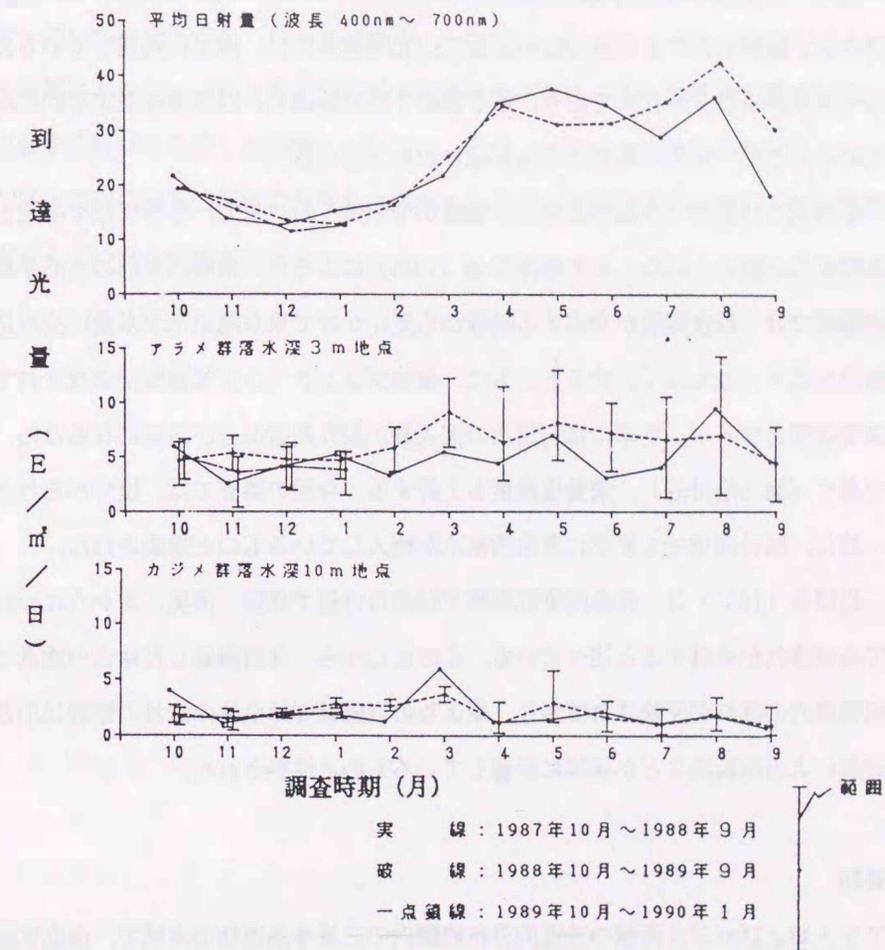


図-3-12 アラムおよびカジメ群落(水深10m)での到達光量推定値の季節変化(寺脇ら, 1991bを改変)

水温は13.6~27.4°Cの範囲で変化し、7月または8月に最高、2月に最低となる季節変化を示し、塩分が29.8~34.8‰の範囲で変化し、夏季には冬季に比べてわずかに低かった。

無機態窒素総量は1~21, リン酸態リン量は0.1~0.8 μg-at/lの範囲で変化したが、明瞭な季節変化が認められなかった。

1989年7月および1990年1月の全測点の流速範囲は、それぞれ0~45cm/sおよび0~35cm/sの範囲にあり、季節による差が認められなかった。

3) 考察

各項目とも、季節または深度別に特異的な結果が見られなかったため、観測期間中に本海域の基本的な環境条件が安定していたことが確認された。

特に、深度別の到達光量推定値からみた、アラメ群落にあたる水深3mの岩面およびカジメ群落にあたる水深10mの岩面での光環境条件は、海面に到達している光量の10~20%および5~10%であり、第2章の1節で論議した限界条件を定常的に満たしていることが、光量の観測からも確認されたと言える。

本海域では夏季に水温が上昇し、塩分がやや低下し、一方、冬季にはその逆となる季節変化が認められた。日本海洋学会(1985)によると、相模湾東部の三浦半島沿岸の海域では、温度躍層が発達する晩春から夏にかけて東京湾系水が多量に流れ込み、塩分が低下(33‰以下)するとともに、植物プランクトンに栄養塩が吸収されて、貧栄養状態となるが、冬季には河川水の流入量が減り鉛直混合が活発になるため、塩分が高く(34.5‰付近)、栄養塩濃度も上昇する。今回の調査では、塩分がそれとほぼ一致し、秋谷海域でも夏季に東京湾系水が流入しているものと推論された。

岩田ら(1982)は、相模湾東部海域では湾口付近で北西、湾奥に向かうにつれて北方向の流れが卓越すると述べている。このことから、今回調査した沖合の地点では、相模湾内の流れが反映されており、岸よりの岩礁域では全体の流れの影響は小さく、波浪による海浜流などが複雑に影響しているものと推察された。

6. 要約

アラメおよびカジメ両種の地理的分布範囲内の三浦半島西部の海域で、海底地形、底質分布、更に、光量・水質環境の概要を把握し、特に、岩礁域での大型海藻および大型藻食動物の分布との関係を検討した。その結果、アラメ群落では水深2~4mに、カジメ群落では水深8~11mに調査区を設定すれば、光量および藻食動物の採食圧の影響を無視でき、残る重要な生育制限要因である砂の被覆についての精密な調査の実施に適していることが分かった。

砂底から離れて砂の被覆の影響を無視できる岩礁域でのアラメおよびカジメ群落構造ならびに大型体の季節変化は、両種が分布する他の海域での調査結果と概ね一致していたため、砂底と接する岩礁域での群落の調査結果が、他の海域での検討に際しても有効な知見になると推察された。

群落内に実験的に設けた裸面における、両種の群落形成過程の特徴を整理した。共通点は、アラメ・カジメ幼体が初年度の冬に入植し、1年後には成熟開始した点である。一方、相違点は、アラメ区ではオオバモクのためにアラメが優占種になるまでに1年以上かかったのに対して、カジメ区では3/4年経過した1988年春以降にはカジメが優占種となっていた点である。

本海域において、アラメおよびカジメ群落についての、主な生態学的調査ならびに実験生態学的検討を実施した期間については、光量、水質および流況の各項目とも、時期または深度別に特異的な結果が見られなかったため、観測期間中には基本的な環境条件が安定していたと判断される。

第4章 砂底と接する岩礁でのアラメおよびカジメ群落

岩礁に生育する海藻類の安定群落は周年維持されるためには、砂面からのある程度の垂直距離（砂面からの比高）が必要である。しかし、それらに関して、潮間帯での研究例は比較的以前から見られる（Daly and Methieson, 1977 など）ものの、漸深帯での研究は、その野外調査の実施の困難さもあって、ほとんど見られない。従って、本州太平洋沿岸の漸深帯での主要な大型海藻類であるアラメおよびカジメの、砂底と接する岩礁での群落の分布および構造と砂の作用の関係も定量的に把握されているとは言えない。

本研究の遂行において最も参考としている今野の研究(1984)は、露頭（砂底から露出している岩盤、即ち岩礁の一種）の岩面において比高別に成立している海藻群落を秋から冬（1978年11月～1979年1月）に調査した結果と、水深および底質別に設置したブロック上での4～6年間の海藻群落の形成過程の調査結果とを合わせ考えて、海藻遷移についての理論を展開しているものである。

そこで、本章では、砂底に接する岩礁でのアラメおよびカジメ群落についての通年に亘る観察を行うとともに、同時に、近接する砂底での砂面の変動状態を連続的に記録し、群落の分布および構造と砂の作用の関係を定量的に把握することに努めた。また、浅海域での砂の移動（漂砂）を起こさせる主因の一つである波浪条件についても並行して通年の観測を行なったので、これらの結果を合わせて、アラメおよびカジメ群落の構造と砂、さらに波浪との関係について論議を進める。

ただし、漂砂など海浜変形に連なる問題は、現在でも海岸工学上の最も難解な問題の一つともされている（本間・堀川, 1985）。すなわち、砂底での砂の動きを根本的に解明するためには海岸の地形変化シミュレーションモデルの規模から取り組む必要性が指摘されている（丸山, 1987）など、大規模な計画と現地調査が求められるはこびとなっている。

言い換えれば、潜水観察時にはそれなりに安定して存在し続けているように見受けられる大型海藻群落について、自然の漂砂の影響をより定量的に把握しておくことが、今後、ますます重要になってきている。なぜならば、防波堤等の海岸構造物の設置に代表されるような、人的行為に起因する海水流動環境の変化で起こる漂砂に対する海域の環境保全の観点（丸山・清水, 1986）から必須であるのみならず、一方では、多様な目的から積極的に海藻類の群落を形成させる目的での試験・事業を企画する際に、定量的な情報に基づく、より正確な判断へ導くことが可能になると期待される（丸山ら, 1988）からである。

生物、特に、優占する海藻類の生活形および群落としての遷移段階が、その場所の環境条件に関する重要な指標となりうることは、Yoshida et al. (1963), 片田(1963), 今野(1984)および新井・新井(1984)の研究からも示されている。今回は、要因としての砂の作用の定量化を重点に検討を進めるにあたり、上述したように、水理学または海岸工学上のこれまでの目的意識から見ると、十分とは言い切れない物理環境条件の観測ではあるものの、対応させた生物観察の結果との総合化により、浅海域での海底の実態の把握を通じ、海洋の生態系の理解に資することとしたい。

1. 方法

図-4-1に示したアラメおよびカジメ群落内の各1地点の砂底と接する岩礁に調査区を設置し、それぞれ「アラメ区」および「カジメ区」とした。

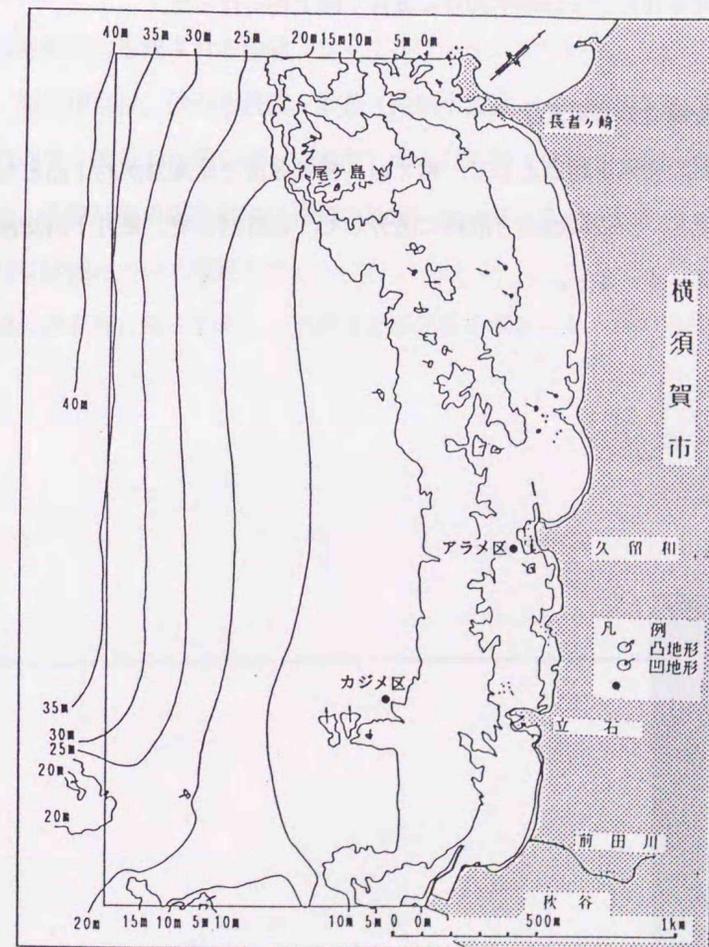


図-4-1 砂地海底と接する岩礁でのアラメおよびカジメ群落の調査地点図

調査地点の選定に当たっては、アラメおよびカジメが混生せず、沖向きのゆるやかな斜面を有する岩礁で、地形的に波動の影響を強く受け、また、近接する砂底に砂面計および波高計が設置できる好適な場所があるなどの条件を満たすことに努力した結果、いわば、砂底に張り出した岩礁の岬（潜岬）部分に決定した。しかし、カジメ区では、条件の揃う地点が得られ難く、調査区の南隣にさらに大きく張り出した潜岬によって、南寄りの外洋の沖波に対しては陰になる部分に決めざるを得なかった。

調査開始時の砂面の水深は、アラメ区で 3.4m、カジメ区で10.5mであった。なお、水深はD.L. (Datum level, 基本水準面) を基準とし、潮汐表（海上保安庁, 1988）の横須賀港（平均水面 $Z_0=1.10\text{m}$ ）を標準港とし次式により油壺（ $Z_0=0.93\text{m}$ ）に改正（潮時差15分、潮高比0.86）した潮位を用いて補正した。

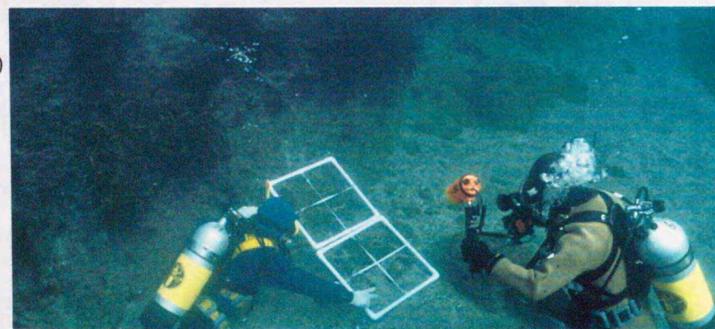
$$\text{油壺の潮高} = (\text{横須賀港の潮高} - \text{横須賀港の } Z_0) \times \text{潮高比} + \text{油壺の } Z_0$$

調査は、1988年10月から1989年10月に毎月1回上旬に行った。

1) 群落の植生構造の季節変化

岩礁と砂面の境界を起点として、幅 2 m、長さ 3 m で比高差が約 1 m となるように調査区を設定し、一辺 50 cm の方形枠に区分して、合計 24 枠で、毎月 1 回海藻を目視観察した（写真-4-1）。

アラメ群落（上）



カジメ群落（下）



写真-4-1 砂底と接する岩礁でのアラメおよびカジメ群落の調査地点

観察項目は、アラメおよびカジメの被度、生長区分（図-3-6）別個体数、枯れ跡数、ホンダワラ類の個体数、砂の被度、および白化サンゴモの有無とした。

観察位置には、間縄およびハーケン等による目印をつけ、各調査時に同一位置の観察を行った。砂が侵食されて、岩面が新たに露出した場合は新たに観察枠を設けた。

白化サンゴモとは、無節サンゴモ類の藻体の一部の色素が失われ白く見える状態をさす。白化の原因としては、潮間帯などでは干出等が挙げられるが、本調査区においては主として砂の被覆の影響での脱色(D' Antonio, 1986)によるものである。

2) 砂面変動および波浪環境の季節変化

両調査区に近接する砂底に、光電式砂面計（SPM-Ⅲ型、三洋測器製）をそれぞれ1台ずつ設置し、砂面高を測定した。測定間隔は2時間とし、2カ月毎にロガーを交換した。

砂面計周辺に形成される砂漣（リップルマーク）について、1988年12月以降に測定した。測定項目は、砂漣の波高、波長（沖側半波長： α 、岸側半波長： β ）、波向（北方向を0度とした時計回りの角度）および形状（平行～中間～亀甲形に類形化）とした。海藻群落の調査時には10個の砂漣について、また、砂面計点検・交換時には代表的な砂漣について観察した。

砂漣の調査時に砂を採集し、粒度および比重を測定した。分析方法は、粒度をJIS. A. 1201、また、比重をJIS. A. 1204に基づいて行った。

各調査区の砂底に水圧式波高計（MTW-Ⅱ型、協和商工製）を1台ずつ設置し、波高を測定した。測定間隔は2時間（測定毎に $\Delta t = 0.5$ 秒で1000個のデータを取得する）とし約2週間隔で交換した。



光電式砂面計（左）



水圧式波高計（右）

写真-4-2 砂面の変動および波浪環境の調査状況

2. 結果

1) 砂底と接する岩礁での群落の植生構造

(1) アラメ区

i. 調査区の地形および水深

調査地点(図-4-2)の調査枠の平均水深は、各調査枠の四隅の水深を平均して求めた。調査区は、南から北に向かって(方位:北から時計回り約10度)緩やかに高くなる岩礁上にあり、一部に砂が被覆していたが、礫は無かった。調査区の水深は、調査開始時の10月に最浅部が2.5m、最深部が3.4mであった。最深部の水深は、砂面高により変化するため、2月には3.7mに達した。層別の平均水深は、第6層が2.9m、5層が3.0m、4層が3.1m、3層が3.1m、2層が3.2m、1層が3.3m、-1層が3.5mおよび-2層が3.6mであった。

ii. 比高

調査枠の平均比高は各調査枠の四隅の比高を平均して求めた。なお、比高は調査開始時の砂面(水深3.4m)を基準とした高さであり、砂面が低下した場合はマイナス(-)符号を付けて表示した。層別の平均比高は、第6層が0.5m、5層が0.4m、4層が0.3m、3層が0.3m、2層が0.2m、1層が0.1m、-1層が-0.1mおよび-2層が-0.2mであった。

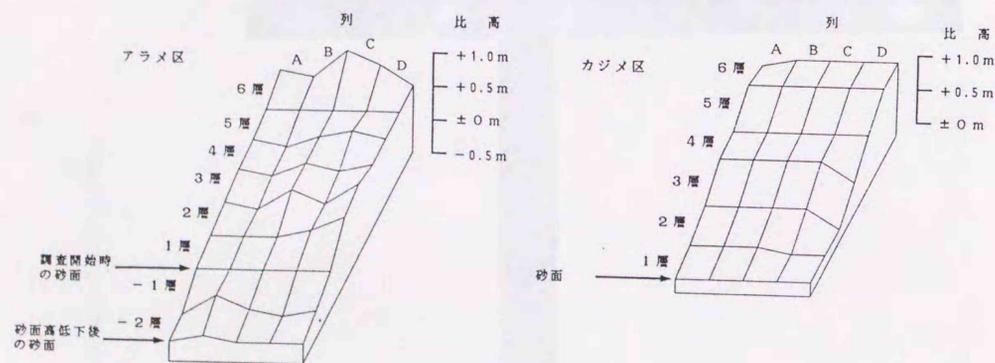


図-4-2 アラメ区およびカジメ区の概要(寺脇ら, 1991bより)

iii. 海藻植生

1988年10月から1989年10月の間に出現した海藻の種類数は、緑藻植物7種類、褐藻植物8種類、紅藻植物38種類の合計53種類であった。出現種類数は、1月から3月に38~39種類と多く、9月に11種類と最も少なかった。

出現種類をその出現月数により便宜的に通年種(12~10カ月)、中間種(9~5カ月)および季節種(4~1カ月)に区分すると、それぞれ19種類、17種類、17種類が該当した。

通年種: アナアオサ, フトジュズモ, グンセンクロガシラ, アラメ, オオバモク, マクサ, オバクサ, イワノカワ属, ピリヒバ, ヘリトリカニノテ, ヘリトリカニノテ属, 無節サンゴモ類, キントキ, ホソバノトサカモドキ, イバラノリ, オゴノリ属, カイノリ, ニクサエダ, サエダ.

中間種: ボウアオノリ, シオグサ属, ハネモ属, フクロノリ, ワカメ, フクリンアミジ, ニセフサノリ, ムカデノリ, ユカリ, タチイバラ, フシツナギ, カザシグサ, イギス科, カギウスバノリ, ハイウスバノリ属, ヤナギノリ属, ヒメコザネ.

季節種: ヒラアオノリ, ミル属, セイヨウハバノリ, カヤモノリ, ヒラガラガラ, トサカマツ, ツルツル, タンバノリ, ムカデノリ科, ベニスナゴ, ナミノハナ, ワツナギソウ, ケイギス, スジウスバノリ, ウスベニ, ソゾノハナ, イトグサ属.

砂の被度(図-4-3)は、調査開始時の10月および11月には各層とも年間で最も高く、第6層で8%、2~5層で20%、1層で40%、-1層および-2層で80%以上であった。砂の被度は、その後、各層とも減少し、第3、5および6層では5%未満と低く、4層では9~10月に約10%となった。第2層は4月の5%を除き5%未満であり、また、1層では12~3月に5%未満であったが、漸増して9月に20%に達した。第-1層と-2層では、12月に急激に基盤が露出し、砂の被度は28%および40%と最も低くなったが、その後漸増し、-1層では10月に91%、-2層では8月以降100%となった。なお、調査開始1ヵ月前の事前調査時に、調査区(第1~6層)には砂の堆積はみられなかったが、その後調査開始時までには砂面の一時的な上昇があったと推察され、調査区周辺の比高が低いとこ

ろでアラメの茎部の基部付近が変色しているものや、茎部を一部残した枯れ跡
(写真-4-3)が多数観察された。



写真-4-3 砂が一時的に堆積した後、露出した岩面に見られるアラメの枯れ跡

被度の変化から砂の年間変動をまとめると、調査開始直前に増加し、12月に激減した後、ゆるやかに増加し10月に至ったと言える。なお、調査期間中、砂面は第1層下端から-2層の間を変動した。砂の被度の変化の要因は、層により異なり、第1層~-2層では主に漂砂によるが、それ以上の層では漂砂と言うより、主に、砂が砂底から舞い上げられた浮遊砂によるもので、両者が海藻に及ぼす影響の機構が異なっていることが示唆された。

アラメの被度(図-4-4)は、第6層では90%以上と高く推移し、5層では10月から3月の間は30~40%であったが、その後増加し、5月以降は80%であった。第4層は11~3月に10~20%であったが、それ以外は30~40%であった。第3層は調査開始時にはアラメはみられなかったが、1月以降、アラメ・カジメ幼体が出現し、被度は漸増し、8月以降は20%であった。第1層、-1層および-2層では、一時的にアラメ・カジメ幼体の出現がみられたのみで、それらの被度は5%未満であった。

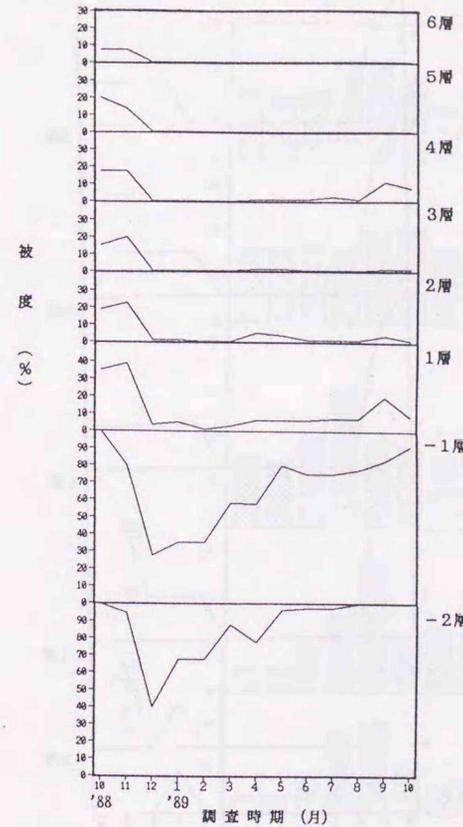


図-4-3 アラメ区における砂被度の経時変化

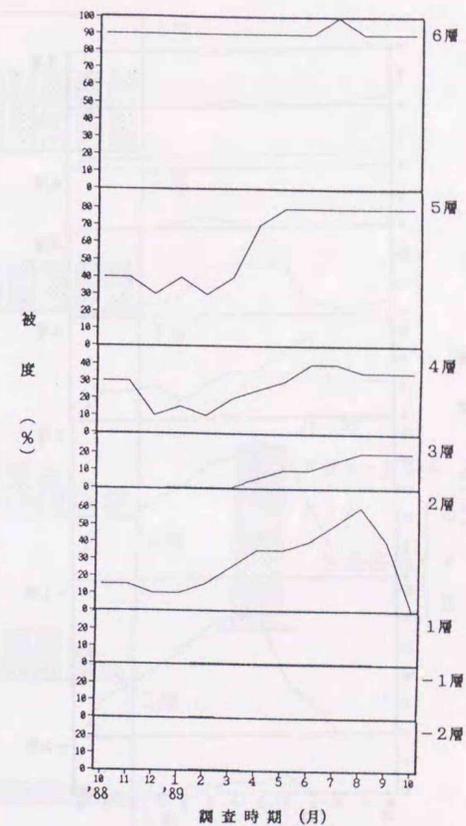


図-4-4 アラメ区におけるアラメ被度の経時変化

大型海藻のホンダワラ類であるオオバモクの個体密度(図-4-5)は、幼体が出現しはじめた1月から増大し、3~4月に最大となり、その後急減した。層別では第1層および-1層で高く最大24および21本/m²であり、ついで2層、3層の順であった。その他の層では個体密度は3本/m²以下であった。

白化サンゴモ(図-4-6)は、10月および11月に出現し、その後みられなくなったが、6月以降に出現した。白化サンゴモは、10~11月には第6層まで、6月以降は4層付近までみられ、砂の被度が比較的高いところに出現していた。

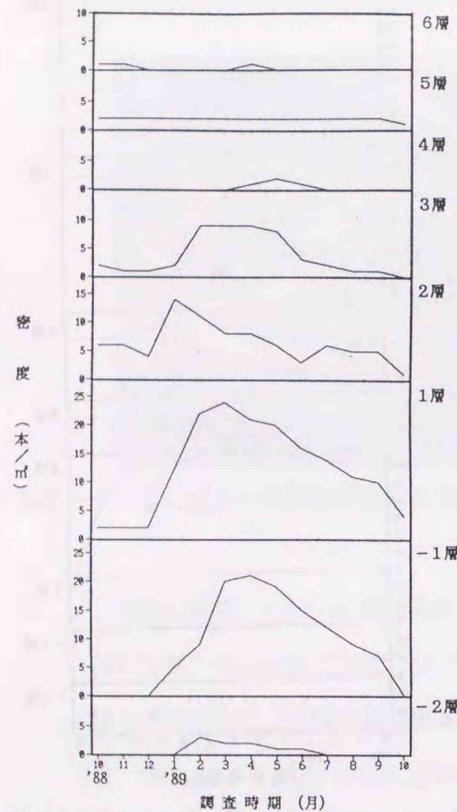


図-4-5 アラメ区におけるオオバモクの個体密度の経時変化

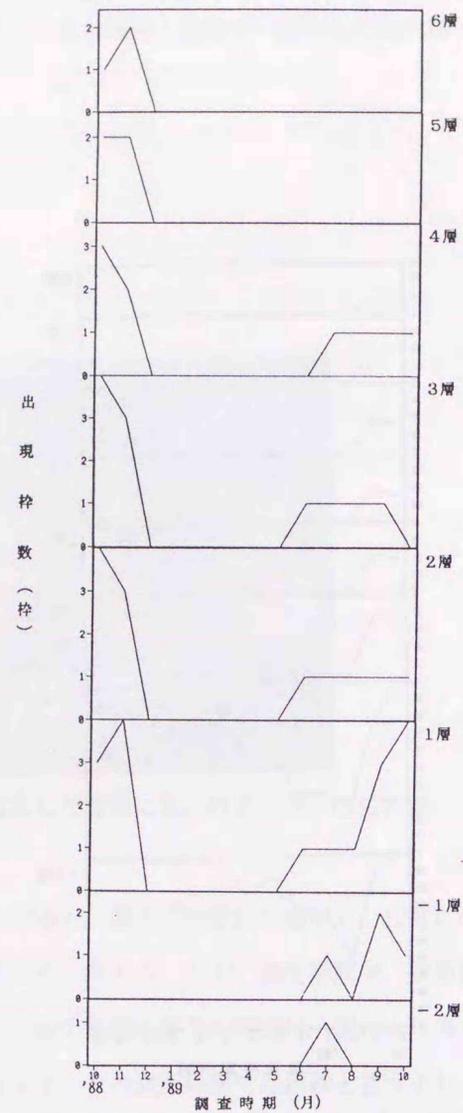


図-4-6 アラメ区における白化サングモ出現枠数経時変化

iv. アラメの個体密度

アラメの生長区分 I と II の個体密度 (図-4-7) は、年間を通じて第5および6層で高く、下層ほど低下した。生長区分 0 の個体密度は、調査開始時の10月に第4層で高かったが、アラメ・カジメ幼体が生長した4~5月以降は-1~4層の間で高かった。アラメは、第5層と6層では生長区分 I と II が多く、4層では各生長区分 I と 0 が多く、3層以下では生長区分 0 が多かった。アラメ・カジメ幼体の出現開始時期は、第1層から6層では12月であったのに対し、-1層と-2層は10月に砂に埋没していたため、-1層では1月、-2層では2月であっ

た。アラメ・カジメ幼体は、少数ではあるが4月まで出現した。個体密度が最大となった月は層により若干異なるが、1月または2月であった。アラメ・カジメ幼体の個体密度は、第-1層の約40本/m²が最も高く、1層から6層へかけて次第に減少し、-2層では、1本/m²と極めて低かった。

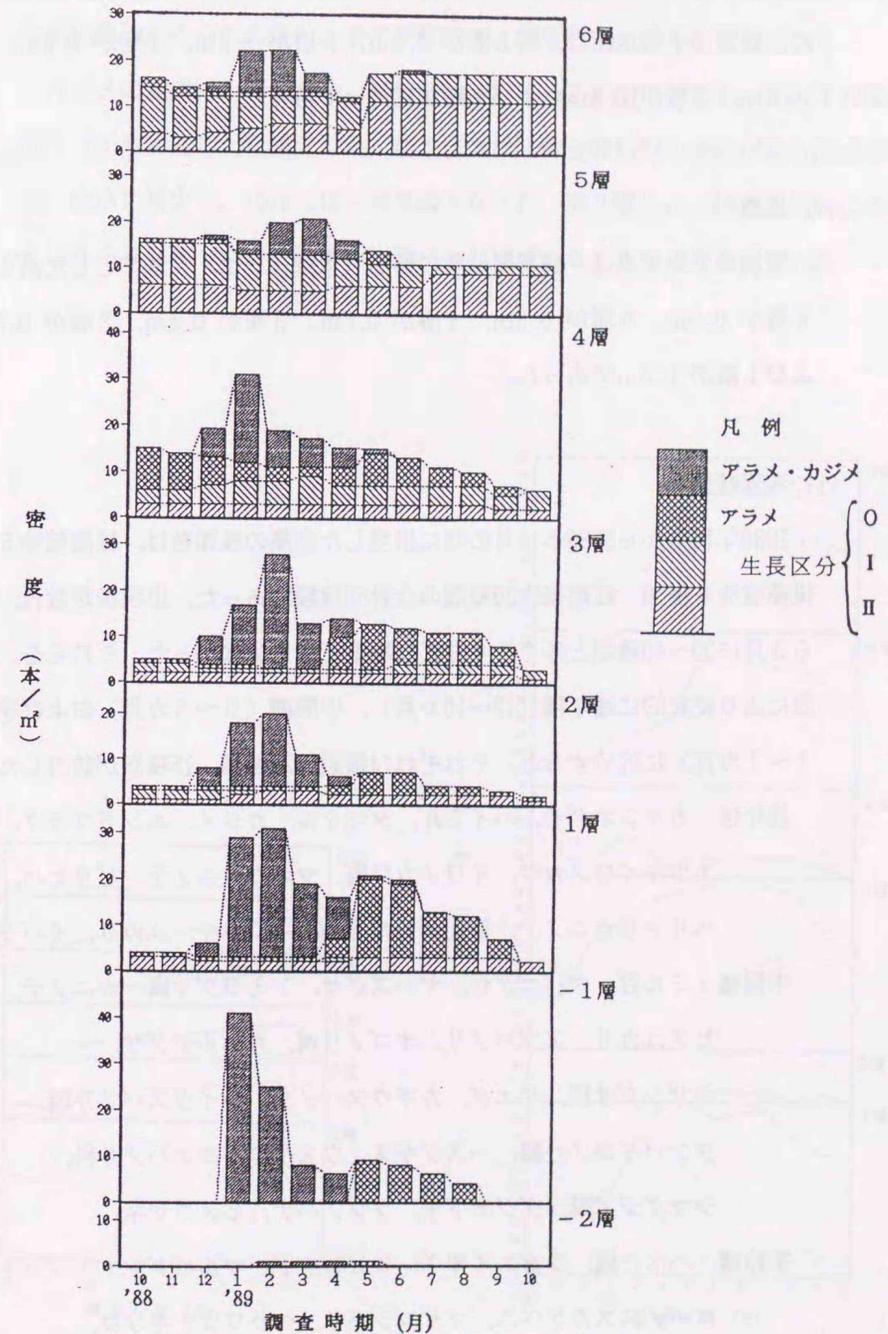


図-4-7 アラメ区におけるアラメの個体密度の経時変化

(2) カジメ区

i. 調査地点の地形および水深

調査区は、南から北に向かって（方位：北から時計回り約15度）緩やかに高くなる岩礁上（図-4-2）にあり、一部に砂が被覆していたが、礫は無かった。調査区の水深は、調査開始時の10月に最浅部が9.6mで、最深部が10.5mであった。層別の平均水深は、第6層が9.6m、5層が9.8m、4層が9.9m、3層が10.1m、2層が10.3mおよび1層が10.5mであった。

ii. 比高

層別の平均比高は、調査開始時の砂面（水深10.5m）を基準とした高さで、第6層が0.9m、5層が0.8m、4層が0.6m、3層が0.4m、2層が0.2m、および1層が0.0mであった。

iii. 海藻植生

1988年10月から1989年10月の間に出現した海藻の種類数は、緑藻植物5種類、褐藻植物6種類、紅藻植物39種類の合計50種類であった。出現種類数は、1月から3月に39~40種類と多く、8月に14種類と最も少なかった。それらを、出現月数により便宜的に通年種（12~10カ月）、中間種（9~5カ月）および季節種（4~1カ月）に区分すると、それぞれ14種類、21種類、15種類が該当した。

通年種：カタシオグサ、ハイミル、タマミル、カジメ、エンドウモク、

エツキイワノカワ、イワノカワ属、マオウカニノテ、ピリヒバ、

ヘリトリカニノテ、無節サンゴモ類、キントキ、ユカリ、イバラノリ属

中間種：ミル目、タバコグサ、ヤハズグサ、アミジグサ属、カニノテ、

ヒメユカリ、アツバノリ、オゴノリ属、カエルデグサ、

カザシグサ属、サエダ、カギウスバノリ、ハイウスバノリ属、

グンバイコノハ属、ハスジギヌ、ウスベニ、コノハノリ科、

シマダジア属、ダジモドキ、ソゾノハナ、ヒメコザネ

季節種：ハネモ属、フタエオオギ、ヒビロウド、マルバグサ、

コバノススカケベニ、マサゴシバリ、ヘラワツナギソウ、

フシツナギ、キヌゲグサ属、イギス属、ヨツガサネ属、イギスコ、

イトグサ属、コザネモ、フジマツモ科

砂は、年間を通じ全層に出現し、被度（図-4-8）が、各月とも下層ほど増大する傾向があり、2~6層では調査開始時から次第に増大した。特に、第1層では、砂の被度は3月に70%に達し、それ以降は60%前後を推移した。カジメ区では、砂面変動による基盤の露出および埋没が無かったことから、第1層のごく一部に漂砂がみられた他は、全て浮遊砂で、調査区内を薄く被覆していた。

カジメの被度は、おおむね、調査開始時以降ゆるやかに増大し、4~7月頃に80~100%に達した後減少した。第4層では、調査開始時の被度が最も高く40%で、次第に減少し、10月には5%未満となった。第2層には、調査開始時にカジメはみられなかったが、幼体の出現により被度が5%となる月もみられた。

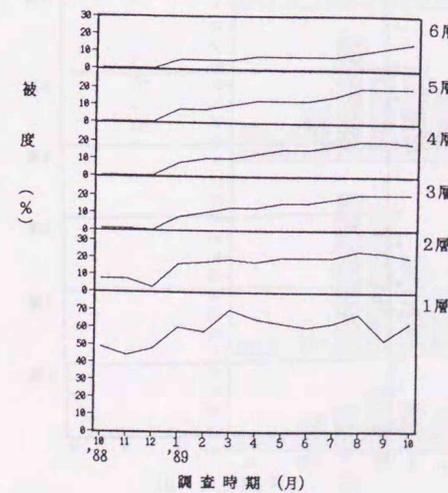


図-4-8 カジメ区における砂被度の経時変化

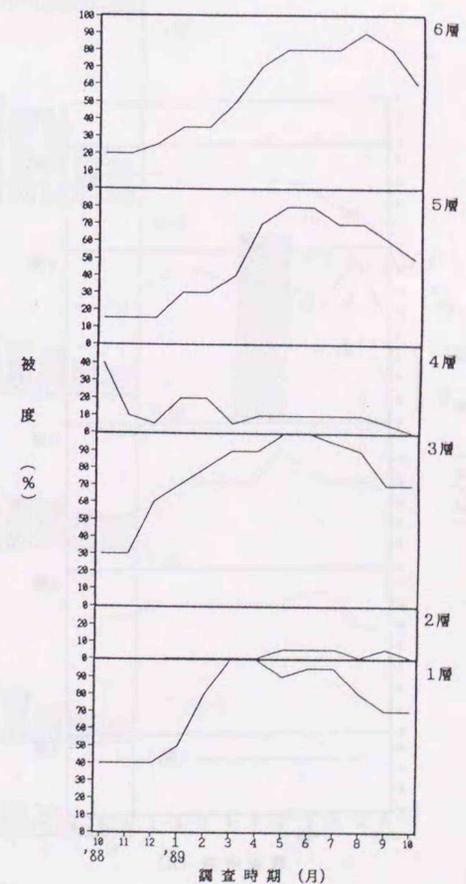


図-4-9 カジメ区におけるカジメ被度の経時変化

大型海藻のホンダワラ類であるエンドウモクの個体密度 (図-4-10) は、第1と6層を除き、11~3月の間に最大となり、その後緩やかに減少した。第6層では1~2月にアラメ・カジメ幼体が出現したがすぐに流失し、また、1層では通年5本/m²で変化しなかった。エンドウモクの密度は、第2および4層で高く11月頃から出現した。第2および4層では、カジメの被度が低かったことから、エンドウモクの幼体の出現とその後の生き残りは、カジメの被度と関係があることが示唆された。

白化サンゴモは、調査終了時の10月に、第1層でみられた以外には観察されなかった (図-4-11)。

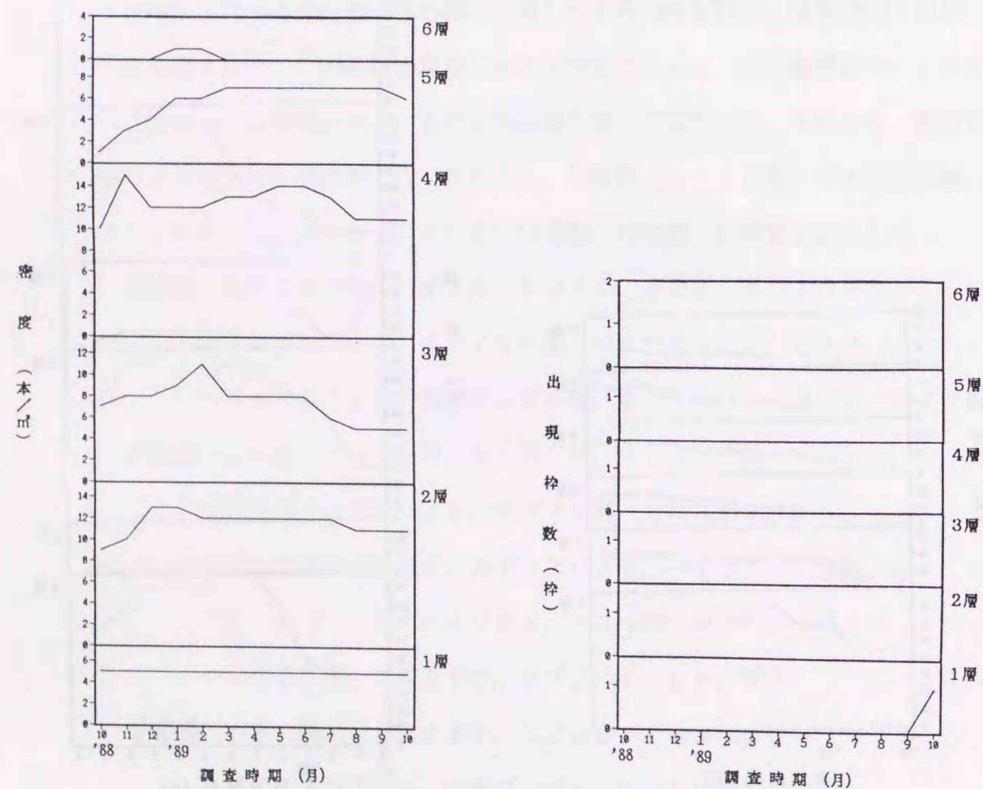


図-4-10 カジメ区におけるエンドウモクの個体密度の経時変化

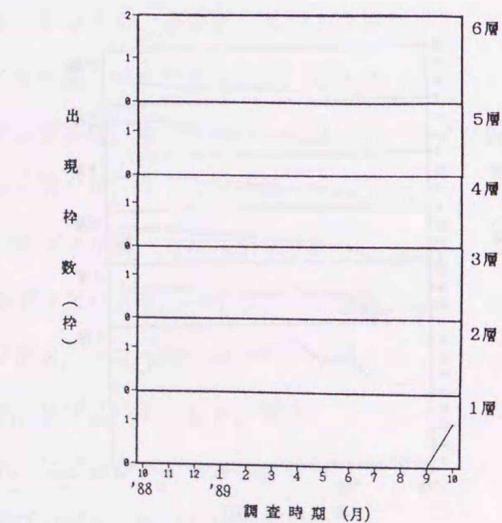


図-4-11 カジメ区における白化サンゴモ出現株数の経時変化

iv. カジメの個体密度

カジメは、第1層から6層まで同様に出現しており、生長区別にみても、また、層別にみても、明瞭な傾向は認められなかった。調査開始時と終了時の密度を比較すると、生長区分IおよびIIでは、おおむね減少または同数で、また、生長区分0では、第1層を除き、増加していた。アラメ・カジメ幼体の個体密度の経時変化をみると、出現開始時期は各層とも12月であり、個体密度が最大となった月は、第1層の2月を除き、1月であった。層別のアラメ・カジメ幼体の個体密度は、第6層の約100本/m²が最も高く、6層から1層へかけて次第に減少した。

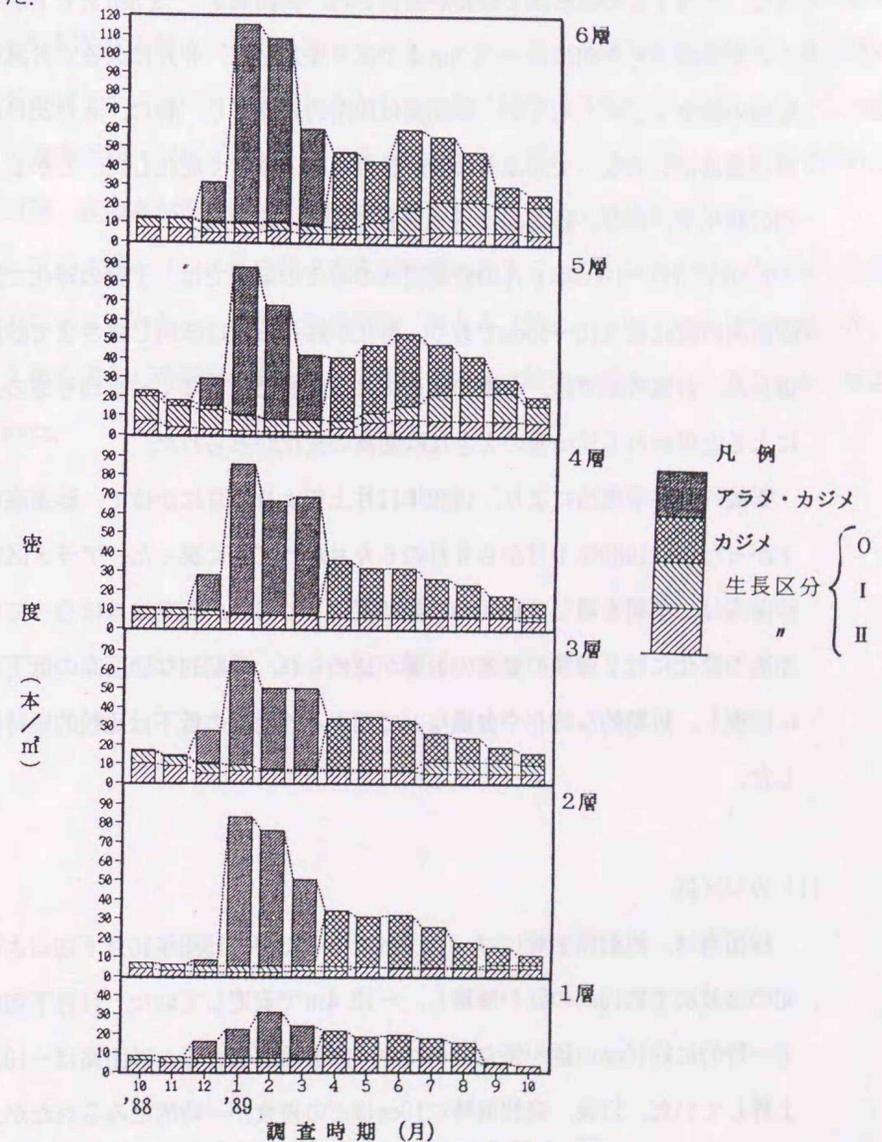


図-4-12 カジメ区におけるカジメの個体密度の季節変化

2) 調査区に接する砂底での砂面変動および波浪環境

(1) 砂面変動

i. 砂面高

i) アラメ区

砂面高は、1988年10月下旬には -3.3m であったが、数度の冬季風浪の襲来で段階的に砂の侵食があり、12月20日頃には -3.5m まで砂面高が下がった(図-4-13)。砂面高は、1989年1月中旬までは、高波浪の襲来もなく安定していたが、1月下旬の高波浪時から砂の堆積が始まり、2月27日頃には -3.3m まで戻った。3月1日の高波浪では砂が侵食され、砂面高が -3.5m まで下がったが、3カ月後の5月下旬には -3.3m まで戻り安定した。8月に入ると台風等の長周期波の襲来などともない、砂面高は段階的に低下し、特に、8月28日の台風17号の通過にともなって20cmもの砂が侵食され、激しく変化した。しかし、10月上旬の時化で、再び、砂面高は 3.3m まで急激に戻った。

1988年10月～1989年6月の台風以外の時化の期間では、1回の時化で変化する砂面高の変化量は10～15cmであり、時化が終わるとほぼ同じ高さまで砂面高が回復した。台風時期では、台風の接近による風波だけでなく、うねり等の長周期波によると思われる30cm程の大きな砂面高の変化がみられた。

断続的な冬季風浪により、1988年11月上旬より12月にかけて、砂面高は徐々に下がったが、1989年1月から6月の6カ月かけて元に戻った。アラメ区における砂面高は、年間を通じて約60cmの幅で変化しており、収支はほぼ合っている。砂面高の変化には2種類の要素の影響が認められ、長期的な砂面高の低下は長期的に回復し、短期的な時化や台風などで起きる砂面高の低下は比較的短時間で回復した。

ii) カジメ区

砂面高は、観測開始時には -10.5m であったが、1988年10月下旬および11月上旬の高波浪で約10cmの砂が堆積し、 -10.4m で安定していた。11月下旬の高波浪で一時的に約10cmの砂が侵食されたが、高波浪が収まると砂面高は -10.3m まで上昇していた。以後、高波浪時に10cmほどの侵食が一時的にみられたが、砂面高は -10.4m 前後で安定していた。

台風以外の時化で変化する砂面高の変化量は5～10cm程で、台風時でも20cm程である。10月下旬から12月上旬にかけて30cm程の砂面高の上昇が観測されたが、それ以外に大きな変化はほとんどなかった。カジメ区では約30cmの幅で砂面高は変化しており年間を通じて安定していた。また、冬季よりも5～7月に、小さい砂面高の変化が連続的に観測された。

iii) 砂面高の168時間移動平均

砂面高の長期的な変化と短期的な変動成分をより詳しく解析するため、砂面高のデータに168時間(1週間)の移動平均を行った(図-4-14)。1週間以下の短期的な変動成分を取り除くと、アラメ区とカジメ区の砂面高は変化量の絶対値ではアラメ区の方が大きいとしても、変化傾向は逆転していた。アラメ区の砂面高最低期(12月下旬～1月下旬)は、カジメ区における砂面高最高期であり、以後、砂面高が徐々にアラメ区では増加し、カジメ区では減少していた。

アラメ区とカジメ区間に大きな距離があることや、両区間に岩礁域が存在していることから、単純に岸沖漂砂(清水ら、1985)については論じられないが、1年を通じた砂面高の変化には岸沖方向の砂の動きが関係していることが示唆された。

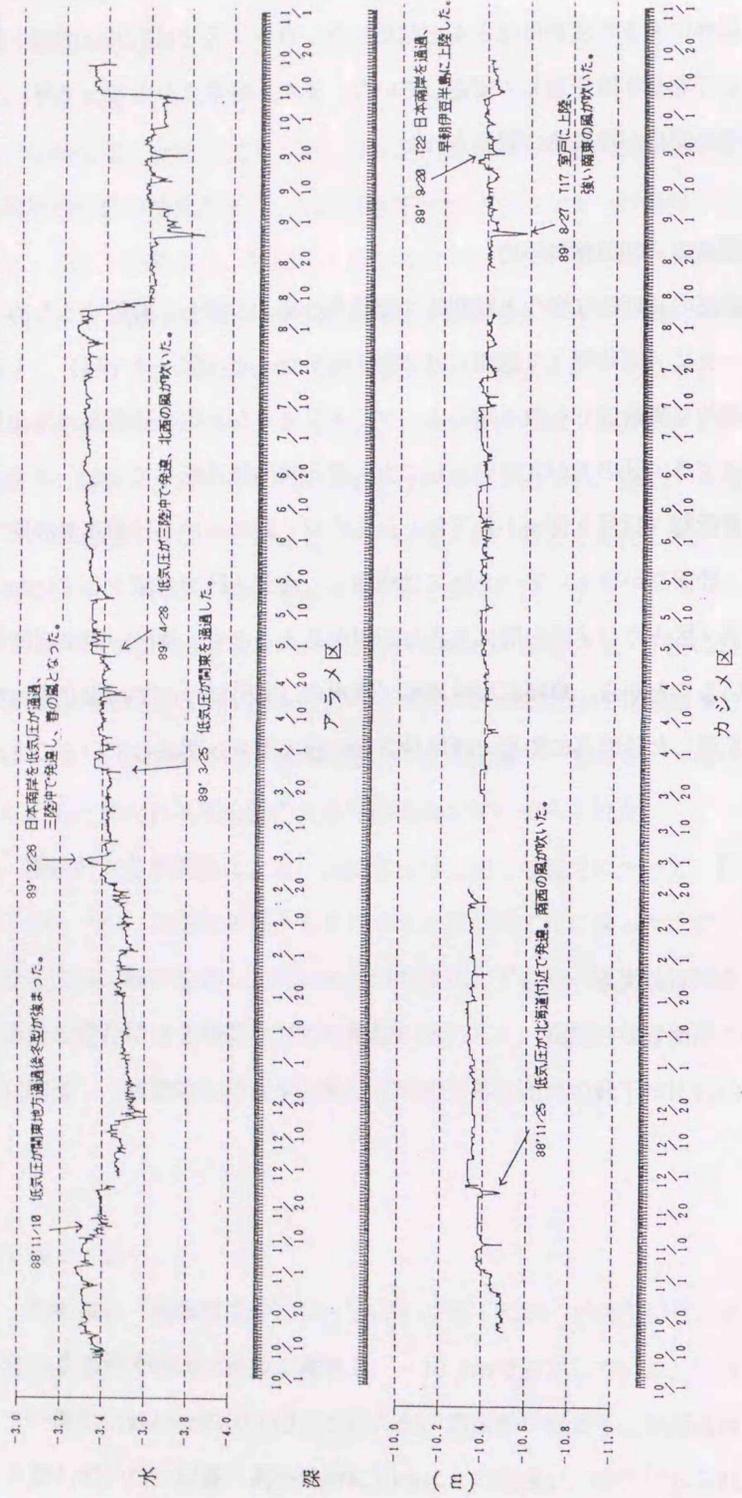


図-4-13 アラメ区およびカジメ区における砂面高の経時変化 (寺脇ら, 1991bより)

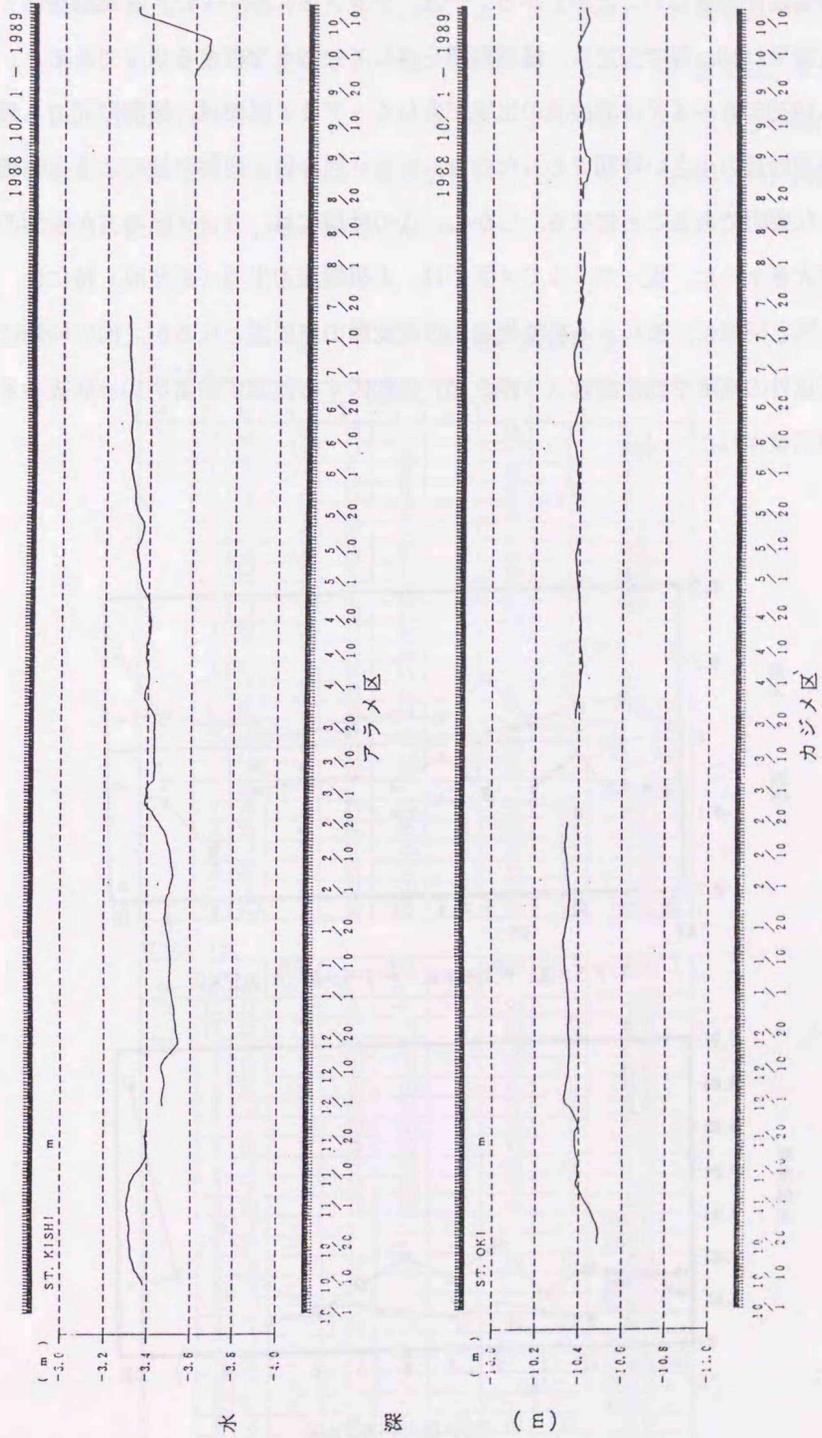


図-4-14 アラメ区およびカジメ区における砂面高の 168時間移動平均

砂面の変動成分について月別に最大、最小および標準偏差をまとめた図-4-15から、アラメ区が変動の幅も、また、標準偏差、つまり変動の度合も大きく、砂面変化の激しいことがわかる。一方、カジメ区においては、台風期を除く砂面変動量は10cm程で安定し、観測期間を通していつも存在するようである。

1989年6~7月は高波浪の出現が少なく、アラメ区では、観測期間でも最も砂面変動量の小さい時期であったので、アラメ区の砂面変動は波による振幅流速が主な要因であることになる。しかし、この時期には、カジメ区の方が砂面の変動が大きかった。従って、カジメ区では、大振幅流速出現(高波浪)時には、アラメ区と同様に、波による振幅流速が砂面変動の主要因となるが、他の時期には、波以外の潮流や他の流れ(3章5節)に起因する砂面変動量が10cm前後あることが示唆された。

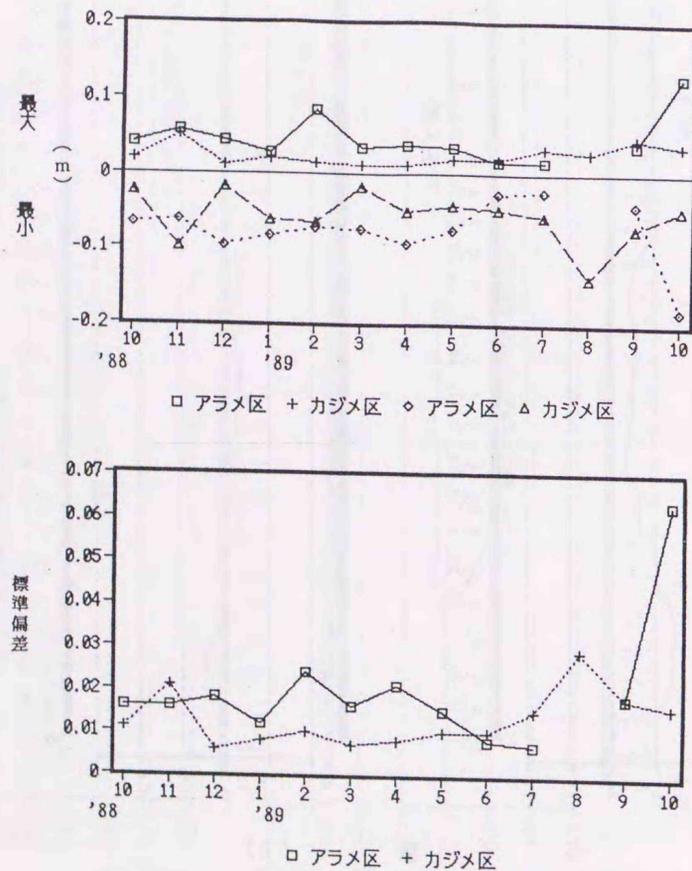


図-4-15 砂面変動量緒元の経月変化

iv) 砂漣変化

砂漣の測定結果を表-4-1に示した。砂漣は、アラメ区では、波高が3~12cm、波長17~55cm (α : 10~35cm, β : 7~25cm)、波向は23~49度の範囲であり、形状では平行型が多かった。これに対して、カジメ区では、波高が3~8cm、波長が11~27cm (α : 6~14cm, β : 5~13cm)、波向が0~90度の範囲であり、形状では中間型および亀甲型を示した。しかし、1989年5月以降砂漣がはっきり観測されない場合があった。

表-4-1 砂漣の測定結果

(1)アラメ区									
年	月	日	波高 η	波長			波向	N	状況
				λ	α	β			
'88	12	12	10	40	-	-	45	1	平行
	12	25	12	50	25	25	45	1	平行
'89	1	9	10	45	25	20	45	1	平行
	1	10	3	17	10	7	49	10	亀甲
	1	22	10	55	35	20	23	1	平行
	2	2	9	52	32	20	45	10	平行
	2	4	10	45	25	20	23	1	平行
	2	19	4	20	10	10	45	1	亀甲
	3	2	4	21	10	11	38	10	平行
	3	6	5	30	20	10	45	1	平行
	3	20	10	37	20	17	45	1	平行
	4	7	4	24	13	11	80	10	平行・中間
	4	22	4	20	10	10	53	10	平行
	5	3	5	24	12	12	45	10	平行
	5	19	3	28	14	14	48	10	平行
	6	2	4	21	9	12	43	10	平行・中間
	6	17	5	24	13	11	40	10	中間・亀甲
	7	5	4	32	16	16	34	10	中間
	7	18	-	-	-	-	-	-	測定不能
	8	1	8	44	24	20	51	10	中間
	8	18	6	38	25	13	45	10	中間
	9	7	6	45	25	20	20	10	不明
	9	22	7	44	23	21	45	10	中間
	10	3	6	38	19	19	50	10	平行
	10	17	6	40	26	14	30	10	中間

(2)カジメ区									
年	月	日	波高 η	波長			波向	N	状況
				λ	α	β			
'88	12	12	8	25	-	-	90	1	中間
	12	25	5	11	6	5	90	1	亀甲
'89	1	9	5	25	13	12	0	1	中間
	1	11	3	19	9	10	35	10	亀甲
	1	22	5	20	10	10	45	1	亀甲
	2	3	5	27	14	13	26	10	亀甲
	2	4	4	20	10	10	23	1	中間
	2	19	4	25	15	10	45	1	中間
	3	2	4	22	12	10	60	10	中間
	3	6	4	24	12	12	45	1	中間
	3	20	7	22	12	10	45	1	中間
	4	7	-	-	-	-	-	-	砂漣なし
	4	23	-	-	-	-	-	-	砂漣なし
	5	6	3	16	8	8	42	10	中間
	5	19	-	-	-	-	-	-	砂漣なし
	6	3	-	-	-	-	-	-	砂漣なし
	6	17	5	24	13	11	40	10	亀甲
	7	6	-	-	-	-	-	-	砂漣なし
	7	18	-	-	-	-	-	-	砂漣なし
	8	2	-	-	-	-	-	-	砂漣なし
	8	18	-	-	-	-	-	-	砂漣なし
	9	8	3	21	11	10	46	10	亀甲
	9	22	-	-	-	-	-	-	砂漣なし
	10	5	-	-	-	-	-	-	砂漣なし
	10	17	3	18	10	8	46	10	亀甲

注) 単位は、波向および波長 (cm)、波向 (度)、中央粒径 (mm)。
 λ : $\alpha + \beta$, α : 沖側半波長, β : 岸側半波長, -: 未測定を示す。

v) 砂漣形状の経時変化

図-4-16は砂漣の波高および波長の観測記録について平均値を時系列に表したものである。常にアラメ区の方が波高、波長ともに大きな砂漣が形成されており、また、冬季や夏季に比較的大きな砂漣が観測された。砂面変動と同様に波高の大きな時期に大きな砂漣が形成されている(榑山, 1986)ことが分かる。

図-4-17は観測された砂漣の波高と波長の分布である。これを見ると明らかに砂漣の波長と波高には一定の比があり、直線回帰を施すと、

$$\text{波高}(\eta) = 0.145 \times \text{波長}(\lambda) + 0.492$$

となる関係式が求まった。

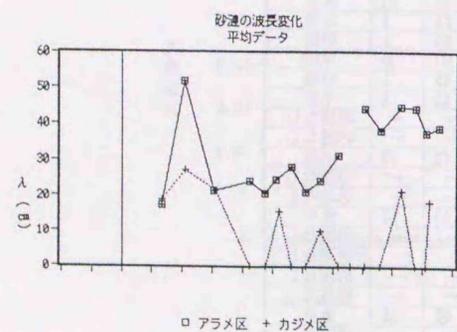
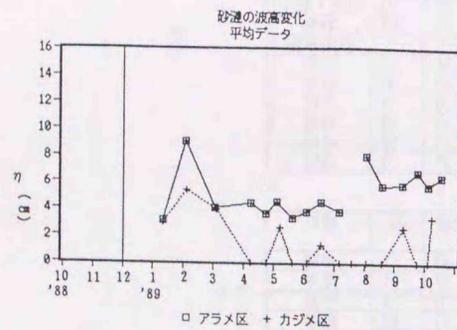


図-4-16 砂漣の波長、波高の経月変化

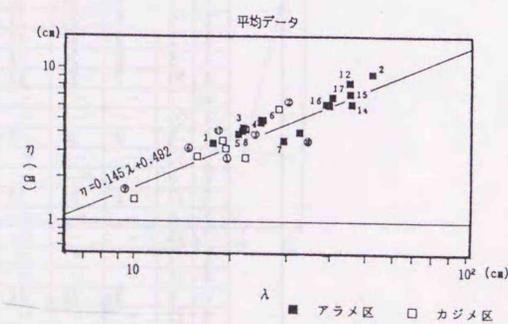
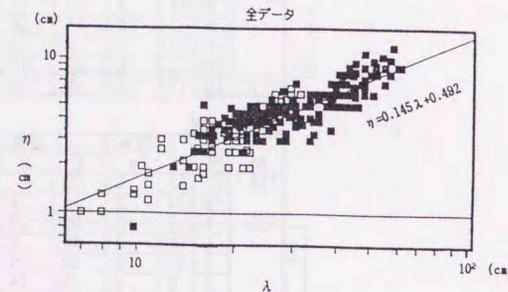


図-4-17 砂漣の波長と波高の分布

vi) 底質の特徴

底質の粒度は、アラメ区では1989年2月に $d_{50} = 0.45\text{mm}$ であったが、1989年5月、7月上旬、10月には 0.30mm 程度で、8月中旬には 0.20mm まで小さくなった。カジメ区では、観測期間を通して約 0.20mm に安定していた(図-4-18)。

1989年2月上旬の試料を用いて、砂漣の山と谷部の砂の粒度を比較すると、アラメ区およびカジメ区ともに、山の方が谷に比べて粒度が大きかった。比重については、全ケース大きな違いはなく $\rho = 2.75$ 前後であった。

以上のことから、アラメ区では、河川や他区域からのシルト分の流入により、中央粒径が 0.35mm から 0.20mm まで減少したと察せられ、砂面高と同様、中央粒径の変化も大きく、砂粒子そのものの移動、交換等が大きいようである。カジメ区では、粒径の経年変化も小さく、砂面高と同様に砂の質もほとんど変化していないため、砂粒子そのものの移動、交換が小さいと考えられる。

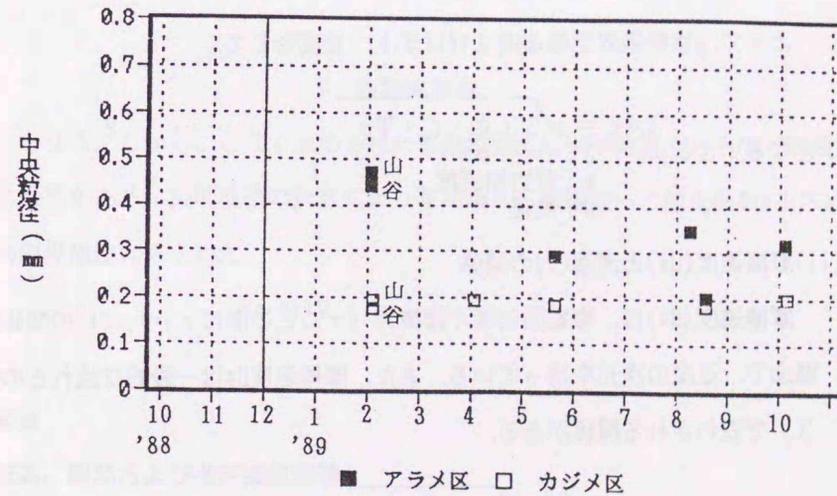


図-4-18 底質の分析結果

vii) 砂の移動限界流速

海底面の砂が移動し始め、ひいては、砂面高の変化を引き起こす要因となる砂の移動限界流速についての計算方法を、水理公式集(土木学会, 1985)に従い、以下に示す。

(i)移動限界摩擦速度(U^*c)

波の作用下での底質の移動限界については、次式で定義されるシールズ数 Ψ_c が支配パラメータになることがわかっている。

$$\Psi_c = U^*c^2 / (s \cdot g \cdot d) \quad \dots\dots\dots 1.$$

s : 底質の水中比重
d : 粒径

限界シールズ数 Ψ_c は、初期移動に対して細砂(滑面)では0.07程度であり、粗砂(粗面)では0.05程度、全面移動に対しては細砂で0.11、粗砂で0.06程度の値をとる。波による漂砂としては、全面移動限界に対するものを用い、細砂と粗砂の間の場合の限界シールズ数は内挿によって定める。

$$\begin{array}{ll} \Psi_c = 0.11 & \text{細砂} \\ \Psi_c = 0.06 & \text{粗砂} \end{array}$$

ここで、底質が細砂か粗砂かの判定は、粒径 d と振動流境界層厚さの尺度、 $\delta_L = \nu T / \pi$ (ν は動粘性係数、 T は周期)の比を求めて次式で行う。

$$\begin{array}{ll} d / \delta_L > 1/4 \quad (\text{粗砂}) & : \Psi = 0.06 \\ 1/4 \geq d / \delta_L \geq 1/6.5 & : \Psi = -0.52 \cdot (d / \delta_L) + 0.19 \\ d / \delta_L < 1/6.5 \quad (\text{細砂}) & : \Psi = 0.11 \end{array}$$

よって、移動限界摩擦速度 U^*c は式1. を変形して、

$$U^*c = \sqrt{s \cdot g \cdot d \cdot \Psi_c} \quad \dots\dots\dots 2.$$

となる。ここに、
s : $\rho_s - \rho_w$
g : 重力加速度
d : 粒径

(ii)摩擦速度(U^*)と流速(V)の関係

摩擦速度(U^*)は、海底面に働く掃流力 (τ_0)との間に $\tau_0 = \rho U^*c^2$ の関係にある概念で、速度の次元を持っている。また、摩擦速度 U^* は一般的な流れとの間に式3. で表わされる関係がある。

$$U^*c = \sqrt{g \cdot R \cdot I} \quad \dots\dots\dots 3.$$

U^* : 摩擦速度, g : 重力加速度, I : エネルギー勾配, R : 径深

Manning の平均流速の式は、式4. で定義され、式3. と式4. から式5. が導かれる。

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad \dots\dots\dots 4.$$

V : 平均流速, n : Manningの粗度係数

$$\frac{V}{U^*c} = \frac{1}{n} \cdot \frac{R^{1/6}}{\nu g} \quad \dots\dots\dots 5.$$

式5. では、平均流速 V を摩擦速度 U^* との関係が粗度係数を介して結び付けられ

たことになる。

底面の粗度係数 n は、粒径、粗度構成、底面形態によって微妙に変化し、一義的には決定し難い係数であるが、ここでは、表示形式の簡単な、Manning-Streckler の式により推定した。

$$n = 0.0417 \cdot d^{1/6} \quad \dots\dots\dots 6.$$

d : 砂の粒径

式6. を式5. に代入すると、平均流速と摩擦速度とを関係づける式7. が得られる。

$$\frac{V}{U^*c} = 7.66 \cdot \left(\frac{h}{d} \right)^{1/6} \quad \dots\dots\dots 7.$$

h : 水深

ただし、式の誘導に当たっては、 $R \approx h$ とした。

この摩擦速度に式2. で求めた移動限界摩擦速度を代入すれば、この地点における移動限界速度が算定できる。この場合、移動限界速度は振動流流速を意味するので、

$$V = 7.66 \cdot U^*c \left(\frac{h}{d} \right)^{1/6} \quad \dots\dots\dots 8.$$

V : 振動流流速

となる。しかし、ここで求められた移動限界流速は平均流であるので底層流に直す必要がある。振動流速の計算式より平均流から底層流への補正係数 k を求め、移動限界流速 V_c を求めた。

$$V_c = k \cdot V \quad \dots\dots\dots 9.$$

(2) 波浪

i. 波高、周期および推定振幅流速

波高の経時変化を図-4-19 (1988年10月~1989年10月) に示した。なお、波高諸元は次のとおりである。

- H-MAX : 波高の最大値
- T-MAX : H-MAX に対応する波の周期
- H-1/10 : 最大より全体の 1/10個までの波高の平均値
- T-1/10 : H-1/10に対応する波の周期の平均値
- H-1/3 : 最大より全体の 1/3 個までの波高の平均値 (有義波高)
- U-1/3 : H-1/3 を用いて計算した振幅流速 (底上0.5m)
- T-1/3 : H-1/3 に対応する波の周期の平均値 (有義波周期)
- H-MEAN : 波高の平均値
- T-MEAN : 周期の平均値

これらの諸元のうち、頻度分布には、 $H-1/3$ (有義波高), $U-1/3$ (有義波振幅流速), $T-1/3$ (有義波周期) を用いた。

振幅流速は、微小振幅波理論に基づき、次の式を用いて計算した。

$$U = \frac{H}{2} \cdot \sigma \cdot \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh hk}$$

ここに、 H : $H-1/3$
 σ : $2\pi/T$
 T : 周期 ($T-1/3$)
 k : $2\pi/L$
 L : 波長
 h : 水深 (潮位補正を行った)
 z : 振幅流速計算水深 (0.5m-h)

なお、波長は次の式を用いニュートンの逐次近似法で計算した。

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L}$$

ここに、 g : 重力加速度 (9.8m/s^2)

i) アラメ区

最大有義波高は、水深が小さいため2m程にとどまっているが、海底面での推定振幅流速は 100cm/s 以上がほぼ毎月発生していると推察される。

最大波高は、1989年8月27日には台風27号の接近により3.8mを記録し、推定有義波振幅流速も 150cm/s を越えた。月最大有義波高は、1989年6~7月の静穏時と8~9月の台風時期をのぞいて約2.0mの一定値を示している。また、その時の周期は月ごとに4秒から8秒の変化があった。これは砕波による波高の上限や周期の変化であろう。

ii) カジメ区

最大有義波高は、水深が比較的大きいため、3m以上が観測され最大波高も5mを越えた。しかし、海底面での推定振幅流速は 100cm/s ほどであった。また、最大有義波周期は台風時を除き6秒前後であった。両区ともに高波浪が出現するのは冬季の低気圧の接近と夏季の台風の接近であり、1989年6~7月は静穏であった。

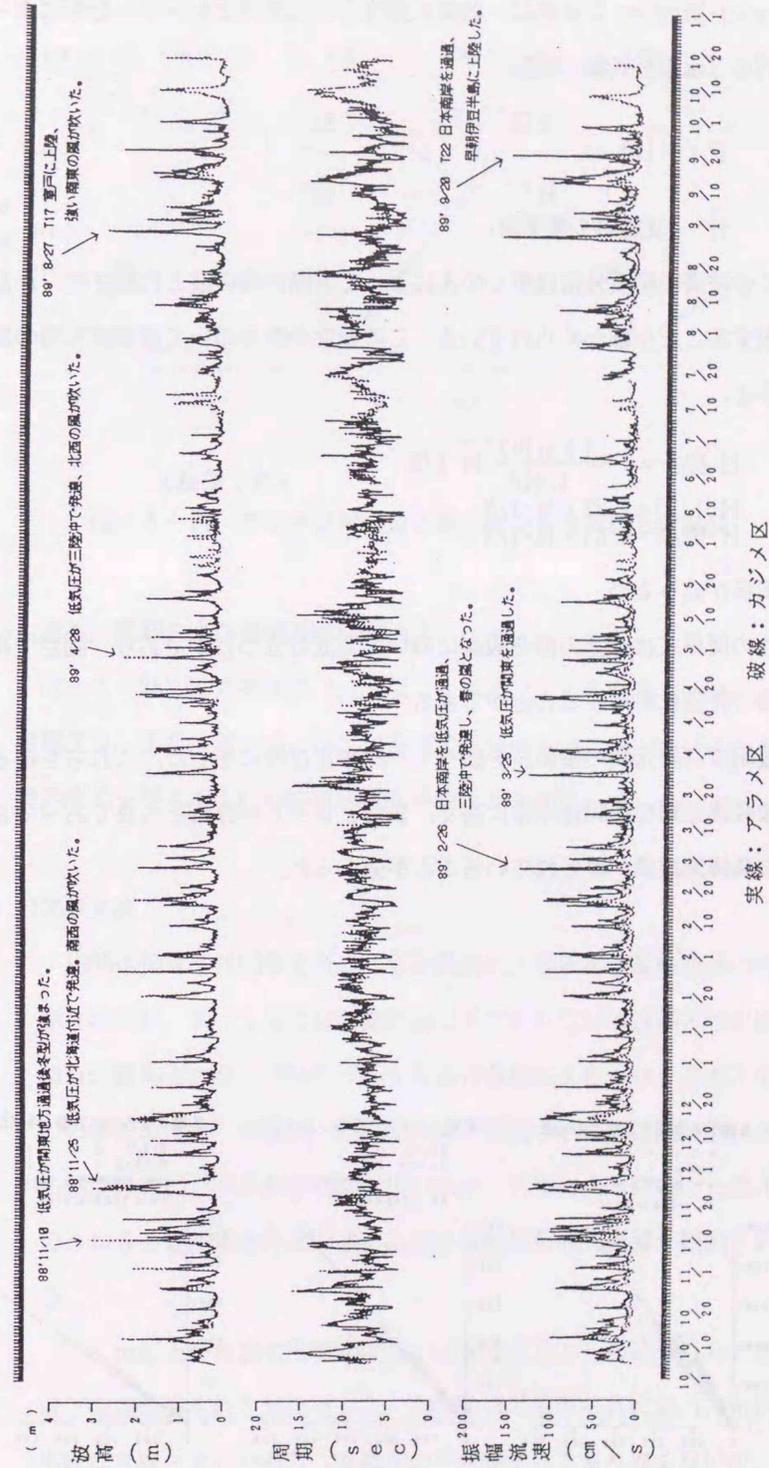


図4-19 調査区に近接した砂底における波高、周期および振幅流速の経時変化

ii. 波高諸元とレーリー分布

Longuet-Higgins によれば、波高の頻度分布は次式のレーリー分布によって表わされる (水理公式集, 1985).

$$Pr(H) = \frac{2H}{\bar{H}^2} \exp\left(-\frac{H}{\bar{H}}\right)$$

\bar{H}^2 : 波高の2乗平均

この波高の頻度分布は多くの人によって実際の海の波と比較され、かなり良く一致することが確かめられている。この頻度分布を用いて波高諸元間の関係を求めると、

$$H-MAX = \frac{(1/nN)^{1/2}}{1.416} H^{-1/3} \quad (N: \text{波数})$$

$$H^{-1/10} = 1.27 \cdot H^{-1/3}$$

$$H-MEAN = 0.63 \cdot H^{-1/3}$$

の関係が成り立つ。

この関係式は今回の波高観測においても成り立つはずであり、測定で得られた記録の評価に使用することができる。

観測波高諸元間の相関図を図-4-20および21に示した、これらを見ると、観測波高諸元間の相関は非常に高く、また、レーリー分布とも良くあっており良好な波高観測結果が得られていることが分かった。

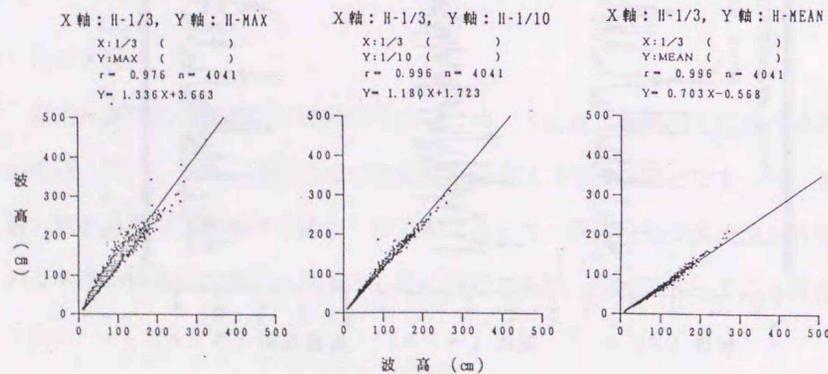


図-4-20 アラメ区付近の砂底における波高諸元の相関

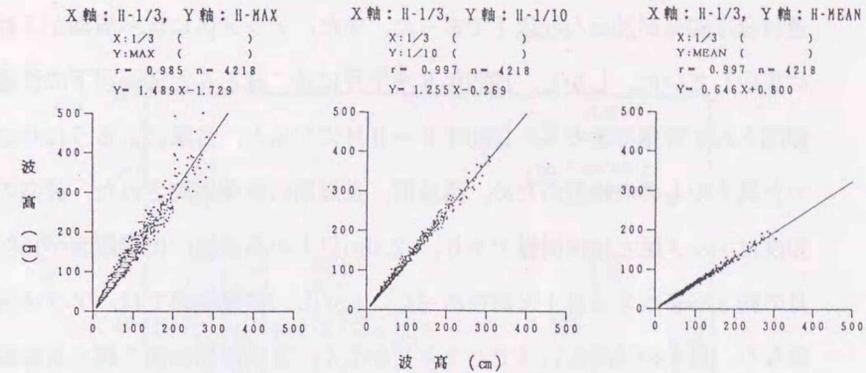


図-4-21 カジメ区付近の砂底における波高諸元の相関

iii. 波高、周期および振幅流速頻度分布

図-4-23には有義波高 1.5m以上、および、その中の 2.0m以上の波高の出現頻度を、また、図-4-24には振幅流速50cm/s以上、および後述する砂の移動限界流速を越えるものの出現頻度を月別にまとめた。

i) アラメ区

1988年10月~1989年2月に、冬季風浪により波高や振動流速の大きい波も観測されたが、6~7月には波高25cm以下でありながら周期8秒前後の小さいうねりが観測された。1989年8~9月には台風によるうねりの進入や台風そのものの接近のため、高波浪、長周期の波が観測された。観測時期によっては周期の頻度分布にピークが2つ現れているが、これは太平洋側から進入する長周期のうねりと観測地点付近の風による比較的短周期の風波が観測されたためである。

1.5 m以上の波浪の出現頻度は、1988年11月が一番高く11%であり、2.0 m以上の高波浪も約3%出現した。1988年11月以外の月には1.5m以上の波浪の出現は5%どまりであり、高波高の出現頻度はあまり高くないが、振幅流速では50cm/s以上の出現頻度は年間を通して10から20%を越えており、移動限界流速を越える振幅流速も毎月10%前後の出現率があった。

ii)カジメ区

1988年12月～1989年2月には2m以上の高波浪も観測されているが、振幅流速はほぼ80%が20cm/sec以下であった。また、アラメ区に比べ周期が8秒前後に集中していた。しかし、1989年6～7月には、ほとんど50cm以下の波高しか観測されず静穏であった。1989年8～9月になると、台風によるうねりの進入や台風そのものの接近のため、高波浪、長周期の波が観測された。波高の出現頻度はアラメ区とほぼ同様であり、2.0m以上の高波浪の出現頻度が1989年11月の約5%を除き毎月1%前後であった。しかし、振幅流速では、アラメ区とは異なり、最大の1988年11月でも5%しかなく、移動限界流速を越える振幅流速は1988年11月と1989年8月に数%ほどしかなかった。

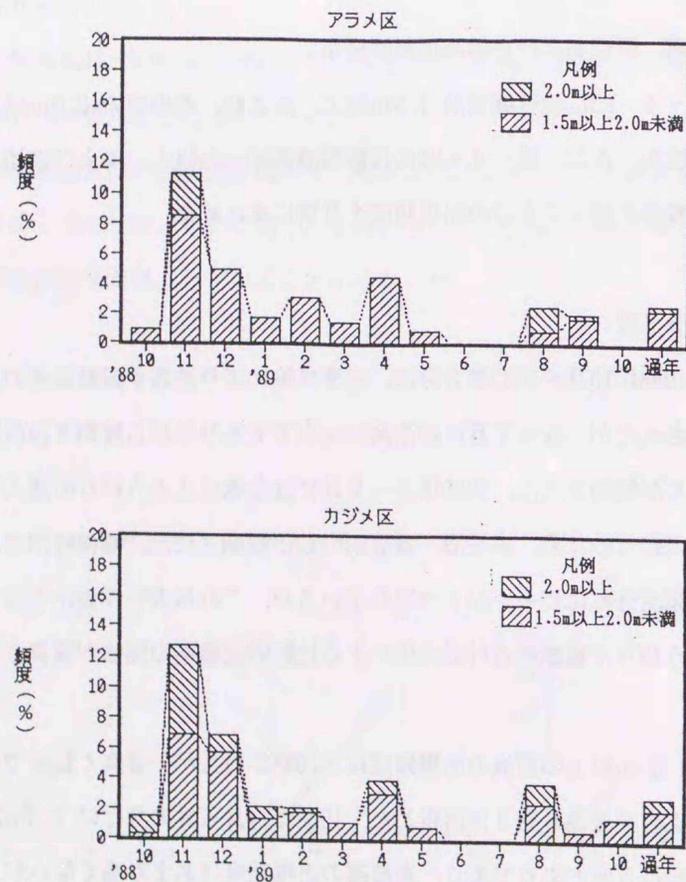


図-4-23 有義波出現頻度の経月変化

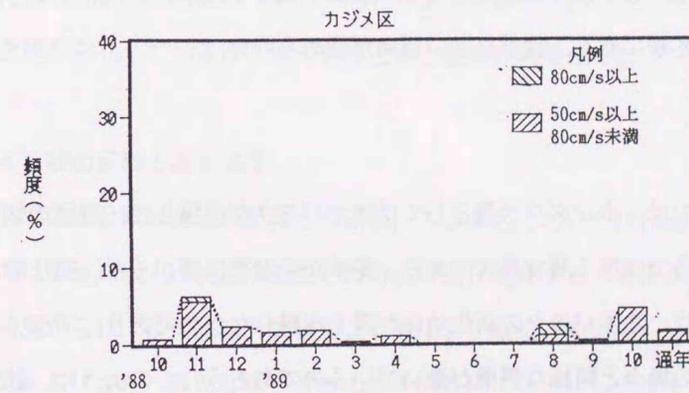
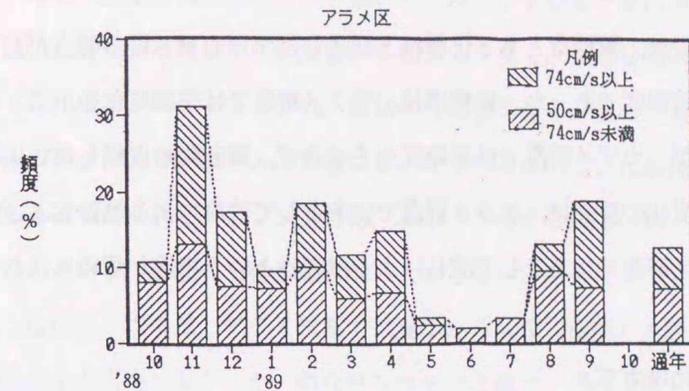


図-4-24 振幅流速出現頻度の経月変化

3. 考察

1) 砂底と接する岩礁におけるアラメおよびカジメ群落の共通点および相違点

(1) 砂被度

層別の砂被度は、両群落とも下位層ほど増大したが、カジメ群落の方が高く、アラメ群落の2倍程度であった。砂被度は、アラメ群落では季節変化を示し、冬季に最小となったが、カジメ群落では季節変化を示さず、調査開始以降に増大した。砂被度の変化の要因は、アラメ群落では主として波浪による漂砂および浮遊砂であり、カジメ群落では主として流れによる浮遊砂という相違が認められた。

(2) アラメまたはカジメ

アラメ群落では、アラメの被度および個体密度とも、上位の層ほど大きかった。カジメ群落では、カジメの被度は各層での変動が大きく、個体密度はアラメ群落の3倍程度で、冬季に高く、秋季に低い傾向が認められた。

(3) 海藻植生

アラメ群落では、ホンダワラ類としてはオオバモクが出現した。層別の個体密度は、アラメ群落では第1層で最大であり、冬季から春季に高かった。第1層が最大であった理由は、オオバモクの新生幼体が多く出現したためであり、アラメ・カジメ幼体の出現の場合と同様な機構が働いているのであろう。このように、砂底と接する岩礁のアラメ群落と砂底との境界では、オオバモクの新生幼体が多く出現したが、同時に流失する数も多かった。オオバモクは、円錐状の付着器を有し、一般に基盤が不安定な砂底との境界域や礫場でも群落を形成すること(今野, 1984)が知られている。これは、茎部が長く、生長点が比較的高い位置にあるため、砂面変動により生長点が砂に被覆される可能性が低くなっている形態的利点のみならず、他のホンダワラ類に比べ成熟期間が長く、砂面が変動しやすい秋にも卵を放出している(中嶋・今野, 1979a; 中嶋・今野, 1979b) ことにも起因していると推察される。なお、生長点の位置という意味では、アラメおよびカジメもオオバモクと同様に砂による被覆への耐性が大きいとも考えられるが、観察では、茎が砂に被覆されたものは2週間位の短期間であっても、茎部最下部付近が腐って流失している。この点については、今後、アラメ・カジメ類と、特に砂の被覆の影響の強い環境に分布する

ホンダワラ類(新井ら, 1991)との間の、表皮および皮層の構造や付着器の生長様式等の相違について検討することで、その機構が明らかにできるものと期待される。

カジメ群落では、ホンダワラ類としてはエンドウモクが出現した。層別の個体密度は全層でほぼ同様に、新生幼体の加入も少なく、大きな季節変化は認められなかった。なお、エンドウモクは、盤状の付着器を有し、茎の生長点は生育基盤から数cmの高さにあり、砂による被覆には、オオバモクほどには耐性が大きくない種類であると考えられる。カジメ区では、エンドウモクの成体が第1層以上で出現していることから、砂面の上昇が通常的に大きくないことと符合している。

白化サンゴモは、アラメ群落では夏季から秋季に出現したが、カジメ群落では、ほとんど出現しなかった。白化サンゴモの出現は、一旦上昇した砂面が下降してから暫くの期間観察され、砂の埋没によりサンゴモ藻体一部が枯死し、色素が壊れたため(D'Antonio, 1986)であり、白化の度合は砂没期間の長さを示すと思われるが、全体が白化しているサンゴモはほとんど観察されなかった。

(4) 砂面変動と波浪条件

砂の移動限界流速を計算した結果、アラメ区においては74cm/s、カジメ区においては80cm/s以上の流速が発生した時に砂面は変動すると考えられた。しかし、観測結果からは、砂面高は計算結果よりも小さい流速(約50cm/s)で変動しているようである。また、砂面変動と波浪の変化の対応は必ずしも1対1ではなく、あまり大きな波高でなくても大きな砂面変動を引き起こす場合が観測されている。従って、推定振幅流速の精度ならびに限界流速の計算式の適用範囲などについても、今後更に改良される必要性が有ることが示唆された。

砂面の変動は冬季風浪時と台風時では異なっており、冬季風浪時には一回の時化で変動する砂面高は大きくないものの連続して襲来する風浪のため、砂面は結果的に大きく変動した。台風時には、1回の時化で大きく砂面が変化し、また、台風の接近以前のうねり・長周期波によるものと思われる砂面変動が観測された。水深の小さいアラメ区では、砂面高の変化は砂の移動、交換、置換等を伴い、表面付近の砂(約60cm)は常に移動しているものと推察される。一方、水深の深いカジメ区では、あまり大きな砂の移動等は見られず安定している。しかし、潮流等による流れに起因する砂面変動が年間を通じて発生していた。

岩面の砂被度との関係を見ると、大きな波浪の無い期間に徐々に砂の被度が高まることから、普段は浮遊砂として岩面に溜り、一方、高波浪時には、岩面の砂は波浪のエネルギーが海底面で変化した流れにより飛ばされて、砂の被度が低下する過程が示唆された。

2) 砂底と離れた岩礁での群落との比較

調査した海域内の、砂底と離れた岩礁（第3章-3）と砂底に接する岩礁でのアラメ群落の構造の比較を表-4-2に、またカジメ群落について表-4-3に示した。

ここで、砂底と離れた群落の砂面からの比高は1m以上有り、砂底と接する岩礁での群落については、層別の砂被度年平均値、白化サンゴモ年平均出現株数、オオバモク年平均密度、アラメ被度年平均値、アラメ個体密度の年間最大および最小時期の値を用いた。

砂底と離れた群落は、砂が被覆せず、白化サンゴモおよびオオバモクが出現せず、アラメ個体密度が最大の冬に200本/m²近く、最小時期の秋でも20本/m²程である。

砂底と接する群落の第6および5層（比高0.5~0.4m）は、砂がわずかに被覆し、白化サンゴモの出現が見られず、オオバモクが出現し、アラメ被度では60%以上有るものの、アラメ個体密度が最大の冬で20本/m²、特に最小の秋には10本/m²（特に生長区分IIが少ない）となり、砂底と離れた群落の約50%である、そこで、これらの層を浮遊砂影響域と見做す。

砂底と接する群落の第4~2層（比高0.3~0.2m）は、砂の被度ではわずかだが、白化サンゴモが出現し、オオバモクが増え、アラメ被度も20~30%に低下し、アラメ個体密度が、最小の秋には5本/m²程度となり、砂底と離れた群落の20~30%である、そこで、これらの層を浮遊砂と漂砂の中間影響域と見做す。

砂底と接する群落の第1層（比高0.1m）は、砂の被度が10%で、白化サンゴモが出現し、オオバモクが10本/m²以上、アラメ被度ではわずかになり、アラメ個体密度が最小の夏~秋には2本程度/m²となり、砂底と離れた群落の10%である、そこで、これらの層を漂砂影響域と見做す。

砂底と接する群落の第-1~2層（比高-0.1~-0.2m）は、砂の被度が70~90%で、白化サンゴモも出現せず（サンゴモが安定して生育できないほど砂の被覆期間が長いことを示す）、オオバモクが10本/m²以下、特にアラメ被度ではわずかになり、アラ

メ個体密度が、最小の秋には0本/m²である、そこで、これらの層を砂面境界域と見做す。

表-4-2 砂底と離れた岩礁と砂底に接する岩礁でのアラメ群落の構造の比較

調査区	調 査 項 目					
	砂被度 年平均 (%)	白化サンゴモ 年平均 出現株数	オオバモク 年平均 密度	アラメ被度 年平均 (%)	アラメの個体密度 最大時期 (本/m ²)	最小時期 (本/m ²)
砂底と離れた群落 (比高>1m)	0	0	0	-	冬(171)	秋(21)
砂底に接する群落						
第6層(比高0.5m)	+	0	0	91	冬(23)	春(12)
第5層(比高0.4m)	+	0	2	59	冬(21)	春~秋(11)
第4層(比高0.3m)	+	1	0	27	冬(31)	秋(6)
第3層(比高0.3m)	+	1	4	8	冬(28)	秋(3)
第2層(比高0.2m)	+	1	6	27	冬(20)	秋(2)
第1層(比高0.1m)	10	1	12	+	冬(31)	秋(2)
第-1層(-0.1m)	67	0	9	+	冬(41)	秋(0)
第-2層(-0.2m)	87	0	1	+	冬~春(1)	夏~秋(0)

カジメ群落でも、砂底と離れた群落の比高は1m以上有り、砂底と接する群落については、層別の砂被度年平均値、白化サンゴモ年平均出現株数、エンドウモクの年平均密度、カジメ被度年平均値、カジメ個体密度の年間最大および最小を用いた。

砂底と離れた群落は、砂が被覆せず、白化サンゴモおよびエンドウモクが出現せず、カジメ個体密度が、最大の冬に約200本/m²、最小時期の秋に20本/m²程度である。

砂底と接する群落の第6~3層（比高0.9~0.4m）は、砂が10%被覆し、白化サンゴモが見られず、エンドウモクが出現し、カジメ被度では10~80%、カジメ個体密度が最大の冬で60~120本、最小の秋には15本程度（特に生長区分IIが少ない）となり、砂底と離れた群落の60~70%である、そこで、これらの層を浮遊砂影響域と見做す。

砂底と接する群落の第2~1層（比高0.2~0.1m）は、砂の被度が20~60%で、白化サンゴモが出現せず、エンドウモクが出現し、カジメ被度では+~70%に低下し、カジメ個体密度が冬の最小時期には3~6本/m²となり、砂底と離れた群落の20~30%に低下する、そこでこれらの層を、浮遊砂と漂砂の中間影響域と見做す。

以上のことから、砂底と接する岩礁でのアラメおよびカジメ群落は、砂底から離れた群落との比較により、砂の作用の影響に関して、数種類の範囲に区分でき、特にアラメ群落では4つの、カジメ群落では2つの影響域に区分された、ただ、今回調査したカジメ群落の場合には、調査地の地形的条件（図-4-1）から、南寄りの高波浪の影響が

やや軽減されていると考えられるので、波浪に対してより露出度の高い調査地が得られた場合には、より漂砂の影響の強い環境としての結果が得られると推察された。

また、調査した項目の中では、群落の存続の状態が年間で最も明瞭に現れる要素はアラメまたはカジメの個体密度の年間最小時期の値であり、ここでは、砂の被度の変化傾向および砂の影響の種類の違いなどとの対応関係が認められた。そこで、便宜的に、砂の作用の影響によって、群落の存続が不安定となる目安を、アラメまたはカジメの個体密度の年間最小時期の値が、砂底と離れた群落に対して50%以下になる比高で表すと、アラメ区では0.3m（第4層）で、カジメ区では0.2m（第2層）である。

表-4-3 砂底と離れた岩礁と砂底に接する岩礁でのカジメ群落の構造の比較

調査区	調 査 項 目					
	砂被度 年平均 (%)	白化サンゴ 年平均 出現率	エンドウ 年平均 密度	カジメ被度 年平均 (%)	カジメの個体密度 最大時期 最小時期 (本/m ²)	
砂底と離れた群落 (比高>1m)	0	0	0	-	冬(202)	秋(18)
砂底に接する群落						
第6層(比高0.9m)	6	0	0	56	冬(116)	春(13)
第5層(比高0.8m)	11	0	6	48	冬(88)	秋(18)
第4層(比高0.6m)	11	0	12	12	冬(86)	秋(11)
第3層(比高0.4m)	12	0	7	75	冬(64)	秋(15)
第2層(比高0.2m)	16	0	12	+	冬(83)	秋(6)
第1層(比高0.1m)	58	0	5	73	冬(31)	秋(3)

なお、本章での砂のように、単独で明瞭な要因が個体および群落の分布を制限する場合、光量（第2章1節）でも認められたように、反応として、個体密度の減少が比較的敏感に生じていることが認められた。個体密度の減少分は大型の藻体（生長区分II等）であり、それらの少数の大型藻体によって、要因による限界条件近くまで群落の高さが保たれ、一方、小型の藻体（生長区分I,0 など）によって、ある程度の個体密度が保たれるのであろう。

4. 要約

砂底に接する岩礁でのアラメおよびカジメ群落の観察、近接する砂底での砂面変動、および浅海域で漂砂を起こさせる主因の一つである波浪環境の観測を並行して通年に亘り実施し、群落の分布および構造と砂の作用の関係を定量的に把握した（表-4-4）。

両種の群落に近接する砂底において、最大有義波高では水深が深いカジメ区の方が大きい。海底の砂を動かす推定振幅流速では水深の浅いアラメ区の方が大きい。そのため、両区ではほぼ等しい移動限界流速にある砂は、アラメ区の方が動かされやすい。そのため、砂面高の最大変動幅は、アラメ区で60cmとなりカジメ区の2倍に達している。

砂底と接する岩礁では、岩面での砂の被度はカジメ区の方が高かった。そのため、砂の影響により耐えられるホンダワラ類として、アラメ区ではオオバモクが比高の小さい下層で高密度に、一方、カジメ区ではエンドウモクがほぼ全層でカジメと混生していた。アラメの被度は比高の大きい層で高いが、カジメの被度は比高とはあまり関係ない。アラメおよびカジメとも、個体密度が最小の時期にはいずれも比高の小さい層になるほど値が低下し、砂の被度等の影響程度の指標との対応関係が認められ、群落の存続状態を明瞭に示している。砂の作用の影響によって、群落の存続が不安定となる目安を、アラメまたはカジメの個体密度の年間最小時期の値が、砂底と離れた群落に対して50%以下になる比高で表すと、アラメ区では0.3m（第4層）で、カジメ区では0.2m（第2層）である。

低照度や砂の被覆の影響への耐性が大きい。そのため、漂砂の影響の指標とした白化サンゴモはアラメ区の比高の小さい層でのみ出現し、カジメ区にはほとんど出現していない。

以上のことから、砂底に接する岩礁でのアラメ群落を4つの、カジメ群落を2つの種類の砂の影響域に区分した。

表-4-4 砂底に接する岩礁でのアラメおよびカジメ群落の植生構造と砂の関係

	アラメ群落(水深3m)	カジメ群落(水深10m)
最大有義波高(m)	2	3
推定振幅流速(cm/s)	ほぼ毎月100以上が発生	100程度
砂の移動限界流速(cm/s)	74	80
砂面の最大変動幅(cm)	60	30
岩面の砂の年平均被度(%)	+~10	10~60
アラメまたはカジメの被度	比高の大きい層で高い	比高と関係ない
アラメまたはカジメの個体密度	最小時期に比高の小さい層ほど小さくなる	比高0.2m
安定群落の50%以下の密度	比高0.3m	比高0.2m
ホンダワラ類の個体密度	比高の小さい層で高い	ほぼ全層で同様
白化サンゴモの出現率年平均数	1(比高の小さい層)	0
群落の比高別の層の区分	1.浮遊砂影響域, 2.中間域, 3.漂砂影響域, 4.砂面境界域	1.浮遊砂影響域, 2.中間域

第5章 アラメおよびカジメの生育への砂の被覆の影響

前章では、天然群落において砂の被覆が群落構造に大きく影響していること、砂底と接する岩礁のアラメ群落とカジメ群落では幼体の出現数が著しく少ないこと、また群落別に砂の影響の機構等が異なることを明らかにした。そこで、アラメおよびカジメの個体に対する砂の被覆の影響についての実験を行い、更に詳細な検討を進めた。それぞれの実験の目的および実施の経緯を以下に述べる。

滅菌を意図して実験用の海砂と海水を加熱処理した実験は、予備実験を進めるうちに、乾燥や加熱処理を施した海砂や海水を用いた場合には、同じ処理を施さない場合に比べ、砂の被覆の影響が著しく軽減したことから発案し、主に、細菌の関与、ならびに、傷つけられた藻体において傷害が生じる部位の観察を目的とする。なお、以下の実験条件の範囲では、4日間の砂の被覆で明瞭な結果が得られることについても、あらかじめ確認しておいた。また、抗生物質リファンピシンを藻体の表面にまぶす処理を用いた予備実験の結果（写真-5-1）からも、細菌の関与について確認している。



写真-5-1 抗生物質リファンピシンを、切断したアラメ・カジメ幼体の茎にまぶした場合（左）とまぶさない場合（右）の、砂の被覆4日後の状態

異なった培養温度に設定した実験では、生態調査を実施した海域での水温の季節から、冬（15℃）、春・秋（20℃）および夏（25℃）の時期に藻体を砂が被覆した場合を想定して行い、主に、幼体の期間の傷害ならびに枯死との関係について明らかにする。

発育段階別に設定した実験では、群落を構成する0, 1, および2才以上の年級群（あるいは、0, I, IIなどの生長区分）の藻体を砂が被覆した場合を想定して行い、主に、表皮の発達の違いと傷害ならびに枯死との関係について明らかにする。

藻体の部位別に砂で被覆した実験では、表皮等が十分に発達した2才以上の個体について、新根が伸長する秋から冬と完成した根だけを有する春から夏との季節性、および、生育面の比高や砂面変動の幅の違いで、砂が被覆する部位に差が生ずる場合を想定して実施し、主に、表皮が未発達の生長点部分の傷害について明らかにする。

1. 方法

1) 概要

発育段階初期のためアラメかカジメか区別がつかないアラメ・カジメ幼体、アラメおよびカジメ藻体を横須賀市大楠漁協地先で採取し、砂を第4章のアラメ区周辺の水深約4mで採取して用いた。横須賀市小田和湾に面した、電力中央研究所・藻場実験室で、海水を前面海域から取水し、ろ過して用い、塩分では33~34‰であった。実験室の恒温室を15, 20および25℃に設定し、また、ガラス室内の恒温水槽の水温を20℃として実験に用いた。

実験に用いた材料の一覧を表-5-1に、また、実験区の一覧を図-5-1に示した。

表-5-1 実験に用いた試料の一覧（10個体の平均値）

実験区名	材料	全長 (cm)	莖長 (cm)	枝長 (cm)	材料	全長 (cm)	莖長 (cm)
温度	15℃ アラメ・カジメ 幼体	16.5	2.0	--	(アラメと共通)		
	20℃ アラメ・カジメ 幼体	13.9	1.8	--	(アラメと共通)		
	25℃ アラメ・カジメ 幼体	14.0	2.1	--	(アラメと共通)		
発育段階 (全長)	2cm アラメ・カジメ 幼体	2.2	0.2	--	(アラメと共通)		
	5cm アラメ・カジメ 幼体	5.0	0.3	--	(アラメと共通)		
	10cm アラメ・カジメ 幼体	9.8	1.2	--	(アラメと共通)		
	15cm アラメ・カジメ 幼体	13.9	1.8	--	(アラメと共通)		
	25cm アラメ	28.2	3.6	--	カジメ	25.4	4.0
50cm アラメ	45.3	7.2	--	カジメ	56.4	17.6	
部位	対照 アラメ	44.5	7.8	2.7	カジメ	57.2	23.1
	莖下部 アラメ	47.5	8.0	4.0	カジメ	49.3	19.6
	莖中部 アラメ	69.1	11.6	4.7	カジメ	58.2	19.6
	新根有 アラメ	44.3	8.7	2.0	カジメ	57.4	23.1
	葉部 アラメ	45.3	7.2	2.3	カジメ	56.4	17.6

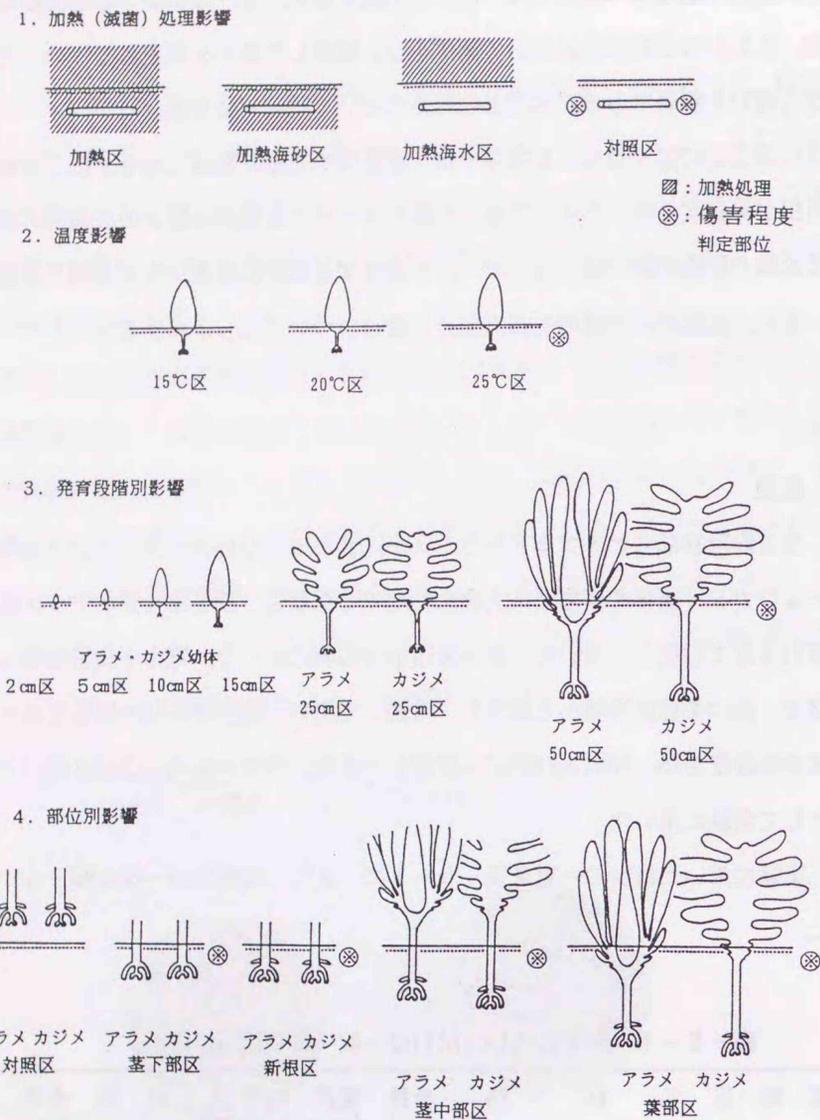


図-5-1 実験区の一覧 (寺脇ら, 1991bより)

傷害については、図-5-2に示す基準で、部位別に肉眼で判定し、5段階の傷害程度に区分して記録した。また、実験供試前に藻体の茎長を測定した場合には、終了時に、附着器を基点として茎の残存率を求めた。ここで、変色とは、葉部および茎の場合には健全部分の褐色が鮮やかな、ないし、やや暗い緑色に変化することで、新根の場合には、健全部分の明るい褐色が脱色されて乳白色に変化することを指す。一部消失とは表皮が溶解してしまい、皮層ないし髄層のやや透明な組織が外見される状態を指す。

	傷害程度 -0	1	2	3	4
葉部					
	変化無し	変色	傷害一部消失	一部消失、分離	埋没部消失
茎					
	変化無し	変色	傷害一部消失	一部消失、分離	埋没部消失
新根					
根	変化無し	変色	傷害先端消失	一部消失	消失

図-5-2 部位別の傷害程度の判定基準についての模式図 (寺脇ら, 1991bより)

2) 加熱（滅菌）処理影響

アラメ・カジメ幼体（全長10~20cm）について、藻体の表面を傷つけるためと観察

のし易さを勘案して、葉部と付着器を切断して、茎を4本ずつ、加熱区（水界微生物の生態研究の際の滅菌乾燥法（関, 1976）に準拠して加熱処理した海砂と海水を用いた区）、加熱海砂区（砂濾過しただけの生海水と加熱海砂）、加熱海水区（加熱海水と生海砂）および対照区（生海砂と生海水）に分けて、砂で被覆した。その後、4日間、20℃の恒温室内に静置し、4日後に試料を掘出して観察し、図-5-2の茎の傷害程度に区分した。

3) 温度別影響

アラメ・カジメ幼体（全長15cm程度）を10本ずつ 20W×35L×25Hcmのプラスチック水槽中の生海砂で葉部の生長点部分が埋没するまで被覆し、15、20および25℃の恒温室内で生海水を用いて、4日間培養した。4日後に試料を掘出して観察し、図-5-2の葉部の傷害程度に区分した。

4) 発育段階別影響

アラメ・カジメ幼体（全長2、5、10および15cm程度）、アラメおよびカジメ藻体（全長25cm程度）を10本ずつ、藻体の大きさに別々にシャーレ（15D×3Hcm）、腰高シャーレ（15D×9Hcm）およびプラスチック水槽（20W×35L×25Hcm）中の生海砂で葉部の生長点部分が埋没するまで砂で被覆し、20℃の恒温室内で生海水を用いて4日間培養した。さらに、アラメおよびカジメ藻体（全長50cm程度）を10本ずつ30D×35Hcmのプラスチック容器の生海砂で葉部の生長点部分が埋没するまで被覆し、20℃の恒温水槽内で生海水を用いて4日間培養した。4日後に試料を掘出して観察し、図-5-2の葉部の傷害程度に区分した。

5) 部位別影響

アラメおよびカジメ藻体（全長50cm程度）を10本ずつ、40W×60L×15Hcmのプラスチック容器中の生海砂で、茎下部区（新根無し）、新根区（新根有り）、茎中部区および葉部区（成長点が埋没する程度）の区別をして被覆し、対照区（砂と接触しないように水槽の水面付近に吊るした）とともに、20℃の恒温水槽内で活海水を用いて、4日間培養した。4日後に試料を掘出して観察し、図-5-2の新根区では新根で、茎下部および茎中部区では茎で、そして葉部区では葉部で傷害程度を区分した。

2. 結果

1) 加熱（滅菌）処理影響

加熱区では変化が認められなかったが、加熱海砂区、加熱海水区および対照区の順で傷害程度が進み（表-5-2）、対照区では藻体の原形が損なわれていた。

また、傷害は藻体の切断面（傷口とみなす）から、次第に他の部分へ広がっており（図-5-2の茎の傷害程度2の模式図を参照）、また、試料の中でも細く短い茎で傷害程度が進んでいた。

表-5-2 加熱（滅菌）処理実験の結果（寺脇ら, 1991bを改変）

実験区	アラメ・カジメ幼体の茎の傷害程度
加熱区（加熱海砂+加熱海水）	0（変化認められず）
加熱海砂区（加熱海砂+生海水）	2（特に切断面の周囲）
加熱海水区（生海砂+加熱海水）	2（切断面から全体へ広がる）
天然区（生海砂+生海水）	2~3（全体）

2) 温度別影響

15℃区では傷害程度1および2が多かったが、20℃および25℃区では全て3であった。藻体の茎残存率は、15℃区では100%であったが、20、25℃区の順で減少し、25℃区では50%となった（図-5-3および写真-5-2）。

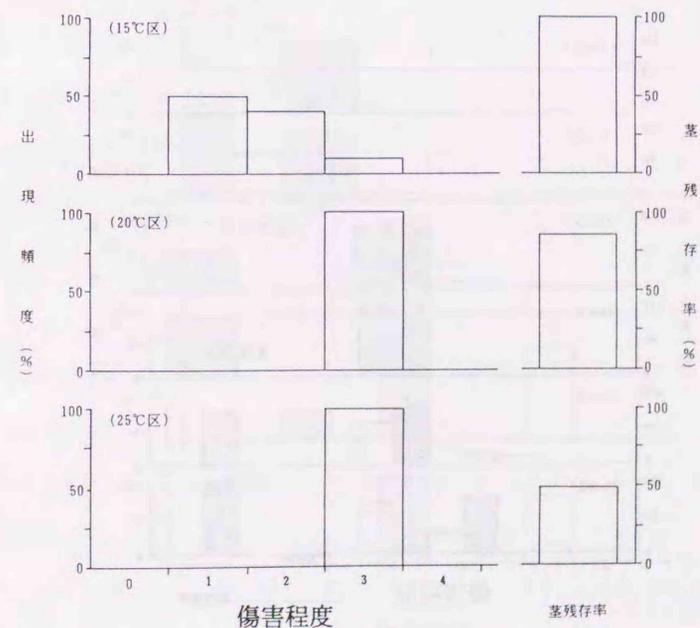


図-5-3 アラメ・カジメ幼体への温度別の砂の被覆影響



15°C (左) 25°C (右)
写真-5-2 変色および分離し茎の残存率も低下した状態

3) 发育段階別影響

アラメ・カジメ幼体は、全長2cm区では全個体とも傷害程度4であり、茎および附着器は全く残っていなかった。全長5cm区では全個体とも傷害程度4であったが、藻体の分離状態が著しく、茎残存率の算出が困難で（ほとんど0）であり、ここでは0%として扱う。全長10cmおよび15cm区では、ほとんど傷害程度3であったが、茎残存率が56および85%と増大した（図-5-4および写真-5-3）。

アラメは、全長25cm区では傷害程度2および3で茎残存率が77%、全長50cm区では傷害程度1から3であり茎残存率が100%であった。カジメは、全長25cm区では傷害程度1から3で茎残存率が95%、全長50cm区では傷害程度2および3であり、茎残存率が97%であった（図-5-4）。

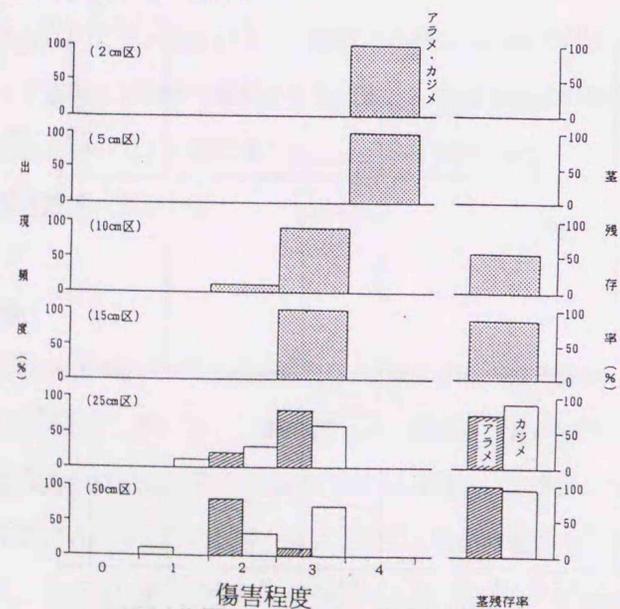
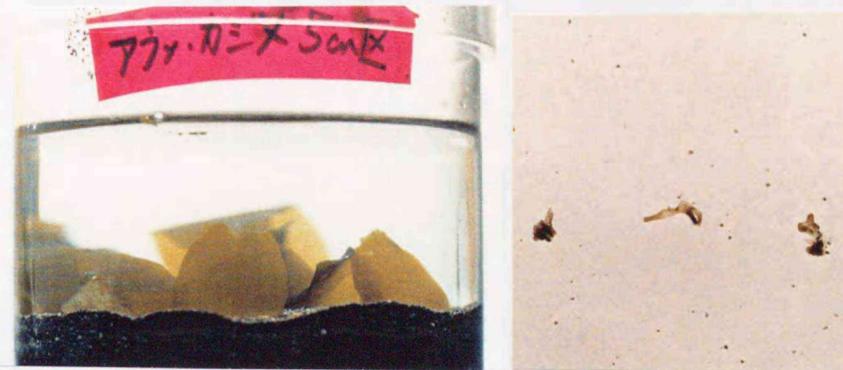


図-5-4 アラメ・カジメ幼体、アラメおよびカジメの发育段階別の砂の被覆影響（寺脇ら, 1991bより）



アラメ・カジメ幼体全長5cm区 (左) 茎の残骸の一部 (右)
写真-5-3 培養状態と茎がほとんど残存しない状態の一例

4) 部位別影響

アラメおよびカジメとも対照区では全個体とも変化無し（傷害程度0）であった。新根のない茎下部区ではアラメでは全個体とも変化の無い傷害程度0であったが、カジメでは2まで認められた。茎中部区では、アラメでは、全個体とも傷害程度2であったが、カジメでは3までとなった。新根区では、アラメでは、傷害程度1および2であったが、カジメではほとんどが3まで進んでいた。葉部区では、アラメではほとんど傷害程度2であったが、カジメでは3が多かった（図-5-5および写真-5-4）。

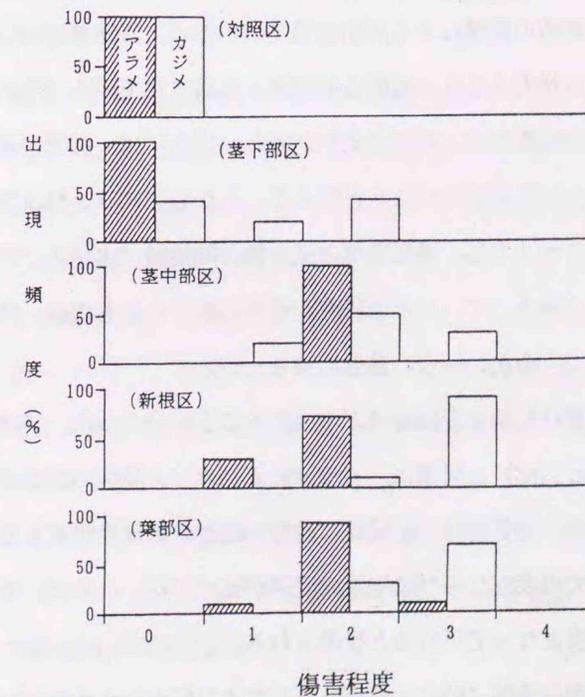


図-5-5 アラメおよびカジメの部位別の砂の被覆影響（寺脇ら, 1991bより）



ガラス室内の水槽での培養（左） 新根の傷害程度3（右）
 写真-5-4 培養状態と砂の被覆により傷害を受けた新根の一例

3. 考察

1) 各実験結果の共通点と特徴

加熱区では細菌の繁殖が阻害されたのに対して、他の区では細菌が藻体を基質にして活発に繁殖し、有機物を分解した（関, 1976）ことが、砂の被覆による影響に大きく関与していると推察される。また、生海砂を用いた区の方で傷害が比較的に顕著であり、また、藻体の表皮の傷口（切断面）から傷害が広がっていた。

砂の被覆の影響は高温の夏の期間ほど増大すると推論される。ノリの場合でも、病害を引き起こす細菌の繁殖による海面養殖での不作は、実海域において、低温では減少するが高温では増大するなど温度との関連が指摘されている（片田, 1973）。このことから、本実験の範囲では、試料の条件が等しい場合には、温度が高いほど影響が大きくなることについては妥当なことと言える。しかし、アラメおよびカジメにより近縁な種類の養殖ワカメでは、養殖環境の微生物学的検討（木村ら, 1976）および種苗の芽落ちとの関係（秋山, 1977）などの研究が進められているものの、未解明の部分も多い現状であるので、今後の解明の進展に待ちたい。

砂の被覆の影響は初期発育段階ほど増大することが分かった。ノリの場合（月館, 1973; Tsukidate, 1983）と同様に、アラメおよびカジメ藻体の生育状態のバランスに変化が生じた際の、通常的な共生関係には無い細菌の繁殖を想定すると、全長の小さい藻体（幼体）では表皮ならびに皮層の発達が充分でないために、その影響が、容易に大きな傷害程度となって現れると推論される。

砂の被覆の影響は葉部（特に生長点部分）および新根が含まれていることによって

増大することが分かった。関与している細菌の繁殖の影響が、表皮などの発達が充分でない葉部（特に生長点部分）および新根では容易に傷害として現れ、逆に、表皮ならびに皮層の発達した茎や古い根ではかなり、いわゆる木化が進んでいるために傷害として現われにくいと推察される。

また、対照区を除く実験区では、いずれも、カジメの方がアラメよりも傷害程度が進んでいることが認められ、明らかに、カジメの方が砂の被覆の影響を受けやすいことが分かった。

2) 砂の被覆の影響が傷害として発現する過程

傷害の発現に細菌の関与が強く示唆され、細菌の繁殖とアラメおよびカジメの藻体の各部位の表皮等の発達程度と、外傷（切断面など）の有無、また、傷害の程度などについて考察を進める情報が整ったと考えられる。

すなわち、両種とも、温度が高いほど、また、発育段階の初期ほど砂の被覆の影響を大きく受け、傷害や枯死を引き起こす過程で葉部（特に生長点部分）および新根が起点となる部位である点で、明瞭に共通していた。さらに、砂の被覆によってアラメおよびカジメ藻体に傷害が現れ、また、枯死に至る過程での影響の受けやすさは、

外傷を有する藻体の表皮 > 幼体または成長点部分 > 成体の順と推定された。

次に、砂の被覆の影響で、藻体の一部が消失や分離したりしてしまった個体はもちろん、表皮に程度1くらいの傷害を負った個体が治癒され、果たして、その後再び旺盛に生長を続けることが可能かについては、大部分、否定的な見解に導かれる。細菌は、海水中にも海砂中にも普通に存在することが知られており、本実験でも、海砂を加熱処理しても生海水を用いた区では、他の実験区にあまり劣らない程の傷害程度になっていた（表-5-2）。すなわち、4日間の実験期間中に顕著な傷害が現れなくても、砂の被覆による傷害を受けた個体は、時間の長短は様々であろうが、いずれ、かなりの部分が枯死することになると推論される。

なお、水中の観察では、本実験で定義した「変色」に相当する程度の傷害を示しながら残存しているアラメまたはカジメの藻体を観察する機会が極めて稀であった。このことから、実験室内での傷害程度は、たとえ1であっても、天然群落内ではかなり顕著な傷害に相当し、実海域では、現在の規準では検出が困難な、より微細な傷害か

ら、枯死にいたる過程が一気に始まるものと推察される。

部位別実験の結果からみて、カジメの方がアラメより砂の被覆による影響を受けやすいことが、両種の差違として把握されたと見て差し支えない。特に、茎の下部のみを砂で被覆した場合、傷害の程度の差が最も顕著であった。

本研究では、アラメおよびカジメの葉部の生長点より上部側、即ち、アラメ側葉およびカジメの中央葉と側葉については扱わなかった。アラメおよびカジメの葉部は介在生長で形成され、中央葉および側葉は次つぎと形成されては脱落して更新される。水中観察では、アラメの枝や側葉、また、カジメの中央葉や側葉が物理的な原因で切断されたり、外傷を負った場合を目撃しており、その後、注意を払っていたが、その部分から変色したり、その傷害が原因になって枯死した様子はなかった。以上のことと、砂の被覆の影響を検討するに当たり、砂は、基本的に、アラメおよびカジメの藻体下部の付着器側から次第に被覆することを考え合わせて、主に、藻体下部の部位を対象に実験した。

3) 砂底と接する岩礁での生態との対比

砂の被覆の藻体の生育への影響が、極めて短期間で明瞭に現れることから、砂底と接する岩礁でのアラメおよびカジメ群落では、漂砂、特に、砂面変動および浮遊砂の堆積が直接的に群落の分布域および群落構造に影響を及ぼすことの相互関係が明らかになった。

4章での砂底と接する岩礁でのアラメ群落については、比高別の群落の植生構造の違いが、砂面の変動が激しいことと岩面の砂の被覆の関係とで説明できる。一方、カジメ群落では、砂面の変動は小さいもの、浮遊砂が沈積して岩面全体を薄く被覆した場合に、容易に波などで払われず、長期的に藻体下部を砂が被覆するため、比高別の群落の植生構造の差異が不明瞭であったものと推察される。

また、細菌の繁殖が大きく関与し、更に、高温での被覆影響が大きいこと、新根が被覆影響を大きく受けることから、冬に認められたアラメ・カジメ幼体が、春から夏にかけて上昇した砂面の影響で枯死し、流失する過程が、群落の植生構造とその季節変化に大きな影響を及ぼしていることも示唆された。一方、成体においては、新根の形成時期が、高波浪の影響などで砂面が低下する場合の多い秋から冬であることによって、砂の被覆の影響が幼体の場合よりも軽減されていると推論される。

今回の実験では、配偶体世代については扱っていないが、表皮等の発達ならびに細菌の関与が重要であることから、胞子体世代の幼体よりも、砂の被覆等の影響に対して耐性が大きいとは考えにくく、そのため、砂底と接する岩礁では幼体の出現密度がかなり低くなっているのであろう。

4. 要約

生態の精密調査を実施した海域から採集したアラメ藻体、カジメ藻体および砂試料を実験室に持帰り、細菌の関与について検討したのち、両種とも、水温別、発育段階および部位別に各々の設定条件で、藻体を砂に埋め込み、個体の生育に及ぼす砂の被覆の影響を定量的に把握するための室内実験をした。

砂の被覆の影響は、第一義的に細菌の繁殖に伴う藻体（有機物）の分解によって生じる。従って、細菌の繁殖条件として、高温ほど、および表皮等が未発達なために容易に細菌の侵食を受けやすい初期の発育段階の藻体ほど、また、同じ理由により、葉部生長点部分および新根で影響が傷害として大きく現われる。なお、カジメ藻体の方がアラメ藻体より砂の被覆による影響を受けやすい。

これらのことから、砂底と接する岩礁においては、砂面の被覆の程度および時期が、群落の分布および植生構造に直接的に影響を及ぼしていることが分かった。特に、春から夏に水温が高く、かつ、砂面高が上昇することによって、アラメ・カジメ幼体の出現数が抑えられ、かつ、多数枯死流失することが、群落の植生構造ならびにその季節変化に大きな影響を及ぼしている。一方、成体では、表皮がよく発達し、かつ、新根の形成時期が秋から冬であることによって、砂の被覆影響が軽減されやすい。

第6章 砂底に設置した実験用ブロックでのカジメ群落の構造

本研究で対象としている2種のうち、アラメでは、その浅所に分布するという立地環境から、波動の強弱が近接する砂底での漂砂に明瞭に連動して、砂面からの比高別に群落構造に影響が現れること、また、砂が被覆しても、成体ではカジメよりも傷害を受けにくいことが分かった。カジメでは、その深所に分布するという立地環境から、波動の強弱よりも、むしろ、海底での流れなどによって生じる浮遊砂が堆積する影響の方が強く、そのために、砂面からの比高別の群落構造に明瞭な違いが認められないこと、一方、藻体は砂の被覆に対してアラメよりも傷害を受けやすいことが分かった。

そこで、本章では、自然海域において、砂面からの比高の違いによって砂の被覆の影響が異なり、ひいては、カジメ群落の構造に、より大きな差異が認められる程度、並びに、その機構を明らかにすることを目的として、実験生態学的な検討を行った。

特に、カジメが群落を形成している岩礁に近接する砂底において、耐波浪性を有し、かつ、設定比高が異なる生育基盤（コンクリートブロック）を設置し、形成期のカジメ群落の構造におよぼす砂の被覆の影響を明らかにすることを試みた。

1. 方法

1) ブロック設置候補地点の選定

神奈川県横須賀市の大楠漁業協同組合とブロックの設置候補地点について協議し、同漁協の佐島支所地先で、漁業の障害にならず、南よりの外洋の沖波（10年確率の有義波で波高6m程度）に対しては島陰になるため、ブロックの対波浪安定性が見込まれる小田和湾湾口部の笠島北側に、設置候補地点を定めた（図-6-1）。設置候補地点は、島陰ではあっても、笠島の先端近くであるために、特に、西ないし南よりの沖波などについては、波動の影響が決して弱くはない場所である。

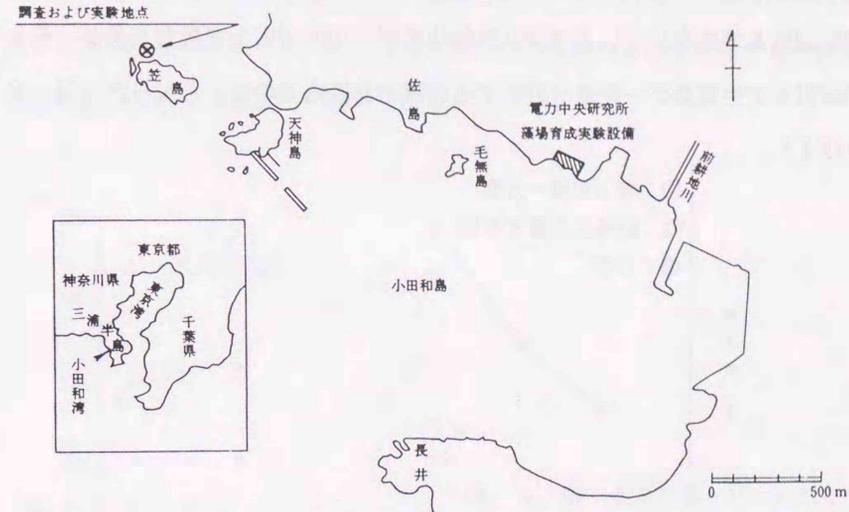


図-6-1 横須賀市佐島地先の実験を行った海域（寺脇, 1988 より）

2) 設置候補地点の底質と海藻の垂直分布の把握

ブロックの設置地点を選定するため、設置候補地点の底質および海藻、特に、対象種であるカジメの垂直分布を調査した。その結果、底質は水深10mまでが岩盤、それ以下は砂底であり、岩盤での大型海藻の優占種が、水深1~2mでホンダワラ類、3~4mでアラメ、5~10mでカジメであった（図-6-2）。

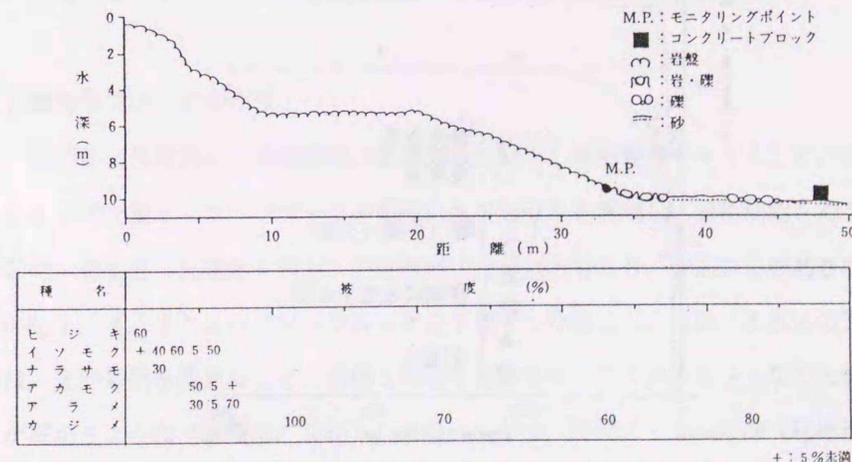


図-6-2 設置候補地点の底質と海藻の垂直分布（寺脇, 1991 より）

3) 設置候補地点での礫の大きさとカジメの生育の関係の把握

設置するブロックの必要最小な大きさを決定するために、設置候補地点での砂底に点在する礫の大きさとカジメの生育の関係を調査した。その結果、礫の着生面の広さが 300cm²以上で生育しているカジメの個体数が、1000cm²以上で最大全長が、そして、2000cm²以上で生重量が一定値（近接する岩礁の群落内での値）となった（図-6-3 および4）。

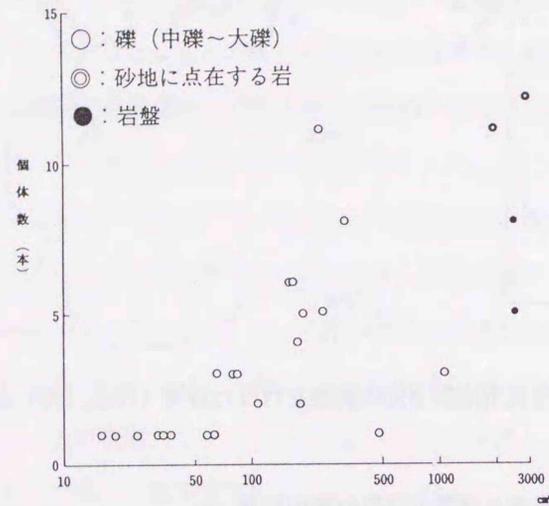


図-6-3 基盤の着生面の面積とカジメ個体数の関係（寺脇, 1988 より）

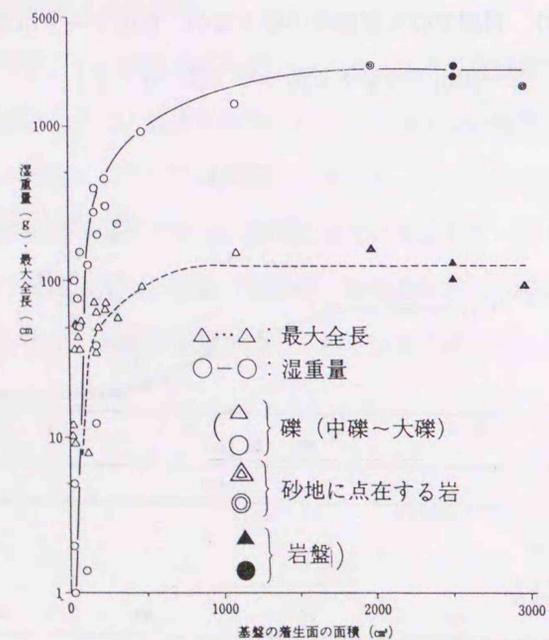


図-6-4 基盤の着生面の面積とカジメ最大全長および生重量との関係（寺脇, 1988 より）

4) 設置点周辺でのカジメの成熟時期の把握

設置工事後にブロック上に速やかにカジメを生育させるため、設置地点周辺の天然カジメ群落での成熟時期と幼体の生長を調査した。その結果、大型の成体のカジメで夏から秋に成熟が認められ、秋に出現していた中型体および小型体でも生長を続け、翌年の夏から秋に成熟した（図-6-5）。

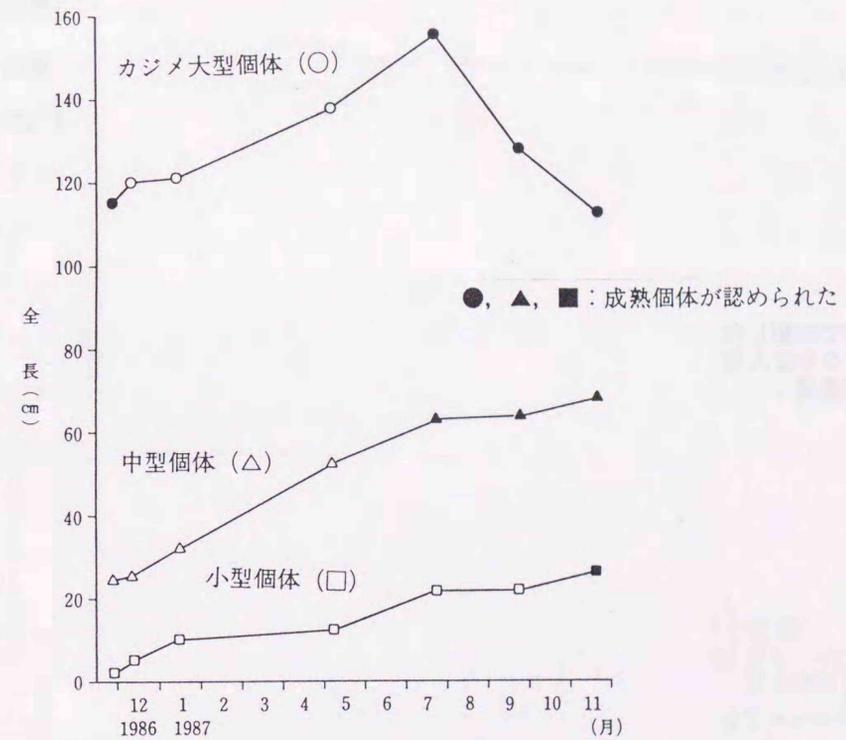


図-6-5 カジメの全長と成熟の季節変化（寺脇, 1988 より）

5) 実験用ブロックの作製

1986年10月28日に、大楠漁協の佐島港内の網干し場を製作ヤードとして、日本テトラポッド社製エックスブロックの型枠に生コン打ちを実施し、養生期間を約2週間とした。着生面（天端面+斜面）の面積が 0.2m²以上であり、砂面からの高さが異なる 0.5, 1, 2, 4 および 6 トンブロックを1個ずつ作製した。なお、それらの天端面には、表面形状を複雑にして、多様な環境を形成させ、アラメ・カジメ類の入植に効果が挙がるように（綿貫ら, 1988）、長径4~6cm, 短径2~3cmの礫（花崗岩）を、5~10cm間隔で埋め込んだ。

6) 実験用ブロックの投入・設置

1986年11月15日に、養生の終了したエックスブロックを、クレーン台船で設置候補地点へ運んだ。潜水して、鉄筋棒を砂底に突き刺すことによって砂層厚を測定し、岩礁に接した水深10mの砂底に、砂層厚が30(±3)cmの場所が認められたので、そこへ、ブロックを1~2m間隔で設置した(写真-6-2)。

佐島港で作製した
ブロックを投入地
点まで運搬



ブロックを1個ず
つクレーンで投入



天然群落と隣接す
る砂底に設置され
たブロック



写真-6-2 ブロックの設置作業の手順(寺脇, 1991より)

7) ブロックに生育した海藻類の調査

調査にあたっては、潜水して、砂底に設置されているブロックについての、海藻類を中心とした生物調査等を実施した。特に、1989年11月23日に、設置3年後の大きさ別ブロックの洗掘・埋没を調査し、各々の一脚分のアラメおよびカジメ藻体を全て刈り取り、個体別の全長および生重量を調べた。

2. 結果

設置3年後の大きさ別ブロックの洗掘・埋没およびカジメ群落の植生構造を模式図として、図-6-6に示した。

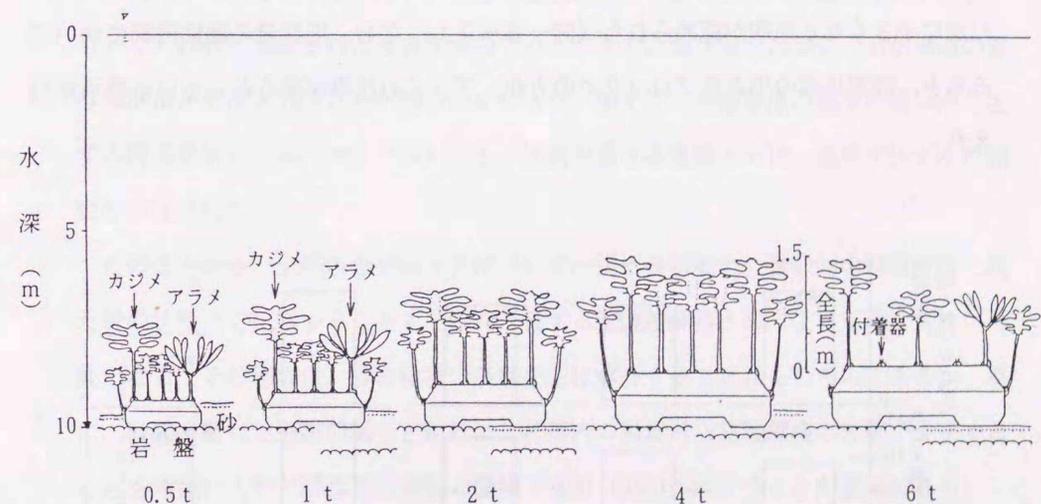


図-6-8 設置3年後の大きさ別ブロックの洗掘・埋没およびカジメ群落の植生構造(寺脇, 1991より)

設置3年後の大きさ別ブロックは、一部または全部の脚部が岩盤に着底(着岩)していたが、設定比高が35cm以上であったので、砂層厚30cmのこの地点では、砂に全体が埋没したブロックは無かった(表-6-1)。

表-6-1 砂底に設置3年後のブロックの洗掘・埋没(寺脇, 1991 を改変)

設置時(1986. 11. 15)		設置3年後(1989. 11. 23)		メ	モ
重量(t)	天端面の 設定比高(cm)	ブロック天端面から 砂面まで(cm)	ブロック下面から 岩盤まで(cm)		
0.5	35	5~15	0	全部着岩,	砂が堆積
1	45	25~45	0~30	一部着岩,	砂が侵食
2	55	55	0~30	一部着岩,	砂が侵食
4	70	50~70	0~10	一部着岩,	砂が侵食
6	75	75	0~20	一部着岩,	砂が侵食

設置3年後の大きさ別ブロックの天端面の砂の被度は、設定比高の最も小さい0.5tブロックでは100%に近かったが、ブロックが大きくなり、設定比高も大きくなるに従って、低くなった。現存量では、混生していたアラメも含めて表示したが、6tブロックを除いて、1.5kg/m²で、ブロックの大きさにかかわらず類似していた。生育していたカジメの最大全長では、0.5tブロックの100cmから、4tブロックの150cmまで、設定比高が大きくなるに従って大きくなった。しかし、カジメの個体密度では、最大全長とは逆に小さくなる傾向が認められた(図-6-7)。なお、現存量の種別内訳についてみると、設定比高の小さなブロックの方が、アラメの比率が高くなっている様子が伺えた。

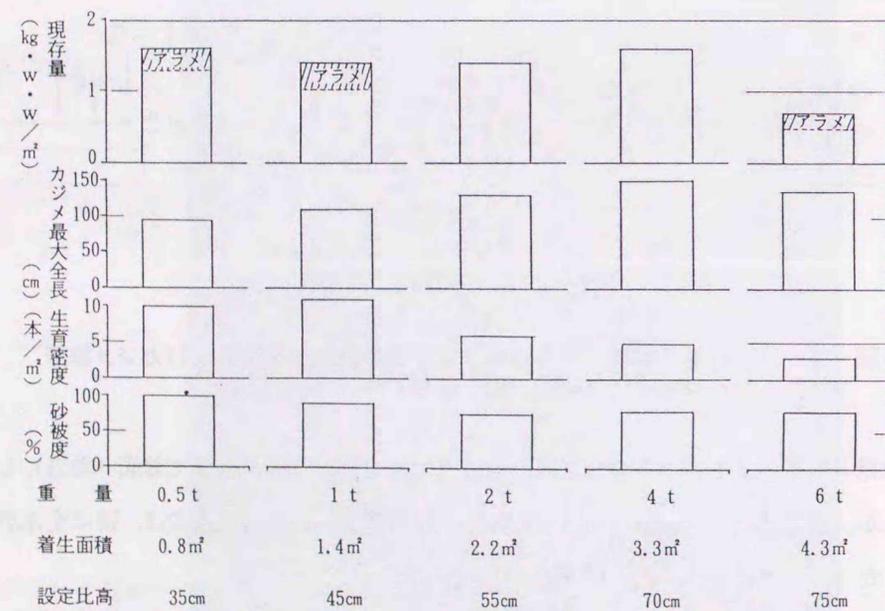


図-6-7 設置3年後の大きさ別ブロックでのカジメ群落の構造(寺脇, 1991 より)

3. 考察

1) 同時に設置された設定比高の異なるブロックでのカジメ群落の植生構造

設定比高の最も大きな6tブロックで現存量が小さかった原因は、ブロック表面にカジメの大きな付着器が多数認められた(図-6-6)ことから、調査の直前に、カジメ成体の一部が枯死・流失したためと考えられる。天然群落では、カジメの群落は3年で更新される(前川, 1990)場合が多く、本研究での砂底から離れた岩礁でも、約3年後には刈り取った以前の水準の群落に回復していた(第3章-4)。これらのことから、設定比高が最も大きく、砂層厚分の30cm埋没しても依然として45cmの比高が確保される6tブロックでは、他のブロックにおけるよりも、群落の形成速度が幾分速く、そのため、4tブロック等において樹冠形成相に達していた本調査時点で、既に、次の群落の形成初期(ギャップ相)に移行していたものと推察される。

以上のことから、本地点では、ブロックの大きさによる設定比高の違いにより、砂の被度に示されるような、カジメ群落の形成に及ぼす砂の被覆の影響に差異が生じ、従って、砂底に設置された大きさ別のブロック上で、現存量では類似するが構造の異なる群落が形成されることが明らかになった。加えて、群落形成の速度の違いから生ずる群落更新の周期(サイクル)にも、比高の異なる基盤上では、差異が生ずる可能性が示唆された。

このことから、上述の各ブロックについて、更に長時間の、複数回の群落更新を経た後の状態まで把握することで、砂底と接する岩礁の群落との、より正確な対比が可能となる。その際には、砂の被覆の条件を主に解析することはもちろんであるが、更に、砂底と離れた岩礁の場合と同様に、群落内の局地的な立地環境の差異が反映することを考慮に入れた群落更新過程の理解(喜田, 1985)へ向かうことが重要である。

2) 砂底と離れた岩礁, 砂底に接する岩礁および砂底に設置したブロックの比較

砂底と離れた岩礁(第3章-3), 砂底と接する岩礁(第4章)および砂底に設置したブロック(本章)でのカジメ群落の構造と物理的環境条件との関係を表-6-2に整理した。ここでは、群落が維持される比高の定量的な検討を試みるため、カジメ藻体の密度および全長ともに最小になり、群落の凋落時期である秋の状態と比較を進める。なお、砂底からの比高については、砂底と接する岩礁では1年間の平均比高、設置ブロックについては、いずれも着岩しているので、設定比高と砂層厚30cm分を引

いた値の平均を用いた。なお、6tブロックについては、そのみ群落の更新期であるので、本検討からは除外することとした。

設置ブロック周辺の砂底は、機会あるたびに潜水して観察した結果からは、明瞭な平行型の砂漣が形成されている場合が多く、ブロックが洗掘をうけて砂が侵食され、着岩しているなど、浮遊砂のみならず漂砂による砂面の変動も生じており、かなり、波動の影響が認められた。すなわち、砂底に人工構造物を設置した場合、構造物前面での波動の影響による洗掘・埋没（本間・堀川、1985）が当ブロックにも作用しているが、その規模は、30cmの砂層を侵食し、逆に砂を堆積させる程度の大きさになっている。この理由は、波動に起因する漂砂に加え、潜水調査時に、時折大量の流失カジメ藻体が寄り集まっていたなどのことから察するに、笠島北岸でのいわゆる滞筋に相当して、第4章の天然群落の場合と比べて、通常的にかなりの流れも生じているためと推察される。かつ、球形センサー付光量子計を用いて、水深10mのカジメ群落上面と、同水深で砂底に設置したブロック表面とを比較したところ、ブロック表面では1桁も値が大きかった。すなわち、カジメ群落上では太陽光の藻体への吸着が著しいのに対して、浮遊砂や砂底での太陽光の反射など散乱光によって、隣接する岩礁の天然群落よりは、かなり浅所側の光条件、つまり、明るい光、海水流動の影響で舞い上げられた砂泥成分により、濁り易い環境に置かれていることを確認している。

これらのことから、調査した海域全体からみた波浪・流動度合では、砂底から離れた岩礁は地形類型IIIに、また、砂底と接する岩礁ではホンダワラ類も混生することから地形類型Iの環境に相当する（第3章-2）ので、砂底に設置したブロックではアラメとの混生も見られる地形類型IIの環境に相当させることについては、あまり無理のないことと判断した。しかし、砂底に設置したブロックに形成されたカジメ群落は、全体として、個体密度も低く、藻体も砂底に接する岩礁と比較しても小型であった。特に、4tブロックでは、砂面からの比高が0.6mで、砂底と接するカジメ群落の安定な存続の目安とした比高0.2mの3倍が確保されているにもかかわらず、砂の被度が80%あり、カジメの個体密度が、砂底から離れた群落での30%しか無いなど、全てのブロックで50%程度以下であった。

この理由は、ブロックの砂の被度に示されるように、漂砂ならびに浮遊砂による、カジメへの砂の被覆の影響が強かったためと推論される。さらに、地形的広がりをも有する砂底上で、カジメに対する生育基盤としての個々の重量数トンのブロックの規模

は極めて小さい。そのため、波動ならびに漂砂等による砂の被覆の影響に、浮遊砂、すなわち、砂泥の舞上げによる海水の濁りの影響、さらに、ブロック表面での高照度の影響などが加わっていると推察される。従って、それらの影響が重なる地形類型IIのような環境において、カジメ群落に混生することで分布範囲を拡大するアラメ（図-3-10）が、本海域の自然の岩礁では分布下限水深以下の、水深10mにあるブロックに入植しているものと考えて差し支えない。

以上のことから、砂底と接するカジメ群落であれば浮遊砂影響域の比高範囲（0.9～0.4m）にあたる4tおよび2tブロックが漂砂との中間的な影響を、また、漂砂との中間影響域の比高範囲（0.2～0.1m）にあたる0.5tブロックでは漂砂の影響をより強く受けた群落の植生構造になっているものと結論された。

ただし、ブロック上でのより長期の群落更新の過程における、種組成変化についても、前項で述べたように、今後、調査を継続して解明することが重要である。

表-6-2 砂底と離れた岩礁、砂底と接する岩礁および砂底に設置したブロックでのカジメ群落の構造と物理的環境条件との関係

砂底からの比高(m)	該 当 す る 調 査 区		
	離れた岩礁 (1987.11)	接する岩礁 (1988.11)	設置ブロック (1987.11)
	砂被度 カジメ (%) (本/m ²)	砂被度 カジメ エドウモク (%) (本/m ²)	砂被度 カジメ アラメ (%) (本/m ²)
1 < 10m区	0	18	
~0.9		第6層 + 13 0	
~0.8		第5層 + 18 3	
~0.7			
~0.6		第4層 + 11 15	4t 80 5 0
~0.5			
~0.4		第3層 1 15 8	2t 75 6 0
~0.3			1t 90 10 1
~0.2		第2層 8 6 10	0.5t 100 9 1
~0.1		第1層 44 8 5	
砂の被覆	無	< 小 (主に浮遊砂)	< 大 (漂砂と浮遊砂)
砂面変動	—	< 小 (~0.3m)	< 大 (0.3m~)
砂漣	—	< 小 (亀甲型)	< 大 (平行型)
波動	大	> 小	< 中
基盤規模	大 (?)	> 中 (100 m ² ~)	> 小 (~4 m ²)
光量	小 (藻体吸収)	< 中 (砂底から反射)	< 大 (全周囲砂底)
海水濁り	小	< 中 (浮遊砂など)	< 大 (浮遊砂など)
地形類型	IIIに相当	Iに相当	IIに相当
現存量	大	> 中	> 小
植生構造	カジメの密生	カジメ・ホンダワラの疎な混生	アラメ・カジメの疎な混生

3) 人為的に海藻群落を形成させる技術へのまとめ

砂底に人工的に設置する基盤上では、自然の岩礁での群落形成の機構が同様に作用することは確実であるが、その影響が、基盤の埋没を考慮に入れるなど、漂砂ならびに浮遊砂の両者とも強まることが分かった。そこで、設置する基盤の規模と自然環境の作用の規模の差異を考慮し、アラメ・カジメ類の海中林などを構成する大型海藻類の群落を形成させる技術開発の観点からは、対象海藻類からみたより厳しい環境条件を想定することが重要になる。すなわち、漂砂により砂面高が変化する点からは砂面からの比高の確保を、また、浮遊砂の沈降・堆積の点からは砂の堆積の影響を受けにくい基盤の表面形状の工夫を含む、より好適な生育基盤を設計・造成する態度が求められることになろう。そのためには、生物自体についてのますますの研究の進展が不可欠であるが、一方で、生物情報に結合する構想の下に、具体的に、より制御可能な領域としての、波浪・漂砂などの物理的環境の観測・解析面の進歩も重要である。これらの水準がそれぞれに向上することにより、より微妙なレベルの環境制御が可能となって、海藻群落の形成に関しても、種組成などの植生構造の人為的な設定技術に通ずる知見が生かされることになる。

4. 要約

生態の精密調査を実施した海域において、水深10mで砂層厚30cmの海底に、ブロックの上面の高さ35, 45, 55, 70および75cmのブロックを設置し、3年間のブロックの洗掘・埋没および砂面からの設定比高別のカジメ群落の植生構造を把握するための海域実験を実施した。

調査終了時まで、全体が砂に埋没したブロックは無かった。ブロックの天端面の砂被度は、設定比高の最も小さい0.5tブロックでは100%に近かったが、比高が大きくなるに従って小さくなった。

砂底に設置したブロックに形成されたカジメ群落は、全体として、個体密度が低く、藻体も砂底に接する岩礁と比較しても小型で、砂底から離れた群落に対比して、秋の凋落期で個体密度が50%以下の不安定な存続状態と判断された。その理由は、波動がかなり強いいため、砂面の変動が大きく、カジメへの砂の被覆の影響が強かったためである。また、砂底におけるブロックの、生育基盤としての規模が極めて小さいために、浮遊砂などによる海水の濁りの影響が明瞭に現れ、水深が深くても散乱光のために明るいことも

加わって、浅所で、波動、砂の被覆、海水の濁り、さらに高照度の影響の強い環境により適したアラメが、自然の岩礁での分布下限水深以下の水深10mに設置されたブロックに入植していると結論された。

従って、砂底に人工的に設置する基盤上では、自然の岩礁での群落形成の機構が同様に作用するが、特に、漂砂ならびに浮遊砂の影響が強まるなどの、基盤の規模と自然環境の作用の規模の差異を考慮する必要性が大きい。特に、藻場を構成する大型海藻類からみた、より厳しい環境条件を想定し、砂底と接する岩礁で安定群落が存続する比高の3倍程度以上の砂面からの比高の確保、および浮遊砂の堆積の影響を受けにくい基盤の表面形状の工夫を含む、好適な生育基盤を設計・造成する態度が肝要である。そのためには、生物調査および物理的環境の測定・解析面の進歩が重要で、これらの水準の向上により、微妙なレベルの環境制御が可能となり、植生構造等の設計技術に通ずる知見が生かされることになる。

第7章 総合考察

本研究では、海藻の生活型と遷移の理論(片田, 1963)の現地での理解を基本的な観点とし、海藻群落の植生構造と波動(Yoshida, et al., 1963)、漂砂(今野, 1984)および藻食動物の採食(新井・新井, 1984)などの条件との関係に着目した知見を背景に、大型褐藻のアラメおよびカジメ両種の群落の植生構造に及ぼす砂の被覆の影響について、物理的環境の測定結果との総合化による定量的な検討を進めた。その結果、

- ①アラメおよびカジメの地理的分布範囲内でも、砂の被覆は、藻体の生育への直接的な制限も引き起こす一方で、藻食動物の採食圧を下げる方向にも作用するなど、局地的に、群落形成に重大に関与すること。
- ②三浦半島西部は、群落形成に関する光量および藻食動物に因る制限がほとんど無視できる範囲が存在するため、砂底から離れ砂の被覆の影響も無視できる群落の詳細な生態を把握し、砂底と接する岩礁での生態、ならびに、砂底に設置したブロックに実験的に形成させたカジメ群落の植生構造の理解に適した海域であること。
- ③砂底と接する岩礁での群落の生態と環境条件については、群落別に整理した。水深の浅いアラメ群落では、砂が主に波浪の影響で常時激しく動き、砂の侵食および堆積が繰り返されるため、比高の小さい層ではアラメが生育せず、より砂の被覆の影響に耐えられるホンダワラ類のオオバモクが生育し、比高の大きい層には極めてわずかの砂が被覆するのみであること。一方、水深の深いカジメ群落では、砂が主に流れの影響で穏やかに動き、全層に徐々に砂が堆積することにより、カジメの生育が抑えられ、ホンダワラ類のエンドウモクが全層に亘って混生す状態となる機構であること。そして、砂底から離れた群落での個体密度に対して50%以上と仮定した基準を満たすという意味での、群落が安定して存続するための年間平均比高は、アラメでは30cm以上、カジメでは20cm以上が必要であること。
- ④アラメとカジメ藻体への砂の被覆の影響は、細菌の繁殖による藻体の分解によるため、高温、および表皮が未発達な初期の発育段階の藻体ほど、また、葉部生長点部分および新根で傷害が大きく現われ、カジメのほうがアラメより影響を受けやすいこと。
- ⑤砂底に設置したブロックに形成されたカジメ群落は、地形的に波動がかなり強いために砂面が変動し易く、砂底におけるブロックの生育基盤としての規模の小ささもあって、カジメへの砂の被覆の影響が明瞭に現われ、個体密度も低く、藻体も小型であること。

さらに、波動がかなり強く、浮遊砂などによる海水の濁りも大きく、水深が深くても砂底での反射光(散乱光)のために明るいことも加わって、自然の岩礁ではカジメより浅所に分布するアラメが、本海域での分布下限水深以下の水深10mに設置されたブロックに入植しやすいこと。

などを明らかにし、人為的に海藻群落を形成させる技術へのまとめとして、

- ⑥砂底に人工的に設置する基盤上では、自然の岩礁での群落形成の機構が同様に作用するが、特に漂砂ならびに浮遊砂の影響が強まるため、基盤の規模と自然環境の作用の規模の差異に因る、より厳しい環境条件を想定し、砂底と接する岩礁で群落が安定して存続する比高の3倍程度以上の比高を確保するなどの、より好適な生育基盤を設計・造成する態度が肝要であること。

を、導いた。

以上のことから、砂底に造成した基盤上に、人為的な管理をできるだけ減らして、安定で持続するアラメおよびカジメ群落を形成させる技術開発に際して、砂の被覆と群落の植生構造との関係を定量的に把握することにより、生育基盤の造成適地の選定および基盤の基本構造の決定に資する基礎的知見を得るという、本研究の目的については達成した。

同時に、本研究の成果は、海洋の生態系を構成する生物群集に関する理解の進歩の段階として、特に、海浜域でも、所々に岩礁域が入り組んでおり、複雑な環境条件となるために、多様な生物が生息して“磯浜群系”と定義される(西村, 1972)が、その概念の発達に比して実態の把握が進みづらい領域について、岩礁の海藻群落を中心におき、生物・物理両面の知見の集積に資してきたことにもなる。

今後、大型海藻群落を形成させる技術に関する問題意識が、研究段階から、多数箇所の沿岸域における事業段階へ移行しつつある現状において、より多様な海藻群落について、更なる調査・実験による検証の必要性が、ますます認識されることになろう。

そこで、本研究の成果を踏まえ、上述の“磯浜群系”に関する更なる理解の進展を指向して、地域ならびに地球規模での環境の保全に資する位置付けでの、今後の研究の方向性について、以下の3点に整理した。

- ①海藻群落を形成させる大規模な試験・事業の計画の際にも、現地海域の実態(生態系)の正確な把握が最も重要であることから、対象とする海域での、海藻類を含めた底生生物の系統分類に通ずる生物学上の基礎的知見を並行して集積し、それぞれの成果の、世界的規模での比較が可能な状態に導くこと。

②生物面では、主に、藻食動物の採食圧の影響についても、砂の被覆が大きく関与することが示唆されたことから、砂の被覆の影響域内での、海藻類を含む底生生物群集としての、生育基盤の競合等の視点から統一的な理解に向かうこと。

③物理面では、生物情報との対応が可能な程度まで物理的環境条件の観測・解析の精度を向上させるとともに、岩種および風化程度などによって左右される硬度等の生育基盤の性状の変化と海藻群落を含む底生生物群集の形成との関係について、より長期的で総合的な視点からの理解へ向かうこと。

以上の、いずれの研究または事業に関しても、実施が実海域においてである限り、本研究で用いたような、現地での生態調査と実験を中心におき、室内実験も組み合わせる意味での実験生態学的手法が極めて有効となる。

摘要

1. 沿岸域で大型の海藻群落によって形成される藻場は、生態系、食糧、エネルギーおよびレジャーの面から重要になっているが、近年、埋め立てなどによって衰退しているため、その保全と維持が緊急の課題となっている。そこで、大型褐藻アラメおよびカジメを対象とし、できるだけ人為的な管理を必要としない群落の形成技術の開発に資するため、群落の植生構造に及ぼす砂の被覆の影響について、砂面変動および波浪などの物理的環境の観測結果との総合化による定量的な検討を進めた。
2. アラメ・カジメ類の生育を制限する重要な要因について、現地海域での実態を潜水して観察した。その結果、アラメおよびカジメの地理的分布範囲内でも、砂の被覆は、藻体の埋没などによる直接的な生育の制限も引き起こす一方で、藻食動物の採食圧を下げる方向にも作用することが示唆されるなど、他の要因とも係わり合いながら、局地的には群落形成に重大な関与を有することが分かった。
3. 両種の地理的分布範囲内である三浦半島において、群落形成に関する光量および藻食動物の採食圧の影響が無視でき、かつ、砂底から離れているために砂の被覆の影響も無視できる群落の季節変化および形成過程を把握するとともに、砂底と接する岩礁での群落の調査地点を探索した。その結果、アラメ群落では水深2~4mの、一方、カジメ群落では水深8~11mの砂底と接する岩礁の群落に調査区を設定すれば、光量および藻食動物の採食圧の影響を無視でき、残る重要な生育制限要因である砂の被覆についての精密な調査の実施に適していることが分かった。
4. 砂底に接する岩礁でのアラメおよびカジメ群落についての観察、近接する砂底での砂面変動、および、浅海域での漂砂の主因である波浪条件を通年に亘り連続的に観測し、群落の分布および植生構造と砂の作用の関係を定量的に把握することに努めた。その結果から、群落が安定して存続するために必要な砂面からの比高は、年間の平均比高で、アラメでは30cm、カジメでは20cmであることを明らかにした。また、アラメ区では、主に波浪により砂が常時激しく動いており、漂砂に伴う砂の侵食によって裸面の新生が起こる一方で、砂の堆積により比高の小さい層ではアラメが生育せず、より砂の被覆の影響に耐えられるホンダワラ類のオオバモクが生育する。また、アラメ区では、比高の大きい層に極めてわずかの砂が被覆するのみであるが、カジメ区では、主に流れにより砂が穏やかに動き、全層に徐々に浮遊砂が堆積することにより、カジメの生育が抑えられ

て、ホンダワラ類のエンドウモクが全層に亘って混生する状態となる機構を明らかにした。

5. 群落構造への砂の被覆の影響を最も決定づける、アラメおよびカジメの個体に対する砂の被覆の影響について、室内実験により詳細な検討を進めた。その結果、砂の被覆の影響は、第一義的にはバクテリアの繁殖にともなう藻体（有機物）の分解によると推察された。従って、バクテリアの繁殖条件として、高温ほど、また、表皮が未発達なため容易にバクテリアの侵食を受けやすい初期発育段階の藻体ほど、さらに、同じ理由により、葉部生長点部分および新根で影響が、傷害として大きく現れる。なお、カジメ藻体のほうがアラメ藻体より、砂の被覆による影響を受けやすいことが明らかになった。
6. カジメが群落を形成している岩礁に近接する砂底において、耐波浪性を有し、かつ、砂底からの高さが異なる生育基盤（コンクリートブロック）を設置し、形成期のカジメ群落の植生構造におよぼす砂の被覆の影響を明らかにすることを試みた。その結果、水深10mで、砂層厚30cmの砂底に設置した、高さ75cm以下のブロックに形成されたカジメ群落は、全体として、個体密度も低く、藻体も砂底に接する岩礁と比較して小型であった。その理由は、波動がかなり強いこと、砂面が変動し易かったこと、砂底上におけるブロックの生育基盤としての規模が極めて小さいために、カジメへの砂の被覆の影響が明瞭になるためと推察された。さらに、波動がかなり強いこと、浮遊砂などによる海水の濁りが大きいこと、水深が深くても砂底での反射光（散乱光）のために明るいことなども加わり、カジメより浅所で不安定な環境に分布するアラメが、自然の岩礁での垂直分布の下限以下の水深にあるブロック上に入植しやすくなると結論された。
7. 砂底に人工的に造成する基盤上では、藻場を構成する大型海藻の群落形成に及ぼす漂砂ならびに浮遊砂の影響が強まるため、基盤と自然環境の作用の規模の差異の考慮が重要になり、対象とする海藻類からみて、より厳しい環境条件を想定し、砂底と接する岩礁で群落が安定に存続する比高の3倍程度以上の比高を確保することが必要であるなどの、より好適な基盤の構造ならびに形状等を決定するための基礎資料が得られた。
8. 本研究の成果を踏まえ、大型海藻群落を形成させる技術に関する問題意識が、研究段階から複数海域での事業段階へ移行している現状において、海浜域、特に、所々に岩礁域が入り組んで、複雑な環境条件となり、多様な生物が生息する“磯浜”の生態系の、より正確な把握を指向し、地域ならびに地球規模での環境保全に資する位置づけでの、今後の研究の方向性について考察した。

要結

摘要を総合化して、以下の4点に要結した。

- 1) 岩礁での砂の被覆によってアラメおよびカジメに高率の枯死が生じることから、砂の堆積・侵食がアラメおよびカジメの入植、群落の植生構造ならびに群落維持に影響を及ぼすことを明らかにした。そして、砂の被覆の影響は、生育基盤の砂面からの比高、水深、波浪および漂砂に伴う砂面変動ならびに浮遊砂などの物理環境条件の組み合わせにより、量的・質的に変化した。
- 2) カジメでは、砂の被覆により、付着器を構成する樹枝状の根および葉部の生長点が、アラメよりも容易に傷害を受けた。このことなどから、砂底と接する岩礁でのカジメ群落では、砂の被覆への耐性がカジメより大きなホンダワラ類が混生することにより、アラメ群落よりも植生構造に大きな影響が生じる機構を明らかにした。
- 3) 砂底に設置したコンクリートブロック（人工基盤）上に、3年後にはカジメ群落が形成されたが、砂面からの比高が小さいことから、小型のカジメ藻体が低密度に生育するなど、砂の被覆の影響により植生構造に変化が生じ、不安定な存続状態となっていた。従って、砂底に設置したコンクリートブロックにおける群落の立地環境は、自然の岩礁より波動、漂砂、浮遊砂による海水の濁り、および散乱光により光量とも大きいことから、浅所で、カジメより不安定な環境に分布するアラメが入植しやすいと結論した。
- 4) 以上から、砂底に大型海藻群落を形成させるための人工的基盤を造成する際の、適地の選定および好適な基盤構造・形状の決定に資する基礎的な知見が得られた。さらに、それらを踏まえ、海浜域、特に、所々に岩礁域が入り組んで、複雑な環境条件となり、多様な生物が生息する“磯浜”の生態系の正確な把握を指向し、地域ならびに地球規模での環境の保全に資する位置づけでの、今後の研究の方向性について考察した。

謝辞

本研究の遂行を終始暖かく見守り、また、本稿をまとめるに際して種々の有益なご助言と励ましをいただいた北海道大学大学院環境科学研究科教授の吉田忠生博士に心から厚くお礼申しあげる。また、同じく環境科学研究科教授の伊藤浩司博士ならびに理学部助教授の増田道夫博士、川井浩史博士、小亀一弘氏には、本稿の作成中さまざまな面で暖かいお心使いをいただいた。

本研究の機会を与えられた(財)電力中央研究所前理事長の成田浩氏、論文作成に対して便宜をいただいた現理事長の依田直氏、同じく我孫子研究所長の江刺靖之博士ならびに水理部長の片野尚明博士に謝意を表す。更に、同じく水理部水域環境室の元室長の荒木洋氏(現在は人事部)、現室長の川崎保夫氏、後藤弘氏(現在は広報部)、山田貞夫氏、本多正樹氏、ならびに、同じく構造水理研究室の丸山康樹博士(現在は経営調査室)、清水隆夫氏(現在は企画部)および長谷川寛氏には、研究業務の遂行を通じて多大な援助を賜ったので、記してお礼申し上げる。

本研究では、現地調査地点の確保ならびに調査船の便宜を図っていただくことなどに関して、福島県水産試験場の磯上孝太郎氏(現在は福島県栽培漁業センター)、神奈川県水産試験場の今井利為氏、横須賀市立博物館の林公義博士のお世話になった。また、福島県いわき市竜ヶ崎漁業協同組合、小田原市米神漁業協同組合、特に、横須賀市大楠漁業協同組合では、本所、佐島支所および秋谷支所の各所に亘って、現地調査の遂行に際し、多大なご協力をいただいた。

本研究に係わる文献の収集整理に際しては芙蓉海洋開発株式会社の月館真理雄氏に、現地調査の実施に当たっては、株式会社東京久栄の伊東宏氏を中心とする担当の方、また、三洋テクノマリン株式会社の中嶋泰氏を中心とする担当の方にも、中でも潜水観察などに関してケイマツダイビングサービスおよび東海アクアノーツの方々に、業務を通じてご協力をいただき、大変お世話になったので厚く感謝する。

海域実験の主旨を理解いただき、コンクリートブロック作製のための型枠の便宜などをはかって下さった日本テトラポッド株式会社応用水理研究所の綿貫啓氏、また、室内実験の実施などに際してお世話になった電力中央研究所生物部の飯塚貞二氏(現在は株式会社環境リサーチは出向中)に感謝する。

本研究のとりまとめに際して、それぞれ異なった視点から有益な議論を頂いた、阿寒町

教育委員会の若菜勇博士、釧路水産試験場の名畑進一氏、北海道大学大学院環境科学研究科の中井秀樹氏、北海道電力株式会社総合研究所の前林衛氏、株式会社西村組の山田俊郎氏、財団法人海洋生物環境研究所の太田雅隆博士、馬場将輔博士、同じく山本正之氏、富山県水産試験場の藤田大介博士、芙蓉海洋開発株式会社の平松亘氏、高知大学海洋生物教育研究センター教授の大野正夫博士、同じく筒井功氏(現在は海外青年協力隊)、宮崎県水産試験場の成原淳一氏(現在は宮崎県庁)および田代一洋氏(現在は宮崎県栽培漁業センター)に謝意を表す。

最後に、業務を通じての調査ならびに実験へのご協力はもちろん含め、潜水による生態観察ならびに実験生態学的手法への興味を喚起させる等、一貫して、研究の方向性に関する議論を頂きつつ、実施面でも大変お世話になった株式会社海藻研究所の新井章吾氏、また、海中景観などの多くの模式図作成を通じての議論ならびに室内実験の作業の実際においてご協力をいただいた新井朱美氏のご夫婦兩人に対して、最大の謝意を表す。

参考文献

- 秋山和夫(1977)ワカメの壺状菌—特に芽落ちとの関連について—, 東北水研研報, 37: 43-49.
- 秋山和夫・谷口和也(1981)適地の選定と育成種苗の定着, マリ-ソフソグ 計画昭和55年度 I-6 課題研究成績報告書:35-39.
- 新井章吾・新井朱美(1984)海藻の遷移に及ぼす採食の影響 I, 藻類, 32:43-51.
- 新井章吾(1990)アワビ餌料環境の諸問題, 水産土木, 26:25-32.
- 新井章吾・種倉俊之・吉田忠生(1990)ウスイロモク, フシスジモク, フシイトモクの付着器の形態について, 藻類, 38:97.
- 新井章吾・筒井功・寺脇利信(1991)三浦半島における大型褐藻クロメの分布と形態, 藻類 39: 104.
- 新崎盛敏(1953)アラメに就いて, 藻類, 1:9-13.
- 新崎盛敏(1976)海藻の生態, 海洋科学基礎講座 5, 海藻・ベントス, 93-147, 東海大学出版会.
- 有賀祐勝(1983)アラメ・カジメの生理特性, マリ-ソフソグ 計画昭和57年度I-6 課題 (有用海藻群落) 研究成績報告書:19-27.
- Chapman, A. R. O. (1981) Stability of sea urchin dominated barren grounds following destructive grazing of kelp in Margaret's Bay, eastern Canada. Mar. Biol. 62:307-331.
- 千原光雄・横浜康継(1981)大型褐藻カジメ群落の生産量, 海洋の生物過程とその開発利用に関する基礎研究, 昭和56年度研究成果報告書:38-41.
- 中国電力株式会社(1985)柳井発電所周辺藻場調査 第4報 アマモ移植実験に関する調査報告書, 34pp.
- Daly, M. A. and Mathieson, A. C. (1977) The effect of sand movement on intertidal seaweeds and selected invertebrates at Bound Rock, New Hampshire, USA. Mar. Biol., 43:45-55.
- D'Antonio, C. M. (1986) Role of sand in the domination of hard substrata by the intertidal alga *Rhodomela larix*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 27:263-275.
- 土木学会(1985)水理公式集.

- 後藤弘・伊藤康夫(1988)石炭灰利用人工藻礁の開発—アラメ・カジメの配偶体および幼孢子体の成長に対する光量の影響—電中研研報, U88038, 27pp.
- Harrold, C. and J. S. Pearse(1987)The Ecological Role of Echinoderms in Kelp Bed. Echinoderms Studies. Vol. 2, 320pp.
- 林田文郎(1984)カジメの群落生態学的研究—II カジメの成長について, 東海大学紀要海洋学部, 18:275-280.
- 林田文郎(1986)カジメの群落生態学的研究—III カジメ群落の構造について, 東海大学紀要海洋学部, 22:159-169.
- 秀島好昭・上北征男(1983)藻場の底層付近の流況と藻の分布, 水産土木, 21:55-63.
- 日隅邦夫・石川佑司(1983)アラメとアカモクの栄養塩吸収に関する研究—I 吸収速度について, 大分浅海漁試研報, 5:1-9.
- 本間仁・堀川清司(1985)海岸環境工学—海岸過程の理論・観測・予測方法, 東京大学出版会, 582pp.
- 宝月欣二・吉良竜夫・岩城英雄(1972)環境の科学—自然・生物・人類のシステムをさぐる NHK市民大学叢書25, 409pp.
- 伊藤浩司(1990)環境科学試考, 北海道大学大学院環境科学研究科邦文紀要, 5:1-7.
- 岩橋義人(1968)伊豆半島沿岸のアラメ, カジメの生態学的研究—I カジメの生長, 静岡水試研報, 1:27-31.
- 岩橋義人(1971)伊豆半島沿岸のアラメ, カジメの生態学的研究—III カジメ群落の年級群の交代について, 静岡水試研報, 4:37-39.
- 岩田静男・池田文雄・松山優治(1982)相模湾沿岸の流れの変動について—2, 神奈川水試研報, 4:43-48.
- 海上保安庁(1988)昭和63年 潮汐表 第1巻 日本及び近海.
- 片田実(1963)海藻の生活形と遷移, 日水誌, 29:798-808.
- 片田実(1973)養殖環境と発病 環境, 水産学シリーズ2 のりの病気(水産学会編), 81-93, 恒星社厚生閣.
- 環境庁(1991)環境白書(総説)—環境保全型社会への変革に向けて—, 242pp. 大蔵省印刷局.
- 川崎保夫・山田貞夫(1991)海中砂漠緑化技術の開発 第5報 アラメ, カジメ, クロメの配偶体および幼孢子体に対する成長限界光量と浮泥堆積量, 電中研研報,

- U91034, 22pp.
- 川嶋昭二(1989)日本産コンブ類図鑑. 北日本海洋センター, 215pp.
- 喜田和四郎(1985)アラメ・カジメの群落生態. 海洋科学, 17:751-759.
- 喜田和四郎・前川行幸(1981)アラメ・カジメ群落の構造. マリ-ソフツィング 計画昭和55年度I-6 課題研究成績報告書, 15-28.
- 喜田和四郎・前川行幸(1982)アラメ・カジメの群落に関する生態学的研究-I 志摩半島 御座岬周辺における群落の分布と構造. 三重大水実研報, 3:41-54.
- 菊池泰二(1973)藻場生態系. 海洋学講座9, 海洋生態学(山本護太郎編), 23-37, 東京大学出版会.
- 木村喬久・絵面良男・田島研一(1976)気仙沼湾におけるワカメあなあき症ならびにワカメ 養殖環境の微生物学的検討. 東北水研研報, 36:57-65.
- 木下虎一郎(1947)コンブとワカメの増殖に関する研究. 北方出版社, 札幌.
- 小島博(1981)徳島県産アラメの個体生長と生殖周期. 南西海区ワカメ会議藻類研究会誌, 1:13-19.
- 小島博・森啓介・上田幸男(1987)南方域アラメ・カジメ海中林の造成手法-アラメ・カジメの分布構造と葉面積について-昭和61年度マリ-ソフツィング 計画ワカメレポート アラメ・カジメ(1):7-16.
- 今野敏徳・中嶋泰(1980)丹後半島五色浜周辺(京都府網野町海中公園候補地)の海藻植生 について. 海中公園センター報告, 69:23-52.
- 今野敏徳(1984)漸深帯海藻群落の構造と群落形成に関する実験的研究. 北海道大学学位論文(理学). 390pp.
- 今野敏徳(1985)漸深帯固着生物の分布に及ぼす岩面傾斜度の影響. 東京水産大研報, 72: 99-109.
- 今野敏徳・泉伸一・竹内慎太郎(1985)漸深帯大型海藻の帯状分布に及ぼす波浪の影響. 東京水産大研報, 72:85-97.
- 丸山康樹・清水隆夫(1986)岸沖地形変化予測モデルの開発と検証. 電中研研報, U86014, 44pp.
- 丸山康樹(1987)海底地形変化予測モデルの現地適用性. 電中研研報, U87012, 35pp.
- 丸山康樹・五十嵐由雄・石川雄介・川崎保夫(1988)電源立地地点の藻場造成技術の開発 第8報 アマモ場造成適地の砂地盤安定度の推定手法. 電中研研報, U87069, 24pp

- 前川行幸(1990)カジメ海中林の構造と更新過程. 沿岸海洋研究ノート, 27:157-166.
- 前川行幸・喜田和四郎・横浜康継・有賀祐勝(1988)褐藻アラメおよびカジメ幼体の光要因 からみた生育限界の比較. 藻類, 36:166-174.
- 中久喜昭(1979)褐藻類の発芽, 生長に及ぼす光量の影響について. 昭和53年度徳島水試事 報: 260-262.
- 中久喜昭・小島博(1981)海部海岸の藻類分布調査-V. 昭和55年度徳島水試事報:81-86.
- 中嶋泰・今野敏徳(1979a)千葉県小湊の漸深帯に生育するホンダワラ属海藻の成熟・卵放 出期間. 藻類, 27:53.
- 中嶋泰・今野敏徳(1979b)千葉県小湊の漸深帯に生育するホンダワラ属海藻の季節的消長 藻類, 27:54.
- 成原淳一・寺脇利信(1992)宮崎県川南漁港の沖防波堤におけるクロメの生育. 水産増殖, 40:173-175.
- 日本海洋学会(1985)日本全国沿岸海洋誌. 沿岸海洋研究部会編, 東海大学出版会, 1077pp
- 西川博・吉田範秋(1978)人工採苗クロメ, アラメの生長と養成について. 水産増殖, 26: 6-15.
- 西村三郎(1972)海洋における生物群集の群系構造・分布・維持. 生態学研究シリーズ3 海の生態学(沼田真監修), 188-295. 築地書館.
- 農林水産技術会議事務局(1989)海洋牧場-マリーナランディング計画. 恒星社厚生閣.
- Noro, T. T. Masaki & H. Akioka(1983)Sublittoral distribution and reproductive periodocity of crustose coralline algae(Rhodophyta, Cryptonemiales) in southern Hokkaido, Japan. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 34:1-10.
- Norton, T. A., Ebling, F. J. and Kitching, J. A. (1971)Light and the distribution of organisms in a sea cave. in "Fourth European Marine Biology Symposium" 409-432, Cambridge University Press.
- 岡田要(1965)新日本動物図鑑, 上・中・下, 北隆館.
- 大分浅海漁試(1972)アラメの人工採苗と幼芽管理について. 昭和44・45年度大分浅海漁試 事報. 29-32.
- 大野正夫・石川美樹(1982)土佐湾カジメ類の生理生態学的研究-I 群落の周年変化. 宇 佐臨海研報, 4:59-73.
- 太田雅隆(1988)アラメ・カジメの配偶体の生長と成熟ならびに幼胞子体の生長に及ぼす水

- 温の影響. 海生研報, 88202, 29pp.
- 榊山勉・清水隆夫・斉藤昭三・鹿島遼一・丸山康樹(1986)砂漣の形状特性と消滅限界. 電中研報, 385050, 36pp.
- 清水隆夫・斉藤昭三・丸山康樹・長谷川寛・鹿島遼一(1985)大型造波水路実験による岸沖漂砂量分布形のモデル化. 電中研報, 384028, 60pp.
- 関文威(1976)生態学研究法講座11 水界微生物生態研究法. 共立出版, 126pp.
- 高間浩(1979a)海藻群落による相模湾の海域区分. 相模湾資源環境調査報告書-II:105-116.
- 高間浩(1979b)三浦市沿岸におけるアラメ・カジメの現存量と群落構造について. 相模湾資源環境調査報告書-II:137-151.
- 谷口和也(1991a)アラメの2~4歳個体の生長および成熟についての観察. 藻類, 39:43-47.
- 谷口和也(1991b)牡鹿半島沿岸の漸深帯における海底面剝削後の海藻の再入植. 東北水研報, 53:1-5.
- 谷口和也・秋山優(1982)アラメ配偶体の生長および成熟に対する水温と光条件. 東北水研報, 45:55-59.
- 谷口和也・加藤史彦(1984)褐藻類アラメの年齢と生長. 東北水研報, 46:15-19.
- 谷口和也・佐藤美知男・大和田淳(1986)磐城沿岸におけるアラメ群落の変動特性. 東北水研報, 48:49-57.
- 谷口和也・佐藤陽一・長田穰・末永浩章(1987)牡鹿半島沿岸におけるアラメ群落の構造. 東北水研報, 49:103-109.
- 月館潤一(1973)養殖環境と発病 微生物環境. 水産学シリーズ2 のりの病気(水産学会編), 105-113. 恒星社厚生閣.
- 月館潤一(1980)アラメ造胞体の幼体の生長に及ぼす水温, 塩分, 照度, 日照時間の影響. 大規模増殖場開発事業対象アラメの生理・生態に関する研究, 昭和53・54年度報告書, 1-20.
- Tsukidate, J. (1983)On the symbiotic relationship between *Porphyra* species and attached bacteria, and bacterial pathogen in white rot. Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab., 15:29-96.
- 月館真理雄・新井章吾・成原淳一(1991)宮崎県門川地先のカジメ群落の観察. 藻類, 39:

- 389-391.
- 筒井功・大野正夫(1992)和歌山県白浜産クロメの成長・成熟と形態の季節的变化. 藻類, 40:39-46.
- 徳田廣・大野正夫・小河久朗(1987)海藻資源養殖学. 水産養殖学講座10. 緑書房, 354pp.
- 徳島水試(1976)アラメ及びホンダワラ類の発芽成長に及ぼす光の影響について. 昭和51年度瀬戸内海海藻類研究会資料, 8pp.
- 綿貫啓・山本秀一・新井章吾(1988)ツルアラメ幼体の入植に及ぼす基質表面形状の影響. 水産増殖, 35:3-5.
- Yoshida, T., T. Sawada and M. Higaki(1963)*Sargassum* vegetation growing in the sea around Tuyazaki, north Kyushu, Japan. Pacific Science, 27:135-144.
- 吉田忠生(1970)アラメの物質生産に関する2, 3の知見. 東北水研報, 30:107-112.
- 吉田忠生(1973)宮城県松島湾の寒風沢島周辺における海藻群落について. えびの高原野外生物実験室研究業績第1号(細川隆英教授退官記念論文集):19-24.
- 吉田忠生・中嶋泰・中田由和(1985a)日本産海藻目録-1, 藻類, 33:57-74.
- 吉田忠生・中嶋泰・中田由和(1985b)日本産海藻目録-2, 藻類, 33:249-275.
- 吉田忠生・寺脇利信(1990)褐藻クロメのタイプ標本. 藻類, 38:187-188.

Summary

A study on the experimental ecology of establishment of marine macrophyte population of Eisenia bicyclis and Ecklonia cava (Laminariaceae, Phaeophyta).

Toshinobu TERAWAKI

An urgent necessity for conservation and maintainance of marine macrophyte bed, especially kelp forest consisting of Eisenia bicyclis and Ecklonia cava (Laminariaceae, Phaeophyta) becomes evident for healthy human activity and continuous recruitment of marine resources. In addition, creation of amenity area in the sea is increasingly recognized in relation to the urban development. The macrophyte bed in the shallow sea plays an important role in this context, and basic knowledge on ecology of these macrophyte community is indispensable for the development of techniques concerning the creation of macrophyte bed with minimum influence by man. The aim of this study is to provide ecological knowledge on the establishment of Eisenia and Ecklonia populations on the hard substrata artificially settled on the sea bottom.

Three environmental factors, namely the light intensity, sand cover on the substratum and grazing pressure by herbivorous benthic animals, have definitive effects on development and structure of macrophyte vegetation. The effects of these factors were preliminarily assessed separately in the field choosing suitable sites as well as laboratory experiments.

Ecklonia vegetation was surveyed in a submarine cave in relation to the light intensity. Density and plant size diminished and disappeared at light intensity of 1 % full light. In the presence of dense sea urchin population, Eisenia cannot grow well on the coast of Fukushima Prefecture. The substratum covered seasonally with drift sand exclude the Eisenia and Ecklonia plants.

The structure and distribution of Eisenia and Ecklonia were surveyed in a

area to the west of Miura Peninsula, Kanagawa Prefecture, Pacific coast of central Japan, where dense population is established in the favorable environment with low intensity of grazing. Eisenia occupies rather shallow range of -2 to -4 m deep and Ecklonia forms population on hard substrata of -5 to -18 m.

Fluctuation of sand accumulation on the hard substrata affects the colonization and continuation of Eisenia and Ecklonia populations. Successive observation in the field confirmed that the deep sand cover on the hard substrata caused high level of mortality and eliminated the Eisenia and Ecklonia plants. Vertical distance from the surface of sandy bottom to keep each population's stable continuance was +30 cm in the case of Eisenia and +20 cm in the case of Ecklonia populations by the yearly average values.

Laboratory experiments showed that the fibrous foldfast and growing point of Ecklonia are easily damaged by sand deposition than those of Eisenia. Species of Sargassum, other brown algal macrophyte, can tolerate the sand cover than Eisenia and Ecklonia. This affects the structure of macrophyte vegetation near sandy bottom, where a species of Sargassum grow in place of Ecklonia.

Artificial substrata of concrete blocks of various size were settled on the sandy bottom at about -10 m deep to follow up the process of establishment of vegetation on them. Ecklonia population developed on the blocks, with a half of density and slightly smaller plant size as on the natural habitat, in three years after setting. Smaller blocks were often covered by sand. The temporal coverage by sand on the blocks caused certain modification of vegetation structure. Smaller blocks supported shorter Ecklonia plants than taller and larger blocks. Several Eisenia individuals grew on the blocks mixing with Ecklonia. This might be caused by the higher water turbidity, stronger wave action, drift sand and insolation than on the natural rocks.

The results obtained in this study provide a basic information in creation of artificial macrophyte beds, in selecting suitable sites and proper planning of artificial substrata.

