

海中林造成技術の現状とメンテナンスフリー造成技術の考え方 Present state of the kelp bed creation techniques and an idea of maintenance free kelp bed creation

川崎 保夫*・寺脇 利信*・本多 正樹*
Yauo Kawasaki, Toshinobu Terawaki and Masaki Honda

Social needs are changing from the environmental conservation to the environment creation. And the local development and the creation of amenity are desired for the coastal development plans. We are studying on a maintenance free technique for kelp bed creation for this purpose. From the results of literature survey and interviews with the kelp researchers, we suggested some ideas related to maintenance free kelp bed creation. Based on three presuppositions, kelp bed creation on sandy sea bottom, setting only kelp bed, and maintenance free, we discussed about how to select the suitable site and time, and also the design of the kelp bed structure in this paper.

Keywords; kelp bed creation, coastal environment, sand bottom, literature survey

1. まえがき

社会のニーズが環境の保全から創造へと転換してきており、沿岸域の開発に当っては地域の振興と快適な環境創造の両立するものが望ましい。そこで我々は、電源立地地域の水産振興に役立つ技術としてアワビ、サザエ、ウニなどに餌を供給する場である海中林（コンブやアラメ・カジメ類の濃密な群落が形成されている場）造成技術の開発を進めている。

海中林を含め、藻場（大型海藻が濃密な群落を形成している場）の面積は全国で約18万haあり¹⁾、海藻が生育可能な20m以浅の海域面積の約6%にすぎない。海藻が生育していない場所の多くは砂または泥の堆積している場所であり²⁾、そこを岩礁に変えることにより海中林が形成されれば沿岸海域の生物生産性が増大すると考えられる。その際、造成面積が広くなればなるほど人為的にそこを管理することは困難になるので、砂地に着生基盤を設置するのみで、海中林が形成・維持されるメンテナンスフリーの造成技術開発が望まれている。そこで、海中林を構成する海藻種の分布や生育特性、海中林造成技術の現状についての文献調査および造成事例調査を実施し³⁾、メンテナンスフリー造成技術の考え方を整理したので報告する。

2. わが国における海中林の分布

わが国における海中林は寒流の影響を受ける海域に形成されるコンブ場と暖流の影響を受ける海域に形成されるアラメ・カジメ場に大別される。

コンブ場の水平分布域は北海道沿岸、太平洋側では茨城県北部沿岸まで、日本海側では津軽半島沿岸までである（図-1）。一方、アラメ・カジメ場のうち、アラメ場は岩手県米崎から豊後水道にいたる太平洋沿岸、瀬戸内海から玄海灘沿岸と広域に分布しており、カジメ場は房総半島から豊後水道にいたる太平洋沿岸、瀬戸内海と九州島原湾に、また、クロメ場は紀伊水道、瀬戸内海、豊後水道、日本海側の佐渡から島原湾にかけて分布している（図-2）。

垂直（水深）方向の分布についての報告は少ないが、コンブ類ではおよそ10数mまでで、大型になる種では比較的深い場所に生育する傾向がある。一方、アラメでは2～4m（最大15m）、カジメでは5～12m（最大30m付近）、クロメでは6～9m（最大26m）が生育の中心帯であり、アラメはカジメやクロメより浅い場所に生育しているようである。

3. 海中林構成種の生育特性

海中林の造成適地を選定するにはそれを構成する海藻種の生育特性を把握しておく必要がある。そこで、生育段階別に生理的要求について整理したのが表-1である。海藻種としてはマコンブ、ホソメコンブ、リシリコンブ、オニコンブ、ナガコンブ、アラメ、カジメ、クロメについて調べられており、水温、光量についての研究例が多く、塩分や栄養塩などに関する知見は限られた種類について調べられているのみである。また、限られた場

*（財）電力中央研究所 我孫子研究所 水理部 （270-11 千葉県我孫子市我孫子1646）

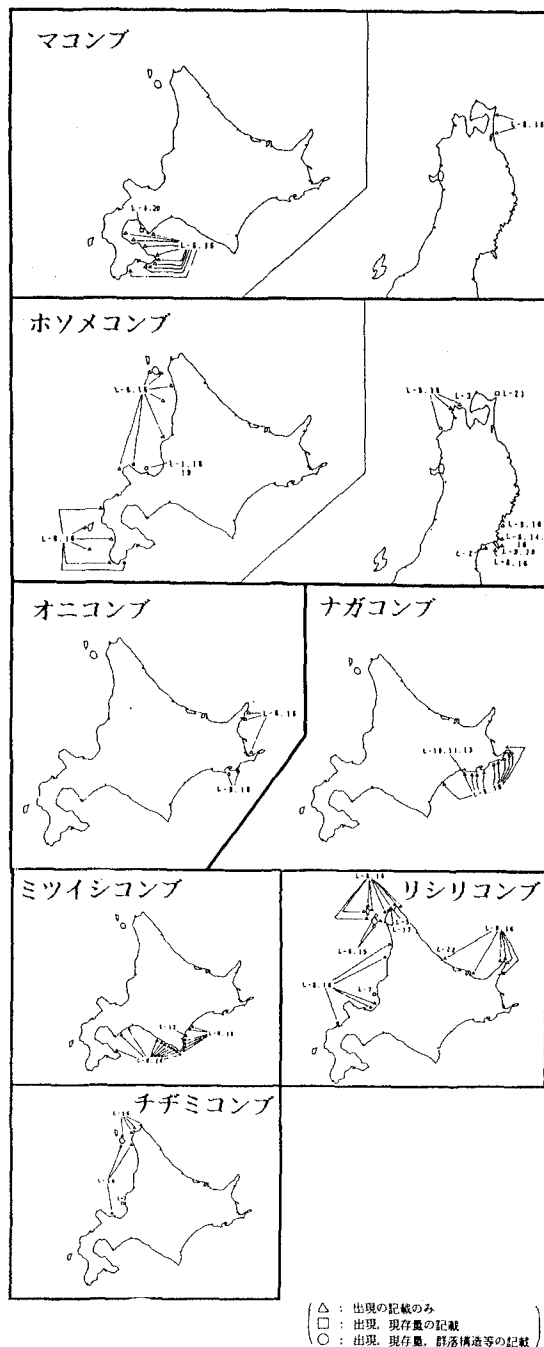


図-1 日本におけるコンプ場の分布
(寺脇ら1991より)

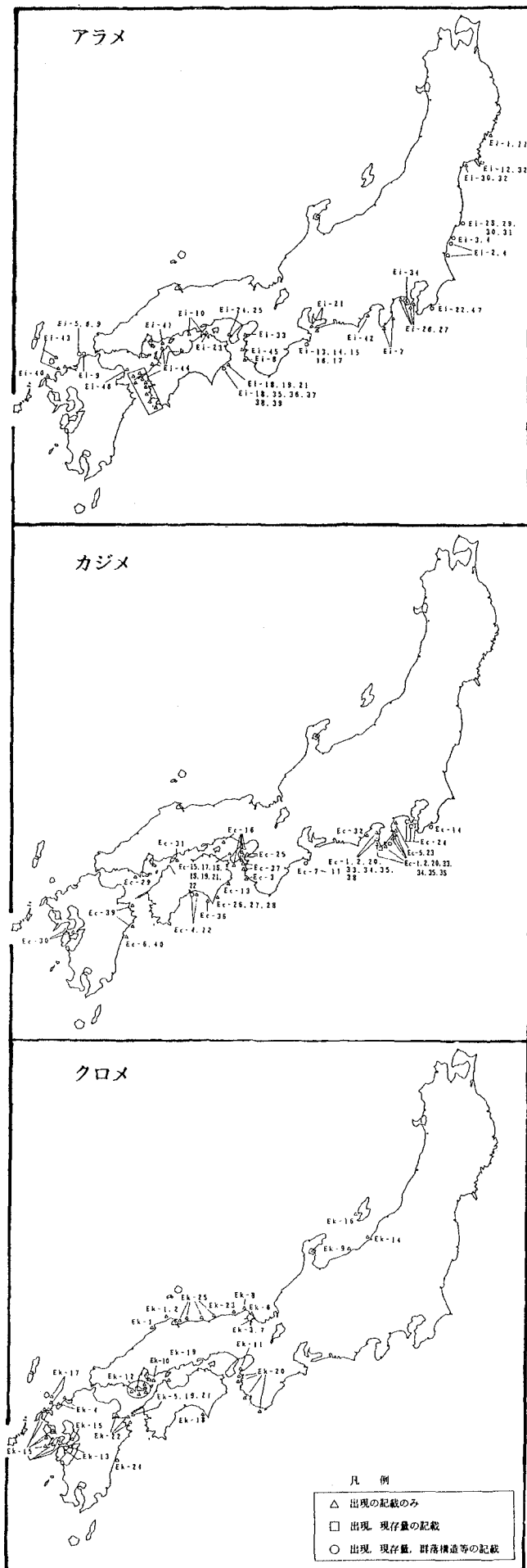


図-2 日本におけるアラメ・カジメ場の分布
(寺脇ら1991より一部改変)

所での研究ではあるが、定性的に波浪、光、底質などの物理的環境と海藻植生についての関係が分かっている（図-3）⁴⁾。

砂地海底での海中林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や着生後の生残に影響する要因として、生物的には他の藻類との光や着生基盤などの競合、付着動物との着生基盤の競合など、化学的には他の藻類との栄養競合、物理的には波浪、流況、浮遊砂（浮泥）などが考えられるが、これらについて定量的に影響を把握する研究はほとんどなされていないのが現状である。

従って、海中林の造成を行う際、その適地を選定するに当り、これらの生育制限要因についての判定基準値を用いることはできないわけであり、造成候補地の近くの海藻群落を調査し、水深などを決めることになる。

4. 海中林造成技術の現状

(1) 文献調査

わが国における海中林造成技術はコンブ類、アラメ、カジメ類をアワビ、サザエ、ウニなどの水産生物の餌料を安定供給することを目的として行われており、従来取り組まれてきた海中林造成手法（表-2）は以下の4方法に大別できた。

①基質投入：既存の海中林に隣接させて海藻の着生基質を投入し群落の拡大を図る。

②種苗移植：海藻の種苗を糸、コンクリートブロック、スレート板などに着生させ、それを造成地に移植する方法。

③母藻移植：成熟した海藻を束ねるか、籠に入れるかなどしたものを、基盤上または海中に設置し、海藻から放出された遊走子が基盤に付着し、海藻群落を形成させる方法。

④養殖方式：延縄施設に種苗糸を巻き付けるか母藻を挟み込む方法。

多くの場合①と③を組み合わせた方法で行われており、基質投入だけでなく、そこに海藻の遊走子を人為的に供給する方法がとられていた。また、①の方法はコンブ場造成例で多く、アラメ・カジメ場造成では数例にすぎなかった。

現地海域での海中林造成試験結果をみると、成功例が少なく、その最大の原因は藻食動物による食害であった。その食害動物の種類は北方域では主にウニ類であり、南方域ではブダイ、アメフラシ、ウニ類、小型巻貝などであった（図-4）。

この食害防止対策については動物の駆除、防護ネットの設置、人工藻（キンラン）の巻き付けによる巻貝の侵入防止など種々の方法が試験されているが、有効な対策は見出だされていない。この場合、海藻が生育しない原因が藻食動物の海藻摂餌量が海藻の成長量を上回るためであるから、従来の方法は動物の密度を低く保とうとするものであった。しかし、ワカメやコンブなどの成長の速い海藻を移植し、動物の摂餌量を上回る海藻の成長量を確保することによりアラメをブロック上に生育させることに成功した例⁵⁾もあり、摂餌圧吸収による対策の可能性を示すものである。

表-1 種別生育段階別生育特性（寺脇ら1991より）

種	生育段階	適 範 囲
マコンブ	雌性配偶体 胞子体	成長 成熟 成長 13~20℃ 3~18℃ 8~13℃（葉長），18℃（葉幅）
ホソメコンブ	雌性配偶体 胞子体	成長 成熟 成長 13~20℃ 3~20℃ 8~13℃（葉長），20℃（葉幅）
リシリコンブ	雌性配偶体 胞子体	成長 成熟 成長 13~20℃ 3~20℃ 8~15℃，8~13℃（葉長），18℃（葉幅） 130lux~50klux(*2.6~1000μE/m ² /sec) 塩分28~36‰
オニコンブ	雌性配偶体 胞子体	成長 成熟 成長 13~20℃ 3~18℃ 8~13℃（葉長），18℃（葉幅）
ナガコンブ	雌性配偶体 胞子体	成長 成熟 成長 13~20℃ 3~18℃ 8~13℃（葉長），18℃（葉幅）
アラメ	配偶体 雌性配偶体 雌性配偶体 配偶体 胞子体	成長 成熟 成熟 発芽 成長（幼芽期） （幼胞子体期） （芽胞体） 成熟 遊走子放出 16~24℃ 100μE/m ² /sec 800~2000lux(*16~40μE/m ² /sec)以上 2000~5000lux(*40~100μE/m ² /sec) 2000~3000lux(*40~60μE/m ² /sec) 16~20℃ 250~2000lux(*5~40μE/m ² /sec)以上 20℃ 19℃ 400μE/m ² /sec 800~3500lux(*16~70μE/m ² /sec)以上 ≤24℃ 14~18℃
カジメ	配偶体 胞子体	成長 成長 （幼胞子体期） 100μE/m ² /sec 400μE/m ² /sec 10~30klux(200~600μE/m ² /sec)
クロメ	配偶体 胞子体	成長 成熟 発芽 成長（幼芽期） 成熟 成長 17.5~23.5℃，25℃ 20000~30000lux・hr/day 2000~7000lux(*40~140μE/m ² /sec) 2000~4000lux(*40~80μE/m ² /sec) <20~25℃ 5000~9000lux(*100~180μE/m ² /sec) 20℃ 19℃ ≤24℃ 30000~42000lux・hr/day

*は光子束密度への換算近似値

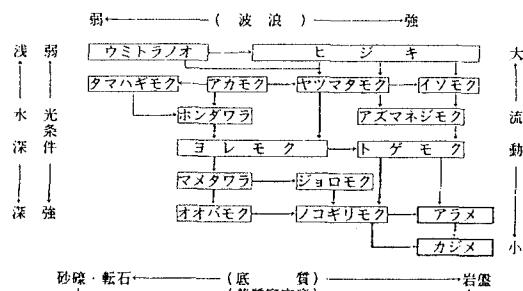


図-3 アラメ・カジメの水平垂直分布
（今野1978より一部改変）

表-2 わが国における海中林造成試験の概要
(寺脇ら1991より)

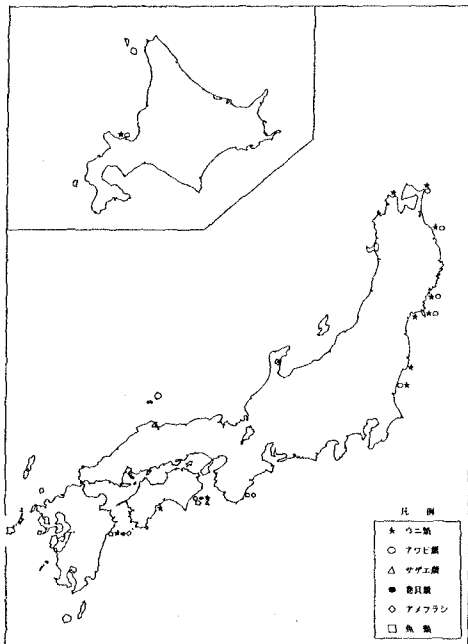


図-4 藻食動物の食害が認められた
海中林造成地点(寺脇ほか1991より)

(2) 事例調査

コンブ場造成地については①着生基質を砂地に投入する方法(基盤改良)、②雑藻を除去し、新たな着生面を造り出す方法(雑藻除去)③コンブの生育に適した水深となるよう投石や溝切りする方法(水深調節)の三通りの方法が実施されていた(表-3)。そしてこれらの方法により一時的にコンブ場が形成されるものの、2年目以降安定したコンブ場が形成されない場合が多かった(表-3)。

アラメ・カジメ場に関しては、造成地の選定、着生基質の投入、種苗移植のステップを踏む試験が実施され、造成地の選定には水深、底質など海藻の生育に係わる条件と漁協の協力など調査のしやすさに関わる条件が挙げられており、食害や波浪の影響の小さいところでは海中林が形成されていた(表-3)。

5. メンテナンスフリーの海中林造成技術の考え方

海中林造成技術に関する文献および事例調査結果に基づき、メンテナンスフリーの海中林造成技術(安定な基盤を設置するのみで海中林が形成・維持される造成技術)について検討すべき項目を整理し、その手順を図-5に示した⁶⁾。

(1) 前提条件

① 海底が砂地である。

岩礁域であれば着生基質が安定しているため、すでに海中林が形成されているはずである。従って、対象となるのは海藻の着生基質が不安定な

機関名	対象種	目的	方法
北海道	コンブ類	増養殖、餌料海藻	基質投入、岩礁埋め込み、海底造成、サマーン張りなど
東北水試	アラメ (ワカメ、コンブ)	餌料海藻 (食害防止対策)	基質投入、種苗移植 (採苗・移植)
青森水産センター	コンブ類	増養殖、餌料海藻	基質投入、延縄式養殖施設
岩手水試	コンブ類	餌料海藻 (選抜対策)	ウニ類の駆除、餌割漬、基質投入
宮城水試	アラメ、ワカメ、コンブ類	餌料海藻	基質投入
福島水試	アラメ	餌料海藻	基質投入
茨城水試	アラメ	餌料海藻	基質投入
神奈川水試	アラメ、カジメ	選抜対策 餌料海藻	基質投入、種苗移植、母苗移植
静岡水試 (伊豆分場)	アラメ、カジメ	選抜対策 餌料海藻	基質投入、種苗移植、母苗移植
愛知水試	アラメ (マコンブ)	餌料海藻 選抜対策 (採苗と沖出し培養)	延縄式養殖施設、母苗移植 (移植)
三重水試センター	アラメ	藻場造成	基質投入、種苗移植、母苗移植
和歌山水試	アラメ、カジメ、クロメ(ヒロメ)	餌料海藻	基質投入、種苗移植、母苗移植 中継延縄式養殖施設 食害防止用保護網施設
鳥取水試	クロメ	餌料海藻	基質投入、幼体移植
兵庫水試	(マコンブ)	(養殖)	海中浮体式人工施設 種苗移植、母苗移植 延縄式養殖施設
山口外海水試	アラメ、カジメ、クロメ	餌料海藻	(採苗と沖出し養殖)
徳島水試	アラメ、カジメ (マコンブ、ホソメコンブ)	選抜対策 餌料海藻 (養殖)	基質投入、種苗移植 (採苗・水平式養殖施設)
高知水試	カジメ(ヒロメ)	選抜対策 餌料海藻	基質投入、種苗移植した塩ビ枠を 基盤に固定 幼体移植、母苗移植
四国電力	クロメ	藻場造成	投石
福岡水試	クロメ	餌料海藻	採苗、中間育成、沖出養殖 (筏式)
長崎水試	クロメ、アラメ	選抜対策 餌料海藻	基質投入、種苗移植
大分浅海漁試	アラメ(ヒロメ) (コンブ)	(養殖)	採苗、中間育成 (採苗、延縄式養殖施設)
熊本水試	カジメ、クロメ	餌料海藻	採苗、中間育成 沖出し(延縄式養殖施設)
宮崎水試	クロメ、カジメ	藻場造成 餌料海藻	基質投入、種苗移植、母苗移植
鹿児島水試	アラメ、カジメ	選抜対策	基質投入、種苗移植 食害防止用ネット網囲い

表-3 海中林造成の現地事例調査結果

(寺脇ら1991より一部改変)

調査対象機関	対象種	目的	方法	結果
1) 北海道区水産研究所	ナガコンブ ミツイシコンブ	食用コンブの増産 荒廃コンブ漁場の回復	基盤改良 砂地基盤改良 種苗除去 水深調節	二年目までは造成効果が維持できる
2) 北海道立権内水産試験場	リシリコンブ	食用コンブの増産 ウニ、アワビ等の餌料海藻の増産	基盤改良 砂地基盤改良 種苗除去 水深調節	着生が見られないものから二年以上生育するものまでさまざ
3) 北海道立中央水産試験場	ホソメコンブ	ウニ、アワビ等の餌料海藻の増産 磯焼けコンブ漁場の回復	基盤改良 砂地基盤改良	投石一年目には着生するが二年目以降着生しなくなる
4) 北海道立網走水産試験場	ナガコンブ ミツイシコンブ	食用コンブの増産 荒廃コンブ漁場の回復	種苗移植 基盤改良 砂地基盤改良 種苗除去	二年目までは造成効果が維持できる
5) 北海道立函館水産試験場	マコンブ	食用コンブの増産 荒廃コンブ漁場の回復	基盤改良 砂地基盤改良 種苗除去	二年目までは造成効果が維持できる
6) 東北区水産研究所	アラメ	磯焼けしたアラメ場の回復 磯根資源の増大	適地選定 基盤改良 新規着生基盤投入 種苗移植 種苗固定	複数年経過後なるアラメ場形成
7) 福島県水産試験場	アラメ	磯焼けしたアラメ場の回復 磯根資源の増大	適地選定 基盤改良 新規着生基盤投入 種苗移植 種苗固定 スゴアバック設置	水深4~5mの水域で生育
8) 神奈川水産試験場	カジメ	アワビの放流、育成場の造成	適地選定 基盤改良 砂地基盤改良	天然群落と同程度の現存量のカジメ場形成
9) 高知大学付属海洋生物教育研究センター	カジメ	アワビ、トコブシ等の餌料海藻の増産	適地選定 基盤改良 新規着生基盤投入 種苗移植 種苗固定 スゴアバック設置	3年間は基体が残るか食害、波浪等により次第に消失

礫や砂地海底の場所に安定な基質を設置することになる。

②基盤の設置工事のみ実施する。

基盤を設置するのみで、母藻や種苗移植を行わない造成法である。従って、海藻の「たね」となる遊走子が自然に基盤に供給されなければならない。そこで、造成地の近くに天然の海藻群落が存在するを事前に確認しておく必要がある。

③メンテナンスフリー

藻食動物の食害によって海藻が生育しない地域が全国的に認められている。このような場所では動物の生息密度調整もしくは餌料海藻の供給などの管理をする必要がある。また、最終的には環境に合った海藻種へと遷移が進むため、特定の種を生やそうとすると目的外海藻を人が除去するなどの管理が必要になる。しかし、ここでは海藻に関してはその遷移過程を考慮し、目的の海藻種が生育するように場の選定と改変を行う。また、藻食動物についてはその影響が小さいことを事前に確認しておく必要がある。

(2) 造成候補海域

多くの場合、開発予定地点の漁業協同組合が管理する漁業権設定水域になる。

(3) 対象種の選定

上記の海藻の分布図からある程度対象種を選定できるが、天然群落からの遊走子の供給に依存するため、最終的には造成候補海域に近い場所にある天然の海中林を調査し、そこで主群落を形成している海藻種から造成対象種を選定することになる。

(4) 適地選定

前提条件が満たされる海域において適地選定を行うが、まず、以下の平面的適地選定を行う。

- ①砂層厚の測定：海中林用基盤は常に必要な高さ砂の上に出ていなければならない。しかし、通常の基盤では砂地に設置すると岩盤に着底するまで沈下するため、砂層厚分以上の高さの基盤を設置する必要がある。従って、砂層厚の小さい場所に設置すれば基盤の高さは低くてすみ、その分造成コストを低くすることができる。
- ②遊走子拡散範囲の把握：母藻や種苗の移植を行わず、造成地近くの天然海藻群落から運ばれてくる遊走子によって海中林が形成されることを期待する。そのため、遊走子の到達範囲を調査する必要がある。次に水深の適地を選定する。
- ③海藻の生育に好適な光量についてのデータがないため、近くの天然海藻群落でその現存量または大型個体の密度の高い水深を調査し、基盤造成に適した水深を決める。さらに、生産力を測定し、高い生産力が得られる水深を把握できればなお良い。

(5) 適期選定

- ①成熟時期：造成地近くの天然海藻群落で子嚢斑（遊走子が作られる葉の部位）の形成割合の最も高い時期を調査し、基盤の設置適期を決める。
- ②幼孢子体出現時期：基盤の設置時期は海藻の遊走子密度が高く、できるだけ速やかに海中林が形成されることが望ましい。従って、遊走子の放出時期を調査する必要がある。しかし、海水中のコンブ遊走子数の調査手法については確立されているが、アラメ・カジメ類については現在ない。そこで、海藻の成熟時期調査の結果を参考にし、ロープなどの付着基質を垂下しそこに出現する幼孢子体の数と時期から遊走子の放出時期を推定する。そして、多い時期を基盤の設置適期とする。

(6) 基盤設計

- ①基盤被覆材の大きさ：設置する基盤は波浪に対して安定でなければ海中林は形成されない。そこで、造成海域における設計波を求め、水理模型実験によって基盤の被覆材の最低重量を決定する。しかし、この最低重量の被覆がその場に最も適したものではなく、実際に基盤を造成する際には、更に、被覆材の重量と基盤造成コストとの関係について検討し、最終的に決定する。

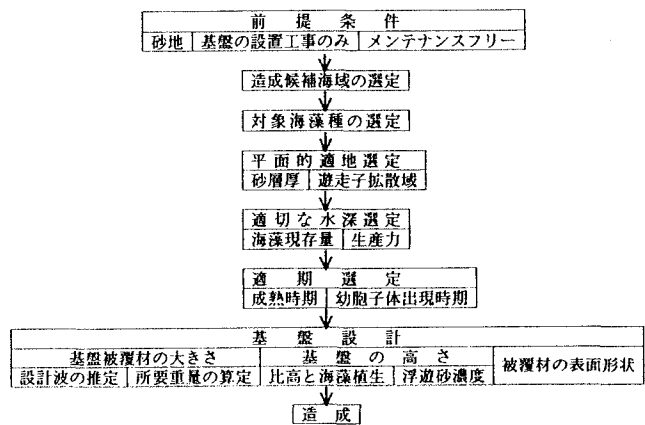


図-5 メンテナンスフリーの海中林造成手順
(川崎ら1991より一部改変)

②基盤の高さ：波浪によって海底の砂が舞い上げられたり、砂が移動したりするが、基盤の砂面に近い部位ではこの砂の影響を受けて海中林構成種が生育し難いことがある⁷⁾。従って、造成地近くの天然群落で砂面の年変動幅と海藻の生育状況との関係を調査し、最低限必要な比高を明らかにし、基盤の高さを決める際の参考にする。

③被覆材の表面形状：砂地に基盤を設置するので波浪による底泥の舞い上げによって基盤上に砂やシルトが堆積し、海藻の生育に影響を及ぼす可能性が高い。また、基盤の稜角部にアラメ・カジメが生育し易いと報告もあり⁸⁾ 基盤被覆材の表面に突起物を付けることにより海藻が着生し易くなると考えられる。

6. あとがき

①砂地、②基盤を設置するのみ、③動植物の人為的管理を行わないの三つの前提条件を置いた場合のメンテナンスフリーの海中林造成技術について検討した。そして、適地選定には天然の海中林からの遊走子拡散距離、砂層厚、海藻現存量などの調査が必要であり、基盤の設置適期の選定には遊走子放出時期、基盤の設計には設計波に耐える基盤被覆材の重量、海藻生育に必要な比高、突起物の形状を検討する必要があると考えられた。

今後、この考えに基づき、海中林造成技術の実証を行う予定である。

本研究は通商産業省・資源エネルギー庁からの委託により実施したものであり、研究の実施と内容の開示にご便宜を戴いた資源エネルギー庁・発電課にお礼申し上げる。また、文献調査にご協力戴いた扶蓉海洋開発（株）の方々および現地事例調査にご協力戴いた北海道区水産研究所、北海道の各水産試験場、東北区水産研究所、福島水産試験場、神奈川水産試験場、高知大学の方々に感謝の意を表する。

7. 参考文献

- 1)環境庁（1983）干潟・藻場・珊瑚礁分布調査。第2回録の国勢調査（環境庁編），467-511.
- 2)全漁連沿岸漁場開発対策室（1977）日本近海底質地図。全国漁業協同組合連合会 157pp.
- 3)寺脇利信・後藤弘・本多正樹（1991）海中林造成技術の実証 第1報 技術動向の文献事例調査。電中研調査報告U91021, 38pp.
- 4)今野（1978）海藻群落の構造と遷移。水産土木 15(1), 49-52.
- 5)谷口和也・月舘潤一・花岡藤雄（1984）海藻群落の造成をめざして（定着性岩礁性魚介藻類の環境容量拡大）。近海漁業資源増大への新しいアプローチ（マリンランディング計画）第Ⅰ期成果の概要, 95-126.
- 6)川崎保夫・寺脇利信・長谷川寛・平口ら（1991）海中林造成技術の実証 第3報 三浦半島西部における造成技術。電中研研究報告U91023, 37pp.
- 7)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。電中研研究報告U88037, 26pp.
- 8)寺脇利信・川崎保夫（1990）海中砂漠緑化技術の開発 第3報 クロメの成長と生育制限要因。電中研研究報告U90044, 25pp.