

アマモ場造成による生態系修復技術に関する研究

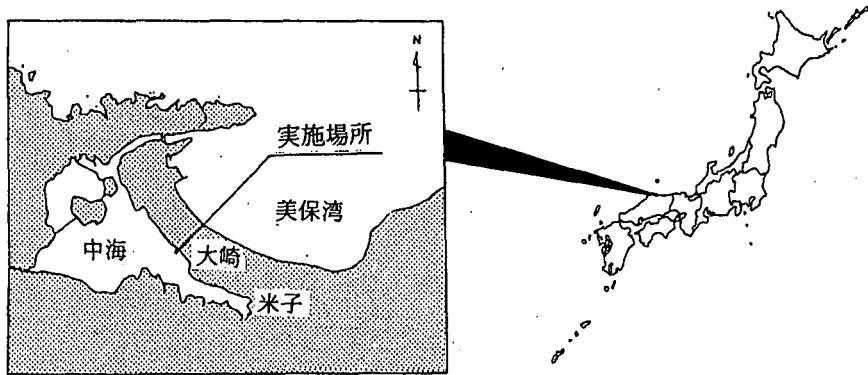
Developments of Technology using Ruble Mound Breakwaters for Eelgrass (*Zostera marina*) Bed松原 雄平*・野田 英明*・依藤 正典**・中谷 英明***
Yuhei Matsubara, Hideaki Noda, Masanori Yorifuji and Hideaki Nakatani

Nakaumi lake is shallow with extensive intertidal sand and mud flats. The eelgrass (*Zoesta marina*) zone in the lake may function as an important refugee for many resident and transient species, especially where other structural habitats are poor. In this paper, a new method for eelgrass bed creation is introduced and discussed. Field observations have been carried out and suitability conditions of eelgrass are evaluated by field data.

Keywords : Seagrass, Ruble mound breakwater, Coastal ecosystem, Field Observation

1. はじめに

中海は、図一1に示すように、鳥取・島根県境に位置する潮水面積 104 平方キロメートル、湖岸線距離 83Km、最大深度 9 mを有するわが国主要湖沼の一つである。昭和 38 年に同水域で着工された国営中海土地改良事業は、水域内の 5 地区 2,540ha を干拓し、中海、宍道湖の残水 15,300ha を淡水化し、干拓地および沿岸地域の農地約 9,200ha の農業用水を確保し、地域農業の核となる先進農業地域を創設しようとした大事業であった。現在、干拓事業の中でも最大規模の本庄地区以外の 4 地区では、すでに干拓が終了し、また淡水化計画は昭和 63 年 5 月に凍結されている。



図一1 中海と調査実施位置図

かつて中海には多くの干潟が存在し豊かなアマモ群落が形成され、エビ、カニの育成場、ハゼ、スズキ等の好漁場、ウナギの養殖場として優れた環境が存在していた。しかし前述の中海干拓事業によって、浅瀬・藻場が消失するとともに潮水域の都市化による生活雑排水の流入は、水質の悪化と湖底へのヘドロの体積をもたらした。現在、潮水域での漁獲量は往時の 6 分の 1 にまで減少している。こうしたことから同水域において人工的な石積み堤に砂地を造成して、アマモを移植して、その抽水浄化機能による水質改善ならびに魚の産卵・生育場を造り出す試みが進められつつある。しかしアマモ場移植の試みは必ずしも容易でなくこれまでの移植実施事例をみてもアマモの定着に至った例はない。これは、アマモの生態がよく把握されていないことにもよるが、むしろアマモの生息地でなかった場所への強制的な移植であったり、十分な生息環境の調査と評価がなされていないためと考えられる。この研究では、中海水域でのアマモ場造成状況について述べるとともに、これまで全国で行われてきたアマモ場造成事業に対するアンケート調査を実施した結果について報告する。それらの結果からアマモ場を造成するうえで必要とされる物理的・化学的環境条件を抽出し、合理的な藻場造成手法を提案しようとするものである。^{1),2)}

* 正会員 鳥取大学工学部土木工学科 (〒680 鳥取市湖山町南4丁目101)
** 学生会員 鳥取大学大学院工学研究科
*** 鳥取県農林水産部水産課

2. アマモ生息条件の抽出、

アマモは日本沿岸に広範囲に分布する海に生育する顕花植物である。しかし、栄養の摂取方法は、陸上の植物と違って、葉からも根からも吸収する。冬に発芽し、初春に花が咲き、春に実り、種は海底におちて夏まで生長する。夏過ぎに衰退し、11月盛んに枝分かれする。多年生であり海中の窒素を吸収し光エネルギーで光合成を行い、枝分かれしながら増える植物である。吸収した窒素分は葉や地下茎に蓄えられる。相生は、アマモの生育環境をまとめ、もっとも重要な環境条件である光は、相対照度で20%程度以上あれば形成可能であること、底質条件としては、泥底から砂底までの広範な底質条件に対応すること、水温は27~29度が生息限界らしいこと、さらに塩分濃度は、2.7パーミルから32パーミルにまで対応することなどを明らかにしている。^{3), 4), 5), 6)}

現在 中海水域には、浅海部や沿岸部一部にアマモ群落が繁茂している。この現存するアマモ群落で各種の環境調査を行い、アマモの同水域内での生息条件を調べた。この調査は、アマモ場を造成する上の事前調査としては最も重要なものである。この調査は、現繁茂地の海底地形、アマモの生息状況、物理条件、水質条件、底質条件を調べるもので、造成計画の基本資料となるものである。調査場所は、前出の図に示すような、鳥取県境港市外江地区40m×300mの区域である。調査は、図-2に示すように、アマモ繁茂地を汀線と

直角（岸沖）方向に40m汀線方向に300mの区間を20m間隔で、潜水調査による繁茂状況調査を行うとともに、図中のL-6, 8, 12, 16の各測線では、アマモの個体別葉長、個体数および実生本数を観測・調査した。生息密度については、1平方メートルに換算している。調査地域は、L-3から北側は陸岸に沿って約30mから40mの幅で2m以浅の平坦部が見られ、この沖側は斜面となっている。陸岸から沖側に50m程度では水深が約8mから9mまで深くなっている。一方、L-3から南側は、転石直下の水深が約2mで北側よりもやや深く、沖側に向かって漸次深くなっている。

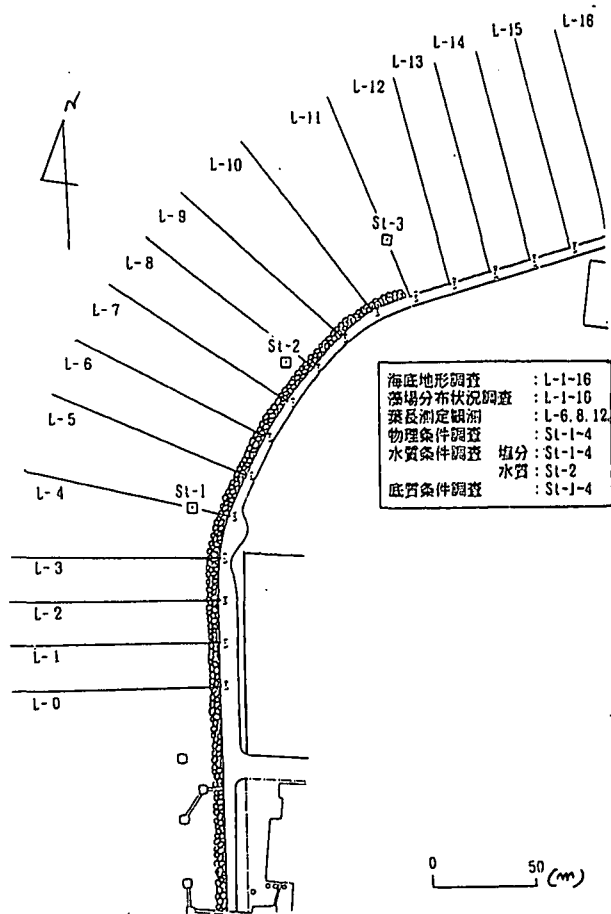


図-2 アマモ生息状況ライン調査図

3. 中海でのアマモの生息環境調査

3.1 ライン調査 図-3は、ライン調査結果の一部であって、それぞれアマモが繁茂していないラインL-0, L-4, L-6とアマモ繁茂部L-8, L-12およびL-16の海底断面地形と植物の繁茂状況を示している。この実測結果とアマモの状況から、アマモの生息条件として以下のことが見いだされる。

- (1) 水底勾配は、比較的緩やかであること
- (2) 底質としては、砂質あるいは貝殻まじり砂質であること
- (3) 底質が泥質、貝殻、砂利である部分には、繁茂しない
- (4) 護岸の形式としては、自然護岸あるいは通常の捨て石護岸でもよい
- (5) アマモは、水深帯1mから2mの範囲に繁茂し、それ以深には自生しない。

また、ライン調査地域全域から得られた生息調査結果をみると、当該地区の1平方メートル内の換算株数は44本から80本、葉長は10から70cmの範囲であった。さらにこれらの調査結果の季節変化を調べたところ、平均株数は、10月から12月さらに2月にかけて密生範囲が広がるとともに実生の個体が生育し、総面積が増加することなどが明らかになっている。以上のことから、中海水域のアマモは、6月から2月までの繁茂期とそれ以降の衰退期とで、季節的に株数の増減を繰り返しつつ、一定の個体数を維持していることがわかった。並行して行われている物理環境調査結果からは、アマモ場では潮位変動と関連すると思われる流速変動が観測され、最大流

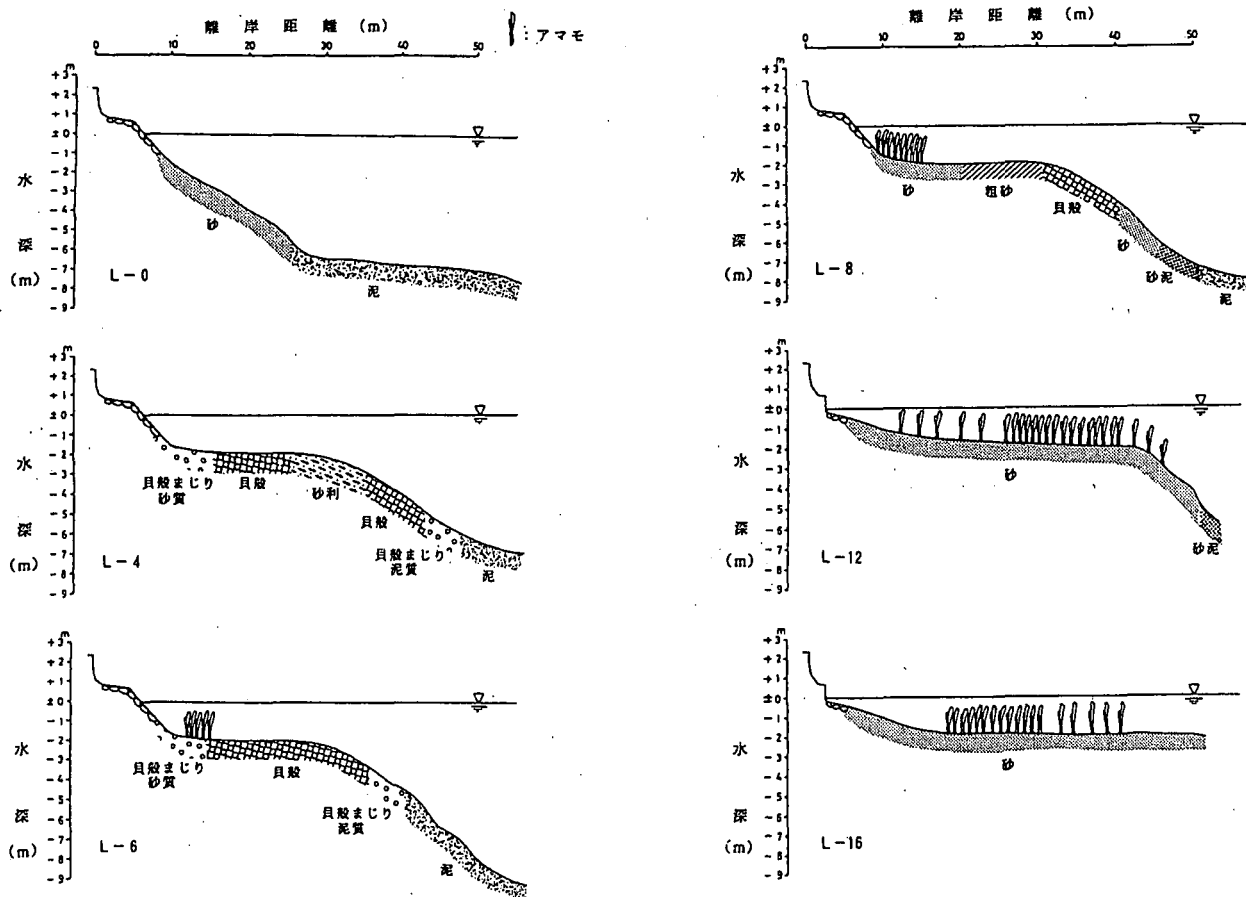


図-3 アマモ繁茂地と未繁茂地のライン調査結果

速は南側の測線ほど大きく 88.8cm/sec から 12.2cm/sec の範囲で変化していた。これは、前出の図からもわかるように、この繁茂地が、中海と日本海との河口部に近いため、潮位の影響を受けやすく、比較的大きな流速値になったものと考えられる。この結果からは、砂質の区域でアマモが十分に地下茎を伸ばしていれば、比較的大きな流速が生じる区域でもアマモの生長は可能であるともいえる。

3.2 物理・水質環境調査

中海の繁茂地と造成予定地で物理環境調査ならびに水質環境調査を行い、両者の比較を行った。表-1は、繁茂地および造成地点で行われた環境調査結果の一例である。これより両水域の水温はほぼ等しいものの、水面を基準とした相対光量子では、繁茂地で 23.3%~44.4%であったのに対し、造成地では 8.2%~38.5%とやや低い値となっている。また塩分量でも、繁茂地に比較して造成地が低く現れている。これらの原因は、繁茂地が中海の出口に位置し、海水の出入りが活発であるのに対し、造成地は奥川に位置していることによるものと考えられる。また海面下 1m の水深での水質を両水域で比較すると、T-Pならびに T-N およびクロロフィル a とともに、

表-1 アマモ繁茂地と造成地の環境条件 (1995 年 3 月測定)

	測定項目	繁茂地	造成予定地
物理条件	平均流速 cm/s	3.3~15.8	=====
	水 温 度 C	7.7~9.2	6.7~7.5
	光 量 子 %	23.3~44.4	15~29.7
水質条件 (海面下 1m)	塩 分 %	17.4~23.5	13.9~14.7
	T-N mg/L	0.492	1.040
	T-P mg/L	0.034	0.072
	クロロフィル a mg/L	33.0	71.0

造成地点が大きく現れた。これも上記の理由で説明され、造成地点で海水交換が生じにくいためと考えられる。また 10 月期に比較して 12 月、3 月期は、どの指標もおおきくなることがわかった。

4 全国でのアマモ場造成事業に関するアンケート調査

4.1 アンケート調査の概要

アマモ場造成に関しては、各自治体で多くの事例が試験的に進められつつある。しかし、そうした調査データは一般には公開されず、著者の知る限りでは、全国的に造成事例のデータを収集しを系統的に分析した例もないようである。そこでこれまでアマモ場造成を行ったことが判明した関係機関にアンケート方式で造成事業に関する調査を試みた。アンケート項目は以下に示す 15 項目である。

- (1) 造成場所（海岸、河川あるいは湖沼）(2) 造成場所の水深、(3) 基盤整備の有無(4) 潜堤の有無
- (5) 造成地点の水底勾配(6) 底質改良の有無(7) 底質組成 (8) 造成方法(9) 平均流速および波
- (10) 造成地点への波浪影響の有無(11) 造成水域での塩分量、全リン、全窒素の化学的環境データの処
- (11) 造成地の平均光量、平均水温(13) 砂面変動量(14) アマモの平均株密度平均葉長(15) 水域汚染の有無

4.2 アンケート調査結果の概要

アンケートは全国の 14 の関係機関の事業担当部所に送付した。回答は 11 例で、79%の回答率である。アンケートの回答からここでの対象となったのは、鳥取県の中海地区、広島ならびに香川県沿岸部の瀬戸内地区、熊本県ならびに鹿児島県の九州西岸地区の各地区から選定した 40 造成事例となった。アンケート結果をみると、前節で示した物理環境ならびに化学的環境の各指標に対して、前者に対しては回答があるものの後者の化学的環境条件に関する回答は少なく、優位な回答を得られなかった。アンケートから選定された造成事例 40 ケースにおいて測定されている底質の粒度組成、光量、塩分量、水温ならびにアマモ生成密度について概要を示すと次のようである。アマモが造成されている水域の底質粒度組成をみると、粗砂と細砂から構成されているが、粗砂が相対的に多いことがわかった。光量と塩分量は、それぞれ $3.0\text{E}/\text{m}^2/\text{日}$ 以上ならびに 18 パーミル以上であった。砂面変動は、7cm 以下で、大半が 3cm 程度と砂移動の少ないところに造成されていること、水温は、最高水温が夏季で 24 度で最低水温が 8 度となっている。以上の全国の造成地の条件は、前述の相生の生息条件からみると、光量、塩分、砂移動量ならびに水温に関しては、ほぼ問題はないと言えよう。しかしながら造成されアマモの株密度をみると、0~160 株/ m^2 の範囲で変動しており、上記の造成環境条件すなわち物理的環境要因の他に他の要因が影響していると考えられる。⁶⁾

5. 捨て石堤によるアマモ場造成と経過

5.1 捨て石マウンド

図-4 は、アマモの造成マウンドとして採用された捨て石堤の断面形状を示したものである。堤体は、沖側に消波工としての捨て石マウンド、岸側に砂止工、そして中央部に覆砂によって形成された藻場造成工からなっている。堤体幅約 29m、堤体天端長 150m、消波工天端幅 3m の諸元を有している。覆砂部には、吸い出し防止シートが敷かれており、覆砂の流失が防がれている。こうした断面を有する捨て石堤が、平成 6 年度から平成 8 年度まで、年度当たり一期づつ中海に設置されてきている。捨て石堤の設置海域は、水深 3 m~7m の浅海域にあるため、生息環境調査から明らかなように、造成海域にはアマモは自生していない。したがって、アマモが自生できない海域に着生させるには、アマモの生育に適した環境基盤を創出・整備する必要がある。アマモの生育に最も重要であると言われる光量子については、十分な太陽光を受けるために水深を嵩上げする必要がある。覆砂によって砂面の深さを -1m とした。また砂溜めのなかの底質は、当然アマモの生育に適したものでなくてはならず、繁茂地の条件に近い 0.1mm~0.5mm の砂泥を使用し底質改善を行った。さらに投入した土砂が、波浪の影響によって流失しないためには、消波工で波浪の静穏度を確保する必要がある。一方、消波効果をあまりに大きくすると覆砂部の水塊が流動するためのエネルギーが無くなり、結局海水交換の低下から水質および底質の悪化を招くことになり、アマモの持つ浄化機能と相殺することになる。さらに、アマモの成長を阻害するヒバリガイやホトトギスガイの発生にも繋がるものと思われる。したがって、競合生物の発生を押さえる意味からもある程度は覆砂が移動するような条件も必要と考えられる。以上の検討から、設計波高および設計周期、それぞれ 1.41m、4.6sec の波に対して、捨て石材料の安定重量についてはハドソン式を、堤体背後への伝達波高については天端高さとの関係式から推算した。アマモ場の造成手法としては、株移植法、苗移植法ならびに播種法などがあるが、広域に大量の造成を行うについては、株移植法が実績のあるところである。したがってここでも株移植によってアマモの造成を行った。⁷⁾

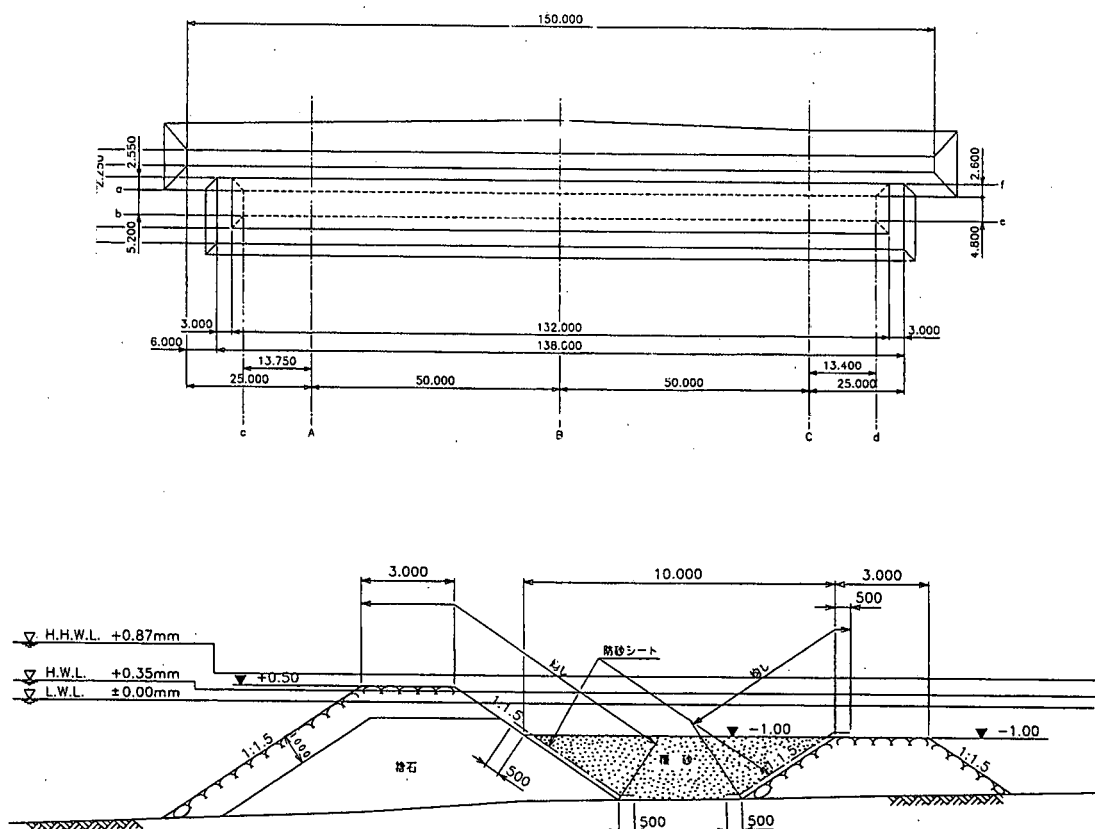


図-4 捨て石マウンドの平面図および横断面図

5.2 移植後の経過

移植の初年度は、前年の12月に移植した後、春期から夏季にかけてアマモの株密度は増大し、その後秋季から冬季にかけて低下するという傾向を示した。この年の夏季には、大量のアマモの種子も採集でき順調な経過を示した。しかし造成後2年目に、造成した砂面にマット状のホトギスガイの大量発生が見られた。これは、ホトギスガイの側糸がアマモ場の底質を固化することによりマット状底質に変化するためである。このマットが食害生物によって壊されると、アマモの地下茎が露出し、その成長が阻害されたり、あるいは株の死滅に至る事になる。この2年目の夏季には、アマモの大半の株の死滅が見られた。その後、同造成地には、残存したアマモが生育しているが群落を形成している程ではない。

6. おわりに

以上、中海においてこれまで行われている、各種の環境調査結果をもとに、アマモの生息条件について検討した。現段階で得られている結果をまとめると以下のようである。

- (1) アマモは、比較的緩勾配あるいは水平の水底勾配で、砂質の領域で生長する。
- (2) アマモの生息水深は、光が十分に透過する水深2m程度である。
- (3) アマモ場は、底質の移動が生じない程度に流れが緩やかであることが望ましいが、比較的大きい流速でも、その出現頻度が小さく、かつアマモの地下茎が発達しておれば、繁茂は可能である。
- (4) アンケート結果をみれば、アマモ場の造成条件は、アマモの生息に適したものであることがわかった。
- (5) 浅海部に捨て石マウンドを構築してアマモ場を造成する方法は、アマモの生息に好適な環境条件を生み出すことがわかった。しかし、アマモの成長期ならびに繁殖期に造成地にホトギスガイがマット状に繁殖すると、アマモの株数が激減することがわかった。

これまで述べてきた、捨て石マウンド方式によるアマモ場造成は、波浪制御の効果も合わせ持ち、環境改変の手法としては優れた方法である。しかし、現段階では、こうした方式でもアマモ群落の着生を実現しておらず、アマモ繁茂の制限因子を完全に突き止め、それをコントロールするまでに至っていない。今後アマモの移植法ならびに競合種の発生をいかに押さえるかについてさらに現地での実証的研究・調査を続ける必要がある。

謝辞

本アマモ場造成事業は、鳥取県の中海漁場整備開発事業の一環で行われたもので資料の提供を頂いた鳥取県農林水産部水産課に深甚の謝意を表す。また東京大学海洋研究所の相生先生には、アマモの生態に関して有益な助言を頂いた。ここに記して深謝の意を表す。

参考文献

- 1) 沖野外輝夫：湖沼の損傷と再生、環境と公害、Vol,23,No2,pp1-8,1993
- 2) 相崎守弘：湖沼の富栄養化の現状と対策の問題点、環境と公害、Vol,23,No2,pp10-22,1993
- 3) 川端豊喜：アマモ場造成に関するアマモの生態学的研究、pp180,1993
- 4) 鳥取県：中海藻場造成事業前調査委託業務報告書、1995
- 5) 相生啓子：アマモの生育環境、水草研究会会報、37号、pp5-7,1989
- 6) 相生啓子：海草の生態とその保護（沿岸の浅海に生える海の水草）、採集と飼育、pp352-356,1986
- 7) 福田富男：アマモ場造成に関する研究—Ⅷ播種によるアマモ場造成手法、岡山水試報、pp35-37,1987
- 8) 松原雄平他：ニューラルネットワークを用いた環境要因評価法、土木学会海洋開発工学論文集 Vol.10,1995