

興津湾における広域海藻分布と水理環境に関する現地調査

中山 哲 厳*

・ 横 本 一 徳**

・ 灘 岡 和 夫***

内 山 雄 介****

・ 中 瀬 浩 太*****

・ 島 谷 学*****

星 野 高 士*****

・ 月 舘 真 理 雄*****

1. はじめに

藻場は水産生物の再生産・棲息の場として極めて重要である。しかし、藻場の面積は全国的に減少傾向である。この原因としては、藻場の埋め立て、海域の富栄養化、海洋環境の変化に伴う食害・競合生物の増加等様々な要因が考えられる。将来にわたって、沿岸域の生物生産力や海域環境を維持するためには藻場を保全あるいは創造することが重要かつ緊急的な課題となっている。

海藻の生態や養殖技術に関する研究はかなり進んでいて、現実には多くの場所でコンブ、ワカメ等の大型海藻が養殖されている。養殖は可能であるが、安定的に海藻群落を形成するための体系化した技術は今のところ確立されていない。

最近、桑原ら (2000) は、北海道の磯焼け地帯でのホソメコンブ群落、食害生物と波浪環境の関係を定量的に調査し、波浪環境が食害生物の摂餌行動に決定的な影響を与え、海藻群落形成を支配していることを示した。

以上のことから、海域の水理環境の把握が必要であるが、肝心の海藻等の生物分布調査は最も重要である。しかし、通常の潜水による生物調査は技術、時間、費用を必要とする上、時空間的な情報を得ることが困難であるという問題点を含んでいる。

本調査は、多年生大型海藻の分布と水理環境に関する基礎的知見を得ること及び比較的容易に海藻分布を推定できる計測技術を開発することを目的に行った。

2. 現地調査の内容

藻場が安定的に形成されている千葉県勝浦市興津湾において現地観測を行った。それぞれの現地観測項目は以下のとおりである。

①船による予備的観察 (2000 年 6 月 20 日) : 船上からの

・ 正 会 員	工 修	(独) 水産総合研究センター水産工学研究所
・ 正 会 員	工 修	(株) 復建調査設計
・ 正 会 員	工 修	東京工業大学大学院理工学研究所
・ 正 会 員	工 修	(独) 港湾空港技術研究所海洋工学部
・ 正 会 員	工 修	(株) 五洋建設技術研究所
・ 正 会 員	工 修	(株) 五洋建設技術研究所
・ 正 会 員	工 修	(株) 国際気象海洋
・ 正 会 員	工 修	(株) 水棲生物研究所

観察及び干潮時の水際線の観察及び写真撮影

②波浪、流れ、水質 (水温、塩分、溶存酸素濃度) の連続計測 (8 カ所, 2000 年 9 月 23 日~10 月 23 日); ADCP 1 台, 波高計 8 台, 水温・塩分・溶存酸素計の係留系 8 本による計測 (すべて自記式) 及び設置・撤去時の観測点付近のビデオ撮影

③潜水による生物調査 (種類, 被度, 密度等, 2000 年 12 月 14~15 日); 海藻が分布している連続計測点周辺での水中目視観察, 写真撮影, 坪刈り

④魚探による水深及び水中の反射強度計測 (2001 年 1 月 30 日)

図-1 に興津湾の地形、連続計測点、生物調査側線を示す。興津湾は、両脇が岩礁地帯で沖側及び湾中央部から奥の底質は一部を除きほとんど細砂である。湾両脇に船溜まり、湾奥部には潜堤、突堤が整備されている。湾奥部の砂場にアマモ、潜堤にモク類、アラメ、両脇岩礁部にモク類、アラメ、カジメが群落を形成している。予備的観察から、岩礁部の浅い場所で比較的静穏な領域にはモク類が優占しており、波あたりが強く、浅い領域 (~3 m 程度) にはアラメが優占していることが判明したの

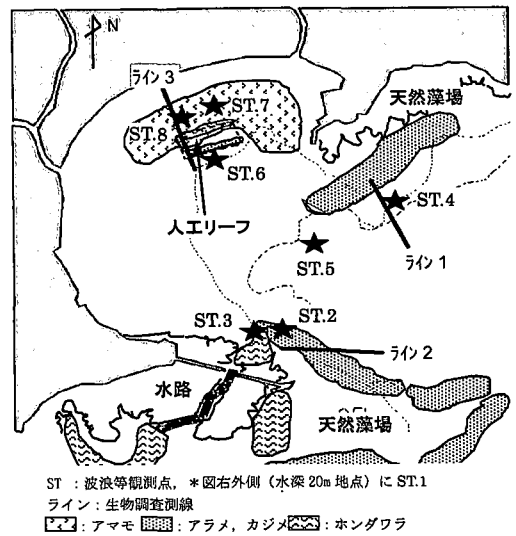


図-1 連続計測点、生物調査側線、海藻分布の概略

で、この結果をもとに連続計測の計測点及び生物調査側線を決定した。図-1に予備的観察に基づく海藻分布の概略を示す。魚探による計測では、主として地形が複雑で海藻が豊富な岩礁部及び波浪環境の変化が大きい潜堤周辺を集中的に計測した。使用した魚探(本多電子 HFD-100 C)は DGPS と連動しており、出力(位置、時刻、水深、水深別反射強度等)をパソコンに収録後、解析した。

3. 観測結果と考察

(1) 海藻分布 (2000 年 12 月 14~15 日)

潜水による生物調査結果について述べる。図-2に各測線の岸沖方向の海藻分布図を示す。以下に観察結果について述べる。

①ライン1 (興津湾東側岩礁帯)

起点より 50 m までの比較的水深が浅い (1.5~2 m) 範囲でアラメ群落が発達し、50 m より沖側から 140 m までにはカジメの純群落が発達していた。

アラメ、カジメ群落の下草相は比較的単相・貧弱で、関東沿岸のアラメ、カジメ群落において見られる状況と同じである。なお、浅所に分布するアラメ、カジメ群落にはオオバモクがわずかに混生していた。坪刈り調査では浅所(水深 5 m)のカジメ群落では育成密度が 11 個体/m²、やや深い地点 (10 m) では 2 個体/m²、分布下限に近い地点 (水深 15 m) では 3 個体/m²であった。カジメの茎長は水深に比例して長くなる傾向が明瞭に認められ

た。これは、底層付近の波動流速の大きさと関係するものと考えられる。この傾向は本邦沿岸の同一種に一般的に認められる傾向である。

②ライン2 (興津湾西側岩礁地帯)

沖側に岬状に岩礁が発達しているため、ライン1より波あたりが緩和されている。海藻植生はライン1と同様で深所にカジメ、浅所にアラメ群落が発達し、両者は水深 2 m 前後で重複している。混生するホンダワラはライン1より多く、ジョロモク、オオバモク、オオバノコギリモク、アカモクが認められた。下草相は比較的単相・貧弱な点は同様であるが、出現種類数はライン1より多くなっていた。

③ライン3 (潜堤周辺)

アマモ群落は海岸線より 50~60 m 地点から潜堤基礎部の手前 50 m 地点まで分布していた。潜堤基部付近はかなり泥分を含んだ軟弱な泥砂質となっており、アマモは全く生育していない。潜堤岸側基部から斜面中程まで濃密なジョロモクが形成されており、その藻冠高は 3 m に達していた。混生する大型褐藻はホンダワラ、オオバモクであった。下草はライン1、2より多いが、豊富とは言えない。潜堤沖側斜面も同様の景観を呈しているが、ジョロモクの藻冠高は約 2.5 m と若干低くなっている。潜堤天端には大型褐藻の着生はほとんど見られず、矮小化した下草が基質面にへばりつくように着生していた。観察された種はアオサ属、フクロノリ、ウミウチワ、ヒジキ、ツノマタ、ヒラキントキ等であった。これは、潜堤天端がほぼ D.L. の高さであることによるものと考えられる。

2000 年 6 月の観察と異なるのは潜堤沖側斜面に密生していたアラメが消失し、ジョロモク主体となっていたことである。潜堤が平成 4~8 年に整備されたことから、このアラメは第 1 世代と考えられる。6 月の観察時(干潮時)には、基部まで完全に干出し、成長点を含む葉部がほとんどなくなっており、枯死したものと考えられる。この原因としては、葉部・基部の干出時間の長期化、潜堤斜面部での碎波による流体力の増大が考えられる。

なお、観察結果から興津湾周辺の海域にはウニなどの食害動物は比較的少ないと考えられる。

(2) 魚探での測深、水中反射強度 (2001 年 1 月 30 日)

岩礁部での複雑な地形を把握するとともに海藻の概略分布を把握するため、魚探を使用した。

図-3に水深方向の反射強度分布の例を示す。海底より上の部分に反射(灰色の部分)が見られるが、これが海藻による反射である。水表面付近の帯状ものは水表面からの反射であり、海藻とは関係ない。モク類が水面まで達して、密生した状態になると水深計測できず、有効

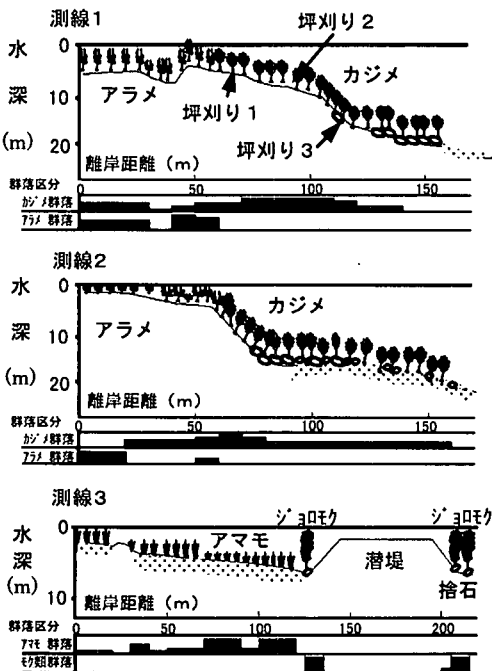


図-2 各側線の岸沖方向の海藻分布

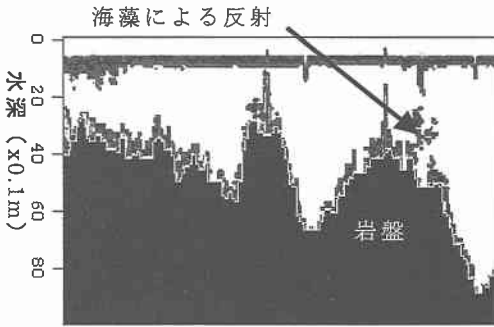


図-3 反射強度の分布例

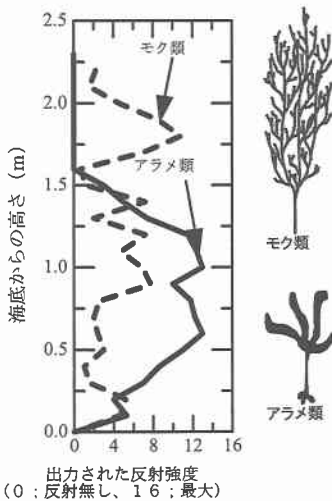
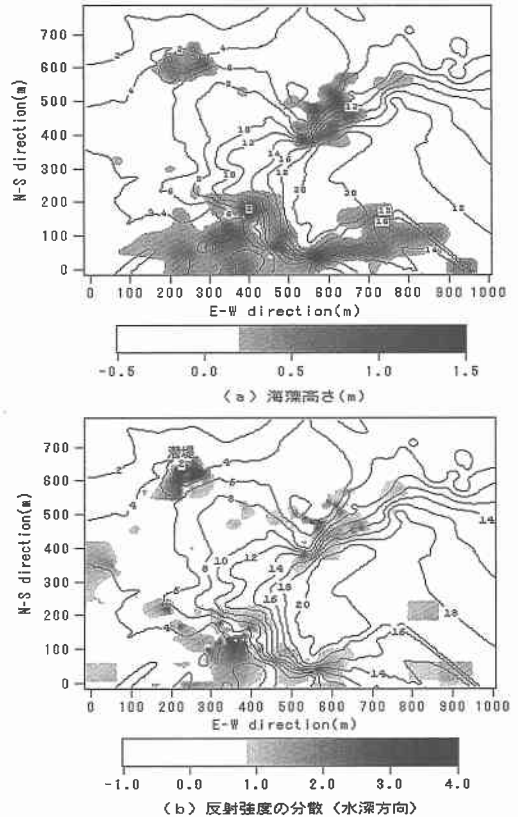


図-4 アラメ・カジメ類とモク類の反射強度分布

なデータを取得することができなかった。しかし、このような場合は、当然船上から目視で十分観察できるので、大きな問題とはならない。

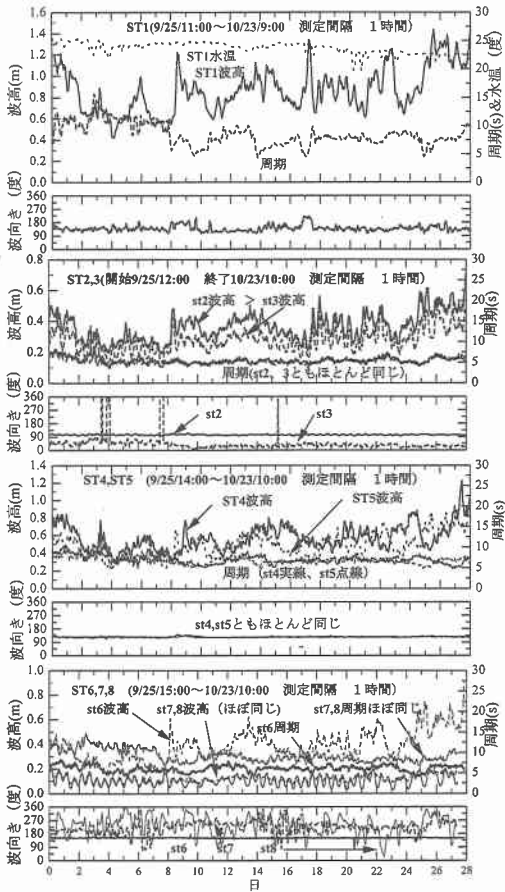
モク類は葉部が小さく、茎部が多数枝分かれしているのに対して、アラメ類は茎部が1m程度あり、葉部の面積が大きい。この違いが、反射強度分布に影響を与える。その例を図-4に示す。この図から、モク類、アラメ類があった場合の反射強度分布の相違がわかる。アラメによる分布形状は山形で単純であるのに対して、モク類は複雑である。まず海藻の藻冠部で反射するので、反射が急激に大きくなる最も浅い水深が藻冠部であり、この位置と海底との差が海藻高と考えた（ここでは反射強度が5以上すなわち47デシベル以上）。また、海藻部分における反射強度の分散が先に述べた分布形状の相違を示すものと考えた。DGPS情報、水深、反射強度分布を用いて測深点における反射面高さ、分散を求め、それぞれの平面分布を推定した。その結果を図-5に示す。図中に補充がうまくできていない部分があるが、これは岩礁部を詳細に探査し、砂泥域や深い部分については粗に探査したた

図-5 推定海藻高と反射強度の分散の分布
(図中の線は等深線、濃いほど値が大きい)

めである。また、水深が浅い地点(1m以浅)では、水面からの反射と海藻の反射が重複するので、海藻高さ等の推定は困難である。図-5(a)(b)を見ると、水深の浅い領域以外では、①推定高の大きな地点は背の高いモク類(観察結果)の成育領域に相当すること、②カジメの成育限界水深が15mであるが、推定高さから得られる海藻が存在する限界水深とほぼ一致することなどから、概ね妥当な結果であると考えられる。また、反射強度の分散の分布を見ると、分散値の大きな領域(潜堤周辺及び図中下側)とモク類が繁茂している領域とほぼ合致している。このようにかなり大まかな処理でもこの程度の結果が得られた。しかしながら、モク類とアラメ類が混生している場合や海藻密度の推定に関しては十分な検討ができなかった。また、海藻は季節変化により、葉部などが小さくなったり、流失したりする。今後、定期的に調査し、推定精度を上げていく必要がある。

(3) 波浪(8カ所、2000年9月23日～10月23日)

水理環境の計測は、本来1年以上行うことが望ましいと考えられるが、計測器のメンテナンスや他の調査への利用などでやむを得ず1ヶ月程度となった。図-6にす



図一6 各観測点での波浪変化

すべての ST の波高、周期、波向きを示す。ST1 は水深 20 m 地点にあり、ほぼ沖波と考えて良い。ST1 から沖波として、有義波高は 0.6 m~1.4 程度で、周期は 5~10 秒程度で変化していた。平均すると波高が 0.86 m、周期 8.5 秒、波向き SE 方向であった。ST2, ST3 は西側岩礁部(潮位が低くなると干出する)の浅い地点である。ここは沖側に岬状の干出岩礁があるために波高がやや小さくなっている。ST2 の方が沖側のために ST3 より波高が大きい。波向きは、ST2, 3、それぞれ E, NE 方向であり、岩礁による屈折効果が伺える。両者ともに潮位変動による波高変化が顕著である。これは岩礁の影響が潮位によって大きく変動するためである。ST4 は東側岩礁部に位置し、比較的波あたりの強い地点と考えられる。湾中央部の ST5 よりも概ね上回っている。両者の波向きはほぼ ST1 に等しい。湾奥部潜堤前面の ST6 では波高 0.3~0.8 m 程度となっており、波向きはほぼ一定で SSE となっている。潜堤背後の ST7, ST8 は波高 0.1~0.3 m 程度の間で変化している。両者ともに潮位変動との相関が良い。潮位が高いと波高が増大し、潮位が低くなると

波高が小さくなる。これは潜堤の天端水深の変化によって消波性能が変化するためである。入射波として ST6 のデータを用いて中山 (1994) による潜堤の波高伝達率の実験式を本潜堤に適用したところ、実測値に近い値が得られた。

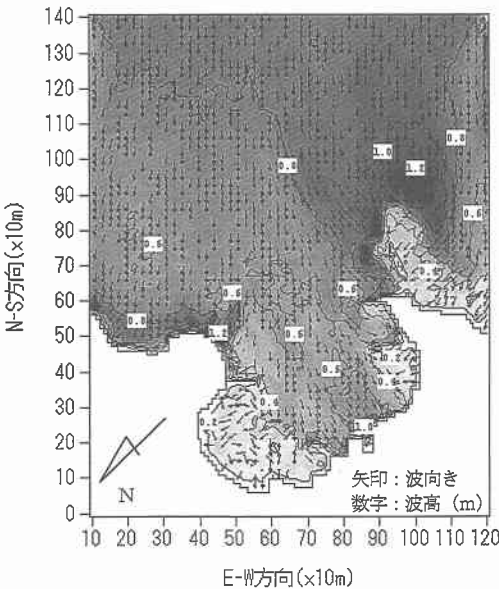
以上をまとめると以下になる。①アラメ・カジメが優先的に分布する ST4 は波あたりが強かった。②アラメ、カジメ、モク類の混生する ST2, 6 では ST4 よりやや波あたりが弱い。③モク類が優先する ST3 はさらに弱い。④潜堤背後は潜堤の消波効果により、波浪は極めて小さい。

4. 波浪及び流れの数値計算

現地で得られたデータをもとに緩勾配不規則波動方程式によって、波浪の平面的な分布を求めた。また、潮汐による流れの計算も行った。なお、水深データは海図及び興津港の港湾計画図面をもとに作成したが、ST2, ST3 の位置する岩礁付近については、今回の魚探によって得られた水深データを用いて修正した。メッシュ間隔は両者ともに 10 m とした。

(1) 波浪分布の計算

石井ら (1995) による緩勾配不規則波動方程式に任意反射を考慮したモデルにより、波浪計算を行った。構造物、砂浜、岩礁で適当な反射率を設定した。入射波は 3 (3) で述べた観測期間の平均波(有義波高 0.86 m、周期 8.5 秒)を用い、SMAX を 10 とした。なお、潮位を 20 cm 毎に、最大 1.5 m まで変化させて計算を行った。ここでは、平均水面での結果のみを図-7 に示す。造波境界を上



図一7 興津湾での波高、波向分布

辺とし、これに対して直角に沖波が侵入するようにした。その結果、上辺がSEとなっている。観測地点と比較すると、波高に関してはST2, ST3で計算値がやや大きめであるが、その他の点についてはほぼ観測の平均値と同程度である。波向きについてはほぼ妥当な結果を与えている。この計算結果から、興津湾の波浪分布を見ると西側岩礁部（図右側, ST2, ST3）及び東側岩礁部（図左側, ST4）で波浪が集中しており、波高が他の領域より顕著に大きくなっている。西側岩礁部周辺は特に大きく、沖波波高の1.7倍にもなっている。両岩礁域付近で船上作業する毎に波浪状況を観察していたが、やはり波高が大きく、船が近づけない状態であった。アラメ・カジメ群落形成されている領域（図-5参照）と波浪の高い領域とは極めて高い相関がある。このことは、アラメ・カジメ類は流動性が高い領域で安定的に形成されることを示唆している。潜堤沖側斜面部では、周辺と比較して波高が0.6 mまで増大しており、当初アラメが成育した原因も波高増大効果によるものと考えられる。また、潜水調査をしていないが、西側岩礁部の右側の領域は波高が小さく、この領域にはモク類が優先していることが予備的観察で確認されている。

(2) 潮流計算

潮流は、非線形長波方程式を差分化したものを用いた。周期を12時間とし、潮汐の振幅を0.75 mとした。沖側では、ST1のADCPで計測された水平流速の鉛直分布から得られる平均流速の時系列データをもとに潮流（振幅0.09 cm/s）及び恒流（0.017 m/s）を設定した。計算から得られた残差流ベクトル及び発散（絶対値）を図-8に示す。この図と推定した海藻高さ分布（図-5）を比べると極めて相関が高いことが分かる。発散の絶対値が大きいのは地形変化が大きいことによるが、流速の収束・発散が大きい領域は隣り合っている。このような領域は、海藻の卵や遊走子、モク類の場合では流れ藻の集積・発散に都合の良い場所であると考えられる。なお、潮位毎に流速の発散を求めて、その分布を検討したところ、正負や値そのものは当然変化するが絶対値の分布形状は残差流のそれと概ね同様であることが分かった。

5. まとめ

以上、現地調査及び数値計算結果について述べた。これまでの検討から以下のことが言える。

(1) 波あたりが強い場所には、アラメ・カジメ群落が優先する。それに対して、波あたりの弱い場所はモク類が優先することが確認できた。

(2) 現地計測データをもとに波浪分布を計算したところ、海藻の分布と良い相関を示した。

(3) 潮流計算による流速の発散（絶対値）が大きい領

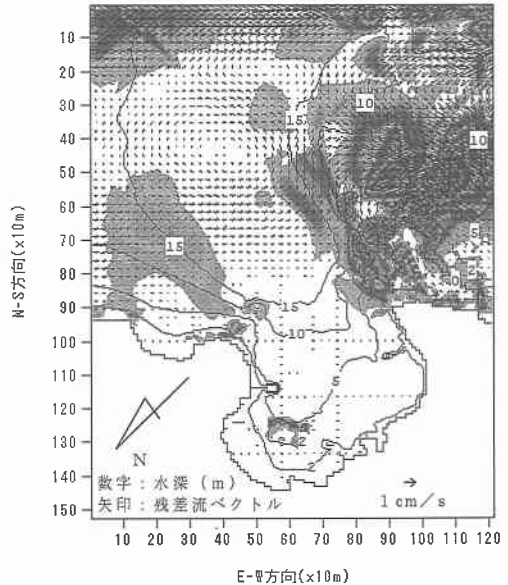


図-8 残差流ベクトル及び発散（絶対値 $5.0E-6$ 1/s以上を塗りつぶし濃いほど大きい）

域と海藻分布領域とは良い相関関係がある。

(4) 波浪環境は主に海藻の成育に関与し、流程の長い潮流は海藻の安定的世帯交代と成育領域拡大にとって大きな役割を果たしていると考えられる。

(5) 魚探による海藻分布計測は有効である。この種の調査においては極めて強力なツールになる。

しかし、今回行った調査は短期的であり、今後も継続的に調査・分析を行うことにより初めて定量的な評価が可能となる。また、他の海域では食害動物が問題になっているが、興津湾ではそのような動物は少ないのはなぜか？黒潮が比較的近くを流れているのに伊豆で起こっているような高温化に伴う枯死や魚類による食害が起こらないのはなぜか？このような課題について今後検討していく予定である。最後に本調査を行うに当たって、快く調査を許可していただいた漁業者、勝浦漁協興津支所、千葉県港湾課の皆様に対して謝意を表します。

参考文献

- 石井敏雅・磯部雅彦・渡辺 晃 (1995): 有理化近似に基づく緩勾配不規則波動方程式を用いた波浪場・海浜流場計算法の実務問題への適用性, 海岸論文集, 第42巻, pp. 191-195.
- 川俣 茂 (1994): 磯根漁場造成における物理的擾乱の重要性, 水産工学, 31, 2, pp. 103-110.
- 桑原久実・金田友紀・川井唯史 (2000): 北海道南西部磯焼け地帯の囲い礁によるホソメコンブ群落の形成条件, 海岸論文集, 第47巻, pp. 1181-1185.
- 中山哲殿 (1994): 人口リーフの水理特性及び被覆材の安定に関する実験的研究(その2), 水工研技報(水産土木), 第16号, pp. 35-45.