

中に伸張し、目印周辺海底のアマモの被度について潜水士による目視観察による調査を行った。なお、アマモの潜水調査に先立ち、船上からの箱めがねによる予備調査を行い、明らかにアマモが分布していない範囲は潜水調査範囲より除外した。また、底質調査はアマモ場分布調査と同時に実施し、粒度および強熱減量の分析を行った。これらの調査結果はそれぞれのメッシュごとに整理した。

流況調査は、図-2 に示す水深 -2.0 m 地点に水圧センサー付き電磁流流速計を設置し、1991年1月28日12時より29日12時までの24時間の連続測定を行った。また、携帯式流速計を用いて流況平面分布を測定した。

なお、アマモ分布調査は当該地点においてアマモ場が衰退する時期の冬期（1990年12月～1991年1月）および最も拡大する時期の初夏期（1991年6月）の2回実施した。

2.2 アマモ分布

調査範囲におけるアマモの分布範囲を図-3に示す。竹岡海岸ではアマモの分布範囲は冬期には水深 -3～-4 m 付近が中心であったが、最繁茂期の初夏期には沖側水深 -6 m 付近まで広がっている。なお、初夏期にアマモが分布するメッシュ数は冬期の約2倍であった。

2.3 底質分布

調査地点の底質は中央粒径 $0.12 \sim 0.26 \text{ mm}$ 、粒径 $75 \mu\text{m}$ 未満のシルト以下の細粒子成分割合は岸側で5%、沖側で20%前後の砂泥質である。また、強熱減量3～5%であった。なお、強熱減量はシルト以下の細粒子成分割合に概略比例していた。

3. 数値計算

3.1 計算方法

竹岡海岸地点の図-2に示す領域（メッシュ間隔10 m）に対して、現地適用性が確認されている清水ら

（1989）による3次元海浜変形予測モデルを用いて、海浜流および底質移動に関するシミュレーションを行った。計算に用いた波浪条件は小舟ら（1990）による竹岡海岸近傍の浜金谷港における1988年の波浪観測データより決定した。浜金谷港の最大有義波高は3.49 m、年間平均有義波高は0.59 mである。年間平均有義波高程度の通常波浪の状態ではアマモ群落は維持されていると考えられることから、数値計算に用いる波浪条件はアマモにとって平均有義波高よりもやや条件の厳しくなる条件を考えた。このことより解析に用いる高波浪時の代表波は有義波高1 m、周期は小舟ら（1990）による浜金谷港の波高周期度数分布表より4秒とした。この条件は未超過出現率約90%であり、通常見られる（3回/月程度）やや高波浪の状態に相当するものである。

代表波の波向は、周辺地区の三浦および木更津の気象観測所における1985年1月1日～1989年12月31日までの地域気象観測資料（アメダス）による風況データを用いて推定した。当該地点では風速 8.0 m/s 以上の強風はSW方向より吹くことから、高波浪時の波はアマモ場沖の浅海域での屈折、回折を考慮し、図-3に示す調査メッシュの汀線直角方向に対して 0° および 22.5° の方向から入射するものとした。

数値計算に用いた底質条件は、現地調査結果を参考に底質代表粒径 0.22 mm 、底質代表密度 2.65 g/cm^3 と

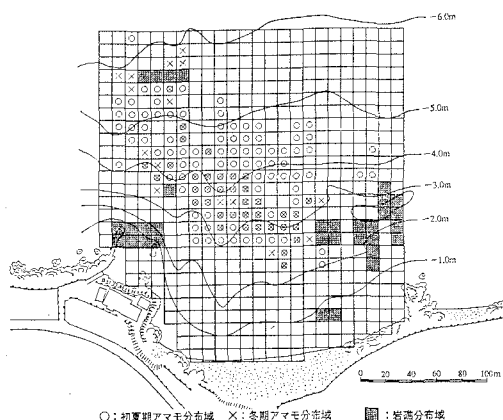


図-3 アマモ分布範囲

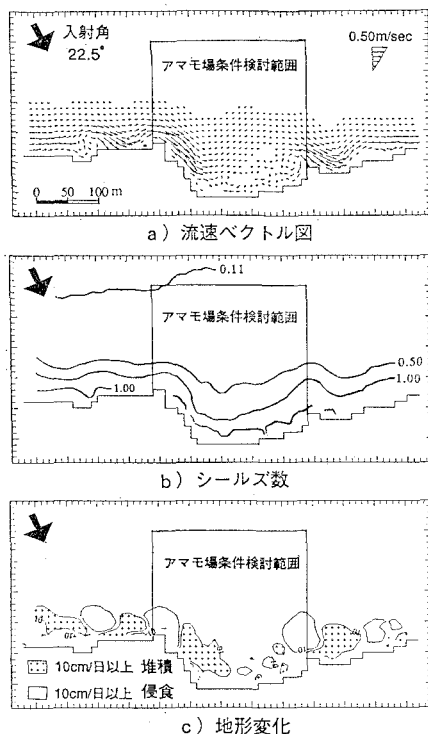


図-4 数値計算結果

し、全計算領域にわたり一様に十分な層厚で砂が分布していると仮定した。

アマモ場の分布の検討に用いたパラメータは、アマモの生息している底質に直接外力として影響する条件を考慮して、流速、シールズ数および砂の移動による水深変化量 (cm/日) とした。

3.2 計算結果

入射角 22.5° における海浜流計算結果を図-4に示す。波浪による海浜流は湾の左側で最大となる。また、湾の中央部やや右側で明らかな環流域が認められた。

シールズ数は概ね水深に比例している。底質移動の限界シールズ数 Ψ_c は本地点のような細砂の場合で 0.11 であるから、調査地点のアマモ場分布範囲のほとんどの部分は底質が移動しうる状況であると言える。

砂の移動による水深変化は、アマモ場分布調査範囲の境界部岸寄りの部分および湾中心部岸寄りの一部が侵食を受け、湾内左側岸寄りの部分が堆積を受ける領域である。

4. アマモ場条件の検討

4.1 検討方法

アマモ場成立条件は、各調査メッシュの各パラメータの数値とアマモの分布の有無との対照により検討した。

アマモ場の分布が数値計算に用いるメッシュ内部の平均的状況を表しているのに対し、数値計算結果はメッシュの交点の持つ値である。このため、数値計算結果による各メッシュの代表値はメッシュを構成する4点の数値を平均したものをを用いた。数値計算結果および底質分布との比較対象とするアマモの分布状況は、アマモ場の範囲が縮小しており、かつアマモの草丈が低く、分布も疎らであり、アマモの存在による流れや砂の移動といった物理的現象への影響が少ないと考えられる冬期の調査結果を用いた。

4.2 底質条件

底質条件によるアマモ場条件検討範囲は、図-2に示す底質調査地点の調査結果を用いて、底質状況が内挿法によって推定できる範囲とした。

中央粒径およびシルト以下の細粒子成分の割合と強熱減量によるアマモの分布状況を図-5に示す。アマモは中央粒径および強熱減量のほぼ全範囲に分布するが、シルト以下の細粒子成分割合が 19% を越える範囲には分布していなかった。

4.3 アマモの存在範囲の物理的条件

水深別の流速、シールズ数および水深変化量の分布を図-6に示す。なお、入射角は 22.5° を用いている。

流速およびシールズ数は、岸近くの水深 $-1 \sim -2$ m で極大となり、水深増加につれて減少している。また、水深変化は水深 $-3 \sim -4$ m 以浅で侵食域と堆積域が分かれている。

アマモの分布範囲とシールズ数および水深変化量との関係では図-7に示すように、アマモの分布範囲はシールズ数がおおよそ 0.5 以下であり、かつ堆積傾向の場所に主として分布することが示されている。また、シール

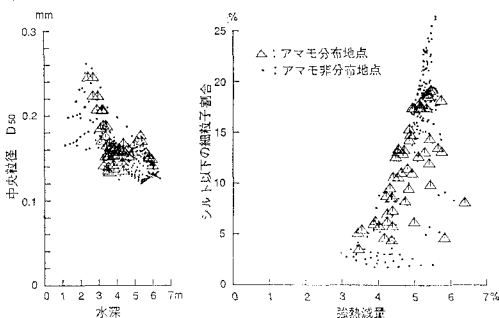


図-5 底質別アマモ分布

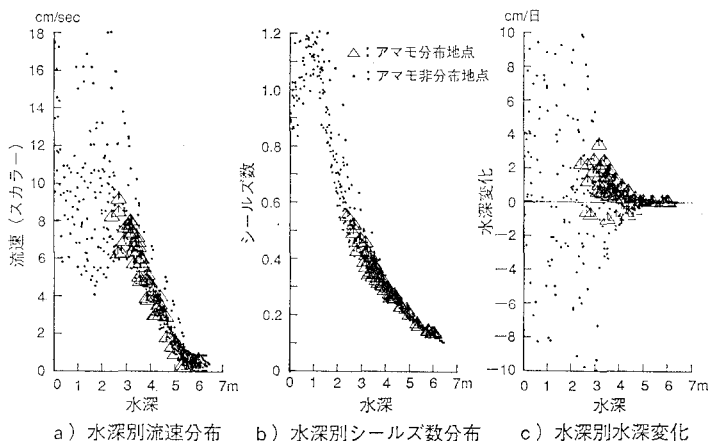


図-6 水深別物理条件分布

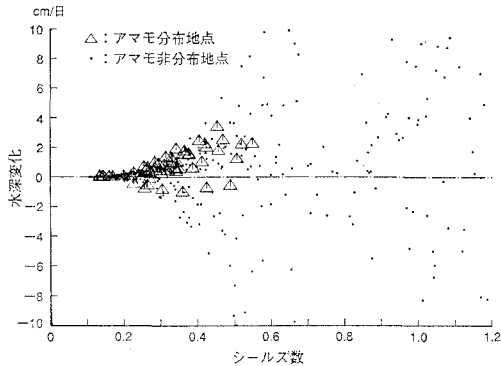


図-7 シールズ数と水深変化量によるアマモ分布範囲

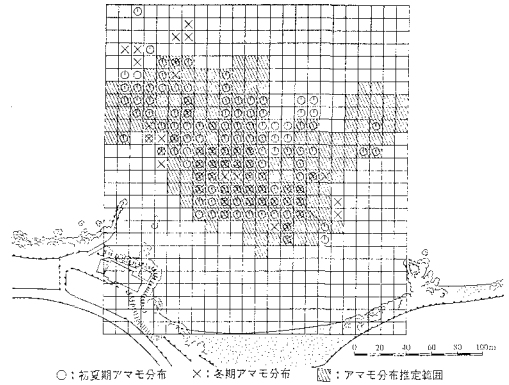


図-8 アマモ場推定分布範囲

表-1 アマモ存在範囲

入射角	項目	最小値	平均値	最大値	平均±標準偏差
0°	流速(cm/sec)	1.40	4.00	8.55	1.93~6.07
	シールズ数(Ψ)	0.14	0.34	0.65	0.22~0.46
	地形変化量(cm/日)	-3.26	1.40	5.96	-0.55~3.34
22.5°	流速(cm/sec)	0.16	4.08	8.77	0.11~6.50
	シールズ数(Ψ)	0.14	0.31	0.55	0.21~0.41
	地形変化量(cm/日)	-1.05	0.69	2.46	-0.18~1.56

ズ数が 0.5 を越えるようなシートフロー状態の激しい砂移動が生じる場所にはアマモはほとんど分布していない。なお、入射角別の各物理条件によるアマモ分布範囲を表-1に示す。

流速および地形変化は入射角 0° の時に若干大きくなる傾向がみられたが、シールズ数としては両者ともほとんど変化が見られなかった。

これらのことより総合的に検討した、竹岡海岸の波高 1m、周期 4 秒の条件におけるアマモの分布範囲の推定条件を以下に示す。

- ・水 深: -5.5m 以浅
- ・泥 分 割 合: 19% 以下
- ・流 速: 8.0cm/s 以下
- ・シールズ数: 0.6以下
- ・地形変化量: -0.5~4.0cm/日

4.4 アマモ場分布の推定

アマモの存在する底質および物理的条件を、現地調査を行った竹岡海岸の数値計算結果にフィードバックして、現実のアマモ場分布範囲の再現性について検討を行った。

物理的条件としては、波高 1m、周期 4 秒、入射角 22.5° の条件で計算したシールズ数および水深変化量を、底質条件としてはシルトの細粒子成分以下の割合（底質調査範囲外の部分については外挿法で推定）を用い、これらのデータを前述したアマモの分布条件でスク

リーニングすることにより、アマモ場の分布範囲を推定した。

アマモ場の推定分布範囲を図-8に示す。本検討によるアマモ場推定分布範囲では、冬の衰退期にもアマモの分布している中心的分布域が再現されている。さらに、このアマモ場推定分布範囲はアマモ場の分布が最も広がる初夏期のアマモ場分布範囲をほぼ表している。

5. 考 察

アマモ場の存在に物理的な外力が影響することは、従来より指摘されていることであるが、特に漂砂と密接に関係があると考えられる。

本研究では海浜変形の平面分布計算結果と海浜流シミュレーションによるシールズ数、流速、地形変化および底質条件といった限定された条件のみを用いて、アマモ場の概略の分布範囲を把握できることを示した。

アマモ場分布の推定範囲が、アマモ場の最も拡大する範囲を概略表していることは、アマモは物理的条件の適合する場所のみ生育しうることと示していると考えられる。

アマモは種子および地下茎の枝分かれによって増殖するが、この増殖生態を考えた場合、アマモと砂の移動には次のような関係が考えられる。

アマモの種子は底質の表面から 10cm 程度に埋没し、底質が黒変するような嫌気状態で発芽している。発芽のため底質が嫌気条件になるためには、堆積傾向にあることが必要である。しかしながら、過度の砂の堆積はかえってアマモの発芽を阻害すると考えられる。

また、アマモ場の潜水観察によれば、成長したアマモは底質表面下 10cm 程度の地下茎より上に向かって伸びていることが確認される。地下茎や発芽直後の若芽は底質上に露出すると各種生物によるダメージを受けやすい

表-2 漂砂移動状態別アマモ分布メッシュ数

シールズ数範囲		堆積領域		侵食領域	
		メッシュ 数 合計	アマモ 存在 メッシュ数	メッシュ 数 合計	アマモ 存在 メッシュ数
$\Psi < 0.2$ 掃流状態	初夏期	171	10	31	12
	冬期		4		4
$0.2 < \Psi < 0.5$ 浮遊状態	初夏期	138	82	63	12
	冬期		37		8
$0.5 < \Psi$ シートフロー状態	初夏期	110	5	71	—
	冬期		3		—

ので、これらは底質の中で保護される必要がある。したがって、砂の移動による地形変化は地下茎や芽が露出しない程度であることが必要である。

以上のアマモの生態特性を満たす外力条件は「種子に対しては適度な堆積傾向、成長したアマモ場に対しては地下茎や芽が露出しない程度までの砂移動」と言うことができる。

この状況を物理的に説明するために、表-2に波高1m、周期4秒、入射角22.5°における漂砂の移動形態および侵食、堆積傾向別に調査対象メッシュのうちアマモが分布しているメッシュ数を表した。なお、シールズ数による漂砂の移動状態の区分は清水ら(1990)によった。

堆積傾向にある領域では、漂砂がシートフロー状態の範囲でもアマモはわずかながら分布しているが、最もアマモの分布が多い範囲は浮遊移動状態の部分である。一方、侵食傾向にある領域では漂砂がシートフロー状態の部分にはアマモは見られない。このことは、前述のアマモの生態特性を満たす外力条件の記述に整合するものである。

なお、堆積傾向にある領域において、アマモ分布が漂砂移動が掃流状態にある範囲よりも浮遊状態の場所に多いことは、アマモの生育にとって、適度に堆積物等を浮遊状態にして移動させうる状態が好適環境であること、すなわちアマモの葉の表面に土砂等が堆積しない状態やアマモの葉表面の生物付着が漂砂によって防止される状態などが望ましい環境であることを示唆するものと考えられる。

現実のモ場造成にあたっては、アマモ場造成適地を選定するとともに、砂の移動等の外力条件を制御する必要がある。本研究によるアマモ場成立条件は、このような場合の設計指針になりうるものと考えられる。

5. おわりに

本検討では近年現地適用性が確認されつつある海浜変形シミュレーション結果を用いて、月に3回程度発生する波高1m、周期4秒の条件におけるアマモ場の範囲を概略把握できることを示した。また、アマモの分布を漂砂移動形態および地形変化量より検討し、アマモの繁殖、生存条件は漂砂の移動と良く整合していることを明らかにした。

数値計算や水深、底質によってアマモ場の分布範囲が把握できれば、アマモ場造成範囲を特定することができるだけでなく、現在アマモ場として不適な場所でも波浪等を制御することによってアマモ場が成立する可能性を示すものである。

現在のところ、限定した地域および波浪条件で検討をしたにすぎない。今後はさらに種々の波浪条件に対する検討や、他の海域のアマモ場に対しても同様の検討を行う予定である。

なお、本研究を行うにあたり有益な御助言を頂いた(財)電力中央研究所水域環境研究室の寺脇利信主査研究員およびアマモの現地調査を御快諾頂いた天羽漁業協同組合の方々にお礼申し上げる。また、本稿執筆に際して有意義なアドバイスを頂いた五洋建設清水琢三、金山進の両氏ならびに現地調査に協力頂いた関日本海洋生物研究所の方々に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 川崎保夫・飯塚貞二・後藤 弘・寺脇利信・渡辺康憲・菊池弘太郎(1988): アマモ場造成法に関する研究, 電力中央研究所総合報告, U14, 231 p.
- 川崎保夫・石川雄介・丸山康樹(1991): アマモ場造成の適地選定法, 沿岸海洋研究ノート, 第27巻, 2号, pp. 136-145.
- 小舟浩治・亀山 豊・菅原一晃・橋本典明(1990): 沿岸波浪観測年報(1988), 港湾技研資料, No. 666, pp. 212-216.
- 清水琢三・野谷 斎・近藤浩右・西 祐二・山本正昭(1989): 海浜変形予測手法の現地適用性に関する研究, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 404-408.
- 清水琢三・近藤浩右・渡辺 晃(1990): 局所漂砂量算定式の現地適用性に関する研究, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 274-278.
- 播手格一・小川和敏・国武和人(1975): アマモの増殖に関する研究—III, 播種によるアマモ場造成について, 栽培技研, 第4巻, 2号, pp. 21-26.
- 福田富男・寺嶋 朴(1986): アマモ場造成に関する研究—III, アマモの生長及び敷砂の変化について, 栽培技研, 第15巻, 2号, pp. 101-114.
- 布施慎一郎(1962): アマモ場における動物群集, 生理生態, 第11巻, pp. 1-22.
- 丸山康樹・五十嵐由雄・石川雄介(1987): アマモ場適地選定手法, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 227-231.