

## 外力との比較による生物分布条件の検討手法 - 数値計算による海藻分布の定量化 -

中瀬 浩太\* 上村 圭介\*\*

### 要 旨

開放的な海域における波浪条件は、海洋生物の生息にとって重要な制限要因となる。一方、これまでの研究では生息条件としての波浪の評価については定性的な表現がほとんどで、港湾施設の計画や設計への適用がしにくかった。そこで本研究では数値計算を用いて波浪条件を定量的に評価し、生物分布のデータと直接比較することにより、外力からみた生息条件の抽出を試みた。

対象海域は太平洋沿岸と日本海沿岸の2カ所とし、そこでの海藻の分布と波高や水深等の外力・自然条件から、藻場分布の範囲を定量的に表した。この条件を波高分布と深浅図に当てはめたところ、両対象海域ともに実際の藻場分布と高い類似性を示し、検討手法の藻場分布予測への適用性が確認できた。

### 1. まえがき

近年、港湾や海岸に構造物を建設する際には、自然環境への配慮が当然のこととして要求されるようになってきている。特に藻場はマウンドや消波ブロック等を工夫することによって造成できることから構造物への適用が比較的容易であり、かつ藻場を中心として形成される生物相は多様性が高いことから、その造成や保全が重要視されている。このため、構造物建設の計画において藻場を保全あるいは造成するために、構造物の存在が藻場へ与える影響の予測、および構造物上に形成される藻場の植生予測が必要である。

従来のアラメ、ホンダワラ等大型海藻の植生を予測する手法は、現地調査結果により分布する水深や定性的波浪状況を記述するものであり、藻場の存在条件は、定性的な表現にとどまっている。しかし、実際の港湾などで藻場造成の計画を行う際には、藻場の分布条件を定量化する予測手法が要求される。

生物の分布する条件を定量的に抽出した研究は始まったばかりでその蓄積は少なく、生物の生息する場を「設計」できるまでには至っていない。そこで今までに行われた藻場の成立条件を定量的に表している事例を集め、問題点を抽出するとともに、日本海及び太平洋沿岸での生物調査資料を用いて、藻場の分布と数値計算による波高分布や水深との比較を行い、大型海藻の分布条件を水深と波高より定量的に表現することを検討した。

### 2. 生物分布の定量的評価の事例

港湾や漁港の計画・設計に際し、砂泥域では海草のアマモ類、岩礁域ではアラメやホンダワラ等の大型褐藻類が藻場を形成する。この大型褐藻類は種類により生息水

深や波浪に対する耐性が異なることが知られており<sup>1)</sup>、このことから流動・波浪条件および、基質の形状や角度等より海藻類などの分布条件を定量的に抽出しようとする試みが行われてきた。これらの事例を表-1に示す。

今野<sup>2)</sup>は、ホンダワラやカジメ等の漸深帯大型海藻について、トランセクト法(測線)調査による水平・垂直分布調査、および海藻分布場所の目測等による波高分布より藻場分布の空間的構造を明らかにした。この調査では、波浪については波高分布状況を定性的な「露出度」という言葉で表現している。太田<sup>3)</sup>は川井<sup>4)</sup>が潮間帯における海水の流動度合の推定に用いた半球形石膏法(海中に設置した石膏塊の単位時間当たりの溶出量から海水流動を把握する方法)を漸深帯の藻場内の流動測定に用いた。この研究によりホンダワラの分布と海水の流動状況が定量的に比較された。しかしながら、石膏塊の重量変化が波によるものか、流れによるものかが明確ではなく、外力条件としてはあいまいな点がある。また、須藤<sup>5)</sup>は漁港周辺のホンダワラ類の分布域と設計沖波波高( $H_{1/3}$ )の最小値を比較し、これらの海藻の分布する場所の波高を示している。しかしながら、本報告は港内での波高変化までは考慮されていない。

村上<sup>6)</sup>は全国9ヶ所の港湾構造物等における付着動物の調査結果と、一年確率波を用いて算出した各調査地点の堤前波高とを比較し、港湾構造物上の付着生物分布と波高との関係を示した。しかし、この研究では比較対象が主に潮間帯の生物であり、藻場造成の対象となる大型褐藻に関しての情報は少ない。

海藻分布の知見を、実際の構造物の設計に当てはめる試みも見られる。置栖<sup>7)</sup>は、人工リーフの建設予定場所において、今野<sup>2)</sup>と同様に海藻の分布水深と波浪条件

\* 技術研究所 \*\* 技術研究所研修生

表 - 1 藻場分布を定量的に評価している事例

| 種類     | 対象生物     | 数値   | 数値の根拠        | 出典                        |             |                            |     |
|--------|----------|------|--------------|---------------------------|-------------|----------------------------|-----|
| 褐藻類    | アカモク     | 流速   | 5cm/s以上      | 幼胚の着定数が極めて少なくなる流速(藻場内で実測) | 8)          |                            |     |
|        | アカモク     |      | 3~4cm/s      | 幼胚の着定数が最高となる流速(水槽実験)      | 9)          |                            |     |
|        | アラメ      |      | 6~10cm/s     | 遊走子の着定数が最高となる流速(水槽実験)     | 9)          |                            |     |
|        | カジメ      |      | 1.5cm/s      | 遊走子の着定数が最高となる流速(水槽実験)     | 9)          |                            |     |
|        | ホソメコンブ   |      | 0~10cm/s     | 1日当たりの成長率が最も高くなる流速(水槽実験)  | 10)         |                            |     |
|        | カジメ・ワカメ  |      | 3cm/s        | 遊走子の着生率が最も高くなる流速(水槽実験)    | 11)         |                            |     |
|        | カジメ・ワカメ  |      | 25cm/s以上     | 遊走子の着生が不可能となる流速(水槽実験)     | 11)         |                            |     |
|        | イソモク     |      | 石膏玉減少量(海水流動) | 65~84g/日                  | 分布場所での実測値   | 12)                        |     |
|        | マメダワラ    |      |              | 42~65g/日                  |             | 12)                        |     |
|        | ヤツマタモク   |      |              | 42~65g/日                  |             | 12)                        |     |
| ヤナギモク  | 50~54g/日 | 12)  |              |                           |             |                            |     |
| ホンダワラ  | 37~51g/日 | 12)  |              |                           |             |                            |     |
| ヨレモク   | 37~84g/日 | 12)  |              |                           |             |                            |     |
| アカモク   | 40~84g/日 | 12)  |              |                           |             |                            |     |
| フシスジモク | 50g/日    | 12)  |              |                           |             |                            |     |
| ノコギリモク | 31g/日以下  | 12)  |              |                           |             |                            |     |
| 食害動物   | キタムラサキウニ | 流速   |              | 20cm/s以上                  |             | 粒径0.3mmの底質上で押し流される流速(水槽実験) | 14) |
|        | エソバフンウニ  |      | 50cm/s以下     | (殻径10~14mm)の移動限界流速(水槽実験)  | 15)         |                            |     |
|        | キタムラサキウニ |      | 2~3cm/s      | 餌集しやす流速(生けす内実測値)          | 16)         |                            |     |
| 褐藻類    | ワカメ      | 沖波波高 | 1.8m         | 対象海藻が分布する漁港の設計沖波波高        | 17)         |                            |     |
|        | カジメ      |      | 6m           |                           | 17)         |                            |     |
|        | アラメ      |      | 2.5m         |                           | 17)         |                            |     |
|        | ジョロモク    |      | 2.0m         |                           | 17)         |                            |     |
|        | ヒジキ      |      | 1.4m         |                           | 17)         |                            |     |
|        | チガイソ     |      | 3.5m         |                           | 17)         |                            |     |
|        | スジメ      |      | 2.5m         |                           | 17)         |                            |     |
|        | クロメ      |      | 2.1m         |                           | 17)         |                            |     |
|        | マコンブ     |      | 2.5m         |                           | 17)         |                            |     |
|        | ウミウチワ    |      | 1m           |                           | 17)         |                            |     |
|        | ヒバマタ     |      | 1.5m         |                           | 17)         |                            |     |
|        | フシスジモク   |      | 1.8m         |                           | 17)         |                            |     |
|        | アカモク     |      | 1m           |                           | 分布域での最大有義波高 | 17)                        |     |
|        | ノコギリモク   |      | 2.1m         |                           | 17)         |                            |     |
|        | ヤツマタモク   |      | 1m           |                           | 17)         |                            |     |
|        | マメダワラ    |      | 1m           |                           | 17)         |                            |     |
|        | オオバモク    |      | 4m           |                           | 17)         |                            |     |
|        | ヨレモク     |      | 2.1m         |                           | 17)         |                            |     |
|        | ウミトラノオ   |      | 1m           |                           | 17)         |                            |     |
|        | エソノネジモク  |      | 2m           |                           | 17)         |                            |     |
|        | クロメ      |      | 海底勾配         |                           | 1/30        | 生息できる下限の海底勾配(実測値)          | 9)  |
|        | アカモク     |      |              |                           | 1/220       | 9)                         |     |
|        | カジメ      |      | 付着基質の形状      |                           | 120°        | 幼体の入植数が最大となる基質角度(水槽実験)     | 11) |

3. 外力条件と海藻分布の比較

3.1 検討の概要

既存の海藻分布調査結果を用い、ここで得られた海藻分布状況と、その場所の水深や計算によって求めた海藻分布地点の波高を比較することにより、海藻類等の分布条件を定量的に把握することを試みた。

3.2 使用したデータ

過去の生物調査結果より海藻分布を抽出した。使用したデータは、図 - 1 に示す太平洋側のA地区と図 - 2 に示す日本海側のB地区の2ヶ所の調査結果である。A地区は外洋に直接面した漁港である。また、B地区は岩礁が突き出た地形が連なる場所である。これらの地点では、

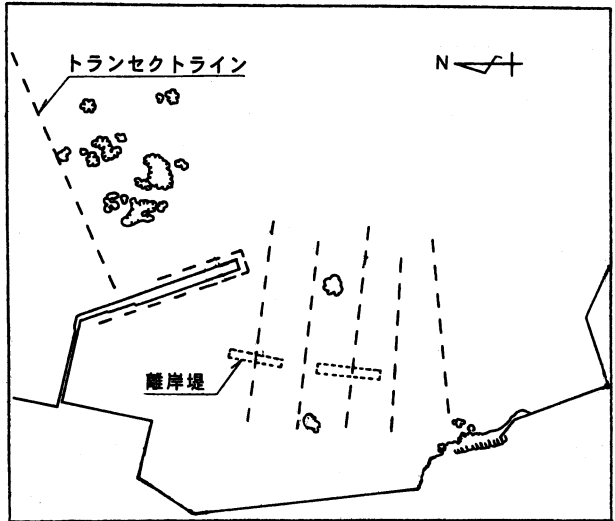


図 - 1 A地区の地形および調査測線

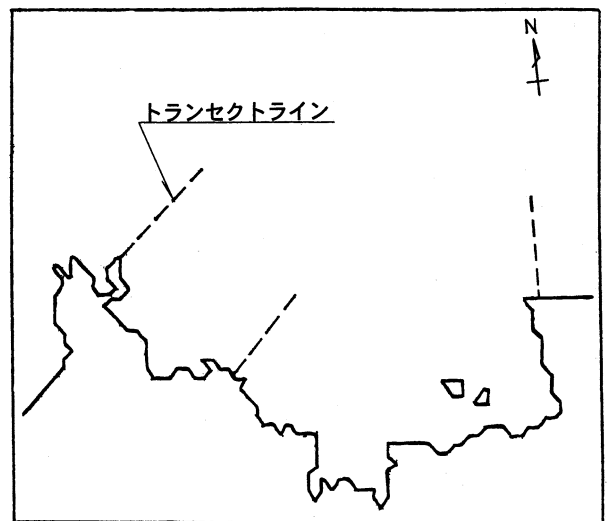


図 - 2 B地区の地形および調査測線

を調査し、人工リーフに形成される藻場の種類を推定している。しかし、この検討では波浪条件については定性的な表現になっており、また構造物の背後で波高が低減されることは考慮されていない。

以上のように、海藻類の分布を波浪条件より説明することについては、まだ決定的な手法がなく、このことが生物的条件を港湾施設等の設計条件に反映しにくい一因であると考えられる。

本研究では、波浪条件を定量的に示す手法として、港湾等の計画・設計で通常使用されている数値計算により波高の分布を求め、その結果と海藻等の分布と直接比較し、この検討手法の有効性の確認を行った。

表 - 2 各地点で実施された調査の内容

| 名称  | 場所           | 調査方法            | 調査離岸距離   | 備考       |
|-----|--------------|-----------------|----------|----------|
| A地区 | 東北地方<br>太平洋岸 | ライントラン<br>セクト調査 | 200~300m | 水産有用種も調査 |
| B地区 | 中国地方<br>日本海岸 | ライントラン<br>セクト調査 | 90~150m  |          |
|     |              | 平面分布調査          |          |          |

表 - 3 波高分布計算に用いて条件および計算方法

| 名称  | 沖波波高  | 沖波周期   | 波向  | 計算方法          | 計算格子 |
|-----|-------|--------|-----|---------------|------|
| A地区 | 4.53m | 9.75s  | E   | 港外：エネルギー平衡方程式 | 50m  |
|     |       |        |     | 港内：高山法        | 10m  |
| B地区 | 6.01m | 12.00s | NNE | エネルギー平衡方程式    | 20m  |

表 - 2 に示すような生物調査が行われている。

両海域とも河川や排水の流入が少なく、海藻類の分布は、主に波浪と水深により海藻分布が規定されていると考えられる。

### 3.3 波高分布計算

計算には波高条件として一年確率波を用いた。これは生物は1年をサイクルとした生活史をもつこと、および村上<sup>6)</sup>が生物分布と比較する波高条件として1年確率波が適当としていることより決定した。なお、各地点の年最大波高は太平洋側のA地区では冬期および台風時に、日本海側のB地区では冬期の12~1月に発生している。

両海域の計算条件の諸元を表 - 3 に示す。波高分布の算定においては、回折、屈折、浅水変形を考慮した。また、両海域とも外洋に面しており、波の不規則性が強いこと、急峻な地形により水深変化が大きいことから、波高分布状況はエネルギー平衡方程式を解くことにより再現した。なお、A地区では港内については反射波等の影響が考えられるため高山法を用い、港外についてはエネルギー平衡方程式を用いて波高分布を計算した。

## 4. 検討結果および考察

### 4.1 海藻類の分布範囲

両海域の海藻優占種について、その分布と波高条件をグラフ上で直接比較した。グラフの縦軸に波高、横軸に水深を取り、各海藻種の存在を被度別にプロットした。水深をパラメータとしたのは、海藻類にとって光条件が分布を規定する条件として重要であるためである。また、これらのプロットのうち、海藻被度が25%以上の範囲をその海藻の「分布範囲」とした。

波高や生物分布を比較するにあたっては、これらの影響が強く反映される時期の生物分布を用いる必要がある。太平洋側のA地区では、冬期および台風時に高波浪が発生することから、これらの時期に対応して春期(3月)および秋期(10月)の生物調査結果を用いた。また、日本海側のB地区では、毎年の最大波浪は12~1月に発生し

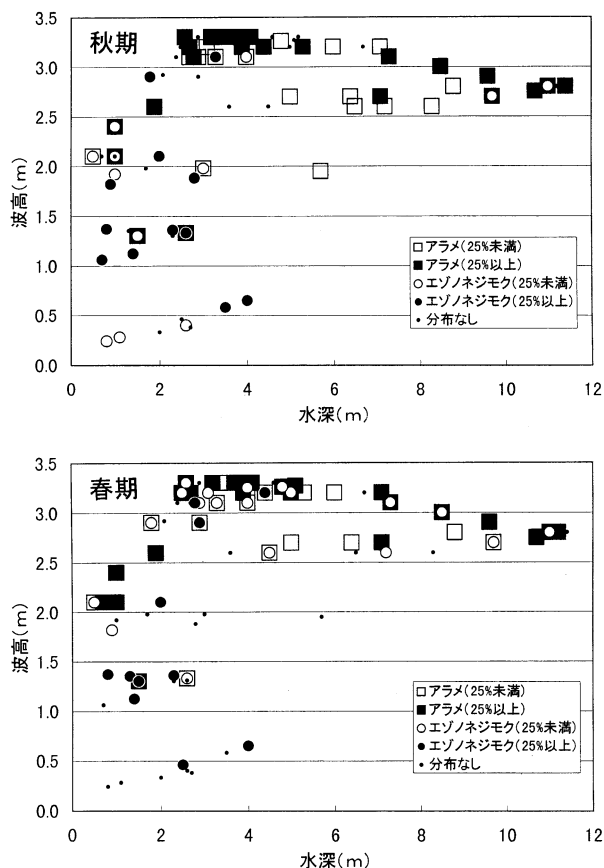


図 - 3 A地区の海藻優占種分布の波高・水深の関係

ていることから、その直後の2~3月の生物調査結果を比較対象とした。これにより、波高、水深の条件から各生物種の分布範囲を抽出した。

A地区の秋期と春期における各トランセクトライン上の海藻の分布を図 - 3 に示す。本海域ではアラメとホンダワラ類のエゾノネジモクが優占種として見られた。

これらの海藻の種ごとの分布は水深と波高によって異なっている。アラメは幅広い水深で分布するが、特に波高1.3~3.3m、水深1.0~11.0mの範囲に被度の高い群落が見られ、季節による分布の変動はほとんどみられなかった。一方エゾノネジモクは秋期、春期の両時期ともに波高0.5~3.0m付近、水深0.8~4.0m付近に分布しており、周年を通して出現量の多い範囲は波高1.0~1.5m、水深1.0~3.0mの範囲であった。

それぞれの地点の波高と水深よりみた海藻の分布範囲を図 - 4、5 に示す。なお、秋期と春期の調査を行っているA地点では海藻分布範囲の季節変化も示している。アラメは季節的变化はほとんどみられなかったが、エゾノネジモクは秋期より春期に水深分布がやや広がる。

B 地区ではホンダワラ類のマメタワラ、イソモク、ヤツタモク、オオバモク、ノコギリモクは種ごとに分布水深と波高が異なっていた。マメタワラとイソモクとヤツタモクは波高 1.9 ~ 4.0 m、水深 1.6 ~ 6.0 m の条件の範囲に分布している。この中でマメタワラは波高 1.9 ~ 3.5 m、ヤツタモクはやや高波浪側の波高 2.5 ~ 4.0 m の範囲に分布している。

さらに波高が高く水深の大きな波高 2.8 ~ 6.5 m、水深 3.5 ~ 18.8 m の範囲にはオオバモクと当該地区の優占種であるノコギリモクが分布していた。また、この範囲内の波高 4.7 ~ 6.1 m、水深 7.6 ~ 12.9 m の比較的高波浪かる大水深の場所にはクロメが分布していた。

B 地区の海域は急深地形であり 10 m 以深の場所が多いことがノコギリモクの分布量の多い原因と考えられる。

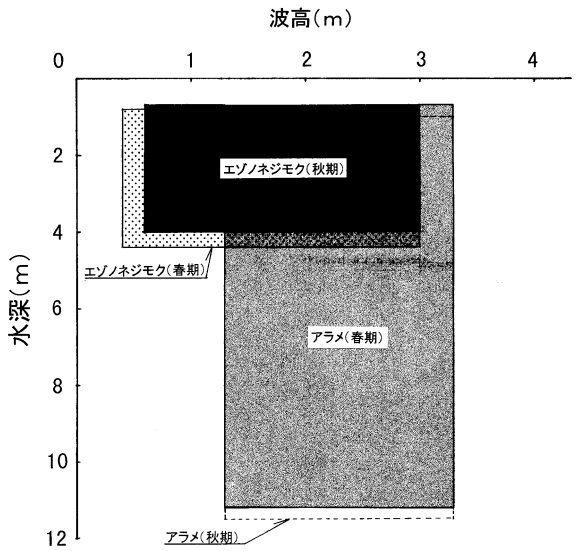


図 - 4 A 地区の波高・水深より見た海藻分布状況

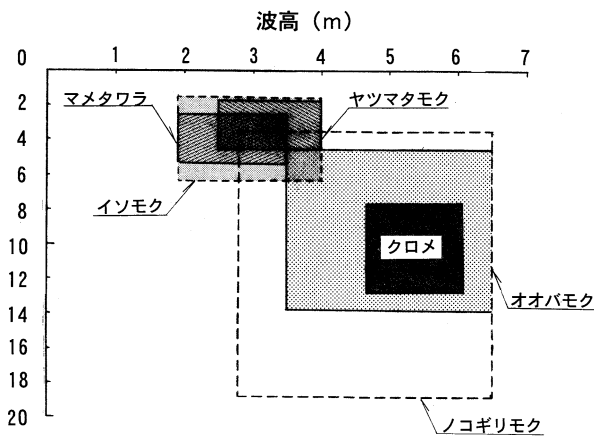
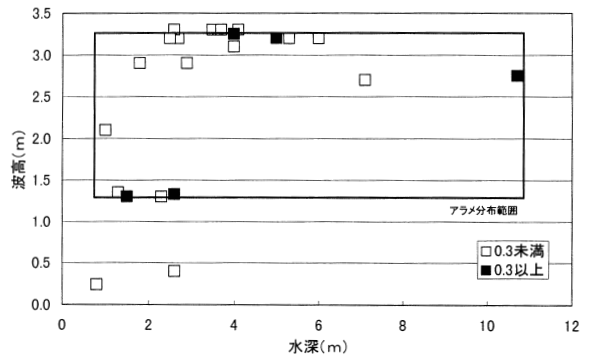


図 - 5 B 地区の波高・水深より見た海藻分布状況

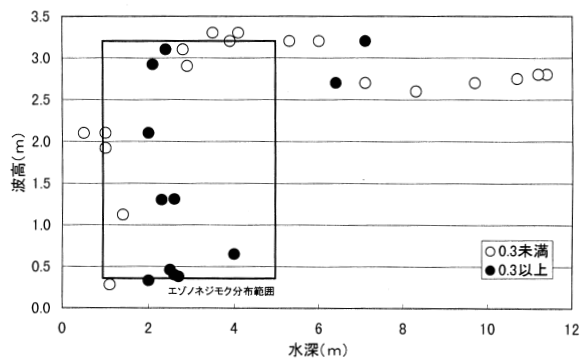
#### 4.2 藻食動物への適用

A 地区では、海藻を餌料としている生物(エゾアワビ、キタムラサキウニ、パフンウニ)の分布についても海藻分布と同様の方法で検討した。これらの生物は水産資源である反面、これらの生物が増加しすぎると食害作用が強くなり藻場にダメージを与える。

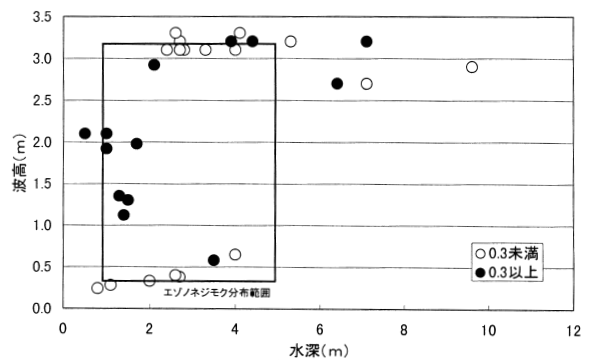
エゾアワビは、図 - 6 に示すようにアラムの分布と類似性が高く、また、ウニ類(キタムラサキウニ、パフンウニ)はエゾノネジモクの分布と類似性が高い。アワビ



(a) エゾアワビの分布密度 (個体数/㎡)



(b) キタムラサキウニの分布密度 (個体数/㎡)



(c) パフンウニの分布密度 (個体数/㎡)

図 - 6 藻食動物の分布密度と海藻分布範囲 (春期)



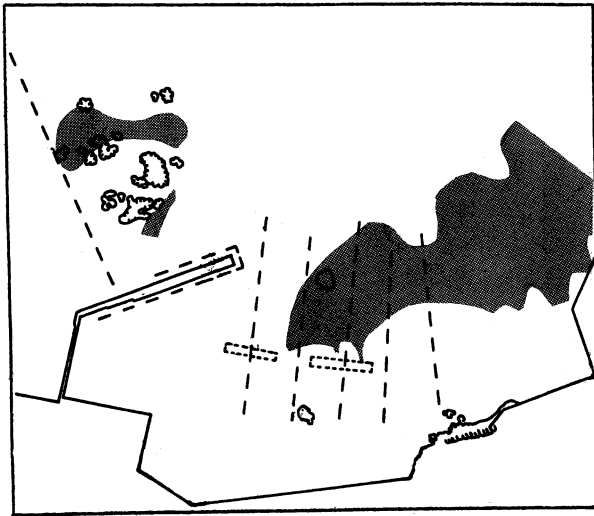


図 - 7 波高と水深から推定したアラメ分布 (A地点)

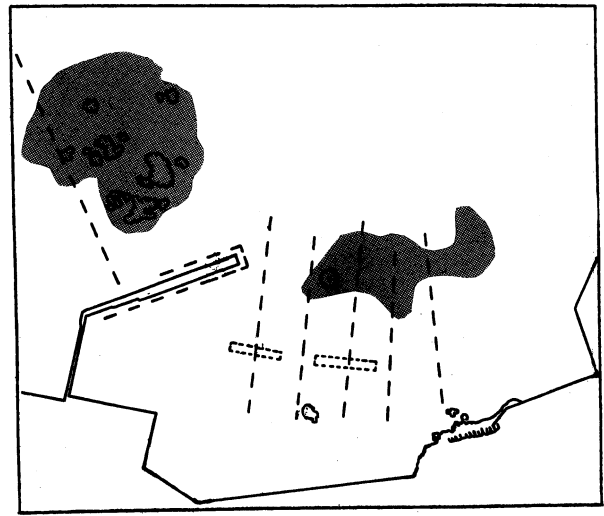


図 - 8 実際のアラメ分布 (A地点)

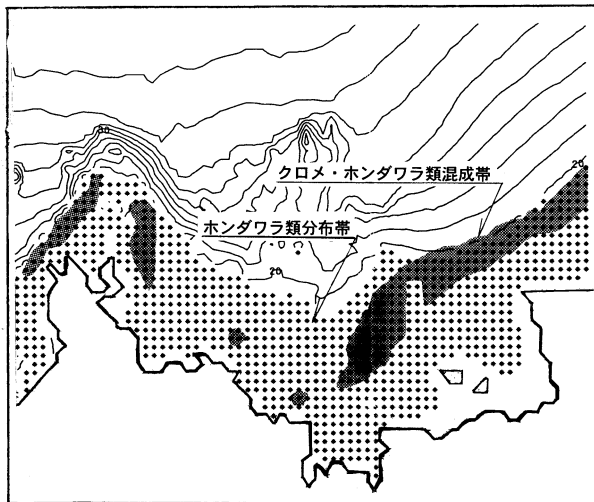


図 - 9 波高と水深から推定した藻場分布 (B地点)

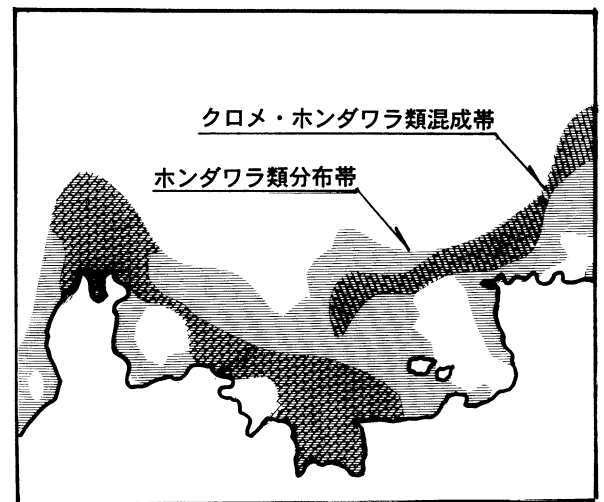


図 - 10 実際の藻場分布 (B地点)

に対するアラメの餌料価値が高いことが既存の文献<sup>8)</sup>よりわかっており、エゾアワビの分布範囲はアラメに規定されることが明らかになった。

ウニ類とエゾノネジモクとの分布も高い類似性を示している。しかし、ウニ類はエゾノネジモクを好んで摂餌するという報告はみられず、また、波浪が50cm/s以上では体が安定せず摂餌ができないとの報告<sup>15)</sup>のように波浪に対する付着力の耐性が弱いことから、ウニ類は、浅海の静穏な範囲に分布が規定され、エゾノネジモクと分布が重なったものと考えられる。また、波高の高い場所でも岩のくぼみ等の局所的に波浪の影響が小さくなる場所では生息可能であり、このことが波高3.0m付近にも分布している原因であると推測される。

#### 4.3 分布範囲の再現

図-4、5に示した海藻の分布条件を、波高分布計算結果と深浅図に当てはめ、藻場分布範囲を推定した。ここで推定した藻場の分布と実際の藻場分布と比較することで、本検討方法の妥当性を確認した。

A地区ではアラメ(活性が落ちる秋期のデータを使用。波高1.3~3.3m、水深1.0~11.5m)、B地区ではホンダワラ類(波高1.9~6.5m、水深1.6~18.8m)、およびクロメとホンダワラ類の混生群落(波高4.7~6.1m、水深7.6~12.9m)の条件を用いた。

A地区のアラメの分布条件から平面分布を推定すると図-7のようになり、図-8に示す実際のアラメ分布と比較しても類似性が高いことが確認された。

B地区の条件から推定した藻場分布を図-9、現存の海藻分布を図-10に示す。ここでも推定した藻場分布と実際の海藻分布は整合していることが明らかである。

このように、太平洋、日本海と環境が異なった海域におけるクロメとアラメなどの種の異なる海藻であっても、現地調査結果と数値計算による波高分布および、深浅図から求めた分布条件を検討することにより、これらの海藻の分布範囲を推定できることが明らかとなった。

#### 5. あとがき

本検討では、今まで明確には表現されなかった海藻の分布にかかわる波浪条件を、港湾等の計画に通常用いられている波高分布計算結果を用いることにより定量的に表現した。本検討方法を用いれば、構造物設置後の波高分布の変化に対応することが可能であるため、港湾や漁港の計画・設計において藻場や生物の生息環境を提案できると考えられる。

しかし、今回の検討は波浪条件が特に重要と考えられる場所でのみ行っており、他の制限要因、例えば潮流などについては検討を行っていない。また、今回の検討結果と実際の分布範囲と一致しない部分もあった。これらについては、今後とも検討を積み重ねてゆく必要がある。さらに、本検討はあくまで海藻の分布を「生息するか・しないか」で推定したものであって、海藻の被度や分布量までは把握できていない。

また、今回は限られた種についてのみ検討したが、今後はさらに多くの種について検討手法の適応性を確認していくつもりである。また、海藻分布範囲内で、どの場所が最も活力ある分布状況を示すのかについても検討してゆく必要がある。

いずれにせよ本検討のような生物生息条件の定量的表現は、まだ始まったばかりであり、今後、多くの事例の蓄積が必要と考えられる。

#### 参考文献

1) YOSHIDA, T., SAWADA, T. AND HIGAKI, M. : Sargassum vegetation growing in the sea around Tsuyazaki, north Kyushu, Japan. Pacific Science, pp.135-144, 1963  
 2) 今野敏徳 : ガラモ場・カジメ場の植生構造、月刊海洋科学、Vol.17、No.1、pp.57-65、1985  
 3) 太田雅隆・二宮早由子 : ホンダワラ属海藻の分布と海水流動との関係、藻類、No.38、pp.179-185、1990  
 4) 川井浩史・丸井満・黒木宗尚 : 半球形石膏による海水流動度合の比較、藻類、No.30、pp.161-162、1982

5) 須藤俊造 : 海洋環境の生物指標としての海藻、海草植生、日本水産資源保護協会、漁場環境調査検討事業、評価基準・調査指針部会検討素材、我が国の環境生物相の類型化について(続)、pp.161-236、1984

6) 村上和男・浅井正・中瀬浩太・綿貫啓・山本秀一 : 波高および水質条件よりみた港湾構造物の付着生物群集の評価、海岸工学論文集、第44巻、pp.1126-1130、1997  
 7) 置栖孟・尾崎利治・前田英昭・梨村要一 : 造成藻場の植生予測法の現地設計適用、海岸工学論文集、第44巻、pp.1211-1215、1997

8) 増殖場造成指針作成委員会 : 増殖場造成指針、地球社、pp.55-252、1983

9) 日本水産資源協会 : 環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための「判断基準」と「事例」、日本水産資源協会、p104、1992

10) 伊藤公人・北原繁志・佐々木秀郎・谷野賢二・桑原伸司 : ホソメコンブの成長と流速の関係、平成10年度日本水産工学学術講演会資料、pp.127-128、1998

11) 荒川久幸・森永勤 : 褐藻類カジメ・ワカメ遊走子の着生率と基質傾斜の関係、日本水産学会誌、Vol.60、No.4、pp.461-466、1994

12) 太田雅隆・二宮早由子 : ホンダワラ属海藻の分布と海水流動との関係、藻類、No.38、pp.179-185、1996

13) 杜多哲・飯倉俊弘・北村章二 : ホンダワラ類幼胚の着生数の分布と波の影響、日本水産学会誌、Vol.55、No.7、pp.1161-1172、1989

14) 山下俊彦・高橋和寛・金子寛次・桑原久実・竹田義則 : キタムラサキウニの挙動への砂礫の影響に関する一実験、平成10年度日本水産工学学術講演会資料、pp.31-32、1998

15) 町口裕二・山下拓也・阿久津高天・山下俊彦・南村尚昭・谷野賢二 : 振動流中のエゾバフンウニ稚仔の行動と基質形状に関する一考察、海洋開発論文集、Vol.13、pp.699-704、1997

16) 北原繁志・竹田義則・伊藤公人・清野克徳・桑原伸司・谷野賢二 : 蓄養施設一体型ケーソンの開発 - ウニの高密度飼育を事例として -、海洋開発論文集、Vol.13、pp.297-302、1997

17) 須藤俊造 : 海藻・海草相とその環境条件との関連をより詰めて求める試み、藻類、No.40、pp.289-305、1992 .