

藻場生産力モデルによる磯焼け地帯の 藻場造成予測に関する一考察

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 水産土木チーム ○佐藤 仁
道央支所 山之内 順
水産土木チーム 関口 浩二

磯焼けなどによる大規模な環境変化により沿岸域の藻場が減少の一途を辿っている。この藻場の減少要因を特定するためには、海域の水温・波浪・食害等の環境条件による影響を把握する必要がある。しかしながら、これらの環境条件は相互に関係しており、条件単体で藻場を評価することは困難である。

本報告は、海域の環境条件を使った藻場生産力モデルを用いて、複数年に渡る藻場形成を再現し、環境条件との関連性や課題について考察したものである。

キーワード：藻場生産力モデル、ホソメコンブ、磯焼け、水温、波浪、ウニ食害

1. はじめに

藻場は水産上有用な生物資源の生産及び生息場として重要であるが、磯焼けなどによる環境変化により、その分布は減少の一途をたどっている。この磯焼けの対策の一つとして、北海道日本海側では防波堤や護岸等への藻場造成機能を付加した自然調和型沿岸構造物が整備されてきた。しかしながら、その構造物においても基質の経年劣化や近年の水温上昇等により、藻場造成効果が失われている。

藻場造成効果を検討する手法として、これまでに、現地のモニタリング調査や画像解析による藻場分布の把握などが行われる一方、光強度・水温・流速・栄養塩等の環境因子を変数として海藻の生産量推定式を用いた藻場造成予測モデルが1990年代後半に開発された。

本報告は、磯焼けによる環境変化がさらに深刻化している現在の環境の中で、この藻場造成予測モデルの実海域での再現性の確認を目的に、環境条件との関連性や課題について考察したものである。

2. 藻場生産力モデルの概要^{1) 2)}

今回検討する藻場生産力モデルは、北海道日本海側に分布するホソメコンブ(*Laminaria religiosa* Miyabe)の生産モデル(以下、モデルと言う。)を用いた。以下にモデルの概要を述べる。

海藻類の生育・分布に影響を与える要因は、物理的要因・化学的要因・生態的要因がある。そのうち沿岸構造物の影響を受ける要因は、波浪・流況・水質・水温等が中心である。流速や栄養塩濃度が海藻の光合成に与える

影響については、流速が速いほど・栄養塩濃度が高いほど光合成が促進するとされている。そこで、モデルでは①海洋構造物の影響を受ける波浪・流況・水質を生産量式に取込む、②藻類個々の状態(生息本数・個体重量・品質)には着目せず単位面積当りの生産量を予測する、③予測期間はホソメコンブの生態特性を踏まえ1年間とすることを基本に構成されている。また、光合成以外で生産量に影響を与える要因も考慮する必要があるため、モデルでは次式に示すとおり、ホソメコンブの先枯れ量と流出量およびウニの摂餌による減少量を加味した手法を取り入れている。

$$\begin{aligned} (\text{コンブ生産量}) &= \Sigma [(\text{光合成による増加重量 } P_1) \\ &\quad - (\text{先枯れ量 } B_2) - (\text{流出量 } P_3) \\ &\quad - (\text{摂餌量 } S_4)] \end{aligned}$$

3. 解析方法

モデルによる検討は、現地のモニタリング調査等が実施されている寿都漁港の第2北外防波堤(背後小段付)

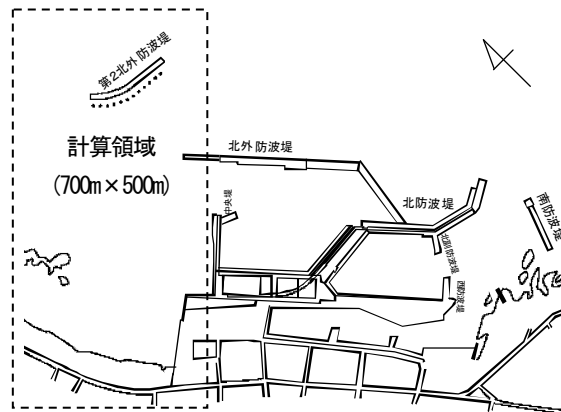


図-1 寿都漁港

と周辺の天然岩礁域を対象とした(図-1 参照)。

次に、モデルにおけるホソメコンブの生産量算定に用いる各環境因子の設定方法を以下に述べる。

(1) 光合成による生長

ホソメコンブの光合成によって生長する際の増加重量 P_n は、総生産量 P_g を小樽市忍路での換算比 (P_n/P_g) を用いて計算²⁾している。この換算比 (P_n/P_g) は、時期によって変化するため月別に分けて設定している。ちなみに、換算比はホソメコンブの生長が盛んな3月において0.693と最も大きい。逆に、コンブの胞子が着生したばかりで生長が進んでいない11月頃は、-0.549と最も小さい値になっている。

なお、光強度による生産量算定に必要な水深・日射量・日長・懸濁物質のデータは、現地である寿都の観測データを使用している。さらに、水温、波浪・流況等のデータは検討年に合わせて設定している。

(2) 先枯れ、流出による減少

先枯れ量および流出量は、同じく小樽市忍路で調査した結果²⁾を用いた。その結果によると先枯れ量は、繁茂期以降の6月に湿重量で最大0.074kg/m²/day、年間を通して湿重量で約12kg/m²/dayである。また、流出量はホソメコンブが枯れる8月が最大で0.121kg/m²/day、年間を通して約16kg/m²/day(いずれも湿重量)であることが判明している。

(3) ウニの摂餌による減少

モデルでは、検討対象海域に多く分布するキタムラサキウニ(*Strongylocentrotus nudus*)の摂餌量を算定している。キタムラサキウニの個体当たりの摂餌量は個体の大きさ等によって異なるため、明確な知見が少なく摂餌量を精度良く算定することは困難である。よって、菊地³⁾が示したキタムラサキウニの管理上必要な餌料量を平均的な摂餌量としている。それによると、1個体当たりの摂餌量は、冬期の2月においては、水温が低く波当たりが強いことからおよそ35g/月と小さく、ホソメコンブが繁茂しキタムラサキウニの摂餌が活発となる8月は、およそ170g/月までに上昇する。

以上に示す計算条件に基づき、寿都漁港の第2北外防波堤の背後小段付傾斜堤と周辺の天然岩礁域を対象にホソメコンブの生育状況を検討した。検討は表-1の計算ケースに示すとおり、寿都漁港において潜水調査によるモニタリングを実施している2007~2009年の3箇年を対象とした。モデルの計算条件における水温や波浪は各々、月ごとの通年データ(月平均)を用いて設定している。また、波浪・流況計算はエネルギー平衡方程式による平面波浪場計算で得られた波高分布から、質量輸送速度を求める手法を用いている。なお、計算の格子間隔

は10m×10mとし、岸沖格子数70および沿岸格子数50で計算を行っている。

表-1 計算ケース一覧

ケース 西暦(年)	Case-1 2007			Case-2 2008			Case-3 2009			備考
	水温 T(°C)	波高 H1/3(m)	周期 T1/3(s)	水温 T(°C)	波高 H1/3(m)	周期 T1/3(s)	水温 T(°C)	波高 H1/3(m)	周期 T1/3(s)	
JAN	7.5	1.5	6.0	7.2	1.9	6.3	8.3	1.6	5.6	波向き 全てN
FEB	6.6	1.8	6.3	4.6	1.8	6.3	7.2	1.8	6.4	
MAR	6.0	1.5	6.1	5.8	0.9	5.5	5.3	1.8	6.5	
APR	8.2	0.9	5.5	7.7	0.7	5.1	8.1	0.9	5.3	
MAY	10.0	0.8	5.5	9.1	0.7	5.3	9.5	0.8	5.3	
JUN	15.3	0.5	4.7	13.8	0.5	4.8	13.8	0.5	5.1	
JUL	17.9	0.5	4.8	18.8	0.4	4.9	17.6	0.5	5.0	
AUG	22.1	0.6	5.3	21.3	0.5	5.5	21.4	0.6	5.2	
SEP	22.4	0.8	5.5	21.7	0.8	5.1	20.4	0.7	5.4	
OCT	18.9	1.2	5.8	17.3	1.1	5.6	17.3	1.0	5.7	
NOV	13.3	1.9	6.5	13.8	1.7	6.1	13.1	1.7	6.3	
DEC	9.7	1.5	6.0	11.0	2.0	6.8	10.2	1.8	6.4	

4. 結果と考察

(1) 計算結果

各ケースにおける生産量の計算結果のうち、代表例として2月と6月のホソメコンブの生育分布を図-2~4に示す。2月は、まだホソメコンブは幼芽の時期であることから生産量は少ないが、徐々に生長し6月の繁茂期には、生産量が増大している状況が再現されている。

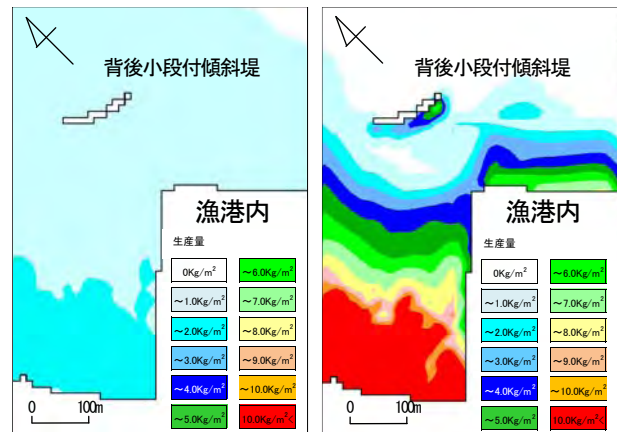


図-2 モデルによるホソメコンブの分布 (Case-1, 左: FEB 右: JUN)

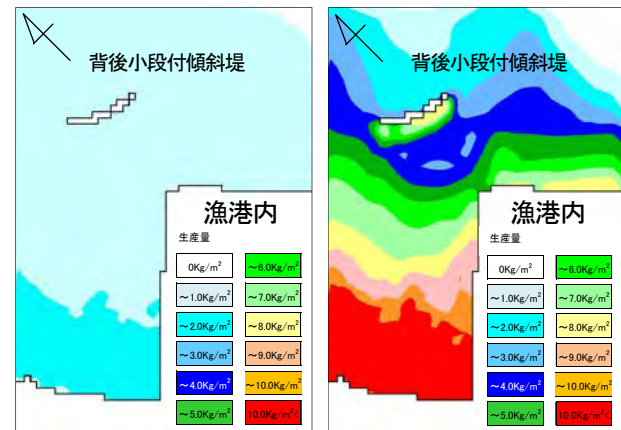


図-3 モデルによるホソメコンブの分布 (Case-2, 左: FEB 右: JUN)

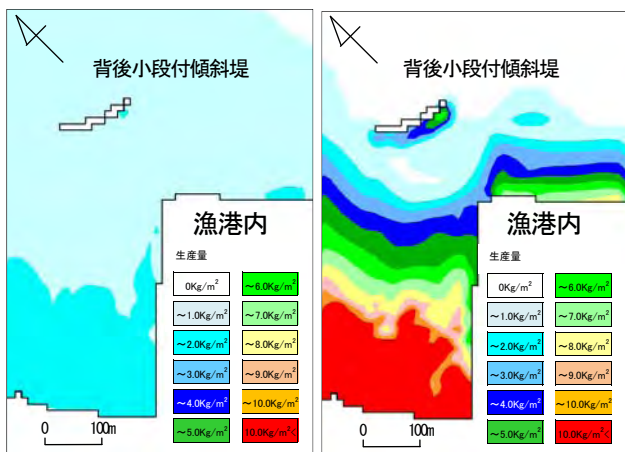


図-4 モデルによるホソメコンブの分布 (Case-3, 左: FEB 右: JUN)

平面分布としては、沖に向かって水深が深くなると、光強度の低下やウニの摂餌を受けることによって生産量は減少していく。しかしながら、背後小段付傾斜堤ではマウンドの嵩上げ効果により、周辺の岩礁帯よりもホソメコンブの生産量が多くなっている傾向が良く現れている。ケース毎（3箇年）の違いについては、波浪条件にあまり差は無いものの水温はかなり違っている。よって、高水温で推移した Case-1 や 3 は、沖においてホソメコンブが生育しない状況が現れている。また、背後小段上でも生育状況にわずかながら差が現れる状況にある。これらのことから、モデルにおいてホソメコンブの生育分布の傾向がある程度、表現されているものと考えられる。

(2) 傾斜堤背後小段上のホソメコンブ現存量

モデルによる計算結果とこれまで実施したモニタリング調査との比較を行った。図-5 は 2007 年から 2009 年におけるホソメコンブの現存量を示したものである。図中の棒グラフは、モニタリング調査⁴⁾において背後小段上の基質ブロックの内の溝つきブロックおよび溝なしブロックの設置箇所におけるデータをそれぞれ現存量 1、2 として示した。また、現存量 3 (■) は、前述の計算結果（現行型）において溝つき・溝なしブロックが設置されている箇所に対応する値である。さらに、冬期の水温状況として 2 月の値を折れ線グラフとして示した。

背後小段上の藻場環境について筆者らは、冬期の水温が約 5°C を上回ると背後小段上のホソメコンブの現存量は大幅に減少し、近年の冬期の高水温により本来休眠状態であるはずのウニの摂餌が活発となり、海藻の幼芽・生長期に悪影響を与えていると指摘⁵⁾している。図より、冬期水温と現存量との関係を見ると、モデルによる計算値で示した現存量も冬期水温が低い程大きくなっていることが現れている。

しかしながら、モニタリング値と計算値とを比較すると、2008 年の溝ありブロックの値は合っているものの、ウニの食害を大きくうけてほとんどホソメコンブが生育しなかった 2007 年と 2009 年は差が出る結果となった。これは 2 月の高水温状況

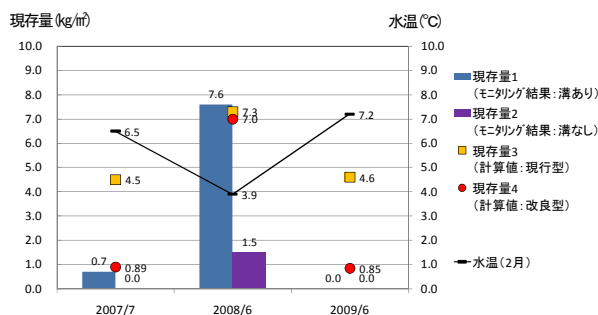


図-5 背後小段上のホソメコンブの現存量

下において、キタムラサキウニがホソメコンブの幼芽を食べ尽くしてしまい繁茂期に全く着生が無くなる場合（写真-1）でも、計算上では光強度と栄養塩があればその後も生長し続けることになっているため、生産量として算出されてしまっているものと推察される。また、ウニの摂餌による減少分の計算は、海底面の流れ（振動流速）による制限だけである。実際には、ウニの摂餌を制限する要因は流れの他に水温や光量、塩分などもあるため、計算上ではウニの摂餌圧を過小評価している部分があるものと推察される。

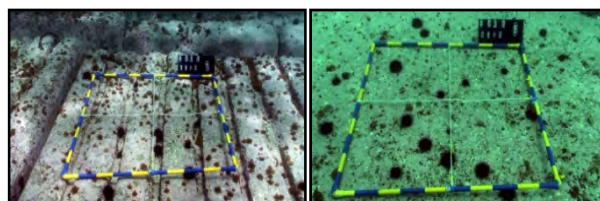


写真-1 背後小段上の海藻着生状況 2009年 左: 幼芽期(2月) 右: 繁茂期(6月)

そこで、冬期の段階においてキタムラサキウニが全て幼芽を食べ尽くした場合には、その後のホソメコンブの生長が全く無くなると想定して、繁茂期までの生産量を求めた改良型の計算結果を現存量 4 (●) として同図に示した。これにより、2007 年や 2009 年に見られるウニの食害が大きく磯焼けが顕著に現れる環境において、改良型のモデルは、現地の状況を比較的良く再現できると考えられる。

なお、低水温によるウニの摂餌量の抑制や基質の違いによるホソメコンブの生産量の差については、未だ計算で考慮されていない。よって、これらの条件をどのようにモデルに反映させるかが今後の課題になる。

(3) 天然岩礁におけるホソメコンブの分布

本検討では、寿都漁港地先の天然岩礁部分も計算している。そこで、計算結果と現地の状況との整合性について考察する。図-6 は、Case-3 の計算結果（現行モデルの計算による）の中で、2009 年 4 月のホソメコンブの分布を示したものである。一方、図-7 は同時期の寿

都漁港の航空写真を画像解析して藻場分布を算定した結果⁹⁾である。両者を比較すると、地先の浅い水深帯に海藻は見られるが、実際はアオサ(*Ulva pertusa* Kjellman)、スガモ(*Phyllospadix iwatensis* Makino)などホソメコンブ以外の海藻である場合もある。寿都漁港周辺の岩礁域の地形は大変複雑で、詳細な地形を計算上で再現することは困難であるため、海藻が生育する場所やその種類をどのように判別して計算するか重要になってくるものと推察される。

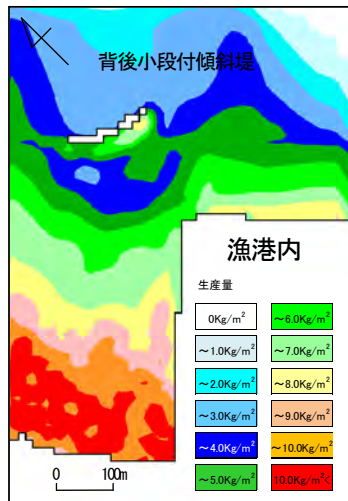


図 - 6 モデルによるホソメコンブ分布 (2009年4月)

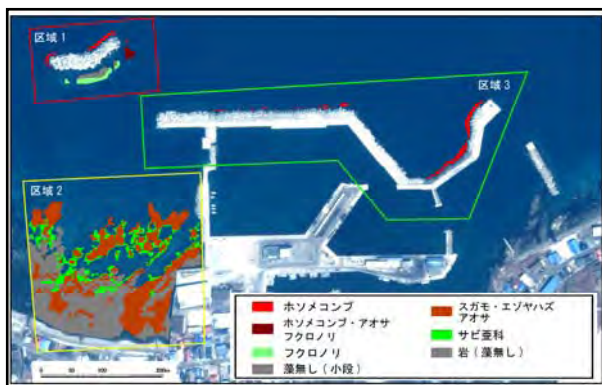


図 - 7 画像解析による藻場分布 (2009年4月)

5. おわりに

結果をまとめると以下のとおりとなる。

(1) 既存のモデルを用いて自然環境調和型沿岸構造物の藻場造成効果として、ホソメコンブの分布域を算定することができる。

(2) モデルにおいて、キタムラサキウニの食害を算定する手法として流れ(振動流速)の要因以外の水温や光量、塩分なども考慮し現存量の精度を高める必要がある。

(3) 冬期のキタムラサキウニの摂餌環境とホソメコンブの生長状況を的確にモデルに反映させることによって、磯焼けが顕著に現れる環境下での背後小段の藻場状況を再現することができる。

(4) キタムラサキウニによる食害メカニズムの詳細な検討やホソメコンブの着生基質の形状や天然岩礁に見られる複雑な地形条件による生産量への影響などを考慮して、現地の状況をさらに精度良く再現するモデルの開発が必要である。

今後の課題として、実際の藻場における海藻の生育環境は、様々な要因(水温・塩分・光・流れなど)が複雑に作用している。しかしながら、これら要因を個別に検討する手法が無ければ、さまざまな海域においてどの要因が最も重要であるかを判別することは不可能である。よって、モニタリングや画像解析による手法で藻場分布を詳細に把握し、同時に今回検討したモデル等を使って環境要因の違いについて検討し、地域の特性、状況を的確に反映させた検討手法の開発が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 桑原伸司他(1998)：藻場生産力予測シミュレーションモデルの開発，海岸工学論文集，第45巻，pp.1101-1105.
- 2) 桑原伸司他(1999)：藻場生産力予測シミュレーションモデルの開発(第2報)，海岸工学論文集，第46巻，pp.1156-1160.
- 3) 菊地省吾(1984)：植食動物密度の管理基準.
- 4) 佐藤仁・熊谷直哉・福田光男・吉田徹・黄金崎清人(2009)：防波堤背後小段の藻場環境について，平成21年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，pp.63-66.
- 5) 佐藤仁・渡辺光弘・山本潤・黄金崎清人・清水恵理子・鳴海日出人(2010)：自然環境調和型沿岸構造物における藻場造成効果の持続性の検討，海洋開発論文集，VOL.26，pp.735-740.