

北海道忍路湾における波浪, ウニの摂食および海藻の関係

桑 原 久 実*・川 井 唯 史**

1. はじめに

北海道日本海沿岸の後志から渡島に広がる海域は、浅海域の有用海藻群落が消滅し、無節サンゴモが優先する磯焼け地帯となっている。このような海域では、キタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* が、平均 8~30 個体/m²以上の高密度に生息し、藻類幼体への過度な摂食により有用海藻はほとんど生育できない状況にある (名畑ら, 1991; 1992)。このためキタムラサキウニは餌不足となり生殖巣が発達せず、漁業として利用されていない。

このような磯焼けを改善するため、海藻の付着基質を造成する目的で石材の投入が数多く行われている。施工直後は海藻が見られるものの、2~3 年経つと元のサンゴモ平原に戻る場合が多く、確かな藻場造成手法の開発が待ち望まれている。

磯焼け海域には、全く海藻が生育しないということではない。局所的ではあるが、毎年、海藻群落を形成する場所がある。筆者らは、藻場を造成する際、この様な自然に発生している海藻群落の生育機構を解明し、それを模倣することが、最も確実な方法と考え研究を進めている (桑原ら, 1997)。

北海道忍路湾では海藻について、従来から数多くの調査研究が行われている (例えば、阿部ら, 1982)。最近実施された海藻とキタムラサキウニの分布調査を見ると、湾口、湾央及び湾奥で相違が認められる。これは、それぞれの場所で海藻の生育環境 (物理や生物攪乱) が異なるため、遷移に違いが生じたものと考えられる。磯焼け海域での攪乱は、ウニの摂食が非常に大きく (菊池, 1984)、この摂食は波浪に強く影響されることがわかっている (川俣, 1994)。このため、藻場造成を行う際、波浪、ウニの摂食とそれに伴う海藻分布の関係を十分把握しないと、目的の海藻を毎年継続的に生育させることは困難である。

この様な背景から、本研究は、まず、北海道忍路湾における波浪、ウニの摂食及び海藻の関係を現地調査と数値モデルを用いて明らかにする。次に、これらの関係を

用いて、数値モデルで得られたウニ摂食圧の季節変化から継続して生育可能な海藻を予測する手法を提案する。

2. 現地調査

調査は、北海道石狩湾奥に位置する小樽市忍路湾で行った。調査年は 1992 年~1997 年で、調査時期は年に 2 回、冬期 (3 月) と夏期 (7 月) に実施した。図-1 は、忍路湾の地形と調査地点を示している。忍路湾は、湾口が北西方向を向き、周囲に平磯が形成される岩礁性の湾である。湾奥北側には、防波堤が設置されている。調査地点は、St. A~C の 3 地点で実施し、順に、湾奥部、湾中央部及び湾口部である。各調査地点では、汀線を基準に岸沖方向 1 m ごとに海藻、植食動物の枠取り調査 (0.5 m×0.5 m) を SCUBA 潜水により行い、生息密度及び現存量 (湿重量) を測定した。

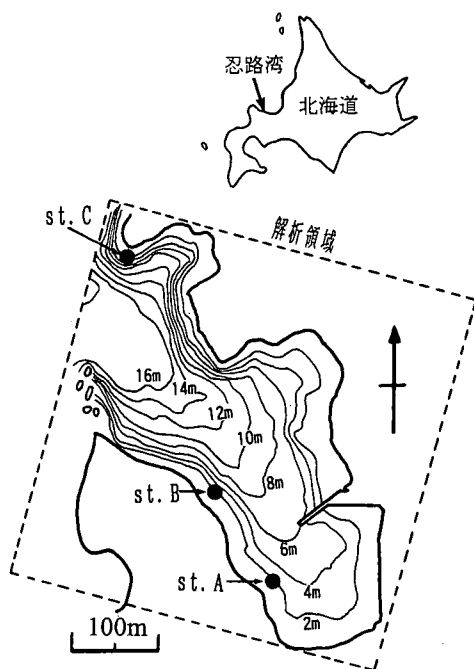


図-1 忍路湾における調査点及び解析領域の概要

* 正会員 農博 北海道立中央水産試験場 水産工学室 生体工学科

** 農博 北海道立中央水産試験場 資源増殖部 増殖科

3. 数値モデルの概要

ウニの摂食圧を評価する数値モデルは、既に桑原ら (1997) が提案したものを用いる。

3.1 波浪場

碎波帯を含む平面的な波浪場を推定するために、次の様な非定常緩勾配方程式 (渡辺・丸山, 1984) を用いて数値計算を行った。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c^2 \nabla^2 \zeta + f_0 Q = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{n} \nabla(nQ) = 0 \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 Q ：線流量ベクトル、 ζ ：水位、 c ：波速ベクトル、 n ：浅水度係数、 f_0 は碎波減衰定数である。碎波の判定は、磯部ら (1986) により整理された流速波速比を用いている。

底面波浪流速は、波浪場の計算結果から次式のように算出される。

$$u = k \hat{Q} \sin(\sigma t + \epsilon) / \sinh(kh) \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 u ：底面波浪流速ベクトル、 $\hat{Q}$ ： Q の振幅、 ϵ ：位相差、 σ ： $2\pi/T$ 、 k ： $2\pi/L$ である。

3.2 ウニ摂食圧

ウニが海藻を食べる際、波浪や流れなどの影響を強く受ける。ウニの摂食と流速の関係は、川俣 (1994) により求められている。ウニ摂食圧は、次式のように振動流中と静水中での摂食速度の比で表している。

$$Fu = 1 - \exp\left[-\exp\left(\frac{u_{max} - 27.1}{4.27}\right)\right] \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 Fu ：ウニ摂食圧、 u_{max} ：底面最大流速 (cm/s) で u の振幅である。ウニ摂食圧は、0~1 の値をとり、0 に近いほど摂食圧が低いことを示している。

3.3 解析の条件

解析は、図-1 にある 500 m×500 m の領域を設定し、格子間隔を 5 m にした。

解析に用いた波浪特性は、表-1 のようである。これは、石狩湾新港沖で観測された 1992 年~1997 年のデータから各月でエネルギー出現頻度の最も高いものを示している。これによると、波向きは、通年、北西方向が多いが、夏期は西北西となっている。また、波高は、冬期

表-1 波浪特性

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
波高 m	1.6	1.35	1.1	0.8	0.5	0.3	0.3	0.3	0.55	0.85	1.5	1.7
周期 s	6.0	6.0	5.5	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.5	6.0	6.0
波向	NW	NW	NW	NW	NW	WNW	WNW	WNW	NW	NW	NW	NW

(1990 年~1995 年、石狩湾新港の波浪観測結果からエネルギー出現頻度の最も多いものを選んだ)

に大きい³⁾、夏期に小さくなり、日本海の波浪特性が表れている。

4. 結果および考察

4.1 現地調査

忍路湾における海藻 (生活形) と植食動物の分布 (湿重量) についての平均的な傾向を表したのが、図-2 である。

海藻について見ると、小型多年生は、湾口部の水深 2 m 以浅及び湾中央部の 1 m 以浅に通年生育している。大型 1 年生は、冬期に湾口部の水深 2 m 付近及び湾中央部の 2.5 m 以浅で見られるが、夏期には大きく減少し分布が認められない。サンゴモは、小型多年生や大型 1 年生が分布していない (ハッチのない) 領域にあたり、湾口から湾奥になるに従い浅い水深まで達している。

植食動物は、冬は深く、夏は浅い場所に分布し、明確な深淺移動が認められる。吾妻 (1997) は、この状況を詳しく報告している。

これらから、湾奥、湾中央及び湾口で生育する海藻の種類や分布に相違が認められるのは、ウニの深淺移動に伴う摂食の強さや時期と密接に関係していることが考えられる。

調査により採取された海藻は、既往の知見 (例えば、片田, 1963) を参照して小型 1 年生、大型 1 年生、小型

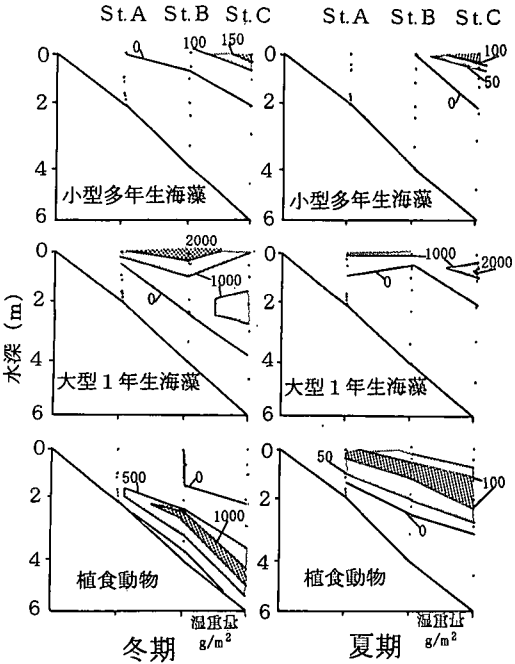


図-2 湾奥、湾中央及び湾口における海藻 (生活形) と植食動物の分布

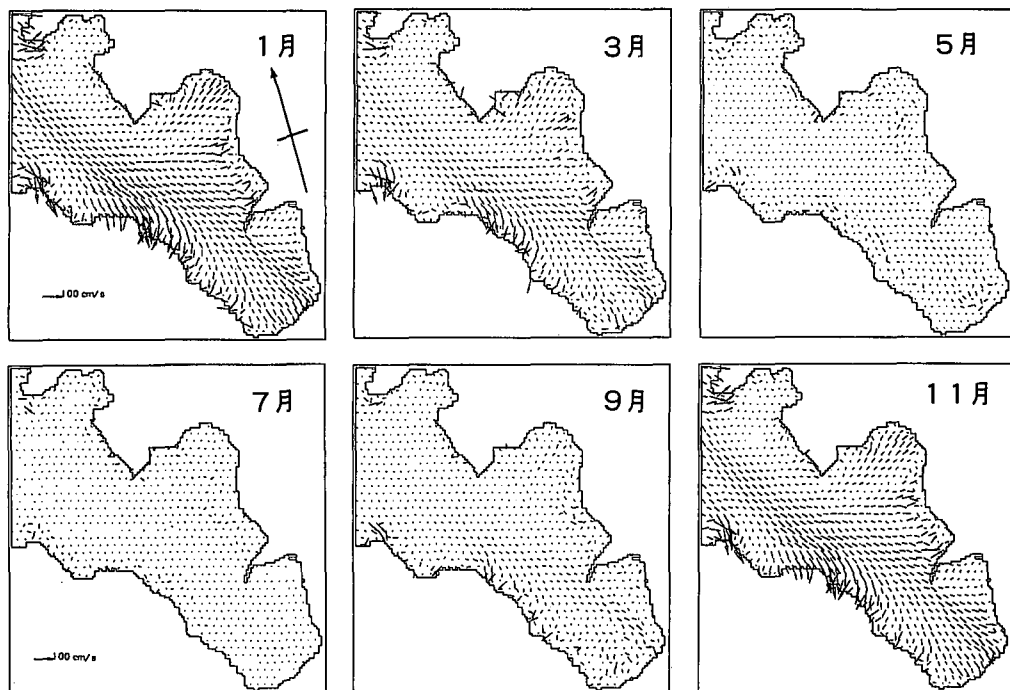


図-3 底面波浪流速ベクトルの分布

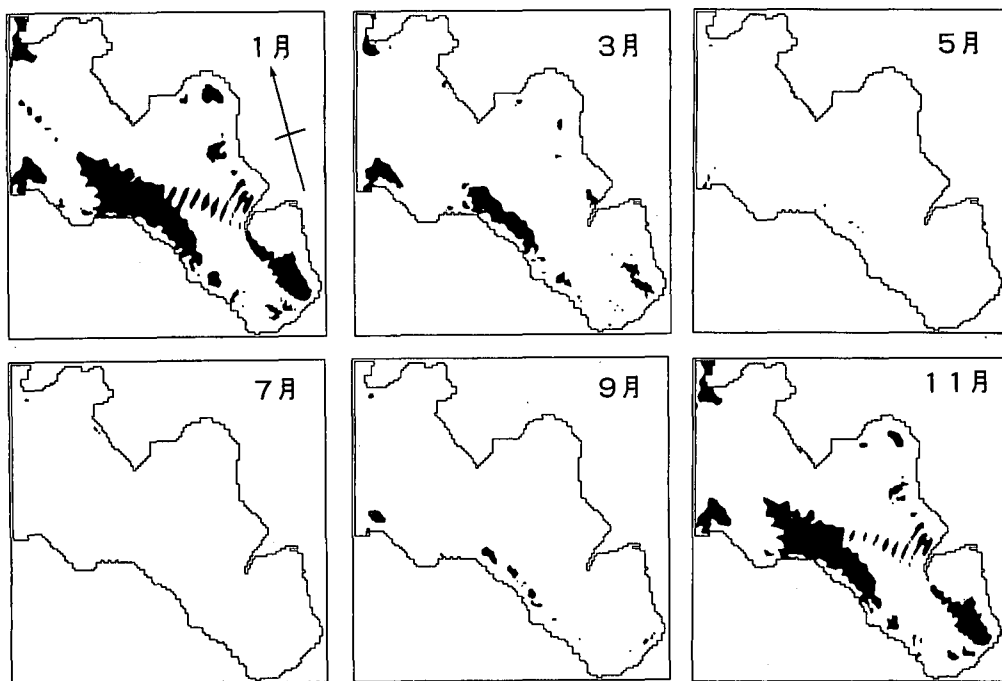


図-4 ウニ摂食が低い領域の分布

(黒塗りは、ウニ摂食率0.2以下を示す。)

多年生、大型多年生の4生活形に分類すると、小型多年生は、マクサ、キョウノヒモ、イソムラサキなど、大型1年生は、ホソメコンブが主で、スジメ、ワカメなど、小型1年生、大型多年生はあまり見られなかった。植食動物は、キタムラサキウニが主に見られた。

4.2 数値モデル

1) 底面波浪流速ベクトル

波浪場の解析から底面波浪流速ベクトルを求めたのが、図-3である。月変化を奇数月で表している。

冬期は、北西からの高波浪が忍路湾内に来襲し、湾口と湾中央側で流速が大きくなっている。夏期は、波浪は穏やかなため流速が小さいが、湾口ではやや大きい流速が認められる。

2) ウニ摂食圧

図-3で得られた底面流速を(4)式に代入し、ウニ摂食圧の低い領域(黒塗り)は0.2以下)を求めたのが図-4である。

ウニ摂食圧は、冬期、底面流速が大きく見られた湾口、湾中央側及び防波堤先端の背後で低く、ほとんど海藻が摂食されないことがわかる。また、夏期、湾口に僅かであるが低い領域が認められるが、ほとんどの領域で摂食圧は高くなっている。

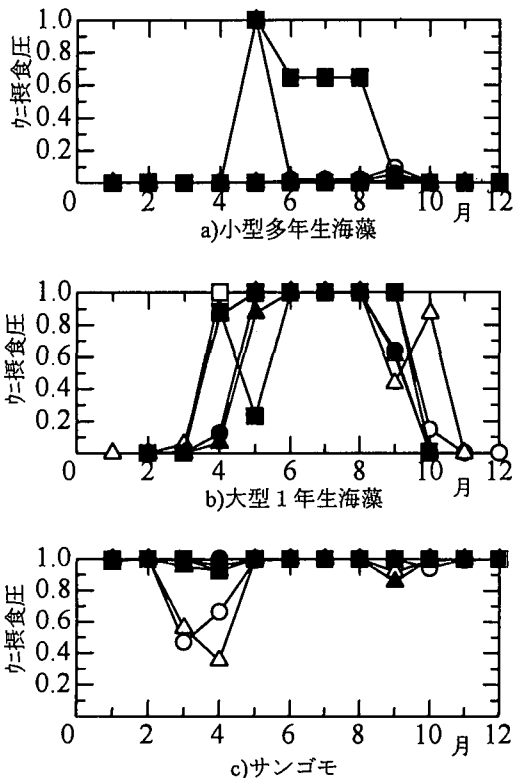


図-5 海藻(生活形)とウニ摂食圧の月変化との関係

この様に、ウニ摂食圧は、波浪環境により、場所や時期で大きく変化することがわかる。

3) ウニ摂食圧と海藻の関係

現地調査で、小型多年生、大型1年生及びサングモが分布した領域と数値モデルから計算したウニ摂食圧の月変化の関係を示したのが図-5である。

小型多年生の分布領域では、通年、ウニ摂食圧が低く攪乱が少ないため生物的に優位な多年生に遷移している。また、大型1年生の領域では、冬期、高波浪によりウニ摂食圧は低くホソメコンブの幼芽は保護され、夏期、波浪は静穏であるためウニ摂食圧は高くなり海藻はすべて(多年生も)摂餌され、大型1年生の生育環境に合致している。サングモの領域では、通年、波当たりが弱くウニ摂食圧が高いので、着底した海藻はすぐに食べられサングモだけが生育しているものと考えられる。

この様に、海藻とウニ摂食圧の間に明確な関係を見出すことが出来た。

4) 生育する海藻の予測手法

3)で得られた知見をもとに、数値モデルによるウニ摂食圧の月変化パターンから毎年継続的に生育する海藻を予測する手法を提案する。

海藻とウニ摂食圧の関係を次の様に定める。

小型多年生: 年10カ月以上、ウニ摂食圧は0.3以下である。

大型1年生: 11月から翌年2月までウニ摂食圧は0.3以下、6月から8月まで0.7以上である。

サングモ: 年10カ月以上、ウニ摂食圧は0.7以上である。

小型1年生: サングモより少しウニ摂食圧が低いものと考え、年8~9カ月、ウニの摂食圧は0.7以

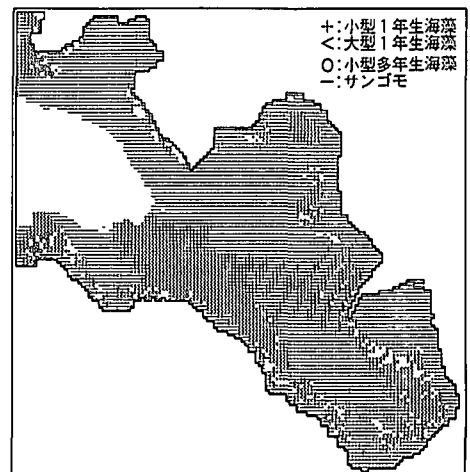


図-6 ウニ摂食圧の月変化パターンから予測した生活形別海藻分布

上である。

大型多年生：定義していない。

図-6 は、忍路湾全域において（水深 15 m 以深は除外）、ウニ摂食圧の月変化パターンから生育可能な海藻を示したものである。

湾口部は北、南側ともに浅所で小型多年生が優先していること、湾央南側では大型 1 年生海藻（ホソメコンブ）の群落が見られること、湾北側は南側より磯焼けが進行していることなど、従来から現地調査で得られている結果と一致していることがわかった。また、この手法は、藻場造成を行う際、施設の構造物や設置場所などに重要な指針を与えるものと考えられる。

5. おわりに

磯焼け海域における海藻群落の生育機構を解明するため、忍路湾の湾奥、湾央及び湾口における波浪、ウニの摂食及び海藻の関係を注目し、現地調査や数値モデルを用いて検討した結果、次のことが明かとなった。

1) 現地調査から、湾奥、湾央及び湾口で生育する海藻の種類や分布、ウニの季節的な分布に相違が認められた。これから、海藻の生育には、ウニの摂食が深く関係していることが推定された。

2) 小型多年生の分布領域は、通年、ウニ摂食圧が低く攪乱が少ないため生物的に優位な多年生に遷移している。大型 1 年生の領域では、冬期、ウニ摂食圧は低く、夏期、高くなっている。サングモの領域では、通年、波当たりが弱くウニ摂食圧が高い。この様に、海藻とウニ摂食圧の間に明確な関係を見出すことが出来た。

3) ウニ摂食圧の月変化パターンからその場に継続して生育する海藻を予測する手法を提案した。これを忍路湾に適用すると、従来の調査で得られている知見とほぼ一致することがわかった。この手法は、藻場造成適地や

施設構造を決める際に有効な指針を与えるものと考えられる。

本研究では、海藻の遷移を制御する攪乱としてウニ摂食圧を取り上げたが、この他に、漂砂の影響、付着基質の安定性などについても検討する必要がある。

謝辞：本研究で用いた現地調査データは、松山恵二郎（北海道立栽培センター）、吾妻行雄博士（東北大学）、中多章文研究員（北海道立中央水試）らによるものを参考にさせて頂いた。ここに、記して御礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 吾妻行雄・川井唯史（1997）：北海道忍路湾におけるキタムラサキウニの季節的移動，63，4，pp. 557-562.
- 阿部英治・松山恵二・辻 寧昭（1982）：忍路湾におけるホソメコンブの群落形成，24，pp. 41-50.
- 磯部雅彦（1986）：放物型方程式を用いた不規則波の屈折・回折・碎波変形の計算法，第 33 回海岸工学講演会論文集，pp. 134-138.
- 片田 実（1963）：海藻の生活形と遷移（綜述），29，8，水産学会誌，pp. 798-808.
- 川俣 茂（1994）：磯根漁場造成における物理的攪乱の重要性，31，2，水産工学，pp. 103-110.
- 菊池省吾・浮 永久・秋山和夫・鬼頭 鈞（1975）：アワビ餌料藻類の造林技術開発，浅海域における増殖漁場の開発に関する総合研究，昭和 49 年度報告資料集，東北水研，pp. 10-31.
- 桑原久実・赤池章一・林 哲久・山下俊彦（1997）：磯焼け海域における海藻群落の生育機構に関する研究，海岸工学論文集，44 巻，pp. 1181-1185.
- 名畑進一（1991）：北海道後志沿岸の海藻，北水試研報，36，pp. 19-38.
- 名畑進一・阿部英治・垣内政宏（1992）：北海道南西部大成町の磯焼け，北水試研報，38，pp. 1-14.
- 渡辺 晃・丸山康樹（1984）：屈折・回折・碎波減衰を含む波浪場の数値解析，第 31 回海岸工学論文集，pp. 103-107.