

磯焼け地帯における海藻群落の生育要因に関する研究

桑原久実*・赤池章一**・林 久哲***・山下俊彦****

1. 研究の目的

北海道日本海岸の渡島から後志に広がる磯焼けは、浅海域の有用海藻群落を消失し、一面が無節サンゴモ(エゾイシゴロモ *Lithophyllum yessoense*) に覆われる現象である。磯焼け海域では、生息する生物の量と種類が減少するとともに、ウニ、アワビなど植食動物の漁業生産にも多大な被害をもたらしている。

磯焼けの原因は、従来から、海況の変化、栄養塩の欠乏、淡水の影響など様々な説が述べられて来たが、近年、菊池ら (1975) はキタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* をはじめとする植食動物の藻類幼体への過度の摂食作用 (以下、ウニ摂食圧) であることを明かにしている。その後、北海道 (1994) は、磯焼け海域においてキタムラサキウニの除去試験を行い、定期的にウニ除去を実施した海域では、海藻群落が回復することを実証している。最近、このウニの摂食圧は、水温や季節(吾妻ら, 1993)、底面波浪流速(川俣, 1994) など沿岸域の物理環境に影響されることが指摘されている。

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。従来から、局所的ではあるが、河口付近、汀線近傍に見られることが報告されている。最近、赤池ら (1995, 1997) は、磯焼け地帯において、岩内港西防波堤沖の海域に毎年大規模なコンブ等の海藻群落が形成されることを明らかにしている。

藻場を保護したり造成する際、このような自然に発生している海藻群落の生育要因を解明し、それを模倣することが、最も効果的で確実な方法と考えられる。

この様な背景から、本研究の目的は、岩内港西防波堤沖に広がる海藻群落に注目し、波浪流速、ウニ摂食圧及び底質の安定性などを中心に数値モデルを作成し、磯焼け地帯に見られる海藻群落の生育要因を解明することにある。

2. 現地調査の概要

北海道原子力環境センターでは、1986年以降、積丹半島西岸の神恵内村から岩内町に至る沿岸域で磯焼け現象解明のため、航空写真撮影による底生大型藻類の植生分布図を作成している。この結果、岩内港西防波堤沖に毎年、海藻群落を形成することが明かとなった(赤池, 1997)。この海藻群落の生育要因を把握するため、コンブ群落形成域及び隣接した磯焼け域において、大型海藻、大型植食動物及び底質などの詳細な分布調査を行っている。調査海域及び調査点の概要を図-1に示す。1995年と1996年にSCUBA潜水による目視と採取り調査を行っている。各年3~10月にかけて3~6回実施し、コンブ群落形成域の調査点はs-1~s-25の25地点、磯焼け域はt-1~t-4の4地点である。

3. 数値モデルの概要

3.1 波浪場の推定

現地調査で波浪観測が行われていないので平面的な波

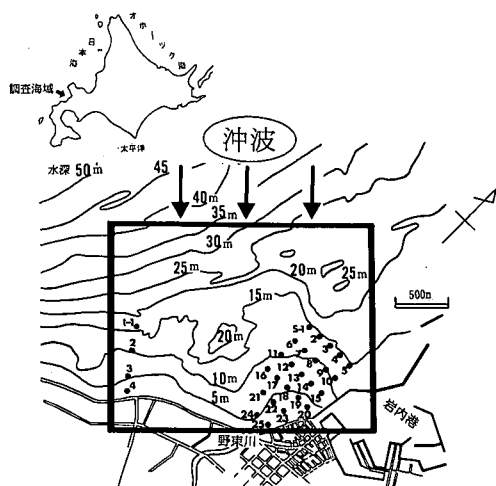


図-1 調査地点及び解析領域の概要
(潜水調査点はs-1~s-25とt-1~t-4、解析領域は黒枠である。)

* 正会員 農博 北海道中央水産試験場 水産工学室 生体工学科
 ** 北海道原子力環境センター水産研究科
 *** 大成建設株式会社
 **** 正会員 工博 北海道大学工学研究科 助教授 水圏工学講座

浪場を推定するために、数値計算を行った。計算には次式の非定常緩勾配方程式（渡辺・丸山，1984）を用いている。

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

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

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_D 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。

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

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・流れ、水温などの影響を強く受ける。

ウニ摂食圧と流速の関係は、川俣（1994）により求められている。これは、振動流水槽中（水温 10°C に固定）に、殻径 75 mm～86 mm のキタムラサキウニとコンプを入れ、振動流によるウニ摂食量の変化をコンプの減少重量から求めたものである。次式は、振動流中と静水中での摂食速度の比を示している。

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

ここに、 Fu ：振動流による摂食圧の変化、 $u_{\max}$ ：底面最大流速 (cm/s) で u の振幅である。

ウニ摂食圧と水温の関係は、吾妻ら（1993）が殻径 15 mm～54 mm のキタムラサキウニを用いて、摂餌の周年変化を室内実験で調べた結果を整理して用いる。（4）式は水温 10°C の結果であるため、水温の影響は、これからの相対値をとることとする。即ち、任意水温のウニ摂食圧は、任意水温の摂食量と水温 10°C の摂食量の比で表している。一般に、ウニの摂食は、1 月～7 月ごろまで活発で、その後、繁殖期、産卵期になると低下する。このため、ウニの摂食が活発でコンプの成長期にも当たる 1 月～7 月の実験データを用いて、殻径平均を求めると次式のようになる。

$$Ft = \sum a_n T_e^n \quad \dots\dots\dots (5)$$

$a_0 = 0.4037$, $a_1 = -0.04561$, $a_2 = 0.01545$, $a_3 = -0.00049$
ここに、 Ft ：水温による摂食圧の変化、 T_e ：水温°C である。

ウニ摂食圧は、波浪流速との関係を示す（4）式と水温との関係を示す（5）式との積で次式のように求められるものとする。

$$F = Fu \times Ft \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 F ：ウニ摂食圧である。

（6）式から、波浪流速及び水温によるウニ摂食圧の変化を示すと図-2 のようになる。ウニ摂食圧は、0～1.6 程度の値をとるが、0 に近いほど摂食圧が低いことを示している。ウニ摂食圧は、波浪流速が 20 cm/s 以下の場合、流速より水温の影響を強く受け、低温では低く高温では高くなっている。波浪流速が 20～35 cm/s になると水温より流速の影響を受け強くなり、流速の増加に伴いウニ摂食圧が急速に減少している。流速が 35 cm/s 以上になるといずれの水温でも摂食圧は 0.2 以下で低くなることがわかる。

3.3 底質の安定性

底質が不安定であると、ウニは生存しにくい。海藻は石の反転や衝突による裸面の形成により、孢子・卵の付着が容易になると考えられる。底質の安定性は、次式のシルズ数で求めている。

$$\psi = 1/2 \cdot f_w u_{\max}^2 / sgd \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに f_w ：摩擦係数、 s ：底質水中比重、 d ：底質粒径である。

3.4 解析の条件

解析は、図-1 に黒枠で示したように 2500 m×2000 m の領域を設定し、格子間隔は 10 m である。

解析に用いた波浪条件は、次のように設定した。ウニ摂食圧の評価は、孢子の着底から初期生育の時期が海藻群落形成に重要であると考え、1 月～3 月で最も出現頻度の多い波高 H の 1.0 m とした。また、底質の安定性の評価は、年間を通じて 10% 程度出現する高波を想定し波高 2.5 m とした。いずれも北西方向から入射させ、波の周期は 8.0 sec である。

境界条件は、沖側は造波境界、側方は透過境界、岸側

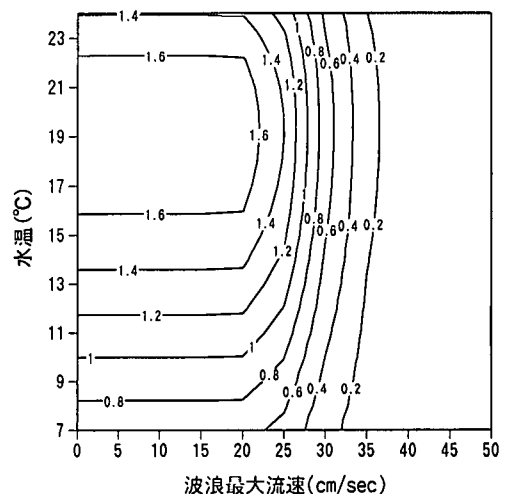


図-2 波浪流速及び水温によるウニ摂食圧の変化

は汀線境界及び防波堤境界（反射率は0.7）に設定している。

4. 結果および考察

4.1 現地調査

ここでは1996年に実施された調査結果について示す（赤池ら, 1997）。

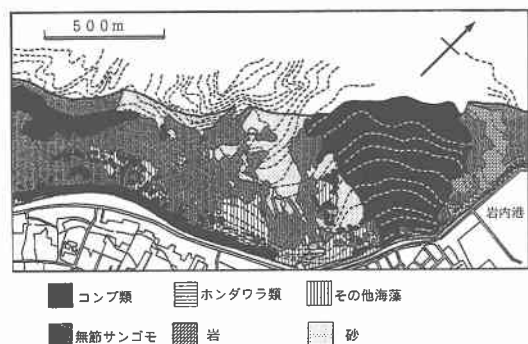


図-3 航空撮影による岩内港西側の海藻分布（1996年6月）

a) 海藻分布

図-3は、航空写真撮影（1996年6月）から判読した岩内港西側の海藻分布状況である。この海域は磯焼け（無節サンゴモ）の領域が多いが、波当たりが比較的強いと思われる沖側に張り出した地形や汀線近傍に海藻が認められる。特に岩内港西防波堤沖に広がるコブ群落は、毎年大規模に形成されている。

b) コブとウニの現存量

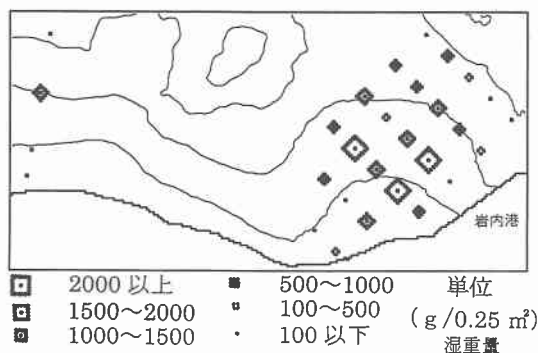
図-4(a), (b)は、それぞれ1996年6月26日の潜水調査結果から得られたコブ（湿重量）とウニ現存量である。また、図-5(a), (b)は同年10月4日のものである。岩内港西防波堤沖に見られる扇形に沖へ張り出した地形上では、6月、10月共にコブが多く、ウニはほとんど見られない。

なお、調査地点の底質は、主に直径1m以下の転石や玉石である。

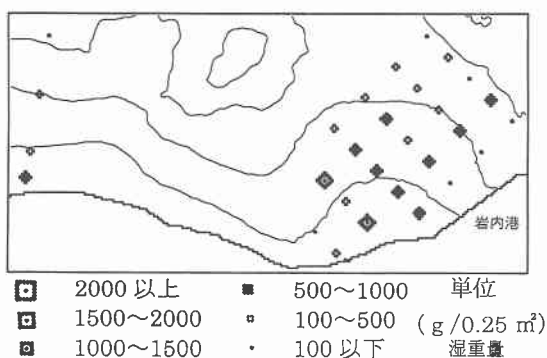
4.2 数値モデル

a) 波浪流速

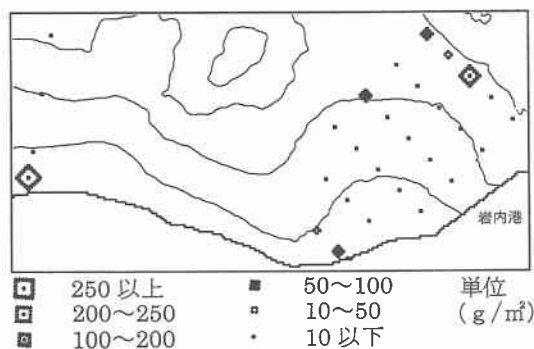
図-6(a), (b)は、波浪場の計算から得られた底面の波浪流速（波峰時の状況）をベクトルで表示したもので



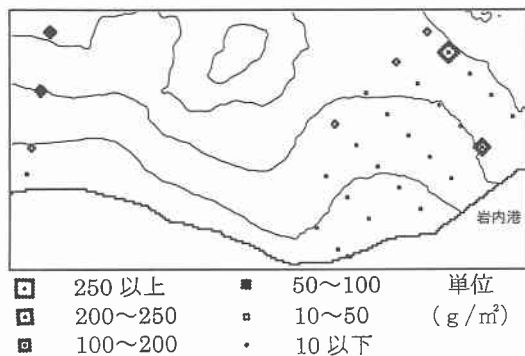
(a) コブ現存量



(a) コブ現存量



(b) ウニ現存量



(b) ウニ現存量

図-4 1996年6月26日の潜水調査結果

図-5 1996年10月4日の潜水調査結果

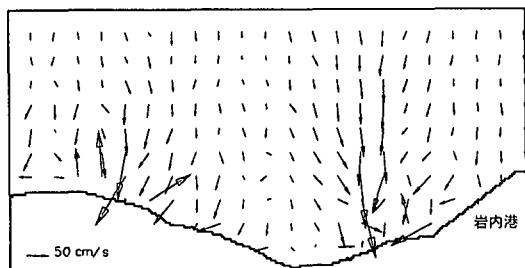
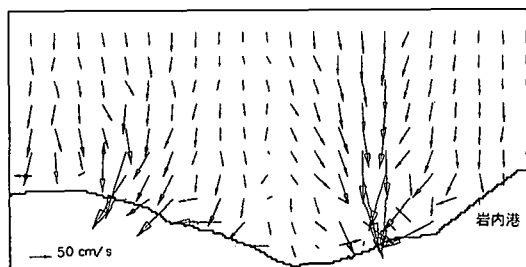
(a) $H=1.0$ m, $T=8.0$ s(b) $H=2.5$ m, $T=8.0$ s

図-6 底面における波浪流速ベクトルの分布 (波峰時)

ある。(a)は $H=1.0$ m, $T=8$ sec, (b)は $H=2.5$ m, $T=8$ secを示している。図-1を参照すると、いずれの場合も、沖側に突き出した地形の周辺では、波が収束するため波浪流速が大きくなるが、逆に、凹んだ地形の周辺では小さくなっている。

b) ウニ摂食圧

図-7(a)~(c)は、ウニ摂食圧の分布(黒塗り)を示している。(a), (b)は、水温 7°C におけるウニ摂食圧0.1以下及び0.6以上の分布を示し、また、(c)は、水温 14°C におけるウニ摂食圧0.1以下の分布を示している。

図-7(a)と(c)を見ると、ウニ摂食圧が0.1以下の低い領域は、水温 7°C 及び 14°C のいずれの場合も図-3のコンブ群落(黒塗り)の分布と良く一致しており、コンブ群落の形成にはウニ摂食圧を低くする必要のあることがわかる。また、ウニ摂食圧0.1以下の領域は、水温により分布形状や面積にほとんど違いが認められないことから、水温より底面の波浪流速に依存して決まるものと考えられる。さらに、図-7(b)からウニ摂食圧0.6以上の分布は、図-3の無節サングモの分布と一致しているように見える。

c) 底質の安定性

図-8および図-9は、底質の安定性をシールズ数で表したもので、それぞれ6月、10月の状況である。図-4及び図-5のコンブやウニ現存量と比較すると、シールズ数が大きく底質の不安定な地点は、コンブ現存量が多く、

(a) ウニ摂食圧0.1以下, 水温 7°C (b) ウニ摂食圧0.6以上, 水温 7°C (c) ウニ摂食圧0.1以下, 水温 14°C 図-7 ウニ摂食圧の分布 ($H=1.0$ m, $T=8.0$ s)

ウニが少なくなっている。逆に、シールズ数が小さく安定な地点は、コンブ現存量が少なく、ウニが多くなっており、底質の安定性とコンブ、ウニの現存量は、明確な関係が認められる。

5. ま と め

磯焼け地帯に見られる海藻群落の生育要因を解明するため、岩内港西防波堤沖に広がる海藻群落に注目して、数値モデルを作成して検討した結果、次のことが明らかになった。

1) ウニ摂食圧の低い領域は、主に水温よりも底面波浪流速によって決まり、流速の大きい領域にあたる。但し、本研究では水温が $7\sim 24^{\circ}\text{C}$ の範囲内の結果であって、 7°C 以下の場合について検討する必要がある。

2) ウニ摂食圧の低い領域とコンブ群落の分布、ま

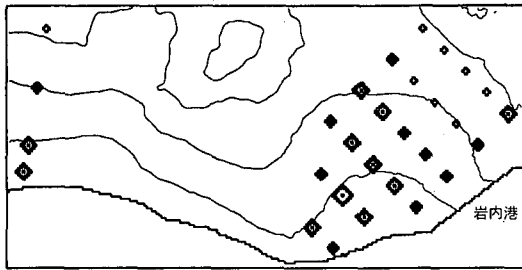


図-8 シールズ数の分布 (1996年6月26日)

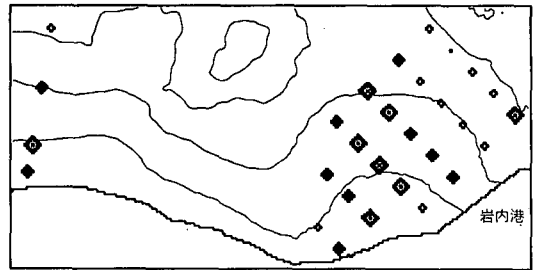


図-9 シールズ数の分布 (1996年10月4日)

た、摂食圧の高い領域と無節サンゴモの分布は良い一致が認められ、磯焼けの要因として言われているウニの食害説を理論的に説明することができた。

3) シールズ数が大きく底質の比較的不安定な地点は、コンブ現存量が多く、ウニが少ない。逆に、シールズ数が小さく安定な地点は、コンブ現存量が少なく、ウニが多くなっており、底質の安定性とコンブ、ウニの現存量は、明確な関係が認められた。

以上のように、本研究で用いた数値モデルは、磯焼け地帯における海藻繁茂場の生育要因を解明するために有効であることがわかった。

参 考 文 献

- 赤池章一・佐々木正義・高嶋孝寛・千原裕之 (1995): 北海道岩内沿岸における局所的海藻群落, 日本水産学会北海道支部例会講演要旨集, p. 32.
- 赤池章一・津田藤典・大崎正二・吾妻行雄 (1997): 北海道日本

海磯焼け地帯における局所的海藻群落, 平成9年度日本水産学会春季大会要旨集, p. 98.

- 吾妻行雄・中多章文・松山恵二 (1993): キタムラサキウニのホソメコンブに対する摂餌と同化, 40, 北水試研報, pp. 21-29.
- 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.

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.

北海道 (1994): 海域特性総合利用技術開発調査報告書 (磯焼けグループ), 海域特性総合利用技術開発調査検討委員会 (磯焼けグループ) 事務局, 68 p.

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回海岸工学講演会論文集, pp. 103-107.