

波浪・底質環境の異なる海域における大型海藻の分布特性

峰 寛明*・高橋和寛**・山下俊彦***

1. はじめに

北海道南西日本海沿岸では、エゾイシゴロモなどの無節サンゴモが優占するサンゴモ平原の面積が拡大し、藻場を形成するホソメコンブなどの大型海藻がみられないいわゆる『磯焼け』現象が深刻な問題となっている。

藻場は、生物生産力の高い場所として知られている。それは藻場を構成する植物によって構成された空間、あるいは付着基質が、小動物、付着生物の生息場、または魚類の産卵場等として利用されるためである。

北海道日本海沿岸では、コンブ類、ホンダワラ類などの大型海藻類による藻場は、水産上重要なエゾバフンウニ・キタムラサキウニの好漁場となっているため、『磯焼け』から藻場への回復は社会的な急務である。

磯焼けといわれる海域では、全てが無節サンゴモに覆われているわけではなく、水深の浅いところでは大型海藻が繁茂し、ある水深帯からは大型海藻が消失すると共に無節サンゴモが優占し、同時にキタムラサキウニの個体数が非常に多くなるパターンが一般的である。サンゴモ平原上に生息するキタムラサキウニは可食部である生殖腺の量が少なく、水産資源としての価値はない。

磯焼け現象に関しては多くの研究がなされ、その持続原因としてウニの摂餌圧が重要であることが明らかにされている（例えば、名畑ら（1992））。ウニの摂餌への物理環境、特に波浪環境の影響は、川俣ら（1994）が流速振幅の増大に伴い、ウニ摂餌圧量が低下する事を明らかにしている。桑原ら（1997, 1999）は、ホソメコンブの幼芽期にあたる3～5月における海底面の流速振幅から推定されるウニ摂餌圧が、海藻群落の形成に重要であることを明らかにしている。

山下ら（1999, 2000）は、砂礫の影響を受けるような場所では、ウニの摂餌圧が制限され、より広い水深帯で藻場が形成される可能性がある事、海藻の着生基質の更新に影響を与えている事を報告している。しかし、実際の広域的海域で大型海藻類の分布特性が波浪・底質と



図一 調査海域および底質

いった物理環境によってどの程度推定できるかを把握した例は少なく、定量的な議論はあまりなされていない。

そこで本研究では、現地観測により、波浪、底質環境の異なる天然海域における大型海藻類の鉛直分布の広域的特性を把握する。次に、ウニ摂餌圧と基質更新性に影響を及ぼすと考えられる波浪・底質環境を中心とした物理環境と海藻分布との関係を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1 現地調査

本研究の調査海域は、北海道南西日本海に面する寿都町（北緯 42°41′，東経 140°00′）である。調査海域における大型褐藻類の連続的な分布傾向を把握するために、ビデオカメラによる海底面の連続撮影調査を行った。

調査は2000年7月7日に寿都町の沿岸域にて行われた。調査海域は沿岸方向に約10 kmの範囲で、その概要を図一1およびに示す。

波浪環境の違いをみるため、調査海域に海岸線の向きが異なるように、測線を20測線選定し、大型海藻類と無節サンゴモの鉛直的な分布域と波浪環境の関係が把握できるようにした。各測線の沖合方向は100～200 m程度で、水深約3 m～15 mとなっている。

各測線について船上から海底のビデオ撮影を行い、海藻の着生状況、底質、海底地形等を整理した。ビデオ撮影と同時に測深機により水深も測定し、ビデオ映像と水深の同期を取った。調査海域は、尻別川河口のすぐ南側に位置するため、透明度があまり良くなく、海底のビデオ

* (株)エコニクス

** 正会員 工修 戸田建設(株)

*** 正会員 工博 北海道大学大学院助教授 工学研究科

表一1 沖波と水温

月	波高 (m)	周期 (s)	波向き (°)	水温 (°C)
1	1.96	6.6	300	5.4
2	1.68	6.3	300	5.0
3	1.38	5.9	290	5.4
4	1.02	5.5	280	8.2
5	0.73	5.2	280	11.6
6	0.47	5.0	280	13.1
7	0.48	5.2	270	16.8
8	0.52	5.2	280	20.2
9	0.77	5.5	290	21.1
10	1.32	6.0	290	18.9
11	1.78	6.4	290	13.1
12	1.96	6.6	300	8.9

オ撮影が鮮明でない場合には、測深記録により大型海藻の分布を推定した。

また、現地調査の際に、地元の組合員の方に大型海藻類の分布状況等についての聞き取りも行った。

2.2 波浪計算・ウニ摂餌圧

調査海域は、沿岸方向の範囲が約 10 km に及ぶため、エネルギー平衡方程式により、調査海域における月毎の平面波浪場の計算を行った。沖波条件は瀬棚港における過去 10 年間の月別平均値より求めた。

計算で得られた波高は、微小振幅波理論により底面軌道流速に変換しウニ摂餌圧を求めた。ウニ摂餌圧は次式のように表される。

$$F = F_u \times F_t \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 F はウニによる摂餌量 (g・wet/日・個体) である。

F_u は振動流に対する摂餌量の変化で、川俣 (1994) によって提案されたもので、次式のように表される。

$$F_u = 1 - \exp \left[- \exp \left(- \frac{u_{\max} - 27.1}{4.27} \right) \right] \dots\dots\dots (2)$$

ここで

$u_{\max}$: 底面軌道流速振幅 (m/s)

である。

F_t は静水中でのウニ摂餌量を水温と殻径の関数にし、季節による修正項を加えたものであり、Kawamata (1997) によって次式の様に表される。

$$F_t = 0.333 \theta (1 - \theta) \left[1 + \frac{0.344 \sin(2\pi(J - 48.5))}{365} \right] d^2$$

ここで

θ : $\theta = T - 0.63/27.36$

T : 水温 (°C)

J : 1 月 1 日からの日数

d : ウニの殻径 (cm)

である。

ただし今回は、殻径は 5 cm とし、水温は 10 年間の養殖場水温 (寿都と瀬棚における各月中旬の平均) を用いた。各月の計算条件を表一1 に示す。

3. 結果および考察

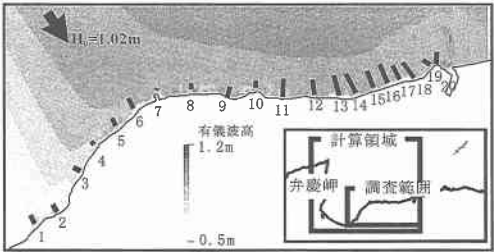
3.1 波浪・底質環境

図一2 に、一例として、コンブの幼芽期にあたる 4 月の波高分布の計算値を示す。

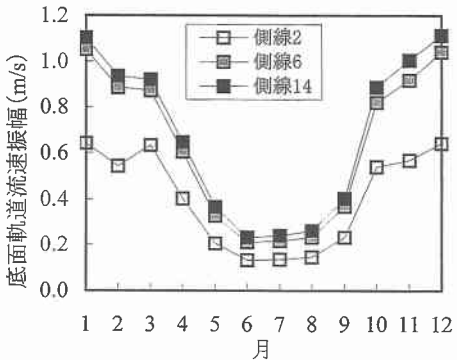
波高は、調査海域西側で海岸線が北西向きである測線 1~9 で低く、海域東側で海岸線が北向きの測線 10~20 で高い。海域西側の測線 1~9 では西側の測線ほど波高は低くなっている。寿都湾の西側には弁慶岬が存在するため、西側海域では北西方向からの波は弁慶岬によって遮断されるようになっており、東側海域に比べ波高も低いことがわかる。

図一3 には水深 4 m における底面軌道流速振幅の季節変化を示した。11 月から 3 月にかけては西向きの波浪が卓越し、冬季に高波浪となる日本海の特徴を示し、流速振幅はいずれの測線も 0.5 m/s を超えている。3 月から 8 月にかけては沖波波高の低下に伴い、各測線における流速振幅も低下し、8 月では 0.1~0.2 m/s 程度となっている。

図一4 には、4 月の水深と底面軌道流速との関係を示



図一2 波高分布 (4 月)



図一3 底面軌道流速振幅の変化 (水深 4 m)

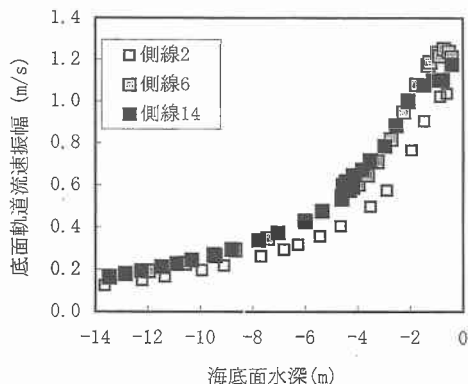


図-4 水深と底面軌道流速の関係 (4月)

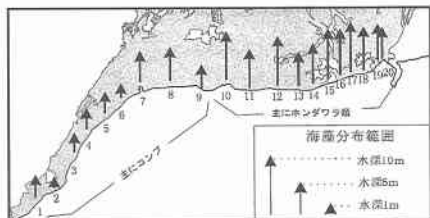


図-5 大型海藻の分布状況

した。水深の浅いところでは流速振幅は 1 m/s 近くまで達しており、水深が深くなるにつれ小さくなり、水深 6 m 以深では、 0.3 m/s 程度となる。

川俣ら (1994) の実験結果によると、キタムラサキウニの摂餌圧は流速振幅が 0.2 m/s から 0.4 m/s の間で急激に落ちる。この範囲の流速振幅となる水深が、海藻の分布範囲を決定するのに重要であると考えられる。

底面軌道流速振幅が 0.3 m/s となる水深をみると、測線によって差がみられる。例えば測線 2 では水深 6 m であるが、測線 14 では水深 8 m 程度である。

つまり波高分布と同様、海底面の水深が同じでも、底面軌道流速振幅は地形や海岸線の向きによって異なる。

海藻が繁茂している水深帯での底質は、測線 9 より西側は岩礁域、東側は岩礁上に粒径約 0.2 mm の砂が厚さ数 10 cm 以上でパッチ状に存在している。

3.2 大型海藻類の分布状況

図-5 には大型海藻の分布状況を示した。調査時の透明度があまり良くなく、海藻類の被度が確認できなかったため、測線方向の分布範囲のみを示してある。

調査海域に分布する大型海藻類はホソメコンブ、ホンダワラ類、スガモ等であった。海藻分布水深は、測線 1～6 では $1\sim 3\text{ m}$ で西側ほど浅く、西側程いわゆる「磯焼け」状態であり、藻場を形成しているのは主にホソメコンブであった。海域東側の測線 10～20 では、主にホンダ

ワラ類による藻場が水深 $5\sim 8\text{ m}$ の深さまで形成されていた他、ホソメコンブもみられた。

北海道南西日本海沿岸は、1年生のホソメコンブの分布域であるが、測線 10～20 にあたる寿都町磯谷沿岸では、1年生のホソメコンブとともに2年生のコンブが毎年生産されてきた(名畑ら, 1993)。今回の調査において寿都海域の測線 10～19 でみられたコンブにも2年生のコンブがあると思われる。

この大型海藻、特にホソメコンブ群落の下限水深は、光、流れといった物理環境によってホソメコンブ自体の成長が制限される場合と、キタムラサキウニに代表される植食動物による場合などが考えられる。ここではこの下限水深帯を海藻分布限界水深と称しておく。図-5 は、海藻分布限界水深を測線毎に示したのものである。

海藻分布限界水深は浅いところでは水深 2 m 、深いところでは 10 m にまで至っており、測線によってかなり差があることがわかる。

海藻分布限界水深は、岩礁域である西側の測線 (1～9) では水深 $1\sim 3\text{ m}$ 、岩礁上に砂が存在する東側の測線 (10～20) では水深 $5\sim 9\text{ m}$ と砂大きく関わっていることが考えられる。

3.3 ウニ摂餌圧の変化

図-6 には代表的な測線 8 における摂餌圧の季節変化を示した。

ウニの摂餌圧は、春季における波浪流速の低下と水温の上昇に伴い大きく増加する。ある場所にある大型海藻の幼芽が摂餌尽くされるかどうかは、その時その時の摂餌圧の大きさではなく、ある期間内における摂餌圧を累積した値で評価するのが妥当であると考えられる。

そこで、冬から春にあたる1月から4月までの摂餌圧の累積値が一定の値を超えないような場所はウニの食害を受けずに藻場として残る事が出来ると考え、各測線で累積摂餌圧がある値以下で最も深い水深を海藻分布の推定限界水深とし、実測と最も良く合うような累積摂餌圧の値を与えた。その結果、累積摂餌圧は 0.5 が求められた。

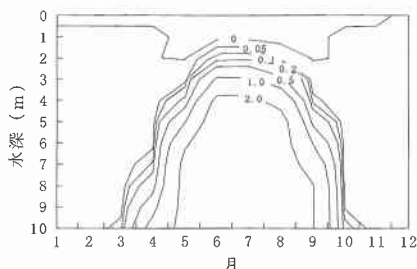


図-6 ウニ摂餌圧の変化

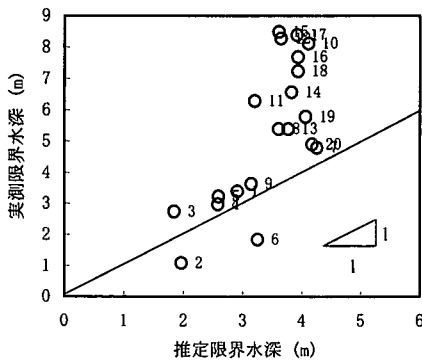


図-7 大型海藻限界水深の推定値と実測値

図-7には、各測線の推定限界水深と、調査で得られた実測の限界水深との比較を示した。

測線9より西側の測線で推定値と実測値はほぼ一致している。これらはいずれも砂礫の影響の少ない測線で、ホソメコンブからなる群落である。その水深は5m程度までである。この事は、砂礫の影響の少ない岩礁におけるホソメコンブの分布はウニ摂餌圧による制限を受けており、波浪環境からおよその分布範囲が推定できると考えられる。

限界水深を推定するための累積摂餌圧の値は、ウニ摂餌圧とホソメコンブの成長とのバランスの結果であると考えられる。摂餌圧に直接関係するウニの個体数と、ホソメコンブの成長に影響する流動、光、栄養塩等は海域によって異なるため、他の海域に適用する際には、累積摂餌圧の値は海域毎に異なる値を設定する必要があると考えられる。

3.4 底質との関係

測線9より西側の測線では、ウニ摂餌圧によって大型海藻の分布がほぼ推定できるのに対し、測線9より東側の測線では、推定した海藻限界水深よりも深い、水深6~9mまで大型海藻類が分布していた。

ここは岩礁の上に砂が点在するような場所であり、ここでは主に多年生のホンダワラ類による海藻群落が形成されていた。

この海域の岩礁域に藻場を形成する1年生海藻と多年生海藻の関係について、ウニの食圧がかからないような場所では、多くの裸地実験にみられるように、ウニ除去後最初に付着珪藻、次いで小型1年生海藻、大型1年生海藻、小型多年生海藻が順次入植し、最終的に大型多年生へと遷移していく(吾妻ら, 1997)。

桑原ら(2000)は、磯焼け海域におけるホソメコンブ群落の形成要因として、冬に流速が大きく、幼芽の成長がウニの食害から守られ、夏にはウニの食圧が大きくかかり基質が一度更新される事を挙げている。これは、毎

年、海藻群落の遷移が途中で初期状態に戻されるようなサイクルである。

キタムラサキウニは、底質粒径 $d=0.3\text{ mm}$ の程度の砂礫があるような場所では、流速振幅 $U=0.15\text{ m/s}$ までは固定床から砂床へは100%移動できるが、 $U=0.2\text{ m/s}$ では移動確率は70%、 $U=0.25\text{ m/s}$ では40%と移動、摂餌行動が著しく制限される(山下ら, 1999)。

波浪環境が最も穏やかな6月では、水深4m付近の底面軌道流速振幅は、 $0.1\sim 0.3\text{ m/s}$ と岩礁のみで考える場合、ウニの摂餌行動に対する制限は小さいと考えられる。しかし、砂礫の存在により、キタムラサキウニが長い距離を移動する事を想定した場合、やや困難な状況にあると言える。

山下ら(1999)は、振動流水槽における実験で、波浪による漂砂磨耗により、着生した海藻の一部が磨耗し、粒径、流速などの条件によっては、海藻が完全に磨耗し、新たな付着基質を形成することを報告している。

東側の海域にあたる測線10~20(砂との境界付近を除く岩礁域)では広範囲な砂の分布により、通年ウニの摂餌圧が抑制され、漂砂磨耗やウニの摂餌による基質更新もないため、長期的な群落遷移の結果としてホンダワラ類のような大型多年生海藻群落が形成されているものと考えられる。

4. ま と め

波浪・底質条件の異なる海域における大型海藻の鉛直分布特性を明らかにするために、北海道寿都町における海藻分布調査と、数値計算による物理環境との関係を解析した結果、以下のことが明らかになった。

(1) 本調査海域における波浪環境は、西側海域では、弁慶岬による波の遮断により、東側の海域よりも低い波高である。海藻が繁茂している水深帯での底質は、測線9より西側は岩礁域、東側は砂が散在する岩礁である。

(2) 本調査海域における大型海藻の分布は、東側の海域では水深1~3m以浅、西側海域では水深5~9m以浅と場所による違いが認められた。

(3) 波浪計算から求めたウニ摂餌圧から、大型海藻の分布範囲を推定し現地調査結果と比較した。西側の岩礁域では、大型海藻の分布範囲はウニ摂餌圧による制限を受け、推定した分布範囲とよい対応を示した。東側の砂が散在する岩礁域では、ウニの摂餌圧が砂の影響で制限され、推定した分布範囲よりも深い水深まで主に多年生海藻が分布することがわかった。

謝辞：現地調査に際し、多大な御協力と有益な情報を頂いた寿都漁業協同組合の方々に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 吾妻行雄・松山恵二・中多章文・川井唯史・西川信良 (1997): 北海道日本海沿岸のサンゴモ平原におけるウニ除去後の海藻群落の遷移, 日本水産学会誌, 63(5), pp. 672-680.
- 川俣 茂・足立久実子・山本正昭 (1994): キタムラサキウニに及ぼす波浪の影響, 平成 6 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 85-88.
- 桑原久美・赤池章一・林 久哲・山下俊彦 (1997): 磯焼け帯における海藻群落の生育要因に関する研究, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 1181-1185.
- 桑原久美・川井唯史 (1999): 北海道寿都町美谷海域の沿整施設におけるホソメコンブ群落の形成機構・海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 1166-1170.
- 桑原久美・金田友紀・川井唯史 (2000): 北海道南西部磯焼け地帯の囲い礁によるホソメコンブ群落の形成条件, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 1181-1185.
- 名畑進一・阿部英治・垣内政宏 (1992): 北海道大成町の磯焼け, 北水試研報, 38, pp. 1-14.
- 名畑進一・阿部英治・垣内政宏 (1993): 寿都町磯谷の 2 年生コンブの生態と種苗移植実験, 北水試研報, 43, pp. 25-35.
- 山下俊彦・高橋和寛・近藤正隆・峰 寛明・桑原久美・坪田幸雄 (1999): 岩礁性生物ウニ・海藻への漂砂の影響に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 1141-1145.
- 山下俊彦・高橋和寛・田畑真一・斉藤二郎 (2000): 岩礁域と砂浜域中の岩の海藻比較による海藻繁茂への漂砂の影響, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 1166-1170.
- Kawamata, S. (1997): Modeling the feeding rate of sea urchin *Strongylocentrotus nudus* (A. Agassiz) on kelp, J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 210, pp. 107-127.
-