

ウニ漁場造成に係る事前評価手法の開発とその適用

桑原久実*・寺井 稔**・畑谷 勇***・酒向章哲****

本研究は、これまで筆者らが検討を行ってきた“磯焼け”に対する知見を整理して、ウニ漁場造成に係る事前評価手法としてまとめ、これを北海道寿都町での増殖場計画に適用し検討を行い、問題点の抽出を行った。餌料海藻に対するウニ食圧を制御し、持続的に漁場利用が可能になるよう、流動条件を満たす施設天端水深の設定を簡易な手法として整理できた。また、従来の漁港・海岸の事業計画と同様に、事前に施設効果を予測することが可能となった。漁場造成に当たっては、海底地形や嵩上げ高が施設造成費用に影響するので、計画検討の事前に適地選定を行ったうえで対象地区を決めることが非常に重要となる。

1. はじめに

北海道南西部日本海沿岸は、キタムラサキウニの過度な食圧により海藻が殆ど生育できない“磯焼け状態”にある。従来から、海藻の付着基質を提供する目的で、投石やブロック等が数多く設置されてきた。しかし、設置直後は海藻が繁茂するものの、数年後には元の磯焼けに戻る場合が多く問題となっている。

磯焼け海域は、全く海藻が生育しないわけではない。吾妻ら(1997)は、ウニ除去実験を行うと、その直後は小型で1年生の海藻が見られ、その後は大型で多年生の海藻に遷移する事を報告している。この様に海藻群落を形成するポテンシャルはあるにもかかわらず磯焼け状態が持続しているのは、ウニの摂餌量が海藻の生産量を大きく上回りバランスが崩れているためと考えられる。

このうちウニの摂餌について川俣(2001)は、キタムラサキウニ等を対象とした規則波による水槽実験から、波動流速振幅(波による流速の最大値) U_{max} が 0.2 m/s を越えると摂餌活動は低下し始め、 0.4 m/s を越えると摂餌できないという実験結果を得ている。

桑原ら(2001)は、磯焼け海域において、ウニ類の分布、波浪及び水温の関係から海藻群落が形成する条件を野外調査から明らかにした。ウニにとって餌料価値の高いホソメコンブの造成方法として、1)ウニの侵入を制御する“フェンス”と2)波浪流動を増大させる“嵩上げ”の2つの方法を提案している。この内、後者の嵩上げについては、ウニとホソメコンブの個体群動態モデルを開発し、設置水深や断面形状の検討を行った。その結果、1)天端の高い潜堤状の構造物を立ちあげた場合、天端上で波浪が減衰することにより、その岸側は静穏域となりウニ食圧が増大する、2)このため天然のコンブ群落が形成する下限水深を構造物の天端水深に設定し、この水深を維持して施設の延長を冲出しする、3)岸沖方向の延長が

長いと造成費用が増すので、ある程度の冲出しを設けたら沿岸方向に延ばす方が経済的である、などが明らかとなった(桑原ら, 2002)。

このような背景から本研究は、まず、これまでの知見をもとに、北海道南西部日本海側の磯焼け海域を対象としたウニ漁場造成に関する事前評価手法の試作を行った。次に、これを用いて北海道寿都町地先でのウニ漁場の造成計画を実施し、試作した事前評価手法の妥当性や問題点を検討した。

2. 事前評価手法の概要

本手法は、北海道南西部日本海側で嵩上げによるウニ漁場を造成する際、施設の設置位置、施設形状を事前に評価できることが特徴である。

図-1の様に、北海道南西部日本海側は、一般に沖側の水深の大きい場所は磯焼け状態にあり、岸側の極浅海域には多年生海藻が見られる場合がある。この中間はホソメコンブ群落が生息しウニ漁場を形成している。このウニ漁場を造成する方法として、桑原ら(2002)によるリーフ状のものを提案している。

(1) 施設の開始地点と天端水深

冬季は嵩上げにより施設天端上で波浪流速が増大し、ウニ食圧を抑制することでコンブ幼芽を保護し、夏期は波浪が静穏になりウニ食圧が増大し多年生海藻の幼芽を

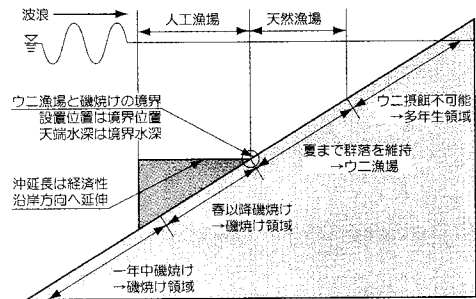


図-1 構造形式模式図

* 正会員 農博 (独)水産総合研究センター水産工学研究所
** 留萌支庁地域政策課
*** 寿都町産業課参事
**** 理修 (株)アルファ水工コンサルタンツ

食へ遷移を抑える様な流動条件を整えれば、持続的に利用できるウニ漁場の造成が可能となる。なかでも8月半ばまでウニの餌料として貢献できるホソメコブ群落の造成を目指したい。

この様な流動条件を得る天端水深の決め方は、次のように行う。まず、夏季(8月頃)にライン調査を実施し、藻場分布の断面図を作成する。ラインには天然ウニ漁場を含めておく。次に、磯焼け、ウニ漁場(ホソメコブ群落)、多年生海藻の領域に分割し、底面波浪流速の年変化を数値解析により求める。図-2は、その一例である。ウニ漁場の底面波浪流速を満足するようにすれば、任意の地点の天端水深を求めることができる。また、上述したようにウニ漁場が形成するためには、冬季と夏季の流動条件が重要となるため、これらの期間の流動条件が満足するように簡易化して天端水深を求めても良い。この天端水深と海底断面との交点(図-1の○印)が、施設の開始地点となる。従来の「漁港・漁場の施設の設計の手引」(社団法人全国漁港漁場協会, 2003)では安定性についての記述はある一方、詳細には触れられてなかった天端水深について、今回の方法は補うものになると考える。

なお、嵩上げの限界水深に達しても、天然藻場での波浪流速に達しない場合は、桑原ら(2001)で提案したウニ侵入防止フェンスの採用を検討する。ここでの天端の限界水深は、漁船の操業に支障を来さない水深とする。

(2) ウニ加入個体数の推定

漁獲対象サイズに達していないウニを対象海域から採取し、年齢組成分布から単位面積当りの平均的な新規加入量を求める。これは、漁場造成面積における平均的なウニ漁獲数を推定するために使用する。

初期個体数 Y_0 から一定の減少率 m (1/年) で指数関数的に個体数が減ると仮定すると、 x 年経過した個体数 Y_x は次式で表せる。

$$Y_x = Y_0 \cdot e^{-m \cdot x} \dots\dots\dots (1)$$

両辺の対数をとると、次の形となる。

$$\log Y_x = -m \cdot x + \log Y_0 \dots\dots\dots (2)$$

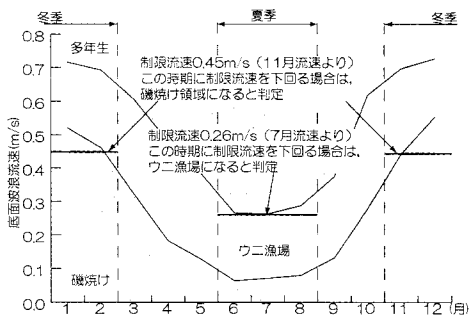


図-2 制限流速の設定例

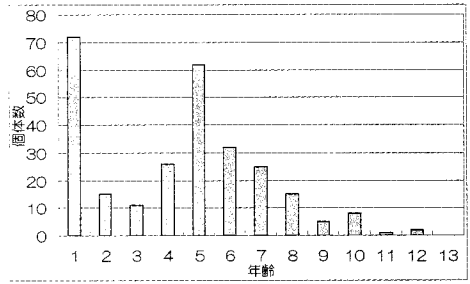


図-3 年齢組成分布の例

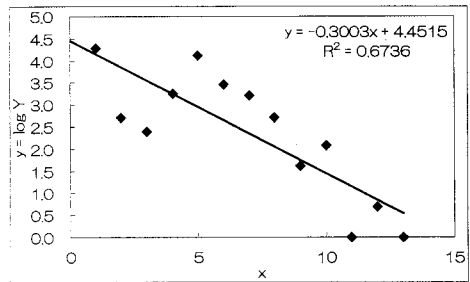


図-4 減少率の推定例

毎年、平均的に個体数 Y_0 が海域に加入したと仮定すると、加入してから x 年経過した個体数 Y_x は年齢 x の個体数として見なせるので、単年の調査でも図-3のような年齢組成を用いる事により式(2)の関係を、図-4のように示すことができる。

図-4より得られた減少率 m (1/年) と、調査より得られた単位面積当りの個体密度 S (個/ m^2) を用いて、単位面積当りの新規加入量 γ を求める。漁獲サイズ以上のデータを除いた場合、 m の値は任意集団からの推定となるが、全体でも値が変わらないと仮定する。単位面積当りの個体密度 S と単位面積当りの新規加入量 γ (個/ m^2 /年) の関係は、式(1)の積分形として次式で示される。

$$S = \int_0^x \gamma \cdot e^{-m \cdot t} dt = \frac{\gamma}{m} \dots\dots\dots (3)$$

実際には新規加入量 γ と減少率 m は年変動するものと考えられるが、後で構造物の耐用年数を考慮した費用対効果分析等を行う際には、ここで求めた平均的な値は妥当と考える。

(3) 施設規模

計画のウニ漁獲数 N (個/年) が決められていて、利益がコストを上回るように、図-5に示す施設を考える。この条件は、施設体積 V (m^3)、施設費用 α (円/ m^3)、ウニ漁獲金額 β (円/ m^2 /年)、施設の耐用年数 γ (年) を用いて次式となる。

$$\alpha \cdot \beta \leq \beta \cdot \gamma \cdot X \cdot Y \dots\dots\dots (4)$$

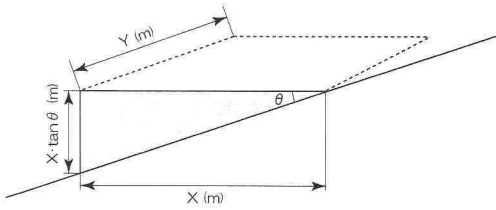


図-5 施設規模

上式で左辺は施設造成費用の概算費、右辺は施設造成による利益の概算費を表す。施設の体積は、天端幅 X (m)、施設延長 Y (m)、海底勾配 θ を用いて次式で概算される。

$$V = 1/2 \cdot X^2 \cdot Y \cdot \tan \theta \dots\dots\dots (5)$$

式(4)に、式(5)を代入すると、式(6)の天端幅 X の条件が求まる。また計画のウニ漁獲数 N より、単位面積当りのウニ漁獲数 n (個/m²/年) を用いて、施設延長 Y が求まる。単位面積当りのウニ漁獲数 n については、前節のウニ加入個体数の推定で得られた値を用いる。

$$X \leq \frac{\beta \cdot \gamma}{\alpha} \frac{2n}{\tan \theta} \dots\dots\dots (6)$$

$$Y = \frac{N}{n \cdot X} \dots\dots\dots (7)$$

式(6)より図-6の天端幅の限界値 X_{max} が求まる。0~ X_{max} の範囲内で、天端幅 X_1 を決めると、式(7)より施設延長 Y_1 は一意に決まる(図-7)。

また式(4)を整理すると、施設の設置場所の効率が次式で表される。左辺は、利益概算/施設費用概算を示す。

$$\frac{\beta \cdot \gamma}{\alpha} \frac{2n}{X \tan \theta} \geq 1 \dots\dots\dots (8)$$

式(8)より、効率を大きく得るためには、天端幅 X と海底勾配 $\tan \theta$ が小さい場所が望ましい。また式(7)の関係から、天端幅 X を小さくすると、全体の漁獲数を上げるためには、沿岸方向に施設延長 Y が大きくとれる場所が必要である。

以上、本章の各節で述べた手順を踏むことで、比較的

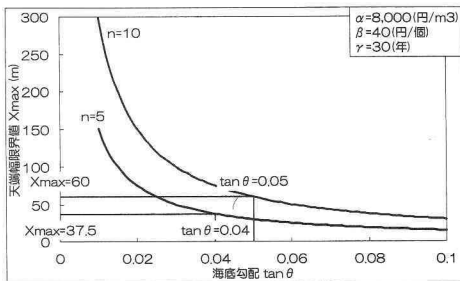


図-6 天端幅限界値の計算例

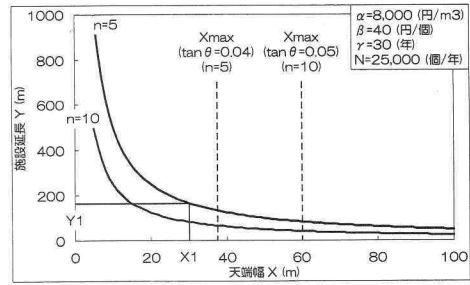


図-7 施設延長の計算例

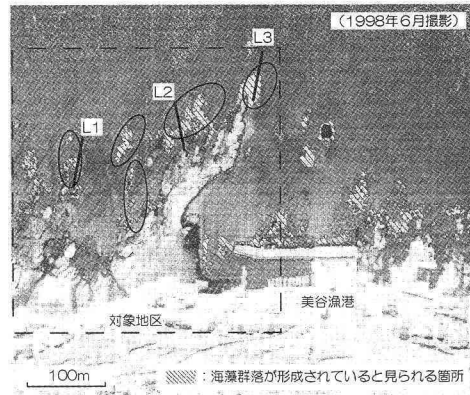


図-8 画像解析による藻場分布

簡便にウニ漁場造成の事前評価が可能である。ここで提案した事前評価手法は、費用対効果分析ではない。ウニ漁場造成の計画の段階で是非実施したい適地選定、施設規模の目安をつけるものである。このため詳細な効果分析は、「水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン」(水産庁漁港漁場整備部, 2002)を参照されたい。

3. 事例解析

(1) 対象地区の概要

事例解析の対象地区は、北海道寿都町にある美谷漁港の左岸側にあり凹凸の激しい地形である。本地区の浅所は、ホソメコンブを主とする海藻が繁茂しており良好なウニ漁場を形成しているが、深所では、餌料となる海藻が繁茂せず磯焼けの状態にある。また多年生海藻の分布もあまり見られない。今回の事例解析では、施設設置場所は図-8の破線区域内と決まっているため、この区域内で天端水深と施設規模の検討を行った。

(2) 天端水深

北海道中央水産試験場(1999~2003)は、当海域において1998~2002年に藻場調査を実施している。調査は3測線(L1~L3, 図-8参照)で海藻現存量が調べられている。このうちL2は、藻場の経年変動が、図-9の様に

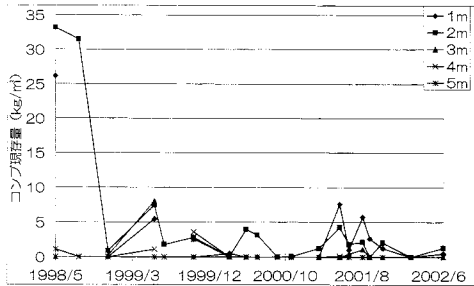


図-9 ライン2上でのコンブ現存量の経年変化

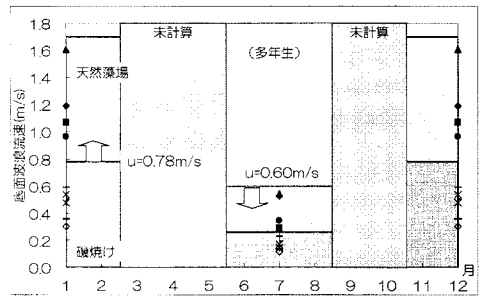


図-10 藻場調査地点での流速環境

詳しく調べられている。水深1m, 3m, 4mでは年によってコンブ群落の形成の有無がある。水深5mでは毎年コンブ群落の形成が全く見られない。ライン上では水深2mが、毎年安定してホソメコンブ群落を形成する水深になっている。

次に、底面波浪流速分布と藻場分布を比較することにより、漁場形成に適した流速条件を抽出する。対象区域での底面波浪流速分布については数値計算により求めることとし、季節毎の期間平均有義波を入力条件とする。

表-1 計算条件

施設種類	囲い礁(高上げ礁)
計算手法	非定常緩勾配不規則波動方程式(波浪場の計算) 微小振幅波理論(底面波浪流速の計算)
計算格子	$\Delta x = \Delta y = 4\text{ m}$
潮位	M.W.L. = D.L. + 0.2 m
入射波	冬季: $H = 1.59\text{ m}$, $T = 6.5\text{ 秒}$, 波向 $N + 66.5^\circ W$ 夏季: $H = 0.56\text{ m}$, $T = 5.2\text{ 秒}$, 波向 $N + 69.5^\circ W$
漁場条件	冬季: 流速 $u = 0.78\text{ m/s}$ 以上 夏季: 流速 $u = 0.60\text{ m/s}$ 以下
範疇規覆	天端幅 $B = 35\text{ m}$, 延長 $L = 30\text{ m}$

数値計算の結果から、先の藻場調査の調査地点における底面波浪流速を、図-10に示す。ここで、コンブ群落形成される地点とされない地点での流速の中間値を条件に設定して、冬季(11~2月)に底面波浪流速が0.78 m/s以上あることを条件に漁場形成の判定を行う。また調査データからは本地区では多年生海藻群落の優占水深帯は不明なため、夏季条件(6~8月)については最も流速の速かった調査地点に準じて、底面波浪流速が0.60 m/s以下であることを条件に漁場形成の判定を行う。

底面波浪流速分布より、先の条件を満足するのは図-11に示した領域である。これは図-8で得られたホソメコンブを主とする海藻群落の分布と合致しており、ウニ漁場が成立する評価の方法として妥当であることがわかる。この底面波浪流速が得られるように天端水深を決める。

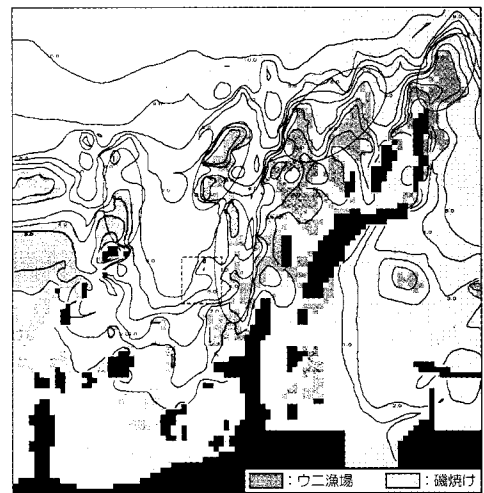


図-11 漁場評価方法の検証結果

(3) 施設の規模と効果

数値計算により底面波浪流速の分布を推定し、流速条件を用いて漁場面積に換算し、施設設置効果を検討する。検討条件は前節と同様とし、表-1を参照されたい。漁場施設の構造形式については、図-12に示すようなリーフ状の、高上げを図った囲い礁とする。設置位置は岩礁間の磯焼け部、図-11中の点線部分とする。囲い礁の天端高は、現地調査資料を参考に水深2mと仮定し、表-1での漁場条件を満たす流速が得られるか数値計算より確認を行う。

図-13に漁場分布の計算結果を示す。現況では漁場として評価されない区域に、施設設置時には面積1,035 m²の漁場が造成されることが見込まれる。この結果を基に、増殖場施設の造成によって得られる効果(便益額)と、その事業に費やされる費用を比較検討して、事業計画の経済性・合理性を評価した。

高上げ礁の工事費は囲いブロック工に大きく依存する。囲いブロック工の工事費は、囲いブロック工延長に比例するほか、高上げ高や海底勾配に依存する。しかし、

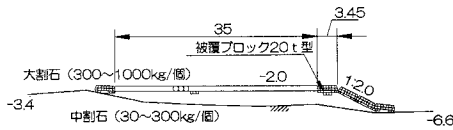


図-12 施設断面図

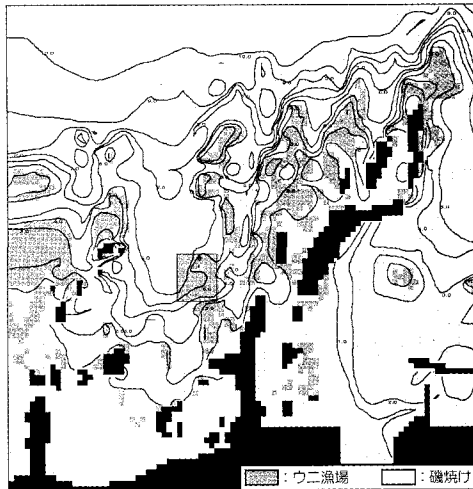


図-13 施設設置効果の評価結果

今回の事例解析では、予め施設の設置場所が深みのある場所に決まっていたため、嵩上げ高さが4m以上も必要となるほど急深で、工事費が増大し、当初より施設規模を大幅に縮小することになった。結果的にはB/Cをクリアすることが出来たが、より効率的な漁場計画を行っていくためには、事前に行う適地選定が非常に重要となる。

4. まとめ

事例解析の結果から、事前評価手法の成果と今後の課題を整理する。

1) 冬季は施設上で流速を増大させウニ食圧を抑制することで餌料となるコンブ幼芽を保護し、夏期は静穏になりウニ食圧が増大し多年生海藻の幼芽を食べ遷移を抑えることで、持続的に利用できるウニ漁場の造成が可能になると考えられ、この様な流動条件を満たす施設先端水深の設定を簡易な手法として整理できた。

2) 従来の漁港・海岸の事業計画と同様に事前評価が

可能となったが、手順も同様となるため、施設配置計画～評価(数値計算)～設計～費用対効果分析と進み、B/Cをクリアできないと当初の施設配置計画からのやり直しとなる。手戻りを減らすためには、施設配置計画時に行える施設造成費用の概算の精度向上を図る必要がある。例えば、式(4)に囲い礁ブロック工の延長や、ブロック数等を組み込むことが考えられる。

3) 今回の事例解析では対象地区が予め決まっていたが、海底地形や嵩上げ高が施設造成費用に影響するので、計画検討の事前に適地選定を行ったうえで対象地区を決めることが非常に重要となる。

今後は、北海道立水産試験場と連携して、北海道南西部日本海側を対象としたウニ漁場造成に関するガイドラインの作成を目指したい。

謝辞: 本手法について現地での検討の機会をいただいた、北海道庁、後志支庁、寿都町役場、漁組の皆様にお礼申し上げます。

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藻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(2001): 北日本沿岸におけるウニおよびアワビの摂食に及ぼす波浪の影響とその評価, 水産総合研究センター研究報告, 第1号, pp.59-107.
- 桑原久実・川井唯史・金田友紀(2001): 北海道南西部磯焼け海域におけるホソメコンブ群落の形成機構, 水産工学, 38(2), pp.159-165.
- 桑原久実・明田定満・酒向章哲(2002): 個体群動態モデルを用いたウニ漁場評価手法の開発, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.1246-1250.
- 社団法人全国漁港漁協(2003): 漁港・漁場の施設の設計の手引, 1008 p.
- 水産庁漁港漁場整備部(2002): 水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン(暫定版), p.90.
- 北海道中央水産試験場(1999): 磯焼け漁場診断指針作成事業, 平成10年度北海道中央水産試験場事業報告書.
- 北海道中央水産試験場(2000): 磯焼け漁場診断指針作成事業, 平成11年度北海道中央水産試験場事業報告書.
- 北海道中央水産試験場(2001): 磯焼け漁場診断指針作成事業, 平成12年度北海道中央水産試験場事業報告書.
- 北海道中央水産試験場(2002): 磯焼け漁場診断指針作成事業, 平成13年度北海道中央水産試験場事業報告書.
- 北海道中央水産試験場(2003): 磯焼け漁場診断指針作成事業, 平成14年度北海道中央水産試験場事業報告書.