

漁場のホタテガイを数える新しい方法

栗原康裕

キーワード：海底可視化、画像解析、資源量推定、動画調査法、ホタテガイ

はじめに

オホーツク海（根室海峡を含む）における地まき式ホタテガイ漁業（種苗放流後、2～4年後に桁網により採捕する輪採方式）は、2013年5月に水産エコラベルとして権威あるMSC（海洋管理協議会）認証を受け、環境に配慮し、高度に管理された漁業として名実ともに世界に誇る北海道の主力漁業となりました。

地まき式ホタテガイ漁業では、4～5月頃に生まれ、広い海の中を泳ぎまわっている浮遊幼生を採苗器と呼ばれる器材に集めて、それを育成した天然種苗を利用します。

地先や他海域で生産した種苗は、海域ごとに生産力や生産計画に基づいた個数が放流されます。放流種苗は売買されるため、総数は把握されており、これが数年後の漁獲数の上限となります。

2～4年後の漁獲年に半年間ほどかけて桁網により、成長したホタテガイが漁獲されます。

ある放流年度のホタテガイ放流の成否は回収率（漁獲数÷放流数×100）として、百分率で評価できます。死亡による減耗、移動の影響、桁網の漁獲効率などの複雑な要因が絡み合い、回収率が100%となることはありません。それでもオホーツク海域には回収率50%以上の好漁場が存在します。

実際には回収率は一定でないため、毎年同じ操業計画とはいきません。事前（主に漁獲前年の秋）に漁場を調査（資源量調査）することで、その時

点での残留数を推定します。

資源量調査は次年度の操業計画を立てるための基礎資料となり、ホタテガイ漁業のプロセスでも特に重要視されています。

本稿ではホタテガイ漁業の重要なプロセスである資源量調査での、ホタテガイを数える方法に関する技術革新のお話をしていきたいと思います。

ホタテガイを数えるのは難しい

先に述べた資源量調査ではどのようにホタテガイの数を推定するのでしょうか。

このような調査には2つのアプローチがあります。それは全数調査（センサス）と標本調査（サンプリング）です。前者にはおなじみの国勢調査があり、後者には野外での動植物の個体数や地下資源の埋蔵量調査が含まれます。

調査としては全数調査が理想なのですが、全数を調べることは難しい場合が多いため、生物を扱う分野では、一部を標本として抽出することで全体を推定する標本調査が一般的です。

動植物の野外での個体数を推定するために多くの標本調査法が提案されていますが、主に使われているのは、区画法（密度面積法）、標識再捕法、除去法、密度指数法の4つです。

ホタテガイでは区画法が使われており、その理由は以下の4点です。

- ・底生生物であり比較的移動性が低い。
- ・調査区画を閉じた調査区画とみなせる。

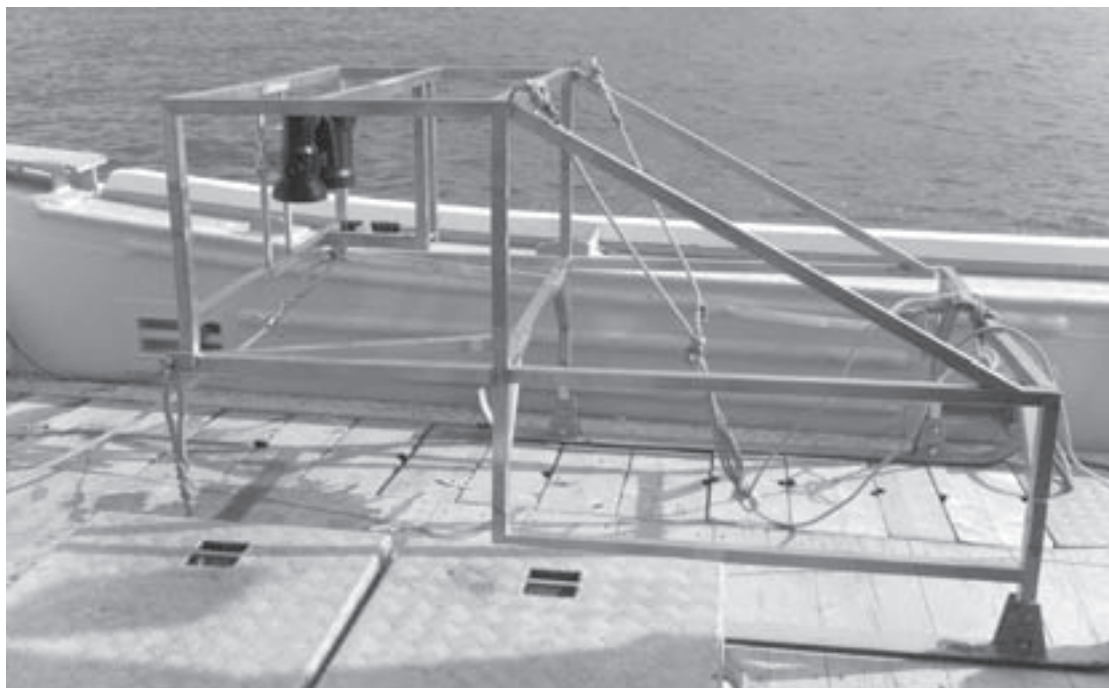


図1 けん引式海底撮影装置（左側面）

- ・貝殻上の成長輪から放流種苗の区別が可能。
- ・桁網という漁獲効率の高い漁具を利用可能。

区画法は抽出した区画エリアに生息する個体数を全数調査することで、全域の個体数を推定する方法です。ここでは桁網を利用した区画法調査を桁網調査法と名づけます。

実は、桁網調査法には桁効率と呼ばれる効率係数があり、この影響により抽出したエリア内の個体数を全数把握することは困難となります。さらに桁効率は海底の状況、水深、調査地点でのホタテガイの数で変化し、変動が大きいことが知られています（経験的に0.3~0.7）。たとえば100枚のホタテガイが網に入った調査点が複数あるとき、各調査点にホタテガイが同数いるかどうかは検証が難しいのです。このほか、漁獲物を選別・計数するには人手が必要であり、調査期間も長期にわたるという作業上の問題点があります。

これらの欠点を解消する手法として開発されたのは写真調査法です。これは海底の一定面積を写真撮影し、撮影されたホタテガイを計数し、層別

抽出法と呼ばれる計算法と組み合わせて個体数を推定する方法です。

ホタテガイは、砂に深く潜ったりせずに海底に横たわって生息しているため、生きている個体は写真に写りやすく見逃しが少ないという特徴があります。また死んで殻だけになった個体と生きている個体では殻の縁の外套膜の状態、写真による区別が可能のため、画像内の全数調査という条件を満たすと考えられます。

写真調査法により調査期間も短縮され、船上での作業も簡素化されました。ただし、調査船を漂流させながら撮影するため、撮影位置の制御ができないという欠点があります。さらに、写真から目視で判別するためには熟練が必要であり、現地調査終了後の判別作業には時間がかかります。また、調査区画面積に対する撮影面積の割合（抽出率）が桁網調査法と比較して非常に小さいという問題点があります。

現行の調査法での技術開発の目標は以下の3つの改善点の克服です。

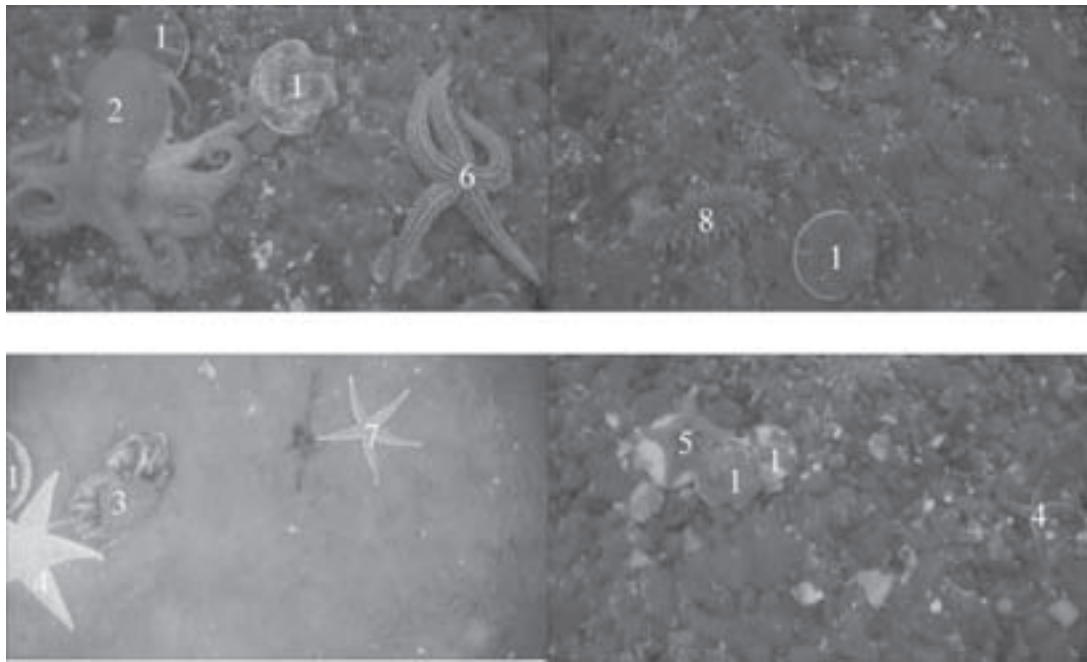


図2 撮影動画からの静止画像例

1：ホタテガイ 2：ミズダコ 3：クリガニ 4：マヒトデ 5：イトマキヒトデ
6：ニッポンヒトデ 7：エゾスナヒトデ 8：マナマコ

1. 短時間で調査を実現する迅速性。
2. 高い抽出率を実現する効率性。
3. 高精度で判別する正確性。

そこで網走水産試験場は熊本大学と共同研究で「漁場海底画像を利用したホタテガイ高精度資源量推定技術開発」(平成23～25年度)に取り組み、動画利用による技術開発を中心とした研究を実施しています。次章では研究成果のエッセンスを紹介いたします。

新しいホタテガイの数え方：動画調査法

これから説明するのは動画調査法と名付けた方法です。

海底の画像を撮影する場合、スキューバ潜水、無人探査機、有人潜水艇などいろいろな方法が思い浮かびます。ただし、初めから定量調査を念頭に置いた撮影機器を利用した試みはほとんどありません。

そこで本研究では海底を安定した照明条件で垂

直に撮影し、画面内の面積が一定となるような動画撮影を、効率よく行うことを目標としました。これらを達成するために開発したのがそりに似た形状のけん引式海底撮影装置です(図1)。

この装置は、海底に沈めて、調査船からワイヤーロープによりけん引し、定量調査に耐えうる動画撮影をするために開発されました。実際に毎時2マイル(約3.7km)以上の速度で海底動画が撮影可能で、平成25年6月の試験では10km以上の海底を走破・撮影することができました。

今回開発した装置では、照明もビデオカメラもバッテリー式を採用しました。船上で海底画像の確認はできませんが、電力供給や通信用の耐压ケーブルが不要となり、船上作業の煩雑さや撮影装置の複雑化、装置価格の高騰を抑えました。これにより迅速性と効率性は改善されます。

最後は正確性です。海底動画はHD(高密度)画質で一秒間に30枚の静止画像を撮影しています。この動画から静止画像を一枚ずつ切り取り、それ

ぞれのホタテガイを判別・計数できれば良いわけです。図2は動画からの静止画像の例です。

毎時2マイルで500mの動画調査法を実施する場合、約8分間で14579枚の静止画像が取得可能です。写真調査法を5秒間隔で8分間行った場合(98枚)と比較すると、150倍の圧倒的な画像量となります。

こうして得られた画像量は膨大ですから、目視による判別は事実上不可能となり、コンピューターを利用した画像解析によるホタテガイ自動判別技術が活躍することになります。

自動判別の手順は、以下の3項目です。

1. 動画から静止画像を分離。
2. 静止画像内の底質を砂泥とそれ以外に分類。
3. 底質ごとにホタテガイを判別・計数。

特に2で分類される底質はホタテガイの写る画像の背景であり、ホタテガイ判別アルゴリズムを底質(背景)により使い分けするために必要なプロセスです。

ホタテガイ自動判別技術は目視判別結果と比較して85%以上の安定した判別性能を達成しており、これらの技術を効果的に運用する調査計画を立案・実施することにより、従来の資源量調査に比べて高精度な資源量推定ができるようになると予想しています。

今後、本研究の成果は道総研発の実用技術として、現場への普及に努めていく予定です。

役に立つ海底可視化

海底の画像を撮影することは、海底を目で見えるようにする作業であり、これが海底可視化です。

雲のない夜間では信じられないくらい遠く輝く星を見ることができそうですが、水中では透明度が世界一でも40m程度。濁ったときは数センチ先も見えません。このことだけでも海中を見えるようにするというのは技術的にハードルが高い課題だとわかります。

海底可視化技術は単体でも役に立ちますが、画像解析技術とリンクすることで有用性は飛躍的に向上します。

ホタテガイ漁業においては今回の資源量調査以外に、底生生物(ヒトデ類、アカボヤ)のモニタリング、大時化など災害後の被害調査、桁網の桁効率調査への利用が考えられます。

ヒトデ類の自動判別に関してはすでに北海道ほたて漁業振興協会の協力により基礎的な研究が進行しています。さらにホタテガイ密度と成長や移動の関係のように未解明な問題に迫るツールとなる可能性を秘めています。

海底可視化技術はホタテガイ漁業の枠を越え、他魚種への展開など、汎用性の高い技術として今後も発展する可能性を持っています。

実際、ある海域のホタテガイ漁場での撮影画像から19種類以上の動物が目視確認可能でした。このような多くの生物が撮影・自動認識される技術展開へと進めば、海底可視化が水産業に与えるインパクトは想像できないほどの広がりを持つと思われます。

(くわはらやすひろ 網走水試調査研究部

報文番号 B2367)