

学位論文題名

円形選別口によるホタテガイの
形状選別に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

ホタテガイ (*Patinopecten yessoensis* JAY) 養殖業で頻繁に行われる選別作業には、ふるい面に円形選別口を持つトンメルやシフタが多用されている。しかし、選別機の仕様などは生産者の経験によって定められており、選別精度は逐一網上・網下産物の形状組成を計測しなければ知ることができない状態にあった。

本研究は、円形選別口を持った選別機の選別機構をホタテガイの幾何学形状から考究し、部分分離効率を新たな形状尺度から構成する方法とその妥当性について考察を行ったものである。研究は、以下に述べる4つの過程を経て行った。

1. ホタテガイの通過確率

円形選別口をホタテガイが通過する確率と通過の要因を、実物のホタテガイの貝殻によって作製した供試貝による静的通過実験から求めた。

実験から得られた通過確率(42~46%)は生産現場で実測した通過確率(38%~41%)に近い値を示し、単一のホタテガイと選別口の出合い関係が、多数のホタテガイと選別口の出合から得られた選別結果に支配的に作用していること、および各軸径を用いて計算した粒子通過確率はホタテガイの選別には当てはまらないことが推測できた。

また、貝の耳状部が選別口の縁に近い出合関係にある場合に高い通過頻度が観測されたことから、運動状態に関わらず、円形選別口を

ホタテガイが通過するための要因にはホタテガイの辺縁部形状が強く関与しているものと考えられた。

2. ホタテガイの巨視的形狀特性

ホタテガイの形状が選別に関与すると推論できたので、産生時期と場所の異なる806枚のホタテガイの形状測定を行い、巨視的形狀特性である長短度、偏平度、方形係数、形状指数等を求めて統計的な検討を加えた。

この結果、ホタテガイの長短度と偏平度は約1.01と約0.25であり、ホタテガイは殻高を直径とする外接円に内包される偏楕円体であることや、各特性値は一定の母集団に属しており、これらの値は殻高によって一意に推定できることが明かとなった。

3. ホタテガイの辺縁部形状と最大差渡し長

選別に関与すると考えられる辺縁部形状から得られる形状特性値とホタテガイの近似形状を72枚の供試員の画像処理の結果から推定した。

はじめに、画像解析によって得られるホタテガイの形状を定義する座標系は、蝶番点と図心を結ぶ軸によって構成する2次元直交系上で記述することが最良であることを示し、円形選別口とホタテガイとの出合関係を考慮して、辺縁部形状はこの座標系に対応する極座標系と周長をパラメータとする曲線座標系で記述した。

次に、ホタテガイの形状を少数のパラメータで記述するため、画像処理した辺縁部形状を投影円相当径と耳状部の殻高および殻長方向の形状特性値によって真円部、楕円部、矩形部の3つの形状領域で近似した。その後、ホタテガイや選別口の大きさによらず同一の尺度で比較できるように、全ての形状値を投影円相当径で無次元化した。

更に、辺縁部の任意の2点間距離で「差渡し長」とその中で最大距離をとる「最大差渡し長」を定義し、画像処理を施した辺縁部形状と近似形状からその分布を求めた。

この結果、蝶番点を 0° とする極座標系において、最大差渡し長が、

0~120° および 240~360° の領域では180° 対向する2点によって構成され, 120~240° の領域では耳状部の凸部の1点を選択的に選ぶ点によって構成されており, 近似形状を定めた形状方程式から計算した最大差渡し長と実測した辺縁部形状から得た最大差渡し長は良い一致を示すことが明かとなった。

また, 辺縁部形状を記述する各特性値も巨視的な形状代表値と同様, 殻高によって推定することができ, 産生時期や場所の違いによらず, ホタテガイに共通した辺縁部形状と最大差渡し長を示すことが認められた。

4. 最大差渡し長と部分分離効率

最大差渡し長は, 「ある口径の円形選別口にホタテガイが出合う場合, この口径よりも小さな最大差渡し長で会合すればホタテガイは選別口を通過し, 大きければ通過しない」という幾何学的条件の下に定義した本質的に離散的な値域を持つ1価関数である。よって, 最大差渡し長の分布から通過確率を求めるためには, 最大差渡し長を定義する基準座標系に対し, 測度論的解釈を与える必要がある。

本論では最大差渡し長から部分分離効率を求める方法を測度論に基づいてルベグ式積分で示し, 画像処理を施した供試貝の辺縁部形状から計算した部分分離効率と通過実験から得られた通過確率の比較を行った。

この結果, 通過実験に用いた供試貝(投影円相当径; 104.4mm, 殻高; 105.0mm)が95.0mmの選別口に出合った場合の部分分離効率から計算した通過確率と実験による通過確率は共に0.0%を示し, 105.0mmの選別口に関しては計算値が42.3%, 実験値が42.2%と46.0%を示した。更に, 115.0mmの選別口に関しては計算値が100.0%, 実験値が99.2%と99.6%となったことから, 辺縁部形状から誘導できる部分分離効率から計算した通過確率は実際の通過確率を十分に記述し得るパラメータであり, 本論で示した「最大差渡し長」はホタテガイの選別に関して粒子通過確率に代わり得る形状尺度となることが確認できた。

また、座標系のとり方の違いによる部分分離効率に大きな差が認められなかったことから、円形選別口によるホタテガイの選別に関しては、貝の運動は支配的要因ではなく、選別精度は専らホタテガイが選別口の縁を通過するか、しないかの幾何的な条件によって定められることも明らかにすることができた。

部分分離効率は最大差渡し長を決定している辺縁部形状に影響を受けるが、本研究で示した画像処理による方法は、欠刻貝や変形貝が多く含まれる場合の部分分離効率を求める際にも有効であると考えられる。

本論で定めた最大差渡し長などの形状特性値は全て「殻高」によって推定することができるため、生産現場でホタテガイの殻高分布だけを測定すれば、直ちに部分分離効率を推定することができると考えられるが、この点については今後、実際の選別機の設計パラメータを変化させて得られる部分分離効率と最大差渡し長から求めた部分分離効率(通過確率)に基づくシミュレーションとの比較を行ってから検討する必要がある。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 五十嵐 脩 蔵
副 査 教 授 梨 本 勝 昭
副 査 講 師 見 上 隆 克

学位論文題名

円形選別口によるホタテガイの 形状選別に関する基礎的研究

現在のホタテガイ養殖業は、生産量、生産金額共に安定した、わが国の重要漁業種類の一つである。垂下式施設によるホタテガイ養殖は、生産対象であるホタテガイを通年的に管理する必要がある、成長サイクルに合わせて大量のホタテガイを短期間に処理するために、種々の管理作業を機械化せざるを得ない。通年管理工程のうち選別工程は、採苗から出荷までの1養殖サイクル(20ヵ月から30ヵ月に至る)中に、3回ないし5回行われている。分散時の選別は、ホタテガイの成長が阻害されないように間引き(成長不良貝や欠刻貝を取り除くこと)する為に行われる。出荷時の選別は、生産物の等級を定める為に行われる。これらの選別工程には、単位時間当たりの処理能力の高い円形選別口を選別スクリーンに持ったトロンメルやシフタが使用されているが、選別機構や選別精度に対する知見は無いに等し

い。

申請者は、北海道噴火湾森地区の出荷時のトロンメルによる選別作業で得られた網下産物貝を各選別ステージ毎にそれぞれ50個無作為抽出し、選別精度の分析を試み、部分分離効率(形状特性値をいくつかの階級に分け、各階級の回収率の分布を与える確率)を求めた。これより生産者が、経験的に選別を行おうとするホタテガイの殻長値より5~15%小さい口径の選別口を持つトロンメルを使用していることの意味を明らかにした。ついでモデル貝を用い、その位置や姿勢を種々変えて、円形選別口に対する静的通過実験を10万回を越える回数行い、その通過確率を求めた。この通過確率は、生産現場で実測した通過確率に近い値を示すことから、一般的なふるい分けの研究に用いられている各軸径を用いて計算した粒子通過確率はホタテガイの選別には適用できないこと、さらに円形選別口をホタテガイが通過する要因には、ホタテガイの辺縁部形状が強く関与していることを明らかにした。

この結果より、申請者は、まず産生地、産生時期の異なる806枚の供試貝の巨視的形狀特性である長短度、扁平度、方形係数、形状指数などを求めて統計的な検討を行い、各特性値は一定の母集団に属しており、殻高によって一意に推定できることを確かめた。この巨視的形狀特性に基づき、通過確率を求める上で重要な、円形

選別口との出合関係に関わるホタテガイの貝殻辺縁部の2次元形状の特性を求めるために、巨視的形狀測定に用いた供試貝のうち、貝殻辺縁部に欠刻の無い72枚を抽出し、これらの画像解析を行った。この結果、辺縁部形状を記述する座標系は、図心を原点とし、辺縁部上での位置が判読しやすい蝶番点を基準にして直交座標を定め、場合によっては、極座標系や曲線座標系へ変換して用いるのが良いことを明らかにした。これらのことより、貝殻辺縁部の2次元形状は、その投影面積と等価な面積を持つ円の半径と直径(等価円半径と直径)によって定まる真円部、楕円部および矩形部の、単純な幾何的3形状領域で近似できることを明らかにし、さらに辺縁部の任意の2点間距離で「差渡し長」および、その中で最大距離をとる「最大差渡し長」を定義してその分布を求め、実測値と計算近似値がよく一致することを確かめた。

申請者は、この最大差渡し長がホタテガイの円形選別口の通過に関わる形状パラメータであることを明らかにし、最大差渡し長の分布から貝の通過確率を求め、これを部分分離効率として記述する方法を示した。すなわち、ホタテガイが最終的に選別口を通過する為には、選別口の縁に接触した貝の最大差渡し長が選別口径より小さい出合関係にあることが必要であり、最大差渡し長は本質的に離散的な値域をもつ1価関数であ

ることから、測度論的解析に基づき、最大差渡し長の値域を細分して可測空間を構成し、これに対応する任意の正規化基準座標上に生成される確率測度をルベーグ式積分によって求めることができることを示した。これにより、適当に区分した最大差渡し長よりも小さい値域の集合に対応する確率密度を加算することによって、その最大差渡し長以下に属する集合の出現確率を求め、実験から求めた通過確率と比較した結果、両者に良い一致が見られることを明らかにした。そして選別対象のホタテガイの殻高分布を知れば直ちに部分分離効率(通過確率)が得られ、他の測定値を用いる必要がないと結論づけている。

これら一連の結果は、円形選別口によるホタテガイの選別機構や選別精度に関して重要な知見を得たものであり、高く評価することができる。よって審査員一同は、申請者が博士(水産学)の学位を受ける資格あるものと判断した。