

## 学位論文題名

## 沿岸イカ釣り漁業の操業計画に関するシステム学的研究

## 学位論文内容の要旨

## 1. 沿岸イカ釣り漁業の現状

漁業は古来より生業として代々受け継がれてきたこともあり、他産業と比較すると効率化のあまり進んでいない産業であるといえる。特に沿岸漁業においては、漁業経費と日常生活の支出をまとめて管理している漁家も多く、経営の健全化が必要である。加えて、近年の重油価格の高騰は、更なる経営状態の悪化を引き起こしている。

ノーベル経済学賞を受賞したアメリカの心理学者であり、行動経済学者でもある D. Kahneman は、人間はそれぞれが効率的であると思う選択肢を選んでいるだけに過ぎず、経営が悪化している場合には効率的な選択肢よりも、リスクを好んで選択するようになると指摘している。そのため、沿岸漁業においては近年の大きく変動する社会情勢と経営状態の悪化により、多くの漁業者が経営的に最適な選択肢を選ぶことなく、リスクな選択をしている可能性があると考えられる。沿岸漁業の中では沿岸イカ釣り漁業は、漁獲金額に対する経費の割合が大きいこと、操業中における大量の燃料消費に起因する温室効果ガスの大量排出をしていること、TAC 対象種を漁獲対象としているため効率的な管理が必要であることから、持続可能な操業方法の提案が特に必要な漁業種類であると考えられる。更に近年では燃料となる A 重油価格の乱高下により、沿岸イカ釣り漁家経営に大きな影響を与えており、今後の社会情勢も予測しにくいことから経営改善に向けた早急な対策が望まれている。

しかし、漁業操業中の操業条件は時々刻々と変化しており、更に社会的な情勢も変化していくため、モデルケースの積み上げで操業の効率化を目指すことには困難が予想される。そのため、本研究はシミュレーション手法を用いて、沿岸イカ釣り漁業における経営面・環境面・資源面を考慮した効率的な操業方法を提案することを目的とした。なお、経営面としては漁業所得を、環境面としては CO<sub>2</sub> 及び NO<sub>2</sub> 排出量を、資源面としては燃料となる A 重油と船下スルメイカ資源量を扱った。

## 2. 作業工程別燃料消費及びガス排出特性の解明

シミュレーション手法を用いて経済面での効率化と、環境負荷の低減を目指す場合、シミュレーション上での変数となる燃料消費特性とガス排出特性の解明が不可欠である。これまで、自動車の燃費についての研究や、自動車エンジンの稼働状況とガス排出量の関係については多く研究されてきた。一方、船舶については、推進抵抗と自動操舵から燃費を考察した研究、ある海象下における最適船速を解明した研究、一航海における省燃費評価基準を確立した研究は行われているが、漁船からの排出ガス削減に関する議論の前提となる、漁船におけるガス排出量の定量計測手法は未だ確立されていない。

一般に、燃料消費量とガス排出量は作業工程ごとの機関稼働状況によって異なるものと予測されるが、イカ釣り漁業において作業工程別の燃油消費量や、排出ガスの種類、各ガスの排出量を解明した研究はこれまで行われていない。そのため、本章は沿岸イカ釣り漁業の操業工程を明らかにし、操業工程別の燃油消費特性と CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> の排出特性を明らかにすることを目的とした。

沿岸イカ釣り漁業の作業工程は「漁港内移動」、「外海移動」、「漁場探索」、「イカ釣り操業」に分けることができる。それら作業工程別 NO<sub>2</sub> 排出量、CO<sub>2</sub> 排出量、燃料消費量共に最も多いのは「外海移動」であり、次に多いのが「イカ釣り操業」であった。合計 20 時間超の操業で、NO<sub>x</sub>

排出量は約 45kg, CO<sub>2</sub>排出量は約 3.7t, 消費燃料は約 1.1t であった。1 分あたりのガス排出量, 燃料消費量と比較した場合最も多いのは「外海移動」であり, 「イカ釣り操業」時の各 2 倍程度の排出量, 消費量となった。また, 「外海移動」時の燃費は船速の 3 次式で非常に良く近似できることが分かった。

### 3. 船下資源量と漁獲量の関係解明

本章ではイカ釣り操業時における効率化を目指す場合に重要となる, 船下のスルメイカ音響反応と漁獲量の関係を明らかにすることを目的とした。これまで, 集魚灯の光源, 光量の変化に伴う漁獲量の変化等を明らかにする試みは行われてきたが, 集魚効果と漁獲に関する先行研究の前提条件となっているはずの「操業を通して集群したイカ資源量が多ければそれに伴ってその日の漁獲量が向上する」という仮説を実証した研究はされてこなかった。そのため, 本章は, 実際の操業を通じたスルメイカ群の面積後方散乱係数と, その日の水揚げ実績を比較することで, 船下資源量と漁獲量の関係を明らかにすることを目的とした。

各データの取得に際し, 2006 年 11 月 17 日~23 日, 北海道羅臼沖にて, 沿岸イカ釣り漁船の濱出丸 (19.7t) を用いた操業試験を行った。計量魚探には KAIJO 製 KSE-200 の 38kHz を用い, 漁獲量は操業日ごとの荷揚伝票から抽出した。

音響反応と漁獲量の間には強い正の相関 ( $R^2=0.83$ ) が確認され, 操業を通じた資源量の積算値が多ければ多いほど, 漁獲量が線形的に増加することが分かった。

### 4. 社会情勢の変化

1970 年代後半の第 2 次オイルショックから, 1980 年代後半のバブル景気, 1990 年代前半のバブル崩壊とデフレ不況, 近年の燃料代高騰と社会情勢が大きく変化しているため, 過去と同様の操業方法や漁獲量であっても, 同程度の所得が得られなくなっている。日本は過去にも 2 度のオイルショックを経験しているが, これまでのオイルショック期において漁家経営が危機的状況とまではならなかったのは, 現在と比べて個々の経営体に余力があったことと魚価が比較的高水準であったことが理由であるとされている。そのため今後, 余力の少なくなってきた沿岸イカ釣り漁家経営体を存続させていくには, 社会情勢の変化に対応し, 状況に応じた経営を行うことが必要であると考ええる。以上より, 本章では漁家所得の決定要因である A 重油単価, 生鮮スルメイカ水揚げ単価, 乗組員人件費等, 水揚げ量の経年変化から, 年代ごとの社会情勢を類型化することを目的とした。また, 漁獲金額向上の可能性を検討するため, 生鮮スルメイカ水揚量と水揚げ単価の比較を行った。

A 重油実質単価は大きく変動しており, 1974 年に始まる第一次オイルショック, 1979 年に始まる第二次オイルショック, 近年の原油高騰である 2004 年~2008 年の第三次オイルショック期においては, 高水準であった。生鮮スルメイカ実質水揚げ単価は, 昭和 50 年代~60 年初頭までの高水準であったが, 近年では半値から 1/3 程度で取引されていた。漁船乗組員の人件費は年々緩やかに増加しており, 近年の沿岸イカ釣り漁業従事者の賃金は, オイルショック期における賃金の約 1.25 倍となっている。生鮮スルメイカの水揚量は 1990 年前後までは低位で推移していたが, その後急激に水揚量が増加していた。

各年代の社会情勢を多面的かつ定量的に評価するため, 生鮮スルメイカの水揚げ単価, A 重油の単価, 人件費を成分とした場合の階層的クラスター解析を行った後, 非類似度にユークリッド距離を用いたクラスター化を行い, 5 つのクラスターに分割した。第 I クラスターは第 2 次オイルショックの前後, 第 II クラスターは第 2 次オイルショック期, 第 III クラスターはバブル期, 第 IV クラスターはバブル後のデフレ期, 第 V クラスターは近年の燃料高騰期と一致していた。第 2 次オイルショック期にはスルメイカの単価, A 重油単価共に高騰しており, その後 A 重油単価は下がるものの, スルメイカの単価は維持している。バブルに入ると A 重油単価, スルメイカの単価共に助徐に下落していき, バブル崩壊以降近年まで, 燃料代は緩やかに高騰するもののスルメイカの単価は低水準にあることが分かった。以上のように, 生鮮スルメイカ単価の低迷と近年の A 重油単価の高騰が, 沿岸イカ釣り漁家における経費割合の増加を引き起こしているものと考えられる。

また, スルメイカ水揚量が増加してもその分水揚げ単価が減少するため, 結果的に水揚げ金額は増加しておらず, 漁獲量を増やすことでは所得の向上は望めない可能性が高いと考える。そのため, 所得の維持及び向上のためには, 現状と同水準の漁獲金額を維持しつつ経費を削減することが必要で

あると考える。

## 5. 操業の定量化

これまで水産分野においては、生態系を表現するためのモデル研究や、資源管理を目的としたシミュレーション研究、海中における漁具形状の解明を予測した数値シミュレーション研究、漁場選定方法に関する研究等を行われてきた。しかし、出港から帰港や出荷までを通したシミュレーションを行い、操業方法の違いによる経営、環境への影響を明らかにした研究はない。そのため、本章は沿岸イカ釣り漁業における資源、環境、経営を考慮したシミュレーションモデルの構築を目的とした。シミュレーションの変数には各章による計測結果、分析結果により明らかになった船速、移動距離、ガス排出量、燃料消費量や、船下のスルメイカ資源量、漁獲量、その他経費の推移を用いた。

第2次オイルショック期、オイルショック前後、バブル期、デフレ期、近年の燃料高騰期についてのシミュレーションを行った結果、漁場までの距離が増加した場合に損失が大きくなるのは、オイルショック期と燃料高騰期であった。これは、A重油単価の上昇による移動経費の上昇が理由であると考えられる。また、オイルショック期の所得は、漁獲が少ない場合には所得は比較的低下水準であるが、漁獲が100case相当以上になると他の時代と比較しても所得が高水準になることが分かる。一方、近年の燃料高騰期の所得は漁獲量の多少に関わらず他の時期と比べて最も少なく、漁業者が感じている近年の経営状態の悪化という現状を良く表している。

また、距離40kmの漁場で100caseの漁獲量があった場合、A重油単価115(¥/litter)、生鮮スルメイカ単価2300(¥/case)の条件と、A重油単価50(¥/litter)、生鮮スルメイカ単価1800(¥/case)の条件における所得がほぼ等しくなることが分かった。これまでは燃料の高騰と魚価の低迷を個別に論じることしかできなかったが、本シミュレーションを用いることで同次元において定量的に扱うことが可能となった。一方、ガス排出量については、漁場までの距離が短い方がガス排出総量は少なく、距離の増加に従ってガス排出量が増加した。これは、「外海移動」時は1分あたりのガス排出量が「イカ釣り操業」時の約2倍であることが理由である。そのため、ガス排出量の削減には操業時間の短縮よりも、移動距離の短縮の方が有効であると考えられる。

## 6. 漁場選択による経営面への影響

スルメイカ単価が高水準かつA重油単価が低水準である場合には、近距離の低CPUEしか望めない漁場よりも、遠距離でも高CPUEを望める漁場を選択した方が所得の向上が見込めることが分かった。また、好漁期であるほどその傾向は強いことが分かった。一方、遠距離でイカ釣り操業を行うことは燃料消費量及びガス排出量の増加を招くため、所得の向上のみに着目した沿岸イカ釣り操業は、結果的に環境面、資源面の持続性を損なうことが分かった。

## 7. 操業を通したCO<sub>2</sub>排出量の削減策

イカ釣り操業を行う漁場までの距離を短縮することでは、最大20%程度の燃料消費量及びガス排出量の削減しか望めないことが分かった。我が国はCO<sub>2</sub>排出量を1990年比で25%削減することを目指しており(鳩山イニシアチブ)、漁場間距離の短縮のみではこの目標を達成不可能であることが分かった。また、鳩山イニシアチブを達成するには、イカ釣り操業中における集魚灯用の発電燃費を40%程度削減する必要があることが分かった。

## 8. 次世代集魚灯に求められる性能

現在、集魚灯の出力を抑えることや、光源にLEDを用いることで発電経費の削減を目指す試みが数多くなされている。しかし、何パーセントの発電経費削減で、これまでの何パーセントの漁獲が確保出来れば、所得の維持が可能なのかは明らかになっていない。そのため、鳩山イニシアチブを達成しつつ所得を維持するにはどの程度の性能を持った集魚灯の開発が必要なのかを明らかにすることを目的とした。

漁場間距離40kmの海域でイカ釣り操業を行う場合、従来の60%の発電燃費で、不漁時には現状の80%以上の集魚率が必要であり、好漁時には現状の95%以上の集魚率が必要であることが分かった。そのため、年間を通した操業に対応させるには現状の60%以下の発電燃費で、現状の95%以上の集魚が可能な集魚灯を開発することが必要である。

## 9. 燃料税の導入による環境負荷低減策

本研究により、沿岸イカ釣り漁業は所得の向上を目指すことが環境負荷の増加に繋がりやすいという性質を持つことが明らかになった。そのため、今後も自由な沿岸イカ釣り漁業活動を行うことは、更なる環境負荷の増大に繋がる可能性が高いものとする。本節では、沿岸イカ釣り漁業に対して燃料消費量に応じた燃料税を課税することで環境負荷の低減が見込めるかを考察した。

燃料消費量と所得の関係から、平均的な漁獲時には消費 A 重油 1 リットルあたり 163 円の所得向上が、好漁期には 254 円の所得向上が期待できることが分かった。そのため、現状の燃料消費量の 75% を超えた燃料分に 163 (¥/litter) 程度の燃料税を課税することで、近距離の漁場を選択しやすくさせることが出来ると考える。また、燃料税による経費の増加により、スルメイカ 1 ケースあたり 124.5~163.1 円程度の値上がりが起こる可能性があると考えられる。

# 学位論文審査の要旨

主 査 准教授 山 下 成 治  
副 査 名誉教授 三 浦 汀 介 (道立工業技術センター)  
副 査 教 授 木 村 暢 夫  
副 査 教 授 藤 森 康 澄  
副 査 准教授 宮 下 和 士 (北海道大学北方圏  
フィールド科学センター)

## 学 位 論 文 題 名

### 沿岸イカ釣り漁業の操業計画に関するシステム学的研究

燃油高騰などの近年の社会情勢の激変に伴って生じる生産計画上の緒課題を、漁家経営面を含めて計量的に表した最適操業システムに関する研究は極めて少ない。特に沿岸イカ釣り漁業は漁獲金額に対する生産経費割合が大きく、また、操業中に温室効果ガスを大量排出せざるを得ない特徴を持つ。当該漁業は TAC 指定魚種漁業でもあり、その効率的な生産管理手法と持続的生産が可能な操業方式の導入は喫緊の課題である。しかしながら、当該操業では生産管理パラメータが常に変動することから、生産の定常性を仮定した *in situ* データに基づく操業改善策には限界がある。

本研究では、沿岸イカ釣り操業に関わる環境負荷と漁獲努力に関するパラメータを抽出し、これを実操業データに基づくマクロモデルに適用することによって、経営面—環境面—資源面の最適性を含む操業モデルを構築し、当該漁業の効率的操業戦略に関する新知見を提出している。

以下に本学位申請論文の特徴と、その主な研究成果を簡潔に示した。

#### 1. 作業工程別燃料消費及びガス排出特性の解明

イカ釣り漁業の作業工程別の燃油消費量や、排気ガスの種類別排出量は明らかになっていない。実操業から操業工程別の燃油消費特性と CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> の排出特性を解明した結果、全てが最多となる工程は「外海移動」にあること、次いで「イカ釣り操業」にあることが明らかになった。計 20 時間超の操業で、NO<sub>x</sub> 排出量は約 45 kg、CO<sub>2</sub> 排出量は約 3.7t、消費燃料は約 1.1t となり、1 分あたりのガス排出量・燃料消費量で比較した場合でも、最多は「外海移動」となり「イカ釣り操業」時の各 2 倍程度の排出量と消費量になることが定量化できた。

#### 2. 社会情勢の変化に伴う最適操業形態の変遷

通時的な社会情勢の生産経費に対する影響を評価するために、生鮮スルメイカの水揚単価・A 重油単価・人件費を成分とする階層的クラスター解析を行った。第 I 群は第 2 次オイルショック

の前後、第Ⅱ群は第2次オイルショック期、第Ⅲ群はバブル期、第Ⅳ群はバブル後のデフレ期、第Ⅴ群は近年の燃料高騰期に一致した。第2次オイルショック期には水揚単価とA重油単価が共に高騰し、その後、A重油単価は下落したものの水揚単価は並値となり、バブル期ではA重油単価と水揚単価共に漸次下落し、バブル崩壊以降の近年までは、燃料代は緩やかに高騰しているものの水揚単価は低水準のまま推移していることが分かった。生鮮スルメイカ単価の低迷と近年のA重油単価の高騰が、沿岸イカ釣り漁家における経費割合の増加を引き起こしていく定量的構造が定式化できた。この結果、現時点では、水揚量の増加は水揚単価の減少につながることから、結果的に所得の維持もしくは向上のためには、現状と同水準の漁獲金額を維持しつつ操業経費を削減するシナリオが必要となることがわかった。

### 3. 操業状態の定量化

船速・移動距離・ガス排出量・燃料消費量・船下スルメイカ資源量・漁獲量・操業経費に基づいた資源—環境—経営面を含むマクロモデルによって、第2次オイルショック期・オイルショック前後期・バブル期・デフレ期・近年の燃料高騰期、毎に経済最適性シミュレーションを行った。漁場までの移動距離が増加した場合の損失が増加する時期は、A重油単価の上昇効果が主因となるオイルショック期と燃料高騰期にあり、特にオイルショック期の所得は、少量漁獲時は比較的 low 水準に留まるものの、100case/船/日以上になると他時代に比較しても所得は高水準にあったことが示された。計算例として、近年の燃料高騰期の所得は漁獲量の多少に関わらず最少となり、漁場距離40kmで100caseの水揚げのある場合、A重油単価115(¥/litter)・生鮮スルメイカ単価2,300(¥/case)時の所得と、A重油単価50(¥/litter)・生鮮スルメイカ単価1,800(¥/case)時の所得はほぼ同等となること、などが予測できた。また、ガス排出量の抑制には操業時間よりも移動距離の短縮の方が効果的であることも指摘できた。

### 4. CO2 排出量縮減と次世代集魚灯の具備性能

漁場間距離の短縮のみではガス排出量縮減は不可能で、操業中における集魚灯用の発電燃費を40%程度削減すべきことが推定された。漁場間距離40kmの海域でイカ釣り操業を行う場合、従来の60%の発電燃費で、不漁時には現状の80%以上の集群率が、また、好漁時には95%以上の集群率が必要となることがわかった。省燃費対策として導入が進められているLED等の新型集魚灯には、従来の60%以下の発電燃費、かつ現状の95%以上の集群率の機械能力が要求されることも推定できた。

以上、提出された新たな知見に基づき、本研究が沿岸イカ釣り漁業の持続的合理的操業を担保するマクロシステムの開発と評価に関して新たな手法論を提示していること、実操業の実態を踏まえたパラメトリックな論考方法であることを評価した。よって審査員一同は申請者が博士(水産科学)の学位を授与される資格のあるものと判定した。