

学位論文題名

Study on resource selection by baleen whales using
multidisciplinary ecological data

(生態学的なデータを統合的に用いたヒゲクジラ類の
資源選択性に関する研究)

学位論文内容の要旨

国際社会において漁業への生態学的アプローチは共通の認識となっている。漁業への生態学的アプローチに基づく管理方法を検討する手段として、生態系モデルがオペレーティングモデルとして用いられる。生態系モデルは、生態系を構成している生物種の資源選択関数が組み合わされたものである。特に、時空間や海気象などを考慮した捕食者-被食者の関係に関する資源選択関数は生態系モデルで重要な役割を果たしている。しかしながら、ヒゲクジラ類とその餌生物に関する資源選択関数は、その推定に必要なデータを得ることが困難であったことから、これまで十分に行われてこなかった。そこで、本学位論文では、複数の生態学的なデータを統合的に解析し、これまで明らかとなっていなかったヒゲクジラ類の資源選択性に関する研究を行った。資源選択性の中でも、特に、餌選択性と生息域選択性に関する研究を行った。餌選択性は、餌種が多様である北西太平洋を、また、生息域選択性は餌種がオキアミ類に限定される南極海を対象海域とした。

捕食者と被食者の関係は、スケールにより異なる。例えば、索餌海域全般での個体群レベルと摂餌を行う際の個体レベルにおける捕食者と被食者の関係は全く異なるものである。このため、捕食者と被食者の関係を研究する際には、どのスケールに注目しているのかを明白にしなければ、その解釈に混乱が生じることになる。そこで、本学位論文では、ヒゲクジラ類の索餌・摂餌生態に関し、マクロ（個体群レベルの繁殖海域と索餌海域間の移動）、メソ（個体群レベルの索餌海域内における餌生物密集に対する索餌・摂餌）、マイクロ（個体群レベルの餌生物密集内における索餌・摂餌）及びナノ（個体レベルの餌生物の群に対する索餌・摂餌）の4段階のスケールを定義した。

北西太平洋において、メソスケールにおける、ミンククジラ、ニタリクジラ及びイワシクジラの餌選択性に関する研究を行った。2002年から2007年に実施した調査で得られたデータを研究に供した。餌生物は、これら3鯨種の主要餌生物であるカイアシ類、オキアミ類、カタクチイワシ及びサンマを対象とした。餌選択性の推定には単純な資源選択関数である、選択比 (Manly's α) を用いた。鯨類の胃内容物の餌生物出現率と海中の餌生物現存量率の比を選択比とした。限られたデータの中で、複数捕食者と複数被食者の餌選択性を推定するために、この関数を用いることとした。餌生物現存量は、餌生物種に合わせ中層トロール、プランクトンネット及び計量魚探のいずれかを用いて推定した。また、鯨類と餌生物の分布特性を把握するために、CTDなどで得られた海洋環境情報も定性的に用いた。各鯨

種において、Manly's α の合計は1となり、Manly's α の値が大きい餌生物種ほど選択されていることを意味している。ミンククジラのオキアミ類、カタクチイワシ及びサンマに対するManly's α は、 $0.05(\pm 0.03 \text{ se})$ 、 $0.36(\pm 0.19 \text{ se})$ 及び $0.59(\pm 0.17 \text{ se})$ であった。小型浮魚類に対するミンククジラの餌選択性は、これまで報告されている結果と同じであった。ニタリクジラのオキアミ類とカタクチイワシに対するManly's α は $0.05(\pm 0.04 \text{ se})$ と $0.95(\pm 0.04 \text{ se})$ であった。ニタリクジラはカタクチイワシに対して餌選択が認められた。イワシクジラのカイアシ類、オキアミ類、カタクチイワシ及びサンマに対するManly's α は、 $0.41(\pm 0.10 \text{ se})$ 、 $0.13(\pm 0.04 \text{ se})$ 、 $0.25(\pm 0.10 \text{ se})$ 及び $0.20(\pm 0.08 \text{ se})$ であった。イワシクジラはカイアシ類に対して餌選択性が認められた。3鯨種の対象餌生物は重なりがあるものの、鯨種により餌選択性が異なることが明らかとなった。このことは、3鯨種の餌に関する生態的地位が異なることを示唆している。

南極海のロス海において、マイクロスケールにおける、クロミンククジラの生息域選択性に関する研究を行った。研究には、2005年に収集したデータを供した。生息域選択性の推定には、一般化加法モデル(GAM)を用いた。生物の生息域選択と水温といった環境要因の関係は直線回帰によって表せるとは限らない。GAMはノンパラメトリック回帰手法であり、説明変数と応答変数の非線形な関係も扱うことができる。本研究では、GAMに基づく3階層の生息域選択モデルを開発し、 5×5 海里グリッドのマイクロスケールにおけるクロミンククジラの生息域選択性について解析した。第1階層は、クロミンククジラの餌種であるナンキョクオキアミとコオリオキアミの出現確率モデルである。第2階層は出現した際のナンキョクオキアミとコオリオキアミの重量密度である。ナンキョクオキアミとコオリオキアミの実際の重量密度は第1階層と第2階層の結果を掛け合わせることで得られる。第1階層と第2階層のモデルの説明変数として、緯度、経度、海氷・大陸からの距離、水温及び塩分を用いた。水温と塩分はCTD及びXCTDの観測データを、またオキアミ類の重量密度推定には計量魚探データをそれぞれ用いた。第3階層では、説明変数として第1階層及び第2階層で用いたものに加え、ナンキョクオキアミとコオリオキアミの重量密度を用い、クロミンククジラの群数を推定した。クロミンククジラの生息域は、海氷・大陸からの距離を除くすべての説明変数の関数として表すことができた。本研究の結果、餌生物の分布が、クロミンククジラの生息域選択の1つの重要な要素であることが明らかになった。

本学位論文で行った研究により、これまで明らかとなっていなかった、ヒゲクジラ類の北西太平洋における餌選択性と南極海における生息域選択性の2つの資源選択性に関する知見が得られた。また、開発した資源選択関数は、他の海域でも用いることが可能であり、漁業への生態学的アプローチを実現するための有益な解析手法の1つとなる。今後は、本学位論文で開発した餌選択関数と生息域選択関数を組み合わせた解析を行うことにより、いくつかの生態系モデルで必要とされている捕食関数などの推定も可能となる。本学位論文では、メソスケールにおける餌選択性とマイクロスケールにおける生息域選択性について検討したが、今後は、異なるスケール間の関連性についての知見を得ることも重要である。また生態的地位を考慮した資源選択性推定も生態系モデルを開発する上で必要である。本学位論文で用いたデータの収集や解析は、調査・解析を行った時点で最良と思われる手法を用いて行った。その後も、マルチビームソナー・魚探などの水産音響機器やデータロガーなどの観測機器、また、資源選択関数を推定する統計手法の開発が続いている。それらの新たな手法を取り入れた総合生態系調査を継続することにより、より詳細な捕食者-被食者の関係を解明できるようになる。これにより、漁業への生態学的アプローチを実現するための、より現実に即した生態系モデル構築が進展すると期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 宮 下 和 士
副 査 教 授 桜 井 泰 憲 (大学院水産科学研究院)
副 査 教 授 山 羽 悦 郎
副 査 教 授 仲 岡 雅 裕
副 査 助 教 三 谷 曜 子

学位論文題名

Study on resource selection by baleen whales using multidisciplinary ecological data

(生態学的なデータを統合的に用いたヒゲクジラ類の
資源選択性に関する研究)

漁業への生態学的アプローチに基づく管理方法を検討する手段として、生態系モデルがオペレーティングモデルとして用いられている。生態系モデルは、生態系を構成している生物種の資源選択関数が組み合わされたものである。このため、資源選択性に関する研究は重要なものとなっている。しかしながら、ヒゲクジラ類とその餌生物に関する資源選択関数は、その推定に必要なデータを得ることが困難であったことから、これまで十分に行われてこなかった。申請者は、複数の生態学的なデータを統合的に解析し、ヒゲクジラ類の資源選択性に関する研究を行った。資源選択性の中でも、特に、餌選択性と生息域選択性に関する研究を行った。餌選択性は、餌種が多様である北西太平洋を対象海域に、また、生息域選択性は餌種がオキアミ類に限定される南極海を対象海域とした。

捕食者と被食者の関係は、スケールにより異なる。例えば、索餌海域全般での個体群レベルと摂餌を行う際の個体レベルにおける捕食者と被食者の関係は全く異なるものである。このため、捕食者と被食者の関係を研究する際には、どのスケールに注目しているのかを明白にしなければ、その解釈に混乱が生じることになる。申請者は、ヒゲクジラ類の索餌・摂餌生態に関し、マクロ（個体群レベルの繁殖海域と索餌海域間の移動）、メソ（個体群レベルの索餌海域内における餌生物密集に対する索餌・摂餌）、マイクロ（群—個体レベルの餌生物密集内における索餌・摂餌）及びナノ（個体レベルの餌生物の群・個体に対する索餌・摂餌）の4段階のスケールを定義した。

北西太平洋において、メソスケールにおける、ミンククジラ、ニタリクジラ及びイワシクジラの餌選択性に関する研究を行った。2002年から2007年に実施し

た調査で得られたデータを研究に供した。餌生物は、これら3鯨種の主要餌生物であるカイアシ類、オキアミ類、カタクチイワシ及びサンマを対象とした。餌選択性の推定には単純な資源量選択関数である、選択比 (Manly's α) を用いた。限られたデータの中で、複数捕食者と複数被食者の餌選択性を推定するために、この関数を用いた。餌生物現存量は、餌生物種に合わせ中層トロール、プランクトンネット及び計量魚探のいずれかを用いて推定した。また、鯨類と餌生物の分布を把握するために、CTDなどで得られた海洋環境情報も定性的に用いた。この結果、ミンククジラはカタクチイワシとサンマ、イワシクジラはカイアシ類及びニタリクジラはカタクチイワシに対しそれぞれ餌選択性が認められた。3鯨種の対象餌生物は重なりがあるものの、鯨種により餌選択性が異なることが明らかとなった。このことは、3鯨種の餌に関する生態的地位が異なることを示唆した。

南極海のロス海において、マイクロスケールにおける、クロミンククジラの生息域選択性に関する研究を行った。研究には、2005年に収集したデータを供した。生息域選択性の推定には、一般化加法モデル (GAM) を用いた。本研究では、GAMに基づく3階層の生息域選択モデルを開発し、5×5海里グリッドのマイクロスケールにおけるクロミンククジラの生息域選択性について解析した。第1階層は、クロミンククジラの餌種であるナンキョクオキアミとコオリオキアミの出現確率モデルである。第2階層は出現した際のナンキョクオキアミとコオリオキアミの重量密度である。ナンキョクオキアミとコオリオキアミの実際の重量密度は第1階層と第2階層の結果を掛け合わせるとことで得られる。第1階層と第2階層のモデルの説明変数として、緯度、経度、水温及び塩分を用いた。水温と塩分はCTD及びXCTDの観測データを、またオキアミ類の重量密度推定には計量魚探データをそれぞれ用いた。第3階層では、説明変数として第1階層及び第2階層で用いたものに加え、ナンキョクオキアミとコオリオキアミの重量密度推定値を用い、クロミンククジラの群数を推定した。クロミンククジラの生息域はすべての説明変数の関数として表すことができた。本研究の結果、餌生物の分布がクロミンククジラの生息域選択に1つの重要な要素であることが明らかになった。

以上のとおり、申請者は、ヒゲクジラ類の餌選択性と生息域選択性の2つの資源選択性に関する新知見を得た。今後は、申請者の知見に基づき、餌選択関数と生息域選択関数を組み合わせた解析を様々なスケールで行なうことにより、生態系モデルで必要とされている捕食関数などの推定も可能となることが示唆された。本知見は、漁業への生態学的アプローチを実現するための現実に即した生態系モデル構築に大きく寄与する。

よって、申請者は博士 (環境科学) の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。