

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月20日現在

機関番号：82708

研究種目：研究基盤（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21580241

研究課題名（和文） 高次捕食者情報を利用したCPU解析の高度化と生態系変動履歴の復元

研究課題名（英文） Use of top predator information for developing fishery CPUE analysis and reconstructing historical changes in marine ecosystem

研究代表者

清田 雅史（KIYOTA MASASHI）

独立行政法人水産総合研究センター・国際水産資源研究所・外洋資源部・グループ長

研究者番号：10371931

研究成果の概要（和文）：

1952-2006年の東北沖漁業データを電子化し解析した結果、サバ、マイワシなど卓越魚種の交替に応じて総漁獲量と漁獲物多様性が逆パターンの経年変化を示したが、環境保護派がフィッシングダウンとして指摘する漁獲物栄養段階の顕著な低下は認められなかった。キタオットセイの胃内容データと生殖腺組織安定同位体の分析から、1980年代のマイワシ卓越期には高次捕食者の食物組成と栄養段階が変化し、食物網全体に構造変化が生じたことが推察された。

研究成果の概要（英文）：

We compiled an electric database on Japanese fisheries off Tohoku area for 1952-2006. Analysis of the data revealed historical changes in total catch and its diversity, which showed reversed patterns to each other related to the alternation of dominant fish species. Mean trophic level of the catch did not show drastic historical fall, contrary to the “Fishing down” hypothesis asserted by some environmentalists. Analyses of northern fur seal stomach content data and gonad tissue stable isotope ratios indicated long-term shifts in diet composition and trophic level of the top predator, and resultant changes in marine food web structure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,900,000	1,170,000	5,070,000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：栄養段階、海洋生態系、キタオットセイ、漁業、高次捕食者、食物連鎖、フィッシングダウン、レジームシフト

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 海洋生態系は漁業、汚染、気候変動などの影響を受けて変化しており、過去から現在までの変動履歴は生態系の現状を評価し管理方策を考える上で重要な基盤情報となる。例えば、漁獲物の栄養段階が地球規模で経年

的に下降を続けており、生態系が漁業によって破壊されていると訴えた Pauly (1998) の“フィッシングダウン”説はセンセーショナルに注目を集めた。しかし、漁業データの単純な解析だけでは、誤った傾向を導く恐れがあるといった指摘もなされている。

(2) 漁業データを用いて生態系の変動履歴を復元するには、単一漁業に限った解析や、魚種をプールした解析よりも、大規模なデータセットを用いて魚種・漁法横断的に解析評価することが望ましい。しかし、過去に遡るほど漁業に関する情報は少なくなり、漁労技術の進歩や漁獲戦略の変遷に起因する漁獲の変動と生態系の動態の識別が困難になる。科学調査のように漁業から独立した情報源があればこの点を改善できるが、過去の調査データはきわめて限られている。

(3) 近年、海生哺乳類や海鳥類などの高次捕食者が、漁業と独立した生態系情報を提供する“生態サンプラー”として注目されている。日本の東北沖水域には毎年冬季～春季に10万頭以上のオットセイ（キタオットセイ）が来遊するが、1950年代から行われた海上調査により分布・食性情報や組織標本が蓄積されている。オットセイの生態サンプラーとしての特性を明らかにすることで、これら情報を生態系研究に活用できるものと期待される。これに関して研究代表者および分担者はオットセイの行動特性や食物選択性に関する新しい研究手法や分析技術を開発してきた。オットセイの摂餌情報を詳細に検討し、多魚種複数漁法の漁業情報と統合的に解析することにより、過去50年以上にわたる生態系の変動を推定できる可能性がある。

## 2. 研究の目的

(1) 宮城県沖の過去50年以上(1952-2006年)にわたる漁法別努力量・漁獲量と魚種別漁獲量を電子化して分析し、漁獲物組成の変化や各魚種の豊度の経年変化を推定する。

(2) 1968-1998年のオットセイの胃内容情報を電子化して詳細な分析を行うとともに、長期保存されている生殖腺組織の安定同位体分析を行い、オットセイの摂餌生態情報と組み合わせることで餌生物環境の変化を推定する。

(3) 多魚種複数漁法の漁業情報と高次捕食者であるオットセイの食性情報を統合的に解析することにより、過去50年間に東北沖生態系に起こった変化を復元し、生態系の変動に対する漁業や高次捕食者の応答を解析する。

## 3. 研究の方法

(1) 漁業情報の解析と生態系の変動履歴  
1952-2006年の宮城県農林水産統計年報データを原本に戻って確認し、魚種や漁法の分類区分を統一して、魚種別漁法別の漁獲量データ、努力量データを電子データベース化した。

年報データは、宮城県沖合以外の遠洋漁業データを含み、意味合いの異なる属人（県登録漁船の記録）と属地（県の漁港への水揚げ）の情報を含むため、地域漁業の実態に詳しい専門家の意見を参考にしながら漁業や漁法の変遷を考慮し、東北沖水域を代表するデータセットを抽出した。

(2) オットセイの胃内容情報の解析  
1968-1998年のオットセイの個体別胃内容情報を電子データベース化した。一般化線形モデル (GLM) を用いて、オットセイの性、成長段階や捕獲の時刻、季節、場所等の影響を考慮した上で、餌生物の相対豊度を復元する解析手法を検討した。

(3) オットセイの安定同位体分析  
国際水産資源研究所が保有しているオットセイの組織標本から、時系列を代表する生殖腺組織を抽出し、安定同位体分析を行った。得られた窒素安定同位体比から、オットセイの栄養段階の経年変化を推定し、餌生物環境との関係を検討した。

(4) 生態系の履歴解析  
漁獲量、CPUE（単位漁獲努力量あたり漁獲量）データとオットセイ食性データを組み合わせ、魚種の変動履歴を復元するための生態系モデルの開発を試みた。魚種別漁獲量組成から、漁獲物の多様性と平均栄養段階の経年変化を推定し、オットセイの栄養段階の変化と比較した。

## 4. 研究成果

### (1) 漁業データ解析

①1952年から2006年までの宮城県沖漁業データを電子化した。しかし、年代によって漁業や魚種の名称や区分が変更されており、東北沖以外の操業データも含むことが判明したため、宮城県塩竈市にて地域漁業の実態に詳しい専門家を招いてシンポジウムを開催し、データの統一に必要な情報を収集した。長期漁業データ解析の重要性を説いたシンポジウムでの基調講演を岩波書店の『科学』に寄稿した。漁業統計データにおける魚種、漁業種類、経営規模の区分は、年代とともに単純化される傾向があるため、データベースでは階層的な入れ子構造を作って対応した。しかし、1986年以降は生態学的特性が異なるマイワシとカタクチイワシが“いわし類”として一つにまとめられており、これら生態系の鍵種に関する貴重な情報が失われている。情報収集の段階では魚種が分けられており、集計の合理化（省力化）によって情報の有効性が失われている問題を指摘した。

②多魚種複数漁業データを使って生態系をモデリングするには、各漁法の魚種別漁獲係数を推定する必要があり、漁業データだけでは利用できる情報が不足する。そこで体サイズと代謝のアロメトリー関係を導入して Lotka-Volterra 型の捕食関係を組み込んだ生態系モデルを開発した。シミュレーションデータに対しては確度の高い推定が可能であったが、実際の漁業データは特に漁獲努力量の不確実性が大きく、強い仮定を導入しなければモデルのパラメータを推定するのは困難であった。このことから、漁業データをベースとして生態系モデルを構築するよりむしろ、調査データや既往の生物学的知見に基づいて生態系モデルを作成し、漁業データや捕食者データを副次的に利用して変動履歴を復元するアプローチの方が妥当性の高い推定が可能であると考えられた。そのような研究課題を水産総合研究センターの一般研究課題として提案し平成 23 年度から実施している。

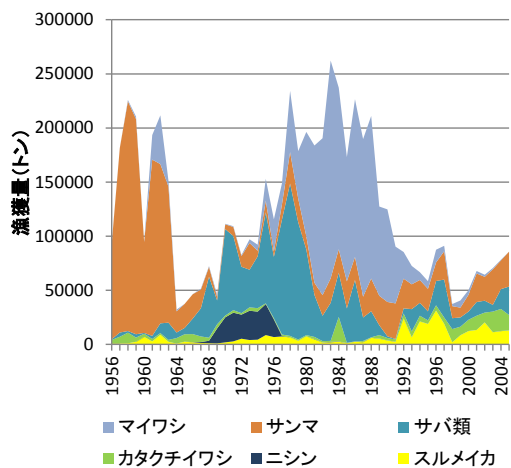


図 1. 宮城県沖水域における主要浮魚類の漁獲量の経年変化

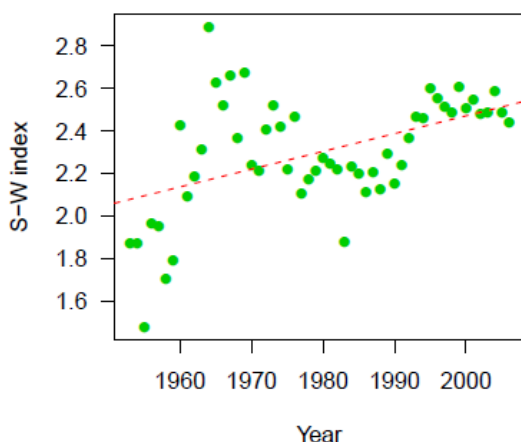


図 2. 漁獲量の上位 21 種に基づく漁獲物多様度指数の経年変化

③漁業データに基づき、魚種別の漁獲量、CPUE、漁獲物の多様度指数、平均栄養段階 (TL) の経年変化を計算するプログラムを作成した。総漁獲量は 1960 年代と 1980 年代が高く、多様度指数は逆に 1970 年代と 2000 年代が高かった (図 1、2)。また漁獲物栄養段階は緩やかな低下傾向を示した。この結果は Pauly らがフィッシングダウン説として示した、漁業による資源枯渇と生態系破壊という単純な図式とは異なっており、サンマ、サバ、マイワシといった卓越魚種の交替を反映するものであった。

## (2) オットセイの摂餌情報の分析

①1968-1998 年のキタオットセイの個体別胃内容情報を整備し、餌生物種別の出現確率の年変化を解析した。胃内容物中の各餌生物の出現の有無をロジスティック GLM を用いて解析し、オットセイの一部餌生物の利用に成長段階差があることを確認した。摂餌の地域差や成長段階差を考慮した上で、餌生物の出現確率の経年変化を推定した (図 3)。サバ類は 1970 年代に、マイワシは 1980 年代に出現確率が上昇しており、魚種交代と一致する傾向が確認された。また、ハダカイワシ類などの非漁獲対象生物の変動も確認された。

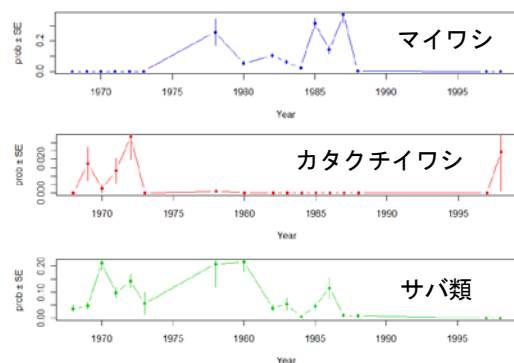


図 3. オットセイ胃内容物中のマイワシ、カタクチイワシ、サバ類出現確率の経年変化

②ホルマリン保存されていた 1969-2006 年のオットセイ生殖腺組織標本を 154 検体分抽出し、安定同位体分析を行った。窒素安定同位体比から栄養段階を推定した結果、オットセイの栄養段階はサバ類卓越期 (1969-1980 年) の 3.9 から、マイワシ卓越期 (1987-1988 年) には 3.7 に低下していた。マイワシは、他の小型浮魚類に比べ植物プランクトンを食べる傾向が強く、栄養段階が低い。その卓越期には単に魚種が交替しただけでなく、バイオマスも増大する。このようなマイワシの卓越に伴い、高次捕食者であるオットセイの栄養段階が低下したことは、魚種交替によって食物連鎖長が短縮し、東北沖生態系の食物網構

造や転換効率が変化したことを意味している。一方、漁獲物の平均栄養段階の変化はオットセイの変化に比べて緩やかであり、漁業と高次捕食者では食物網の構造変化に対する応答が異なることが示唆された。

### (3) まとめ

以上本研究によって、東北沖生態系の経年変動には、トップダウン効果よりもむしろ、レジームシフトのようなボトムアップ効果の影響が大きいことが示唆され、漁業と生態系の関係が水域によって異なることが確認された。本研究を通じて海洋生態系研究における漁業データや高次捕食者データの重要性が再認識され、水産総合センターにおいては長期漁業データや調査データを用いた生態系モデル構築、生態系の変動履歴の復元、漁業のインパクト評価といった持続可能な漁業の実現のための研究展開が始まっている。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① Okamura H, Punt AE, Amano T. A generalized model for overdispersed count data. *Population Ecology*, 査読有、2012、DOI: 10.1007/s10144-012-0319-4
- ② Okamura H, Takasuka A. 2012. A bootstrap method for testing equality of peak months. *Population Ecology*, 査読有、54 巻、2012、pp. 169-176、DOI: 10.1007/s10144-011-0280-7
- ③ Amano T, Okamura H, Carrizo SF, Sutherland WJ. Hierarchical models for smoothed population indices: the importance of considering variations in trends of count data among sites. *Ecological Indicators*, 査読有、13 巻、2012、pp. 243-252、DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.06.008
- ④ Amano T, Kusumoto Y, Okamura H, Baba YG, Hamasaki K, Tanaka K, Yamamoto S. A macro-scale perspective on within-farm management: how climate and topography alter the effect of farming practices. *Ecology Letters*, 査読有、14 巻、2011、pp. 1263-1272、DOI: 10.1111/j.1461-0248.2011.01699.x
- ⑤ 清田雅史, 米崎史郎, 香山 薫, 馬場徳寿、オットセイの捕獲と取り扱い方法、哺乳類科学、査読有、2011、51 巻、pp. 71-78
- ⑥ Yonezaki S, Kiyota M, Baba N, Koido T, Takemura A. Prey size reconstruction based on myctophid otoliths in scats of northern fur seals (*Callorhinus ursinus*)、*Mammal Study*、

査読有、2011、36 巻、pp. 159-163、DOI: 10.3106/041.036.0307

- ⑦ 土居秀幸, 岡村 寛、生物群集解析のための類似度とその応用：Rを使った類似度の算出、グラフ化、検定、*日本生態学会誌*、査読有、2011、61 巻、pp. 3-20
- ⑧ 米崎史郎, 清田雅史、キタオットセイから見える東北沖餌生物相の長期変動、*東北底魚研究*、査読無、2010、30 巻、pp. 17-22.
- ⑨ 清田雅史、“持続可能”な漁業と海洋生態系のために：データの活用と多角的議論の重要性、*科学*、査読無、2010、80 巻、pp. 227-229

[学会発表] (計 14 件)

- ① 岡村 寛、生態系モデルの今後の展望②、2012 年度日本海洋会春季大会、2012 年 3 月、つくば市
- ② 米崎史郎、捕食者と漁業データが映し出す東北沖生態系の構造と変遷、海の未来を予測する：海洋漁業資源・生態系のモデリングとネットワークシンポジウム、2012 年 2 月、横浜市
- ③ 米崎史郎, 清田雅史、“三保コレクション”からみえる北海道周辺海域のキタオットセイの食性、2011 年度水産海洋学会研究発表大会、2011 年 11 月、函館市
- ④ Yonezaki S, Kiyota M. Shifts in trophic role of northern fur seals in the northwestern Pacific subarctic ecosystem、Joint FRA-CLIoTOP Workshop on Advancing Comparative Ecological Studies of Early Life History and Recruitment Strategy of Bluefin Tunas and the Related Species, and Effects of Environmental Changes on the Fluctuations of Oceanic Top Predators、2011 年 9 月、静岡市
- ⑤ 清田雅史, 米崎史郎、キタオットセイ胃内容物データに基づく餌生物相の長期変動傾向の復元、*日本哺乳類学会 2011 年度大会*、2011 年 9 月、宮崎市
- ⑥ 清田雅史、サンプリングデザインとデータ解析～資源選択解析に挑戦しよう！、*日本哺乳類学会 2011 年度大会*、2011 年 9 月、宮崎市
- ⑦ 岡村 寛, 清田雅史、突発性加入増加資源の評価と管理、*日本水産学会*、2011 年 3 月、東京都
- ⑧ 南 浩史, 清田雅史、仙波靖子, 米崎史郎、余川浩太郎、安定同位体分析による海洋高次捕食者の食性解析、*日本生態学会第 58 回大会*、2011 年 3 月、札幌市
- ⑨ 米崎史郎, 南 浩史, 清田雅史、Long-term changes in stable isotope ratios of northern fur seals in the northwestern Pacific、*International Symposium on Isotope Ecology*、2010 年 11 月京都市
- ⑩ 米崎史郎, 清田雅史、鰭脚類の非捕殺的な

食性評価の現状と問題点、第 16 回野生生物保護学会・日本哺乳類学会 2010 年度大会、2010 年 9 月、岐阜市

⑪清田雅史、米崎史郎、馬場徳寿、長期胃内容データを用いたキタオットセイの食性の雌雄差・成長段階差の検証、第 16 回野生生物保護学会・日本哺乳類学会 2010 年度大会、2010 年 9 月、岐阜市

⑫岡村 寛、清田雅史、米崎史郎、土居秀幸、Ray Hilborn、アロメトリー関係式を利用した生態系モデル、日本水産学会春季大会、2010 年 3 月、藤沢市

⑬米崎史郎、清田雅史、南 浩史、岡村 寛、高次捕食者の窒素安定同位体比-長期時系列からみられる餌環境の変動、日本生態学会第 57 回大会、2010 年 3 月、東京都

⑭米崎史郎、清田雅史、岡村 寛、馬場徳寿、高次捕食者の食性が反映する餌生物群集の変化、水産海洋学会 2009 年度研究発表大会、2009 年 11 月、長崎市

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://cse.fra.affrc.go.jp/kiyo/home/pop/intro/Ecosystem.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

清田 雅史 (KIYOTA MASASHI)

水産総合研究センター・国際水産資源研究所・外洋資源部・グループ長

研究者番号：10371931

### (2) 研究分担者

岡村 寛 (OKAMURA HIROSHI)

水産総合研究センター・国際水産資源研究所・外洋資源部・主任研究員

研究者番号：40371942

米崎 史郎 (YONEZAKI SHIROH)

水産総合研究センター・国際水産資源研究所・外洋資源部・研究員

研究者番号：30463102

### (3) 連携研究者

南 浩史 (MINAMI HIROSHI)

水産総合研究センター・国際水産資源研究所・熱帯性まぐろ資源部・グループ長

研究者番号：20731932