

課題名 4-1301 親潮沿岸域のゼニガタアザラシと沿岸漁業の共存に向けた保護管理手法の開発
課題代表者名 桜井 泰憲 (国立大学法人北海道大学水産科学研究院 資源生態学分野資源生態学グループ)
研究実施期間 平成25～27年度
累計予算額 126,056千円(うち平成27年度:42,019千円)
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 野性動物管理、希少種、沿岸生態系、漁業被害、被害防除、行動、ゼニガタアザラシ、定置網、親潮沿岸域、

研究体制

- (1) 移動生態と遺伝的交流の有無による個体群構造と地域特性の解析(学校法人東京農業大学)
- (2) 鰭脚類による漁業被害と資源動態との関連の評価(独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所)
- (3) 飼育および野生環境下における個体の採餌行動解明(国立大学法人北海道大学フィールド科学研究センター)
- (4) 混獲・漁業被害軽減手法の開発と持続型漁業の社会経済的評価(国立大学法人北海道大学水産科学研究院)

研究概要

1. はじめに(研究背景等)

近年、北海道東部沿岸に生息するゼニガタアザラシによる漁業被害(漁獲物の食害)が大きな問題になっている。北海道東部沿岸(以下、道東沿岸)の親潮海域は、世界でも生産力の高い海域の一つである。海洋生態系の高次捕食者である鰭脚類(トド・オットセイ・アザラシ類)は、当該沿岸域を採餌場として利用している。本研究で対象とするゼニガタアザラシは、道東沿岸に周年生息して繁殖している唯一の鰭脚類である。本種は1970年代始めまでに過度な狩猟や生息地の破壊により激減し、絶滅の危機に瀕した。現在では、個体数は回復傾向にあるが、本種が出産・育子、休息する上陸場の数は増加しておらず、2か所(えりも岬/厚岸大黒島)に上陸個体数の70%以上が集中しており、いまだ希少種として保護されている。道東沿岸は北太平洋・大西洋にまたがるゼニガタアザラシの分布の端にあたり、北方四島の個体群とともに1亜種として扱う説もある。しかし、既往研究から、えりも岬上陸群は独立個体群である可能性が示唆されており、絶滅リスクの評価に耐える情報は不足している。また、個体数の増加に伴って、漁業被害の増加が報告されており、ゼニガタアザラシの保護管理と持続的沿岸漁業との共存が喫緊の課題となっている。そこで、本種の保護管理と漁業との共存を目指して、1)「道東から北方四島までの本種の生息地の保全」、および2)「共存可能な持続的漁業の創成」を課題として、様々な手法から問題解決に挑む。



図1 研究開発のイメージ

2. 研究開発目的

本研究は、本種の保護管理と沿岸漁業との共存を目標に、道東～北方四島までの生息地の保全および共存可能な持続型沿岸漁業の創成を挙げる。これまで蓄積されてきた北海道のゼニガタアザラシの長期個体数カウントデータ、主要漁業資源の長期漁獲量・資源量データ、水温などの海洋環境の基礎的データに加えて、北方四島海域においてもロシア人研究者と協力して個体数・分布調査、遺伝学的調査を行い、最新の小型発信機を用いて個体の移動・行動圏データを取得することで、現在の生息状況を明らかにする。繁殖・栄養・(遊泳)行動などの生物学的特性を明らかにするとともに、個体群のリスク評価を行う。漁業被害軽減の技術的対策を模索し、沿岸漁業の管理のために不可欠な高次生態系の変動予測手法の開発と精度向上のための基礎的知見を得る。これらから、生産性の高いホットスポットである当該海域の沿岸海洋生態系の生物多様性の保全に大きく寄与することを目的とする。

3. 研究開発の方法

(1) 移動生態と遺伝的交流の有無による個体群構造と地域特性の解析

本研究では、遺伝様式および遺伝速度の異なる2つの遺伝子、ミトコンドリアDNA（以下、mtDNA）とマイクロサテライトを使い、北海道（北方四島を含む）のゼニガタアザラシの集団遺伝構造をその歴史的背景、近年の個体数変動、雌雄の定着性の違いを考慮し解明することを目的とする。サンプルには、北海道（北方四島を含む）のゼニガタアザラシの主要繁殖上陸場を含む4地域、襟裳、厚岸、浜中、根室（北方四島由来）の定置網で混獲、捕獲または漂着した個体の筋肉サンプルを使用する。加えて、生体捕獲や混獲個体に発信機を装着して、北海道に生息するゼニガタアザラシの行動圏と移動距離について調べる。

(2) 鰭脚類による漁業被害と資源動態との関連の評価

道東沿岸域における鰭脚類モニタリング手法の確立を目的に航空機調査を実施する。また、ゼニガタアザラシを取り巻く餌生物環境を明らかにするために上陸場周辺において継続的な魚類採集調査を実施すると共に、より広域の調査結果を利用して餌生物環境の時空間的変化を明らかにする。ゼニガタアザラシおよび餌生物の食性分析を行い、定常的モデルにより本種を中心とした食物網の構造を明らかにすると共に、本種による餌資源の消費量を推定する。更に、環境変動がゼニガタアザラシおよび地域漁業の重要資源に及ぼす影響を明らかにする。

(3) 飼育および野生環境下における個体の採餌行動解明

漁場周辺での行動を調べるためにバイオロギング手法を用いる。まず、海域での行動圏を明らかにするため、精度の良いGPS衛星発信器を個体に装着する。次に、定置網周辺での行動をモニタリングするため、音波発信器を個体に装着し、定置網周辺に受信機を複数台設置することにより、個体の位置を定位する。また、襟裳岬で生体捕獲をした個体を水族館に搬入し、生きたサケに対して、どのように反応するのかを明らかにする。さらには擬似漁具を投入し、物理的な防除法が効果的かどうかを検証する。

(4) 混獲・漁業被害軽減手法の開発と持続型漁業の社会経済的評価

4-1) 混獲・漁業被害軽減手法の開発

本研究では、対象とする定置網において、適切な被害防除法を検討するため、1) 定置網の操業環境(網への水深ロガー装着による操業時刻のモニタリングと漁獲状況の調査)、2) 定置網に侵入するアザラシの行動調査(水中カメラ、音響カメラ)を行う。その結果をもとに、3) 漁具改良法(①箱網内への仕切り網(遮断網)装着、②箱網入口への格子網装着)を考案し、海上試験によりその効果を評価する。

4-2) 持続型漁業の社会経済的評価

個体群動態モデルの作成: 過去から現在までのゼニガタアザラシの個体群増加率を算出し、国内最大の上陸場であるえりも岬のゼニガタアザラシ個体群について、将来予測を行う。推移行列により本種の生存率を推定する。

社会経済学的評価: 地域住民および高校生に、持続型漁業について聞き取り調査を行う。

4. 結果及び考察

(1) 移動生態と遺伝的交流の有無による個体群構造と地域特性の解析

mtDNAの分析の結果、16のハプロタイプが検出され、そのうち4タイプは襟裳とその他の地域の両方で確認され、9タイプは1地域からしか見られない地域特異的ハプロタイプであった。mtDNAのハプロタイプ多様度および塩基多様度は襟裳で両指標とも低く、過去に長期のボトルネック後に集団が回復していないことが示唆された。それ以外の地域では、ハプロタイプ多様度は高いが塩基多様度が低く、ボトルネック後に一斉放散した集団であると推定された。一方、マイクロサテライト解析の多様度は、地域ごとに有意差が見られなかったことから、各集団内で自由交配していることが考えられた。

遺伝的分化係数は、mtDNA、マイクロサテライトともに襟裳とそれ以外の地域での異なることを示したため、北海道のゼニガタアザラシは、雌雄ともに襟裳とそれ以外の地域間での移入・移出が少ないと判断された。

また、ゼニガタアザラシに発信機を装着して移動範囲を調べた結果、移動範囲は成長段階ごとに異なるが、数十kmと非常に狭いことが明らかになった。

これらのことから、北海道のゼニガタアザラシは、襟裳とそれ以外の地域で遺伝的に異なる集団であるため、両地域の集団は別々に個体数管理が必要と判断された。

(2) 鰭脚類による漁業被害と資源動態との関連の評価

道東沿岸域東部に分布するゼニガタアザラシを対象に広域航空センサスを実施し、陸上センサスの成果と併せて、当該域の本種生息数は670頭(95% C.I.: 504-835頭)と推定した。根室海峡トド、道東東部のゼニガタアザラシの何れも陸上からの継続的なセンサスにより相当の精度が保証されるが、新規上陸場の形成や不可避的な死角の発生に対処するためには、数年に一度の航空センサス実施が好ましいと結論された。えりも上陸場周辺の魚類群集ではカジカ類が圧倒的に優占しており、特異な魚類相を形成していた。カジカ類がゼニガタアザラシ類の餌として好ましくないために、これら魚種が上陸場周辺で卓越している可能性が指摘された。ゼニガタアザラシによる消費量が最も多かったのはタコ類であり、周辺地域での漁獲量の1/4程度に上った。一方、サケに対する捕食圧は限定的であった。食物網構造を分析したところ、えりも岬上陸場周辺域では最上位捕食者であるゼニガタアザラシの密度が特異的に高く、これが過剰な捕食圧を通じて漁業への直接・間接的な影響を及ぼしている可能性が指摘された。

(3) 飼育および野生環境下における個体の採餌行動解明

衛星発信器による追跡では、襟裳岬周辺海域の行動圏についてGPSによる詳細なデータを得ることができた。また、個体に音波発信器を装着し、定置網周辺に音波受信機を複数台設置することにより、定置網に入る行動と入らなかった行動を区別することができた。この結果、漁期前からアザラシは定置網周辺を通過しており、通り道として利用していることが示唆された。また、1個体のみが何回も同じ網に来ていたが、この個体はモニタリングしていた網で混獲された1歳以上の個体であることが判明した。次に、水族館において飼育実験を行ったところ、生きたサケなど、見たことのない物体についての反応では、個体による行動特性の違いが確認できた。さらに、経年的な飼育実験の結果、同じ個体でも経験や文化の伝搬によって、餌のサケに対するハンドリング反応が変化することが明らかとなった。加えて、本種の漁業被害を防除するため、物理的に網に入れなくするような格子網の開発を進めるため、飼育下において、どれくらいの格子目の幅を通り抜けられることができるのかを実験した。この結果、肩甲骨の幅よりも小さい格子では、アザラシは通り抜けられないことが明らかとなった。

(4) 混獲・漁業被害軽減手法の開発と持続型漁業の社会経済的評価

4-1) 混獲・漁業被害軽減手法の開発

1) 操業環境 対象とした定置網の操業時間は、待ち時間約7時間、約13時間の2パターンが主であった。この時間をもとに、CPUE(単位時間あたり漁獲量)を求めて時期ごとの変動を調べた。その結果、CPUEは9月に最大値を示し、その後10月下旬に向けて減少していた。箱網の水深平均値は、10月中旬までほぼ15m程度で安定していたが、それ以降は平均水深と最大水深の差が4m程度になることが頻繁となった。このことから、漁具改良では潮流による流体抵抗をできるだけ抑え、かつ軽量の構造とすることが必要と判断した。

2) アザラシ行動調査 カメラ観測により、サケは時刻に関わらず入網していることがわかった。また、音響カメラにより、アザラシの定置網への侵入頻度が夕方前から夜間にかけて増加することがわかった。特に、日没後の薄明時に網内で活発に行動していた。観測されたアザラシのサイズ範囲は60~200 cm程度であり、100~150 cmの個体が優占していた。遊泳速度は特に日没前後に速くなり、この時間帯に活発にサケを捕食していることが推察された。

3) 漁具改良法 ①仕切り網(遮断網): 定置網網の箱網内部にアザラシに追われたサケが逃避できる区画を設けるために仕切り網を装着し、海上試験により被害軽減効果を確認した。その結果、試験網よりも対照網でサケの総尾数は多かった。ただし、生きたサケの尾数は試験網で多く、食害割合は試験網で40%、対照網で89%と顕著な差が認められた。一方、仕切り網装着は揚網時の負荷を増加させるなど問題点も見られた。②格子網(ロープ格子): 箱網入口の漏斗部にダイニーマ製ロープ(直径2.3mm)で製作した格子(格子目サイズ: 20x20cm, 20x40cm)を装着して海上試験を行い、水中カメラ観測によりその効果を確認した。その結果、20x20cm格子では、アザラシの侵入防除率は87%であった。一方、サケの格子に対する通過率は約20%と、多くのサケが格子を忌避して箱網に入らない状況が観測された。しかし、操業期間中の格子の有無による漁獲状況の比較では、“格子あり”での平均漁獲尾数は“格子なし”よりも1割ほど多く、平均被害率も“格子なし”の0.27から0.02と大幅に減少した。なお、調査終了後も漁業者は自主的に格子網を使用していた。このことから、考案・試作した格子網の効果と運用上の実用性は十分なものと判断した。

4-2) 個体群動態モデルの作成と持続型漁業の社会経済的評価

個体群動態モデルの作成: 長期モニタリングデータから個体群増加率を算出したところ、年平均3~7%で増加していたが、諸外国と比較すると低く、混獲による影響と推察された。えりも岬におけるゼニガタアザラシの生息数の将来予測を行ったところ、これまでのところのK値(環境収容力)は、1,500頭程度であることが示唆された。また、生息数が400頭以下になった場合は、絶滅リスクが高まることが明らかになった。年平均生存率は、成獣では90~99%、幼獣では10~60%であり、1年に1子の本種は、子どもの死亡率が高いが、成長した後はほとんど死なないことが明らかになった。これらのことから、今後の本種の管理政策としては、えりも町における本種の目標生息数は700~1500頭とし、海洋環境の変化に対応した順応的管理を行っていくことが提案される。また、個体群の保護のためには、成獣のメスの保護が重要である。サブ(3)およびサブ(4)の結果により、定置網内に侵入し、サケを捕食しているのが特定の個体があることをふまえると、今後、個体管理が重要であると提案される。

社会経済学的評価: えりも町民約100名にアンケート調査の結果では、漁業を営むにあたり不満な点の第一位は“収入・漁獲量が安定していないこと(約52%)”、であった。ゼニガタアザラシ被害対策に求めること第一位は“駆除(個体数調整)(約56%)”であったが、同時に観光への影響が懸念されていた。ただし、アザラシの絶滅を望む町民は一人もいなかった。定置網漁業者からは、“1定置網あたり、年間7千万円から1億円の売り上げで安定的にやっていける。しかし、近年はゼニガタアザラシによる漁業被害で年間売り上げが5千万円程度であり赤字経営である”といった声も聞かれた。“金額的に、観光収入による被害金額の補てんは厳しい(1万人から一人

千円集金しても1千万円) ”、“漁業者もアザラシとの共生に努力しているという一般へのアピールはしていきたい”、といったことが挙げられ、そのためには、今後、エコラベルの認証、地域ブランド確立が要検討である。具体的には、“銀聖サケ(地域)ブランドの拡充”、“(アザラシ捕食から生き延びた)幸運のサケ”などのアイデアが挙げられた。

漁業者を含む各ステークホルダー(利害関係者)は、「未来の世代が継続して活用できるように漁業資源を保全する」ことの重要性に、現在では必ずしも気づいていないと推定された。漁業資源を適切に管理しながら持続的に利用して行くためには、各地域の漁業協同組合や自主的な漁業種組織などが、それぞれ主導する効率的な漁業管理をより実行して行くことが重要であると考えられた。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

サブテーマ1)では、これまでmtDNAのみで行われてこなかった北海道(北方四島を含む)ゼニガタアザラシの集団遺伝構造解析を、mtDNA、マイクロサテライトの両者を利用して行った。その結果、襟裳とそれ以外の地域で遺伝的集団が異なる可能性が高く、北海道(北方四島を含む)のゼニガタアザラシは、雌雄ともに襟裳とそれ以外の地域で遺伝的交流が少ないことが明らかになった。また、ゼニガタアザラシに発信機を装着して移動範囲を調べた結果、移動範囲は成長段階ごとに異なるが、数十kmと非常に狭いことが明らかになった。これらのことから、今後ゼニガタアザラシ個体群の保護管理を進めるためには、襟裳と道東の2集団に分離した保護管理を提案した。

サブテーマ2)では、根室海峡～北海道南東岸(厚岸以東)沿岸海域にいたる広域において、鰭脚類を対象とした航空機センサス調査をはじめて実施した。また、えりも岬においてはじめて資源量調査を行い、ゼニガタアザラシを高次捕食者とする沿岸海洋生態系の解明に向けて、基礎的なデータを収集することができた。さらには、食物網のモデルを作成した。

サブテーマ3)では、発信機を装着した個体が、繰り返し定置網に出入りしていることを明らかにした。また、えりも岬で生体捕獲したゼニガタアザラシ5頭を、青森県営あさむし水族館に輸送し、飼育を実施した。野外でのフィールド研究に飼育下での研究結果を融合することで、漁業被害軽減に向けて本種の生態解明を進めるとともに、サブテーマ4)の被害防除手法の開発に貢献した。

サブテーマ4)では、サブテーマ3)の飼育実験データをもとに、日本ではこれまで全く実施されていなかった、ゼニガタアザラシの漁業被害・混獲軽減のための漁具の改良に着手した。定置網に鉄格子を設置して物理的なアザラシの侵入阻止を試みた結果、大型個体の侵入は阻止し、被害軽減に成功した。過去40年間に蓄積された個体数調査(センサス)データを整理・解析することで、本種の分布と個体群の増加率を算出し、基礎的な生態学的パラメータを得ることに成功した。IUCNレッドデータブックにおいて、“UNKNOWN(情報なし)”とされていた千島列島から北海道東部沿岸に生息するゼニガタアザラシについて、生息状況を明らかにした。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

環境省の中央環境審議会における「えりも地域ゼニガタアザラシ特定希少鳥獣管理計画」の検討において、ゼニガタアザラシ個体群動態の分析結果、餌資源動態調査、および漁業被害防除策の研究結果を提示し、中央環境審議会の答申作成に貢献した。具体的には、管理計画のp3に個体群動態に関する論文成果、p7に餌資源動態の調査結果が引用されている。また、p36に被害防除策の検討結果が示されている。

環境省による「平成28年度環境省えりも地域ゼニガタアザラシ管理事業実施計画」の検討において、以下の項目に関して調査結果を提示し、計画案の作成に貢献した。1)漁業被害防除策の検討結果:20cm×20cmの格子網による被害軽減効果に関する情報を提示(えりも地域の協議会に環境省が示した実施計画案のp1に記載。)した。2)ゼニガタアザラシの個体群構造解析の結果:「えりも個体群は閉鎖性が高い」情報を提示(同実施計画案のp4に記載。)した。

環境省のレッドリスト検討会における「環境省レッドリスト2015」の検討において、本研究によるゼニガタアザラシの個体群動態に関する基礎的情報が提示され、絶滅危惧種の再評価に貢献した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ・環境省によるゼニガタアザラシの個体群管理に関する平成28年度事業の実施において、本研究で用いた格子網を装着することによるゼニガタアザラシの捕獲が見込まれる。
- ・環境省による漁業被害防除に関する平成28年度事業の実施において、本研究で効果を明らかにした格子網

の使用及び効果検証手法(水中カメラの装着等)の活用が見込まれる。

・環境省による沿岸海洋生態系調査に関する平成28年度事業の実施において、本研究の餌資源動態に関する分析結果の活用が見込まれる。

・環境省による平成28年度のタコ漁被害の実態調査において、本研究のゼニガタアザラシ摂餌量推定の結果の活用が見込まれる。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) 小林由美、風呂谷英雄、石川恭平、桜井泰憲: 野生生物保護14(1・2): 53-60 (2013)
北海道東部厚岸湾におけるアザラシ類による漁業被害-漁業者アンケートの解析
- 2) Y. KOBAYASHI, T. K4-1RIYA, J. CHISHIMA, K. FUJII, K. WADA, S. BABA, T. ITOO, T. NAKAOKA, M. KAWASHIMA, S. SAITO, N. AOKI, S. HAYAMA, Y. OSA, H. OSADA, A. NIIZUMA, M. SUZUKI, Y. UEKANE, K. HAYASHI, M. KOBAYASHI, N. OHTAISHI and Y. SAKURAI: Endangered Species Research 24(1): 61-72 (2014) [http://dx. doi.org/10.3354/esr00553](http://dx.doi.org/10.3354/esr00553)
Population trends of the Kuril harbour seal *Phoca vitulina stejnegeri* from 1974 to 2010 in southeastern Hokkaido, Japan
- 3) E. A. SWEKE, Y. KOBAYASHI, M. MAKINO and Y. SAKURAI: Ocean & Coastal Management, 120, 170-179 (2016)
Comparative job satisfaction of fishers in northeast Hokkaido, Japan for coastal fisheries management and aquaculture development

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 小林由美、小林万里、桜井泰憲、藤森康澄、駿河秀雄、成ヶ沢重一、白石智泰、石川昭: えりも研究11: 31-34 (2014)
「秋サケ定置網におけるマンボウ *Mola* spp. を中心とした海洋生物の偶発的捕獲」
- 2) 三谷曜子: 鰭脚類の回遊行動と食性. 日本水産学会漁業懇話会報 63: 1-3 (2014)
- 3) 小林由美、増淵隆二、蔵本洋介、藤森康澄、駿河秀雄、成ヶ沢重一、白石智泰、小林万里、桜井泰憲、石川昭: えりも研究12: 15-19 (2015)
「秋サケ定置網における海洋生物の偶発的捕獲2014」
- 4) Y. FUJIMORI: Second Interim Report of ICES-FAO Working Group on Fishing Technology and Fish Behaviour (WGFTFB) / ICES WGFTFB REPORT, 102-103 (2015)
“Coexistence of Fishery and Harbor Seal along the Coast of Hokkaido, Japan”
- 5) 小林由美: (社)水産資源・海域環境保全研究会 (CoFRaME) メールマガジン第42号, 1-3 (2015)
「希少種で観光資源かつ害獣であるゼニガタアザラシの管理」

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) 磯野岳臣、米田豊、和田昭彦、服部薫、山村織生: 哺乳類学会大会 (2013)
「上陸場モニタリングシステムにより確認されたトド焼印個体の滞留と移動」
- 2) 山村織生: 横浜国立大学公開コキウム「減る水産物、増える海獣」(2013)
「絶滅危惧種から外れたトドの未来」
- 3) M. KOBAYASHI: 20th Biennial Conference on Marine Mammals, New Zealand (2013)
“Changes in the haul-out behavior and home range of harbor seals as a result of population recovery”
- 4) Y. MITANI, T. HAKUMAN, K. SAKAGUCHI and K. MIYASHITA: International Symposium “Dolphin acoustics, behavior and cognition”, Shizuoka, Japan (2014)
“Feeding ecology and foraging behavior of harbor seal (*Phoca vitulina*) in-situ and ex-situ: Systematic conservation and management planning for the coexistence of harbor seals and fisheries along the coast of Oyashio.”
- 5) 小林万里: ゼニガタアザラシシンポジウム(環境省主催)、招待講演 (2014)
「ゼニガタアザラシとは? —えりも地域を例に—」
- 6) 桜井泰憲: ゼニガタアザラシシンポジウム(環境省主催)、招待講演 (2014)

「えりも地域におけるゼニガタアザラシの保護管理の課題について」

- 7) 小林由美、桜井泰憲、藤森康澄、小林万里：平成26年日本水産学会春季大会（2014）
「北海道東部えりも岬の秋サケ定置網におけるゼニガタアザラシの食害」
- 8) 服部薫、磯野岳臣、山村織生：日本哺乳類学会 2014年度大会（2014）
「北海道日本海沿岸におけるトドの来遊状況の変化」
- 9) 磯野岳臣、服部薫、山村織生：日本哺乳類学会 2014年度大会（2014）
「上陸場自動撮影システムによるトド焼印個体の出自」
- 10) E. A. SWEKE, R. OKAZAKI, Y. KOBAYASHI, M. MAKINO and Y. SAKURA: Annual Meeting: Scientific program- PICES - North Pacific Marine Science Organization(2014)
“Social-ecological studies towards integrated management of local fisheries in the North-Eastern Hokkaido, Japan”
- 11) 白曼大翔、葛西広海、田中寛繁、山村織生、小林万里、宮下和士、三谷曜子：平成26年度日本水産学会北海道支部大会（2014）
「ヒゲの安定同位体比分析によるゼニガタアザラシの食性履歴の推定」
- 12) K. HATTORI, T. ISONO and O. YAMAMURA: Marine Mammals of the Holarctic 2014 (2014)
“Decadal change of spatial distribution of wintering Steller sea lions around Hokkaido Island, Japan”
- 13) 服部薫、磯野岳臣、山村織生：2014年度勇魚会シンポジウム(2014)
「北海道におけるトドの分布と資源」
- 14) 山村織生、服部薫、磯野岳臣、浅見大樹：第45回北洋研究シンポジウム(2015)
「2000年代におけるトド来遊動向の変化」
- 15) 小林万里：第45回北洋研究シンポジウム(2015)
「アザラシ類の生態変化に伴う漁業への影響」
- 16) 山村織生、服部薫、磯野岳臣：2015年日本水産学会春季大会（2015）
「襟裳岬ゼニガタアザラシ上陸場近傍における底魚類の種組成と季節変化」
- 17) 藤森康澄、川本雄平、小林由美、伊藤遼平、桜井泰憲、三谷曜子、蔵本洋介、関口泰治：2015年日本水産学会春季大会（2015）
「北海道えりも地域のサケ定置網におけるゼニガタアザラシによる食害防除を目的とした漁具改良の検討」
- 18) 越智洋介、山崎慎太郎、伊藤遼平、川本雄平、藤田薫、藤森康澄、桜井泰憲：2015年日本水産学会春季大会（2015）
「音響カメラを用いた定置網内でのゼニガタアザラシの行動観察の試み」
- 19) 三谷曜子、阪口功喜、小林万里、中野江一郎：2015年日本水産学会春季大会（2015）
「ゼニガタアザラシ腸内容物のDNA分析による餌生物推定」
- 20) T. HAKUMAN, T. HORIMOTO, H. KASAI, H. TANAKA, O. YAMAMURA, M. KOBAYASHI, K. MIYASHITA and Y. MITANI: Vth International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan (2015)
“Stable Isotopes In Harbor Seal Whiskers As Indicators Of Seasonal Feeding Patterns”
- 21) Y. FUJIMORI, Y. OCHI, S. YAMAZAKI, K. FUJITA, R. ITOO, Y. KAWAMOTO, Y. KOBAYASHI and Y. SAKURAI: Non-Visual Observation of Marine Mammals Using Innovative Technology, Session37, Vth International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan (2015)
“Under water Observation of Harbor Seal Behavior in a set net Using an Underwater camera and Acoustic Sonar”
- 22) Y. KOBAYASHI: Migration and Distribution of Pinnipeds in Japanese-Russian Waters, Round Table Round Table46, Vth International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan (2015)
“Harbor Seals in Hokkaido, Japan”
- 23) Y. FUJIMORI, Y. OCHI, S. YAMAZAKI, K. FUJITA, R. ITOO, Y. KAWAMOTO, Y. KOBAYASHI. and Y. SAKURAI: A New Strategic Plan for Management of The Kuril Harbor Seal Aiming at the Coexistence between the Seals and Local Fisheries in Erimo Area, Southern Hokkaido, Round Table84. Vth International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan (2015)
“Under water Observation of Harbor Seal Behavior in a set net Using an Underwater camera and Acoustic Sonar”
- 24) O. YAMAMURA, T. KITAKADO, K. HATTORI and T. ISONO: Vth International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan (2015)
“Management of Steller sea lion on the western coast of Hokkaido Island, Japan”

- 25) M. MIZUNO, M. KOBAYASHI, T. SASAKI, T. HANEDA. and T. MASUBUCHI: Vth International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan (2015)
 “Mitochondrial DNA of Japanese Harbour Seal(*Phoca vitulina stejnegeri*) reveals their unique colonisation history in Pacific”
- 26) 山村織生、小岡孝司：2015年水産海洋学会研究発表大会(2015)
 「北海道南東沿岸域における底生魚類群集構造」
- 27) 磯野岳臣、Vladimir Burkanov、服部薫、後藤陽子、和田昭彦、山村織生：2015年水産海洋学会研究発表大会(2015)
 「焼印再確認情報に基づいた北海道・ロシア間におけるトドの季節移動(予報)」
- 28) S. KATAYAMA, K. MIYASHITA and Y. MITANI: 21st Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, The Hilton San Francisco, San Francisco, USA (2015)
 “Overlap of juvenile harbor seals (*Phoca vitulina*) foraging areas and salmon fishing grounds around Cape Erimo, Japan”
- 29) 伊藤遼平、藤森康澄、小林由美、桜井泰憲、三谷曜子、蔵本洋介：H28年度日本水産学会春季大会(2016)
 「北海道襟裳地域のサケ定置網内におけるゼニガタアザラシとサケの行動観測」
- 30) 三谷曜子・宮下和士・山本潤・片山誓花・小林万里：H28年度日本水産学会春季大会(2016)
 「VPS 測位システムによるゼニガタアザラシの行動追跡 ～北海道襟裳岬のサケ定置網周辺への出現～」
- 31) O. YAMAMURA, K. HATTORI and T. ISONO: ESSAS Annual Science Meeting (2016)
 “Management of Steller sea lions off the western coast of the Hokkaido Island: mitigating the threat to the sustainability of local fishery”

7. 研究者略歴

課題代表者：桜井 泰憲

北海道大学大学院水産科学研究科博士課程修了、水産学博士、現在、北海道大学名誉教授、函館頭足類科学研究所 所長

研究分担者

- 1) 小林 万里
北海道大学獣医学部卒業、博士(獣医学)を取得、現在、東京農業大学生物産業学部教授
- 2) 山村 織生
北海道大学大学院水産科学研究科博士課程修了、水産学博士、現在、国立研究開発法人水産総合研究センター
- 3) 宮下 和士
北海道大学水産学部卒業、北海道大学大学院水産科学研究科修了、東京大学大学院農学生命科学研究科修了、博士(農学)取得、海洋水産資源開発センター職員、北海道大学水産学部助教授、現在、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター教授
- 4) 三谷 曜子
総合研究大学院大学数物科学研究科博士課程修了、博士(理学)、現在、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター准教授
- 5) 山本 潤
北海道大学大学院水産科学研究科博士前期課程修了、博士(水産科学)、現在、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター助教
- 6) 藤森 康澄
東京水産大学漁業生産学科卒業、水産学博士、現在、北海道大学大学院水産科学研究院教授

4-1301 親潮沿岸域のゼニガタアザラシと沿岸漁業の共存に向けた保護管理手法の開発

(1) 移動生態と遺伝的交流の有無による個体群構造と地域特性の解析

学校法人東京農業大学生物産業学部アクアバイオ学科水産資源管理学研究室

小林 万里

平成25（開始年度）～27年度累計予算額：42,215千円（うち平成27年度：14,040千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本研究では、遺伝様式および遺伝速度の異なる2つの遺伝子、ミトコンドリアDNA(以下、mtDNA)とマイクロサテライトを使い、北海道のゼニガタアザラシの集団遺伝構造をその歴史的背景、近年の個体数変動、雌雄の生活様式（定着性の違いなど）を考慮し解明することを目的とした。

サンプルには、北海道（北方四島を含む）のゼニガタアザラシの主要繁殖上陸場を含む4地域、襟裳、厚岸、浜中、根室の定置網で混獲、捕獲または漂着した個体の筋肉を用いた。mtDNAの分析の結果、16のハプロタイプが検出され、そのうち4タイプは襟裳とその他の道東地域（厚岸、浜中、根室）の両方で確認され、1地域からしか見られない地域特異的ハプロタイプも9タイプが検出された。mtDNAのハプロタイプ多様度および塩基多様度は襟裳で両指標とも低く、過去に長期のボトルネック後、集団が回復していないことを示唆した。道東地域では、ハプロタイプ多様度は高いが塩基多様度が低く、ボトルネック後に一斉放散した集団であることを示唆した。一方、マイクロサテライト解析の多様度は地域ごとに有意差が見られなかったことから、各集団内で自由交配していることを示した。

遺伝的分化係数はmtDNA、マイクロサテライトともに襟裳とそれ以外の地域で異なっていたことから、北海道のゼニガタアザラシは、雌雄ともに襟裳と道東地域で行き来が少ないことが明らかになった。

また、ゼニガタアザラシに発信機を装着して移動範囲を調べた結果、移動範囲は成長段階ごとに異なるが、数十kmと非常に狭いことが明らかになった。

これらのことから、北海道のゼニガタアザラシは、襟裳とそれ以外の地域で遺伝的に異なる集団であるため、両地域は別々に管理するべきだと考えられた。

[キーワード]

ゼニガタアザラシ、ミトコンドリアDNA、マイクロサテライト、歴史的背景、集団遺伝構造

1. はじめに

(1) 歴史的背景

ゼニガタアザラシ（ハーバーシール *Phoca vitulina*）はバルト海から日本を含む北半球全域に生息する半水棲の動物である(図(1)-1-1)。450万年前にグリーンランド海およびバレンツ海間で

Halichoerus属、Pusa属およびPhoca属の共通祖先から分岐して¹⁾大西洋に最初に定着した後、ベーリング海峡を通過して太平洋に移入し、170~220万年前に海氷と大陸氷河が形成されてベーリング海峡が封鎖されると、大西洋集団と太平洋集団の交流がなくなり、遺伝的に大きく分化したと考えられる²⁾。



図(1)-1-1 ゼニガタアザラシ (*Phoca vitulina stejnegeri*) の主要繁殖上陸場を含む4地域。サンプルは各地域から採集

その後、ゼニガタアザラシが太平洋に移入後どのように分布を広げたかには諸説ある。

Stanleyら²⁾は、初めてゼニガタアザラシの全生息域における系統関係を明らかにした。日本を含む北西太平洋の集団は太平洋の中でも初期に定着した基盤集団であり、太平洋ゼニガタアザラシは西から東方向に分布を広げたことを示唆した。Burgら³⁾も同様に、日本集団はベーリング海を通過して太平洋に移入した基盤集団の1つとしたが、ワシントン州の一部の集団も同時に移入したとし、さらにその後東太平洋において分布域は南下したことを示唆した。

Westlake and O'Corry-Crowe⁴⁾ は、東太平洋のゼニガタアザラシの方が西太平洋のゼニガタアザラシよりも系統群数が多いことから、本種は、初期に東方向に定着し、その後から西へ広がり日本には後期に定着した仮説を提唱した。

このように、日本とその他の地域のゼニガタアザラシの系統関係にはさまざまな仮説が混在しており、近年の研究では⁴⁾、日本のゼニガタアザラシにはいくつかの系統群があることが示唆されている。さらに、先行研究^{2,3,4,5)}の中では、DNAの抽出領域も混在している。

(2) 北海道内における集団遺伝構造

ゼニガタアザラシは鯨脚類の中で最も広い分布域を持ち、その広さは北半球1万6千kmにも及ぶ。本種は、長距離遊泳が可能であるにも関わらず、休息、換毛、出産および子育てを同じ上陸岩礁で行い、定住性が高く、他の哺乳類と同様にオスよりもメスで定住性が高いことが知られている。

日本に生息するゼニガタアザラシ (*Phoca vitulina stejnegeri*) は1亜種であり、北海道からロシアのコマンドル島まで生息する集団を示す⁶⁾(図(1)-2-1)。北海道には、ゼニガタアザラシの上陸場が襟裳、厚岸、浜中および根室 (図(1)-2-1)の4地域に11か所が存在し、そのうちの8か所が繁殖上陸場として知られている。中でも、襟裳はゼニガタアザラシの西太平洋における生息域最南端

であり、北海道でも最大の繁殖上陸岩礁で2010年には上陸頭数403個体が確認されている⁷⁾。襟裳から最も近い生息域は厚岸で、襟裳からは直線距離で150km離れている。厚岸には、襟裳に次いで2番目に上陸頭数が多い大黒島があり、2010年の調査で169個体が確認されている⁷⁾。厚岸から根室地域にかけては複数の上陸場が存在しており、地域ごと（厚岸—浜中、浜中—根室）では、それぞれ直線距離で約30kmずつ離れている⁸⁾。他の地域のゼニガタアザラシと同様に、日本のゼニガタアザラシのメスはオスよりも繁殖場に対する執着が強く、毎年同じ岩礁で出産していることが報告されている⁹⁾。



図(1)-2-1 北海道におけるゼニガタアザラシ (*Phoca vitulina stejnegeri*) の分布域 (右上) と主要繁殖上陸場を含む4地域：襟裳、厚岸、浜中および根室。黒丸は上陸場11ヶ所を、赤丸は既知の繁殖上陸場および2010年の繁殖期に観察された個体数を示す⁷⁾

オスに偏った遺伝子流動は、陸上および海棲ほ乳類では一般的であり、東太平洋ゼニガタアザラシでも報告されている。一方、定住性の高いメスでは遺伝子流動が少ないため、通常母型列で遺伝するミトコンドリアDNAの方が、両親から遺伝するマイクロサテライトよりも集団の細分化が起りやすい^{3, 10)}。しかしながら、ゼニガタアザラシの遺伝研究の中には、両遺伝マーカー共に同様の集団の遺伝的分化を示すものもあり、この定説に沿わないことがある^{2, 11, 12, 13)}。ゼニガタアザラシの定住性の臨界距離は300-500kmといわれているが¹⁴⁾、集団の中には300km以内で明確な遺伝的分化を示す場合もある^{12, 14)}。地域で定住性の違いがある要因として、歴史的な氷期の氷による集団の分断および孤立と近年の個体数の減少が考えられている^{14, 15, 16)}。

このように、雌雄で分散形式に違いがある海棲ほ乳類で集団遺伝を調べるには、両遺伝マーカーを使用することが重要である。しかしながら、日本のゼニガタアザラシでは各遺伝子を使用した研究はまだ行われていない。

北海道のゼニガタアザラシは、現在の集団に影響するような大きな個体群の増減を過去に2度経験している。一つは、数百万年前に起こった歴史的イベントで、最終氷期に氷が北太平洋沿岸を覆い、季節的海氷が襟裳付近まで南下し集団が分断されたことである。二つめに、日本のゼニガタアザラシは、1940年代以降に毛皮を目的とする乱獲や、藻場を増幅のための上陸場の爆破によ

り1970年代までに個体数が激減し、絶滅の危機に瀕した。1980年代以降、個体数は回復し、現在は1,000頭以上が北海道に生息していると言われている。これら近年の個体数変動もまた現在の集団遺伝に影響していると考えられる。

ミトコンドリアDNA (mtDNA) と比較して、マイクロサテライトは進化速度が速く近年の個体数変動を研究するのに適している。しかしながら、過去に日本のゼニガタアザラシの遺伝を調べた研究では、mtDNAのチトクロムb領域を使用したものがあるのみである。この研究では、襟裳と厚岸地域で共通ハプロタイプがなかったことから、日本のゼニガタアザラシは南（襟裳）と東（厚岸、浜中、根室）の2集団に分かれ、これら集団間で遺伝子流動がないことを示唆した⁵⁾。しかしながら、この研究ではいくつかの地域はサンプル数が極めて少なく、すべての繁殖上陸場を含む地域のサンプルを使用していない。また、変異の比較的少ないmtDNAのチトクロムb領域を使用している。

（3）北海道本土における混獲個体の回収および発信機装着調査

ゼニガタアザラシは長距離遊泳能力が可能でありながらも、繁殖期には同じ上陸場に戻る回帰性の高い動物であることがわかっている。衛星発信機追跡及び電波発信機追跡では当歳獣で26.7km、1歳以上で22.6kmと報告されている。また、別の衛星発信機追跡結果からは、本亜種の行動距離は、上陸場から平均19.31kmであり、主に上陸場から近い海域で採餌していることが報告されている。北方四島でゼニガタアザラシの繁殖が確認されていること、さらに、北方四島の歯舞群島のハルカリモシリからと道東の最東のユルリ・モユルリ間の直線距離は、40kmほど離れている。このことから、タグ等調査等で北方四島のアザラシが両島間を行き来している事実はあるものの、遺伝的に道東の集団と遺伝的に独立している可能性が考えられる。さらに、道東全域においても、各地域の中心的上陸場間の距離は、それぞれ20km以上離れており、繁殖集団は分離している可能性もある。

2. 研究開発目的

（1）歴史的背景

過去の太平洋ゼニガタアザラシの系統の混乱は、日本の個体群を1集団として扱っていたことによるものと考えられる。そこで、他地域の先行研究と同様に、mtDNAの調節領域を使用して解析し、太平洋における日本のゼニガタアザラシの遺伝的な系統から見た集団の位置を明確にすることを目的とした。

（2）北海道内における集団遺伝構造

日本のゼニガタアザラシの集団遺伝をmtDNAとマイクロサテライト両マーカーを使用することにより、分化の歴史、1970年代の個体数減少及び遺伝子流動の雌雄差を考慮し、現在の集団構造を研究することを目的とした。

（3）北海道本土における混獲個体の回収および発信機装着調査

発信機装着による移動生態を明らかにして、両者により地域特性を把握することを目的とした。

3. 研究開発方法

材料と方法

(1) 歴史的背景

1) サンプル

サンプルは主要繁殖上陸場を含む全4地域；襟裳 (n=50)、厚岸 (n=50)、浜中 (n=28)、根室 (北方四島の個体を含む) (n=50) (図(1)-1-1)、サケ定置網漁で混獲された個体および漂着個体の筋肉サンプル、またはタグ付けの際回収された皮膚片を使用した。サンプルは抽出されるまで70%エタノールで保存した。

2) DNA抽出、PCRおよびシーケンシング

Green and Sambrook (2012) に従い、フェノール・クロロホルム法を用いてDNA抽出を行った後作成した2つのプライマーPvsF (5'-GTACTCATACCCATTGCCAGC-3') とPvsR

(5'-GCGCGGAGGCTTGCATGTAT-3') を使用してmtDNAの調節領域全域を増幅した。PCRはDNAテンプレート1.0 μ l、10X buffer 2.5 μ l、dNTP(0.2mM)2.0 μ l、Taq polymerase (5U/ μ l) 0.1 μ l、フォワードおよびリバースプライマーそれぞれ1.25 μ l (1mM) ずつとMili-Q water 16.9 μ lを含む25 μ l反応液で行い、94°C、5分で熱処理後、94°C、1分、63°C、72°C1分半を30サイクル繰り返す条件で行った。

PCR産物は電気泳動後アガロースゲルで増幅を確認し、BigDye terminator cycle sequencing kit v3.1

(Applied Biosystem) を用いて配列決定した。その際、PCRで使用した際と同様のフォワードプライマーと新しく作成したリバースプライマーPvsFR (5'-GTAACGTAAGTATGTCCCGC-3') を使用して配列を両側から読んだ。配列の編集およびCLUSTALWを使ったアラインメントには、MEGA6²⁰⁾を使用した。

3) 解析

a. 遺伝的多様度

サンプルを採取した4地域の遺伝的多様度を比較するために、ハプロタイプ数 (N_s)、ハプロタイプ多様度 (H) と塩基多様度 (π) をArlequin version 3.5.1.2¹⁷⁾を用いて算出した。

b. 地域間での遺伝的分化

地域間での遺伝的分化を評価するため、Arlequin version 3.5.1.2¹⁷⁾を用いてペアワイズFst値を算出した。

c. 系統樹

日本産ゼニガタアザラシのハプロタイプとその他の地域のハプロタイプの系統関係を検討するため、GENBANKに登録されている既存の太平洋および大西洋ゼニガタアザラシのmtDNAの調節領域を使用して系統樹を作成した。

これまでに登録されている配列は、ほとんどが本研究で得られた配列よりも短く、情報が少なかったため、登録された配列の中でも最も長い調節領域を持つStanleyら²⁾のデータを使用した (GenBank accession numbers: U36342-U36375)。最適な塩基置換モデルおよび系統樹の作成はMEGA 6²⁰⁾を用いて行い、Bayesian Information Criteion (BIC) をもとにBICの値が最も低かったK2+G+I モデルを選択、使用しMaximul Likelihood (ML) 法で系統樹を描いた。

d. Median-joining network

日本のゼニガタアザラシの分布パターンおよび他地域のハプロタイプとの関係を検討するため、median-joining (MJ) 法でネットワークを作成した。図の作成にはNetwork 4.6.1.3¹⁸⁾を使用し、各

パラメータは初期設定で行った (epsilon=0 and weight=10)。日本以外のデータは系統樹と同様 Stanleyら²⁾の配列を使用した。

e. 地域間でのクレードの割合の比較

地域ごとの各クレードの割合を比較するため、R-studio (version 0.99.484.) を使用した。

f. 個体数の歴史的变化

過去の個体数の変動を調べるため、ミスマッチ解析を行った。ミスマッチ分布は、それぞれの個体のもつハプロタイプ同士の違いを頻度分布で表したもので、解析にはArlequin version 3.5.1.2¹⁷⁾を用いて行った。予測値と観測値の当てはまりの良さはsum of squared deviation (SSD) および Harpending's raggedness index (Hrag) を用いて検証した。

(2) 北海道内における集団遺伝構造

1) ミトコンドリアDNA

a. サンプルとmtDNAマーカー

遺伝的多様性を比較するため、比較的変異の多いmtDNAの調節領域を使用した。

サンプルは主要繁殖上陸場を含む4地域全ての個体を含む178個体分を使用した(襟裳 (n=50), 厚岸 (n=50), 浜中 (n=28) と根室 (n=50)、図(1)-1-1)。サンプルには、サケ定置網漁で混獲された個体および漂着個体の筋肉サンプル、または生体捕獲でタグ付けの際に回収された皮膚片を使用した。サンプルは、抽出されるまで70%エタノールで保存した。

b. DNA抽出、PCRおよびシーケンシング

Green and Sambrook¹⁹⁾に従い、フェノール・クロロホルム法を用いてDNA抽出を行った後、mtDNA調節領域全域を作成した2つのプライマーPvsF (5'-GTACTCATACCCATTGCCAGC-3') と PvsR (5'-GCGCGGAGGCTTGCATGTAT-3') を使用して増幅を行った。PCRはDNAテンプレート1.0 μ l、10X buffer 2.5 μ l、dNTP (0.2mM) 2.0 μ l、Taq polymerase (5U/ μ l) 0.1 μ l、フォワードおよびリバースプライマーそれぞれ1.25 μ l (1mM) ずつとMili-Q water16.9 μ lを含む25 μ l反応液で行い、94°C、5分で熱処理後、94°C、1分、63°C、72°C1分半を30サイクル繰り返す条件で行った。PCR産物は、電気泳動後にアガロースゲルで増幅を確認し、BigDye terminator cycle sequencing kit v3.1 (Applied Biosystem) を使用して配列を決定した。その際、PCRで使用した際と同様のフォワードプライマーと、新しく作成したリバースプライマーPvsFR (5'-GTAACGTAACACTATGTCCCGC-3') を使用して配列を両側から読んだ。配列の編集およびCLUSTALWを使ったアラインメントにはMEGA6²⁰⁾を使用した。

2) 解析

a. 地域ごとのハプロタイプ頻度

各ハプロタイプの割合を地域で比較するため、R-studio (version 0.99.484.) を使用して地図上に割合をプロットした。

b. 遺伝的多様度

遺伝的多様性の指標としてハプロタイプ数 (N_s)、ハプロタイプ多様度 (H) と塩基多様度 (π) をArlequin version 3.5.1.2¹⁷⁾を用いて算出し、地域間でその違いを比較した。

c. 集団の分化

地域間で遺伝的分化の有無を調べるため、Arlequin version 3.5.1.2¹⁷⁾を用いてペアワイズFst値を

算出した。

3) マイクロサテライト

a. マイクロサテライト解析・核DNA遺伝子型決定

計102個体の9遺伝子座について解析を行った。使用したマイクロサテライト遺伝子座およびプライマーは、Pvc19、Pvc78、Pvc30²¹⁾、SGPV16、SGPV11¹¹⁾、Hg3.7、Aa4²²⁾、SGPV9²⁴⁾、そして M11A (unpublished data by Rus Hoelzel referred in Gemmellら²²⁾) の9遺伝子座で、PCRの温度設定は各論文に従って行った。各プライマーの5'末端に、FAM、TET、HEX もしくは NEDのいずれかで蛍光標識をした。

b. マイクロサテライト多型解析

i. 遺伝子型決定および検証

アリドドロップアウト、ヌルアリル、およびスタッターバンドなどのスコアリングエラーの有無は、MICROCHECKER 2.2.3.²³⁾を用いて行った。

ii. 遺伝子多様度

ハーディーワインベルグ平衡 (HWE) および連鎖不平衡からの逸脱の検定はGENEPOP²⁵⁾を使用し、有意差はsequential Bonferroni correctionで補正した。遺伝的多様度の検討にはARLEQUIN¹⁷⁾を使用し、指標として各集団における平均対立遺伝子数 (mean number of allele (MNA))、対立遺伝子多様度 (Allelic richness (AR))、ヘテロ接合体の観察値 (observed heterozygosity (Ho))、および期待値 (expected heterozygosity (He)) を求めた。各集団内で近親交配によるヘテロ接合体の減少の度合いを調べ、自由交配しているか調べるため、FSTAT²⁶⁾を用いて近郊係数 (inbreeding coefficient (FIS)) を算出した。

iii. 個体群分化

地域で遺伝的分化があるか確認するため、Arlequin version 3.5.1.2¹⁷⁾を用いてペアワイズRst値をArlequin version 3.5.1.2¹⁷⁾を使用し算出した。

北海道のゼニガタアザラシの個体群分化について詳細を調べるため、STRUCTURE 2.3.4²⁷⁾を用いてベイズ法を使ったクラスター解析を行い集団数の推定をした。STRUCTUREの設定は、burn-in periodおよび Morkov chain Monte Carlo (MCMC) simulation をそれぞれ100,000と1,000,000 に設定した。また、admixture model with correlated allele frequencies を使用し、サンプルの採取地を初期値として与えた(LOCPRIOR)。値K は、1 から 5 まで変化させて、解析は各Kで10回ずつ繰り返した。Evannoら²⁸⁾に従い ΔK が最も大きいときのKを集団数として採用した。

(3) 北海道本土における混獲個体の回収および発信機装着調査

厚岸地域の白糠漁協から厚岸漁協、および浜中地域の散布漁協と浜中漁協の全7箇所においては、2013年～2015年の5月15日～11月の春定置網および秋定置網で、さらに根室地域の落石漁組と根室漁協、納沙布地域の歯舞舞漁組の3箇所には、9月～11月の秋定置網において、ゼニガタアザラシの混獲があれば連絡を頂き、回収した (図(1)-3-1)。

死亡個体は、外部計測の後に遺伝子用サンプリングを行った。生きた個体においては、麻酔処理を施し、外部計測後に発信機 (Wildlife Computer MK-10AF) を装着して放獣した。麻酔薬は体重に応じて塩酸メドミジン (ドミツール、日本全薬工業株式会社) が1kg当り60 μ g、塩酸ケタミン (ケタミン注10%「フジタ」、フジタ製薬株式会社) が、1kg当り3mgになるように混合し

表(1)-1-2 地域毎の検出されたハプロタイプの数。各ハプロタイプ名は左に示した。コードは GENBANK に登録予定名。クレードは、初期 (I) と後期 (II) とした

	ハプロタイプ	襟裳	厚岸	浜中	根室	合計	コード	クレード
1	A	35	3	1	0	39	JP1	I
2	B	3	0	0	0	3	JP9	II
3	C	2	0	0	0	2	JP10	II
4	D	1	0	0	0	1	JP4	I
5	E	0	13	7	4	24	Jp2	I
6	F	0	1	0	0	1	JP12	II
7	G	0	0	1	0	1	JP13	II
8	H	0	1	0	3	4	JP8	II
9	I	0	0	0	1	1	JP5	I
10	J	0	0	0	1	1	JP14	II
11	K	0	0	0	1	1	JP15	II
12	L	0	0	0	1	1	JP16	II
13	M	5	9	6	17	37	JP7	II
14	N	2	20	13	21	56	JP6	II
15	O	2	2	0	0	4	JP3	I
16	P	0	0	1	1	2	JP11	II
	total	50	49	29	50	178		

ハプロタイプ数および地域特異的ハプロタイプ数は地域で異なり、7ハプロタイプ (D, F, G, I, J, K & L) は1個体からのみ検出された (表(1)-1-2)。襟裳地域では、全部で7つのハプロタイプ (A, B, C, D, M, N & O) が検出され、そのうち3ハプロタイプ (B, C & D) は、襟裳地域でしか見られなかった。一方、厚岸地域からは全部で7ハプロタイプが検出され (A, E, F, H, M, N & O)、地域特異的ハプロタイプはFの1つのみであった。浜中については、全部で6ハプロタイプ検出され (A, E, G, M, N & P)、浜中でしか見られないハプロタイプはGのみ検出された。最もハプロタイプの種類が多かったのは根室で、9ハプロタイプ見られ (E, H, I, J, K, L, M, N, O & P)、地域特異的ハプロタイプ数も根室で最も多かった (I, J, K & L) (表(1)-1-2)。

ハプロタイプMとNは、16種類の中で最も高い頻度で表れ、Mが56個体、Nが37個体とそれぞれ全体の31%と21%を占めた。さらに、これらハプロタイプの頻度を4地域で比較してみると、地域で頻度に違いが見られ、ハプロタイプNは襟裳地域では2個体からしか見られなかった。これに対し、厚岸 (n=20)、浜中 (n=13)、そして根室 (n=21) では比較的高い頻度で見られた。一方、ハプロタイプMは根室で最も頻度が高く (n=17)、その他の地域では10個体以下からしか見られなかった。

襟裳地域では、多くの個体がハプロタイプAだったが (50個体中35個体)、他の地域でこのハプロタイプは4個体からしか見られなかった。具体的には、厚岸で49個体中3個体、浜中で29個体中1個体、そして根室ではハプロタイプAは検出されなかった。また、襟裳以外の道東の3地域：厚岸・浜中・根室では、ハプロタイプMとNの頻度が最も高かった。

1) 塩基多様度

厚岸、浜中、根室の3地域は、ハプロタイプ多様度が高く塩基多様度が低いという同じ傾向を示した (それぞれ $H=0.738, 0.719$ と 0.712 。 $\pi=0.0057, 0.0056$ と 0.0050)。一方で、襟裳は両指標ともに低い値を示した ($H=0.501, \pi=0.0054$) (表(1)-1-3)。

表(1)-1-3 北海道のゼニガタアザラシの各遺伝的多様度指数、各地域のサンプル数 (Ns)、ハプロタイプ数 (Nh) および括弧内に地域特異的ハプロタイプ数、ハプロタイプ多様度 (H) \pm SD と塩基多様度 (π) \pm SDを示した

Fst	襟裳	厚岸	浜中	根室
襟裳		***	***	***
厚岸	0.30031			**
浜中	0.36686	-0.01326		
根室	0.47729	0.07259	0.01749	

2) 個体群分化

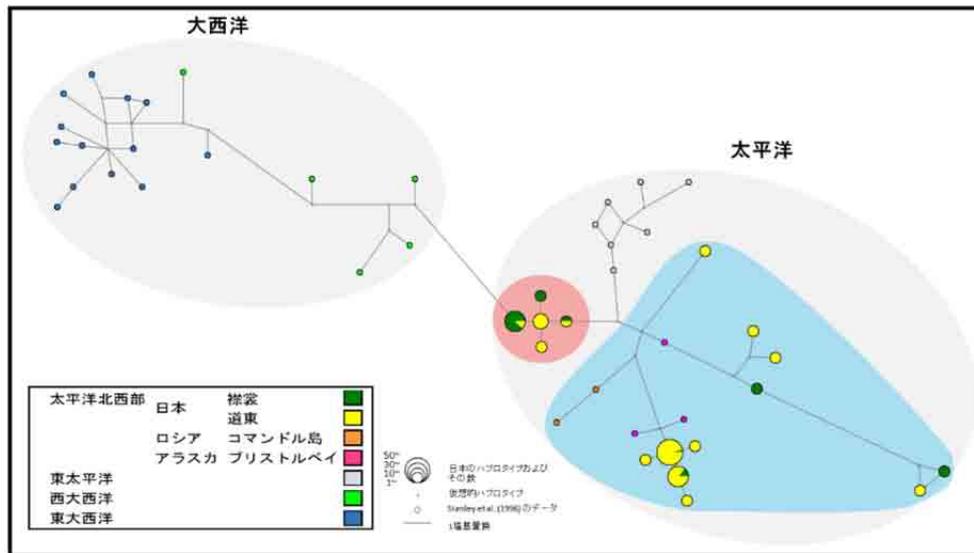
遺伝的分化係数Fstは、襟裳とそれ以外の地域 ($p < 0.001$) および厚岸と根室間 ($p < 0.01$) で有意に異なった。しかしながら、遺伝距離は厚岸と根室間に比べて、襟裳とそれ以外の地域で高かった ($F_{st} > 0.3$)。これらのことから、襟裳とその他の地域は遺伝的に大きく異なることが示唆された (表(1)-1-4)。

表(1)-1-4 北海道集団のペアワイズ Fst 値。対角線より上が有意水準、下がFst値を示す

	Ns	Nh (unique)	H	SD	π	SD	Tajima's D	p	Fu's F_s	p
襟裳	50	7(3)	0.501 \pm 0.083		0.0054 \pm 0.0031		-0.26	0.448	3.14	0.897
厚岸	49	7(2)	0.738 \pm 0.039		0.0057 \pm 0.0032		1.53	0.961	3.32	0.901
浜中	29	6(1)	0.719 \pm 0.056		0.0056 \pm 0.0032		-0.23	0.468	2.90	0.881
根室	59	9(4)	0.712 \pm 0.045		0.0050 \pm 0.0029		-0.69	0.276	1.01	0.729

3) ハプロタイプネットワーク

太平洋ゼニガタアザラシは大きく分けて3つのグループに分類された。1つ目は大西洋に直結し日本のみを含むグループ、2つ目はそこから東太平洋およびサンフランシスコ沿岸に枝分かれするグループ、そして3つ目は日本及びロシアの太平洋の北西部とアラスカのプリストル湾を含むグループに分かれた (図(1)-1-2)。

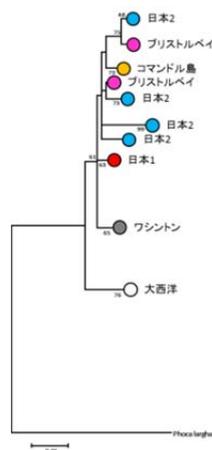


図(1)-1-2 太平洋および大西洋ゼニガタアザラシのmtDNA調節領域を用いたハプロタイプネットワーク図。小さい白丸は、今回検出されなかった仮想的ハプロタイプを示している。日本産のハプロタイプは太線の円で示し、円の大きさは観察されたハプロタイプ数に比例する。日本以外のデータはStanleyら²⁾のものを引用した

4) 系統樹

MEGA 6²⁰⁾を使用して、最尤法による系統樹推定を行った。最適な塩基置換モデルは、Bayesian Information Criterion (BIC) の最も低かったK2+G+I モデルを使用した。

太平洋ゼニガタアザラシは、地理的分布に一致しないワシントン、日本1、そして日本ープリストル湾ーコマンドル島の3つの系統に分かれ、これらは多分岐である事が示された(図(1)-1-3)。日本産ゼニガタアザラシの1つは日本のハプロタイプのみを含んでいた(日本1)。もう一方は、アラスカのプリストル湾とコマンドル島のハプロタイプと単系統を組んだことから、日本のゼニガタアザラシは側系統であることを示した(図(1)-1-3)。

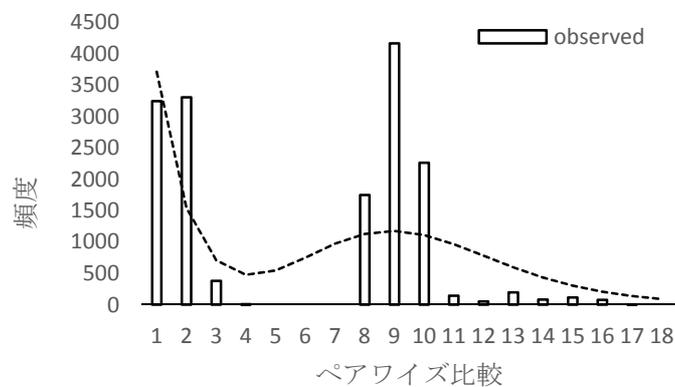


図(1)-1-3 mtDNAの調節領域をもとにML法で作成した系統樹

外群としてゴマフアザラシ (*Phoca largha*) を使用。日本以外のデータはStanleyら²⁾を用いた。ブートストラップ値が50< だったもののみ示した。

5) 歴史的な個体群動態の推定

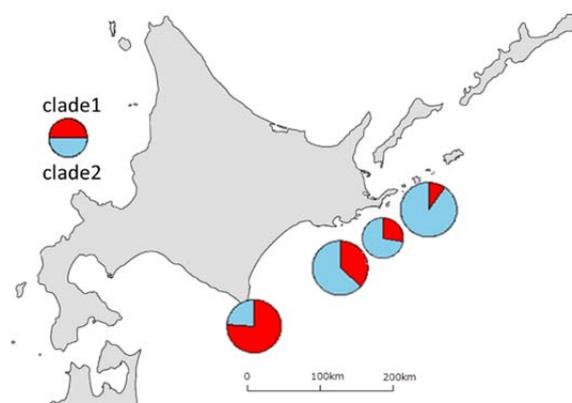
過去の個体群動態の推定を行うため、Arlequin version 3.5.1.2¹⁷⁾を用いてミスマッチ解析を行った。日本のゼニガタアザラシは、過去に集団の2次接触を示す2山モデルと一致することが明らかになった (図(1)-1-4)。さらに、SSDとHrag両検定とも、spatial distribution modelに当てはまったことから (SSD: $P=0.1$; Hrag: $p=0.42$)、日本集団は過去に個体群が増加した後にボトルネックが起き、その後異なる集団の移入があったことを示した。



図(1)-1-4 北海道のゼニガタアザラシの主要繁殖場陸上を含む4地域のミスマッチ分布

6) クレードの地域ごとの割合

各クレードに属するハプロタイプの割合は地域で傾向に違いが見られ (図(1)-1-5)、襟裳でクレード1に属するハプロタイプが多く、反対にクレード2に属するハプロタイプは根室地域が多かった。また、それぞれのクレードの割合は、北もしくは東部へ行くに従って徐々に減少していた。



図(1)-1-5 ハプロタイプネットワークで検出された各クレードの地域毎の割合

(2) 北海道内における集団遺伝構造

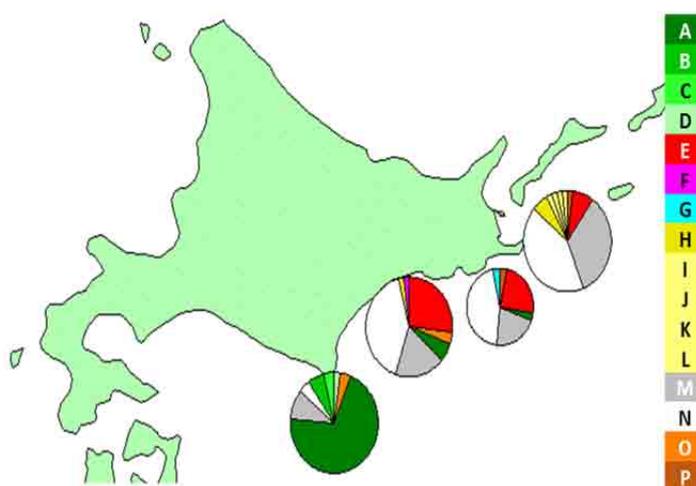
1) ミトコンドリアDNA

a. ミトコンドリアDNAの調節領域を元にした集団遺伝

サンプルには、北海道のゼニガタアザラシの主要繁殖上陸場を含む4地域から計178個体を使用した（襟裳n=50（オス=25，メス=25）；厚岸n=49（オス=24，メス=25）；浜中n=39（オス=11，メス=18）；根室n=50（オス=25，メス=25）。使用した配列はmtDNAの調節領域の始まりから719塩基とした。その結果、32の変異サイト（表(1)-2-1）、16のハプロタイプが検出され（表(1)-2-2）、検出されたハプロタイプの種類及び数は地域によって異なる傾向を示した（図(1)-2-2）。

表(1)-2-1 ミトコンドリアDNAおよびマイクロサテライトから算出した北海道のゼニガタアザラシの遺伝的多様度。ミトコンドリアDNAについては、各地域のサンプル数(Ns)、ハプロタイプ数(Nh)および地域特異的ハプロタイプ数(unique)、ハプロタイプ多様度(H) ±SDと塩基多様度(π) ±SDを示した。マイクロサテライトについてはサンプル数(N)、平均対立遺伝指数(MNA)、アリルリッチネス(AR)、ヘテロ接合度の観測値(Ho)、ヘテロ接合度の予測値、および近交係数(FIS)を示した

	Mitochondrial DNA					マイクロサテライト						
	Ns	Nh (unique)	H	SD	π	SD	N	MNA	AR	Ho	He	FIS
襟裳	50	7(3)	0.501 ± 0.083		0.0054 ± 0.0031		25	3.44	3.44	0.502	0.499	-0.001
厚岸	49	7(2)	0.738 ± 0.039		0.0057 ± 0.0032		25	3.78	3.78	0.520	0.520	-0.006
浜中	29	6(1)	0.719 ± 0.056		0.0056 ± 0.0032		25	3.22	3.22	0.493	0.458	-0.079
根室	59	9(4)	0.712 ± 0.045		0.0050 ± 0.0029		27	3.11	3.09	0.461	0.452	-0.021



図(1)-2-2 主要繁殖上陸場を含む4地域における各ハプロタイプの割合

襟裳地域では70%の個体がハプロタイプAを持ち、それ以外のハプロタイプB, C, D, M, N およびOは10%以下で、そのうちの3つは (B, C & D)、襟裳地域のみで見られた。

厚岸地域ではハプロタイプN が最も多くみられ、全体の41%がこのハプロタイプだった。 次い

で多かったのはハプロタイプE (27%)とM (18%)で、その他ハプロタイプA, F, H, および O は5個体以下で検出された。厚岸地域における地域特異的ハプロタイプは1つのみだった (F)。

浜中地域は厚岸地域と似た傾向を示し、最も多く見られたハプロタイプはN (45%)で、次いでハプロタイプE (24%)とM (21%)が多かった。また、浜中も地域特異的ハプロタイプが1つのみで (G)、その他に検出された2つのハプロタイプは全体の3%だった。

根室地域もハプロタイプN (42%)とM (34%)が多く見られたが、ハプロタイプ数 (9ハプロタイプ) および地域特異的ハプロタイプ数 (H, I, J, K & L) は根室で最も多く、他の地域と異なる傾向を示した。

全178サンプル中ハプロタイプNが最も多く見られ (31%)、厚岸 (41%)、浜中 (45%) および根室 (42%) で最も頻度が高かった。反対に襟裳地域では、ハプロタイプNは全体の4%しかなかった。ハプロタイプMも全体の中で3番目に高い割合を占め (21%)、襟裳以外の3地域での頻度も高かった。ハプロタイプEは厚岸、浜中、根室と襟裳以外の地域で検出され、その割合は厚岸 (27%) および浜中 (24%) で高かった。

b. 遺伝的多様度

道東地域 (厚岸、浜中、根室) 全てでハプロタイプ多様度が高く、塩基多様度が低い同様の傾向を示した (それぞれ $H = 0.738, 0.719$ と $0.712, \pi = 0.0057, 0.0056$ と 0.0050)。ただし、西部北太平洋で最南端の生息域である襟裳集団はどちらの指標も低い値を示した ($H = 0.501, \pi = 0.0054$) (表(1)-2-1)。

c. 集団の遺伝的分化

全集団の F_{st} 値は 0.27240 ($p < 0.001$) と有意に大きく、集団の分化が示唆された。ペアワイズ F_{st} では、襟裳とそれ以外の地域 (厚岸、浜中および根室 ($p < 0.001$)) と根室と厚岸 ($p < 0.01$) で有意に異なる集団であることが示唆された。また、遺伝的距離は襟裳とそれ以外の地域の分化を示した ($F_{st} > 0.3$) (表(1)-2-2)。

表(1)-2-2 北海道のゼニガタアザランの主要繁殖上陸場を含む4地域でのペアワイズ R_{st} (上) と F_{st} (下) の値

R_{st}/F_{st}	襟裳	厚岸	浜中	根室
襟裳		0.08924***	0.08928***	0.08185***
厚岸	0.30031***		-0.00511	0.01314
浜中	0.36686***	-0.01326		-0.00672
根室	0.47729***	0.07259**	0.01749	

2) マイクロサテライト

a. サンプルとデータ

マイクロサテライト解析には、繁殖上陸場を含む4地域の計102個体を使用した襟裳=25 (オス=11、メス=14); 厚岸=25 (オス=13、メス=12); 浜中=25 (オス=15、メス=10); 根室=27 (オス=18、メス=11)。MICRO-CHECKER によりヌルアリアルおよびスコアリングエラーの検証をしたが、検出されなかったため、9遺伝子座すべてを解析に使用した。

b. 遺伝的多様度

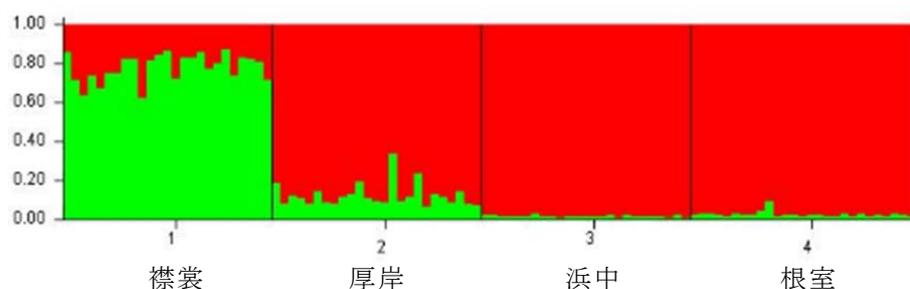
ハーディーワインベルグ平衡 (HWE) および連鎖不平衡からの逸脱は、各遺伝子座ともに検出されなかった。

平均対立遺伝子数 (MNA) およびアليلリッチネス (AR) は、ともに最小が根室の3.09と最高が襟裳の 3.44で地域による違いは見られなかった。さらに、ヘテロ接合度の予測値 (He) も地域間で大きな差は見られなかったことから、特にヘテロ接合度の数が低い地域はないことが示唆された (表(2)-1-1)。近郊係数 (FIS) は-0.026 (襟裳と浜中) から0.054 (根室) で有意差は見られず (>0.05)、またどの地域も同様に0に近い値を示した (表(1)-2-1)。このことから、4地域それぞれが自由交配する集団であると推定された。

c. 集団の遺伝的分化

ペアワイズRst値は、襟裳とそれ以外の道東地域 (厚岸、浜中、根室) で有意に異なった ($p < 0.05$) が、道東の地域間で差異は見られなかった (表(1)-2-2)。

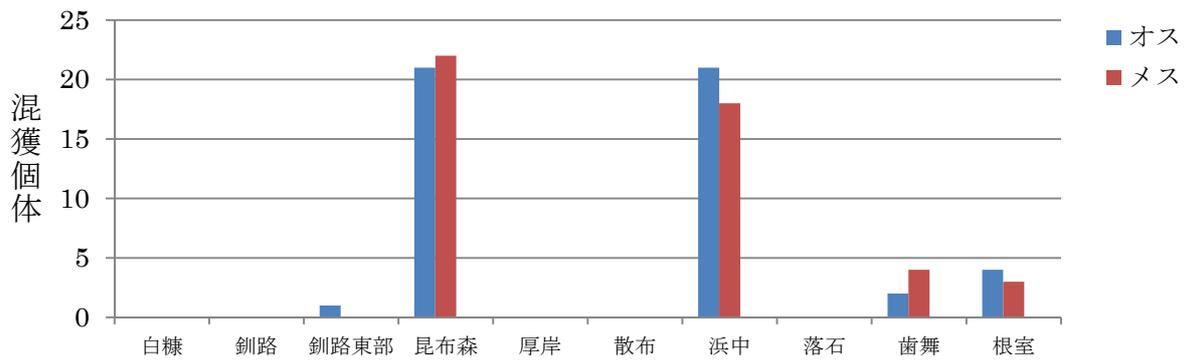
さらに、STRUCTUREでは集団数が2で ΔK が最も高く²⁸⁾Rstと同様に、襟裳と道東で遺伝的分化があることを示した (図(1)-2-3)。



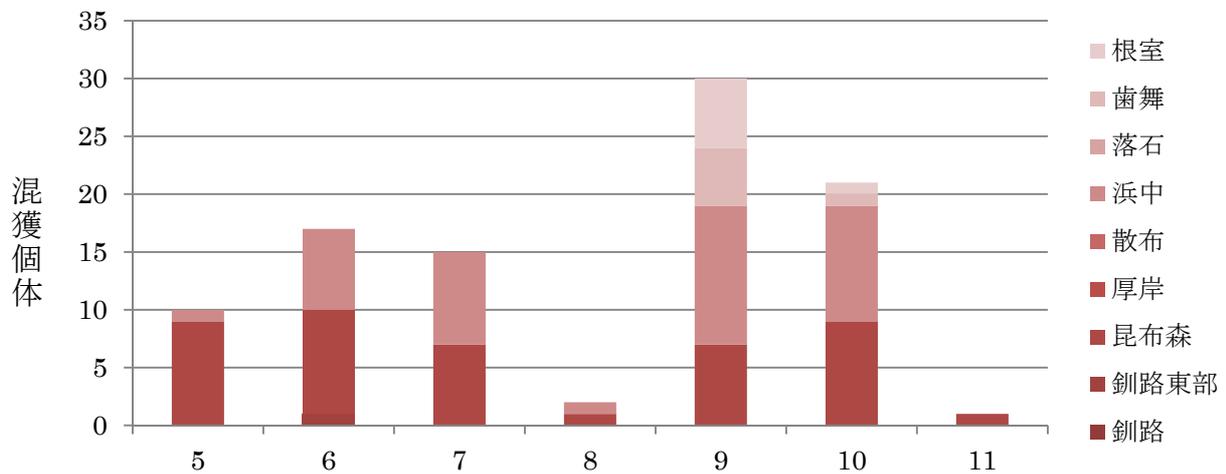
図(1)-2-3 STRUCTURE³¹⁾を用いて推定された北海道の主要繁殖上陸場を含む4地域のゼニガタアザラシの集団数。横軸は各地域の個体を表し、縦軸はそれぞれの個体がどのクラスターに分類されたかを示す。 ΔK は2の時に最大で、集団は襟裳と厚岸を境に大きく異なる事を示した

(3) 北海道本土における混獲個体の回収および発信機装着調査

厚岸地域から浜中地域に位置する白糠漁協から根室漁協においては、5月15日～11月の春定置網および秋定置網で、2013年～2016年の期間、合計96個体のゼニガタアザラシが回収できた。地域ごとの回収頭数に図(1)-3-2に示し、月別の地域別の混獲個体数を図(1)-3-3に示した。その結果、厚岸地域から浜中地域では、幼獣個体のみの混獲であったが、根室地域および納沙布地域では、幼獣の割合は高いものの、亜成獣や成獣の混獲も見られた。また、春には昆布森での混獲が多く、秋になるにつれ、浜中・根室での混獲が増えることが示された。



図(1)-3-2 地域別混獲個体数



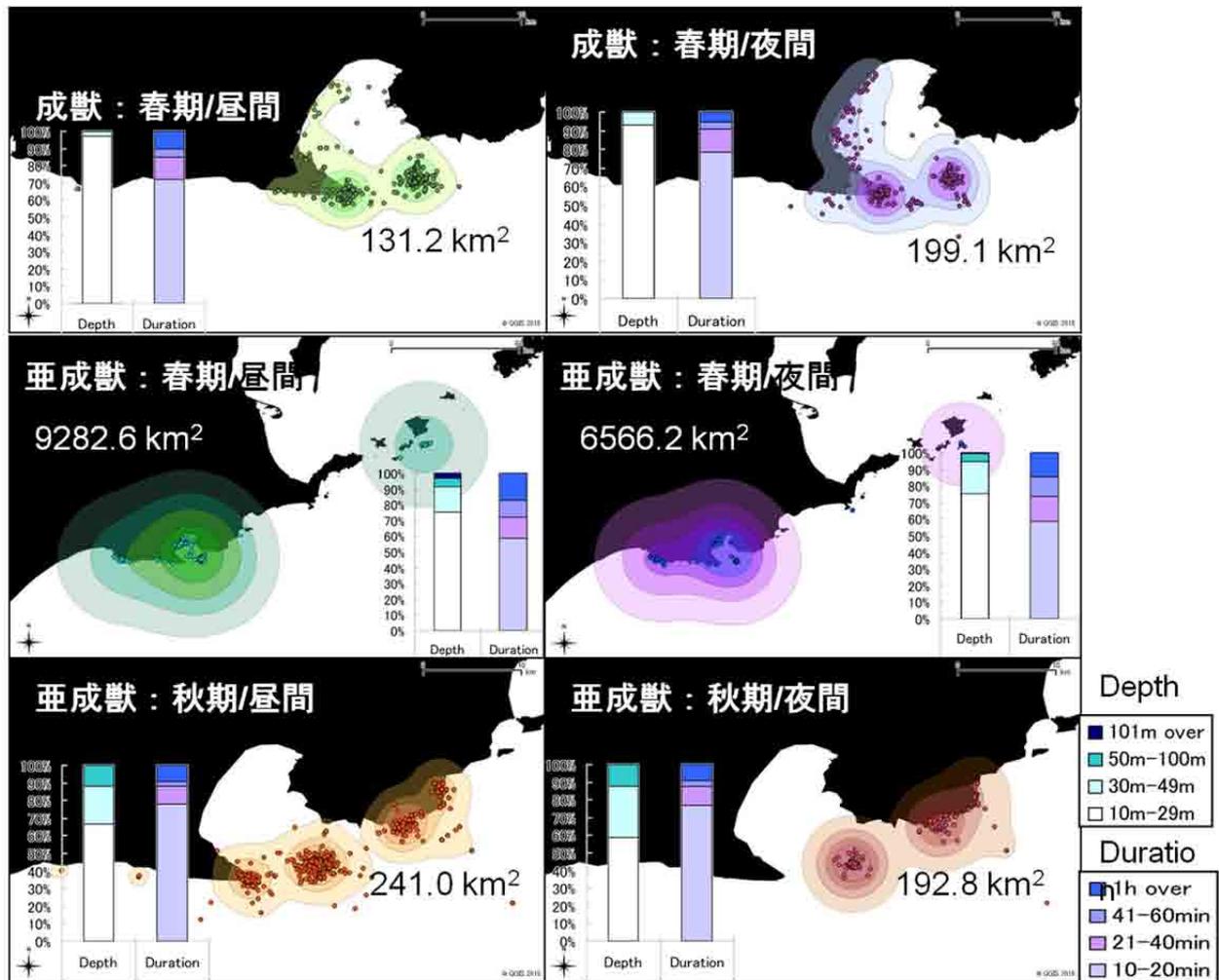
図(1)-3-3 月別・地域別混獲個体数

さらに、8個体の生きた個体に衛星発信機を装着することができた。8個体の成獣・亜成獣の行動追跡出来た期間を図(1)-3-4に示す。個体数が少ないこと、個体によって追跡出来た時期に違いがあることから、成獣と亜成獣別に春の繁殖期（換毛期前）と秋（換毛期後）および日中と夜間にわけて解析を行った。



図(1)-3-4 発信機装着個体の成獣・亜成獣別とその追跡期間

その結果、成獣より亜成獣の方が行動圏は広く、亜成獣は秋よりも春の方が行動圏は広く、日中の方が夜間よりも行動圏が広いことが明かになった。さらに、秋には春よりも東側の地域を利用していることが示された。潜水様式は、成獣は浅く短く、一方で亜成獣は深く長い潜水をしていることが示された（図(1)-3-4）。



図(1)-3-4 成獣・亜成獣別、春期・秋期、昼間・夜間別の行動圏と潜水深度

考察

(1) 歴史的背景

1) 日本産ゼニガタアザラシの分岐の歴史

Median-joining network (図(1)-1-2) および系統樹 (図(1)-1-3) の解析結果から、日本集団は側系統の関係を持つ2つの系統に分かれるであることが示唆された。これら2つのクレードのうち、日本1は日本のハプロタイプのみで構成されているのに対し、日本2のクレードはカナダのブリストル湾およびロシアのコマンドル島と単系統を組んだことから、ゼニガタアザラシは日本には複数回にわたって移入してきたと考えられた。

さらに、ミスマッチ解析では2山分布を示して spatial distribution model に当てはまったことから、

日本へは2度の侵入があったという既往の知見を支持する結果となった。

太平洋ゼニガタアザラシの系統研究では、これまで移入経路について3つの異なる仮説があった。1つ目は東から西へと分布を広げたとする説、2つ目は東と西両方に初期に移入したとする説、そして3つ目は太平洋の西部から東部へと広がったとする説であり、日本のゼニガタアザラシは太平洋で最初もしくは最後に分岐したかどうかで混乱が生じていた。本研究から、日本のゼニガタアザラシには2つの系統があり、一方は最初に日本に進入し、もう一方は後に移入してきたことが示唆されたことから、先行研究の結果の不一致は、異なる由来を持つ系統のそれぞれ一方を反映した結果と考えられた。

2) 集団の分化と最終氷期との関係

最終氷期の時代、太平洋ゼニガタアザラシはベーリング海峡の封鎖および北極における海氷の形成により大西洋集団と分断され²⁾、この時代は太平洋北部のほとんどの地域は氷で覆われ、海氷は襟裳付近まで南下したと考えられている³²⁾。同時に、太平洋には氷の張らない“レフュージア”（避難場所）と呼ばれる地域が、千島列島からコマンドル島まで（Eurasia）、アリューシャン列島、現在のベーリング海峡に存在した大陸の沿岸（Beringia）、およびアラスカ湾及び北アメリカの沿岸³²⁾に存在し、この時代の生き物はこれらのレフュージアで生き残ったと言われている（例^{32, 33, 34)}）。その証拠として、レフュージアごとの集団の遺伝的分化がトド^{35, 36)}、ラッコ³⁷⁾、トナカイ³³⁾、それにゼニガタアザラシの亜種で東太平洋亜種など^{4, 12, 13, 14, 38)}、多数の海棲および陸棲ほ乳類で知られている。

日本のレフュージアの存在は、遡河性魚類のシロザケ (*Onchorhynchus keta*) で示唆されている。シロザケは北太平洋に広く分布し、太平洋ゼニガタアザラシと似た分布域を持ち、遺伝解析では日本集団が太平洋の中でも特質的な集団であるとされている^{39, 40, 41)}。近隣の韓国やロシアの集団とも異なり遺伝的多様度も高いことから、過去に日本付近に比較的規模の大きなレフュージアが存在していたと考えられている。さらに、現在の日本のゼニガタアザラシの分布域である北海道の地層からは、本種の化石が発見されていないにも関わらず、日本の本州最北端である青森県の更新世の地層からは化石が発見されている⁴²⁾。このことから、日本のレフュージアは北海道以南にも存在したことが想定され、最初に日本に移入したゼニガタアザラシ集団は、更新世の時代には北海道以南に生息していたと推定される。日本1の集団が日本のハプロタイプのみで構成され、長期間の集団の孤立を示唆していたことから（図(1)-3）、これらは更新世の時代に北海道付近に氷が形成される前からこの地域に残っていた集団である可能性がある。一方で、日本2の集団はブリストル湾およびコマンドル島の集団と単系統を組むことから、これらの系統由来は太平洋北部であり、北海道には海氷が消失した後に移入してきたことが考えられた。

日本1と日本2の割合を地域で比較してみたところ、襟裳で日本1の系統が多い一方で、根室で日本2の系統が多かった（図(1)-1-4）。また、これら系統の割合は、それぞれの地域に近づくのに従い移行していた（図(1)-1-5）。これは、海氷が消失した後に日本1の系統が青森から北上したのに対し、日本2の集団は太平洋北部から南下してきたことにより、それぞれの系統の移入の動きを反映している可能性がある。

日本1の系統が多い襟裳では、遺伝的多様度はハプロタイプ多様度・塩基多様度両指標とも低いことから（表(1)-1-3）過去に重度のボトルネックを受けた後集団が回復していないと推定された。これは、最終氷期における集団の孤立が関係していると考えられた。

日本は西太平洋ゼニガタアザラシの分布域の最南端であり、レフュージアは1つのみもしくは少なくとも太平洋北部より少ない数が存在していたことが示唆される。このことから、現在の襟裳集団の遺伝的多様性が極度に低いのは、これら歴史的イベントの影響と考えられた。

一方、道東における3地域の集団全てはハプロタイプ多様度が高く、塩基多様度が低い傾向を示したことから(表(1)-1-3)、これら集団は過去にボトルネックを経験後に一斉放散した集団であると推定された。日本と比べて、アリューシャン列島を中心に太平洋北部集団にはいくつかのレフュージアが存在していたため、海氷の消失と共に近隣するレフュージア同士の個体は交雑し、太平洋北部の集団は遺伝的多様および集団サイズ共に日本集団よりも規模が大きかったために、一斉放散したと考えられる。そのため、道東集団もまた歴史的イベントが現在の集団遺伝に反映されており、襟裳と道東地域での違いを生んだと考えられた。

このように、日本のゼニガタアザラシは他の地域のゼニガタアザラシと比較して局所的な分布域を持つにもかかわらず、西太平洋の中で生息域最南端という特殊な環境に置かれていることで、歴史的に異なる背景を持つ独自の分化をしたことが示唆された。

(2) 北海道内における集団遺伝構造

mtDNA とマイクロサテライト両マーカーともに、北海道のゼニガタアザラシは、襟裳と厚岸-浜中-根室の2つの集団に分かれることを示唆した。

アラスカのゼニガタアザラシでは、沿岸527km間でミトコンドリアDNAでは10集団に分かれたにもかかわらず、マイクロサテライトでは1集団を示した^{3, 43, 44}。

オスに偏った遺伝的浮動は、陸上及び海棲ほ乳類で一般的であり、複数種で報告されている(オランウータン、バイソン、ヒグマ^{45, 46, 47}、マナティー⁴⁸)。これはメスの定住性が高いのに対し、オスは行動圏及び縄張りを広く持つことで多数のメスと交尾ができるためと考えられている。

日本のゼニガタアザラシは、襟裳と道東の厚岸では直線距離で150kmしか離れていないにもかかわらず、母系遺伝するmtDNAマーカーと両親から遺伝するマイクロサテライトマーカー両方で同様の遺伝的分化を示した。これは、北海道のゼニガタアザラシは、オスメスともに道南と道東では行き来がないことを示唆している。一般的に、ゼニガタアザラシの最大移動距離は300から500kmの間で、上陸場が沿岸に連続して存在する場合は集団同士の差異が小さくなる¹⁴。しかしながら、北海道で衛星発信機を使用した研究では、襟裳と厚岸地域のアザラシは両地域の移動がなく、厚岸においては3か月間上陸場から10km範囲内で採餌していたことが報告されている。さらに、同じオス個体が周年同じ上陸場で観察されており、メスについては同じ上陸場に繁殖期にのみ戻ってくるということが報告されている⁹。

一般に、ゼニガタアザラシは雌雄で定住性が異なると言われている。しかし、ワシントンの一部の集団やバルト海の集団では、本研究結果と同様に2地域間の距離が小さいにも関わらずmtDNAとマイクロサテライト両マーカーで、同じ遺伝的分化が見られることが報告されている(バルト海:180kmとワシントン州:60km)。さらに、これら集団は日本と同様に最終氷期の間に集団の孤立を経験し^{14, 16}、加えて過去100年間の間に大規模な個体数の激減を経験しており^{14, 15, 49, 50}、集団数は未だ回復していない。

これら狭い範囲で集団の分化を見せた地域は、最終氷期の時代氷による集団の孤立およびそれに伴うボトルネックを経験し、近年集団の激減を経験している点で共通している。しかも、現在

まで何らかの要因で集団数の抑制を受け続け、環境収容力の最大まで増加していないことが考えられる。一時的な大量死による集団サイズの激減は、個体群内の遺伝的変動を引き起こしやすくなり、長期間それが続くと進化につながる可能性がある²⁾。ワシントンのプロジェクトサウンドとフードカナルでは、集団は互いに遺伝的に分化しているだけでなく出産時期も事なることが報告されており^{12, 13, 51)}、長期間の集団の孤立の結果が種分化へ繋がる例なのかもしれない。

日本のゼニガタアザラシは、1970年代に個体数の激減を経験したとされているが、今回の結果からは、現在の集団に影響があったかは特定できなかった。ハーディーワインベルグ平衡からの逸脱は消えやすく、数世代で失ってしまうことと、日本におけるゼニガタアザラシの個体数の減少が40年以上前に起こっていることから、個体数減少の影響は検出されなかった可能性が考えられる。あるいは、個体数減少はこれまで報告されているほど大きくなく、その影響自体は小さかったかもしれない。また、1970年代以前はゼニガタアザラシの個体数に関するデータは残っていないため、当時の個体数推定値が過大評価であった可能性もある⁵²⁾。

結論として、日本のゼニガタアザラシは南と東で異なる集団であり、両集団はそれぞれ独立した個体群として機能していることが示唆された。このため、今後日本のゼニガタアザラシ個体群については、襟裳と道東（厚岸、浜中、根室）の2集団に分けて保護・管理をすることが適切と判断された。

（3）北海道本土における混獲個体の回収および発信機装着調査

混獲個体の回収場所や時期の結果および発信機装着個体の行動圏の結果から、ゼニガタアザラシは秋になるとより太平洋側の東側を利用すること、また個体の行動範囲は、成獣よりも亜成獣の方が広いものの、いずれも数十kmと非常に狭いことが明らかになった。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

これまでは、ゼニガタアザラシの集団遺伝構造解析はmtDNAのみでしか行われていない。本研究では、mtDNAおよびマイクロサテライトの両者を利用して遺伝解析した結果、襟裳とそれ以外の地域で集団が異なることを始めて明らかにすることができた。また、ゼニガタアザラシに発信機を装着して移動範囲を調べた結果、移動範囲は成長段階ごとに異なるが、数十kmと非常に狭いことを明らかにした。これは、北海道のゼニガタアザラシは、雌雄ともに襟裳とそれ以外の地域で往来が少ないことを示している。そのため、今後我が国のゼニガタアザラシの保護・管理には、襟裳と道東の2集団に分けて行うことが適切であることを、初めて提唱（提案）した。

さらに、最終氷期、氷の影響で北海道に初期に定着したゼニガタアザラシ集団は、他地域の集団と孤立したことが示唆された。日本1を多く含む襟裳集団は、他地域の個体と遺伝的に異なることから、祖先は最終氷期前に入ったと考えられた。一方で、道東に多い日本2の集団は、より北太平洋のゼニガタアザラシと遺伝的に近い関係にあることから、最終氷期後、海氷が消失したあとに北海道に移入した後期定着集団だと考えられた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

環境省による「平成 28 年度環境省えりも地域ゼニガタアザラシ管理事業実施計画」の検討において、以下の項目に関して調査結果を提示し、計画案の作成に貢献した。

- ・ゼニガタアザラシの個体群構造解析の結果：「えりもの個体群は閉鎖性が高い」情報を提示した（同実施計画案の p4 に記載。）

<行政が活用することが見込まれる成果>

環境省による平成 29 年度以降の「環境省えりも地域ゼニガタアザラシ管理事業実施計画」の検討において、以下の項目に関して調査結果をもとに、モニタリング案の作成に貢献した。

- ・ゼニガタアザラシの個体群構造解析の結果：「えりもの個体群は閉鎖性が高い」情報の上で捕獲個体の構成からモニタリング案を作成した。

6. 国際共同研究等の状況

「日本国とロシア連邦の隣接地域における生態系の研究、保全並びにその合理的及び持続可能な利用の分野に関する日本国政府とロシア連邦政府との間の協力プログラム」において、北方四島を含む日露の隣接地域における生態系の保全及び持続可能な利用に関する協力を実施した。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) M.MIZUNO, M.KOBAYASHI, T. SASAKI, T. HANEDA and T. MASUBUCHI: Vth International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan, 2015
“Mitochondrial DNA of Japanese Harbour Seal (*Phoca vitulina stejnegeri*) reveals their unique colonisation history in Pacific”

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1)ゼニガタアザラシ研究グループ勉強会「最近のアザラシ調査でわかったきたこと！～えりもを

中心に〜」(主催:ゼニガタアザラシ研究グループ、2015年7月3日、帯広畜産大学講義室、観客約30名)にて講演

- 2) 公開講座「北海道・オホーツク学への誘い(Ⅱ)オホーツク海の哺乳類」(主催:東京農業大学、2015年10月31日、銀座アルビオン、観客約30名)にて講演
- 3) 野生動物講演会「“なぜ今ゼニガタアザラシなのか?—絶滅危惧種からはずれたワケと漁業の問題—”ゼニガタアザラシの生態と被害防除」(主催:公益社団法人 北海道獣医師会、2016年3月19日、札幌市円山動物園、観客約50名)にて講演

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) Higdon JW, Bininda-Emonds ORP, Beck RMD, Ferguson SH. 2007. Phylogeny and divergence of the pinnipeds (Carnivora: Mammalia) assessed using a multigene dataset. *BMC Evol. Biol.* [Internet] 7:216. Available from:<http://www.biomedcentral.com/1471-2148/7/216>
- 2) Stanley HF, Casey S, Carnahan JM, Goodman S, Harwood J, Wayne RK. 1996. Worldwide patterns of mitochondrial DNA differentiation in the harbor seal (*Phoca vitulina*). *Mol. Biol. Evol.* 13:368–382.
- 3) Burg TM, Trites AW, Smith MJ. 1999. Mitochondrial and microsatellite DNA analyses of harbour seal population structure in the northeast Pacific Ocean. *Can. J. Zool.* 77:930–943.
- 4) Westlake R, O’Corry-Crowe G. 2002. Macrogeographic structure and patterns of genetic diversity in harbor seals (*Phoca vitulina*) from Alaska to Japan. *J. Mammal.* [Internet] 83:1111–1126. Available from: <http://www.jstor.org/stable/1383517>
- 5) Nakagawa E, Kobayashi M, Suzuki M, Tsubota T. 2010. Genetic variation in the harbor seal (*Phoca vitulina*) and spotted seal (*Phoca largha*) around Hokkaido, Japan, based on mitochondrial cytochrome b sequences. *Zoolog. Sci.* 27:263–268.
- 6) Shaughnessy PD, Fay FH. 1977. A review of taxonomy and nomenclature of North Pacific Harbor seals. *J. Zool.* [Internet] 182:385–419. Available from: <Go to ISI>://A1977DP96400008
- 7) Kobayashi Y, Kariya T, Chishima J, Fujii K, Wada K, Baba S, Ito T, Nakaoka T, Kawashima M, Saito S, et al. 2014. Population trends of the Kuril harbour seal *Phoca vitulina stejnegeri* from 1974 to 2010 in southeastern Hokkaido, Japan. *Endanger. Species Res.* [Internet]:61–72. Available from: <http://kx3ry9kp2c.scholar.serialssolutions.com/?sid=google&auinit=Y&aulast=Kobayashi&atitle=Population+trends+of+the+Kuril+harbour+seal+Phoca+vitulina+stejnegeri+from+1974+to+2010+in+southeastern+Hokkaido,+Japan&title=Endangered+species+research&volume=24>
- 8) Kobayashi M. 2009. *Phoca vitulina* Linnaeus, 1758. In: Ohdachi SD, Ishibashi Y, Iwasa MA, Saitoh T, editors. *The Wild Mammals of Japan*. 1st ed. Shimodachiuri Ogawa Higashi, Kamigyo-ku, Kyoto, 602-8048, Japan: SHOUKADOH Book Sellers and the Mammalogical Society of Japan. p. 272–277.

Available from:

http://www.amazon.co.jp/The-Wild-Mammals-Japan-Ohdachi/dp/4879746266/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1404363816&sr=8-1&keywords=the+wild+mammals+of+japan

- 9) Niizuma A. 1982. カリフォルニアの海獣たちとゼニガタアザラシの繁殖システム. *Mammal Soc. Japan* [Internet] 22:115–120. Available from: <http://ci.nii.ac.jp/naid/130000884672/>
- 10) Herreman JK, Blundell GM, Ben-David M. 2008. False sex-linked microsatellite primer for *Phoca vitulina*. *Mar. Mammal Sci.* [Internet] 24:411–413. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1748-7692.2008.00186.x>
- 11) Goodman SJ. 1997. Dinucleotide repeat polymorphisms at seven anonymous microsatellite loci cloned from the European Harbour Seal (*Phoca vitulina vitulina*). *Anim. Genet.* [Internet] 28:310–311. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2052.1997.tb00011.x>
- 12) Huber HR, Jeffries SJ, Lambourn DM, Dickerson BR. 2010. Population substructure of harbor seals (*Phoca vitulina richardsi*) in Washington State using mtDNA. *Can. J. Zool.* [Internet] 88:280–288. Available from: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/Z09-141>
- 13) Huber HR, Dickerson BR, Jeffries SJ, Lambourn DM. 2012. Genetic analysis of Washington State harbor seals (*Phoca vitulina richardii*) using microsatellites. *Can. J. Zool.* 90:1361–1369.
- 14) Goodman SJ. 1998. Patterns of extensive genetic differentiation and variation among European harbor seals (*Phoca vitulina vitulina*) revealed using microsatellite DNA polymorphisms. *Mol. Biol. Evol.* [Internet] 15:104–118. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9491609>
- 15) Newby TC. 1973. Changes in the Washington State Harbor Seal Population, 1942-1972. *The Murrelet* 54:4–6.
- 16) Lamont MM, Vida JT, Harvey JT, Jeffries S, Brown R, Huber HH, DeLong R, Thomas WK. 1996. Genetic substructure of the Pacific harbour seal (*Phoca vitulina richardsi*) off Washington, Oregon, and California. *Mar. Mammal Sci.* [Internet] 12:402–413. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-7692.1996.tb00592.x>
- 17) Excoffier L, Smouse PE, Quattro JM. 1992. Analysis of Molecular Variance Inferred From Metric Distances Among DNA Haplotypes: Application to Human Mitochondrial DNA Restriction Data. *Genetics* [Internet] 131:479–491. Available from: <http://www.genetics.org/content/131/2/479.short>
- 18) Bandelt HJ, Forster P, Rohl A. 1999. Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Mol. Biol. Evol.* [Internet] 16:37–48. Available from: <http://mbe.oxfordjournals.org/content/16/1/37>
- 19) Green MR, Sambrook J. 2012. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. Fourth Edi. (Cuddihy J, Janssen K, Zierler M, editors.). Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, New York: John Inglis
- 20) Tamura K, Stecher G, Peterson D, Filipowski A, Kumar S. 2013. MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0. *Mol. Biol. Evol.* [Internet] 30:2725–2729. Available from: <http://mbe.oxfordjournals.org/cgi/content/long/30/12/2725>
- 21) Coltman DW, Bowen WD, Wright JM. 1996. PCR primers for harbour seal (*Phoca vitulina concolour*) microsatellites amplify polymorphic loci in other pinniped species. *Mol. Ecol.* [Internet] 5:161–163. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9147692>

- 22) Gemmell NJ, Allen PJ, Goodman SJ, Reed JZ. 1997. Interspecific microsatellite markers for the study of pinniped populations. *Mol. Ecol.* 6:661–666.23)
- 23) VAN OOSTERHOUT C, HUTCHINSON WF, WILLS DPM, SHIPLEY P. 2004. micro-checker: software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data. *Mol. Ecol. Notes* [Internet] 4:535–538. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1471-8286.2004.00684.x>
- 24) Allen PJ, Amos W, Pomeroy PP, Twiss SD. 1995. Microsatellite variation in grey seals (*Halichoerus grypus*) shows evidence of genetic differentiation between two British breeding colonies. *Mol. Ecol.* 4:653–662.
- 25) Raymond M, Rousset F. 1995. GENEPOP (Version 1.2): Population Genetics Software for Exact Tests and Ecumenicism. *J. Hered.* [Internet] 86:248–249. Available from: <http://jhered.oxfordjournals.org/cgi/content/long/86/3/248>
- 26) Weir B, Cockerham CC. 1984. Estimating F-Statistics for the Analysis of Population Structure Author (s): B . S . Weir and C . Clark Cockerham. *Evolution* (N. Y). 38:1358–1370.
- 27) Pritchard JK, Stephens M, Donnelly P. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* [Internet] 155:945–959. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1461096&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- 28) Evanno G, Regnaut S, Goudet J. 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Mol. Ecol.* [Internet] 14:2611–2620. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15969739>
- 29) Arnason U, Johnsson E. 1992. The complete mitochondrial DNA sequence of the harbor seal, *Phoca vitulina*. *J. Mol. Evol.* 34:493–505.
- 30) Hubisz MJ, Falush D, Stephens M, Pritchard JK. 2009. Inferring weak population structure with the assistance of sample group information. *Mol. Ecol. Resour.* 9:1322–1332.
- 31) Hewitt G. 2000. The genetic legacy of the Quaternary ice ages. *Nature* [Internet] 405:907–913. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/35016000>
- 32) Harlin-Cognato A, Bickham JW, Loughlin TR, Honeycutt RL. 2006. Glacial refugia and the phylogeography of Steller’s sea lion (*Eumatopias jubatus*) in the North Pacific. *J. Evol. Biol.* [Internet] 19:955–969. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16674591>
- 33) Flagstad O, Røed KH. 2003. Refugial origins of reindeer (*Rangifer tarandus* L.) inferred from mitochondrial DNA sequences. *Evolution* [Internet] 57:658–670. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12703955>
- 34) de Jong MA, Wahlberg N, van Eijk M, Brakefield PM, Zwaan BJ. 2011. Mitochondrial DNA signature for range-wide populations of *Bicyclus anynana* suggests a rapid expansion from recent refugia. *PLoS One* 6:e21385.
- 35) Baker AR, Loughlin TR, Burkanov V, Matson CW, Trujillo RG, Calkins DG, Wickliffe JK, Bickham JW. 2005. Variation of mitochondrial control region sequences of steller sea lions: The three-stock hypothesis. *J. Mammal.* [Internet] 86:1075–1084. Available from: <http://dx.doi.org/10.1644/04-MAMM-A-113R1.1>

- 36) Waite JN, Waits LP, Bozza M, Andrews RD. 2011. Differentiating between Steller sea lion (*Eumetopias jubatus*) and northern fur seal (*Callorhinus ursinus*) scats through analysis of faecal DNA. *Mol. Ecol. Resour.* 11:166–170.
- 37) Holder K, Montgomerie R, Friesen VL. 1999. A test of the glacial refugium hypothesis using patterns of mitochondrial and nuclear dna sequence variation in rock ptarmigan (*Lagopus mutus*). *Evolution* (N. Y). 53:1936–1950.
- 38) Lamont MM, 1996.
- 39) Taylor EB, Beacham TD, Kaeriyama M. 1994. Population Structure and Identification of North Pacific Ocean Chum Salmon (*Oncorhynchus keta*) Revealed by an Analysis of Minisatellite DNA Variation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* [Internet] 51:1430–1442. Available from: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/f94-143#.VkqETXbhBD8>
- 40) Sato S, Kojima H, Ando J, Ando H, Wilmot RL, Seeb LW, Efremov V, LeClair L, Buchholz W, Jin D-H, et al. 2004. Genetic Population Structure of Chum Salmon in the Pacific Rim Inferred from Mitochondrial DNA Sequence Variation. *Environ. Biol. Fishes* [Internet] 69:37–50. Available from: <http://link.springer.com/10.1023/B:EBFI.0000022881.90237.aa>
- 41) Beacham TD, Candy JR, Le KD, Wetklo M. 2009. Population structure of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) across the Pacific Rim, determined from microsatellite analysis. *Fish. Bull.* [Internet]. Available from: http://aquaticcommons.org/8806/1/beacham_Fish_Bull_2009.pdf
- 42) Hasegawa K, Nokariya YV, Uyeno T, Area H, Northeastern P. 1988. Japan. 国立科博専報 21.
- 43) O’Corry-Crowe GM, Martien KK, Taylor BL. 2003. the analysis of population genetic structure in alaskan harbor seals, *Phoca vitulina*, as a framework for the identification of managemet stocks.
- 44) Herreman J, Blundell G, Ben-David M. 2009. Evidence of bottom-up control of diet driven by top-down processes in a declining harbor seal *Phoca vitulina richardsi* population. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 374:287–300.
- 45) Gardipee FM. 2007. Development of Fecal Dna Sampling Methods To Assess Genetic Population Structure of Greater Yellowstone Bison. Differences.
- 46) Kohn M, Knauer F, Stoffella A, Schröder W, Pääbo S. 1995. Conservation genetics of the European brown bear-a study using excremental PCR of nuclear and mitochondrial sequences. *Mol. Ecol.* 4:95–103.
- 47) Nater A, Nietlisbach P, Arora N, van Schaik CP, van Noordwijk MA, Willems EP, Singleton I, Wich SA, Goossens B, Warren KS, et al. 2011. Sex-biased dispersal and volcanic activities shaped phylogeographic patterns of extant Orangutans (genus: Pongo). *Mol. Biol. Evol.* [Internet] 28:2275–2288. Available from: <http://mbe.oxfordjournals.org/content/28/8/2275.short>
- 48) Satizábal P, Mignucci-Giannoni AA, Duchêne S, Caicedo-Herrera D, Perea-Sicchar CM, García-Dávila CR, Trujillo F, Caballero SJ. 2012. Phylogeography and sex-biased dispersal across riverine manatee populations (*Trichechus inunguis* and *Trichechus manatus*) in South America. *PLoS One* [Internet] 7:e52468. Available from: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0052468>
- 49) Reijnders PJH. 1994. Historical population size of the harbour seal, *Phoca vitulina*, in the Delta area,

SW Netherlands. *Hydrobiologia* [Internet] 282-283:557–560. Available from:

<http://link.springer.com/10.1007/BF00024655>

- 50) Härkönen T, Dietz R, Reijnders P, Teilmann J, Harding K, Hall A, Brasseur S, Siebert U, Goodman SJ, Jepson PD, et al. 2006. The 1988 and 2002 phocine distemper virus epidemics in European harbour seals. *Dis. Aquat. Organ.* 68:115–130.
- 51) Lamont MM. 2002. Genetic diversity and substructure of the Pacific harbor seal, *Phoca vitulina richardsi*. In: Pfeiffer CJ, editor. *Molecular and Cell Biology of marine mammals*. P.O. Box9542 Melbourne FL 32902-9542: Krieger Publishing Company. p. 130–137.
- 52) Ito T. 1986. Number and present status of the Kuril seal. In: Wada K, editor. *ゼニガタアザラシの生態と保護*. 1st ed. Tokyo Prefecture: Tokai University Publisher. p. 18–58.

(2) 鰭脚類による漁業被害と資源動態の関連の評価

国立研究開発法人水産総合研究センター 北海道区水産研究所

山村 織生

服部 薫

磯野 武臣

平成25～27年度累計予算額：11,346千円（うち平成27年度：2,283千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

北海道東部沿岸生態系における鰭脚類分布量推定方法の確立を目的に根室海峡および道東沿岸東部（納沙布岬～釧路川河口）を対象とした航空機目視調査を行い、既往手法（陸上目視調査）との比較を行った。いずれの海域でも陸上目視により航空機目視と同等またはそれ以上の個体数が観察されており（根室：90%、道東：105%）、限られた予算範囲内では陸上目視によるモニタリング調査を継続するのが現実的と結論された。但し、航空目視により従来知られなかった上陸岩礁が発見された事例もあったことから、数年に一回程度は航空機による網羅的な調査を実施するのが好ましい。ゼニガタアザラシ上陸場周辺での魚類相の季節変化を近傍2地点（水深20および40m）における刺網漁獲調査により調べたところ、両深度帯と全季節を通じてオニカジカ及びヨコスジカジカを中心とするカジカ科魚類が卓越し、常に生体重量の80%以上を占めた。これら魚類は主に底生生物を餌としており、デトリタスを基盤とする食物網構造が生産基盤をなしていることが明らかとなった。ゼニガタアザラシが占める生態的地位を明らかにし、漁業資源におよぼす影響を推定することを目的に、えりも岬上陸場を利用するゼニガタアザラシの餌組成と摂餌量を明らかにした餌料中ではタコ類（ミズダコおよびヤナギダコ）が重量比約60%と圧倒的に高い重要性を示した一方、漁業被害が注目されてきたサケは重量組成で第2位であったものの、比率は13%と重要性の面では低い値であった。この結果に、上陸場の推定個体数（概数で2000頭）および個体あたり餌料消費量を併せて各餌生物の年間消費量を推定したところ、タコ類およびサケは各々約480トンおよび100トンで、これらは近隣地域（広尾、えりも及び様似町）漁獲量の各々25および2%に相当した。以上の成果を総合して、上陸場周辺海域を対象とした食物網構造を解析可能なECOPATHモデルを開発した。当該モデルにより隣接する親潮海域と比較を行ったところ、上陸場周辺海域においては最上位捕食者である第4次消費者の生体密度が親潮海域の4倍に上り、この高い上位捕食者密度による過剰な捕食圧の結果として漁獲物被害が生じている可能性が指摘された。

[キーワード]

航空目視調査、摂餌量推定、群集構造、上位捕食者、ECOPATH

1. はじめに

近年、海洋生態系の生物多様性の保全を考慮した持続型沿岸漁業の創成が、世界的にも喫緊の課題となっている。海生哺乳類は、生態系の高次捕食者に位置していると共にバイオマスが大きく、海洋生態系に多大な影響を与えている。特に、沿岸海洋生態系の高次捕食者である鰭脚類(トド・オットセイ・アザラシ類)は、生態系のシンボルとして取り上げられることも多いが、漁網や漁獲物に対する被害が大きな問題となっている。北海道東部沿岸に周年生息するゼニガタアザラシは、1970年代初め迄に、過度な狩猟や混獲より個体数が激減し、絶滅の危機に瀕したが、最近30年間は漸増傾向にある。えりも岬上陸場を利用するゼニガタアザラシに関しては、1970年代より帯広畜産大学等の学生ボランティアにより予算措置の無い調査研究が行われてきた。本種は根室半島及び北方四島にも分布するものの、えりも上陸場との交流はきわめて限定的で、個別の個体群を形成する。近年の個体数回復とサケ定置網漁業の不漁を背景に、漁業被害問題が急速に注目され、社会・政治問題化した。しかし、本個体群に関する包括的調査は未実施であり、従来のモニタリング手法の検討は行われていない。モニタリングに関する状況は根室海峡に分布するトドに関しても同様であり、これまで実施されてきた陸上からの目視観察による分布個体数推定の網羅性に関して検討は行われていない。ゼニガタアザラシに関しては餌資源の利用実態も未調査であり、上陸場周辺の餌資源の分布状況と併せて不明である。こうした知見は漁業との相互作用を考える上で必須であり、更なる。さらに、資源自体の変動の主要因を明らかにすることにより高次捕食者である鰭脚類が資源動態に及ぼす影響の度合いの評価も可能となり、鰭脚類と漁業の共存を可能とする方策の探求が可能となる。以上の背景のもと本サブテーマでは、1) 航空機目視による道東海域における鰭脚類センサス手法の検討、2) えりも岬ゼニガタアザラシ上陸場周辺における魚類群集構造の解析、3) ゼニガタアザラシ食性の解明と主要漁業資源への摂餌圧推定、4) 道東海域主要漁業資源の動態に及ぼす環境要因の抽出および、5) ECOPATHモデルによるゼニガタアザラシ上陸場周辺における食物網構造解析を実施した。

2. 研究開発目的

近年、鰭脚類による漁業被害が顕在化した北海道東岸域において、鰭脚類が利用する餌生物を明らかにし、次いでその季節的および経年的な動態、群集構造とその規定要因を解明し、更にそれらの変動要因となる環境条件を抽出する。また、鰭脚類上陸場周辺の食物網構造をモデル化することにより、漁業被害をもたらす要因を推定する共に、航空機目視調査による鰭脚類センサス手法の検討を行う。

3. 研究開発方法

(1) 航空機目視調査による鰭脚類モニタリング手法の検討

まず、根室海峡～北海道南東岸(厚岸以東)沿岸海域において、鰭脚類を対象とした航空機センサス調査を実施した。2014年1月7および8日の2日間、単発航空機を用いて当該海域を飛行した。主にトドの分布が予想される根室海峡においては高度800フィート(240m)で岸側(距岸100～200m)および沖側(距岸500m程度)を、アザラシ類が主対象となる野付半島以南では高度400フィート(120m)より目視観察を行った。1月7日には(財)知床財団の陸上目視調査によるモニタ

リングも同時に実施していただき、結果の比較を行った。次に、ゼニガタアザラシの換毛期に当たる8月に、道東沿岸域東部を対象とした目視調査を2014および2015両年に実施した。これら調査と同時に、東京農業大学による陸上からの目視観察調査が実施され、両手法の精度を比較した。調査飛行高度および対地速度を各々150mおよび90ktとし、ユルリ島より旧釧路川河口までの海岸線を距岸100~200m程度で飛行し、アザラシ類の観察計数を行った。大規模上陸場の上空において旋回飛行を数回行い、その間に上陸場を撮影し、帰還後アザラシ類の計数を行った。

(2) えりも岬上陸場周辺海域における餌生物動態と群集構造

襟裳岬上陸場近傍の2地点(水深20および40m)において底刺網による採集を2014年6,8,12および2015年1および3月に実施し、周辺における潜在的餌生物相を明らかにした。これら地点に目合36,76および94mm、高さ4.5mの刺網を1反(長さ77m)ずつ連結した漁具を午後投入し翌々日の午前中に揚網した。漁獲物を研究室に持ち帰り、漁獲物組成を明らかにした。また、上陸場周辺海域における食物網構造の解明を目的に、刺網調査の漁獲物中で優占した魚種を個体毎に計測の後、胃を摘出し10%海水ホルマリンに固定し、内容物を分析した。可能な限り低位分類群に分別し、乾燥重量組成を求めた。更に、より広域的な餌生物分布とその群集構造を明らかにするため、既往の採集資料を用いて以下の分析を行った。即ち、2004~12年に道東西部沿岸陸棚域(深度30~180m帯)において実施された235地点のトロール採集物漁獲組成資料に多変量解析(パーセント類似度(Schoener, 1970)行列に対するクラスター分析、ならびに水温、塩分、水深、年および歴日を環境変数とした正準相関分析正準対応分析(Ter Braak, 1995)を適用し、均質な種組成を示す亜群集に分離すると共に、群集構造を規定する環境要因を明らかにした。

(3) 襟裳岬ゼニガタアザラシの食性解明と餌生物消費量の推計

秋サケ定置網において混獲されたゼニガタアザラシのうち、推定0歳の15個体の腸管内容物(糞)を分析した。内容物を0.5mmメッシュの篩にて洗浄し、残存した硬組織より餌生物を同定した。また、安定同位体分析によりえりも岬周辺における食物連鎖網解析を行うため、生体捕獲および混獲されたゼニガタアザラシのヒゲを採取し、粉碎し分析に供した。また、ゼニガタアザラシの食性の原データとして小林ら(未発表)による個体数組成を使用し、これを襟裳岬近傍沿岸域における生物計測資料に基づき重量組成に変換のうえ、文献値によるゼニガタアザラシ日間摂餌量(Olesiuk, 1993)と襟裳上陸場利用個体推計値を使用して、個々の餌生物の消費量を算出した。

(4) 主要漁業資源の動態と環境要因との関連の分析

えりも上陸場周辺および道東海域における主要漁業資源(サケ、タコ類、スケトウダラ、スルメイカ及びコンブ)に関して、それらの動態と主要な環境変数、即ちPDO(北太平洋十年変動:水温場の指標)、NPGO(北太平洋循環変動:循環場の指標)、WP(西部北太平洋指数:偏西風強度の指標)、および道東海域における各季節の海表面水温偏差の相関分析を過去30年間の資料を用いて実施し、これら資源の動態を説明し得る要因を抽出した。

(5) ECOPATHモデルによる食物網構造分析

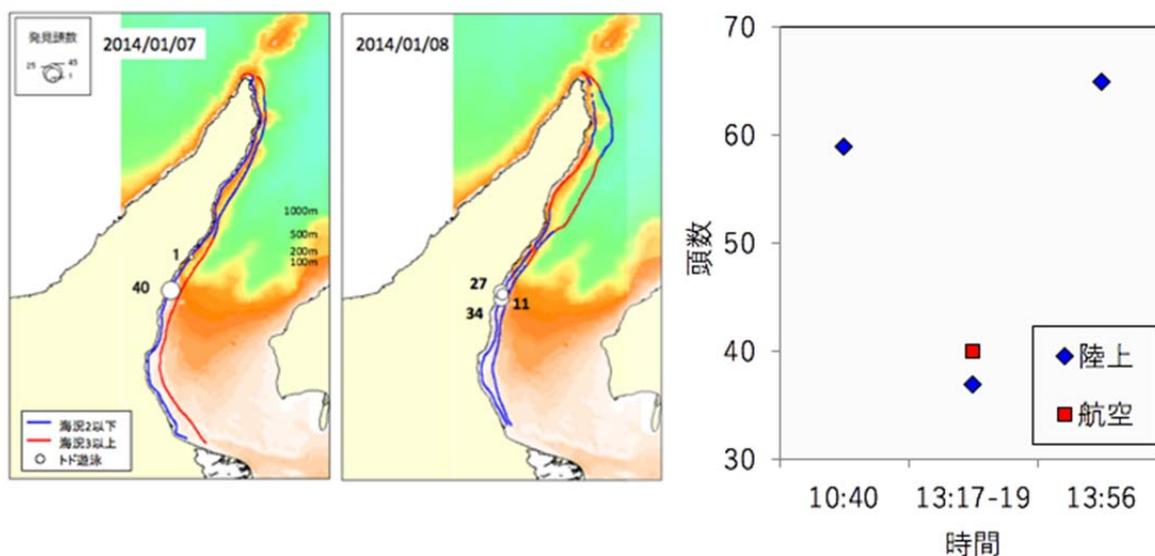
餌生物調査およびゼニガタアザラシ食性分析等で得られた資料を統合して、えりも上陸場周辺

海域を対象とした食物網モデルを構築し、主要種間の食物関係を定量的に記述、分析した。また、対象海域と隣接する親潮沿岸域を対象としたモデルも同時に構築し、比較対象とした。

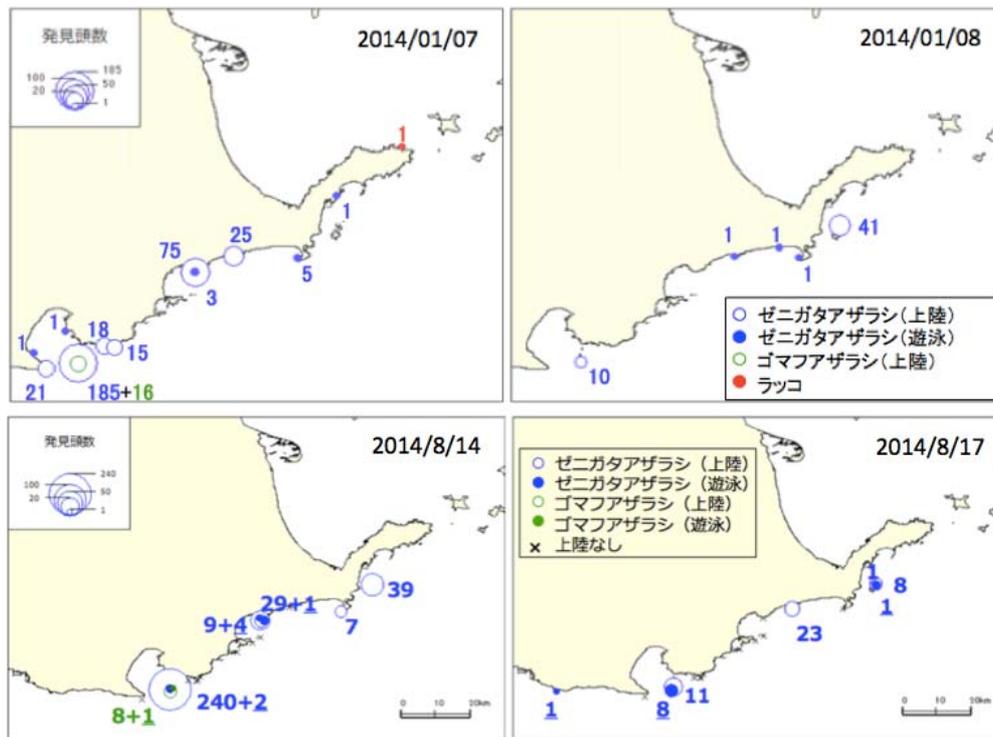
4. 結果及び考察

(1) 航空機目視調査による鰭脚類モニタリング手法の検討

2015年1月の調査では、根室海峡において1月7日に2群41頭、同8日は3群72頭の遊泳トドが観察された。発見は、いずれも岸寄りの測線において、左舷（岸側）観察者によるものであり、当該海域のトドはごく沿岸部に分布することが示された。1月7日に実施された陸上目視調査との比較では、上空からの目視頭数41頭に対して同時間帯（13時台）の陸上目視により38頭が確認され、同一時間帯の比較では遜色ない結果が陸上でも得られた。また、陸上では同日の10時台および14時頃にも調査を行い、各々60および67頭が観察された。このように根室海峡海域ではトドの分布は沿岸域に偏ることに加え、陸上では多額の予算を追加すること無く反復調査の実施が可能であり、気象海況による影響を最小化することが可能であった。これらの結果から、根室海峡海域におけるトドの来遊頭数把握手法としては陸上目視が航空目視よりも優れることが示された（図(2)-1）。



図(2)-1 根室海峡における航空目視調査によるトド観察数（左）および、1月7日実施の陸上目視調査との比較（右）。同一時間帯の比較では航空調査でやや多数の観察数を得られたが、陸上調査は前後の時間帯での反復調査が可能であり、これらの機会では遥かに多く（148%および163%）のトドが観察された



図(2)-2 2014年冬季(上)および夏季(下)に実施した道東東部沿岸域における航空機目視調査結果。「m+n頭」の表記は、各上陸場におけるゼニガタアザラシの上陸頭数(m)および周辺游泳頭数(n)を示す

表(2)-1 本事業において実施した航空機目視調査結果と、既往知見によるゼニガタアザラシ上陸頭数の比較

地域	上陸場	換毛期	換毛期	換毛期	換毛期	冬期	冬期
		1984年 8月	2010年 8月	2014年 8月	2015年 8月	2003年 3月	2014年 1月
根室	モユルリ島	4	73	39	40		40
	ユルリ島	18	13	0	0	4	0
	落石		—	7	20		5
浜中	初田牛	0	0	0	0		25
	浜中A	59	46	43	5	78	78
	浜中B	9	30	0	22		—
厚岸	厚岸C他		58	0	1		15
	厚岸B		—	0	0	105	18
	大黒島	101	204	242	161		185
	厚岸A	14	44	0	32		21
合計		205	468	331	281	187	387
出典		伊藤・宿野部 1986	Kobayashi et al. 2014	本事業	本事業	北海道 2006	本事業

2014年1月調査では、道東太平洋沿岸の調査も実施したが、8日は測線の大部分で海況3以上と条件が思わしくなかった。そのため、7日は合計387頭のゼニガタアザラシが観察されたのに対し、8日は54頭に留まった(図(2)-2)。本調査により、落石において5頭が上陸する岩礁が初めて確認され

た。また、同年8月に実施した換毛期の調査では、2日間の調査日程のうち海況条件が良好であった8月14日に331頭が、更に2015年8月の調査で281頭が観察された。これら調査においても落石で各々7頭および20頭の上陸が観察され、当該上陸場が安定的に利用されていることがうかがわれた。なお陸上観察では2015年に297頭と、航空機による目視頭数を上回る結果が得られた（表(2)-1）。

この要因として、長時間に亘って観察の継続が可能な陸上目視に対して、航空機調査実施のタイミングが必ずしも海況、潮回り、および人為的攪乱状況（コンブ漁）の面で最良ではない時間帯に限られたことが考えられた。このように、各上陸場への人員配置が可能であれば、ゼニガタアザラシのモニタリング手法としては陸上観察が優れることが結論された。しかし、陸上からの目視では不可避免的に死角が生じ、これに対しては例えば大黒島上陸場ではプラス15%程度の補正が必要である事が明らかとなった。更に、航空機により従来知られていなかった上陸岩礁が落石および大黒島で発見されており、モニタリング対象地点選定の適正化の観点からも、数年に1回は航空機による網羅的な調査を実施することが好ましいと考えられた。3ヶ年に亘る航空および陸上目視調査結果を統合したところ、道東沿岸釧路以東部分におけるゼニガタアザラシの発見頭数は435頭と推定された。これに本種の上陸場利用率（attendance pattern）を考慮した補正係数1.54を乗じ(Harvey and Goley, 2011)、当該域におけるゼニガタアザラシの個体数は670頭(95%信頼区間：504-835頭)と推定された。

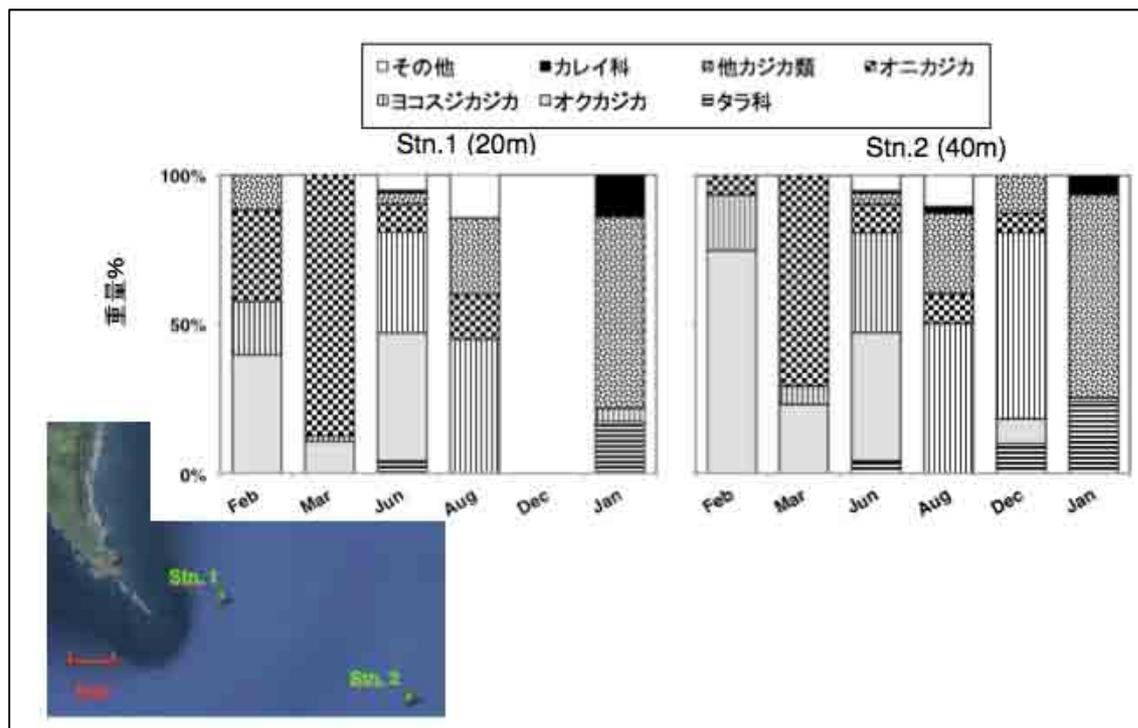
表(2)-2 道東東部沿岸域におけるゼニガタアザラシの分布頭数推定

地域	2013年 陸上調査 (ゼニ 研)*	2014年 航空機調査 (北水研)	2015年 陸上調査 (東農大)	3か年平均 (調査がない場合 は2か年の平均)	地域計
根室	モユルリ島	45	39	52	45.3
	ユルリ島	(30)**	0	5	1.7
	落石		7	9	8.0
浜中	初田牛	0	0	0	
	浜中A	73	43	30	48.7
	浜中B	0	0		
厚岸	大黒島	(243)	(242)	(168)	290.4***
	厚岸A	62	0	49	37.0
	厚岸B	2	0		1.0
	厚岸C	8	0	0	2.7
計					434.8

地域	換毛期上陸数	推定個体数 (*CF)	95%信頼区間
根室	55.0	85	64-106
浜中	48.7	75	56-94
厚岸	331.1	510	384-636
計	434.8	670	504-835

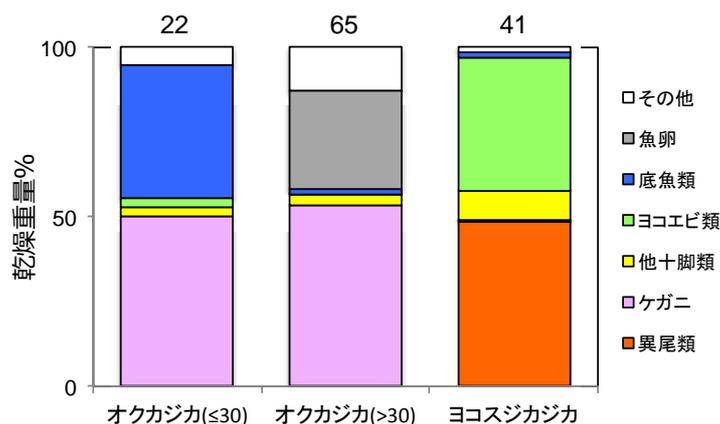
(2) えりも岬上陸場周辺海域における餌生物動態と群集構造

延べ11回の操業による漁獲調査の結果、合計261kgの魚類が漁獲され、オクカジカ、オニカジカ、ヨコスジカジカおよびツマグロカジカ等から成るカジカ科が周年優占し、全漁獲物の92%を占めた(図(2)-3)。魚類の豊度と種組成には季節変化が認められた。即ち、オクカジカは2～6月に卓越したのに対し、8および12月はヨコスジカジカが優先した。ヨコスジカジカは秋季に浅海域で産卵するため、接岸行動が種組成の変化に現れたと推察された。また、水深20mおよび40mの両地点間を比較すると、種構成に大きな変化は無いものの、40m地点は20m地点の3倍の漁獲量を示した。以上のようにゼニガタアザラシ上陸場周辺での魚類相は、カジカ類の卓越で特徴付けられた。これらはいずれも非商業種であったが、当海域では最近20年程度は漁船による操業が行われていない(駿河、私信)。そのため、この特徴的な魚類相は漁獲の影響、即ちタラ類やカレイ類などの商業種が漁獲により枯渇した事の反映ではなく、ゼニガタアザラシによる捕食圧を反映している可能性が指摘される。つまり、鋭利な前上顎骨棘等の防御的形態を有するカジカ科魚類はゼニガタアザラシにとって好適な餌では無く、上陸場周辺ではこれら魚種が卓越する群集が形成されている、との仮説が提示し得る。この仮説の検証のためには、飼育下のゼニガタアザラシを対象に給餌実験を行い、餌の選択性を検証する必要がある。



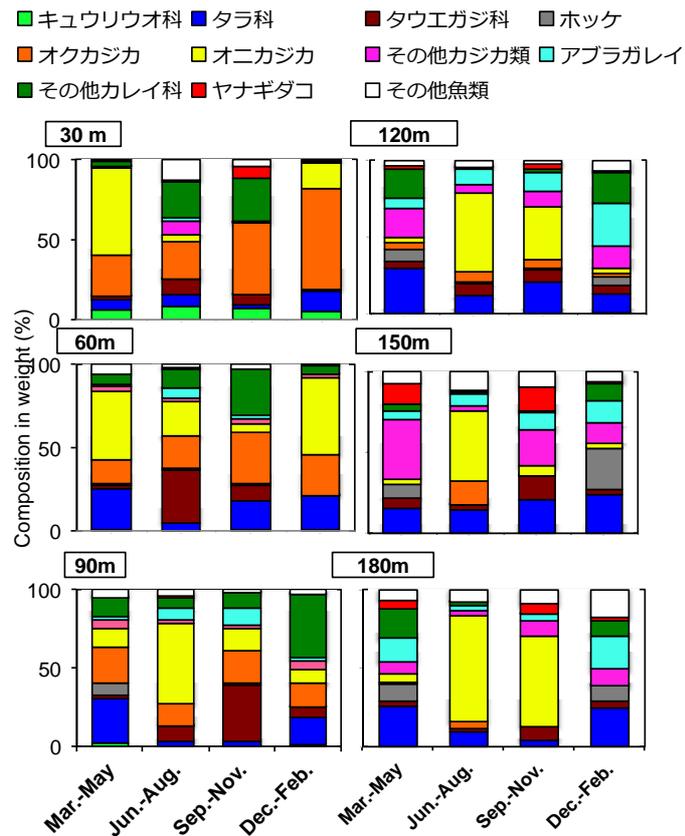
図(2)-3 2014年2月～2015年1月にかけて、えりも岬ゼニガタアザラシ上陸場近傍の2地点(Stn.1および2; 図下部参照)において実施された、刺し網による継続的な採集による魚類重量組成

周年的採集で最も優占した2魚種の食性を分析したところ、まずオクカジカは乾燥重量組成で約50%をケガニが占め、他には小型底魚類と魚卵が重要であった。また、ヨコスジカジカではミツユビホンヤドカリ *Pagurus trigonocheirus* やゴトーホンヤドカリ *Elassochirus cavimanus* といった異尾類とおよびヨコエビ類（主に *Anonyx* 属および *Ampelisca* 属）が各々50%および40%程度を占めた（図(2)-4）。この様に、上陸場周辺において優占した2魚種は何れも底生生物への高い依存度を示し、更にこれらに次いで卓越したオニカジカはクモヒトデを主要餌料とすることから、当該域魚類群集はデトリタスを基盤と生産構造で特徴付けられると結論された。

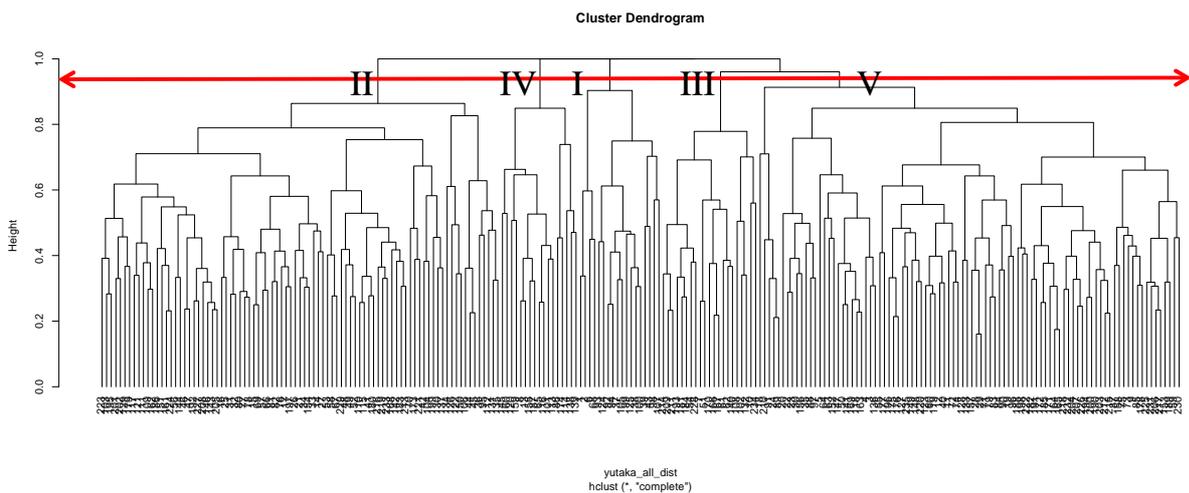


図(2)-4 えりも岬周辺海域で採集された優占種2種（オクカジカおよびヨコスジカジカ）餌生物の乾燥重量組成。オクカジカは体長30cmを境に個別に分析した。バー上部の数字は分析個体数を示す

底魚類のトロール採集試料235点においては、オクカジカ、オニカジカおよびタラ科魚類が優占したが、これらの分布は深度帯に関して幅広く、必ずしも季節による変化のみで説明が可能ではなかった（図(2)-5）。種組成に基づくパーセント類似度0.05において5点の地点群に分類され（図(2)-6）、各群の所属地点の属性は：I；春季深み低水温、II；春夏季浅み高水温、III；秋冬季浅み高水温、IV；夏秋季深み低水温およびV；全季中深度低水温であった（表(2)-3）。このうちゼニガタアザラシが主に利用する深度帯にはIIおよびIIIが該当し、ヒレグロおよびガジ類が各々の指標種であった。正準対応分析によりこれら地点群の相互関係を座標上に示したところ（図(2)-7）、当該海域の群集構造は深度帯に沿った変化(depth zonation)および季節に伴う周期的な温度変化によって決定されていることが明らかとなり、特にゼニガタアザラシが利用する深度帯においてはクラスターIIからIIIへの季節遷移が生じていることが窺われた。



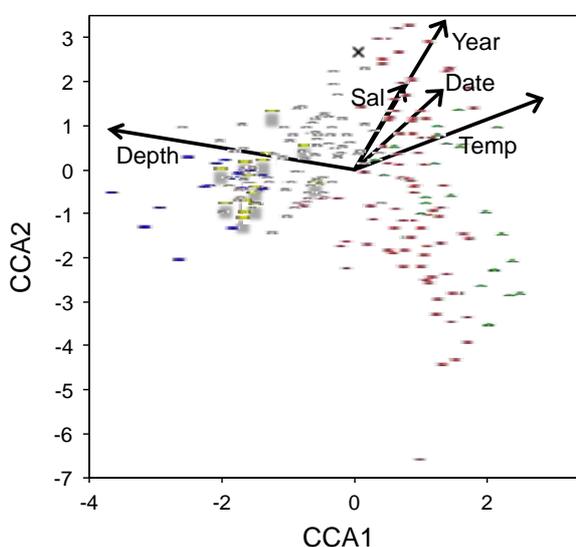
図(2)-5 道東沿岸域西部（音別～大樹）沖水深30～180m帯において行われたトロール網（ししゃも漕ぎ網）による採集合計235地点の結果に基づく、深度帯及び季節別の種または分類群による組成. オクカジカ（橙色）およびオニカジカ（黄色）が卓越し、これらは幅広い深度帯に分布した



図(2)-6 道東西部沿岸陸棚域におけるトロール採集試料235点の種組成に基づくデンドログラム. ローマ数字は類似度0.05で分岐したクラスターを示す（各クラスターの概要は表(2)-2を参照）

表(2)-3 底魚類の種組成に基づくクラスター分析結果の概要。パーセント類似度0.05で分岐した各クラスターにおける地点数、典型的な季節、深度、水深および水温の平均値、典型的な魚種を示した（各クラスターの分離状態は図(2)-5を参照）

Cluster	I	II	III	IV	V
	●	◆	▲	■	×
地点数	18	92	21	17	87
季節	春	春～初夏	秋～冬	夏～秋	全
深度	150	70	50	150	120
水温	1.8	6	10	3.6	4
典型種	かじか類	がじ類	ヒレグロ	たら類	オニカジカ



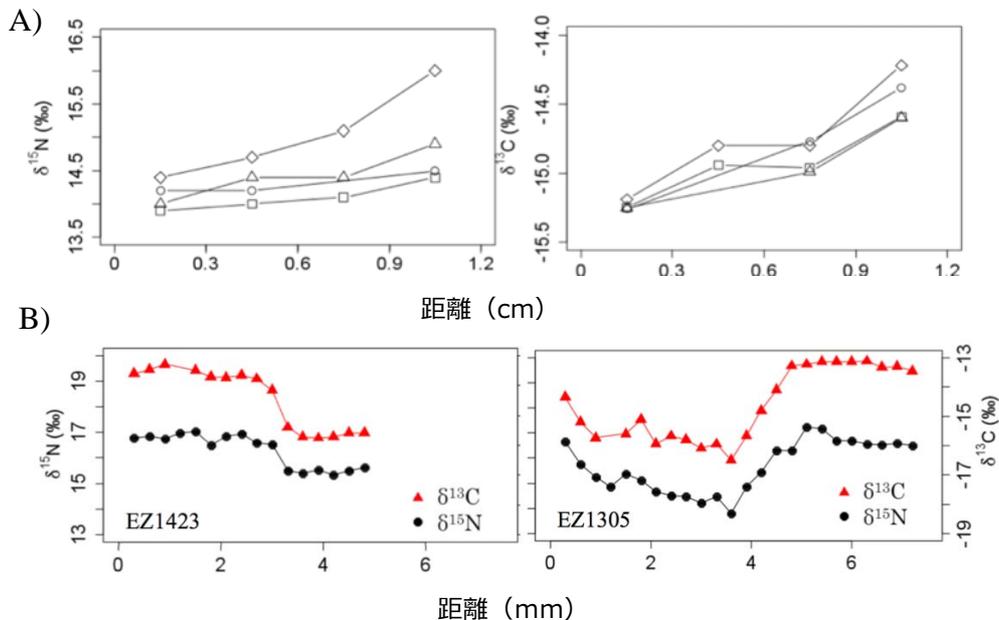
図(2)-7 北海道南東岸沖合水深30～180m海域235地点で行われたトロール漁獲物の種組成に基づく正準相関分析結果。矢印は環境変数のベクトルを示し、ベクトル上への各採集地点の正射影が個々の環境値に相当する。ベクトル同士が直角な場合は無相関、同方向および逆方向の場合各々正負の相関を示す

(3) 襟裳岬ゼニガタアザラシによる餌生物消費量の推計

まず、ゼニガタアザラシ腸管内容物からは、タラ科、アイナメ科、フサカサゴ科、カレイ科、頭足類、甲殻類が同定された。定置網混獲個体であったが、サケは出現しなかった。この結果は、ゼニガタアザラシによるサケ捕食はいわゆる「トッカー食い」であり、魚体全体を摂取せずに腹部や頭部のみを噛む、又は体の一部を摂取することの反映と考えられた。そのため、消化管内容物分析のみからのサケ消費量推定は、特に漁網内での略奪（depredation）を対象とする場合は過小に陥りがちであると考えられた。この問題への対処には消化管内容物あるいは糞のDNA分析によるアプローチが有効であろう。

次に、水族館におけるゼニガタアザラシ飼育個体の安定同位体比分析を実施した結果、飼育開始時の $\delta^{15}\text{N}$ 値は 18～19‰であったが、イカナゴを中心とする給餌を続けた3ヶ月後に 14～15‰

に減少した。また、安定同位体の回転率は $\delta^{15}\text{N}$ で 46.8 ± 23.5 日、 $\delta^{13}\text{C}$ で 36.3 ± 7.1 日と推定された(図(2)-8A)。イカナゴの安定同位体比と比較したところ、濃縮係数は、 $\delta^{15}\text{N}$ で $2.6\pm 0.3\text{‰}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ で $3.3\pm 0.1\text{‰}$ であることが明らかとなった。野生個体のヒゲ中安定同位体比分析の結果、変動が見られた(図(2)-8B)。スルメイカやサケといった沖合・游泳性の魚種は $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ ともに低い値を示すことが知られるため、1年前の秋期にスルメイカやサケを捕食していた可能性が指摘される。



図(2)-8 飼育個体の餌切り換えに伴うヒゲ安定同位体比の経時的変化(A)および水族館に収容した野生個体の飼育開始以降の安定同位体比の経時的変化。横軸は根本からの距離で3mmが1ヶ月に相当する

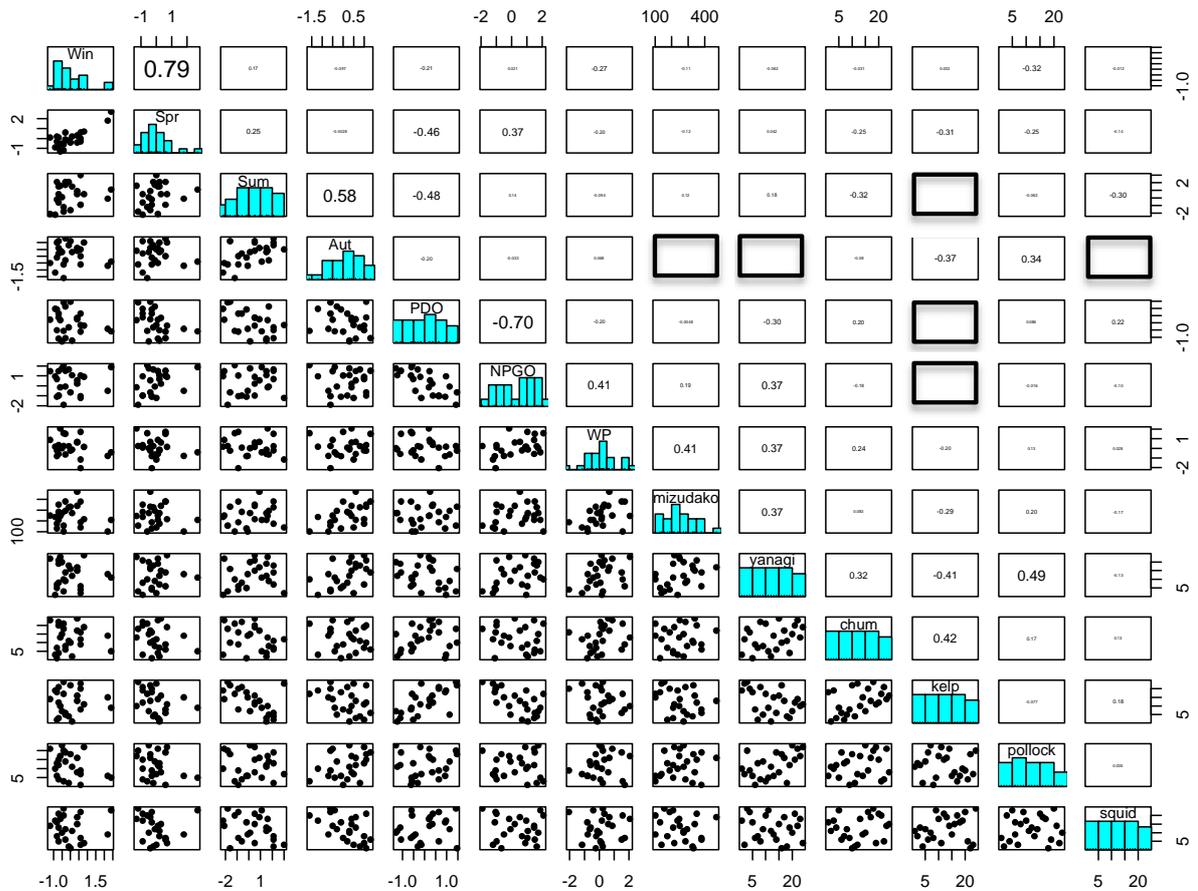
小林ら(未発表)による餌生物個体数組成を既往の生物測定資料より重量組成に変換した結果、タコ類(ミズダコおよびヤナギダコ)が最も重要な餌生物であり、餌生物重量の60.7%を占め、サケが13.2%でこれに続いた(表(2)-3)。第3位のカジカ科sp.は5.4%、次いでスルメイカ4.3%と寄与は低かった。えりも岬上陸場に棲息するゼニガタアザラシ個体数を1000頭、平均体重を50kgと仮定し(いずれも小林、私信)、日間餌料消費量はジョージア海峡における推定値4.3%BWを援用した(Olesiuk, 1993)。その結果、年間消費量は約785トンと推定され、タコ類の消費量はこの値の60.7%に相当する480トンと推計された。また、漁業被害の発生が社会問題となったサケの消費量はこれに次ぐ104トンであった(表(2)-4)。両推定値をゼニガタアザラシの行動範囲と想定される近隣海域(様似町、えりも町および広尾町前浜)における漁獲量と比較したところ、それぞれ漁獲量の25.0%および1.7%に相当した。以上のように、サケでは深刻な漁獲物被害に比べ捕食による影響は限定的であったのに対し、タコ類に関しては漁獲量に比肩し得る捕食圧が加わっていることが明らかとなった。特に上陸場近傍においてその影響は大きいと推察され、地先資源への影響の観点からもゼニガタアザラシのえりも岬個体群の動向に注視する必要がある。

表(2)-4 襟裳岬上陸場を利用するゼニガタアザラシの餌料重量組成および餌生物年間消費量(トン)．近隣海域(広尾、えりも及び様似町沿岸)における漁獲量との比率も示した

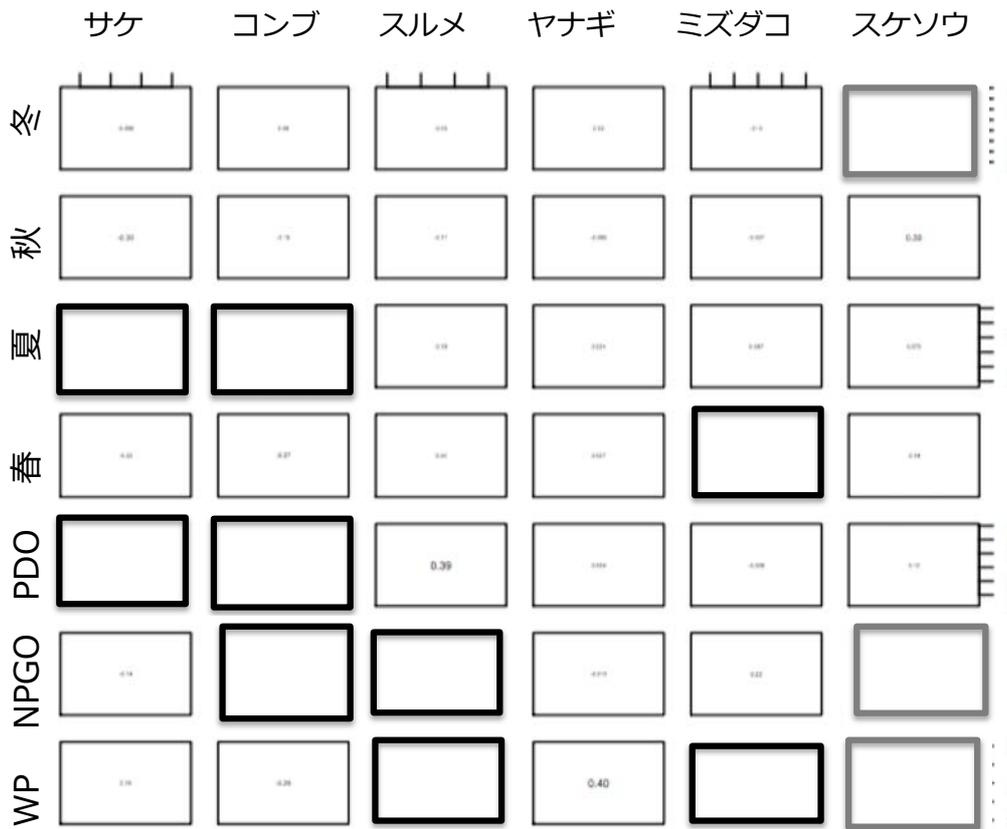
	%組成 (重量)	年間消費量	漁獲量 広尾～様似	比 (%)
タコ類	60.7	476	1,905	25.0
スルメイカ	4.3	34	6,895	0.5
ほかカジカ類	5.4	42		
ソウハチ	3.1	24	291	8.3
ヨコスジカジカ	1.9	15		
不明魚種	2.5	19		
マダラ	3.0	23	2,078	1.1
エゾクサウオ	2.6	21		
ニシン	0.9	7	4	
サケ	13.2	104	5,940	1.8
アイカジカ	0.6	5		
ヒレグロ	0.6	4	68	
エゾイソアイナメ	0.1	1		
コマイ	0.2	2	8	
ケムシカジカ	0.3	3		
スケトウダラ	0.6	4	14,921	
	100	785		

(4) 主要漁業資源の動態と環境要因との関連の分析

主要環境指数のうち、秋季海表面水温偏差がえりも町のミズダコ、ヤナギダコおよびスルメイカ漁獲量と有意な相関を示した(図(2)-9)。前2者は正の相関であり、近年の秋季水温がタコ類に負の影響をもたらしていることが伺われた一方、スルメイカは主漁期が夏～秋季であることから、秋季水温に代表される昇温傾向が、本種の周辺海域への滞留の鍵となることが示唆された。一方、道東海域全体で見た場合、主要資源の漁獲量はPDOやNPGOといったテレコネクション指数と有意な相関を示した。特に、サケはPDOと正の相関を示しており、近年6年連続して負の値が続いてきた当指数が一昨年より正極に転じていることから、ゼニガタアザラシによる被害顕在化の背景であったサケの不漁、および同様に地先資源として重要なコンブの不漁が今後緩和してゆくことが期待される(図(2)-10)。また、スケトウダラでは有意で無いものの顕著な正の相関がPDOとの間に見出された。これは、春季沿岸親潮の影響により本種太平洋系群の加入過程にネガティブな影響が及んでいる事の現れであると考えられた。



図(2)-9 えりも上陸場近隣3町（様似、えりも及び広尾町）における主要漁業資源漁獲量と各種環境指数（PDO, NPGO, WP及び道東沿岸水温偏差と主要漁業資源漁獲量の相関関係）. 以下の漁業資源を分析対象とした：ミズダコ（mizudako）、ヤナギダコ(yanagi)、サケ（chum）、コンブ（kelp）、スケトウダラ（suke）及びスルメイカ（squid）. 1990年以降の資料を北海道水産現勢データベース(<http://www.fishexp.hro.or.jp/marineinfo/internetdb/index.htm>)にて参照使用（環境変数と漁業資源との間の統計的に有意な相関を太枠で囲った）



図(2)-10 北海道南東岸に位置する4振興局（日高、十勝、釧路および根室）における主要漁業資源漁獲量と各種環境指数（PDO, NPGO, WP及び道東沿岸水温偏差と主要漁業資源漁獲量の相関関係）. 1990年以降の資料を北海道水産現勢データベース (<http://www.fishexp.hro.or.jp/marineinfo/internetdb/index.htm>) にて参照使用（環境変数と漁業資源との間の統計的に有意な相関(P<0.05)を黒い太枠で、有意で無いものの明瞭な相関関係（P<0.1）を灰色の太枠で囲った）

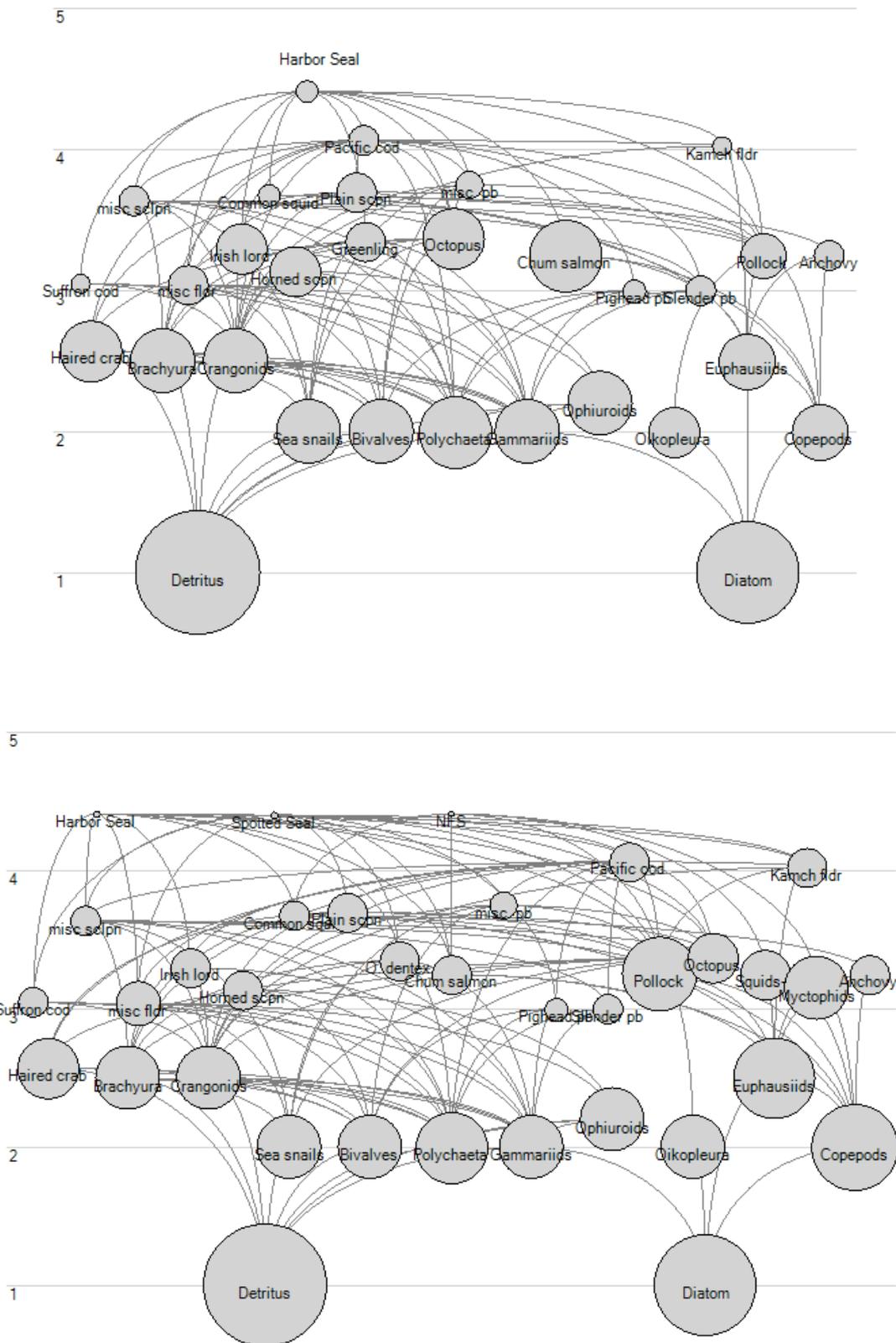
（5）ECOPATHモデルによるゼニガタアザラシ上陸場周辺における食物網構造解析

えりも岬上陸場を利用するゼニガタアザラシの主要な索餌海域を想定した225km²を対象に、ECOPATHモデル(Pauly et al., 2000)を構築し、食物網構造の検討を行った。構成要素として（2）および（3）において明らかとした上陸場周辺の群集構造および食物関係の情報を元に、ゼニガタアザラシとその餌生物（ミズダコおよびヤナギダコ、マダラ、カジカ類、スケトウダラ等の底魚類、サケ、サンマ、スルメイカ等の浮魚類のうち主要構成種34種を含む）を中心とした食物網（Diet table: 図(2)-11）を構築し、その構造の特徴を検討した。また、その結果、当該海域は隣接海域と比較した場合、最上位捕食者の密度が隣接海域の4倍以上と特異的に高いことが明らかとなった（図(2)-12）。この高密度のもと、上位捕食者が過大な捕食圧を下位生物に与えた結果、漁業被害が顕在化したものと推察された。例えば、前年度の成果においてゼニガタアザラシによるタコ類の捕食量は約500トンであり、近隣海域（浦河～広尾町）水揚げ量の17%に相当すると推定された。今後、仮に個体数調整によりゼニガタアザラシの個体数が30%減少した場合、上記比率は

12%に減少すると推察される。野生状態にある動物による捕食圧力は漁業被害とは見なされていないものの、今後このような便益計算を実施することにより、ゼニガタアザラシの個体群動態評価や間接的漁業被害軽減度合いの評価が可能となる。

Prey # predator	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33				
1 Harbor Seal																																					
2 Spotted Seal																																					
3 NFS																																					
4 Pacific cod	0.05	0.1																																			
5 Saffron cod	0.01	0.1																																			
6 misc scipn	0.03	0.05		0.03																																	
7 misc fldr	0.02	0.1		0.05																																	
8 Irish lord	0.02			0.1																																	
9 Horned scqn																																					
10 Common squid	0.05		0.4																																		
11 Plain scqn		0.1	0.05																																		
12 O. dentex	0.03	0.1																																			
13 Chum salmon	0.2	0.05	0.2																																		
14 Kamch fldr	0.01	0.05		0.01																																	
15 misc. pb	0.02			0.04																																	
16 Pighead pb		0.05		0.03																																	
17 Slender pb			0.05		0.1																																
18 Pollock	0.01	0.2	0.2	0.2	0.2					0.1	0.1				0.7	0.3																					
19 Octopus	0.6	0.1		0.2	0.1						0.1				0.2																						
20 Squids-s			0.1																																		
21 Myctophids			0.1																																		
22 Anchovy										0.2																											
23 Haired crab			0.04								0.5									0.3																	
24 Brachyura		0.05		0.1		0.5					0.1	0.5								0.2																	
25 Crangonids		0.2	0.1	0.2	0.05	0.1					0.2	0.2			0.2	0.2				0.2				0.2													
26 Sea snails				0.1	0.05							0.05			0.2					0.2																	
27 Bivalves				0.2		0.1		0.1							0.1	0.2					0.1																
28 Polychaeta			0.05	0.3	0.1	0.3	0.2					0.05				0.2	0.6				0.1					0.2	0.1	0.1	0.2						0.1		
29 Gammarids				0.6	0.1	0.3	0.4					0.2				0.6	0.4							0.1	0.2	0.2								0.1			
30 Ophiuroids						0.1		0.7																													
31 Oikopleura											0.6			0.5	0.1					0.3																	
32 Euphausiids												0.6								0.5																	
33 Copepods											0.1			0.5						0.2																0.5	
34 Diatom																																					
35 Detritus																										0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8				
36 Import	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
37 Sum	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
38 (1 - Sum)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

図(2)-11 えりも岬ゼニガタアザラシ上陸場周辺域を対象としたECOPATHモデルにおけるdiet table. 各構成要素の餌料組成が記載されている



図(2)-12 えりも岬上陸場周辺域（上）および親潮沿岸域を対象としたECOPATHモデル。前者は最上位捕食者にゼニガタアザラシ、後者ではゼニガタアザラシに加えゴマフアザラシとキタオットセイを含むが、3者の合計でもえりも海域の密度を大きく下廻った

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

陸上目視調査と同時に実施した航空機目視調査により、これまで不明であった陸上センサスの精度と有効性が明らかになった。又、これまで不明であったゼニガタアザラシ上陸場周辺の生物相を明らかとし、近接する道東海域との関連性を明らかとした。また、比較的行動範囲の狭いゼニガタアザラシによる餌料消費量を主要餌種に関して推定することが出来、これにより餌種へのインパクトの推計が可能となった。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

環境省の中央環境審議会における「えりも地域ゼニガタアザラシ特定希少鳥獣管理計画」の検討において、ゼニガタアザラシ個体群動態の分析結果、餌資源動態調査結果及び漁業被害防除策の検討結果を提示し、中央環境審議会の答申作成に貢献した。(管理計画のp3に個体群動態に関する論文成果、p7に餌資源動態の調査結果が引用されている。

<行政が活用することが見込まれる成果>

環境省による沿岸海洋生態系調査に関する平成28年度事業の実施において、本研究の餌資源動態に関する分析結果の活用が見込まれる。また、環境省による平成28年度のタコ漁被害の実態調査において、本研究のゼニガタアザラシ摂餌量推定の結果の活用が見込まれる。又、鰭脚類の広域的なモニタリング計画立案に際して、本研究において行われた手法検討の結果が活用されることが見込まれる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) H. MATSUDA, O. YAMAMURA, T. KITAKADO, Y. KOBAYASHI, K. HATTORI and H. KATO: *Therya*, 6: 283-296 (2015), Beyond dichotomy in the protection and management of marine mammals in Japan.
- 2) 磯野 岳臣、新村 耕太、服部 薫、山村 織生：水産技術、6 (1) 17-26 (2013). トド被害防除対策としての強化刺網開発
- 3) O. YAMAMURA, T. FUNAMOTO, M. CHIMURA, S. HONDA and T. OSHIMA: *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 491, 221-234 (2013), Interannual variation in diets of walleye pollock in the Doto area, in relation to climate variation.

<査読付論文に準ずる成果発表>.

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 山村 織生、津田敦、鈴木光次、高橋一生：海洋生態学（津田敦・森田健太郎 編）、p140-170、共立出版社、東京（2016）
「6章：海洋生態系の食物関係」
- 1) 山村織生：海洋生態学（津田敦・森田健太郎 編）、p231-243、共立出版社、東京（2016）
「10章：海洋生態系の長期変動」
- 2) 斉藤宏明、山村織生：海洋生態学（津田敦・森田健太郎 編）、p244-275、共立出版社、東京（2016）
「11章：海洋生態系と人間活動」

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 山村 織生： 横浜国立大公開コロキウム（減る水産物、増える海獣-絶滅危惧の水産生物と持続可能な漁業-）（2013）
「絶滅危惧種から外れたトドの未来」
- 2) 服部薫、武子裕一、磯野岳臣、山村織生： 2014年度日本水産学会大会（2014）
「トド被害防除のための強化刺網の改良」
- 3) 山村織生：第 63 回漁業懇話会講演会（2014）
「北海道における海獣による漁業被害の現状と野生動物との共存」、「トドによる漁業被害」
- 4) 服部薫、磯野岳臣、山村織生：2014年度日本哺乳類学会大会（2014）
「北海道日本海沿岸におけるトドの来遊状況の変化」
- 5) 磯野岳臣、服部薫、山村織生：2014年度日本哺乳類学会大会（2014）
「上陸場自動撮影システムによるトド焼印個体の出自」
- 6) K. HATTORI K, A. Wada A: PICES MBA Workshop, 2014
“Decadal change of spatial distribution of Steller sea lions around Ishikari-Bay, Sea of Japan”
- 7) K. HATTORI, T. ISONO and O. YAMAMURA: Symposium on the Marine mammals of the Holarctic, 2015
“Decadal change of spatial distribution of wintering Steller sea lions around Hokkaido Island, Japan”
- 8) 山村 織生、服部 薫、磯野 岳臣：日本水産学会2015年度大会（2015）.
「襟裳岬ゼニガタアザラシ上陸場近傍における底魚類の種組成と季節変化」
- 9) O. YAMAMURA, T. KITAKADO, K. HATTORI and T. ISONO: Vth International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan, 2015
“Management of Steller sea lion on the western coast of Hokkaido Island, Japan”
- 10) K. HATTORI, T. ISONO and O. YAMAMURA: Vth International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan, 2015
“Catch history of Steller sea lions in Japanese waters: a review”
- 11) 磯野岳臣、Burkanov VBA、服部薫、後藤陽子、和田昭彦、山村織生：水産海洋学会2015年研究発表大会（2015）
「焼印再確認情報に基づいた北海道・ロシア間におけるトドの季節移動（予報）」
- 12) 山村織生、小岡孝司：水産海洋学会2015年研究発表大会（2015）

「道東沿岸域における底生魚類群集構造」

- 13) O. YAMAMURA, K. HATTORI and T. ISONO: ESSAS Annual Science Meeting, 2016
 “Management of Steller sea lions off the western coast of the Hokkaido Island: mitigating the threat to the sustainability of local fishery”

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

平成27年3月19日に、えりも町において実施された環境省主催の地域住民に向けた成果発表会において、本研究の成果内容を町民に対して説明した。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) Harvey JT, Goley D. 2011. Determining a correction factor for aerial surveys of harbor seals in California. *Mar. Mamm. Sci.* 27 (4): 719-735.
- 2) 伊藤徹魯、宿野部猛. 1986. ゼニガタアザラシの生息数と生息状況, pp 18-58.
- 3) 和田一雄, 伊藤徹魯、新妻昭夫、羽山伸一、鈴木正嗣編、ゼニガタアザラシの生態と保護、東海大学出版.
- 2) Kobayashi Y, Kariya T, Chishima J, Fujii K, Wada K, Baba S, Ito T, Nakaoka T, Kawashima M, Saito S, Aoki N, Hayama S I, Osa Y, Osada H, Niizuma A, Suzuki M, Uekane Y, Hayashi K, Kobayashi M, Ohtaishi N. and Sakurai Y. 2014. Population trends of the Kuril harbour seal *Phoca vitulina stejnegeri* from 1974 to 2010 in southeastern Hokkaido, Japan. *Endangered Species Research* 21(1): 61-72.
- 3) Olesiuk PF. 1993. Annual prey consumption by harbor seals (*Phoca vitulina*) in the Strait of Georgia, British Columbia. *Fishery Bulletin* 91: 491-515.
- 4) Pauly D, Christensen V, Walters C. 2000. Ecopath, Ecosim, and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries. *ICES J Mar Sci* 57: 697-706.
- 5) Schoener TW. 1970. Nonsynchronous Spatial Overlap of Lizards in Patchy Habitats. *Ecology* 51 (3) : 408-418.
- 6) Ter Braak, CJF. 1995. Ordination. *In Data analysis in community and landscape ecology*. RHG Jongman, CJF Ter Braak, and OFR. Van Tongeren (Eds). Cambridge University Press, Cambridge, U.K. pp. 91-173.

(3) 飼育および野生環境下における個体の採餌行動解明

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター生態系変動解析分野

宮下和士・三谷曜子・山本潤

平成25～27年度累計予算額：35,224千円（うち平成27年度：12,355千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

近年、ゼニガタアザラシによるサケ定置網での食害が問題となっている。その被害対策を確立するためには、アザラシの行動圏や漁場での行動、さらに漁具に対する行動の把握、そしてサケの捕食方法について明らかにすることが必要である。そこで本研究では、北海道襟裳岬における本種の行動を明らかにすること、また飼育下における行動を明らかにすることを目的として、衛星発信機・音波発信器といったバイオリギング手法による行動追跡および、飼育下での行動実験を行った。

衛星発信器による野生個体の追跡では、襟裳岬周辺海域の行動圏についてGPSによる詳細なデータを得ることができた。加えて、個体に音波発信器を装着し、定置網周辺に音波受信機を複数台設置することにより、定置網に入る行動と入らなかった行動を区別することができた。この結果、漁期前からアザラシは定置網周辺を通過しており、通り道として利用していることが明らかとなった。また、1個体のみが何回も同じ網に来ていたが、この個体はモニタリングしていた網で混獲された1歳以上の個体であったことについても明らかにした。

水族館において飼育実験を行ったところ、生きたサケなどの見たことのない物体についての反応では、個体による行動特性の違いがあった。また、経年的な実験の結果、同じ個体でも経験や文化の伝搬によって、反応が変化することが明らかとなった。現在、本種の漁業被害を防除するため、物理的に網に入れなくするような格子網の開発が進められていることから、飼育下において、どれくらいの幅を通り抜けられることができるのかを実験した。この結果、肩甲骨の幅よりも小さい格子では、アザラシは通り抜けられないことが明らかとなった。

この結果をふまえて、大型個体による漁業被害防除のためには、格子網を20×20cmの規格とし、実際に定置網で使用することとなった。飼育実験からは、個体によってサケや擬似漁具などに対する反応が異なることが飼育実験で明らかとなり、また野外における発信器による追跡においても、漁場に頻繁にやって来る個体とそうでない個体が存在する可能性を示唆した。

結論として、効果的に漁業被害を軽減するには、常習的に定置網にやってくる学習した個体を取り除いていく必要があると考えられる。

[キーワード]

バイオリギング、飼育実験、採餌行動

1. はじめに

ゼニガタアザラシ(*Phoca vitulina*)は世界で最も生息域の広い鳍脚類の1種であり、定住性で岩礁などの上陸場で生活している。本種の食性は魚類、頭足類、甲殻類と多様であり、地域的、季節的に豊富な餌を捕食する日和見捕食者であるが¹⁾、本種の餌はしばしば漁業対象種と重複し、定置網内の魚の捕食など、漁業との競合が世界中で問題となっている^{2) 3)}。日本では北海道にのみ生息が確認されており、太平洋岸の襟裳岬、および厚岸から根室沿岸の岩礁や島に上陸する⁴⁾。本種は1960年～1970年にかけて、肉や毛皮を目的としたアザラシ猟、コンブ漁場確保のための岩礁爆破事業、コンブ漁船をはじめとする船による上陸妨害などにより個体数が激減した⁴⁾。この減少を受け保護に対する関心が高まり、1992年に環境庁によって絶滅危惧種に指定され、捕殺禁止等の保護活動が行われた結果、本種の個体数は増加傾向にあることから⁴⁾、2015年の環境省レッドリストでは準絶滅危惧種にダウンリストされた。

日本国内における本種最大の上陸場である北海道襟裳岬では、近年、本種の個体数増加に伴い、サケ定置網での食害が問題となっており、その被害対策を早急に確立することが求められてきた。しかし、昨今ではアザラシを始めとする海棲哺乳類に対し、漁業被害を起こす害獣と捉えるのか、保護すべき希少動物と捉えるのか、文化や歴史を背景として認識が多様化している。このような状況下では、国内の沿岸漁業でも沿岸生態系の生物多様性を保全することも視野に入れつつ、操業することが必要である⁵⁾。

このためには、まず漁業被害の防除対策を確立すること、そして高次捕食者の位置にあるゼニガタアザラシを含めた生態系の保全管理を行うことが必要である。現在、特定鳥獣保護管理計画を策定することにより、人と野生鳥獣との軋轢を軽減しようという取り組みが各地でなされている。特定鳥獣保護管理計画を策定・実行する上で、i) 区域を分けて管理を行うゾーニング、ii) 状況の変化に応じて順応的な管理を行うフィードバック、iii) 対象種および生息環境のモニタリング、が重要となる。しかし本研究で対象とする海という環境は、区域を分けることが困難であること、人の目が届かない場所であること、という陸と大きく異なる特徴を持つ。そこで本研究で着目したのはバイオロギング手法である。バイオロギングとは、電子センサを搭載した記録計を動物に装着し、彼らの動きや行動、周囲の環境、生理状態を野外で計測する研究手法である。本手法を用いることにより、個体ごとの行動圏や、漁場での行動、さらに漁具に対する行動を把握することが可能である。ただし、このような手法が確立されていても、実際にどのような行動がデータとして表れるのかについては、動物の行動、例えばサケの捕食方法や、漁具に対する反応について実際に観察することも必要である。そこで本研究では、野外調査と飼育実験を行うことにより、北海道襟裳岬における本種の行動を追跡すること、また飼育下における行動を明らかにすることを目的として、衛星発信機・音波発信器による行動追跡および、飼育実験を行った。

2. 研究開発目的

近年、目の届かない海洋生物の行動圏について明らかにするため、衛星発信器による行動追跡が行われている⁶⁾。個体に装着した発信器は、水中から水面に出ると水切りスイッチが作動し、電波を発するように設定されている。その際、上空をArgos衛星が通過すると、発信器からの信号を受信して位置を定位するというものである。しかしこのArgos衛星では、位置の誤差が数百mから数kmまでと大きいことが知られており⁷⁾、漁場の周辺をどのように利用しているか、といった細か

いスケールでの追跡には適していない。そこで、本研究では、誤差の小さいGPS衛星発信器を用いることにより、ゼニガタアザラシの行動追跡を行うことを目的とした。

しかし、衛星発信器は電波を発するという特性上、海水中で発信しても衛星が受信することは不可能である。このため、アザラシの定位は、水面上で呼吸をしている時や休息している時などに限られる。一方、水中における動物の追跡には、伝搬する音波を使うことが主流である。音波発信器を個体に装着し、受信機を水中に設置することにより、受信機を中心として半径数百m内に個体が入ると記録される。しかし、受信機を定置網に1台設置するのみでは、周辺に近づいているのはわかるものの、定置網ないに入っているのかどうかは不明である。そこで着目したのがVPS (Vemco Positioning System) システム手法による水中での定位手法である⁸⁾。この手法では、複数台の受信機を設置してアレイを組み、発信された音波をわずかな時間差をもって複数台で受信することにより、発信器の位置を定位することが可能となることから、最近では魚類の行動モニタリングに使われている⁹⁾。本研究では、この手法をアザラシの行動追跡に応用し、定置網の周辺に8台の受信機を設置することにより、定置網周辺でどのような行動をしているかをモニタリングした。

定置網の中に入るアザラシの被害を防除するためには、網の中に入ったアザラシがサケをどのように認知し、食べるのかを明らかにする必要がある。また、物理的に進入できない方策を考え、それが効果的かどうかを検証する必要がある。このような観察は、実際に野外で行うことは難しいことから、本研究ではアザラシをえりも岬で捕獲し、水族館に搬入して飼育することにより、観察実験を行った。

以上より、本研究では、

1. 野外において衛星発信器、音波発信器を個体に装着し、行動圏や定置網内での行動を明らかにすること
 2. 飼育環境において、生きたサケを投入し、サケをどのように認知するのか、どのように反応するのかを明らかにすること、また擬似漁具を投入し、物理的な防除法が効果的かどうかを検証すること
- を目的として研究を行った。

3. 研究開発方法

(1) 野生環境下における個体の採餌行動解明

衛星発信器：2014年・2015年ともに、秋サケ定置網に混獲されたゼニガタアザラシの未成熟個体 (n=7、表(3)-1)にGPSによる位置データを記録、送信可能な衛星発信器(GPS Argos tag, Sea mammal Research Unit製およびSPLASH10-F-400、Wildlife Computers社)を頭部に装着し、行動追跡を行った(図(3)-1)。

また、2014年はGPSの位置データを衛星が上空を通過する間に送りきれず、欠損値が生じた。これを防ぐために、2015年9月、襟裳岬先端に建てられている襟裳岬「風の館」の敷地内に衛星受信機を設置し、アザラシの上陸中にデータを得ることを試みた(図(3)-2)。

表(3)-1 衛星発信器装着個体の捕獲時における情報

個体ID	性別	年齢	体重(kg)	体長(cm)	捕獲日	放獣日
EZ140822-1	F	当歳獣	29	102.0	2014/8/22	2014/8/22
EZ140904-1	M	当歳獣	36	102.6	2014/9/4	2014/9/4
EZ140905-1	F	当歳獣	31	92.8	2014/9/5	2014/9/5
EZ140906-1	F	当歳獣	34	102.6	2014/9/6	2014/9/6
EZ150901-1	M	当歳獣	36	98.6	2015/9/1	2015/9/1
EZ150905-1	F	1歳以上	44	121	2015/9/5	2015/9/5
EZ150913-1	M	当歳獣	30	111.5	2015/9/13	2015/9/14



図(3)-1 頭部に衛星発信機を装着したゼニガタアザラシ



図(3)-2. 襟裳岬「風の館」に設置したArgos受信機

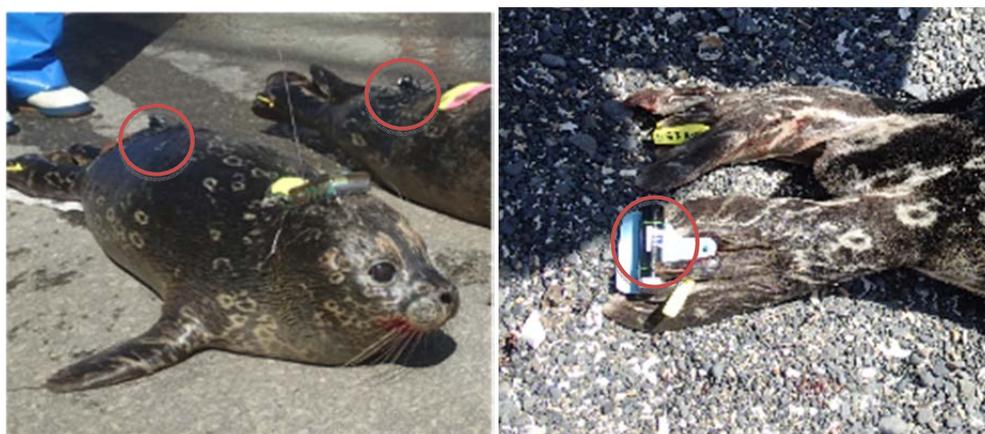
音波発信器：定置網周辺における行動を追跡するため、アザラシ22個体に音波発信器（V13P-1HおよびV16-4H、Vemco社）を毛皮および足ヒレのタグとともに装着した（表(3)-2、図(3)-3）。また、丸米漁業部7号定置網の沖網において、2014年は金庫網の周りに、2015年は垣網から定置網にかけて、8カ所に受信機（VR2W、Vemco社）を海底から5mの地点に設置し、VPSシステムのアレイを組んだ（図(3)-4）。発信器を装着したアザラシが、これらの受信機のステーションに近づくと、複数台に受信される。ただし、ステーションによって受信される時刻には差が出るため、この時間差を使って水中での位置を緯度、経度で計算することが可能である。なお、事前にテストした結果、本調査海域においては、音波信号の100%受信可能範囲は185mであったことから、その範囲内に複数台の受信機があるように設置した。なお、装着した音波発信器のうち、V13P-1Hには深度センサが搭載されており、深度情報も発信することによってアザラシの潜水深度を得ることが可能である。

さらに、今後の受信機設置の簡便化、つまり複数台の受信機設置によるアレイを組まず単独の受信機で設置した場合、網に入る行動かどうかを区別できるかを検証するため、アザラシが漁網に入った場合と入らなかった場合について、受信時間に違いがあるのかについて比較した。

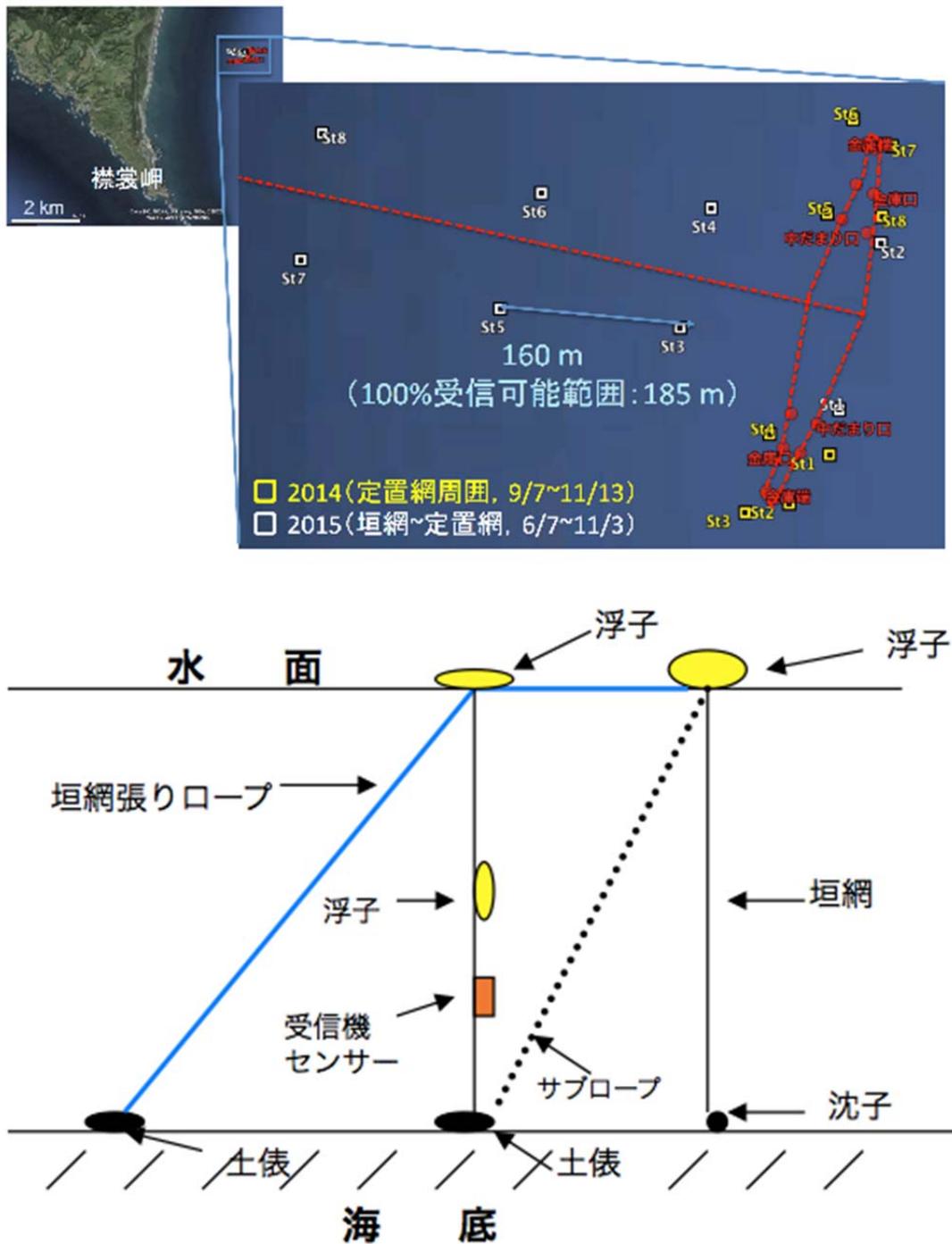
表(3)-2 音波受信機を装着した個体数

6月は生体捕獲（詳細については後述）、8-10月は混獲によって捕獲した

装着	個体数 計	装着した音波受信機別の個体数	
		V13P-1H*	V16-4H**
2014.6	3	3	0
2014.8-10	7	7	0
2015.6	5	0	5
2015.8-9	7	6	1
計	22	16	6



図(3)-3 音波発信器の装着方法。左：毛皮、右：足ヒレのタグに装着



図(3)-4 VPSシステムにおける音波受信機のアレイ. 上: 音波受信機 (VR2W) 8台の設置箇所 (St1-8、黄色: 2014年、白色: 2015年). 下: 垣網周辺への設置方法

(2) 飼育環境下における個体の行動解明

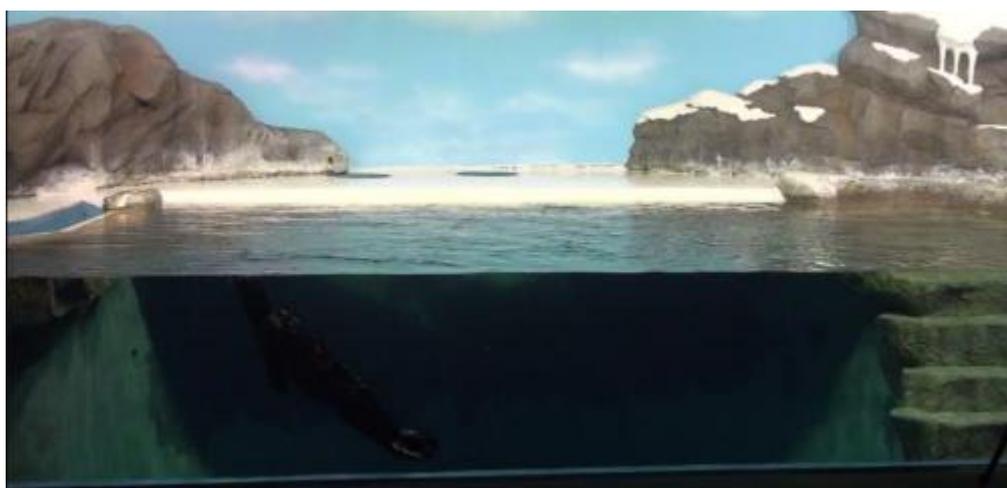
えりも岬の上陸岩礁にて、タモ網を使って個体を捕まえる、という生体捕獲を行った。2013年に4個体 (オス: 3個体、メス: 1個体)、2015年にメス1個体を捕獲し (図(3)-5)、青森県営浅虫水

族館へと搬入して飼育実験に用いた。



図(3)-5 アザラシの捕獲と搬送

サケ投与実験：飼育されているアザラシに対して、2014年12月（推定1歳半）、2015年10月（推定2歳半）に対して、生きたサケ（5個体）を与える実験を行った。メイン水槽の観客席側に2台のカメラを設置し、同時に補助カメラを手持ちで撮影することにより、アザラシの行動を連続的に記録した（図(3)-6）。記録した映像は30分毎に5分間観察し、これを1セクションとした。観察より各個体の特徴的な行動を分類し、これらの行動の回数および持続時間を記録した。得られたデータより、各個体における実験全体を通しての行動の変化の解析を行ない、各個体の行動の差異を比較した。



図(3)-6 メイン水槽の全景

格子網実験：アザラシがどのくらいの幅であれば格子を通り抜けられるのかについて、2014年にメイン水槽内で実験を行った。実験は、擬似漁具（定置網の金庫口）として縦1m、横1mの木枠にスケールを貼付け、ロープを使って格子サイズを変えられるようにした。この木枠に15×15cm、

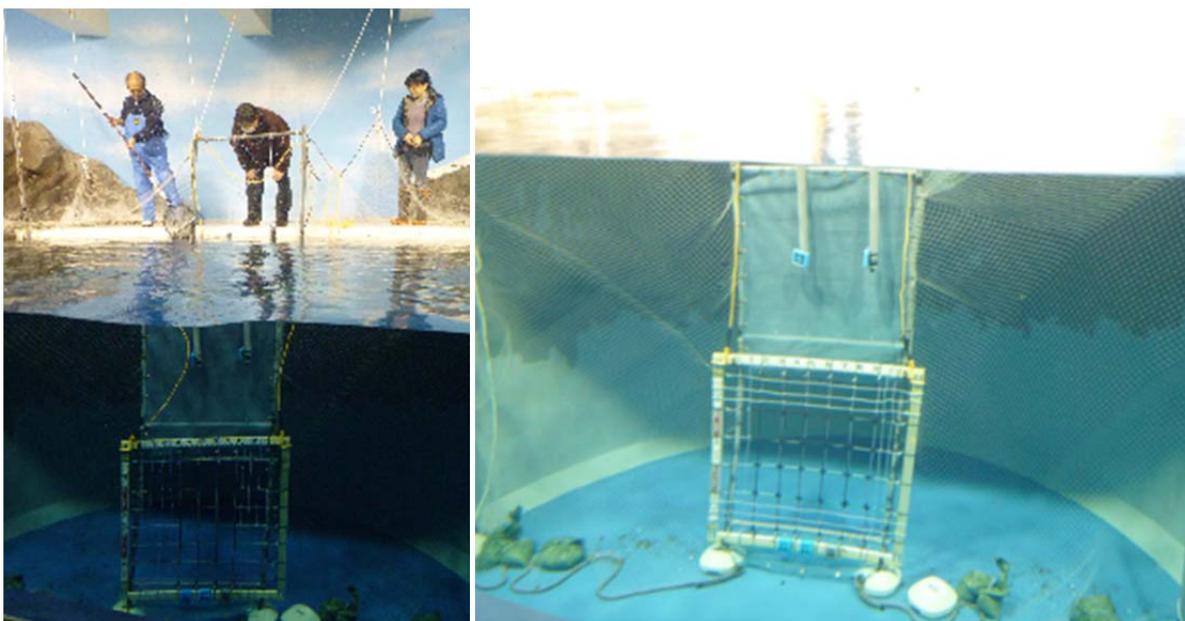
15×20cm、15×30cmおよび20×20cmの格子をロープで作成し、塩ビパイプで作成した枠とともにメイン水槽の奥の上陸場の前に設置した（図(3)-8）。枠以外の箇所（横や上）には網を張り、下側は土のうで固定して、格子以外から奥に入れないようにした（図(3)-9）。実験中は、奥に餌を入れ、格子を通過して奥まで入るかについて、観察を行った。



図(3)-7 木枠で作成した擬似金庫網口



図(3)-8 格子網実験の準備の様子. 右側がメイン水槽（図(3)-6）の観客席側、左が奥の上陸場側. 上陸場には2つ穴があいており、そこから餌を投入した



図(3)-9 メイン水槽での格子設置の様子

4. 結果及び考察

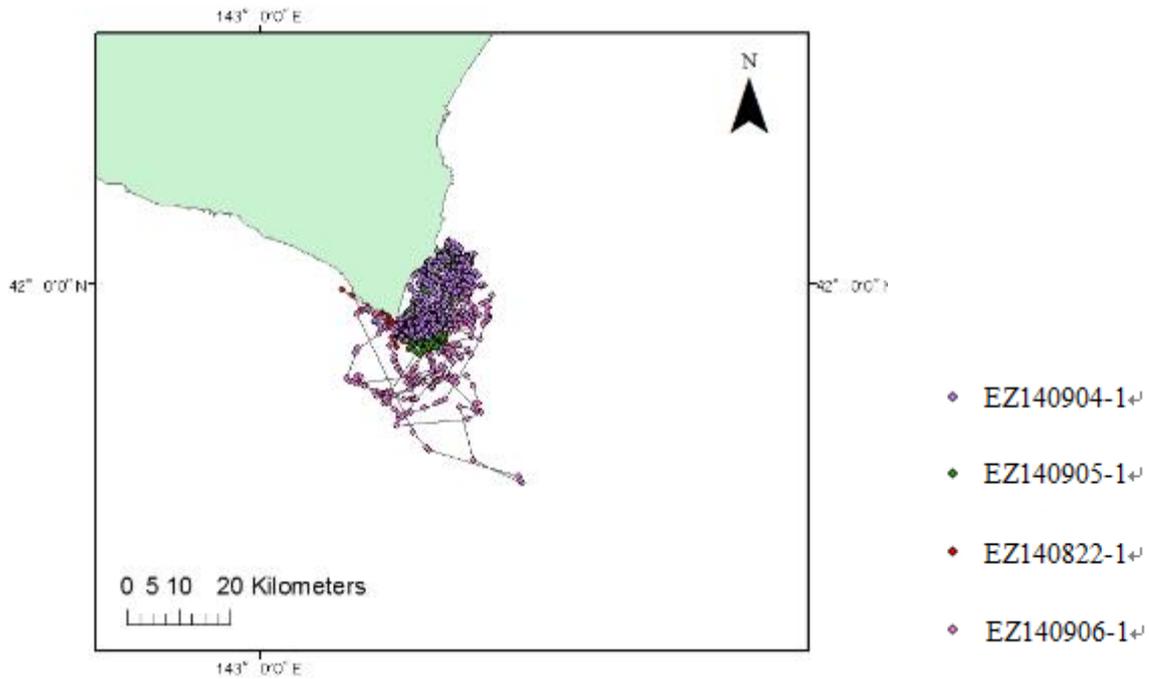
(1) 野生環境下における個体の採餌行動解明

衛星発信器：GPS衛星発信器を装着した7個体のうち、1個体（EZ150901-1）は放獣後すぐ、2日間で発信が途絶えた。残りの6個体については26～135日間の追跡ができた（表(3)-3）。

表(3)-3 衛星発信器装着個体の追跡結果

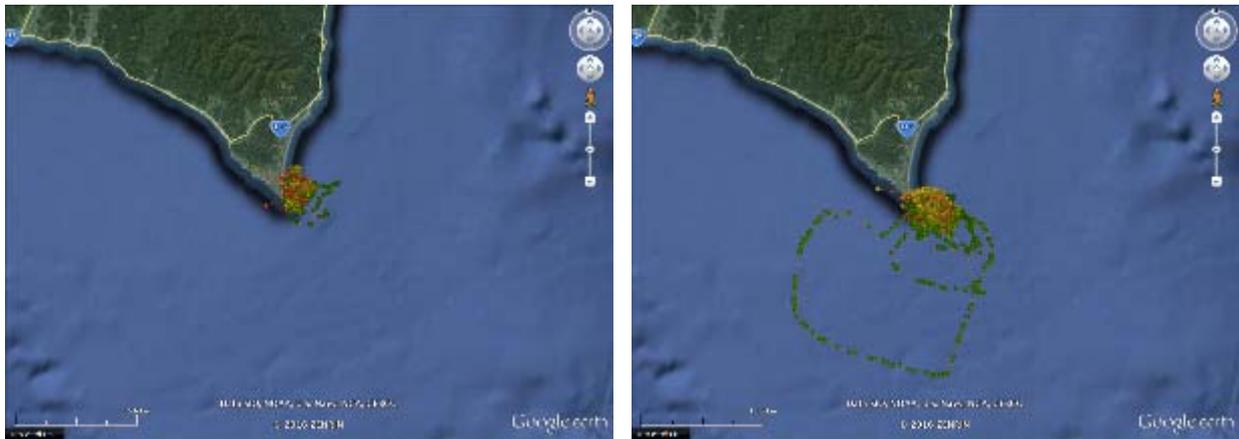
個体ID	追跡日数	追跡開始日	追跡終了日
EZ140822-1	135	2014/8/22	2015/1/3
EZ140904-1	76	2014/9/4	2014/11/18
EZ140905-1	41	2014/9/5	2014/10/15
EZ140906-1	26	2014/9/7	2014/10/2
EZ150901-1	0	2015/9/1	2015/9/1
EZ150905-1	129	2015/9/5	2016/1/12
EZ150913-1	128	2015/9/13	2016/1/19

2014年では、襟裳岬から庶野までを往復している様子や、EZ140906-1では、襟裳岬の南島沖30kmにも行っていたことが明らかとなった（図(3)-10）。



図(3)-10 2014年の追跡個体の移動経路

2015年ではEZ150905-1ではほとんどの受信が襟裳岬周辺（半径7km以内）であったのに対し、EZ150913-1では襟裳岬から20kmの沖合まで行動範囲が広がった。（図(3)-11）。



図(3)-11 ゼニガタアザラシ未成熟個体（n=2）に装着した衛星発信器によるGPS定位（左：EZ150905-1、右：EZ150913-1）。定位は風の館の敷地内に設置した受信機による

これらの結果については、速報としてwebページで公開した（<http://ameblo.jp/ez1403/>、<http://ameblo.jp/zeni2015/>）。

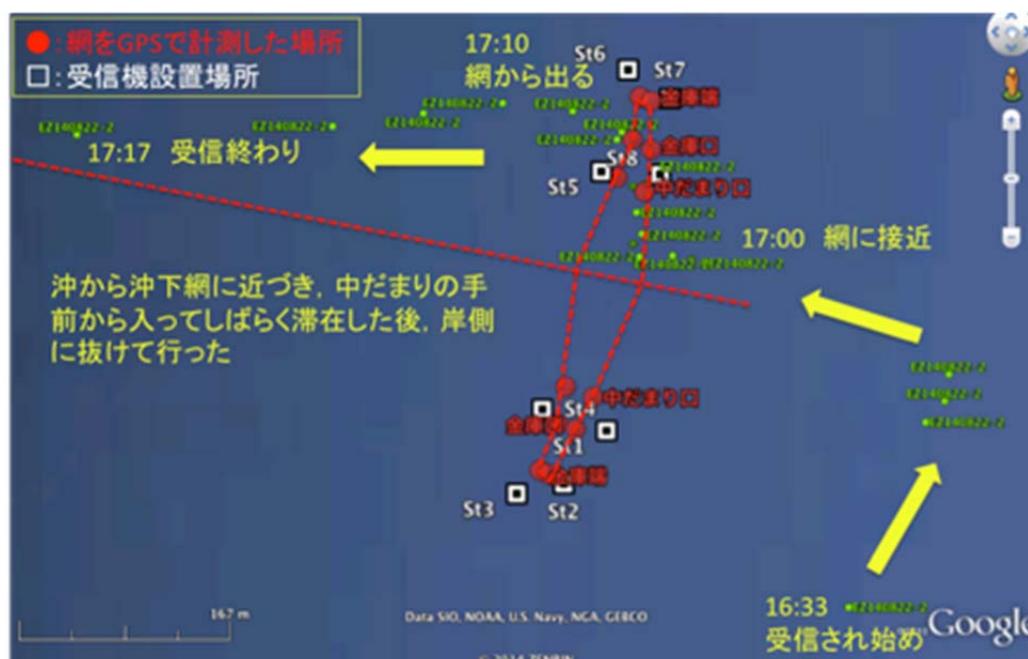
音波発信器：音波発信器による漁網周辺での行動追跡では、発信器を装着した22個体のうち、VPSシステムによって緯度経度を定位することができたのは12個体、連続的に追跡できた軌跡を1回として定位できた回数は56回であった（表(3)-4）。

表(3)-4 VPSシステムによる定位

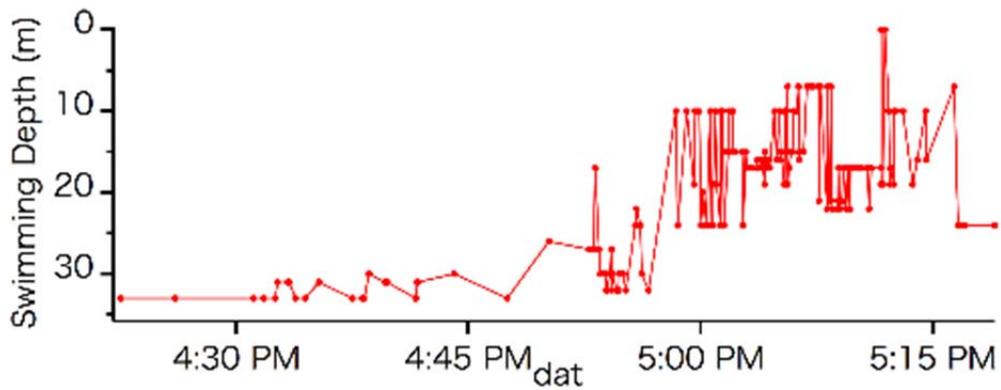
装着	個体数計	定位できた個体数	定位できた回数*
2014.6	3	0	—
2014.8-10	7	2	3
2015.6	5	5	35
2015.8-9	7	5	18
計	22	12	56

*：1点でも定位できたものも含む

各年で見ると、2014年では2個体、3回のみしか定位できなかった。このうち、2014/11/4の日没（16:18）後に1回来遊した1個体（EZ140822-1）は、16:22から受信され、16:47までは海底付近である33m付近にいたが、17時頃から深度10-20m付近を遊泳していた（図(3)-12、図(3)-13）。襟裳岬のサケ定置網は、中だまり部分には天井網がなく、開放になっており、そこからアザラシが漁網内に入った可能性がある。



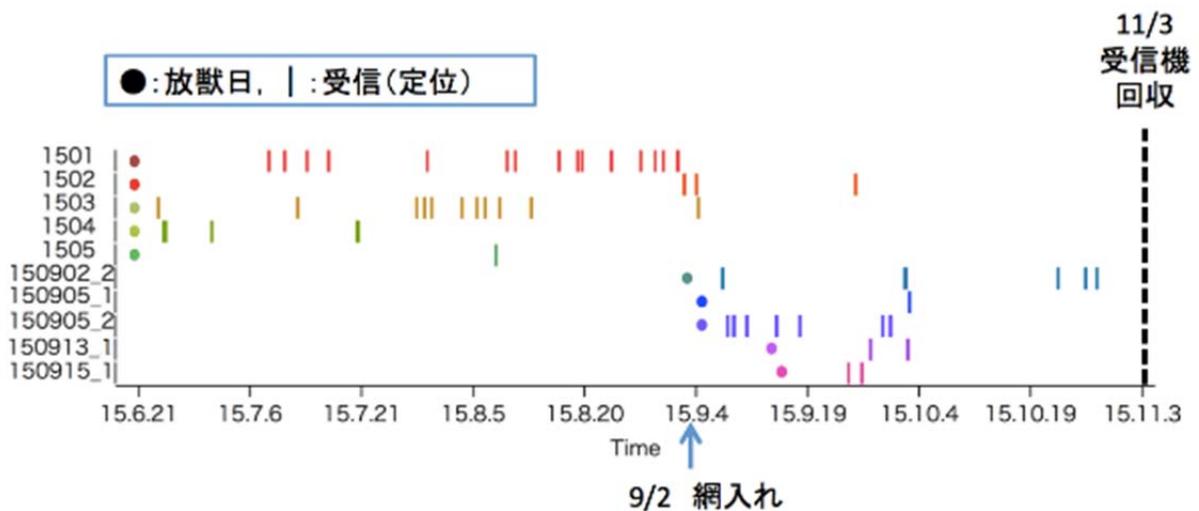
図(3)-12 VPSシステムによって得られた漁網付近でのアザラシ（EZ140822-1）の移動



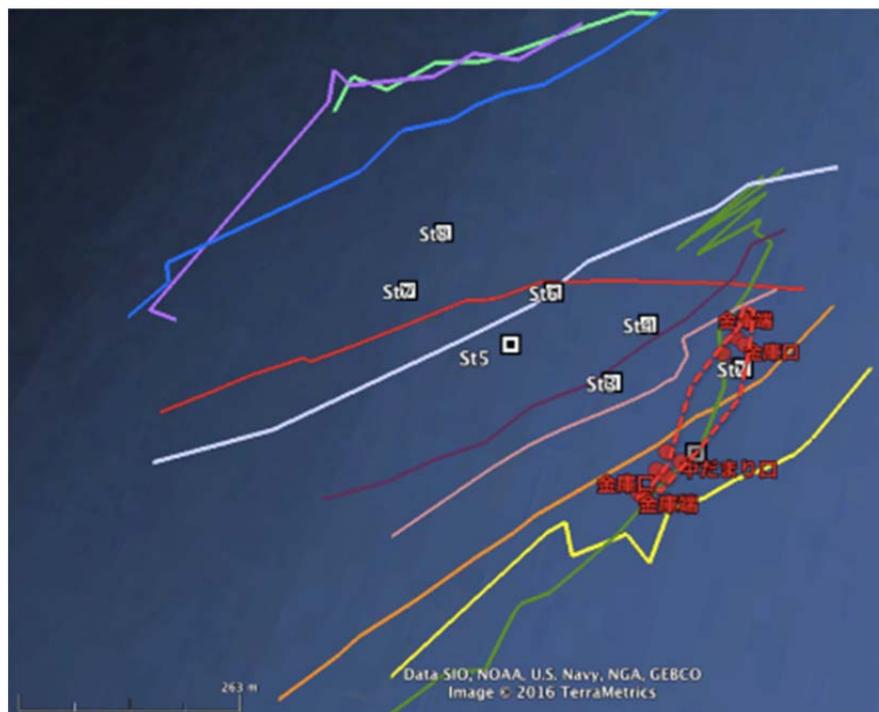
図(3)-13 漁網付近でのアザラシ (EZ140822-1) の潜水深度の時系列変化.

図(3)-12で示したものと同時刻のデータである

2015年については、10個体から53回定位することができた(表(3)-4)。この年には漁期前から受信機を設置しており、6月に発信器を装着していた個体は全て、定置網を入れる前に受信が確認された(図(3)-14)。このうちのEZ1501は漁期前、つまり定置網を張るための型のみが入っており、定置網本体や垣網が入っていない時期にのみ受信された。連続的に受信され定位された軌跡を見ても、上陸場から定置網の北西部の間を行き来するように通過する軌跡が得られており(図(3)-15)、漁期前から定置網のある辺りを通り道として利用している可能性が考えられた。



図(3)-14 個体ごとの受信(定位)履歴



図(3)-15 漁期前（2015/7/7-8/30）に定位されたEZ1501の軌跡．異なる色は異なる日付の軌跡を示す．赤い点線は定置網が入る予定の場所、白い四角は受信機設置場所を示す

9月2日の網入れ以降に網に入った個体は6月に生体捕獲調査で捕獲した1個体（EZ1502、推定0歳）と、丸米漁業部（えりも岬の東側、岬から2番目に位置する）の沖網で混獲された1個体（EZ150905-2、推定1歳以上）の計2個体であった（表(3)-5）。EZ1502は1回、4分間の滞在だったのに対し、EZ150905-2は5回の侵入が確認され、その平均滞在時間は58.2分であった（表(3)-6）。この個体は、丸米漁業部の沖網で混獲された3個体のうちの1個体であり、推定1歳以上の個体であった。同じ網で混獲された他の2個体は推定0歳であり、これまでの知見と同様、1歳以上の個体は常習的に決まった漁場へと侵入することが考えられた。

表(3)-5 網入れ後の定位回数と網への進入回数

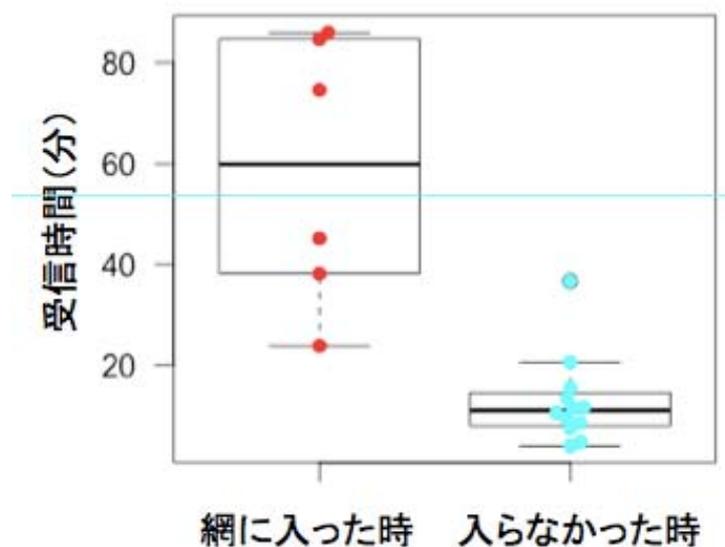
個体	性	推定年齢	定位した回数	進入回数
1502	M	0	2	1
1503	M	0	1	0
150902-2	M	0	4	0
150905-2	F	>1（未成熟）	7	5
150913-1	M	0	2	0
150915-1	F	0	2	0

表(3)-6 EZ150905-2の網内侵入履歴. ただし、9月29日の21:35以降、同じ場所での受信が続いており、この付近で発信器が脱落したことが考えられる

No	入網時刻	出網時刻	滞在時間 (分)	滞在場所
1	9/7 23:42	9/8 0:16	34	下・中だまり
2	9/8 19:37	9/8 20:57	80	上・金庫→中だまり
3	9/10 14:28	9/10 15:39	71	上・中だまり→下・中だまり
4	9/28 20:09	9/28 21:27	76	上・金庫
5	9/29 21:05	9/29 21:35*	30**	下・中だまり

*: この辺りで脱落したと考えられる **: 少なくとも

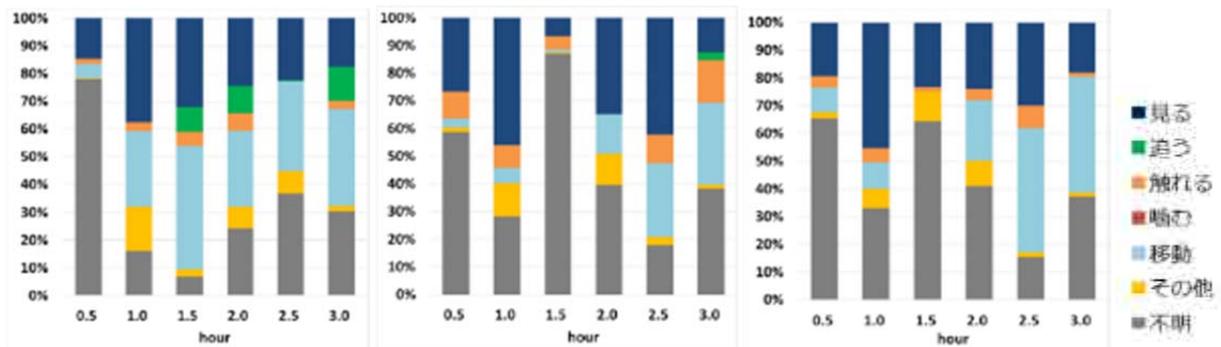
その他の個体は、定置網設置前・設置後において、付近を通過、または定置網に進入せずに周辺海域を利用するだけであった。このように複数台の受信機を置くことにより、アザラシが定置網の中に入っているのかどうかを確認することが可能となった。しかし今後も複数台の受信機を1つの網に入れるには、時間と費用がかかること、地域全ての網に複数台を設置することは現実的に難しいことが考えられる。一方、受信機を1台のみ設置する場合は、多くの網に設置することが可能であるが、3次元での追跡を行うことができず、網の中に入っているのか、それとも網の外にいるのかを区別することはできない、そこで、網の中に入っているときと、網の外に入っているときで、受信時間に違いがあるのかを2015年のデータで比較した。その結果、漁期中において網の中に入った時の受信時間は 58.8 ± 26.5 分であり、網に入らなかった時は 12.8 ± 8.8 分であった(図(3)-16)。このことから、受信機1台の設置であっても、その受信機での受信時間が充分長ければ、網の中に入っているものと仮定できると考えられた。



図(3)-16 網に入った時と入らなかった時の連続受信時間

(2) 飼育環境下における個体の採餌行動解明

サケ投与実験：生きたサケを水槽に投入し、ビデオによる撮影記録を行った。10セクション（50分/5時間）の観察により、本種における特徴的な行動は5種類（見る、追う、触れる、噛む、泳ぐ）に分類した。2014年は、3個体に対して実験を行い、観察を行っていた3時間において、摂餌する行動は見られなかった（図(3)-17）。



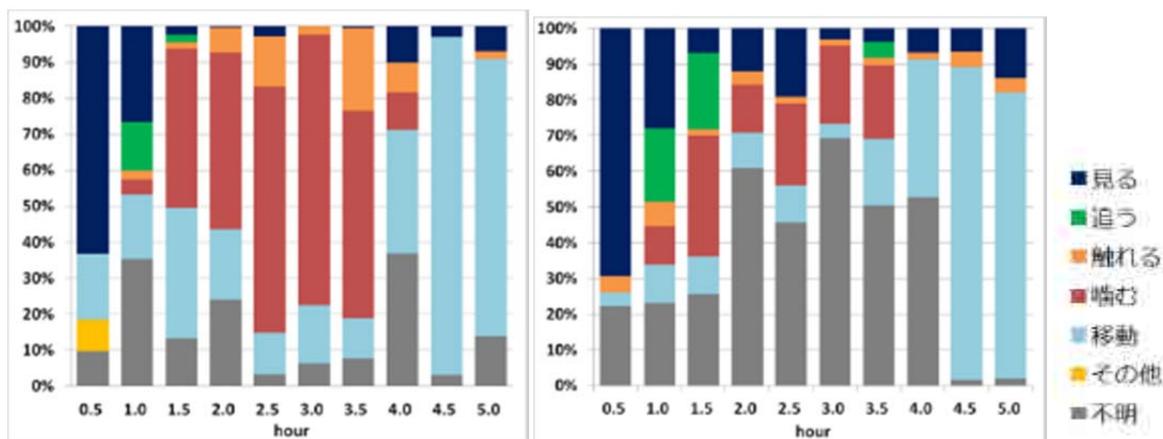
図(3)-17 2014年の実験における行動の持続時間割合の変化。

左が2015年に噛む行動が見られた1個体

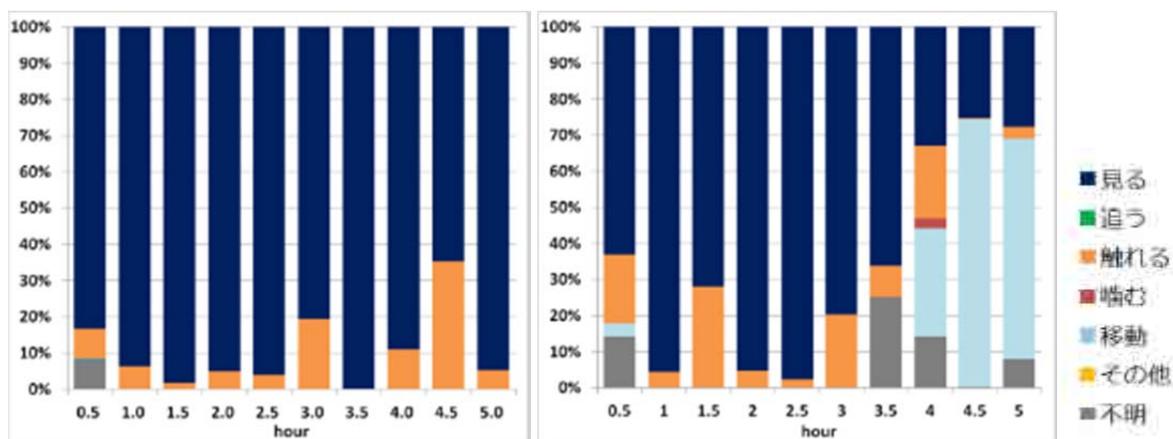
2015年は4個体に対して実験を行い、2個体で生きたサケを噛む行動が確認された。このうち1個体は初めてサケを提示された個体であった。この個体はサケの投入から7セクション目(3時間後)に摂餌行動を行った（図(3)-18）。これらの個体において、見る、および追う行動が減少すると噛む行動が増加する傾向が確認された（図(3)-19）。一方、サケを噛む行動が見られなかった2個体で主に観察されたのは、見る、および触れる行動であった（図(3)-20）。また、7セクション目以降は全ての個体において摂餌行動が見られなかった。更に、8セクション目からは前者の2個体において噛む行動が減少し、見る、および泳ぐ行動が増加した。



図(3)-18 サケ摂餌の様子



図(3)-19 噛む行動が見られた2個体の行動の持続時間割合の変化。
左側は摂餌行動が確認された個体



図(3)-20 噛む行動がなかった2個体の行動の持続時間割合の変化。
右側の個体の噛むはサケに対する行動ではなかった

以上のように、兩年の実験では結果が大きく異なり、2015年の方が、積極的にサケに反応していることが明らかとなった。昨年度と異なるのは、個体の年齢（推定）が1歳半から2歳半になったこと、また、バックヤードからメインプールへ1個体が移動し、計4個体となったことである。よって、サケに対する反応が異なった理由として、①個体の成長、もしくは2回目の提示による新奇物体への馴れ、②文化の伝搬が考えられた。移動した個体は、昨年の格子実験（後述）でも唯一、格子をくぐり抜けた個体であり、新奇物体への怖れがあまり見られない。鰭脚類においては、絶滅危惧種のサケ類を捕食するカリフォルニアシカでも文化の伝搬が報告されており、1個体がダムに遡上してサケを捕食していると、周囲の個体が学習することが報告されている¹⁰⁾。よって、2014年にサケを唯一噛んでいた個体が、2015年になるとさらに積極的に反応した理由として、他個体の影響も考えられる。今後はゼニガタアザラシにおいても文化の伝搬について明らかにする必要があると考えられる。

格子網実験：飼育水槽内に枠を入れ、そのスリット幅を調整することにより通過できるかどうかの実験を行った。予備実験として、まず枠のみを入れて反応をみたところ、神経質な個体（メス）では餌を食べなくなるなどの反応が見られた。次に、残りの3個体（すべてオス）をメイン水槽に入れ、格子は入れない状態で実験したところ、3個体とも枠を通過して奥に行くことが観察された。しかし、1個体は奥に行ったものの、戻る際に横の刺し網部分で通れず、パニックになって羅網しかけた。よって、本実験はこれらの2個体（メス1、オス1）を除くオス2個体で行った。

この結果、一番小さな個体（38.4kg）のみではあったが、15×30cmおよび20×20cmのスリットを通り抜けることは可能であった。ただし、15×15cm、15×20cmのスリットでは通り抜けることができなかった（図(3)-21）。もう一方（44.2kg）の個体は頭をスリットから入れて覗き込むものの、通り抜けはしなかった。通り抜けられなかった時を観察すると、肩甲骨に格子のロープがあたり、通過できない様子が明らかとなった。今回の個体は1歳半の未成熟個体であるため、どの大きさの個体を網に入れないようにするかで格子の幅を決定する必要があると考えられた。また、先述の実験と同様、見慣れないものに対する反応は個体によることも明らかとなった。



図(3)-21 15×15cmの格子網を通過できなかった時のアザラシの様子。左下の床に餌である魚が落ちている。肩幅が通らず、手を使って格子網を引っ掻くような行動が見られた

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

衛星発信器による追跡の結果、襟裳岬周辺海域の行動圏について、データが得られるとともに、定置網への入網行動についても、はじめて知見を得ることが出来た。さらには、水族館において、本種が見たことのない新奇物体に対してどのような反応を示すのか、また、どれくらいの幅を通り抜けられるのか飼育実験を行った。その結果、生きたサケなど、見たことのない物体についての反応では、個体による行動特性の違いがあることが明らかとなり、同じ個体でも経験や文化の伝搬によって、反応が変化することが示唆された。また、格子網の実験から、肩甲骨の幅よりも小さな格子では、アザラシが通り抜けられないことが明らかとなった。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

本研究では、肩甲骨の幅よりも小さい格子では、アザラシが通り抜けられないことを明らかにした。また、何回も同じ網に来る個体は、1歳以上の個体であることが明らかとなった。以上のことから、大きな個体による漁業被害防除のために、格子網を20×20cmの規格とし、実際に定置網で使用する事となった（えりも地域の協議会に環境省が示した実施計画案のp1に記載）。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究では、何回も同じ網に来る個体は、1歳以上の個体であること、また飼育実験から、個体によってサケや擬似漁具などに対する反応が異なること、文化の伝搬の可能性を示唆した。このことから、効果的に漁業被害を軽減するには、常習的に定置網にやってくる個体を取り除いていく必要があるという根拠になると期待される。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 三谷曜子：鰭脚類の回遊行動と食性. 日本水産学会漁業懇話会報 63: 1-3 (2014)

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 三谷曜子：第63回漁業懇話会講演会（2014）

「鰭脚類の回遊行動と食性」

- 2) 白曼大翔、葛西広海、田中寛繁、山村織生、小林万里、宮下和士、三谷曜子：平成26年度日本水産学会北海道支部大会（2014）

「ヒゲの安定同位体比分析によるゼニガタアザラシの食性履歴の推定」

- 3) 藤森康澄、川本雄平、小林由美、伊藤遼平、桜井泰憲、三谷曜子、蔵本洋介、関口泰治：2015年日本水産学会春季大会（2015）

「北海道えりも地域のサケ定置網におけるゼニガタアザラシによる食害防除を目的とした漁具改良の検討」

- 4) 三谷曜子、阪口功喜、小林万里、中野江一郎：2015年日本水産学会春季大会（2015）

「ゼニガタアザラシ腸内容物のDNA分析による餌生物推定」

- 5) T. HAKUMAN, T. HORIMOTO, H. KASAI, H. TANAKA, O. YAMAMURA, M. KOBAYASHI, K. MIYASHITA and Y. MITANI: Vth International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan, 2015

“Stable Isotopes In Harbor Seal Whiskers As Indicators Of Seasonal Feeding Patterns”

- 6) Y. MITANI: Vth International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan, 2015

“Harbor seals and salmon fisheries: from captive experiments”

- 7) 伊藤遼平、藤森康澄、小林由美、桜井泰憲、三谷曜子、蔵本洋介：H28年度日本水産学会春季大会（2016）
「北海道襟裳地域のサケ定置網内におけるゼニガタアザラシとサケの行動観測」
- 8) 三谷曜子・宮下和士・山本 潤・片山誓花・小林万里：H28年度日本水産学会春季大会（2016）
「VPS 測位システムによるゼニガタアザラシの行動追跡 ～北海道襟裳岬のサケ定置網周辺への出現～」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 青森県上久保小学校 修学旅行講義（2014年9月3日、北海道大学函館キャンパス大会議室、ゼニガタアザラシについて紹介）
- 2) 青森県上久保小学校 修学旅行講義（2015年9月2日、函館市国際水産・海洋総合研究センター、浅虫水族館で行っているゼニガタアザラシの実験について紹介）

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) NHK青森放送局あっぷるワイド（2015年1月27日、浅虫水族館での実験の様子について3分ほど紹介）
- 2) 東奥日報（2015年1月28日、アザラシと漁業の共存を／北大が青森市の浅虫水族館で実験／食害防止策の構築目指す（<http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20150128-28140935-webtoo-102>）
- 3) NHK青森放送局あっぷるワイド（2015年11月12日、浅虫水族館での実験について紹介）

(6) その他

最優秀学生講演賞

- 1) 白曼大翔、葛西広海、田中寛繁、山村織生、小林万里、宮下和士、三谷曜子：平成26年度日本水産学会北海道支部大会（2014）
「ヒゲの安定同位体比分析によるゼニガタアザラシの食性履歴の推定」

ポスター発表（学会等）

- 1) Y. MITANI, T. HAKUMAN, K. SAKAGUCHI and K. MIYASHITA: International Symposium "Dolphin acoustics, behavior and cognition", Shizuoka, Japan, 2014
“Feeding ecology and foraging behavior of harbor seal (*Phoca vitulina*) in-situ and ex-situ: Systematic conservation and management planning for the coexistence of harbor seals and fisheries along the coast of Oyashio.”
- 2) S. KATAYAMA, K. MIYASHITA and Y. MITANI: 21st Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, The Hilton San Francisco, San Francisco, USA, 2015
“Overlap of juvenile harbor seals (*Phoca vitulina*) foraging areas and salmon fishing grounds around

Cape Erimo, Japan”

- 3) 木村舞子、宮下和士、三谷曜子：平成27年度日本水産学会春季大会(2016)
「ゼニガタアザラシ (*Phoca vitulina*) がサケ (*Oncorhynchus keta*) を口にするまで—新奇餌生物への摂餌過程」

Webページでの情報提供

- 1) ゼニガタアザラシの追跡速報 <http://ameblo.jp/ez1403/>, <http://ameblo.jp/zeni2015/>

8. 引用文献

- 1) Tollit DJ, Greenstreet SPR, Thompson PM. 1997. Prey selection by harbour seals, *Phoca vitulina*, in relation to variations in prey abundance. *Can J Zool* 75:1508–1518. doi: 10.1139/z97-774
- 2) Yurk H, Trites AW. 2000. Experimental attempts to reduce predation by harbor seals on out-migrating juvenile Salmonids. *Transactions of the American Fisheries Society* 129:1360–1366.
- 3) Wright BE, Riemer SD, Brown RF, et al. 2007. Assessment of harbor seal predation on adult salmonids in a Pacific Northwest estuary. *Ecological Applications* 17:338–351.
- 4) Kobayashi Y, Kariya T, Chishima J, Fujii K, et al. 2014. Population trends of the Kuril harbour seal *Phoca vitulina stejnegeri* from 1974 to 2010 in southeastern Hokkaido, Japan. *Endanger Species Res.* 21(1): 61-72.
- 5) 桜井 泰憲, 松田 裕之. 2009. 保全と利用の両立を目指した知床世界自然遺産. *日本水産学会誌* 75:99–101.
- 6) Cooke S. 2008. Biotelemetry and biologging in endangered species research and animal conservation: relevance to regional, national, and IUCN Red List threat assessments. *Endang Species Res.* 4:165–185. doi: 10.3354/esr00063
- 7) Costa DP, Robinson PW, Arnould JPY, et al. 2010. Accuracy of ARGOS locations of pinnipeds at-sea estimated using Fastloc GPS. *PLoS ONE* 5:e8677. doi: 10.1371/journal.pone.0008677
- 8) Roy R, Beguin J, Argillier C, et al. 2014. Testing the VEMCO Positioning System: spatial distribution of the probability of location and the positioning error in a reservoir. *Anim Biotelem* 2:1. doi: 10.1186/2050-3385-2-1
- 9) Finn JT, Brownscombe JW, Haak CR, et al. 2014. Applying network methods to acoustic telemetry data: Modeling the movements of tropical marine fishes. *Ecological modelling* 293:139–149. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2013.12.014
- 10) Schakner Z, Buhnerkempe M, Tennis M, Blumstein D. 2015. Social transmission drives California sea lion foraging of endangered salmon at the Bonneville dam: Assessing the impact of lethal removal using epidemiological models. 21st Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, 2015

(4) 混獲・漁業被害軽減手法の開発と持続型漁業の社会経済的評価

北海道大学水産科学研究院

桜井泰憲・藤森康澄

<研究協力機関>

水産工学研究所

越智洋介・山崎慎太郎・藤田薫・田丸 修

(平成25・26年度のみ)

平成25～27年度累計予算額：37,251千円（うち平成27年度：13,341千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本研究では、諸外国で実施されている混獲・漁業被害の低減策としての物理的対策事例を参考として、襟裳地域の定置網における鱈脚類の侵入防除、混獲防止を目的とした漁具改良方法の確立を目的とした。また、北海道東部沿岸におけるゼニガタアザラシの長期個体数調査データから、本種の過去から現在までの分布と個体数変動についてまとめ、ゼニガタアザラシの個体群動態モデルの作成をおこなった。さらに、持続型漁業の社会経済的評価を行い、地域住民に大規模な聞き取り調査を行った。

一般的に定置網の水揚げ作業（揚網）は早朝と午後に各1回行われることが多い。対象とした定置網でも、同様に午前6時頃と午後1時前後であった。通常、船が網に近づくと網周辺のアザラシは逃避する。したがって、午後の揚網時刻を遅くすることで、網に入ろうとするアザラシに対するけん制効果を期待できる。また、本研究によって、定置網の魚捕り部にあたる箱網へのアザラシ侵入阻止を図る上で、20 x 20 cm目サイズの格子網による防除効果が高いことが明らかになった。格子網は箱網に入ろうとするサケにとっては障害物となり、装着による漁獲量の減少が懸念されるが、操業期間中の調査では格子網装着時に被害率は平均0.27から平均0.02と大幅に減少し、結果として水揚げされる漁獲量も平均1割増しとなった。なお、調査後も漁業者による自主的装着が継続されていたことから、開発された格子網は十分実用的な被害防除策と考えられる。

ゼニガタアザラシの長期モニタリングデータを整理し、ベイズ統計解析によって本種の個体群パラメータを算出した。その結果、日本におけるゼニガタアザラシは、過去40年間で個体群年平均増加率が3～5%で増加していた。これは、諸外国と比較して低く、混獲による影響が示唆された。また、本種は、Pup時（赤ちゃん）の時は生存率が低く、成長に連れて生存率が上昇していくことが明らかになった。成獣のメスは、高い確率で毎年こどもを産むこと、および年平均生存率が90%以上と高かったことから、個体群の保護を検討していくうえでは、成獣メスの保全が重要である。

地域住民に大規模な聞き取り調査を実施したところ、本種の管理に望む第1位は“捕殺（個体数調整）”であったが、絶滅を望む地域住民は一人もいなかった。今後、エコラベルの認証、地域ブランド確立が要検討である。

[キーワード]

混獲、漁具改良、個体群動態、個体数管理、絶滅危惧種

1. はじめに

現在、鰭脚類の混獲および漁業被害の低減策としては、漁具への接近の防止、漁具自体の改良の2種類の方法が検討されている。前者の場合、音を用いて対象生物に漁具の存在を意図的に知覚させる、あるいは音により忌避させ、特定の区画に侵入させないことを目的としている。こうした音響装置は海生哺乳類の混獲防止を目的として、20年ほど前から北欧を中心として試験が行われるようになり、近年では小型化、機能の向上により一般的に用いられるようになってきている¹⁾²⁾。しかし、その効果は地域や対象種によっても異なっており、さらに、鰭脚類の学習により長期間の効果の持続は難しいとされている。一方、後者では、北欧における建網（トラップネット）での事例があげられる³⁾。これは、主に格子枠等を魚捕部となる箱網への入口となる登り網の端口に装着し、箱網への鰭脚類の侵入を阻むという物理的対策となる。すでに、このような方法はスウェーデンやフィンランドでは一般的となっており、多くの漁業者が導入している。

先に述べたような物理的防除方法の他に、個体の駆除（個体数調整）による被害軽減もまた、諸外国では実施されている⁴⁾。しかし、我が国の北海道東部沿岸から南千島に生息するゼニガタアザラシについては、1970年代から生態調査は実施されていたもののデータは散見し、例えばIUCNの定めるレッドデータブックにおいても、本種は“情報なし”とされていた経緯があった⁵⁾。

2. 研究開発目的

効果的にゼニガタアザラシの被害防除を進めるためには、様々な方策の妥当性を検証し、短・中・長期的な展望を明らかにすることが重要である。そこで、本研究では、(1) 混獲・漁業被害軽減手法の開発：諸外国で実施されている物理的対策事例を参考として、襟裳地域の定置網における鰭脚類の侵入防除、混獲防止を目的とした漁具改良方法の確立を目的とした。また、(2) 個体群動態モデルの作成と持続型漁業の社会経済的評価：個体数管理のための個体群動態モデルの作成：北海道東部沿岸におけるゼニガタアザラシの長期個体数調査データから、本種の過去から現在までの分布と個体数変動についてまとめるとともに、地域住民に持続型漁業について大規模な聞き取り調査を行った。

3. 研究開発方法

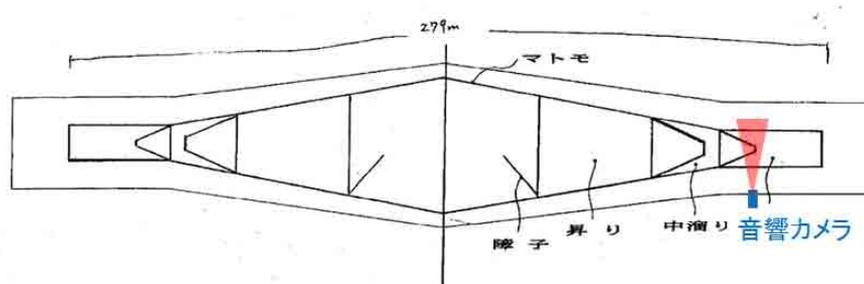
(1) 混獲・漁業被害軽減手法の開発

1) 定置網に侵入するアザラシの行動と操業状況の調査

定置網への鰭脚類の侵入経路、侵入個体数、網内での捕食行動などの侵入状況の把握を行うとともに、網へ装着できる構造物の設計条件を求めるため、定置網の設置されている環境（潮流・流向）と操業状況の把握を行う。具体的には、本研究では以下の2点についてモニタリングを行った。

網への侵入過程と網内での行動観測：現在、対象とする定置網では箱網からの漁獲物において被害が認められている。そこで、箱網内への鰭脚類の侵入状況と網内での行動を観測するため、光の有無、水の透明度・濁度に関わらず対象物の撮影が可能である音響カメラ(DIDSON)を用い、図(4)-1に示す定置網の箱網横部に固定して、夕方から夜間にかけての箱網内の状況を観測する。なお、記録画像から鰭脚類の侵入箇所を確認するとともに、入網時刻、滞留時間、個体数を求める。

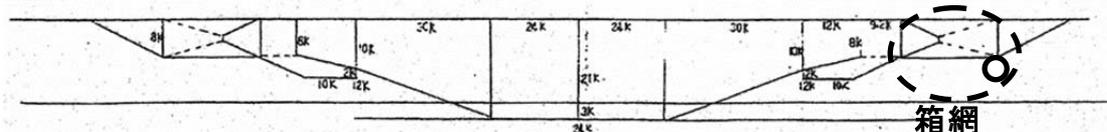
また、同カメラでは撮像物のサイズ計測も可能であることから、記録画像をもとに入網した鰭脚類および捕食される魚類の体サイズの計測を行う。



図(4)-1 定置網俯瞰図：定置網への音響カメラ設置位置

漁具の物理的環境と操業状況のモニタリング：定置網の操業状況と物理的環境（潮流の影響）を調べるために、定置網の箱網下端部（図(4)-2）に水深・水温ロガーを装着する。なお、ロガーは漁期中装着したままとするため、データの記録間隔は1分とする。

箱網部は操業時に揚網されるため、この部分の水深の変化から操業時間（網おこし、網入れ時刻）を知ることができ、対象となる定置網の操業形態を把握できる。さらに、箱網部下端は潮流の影響により上下する（吹かれと呼ばれる）ため、この部分の水深変動から潮流の影響の程度を把握することができる。



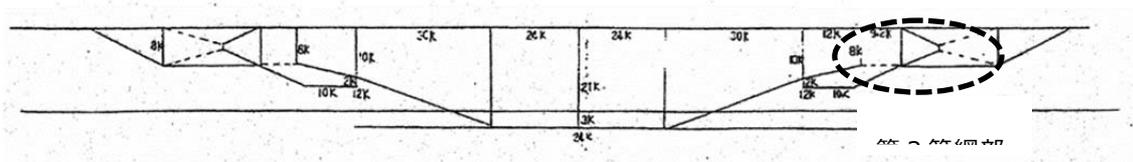
図(4)-2 定置網横断面図：箱網部における水深・水温ロガーの装着位置（○印）

2) 操海域の海洋環境調査および仕切り網を用いたアザラシ防除効果の評価

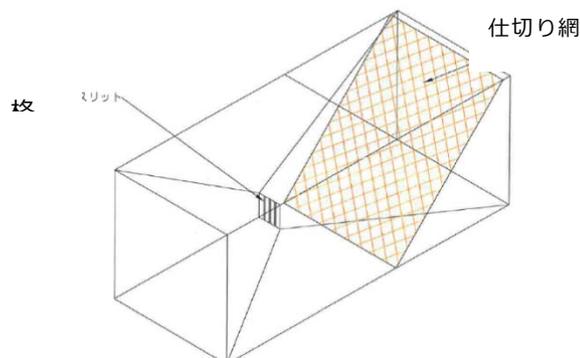
網素材を使用したアザラシ防除網（箱網部の改良）を試作し、実際の定置網にこれを装着することで、その効果の評価するとともに、水中カメラ、音響カメラによる観測を行い、サケとアザラシの網内での行動の特徴を明らかにする。なお、前年実施した操業環境のモニタリングについては、潮流観測を追加して継続実施する。

操業環境のモニタリング：定置網の操業状況と物理的環境（潮流の影響）を調べるために、定置網の箱網下端部（図(4)-3a）に水深・水温ロガー（JFEアドバンテック社製COMPACT-CT）を装着するとともに、操業域の流向・流速を調べるために、定置網近くの水深20 mに潮流計（JFEアドバンテック社製INFINITY-EM）を設置した。

防除網の構造（防除法1）：対象とした定置網（図(4)-3a）は2段箱式であり、2つの箱網のうち奥となる第2箱網を防除網の装着対象とした。試作した防除網の概要図を図(4)-3bに示す。改良した箱網の寸法は30 x 12 x 12 mであり、入口となる漏斗網端口部は2.2 x 2.2 mである。この箱網内部にアザラシに追われたサケが逃避できる区画を設けるために、図に示すように仕切り網（目合30 cm）を装着した。また、箱網に侵入したアザラシ捕獲を目的として漏斗網端口に脱出阻害のための格子を設けた。



図(4)-3a 定置網横断面図



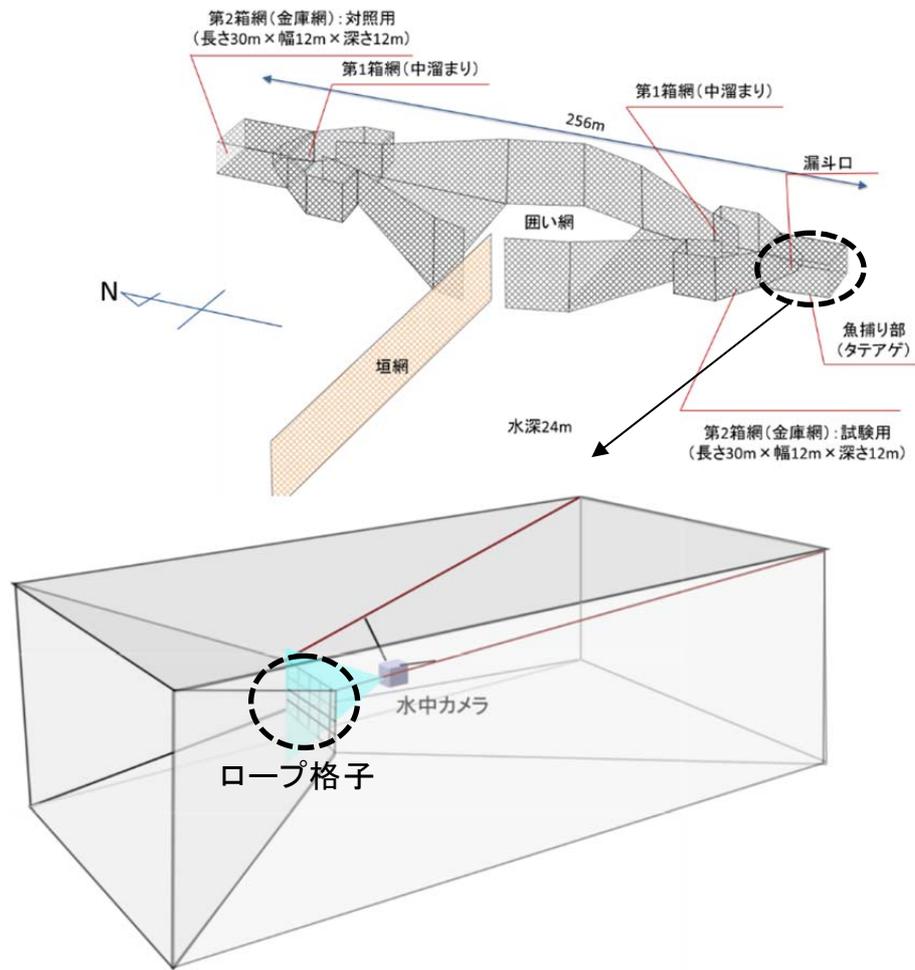
図(4)-3b アザラシ防除網（箱網）の概要

操業試験 2014年8月19日～25日（以降、調査1）および同年11月11日～19日（調査2）にえりも地域の定置網において防除網を装着して試験を行った。調査1では、丸米漁業部の7号定置の陸と沖の網のうち、陸網を対象とし、同網の南側の箱網として防除網を装着した。なお、格子は黒色のPE製ロープ（直径12 mm）で作成された（1目：40 x 70cm）。また、調査1では音響カメラ DIDSON(Sound Metrics社)により第2箱網（試験網）内部を、トロールカメラ（JT electric社）により第1箱網内を観測した。調査2では、丸宝漁業部の6号定置の陸と沖の網のうち、沖の北側の箱網として防除網を装着した。なお、本試験では、格子を緑色のPE製ロープ（直径6 mm）で作成した（1目：40 x 40 cm）。また、格子に対するサケ、アザラシの行動を観測するため、防除網内に漏斗網端口に向けて水中カメラ(HERO3+, GoPro社)を設置した。なお、いずれの調査においても、片側の第2箱網は対照網とした。カメラ観測結果については、いずれについても30分または1時間ごとのサケ、アザラシの出現個体数を映像から計数した。

3) 格子網（ロープ格子）を用いたアザラシ防除効果の評価

箱網揚網時の運用上より簡便で強固な防除法を考案し、水中カメラ観測によりその効果を確認するとともに、漁期中の防除法の有無による漁獲・被害状況の比較を行う。

ロープ格子の仕様（防除法2）: 本年度の研究では、箱網への入り口となる漏斗網先端への格子網装着による防除法を考案した（図(4)-4）。材料に剛体を使用することは避け、ロープ材料を用いて、これを角目格子状に編んで防除用格子網とした。格子網の寸法は漏斗先の寸法に合わせ、2 m x 2 mとした。なお、材料には、アザラシによる破断を防ぐため、一般的なナイロン製ロープなどよりも強度の高い超高分子量ポリエチレン製ロープ（ダイニーマ）を使用した。また、こうした格子網の装着は魚類の視認による入網忌避を生じさせる可能性があるため、強度を維持しつつできるだけ細かい材料として直径2.3 mmのロープ（ニチモウ社製、DY12）を用いた。また、格子目のサイズとして、20 cm x 40 cmと20 cm x 20 cmの2種類を用意した（図(4)-5）。



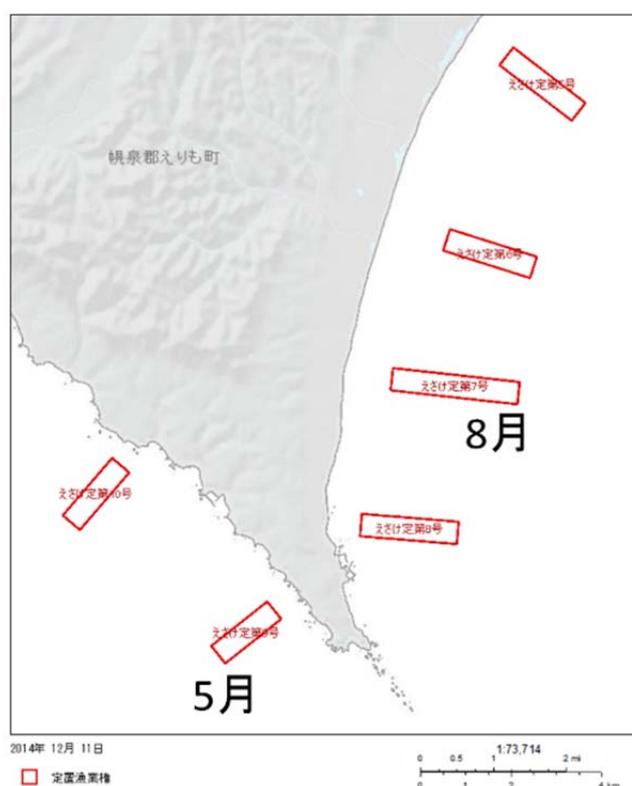
図(4)-4 定置網全体と格子網を装着した箱網の概観図



図(4)-5 格子網(ロープ格子)の装着状態(格子目サイズ:左 20 x 40 cm、右20 x 20 cm)

操業試験：2015年5月（以降、春網調査）および同年8月下旬（以降、秋網調査）にそれぞれえりも地域の9号定置網（丸協東洋）と7号定置網（襟裳興産）において格子網を装着して試験を行った（図(4)-6）。春網調査では、丸協東洋の定置網（片落とし式）の陸側と沖側の網のうち、陸網を対象とし、同網の箱網に格子網を装着した。また、秋網調査では襟裳興産の定置網（両落とし式）の陸側と沖側の網のうち沖側の北側の箱網に格子網を装着した。また、いずれの試験においても、格子網に対するサケとアザラシの行動を観測するために、耐圧ケースに入れた水中カメラ（HER03+、GoPro社）を漏斗口前を撮影するように箱網内に設置した（図(4)-3）。なお、1回の観測における撮影記録時間は5～16時間であった。カメラによる観測結果から、アザラシの格子網に対する反応行動を調べた。さらに、いずれの試験においても30分または1時間ごとのサケ、アザラシの出現個体数を計数するとともに、格子網の通過の有無を記録した。

また、実操業中の格子網の効果を評価するために、漁期開始後9月中の2週間について、格子網の使用の有無別にサケの漁獲量と被害量を調査した。



図(4)-6 試験対象とした定置網

(2) 持続型漁業の社会経済的評価

1) 個体数管理のための個体群動態モデルの作成

北海道東部沿岸に生息するゼニガタアザラシの個体群動態を明らかにするために、過去から現在までのゼニガタアザラシセンサス（個体数調査）データを整理・解析した。本調査は、哺乳類研究グループ海獣談話会にはじまり、帯広畜産大学ゼニガタアザラシ研究グループ主催で学生が

ランティア中心に現在まで継続されており、北海道に生息するゼニガタアザラシの加入率を試算する上で重要な出産・育子期（5～6月）については1974年以降、1年でもっとも個体数を把握しやすい換毛期（7～8月）については1984年以降、データが蓄積されている。各年・上陸場の上陸及び遊泳確認個体数を整理し、状態空間モデルを用いたベイズ推計法による最新の統計解析により、個体数の年平均増加率（トレンド）を算出した。算出された個体群パラメータを用いて、えりも岬における本種の個体数の将来予測を行った。また、個体群増加率がえりも岬と類似している厚岸、大黒島の個体識別データについて、データベースを用いて⁶⁾、新妻⁷⁾によって個体識別された成獣80個体の追跡調査により、推移行列⁸⁾により本種の生存率を推定した。

2) 社会経済学的評価

海洋環境の保全と経済活動の連関・変動を明らかにすることで、持続的可能な漁業を検討するために、ゼニガタアザラシの生息数の国内第一位のえりも町および第二位の厚岸町における社会経済学的資料を整理・データ化した。具体的には、えりも漁協・えりも町役場および厚岸漁協・厚岸町役場から、過去から現在にいたるまでの現存する（過去50年間以上）の水産統計データ（漁獲量、漁業収入など）、人口動態データ（人口と年齢、性別、職業別従事者数、観光入込数など）を整理した。加えて、地域住民に、持続型漁業について聞き取り調査を行った。

4. 結果及び考察

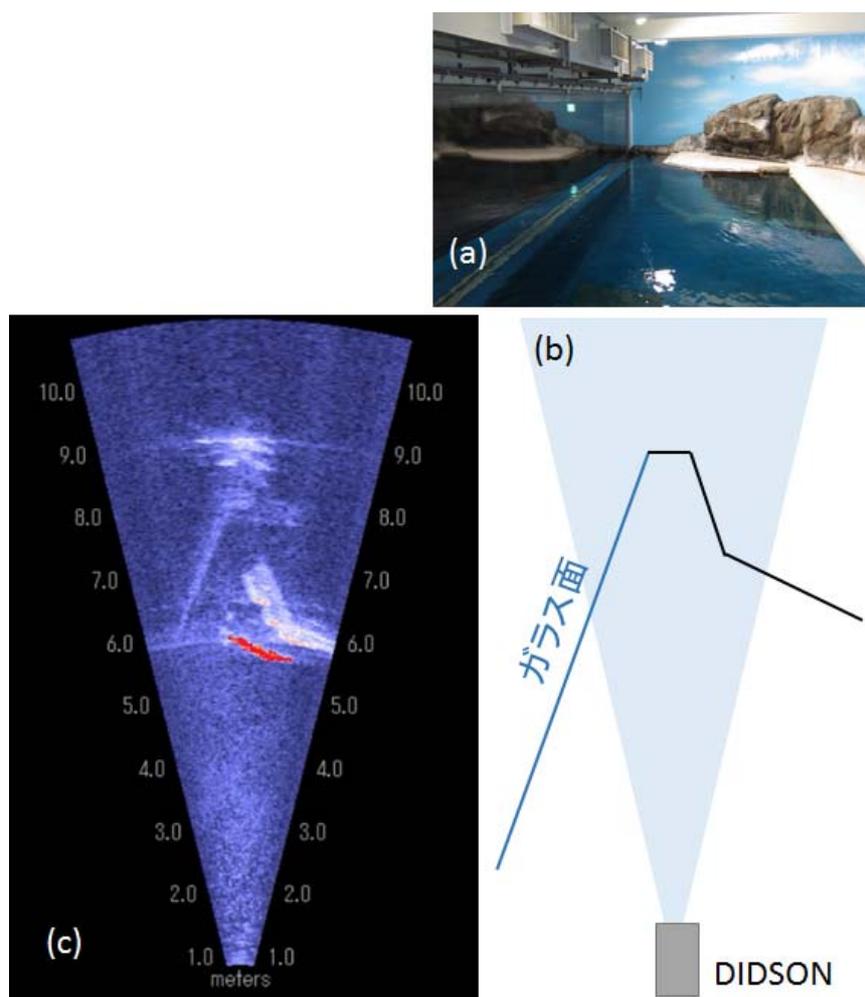
(1) 混獲・漁業被害軽減手法の開発

1) 定置網に侵入するアザラシの行動と操業状況の調査

網への侵入過程と網内での行動観測：図(4)-7に使用時の音響カメラ（上部：バッテリー、下部：カメラ）を示した。なお、今回の調査では、カメラの不調により適切な映像を取得することができなかった。また、修理完了を漁期中に間に合わせることができなかった。そのため、修理完了後に次年度の調査に向けた調整を兼ねて、本事業において捕獲され、現在浅虫水族館で飼育されているアザラシを対象とした撮影試験を行った。図(4)-8に記録された映像の一部を静止画として示した。なお、音響カメラ（DIDSON）の画像は通常のカメラとは異なり俯瞰画像として得られる。したがって、図(4)-8(c)の側方の数値はカメラからの距離を表しており、この場合、写っているアザラシのカメラからの距離は約6 mとなる。



図(4)-7 音響カメラ(DIDSON)

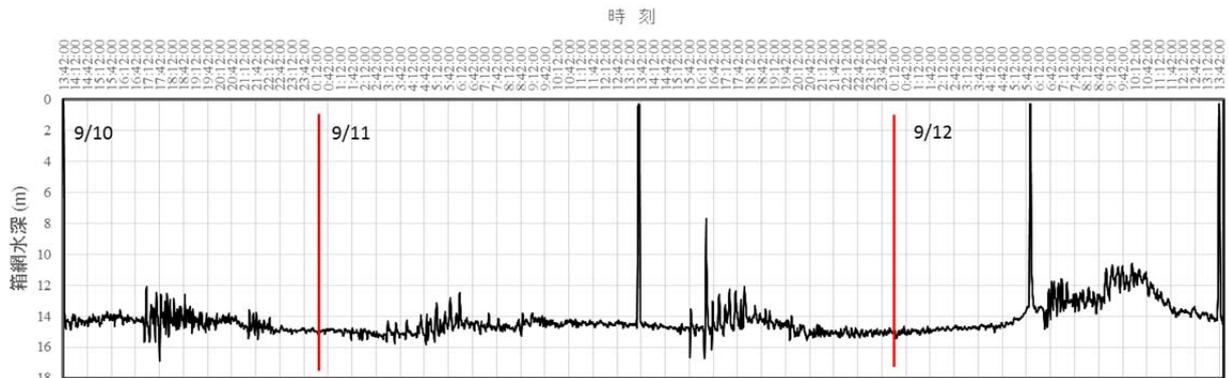


図(4)-8 音響カメラ画像. (a)水槽外観、(b)俯瞰模式図、(c)DIDSONの画像 (赤：アザラシ)

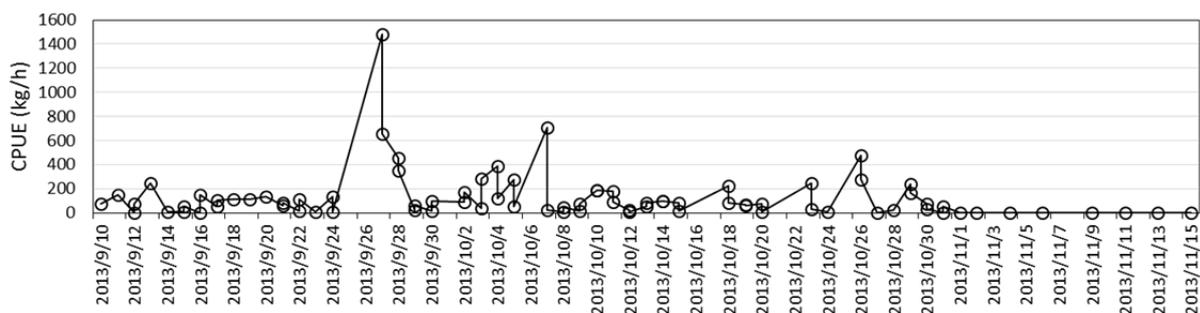
また、物体サイズもこの尺度にしたがうため、撮影されたアザラシの体長は1m程度であることがわかる。なお、この試験によりアザラシのサイズや遊泳速度に応じた音響カメラのゲインやフレームレート等の最適な設定条件を求めることができた。

漁具の物理的環境と操業状況のモニタリング：図(4)-9に記録された水深データの一例を示した。グラフ左端は網を入れた時点を示しており、水深が0 m近くとなっている点は網を揚げ（網おこし）、漁獲物を取り出して、再度網を入れたことを示している。したがって、このグラフから、9月10日（以降、9/10と略記）の13:42に網を入れ、翌9/11の13:40頃に網おこしを行い、その後、9/12の5:42頃と同日の13:40頃にも網おこしを行っていることがわかる。このように、定置網の操業時間は一定ではなく、この場合では待ち時間は約7時間、約13時間の2パターンがあることがわかる。さらに、これ以外では、24時間の時もあり、主に3パターンが確認されている。このような待ち時間（操業時間）の違いから、毎回の漁獲量を同じ基準で比較することが難しいが、このよ

うに水深から得られる待ち時間により毎回の漁獲量を標準化（CPUE：単位時間あたり漁獲量）することが可能となる。これは、今後の侵入防除装置の有無やアザラシの出現状況の漁獲への影響の定量的評価を可能とするための基礎的情報となる。



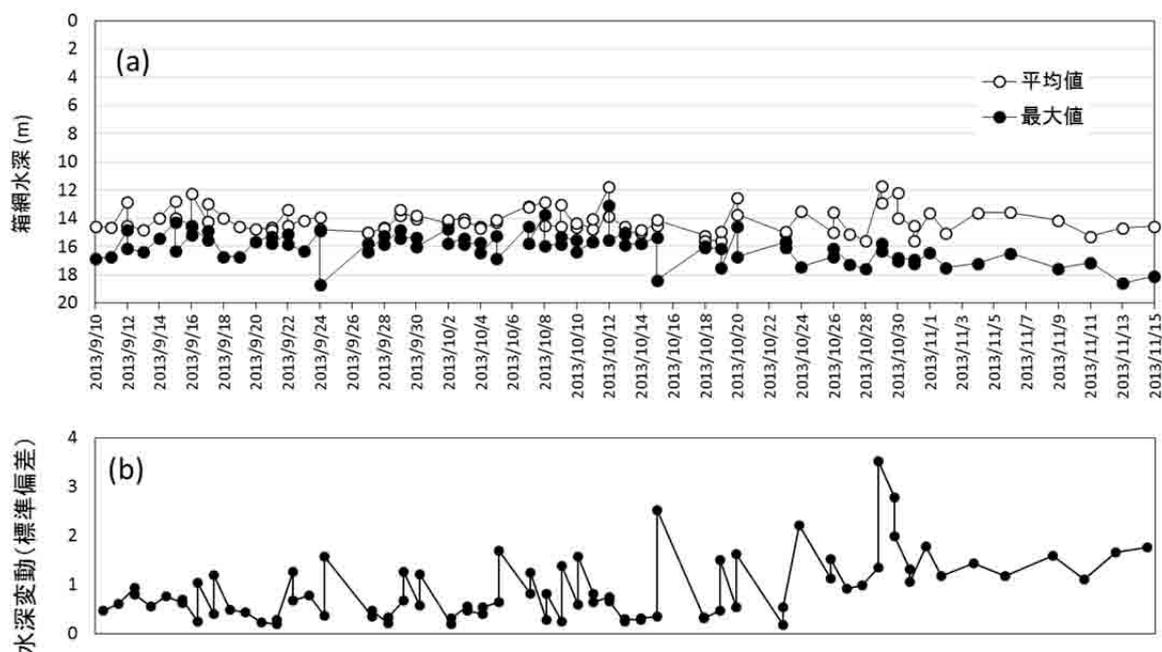
図(4)-9 水深・水温ロガーによる水深記録の一例



図(4)-10 水深データによる操業時間をもとに求めた操業ごとのCPUEの変動

図(4)-10は、実際に先の水深データをもとに得た操業時間によって推定した操業ごとのCPUEである。なお、用いた漁獲重量データは東京農業大学のチームによって記録されたものである。CPUEは9月に最大値を示し、その後変動しながら10月下旬に向けて減少している。

次に、侵入防除装置を装着する上で課題となる網の挙動を見るため、箱網水深の最大値・平均値および標準偏差を図(4)-11(a)、(b)に示した。箱網水深の平均値は多少の変動があるものの、10月中旬まではほぼ15m程度で安定していたが、それ以降で多少変動が大きくなった。一方、最大水深も10月中旬までは一時的に18mを越える日も見られるものの、平均水深との差は最大2m程度であった(図(4)-11(a))。また、標準偏差を見ても、やはり10が中旬までは値は1前後で推移していた(図(4)-11(b))。しかし、10月中旬を越えると、平均水深と最大水深の差は4m程度になることが頻繁となり、標準偏差も1を下回る日が少なくなり、2を越える日が増加していた。



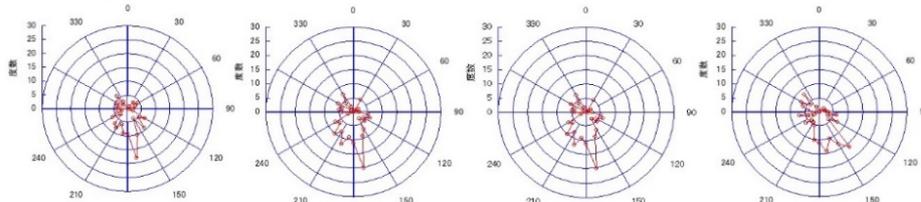
図(4)-11 (a) 作業時の箱網水深平均値と最大値、(b) 作業時の箱網水深の変動 (標準偏差)

これは、10月中旬から潮流環境が変化していることを示している。同時に計測された水温を見ると、10/14までは16℃程度で安定していたが、同日以降は2℃以上下がっており、この時期から沿岸親潮の流入の影響が始まったものと考えられる。定置網は沿岸に沿って設置されているため、沿岸流の影響は箱網の吹かれに直接的に影響を与える。網の挙動が大きい場合、網への構造物の装着は網の抵抗を増加させるために、挙動をさらに大きくする可能性がある。このことから、同定置網への侵入防除装置等の装着は箱網水深変動の小さい時期である10月中旬頃までが適当と考えられる。また、装着する装置については、流体抵抗をできるだけ抑え、かつ軽量の構造とすることが必須であろうと思われる。これらの結果より、同海域では潮流の影響により抵抗の大きい剛体を用いた装置の導入は困難と判断された。

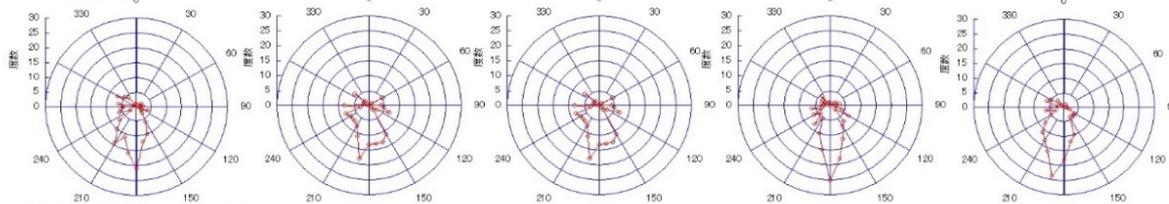
2) 操海域の海洋環境調査および仕切り網を用いたアザラシ防除効果の評価

操業環境：箱網水深の変動の大きさは、前年の結果と同様に時期により異なり、漁期はじめとなる9月初旬と10月下旬以降で大きくなった。潮流計の計測結果において、流速範囲は0～40 cm/sであり、モードは5～15 cm/sであった。また、漁期を通して南向きの流れが卓越していることがわかった (図(4)-12)。特に箱網水深の変動が大きい時期には流速も速く、その流向から、潮流の網への影響は顕著であると考えられた。このように、本地域においては剛体を使用した防除方法は適さないという前年度の判断をあらためて追認する結果となった。

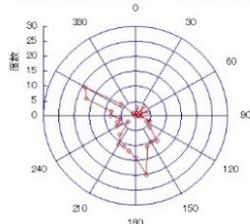
2014.09.07 - 10.04



2014.10.11 - 10.01



2014.11.02 - 11.11



図(4)-12 漁期中の時期別の流向頻度

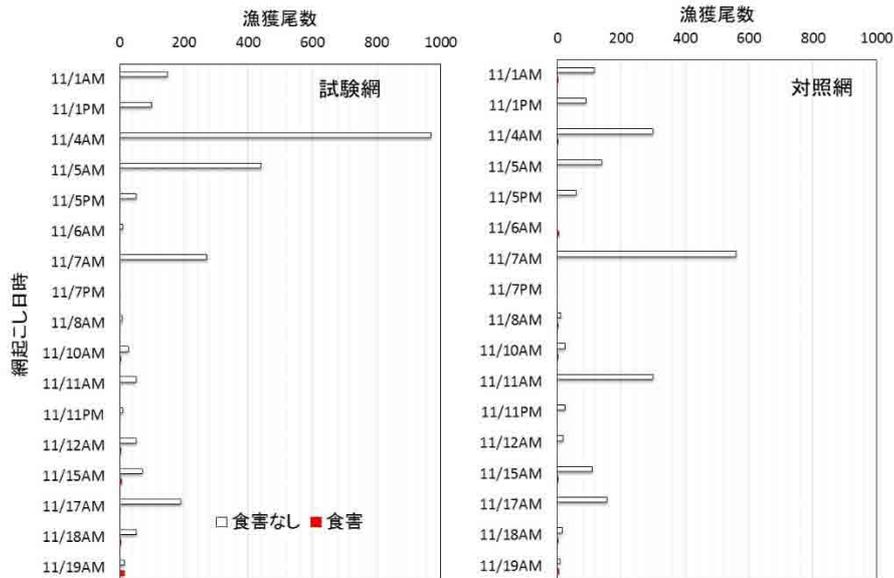
防除網の効果：調査1：8月19日では試験網（防除網）、対照網で漁獲されたサケを全て船上にあげて漁獲尾数を記録したのち、食害個体を含む死亡個体を持ち帰り食害状態を記録した。また、8月20日～22日は、操業中に撮影した動画・画像による目視調査で漁獲尾数を可能な限り観察した。なお、漁獲に関する記録項目は、生きたサケの個体数のほか食害個体数（とっかり食い）、サケの断片等の被害個体数とした。8月19日～22日の結果を表1にまとめた。

表(4)-1 調査1における操業試験結果

試験網	8月19日	8月20日	8月21日	8月22日
漁獲尾数(活サケ)	18	3	12	5
食害尾数	8	0	0	0
（とっかり食い）	4	0	2	4
食害率(%)	40	0	14	44
アザラン				
逃避個体数	0	0	1	4
捕獲(生体)個体数	0	0	0	0
捕獲個体数	7	3	3	0
対照網				
漁獲尾数(活サケ)	7	1	2	0
食害尾数	29	3		
（とっかり食い）	25	3	4	3
食害率(%)	89	86	67	100
アザラン				
逃避個体数	3	0	3	0
捕獲(生体)個体数	0	0	0	2
捕獲個体数	0	0	0	0

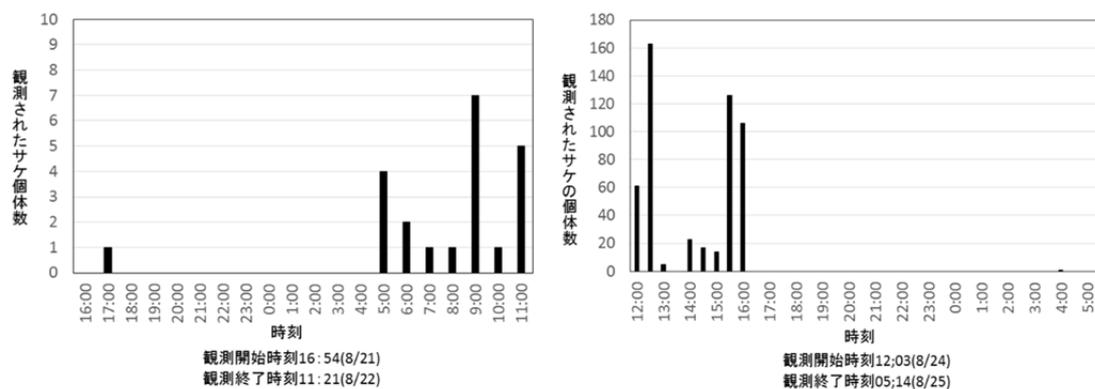
8月19日の結果では、試験網よりも対照網で総尾数が多い状態であったが、生きたサケの尾数は試験網で多かった。また、食害尾数は試験網で12尾、対照網で54尾と対照網では顕著に多く、割合は試験網で40%、対照網で89%と顕著な差が見られた。また、それ以降の日においても漁獲尾数は試験網で多かった。また、アザラシ捕獲頭数は試験網で計13頭、対照網では0頭であった。

調査2：図(4)-13に試験期間中の漁獲尾数と食害尾数を示した。この時期においてアザラシの入網頻度は非常に少ないと思われ、食害尾数も全般に少なかった。



図(4)-13 調査2におけるサケの漁獲尾数と食害尾数

なお、試験網において特に漁獲尾数が減少する傾向はなく、網への格子、仕切り網等の装着物がサケの入網に影響を与えないことがあらためて確認された。



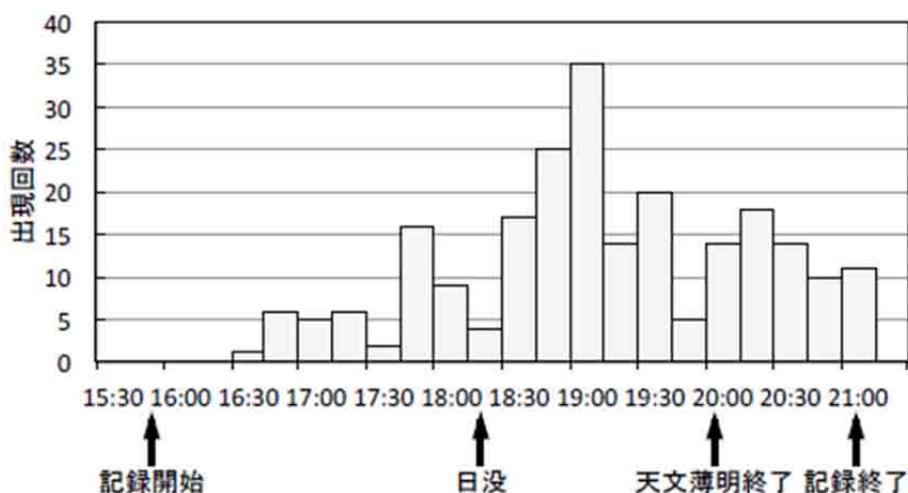
図(4)-14 8/21-8/22(上段)および8/24-8/25に観測されたサケの個体数。
18:30-4:00は照度不足により撮影不可であった



図(4)-15 撮影されたアザラシ (8/24、 17:45、 第1箱網内)

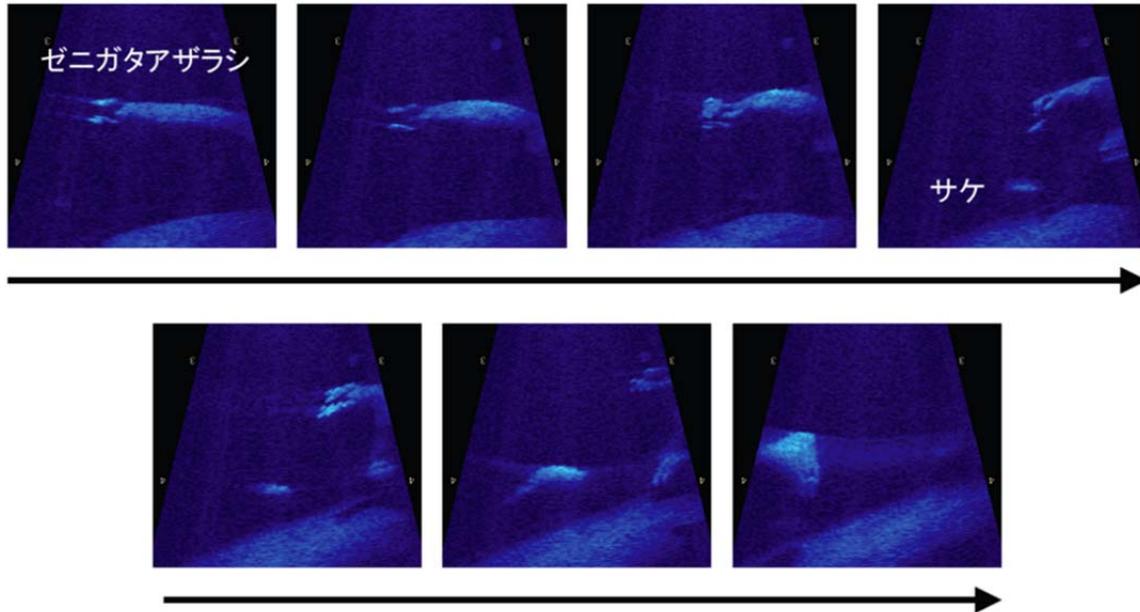
網内のサケ、アザラシの行動観測（調査1）：トロールカメラ：夜間を除く撮影可能時間帯において時刻に関わらずサケが観測された（図(4)-14）。いずれの記録においても、明け方では完全に明るくなってから、夕方では完全に暗くなる前にサケが撮影されており、撮影が可能な時刻であった夕方の18:30直前、明け方の04:00直後にはサケは全く撮影されなかった。また、トロールカメラにおいて1度のみアザラシが撮影された（図(4)-15）。撮影日時は、24日の17:45であった。一方、この時刻は図4下段を見るとサケの記録は皆無であり、アザラシの出現によりサケがこの場所から逃避していたことも考えられる。

音響カメラ：図(4)-16に時刻ごと（30分毎）のアザラシの出現個体数を示した。なお、観測範囲内に出現した物体のうち運動をしておりかつ1m以上のサイズのものをアザラシと判断した。観測できたのは網内の一部範囲であるため、同一個体を観測している場合もあるため、この図はアザラシの相対的な活動量を表しているものと解釈できる。この図より、アザラシの活動は日没後の薄明時に活発になっていることがわかる。



図(4)-16 観測範囲内に出現したアザラシの時刻ごとの個体数

観測されたアザラシのサイズ範囲は60～200 cm程度であり、100～150 cmの個体が優占していた。また、遊泳速度は0.4～1.7 m/sであり、平均はおよそ1 m/sであった。特に日没前後に速い傾向にあり、この時間帯に活発にサケを捕食していることが推察された。図(4)-17に音響カメラにより捉えられたアザラシがサケを追う様子を示した。



図(4)-17 音響カメラDIDSON（高周波モード）で撮影されたサケとアザラシ

網内のサケ、アザラシの行動観測（調査2）：本試験期間中、アザラシはまったく撮影されなかったが、サケの入網状況は頻繁に撮影された。図(4)-18にその一例を示した。多くの場合、サケは格子を忌避することなく通過して第2箱網に入網していた。しかし、潮による網の吹かれにより格子部が揺れている際には、格子との接触を回避して入網しない状況も観測された。



図(4)-18 格子を通過するサケの様子

表(4)-2に観測日ごとのサケの通過尾数と回避尾数をまとめた。通過尾数が多く観測された11/5では回避率は4.4%と非常に低かったが、通過尾数が少なくなるほど回避率は大きくなる傾向が見られた。これは、サケが群れ行動をしており、隔時的に群れで入網してくることに起因すると考えられる。群れの先頭の個体が回避するとその後ろの個体のほとんどが回避していく様子も撮影されていることから、入網する群れが少ないほど回避率は相対的に高くなると思われる。

表(4)-2 格子に対するサケの通過尾数と回避尾数

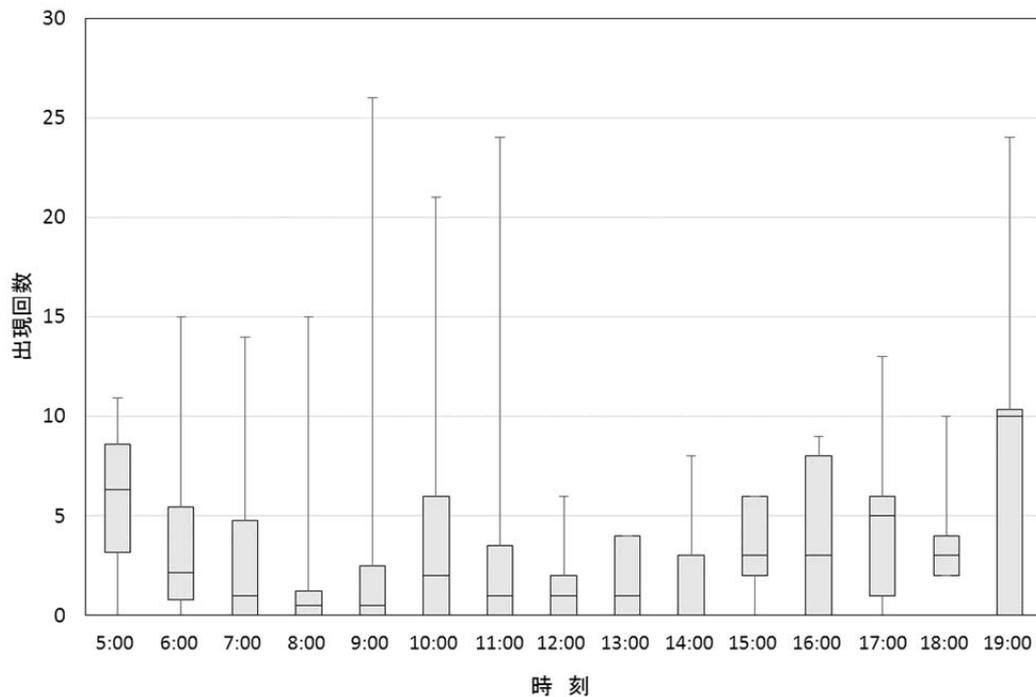
観測日	撮影開始時刻	撮影終了時刻	通過尾数	回避尾数	回避率(%)
11月5日	6:54	13:12	87	4	4.4
11月5日	14:13	15:01	0	0	-
11月6日	6:27	8:20	0	0	-
11月7日	7:02	11:20	1	0	0
11月8日	6:36	7:50	1	0	0
11月11日	6:46	8:07	1	1	50
11月12日	6:39	11:00	2	0	0
11月15日	7:08	13:28	32	13	28.9
11月17日	6:48	11:07	2	0	0
11月18日	6:55	13:15	11	8	42.1
合計値			137	26	16.0

防除網に関する課題：本年度はアザラシ防除網を提案し、試験によってその効果を確認した。その結果、一定の効果が確認された。しかしながら、箱網内に仕切り網を設けることにより、揚網時の負担増加が認められた。一方、アザラシ捕獲のために装着した格子については、サケの入網への影響が想定よりも小さいことがわかった。このことから、操業の負担を増やさずにアザラシを防除する方法として、漏斗網端口への格子装着によるアザラシ侵入防除も検討する必要がある。ただし、その場合にはさらに格子間隔を狭める必要があり、サケの入網への影響が大きくなる心配がある。そのため、使用するロープ材料を細くするなどさらに視認性を抑えてサケの忌避率の低下を図り、かつ、アザラシによる破網を考慮した強度の高い素材の使用を検討する必要がある。

3) 格子網（ロープ格子）を用いたアザラシ防除効果の評価

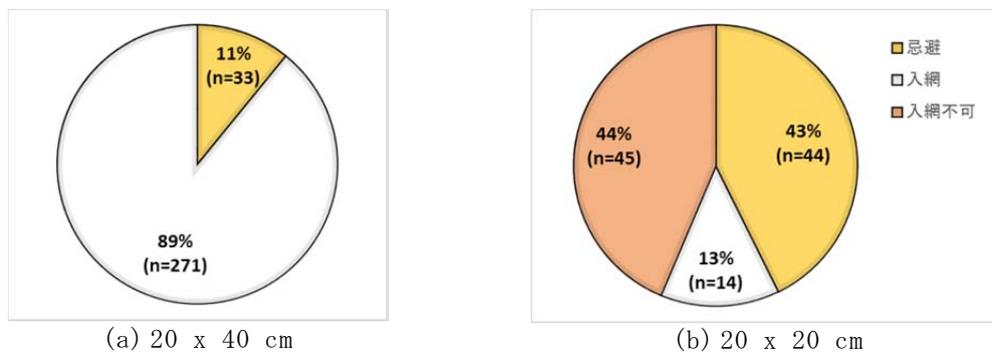
アザラシの入網状況：図(4)-19に5月の試験時のカメラの映像から計測された1時間ごとのアザラシの試験期間中の出現頻度を箱ひげ図で示した。平均値を見ると、アザラシは主に早朝から昼前、および15:00以降から夜間にかけて網内に多く出現していた。特に夜間の値は顕著に高い。また、最大値は午前中(5:00 - 11:00)に一様に高い傾向にあり、12:00以降減少し、夜間に再び高くなっている。同定置網における操業（網起こし）はほとんどの場合1日に2回行われており、その時刻は朝5時頃と昼12時頃である。したがって、図19に見られる5:00での出現は、操業後アザラシがすぐに網内に入ってきていることを示している。また、11:00の出現は2回目の操業の直前にあたる。特に、1回目の操業後は箱網内のサケは水揚げされているので、必ずしも網に入ることによってサケを捕食できるわけではない。また、これまでの網内の観測により、サケは昼間でも網内に入ってきて

いることが確認されていることから、この出現頻度の時刻にもなう変化は網内のサケの存在とは直接関わるものではないと考えられる。



図(4)-19 時刻毎のゼニガタアザラシの出現回数

格子網によるアザラシの防除効果とサケへの影響：図(4)-20に春網調査での映像により確認されたアザラシの格子網に対する反応行動の類別頻度を示した。“入網”とは、格子網を通過して箱網内へ侵入したことを意味するが、特に20 x 20 cmの場合には格子自体ではなく、格子網の装着部（周辺部）を押し広げる、または、周辺のロープを切断して侵入した個体も見られた。また、“入網不可”は格子の通過を試みたものの（図(4)-21(a)）、サイズが大きいため通過できずに引き返した行動を意味し、“忌避”は格子の存在を確認してすぐ引き返した行動を示す。



図(4)-20 映像で確認されたゼニガタアザラシの格子網に対する反応行動（春網調査）



(a) 格子網の通過を試みるゼニガタアザラシ



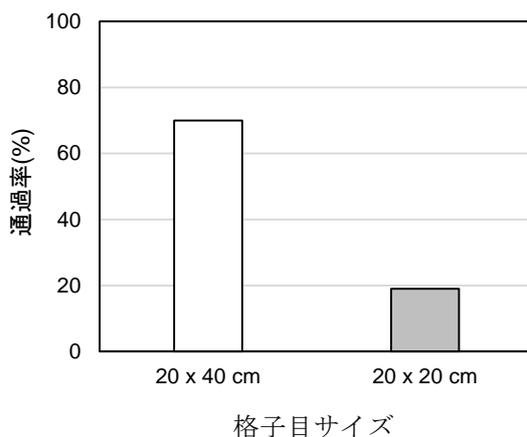
(b) 格子網を通過するサケの群れ

図(4)-21 水中カメラの映像例

格子目サイズ別に比較すると、20 x 40 cmでは入網が9割に及び、ほとんどの個体が通過できたことを表している。一方、忌避した個体も1割程度確認された。20 x 20 cmでは、入網はわずか13%であり、ほとんどの個体が箱網に侵入することができなかった。なお、この“入網”には上述の格子目以外から侵入した個体も含まれる。侵入できなかった個体は全体の87%であり、その内訳は、忌避、入網不可が同程度であり、半数は格子の通過を試みている。表(4)-3に春網調査、秋網調査における入網（格子周辺部からの入網は除く）と入網不可（忌避も含む）の個体数をまとめた。20 x 40 cmでは、アザラシ防除率（入網不可回数 / （入網不可回数 + 入網回数））は18%であるのに対して、20 x 20 cmでは99%となり、ほぼすべてのアザラシを防除していた。

表(4)-3 映像で確認されたアザラシの“入網”数と“入網不可”数（春・秋網調査合算）

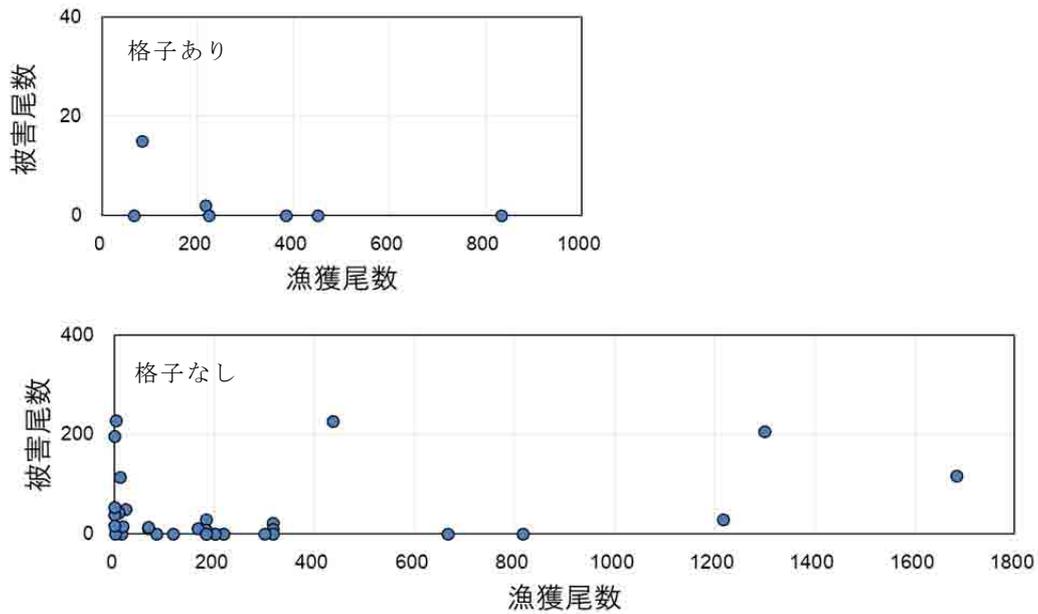
格子目サイズ	入網	入網不可
20 x 40 cm	215	47
20 x 20 cm	1	153



図(4)-22 格子網に対するサケの通過率

次に、格子網に対するサケの通過状況を示すために通過率を算出した（図(4)-22）。なお、サケの通過個体数ではなく群数を用いた。すなわち、 $\text{通過率} = \text{通過群数} / (\text{通過群数} + \text{忌避群数})$ である。これは、本研究の映像において、ほとんどの場合サケは網内で群れを形成して遊泳していることが確認され、通過、忌避が群単位（図(4)-21(b)）で生じていたためである。サケの通過率は、20 x 40 cmでは70%であったが、20 x 20 cmでは19%と大きく減少した。ビデオ画像では、実際に多くの群れが格子網を回避し、箱網に入網しない状況が観測されている。このことから、20 x 20 cmではアザラシの防除率が高いものの、サケの漁獲量も大きく減少すると推察された。ただし、格子を回避したサケは必ずしも定置網の外へ出てしまうわけではない。実際には、網内で遊泳して再び格子網に遭遇する、という過程を繰り返しているものと考えられる。したがって、実際の漁獲量の減少は通過率の減少とは一致しないものと思われる。

格子網の有無による漁獲・被害状況：図(4)-23に秋網調査の試験後も含めた8/31 - 9/13の間の漁獲尾数（食害のない尾数）と被害尾数の関係を格子網の有無別に示した。まず、格子なしについて見ると、被害の有無の差が顕著であり、被害がない日も多かった。被害のある場合は、漁獲尾数が少ない場合でも被害尾数が多い場合があり、被害尾数が200尾ほどで漁獲尾数が0尾という場合もあった。しかし、被害尾数と漁獲尾数に相関は見られず、漁獲尾数が1000尾を越える場合でも、被害尾数は200尾を大きく越えることはなかった。このことから、網内に入るアザラシの個体数には大きな変化がないものと考えられる。これは、特定の個体の侵入を示唆している。

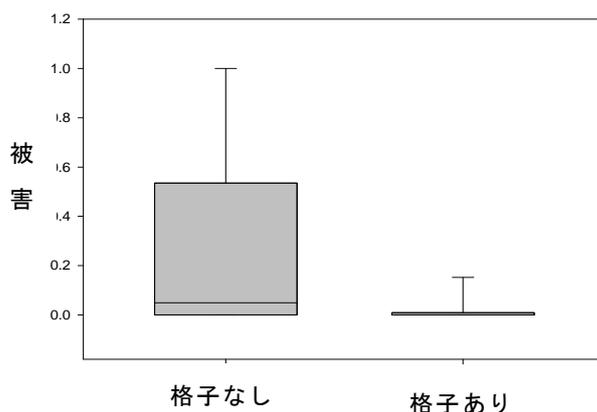


図(4)-23 格子網の有無によるサケの漁獲尾数・被害尾数の比較

次に、“格子網あり”の場合について見ると、最大漁獲尾数は“格子網なし”と比べて少ないものの、被害が生じたケースは2例だけであり、被害尾数は多くても20尾を越えなかった。表(4)-4に格子網の有無別に漁獲尾数、被害尾数を要約した。平均被害尾数は“格子網なし”では42尾であったのに対し、“格子網あり”では2尾であった。これは、格子網を付けたことによりアザラシを防除できた結果と考えられる。最大漁獲尾数は“格子網なし”の方が多いが、平均漁獲尾数は“格子網あり”で1割ほど多く、格子網に対するサケの忌避が漁獲量へ及ぼす影響は当初の想定よりも小さいものと考えられた。

表(4)-4 1回の操業あたりの漁獲尾数、被害尾数と被害率

	格子網なし	格子網あり
対象網数(操業回数)	34	8
最大漁獲尾数	1683	833
最小漁獲尾数	0	67
平均漁獲尾数	280	322
平均被害尾数	42	2



図(4)-24 格子網の有無による被害率の比較

次に、図(4)-24に被害率（被害尾数／（被害尾数＋漁獲尾数））に関する箱ひげ図を示した。被害率の平均値は、“格子網なし”で0.27、“格子網あり”で0.02であり、“格子網あり”では1/10以下となっていた。図24を見ると、特に、“格子網なし”では、被害率の四分位範囲が0.0 - 0.56と広く、さらに最大値は1.0と箱網内のすべてのサケが食害を受ける場合があった。一方、“格子網あり”では被害率の四分位範囲は非常に狭く、最大値も0.16であり、格子なしと比べた場合被害の少なさは顕著であることがわかる。格子目サイズ20 x 20cmの格子網を付けた場合、図(4)-22で示したようにサケの通過率が減少し、箱網への入網頻度が低下するため、結果として漁獲量が大きく減少することが懸念されたが、表4に示した平均漁獲尾数は“格子網なし”に比べて多少であるが多くなっており、結果的に格子網を付けることによる被害の軽減効果が高いことが示された。なお、夜間の場合には、サケの格子網に対する視認度は当然低くなるため、忌避の程度は昼間よりも減少すると考えられる。そのため、昼夜を通してのサケの入網率は図(4)-22で示された値よりも高くなっていたと推測される。同調査の終了後も、漁業者は断続的ではあるが自主的に格子網を使用していたことから、考案・試作した格子網の効果と運用上の実用性は十分なものと考えられる。このことから、本研究を通して、定置網において効果的なアザラシ防除手法の基本的な方向性を示すことができたものとする。なお、格子網によるサケの漁獲への影響が示されたが、格子網の材料や格子目形状などについて改良を加えることで、効果のさらなる改善が可能である。今後は、このような仕様の微修正も踏まえ、同手法の普及をはかりたい。

(2) 持続型漁業の社会経済的評価

1) 個体数管理のための個体群動態モデルの構築

ゼニガタアザラシの長期モニタリングデータを整理し、ベイズ統計解析によって本種の個体群パラメータを算出した。現在、北海道東部沿岸地域では、4地域計11か所の上陸場が認められた。すべての上陸場は、大多数の一般人が容易に近づくことができない保護区や私有地などであった。全体としては、年平均増加率は3～5%で増加していた（表(4)-5）。これは、諸外国と比較して低い傾向であった。原因として、北海道東部沿岸においては、ゼニガタアザラシの赤ちゃん（P u

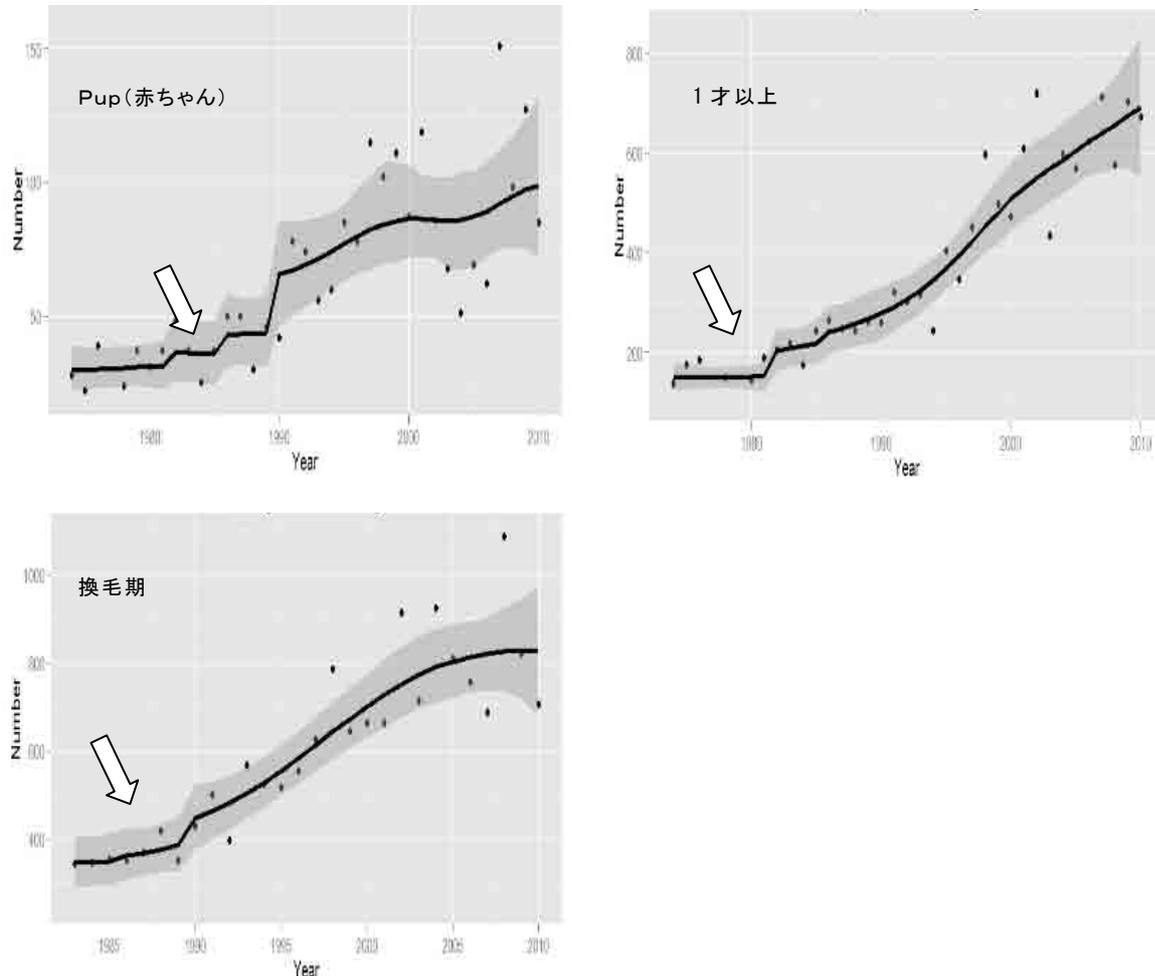
p) から亜成獣の若齢個体の混獲死亡が多いこと^{9,10)}が推察された。

表(4)-5 算出された北海道東部沿岸におけるゼニガタアザラシの年平均増加率.
上段から出産・育子期の赤ちゃん (P u p)、1歳以上、及び換毛期を示す

地域および上陸場	n	平均	SE	95% 信頼区間		
				下限	上限	
北海道	36	1.0355	0.0062	1.0233	1.0475	
		1.0434	0.0039	1.0357	1.0509	
	27	1.0323	0.0042	1.0238	1.0404	
北海道 (補正)	36	1.0321	0.0065	1.0198	1.0455	
		1.0410	0.0040	1.0328	1.0486	
	27	1.0295	0.0042	1.0211	1.0377	
根室	ユルリ	36	0.9979	0.0090	0.9781	1.0147
		0.9850	0.0116	0.9630	1.0082	
	27	0.9906	0.0227	0.9446	1.0366	
	モユルリ	36	1.0079	0.0165	0.9757	1.0405
		1.0166	0.0134	0.9909	1.0431	
	27	1.1062	0.0242	1.0579	1.1538	
浜中	浜中A	36	0.9868	0.0098	0.9666	1.0050
		1.0253	0.0082	1.0097	1.0420	
	27	1.0090	0.0059	0.9972	1.0204	
	浜中B	12	0.9222	0.0640	0.7978	1.0500
		12	0.9788	0.0234	0.9330	1.0252
	13 ^b	1.0056	0.0555	0.8907	1.1228	
初田牛	-	-	-	-	-	
	36	0.7580	0.0887	0.5742	0.8964	
-	-	-	-	-		
厚岸	厚岸A	36	0.9908	0.0216	0.9463	1.0313
		0.9786	0.0140	0.9503	1.0029	
	27	1.0838	0.0148	1.0537	1.1120	
	厚岸B	13	0.9712	0.0214	0.9296	1.0129
		1.0484	0.0145	1.0210	1.0773	
	12	0.4946	0.2463	-	0.8644	
	厚岸C	12	0.5918	0.6363	-	1.0017
		-	-	-	-	-
	13	1.0404	0.0351	0.9768	1.1111	
	大黒島	36	1.0219	0.0009	1.0042	1.0396
1.0394			0.0035	1.0328	1.0465	
27		1.0244	0.0045	1.0154	1.0333	
えりも岬	36	1.0579	0.0152	1.0281	1.0869	
		1.0546	0.0063	1.0423	1.0670	
	27	1.0302	0.0067	1.0170	1.0440	

1980年代まで行われていた狩猟の影響により、日本におけるゼニガタアザラシは個体群が減少したことが知られていることから¹¹⁾、狩猟の影響を試算した。具体的には、年代ごとに狩猟の影響をカテゴリカル変数のランダム効果として加味してモデルを作成した。その結果、1980年代まで

は、狩猟によって個体数の増加が抑制されており、狩猟が行われなくなったあとに個体数が回復してきたことが示唆された（図(4)-25）。

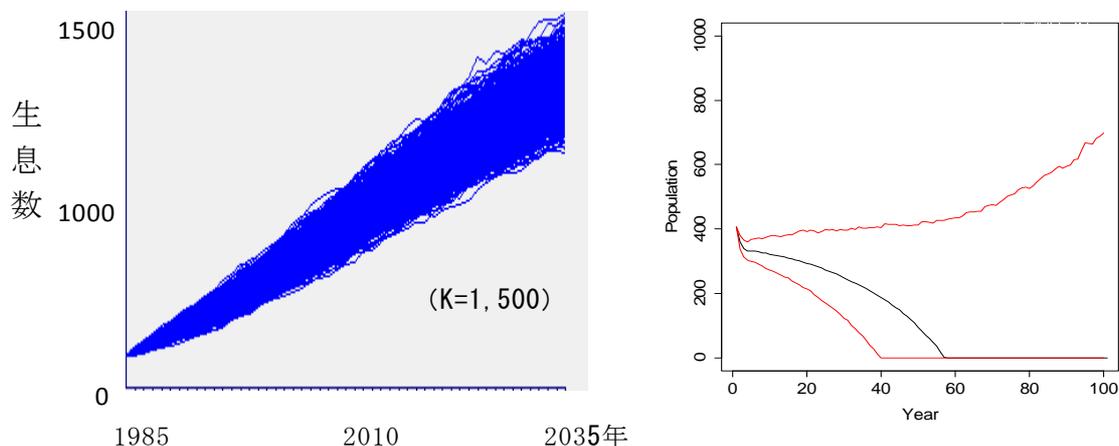


図(4)-25 狩猟の影響を組み込んだ北海道全体のゼニガタアザラシ個体数増加モデル（左上から、出産・育子期の赤ちゃん（P u p）、1才以上、換毛期）。白矢印は、特に狩猟の影響が大きかった時期を示す

これらの結果を用いて、えりも岬におけるゼニガタアザラシの生息数の将来予測を行ったところ（図(4)-26）、1,500頭までは、年平均増加率3～11%で増加した。したがって、これまでのところのK値（環境収容力）は、1,500頭程度であることが示唆された。また、生息数が400頭以下になった場合は、絶滅リスクが高まることが明らかになった。年平均生存率は、成獣では90～99%、幼獣では10～40%であり、1年に1子の本種は、子どもの死亡率が高いが、成長した後はほとんど死なないことが明らかになった。

結論として、今後の本種の管理政策としては、えりも町における本種の目標生息数は700～1500頭とし、海洋環境の変化に対応した（サブ（2）参照）、順応的管理を行っていくことが提案される。また、個体群の保護のためには、成獣のメスの保護が重要である。サブ（3）およびサブ（4）

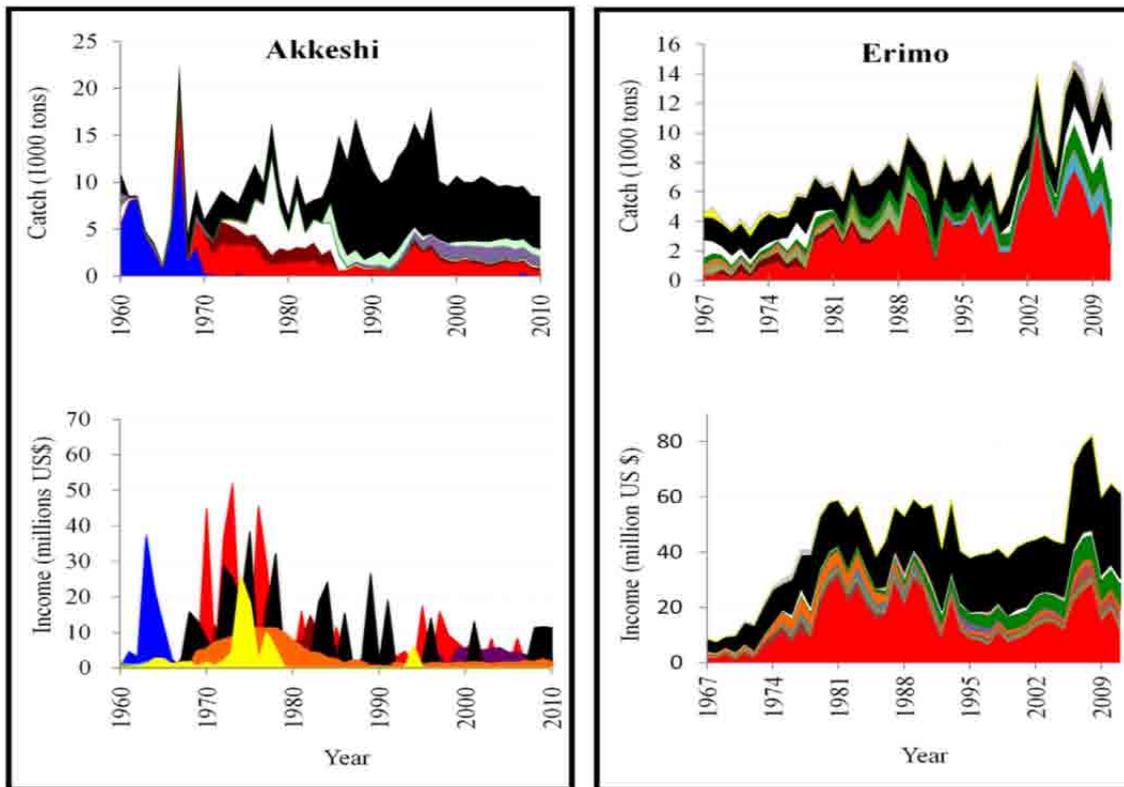
の結果により、定置網内に侵入し、サケを捕食しているのが特定の個体があることをふまえると、今後目指すべきは個体群管理ではなく個体管理が重要であると提案される。諸外国では、個体識別から特定の個体が漁業被害を及ぼしていることが報告されており¹²⁾、今後、日本でも被害を及ぼす個体をどのように排除していくか、被害軽減に向けて課題である。



図(4)-26 えりも岬におけるゼニガタアザラシ生息数のシミュレーション。生息数が400頭以下になった場合、絶滅リスクが高まる(右図)

2) 社会経済学的評価

漁協、町役場の統計学的資料を整理し、えりも町と厚岸町における過去40数年間(1960年代～2010年)の厚岸町とえりも町の主要魚種に対する漁業努力量の経年変化を、ベイズ統計モデルによって解析した。魚種ごとの単位度力量あたりの漁獲量は年によって変動しており、社会情勢もふまえて補正を行った。その結果を図(4)-27に示した。特に、サケマス類とえりも町のツブ類が近年減少していた。これは、過去20年間の海水温の上昇と関連しており、栄養塩の分布・濃度との関連性が推察される。両地域ともに昆布漁への依存度が非常に高く、次いで、厚岸町ではサケとカキが、えりも町ではツブが続いていた。両地域の漁業者の漁業種ごとの漁業努力量の移り変わりは非常に遅く、漁業権や採取する魚種によって、設備投資が異なっており、新たな漁業対象種への切り替えは短期間では難しいと判断された。



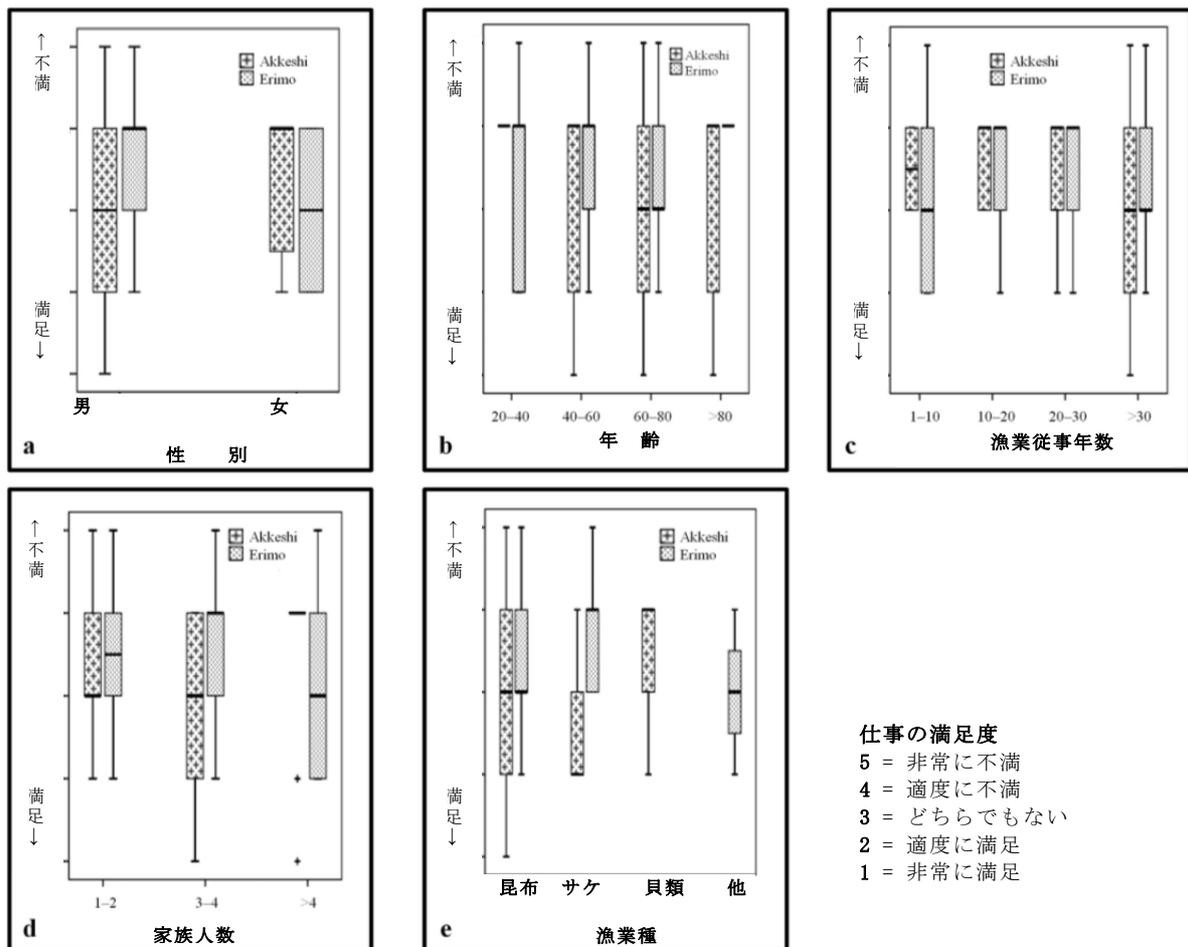
図(4)-27 厚岸町（左）とえりも町（右）の漁獲量（上）と漁獲高（下）の変遷. 赤：サケ、黒：昆布

各地域の地域住民ならびに高校生を対象として、アンケート調査を実施した結果、合計443名（地域住民192名，高校生250名）から回答を得た。漁業者へのアンケート調査の結果では、漁業を営むにあたり不満な点の第一位は「収入・漁獲量が安定していないこと（約52%）」、であった。

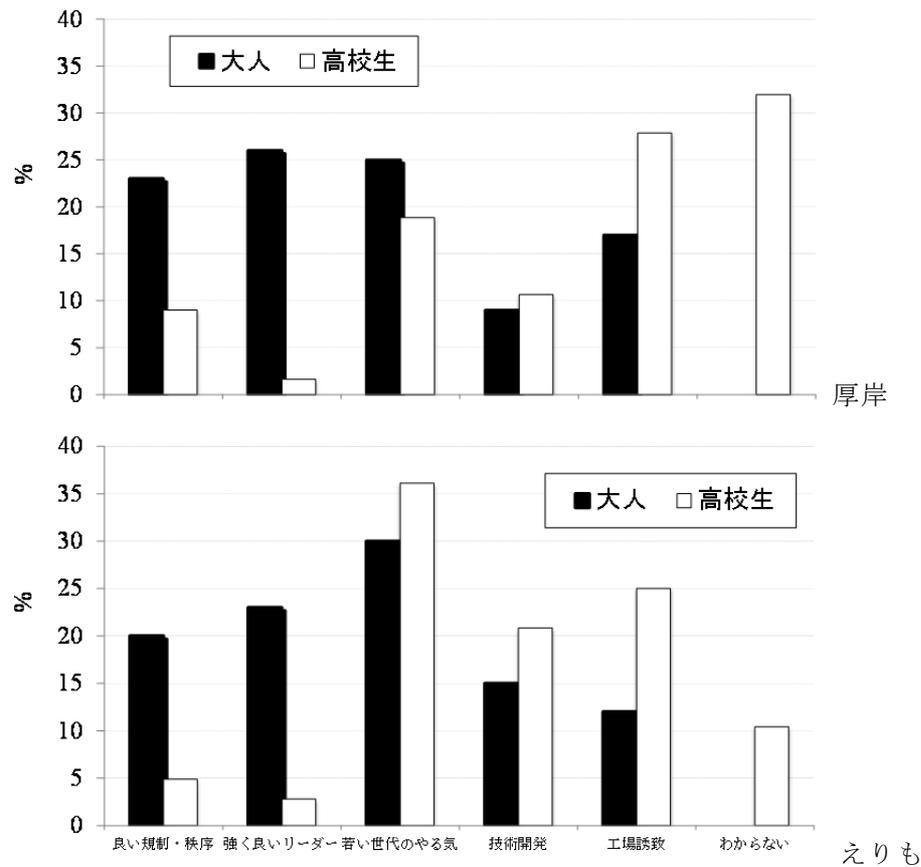
漁業者の仕事に対する満足度は、営んでいる漁業種によって異なる傾向があった（図(4)-28）。厚岸地域では、えりも地域の漁業者にくらべて、現在の漁業経営に対する満足度が低かった。これは、厚岸湾内で刺網や定置網漁を営む個々の零細漁業者の経営が、近年は不安定であることに起因する可能性がある。特に、春季の小定置網やシラウオ小定置網では、ゼニガタアザラシによる漁業被害が問題になっているのにも関わらず¹³⁾、行政による被害対策が近年は実施されていないことによる影響が推察される。ただし、厚岸のカキ養殖業を漁業者の満足度は高く、これは経営が安定し、収入が高いことによると考えられた。両地域の漁業者ともに、家族構成人数が大きい方が満足度は高く、家族で協力して漁業に営むことが経営を安定化させていると推察された。

漁業者の多くは、漁業という仕事に誇りを持ち、将来にわたって営んでいる漁業種を替えたくないと考えていた。つまり、伝統的な漁業の継承を望んでおり、替えるとした場合の将来の見通しを持っていなかった。将来、若い世代が漁業者になることを志すかどうかについては、両親・親戚が漁業に従事しているか、より水産学を高等教育機関で学びたいと思っているか、漁業活動の手伝いの経験の有無、および両親からの勧めに大きな影響を受けていることが見出された。漁

業資源を適切に管理しながら持続的に利用して行くためには、強いリーダーシップが重要である。各地域の漁業協同組合や自主的な漁業種組織が、それぞれ主導する効率的な漁業管理を実行して行くことの重要性が考えられた。しかし、それが最善の方策ではなく、また、漁業者を含む各ステークホルダーが、「未来の世代が継続して活用できるように漁業資源を保全する」ことの重要性に、必ずしも気づいていないと推察された（図(4)-29）。



図(4)-28 地元住民への聞き取り調査による、漁業者の仕事に対する満足度



図(4)-29 町民への聞き取り調査による、持続可能な漁業の発展に必要なこと。
上：厚岸，下：えりも地域

ゼニガタアザラシ被害対策に求めること第一位は「駆除（個体数調整）（約56%）」であったが、同時に観光への影響が懸念されていた。ただし、アザラシの絶滅を望む町民は一人もいなかった。定置網漁業者からは、「1定置網あたり、年間7千万円から1億円の売り上げで安定的にやっていけるが、近年は、ゼニガタアザラシによる漁業被害で年間売り上げが5千万円程度であり赤字経営である」といった声も聞かれた。「金額的に、観光収入による被害金額の補てんは厳しい（1万人から一人千円集金しても1千万円）」、「漁業者もアザラシとの共生に努力しているという一般へのアピールはしていきたい」といったことが挙げられ、そのためには、今後、エコラベルの認証、地域ブランド確立が要検討である。具体的には、「銀聖ブランドの拡充」、「（アザラシ捕食から生き延びた）幸運のサケ」などのアイデアが挙げられた。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- ・混獲・漁業被害軽減手法の開発

これまで定置網へのゼニガタアザラシの侵入頻度および侵入時間帯は漁業者による経験的情報のみであったが、本研究では水中カメラ観測等を通してこれらを定量的に示すとともに、格子網によるアザラシ被害防除効果を数量的に評価することができた。

- ・個体群動態モデルの作成と持続型漁業の社会経済的評価

これまでIUCNのレッドリストの中で、Unknown（情報なし）とされていた北海道からロシア極東海域のゼニガタアザラシについて、分布および過去から現在までの個体数変動についてまとめ、世界へ発信した（7. 研究成果の発表状況参照）。

えりもおよび厚岸地域において、ゼニガタアザラシとの共生について、地域住民に大規模な聞き取り調査をはじめて実施した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

環境省の中央環境審議会における「えりも地域ゼニガタアザラシ特定希少鳥獣管理計画」の検討において、ゼニガタアザラシ個体群動態の分析結果、および漁業被害防除策の研究成果を提示し、中央環境審議会の答申作成に貢献した。具体的には、管理計画のp3に個体群動態に関する論文成果が、また、p36に被害防除策の検討結果が示されている。

加えて、環境省による「平成28年度環境省えりも地域ゼニガタアザラシ管理事業実施計画」の検討において、以下の項目に関して調査結果を提示し、計画案の作成に貢献した。1) 漁業被害防除策の検討結果：20cm×20cmの格子網による被害軽減効果に関する情報を提示（えりも地域の協議会に環境省が示した実施計画案のp1に記載した。）2) ゼニガタアザラシの個体群構造解析の結果：「えりもの個体群は閉鎖性が高い」情報を提示（同実施計画案のp4に記載した。）

環境省のレッドリスト検討会における「環境省レッドリスト2015」の検討において、本研究によるゼニガタアザラシの個体群動態に関する基礎的情報が提示され、絶滅危惧種の再評価に貢献した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ・環境省によるゼニガタアザラシの個体群管理に関する平成28年度事業の実施において、本研究で用いた格子網を装着することによるゼニガタアザラシの捕獲が見込まれる。
- ・環境省による漁業被害防除に関する平成28年度事業の実施において、本研究で効果を明らかにした格子網の使用及び効果検証手法（水中カメラの装着等）の活用が見込まれる。

6. 国際共同研究等の状況

オホーツク海から北海道東部沿岸の親潮生態系の生物多様性の保全と鰭脚類の保護管理方策について、日露研究者交流を通して情報共有ならびに管理方策の検討を実施している。

2015年に札幌で開催された第5回国際野生動物管理学術管理において、来日したNOAAの研究者と本種の分布と個体群動態について議論が交された。

ゼニガタアザラシ個体群動態の分析結果は、極東に生息する本種の基礎的情報として、イギリス、スウェーデン)、アメリカ合衆国、ならびにロシアの研究者や研究機関、博物館等より詳細の問い合わせがあり、共同研究の実施が検討されている。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 小林由美、風呂谷英雄、石川恭平、桜井泰憲：野生生物保護14(1・2)：53-60 (2013)、北海道東部厚岸湾におけるアザラシ類による漁業被害-漁業者アンケートの解析2004-2007年-
- 2) Y. KOBAYASHI, T. K4-IRIYA, J. CHISHIMA, K. FUJII, K. WADA, S. BABA, T. ITOO, T. NAKAOKA, M. KAWASHIMA, S. SAITO, N. AOKI, S. HAYAMA, Y. OSA, H. OSADA, A. NIIZUMA, M. SUZUKI, Y. UEKANE, K. HAYASHI, M. KOBAYASHI, N. OHTAISHI and Y. SAKURAI : Endangered Species Research24(1): 61-72 (2014), Population trends of the Kuril harbour seal *Phoca vitulina stejnegeri* from 1974 to 2010 in southeastern Hokkaido, Japan. <[http://dx. doi.org /10.3354/esr00553](http://dx.doi.org/10.3354/esr00553)>
- 3) E. A. SWEKE, Y. KOBAYASHI, M MAKINO and Y. SAKURAI: Ocean & Coastal Management, 120, 170-179 (2016), Comparative job satisfaction of fishers in northeast Hokkaido, Japan for coastal fisheries management and aquaculture development.

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 小林由美、小林万里、桜井泰憲、藤森康澄、駿河秀雄、成ヶ沢重一、白石智泰、石川昭：えりも研究11：31-34 (2014)
「秋サケ定置網におけるマンボウ *Mola* spp. を中心とした海洋生物の偶発的捕獲」
- 2) 小林由美、増淵隆二、蔵本洋介、藤森康澄、駿河秀雄、成ヶ沢重一、白石智泰、小林万里、桜井泰憲、石川昭：えりも研究12：15-19 (2015)
「秋サケ定置網における海洋生物の偶発的捕獲2014」
- 3) Y. FUJIMORI: Second Interim Report of ICES-FAO Working Group on Fishing Technology and Fish Behaviour (WGFTFB) /ICES WGFTFB REPORT, 102-103 (2015)
“Coexistence of Fishery and Harbor Seal along the Coast of Hokkaido, Japan.”
- 4) 小林由美：(社)水産資源・海域環境保全研究会 (CoFRaME) メールマガジン第42号、1-3 (2015)
「希少種で観光資源かつ害獣であるゼニガタアザラシの管理」

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 桜井泰憲：ゼニガタアザラシシンポジウム(環境省主催)、招待講演(2014)
「えりも地域におけるゼニガタアザラシの保護管理の課題について」
- 2) 小林由美、桜井泰憲、藤森康澄、小林万里：平成26年日本水産学会春季大会(2014)
「北海道東部えりも岬の秋サケ定置網におけるゼニガタアザラシの被害」
- 3) E. A. SWEKE, R. OKAZAKI, Y. KOBAYASHI, M. MAKINO and Y. SAKURAI: Annual Meeting: Scientific program- PICES - North Pacific Marine Science Organization, 2014

“Social-ecological studies towards integrated management of local fisheries in the North-Eastern Hokkaido, Japan”

- 4) 藤森康澄、川本雄平、小林由美、伊藤遼平、桜井泰憲、三谷曜子、蔵本洋介、関口泰治：2015年日本水産学会春季大会（2015）
「北海道えりも地域のサケ定置網におけるゼニガタアザラシによる食害防除を目的とした漁具改良の検討」
- 5) 越智洋介、山崎慎太郎、伊藤遼平、川本雄平、藤田薫、藤森康澄、桜井泰憲：2015年日本水産学会春季大会（2015）
「音響カメラを用いた定置網内でのゼニガタアザラシの行動観察の試み」
- 6) Y. FUJIMORI, Y. OCHI, S. YAMAZAKI, K. FUJITA, R. ITOO, Y. KAWAMOTO, Y. KOBAYASHI. and Y. SAKURAI : Non-Visual Observation of Marine Mammals Using Innovative Technology, Session37,Vth International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan, 2015
“Under water Observation of Harbor Seal Behavior in a set net Using an Underwater camera and Acoustic Sonar”
- 7) Y. KOBAYASHI: Migration and Distribution of Pinnipeds in Japanese-Russian Waters, Round Table Round Table46, Vth International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan, 2015
“Harbor Seals in Hokkaido, Japan”
- 8) Y. FUJIMORI, Y. OCHI, S. YAMAZAKI, K. FUJITA, R. ITOO, Y. KAWAMOTO, Y. KOBAYASHI. and Y SAKURAI: A New Strategic Plan for Management of The Kuril Harbor Seal Aiming at the Coexistencw between the Seals and Local Fisheries in Erimo Area, Southern Hokkaido, Round Table84. Vth International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan, 2015
“Under water Observation of Harbor Seal Behavior in a set net Using an Underwater camera and Acoustic Sonar”
- 9) 伊藤遼平、藤森康澄、小林由美、桜井泰憲、三谷曜子、蔵本洋介：H28年度日本水産学会春季大会（2016）
「北海道襟裳地域のサケ定置網内におけるゼニガタアザラシとサケの行動観測」

（3）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（4）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 2013年10月8日、「漁業と観光の両立探る 被害もたらすゼニガタアザラシ、襟裳岬で観察会」、同、日高版（紙面）（ひれあし研究会の主催する一般市民・えりも町民向けのスタディ・ツアーに協力）
- 2) 2013年8月 北海道に来遊するトド等海獣類紹介パネル展（主催；北海道水産林務部水産局水産振興課）ポスター発表（4枚）
- 3) 2013年10月5日 えりも岬にて、ゼニガタアザラシと漁業の共存を考える取組、講演・ガイド
- 4) 2014年7～9月青森県営あさむし水族館 ゼニガタアザラシ特別展、ポスター展
- 5) 2014年11月19日 えりも町立笛前小学校 5-6年生（12名） 総合的な学習の時間 海と人

間 えりも岬に生息するゼニガタアザラシについて～理科的な観点から～ 外部講師

- 6) 2015年3月14日狩猟フォーラム函館, 野生鳥獣の生息状況に関する研究発表ブース(ポスター発表): 海生哺乳類の混獲防止の取り組み~漁具改良~
- 7) 2015年8月25日札幌伏見中学校 海獣講座 1年生17名, 18名; 2コマ実施
- 8) 2015年10月1日えりも高校 文化講演会 全校生徒108名 タンザニアとえりもの漁業, 学問のすすめ

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) HBC北海道放送 (2013年9月6日、特集「トツカリ食い被害に悲鳴」、定置網漁における調査について、20分ほど紹介)
- 2) 北海道新聞道新Webニュース (2013年10月8日、「漁業と観光の両立探る 被害もたらずゼニガタアザラシ、襟裳岬で観察会」、同、日高版(紙面)(ひれあし研究会の主催する一般市民・えりも町民向けのスタディ・ツアーに協力)
- 3) 朝日新聞北海道札幌版2013年10月12日 街角きらり 「ゼニガタ観察, 被害実態も」(ひれあし研究会の主催する一般市民・えりも町民向けのスタディ・ツアーに協力)
- 4) 朝日新聞 (2014年7月30日、北海道版、31面)
- 5) 日高報知新聞 (2014年8月1日、地方紙、1面)
- 6) 朝日新聞 (2014年8月27日、北海道版、29面)
- 7) 試験網の成果に関する環境省の報道発表 (2014年8月28日)
- 8) STV道内ニュース (2014年9月4日、試験網について紹介)
- 9) 北海道新聞 (2014年9月5日、苫小牧・日高地方版、27面)
- 10) 日高報知新聞 (2014年9月6日、地方紙、1面)
- 11) 北海道新聞 (2014年9月20日、苫小牧・日高地方版、29面)
- 12) NHKほっとニュース北海道 (2014年9月18日、試験網やゼニガタアザラシの生態調査に関する取組みについて紹介)
- 13) 毎日新聞 (2014年9月28日、北海道版、28面)
- 14) HBC今日ドキッ! (2014年11月20日、試験網やゼニガタアザラシの生態調査に関する取組みについて紹介)
- 15) 試験網の成果に関する環境省の報道発表 (2014年8月28日)
- 16) 北海道新聞 (2014年12月3日、日高地方版、32面)
- 17) 北海道新聞 (2015年3月20日、日高地方版、32面)
- 18) 試験網の成果に関する環境省の報道発表 (2015年6月26日、環境省HP)
- 19) 朝日小学生新聞 (2015年7月23日、全国版、3面)
- 20) 朝日小学生新聞 (2015年7月24日、全国版、3面)
- 21) 水産グラフ (2015年8月号、水産グラフ社)
- 22) 北海道新聞 (2015年9月27日、全道版、1面)
- 23) HTBイチオシ! (2015年10月28日、試験網などについて紹介)
- 24) NHK北海道クローズアップ (2015年11月6日、試験網などについて紹介)
朝日新聞 (2015年12月7日、北海道版、28面)

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) Fjälling, A., Wahlberg, M. and Westerberg, H. 2006. Acoustic harassment devices reduce seal interaction in the Baltic salmon-trap, net fishery. *ICES Journal of Marine Science* 63: 1751-1758.
- 2) Harris, R. N. C. M. Harris, C. D. Duck, I. L. Boyd. 2014. The effectiveness of a seal scarer at a wild salmon net fishery, *ICES Journal of Marine Science*, 2014, 71(7):1913-1920.
- 3) Lunneryd, S. G., Fjälling, A. and Westerberg, H. 2003. A large-mesh salmon trap: a way of mitigating seal impact on a coastal fishery. *ICES Journal of Marine Science* 60: 1194-1199.
- 4) Thompson, P. M., Mackey, B., Barton, T. R., Duck, C. and Butler, J. R. A. 2007. Assessing the potential impact of salmon fisheries management on the conservation status of harbour seals (*Phoca vitulina*) in north-east Scotland. *Animal Conservation* 10 :48-56.
- 5) IUCN (Thompson, D. and Härkönen, T). 2014. *Phoca vitulina*. In: IUCN2014. IUCN Red List of Threatened Species. Version2010.4. www.iucnredlist.org. Downloaded on 22 December.
- 6) 藪田慎司、中田兼介、千嶋淳、藤井啓、石川慎也、刈屋達也、川島美生、小林万里、小林由美. 2010. ゼニガタアザラシの写真及び個体情報デジタルデータベース：野生哺乳類の長期野外研究を支援する試み. 哺乳類科学50(2)：195-208.
- 7) 新妻昭夫. 1986. ゼニガタアザラシの社会生態と繁殖戦略. 「ゼニガタアザラシの生態と保護」(和田一雄・伊藤徹魯・新妻昭夫・羽山伸一・鈴木正嗣, 編), pp. 59-102, 東海大学出版会, 418p, 東京.
- 8) Leslie, P. H. 1945. On the use of matrices in certain population mathematics. *Biometrika* 33(3): 183-212.
- 9) 小林由美、刈屋達也、渡邊有希子、平松美裕子、千嶋淳、藤井啓、中満智史、山頭範之、和田一雄. 2005. 1996年から2001年までの根室半島納沙布におけるゼニガタアザラシ *Phoca vitulina stejnegeri* を中心としたアザラシ類の混獲、標着記録とその計測値. 根室資料館紀要 19 : 43-50.
- 10) 小林万里、石名坂豪、角本千治、若田部久、小林由美、清水明子. 2007. 根室半島・納沙布岬におけるサケ定置網によるアザラシ類の2002-2003年混獲調査～1982-1983年調査と比較して～. 哺乳類科学47 : 207-214.
- 11) 中岡利泰. 2004. 襟裳岬におけるゼニガタアザラシと人との関わり. 「北海道の海生哺乳類管理—シンポジウム 人と獣の生きる海 報告書—」(小林万里・磯野岳臣・服部薫, 編), pp. 97-107, 特定非営利活動法人 北の海の動物センター, 202p, 札幌.
- 12) Graham, I. M., R. N. Harris, I. Matejusov' and S. J. Middlemas. 2011. Do 'rogue' seals exist? Implications for seal conservation in the UK. *Animal Conservation* 14 : 587-598
- 13) 小林由美、石川恭平、播村一平、後藤むつみ、桜井泰憲. 2010. 北海道東部厚岸湾におけるアザラシ類の捕食による漁獲物の損傷について. 根室市歴史と自然の資料館紀要22 : 29-36.

Development of Protection and Management Techniques for Coexisting Harbor Seal and Local Fisheries in the Coastal Water of Oyashio Region

Principal Investigator: Yasunori SAKURAI

Institution: Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University
3-1-1 Minato, Hakodate, Hokkaido 041-8611, JAPAN
Tel: +81-138-40-8829 / Fax: +81-138-40-8829
E-mail: sakurai@fish.hokudai.ac.jp

Cooperated by: Department of Aqua-Bioscience and Industry, Faculty of Bioindustry, Tokyo University of Agriculture, Hokkaido National Fisheries Research Institute, Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University

[Abstract]

Key Words: Wild life managemet, Endangered Species, coastal ecosystem, fishery damage, reduce damage, behavior, Kuril harbor seal, set net, Oyashio resion

The Kuril harbor seal (*Phoca vitulina stejnegeri*) is distributed in eastern Pacific coastal areas of Hokkaido in Japan. The seals remain around the coast all year-around and form several haul-outs along the coastal reef. The seals also cause serious damages to local fishery industries. However, the seals attract many tourists and serve as an important tourist resource.

Genetic differences in Cape Erimo and eastern Hokkaido is as a result of ice-free refugia and therefore Japanese harbour seals should be managed as two populations, Erimo and eastern Hokkaido (Sub1).

The eastern Hokkaido population has been estimated to be 670 with 95% C.I. of 504–835 by a series of aerial and land-based surveys. Annual prey consumption by Erimo population has been estimated to be 800 metric ton, of which octopuses comprised 60%. (Sub-2).

In the Sub3, The GPS satellite transmitters and acoustic telemetry systems (bio-logging systems) revealed the tagged seals entered the fishing ground repeatedly. And we transported 5 weaned pups from Cape Erimo to Asamushi Aquarium, Aomori, for captive experiments. We examined the response such as live salmon and simulated of set net with various sizes of grids. The responses to live salmon varied between individual seals and changed over the years. One seal (38 kg) could pass through grid size of 20 x 20 cm and 15 x 30 cm, but couldn't 15 x 15 cm and 15 x 20 cm.

The method for reducing bycatch of Kuril harbor seal and induced catch damage by them in a set-net fishery was developed (Sub4). From Sub 3, one types of fishing gear modifications for bag-net that is fish capture section in set-net were blocked by the rope grid. The ratio of prevention the grid size of 20 x 20 cm was 0.87 from the observation with underwater camera in the experiment. From these, it was thought that the rope-grid was effective device to reducing fish damage by seal in set-net fishery. In addition, we

estimated the population dynamics, the average population growth rate was 3~5% per annum over the past 40 years. Management of adult female is important to sustain the population size of this seal. The questionnaire survey was conducted, there was no people who hope extinction of seal although almost of resident thought that population management must be enforced.