

学 位 論 文 題 名

炭素、窒素安定同位体比を利用した北太平洋に
おけるミズナギドリ科海鳥類 4 種の
生物地球化学および生態学的研究

学位論文内容の要旨

ハイイロミズナギドリ (*Puffinus griseus*)、ハシボソミズナギドリ (*P. tenuirostris*)、ミナミオナガミズナギドリ (*P. bulleri*)、およびアカアシミズナギドリ (*P. carneipes*) は、南半球に繁殖地を持ち、南北両半球にまたがり 10,000km の距離を季節的に往復する外洋性海鳥類である。これらミズナギドリ科海鳥類は、海洋生態系において高次捕食者として機能する重要な生態系構成種であること、長寿命生物であること、外洋域に広範囲に分布すること等から、海洋環境指標種として注目されている。さらに、ミズナギドリ科海鳥類は、表層性浮魚類、頭足類、動物プランクトン等に対して捕食者あるいは競合者として機能することから、ミズナギドリ科海鳥類の食性、食地位を解明することは、これら海洋生物の分布、移動を間接的に知ることができるため、水産学的にも重要である。しかしながら、ミズナギドリ科海鳥類の食性、食地位に関する研究は沿岸域に限られ、外洋域に関しては未だ少ないのが現状である。

生物の食物連鎖において、生物体内の ^{13}C 、 ^{15}N が濃縮することが明らかになるにつれ、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ を利用した研究は、食性、食地位解析等、生物界の生態学的構造を解明する上で有望な指標となることが明らかとなっている。近年、同位体解析を用いた鳥類の食性、食地位等の研究も多く報告されてきたが、鳥類では摂餌過程によって他の動物に比べ、異なった $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ の濃縮係数を示すことが明らかになりつつあるなど、未だ不明な点が多い。

以上の背景から、本研究は、北太平洋におけるミズナギドリ科4種を研究対象種として、以下の項目について解析を行った。1) ファブリキウス嚢および生殖腺により海鳥類の成長段階を区分すること、2) 各種の生体内における安定同位体分布を明らかにし、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ の濃縮係数を決定すること、また、ミ

ズナギドリ科等の海鳥類および魚類、頭足類、動物プランクトン等を材料として、これらの $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ を測定し、3) ミズナギドリ科海鳥類4種の渡り機構を解明すること、4) ミズナギドリ科海鳥類4種の食地位を明らかにする。

1) ミズナギドリ科海鳥類の性成熟判定

ハイイロミズナギドリは、ファブリキウス嚢の有無と卵巣、精巣重量により、幼鳥および成鳥の2段階に区分できる。本項目で対象としたミナミオナガミズナギドリおよびアカアシミズナギドリの卵巣、精巣重量が増加するに従って、ファブリキウス嚢の出現頻度が減少することから、両種のファブリキウス嚢の有無が幼鳥および成鳥を区分する指標として有効であることが示唆された。

2) 生体内における各体組織の炭素、窒素安定同位体比

ミナミオナガミズナギドリの筋肉および肝臓と餌生物との間の $\delta^{15}\text{N}$ の濃縮係数は、それぞれ1.6‰および2.7‰であり、アカアシミズナギドリでは、それぞれ1.6‰および2.3‰であった。一般に、餌とそれを摂取する動物体の間の $\delta^{15}\text{N}$ の濃縮係数が3.4‰であることと比較すると、ミズナギドリ科を含む海鳥類の $\delta^{15}\text{N}$ の濃縮係数は、筋肉で約2‰、肝臓は筋肉より約1‰高い値であることが明らかとなった。 $\delta^{13}\text{C}$ に関しては、両種の筋肉および肝臓と餌生物との間の $\delta^{13}\text{C}$ の濃縮係数は、0.1～0.8‰の値を示した。この結果から、ミズナギドリ科海鳥類の $\delta^{13}\text{C}$ の濃縮係数は低く、食物連鎖の低次栄養段階の $\delta^{13}\text{C}$ を反映することが明らかとなった。

3) ミズナギドリ科海鳥類の渡り特性

4,5月の西部北太平洋におけるハイイロミズナギドリの幼鳥、成鳥およびハシボソミズナギドリの筋肉の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ が低いことから、両種ともに南半球繁殖地の低い同位体比の影響を受けていることが示唆された。6月以降は、北太平洋での餌生物を捕食した高い同位体比に置換することが明らかとなった。北太平洋のミナミオナガミズナギドリおよびアカアシミズナギドリの筋肉の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は、幼鳥および成鳥ともに6,7月個体が高く、北太平洋での餌生物よりも高いことから、渡り径路上で脱窒が駆動するペルー海流域、あるいはカリフォルニア海域で高い $\delta^{15}\text{N}$ の餌生物を捕食したことが考えられた。また、両種の幼鳥、成鳥は脱窒の影響を受けた餌生物を捕食していることから、渡り途中に摂餌しながら通過することが示唆された。8月以降は西部北太平洋のサンマ(*Cololabis saira*)等の魚類を捕食した同位体比に置換して行くことが示唆された。

一方、東部北太平洋のハイイロミズナギドリの渡り経路上と考えられる脱窒海域において、幼鳥はこの脱窒の影響を受けた餌生物を捕食することが考えら

れ、成鳥は脱窒の影響を受けた餌生物は捕食しない、つまり渡り途中は何も捕食せずに通過することが示唆された。6月以降は東部北太平洋の餌生物であるサンマ等を摂餌した同位体比に置換して行くことが明らかとなった。東部北太平洋のミナミオナガミズナギドリおよびアカアシミズナギドリは、西部個体と同様に、幼鳥、成鳥ともに脱窒の影響を受けた餌生物を捕食したことが考えられた。

4) 海域によるミズナギドリ科海鳥類の食地位

栄養段階と海鳥類の $\delta^{15}\text{N}$ には、以下の関係式が成立した。

$$\text{栄養段階(海鳥類)} = 1 + \{ \delta^{15}\text{N(海鳥類)} - \delta^{15}\text{N(粒状有機物)} \} / 3.4 + 0.4$$

繁殖地および西部北太平洋におけるハイイロミズナギドリの幼鳥、成鳥およびハシボソミズナギドリの栄養段階は、繁殖地ではそれぞれ3.7、3.9および3.6であり、また、西部北太平洋ではそれぞれ3.2、3.5および3.3であった。ハシボソミズナギドリの栄養段階は、ハイイロミズナギドリの成鳥よりも低い値を示した。両種の胃内容物による餌生物の報告では、ハイイロミズナギドリがプランクトン食性の魚類および頭足類を中心に、ハシボソミズナギドリが動物プランクトン類を中心とした食性を示す。同位体比によって得られた栄養段階は、胃内容物による食性の報告と極めて良く一致した。また、西部北太平洋におけるミナミオナガミズナギドリおよびアカアシミズナギドリの栄養段階は3.2～3.5で、ほぼハイイロミズナギドリの栄養段階に近い値を示した。両種の胃内容物による食性の報告はないが、同位体比から魚食性であることが示唆された。東部北太平洋におけるハイイロミズナギドリの栄養段階は、成鳥が2.7、幼鳥が2.8とやや西部北太平洋に比べ低い位置を占めた。同海域におけるミナミオナガミズナギドリおよびアカアシミズナギドリの栄養段階は、2.7～3.2とハイイロミズナギドリに近い値であり、魚食性であることが示唆された。

以上の結果から、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ を利用することで、ミズナギドリ科海鳥類は、栄養段階を3～4に位置しつつ、繁殖地から北太平洋へと北上することが明らかとなった。また、これら近縁種間においても北上渡りに際して、渡り経路、成長段階による摂餌生態等が異なることが明らかとなった。これらの知見は、ミズナギドリ科海鳥類の北上渡り機構を解明するばかりでなく、個体群構造、海洋生物資源動態という観点から、また、ミズナギドリ科海鳥類の同位体比の流れによる環境指標モデルとしても極めて重要であると考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 島 崎 健 二

副 査 教 授 米 田 義 昭

副 査 助 教 授 小 城 春 雄

学 位 論 文 題 名

炭素、窒素安定同位体比を利用した北太平洋に

おけるミズナギドリ科海鳥類4種の

生物地球化学および生態学的研究

ハイイロミズナギドリ (*Puffinus griseus*)、ハシボソミズナギドリ (*P. tenuirostris*)、ミナミオナガミズナギドリ (*P. bulleri*)、アカアシミズナギドリ (*P. carneipes*) 等のミズナギドリ科海鳥類4種は、南半球に繁殖地を持つ外洋性海鳥類である。これら4種のミズナギドリ類は、4月より9月まで全て北太平洋北部海域に渡り活発に索餌する。10月になると全て南半球へと回帰し、翌年の4月まで繁殖に従事する。4種の総個体数は約5～6千万羽であり、北太平洋亜寒帯域においては、夏季の重要な海洋生態系構成種であるにも拘わらず、生態については今だ未知の部分が多い。

本研究は、上記4種のミズナギドリ類について、炭素および窒素の安定同位体比、 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ 、を測定することにより、南半球より北半球への渡り経路の判別、海域別の栄養段階区分および食地位を解析した。特記すべき点を要約すると次のように示し得る。

1) 餌生物とミズナギドリ類の筋肉間の $\delta^{15}\text{N}$ の濃縮係数は2‰であった。海鳥類以外の生物での $\delta^{15}\text{N}$ の濃縮係数は約3.4‰であることから、海鳥類の濃縮係数は若干低いことが明らかとなった。筋肉の $\delta^{15}\text{N}$ の回転率は、約20～30日間であるのに対し、肝臓のそれは1週間以内と推察された。一方、 $\delta^{13}\text{C}$ は0.1～0.8‰と低く、食物連鎖の低次栄養段階の $\delta^{13}\text{C}$ を反映していた。

2) 西部北太平洋で4、5月に得られた、南半球より飛来したばかりのハイイロミズナギドリ、およびハシボソミズナギドリの筋肉の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ は低く、南半球繁殖地周辺の低い同位体比の影響を受けていることが示唆された。両種ともに、6月以降になって北太平洋固有の餌生物の高い同位体比に置換した。東部北太平洋で得られたハイイロミズナギドリの筋肉の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ は、4、5月は幼鳥で高い値であったのに対し、成鳥では低い

値を示した。6月以降には、東部北太平洋の餌生物の低い同位体比へと置換していった。ミナミオナガミズナギドリ、およびアカアシミズナギドリでは、幼鳥および成鳥ともに筋肉の $\delta^{15}\text{N}$ は、4、5月に高く、以後北太平洋固有の値へと置換した。これらの結果は、太平洋のおおよそ西経170度を境界にして、 $\delta^{15}\text{N}$ は脱窒が駆動するフンボルト海流域やカリフォルニア海流域で特異的に高いため、東部で高く西部で低いことを反映している。すなわち、ハシボソミズナギドリやハイイロミズナギドリの成鳥は、南半球の繁殖地より北太平洋まで途中で索餌する事なく一気に渡るのに対して、ハイイロミズナギドリの幼鳥、ミナミオナガミズナギドリ、アカアシミズナギドリは、繁殖地より北太平洋までの渡り経路が東側にずれているばかりでなく、索餌しながら渡りをしていることが判明した。

3) 栄養段階とミズナギドリ科海鳥類の $\delta^{15}\text{N}$ には、以下の関係式が成立することが明らかとなった。

$$\text{栄養段階} = 1 + \{ \delta^{15}\text{N}(\text{海鳥類}) - \delta^{15}\text{N}(\text{POM}) \} / 3.4 + 0.4$$

POM: 海鳥類が生息する海域の粒状有機物

繁殖地および西部北太平洋のハイイロ

ミズナギドリ、成鳥およびハシボソミズナギドリの栄養段階は、繁殖地ではそれぞれ3.7、3.9、3.6であり、西部北太平洋ではそれぞれ3.2、3.5、3.3であった。ハイイロミズナギドリが魚食性であり、ハシボソミズナギドリが動物プランクトン食性であるという胃内容物解析結果と、同位体解析結果とは良く一致した。東部北太平洋におけるハイイロミズナギドリの栄養段階は、成鳥が2.7、幼鳥が2.8とやや西部北太平洋に比べ低い位置にあった。同海域におけるミナミオナガミズナギドリやアカアシミズナギドリの栄養段階は、2.7～3.2とハイイロミズナギドリに近い値であり、魚食性であることが示唆された。

4) 魚類、頭足類およびウミスズメ科海鳥類をも含めた海域別の生物群について、 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の関係図を作成し栄養段階をプロットした結果、ミズナギドリ科海鳥類は栄養段階3～4に位置しつつ、繁殖地から北太平洋へと渡ることが明らかとなった。また、これら近縁種間において渡り経路、成長段階により摂餌生態が異なることが明らかとなった。

以上の結果は、自由生物であり地球規模で渡りを行うミズナギドリ科海鳥類4種の北上渡り経路、成長段階による摂餌

生態の変化等といった鳥学的成果に留まらず、広く海洋生態系における重要構成員である海鳥類の生態学的位置づけと役割を解明する上で、炭素および窒素安定同位体比による解析が有効な研究方法であることを証明した。さらに本研究は、今後の海洋生態系研究において、外洋域に生息する高次捕食者の研究に新分野を開いたとみなされる。よって、主査・副査は本論文が博士（水産学）の学位請求論文として相当の価値を有するものと認定した。