

Trophic Relationships of Seabirds and Fish in Southern Bluefin Tuna Longline Fisheries Using Stable Carbon and Nitrogen Isotopes

炭素、窒素安定同位体比からみたミナミマグロ漁場における海鳥類および魚類の食物関係

Hiroshi Minami¹, Masashi Kiyota¹ and Tomoya Onodera²

南 浩史¹・清田雅史¹・小野寺友也²

1: National Research Institute of Far Seas Fisheries, Fisheries Research Agency

2: Tokai University

1: 独立行政法人 水産総合研究センター 遠洋水産研究所

2: 東海大学 海洋学部

Abstract

Stable isotope analysis can be used to determine diet and trophic level of an animal. It is well known that the stable isotope ratios show a stepwise enrichment along trophic levels in marine and terrestrial ecosystems. Trophic relationships were investigated for seabirds and fish species sampled in the Japanese Southern Bluefin Tuna longline fishery using the method of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analyses. In seabirds, there were seabird species indicating low $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values such as King penguin and Cape petrel, species with high values such as Wandering and White-capped albatrosses, and species with a wide range of values by individual such as giant petrels and dark colored albatrosses. The prey of seabirds, by species and by individual, in the Southern Ocean may vary over a wide range of trophic levels. In tunas and tuna like species, Southern bluefin and Bigeye tunas, Black and Striped marlins and Swordfish occupied similar trophic levels, while only Albacore occupied a low trophic level. The stable isotope technique can thus make clear the trophic relationships of marine organisms in the Southern Ocean ecosystems.

要旨

生物の捕食・被食の食物連鎖の過程において、捕食者の体組織の炭素、窒素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) は餌生物に対して一定の割合で体内に濃縮するため、これを利用して生物の栄養段階、食性、生態系構造の解析が可能である。ミナミマグロ延縄漁業において偶発的に捕獲された海鳥類、魚類の安定同位体分析を行い、南大洋における海洋生物の食物関係の解析を行った。その結果、海鳥類に関しては、オウサマペンギンやマダラフルマカモメなど低い同位体比を示す種、ワタリアホウドリやハジロアホウドリなど高い同位体比を示す種、オオフルマカモメ類や暗色型アホウドリ類など個体によって同位体比が分散した値を示す種が存在することから、南大洋に生息する海鳥類は種や個体によって低次から高次栄養段階の幅広い餌生物を捕食することが考えられた。魚類に関しては、まぐろ・かじき類が全体的に高い同位体比を示し、これらの種は高次栄養段階の餌生物を捕食することが考えられた。まぐろ・かじき類では、ミナミマグロ、メバチ、シロカジキ、マカジキおよびメカジキが同様な食地位を占め、ビンナガのみが低い栄養段階に位置した。生物の安定同位体比の分析は、南大洋における海洋生物の食物関係を解明する上で有効な手法であると考えられた。

Introduction

Stable isotope analyses of consumer and prey tissues represent a valuable method of assessing trophic relationships in marine and terrestrial ecosystems. The stable isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) show a stepwise enrichment along trophic levels. Consequently, nitrogen isotope ratios in animals reflect the trophic levels within food chains, increasing by 3 to 4 ‰ per trophic level. In contrast, animal $\delta^{13}\text{C}$ corresponds closely to diet. Seabirds such as albatross species feed on various kinds of prey, including fish, cephalopods, crustaceans, carrion of animals and offal from fisheries. In this study, we examined the ecological segregation in trophic relationships of marine organisms including seabirds, teleost fishes and elasmobranches in the Southern Ocean using stable isotope analysis.

Materials and Methods

The muscle tissues of 9 albatrosses, 6 other petrels, 2 other seabirds, 3 tunas, 3 billfishes, 21 other teleost fish species and 5 elasmobranches were obtained from the scientific observer program of the Japanese Southern Bluefin Tuna longline fishery between 1998 to 2003 (Appendix 1). Muscle tissues from these organisms were ground to fine powders and lipid extracted using a chloroform : methanol (2:1) solution. Carbon and nitrogen isotope ratios were measured by a Finnigan MAT 252 mass spectrometer joined to a EA 1110 elemental analyzer. Isotope ratios were expressed as ‰ deviations from standards as defined by the following equation:

$$\delta^{13}\text{C}, \delta^{15}\text{N} = \left\{ \left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} \right) - 1 \right\} * 1000$$

where $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ or ${}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$. Peedee belemnite and atmospheric nitrogen were used as the carbon and nitrogen isotope standards, respectively.

Results and Discussion

In seabirds, King penguin and Cape petrel exhibited lower $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values than the other seabirds, possibly because these birds feed on prey of low trophic levels (Fig. 1). In contrast, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of Wandering and White-capped albatrosses and some individuals of Northern giant petrel were higher than that of the other seabirds, possibly because these birds feed on prey of high trophic levels such as fish and cephalopods (Fig. 1). Giant petrels scavenge the carrion of animals such as seal and penguin, and dark colored albatrosses feed primarily on fish, cephalopods, euphausiids and the carrion of animals by diving and scavenging. Both giant petrels and dark colored albatrosses feed on various kinds of prey occupying both high and low trophic levels, as suggested by the wide range of isotope ratios in these birds (Fig. 1). Among closely-related species, Royal and Sooty albatrosses and Northern giant petrel were enriched in heavier isotopes as compared to Wandering and Light-mantled sooty albatrosses and Southern giant petrel, respectively (Fig. 1). Differences in food habits between the closely-related species can be inferred from differences in their $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values.

In fish species, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of tunas and billfishes were higher than that of the other fish species, suggesting that these fish feed on prey of high trophic levels (Fig. 2). Southern bluefin and Bigeye tunas occupied similar trophic levels, while Albacore occupied

lower trophic levels compared with other tunas (Fig. 2). The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of Southern bluefin tuna were similar to that of Escolar, Bigscale pomfret, Silver gemfish and Blue shark as well as Bigeye tuna suggesting that these species occupy similar trophic levels (Fig. 2). Black and Striped marlins and Swordfish occupy similar trophic levels as suggested by the range of overlap in isotope values of these species (Fig. 2).

In elasmobranchs, Thresher shark may occupy a high trophic level because of the high isotope ratios for this species (Fig. 2). Blue shark and Shortfin mako may occupy similar trophic levels to tunas and tuna like species due to the similar isotope ratios of these species (Fig. 2). Porbeagle and Sting ray are likely to feed on prey of low trophic levels as suggested by their low isotope ratios (Fig. 2).

In conclusion, seabirds, teleost fishes and elasmobranchs feed on various kinds of prey occupying low to high trophic levels as can be determined by stable isotope analysis of these marine organisms. The stable isotope technique can thus make clear the trophic relationships of marine organisms in the Southern Ocean ecosystems.

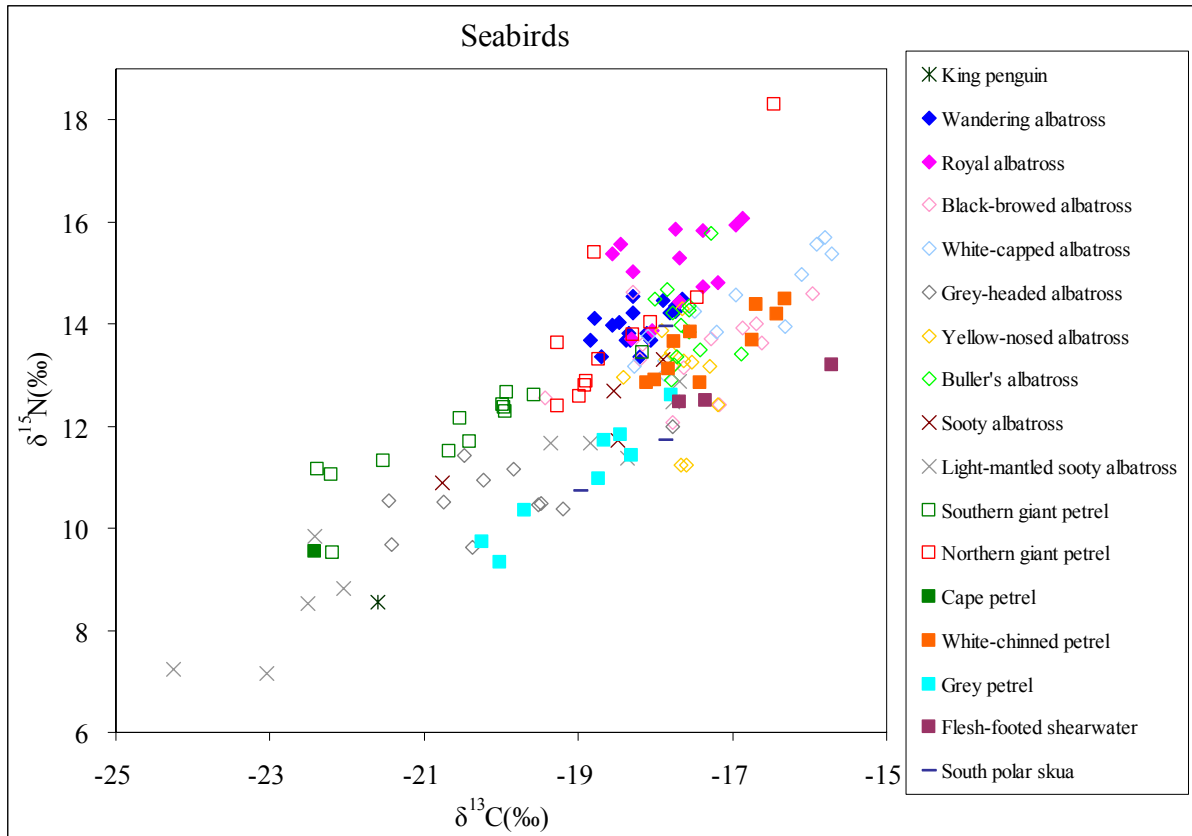


Fig. 1. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of seabirds in the Southern Ocean.

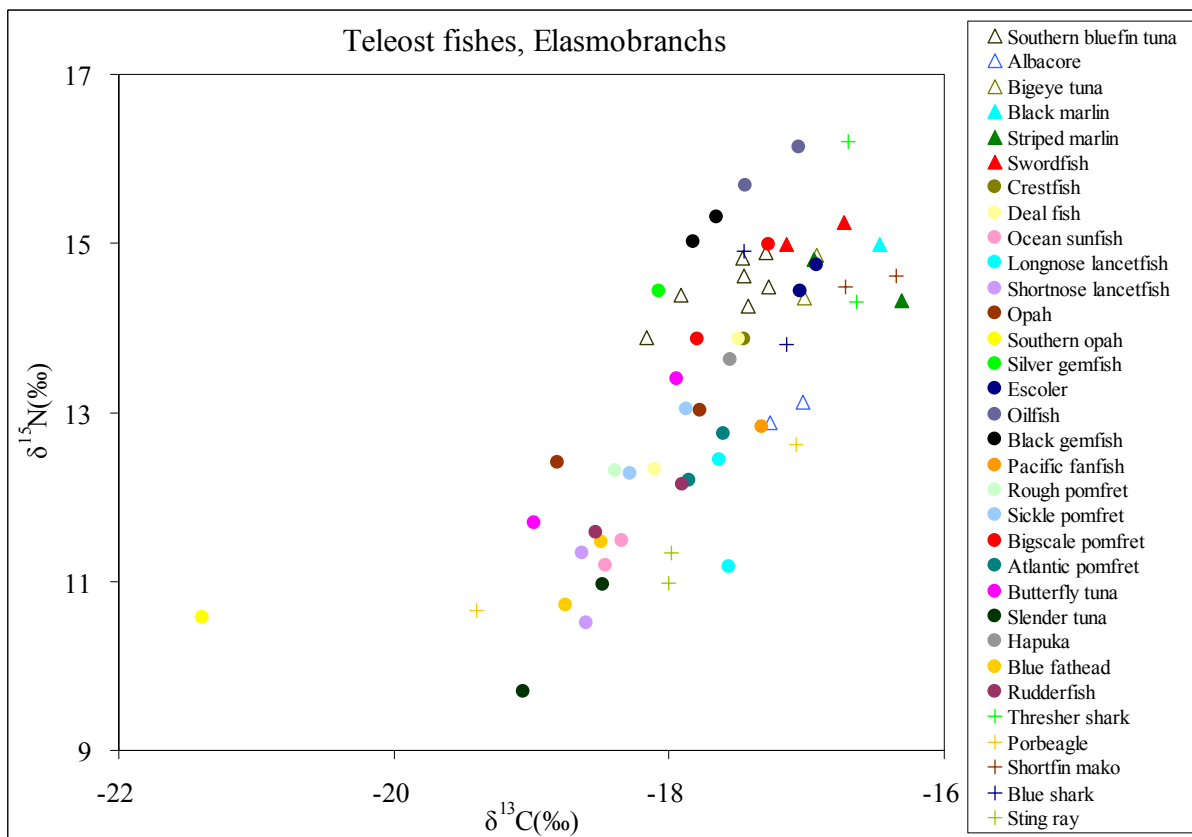


Fig. 2. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of teleost fishes and elasmobranchs in the Southern Ocean.

Appendix 1. List of species name of teleost fishes, elasmobranchs and seabirds.

Japanese name	Scientific name	English name
Teleost fish		
ミナミマグロ	<i>Thunnus maccoyii</i>	Southern bluefin tuna
ビンナガ	<i>Thunnus alalunga</i>	Albacore
メバチ	<i>Thunnus obesus</i>	Bigeye tuna
シロカジキ	<i>Makaira indica</i>	Black marlin
マカジキ	<i>Tetrapturus audax</i>	Striped marlin
メカジキ	<i>Xiphias gladius</i>	Swordfish
アカナマダ	<i>Lophotus capelleri</i>	Crestfish
テンガイハタ	<i>Trachipterus trachipterus</i>	Deal fish
マンボウ	<i>Mola mola</i>	Ocean sunfish
ミズウオ	<i>Alepisaurus ferox</i>	Longnose lancetfish
ツマリミズウオ	<i>Alepisaurus brevirostris</i>	Shortnose lancetfish
アカマンボウ	<i>Lampris guttatus</i>	Opah
ミナミマンダイ	<i>Lampris immaculatus</i>	Southern opah
オオカゴカマス	<i>Rexea solandri</i>	Silver gemfish
アブラソコムツ	<i>Lepidocybium flavobrunneum</i>	Escoler
バラムツ	<i>Ruvettus pretiosus</i>	Oilfish
ハシナガクロタチ	<i>Nesiarchus nasutus</i>	Black gemfish
ベンテンウオ	<i>Bentenia aesticola</i>	Pacific fanfish
マンザイウオ	<i>Taractes asper</i>	Rough pomfret
ヒレジロマンザイウオ	<i>Taractichthys steindachneri</i>	Sickle pomfret
ビッグスケールポンフレット	<i>Taractichthys longipinnis</i>	Bigscale pomfret
ニシシマガツオ	<i>Brama brama</i>	Atlantic pomfret
ガストロ	<i>Gasterochisma melampus</i>	Butterfly tuna
アロツナス	<i>Allothunus fallai</i>	Slender tuna
ニュージーランドオオハタ	<i>Polyprion oxygeneios</i>	Hapuka
ミナミオキメダイ	<i>Cubiceps caeruleus</i>	Blue fathead
クロナガメダイ	<i>Centrolophus niger</i>	Rudderfish
Elasmobranch		
マオナガ	<i>Alopias vulpinus</i>	Thresher shark
ニシネズミザメ	<i>Lamna nasus</i>	Porbeagle
アオザメ	<i>Isurus oxyrinchus</i>	Shortfin mako
ヨシキリザメ	<i>Prionace glauca</i>	Blue shark
カラスエイ	<i>Dasyatis violacea</i>	Sting ray
Seabirds		
オオサマペンギン	<i>Aptenodytes patagonicus</i>	King penguin
ワタリアホウドリ	<i>Diomedea exulans</i>	Wandering albatross
シロアホウドリ	<i>Diomedea epomophora</i>	Royal albatross
マユグロアホウドリ	<i>Diomedea melanophris</i>	Black-browed albatross
ハジロアホウドリ	<i>Diomedea cauta</i>	White-capped albatross
ハイガシラアホウドリ	<i>Diomedea chrysostoma</i>	Grey-headed albatross
キバナアホウドリ	<i>Diomedea chlororhynchos</i>	Yellow-nosed albatross
ニュージーランドアホウドリ	<i>Diomedea bulleri</i>	Buller's albatross
ススイロアホウドリ	<i>Phoebetria fusca</i>	Sooty albatross
ハイイロアホウドリ	<i>Phoebetria palpebrata</i>	Light-mantled sooty albatross
オオフルマカモメ	<i>Macronectes giganteus</i>	Southern giant petrel
カッシュクオオフルマカモメ	<i>Macronectes halli</i>	Northern giant petrel
マダラフルマカモメ	<i>Daption capense</i>	Cape petrel
アゴジロミズナギドリ	<i>Procellaria aequinoctialis</i>	White-chinned petrel
オオハイイロミズナギドリ	<i>Procellaria cinerea</i>	Grey petrel
アカアシミズナギドリ	<i>Puffinus carneipes</i>	Flesh-footed shearwater
ナンキョクオトウゾクカモメ	<i>Catharacta maccormicki</i>	South polar skua

【はじめに】

自然界に存在する安定同位体は、質量数の違いから生化学的反応において軽い同位体元素が速く反応する傾向を持ち、生体内での合成・循環経路によって各組織間で異なった同位体組成を持つ。生物の捕食・被食の食物連鎖の過程において、捕食者の体組織の炭素、窒素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) は餌生物に対して一定の割合で体内に濃縮するため、これを利用して生物の栄養段階、食性、生態系構造の解析が可能である。炭素安定同位体比は栄養段階ごとに 1‰とごく僅かしか濃縮せず、捕食者側の $\delta^{13}\text{C}$ は餌生物と近似した値を示すため、生物の餌起源の推定や生態系の炭素源の特定に有効性を発揮する。一方、窒素安定同位体比は食物連鎖に沿って 3‰と高い濃縮率を示すため、動物の栄養段階や食性の推定に有効である。海鳥類であるアホウドリ類の食性は、魚類、頭足類、甲殻類、腐肉、さらに漁船から投棄されるゴミや漁獲物の内蔵など幅広く、また種によっても食性や摂餌生態が異なると考えられている。本研究では、ミナミマグロ延縄漁業において偶発的に捕獲された海鳥類、魚類等の安定同位体分析を行い、南大洋における海洋生物の食物関係の解析を行った。

【材料と方法】

分析試料は、1998～2003年に日本のミナミマグロのオブザーバープログラムで採集されたアホウドリ類 9 種、ミズナギドリ類 6 種、その他海鳥類 2 種、まぐろ類 3 種、かじき類 3 種、その他魚類 21 種、板鰓類 5 種の筋肉組織を用いた。筋肉試料は乾燥および粉碎後、クロロフォルム：メタノール=2:1 で脱脂した。試料の炭素、窒素安定同位体比は、サーモクエスト EA1110 付 Finnigan MAT252 を用いて測定した。安定同位体比は、標準物質からの千分偏差 (‰) を用いて次式で表した。

$$\delta^{13}\text{C}, \delta^{15}\text{N} = \left\{ \left(R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}} \right) - 1 \right\} * 1000$$

ここで、 $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ あるいは ${}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$ を表す。標準物質として、炭素は Peedee belemnite (PDB) を、窒素は大気中の窒素を用いた。

【結果と考察】

海鳥類に関しては、オウサマペンギンおよびマダラフルマカモメが低い同位体比を示したことから、オキアミなど低次栄養段階の餌生物を捕食するためと考えられた。一方、ワタリアホウドリ、ハジロアホウドリおよびカッシュクオオフルマカモメの一部の個体が高い同位体比を示したことから、魚類や頭足類などの高次栄養段階の餌生物を捕食するためと考えられた。また、オオフルマカモメ類の 2 種とススイロアホウドリおよびハイイロアホウドリの暗色型アホウドリ類の同位体比は個体によって分散した値を示した。オオフルマカモメ類はオットセイやペンギンなどの死肉や浮遊する餌生物を拾い食いすること、また、暗色型アホウドリ類は自ら頭足類、魚類およびオキアミ類を摂餌することや浮遊する餌生物を拾い食いすることから、これらの種は個体によって様々な栄養段階の餌生物を捕食しているものと考えられた。近縁種間に関しては、シロアホウドリ、ススイロアホウドリおよびカッシュクオオフルマカモメの方が、それぞれワタリアホウドリ、ハイイロアホウドリおよびオオフルマカモメよりも同位体比が高いことから、近縁種間においても食性が異なることが考えられた。

魚類に関しては、まぐろ・かじき類が全体的に高い同位体比を示し、これらの種は高次栄養段階の餌生物を捕食することが考えられた。まぐろ類では、ミナミマグロとメバチが同様な食地位を占め、ビンナガが低い栄養段階であり、食性が異なることが考えられた。ミナミマグロについては、メバチの他にアブラソコムツ、ビックスケールポンフレット、オオカゴカマス、ヨシキリ

ザメと同様な同位体比を示し、これらの種は食地位や食性が類似していることが示唆された。かじき類では、シロカジキ、マカジキ、メカジキともに同様な食地位を占めた。

板鰓類に関しては、マオナガが高い値を示し、食地位が高いことが考えられた。ヨシキリザメ、アオザメはまぐろ・かじき類と同様な値を示し、同様な食地位を占めることが考えられた。ニシネズミザメやカラスエイは低い同位体比を示したことから、栄養段階の低い餌生物を捕食するものと考えられた。

以上のことから、海鳥類、魚類の同位体分析によって、南大洋の海洋生物は様々な栄養段階の餌生物を捕食することが明らかとなった。生物の安定同位体比の分析は、南大洋における海洋生物の食物関係を解明する上で極めて有効な手法であると考えられた。