

同位体が解き明かす 「食う-食われる」の関係

大河内 直彦・力石嘉人

生き物間の 「食う-食われる」という関係

さまざまな生き物の間でみられる「食う-食われる」という捕食-被食関係は、生態系や個々の生き物の営みを理解するために重要な知見である。しかしそれだけではない。総体としてみれば、地球表層上におけるエネルギーの流れを知るための重要な情報である。ほとんどの生き物は究極的には太陽エネルギーに依存しているが（一部は化学エネルギーに依存している）、その太陽エネルギーが生き物の世界をどのようなルートを通して流れているのかを知ることは、裏を返せば個々の生物種が地球環境にどのようなかかわっているのかを知ることもある。

この星に暮らす1000万種の生き物がそれぞれ何を食べて暮らしているのかは、知られているようで実はほとんど知られていない。特に深海となるとなかなかアクセスしにくいいため、肉眼観察によって明らかにすることも難しい。試料を採ってきて胃内容物の顕微鏡観察や遺伝子解析なども用いられているが、こういった方法は直前に食べた餌を強く反映し、ときには餌の餌もカウントしてしまうことから、試料によって結果が大きくばらつく傾向にある。こんな問題に役立つ有用なツールとして、窒素や炭素などといった各種元素の安定同位体比が知られてきた。筋肉やコラーゲンなどを形づくる元素の安定同位体比は、比較的長い期間の平均的な食性を反映するからであ

る。ここでは、そんな方法論の改良版として最近になって確立された個別アミノ酸の窒素同位体比を用いる方法論を紹介しよう。

安定同位体比を用いた方法

生物に含まれる窒素は、その多くがタンパク質の構成単位である20種類のアミノ酸に由来する。窒素とは、普通7個の陽子と同数の中性子をもつ質量数14の核種 (^{14}N) であるが、天然中にはわずか0.4%ほどだが中性子が一つ多い質量数15の安定な核種 (^{15}N) が含まれている。この ^{15}N の存在比 ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比) のことを窒素同位体比とよんでいる。ある特定の種に着目すると、生体中で合成される個々のアミノ酸は、試料を採取した場所によって多少異なる窒素同位体比をもっているが、各アミノ酸の窒素同位体比の関係は驚くほど一定であることが経験的に知られてきた。さらに、誌面の都合上詳しい話は省略するが、アミノ酸が代謝される際に、捕食者の窒素同位体比は被食者のそれに比べ高くなる (^{15}N が濃縮する)。しかし例外的に、フェニルアラニンには ^{15}N がほとんど濃縮しな

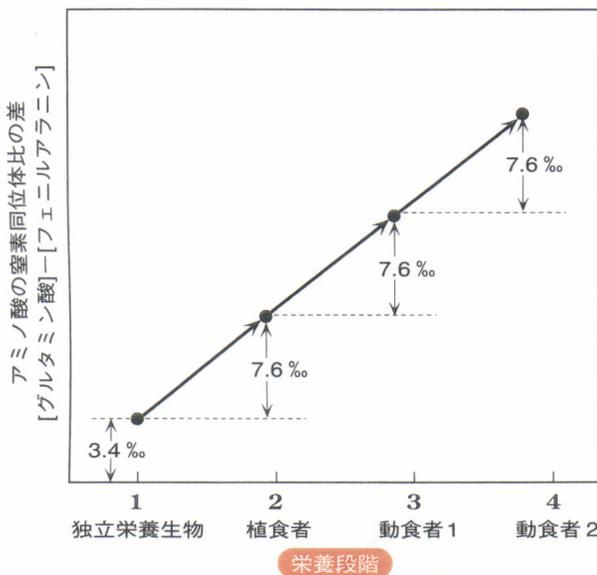


図1 栄養段階の変化に伴うグルタミン酸とフェニルアラニンの窒素同位体比の差の変化
縦軸は上へ行くほど $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比が高い。

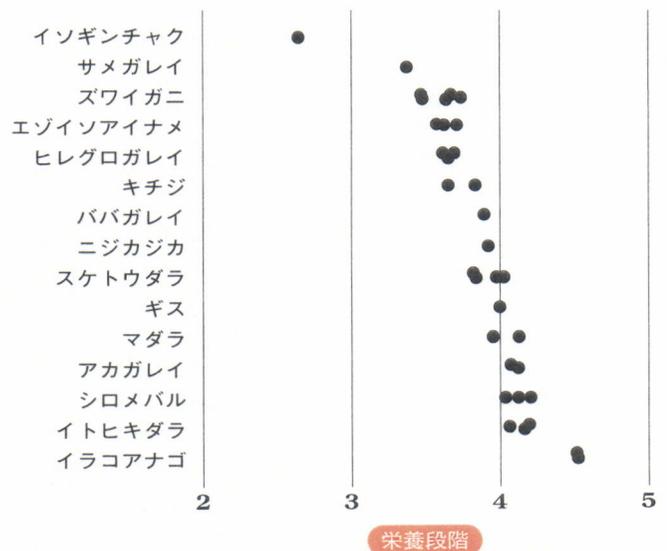


図2 三陸沖で採取された生き物（おもに底魚）の栄養段階

い。この特徴を利用すると、ある生き物
がもつフェニルアラニンとそれ以外のほ
とんどのアミノ酸の窒素同位体比の差
は、栄養段階の1次関数となる。図1に
示したのは、数あるアミノ酸のなかでも
グルタミン酸と、フェニルアラニンの窒
素同位体比の差を栄養段階の関数とし
て示したものである。栄養段階が一つ上
がるごとに、その差は7.6‰（パーミル：
標準物質の同位体比からのずれを千分率
として表したもの）ずつ大きくなって
いく。この方法を用いた栄養段階の推定誤
差は、およそ0.2程度である。ちなみに
栄養段階とは、光合成をする生き物を1
とし、それを食べる植食動物が2、さら
にそれを食べる生き物が3といったふう
に定義される数値のことである。もちろ
ん整数である必要はない。植物と植食動
物の両方を食べる雑食者の場合には、食
べた餌の割合に応じて2.0~3.0の間の数
値を示す。

深海生物への応用

アミノ酸の窒素同位体比という化学
的な指標を用いて、深海に暮らす生き物
の栄養段階を調べてみた結果を示したの
が図2である。この図に示した生き物の
多くは一般に「底魚」とよばれ、海面近
くまで上がってくることはほとんどな
く、真っ暗な海底でひっそりと(?)暮

らしている。したがって、餌どころかそ
の詳しい生態はほとんど知られていない
ものばかりだ。しかし底引き網に大量に
かかるこれらの魚は、私たち日本人に
とって重要な食糧であり、タンパク源で
ある。スケトウダラはカマボコの原料だ
し、マダラを干したものが棒鱈である。
脂ののったイラコアナゴは天ぷらや蒲焼
にして食べるとおいしいし、キチジはと
きにキンキともよばれ、1尾あたり何千
円もの高値がつく高級魚である。同じタ
ラの仲間でも、種類によって違うことも
わかる。たとえば、スケトウダラ（栄養
段階：3.9）よりもマダラ（栄養段階：
4.0）が、またマダラよりもイトヒキダ
ラ（栄養段階：4.1）が少々高い栄養階
段をもっている。こういった底魚のなか
では、イラコアナゴの栄養段階が最も高
く、その値は4.5に達する。たとえば、
そのイラコアナゴの栄養段階から1引い
た3.5がイラコアナゴの餌の平均的な
栄養段階ということになる。そこにはち
ょうどサメガレイが位置している（図2）。
しかしだからといって、イラコアナゴが
サメガレイばかりを食べているわけでは
ないだろう。同じ栄養段階にある生き物
はほかにもたくさんいるし、たとえば
栄養段階3のもの4のものを半分ずつ食
べていたとしても、その栄養段階は4.5
となる。こういった化学指標を用いて

も、深海に暮らす生き物がどんなものを
食べているのかを一義的に明らかにする
ことは容易ではない。しかし、エネル
ギーの流れを知るツールとして、栄養階
段は必須の情報である。

近年、水産資源の減少が顕著になるな
かで、持続可能な水産業を目指す動きは
加速している。私たちが口にするものだ
けでなく、食糧にならない生き物もひっ
くるめた海洋生態系の理解は、持続可能
な水産業を確立するうえで基礎的な知見
である。ここで示したような栄養段階を
推定するなどの知見を一つずつ重ねてい
くことは、将来の水産業の礎になるだけ
でなく、理学的な視点からも重要なこと
である。同位体比という化学的な指標
は、こんなテーマにも大きく貢献してい
るのである。

参考文献

1. Y. Chikaraishi ほか, *Limnol. Oceanogr-Meth.*, 7, 740 (2009).
2. 力石嘉人ほか, *ラジオアイソトープ*, 56, 463 (2007).
3. B. Fry 著, "Stable Isotope Ecology", Springer (2006).
4. 大河内直彦ほか, *生物と化学*, 50, 430 (2012).
5. 和田英太郎ほか, *経済学論叢*, 65, 309 (2014).

現代化学合本用ファイルをご利用ください



現代化学を長く保存なさる方々のために、
1年分12冊を綴じ込める美しいファイルを
ご用意いたしております。
ご希望の方は、直接弊社営業部宛てに
代金（切手代用可）を添えて
お申込みください。
1部1000円（税、送料込み）

宛て先は
(株) 東京化学同人 営業部
〒112-0011
東京都文京区千石 3-36-7
振替 00130-0-84301

品物はお入金があり次第、
発送いたします。