

## 窒素・炭素の安定同位体を用いた海洋の生態系構造研究

国立研究開発法人 水産研究・教育機構中央水産研究所  
海洋・生態系研究センター  
杉崎宏哉

水産研究において、魚介類など水産資源の生物量の増減や分布、回遊などを科学的に解析することが非常に重要となります。これらの水産資源生物がどこで何を食べて、何に食べられて生きているのかを把握することは、生物分布を定性的、定量的に明らかにするために必須な研究となっています。また昨今の乱獲や混獲の問題、温暖化による地球規模での環境変動により、生態系のバランスが崩れてきているといわれますが、生態系の構造を明確に把握することにより、生態系がどのように変わっていくのかあるいは何が変動のキーポイントになるのかを明らかにすることができます。生態系構造を把握するためにはその生態系を構成するあらゆる生物の食性を調査し生態系内での食う-食われる関係（被食-捕食関係）を明確にして、食物連鎖（食物網）の図式を完成させなければなりません。生物の食性を調べる手法として一般的なのは、採集した生物の消化管内容物を調べる方法です。特に水産生物の場合はプランクトンなど小さい餌を捕食しているものが多いため、顕微鏡観察によりおなかに中に何が入っていたかを調査します。しかし、この方法では採集された直前に食べていたものしか判別できず、実際にその生物の体を構成する（=身になった）餌を特定することはできません。網で捕獲したような生物の場合、採集時に網の中で偶然食べてしまったものかもしれません。また、深海魚のように丸呑みして消化に時間のかかる生物の場合は良いのですが、イカや甲殻類のように餌を細かく砕いて食べる生物やサンマのように非常に餌を早く消化する生物の場合、消化管内容物観察では餌の種類が判別できないこともあります。

実際に食べた生物の体を構成するもとなった餌を把握し、生態系を構成するどの生物にも当てはまる数値で被食-捕食関係を示す手法として 1970 年代後半から世界的に研究が進められてきたものが、窒素と炭素の安定同位体の天然存在比を用いた生態系構造研究です。生物体を構成する有機物の主要元素である窒素は原子量 14( $^{14}\text{N}$ ) が大半ですがごく少ない割合で原子量 15 のもの( $^{15}\text{N}$ ) が存在し、炭素では主要な 12C の他に 13C などが存在します。生物体を構成する有機物の  $^{14}\text{N}$  と  $^{15}\text{N}$ 、 $^{12}\text{C}$  と  $^{13}\text{C}$  の割合を測定すると、食われるものに比べて食うものの方が一定の割合で高くなっていることがわかってきました。この理由は、生物が食べたものを消化吸収して自分の体を再構築する過程(異化)に起こる化学反応は基本的に生物共通であり、そこで起こる同位体比の変化(同位体分別)により、食うものと食われるものの安定同位体比の差が生じることによります。安定同位体比は非常に微小な割合の同位体比の違いを表現しないとしないため標準物質に対する偏差の千分率 ( $\delta$  値‰) で表現されます(図 1)。

生態系を構成する様々な生物の安定同位体比を測定することにより、食物連鎖の中での上位、下位(栄養段階)を数値で表すことが可能になりました。また、分析に用いられる試料は既に異化された生物体自体であるため、確かに身になった餌を反映していることとなります。また消化管内容物調査の欠点であった咀嚼の影響を受けない手法です。この手法が開始された当初は、試料から窒素(純粋な窒素ガス)や炭素(純粋な炭酸ガス)を取り出す操作にも手間がかかり十分なデータを得るには多くの時間がかかりましたが、現在では安定同位体比分析装置(質量分析計)の品質も向上し、ほぼ自動で乾燥飼料から安定同位体比が測定できるようになったため、生態系研究手法としてかなり一般的なものになりつつあります。

近年このように多くの安定同位体データが蓄積されてきたことによって、地球規模での同位体分布なども解析されるようになり (Isoscape という考え方)、地域による生態系の特徴なども安定同位体比を用いて論じることができるようになってきました。また、同一生物体でも部位によって脂質など構成成分の含量の違いなどにより同位体比が異なることから、生物を構成しているアミノ酸を用いた分子内同位体比を分析して被食-捕食関係を明らかにする手法も進められています。

しかし一方で簡単に数値が出てきてしまうため、本来の生態系の構成を理解していないと、現実的にはあり得ない被食-捕食関係図ができあがってしまうこともあります。同位体比は、環境水中の栄養塩の同位体比のほか、基礎生産者の植物種による性質、(窒素ならば窒素固定能のある植物かそうでないか、炭素ならば C3 植物か、C4 植物かなど)、成長速度などによって大きく変化するものであり、安定同位体の数値のみを根拠に生態系構造を解析しないことも重要です。

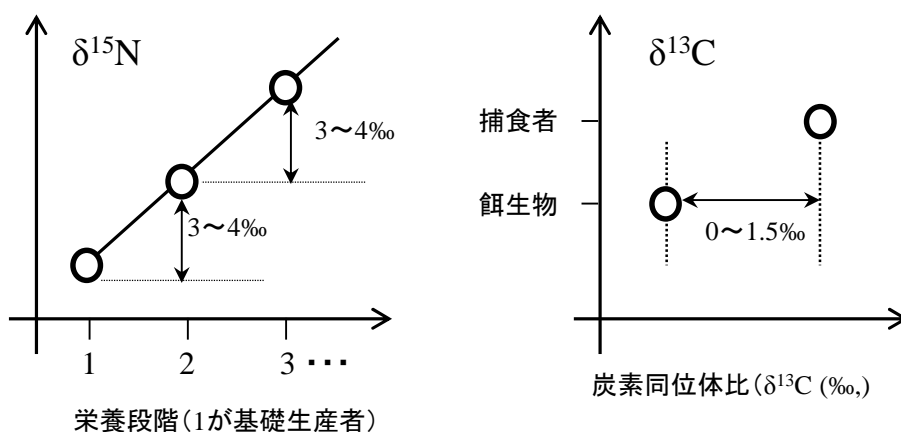


図1 被食-捕食関係と左: 窒素安定同位体比 ( $\delta^{15}\text{N}$ : Minagawa & Wada, 1984; Fry, 1988より改変), 右: 炭素安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ : Deniro & Epstein, 1978; Rau et al., 1983; Fry & Sherr, 1984より改変)。(杉崎他 2013より改)