

化学の目で探る沿岸漁場の環境

木暮陽一

(海区水産業研究部資源培養研究室)

安定同位体比:生態系を探る便利なツール

北海道から琉球列島まで南北に長い複雑な海岸線を有し、暖流・寒流に洗われる我が国沿岸にはさまざまなタイプの生態系が観察される。岩礁海岸、干潟、アマモ場、マングローブ林、サンゴ礁等、いずれも多様な生物をはぐくみ生物生産の活発な海域である。これらの海域はまた、漁業やレクリエーションの場として重要であるばかりでなく、希少種や有用種の保護を含む自然環境保全の立場からも注目されているのは周知のことである。

このような貴重な生態系を有効活用し、将来にわたり維持・保全していくためには、個々の生態系の基本的な仕組みを解明するのが前提となる。その研究方法のひとつとして、生態系を構成する生物個体群に着目した出現種の記載、分布様式や個体群動態の追跡等は重要な手法である。また別のアプローチとして生態系における物質の流れに着目し、餌料有機物の供給源や生物間の移動を食物網として把握する方法が考えられる。このような解析には従来、餌物質を視覚的に確認する胃内容分析が主流であった。しかしながら懸濁物食者や堆積物食者が卓越する海産底生動物では、胃内容物の多くが微細な不定形物質で素性がはっきりしない、消化管内の物質が消化吸收され餌料となっている確証はないといった問題が生じる。

近年、分析機器の飛躍的な性能向上にともない、食物網解析に安定同位体比が活用されるようになった。これはコンピュータ、遺伝子解析とともに 20 世紀後半に生態学者が手に入れた 3 大ツールのひとつとも言われる。安定同位体比の利用により、これまで視覚に頼ってきた餌料物質の流れを化学の目で数値化して示すことが可能となった。そこで本研究では、陸域との接点にありながらこれまで研究例のきわめて乏しい、外海に面した砂浜海岸における有機物の由来と食物網について炭素・窒素安定同位体比を活用して解析したので報告する。

炭素・窒素安定同位体比の性質

炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) および窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) は、生態系において特徴的な動態を示すことが明らかにされている。まず $\delta^{13}\text{C}$ は、基礎生産者の主要グループごとに独特の値をとることが知られている。すなわち多くの陸上高等植物では $\delta^{13}\text{C} = -28\text{‰}$ 程度であるのに対し、中緯度海域の植物プランクトンでは約 -20‰ と高くなる(杉本, 和田 1992)。さらに同じ陸上植物でも、一部のグループ (C_4 植物) では海産植物プランクトンよりも一層高い値を示す。このような $\delta^{13}\text{C}$ の相違は生態系の餌料解析にはきわめて有用な情報を与える。なぜならば、 $\delta^{13}\text{C}$ は餌である基礎生産者から高次の消費者へその値が大きく変化せずに引き継がれるという性質があるためである(DeNiro and Epstein 1978)。たとえば消費者の肉質部の $\delta^{13}\text{C}$ は、

陸上植物のみを摂取した植食動物では-28‰に近い値をとると予想されるが、海洋植物プランクトン食の動物では-20‰付近に平均値が見られる。逆に、動物体の $\delta^{13}\text{C}$ を測定すれば、主要な餌料源が推定可能となり、従来の胃内容分析に新たな情報を付与することができる。

一方、 $\delta^{15}\text{N}$ は餌料と捕食者間で一定の割合で増加することが知られている。その割合は栄養段階 1 段につき 3-5‰であり、高次捕食者ほど高い $\delta^{15}\text{N}$ を示す。(DeNiro and Epstein 1981, Peterson and Fry 1987)。すなわち $\delta^{15}\text{N}$ は、対象生物が生息地でどの程度の栄養段階に位置するのかを知るのに有用である。また捕食者の $\delta^{15}\text{N}$ は、食物連鎖が栄養段階に対して単純に連なるときは高い値を示すが、生産者や他の捕食者など様々な資源を利用する場合は、低い値をとることが予想される。このため捕食者の $\delta^{15}\text{N}$ は、生息地の食物網の複雑さの指標となり(南川 2006)、今後、多様性の尺度としても期待される。 $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{13}\text{C}$ を 2 次元上に布置すると、調査フィールドにおける食物網構造をより具体的に理解可能となる。そこには構成各種の個体群動態の総合のみでは得られない群集構造のさまざまな情報を読み取ることができる。

陸起源有機物の広がりを追う

前述したように有機物中の $\delta^{13}\text{C}$ の値は、陸起源有機物と海産有機物とでは大きく異なることが知られている。一般に陸起源有機物の $\delta^{13}\text{C}$ は-27‰から-28‰程度、また中緯度海域の海産植物プランクトンでは-20‰前後の値を示す。このため沿岸浅海域への主要な有機物供給源として、河川から流入する陸起源有機物と植物プランクトンにより海洋で生産される有機物を仮定した場合、海域に堆積する有機物の $\delta^{13}\text{C}$ は理論的には-28‰から-20‰の値を示し、陸起源・海起源有機物それぞれの寄与率が計算される。

このような有機物の供給源寄与率を計算する場合、現場における陸起源有機物と海産有機物の実際の $\delta^{13}\text{C}$ を把握することが重要である。たとえば新潟市沖の浅海砂浜域で行った調査では、河川水中懸濁有機物の $\delta^{13}\text{C}$ 平均値は-27.9‰を示した。一方、新潟市南西沖に位置し、河川水の影響が比較的少ない調査点の沿岸表面水から採集された海産植物プランクトン試料では $\delta^{13}\text{C}$ 平均値=-21.2‰であった(木暮 2004)。さらに沿岸域から遠く離れた佐渡島北方沖の日本海から得られた海産植物プランクトンの $\delta^{13}\text{C}$ も-20.9‰であることから、新潟沿岸域においては海産有機物で $\delta^{13}\text{C}$ =-21‰、陸起源有機物で $\delta^{13}\text{C}$ =-28‰として有機物供給源寄与率の推定が可能であることが判明した。

以上のように推定された $\delta^{13}\text{C}$ を用いて新潟県北部沿岸底への陸起源物質の拡散範囲を調査した結果、沿岸域は陸起源物質の影響を強く受けていることが明らかとなった。実際、海底表層堆積物の $\delta^{13}\text{C}$ は最大で-22.6‰、最小で-26.5‰を示し、陸起源有機物の寄与率は最大 79%であった。また陸起源有機物の影響が特に強い海域の範囲は(寄与率 50%以上)遠く沖合域に及び、信濃川、阿賀野川、胎内川で距岸 10km、荒川、三面川沖では距岸 15km に達した(木暮 2003)。

食物網の様子を数値化して見る

炭素・窒素安定同位体比を用いて、新潟市郊外に位置するごく浅海砂浜底の食物網解析をおこなった例を図1に示す(木暮 2004)。調査は夏期に水深 2m (Stn. 2), 4m (Stn. 4), 8m (Stn. 8), 15m (Stn. 15) で実施し、海底表層砂泥からの底生珪藻類の抽出は Riera *et al.* (1996)の方法に従った。

分析の結果、河川から供給される有機懸濁物や陸上植物片の $\delta^{13}\text{C}$ は-26‰以下の低い値を示した。一方、底生動物群の $\delta^{13}\text{C}$ は-20‰より高い値に分布しており、これらの餌料に陸

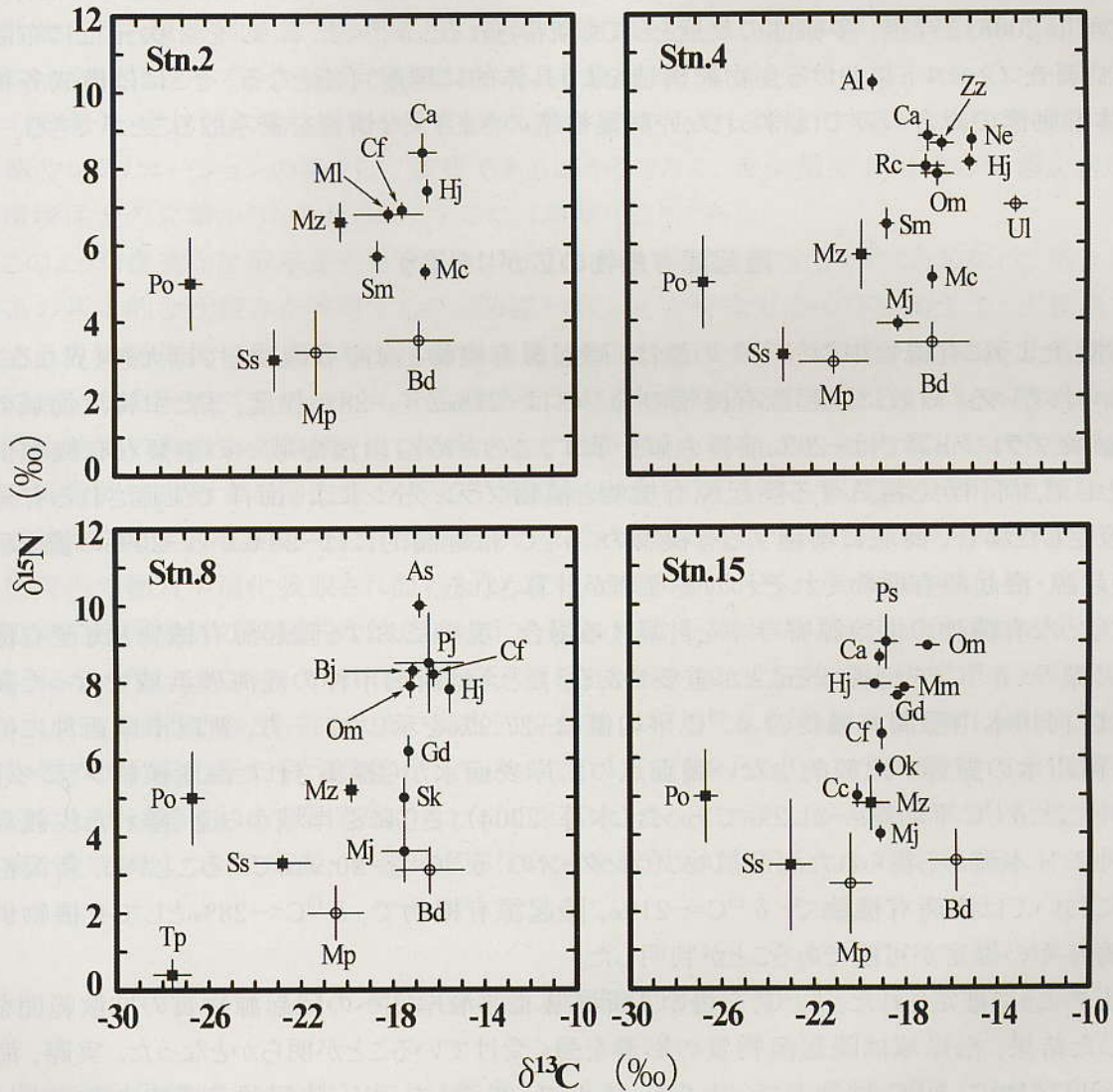


図 1. 新潟市砂浜海岸における $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ プロット (平均値 $\pm$ SD)

底生動物(●): Al, ヒラモミジ; As, モミジガイ; Bj, バイ; Ca, エビジャコ; Cf, ウミケムシ; Gd, ツメタガイ; Hj, ササウシノシタ; Mc, パカガイ; Mj, モモノハナガイ; Ml, キンセンガニ; Ne, 多毛類; Ok, クシノハクモヒトデ; Om, マクラガイ; Pj, クロウシノシタ; Ps, ヒラコブシガニ; Rc, ネズミゴチ; Sk, サルボウ; Sm, ハスノハカシパン; Zz, シマウシノシタ. 基礎生産者(○): Bd, 底生珪藻; Mp, 海産植物プランクトン; Ul, 海藻:アオサ類. その他(■): Mz, 海産動物プランクトン; Po, 河川水粒状有機物; Ss, 海底堆積有機物; Tp, 陸上植物枯死片.

源有機物の直接の寄与はないと判断される。また、海産植物プランクトンや底生珪藻類の $\delta^{13}\text{C}$ は-21 から-16‰付近に分布しており、底生動物の値と類似している。このため、調査海域ではこの2者が主要な餌料源と考えられる。特に水深8m以浅の調査点では、底生珪藻類と底生動物群の $\delta^{13}\text{C}$ がほぼ一致していることから、浅海域では基礎生産者として底生珪藻類が重要であると考えられる。底生珪藻類はこれまではおもに干潟域でその生産性が注目されてきたが、本調査により浅海砂底でもその重要性が認識された。すなわち、浅海漁場の餌料供給量の算定には、底生珪藻類の現存量や生産量の推定が必須であることが明らかとなった。

調査海域における食物網の構造は $\delta^{15}\text{N}$ から推察される。基礎生産者の $\delta^{15}\text{N}$ は3‰程度であるのに対し、底生動物では最大10.2‰に達した。 $\delta^{15}\text{N}$ の栄養段階あたりの平均増加率を3.2‰とすると(Peterson and Fry 1987), 両者の差は2栄養段階以上となる。すなわち海域には1次消費者とそれらを捕食する肉食性動物がさらに2栄養段階存在すると考えられる。肉食性の動物群はしばしば増養殖対象種に甚大な被害を及ぼすことがある。今回分析されたツメタガイは二枚貝を穿孔して捕食するが、 $\delta^{15}\text{N}$ が7‰前後と高い値を示すのはその証左である。また近年、小型甲殻類のエビジャコ類がヒラメ等異体類の稚魚を捕食する可能性が指摘されているが(南 1998), その $\delta^{15}\text{N}$ は8‰以上と高い値を示しており、本種が強力な肉食者であることが裏付けられた。一見、魚類の好適な餌料生物が逆に捕食者となる場合があるように、増養殖対象種の捕食者はまだ他にも存在する可能性がある。そのような潜在的な捕食者を炙り出すためにも、安定同位体比分析は有力なツールとなるであろう。

引用文献

- DeNiro M. J. and Epstein S., 1978: Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **42**, 495-506.
- DeNiro M. J. and Epstein S., 1981: Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **45**, 341-351.
- 木暮陽一, 2003: 外海性浅海砂浜生態系における栄養有機物の動態の解明, 「流域圏における水環境・農林水産生態系の自然共生型管理技術の開発 研究報告書」(農林水産省農林水産技術会議事務局・独立行政法人農業工学研究所), pp.118-123.
- 木暮陽一, 2004: 炭素・窒素安定同位体比による外海性浅海砂浜底の食物網構造の解析. 日本生物地理学会会報, **59**, 15-25.
- 南川雅男, 2006: 安定同位体比による生態系の構造解析, 「地球化学講座 5 生物地球化学」(南川雅男・吉岡崇仁 編), 培風館, 東京, pp.169-181.
- 南 卓志, 1998: エビジャコ-稚魚-小型甲殻類の関係, 「砂浜海岸における仔稚魚の生物学」(千田哲資・木下 泉 編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.89-99.
- Peterson B. J. and Fry B., 1987: Stable isotopes in ecosystem studies. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, **18**, 293-320.
- Riera P., Richard P., Grémare A., and Blanchard G., 1996: Food source of intertidal nematodes in the bay of Marennes-Oléron (France), as determined by dual stable isotope analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **142**, 303-309.
- 杉本敦子, 和田英太郎, 1992: 生物圏における安定同位体分布と地球環境. *Radioisotopes*, **41**, 366-376.