

安定同位体比による日本海陸棚 海域における食物網構造の解析

木暮陽一（資源環境部・浅海環境グループ）



日本海における陸棚浅海域の水中と海底の生態系を総合的に解析するため、化学分析を活用して研究を進めています

【はじめに】

地球上における多様な生物は、それぞれが個体としての独立性を保つとともに、同種個体間や異種個体間で直接・間接的な相互作用を及ぼしながら生存している。また、周辺の非生物的環境との間で作用・反作用を繰り返し、生息環境から受ける制約に適応しつつ、ときには環境そのものを改変する能力を有している。このような、相互に密接な関係にある生物群集とその生息環境をひとくりにして生態系と称する。

海産生物を育む生態系である海洋生態系は、さらに下位レベルの区分として漂流生態系と底生生態系に大別される。漂流生態系の生物群は、マグロやイワシのように水中を能動的に泳いで生活する遊泳生物（ネクトン）や、クラゲのように遊泳能力に乏しく、もっぱら流れに身をまかせ水中を漂う浮遊生物（プランクトン）から構成されている。一方、底生生態系の生物群は、生活史の大半を海底と密接に関係しながら送るカニやヒトデのような底生生物（ベントス）が主役である。

従来の海洋生態系研究は、漂流生態系と底生生態系のそれぞれで独自に発展を遂げてきた。対象生物の生物学的特性に大きな差異が認められ、調査手法も全く異なることを考慮すれば、これは自然な展開と言える。しかしながら、ベントスは一部の例外を除き、その餌料源を漂流生態系から運ばれる有機物に依存している。また、海底で分解された有機物は漂流生態系へ回帰して光合成を促

し、海洋の基礎生産を支えている。すなわち、海底と水中での生物活動を取りまく諸現象は本来、不可分の関係と言える。

そこで本研究では、日本海の陸棚浅海域において、漂流生態系と底生生態系の連関を探るため、当該海域の生態学的構造を包括的に把握することを目的とした。なお、解析には、後述する化学分析手法を活用した。

【生態系を化学分析で解析する】

生態系における生物のつながりを解明する上で、生物相互間における有機物の流れを把握することは重要である。このうち特に、餌となる生物（被食者）と餌を食べる生物（捕食者）との関係は、食物連鎖と呼ばれている。実際のフィールドでは捕食者が複数の被食者とつながってより複雑な構造を形成しており、一直線の鎖よりも網目をイメージして食物網と表現するのが適切である。

食物網の解析には、捕食者の摂餌行動を観察することや、捕食者の消化管内容物を分析することで研究が行われてきた。確かに直接的な観察は餌生物の特定に有効である。しかしながらこのような手法で抽出される結果は、観察時のいわばスナップショットであり、より長期間にわたりどのような被食-捕食関係が成立しているのかを検討するのには限界がある。

食物網の解析には20世紀後半から、直接観察に加え生物体に含まれる有機物元素に着目した間

接的な解析方法が活用され始めた。特に、被食-捕食関係を反映する炭素と窒素の安定同位体の挙動を対象とした解析方法は、炭素・窒素安定同位体比分析と称され、生態系の解析に広く用いられるようになってきている。本手法は、被食者を構成する有機物元素の影響が、捕食者を構成する有機物元素の値に比較的長いスパンで残存することを利用する。これにより、ある一定期間に捕食者に最も影響力の大きな餌料を推察することが可能となる。

安定同位体比分析では、生物体中に含まれる炭素と窒素の安定同位体の存在割合を分析し、炭素、窒素のそれぞれについて安定同位体比（存在割合の基準値からのずれ）という値を求め、解析を行う。炭素安定同位体比からは食物網の起点となる植物を中心とした餌料有機物の主要グループが、窒素安定同位体比からは対象生物の食物網における相対的な位置（栄養段階）が判別される。そこで、炭素と窒素の安定同位体比を座標軸とする2次元座標上に対象生物をプロットした炭素・窒素

安定同位体比マップを作成し、各種生物間の位置関係から食物網の解析を試みるのが炭素・窒素安定同位体比分析の骨子である。なお、有機物に含まれる安定同位体はごく微量であるため単位には千分率（‰）が用いられ、一般的には生物体の炭素安定同位体比はマイナスの値を、窒素安定同位体比はプラスの値を示す。また、これまでの様々な実験から、栄養段階が1段上昇すると、炭素安定同位体比は平均1‰前後、窒素安定同位体比は平均3.3‰程度上昇することが経験則として知られており、炭素・窒素安定同位体比マップ上のプロットは右肩上がりの分布様式を示すことが多い（図1）。ただし、安定同位体比は様々な要因で変化しうることから、マップの解釈については、実際の食性に関する知見等も併せて検討する必要がある。

【陸棚海域での解析結果】

調査は、2016年5月から6月に日本海区水産研究所所属のみずほ丸（156 t）により、陸棚海域の海底および水中の食物網を包括的に把握する

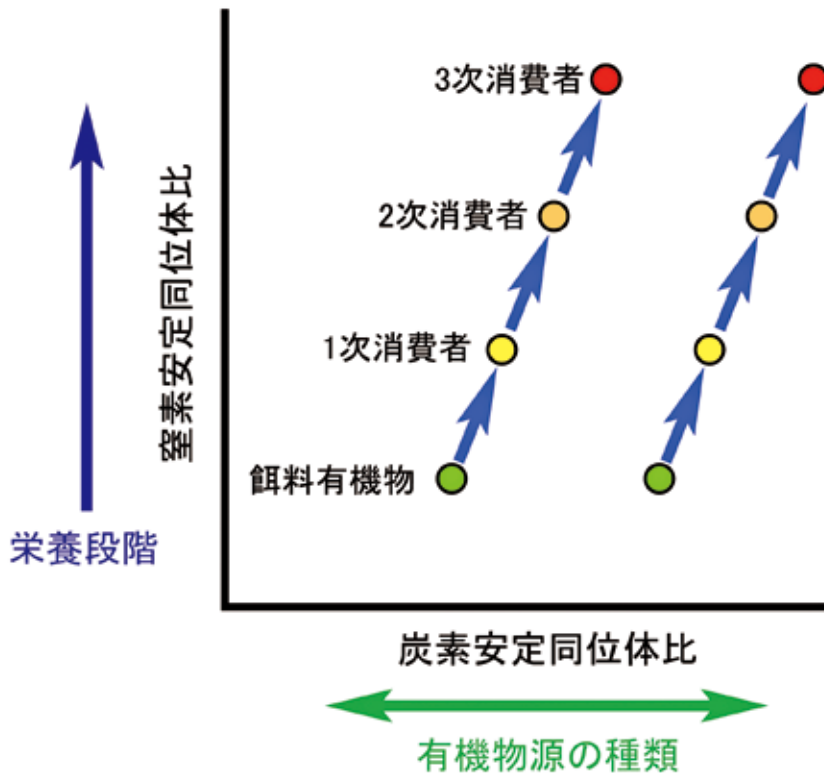


図1. 炭素・窒素安定同位体比マップの概念図

横軸の炭素安定同位体比は餌料有機物（主に植物由来の有機物）の種類により異なり、例えば、陸上有機物は海産有機物に比べより小さな値となる。また、縦軸の窒素安定同位体比は、高次の捕食者ほど高い値となる。

ことを目的に実施した。調査地点は能登半島西岸の水深 100m 前後の砂泥底である。本海域は、日本海沿岸に卓越する外海性砂浜域の沖合浅海部に相当し、日本海における代表的な沿岸環境の場とみなせる。採集したサンプルは、水中や海底の有機物粒子、サルパ類、尾虫類等各種優占プランクトンや、マヒトデ、甲殻類等大型ベントスであり、適切な分析前処理を施された後、質量分析計による炭素・窒素安定同位体比の測定に供された。

分析試料の解析結果を図2に示す。炭素・窒素安定同位体比マップ上に布置された分析試料のプロットは、栄養段階が上昇するにつれて右肩上がり分布しているのが見て取れる。

調査海域における (1) 海底堆積有機物ならびに (2) 水中懸濁有機物の炭素安定同位体比は、いずれも -22% 付近に位置している。この値は、中緯度温帯海域での植物プランクトンの平均的な値と合致しており、海域の餌料供給源は、 -28% 程度の軽い炭素が主体の陸由来ではなく、大半が海洋生産物由来であると考えられた。

このような餌料有機物を専食する動物群の窒素安定同位体比は、有機物の値よりも 3% 程度上位にプロットされる。調査海域においては、ゼラチン質のプランクトンである (3) トガリサルパ (尾索類) や (4) 尾虫類 (オタマボヤ類)、ベントスでは (8) ホオズキチヨウチン (腕足類) が主要分類

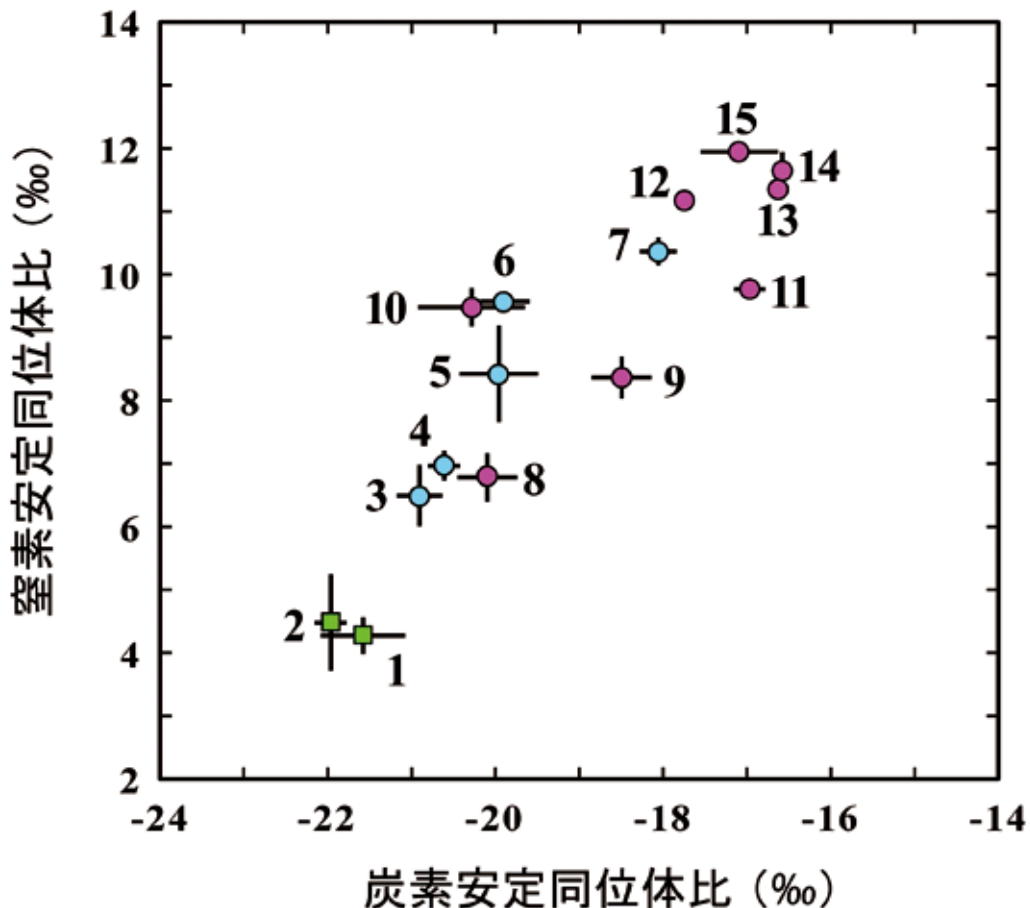


図2. 能登半島西岸陸棚域における炭素・窒素安定同位体比マップ

炭素安定同位体比、窒素安定同位体比ともに平均値±標準偏差。炭素安定同位体比は有機物源の判別に用いられ、また、窒素安定同位体比は栄養段階とともに上昇する。

■有機物：1. 堆積物 (n = 9)、2. 懸濁物 (n = 4)； ●動物プランクトン：3. トガリサルパ (n = 23)、4. 尾虫類 (n = 7)、5. カイアシ類 (n = 8)、6. ニホンウミノミ (n = 5)、7. エンガンヤムシ (n = 16)； ●ベントス：8. ホオズキチヨウチン (n = 5)、9. ヨウラクガイ (n = 5)、10. ポウズウニ (n = 5)、11. ニホンコガネウロコムシ (n = 5)、12. イズミエビ (n = 5)、13. マヒトデ (n = 5)、14. ヨコスジヤドカリ (n = 5)、15. コシマガニ (n = 5)。分析動物群のうち、トガリサルパ、尾虫類、エンガンヤムシはゼラチン質プランクトン、ヨウラクガイは腐肉食性ベントスに分類される。

群として該当した。

さらに上位の捕食者、すなわち肉食性を有するグループは、(6)ニホンウミノミ（甲殻類）や(7)エンガンヤムシ（毛顎類）等の動物プランクトン、(10)ボウズウニ（棘皮類）や(11)ニホンコガネウロコムシ（多毛類）等のベントスが挙げられる。海域食物網の最上位に分布するのは、(12)イズミエビ・(14)ヨコスジヤドカリ・(15)コシマガニからなる大型甲殻類と(13)マヒトデ(棘皮類)であった。

以上のように、炭素・窒素安定同位体比マップから、海域の生物群が堆積・懸濁有機物を摂取する1次消費者から、より上位の2次、3次消費者により構成されることが示された。さらに詳細に検討すると、1次消費者と2次消費者の間に、(5)カイアシ類（甲殻類）と(9)ヨウラクガイ（巻貝類）が位置している。実際、カイアシ類には肉食性種と植物プランクトンを主体に摂餌する種が知られており、今回の分析ではサンプル中に両者が混在したため、中間的な値を示したと思われる。

一方、砂泥底や砂礫底に生息する巻貝類にはバイ類やヨウラクガイに代表される肉食性種が知られる（図3）。これらの種は海底へ沈降した動物の遺骸に群がる腐肉食性を示すとともに、ときにはフジツボやイガイ等固着性のベントスをも捕食する。本分析に供したヨウラクガイの窒素安定同位体比は、より下位の有機物源、具体的には腕足類やゼラチン質プランクトンが餌料となることを示唆している。しかしながら、砂泥底では付着基質を必要とする腕足類が多産することは考えにくく、肉食性貝類の餌料源として、沈降したゼラチン質プランクトンの寄与が大きいものと推察された。これは一部のベントスが漂流生態系の生物を底生生態系の食物網に積極的に取り込むことを示す結果である。



図3. ヨウラクガイの仲間（イセヨウラク）

日本海中部水深60mの砂礫底より得られた大型個体（殻高75mm）。2019年7月22日、水産大学校練習船天鷹丸（995t）を用いた調査で採集。

【おわりに】

本邦沿岸では、国の施策や社会的ニーズとして沿岸海域の持続的な利活用と環境保全がますます重要になっている。その出発点として、当該海域生態系の仕組みを解明することは必須であろう。本研究では日本海を代表する浅海砂泥底において、化学分析を用いて定量的な食物網構造を解析したが、今後もこのような調査・研究を積み重ねることで、生物生息場の構造実態が明瞭になると期待される。

また、近年、沿岸域では、サルバ類や尾虫類由来と考えられるゼラチン質プランクトンの沈降物が海底汚損物質となっており、漁業者から対策を求められている。本研究成果はこのような汚損沈降物の消滅過程におけるベントスの関与を検討する際の基礎的資料としても重要である。