

ホタルイカ及び動物プランクトンの炭素・窒素安定同位体比による日本海食物網解析
山崎奈津実(富山大学 大学院理工学教育部(理学))

1. はじめに

日本海の水塊構造は、浅層部(0~200m)に存在する高温・高塩分の対馬暖流水と、深層部(200m 以深)に存在する年間を通じて低温で一定塩分の日本海固有水によって構成されている。また、ウラジオストック沖付近で冬季季節風により表層海水が冷却され、沈み込むことにより独自の海洋循環を形成しており、これは全海洋の海洋大循環に類似しているが、日本海は半閉鎖的であることから循環速度は早く、海洋大循環の約 10 倍である(Gamo and Horibe, 1986)。過去 100 年間に於いて、日本海の表面水温は中部で 1.7°C、南部で 1.3°C 上昇しており、世界の海洋全体における平均の 2~3 倍である(環境省)。このように、循環速度が速い日本海は、全球規模での気候変動が顕著に表れる海域の一つであり、気候変動による海洋環境の変化は海洋生態系にも影響すると考えられる。

日本海に広く生息するホタルイカ(*Watasenia scintillans*)は、寿命が約 1 年で、未成体期は主に日本海沖合域で生育し、成熟したメス親が日本海沿岸域(特に富山湾、山陰・若狭沖、隠岐島西部海域)に來遊して産卵する(佐々木, 1913; 林, 1995; 内山, 2001)。主産卵期である春期に産卵のため日本海沿岸域に來遊するホタルイカは重要な水産資源となっており、富山湾では毎年約 2000t が漁獲され、また山陰・若狭沖では富山湾の 10 倍程の資源量があると推測されている(奥谷, 2000)。このように資源量が多く、沖合から沿岸まで広く回遊し、一生を日本海内で過ごすホタルイカは、日本海の物質循環において重要な役割を担っていると考えられる。しかし、ホタルイカの成長海域や回遊経路に関する詳細はわかっていない。

本研究では、日本海の生物生産において重要な生物であるホタルイカ及び動物プランクトン等を対象に、長期間の採餌履歴を反映する炭素・窒素安定同位体比を用いて、日本海におけるホタルイカの回遊機構や食物網の解析を目的とした。また、気候変動を顕著に反映する日本海における食物網を、入手が簡単なホタルイカを用いて特徴付け、日本海における環境指標種としての有効性を検討した。

2. 試料採取及び分析

2013 年 2 月から 6 月に、富山県富山市四方の定置網及び兵庫県浜坂町の底引き網で漁業者により捕獲されたホタルイカを試料とした。また、2012 年 9 月及び 2013 年 5 月に長崎大学水産学部附属練習船「長崎丸」に乗船し、日本海の数地点において、ガマロ式プランクトンネット(網目 100 m)を用いて水深 0~1000 m の動物プランクトンを採取した。その中から、日本海の動物プランクトンで優占しているカイアシ類、端脚類、毛顎

類, オキアミ類, アミ類(Hirakawa *et al.*,1999)を分取し, 試料とした. カイアシ類, 端脚類に関しては, 本研究ではそれぞれ体長 2 mm 以上と 5 mm 以上のものを分取して試料とした. また, 2013 年 11 月に富山県富山市四方沿岸及び, 2013 年 5 月に動物プランクトン採取地点である stn.5(図 1)において表層海水を採水し, 動物プランクトン等を除くために 500 μ m メッシュのフルイを用いて濾過した後, マップル炉で加熱(450°C, 2 時間)して有機物を除去したガラス繊維濾紙上に懸濁態有機物(POM)を集め試料とした.

ホタルイカ(外套部の筋肉)及び動物プランクトンは, 脱塩して凍結乾燥機で乾燥させた後, クロロホルム:メタノール(2:1)の混合溶液を用いて脱脂し, 蒸発乾固させたものを乳鉢で粉砕して炭素・窒素安定同位体比測定用の試料とした. POM は濾過後, 超純水濾過で脱塩して凍結乾燥機で乾燥させた後, 6 時間以上塩酸蒸気にあてて無機炭酸塩を除去し, 蒸発乾固させて炭素・窒素安定同位体比測定用の試料とした. 上記の試料は, 酸化銅・還元銅・白金と共に石英管に真空封入後加熱し(500°Cで 30 分, 850°Cで 10 時間), CO₂, N₂, H₂O に分解した後, 真空ガラスラインと寒剤を用いてこれらのガスを分離精製して得た CO₂, N₂ ガスを, 質量分析計で炭素・窒素安定同位体比測定した(測定誤差は ¹³C : $\pm 0.01\text{‰}$, ¹⁵N : $\pm 0.15\text{‰}$). 値は以下の式によって δ 値で表した.

$$\delta X = [R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}} - 1] \times 1000 (\text{‰})$$

[X=¹⁵N または ¹³C, R=¹⁵N/¹⁴N または ¹³C/¹²C, Standard=大気中の窒素ガスまたは PDB]

ホタルイカは採取日ごとに外套長の測定も行った.

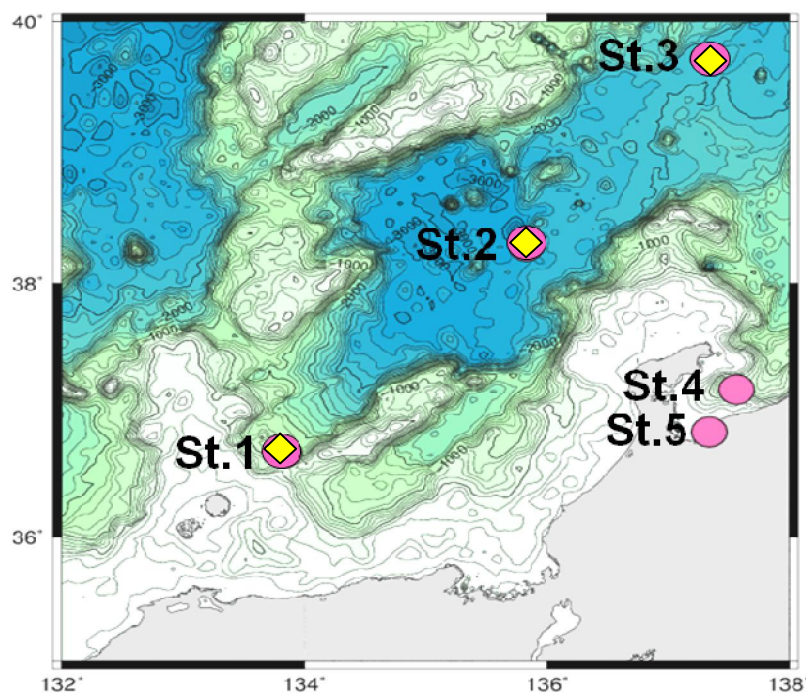


図 1. 動物プランクトン採取地点

● : 2012 年 9 月

◆ : 2013 年 5 月

3. 結果と考察

2013年2月から6月(兵庫は5月まで)に採取したホタルイカの炭素・窒素安定同位体比は、富山産では $\delta^{13}\text{C}$ 値が平均で -18.8‰ (標準偏差 $\pm 0.6\text{‰}$)、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が平均 12.3‰ (標準偏差 $\pm 0.4\text{‰}$)、兵庫産では $\delta^{13}\text{C}$ 値が平均 -19.0‰ (標準偏差 $\pm 0.6\text{‰}$)、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が平均 12.3‰ (標準偏差 $\pm 0.4\text{‰}$)とばらつきが少ない纏まった値を示しており、両産地のホタルイカは近い値を示して差が見られなかった。また、2012年9月及び2013年5月に stn.1~5で採取した動物プランクトンの同位体比は、端脚類は $\delta^{13}\text{C}$ 値が平均 -19.8‰ (標準偏差 $\pm 0.4\text{‰}$)、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が平均 8.2‰ (標準偏差 $\pm 0.7\text{‰}$)、オキアミ・アミ類は $\delta^{13}\text{C}$ 値が平均 -20.3‰ (標準偏差 $\pm 0.4\text{‰}$)、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が平均 8.4‰ (標準偏差 $\pm 0.9\text{‰}$)、カイアシ類は $\delta^{13}\text{C}$ 値が平均 -21.3‰ (標準偏差 $\pm 0.6\text{‰}$)、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が平均 8.2‰ (標準偏差 $\pm 0.5\text{‰}$)、毛顎類は $\delta^{13}\text{C}$ 値が平均 -20.3‰ (標準偏差 $\pm 0.5\text{‰}$)、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が平均 9.5‰ (標準偏差 $\pm 1.0\text{‰}$)であり、毛顎類の $\delta^{15}\text{N}$ が他の動物プランクトンよりも約 1‰ 大きい結果となった。これは、毛顎類は栄養段階の高い餌を食べた割合が他の動物プランクトン類よりも多いことが理由と考えられた。

一般に食物連鎖では、栄養段階が1つ上がるごとに、 $\delta^{15}\text{N}$ 値で約 3.4‰ 、 $\delta^{13}\text{C}$ で約 1‰ 上昇するとされている(Minagawa and Wada, 1984; Vander Zanden *et al.*, 1997)。ホタルイカの $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 値から、ホタルイカの餌の $\delta^{13}\text{C}$ 値の平均は -19.9‰ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の平均は 8.9‰ くらいと推測された。今回測定した動物プランクトンはこれらと近い値を示したことから、ホタルイカは動物プランクトンを餌としていると考えられた。林・平川(1997)は、ホタルイカの胃内容物調査を行い、ホタルイカの餌としてカイアシ類、オキアミ類、端脚類、魚、イカなどを報告しており、毛顎類は餌として報告されていないが、本研究の結果では、ホタルイカは毛顎類と近い同位体比を示す餌を食べていることが考えられた。また、植物プランクトンの値として測定したPOMは、量が十分でなく $\delta^{15}\text{N}$ を測定できなかったが、 $\delta^{13}\text{C}$ は富山市四方沿岸のものは -24.8‰ 、stn.5(図1)のものは -22.4‰ であった。四方沿岸のPOMが低い $\delta^{13}\text{C}$ を示したのは、陸域の低い $\delta^{13}\text{C}$ (Ogawa and Ogura, 1997)の影響を反映していると考えられた。今回測定した毛顎類以外の動物プランクトンを植物プランクトン食の一次消費者と考えた場合、基礎生産者である植物プランクトンの $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 値はそれぞれ、約 -21.5‰ 、約 4.9‰ であると考えられる。Stn.5で得たPOMの $\delta^{13}\text{C}$ は少し低いが、これに近い値を示した。また海洋における植物プランクトンの $\delta^{15}\text{N}$ 値は $5\sim 8\text{‰}$ であることが知られており(南川・和田, 1985)、 4.9‰ は妥当な値であると考えられる。このことから、ホタルイカは植物プランクトンを起点とする食物網の二次消費者に位置し、動物プランクトンを主な餌としていることがわかった。

2012年9月に採取した動物プランクトンの同位体比を採取海域別に見てみると、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は、どの動物プランクトン種においてもstn.5で採取したものが比較的高く、stn.2のものが比較的低い傾向を示し、採取海域毎の同位体比に特徴がみられることがわかつた。

た。しかし、その差は小さく(最大地点と最小地点の差：0.8~1.4‰)、日本海沖合域に生息する生物の同位体比は、海域によらずほとんど均一であることが示唆された。

次に、産地別にホタルイカの同位体比を精査すると、兵庫沖の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、採取日が遅くなるにしたがって高くなる相関($R=0.65$)が認められたが、富山湾ではみられず($R=0.20$)、異なる海洋環境を反映している可能性が考えられた。未成体ホタルイカは日本海中央~津軽海峡西方の極前線から以北の冷水域で多く採集されたことから、この海域を生育域とし、朝鮮東岸~富山湾を主産卵場とする単一の系統群であるとされている(内山, 2001)。本研究のホタルイカの $\delta^{13}\text{C}$ 測定結果から、富山産と兵庫産の生育域環境が異なる可能性が考えられた。一般に、基礎生産者である植物プランクトンの $\delta^{13}\text{C}$ は、炭素源供給が同じ状況においては増殖速度が速くなると高くなることが知られている(Takahashi *et al.*, 1991)。また、衛星クロロフィルデータの解析から、春期の日本海において低緯度(南西地点)がより早く、高緯度(北東地点)がより遅く植物プランクトンのブルーミングが起こることが報告されている(Yamada *et al.*, 2005)。これらのことから、兵庫産と富山産のホタルイカは植物プランクトンの繁殖状況が異なる海洋環境を体に反映していると考えられた。餌を食べてから体に反映されるまでの時間を1カ月と推定すると、Yamadaら(2005)により報告された日本海南西地点における植物プランクトンの増殖時期と $\delta^{13}\text{C}$ 値の増加時期が1カ月遅れで一致していることから、兵庫産のホタルイカは日本海より西部海域で生育し、早期の植物プランクトンのブルーミングを $\delta^{13}\text{C}$ 値に反映したため、採取日が遅くなるに従って $\delta^{13}\text{C}$ が増加したと考えられた。さらに、2011年、2013年におけるホタルイカ外套長の測定結果から、2~5月のいずれの採取日においても富山産は兵庫産より有意に大きく、それぞれの生育場所が異なることが示唆された。これらの同位体比と外套長の結果は、兵庫沖と富山湾で採取されたホタルイカの生育域が異なるという一致した結果であった。

4. まとめ

炭素・窒素安定同位体比解析により、ホタルイカは植物プランクトンを起点とする食物網の二次消費者に位置し、動物プランクトンを主な餌としていることがわかった。次に、兵庫産と富山産のホタルイカの同位体比は近い値を示したものの、採取日に伴う $\delta^{13}\text{C}$ 値の傾向が両産地で異なること、また体サイズが富山産は兵庫産より有意に大きいことから、兵庫産と富山産のホタルイカは生育域が異なる可能性が示唆された。また、ホタルイカの $\delta^{13}\text{C}$ 値は植物プランクトンの増殖状況を反映しており、気候変動による海洋環境の水温変化等の影響を把握可能と考えられた。以上により、日本海沿岸で漁獲されるホタルイカは日本海的环境指標種として有効であると結論付けられた。