

D-2 東アジア海域における有害化学物質の動態解明に関する研究

(2) 低泥をめぐる食物連鎖による低泥堆積有害化学物質の底魚類への蓄積過程に関する研究

① 沖合域底層の食物連鎖網の構造の解明

研究代表者 水産庁日本海区水産研究所 南卓志

水産庁日本海区水産研究所 国際海洋資源研究官 南 卓志

平成 10-11 年度の合計予算額 6,942 千円
(平成 11 年度予算額 3,442 千円)

〔要旨〕 海域に流入し、底泥に堆積した有害化学物質は、底層の食物連鎖を通じて高次の栄養段階の生物に移行・蓄積されると考えられる。本研究では、沖合域における底泥に連なる食物連鎖構造を解明し、有害化学物質の移行経路を明かにする目的で、日本海山陰沖合と日本海中央部の大和堆の底生生物群集を研究対象に設定し、底魚類、底生生物の胃内容物の分析と安定同位体比の分析により、構成種 of 食物段階を推定し、食物連鎖構造を推定した。沖合の両海域の底生生物群集の構成種はきわめて類似し、カレイ類、カジカ類、ゲンゲ類等の大型魚類、ズワイガニ、ホッコクアカエビ、トゲザコエビ等の大型甲殻類、エッチュウバイ、イカ類等の軟体動物などが優占種であった。底泥からデトライタスを経て、多毛類、クモヒトデ類、端脚類、小型エビ類、さらにハタハタ、カレイ類等の魚類やズワイガニ、ホッコクアカエビ等の大型甲殻類、エッチュウバイ等の大型巻貝類に至る食物連鎖構造が推定された。山陰沖合では、最も高次の栄養段階にあることが推定された生物は、甲殻類や魚類を摂食しているタナカゲンゲで、対象海域における食物連鎖の頂点に位置すると推定された。大和堆では最も高次の栄養段階にある魚類はセツパリカジカであったが、大型エビ類も高い栄養段階に位置していた。また、大和堆では、底泥には直接に連ならない中層の遊泳生物に連なる食物連鎖構造があることも明らかになった。

〔キーワード〕 食物連鎖 底魚類 沖合域 生物濃縮 底泥

1. 序

海洋に流入した疎水性有害物質の多くは、懸濁物に吸着して存在し、最終的には底泥に堆積する。底泥堆積有害物質は底層の食物連鎖を通じて高次栄養段階の生物に移行・蓄積されると考えられるが、その詳細は不明である。平成 7

～9年度に実施された研究により、内湾において底泥に連なる食物連鎖構造が明らかになり、底泥堆積有害物質が底泥からデトライタスを経由して多毛類、さらにはそれを摂食する底魚類に至る経路が底泥中の有害化学物質の移行・蓄積に重要であることが明らかになった。

一方、沖合域の泥底では、底生生物の構成種が異なり、食物連鎖構造も異なることが予想される。沖合域における有害化学物質の挙動や蓄積過程を解明するうえでもその海域の食物連鎖構造を明らかにすることは基礎的知見として不可欠なものであり、重要な課題である。これまでに、日本海の沖合海域の底魚類g群集の食物連鎖に関してはまとまった研究がなく、山陰沖の底魚類の食性¹⁾や、ズワイガニの食性²⁾が調べられたが、群集の食物連鎖として組織的に調べられた経緯はなく、また、大和堆の底魚類の群集についてもほとんど知見がみられない。本研究では、知見の乏しい日本海の底生魚介類の食性や栄養段階に関する調査を行い、食物連鎖構造を明らかにした。

2. 研究の目的

海洋における食物連鎖は、植物プランクトンや動物プランクトンを経由して魚類に至る表中層食物連鎖とデトライタスやベントスを経由して大型甲殻類や底生魚類に至る底層食物連鎖に大別される。底泥に堆積した有害化学物質は、底生生物や底魚類で構成される底層食物連鎖を経由して魚類や甲殻類などの高次の栄養段階の生物に蓄積、濃縮されると考えられる。このような、海洋の沖合域における有害化学物質の移行・蓄積過程を解明するためには底泥に連なる食物連鎖構造を明らかにし、化学物質が生物の摂食活動を通じて移動、濃縮される過程を明らかにすることが必要である。本研究では、この目的にしたがって、日本海の山陰沖合および大和堆等、沖合域における底泥に連なる食物連鎖の構造を明らかにした。

3. 研究方法

研究対象海域を日本海の山陰沖合域および日本海の中央部に位置する大和堆に設定し、1998年と1999年の8月～9月に調査船（但州丸、499トン）による調査を実施した（図-1）。調査航海では、トロール網により底生魚類、甲殻類、いか類等の生物を採集した。さらに、スミスマッキンタイヤー型採泥器により、底泥及び底生生物（ベントス）を採集した。食物連鎖構造を解析するために、採集した底生魚類や大型甲殻類の胃内容物を分析し、餌となった生物種を同定して食性を明らかにした。また、採集された生物の安定同位体比（¹⁵N）を分析し、食物段階を推定した。これらの結果から、山陰沖合域および大和堆における底生生物の栄養段階と食物連鎖網を推定した。

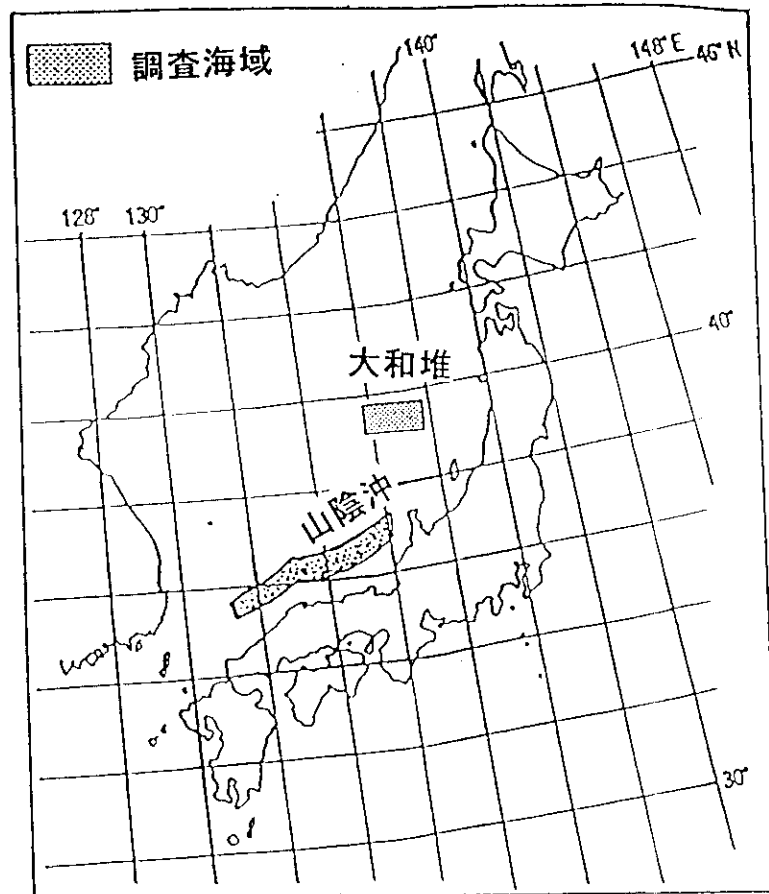


図-1 調査海域（日本海山陰沖および大和堆）

(1) 底生生物の採集と保存

研究対象海域である山陰沖合域と大和堆において底びき網により底魚類や甲殻類等試験生物を採集した。 ^{15}N 分析用試料は、船上で直ちに凍結し、分析時まで -20°C で保存した。スミスマッキンタイヤー型採泥器によって採集された底泥も船上で直ちに凍結し、 -20°C で保存し、 ^{15}N 分析に供した。魚類、甲殻類および頭足類の胃内容物分析用の試料は、船上で10%海水ホルマリンで固定して保存し、実験室における分析に供した。

(2) 胃内容物分析

トロール網により採集した標本は、ホルマリン固定により保存し、実験室に持ち帰り、各魚種についておのおの30個体の胃を摘出してその内容物を分析した。内容物は魚類、エビ類は種のレベルまで、小型甲殻類はオキアミ類、端脚類、かいあし類等に分類した。その他の餌生物は、多毛類、クモヒトデ類、貝類に区分し、泥状の粉碎物はデトリタスとして示した。結果は調査個体数に対する餌生物項目の出現頻度(%)で示した。

(3) ^{15}N の分析

試料を凍結乾燥した後に粉碎した。この試料を元素分析計・安定同位体比質量分析計で分析し、和田の方法³⁾により標準窒素ガスの ^{15}N に対する増加率($\delta^{15}\text{N}\%$)として表示した。

4. 研究結果および考察

(1) 山陰沖合域の底生生物群集の食物連鎖構造

1) 山陰沖合域における底生生物相

山陰沖合域におけるトロール網を用いた採集によって得られた漁獲物のうち、優占種は甲殻類ではズワイガニ、ホッコクアカエビ、トゲザコエビ、ハサミモエビの4種、魚類ではアカガレイ、ヒレグロ、ハタハタ、ノロゲンゲ、タナカゲンゲ、セツパリカジカ、アゴゲンゲの7種、貝類のエッチュウバイで計12種の生物であった。

2) 胃内容物分析結果

研究対象海域における優占種12種について、それぞれ30個体以上の胃内容物を分析した。餌生物の出現頻度から主要種の食性を推定すると、魚類を摂食しているのはタナカゲンゲとアゴゲンゲで、タナカゲンゲはヒレグロやアカガレイの幼魚を摂食しており、アゴゲンゲはアカガレイを摂食していた。タナカゲンゲは魚類のほかにか類、カニ・エビ類等を摂食しており、最も栄養段階が高い魚種であると推測された。アカガレイはクモヒトデ、小型のエビ類、多毛類等、多様な餌生物を摂食しており、ハタハタ、ノロゲンゲ、セツパリカジカは主として端脚類を摂食していた。ズワイガニは、エビ類を主に、多毛類等を摂食していた(表-1)。

表 1 山陰沖合域における主要魚介類の胃内容物(餌生物の出現頻度：%)

種名	魚類	いか類	カニ・エビ	端脚類	オキアミ	多毛類	クモヒトデ	貝類	デトリタス
タナカゲンゲ	26.7	23.3	26.7	26.7				16.6	
アゴゲンゲ	16.7	3.3	16.7	6.7	3.3	13.3	6.7	50.0	
セツパリカジカ	6.7	6.7	30.0	50.0	16.7	6.7	3.3	26.7	
アカガレイ	6.7	33.3	13.3	3.3	16.7			3.3	
ヒレグロ				6.7		50.0	23.3	6.7	
ノロゲンゲ			16.7	66.7	6.70	3.3	3.3		
ハタハタ				86.7	13.3				
ズワイガニ			13.3	13.3		3.3	3.3	3.3	
ホッコクアカエビ			13.3	16.7		16.7	6.7	6.7	100
トゲザコエビ			3.3	13.3			3.3	16.7	100
ハサミモエビ								6.7	100
エッチュウバイ									100

これらをまとめるために、以下の基準を設定した。

栄養段階1：植物食あるいはデトリタス

栄養段階2：多毛類、端脚類、オキアミ類、クモヒトデ類

栄養段階3：魚類、エビ・カニ類、イカ類

胃内容物分析の結果から、

栄養段階1には、エッチュウバイ、ハサミモエビ、トゲザコエビ、ホッコクアカエビ

栄養段階2には、ズワイガニ、ハタハタ、ノロゲンゲ、ヒレグロ

栄養段階3には、タナカゲンゲ、アゴゲンゲ、アカガレイ、セッパリカジカが分類された。

3) ^{15}N 分析結果

底生魚介類の優占種12種およびそれらの代表的な餌生物であるクモヒトデ及び非優占種であるいくつかの底生生物について、 ^{15}N を分析した。 ^{15}N の値はタナカゲンゲで最も高く、次いでヒレグロ、アゴゲンゲ、セッパリカジカの順に高かった。一方、クモヒトデとハサミモエビは最も低い値を示した。ハタハタ、ズワイガニ、ホッコクアカエビ、トゲザコエビは中間的な値を示した。また、餌生物となっているホタルイカモドキ、オキアミも比較的低い値を示した(図-2)。

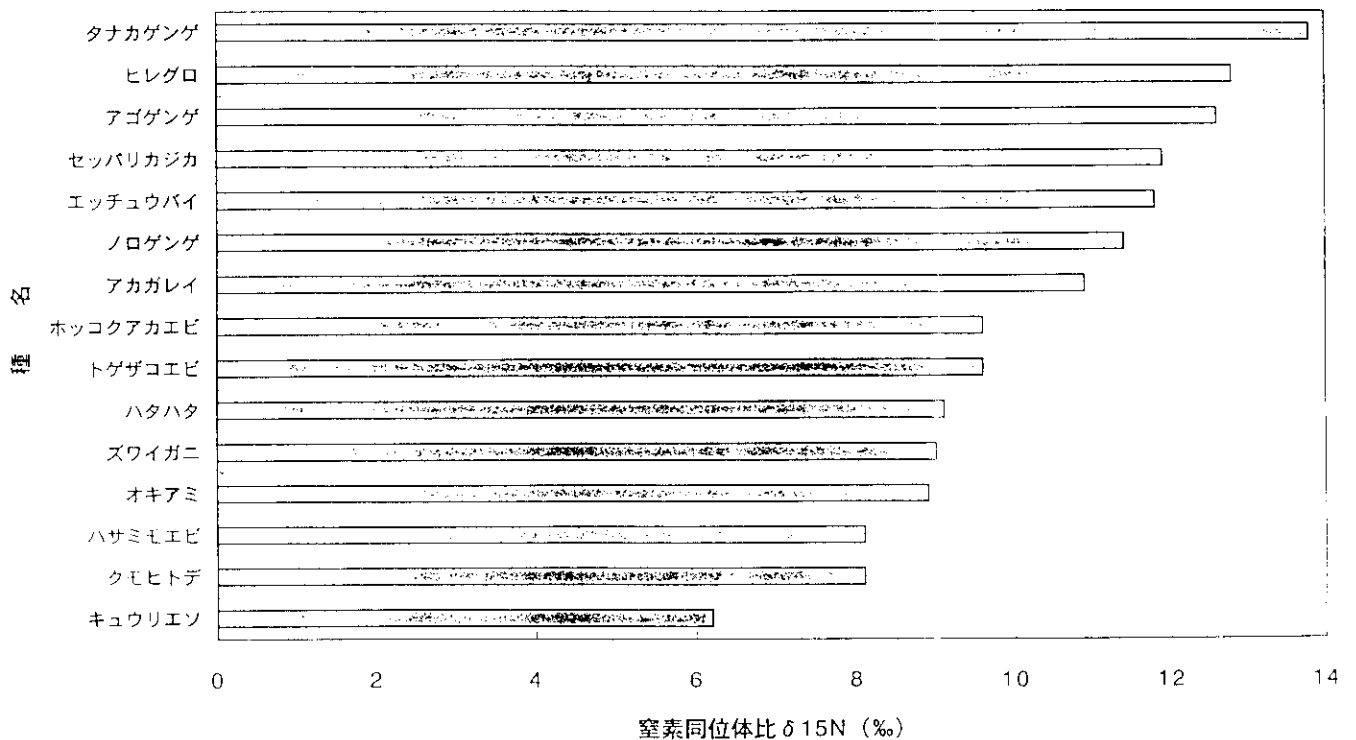


図-2 山陰沖における主要種の窒素同位体比

4) 山陰沖合域における底生生物の食物連鎖

研究対象海域とした山陰沖合海域において優占する底生魚介類12種の胃内容物分析結果と¹⁵Nの分析結果を用いて食物連鎖構造を推定した(図-3)。底泥からデトライタスを経てクモヒトデ、多毛類、端脚類等の餌生物、さらに小型エビ類に連なり、魚類や大型甲殻類を最上位とする食物連鎖構造が示唆された。魚食性のタナカゲンゲとアゴゲンゲがこの海域における最も高い栄養段階にあることが明らかになった。これまでに、山陰沿岸における底魚類の群集構造に関する研究は、兵庫県香住沖の水深100mから400mにおける底魚類の胃内容物調査結果があるが²⁾、ズワイガニ、ホッコクアカエビ、トゲザコエビ等、群集における優占種である甲殻類についての食性については調査されていない。本調査では、それらの魚類以外の生物を含めた食物網が明かにされた。

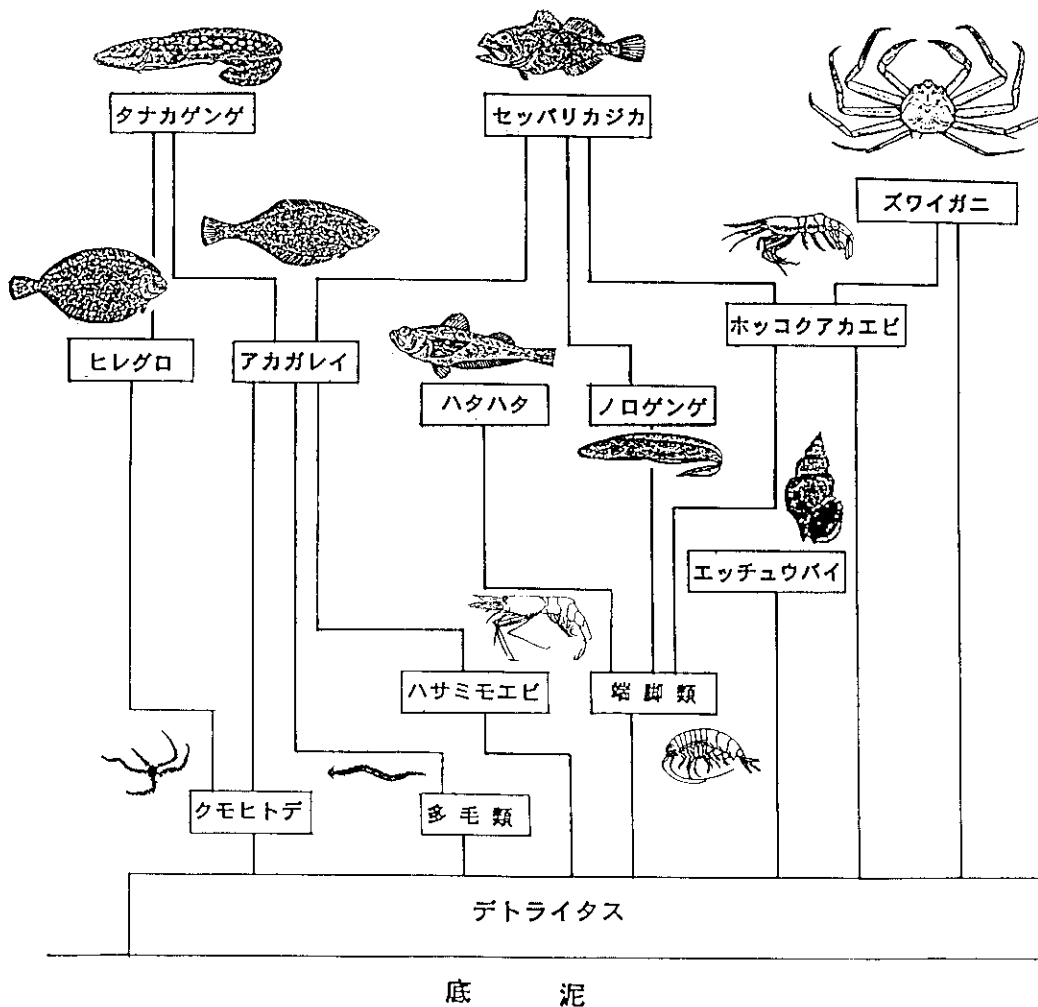


図-3 山陰沖における底生魚介類の食物連鎖構造

(2) 大和堆の底生生物群集の食物連鎖構造

1) 大和堆における底生生物相

大和堆におけるトロール網を用いた採集によって得られた漁獲物のうち、優占種は甲殻類ではホッコクアカエビ、トゲザコエビ、アシナガイバラモエビ、ズワイガニの4種、魚類ではノロゲンゲ、セツパリカジカ、ヒレグロ、アカガレイ、ザラビクニン、ウロコメガレイ、ドブカスベの7種、頭足類ではエッチュウバイ、ドスイカ、ホタルイカモドキの3種が優占種であり、底生生物群集の骨格を形成していると推定された。

2) 胃内容物分析結果

大和堆の底生魚介類15種について、それぞれ30個体以上の胃内容物を分析した。餌生物の出現頻度から主要種の食性を推定すると、魚類を摂食しているのはドスイカ、ドブカスベ、セツパリカジカであった。ドスイカは小型魚類のキュウリエソを摂食していた。ドブカスベは魚類の他にエビ類や端脚類を多く摂食していた。セツパリカジカは魚類の他にエビ類、端脚類、オキアミ類を摂食しており、ノロゲンゲも良く似た食性であった。カレイ類の3種では、それぞれ主要な餌生物が異なっており、アカガレイは主としてクモヒトデ類を、ヒレグロは多毛類とクモヒトデ類を、ウロコメガレイは端脚類とオキアミ類を摂食していた。ザラビクニンやハタハタ、ホタルイカモドキは端脚類を主要な餌としていた。ホッコクアカエビ、トゲザコエビ、アシナガイバラモエビ、ズワイガニ、エッチュウバイはいずれもデトライタスが胃内容物であったが、それらのもとになる生物はいずれも不明であった(表-2)。

表 2 大和堆における主要魚介類の胃内容物(餌生物の出現頻度：%)

種名	魚類	いか類	カニ・エビ	端脚類	オキアミ	多毛類	クモヒトデ	貝類	デトライタス
セツパリカジカ	10	6.6	40	56.6	33.3	13.3	3.3	10	
ノロゲンゲ	6.6		16.6	76.6	13.3	3.3	3.3		
ドブカスベ	13.3	16.6	26.6	93.3	13.3				
ドスイカ	30	16.6	6.6	40	10				50
ホタルイカモドキ				73.3	40				
アカガレイ	6.6	3.3	16.6	3.3	3.3	3.3	86.6	3.3	
ヒレグロ	3.3			3.3		50	23.3		
ウロコメガレイ	6.6	6.6	13.3	63.3	23.3		3.3	6.6	
ザラビクニン			6.6	93.3	66.6				
ハタハタ				90	10				
ホッコクアカエビ			3.3	3.3		13.3	6.6	6.6	100
トゲザコエビ			3.3	10			3.3	10	100
アシナガイバラモエビ								6.6	100
ズワイガニ			3.3	13.3		3.3	3.3	3.3	100
エッチュウバイ									100

3) ^{15}N 分析結果

底生魚介類の優占種およびそれらの代表的な餌生物であるクモヒトデ、さらに底泥について、 ^{15}N を分析した。 ^{15}N の値はセツパリカジカ、ヒレグロ、ノロゲンゲ、アカガレイ、ウロコメガレイ等の大型魚類やトゲザコエビ、エッチュウバイで高く、次いでハタハタ、ザラビクニン、ドブカスベ等の魚類、ホッコクアカエビ、アシナガイバラモエビ、ズワイガニ、ホタルイカモドキが中間的な値を示した。

小型魚類のキュウリエソや底生生物のクモヒトデ類は生物のなかでは低い値を示した。底泥は生物に比べてさらに低い値を示した(図-4)。

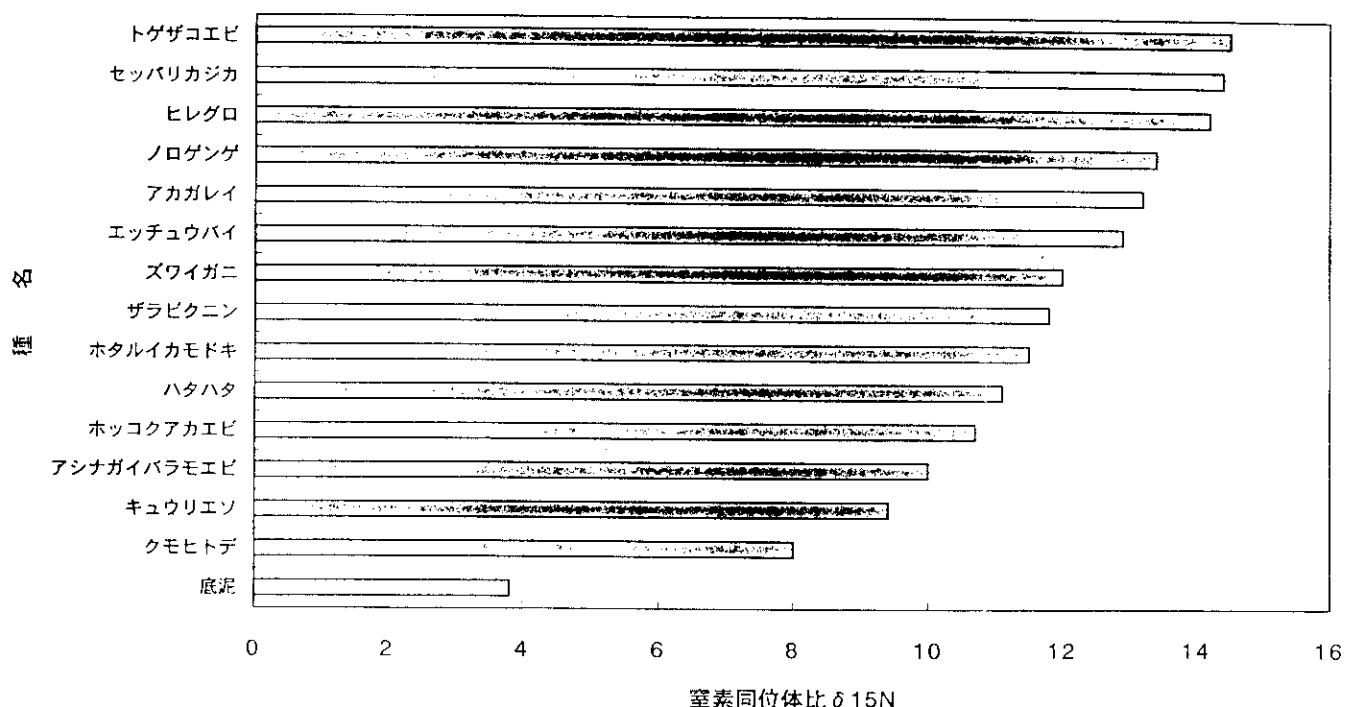


図-4 大和堆における主要種の窒素同位体比

4) 大和堆における底生生物群集の食物連鎖構造

大和堆において優占する底生魚介類の胃内容物分析結果と ^{15}N の分析結果を用いて食物連鎖構造を推定した(図-5)。底泥からデトライタスを経てクモヒトデ、小型エビ類、に連なり、魚類や大型甲殻類を最上位とする食物連鎖構造が示されるとともに、オキアミ、キュウリエソ、ホタルイカモドキ等を餌生物とする食物連鎖構造が存在し、これらは中層の生物種であることから、大和堆では、底泥に連なる食物連鎖構造の他にも底生生物のある部分では中層で生産

された生物を栄養源として取り込む生産構造が重要な部分を占めることが明らかになった。

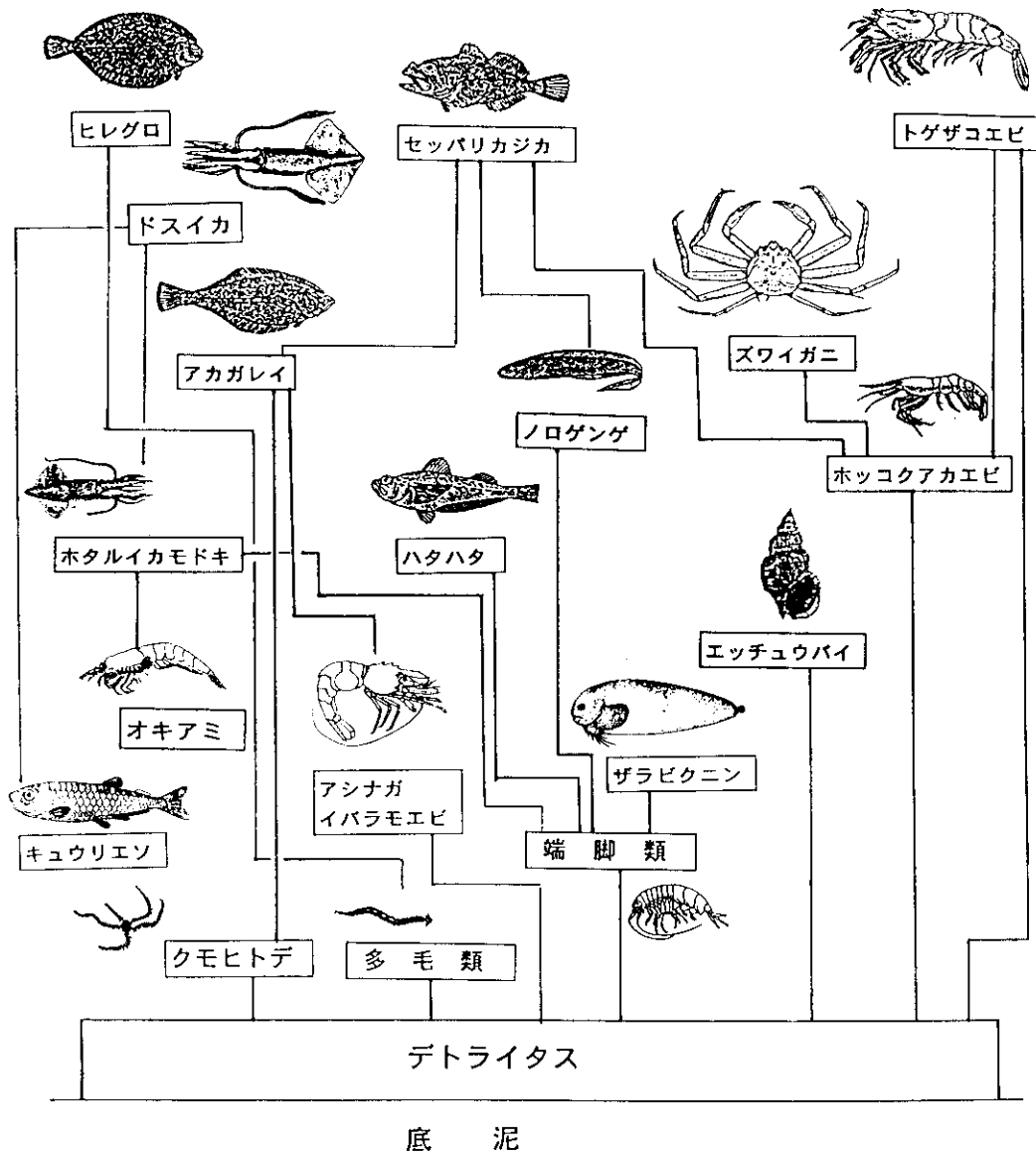


図-5 大和堆における底生魚介類の食物連鎖構造

5. 本研究によって得られた成果

沖合海域の底泥に堆積する有害化学物質の移行・蓄積経路としての食物連鎖構造を明らかにするために、現地調査調査を行い、底生生物の食性及び栄養段階の推定を胃内容物の分析と窒素安定同位体比の分析 (^{15}N) から、食物連鎖構造を推定し、以下のことが明らかになった。

研究対象海域に設定した日本海の山陰沖合域と大和堆の底生生物では、魚食

性魚類を頂点とし、小型魚類、幼魚、甲殻類等を経て、多毛類、小型甲殻類、クモヒトデ類、貝類およびデトリタスに至る食物連鎖構造と中層で生産されるオキアミ等の小型甲殻類、中層に分布する小型魚類のキュウリエソ、ホタルイカモドキ等を餌生物とする大型魚類を頂点とする食物連鎖構造が成り立っていることが明かになった。底泥に連なる食物連鎖を通じて底泥中の有害化学物質が栄養段階の高い生物に移行・蓄積される可能性があることが推測される。本研究結果は、「底魚類、底生生物の底泥堆積有害化学物質蓄積に関する研究」に受け渡される。

6. 参考文献

- 1) 渡辺 徹・伊藤勝千代・小林敏男・名角辰郎・吉岡三良 (1958) : 兵庫県津居山沖における底魚群集構造に関する研究、兵庫水試報告、(9)、1-20.
- 2) 安田 徹 (1967) : 若狭湾におけるズワイガニの食性-I. 胃内容物組成について、日本水産学会誌、33 (4) : 315-319.
- 3) 和田英太郎 (1980) : 微量重窒素含量の測定、重窒素利用研究法 (三井進午・吉川春寿・中根良平・熊沢喜久雄 編)、学会出版センター、pp.65-77.

〔研究成果の発表状況〕

(1) 口頭発表

- ① 南 卓志 : 平成 11 年度日本水産学会春季大会 (1999)
「大和堆における底魚類の食物連鎖構造」
- ② T.Minami:NAFO/ICES/PICES Symposium on Pandalid Shrimp Fisheries, Dartmouth, Nova Scotia, Canada, 1999.
“Predator-prey relationship and trophic levels of the pink shrimp, *Pandalus eous*, on the Yamato Bank, the Sea of Japan.