

組織中元素濃度を用いたスルメイカ系群識別の試み

Identification of the Local Groups of Japanese Common Squid (*Todarodes pacificus* Steenstrup) Using Multi-elemental Analysis

市橋秀樹¹・中村好和²・クルンタチャラム カンナン³・

津村昭人¹・山崎慎一⁴

Hideki Ichihashi, Yoshikazu Nakamura, Kurunthachalam Kannan,
Akito Tsumura and Shin-ichi Yamasaki

¹ 農業環境技術研究所

² 北海道区水産研究所

³Pesticide Research Center, Michigan State University

⁴ 東北大学農学部

要　旨

組織の多元素分析を行なうことにより、対象とするスルメイカが日本海北上群か太平洋北上群かを検討した。高分解能誘導結合プラズマ質量分析法 (HR-ICP-MS) および誘導結合プラズマ発光分析法 (ICP-AES) を併用し、北海道周辺の日本海側、太平洋側および根室海峡の 3 海域より 1996 年に釣獲されたスルメイカの外套筋肉と肝臓中の 45 元素を定量した。その結果、筋肉および肝臓中のアルカリ・アルカリ土類金属、また肝臓中の 3d-遷移元素の濃度に、海域間で有意な差が認められた。元素濃度を用いた判別分析の結果によれば、日本海北上群と太平洋北上群とは識別可能である。さらに、これまでその由来が明らかでなかった根室海峡のスルメイカは、日本海北上群と類似の元素組成を有しており、1996 年の根室海峡のスルメイカは日本海側から加入していたことが推定された。

はじめに

スルメイカ *Todarodes pacificus* は單一種として最も漁獲量の多い頭足類の一つであり、日本近海では重要な商業漁獲対象となっている

(Okutani, 1983; Roper et al., 1984)。このため、外洋性イカ類としては最も資源構造解析の進んでいる種である (Hatanaka et al. 1985, Murata 1990) が、その系群構造に関しては不明な点も多

く残されている。

スルメイカはその産卵時期から、秋生まれ、冬生まれ、夏生まれの3系群が識別される(Okutani, 1983)と考えられているが、これらの群間には形態的違いが認められないため、地域的な系群の有無は明らかにされていない。この産卵時期による3系群のうち、秋生まれと冬生まれの2群が資源量的に重要である。新谷・石井(1972)は、北海道周辺で漁獲される個体のサイズから生まれ月を推定し、当該海域での資源量は冬生まれ群が3系群中最大であるとした。冬生まれ群の主たる産卵場は東シナ海にあると推定されており、幼生の発生時期は12月から3月にかけてとされている(伊東, 1972)。この東シナ海で発生した冬生まれ群のスルメイカ幼生は、太平洋側と日本海側に二分して北上回遊することが知られている。太平洋に分岐したものは、黒潮続流から混合域を経て親潮に入り夏期には北海道東岸まで到達する(Okutani, 1983)。一方、東シナ海から対馬暖流にのって日本海に入ったグループは間宮海峡まで到達するが(村田ほか, 1973)、一部は津軽海流にのって東進し太平洋に入ることも標識調査から明らかとなっている(十三, 1977)。従って北海道東南部でみられる群は、太平洋北上群に日本海北上群の混入している可能性がある。

一方、オホーツク海で夏期に捕獲される群は、新谷・石井(1972)の推定から冬生まれ群が主体であることは明らかである。

これまでの調査・研究から、冬生まれ群のスルメイカについては、日本海から宗谷海峡を通りオホーツク海に入る回遊経路と、太平洋から国後水道・択捉海峡を通りオホーツク海に入る回遊経路が推定されている(Hatanaka et al., 1985)。従って、オホーツク海及び根室海峡では日本海北上群と太平洋北上群とが混在する可能性があり、両者の比率はその年の各北上群の量や海洋

状況等によって変動すると考えられる。しかし、この冬生まれオホーツク海群を他群から識別できる形態的特徴は未だ明らかにされていない。

本報告では、資源的に重要な北海道周辺海域で捕獲される冬生まれ群のスルメイカについて、組織の多元素分析データを判別分析に適用することにより、太平洋北上群と日本海北上群との識別を試みた。また、その結果を用いることにより、これまで由来の明らかでなかったオホーツク海と太平洋を隔てる海域である根室海峡産試料について、その加入元の推定を試みた。

試料と方法

1) 試料

化学分析に供したスルメイカ試料は、1996年6~10月に北海道近海で釣獲された未成熟個体である。試料検体の一覧を表1に示す。北海道東沖合からの試料(P1-P5)は太平洋北上群、日本海の試料(J1-J6)は日本海北上群の代表として採集した。羅臼沖の根室海峡から採集した試料(R1-R5)が、日本海、太平洋のいずれから来遊するかについては現在までのところ明らかになっていない。

試料は、捕獲後船上で速やかに冷凍し、解剖まで-20°Cにて保存した。試料の解剖は、セラミッ

表1. 化学分析に供したスルメイカ

検体番号	外套背長(mm)	体重(g)	採集日	採集地点
道東沖合(太平洋北上群)				
P1	152	60.0	1996/6/11	38°59'N, 152°00'E
P2	164	79.5	1996/6/11	38°59'N, 152°00'E
P3	167	85.5	1996/6/11	38°59'N, 152°00'E
P4	165	101.2	1996/6/11	38°59'N, 152°00'E
P5	185	137.3	1996/6/11	38°59'N, 152°00'E
日本海(日本海北上群)				
J1	171	94.1	1996/6/25	42°59'N, 140°01'E
J2	179	116.9	1996/6/25	42°59'N, 140°01'E
J3	193	139.0	1996/6/25	42°59'N, 140°01'E
J4	207	180.0	1996/7/2	43°30'N, 140°40'E
J5	209	218.8	1996/7/2	43°30'N, 140°40'E
J6	215	224.5	1996/7/2	43°30'N, 140°40'E
羅臼沿岸(根室海峡)				
R1	217	240.3	1996/10/7	44°00'N, 145°10'E
R2	222	277.0	1996/10/7	44°00'N, 145°10'E
R3	231	296.5	1996/10/7	44°00'N, 145°10'E
R4	237	333.9	1996/10/7	44°00'N, 145°10'E
R5	236	347.5	1996/10/7	44°00'N, 145°10'E

クナイフ、セラミック鉄およびテフロン製ピンセットを用いて、ポリプロピレン製カッティングボードの上で行い、取り分けた組織は重量測定の後、プラスティック袋に封入した。分析部位は、外套筋肉と消化腺(中腸腺／肝臓)である。

2) 化学分析

試料の灰化は、Micro Wave Digestion System MDS-81D (CEM Corp., USA) を用いて行った。100～200mg の試料をテフロン製分解容器に正確に秤取し、5.0ml の硝酸(関東化学、EL-1.38)を添加、専用の Capping Station により容器を密閉した後、マイクロ波を照射した。分解後の試料は、十分に冷却するまで放置した後、酸洗浄済みのポリエチレン容器に移し、重量ベースで50ml(50.6g)に定容、試料原液とした。試料中に比較的高濃度で存在していた 7 元素(Na, Mg, P, S, K, Ca, Sr)については、試料原液をそのまま用いて誘導結合プラズマ発光分析計(ICP-AES / Maxim-III, Applied Research Laboratories, Switzerland)により定量した。V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Y, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U の 38 元素は、高

分解能二重収束型誘導結合プラズマ質量分析計 (HR-ICP-MS / PlasmaTrace, VG Elemental, UK)を用いて行った。試料原液を再蒸留水により十倍に希釈、内部標準として測定試料中に 200pg/ml となるよう Rh を添加し、測定液とした。試料導入系は、超音波ネブライザー (USN, Applied Research Laboratories, Switzerland) を用いた。以上の化学分析行程は必要に応じて、クリーンルーム(Class 100)またはクリーンブース(Class 1000)を使用して行った。

3) 統計処理

統計処理は非母数検定、および判別分析を行なった(Sokal & Rohlf, 1995)。用いたソフトは、SPSS 6.1J for Macintosh (SPSS Japan Inc.) である。

結果と考察

1) 元素濃度

分析に供した全検体に対する肝臓中元素濃度の最小値、中央値、最大値を図 1 に示した。質量数の大きな元素ほど濃度の低い傾向にあるが、Ag, Cd, Pb, U のように質量数の割に濃度の高い元素がみられた。これらの元素は何れも生物

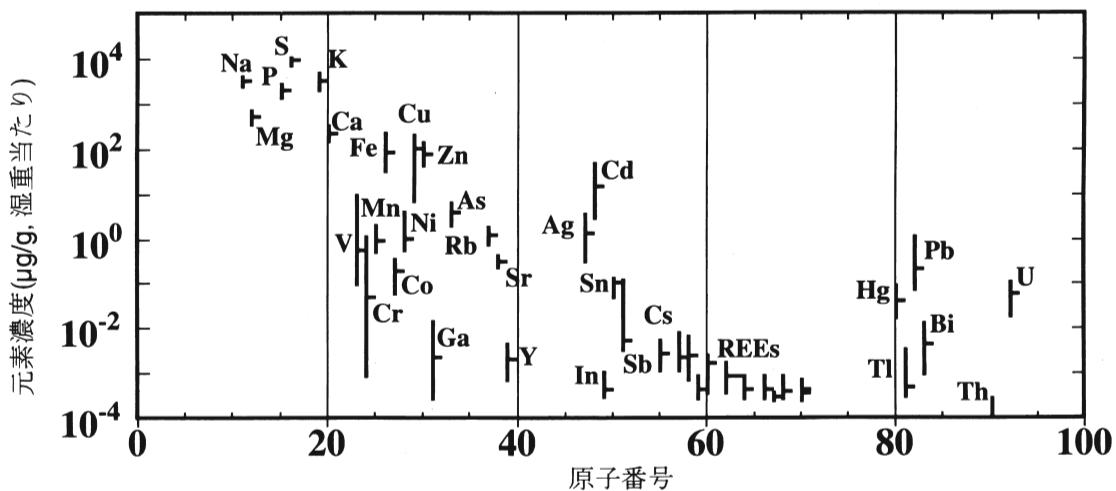


図 1. スルメイカ肝臓中の元素濃度(最小値、中央値、最大値)

組織に濃縮されやすい元素として知られており、特に Ag と Cd についてはイカの肝臓中での高濃度がこれまでにも報告されている(Martin & Flegal, 1975; 杉山, 1981; Smith et al., 1984; Falandysz, 1988). しかし、グループ間で濃度差のみられる元素はこの様な蓄積傾向の見られる元素とは限らず、筋肉と肝臓中のアルカリ・アルカリ土類金属と典型元素、および肝臓中の第一系列主遷移元素(3d 遷移元素)で、有意な地域間差(Kruskal-Wallis test, $p<0.05$) がみられた。稀土類元素については、多くの検体で検出限界濃度を下回っていた。

この様な地域間差が元素濃度に見られるのは、スルメイカの生息海域の海水および餌生物中の元素濃度が異なっていたからと考えられる。スルメイカの餌生物は甲殻類、魚類、および共食いを含む頭足類自身が主体であることが報告されている。Okutani(1962)によると静岡沖の太平洋のスルメイカの餌生物では、甲殻類、軟体動物、魚類の質重量比がほぼ 0.6 : 1 : 10 であり、魚類はその殆どがハダカイワシ類であった。一方、日本海産のスルメイカは沖合では甲殻類を、沿岸では魚類を多く摂食していたことが報告されている(沖山, 1965; 山川, 1977)。しかし、これらの調査を通じて、スルメイカは基本的には機会的に摂餌すると考えられており、消化管中に発見された餌組成から、元素取り込みの違いを論ずるには無理がある。また、餌生物も直接間接に海水から元素を取り込んでいることを考えると、海水に元素組成の違いの原因を求めることができる。日本列島の東方には黒潮と親潮の混合域が広がっており、世界的に見ても広大な亜寒帯海流と亜熱帯海流の海面が形成されている。今回の太平洋試料は、この様な海域からの試料である。一方、日本海試料は黒潮に派生する亜熱帯系の対馬暖流から捕獲された。スルメイカはこの様に海流を越えて回帰移動するため、その回遊

経路により異なった元素蓄積傾向を示すものと考えられる。

梅津・角埜 (1994)は、日本海産と太平洋産(伊豆産、釧路沖産)のスルメイカの分析を行ない、Fe は太平洋側で、Cu は日本海側で高い濃度を示すことを報告している。一方、今回の結果は、肝臓中の中央値が、太平洋産では、Fe: 130 $\mu\text{g/g}$ 湿重当たり、Cu: 11 $\mu\text{g/g}$ 湿重当たり、日本海産では、Fe: 95 $\mu\text{g/g}$ 湿重当たり、Cu: 130 $\mu\text{g/g}$ 湿重当たり、根室海峡産では、Fe: 49 $\mu\text{g/g}$ 湿重当たり、Cu: 140 $\mu\text{g/g}$ 湿重当たり、であった。従って両者による結果は良く一致するものであり、Fe と Cu の肝臓中濃度差は太平洋北上群と日本海北上群の元素濃度関係における特徴のひとつと考えることができる。今回の試料に限れば、肝臓中 Cu 濃度を用いるだけでも、太平洋産の試料を、日本海産および根室海峡産から識別すること(Mann-Whitney U-test, $p<0.05$)が可能であり、Fe 濃度を併用すれば、日本海産と根室海峡産とを識別すること(Mann-Whitney U-test, $p<0.05$)も可能であった。しかし、少数元素の測定結果のみに基づいた判別は、使用している元素の他の変動要因、試料採取や分析時の様々な誤差要因の影響を被り易いと考えられる。このため、より多くの元素濃度を利用した判別法が望まれる。

2) 判別分析

分析を行なった 2 部位(外套筋肉と肝臓)に対する 45 元素の分析結果は 90 の変数を与えるが、その全てを判別分析に投入するには数が多くすぎる。そこで系群識別に有用な元素を特定するために、非母数統計検定のうち、Kruskal-Wallis test と中央値検定を行なった。その結果、比較的質量数の小さい元素、また動物で必須性の知られている元素で、より多くの有意差が認められた。また、外套筋肉よりは肝臓で多くの元素の有意差がみられた。2 種類の統計検定の両者

で有意なグループ間差があるとされた筋肉中の Na, Mg, S, Ca, As, Rb, Sb, Cs および 肝臓中の Mg, P, K, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Rb, Sr, Sn, Sb, Sm についてのグループ間での大小関係の要約を表 2 に示す。多くの場合で、日本海産より太平洋側で高い濃度がみられている。以降、判別分析のための変量としては、表 2 にあげた元素濃度を使用するものとする。

この様な比較をする際には、元素蓄積のサイズトレンドをとらえておく必要がある。今回の試料は全て未成熟個体であったが、体重、外套長とともに太平洋産で最も小さく、これに日本海産が次ぎ、根室海峡(羅臼沖)からの試料が最も大きくなっている(Mann-Whitney U-test, $p<0.05$)。捕獲時期もこの順に遅くなっていた。一般に海洋生物の肝臓は年齢(サイズ)とともに、ある種の元素を蓄積していくことが知られているが、今回の結果では Cu を除くと肝臓中の元素濃度はサイズに伴って減少している。このため、今回の検体のサイズは検定による有意差こそでているものの、スルメイカの一生から考えると成熟直前というほぼ同一ステージにあったと考えられる。

日本海北上群として捕獲された J1-J3 と J4-J6 とでは捕獲日が異なっていたが、捕獲日及び捕獲位置から同じ日本海北上群から捕獲されたと考えられ、化学分析結果もこれを支持するものであった。しかし、他の 2 群との比較において違いの程度を明確にするため、判別分析の結果については J1-J3 を Ja, J4-J6 を Jb として表示した。

表 2 に抽出された 21 変数(外套筋肉中 8 元素、肝臓中 13 元素)を Wilks の lambda を判定基準として用いたステップワイズ法により、順次投入して行なった判別分析の結果、筋肉中の S と As および肝臓中の P と V の 4 変数が最終的に採用された。他の組み合わせを強制的に指定して解析を行なっても、ほぼ同様の結果が得られた。判別群としては 日本海産を 捕獲日毎に別の群

(Ja, Jb)と仮定して分析を行なったが、この二群は明確に区別されず、P, J, R の 3 群が区別できた。上記の 4 変数による場合、事後確率計算による P, J, R 3 群間の判別率は全てのケースで 100%であった。

図 2 は、太平洋産と日本海産の試料を P, Ja, Jb の 3 群からなると仮定して行なったステップワイズ法による判別分析の結果である。ここで、根室海峡産(R)は未知試料として判別関数を計算した。投入した変数は、表 2 の 21 変数で、最終的に

表 2. スルメイカ組織中元素濃度の海域間

海域	外套筋肉	肝臓
P > J > R	Na, Mg, S, Ca, As, Cs (外套背長, 体重)	Mg, P, K, Mn, Fe, Ni, Rb, Sb
P > R > J	Rb	V
J > R > P		Sn, Sm
J > P > R		Sr
R > J > P	Sb	Cu

P: 道東沖合(太平洋北上群)
J: 日本海(日本海北上群)
R: 羅臼沿岸(根室海峡)

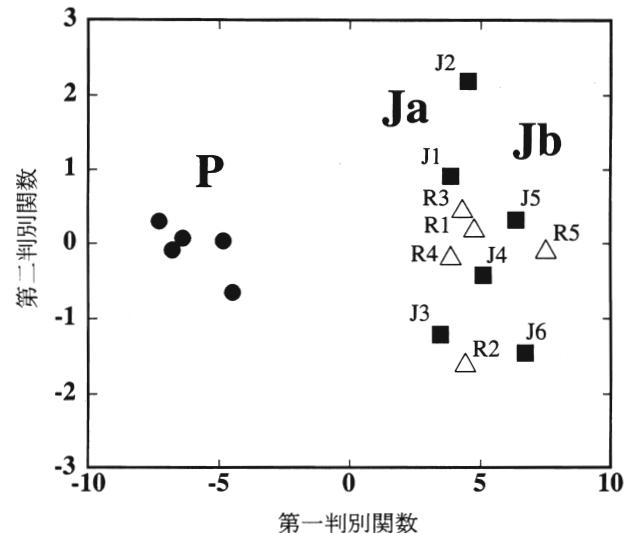


図 2. 判別分析による根室海峡産スルメイカの加入元推定

P, Ja, Jb の 3 群を仮定し、ステップワイズ法により表 2 に示した 21 変数を投入した。肝臓中の Cu と Rb、および筋肉中の S が判別関数に採用され、太平洋北上群(P)は日本海北上群(Ja, Jb)から明らかに識別された。未知試料として処理した根室海峡試料(R)は、その全てが日本海群(Ja, Jb)と判別された。

$$\text{第一判別式} = 1.7 \times \text{Cu(L)} + 2.5 \times \text{Rb(L)} - 2.3 \times \text{S(M)}$$

$$\text{第二判別式} = 0.64 \times \text{Cu(L)} - 0.44 \times \text{Rb(L)} + 0.75 \times \text{S(M)}$$

採用されたのは、筋肉中の S と肝臓中の Cu と Rb の 3 変数であった。太平洋産と日本海産とは明確に分離していたが、ここでも採集日の異なった日本海の 2 群の分離は不完全であった。根室海峡試料が Ja もしくは Jb に判別される計算確率は、全てのケースで 100% であった。図 2 に示した以外にも様々な変数の組み合わせを試みたが、上記の 3 変数以外の変数を採用した場合にも、常に根室海峡試料は日本海試料と判別された。このことから、1996 年に根室海峡で捕獲されたスルメイカは、日本海側から加入したと推定される。

以上の結果から、スルメイカの系群識別に有用な元素を考えると、地域間で差が出やすいと考えられる表 2 にあげた元素が望ましい。比較的低質量数の元素が有望であり、イカ類で特徴的な高蓄積が知られている Cd, Ag, あるいは海洋生物で高蓄積が知られている Pb, Hg, U などの重元素は必ずしも有用でないものと考えられる。簡易的には、筋肉中の As, 肝臓中の Cu, Fe など少数の元素に対する分析結果のみを用いても、ある程度の識別結果を得ることが可能であった。しかし、試料採取の偏りや分析の誤差の危険性を考え会わせると、出来るだけ多くの元素を用いることが望ましい。本報告では、ICP-MS と ICP-AES の組み合わせにより 45 元素の定量値について検討を行なったが、原子吸光法などの従来法で測定可能な元素の中に役に立つ元素があり、例えば、肝臓中の Mg, K, Fe, Cu などの複数元素を用いることによっても産地の識別は可能である。

謝 辞

日本海の試料を提供して頂いた北海道立中央水産試験場の中田淳(現、稚内水試)と坂口健司の両氏に感謝の意を表します。

引用文献

- 新谷久男・石井 正. 1972: 北海道周辺海域におけるスルメイカの系統群, in スルメイカ漁況予測精度向上のための資源変動機構に関する研究. 農連水産技術会議事務局研究成果, 57: 192-205.
- Falandysz, J. 1988: Trace metals in squid *Illex argentinus*, Z. Lebensm Unters Forsch. 187: 359-361.
- Hatanaka, H, S. Kasahara and Y. Uozumi. 1985: Comparison of Life Cycles of Five Ommastrephid Squids Fished by Japan: *Todarodes pacificus*, *Illex illecebrosus*, *Illex argentinus*, *Nototodarus sloani sloani* and *Nototodarus sloani gouldi*. NAFO Sci. Coun. Studies, 9: 59-68.
- 伊東祐方. 1972: スルメイカの漁業、生活史および資源の現状の概要, in スルメイカ漁況予測精度向上のための資源変動機構に関する研究. 農連水産技術会議事務局研究成果, 57: 4-9.
- 十三邦昭. 1977: 青森県西岸域におけるスルメイカの標識放流結果. 235-241pp., In 水産庁日本海区水産研究所編, 日本海スルメイカ共同調査報告集, 日本海区水産研究所, 新潟.
- Martin, J.H. and A.P.Flegal 1975: High copper concentrations in squid livers in association with elevated levels of silver, cadmium, and zinc. Mar. Biol., 30: 51-55.
- 村田 守・小野田豊・田代征秋・山岸吉弘・鈴内孝行. 1973: 北部日本海沖合域におけるスルメイカの生態学的研究(1971). 北水研研報, (39): 1-25.
- Murata M. 1990: Oceanic Resources of Squids, Mar. Behav. Physiol., 18: 19-71.
- 沖山宗雄. 1965: 日本海沖合におけるスルメイ

- カ *Todarodes pacificus* (Steenstrup) の食性.
日水研報告, (14): 31–41.
- Okutani, T. 1962: Diet of the common squid,
Ommastrephes sloani pacificus Landed
around Ito port, Shizuoka prefecture, Bull.
Tokai Reg. Fish. Res. Lab., (32): 41–47.
- Okutani, T 1983: *Todarodes pacificus*, pp. 201–
214, In P.R. Boyle ed., Cephalopod Life
Cycles Vol. I Species account, Academic
Press, London.
- Roper, CFE, M. J. Sweeney and C. E. Nauen.
1984: Cephalopods of the world. An
annotated and illustrated catalogue of
species of interest to fisheries. Species
catalogue Vol.3. FAO Fish Synop
3(FIR/S125), UN-FAO, Rome.
- Smith, JD, L. Plues, M. Heyraud and R. D.
Cherry. 1984: Concentrations of the
elements Ag, Al, Ca, Cd, Cu, Fe, Mg, Mn,
Pb and Zn, and the radionuclides Pb-210 and
Po-210 in the digestive gland of the squid
Nototodarus gouldi. Mar. Environ. Res., 13:
55–68.
- Sokal RR and F. J. Rohlf. 1995: Biometry, 3rd ed.
W. H. Freeman & Co., New York, 887pp.
- 杉山恭子. 1981: 食品中の重金属含有量に關
する研究. 米子医誌, 32(8): 408–425.
- 梅津武司・角埜 彰. 1994: イカ肝臓中 Cu と Fe
の海域による差(要旨) pp.182–183, in イカ
類資源・漁況検討会議研究報告書(平成 4
年度), 遠洋水産研究所, 清水.
- 山川文男. 1977: 日本海沖合水域におけるスル
メイカの胃内容物調査からみた食性. pp.
257–262, in 水産庁日本海区水産研究所
編、日本海スルメイカ共同調査報告集, 日
本海区水産研究所, 新潟.