

D-2. 海洋汚染物質の海洋生態系への取り込み、生物濃縮と物質循環に関する研究

(4) イカ類肝臓の蓄積化学物質による全海洋環境監視計画に関する研究

研究代表者 水産庁中央水産研究所 杉山 元彦

水産庁遠洋水産研究所外洋資源部 遠洋底魚研究室 川原重幸・余川浩太郎
 外洋いか研究室 早瀬茂雄・谷津明彦・田中博之・松山尺彦
 梅津武司（現南西海区水産研究所）

水産庁中央水産研究所環境保全部 杉山 元彦
 生理障害研究室 角埜 彰
 水質化学研究室 山田 久・高柳和史

環境庁国立環境研究所化学環境部 森田昌敏
 計測管理研究室 吉永 淳
 動態化学研究室 柴田康行

水産庁中央水産研究所環境保全部 生物検定研究室 小山次朗
 （委託先）東京水産大学水産学部 水産動物研究室 奥谷喬司・瀬川 進

平成3-6年度合計予算額 68,537 千円
 （平成6年度予算額 18,236 千円）

〔要旨〕広範な海からの海水の採取と分析には多くの困難が伴う。そこで生物濃縮に着目し、世界の海から漁獲されるイカの肝臓を用いて海の汚染モニタリングを試みる。イカ肝臓には沿岸性ムラサキイガイ軟体部よりはるかに高濃度の汚染物質が濃縮される。これによりムラサキイガイでは把握できない大洋の汚染状況をより容易に知りうる。

イカ類は一年生であるので、その肝臓の汚染物質濃度は年毎の海の汚染状況を反映する。はじめにスルメイカ・アカイカ、外国産主要種の生活史をまとめた。日本近海・両半球の約30種イカ肝臓中の有機スズ化合物(TBT・TPT)、PCBs、人工放射性核種(^{60}Co 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{238}Pu)、重金属、多環芳香族炭化水素〔(PAH)(Benzo(k)Fluoranthene、Benzo(a)Pyrene、Benzo(ghi)Perylene)〕を定量した。その結果、北半球、特に日本近海で汚染が進んでいること、南半球で比較的汚染が少ないことが明きらかになった。TBT、PCBs、Coの海水中から肝臓への濃縮率は 10^{4-5} 、Agは 10^7 と試算された。PAHについては単純に濃縮率を見積れず、なお若干の検討を要する。広範囲に分布するスルメイカ類は世界の大洋の汚染モニタリングに適種であり、本研究によりモニタリング方式の基本は確立できた。

〔キーワード〕イカ肝臓 有機スズ化合物 PCBs PAH 人工放射性核種 重金属

1. はじめに

海洋はあらゆる汚染物質の最終的な集積場である。海水中の30数種の元素から生物が体を作る

際に特定の元素や物質を体内に濃縮するのは、本来正常な代謝活動の結果である。この生物濃縮を利用して海の汚染状況を把握できることがある。広範な海から海水を採取するには莫大な経費がかかり、また水中の極低濃度の汚染物質の分析には前濃縮やクリーンルーム施設が必要となる。例えば海水中の重金属濃度はこの20年間に1/100程度に改められたものが多いが、これは採水や分析の過程での汚染（コンタミ）が除かれ、より正しい値がもとめられるようになったからである。そこで生物濃縮に着目し、世界各地から漁獲されてくるイカの肝臓を用ることにより、採取と分析を容易なものとして、海の汚染のモニタリングを目指す。

2. 研究の目的

ムラサキイガイによる海洋汚染の調査(Mussel Watch)は1973年アメリカで、次いでヨーロッパ諸国で始められ、今では莫大なデータが蓄積されている。ムラサキイガイは沿岸の岩石、岸壁などの基質に付着しているため、汚染のモニタリングはごく沿岸・表層に限定されている。ムラサキイガイでは軟体部全体を分析に用いるので肝臓にあたる中腸腺に濃縮された物質は他の組織で薄められることになる。これに対し、イカは広く全世界の海に生息する攻撃的肉食動物で、イカは沖合や中深層にも広く分布する。また、食物連鎖でかなり高位にあるため連鎖を経て摂取される物質が蓄積されやすい。さらに寿命が1年であることから年毎の海の状況を反映記録する。蓄積はまた肝臓で行われる。イカの生理・生態学的知見を整理しつつ、肝臓に蓄積される物質を広く検索し、そのいくつかについて海域別・イカの発育段階・種類別に定量する。次に肝臓中濃度と水中濃度の関係を明らかにし、イカ肝臓からその海域での汚染状況を算出し、モニタリングすることを目指す。他方、アオリイカを飼育し、肝臓での化学物質の蓄積を実験的に解明し、濃縮の生理学的意義を考える。

3. 研究結果

(1) スルメイカ・アカイカ類の生態

スルメイカ類は図1に示したように、ツツイカ目アカイカ科に属する。本科には産業重要種が多く、本研究で扱う外国産種も含まれている。括弧内が分析を行った種である。

スルメイカ類は世界中で約23種が知られ、その中で日本の漁船の漁獲対照となるのは8種である(図1)。スルメイカ、カナダイレックス、アルゼンチンイレックスの3種は、西岸境界流の流域に分布し、北(南)緯30~35度付近を産卵海域とし、北(南)緯35~45度を索餌海域とすること、1年の寿命の間に両海域の南北回遊を行うことで共通している。カナダイレックスとアルゼンチンイレックスの主な産卵期は冬季であるのに対して、スルメイカでは冬季に加えて秋季も主要な産卵期である点は相違点である。スルメイカは九州南西海域で冬、秋、夏に産卵する3群の存在が知られている。この内主要群である冬生まれ群は春~夏には太平洋側を黒潮、日本海側を対馬暖流に乗って北上しつつ成長し、秋にはほぼ同じルートをたどって南下し、九州南西海域で冬産卵する生活史をおくる。日本海では秋生まれのスルメイカは餌生物が豊富な時期・海域に最もよく適合でき、よく成長するので、重要な漁獲対照群となっている。しかし、太平洋側の暖流域では、日本海で見られる春季の動物プランクトン量の増大が見られず、そのためか秋生まれ群は少ない。日本海では秋生まれ群の分布域は沖合寄り、冬生まれは沿岸寄りである。従って、

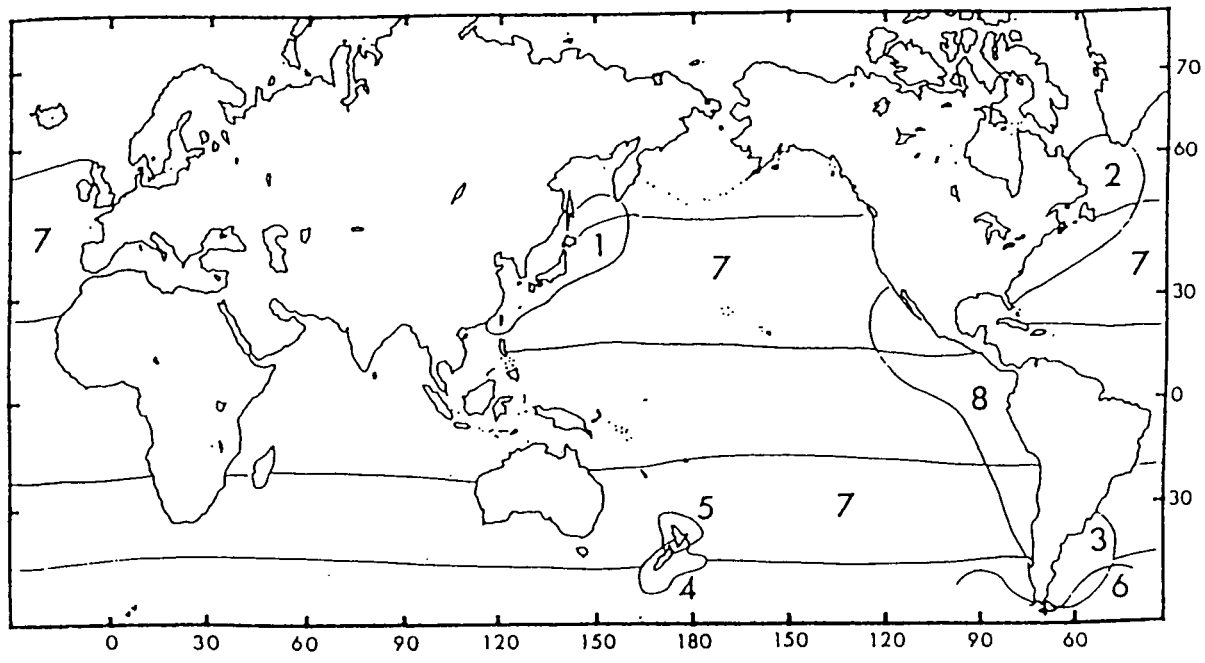
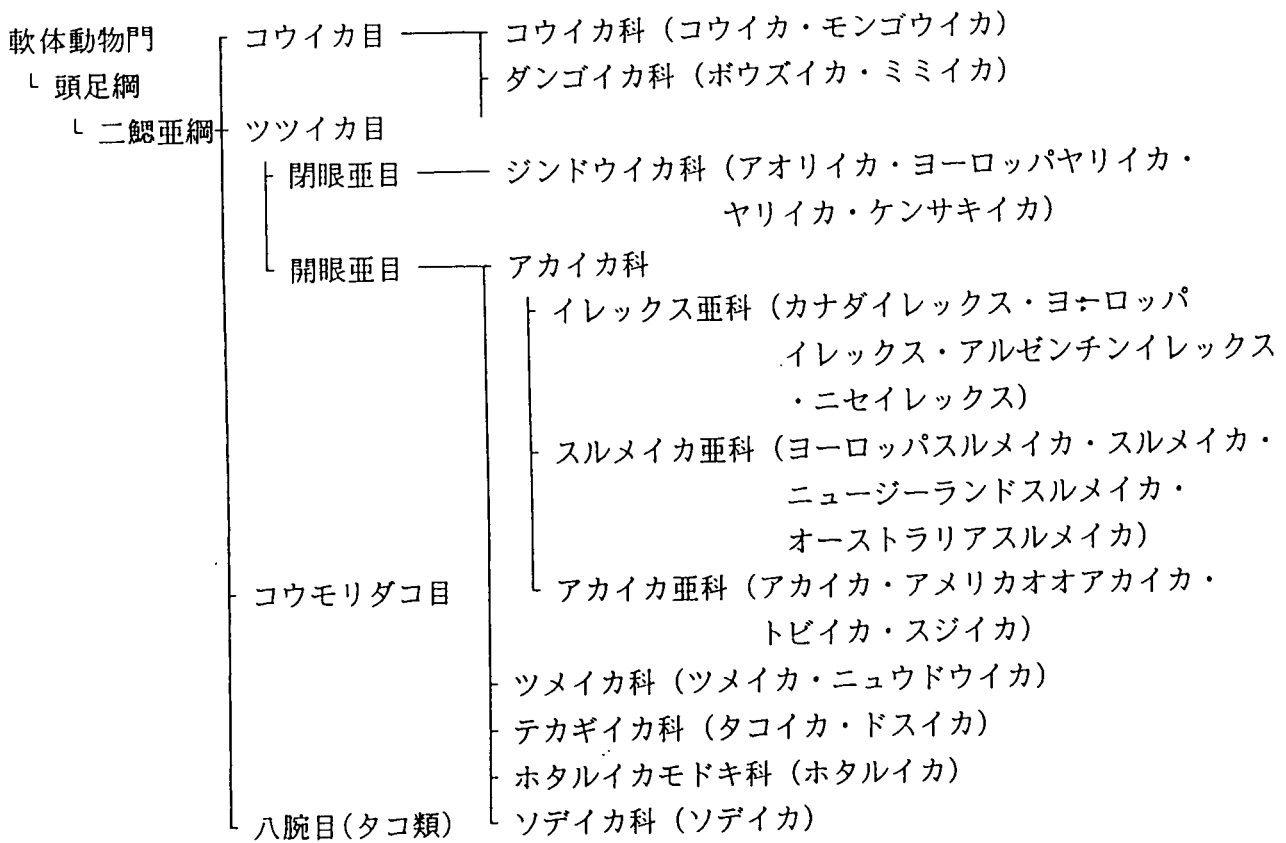


図1. イカ類の系統樹と日本漁船が漁獲しているスルメイカ類の分布¹⁾

- 1:スルメイカ, 2:カナダイレックス, 3:アルゼンチンイレックス,
 4:ニュージーランドスルメイカ, 5:オーストラリアスルメイカ,
 6:アカスルメイカ, 7:アカイカ, 8:アメリカオオアカイカ

漁場は沿岸域と沖合域に形成されるが、太平洋側では沿岸域のみである。遊泳性の高いイカ類は生息域に見られる動物プランクトンから小、中型魚類に至るまでなんでも捕食し、また共食いもめずらしくない。食性は各々の海域に分布する生物種が異なるので、その組成をある程度反映しながらも、海域・時期によりかなり異なる。

外洋性種であるアカイカは南北両半球の温帯水域に広く分布し、中西部北太平洋では暖流と冷水の衝合する水域、あるいは亜熱帯から亜寒帯への移行領域に高密度に分布する。これらの水塊は季節とともに移動するので、アカイカも水塊の動きにつれて移動することとなり広範囲の海の汚染をモニタリングする本研究には好適種である。すなわち、冬～春に32°N以南の黒潮反流域で生まれたアカイカは、季節とともに35～40°Nの混合水域を北上し、9月には最北端の48～47°Nの親潮前線付近まで到達する。9～10月以降大型のものから順次産卵のため32°N以南まで南下する。ごく最近平衡石の輪紋が日輪であることが分かり、イカの日令が算出できはじめ、さらに発振器を取り付けたアカイカが水深300mから急上昇してくるなどの行動も分かりはじめた。また、アカイカは大きさの異なる群が混在するが、これらが産卵場や産卵期を異にするものであるかどうかについては現在のところ不明である。

外国産スルメイカ類で、特記のないものの寿命は1年、餌はいずれもオキアミなど小型甲殻類、魚類、イカ類である。アルゼンチンイレックスは南西大西洋のウルグアイからアルゼンチンの大陸棚と斜面に分布する。産卵期は南半球の冬で、産卵場は北部の大陸斜面、稚仔はほぼ同じ水域で採集される。3～4cmの幼イカになると、大陸棚に広く分布する。その後は急速に成長しながら南下し、夏から秋にはフォークランド諸島にまで達し、晩秋には北上する。カナダイレックスは北西大西洋の米国からカナダにかけて分布している。冬にハテラス岬以南のメキシコ湾流付近で産卵する。稚仔は湾流によって外洋域を北東に運ばれ、3～4cmの幼イカになると、大陸棚に向かう。夏から秋には大陸棚に広がり急速に成長する。晩秋には大陸棚から消える。アカスルメイカは南半球の高緯度に分布する。秋に南西大西洋の大陸棚の沖合に多量に出現することがあるが、全体的な回遊は不明である。ニュージーランドスルメイカはオーストラリアとニュージーランドに分布し、北島周辺の大陸棚に多い。産卵期は南半球の秋から冬で、大規模な回遊は行わない。アメリカオオアカイカは東太平洋のメキシコからチリにかけての大陸棚から外洋まで分布する。産卵場や回遊は不明であるが、外套長70cm、体重10Kgを越える大型種であり寿命は2年以上である可能性が高い。スルメイカ類は広く世界の大洋に分布し、漁獲対象となっているので、大洋の汚染モニタリングの適種である。大きく回遊する種もいるので、千Km単位毎の海域を相互比較の対象と考えるべきである。

(2) 有機スズ化合物(TBT・TPT)、PCBsの海洋での分布

① 種類による肝臓中TBT・TPT濃度の相違

富山湾、北西太平洋及び北大西洋で漁獲した16種のイカの肝臓中TBT及びTPT濃度を表1に示した。富山湾のイカではコウイカ、ボウズイカ及びホタルイカでTBT濃度が他のイカに比較して低い傾があった。一方、肝臓中TPT濃度は、ホタルイカで低いのにに対し、ソデイカで1.267～1.468 $\mu\text{g/g}$ 生と著しく高かった。北西太平洋で漁獲されたツメイカ、タコイカ及びスルメイカの肝臓中TBT及びTPT濃度を比較すると、タコイカで高い傾向であるが著しい相違は認められなかった。また、北西太平洋のスルメイカ及びアカイカの肝臓中TBT及びTPT濃度には著しい相違は認められな

表1 各種イカ肝臓中の有機スズ化合物(TBT及びTPT)濃度

漁獲水域	種		有機スズ化合物濃度		
	和名	学名	TBT ($\mu\text{g/g}$)	TPT	
富山湾	コウイカ	<i>Sepia esculenta</i>	0.034 \pm 0.006	0.218 \pm 0.004	
	ボウズイカ	<i>Rossia pacifica</i>	0.050 \pm 0.008	0.448 \pm 0.159	
	アオリイカ	<i>Sepioteuthis lessoniana</i>	0.091 \pm 0.017	0.281 \pm 0.073	
	ヤリイカ	<i>Heterololigo bleekeri</i>	0.228 \pm 0.047	0.185 \pm 0.062	
	ジンドウイカ	<i>Nipponololigo japonica</i>	0.378 \pm 0.089	0.461 \pm 0.068	
	ホタルイカ	<i>Watasenia scintillans</i>	0.064 \pm 0.003	0.099 \pm 0.006	
	ドスイカ	<i>Berryteuthis magister</i>	0.606 \pm 0.208	0.261 \pm 0.060	
	スルメイカ	<i>Todarodes pacificus</i>	0.219 \pm 0.050	0.312 \pm 0.098	
	ソデイカ	<i>Thysanoteuthis rhombus</i>	0.162 \sim 0.178	1.267 \sim 1.468	
北西太平洋 (39-59 N) (152-59 E)	ツメイカ	<i>Onchoteuthis borealijaponica</i>	0.053 \pm 0.018	0.050 \pm 0.013	
	タコイカ	<i>Gonatopsis borealis</i>	0.063 \pm 0.014	0.073 \pm 0.014	
	スルメイカ	<i>Todarodes pacificus</i>	0.051 \pm 0.013	0.049 \pm 0.011	
	スルメイカ	<i>Todarodes pacificus</i>	0.044 \pm 0.006	0.033 \pm 0.010	
	(41-45 N) (150-29 E)	アカイカ	<i>Ommastrephes bartrami</i>	0.033 \pm 0.003	0.039 \pm 0.010
	(40-48 N) (150-39 E)	アカイカ	<i>Ommastrephes bartrami</i>	0.031 \pm 0.008	0.016 \pm 0.002
北大西洋 (フランス沿岸)	ヨーロッパヤリイカ	<i>Loligo vulgaris</i>	0.036 \pm 0.012	0.085 \pm 0.004	
	ヨーロッパイレックス	<i>Illex coindetii</i>	0.010 \sim 0.011	nd \sim 0.002	
	ニセイレックス	<i>Todaropsis eblanae</i>	0.016 \pm 0.006	0.004 \pm 0.003	
	ヨーロッパスルメイカ	<i>Todaropsis sagittatus</i>	0.015	0.023	

nd: ガスクロマト上でピークが認められない。

かった。フランス西部沿岸のヨーロッパヤリイカ、ヨーロッパイレックス、ニセイレックス及びヨーロッパスルメイカの肝臓中TBT及びTPT濃度を比較すると、ヨーロッパヤリイカでTBT及びTPT濃度がわずかに高い傾向であるが、その相違は小さかった。イカの種類によって肝臓中TBT・TPT濃度が異なるのは、その回遊経路、生息水深、寿命や食性などが異なるためと考えられる。TBT濃度の低かったコウイカ及びボウズイカはコウイカ目に属する。肝臓中TBT及びTPT濃度の低かったホタルイカ並びに肝臓中TPT濃度が著しく高かったソデイカを除外すれば、ツツイカ目のイカは、肝臓中TBT及びTPT濃度が比較的類似していた。従って、ホタルイカ及びソデイカを除いたツツイカ目のイカすなわち、スルメイカ・アカイカ類をモニタリング生物として選定することが適切である。図1に示したようにこれらはほぼ全世界に分布している。

伊豆半島沖合域において、1992年6月から11月まで毎月漁獲されたスルメイカ肝臓中のTBT及びTPT濃度を測定し、イカの大きさと肝臓中濃度との関係を検討した。その結果、スルメイカの体重が6月の約250gから11月の約480gにまで次第に大きくなるに従って、その濃度はやや低下する傾

向で、3～4倍の差内に収まった。すなわち、約200gの大きさのスルメイカを用いれば、肝臓中TBT・TPT濃度を適正に評価できることが明らかになった。

北西太平洋及び日本海においてはスルメイカの生息水深と考えられる50m層の海水を漁獲と同時に採水し、海水とスルメイカ肝臓中のTBT濃度を比較し、生物濃縮係数を求めた。海水のTBT濃度は、日本海で1.0～2.4ng/l、北西太平洋(釧路沖合)で1.3～3.0ng/lで、いずれの海域でも海水中のTBT濃度は、沿岸で高く沖合になるに従って低下する傾向であった。また、これらの濃度は既に多く報告されている外洋域のTBT濃度にほぼ一致した。TPTはすべての観測点において検出されなかった。

スルメイカ肝臓中TBT濃度(Y $\mu\text{g/g}$)と海水中TBT濃度(X ng/l)の間には、 $Y = 0.022X + 0.038$ ($r=0.65$)の関係が認められた。スルメイカ肝臓TBT濃縮係数が 2.2×10^4 で、他のデータなども総合して $10^4 \sim 10^5$ と見積もれる。10lの海水を用いて抽出した今回の分析では、TPTは検出されなかった。しかし、スルメイカ肝臓中にはTPTは、TBTとほぼ同濃度で検出されるため、イカ肝臓へのTPTの生物濃縮係数は、TBTに比較してさらに大きいものと推測される。

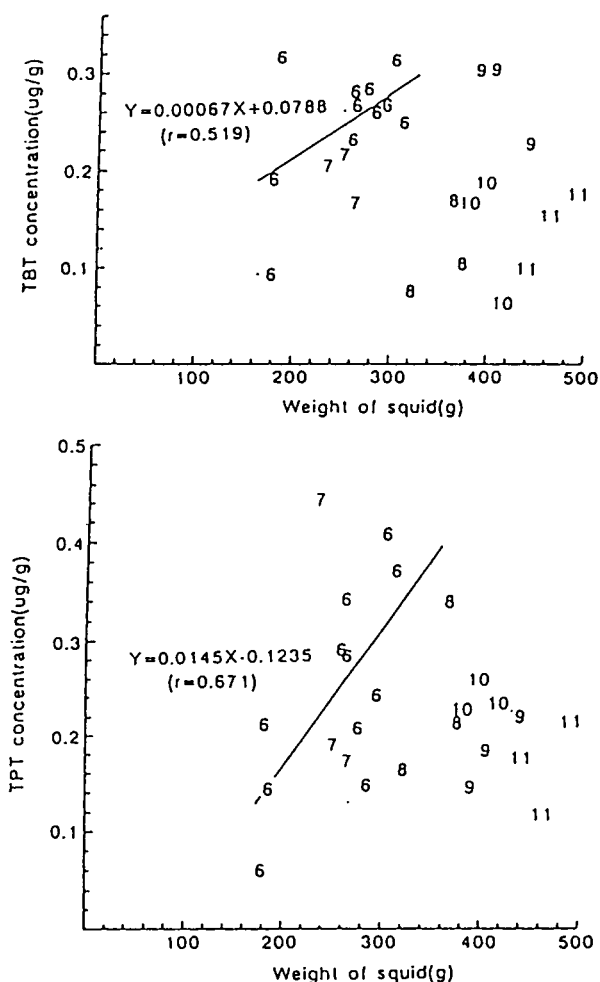


図2 イカの大きさと肝臓中TBT及びTPT濃度との関係

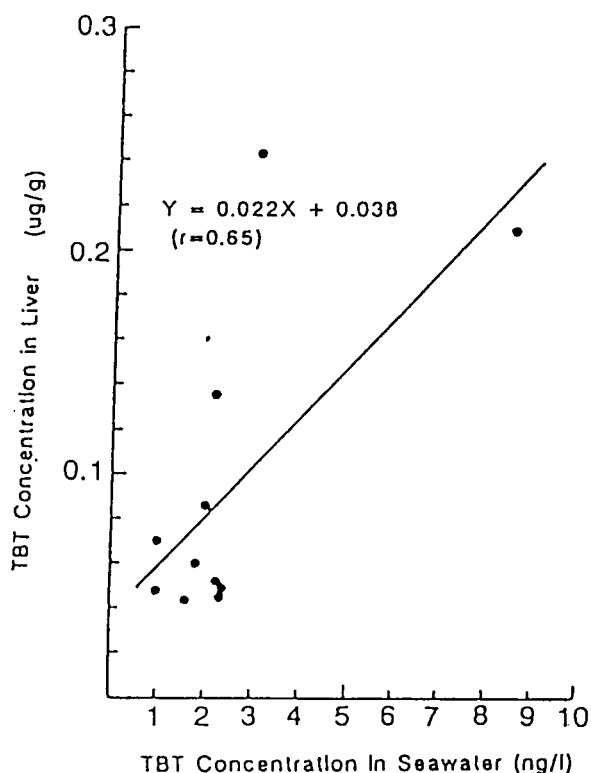


図3 海水中TBT濃度とイカ肝臓中TBT濃度との関係

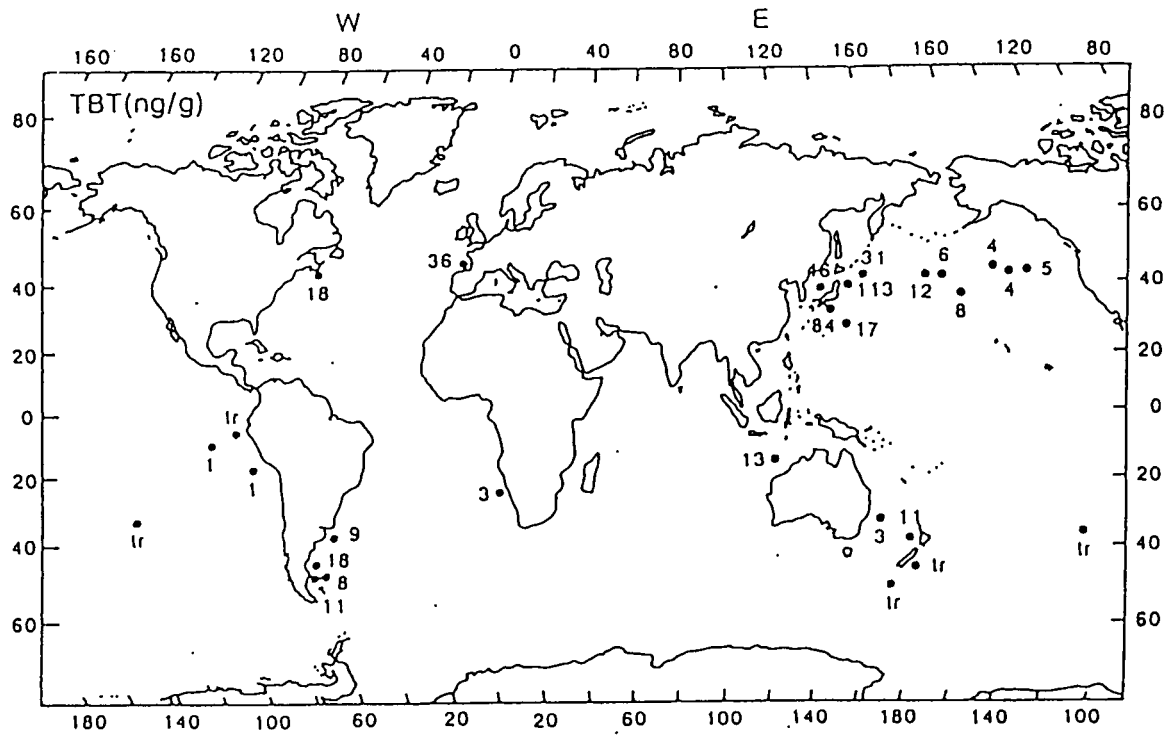


図 4 全球におけるイカ肝臓中 TBT濃度

図中の数字はTBT濃度(ng/g)を示す。

lr: カスケードグラム上にピークが認められるが、定量限界(1 ng/g)以下である。

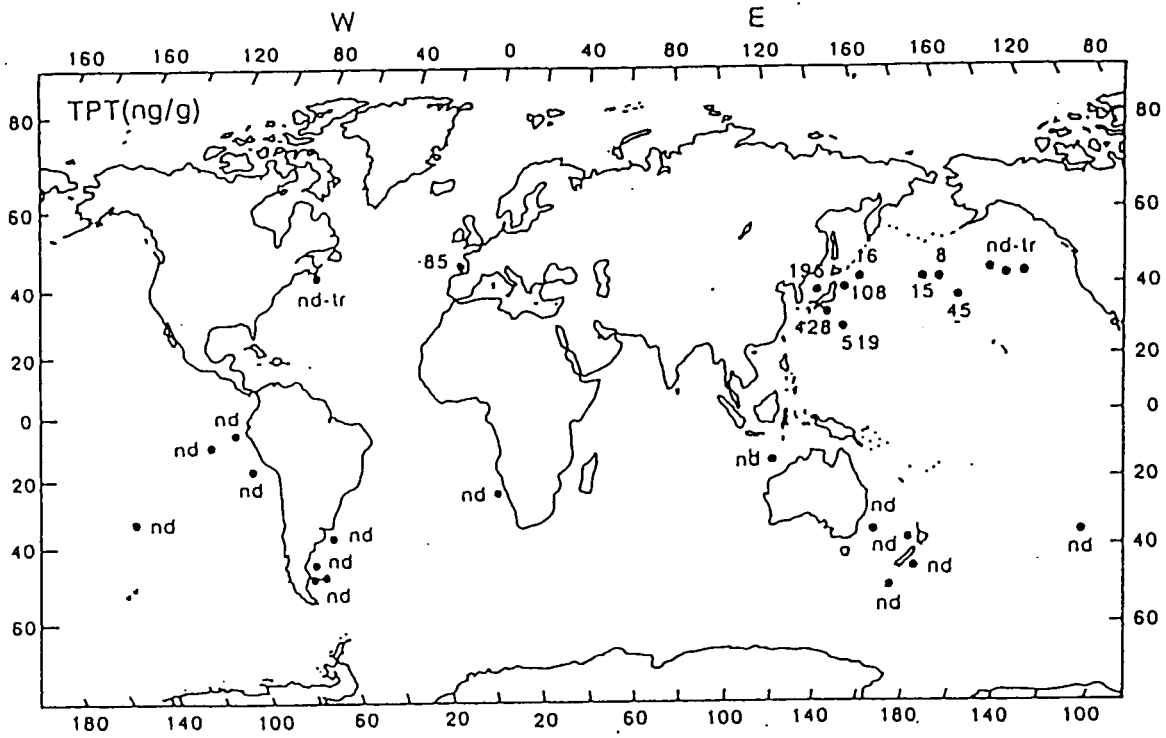


図 5 全球におけるイカ肝臓中 TPT濃度

図中の数字はTPT濃度を示す。

nd: カスケードグラム上にピークが認められない。

lr: カスケードグラム上にピークが認められるが、定量限界(1 ng/g)以下である。

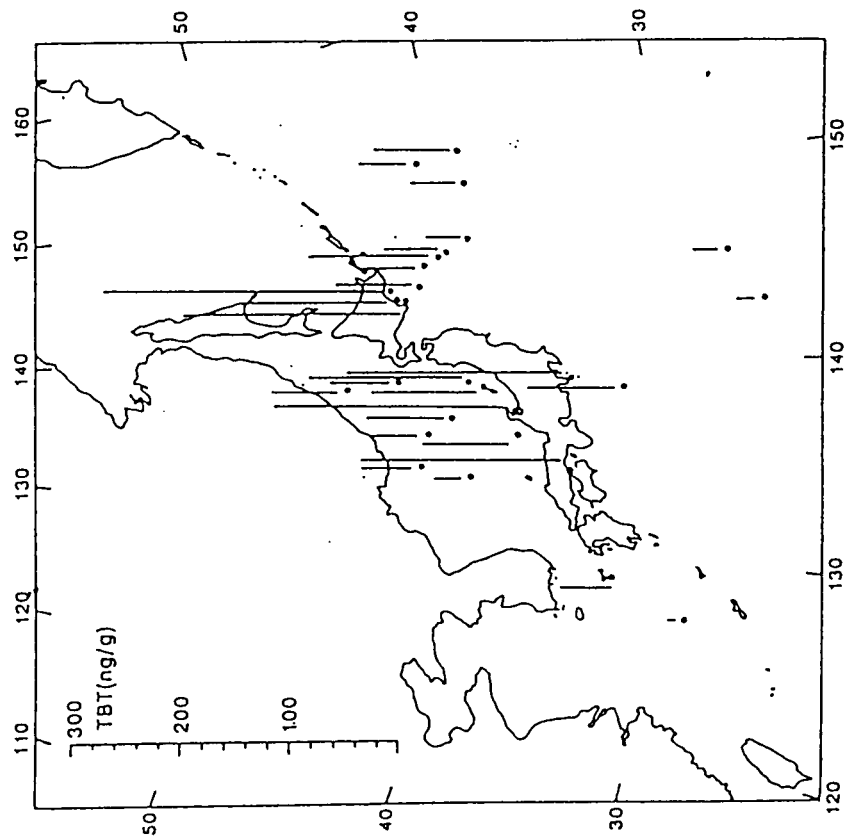


図 6 日本近海におけるイカ肝臓中 TBT濃度

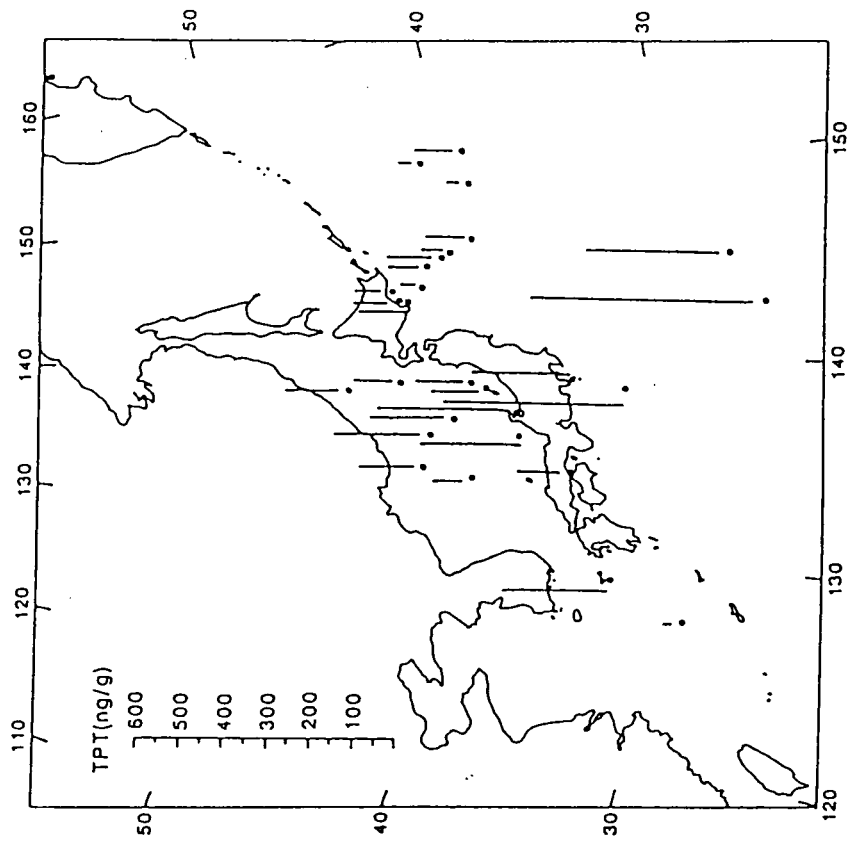


図 7 日本近海におけるイカ肝臓中 TPT濃度

② TBTの分布

全球及び日本海におけるイカ肝臓中TBT濃度の分布を図4及び5に示した。南半球のTBT濃度は、アルゼンチン沖合で9~18ng/g、アフリカ沖合で3 ng/g、ニュージーランド近海でtr~11ng/g、ペルー沖合でtr~1 ng/gであった。一方、北半球では、カナダ沖合で18ng/g、フランス西岸で36 ng/g、北東北太平洋で4~5 ng/g、中部北太平洋で6~12ng/g及び北西北太平洋で17~390ng/gであった。北半球と南半球を比較するとイカ肝臓中TBT濃度は、北半球で高い傾向であった。また、北半球の中でもわが国やフランス沖合で高く、沿岸から沖合になるに従って低くなる傾向であった。これらの肝臓中TBT濃度の分布は、海水の汚染実態をある程度反映していると認められた。

③ TPTの分布

全球及び日本近海におけるイカ肝臓中TPT濃度を図6及び7に示した。TPTは、南半球のイカからは検出されなかった。一方、北半球でもフランス西岸並びに中部及び北西北太平洋で検出されたにすぎなかった。日本近海では、特に濃度が高く、最高0.5 μ g (520ng) /gであった。このTPTの分布は、船底防汚塗料の殺生物剤として主にわが国において使用されたTPTの使用実態を反映しているものと考えられる。日本近海のイカ肝臓中TPT濃度の分布は、TBTの分布と相違する。イカ肝臓中TBT濃度の高かった北海道沿岸、新潟沖合や瀬戸内海でイカ肝臓中TPT濃度は低く、本州沖合域において高い傾向であった。この分布は、海域のTPT汚染の実態を反映しているのか、TBTとTPTの蓄積機構の相違によるのか、あるいは、イカが摂取する餌料組成の相違によりTBTとTPTの蓄積量が異なるのかなどの種種の要因が考えられるが、今後の検討課題である。

(3) PCBsの分布

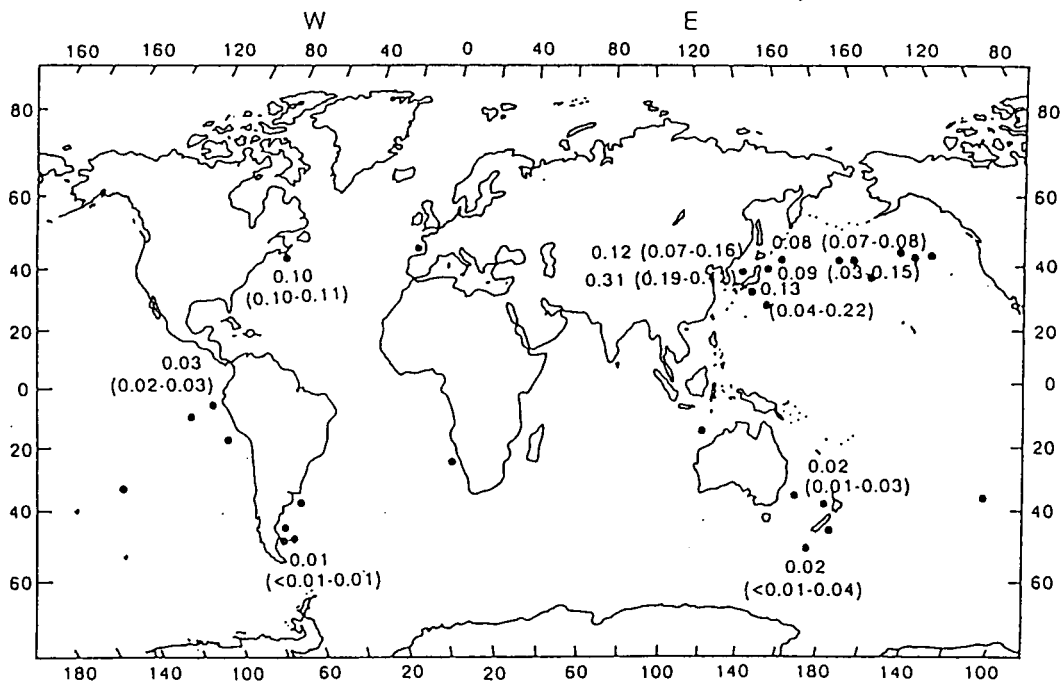


図8 全球におけるイカ肝臓中PCBs濃度

図中の数字はPCBs濃度(μ g/g)を示す。

全球におけるイカ肝臓中PCBs濃度の分布を図8に示した。イカ肝臓中PCBs濃度は、ペルー沖合、アルゼンチン沖合及びニュージーランド近海の南半球で検出限界(0.01 $\mu\text{g/g}$)以下から0.03 $\mu\text{g/g}$ であった。一方、カナダ東岸やわが国近海の北半球では、イカ肝臓中PCBs濃度は、0.03 $\mu\text{g/g}$ から0.42 $\mu\text{g/g}$ であり、有機スズ化合物と同様に北半球において高い傾向であった。イカ肝臓中PCBsの南-北半球における濃度差は、有機スズ化合物において認められるほど著しくはなかった。海水中PCBs濃度が、北半球と南半球で著しい相違はなく、既に南半球にもPCBsが分布することから推察してイカ肝臓中PCBs濃度の分布は、海洋汚染の実態をある程度反映しているものと考えられる。イカ肝臓中PCBsには、2塩素から8塩素置の異性体が確認された。これらの異性体の中で、4~7塩素PCBsが主要であった。4、5、6及び7塩素PCBsの構成割合は、それぞれ、14~35%、6~43%、10~36%、及び5~43%であり、北半球と南半球において明確な相違は認められなかった。

イカ肝臓に蓄積する有機スズ化合物とPCBsを検討した結果、肝臓に蓄積するこれらの有害化学物質は、海域環境の汚染の程度を反映していると推察された。

(4) 人工放射性核種(^{60}Co 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{238}Pu)の海洋での分布

スルメイカ肝臓を主な試料として、1955~93年の日本近海での $^{108\text{m}}\text{Ag}$ (半減期127年)、 ^{60}Co (半減期5.27年)の比放射能を求め、海水中の核種濃度を推定した。大西洋・南半球のイカの $^{110\text{m}}\text{Ag}$ (半減期250日)、 $^{239+240}\text{Pu}$ (2万4千年)、 ^{238}Pu (88年)についても検討した。肝臓を乾燥、炭化(火が入らないように)、灰化し、30~50gの灰をGe(Li)検出器で60万秒測定した。安定Co・Agは50mgの灰を用い放射化分析で定量した。Puは10gの灰を化学分析して定量した。肝臓中安定Coはアメ

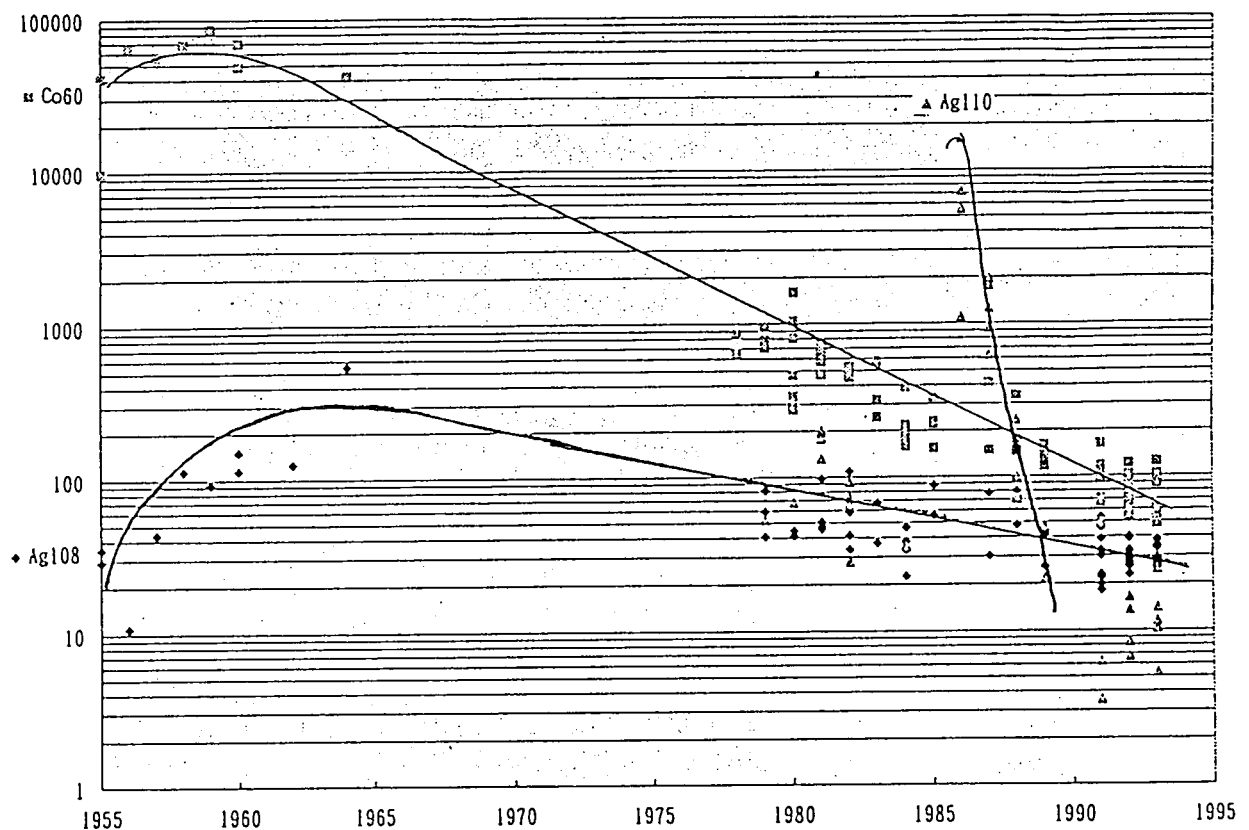


図9. スルメイカ肝臓中核種の比放射能($\mu\text{Bq}/\mu\text{g}$)の年変化

リカオオアカイカ(100~500 μg/g灰)、アカイカ(30~300 μg/g灰)、スルメイカ(10~30 μg/g灰)、ヤリイカ(2~10 μg/g灰)、と種によって大きく異なり、海水中Coを 10^4 ~ 10^5 倍濃縮している。Agは全種50~500 μg/g灰の範囲で海水より 10^7 倍濃縮されている。比放射能 $^{60}\text{Co}/\text{Co}$ は 10^5 ~ $1/2 \cdot 10^2$ μBq/μgで、3年強の半減期で減少した(最大値1959年)。 $^{108}\text{mAg}/\text{Ag}$ は600~20 μBq/μgで、十数年の半減期で減少した(最大値1964年)(図9)。

表層海水中のAg、Coは0.2ng/Kg、7 ng/Kgであるので、これとイカ肝臓の値から求めた海水中 ^{108}mAg は千トン当たり数(4~6mBq)、 ^{60}Co はその約10倍であった。

1979年のニュージーランド水域のイカ肝臓からは ^{60}Co のみ検出され、 ^{108}mAg (試料灰52g)、 ^{238}Pu (10g)は検出されなかった。91年には3核種とも検出され、 $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ 比は20%と異常に高かった。1964~91年の世界各地のイカ(13試料)での比は1.7~4.6%で、異常値は64年に南半球のインド洋上で落下した人工衛星の ^{238}Pu によるものと考えられる。イカ肝臓はAg、Coを極めて高濃度に濃縮するので、これらの放射性核種の海洋での分布を推定することが可能である。

(5) 肝臓中の重金属

種によって若干の差はあるが、イカ肝臓は体重の10%(5~15)、含油量は30%(20~50)、水分はやく50%で、油が増すと水分が減じ両者で約80%を保つ。粗タンパク質は20%弱、灰分は1%強である。灰分の組成はP・Na・Kの酸化物と塩化物の[C1]で80%、これにMg・Ca・Sr・Fe・Cu・Zn・硫化物の[S]を加えると99%(多量元素)で残りにCd・Ag・Pb・U等が含まれている。肝臓を硝酸で分解してICP-MSに掛けると83元素が確認でき、海水中に含まれるほとんどの元素が濃縮されていることが判明した。

重金属の分析は蛍光X線分析、原子吸光、ICP質量分析、及び放射化分析によって行い、多くのデータを得たが、大洋における重金属汚染の知見は少なく、また肝臓中重金属濃度の変動は非常に複雑である。従って、このイカ肝臓中の重金属濃度を海の汚染に直接結び付けることは非常に困難である。

解凍後肝臓試料を採取し、その一部をテフロン製分解容器中で超高純度硝酸により加熱分解してサブボILING水で50倍に希釈した後、ICP質量分析法、ICP発光法により定量分析を行った。

表2に重金属を中心とした元素濃度の中央値を示した。元素によって濃度の最少-最大値幅は極めて大きく、特に重金属類でその傾向が強かった。濃度分布の歪度からみて、正規分布に近似

表2 イカ肝臓中元素濃度の中央値(n=49、単位: mg/kg wet wt.)

元素	中央値(最小-最大)	元素	中央値(最小-最大)	元素	中央値(最小-最大)
Mg*	380 (190-600)	Ni*	1.2 (<1.0-9.9)	Mo	0.45 (0.11-1.4)
Ca*	160 (53-460)	Cu*	150 (6.6-650)	Ag	1.0 (0.15-4.7)
V	0.45(0.07-26)	Zn*	68 (19-240)	Cd*	62 (1.7-400)
Mn	1.1 (0.55-1.9)	As	4.0 (2.2-12)	Pb	0.14 (<0.05-1.4)
Fe*	130 (38-340)	Rb	1.3 (0.67-2.0)	U	0.06 (0.02-0.49)
Co	0.88(0.07-5.6)	Sr*	3.1 (0.87-7.6)		

表中*はICP発光法、その他はICP質量分析法による定量値

できる重金属はMn、Cuのみで、他の重金属類は全て対数正規に近い分布をとった。

主要な重金属(V、Mn、Fe、Co、Cu、Zn、As、Mo、Ag、Cd、Pb、U)について、相関分析により相互間の関連を検討した。0.1%水準で、有意な相関係数を示したペア(相関係数にして0.5程度以上)として、Cu-Zn、Mn-Mo、Co-V、Mo-V、Mo-Co、Co-Cdがあった。なお、イカの体長はどの重金属とも関連を持たなかった。この結果と相関係数マトリックスをもとにして、行った因子分析の結果とを総合的に解釈すると、イカ肝臓中のZnとCu、CoとV及びCdの蓄積には何らかの共通性(例えば同一のタンパクと結合して蓄積しているなど)が仮定できる。その一方で、As、Agなど、イカ肝臓に特徴的に高濃度に検出される重金属は、他のどの重金属類とも異なるメカニズムにより蓄積していること、あるいは異なる存在形態で、あることを示すものと考えられる。今後は同一種内での変動についてより詳細に検討するとともに、重金属類の化学形態に関して研究を行う必要がある。

(6) 脂肪族、芳香族炭化水素化合物の測定

分析法は二枚貝の分析²⁾の際に採用した方法に従ったが、試料によっては、妨害物質の影響がはなはだしい場合があり、前処理段階でいくつかのクリーンアップ法を試みた。なお、脂肪族炭化水素の前処理に当たっては、安定同位体でラベルした標品(C14D34、C20D42、C24D50、C32D66)を内部標準として加え、直鎖の長さに応じてこれらのいずれかを用いて回収率の補正を行った。脂肪族炭化水素の分析はCG-MS法、芳香族炭化水素の分析はHPLC-蛍光検出法で行った。芳香族炭化水素の測定結果を表3に示す。イカの肝臓は脂肪含有量が多く、蛍光妨害物質も多く、これを完全に除くことは難しく、蛍光の励起波長を検討して検出時の選択性をあげ、多くの試量に適用可能な分析条件を確立した。表3に示した測定結果を見る限りでは、海域差の他に種差などの因子も重要と思われ、単純に肝臓重量あるいは脂肪含有量との比率で海洋汚染の程度を判断することは難しいように思われる。

表3 イカ肝臓中の芳香族炭化水素類 (ng/g 肝臓(wet weight))

イカの種類	採取場所(個体数)	B(k)F	B(a)P	B(ghi)P
トビイカ	インド洋(2)	n. d.	0.005-0.008	n. d.
スルメイカ	日本海(3)	0.185-2.775	0.017-0.206	n. d. -0.550
	三陸沖(3)	0.341-0.462	0.020-0.029	n. d. -0.059
	伊豆大島近海(3)	n. d. -0.805	0.020-2.427	n. d. -0.605
	ニューギニア近海(3)	n. d. -0.075	0.004-0.019	n. d. -0.046
アカイカ	北太平洋(2)	0.386-0.492	0.060-0.565	n. d.
	タスマン海(1)	n. d.	0.027	n. d.
アオリイカ	五島列島近海(1)	n. d.	0.066	n. d.
ツメイカ	北太平洋(3)	n. d.	0.006-0.022	n. d.

(7) アオリイカによるCd摂取の飼育実験

スルメイカは活魚輸送の工夫もされているが、魚類に比べるとイカ類の飼育は難しい。墨を吐かせることは絶対に禁物であり、水の抜けないタモを使って移さねばならないスルメイカ類の飼育は現在の技術水準では不可能なので、小型水槽で飼育可能なアオリイカを用いた。

アオリイカの飼育方法を検討した結果、採取した天然卵を孵化させ、毎日切らさずに生き餌(小魚・小エビ)を与えることで、100日まで飼育することができるようになった。20~80gの稚イカを用いてCdの摂取実験を行った。その理由や働きについては未だ解らないが、イカ肝臓には多量のCdが含まれている。アメリカオオアカイカやアルゼンチンイレックスではCuやZnより多い400ppm(400mg/kg wet)という検出例があった。海水(0.2mg/l)からのCdの摂取は14日で体全体では2μg/g、肝臓では50μg/gとなり、続いて14日間清水に保つことで、Cdは半減した。体全体で肝臓中のCdの占める割合は、全期間を通じて約50%であった。

同じCd濃度(0.1mg/l)で、餌(広塩性メダカ目のマミチヨグ)とアオリイカを飼育し、餌と海水からのCdの摂取を見ると、15日で、体全体で5μg/g、肝臓で605μg/gであった。コンパートメントモデルで解析した結果、海水からのCdの吸収でも、海水と餌の両方からのCd吸収でもCdの半減期は20~24日と算出され、餌由来のCdは海水のその約2倍と推測された。また、別のモデルで、アオリイカの成長に伴う体全体でのCdの蓄積状況を試算したところ、体重50gで最高値に達し、以後減少して体重200gで最高値の半分となり、その後は大きく変化しないと予測された。この近平衡値2~4μg/kgは、東京湾のアオリイカ(約40g)のCd含有量5.5μg/kgに近い値であったが、さらなる検討が必要と考えられる。

4. 本研究により得られた成果のまとめ

(1) スルメイカ類は広く世界の大洋に分布し、漁獲対象となっていることから、大洋の汚染モニタリングの適種である。大きく回遊する種もいるので、千Km単位毎の海域を相互比較の対照と考えるべきである。

(2) 肝臓中にはPCBs、TBT・TPT、 ^{109m}Ag 、 ^{60}Co などが濃縮され、その肝臓中濃度から推定される海洋の汚染は、北半球の中緯度で最も進行しており、南半球では少なかった。

(3) PCBs、TBT、TPTは10尾(3kg程度)からのイカ肝臓(200g)で、人工放射性核種は10~30kgのイカで定量できるので、これでモニタリングが可能である。重金属類は、濃縮係数は極めて高い(Cd: 10^8 、Ag: 10^7 、Cu: 10^6)が、濃縮の仕組みが複雑で汚染のモニタリングには使用できない。脂肪族・芳香族炭化水素は数尾のイカ試料で検出できるが、モニタリングにはなお若干の検討が必要である。

(4) アオリイカの飼育実験の技術を確立し、Cd濃縮について若干のデータを得たが、なお今後の研究が望まれる。

5. 引用文献

- 1) 中村好和：日本周辺海域におけるスルメイカの分布特性。漁業資源研究会議第24回シンポジウム要旨集，27-29(1993, Oct).
- 2) 中川友夫・森田昌敏：ムラサキイガイ等の二枚貝中に含まれる微量元素及び有機汚染物質。国立公害研究所資料，F-8-'89/NIES，p. 79(1989).

6. 研究発表の状況

(1) 論文等

Fishery Agency of Japan : Catch and effort statistics for the Japanese squid driftnet fishery in 1991 INPFC Document 37p. (1992).

FAJ : Outline of a digging survey as an alternatively fishing technorogy to the squid driftnet by Japanese R/V in the high seas of the North Pacific during May-Aug 1992 Ibid. 4p. (1992).

早瀬茂雄・他 : 1992年に水産庁の科学調査船で行った北太平洋アカイカ資源調査の概要. INPFC 提出 文書 6p. (1992).

Murata, T. and Hayase, S. : Life history and biological informations on flying squid (Ommastrephes bartrami) in the Noth Pacific Ocean. INPFC Bull., (53), 147-182(1993).

Kawahara, Uozumi and Hatanaka : Is it to predict ommastrephiod squid abundfance in advance of the fishing season?. Recent Advances in cephalopod fisheris Biology. Aug. Tokai University Press. Tokyo, 1993, pp.728-734.

梅津武司 : イカ肝臓が示す海洋の放射性核種. Radioisotopes, 41(6), 57-58(1992).

梅津武司 : イカ肝臓で測る海の放射能. 放射線科学, 35(11), 369-374(1992).

Umezu, T. : Squid Watch. Look Japan, 39(453), 30-31(1993).

梅津武司 : イカからのメッセージ. ビィ・オール, No.44, 26-28(1994).

Umezu, T. : Oceanic Distribution of Ag-108m Estimated using Squid Livers, Water Report, 4(5), 9-11(1994).

Umezu, T. : Squid Watch. Rotary-no-tomo, 40, 22-23(1994).

谷津明彦 : 北太平洋における釣り調査によるアカイカの分布, 遠洋水研報, 29, 13-37(1992).

吉永 淳・柴田康行・森田昌敏 : イカ肝臓中に蓄積される重金属類(2)~重金属間の関連像~ 第2回環境化学 討論会講演要旨集 環境化学3(2) 478-479(1993).

(2) 学会発表等

角埜 彰・梅津武司 : スルメイカ肝臓中重金属濃度の海域差 平成5年度日本水産学会春季大会 講演要旨 316(1993).

Umezu, T. : Oceanic Distribution of Ag-108m Estimated with Squid Livers, PICES 2nd Ann. Meet. Seattle, (1993, Oct.).

梅津武司 : イカ肝臓の108m A gで推測する海洋での核種分布 第10回環境化学研究会講演会予稿集 37-45(1993).

山田 久 : イカ肝臓蓄積化学物質による海洋汚染監視の試み 第10回環境化学研究会講演会予稿集 32-36(1993).

Yamada, H. : New monitoring method of marine pollution with toxic chemicals accumulated in squid liver(Squid Watch). PICES, 3rd Ann. Meet. Nemuro, (1994, Oct.).

Yokawa, H. : Allozyme differentiation between 16 ommastrephid squid(Cephalopoda: Ommastrephidae). 南大洋頭足類シンポジウム要旨集. 46(1993).