



*for a living planet*®

## WWF ジャパン・プロジェクト報告書

### 南西諸島における野生生物の 有害化学物質調査('05～'07)



表紙写真

1	2
3	4

- 1 © 安田雅弘  
2 © 安村茂樹 / WWF ジャパン  
3 ©WWF-Canon / John E. NEWBY  
4 ©WWF-Canon / Michel GUNTHER

# 総括

---

プロジェクトリーダー 田辺信介（愛媛大学沿岸環境科学研究センター）

沖縄を含む南西諸島のサンゴ礁海域は、多くの希少生物を有するなど生物学的・生態学的にきわめて価値の高い地域として知られている。しかし、この海域は経済成長の著しい東アジアおよび東南アジア諸国と隣接しているため、途上国の人間活動や産業活動による汚染、とくに有害化学物質による汚染と影響が懸念されている。また、亜熱帯性の気候帯に位置するこの地域は、農業活動や公衆衛生目的での薬剤の使用量が多いため、その流亡に伴う海域の汚染や生態系への影響も危惧されている。

本プロジェクト「南西諸島における野生生物の有害化学物質調査」は、上記の背景を踏まえ、本海域における有害物質の汚染実態を明らかにし、国内外の環境保全関係者、政策決定者、一般市民に対策のための基礎情報を提供するとともに、地域の関心を高め南西諸島海域の保全活動を一層支援・推進することを目的として、2005年～2007年に調査を実施した。本報告書は、その成果をまとめたものである。

本プロジェクトでは、1) 鯨類・ウミガメ類の有害物質汚染実態調査、2) 魚介類の有害物質汚染実態調査、3) 造礁サンゴに対する有害物質の暴露試験、の三課題に取り組んだ。有害物質は、DDTやPCBsなどのPOPs（残留性有機汚染物質）、有機臭素系難燃剤などのPOPs候補物質、有機スズ化合物やその代替物質、微量元素、農薬、船底塗料など、学術的・社会的関心の高いものを対象とした。とくにPOPsおよびPOPs候補物質は長距離移動性、生物蓄積性、生態毒性の観点において国際的に注視されている物質群であることから、本プロジェクトの重点対象物質とした。

POPs等有害物質による魚介類の汚染の特徴は、沖縄本島で過去に大量使用されたCHLs（クロルデン）やDDTsなどの残留が今なお顕在化していたことにある。また、POPs候補物質のPBDEs（ポリ臭素化ジフェニールエーテル）についても沖縄本島の魚介類は、相対的に高い濃度の残留が認められた。また、漫湖-饒波川のボラから高濃度のPCBsが検出されるなど、本地域固有な化学物質利用の歴史と現状を反映した汚染の実態が明らかとなった。今回の調査では、この種の物質の毒性影響に関わる疾病等は検知できなかったが、一部の魚類で内分泌かく乱に関わる追加試験の必要性が示唆されたことは記録しておきたい。また、DDE（DDTの安定代謝物）、PCB、水銀(Hg)の魚体中濃度は、それを補食する魚食性鳥類の無毒性量を超えていたことから、鳥類を対象とした汚染実態調査とリスク評価が今後の課題であろう。その他の特徴としては、Hgなど一部の元素が石垣島のティラピアやアカテノコギリガザミから比較的高い濃度で検出されたことがあげられる。原因は不明であるが、周辺途上国の影響などその由来を究明する調査が必要である。

ウミガメ類に関する汚染調査の特徴は、タイマイから臭素系難燃剤のPBDEsが相対的に高い濃度で検出されたことであろう。また、鯨類では魚食性のサラワクイルカにおいて高い濃度のHg蓄積が認められた。この種の生物は途上国が集中する南方海域を回遊しているため、これら物質の暴露を受けた可能性がある。

また、造礁サンゴ幼若体の褐虫藻獲得に関するTBT（トリブチルスズ）の暴露試験では、現実の水環境の最高濃度に近い暴露レベルで影響がみられ、外国船舶寄港数の増加にともなう海域

---

汚染の拡大と生態リスクが懸念された。さらに、TBTの代替物質として船底塗料に利用されている他、除草剤としてサトウキビやパイン畑で利用されているDCMU（ジウロン）の暴露試験では、予想される環境水中濃度に近い値で影響が示唆され、この物質の使用量が多い沖縄海域では、造礁サンゴの生育に関わる影響をさらに検証する必要がある。

POPs等有害物質による南西諸島の汚染は、本地域のみならず周辺諸国の汚染の動向に今後注意を払う必要がある。周知のとおり、残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約（POPs条約）が2004年5月に発効し、ポリ塩化ビフェニール（PCBs）など12種類の有機塩素化合物について、生産・使用の規制や非意図的生成の削減が世界規模で実行されることになった。条約の対象となったPOPsのほとんどは、先進諸国および多くの途上国ですでに生産・使用・流通が禁止され、その環境汚染レベルは低減傾向にある。一方、現在生産・使用されている物質の中には、既存のPOPsに物理化学的性質が類似し、地球規模での汚染の拡大と生態リスクが懸念される物質、すなわち「POPs候補物質」があり、POPs条約締約国会議において対象物質に加えるよう提案され、国際的に本格的な規制が検討される段階に至っている。例えば電子・電気機器やプラスチック製品に含まれる有機臭素系難燃剤は、最近までヒトや環境中の汚染レベルが上昇し、その動向について大きな学術的・社会的関心を集めている。これら新規に登場したPOPs候補物質の調査研究は欧米や日本などの先進諸国が中心で、途上国の汚染実態はほとんど明らかにされていないが、愛媛大学の最近の調査によると、東シナ海の魚介類は日本近海の魚介類に比べ明らかにPBDEsの汚染が進んでおり、中国の電子・電気機器廃棄物処理に伴う汚染拡大の影響が示唆されている。経済成長の著しいアジアの途上国では、廃棄物の不適正処理や公害の発生、深刻化する化学汚染などが報告されており、今後POPs候補物質による汚染が一層顕在化し、南西諸島にその影響が及ぶことも予想される。よって、南西諸島の生態系を保全するためには、国内だけでなく、国外の汚染の動向にも注意を払う必要があり、東アジア地域における環境モニタリング・生態系保全ネットワークの形成など、今後の構想に本プロジェクトの成果が活かされることを期待したい。

2008年3月1日

## 謝辞

---

本プロジェクトを遂行するにあたって、研究機関、行政機関、地域 NGO をはじめとする多くの機関や関係者の方々にご協力とご指導を賜りました。ここに厚くお礼申し上げます。

愛媛大学沿岸環境センター 田辺信介・高橋真・Govindan Malarvannan・池本徳孝・阿南弥寿美・国末達也・磯部友彦・阿草哲郎、  
琉球大学熱帯生物圏研究センター 中村将・竹村明洋・仲村茂夫、  
東京大学海洋研究所 渡邊俊樹・早川英毅、沖縄県衛生環境研究所 宮城俊彦、  
琉球大学理学部海洋自然科学科 大森保、琉球大学 COE 研究員 安房田智司、  
琉球大学大学院 榎克子・三浦さおり、神戸大学大学院海事科学研究科 岡村秀雄、  
琉球大学資料館 名和純、環境省那覇自然環境事務所 川越久史、国立科学博物館 山田格、  
イルカ&クジラ救援プロジェクト 安田雅弘、沖縄環境ネットワーク 吉嶺繁子・伊波義安、  
美砂の会 仲西美佐子、八重山サンゴ礁保全協議会会長 吉田稔、獣医師 山縣浩海、新谷敦史、  
サンパレス球陽 金城幸子、琉球湿地ネットワーク 藤井晴彦、座間味ダイビング協会 又吉英夫、  
JEAN 小島あずさ、八重山観光フェリー 黒島一博、産業技術総合研究所 鈴木淳、  
海洋防汚・環境コンサルタント MAEC 高橋一暢、博報堂 C & D 星野奈美・三神良之

日本ウミガメ協議会、石垣島ウミガメ研究会、  
八重山環境ネットワーク、日本サンゴ礁学会保全委員会、オキナワマリンリサーチセンター、  
水産総合研究センター西海区水産研究所、阿嘉島臨海研究所、石垣市役所水産課、  
石垣市役所環境政策課、沖縄県環境保全課、沖縄県水産課、沖縄県自然保護課、  
恩納村漁業協同組合、読谷村漁業協同組合、那覇市沿岸漁業協同組合、八重山漁業協同組合、  
大成建設自然・歴史環境基金、自然保護助成基金、三井物産環境基金

(順不同、敬称略、所属・肩書はいずれも調査当時)

# 目次

---

■総括	1
プロジェクトリーダー・田辺信介（愛媛大学沿岸環境科学研究センター）	
■南西諸島に生息する水棲生物の有害化学物質調査－鯨類・ウミガメ類の汚染に関する報告－	5
田辺信介・高橋 真・Govindan Malarvannan・池本徳孝・阿南弥寿美・国末達也・磯部友彦・阿草哲郎（愛媛大学沿岸環境科学研究センター）	
■南西諸島に生息する水棲生物の有害化学物質調査－魚介類の汚染に関する報告－	23
田辺信介・高橋 真・Govindan Malarvannan・池本徳孝・阿南弥寿美・国末達也・磯部友彦・阿草哲郎（愛媛大学沿岸環境科学研究センター）、中村 将（琉球大学熱帯生物圏研究センター）	
■造礁サンゴ幼若体の褐虫藻獲得に対する有害化学物質暴露の影響試験に関する調査報告	45
渡邊 俊樹（東京大学海洋研究所）	

**南西諸島に生息する水棲生物の有害化学物質調査  
－鯨類・ウミガメ類の汚染に関する報告－**

田辺信介・高橋 真・Govindan Malarvannan・  
池本徳孝・阿南弥寿美・国末達也・磯部友彦・阿草哲郎  
(愛媛大学沿岸環境科学研究センター)



# 南西諸島に生息する水棲生物の有害化学物質調査

## — 鯨類・ウミガメ類の汚染に関する報告 —

田辺信介・高橋 真・Govindan Malavannan・池本徳孝・阿南弥寿美・  
国末達也・磯部友彦・阿草哲郎  
(愛媛大学沿岸環境科学研究センター)

### 背景と目的

日本列島の南端に位置する南西諸島には、世界有数のサンゴ礁海域が存在し、また多くの希少生物が生息するなど生物多様性も高く、環境保全上極めて重要な場として知られている。一方、近年経済発展の著しい中国や東南アジア諸国に隣接することから、南西諸島を含む東シナ海の環境変化、とくに有害化学物質による生態系への汚染や影響が懸念されている。こうした背景のもと、本研究グループは、カツオや二枚貝などの魚介類を指標生物として、残留性有機汚染物質 (POPs) に関するアジア-太平洋地域の汚染実態調査を実施してきた (Ueno et al. 2003; 2004a; Monirith et al. 2003)。その結果、東シナ海や中国沿岸域における一部 POPs (DDTs など) の汚染はアジアの他地域より顕在化していることが明らかとなった。さらに、近年新たな残留性汚染物質として注目されている臭素系難燃剤、ポリ臭素化ジフェニルエーテル (PBDEs) も、東シナ海のカツオは他の海域より高い濃度を示している (Ueno et al. 2004a)。また、那覇港の海水からは日本沿岸の中でも比較的高い濃度の有機スズ化合物が検出されており (Takeuchi et al. 2004)、他の南西諸島港湾海域についても類似の汚染が懸念される。

鯨類は食物連鎖の高次に位置し、摂餌を通して POPs や重金属類を高濃縮することからそのリスクが懸念されている (O' Shea 1999)。一方、ウミガメ類は世界の大洋に広く分布し、南西諸島を含む日本沿岸も生息域として知られている。しかしながら、南西諸島海域に分布する鯨類およびウミガメ類の化学物質蓄積レベルを調査した例は少ない。

そこで本研究では、南西諸島海域のウミガメ類および鯨類に注目し、有機ハロゲン化合物や有機スズ化合物、微量元素による汚染実態と蓄積特性の解明を試みた。

### 試料と方法

#### 1) 試料

2003年～2007年に沖縄本島や西表島、石垣島に漂着した鯨類 (ハンドウイルカ *Tursiops truncatus*、マダライルカ *Stenella attenuata*、マッコウクジラ *Physeter macrocephalus*、サラワクイルカ *Lagenodelphis hosei*) の筋肉、肝臓、腎臓、脂皮および1998年から2006年の間に石垣島および高知沿岸に漂着または混獲されたウミガメ類 (アオウミガメ *Chelonia mydas*、タイマイ *Eretmochelys imbricata*、アカウミガメ *Caretta caretta*、オサガメ *Dermochelys coriacea*) の肝臓を化学分析に供試した。測定した試料の詳細を表1に示した。試料は分析時まで-20℃で冷凍保存した。

## 2) 分析方法

各物質の分析法は既報 (Ueno et al. 2004a; 2006; 岩村ら 2000; Nam et al. 2005) に従い、有機ハロゲン化合物 (PCBs、DDTs、CHLs、HCHs、HCB、PBDEs、HBCDs) は GC-ECD および GC-MS で、有機スズ化合物 (ブチルスズ、フェニルスズ、オクチルスズ化合物) は GC-MS で、微量元素 (V、Cr、Mn、Co、Cu、Zn、Ga、Se、Rb、Sr、Mo、Ag、Cd、In、Sn、Sb、Cs、Ba、Hg、Tl、Pb、Bi) は ICP-MS、CV-AAS および HG-AAS で測定した。本研究で分析対象とした有機ハロゲン化合物および有機スズ化合物の化学構造と主な用途を図 1 および図 2 に示す。

## 結果と考察

### 1) 鯨類

#### 有機ハロゲン化合物

有機ハロゲン化合物の分析には、沖縄本島に座礁したハンドウイルカ、西表島で座礁したマッコウクジラ、石垣島に座礁したサラワクイルカの脂皮を用いた。分析の結果、全ての有機ハロゲン化合物が検出された (表 2)。なかでも DDTs は最も高い濃度で検出され、ついで PCBs > CHLs > HCHs ≒ PBDEs ≒ HCB の順であった。これら有機ハロゲン化合物の濃度レベルは、同海域で採取されたカツオやウミガメ類よりもはるかに高値であり、既報の研究と同様、生態系の高次生物である鯨類はこれら物質の高濃度蓄積生物であることが確認された。一方、南西諸島の鯨類から検出された有機ハロゲン化合物 (PCBs、DDTs、PBDEs) は、日本近海や香港沿岸で採取した鯨類に比べ概して低濃度であり、外洋性の鯨類とほぼ同レベルであった (表 3)。また、本研究で調査した鯨類の中では、PCBs、DDTs、CHLs、PBDEs 濃度について、サラワクイルカが最も高い濃度を示し、次いでハンドウイルカ、コマッコウクジラの順であった。これら物質は有機ハロゲン化合物の中でもとくに脂肪親和性が高く、食物連鎖を通して高濃縮されやすい物質である。すなわち、サラワクイルカは魚食性が強く、3 種の鯨類の中でも相対的に高次の栄養段階にあることが、上記の物質を高濃度で蓄積している主要因と考えられる。一方、ハンドウイルカも魚食性の強い沿岸性鯨種であるが、本研究で対象とした検体が新生児であったため、比較的低濃度を示したものと考えられる。南西諸島の鯨類から検出された各種有機ハロゲン化合物の組成は、日本近海および東シナ海の鯨類と同様の傾向を示し、DDTs は *p,p'*-DDE、HCHs は  $\beta$ -HCH、CHLs は *trans*-nonachlor、PBDEs は BDE47、BDE154 がそれぞれ高い残留割合を示した (表 2)。海棲哺乳類から検出される PBDEs の組成は、欧米では Penta 製剤由来の BDE-47 が高割合を示すが、日本では Octa- 製剤の使用量が多いため、BDE-154 など高臭素化異性体も高い割合で検出されることが指摘されている (Kajiwara et al. 2006)。本研究の鯨類の調査結果からも同様なことが推察される。

#### 有機スズ化合物

有機スズ化合物の分析には、沖縄本島で座礁したマダライルカと石垣島に漂着したサラワクイルカの肝臓を用いた。分析の結果、ブチルスズ、フェニルスズおよびオクチルスズ化合物が検出された (表 4)。これら有機スズ化合物の濃度レベルは、同海域で採取されたカツオおよびウミガメ類よりも高濃度であった。このことは、鯨類にこの種の物質が蓄積しやすいことを示唆している。鯨類のブチルスズ化合物濃度は性成熟まで加齢とともに上昇することが報告されている (Kim et al. 1996)。またフェニルスズ化合物は、食物連鎖を介して生物濃縮することが知られ

ている (Hu et al. 2006)。一方、PVC 安定剤や樹脂合成触媒として主に使用されているオクチルスズ化合物は低濃度もしくは検出限界値以下であり (表 4)、ブチルスズ化合物等に比べ生物濃縮性が低いこと、海洋環境への流入量も少ないことなどがその主要因と考えられる。沖縄本島に漂着したマダライルカの有機スズ化合物濃度を日本近海鯨類の報告値と比較したところ、外洋性の鯨類より高値であったが、沿岸性のスナメリと比べると低値であった (表 5)。一方、石垣島に漂着したサラワクイルカの有機スズ化合物は、全ての鯨種の中で最も低濃度であった。本種は鯨類の中でもとくに外洋性が強く、有機スズ化合物の暴露量が少ないためと考えられた。また本研究で検出された TBT および DBT の濃度は、Ueno et al. (1994) のラット肝毒性や Nakata et al. (2002) による白血球増殖阻害の閾値 (肝臓:血液濃度比からの推定値) に比べ低値であった。

## 微量元素

微量元素の分析には沖縄本島で座礁したハンドウイルカの筋肉およびマダライルカ、サラワクイルカの筋肉、肝臓、腎臓を用いた。分析の結果、全ての組織において必須元素の Zn が最も高い濃度で検出され、Hg は肝臓で、Cd は腎臓で相対的に高い値を示した (表 6)。一般にハクジラ類は肝臓に Hg を高蓄積するが (O' Shea 1999)、Se と等モルで結合することにより解毒されることが知られている (Koeman et al. 1973; Martoja and Berry 1980)。本研究のマダライルカおよびサラワクイルカも Se が等モル蓄積しており、無毒の形態で分布していることが伺える。また、マダライルカ、サラワクイルカの腎臓中 Cd レベルは、ヒトの腎障害を引き起こす閾値 (100  $\mu$  g/g wet weight) (Beyer 2000) より低レベルであった。Hg、Cd など多くの毒性元素はハンドウイルカよりもマダライルカおよびサラワクイルカで高い濃度を示したが、その一因として供試したハンドウイルカが新生児であったためと考えられる。一方、電子産業などで使用されている In、Bi などの元素は低濃度であった。他海域で報告されているハクジラ類と比較すると、サラワクイルカの Se、Sr、Ag、Cd、Ba、Hg 濃度は高値であった。とくに Hg 濃度が高いことは、上述のように本種が強い肉食性で栄養段階の高次にあることを反映している。その他の元素に関して、本研究で検出された濃度レベルは他のハクジラ類と同程度、あるいは低値であった (表 6)。

## 2) ウミガメ類

### 有機ハロゲン化合物

分析の結果、全ての検体から有機ハロゲン化合物が検出された (表 7)。タイマイおよびアカウミガメの PCBs、DDTs および CHLs 濃度は、HCHs や HCB、PBDEs よりも高値を示した。この傾向は、日本沿岸の海棲哺乳類や魚類の結果と概ね一致していた (Ueno et al. 2003; Kajiwara et al. 2006)。タイマイは雑食性であるが、主にカイメンを摂餌する。興味深いことに、軟体動物や甲殻類を摂餌し栄養段階が高いと考えられるアカウミガメに比べ、タイマイの PCBs および CHLs 濃度は高値を示した。タイマイの生息地を取り囲む熱帯・亜熱帯地域の発展途上国では、今なお有機塩素化合物の汚染が継続しており、他種のウミガメ類に比べ沿岸性が強いタイマイは、局所的な汚染の影響を受けているものと推察される。アオウミガメの残留レベルは他の種に比べると低く、体長 (直甲長) の増加に従って濃度は減少する傾向を示した。これは本種の草食性、すなわち生態系の低次に位置するためと考えられた。さらに幼体期のアオウミガメは動物プランクトンを摂餌しているが、成長すると草食性へ変化することが知られている。他海域のアオウミガメについても体長の増加に伴う PCBs、DDTs の減少傾向が報告されており (Mckenzie et

al. 1999)、本研究のアオウミガメで認められた傾向と一致している。一方、アカウミガメについて採取地域による汚染の差異を検討したところ、高知と石垣島の検体間ではほとんどの物質において明らかな濃度差は認められなかったが、PBDEsについては石垣島の検体で相対的に高い濃度がみられた。カツオを指標生物としたPBDEsの広域モニタリングにおいても、高知沖より東シナ・南シナ海の検体で高濃度が示されており (Ueno et al. 2004a)、本研究のアカウミガメでみられた傾向と一致する。またPBDEsについては、同一種・同一地域の検体間でも濃度の大きなばらつきがみられ、タイマイの一部検体ではPCBsに匹敵する残留濃度が認められた。ウミガメは海中を漂流するプラスチックペレットやビニール袋を誤飲することが知られており、これら樹脂製品からの溶出など、偶発的・特異的なPBDEsの暴露経路の存在を示唆している。ウミガメ類について臭素系難燃剤汚染を明らかにしたのは本研究が初めてであり、今後汚染の地域分布や種間の蓄積特性など広域モニタリングに基づいたベースラインデータの収集が必要である。ウミガメ類の有機ハロゲン化合物蓄積に関する報告例は少なく、採取年や成長段階が異なるため厳密な比較はできないが、本研究で分析したウミガメ類の有機塩素化合物濃度は他海域に比べ低値を示し (表 8)、外洋性の魚類 (Ueno et al. 2003) と同程度であった。

### 有機スズ化合物

有機スズ化合物の残留レベルは総じて低く、とくにオクチルスズ化合物およびフェニルスズ化合物は全ての検体において検出限界値以下であった (表 9)。比較的多くの検体から検出されたブチルスズ化合物は、そのほとんどがDBTであり、TBTが検出されたのは石垣島のアカウミガメ 1 検体のみであった。よって、ウミガメ類は比較的強いTBT分解代謝能を有している可能性がある。また他種に比べタイマイはブチルスズ化合物をやや高い濃度で蓄積していたことから、一部の有機塩素化合物と同様に沿岸域での暴露が考えられる。本研究のウミガメ類から検出されたブチルスズ化合物濃度は、1990年に高知で採取されたアカウミガメよりも一桁低く (Iwata et al. 1997)、汚染の低減が示唆された。しかし日本沿岸や同地域で採取された鯨類 (表 6) および魚介類 (Ueno et al. 2004b) よりも低値であり、石垣島や高知周辺のウミガメ類に及ぼす有機スズ汚染の影響は小さいと考えられた。

### 微量元素

全ての種において、Zn、Cu、Cdが高濃度で検出された (表 10)。とくにアオウミガメはCu濃度が高く、アカウミガメおよびオサガメではCdが比較的高値を示した。これらの傾向は過去のウミガメ類に関する報告と一致しており (Sakai et al. 2000a; Anan et al. 2001)、とくにアカウミガメおよびオサガメのCd高蓄積は、甲殻類や頭足類食性によるものと考えられた。一方、近年電子産業などで使用されているGa、In、Biなどの元素は低値を示した。アカウミガメの元素濃度は採取地点によって差がみられ、Mn、Rb、Mo、Co、Pb、Sb、Tlは高知で、Sr、Ba、Gaは石垣島の個体で相対的に高い値が認められた。Caと類似の挙動を示すアルカリ土類金属が石垣島の個体で高い値を示したことは、サンゴ礁環境における摂餌行動を反映している可能性がある。天然賦存の微量元素は海洋環境に遍在しているが、その分布は元素によって異なる。すなわち、本研究でみられた地域差は、海洋環境におけるウミガメ類の摂餌行動の違いを反映している可能性がある。これらの傾向および検出された濃度範囲は、過去に同地域のウミガメ類で報告されている値と同レベルであった (表 11)。

## まとめ

南西諸島海域の鯨類およびウミガメ類から検出された有機ハロゲン化合物や有機スズ化合物は、日本近海や東シナ海で採取された同種または近縁種に比べ、概して低い濃度を示した。このことは、人為起源の汚染に由来する影響が南西諸島の生態系では未だ顕在化していないことを示唆している。しかしながら、臭素系難燃剤のPBDEsに関しては、ウミガメ類に関する調査例がほとんどないことに加え、石垣島のウミガメ類、とくにタイマイで高い濃度が検出されたことなどから、回遊経路における暴露や樹脂性品等からの暴露、将来的な汚染実態の推移などについて更なる調査研究が必要と思われる。一方、微量元素の蓄積に関しては、魚食性のサラワイルカがHgを高濃度に蓄積していること、サンゴ礁のある石垣島のアカウミガメでは高知沖の検体よりアルカリ土類金属の濃度が高いことが明らかとなった。したがって、これら化学物質の蓄積パターンの解析は、海洋環境における海棲高等動物の摂食行動や回遊パターンなど生態学的情報解明の一助となる可能性がある。今後は、野生高等動物の生態学・毒性学的な研究ともあわせた化学物質の汚染調査を展開し、生態学上の未解明課題や化学物質の暴露リスク等について明らかにすることが望まれる。

## 引用文献

- Anan, Y., Kunito, T., Watanabe, I., Sakai, H., Tanabe, S. (2001) Trace element accumulation in hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) and green turtles (*Chelonia mydas*) from Yaeyama Islands, Japan. *Environ. Toxicol. Chem.*, **20**, 2802-2814.
- Aguirre, A. A., Balazs, G. H., Zimmerman, B., Galey, F. D. (1994) Organic contaminants and trace metals in the tissues of green turtles (*Chelonia mydas*) afflicted with fibropapillomas in the Hawaiian Islands. *Mar. Pollut. Bull.*, **28**, 109-114.
- Beyer, W. N. (2000) Hazards to wildlife from soil-borne cadmium reconsidered. *J. Environ. Qual.*, **29**, 1380-1384.
- Caurant, F., Bustamante, P., Bordes, M., Miramand, P. (1999) Bioaccumulation of cadmium, copper and zinc in some tissues of three species of marine turtles stranded along the French Atlantic coasts. *Mar. Pollut. Bull.*, **38**, 1085-1091.
- Corsolini, S., Aurigi, S., Focardi, S. (2000) Presence of polychlorobiphenyls (PCBs) and coplanar congeners in the tissues of the Mediterranean loggerhead turtle *Caretta caretta*. *Mar. Pollut. Bull.*, **40**, 952-960.
- Davenport, J., Wrench, J. (1990) Metal levels in a leatherback turtle. *Mar. Pollut. Bull.*, **21**, 40-41.
- Gardner, S. C., Pier, M. D., Wesselman, R., Juárez, J. A. (2003) Organochlorine contaminants in sea turtles from the Eastern Pacific. *Mar. Pollut. Bull.*, **46**, 1082-1089.
- Godley, B. J., Thompson, D. R., Furness, R. W. (1999) Do heavy metal concentrations pose a threat to marine turtles from the Mediterranean Sea? *Mar. Pollut. Bull.*, **38**, 497-502.
- Gordon, A. N., Pople, A. R., Ng, J. (1998) Trace metal concentrations in livers and kidneys of sea turtles from south-eastern Queensland, Australia. *Mar. Freshwater Res.*, **49**, 409-414.
- Hu, J., Zhen, H., Wan, Y., Gao, J., An, W., An, L., Jin, F., Jin, X. (2006) Trophic magnification of triphenyltin in a marine food web of Bohai Bay, North China: comparison to tributyltin. *Environ. Sci. Technol.*, **40**, 3142-3147.
- Iwata, H., Tanabe, S., Mizuno, T., Tatsukawa, R. (1997) Bioaccumulation of butyltin compounds in marine mammals: the specific tissue distribution and composition. *Appl. Organomet. Chem.*, **11**, 257-264.
- 岩村幸美, 門上希和夫, 陣矢大助, 棚田京子 (2000) エチル誘導体化／ガスクロマトグラフィー／質量分析法による生物試料中の有機スズ化合物の一斉分析. *分析化学*, **49**, 523-528.
- Kajiwara, N., Kamikawa, S., Ramu, K., Ueno, D., Yamada, T. K., Subramanian, A., Lam, P. K. S., Jefferson, T. A., Prudente, M., Chung, K. H., Tanabe, S. (2006) Geographical distribution of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and organochlorines in small cetaceans from Asian waters. *Chemosphere*, **64**, 287-295.
- Kim, G. B., Lee, J. S., Tanabe, S., Iwata, H., Tatsukawa, R., Shimazaki, K. (1996) Specific accumulation and distribution of butyltin compounds in various organs and tissues of the Steller sea lion (*Eumetopias jubatus*): comparison with organochlorine accumulation pattern. *Mar. Pollut. Bull.*, **32**, 558-563.
- Koeman, J. H., Peeters, W. H. M., Koudstaal-Hol, C. H. M., Tjioe, P. S., de Goeij, J. J. M. (1973) Mercury-selenium correlations in marine mammals. *Nature*, **254**, 385-386.

- Kunito, T., Nakamura, S., Ikemoto, T., Anan, Y., Kubota, R., Tanabe, S., Rosas, F. C. W., Fillmann, G., Readman, J. W. (2004) Concentration and subcellular distribution of trace elements in liver of small cetaceans incidentally caught along the Brazilian coast. *Mar. Pollut. Bull.*, **49**, 574-587.
- Lake, J. L., Haebler, R., McKinney, R., Lake, C. A., Sadove, S. S. (1994) PCBs and other chlorinated organic contaminants in tissues of juvenile Kemp's ridley sea turtles (*Lepidochelys kempi*). *Mar. Environ. Res.*, **38**, 313-327.
- Martoja, R., Berry, J-P. (1980) Identification of tiemannite as a probable product of demethylation of mercury by selenium in cetaceans: a complement to the scheme of the biological cycle of mercury. *Vie Milieu Paris*, **30**, 7-10.
- Mckenzie, C., Goldley, B. J., Furness, R. W., Wells, D. E. (1999) Concentrations and patterns of organochlorine contaminants in marine turtles from Mediterranean and Atlantic waters. *Mar. Environ. Res.*, **47**, 117-135.
- McKim Jr., J. M., Johnston, K. L. (1983) Polychlorinated biphenyls and p,p'-DDE in loggerhead and green postyearling Atlantic sea turtles. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **31**, 53-60.
- Minh, T. B., Watanabe, M., Nakata, H., Tanabe, S., Jefferson, T. (1999) Contamination by persistent organochlorines in small cetaceans from Hong Kong coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.*, **39**, 383-392.
- Minh, T. B., Watanabe, M., Tanabe, S., Miyazaki, N., Jefferson, T. A., Prudente, M. S., Subramanian, A., Karuppiah, S. (2000) Widespread contamination by *tris*(4-chlorophenyl)methane and *tris*(4-chlorophenyl)methanol in cetaceans from the North Pacific and Asian coastal waters. *Environ. Pollut.*, **110**, 459-468.
- Monirith, I., Ueno, D., Takahashi, S., Nakata, H., Sudaryanto, A., Subramanian, A., Karuppiah, S., Ismail, A., Muchtar, M., Zheng, J., Richardson, B. J., Prudente, M., Hue, N. D., Tana, T. S., Tkalin, A. V., Tanabe, S. (2003) Asia-Pacific mussel watch: monitoring contamination of persistent organochlorine compounds in coastal waters of Asian countries. *Mar. Pollut. Bull.*, **46**, 281-300.
- Nakata, H., Sakakibara, A., Kanoh, M., Kudo, S., Watanabe, H., Nagai, N., Miyazaki, N., Asano, Y., Tanabe, S. (2002) Evaluation of mitogen-induced responses in marine mammals and human lymphocytes by in-vitro exposure of butyltins and non-ortho coplanar PCBs. *Environ. Pollut.*, **120**, 245-253.
- Nam, D. H., Anan, Y., Ikemoto, T., Okabe, Y., Kim, E. Y., Subramanian, A., Saeki, K., Tanabe, S. (2005) Specific accumulation of 20 trace elements in great cormorants (*Phalacrocorax carbo*) from Japan. *Environ. Pollut.*, **134**, 503-514.
- O' Shea, T. J. (1999) Environmental contaminants and marine mammals. In: Reynolds, J. E. III, Rommel, S. A. (eds) *Biology of marine mammals*. Smithsonian Institution, Washington, DC, pp. 485-563.
- Ram, K., Kajiwara, N., Tanabe, S., Lam, P. K. S., Jefferson, T. A. (2005) Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and organochlorines in small cetaceans from Hong Kong waters: levels, profiles and distribution. *Mar. Pollut. Bull.*, **51**, 669-676.
- Rybitski, M. J., Hale, R. C., Musick, J. A. (1995) Distribution of organochlorine pollutants in Atlantic sea turtles. *Copeia*, **2**, 379-390.

- Sakai, H., Ichihashi, H., Suganuma, H., Tatsukawa, R. (1995) Heavy metal monitoring in sea turtles using eggs. *Mar. Pollut. Bull.*, **30**, 347-353.
- Sakai, H., Saeki, K., Ichihashi, H., Suganuma, H., Tanabe, S., Tatsukawa, R. (2000a) Species-specific distribution of heavy metals in tissues and organs of loggerhead turtle (*Caretta caretta*) and green turtle (*Chelonia mydas*) from Japanese coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.*, **40**, 701-709.
- Sakai, H., Saeki, K., Ichihashi, H., Kamezaki, N., Tanabe, S., Tatsukawa, R. (2000b) Growth-related changes in heavy metal accumulation in green turtle (*Chelonia mydas*) from Yaeyama Islands, Okinawa, Japan. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **39**, 378-385.
- Storelli, M. M., Ceci, E., Marcotrigiano, G. O. (1998) Distribution of heavy metal residues in some tissues of *Caretta caretta* (Linnaeus) specimen beached along the Adriatic Sea. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **60**, 546-552.
- Takeuchi, I., Takahashi, S., Tanabe, S., Miyazaki, N. (2004) Butyltin concentrations along the Japanese coast from 1997 to 1999 monitored by *Caprella* spp. (Crustacea: Amphipoda). *Mar. Environ. Res.*, **57**, 397-414.
- Tanabe, S., Prudente, M., Mizuno, T., Hasegawa, J., Iwata, H., Miyazaki, N. (1998) Butyltin contamination in marine mammals from North Pacific and Asian coastal waters. *Environ. Sci. Technol.*, **32**, 193-198.
- Ueno, S., Susa, N., Furukawa, Y., Sugiyama, M. (1994) Comparison of hepatotoxicity caused by mono-, di- and tributyltin compounds in marine mammals. *Environ. Pollut.*, **99**, 255-261.
- Ueno, D., Takahashi, S., Tanaka, H., Subramanian, A. N., Fillmann, G., Nakata, H., Lam, P. K. S., Zheng, J., Muchtar, M., Prudente, M., Chung, K. H., Tanabe, S. (2003) Global pollution monitoring of PCBs and organochlorine pesticides using skipjack tuna as a bioindicator. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **45**, 378-389.
- Ueno, D., Kajiwara, N., Tanaka, H., Subramanian, A., Fillmann, G., Lam, P. K. S., Zheng, G. J., Muchitar, M., Razak, H., Prudente, M., Chung, K., Tanabe, S. (2004a) Global pollution monitoring of polybrominated diphenyl ethers using skipjack tuna as a bioindicator. *Environ. Sci. Technol.*, **38**, 2312-2316.
- Ueno, D., Inoue, S., Takahashi, S., Ikeda, K., Tanaka, H., Subramanian, A. N., Fillmann, G., Lam, P. K. S., Zheng, J., Muchtar, M., Prudente, M., Chung, K., Tanabe, S. (2004b) Global pollution monitoring of butyltin compounds using skipjack tuna as a bioindicator. *Environ. Pollut.*, **127**, 1-12.
- Ueno, D., Alaei, M., Marvin, C., Muir, D. C. G., Macinnis, G., Reiner, E., Crozier, P., Furdui, V. I., Subramanian, A., Fillmann, G., Lam, P. K. S., Zheng, G. J., Muchitar, M., Razak, H., Prudente, M., Chung, K., Tanabe, S. (2006) Distribution and transportability of hexabromocyclododecane (HBCD) in the Asia-Pacific region using skipjack tuna as a bioindicator. *Environ. Pollut.*, **144**, 238-247.

図 1. 分析対象とした有機ハロゲン化合物の化学構造と主な用途

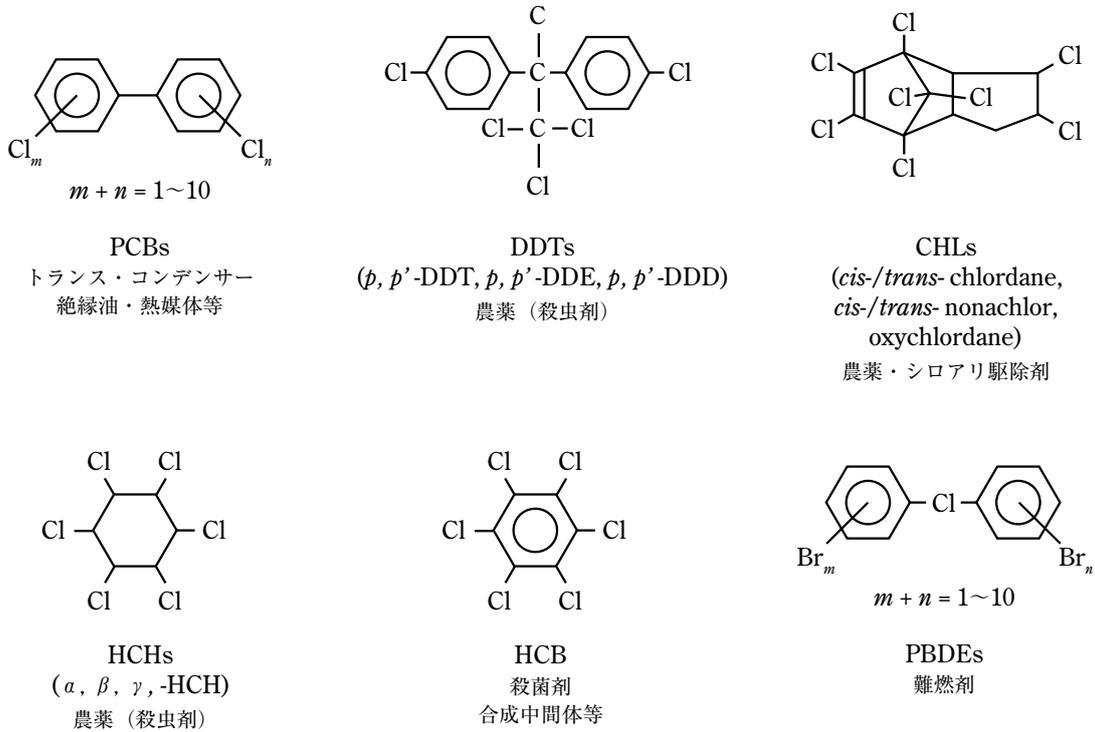


図 2. 分析対象とした有機スズ化合物の化学構造と主な用途

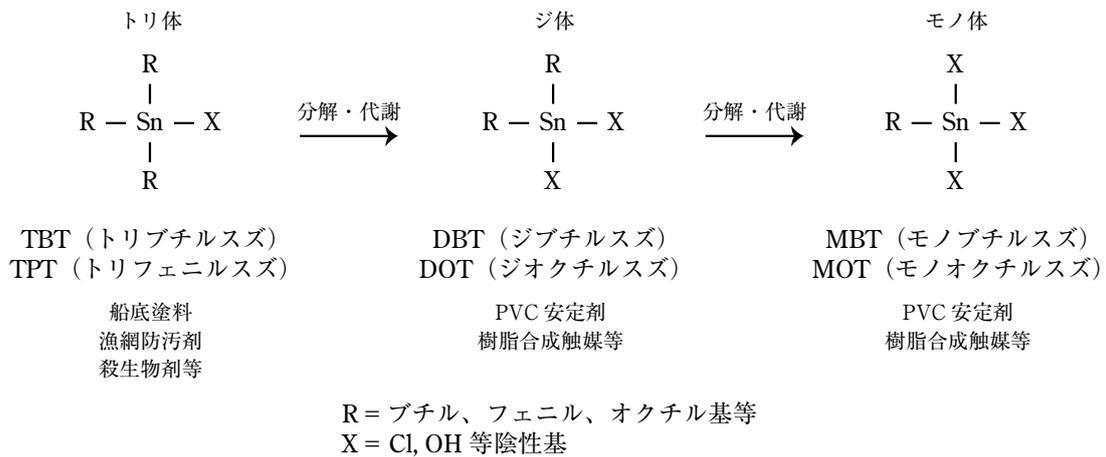


表 1. 供試した鯨類およびウミガメ類

種名	サンプル ID	採取場所	採取年	性別	体長 <sup>a</sup> (cm)	体重 (kg)	分析組織
ハンドウイルカ ( <i>Tursiops truncatus</i> )	1286	沖縄県・恩納村	2003	メス	124	28.0	筋肉・脂皮
マダライルカ ( <i>Stenella attenuata</i> )	1497	沖縄県・恩納村	2003	オス	198	53.8	筋肉・肝臓・腎臓
マッコウクジラ ( <i>Physeter macrocephalus</i> )	1504	沖縄県・西表島	2003	不明	800	-	脂皮
サラワイルカ ( <i>Lagenodelphis hosei</i> )		沖縄県・石垣島	2007	オス	250	-	脂皮・肝臓
アオウミガメ ( <i>Chelonia mydas</i> )	0304	沖縄県・石垣島	2003	オス	54.3	-	肝臓
	0324	沖縄県・石垣島	2003	メス	62.0	-	肝臓
	0332	沖縄県・石垣島	2003	オス	44.2	-	肝臓
	0424	沖縄県・石垣島	2004	オス	60.3	-	肝臓
	0428	沖縄県・石垣島	2004	メス	73.7	-	肝臓
	0522	沖縄県・石垣島	2005	メス	58.3	-	肝臓
タイマイ ( <i>Eretmochelys imbricata</i> )	0208	沖縄県・石垣島	2002	メス	37.9	-	肝臓
	0426	沖縄県・石垣島	2004	メス	31.9	-	肝臓
	0432	沖縄県・石垣島	2004	オス	31.3	-	肝臓
アカウミガメ ( <i>Caretta caretta</i> )	9802	沖縄県・石垣島	1998	メス	68.2	-	肝臓
	0508	沖縄県・石垣島	2005	メス	77.0	-	肝臓
	138	高知・室戸市	2006	オス	70.7	-	肝臓
	139	高知・室戸市	2006	オス	74.6	61	肝臓
	149	高知・室戸市	2006	メス	67.8	49	肝臓
	186	高知・室戸市	2006	メス	69.6	48	肝臓
オサガメ ( <i>Dermochelys coriacea</i> )	221	高知・室戸市	2006	オス	142.0	260	肝臓

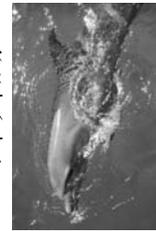
<sup>a</sup>ウミガメは直甲長

試料はすべて死に漂着または混獲死した個体から供した。

ウミガメ類・鯨類 試料採取場所



ハンドウイルカ



©WWF-Canon / Chris Martin BAHR

マダライルカ



©WWF-Canon / William W. ROSSITER

サラワイルカ



©イルカ&クジラ救援プロジェクト

アオウミガメ



©WWF-Canon / Jürgen FREUND

タイマイ



©WWF-Canon / Carlos DREWS

アカウミガメ



©WWF-Canon / Michel GUNTHER

オサガメ



©WWF-Canon / Ronald PETOCZ

表 2. 沖縄本島および西表島に漂着した鯨類の脂皮中有機ハロゲン化合物濃度 (ng/g 脂肪重当り)

種名	採取場所	採取年	性別	組織	体長 (cm)	脂肪含量 (%)	PCBs	DDT Compounds			HCH Compounds			CHL Compounds								
								p,p'-DDE	p,p'-DDD	p,p'-DDT	α-HCH	β-HCH	γ-HCH	Oxy	t-CA	c-CA	t-nona	c-nona	CHLs	HCB		
ハンドウイルカ	沖縄本島	2003	オス	脂皮	124	48	6600	10000	1800	2500	15000	36	290	25	350	460	27	400	2300	630	3800	240
マッコウクジラ	西表島	2003	-	脂皮	800	7.5	4500	5100	710	680	6500	<0.1	44	<0.1	44	74	43	140	580	170	1000	88
サラワクイルカ	石垣島	2007	オス	脂皮	250	77.0	12000	24000	700	1000	26000	3.0	110	2.9	110	230	48	240	3400	520	4500	110
				肝臓		4.8	9500	13000	540	87	14000	28	310	<0.1	340	110	<0.1	150	1200	210	1700	190
				筋肉		1.3	16000	20000	960	240	21000	74	270	<0.1	340	230	260	2200	490	3200	160	

種名	採取場所	採取年	性別	組織	体長 (cm)	脂肪含量 (%)	PBDE congeners			PBDEs						
							BDE3	BDE15	BDE28	BDE47	BDE99	BDE100	BDE153	BDE154	BDE183	
ハンドウイルカ	沖縄本島	2003	オス	脂皮	124	48	<0.2	<0.2	10	200	19	35	6.0	22	<0.2	290
マッコウクジラ	西表島	2003	-	脂皮	800	7.5	<0.2	<0.2	2.4	40	5.3	8.3	6.4	21	<0.2	83
サラワクイルカ	石垣島	2007	オス	脂皮	250	77.0	<0.2	<0.2	3.5	100	15	45	67	160	4.3	390
				肝臓		4.8	<0.2	<0.2	2.2	54	7.0	23	24	64	1.3	180
				筋肉		1.3	<0.2	<0.2	4.6	110	15	50	60	150	3.7	390

表 3. 日本沿岸および東南アジアに漂着した鯨類組織中の有機ハロゲン化合物濃度

種名	採取場所	採取年	成長段階	性別	検体数	DDTs		PCBs		PBDEs		引用文献
						濃度 (μg/g lipid wt)						
マッコウクジラ	西表島・沖縄県	2003	-	-	1	6.5	4.5	83	本研究			
ハンドウイルカ	恩納村・沖縄県	2003	Immature	オス	1	15	6.6	290	本研究			
サラワクイルカ	石垣島・沖縄県	2007	-	オス	1	26	12	390	本研究			
シヤチ	羅臼・北海道	2004	Mature	オス	1	220	57	270	Kajiwara et al.(2006)			
カズハゴンドウ	鹿児島沿岸	2001	Mature	オス	5	27 (18-33)	24 (15-30)	320 (300-340)	Kajiwara et al.(2006)			
スナメリ	瀬戸内海	1998-2001	Mature	オス	6	64 (7.5-270)	220 (44-820)	730 (410-1300)	Kajiwara et al.(2006)			
オウギハクジラ	日本海沿岸	1996-2001	Mature	オス	12	72 (10-130)	31 (9.7-45)	530 (390-650)	Kajiwara et al.(2006)			
イシイルカ	三陸沖	2000	Mature	オス	5	130 (67-200)	67 (43-160)	57 (29-100)	Kajiwara et al.(2006)			
シナウスイロイルカ	香港	1994-1997	-	オス	7	110 (43-210)	27 (6.8-64)	2200 (280-6000)	Minh et al.(1999)			
シナウスイロイルカ	香港	1997-2001	Mature	オス	5	110 (43-210)	27 (6.8-64)	710 (200-980)	Ramu et al.(2005)			
スナメリ	香港	1993-1997	-	オス	3	7.4 (6.6-8.2)	3.8 (3.6-3.9)	6.3 (5.8-13)	Minh et al.(1999)			
スナメリ	香港	2000-2001	Mature	オス	4	11 (8.3-14)			Ramu et al.(2005)			
ハシナガイルカ	ミンダナオ・フィリピン	1996	Mature	オス	2				Minh et al.(2000)			
サラワクイルカ	ミンダナオ・フィリピン	1996	Mature	オス	3				Minh et al.(2000)			

表 4. 沖繩本島に漂着した鯨類の肝臓中有機スズ化合物濃度 (ng/g 湿重当り)

種名	採取場所	採取年	性別	体長 (cm)	BT Compounds			PT Compounds			OcT Compounds			
					MBT	DBT	TBT	DPT	TPT	MOcT	DOcT	TOcT		
マダライルカ	沖繩本島	2003	オス	198	44	610	270	950	2.4	13	15	<0.4	<0.6	<0.6
サラワクイルカ	石垣市	2007	オス	250	12	47	37	96	12	7.0	19	2.3	5.6	7.9

表 5. 日本沿岸に分布する鯨類の肝臓から検出されたブチルスズ化合物濃度 (ng/g 湿重当り)

種名	採取地点	採取年	体長 (cm)	検体数	MBT	DBT	TBT	BTs	引用文献		
									MOcT	DOcT	TOcT
マダライルカ	沖繩	2003	198	1	44	610	270	920	本研究		
サワラクイルカ	石垣	2007	250	1	12	47	37	96	本研究		
オウギハクジラ	新潟	1993	429	1	67	280	52	400	Tanabe et al. (1998)		
イチヨウハクジラ	山形	1993	479	1	120	130	76	330	Tanabe et al. (1998)		
ツチクジラ	鮎川	1988	930-1060	3	46.0 (17-95)	140 (80-180)	23 (9-30)	210 (110-310)	Tanabe et al. (1998)		
ハンドウイルカ	太地	1986	254-287	4	480 (310-560)	1900 (1600-2100)	470 (390-540)	2800 (2600-3000)	Tanabe et al. (1998)		
シロハイルカ	太地	1986	169	1	450	2200	670	3300	Tanabe et al. (1998)		
オガワコッコウ	豊橋	1993	265	1	200	470	55	730	Tanabe et al. (1998)		
ユメゴンドウ	鳥取	1997	270	1	75	120	31	230	Tanabe et al. (1998)		
シヤチ	太地	1986	598-636	3	710 (480-1100)	1600 (1500-1900)	180 (150-220)	2500 (2200-2700)	Tanabe et al. (1998)		
イシイルカ	三陸沿岸	1995	163-195	3	97 (50-120)	430 (180-600)	230 (110-310)	760 (340-1000)	Tanabe et al. (1998)		
スナメリ	瀬戸内海	1985	162	1	3000	6100	1100	10000	Tanabe et al. (1998)		
	伊勢・三河湾	1994	139	1	680	1800	810	3300	Tanabe et al. (1998)		
	太平洋沿岸	1981	151	1	130	790	200	1100	Tanabe et al. (1998)		

表 6. 南西諸島および他海域に分布する鯨類の組織中微量元素濃度 (μg/g 乾重当り)

種名	採取場所	採取年	組織	検体数	V	Cr	Mn	Co	Cu	Zn	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Cs	Ba	Hg	Tl	Pb	Bi	引用文献
ハンドウイルカ	沖縄本島	2003	筋肉	1	0.020	0.63	0.657	0.011	4.88	111	0.57	4.87	0.203	0.040	0.002	0.002	0.002	0.016	0.01	0.09	0.008	0.43	0.079	<0.001	0.002	本研究
マダライルカ	沖縄本島	2003	筋肉	1	0.017	0.27	0.433	0.005	4.37	43.1	2.5	6.93	0.103	0.032	<0.001	0.102	0.001	0.192	<0.01	0.13	0.011	7.8	<0.001	0.004	<0.001	本研究
			肝臓	1	0.11	0.19	10.5	0.019	15.7	115	47	6.76	0.240	1.44	1.4	22.2	0.014	1.86	0.02	0.08	0.015	77	0.011	0.170	0.017	本研究
			腎臓	1	0.021	0.15	1.66	0.011	15.4	116	29	8.01	0.531	0.219	0.19	97.7	<0.001	0.284	<0.01	0.10	0.011	24	0.014	0.034	0.009	本研究
サラワイルカ	石垣島	2007	筋肉	1	0.48	0.56	5.45	0.11	6.45	110	65	3.86	56.9	0.203	0.61	10.4	0.003	0.062	<0.01	0.08	0.71	170	0.005	0.201	0.005	本研究
			肝臓	1	0.37	0.28	11.80	0.072	45.2	128	660	4.16	21.9	2.90	8.90	64.5	0.003	0.175	<0.01	0.06	0.32	1,600	0.022	0.211	0.014	本研究
			腎臓	1	0.062	0.24	2.59	0.073	19.0	93.7	30	4.21	3.07	0.163	0.30	178	0.003	0.078	<0.01	0.08	0.17	39	0.020	0.049	0.005	本研究
コビトイルカ	ブラジル	1997-1999	肝臓	20	0.13	0.83	9.84	0.027	31.6	192	38	4.09	0.384	2.55	1.9	0.654										Kunito et al. (2004)
ラブラタカワイルカ	ブラジル	1997-1999	肝臓	23	0.089	0.49	14.8	0.040	44.5	152	91	5.34	0.523	2.28	2.4	0.404										Kunito et al. (2004)
タイセイヨウマダライルカ	ブラジル	1997-1999	肝臓	2	0.24	0.64	14.9	0.023	40.6	361	79	4.69	0.317	2.74	1.5	30.9										Kunito et al. (2004)
マイルカ	ブラジル	1997-1999	肝臓	1	0.30	0.42	12.4	0.043	27.7	158	30	4.33	0.128	2.95	0.82	2.55										Kunito et al. (2004)
スジイルカ	ブラジル	1997-1999	肝臓	1.0	0.061	0.23	12.3	0.041	33.4	287	190	4.31	0.299	2.34	3.2	7.83										Kunito et al. (2004)



表 8. 本研究で供試したウミガメ類肝臓中の有機塩素化合物濃度 (ng/g 湿重当り) と文献値との比較

種名	採取地点	採取年	成長段階	体重 (kg)	曲甲長 (cm)	直甲長 (cm)	検体数	有機塩素化合物濃度			HCB	引用文献
								ΣPCB	ΣDDT	ΣCHLs		
アオウミガメ	フロリダ, アメリカ	不明 (1983以前)		4~12			4	<5.0-70	<1.0			McKim & Johnston (1983)
	カリフォルニア半島, メキシコ	不明 (2003以前)		14~45			7	<3.0-44.7	<3.0-7.8	nd-18.6		Gardner et al. (2003)
	キプロス (地中海)	1995-96			30-57		9	<1.1-47	<1.0-21			Mckenzie et al. (1999)
アカウミガメ	石垣島, 日本	2003-2005		約20-50			5	0.04-0.92	0.008-0.27	0.028-0.065		本研究
	フロリダ, アメリカ	不明 (1983以前)		22~61			8	<5.0-133	<0.1-51			McKim & Johnston (1983)
	ノースカロライナ, アメリカ	不明 (1995以前)	juvenile				17	8.3-514	<2.0-458			Rybitski et al. (1995)
タイマイ	カリフォルニア半島, メキシコ	不明 (2003以前)		11~23			1	58.1	10.4	3.5		Gardner et al. (2003)
	地中海	1993					4	69-205				Corsolini et al. (2000)
	キプロス・ギリシヤ (地中海)	1994-95			23-67		4	50-102	49-77	1.8-5.0		Mckenzie et al. (1999)
オリープヒメウミガメ	イギリス	1995		約50-60			1	159	152	nm		Mckenzie et al. (1999)
	石垣島, 日本	1998-2005			68-77		2	1.3-3.8	2.0-3.8	0.6-1.4		本研究
	高知, 日本	2006			71-75		2	1.2-2.1	1.7-2.4	0.29-0.50		本研究
オサガメ	石垣島, 日本	2002-2004			31-38		3	2.5-13	0.56-9.0	0.65-1.4		本研究
	カリフォルニア半島, メキシコ	不明 (2003以前)					1	41	<3.0	<3.0		Gardner et al. (2003)
	Long Is., アメリカ	1980-89	juvenile		141-151		?	272-655				Lake et al. (1994)
	イギリス	1993-95					2	3.1-3.7	9.1-14	2.3-2.3		Mckenzie et al. (1999)

表 9. 石垣島および高知沿岸に漂着したウミガメ類の肝臓中有機スス化合物濃度 (ng/g 湿重当り)

種名	サンプリングID	採取場所	採取年	性別	標準直甲長 (cm)	MBT	DBT	TBT	MOT	DOT	TOT	DPT	TPT
	0324	石垣島	2003	オス	62.0	<4.0	13.0	<0.3	<5.0	<0.3	<0.5	<0.5	<0.5
	0332	石垣島	2003	メス	44.2	<4.0	<0.2	<0.3	<5.0	<0.3	<0.5	<0.5	<0.5
	0424	石垣島	2004	オス	60.3	<4.0	<0.2	<0.3	<5.0	<0.3	<0.5	<0.5	<0.5
	0428	石垣島	2004	メス	73.7	<4.0	0.4	<0.3	<5.0	<0.3	<0.5	<0.5	<0.5
	0522	石垣島	2005	メス	58.3	<4.0	<0.2	<0.3	<5.0	<0.3	<0.5	<0.5	<0.5
タイマイ	0208	石垣島	2002	メス	37.9	6.8	16	<0.3	<0.3	<0.3	<0.5	<0.5	<0.5
	0426	石垣島	2004	メス	31.9	<4.0	65	<0.3	<0.3	<0.3	<0.5	<0.5	<0.5
	0432	石垣島	2004	オス	31.3	<4.0	51	<0.3	<0.3	<0.3	<0.5	<0.5	<0.5
アカウミガメ	9802	石垣島	1998	メス	68.2	<4.0	2.6	<0.3	<0.3	<0.3	<0.5	<0.5	<0.5
	0508	石垣島	2005	メス	77.0	8.2	18	0.8	<0.3	<0.3	<0.5	<0.5	<0.5
	138	高知	2006	オス	70.7	<4.0	18	<0.3	<0.3	<0.3	<0.5	<0.5	<0.5
	139	高知	2006	オス	74.6	<4.0	1.8	<0.3	<0.3	<0.3	<0.5	<0.5	<0.5

表 10. 石垣島および高知沿岸に漂着したウミガメ類の肝臓中微量元素濃度 (μg/g 乾重当り)

種名	サンプリング ID	採取場所	採取年	性別	標準直甲長 (cm)	V	Cr	Mn	Co	Cu	Zn	Ga	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Cs	Ba	Hg	Tl	Pb	Bi	
アオウミガメ	0304	石垣島	2003	オス	54.3	0.44	0.58	3.92	0.11	165	155	0.005	4.0	4.83	8.27	0.830	13	17.1	<0.001	0.046	0.33	<0.01	0.060	3.1	0.002	0.331	0.005	
	0324	石垣島	2003	メス	62.0	0.28	0.34	3.75	0.70	70.1	84.2	0.018	1.7	1.67	7.59	0.567	6.7	6.89	<0.001	0.009	0.24	<0.01	0.23	0.42	0.001	0.175	0.004	
	0332	石垣島	2003	オス	44.2	0.15	0.41	6.42	1.0	113	137	0.009	1.9	2.96	8.81	0.426	0.62	9.89	<0.001	0.043	0.03	<0.01	0.14	0.11	0.002	1.75	<0.001	
	0424	石垣島	2004	オス	60.3	0.50	0.39	5.20	0.55	30.0	109	0.012	1.6	2.20	2.15	0.845	2.5	13.1	<0.001	0.008	0.46	<0.01	0.087	0.26	0.002	0.185	0.004	
	0428	石垣島	2004	メス	73.7	0.35	0.36	2.28	0.048	90.2	115	0.007	1.6	4.28	19.0	0.786	2.2	8.71	<0.001	0.018	0.47	<0.01	0.061	0.96	0.002	0.050	0.005	
	0522	石垣島	2005	メス	58.3	0.78	0.37	4.00	0.62	54.8	92.5	0.014	2.2	3.00	6.98	0.819	5.3	9.89	<0.001	0.010	0.37	<0.01	0.114	0.77	0.001	0.268	0.004	
	0208	石垣島	2002	メス	37.9	0.65	0.27	4.89	1.3	58.5	178	0.095	10	3.56	225	0.763	1.6	5.61	<0.001	0.088	0.02	<0.01	1.7	0.49	0.005	0.340	0.002	
	0426	石垣島	2004	メス	31.9	0.083	0.21	10.3	0.50	32.4	152	0.003	16	6.72	1.80	0.288	0.053	2.48	0.001	0.228	<0.01	0.036	0.08	0.002	0.137	0.002		
	0432	石垣島	2004	オス	31.3	0.21	0.27	7.37	0.82	21.2	109	0.015	20	4.53	7.25	0.528	0.45	4.14	0.001	0.226	0.02	0.01	0.30	0.48	0.002	0.141	0.002	
	9802	石垣島	1998	メス	68.2	4.0	0.23	2.63	0.15	19.1	114	0.034	25	2.64	17.0	0.504	0.10	29.8	<0.001	0.084	0.05	<0.01	0.62	0.76	0.003	0.512	<0.001	
アカウミガメ	0508	石垣島	2005	メス	77.0	2.6	0.18	2.32	0.13	46.6	65.6	0.041	15	2.02	15.7	0.467	0.40	25.3	<0.001	0.044	0.04	<0.01	0.77	0.60	0.005	0.212	<0.001	
	138	高知	2006	オス	70.7	6.5	0.30	8.68	0.33	28.0	112	0.010	25	12.4	1.41	0.820	0.28	41.3	<0.001	0.040	0.11	0.01	0.16	1.2	0.021	0.782	<0.001	
	139	高知	2006	オス	74.6	5.7	0.40	6.77	0.69	16.7	95.4	0.010	20	10.1	2.73	1.49	0.043	32.2	<0.001	0.022	0.16	0.01	0.15	1.0	0.008	0.493	<0.001	
	149	高知	2006	メス	67.8	4.7	0.27	7.60	0.31	19.7	141	0.006	25	8.27	1.76	0.834	0.18	47.0	0.001	0.025	0.10	<0.01	0.084	1.0	0.014	0.732	0.001	
	186	高知	2006	メス	69.6	2.3	0.33	7.55	0.33	23.3	104	0.010	23	8.12	3.26	0.826	0.13	26.5	<0.001	0.036	0.07	<0.01	0.18	0.61	0.013	0.667	<0.001	
	221	高知	2006	オス	142.0	3.1	0.25	7.53	0.57	83.5	188	0.032	47	7.79	4.15	2.03	0.86	65.0	<0.001	0.021	0.07	<0.01	0.61	2.5	0.011	1.52	0.001	
	オサガメ	0432	石垣島	2004	オス	31.3	0.21	0.27	7.37	0.82	21.2	109	0.015	20	4.53	7.25	0.528	0.45	4.14	0.001	0.226	0.02	0.01	0.30	0.48	0.002	0.141	0.002
		9802	石垣島	1998	メス	68.2	4.0	0.23	2.63	0.15	19.1	114	0.034	25	2.64	17.0	0.504	0.10	29.8	<0.001	0.084	0.05	<0.01	0.62	0.76	0.003	0.512	<0.001
		0508	石垣島	2005	メス	77.0	2.6	0.18	2.32	0.13	46.6	65.6	0.041	15	2.02	15.7	0.467	0.40	25.3	<0.001	0.044	0.04	<0.01	0.77	0.60	0.005	0.212	<0.001
		138	高知	2006	オス	70.7	6.5	0.30	8.68	0.33	28.0	112	0.010	25	12.4	1.41	0.820	0.28	41.3	<0.001	0.040	0.11	0.01	0.16	1.2	0.021	0.782	<0.001
139		高知	2006	オス	74.6	5.7	0.40	6.77	0.69	16.7	95.4	0.010	20	10.1	2.73	1.49	0.043	32.2	<0.001	0.022	0.16	0.01	0.15	1.0	0.008	0.493	<0.001	
149		高知	2006	メス	67.8	4.7	0.27	7.60	0.31	19.7	141	0.006	25	8.27	1.76	0.834	0.18	47.0	0.001	0.025	0.10	<0.01	0.084	1.0	0.014	0.732	0.001	
186		高知	2006	メス	69.6	2.3	0.33	7.55	0.33	23.3	104	0.010	23	8.12	3.26	0.826	0.13	26.5	<0.001	0.036	0.07	<0.01	0.18	0.61	0.013	0.667	<0.001	
221		高知	2006	オス	142.0	3.1	0.25	7.53	0.57	83.5	188	0.032	47	7.79	4.15	2.03	0.86	65.0	<0.001	0.021	0.07	<0.01	0.61	2.5	0.011	1.52	0.001	
ヒメウミガメ		0432	石垣島	2004	オス	31.3	0.21	0.27	7.37	0.82	21.2	109	0.015	20	4.53	7.25	0.528	0.45	4.14	0.001	0.226	0.02	0.01	0.30	0.48	0.002	0.141	0.002
		9802	石垣島	1998	メス	68.2	4.0	0.23	2.63	0.15	19.1	114	0.034	25	2.64	17.0	0.504	0.10	29.8	<0.001	0.084	0.05	<0.01	0.62	0.76	0.003	0.512	<0.001
	0508	石垣島	2005	メス	77.0	2.6	0.18	2.32	0.13	46.6	65.6	0.041	15	2.02	15.7	0.467	0.40	25.3	<0.001	0.044	0.04	<0.01	0.77	0.60	0.005	0.212	<0.001	
	138	高知	2006	オス	70.7	6.5	0.30	8.68	0.33	28.0	112	0.010	25	12.4	1.41	0.820	0.28	41.3	<0.001	0.040	0.11	0.01	0.16	1.2	0.021	0.782	<0.001	
	139	高知	2006	オス	74.6	5.7	0.40	6.77	0.69	16.7	95.4	0.010	20	10.1	2.73	1.49	0.043	32.2	<0.001	0.022	0.16	0.01	0.15	1.0	0.008	0.493	<0.001	
	149	高知	2006	メス	67.8	4.7	0.27	7.60	0.31	19.7	141	0.006	25	8.27	1.76	0.834	0.18	47.0	0.001	0.025	0.10	<0.01	0.084	1.0	0.014	0.732	0.001	
	186	高知	2006	メス	69.6	2.3	0.33	7.55	0.33	23.3	104	0.010	23	8.12	3.26	0.826	0.13	26.5	<0.001	0.036	0.07	<0.01	0.18	0.61	0.013	0.667	<0.001	
	221	高知	2006	オス	142.0	3.1	0.25	7.53	0.57	83.5	188	0.032	47	7.79	4.15	2.03	0.86	65.0	<0.001	0.021	0.07	<0.01	0.61	2.5	0.011	1.52	0.001	
	オサガメ	0432	石垣島	2004	オス	31.3	0.21	0.27	7.37	0.82	21.2	109	0.015	20	4.53	7.25	0.528	0.45	4.14	0.001	0.226	0.02	0.01	0.30	0.48	0.002	0.141	0.002
		9802	石垣島	1998	メス	68.2	4.0	0.23	2.63	0.15	19.1	114	0.034	25	2.64	17.0	0.504	0.10	29.8	<0.001	0.084	0.05	<0.01	0.62	0.76	0.003	0.512	<0.001
0508		石垣島	2005	メス	77.0	2.6	0.18	2.32	0.13	46.6	65.6	0.041	15	2.02	15.7	0.467	0.40	25.3	<0.001	0.044	0.04	<0.01	0.77	0.60	0.005	0.212	<0.001	
138		高知	2006	オス	70.7	6.5	0.30	8.68	0.33	28.0	112	0.010	25	12.4	1.41	0.820	0.28	41.3	<0.001	0.040	0.11	0.01	0.16	1.2	0.021	0.782	<0.001	
139		高知	2006	オス	74.6	5.7	0.40	6.77	0.69	16.7	95.4	0.010	20	10.1	2.73	1.49	0.043	32.2	<0.001	0.022	0.16	0.01	0.15	1.0	0.008	0.493	<0.001	
149		高知	2006	メス	67.8	4.7	0.27	7.60	0.31	19.7	141	0.006	25	8.27	1.76	0.834	0.18	47.0	0.001	0.025	0.10	<0.01	0.084	1.0	0.014	0.732	0.001	
186		高知	2006	メス	69.6	2.3	0.33	7.55	0.33	23.3	104	0.010	23	8.12	3.26	0.826	0.13	26.5	<0.001	0.036	0.07	<0.01	0.18	0.61	0.013	0.667	<0.001	
221		高知	2006	オス	142.0	3.1	0.25	7.53	0.57	83.5	188	0.032	47	7.79	4.15	2.03	0.86	65.0	<0.001	0.021	0.07	<0.01	0.61	2.5	0.011	1.52	0.001	
オサガメ		0432	石垣島	2004	オス	31.3	0.21	0.27	7.37	0.82	21.2	109	0.015	20	4.53	7.25	0.528	0.45	4.14	0.001	0.226	0.02	0.01	0.30	0.48	0.002	0.141	0.002
		9802	石垣島	1998	メス	68.2	4.0	0.23	2.63	0.15	19.1	114	0.034	25	2.64	17.0	0.504	0.10	29.8	<0.001	0.084	0.05	<0.01	0.62	0.76	0.003	0.512	<0.001
	0508	石垣島	2005	メス	77.0	2.6	0.18	2.32	0.13	46.6	65.6	0.041	15	2.02	15.7	0.4												

# 南西諸島に生息する水棲生物の有害化学物質調査 —魚介類の汚染に関する報告—

田辺信介・高橋 真・Govindan Malarvannan・  
池本徳孝・阿南弥寿美・国末達也・磯部友彦・阿草哲郎  
(愛媛大学沿岸環境科学研究センター)

中村 將  
(琉球大学熱帯生物圏研究センター)



# 南西諸島に生息する水棲生物の有害化学物質調査 — 魚介類の汚染に関する報告 —

田辺信介・高橋 真・Govindan Malarvannan・池本徳孝・阿南弥寿美・国末達也・磯部友彦・阿草哲郎  
(愛媛大学沿岸環境科学研究センター)

中村 将  
(琉球大学熱帯生物圏研究センター)

## 背景と目的

日本列島の南端に位置する南西諸島には、世界有数のサンゴ礁海域が存在し、また多くの希少生物が生息するなど生物多様性も高く、環境保全上極めて重要な場として知られている。一方、近年経済発展の著しい中国や東南アジア諸国に隣接することから、南西諸島を含む東シナ海の環境変化、とくに有害化学物質による生態系への汚染や影響が懸念されている。こうした背景のもと、本研究グループは、カツオや二枚貝などの魚介類を指標生物として、残留性有機汚染物質 (POPs) に関するアジア-太平洋地域の汚染実態調査を実施してきた (Ueno et al. 2003; 2004a; Monirith et al. 2003)。その結果、東シナ海や中国沿岸域における一部 POPs (DDTs など) の汚染はアジアの他地域より顕在化していることが明らかとなった。さらに、近年新たな残留性汚染物質として注目されている臭素系難燃剤、ポリ臭素化ジフェニルエーテル (PBDEs) も、東シナ海のカツオは他の海域より高い濃度を示している (Ueno et al. 2004a)。また、那覇港の海水からは日本沿岸の中でも比較的高い濃度の有機スズ化合物が検出されており (Takeuchi et al. 2004)、他の南西諸島港湾海域についても類似の汚染が懸念される。

そこで本研究では、沖縄本島および石垣島の河川・沿岸・沖合から採取した魚介類 (カツオ・ティラピア・ボラ・貝類・カニ類) を対象とした環境調査を展開し、有機ハロゲン化合物や有機スズ化合物、微量元素による水圏生態系汚染の実態解明を試みた。また、ティラピアとボラについて、生殖腺重量の測定や組織・形態異常の観察、血中ビテロジェニン濃度の測定を実施し、有害化学物質の蓄積濃度との関連性を解析した。

## 試料と方法

### 1) 試料

試料は 2005 年 9 月にカツオ (*Katsuwonus pelamis*) を石垣島沖合の 2 海域から採取した (東シナ海側: N24°38.081', E123°58.720', 太平洋側: N24°09.546', E124°20.461')。また、2005 年 8 月～2006 年 7 月にかけてティラピア (*Oreochromis spp.*)、ボラ (*Mugilidae spp.*)、リュウキュウヒバリガイ (*Modiolus auriculatus*)、カノコガイ (*Clithon sowerby*)、クモガイ (*Lambis lambis*)、ノコギリガザミ (*Scylla sp.*)、アカテノコギリガザミ (*Scylla olivacea*)、フタハオサガニ (*Macrophthalmos convexus*) を沖縄本島および石垣島から採取した。分析に供したこれら魚介類の採取場所・検体数・体長等について表 1 に示す。試料は分析時まで -20℃ で冷凍保存した。

## 2) 分析方法

各物質の分析法は既報 (Ueno et al. 2004a; 2006; 岩村ら 2000; Nam et al. 2005) に従い、有機ハロゲン化合物 (PCBs、DDTs、CHLs、HCHs、HCB、PBDEs) は GC-ECD および GC-MS で、有機スズ化合物 (ブチルスズ、フェニルスズ、オクチルスズ化合物) は GC-MS で、微量元素 (V、Cr、Mn、Co、Cu、Zn、Ga、Se、Rb、Sr、Mo、Ag、Cd、In、Sn、Sb、Cs、Ba、Hg、Tl、Pb、Bi) は ICP-MS、CV-AAS および HG-AAS で測定した。本研究で分析対象とした有機ハロゲン化合物および有機スズ化合物の化学構造と主な用途を図 1 および図 2 に示す。また、魚類 (ティラピア・ボラ) について、血中ビテロジェニン (VTG) をマンシーニー法により測定した。さらに同検体を解剖し、生殖腺により雌雄を判別した後、生殖腺重量 (GW) を測定するとともに、組織学的観察を行った。生殖腺重量と体重から生殖腺指数 ( $GSI = \text{生殖腺重量} / \text{体重} \times 100$ ) を算出した。

測定結果について、地域間や種間の濃度差を検討するため、正規分布データについては T 検定を、非正規分布のデータについては U 検定を実施し、統計処理を行った。各物質の濃度と VTG、GSI との相関については、スピアマン順位相関検定で有意性を検証した。

## 結果と考察

### 有機ハロゲン化合物

#### ①カツオ

石垣島の太平洋沖および東シナ沖から採取した全ての検体から有機ハロゲン化合物が検出された (表 2、表 3)。なかでも、PCBs が最も高い濃度で検出され、次いで DDTs > CHLs ≃ PBDEs > HCB > HCHs の順であった。これら有機ハロゲン化合物の濃度レベルは、日本近海や台湾沖、東シナ海の他海域で採取されたカツオに比べ概して低値であった (Ueno et al., 2003, 2004a)。また、PCBs、CHLs、HCB、HCHs は、東シナ海側よりも太平洋側で採取された検体から有意に高濃度で検出された ( $p < 0.05$ , T 検定)。このことは、石垣島の太平洋沖と東シナ海沖で採取されたカツオの系群や回遊ルートが異なっていることを示唆している。

#### ②ティラピア・ボラ

石垣島および沖縄本島で採取した全ての検体から有機ハロゲン化合物が検出された (表 4、表 5)。概して、CHLs または DDTs が最も高い濃度で検出され、次いで PCBs > PBDEs > HCHs > HCB の順であった。ティラピアおよびボラの雌雄における濃度差は、いずれの物質でも認められなかった ( $p > 0.05$ , U 検定)。ティラピアやボラはカツオに比べ有機ハロゲン化合物を高濃度で蓄積しており、また採取地域によって大きな濃度差が認められた。とくに沖縄本島で採取した検体からは、CHLs、DDTs、PCBs、PBDEs が高濃度で検出され、これら地域における固有な汚染源の存在が示唆された。漫湖 (饒波川水系) は以前から生活排水などによる富栄養化が指摘されてきた。近年、有機汚濁の指標は回復傾向にあるものの、CHLs などかつてシロアリ駆除剤として多用された有機塩素化合物は今なおこれら地域の生態系に残留していることが示唆された。また、比謝川も沖縄本島で最大の流域面積を持ち、生活排水や農・畜産系の排水が流入していることに加え、米軍基地が流域の大半を占めることから、基地活動による影響も考えられる。とくに比謝川のティラピアとボラでは DDTs や PBDEs の濃度が高く、HCHs の異性体の中でも  $\gamma$ -HCH の残留割合が高いなど、これまで日本沿岸や近海性の魚類 (環境省, 2005, 2006; Ueno et al., 2003, 2004a) で報告されている傾向とは異なる残留パターンが認められた。 $\gamma$ -HCH は、

日本ではBHC（テクニカルHCH）に比べるときわめて使用量が少なかったリンデンと呼ばれる殺虫剤の主成分である。よって、上記の結果は米軍基地においてかつてリンデンやDDTsが使用されたことを示唆している。PBDEsについても、Penta-BDEs製剤の使用量の多い北米でその汚染レベルの高いことが報告されており（Dodder et al., 2002; Rayne et al., 2003）、米軍基地等からの影響が考えられる。今回比謝川のティラピアやボラから検出されたPBDEs濃度は北米の魚類に匹敵するレベルであり、他の日本沿岸や近海性の魚類における報告値（Akutsu et al., 2001; Ueno et al., 2004a）よりも高い濃度を示した。また、漫湖（饒波川）や恩納村（志嘉座川）のティラピアやボラからも比較的高濃度でPBDEsが検出され、沖縄本島の生態系はPBDEsによる汚染が進行していると考えられた。DDTs、CHLs、HCHsの汚染に関しても、沖縄本島から採取されたティラピアやボラは、他の日本沿岸や近海性の魚類（環境省, 2005, 2006; Ueno et al. 2003）よりも高い残留レベルを示している。とくにCHLsの残留濃度はこれまでの日本における調査報告の中でも最高レベルにあり、沖縄本島においてかつてCHLsが大量使用されたことを反映している。実際、昭和54年に沖縄県で59トンのクロルデンが販売されていたこと、県内各地の魚類にCHLsが高濃度で蓄積していたことなどが報告されている（大城, 1981）。

また、ティラピアとボラでは、いくつかの有機塩素化合物の蓄積に種間差が認められた。すなわち、ボラはティラピアに比べ、概してオキシクロルダン(Oxy-CA)に対する*cis*-クロルダン(c-CA)の残留割合が高く、漫湖（饒波川）の検体では高濃度のPCBs残留が認められた。ボラはティラピアよりも底性であることから、底質由来の暴露が両種における残留パターンの違いに反映していると考えられる。すなわち、還元的な底質中では、c-CAがOxy-CAに分解されずに残留していること、漫湖（饒波川）の底質にはPCBsが高濃度で残留していること、などが推察される。事実、漫湖ではかつて那覇大橋に使用された塗料がPCBsを含有していたため、底質中に相当量のPCBsが残留している可能性がある。漫湖（饒波川）のボラにおけるPCBs濃度は、東京湾や大阪湾などの都市域で採取された魚類（環境省, 2005, 2006）に匹敵する残留レベルであった。

### ③貝類・カニ類

全ての検体・種から有機ハロゲン化合物が検出された（表6、表7）。沖縄本島（漫湖-饒波川）のノコギリガザミを除けば、これら沿岸性の貝類やカニ類における有機ハロゲン化合物の蓄積濃度は、石垣島のティラピアやボラと同程度であり、沖縄本島のティラピアやボラよりも低値を示した。また、貝類では採取地域（石垣島-沖縄本島）による濃度差も明らかではなかった。このことはおそらく、ティラピアやボラなどの魚類は、陸上からの汚染物質が集積する河口や汽水域における暴露を反映するのに対し、貝類は生息域が河口域の砂浜や岩礁に限定されることに起因すると考えられる。すなわち、有機ハロゲン化合物の多くは、沖縄本島の中でも、河口や汽水域の生態系に集積していると推察される。実際、カニ類に関しては、沖縄本島の漫湖-饒波川水系から採取されたノコギリガザミにおいて、同水域で採取されたティラピアやボラと同程度か、それらを上回る濃度の有機ハロゲン化合物が検出された。したがって、漫湖-饒波川水系のノコギリガザミは、上記の魚類と同様、日本産魚介類（環境省, 2005, 2006; Nakata et al., 2003）の中でも有機ハロゲン化合物（とくにPCBs、DDTs、CHLs）の汚染レベルはかなり高いといえる。

## 有機スズ化合物

### ①カツオ

石垣島の太平洋沖および東シナ沖で採取した全ての検体からDBTおよびTBTが検出された

(表 8)。また、一部の検体から MBT、MOT、DPT が検出された。石垣島沖で採取したカツオのブチルスズ化合物濃度 (BTs = MBT+DBT+TBT) は、日本近海や東シナ海その他海域で採取されたカツオ (Ueno et al., 2004b) よりも低値であった。また、ブチルスズ化合物濃度は、太平洋側よりも東シナ海側で採取された検体から有意に高濃度で検出された ( $p < 0.01$ , U 検定)。このことは、有機ハロゲン化合物同様、石垣島の太平洋沖と東シナ海沖で採取されたカツオの系群や回遊ルートが異なっていることを示唆している。また、ブチルスズ化合物と有機ハロゲン化合物 (PCBs, CHLs, HCB, HCHs) では、カツオの採取海域による汚染パターンが逆転していることから、これら物質の汚染源や環境挙動は異なることが考えられる。

## ② ティラピア・ボラ

石垣島および沖縄本島で採取したティラピアの一部検体から、MBT、DBT、TBT、MOT、DOT が検出された (表 9)。またボラでは石垣島および沖縄本島で採取した一部の検体から、MBT、DBT、TBT、TPT が検出された (表 9)。MBT、DBT、MOT、DOT は、漫湖 (饒波川) のティラピアで濃度や検出率が高値を示した。モノ、ジ体の有機スズ化合物は、PVC 安定剤や樹脂の合成触媒として使用されていることから、漫湖 - 饒波川水系に流入する生活・都市排水等にその汚染源があると推察される。一方、ボラから検出された有機スズ化合物濃度はいずれも検出限界に近い低値であり、採取地域による濃度差は明瞭ではなかった。ティラピアやボラにおける有機スズ化合物の濃度レベルは、他の日本沿岸の魚類 (環境省, 2005, 山辺ら, 2004, 2005) に比べ、同程度または低値であった。

## ③ 貝類・カニ類

石垣島および沖縄本島で採取した一部の貝類から、MBT、MOT が検出されたが、その濃度は検出限界付近の低値であった。また、カニ類の有機スズ化合物濃度は、全ての検体で検出限界値以下を示した (表 10)。

## 微量元素

### ① カツオ

石垣島沖合から採取したカツオの筋肉・肝臓について微量元素を測定した結果、Zn が最も高濃度で検出され、次いで筋肉では Rb、Cu、Se が、肝臓では Cd、Cu、Se が相対的に高値を示した (表 11)。また、東シナ海側と太平洋側で採取した各検体の微量元素濃度を比較したところ、筋肉の Cu、Se、Sr、Mn、Cs、Co、肝臓の Zn、Se、Sr、Tl が太平洋側で、筋肉の Rb が東シナ海側で有意に高い濃度を示した ( $p > 0.05$ , T 検定)。これら地域差の原因は不明であるが、太平洋側で高濃度に検出された微量元素の多くは、海洋賦存の元素であると考えられ、海域における元素分布を反映している可能性がある。

### ② ティラピア・ボラ

石垣島および沖縄本島から採取したティラピアおよびボラの筋肉について微量元素を測定した結果、両種とも Zn が最も高濃度で検出され、次いで Rb が相対的に高値を示した (表 12)。また多くの元素 (ティラピアの Mn, Cu, Rb, Ag, Bi, Hg、ボラの Mn, Co, Rb 等) について、沖縄本島各地よりも石垣島 (アンバル干潟) の検体で高い濃度が認められた ( $p < 0.05$ , U 検定)。また、沖縄本島の中では、恩納村のティラピアで Pb, Sb, Cd 等が、ボラで Mn, Mo, Co 等が高い濃度を示した ( $p < 0.05$ , U 検定)。これら地域差の要因は不明であるが、自然環境中の元素分布の違いに加え、何らかの人為的な汚染の関与についてさらに調査する必要がある。とくに、恩納村に関し

ては、近接する金武ダム上流の旧アンチモン鉱山の影響を調査する必要がある。石垣島については中国沿岸部の工業活動等に由来する重金属類（とくに Hg）の長距離輸送が懸念される。

カツオ・ティラピア・ボラについて、魚種間の筋肉中元素濃度を比較したところ、ティラピアおよびボラで Rb が、カツオで Cu が高い傾向を示した。淡水産の魚類は海産の魚類よりも高い Rb 濃度を示すことが報告されており（渡邊・田辺, 2003）、汽水－沿岸－外洋域の塩分の差異に由来する元素取り込みの違いがその濃度差に反映していると考えられる。一方カツオは、筋肉や肝臓中の Hg 濃度が低く、相対的に Cd 濃度が高いこと、筋肉中で Cu 濃度が高いことなどから、主に低次無脊椎動物を捕食していると推察される。その他の元素は魚種間でほぼ同様の濃度レベルを示した。また、カツオやティラピア・ボラから検出された Cd、Hg、Pb 等の毒性元素濃度は、日本沿岸（渡邊・田辺, 2003）や東南アジアの海産魚類（Agusa et al., 2007）と同程度であった。

### ③貝類・カニ類

沖縄本島および石垣島沿岸域で採取した貝類の軟組織中微量元素濃度を測定した結果、Ca と同様の化学的性質を持つ Sr が最も高濃度で検出され、次いで必須元素の Zn および Cu が相対的に高濃度であった（表 13）。同種について沖縄本島と石垣島の検体を比較したところ、V、Ag、Ba、Tl が沖縄本島で、Rb が石垣島で高い傾向を示した。また、沖縄本島のノコギリガザミと石垣島のアカテノコギリガザミの筋肉中微量元素濃度を測定した結果、Zn が最も高濃度で検出され、次いで Sr および Cu が相対的に高濃度であった（表 13）。沖縄本島と石垣島の検体を比較したところ、Mn、Co、Cu、Zn、Rb、Mo、Cd、Cs、Ba、Hg が石垣島で、Ag、Pb が沖縄本島で有意に高い値を示した（ $p < 0.05$ , U 検定）。多くの元素において石垣島で高い濃度がみられたことは、魚類の結果と一致している。また Ag は貝類と同様に沖縄本島で高い傾向が認められた。Ag は近年殺菌剤として使用されていることから、人口の多い沖縄本島でその環境負荷は高いものと考えられる。ノコギリガザミは、Cu や Zn、Mn、Cd、Ag などの元素を魚類よりも一桁以上高い濃度で蓄積していた。また、貝類の軟組織中微量元素濃度は、魚類やノコギリガザミの筋肉と比較すると多くの元素で高い傾向を示した。貝類は肝臓に Cu、Zn、Ag、Pb、V など多くの微量元素を高濃縮することが知られており（Rainbow 1996）、このことは魚介類における既存の知見と概ね一致している（渡邊ら 2002）。

### 生殖腺異常および GSI, VTG との関係

ティラピアおよびボラの生殖腺の外見および組織異常について観察した結果、石垣島および沖縄本島の比謝川や漫湖（饒波川）から採取した検体に水泡や変色、癒合等の外見的異常がみられた（表 14）。しかしながら、これら生殖腺の異常と本研究で測定した各物質の濃度レベルに明瞭な関係は認められず、調査対象物質以外の要因によるものと考えられる。VTG に関してはティラピアのメスの検体のみから検出された。VTG 濃度と各調査対象物質の濃度との相関は認められなかった。一方、GSI に関しては、ティラピアのオスにおいて、HCHs 濃度との間に有意な負の相関が認められた（ $p < 0.05$ , スピアマン順位相関検定）（図 3）。メダカやグッピーを使った暴露試験によって、 $\beta$ -HCH は魚類のオスにビテロジェニン産生や卵精巢形成を促すエストロゲン様物質であることが指摘されている（Wester et al., 1985; Wester & Canton, 1986）。今回、ティラピアのオスでは VTG の産生は認められなかったが、HCHs がその生殖腺の発達に何らかの影響を及ぼしている可能性がある。ティラピアにおける内分泌かく乱物質の影響はほとんど検証されおらず、今後さらなる調査や試験等が望まれる。

## ヒトおよび魚食性鳥類へのリスク評価

最近、カナダ政府はいくつかの有機塩素化合物の食物経由の暴露リスクを評価し、各物質の耐容1日摂取量 (Tolerable Daily Intake; TDI) を算出している (Oostdam et al., 2005)。DDTs、PCBs (主要14異性体合計)、HCHs ( $\alpha$   $\beta$   $\gamma$ 異性体合計)、CHLsのTDIは、それぞれ20、1、0.3、0.05  $\mu$ g/kg bw/dayである。また、日本の厚生省が定めるTBT化合物の暫定許容摂取量 (ADI) は1.6  $\mu$ g/kg bw/dayである (杉田, 1992)。これらTDI (ADI) からヒトの平均体重および1日当りの魚介類摂取量を用いて、魚介類における各物質の耐容平均残留濃度 (Tolerable Average Residue Level; TARL) を算出した。

$$\text{TARL } (\mu\text{g/g}) = \text{TDI } (\mu\text{g/kg bw/day}) \times \text{体重 (kg)} / \text{1日当りの魚介類摂取量 (g/day)}$$

日本人の体重をおおよそ60kg、1日当りの魚介類摂取量を厚生労働省の国民栄養調査の平均最大摂取量110gとすると、日本人の魚介類に対するTARLは、DDTsが11  $\mu$ g/g、PCBsが0.55  $\mu$ g/g、HCHsが0.16  $\mu$ g/g、CHLsが0.027  $\mu$ g/g、TBTが0.87  $\mu$ g/g (湿重当り) となる。本研究で魚類から検出されたこれら物質の最高濃度は、DDTs (ティラピア・漫湖 - 饒波川) が0.105  $\mu$ g/g、PCBs (ボラ・漫湖 - 饒波川) が0.093  $\mu$ g/g、HCHs (アカテノコギリガザミ・石垣島) が0.00061  $\mu$ g/g、CHLs (ティラピア・比謝川) が0.095  $\mu$ g/g、TBT (カツオ・石垣島沖) が0.020  $\mu$ g/g (湿重当り) であり、CHLs以外すべてTARLを下回った。また、本研究で分析した魚介類筋肉中のHg濃度 (最高0.21  $\mu$ g/g湿重当り、アカテノコギリガザミ) は、日本の厚生労働省が定めた食品に対するHgの暫定的規制値 (0.4  $\mu$ g/g湿重当り) を下回った。

TARLは、この濃度の食事を一生涯摂取しても顕著な影響があらわれないことを意味する値であり、また本研究で対象としたティラピアやボラは、実際に食用として供されている個体ではない。沖縄本島におけるCHLsの更なる汚染の低減が望まれるが、日本におけるCHLsの使用は1986年に禁止されており、今後ヒトに対する問題が深刻化する可能性は低いと思われる。

一方、Hinckら (2006a, 2006b) は実験動物等で報告されている各有害物質の無毒性量 (No Observed Adverse Effect Level: NOAEL) と魚食性鳥類の体重および魚介類摂取量から、鳥類のエサとなる魚介類の無影響濃度 (No effect hazard concentration: NEHC) を算出している。

$$\text{NEHC } (\mu\text{g/g}) = \text{NOAEL (mg/kg bw/day)} \times \text{体重 (kg)} / \text{1日体重当りの魚介類摂取量 (kg/kg bw/day)}$$

NEHCはミサゴで $p,p'$ -DDEが0.07、PCB (Aroclor1260) が1.4、Hgが0.05  $\mu$ g/g、アメリカヤマセミで $p,p'$ -DDEが0.003、PCB (Aroclor1260) が0.05、Hgが0.002  $\mu$ g/gである (Hinckら 2006a, 2006b)。鳥類は一般に $p,p'$ -DDEやHgの毒性に対し敏感であるため、上記ヒトに対するTARLや規制値に比べると、それらのNEHCは数桁低い値となっている。従って、生態系に対する有害物質のリスク評価において重要な「指標生物」と考えられる (南西諸島の干潟には主な魚食性の野生鳥類としてミサゴやカワセミ、サギ、カモメなどが生息している)。また、CHLsは鳥類におけるNOAELやNEHCの報告例はないが、米国ニュージャージー州やオハイオ州でCHLsの散布による野鳥の大量死が報告されており、汚染地域の餌生物 (カブトムシ) から0.09 ~ 18.4  $\mu$ g/gの濃度が検出されている (Stansley et al., 2001)。

石垣島や沖縄本島の魚介類から検出された有機塩素化合物の濃度を NEHC と比較すると、一部検体の *p,p'*-DDE と Hg がミサゴ・アメリカヤマセミ両種の NEHC を超えており、PCBs もアメリカヤマセミの NEHC を超えていた（図 4）。また、CHLs の最高濃度（ $0.095 \mu\text{g/g}$ ）は、野鳥の大量死が起きた地域の餌生物中レベルの下限値に相当する。NEHC は、その濃度の餌を生涯にわたって摂食しても影響が顕れないことを意味する値であり、この値を超えていることが、即悪影響を意味するわけではないが、本研究における以上の結果は、南西諸島に生息する魚食性鳥類のリスクについてさらに詳細な調査が必要であることを示唆している。

## 結論

有機ハロゲン化合物や有機スズ化合物による魚介類の汚染は、石垣島沿岸や沖合いでは、それほど進行しておらず、むしろ沖縄本島で過去に大量使用された CHLs や DDTs などの残留が今なお顕著であることが明らかとなった。また、HCHs の異性体組成から日本本土での使用が少なかった殺虫剤リンデンの沖縄での利用も窺われ、とくに米軍の基地活動に由来する使用と環境負荷が推察された。さらに PBDEs についても沖縄本島の魚介類では、他の日本沿岸の魚類等よりも高レベルの残留が認められ、米国から持ち込まれる難燃樹脂・繊維製品等の使用が、その汚染を進行させている可能性もある。また、漫湖-饒波川のボラから高濃度の PCBs が検出されるなど、沖縄本島における地域固有な汚染源の存在が明らかとなった。また、オスのティラピアで HCHs 濃度と生殖腺指数（GSI）の間に負の相関が認められたことは、この種について内分泌かく乱に関する追加試験とその因果関係を検証する研究が必要なことを示している。加えて、魚介類中の Hg および *p,p'*-DDE 濃度はミサゴやカワセミなど魚食性鳥類に対する無影響濃度（NEHC）を超えており、今後その生態リスクについて詳細な調査が望まれる。

有機スズ化合物による汚染は、沖縄本島、石垣島ともに低レベルであったが、Hg など一部の元素が石垣島のティラピアやアカテノコガザミから比較的高い濃度で検出された。今後、石垣島の生態系でなぜ Hg など一部の元素濃度が高いのか、その起源等を究明するさらなる調査が必要である。最近の研究によると、大気への Hg 放出量の約半分は人為起源であり、とくに経済成長の活発な中国などアジア地域における Hg 放出量の増加が指摘されている（Pacyna et al., 2006）。石垣島の人為的汚染源は少ないと思われるが、中国など東シナ海沿岸諸国における人間活動の影響が及ぶ可能性は高い。よって、南西諸島の生態系を保全するためには、国内だけでなく、国外の汚染の推移にも注意を払う必要がある。国境を越えた東アジア地域における環境モニタリング・生態系保全のネットワーク形成が喫緊の課題である。

## 引用文献

- 岩村幸美, 門上希和夫, 陣矢大助, 棚田京子 (2000) エチル誘導体化／ガスクロマトグラフィー／質量分析法による生物試料中の有機スズ化合物の一斉分析. *分析化学*, **49**, 523-528.
- 大城善昇 (1981) クロルデンと環境汚染 (1) —分析法と環境汚染の実態—. 沖縄県公害衛生研究所報, **14**, 1-16.
- 環境省 (2005) 平成 16 年度版化学物質と環境. 環境省環境保健部環境安全課.
- 環境省 (2006) 平成 17 年度版化学物質と環境. 環境省環境保健部環境安全課.
- 杉田昭夫 (1992) I - 1. 問題の経緯. 里見至弘・清水 誠 編, 水産学シリーズ 92 有機スズ汚染と水生生物影響. 日本水産学会監修, 恒星社厚生閣, pp. 9-19.
- 山辺真一, 武志保, 難波順子, 今中雅章 (2004) 魚介類中の有機スズ実態調査. *岡山県環境保健センター年報*, **28**, 115-119.
- 山辺真一, 武志保, 肥塚加奈江, 今中雅章 (2005) 魚介類中の有機スズ実態調査 (II). *岡山県環境保健センター年報*, **29**, 117-122.
- 渡邊 泉, 四宮基彦, 國頭 恭, 田辺信介, 窪寺恒己 (2002) 駿河湾および東北沖で採取された深海生魚介類の微量元素蓄積. *地球化学*, **36**, 179-189.
- 渡邊 泉, 田辺信介 (2003) バイカル湖, カスピ海, 黒海および日本近海産魚類 20 種の微量元素蓄積. *環境化学*, **13**, 31-40.
- Agusa, T., Kunito, T., Sudaryanto, A., Monirith, I., Kan-Atireklap, S., Iwata, H., Ismail, A., Sanguansin, J., Muchtar, M., Tana, T. S., Tanabe, S. (2007) Exposure assessment for trace elements from consumption of marine fish in Southeast Asia. *Environ. Pollut.*, **145**, 766-777.
- Akutsu, K., Obana, H., Okihashi, M., Kitagawa, M., Nakazawa, H., Matsuki, Y., Makino, T., Oda, H., Hori, S. (2001) GC/MS analysis of polybrominated diphenyl ethers in fish collected from the Inland Sea of Seto, Japan. *Chemosphere*, **44**, 1325-1333.
- Hinck, J. E., Schmitt, C. J., Echols, K. R., May, T. W., Orazio, C. E., Tillitt, D. E. (2006a) Environmental Contaminants in Fish and Their Associated Risk to Piscivorous Wildlife in the Yukon River Basin, Alaska. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **51**, 661-672.
- Dodder, N. G., Strandberg, B., Hites, R. A. (2002) Concentrations and spatial variations of polybrominated diphenyl ethers and several organochlorine compounds in fishes from the northeastern United States. *Environ Sci Technol.*, **36**, 146-151.
- Hinck, J. E., Tillitt, D.E. (2006b) Are environmental contaminant concentrations in U.S. waters harmful to fish-eating wildlife? National Water Quality Monitoring Conference, San Jose, CA, 8-11 May.
- Monirith, I., Ueno, D., Takahashi, S., Nakata, H., Sudaryanto, A., Subramanian, A., Karuppiah, S., Ismail, A., Muchtar, M., Zheng, J., Richardson, B. J., Prudente, M., Hue, N. D., Tana, T. S., Tkalin, A. V., Tanabe, S. (2003) Asia-Pacific mussel watch: monitoring contamination of persistent organochlorine compounds in coastal waters of Asian countries. *Mar. Pollut. Bull.*, **46**, 281-300.
- Nakata, H., Sakai, Y., Miyawaki, T., Takemura, A. (2003) Bioaccumulation and toxic potencies of polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in tidal flat and coastal ecosystems of the Ariake Sea, Japan. *Environ. Sci. Technol.* **37**, 3513-21.
- Nam, D. H., Anan, Y., Ikemoto, T., Okabe, Y., Kim, E. Y., Subramanian, A., Saeki, K., Tanabe, S. (2005)

- Specific accumulation of 20 trace elements in great cormorants (*Phalacrocorax carbo*) from Japan. *Environ. Pollut.*, **134**, 503-514.
- Pacyna, E. G., Pacyna, J. M., Steenhuisen, F., Wilson, S. (2006) Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000. *Atmospheric Environ.*, **40**, 4048-4063
- Rainbow, P. S. (1996) Heavy metals in aquatic invertebrates. In: Beyer, W. N., Heinz, G. H., Redmon-Norwood, A. W. (eds) Environmental contaminants in wildlife: interpreting tissue concentrations. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 357-376.
- Rayne, S., Ikonomou, M. G., Antcliffe, B. (2003) Rapidly Increasing Polybrominated Diphenyl Ether Concentrations in the Columbia River System from 1992 to 2000. *Environ. Sci. Technol.*, **37**, 2847-2854.
- Stansley, W., Roscoe, D. E., Hawthorne, E., R. Meyer (2001) Food chain aspects of chlordane poisoning in birds and bats. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **40**, 285-291.
- Takeuchi, I., Takahashi, S., Tanabe, S., Miyazaki, N. (2004) Butyltin concentrations along the Japanese coast from 1997 to 1999 monitored by *Caprella* spp. (Crustacea: Amphipoda). *Mar. Environ. Res.*, **57**, 397-414.
- Ueno, D., Takahashi, S., Tanaka, H., Subramanian, A. N., Fillmann, G., Nakata, H., Lam, P. K. S., Zheng, J., Muchtar, M., Prudente, M., Chung, K. H., Tanabe, S. (2003) Global pollution monitoring of PCBs and organochlorine pesticides using skipjack tuna as a bioindicator. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **45**, 378-389.
- Ueno, D., Kajiwara, N., Tanaka, H., Subramanian, A., Fillmann, G., Lam, P. K. S., Zheng, G. J., Muchitar, M., Razak, H., Prudente, M., Chung, K., Tanabe, S. (2004a) Global pollution monitoring of polybrominated diphenyl ethers using skipjack tuna as a bioindicator. *Environ. Sci. Technol.*, **38**, 2312-2316.
- Ueno, D., Inoue, S., Takahashi, S., Ikeda, K., Tanaka, H., Subramanian, A. N., Fillmann, G., Lam, P. K. S., Zheng, J., Muchtar, M., Prudente, M., Chung, K., Tanabe, S. (2004b) Global pollution monitoring of butyltin compounds using skipjack tuna as a bioindicator. *Environ. Pollut.*, **127**, 1-12.
- Ueno, D., Alae, M., Marvin, C., Muir, D. C. G., Macinnis, G., Reiner, E., Crozier, P., Furdui, V. I., Subramanian, A., Fillmann, G., Lam, P. K. S., Zheng, G. J., Muchitar, M., Razak, H., Prudente, M., Chung, K., Tanabe, S. (2006) Distribution and transportability of hexabromocyclododecane (HBCD) in the Asia-Pacific region using skipjack tuna as a bioindicator. *Environ. Pollut.*, **144**, 238-247.
- Van Oostdam, J., Donaldson, S. G., Feeley, M., Arnold, D., Ayotte, P., Bondy, G., Chan, L., Dewailly, E., Furgal, C. M., Kuhnlein, H., Loring, E., Muckle, G., Myles, E., Receveur, O., Tracy, B., Gill, U., Kalhok, S. (2005). Human health implications of environmental contaminants in Arctic Canada: A review. *Sci. Total Environ.*, **351-352**, 165-246.
- Wester, P. W., Canton, J. H., Bisschop, A. (1985) Histopathological study of *Poecilia reticulata* (guppy) after long-term  $\beta$ -hexachlorocyclohexane exposure. *Aquat. Toxicol.*, **6**, 271-96.
- Wester, P. W., Canton, J. H. (1986) Histopathological study of *Oryzias latipes* (medaka) after long-term  $\beta$ -hexachlorocyclohexane exposure. *Aquat. Toxicol.*, **9**, 21-45.

図 1. 分析対象とした有機ハロゲン化合物の化学構造と主な用途

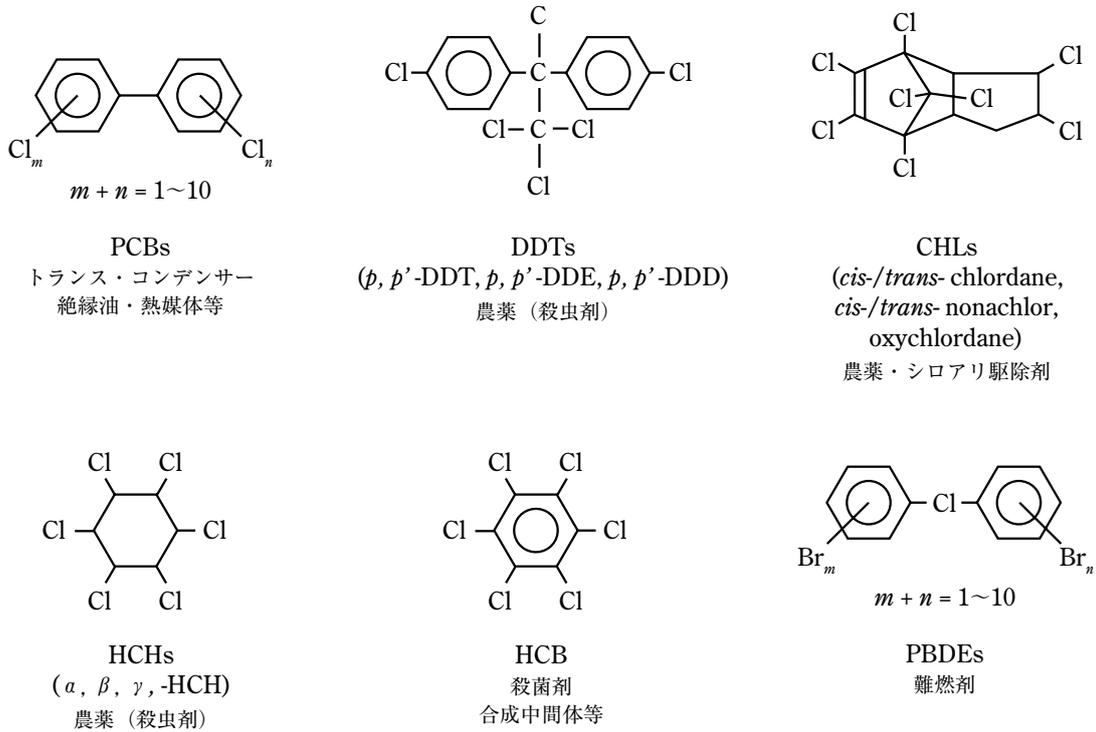


図 2. 分析対象とした有機スズ化合物の化学構造と主な用途

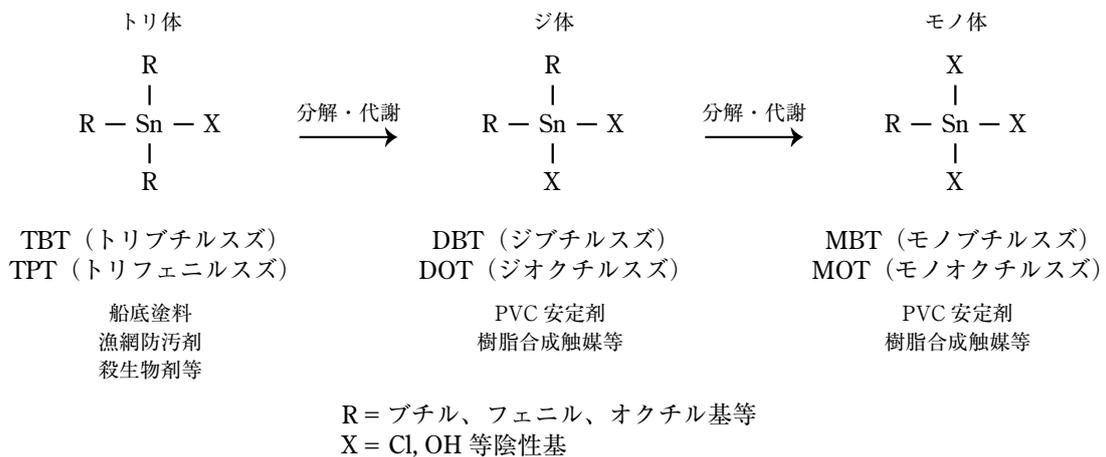


図3. ティラピアのオスにおける生殖腺指数 (GSI) と HCHs ( $\alpha\beta\gamma$ 異性体合計) 濃度の相関 ( $p < 0.05$ , スピアマン順位相関検定)

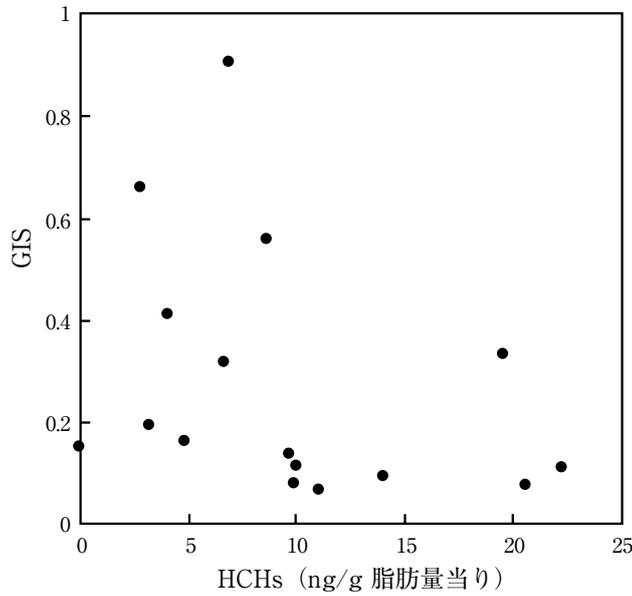
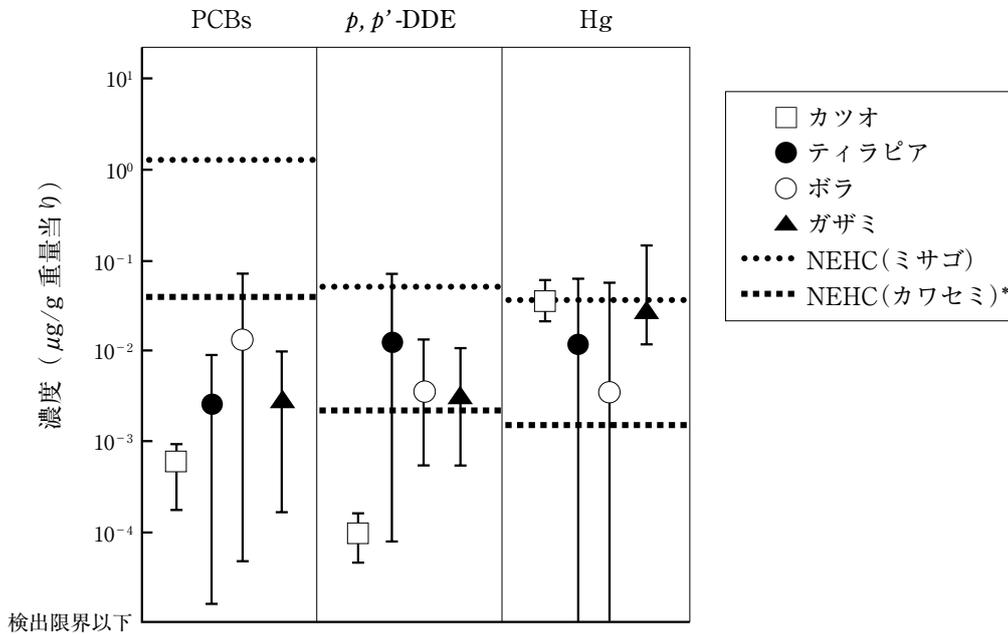


図4. 沖縄本島および石垣島の魚介類中  $p, p'$ -DDT, PCBs, Hg 濃度レベルと鳥類 (ミサゴ・カワセミ) に対する有害物質の無影響濃度 (NEHC) の比較



[\*カワセミのNEHCは Hinck et al. (2006a, 2006b) よりアメリカヤマセミの値を引用した]

表 1. 供試した魚介類

種名	採取場所	採取年	検体数	体長 (mm)	体重 (g)	分析組織
カツオ ( <i>Katsuwonus pelamis</i> )	石垣島沖(太平洋側)	2005	5	367±7 (360-375)	1146±67 (1038-1211)	筋肉・肝臓
タイラピア	石垣島沖(東シナ海側)	2005	5	366±8 (355-375)	1196±73 (1117-1313)	筋肉・肝臓
( <i>Oreochromis spp.</i> )	沖縄本島・漫湖(鏡波川)	2006	8	240±17 (208-268)	476±92 (340-628)	筋肉
	沖縄本島・嘉手納(比謝川)	2006	8	232±31 (189-272)	452±148 (265-650)	筋肉
	沖縄本島・恩納村(志嘉座川)	2005	8	194±30 (163-228)	249±106 (142-379)	筋肉
ボラ ( <i>Mugilidae spp.</i> )	石垣島(アンバル干潟)	2005	8	243±23 (205-282)	393±162 (304-830)	筋肉
	沖縄本島・漫湖(鏡波川)	2006	4 (1 pool)	196±37 (147-225)	163±78 (65-238)	筋肉
	沖縄本島・嘉手納(比謝川)	2006	6	273±12 (257-291)	359±81 (276-508)	筋肉
	沖縄本島・恩納村(志嘉座川)	2005	5 (1 pool)	122±17 (98-141)	39±15 (20-60)	筋肉
	石垣島(アンバル干潟)	2005	5 (1 pool)	150±35 (120-200)	83±62 (35-180)	筋肉
リュウキュウヒバリガイ ( <i>Modiolus auriculatus</i> )	沖縄本島・恩納村	2006	311 (1 pool)	-	-	軟組織
	石垣島	2005	99 (1 pool)	-	-	軟組織
カノコガイ ( <i>Cithon sowerbianus</i> )	沖縄本島・恩納村	2005	392 (1 pool)	-	-	軟組織
	石垣島	2005	712 (1 pool)	-	-	軟組織
クモガイ ( <i>Lambis lambis</i> )	沖縄本島・恩納村	2006	6 (1 pool)	-	-	軟組織
	石垣島	2005	11 (1 pool)	-	-	軟組織
ノコギリガザミ ( <i>Scylla spp.</i> )	沖縄本島・漫湖(鏡波川)	2006	6 (1 pool)	-	-	筋肉・肝臓
アカテノコギリガザミ ( <i>Scylla olivacea</i> )	石垣島	2005	9 (2 pool)	-	-	筋肉・肝臓
フタハオサガニ ( <i>Macrobrachium conneris</i> )	石垣島	2005	<100 (1 pool)	-	-	全組織

魚介類試料採取地点

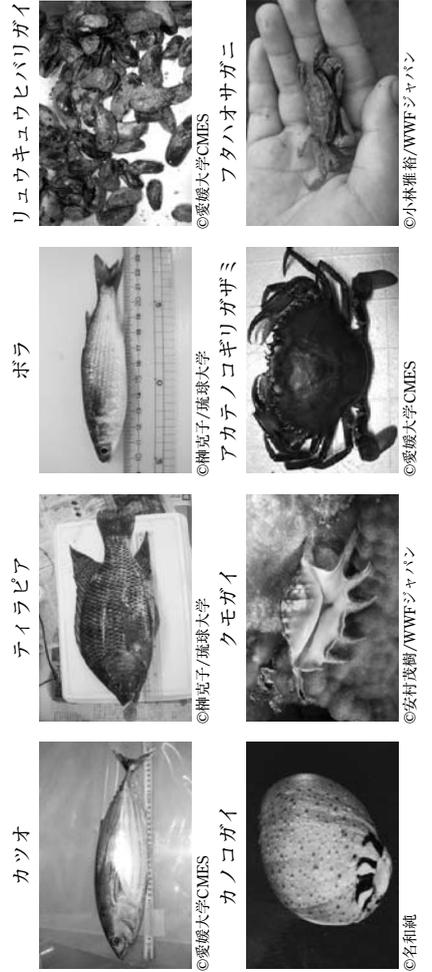
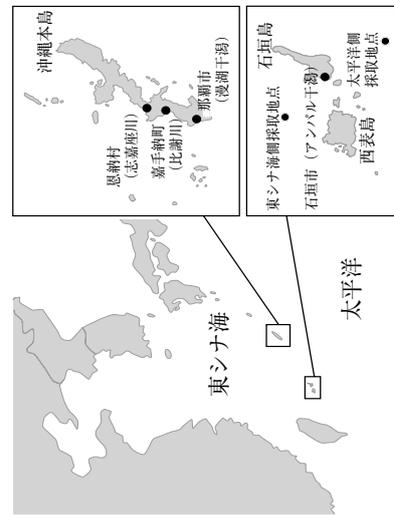


表 2. 石垣島沖で採取したカツオの筋肉中有機塩素化合物濃度 (ng/g 脂肪重当り)

サンプル ID	採取場所	脂肪含量 (%)	PCBs	DDT Compounds			HCH Compounds				CHL Compounds					HCB		
				p,p'-DDE	p,p'-DDD	p,p'-DDT	DDTs	a-HCH	β-HCH	γ-HCH	HCHs	Oxy	t-CA	C-CA	t-nona		c-nona	CHLs
2005 PC-ST01	太平洋側	0.63	84	19	1.8	24	45	<0.3	1.1	<0.1	1.1	1.1	1.1	1.7	3.4	0.95	8.3	3.3
2005 PC-ST02	太平洋側	0.94	41	9.2	1.8	7.1	18	<0.3	0.94	<0.1	0.94	1.7	1.0	1.6	1.9	1.2	7.4	1.7
2005 PC-ST03	太平洋側	0.66	150	45	5.1	32	82	<0.3	0.71	<0.1	0.71	0.87	1.7	2.5	2.1	2.0	9.2	4.6
2005 PC-ST04	太平洋側	0.73	95	7.5	1.5	9.3	18	<0.3	0.61	<0.1	0.61	8.1	1.5	2.3	4.9	1.5	18	3.9
2005 PC-ST05	太平洋側	0.69	99	41	4.7	21	67	<0.3	1.0	<0.1	1.0	16	1.5	2.2	4.7	1.9	26	2.4
2005 ECS-ST01	東シナ海側	1.6	28	8.8	8.9	5.8	24	<0.3	0.55	<0.1	0.55	0.38	0.56	0.75	1.5	0.30	3.5	1.0
2005 ECS-ST02	東シナ海側	1.2	79	16	21	19	56	<0.3	0.61	<0.1	0.61	1.7	1.0	1.5	2.9	0.86	8.0	3.0
2005 ECS-ST03	東シナ海側	1.5	35	9.4	9.4	8.2	27	<0.3	0.57	<0.1	0.57	0.11	0.45	0.57	1.4	0.38	2.9	1.6
2005 ECS-ST04	東シナ海側	2.1	23	8.7	9.9	6.2	25	<0.3	0.43	<0.1	0.43	0.70	0.45	0.71	1.7	0.51	4.1	1.5
2005 ECS-ST05	東シナ海側	1.4	51	14	9.8	9.6	33	<0.3	0.60	<0.1	0.60	0.23	0.70	0.92	0.94	0.38	3.2	1.4

表 3. 石垣島沖で採取したカツオの筋肉中 PBDEs 濃度 (ng/g 脂肪重当り)

サンプル ID	採取場所	脂肪含量 (%)	BDE 3	BDE 15	BDE 28	BDE 47	BDE 99	BDE 100	BDE 153	BDE 154	BDE 183	ΣPBDEs	
												BDE 183	ΣPBDEs
2005 PC-ST01	太平洋側	0.63	<0.1	<0.1	0.12	1.7	0.63	0.83	0.60	1.7	<0.1	5.6	
2005 PC-ST02	太平洋側	0.94	<0.1	<0.1	0.16	2.4	0.94	1.1	0.75	1.9	<0.1	7.3	
2005 PC-ST03	太平洋側	0.66	<0.1	<0.1	0.13	1.5	0.69	0.75	0.51	1.1	<0.1	4.7	
2005 PC-ST04	太平洋側	0.73	<0.1	<0.1	0.08	1.3	0.44	0.58	0.48	1.0	<0.1	3.9	
2005 PC-ST05	太平洋側	0.69	<0.1	<0.1	0.10	1.6	0.36	0.53	0.29	0.82	<0.1	3.7	
2005 ECS-ST01	東シナ海側	1.6	<0.1	<0.1	0.26	3.1	0.64	1.1	0.55	1.4	<0.1	7.1	
2005 ECS-ST02	東シナ海側	1.2	<0.1	<0.1	0.15	1.5	0.49	0.75	0.65	1.3	<0.1	4.8	
2005 ECS-ST03	東シナ海側	1.5	<0.1	<0.1	0.31	4.9	2.0	2.6	1.7	4.2	<0.1	16	
2005 ECS-ST04	東シナ海側	2.1	<0.1	<0.1	0.15	1.5	0.42	0.81	0.42	0.84	<0.1	4.1	
2005 ECS-ST05	東シナ海側	1.4	<0.1	<0.1	0.12	1.3	0.22	0.46	0.37	0.66	<0.1	3.1	



表 5. 沖縄本島および石垣島で採取したティラピアおよびボラの筋肉中有機臭素化合物濃度 (ng/g 脂肪重当り)

サンプル ID	採取場所	性別	脂肪含量 (%)	BDE3	BDE15	BDE28	BDE47	BDE99	BDE100	BDE153	BDE154	BDE183	BDE196	BDE197	BDE206	BDE207	BDE209	ΣPBDEs
ティラピア																		
5	石垣島 (アンパル干潟)	メス	0.19	<0.05	<0.07	<0.06	0.87	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	0.87
13	石垣島 (アンパル干潟)	メス	0.18	<0.05	<0.07	<0.06	1.9	0.66	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	2.6
19	石垣島 (アンパル干潟)	メス	0.18	<0.05	<0.07	<0.06	1.2	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	1.2
102	石垣島 (アンパル干潟)	メス	0.25	<0.05	<0.07	<0.06	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	<1.5
7	石垣島 (アンパル干潟)	メス	0.20	<0.05	<0.07	<0.06	1.1	<0.05	<0.05	<0.05	2.6	<0.05	<0.05	<0.07	0.85	<0.07	<1.5	3.7
21	石垣島 (アンパル干潟)	オス	0.18	<0.05	<0.07	<0.06	1.5	0.70	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<0.07	<1.5	2.2
43	石垣島 (アンパル干潟)	オス	0.11	<0.05	<0.07	<0.06	<0.03	1.2	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<0.07	<1.5	1.2
44	石垣島 (アンパル干潟)	オス	0.16	<0.05	<0.07	<0.06	1.7	0.68	<0.05	<0.05	1.0	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<0.07	<1.5	3.4
716	沖縄本島・嘉手納 (比謝川)	メス	0.52	<0.05	1.9	24	940	5.6	130	18	41	<0.05	<0.05	0.43	0.45	<1.5	1200	
722	沖縄本島・嘉手納 (比謝川)	メス	1.9	0.18	2.0	28	1300	24	190	38	48	<0.05	<0.05	0.21	<0.07	<1.5	1700	
734	沖縄本島・嘉手納 (比謝川)	メス	0.74	<0.05	2.0	26	1400	29	200	38	57	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	1800	
737	沖縄本島・嘉手納 (比謝川)	メス	0.32	<0.05	1.3	22	1100	29	140	26	38	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	1400	
725	沖縄本島・嘉手納 (比謝川)	オス	2.0	<0.05	1.8	19	710	10	99	17	26	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	880	
730	沖縄本島・嘉手納 (比謝川)	オス	2.9	0.11	1.7	23	1100	13	170	29	41	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	1400	
801	沖縄本島・嘉手納 (比謝川)	オス	0.74	<0.05	2.0	38	2100	21	320	42	75	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	2600	
802	沖縄本島・嘉手納 (比謝川)	オス	2.5	<0.05	2.0	20	760	9.2	110	17	28	<0.05	<0.05	2.2	3.2	2.0	950	
601	沖縄本島・渡湖 (鏡波川)	メス	0.19	<0.05	<0.07	6.1	140	<0.05	19	3.9	4.8	<0.05	<0.05	<0.05	<0.07	<1.5	170	
612	沖縄本島・渡湖 (鏡波川)	メス	0.90	<0.05	0.70	4.5	78	1.6	11	3.5	5.5	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	110	
628	沖縄本島・渡湖 (鏡波川)	メス	1.0	<0.05	<0.07	4.6	67	1.5	8.4	3.9	8.7	<0.05	<0.05	<0.07	0.29	<1.5	94	
635	沖縄本島・渡湖 (鏡波川)	メス	0.99	<0.05	1.5	11	320	23	38	15	11	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	420	
604	沖縄本島・渡湖 (鏡波川)	オス	0.42	<0.05	<0.07	8.5	120	2.1	16	7.1	13	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	170	
605	沖縄本島・渡湖 (鏡波川)	オス	0.24	<0.05	<0.07	5.1	89	2.5	12	4.0	7.8	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	120	
634	沖縄本島・渡湖 (鏡波川)	オス	0.56	<0.05	2.0	18	750	23	96	21	22	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	930	
636	沖縄本島・渡湖 (鏡波川)	オス	0.32	<0.05	<0.07	18	600	7.1	72	20	26	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	740	
239	沖縄本島・恩納村 (志嘉座川)	メス	1.2	<0.05	<0.07	2.6	90	1.3	10	3.5	5.1	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	115	
212	沖縄本島・恩納村 (志嘉座川)	メス	0.33	<0.05	<0.07	<0.06	31	<0.05	5.8	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	40	
213	沖縄本島・恩納村 (志嘉座川)	メス	0.67	<0.05	<0.07	3.5	192	3.6	28	7.1	10	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	245	
215	沖縄本島・恩納村 (志嘉座川)	メス	2.8	<0.05	<0.07	2.1	66	1.7	7.6	2.4	3.6	<0.05	<0.05	<0.07	0.17	1.6	85	
208	沖縄本島・恩納村 (志嘉座川)	オス	1.0	<0.05	<0.07	2.5	76	1.7	8.4	2.8	4.3	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	100	
211	沖縄本島・恩納村 (志嘉座川)	オス	0.21	<0.05	<0.07	<0.06	113	8.2	18	<0.05	8.7	<0.05	<0.05	<0.07	0.8	<1.5	150	
218	沖縄本島・恩納村 (志嘉座川)	オス	0.67	<0.05	<0.07	<0.06	100	1.7	11	4.1	6.1	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<1.5	125	
220	沖縄本島・恩納村 (志嘉座川)	オス	1.0	<0.05	<0.07	<0.06	152	1.8	21	3.5	6.7	<0.05	0.84	<0.05	<0.07	0.3	2.8	190
ボラ																		
Pool	石垣島 (アンパル干潟)	メス	0.16	<0.05	<0.07	<0.06	<0.03	<0.05	1.5	<0.05	1.3	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<0.07	<1.5	2.8
702	沖縄本島・嘉手納 (比謝川)	メス	0.21	<0.05	2.3	17	740	18	99	22	28	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<0.07	<1.5	930
703	沖縄本島・嘉手納 (比謝川)	メス	0.18	<0.05	2.0	17	640	17	98	25	41	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<0.07	<1.5	840
707	沖縄本島・嘉手納 (比謝川)	メス	0.20	<0.05	<0.07	9.1	370	<0.05	73	3.7	20	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<0.07	<1.5	480
704	沖縄本島・嘉手納 (比謝川)	オス	0.17	<0.05	<0.07	7.5	200	<0.05	25	2.1	4.2	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<0.07	<1.5	240
705	沖縄本島・嘉手納 (比謝川)	オス	0.27	<0.05	1.5	15	720	18	103	22	39	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<0.07	<1.5	920
706	沖縄本島・嘉手納 (比謝川)	オス	0.24	<0.05	8.0	11	295	<0.05	48	3.3	12	<0.05	<0.05	6.9	<0.07	<0.07	<1.5	380
Pool	沖縄本島・渡湖 (鏡波川)	メス	0.70	<0.05	<0.07	5.7	105	1.8	12	2.2	2.7	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<0.07	<1.5	130
Pool	沖縄本島・恩納村 (志嘉座川)	メス	0.65	<0.05	<0.07	7.3	160	7.6	19	4.6	8.4	<0.05	<0.05	<0.07	<0.07	<0.07	<1.5	210

表 6. 沖縄本島および石垣島沿岸域で採取した無脊椎動物の有機塩素化合物濃度 (ng/g 脂肪重当り)

種名	採取場所	脂肪含量 (%)	DDT Compounds				HCH Compounds				CHL Compounds				HCB			
			p,p'-DDE	p,p'-DDD	p,p'-DDT	DDTs	α-HCH	β-HCH	γ-HCH	HCHs	Oxy	t-CA	C-CA	t-nona		c-nona	CHLs	
リュウキュウヒバリガイ	沖縄本島・恩納村	0.24	11	<2.4	3.1	3.9	7.0	<2.2	<3.7	<2.1	<3.7	4.8	7.7	5.1	2.7	2.7	23	1.5
	石垣島	0.52	84	6	<1.6	5.4	12	<2.2	<3.7	<2.1	<3.7	7.0	4.2	6.5	10	<0.9	28	<0.61
カノコガイ	沖縄本島・恩納村	1.1	21	32	5.3	6.0	44	<2.2	<3.7	<2.1	<3.7	<0.5	13	19	42	11	85	<0.61
	石垣島	1.4	26	7.4	3.8	1.9	13	<2.2	<3.7	<2.1	<3.7	3.2	4.9	7.8	7.6	4.5	28	<0.61
クモガイ	沖縄本島・恩納村	0.98	33	2.1	5.9	15	23	<2.2	<3.7	<2.1	<3.7	6.3	3.2	<1.9	3.9	1.7	15	4.5
	石垣島	0.44	3.8	<2.4	<1.6	<1.7	<1.7	<2.2	<3.7	<2.1	<3.7	2.8	<1.9	2.4	<0.7	<0.9	5.2	0.80
ノコギリガザミ	沖縄本島・渡湖(鏡波川)	0.23	4900	5600	630	55	6300	19	220	<2.1	240	460	<1.9	160	550	250	1400	<0.61
アカテノコギリガザミ	石垣島	0.51	65	100	11	<1.7	110	<2.2	120	<2.1	120	27	5.9	10	22	14	80	2.4
アカテノコギリガザミ	石垣島	0.64	92	120	8.6	<1.7	130	<2.2	<3.7	<2.1	<3.7	20	3.3	4.7	16	7.6	51	1.7
フタバオサガニ	石垣島	0.56	97	17	2.9	<1.7	20	<2.2	<3.7	<2.1	<3.7	94	23	22	99	65	300	1.0

表 7. 沖縄本島および石垣島沿岸域で採取した無脊椎動物の有機臭素化合物濃度 (ng/g 脂肪重当り)

種名	採取場所	脂肪含量 (%)	Σ PBDEs																	
			BDE3	BDE15	BDE28	BDE47	BDE99	BDE100	BDE153	BDE183	BDE154	BDE183								
リュウキュウヒバリガイ	沖縄本島・恩納村	0.24	<0.2	<0.2	0.33	1.4	1.1	1.0	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	3.8
	石垣島	0.52	<0.1	<0.1	0.36	1.5	0.29	0.28	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.4
カノコガイ	沖縄本島・恩納村	1.1	<0.2	<0.2	0.25	7.5	1.7	0.30	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	9.7
	石垣島	1.4	<0.1	<0.1	<0.1	0.26	0.71	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.0
クモガイ	沖縄本島・恩納村	0.98	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.47
	石垣島	0.44	<0.2	<0.2	<0.2	0.33	0.60	6.0	10	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	180
ノコギリガザミ	沖縄本島・渡湖(鏡波川)	0.23	<0.2	<0.2	6.3	160	6.0	0.40	0.31	0.41	0.41	0.42	0.82	4.3	4.3	0.90	2.5	2.4	2.4	
アカテノコギリガザミ	石垣島	0.51	<0.1	<0.1	0.27	1.7	0.40	0.36	<0.1	<0.1	<0.1	0.28	1.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	
アカテノコギリガザミ	石垣島	0.64	<0.1	<0.1	0.20	0.79	0.36	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.28	1.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	
フタバオサガニ	石垣島	0.56	<0.1	<0.1	0.27	0.45	0.24	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	

表 8. 石垣島沖で採取したカツオ肝臓中の有機スズ化合物濃度 (ng/g 湿重当り)

サンプル ID	採取地点	MBT	DBT	TBT	MOT	DOT	TOT	DPT	TPT
2005 PC-ST01	太平洋側	<0.5	8.1	7.4	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
2005 PC-ST02	太平洋側	<0.5	2.8	6.3	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
2005 PC-ST03	太平洋側	<0.5	9.1	11	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
2005 PC-ST04	太平洋側	<0.5	2.7	5.0	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
2005 PC-ST05	太平洋側	<0.5	6.7	19	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
2005 ECS-ST01	東シナ海側	13	16	20	<0.7	<0.7	<0.7	<0.5	<0.5
2005 ECS-ST02	東シナ海側	7.5	9.5	10	<0.7	<0.7	<0.7	<0.5	<0.5
2005 ECS-ST03	東シナ海側	24	5.3	7.0	3.2	<0.7	<0.7	0.7	<0.5
2005 ECS-ST04	東シナ海側	4.8	6.5	8.4	1.0	<0.7	<0.7	<0.5	<0.5
2005 ECS-ST05	東シナ海側	7.5	4.5	6.8	5.5	<0.7	<0.7	<0.5	<0.5

表 9. 沖縄本島および石垣島で採取したティラピアおよびボラの筋肉中有機スズ化合物濃度 (ng/g 脂肪重当り)

サンプル ID	採取場所	性別	MBT	DBT	TBT	MOT	DOT	TOT	DPT	TPT
ティラピア										
5	石垣島(アンパル干潟)	メス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
13	石垣島(アンパル干潟)	メス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
19	石垣島(アンパル干潟)	メス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
102	石垣島(アンパル干潟)	メス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
7	石垣島(アンパル干潟)	オス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
21	石垣島(アンパル干潟)	オス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
43	石垣島(アンパル干潟)	オス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	6.1	<0.5	<0.3	<0.3
44	石垣島(アンパル干潟)	オス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
716	沖縄本島・嘉手納(比謝川)	メス	<5.3	1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
722	沖縄本島・嘉手納(比謝川)	メス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
734	沖縄本島・嘉手納(比謝川)	メス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
737	沖縄本島・嘉手納(比謝川)	メス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
725	沖縄本島・嘉手納(比謝川)	オス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
801	沖縄本島・嘉手納(比謝川)	オス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	9.1	<0.5	<0.3	<0.3
802	沖縄本島・嘉手納(比謝川)	オス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	4.0	<0.5	<0.3	<0.3
601	沖縄本島・漫湖(鏡波川)	メス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	3.8	<0.5	<0.3	<0.3
612	沖縄本島・漫湖(鏡波川)	メス	14	1.5	<0.3	8.3	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
628	沖縄本島・漫湖(鏡波川)	メス	180	35	<0.3	5.8	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
635	沖縄本島・漫湖(鏡波川)	メス	27	2.5	<0.3	6.4	5.2	<0.5	<0.3	<0.3
604	沖縄本島・漫湖(鏡波川)	オス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	4.0	<0.5	<0.3	<0.3
605	沖縄本島・漫湖(鏡波川)	オス	140	2.2	<0.3	13	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
634	沖縄本島・漫湖(鏡波川)	オス	82	28	<0.3	6.9	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
636	沖縄本島・漫湖(鏡波川)	オス	16	<1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
239	沖縄本島・恩納村(志嘉座川)	メス	<5.3	<1.5	<0.3	NA	5.6	<0.5	<0.3	<0.3
212	沖縄本島・恩納村(志嘉座川)	メス	<11	<1.5	0.8	NA	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
213	沖縄本島・恩納村(志嘉座川)	メス	<5.3	<1.5	<0.3	NA	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
215	沖縄本島・恩納村(志嘉座川)	メス	<5.3	<1.5	<0.3	NA	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
208	沖縄本島・恩納村(志嘉座川)	オス	<5.3	<1.5	<0.3	NA	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
211	沖縄本島・恩納村(志嘉座川)	オス	<5.3	<1.5	<0.3	NA	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
218	沖縄本島・恩納村(志嘉座川)	オス	18	<1.5	<0.3	NA	4.6	<0.5	<0.3	<0.3
220	沖縄本島・恩納村(志嘉座川)	オス	5.6	<1.5	<0.3	NA	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
ボラ										
Pool	石垣島(アンパル干潟)	メス	12.0	2.2	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
702	沖縄本島・嘉手納(比謝川)	メス	<5.3	<1.5	3.9	NA	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
703	沖縄本島・嘉手納(比謝川)	メス	<5.3	<1.5	0.8	NA	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
707	沖縄本島・嘉手納(比謝川)	メス	6.1	1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
704	沖縄本島・嘉手納(比謝川)	オス	<5.3	<1.5	1.3	NA	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
705	沖縄本島・嘉手納(比謝川)	オス	<5.3	<1.5	0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	0.6
706	沖縄本島・嘉手納(比謝川)	オス	<5.3	<1.5	1.8	NA	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
Pool	沖縄本島・漫湖(鏡波川)	メス	<5.3	<1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3
Pool	沖縄本島・恩納村(志嘉座川)	メス	5.5	<1.5	<0.3	<5.0	<3.4	<0.5	<0.3	<0.3

NA: 妨害物質共存のため測定不可

表 10. 沖縄本島および石垣島沿岸域で採取した無脊椎動物の有機スズ化合物濃度 (ng/g 湿重当り)

種名	採取場所	MBT	DBT	TBT	MOT	DOT	TOT	DPT	TPT
リュウキュウヒバリガイ	沖縄本島・恩納村 石垣島	<5.0	<3.0	<0.5	NA	<5.0	<0.5	<0.5	<0.5
カノコガイ	沖縄本島・恩納村 石垣島	8.1 <5.0	<3.0 <3.0	<0.5 <0.5	<5.0 NA	<5.0 <0.5	<0.5 <0.5	<0.5 <0.5	<0.5 <0.5
クモガイ	沖縄本島・恩納村 石垣島	5.7 5.0	<3.0 <3.0	<0.5 <0.5	7.7 <5.0	<5.0 <5.0	<0.5 <0.5	<0.5 <0.5	<0.5 <0.5
ノコギリガザミ	沖縄本島・恩納村 石垣島	<5.0 <5.0	<3.0 <3.0	<0.5 <0.5	<5.0 NA	<5.0 <0.5	<0.5 <0.5	<0.5 <0.5	<0.5 <0.5
アカテノコギリガザミ-5	沖縄本島・渡湖(鏡波川) 石垣島	<5.0	<3.0	<0.5	<5.0	<5.0	<0.5	<0.5	<0.5
アカテノコギリガザミ-6	石垣島	<5.0	<3.0	<0.5	<5.0	<5.0	<0.5	<0.5	<0.5
アカテノコギリガザミ-7	石垣島	<5.0	<3.0	<0.5	<5.0	<5.0	<0.5	<0.5	<0.5
アカテノコギリガザミ-8	石垣島	<5.0	<3.0	<0.5	<5.0	<5.0	<0.5	<0.5	<0.5
フタバオサガニ	石垣島	<5.0	<3.0	<0.5	<5.0	<5.0	<0.5	<0.5	<0.5

NA: 妨害物質共存のため測定不可

表 11. 石垣島沖で採取したカツオの肝臓および筋肉中微量元素濃度 (μg/g 乾重当り)

組織	採取地点	体長 (mm)	体重 (g)	V	Cr	Mn	Co	Cu	Zn	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Cs	Ba	Hg	Tl	Pb	Bi
肝臓	太平洋側	370	1149	0.14	0.18	5.90	0.11	31.3	235	29	2.27	3.08	1.80	1.6	41.9	0.032	0.01	0.08	0.036	0.24	0.005	0.134	0.001
	太平洋側	370	1143	0.12	0.25	4.82	0.08	18.0	156	30	2.16	1.28	1.79	0.40	21.7	0.017	<0.01	0.06	0.028	0.14	0.004	0.073	<0.001
	太平洋側	360	1038	0.18	0.38	5.42	0.12	148	118	38	1.93	1.78	1.96	10	29.2	0.047	<0.01	0.07	0.070	0.20	0.003	0.103	0.001
	太平洋側	360	1191	0.089	0.17	6.91	0.01	28.3	318	43	2.33	1.72	1.78	0.65	41.8	0.014	<0.01	0.08	0.018	0.17	0.003	0.081	<0.001
	太平洋側	375	1211	0.23	0.84	4.37	0.11	25.2	225	29	2.10	2.73	1.63	0.75	37.6	0.043	<0.01	0.07	0.020	0.18	0.002	0.086	<0.001
	東シナ海側	365	1239	0.054	0.24	3.95	0.057	11.4	102	16	1.76	0.919	1.13	0.39	15.2	0.046	<0.01	0.06	0.080	0.07	0.002	0.257	<0.001
	東シナ海側	365	1157	0.12	0.13	5.71	0.10	31.8	133	21	2.23	1.39	1.88	1.7	29.1	0.037	<0.01	0.08	0.018	0.20	0.003	0.100	<0.001
	東シナ海側	375	1313	0.10	0.21	3.24	0.077	13.0	90.4	15	1.67	0.709	1.02	0.34	14.8	0.035	<0.01	0.05	0.030	0.09	0.001	0.044	<0.001
	東シナ海側	355	1117	0.06	0.17	2.96	0.04	7.59	84.8	8.2	1.45	1.36	0.798	0.082	10.1	0.038	<0.01	0.05	0.012	0.06	0.003	0.025	0.001
	東シナ海側	360	1139	0.11	0.20	5.28	0.01	27.5	121	21	2.19	0.724	1.55	1.3	34.1	0.026	<0.01	0.07	0.036	0.13	0.002	0.061	<0.001
筋肉	太平洋側	370	1149	0.011	0.33	0.630	0.026	4.96	24.5	5.6	2.27	1.23	0.024	0.005	0.064	0.012	0.01	0.01	0.029	0.22	<0.001	0.001	<0.001
	太平洋側	370	1143	0.012	0.25	0.622	0.029	6.03	21.9	3.8	2.62	2.07	0.018	0.002	0.028	0.012	<0.01	0.10	0.028	0.14	<0.001	0.011	<0.001
	太平洋側	360	1038	0.012	0.18	0.576	0.024	5.11	19.6	5.0	2.09	1.19	0.016	0.002	0.047	0.015	<0.01	0.09	0.046	0.19	<0.001	0.001	<0.001
	太平洋側	360	1191	0.014	0.28	0.569	0.020	5.53	22.3	4.3	2.28	0.839	0.018	0.003	0.053	0.011	<0.01	0.10	0.026	0.12	<0.001	0.013	<0.001
	太平洋側	375	1211	0.019	0.27	0.572	0.017	4.22	22.1	4.6	2.35	5.27	0.015	0.003	0.053	0.026	<0.01	0.10	0.039	0.22	<0.001	0.017	<0.001
	東シナ海側	365	1239	0.009	0.34	0.329	0.010	2.36	27.9	2.1	2.87	0.727	0.014	0.003	0.030	0.146	<0.01	0.09	0.038	0.14	<0.001	0.029	<0.001
	東シナ海側	365	1157	0.011	0.41	0.359	0.012	2.49	22.9	2.2	2.62	1.56	0.019	0.004	0.047	0.013	<0.01	0.01	0.054	0.21	<0.001	0.029	<0.001
	東シナ海側	375	1313	0.008	0.49	0.359	0.013	2.18	20.5	1.9	2.74	0.314	0.018	0.002	0.024	0.018	0.01	0.09	0.026	0.15	<0.001	0.014	<0.001
	東シナ海側	355	1117	0.009	0.18	0.410	0.012	2.68	23.2	2.6	2.79	0.415	0.012	0.002	0.038	0.023	<0.01	0.09	0.026	0.18	<0.001	0.014	<0.001
	東シナ海側	360	1139	0.007	0.17	0.288	0.013	2.85	18.9	2.6	2.44	0.502	0.014	0.001	0.047	0.001	0.02	0.08	0.026	0.15	<0.001	0.010	<0.001

表 12. 沖縄本島および石垣島で採取したタイラピアおよびボラの筋肉中微量元素濃度 (μg/g 乾重当り)

サンプルID	採取場所	性別	V	Cr	Mn	Co	Cu	Zn	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Cs	Ba	Hg	Tl	Pb	Bi
タイラピア																						
5	石垣島	メス	0.037	0.43	0.749	0.038	1.29	20.7	1.6	8.73	1.21	0.081	0.001	0.016	0.053	0.02	0.05	0.077	0.07	0.005	0.152	0.007
13	石垣島	メス	0.019	0.42	0.542	0.041	2.53	20.3	1.7	9.80	0.508	0.038	0.001	0.017	0.139	0.02	0.09	0.069	0.20	0.007	0.222	0.013
19	石垣島	メス	0.038	0.48	1.04	0.038	1.09	18.8	1.4	9.69	0.756	0.028	0.002	0.017	0.058	0.02	0.21	0.12	0.10	0.006	0.276	0.006
102	石垣島	メス	0.015	0.24	0.624	0.043	0.957	16.7	1.1	8.51	0.628	0.025	0.001	0.002	0.016	<0.01	0.05	0.018	0.08	0.006	0.003	0.004
7	石垣島	オス	0.016	0.38	0.546	0.040	1.16	22.3	2.1	9.89	0.557	0.054	0.003	0.010	0.047	0.02	0.05	0.025	0.14	0.007	0.123	0.005
21	石垣島	オス	0.016	0.56	0.719	0.047	1.10	19.8	1.9	10.4	0.587	0.048	<0.001	0.020	0.061	0.02	0.06	0.032	0.34	0.006	0.257	0.008
43	石垣島	オス	0.015	0.24	0.512	0.056	1.16	21.2	2.1	13.0	0.609	0.046	0.001	0.003	0.024	<0.01	0.07	0.051	0.18	0.009	0.036	0.011
44	石垣島	オス	0.022	0.30	0.864	0.038	1.14	17.6	1.3	12.1	1.56	0.035	0.001	0.002	0.021	<0.01	0.06	0.045	0.07	0.006	0.030	0.006
716	沖縄本島・比嘉川	メス	0.019	0.23	0.310	0.030	0.942	15.8	3.0	8.38	0.393	0.047	0.001	<0.001	0.018	<0.01	0.09	0.021	0.07	0.002	0.003	<0.001
722	沖縄本島・比嘉川	メス	0.013	0.43	0.445	0.021	0.669	17.2	3.2	7.82	0.440	0.023	<0.001	<0.001	0.017	<0.01	0.05	0.014	0.06	0.001	0.003	0.001
734	沖縄本島・比嘉川	メス	0.017	0.25	0.805	0.027	0.777	17.1	3.2	7.98	1.17	0.027	<0.001	0.002	0.012	<0.01	0.06	0.043	<0.05	0.002	0.005	0.001
737	沖縄本島・比嘉川	メス	0.012	0.28	0.369	0.018	0.790	16.9	2.8	8.25	0.787	0.023	<0.001	<0.001	0.015	<0.01	0.07	0.017	<0.05	0.001	<0.001	0.001
725	沖縄本島・比嘉川	オス	0.009	0.25	0.599	0.015	0.715	14.0	2.5	8.27	0.549	0.028	<0.001	0.001	0.019	<0.01	0.06	0.014	0.06	0.002	<0.001	0.001
730	沖縄本島・比嘉川	オス	0.015	0.25	0.522	0.014	0.691	13.0	2.7	7.90	0.368	0.053	<0.001	0.002	0.011	<0.01	0.06	0.015	<0.05	<0.001	0.002	0.001
801	沖縄本島・比嘉川	オス	0.011	0.24	0.357	0.021	0.757	17.6	2.4	10.0	0.752	0.034	<0.001	0.002	0.011	<0.01	0.06	0.011	<0.05	0.001	<0.001	0.001
802	沖縄本島・比嘉川	オス	0.011	0.26	0.505	0.012	0.664	12.7	2.7	8.87	0.506	0.016	0.001	0.001	0.015	<0.01	0.08	0.020	0.06	0.002	<0.001	0.001
601	沖縄本島・渡湖 - 鏡波川	メス	0.060	0.50	0.195	0.047	1.87	20.0	2.6	6.27	6.37	0.037	<0.001	<0.001	0.030	<0.01	0.04	0.035	<0.05	0.001	0.080	0.002
612	沖縄本島・渡湖 - 鏡波川	メス	0.018	0.26	0.430	0.012	0.815	15.9	1.5	7.36	1.12	0.011	<0.001	<0.001	0.015	<0.01	0.03	0.012	<0.05	0.001	<0.001	0.001
628	沖縄本島・渡湖 - 鏡波川	メス	0.014	0.16	0.418	0.021	0.736	15.4	1.3	8.16	1.24	0.013	<0.001	<0.001	0.013	<0.01	0.04	0.014	<0.05	0.001	<0.001	0.001
635	沖縄本島・渡湖 - 鏡波川	メス	0.010	0.36	0.743	0.016	0.637	14.1	1.7	7.82	1.17	0.012	0.001	<0.001	0.031	<0.01	0.03	0.016	<0.05	0.002	0.002	0.001
604	沖縄本島・渡湖 - 鏡波川	オス	0.052	0.47	0.484	0.014	0.645	13.9	1.5	9.68	0.862	0.017	0.002	0.002	0.011	<0.01	0.04	0.011	<0.05	0.002	0.002	0.002
605	沖縄本島・渡湖 - 鏡波川	オス	0.018	0.17	0.230	0.011	0.707	14.5	1.1	11.3	1.08	0.012	<0.001	<0.001	0.014	<0.01	0.05	0.008	<0.05	<0.001	0.118	<0.001
634	沖縄本島・渡湖 - 鏡波川	オス	0.011	0.17	0.368	0.008	0.723	14.4	2.7	6.53	0.963	0.011	<0.001	<0.001	0.012	<0.01	0.03	0.006	0.12	<0.001	0.005	<0.001
636	沖縄本島・渡湖 - 鏡波川	オス	0.015	0.42	0.409	0.017	0.830	12.5	1.9	7.73	1.23	0.015	0.001	<0.001	0.016	<0.01	0.04	0.009	0.10	<0.001	<0.001	<0.001
239	沖縄本島・恩納村	メス	0.062	0.40	0.612	0.043	0.702	17.0	1.3	6.32	1.30	0.057	0.022	0.047	0.052	0.03	0.09	0.048	0.06	0.036	0.057	0.033
212	沖縄本島・恩納村	メス	0.079	0.67	0.483	0.052	1.21	29.6	1.5	13.5	3.28	0.037	<0.001	0.012	0.033	0.02	0.10	0.035	0.06	0.001	0.189	0.007
213	沖縄本島・恩納村	メス	0.034	0.26	0.495	0.016	1.06	24.7	1.4	8.01	1.85	0.029	<0.001	0.003	0.021	<0.01	0.07	0.030	0.11	0.002	0.052	<0.001
215	沖縄本島・恩納村	メス	0.028	0.20	0.675	0.016	0.805	18.9	1.7	7.41	2.68	0.023	<0.001	0.002	0.037	0.02	0.05	0.018	0.07	0.003	0.529	0.001
208	沖縄本島・恩納村	オス	0.033	0.44	0.407	0.028	0.751	18.8	1.7	7.93	1.33	0.091	<0.001	0.002	0.053	<0.01	0.06	0.016	<0.05	0.004	0.041	0.002
211	沖縄本島・恩納村	オス	0.080	0.66	0.398	0.028	1.25	19.3	1.5	9.10	1.63	0.054	<0.001	0.003	0.025	0.01	0.09	0.028	<0.05	0.004	0.095	0.003
218	沖縄本島・恩納村	オス	0.030	0.32	0.520	0.014	0.709	17.0	1.5	7.47	1.54	0.025	<0.001	0.002	0.024	<0.01	0.06	0.015	0.07	0.002	0.015	0.001
220	沖縄本島・恩納村	オス	0.077	0.77	0.494	0.025	0.742	14.5	1.8	7.72	1.19	0.062	<0.001	0.007	0.024	0.01	0.06	0.021	<0.05	0.008	0.018	0.006
ボラ																						
702	沖縄本島・比嘉川	メス	0.028	0.37	0.424	0.006	0.776	15.6	1.3	4.92	5.12	0.009	<0.001	0.001	0.048	<0.01	0.09	0.072	0.06	<0.001	0.017	0.001
703	沖縄本島・比嘉川	メス	0.029	0.75	0.236	0.012	0.771	11.1	1.2	3.77	0.886	0.011	<0.001	0.012	0.077	<0.01	0.07	0.013	<0.05	0.004	0.010	0.004
707	沖縄本島・比嘉川	メス	0.081	0.78	0.528	0.010	0.848	11.6	1.9	5.06	3.22	0.008	<0.001	<0.001	0.022	<0.01	0.10	0.061	<0.05	0.002	0.025	<0.001
704	沖縄本島・比嘉川	オス	0.054	0.61	0.214	0.006	0.896	10.7	1.4	4.72	1.27	0.005	0.002	<0.001	0.015	<0.01	0.10	0.011	<0.05	0.002	0.015	<0.001
705	沖縄本島・比嘉川	オス	0.017	1.0	0.299	0.008	0.952	12.6	1.1	4.92	1.18	0.013	<0.001	0.016	0.193	<0.01	0.08	0.021	<0.05	0.004	0.016	0.003
706	沖縄本島・比嘉川	オス	0.015	0.32	0.457	0.006	0.724	15.3	1.3	5.49	1.18	0.007	<0.001	<0.001	0.052	<0.01	0.08	0.015	<0.05	0.002	0.009	<0.001
77	石垣島	メス	0.033	0.43	0.543	0.026	0.842	12.7	2.0	11.4	0.536	0.019	<0.001	0.003	0.040	<0.01	0.06	0.027	<0.05	0.002	0.023	0.003
70	石垣島	メス	0.062	0.68	0.829	0.022	0.927	13.1	1.8	10.4	2.31	0.021	<0.001	<0.001	0.024	<0.01	0.06	0.071	<0.05	0.002	0.028	0.001
80	石垣島	メス	0.12	1.1	2.71	0.046	1.68	16.0	2.3	11.3	0.863	0.034	<0.001	0.004	0.156	<0.01	0.06	0.15	<0.05	0.003	0.073	0.002
78	石垣島	メス	0.026	0.43	0.600	0.055	2.24	16.6	2.0	10.6	0.584	0.120	<0.001	0.009	0.020	<0.01	0.07	0.036	0.07	0.003	0.030	0.004
559	沖縄本島・渡湖 - 鏡波川	メス	0.018	0.25	0.408	0.008	0.716	13.7	1.4	8.70	0.564	0.022	<0.001	0.007	0.043	<0.01	0.05	0.054	0.08	0.002	0.117	0.005
563	沖縄本島・渡湖 - 鏡波川	メス	0.050	0.21	0.641	0.018	0.766	11.7	2.6	6.62	1.04	0.018	<0.001	0.009	0.034	<0.01	0.04	0.18	<0.05	0.002	0.063	0.003
558	沖縄本島・渡湖 - 鏡波川	メス	0.029	0.14	0.512	0.012	1.16	19.8	1.5	5.18	2.96	0.023	<0.001	0.008	0.041	<0.01	0.04	0.11	<0.05	0.001	0.063	0.004
562	沖縄本島・渡湖 - 鏡波川	メス	0.026	0.17	0.484	0.019	0.967	14.8	1.7	7.96	0.954	0.028	<0.001	0.002	0.029	<0.01	0.03	0.11	<0.05	<0.001	0.115	0.003
193	沖縄本島・恩納村	メス	0.018	0.16	0.298	0.006	0.987	22.5	1.5	6.49	2.54	0.014	<0.001	&								

表 13. 沖縄本島および石垣島沿岸域で採取した無脊椎動物の微量元素濃度 (μg/g 乾重当り)

種名	ID	性別	採取場所	測定組織	V	Cr	Mn	Co	Cu	Zn	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Cs	Ba	Hg	Tl	Pb	Bi	
リュウキュウヒバリガイ			沖縄本島・恩納村 石垣島	全軟組織	4.4	3.7	6.83	0.65	12.5	56.8	5.2	3.01	606	5.11	3.5	2.47	0.084	0.16	0.07	3.5	0.19	0.015	4.38	0.051	
				全軟組織	2.6	2.6	19.9	1.3	12.6	50.4	9.0	6.58	184	12.7	0.13	0.551	0.088	0.06	0.08	1.8	0.23	0.005	2.66	0.049	
カノコガイ			沖縄本島・恩納村 石垣島	全軟組織	3.2	3.0	62.0	0.63	16.0	77.8	5.5	3.17	327	2.95	0.83	0.259	0.071	0.03	0.01	3.2	0.08	0.015	1.07	0.013	
				全軟組織	1.3	3.1	85.2	0.50	48.0	111	3.6	3.69	145	1.63	0.30	0.253	0.254	0.10	0.09	2.7	0.07	0.009	4.85	0.016	
クモガイ			沖縄本島・恩納村(渡具知) 沖縄本島・恩納村(残波) 石垣島	全軟組織	16	2.9	71.2	0.31	33.9	152	3.8	5.03	524	0.471	2.0	1.54	0.067	0.03	0.04	1.3	0.13	0.007	2.17	0.016	
				全軟組織	11	2.2	167	1.3	106	284	8.4	5.47	275	0.558	2.1	1.00	0.103	0.02	0.07	0.85	0.23	0.007	2.30	0.025	
ノコギリガザミ		オス	沖縄本島・漫湖(鏡波川)	全軟組織	8.3	1.6	102	0.90	19.1	79.1	4.0	6.07	389	0.490	1.3	1.40	0.051	0.02	0.03	0.74	0.18	0.003	1.46	0.019	
				筋肉	0.054	0.32	2.98	0.21	57.5	194	4.0	3.78	61.8	0.115	1.0	0.014	0.029	<0.01	0.02	0.14	0.11	0.003	0.010	0.007	
アカテノコギリガザミ	2	オス	石垣島	筋肉	0.12	0.91	1.16	0.064	62.7	240	10	3.12	82.0	0.063	0.31	0.009	0.059	<0.01	0.02	0.078	0.17	0.002	0.086	0.007	
	3	オス		筋肉	0.042	0.35	1.17	0.097	59.2	213	4.7	3.83	42.2	0.047	0.82	0.006	0.070	<0.01	0.02	0.096	0.09	0.002	0.109	0.007	
	4	メス		筋肉	0.086	1.0	1.12	0.061	51.3	289	8.7	3.84	64.3	0.059	0.45	0.012	0.010	<0.01	0.02	0.063	0.16	<0.001	0.168	0.005	
	5	メス		筋肉	0.043	0.40	1.54	0.093	104	304	8.8	4.00	134	0.043	0.26	0.002	0.047	<0.01	0.02	0.15	0.15	0.002	0.176	0.006	
	6	メス		筋肉	0.055	0.64	3.46	0.13	53.1	220	6.5	3.56	54.6	0.043	1.8	0.002	0.029	<0.01	0.01	0.10	0.10	0.12	<0.001	0.054	0.006
	2	オス		筋肉	0.050	0.27	14.3	0.36	152	352	11	8.09	98.0	0.097	0.11	0.205	<0.05	<0.01	0.04	1.1	0.21	0.001	0.014	0.007	
	3	オス		筋肉	0.076	0.56	17.3	0.38	80.0	258	8.2	5.89	111	0.115	0.050	0.142	<0.05	0.02	0.03	1.6	0.17	0.001	0.023	0.009	
4	オス	筋肉	0.068	0.39	20.9	0.49	89.2	229	6.5	6.20	45.9	0.108	0.17	0.332	<0.05	<0.01	0.04	1.1	0.20	0.003	0.016	0.009			
5	オス	筋肉	0.053	0.24	16.8	0.17	91.4	313	7.2	9.53	79.5	0.053	0.13	0.183	<0.05	<0.01	0.05	1.1	0.21	0.002	0.016	0.006			
8	オス	筋肉	0.11	0.40	8.57	0.21	132	274	8.0	7.47	73.8	0.135	0.17	0.341	<0.05	0.01	0.04	1.1	0.22	0.003	0.037	0.008			
9	オス	筋肉	0.10	0.41	27.7	0.09	68.4	393	7.3	5.71	133	0.097	0.55	0.740	<0.05	<0.01	0.05	4.2	1.4	0.002	0.018	0.003			
1	メス	筋肉	0.01	0.53	21.8	0.43	115	385	7.9	9.31	139	0.096	0.10	0.238	0.11	0.00	0.06	1.7	0.36	0.003	0.030	0.007			
6	メス	筋肉	0.093	0.42	33.9	0.56	108	342	5.8	8.00	150	0.215	0.65	0.954	<0.05	<0.01	0.04	1.6	0.27	0.003	0.025	0.015			
7	メス	筋肉	0.088	0.40	19.1	0.59	87.5	291	7.2	7.03	35.4	0.150	0.23	0.405	<0.05	<0.01	0.04	1.0	0.28	0.002	0.030	0.019			

表 14. ティラピア・ボラにおける体重・生殖腺重量・生殖腺指数 (GSI)・血中ピテロジエンニン濃度 (VTG)

サンプル ID	採取場所	性別	体重 (g)	生殖腺重量 (g)	GSI*	VTG (μg/g)	生殖腺組織所見
ティラピア							
5	石垣島(アンパル干潟)	メス	304	1.560	0.514	91.1	
13	石垣島(アンパル干潟)	メス	430	2.516	0.585	554.6	
19	石垣島(アンパル干潟)	メス	470	1.200	0.255	70.6	
102	石垣島(アンパル干潟)	メス	360	3.430	0.953	-	
7	石垣島(アンパル干潟)	オス	480	0.939	0.196	-	異常(癒合)
21	石垣島(アンパル干潟)	オス	600	0.979	0.163	-	
43	石垣島(アンパル干潟)	オス	830	2.764	0.333	-	
44	石垣島(アンパル干潟)	オス	470	1.928	0.410	-	
716	沖繩本島・嘉手納(比謝川)	メス	516	2.269	0.440	130.8	
722	沖繩本島・嘉手納(比謝川)	メス	265	0.378	0.143	N.D.	
734	沖繩本島・嘉手納(比謝川)	メス	333	0.857	0.257	N.D.	
737	沖繩本島・嘉手納(比謝川)	メス	270	0.489	0.181	65.6	異常(変色)
725	沖繩本島・嘉手納(比謝川)	オス	469	0.438	0.093	N.D.	
730	沖繩本島・嘉手納(比謝川)	オス	650	0.418	0.064	N.D.	
801	沖繩本島・嘉手納(比謝川)	オス	612	0.679	0.111	N.D.	異常(水泡)
802	沖繩本島・嘉手納(比謝川)	オス	504	0.386	0.077	N.D.	異常(水泡)
601	沖繩本島・漫湖(鏡波川)	メス	437	0.665	0.152	N.D.	異常(変色)
612	沖繩本島・漫湖(鏡波川)	メス	459	0.920	0.200	N.D.	
628	沖繩本島・漫湖(鏡波川)	メス	397	2.294	0.578	244.3	
635	沖繩本島・漫湖(鏡波川)	メス	340	1.098	0.323	N.D.	異常(表面の硬化)
604	沖繩本島・漫湖(鏡波川)	オス	458	2.559	0.559	N.D.	
605	沖繩本島・漫湖(鏡波川)	オス	628	0.947	0.151	N.D.	
634	沖繩本島・漫湖(鏡波川)	オス	550	4.991	0.907	N.D.	異常(基部の膨らみ)
636	沖繩本島・漫湖(鏡波川)	オス	538	3.558	0.661	N.D.	
239	沖繩本島・恩納村(志嘉座川)	メス	164	5.567	3.395	142.7	
212	沖繩本島・恩納村(志嘉座川)	メス	146	0.655	0.449	N.D.	
213	沖繩本島・恩納村(志嘉座川)	メス	142	2.498	1.759	250.0	
215	沖繩本島・恩納村(志嘉座川)	メス	157	0.781	0.497	24.5	
208	沖繩本島・恩納村(志嘉座川)	オス	368	0.285	0.077	N.D.	
211	沖繩本島・恩納村(志嘉座川)	オス	300	0.953	0.318	N.D.	
218	沖繩本島・恩納村(志嘉座川)	オス	335	0.380	0.113	N.D.	
220	沖繩本島・恩納村(志嘉座川)	オス	379	0.519	0.137	N.D.	
ボラ							
702	沖繩本島・嘉手納(比謝川)	メス	303	0.423	0.140	N.D.	
703	沖繩本島・嘉手納(比謝川)	メス	361	0.700	0.194	N.D.	
707	沖繩本島・嘉手納(比謝川)	メス	336	0.569	0.169	N.D.	
704	沖繩本島・嘉手納(比謝川)	オス	276	0.189	0.068	N.D.	
705	沖繩本島・嘉手納(比謝川)	オス	508	0.070	0.014	N.D.	
706	沖繩本島・嘉手納(比謝川)	オス	371	0.100	0.027	N.D.	

\*GSI=生殖腺重量/体重×100

N.D.:検出限界以下

-:データなし



**造礁サンゴ幼若体の褐虫藻獲得に対する  
有害化学物質暴露の影響試験に関する調査報告**

渡邊俊樹  
(東京大学海洋研究所)



# 造礁サンゴ幼若体の褐虫藻獲得に対する 有害化学物質暴露の影響試験に関する調査報告

渡邊俊樹

(東京大学海洋研究所)

## 1. はじめに

近年世界規模で造礁サンゴ類の大量斃死が起こっており、サンゴ礁生態系の崩壊につながっている。サンゴの死の原因としては、海水温の上昇による白化、オニヒトデ等の天敵の増大、海水の汚染等が指摘されている。海水の汚染の原因としては、赤土や生活排水の流入の他にも、船底塗料や農薬などとして使われる化学物質、および工業製品の加工に用いられる化学物質の流入・残留が考えられるが、そうした化学物質のサンゴに対する毒物学的研究は現在までのところ非常に少なかった。その理由としては、サンゴの実験室内での飼育が困難であるため、毒性試験を行うのが難しかったことがあげられる。

筆者は、成体サンゴに比べて飼育の容易な稚サンゴ（幼若体ともよばれる、ここでは受精後約半月～2ヵ月半のもの）を用いて暴露実験を行い、いくつかの化学物質の影響を調べてきた。2005年には、共生状態および非共生状態の稚サンゴを、塩化トリブチルスズ（TBT-Cl、船底塗料として広く使われた）、ジウロン（またはDCMU、除草剤および船底塗料として広く使われている）、ジクロロボス（またはDDVP、殺虫剤）に10日間暴露し、形態学的異常および共生する褐虫藻の触手における密度の変化を調べた。

その結果、共生状態の方が非共生状態よりもDCMUおよびDDVPに対して感受性が高いが、TBT-Clに対してはほぼ等しい感受性を示すことがわかった。TBT-Clに10日間暴露した稚サンゴ（共生状態）では、1 $\mu$ g/L以上の濃度で、軟組織の骨格からの離脱や褐虫藻密度の減少などの異常が見られた。DCMUへの暴露では、10 $\mu$ g/Lで褐虫藻密度の減少が、100 $\mu$ g/Lでは軟組織の骨格からの離脱が見られた。DDVPへの暴露では、100 $\mu$ g/L以上の濃度で、軟組織の骨格からの離脱や褐虫藻密度の減少が見られた（Watanabe *et al.* 2006）。

2006年、共生状態の稚サンゴのみを用いて、TBT-Cl、DCMUの影響を再び調べた。2005年はサンゴに感染させる褐虫藻として、シャコガイ由来のPL-TS-1株を用いたが、2006年はサンゴ由来のCCMP2467株（以下、2467株）を用いた。2467株は、PL-TS-1株に比べてより長期間良好な共生状態を維持するため（Watanabe *et al.* 2007）、2006年は上記の2物質に対してそれぞれ48および50日という長期間の暴露を行って影響を調べた。その結果、2005年の10日間の暴露実験におけるよりも、より低い濃度で影響が観察された。

また、同様の共生状態の稚サンゴを用いて、赤土、metribuzin、およびmetribuzin DA（脱アミノメトリブジン）に対する影響も調べた（10日間の暴露）。赤土については2005年も実験を行い、100 mg/Lおよびそれ以下のいくつかの濃度を試したが、影響が全く見られなかったため、今回は10 g/Lまでの極めて高い濃度を試した。metribuzin【CAS#21087-64-9】は、沖縄においても用いられているトリアジン系の除草剤である。metribuzin DAはその分解産物であり、光合成阻害

効果は metribuzin よりも弱いと考えられる。

## 2. 同実験方法、結果、考察の概要

代表的な造礁サンゴのグループであるミドリイシ属のウスエダミドリイシ (*Acropora tenuis*) を対象に、変態直後の幼若期における様々な有害物質の影響を、以下の2点について調べた。

a. 目立った形態的变化 (組織の骨格からの離脱、個体の死など)。

b. 稚サンゴの成長に対する有害物質の影響

実験の方法は、2467 株褐虫藻を用いたこと、および長期の飼育のために海水に液状餌を添加した (詳細は Watanabe *et al.* 2007 を参照) ことを除き、Watanabe *et al.* 2006 に従った。以下に述べる実験は 2006 年に行ったが、metribuzin への暴露実験のみ 2007 年に行った (2006 年に metribuzin を入手できなかったため)。

この研究で対象とした物質は以下の5つである。以下 a-f に述べるように、5 物質のすべてにより、稚サンゴに対する影響が観察された。ただし、metribuzin, metribuzin DA、赤土による影響は、極めて高い濃度でしか観察されなかった。

a) TBT-Cl (塩化トリブチルスズ) 【CAS#1461-22-9】: 船底塗料として広く用いられてきた。日本を含む先進国では近年使用が規制されているが、一部の発展途上国では現在でも使用されている可能性がある。ここでは 0.1, 0.4, 1, 2.5  $\mu\text{g/L}$  の4つの濃度を試した。

表1に示すように、2.5  $\mu\text{g/L}$  の濃度で10日間暴露したグループでは、すべての個体で異常が観察され、約 1 / 3 が死亡していたほか、軟組織の骨格からの部分的離脱や組織塊の骨格からの脱出 (bail-out) が観察された。1  $\mu\text{g/L}$  の濃度に暴露したグループでは、10日間の暴露の後、過半数の個体で組織の部分的離脱が観察された (2005年に行った実験とほぼ同じ結果)。

0.1 および 0.4  $\mu\text{g/L}$  の濃度での10日間の暴露では特に影響が観察されなかったため、この2つのグループについては暴露期間を48日に延長した。48日後でもこれら2つのグループの大部分の個体では、目立った異常は観察されなかった。少数の個体では、組織の部分的離脱が見られた他、生きた個体が藻類に覆われてしまうという現象が観察された (図1)。この藻は褐虫藻ではなく附着珪藻と思われ、おそらくサンゴ幼生を飼っていた海水に混入して入り込んできたと考えられる。TBT-Cl を添加しないグループでもこうした藻の繁殖が見られ、シャーレ表面を被覆するのが見られたが、生きた稚サンゴを覆う例は観察されなかった。恐らく正常なサンゴはこうした藻をはねのける力を有していると考えられる。一方 TBT-Cl に暴露された状態では、ストレスにより一部の個体でそうした能力が失われ、藻により被覆されてしまったものと考えられる。

48日間の暴露実験終了後、0.1 および 0.4  $\mu\text{g/L}$  の TBT-Cl に暴露したグループ、および暴露しなかったグループ (コントロール群) の稚サンゴをシャーレから剥がし取り、それらの高さを計測して稚サンゴの成長に対する TBT-Cl の影響を評価した (表2)。その結果、0.4  $\mu\text{g/L}$  に暴露したグループでは、コントロール群に対して有意な成長の遅れが観察された。

b) DCMU 【CAS#330-54-1】 (3-(3,4-ジクロロフェニル)-1,1-ジメチル尿素): ジウロンとも呼ばれ、農薬 (除草剤) および船底塗料として広く用いられている。この実験では、0.3, 1, 3, 10  $\mu\text{g/L}$  の4つの濃度で50日間の暴露を行った。

いずれの濃度でも、50日間の暴露の終了時点では目立った変化（軟組織の離脱や死亡など）は見られなかった。しかし、4つの濃度のDCMUに暴露したグループの稚サンゴの高さをコントロール群（DCMUに暴露せず）と比較したところ、1, 3, および10  $\mu\text{g}/\text{L}$  に暴露した3グループでは有意に低く（表2）、それらの濃度でDCMUが稚サンゴの成長を遅らせることがわかった。

c) TBT-ClとDCMUの複合的な影響に関する予備試験：これら2物質の複合的な影響を調べるために、35個体の稚サンゴを0.4  $\mu\text{g}/\text{L}$  のTBT-Clおよび1  $\mu\text{g}/\text{L}$  のDCMUに同時に暴露する実験も行った（48日間）。その結果、11%の個体で軟組織の骨格からの部分的離脱が観察された。この数字は、TBT-Cl単独の場合（3%）よりも高いが、それほど大きな差ではなかった。TBT-Cl単独への暴露で見られたような藻類に被覆された個体は見られなかったが、これはDCMUが付着珪藻等の繁茂を抑えるためであるかも知れない。二重の暴露を受けた個体の高さの計測は行わなかった。

このように、今回の予備的試験では、複合的な暴露による大きな相乗効果は観察されなかった。

d) metribuzin 【CAS#21087-64-9】（メトリブジン）：トリアジン系の除草剤であり、グリホサートやDCMUほどではないが、沖縄県でも農薬として比較的多く使われている（農薬要覧による2001年の沖縄での出荷量は約3t）。今回の実験では、0.3, 1, 3, 10, 30, 100  $\mu\text{g}/\text{L}$  の6種の濃度のmetribuzinへの10日間の暴露を行った。その結果、はじめの3つの濃度では目立った異常は観察されなかったが、10  $\mu\text{g}/\text{L}$  では2%（46個体中）、30  $\mu\text{g}/\text{L}$  では21%（34個体中）、100  $\mu\text{g}/\text{L}$  では21%（28個体中）の個体で異常（軟組織の骨格からの部分的離脱またはbail-out）が観察された。暴露前および後の個体を写真に撮り、metribuzinへの暴露による褐虫藻密度の変化を目視により調べたが、30, 100  $\mu\text{g}/\text{L}$  といった高い濃度でも目立った密度の減少は観察されなかった。

e) metribuzin DA（脱アミノメトリブジン）：上述したように、除草剤の一種metribuzinの分解産物である。今回の実験では、1, 10, 100  $\mu\text{g}/\text{L}$  の3種の濃度のmetribuzin DAに10日間暴露を行った。はじめの2つの濃度では、目立った異常は観察されなかったが、100  $\mu\text{g}/\text{L}$  では56%（34個体中）の個体で軟組織の骨格からの部分的な離脱が観察された。

f) 赤土：赤土は沖縄の表層土であり、この実験では大宜味村の山林地帯で採取された国頭マージと呼ばれる種類の赤土を用い、0.1, 1, 10, 100  $\text{g}/\text{L}$  の4つの濃度の赤土に10日間の暴露を行った。100  $\text{g}/\text{L}$  に暴露したグループでは、29%の個体（31個体中）で部分的な白化または軟組織の死（または離脱）が観察された（図2）。それ以下の濃度では目立った異常は観察されなかった。

赤土への暴露は、赤土が懸濁状態になるように振盪しながら行ったが、それでも赤土の大部分はシャーレの底に沈んだ状態であり、100  $\text{g}/\text{L}$  の濃度では稚サンゴ個体の下半分程度が常に赤土をかぶった状態であった。白化等が見られたのは稚サンゴの周縁部であり、赤土を常にかぶっていた部分に相当する。これらの個体でも、稚サンゴの中央部（または丹頂部、触手冠やその周辺の赤土をかぶらない部分）では目立った異常は観察されず、個体としては生き残っていた。この観察から、部分的な白化等の異常は、赤土との長期の接触による窒息またはストレスによるものと考えられた。

100  $\text{g}/\text{L}$  という濃度は現実では起こりにくいような高濃度であり、この濃度でも赤土に埋もれ

ていなかった部分では特に異常が見られない、という結果は意外であった。赤土から海水に溶け出す成分は、サンゴに対して大きな害を及ぼさないものと思われる。

#### 追記) アザミサンゴを用いた実験の試み

上記の実験はすべてウスエダミドリイシの稚サンゴを用いて行ったものである。ミドリイシを用いる利点としては、幼生を人工的に着底・変態させることが出来、稚サンゴを得やすいということがあげられる。しかし、サンゴの化学物質に対する感受性は種によって大きく異なる可能性があり、ミドリイシ以外の種類についても研究が行われる必要があると考えた。そのため、2005年および2006年に、アザミサンゴ (*Galaxea fascicularis*) の稚サンゴを作出して、ミドリイシで行ったのと同様の暴露実験を行うことを試みた。

2005年はアザミサンゴの受精そのものがうまく行かず、幼生を得ることが出来なかったが、2006年は受精方法を改良した結果うまく行くようになり、幼生を大量に得て東京に持ち帰ることが出来た。ミドリイシの場合は、Hym248という合成ペプチドを用いて数時間の間に大半の幼生を着底・変態させることが出来るが、アザミサンゴに対してはHym248は作用しなかった。アザミサンゴ幼生は、ゆっくりと自発的にガラスシャーレに着底・変態し、1週間ほどの間に半数程度がポリプとなった。しかしながら大半のポリプは、微小な動物(繊毛虫などと思われる)に食べられてしまい、少数のポリプしか残らなかった。残ったポリプに対して2467株褐虫藻の感染を試みたところ、高密度で感染し(図3)大半の稚サンゴは2ヶ月のあいだ共生状態を維持した。

上記のような微小動物は、ミドリイシの幼生を着底させたシャーレにおいても少数観察されるが、ミドリイシのポリプは食害を受けにくらしく(理由は不明)、食害により死亡する個体は見られなかった。こうした微小な生物は海水中に多数含まれるようであり、完全に取り除くことは難しく、幼ポリプを食することにより大量に増殖してしまうという問題がある。以上の理由から、残念ながら今回もアザミサンゴを用いた暴露実験を行うには至らなかった。

### 3. 幼生採取、室内実験について

ウスエダミドリイシ幼生の採取は、阿嘉島臨海研究所に依頼して行った。2006年6月15～21日に沖縄県・阿嘉島へ行き、幼生を東京へ持ち帰った。2007年には、6月10日に幼生を東京に持ち帰った。それ以降の実験は、東京都中野区にある東京大学海洋研究所で行った(図4)。

また、同様の実験をアザミサンゴの幼若体でも行うために、2006年7月および8月に琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底実験所へ行きアザミサンゴの受精を行った。7月は小規模の産卵しか起こらず、また受精効率も悪かったためごく少数の幼生しか得られなかったが、8月には多数の幼生を得ることが出来た。

#### 4. 使用した物質の化学特性、環境中濃度、生態影響に関する既知の知見のまとめ

TBT は、船底塗料や漁網防汚剤に利用されてきたが、現在、国内での使用は禁止となっている。近年の TBT の水環境中の濃度は、環境省の調査では  $0.01 \mu\text{g/L}$  前後あるいはそれ以下であるが、沖縄県には TBT 使用の制限がない外国籍船舶が多数入港しており、1990 年代に那覇港内で  $0.16 \mu\text{g/L}$  が検出された報告もある。今回の実験では、その約 2 倍の濃度 ( $0.4 \mu\text{g/L}$ ) での影響が観察された。TBT のように溶解度の低い物質は、海水中に溶解した状態だけでなくデトリタス（水中に懸濁しまたは水底に沈積している有機性の細屑・堆積物・浮泥）に付着した状態でも存在しており、それらの摂食を通じた暴露も起こっていると考えられる。高濃度の TBT が残留している港湾部等では、実際に TBT による影響が出ている可能性は排除できない。

DCMU は、TBT の代替物質として船底塗料に利用されている他、除草剤としてサトウキビやパイナップルで利用されている。農薬としての沖縄県における DCMU の使用量は全国第一位である。沖縄県における水環境中の濃度についてのデータは未だ報告されていない。西日本での調査では、今回の研究で確認された影響濃度  $1 \mu\text{g/L}$  の約 3 倍の値が検出されている。よって、沖縄でも同程度の濃度が残留している可能性があり、造礁サンゴの生育に負の影響を及ぼす可能性がある。特に、大雨の後などに赤土と共に農薬が海に大量に流入する可能性があり、今後沖縄県内各地で濃度の測定が行われることが強く望まれる。

2005 年と比べて 2006 年の実験では、褐虫藻株および飼育条件を変える（餌の添加）ことによりより長期の暴露実験を安定して行えるようになった。今後、南西諸島海域における高濃度の汚染およびサンゴへの悪影響が疑われる化学物質に対して、この実験系を用いて実証的な影響評価を簡便に行うことができる。

しかし実際には、港湾部等の限定された場所を除くと、サンゴが高濃度の単一の化学物質に長期に渡って晒されることは、あまり起こらないと想像される。現実には、海水中には多種多様な化学物質が低濃度で存在していると考えられる。今後はそうした汚染の評価をどう行ってゆくかが問題になるとともに、各地の海水の汚染状況の実態を解明することが重要になって行くと思われる。

さらに、化学物質のストレスと、サンゴ礁海域でサンゴへの脅威となっている他の種類のストレス（高温、低塩濃度など）との相乗効果を調べてゆくことも今後の重要な課題であると考えている。

#### 参考文献

- Watanabe, T., Yuyama, I., Yasumura, S. (2006) Toxicological effects of biocides on symbiotic and aposymbiotic juveniles of the hermatypic coral *Acropora tenuis*, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **339**, 177-188.
- Watanabe, T., Utsunomiya, Y., Yuyama, I. (2007) Long-term laboratory culture of symbiotic coral juveniles and their use in eco-toxicological study, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **352**, 177-186.

**表 1. 塩化トリブチルスズへの暴露（10 日後および 48 日後）による異常を示した個体数**  
括弧内の数値はパーセント

10日間					
TBT-Cl濃度	総個体数	正常個体	部分的離脱	Bail-out	死亡
0 $\mu\text{g/L}$	36	36(100)	0(0)	0(0)	0(0)
0.1 $\mu\text{g/L}$	39	39(100)	0(0)	0(0)	0(0)
0.4 $\mu\text{g/L}$	35	35(100)	0(0)	0(0)	0(0)
1 $\mu\text{g/L}$	35	17(49)	18(51)	0(0)	0(0)
2.5 $\mu\text{g/L}$	32	0(0)	19(59)	2(6)	11(34)

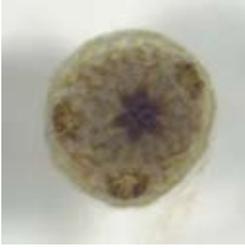
48日間				
TBT-Cl濃度	総個体数	正常個体	部分的離脱	藻類の被覆
0 $\mu\text{g/L}$	34	34(100)	0(0)	0(0)
0.1 $\mu\text{g/L}$	39	37(95)	2(5)	0(0)
0.4 $\mu\text{g/L}$	35	31(89)	1(3)	3(9)
1 $\mu\text{g/L}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2.5 $\mu\text{g/L}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

**表 2. DCMU および TBT-Cl に暴露（それぞれ 50 および 48 日間）した稚サンゴの高さ**  
★印は、コントロール群よりも有意に低いことを表す (\*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ )

DCMU濃度	稚サンゴの高さ (mm)	TBT-Cl濃度	稚サンゴの高さ (mm)
0 $\mu\text{g/L}$	0.66±0.11	0 $\mu\text{g/L}$	0.64 ± 0.10
0.3 $\mu\text{g/L}$	0.65±0.09	0.1 $\mu\text{g/L}$	0.59 ± 0.10
1 $\mu\text{g/L}$	0.61±0.08*	0.4 $\mu\text{g/L}$	0.56 ± 0.06**
3 $\mu\text{g/L}$	0.57±0.08**		
10 $\mu\text{g/L}$	0.58±0.06**		

図 1. 0.4  $\mu\text{g/L}$  の TBT-Cl に暴露された個体の少数に見られた異常

A. 暴露されなかった正常な個体

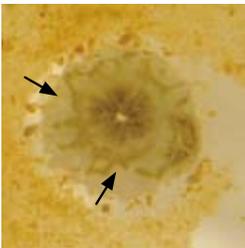


B. 暴露され、藻に被覆された個体



図 2. 100g/L の赤土の存在下で 10 日間飼育した個体の一部で見られた異常

A. 周縁部で見られる部分的白化 (矢印)



B. 周縁部で見られた組織の死または離脱

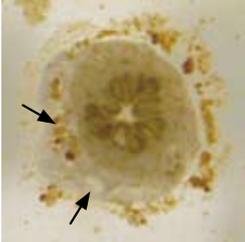


図 3. 2467 株褐虫藻が感染したアザミサンゴ幼若体



褐色部分は共生する褐虫藻。

図 4. 暴露実験を行っているインキュベーター内の様子





## WWF ジャパン・プロジェクト報告書 南西諸島における野生生物の有害化学物質調査（'05～'07）

---

発行／財団法人 世界自然保護基金ジャパン（WWF ジャパン）  
〒105-0014 東京都港区芝 3-3-14 日本生命赤羽橋ビル 6F  
Tel 03-3769-1711(代) Fax 03-3769-1717  
<http://www.wwf.or.jp>

編集／WWF ジャパン自然保護室 安村茂樹、新井秀子

印刷・デザイン／株式会社 大川印刷

発行日／2008年3月1日

I S B N / 978-4-915613-15-9

---

\*本書掲載の文章、図表、写真などの無断転載はお断りいたします。転載をご希望の際は必ず WWF ジャパンにご一報ください。

\*この報告書は、2006年度三井物産環境基金の助成により作成されました。

印刷用紙には、環境・社会・経済の側面を配慮して、適切に管理された森林の木材を原材料としているFSC 森林認証紙を使用しています。





WWFの使命は、次の3つの活動によって、地球環境の悪化を食い止め、人類が自然と調和して生きられる未来を築くことです。

- 世界の生物多様性を守る
- 再生可能な自然資源の持続可能な利用が確実に行なわれるようにする
- 環境汚染と浪費的な消費の削減を進める

***for a living planet***<sup>®</sup>

## WWF ジャパン

〒105-0014

東京都港区芝3-1-14

日本生命赤羽橋ビル6F

Tel 03-3769-1711

Fax 03-3769-1717

<http://www.wwf.or.jp/>