

原著論文

海産魚*Pterapogon kauderni*を用いた急性毒性試験法の検討

岸田智穂^{*1 §}・渡邊裕介^{*2}・堀田公明^{*2}・
箕輪 康^{*2}・喜田 潤^{*2}

Investigation of the Acute Toxicity Test Using
the Marine Fish *Pterapogon kauderni*

Chiho Kishida^{*1 §}, Yusuke Watanabe^{*2}, Komei Hotta^{*2},
Yasushi Minowa^{*2} and Jun Kita^{*3}

要約: スズキ目テンジクダイ科の海産魚である*Pterapogon kauderni*の試験生物としての適性を把握することを目的として、水生生物についての毒性データが多く蓄積されている化学物質である六価クロム (Cr(VI)), トリブチルスズ化合物 (TBT), 1,2,3,4,5,6-ヘキサクロロシクロヘキサン (γ -HCH) に対する96時間急性毒性試験を実施し, *P. kauderni*の化学物質に関する感受性を調べた。*P. kauderni*を用いた3物質に対する急性毒性試験の結果と既往知見から, *P. kauderni*は, 化学物質に対する感受性が他魚種と比較して同等もしくは高い種であると考えられた。水環境中の化学物質の毒性試験で用いる水生生物を選択する際に, 化学物質に対する感受性が高いことは, *P. kauderni*の特徴である飼育および観察の容易さや卵の取扱い易さと同様に重要な条件の一つである。したがって, 本種は, 海産魚の毒性試験に用いる試験魚としての適性を多く有すると考えられた。

キーワード: 海産魚, 稚魚, 毒性試験, 半数致死濃度, *Pterapogon kauderni*, 六価クロム, トリブチルスズ化合物, γ -ヘキサクロロシクロヘキサン

Abstract: This study investigated whether the marine fish Banggai cardinalfish *Pterapogon kauderni* is suitable as a test organism. We carried out 96 hour acute toxicity tests of chromium (Cr(VI)), tributyltin compounds (TBT) and γ -hexachlorocyclohexane (γ -HCH) using *P. kauderni*. Median lethal concentrations (LC₅₀) for 96 hour exposures (Cr(VI) 13 mg/L, TBT 2.5 μ g/L, γ -HCH 28 μ g/L) were compared with values obtained from existing toxicity data for acute tests using other fish species. Toxicity values obtained in this investigation are equal to or lower than those obtained from existing data. The results indicate that the sensitivity for toxic chemicals of *P. kauderni* is equal to or higher than those of other fish species. Considering that *P. kauderni* is easy to breed in addition to the results mentioned above, *P. kauderni* can be useful marine fish for toxicity testing.

Key words: marine fish, juvenile, toxicity test, 50% lethal concentration, median lethal concentration, *Pterapogon kauderni*, hexavalent chromium, tributyltin compounds, γ -hexachlorocyclohexane

(2014年12月22日受付, 2015年1月30日受理)

*1 公益財団法人海洋生物環境研究所 中央研究所(〒299-5105 千葉県夷隅郡御宿町岩和田300番地)
§ E-mail: kishida@kaiseiken.or.jp

*2 公益財団法人海洋生物環境研究所 実証試験場(〒945-0017 新潟県柏崎市荒浜四丁目7-17)

*3 公益財団法人地球環境産業技術研究機構(〒619-0292 京都府木津川市木津川台9-2)

まえがき

化学物質の有害性を評価するための毒性試験法として、魚類では淡水魚を用いた急性毒性試験および初期生活段階毒性試験に関するOECDのテストガイドライン(OECD, 1992a, 1992b)がよく利用されている。このテストガイドラインでは、メダカ *Oryzias latipes*、ゼブラフィッシュ *Danio rerio*、ファットヘッドミノ *Pimephales promelas*などの種が用いられている。海産魚においては、水産庁の海産生物毒性試験指針(水産庁, 2008)などが存在し、供試魚としてシロギス *Sillago japonica*、マダイ *Pagrus major*、海水馴致したシーブスヘッドミノ *Cyprinodon variegatus*やマミチョグ *Fundulus heteroclitus*などを用いた急性毒性試験法が記載されている。一方、海産魚について初期生活段階に対する毒性影響や慢性毒性影響を検討した例は、淡水魚と比較して著しく少ない。その理由としては、初期生活期の育成が容易であること、卵が取り扱い易い大きさであること、化学物質に対する感受性が高いこと等の試験魚としての複数条件が揃っている海産魚が少ないことが挙げられる。

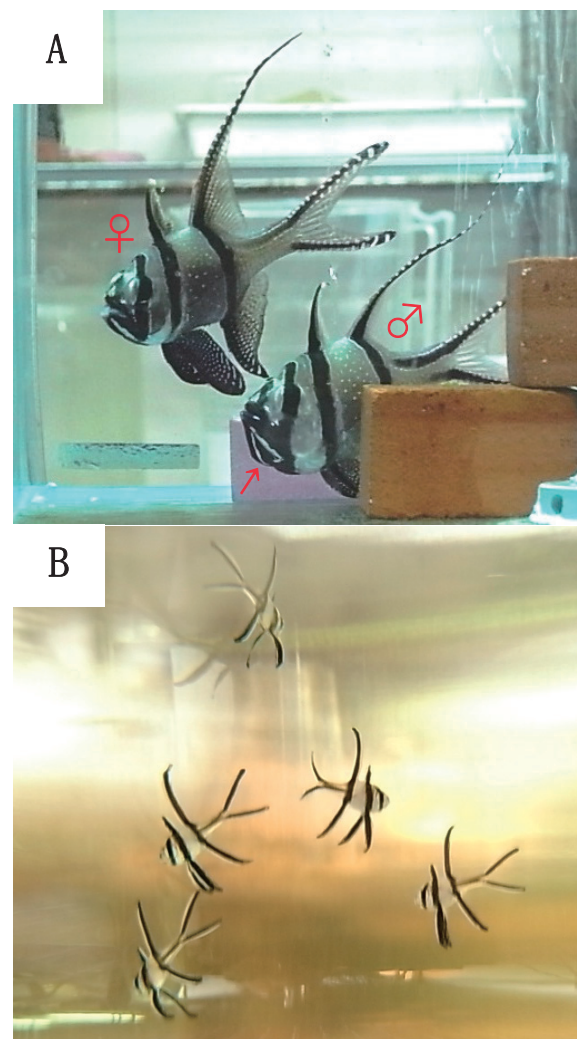
そこで、我々は、毒性試験に適した新たな海産魚の探索を行った結果、スズキ目テンジクダイ科の *Pterapogon kauderni*(以下 *P. kauderni*)を供試魚の候補に選定した。我々が *P. kauderni*を用いて行った予備的な試験によれば、(1)仔魚の生残率が比較的高い、(2)多くの海産魚と比較して高密度で飼育可能である、(3)共食いをしない、(4)半循環式水槽での飼育下でも産卵する、(5)卵径が大きいため作業および観察が容易である、等の特徴が明らかとなっている。

また、水環境中の化学物質の毒性試験で用いる水生生物を選定する際に、化学物質に対する感受性が高いことは、試験生物として適切であることの重要な条件の一つである。しかし、今回供試魚として選定した *P. kauderni*を用いた毒性試験の報告は見当たらない。そこで、我々は *P. kauderni*の化学物質の毒性に対する感受性を把握することを目的として、96時間急性毒性試験を行い、文献値と比較することにより本種の毒性試験に対する適性を検討した。

供試魚

試験には、*P. kauderni*の稚魚を用いた。飼育水槽内を遊泳する *P. kauderni*親魚(雌および抱卵している雄)と稚魚を第1図に示した。

*P. kauderni*は、インドネシア・スラウェシ(Sulawesi) 島の中部東方沖のバンガイ諸島(Banggai Islands)の固有種であり、バンガイ諸島周辺では比較的容易に観察される(Allen, 2000)。最大体長および全長はそれぞれ約55mmおよび80mm、卵の直径は約2.5~3.0mmである(Allen, 2000)。我々が行った親魚の飼育観察によ



第1図 *P. kauderni*の親魚 (A) と稚魚 (B)。第1図Aの上方の個体は雌(♀)、下方の個体は抱卵している雄(♂)。雄は口腔内に卵を保持しているため、下顎部が膨らんでいる(矢印)。第1図Bの稚魚は、孵化後15~19日。

れば、雌は産卵1回当たりおおよそ50～100個の卵を産出した。産出された卵はすぐさま雄の口腔で保育される。雄は卵を2～3週間口腔内で保育し、孵化した稚魚（体長約6mm）は雄の口腔内に6～10日間留まっている（Vagelli, 1999）。稚魚は口腔を離れた後に、再び口腔に戻ることは通常なく、親魚から独立し、4ヶ月で体長約30mmに成長し、1年以内に成熟する（Allen, 2000）。生息地では観賞魚として天然魚が漁獲されることにより生息個体数の減少が懸念されているので（Allen, 2000）、観賞魚の流通の観点からも小型水槽を用いた飼育・繁殖について研究されている（Hopkins *et al.*, 2005）。

供試魚の*P. kauderni*は、当研究所実証試験場（新潟県柏崎市荒浜）において2007年より継代飼育しており、試験には、水温26℃で育成した孵化後15～19日の稚魚を用いた。水生生物全般にわたり成体より仔稚魚の方が化学物質に対する感受性が高い傾向にあること（里見, 1985）から、本試験では稚魚を用いて試験を実施した。

方 法

96時間急性毒性試験は、OECDのテストガイドラインTG203（OECD, 1992a）および水産庁の海産生物毒性試験指針（水産庁, 2008）のマダイおよびシロギスを用いた急性毒性試験法に準じて実施した。対象物質には、六価クロム（以下Cr(VI)）、トリブチルスズ化合物（以下TBT）、1,2,3,4,5,6-ヘキサクロロシクロヘキサン（ γ -異性体）（以下 γ -HCH）を用いた。これらは、オクタノール/水分分配係数や溶解度が異なり、かつ水生生物についての有毒性データが多く蓄積されている化学物質であることから対象物質として選定した。

試験条件 試験対象物質には、二クロム酸カリウム（和光純薬工業株式会社製、CAS No. 7778-50-9）、塩化トリブチルスズ（以下TBTCI、シグマアルドリッチ株式会社製、CAS No. 1461-22-9）および γ -HCH（シグマアルドリッジジャパン製、商品名Lindane、含有量97%、CAS No. 58-89-9）を用いた。TBTCIおよび γ -HCHを溶解させる助剤にはジメチルスルホキシド（以下DMSO、和光純薬工業株式会社製、純度99%以上、CAS No. 67-68-5, Lot No. CDL2763）を用いた。試験には、紫外線殺菌装置および活性炭フィルターを通した

濾過海水を使用した。試験容器には3,000mLのビーカーを使用し、各容器に試験海水を3,000mLずつ注ぎ入れた。容器数は、1試験区当たり2個とし、1容器に*P. kauderni*を5尾ずつ収容した。容器を設置する恒温室内の設定温度は26℃とした。

照明には白色蛍光灯を用い、日長条件は12L（5時00分点灯17時00分消灯）とした。試験は止水で実施し、試験期間中に給餌および換水は行わなかった。試験は3回実施した（図表中には試験連番1～3と表記）。試験対象物質の暴露濃度は、当研究所で実施したシロギスを用いた急性毒性試験の結果（海生研, 2010）を基に5段階で設定した。Cr(VI)試験のCr(VI)濃度は、7.0, 8.9, 11, 14, 18 mg/L（公比1.27）、TBT試験のTBT濃度は、1.3, 2.0, 2.9, 4.3, 6.4 μ g/L（公比1.48）、 γ -HCH試験の γ -HCH濃度は、24, 26, 29, 32, 35 μ g/L（公比1.10）とした。また、Cr(VI)試験では対照区（海水のみの区）を、TBTおよび γ -HCH試験では、海水に溶解助剤のDMSOのみを添加した助剤対照区を設けた。試験期間は96時間とした。

観察および測定 各試験容器を恒温室内に設置し試験を開始した。試験開始0, 24, 48, 72, 96時間後にそれぞれ全個体の生死判定を行った。生死判定は、鰓蓋の開閉などの目視観察可能な動きの有無、ガラス棒で魚体に触れた時の反応の有無で判断した。試験期間中に死亡した個体は死亡を確認した時点で、また試験終了時までで生残した個体は試験終了時に取上げ、全長、体長、体重を測定した。

水質および対象物質濃度の測定方法 海水中Cr(VI)、TBT、および γ -HCH濃度測定のための採水および溶存酸素濃度（DO）とpHの測定は試験開始時および終了時に行った。塩分は試験開始時に測定した。水温および塩分は白金抵抗体センサーおよび電磁誘導型センサーを用いて連続測定した記録から値を読み取った。pHの測定にはメトラー・トレド社製 pH メータ SevenGo および pH 電極 InLab413SG、DOの測定にはHACH社携帯用蛍光式溶存酸素計 HQ10をそれぞれ用いた。

試験開始時のCr(VI)、TBT、および γ -HCH分析用海水は、各濃度区とも供試生物を加える前に採取した。試験終了時の分析用海水は、各濃度区の全容器から等量を採取した後混合したものとした。海水中Cr(VI)濃度は、JIS工業排水試験方法

のジフェニルカルバジド吸光光度法（日本規格協会，1998）に準拠して定量した。海水中TBT濃度は，環境省の要調査項目等調査マニュアル（水質，底質，水生生物）（環境省水環境部，2002）に準拠して，エチル誘導体化ーガスクロマトグラフ質量分析法を用いて分離・定量した。海水中 γ -HCH濃度は，液液抽出によるガスクロマトグラフ質量分析法を用いて分離・定量した。結果に記載した暴露濃度は，試験開始時および終了時の濃度の幾何平均値である。

試験結果の解析 試験期間中の*P. kauderni*の死亡個体数および海水中Cr(VI)，TBTおよび γ -HCH濃度の測定結果から，海水中Cr(VI)，TBTおよび γ -HCH濃度と致死影響の関係を解析した。半数致死濃度(LC₅₀)は，日本環境毒性学会のフリーソフトウェアEcotox-Statics ver. 2.6 (<http://www.intio.or.jp/jset/ecotox.htm>) を用いてProbit 法により算出した。

結 果

供試魚の全長，体長および体重 Cr(VI)，TBT， γ -HCHの急性毒性試験に使用した個体の試験開始時および終了時の全長，体長，体重をそれぞれ第1～3表に示した。開始時に測定した個体は，試験に使用した個体と同じ群から取り上げた。終了時には，対照区の個体を測定した。

各試験における開始時測定個体の全長，体長および体重の平均値は，それぞれ14.94～17.63mm，

9.78～11.49mm，31～55mgの範囲にあり，終了時測定個体の全長，体長および体重の平均値は，それぞれ14.99～17.93mm，9.57～11.66mm，28～49mgの範囲にあった。

海産生物毒性試験指針(水産庁，2010)には，魚類急性毒性試験に用いる個体の大きさについて，最大個体の全長が最小個体の1.5倍以下とすることが条件として記載されている。本報告に記載した全ての試験において最大個体の全長は，最小個体の1.5倍以下であり，上述した条件を満たしていた。

海水中Cr(VI)，TBT， γ -HCH濃度および水質 試験開始時と終了時(試験開始96時間後)の海水中Cr(VI)，TBT， γ -HCH濃度の実測値および水質(DO，pH，水温，塩分)をそれぞれ第4～6表に示した。

Cr(VI)，TBTおよび γ -HCHのいずれの試験においても対照区の海水から対象物質は検出されなかった(Cr(VI)，TBTおよび γ -HCHの検出下限値は，それぞれ0.01mg/L，1ng/Lおよび0.5 μ g/L)。Cr(VI)，TBTおよび γ -HCH試験における暴露濃度はそれぞれ設定値の100～106%，46～88%，68～83%の範囲であった。

試験開始時における海水のDOは，いずれの試験においても95%以上であった。試験終了時における海水のDOは，Cr(VI)，TBTおよび γ -HCH試験においてそれぞれ63.7～83.2%，62.0～83.2%，69.5～81.7%の範囲であった。Cr(VI)試験における試験開始時および終了時の海水のpHはそれぞれ

第1表 Cr(VI)の96時間暴露試験に供した*P. kauderni*の全長，体長および体重

試験 連番	測定 項目	開始時 (<i>n</i> =10) ^{*1}				終了時 (<i>n</i> =10) ^{*2}			
		平均	±	標準偏差	範囲	平均	±	標準偏差	範囲
1	全長 (mm)	17.63	±	0.31	17.29-18.07	17.93	±	0.55	17.10-18.84
2		15.50	±	0.45	14.83-16.14	16.08	±	0.44	15.24-16.66
3		16.22	±	0.56	15.46-17.08	17.50	±	0.27	17.16-17.94
1	体長 (mm)	11.49	±	0.30	10.83-11.88	11.66	±	0.34	11.01-12.17
2		10.17	±	0.41	9.67-10.89	10.30	±	0.59	9.34-11.00
3		10.82	±	0.31	10.31-11.38	11.18	±	0.25	10.63-11.46
1	体重 (mg)	55	±	4	46-60	49	±	4	44-57
2		37	±	2	34-40	35	±	3	31-40
3		44	±	3	39-49	40	±	2	37-43

^{*1} 開始時に測定した個体は，試験に使用した個体と同じ群から取り上げた。

^{*2} 終了時には，対照区の個体を測定した。

第2表 TBTの96時間暴露試験に供した *P. kauderni* の全長，体長および体重

試験 連番	測定 項目	開始時 ($n=10$)* ¹				終了時 ($n=10$)* ²			
		平均	±	標準偏差	範囲	平均	±	標準偏差	範囲
1	全長 (mm)	14.94	±	0.26	14.48-15.28	14.99	±	0.51	14.19-15.78
2		16.23	±	0.38	15.78-16.77	16.39	±	0.40	15.78-16.87
3		15.39	±	0.62	14.83-17.04	17.11	±	0.94	14.82-18.25
1	体長 (mm)	9.78	±	0.29	9.41-10.24	9.57	±	0.34	9.07-10.11
2		10.30	±	0.35	9.71-10.78	10.28	±	0.22	9.92-10.65
3		9.97	±	0.44	9.52-10.98	11.04	±	0.67	9.52-11.54
1	体重 (mg)	31	±	3	28-38	28	±	4	22-33
2		38	±	1	36-40	35	±	1	34-37
3		35	±	5	31-47	41	±	7	26-46

*¹ 開始時に測定した個体は，試験に使用した個体と同じ群から取り上げた。

*² 終了時には，対照区の個体を測定した。

第3表 γ -HCH の96 時間暴露試験に供した *P. kauderni* の全長，体長および体重

試験 連番	測定 項目	開始時 ($n=10$)* ¹				終了時 ($n=10$)* ²			
		平均	±	標準偏差	範囲	平均	±	標準偏差	範囲
1	全長 (mm)	16.88	±	0.26	16.31-17.23	17.58	±	0.43	16.82-18.01
2		16.31	±	0.39	15.68-16.65	16.75	±	0.58	15.89-17.82
3		16.60	±	0.60	15.48-17.63	16.88	±	0.57	15.45-17.48
1	体長 (mm)	10.78	±	0.28	10.31-11.37	11.01	±	0.26	10.65-11.43
2		10.51	±	0.36	9.89-10.99	10.57	±	0.28	10.00-10.94
3		10.61	±	0.37	9.68-10.95	10.74	±	0.31	10.15-11.29
1	体重 (mg)	47	±	2	45-49	46	±	3	43-51
2		43	±	4	36-48	35	±	3	30-41
3		44	±	3	38-48	40	±	4	32-46

*¹ 開始時に測定した個体は，試験に使用した個体と同じ群から取り上げた。

*² 終了時には，対照区の個体を測定した。

れ7.14～8.09，7.42～7.92の範囲であり，Cr(VI)の暴露濃度が上昇するに従って低下した。TBTおよび γ -HCH試験における試験開始時の海水のpHは，いずれの試験においても7.95以上であり，終了時の海水のpHはそれぞれ7.77～7.95，7.87～8.02の範囲であった。全試験における水温は，25.7～26.8℃の範囲であり，標準偏差は0.10～0.76の範囲であった。全試験における塩分は，31.8～33.0の範囲であった。試験期間中のDOおよび水温の変動は，OECD（1992a）の魚類急性毒性試験が規定する許容の範囲内であった。

半数致死濃度(LC₅₀) Cr(VI)，TBTおよび γ -HCH試験の試験期間中における*P. kauderni*の死亡率の推移をそれぞれ第7～9表に，各試験の96時間後の死亡率から算出したLC₅₀をそれぞれ第10表に，また暴露開始96時間後の死亡率とその回帰曲線をそれぞれ第2～4図に示した。

全9試験(3物質×繰り返し3回)において，対照区および助剤対照区では死亡個体はみられなかった。Cr(VI)，TBTおよび γ -HCH試験の96時間後の死亡率から算出したLC₅₀の平均値±標準偏差はそれぞれ13±1.5mg/L，2.5±0.90 μ g/L，28±1.0 μ g/Lであった。

第4表 Cr(VI)の96時間暴露試験における試験海水中のCr(VI)濃度，溶存酸素濃度(DO)，pH，温度および塩分の実測値

試験 連番	設定濃度 (mg/L)	Cr(VI) (mg/L) * ¹		DO (%)		pH		温度(℃) * ²	塩分 * ³
		開始時	終了時	開始時	終了時	開始時	終了時		
1	対照	nd	nd	104.9	76.4	8.01	7.76	26.5 ± 0.12	32.5
	7.0	7.1	7.2	105.0	63.7	7.75	7.65		
	8.9	9.1	9.2	104.0	72.7	7.66	7.68		
	11	12	12	103.1	66.7	7.55	7.66		
	14	15	15	103.0	67.0	7.38	7.59		
	18	19	19	103.6	75.5	7.20	7.42		
2	対照	nd	nd	102.3	77.6	8.05	7.92	26.7 ± 0.10	32.1
	7.0	7.3	7.1	102.5	77.3	7.76	7.85		
	8.9	8.9	8.9	102.0	77.4	7.67	7.82		
	11	12	11	101.8	75.6	7.53	7.71		
	14	15	15	101.4	72.8	7.35	7.68		
	18	19	19	101.2	83.2	7.14	7.52		
3	対照	nd	nd	101.8	63.9	8.09	7.91	26.8 ± 0.76	33.0
	7.0	7.0	7.0	101.4	72.0	7.84	7.82		
	8.9	9.1	9.2	101.3	73.3	7.74	7.79		
	11	12	12	101.2	68.0	7.61	7.71		
	14	15	15	101.0	72.6	7.46	7.69		
	18	18	19	100.8	78.6	7.25	7.58		

*¹ ジフェニルカルバジド吸光光度法を用いて定量。nd は検出下限値未満を示す。検出下限値は 0.01mg/L。

*² 平均値 ± 標準偏差を示す。水中の温度を 10 秒間隔で測定。

*³ 試験海水調整時に用いた自然海水の塩分。

第5表 TBTの96時間暴露試験における試験海水中のTBT濃度，溶存酸素濃度(DO)，pH，温度および塩分の実測値

試験 連番	設定濃度 (μg/L)	TBT (μg/L) * ¹		DO (%)		pH		温度(℃) * ²	塩分 * ³
		開始時	終了時	開始時	終了時	開始時	終了時		
1	助剤	nd	nd	99.7	82.3	7.97	7.90	26.0 ± 0.48	32.8
	1.3	0.97	0.97	100.3	75.4	8.00	7.86		
	2.0	1.6	1.5	100.0	69.4	8.01	7.87		
	2.9	2.2	2.2	100.6	64.6	8.01	7.85		
	4.3	3.2	3.1	100.8	72.4	8.02	7.91		
	6.4	5.5	5.8	100.7	83.2	8.02	7.92		
2	助剤	nd	nd	98.6	63.7	7.97	7.83	25.8 ± 0.31	32.7
	1.3	0.72	0.67	98.9	72.2	7.98	7.84		
	2.0	1.1	1.0	98.4	74.0	7.99	7.87		
	2.9	1.5	1.2	98.1	66.2	7.99	7.77		
	4.3	2.3	2.0	97.8	75.5	8.00	7.86		
	6.4	4.8	4.3	98.0	62.0	8.00	7.80		
3	助剤	nd	nd	99.6	80.0	8.08	7.92	25.7 ± 0.102	32.8
	1.3	1.1	0.66	99.8	75.3	8.09	7.88		
	2.0	1.6	1.1	99.3	78.0	8.10	7.95		
	2.9	2.2	2.0	98.9	72.2	8.10	7.93		
	4.3	4.3	2.8	98.9	72.3	8.10	7.93		
	6.4	6.3	4.5	99.2	71.2	8.10	7.92		

*¹ 液液抽出によるエチル誘導体化ーガスクロマトグラフ質量分析法による定量。nd は検出下限値未満を示す。検出下限値は 1ng/L。

*² 平均値 ± 標準偏差を示す。水中の温度を 10 秒間隔で測定。

*³ 試験海水調整時に用いた自然海水の塩分。

第6表 γ -HCHの96 時間暴露試験における試験海水中の γ -HCH 濃度，溶存酸素濃度(DO)，pH，温度および塩分の実測値

試験 連番	設定濃度 (μ g/L)	γ -HCH (μ g/L) * ¹		DO (%)		pH		温度 (°C) * ²	塩分 * ³
		開始時	終了時	開始時	終了時	開始時	終了時		
1	助剤	nd	nd	101.1	77.8	8.07	7.93	25.8 $\pm$ 0.15	32.5
	24	19	14	100.7	76.5	8.09	7.87		
	26	23	20	100.1	79.4	8.09	7.92		
	29	26	22	100.0	76.2	8.10	7.93		
	32	28	23	99.9	75.4	8.10	7.92		
	35	30	28	99.8	69.5	8.10	7.91		
2	助剤	nd	nd	97.9	81.7	8.10	8.02	26.0 $\pm$ 0.24	32.7
	24	22	20	98.3	77.0	8.10	7.99		
	26	23	22	97.1	76.7	8.11	7.99		
	29	27	25	96.8	77.4	8.11	7.99		
	32	30	28	96.8	76.8	8.11	7.96		
	35	35	29	96.6	79.8	8.11	7.99		
3	助剤	nd	nd	100.5	80.5	8.13	8.00	25.9 $\pm$ 0.15	31.8
	24	23	19	100.3	71.5	8.13	7.92		
	26	25	22	100.4	74.8	8.14	7.95		
	29	27	25	100.1	71.8	8.14	7.91		
	32	30	27	100.0	74.5	8.14	7.95		
	35	34	29	100.1	72.1	8.14	7.91		

*¹ガスクロマトグラフ質量分析法を用いて分離・定量。ndは検出下限値未満を示す。検出下限値は0.5 μ g/L。*²平均値 $\pm$ 標準偏差を示す。水中の温度を10秒間隔で測定。*³試験海水調整時に用いた自然海水の塩分。**第7表** Cr(VI)の96 時間暴露試験における
P. kauderni の死亡率の推移

試験 連番	設定濃度 (実測濃度)	死亡率 (%)			
		24h	48h	72h	96h
1	対照区	0	0	0	0
	7.0mg/L (7.1mg/L)	0	0	0	0
	8.9mg/L (9.1mg/L)	0	0	0	0
	11mg/L (12mg/L)	0	0	0	10
	14mg/L (15mg/L)	0	0	20	70
	18mg/L (19mg/L)	0	0	100	100
2	対照区	0	0	0	0
	7.0mg/L (7.2mg/L)	0	0	0	0
	8.9mg/L (8.9mg/L)	0	0	0	0
	11mg/L (12mg/L)	0	0	10	80
	14mg/L (15mg/L)	0	0	60	90
	18mg/L (19mg/L)	0	20	100	100
3	対照区	0	0	0	0
	7.0mg/L (7.0mg/L)	0	0	0	0
	8.9mg/L (9.1mg/L)	0	0	0	0
	11mg/L (12mg/L)	0	0	0	30
	14mg/L (15mg/L)	0	0	50	90
	18mg/L (19mg/L)	0	0	100	100

第8表 TBTの96時間暴露試験における
P. kauderni の死亡率の推移

試験 連番	設定濃度 (実測濃度)	死亡率 (%)			
		24h	48h	72h	96h
1	助剤対照区	0	0	0	0
	1.3 μ g/L (0.97 μ g/L)	0	0	0	0
	2.0 μ g/L (1.5 μ g/L)	0	0	0	0
	2.9 μ g/L (2.2 μ g/L)	0	0	0	10
	4.3 μ g/L (3.1 μ g/L)	0	0	50	100
	6.4 μ g/L (5.6 μ g/L)	0	80	100	100
2	助剤対照区	0	0	0	0
	1.3 μ g/L (0.69 μ g/L)	0	0	0	0
	2.0 μ g/L (1.0 μ g/L)	0	0	0	0
	2.9 μ g/L (1.3 μ g/L)	0	0	0	0
	4.3 μ g/L (2.1 μ g/L)	0	0	40	100
	6.4 μ g/L (4.5 μ g/L)	0	40	100	100
3	助剤対照区	0	0	0	0
	1.3 μ g/L (0.85 μ g/L)	0	0	0	0
	2.0 μ g/L (1.3 μ g/L)	0	0	0	0
	2.9 μ g/L (2.1 μ g/L)	0	0	0	0
	4.3 μ g/L (3.5 μ g/L)	0	0	10	50
	6.4 μ g/L (5.3 μ g/L)	0	0	60	100

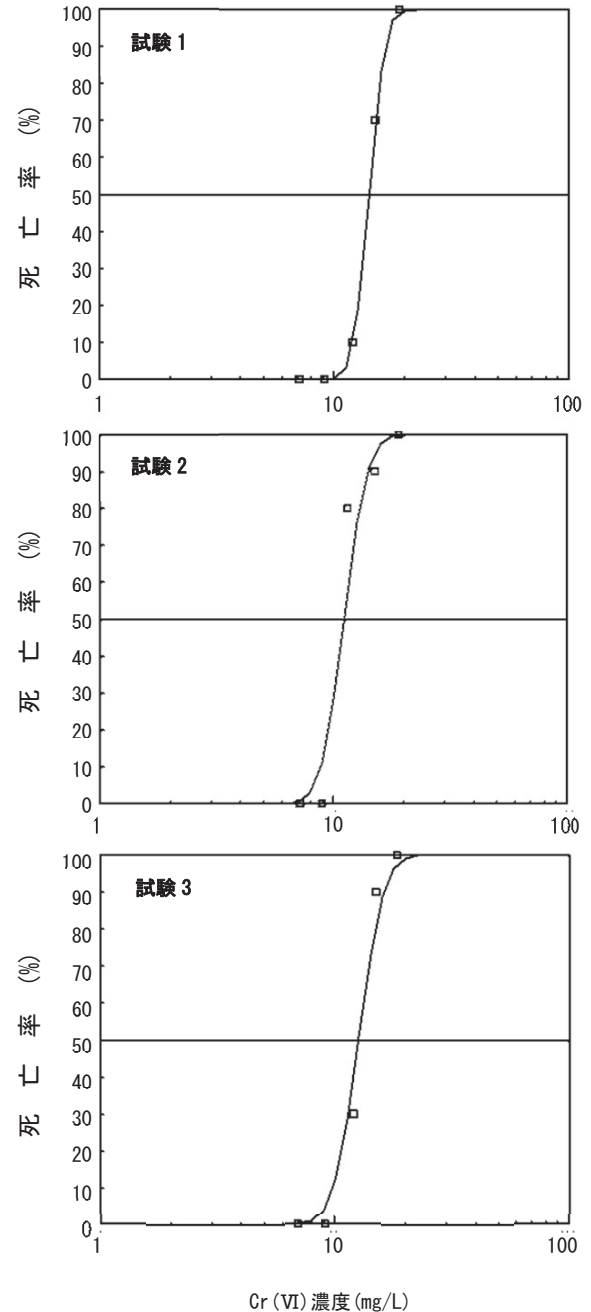
第9表 γ -HCH の96 時間暴露試験における
*P. kauderni*の死亡率の推移

試験 連番	設定濃度(実測濃度)	死亡率(%)			
		24h	48h	72h	96h
1	助剤対照区	0	0	0	0
	24 μ g/L (16 μ g/L)	0	0	0	0
	26 μ g/L (21 μ g/L)	0	0	0	0
	29 μ g/L (24 μ g/L)	0	0	0	0
	32 μ g/L (25 μ g/L)	0	0	0	20
	35 μ g/L (29 μ g/L)	0	0	60	60
2	助剤対照区	0	0	0	0
	24 μ g/L (21 μ g/L)	0	0	0	0
	26 μ g/L (23 μ g/L)	0	0	0	0
	29 μ g/L (26 μ g/L)	0	0	10	30
	32 μ g/L (29 μ g/L)	0	0	30	90
	35 μ g/L (32 μ g/L)	10	30	90	100
3	助剤対照区	0	0	0	0
	24 μ g/L (21 μ g/L)	0	0	0	0
	26 μ g/L (24 μ g/L)	0	0	0	0
	29 μ g/L (26 μ g/L)	0	0	0	10
	32 μ g/L (29 μ g/L)	0	0	10	40
	35 μ g/L (31 μ g/L)	0	0	50	90

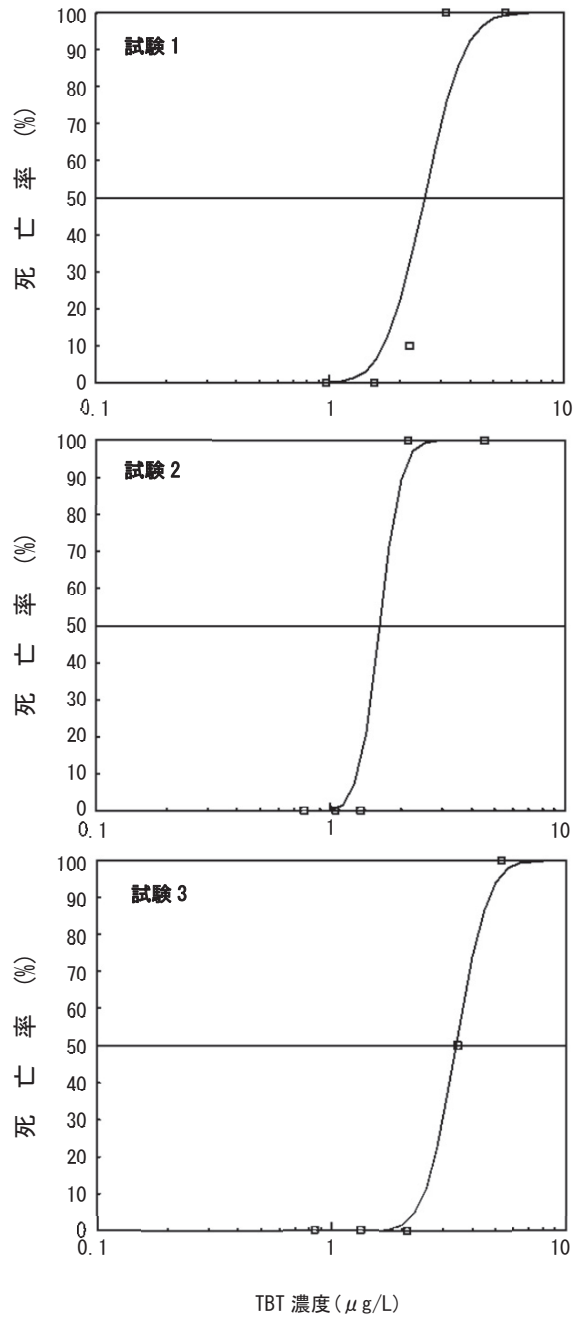
第10表 Cr(VI), TBTおよび γ -HCHの*P. kauderni*稚魚急性
毒性試験における96時間半数致死濃度(LC₅₀)*

Cr(VI)	試験連番	96h LC ₅₀ (mg/L)	95%信頼限界 (mg/L)
	1	14	12-16
	2	11	10-12
	3	13	11-14
	平均±標準偏差	13±1.5	
TBT	試験連番	96h LC ₅₀ (μ g/L)	95%信頼限界 (μ g/L)
	1	2.5	2.2-3.0
	2	1.6	1.3-2.2
	3	3.4	2.9-4.0
	平均±標準偏差	2.5±0.90	
γ -HCH	試験連番	96h LC ₅₀ (μ g/L)	95%信頼限界 (μ g/L)
	1	28	27-32
	2	27	25-28
	3	29	28-30
	平均±標準偏差	28±1.0	

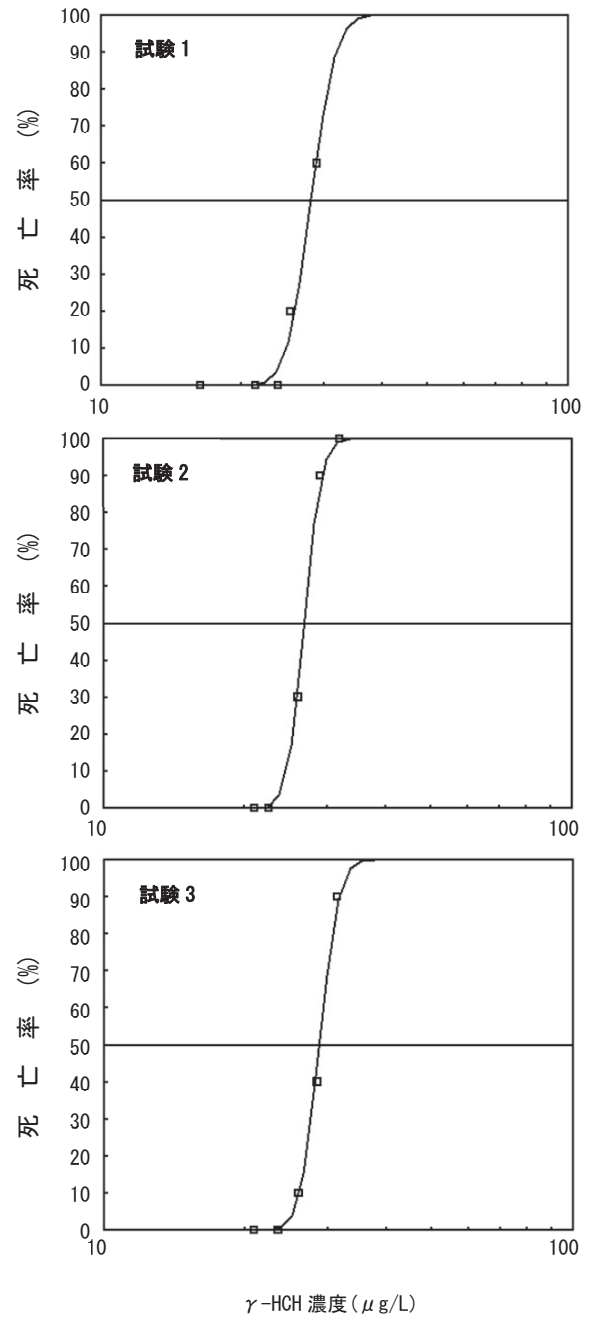
*Probit 法により算出した。



第2図 Cr(VI)の96時間暴露試験における試験終了時の
*P. kauderni*の死亡率。□は実測値，実線は死
亡率の回帰曲線を示す。



第3図 TBTの96時間暴露試験における試験終了時の *P. kauderni* の死亡率。□は実測値，実線は死亡率の回帰曲線を示す。



第4図 γ-HCHの96時間暴露試験における試験終了時の *P. kauderni* の死亡率。□は実測値，実線は死亡率の回帰曲線を示す。

考 察

本研究では、稚魚を用いたことから、ここでは仔稚若魚を用いたCr(VI)、TBT、 γ -HCHの96時間LC₅₀に関する既往知見と比較し、それぞれ第11～13表および第5～7図に示した。

Cr(VI) 本試験のCr(VI)試験における*P. kauderni*の96時間LC₅₀を既往知見から得られた海産魚7種(試験例9)および淡水魚10種(試験例15)の値と比較した(産業技術総合研究所・化学物質リスクセンター, 2008; 海生研, 2009)。既往知見における海産魚および淡水魚の96時間LC₅₀は、それぞれ12.7～84.8mg/Lおよび4～120mg/Lの範囲であり、*P. kauderni*の96時間LC₅₀(13mg/L)は、他の海産魚の値より低く、また淡水魚の値と比較するとニジマス(生後8ヶ月, 4.0mg/L)に次いで低い値であった。

TBT 本試験の*P. kauderni*の96時間LC₅₀を既往知見から得られた海産魚7種(試験例7)および淡水魚4種(試験例4)の値と比較した(Brooke *et al.*, 1986; 角埜・木村, 1987; 清水・木村, 1987; Bushong *et al.*, 1988; 小山・木村, 1989; ABC Laboratories, Inc., 1990; 角埜・小山, 2001; 海生研, 2009)。既往知見の海産魚および淡水魚の96時間LC₅₀は、それぞれ2.4～14 μ g/Lおよび2.6～8.3 μ g/Lの範囲であり、*P. kauderni*の96時間LC₅₀(2.5 μ g/L)は、他の海産魚と比較すると、シロギスの値(2.4 μ g/L)に次いで低く、またいずれの淡水魚の値より低い値であった。

γ -HCH 本試験の γ -HCHにおける*P. kauderni*の96時間LC₅₀を既往知見から得られた海産魚6種(試験例11)および淡水魚23種(試験例64)の値と比較した(小山, 2010; Pesticide Action Network North America, 2011)。既往知見における海産魚および淡水魚の96時間LC₅₀は、それぞれ25～104 μ g/Lおよび6.4～395 μ g/Lの範囲であり、*P. kauderni*の96時間LC₅₀(28 μ g/L)は、他の海産魚と比較すると、シロギスの値(稚魚, 25～28 μ g/L)に次いで低く、淡水魚と比較すると23種中15種の値より低い値であった。

以上の*P. kauderni*を用いた3物質に対する急性毒性試験の結果と既往知見から、*P. kauderni*は、他の魚種と比較して化学物質に対する感受性が同等もしくは高い種であると考えられる。水環境中の化学物質の毒性試験で用いる水生生物を選定す

る際に、化学物質に対する感受性が高いことは、まえがきで述べた飼育や観察の容易さや卵の取り扱い易さと同様に重要な条件の一つであることから、*P. kauderni*は、海産魚の毒性試験に用いる試験魚としての適性を多く有すると考えられる。

謝 辞

本報告は、農林水産省水産庁から委託された漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業のうち漁場環境・生物多様性評価手法等開発事業(漁場環境化学物質影響総合評価事業)の報告の一部を公表するものであり、関係各位に謝意を表する。

引用文献

- ABC Laboratories, Inc. (1990). Acute 96-hour flow-through toxicity of bis(tri-butyltin) oxide to bluegill (*Lepomis macrochirus*). ABC study number 38307, Analytical Bio-Chemistry Laboratories, Inc., Columbia, MO., 1-279.
- Allen, G.R. (2000). Threatened fishes of the world: *Pterapogon kauderni* Koumans, 1933 (Aponidae). *Environ. Biol. Fish.*, **57**, 142.
- Bellavere, C. and Gorbi, J. (1981). A comparative analysis of acute toxicity of chromium, copper and cadmium to *Daphnia magna*, *Biomphalaria glabrata* and *Brachydanio rerio*. *Environ. Technol., Letters* **2**, 119-128. (産業技術総合研究所・化学物質リスク管理研究センター (2008) より引用)
- Benoit, D.A. (1976). Toxic effects of hexavalent chromium on brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Water Res.*, **10**, 497-500.
- Broderius, S.J. and Smith, Jr. L.L. (1979). Lethal and sublethal effects of binary mixtures of cyanide and hexavalent chromium, zinc or ammonia to the fathead minnow (*Pimephales promelas*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Board Can.*, **36**, 164-172.
- Brooke, L.T., Call, D.J., Poirier, S.H., Markee, T.P., Lindberg, C.A., McCauley, D.J. and Simonson, P.G. (1986). Acute toxicity and chronic effects of bis(tri-N-butyltin) oxide to several species of freshwater organisms. Center for Lake

第11表 本研究および既往知見から得られた魚類に対するCr(VI)の96時間LC₅₀

種 (成長段階および飼育水温)	毒性値算出に 用いた濃度	96時間LC ₅₀ (mg/L)	引用文献
海産魚			
<i>Alburnus alburnus</i> (体長8cm, 10℃, 塩分7)	設定	84.8	Lindén <i>et al.</i> (1979)*
<i>Chelon labrosus</i> (体重0.87g, 12℃)	実測	47.2	Taylor <i>et al.</i> (1985)*
<i>Citharichthys stigmaeus</i> (1.5-17g, 12℃)	実測	30.0	Mearns <i>et al.</i> (1976)*
<i>Cyprinodon variegatus</i>	実測	25.0	Jop <i>et al.</i> (1987)*
	実測	21.4	Dorn <i>et al.</i> (1987)*
イトヨ (汽水による試験)	実測	35.0	Srivastava <i>et al.</i> (1979)*
	実測	33.0	Bellavere and Gorbi (1981)*
<i>Limanda limanda</i> (体重16.9g, 12℃)	実測	47.0	Taylor <i>et al.</i> (1985)*
シロギス (稚魚, 体長2cm, 23℃)	実測	12.7	海生研 (2009)
<i>Pterapogon kauderni</i> (稚魚, 体長1cm, 26℃)	実測	13	本研究
淡水魚			
<i>Danio rerio</i> (体長3.5cm, 20℃)	設定	58.5	Bellavere and Gorbi (1981)*
キンギョ (体重1-2g, 25℃)	設定	37.5	Pickering and Henderson (1964)*
チャネルキャットフィッシュ (体長10-15cm)	設定	45.2	Saxena and Parashari (1983)*
<i>Colisa fasciatus</i> (成魚, 25℃)	不明	20.8	Srivastava <i>et al.</i> (1979)*
<i>Lebistes reticulatus</i> (0.1-0.2g, 25℃)	設定	30.0	Pickering and Henderson (1964)*
ブルーギル (体重0.96g, 20℃)	設定	120.0	Cairns and Scheier (1958)*
(体重1-9g, 20℃)	不明	110.0	Trama and Benoit (1960)*
シマスズキ (生後63日, 20℃)	設定	28.0	Palawski <i>et al.</i> (1985)*
<i>Notemigonus crysoleucas</i>	設定	55.0	Hartwell <i>et al.</i> (1989)*
ニジマス (成魚, 12℃)	実測	69.0	Benoit (1976)*
(生後8ヶ月, 12℃)	実測	13.0	Van der Putte <i>et al.</i> (1981)*
(生後8ヶ月, 10℃)	設定	4.0	Grande and Andersen (1983)*
<i>Pimephales promelas</i> (体重1-2g, 25℃)	設定	45.6	Pickering and Henderson (1964)*
(稚魚, 体重0.079g, 25℃)	実測	33.2	Broderius and Smith (1979)*
(体重1-2g, 25℃)	設定	17.6	Pickering and Henderson (1964)*
カワマス (稚魚, 12℃)	実測	59.0	Benoit (1976)*

* 産業技術総合研究所・化学物質リスク管理研究センター (2008) より再引用。

第12表 本研究および既往知見から得られた魚類に対するTBTの96時間LC₅₀

種 (成長段階および飼育水温)	毒性値算出に 用いた濃度	96時間LC ₅₀ (μg/L)	引用文献
海産魚			
<i>Brevoortia tyrannus</i> (稚魚)	実測	5.0	Bushong <i>et al.</i> (1988)*
アゴハゼ (若魚)	実測	4.4	清水・木村 (1987)*
<i>Fundulus heteroclitus</i> (若魚)	実測	14	角埜・小山 (2001)
メジナ (稚魚)	実測	3.5	角埜・木村 (1987)*
<i>Menidia beryllina</i> (仔魚)	実測	3.3	Bushong <i>et al.</i> (1988)*
マダイ (稚魚, 23℃)	実測	2.6	小山・木村 (1989)*
<i>Pterapogon kauderni</i> (稚魚, 体長1cm, 26℃)	実測	2.5	本研究
シロギス (稚魚, 体長2-3cm, 23℃)	実測	2.4	海生研 (2010)
淡水魚			
チャネルキャットフィッシュ (稚魚)	実測	5.5	Brooke <i>et al.</i> (1986)*
ブルーギル	実測	8.3	ABC Laboratories, Inc. (1990)
ニジマス (稚魚)	実測	4.6	Brooke <i>et al.</i> (1986)*
<i>Pimephales promelas</i> (稚魚)	実測	2.6	Brooke <i>et al.</i> (1986)*

* 里見 (1990) より引用。

第13表 本研究および既往知見から得られた魚類に対する γ -HCHの96時間LC₅₀^{*1}

種	サイズ 成長段階	96時間LC ₅₀ (μ g/L)
海産魚		
<i>Cyprinodon variegatus</i>	体長1.7-2.1cm	104
イトヨ	体重0.4-0.8g	50
	体重0.4-0.8g	44
<i>Lagodon rhomboides</i>	体長4.2-6.1cm	31
<i>Rudarius ercodes</i>	稚魚	46
シロギス	稚魚	26
	稚魚	28
	稚魚	25 ^{*2}
マダイ	稚魚	35
	稚魚	35
<i>Pterapogon kauderni</i> [本研究]	稚魚	28
淡水魚		
<i>Ameiurus melas</i>	体重1.2g	64
<i>Anabas testudineus</i>	体重3-3.5g	201
キンギョ	体重1-2g	152
	体重0.9g	131
	体重0.9g	105
コイ	稚魚	200
	体重0.6g	90
	体重0.2-0.4g	160
<i>Danio rerio</i>	体重0.2-0.4g	110
	体重0.2-0.4g	100
	体重1.5g	49
チャネルキャットフィッシュ	体重1.5g	44
	体重1-2g	280
<i>Lepidocephalichthys thermalis</i>	体重1.1g	83
<i>Lepomis cyanellus</i>	体重1.1g	70
	体重0.75g	100
	体重1-2g	77
ブルーギル	体重1.5g	68
	体重0.7g	65
	体重0.3g	57
	体重0.7g	56
	体重0.7g	53
	体重0.6-1.5g	51
	体重0.7g	38
	体重0.7g	25

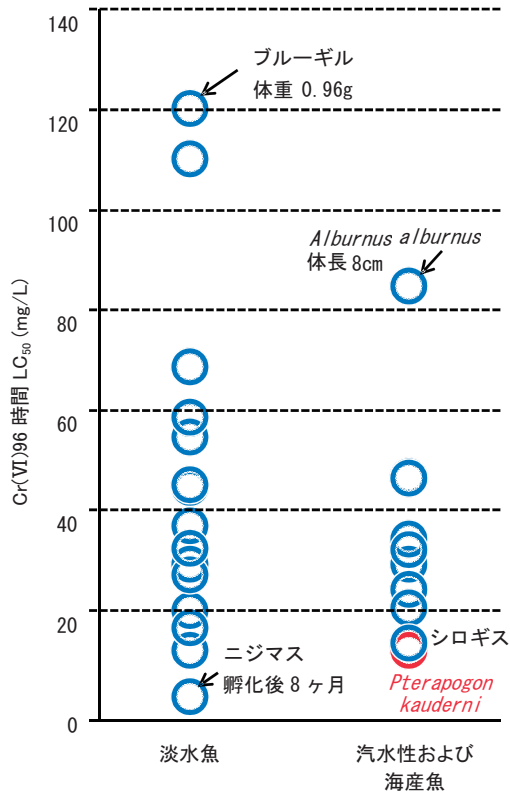
^{*1} 殺虫剤に関するデータベース Pesticide Action Network North America (2011) に記載されている成魚より体長が小さい個体を用いて実施した試験から得られた毒性値を抜粋して示した。毒性値算出に用いた濃度は実測値。

^{*2} 海生研(2011)

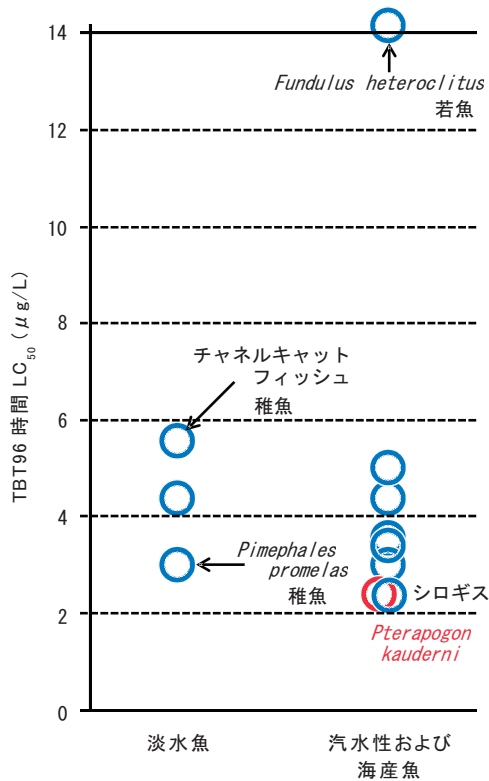
第13表 (継続) 本研究および既往知見から得られた魚類に対する γ -HCHの96時間LC₅₀^{*1}

種	サイズ 成長段階	96時間LC ₅₀ (μ g/L)
淡水魚		
オオクチバス	体重0.9g	32
シマスズキ	体重2.4g	7.3
ギンザケ	体重2.7-4.1g	50
	体重1g	41
	体重0.6g	23
ニジマス	体重1g	41
	体重3.2g	38
	体重0.69g	32
	体重1g	31
	体長3cm	30
	体重1g	27
	体重1g	24
	体長3cm	22
	体重0.7g	22
マスノスケ	体重1g	18
	体重1.5-5.0g	40
	体重0.2-0.4g	140
<i>Paracheirodon axelrodi</i>	体重1.4g	68
<i>Perca flavescens</i>	稚魚	23
<i>Pimephales promelas</i>	体重0.053g	130
	体重0.053g	111
	体重2g	100
	体重1.2g	87
	体重0.5g	86
	体重1g	77
	体重1.2g	67
	体重1-2g	62
	体重1-2g	56
<i>Poecilia reticulata</i>	体重0.2-0.4g	360
	体重0.1-0.2g	138
	体重0.5g	25
ブラウントラウト	体重1.1g	24
	体重1.1g	22
	体重5.2g	44
カワマス	体重0.7g	32
レイクトラウト	稚魚	24
<i>Tilapia nilotica</i>	体長3-5cm	78
<i>Tilapia zillii</i>	体長3.36cm	395
	稚魚	6.4

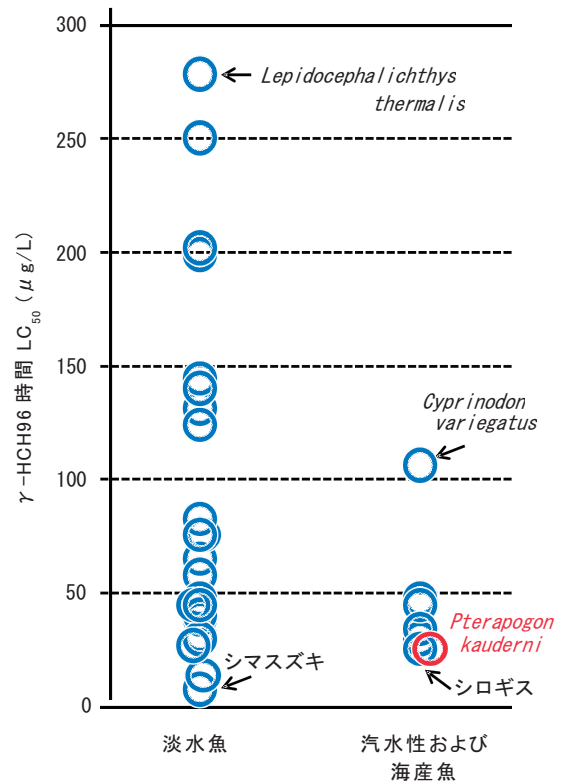
^{*1} 殺虫剤に関するデータベース Pesticide Action Network North America (2011) に記載されている成魚より体長が小さい個体を用いて実施した試験から得られた毒性値を抜粋して示した。毒性値算出に用いた濃度は実測値。



第5図 本研究および既往知見から得られた魚類に対する Cr(VI) の96時間LC₅₀。○はP. kauderni, ○は既往知見の値を示す。



第6図 本研究および既往知見から得られた魚類に対するTBTの96時間LC₅₀。○はP. kauderni, ○は既往知見の値を示す。



第7図 本研究および既往知見から得られた魚類に対するγ-HCHの96時間LC₅₀。○はP. kauderni, ○は既往知見の値を示す。成魚より体長が小さい個体を用いて実施した試験から得られた毒性値を示した。複数の毒性値が存在する種については平均値を示した。

Superior Environmental Studies, University of Wisconsin, Superior, WI, 1-22. (里見 (1990) より引用)

Bushong, S.J., Hall, L.W.Jr., Hall, W.S., Johnson, W.E. and Herman, R.L. (1988). Acute toxicity of tributyltin to selected Chesapeake Bay fish and invertebrates. *Water Res.*, **22**, 1027-1032. (里見 (1990) より引用)

Cairns, J. Jr. and Scheier, A. (1958). The effects of periodic low oxygen upon the toxicity of various chemicals to aquatic organisms. *Proc. 12th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., Eng. Ext. Ser. No.94, Eng. Bull.*, **42**, 165-176. (産業技術総合研究所・化学物質リスク管理研究センター (2008) より引用)

Dorn, P.B., Rodgers, J.H., Jop, K.M., Raia, J.C. and Dickson, K.L. (1987). Hexavalent chromium as a reference toxicant in effluent toxicity tests. *Environ. Toxicol. Chem.*, **6**, 435-444. (産業技術総合研究所・化学物質リスク管理研究セン

- ター (2008) より引用)
- Grande, M. and Andersen, S. (1983). Lethal effects of hexavalent chromium, lead and nickel on young stages of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in soft water. *Vatten*, **39**, 405-416.
- Hartwell, S.I., Jin, J.H., Cherry, D.S. and Cairns, J. (1989). Toxicity versus avoidance response of golden shiner, *Notemigonus crysoleucas*, to five metals. *J. Fish Biol.*, **35**, 447-456. (産業技術総合研究所・化学物質リスク管理研究センター (2008) より引用)
- Hopkins, S., Ako, H. and Tamaru C.S. (2005). Manual for the production of the Banggai cardinalfish, *Pterapogon kauderni*, in Hawai'i. Publication of University of Hawai'i Sea Grant College Program, http://seagrants.oest.hawaii.edu/sites/seagrants.oest.hawaii.edu/files/publications/Banggai_Cardinalfish-Final.pdf, 1-28. (2014年11月5日閲覧)
- Jop, K.M., Parkerton, T.F., Rodgers, J.H. and Dickson, K.L. (1987). Comparative toxicity and speciation of two hexavalent chromium salts in acute toxicity tests. *Environ. Toxicol. Chem.*, **6**, 697-703. (産業技術総合研究所・化学物質リスク管理研究センター (2008) より引用)
- 海洋生物環境研究所 (2009). 水産庁委託事業, 平成20年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業, 漁場環境化学物質影響総合評価事業. 海洋生物環境研究所, 東京, 第2部-62-74.
- 海洋生物環境研究所 (2010). 水産庁委託事業, 平成21年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業, 漁場環境化学物質影響総合評価事業. 海洋生物環境研究所, 東京, 第2部-89-93.
- 海洋生物環境研究所 (2011). 水産庁委託事業, 平成22年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業, 漁場環境化学物質影響総合評価事業. 海洋生物環境研究所, 東京, 第2部-38-44.
- 角埜 彰・木村関男 (1987). メジナに対する酸化トリブチルスズの急性毒性. 東海水研報, No.123, 41-44. (里見 (1990) より引用)
- 角埜 彰・小山次朗 (2001). II-4 海産魚類急性毒性試験法. 瀬戸内海区水産研究所調査研究叢書2号 有害物質の水域生態系影響評価と生態毒性試験法, (独) 水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所, 広島, 57-61.
- 環境省水環境部 (2002). 要調査項目等調査マニュアル (水質, 底質, 水生生物). 環境省, 東京, 1-242.
- 小山次朗 (2010). 海産魚類急性毒性試験法. 海産生物毒性試験指針, 水産庁, 東京, 43-52.
- 小山次朗・木村関男 (1989). TBT化合物の魚介類毒性試験 (魚類急性毒性試験). 昭和63年度環境庁・環境保全総合調査研究推進調査費による試験結果報告書, 2-10.
- Lindén, E., Bengtsson, B.E., Svanberg, O. and Sundstöm, G. (1979). The acute toxicity of 78 chemicals and pesticide formulations against two brackish water organisms, the bleak (*Alburnus alburnus*) and the harpacticoid *Nitocra spinipes*. *Chemosphere*, **8**, 843-851.
- Mearns, A.J., Oshida, P.S., Sherwood, M.J., Young, D.R. and Reish, D.J. (1976). Chromium effects on coastal organisms. *J. Water Pollut. Control Fed.*, **48**, 1929-1938.
- 日本規格協会 (1998). ジフェニルカルバジド吸光度法. 「JIS K 0102:1998工場排水試験方法」, 日本規格協会, 東京, 269.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (1992a). OECD Guidelines for the Testing of Chemicals / Section 2: Effects on Biotic Systems. Test no. 203: Fish, Acute Toxicity Test, OECD Publishing, Paris, 1-9.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (1992b). OECD Guidelines for the Testing of Chemicals / Section 2: Effects on Biotic Systems. Test no. 210: Fish, Early-life Stage Toxicity Test. OECD Publishing, 1-18.
- Palawski, D., Hunn, J.B. and Dwyer, F.J. (1985). Sensitivity of young striped bass to organic and inorganic contaminants in fresh and saline waters. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, **114**, 748-753. (産業技術総合研究所・化学物質リスク管理研究センター (2008) より引用)
- Pesticide Action Network North America (2011). PAN Pesticide Database, <http://www.pesticideinfo.org>. (2014年11月5日閲覧)
- Pickering, Q.H. and Henderson, C. (1964). The acute toxicity of some heavy metals to different species of warm water fishes. *Proc. 19th Ind.*

- Waste Conf., Purdue Univ., Eng. Ext. Ser. No.117, Eng. Bull., **49**, 578-591.
- 産業技術総合研究所・化学物質リスク管理研究センター (2008). 詳細リスク評価書シリーズ 21 六価クロム. 丸善株式会社, 東京, 1-290.
- 里見至弘 (1985). 有機スズ化合物の水生生物に対する毒性. 水産の研究, **No.19**, 54-66
- 里見至弘 (1990). 有機スズ化合物の水生生物に対する毒性Ⅲ－(上). 水産の研究, **No.44**, 89-97
- Saxena, O.P. and Parashari, A. (1983). Comparative study of the toxicity of six heavy metals to *Channa punctatus*. *J. Environ. Biol.*, **4**, 91-94. (産業技術総合研究所・化学物質リスク管理研究センター (2008) より引用)
- 清水昭男・木村関男 (1987). 酸化トリブチルスズがアゴハゼの成熟に及ぼす影響－成熟開始時期からの暴露. 東海水研報, **No.123**, 45-49.
- 水産庁 (2008). 海産生物再生産影響評価技術高度化事業総合報告書, 海産生物毒性試験指針 (平成19年度版). 水産庁, 東京, 1-182.
- 水産庁 (2010). 海産生物毒性試験指針. 水産庁, 東京, 1-156.
- Srivastava, A.K., Agrawal, S.J. and Chaudhry, H.S. (1979). Effects of chromium on the blood of a freshwater teleost. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **3**, 321-324. (産業技術総合研究所・化学物質リスク管理研究センター (2008) より引用)
- Taylor, D., Maddock, B.G. and Mance, G. (1985). The acute toxicity of nine 'grey list' metals (arsenic, boron, chromium, copper, lead, nickel, tin, vanadium and zinc) to two marine fish species: dab (*Limanda limanda*) and grey mullet (*Chelon labrosus*). *Aquat. Toxicol.*, **7**, 135-144.
- Trama, F.B. and Benoit, R.J. (1960). Toxicity of hexavalent chromium to bluegills. *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, **32**, 868-877.
- Vagelli, A. (1999). The reproductive biology and early ontogeny of the mouthbrooding Banggai cardinalfish, *Pterapogon kauderni* (Perciformes, Apogonidae). *Environ. Biol. Fish.*, **56**, 79-92.
- Van der Putte, I., Brinkhorst, M.A. and Koeman, J.H. (1981). Effect of pH on the acute toxicity of hexavalent chromium to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquat. Toxicol.*, **1**, 129-142.