

宮城県における海産巻貝類のインポセックスと体内有機スズ濃度

Current Status of Imposex and Tissue Concentrations of Organotin Compounds in Marine Gastropods from Miyagi Prefecture, JAPAN

三沢 松子 阿部 郁子 佐久間 隆
氏家 愛子 阿部 時男*

Matsuko MISAWA, Ikuko ABE, Takashi SAKUMA,
Aiko UJIE, Tokio ABE*

キーワード：インポセックス，有機スズ化合物，イボニシ，
外因性内分泌攪乱化学物質

Key Words : Imposex, Organotin Compounds, *Thais clavigera*, Endocrine Disruptors

外因性内分泌攪乱化学物質（いわゆる環境ホルモン）の生態影響の実態把握を行うため、県内の代表的な湾内・沿岸海域におけるイボニシ（*Thais clavigera*）等海産巻貝類への影響調査を実施し、3年前の調査と比較したところ、一部の地点で正常な雌個体が確認されたが、有機スズ化合物原則使用禁止に伴うインポセックス現象の明らかな低減は認められず、継続的な生物影響がうかがわれた。さらに、イボニシ体内の有機スズ化合物について分析を行った結果、インポセックスが発現している雌個体中のトリブチルスズ（TBT）濃度とペニス長とに正の相関が認められた。

1 はじめに

化学物質の野生生物に対する環境ホルモン作用が証明された実例として巻貝類のインポセックスがある。この現象は、船底防汚塗料や漁網防汚剤として1960年代半ばから使用されてきた有機スズ化合物が水圏環境中に溶出することにより引き起こされるとされたものと考えられている。

本県では、有機スズ化合物の汚染状況の実態把握を目的として、平成11年度に県内の代表的な湾内及び沿岸海域におけるイボニシ等海産巻貝類への影響調査を実施したところ、調査した全地点でインポセックス個体が確認された¹⁾。

平成14年度には、3年経過後の状況把握を行うための調査を実施し前回との比較を行った。さらに、イボニシ

体内の有機スズ化合物濃度について分析を行ったので、その結果を併せて報告する。

2 方法

2.1 試料の採集

(1) 採集時期及び方法

平成14年6月中旬から下旬に、大潮の干潮時に船の上から採集を行った。

なお、採取した試料は、観察時点まで凍結保存（-20℃）した。

(2) 採集地点

松島湾、女川湾、気仙沼湾の湾内及び周辺沿岸域の19地点（図1）で行った。

地点の設定にあたっては、前回調査時の対象地点

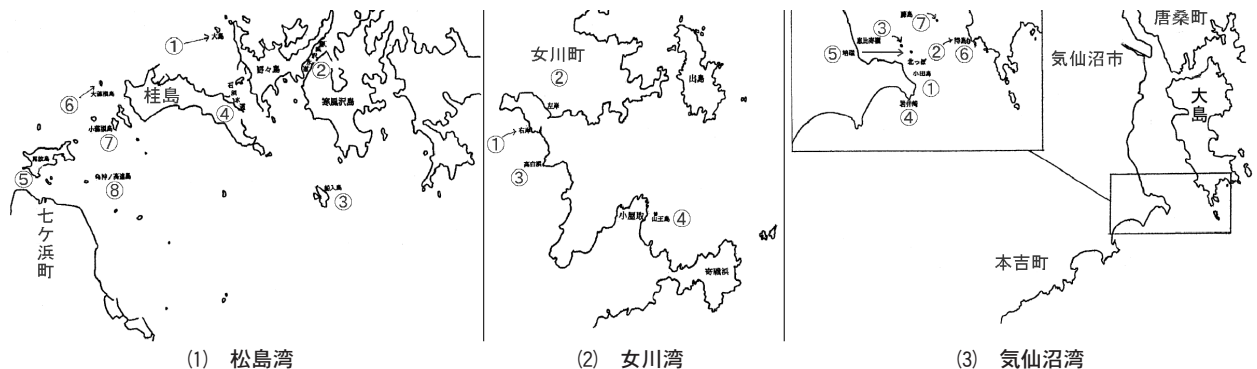


図1 採集地点

* 現 財団法人宮城県下水道公社

その他新たにイボニシの生息が確認される地点とした。

2.2 形態観察

各地点から採集した貝の殻高、殻径、重量を計測し、軟体部を殻から取り出した後、軟体部重量を測り、雌雄特有の生殖器官を観察して雌雄の識別（第一次判別）を行うとともに、雄の個体ではペニスの形状や長さ、輸精管の発達状況を、雌の個体についてはペニスの有無、輸卵管末端開口部の閉塞状況、変質卵囊塊の有無等からインボセックスの有無の判定（第二次判別）を行った。

2.3 各種指標の算出

さらに、インボセックスの発生率、RPL Index（：相対ペニス長指数 = 「雌平均ペニス長 / 雄平均ペニス長」 × 100）やimposex grade（ = 殻高とペニス長の比率、輸卵管末端開口部の閉塞状況、変質卵囊塊の有無により ~ に分類：表1）を算出した。

表1 imposex gradeによる分類

grade	規定内容
I	ペニスの長さが殻高の1/4未満の個体
II	ペニスの長さが殻高の1/4以上の個体
III	I又はIIのうち、輸卵管末端開口部が閉塞している個体
IV	I・II・IIIにかかわらず、変質卵囊塊を有する個体

2.4 有機スズ化合物濃度分析

まず上記2.1で解剖観察した後、個別に凍結保存した雌個体軟体部試料を、採集地点ごとに殻高やimposex gradeの似たものをまとめてコンポジット試料とした。ここで、imposex gradeの判定が不能なもの、個体数が少なかったimposex gradeの個体については、今回除外した。

次に、当センター生活化学部の有機スズ化合物分析に係る標準作業書に準じて、各々をホモジネートし、試料約5gを抽出・精製、エチル化後、GC-FPDによりジブチルスズ(DBT)、トリブチルスズ(TBT)及びトリフェニルスズ(TPT)の分析・定量を行った。

3 結果及び考察

3.1 インボセックス発生率、RPL Index及びimposex gradeの構成

今回調査した19地点のうち、イボニシは16地点、チヂミボラは3地点、レイシガイは3地点で採集した。女川湾の湾奥部3地点では、前回同様イボニシは確認できなかった。各採集地点での結果を表2及び表3に示す。インボセックスの発生率は、調査海域を拓げたものの、前回同様ほぼ100%と高い値であったが、今回の調査では松島湾や女川湾のより外洋側の地点において正常な雌の個

表2 各採集地点におけるimposexの発生率とRPL Index

水域	No	種名 地点	調査総数	数	イボニシ			RPL Index ¹⁾ (%)	
					正常数	imposex数	発生率 ¹⁾ imposex/全数		
松島湾	1	野々島大島	20	9		11	11/11 (9/9)	18.8	(23.7)
	2	寒風沢岸壁	20	12		8	8/8 (9/9)	27.4	(23.6)
	3	船入島	20	9	1	10	10/11 (6/6)	8.1	(3.1)
	4	桂島石浜岸壁	20	8		12	12/12 (10/10)	32.5	(37.0)
	5	馬放島	20	13		7	7/7 (9/9)	30.5	(43.5)
	6	大藻根島	20	10		10	10/10 (10/10)	25.3	(47.8)
	7	小藻根島	20	10		10	10/10	22.5	
	8	沖の高遠島	10	7		3	3/3	46.0	
		合計	150	78	1	71	71/72 (53/53)	26.4	(30.1)
気仙沼湾	1	小田島	20	9		11	11/11 (13/13)	27.8	(41.0)
	2	北っぼ	6	3		3	3/3 (3/3)	30.6	(25.2)
	3	恵比寿棚	20	10		10	10/10 (6/6)	44.2	(59.5)
	4	岩井崎	20	8		12	12/12 (9/9)	19.5	(17.3)
	5	培磯	20	9		11	11/11	43.3	
	6	大島待島	20	13		7	7/7	24.9	
	7	藤島	20	9		11	11/11	44.3	
		合計	126	61	0	65	65/65 (31/31)	33.5	(35.2)
女川湾	4	山王島	20	7	3	10	10/13	7.6	
		合計	20	7	3	10	10/13	7.6	
水域	No	種名 地点	調査総数	数	チヂミボラ			RPL Index ¹⁾ (%)	
					正常数	imposex数	発生率 ¹⁾ imposex/全数		
女川湾	1	女川湾右岸	20	8	5	7	7/12 (21/32)	21.6	(14.3)
	2	女川湾左岸	20	3	4	13	13/17 (16/17)	26.2	(18.1)
	3	高白浜	20	9	7	4	4/11 (15/18)	13.4	(16.2)
		合計	60	20	16	24	24/40 (52/67)	20.4	(16.2)
水域	No	種名 地点	調査総数	数	レイシガイ			RPL Index ¹⁾ (%)	
					正常数	imposex数	発生率 ¹⁾ imposex/全数		
気仙沼湾	1	小田島	20	10		10	10/10 (25/25)	13.5	(28.1)
	2	北っぼ	20	8		12	12/12 (11/11)	22.0	(43.8)
	4	岩井崎	20	12	3	5	5/8	- ²⁾	
		合計	60	30	3	27	27/30 (36/36)	17.8	(32.9)

注1) ()内はH11調査結果

注2) 岩井崎におけるレイシガイは、インボセックス個体すべてが痕跡(ペニス長0)のため、RPL Indexは算出できなかった。

表3 各採集地点における imposex grade I～IVの構成

水域	No	種名 地点	RPL Index(%)	イ		ボ		ニ		シ		判定不能 ²⁾
				正常数	imposex 数	I	II	III	IV			
松島湾	1	野々島大島	18.8		11	7 (63.6)					4 (36.4)	
	2	寒風沢岸壁	27.4		8	5 (62.5)					3 (37.5)	
	3	船入島	8.1	1	10	9 (90.0)			1 (10.0)			
	4	桂島石浜岸壁	32.5		12	6 (50.0)	2 (16.7)				4 (33.3)	
	5	馬放島	30.5		7	1 (14.3)			5 (71.4)		1 (14.3)	
	6	大藻根島	25.3		10	7 (70.0)			2 (20.0)		1 (10.0)	
	7	小藻根島	22.5		10	9 (90.0)					1 (10.0)	
	8	沖の高遠島	46.0			1 (33.3)					2 (66.7)	
		合計	26.4	1	71	45 (63.4)	2 (2.8)	8 (11.3)	0 (0.0)		16 (22.5)	
気仙沼湾	1	小田島	27.8		11	10 (90.9)					1 (9.1)	
	2	北っぼ	30.6		3	2 (66.7)					1 (33.3)	
	3	恵比寿棚	44.2		10		5 (50.0)	4 (40.0)			1 (10.0)	
	4	岩井崎	19.5		12	10 (83.3)					2 (16.7)	
	5	培磯	43.3		11	3 (27.3)	4 (36.4)	1 (9.1)	1 (9.1)		2 (18.2)	
	6	大島待島	24.9		7	7 (100.0)						
	7	藤島	44.3		11		7 (63.6)	1 (9.1)	1 (9.1)		2 (18.2)	
		合計	33.5	0	65	32 (49.2)	16 (24.6)	6 (9.2)	2 (3.1)		9 (13.8)	
女川湾	4	山王島	7.6	3	10	10 (100.0)						
		合計	7.6	3	10	10 (100.0)						

水域	No	種名 地点	RPL Index(%)	チ		ヂ		ミ		ボ		ラ		判定不能 ²⁾
				正常数	imposex 数	I	II	III	IV					
女川湾	1	女川湾右岸	21.6	5	7	6 (85.7)	1 (14.3)							
	2	女川湾左岸	26.2	4	13	11 (84.6)	1 (7.7)						1 (7.7)	
	3	高白浜	13.4	7	4	3 (75.0)							1 (25.0)	
		合計	20.4	16	24	20 (83.3)	2 (8.3)						2 (8.3)	

水域	No	種名 地点	RPL Index(%)	レ		イ		シ		ガ		イ		判定不能 ²⁾
				正常数	imposex 数	I	II	III	IV					
気仙沼湾	1	小田島	13.5		10	9 (90.0)							1 (10.0)	
	2	北っぼ	22.0		12	12 (100.0)								
	4	岩井崎	-	3	5	5 (100.0)								
		合計	17.8	3	27									

注1) ()内は%

注2) 判定不能は輸卵管末端開口部の閉塞状況が確認できなかった個体である。

体が見出された。

個体群としての影響の進行度合いを示すRPL Index (%)は、イボニシでは気仙沼湾33.5、松島湾26.4、女川湾7.6となっており、前回に比べ若干減少しているものの大きな変化は見られなかった。女川湾のチヂミボラは20.4、気仙沼湾のレイシガイは11.8であった。湾内分布をみると、湾奥部から離れるに従って数値が減少する傾向が見られ、これもこれまでの知見と同様であった。

各個体の症状の重さを示すimposex gradeによる分類では、イボニシの場合全体としてgrade の割合が大きかったが、RPL Indexが比較的高い地点では以上に分類される割合が大きくなっており、特に気仙沼湾において顕著であった。しかし、松島湾の船入島のように、RPL Indexも低く、個体レベルでもgrade が殆どで正常な雌個体も見られる一方でgrade の個体が見られる例も確認された。チヂミボラ、レイシガイでは以上に分類されるものはみられなかった。

3.2 イボニシ体内の有機スズ濃度

各採集地点別、imposex grade別のコンポジット試料ごとのペニス長の平均と分析結果の関係を表4及び図2～5に示す。測定対象とした3物質のうち、DBTは7.3～26.9ng/g-wet、TBTは<5～30.1ng/g-wet、TPTは<5～25.8ng/g-wetであった。県内のイボニシ体内の有機スズ濃度の分析結果としては、堀口らが本県内の4地点(志津川町荒島、津ノ宮漁港、牡鹿町泊浜及び石巻市新山)で1998年6月に採集したイボニシ試料の体内TBT濃度及びTPT濃度はそれぞれ<5～23.4ng/g-wet及び<5～29.8ng/g-wetであったと報告²⁾しており、今回の結果も同様であったと考えられる。

検出された3物質の濃度と雌インボセックス個体群の平均ペニス長との関係では、TBTでは正の関係が認められたがTPTではやや弱く、DBTでは明確な相関はみられなかった。さらにTBT及びTPTの合計濃度でみると、インボセックス発現個体中には概ね10ng/g以上で検出され

表4 イボニシ中のTBT等濃度測定結果^{注)}

地点名	imposex grade	コンボジット試料内個体数	殻高 (mm)	ペニス長 (mm)	平均ペニス長 (mm)	重量 (g)	うち測定に使用	DBT (ng/g)	TBT (ng/g)	TPT (ng/g)
松島 No.1	I	6	31.6~35.6	3.0~5.0	3.9	10.48	5.24	14.9	11.3	8.4
松島 No.2	I	3	33.0~39.5	5.5~7.0	6.5	5.11	5.11	19.9	16.9	15.9
松島 No.3	I	4	34.1~39.3	1.0~3.5	2.3	9.46	4.73	12.3	5.3	5.4
松島 No.4-1	I	5	34.7~41.0	5.0~9.0	6.5	10.54	5.27	19.4	21.4	12.0
松島 No.4-2	II	2	30.3~39.7	11.0~17.0	14.0	4.11	4.11	17.4	30.1	14.3
松島 No.5	III	5	32.3~39.1	3.0~10.5	7.1	10.39	5.19	26.9	14.6	14.6
松島 No.6-1	I	4	34.4~39.0	5.0~8.5	6.3	9.03	4.51	22.2	17.8	13.2
松島 No.6-2	I	3	43.2~43.4	3.0~9.5	6.0	10.15	5.07	20.7	15.3	19.1
松島 No.6-3	III	2	37.9~42.2	2.5~7.5	5.0	4.94	4.94	17.5	20.1	17.0
松島 No.7	I	7	37.0~37.9	4.5~8.0	6.0	9.50	4.75	20.7	16.1	16.4
気仙沼 No.1	I	5	35.1~40.3	5.5~10.0	7.1	10.10	5.05	15.2	14.5	11.8
気仙沼 No.3-1	II	5	30.0~35.5	8.5~13.0	10.5	10.17	5.08	16.9	23.9	25.8
気仙沼 No.3-2	III	4	28.3~51.4	8.0~11.0	9.8	10.40	5.20	16.7	18.4	17.8
気仙沼 No.4	I	7	29.4~35.5	2.0~7.0	4.7	10.06	5.03	9.8	8.8	-
気仙沼 No.5	II	4	26.4~35.3	8.0~11.0	9.4	5.00	5.00	7.3	26.3	9.3
気仙沼 No.6	I	7	22.6~36.2	3.0~9.0	5.6	9.37	4.68	14.2	15.3	14.7
気仙沼 No.7	II	7	25.9~31.7	7.0~10.5	8.8	9.84	4.92	18.7	20.3	15.7
女川 No.4	I	5	35.0~39.0	1.0~3.0	1.7	15.36	5.12	8.1	<5	<5
気仙沼 No.3	-	7	32.4~37.8	14.5~28.5	22.4	17.17	5.00	21.2	22.4	21.6
気仙沼 No.3 (大型)	-	2	41.7~44.8	26.5~29.5	28.0	8.76	5.00	15.6	11.4	18.5

注) 検出下限値 (0.05 µg/ml) 未満で検出されたものについては、半値 (0.025 µg/ml) で算出

ており、これは体内の有機スズ濃度が湿重量 1 g あたり 10~20ng程度でインボセックス症状が確認されるという文献^{3,4)}と符合する結果となっている。

このことから、メスでの雄性生殖器官の形成にTBTが関与している可能性が大きいことを改めて確認できた。

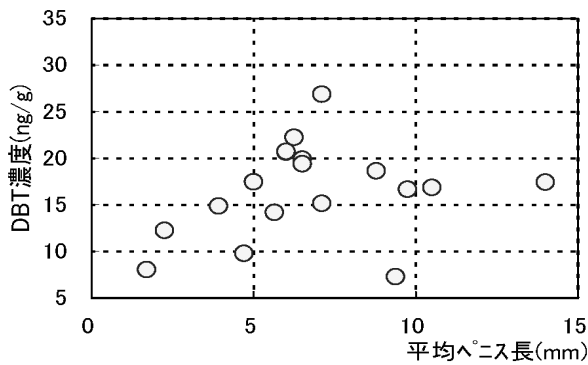


図2 イボニシ♀平均ペニス長とDBT濃度

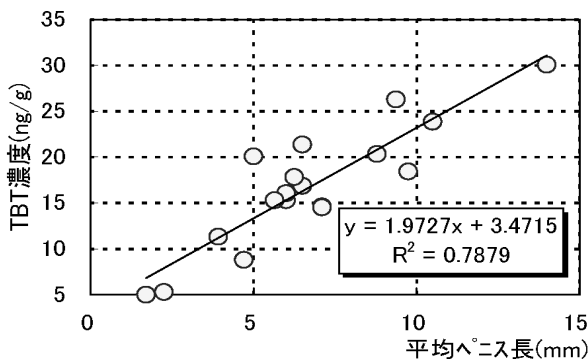


図3 イボニシ♀平均ペニス長とTBT濃度

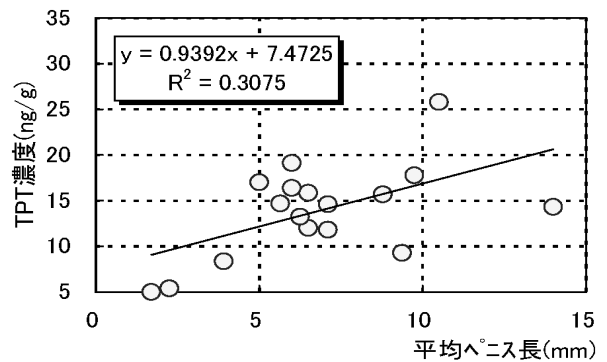


図4 イボニシ♀平均ペニス長とTPT濃度

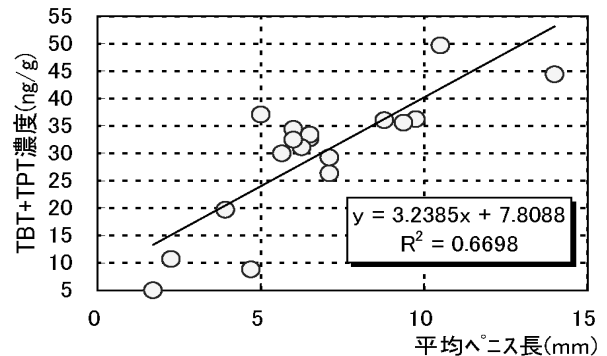


図5 イボニシ♀平均ペニス長と (TBT+TPT) 濃度

3.3 水域別, imposex grade別平均ペニス長と体内TBT濃度

図6に、体内TBT濃度とメスの平均ペニス長との関係を調査水域別に示した。TBT濃度の低い女川湾ではTBT濃度の高い松島湾や気仙沼湾よりペニス長が小さい値を

示していることがわかる。

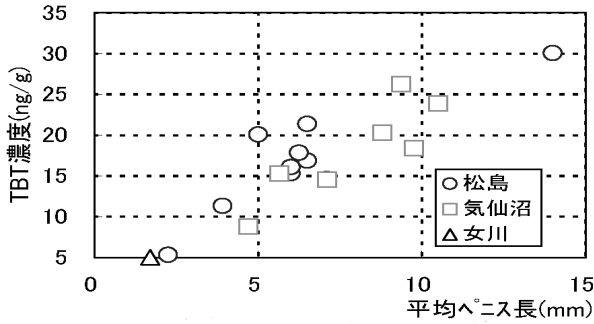


図6 水域別イボニシ♀平均ペニス長とTBT濃度

図7には、imposex grade別に体内TBT濃度とメスの平均ペニス長との関係を示した。imposex grade とはTBT濃度によって明確に区分できる分布を示しているが、はよりTBT濃度の低いところに分布している傾向を示している。これは、imposex gradeの がペニス長を直接規定因子としていない区分であることや体内有機スズ濃度があるレベル以上になると毒性影響が上回るなどしてペニスが伸びない或いは伸び方が鈍化する可能性を示唆している。

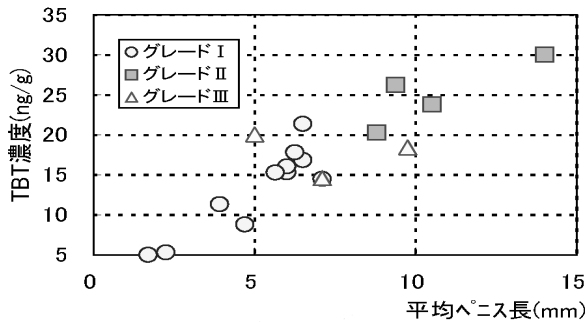


図7 imposex grade別イボニシ♀平均ペニス長とTBT濃度

3.4 イボニシの生活史と生物指標としてのモニタリング対象の選定

図8にイボニシの生活史と成長について示した。

卵 (卵嚢内に160~220個)
2週間
孵出(ベリジャー幼生)
3週間
変態沈着
その後の成長例 ⁷⁾
満1年 殻高約12mm
満2年 約18mm
満3年 約21~22mm
満4年 約24~25mm

図8 イボニシの生活史

イボニシは夏期に岩棚の下に多数集まり、一斉に卵嚢を産み付ける。中山らによると、産卵行動への参加は満2年以上でみられる⁷⁾。約2週間でベリジャー幼生として孵出し、その後3週間で変態沈着し底生生活に入る。したがって孵出から沈着までの間は大きな移動性を持つことになり、潮の流れに沿って他水域への流出や他水域からの流入の可能性⁵⁾⁶⁾がある。通常、変態沈着後の大きな移動はないものと考えられるため、イボニシの成体はその環境における物質曝露量を表現しているものと考えられる。

図9に今回観察したイボニシ(雌雄合計)の殻高の分布を示した。気仙沼湾では30mm前後の個体の割合が高く、松島湾では40mm前後にピークがみられる。

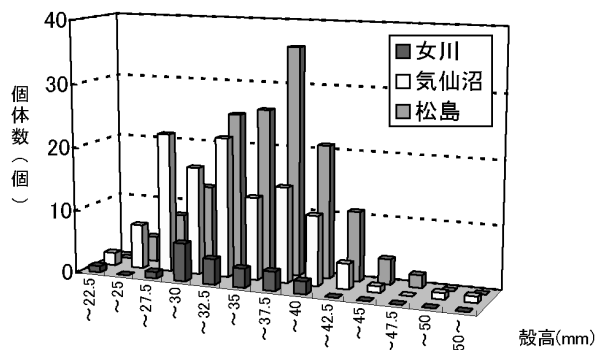


図9 観察イボニシの殻高分布(全体)

イボニシは、初めの成長速度は大きい⁷⁾が次第に鈍化するため、殻高などによる各個体の年齢査定は特に高齢貝では困難⁷⁾であり、また代謝による体内蓄積特性に差がある可能性もあり、調査対象を殻高などで決定する場合は特に注意が必要であると考えられた。したがって、今後同様の調査においては、これまでの30mm前後の殻高個体群を主にした扱いから小型(若齢)個体も対象に加えて実施する必要があると考えられる。

4 まとめ

今回の調査では、一部の地点で正常な雌個体が見られたものの、イボニシのインボセックスは高率で出現しており、生物への影響が継続していることがうかがわれた。環境省の指定化学物質等検討調査によると、仙台湾(実際のサンプリングは松島湾内)のTBT濃度は、図10に示すとおり、水質では検出されなくなっているが、底質中では依然15~25ng/g-dryで推移している状況にあり、要因のひとつとしてこのことが影響している可能性が考えられた。

また、イボニシ体内の有機スズ濃度を分析した結果、インボセックスを発現しているメス個体中のトリブチルスズ濃度とペニス長とに正の相関が認められ、依然として、ペニスを形成させるだけの汚染が存在していること

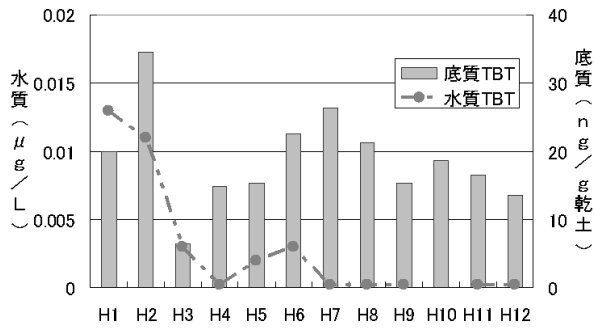


図10 仙台港における水質及び底質中のTBT濃度
(出典：指定化学物質等検討調査(環境省))

が示唆された。

今後、各媒体(水質・底質)における汚染状況の分析とともに、生物指標としてイボニシ等海産巻貝類の生息状況 継続観察に適切な個体サイズ より効果的に化学物質の影響を測定しうる器官(部位)等に関して種々の検討を行いながら、生態影響のモニタリングを継続する必要があるものと考え。

参考文献

- 1) 水谷登志喜ら：宮城県保健環境センター年報，18，p 165 (2000)
- 2) 国立環境研究所ホームページ：研究成果物，地方公共団体公害研究機関と国立環境研究所との共同研究一覧(平成10年度)：
http://www.nies.go.jp/seika/gaiyo/a24_99/2-19-1.html
- 3) 北條祥子：「よくわかる環境ホルモン話」，合同出版，p 70 (1998)
- 4) 堀口敏宏・清水誠：「有機スズ汚染と水生生物影響」第4章 水生生物に対する影響 - 7 貝類及び他の水生生物，恒生社厚生閣，p 111 - 128 (1992)
- 5) 堀口敏宏：「よくわかる環境ホルモン学」第5章 巻貝のメスがオスに性転換，(株)環境新聞社，p 108 (1998)
- 6) 川合真一郎・小山次朗編：「水産学ノート126 水産環境における内分泌攪乱物質」5 貝類，日本水産学会監修，p 54 - 71 (2000)
- 7) 中野大三郎ら：志摩半島におけるイボニシの成長と年齢，鳥羽水族館開館25周年記念誌，p 87 - 92 (1980)