

都内水域の環境ホルモンに関する研究（その3）

— 東京都内湾の魚類の生殖異変とエストロゲンの流入負荷量 —

和波 一夫 嶋津 暉之* 宮下 雄博**
 山本 俊光*** 塚田 和秀*** 吉岡 大輝***
 (*前分析研究部 **非常勤研究員 ***埼玉工業大学)

要 旨

東京都内湾に生息する魚類の生殖異変の実態を把握するため、都内運河などの沿岸域で調査を行った。その結果、主に次のことが明らかになった。

- (1) 合計9種類、965尾の魚類を採捕した。生殖腺の観察を行った結果、ボラ、コノシロ、スズキ、マアナゴの精巣組織中に卵母細胞（精巣卵）が認められた。
- (2) 雄ボラの血中ビテロゲニン濃度を測定したところ、下水処理場放流水が流入する運河部で採捕した雄ボラから10,000ng/mlを超える高濃度のビテロゲニンが検出された。
- (3) 流入河川と下水処理場の水質調査から、エストロゲンの内湾への流入負荷量を試算した。その結果、流入負荷量の30～46%は河川から、54～70%は内湾に面した処理場から流入したものであった。すなわち、下水処理場が東京都内湾へのエストロゲン流入量の大半を占めていた。

キーワード：内分泌かく乱化学物質（環境ホルモン）、エストロゲン、精巣卵、魚類、ビテロゲニン、東京湾

Study on Endocrine Disrupters in metropolitan rivers and Tokyo Bay (3)

Endocrine Disruption in wild fish and The amount of inflow loads of estrogen

WANAMI Kazuo, SHIMAZU Teruyuki, MIYASHITA Takehiro*
 YAMAMOTO Toshimitu**, THUKADA Kazuhide**, and YOSHIOKA Taiki**
 *Associate researcher, **Saitama Institute of Technology

Summary

Fish were collected in Tokyo Bay (9 species, n = 965) to investigate the histological condition of the gonads, and plasma vitellogenin (VTG) concentrations in male Grey Mullet (*Mugil cephalus*) were measured. Gonadal abnormalities (testis-ova) in male were seen in four species; *Mugil cephalus* (ten out of 75), *Konosirus punctatus* (three out of 31), *Lateolabraxa japonicus* (two out of 5), *Conger myriaster* (eleven out of 131). The VTG concentrations in some male Grey Mullet collected in urban area were higher than 10,000ng/ml. Based on the trial calculation of the amount of estrogen loads which flows into the Tokyo Bay, it was shown that the sewage disposal plants had 54 to 70% of that loads. These results suggest that male Grey Mullet and other species living in Tokyo Bay were exposed to estrogen and estrogen-like substances from the sewage disposal plants.

Keywords : Estrogen, Estrogen-like substances, Fish, Testis-ova, Vitellogenin (VTG), Tokyo Bay

1 はじめに

都内水域に生息する魚類への環境ホルモンの影響実態を把握するため、既報^{1), 2)}で述べたように、1998年度から2001年度に都内河川のコイ等を採捕して生殖腺の観察等を行った。その結果、多摩川等に生息する雄コイに精巣異常が認められ、雄コイの血液に高濃度のビテロゲニン（卵黄タンパク前駆体）が検出された。調査地点の水質測定とビテロゲニンの検出との関係を調べたところ、雄コイに高濃度のビテロゲニンを産生させる主要因は、下水処理場から放流される天然エストロゲン（女性ホルモン）であると推測された。

東京都内湾についても、湾奥部には下水処理場から大量の放流水が流入しているため、魚類への下水処理水の影響は河川と同様に大きいものと考えられる。本論文では、2003年度に行った東京都内湾の魚類調査と水質調査の結果を報告する。

2 調査方法

(1) 調査対象魚種

都市沿岸域に生息するボラ、コノシロ、スズキ、マルタ等の魚種を調査対象とした。

(2) 調査地点と調査時期

図1に示すア地点（昭和島）、イ地点（勝島）、ウ地点（港南）の運河部の3地点で調査を実施した。この



図1 調査地点

3地点の他に多摩川・田園調布堰（大田区田園調布1丁目）で海から河川に遡上するマルタを採捕した。また、千葉県漁業者から東京湾沖合部（市原沖）のボラを買い取り、運河部との対照検体とした。その他に、(財)東京都内湾漁業環境整備協会が羽田沖で採捕した魚類の一部を譲り受け、検体とした。

各地点の特徴はつぎのとおりである。ア地点は、昭和島の東側に位置する地点で、近くに都内最大規模の下水処理場である森ヶ崎処理場がある。イ地点は、大井埠頭中央海浜公園に面する運河で、近傍には下水処理場はないが、潮の満ち干きにより森ヶ崎処理場の放流水が到達する可能性のある地点である。ウ地点は、港南地区の奥まった運河の地点であり、近くに芝浦処理場がある。多摩川・田園調布堰は都水道局の取水堰であり、この堰の中央部と左岸には魚道が設けられている。取水堰の下流は感潮域である。

ア地点、イ地点、ウ地点の3地点については、2003年6月、9月、12月、2004年3月に調査を実施した。多摩川・田園調布堰については、マルタが遡上する2004年3月に調査を実施した。

(3) 採捕方法

ア地点、イ地点、ウ地点、多摩川・田園調布堰の各地点とも、投網を用いて魚類採捕を行った。

(4) 計測・血液処理方法

魚類の尾部から採血後、全長・体長・体重を測定した。採血液は既報³⁾の方法で遠心分離処理を行い、ビテロゲニン分析に供するまで冷凍保存した。なお、(財)東京都内湾漁業環境整備協会の魚類検体は、生魚でないため採血を行わなかった。

(5) ボラのビテロゲニン分析

ボラの血液中ビテロゲニンの測定を既報³⁾の方法で行った。片山化学工業製ボラ用SRID測定プレートを用いて高濃度の検体をスクリーニングしたのち、同法で不検出のものを対象に検出感度の高いELISA法を用いて測定した。

(6) 生殖腺組織異常の判定

摘出した生殖腺を既報^{1), 3)}の方法で処理した後、生殖腺の生殖細胞の発達状況、構造、組織の変性及び精巣卵の有無等を顕微鏡で観察して、その状態を記録した。

(7) 水質分析の方法

内分泌かく乱化学物質については既報⁴⁾の図1のフ

ローで試料の濃縮を行ったうえで、17β-エストラジオール、エストロンを日本エンバイロケミカルズ株式製のELISAキットで分析した。また、エストロゲン総合作用強度をBrunel大学の遺伝子組み換え酵母法で測定した。一部の検体については外部委託によりLC-MS/MS法で17β-エストラジオール、エストロン、エストリオール、エチニルエストラジオールの分析を行った。その他の項目はJIS-K0102にしたがって分析した。

(8) 東京都内湾への流入負荷量の把握

東京都内湾に流入する江戸川、荒川、隅田川、多摩川の河口部と、内湾に下水処理水を放流している葛西、砂町、芝浦、森ヶ崎処理場を対象として、9月、12月、3月にスポット採水を行い、エストロゲンと内分泌かく乱化学物質および一般項目を分析した。その結果から、内湾へのエストロゲン等の流入負荷量を試算した。

流入負荷量の計算では、河川⁵⁾と下水処理場⁶⁾の流量を次のように求めた。

- ① 4 処理場：東京都下水道事業年報に記載されている1998～2002年度の各処理場高級処理放流量の平均値
- ② 多摩川河口部：田園調布堰の観測流量
- ③ 江戸川河口部：江戸川野田地点の観測流量－東京都三郷・金町浄水場の取水量
- ④ 荒川河口部：秋ヶ瀬堰の観測流量＋中川の推定流量＋中川関係の東京都下水処理場放流量（1998～2002年度の平均値）。中川の流量の大半は農業用水の還元水であるので、利根大堰の農業用水の取水量を中川の推定流量とした。
- ⑤ 隅田川河口部：隅田川浄化用水＋新河岸川・隅田川関係の東京都下水処理場放流量（1998～2002年度の平均値）

また、船で河口部の河川水や処理場放流水を採水する場合は、海水混入による希釈が避けられないので、流入負荷量の計算では塩素イオン濃度から海水の混入率を推定して濃度補正を行った。

その他に河川からの流入負荷量の時間変動や降雨の影響を知るため、多摩川の田園調布堰に自動採水器を設置して、河川水の通日採水を平成15年5月から16年2月にかけて延べ14回行い、エストロゲンと一般項目を分析した。

3 結果と考察

(1) 調査魚種

魚種別の採捕尾数と精巣卵の出現数を表1に示す。ボラ、コノシロ、スズキ、マアナゴ等の9種965尾を採捕した。魚類の性別判定は、生殖腺の外観及び組織学的観察にもとづいて行った。しかし、生殖腺が未成熟で雌雄の判定ができないものや生殖腺が著しく未発達であるため、生殖腺を摘出できない検体もあった。なお、9種のうちマアナゴについては、都水産試験場の調査に用いられた検体の中から雄を多く選んで供与されたものである。

表1 魚種別採捕数と精巣卵の出現数

					単位:尾	
	雄♂	雌♀	雌雄不明	摘出不能	合計数	精巣卵
ボラ	75	301	34	9	419	10
コノシロ	31	59	1	1	92	3
スズキ	5	51	22	1	79	2
マアナゴ	131	50	0	0	181	11
サッパ	4	18	0	0	22	0
マルタ	85	73	9	0	167	0
シロギス	1	0	0	0	1	0
ウミタナゴ	0	1	0	0	1	0
クロダイ	0	3	0	0	3	0
合計					965	26

(2) 生殖腺異常

魚類の生殖腺異常については、組織学的観察にもとづく知見が少ないことから、現時点では、精巣の細胞や組織に顕著な変性が認められる場合を異常ありと判定した。

雄の生殖腺を観察した結果、すべての魚種で生殖腺に外観異常は認められなかった。しかし、精巣の組織学的観察からは、ボラ（75尾のうち10尾）、コノシロ（31尾のうち3尾）、スズキ（5尾のうち2尾）、マアナゴ（131尾のうち11尾）の精巣組織中に卵母細胞が認められた（精巣卵）。写真1～6に精巣卵を示す。

本論文では、ボラの性比と精巣卵について詳述する。ボラの性比は、生殖腺が摘出できなかった9尾を除くと、410尾のうち301尾が雌であり、雌は全体の約7割を占めた。一方、雄は410尾中75尾で、全体のおよそ2割であった。残りの34尾は生殖腺が未成熟な雌雄不明の個体であった。このように、本調査では、ボラの性比は雌に偏っていた。これに対して、産卵期に漁獲されるボラの親魚では、性比は雄が圧倒的に多いことが報告されている⁷⁾。このため、ボラの性比については生態的な知見を踏まえて今後、検討する必要がある。

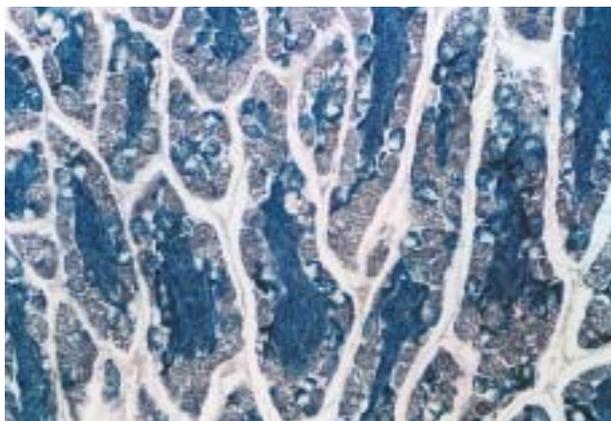


写真1 ボラ 正常な精巣組織 (顕微鏡倍率100倍)
2003年9月28日 識別番号(9フ8)
市原沖 体長394mm; 体重1400g
精巣組織全体にわたって活発な精子形成がみられる。

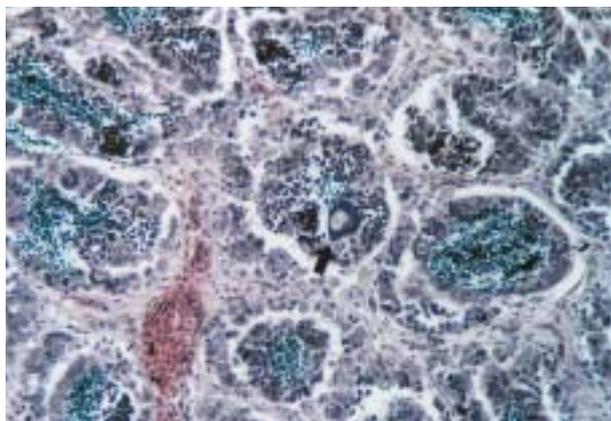


写真2 ボラ 精巣卵 (400倍)
2003年9月16日 識別番号(9ア12)
昭和島 (ア地点) 体長410mm; 体重1220g
精小囊内の精子に混在して卵母細胞がみられる。



写真3 ボラ 精巣卵 (400倍)
2003年6月26日 識別番号(6ウ21)
港南 (ウ地点) 体長416mm; 体重1254g
精子形成は行われておらず、卵母細胞とマクロファージがみられる。

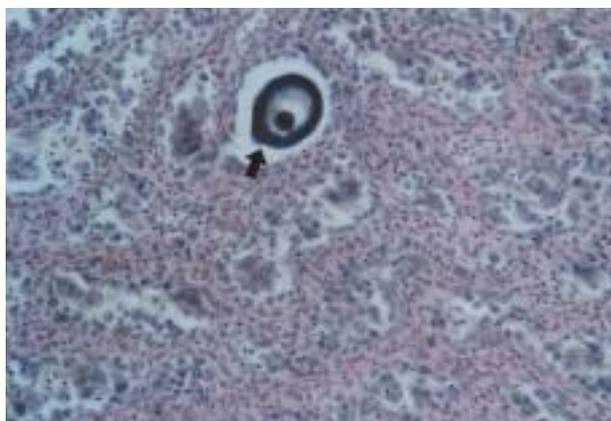


写真4 コノシロ 精巣卵 (400倍)
2003年10月21日 識別番号(10コ1)
羽田沖 体長235mm; 体重219g
精小囊内に卵母細胞がみられる。

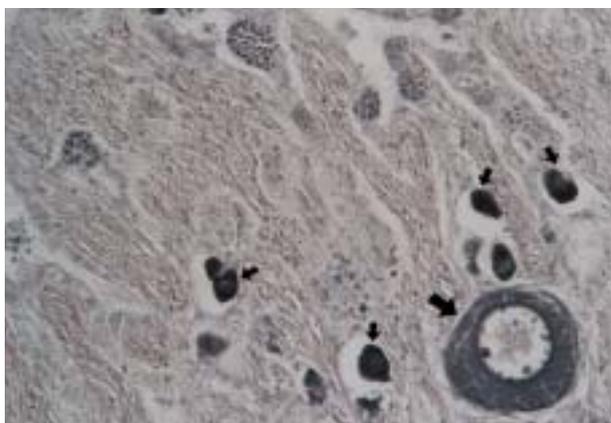


写真5 スズキ 精巣卵 (400倍)
2003年9月25日 識別番号(2回目9あ36)
昭和島 (ア地点) 体長384mm; 体重823g
雄性生殖細胞のシストに混ざって卵母細胞が散在している。



写真6 マアナゴ 精巣卵 (400倍)
2003年10月29日 識別番号(10マ9)
羽田沖 全長388mm; 体重99g
精巣周縁部に卵母細胞が散在している。

表2 ボラの地点別採捕数と精巣卵の出現数

地点	雄 ♂	雌 ♀	雌雄不明	摘出不能	合計数	精巣卵	所見あり
ア地点	5	57	12	0	74	3	0
イ地点	7	37	13	9	66	2	0
ウ地点	10	90	0	0	100	4	0
羽田沖	37	76	9	0	122	0	2
市原沖	16	38	0	0	54	1	0
田園調布堰	0	3	0	0	3	0	0

採捕地点別のボラの雌雄数を表2に示す。合計尾数（生殖腺が摘出できなかった個体は除く）に対する雌の比率はそれぞれ、ア地点（77%）、イ地点（65%）、ウ地点（90%）、羽田沖（62%）、市原沖（70%）であり、すべての地点で雌の比率が高かった。一方、雄の割合は、ア地点（7%）、イ地点（12%）、ウ地点（10%）、羽田沖（30%）、市原沖（30%）であった。なお、ア地点とイ地点では、生殖腺が未成熟である雌雄不明の個体が多かった。

雄ボラの精巣卵の出現率は全体で13%（75尾中10尾）であった。一般に魚類では、卵巣は精巣よりも初期に分化することが知られている⁸⁾。従って、生殖腺が未成熟で雌雄の判別ができなかった34尾については雄の可能性がある。そこで、これら雌雄不明の個体を雄に含めて集計すると、雄の尾数は109尾となり、精巣卵の出現率は9%となる。

今回の調査で精巣卵が認められた雄ボラ10尾のうちの9尾は、運河部のア、イ、ウの3地点で採捕された個体であった。精巣卵の出現率はア地点で60%、イ地点で29%、ウ地点で40%であり、これらの3地点を合計すると、運河部での精巣卵の出現率は41%（雄22尾のうち9尾に精巣卵）であった。一方、羽田沖で採捕された雄ボラには明瞭な精巣卵は認められなかった。しかし、精巣卵が疑われる卵母細胞様の細胞がみられるものが2尾あり、これを精巣卵として集計すると出現率は5%となる。また、比較対照地点の市原沖については、精巣卵の出現率は6%であった。以上のように運河部の3地点は、羽田沖と市原沖に比べて精巣卵の出現率が高い傾向がみられた。

採捕したボラには生殖腺が未成熟な雌雄不明の個体が含まれている。前述した理由から、これらの雌雄不明の個体を雄として集計すると、精巣卵の出現率は、ア地点で18%、イ地点で10%となり、運河部の3地点を合計した精巣卵の出現率は19%と低くなる。しかし、この場合でも、羽田沖、市原沖と比べて運河部

の精巣卵の出現率は高い。

既報³⁾では、採捕された135尾のボラのうち、確実に雄と判別できる個体は2尾（このうち1尾に精巣卵が出現）であったため、精巣卵の出現実態はデータ数が少なく明確でなかった。しかし、今回の調査では、比較的多くの雄ボラが採捕され、雄ボラ全体の約1割に精巣卵がみられること、さらに、精巣卵の大半は、大規模な下水処理場付近の運河部で採捕された雄ボラから見出されることが明らかとなった。

なお、雌については、既報³⁾と同様に、ボラやスズキなどの魚種において、卵巣に退化変性卵が認められた。

(3) ボラの血液中ビテロゲニン濃度

通常、ビテロゲニンの産生は雌に限られるが、雄にエストロゲンを投与するとビテロゲニンが産生される。また、環境中に存在するエストロゲン様物質によっても産生される。雄魚にビテロゲニンが検出された場合、エストロゲンやエストロゲン様物質に曝露された可能性が高いとされている^{9), 10), 11)}。

本調査で採取したボラのうち、雄または雌雄不明（組織学的観察からは、雄である可能性を否定できないもの）と判定したものについて血液中ビテロゲニン分析を行った。その結果を表3に示す。高濃度用の測定法であるSRID法でビテロゲニンが検出したものは、6月、12月のウ地点で採捕された雄ボラであり、57~290 $\mu\text{g/ml}$ の非常に高い値が検出された。SRID法で不検出であったボラについては、低濃度用のELISA法で再測定した。その結果、12月のウ地点の雄ボラから29,000ng/ml、3月のア地点の雄ボラから2,700ng/mlのビテロゲニンが検出された。SRID法とELISA法は濃度の単位が異なるので、ビテロゲニン濃度の単位をng/mlで統一すると、ア地点のボラのビテロゲニンはND~2,700ng/ml、イ地点はND~200ng/ml、ウ地点はND~290,000ng/mlであった。一方、市原沖はND~52ng/mlであり、都内運河の地点に比べて低い値であった。

後述の(4)水質分析結果の項で示すようにウ地点は、芝浦処理場の放流水の影響を受けエストロゲン濃度が高い。ウ地点の雄ボラに高濃度のビテロゲニンが検出されたのは、芝浦処理場の放流水中のエストロゲンに曝露されたからだと考えられる。

表3 ポラのビテロゲン測定結果

2003年度						
調査月	地点	識別番号	性別	SRID(μg/ml)	ELISA (ng/mL)	精巢卵の有無
6月	ア地点(昭和島)	6-ア-1	雌雄不明	ND	20	
6月	ア地点(昭和島)	6-ア-3	雌雄不明	ND	36	
6月	ア地点(昭和島)	6-ア-4	雌雄不明	ND	6	
6月	ア地点(昭和島)	6-ア-8	雌雄不明	ND	4	
6月	ア地点(昭和島)	6-ア-16	雌雄不明	ND	5	
6月	ア地点(昭和島)	6-ア-20	雌雄不明	ND	ND	
6月	イ地点(勝島)	6-イ-3	雌雄不明	ND	12	
6月	イ地点(勝島)	6-イ-9	雌雄不明	ND	ND	
6月	イ地点(勝島)	6-イ-12	雌雄不明	ND	5	
6月	イ地点(勝島)	6-イ-15	雌雄不明	ND	5	
6月	ウ地点(港南)	6-ウ-13	♂	180		精巢卵
6月	ウ地点(港南)	6-ウ-21	♂	57		
6月	ウ地点(港南)	6-ウ-32	♂	103		
6月	ウ地点(港南)	6-ウ-35	♂	201		精巢卵
9月	ア地点(昭和島)	9-ア-4	雌雄不明	ND	ND	
9月	ア地点(昭和島)	9-ア-6	雌雄不明	ND	5	
9月	ア地点(昭和島)	9-ア-8	雌雄不明	ND	5	
9月	ア地点(昭和島)	9-ア-9	雌雄不明	ND	16	
9月	ア地点(昭和島)	9-ア-10	雌雄不明	ND	ND	
9月	ア地点(昭和島)	9-ア-12	♂	ND	211	精巢卵
9月	ア地点(昭和島)	9-ア-13	雌雄不明	ND	160	
9月	イ地点(勝島)	9-イ-6	雌雄不明	ND	ND	
9月	イ地点(勝島)	9-イ-7	雌雄不明	ND	ND	
9月	ウ地点(港南)	9-ウ-16	♂	ND	128	
9月	ウ地点(港南)	9-ウ-18	♂	ND	ND	
9月	市原沖	9-フ-08	♂	ND	ND	
9月	市原沖	9-フ-13	♂	ND	ND	
9月	市原沖	9-フ-15	♂	ND	ND	
9月	市原沖	9-フ-16	♂	ND	14	
9月	市原沖	9-フ-23	♂	ND	ND	
9月	市原沖	9-フ-24	♂	ND	10	
9月	市原沖	9-フ-26	♂	ND	ND	
9月	市原沖	9-フ-29	♂	ND	ND	
9月	市原沖	9-フ-32	♂	ND	ND	
9月	市原沖	9-フ-33	♂	ND	ND	
12月	イ地点(勝島)	12-イ-2	♂	ND	152	
12月	イ地点(勝島)	12-イ-6	♂	ND	115	
12月	ウ地点(港南)	12-ウ-14	♂	288		
12月	ウ地点(港南)	12-ウ-28	♂	ND	29020	
3月	ア地点(昭和島)	3-ア-2	♂	ND	2716	
3月	ア地点(昭和島)	3-ア-9	♂	ND	43	精巢卵
3月	イ地点(勝島)	3-イ-1	♂	ND	10	
3月	イ地点(勝島)	3-イ-2	♂	ND	4	
3月	イ地点(勝島)	3-イ-3	♂	ND	24	精巢卵
3月	イ地点(勝島)	3-イ-5	♂	ND	196	精巢卵
3月	市原沖	3-フ-7	♂	ND	11	
3月	市原沖	3-フ-11	♂	ND	ND	精巢卵
3月	市原沖	3-フ-12	♂	ND	ND	
3月	市原沖	3-フ-14	♂	ND	ND	
3月	市原沖	3-フ-15	♂	ND	52	

ND: Vg測定下限値(1ng/mL)以下

(4) 調査地点の水質分析結果

ア、イ、ウの各地点とその近傍の下水処理場の放流口で水質調査を行った。その他に東京湾内湾への流入負荷量を把握するため、多摩川河口、江戸川河口、荒川河口、隅田川河口、葛西処理場放流口、砂町処理場放流口で水質調査を行った。表4に各調査地点のエストロゲン等の濃度を示す。表中のエストロゲン2成分作用強度は、既報⁴⁾の比活性値を用いて17β-エストロジオールとエストロンの値から求めたものである。ELISA法によるエストロゲン作用強度は、ア地点は13~38ng/l、イ地点は3~13ng/l、ウ地点は17~57ng/lであった。LC-MS/MS法による同作用強度は、ア地点は10~36ng/l、イ地点は2~8ng/l、ウ地点は15~42ng/lであった。また、酵母法による同作用強度では、ア地点は9~71ng/l、イ地点は2~19ng/l、ウ地点は5~185ng/lであった。いずれの方法でも、エストロゲン作用強度はウ地点が高い値を示した。ウ地点は、芝浦処理場の2箇所ある放流口の間に位置し、閉鎖性の強い運河にあるため、放流水の影響が特に大きいと考えられる。

一方、各河川の河口のエストロゲン作用強度については、ア、イ、ウの各地点に比べると低い値であった。

表4 2003年度調査地点のエストロゲン等の水質分析結果

調査月日、地点	エストロゲン、内分泌かく乱化学物質: ng/L										その他: mg/L					
	ELISA法			酵母法		LC-MS/MS法					一般項目					
	エストロジオール	17β-エストロジオール	エストロン	2成分のエストロゲン作用強度	エストロゲン総合作用強度	17β-エストロジオール	エストロン	2成分のエストロゲン作用強度	4-オクタフルフェノール	4-ノニルフェノール	COD	T-N	NH4-N	T-P		
6/26	ア地点(森ヶ崎処理場放流口付近)	49.8	0	49.8	13.4	14.0	未測定	未測定	未測定	未測定	未測定	未測定	9.8			
6/26	イ地点(大井浜公園付近)	30.5	0	30.5	8.2	19.3	未測定	未測定	未測定	未測定	未測定	未測定	7.8			
6/26	ウ地点(浜路橋付近)	168.5	15.5	153.0	56.8	185.4	未測定	未測定	未測定	未測定	未測定	未測定	10.8			
9/25	ア地点(森ヶ崎処理場放流口付近)	54.0	7.9	46.0	20.3	30.0	4.6	20.7	10.2	未測定	未測定	未測定	10.2	10.21	8.34	0.86
9/25	イ地点(大井浜公園付近)	11.1	1.7	9.4	4.2	3.7	0.7	4.6	1.9	未測定	未測定	未測定	3.1	2.74	1.45	0.39
9/25	ウ地点(浜路橋付近)	70.5	10.6	59.9	26.8	96.7	8.7	60.8	25.1	未測定	未測定	未測定	10	10.82	6.84	0.91
9/25	ウ地点(芝浦処理場放流口付近)	132.2	19.8	112.4	50.1	99.8	13.9	105.6	42.4	未測定	未測定	未測定	12.5	12.24	7.58	0.91
9/25	砂町処理場放流口付近	48.6	4.3	44.3	16.3	19.7	3.5	33.0	12.4	未測定	未測定	未測定	6	4.97	1.81	1.18
9/25	江戸川河口(京葉線鉄橋上流)	0.3	0	0.3	0.1	0.2	0	1.1	0.3	未測定	未測定	未測定	5.1	3.07	0.09	0.17
9/25	荒川河口(京葉線鉄橋)	12.3	1.1	11.2	4.1	1.4	0.5	5.1	1.9	未測定	未測定	未測定	4.4	3.36	0.76	0.28
9/25	隅田川河口(永代橋)	15.9	1.3	14.6	5.2	6.2	1.7	18.6	6.7	未測定	未測定	未測定	5.1	5.44	1.67	0.46
9/25	多摩川河口(大師橋)	8.5	0.3	8.2	2.5	1.5	0.6	3.1	1.4	未測定	未測定	未測定	3.3	3.73	0.98	0.29
12/8	ア地点(森ヶ崎処理場放流口付近)	43.2	7.2	36.0	16.9	18.0	4.6	44.6	16.6	60	Tr	Tr	12	12.159	7.69	0.66
12/8	ア地点(京和橋東詰付近)	38.1	4.7	33.4	13.7	9.3	4.0	21.9	9.9	50	Tr	Tr	6.4	6.714	5.89	0.28
12/8	イ地点(大井浜公園付近)	32.8	5.1	27.7	12.6	9.4	3.3	18.8	8.3	40	Tr	Tr	5.7	7.028	4.78	0.54
12/8	ウ地点(浜路橋付近)	49.5	4.9	44.6	16.9	16.9	4.5	39.9	15.2	40	170	7.4	8.079	3.97	0.33	
12/8	ウ地点(芝浦処理場放流口付近)	65.2	7.6	57.6	23.2	5.4	4.6	45.7	16.9	50	200	9.6	9.92	4.87	0.39	
12/8	葛西処理場放流口付近	35.7	5.6	30.1	13.7	5.2	1.8	12.6	5.2	60	230	9	10.538	0.29	0.98	
12/8	砂町処理場放流口付近	40.7	3.3	37.4	13.4	14.5	3.6	34.0	12.8	50	130	6.8	4.892	1.21	0.58	
12/8	多摩川河口(大師橋)	9.8	1.4	8.4	3.7	4.2	1.6	6.9	3.5	20	Tr	3	4.476	1.19	0.22	
12/8	江戸川河口(京葉線鉄橋上流)	5.1	0.6	4.5	1.8	1.1	1.2	3.2	2.1	30	Tr	2.5	2.851	0.12	0.05	
12/8	荒川河口(京葉線鉄橋)	12.6	1.2	11.4	4.3	2.0	1.5	5.8	3.0	40	130	3.7	3.758	0.78	0.17	
12/8	隅田川河口(永代橋)	20.1	2.4	17.7	7.2	8.7	2.1	15.3	6.3	40	190	3.8	4.857	1.77	0.19	
3/9	ア地点(森ヶ崎処理場放流口付近)	109.3	10.9	98.3	37.5	71.0	12.9	84.2	35.6	90	540	17.2	13.37	8.46	0.72	
3/9	ア地点(京和橋東詰付近)	60.4	6.4	54.1	21.0	52.2	9.0	9.5	11.6	60	360	11	7.39	6.48	0.31	
3/9	イ地点(大井浜公園付近)	8.1	1.7	6.4	3.4	2.1	1.7	9.5	4.2	Tr	Tr	5	7.73	5.26	0.59	
3/9	ウ地点(浜路橋付近)	126.3	11.1	115.2	42.2	136.5	10.9	81.6	32.9	50	410	12.4	8.89	4.37	0.36	
3/9	ウ地点(芝浦処理場放流口付近)	127.1	10.8	116.3	42.2	131.5	12.2	97.8	38.6	50	410	15.6	10.91	5.36	0.43	
3/9	葛西処理場放流口付近	69.0	8.3	60.8	24.7	66.1	8.7	73.7	28.6	60	150	12.6	11.59	0.32	1.08	
3/9	砂町処理場放流口付近	90.2	16.0	74.2	36.1	71.1	21.2	81.0	43.1	40	680	13.6	5.38	1.33	0.64	
3/9	多摩川河口(大師橋)	14.5	2.9	11.6	6.1	4.2	2.5	6.3	4.2	20	Tr	4.9	4.92	1.31	0.24	
3/9	江戸川河口(京葉線鉄橋上流)	11.6	2.2	9.4	4.7	6.0	3.1	11.4	6.1	Tr	140	5.4	3.14	0.13	0.06	
3/9	荒川河口(京葉線鉄橋)	5.0	1.2	3.8	2.2	1.1	1.0	2.1	1.6	Tr	90	4.7	4.13	0.86	0.19	
3/9	隅田川河口(永代橋)	15.0	2.9	12.1	6.2	1.5	1.2	3.9	2.2	Tr	140	4.1	5.34	1.94	0.20	

ア～ウ地点のうち、環境省の内分泌かく乱化学物質リストにあげられている4-t-オクチルフェノールの測定最大値は90ng/l、ノニルフェノールの測定最大値は540ng/lであった。これらは、いずれも3月のア地点（森ヶ崎処理場放流口付近）の検体であった。CODは、ア地点は6～12mg/l、イ地点は3～8mg/l、ウ地点は7～13mg/lで各地点の値に大きな違いは認められなかった。

(5) 東京都内湾への流入負荷量の把握

流入河川と下水処理場の調査データからエストロゲンおよび内分泌かく乱化学物質、一般項目の内湾への流入負荷量を試算した結果を表5、6、7に示す。エストロゲンの流入総負荷量（作用強度）は酵母法が240g/日、ELISA法が202g/日、LC-MS/MS法が169g/日であった。そのうち、30～46%は4河川から、54～70%は4処理場から流入したものであり、内湾に面した下水処理場がエストロゲン流入量の半分強から7割を占めていた。

今回の調査は昼間のスポット採水によるものであるが、2000～2001年度に下水処理場の24時間調査を行った結果では、放流水のエストロゲン濃度は時間変化がかなり大きく、昼間から夜間にかけて濃度が数倍に上昇していく傾向がみられた^{12), 13)}。一方、河川の場合は、多摩川の田園調布堰で24時間調査を行った結果では図2の例に示すとおり、エストロゲン濃度の時間変化は比較的小さかった。これらのことを考慮すると、内湾へのエストロゲン流入負荷量に占める下水処理場の実際の割合は今回の結果よりもっと高いと推測される。

一方、ビスフェノールA、ノニルフェノール、4-t-オクチルフェノールといった内分泌かく乱化学物質については4河川と4処理場からの流入負荷量の割合がそれぞれ62～77%、23～38%であり、4河川が4処理場の2～3倍であった。また、COD、T-N、T-Pは4河川と4処理場の比が62～73：27～38%で、いずれも4河川の割合がかなり大きかった。

このように、エストロゲンのみが、流入負荷量に占める4処理場の割合が大きいという特異的な傾向がみられた。このことは、多摩川流域の下水処理場から排出されたエストロゲンの大半が多摩川を流下する過程で消失する機構¹⁴⁾と同じように、都内河川に放流されたエストロゲンが河川を流下する過程で分解され、内

湾に到達する河口部の段階では、その大半が消失してしまっていることを示唆している。

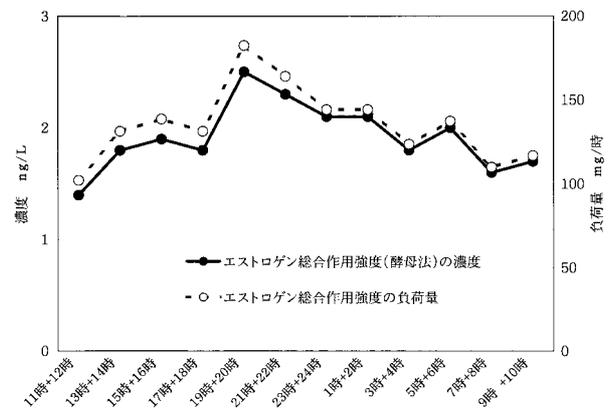


図2 田園調布堰のエストロゲンの時間変化（2003年6月16～17(日) 晴天日）

4 おわりに

都内水域で9種類の魚類を採捕して、生殖腺観察を行った。このうち、ボラ、コノシロ、スズキ、マアナゴの雄に精巣卵が認められた。精巣卵をもつ雄ボラの大部分は、運河部で採捕された個体であった。また、下水処理場近傍の運河部で採捕された雄ボラの血液中から、高濃度のビテロゲニンが検出された。これは、沖縄や長崎などで採捕された雄ボラのビテロゲニン¹⁵⁾と比べて著しく高い濃度であった。流入河川と内湾に面した下水処理場の水質調査から、エストロゲンの内湾への流入負荷量を試算したところ、流入負荷量の30～46%は河川から、54～70%は下水処理場から流入しているという結果が得られた。従って、都内運河部の雄ボラにみられた精巣卵や高濃度のビテロゲニンの検出は、下水処理水中のエストロゲンとの関連性が高いと考えられた。

エストロゲンは水中から底泥に移行すること¹⁶⁾、魚類に影響を及ぼす¹⁷⁾ことが知られているため、今後は底質調査も含めて東京都内湾の調査を行い、魚類生殖異変の実態やエストロゲンの挙動を明らかにしていきたい。

謝辞

(財)東京都内湾漁業環境整備協会からは羽田沖の魚類検体を提供していただいた。マアナゴ生殖腺の組織観察については、宇藤朋子氏(株式会社いらご研究所)

表5 東京湾へのエストロゲン流入負荷量（8月、12月、3月の平均）

	エストロゲン総合作用強度(酵母法)		エストロゲン2成分の作用強度(ELISA法)		エストロゲン2成分の作用強度(LC-MS/MS法)		流量(3回の平均) 万m3/日
	濃度(ng/L)	負荷量(g/日)	濃度(ng/L)	負荷量(g/日)	濃度(ng/L)	負荷量(g/日)	
多摩川河口	4.4	10.6	5.5	12.9	4.9	10.3	297
江戸川河口	3.2	7.0	2.8	8.0	2.8	9.4	701
荒川河口	2.7	13.7	6.1	33.6	3.9	19.7	554
隅田川河口	12.6	39.8	13.7	38.5	10.8	33.1	275
森ヶ崎処理場	42.6	49.8	27.1	31.8	22.5	26.4	117
芝浦処理場	89.9	56.1	46.3	28.9	38.9	24.3	62
砂町処理場	121.9	50.9	99.8	41.7	96.7	40.4	42
葛西処理場	39.8	12.3	21.2	6.5	18.8	5.8	31
4河川の合計		71		93		72	
4処理場の合計		169		109		97	
合計		240		202		169	
4河川の割合		30%		46%		43%	
4処理場の割合		70%		54%		57%	

表6 東京湾への内分泌かく乱化学物質流入負荷量（12月、3月の平均）

	ビスフェノールA		ノニルフェノール		4-tert-オクチルフェノール	
	濃度(ng/L)	負荷量(g/日)	濃度(ng/L)	負荷量(g/日)	濃度(ng/L)	負荷量(g/日)
多摩川	69	115	Tr	—	27	52
江戸川	52	136	170	216	36	257
荒川	216	892	189	632	84	401
隅田川	138	229	395	1,199	96	407
森ヶ崎処理場	205	235	296	320	82	95
芝浦処理場	97	62	367	222	60	38
砂町処理場	109	188	892	625	99	186
葛西処理場	51	16	209	64	66	20
4河川の合計		1,371		2,047		1,117
4処理場の合計		501		1,231		340
合計		1,872		3,278		1,457
4河川の割合		73%		62%		77%
4処理場の割合		27%		38%		23%

表7 東京湾へのCOD等の流入負荷量（8月、12月、3月の平均）

	COD		T-N		T-P	
	濃度(mg/L)	負荷量(kg/日)	濃度(mg/L)	負荷量(kg/日)	濃度(mg/L)	負荷量(kg/日)
多摩川	5.0	13.2	3.6	13.8	0.22	0.90
江戸川	5.1	30.5	2.1	20.5	0.08	0.85
荒川	7.8	36.1	3.8	25.9	0.22	1.67
隅田川	8.8	24.5	7.3	24.0	0.39	1.27
森ヶ崎処理場	14.5	17.0	8.7	10.2	0.59	0.69
芝浦処理場	15.1	9.4	9.6	6.0	0.56	0.35
砂町処理場	47.3	19.8	30.6	12.8	4.00	1.67
葛西処理場	11.9	3.7	5.7	1.8	0.53	0.16
4河川の合計		104		84		4.7
4処理場の合計		50		31		2.9
合計		154		115		7.6
4河川の割合		68%		73%		62%
4処理場の割合		32%		27%		38%

から教示をいただいた。マアナゴの生殖腺摘出については、東京都水産試験場の協力を得た。精巣卵の判定については、大西悠太氏（国土環境株式会社環境創造研究所）の協力をいただいた。

ここに、関係各位に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 和波一夫ら：多摩川等の環境ホルモン問題に関する研究（その8），東京都環境科学研究所年報，45-55（2002）.
- 2) 宮下雄博ら：多摩川等の環境ホルモン問題に関する研究（その9），東京都環境科学研究所年報，56-65（2002）.
- 3) 和波一夫ら：都内水域の環境ホルモン問題に関する研究（その1），東京都環境科学研究所年報，55-62（2003）.
- 4) 嶋津暉之ら：多摩川等の環境ホルモン問題に関する研究（その3），東京都環境科学研究所年報，165-175（2000）.
- 5) 東京都環境局：平成15年度公共用水域及び地下水の水質測定結果（2004）.
- 6) 東京都下水道局：平成14年度東京都下水道事業年報，（2004）.
- 7) 堀田秀之：長崎県樺島のいわゆる“カスミボラ”について，魚類学雑誌，162-169（1955）.
- 8) 小林牧人；足立伸次：生殖，魚類生理学の基礎，会田勝美編，恒星社厚生閣，155-184（2002）
- 9) 原 彰彦：魚の血液で環境ホルモン汚染をみる，科学，68(7)，591- 596（1998）.
- 10) 原 彰彦：内分泌攪乱物質の生態影響，廃棄物学会誌，10(4)，278-287（1999）.
- 11) 有菌幸司：河川海域などにおける内分泌攪乱化学物質の検出，資源環境対策，34，844-848（1998）.
- 12) 嶋津暉之ら：多摩川等の環境ホルモン問題に関する研究（その7），東京都環境科学研究所年報，82-90（2001）.
- 13) 嶋津暉之ら：多摩川等の環境ホルモン問題に関する研究（その11），東京都環境科学研究所年報，75-83（2002）.
- 14) 嶋津暉之ら：都内水域の環境ホルモン問題に関する研究（その2），東京都環境科学研究所年報，63-71（2003）.
- 15) 米山健太ら：ボラを対象生物とした環境ホルモンの影響調査，環境ホルモン学会第4回研究発表会要旨集，287（2001）.
- 16) 山下信義ら：柱状底質中の内分泌活性物質，化学総説，50，206-212（2001）.
- 17) 征矢野清ら：有明海泥干潟域における環境エストロゲン汚染，海洋と生物 144，25（1），15-20（2003）.