

◆ 水循環における水質リスク評価特集 ◆

下水処理水が魚類の雌性化に及ぼす影響

東谷 忠* 玉本博之** 田中宏明***

1. はじめに

魚類に発生している内分泌攪乱影響として、雄の体内に取り込まれた化学物質がエストロゲン(女性ホルモン)のように作用し、雄を雌化させることが指摘されている¹⁾。英国では、雄ニジマスの血中ビテロジェニン(VTG; エストロゲンの働きによって肝臓で生成される雌特異的な卵黄タンパク前駆物質)を指標とした詳細な調査²⁾⁻¹⁰⁾の結果、下水処理水に由来する 17β -エストラジオール(E2)⁹⁾、エストロン(E1)⁹⁾、 17α -エチニルエストラジオール(EE2)³⁾、及びノニルフェノール(NP)^{5),7)}の4物質が雌化を引き起こす原因物質であると報告されている。英国で実施された一連の研究は下記のとおり進められた。

- (1) 下水処理水放流先河川での魚類曝露試験法を確立する^{2),3)}。
- (2) 魚類曝露試験を実施し、下水処理水の影響の有無を確認する³⁾⁻⁵⁾。
- (3) 雌化を引き起こした水試料を詳細に調べ、影響物質を特定する^{7),8)}。
- (4) 影響物質を用いた室内曝露試験によって、ニジマスへの最小作用濃度を明らかにする^{6),9)}。
- (5) 野生魚を対象に、自然環境での影響を把握する¹⁰⁾。

日本では、多摩川のコイを対象とした調査^{11),12)}において、精巢の異常及び雄コイのVTG生成が確認され、英国と同様の問題が提起された。そこで、魚類に生じている雌化について調査するため、国土交通省(旧建設省)は1998年度からコイを対象とした魚類実態調査¹³⁾に着手した。この調査では、季節に関わらずVTGを生成している雄コイが確認され、エストロゲン作用により雌化が引き起こされている可能性が示唆された(図-2参照)。また、水質調査によってエストロゲン様物質に関する水質データも得られたが、魚類に及ぼす影響の把握には至っていない。

英国の研究に対し日本で実施されている調査を

Study of Estrogenic Effects on Fish Exposed to Sewage Treatment Effluents

比較してみると、魚類に影響を及ぼすと考えられる下水処理水が実際に魚類の雌化を引き起こしているのか否か、これを明らかにすることが第一に必要な試験と考えられる。しかし、そのような曝露試験は実施されていないため、処理水による魚類影響の有無は不明なまま残されている。

そこで本研究では、下水処理水への魚類曝露試験を実施して、処理水による魚類影響の有無を明らかにすることとした。さらに、魚類の雌化を引き起こす要因を探るため、曝露試験に必要な魚類の生理学的知見を明らかにすることとした。

2. 方法

2.1 下水処理場及び対象試験水の選定

英国では、多数の地点で魚類の雌化を引き起こす物質としてE2及びE1が報告されている⁹⁾。このため、本研究には家庭系排水を処理している下水処理場が適していると考えられた。さらに、処理方式及び消毒方式として、代表的な標準活性汚泥処理及び塩素消毒を採用している処理場が適していると考えられた。

そこで、上記選定理由に適合した1処理場において、魚類曝露試験を実施することとした。

2.2 魚類曝露試験法

2.2.1 試験魚の選定

下水処理水を対象とする本研究の試験魚として、コイを選定した。

コイは、わが国で初めてエストロゲン作用による問題が提起された魚種^{11),12)}であり、魚類実態調査¹³⁾の対象となった魚種である。今後比較すべき知見が徐々に蓄積されるものと期待され、さらに、わが国で最初に提起された問題に対し、その影響の有無や要因を探る必要があると考えられた。

2.2.2 試験水槽

コイの曝露試験を行うため、処理場敷地内に流水式の野外試験水槽を5つ並べて設置した(写真-1参照)。試験水槽はコンクリート製で、コイ曝露槽と調整槽から成り立っている。コイ曝露槽の大きさは、長さ4m、幅2mであり、水深は、掃除のた

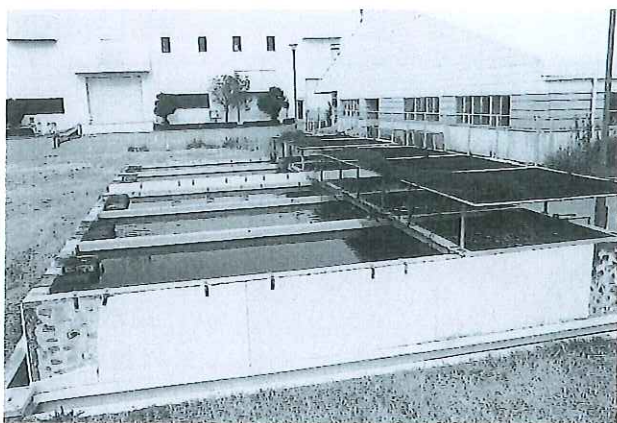


写真-1 コイ曝露水槽
(右：調整槽，左：曝露槽)

めに設けた傾斜によって 0.5m から 0.7m へと深くなる。コイ曝露槽の容積は 4,800L である。

すべての調整槽 (2 × 2 × 0.7m) にエアポンプを取り付け、毎分 60L のエアレーションによって処理水及び水道水 (対照試験) の脱塩素処理を行った。また、処理水と水道水の水温を等しくすることが求められるが、調整槽での滞留中にほぼ同一になることが期待された。

2.2.3 曝露条件の基本項目

野外試験水槽では、水質を除いてその他の曝露条件がすべての水槽で均一になるよう設定した。

流量は、4,800L のコイ曝露槽で 2 回転/日に設定した。よって流速は 6.7L/min となった。また、日長条件や水温は、野外であることを活用し日射による変化をそのまま採用した。コイの試験個体数は、水槽あたり 10 匹あるいは 15 匹と設定した。

それぞれのコイには、個体ごとの経時的な VTG 生成を追跡するため、識別用のタグを取り付けた。

また、餌は、植物性エストロゲンとして魚類に作用する可能性のある大豆¹²⁾を含んでいない市販の餌 (おとひめ 8 号、日清飼料株式会社) を週に 1 回適量与えた。

試験開始時にコイの全長、体長、体重を測定し、終了後、生殖腺を観察して雌雄を決定するとともに、その重量から生殖腺体指数 (GSI; 体重あたりの生殖腺重量比率) を求め成熟状況を把握した。

2.2.4 コイ VTG 測定

コイの血中 VTG を定期的に測定するため、各個体からの採血量は、コイの活動に支障をきたさないこと、さらに、測定に必要な血清量を確保することを考慮して 0.5mL とした。

VTG の測定には、コイ VTG-ELISA キット (株式会社トランスジェニック) を用い、添付のプロトコールに従い測定した。

2.2.5 エストロゲン様物質の水質測定

試験水のエストロゲン作用を明らかにするため、ELISA 法による E2 及び組み換え酵母法によるエストロゲン活性について 2 週間ごとに測定した。さらに、エストロゲン様物質の NP 及びその前駆物質であるノニルフェノールエトキシレート (NPnEO) についても測定することとした。第 1 回曝露試験 (Run1) では曝露水槽内での水質変化を確認するため、エストロゲン活性と E2 について水槽流入部と放流部での濃度を測定することとした。なお、第 2 回以後は放流部で採水することとした。さらに、第 3 回曝露試験 (Run3) から LC/MS/MS (液体クロマトグラフィー) によるエストロゲン類 E2、E1 及び EE2 の同時測定を試みた。

エストロゲン活性の測定は矢古宇らの方法¹⁴⁾に従い実施した。この活性は E2 換算量として表され、E2 測定結果との比較が可能となる。また、E2 (ELISA 法)、NP 及び NPnEO の測定は、調査マニュアル¹⁵⁾に従い前処理及び測定を実施した。E2 の測定は、ELISA キット (Assay Design 社製) を用いて行った。LC/MS/MS による E2、E1 及び EE2 の同時測定は、土木研究所水質チームにて検討中の方法¹⁶⁾に従い測定した。

2.3 コイ曝露試験

曝露試験の概要を表-1 に示す。

第 1 回曝露試験 (Run1) は、下水処理水によって雄コイの VTG 生成は誘導されるのか否かを明らかにすることを目的として実施した。次に Run2 では、雄の VTG 生成を抑制する対策を探るため、処理水のエストロゲン作用を弱めるオゾン添加試験区及び希釈試験区を採用した。また、Run3 では脱塩素水道水を用いて雌から雄への作用を確認する試験を実施した。さらに Run4 では、Run1 と同じ季節に雄のみを用いて試験を実施した。Run1 及び Run2 では、試験開始時にコイの雌雄を区別せず試験を開始し、終了後に生殖腺を観察して判定した。Run3 及び Run4 では、精液を放出する個体を雄として、さらに購入時の VTG 値を参考に雌雄を判定した。

3. コイ曝露試験と試験結果

ここでは、第 1 回及び第 4 回曝露試験の結果について報告する。第 2 回曝露試験 (Run2) では、5 つの試験区すべてにおいて雄 VTG の生成はみられず、また第 3 回曝露試験 (Run3) では、雌から

表-1 曝露試験一覧表

曝露試験	試験区	コイ			曝露期間
		試験個体数 (雄 / 雌)	体長 (mm)	体重 (g)	
Run1	100%処理水	5 / 4	351.3 ± 16.3	1129.0 ± 98.7	8 週間 2000年 2月 - 4月
	対照	7 / 3	335.5 ± 18.0	1151.0 ± 93.2	
Run2	100%処理水	7 / 5	338.9 ± 13.9	798.3 ± 53.2	8 週間 2000年 7月 - 9月
	10%処理水	7 / 6	326.3 ± 16.8	753.1 ± 65.8	
	1%処理水	4 / 9	327.5 ± 15.8	758.5 ± 84.7	
	O ₃ 10mg/L 処理水	6 / 6	331.1 ± 15.4	776.7 ± 68.2	
	対照	6 / 7	338.1 ± 15.1	816.9 ± 51.4	
Run3	混合飼育①	5 / 10	352.2 ± 11.5	1170.0 ± 122.9	6 週間 2000年 12月 - 2001年 2月
	混合飼育②	5 / 10	343.4 ± 15.9	1025.3 ± 126.4	
	対照 (雄単独飼育)	15 / -	332.1 ± 15.9	920.0 ± 113.0	
Run4	100%処理水	10 / -	349.1 ± 14.6	1163.0 ± 129.2	8 週間 2001年 2月 - 4月
	10%処理水	10 / -	343.3 ± 19.6	1087.5 ± 140.0	
	O ₃ 10mg/L 処理水	11 / -	330.6 ± 12.2	984.6 ± 73.7	
	O ₃ 2mg/L 処理水	10 / -	345.5 ± 14.0	1181.3 ± 139.8	
	対照	10 / -	343.8 ± 12.9	1037.8 ± 104.8	

変動はあるものの1μg/mL以上のレベルで推移し、8週経過した時点で脱塩素水道水に戻したところ、11週目(水道水3週目)には雄のVTGは低下した。曝露中のコイVTG最高値は1,400μg/mLであった。なお、1個体では試験開始時にVTGが生成し

雄への影響はみられなかった。

3.1 第1回曝露試験 (Run1)

2000年2月に着手したRun1では、下水処理水試験区及び対照試験区の2つの試験区にて、下水処理水によって雄コイのVTG生成は誘導されるのか否かを明らかにすることを目的に試験を実施した。さらに、雄VTG生成が誘導される場合、時間経過による上昇の様子や到達濃度を把握するとともに、対照試験において雄の血中VTGの正常値を明らかにすることとした。試験は、経時変化を詳しく調べるため、試験期間を8週間と設定し、1週間ごとに血清サンプルを得ることとした。コイは、各試験区に9匹を曝露した。試験終了後に雌雄を判定した結果、処理水試験区では雄5匹、雌4匹、対照区では雄7匹、雌2匹であった。なお、対照区の雌2匹は試験途中で死亡した。処理水試験区のVTG測定結果を図-1に示す。

下水処理水に曝露した雄のうち4匹では、時間の経過とともにVTGが上昇し、4週目には1,000μg/mLほどに達する個体が現れた。その後

ていたが、曝露開始後一度VTGが減少し再び上昇した。また、処理水試験区の雄1匹では、曝露によるVTG生成は認められなかった。試験終了後に精巣を観察した結果、VTGを生成した雄4匹のGSIは4.5~12.0%であり、成熟途中であると考えられた。VTGを生成しなかった雄のGSIは8.3%であった。また、対照区では雄7匹すべてが定量下限値0.039μg/mL未満のまま経過し、VTGの生成は認められなかった。これらのGSIは1.7~7.1%であった。

水質測定の結果、処理水のエストロゲン活性は0.0036~0.0094μg/Lの範囲にあり、E2(ELISA)では0.0246~0.0843μg/Lであった(表-3参照)。また、これらの流入部と放流部での水質変化はみられなかった。なお、NPやNPnEOは検出されなかった。

さらに、対照試験区の雄コイVTGはすべて定量下限値0.039μg/mL未満であったため、雄の正常値は定量できないレベルにあると考えられた。

3.2 第4回曝露試験 (Run4)

下水処理水に雄コイを曝露したRun1及びRun2の結果、Run1では雄のVTGは上昇し処理水の影響があるものと考えられた。しかし、Run2ではそのような影響を再現できなかった。処理水のエストロゲン活性はほぼ同レベルであると考えられることから、この理由として季節によりコイの反応が異なることが考えられた。そこで、Run1と同じ季節に雄のみを用いて試験を実施した。なお、オゾン添加試験区として、10mg/Lと2mg/L(接触時間10分)の2つを設け、希釈試験区は10%とした。

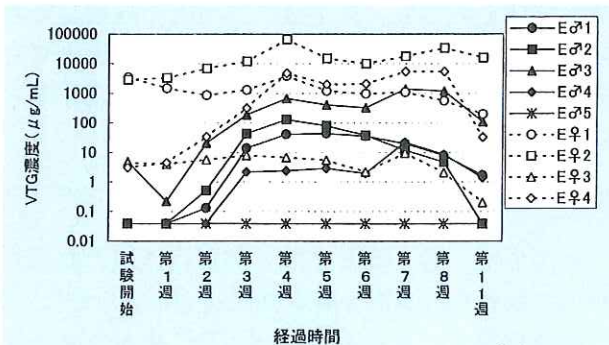


図-1 下水処理水試験区のコイVTG推移 (Run1)

表-2 水質測定結果

[単位: $\mu\text{g/L}$]

水質項目	曝露試験	試験区	試験開始	第2週	第4週	第6週	第8週
エストロゲン活性	Run1	100%処理水	-	0.0052	0.0036	0.0059	0.0048
		100%処理水(流入)	0.0094	0.0048	0.0055	0.0073	0.0060
		対照	Tr (0.0015)	ND	ND	ND	ND
		対照(流入)	Tr (0.0013)	ND	ND	ND	ND
	Run4	100%処理水	0.0087	0.0081	0.0062	0.0074	0.0047
		O ₃ 10mg/L 処理水	0.0001	ND	ND	0.0001	0.0003
		O ₃ 2mg/L 処理水	0.0095	0.0086	0.0008	0.0003	0.0055
		対照	0.0001	ND	0.0001	ND	ND
E2(ELISA)	Run1	100%処理水	-	0.0580	0.0527	0.0575	0.0440
		100%処理水(流入)	0.0246	0.0843	0.0587	0.0674	0.0401
		対照	ND	ND	ND	ND	0.0029
		対照(流入)	ND	ND	ND	ND	ND
	Run4	100%処理水	0.0453	0.0389	0.0243	0.0326	0.0320
		O ₃ 10mg/L 処理水	ND	ND	ND	ND	ND
		O ₃ 2mg/L 処理水	0.0388	0.0414	0.0077	0.0043	0.0312
		対照	ND	ND	ND	ND	ND
E2(LC/MS/MS)	Run4	100%処理水	-	0.0086	-	0.0030	0.0012
		O ₃ 10mg/L 処理水	-	0.0099	-	ND	0.0002
		O ₃ 2mg/L 処理水	-	0.0165	-	0.0008	0.0031
		対照	-	0.0007	-	0.0005	0.0003

ND: 検出下限値未満

Tr: 検出下限値以上, 定量下限値未満

表-3 水質比較一覧表

水質項目	対象	中央値	平均値	最小値	最大値	検体数
		(単位: $\mu\text{g/L}$)				
エストロゲン活性	下水処理水 ¹⁸⁾	0.0047*	0.0239*	ND	0.0780	100
	河川 ¹⁹⁾	0.0022*	0.0016	ND	0.0310	150
	Run1- 下水処理水	0.0055	0.0058	0.0036	0.0094	9
	Run2,4- 下水処理水	0.0046	0.0054	0.0031	0.0087	10
E2(ELISA)	下水処理水 ¹⁷⁾	0.0100	-	ND	0.0660	138
	河川 ¹³⁾	-	-	ND	0.0270	532
	Run1- 下水処理水	0.0575	0.0541	0.0246	0.0843	9
	Run2,4- 下水処理水	0.0337	0.0353	0.0243	0.0458	10

*: 元の文献に記載されていないが、算出することが可能であった数値

2001年2月~4月に実施したRun4では、いずれの試験区においても雄VTGの上昇はみられなかった。

3.5 水質測定結果

Run1、Run2及びRun4のエストロゲン活性およびE2測定結果を表-2に示す。

処理水のエストロゲン活性は、いずれの試験でもほぼ同じレベルにあると考えられた。また、オゾン添加によるエストロゲン作用の低下が確認された。

Run4では、ELISA及びLC/MS/MSの2つの方法で試験水のE2を測定したところ、これらの数値に大きな差がみられた。ELISA法による結合反応では、E2に形態のよく似た物質を合わせて測定している可能性が指摘されており¹⁶⁾、

E2濃度が実際よりも高く表されたと考えられた。

4. 考察

下水処理水にコイを直接曝露したRun1において、時間の経過とともに雄コイのVTGが上昇することが確認された。この結果、下水処理水に雄コイの雌化を引き起こす原因物質が含まれているものと考えられた。しかし、その後の試験では雄のVTG生成は再現されず、下水処理水に曝露した雄コイにVTG生成が確認されたのは、Run1において早春に雄と雌が混在していた場合に限られた。

表-3に曝露試

験でのエストロゲン活性及びE2(ELISA)測定結果と、河川¹³⁾及び下水道¹⁷⁾の実態調査におけるE2(ELISA)測定結果、さらに実態調査の際に同時に採水して測定したエストロゲン活性^{18,19)}について示した。Run1での下水処理水のエストロゲン活性及びE2(ELISA)の平均値は、それぞれ0.0058 $\mu\text{g/L}$ 及び0.0541 $\mu\text{g/L}$ であった。Run2とRun4でのエストロゲン活性及びE2(ELISA)の平均値は、それぞれ0.0054 $\mu\text{g/L}$ 及び0.0353 $\mu\text{g/L}$ であり、Run1に比べほぼ同等のエストロゲン作用であると考えられた。よって、雄コイのVTG生成に関わる要因は、処理水のエストロゲン作用だけではないと考えられた。

一方、Run1の水質測定結果と実態調査結果等を比較すると、調査対象となった処理場の放流

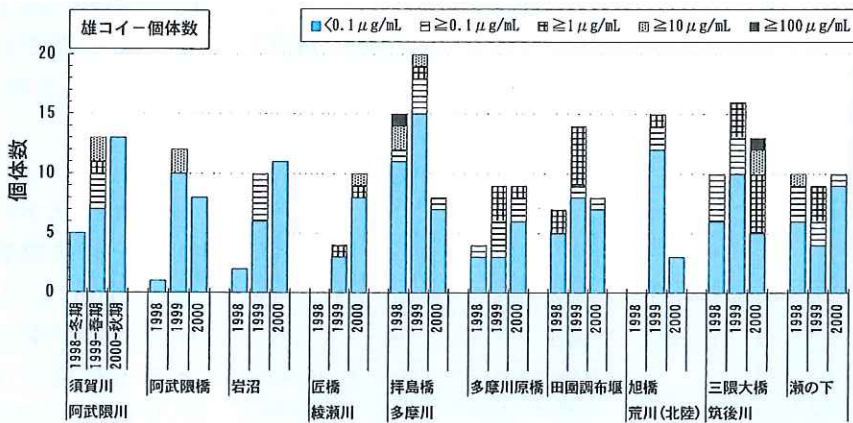


図-2 コイ VTG 調査結果 (地点別)
国土交通省河川実態調査結果 1998-2000 年

先や河川ではエストロゲン活性は比較的高いと考えられ、コイの雌化が発生する可能性があると考えられた。

魚類実態調査の結果では、すべての河川で雄コイの VTG 生成が確認されており、また、季節に関わらず VTG を生成している雄が存在することが明らかとなった。

しかし、地点別及び季節別にこれらのデータを見ると、阿武隈川の 3 地点及び北陸の荒川では春期調査でのみ雄 VTG の生成がみられており、本研究結果と同様の傾向を示していると考えられた。荒川は、都市排水の影響を受けていない地点として 1999 年度から調査対象とされた地点である。

春に雄 VTG が生成される可能性について、コイの内分泌や生殖周期などの生理学的知見をもとに考えてみたい。図-3 に羽生²⁰⁾及び長浜²¹⁾を参考に作成したコイ科魚類の生殖サイクル模式図を示す。

春の産卵期を迎えるために、コイの体内では秋から性ホルモンの分泌が始まっている。早春に長日条件への変化及び水温上昇というシグナルを受けると、雌の体内ではエストロゲンが、また雄で

はアンドロゲン(男性ホルモン)が多量に分泌される。その後、盛夏に水温が 25℃ を超えるようになると、性ホルモンの分泌は抑制され、生殖腺は急激に退行する。

なお、エストロゲンはアンドロゲンにアロマターゼ(薬物代謝酵素の一つ)が作用して合成されることが知られている。薬物代謝酵素は外来の化学物質を代謝するため、体内で合成される酵素である。

コイの生理学的観点からみると、早春に実施した Run1 では、下水処理水のエストロゲン作用が直接 VTG 生成に関与した可能性のほか、この時期に雄の体内で多量に分泌されるアンドロゲンをもとに、アロマターゼの働きによってエストロゲンを合成し、その結果として VTG 生成が誘導された可能性が考えられる。この場合の内分泌攪乱作用はエストロゲン作用ではなく、アロマターゼ生成を誘導する作用と考えられる。

また、夏期に実施した Run2 では、水温が 30℃ 前後の高水温であったため、コイの生殖腺は退行を始めており、たとえアロマターゼが生成されたとしてもアンドロゲンからエストロゲンへの合成は進まなかったと考えられる。

さらに、Run1 と同じ季節にもかかわらず、Run4 では VTG 生成はみられなかった。この現象は、同じ水槽に雌が存在しなかったため生殖活動にとまらなうアンドロゲンの合成が活発化されず、その結果アンドロゲンからエストロゲンへの合成が進まなかったと考えられる。なお、これを明らかにするには、コイが産卵活動を行えるように、生態学的視点をもとに曝露試験を組み立てる必要がある。

さらに、今後の魚類影響試験では、VTG だけを指標とするのではなく、体内でのエストロゲン、アンドロゲン及びアロマターゼの生成状況を明らかにする必要があると考えられる。

5. まとめ

2000 年春期に実施した Run1 では、雄と雌を曝露したところ、雄の VTG は経時的に上昇していき、脱塩素水道水に戻

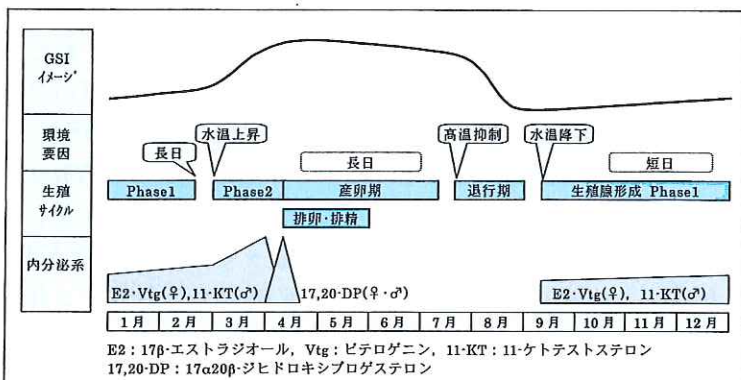


図-3 コイ科魚類の生殖サイクル模式図

した後その低下が確認された。このことから下水処理水がオスの VTG 生成に関与しているものと考えられた。しかし、その後の試験ではこの現象は再現されず、軽減策について明らかにすることも得られなかった。これらの試験では処理水のエストロゲン活性は同レベルであったため、処理水のエストロゲン作用のほかに雄の VTG 生成にかかわる他の要因があるものと考えられた。雄の VTG 合成には、アロマトーゼの働きによってアンドロゲンからエストロゲンを合成する経路も考えられるため、アロマトーゼを合成させる要因についても研究を進める必要があると考えられた。

参考文献

- 1) デボラ・キャドバリー：メス化する自然, 集英社, 371p, 1998.
- 2) Environment Agency : The Identification and Assessment of Oestrogenic Substances in Sewage Treatment Works Effluents, 1997.
- 3) Purdom C.E., Hardiman P.A., Bye V.J., Eno N.C., Tyler C.R. and Sumpter J.P. : Estrogenic Effects of Effluents from Sewage Treatment Works. *Chemistry and Ecology*, 8, pp.275-285, 1994.
- 4) Harries J.E., Sheahan D. A., Jobling S., Matthiessen P., Neall P., Routledge E.J., Rycroft R., Sumpter J.P. and Tylor T. : A Survey of Estrogenic Activity in United Kingdom Inland Waters. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15(11), pp.1993-2202, 1996.
- 5) Harries J.E., Sheahan D.A., Jobling S., Matthiessen P., Neall P., Sumpter J.P., Tylor T. and Zaman N. : Estrogenic Activity in Five United Kingdom Rivers Detected by Measurement of Vitellogenesis in Caged Male Trout. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16(3), pp.534-542, 1997.
- 6) Jobling S., Sheahan D., Osborne J.A., Matthiessen P. and Sumpter J.P. : Inhibition of Testicular Growth in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Exposed to Estrogenic Alkylphenolic Chemicals. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15(2), pp.194-202, 1996.
- 7) Blackburn M.A. and Waldock M.J. : Concentrations of Alkylphenols in Rivers and Estuaries in England and Wales. *Water Research*, 29(7), pp.1623-1629, 1995.
- 8) Desbrow C., Routledge E.J., Brighty G.C., Sumpter J.P. and Waldock M. : Identification of Estrogenic Chemicals in STW Effluent. 1. Chemical Fractionation and in vitro Biological Screening. *Environmental Science and Technology*, 32(11), pp.1549-1558, 1998.
- 9) Routledge E.J., Sheahan D., Desbrow C., Brighty G.C., Waldock M. and Sumpter J.P. : Identification of Estrogenic Chemicals in STW Effluent. 2. In Vivo Responses in Trout and Roach. *Environmental Science and Technology*, 32(11), pp.1559-1565, 1998.
- 10) Jobling S., Nolan M., Tyler C.R. Brighty G. and Sumpter J.P. : Widespread Sexual Disruption in Wild Fish. *Environmental Science and Technology*, 32(17), pp.2498-2506, 1998.
- 11) 中村将、井口泰泉：多摩川にみる魚類の異変. *科学*, 68(7), pp.515-517, 1998.
- 12) 原彰彦；内分泌攪乱物質の生態影響－魚類への影響－, *廃棄物学会誌*, 10(4), pp.278-287, 1999.
- 13) 国土交通省；平成 12 年度水環境における内分泌攪乱物質に関する実態調査結果について, http://www.mlit.go.jp/vriver/vpress/v200107_12/010724b/010724.html, 2001.
- 14) 矢古宇靖子、高橋明宏、東谷忠、田中宏明；組み換え酵母を用いた下水中のエストロゲン活性の測定, *環境工学研究*, 36, pp.199-208, 1999.
- 15) 社団法人日本下水道協会；下水道における内分泌攪乱化学物質水質調査マニュアル, 1999.
- 16) 小森行也、高橋明宏、矢古宇靖子、田中宏明；L-C/MS/MS による下水試料のエストロゲンの測定, 第 9 回世界湖沼会議, 発表文集第 3 分科会, pp.225-228, 2001.
- 17) 国土交通省；平成 12 年度下水道における内分泌攪乱化学物質 (環境ホルモン) に関する調査の結果について, <http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/kisha/naibun010509.html>, 2001.
- 18) 矢古宇靖子、高橋明宏、齋藤正義、東谷忠、田中宏明；下水処理場でのエストロゲン様活性の低減, 第 9 回世界湖沼会議, 発表文集第 3 分科会, pp.237-240, 2001.
- 19) 高橋明宏、矢古宇靖子、齋藤正義、東谷忠、田中宏明；河川水のエストロゲン様活性の評価, 第 9 回世界湖沼会議, 発表文集第 3 分科会, pp.241-244, 2001.
- 20) 羽生功；生殖周期, *魚類生理学*, 恒星社厚生閣, pp.287-325, 1991.
- 21) 長浜嘉孝；生殖-配偶子形成の制御機構, *魚類生理学*, 恒星社厚生閣, pp.243-286, 1991.

東谷 忠*



独立行政法人土木研究所水循環
研究グループ水質チーム専門研
究員
Tadashi HIGASHITANI

玉本博之**



同 水循環研究グループ水質
チーム研究員
Hiroyuki TAMAMOTO

田中宏明***



同 水循環研究グループ水質
チーム上席研究員
Hiroaki TANAKA