

下水処理水を用いた魚類飼育試験

研究期間 平成30年度～令和2年度

1 はじめに

琵琶湖環境研究推進機構では、第1期の在来魚介類のにぎわい復活に向けた研究の一環で、魚類等への下水処理水の影響に関する研究に取り組んだ。その結果、魚類への直接的・急性的な影響は確認されなかったが、琵琶湖の環境保全のため下水処理水の影響について調査を継続することとなった。また、平成28年度に策定された琵琶湖保全再生施策に関する計画においても、下水道の維持管理等の一環として、琵琶湖の環境保全に必要な調査を実施することが記載されたことも踏まえて、下水処理水を用いた魚類飼育試験を実施することとした。

2 研究概要

下水処理水が琵琶湖に生息する魚類（ニゴロブナ・アユ）に及ぼす影響等を、魚類への生理的な影響や水産資源としての価値の観点から把握するために、成長試験と着臭試験を実施した。

2.1 成長試験

下水処理水による魚類への生理的な影響を調査するために、ニゴロブナを下水処理水100%区、50%区、上水区の3種類の飼育水条件にて50個体ずつ1年間飼育し、試験区間で表1の項目について比較した。

表1 成長試験の調査項目

調査項目	調査頻度、時期
体長、体重、肥満度	開始時、終了時の他、2か月に1回測定
性別、成熟（生殖腺重量等）	試験終了時

2.2 着臭試験

下水処理水による魚類への水産資源としての価値における影響を調査するために、アユを下水処理水100%区、50%区、上水区の3種類の飼育水条件で188個体ずつ14日間飼育し、魚体への着臭状況を試験区間で比較した。

着臭状況は、臭気成分の化学分析および嗅覚による官能試験を行い評価した。試験項目としては、飼育した生（生鮮）アユと加熱処理したアユを対象に化学分析と官能試験を行った。なお、令和2年4月～6月に琵琶湖で採捕されたアユから通常と異なる異臭味が確認されたことから、この試料については臭気成分の化学分析を行い、下水処理水区との比較を行った。

○化学分析

生アユ：魚体から発せられる臭気物質を固相マイクロ抽出（SPME）により捕集し、GC/TOF-MSにより分析。

加熱処理アユ等：解凍後の生試料と加熱処理後の試料について臭気物質揮発量およびカビ臭物質含有量分析を実施。含有量調査では、解凍後の生試料を破碎後に、GC-MS（パージ&トラップ）により魚のカビ臭物質を分析。

○官能試験（試験方法は図1のとおり）

生アユ：①上水区のアユを無臭フラスコと比較して、臭気の種類および強度を記録。

②「三点識別法」によりパネルの正答率、臭気の種類および強度を記録。

加熱処理アユ：部位別の着臭状況を把握するため、内臓あり・なしで三点識別法により試験。

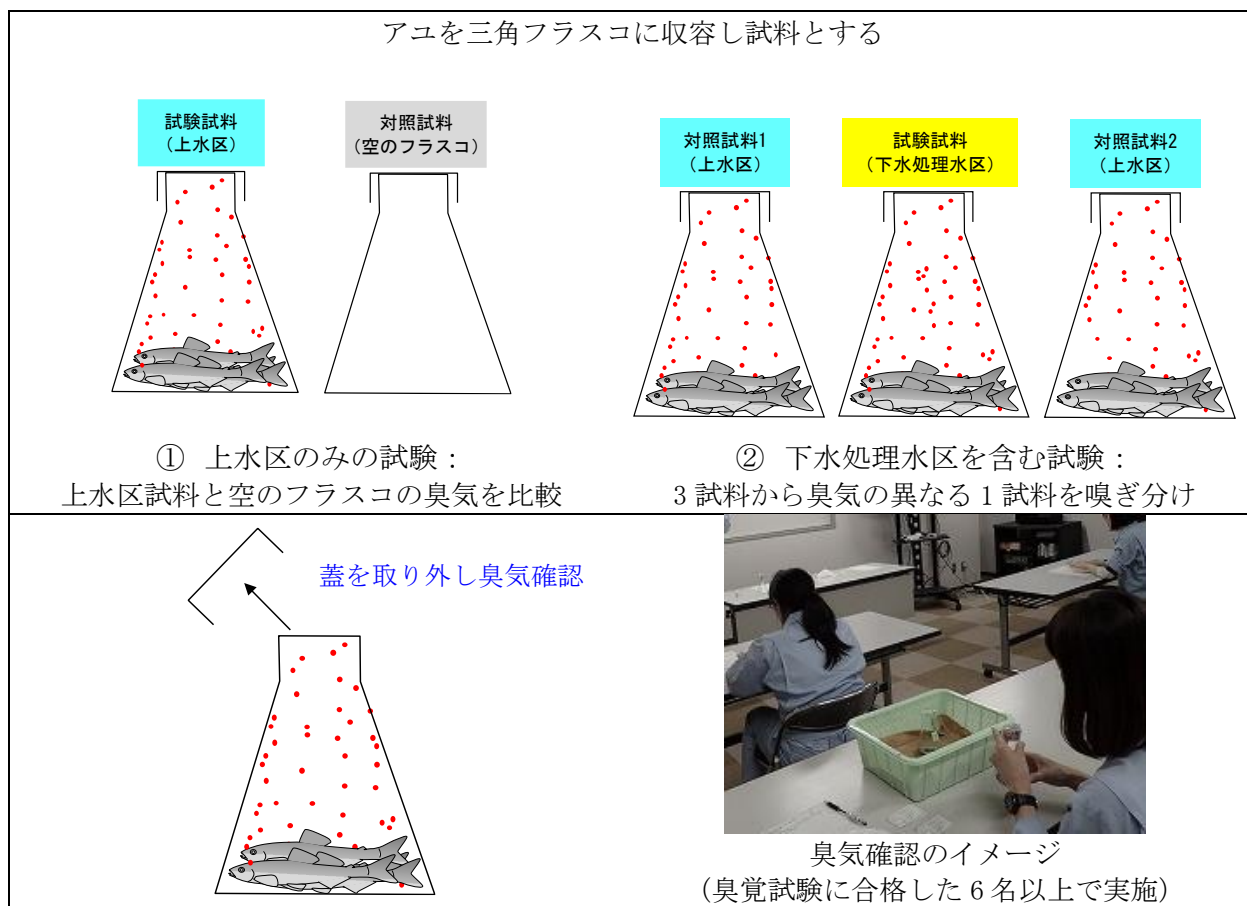


図 1 官能試験の方法

3 研究成果

(1) ニゴロブナの飼育試験

- ・ 1 年間の長期飼育期間で、下水処理水区ではへい死魚はみられず、ニゴロブナの生残に対する下水処理水の急性的、慢性的な影響は認められなかった。
- ・ 成長については、下水処理水 50% 区で上水区より有意に小さくなったが、下水処理水 100% 区では上水区と有意差はみられず、各試験区で既往の文献値¹程度の成長はみられていた。
- ・ 肥満度については、生殖腺の発達状況の違いによる試験区間の差はみられたが、各試験区で既往知見²と比較すると同程度であった。
- ・ 成熟については、各試験区とも生殖腺の発達度や産卵確認時期は、自然水域における既往知見³と整合していた。

¹ 滋賀県水産振興協会 HP 公開資料 3. 事業報告書「ニゴロブナ親魚養成結果(1983～2011 年度)」、藤原他(2011) 琵琶湖におけるニゴロブナ放流種苗の成長及び分布域の拡大と沖合への種苗放流技術の検討、日本水産学会誌(体長と体重の関係式)

² 滋賀県水産振興協会 HP 公開資料 3. 事業報告書「ニゴロブナ中間育成結果(1995～1999 年度)等」、藤原(2014)琵琶湖におけるニゴロブナ資源増殖に関する研究、滋賀県水産試験場研究報告 等

³ 根本・亀甲(2013)水田水路に産卵遡上したニゴロブナ、平成 23 年度滋賀県水産試験場事業報告 孝橋・亀甲(2014)水田水路へのニゴロブナ親魚遡上状況 H24 年度滋賀県水産試験場事業報告

(2) アユの着臭試験

- ・ 14 日間の試験終了時における下水処理水飼育のアユの生残率は 98～99%と高く、アユの生残に対する下水処理水の急性的な影響は認められなかった。

○化学分析

- ・ 下水処理水で飼育したアユの定量分析の結果、カビ臭・悪臭物質は定量下限値未満か分析室の環境に由来するものであり、臭気に寄与する物質はなかった。
- ・ 琵琶湖産の異臭味アユでは、他魚種の臭気閾値を超えるジオスミンが検出され、カビ臭の原因になったと考えられた。

○官能試験

- ・ 生試料では、下水処理区と上水区の試料の臭気に明瞭な違いは認められなかった。
- ・ 加熱試料の場合、臭いの強度は生アユよりやや高くなる傾向にあったが、上水区との違いの程度は「かすかに感じるにおい～弱いにおい」)であった。100%区試料ではわずかに薬品様臭気がするとの回答があったが、臭いの嗅ぎわけのできないパネルもあり、正解回答の中の臭いの種類も様々であった。また、50%区試料では上水区との臭いの違いがより小さくなった。

以上の調査結果より、官能試験では、下水処理水による明瞭な影響が認められず、成長試験および化学分析では、上水区と下水処理区に有意な差が認められなかったことから、長期的な生理的影響や水産資源としての価値につながる着臭の影響は確認されず、下水処理水による魚類への直接的な影響は認められない。

4 今後の展開

今回の研究では、琵琶湖産の魚類の飼育試験を行うことで、下水処理水による魚類への直接的な影響について調査したが、影響は確認されなかった。そのため、今後は、植物プランクトンや動物プランクトンを介した下水処理水の間接的な影響を検討するため、下水道終末処理施設の処理水の放流先（琵琶湖）の環境調査において、プランクトン調査を追加してモニタリングしていく予定である。

【参考】

- ・ GC/TOF-MS：ガスクロマトグラフィー飛行時間型質量分析計(臭気物質の定量・定性分析で使用)
- ・ GC-MS：ガスクロマトグラフィー質量分析計(カビ臭の含有量分析で使用)

別添資料

(詳細版) 下水処理水を用いた魚類飼育試験

下水処理水を用いた魚類飼育試験について

1 背景および試験目的

琵琶湖環境研究推進機構では、平成 26 年度から平成 28 年度、下水処理水の影響調査に取り組んだ。調査の結果、魚類への直接的、急性的な影響は確認されなかったが、下水処理水の影響については調査を継続することとなった。

「琵琶湖保全再生政策に関する計画」の県民政策コメント等を通じて、下水処理水の影響に関する調査の継続意見が出されたことから、当該計画に下水道の維持管理等の一環として、必要な調査を継続することが記載されたため、推進機構の研究テーマとして、県の各試験研究機関の客観的な評価を得ながら、下水処理水の魚類への影響調査を実施することになった。

そこで、下水処理水が琵琶湖に生息する魚類（ニゴロブナ・アユ）に及ぼす影響を確認するために飼育試験を行い、魚類への成長と成熟に対する影響等の有無を把握することを目的とした。

2 試験実施場所 滋賀県東北部浄化センター B2 系列最初沈殿池建屋内

3 試験内容

3.1 成長試験

ニゴロブナを 3 種類の飼育水条件にて飼育し、試験区間で成長および成熟を比較した。成長試験の試験条件および調査項目を表 1、2 に示す。

表 1 成長試験の試験条件

項目	試験条件
供試魚	ニゴロブナ（体長約 8cm）
飼育期間	1 年間（2019 年 5 月 29 日～2020 年 5 月 28 日）
試験区	下水処理水 100%区、下水処理水 50%区、上水区（脱塩素した上水） ※下水処理水は脱塩素処理をしなかった。
水槽数	各試験区 1 水槽（満水容量 1.2 m ³ の FRP 製水槽）
飼育個体数	1 試験区あたり 50 個体（試験開始時） ※標識により個体識別し、個体毎の成長を追跡した
水温	下水処理水の水温を基準に各試験区の水温を同調させた
照明	LED 照明を設置、タイマーで ON/OFF 制御し自然の日長に同調させた

表 2 成長試験の調査項目

調査項目	調査頻度、時期
体長、体重、肥満度	開始時、終了時の他、2 か月に 1 回測定
性別、成熟（生殖腺重量等）	試験終了時

3.2 着臭試験

アユを 3 種類の飼育水条件で飼育し、魚体への着臭状況を試験区間で比較した。着臭試験の試験条件を表 3 に示す。なお、アユは冷水病発症の可能性があり、および重油成分やカビ臭物質の 2-MIB では、2 週間以内の暴露で魚体への蓄積量が飽和状態に達するという既往調査事例を考慮して、飼育期間は 14 日間とした。

着臭状況は、次に示すとおり臭気成分の化学分析および嗅覚による官能試験を行い評価した。試験に供したアユは、生（生鮮）アユの他、加熱処理したアユ（令和 2 年 4 月～6 月に発生した異臭味アユ苦情が佃煮等調理されたものであったことから、喫食に近い条件を想定）も対象に化学分析と官能試験を行った。また、琵琶湖で採捕された異臭味アユ（消費者から苦情があったほぼ同時期に琵琶湖の同じ場所付近でとれたアユ）については水産試験場から提供いただき、化学分析のみを行い、その異臭成分について、下水処理水区との比較を行った。

表 3 着臭試験の試験条件

項目	試験条件
供試魚	アユ（体長約 8cm）
飼育期間	14 日間（2020 年 7 月 21 日～8 月 4 日）
試験区	下水処理水 100%区、下水処理水 50%区、上水区（脱塩素した上水）
飼育個体数	1 試験区あたり 188 個体（試験開始時）
水槽数	各試験区 1 水槽（満水容量 1.2 m ³ の FRP 製水槽）
水温	水温 22～23℃、各試験区の水温を同調させた
照明	遮光条件

○試料

生鮮(生)アユ：試験開始時、中間時（7 日後）、終了時（14 日後）に試験魚を採捕し、生鮮状態で試験。
 加熱処理アユ等：14 日間飼育したアユと琵琶湖で漁獲された異臭味アユで、冷凍保管されたアユを使用。

解凍方法は保存容器ごと氷水に浸漬、容器にアユを収容し沸騰水中に 30 分間浸漬加熱、放冷。

○化学分析

生アユ：魚体から発せられる臭気物質を固相マイクロ抽出（SPME）により捕集し、GC/TOF-MS により分析。

加熱処理アユ等：解凍後の生試料と加熱処理後の試料について臭気物質揮発量およびカビ臭物質含有量分析を実施。含有量調査では、解凍後の生試料を破碎後に、GC-MS（パージ & トラップ）により魚のカビ臭物質を分析。分析対象は魚（内臓有）のみ。

○官能試験（試験方法は図 1 のとおり）

生アユ：①上水区のアユを無臭フラスコと比較して臭気確認を行い、臭気の種類および強度を記録。

②「三点識別法」により試験を実施し、パネルの正答率、臭気の種類および強度を記録。

加熱処理アユ：

部位別の着臭状況を把握するため、飼育アユを「内臓あり」と「内臓なし」の 2 条件で試験。

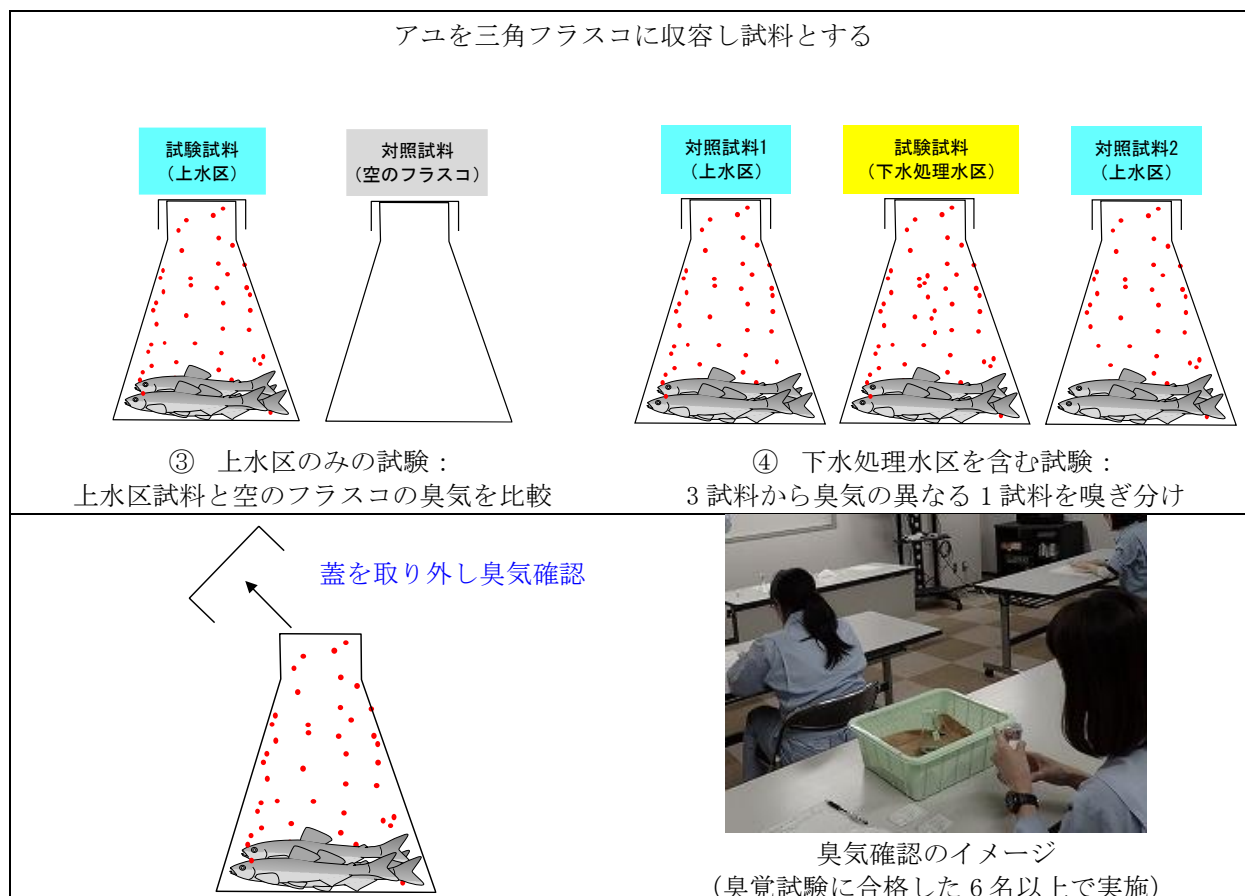


図 1 官能試験の方法

4 飼育試験施設(模式図は図 2 のとおり)

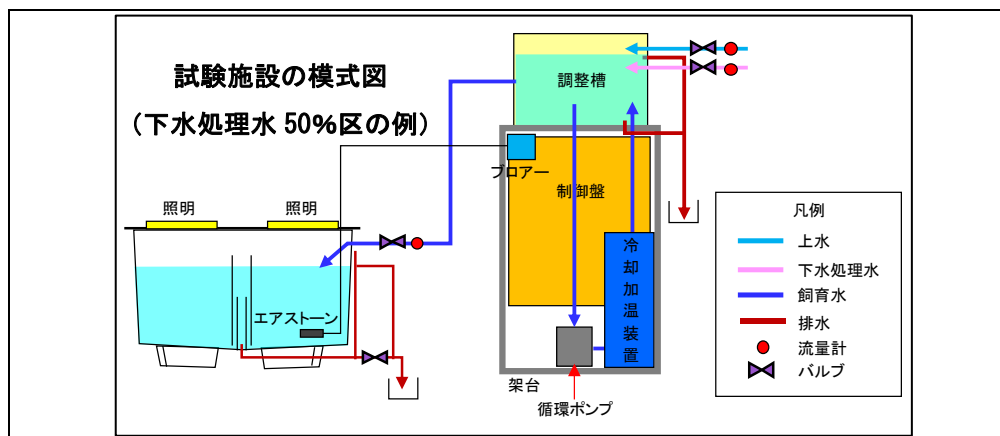


図 2 試験施設の概要

5 試験結果

5-1 成長試験

(1) 試験終了時の供試魚生残率

- ・試験期間中のへい死個体数は、試験開始 2 ヶ月までに上水区でみられた 2 個体のみ。
- ・50%区および 100%区では試験に供した 50 個体全てが生残した。

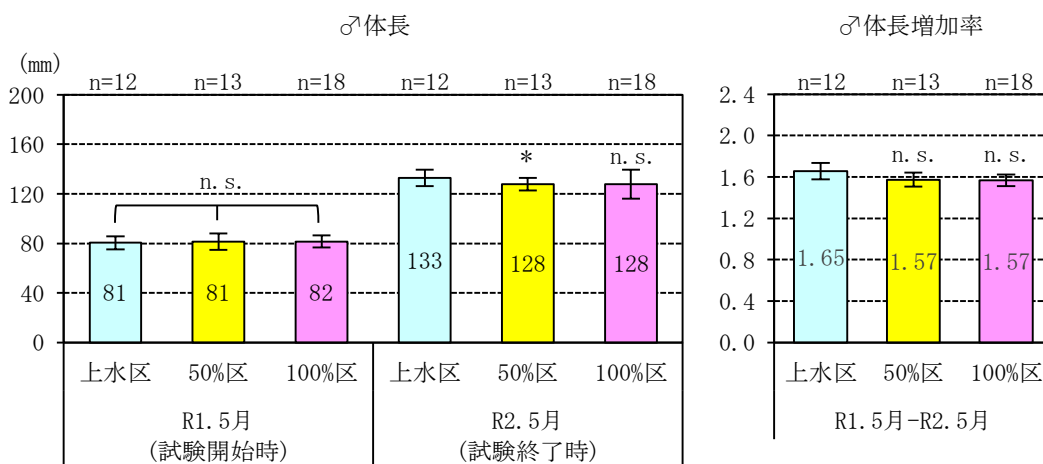
(2) 供試魚の雌雄比

- ・性別は、各試験区ともメスが多く、生殖腺指数(「生殖腺重量(g)/体重(g)×10²」)はメスでより大きい傾向がみられ、試験区によって雌雄比もやや異なっていたため、データの解析は雌雄別に、全個体を対象に実施。

(3) 有意差検定等の結果

○体長および体長増加率(オスの体長・体長増加率の結果は図 3 のとおり)

- ・メス：上水区と下水処理水区に有意差はみられなかった。(以下、上水区との比較を実施)
- ・オス：体長は、50%区で有意に小さかったが、100%区で有意差はみられなかった。



注 1: 誤差棒は標準偏差を示す。

2: 試験開始時の「n. s.」は、分散分析において 3 試験区間に統計学的な有意差が無いことを示す。

3: 試験終了日および体長増加率の「n. s.」は、上水区との多重比較において統計学的な有意差が無いことを、「*」は有意水準 5% で統計学的な差がみられたことを示す。

図 3 体長および体長増加率

○体重および体重増加率

- ・メス：下水処理水区で有意差はみられなかった。
- ・オス：体重と体重増加率は 50%区で有意に小さかったが、100%区で有意差はみられなかった。

- ・体長・体重においては、試験区、性別で成長に違いがみられたものの、既往の人工飼育下におけるニゴロブナの成長⁴と比較して、成長は同程度か、より良好であった。

試験終了時の体長 128～142mm(開始時 80mm)⇔既往知見の体長(1年飼育)125～131mm(開始時 79～84mm)

試験終了時の体重 56～93g(開始時 15～17g)⇔既往知見の体重(1年飼育)60～69g(開始時 16～19g)

○肥満度

肥満度の定義は「体重(g)/体長(mm)³×10⁵」。

- ・メスの肥満度は2.9～3.1であり、下水処理水区で有意に大きかった。
- ・オスの肥満度は2.7～2.8で、下水処理水区で有意差はみられなかった。
- ・肥満度は、生殖腺の発達状況による違いによる試験区間の差はみられたが、既往知見⁵(既往知見の肥満度 2.4～3)と比較すると、各試験区とも同程度であった。

○生殖腺指数(GSI)(成熟)

生殖腺指数(GSI)の定義は「生殖腺重量(g)/体重(g)×10²」。

- ・試験終了時の生殖腺指数は、メスで15～19、オスで6～9程度であった。
- ・試験期間中に、全ての試験区で産卵が確認された。
- ・成熟については、各試験区とも生殖腺の発達度や産卵確認時期は、自然水域における既往知見⁶(既往知見の生殖腺指数 メス 5～25、オス 1～10)と整合していた。下水処理水 100%区のメスで GSI が有意に高かった。

5-2 着臭試験(生アユを使用)

(1) 試験終了時の供試魚生残率

- ・14日間の試験終了時における供試魚の生残率は97～99%(上水区 97%、50%区 98%、100%区 99%)で、各試験区とも良好であった。

(2) 化学分析結果(魚から揮発するカビ臭および悪臭物質の定量結果等)

○魚から揮発するカビ臭および悪臭物質(臭気物質揮発量の定量分析)

- ・カビ臭および悪臭物質は、キシレン以外は定量下限値未満。キシレンは分析機器の洗浄に使用する溶媒の不純物由来と考えられる。

○魚から揮発する物質の定性分析

- ・試験開始14日後の下水処理水100%区の分析結果から高いピークを抽出、GC/TOF-MSで分析チャート上の各ピークのマスマスペクトルデータ(≒化合物分子の重さを示すデータ)から物質を推定。
- ・推定された物質は植物の抽出物中から検出されている物質が多く、臭気物質に該当するものはなかった。

(3) 官能試験結果

1) 上水区試料の臭気確認

- ・試験開始時、試験開始7日後および14日後における上水区飼育個体(対照試料)の臭いは、試料の臭気を容易に認知できる強度であり、芳香性・植物性に分類されるアユが持つ香気に関連する臭気が多く記録。

⁴ 滋賀県水産振興協会 HP 公開資料3. 事業報告書「ニゴロブナ親魚養成結果(1983～2011年度)」、藤原他(2011) 琵琶湖におけるニゴロブナ放流種苗の成長及び分布域の拡大と沖合への種苗放流技術の検討、日本水産学会誌(体長と体重の関係式)
⁵ 滋賀県水産振興協会 HP 公開資料3. 事業報告書「ニゴロブナ中間育成結果(1995～1999年度)等」、藤原(2014)琵琶湖におけるニゴロブナ資源増殖に関する研究、滋賀県水産試験場研究報告 等
⁶ 根本・亀甲(2013)水田水路に産卵遡上したニゴロブナ、平成23年度滋賀県水産試験場事業報告 孝橋・亀甲(2014)水田水路へのニゴロブナ親魚遡上状況 H24年度滋賀県水産試験場事業報告

注：臭いの強度は以下の基準で記録。

臭気の強度	定 義
0	ほとんど臭わない
1	やっとかすかに感じるにおい（検知閾値程度）
2	弱いにおい（認知閾値程度）
3	らくに感知できるにおい（はっきりわかる）
4	強いにおい

2) 下水処理区水試料の臭気確認

○臭いの強度⁷

- ・下水処理水 50%区では、試験開始 7 日後、14 日後とも上水区と殆ど変わらなかった。
- ・下水処理水 100%区でも、上水区との臭いの違いの程度は「かすかに感じるにおい～弱いにおい」であり、約半数のパネルで臭いの嗅ぎわけができなかった。
- ・臭いの強度は低く、上水区試料との臭気の違いは明瞭ではなかった。

○臭いの種類

- ・試験開始 7 日後、14 日後ともに両試験区で「芳香性臭気」等、上水区試料と同じ臭気が多く記録。
- ・パネルにより記録された臭いの種類は様々で、下水処理水区試料の臭気との関係は不明であった。

5-3 琵琶湖で採捕された異臭味アユと下水処理水飼育アユとの異臭の比較

琵琶湖で採捕された異臭味アユと下水処理水飼育アユについて、臭気物質等の化学分析と嗅覚による官能試験により比較を行った。調査項目等は表 4 のとおり。

表 4 調査項目および対象試料一覧

調査項目		状態	上水区	下水処理水 50%区	下水処理水 100%区	琵琶湖産アユ (異臭味魚)
化学 分析	臭気物質揮発量	生(解凍)	—	—	—	○
		加熱	○	○	○	○
官能 試験	カビ臭物質含有量	生(解凍)	○	○	○	○
		加熱	○ (対照試料)	○	○	—
官能 試験	内臓あり	加熱	○ (対照試料)	○	○	—
		加熱	○ (対照試料)	○	○	—

注：○は調査対象試料を示す。

(1) 化学分析結果

○魚(内臓あり)のカビ臭および悪臭物質（臭気物質揮発量の定量分析）（結果は表 5 のとおり）

（試料：飼育アユを加熱処理したもの・琵琶湖産アユ(生・加熱処理したもの)）

- ・カビ臭および悪臭物質は、下水処理水飼育アユで定量下限値未満の濃度（キシレンは前述と同様、溶媒の不純物由来と考えられる）。
- ・琵琶湖産アユ（異臭味魚）では、加熱処理試料でジオスミンとスチレンが検出。
- ・琵琶湖産アユ（異臭味魚）でスチレン（公共用水域では約 9%の魚介類で検出）が検出されたが、検出濃度は微量で、臭気として検知されないものと考えられたが、ジオスミンはカビ臭と感じる可能性がある

⁷ ここでの臭いの強度は、パネルが 3 試料の中から臭気の異なるものとして選択した 1 試料とそれ以外の 2 試料の間に感じ取った臭気の違いの程度を現している。

るため、カビ臭物質の含有量分析を行った。

表 5 魚から揮発するカビ臭及び悪臭物質の定量結果

単位：ng/個体

試料採取日 物質名\試験区等	加熱試料 2020/8/4 (試験開始14日後)			生試料 2020/4/4 琵琶湖産アユ	加熱試料 2020/4/4 琵琶湖産アユ	定量 下限値
	上水区	50%区	100%区	異臭味魚	異臭味魚	
	ジオスミン	ND	ND	ND	ND	
2-MIB	ND	ND	ND	ND	ND	0.12
ジフェニルアミン	ND	ND	ND	ND	ND	0.26
スチレン	ND	ND	ND	ND	0.09	0.032
p-キシレン	ND	0.03	0.04	0.13	0.43	0.013
o-キシレン	ND	ND	ND	0.12	0.34	0.029
トルエン	ND	ND	ND	ND	ND	0.004

注：「ND」は定量下限値未満であったことを示す。

○魚(内臓有)から揮発する物質の定性分析(試料：臭気物質揮発量定量分析と同じ)

- ・下水処理水 100%区の試料では、上水区と比べて高いピークがみられたが、下水処理水区に特有なピークは抽出されず、上水区と成分的には同じであった。
- ・琵琶湖産アユ(異臭味魚)では、信号強度が高いピークがみられ、各ピークのマスペクトルデータから物質を推定したが、これらは魚肉および魚油、あるいは動物の臓器から揮発性成分として検出されている成分が主であり、カビ臭の着臭原因と推定できるものはみられなかった。

○カビ臭物質含有量分析(試料：飼育アユ(生)と琵琶湖産アユ(生))(結果は表6のとおり)

- ・上水区、下水処理水 50%および 100%区では、ジオスミン、2-MIBともに定量下限値未満。
- ・琵琶湖産アユ(異臭味魚)からは、ジオスミンが 12 μg/kg(魚体重)検出。このジオスミン含有量は、他魚種での着臭閾値と比べて 10 倍以上多い量となっていることから、ジオスミンがカビ臭の原因となった可能性が高いと考えられた。

表 6 魚のカビ臭含有量定量結果

単位：μg/kg(魚体湿重量)

試料の状態 試料採取日 試験区等 物質名	生試料				報告 下限値
	2020/8/4 (試験開始14日後)			2020/4/4 琵琶湖産アユ	
	上水区	50%区	100%区	異臭味魚	
ジオスミン	ND	ND	ND	12	1.2
2-MIB	ND	ND	ND	ND	1.2

注：「ND」は下限値未満であったことを示す。

(2)官能試験結果(試料：飼育アユを加熱処理したもので内臓のあるもの・内臓を除去したもの)

○臭いの強度

- ・内臓の有無によらず、上水区との違いの程度は、「かすかに感じるにおい～弱いにおい」で、生アユでの結果と比べて臭いの強度はやや高かったが、臭いの嗅ぎわけができないパネルが約 20～30%いた。
- ・容器への収容個体数を変えても臭いの強度に変化はみられなかった。魚(内臓あり)と比べて魚(内臓なし)の強度はやや高かった。

○臭いの種類

- ・100%区試料ではわずかに薬品様臭気がするとの回答があったが、臭いの嗅ぎわけのできないパネルもあり、正解回答の中の臭いの種類も様々であった。また、50%区試料では上水区との臭いの違いがより小さくなった。

6 成 果(まとめ)

(1) ニゴロブナの飼育試験結果

- ・1年間の長期の飼育期間で、下水処理水区ではへい死魚はみられず、ニゴロブナの生残に対する下水処理水の急性的、慢性的な影響は認められなかった。
- ・成長については、下水処理水 50%区で上水区より有意に小さくなったが、下水処理水 100%区では差はみられず、全試験区で既往の文献値程度の成長はみられていたことから、下水処理水の影響で有意に小さくなったとは思われない。
- ・肥満度は、生殖腺の発達状況による違いによる試験区間の差はみられたが、既往知見と比較すると、各試験区とも同程度であった。
- ・成熟については、各試験区とも生殖腺の発達度や産卵確認時期は、自然水域における既往知見と整合していた。下水処理水 100%区のメスで GSI が有意に高かった。現段階で詳しい原因は不明であるが、ニゴロブナの成熟を阻害しているという結果はみられなかった。

(2) アユの着臭試験結果

- ・14日間の試験終了時における下水処理水飼育のアユの生残率は98~99%と高く、アユの生残に対する下水処理水の急性的な影響は認められなかった。

○化学分析結果

- ・下水処理水で飼育したアユの定量分析の結果、カビ臭・悪臭物質は定量下限値未満か分析室の環境に由来するものであり、臭気に寄与する物質はなかった。
- ・琵琶湖産の異臭味アユでは、他魚種の臭気閾値を超えるジオスミンが検出され、カビ臭の原因になったと考えられた。

○官能試験結果

- ・生試料では、下水処理区と上水区の試料の臭気に明瞭な違いは認められなかった。
- ・加熱試料の場合、臭いの強度は生アユよりやや高くなる傾向にあったが、上水区との違いの程度は「かすかに感じるにおい~弱いにおい」であった。100%区試料ではわずかに薬品様臭気がするとの回答があったが、臭いの嗅ぎわけのできないパネルもあり、正解回答の中の臭いの種類も様々であった。また、50%区試料では上水区との臭いの違いがより小さくなった。

以上の調査結果より、官能試験では、下水処理水による明瞭な影響が認められず、成長試験および化学分析では、上水区と下水処理区に有意な差が認められなかったことから、長期的な生理的影響や水産資源としての価値につながる着臭の影響は確認されず、下水処理水による魚類への直接的な影響は認められない。

7 今後の展開

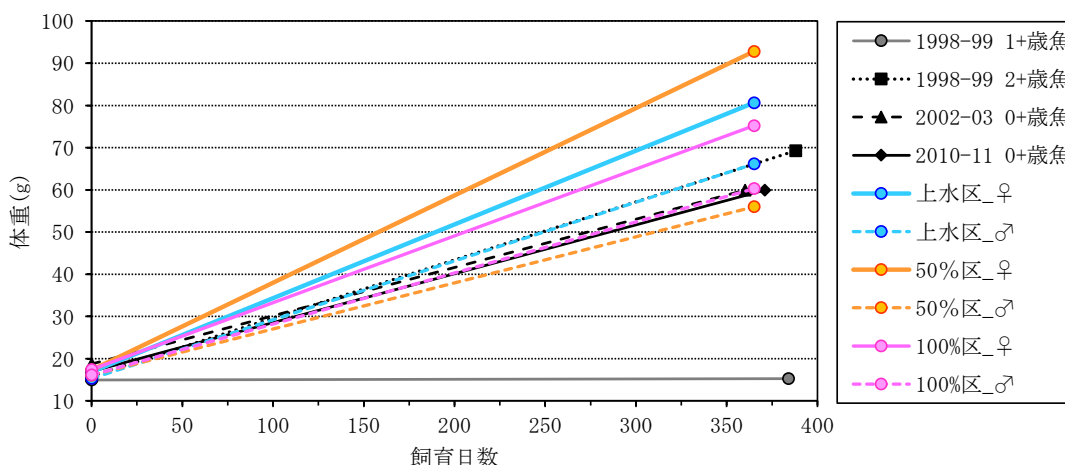
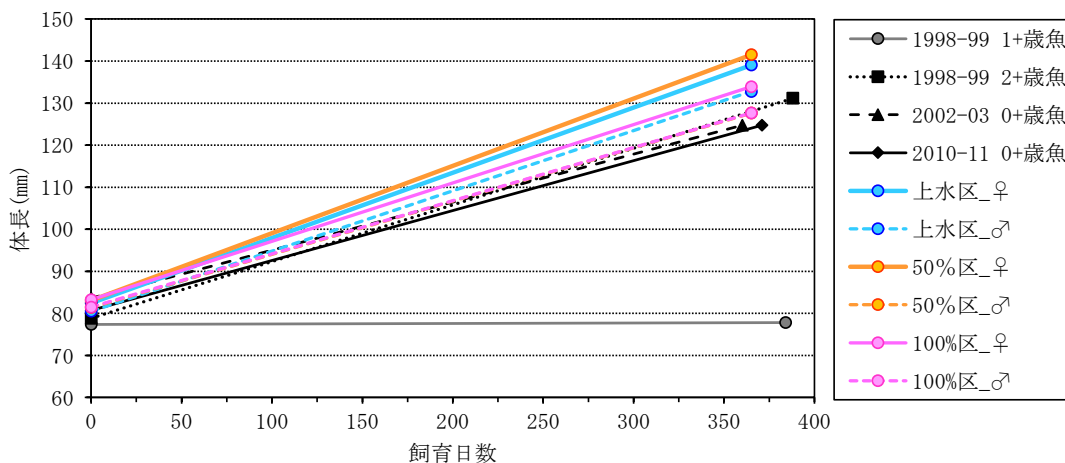
今回の研究では、琵琶湖産の魚類の飼育試験を行うことで、下水処理水による魚類への影響について調査したが、直接的な影響は確認されなかった。そのため、今後は、植物プランクトンや動物プランクトンを介した下水処理水の間接的な影響を検討するため、下水道終末処理施設の処理水の放流先(琵琶湖)の環境調査において、プランクトン調査を追加してモニタリングしていく予定。

【参考】

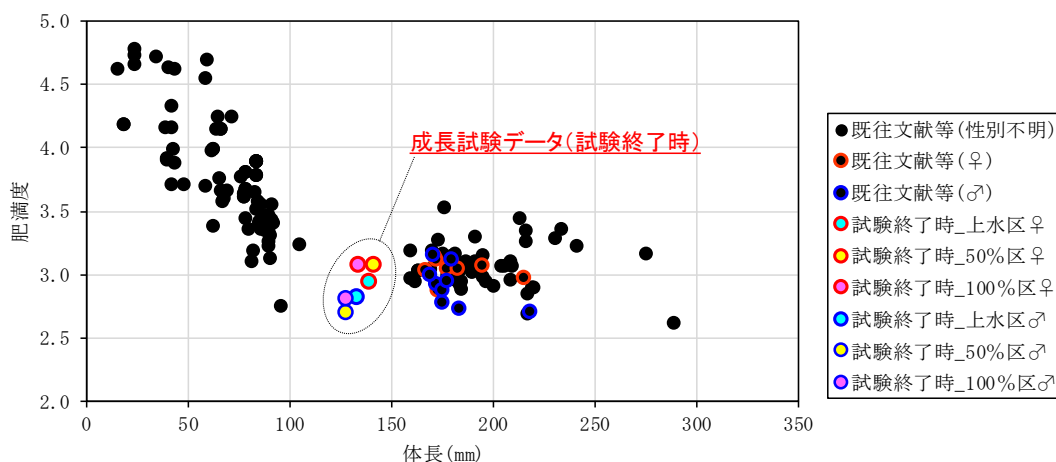
- ・2-MIB：2-メチルイソボルネオール(カビ臭物質)
- ・GC/TOF-MS：ガスクロマトグラフィー飛行時間型質量分析計(臭気物質の定量・定性分析で使用)
- ・GC-MS：ガスクロマトグラフィー質量分析計(カビ臭の含有量分析で使用)

参考資料

1 ニゴロブナ飼育試験 既往知見との比較(体長と体重)



2 ニゴロブナ飼育試験 既往知見との比較(肥満度)



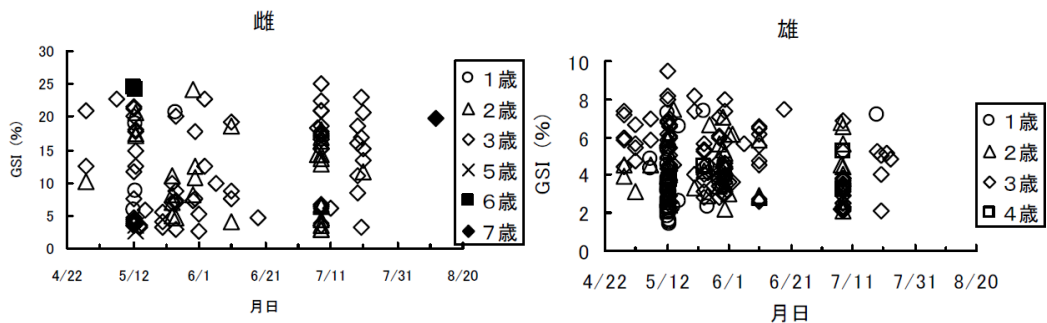
注1：肥満度は体重(g)/体長(mm)³×10⁵として算出した。

注2：既往文献等における肥満度は、以下の文献等に記載された体長及び体重から算出した。

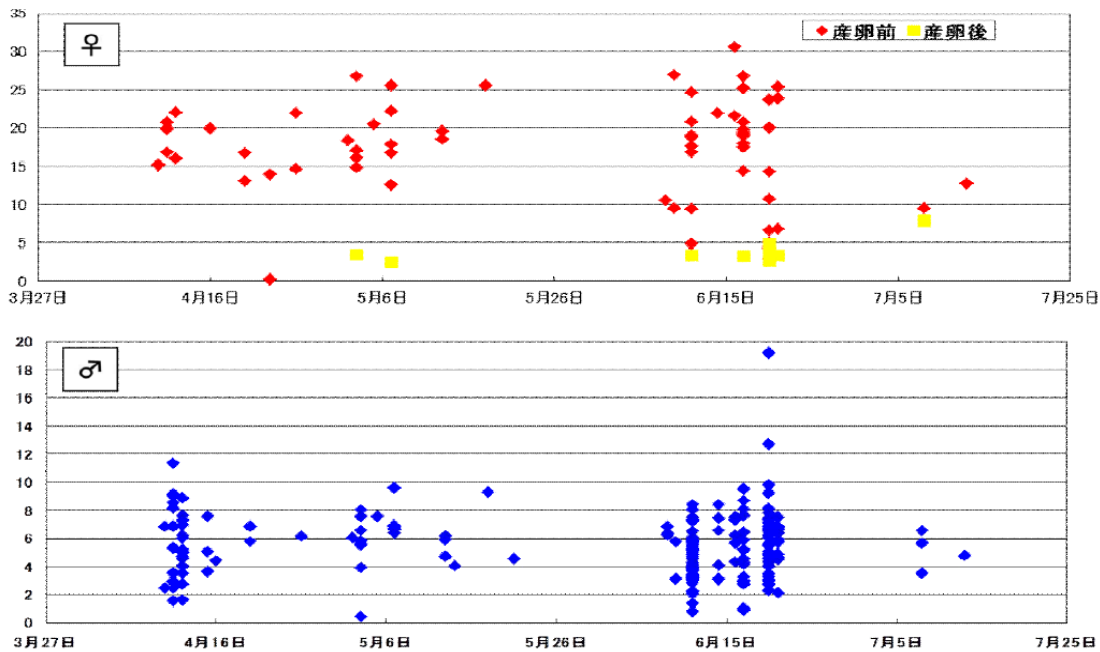
①滋賀県水産振興協会事業報告書の1995～1999年度のニゴロブナ中間育成結果及び2006～2008年度のニゴロブナ放流群別再捕結果
(URL : <http://www.ex.biwa.ne.jp/~fishlake/hokoku.html>)

②藤原(2014)：琵琶湖におけるニゴロブナの資源増殖に関する研究。 滋賀県水産試験場研報。 56 1-135. (Table3. 2. 4、Table4. 3、Table6. 2、Table6. 4、Table7. 2、Table8. 2、Table8. 3、Table8. 4)

3 ニゴロブナ飼育試験 既往知見との比較(生殖腺指数 GSI(成熟))

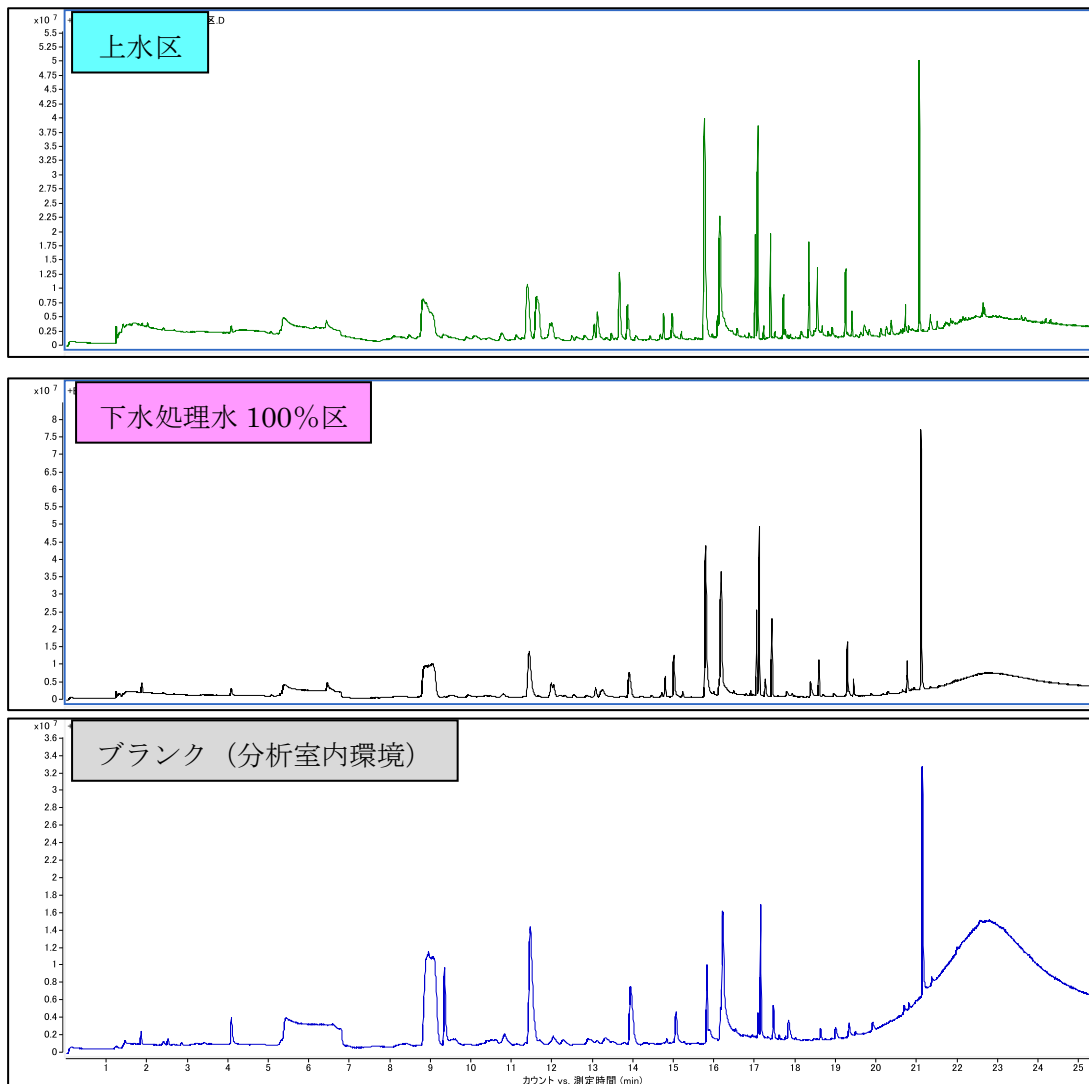


出典:根本・亀甲 (2013) 水田水路に産卵遡上したニゴロブナ. 平成23年度滋賀県水産試験場事業報告 p35.

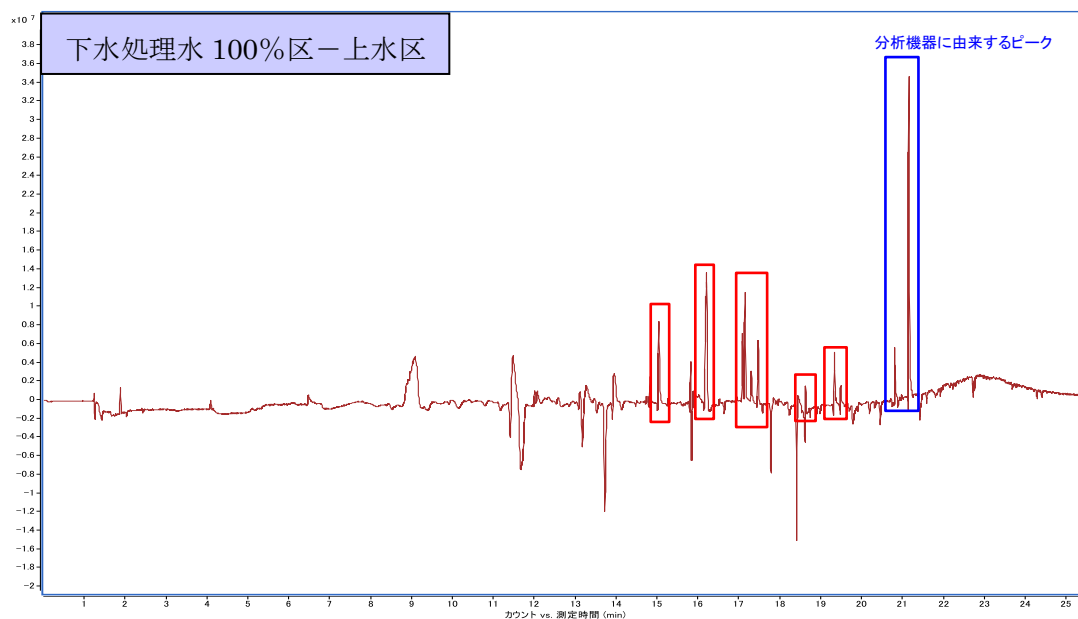


出典:孝橋・亀甲 (2014) 水田水路へのニゴロブナ親魚遡上状況. 平成24年度滋賀県水産試験場事業報告 p24-25.

4 生アユの化学分析(定性分析)結果とピークから推定された物質



GC/TOF-MS による試験開始 14 日後の分析チャート(生アユの化学分析)



下水処理水 100%区の信号強度抽出結果(試験開始 14 日後、生アユ)

下水処理水区に特徴的なピークの面積(生アユ)

単位：ピーク面積×10⁵

化合物名	ピーク 保持時間 (min)	試験開始時 2020/7/21 受領アユ	試験開始7日後 2020/7/28			
			ブランク	上水区	50%区	100%区
			5, 6, 7, 8, 9, 10-Hexahydro-9-methyl-spiro[2H-1, 3-benzoxazine-4, 1'-cyclohexane]-2-thione	15.01	0	740
Ethyl iso-allocholate	16.18	80	2,224	1,410	989	938
	17.12	93	1,335	711	707	564
	18.59	6	288	146	112	76
	19.3	14	642	348	230	152
	19.45	5	148	88	58	38
1, 1-didodecoxyhexadecane	17.05	16	783	375	272	196
1, 3-Dioxane, 5-(hexadecyloxy)-2-pentadecyl-, trans-	17.27	0	500	137	82	46
(5β)Pregnane-3, 20β-diol, 14α, 18α-[4-methyl-3-oxo-(1-oxa-4-azabutane-1, 4-diyl)]-, diacetate	17.43	23	673	341	306	232

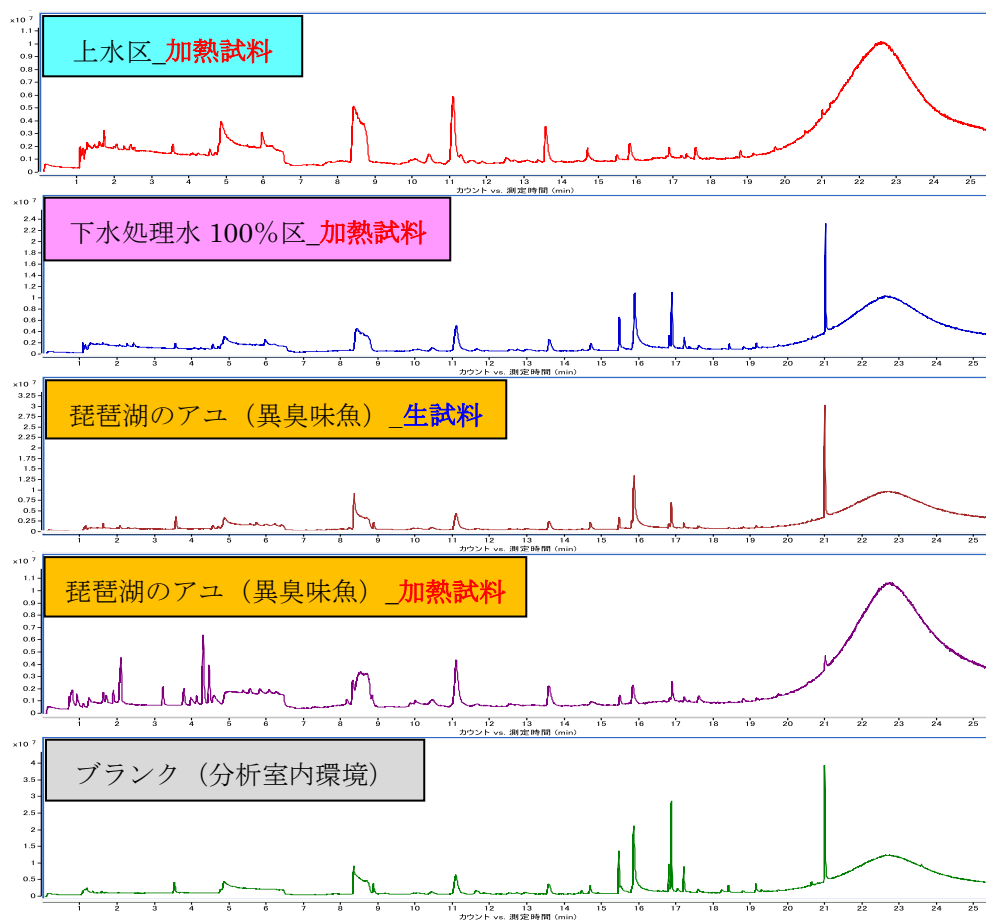
単位：ピーク面積×10⁵

化合物名	ピーク 保持時間 (min)	試験開始14日後 2020/8/4			
		ブランク	上水区	50%区	100%区
		5, 6, 7, 8, 9, 10-Hexahydro-9-methyl-spiro[2H-1, 3-benzoxazine-4, 1'-cyclohexane]-2-thione	15.01	97	76
Ethyl iso-allocholate	16.18	695	856	1,398	992
	17.12	272	593	780	818
	18.59	50	129	228	160
	19.3	50	189	548	290
	19.45	0	63	140	78
1, 1-didodecoxyhexadecane	17.05	49	272	548	372
1, 3-Dioxane, 5-(hexadecyloxy)-2-pentadecyl-, trans-	17.27	0	27	221	83
(5β)Pregnane-3, 20β-diol, 14α, 18α-[4-methyl-3-oxo-(1-oxa-4-azabutane-1, 4-diyl)]-, diacetate	17.43	74	270	384	350

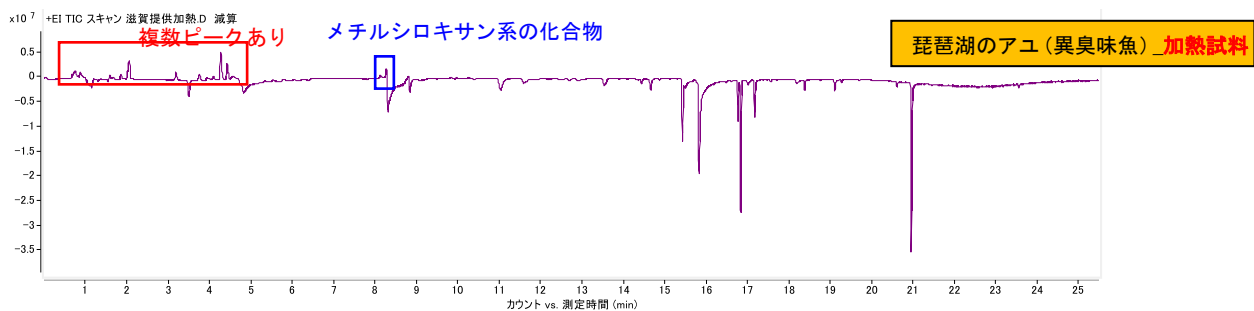
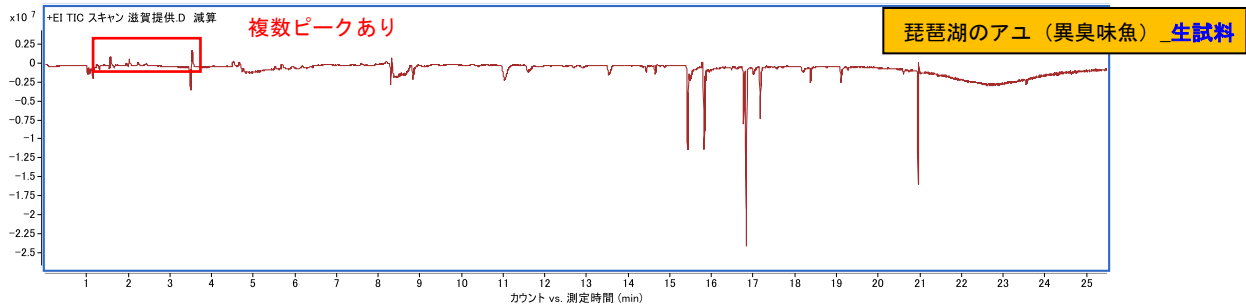
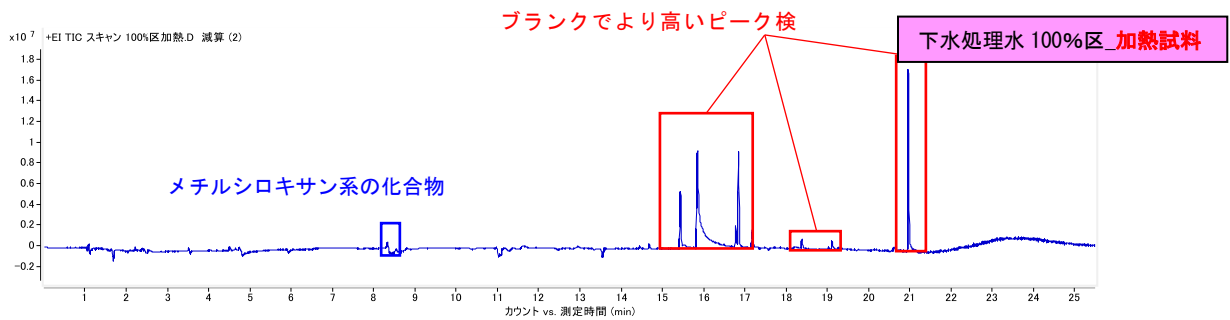
ピークから推定された物質に関する情報(生アユ)

物質名	保持時間	分子量	沸点℃	備考
5, 6, 7, 8, 9, 10-Hexahydro-9-methyl-spiro[2H-1, 3-benzoxazine-4, 1'-cyclohexane]-2-thione	15.01	253		由来の推定等に資する情報は得られなかった
Ethyl iso-allocholate	16.18	437		・米や食用ハーブの種など植物の抽出物に含まれる ・ゼブラフィッシュでは、腫瘍増殖阻害効果が認められ、安全性が確認されている
	17.12			
	18.59			
	19.3			
	19.45			
1, 1-didodecoxyhexadecane	17.05	594	623	カホクザンショウ(花椒)の枝の抽出物から検出されている
(2α, 5β)-5-Hexadecyloxy-2-pentadecyl-1, 3-dioxane	17.27	539		竹の仲間(<i>Dendrocalamus hamiltonii</i>)やクマツヅラ科の植物(<i>Duranta plumieri variegata</i>)の抽出物に含まれる
(5β)Pregnane-3, 20β-diol, 14α, 18α-[4-methyl-3-oxo-(1-oxa-4-azabutane-1, 4-diyl)]-, diacetate	17.43	489		ナス科の植物(<i>Datura stramonium</i>)の抽出物中に検出されている

5 加熱処理した飼育アユと琵琶湖の異臭味アユの化学分析(定性分析)結果
とピークから推定された物質



GC/TOF-MS の分析チャート(加熱処理アユ+琵琶湖の異臭味アユ)



下水処理水 100%区および琵琶湖の異臭味アユのピーク抽出結果

琵琶湖の異臭味アユのピークから推定した物質に関する情報

物質名	保持時間	生試料	加熱試料	分子量	沸点℃	備考
Cyclopropyl methyl carbinol	1.58		○	86	120-122	由来の推定等に資する情報は得られなかった
1-Penten-3-ol	1.84		○	86	115	<ul style="list-style-type: none"> ・芝様の臭気を持つ ・食品中に普通に存在する成分であり、天然及び養殖アユ、附着藻類からの揮発性成分として検出されているほか、加熱処理したマイワシの揮発性成分としても検出されている ・アジでは保管時間とともに増加することが報告されている
	2.22	○				
2-ethyl-Furan	2.05		○	96	92	<ul style="list-style-type: none"> ・フラン類は甘い香りや香ばしい香りと表現される揮発性成分で、一般的に熱処理した食品でよくみられる ・ミンチあるいは加熱処理されたマイワシやマアジの揮発性成分として検出されている ・マイワシでは生鮮魚にも含まれ、鮮度低下に伴って増加することが報告されている
4-methyl-Cyclohexanol	2.43	○		114	170	<ul style="list-style-type: none"> ・溶剤、添加剤として使用され、水に難溶である ・特異臭を有する
(2-methylenebutyl)-Cyclopropane	3.74		○	110		魚油の含有成分、シソ科の植物 (Nepeta septemcrenata) の揮発性成分として検出されている
2,4-dimethyl-Cyclohexanol	3.92		○	128	188	ヤマアラシの肝臓の揮発性成分として検出されている
methyl octyl ester	4.08		○	188		由来の推定等に資する情報は得られなかった
2,4-Octadiene	4.25		○	110	134	ニジマス、タイセイヨウサケの身肉中から揮発する主要な炭化水素として報告されている
	4.41		○			