

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19590584

研究課題名 (和文) 下水高度処理水貯槽内におけるユスリカ類の防除方法確立のための基礎実験

研究課題名 (英文) Effect of ultrasonic shock on chironomid larvae, pupae and egg mass under laboratory conditions.

研究代表者

平林 公男 (HIRABAYASHI KIMIO)

信州大学・繊維学部・教授

研究者番号：20222250

研究成果の概要 (和文)：

下水高度処理水貯槽内において、大量発生するユスリカ類の防除法確立のために、様々な条件で超音波刺激をユスリカ類（幼虫、蛹、卵塊）に与え、その死亡率を検討した。その結果、28KHzと45KHzでは、15秒で50%以上が死亡し、45秒、90秒で90%以上が死亡した。100KHzでは、どの刺激時間においても、3-9%の死亡率であり、有意な差が認められなかった。最も効果的な組み合わせは、周波数が28KHzで刺激時間が30秒以上であった。また、同じ条件で超音波刺激を与えた場合、ユスリカの蛹が最も死亡率が高く、次いで4齢幼虫であった。最も死亡率が低かったものは卵塊であり、数%であった。卵塊については、孵化させた後、プランクトニックな若齢幼虫となっていれば、魚類による捕食が効率よく行われ、生物的な防除が有効であることが示唆された。

研究成果の概要 (英文)：

Using an ultrasonic generator, we electrically shocked chironomid larvae, pupae and egg mass under laboratory conditions and calculated the mortality in order to establish a method of physically controlling them. Mortalities were low with a 100KHz ultrasonic waves of the each stimulate times. However, in the case of 28KHz and 45KHz ultrasonic waves, larval mortalities increased in proportion to the number of stimulate times. Applying 28KHz ultrasonic waves for more than 30 seconds produced approximately 95% mortalities. In these studies, significant differences in mortalities were observed between larvae - pupae, larvae - egg mass, and larvae - egg mass (mortalities: pupae>larvae>egg mass).

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：環境衛生学、衛生動物学

科研費の分科・細目：社会医学・衛生学

キーワード：超音波、害虫防除、ユスリカ類、下水処理排水、物理的防除、生物的防除

## 1. 研究開始当初の背景

循環型社会形成に向けた社会動勢の中で、特に大都市圏を中心に、下水を水資源としてとらえて、高度処理を行い、トイレの水洗用水や散水用水、修景用水などに有効利用することが行われつつある(西畑, 2003)。この下水処理水の再利用において、高度処理水の貯槽である配水槽内などでユスリカ類の大量発生が起り、高度処理施設はもとより、ホテルやデパートなどの処理水利用先施設への卵塊や幼虫類の流出が報告され、大きな社会問題となっている(齋藤, 2003; 小林ほか, 2004)。現在、貯水槽内など下水処理施設におけるユスリカ類の大量発生に対しては、殺虫剤散布による化学的駆除が一般的な対処法である(近藤ほか, 2001)。しかし、殺虫剤の使用はコスト的に負担が大きいこと、殺虫剤に対する耐性獲得などが懸念されていること、散水用水や、修景用水に利用される再利用水に対して、利用者が意図しないところで殺虫剤を添加する行為は、利用者の健康被害や環境への影響が危惧されること、などが指摘され「生態系の保全を重視する」という今後の中水道・下水道事業のあり方にも相反している(村上, 2003)。これらの点から、殺虫剤散布に代わる新しい防除方法の確立とその実用化が早急に求められている(近藤ほか, 2001)。

下水高度処理水について考えるときに以下の二点が重要である。すなわち1) 処理水は衛生的にも環境保全上も適切に処理されなければならないこと、2) これらは観点を変えれば資源であり、限られた水資源の有効な再利用が成されなくてはならないことである(新井田, 2003)。これまでの発想であれば前者にの

み重きが置かれ、安価で効率的、高度な処理方法のみが衛生学的に模索されてきた。しかし、後者の視点に立てば、環境負荷を低減する中で、処理だけでなく、如何に効率的に資源として回収、再利用するシステムや技術を構築するかが極めて重要である。

本研究では、資源としての高度処理水再利用の観点から、現在問題となっている貯水槽内のユスリカ幼虫の防除方法として、物理的防除法と生物的防除法を組み合わせた殺虫剤に代わる新しい防除対策確立のための基礎研究である。環境への付加が少なく、コストを抑えた方法の確立を目指す。

## 2. 研究の目的

生態系への影響を減らす配慮から、不快生物防除における殺虫剤の使用を減少させていくことが国際的な動向として求められている(WHO, 1985)。薬剤に頼らない防除法としては、食物連鎖・天敵生物を利用した生物防除に関する研究が国内外を問わず行われている(Clements, 1992)。熱帯圏では、マラリアなどの伝染病媒介蚊の幼虫、蛹対策として、天敵であるグッピーやカダヤシなどを河川や湖沼に放流し、大きな成果を上げている(Murray, 1976)。しかし、野外的場合、放流先における固有種との競合や遺伝的多様性の喪失など、生態学的に大きな問題を抱えている(Hirabayashi et al., 2001)。一方、物理防除法としては、下水高度処理水貯槽内では、配水管内にフィルターを設置し、微小動物を物理的に通過させないなどの方策が試みられているが、防除対象生物のサイズに大きなバラツキがあり、卵などの耐久性のあるものは形を変えて

通過してしまうなどの問題点も指摘されている (Clements, 1999)。

本研究では、人為的に管理された環境下にある比較的清澄な水環境において、これまで報告のない「超音波」を用いた局所的な物理防除が可能であるかどうかを検証する。初めての試みとなるため、その安全性確認は極めて重要である。したがって、超音波処理の後に、処理水の安全性確認と、さらなる防除対策付加のために、小型魚類を利用した生物防除を組み合わせることを併せて検討した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 超音波刺激の有用性に関する検討

これまで報告のある電気刺激（交流、直流）と超音波刺激とでその効果について比較検討を行った。実験条件として、①超音波45kHz、30秒、②交流190Hz、260V、0.54A、30秒、③直流180V、0.32A、30秒の3シリーズで検討を行った。試水はユスリカ幼虫を採集した下水処理排水 (EC; 約70mS/m) を用いた。幼虫の生死判定は、刺激を与えた直後にガラスビーズ (粒径0.4mm) を入れた滅菌シャーレに移して行った。このシャーレをコントロールと共に暗条件で静置し、24時間後に幼虫の造巣行動 (巣の有無) により判定した。

#### (2) 超音波刺激の強度とユスリカ幼虫、蛹、卵塊に与える影響

(1)の実験で超音波の効果が確認されたことから、どの程度の強度で、ユスリカ類に影響が出るのかを「異なる3波長 (28, 45, 100kHz)」と「与える刺激時間の長さ (例として、15, 30, 45, 60, 120秒)」の違いで調節し、室内において実験を行った。3波長の超音波を発信できる小型超音波発信器を用いて、実験槽 (25×15×10cm) 内に高度下水処理水を入れ、ウスイロユスリカの幼虫 (4齢幼虫)、蛹、卵塊を5匹ずつ各々入れ、死亡率

を検討した。ユスリカ幼虫の生死の判定は、前述の通り、蛹の場合は羽化の有無で、卵塊の場合は孵化の有無で、24時間後に判定した。

#### (3) ユスリカ類卵塊への様々な物理防除対策実験

(2)の実験においてほとんど効果の無かったユスリカ類の卵塊について、各種「電気刺激」、3波長の「超音波」を利用して、その効果を詳細に検討した。まず卵塊中に含まれる卵数を計測し、卵塊を複数の塊に分割して実験に供した。

#### (4) 実用化に向けての実験規模の拡大

中規模の実験槽に実験規模を拡大し、実用化に向けての様々な知見を集約することを目的として実験を行った。具体的には、①中規模実験水槽内におけるユスリカ類に対する超音波、電気刺激の強さとその効果、②中規模水槽における魚類による補食効果の再検討、③中規模実験槽内における水の動きと超音波刺激の効果 (止水環境で得られた成果の再現性の確認) などについて調査を行った。

#### (5) 処理水内におけるユスリカ類幼虫の生物学的防除

魚類の選定にあたり、カダヤシとグッピーの成魚を用いて、補食効率を検討した。大型実験アクリル水槽を2台利用し (他にコントロール区を1槽別に準備)、魚類の放養密度とユスリカ補食効果を検討した。水槽上部に網をかけ、飼育条件は水温25℃、光周期12L:12D、通気300ml/min.、飼育期間4週間。試験区は試験区1 (魚数25尾/45L)、試験区2 (魚数5尾/45L) の2つを設定し、繰り返しを最低3回は行った。餌量としてのユスリカ幼虫数は、某下水高度処理水貯槽内に実際にいた密度 (運転開始後、1ヶ月; 10匹/m<sup>2</sup>、半年の時点; 50匹/m<sup>2</sup>) と同等量、2倍量、分量に設定して

行った。餌としてのユスリカ幼虫は貯槽内と同一種であると確認されている下水処理排水路に生息しているウスイロユスリカ幼虫を必要に応じて採集し、生活ステージ毎に分別後、湿重量を測定して与えた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 超音波刺激の有用性に関する検討

超音波では85.1% (67匹中57匹)、電気では交流で65.3% (26匹中17匹)、直流で62.5% (32匹中20匹)の幼虫が死亡し、超音波も電気刺激と同様にユスリカ幼虫の物理的防除対策の一つに応用可能であることが示唆された。

##### (2) 超音波刺激の強度とユスリカ幼虫、蛹、卵塊に与える影響

28KHzと45KHzでは、15秒で50%以上が死亡し、45秒、90秒で90%以上が死亡した。100KHzでは、どの刺激時間においても、3-9%の死亡率であり、有意な差が認められなかった。最も効果的な組み合わせは、周波数が28KHzで刺激時間が30秒以上であった。また、同じ条件で超音波刺激を与えた場合、ユスリカの蛹が最も死亡率が高く、次いで4齢幼虫であった。最も死亡率が低かったものは卵塊であり、数%であった。以上のことより、卵塊については効果があまり期待できない可能性が示唆された。

##### (3) ユスリカ類卵塊への様々な物理防除対策実験

超音波刺激をユスリカ類の卵塊に45秒間与えた場合、周波数による生存率は、28KHzで95.8%、45KHzで97.7%、100KHzで97.3%であった。また周波数を45KHzに固定した場合、刺激時間による生存率は、30秒間で98.0%、45秒間で97.7%、90秒間で91.1%であった。コントロール区での生存率が98.8%であるので、超音波刺激において、防除という観点からは卵塊に対して大きな効果は期待できな

いという結果が得られた。このことより、卵塊の場合、「時間をおいて孵化させてから若齢幼虫を防除対策とする」か「卵塊そのものを魚類に捕食させるのか」の何れかの方法が有効ではないかと推測された。

##### (4) 実用化に向けての実験規模の拡大

中規模水槽を作成した。循環式の水槽の作成には、大変苦勞をした。水槽内のユスリカ類幼虫の生息分布を確認したところ、ランダム、分散型の分布ではなく、集中分布であることが明らかとなった。水中において各種物理刺激を与えた場合に、効果的に防除を行うには、幼虫の分布のパターンを知っておくことが重要である。

幼虫類の分布は環境条件により左右され、暗黒条件下では、ほぼ均一分布、明条件下では集中分布となり、負の走行性を示した。光条件により分布が左右されることが示唆され、光のあたらないシェルターを利用すると、そこへ集中的に集まることも明らかとなった。

##### (5) 処理水内におけるユスリカ類幼虫の生物学的防除

魚種としてはグッピー、カダヤシの両種を採用し、捕食効果を比較検討した。両種とも、個体数を長期間維持するためには定期的に一定量の個体の供給が必要であり、処理水槽内の自己繁殖はあまり期待できないことが明らかとなった。幼虫、蛹に対する捕食効果は大きく、特に蛹についての捕食効果は期待できると推測された。

「卵塊の状態から時間をおいて孵化させた後、若齢幼虫（1-2齢幼虫：プランクトン生活）をターゲットとして魚類に捕食させる」方法、ならびに、「卵塊そのものを魚類に捕食させる」方法のいずれも魚類を用いて実験したところ、若齢幼虫の方がほぼ100%捕食されるのに対して、卵塊では食べ残しが出てくることが明らかとなり、防除効果からすると

若齢幼虫ステージの方が効果的であることが示唆された。また、ユスリカ類が正常に生息する程度の流水条件下であれば、止水条件とほぼ同じ効果が得られることが確認された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

1. 谷川力・井上栄壮・平林公男「屋内の汚水升から発生したユスリカ *Limnophyes natalensis* (Kieffer, 1914)」ペストロジー (査読有り) 24(1) (2009) 15-17.
2. 武田昌昭・平林公男「電気刺激がセスジユスリカ, *Chironomus yoshimatsui*, 幼虫に及ぼす影響」ペストロジー (査読有り) 23(2) (2008) 53-57.

[学会発表] (計8件)

1. 武田昌昭・山本雅道・風間ふたば・平林公男「超音波刺激がユスリカ若齢幼虫・卵塊の生存率に及ぼす影響」日本陸水学会甲信越支部会 (2009年11月29-30日) 山梨県精進湖
2. 武田昌昭・平林公男「下水処理排水中における水生生物の駆除・防除に関する研究-2. 超音波刺激がユスリカ類幼虫、蛹、卵塊に与える影響」日本ペストロジー学会 (2009年11月12-13日) 茨城県つくば市
3. 木村悟朗・春成常仁・井上栄壮・平林公男・谷川力「屋内排水から発生するユスリカ成虫の季節消長」日本ペストロジー学会 (2009年11月12-13日) 茨城県つくば市
4. Kimura, G., T. Harunari, E. Inoue, K. Hirabayashi & T. Tanigawa “Emergence time and period of chironomid midges occurring from an indoor Drainage” 14th International Symposium on River

and Lake Environments (2009年8月29-30日) Ueda, Nagano

5. 平林公男・武田昌昭「セスジユスリカ卵塊に対する物理的防除の試み」日本環境動物昆虫学会 (2008年11月16-17日) 京都大学 (京都)
6. 武田昌昭・平林公男「下水処理排水中における水生生物の駆除・防除に関する研究-1. 電気刺激がユスリカ類幼虫、蛹、卵塊に与える影響」日本ペストロジー学会 (2008年10月14-17日) メルパルク大阪 (大阪)
7. 平林公男・武田昌昭 ほか「下水処理排水中におけるユスリカ類の駆除・防除に関する研究-物理的防除法の検討」日本ユスリカ研究会 (2008年 5月24-25日) 楠石山荘 (岡山児島湖)
8. 平林公男・武田昌昭・風間ふたば・山本雅道「下水処理排水中における水生生物の駆除・防除に関する研究(予報)」日本陸水学会甲信越支部会 (2007年12月1-2日) 新潟県村上市

[図書] (計1件)

1. 平林公男、フライの雑誌社、フライの雑誌、84季刊早春号 (2009) 120pp.

[その他]

ホームページ等

[http://soar-rd.shinshu-u.ac.jp/profile/\\_ja.WpTCjekV.html](http://soar-rd.shinshu-u.ac.jp/profile/_ja.WpTCjekV.html)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

平林 公男 (HIRABAYASHI KIMIO)  
信州大学・繊維学部・教授  
研究者番号：20222250

##### (2) 研究分担者

山本 雅道 (YAMAMOTO MASAMICHI)  
信州大学・山岳科学総合研究所・助教

研究者番号：40143995

風間 ふたば (KAZAMA FUTABA)  
山梨大学・医学工学総合研究部・教授  
研究者番号：00115320  
(H20→H21：連携研究者)

(3)連携研究者  
該当無し