

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：17601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2016

課題番号：25660158

研究課題名(和文)音響環境エンリッチメントがウナギの成熟に及ぼす影響の解明とその応用技術の開発

研究課題名(英文)Effects of acoustic environment in rearing tank on Japanese eel reproduction

研究代表者

香川 浩彦(Kagawa, Hirohiko)

宮崎大学・農学部・教授

研究者番号：60169381

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：環境制御によるウナギの成熟促進技術の開発を目的として、環境因子のうち、水中音響環境がウナギの性成熟に及ぼす影響について研究を行った。まず、ウナギ飼育水槽内の音響環境は自然の生息域と比較して騒音が多いことが判明した。次に、天然の生息環境と同じような静音な環境を維持できる飼育水槽を作成した。さらに、これを用いて実験を行ったところ、成熟に係わる血中エストラジオールやテストステロン量が騒音環境で飼育した雌ウナギに比較して静穏環境やモーツアルトの音楽を継続して流した水槽で飼育した雌ウナギの方が、有意に高い値を示した。この結果、静音な飼育環境や音響環境が雌ウナギの成熟に影響を及ぼす可能性が初めて示された。

研究成果の概要(英文)：In order to develop techniques to induce sexual maturation of Japanese eel by environmental control, we investigated the influence of acoustic environments in rearing tank on the sexual maturation of eels. We found that acoustic environment in rearing tank have more noise than those in the eel natural habitat. In the next step, we prepared eel rearing tanks which can keep quiet acoustic environment. Using the tank, we found that serum estradiol and testosterone levels were higher both in quiet acoustic tanks and in tanks running Mozart's healing sound than those in noisy tanks. These results suggest that acoustic environments in rearing tanks should be considered to initiate sexual maturation of Japanese eel.

研究分野：魚類繁殖生理学

キーワード：水中音響環境 ニホンウナギ 性成熟 生殖内分泌 産卵 種苗生産

## 1. 研究開始当初の背景

ウナギ養殖の種苗としてなくてはならないシラスウナギの資源は減少が続き、特に、最近では極度の不漁により、生産量は1970年代の1/20、約10トンと激減した。このようなシラス資源の減少と価格の暴騰は、養殖業を圧迫し、ひいては養殖産業と日本の食文化衰退につながる重大な問題である。また、このような状況を受けて、環境省はレッドリストの絶滅危惧類にウナギを登録したことにより、種の保存の観点からシラスウナギ漁業への圧迫がかかり、ますますシラスウナギの確保が困難になると推察される。一方、2010年にウナギ完全養殖技術が開発され、シラスウナギが生産できる技術的基盤が形成された。しかし、未だにシラスウナギの大量種苗生産技術の開発はなされていない。その理由の一つは、人為的なホルモン投与で得られる卵質（受精率やふ化率など）は雌親魚毎に変動する上に、非常に低く、安定供給ができないことにある。しかし、本来、魚類は環境因子（主に日長や水温など）により成熟が制御されているので、ウナギでも成熟に必要な環境を準備すれば成熟が進行すると考えられる。これまでさまざまな環境因子（水温、水圧、遊泳など）が成熟に与える影響について、国内外で多くの検討がされたが、成熟・産卵を誘起できた例はない。一方、騒音が哺乳類（雌牛、ラット、ウサギなど）の成熟内分泌機構（視床下部-脳下垂体-生殖腺ホルモン系）に影響を与え、不妊や排卵数の減少を招いていることが知られている。魚類でも、工事の騒音や人工的な音響がウナギやブルーギルの摂餌を阻害することが報告されているが、水中の音響が魚類の性成熟に及ぼす影響についての研究は全くなされていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、これまで全く考慮されなかつ

た飼育水槽の音響環境がウナギの成熟・産卵に及ぼす影響を、生殖内分泌系ホルモンやストレスホルモンの動態を分子・遺伝子レベルで解析することにより明らかにすることを目的とする。これらの音響環境に関する基礎的な知見をもとに、水温などの環境エンリッチメントにより成熟・産卵が誘導できれば、高卵質の受精卵を効率的に得る技術が開発され、シラスウナギの大量生産に寄与するものと期待される。

## 3. 研究の方法

### (1) 自然環境及び飼育環境の水中音響環境調査

天然の河川や海及び飼育水槽中の音の種類（音域、Hz）や大きさ（音圧、dB）を音響測定装置（OKI 水中音響トランスデューサ）を用いて測定し、飼育環境下の音響特性を明らかにした。

### (2) ウナギの成熟に及ぼす種々の音響環境の影響

#### ウナギ飼育水槽の作成

(1) の調査結果を受けて、天然の生息環境に近い音響環境の水槽を作成した。

#### 種々の水中音響環境がウナギの成熟に与える影響

天然の生息域に近い音響環境の飼育水槽を用いて、静音環境（または、天然環境）、騒音環境（天然の音響環境を超える環境）及びhealing音楽環境が、ウナギ生殖内分泌系ホルモンやストレスホルモンの生成・動態に与える影響を分子・遺伝子レベルで調べ、精子・卵子形成に及ぼす影響を調べた。

## 4. 研究成果

### (1) 自然環境及び飼育環境の水中音響環境調査

ハイドロフォン（アクアサウンド社製、Aquafeeler）と録音機（KORG社製、MR-2）を用いて、ウナギの生息域と考えられる大学近くの加江田川で河口域の他に

上流・中流・下流にて音響測定を行った。その結果、河口域では、水の流れがある上流・中流と比較して、音圧が約 40dB re:1  $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$  ほど低く、測定した河川地点で最も音圧が低いことがわかった。大学内の屋内飼育水槽や水族館の水槽及びウナギ親魚養成水槽では、さまざまな音圧のピークが存在することが確認できた。特に、これらの飼育水槽の特徴として、自然環境にはない、周波数 120Hz における音圧のピークが確認できた。このことから周波数 120Hz は水槽特有の音源であると考えられた。また、自然環境に比べて人工飼育水槽ではあらゆる周波数で音圧が高かった。人工飼育水槽内は自然環境と比べて音の多重反射が起こりやすい環境であり、この多重反射によって人工飼育水槽内でさまざまな周波数で音圧が大きくなったと考えられた。従って自然環境に近づける水槽を設計するには、全ての音域で音圧を低く（静穏な環境）する必要があると判断された。特に、周波数 120Hz の音圧を小さくした水槽を設計する必要があったと考えられた。

## (2) ウナギの成熟に及ぼす種々の音響環境の影響

### ウナギ飼育水槽の作成

屋内飼育水槽で発生する音源を特定し、ウナギ生息域の音響環境に近づけるための水槽設計を行った。その結果、水槽の周りをグラスウールで囲うと周波数 300Hz までの音圧が小さくなった。さらに水槽の外側を大型のスタイロフォームで囲っても音圧は小さくなった。次に、水槽内の音源を特定してその対策を立てた。その結果、パイプ給水口が水中にある場合と空中にある場合の水槽の中心点にて垂直方向に音圧分布を測定した結果、パイプ給水口が水中にある場合の周波数 58Hz の音圧が 10dB 程度大きいことが確認できた。また、エアーストーンがある場合とない場合の水槽の中

心点にて垂直方向に音圧分布を測定した結果、底面より水面近くの音圧のほうが 5dB ほど大きいことがわかった。これらの結果より、水槽外部を吸音材等で囲うなど静音対策をした上で、給水パイプを水面上に出し、給水パイプからの水の落下地点にスポンジを置いて水音を消すとともに、エアーストーンを取り除き、その代わりに、外部にろ過装置内でエアレーションを行うことにより、ウナギの可聴域である 300Hz までの周波数範囲内の音圧をウナギ生息域の音響環境に近づけることができ、静音環境の水槽を設計することができた。

### 種々の水中音響環境がウナギの成熟に与える影響

設計した静音環境の水槽を用いて、種々の水中音響環境でウナギを飼育した。雑音であるホワイトノイズを暴露した水槽（騒音暴露群）と何も行わない静音環境の水槽（静音水槽、対照群）で、ニホンウナギ雌（体重  $370.6 \pm 20.9\text{g}$ 、全長  $63.7 \pm 1.0\text{cm}$ ）を 2 週間飼育した。騒音暴露群においては、水槽内に Minirator（NTi AUDIO 社製）を用いて騒音としてホワイトノイズ（0dBu）を出力し、アンプを通して水中スピーカーから断続的に放音した。10 分間のホワイトノイズ連続暴露と 20 分間の暴露休止を組み合わせた 30 分サイクルを 24 時間連続行った。

実験終了後の生殖線体指数（GSI）は、対照群（ $1.05 \pm 0.12$ ）と騒音暴露群（ $1.03 \pm 0.09$ ）間で有意差は認められなかった。卵径は、対照群（ $126.7 \pm 4.3 \mu\text{m}$ ）と騒音暴露群（ $122.3 \pm 2.5 \mu\text{m}$ ）間で有意差は認められなかった。また、卵母細胞の発達段階はいずれの群も油球期であった。しかし、測定した血中ステロイドホルモンのうち、テストステロン量は、騒音暴露群（ $407.8 \pm 81.9\text{pg/ml}$ ）と比較して、静音対照群（ $942.3 \pm 133.9\text{pg/ml}$ ）の方が有意に高く

なった。また、エストラジオール量も、静音対象群 ( $207.9 \pm 27.1 \text{ pg/ml}$ ) の方が、騒音暴露群 ( $70.8 \pm 37.4 \text{ pg/ml}$ ) と比較して、有意に高くなった。また、測定したその他のステロイドホルモン、11-ケトテストステロン、 $17, 20$ -ジヒドロキシプロゲステロン、及びコルチゾル量は実験群間で差は認められなかった。

次に、healing 音楽暴露の影響を明らかにするために、植物成長の効果や人間のリラクゼーション効果があるとして知られているモーツァルトの「アイネ・クライネ・ナハトムジーク (第2楽章、ト長調 K525 ロマンツェ・アンダンテ)」を CD プレーヤー (ティー・エム・ワイ社製) を用いてアンプを通して水中スピーカーから放音した。12 分間のクラシック音楽連続暴露と 18 分間の暴露休止を組み合わせた 30 分間のサイクルを 24 時間連続行った。対照群として静音環境の水槽を用いた。その結果、対照群の GSI 値は  $1.21 \pm 0.14$ 、音楽暴露群の GSI 値は  $1.13 \pm 0.1$  となり有意差は認められなかった。また、音楽暴露実験群の卵径は  $137.5 \pm 1.7 \mu\text{m}$ 、対照群  $152.6 \pm 7.5 \mu\text{m}$  となり、有意差は認められなかった。卵母細胞の発達段階はどの群も油球期であり、油球の蓄積状態に違いは認められなかった。一方、血中エストラジオール量は対照群 ( $32.4 \pm 19.9 \text{ pg/ml}$ ) と比較して、音楽暴露群 ( $186.8 \pm 34.3 \text{ pg/ml}$ ) の方が有意に上昇していた。しかし、測定したその他のステロイド (テストステロン、11-ケトテストステロン、 $17, 20$ -ジヒドロキシプロゲステロン、及びコルチゾル) では、対照群と音楽暴露群間で有意な差は認められなかった。

これら、一連の実験結果から、騒音に暴露された雌ウナギでは、卵黄形成に係わるエストラジオールやテストステロン量が静音環境に比べて低下する可能性が示された。

また、音楽暴露によりエストラジオール量が静音環境と比べて有意に上昇したことが明らかになり、音楽を聴かせることにより、ウナギの成熟を促進できる可能性が示された。本実験では、2 週間という比較的短期間の実験であり、血中ステロイドホルモンの影響が卵母細胞の発達に影響を与えなかった可能性がある。今後は、本研究で見いだされた静音環境や音楽暴露環境がウナギの成熟に及ぼす影響について、再現実験を含めて、長期間の影響についても検討する必要がある。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 0 件)  
[学会発表] (計 0 件)  
[図書] (計 0 件)  
[産業財産権] (計 0 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

香川 浩彦 (KAGAWA HIROHIKO)  
宮崎大学・農学部・教授

研究者番号 : 60169381