

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K06302

研究課題名(和文) 水田域魚類の保全・再生に向けた酸素債発生流速の解明

研究課題名(英文) Study on current velocity so as not to cause oxygen debt targeted for conserving and restoring the fish population in paddy fields

研究代表者

竹村 武士 (Takemura, Takeshi)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・グループ長補佐

研究者番号：20373227

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：水田域魚類の保全・再生に向け、数時間～数日間という長時間の遊泳を可能とするため、また、ネットワーク化においては魚道プール部における休憩を可能とするため必要となる流速条件として酸素債を発生させない流速範囲に着目し、タモロコを対象に夏季を想定した水温条件の下で2段階の実験を行った。1段階目としては疑似的に臨界遊泳速度を求め、2段階目として同速度を目安に、段階的に増速していき上限とする速度が異なる3ケースの実験を行い、上限速度到達後の緩流速下における酸素消費量の推移を分析した。その結果、酸素債を発生させない流速は安全側を見込めばおよそ3.4BL/s程度迄の範囲であると推察された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

長時間にわたり遊泳可能な速度域、とくに休憩可能な速度域は見過ごされがちであった。本研究では、夏季を想定した水温条件の下、遊泳中から遊泳後にかけた酸素消費量、とくに遊泳後の緩流速下でみられる酸素消費量の推移に着目し、緩流速とした直後の急落かつ低位安定と、高位からの漸減という差が3.38・3.82BL/sの間で生じたことを確認した。このことから酸素債を発生させない、すなわち長時間にわたる遊泳や休憩可能な速度域は安全側を見込めばおよそ3.4BL/s程度迄の範囲と推察され、水田域魚類の保全・再生に向けて重要な知見となることが期待される。

研究成果の概要(英文)：To conserve and restore the fish population in paddy fields, a 2-stage experiment was conducted to seek the range of current velocity so as not to cause oxygen debt. In the 1st-stage experiment, Ucrit: critical swimming speed, was sought. In the second stage, the current speed was gradually increased to three different upper limits based on the Ucrit. After reaching these upper limits, the shift in oxygen consumption was analyzed under slow current velocity (0.8BL/s). As a result, it was suggested that the range of current velocity not to cause oxygen debt was under about 3.4BL/s, under the water temperature condition of 21 degrees Celsius.

研究分野：水田生態工学

キーワード：水田域魚類 タモロコ 酸素消費量 臨界遊泳速度 回復

1. 研究開始当初の背景

水田域における生物相の保全・再生は、持続可能な開発目標 SDGs や生物多様性条約締結国会議 COP 等でも注目される社会的課題である。魚類の場合、保全・再生には季節や成長に応じた生息空間を確保すること、および、それら生息空間の間を分断している落差工等を魚道により適切にネットワーク化することが必要である。その実現には流速に抗する魚類の能力(以下、遊泳力)を科学的に評価する必要がある。しかし、従来の遊泳力の研究は、瞬間的(1秒未満~数秒間)に発揮可能な遊泳力(いわゆる突進速度)を対象とするところに偏り、保全・再生に向け必要となる次のような流速条件は明らかではない。すなわち、季節や成長に応じた生息空間の確保においては数時間~数日間という長時間の遊泳を可能とする流速条件、また、魚道によるネットワーク化においては魚道プール部における休憩(突進速度発揮後の体力の回復)を可能とする流速条件を明らかとする必要がある。そこで本研究ではこのような流速条件を明らかとし、水田域魚類の保全・再生という社会的課題の解決に貢献することを目指す。

2. 研究の目的

本研究の目的は、数時間~数日間という長時間の遊泳が前提となる水路での生息、あるいは、魚道プール部における休憩(消耗後の体力の回復)に必要な流速条件を明らかとすることである。本研究ではこの目的に向け、水温・流速を制御下におきつつ、遊泳中~遊泳後にかけての酸素消費量を測定する、運動生理学的方法を採用し、実験的に検討する。水温・流速の制御およびそれら制御下で酸素消費量を測定するねらいは以下のとおりである。

魚類にはヒトでいう遅筋/速筋に相当する筋肉があり、流速が遅いときは持久性に優れる血合筋(遅筋に相当)が、流速が速くなってくると瞬発性に優れる普通筋(速筋に相当)が用いられる。血合筋が酸素を要する好氣的エネルギー生成を行うのに対し、普通筋は酸素を要さない嫌氣的エネルギー生成を行う。このため普通筋が用いられると魚体には酸素の負債(酸素債)が生じ、体力回復のため休憩が必要となる(生じた酸素債はその後普通筋を要さない流速下で返済)。すなわち、数時間~数日間という長時間の遊泳が前提となる水路での生息や、あるいは、魚道プール部における休憩(体力の回復)には血合筋のみで遊泳でき酸素債を発生させない、という流速条件を満たす必要がある。また、酸素消費量は水温の影響を受けることが知られている。このことは遊泳力そのものが水温に影響されるということに等しく、酸素消費量の測定が水温制御下で実施される必要性を示している。

3. 研究の方法

対象種として水田域魚類の種多様性指標種タモロコ *Gnathopogon elongatus elongatus* を供試した(Katano et al., 2003; 竹村ら, 2011)。これは得られる成果の波及性を視野に入れるねらいである。水温・流速を制御下におきつつ、同時に酸素消費量測定を可能とする実験装置として、Loligo® Systems. の Swim tunnel, Respirometry 等一式(図1)を用いて2段階で実験を行った。なお、設定水温は自身のフィールドデータを参考に、活動が活発な夏季を想定した水温 21 とし、実験手順については Ucrit (臨界遊泳速度) 測定および Ucrit 後の回復に関する既往研究(Lee et al., 2003a, 2003b) を参考とした。基本的実験手順は2段階(下記(1)と(2))の実験で共通するため(3)で詳述するが、大きく分けて時系列的に連続する3つの過程で実施した。すなわち、実験環境への馴致(一定微流速を付与。以下「馴致過程」)、流速を段階的に一定ペースで増速。以下「増速過程」、流速を馴致過程と同じ一定微流速とした「事後過程」である。

(1) 臨界遊泳速度 Ucrit の算定

Burgetz et al. (1998) によればニジマス *Oncorhynchus mykiss* の場合、Ucrit の 70% 流速で乳酸の蓄積を発生しており、ニジマスの場合この辺りの速度域で普通筋を使い始めると捉えられる。このことを参考に、酸素債を発生させない流速域検討のため、まず、第1段階として Ucrit

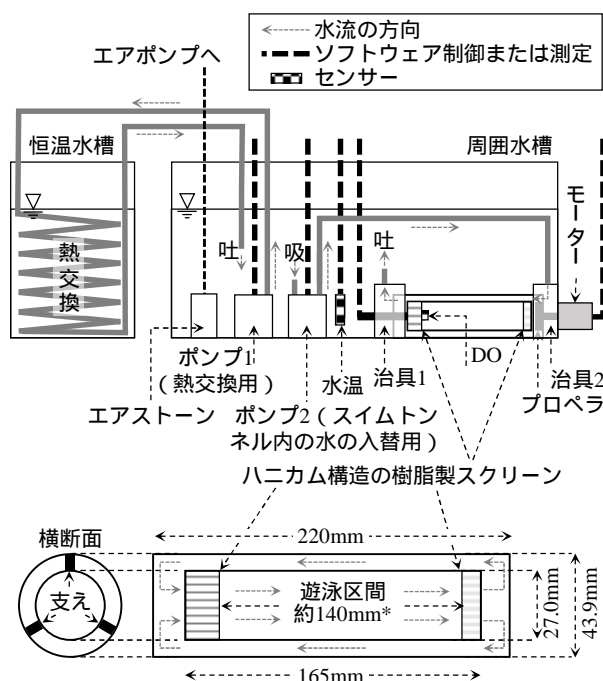


図1. 実験装置 (Swim tunnel, Respirometry 等一式)

を求めることとした。なお、個体が流速に耐えきれなくなったという判断や U_{crit} 算出は Lee et al. (2003a) に同様とした。

(2) 上限速度付与時の酸素消費量測定

増速過程における上限の速度を、 U_{crit} の 60, 70, 80, 90% とする 4 ケースの実験とした。ここでは、とくに事後過程における酸素消費量に着目する。酸素債が発生しなければ事後過程で直ちに低下することが予測されるためである。

(3) 共通の実験手順

各供試個体は実験装置挿入前に、湿重量、体高、体幅、全長、体長を測定した。その後速やかに実験装置に挿入し、直ちに微流速 (0.8BL/s: BL: 体長) を付与して一晚馴致した (馴致過程)。翌朝、増速過程を開始し、(1) では 2.0BL/s 迄 5 分毎に、その後は 10 分毎に、(2) では 10 分毎に、各々 0.1BL/s を増速した。

4. 研究成果

(1) (疑似的) U_{crit} の算定

目安とできる既往知見が皆無であったため、増速過程においては 3 (1) で述べた時間間隔と流速増分を設定した。この設定は Lee et al. (2003a) とは異なるため以降では疑似的 U'_{crit} とする (Lee et al. (2003a) の場合開始後 50% U_{crit} に達するまで 5 分毎、その後 20 分毎に 0.15BL/s を増速)。なお、「 $'$ 」は実験装置内における魚体断面積の影響 (solid blocking effect) を考慮したことを示す。結果として疑似的 U'_{crit} は平均で 4.1 (SD: 0.7) BL/s であった ($n=11$ 、図 2)。

(2) 上限速度付与時の酸素消費量測定

(1) で求めた疑似的 U'_{crit} に基づき、付与する上限速度は、2.4, 2.8, 3.2, 3.6BL/s に設定した。ただし、実験を進めていく中で、流速増加に伴う酸素消費量増加がみられたのは 2.6BL 前後からで、それより遅い流速域では、暴れ気味で不安定な遊泳が影響したためか酸素消費量が大きくバラつき不安定であった。このため、実験は 2.8BL/s 以上の 3 ケースを優先的に実施、事後過程における分析でもこの 3 ケース (各 $n=15$) を対象とした。同 3 ケースにおける増速過程における酸素消費量 (外れ値除外後の平均値) を図 3 に示す。

また、馴致過程における値は実験装置への個体挿入後、数時間をかけて低下し、10 時間経過頃 (夜間) に平均値 (外れ値を除く) としては最小の 2.14 (SD: 1.00) mgO₂/kg/min を示し、その後朝を迎えて 2.5 ~ 3.0mgO₂/kg/min に上昇する傾向を示した。これらのことから事後過程における値の参照値としておよそ 2 ~ 3mgO₂/kg/min が目安になるものと考えられた。

事後過程における値 (各水準での外れ値除外後の平均値) の推移を図 4 に示す。上限速度 2.8 および 3.2BL/s では事後過程の当初から 2 時間後迄ほぼ同水準といえる程度の推移であるのに対し、上限 3.6BL/s ではこの間上下動しつつ右肩下がりの推移を示している。また、事後過程当初から 20 分後迄の値は増速過程における上限速度時の値より高く酸素債の発生が示唆される。さらに、3 ケースの値に対する対応有り二元配置分散分析においても、事後 50 分迄、上限 3.6BL/s は有意差を示した。solid blocking effect を考慮すると、上限 3.2 と 3.6BL/s は各々 3.38 と 3.82BL/s であり、活動の活発な夏季を想定した水温条件下において酸素債を発生させない流速は、およそ 3.4BL/s 程度迄の範囲であると推察された。

引用文献)

Katano et al. (2003): Species diversity and abundance of freshwater fishes in irrigation ditches around rice fields, Environmental

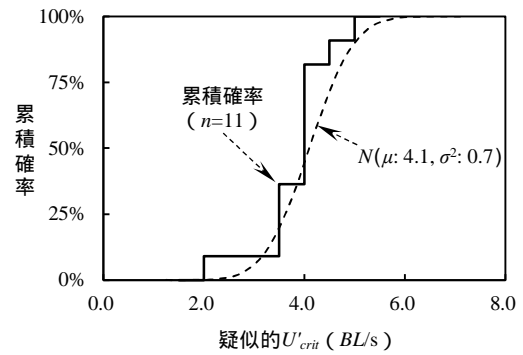


図 2. 疑似的 U'_{crit} (階級幅 0.5BL/s)

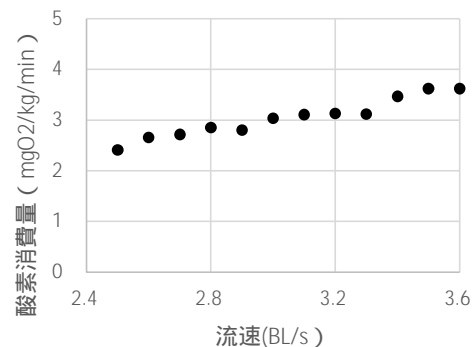


図 3. 増速過程における酸素消費量

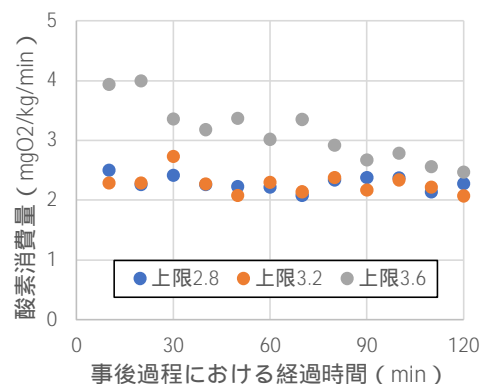


図 4. 事後過程における酸素消費量

Biology of Fishes, 66, 107-121.

竹村ら(2011): 谷津田域の農業水路における魚類の出現傾向と指標性, 農業農村工学会論文集, 274, 43-53

Lee et al.(2003a): The effect of temperature on swimming performance and oxygen consumption in adult sockeye (*Oncorhynchus nerka*) and coho (*O. kisutch*) salmon stocks, J. Exp. Biol., 206, 3239-3251.

Lee et al.(2003b): Excess post-exercise oxygen consumption in adult sockeye (*Oncorhynchus nerka*) and coho (*O. kisutch*) salmon following critical speed swimming, J. Exp. Biol., 206, 3253-3260.

Burgetz et al. (1998): Initial recruitment of anaerobic metabolism during sub-maximal swimming in rainbow trout (*Oncorhynchus Mykiss*), J. Exp. Biol., 201, 2711-2721.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 竹村武士, 小林圭, 高橋直己	4. 巻 315
2. 論文標題 夏季想定水温条件におけるタモロコの疑似的臨界遊泳速度	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 IV_25 - IV-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 竹村武士・小林圭・高橋直己・嶺田拓也・濱田康治
2. 発表標題 酸素消費からみた遊泳に伴う運動負荷の評価
3. 学会等名 2021年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林圭・竹村武士・高橋直己・多川正・柳川竜一
2. 発表標題 タモロコの臨界遊泳速度と酸素消費量に関する研究
3. 学会等名 2020年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------