

## 酸素消費からみた遊泳に伴う運動負荷の評価

— Ucrit 近傍速度付与時のタモロコを例に —

## Exercise Stress of Field Gudgeon Given Near Ucrit Viewed from Oxygen Consumption

○竹村武士\*・小林圭\*\*・高橋直己\*\*\*・嶺田拓也\*・濱田康治\*

TAKEMURA, T., KOBAYASHI, K. TAKAHASHI, N. MINETA, T. and HAMADA, K.

## 1. はじめに

水田域魚類の保全には、魚道プール部での休憩や日常的生息場を想定した低流速域の負荷評価も重要である。例えばニジマスでは乳酸蓄積が臨界遊泳速度 Ucrit の 70%流速で発生した<sup>1)</sup>。このことは上述のような想定場面ではそれ未満の低流速域確保が必要であることを示す。

本研究ではタモロコを対象に Ucrit および付与する速度(付与速度)に上限を設けた実験(後述)を行った。Ucrit 測定は Lee et al.<sup>2)</sup>に準拠し、各実験時には酸素消費量 OC (Oxygen Consumption) を同時測定し運動負荷を評価した。

## 2. 材料および方法

OC 測定装置 (Loligo® Systems), 恒温水槽 (東京硝子器械 (株)) を用いた (Fig.1)。スイムトンネル (Fig.1 濃青色部) では、ソフトウェア制御により発生させた水流が、内管を通り下流で反転、外管と内管の間隙を通り上流で再反転する循環流となる。遊泳区間は内管両端ハニカム間の約 140mm 区間である (Fig.1 下部)。流速は予め DPTV で校正しソフトウェア制御した。

実験時流速は次のように制御した (Fig.1)。すなわち、1) 馴致過程：遊泳区間への供試個体挿入 (17 時頃) ~翌朝 (8 時半頃) においては個体が落ち着く微流速 0.8BL (Body Length) /s とした、2-a) 増速過程 (段階的に流速を増加) : Ucrit 実験時においては 5 または 10 分経過毎 (2.0BL/s に達する迄は前者、以後は後者) に 0.1BL/s ずつ増速、流れに耐えきれず後端ハニカムに 20s 超魚体ははりつけられた状態<sup>2)</sup>となった時点で増速過程を終了、直ちに 0.8BL/s に戻した、2-b) 増速過程:付与速度に上限 (3 種:3.6, 3.2, 2.4BL/s) を設けた実験時は、10 分経過毎に 0.1BL/s ずつ増速、各上限到達後 10 分を経過時点で増速過程を終了、0.8BL/s に戻した、3) 事後過程：増速過程終了~夕刻迄数時間は 0.8BL/s とした。なお、観察は観察者と装置の間にパーティションを設け、カメラ・モニター経由で行った。

実験時はポンプ 1 を常時稼働させ水温を 20~

21°Cに維持した (Fig.1)。ポンプ 2 はスイムトンネル内に酸素不足を生じないように周囲との水交換を行うもので、流速制御および OC 測定に合わせて間欠的に稼働させた。すなわち、10 分間で構成される 1 ループ (Flush: 180s → Wait: 60s → Measure: 360s) のうち Flush でのみポンプ 2 を稼働、Measure で OC を測定した。なお、各ループでは時間平均流速を出力するソフトウェア仕様のため、Ucrit 実験時の事後過程開始ループは同出力が 0.8BL/s を示すループとした。

付与速度上限は、既報<sup>3)</sup>および付与速度上限 3.6, 3.2, 2.4BL/s で各 6, 7, 7 個体の泳ぎ切りを確認、随時 Ucrit を再考察しつつ決定した。

負荷評価には馴致過程において、連続する 4 ループ各間の OC 変化率が全て ±20%に収まる場合の平均 OC 値を全て抽出し、その最小値を基礎代謝として比較の基準に用いた。

Ucrit 実験<sup>3)</sup>には K 県採集個体、付与速度上限を設けた実験には I 県採集個体を用いた。

## 3. 結果および考察

1) Ucrit の再考察 上述の通り付与速度上限 3 種とも全供試個体の泳ぎ切りを確認した。このため確率論的に再考察した。Fig.2 のプロット × は既報<sup>3)</sup>にその後測定 of 3 個体を加えた計 15 個体での累積確率である。1 個体が 6.0BL/s を

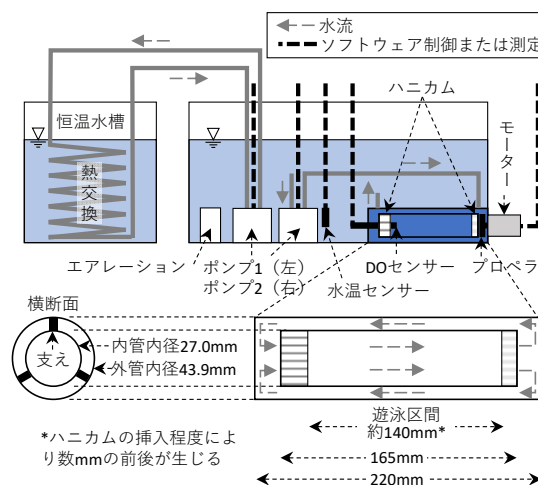


Fig.1 OC 測定装置主要部  
The main part of the respirometry equipment

\*農研機構 NARO, \*\*国立高専機構香川高専創造工学専攻 香川高専 NIT, Kagawa College

NIT, Kagawa College, Advanced Course, \*\*\*国立高専機 キーワード 臨界遊泳速度, 酸素消費量, タモロコ

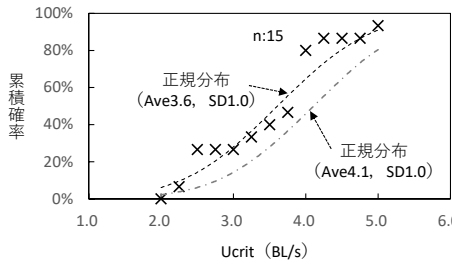


Fig.2 Ucrit の再考察  
Reconsidering of Ucrit

僅かに超え 100%プロットは図の範囲外である。破線はそれらの平均、標準偏差による正規分布累積確率で当てはまりは良好とみて良いだろう。

ここに付与速度上限のある実験データを加味すると、泳ぎ切れなかった脱落個体は、2.4BL/s 以下 9% (3 個体/35 個体), 3.2BL/s 以下 14% (4 個体/28 個体), 3.6BL/s 以下 29% (6 個体/21 個体) で、破線は Ucrit を過小評価の傾向とも考えられる。そこで平均の嵩上を試行し、0.5BL/s 嵩上時の正規分布累積確率 (Fig.2 一点鎖線) を求めると、2.4, 3.2, 3.6BL/s で各々 5, 19, 31% となり、脱落個体割合に近似した。ただし、Ucrit 実験時と付与速度上限のある実験時では個体採集地は異なり一括扱いが適当か否かは検討を要する。一方、採集地間で個体数の偏りは少なく、却って一個体群に留まらない評価という見方もある。何れにせよ扱いの妥当性については今後の課題である。

2)OCからみた運動負荷 Fig.3は上から、Ucrit, 付与速度上限 3.2, 2.4BL/s 実験時の OC (各 2 例) である。横軸数字はループ番号で 10 倍すると馴致開始後の経過時間 (min) となる。赤矢印は増速に伴う OC の増大を示すが、必ずしも増速に伴い増大を観測するものではない。また左上段の増速開始時や右下段の馴致時のように突然の激しい増大も時に生じたほか両矢印で記載の通り後端ハニカムへのはりつき時や泳ぎに不安定さがみられた際に増大する傾向がみられた。左上段と中段では事後個体が斃死し負荷に耐え切れなかった可能性もある。これら 2 個体が事後 (増速終了後) 間もなく示した OC は基礎代謝比 2 倍超であったことから基礎代謝比 2 倍超の領域を各小図にグラデーションで示

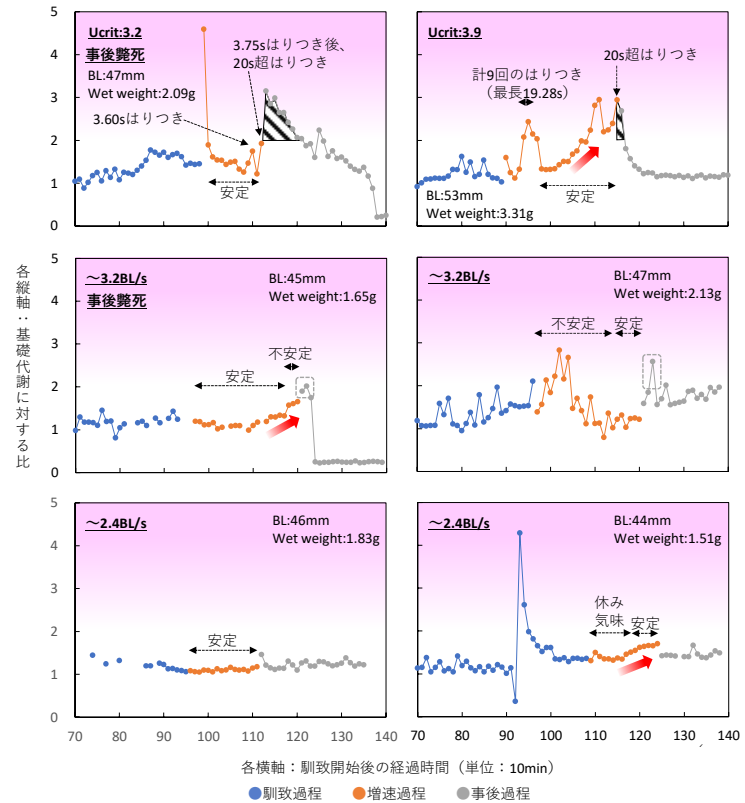


Fig.3 馴致過程～事後過程にかけての酸素消費量と泳ぎの様子 (例)  
Examples of oxygen consumption and swimming aspect during the habituation and the post-exercise process

した。また上段小図には事後過程において、斜線で基礎代謝比 2 倍超の領域を、中段小図には同 2 倍超のプロットを灰色破線囲いで示した。一方、付与速度上限 2.4BL/s の 2 例では増速過程～事後過程における基礎代謝比は最大でも 1.46, 1.70 倍に留まるとともに速やかに低下した。同速度上限の 7 個体では斃死も確認されず、休憩に適する程度の負荷に留まる流速域は 2.4 ~ 3.2BL/s の間に上限があるものと考えられた。

#### 4. おわりに

Ucrit は時に安全とはいえない負荷を生じる速度域という可能性も考えられる。魚道プール部や環境配慮型水路では真に休憩し得る速度を確保する必要がある。そのためにも過大な負荷を発生させない流速域を検討する必要がある。

謝辞: 本研究の一部は JSPS 科研費基盤研究(C)19K06302 による。実験実施には吉成香貫花氏に協力頂いた。記して謝意を表する。

引用文献: 1) I.J. Burgetz, A. Rojas-Vargas, S.G. Hinch and D.J. Randall: Initial recruitment of anaerobic metabolism during sub-maximal swimming in rainbow trout, J. of Experimental Biology, 1998. 2) C. G. Lee, A.P. Farrell, A. Lotto, M.J. MacNutt, S.G. Hinch & M. C. Healey: The effect of temperature on swimming performance and oxygen consumption in adult sockeye and coho salmon stocks, J. of Experimental Biology, 2003. 3) 小林圭, 竹村武士, 高橋直己, 多川正, 柳川竜一: タモロコの臨界遊泳速度と酸素消費量に関する研究, 農業農村工学大会講要集, 2020.