



## バイオテレメトリーによる養殖クロマグロの 遊泳行動に関する研究

岡野 奨\*・光永 靖\*・坂本 亘\*\*・熊井英水\*\*

\*近畿大学大学院農学研究科水産学専攻・\*\*近畿大学水産研究所

\*近畿大学農学部水産学科 (Faculty of Agriculture, Kinki University, 3327-204 Nakamachi, Nara 631-8505, Japan) .

\*\*近畿大学水産研究所浦神実験場 (Fisheries Laboratory of Kinki University, 468-3 Uragami, Wakayama 649-5145, Japan) .

### Study on swimming behavior of cultured Pacific bluefin tuna using biotelemetry

Susumu, Okano and Yasushi, Mitsunaga Wataru, Sakamoto Hidemi, Kumai

*Program in Fisheries Science, Graduate school of Agriculture, Kinki University*

*Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Kinki University,*

*Fisheries Laboratory of Kinki University*

#### Synopsis

Biotelemetry was used to examine swimming behavior of Pacific bluefin tuna in a net cage. We used an acceleration data-logger to record the fine-scale swimming behavior of Pacific bluefin tuna. An acceleration data-logger revealed three behavioral patterns of Pacific bluefin tuna that tail-beat frequency differed in a net cage, i.e., steady swimming, burst swimming and gliding. The tail-beat frequency of Pacific bluefin tuna in a net cage during steady swimming was ca. 1.8 Hz, while the tail-beat frequency during burst swimming was up to 8.0 Hz. Burst swimming speed and steady swimming speed estimated from tail-beat frequency were 5.2 and 1.1 BL/s, respectively. The Pacific bluefin tuna occasionally glided without tail-beats during descent, and swam with tail-beats to the surface of the water during ascent. It seems that Pacific bluefin tuna also glide to save energy during horizontal locomotion. We used acoustic telemetry to record the long-term swimming behavior of Pacific bluefin tuna. Pacific bluefin tuna showed the particularity of swimming behavior in a net cage while the typhoon was hitting.

#### 1. はじめに

クロマグロ *Thunnus orientalis* は魚類の中でも最高の遊泳能力を有すると考えられている<sup>1)</sup>。クロマグロは魚類中最も大型に成長し、高速遊泳魚であることから生簀内で養殖することが困難であると考えられてきたが、2002年に近畿大学では世界で初めてクロマグロの完全養殖に成功することができた<sup>2)</sup>。しかしながら、成魚に養殖するまでに生簀網への衝突や生簀内の急激な環境変化による死亡が多く確認され、成魚になるまでの生存率は未だに低い状態である<sup>2)</sup>。特に、台風等の天災

後に死亡が多く確認され、2004年に奄美大島を直撃した台風により、近畿大学水産研究所では大きな被害を被った。今後、安定したクロマグロ養殖事業を展開していくためにはクロマグロの死亡を防ぐ対策を考えることはもちろんであるが、環境変化に対する生簀内の行動やストレスを把握することが重要である。バイオテレメトリーは魚類の遊泳行動を取得する方法として非常に便利な手法である<sup>3-8)</sup>。本研究では、バイオテレメトリーによりクロマグロの遊泳行動を把握することを目的とした。

## 2. 材料および方法

バイオテレメトリー手法として、加速度ロガーおよび超音波テレメトリーを使用した。詳細な遊泳行動を測定するために加速度ロガー (M190-D2GT, Little Leonardo社) を使用し、実験は和歌山県串本町大島に位置する近畿大学水産研究所大島実験場の養殖生簀 (直径30m, 水深16m) で行った。加速度ロガーは遊泳水深を1秒毎, 2軸の加速度 (*swaying, surging*) を1/32秒毎に測定するように設定し、完全養殖クロマグロ1尾の腹腔内に外科的手術により挿入した (Table1)。加速度ロガーは運動加速度および重力加速度の両方を記録し、加速度記録の高周期成分は運動加速度, 低周期成分は重力加速度を表している。*Swaying*の高周期成分から尾鰭振動数を算出し、さらにWardleの式<sup>4)</sup>を用いて尾鰭振動数から遊泳速度を推定した。

$$V = 0.65 \times f \quad (1)$$

ここで,  $V$ は遊泳速度 (BL/s),  $f$ は尾鰭振動数を表している。

クロマグロの遊泳姿勢を把握するために、以下の式により*swaying*および*surging*の低周期成分から、それぞれroll angleおよびtilt angleを算出した。

$$\theta = \sin^{-1} a \times 180/\pi \quad (2)$$

ここで,  $\theta$ はbody angle (roll angleおよびtilt angle),  $a$ は加速度データの低周期成分 (*swaying*および*surging*) を表している。

長期間の遊泳行動を測定するために超音波テレメトリーを使用し、実験は鹿児島県奄美大島に位置する近畿大学水産研究所奄美実験場の養殖生簀 (直径35m, 水深23m) で行った。超音波発信機は遊泳水深を測定可能なV16P-4L (Vemco社) を使用し、養殖クロマグロ2尾の腹腔内に外科的手術により挿入した (Table1)。超音波の受信は設置型受信機VR-2 (Vemco社) を使用し、生簀の外枠に設置した。VR-2の受信範囲は直径約300mで、個体別の遊泳水深および受信時刻を記録する。

Fish no.	Fork length (cm)	Body weight (kg)	Tag type	Recording period (days)
Tuna1	94	15	M190-D2GT	2
Tuna2	84	10	V16P-4L	64
Tuna3	94	15	V16P-4L	64

Table1. Fork length, body weight and Recording period for three Pacific bluefin tuna.

## 2. 結果および考察

Tuna1は、定常に尾鰭を振動させる巡航遊泳と高速に尾鰭を振動させる突進遊泳を行った (Fig. 1)。巡航遊泳時における尾鰭振動数は1.8Hzであったのに対し、突進遊泳時における尾鰭振動数は8.0Hzであった (Fig. 1)。巡航遊泳時および突進遊泳時における推定遊泳速度は、それぞれ1.1BL/sおよび5.2BL/sであった (Fig. 1)。測定期間中, Tuna1は生簀内で常に鉛直的に遊泳する行動を示し、さらに、尾鰭を振動させずに潜行 (*glide*) し、再び尾鰭を振動させながら水面に向かう*glide and swimming*遊泳が確認された (Fig. 2)。ヒラメにおいても、潜行時に*glide*を行うことが報告されている<sup>5)</sup>。Weihs<sup>10)</sup>は数値計算による解析により、負の浮力を有する魚類は、*glide and swimming*遊泳を行うことにより、遊泳に使用するエネルギーを50%節約することができると報告した。クロマグロは生簀内で*glide and swimming*の遊泳を行うことにより、遊泳に使用するエネルギーを節約したことが示唆された。

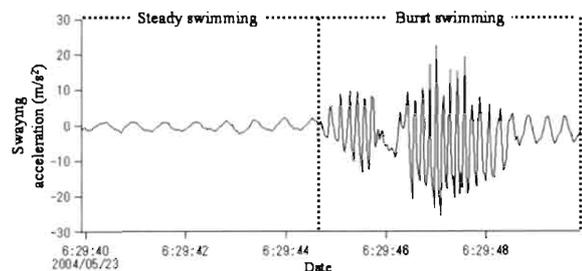


Fig. 1. Time sequence of swaying acceleration of tunal in a net cage during steady swimming and burst swimming.

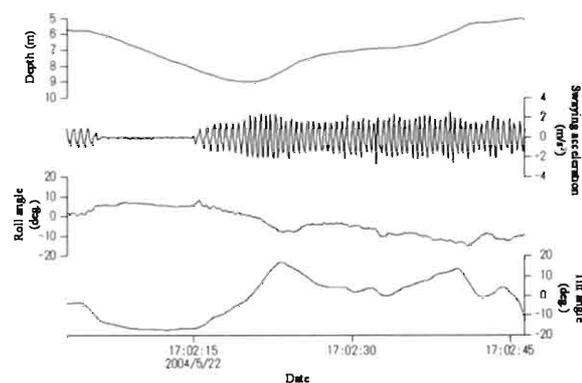


Fig. 2. Time sequence of depth, swaying and surging acceleration and roll and tilt angles of tunal in a net cage.

超音波発信機を装着したTuna2および3は測定期間中に鉛直的な遊泳行動を示したが、両個体と

も台風通過後に死亡し、台風通過時に遊泳水深分布が中層に集中する特異的な遊泳行動を示した (Fig. 3)。台風通過時に奄美大島では1時間に最大で20mmの大雨を記録した (Fig. 3)。奄美大島実験場付近で大雨による土砂崩れが発生したことが報告されており、実験生簀付近の海域に大量の土砂と雨水が流れ込んだと考えられる。また、以前の研究で台風通過時に発生する高流速により、生簀の底網が吹かれることが報告された<sup>11)</sup>。大量の土砂と雨水、底網の吹かれが原因で生簀内の Tuna2および3の遊泳水深分布が中層付近に集中し、死亡したと推測される (Fig. 3)。

バイオテレメトリーにより生簀内におけるクロマグロの様々な遊泳行動情報を把握することができた。本実験で明らかになったクロマグロの遊泳行動情報から、生簀設計や収容尾数の決定への研究に応用できると考えられる。

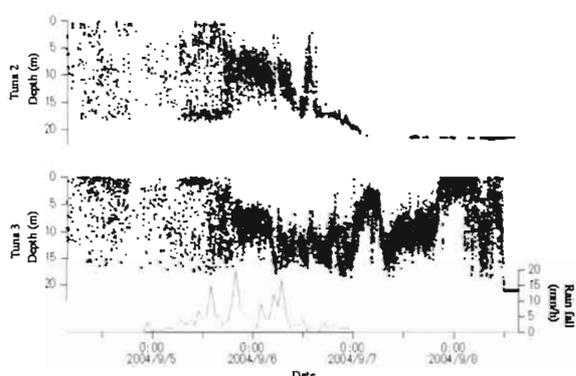


Fig. 3. Time sequence of rain fall and depth for tuna2, 3.

引用文献

- 1) 塚本 勝巳  
魚類生理学, 板沢靖男・羽生治編, 恒星社厚生閣, 539-584 (1991).
- 2) 澤田 好史  
平成16年度海洋理工学会秋季大会講演論文集, 37-44 (2004).
- 3) Block BA, Finnerty JR, Stewart AFR and Kidd J  
*Science*, 293, 1320-1314 (2001).
- 4) Kawabe R, Kawano T, Nakano N, Yamashita N, Hiraishi T and Naito Y  
*Fisheries science*, 69, 957-963 (2003).
- 5) Kawabe R, Nashimoto K, Hiraishi T, Naito Y and Sato K  
*Fisheries science*, 69, 959-965 (2003).
- 6) Kitagawa T, Nakata H, Kimura S, Itoh T, Tsuji S and Nitta A  
*Fish. Oceanogr*, 206, 251-260 (2000).
- 7) 光永 靖, 石井 健二, 迫間 直子, 山根 猛, 三田村 啓理, 荒井 修亮  
平成14年度日本水産工学会春期大会講演論文集, 205-206 (2002).
- 8) Mitamura H, Arai N, Sakamoto W, Mistunaga Y, Maruo T, Mukai Y, Nakamura K, Sasaki M and Yoneda Y  
*Fisheries science*, 68, 1189-1196 (2002).
- 9) Wardle CS, Videler JJ, Arimoto T, Franco JM and He P  
*J. Fish Biol*, 35, 129-137 (1989).
- 10) Weihs D  
*J.Mar. Res*, 31, 194-209 (1973).
- 11) 高木 力, 清水 孝士, Holger Korte, 向井 良夫, 八木 洋樹, 阿部 康二, 鉛 進  
平成17年度日本水産学会春季大会講演要旨集, P7 (2005).

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご理解とご協力を頂いた近畿大学水産研究所大島実験場および奄美実験場の皆様に深謝いたします。

## 要約

生簀内における養殖クロマグロの遊泳行動を把握するためにバイオテレメトリーにより調査した。巡航遊泳時における尾鰭の振動数は $1.8\text{Hz}$ であったのに対し、突進遊泳時における尾鰭の振動数は $8.0\text{Hz}$ であった。巡航遊泳時および突進遊泳時における推定遊泳速度は、それぞれ $1.1$ および $5.2\text{BL/s}$ であった。クロマグロは尾鰭を振動させずに潜行 (*glide*) し、再び尾鰭を振動させながら水面に向かう *glide and swimming* 遊泳を示した。クロマグロは台風通過時に遊泳水深分布が中層に集中する特異的な遊泳行動を示した。大量の土砂と雨水、底網の吹かれが原因で遊泳水深の分布が中層付近に集中し、死亡したと推測される。