

## 天然海域放流後の養殖クロマグロ若齢魚の遊泳行動

遠藤 周之\*・光永 靖\*\*・向井 良夫\*\*\*・坂本 亘\*\*\*\*

\*近畿大学農学研究科水産学専攻 〒631-8505 奈良県奈良市中町 3327-204

\*\*近畿大学農学部水産学科 〒631-8505 奈良県奈良市中町 3327-204

\*\*\*近畿大学水産研究所奄美実験場 〒649-2621 和歌山県西牟婁郡白浜町 3153

\*\*\*\*近畿大学水産研究所白浜実験場 〒894-1853 鹿児島県大島郡瀬戸内町花天 195

## Swimming behavior of cultivated juvenile pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) after release from a net cage to the ocean

Chikayuki ENDO\*, Yasushi MITSUNAGA\*\*, Yoshio MUKAI\*\*\*,  
Wataru SAKAMOTO\*\*\*\*

\* Program in Fisheries Science, Graduate school of Agriculture, Kinki University  
3327-204 Naka-machi NARA 631-8505, Japan.

\*\* Department of Fisheries, school of Agriculture, Kinki University, 327-204 Naka-machi NARA 631-8505, Japan

\*\*\* Fisheries Laboratory of Kinki University, Shirahama, Wakayama 649-2211, Japan

\*\*\*\* Fisheries Laboratory of Kinki University, Keten, Setouchi, Oshima, Kagoshima 894-1853, Japan

### Synopsis

We measured the horizontal and vertical movements of four cultivated juvenile Pacific bluefin tuna after release from a net cage to the ocean. Fish movements were recorded by an ultrasonic telemetry system in Keten bay Amami Island. Using this system, we can monitor simultaneously several tagged individuals. Tagged tuna returned to near the net cage inside Keten bay in the same time. All tagged tuna moved the same direction in Keten bay. The mean swimming speed of tuna was calculated 1.0 FL / sec, and they showed vertical movement during tracking by the boat. Cultivated juvenile bluefin tuna spent about ninety percents of their time in the shallower than twenty-three meters depth which was depth of the net cage. Influence of cultivating in a net cage appeared just after release, but it was not recognized in the next day after release.

### 1. 緒 言

近年クロマグロ (*Thunnus orientalis*) の資源量減少が危惧されているが、具体的な資源管理は施行されていないのが現状である<sup>1)</sup>。経済的価値が高い本種の天然海域での遊泳行動<sup>2,5)</sup> 及び増養殖に関する研究<sup>6,7)</sup> は長年行われており、2002年には近畿大学水産研究所がクロマグロの完全養殖に国内外で初めて成功した。それにより安定的なクロマグロの供給が期待されるが、天然海域における資源量回復へと繋げるためには種苗放流の可能性を探る必要がある。海上に設置された生簀内

の養殖クロマグロは、天然海域とは異なり狭い空間で遊泳しているため、放流後の遊泳行動に関する知見を得ることは、その後の生残を見極める上で重要である。これまでに魚類では天然個体と種苗個体の行動の違いに関する研究がいくつか行われており<sup>8-10)</sup>、アカアマダイは天然・種苗個体間において日周行動に差があると報告されている<sup>9)</sup>。また、シマアジを生簀から放流した後の行動を観察した研究例はあるが間欠的なものに止まっている<sup>11)</sup>。マグロ類において生簀から放流された後の遊泳行動に関する知見は無い。本研究ではクロマグロの遊泳行動をモニタリング可能な

超音波テレメトリー手法を用いて、飼育生簀から天然海域へ放流された後の遊泳行動の把握を目的とした。

## 2. 材料及び方法

実験は近畿大学水産研究所奄美実験場周辺海域である奄美大島花天湾で行った。供試魚には完全養殖により生産されたクロマグロではなく、実海域で漁獲され海上に設置されている直径 30m、深さ 23m の養殖生簀内で約 80 日間飼育（活け込み）されたクロマグロ若齢魚 24 個体を用いた。これらの個体の尾叉長（FL）は 40-52cm であった。養殖生簀から釣り上げられたクロマグロを手術台に載せ、4 個体（BT 1-4）に個体識別番号と遊泳水深情報を取得することが可能な超音波発信機 V9P-2H（Vemco 社製）を外科手術により腹腔内に挿入し、ダート型タグを背部に装着した後に生簀外へ放流した（Table 1）。また 20 個体にはダート型タグのみを背部に装着した後に、BT 4 と共に生簀外へ放流した。

Table 1 供試魚の尾叉長、放流日時

Fish No.	尾叉長(cm)	放流日時
BT 1	50	2005. 11. 2. 10:14
BT 2	45	2005. 11. 2. 10:14
BT 3	53	2005. 11. 2. 10:14
BT 4	44	2005. 11. 3. 10:40

### 小型船舶による追跡

超音波発信機の信号を受信する Track 28 システム（Vemco 社製）及び GPS を搭載した小型船舶を用いて BT 1 の追跡を試みた。超音波発信機には水深センサーが搭載されており、追跡中の供試魚の遊泳水深情報を取得することが可能である。

### 設置型受信機によるモニタリング

2005 年 11 月 1 日から 1 ヶ月間、設置型受信機 VR2（Vemco 社製）を湾内の 4 箇所に設置し、各々を Station (St.) 1-4 とした（Fig. 1）。受信範囲は半径約 200m で、受信範囲内を BT 2、3、4 が遊泳すると各々の識別番号、受信時刻及び遊泳水深が VR2 内に記録される。従って超音波発信機が腹腔内に挿入された供試魚の受信位置の推移

を確認することで大まかな水平移動軌跡を取得することができる。また供試魚が花天湾を出入りした際には St. 1、2、3 のいずれかに受信が確認される様に設置した。

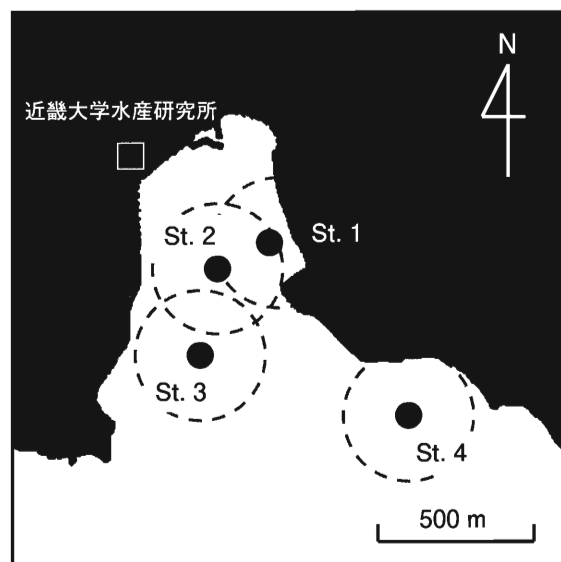


Fig. 1 設置型受信機 VR2 の設置位置  
●が受信機の位置、周りの円は受信範囲を表す

## 3. 結果

### 小型船舶による追跡

放流直後から約 6 時間にわたる船舶追跡に成功した（Fig. 2）。追跡開始直後、BT 1 は東の岸沿いに遊泳し、11 時に西側へ方向を変え沖に移動した。11 時から 12 時の間には追跡期間中、最も沖で遊泳した。13 時から 14 時には 1 時間かけて対岸へ遊泳し、給餌時間である 15 時には飼育されていた養殖生簀近傍へ再来した。翌日に周辺海域を探索した結果、放流地点から西方へ約 4km 離れた地点で受信が確認された。しかし受信直後に見失ったため、再度追跡に移行することは不可能であった。この時の船速は約 10 ノットであった。

追跡中 BT 1 は常に鉛直的に遊泳することが確認された（Fig. 3）。平均遊泳水深は 10.2m で、最大遊泳水深は 47.7m であったが、水深 40m ± 10m の層には約 180 秒間しか滞在せず、それ以外は水深 30m 以浅における遊泳しか行わなかった。GPS により得られた小型船舶の移動軌跡と BT 1 の遊泳水深から、遊泳速度の推定を試みた

(Fig. 4)。1秒間に尾叉長の何倍移動するかを示す尾叉長倍速度は平均で約 1.0 FL / sec、最大で約 3.0 FL / sec であった。

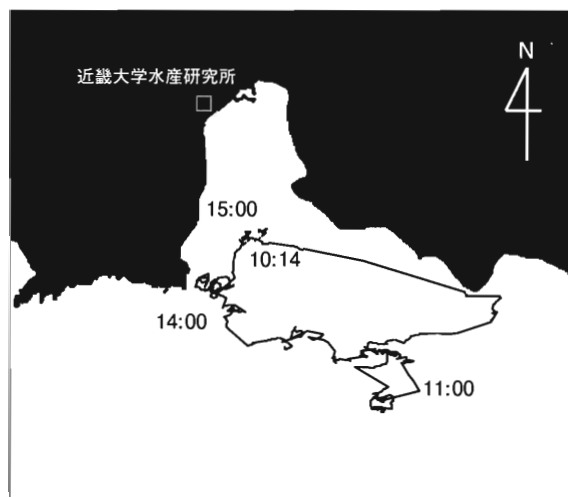


Fig. 2 船舶追跡による BT 1 の水平移動軌跡

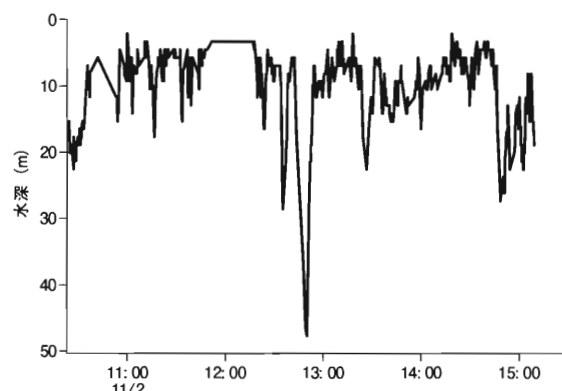


Fig. 3 船舶追跡中の BT 1 の鉛直分布

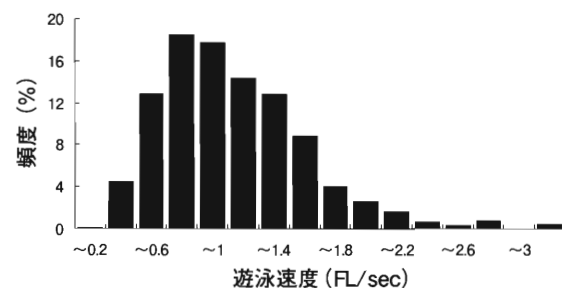


Fig. 4 船舶追跡によって得られた結果から求めたBT 1の遊泳速度

## 設置型受信機によるモニタリング

BT 2 の受信位置の推移を Fig. 5a に示した。放流直後の 10 時 24 分から 41 分の間に St. 3、St. 1、St. 4 の順に受信が得られた。その後約 4 時間全ての受信機に反応が無かったが、15 時 2 分に St.

3に再来し、その後 St. 2、St. 1、St. 4の順に受信が確認された。16時27分の受信を最後に受信が途絶えた。

BT 3は放流後にSt. 3からSt. 4へと受信位置が変化した(Fig. 5b)。12時52分から13時32分にかけて花天湾に再来した。そして15時9分にはSt. 3での受信が確認された。その後は、BT 2と同様のSt. 2、St. 1、St. 4という受信位置の推移が確認された。

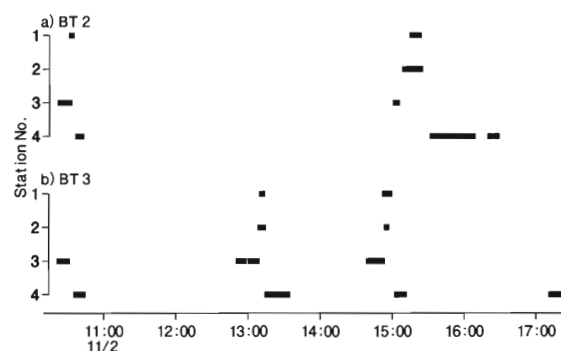


Fig. 5 設置型受信機によって得られたBT 2及びBT 3の受信推移

BT 4 はタート型タグのみを装着されたクロマ  
グロ個体群 20 尾と共に 11 月 3 日 10 時 40 分  
に放流された。BT 1-3 とは異なり 15 時の St. 3 へ  
の再来は確認されなかったが、BT 1 と同様の St.  
3、St.2、St.1、St. 4 という受信位置の推移が確認  
された (Fig. 6)。

BT 1-4 の遊泳水深情報から頻度分布図を作成した (Fig. 7)。水深 23m 以浅の遊泳水深が約 90% を占めた。

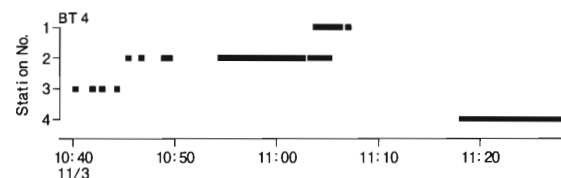


Fig. 6 設置型受信機によって得られたBT 4の受信推移

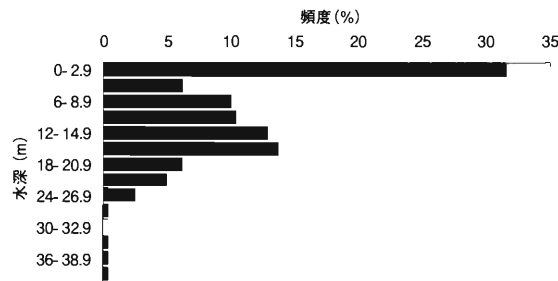


Fig. 7 BT 1-4 から得られた遊泳水深から算出した各遊泳層におけるヒストグラム

#### 4. 考 察

本研究結果より生簀外へ放流したクロマグロは花天湾内において岸に沿って西から東に遊泳することが明らかになった。その中でも BT 1-3 は給餌時間に養殖生簀近傍の St. 3 に再来する結果が得られた。魚類の学習能力等に関しては未解明の部分が多いが、本研究で用いたクロマグロが生簀の位置及び給餌時間を記憶していた可能性が示唆されたことは非常に興味深い。メバルは地磁気感覚を有しており<sup>12)</sup>、帰巣及び固執行動を示すことが超音波テレメトリーを用いた研究で確認されている<sup>13, 14)</sup>。マグロ類ではキハダが地磁気感覚を有していることが証明されており<sup>15)</sup>、FADs (Fish Aggregating Devices) への蟄集行動が確認されている<sup>16, 19)</sup>。ハワイ周辺海域に生息するキハダは2つのFADsへの9ヶ月間に及ぶ断続的な来遊及び移出を繰り返したことから、回遊にFADsを利用していると考えられる<sup>17)</sup>。

BT 1 の平均遊泳速度は約 1.0 FL/sec であった (Fig. 4)。クロマグロを含むサバ科魚類の巡航遊泳速度を体長 (BL) によって基準化した値は 2-3 BL/sec であると報告されているが<sup>20)</sup>、岡野 (2006) は生簀内で飼育されていた体長 94cm の養殖クロマグロの巡航遊泳速度は 1.1 BL/sec であると報告した<sup>21)</sup>。クロマグロの体長と尾叉長には大きな差は無いので、この値は本研究の結果とほぼ一致する。

放流日以降の花天湾への再来が確認されなかったため、放流後数時間で花天湾から離れ、別の海域へ移動したと思われる。翌日に 4 km 離れた地点で発見した際は小型船舶で追いつくことができず、すぐに見失ってしまった。船速が約 10 ノットであったことから、BT 1 は少なくとも約 5 FL/sec という前日より速い速度で遊泳して

いたものと考えられる。

水平移動と同じく、鉛直移動にも生簀飼育による影響と思われる結果が得られた。全ての個体において飼育されていた生簀の水深 (23m) より浅い分布が多く、水面付近での遊泳もしばしば確認されている (Fig. 9)。

これらの結果より、養殖クロマグロは生簀内での遊泳様式を放流後しばらくは維持するが、数時間後にはその影響は失われると考えられる。今後の課題として、放流場所や、サイズの決定に加え、放流後の摂餌の有無、より広いエリアでの遊泳行動を把握する必要がある。これらのデータ取得方法には、アーカイバルタグを用いた調査が望ましい。上記の機器を用いることで、摂餌の有無<sup>5)</sup>を含めた長期的な遊泳行動を確認することが可能となり、養殖クロマグロの自然回帰に関して多くの情報を得ることができよう。

最後に完全養殖により生産されたクロマグロを放流する際には、遺伝的多様性を崩すことが無いように留意する必要があることを忘れてはならない。

#### 5. 要 約

本研究ではクロマグロを生簀から天然海域へと放流した後の遊泳行動を把握することを目的とした。超音波テレメトリー手法を用いた小型船舶による追跡及び、設置型受信機を用いた遊泳行動のモニタリングを試みた。実験は奄美大島花天湾で行い、飼育生簀近傍にてクロマグロ若齢魚を放流した。その結果、給餌時刻に湾内へと再来すること、湾内を岸に沿って東から西に移動して湾外に移出することが明らかになった。また、生簀から放流されたクロマグロは平均約 1.0 FL/sec の速度で遊泳した。その間絶えず鉛直的な移動を行ったが、飼育されていた生簀の深度以深の遊泳をほとんど行わなかった。このように養殖クロマグロは生簀内での遊泳様式を放流後しばらくは維持するが、数時間後にはその影響は失われ、花天湾から別の海域へと移動したと思われる。

#### 6. 謝 辞

本研究を行うにあたり、近畿大学農学部水産学科漁業生産システム研究室の山根 猛教授、高

木 力助教授、鳥澤真介 COE 博士研究員、鈴木勝也 COE 博士研究員には終始有益な御指導を頂き、謹んで感謝の意を表します。近畿大学水産研究所奄美実験場のスタッフの皆様には惜しめない協力を頂きました。心より御礼申し上げます。実験を遂行するにあたって、小型船舶を提供して頂いた瀬戸内町漁業組合の皆様には厚く御礼申し上げます。受信機設置に関して田崎真珠株式会社には設置場所を提供して頂き深謝します。また近畿大学水産研究所白浜実験場の高志利宣 COE 博士研究員には設置型受信機の回収等の協力をして頂き深謝します。供試魚に対する手術等多くの御協力を頂いた、近畿大学大学院農学研究科水産学専攻漁業生産システム研究室の岡野 奨氏、畑山 純氏、近畿大学大学院農学研究科水産学専攻増殖学研究室の久保敏彦氏、河野博俊氏に深謝します。近畿大学農学部水産学科漁業生産システム研究室の大学院生の皆様、18 年度専攻生の松永京子氏をはじめとする皆様には私を切磋琢磨してくれました。有難うございます。

本研究は 21 世紀 COE プログラム「クロマグロ等の魚類養殖産業支援型研究拠点」の研究の一部によったことを付記するとともに、本プログラム遂行にあたり御協力頂いた関係者各位に深謝致します。

## 7. 参考文献

- 1) 高橋未緒、山田陽巳：平成 17 年度国際漁業資源の現状、クロマグロ 太平洋、遠洋水産研究所 (2005)
- 2) T. Kitagawa, H. Nakata, S. Kimura, T. Itoh, S. Tsuji, A. Nitta: Effect of ambient temperature on the vertical distribution and movement of Pacific bluefin tuna *Thunnus thynnus orientalis*., Mar. Ecol. Prog. Ser., 206:251-260 (2000)
- 3) D. J. Marcinek, S. B. Blackwell, H. Dewar, E.V. Freund, C. Farwell, D. Dan, A.C. Seitz, B. A. Block: Depth and muscle temperature of Pacific bluefin tuna examined with acoustic and pop-up satellite archival tag., Mar. Biol., 138: 869-885 (2001)
- 4) R.W. Brill, M. Lutcavage, G. Metzger, P. Bushnell, J.A.M. Lucy, C. Watson, D. Foley: Horizontal and vertical movements of juvenile bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) , in relation to oceanographic conditions of the western North Atlantic, determined with ultrasonic telemetry. Fish. Bull., 100:155-167 (2002)
- 5) T. Kitagawa, S. Kimura, H. Nakata, H. Yamada: Diving behavior of immature, feeding Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*) in relation to season and area: the East China Sea and the Kuroshio-Oyashio transition region., Fish. Oceanogr., 13:3 161-180 (2004)
- 6) 福田漠生、鳥澤真介、石橋泰典、倉田道雄、澤田好史、鈴木勝也、高木 力：クロマグロ (*Thunnus orientalis*) 幼魚の魚群行動に与える照度の影響、本誌、39: 89-93 (2006)
- 7) 澤田好史：クロマグロの完全養殖、平成 16 年度海洋理工学会誌秋季大会講演論文集、37-44 (2004)
- 8) 横田高士、三田村啓理、荒井修亮、光永 靖、竹内宏行、津崎龍雄：超音波テレメトリーを用いた魚類の行動追跡手法 - 若狭湾および舞鶴湾におけるアカアマダイの研究例 -、海洋理工学会誌、10: 29-40 (2004)
- 9) 横田高士、三田村啓理、荒井修亮、益田玲爾、光永 靖、竹内宏行、津崎龍雄：バイオテレメトリーによる水圏生物情報取得の取得と応用 7 ～環境変化に対するアカアマダイの行動特性～、日本水産学会講演要旨集、pp. 78 (2004)
- 10) H. Mitamura, N. Arai, Y. Mitsunaga, T. Yokota, H. Takeuchi, T. Tsuzaki, M. Itani: Directed movements and diel burrow fidelity patterns of red tilefish *Branchiostegus japonicus* determined using ultrasonic telemetry., Fish. Sci., 71: 491-498 (2005)
- 11) 鈴木直樹、崎山一孝、大野 淳：餌付け放流したシマアジの放流直後の分散、日本水産学会講演要旨集、pp. 28 (2004)
- 12) 西 隆弘、川村軍蔵：メバルの磁気感覚、日水誌、72: 27-33 (2006)
- 13) 三田村啓理、荒井修亮、光永 靖、坂上雄康、坂本 亘：関西空港ポートターミナルにおける魚類の行動測定 2 地磁気がメバルの固執行

- 動に及ぼす影響、日本水産学会講演要旨集、pp. 70 (2003)
- 14) 三田村啓理、光永 靖、岡野 奨、中村憲司、坂上雄康、荒井修亮、坂本 亘：バイオテレメトリーによる水圏生物情報取得の取得と応用 6 ～地磁気がメバルの回帰・固執行動に及ぼす影響～、日本水産学会講演要旨集、pp. 78 (2004)
- 15) M.M. Walker: Learned magnetic field discrimination in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) ., J. Comp. Physiol. A., 155: 673-679 (1984)
- 16) P. Cayré: Behaviour of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) around fish aggregating devices (FADs) in the Comoros Island as determined by ultrasonic tagging., Aquat. Living. Resour., 4:1-12 (1991)
- 17) A. P. Kimley, C. F. Holloway: School fidelity and homing synchronicity of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*., Mar. Biol., 133: 307-317 (1999)
- 18) I. Ohta, S. Kakuma: Periodic behavior and residence time of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices around Okinawa Island, as identified with automated listening stations., Mar. Biol., 146: 581-594 (2005)
- 19) 遠藤周之、岡野 奨、光永 靖、安樂和彦、R. Babaran: マグロ類の行動・生理に関する研究－8 フィリピンパナイ島沖パヤオ周辺における小型キハダの行動解析、日本水産学会大会講演要旨集、pp. 32 (2006)
- 20) 塚本勝巳：遊泳生理、魚類生理学、板沢 靖男・羽生 治編、恒星社厚生閣、pp. 539-589 (1991)
- 21) 岡野 奨、光永 靖、坂本 亘、熊井英水：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、本誌、39:79-82 (2006)