

技術報告

# 飼育実験によるブリ成魚へのポップアップアーカイバル タグの装着方法の検討

阪地英男\*<sup>1</sup>・新田 朗\*<sup>2</sup>・浜田和久\*<sup>3</sup>・岸田 達\*<sup>4</sup>・山本敏博\*<sup>3</sup>

## Use of a Pop-up Archival Transmitting Tag Attachment in Adult Yellowtail *Seriola quinqueradiata* under Rearing Conditions

Hideo SAKAJI, Akira NITTA, Kazuhisa HAMADA, Tatsu KISHIDA  
and Toshihiro YAMAMOTO

Satellite Pop-up Archival Transmitting (PAT) tags are used to study the behavior of relatively large fish, such as tuna and marlin. To determine the applicability of PAT to smaller fish, we attached PAT replica tags (Microwave Telemetry Co.) to adult yellowtail *Seriola quinqueradiata* (fork length 72-83 cm; body-weight 9.3-13.3 kg). We then reared the fish in a cube-shaped net cage (each edge 5 m) placed in the sea. Three types of anchor were used to attach the PAT to the fish. A Hallprint anchor, which we considered to be the best for the fishes' health because of its small size, fell off 20 days after the start of the experiment. Wildlife Computers and Floy Tag anchors did not fall off during the rearing period, but the stainless-steel line connecting the PAT to each of the latter two anchors became detached after 135, 143, and 169 days. All the fishes to which the PAT had been attached lived for the duration of the experiment, although one individual had serious abrasions from the PAT. These results indicate that this type of PAT can be applied to adult yellowtail for studies of behavior and migration.

2011年4月27日受付, 2011年9月7日受理

ブリ *Seriola quinqueradiata* は定置網漁業における重要な漁獲物であることから, その回遊経路を把握するために樹脂製等の外部標識を用いた放流調査が盛んに行われてきた。このような標識で得られるデータは放流と再捕の位置とその間の経過時間およびその間の成長であり, 大量の放流個体数と多数の調査頻度によってブリの回遊様式の概要が推定されてきた<sup>1,4)</sup>。近年のブリの標識放流調査では, 照度・水深・水温データが内部メモリーに蓄積されるアーカイバルタグが用いられ, 得られたデー

タの解析によって放流から再捕までのブリの回遊経路や深淺移動が個体レベルで詳細に明らかにされつつある<sup>5,6)</sup>。

標識放流調査において, ブリは比較的再捕率の高い魚種である<sup>1,6)</sup>。前述の知見は, この高い再捕率によって得られたものである。しかし, ブリでも海域によっては再捕率が低い場合があることから<sup>6)</sup>, これらの海域では標識個体の再捕を必要としない確実なデータ取得が望まれる。

\*<sup>1</sup> 独立行政法人水産総合研究センター 中央水産研究所  
〒236-8648 神奈川県横浜市金沢区福浦 2-12-4

National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, 2-12-4 Fukuura, Kanazawa, Yokohama 236-8648, Japan  
hidekun@fra.affrc.go.jp

\*<sup>2</sup> 日本エヌ・ユー・エス株式会社

\*<sup>3</sup> 独立行政法人水産総合研究センター 増養殖研究所古満目庁舎

\*<sup>4</sup> 独立行政法人水産総合研究センター 本部

ポップアップアーカイバルタグ (Pop-up Archival Transmitting tag, PAT) は、1997年にアメリカ合衆国で開発されたアルゴシステムを利用した水生動物の回遊経路推定のための装置である<sup>7)</sup>。PATは、生物に装着されて測定時間ごとの水温・水深・照度を内部メモリーに記録し、あらかじめ設定した期間が経過した後に生物から切り離されて海面に浮上し、アルゴシステムを利用して内部に蓄積したデータを発信する。つまり、PATを用いれば、標識魚を再捕することなくデータを取得することができる。PATは、マグロ類やカジキ類等大型魚の回遊や行動の研究に使われているが<sup>8,9),\*1,\*2</sup>、飼育実験によりPATの装着が魚体に与える影響を確認した例はなく、ブリではまだその使用例も報告されていない。

本研究では、野外におけるブリ成魚へのPAT装着の有効期間および魚体への影響を調べるため、3種類のアンカーを用いてPATレプリカを装着し、海面での飼育により適切なPAT装着方法を検討した。

## 材料と方法

**実験の概要** 2006年1月31日、水産総合研究センター五島栽培漁業センター（現水産総合研究センター西海区水産研究所五島庁舎）においてPAT装着実験を行った。実験魚には、養殖業者によってモジャコ（春期に養殖用種苗として天然海域で採集された稚魚）から2年7ヶ月、五島栽培漁業センターにおいて2年1カ月間飼育した尾叉長72～83cm、体重9.3～13.3kgのブリ12個体を使用した。このうちの6個体について、Microwave Telemetry社（アメリカ合衆国）製のPATレプリカを3種類のアンカーおよび1種類の揺れ止め用アンカーを用いて装着した（PAT装着群）。他の6個体について、アンカー打ち込みがブリに与える影響を検討するために、

PATを連結せずにアンカーとワイヤーのみを装着した（PAT非装着群）。

装着作業終了後、PAT装着群6個体と非装着群6個体に分けて、海上小割り生け簀（5×5×5m）2面に飼育した。1週間に3回の給餌を行い、実験個体の状態とPATおよびアンカーの脱落の有無を毎日観察した。PATが脱落した時点で個体を回収し、PAT脱落の原因、体表の擦れ、アンカーの脱落およびアンカー周辺部筋肉の状態を観察した。すべての個体のPATが脱落した時点で飼育を中止し、PAT非装着群も回収して同様の観察を行った。

**PATとその装着のためのアンカー** PAT本体の長さおよび直径は111mmおよび21mm、フロート部分の長さおよび最大直径は56mmおよび41mm、アンテナ長は170mm、重量は約70gであり、外形・重量とも実物のタグと同じであった（図1）。魚体に打ち込むアンカーには、Wildlife Computers社（アメリカ合衆国）製（WC）、Floy Tag社（アメリカ合衆国）製（FT）、およびHallPrint社（オーストラリア連邦）製（HP）の3種類を用いた（図2）。WCアンカーはチタン製であり、長さ63mm、幅20.5mm、厚さ0.85mm、重量2.8gであった。FTアンカーはナイロン製であり、長さ31.5mm、翼部を除く幅10.5mm、厚さ10.5mm、重量1.8gであった。HPアンカーは通常の標識として使用されるダートタグのアンカー部を流用したものであり、直径2.5mm、鉤部の長さ18.5mm、重量0.4gであった。実験個体数は、PAT装着群と非装着群のそれぞれにおいて、WCアンカー2個体、FTアンカー2個体、HPアンカー2個体とした（表1）。

**PATの装着方法** WCおよびFTアンカーの魚体への打

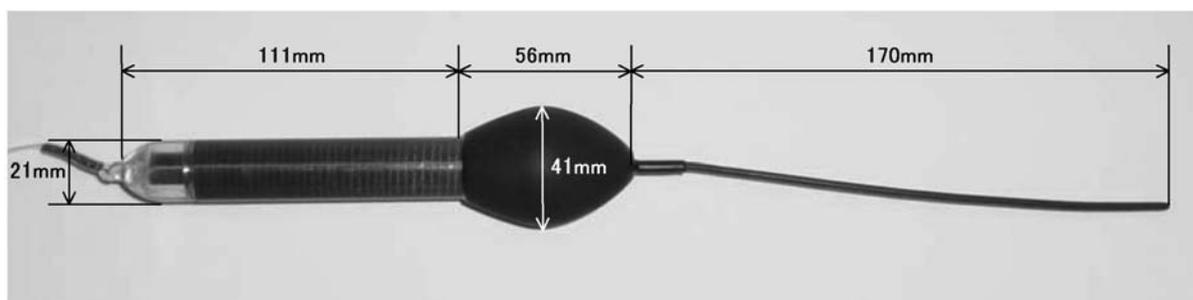


図1. 使用したポップアップアーカイバルタグ (PAT) レプリカ

\*1 SNODGRASS, D. (2005) Blue marine movement in the vicinity of a documented spawning area. Abstract of International Billfish Symposium. Oct.31 - Nov.3, 2005. Avalon, Santa Catalina Island, California.

\*2 DEWARE, H., B. BLOCK, R. BRILL, M. LAURS, J. LUO, M. MUSYL, E. PRINCE, J. SERAFY, and D. SNODGRASS (2005) Behaviors and habitats of swordfish in the Atlantic and Pacific Oceans. Abstract of International Billfish Symposium, Oct.31 - Nov.3, 2005. Avalon, Santa Catalina Island, California.

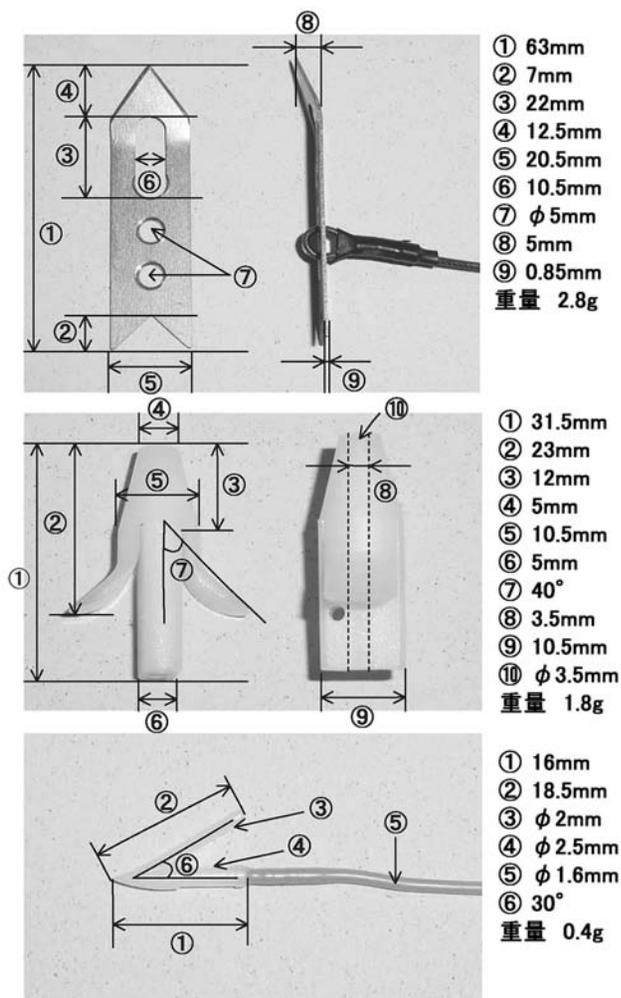


図2. 使用したアンカーの仕様  
 上段はWC (Wildlife Computers 社製) アンカー, 中段はFT (Froy Tag 社製) アンカー, 下段はHP (HallPrint 社製) アンカー

ち込みには、それぞれ専用の装着器を使用した。HP アンカーではPATの連結のために専用の装着器を使用できなかったことから、WC アンカー用装着器を流用した(図3)。

アンカーとタグ本体を繋ぐ曳航索として、WC および FT アンカーでは長さ 80mm および直径 1.4mm のナイロンコーティングステンレスワイヤー (アンカー側) とナイロンテグス 100 号 (PAT 側) を、HP アンカーではナイロンテグスのみを用いた (図4)。アンカー・ワイヤー・ナイロンテグスの連結にはステンレス製の留具を用い、留具が魚体を傷つけないよう熱収縮チューブで留具を覆った。

遊泳時の PAT の横揺れによる魚体の損傷やアンカーの脱落を防止するため、アメリカ合衆国でクロマグロの PAT 調査に使用されたナイロンテグス 18 号と FT アンカーと同じ形状でより小型のアンカー (長さ 16mm) による揺れ止めを装着した (図5)。同様に PAT 非装着個体にも揺れ止め用アンカーを装着した。

魚体に PAT を以下のように装着した。小割り生け簀より魚体をタモ網ですくいあげ、あらかじめ魚体に装着してあったピットタグによって個体を識別し、尾叉長と体重を測定後、いったん小割り生け簀に戻した。再度魚体をすくい上げ、ピットタグによる個体識別を行い、海水を入れたビニール袋に収容して発泡スチロール箱で固定した。ブリを沈静化させるために頭部を布で遮光しながら、魚体の左背側を斜め上にして頭部と尾部を固定し、魚体左側の体表から 5~6cm の深さにアンカーを打ち込んだ。アンカー打ち込み部は、筋肉が最も厚く、HP アンカーを担鰭骨にかけることのできる第1背鰭基部やや前方下部とした。さらに、魚体左側の第2背鰭基部先端下部に揺れ止め用アンカーを垂直に打ち込んだ(図6)。

表1. 供試個体毎のPAT脱落までの日数、アンカーと揺れ止め用アンカーの脱落の有無、試験終了時のアンカー挿入部の周辺筋肉および体表の擦れの状態

No.	PAT	アンカータイプ	PAT脱落までの日数	アンカー		揺れ止め用アンカー		PATによる擦れ
				脱落・残存	周辺筋肉	脱落・残存	周辺筋肉	
1	装着	WC	143 (死亡)	残存	褐変	残存	健全	激しい**
2			残存	褐変	残存	健全	無し	
3		FT	135	残存	褐変	残存	健全	無し
4			残存	健全	脱落	健全	無し	
5	非装着	HP	20	脱落	変色*	残存(移動)	変色*	軽度***
6			脱落	変色*	残存(移動)	変色*	軽度***	
7		WC	-	残存	褐変	残存	健全	-
8			-	残存	褐変	残存	健全	-
9	非装着	FT	-	残存	健全	残存	変色*	-
10			-	残存	褐変	脱落	健全	-
11		HP	-	残存	変色*	残存	褐変	-
12			-	残存	健全	残存	健全	-

\*「変色」は赤みを帯びる程度の変色

\*\*「激しい」は筋肉が露出した状態

\*\*\*「軽度」は鱗が傷ついた状態

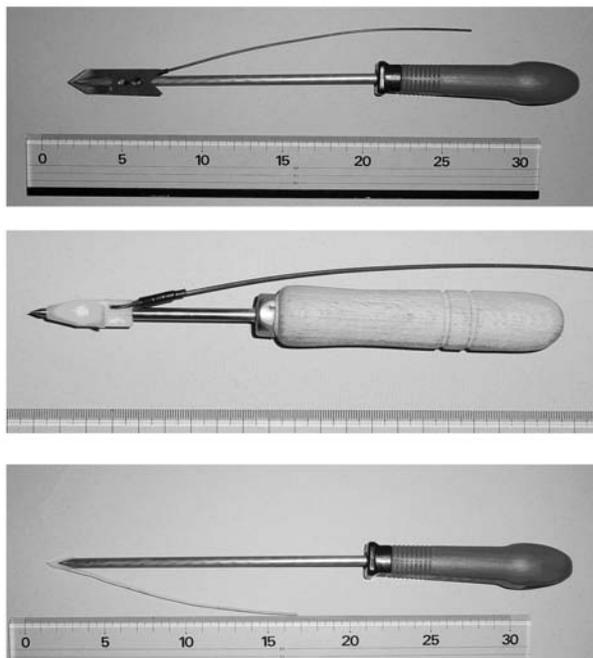


図3. 使用したアンカー装着用アプリケーター  
上段はWCアンカー用、中段はFTアンカー用、下段はHPアンカー用（チタン製アンカー用を流用）

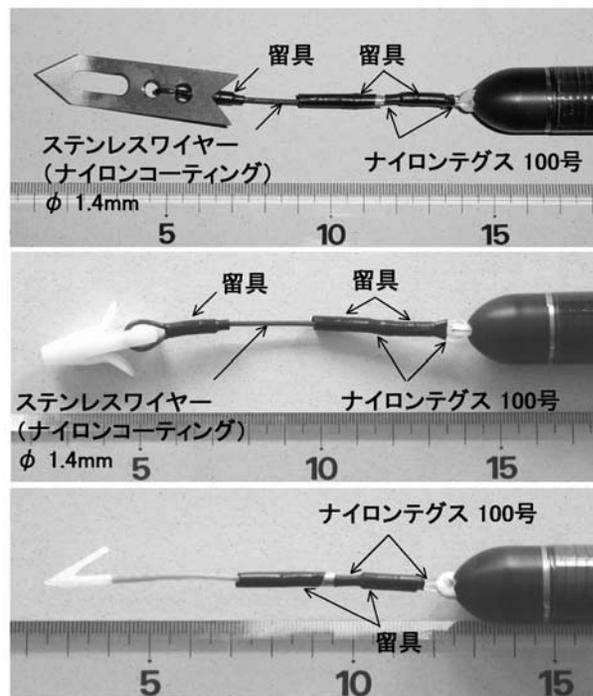


図4. アンカー、曳航索（ステンレスワイヤーおよびナイロンテグス）、PATの連結の仕様  
上段はWCアンカー、中段はFTアンカー、下段はHPアンカー留め具とナイロンテグスは熱収縮チューブに覆われた状態

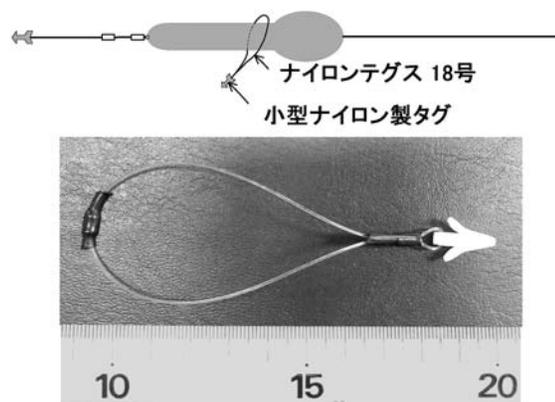


図5. 揺れ止めの形状

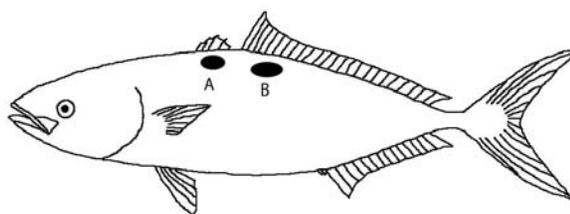


図6. 魚体へのPATの装着位置  
AはPAT装着用アンカー、Bは揺れ止め用アンカー

## 結果

**PATの装着から脱落までの経過** タモ網によるすくい上げから尾叉長と体重の測定を行って小割り生け簀に戻すまで、1個体あたり1分を要した。再度のすくい上げからPATを装着して小割り生け簀に戻すまで、1個体あたり1～2分を要した。作業中にブリが暴れることは少なく、アンカー打ち込みの失敗によって実験魚を取り替えることはなかった。

PAT装着直後に給餌したところ、多くの個体が摂餌した。また、生け簀の上から観察した限りでは、PAT本体は揺れることなく体側上部あるいは若干浮いて体側から離れた状態で曳航され、PAT装着による異常な遊泳行動は認められなかった。

PATの脱落（または死亡）までの日数は（表1）、HPアンカー（No. 5, 6）では2個体とも20日、FTアンカー（No. 3, 4）では2個体とも135日、WCアンカー（No. 1, 2）では143日（死亡）および169日であった。PATの脱落の原因は、HPアンカーではアンカーの脱落であったのに対し、WCおよびFTアンカーでは曳航索ワイヤー部の切断であった。PAT非装着群では、実験終了までアンカーの脱落はなかった。

揺れ止め用アンカーは、PAT装着群と非装着群の各1個体において脱落していた（No.4, 10）。どちらも脱落の時期は不明である。また、PAT装着群の2個体（No.5, 6）において、揺れ止め用アンカーは脱落しなかったも

の、体表近くまで移動していた。

多くの個体で実験開始時から尾叉長の伸長がみられた(表2)。PAT 装着群では、20 日間で飼育を終了した2 個体を除くすべての個体において(No. 1, 2, 3, 4) 尾叉長が伸長していた。PAT 非装着群では、FT および HP アンカーの各1 個体を除く4 個体において(No. 7, 8, 9, 11) 尾叉長が伸張していた。一方、短い期間で PAT が脱落した2 個体(No. 5, 6) を除いて、すべての個体で体重は減少していた。これらの実験開始時と終了時の尾叉長と体重の変化率について、PAT の有無とアンカータイプの違い(WC と FT) による影響を検討したが(二元配置分散分析)、有意差は認められなかった( $P>0.05$ )。

飼育中の小割り生け簀内の水温は、飼育開始時(1 月 31 日)には 15.7℃、期間中の最低水温は 13.0℃(3 月 23 日)、最高水温は飼育終了時(7 月 19 日)の 26.6℃であった。飼育終了時、PAT 本体表面には海藻が繁茂し、ムラサキイガイも付着していた。

**実験終了時のアンカー周辺筋肉の状態** 飼育終了時のアンカー周辺部筋肉の観察結果を以下に示した(表1)。PAT 装着群では、アンカー周辺部の筋肉は WC アンカーの2 個体(No. 1, 2) および FT アンカーの1 個体(No. 3) において褐変していた(図7)。また、脱落した HP アンカーの2 個体(No. 5, 6) では、アンカーがあった部分の筋肉が赤みを帯びる程度の変色が見られた。全ての個体でアンカーが脱落しなかった PAT 非装着群では、アンカー周辺部の筋肉は WC アンカーの2 個体(No. 7, 8) と FT アンカーの1 個体(No. 10) において褐変し、HP アンカーの1 個体(No. 11) において赤みを帯びる程度の変色が見られた。アンカー周辺部筋肉の褐変または変色の有無について、PAT 装着群と非装着群の間には有意差は認められなかった(2 × 2 分割表による独立性

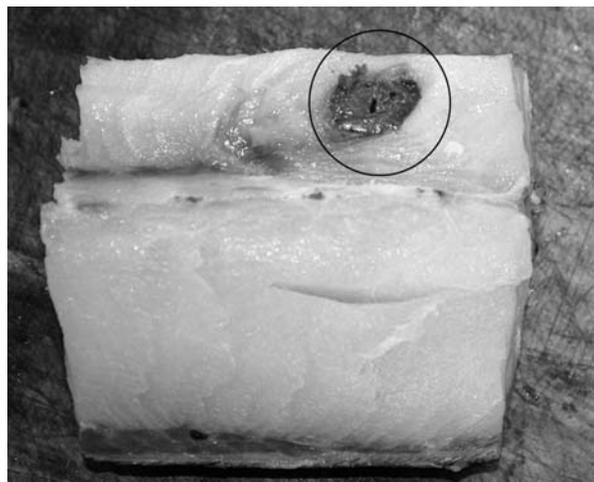


図7. アンカー打ち込み部筋肉の褐変

の検定,  $P>0.05$ )。

揺れ止め用アンカーが脱落した2 個体では(No. 4, 10)、どちらもアンカーがあった部分の筋肉には変化が見られないだけでなく、アンカー打ち込みの痕跡も認められなかった。揺れ止め用アンカーが脱落しなかった個体では、PAT 非装着群の1 個体で褐変(No. 11) および1 個体で赤みを帯びる程度の変色が見られた(No. 9)。また、揺れ止め用のアンカーが脱落しなかったものの体表近くまで移動していた PAT 装着群の2 個体では(No. 5, 6)、その周辺部は赤みを帯びる程度の変色が見られた。

**PAT の擦れによる体表の傷** PAT 装着群の3 個体において体表に PAT の接触による擦り傷が認められた(表1)。このうちの143 日後に死亡した1 個体では(No. 1)、PAT の接触によると思われる大きな擦り傷が2 カ所にあり、PAT アンカーおよび揺れ止め用アンカー打ち込み部

表2. ブリ成魚への PAT 装着実験に用いた個体の PAT 装着の有無、アンカータイプ、試験開始時と終了時の尾叉長(FL)と体重(BW)、飼育期間

No.	PAT	アンカータイプ	実験開始時		実験終了時		飼育期間(日)
			FL(cm)	BW(kg)	FL(cm)	BW(kg)	
1	装着	WC	73	10.4	75	9.9	143
2			80	12.2	83	10.6	169
3		FT	83	12.6	85	12.2	135
4			80	13.3	81	13.0	135
5	非装着	HP	78	10.8	78	10.5	20
6			74	11.0	74	11.2	20
7		WC	76	10.4	79	9.4	169
8			72	9.3	74	8.2	169
9	FT	75	9.8	77	9.3	169	
10		77	10.7	77	9.5	169	
11		77	10.3	79	9.6	169	
12	HP	80	10.8	80	10.1	169	

の両方にも擦り傷があった(図8)。PATの接触による擦り傷のうち前方のものは背鰭を超えて右半身にも達する大きなもので、魚体左背の第1背鰭先端から第2背鰭第5軟条付近までの長さ83mm幅56mmおよび魚体右側第1背鰭第3棘から第2背鰭第1軟条付近までの長さ63mm幅18mmに渡って筋肉が露出していた。後方のものである、魚体左背の第2背鰭基部後方115mm付近より後方に長さ18mm幅34mmに渡って筋肉が露出していた。20日間で脱落したHPアンカーを用いた2個体(No.5,6)では、鱗が剥がれる程度の軽度の擦り傷が見られた。



図8. 飼育後143日で死亡したNo.1における擦れによる体表の傷

## 考 察

尾叉長と体重の計測およびPATの装着作業に計3分を要したが、装着直後から魚は摂餌を行い、異常な遊泳行動が見られなかった。このことから、装着作業が魚体に与えた影響は小さいと考えられた。

HPアンカーで装着したPATが2個体とも装着からわずか20日でアンカーごと脱落したのは、アンカーが担鰭骨にかかっていなかったことによると考えられた。HPアンカーの使用には、担鰭骨にアンカーをかけることのできるように装着器を工夫する必要がある。一方、FTおよびWCアンカーは脱落しなかったことから、これらのアンカーがPATの装着に適していると考えられた。なお、2個体において揺れ止め用アンカーが抜け落ちていたことから、揺れ止め用アンカーについてもアンカーの種類や装着方法を検討するべきである。

FTおよびWCアンカーを用いた場合のPAT脱落の原因が曳航索ワイヤー部の切断であったことから、PAT脱落を防ぐために曳航索の改良が必要である。PAT側に用いたナイロンテグスは切れなかったことから、アンカー側にもナイロンテグスを使用することにより切断までの期間を延長できるであろう。しかし、ナイロンテグスで

も吸水や紫外線等による品質の劣化が予想され、必ずしも本実験を超える結果は期待できない。テグスのフッ素コーティング、または吸水性がなく紫外線に強いフッ素系樹脂(ポリフッ化ビニリデン PVDF)製やポリエチレン製のテグスの使用を検討すべきである。

PATへの藻類の繁茂とムラサキガイの付着による負荷により、曳航索のワイヤーが切断した可能性が考えられた。このことは、内湾の小割り生け簀での飼育という天然とは異なる環境によるものかもしれない。すなわち、自然界では生息水深が深いことから実験で観察されたような付着物は少なく、それによる曳航索への負荷は小さいと考えられた。

PAT非装着群も含めて、すべてのアンカータイプにおいて周辺部筋肉に褐変等の変質が認められた。しかし、そのような筋肉への悪影響にもかかわらずWCおよびFTアンカーは脱落しなかったこと、アンカー打ち込みによる死亡個体はなかったことから、アンカー周辺部筋肉の変質は問題ないと考えられた。また、PAT装着群と非装着群の間には、アンカー周辺部筋肉の変質の有無や飼育終了時の尾叉長と体重の変化率に有意差がなかったことから、PATの曳航が魚体に与える影響は小さいと考えられた。

20日間で飼育を終えた個体を除いて体重の減少が見られたが、一般に養殖ブリは4~5月の成熟期を過ぎると体重が減少する<sup>10)</sup>。実験期間から考えて、ここで見られた体重の減少もブリの産卵期後に見られる季節変動であろう。

揺れ止めを施したにもかかわらずPATによる擦れが認められたことから、擦れ防止策の改良も必要である。軽度の擦れが見られたNo.5,6ではHPアンカーごとPATが脱落する過程で魚体とPATの間の距離が長くなることによりPATの揺れが大きくなり、擦れが生じたものと推察された。アンカーの脱落がなければ擦れも生じなかった可能性がある。一方、143日後に死亡し激しい擦れの認められたNo.1では、PAT装着用アンカーは体内深くに打ち込まれており、魚体とPATの間の距離が短過ぎた可能性が考えられた。このような場合には、装着器にストッパーを付けることにより、アンカーを魚体内の一定の深さに打ち込むことができ、魚体とPATの距離を一定にすることが可能となろう。

これまでに行われた比較的小さな個体へのPATの装着例として、90ポンド(約41kg)のクロカジキ<sup>\*1)</sup>、約40kgのクロマグロ<sup>8)</sup>、30kg弱のマカジキ<sup>19)</sup>、25ポンド(約11kg)のメカジキ<sup>\*2)</sup>等がある。今回の実験では、

\*1 SNODGRASS, D. (2005) Blue marine movement in the vicinity of a documented spawning area. Abstract of International Billfish Symposium. Oct.31 - Nov.3, 2005. Avalon, Santa Catalina Island, California.

\*2 DEWARE, H., B. BLOCK, R. BRILL, M. LAURS, J. LUO, M. MUSYL, E. PRINCE, J. SERAFY, and D. SNODGRASS (2005) Behaviors and habitats of swordfish in the Atlantic and Pacific Oceans. Abstract of International Billfish Symposium, Oct.31 - Nov.3, 2005. Avalon, Santa Catalina Island, California.

WCおよびFTアンカーを用いることにより、ブリ成魚でも4～5ヶ月程度PATが保持された。4～5ヶ月程度の保持期間があれば、ブリではPATを用いて産卵行動に伴う回遊履歴データを確実に回収することが可能である。PATを用いた確実なデータ回収により、ブリの回遊と産卵行動等の関係に関する情報が飛躍的に増加し、ブリ資源管理技術の発展が期待される。

## 文 献

- 1) 田中昌一 (1972) 標識放流結果からみた本邦太平洋沿岸のブリの回遊-I. 日水誌, **38**, 29-32.
- 2) 田中昌一 (1972) 標識放流結果からみた本邦太平洋沿岸のブリの回遊-II. 日水誌, **38**, 93-96.
- 3) 田中昌一 (1973) 標識放流結果からみた本邦太平洋沿岸のブリの回遊-III. 日水誌, **39**, 17-23.
- 4) 渡辺和春 (1979) 春・夏期に放流した標識魚の再捕結果からみた対馬暖流水域におけるブリの分布と回遊. 日水研研報, **30**, 131-164.
- 5) 井野慎吾・新田朗・河野展久・辻 俊宏・奥野充一・山本敏博 (2008) 記録型標識によって推定された対馬暖流域におけるブリ成魚の回遊. 水産海洋研究, **72**, 92-100.
- 6) 阪地英男・久野正博・梶 達也・青野怜史・福田博文 (2010) 2. 太平洋における成長段階別の回遊様式の把握, (1) 年齢別回遊群について. 水産総合研究センター交付金プロジェクト報告, 日本周辺海域におけるブリの回遊と海洋環境の関係解明に基づく来遊量予測手法開発. 水研センター研報, **30**, 36-73.
- 7) ARNOLD, G., and H. DEWARE (2001) Electronic tags in marine fisheries research: A 30-year perspective. in "Electronic tagging and tracking in marine fisheries" (ed. by J. R. STIBERT and J. L. NIELSEN), 1-64.
- 8) MARCINEK, D., S. BLACKWELL, H. DEWARE, E. FREUND, C. FAREWELL, D. DAU, A. SEITZ, and B. BLOCK (2001) Depth and muscle temperature of Pacific bluefin tuna examined with acoustic and pop-up satellite archival tags. *Marine Biology*, **138**, 869-885.
- 9) 高橋未緒・斉藤宏和 (2003) ポップアップ式衛星通信タグによるまぐろ・かじき類調査の現況. 遠洋, **112**, 18-23.
- 10) 三浦 猛・三浦智恵美・三浦仁嗣 (2011) 養殖ブリの産卵リスクとその制御のための給餌管理. アクアネット, **14**, 52-59.