魚類追跡タグの試作およびタグ用加速度センサーの特性について

谷 本 浩 一*・天 野 亮*
越 智 洋 司*・前 田 佳 伸*

On the Prototype of Fish Tracking Tag and Performance Characteristics of an Accelerometer for that Tag

Hirokazu TANIMOTO*, Ryo AMANO*,
Youji OCHI* and Yoshinobu MAEDA*

We demonstrated a pop-up tag which is attached to fish and records action data for a fixed period. The tag is collected using the ARGOS system. The pop-up tag has an accelerometer, an angular velocity sensor and a pressure/temperature sensor. The characteristics of the accelerometer showed available performance from the relation between the acceleration and the angular velocity of turntable.

Key Words: pop-up tag, accelerometer, ARGOS, marine resource conservation

1. はじめに

近年、乱獲による水産資源の枯渇が問題となっている。もちろん禁漁などの措置は取られているが、漁獲対象種と同時に希少種を意図せずに漁獲してしまう混獲という現象がおきている¹⁾。そこで、それら希少種と漁獲対象種の行動パターンの違いなどを把握するために、魚に取り付けて一定期間行動データを収集した後、魚から分離し海面上に浮上、アルゴスシステムを利用して回収するポップアップタグを使用することが考えられる²⁾。

今回、われわれの開発したポップアップタグは加速度、角速度および圧力/温度センサーを用いて魚の位置情報が得られる特徴がある。しかし、魚の行動パターンを解析するためには、その泳ぐ速度、移動距離を算出することが重要になるが、それらデータの算出には加速度センサーの測定データが使われることとなる。そのため加速度センサーの性能が魚の行動パターンの解析に大きな影響を与えることになってくる。そこで、今回はポップアップタグに搭載した加速度センサーの性能評価を行なうこととした。なお、一般的な加速度センサーの性能評価方法には、振動加速度による方法、回転円盤を用いる方法、衝撃加速度を用いる方法、ホプキンソン棒を用いる方法などがある。今回は比較的小さな加速度を対象とした評価方法である回転円盤を用いる方法にて加速度センサーの評価を行なう³⁾。

2. 測定対象

測定対象の魚であるが、本学の近畿大学水産研究所の生け簀で養殖されているマグロを想定した。生け簀内のマグロは大

型魚であるため、タグを取り付けてもその行動に与える影響が少なく、容易に測定できる利点がある。生け簀は直径 30 m あり、マグロの泳ぐ速度は時速 60 km/h 程度といわれているため、仮にマグロが生け簀の円周ぎりぎりの所を時速 60 km/h で泳いだ場合、マグロにかかる法線方向の加速度は、 18.5 m/s^2 となる。そこで、本加速度センサーは最低でも 20 m/s^2 程度まで測定できることが要求される。また、計測の有効桁数は 3 桁とする。これは測定機器の能力もあるが、それ以上に魚の細かい動きの検出よりも魚全体の運動を計測するのが主目的だからである。

3. ポップアップタグ

Fig. 1 にポップアップタグの上面および側面の写真を示す。上面には太陽電池、圧力/温度センサー、照度センサーおよびアンテナ（長さ約 0.15 m）が取り付けられている。海上に浮上したときに太陽光で充電を行ないアルゴス衛星に通信する電力を確保する設計となっている。実際に地上で晴天下において、アルゴス衛星に通信可能であることを確認している。また、CPU およびセンサーは側面図左側に搭載したバッテリーで駆動し、測定したデータはマイクロ SD カードに記録している。**Fig. 2** にそのシステム構成を示す。

各種センサーを搭載したセンサーボードには Atmel 社製の CPU である ATSAM3S8B と、加速度センサー：ST マイクロエレクトロニクス（株）製の LIS3DSH（レンジ $\pm 2/\pm 4/\pm 6/\pm 8/\pm 16 \text{ g}$, 16 bit 出力）、角速度センサー：ST マイクロエレクトロニクス（株）製の L3GD20（測定範囲 $\pm 250/\pm 500/\pm 2000 \text{ degree/s}$, 分解能 $0.00875/0.0175/0.07 \text{ degree/s}$, 16 bit 出力）、圧力/温度センサー：INTERSEMA 製 MS5541-30C（圧力レンジ：0~30 bar, 温度：-40~85°C, どちらも 16 bit 出力）、照度センサー：Panasonic Electric Works 製 AMS302（ピーク感度波長：580 nm）を搭載している。なお、照度センサーはアナログ出力であるため、CPU の 12 bit A/D コンバーターに接続されている。

* 近畿大学理工学部 東大阪市小若江 3-4-1

* School of Science and Engineering, Kindai University, 3-4-1 Kowakae, Higashi-Osaka

(Received December 29, 2015)

(Revised March 9, 2016)

Fig. 1 Picture of Pop-up tag

Fig. 2 System structure of Pop-up tag

4. 実験方法および結果

Fig. 3 に実験装置の概略図を示す。ターンテーブルは亀岡電子株式会社製（最高回転速度：400 degree/s）を用いた。なお、本ターンテーブルの回転精度は ± 0.1 degree/sec 以下であり、さらに、ターンテーブルは回転開始から回転速度が安定するまでにいくらかの時間を要するが、本ターンテーブルには回転数が安定すると搭載されている LCD 画面に表示が出るようになっており、それを参考にデータ処理を行なったことから、精度は十分であると判断した。また、加速度センサーは $\pm 6g$ のモードを使用した。本実験では、Fig. 3 のようにセンサーボードをセットし、静止させた状態から 400 degree/s まで回転させ法線方向の加速度の測定を行なった。なお、今回の場合最大回転数 400 degree/s、半径 $r = 0.450$ m なので法線方向の最大加速度は理論上 21.9 m/s^2 となる。まず、オフ

Fig. 3 Experimental set up

Fig. 4 Experimental results of normal acceleration at 270 degree/s

Fig. 5 Normal acceleration v.s. angular velocity

セット補正のためターンテーブルを静止させて重力加速度を測定した。その結果センサー出力値は 9.34 m/s^2 となったので、標準重力加速度 $= 9.81 \text{ m/s}^2$ より、 $k = 9.81/9.34 = 1.05$ を補正パラメータとして使用した。Fig. 4 は測定結果の一例で、ターンテーブルの回転速度が 270 degree/s のときの法線方向の加速度である。法線方向の加速度とターンテーブルの回転速度との関係を Fig. 5 に示す。なお、Fig. 5 の値は実際の測定値に先述の補正パラメータ k を掛けている。測定値を元に最小二乗法を使って近似曲線を求めると、法線方向の加速度 $y [\text{m/s}^2]$ と角速度 $x [\text{degree/s}]$ の関係は、

$$y = 1.45 \times 10^{-4} x^2 + 2.52 \times 10^{-3} \quad (1)$$

となった。

5. 考 察

(1) 式中の x の単位は [degree/s] なので、これを ω [rad/s]

に変更すると

$$y = 4.75 \times 10^{-1} \omega^2 + 2.52 \times 10^{-3} \quad (2)$$

となる。つぎに、半径 r [m]、角速度 ω [rad/s] のときの法線方向の加速度 y の理論値は $r\omega^2$ で求められるが、今回の場合 Fig.3 より $r = 4.50 \times 10^{-1}$ m であるので y の理論値は、

$$y = 4.50 \times 10^{-1} \omega^2 \quad (3)$$

と表わせられる。

ここで、(2) 式と (3) 式とを比較すると、 ω^2 項は 4.50×10^{-1} と 4.75×10^{-1} とオーダーは等しいものの、誤差が 5.56% 発生している。この原因としては、センサーボードは法線方向に長さをもっており、その中に加速度センサーが組み込まれているが、加速度を検出するユニットの位置が加速度センサー IC のどの部分に組み込まれているか正確にわからないことが考えられる。特に今回はターンテーブル中心からセンサーボードの一番内側を 4.50×10^{-1} m にセットし、これを半径 r として採用しているため、実際に加速度を検出するユニットは若干それよりも大きな半径を採ることになる。つぎに (2) 式より y 切片に関しては、理論上は 0 になるが、そうならなかった原因として、加速度センサーが完全な水平状態にセッティングできなかったことが考えられる。しかし、その一方で切片のオーダーは 10^{-3} であり、今回の理論上の加速度の大きさが 0.0 m/s^2 から 21.9 m/s^2 であることを考えると、その値は無視しても差し支えないと考えられる。また、Fig. 4 より、120 degrees/s 付近では測定点が近似曲線からやや離れ気味であるが、それ以外の測定点では近似曲線が測定点をほぼ貫いていることがわかる。これらのことから今回の測定データは十分に信頼できるデータであるといえる。

今後の課題としては、今回使用した加速度センサー LIS3DSH は $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 6g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$ のレンジがあり、今回は $\pm 6g$ のレンジで測定を行なったが、レンジの大きさの設定を変化させ誤差がどのように変化するのか調査すること。また、センサーユニット内での加速度センサーの位置を精密に測定すること。さらに、現在のタグのサイズではマグロなどの大型魚にしか取り付けることができないため、小型の魚にも取り付け可能とすべくタグを小さくすることを念頭に置き、本センサーユニットを小型化することなどがあげられる。

6. ま と め

加速度、角速度、圧力/温度、照度センサーを搭載したポップアップタグを開発した。その中の加速度センサーについて 0 degree/s から 400 degree/s まで回転できるターンテーブルを用いてその出力値を測定した。そして、魚類行動追跡タグ用の加速度センサーとして有用であることを確かめた。

参 考 文 献

- 1) 宮本, 人見, 南: 混獲回避技術の漁業現場への普及, 日本水産学会誌, **74-2**, 241/243 (2008)
- 2) 金谷, 京相, 眞鍋, 塚本, 内藤: データロガー回収用小型人工

衛星ポップアップタグの開発, 極域科学・宙空圏・気水圏・生物・地学シンポジウム講演予稿集, **2010**, ROMBUNNO.PB22 (2010)

- 3) 中島富男: 衝撃加速度を用いた加速度計の校正法について, IIC REVIEW, **35**, 44/53, IHI 検査計測 (2006)