マグロ延縄の表層付近での沈降運動

幅野明正,^{1*} 安楽和彦,¹ 松岡達郎,¹
東政能,¹ 清水弘文,² 井上喜洋^{3a}

(2003年3月12日受付, 2003年9月22日受理)

¹鹿児島大学水産学部, ²鯛水産総合研究センター西海区水産研究所石垣支所,

³鯛水産総合研究センター水産工学研究所

Sinking Motions of Tuna Longline near Sea Surface

AKIMASA HABANO,^{1*} KAZUHIKO ANRAKU,¹ TATSURO MATSUOKA,¹
MASATAKA HIGASHI,¹ HIROFUMI SHIMIZU² AND YOSHIHIRO INOUE³

¹Faculty of Fisheries, Kagoshima University, Kagoshima 890-0056, ²Ishigaki Tropical Station, Seikai National Fisheries Research Institute, Ishigaki, Okinawa 907-0451, ³National Research Institute of Fisheries Engineering, Hazaki, Ibaraki 314-0421, Japan

Sinking motions of tuna longlines at the surface layer, 0-30 m depth, were studied at sea by using depth loggers attached to the bases (main lines) and tips (hooks) of branch lines. Characteristic sinking patterns and changes in sinking velocity were compared between main lines and hooks. Initially, main lines and hooks sank at different velocities; the main lines sank at 7.7 ± 1.5 cm/s and hooks at 18.7 ± 3.6 cm/s. There was no significant relationship between the velocities and the duration of the initial sinking. Deceleration for hooks started 36 to 112 s after shooting. Consequently, their sinking velocities became identical to those of the main lines. The sequence of sinking motions of a main line and a hook can be modeled as three stages: independent free fall at their own velocities where a hook sinks faster (initial motion), deceleration of a hook after the branch line is stretched (transitional motion) and simultaneous sinking of a main line and a hook which is suspended from the main line (final motion). The above model suggests that casting of stretched branch lines results in a prolonged sinking time to the critical depth for a hook.

キーワード：マグロ延縄, 枝縄, 沈降運動, 海鳥混獲

延縄漁業では投縄・揚縄時に発生する海鳥の混獲が問題とされている。これまでに主要混獲生物はアホウドリ科, ウミツバメ科等の潜水捕食を行う海鳥であること, 特に昼間操業の投縄時に針がかりが多発することが報告されている。¹⁻⁴⁾ 混獲海鳥の潜行行動については, アホウドリ科のハイガシラアホウドリ *Diomedea chrysostoma*,⁵⁾ ハジロアホウドリ *Diomedea cauta*,⁶⁾ ウミツバメ科のモグリウミツバメ *Pelecanoides*,⁷⁾ ペルーモグリウミツバメ *Pelecanoides garnotii*,⁸⁾ モグリウミツバメ *Pelecanoides urinatrix*⁹⁾ で報告されており, いずれも平均的な潜水深度は数 m~30 m 程度であるので, 混獲は水深 30 m 以浅の表層付近でのみ発生すると考えられる。

FAO は 1998 年に “Reduction of Incidental Catch of Seabirds in Longline Fisheries” に関する国際会議を開催し, 海鳥混獲問題改善に向けてのガイドラインを作成した。¹⁰⁾ 具体的な方策としては, 投縄・揚縄時に表層付近を沈降・浮上する漁具への海鳥の接近防止, 釣り針の沈降速力の増加, 海鳥の生態を考慮した漁場選択などが提案された。この内, 漁具付近への海鳥の接近防止は, 視覚的に鳥を威嚇する鳥嚇し (bird scaring line) の効果が Løkkeborg により検証され, 船尾から後方の海面に鳥嚇しを吹き流すことで, 混獲率が低下することが既に報告されている。¹¹⁾ 釣り針の沈降速力に関しては, 餌料の完全解凍, 餌料魚の鰾の破壊, 釣り針への錘の付加

* Tel : 81-99-286-4301, Fax : 81-286-4015, Email : habano@fish.kagoshima-u.ac.jp

^a 現所属：鹿児島大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Kagoshima University, Kagoshima 890-0056, Japan)

により沈降力が増加することが報告されており,¹²⁾ 海鳥の潜水可能深度以深に釣り針を速く到達させることで混獲率を低減できると期待されている。

海鳥混獲の改善方策として漁具の沈降速力を検討するには、漁具の表層付近での沈降運動に関する知見が不可欠である。しかし、これまでの深度計等を使用した延縄漁具の挙動に関する研究は、漁具の敷設水深付近での水中形状の解明等¹³⁻¹⁶⁾を主な目的としており、特に漁具を水中に投入した直後の沈降運動に関する知見はない。本研究は、マクロ延縄漁具の表層付近での沈降運動の基本的特性、特に枝縄と幹縄の沈降の相対的関係を把握することを目的として行った。なお、この種の研究には高い分解能を示す浅深度用深度計を利用する必要があるもので、その実験方法についても検討を加えた。

材料および方法

実験は鹿児島大学水産学部附属練習船敬天丸（総トン数 860 トン）により 1988・99 年 5 月に Fig. 1 に示した沖縄南方海域で行った。

実験漁具 実験漁具は、主にクロマグロを対象にした 19 トン型近海マクロ延縄漁船で使用されている総テグス製マクロ延縄を参考に作製した。延縄の幹縄および枝縄には、それぞれ直径 $\phi 3$ mm と $\phi 1.5$ mm のナイロンモノフィラメントを用い、枝縄間隔 50 m、枝縄長 20 m、浮縄長 30 m とし、1 鉢当たりの枝縄数を 8 本として仕立てた。枝縄の先端部には釣り針から約 1 m の位置に空中重量 15 g の錘を取付け、深度計を取付ける枝縄には、釣り針から 0.7 m の位置に深度計を装着するためのリングを設けた。

深度計および漁具への装着方法 超小型メモリ深度計（MDS-D、アレック電子、長さ 12.7 cm、直径 18 mm、水中重量 5.5 g）を用い、枝縄の基部および先端部の沈降過程を計測した。使用した深度計には、最大計測深度が 30 m（浅深度用）と 500 m（深々度用）の 2 種類があり、仕様書上での分解能はそれぞれ 0.1 m と 1 m であった。計測深度の収録時間間隔は 1 s とした。深度計は船体との衝突による破壊を防ぐために、Fig. 2A の左図に示したようにホース状のラバーで覆い、スナップで漁具に装着できるようにした。深度計は海水中で中性浮力を保つように、耐圧浮子と鉛を用い予め浮力調整した。Fig. 2A の右図には、枝縄先端部での深度計の装着方法を示した。枝縄基部では幹縄と枝縄の接続部に同様のスナップで深度計を取付けた。釣り針には半解凍したサンマ（体長平均 30.1 cm、平均空中重量 100 g、同水中重量 4.1 g）を頭掛けで装着した。

計測位置の組み合わせ 実験は後述の実験-1 および実験-2 の 2 つに分けて行った。今回使用した高分解能の深度計（浅深度用）の耐圧深度は 50 m であり、この

Fig. 1 Locations of experiments between Okinawa and Ishigaki Islands, Japan.

Fig. 2 Illustrations of depth logger and its attachment to a branch line (A) and structure of the experimental longline (B): An example is shown where a float and nursery line for a depth logger are attached to #3 branch line.

深度計による計測時には機器の破壊を防ぐために、浮子を接続した 30 m の浮縄（クレモナ、 $\phi 8$ mm）を枝縄基部（幹縄との接続部）に取付けた。そこで実験-1 では、Fig. 3A, B のように深度計を配置し、浮縄装着が幹縄の沈降に及ぼす影響を調べた。Fig. 3A は浮縄を装着した枝縄および隣接する枝縄における枝縄基部での計測例を示し、Fig. 3B は浮縄を装着した枝縄と、隣接鉢の同一枝縄番号における枝縄基部での計測例を示す。実験-2 では、幹縄から深度計を装着した枝縄の先端までの距離を変えつつ漁具を投入し、個々の枝縄の基部と先端部の深度変化を計測した（Fig. 3C）。この計測器の配置により得られた記録をもとに、延縄漁具の表層での沈降運

Fig. 3. Arrangements of depth loggers for different experimental purposes: Asterisks show the positions at which depth loggers were set where the dark ones represent a deep-water/low resolution type and the open one a shallow-water/high resolution type. Examples show the following; (A) depth loggers were attached on a main line at #2, #3 and #4 branch lines, (B) depth loggers were attached on main lines at #3 branch lines of two successive baskets, (C) depth loggers were attached on a main line and a hook at #3 branch line.

動を分析した。これらの実験で、実験-1の浮縄非装着枝縄のように50 m以深に到達する可能性がある箇所では深深度計測用の深度計を用い、それら以外の箇所では浅深度計測用の深度計を用いた。

データ収録および補正 深度計のメモリに蓄積されたデータはインターフェイスを介してパソコンに取込み、着水から40 minまでに記録された深度変化を時系列データとして保存した。計測値には若干の零点シフト(<1 m)が見られたので、甲板上での指示値が0 mとなるように初期補正した。また、実験に用いた深度計を静穏な海域で深度0~30 mに沈降させ、計測値と実測値の差をもとに実験データの再補正を行い、後の分析に供した。ただし、浅深度計測用の深度計で毎秒記録された深度変化には、振幅10~20 cm程度の微小な振動が含まれていた。筆者らが鹿児島湾の静穏な海域で行っている同様な延縄漁具の沈降運動の計測記録にはこのような振動が見受けられなかったことから(未発表)、微小振動は波浪の影響等によるノイズと見なし、これを除去する目的で移動平均(lag 7 s)を求め分析に用いた。

結 果

浮縄の漁具沈降への影響(実験-1) 浮縄を装着した枝縄とその両隣の枝縄(Fig. 3A)の各基部の深度変化計測例2組中の1組をFig. 4に示した。いずれの枝縄でも深度変化の傾きに大きな差異は認められず、同様な

Fig. 4 Typical sinking motions of main lines obtained from the setting shown as (A) in Fig. 3.

Fig. 5 Typical sinking motions of main lines with and without floats and nursery lines obtained from the setting shown as (B) in Fig. 3.

沈降運動を示した。浮縄装着枝縄と両隣枝縄の基部で、着水から深度15 mまでの到達時間から求めた平均沈降速力は、計測した2組でそれぞれ6.1 cm/s, 7.1 cm/s, 6.8 cm/sと6.4 cm/s, 6.9 cm/s, 6.6 cm/sであった。Fig. 5には、異なる鉢の同じ枝縄番号の枝縄基部(Fig. 3B)で記録した深度変化計測例4組中の2組を示した。鉢間で深度変化の傾きには大きな相違は認められなかった。枝縄番号#1, #3, #5で計測した計4組について、上述と同様に求めた平均沈降速力は、浮縄を装着した場合と装着しない場合でそれぞれ、#1では5.6 cm/sと8.3 cm/s, #3では5.1 cm/sと8.3 cm/s, #5(1回目)では7.9 cm/sと6.3 cm/s, #5(2回目)では8.5 cm/sと8.3

Fig. 6 Typical cases of three different sinking motion patterns of pairs of main line and hook shown as (C) in Fig. 3: Three patterns (A, B and C) differ from each other on the basis of sinking motions of hooks. T_{ih} and T_{im} represent the time periods of and D_{ih} and D_{im} , the depths reached during the initial sinking motions of a hook and main line, respectively.

cm/sであった。浮縄装着により沈降速度が増加あるいは低下するという特定の傾向は見られなかった。これら2つの結果から、深度計装着枝縄の基部への浮縄の装着が枝縄基部すなわち幹縄の沈降運動に与える影響は無視できると判断した。

延縄漁具の沈降運動（実験-2） Fig. 3Cの配置により記録された10組中の代表的な3例について、枝縄先端部および基部の深度変化、それらから求めた沈降速度の毎秒の変化をFig. 6に示した。図中の枝縄先端部と基部の深度変化と沈降速度の変化を見ると、漁具の投入から約2分経過するまでは、いずれの例でも、枝縄先端部の沈降速度（ V_h ）が基部の沈降速度（ V_m ）よりも速く、枝縄先端が基部すなわち幹縄に先行して沈降していくことが分かる。Fig. 6に示した3例とも、枝縄基部の沈降速度（ V_m ）には、投入直後のごく表層（深度2

Table 1 Initial sinking velocity V_{ih} for hooks and main lines calculated from time and depth data recorded by depth loggers: Depth data used for calculations were moving averages where the lag was 7 s. T_{ih} and D_{ih} stand for the same to those for Fig. 6.

Branch#	D_{ih} (m)	T_{ih} (s)	V_{ih} (cm/s)
4	7	36	19.2
4	14	57	24.4
3	16	87	18.5
1	13	95	13.7
5	22	103	21.3
2	17	112	15.2

m以浅)における沈降を除き大きな変動は見られず、浮縄からの拘束を受け沈降速度に低下が認められる水深（ D_{im} ）まで、ほぼ一定の深度変化を示した。枝縄先端部の深度変化も、ごく表層付近を除き10m以深に到達するまでいずれの場合でも概ね直線的な傾向を示した。この間の枝縄先端部の沈降運動は幹縄から独立した落下運動と見なせる。Fig. 6A, Bでは、深度10~20mの間で先端部の深度変化に屈曲点が見られ、この時点で沈降速度 V_h の低下が生じ、 V_h は次第に枝縄基部の沈降速度 V_m に近づいた。着水後から V_h の低下が生じる時点までの枝縄先端部の運動を初期沈降運動と定義し、Fig. 6A, Bから、初期沈降運動が終了するまでに要する時間（ T_{ih} 、初期沈降運動継続時間）と、 T_{ih} 経過時に到達した深度（ D_{ih} 、初期沈降運動到達深度）を読み取った。10例の計測記録の中にはFig. 6Cのように初期沈降運動が長く継続し、計測可能最大深度である30m以浅では T_{ih} が観察されなかった場合が4例あった。これらを除く6例で得られた T_{ih} 、 D_{ih} の値をTable 1に示した。 T_{ih} は36~112s継続し、その間に D_{ih} は7~22mに達した。 T_{ih} の増加にともない D_{ih} が増加する傾向が見られたが、 T_{ih} と D_{ih} の相関関係は有意とは言えなかった（ $p = 0.057 > 0.05$, $n = 6$, ピアソンの相関係数検定）。Table 1の T_{ih} 、 D_{ih} から6例それぞれに計算した枝縄先端部の初期沈降速度 V_{ih} の平均値は 18.7 ± 3.6 cm/sであった。同様に求めた枝縄基部の平均初期沈降速度は 7.7 ± 1.5 cm/sで、枝縄先端部と枝縄基部の平均初期沈降速度の差は有意と見なせた（ $p < 0.001$, paired t -test, $n = 6$ ）。初期沈降後の平均沈降速度（ 6.1 ± 1.4 cm/s）と枝縄基部の平均沈降速度（ 6.5 ± 2.1 cm/s）の差は有意とは見なせなかった（ $p > 0.05$, paired t -test, $n = 6$ ）。

考 察

本研究により、初期沈降運動中は枝縄基部すなわち幹縄と枝縄先端部はそれぞれが独立した固有の沈降運動を行うものと考えた。初期沈降以降に枝縄先端部の沈降速

Fig. 7 Model of sinking motion for a hook at the surface layer: Open circles are positions of a main line. Three steps are: (1) free falling at a constant velocity till the branch line is stretched (from I to II), (2) deceleration till a hook is suspended below the main line (from II to III), and (3) slower falling together with the main line (from III to IV and deeper).

力が低下し、枝縄基部の沈降速力に収束する傾向が認められたのは、遅れて沈降する幹縄による拘束が生じるためと考えた。Fig. 7 に、枝縄基部および先端部の沈降運動から導出した表層付近でのマグロ延縄の沈降モデルを示した。漁具投入後 (Fig. 7-I), 枝縄基部 (幹縄) および先端部はそれぞれ独立した落下運動を行い、幹縄と枝縄先端の距離が枝縄長さに達した時点 (Fig. 7-II) で先端部の減速が生じる。その後、枝縄先端部は幹縄下方に弧を描くように沈降し、幹縄直下に到達した時点 (Fig. 7-III) で先端部の沈降運動は幹縄の沈降に完全に支配されると考える。このモデルによれば、初期沈降運動の Di_h , Ti_h に見られたばらつきは、枝縄基部と先端の水平距離の差に起因すると考えられる。ただし、漁具投入時の枝縄基部と先端の位置関係を計測するのはきわめて困難であり、本研究でもこれは把握できていない。

近年、海鳥の混獲防除に効果的な bird scaring line が開発された。bird scaring line の効果範囲に関する報告はないが、海鳥の進入を阻止する機能の範囲は装置の長さにより限られたものであろう。仮に海鳥の混獲発生水深を 10 m 以浅とし、船速 10 kt で投縄したとすると、本研究で枝縄先端部が水深 10 m に到達するのに要した時間 41.6~76.6 s (平均 60.0 s) であるからこの間に船は約 300 m 航走することになり、bird scaring line の効果範囲もこれ以上が要求されることになる。しかし、

bird scaring line の構造上、船尾から長距離におよぶ海面への海鳥進入阻止は難しいと考えられ、枝縄先端部すなわち釣り針と餌の沈降速力を増加させる必要性は依然として残される。

枝縄先端部の初期沈降運動の沈降速力はそれ以降に比べて速かった。このことは初期沈降運動の継続時間をより長くすることで、表層付近での餌の沈降を速められる可能性を示唆する。Fig. 7 のモデルによれば、枝縄が伸びた状態であればより早い段階で幹縄の沈降運動による拘束を受けて、先端部の沈降速力が低下すると考えられる。マグロ延縄操業における投縄では、枝縄は絡みあるいは餌の脱落を避けるために船尾に生じるプロペラ渦を避け、餌はその外側に投入される。しかし、本研究結果からは、餌をむやみに遠くに投げて枝縄に張りを与えることは釣針の初期沈降運動を早期に終了させ、一定の水深に到達するのにより長い時間を要する結果になる。一方、枝縄に大きなたるみを与えるために船尾近くに釣針を投入すれば、枝縄の絡みや餌の脱落に加えてプロペラ渦による沈降速力低下が発生する可能性がある。今後、プロペラ渦が枝縄の沈降運動に与える影響を明らかにし、最適な枝縄の長さや投入方法について検討する予定である。

本研究では、延縄漁具の沈降を小型深度計により計測した。また、釣り針部には深度計とともに餌料も設置した状態で行った。したがって、深度計自身が流体中で受ける抵抗等の影響は計測値に反映されたものと考えられる。この問題を解決する方法として、沈降の挙動を画像等により記録することも考えうるが、フルスケールの漁具を対象とし、かつ実海域での計測を行う際には適した手法とは言い難い。今後もデータロガーを利用した漁具の水中での挙動に関する研究は行われていくであろうが、延縄漁具における釣針部の運動計測においては、データロガーの沈降特性を餌料の沈降特性と同じにすることで問題を解決しようと推察する。本実験においては上述の点について課題が残されるが、計測の趣旨とした、延縄の枝縄先端部および基部の相対的な沈降運動の相違については、実際の沈降運動特性を反映した記録を行うことができた。

文 献

- 1) Gales R, Brothers N, Reid T. Seabird mortality in the Japanese tuna longline fishery around Australia, 1988–1995. *Biological Conservation*. 1998; **86**: 37–56.
- 2) Brothers N. Albatross mortality and associated bait loss in the Japanese longline fishery in the Southern Ocean. *Biological Conservation*. 1991; **55**: 255–268.
- 3) Ryan PG, Hinzen CB. Tuna long line fisheries off southern Africa: the need to limit seabird bycatch. *South Africa J. of Science*. 1998; **94**: 179–182.
- 4) Cherel Y, Weimerskirch H, Duhamel G. Interactions be-

- tween longline vessels and seabirds in Kerguelen waters and a method to reduce seabird mortality. *Biological Conservation*. 1996; **75**: 63–70.
- 5) Huin N, Prince PA. Diving behaviour of the grey headed albatross. *Antarct. Sci.* 1997; **9**: 243–249.
 - 6) Hedd A, Gales R, Brothers N, Robertson G. Diving behaviour of the Shy Albatross *Diomedea cauta* in Tasmania: Initial findings and dive recorder assessment. *IBIS*. 1997; **139**: 452–460.
 - 7) Ryan PG, Nel DC. Foraging Behaviour of Diving Petrels *Pelecanoides*. *Emu*. 1999; **99**: 72–74.
 - 8) Zavalaga CB, Jahncke J. Maximum dive depths of the Peruvian Diving-petrel. *Condor*. 1997; **99**: 1002–1004.
 - 9) Bocher P, Labidoire B, Cherel Y. Maximum dive depths of common diving petrels (*Pelecanoides urinatrix*) during the annual cycle at Mayes Island, Kerguelen. *J. Zool.* 2000; **251**: 517–524.
 - 10) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Report of the FAO Technical Working Group meeting on reduction of incidental catch of seabirds in longline fisheries, Tokyo, Japan, 25–27 March 1998. *FAO fisheries report* 1999; No. 585.
 - 11) Løkkeborg S. Seabird by-catch and bait loss in long-lining using different setting methods. *J. Marine Sci.* 1998; **55**: 145–149.
 - 12) Brothers N, Foster A, Robertson G. The influence of bait quality on the sink rate of bait used in the Japanese longline tuna fishing industry: an experimental approach. *CCAMLR Sci.* 1995; **2**: 123–129.
 - 13) 葉室親正, 石井謙治: 自記式鮪延縄用深さ計による鮪延縄の水中における形状その他についての二, 三の考察. 漁船技法 1958; **11**: 39–119.
 - 14) 中込 淳: マクロ延縄における釣鈎の実測値と計算値との比較. 日水誌 1961; **27**: 119–123.
 - 15) 下崎吉矩, 大澤要一, 丹羽洋智: 鮪延縄の敷設深度とその動態. 水工研報 1988; **9**: 289–301.
 - 16) 矢野和成, 阿部 寧: 小型メモリー式水深計を用いたマクロ延縄漁具の深度測定. 日水誌 1998; **64**: 178–188.