ICHTHY
Natural History of Fishes of Japan
EDITED AND PUBLISHED BY THE KAGOSHIMA UNIVERSITY MUSEUM
ISSN 2435-7715
ORIGINAL RESEARCH ARTICLE
https://www.museum.kagoshima-u.ac.jp/ichthy/articles.html
https://www.jstage.jst.go.jp/browse/ichthy/-char/ja

ヤリマンボウの形態異常個体（短縮した臀鰭）の記録と水中ロボットによる臀鰭の形態が遊泳に及ぼす影響の検討

澤井悦郎[1,2]・石井陽凪[3]・近藤美友[4]・近藤敏康[5]

Author & Article Info

[1] マンボウなんでも博物館（上牧町）
sawaetsu2000@yahoo.co.jp (corresponding author)
[2] 海とくらしの史料館（境港市）
[3] 千葉経済大学附属高等学校（千葉市）
[4] 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科（藤沢市）
[5] AFK 研究所合同会社（東京）
familykjp@ybb.ne.jp

Received 11 July 2022
Revised 13 July 2022
Accepted 17 July 2022
Published 18 July 2022
DOI 10.34583/ichthy.22.0_21

Etsuro Sawai, Hina Ishii, Miyu Kondo and Toshiyasu Kondo. 2022. A morphologically abnormal example (shortened anal fin) of *Masturus lanceolatus* from Japan and testing its effect on swimming ability by underwater remote control robot. Ichthy, Natural History of Fishes of Japan, 22: 21–25.

Abstract

A morphologically abnormal individual of *Masturus lanceolatus* (29.5 cm pre-clavus band length, 1.5 kg, female) with the short anal fin and rudiment left pectoral fin was captured by set net off Hayase (35°37′44.7″N, 135°54′23.0″E), Mihama-cho, Mikata-gun, Fukui Prefecture, Japan, on 15 November 2021. Such congenital malformation is firstly reported for *M. lanceolatus*. The effect of lacking or abnormally shortened anal fin on swimming ability was tested using a *Masturus lanceolatus*-shaped underwater remote control robot.

マンボウ科 Molidae のヤリマンボウ *Masturus lanceolatus* (Liénard, 1840) は，熱帯海域を中心として世界中に幅広く分布し，全長 3 m 以上に達する大型フグ目魚類である（Nyegaard et al., 2018; Sawai et al., 2020）．日本近海におけるヤリマンボウはマンボウ属 *Mola* より採集例が少ないため，稀種とされる（松浦，2017）．ヤリマンボウはマンボウ属と外観的に似ていることでよく誤同定されるが，マンボウ属より体型が卵形であること，舵鰭の中央よりやや背側が後方に突出すること，下顎が上顎よりわずかに前方に突出することなどで識別される（松浦，2017; Sawai et al., 2020）．ヤリマンボウの舵鰭突出部の長さは小型個体ほど長い傾向があるが，個体変異も大きい（松浦，2017;澤井・山田，2017a；澤井・峯水，2022）．

マンボウ科魚類における個体変異の域を超える明らかな形態異常（先天性の奇形や捕食者などによる攻撃を受けた後も生存した個体）は，マンボウ属（Ayres, 1859；澤井ほか，2009, 2019; Nyegaard et al., 2017; Guinness World Records, 2018）とクサビフグ *Ranzania laevis*（Uyeno and Sakamoto, 1994; Romanov et al., 2014）で報告されているが，ヤリマンボウではこれまでに報告されていなかった．

このたび，2021 年 11 月に福井県沖で，先天性の奇形と考えられる臀鰭が特徴的に短縮したヤリマンボウ 1 個体が漁獲されたため，その詳細を報告する．また，主要な遊泳器官である臀鰭の長さや有無が，遊泳能力に与える影響を検討するため，ヤリマンボウの形態を模した水中ロボットを用い簡易的な実験を行った．

材料と方法

ヤリマンボウの調査　ヤリマンボウの形態異常個体（サンプルコード HaFu-1; Figs. 1–2）は，2021 年 11 月 15 日に福井県三方郡美浜町早瀬沖（35°37′44.7″N, 135°54′23.0″E）に設置されている定置網によって漁獲され，福井県水産試験場栽培漁業センターで冷凍保存された後，標本として保存した．本標本は第一著者が個人的に保管している．本個体が漁獲された日の福井県沖の海面水温は 19–20°C であった（気象庁, 2021）．本個体の体重は冷凍後に計量され，1.5 kg であった．本個体は解剖時に雌であることが確認された．種同定は先行研究（松浦，2017; Sawai et al., 2020）にしたがった．

計測方法は先行研究（澤井，2016;澤井・山田，2017a, b）にしたがい，Fig. 3 に示した．先行研究におけるマンボウ科の一部の計測方法は，体軸に沿った投影法が用いられており，それらの計測の始点は，一般的に上顎の吻端であるが（澤井，2016；澤井・山田，2017b），ヤリマンボウは成長すると下顎が上顎よりやや前方に突出するため，その場合の全長の計測は下顎の前端を始点とした．標本の計測はすべて左体側で行ったが，眼，鰓孔，胸鰭の計測は右側も行った．形態異常個体の計測は，解凍時の生鮮状態で行い，舵鰭突出長（clavus projection length）のみ写真から計

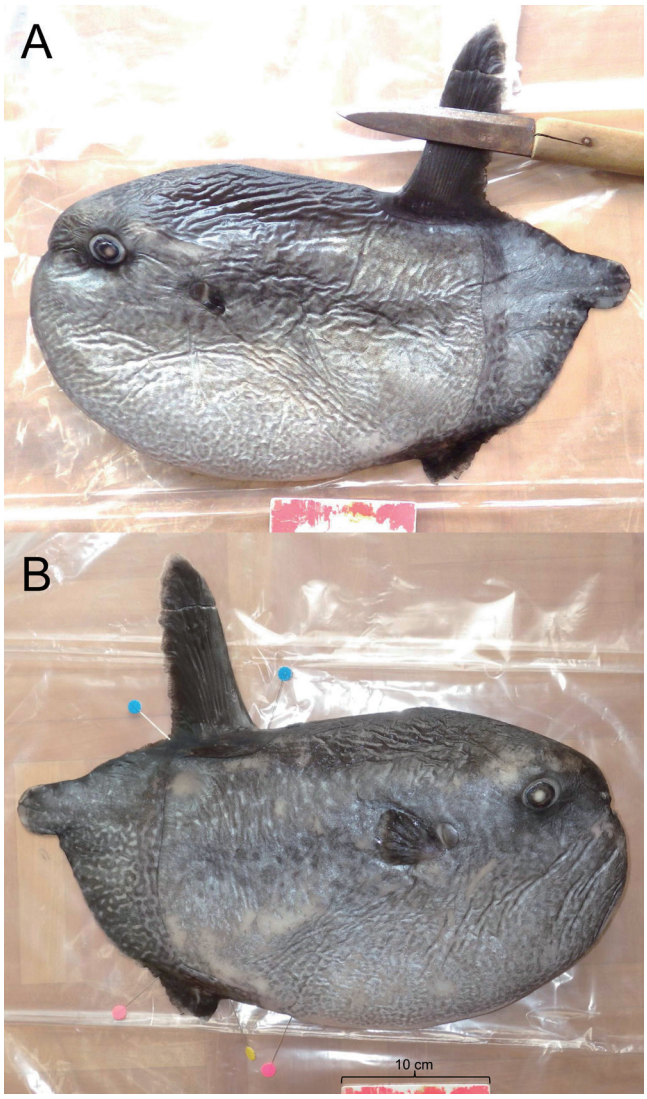

Fig. 1. Abnormal individual of *Masturus lanceolatus* with shortened anal fin. Sample code: HaFu-1, 29.5 cm pre-clavus band length, 1.5 kg, defrosted specimen, off Hayase, Mihama-cho, Mikata-gun, Fukui Prefecture, Japan, 15 November 2021. A and B: left and right sides, respectively. Scale bar indicates 10 cm.

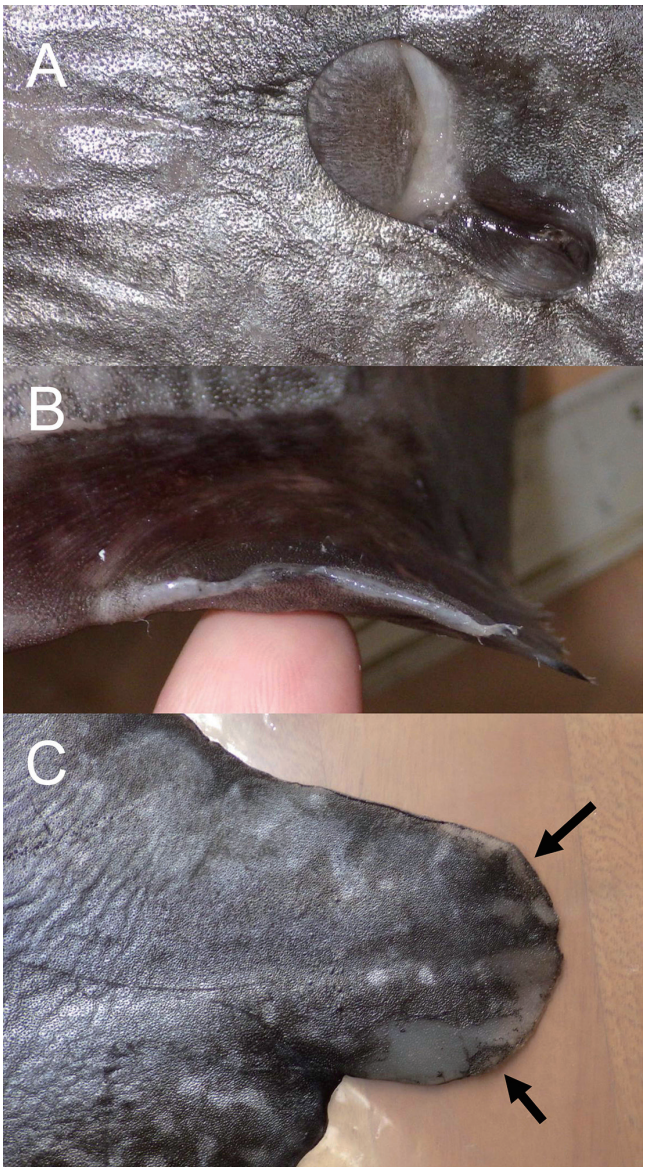

Fig. 2. Abnormal left pectoral fin (A), abnormal anal fin (B) and clavus median projection (C) of *Masturus lanceolatus* (same individual as in Fig.1). Ossicles indicated by arrows in C.

測した．ヤリマンボウの舵鰭突出部の長さは個体変異が大きいことから本研究では全長ではなく帯前体長（pre-clavus band length）を計測値の比較の基準とした．また，形態異常個体の背鰭は人為的に切断されていたため，切断面を繋げて計測した．形態異常のみられた部位の計測・計数は可能な範囲で実施した．比較に用いたヤリマンボウの正常個体の計測値は澤井・山田（2017a）に基づく．

ロボットの製作および遊泳実験　背鰭・臀鰭・舵鰭が独立して可動するヤリマンボウを模したリモートコントロールの水中ロボットを作成し，一定の操縦方法のもと，臀鰭の有無や形が前進する運動に与える変化を観察した．ロボットは，ヤリマンボウの形態異常個体（サンプルコード HaFu-1）の写真と計測値，および第 2 著者によるマンボウ *Mola mola* の解剖結果を基にして作成した．ロボットの材料は中性浮力に近くかつマンボウの表皮と似た剛性と浮力のバランスに近付けるために，0.75 mm 厚のポリプロピレン板 2 枚を張り合わせた 1.5 mm 厚の板材を 2 枚用い，モーター，電池，回路用防水容器を真ん中に入れて挟み込む形で本体部を構成した（Fig. 4A）．背鰭，臀鰭と舵鰭は，モーターで中立位置より左右 45°（合計 90°），それぞれが独立して動かせるようにした．本体部に対して垂直になるように取り付けられた胸鰭は無可動で，形態異常個体の左胸鰭の異常は再現しなかった．臀鰭は取り外し可能で，正常な個体を模した鰭と本個体の形態異常を模した短縮した鰭を作成した（Fig. 4B）．本体部に浮力体となる 1 mm 厚の発泡ウレタン板を貼り付け，さらに本体部を 0.3 mm 厚のポリプロピレン板で覆った．ロボットの操作は無線操縦で，操縦者がラジコン用コントローラーで任意に背鰭，臀鰭と舵鰭の動きを操作でき，各鰭の動きを組み合わせることにより直進，潜水，浮上，旋回ができるように設計されている．

実験は，淡水を張った野外円形プール（外径直径 366

cm，高さ 76 cm，水深約 50–60 cm）で行った．プールに黄色い水糸を直線に張り，ロボットが直線的に前進できるか観察する基準線とした．ロボットの状態は，①設計通りの臀鰭をとりつけた状態を正常個体，②短い臀鰭に付け替えた状態を今回の形態異常個体とした．また，③完全に臀鰭の部品を取り去った状態でも実験を試みた．①の状態でロボットが直線的に前進する操縦方法（背鰭と臀鰭を同時に同じ方向に振る）を基準として（Video 1），②と③の状態でも同じ操縦をし，操縦方法に差が生じないようにした．3 通りの臀鰭の形状で，それぞれ 1 回ずつ，基準線上を前進させ，ロボットの動きを観察した．実験の様子はプールの斜め上方からビデオカメラで動画を撮影して記録した．

結果と考察

形態異常個体の特徴　本研究の標本（帯前体長 29.5 cm）は，体型が卵形で，舵鰭の中央よりやや背側が後方に突出し，下顎が上顎より前方に突出することからヤリマンボウと同定された（Fig. 1）．本標本の左体側の胸鰭には，右体側と比べて矮小化の形態異常がみられた（Figs. 1A, 2A）．ヤリマンボウの胸鰭軟条は 10–11 本と報告されているが（Sawai et al., 2020），本個体の左胸鰭の軟条数は外見では正確に計数できなかったが明らかに少なかった．なお，右体側の軟条数（8 本）も Sawai et al. (2020) の値と比べて少なかった．左体側の胸鰭には再生痕が見当たらなかったため先天的な奇形と考えられた．

正常なヤリマンボウの背鰭と臀鰭は，背腹対称でほぼ同じ大きさと形であるが（Fig. 3; Table 1），異常個体の臀

Table 1. Measurements (% of pre-clavus band length) and counts taken from abnormal and normal specimens of *Masturus lanceolatus*.

	Abnormal specimen	Normal specimens		
	This study	Sawai and Yamada (2017a)		
Specimen	HaFu-1	KimoKa-1	KimoKa-2	KAUM–I. 77777
Total length (cm)	40.6	29.1	20.1	50.4
Pre-clavus band length (PCBL; cm)	29.5	14.3	10.1	41.5
Measurements as % of PCBL				
Post-clavus band length	108.1	104.2	105.0	104.6
Post-dorsal fin length	99.3	99.3	102.0	101.9
Pre-dorsal fin length	81.4	77.6	80.2	77.8
Pre-pectoral fin length	39.3	34.3	36.6	39.0
Head length	37.3	32.2	34.7	33.7
Snout length	11.2	11.9	11.9	14.2
Post-anal fin length	105.4	100.7	102.0	95.2
Pre-anal fin length	87.1	79.7	81.2	73.7
Pre-anal length	70.5	74.8	76.2	68.7
Width of clavus band	6.1	4.9	5.0	4.3
Clavus projection length	10.8*	81.1	80.2	4.6
Total body depth	109.5+**	123.8	116.8	125.1
Clavus base length	52.5	53.8	51.5	51.1
Body depth	61.4	62.2	57.4	61.2
Pre-pectoral body depth	69.5	64.3	68.3	58.3
Central-eye body depth	54.2	51.0	51.5	39.8
Vertical eye diameter***	6.8 (6.4)	5.6 (—)	6.9 (—)	5.5 (—)
Eye diameter***	8.5 (8.5)	7.0 (—)	8.9 (—)	7.2 (—)
Depth of gill opening***	5.4 (6.1)	5.6 (—)	5.0 (—)	7.2 (—)
Length of gill opening***	3.4 (3.4)	2.8 (—)	2.0 (—)	3.9 (—)
Pre-pectoral fin depth***	3.7** (14.9)	14.7 (—)	12.9 (—)	13.0 (—)
Post-pectoral fin depth***	1.7** (13.2)	14.0 (—)	13.9 (—)	11.1 (—)
Pectoral fin base length***	4.7** (7.1)	5.6 (—)	6.9 (—)	6.0 (—)
Pre-dorsal fin depth	47.8	35.7	36.6	38.6
Post-dorsal fin depth	43.7	34.3	31.7	37.8
Dorsal fin base length	23.4	23.1	21.8	24.8
Pre-anal fin depth	10.2+**	38.5	36.6	35.2
Post-anal fin depth	14.6+**	35.0	32.7	35.7
Anal fin base length	19.7**	22.4	20.8	21.9
Counts				
Dorsal fin rays	18	20	19	20
Anal fin rays	8 to 11**	18	18	19
Pectoral fin rays***	1+** (8)	11 (—)	11 (—)	10 (—)
Clavus fin rays	—	21+	16+	15+
Ossicles	2	0	0	0

*taken from photograph; **abnormal condition; ***right side value in parenthesis.

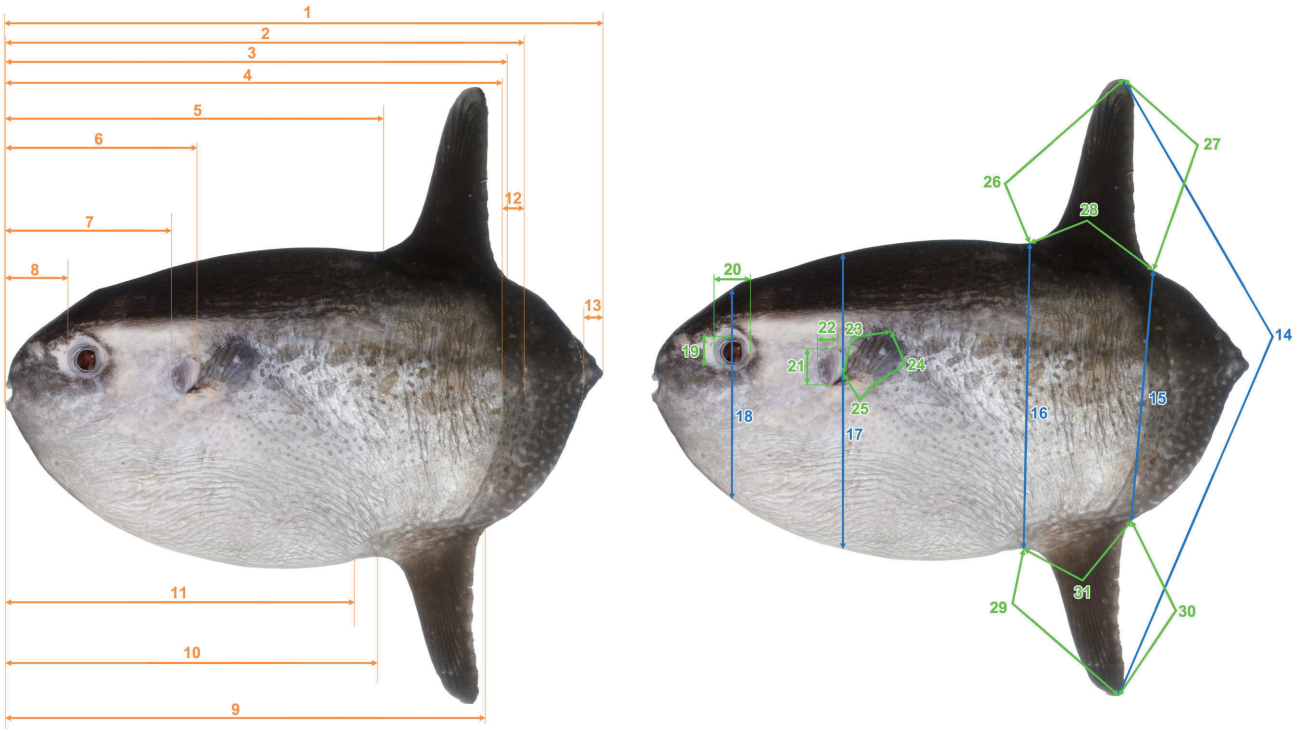

Fig. 3. Method of measurements of *Masturus lanceolatus* specimen. 1: total length, 2: post-clavus band length, 3: post-dorsal fin length, 4: pre-clavus band length, 5: pre-dorsal fin length, 6: pre-pectoral fin length, 7: head length, 8: snout length, 9: post-anal fin length, 10: pre-anal fin length, 11: pre-anal length, 12: width of clavus band, 13: clavus projection length, 14: total body depth, 15: clavus base length, 16: body depth, 17: pre-pectoral body depth, 18: central-eye body depth, 19: vertical eye diameter, 20: eye diameter, 21: depth of gill opening, 22: length of gill opening, 23: pre-pectoral fin depth, 24: post-pectoral fin depth, 25: pectoral fin base length, 26: pre-dorsal fin depth, 27: post-dorsal fin depth, 28: dorsal fin base length, 29: pre-anal fin depth, 30: post-anal fin depth, 31: anal fin base length.

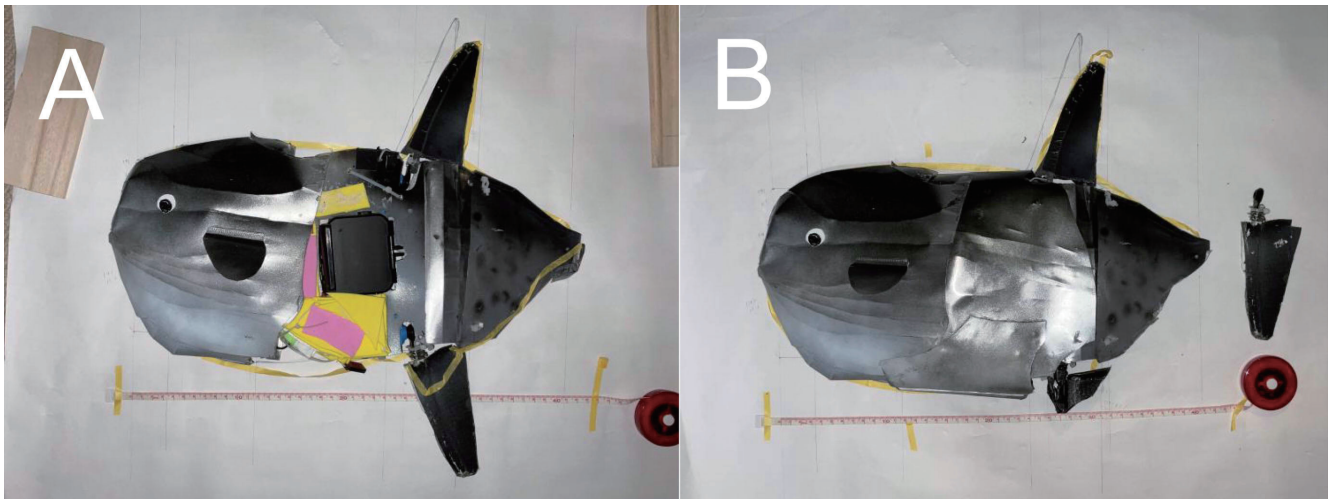

Fig. 4. *Masturus lanceolatus*-shaped underwater robot with normal anal fin (A) and abnormal anal fin (B).

鰭は背鰭より明らかに短い（Fig. 1）．これは正常個体と異常個体の背鰭と臀鰭の計測値と軟条数の比較からも支持される（Table 1）．異常個体の臀鰭の先端は凹状に欠損しているが（Figs. 1, 2B），比較的新しい切断面であったことから，これは漁獲時に生じた傷と推察された．外見上では，臀鰭の表面や末端部に，その他の傷や再生痕を観察できなかったため，臀鰭の短縮は先天性の奇形あるいは成長の早い段階で受けた傷が再生したものと考えられた．なお，骨格系や組織の観察は行っていないが，本個体の臀鰭軟条数（正確に計数できないが 8–11 本の範囲）は，Sawai et al. (2020) が報告した正常個体の臀鰭軟条数（17–20 本）と比べて少ないため，臀鰭の短縮は先天的な奇形である可能性が高い．

なお，本標本の計測値を澤井・山田（2017a）が報告したヤリマンボウ 3 標本（帯前体長 10.1–41.5 cm）と比較すると，形態異常個体の舵鰭突出長／帯前体長（CPL / PCBL）比は，小型個体（帯前体長 10.1–14.3 cm）よりも小さく，舵鰭突出部の長さが成長にともない短くなる傾向がみられた（Table 1）．これは澤井・山田（2017a）や澤井・峯水（2022）の見解を支持する．また，形態異常個体で

は舵鰭突出部の先端に 2 つの骨板が確認された（Fig. 2C; Table 1）．舵鰭縁辺部に骨板をもつのはマンボウ属のみとされているが（Fraser-Brunner, 1951; Tyler, 1980; Santini and Tyler, 2002），Sawai et al. (2020) はヤリマンボウにも骨板をもつ個体を報告している．ヤリマンボウにみられる骨板の有無が成長によるものか個体変異かを明らかにするためには，さらなる調査が必要である．

臀鰭の有無によるロボットの推進の差異の検証　ヤリマンボウは背鰭と臀鰭を同時に同じ方向に振って前進するため（澤井・峯水，2022），背鰭と臀鰭が推進力を発生させる主要な遊泳器官である．一方，飼育されたマンボウの行動観察を参照すると（澤井，2019），胸鰭や舵鰭は，推進力にはあまり寄与しないものと推察される．したがって，背鰭や臀鰭に異常があると遊泳時のバランスが悪くなると想定されるが，野外観察や飼育個体による検証は困難である．そこで，背鰭と臀鰭の動作だけで前進できるヤリマンボウ型の水中ロボット（Fig. 4）を作製し，臀鰭を欠損したときに正常時の背鰭と臀鰭の動作だけを行った場合，遊泳にどのような変化があるかを検討した．

今回の異常個体のように①短縮した臀鰭を取り付けた状態と，②臀鰭の部品を完全に取り去った状態ともにロボットは前進したが（Videos 2–3），③正常な臀鰭を取り付けた状態ではプール内に設けた基準線上を安定して前進したのと比べて，①と②の状態では臀鰭が短くなるにつれ遊泳時の姿勢が不安定になり，左右に振れる度合いが大きくなった（Videos 2–3）．この結果は，主要な遊泳器官である臀鰭が欠損したとしても，背鰭が正常であれば，少なくとも前進する運動は可能であることが示された．生体であれば，失われた臀鰭の役割を補完するように，背鰭や舵鰭の動きや体の姿勢が調整されるはずであるから，摂餌や，ある程度の逃避行動は可能であると考えられる．今回の異常個体や先行研究（澤井ほか，2009; Romanov et al., 2014）で報告された臀鰭に形態異常を持つその他のマンボウ科の個体が漁獲されるまで生存していたことも，これを裏付ける．一方で，形態異常個体では，当然ながら正常個体と比較して遊泳時の体のバランスが悪くなっていると考えられ，垂直鰭の欠損が素早い旋回や加速を困難にし，生存に不利に働くことも容易に想像される．本研究では予備的な実験しか行っていないが，今後も生体に模したロボットを活用することで，マンボウ科魚類をはじめ直接的な観察が困難な種についても遊泳能力に関する研究が可能になると考えられる．

謝　辞

本研究を取りまとめるにあたり，前田英章氏（福井県水産試験場栽培漁業センター）には本研究に使用した形態異常のヤリマンボウを提供して頂いた．鹿児島大学総合研究博物館の本村浩之氏には Fig. 3 のヤリマンボウ標本（KAUM–I. 77777）の写真を提供して頂いた．林　正道氏（海洋楽研究所），NPO 日本水中ロボネット，アクアモデラーズ・ミーティング，AFK 研究所合同会社（ロボ化石プロジェクト）の方々には，水中ロボットの製作・実験を行うにあたり，実験場所の提供や技術支援をして頂いた．以上の方々に心から厚く御礼申し上げる．

引用文献

Ayres, W. O. 1859. On new fishes of the Californian coast. Proceedings of the California Academy of Natural Sciences (Series 1), 2: 25–32. URL

Fraser-Brunner, A. 1951. The ocean sunfishes (family Molidae). Bulletin of the British Museum (Natural History) Zoology, 1: 89–121. URL

Guinness World Records. 2018. Guinness World Records 2019. Guinness World Records, London. 256 pp.

気象庁．2021．日別海面水温．URL (25 June 2022)

松浦啓一．2017．日本産フグ類図鑑．東海大学出版部，平塚．127 pp.

Nyegaard, M., N. Loneragan, S. Hall, J. Andrew, E. Sawai and M. Nyegaard. 2018. Giant jelly eaters on the line: species distribution and bycatch of three dominant sunfishes in the Southwest Pacific. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 207: 1–15.

Nyegaard, M., E. Sawai, N. Gemmell, J. Gillum, N. R. Loneragan, Y. Yamanoue and A. Stewart. 2017. Hiding in broad daylight: molecular and morphological data reveal a new ocean sunfish species (Tetraodontiformes: Molidae) that has eluded recognition. Zoological Journal of the Linnean Society, doi: 10.1093/zoolinnean/zlx040 (July 2017), 182: 631–658 (Mar. 2018). URL

Romanov, E. V., A. Sharp and P. Bach. 2014. Amputation of a major propulsor would not be an insuperable obstacle for survivorship of the slender sunfish *Ranzania laevis* (Molidae: Tetraodontiformes). Marine Biodiversity Records, 7: e20.

Santini, F. and J. C. Tyler. 2002. Phylogeny of the ocean sunfishes (Molidae, Tetraodontiformes), a highly derived group of teleost fishes. Italian Journal of Zoology, 69: 37–43. URL

澤井悦郎．2016．鹿児島大学総合研究博物館に保存されていたマンボウ属魚類標本の形態的種同定．Nature of Kagoshima, 42: 343–347. URL

澤井悦郎．2019．マンボウは上を向いてねむるのか：マンボウ博士の水族館レポート．ポプラ社，東京．207 pp.

澤井悦郎・峯水　亮．2022．日本近海で初めて撮影されたイカ類との相互作用を示す生きたヤリマンボウ幼魚の記録．Ichthy, Natural History of Fishes of Japan, 20: 44–50. URL

Sawai, E., M. Nyegaard and Y. Yamanoue. 2020. Phylogeny, taxonomy and size records of ocean sunfishes, pp. 18–36. In Thys, T. M., G. C. Hays and J. D. R. Houghton (eds.) The ocean sunfishes: evolution, biology and conservation. CRC Press, Boca Raton.

澤井悦郎・瀬能　宏・竹嶋徹夫．2019．神奈川県立生命の星・地球博物館に展示されていたウシマンボウの剥製標本．神奈川県立博物館研究報告（自然科学），48: 37–42. URL

澤井悦郎・山田守彦．2017a．鹿児島県産ヤリマンボウ *Masturus lanceolatus* 若魚の外部形態．Nature of Kagoshima, 43: 249–252. URL

澤井悦郎・山田守彦．2017b．鹿児島県産クサビフグ *Ranzania laevis* 若魚の形態に関する若干の知見．Nature of Kagoshima (published online: Oct. 2017), 44: 5–8 (May 2018). URL

澤井悦郎・山野上祐介・坂井陽一・橋本博明．2009．日本近海で採集されたマンボウ属（*Mola* spp. A and B）の形態異常個体．生物圏科学：広島大学大学院生物圏科学研究科紀要 , 48: 9–17.

Tyler, J. C. 1980. Osteology, phylogeny, and higher classification of the fishes of the order Plectognathi (Tetraodontiformes). NOAA Technical Report NMFS Circular, 434: 1–422. URL

Uyeno, T. and K. Sakamoto. 1994. *Ranzania ogaii*, a new Miocene slender mola from Saitama, Japan (Pisces: Tetraodoniformes). Bulletin of the National Science Museum, Tokyo, Series C, 20: 109–117. URL