

日本海におけるクロマグロ・コシナガ・マルソウダの稚魚に対する線形判別分析を用いた種判別の試み

佐藤駿*・田上英明*・塚野拓人**・福田漠生***・山根猛****・江野島岳友*****
毛利雅彦*

Preliminary study on species discrimination using a linear discriminant analysis for juveniles of three species of family Scombridae in the Japan Sea

Shun Satoh*, Hideaki Tanoue*, Takuto Tsukano**, Hiromu Fukuda***, Takeshi Yamane****, Taketomo Enoshima***** and Masahiko Mohri*

*水産大学校 海洋生産管理学科: Department of Fishery Science and Technology, National Fisheries University

**北海道庁: Hokkaido Government

***国際水産資源研究所: National Research Institute of Far Seas Fisheries, Fisheries Research Agency

****琵琶湖みらい研究所(株): Lake Biwa Institute for the Future

*****水産大学校練習船 天鷹丸: National Fisheries University, Tenyomaru

Abstract

Juveniles of three species of family Scombridae— bluefin tuna (*Thunnus orientalis*), longtail tuna (*T. tonggol*), and bullet tuna (*Auxis rochei*)— were examined for species discrimination using a linear discriminant analysis (LDA). The results indicate a discrimination hitting ratio of 97.2% ($p=0.00$) between tuna fishes (bluefin tuna and longtail tuna) and bullet tuna, and 56.5% ($p=0.51$) between Bluefin tuna and longtail tuna. We discuss the effects of the parts of specimens measured on the discrimination hitting ratio.

1 緒言

太平洋クロマグロ *Thunnus orientalis* (以下、クロマグロ) の漁獲量・輸入量は、ともに日本が世界で最も多く、日本国内の供給量も1990年を皮切りに増加している[1]。それに伴い、これまで以上にクロマグロの精度の高い資源の把握が進められているだけでなく、産卵時期やその産卵場の特定などの調査研究も進められている。クロマグロの主な産卵場は、南西諸島や大東島周辺海域等であり、それに加えて少数ながら日本海でも産卵が行われていることが示唆されている [2]。

2010年度から（独）水産総合研究センターが中心となり、日本海の漁業と密接な関わり合いのある（独）水産大学校や近隣各県の水産試験場等と、共に実施しているクロマグロの仔稚魚調査では、クロマグロだけでなく同属のコシナガ *T. tonggol* の稚魚・幼魚も混獲されている。

コシナガは、マグロ属魚類の中でも最も小型な魚種であり、60cm程度で成熟し [3]、日本沿岸にも産卵場を有す可能性が指摘されている [4]。クロマグロ未成魚は、見かけ上コシナガの成魚と似ているが、コシナガの成魚は胸鰭の先端が第二背鰭起部に達し、クロマグロは達さないという特徴がある [5]。しかし、クロマグロの稚魚・幼魚とコシナガの稚魚・幼魚との計測形質の差は乏しく、尾叉長17cm以上のクロマグロ幼魚とコシナガの幼魚における形態的差異は示されているものの [6]、それ以下のサイズの個体に関しては、DNA分析による種判別に頼らざるを得ない現状がある。

クロマグロの仔稚魚・幼魚の生息状況を把握しようとする際に入網する大量のサンプルに対して全てDNA分析だけでわずかなクロマグロの稚魚を見つけ出すことは、コストパフォーマンスが悪すぎる。そこで、写真等、事前に入手可能な断片的データから得られる計測部位の情報から効率的にDNA分析を行うサンプルを抽出する手法の開発が求められている。これまで画像から得た計測部位の値を用いたIguchiらの研究 [7] では、イワナやカワマス等で判別関数によって効率的に種判別に応用する取り組みが行われている。

本研究では、日本海におけるクロマグロの仔稚魚調査において、混獲されるコシナガに加え、その他の魚種として多くサンプリングされ、形態がマグロ属魚類の稚魚・幼魚と似ているマルソウダ *Auxis rochei* について、判別関数の適用による太平洋クロマグロとの分離の可能性について検証し、ここに報告する。

2 材料と方法

2.1 サンプル及び計測部位

2012年9月、近畿大学水産研究所大島実験場において養殖された太平洋クロマグロ ($n=16$)、2012年8月、日本海西部海域において水産大学校練習船天鷹丸で採取したコシナガ ($n=8$)、及びマルソウダ ($n=13$) を本研究の供試魚として使用した。なお、コシナガ及びマルソウダの稚魚は、DNA分析(塩基配列分析)を用いた種判別により同定した個体を用いた。供試魚の計測部位は、Kobayashi [5] により尾叉長17cm以上のクロマグロ、コシナガの幼魚において、差異が確認されている胸鰭長(C-D)・頭長(A-B)・尾叉長(A-E)とした(Fig. 1)。

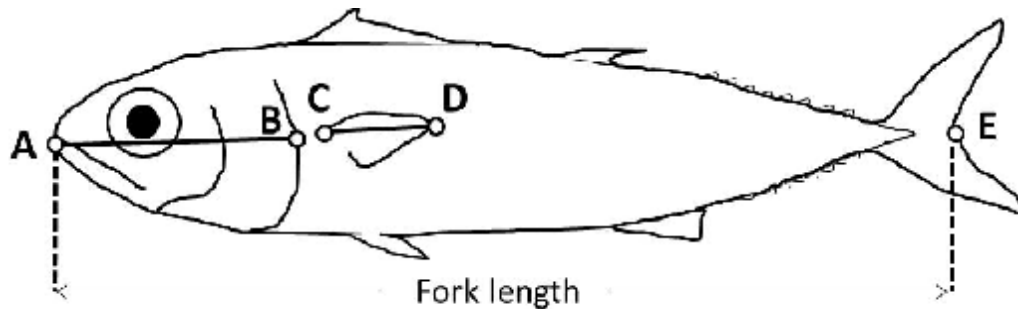


Fig.1 Measured parts of specimens

A-E: Fork length. A-B: Head length. C-D: length of pectoral fin.

2.2 解析

判別分析を用いた種判別には、線形判別関数を用いた。判別分析とは、変量の観測値に基づいて目的とする判別を行うためのものである。本研究では判別分析の一種である、線形判別分析(以下、LDA)を用いた。LDAは、目的とする判別を変量 $x_1, \dots, x_p$ の線形式(1次式)に基づいて行うものである。判別式は以下の通りである。

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p + b \quad (1)$$

(y : 目的変数 x_p : 説明変数 a_p : 判別係数 b : 定数項)

マグロ類(クロマグロとコシナガ)とマルソウダ、クロマグロとコシナガのそれぞれの胸鰭長を尾叉長, 頭長で除して標準化した値でLDAを用いて判別式、判別得点を算出した。

また、形態計測の分析では、胸鰭長を尾叉長, 頭長で除した値でヒストグラムを作成し、その分布の違いから形態的差異を調べた。

3 結果

3.1 判別分析を用いた種判別

LDA を用いた種判別では、マグロ類(クロマグロ・コシナガ)とマルソウダの判別率的中率は、97.2%であった (Fig. 2)。また、以下の判別式が得られた。

$$y = -30.4 \text{CD/AB}^{**} + 285.8 \text{CD/AE}^{**} - 18.0$$

($p=0.00$ $**p<0.01$)

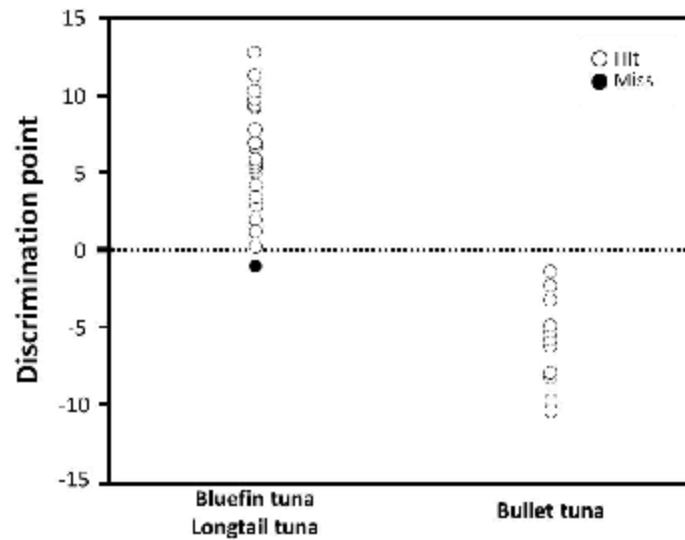


Fig.2 Discrimination points among bluefin tuna, longtail tuna, and bullet tuna

クロマグロとコシナガの判別率的中率は 56.5%であった (Fig. 3)。
($p=0.51$)

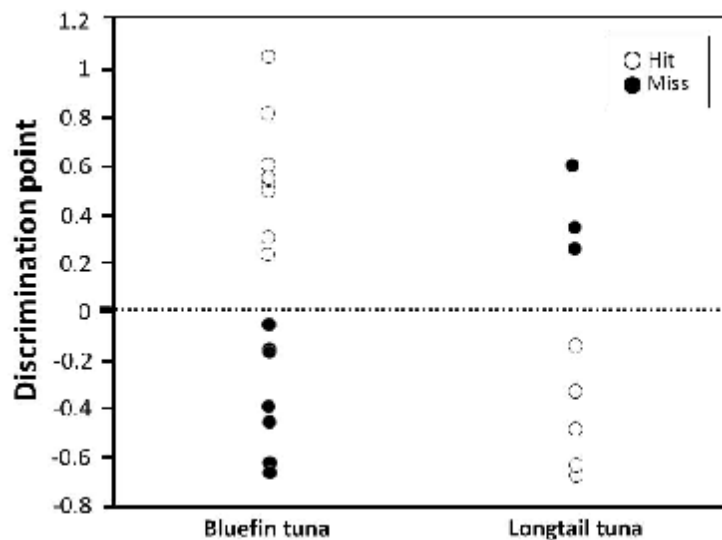


Fig.3 Discrimination points between bluefin tuna and longtail tuna

3.2 形態計測の分析

胸鰭長を尾叉長で標準化した値の頻度分布には、クロマグロとマルソウダ間 (Steel-Dwass $p=0.00$) 及びコシナガとマルソウダ間 (Steel-Dwass $p=0.00$) には明瞭な差が認められたが、クロマグロとコシナガ間 (Steel-Dwass $p=0.96$) には、明瞭な差は認められなかった (Fig. 4)。

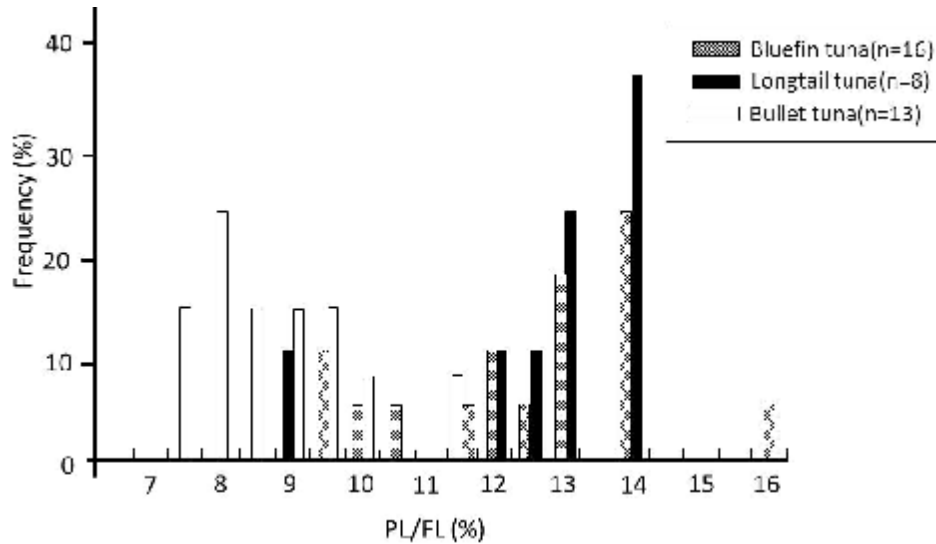


Fig.4 Frequency distribution of ratio of fork length to length of pectoral fin

胸鰭長を頭長で標準化した値の頻度分布には、クロマグロとマルソウダ間 (Steel-Dwass $p=0.02$) 及びコシナガとマルソウダ間 (Steel-Dwass $p=0.04$) には、前者ほど明瞭ではないにしても差が認められたが、クロマグロとコシナガ間 (Steel-Dwass $p=0.77$) には、明瞭な差は認められなかった (Fig. 5)。

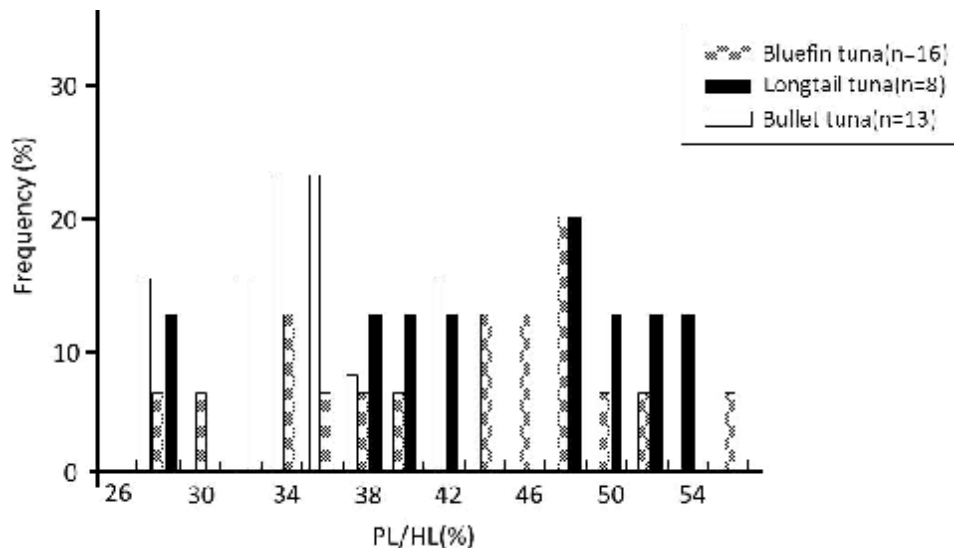


Fig.5 Frequency distribution of ratio of head length to length of pectoral fin

4 考察

本研究では、日本海のクロマグロの仔稚魚調査で採集されるクロマグロ・コシナガ・マルソウダの稚魚に対する形態面の違いを判別分析によって統計的な解析をする試みを行なった。その結果、マグロ属（クロマグロ・コシナガ）とマルソウダ間では、高い判別得点を示し、形態計測の分析からもこの結果を支持する結果が得られた。このことにより、本研究では、大量に混獲されるマルソウダの中からわずかに採集されるマグロ類を抽出する際に、胸鰭長/頭長、胸鰭長/尾叉長の計量形質を用いることができる可能性が示唆された。

一方、同属間のクロマグロとコシナガに関しては、明瞭な統計的な差を得ることができなかった。クロマグロとコシナガ間の判別率の中率が低かったことは、コシナガの形態的特徴である第二背鰭起部までの胸鰭の伸長が、本研究で用いたサンプル(17cm 以下)では明瞭化していないことに原因があると考えられる。従って、クロマグロとコシナガの胸鰭の伸長と個体サイズとの関係をより明確にするだけでなく、本研究で用いたサンプルにおいては、胸鰭以外の計量形質を用いた種判別を検討する必要性もあり、着目すべき部位の抽出や抽出した部位が判別得点にどのような影響を及ぼすかも考察する必要がある。

以下において、クロマグロ・コシナガ間について、計測部位の違いが判別分析の結果に及ぼす影響を検討する。計測部位は、Fig. 6 に示した 8 箇所であり、それらの部位を尾叉長で除して標準化した値を判別分析に用いた。

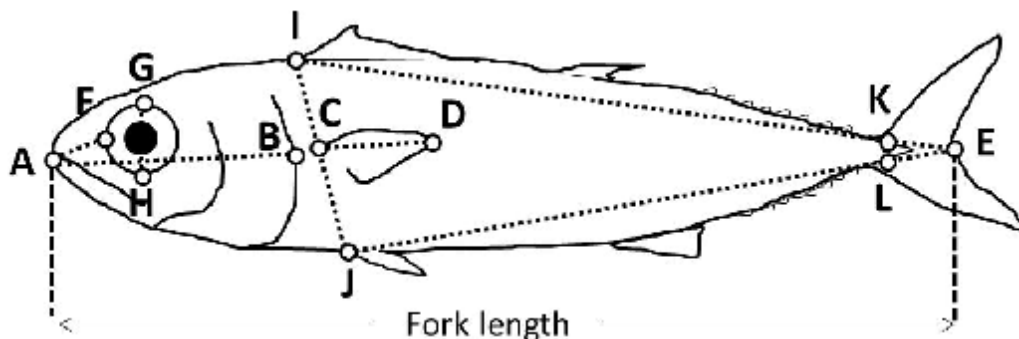


Fig.6 Reconsider measured parts of specimens

A-E: Fork length. A-B: Head length. C-D: Length of pectoral fin. A-F: Snout length. I-J: Body height. G-H: Eye diameter. I-E: Length of basal part of dorsal fin to part of fork. J-E: Length of basal part of pelvic fin to part of fork. K-L: Depth of caudal peduncle.

A-E: 尾叉長、A-B: 頭長、C-D: 胸鰭長、A-F: 吻長、I-J: 体高、G-H: 眼径、I-E: 第一背鰭基部から叉入部長さ、J-E: 腹鰭基部から叉入部長さ、K-L: 尾柄高である。

上記の部位を用いたクロマグロとコシナガ間の判別得点率は 91.3% ($p=0.02$) であり (Fig. 7)、以下の判別式が得られた。

$$y = -92.4AB/AE + 227.0AF/AE - 215.8IJ/AE^{**} - 61.525GH/AE + 70.2CD/AE \\ + 79.3IE/AE - 129.8JE/AE^{*} + 252.0KL/AE + 80.1$$

($p=0.02$ $**p<0.01$ $*p<0.05$)

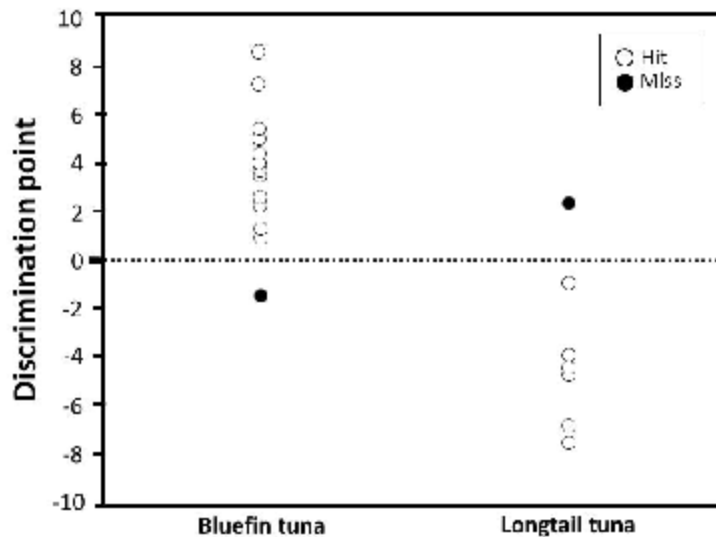


Fig.7 Discrimination points between Bluefin tuna and Longtail tuna

この式において、判別係数が有意であった I-J:体高/尾叉長 ($p=0.00$) と J-E:腹鰭基部から叉入部/尾叉長 ($p=0.03$) の二つの部位の頻度分布を用いた形態計測の分析を行ったところ、体高を尾叉長で標準化した値 (体高/尾叉長) に明瞭な差があることがわかった (Mann Whitney' s U, $p=0.00$) (Fig. 8)。このことから、判別分析を使うことで数多くの計測部位の中から種間の形態的特徴をつかむ上での着目すべき計測部位を抽出できる可能性が示唆された。

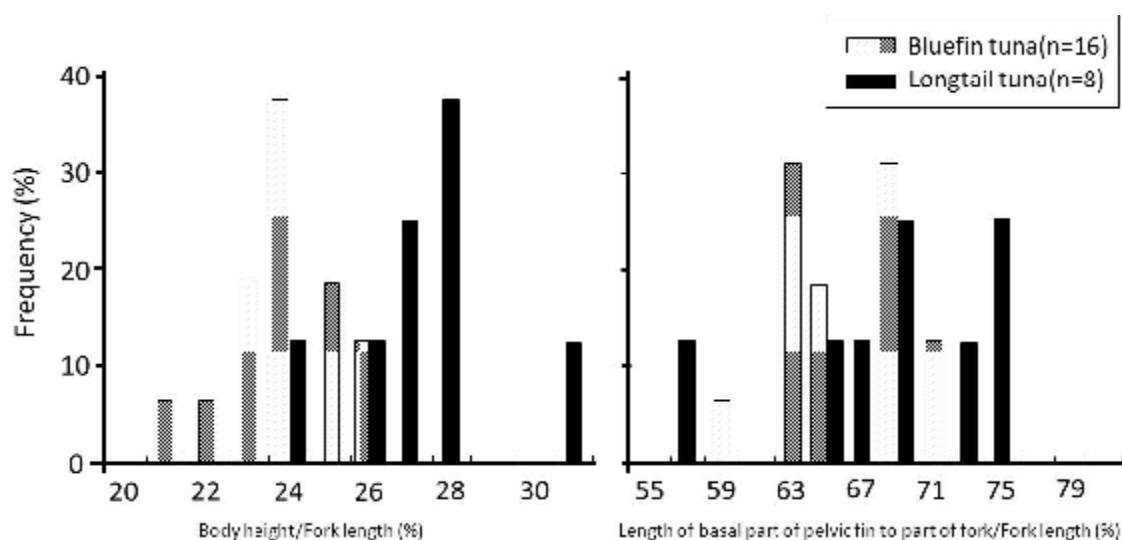


Fig.8 Frequency distribution of ratio of body length(I-J)/fork length and Length of basal part of pelvic fin to part of fork (J-E)/fork length

以上のことから本研究では、クロマグロ・コシナガ・マルソウダの稚魚を研究対象として、それらの稚魚の形態面の違いについて判別分析を用いて統計学的に示すことができ、日本海のクロマグロの仔稚魚調査で漁獲される混獲物の中からクロマグロの稚魚を抽出することに本手法が有効であることが示唆された。

この度は、DNA 判別などにより種が分かっているサンプルを学習データとして判別式を算出した。今後は、本研究で算出された判別式を用いて、判別式算出にまだ未使用で種が分かっていない新たなサンプルについて、種判別の的中率を求め、判別分析の有効性を定量的に示す必要があると考える。また、本研究では、尾叉長を用いて各計測部位の標準化を行ったが、叉入の深さは、仔稚魚期から未成魚期に変化することも考えられる。今後、基準となる計測部位設定には、仔稚魚の形態発達を考慮することも検討すべき課題のひとつである。

参考文献

- [1] Kohei Matsuno, Sachiko Harada, Minoru Tada: Demand-supply trend of Bluefin tuna and the economic potential of the reproductive farming technology, 近畿大学農学部紀要, 第 43 号, (2010) , 1-5.
- [2] 水産庁議事録: 海洋水産エンジニアリング: 第 108 号, 太平洋クロマグロ資源管理に関する全国会議について, 2013.
- [3] Shane P. Griffiths, Gary C. Fry, Fiona J. Manson, Dong C. Lou: Age and growth of longtail tuna (*Thunnus tonggol*) in tropical and temperate waters of the central Indo-Pacific, IOTC-2011-WPNT0, (2011) , 1-16.

- [4] 伊藤智幸・由木 雄一・辻 祥子: 日本周辺海域におけるコシナガ *Thunnus tonggol* の産卵の可能性と成長, 遠洋水産研究所研究報告, 36, (1990), 47-53.
- [5] 中坊徹次: 日本産魚類検索全種, 東海大学出版会, 1993.
- [6] Tomokichi Kobayashi: Morphological differences between *Thunnus tonggol* and *Thunnus thynnus* on their young stage, Bull. Yamaguchi pref. Fish. Res. Ctr. 2, (2004), 15-18.
- [7] Kei' ichiro IGUCHI, Satoshi KITANO, Naoto Matsubara: Morphometric discrimination between Japanese charr and brook trout, Bull. Fish. Res. Agen., (2001), 1-5.

受付日 2013 年 7 月 16 日

受理日 2013 年 10 月 4 日

著者略歴

佐藤 駿

2010 水産大学校海洋生産管理学科入学

2013 水産大学校海洋生産管理学科 在籍中

現在に至る

研究対象: 水産資源・魚類に関する研究

所属学会: 日本水産学会

田上 英明

2009 東京大学大学院 農学生命科学研究科 水圏生物科学専攻博士課程修了

2009 東京大学大気海洋研究所 特任研究員

2011 海洋政策研究財団 政策研究グループ 研究員

2013 水産大学校 海洋生産管理学科 助教

現在に至る

研究対象: 資源管理学, 沿岸域総合的管理

所属学会: 日本海洋政策学会、日本水産学会、水産海洋学会、日仏海洋学会、バイオロギング研究会

塚野 拓人

2013 水産大学校海洋生産管理学科卒業

2013 北海道庁 水産林務課

現在に至る

研究対象: 水産資源管理学

福田 漠生

2010 近畿大学大学院農学研究科博士後期課程修了

2010 博士（農学取得）

2010 近畿大学大学院農学研究科 G-COE プログラム博士研究員

2011 （独）水産総合研究センター国際水産資源研究所 研究員

現在に至る

研究対象：漁業学、水産資源学

所属学会：日本水産学会、日本水産工学会、日本バイオロギング研究会

山根猛

1980 近畿大学農学部水産学科 助手

1982 博士号取得（水産学・北海道大学）

1989 近畿大学農学部水産学科 講師

1993 近畿大学農学部水産学科 助教授

1999 近畿大学農学部水産学科 漁業生産システム研究室 教授

2013 琵琶湖みらい研究所（株）

現在に至る

研究対象：水産学一般

所属学会：日本水産学会、日本水産工学会、日本生態学会、アジア水産学会

江野島岳友

1994 水産大学校漁業学科卒業

1995 水産大学校漁業学科専攻科修了

1995 水産庁漁政部漁政課（船舶予備員）に採用

1996 北海道区水産研究所北光丸三等航海士

2000 海洋水産資源開発センターに出向

2001 水産庁漁政部漁政課（船舶予備員）に復帰

2003 水産大学校助手耕洋丸次席一等航海士

2010 水産大学校講師耕洋丸専任教員

2012 水産大学校講師天鷹丸一等航海士

現在に至る

毛利雅彦

1987 水産大学校漁業学科卒業

1988 水産大学校漁業学科専攻科修了

1990 東京水産大学大学院水産学研究科博士前期課程修了

1991 東京水産大学大学院水産学研究科博士後期課程中途退学

1991 水産大学校海洋生産管理学科（旧：漁業学科）

1998 博士（水産学：東京水産大学（現：東京海洋大学）

現在に至る

研究対象：高度回遊性魚類の漁場環境の関連に関する分野

所属学会：日本水産学会、数理水産科学会、日仏海洋学会、水産海洋学会、水産工学会