

# 板鰓類研究会報

第 57 号

Report of Japanese Society for Elasmobranch Studies

No. 57

## 特集：胎仔研究の今

板鰓類研究の地平線：サメのゲノムと同位体 / サメと働く現場より：田向商店

/ 海外研究室だより：James Cook University

日本板鰓類研究会

Japanese Society for Elasmobranch Studies

2021年12月 December, 2021





表紙写真：ツノザメ属の一種の胎仔。ツノザメ属の胎仔は、卵黄嚢に蓄えられた卵黄のみを栄養として、子宮内で成長すると考えられている。このような繁殖様式は、卵黄依存型胎生と呼ばれている。(富田)

# 目次

---

## ■特集：胎仔研究の今

### 01 板鰐類の繁殖の多様性研究の現状と成果および将来展望について

佐藤 圭一・山口 敦子・兵藤 晋

### 02 「胎仔の機能形態学」への招待

富田 武照・村雲 清美

### 07 卵生板鰐類の胚発生におけるプレハッチ現象：その生理学的意義

本田 祐基・高木 互

### 11 有明海におけるアカエイの繁殖生態と胎仔の発達について

古満 啓介・山口 敦子

## ■情報・記録

### 16 駿河湾で採取された板鰐類3種の奇形個体

田中 彰

### 19 日本産エイ類に寄生するエイナガクビムシ属カイアシ類

長澤 和也

### 23 小笠原諸島における画像によるシロワニ *Carcharias taurus* 個体識別調査

中村 雅之・田中 彰・シロワニ繁殖協議会

## ■板鰐類研究の地平線

### 32 軟骨魚類の分子レベルでの研究を支える Squalomix コンソーシアム

工樂 樹洋

### 38 Isotopic insights into enigmatic elasmobranchs: promise and pitfalls

Alex S. J. Wyatt

## ■サメと働く現場より

### 42 青森サメ食文化の変遷と現在～弊社の展望と挑戦～

田向 常城

## ■海外研究室だより

### 60 マングローブとサメの関わりを研究したい！

菅野 詩織

## ■新刊書籍紹介

### 64 沖縄さかな図鑑 / 寝てもサメでも 深層サメ学

/ Whale Sharks: Biology, Ecology, and Conservation

矢野 寿和 / 仲谷 一宏 / 松本 瑠偉

## ■イベント情報

### 66 板鰐類シンポジウム 2021

## ■事務報告

### 69 総務・広報報告 / 会計報告

特集のまえがきにかえて

## 板鰐類の繁殖の多様性研究の現状と成果および将来展望について

佐藤 圭一<sup>1,2</sup>・山口 敦子<sup>3</sup>・兵藤 晋<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>沖縄美ら海水族館・<sup>2</sup>沖縄美ら島財団総合研究センター・<sup>3</sup>長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科・<sup>4</sup>東京大学大気海洋研究所)

近年、世界の板鰐類研究の潮流は種の保全がテーマの中心となりつつある。現在 IUCN は、板鰐類において 387 種を絶滅危惧種と評価しており、今後もその流れは変わらないと思われる。一方、板鰐類の生体をあつかう組織学や生理学など基礎研究の機会が失われつつあり、近い将来の担い手不足を招くことが危惧される。著者らは、生物学の基礎研究の再興をめざし、我が国が世界の板鰐類研究をリードし得る分野において核心を担う人材と技術の育成を目標とし、研究プロジェクトを主導したいと考えている。

とくに、板鰐類の繁殖に関する知見は乏しく、従来の研究法を踏襲するのみでは発展が見込めない。板鰐類の繁殖様式は、脊椎動物中でも顕著に多様化しているが、それらの記載的な報告すら断片的である。板鰐類の繁殖様式は Wourms (1977) が類型化し、現在も彼の体系が基礎とされている。一方 Dulvy and Reynolds (1997) により明らかなように、同一の繁殖様式に類型化される場合でも、系統学上は並行的に獲得された形質や、逆転現象により失った形質が多くみられるなど、各形質の由来や進化の過程には疑問が多く残る。

たとえば、卵食型として知られるネズミザメ目 (Lamniformes)、チヒロザメ (*Pseudotriakis microdon*)、オオテンジクザメ (*Nebrius ferrugineus*) は一様に卵食型とされるが、妊娠過程を詳細に観察すれば全く異なる過程で獲得された形質と分かる。つまり、これらは独立して獲得された繁殖様式であり、卵食型として同一化すべきではない。また、近年明らかとなったホホジロザメに見られる子宮ミルク分泌についても、他のサメ類に共通する現象であるのか、エイ類の分泌方法との類似がどの程度見られるかについては不明である。また、アカエイ類やトビエイ類などに見られる胚休眠という現象が、どのようなメカニズムで制御され、それが種または個体群の生存戦略にとってどう意味を持つのか、解明すべき課題は多い。

一般に、繁殖周期が長い板鰐類の繁殖生態や生理学的な研究は、十分なサンプル数が得られず短期的に成果が見込めないため、モデル動物としての利用可能性も低い。さらに、近年では世界基準となっている動物実験倫理に対する配慮から、サメ類の致死的研究への抑制的な意見も多い。これらに対して、新たな手段つまり非侵襲的な研究手法による多様な研究報告が、日本国内で近年多くみられるようになった。これは、我が国が世界に先駆けて実用化した研究手法の一つであり、海洋水産国家としてのメリットを十分に生かしながら、動物の保全に対して貢献できる分野であろう。今回の特集は、これからの国内での繁殖研究を促進するため、気鋭の研究者たちによる近年の成果を会員と共有し、今後の研究者間の連携強化を図る目的で企画された。会報では、研究分野ごとに同様の特集を組み、我が国における板鰐類研究の発展を図りたいと考えている。

### 引用文献

Dulvy NK, Reynolds JD. 1997. Evolutionary transitions among egg-laying, live-bearing and maternal inputs in sharks and rays. Proc. R. Soc. Lond. B, 264:1309–1315.

Wourms JP. 1977. Reproduction and development in chondrichthyan fishes. Amer. Zool., 17:379–410.

## 「胎仔の機能形態学」への招待

富田 武照<sup>1,2</sup>・村雲 清美<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>沖縄美ら島財団総合研究センター・<sup>2</sup>沖縄美ら海水族館)

### Where embryology meets functional morphology: A new frontier of science

Taketeru Tomita<sup>1,2</sup>, Kiyomi Murakumo<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Okinawa Churashima Research Center, <sup>2</sup>Okinawa Churaumi Aquarium)

#### 1. はじめに：なぜ胎仔は親と違う形をしているのか？

胎仔は親とは異なる形を持つ。この事実に、生物学的な意味を見出そうとする試みは古くから行われてきた。中でも、胎仔の形に、その生物の祖先の姿を見出した例は多い。例えば、鯨類の胎仔は後脚を持ち、頬にヒゲを持つ。つまり、生物の発生過程は、その生物が辿ってきた進化の歴史を反映するようになるのである。この考えに従えば、胎仔が親と違う形態をしているのは、祖先の形態を残しているからだということになる。今では、反復説とも呼ばれるこの考えを、文字通り主張する研究者は少ない。しかし、発生過程に進化的な情報が含まれるということは多くの研究者の認めるところであり、現在でも様々な分野の研究に影響を与えているパラダイムと言える。特に、進化発生生物学 (Evolutionary Developmental Biology) では、「原始的な」顎口類とされる板鰓類の形態形成のプログラムを遺伝子レベルで解明し、そのプログラムを「より派生的な」脊椎動物と比較することにより、進化過程でどのようにプログラムの書き換えが起こってきたのか理解しようとする試みが続けられている (例えば Tanaka et al., 2002; Freitas et al., 2007: 鰭から肢への進化)。

進化発生生物学の目覚ましい成果については、より相応しい書き手に委ねるとして、本稿では「なぜ胎仔は親と違う形をしているのか？」という疑問に対する別の答えを提示したい。我々が重要視するのは板鰓類の胎仔の形の多様性である。進化発生生物学然り、これまでの板鰓類の発生過程に関する知識は、実験室で飼育できる、ごく少数の小型種 (トラザメの仲間や、ある種のガンギエイなど) に偏ってきた。その結果、これら少数の種が、あたかも板鰓類全体、ひいては軟骨魚類全体を代表するかのよう扱われている。しかし、現実の板鰓類の胎仔の形態は実に多様である。一つの形態をもって、これが標準形ですと言えるような代物ではない。この多様性の例を私達の研究を元にいくつか紹介しながら、胎仔の形態の意味について考えていきたい。

#### 2. ホホジロザメの「乳歯」

ホホジロザメ *Carcharodon carcharias* はその知名度とは裏腹に、その繁殖生態は長らく謎に包まれてきた。近年の調査により、ようやく胎仔の発生過程についてその全貌が明らかになってきたが (Sato et al., 2016; Tomita et al., 2018)、特に興味深い発見がホホジロザメの胎仔歯である。多くの胎生サメ類は、胎仔の間は機能歯を持たない。ところが、我々が調査した現時点で最小のホホジロザメ胎仔の標本は、顎に歯が並んでいた (図 1)。詳しく調べると、その形態は親と異なり、画鋏のような形状をしている (Sato et al., 2016; Tomita et al., 2017)。このような形状の胎仔歯は近縁種から知られていたが (例えば, Gilmore et al., 1983)、ホホジロザメでは未確認であった。さらに、もう少し発生が進んだ胎仔の観察から思わぬ発見があ

った。それは、これらの胎仔の顎には歯が生えていなかったのである。つまり、ホホジロザメの胎仔は、妊娠初期に一度歯を生やし、後に再び歯を失うらしい。

なぜこのようなややこしいことをするのか？私たちは、ホホジロザメの特殊な繁殖様式にその答えがあると考えている。ホホジロザメを含むネズミザメ類の胎仔は、子宮内で栄養卵と呼ばれる特殊な卵を食べて成長する。実際、私達の観察した妊娠初期のホホジロザメの胎仔の標本が入っていた子宮からも栄養卵が多く発見されている。ところが、この栄養卵の供給はある時期からストップするようだ。妊娠後期の子宮からは栄養卵は見つかっていない。つまり、ホホジロザメの胎仔は栄養卵の摂取のために妊娠の一時期に特殊な歯を持ち、栄養卵の供給が止まってから再び歯を失うと考えられるのである。胎仔が歯を持つと子宮壁を傷つける恐れがあるから、不必要な歯は持たない方が母体にとっても胎仔にとっても都合が良いのだろう。

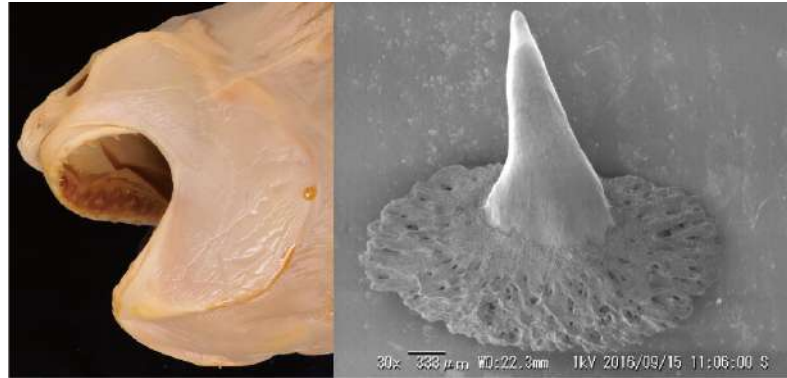


図1 ホホジロザメ胎仔の顎に生えた歯（左）と、その電子顕微鏡写真（右）。

### 3. アカエイ胎仔の腸

次に紹介するのは、アカエイ *Hemirhynchus akajei* と呼ばれる胎生エイの胎仔の腸に関する発見である。私たちが、アカエイの消化管の発生過程を研究する中で興味深いことが明らかとなった。それは、アカエイの胎仔の腸は、腹腔の容積の大半を占め、その割合は親の4-6倍にも達するのである（図2）。

この巨大な腸の意味は、内部を観察すると明らかになる。その巨大な腸の後ろ半分は糞便で満たされているのだ（Tomita et al., 2020）。母胎内の胎仔にとって排便は大きな問題である。なぜなら胎仔が排便すると子宮内液が汚染されてしまうからだ。サメの胎仔は鰓呼吸をしているから、子宮内液の汚染は致命的な問題だろう。特に深刻だと予想されるのは、子宮壁から分泌される脂質を多く含む液体（子宮ミルク）を摂取して成長するアカエイなどのトビエイ類である。彼らは子宮内で経口摂取するため、大量の糞便が生成されると考えられるからだ。糞便を構成するのは未消化のミルクだけではない。消化吸収を行う腸壁の死んだ細胞も糞便の重要な構成要素となりうる。実際、我々の研究でも腸壁の作り替えと思われる腸壁表皮の剥離が観察されている。

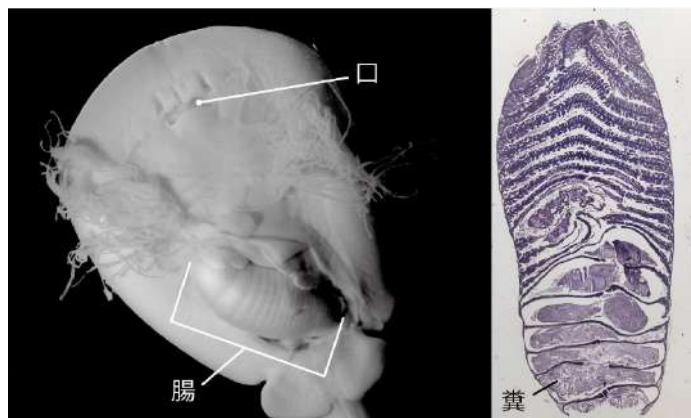


図2 アカエイ胎仔の巨大な腸（左）と、その縦断面（右）。Tomita et al. (2020)を改変。

我々が発見した巨大なアカエイ胎仔の腸は、その糞便問題に対する解決策だと解釈される。つまり、子宮内で排便はせず、妊娠期間中に生成されるすべての糞便を腸に蓄積していると考えられるのである。興

味深いことに、アカエイ胎仔の腸の出口は出産前まで完全に塞がっている。彼らは糞便を出そうにも出せないのだ。このような巨大な腸は、アカエイ以外にも、同じく胎仔がミルクを飲んで成長するオニトマキエイ *Mobula birostris* やイバラエイ *Urogymnus asperrimus* のような胎生種でも確認されている。

#### 4. マンタ胎仔の噴水孔

オニトマキエイ *Mobula birostris* やナンヨウマンタ *Mobula alfredi* に代表されるイトマキエイ類は、スリット状の狭い噴水孔を持つ (図3左)。これは他のエイ類が、目の後ろに巨大な円形の噴水孔を持つことと対照的である。イトマキエイ類が狭い噴水孔を持つことは、彼らの呼吸様式と関連があると考えられている。多くの底生性のエイは、噴水孔を呼吸水の吸入口として用いており、口腔内を陰圧にすることで噴水孔から水を吸い、その後に加圧することで鰓に呼吸水を送り出している。このような呼吸水の換水様式を口腔ポンプ換水 (buccal pumping) と呼ぶ。一方で、イトマキエイ類の呼吸様式はラム換水 (ram ventilation) と呼ばれ、遊泳時に口から流入して来る水の圧力を用いて、鰓に呼吸水を通してしている。この方法では、噴水孔はもはや呼吸水の入り口として使われていないから、大きな噴水孔は必要ないということになる。噴水孔が縮小する傾向は、遊泳性の高いサメ類でも広く見られる。

ところが、面白いことにイトマキエイ類の胎仔は、大きく開口した円形の噴水孔を持つ (図3右)。この特徴は、胎仔特有の呼吸様式と関連があると我々は考えている。沖縄美ら海水族館ではナンヨウマンタの飼育下繁殖に成功しており、妊娠中の胎仔の様子を超音波診断装置 (エコー) で観察することができる。その結果、ナンヨウマンタの胎仔は、底生性のエイと同じく口腔ポンプ換水によって呼吸していることが明らかになった (Tomita et al., 2012, Murakumo et al., 2020)。ラム換水は遊泳による水の圧力を原動力にするため、子宮内で遊泳しない (できない) 胎仔は用いることができない。その代り、底生性のエイのように口腔ポンプを用いて呼吸しているのだと考えられる。つまり、胎仔の大きく開いた噴水孔は、彼らが噴水孔を呼吸のために用いているためと解釈されるのである。ちなみに、生まれたばかりのナンヨウマンタを観察したところ、彼らは円形の噴水孔を持ち、出産後に数ヶ月かけて閉じていくようである。



図3 ナンヨウマンタの噴水孔。親 (左) と胎仔 (右)。

#### 5. 胎仔の多様な生き様が、形態の多様性を生んだ?

以上、我々が研究してきた板鰐類胎仔の形態の多様性について解説してきた。これらの例には、ある共通点がある。それは、これらの形態が胎仔の生き様と密接な関連があるように思われるということである。つまり、これらの胎仔の形態は機能的に説明できるということだ。その意味を考える上で忘れてはならないのは、胎仔といえども自然淘汰とは無関係ではいられないということである。胎仔は、卵生であれ胎生であれ、卵殻や子宮という特殊な環境下で、数ヶ月～数年間も生存しなければならない。しかも親が持っている器官の一部は未発達である。その特殊な状況下で生き抜くために、胎仔が新たな形態を獲得することは大いにありうることだ。胎仔の形態が親と異なっていた時に、それが祖先形質だと短絡すべきではな

く、特殊な状況に適応するために獲得された派生形質であることを十分に考慮する必要がある。「なぜ脊椎動物の胎仔は親と違う形をしているのか？」という質問に対する本稿の答えは、「親とは異なる状況に適応しているからだ」ということになるだろう。この可能性を明らかにしていくのが、本稿で提唱する胎仔の機能形態学だ。もちろん、胎仔の形態には祖先形質と派生形質が混在しているはずであり、先に述べた進化発生生物学と矛盾するものではないことは申し添えたい。

胎仔の機能形態学的研究は、今後ますます重要度を増すだろう。近年の研究は、板鰓類の胎仔の子宮内での生き様、特に母体からの栄養摂取の方法が、想像以上に多様で複雑であることを明らかにしているからだ。一方で、研究を行う手法も日々進展している。沖縄美ら海水族館で開発された「水中エコー」（超音波診断装置を水中ハウジングに格納したもの）は、これまで見ることがかなわなかった母体中の胎仔の行動を非侵襲で観察することを可能にし、いくつもの新発見をもたらしている（例えば Tomita et al., 2019：オオテンジクザメ *Nebrius ferrugineus* は子宮内で遊泳を開始する）。さらに、我々は胎生種の胎仔を子宮外で維持する技術「人工子宮」の開発を進めている。これは、胎生種の胎仔の成長を肉眼で観察することを可能にする画期的な技術である。今後、胎仔の形に関する研究にどんな展開が待ち受けているのか、我々も楽しみでならない。

#### 謝辞

本稿の執筆の機会を与えていただいた沖縄美ら海水族館の佐藤圭一氏に感謝の意を表す。本研究は、沖縄美ら海水族館の飼育スタッフの皆様、特に戸田実氏の協力なくして遂行することはできなかった。ここに併せて感謝の意を表す。

#### 引用文献

- Freitas, R, G. Zhang and M. J. Cohn. 2007. Biphasic *Hoxd* gene expression in shark paired fins reveals an ancient origin of the distal limb domain. PLOS ONE, 2:e754.
- Gilmore, R. G., J. Dodrill and P. Linley. 1983. Reproduction and embryonic development of the sand tiger shark, *Odontaspis taurus* (Rafinesque). Fish. Bull., 81:201–225.
- Sato, K., M. Nakamura, T. Tomita, M. Toda, K. Miyamoto and R. Nozu. 2016. How great white sharks nourish their embryos to a large size: evidence of lipid histotrophy in lamnoid shark reproduction. Biol. Open, 5:1211–1215.
- Murakumo, K., R. Matsumoto, T. Tomita, Y. Matsumoto and K. Ueda. 2020. The power of ultrasound: observation of nearly the entire gestation and embryonic developmental process of captive reef manta rays (*Mobula alfredi*). Fish. Bull., 118:1–7.
- Tanaka, M., A. Munsterberg, W. G. Anderson, A. R. Prescott, N. Hazon, et al. 2002. Fin development in a cartilaginous fish and the origin of vertebrate limbs. Nature, 416:527–531.
- Tomita, T., M. Toda, K. Ueda, S. Uchida and K. Nakaya. 2012. Live-bearing manta ray: how the embryo acquires oxygen without placenta and umbilical cord. Biol. Lett., 8:721–724.
- Tomita, T., K. Miyamoto, A. Kawaguchi, M. Toda, S. Oka, R. Nozu and K. Sato. 2017. Dental ontogeny of a white shark embryo. J. Morphol., 278:215–227.
- Tomita, T., M. Toda, K. Miyamoto, S. Oka, K. Ueda and K. Sato. 2018. Development of the lunate-shaped caudal fin in white shark embryos. Anat. Rec., 301:1068–1073
- Tomita, T., K. Murakumo, K. Ueda, H. Ashida and R. Furuyama. 2019. Locomotion is not a privilege after birth:

Ultrasound images of viviparous shark embryos swimming from one uterus to the other. *Ethology*, 125:122–126.  
Tomita, T., M. Nakamura, Y. Kobayashi, A. Yoshinaka and K. Murakumo. 2020. Viviparous stingrays avoid contamination of the embryonic environment through faecal accumulation mechanisms. *Sci. Rep.*, 10:1–7.



# 卵生板鰐類の胚発生におけるプレハッチ現象：その生理学的意義

本田 祐基<sup>1,2</sup>・高木 亙<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>東京大学 大気海洋研究所・<sup>2</sup>リージョナルフィッシュ株式会社)

## The physiological roles of “pre-hatching” in oviparous elasmobranch embryos

Yuki Honda<sup>1,2</sup>, Wataru Takagi<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Regional Fish Institute Ltd.)

### 1. プレハッチ pre-hatching 現象とは

板鰐類・全頭類を含むほとんどの卵生軟骨魚類では、受精後ほどなくして、卵殻に包まれた受精卵が産み落とされる(図1)。胚は半年から一年程の期間をかけて卵殻内で発生し、成魚のミニチュア(稚魚)として孵化する。産卵した後の卵殻内部は、卵殻腺より分泌されたゼリー状物質(Egg jelly)で満たされているが、発生の進行に伴い、胚の孵化腺から分泌される孵化酵素によって、ゼリー状物質は分解されてゆく。その結果、発生の途中で卵殻の一部が開き、海水が卵殻内外を自由に出入りできるようになる(Ballard et al., 1993)。この孵化 hatching に先駆けて起こる卵殻の開きは、プレハッチ pre-hatching と呼ばれ、卵生軟骨魚類に特徴的な現象だが、卵生軟骨魚の胚発生においてどのような意味を持つかはよくわかっていない。

欧米の研究者を中心に、板鰐類の発生研究には卵生のハナカケトラザメ *Scyliorhinus canicula* やガンギエイの一種 *Leucoraja erinacea* が用いられてきた。ヒトを含む硬骨魚綱の姉妹群である軟骨魚綱の胚の形態形成は、進化的な観点からも大きな注目を集めている(Tanaka et al., 2002; Okamoto et al., 2017; Kusakabe et al., 2020)。一方、軟骨魚類の発生中の胚の生理機能や、そのメカニズムについての情報は限定的である。当研究室では 2010 年からアクアワールド茨城県大洗水族館との共同研究により、卵生種トラザメ *Scyliorhinus torazame* を研究所内で飼育する体制を整え、その受精卵を用いて発生過程における生理機能の発達に関する研究を進めてきた。大人しく、飼育が容易であることに加え、飼育環境下で産卵を繰り返すため、多くの受精卵を安定して得ることができる。以下に、トラザメを用いた当研究室のこれまでの成果を紹介し、プレハッチの意義について考察する。

### 2. 発生過程での尿素を用いた体液浸透圧調節

海棲の軟骨魚類は、尿素を用いて体液浸透圧を海水よりもわずかに高く保つことで脱水から免れる特徴的な体液調節をおこなう。他の尿素排出性の脊椎動物と同様に、尿素は主に肝臓で合成されるが、近年、肝臓以外に筋肉や消化管も尿素合成能を有することが示唆されている。一方、発生初期の胚は、発生期間を通して成魚と同程度の体液尿素濃度(約 300mM)を維持することが明らかになっているが、器官の未発達な胚がどのようにして尿素を生合成し、維持できているかは不明であった。我々はトラザメの胚を用いて、尿素合成に関わる種々の酵素の遺伝子発現・酵素活性を各発生段階で解析し、発生初期には、卵黄を包み込んでいる卵黄嚢上皮(以下 YSM : yolk sac membrane)が胚の代わりに尿素合成を行うことを明らかにした



図1：上、卵殻内で発生する胚。プレハッチで卵殻の矢頭部分が開口する；下、プレハッチが起こるステージ31胚

(Takagi et al., 2017)。発生が進み、胚の尿素合成器官が発達するとともに、胚自身が尿素合成能を獲得し、主要な尿素合成器官はYSMから肝臓へと切り替わることも見出している(図2)。トラザメでは、産卵後2ヶ月ほど経った発生ステージ31にプレハッチが起こることが知られ、この尿素合成の場が移行し始めるのとちょうど同じタイミングである。

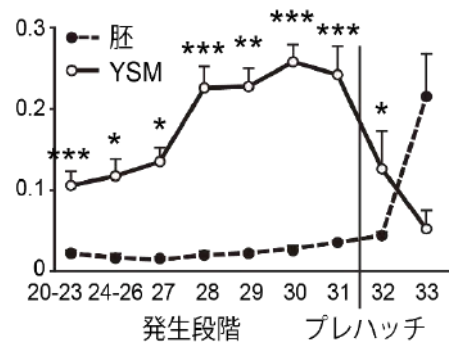


図2：尿素回路における律速酵素 *cpsIII* の遺伝子発現量変化

### 3. 発生過程における栄養吸収メカニズム①：らせん腸の形成と機能発達

軟骨魚類は、卵生から胎盤を用いる胎生まで様々な繁殖様式を持つことがよく知られる(Compagno et al., 1990; Musick and Ellis, 2005)。胚への栄養供給方法も、卵黄依存や母体依存(組織栄養、胎盤、卵食・共食いなど)、それらの併用など、各分類群や発生段階によって多様化している。軟骨魚類の長い胚発生期間において、胚はどのようにして栄養供給を受けているのだろうか？発生・成長に寄与する板鰐類の胚の栄養吸収機構に関する研究は非常に少ない。そこで我々は最も単純な栄養供給様式である卵黄依存型(卵黄にのみ栄養を依存する)のトラザメを用いて、胚の栄養吸収機構の解明を目指した。まずは、主要な消化吸収器官である腸に着目した。軟骨魚類の腸は「らせん腸」と呼ばれ、一般的な脊椎動物の細長い腸とは大きく異なる形態を示す。腸全体の長さが短いかわりに内部で腸壁が立ち上がり、らせん階段のように発達したヒダを備えることで表面積を増加させている。様々な発生段階のトラザメ胚の組織連続切片を立体再構築し、らせん構造が発達する様子を観察したところ、発生初期には直線状だった腸管の内部に、発生ステージ24頃から腸壁が立ち上がり、腸管腔が徐々にねじれ、プレハッチの起こるステージ31までにはらせんの巻き数が親と同じになることを明らかにした(図3)。電子顕微鏡による観察ではステージ31の腸上皮に既に微絨毛が立ち上がっており、プレハッチまでに腸は栄養吸収能を備えていると考えられる。また、ハナカケトラザメではステージ31の胚で、胚体外卵黄嚢に蓄えられている卵黄が腸内へと流入することが観察されていたため、トラザメでも卵黄が腸に入るタイミングを調べた結果、プレハッチ後遅くとも48時間以内に、卵黄に蓋をしている膜状構造が崩壊し、卵黄と

胚を繋ぐ管(卵黄柄)を介して、卵黄が腸へと流入することを確認した(図3)。

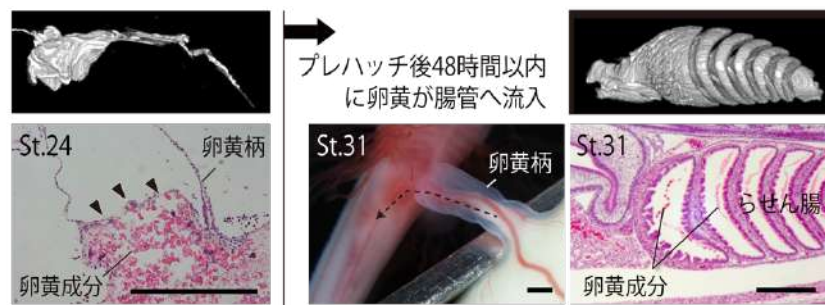


図3：腸の形態形成と卵黄の利用。腸が未発達な時期(プレハッチ以前)に、卵黄は膜構造でせき止められている(矢頭)。プレハッチ後、発達した腸に卵黄が流入し、卵黄成分の消化吸収が腸で行われるようになる。

さらに、栄養吸収機能の指標として、ペプチド輸送体 *Pept1* と中性アミノ酸輸送体 *Slc6a19* の腸における遺伝子発現を解析したところ、発生初期にはどちらも低い発現レベルを示したが、腸管に卵黄が流入した発生ステージ32以降は、特にペプチド輸送体遺伝子発現の顕著な増加が見られた。以上の結果から、トラザメ胚はプレハッチまでに機能的な腸を獲得し、プレハッチ以後に卵黄から活発な栄養吸収を行うことが明らかになった。口腔から総排泄腔にいたる消化管の中で、食道や直腸は、胚が卵殻から出て自ら餌を

食べるようになるまで開口しておらず、発生中はらせん腸部分のみが卵黄嚢から直接卵黄を受け取り、機能する。腸を使って卵黄を食べる、ともいえる、卵生軟骨魚類の胚に特徴的な現象の一端を明らかにした (Honda et al., 2020)。

#### 4. 発生過程における栄養吸収メカニズム②：YSM の役割

それでは、プレハッチより前の胚ではどのように卵黄の栄養を利用しているのだろうか？プレハッチ以前の卵黄は、上皮性の YSM に包まれた胚体外卵黄嚢として存在し、胚とは独立している。胚体外卵黄嚢はプレハッチ後徐々に小さくなり、孵化直前にはほぼ完全に退縮する。よって尿素合成と同様に、プレハッチより前は未発達な腸に代わって YSM が栄養吸収の役割を担い、プレハッチ後は YSM の機能が徐々に低下し、YSM から腸へと栄養吸収の場がシフトするのではないかと予想した。そこで卵黄嚢と腸の RNA シーケンスを行い、消化吸収に関わる遺伝子群の網羅的な探索によって、種々のアミノ酸輸送体、脂質吸収関連タンパク、消化酵素の遺伝子を多数同定し、腸と YSM で発生を通じた遺伝子発現レベルの変化を解析した。上述の *Pept1* や *Slc6a19* と同様に、すべての遺伝子の腸での発現は発生の進行に伴い、増加傾向を示し、多くの遺伝子がプレハッチを境に急激な発現上昇を示した。一方予想に反して、多くの消化吸収遺伝子の YSM での発現は、発生期間を通してほぼ変わらずに一定か、発生後期に上昇するという結果が得られた。次に、卵黄に接している YSM 断面の電子顕微鏡による観察をおこなったところ、プレハッチより前のステージ 29 の胚において、YSM の上皮細胞内に多数の小胞が確認され、小胞中には分解途中の卵黄と思われる顆粒が含まれることを見出した(図 4 左)。プレハッチ以前の YSM 細胞には消化酵素であるタンパク質分解酵素カテプシンファミリー遺伝子の発現が見られることから、発生初期には YSM が物理的に卵黄小板を取り込み、上皮細胞内で消化した後、血管側に配置された膜輸送体を介してアミノ酸やペプチドなどの栄養分子を輸送し、胚に栄養を供給していることが示唆された。また、YSM 細胞内への卵黄小板の取り込みはプレハッチ以後にも行われており、おそらくプレハッチ以後の YSM は卵黄小板の直接的な取り込みに加えて、膜輸送体による栄養小分子の取り込みも行うことで、消化吸収能力を最大化していると考えられる。実際、発生期間中の胚と卵黄の湿重量を測定したところ、どちらもプレハッチまでは大きな変化が見られないが、プレハッチ後のステージ 32 から孵化にかけて、卵黄重量は減少する一方で、胚の重量は顕著に増加する。つまり、プレハッチ以前にも卵黄に含まれる栄養の利用は行われているものの、胚の成長には大きく貢献していないと考えられる。一方、プレハッチ以後は腸と YSM の両方で活発に卵黄の栄養成分を消化・吸収し、成長を著しく促進させていることが明らかとなった。

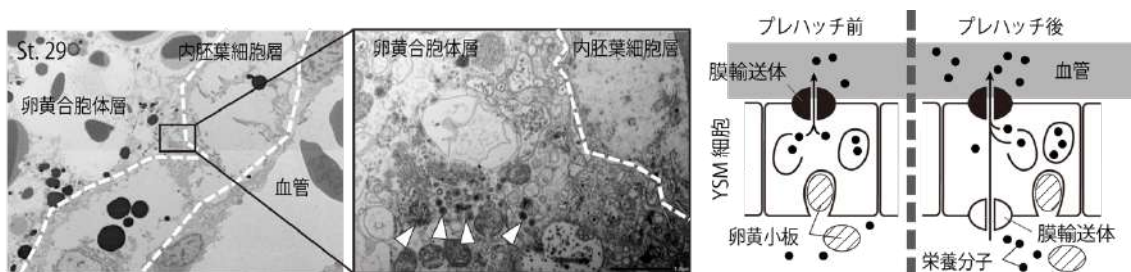


図 4: プレハッチ以前の YSM 細胞断面の電子顕微鏡写真(左)と YSM における栄養吸収様式のみとめ(右)。卵黄小板は直接 YSM 細胞に取り込まれる。矢頭で示した小胞中には分解中の顆粒が多く見られる。

#### 5. まとめ

ここまでの成果から、プレハッチは尿素代謝や胚の栄養吸収にとって大きな転換点であることがわかる。

富田らによる先行研究では、酸素の取り込みもプレハッチと大きく関わっていることが示唆されている。プレハッチ以前の胚は発達した外鰓を持ち、発生初期には主に外鰓で呼吸を行うが、発生が進むにつれて呼吸のための筋肉が発達し、ちょうどプレハッチをむかえるステージ 31 に海水を吸い込む行動(buccal pumping)が始まる (Tomita et al., 2014)。ステージ 31 以降外鰓は徐々に退縮していくため、ここでも外鰓から鰓への機能シフトが起きている。このように、尿素代謝、栄養吸収、呼吸という3つの異なる生理機能の発達過程において、胚特異的な組織から胚の組織への機能の移行がプレハッチと同じ時期に起きており、プレハッチは胚の生理機能が稼働し始めるタイミングと言える。

板鰓類の胚はプレハッチによって海水が流入することで、卵黄嚢を持ちながら外環境に晒される。軟骨魚類と同様、卵生真骨魚類の胚も孵化酵素で卵膜を溶かして孵化に至るが、孵化したばかりの真骨類仔魚は、そのほとんどが卵黄嚢を持ったまま外環境に晒され、孵化後しばらくは卵黄にのみ栄養を依存する。我々は、卵生板鰓類のプレハッチが、生理学的には真骨魚における「孵化」に相当するイベントであり、真骨類ほど産卵数の多くない卵生板鰓類では、プレハッチ後も胚が卵殻内に保護されることで、安全に発生・成長しているのだろうと考えている。プレハッチ前の軟骨魚胚は、卵殻外で生存できないと考えられており、胚の免疫機能の獲得など、今後の研究によって、プレハッチと同時に起こる様々な生理学的スイッチの存在が明らかになると期待される。

## 文献

- Ballard, W.W., Jean M., and Henri L. (1993) A series of normal stages for development of *Scyliorhinus canicula*, the lesser spotted dogfish (Chondrichthyes: Scyliorhinidae). *Journal of Experimental Zoology* 267.3: 318-336.
- Compagno, L.J.V. (1990) Alternative life-history styles of cartilaginous fishes in time and space. *Environmental Biology of Fishes* 28.1: 33-75.
- Honda, Y., Takagi, W., Wong, M.K.S., Ogawa, N., Tokunaga, K., Kofuji, K., and Hyodo, S. (2020) Morphological and functional development of the spiral intestine in cloudy catshark (*Scyliorhinus torazame*). *Journal of Experimental Biology* 223(13), jeb225557.
- Kusakabe, R., Higuchi, S., Tanaka, M., Kadota, M., Nishimura, O., and Kuratani S. (2020) Novel developmental bases for the evolution of hypobranchial muscles in vertebrates. *BMC biology* 18.1: 1-11.
- Musick, J.A., and Ellis, J.K. (2005) Reproductive evolution of chondrichthyans. In *Reproductive Biology and Phylogeny of Chondrichthyes: Sharks, Batoids, and Chimaeras*, Vol. 3 (ed. W. C. Hamlett). pp. 45-80. CRC Press.
- Okamoto, E., Kusakabe, R., Kuraku, S., Hyodo, S., Robert-Moreno, A., Onimaru, K., Sharpe, J., Kuratani, S., and Tanaka M. (2017) Migratory appendicular muscles precursor cells in the common ancestor to all vertebrates. *Nature ecology & evolution* 1.11: 1731-1736.
- Takagi, W., Kajimura, M., Tanaka, H., Hasegawa, K., Ogawa, S., and Hyodo, S. (2017) Distributional shift of urea production site from the extraembryonic yolk sac membrane to the embryonic liver during the development of cloudy catshark (*Scyliorhinus torazame*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 211: 7-16.
- Tanaka, M., Münsterberg, A., Anderson, W.G., Prescott, A.R., Hazon, N., and Tickle, C. (2002) Fin development in a cartilaginous fish and the origin of vertebrate limbs. *Nature* 416.6880: 527-531.
- Tomita, T., Nakamura, M., Sato, K., Takaoka, H., Toda, M., Kawauchi, J., and Nakaya, K. (2014) Onset of buccal pumping in catshark embryos: how breathing develops in the egg capsule. *PLoS one*, 9(10), e109504.

## 有明海におけるアカエイの繁殖生態と胎仔の発達について

古満 啓介・山口 敦子（長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科）

### Reproduction and embryonic development of the red stingray *Hemitrygon akajei* from Ariake Bay, Japan

Keisuke Furumitsu, Atsuko Yamaguchi

(Graduate School of Fisheries and Environmental Sciences, Nagasaki University)

#### 1. はじめに

アカエイは、主に日本の沿岸に広く分布する普通種であり、誰もが知っているエイの一種であるが、その生態については謎に包まれていた。毒棘を持ち、比較的大型で、食用とする地域もあるが、漁業ではどちらかといえばマイナーな種類である。エイ類は一般にサメ類に比べて注目されにくい。アカエイが胎生のエイであることは知られていたが、定期的な採集の難しさに加えて採集の際に頻繁に流産することもあり、繁殖に関する調査研究は困難であった。特に子宮内での胎仔の詳細な発育過程に関する知見は、すべての胎生エイ類を通してほとんどない。また、アカエイの繁殖力（出産数）を科学的に評価したものもなかった。近年、国内では本種が増加しているという話も聞こえてくるが、世界的には減少傾向にあると考えられており保全の必要性は増している。どちらにしろ科学的な知見に乏しいことがネックになっていた。そこで、有明海の干潟・河口域から湾口の深い海域までの全域を対象に、2003年から2014年にかけて採集したアカエイをもとにし、その後もさらに研究を続け、その繁殖生態と胎生エイ類の胎仔の発達の実態について初めて詳細に記載することができたので、本原稿で紹介したい。なお、本原稿は主に Furumitsu et al. (2019) で報告したものであるため、詳しくはそちらを参照していただきたい。



アカエイ *Hemitrygon akajei*

リンク先：<https://link.springer.com/article/10.1007/s10228-019-00687-9>

#### 2. 体サイズと生息場所

本研究で用いたアカエイの体盤幅（DW）は、雄が105.0–466.0 mm、雌が109.5–900.0 mmであり、体重は、雄が43.5–4009.9 g、雌が42.2–25100 gであった。雌は雄よりも体盤幅で2倍、重量では6倍大きくなることが明らかとなった。アカエイ科の中には、ホシエイ *Bathytoshia brevicaudata* のような体盤幅2 m、体重300 kgを超える種類もいることから（Last et al., 2016）、体盤幅1 mに満たないアカエイは中間的なサイズの種類と言えるだろう。また、エイのサイズによって有明海の中で採集場所に偏りが見られることも明らかとなった。生まれたての小さな個体は有明海最奥部の六角川河口域で多く採集され、200 mm DW以下の個体が約70%を占めていた。また、成熟した個体についてみると、雌は有明海北部のやや浅いエリアで多く採集されたのに対して、雄は有明海南部のやや深いエリアで多く採集された。アカエイでは、体サイズや成熟度の変化によっ

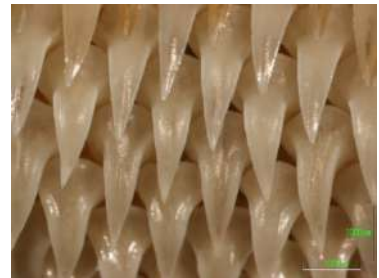


河口域で多く漁獲される幼魚

て好む生息地がある可能性があり、河口域を含む浅海域は幼魚の生育場として利用されている可能性が示唆された。

### 3. 成熟サイズと歯に見られる性的二型

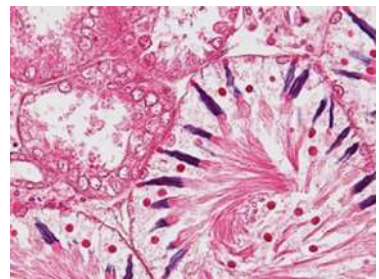
雄では生殖腺と貯精囊の発達具合、クラスパーの硬さ、雌では卵巣と子宮の発達具合から成熟サイズを判断した。その結果、最小成熟サイズは雄で 313 mm DW、雌で 475 mm DW であり、雄では 347 mm DW、雌では 560 mm DW 以上の個体は全て成熟していることが明らかとなった。過去に Taniuchi and Shimizu (1993) によって、東京湾でのアカエイの成熟サイズが研究されており、雄で 400 mm DW、雌で 600 mm DW 以上の個体が全て成熟していたとされているが、それと比較すると有明海のアカエイの成熟サイズは 10% ほど小さいサイズで成熟していた。また、Taniuchi and Shimizu (1993) は、アカエイの歯には性的二型が見られ、雄では成熟に達すると上下顎歯が鋭くとがることを明らかにしたものの、その季節性については考慮されていなかった。そこで、有明海で採集された全てのアカエイ雄の歯を観察した結果、未熟な雄では臼歯状の歯をしているが、成熟し始めると徐々に尖りだし、成熟に達すると上下顎歯がかなり鋭く尖ることが明らかとなった。また、成熟に達すると季節に関係なく尖ったままで臼歯状の歯に戻ることはないことも明らかとなった。この点は、種により大きく異なっている。なお、雌では成熟に達しても臼歯状のままで、歯が尖ることはなかった。



成熟した雄の歯は鋭く尖る

### 4. 雄の精子形成過程

成熟した雄の生殖腺の組織学的観察を行い、精子形成過程を明らかにした。その結果、精巣に成熟精子が観察されたのは 6 月～1 月の 8 か月間であり、7 月～12 月にかけては全ての個体で成熟精子が観察された。アカエイでは、長期間にわたり成熟精子が形成されていることを意味する。また貯精囊に精子を持つ個体の割合は、9 月～5 月にかけては 100% であり、6 月に 57.6%、7 月に 56.5%、8 月に 92.6% の割合で貯精囊に精子が観察され、半数以上の個体が年間を通じて精子を蓄えていることを確認できた。つまりアカエイの雄では年間を通じて交尾可能であることが明らかとなった。



長期間成熟精子が確認された

### 5. 雄と雌の両面からの詳細な研究により明らかになった長期に及ぶ交尾期間

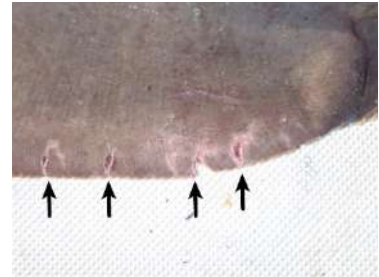
アカエイの雄では年間を通じて交尾可能である明らかとなったが、雌はどうなのだろうか。これまで雄と雌の生殖、成熟過程を同時に矛盾なく調べようとした研究例は少なかった。成熟した雌の排卵時期を推定するために卵巣卵径を測定した。その結果、平均卵巣卵径は 4 月に最大 (平均 17.62 mm) となり、5 月に急激に減少 (平均 11.51 mm) した。排卵前と思われる卵巣の出現時期から見ると、稀に 6 月に排卵する個体もいるかもしれないが、卵巣卵の排卵時期は 4 月～5 月で、ほとんどが 5 月に行われることが明らかとなった。このことから、当



排卵前 (3 月) の雌の卵巣

初はアカエイの交尾は5月前後に行われると推定していたが、実際にはそうではなかった。

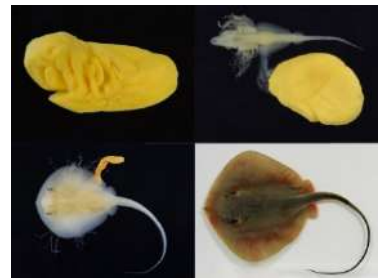
板鰐類では交尾の際に雄が雌に噛みつくことが知られているが、アカエイでも同様のことが言え、雌の体盤には雄の歯型（交尾痕）が残されている。交尾痕が観察されたのは9月から5月であったが、子宮内で精子が観察された時期は10月から4月であった。このことから交尾期は9か月にも及ぶが、交尾が成功するのは7か月間であることが明らかとなった。アカエイの雄では成熟に達すると歯が尖り、臼歯状の歯に戻ることはなかったが、これは長い交尾期と関連していると考えている。さらに、雌の妊娠期間中には交尾痕が観察されることはなく、交尾が行われないことも明らかとなった。また、交尾痕が9月から5月にかけて観察されたのに対して、雌の排卵時期が主に5月に集中していたことは、精子貯蔵が行われている可能性を示唆するものである。アカエイではこれまで精子貯蔵が行われているとの報告例はなかった。



雌の胸鰭に残された交尾痕

## 6. 短期間の胚休眠と急激な発達

胚休眠とは、胚発生のいずれかの段階において発生が一時的に停止することであり、過去の知見と著者らの未発表の研究を合わせると板鰐類では20種程度で見られる。研究を始めた当初は、アカエイには胚休眠期はないと考え、妊娠期間をおおよそ3か月間と見積もった。もともと受精の時期や出産の時期にはいくらか年変動や個体差がある。しかし、それにしても受精卵の観察される期間と胎仔が観察される期間には、若干のズレがあり、そのことが気になったため、さらに数年をフィールドでの研究に費やした。その結果、ようやく4月と5月は完全に胚休眠期間であり、アカエイでは最長で2か月間の胚休眠期間がある可能性を見出すことが出来た。これまでに知られている板鰐類での胚休眠の期間は4-10ヶ月であり、アカエイのように短い休眠期をもつものは知られていない。また、胚休眠が終わり胚の発達が再開されると、わずか1.5ヶ月の間に急激に成長し、105-130mm DWに達すると出産されることが初めて明らかとなった。



急激に成長する胎仔

## 7. 胎仔の死亡率と奇形率

本研究では、胎仔を妊娠している47個体の雌から得られた合計559個体の胎仔を調査した結果、5個体の死亡した胎仔と2つの未受精または未発達の卵が確認され、アカエイ胎仔の死亡率は1.25%であることが明らかとなった。サメに関しては、胎仔の死亡率に関する論文はいくつかあるが、野生下で捕獲されたエイの胎仔死亡率に関する初めての報告となった。また、559個体の胎仔のうち4個体で胸鰭または尾部に異常が見られる個体が確認され、胎仔の奇形率は0.72%と計算された。エイ類では、形態に異常のある成熟標本はごく稀にしか観察されないが、本研究で述べたように異常な胚が発生することがある。エイ類の胎仔を含む異常標本の発生率に関する記録としては、カラスエイ *Pteroplatytrygon violacea* で1.3% (Ribeiro-Prado and Amorim, 2008)、*Urotrygon rogersi* で0.31% (Mejía-Falla et al., 2011) である。アカエイで形態に異常のある個体の記録は、1970



子宮内で死亡していた胎仔

年に山形県鼠ヶ関村の海岸(152 mm DW、130 g BM ; Honma and Sugihara, 1971)で、1994年に三重県伊勢湾(115 mm DW ; Yamaguchi 2004)で採集されている。これらは体サイズから考えて生まれてすぐの個体と考えられるが、胸鰭が吻端でつながっておらず分離した状態になっており、運動性や摂食行動に悪影響を受け、生き残る可能性が低いと考えられる。実際に有明海で11年間に採集されたアカエイ1418個体からも奇形標本(胎仔を除く)は観察されず、体盤に異常がある個体が生き残る可能性は極めて低いものと考えられた。

## 8. アカエイの繁殖戦略とは？

有明海でのアカエイの胎仔数は7-25(平均12.3)であり、アジアで報告されている本種の値の中で最も高く(Hagiwara, 1993; Kim et al., 2005)、単一の子宮を持ち、胎生の脂質性組織栄養(子宮ミルク)型の繁殖様式を持つエイの中で最も高い。これを他のアカエイ亜科のエイと比べてみると、アカエイに次いで胎仔数が多いのはカラスエイ *Pteroplatytrygon violacea* で、最大13である(Wilson and Beckett, 1970)。アカエイ亜科の多くの種類の最大胎仔数は7以下である。また、アカエイ亜科の平均胎仔数は1.0-6.2と種によって異なるが、そのほとんどが5以下である。このように、最大胎仔数と平均胎仔数を見ると、アカエイの胎仔数がいかに多いかが分かる。



圧倒的に多い胎仔数

また、アカエイと同様の最大サイズを持つ3種の繁殖力(*Dasyatis chrysonota*, 7, *Hypanus dipterus*, 3, *Hypanus say*, 6)と比較すると、アカエイ胎仔数は3.6-8.3倍になる(Snelson et al., 1989; Smith et al., 2007; Ebert and Cowley, 2009)。また、同じ3種の出産時の大きさ(*D. chrysonota*, 172-184 mm DW、*H. dipterus*, 190-280 mm DW、*H. say*, 150-170 mm DW)と比較すると、アカエイの出産時の大きさ(105-130 mm DW)は最も小さい(Snelson et al., 1988; Smith et al., 2007; Ebert and Cowley, 2009)。つまりアカエイは、少数の大きな子供を産むよりも、多くの小さな子供を産むという繁殖戦略をとっていることが明らかとなった。このように、胎仔数と出生時の大きさが直接的にトレードオフになることは、胎生のサメ類でも報告されている(Compagno, 1988)。このトレードオフの意味するところは、数は少なくとも大きな子供を産む種に比べて捕食率が高く、生存率が低いことである。

## 9. アカエイの繁殖研究のまとめと今後について

本稿では、アカエイの繁殖に関する新たな知見をいくつか紹介した。しかし、エイ類に関する研究はまだ不十分である。同じ胎生と言ってもその繁殖に関するメカニズムはサメ類とは異なる。また同じエイ類の中でアカエイ類とトビエイ類を比較してみても数々の異なるしくみが見つかってきている。その繁殖様式の多様さに驚かされると同時に、大変興味深く感じている。今後もエイ類の急激な胎仔の成長のメカニズム、胚休眠の生態学的意義の解明などに取り組んでいきたい。

また、本稿ではアカエイの胎仔数が他種に比べて非常に多いことを強調した。しかし、これは決して本種が無尽蔵に増えることを意味するものではないので注意してほしい。近年、日本ではアカエイは水産資源にとって有害な種と考えられることもあるが、生態系の中では欠くことのできない重要な種であり、科学的な管理が必要とされることには変わりはない。本稿が本種の正しい理解につながることを期待したい。なお、本論文は2020年度日本魚類学会の論文賞を受賞した。板鰐類の研究が評価されたことで研究会の発



展に少しでも貢献できたのなら喜ばしく、多くの方に感謝したい。

### 謝辞

本研究を進めるにあたり、吉田清之助氏、小林義孝氏、陣川武彦氏をはじめとする多くの漁業関係者の方に10年以上の長きにわたり標本採集にご協力いただきました。また、海洋動物学研究室のメンバーの皆様には、測定・解剖の補助など多大なるご助力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

### 引用文献

- Compagno LJV (1988) Sharks of the order Carcharhiniformes. Princeton University Press, Princeton, New Jersey
- Ebert DA, Cowley PD (2009) Reproduction and embryonic development of the blue stingray, *Dasyatis chrysonota*, in southern African waters. J Mar Biol Assoc U K 89:809–815
- Furumitsu K, Wyffels JT, Yamaguchi A (2019) Reproduction and embryonic development of the red stingray *Hemirhamphys akajei* from Ariake Bay, Japan. Ichthyol Res 66:419–436
- Hagiwara S (1993) Keeping and reproduction of Chondrichthyans in captivity at Shimoda Floating Aquarium. Rep Japan Soc Elasmobranch Stud 30:1–18
- Honma Y, Sugihara C (1971) A stingray, *Dasyatis akajei*, with aberrant pectoral fins from the Japan Sea. Jpn J Ichthyol 18:187–189
- Kim I-S, Choi Y, Lee C-L, Lee Y-J, Kim B-J, Kim J-H (2005) Illustrated book of Korean fishes,
- Last PR, White WT, de Carvalho MR, Séret B, Stehmann MFW, Naylor GJP (2016) Rays of the World. CSIRO publishing, Clayton South, Victoria, Australia
- Mejía-Falla PA, Navia AF, Muñoz LA (2011) First record of morphological abnormality in embryos of *Urotrygon rogersi* (Jordan & Starks, 1895) (Myliobatiformes: Urotrygonidae) in the tropical Eastern Pacific. Lat Am J Aquat Res 39:184–188
- Ribeiro-Prado CC, Amorim AF (2008) Fishery biology on pelagic stingray *Pteroplatytrygon violacea* caught off southern Brazil by longliners settled in São Paulo State (2006-2007). Collect Vol Sci Pap ICCAT 62:1883–1891
- Smith WD, Cailliet GM, Melendez EM (2007) Maturity and growth characteristics of a commercially exploited stingray, *Dasyatis dipterura*. Mar Freshw Res 58:54–66
- Snelson FFJ, Williams-Hooper SE, Schmid TH (1988) Reproduction and ecology of the Atlantic stingray, *Dasyatis sabina*, in Florida coastal lagoons. Copeia 1988:729–739
- Snelson FFJ, Williams-Hooper SE, Schmid TH (1989) Biology of the bluntnose stingray, *Dasyatis sayi*, in Florida coastal lagoons. Bull Mar Sci 45:15–25
- Taniuchi T, Shimizu M (1993) Dental sexual dimorphism and food habits in the stingray *Dasyatis akajei* from Tokyo Bay, Japan. Nippon Suisan Gakkaishi 59:53–60
- Wilson PC, Beckett JS (1970) Atlantic Ocean distribution of the pelagic stingray, *Dasyatis violacea*. Copeia 1970:696–707
- Yamaguchi A (2004) Abnormal specimens of *Dasyatis akajei* from Japan Sea, *Myliobatis tobijei* and *Aetobatus fragellum* from Ariake Sound. Rep Japan Soc Elasmobranch Stud 40:44–45

## 駿河湾で採取された板鰐類 3 種の奇形個体

田中 彰 (東海大学海洋学部)

### Deformities in free-living elasmobranchs from Suruga Bay, Japan

Sho Tanaka (School of Marine Science and Technology, Tokai University)

#### Abstract

Three deformed elasmobranchs were collected in the interior part of Suruga Bay. Mature male *Mustelus manazo* displayed scoliotic, lordotic and kyphotic curves of the vertebral column. Juvenile female *Sphyrna zygaena* had dwarf first dorsal fin and pectoral fins. Young female *Bathytoshia brevicaudata* had a triangular depression in the snout.

板鰐類の奇形個体についてはこれまで国内外問わずに様々な種で報告され、本板鰐類研究会報においてもヨシキリザメの双頭胎仔(岩田, 1979)、オオセの白子胎仔(岩政・岡野, 1980)、ヨシキリザメの吻部欠落胎仔(田中・田村, 2002)、アカエイとトビエイ類の奇形個体(山口, 2004)が報告されている。またミツクリザメの吻部変形(上野ほか, 1976)、ヨシキリザメの双頭胎仔(後藤ほか, 1981)、オオテンジクザメの白色第2背鰭欠落個体(Taniuchi and Yanagisawa, 1987)などの報告がある。これらの奇形の発現要因は不明であり、双頭胎仔などの重篤な奇形個体は出生後の生存確率は低く、成体に至ることは皆無と考えられる。駿河湾で板鰐類の採集調査を行ってきた過程の中で3個体の奇形個体が採取されたので、その詳細を報告する。

#### 1. ホシザメ *Mustelus manazo*

奇形のホシザメは1994年3月5日に由比港所属の神栄丸が富士川河口付近の水深200mに設置した底刺網により採取された雄個体である。奇形の状態は図1に示されるように体が左右に10回屈曲し、胸鰭基部付近の最初の屈曲部では左の胸鰭基底部にくぼみを持つものであった。また右側の交接器は正常に発達していたが、左側のものは右側の約半分の長さであった(図2左)。脊椎骨は図2右のように本体同様に屈曲していることが認められた。全長550mm、尾鰭付根までの体長429mmで、交接器が発達し成熟した個体であった。ホシザメの成熟サイズは生息域の海水温が高い地域ほど小さく、東京湾では全長70cm弱で成熟している(Yamaguchi et al., 1997)。

本個体が運動機能に影響を及ぼすほどの奇形状態で成熟するまで生存できたことは非常に稀なことであると考えられたが、このような奇形個体はオーストラリアからモンツキテンジクザメ属の1種 *Hemiscyllium ocellatum* とホシザメ属の1種 *Mustelus antarcticus* で報告され、後者は本個体同様に成熟した雄個



図1. 脊柱が湾曲した成熟した全長550mmのホシザメの雄個体

Fig. 1. Mature male *Mustelus manazo* with scoliotic bends of the vertebral column.

体であった(Heupel et al., 1999)。沿岸底生性の板鰐類で摂餌環境が良好な場所に生息している種では生存が可能なのかもしれない。



図2. ホシザメ奇形個体の交接器(左)と、背面から見た脊柱(右)

Fig. 2. Claspers of deformed *Mustelus manazo* (left) and its scoliotic vertebral column (right).

## 2. シロシユモクザメ *Sphyrna zygaena*

奇形のシロシユモクザメは1994年3月31日に駿河湾奥部の西倉沢沖に設置されている定置網により採取された雌個体である。奇形の状態は第1背鰭と胸鰭の矮小化である(図3)。本個体は全長1053mm、尾鰭付根までの体長743mm、体重4500gの未成熟であった。駿河湾のシロシユモクザメは本会報53号でお伝えしたように全長600mmぐらいで出生してくることから(田中・大見, 2017)、少なくとも1年以上は生存していたと考えられた。鰭が奇形と言うことでやはり運動障害があると考えられ、同様の奇形報告があるか調べたところ、オオメジロザメで第1背鰭と尾鰭の変形報告(Afonso et al., 2016)があったが鰭矮小化の報告は魚類の骨格系の奇形を総説した論文(Eissa et al., 2021)においても見当たらなかった。水生動物の四肢の奇形に関してはカエルやカメなどで報告されている。



図3. 矮小化した背鰭と胸鰭を持つシロシユモクザメ  
Fig. 3. Juvenile *Sphyrna zygaena* with dwarf dorsal and pectoral fins.

## 3. ホシエイ *Bathytoshia brevicaudata*、旧学名 *Dasyatis mitsubarai* Miyoshi

奇形のホシエイは2013年7月3日に上記のシロシユモクザメと同じ西倉沢沖の定置網に入網した雌個体である。奇形の状態は図4のように吻部が三角形上に陥没したものであった。本個体は全長706mm、体盤長311mm、体盤幅382mm、体重1575gで未成熟であった。同じような切れ込みを持つ奇形のエイ類は様々な種で報告され、アカエイ属では山口(2004)が日本海舞鶴沖から採取したアカエイで、Ramirez-Hernandez et al. (2011)がコロンビアのカリブ海で採取した *Dasyatis guttata* で報告している。両個体とも成熟した雄でこの程度の奇形では生存可能で、本個体も採取されなければ成長できた可能性があると思われる。



図4. 吻部が欠損したホシエイ  
Fig. 4. Young *Bathytoshia brevicaudata* with a triangular depression of the snout.

奇形の要因に関しては Blaustein and Johnson (2003) や Bell et al. (2006) などにより考察されているが明確な答えは出ていない。20 世紀には我々の生活を快適にするために多くの工業製品が作られ、恩恵を受けてきた。しかしながら一方で自然界に多大の影響を及ぼし、我々の見えないところで環境に負荷を与え続けてきた。近年海洋汚染の一例としてマイクロプラスチックが注目を得ている。このマイクロプラスチックは様々な生物により摂取され、体内において生理的に、ひいては遺伝子の損傷などに影響を及ぼすことが危惧されている。奇形の出現は環境の健全性の生物指標の 1 つとして使われることがあり、奇形個体の出現も注目しておく必要がある。

### 謝辞

採集に当り由比定置網漁業及び神栄丸の漁師の方々、また東海大学海洋学部田中研究室に当時所属した大学院生、4 年次生には大変お世話になった。ここに御礼申し上げます。

### 引用文献

- Afonso, A. S., Y. V. Niella, E. Cavalcanti, M. B. Andrade, J. S. Afonso, P. S. Pinto and F. H. V. Hazin. 2016. Spinal deformities in free-ranging bull sharks, *Carcharhinus leucas* (Müller and Henle, 1839), from the western South Atlantic Ocean. *J. Appl. Ichthyol.*, 32:1217-1220.
- Bell, B., J. R. Spotila and J. Congdon. 2006. High incidence of deformity in aquatic turtles in the John Heinz National Wildlife Refuge. *Environ. Pollut.*, 142:457-465.
- Blaustein, A. R. and P. T. J. Johnson. 2003. Explaining frog deformities. *Sci. Amer.*, 288(2):60-65.
- Eissa, A. E., A. M. Abu-Seida, M. M. Ismail, N. M. Abu-Elala and M. Abdelsalam. 2021. A comprehensive overview of the most common skeletal deformities in fish. *Aquacul. Res.*, 52:2391-2402.
- 後藤仁敏・谷内 透・久家直之・岩田宗彦. 1981. 日本近海で採集されたヨシキリザメの二頭体奇形標本 4 例. *魚類学雑誌*, 28:157-165.
- Heupel, M. R., C. A. Simpfendorfer and M. B. Bennett. 1999. Skeletal deformities in elasmobranchs from Australian waters. *J. Fish Biol.*, 54:1111-1115.
- 岩政陽夫・岡野茂喜. 1980. オオセの白子胎仔について. *板鰐類研究連絡会報*, 9:3-4.
- 岩田宗彦. 1979. ヨシキリザメの双頭の胎児について. *板鰐類研究連絡会報*, 6:3-4.
- Ramírez-Hernandez, A., P. Palacios-Barreto, J. D. Gaitán-Espitia, F. Reyes and J. Ramírez. 2011. Morphological abnormality in the longnose stingray *Dasyatis guttata* (Myliobatiformes: Dasyatidae) in the Colombian Caribbean. *Cybium*, 35:79-80.
- 田中 彰・大見 周. 2017. 駿河湾で採集されたシロシュモクザメ妊娠魚. *板鰐類研究会報*, 53:17-21.
- 田中 彰・田村一利. 2002. 吻部欠落の奇形ザメについて. *板鰐類研究会報*, 38:40-44.
- Taniuchi, T. and F. Yanagisawa. 1987. Albinism and lack of second dorsal fin in an adult tawny nurse shark, *Nebrius concolor*, from Japan. *Japan. J. Ichthyol.*, 34:393-395.
- 上野輝彌・中村一恵・三上 進. 1976. ミツクリザメの体色と一奇形個体. *神奈川県立博物館研究報告(自然科学)*, 9:67-72.
- 山口敦子. 2004. アカエイとトビエイ類の奇形個体について. *板鰐類研究会報*, 40:42-45.
- Yamaguchi, A., T. Taniuchi and M. Shimizu. 1997. Reproductive biology of the starspotted dogfish *Mustelus manazo* from Tokyo Bay, Japan. *Fish. Sci.*, 63:918-922.

## 日本産エイ類に寄生するエイナガクビムシ属カイアシ類\*

長澤 和也 (広島大学大学院統合生命科学研究科/水族寄生虫研究室)

### A note on the copepods of the genus *Pseudocharopinus* (Siphonostomatoida: Lernaepodidae) parasitic on Japanese rays

Kazuya Nagasawa (Graduate School of Integrated Sciences for Life, Hiroshima University, and Aquaparasitology Laboratory)

#### Abstract

Two species of copepods of the lernaepodid genus *Pseudocharopinus* have so far been reported from rays in Japan: *P. markewitschi* and *P. pteroplateae*. This note reviews various aspects of the biology of these species, including their taxonomy, morphology, known hosts, and geographical distribution.

#### 1. はじめに

サメ類を宿主とする寄生性カイアシ類は多い。筆者は、これまでにサメジラミ科カイアシ類を主に取り上げ、本誌で9種を紹介してきた。それらは、紹介順にメガマウスザメジラミ *Dinemoleus indepressus* (長澤, 2009), ジンベエザメエラジラミ *Prosaetes rhinodontis* (長澤ほか, 2013), サメジラミ *Pandarus satyrus*, シイノサメジラミ *Pandarus cranchii*, イザワサメジラミ *Pandarus smithii* (長澤, 2014), ヨシキリジラミ *Echthrogaleus coleoptratus*, ヨシキリジラミモドキ *Echthrogaleus denticulatus*, トウヨウサメジラミ *Echthrogaleus asiaticus*, ミツクリザメジラミ *Echthrogaleus mitsukurinae* (長澤, 2017) である。また、サメジラミ科以外に、ツツウオジラミ科のハナガタムシ *Anthosoma crassum* (長澤, 2012), サメヤドリ科のコロザメヤドリ *Trebius longicaudatus* とサメノシキユヤドリ *Trebius shiinoi* (長澤, 2018, 2019) の3種を紹介した。

実は、エイ類も、サメ類と同じようにカイアシ類の宿主となる。以前、その1例として、アカエイに寄生するサメヤドリ科のアカエイヤドリ *Trebius akajei* を本誌で紹介した (長澤, 2018)。ここでは、日本産エイ類から報告されているナガクビムシ科エイナガクビムシ属の2種を紹介する。

#### 2. 分類学的位置

わが国のエイ類に寄生するエイナガクビムシ属カイアシ類は2種が知られる。それらの分類学的位置は、以下のように示される (Walter and Boxshall, 2021)。

甲殻亜門 Subphylum Crustacea Brünnich, 1772

カイアシ亜綱 Subclass Copepoda Milne Edwards, 1830

管口目 (シフォノストマ目) Order Siphonostomatoida Burmeister, 1835

ナガクビムシ科 Family Lernaepodidae Mile Edwards, 1840

エイナガクビムシ属 Genus *Pseudocharopinus* Kabata, 1964

エイナガクビムシ *Pseudocharopinus markewitschi* (Gusev, 1951)

ツバクロエイナガクビムシ *Pseudocharopinus pteroplateae* (Yamaguti and Yamasu, 1959)

\*日本産軟骨魚類の寄生虫に関するノート-13. Notes on the parasites of chondrichthyans in Japan-13.

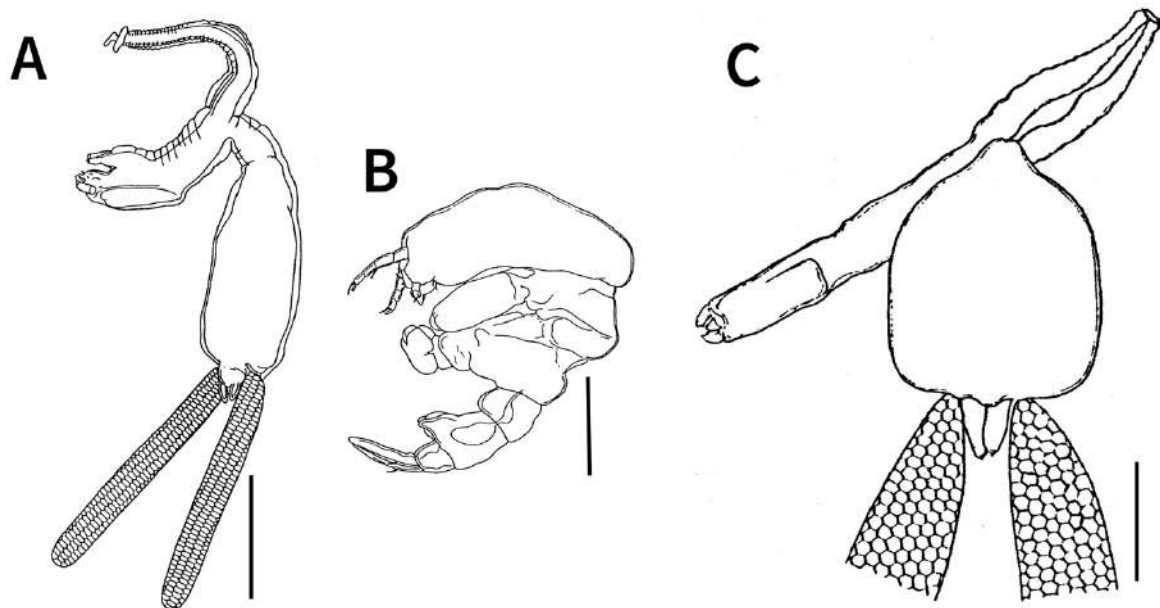


図1. エイナガクビムシの成体雌 (A) と成体雄 (B), ツバクロエイナガクビムシの成体雌 (C) (A, Shiino, 1956 ; B, Shiino, 1959 ; C, Yamaguti and Yamasu, 1959 から引用)。A と B, 全体図, 側面観 ; C, 全体図, 背面観。スケールバー : A, 2 mm ; B, 0.5 mm ; C, 1 mm.

Fig. 1. Ovigerous female and male of *Pseudocharopinus markewitschi* (A, from Shiino, 1956; B, from Shiino, 1959) and ovigerous female of *Pseudocharopinus pteroplateae* (C, from Yamaguti and Yamasu, 1959). A and B, habitus, lateral view; C, habitus, dorsal view. Scale bars: A, 2 mm ; B, 0.5 mm ; C, 1 mm.

エイナガクビムシ属と上記2種の和名は、長澤・上野 (2015) に基づく。なお、上記2種は当初、それぞれ *Charopinus* 属 (Shiino, 1956, 1959) と *Brachiella* 属 (Yamaguti and Yamasu, 1959) に属すると報じられたが、後年、Kabata (1964) によって新たに設けられたエイナガクビムシ属に移され、今日に至っている。

### 3. エイナガクビムシ *Pseudocharopinus markewitschi* (Gusev, 1951)

本種は、Gusev (1951) によって、サハリン南部 Antonovo 沿岸の日本海北部で漁獲されたコモンカスベ (学名を *Raja kenoei* と記述) から採取された成体雌を用いて *Charopinus markewitschi* として新種記載された。わが国では、三重県立大学の椎野季雄博士が、和歌山県瀬戸の北西太平洋で漁獲されたウシエイの口腔底から得た成体雌を得て、形態を詳細に記載した (Shiino, 1956)。その後、椎野博士は相模湾 (北西太平洋) と新潟県 (日本海) で漁獲されたコモンカスベのそれぞれ鰭と体表から得た標本を本種に同定した (Shiino, 1959)。相模湾産標本には成体雌に着いていた矮雄が含まれ、その形態が記載された。さらに、Ho and Kim (1996) は、北海道釧路沖の北西太平洋で漁獲されたメガネカスベの鰭から本種の成体雌を得た。なお、本種に関するわが国の知見は長澤・上野 (2015) によって整理されたが、宿主にメガネカスベを欠いていた。

**雌の形態 (図1A) :** 体は頭胸部, 胴部, 第2小顎の3部分から構成される。その先端を宿主に穿入させているのは1対の第2小顎で、先端で合一して、その先に円盤状構造を有する。第2小顎基部から斜め後方に向かう頭胸部は、ほぼ円筒形。先端部に第1触角, 第2触角, 第1小顎, 顎脚を具える。第2小顎と頭

胸部の接点から胴部が後方に伸びる。胴部は長卵形で、中央部が少し太く、後端部はやや突出して、1対の小葉を具える。胴部後端付近に1対の卵嚢が懸着する。卵嚢は円筒形。第2小顎長は2.78 mm, 頭胸部長は2.84 mm, 胴部長は4.48 mm, 胴部幅は1.78 mm, 卵嚢長は4.39 mm。固定標本で、頭胸部はほぼ白色、胴部は薄黄褐色、卵嚢は薄黄色から黄褐色を呈する (Shiino, 1956)。

**雄の形態** (図 1B) : 雌と大きく異なる形態を示し、体長は1.6 mm に過ぎない。頭胸甲前部は長方形で、側面に第1触角と第2触角を具える。頭胸甲中央部はやや細くなり、第1小顎と第2小顎を側面に有する。胴部はほぼ円筒形である (Shiino, 1959)。

**宿主と寄生部位** : ウシエイ, コモンカスベ, メガネカスベ。口腔底, 鰭, 体表 (Shiino, 1956, 1959; Ho and Kim, 1996)。

**地理的分布** : 本種は、わが国では北西太平洋 (北海道釧路沖, 相模湾, 和歌山県瀬戸) と日本海 (新潟県) から報告され (Shiino, 1956, 1959; Ho and Kim, 1996), ロシアのサハリン南西沖 (Gusev, 1951) と韓国 (Kim, 1998) からも記録がある。

#### 4. ツバクロエイナガクビムシ *Pseudocharopinus pteroplateae* (Yamaguti and Yamasu, 1959)

本種は、岡山大学の山口左伸博士 (寄生虫学教室) と弥益輝文博士 (玉野臨海実験所) によって、模湾産ツバクロエイの鰓に寄生していた成体雌をもとに、*Brachiella pteroplateae* として新種記載された (Yamaguti and Yamasu, 1959)。本種はその後、国内外で発見されていない (長澤・上野, 2015)。

**雌の形態** (図 1C) : 前種と同じように、体は頭胸部, 胴部, 第2小顎の3部分から構成される。宿主に先端を穿入させているのは1対の第2小顎で、先端で合一してやや膨らみ、その先に円盤状構造を有する。第2小顎基部から斜め後方に向かう頭胸部は、円筒形で少し角張る。先端部に第1触角, 第2触角, 第1小顎, 顎脚を具える。第2小顎と頭胸部の接点から胴部が後方に伸びる。胴部は卵形で、後端部に1対の半円筒形の突起を具える。胴部後端付近に1対の卵嚢が懸着し、円筒形。第2小顎長は3.0–4.0 mm, 頭胸部長は5.5–6.0 mm, 胴部長は3.0–4.0 mm, 胴部幅は3.0–3.3 mm, 卵嚢長は5.5–7.0 mm (Yamaguti and Yamasu, 1959)。

**宿主と寄生部位** : ツバクロエイの鰓 (Yamaguti and Yamasu, 1959)。

**地理的分布** : 相模湾のみ (Yamaguti and Yamasu, 1959)。他国からの記録はない。

#### 5. 今後の研究課題

サメ類に比べて、エイ類から記録された寄生性カイアシ類の種数は少ない。これは、カイアシ類にとって、エイ類がサメ類ほど好ましい宿主ではないことを示している可能性がある。一方、わが国では、エイ類の寄生性カイアシ類に焦点を当てた研究がこれまでに行われたことがなく、未発見の種も少なからずあると推測される。上記のように、ツバクロエイナガクビムシは1959年に新種として記載された後、再発見されていない。日本産エイ類の寄生性カイアシ類相を解明する努力が必要である。

旧ソ連時代にエイナガクビムシの宿主として報告されたサハリン沿岸産エイ類の学名に関して、石原元博士 (W&I アソシエーツ) から多くのご教示を賜った。記して感謝する。

#### 文献

Gusev, A. V. 1951. [Parasitic copepods of some marine fishes]. Parazit. Sb., 13: 394-463. (In Russian).

- Ho, J.-S. and I.-H. Kim. 1996. Copepods parasitic on fishes of western North Pacific. Publ. Seto Mar. Biol. Lab., 37: 275–303.
- Kabata, Z. 1964. Revision of the genus *Charopinus* Krøyer, 1863 (Copepoda: Lernaepodidae). Vidensk. Meddr. Dansk. Naturh. Foren., 127: 85–112.
- Kim, I.-H. 1998. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Vol. 38. Cirripedia, symbiotic Copepoda, Pycnogonida. Ministry of Education, Seoul, Korea. 1038 pp. (In Korean).
- 長澤和也. 2009. メガマウスザメに寄生するカイアシ類, メガマウスザメジラミ. 板鰓類研究会報, 45: 39–43.
- 長澤和也. 2012. サメ類に寄生するカイアシ類, ハナガタムシ. 板鰓類研究会報, 48: 16–20.
- 長澤和也. 2014. 日本産サメ類に寄生するサメジラミ属カイアシ類. 板鰓類研究会報, 50: 17–20.
- 長澤和也. 2017. 日本産サメ類に寄生するヨシキリジラミ属カイアシ類. 板鰓類研究会報, 53: 1–5.
- 長澤和也. 2018. 日本産板鰓類に寄生するコロザメヤドリ (新称) *Trebius longicaudatus* とアカエイヤドリ (新称) *Trebius akajeii*. 板鰓類研究会報, 54: 6–9.
- 長澤和也. 2019. カスザメやコロザメの子宮・胎仔に寄生するカイアシ類, サメノシキウヤドリ *Trebius shiinoi*. 板鰓類研究会報, 55: 64–67.
- 長澤和也・上野大輔. 2015. 日本産魚類に寄生するナガクビムシ科カイアシ類の目録 (1939–2015年). 生物圏科学, 54: 125–151.
- 長澤和也・柳澤牧央・Tang, D. 2013. ジンベエザメの鰓寄生虫, ジンベエザメエラジラミ (新称) *Prosaetes rhinodontis*. 板鰓類研究会報, 49: 7–13.
- Shiino, S. M. 1956. Copepods parasitic on Japanese fishes. 12. Lernaepodidae. Rep. Fac. Fish., Pref. Univ. Mie, 2: 269–311.
- Shiino, S. M. 1959. Sammlung der parasitischen Copepoden in der Präfecturuniversität von Mie. Rep. Fac. Fish., Pref. Univ. Mie, 3: 334–374.
- Walter, T. C. and G. Boxshall, G. 2021. World of Copepods database. *Pseudocharopinus* Kabata, 1964. Accessed at: <http://www.marinespecies.org/copepoda/aphia.php?p=taxdetails&id=135609> (25 October 2021).
- Yamaguti, S. and T. Yamasu. 1959. Parasitic copepods from fishes of Japan with descriptions of 26 new species and remarks on two known species. Biol. J. Okayama Univ., 5: 89–165.



## 小笠原諸島における画像による シロワニ *Carcharias taurus* 個体識別調査

中村 雅之<sup>1</sup>・田中 彰<sup>2</sup>・シロワニ繁殖協議会<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>マリンワールド海の中道・<sup>2</sup>東海大学海洋学部・<sup>3</sup>登別マリンパークニクス・茨城県立アクアワールド大洗水族館・しながわ水族館・横浜・八景島シーパラダイス・東海大学海洋科学博物館・マリンワールド海の中道)

### Photographic identification surveys of Sandtiger shark *Carcharias taurus* at Ogasawara Islands

Masayuki Nakamura<sup>1</sup>, Sho Tanaka<sup>2</sup>, Reproductive Management Committee for Sandtiger Sharks<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>MARINE WORLD uminonakamichi, <sup>2</sup>Tokai university, <sup>3</sup>Noboribetsu Marine Park Nixe, Ibaraki Prefecture Oarai aquarium, Shinagawa aquarium, Yokohama Hakkeijima Sea Paradise, Marine Science Museum Tokai University, MARINE WORLD uminonakamichi)

#### Abstract

Since February 2018, Reproductive Management Committee for Sandtiger sharks has been conducting an individual identification survey using the photographs of Sandtiger shark, *Carcharias taurus*, inhabiting the Ogasawara Islands. By July 2021, 71 individuals (F/M = 36/35) were identified on the right flank image, and 68 individuals (F/M = 37/31) were identified from the left flank image. The number of days when every individual was observed and identified from the right flank image was 178 days (F/M = 125/53), and that from the left flank image was 175 days (F/M = 131/44), respectively. The mating season was assumed to be from spring to early summer by the occurrence of mating scars. Also, their parturition season was estimated to be from late March to early June by checking photographs which showed identified pregnant females changing their body shape into postpartum. A young of the year Sandtiger shark was photographed for the first time on April 28, 2021 at Shikahama, Ototo-jima. On July 19, 2021, photo individual identification list, including 39 individuals on the left flank (F/M = 27/12) and 43 individuals on the right flank (F/M = 28/15) was released to the public (<https://marine-world.jp/shirowani/>).

#### 【はじめに】

シロワニ *Carcharias taurus* は、世界の限定された温帯域に分布し、繁殖に伴い季節移動することが報告されている(Gilmore et al., 1983; Gilmore, 1993; Branstetter and Musick, 1994; Pollard et al., 1996; Lucifora et al., 2002; Dicken et al., 2006)。野生下のシロワニ季節移動の調査技法は、混獲個体による調査から始まり、標識放流、衛星発信機、超音波発信機の装着、また近年捕獲に頼らない水中撮影画像による個体識別調査技法などにより研究されてきた。Bansemer and Bennet (2009)は、オーストラリア東部沿岸のシロワニ系群について、体側斑紋が指紋のように個体ごとに異なる特徴を利用し、ダイバーにより撮影された水中写真より181個体を個体識別した。個体識別により各個体の正確な繁殖に伴う長期移動様式が解明され、性成熟した雌個体は交尾後、オーストラリア東部沿岸北方(水温の高い海域)の Wolf Rock 岩礁で妊娠期間を過ごし、出産前に Wolf Rock 岩礁を離れ、南方(水温の低い)海域へ移動し出産すると報告している。国内では、シロ

ワニは小笠原諸島に生息し、来島する観光ダイバーの人气が高く、貴重な観光資源となっている。しかし、繁殖に伴う雌個体の季節移動、出産海域など繁殖行動の生態学的な調査は行われていない。シロワニ繁殖協議会(Reproduction Management Committee for Sandtiger Sharks; RMCS)は、2018年2月より、国内初となる画像によるシロワニ個体識別を始め、生態学的な知見の集積を行ってきた。その中で父島周辺海域におけるシロワニの時空的出現とその組成や繁殖に関し若干の知見を得たので報告する。

### 【材料・方法】

2018年2月より小笠原諸島父島において、地元ダイビングショップでシロワニ目撃情報の時期・場所の聞き取り調査とダイビングによるシロワニ撮影、ダイビングショップにより撮影された動画・画像の提供依頼をはじめた。撮影日・撮影場所が明確な画像資料をもとに、動画からは静止画像を切り出し、静止画像をパソコン上で拡大し、各個体の体側斑紋・鰭の欠損などの特徴から、個体識別を行った。

### 【結果】

#### 1. 個体識別数

2018年2月小笠原父島のシロワニ個体識別調査開始から、現地潜水調査と島内ダイビングショップへの協力により、2021年7月末現在、2016年以降に撮影された画像において、右体側画像より71個体(M/F=35/36)、左体側画像より68個体(M/F=31/37)を個体識別した。個体識別された個体は、1回しか撮影されていない個体と、複数日(2日以上)に同一個体と判別された個体(再確認個体)とがいた。右体側斑紋による再確認個体は34個体(対総識別個体数47.8%)(M/F=10/24)、左体側による再確認個体は36個体(対総識別個体数の52.9%)(M/F=10/26)であった。総識別個体数に対する再確認個体数の比率は、性別により大きな違いがみられ、雄個体の右体側では28.5%、左体側32.3%に比べ、雌個体は右体側66.7%、左体側70.3%と雌個体が高い比率を示した(Table 1)。

Table 1: 2016年から2021年の間に個体識別された個体数と再確認個体数

Table 1: The number of individuals and reconfirmed individuals identified from photographic images on each flank side from 2016 to 2021.

	性別	総識別個体数	再確認個体数	比率(%)		性別	総識別個体数	再確認個体数	比率(%)
	右体側	♀	36個体	24個体		66.7%	左体側	♀	37個体
	♂	35個体	10個体	28.5%		♂	31個体	10個体	32.3%
	計	71個体	34個体	47.8%		計	68個体	36個体	52.9%

#### 2. 撮影日数

同日に、複数のダイバーが同一個体を同時刻に撮影した場合や、同日で撮影時間が違う画像の提供もあり、個体識別された個体を同日に複数回撮影されても、観察日を1日とした。2016年と2017年に撮影された画像の提供件数も含めると、右体側で撮影された個体の撮影日数は178日(F/M=125/53)、左体側の撮影日数は175日(F/M=131/44)であった。撮影日数でも性別の差異が見られ、総観察日数に対し雄個体は、右体側で29.8%、左体側25.1%に対し、雌個体は右体側70.2%、左体側74.9%と雌個体の観察日数が顕著に多かった(Table 2)。また年により観察された日数に違いがあったが、左右の体側による観察日数の大きな

違いは認められなかった。

Table 2: 2016年から2021年における年別シロワニ撮影日数

Table 2: The number of days photographed Sandtiger sharks in each year.

右 体 側	性別	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	Total	性別比(%)
	♀	1	5	11	6	66	36	125	70.2%
♂	0	0	13	0	17	23	53	29.8%	
計	1	5	24	6	83	59	178		

左 体 側	性別	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	Total	性別比(%)
	♀	1	4	18	11	60	37	131	74.9%
♂	0	0	9	1	14	20	44	25.1%	
計	1	4	27	12	74	57	175		

### 3.撮影された位置

左右体側画像ともに二見港内沈船、弟島(鹿浜)における撮影件数が多く、沈船が右体側では124件で全体の69.7%、左体側は123件で70.3%を占め、弟島(鹿浜)が右体側で42件(24%)、左体側が45件(26%)であった。二見港内沈船と弟島(鹿浜)の撮影件数を合計すると、右体側では166件(全撮影数の93.3%)、左体側は168件(全撮影数の96.0%)を占め、2地点が主要な観察位置であった(Table 3)。撮影された位置をFig. 1に示す。

Table 3: 年別場所別におけるシロワニの左右体側の撮影件数

Table 3: The number of photographic images of Sandtiger sharks by right and left flank at observed point in each year from 2016 to 2021.

右 体 側	父島						弟島	嫁島-後島	各 年 度 計
	トビウオ棧橋	沈船	マルベリ	ドブ磯	人丸島アーチ	ハザマ	弟島(鹿浜)	嫁島-後島	
2016年	0	0	0	0	1	0	0	0	1
2017年	0	4	0	0	0	0	1	0	5
2018年	0	15	0	0	0	0	9	0	24
2019年	0	2	0	0	0	0	4	0	6
2020年	0	69	0	1	0	0	11	2	83
2021年	1	34	2	4	0	1	17	0	59
6年間計	1	124	2	5	1	1	42	2	178
島別	134件						42件	2件	
比率(%)	75%						24%	1%	

左 体 側	父島						弟島	各 年 度 計
	沈船	マルベリ	ドブ磯	人丸島アーチ	天狗の鼻	西島の東の岩	弟島(鹿浜)	
2016年	0	0	0	1	0	0	0	1
2017年	4	0	0	0	0	0	0	4
2018年	12	0	0	0	0	0	15	27
2019年	3	0	0	0	0	0	9	12
2020年	68	0	1	0	0	0	5	74
2021年	36	2	1	0	1	1	16	57
6年間計	123	2	2	1	1	1	45	175
島別	130件						45件	
比率(%)	74%						26%	

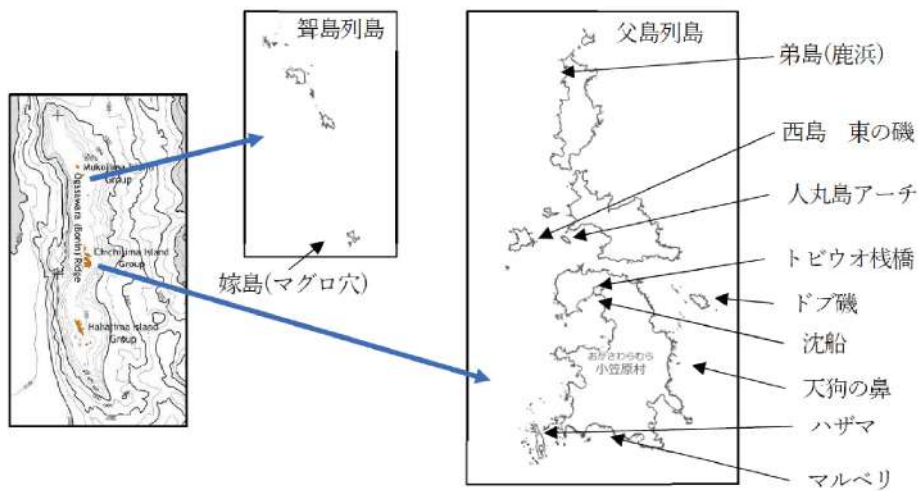


Fig. 1: 小笠原諸島におけるシロワニの撮影位置

Fig. 1: Photo shooting place of Sandtiger sharks in Ogasawara Islands.

#### 4. 撮影日数の季節性

撮影日数が多い、沈船・弟島鹿浜における撮影日の季節性を Fig. 2 に、撮影された画像を Fig. 3 に示す。

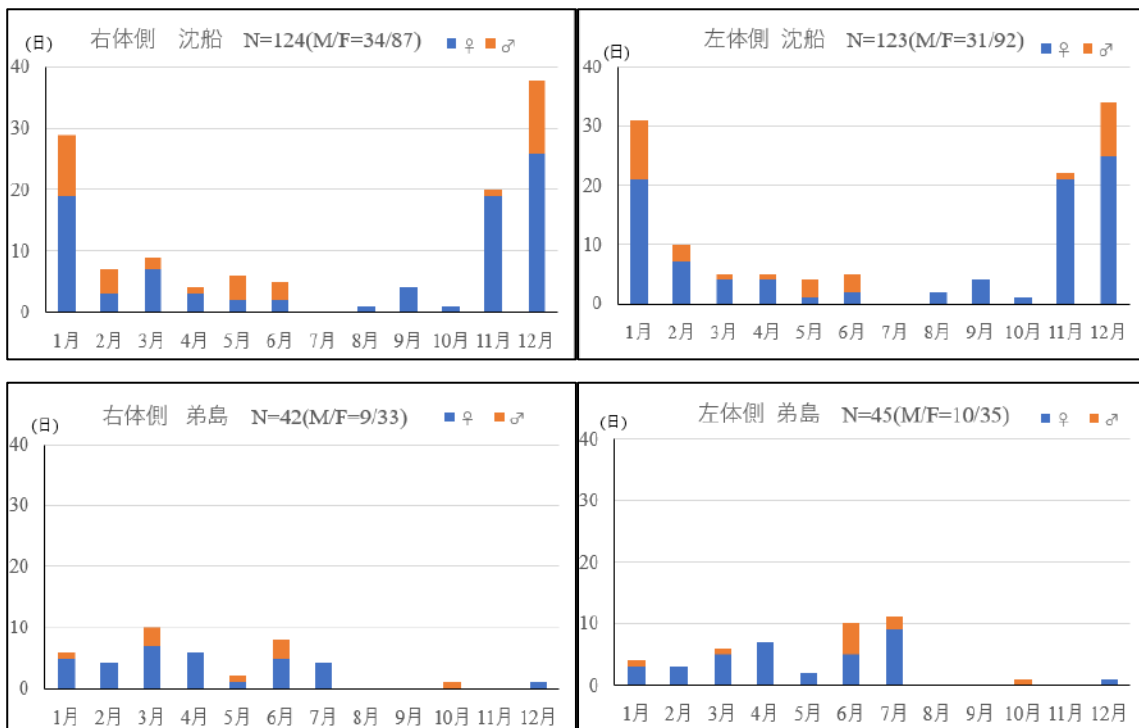


Fig. 2: 二見港の沈船と弟島に出現したシロワニ雌雄の体側別の撮影日数の季節変化

Fig. 2: The number of days photographed Sandtiger sharks by sex in right and left flank at the sunken ship of Futami port and Otouto-jima in each month.

沈船では、夏期7月から10月に確認件数が減少し、特に雄個体が確認されなかった。弟島では1月から7月に確認件数が多く、8月から12月にかけて減少する季節性が見られた。



Fig. 3: 二見港内沈船(水深40m)(左)と弟島鹿浜(水深20m)(右)で目撃されるシロワニ

Fig. 3: Sandtiger sharks observed at the sunken ship in Futami port (WD :water depth 40m) on 20<sup>th</sup> Jan. 2021 (left) and at Shika-hama, Otouto-jima (WD 20m) on 6<sup>th</sup> July 2018 (right).

#### 5. 個体識別された再確認個体の撮影位置、時期と頻度

2018年～2021年6月までの調査期間中、個体識別された個体の中で、複数日撮影された再確認雌雄個体の撮影場所、時期と頻度を Table 4 に示す。画像からの個体識別により、各識別個体の弟島と沈船の移動、特に冬期(主に11月から1月)にかけて、雌雄個体の集合、滞在が明確に記録された。

#### 6. 雌個体の交尾時の咬傷発現時期

雌個体の交尾咬傷が2個体撮影された(Fig. 4)。個体識別番号RMCS-L13(R17)は、2018年と2019年2年連続して、弟島で撮影された。RMCS-L14(R15)は、2017年から2021年の5年間継続して撮影され、2017年から2019年の3年間は弟島で、2021年は初めて二見港沈船で撮影された。2個体の交尾咬傷撮影時期は、5月30日から7月15日にわたり、春から初夏にかけてが、交尾期と考えられた(Table 5)。



Fig. 4: 2021年5月30日に沈船付近で観察された交尾咬傷を持つ個体

Fig. 4: Female Sandtiger shark with mating scars at the Sunken ship in Futami port on 30<sup>th</sup> May 2021.

Table 4: シロワニの各再確認個体の確認場所と確認時期(雌雄・左右体側)

Table 4: Occurrence point and times of each re-confirmed individual by sex in right and left flank from 2018 to 2021.

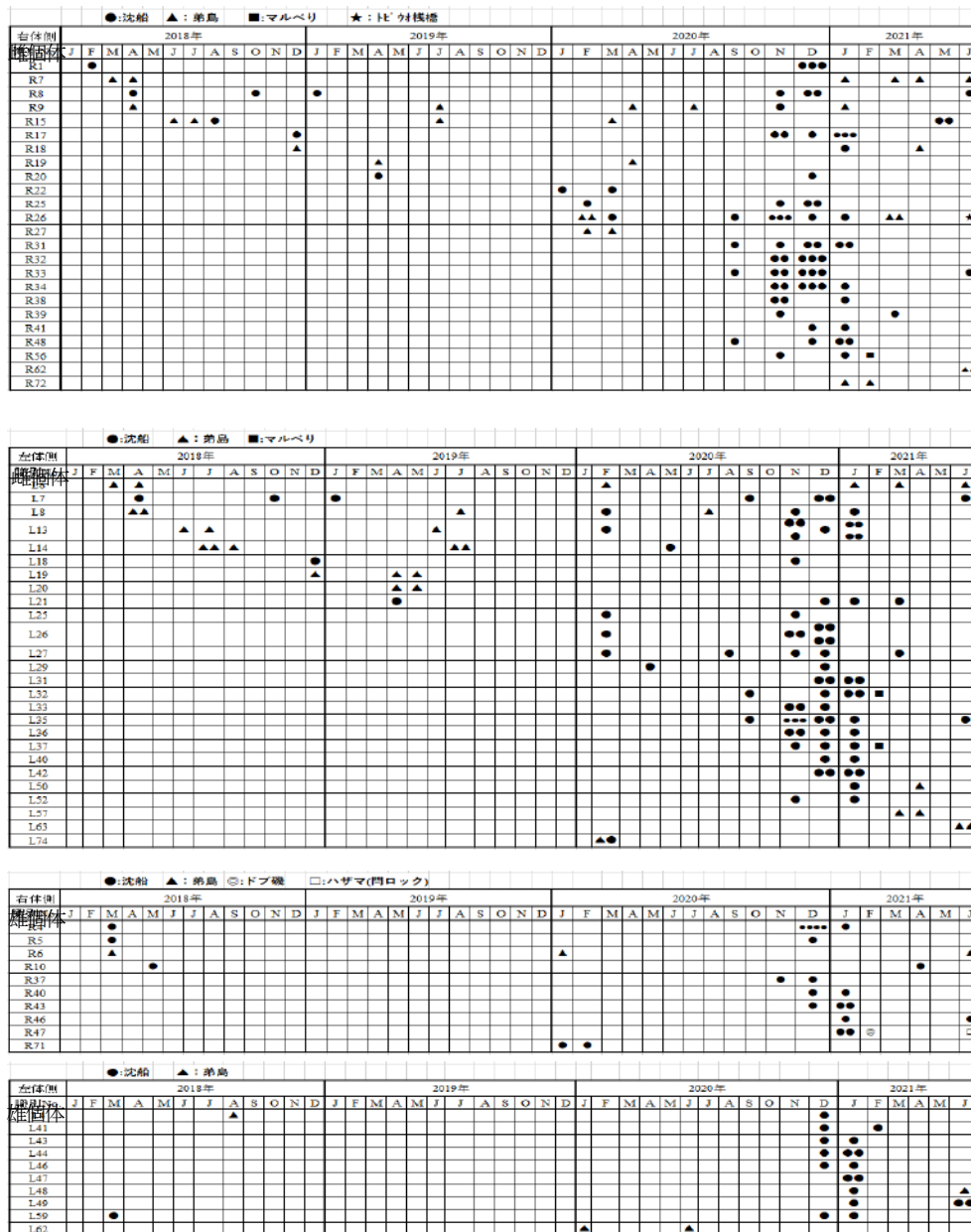


Table 5: シロワニ雌個体の交尾咬傷撮影時期

Table 5: The time at the occurrence of fresh mating scars of female Sandtiger sharks.

個体番号	2017年	2018年	2019年	2021年
RMCS-L13(RMCS-R17)		6/17(弟島)・7/2(弟島)	6/27(弟島)	
RMCS-L14(RMCS-R15)	6/23(弟島)	6/23(弟島)・7/2(弟島) 7/6(弟島)	7/12(弟島) 7/15(弟島)	5/30(沈船)

### 7.妊娠個体の記録

調査期間中、妊娠していた3個体が、出産後に再度撮影された。妊娠中のRMCS-L35(R33)が2021年1月4日沈船で、RMCS-L27(R26)が2021年3月20日弟島鹿浜で、RMCS-L7が2020年12月30日沈船で撮影され、出産後にRMCS-L35(R33)が2021年6月18日沈船、RMCS-L27(R26)が2021年6月12日二見港トビウオ桟橋、RMCS-L7が2021年6月18日沈船で撮影された。3個体の妊娠-出産後の撮影記録より、小笠原諸島のシロワニ出産時期は3月下旬から6月上旬と推測された(Fig. 5)。

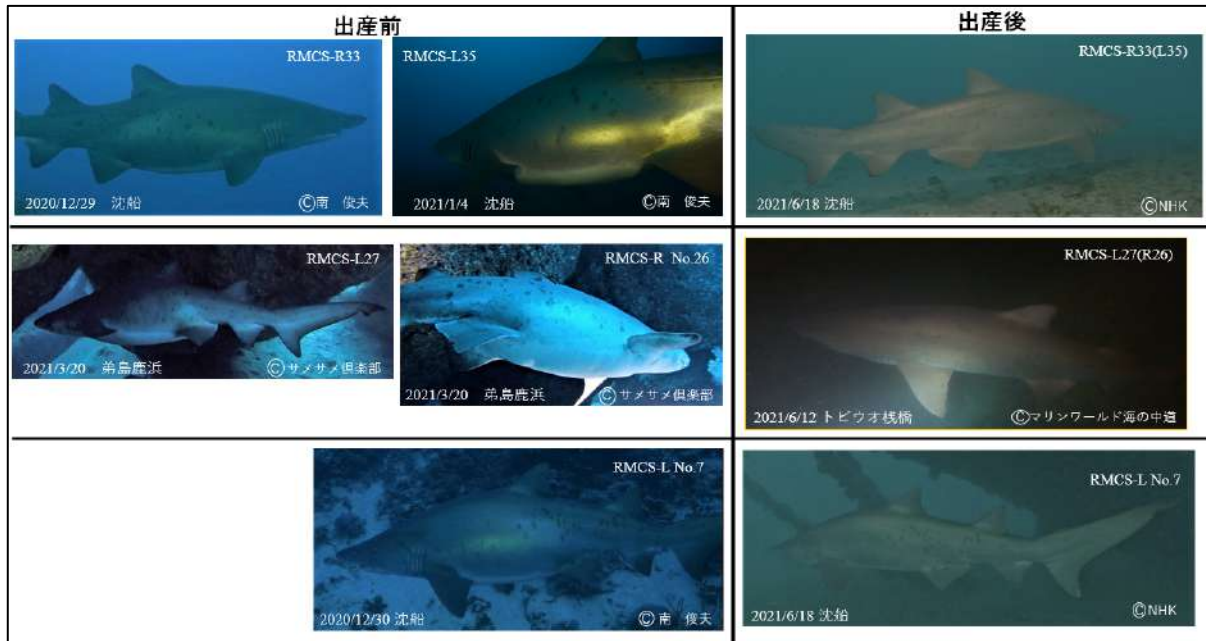


Fig. 5: 撮影された妊娠期間と出産後のシロワニ個体

Fig. 5: Three identified female sharks to be clearly pregnant and postpartum.

### 8.今年生まれの幼体の撮影

2021年4月28日、弟島鹿浜の洞窟の外で、今年生まれの幼体(性別:不明、全長約1.0m)が、ダイバーにより初めて撮影された(Fig. 6)。本種は全長1mで出生することが報告されている(Gilmore et al., 1983)ことから当歳魚と判断した。



Fig. 6: 2021年4月28日に弟島鹿浜で撮影されたシロワニ幼体

Fig. 6: Young of the year Sandtiger shark photographed at Shika-hama, Otouto-jima on 28<sup>th</sup> April 2021,

### 9.小笠原シロワニ個体識別カタログの一般公開

2021年7月19日、提供されたシロワニ画像より個体識別された、左体側画像39個体(M/F=12/27)、右体側43個体(M/F=15/28)を一般公開(<https://marine-world.jp/shirowani/>)し、さらに情報、画像提供の協力を呼びかけた。

### 【終わりに】

Bansemer and Bennet (2008)の画像によるシロワニ個体識別技法により、地元ダイビングショップの方々

の協力により、2018年2月より小笠原諸島の父島を中心に提供されたシロワニ画像より、個体識別調査を始め、2021年7月末までに、右体側画像71個体(M/F = 35/36)、左体側画像68個体(M/F = 31/37)を個体識別した。個体識別されたことで、シロワニの季節集合同所である二見港沈船と弟島における、各個体の長期滞在が初めて明確に示された。ダイビングショップでは、来島する観光ダイバーの要望に合わせ、所有する船舶で、当日の海況を見ながら、様々なダイビングポイントに案内している。特に弟島鹿浜や二見港内沈船は、シロワニが見られるポイントとして定着しており、シロワニがいない期間は、ダイビングポイントとして利用されないため、目撃情報に偏りが生じることは、否定できない。また今回の調査は、潜水して撮影された画像をもとに個体識別を行ったため、ダイビングショップの使用船舶が停泊する二見漁港トビウオ棧橋でも、高い頻度で岸壁近く(水深1.5m)を遊泳する姿が、日常観察されているが、本調査では観察位置として記録されていない。小笠原諸島シロワニの交尾時期は、雌個体の交尾時の咬傷より、春から初夏にかけてであった。シロワニ交尾時の咬傷は3ヵ月で完治する(Bansemer and Bennet, 2008)と言われ、今回確認した咬傷患部画像に出血が見られなかったことから、更に早い時期の可能性も残る。出産時期は、妊娠後期の画像と出産後の画像より、3月下旬から6月上旬と推察された。2021年4月28日、弟島鹿浜の洞窟外で、遊泳している当歳の出生幼体が初めて撮影された。出生幼体の確認時期と推定出産時期は、ほぼ一致した。シロワニが局所的に生息している世界各地の温帯生息地は、水深200m以浅の大陸棚沿岸部である。その中で、小笠原諸島は、大陸と一度も地続きになったことが無い、海洋性島弧である。鴛島列島-父島-母島列島間は、水深200mの海底で南北約130kmにわたり、連続しているが、その周囲は水深1,000mの深い水深に囲まれた孤島である。繁殖移動としてオーストラリア東部沿岸では、妊娠期間を過ごした海域から、出産海域まで約500kmの移動(Bansemer and Bennet, 2009)、南アフリカ共和国沿岸では、妊娠期を過ごした海域から、出産海域まで平均2.6km day<sup>-1</sup>の移動が報告されている(Dicken ら, 2006a)。今回初めて出生幼体が、二見漁港沈船からわずか水平距離で約10km離れた弟島鹿浜で撮影されたことより、国外のシロワニで見られる妊娠後期から出産時に長距離移動する繁殖様式と異なった、小笠原諸島独自の繁殖様式の存在が強く示唆された。今後も来島するダイバーの協力を得ながら、個体識別調査を継続し、小笠原諸島シロワニの生活史を解明する。

#### 謝辞

本調査を行うにあたり、ご協力頂きました小笠原島漁業協同組合、小笠原ダイビング安全対策協議会、小笠原村観光協会の皆様に、深謝の意を表し、画像提供にご協力頂きました皆様にお礼申し上げます。特に貴重な多くの画像をご提供頂きました南俊夫氏に厚く御礼申し上げます。小笠原シロワニ個体識別調査は、(公社)日本動物園水族館協会野生動物保護基金によって行われています。

#### 引用文献

- Bansemer, C.S. and M.B. Bennett. 2008. Multi-year validation of photographic identification of grey nurse sharks, *Carcharias taurus*, and applications for non-invasive conservation research. Mar. Freshw. Res., 59:322-331.
- Bansemer, C.S. and M.B. Bennett. 2009. Reproductive periodicity, localized movements and behavioral segregation of pregnant *Carcharias taurus* at Wolf Rock, southeast Queensland, Australia. Mar. Ecol. Prog. Ser., 374:215-227.
- Branstetter, S. and J.A. Musick. 1994. Age and growth estimates for the sand tiger in the North Atlantic Ocean. Trans. Am. Fish. Soc., 123: 242-254.
- Dicken, M.L., A.J. Booth, and M.J. Smale. 2006. Spital and seasonal distribution patterns of the ragged-tooth shark



- Carcharias taurus* along the coast of South Africa. Afr. J. Mar. Sci., 28(3):603-616.
- Gilmore, R.G. 1993. Reproductive biology of lamnoid sharks. Environ. Biol. Fish., 38:95-114.
- Gilmore, R.G., J.W. Dodeill, and P.A. Linley. 1983. Reproduction and embryonic development of the sand tiger shark, *Odontaspis taurus* (Rafinesque). Fish. Bull., 81(2):201-225.
- Licifira, L.O., R.C. Menni, and A.H. Escalante. 2002. Reproductive ecology and abundance of the sand tiger shark, *Carcharias taurus*, from the southwest Atlantic. JCES J. Mar. Sci., 59:553-561.
- Pollard, D.A., M.P. Lincoln Smith, and A.K. Smith. 1996. The biology and conservation status of the grey nurse shark (*Carcharias taurus* Rafinesque 1810) in New South Wales, Australia. Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst., 6:1-20.

## 軟骨魚類の分子レベルでの研究を支える Squalomix コンソーシアム

工樂 樹洋 (国立遺伝学研究所 ゲノム・進化研究系 分子生命史研究室)

### Squalomix: consortium for genome-wide molecular biology on chondrichthyans

Shigehiro Kuraku (Molecular Life History Laboratory, Department of Genomics and Evolutionary Biology, National Institute of Genetics)

初めてインスピレーションを得たのは、入ってすぐの決して大きくはないあの水槽だったかもしれない。クラシック音楽を BGM に悠々と泳ぐ姿を見て、その見た目に惹かれたのは、海産無脊椎動物のサンプリングで院生時代に訪れた京都大学瀬戸臨海実験所に併設の白浜水族館でのことだった。その後、遺伝子ファミリーの多様化パターンを調べる分子進化的解析の中で、脊椎動物を広く包含する配列情報の必要性を痛感し、軟骨魚類に目を付けた。北米の五大湖では害魚として扱われるヤツメウナギをはじめとして、いまだに複雑な遺伝子進化についての仮説が次々と出されている円口類ではなく、軟骨魚類が脊椎動物の祖先を紐解くうえで今後カギを握るはずだ、と。

ゲノム配列の情報は、どこかの大規模なシーケンス施設で顔の見えない誰かが整えてくれるのを待っていればいつか出てくるものだと思っていた。しかし、3年待っても、5年待っても、計画だけは聞こえてくるものの、信頼できる板鰓類の全ゲノム情報は出てこない。円口類ヤツメウナギについては、完成度は高くないにせよ、複数種で情報がリリースされていたにも関わらず、である。その後、思い立って、自分の研究室でトラザメ (*Scyliorhinus torazame*) の全ゲノムシーケンスに着手した。幸運にも、腕利きの技術スタッフと当時最先端の装置 (イルミナ HiSeq1500) が自分の研究室に、そしてトラザメが常時産卵している水槽 (理研 CDB (当時) の倉谷滋リーダーの研究室が管理) が同じ敷地にある、という状況に恵まれた。その後、大阪海遊館の多大なる協力でイヌザメ (*Chiloscyllium punctatum*) の全ゲノムシーケンスにも着手した。ゲノムサイズ (細胞あたりの一倍体分の DNA の総塩基長) がヒトの2倍以上もあるトラザメでは難航したが (ヒトで3.2ギガ塩基に対してトラザメでは6.7ギガ塩基)、経験を積んでから着手したイヌザメでは半年もかけずに、満足の域に達した (イヌザメのゲノムサイズは4.7ギガ塩基)。どちらも研究室の技術スタッフが手掛けるステップを挟みながら、自分自身が DNA 抽出とゲノムアセンブリを行うなどして仕上げ、結果的に、ひとつの研究室で徹頭徹尾進める稀有な脊椎動物ゲノム解析となった。ジョージア水族館とエモリー大学の共同チームがシーケンスしたがアセンブリに大きな改善の余地のあったジンベエザメ (*Rhincodon typus*) (Read et al., 2017) について、公開された生データを取得してアセンブリし直した結果をも材料とし、種々の分子進化的解析を行って2018年にその成果を出版した (Hara et al., 2018)。今では染色体規模に配列を繋ぎ上げる際の定番手法となった Hi-C 法を最適化して既に自前で使用していたが (Yamaguchi et al., 2021a)、この時点では欲を出さず、関わったメンバーの早期の出世につながれば、ということも大いに意識し、深追いはせず染色体長に繋ぎ上げる前の「ドラフト」の状態ですぐに出版しようという判断であった。ちなみに、ジンベエザメについては、傍から見ると「横取り」ともとられかねない使い方になってしまったが、出版に先立って2017年にジョージア水族館とエモリー大学の研究者を訪問し、互いの興味と研究計画を共有していた。ごく最近の彼ら主導の論文にも、これまでの継続的かつ相互的な連携の跡を残すことができた (Tan et al., 2021)。

トラザメとイヌザメは、胚の安定供給が期待しやすい軟骨魚種として自然な流れで選ぶことになったのだが、軟骨魚について学ぶにつれ、より広範な種の多様性について、とりわけ、世界の各所で軟骨魚類にどういった目が向けられているかについて、より興味を抱くようになった。ジンベエザメに関しては、ゲノム情報をもとに光受容タンパク質オプシンの機能と深海での生態との関係を調べてもいた(山口・工樂, 2020)。まさにこの種が興味の入り口になったといつてよい。ここから技術面も含め話を進めるにあたり前提としたいのは、「あの生物種のゲノムは既に解読されたので済んでいる。」という考えではなく、「同じ種であっても個体が変われば、属する集団についてまた別の情報を与えてくれる。どの生物種のゲノム配列情報も完全ではなく、最新技術を用いてより高い精度へ改善する余地は大きい。」という見方である。「全ゲノム情報があると言われて調べてみたら、自分の知りたい部分が連続する「N」(配列未決定な部分)で埋められていたという苦い経験をしたという人は少なくないはずだ。言ってみれば、ゲノム情報に改善の余地がほとんどないのはヒトだけである。

さて、国際的な情勢に話を移し、日本語では殆どまだ記されたことのない情報についてまとめてみる。ここ5年くらいで、脅かされている生物多様性に対して、世界全体でシームレスに取り組もうという気運、そして、ゲノム配列情報に基づいて測定した遺伝的多様性をエビデンスとして対策を施すことの有効性が顕わとなってきた。これらの展開が相まって、2019年にEarth BioGenome Project (EBP)が正式に発足した(Lewin et al., 2018)。EBP自体は1つのコンソーシアムではなく、国や地域ごと、また、生物群ごとに全ゲノムシーケンスを進めているコンソーシアムをひとつに束ねる「アンブレラ」として活動している(図1)。カリフォルニア大学デービス校(UC Davis)の教授Harris Lewin博士が中心となって、ゲノムシーケンスと情報解析の手法についての情報交換を促進するとともに、アウトプットの完成度を評価する基準の画一化を図っている。2021年6月時点で、22カ国の40以上プロジェクトが加盟しており、日本からは、2021年9月現在、理化学研究所生命機能科学研究センター(筆者の前本務先)とかずさDNA研究所のみが加盟機関として名を連ねている。

筆者の研究室では、その後、分類学・系統学的に多様な種を包含することをとくに意識して解析対象種を増やしてきた(対象種リストは、<https://github.com/Squalomix/info>に掲載し随時更新)。また、メガマウスザメ(*Megachasma pelagios*)の貴重な組織や、混獲に由来するウバザメ(*Cetorhinus maximus*)の冷凍試料(古満ほか, 2015)にも恵まれた。これまでに、板鰓類については、キクザメ目以外の12目について少なくとも1種での試料確保とトランスクリプトーム配列情報を取得するに至った。DNAシーケンスを端緒に進めてきた一連の分子情報取得は、発生や内分泌系についての興味に基づく多数の共同研究にも発展した(例、Imaseki et al., 2019; Okamoto et al., 2017)。この活動を世界のどこからでも見つけてもらいやすいように、コンソーシアムとして「Squalomix」と命名し、2020年11月に上記のEBPに加盟した(Kuraku, 2021)。軟骨魚を対象に含んでいる他のコンソーシアムとは、種選定における無用な競合を減らし、互いに連携して世界の軟骨魚種の全ゲノム配列情報の効率的な取得とその利用促進を目指している。水族館の協力のおかげで受精卵そして血液という計画的に入手しやすい生体試料に恵まれ(野津ほか, 2019; 喜屋武ほか, 2019)、ゲノム配列を取得するだけではなく、ゲノムサイズの測定や核型解析という細胞を用いた種固有の基礎情報が取得できること(Uno et al., 2020)、そして、トランスクリプトームやエピゲノムといった、ゲノム情報発現のメカニズムに迫る解析が可能となっていることが(例、Onimaru et al., 2021)、他のコンソーシアムとは異なるSqualomixの強みであると自負している。



ごく最近では、岡山大学理学部附属牛窓臨海実験所の協力で、アカエイ (*Hemirhynchus akajei*) のサンプリングを行い、Pacific BioSciences 社の Sequel II/IIe シーケンサーを用いた全ゲノムシーケンシングをかずさ DNA 研究所と共同で行った。日本国内でこの種を用いた分子レベルの解析を行っている研究者には、正式に論文として発表する前に得られた配列情報を利用いただく方針で準備を進めている (2021 年 9 月末時点)。かつてトラザメに対して、イルミナ社のシステムを利用したショートリードシーケンシングで着手した時代からは、技術が大幅に進歩した。Pacific BioSciences 社の HiFi ロングリードを用いると、たった 1 つのゲノム DNA ライブラリをシーケンシングするだけで十分とされ、得られた DNA 配列を繋ぎ合わせるアセンブリは、たとえゲノムサイズが 5 ギガ塩基より大ききであっても、ある程度のスペックのワークステーション (例、Xeon プロセッサ 48 コア、メモリ 1TB) 上で、たった一晩で済ませることができる。いわゆる PC であっても高スペックならば (例、Intel Core i9 プロセッサ、メモリ 128GB)、数日で終わる規模の計算である。ショートリード時代には、インサート長の異なる 4、5 種類の DNA ライブラリを調製し、アセンブリに数週間かかっていた。比較すると、費用の節減は当然のこと、時間も大いに短縮されている。ただ、誰が手掛けても成功するかというやはりそういう訳ではなく、ロングリード手法では、とくに長鎖

の DNA 分子を抽出するという一見レトロな実験スキルが成否を分ける、ということの特筆しておかなければならない。

これまでの解析結果について簡単に述べると、同じ「魚類」でありながら、硬骨魚類とは大きく異なる軟骨魚類の特徴が数多く見いだされた。種間でばらつきは大きいものの、増大しがちなゲノムサイズ、遅い分子進化速度、そして、ゲノム中にはびこる多数の反復配列などがそのおもな特徴である (Hara et al., 2018; 総説は Kuraku, 2021)。オプシン遺伝子については、硬骨魚類が遺伝子数を増やし、発現部位や吸収スペクトルを多様化させているのに対し、軟骨魚類、とくに板鰓類では、遺伝子数が際立って減っており、光受容への依存度が弱まっていることが示唆される (Yamaguchi et al., 2021b)。深海性して知られるいくつかの種では、オプシンの中でも明暗視に関わるロドプシンの吸収極大波長が、海中最も深くまで届くといういわゆる青色光の波長 (約 480 ナノメートル) にシフトしている (「ブルーシフト」という; 山口・工楽, 2020)。この現象は、これまで調べた中ではトラザメで顕著である (Hara et al., 2018)。ジンベエザメのロドプシンにも同様に深海での光受容へのチューニングが見られるが、摂餌などを行う浅海での活動の際に明順応を助けるような、軟骨魚類の中でもジンベエザメだけが持つ分子機能を獲得した可能性がある (発表準備中)。ジンベエザメという、現存種の分類では一科一属一種となっており、他の現存種の祖先と袂を分かったのは 5 千万年以上も前のことと推定されている (Naylor ら, 私信)。この孤立した系統で、我々がよく知るジンベエザメ「らしさ」がどのように確立されたのか、これを明らかにすべく視覚以外についても解析を進めている。ホホジロザメ (*Carcharodon carcharias*) のゲノム情報を報告した論文には、大型化や長寿命化の手掛かりに迫るための解析が含まれていたが (Marra et al., 2019)、他の軟骨魚類と比較することなしに行われたことに問題を感じて、これを指摘した (Yamaguchi and Kuraku, 2021)。同様の問題に陥らぬよう、ジンベエザメを主眼とした解析では、現存の最近縁種のひとつであるトラフザメ (*Stegostoma tigrinum*) を格好の比較対象として捉え、この種の全ゲノム情報をも取得して解析を進めている。

さいごに、Squalomix の本拠地である筆者の研究室は、神戸理研での活動体制を当面残しつつ、2021 年 4 月から新たに静岡県三島市の国立遺伝学研究所に活動拠点を徐々に移していく運びとなった (研究室ホームページ: <https://www.treethinkers.info/>)。今後も、日本ならではの生体試料を活用しながら、情報科学に基づいて DNA 配列を解析することにより、生物多様性の成り立ちと今を究める研究を広範に進めていく方針である。これに取り組むために、新たなメンバー (大学院生, ポスドク) を受け入れる準備がある。分子情報の探索における単発の相談や大規模データの利用を伴う長期的な共同研究についても、大学共同利用機関法人として様々な受け入れ手段が用意されているので (<https://bit.ly/3iaz8Mu>)、適宜ご相談いただきたい。本会会員のかなりの割合の方々もそうであろうか、ここで紹介した活動は軟骨魚類以外の生物についての研究の傍らで細々と進めてきた期間が長かった。いわゆるマイナー生物の研究に最先端の技術を注ぎ込むために、技術の運用現場に身を投じ、これが功を奏したようにも思えたが、最先端の研究現場ゆえの喧騒の中で停滞する時期もあった。しかし、多くの方々のご協力のおかげで、本腰を入れて取り組める体制ができつつある。いつか「軟骨魚類を究めたからこそ脊椎動物の進化が明らかになった」と胸を張って言えるような研究を、各方面の専門の方々と連携しながら進めていきたい。繁殖様式の分子基盤やゲノムの肥大化メカニズム、そして、分子進化速度と寿命の関係など、相応しい課題はたくさんある。

#### 謝辞

日頃の活動を支えている神戸理研の研究室のメンバーに加えて、試料を提供くださった園館、すなわち、大阪海遊館、沖縄美ら海水族館、アクアワールド大洗、京都水族館、新江ノ島水族館、志摩マリランド、

東海大学海洋科学博物館, アクアマリンふくしま, 須磨海浜水族園, そして, 試料提供やデータ取得を含む学術的な相談にご対応いただいた坂本竜哉博士 (岡山大), 倉谷滋博士 (理研 BDR), 山口敦子博士 (長崎大), 田中彰博士 (東海大), 堀江琢博士 (東海大), 兵藤晋博士 (東京大), 寺北明久博士 (大阪市立大), 小柳光正博士 (大阪市立大), 佐藤圭一博士 (沖縄美ら海水族館・沖縄美ら島財団総合研究センター), 野津了博士 (現・熊本大), 中村将博士 (沖縄美ら島財団総合研究センター), 西田清徳博士 (大阪海遊館), 朝日田卓博士 (北里大), 沼口麻子様, さらに, DNA 配列情報取得についてご尽力くださいました磯部祥子博士 (かずさ DNA 研究所), 白須賢博士 (理研 CSRS), 増田幸子博士 (理研 CSRS), 株式会社イルミナ, 株式会社マクロジェン・ジャパン, 日本ジーンウィズ株式会社, トミーデジタルバイオロジー株式会社, 株式会社ジーンベイ (以上, 順不同) には多大なご協力に感謝いたします。本コンソーシアムにおける研究は, 日本学術振興会からの科学研究費補助金 (「先進ゲノム支援」 16H06279 および「基盤研究 B」 20H03269), 理化学研究所からの運営費交付金, 国立遺伝学研究所からの運営費交付金によって進められています。

### 文献

- 古満啓介・原康二郎・川久保晶博・山口敦子. 2015. 長崎県松浦市黒島沖で漁獲されたウバザメ *Cetorhinus maximus*. 板鰓類研究会会報, 51:1-6.
- Hara, Y., Yamaguchi, K., Onimaru, K., Kadota, M., Koyanagi, M., Keeley, S. D., Tatsumi, K., Tanaka, K., Motone, F., Kageyama, Y., et al. 2018. Shark genomes provide insights into elasmobranch evolution and the origin of vertebrates. *Nat. Ecol. Evol.* 2:1761-1771.
- Imaseki, I., Wakabayashi, M., Hara, Y., Watanabe, T., Takabe, S., Kakumura, K., Honda, Y., Ueda, K., Murakumo, K., Matsumoto, R., et al. 2019. Comprehensive analysis of genes contributing to euryhalinity in the bull shark, *Carcharhinus leucas*; Na<sup>+</sup>-Cl<sup>-</sup> co-transporter is one of the key renal factors upregulated in acclimation to low-salinity environment. *J. Exp. Biol.* 222:jeb201780.
- 喜屋武樹・北谷佳万・西田清徳. 2019. 海遊館における飼育下での軟骨魚類研究. 板鰓類研究会会報, 55:8-23.
- Kuraku, S. 2021. Shark and ray genomics for disentangling their morphological diversity and vertebrate evolution. *Dev. Biol.* 477 : 262-272.
- Kuraku, S. and Squalomix Consortium 2021. Squalomix: shark and ray genome sequencing to analyze their diversity and evolution. *Authorea*. Jun 29. <https://doi.org/10.22541/au.162498956.63679523/v1>
- Lewin, H. A., Robinson, G. E., Kress, W. J., Baker, W. J., Coddington, J., Crandall, K. A., Durbin, R., Edwards, S. V., Forest, F., Gilbert, M. T. P., et al. 2018. Earth BioGenome Project: Sequencing life for the future of life. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 115:4325-4333.
- Marra, N. J., Stanhope, M. J., Jue, N. K., Wang, M., Sun, Q., Pavinski Bitar, P., Richards, V. P., Komissarov, A., Rayko, M., Kliver, S., et al. 2019. White shark genome reveals ancient elasmobranch adaptations associated with wound healing and the maintenance of genome stability. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 116:4446-4455.
- 野津了・松本瑠偉・村雲清美・佐藤圭一. 2019. 水族館での飼育観察が大型板鰓類の繁殖生物学に光を当てる. 板鰓類研究会会報, 55:2-7.
- Okamoto, E., Kusakabe, R., Kuraku, S., Hyodo, S., Robert-Moreno, A., Onimaru, K., Sharpe, J., Kuratani, S. and Tanaka, M. 2017. Migratory appendicular muscles precursor cells in the common ancestor to all vertebrates. *Nat. Ecol. Evol.*

1:1731–1736.

- Onimaru, K., Tatsumi, K., Tanegashima, C., Kadota, M., Nishimura, O. and Kuraku, S. 2021. Developmental hourglass and heterochronic shifts in fin and limb development. *eLife* 10:e62865.
- Read, T. D., Petit, R. A., 3rd, Joseph, S. J., Alam, M. T., Weil, M. R., Ahmad, M., Bhimani, R., Vuong, J. S., Haase, C. P., Webb, D. H., et al. 2017. Draft sequencing and assembly of the genome of the world's largest fish, the whale shark: *Rhincodon typus* Smith 1828. *BMC Genomics* 18:532.
- Rhie, A., McCarthy, S. A., Fedrigo, O., Damas, J., Formenti, G., Koren, S., Uliano-Silva, M., Chow, W., Functammasan, A., Kim, J., et al. 2021. Towards complete and error-free genome assemblies of all vertebrate species. *Nature* 592:737–746.
- Tan, M., Redmond, A. K., Dooley, H., Nozu, R., Sato, K., Kuraku, S., Koren, S., Phillippy, A. M., Dove, A. D. and Read, T. 2021. The whale shark genome reveals patterns of vertebrate gene family evolution. *eLife* 10:e65394.
- Uno, Y., Nozu, R., Kiyatake, I., Higashiguchi, N., Sodeyama, S., Murakumo, K., Sato, K. and Kuraku, S. 2020. Cell culture-based karyotyping of orectolobiform sharks for chromosome-scale genome analysis. *Commun. Biol.* 3:652.
- 山口和晃・工樂樹洋. 2020. ゲノム情報に支えられたより堅固な生命科学へ：軟骨魚のオプシンを題材として. *比較生理生化学*, 37:170–179.
- Yamaguchi, K. and Kuraku, S. 2021. Unbiasing genome-based analyses of selection: an example using iconic shark species. *Frontiers in Marine Science* 8:202.
- Yamaguchi, K., Kadota, M., Nishimura, O., Ohishi, Y., Naito, Y. and Kuraku, S. 2021a. Technical considerations in Hi-C scaffolding and evaluation of chromosome-scale genome assemblies. *Mol. Ecol.* in press. <https://doi.org/10.1111/mec.16146>
- Yamaguchi, K., Koyanagi, M. and Kuraku, S. 2021b. Visual and nonvisual opsin genes of sharks and other nonsteichthyan vertebrates: Genomic exploration of underwater photoreception. *J. Evol. Biol.* 34:968–976.

## Isotopic insights into enigmatic elasmobranchs: promise and pitfalls

Alex S. J. Wyatt

(Department of Ocean Science, The Hong Kong University of Science and Technology)

Isotope analyses show great promise as an exciting avenue for researchers wanting to unravel a range of mysteries regarding where, and on what, elasmobranchs feed as species and individuals. Although the application of stable isotopes to ecological work is well established, this piece briefly outlines several of the ways that isotope ecology can be considered as a frontier in shark research. While interest in applying isotope approaches to the trophic ecology of elasmobranchs, and more broadly across organisms and habitats, has been rapidly increasing, there are a number of pitfalls that young elasmobranch researchers should consider when delving into the field of isotope ecology. Isotopes can be particularly informative when studying enigmatic species that are hard to observe. Indeed, for such species, isotopes might provide a researcher with their only feeding insights, especially if traditional feeding observations or captive feeding experiments are impossible. However, caution is needed to account for the influence of physiology and metabolism on tissue isotopes independent of diet, which can be particularly pronounced in elasmobranchs due to tissue retention of urea and trimethylamine oxide (TMAO). Below I will highlight some recent findings on the application of isotopes to elasmobranch ecology based on our case study from the whale shark *Rhincodon typus* in Okinawa<sup>1</sup>. I hope beginners in the field will uncover some useful advice, including some pitfalls to avoid and promising avenues for future applications to other elasmobranch species of interest.

### What are isotopes anyway?

To answer this, we need to delve briefly into basic chemistry before we come back to elasmobranch ecology. Put simply, isotopes are nuclei of the same element (i.e., atoms with the same number of protons) that have a differing number of neutrons in the nucleus. The word ‘isotopes’ derives from Greek meaning ‘equal places’, which refers to the fact that isotopes have the same number of protons, so they occupy the same spot in the periodic table of elements. For example, all atoms of the element carbon (C) has six protons, but can be one of two stable isotopes (more on stability shortly): the light and abundant carbon-12 (<sup>12</sup>C) and the heavy and rare carbon-13 (<sup>13</sup>C). In most light elements (those near the top of the periodic table), one isotope strongly dominates the others; in the case of carbon, 98.98 % exists as <sup>12</sup>C compared to just 1.11 % as <sup>13</sup>C. For the eagle-eyed, the missing <0.1 % of carbon exists as carbon-14 (<sup>14</sup>C), which is a radioisotope of carbon, meaning it is unstable and decays with time. This contrasts with the stable isotopes that are, as the name suggests, stable over time and do not decay. Radioisotopes have many exciting applications in elasmobranch ecology and are the subject of a growing body of research, but we will focus here on the stable isotopes. The important take away is that isotopes of an element are qualitatively the same, they behave the same in chemical reactions, but are quantitatively different due to their differences in mass resulting from the differing numbers of neutrons. This mass difference means that the products of biological processes tend to be more concentrated in lighter isotopes of an element. We can thus measure the ratios of light and heavy isotopes, expressed as permille (‰), in organism tissues to infer information about the source of nutrients forming tissues and the flow of energy through the food web. The basic premise of isotope ecology can be distilled to the idea that “you are what you eat, plus a few permille”. As always, the devil is in the detail, and the



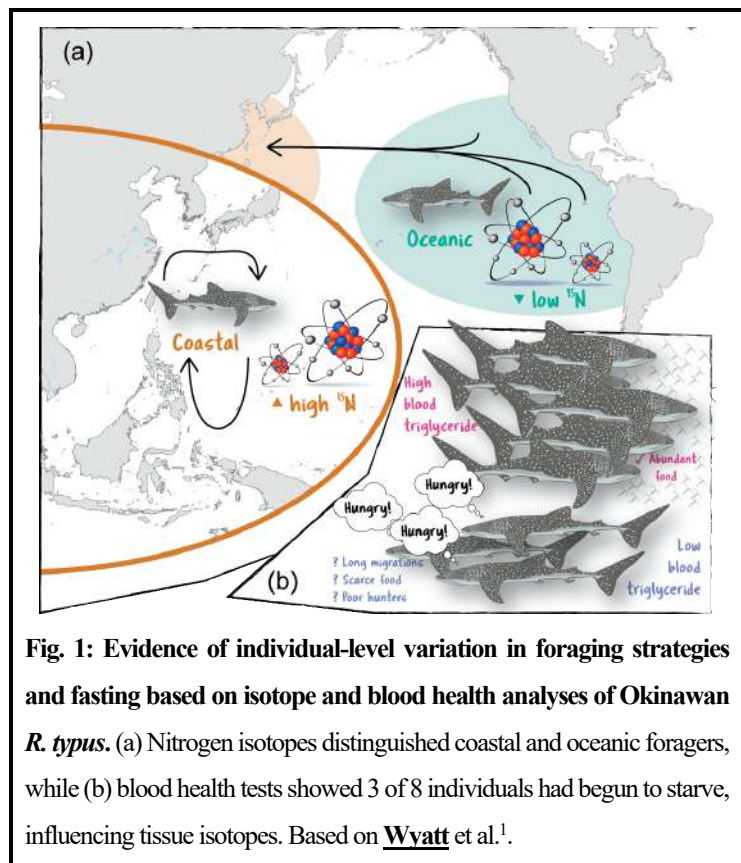
“few permille” varies greatly across elements, organisms and environments. To bring us back to our main interest in elasmobranch ecology, without getting too bogged down in the chemistry, the takeaway is: consumers’ tissue stable isotopes tend to be predictably offset from the isotope ratios in their prey and can thus be used to infer aspects of trophic ecology, such as an organism’s diet and its trophic positions in the food chain. Interested readers are referred to Brian Fry’s excellent introductory text on Stable Isotope Ecology (2006, Springer)<sup>2</sup> for more information on the foundations of isotope ecology.

### What can we learn from isotopes about elasmobranch ecology?

With colleagues at the University of Tokyo and Okinawa Churaumi Aquarium, we recently published a quantitative approach in *Ecological Monographs*<sup>1</sup> on the application of a multi-tissue, multi-isotope approaches to assessments of dietary variation in elasmobranchs. The study focused on validating the approach using multiple tissues from the world’s largest fish, the whale shark *Rhynchodon typus*, but the major findings are broadly applicable to other species and diet specialisation more generally. Isotope analyses of both captive and wild *R. typus* allowed us to demonstrate: (1) consistent specialisation by individuals on either coastal or oceanic food resources (Fig. 1a and Fig. 2a), and (2) preliminary evidence of unexpected (‘cryptic’) levels of herbivory in a nominally carnivorous species (Fig. 2b). This work provides an illustrative case study on the promising insights isotopes can offer the elasmobranch ecologist, but also highlights some potential pitfalls if isotopes are not carefully measured and interpreted.

#### Pitfall #1: elasmobranch tissue isotope analysis can be confounded by lipid and urea contamination.

Lipid removal from muscle tissues prior to isotope analysis is often advisable because lipids are  $^{13}\text{C}$ -depleted, so lead to more depressed carbon-13 measurements than for pure proteins. See for example the low  $^{13}\text{C}$  value in one of our *R. typus* muscle samples in Fig. 2a. While the influence of lipids on  $^{13}\text{C}$  measurements can be mathematically corrected after analysis based on carbon-to-nitrogen ratios, with increasing values indicating increasing lipid content, this can be confounded in elasmobranchs where carbon-to-nitrogen ratios are also altered by the presence of urea and TMAO in tissues. Both these substances are depleted in the heavy isotope of nitrogen ( $^{15}\text{N}$ ), but luckily, as they are highly soluble, they can be removed from tissues with simple rinsing. Lipids can also be removed with a variety of



**Fig. 1: Evidence of individual-level variation in foraging strategies and fasting based on isotope and blood health analyses of Okinawan *R. typus*.** (a) Nitrogen isotopes distinguished coastal and oceanic foragers, while (b) blood health tests showed 3 of 8 individuals had begun to starve, influencing tissue isotopes. Based on [Wyatt et al.](#)<sup>1</sup>.

solvents, with a chloroform/methanol rinse been shown to be effective. It is very important to minimise the confounding

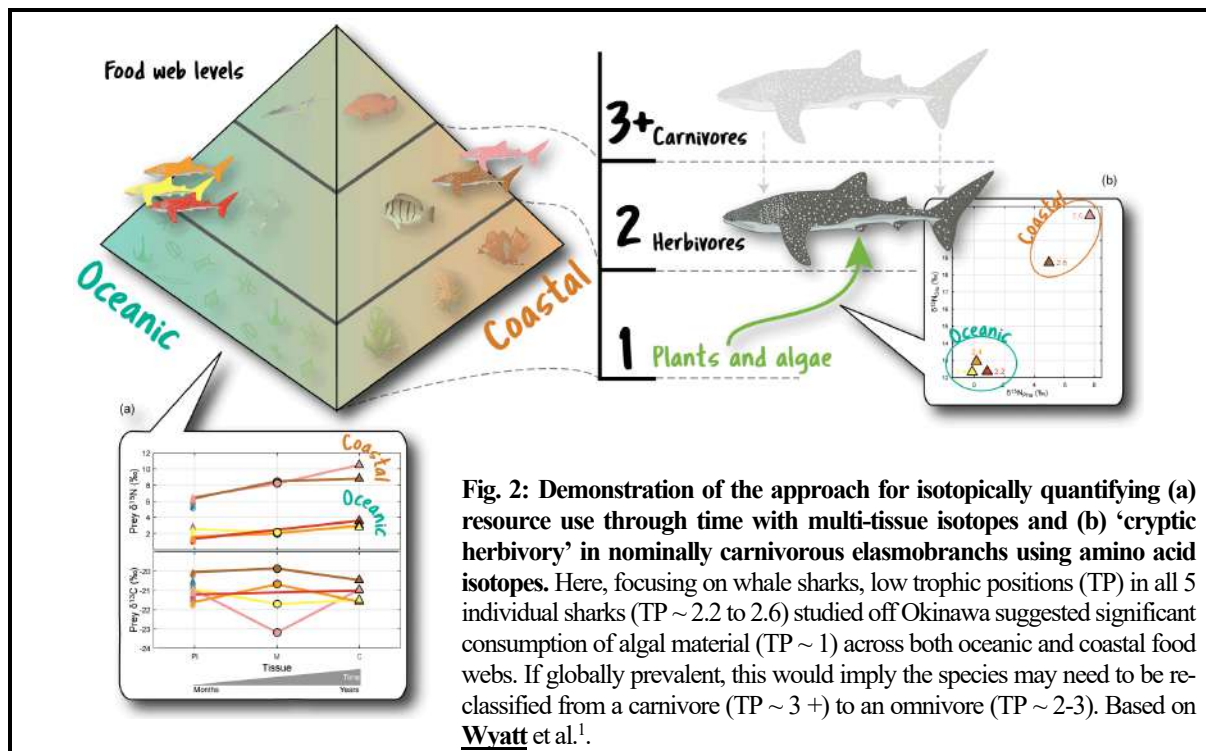
influence of both lipids and urea/TMAO, such as combined solvent and water rinses, before interpreting elasmobranch isotope ratios measured in muscle tissues.

### Pitfall #2: isotopic offsets between prey and consumers can be highly variable.

As outlined above, stable isotope ecology is based on the premise that consumer tissue isotopes reflect their prey plus “a few permille”. Although this offset, sometimes call a diet-tissue discrimination factor, is often assumed to be fixed in isotope studies, it in fact varies greatly between species, diet types and environments, or even within individuals depending on the tissue type or growth rates. In the case of the *R. typus* in Okinawa Churaumi Aquarium, we were able to demonstrate that growth rates and fasting altered the nitrogen offset by several permille, which has the potential to confound ecological studies that assume a fixed nitrogen offset of  $\sim 3$  ‰ for nitrogen. This might be especially important for pelagic elasmobranchs that undergo significant fasting during their ocean-basin scale migrations (Fig. 1b).

### Pitfall #3: isotopes provide tissue-specific temporal averages of diets.

One of the great aspects of isotope analyses is that tissue isotopes integrate feeding over a period of time, rather than providing a single ‘snapshot’ of diet at the time of observation or sampling, such as can be obtained from gut contents. However, the choice of tissue to sample in elasmobranch isotope studies is fraught with danger, particularly because we are often constrained to sampling tissues that can easily be obtained non-lethally from threatened or protected species. In the case of *R. typus* for example, fin clippings of cartilage material represent an easily sampled tissue, but our captive results revealed that the turnover time of this material, in what is the largest-bodied fish in the ocean, could approach 3 years – so the temporal window from fin cartilage is very long. Even a “fast” turnover tissue such as bloody plasma had a turnover of 9 months due to *R. typus*’ extreme body size, suggesting that diet changes over short temporal windows, such as seasonally, could be very difficult to detect in larger elasmobranchs using common tissue isotopes. One solution



to tissue turnover complications is to sample multiple tissues from each individual, thereby establishing a temporal picture of feeding from a single individual at one point in time. A demonstration of this approach is shown in Fig. 2a based on our Okinawan *R. typus* work, where sampling of tissues across a fast to slow continuum (plasma, muscle and fin) revealed that specialization on coastal versus oceanic resources was consistent over time within individuals, based on either high or low nitrogen isotopes, respectively, across tissues.

**Pitfall #4: source isotopes at the base of food webs vary greatly in space and time.**

The accuracy of isotope approaches depends on understanding, or better yet accurately quantifying, isotope variations in all potential prey. These prey isotopes in turn reflect changes in primary producer isotopes (called the ‘isotopic baseline’) across a range of spatiotemporal scales. Measuring the isotopic baseline over the temporal and spatial scales captured in tissue isotopes is likely to be impossible, especially for wide-ranging, slow turnover species like *R. typus*. As an alternative to such labour intensive and expensive food source sampling, we can use more advanced isotope tracers to infer the isotopic baseline as recorded in organisms’ tissues. One such approach is compound-specific isotope analysis of amino acids (CSIA-AA). These analyses are based on the observation that some AAs, termed ‘source’ or ‘essential’ AAs, are subject to negligible or more predictable alteration as material flows through a food web. Thus, at its coarsest level, CSIA-AA of an organism’s tissue can identify the source of carbon or nitrogen at the base of the food web. By comparing AAs we can also calculate a chemical estimate of trophic positions in the food web. In the case of our *R. typus* samples, CSIA-AA suggested low trophic positions that were suggestive of a more herbivorous diet (Fig. 2b). This cryptic herbivory might be more globally widespread in *R. typus* facing food shortages, and has been demonstrated in another carnivorous shark, the bonnethead (*Sphyrna tiburo*)<sup>3</sup>. Determining how widespread cryptic herbivory is, in elasmobranchs and other taxa, and whether it represents a response to food limitations, will be an exciting avenue of future research using CSIA-AA going forward.

Despite the pitfalls, careful application of isotope approaches offers valuable insights into important questions in elasmobranch ecology. I would encourage young elasmobranch researchers to explore how isotopes might help answer important questions in their own species of interest, or even motivate new, unexpected research directions such as our isotopic investigation of cryptic herbivory in *R. typus*. Carefully applied isotope analyses certainly offer great promise of advancing the frontiers of shark research.

#### References

1. Wyatt, A.S.J., et al. (2019) Enhancing insights into foraging specialization in the world's largest fish using a multi-tissue, multi-isotope approach. *Ecol Monogr* 89: e01339
2. Fry, B.J. (2006) *Stable isotope ecology*. Springer Verlag, New York
3. Leigh, S.C., Papastamatiou, Y.P., and German, D.P. (2018) Seagrass digestion by a notorious ‘carnivore’. *Proceedings of the Royal Society B13: Biological Sciences* 285

## 青森サメ食文化の変遷と現在～弊社の展望と挑戦～

田向 常城（有限会社田向商店 代表取締役）

### 目次

#### 1. 弊社とサメとの関わり

肝油需要 / サメ肉の需要 / 人工ビタミンAの開発と肝油需要の縮小

#### 2. サメ食文化

サメ肉の特徴 / 歴史、地域、食べるサメの種類

#### 3. 日本のサメ食文化の系統

#### 4. 青森県のサメ漁

#### 5. 日本のサメ食文化の現状

漁業～加工流通～消費

#### 6. 世の中の変化

環境保護団体 / 資源管理認証、国際認証、国際標準

/ CITES（Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora）

#### 7. 田向商店今後の方針（魚価を上げるために）

未利用部位の活用、HACCP の取り組み、新商品の開発

/ 「サメ食」地域との連携、「サメ食文化」の継承

### 1. 弊社とサメとの関わり

#### 肝油需要

弊社の海産物問屋としての創業は昭和4年（1929年）です。養蚕事業に就いていた曾祖父が晩年、縁あって青森市の海産問屋「松尾商店」に再就職し、魚の売り買いを学び独立しました。何年もたたぬうちに祖父に代を譲りました。仕事の内容は、近海物の売買と北海道で漁獲される海産物の廻船業です。当時はまだサメをそれほど多く扱ってはいなかったようです。数ある魚の中の一つという位置づけでありました。

サメと深くかかわり始めたのは第二次世界大戦が終わった後からです。当時は、米国における天然ビタミンAの需要が高く、ビタミンAを多く含有する魚の「肝油」が高い値段で取引されておりました。当時、アブラツノザメの肝油にはビタミンAが多く含有されているとされており（含有率の高さから言えば

イコクエイラクブカのほうが多いのですが、それだけでは足りなかったのが、似ているアブラツノザメにシフトしたのかもしれない)、もともと青森では食用に利用されていたこともあって産業的利用は一気に高まりました(図1)。父健二の記憶によれば、粗肝油の価格はドラム缶1本(180kg)当り10,000~30,000円(55~165円/kg)で、その価格はビタミンA含有量によって変動したとのことでした。なお、当時の原料価格(魚体の価格)は5~10円/kgであったと父は記憶しています。当時の物価を現在の20分の1と考えると、粗肝油は1100~3300円/kg、原料価格は100~200円/kgとなり、原料価格に関しては現在と同価格かそれよりも高かったこととなります。



図1. 青森県庁「あおもりのうまいものたち」

[https://www.umai-aomori.jp/season-report/seasonal/aburatunozame\\_201312.html](https://www.umai-aomori.jp/season-report/seasonal/aburatunozame_201312.html) より

樽本龍三郎先生の「日本サメ漁業の歴史と伝統」によると、敗戦に伴い食料事情が極端に悪化した昭和25年頃のサメ肝油が、島根県大田市五十猛(いそたけ)では20~25円/kg、三重県大王崎では126円/kg(ウバザメ肝油)であったとのことなので、弊社の粗肝油は結構よい値段であったことがうかがえます。

米国のビタミンA需要によって、日本では魚油や肝油からビタミンAを精製して輸出する会社がたくさん現れました。現在、「ふえるわかめ」「ノンオイルドレッシングシリーズ」「無添加だしの素」「各種レトルト食品」で有名な理研ビタミン株式会社もその一つです(図2)。当時は、「理研ビタミン油株式会社」と社名に「油」の字が付いており、魚油からビタミンAを抽出する仕事メインだったことに起因するようです。理研ビタミン油さんは、戦前の理化学研究所が所有していた分子蒸留技術を民間利用する目的で戦後設立されました。この分子蒸留技術を用いて粗肝油からビタミンAを分離させたのです。ビタミンA需要が高まると、原材料の確保が必要となります。経費削減のために精製会社は、より原材料水揚げ地に近いところに拠点を作るようになりました。弊社は、祖父の時代に理研ビタミン油さんの青森工場として、アブラツノザメの肝臓から粗肝油を製造する仕事を請け負いました。アブラツノザメの肝臓にはビタミンAが多く含まれますが、どのような肝臓でもよいというわけではなく、「クロカン(黒肝)」と呼ばれる小さく硬い濃灰色の肝臓に最も多く含まれているとされていました。「クロカン」は高齢の雌の肝臓で、高価格で取引され、これを数個売ると当時のキャバレーを3件ハシゴできたといわれています(30年前の従業員の話)。通常、アブラツノザメの雌の肝臓歩留まりは全体の18~20%となりますが、「クロカン」の歩留まりは10%以下であり、その分ビタミンAの含有量が多かったと考えています。アブラツノザメは非常に長寿なサメで、80年以上生きるとされています。現在では「クロカン」を持つアブラツノザメは少なくなりました。



図2.A から始まる理研ビタミンストーリー(<https://www.rikenvitamin.jp/corporate/history/>)

### サメ肉の需要

北海道・東北地方のアブラツノザメの漁獲量は、1950年代のピーク時には6万トン近くもあったようです。肝臓は肝油の原材料に、肉は食用と「ボタン竹輪」に利用されました(図3)。「ボタン竹輪」は、魚肉のすり身を巻いた後に表面に油を塗り焼くことで作られ、焦げ目が牡丹の花のように大きくきれいだったことに由来しているようです。石巻で大正時代初期に開発された「ボタン竹輪」はアブラツノザメを主原料としていますが、石巻では同種の水揚げが減少したため、沼田磯吉氏がアブラツノザメを求めて大正7年(1918年)に資源が豊富な青森に拠点を構え、そこから全国に「ボタン竹輪」を広めました。(日本かまぼこ協会 <https://www.nikkama.jp/info/おでん鍋の一輪の牡丹/>)。魚が豊富で次から次へと売れるので、アブラツノザメの産業は大いに盛んになりました。「ボタン竹輪」のおいしさは瞬く間に有名になり、特に青森のものに限るという理由で大変人気が高まりました。大正天皇にも献上されたという話も聞いています。戦後は「ボタン竹輪」と言えば青森、ということで竹輪相場は青森がつくるようになりました。人気商品「ボタン竹輪」工場が戦後次々とできました。青森市港町荻町といった堤川沿いには、「ボタン竹輪」の製造工場がいくつもありました(丸石沼田商店、イゲタ沼田商店、三金商店、千葉傳商店、根市商店、山石石川商店など)。冬に大量に漁獲されたアブラツノザメは竹輪工場に買われ、冬の冷たい堤川に、各社が陣地を決め縄に括ってアブラツノザメを沈め保管して使っていたと聞きます(父健二の記憶)。肝臓は肝油へ、肉は食用(地元消費、東北・関東出荷、竹輪原料)に利用され、需要は多くありました。

弊社は、地元のサメ需要に対応するだけでなく、全国の「ボタン竹輪」製造会社にアブラツノザメの肉を出荷しました。石川県のスギヨさんにもずいぶん使っていただきました。スギヨさんは、1952年にアブラツノザメの「ボタン竹輪」にアブラツノザメの肝油を混ぜ「ビタミン竹輪」として販売し大ヒットしたとされています。また、皮をむいたサメ肉は、地元利用・「ボタン竹輪」向けだけでなく、背骨をつけた皮むきドレスの状態の木箱に詰めて凍結され、タンパク質が不足していた東京他全国にも出荷されました。

サメを取り巻く状況は、昭和34年(1959年)に資源の豊富なスケソウ鱈を使った冷凍スケソウスリミを練り製品に使う技術が開発されると一変し(日本かまぼこ協会、<https://www.nikkama.jp/deki/manufacturing/>)、昭和40年代(1965年以降)にその技術が普及したことでサメの利用は一気に減っていきました。平成に入ると練り製品自体の需要が減り、流通形態の変化に伴う価格競争によって採算も合わなくなっていきました。青森堤川沿いの竹輪工場は次々と店をたたんでいきました。沼田商店さんの「ボタン竹輪」は、現在青森市堤川沿いの「株式会社さんじるし丸石沼田商店」と、港町の「株式会社イゲタ沼田焼竹輪工場」と、八戸ではマルヨ水産さん、石川県のスギヨさん他に

引き継がれ、現在も全国に販売されています。しかし、現在の「ボタン竹輪」の主原料はスケソウスリミが主となっていて、かつての主要原料であったアブラツノザメの使用割合は現在ほとんどありません（すり身におけるアブラツノザメの割合は5%以下）。近年では、宮城県石巻の水野水産さんを中心として「ボタン竹輪」の復活事業が起きています。弊社でも、後述するようにアブラツノザメを大量に使用した「元祖ボタン竹輪」に近い「鮫肉竹輪」を開発しました（図4）。化学調味料だけでなく、うま味調味料すべてを抜いてしまい、魚のすり身が持つ本来のうまみ（スケソウダラには味がほとんどないので、実はサメ肉のうまみ）のみで勝負しています。

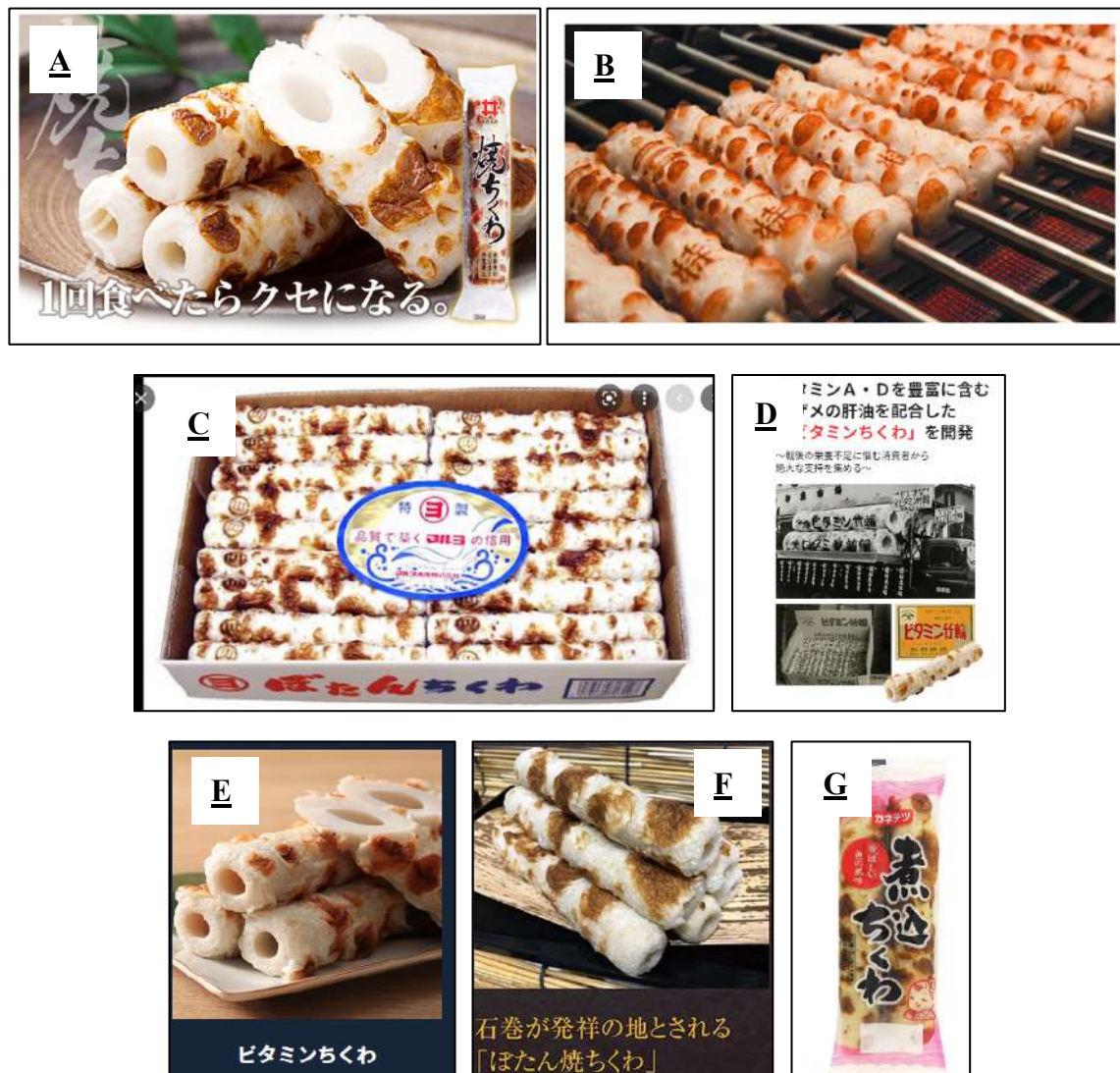


図3. ボタン竹輪 (A: イゲタ沼田焼竹輪工場さんの「ボタン竹輪」 <http://www.igeta-n.co.jp/yaki/>、B: さんじるし丸石沼田商店さんの「ボタン竹輪」 <http://www.m-numata.jp/>、D: マルヨ水産さんの「ボタン竹輪」 <http://www.e-maruyo.com/>、E: スギヨさんの「ビタミン竹輪」<https://www.sugiyu.co.jp/special/story/vitachiku.php>、F: 石巻 水野水産さんの「ぼたん焼竹輪」、G: カネテツデリカフーズさんの「煮込み竹輪」



図4. 弊社が委託加工で作ってもらったアブラツノザメ肉を40%入れたすり身の「ボタン竹輪」（うま味調味料抜きでも結構味が濃い）

### 人工ビタミンAの開発と肝油需要の縮小

肝油製造は1950年代に合成ビタミンAの技術が開発されてから徐々に衰えていき、1970年以降、天然ビタミンAの需要はほとんどなくなってしまいました。需要がなくなったために、漁獲努力量もそれにつられて減っていったということでもあります。漁業者がアブラツノザメを狙って漁獲しなくなったため漁獲量もそれに伴い減少し、それによって加工業も衰退し、最終的には竹輪工場も淘汰されていったようです。弊社は、肝油製造をやめてからも、青森や築地においてアブラツノザメの肉の需要が十分にあったことから鮫利用事業を継続しました。

国内のアブラツノザメを使って「ボタン竹輪」を製造していた業者さんたちは、国内のアブラツノザメ漁獲量が減ったために、1995年頃には米国からアブラツノザメの肉を購入して対応するようになりました。しかし、それも、2000年頃に米国の漁獲規制によって安定供給が見込めなくなり、アブラツノザメの使用量は減らされることとなりました。

## 2. サメ食文化

### サメ肉の特徴

サメ肉は、不飽和脂肪酸を含み健康に良いとされています。塩味を感じやすいので薄味で美味しく食べられ減塩料理向きです。一方、サメ肉は尿素と血液が多いため独特の香りがしますが、水さらしすると全く気にならなくなります。サメ肉は、頻尿予防や（個人的な感想で、科学的なエビデンスは未確認）、骨密度を上げる効果もあるようです（[https://www.sbj.or.jp/wp-content/uploads/file/sbj/8709\\_daigakuhatsu.pdf](https://www.sbj.or.jp/wp-content/uploads/file/sbj/8709_daigakuhatsu.pdf)）。

### 歴史、地域、食べるサメの種類

青森県では、縄文中期から後期のものとされる三内丸山遺跡の貝塚からアブラツノザメの背鰭棘が発見されており、当時から食用にされていたと推測されています。青森県のアブラツノザメ料理は、特にお正月に食べられる習慣がありました。現在では、青森市ではほとんどその習慣がなくなりました。30年以上前までは、お正月近くになるとお客様同士でサメ肉の奪い合いがあったものです。弘前、西北五、八戸ではまだ根強い人気があります。青森における食し方は、醤油（と味醂または酒）に肉（背肉、ハラス）を漬けて焼く「つけ焼き」、頭を煮てほぐした肉と煮た背肉やハラスを酢味噌と大根おろしに和える「スクメ」、頭を煮てほぐして固める「べっこう」、刺身に切って酢味噌で食べる「ヌタ」、サメ肉を白くなるまで水にさらしてから塩をあてご飯に挟んで押して作る「飯寿司」があります（図5）。「つけ焼き」



は青森県全域（特に弘前を中心とした津軽地方）、「すくめ」「べっこう」は太宰治の出身地金木（現つがる市）と五所川原、鱒ヶ沢、深浦を含む西北五地域、刺身に切って酢味噌で食べる「ヌタ」は八戸と大館（青森県よりの秋田県～弘前の商圏）となっています。

また、アブラツノザメは、皮をむいたドレス状態（ハラスをつけたり欠いたりします）で秋田、岩手、宮城、山形、福島（郡山）、栃木（宇都宮）、茨木、埼玉、長野、新潟で食されます。秋田や山形では「刺身」と「煮つけ」、郡山や宇都宮、茨木、埼玉、長野、新潟では「煮つけ」が主流です。どの地域でも需要は減少の一途をたどっていますが、宇都宮や郡山では現在もお正月にサメを食べる習慣がしっかり残っています。

この他、青森県ではアブラツノザメだけでなく、モウカザメ（ネズミザメ）の食利用も盛んです（図6）。青森県ではモウカザメを「カトウ（サメ）」「カド（サメ）」と呼びます。「みちのく食物誌（木村守克著）」によれば、その語源は二種類あって、ひとつは春に漁獲されるニシンの別名が「カド」であり、このニシンを追ってモウカザメがやってくることから「カド（サメ）」と呼ばれるようになったという説、もうひとつが、江戸時代天保頃に青森県下前（したまえ）の漁師である加藤音吉が大量に漁獲し、弘前藩に献上して普及したという説があります。この本では後者を有力として紹介していますが、自分もそうではないかと思っております。このサメの呼び名「カトウ」という言い方ですが、「カトウ」から「カド」への転換は容易に想像できますが、「カド（ニシン）」から「カトウ」に派生するとは津軽弁の言い方からしてどうしても腑に落ちないからです。

モウカザメの食地域は、西北五地方、弘前を中心とした津軽地方のほか、野辺地や十和田といった南部地方にまで広がっています。野辺地や十和田では、アブラツノザメは食べずモウカザメが主流です。昔は、陸奥湾内の東南で下北半島の付け根に位置する野辺地にたくさんのモウカザメが水揚げされたといえます。食べ方は、「つけ焼き」や「煮つけ」、「すくめ」、「刺身」で、特にお正月の料理として珍重されてきました。こちらの需要も減る一方です。2000年前まではイタリアなどに輸出もされていて価格も高かったのですが、どうやら制限がかかっているという話があって、それ以降安値安定です。青森における需要はやはり減る一方です。



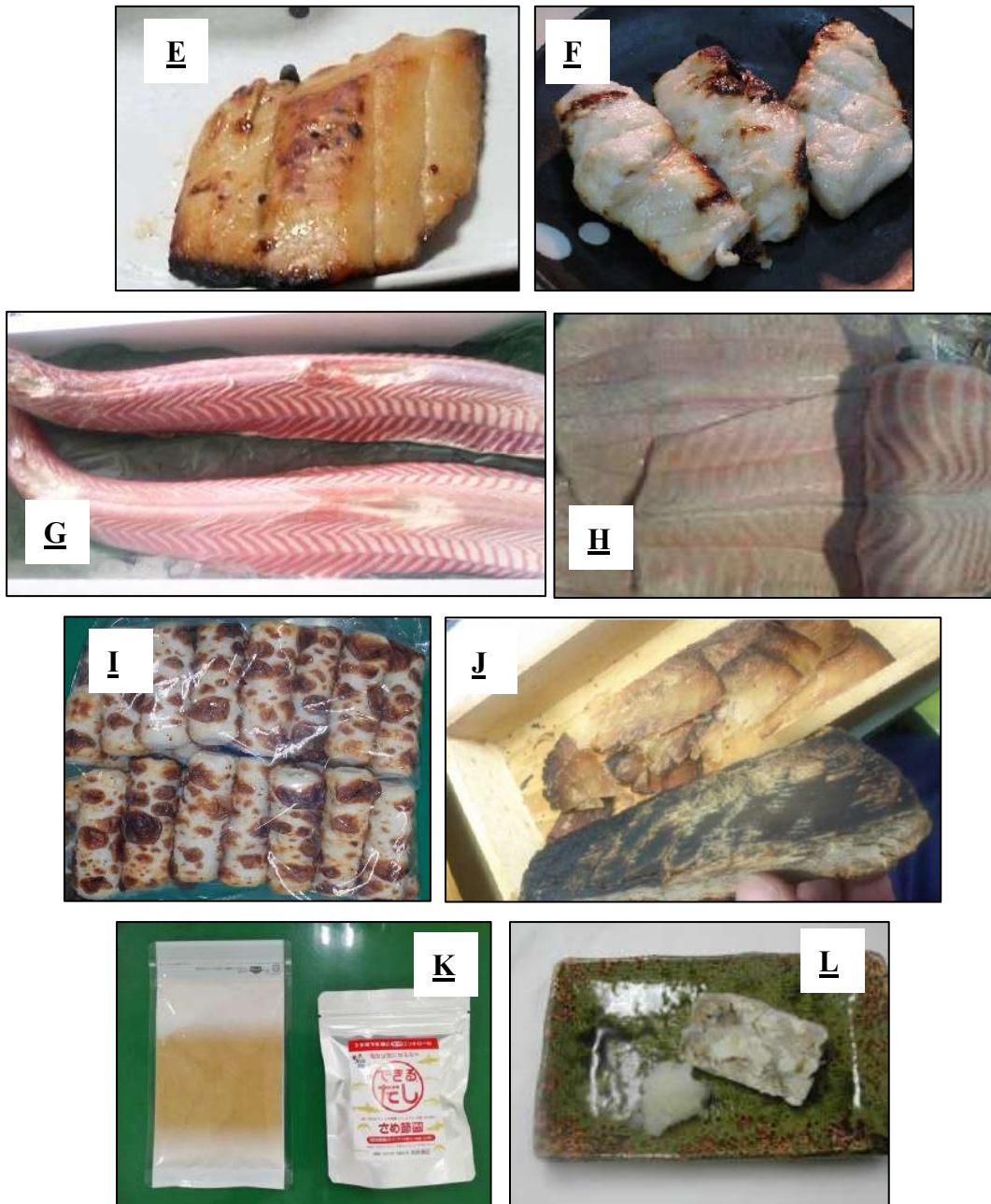


図 5. アブラツノザメの様々な利用法 (A: サメ軟骨サプリメント、B: レトルトふかひれ姿煮、C: 煮つけ切り身、D: 煮つけ輪切り、E: 醤油焼き、F: 塩焼き、G: ムキサメ、H: ハラス、I: サメ肉ボタン竹輪、J: さめ節、K: できるだし「さめ節MIX」、L: ベッコウ (にこごり)



図 6. ネズミザメ (モウカザメ) とモウカ肉

ホシザメも青森ではよく食されるサメとして挙げることができます。食べる地域は平内地域でした。過去形になっているのは、もはや食べる人がいなくなってほとんど需要がなくなってしまったからです。食べ方は、生食もしくは茹でて酢味噌につけて食べる「ヌタ」や「スクメ」です。ちなみにこのホシザメは、ほかの地域では現在もよく利用されているサメです。北九州では「ノウサバ」と言って、開いて干したものを正月やお盆に煮つけて食べます（図7）。広島では「ノウクリ」といって刺身や焼き物に、関東では高級「はんぺん」に利用されます。日本橋「神茂（かんも）」さんでは年に一度ホシザメ（普段はヨシキリザメとアオザメ使用）を使った昔ながらの「はんぺん」を復活させて販売されているようです。中央線沿線の練り物屋さんでも使われているようです。

アオザメは、九州では最高級「さつま揚げ」の原料にされていたということです（故東京大学中村雪光氏の話）。九州ではホシザメのほかに、ネコザメやギンザメを煮て酢味噌で食べる「もだま」があります。ギンザメはニュージーランドから輸入しているようです。

西日本で最もサメ肉を食しているのが広島県三次市です。広島三次では、オナガザメ（とくにハチワレ）が人気で刺身として今も利用されています。こちらでは「わに」と呼びます。

和歌山県では伊勢神宮の神饌である「サメのたれ（味付けして干したもの）」を製造し利用しています。原材料はヨシキリザメやアオザメ、ドチザメ、シュモクザメです。神事とサメの関係については興味深い調査があります（「鮫（矢野憲一著）」）。



図7. サメの食し方 (A: ノウサバ、宗像漁業協同組合 HP [https://www.jf-munakata.jp/product\\_marine.html](https://www.jf-munakata.jp/product_marine.html)、B: ぼうずコンニャクさん「ふか湯引き」 <https://www.zukan-bouz.com/article/109>、C: 神茂さんのサメはんぺん)

<https://www.hanpen.co.jp/products/detail/1/>、D: フジタフーズさんの「さめのたれ」 <https://fujita-foods.xsrv.jp/>、  
E: 伊勢魚春さんの「さめのたれ」 <https://www.samenotare.jp/entertainment/>

海外に目を移すと、サメは古くから多くの国で使用されているようです (The Spiny dogfish (*Squalus acanthias*) in the north west pacific and a history of its utilization, <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/29473.pdf>)

- ・イギリス

フィッシュアンドチップス (安めの価格帯) に使用されているようです (図8)。一般的には真鱈。イギリスでは特にサメをメインにしたフィッシュアンドチップスを扱っているお店を「EEL BAR」と呼んでいることが、「イギリスはおいしい (林望著)」に書かれてあります。

- ・ニュージーランド

青森近海でアブラツノザメの漁獲量が不安定となって、同業者の廃業が目立ってきたので、海外からアブラツノザメを輸入してみようと考えました (図9)。2018年にニュージーランドに行きました。ニュージーランドのフィッシュアンドチップスは、鱈 (Cod)、ミナミアオトラギス (Blue Cod)、オヒョウ (Turbot) は高いですが、何も書いていないものはさほどでもありません。これがサメだということでした。使用されているサメの種類は、ホシザメとイコクエイラクブカが主流だということでした。アブラツノザメはそうでもないと言っていました。後で調べるとかなりの量を使用しているようでした。また、ニュージーランドではイコクエイラクブカは自国向けだけではなくオーストラリアに大量に輸出しており、ギンザメは日本に、アブラツノザメは中国と韓国に輸出しているということでした。



図8. 魚屋で食べたフィッシュアンドチップス



図9. ニュージーランドのアブラツノザメ

- ・ドイツ

シラーロックン (Schillerlocken) というアブラツノザメのハラスの燻製が人気のようです (図10)。フ

リードリッヒ・シラーのヘアスタイルであるカールした巻き髪がその名前の由来のようです。アブラツノザメのハラスを加熱するとくるくると捲れて丸まってきました。その形が昔ヨーロッパ人のつけていた鬘の巻き髪のようなことからこの名前が付いたという説もあります。ハラスだけではなく背肉も燻製にされています。原料は主に米国から輸入されているようです。



図 10. シラーロックン <https://emder-fisch-feinkost.de/fisch/raeucherfisch/schillerlocke>

- ・イタリア

ネズミザメやアブラツノザメ、ホシザメなどが食されているようです。

### 3. 日本の「サメ食文化」の系統

日本の「サメ食文化」にはいくつかの系統があるように私は考えています。

- ・サメ食を貴ぶ文化

ハレの日に食べる風習が日本各地にあること、伊勢神宮の「神饌（神様へのお供え）」がサメであることから（「鮫（矢野憲一著）」、もともとサメ肉を貴ぶ文化があったと推測します。樽本龍三郎先生の研究に、「サメ」はもともと「サバ」と発音しており、「イサバ」「イソベ」は「魚」全般を指すというよりも「サメ」を意味していたというものがあります（「伝承からみた日本のサメ崇拜文化」）。樽本先生の説では、古代の日本人は大型のサメを「サバ」と呼んでいたということです。九州、三重、和歌山における利用は、その宗教的な流れではないでしょうか。

- ・商売面①～行政の産業振興

青森県のモウカザメ利用は江戸時代天保 14 年（1843 年）に下前（したまえ）の漁師加藤音吉氏がこれを大量に漁獲したことから始まりました。肝油を絞りと、肉は弘前に販売したといひます。はじめは濃い味なのでなかなか受け入れられなかったようですが、豆腐と混ぜて擦って使用したりと食べ方に工夫をこらすことによって徐々に食べられるようになっていったようです。弘化の末（1847 年）に広く利用されていったことが、「弘藩明治一統誌月雜報摘要抄」という文献にあると「みちのく食物誌（木村守克著）」に書かれています。広島県三次のサメ肉利用も、明治政府の産業振興策の一つとしてサメ漁が奨励されたことから始まったと聞いております。

- ・商売面②～貴重な高級魚の代替品

太平洋側ではお正月にナメタガレイ（ババガレイ）を煮つけてよく食べます。2000 年以前はこの魚は高級魚でありましたが今では安く出回っております。アブラツノザメの煮つけは、ナメタガレイ（ババガレイ）の煮つけに非常によく味が似ており、その代用品として利用されたのではないかと推測を

しています。もともと宮城県石巻ではアブラツノザメを使った「ボタン竹輪」を開発しており、練り製品だけでなく魚自体の利用もされていたと考えられるからです。宮城県ではアブラツノザメを使った「焼ざめ」食文化もあります。

・食糧難時の非常食利用から一般利用へ

これは最近聞いた話ですが、江戸時代天明の大飢饉の際に、従来俵ものとしてフカヒレだけ利用されていたサメ肉を食用に転用すべしという幕府の政策によって広く食べられるようになったという説です。新潟県上越地方のサメ食文化研究で発見された文献からわかったそうです（サメ食研究家井部真理氏の話）。また、戦後の食糧難時にたんぱく源の供給策として腐りにくい魚として普及したようです。一方で、冷却不十分等の不適切な扱いによってアンモニア臭を発するサメ肉が多くでまわり、消費者に嫌われる要因を作ったともされています。戦後の世情混乱の記憶とアンモニア臭のするサメ肉という記憶が当時の人々の心に刻まれ、サメはまずいし、いやだという印象を作ってしまったのかもしれない。

#### 4. 青森県のサメ漁

青森県では、古くは縄文時代から現代に至るまでサメ肉を普通に食べてきました。青森県には、サメを専門に漁獲する漁業者がいます（図 11）。これがこのサメ食文化を支えてきたといえます。安定品質のものを安定的に供給してくれる漁業者がいるから、我々のような加工流通業者が安心して仕事をする事ができるのです。そして、安定的に手軽に食べられるようにフィレやドレスに加工された製品が店頭に並ぶことによって、消費者は普通に食することができます。

アブラツノザメの漁獲量は、1950年代に1万トン近くまでありましたが、その後2014年頃には1500トン、ここ数年は600トンくらいにまで減少しています（図 12）。弊社も年間600トンほど扱っていましたが、ここ数年は300トンくらいです。漁業者や需要の減少に加え、漁獲の不安定さを背景に、同業者はどんどん減っていき、今ではサメ専門業者は青森で数えるほどしかなくなりました。

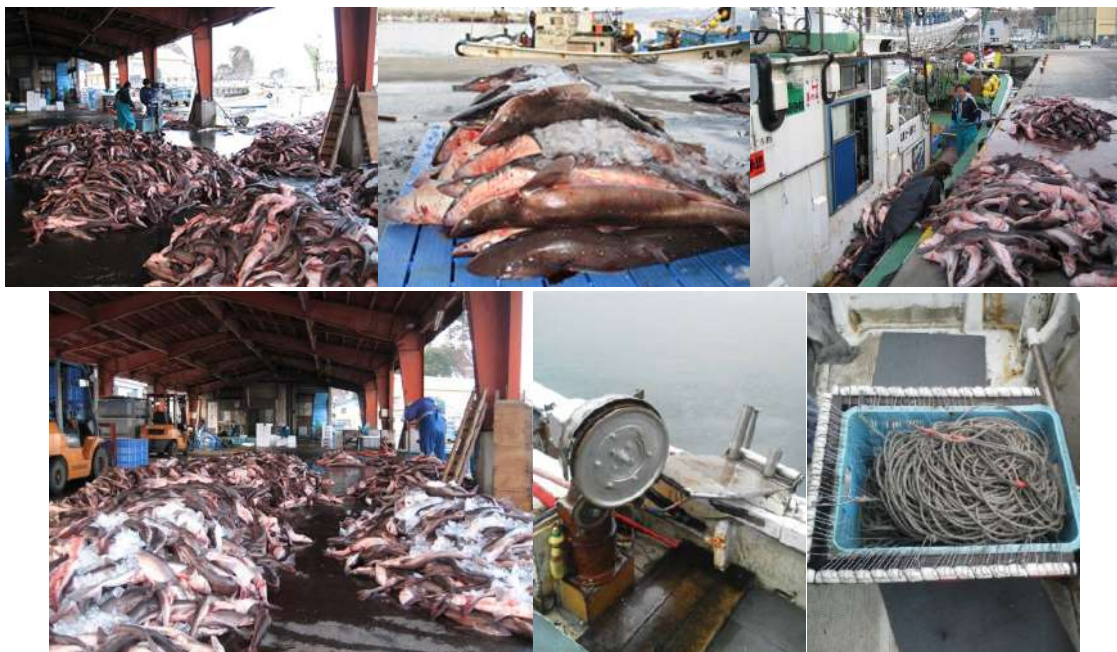
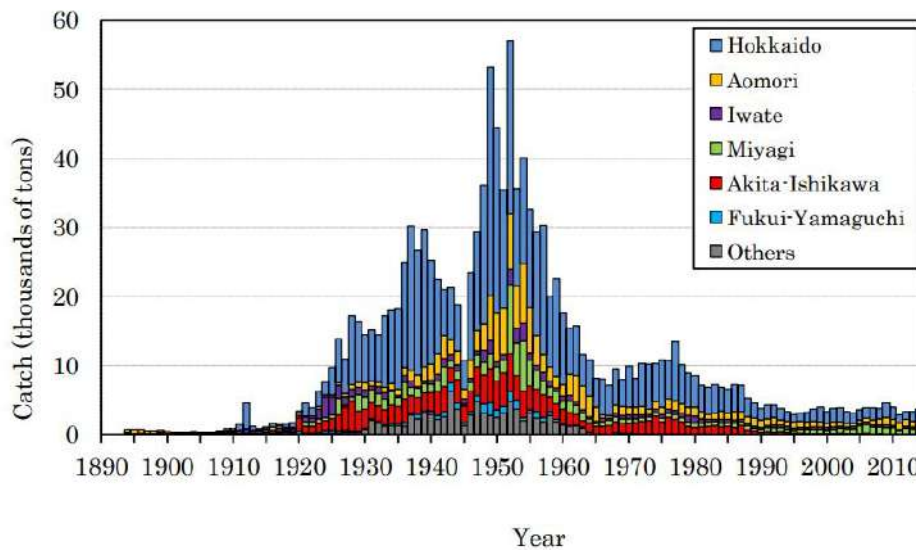


図 11. 三厩漁協 陸揚げ風景と、延縄漁具



Catch volume of Spiny Dogfish estimated from the catch of sharks

図 12. 水産研究・教育機構我が国周辺の国際水産資源より  
([http://kokushi.fra.go.jp/R02/R02\\_41S\\_QYW.pdf](http://kokushi.fra.go.jp/R02/R02_41S_QYW.pdf))

## 5. 日本のサメ食文化の現状

### 漁業～加工流通～消費

日本では、1980年代半ばに水産物の漁獲量が頂点に達した後、減少傾向が止らなくなりました。バブル期には減る水産物を輸入で補うという状況がみられましたが、それもバブル崩壊とともに縮小し、消費も減少傾向が止らない状況にあります。伝統的な魚屋が減り、スーパーマーケットが主流になり、女性の社会進出や住宅環境の変化により、内臓やうろこの除去、小骨など残渣の処理に面倒な水産物は、次第に家庭内調理の対象にされなくなってきたようです。

漁業者の数が減っていることに加え、水温の変化や漁場の変化から水揚げが安定しない魚は店頭から消えていくことになりました。店頭露出が減ると食べる機会も当然減ります。漁業者さんたちは、前浜で漁獲される魚種を様々な場面と理由で魚種を選別して漁獲していきます。価格が良い魚があれば、獲れる場所に操業場所を変え、深さを変えて合理的に漁業を行っていきます。何人かでチームを作り魚群を探したりもします。近年は、例年獲れる魚群が例年獲れる場所で獲れなくなったり、漁業者さんの数が減りチームを組むことが難しくなったり、需要が高い時期に獲れなかったりして、漁獲が安定しないことが多くなりました。安定供給ができないとなると、それを専門に扱っていた加工業者は他魚種に変更するか廃業かということになっていきます。加工業者が買わなくなり、消費が減ってオカネにならないと判断されると、漁業者も獲らなくなります。水産消費の分母が縮小すると水産消費ヒエラルキーの底辺に落ちてしまった「サメ食」は、水産消費ヒエラルキーの外に追い出される傾向が強まってきました。

上位魚種も生き残りをかけて宣伝を仕掛けてきますし、小売業者もかつての高級魚の価格が下落していることを背景に伝統食より「売りやすいもの」を集中的に販売するようになりました。それによって、店頭の露出機会が減っていくものは次第に「食べ方」も「伝統」も忘れ去られていくことになります。販売する人に知識がないと、消費者に教えることもできません。こうして「サメ食」は衰退していきました。

宮城県では「焼ざめ」の食文化があり、塩釜には十数社の「焼ざめ」加工業者がいましたが、昨年2020年をもってゼロになったという話を聞いています（図13）。青森県でも老舗の専門業者がどんどんやめていき、今や数件となってしまいました。弊社も経営がかなり厳しくなってきました。前述のとおり、弊社は2010年頃までは年間約600トンのサメを扱ってきましたが、ここ数年は半分程度になっています。



図13. 佐藤敬商店さんの「焼ざめ」 <https://item.rakuten.co.jp/sendai-marukei/10000033/>

## 6. 世の中の変化

### 環境保護団体

サメ漁業へのバッシングは、反捕鯨運動とリンクしながら1980年代からじわじわと始まっていたようです。WWFやグリーンピース、シーシェパード、ワイルドエイド、パンジアードなど、サメとクジラの漁業に反対する団体は不思議に共通していることが多いです。マグロ漁にも批判的です。かれらのキャンペーン内容は、含有されている重金属の危険性を打ち出し食品利用に警告を出す、乱獲による絶滅を訴える、漁の残酷性を強調する等、サメやクジラ、マグロ漁に批判的な活動家たちの戦略は互いにどれも非常に似ています。

インターネットの普及に歩調を合わせるように、これらの活動は勢いを増していったと思います。さらに国際的な食品安全行政の分野にも広がっていきました。平成15年（2003年）6月、厚生労働省は妊婦などを対象にして、「水銀を多く含有する魚介類の摂食規制」を発表しました。対象魚は、クジラ類やサメ類、カジキ類、底魚類（キンメダイ、ユメカサゴなど）が挙げられました。2005年にはマグロが対象に加わりました（日本以外の国では最初からマグロも対象になっていました）。大手スーパーを中心に、店頭からこれらの魚が排除される事例が頻発しました（今では、妊婦教室にて摂食の指導が行われ、公開情報として新聞等に取り上げられることは少なくなりました。妊婦以外では、こうした魚の摂食は有益性のほうが多いからです）。2006年には映画「SHARK WATER」が封切られ、コスタリカの鯨漁を攻撃するシーシェパードの活動が取り上げられました。2008年には米国で「Whale Wars クジラ戦争」がテレビ番組で放映され、人気を博したようです。ここでもシーシェパードが取り上げられました。2009年に「The Cove」がアカデミードキュメンタリー映画賞を受賞し、世界中の注目が和歌山県太地町に集まりました。この映画にもシーシェパードが登場します。同時期に宮城県気仙沼の市場に元グリーンピースのカメラマンが潜入し、モウカザメの内臓割裁シーンを「残酷だ」と世界中に配信し、WWF 香港では「フカヒレ禁止キャンペーン」が開始され、海運会社や航空会社に対してサメやクジラ製品の積載を拒否するように圧力がかけられ始めました（図14）。弊社のフカヒレの取引先が、これらの動きに悲観して廃業しました。日本郵船やPIL、



OOCL、EVERGREEN といった海運会社が、フカヒレ製品の扱いをやめ始めました。韓国の会社だけが扱ってくれますが、こちらの足元を見てずいぶんな価格を提示してきます。日本ではフィニングは行っていませんし、サメ漁業は決して違法でもないのです、せめて日本の海運会社はフカヒレを運んでくれても良さそうなものだと思いますが、どうなのでしょう（図 15 は、2021 年 8 月 19 日東奥日報に、三菱商事系の商社がフィニングした中国船から水産物を洋上で受け取って輸入していることが暴露されました。情けないです）。



図 14. WWF 香港「Stop Carrying Shark Fin」 「NO SHARK FIN CARRIAGE POLICY」

[https://d3q9070b7kewus.cloudfront.net/downloads/shark\\_report\\_eng\\_web.pdf](https://d3q9070b7kewus.cloudfront.net/downloads/shark_report_eng_web.pdf)



図 15. 東奥日報に掲載されたサメ類の違法操業記事

話を戻すと、太地町にやってくるシーシェパードたちの行動は、太地町の住民に対し「変態」や「殺人鬼」などという言葉をつきつけたり、漁業の妨害をしたりと、差別主義者の行動そのものでした。このありさまを取材した NHK の女性アナウンサーに対しても、対応したシーシェパードのスコット・ウェストが侮蔑的な言葉を吐き、そのアナウンサーが泣き出すということもありました。日本ではこういう動きに対し、「The Cove」の反論映画として、自主映画「Behind The Cove」がつけられたり、生中継でシーシェパードのポールワトソン代表と議論する TV 番組がつけられたりしました。徐々に過激な環境保護団体の活動に対し、おかしいのではないかという意見が一般化されるようになっていきました。

これら環境保護団体 NGO のキャンペーン活動は多岐にわたりましたが、単なる NGO 活動にとどまらず、行政面に影響を及ぼすような課題にも発展していったものもあります。アニマルウェルフェア（動物福祉）や資源管理です。

### 資源管理認証、国際認証、国際標準

資源管理を強調する研究者の中には、腰の重い日本の水産行政に嫌気がさしたのか、坊主憎けりや袈裟までとばかりに、日本人に差別的行動を取る NGO に対してもシンパシーを抱くような発言をする人もいたようです。アブラツノザメの漁獲量が1950年に全国で6万トン近くあったものが、2000年には3000トン程に少なくなったことをもって、「乱獲による絶滅危惧種」と騒ぐ人たちもあらわれました。私はサメ加工品を2008年から展示会に出すようになりましたが、必ずその手の人が現れて、絶滅危惧種を商品にしてよいのか？という質問を受けるようになりました。これをきっかけに、資源管理に興味を持つようになり、私は2012年に、三厩漁協の鮫漁についてMEL JAPAN（マリン・エコラベル・ジャパン）の加工流通段階認証を取得しました。もともと青森県三厩漁協と大間漁協では、サメ漁について独自の資源管理体制を敷いており、それぞれのサメ部会において、休漁日の設定や一隻当たりの漁獲制限（大間）、1.5kg未滿の小型魚の放流を実施していたので、認証も比較的スムーズに取得できたと思います。唯一、漁業者の方々は漁獲記録をつけるという作業に不慣れなため、このことは第三者認証制度にうまく合致できづらい点として挙げられました。認証は取得したものの、商売にそれを生かして販売量が増えるということは全くありませんでした。HACCPのように法制化されているわけではないので、業者は義務として資源管理されたものを扱わなければならないということはありません。消費者も、資源管理にまじめに取り組んでいる漁業者の生産物だからとMEL製品を高く買ってくれるわけでもありません。日本の消費傾向には、多少ややこしいことがあっても商売のために目をつぶるという傾向があります。「認証制度」取得のためには審査費用が掛かり、取得後には更新費用も掛かります。これらの費用を十分に補っていくだけの利益を得られず、さらに法的な後ろ盾もないことがネックとなり、「資源管理認証」を行っていく意欲が徐々に薄れていきました。さらに、MELの認証が国際規格に合っていないというクレームが度々なされて認証基準が難しくなってしまったことや、審査費用がさらに高額になったこともあり、2020年に認証更新を断念しました。

資源管理認証は、大規模漁業の資源に与える影響を危惧してできたものであるというのが私の認識です。大規模な漁業は、巨大な工場のような船が魚の群れを大量にまとめて漁獲します。巨大な船の船倉をいっぱいにするまで獲ってくるのが船頭の仕事です。そうすると資源の状況がどうであれ、船の能力の多いものが獲り尽していくという構図が生まれます。それが、小規模の沿岸漁業の不漁や資源の枯渇、産業の縮小、景気の悪さに影響を与えることとなります。漁業認証の代表格であるMSC（Marine Stewardship Council）は、大西洋の鱈が大規模漁業によって全く漁獲されなくなってしまったところから始まったとされています。「資源管理認証」は、そもそも大規模漁業を対象に行われるのが筋と私は考えています。

### CITES Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora（絶滅の恐れがある野生動物の種の国際取引に関する条約（ワシントン条約会議））

実際の経済活動と健康に影響を及ぼす国際的な取り組みがFAOであるのに対し、CITESは生物を絶滅から守るという目的、具体的には特定種の国際的取引貿易を規制することによって目的を達成することを目標としています。貿易対象となっており、特殊な思想の排除対象になっているものだと、様々な理屈をつけられて規制対象にされてしまいやすい国際的な条約です。象牙の規制が最近では有名です。「進歩的な」環境保護団体は、FAOではなくてCITESがお好みのようです。このCITESに日本周辺のアブラツノザメは2007年と2010年の二回規制対象候補に挙げられました。北西太平洋のアブラツノザメの資源調査が実施されていないという理由だけで、雌成魚の減少率が95%と「断定」しているものでした。2010年に

国際水研の中野秀樹先生にご相談して、アブラツノザメの資源調査をお願いしました。翌年から東北水研の服部努先生と矢野寿和先生が弊社に調査に来られるようになり、本格的な調査は2012年から、標本を使ったより精度の高い調査は2013年から行われました。日本では乱獲状態ではないとされています (<https://sh-u-n.fra.go.jp/search/?task=detail&fc=102&rc=21>)。海外の状況を見ても、米国では資源が良好もしくは乱獲ではないと考えられているようです (<https://www.fisheries.noaa.gov/species/pacific-spiny-dogfish>、<https://www.fisheries.noaa.gov/species/pacific-spiny-dogfish>)。しかしながら、多くのインターネットサイトでは、IUCN の情報の一部を切り取って絶滅の恐れがあるというメッセージを流しています (<https://www.iucnredlist.org/search?query=spiny%20dogfish&searchType=species>)。

## 7. 田向商店の今後の方針（魚価を上げるために）

### 未利用部位の活用、HACCPの取り組み、新商品の開発

私個人の印象から言わせていただくと、これまで上に書いてきたことが、2000年を境に次々と起こってきたように感じております。市場でお正月を前にサメ製品の奪い合いがなくなりました。お正月の料理に「鮫」が使われなくなっていきました。次第に、「鮫なんか食べたことがない」という人が増えてきました。現状に絶望してもなにも良き未来は始まりません。事情がどうであれ、伝統と文化を継承していくためには、何が何でも時代に合う生産・買い付け・加工方法・流通方法・情報提供・商品提案をしていかないといけないと考えています。

2003年に厚生労働省から「妊婦及び妊娠の恐れがある方に対する水銀を含有する水産物の摂食規制」が発表され、一部の大手スーパーの店頭から鮫製品が消えました。弊社のフカヒレを輸出してくれていた業者が廃業しました。一方で、アブラツノザメは漁具等にダメージを与える害魚として、駆除対象にされる事態も出てきました。駆除には補助金が使われるため、駆除されたアブラツノザメを安価で製品化することが可能となります。そのため、当たり前の仕入れ価格では採算が合わない価格でサメ製品が市場にて取引されるようになりました。それをきっかけにして、入札で購入していた同業者の廃業が相次いで起きました。入札をかけても入札が成立しなくなってきました。業者がいなくなってしまったためです。

サメ漁業者がどんどんやめていきました。サメの水揚げが不安定になりました。資源はあっても漁獲努力がされなくなってきたのです。供給が不安定なものは小売店の定番から外されていきます。店頭露出しないものは消費者に利用されなくなっていくます。利用されないものは、その利用方法がかつてはあったことさえも忘れ去られていきます。

私はこの状況に大変な危機感を覚えました。魚の価格を下げれば漁業者さんはサメを獲ってこないのですから、少なくとも単価を維持、または上げないといけません。価格下落する中で弊社の事業を維持させるためにはどうしたら良いだろうかと悩み、かつてお世話になった理研ビタミンさんの故永持孝之進会長に相談いたしました（図16）。永持会長の回答は、「未利用部位があるでしょう。それを活用しなさい。捨てているものをなくするようにする努力をしてください」というものでした。



図 16. 故永持孝之進会長と著書「夢と志」

ちょうどそのころ（2004 年頃）、ニュージーランドの業者さんから鮫の利用価値について助言をいただきました。その業者さんからアブラツノザメには有効成分が多いことを聞き、私ははじめに軟骨から始めようと思立ちました。青森県の産業技術センター（当時は青森県工業総合研究センター）に相談したところ、環境技術研究部内沢秀光研究員（現青森県産技センター工業部門所長）がサケの氷頭軟骨に含有されるコンドロイチン硫酸を測定していることを確認しました。そこで、廃棄していたアブラツノザメの軟骨のコンドロイチン硫酸の量を測定してもらったところ、安定して約 30%を含有していることが確認されました。これをきっかけに、青森県の補助金を使ってサプリメントを開発・販売したのが 2008 年です。その後、当時、青森県総合販売戦略課サブマネージャーであった涌坪敏明氏のご協力を得て、2010 年には学校給食にサメ肉の加工品を導入、2012 年にはサメの資源管理認証 MELJAPAN の加工流通認証の取得、2013 年にはグライコスモ故児島薫氏と中小企業団体中央会主査（現弘前支所 所長）古川博志氏の多大なる協力を得てサメ軟骨から高濃度のプロテオグリカン抽出方法を確立し製品化、2014 年には水産庁の FastFish に「サメの蒲焼」を応募し準グランプリを獲得、同年から 2 年間青森市荒川市民センターにて「サメ料理教室」を実施、2018 年には食品安全のために大日本水産会の水産 HACCP 取得、2020 年には販売時の温度帯の変更が可能な「サメの煮つけ輪切り」の開発、そして 2021 年には、減る一方のアブラツノザメ魚肉の利用を増やすために、練り製品を直接自分で企画販売しようと思立ち大量にサメ肉をいれた「サメ肉入りボタン竹輪」を復活させました。

#### 「サメ食」地域との連携、「サメ食文化」の継承

このような活動の他に、2015～2017 年まで青森市荒川市民センターにてサメ料理教室の開催を行いました。さらに、青森にとどまらず函館にてサメ料理の紹介に係ることになり、2016 年 11 月 10 日には日本板鯉類研究会の大御所仲谷先生のお誘いをうけて、函館短期大学付設調理製菓専門学校にお招きいただき、函館でも漁獲されているモウカザメやホシザメ、アブラツノザメを使ったフランス料理調理実習に立ち会わせていただきました。仲谷先生のサメのレクチャーや、当方のサメ食の説明などで盛り上がりました。北海道新聞さんの取材もありました。当方はこの取り組みにレシピ作りとして参加させていただきました。この取り組みには、新型コロナウイルスが蔓延し始めた 2019 年以降は残念ながら参加させてもらっていません。仲谷先生の積極的なご活動には頭が下がります。当方一人で活動するのではなく、ほかの方々と

一緒に行うのは大変楽しいです。今後は、全国と同業者や関係者と協力して様々なメディアに参加し、「サメ食文化」に関する情報発信をしていく所存です。

繰り返しますが、伝統と文化の継承というものは、時代に合う生産・買い付け・加工方法・流通方法・情報提供・商品提案を、常にアップデートしてアピールしていく必要があります。食べてもらう機会が減ったら、食べてもらえるような工夫です。かつて、「魚余り」や「魚不足」が何度も起きました。その都度、「魚肉ソーセージ」や「かに蒲鉾」などの商品開発や、輸入、すり身技術の革新によって、その危機を乗り越えてきました。情報が不足しているなら、何度でも情報をアピールしていく必要があります。単価を上げていくためには、廃棄率を下げる工夫も必要でしょう。今後もこうした努力を延々と続けていきたいと考えています。

#### サメ食品等を購入可能なサイトの一例

- ・弊社の販売ページ

<https://sameyadesu.ocnk.net/>

- ・三次 フジタフーズさんの販売ページ

<https://fujita-foods.xsrv.jp/>

## マングローブとサメの関わりを研究したい！

菅野 詩織 (オーストラリア・ジェームズクック大学・博士課程)

### Study of how sharks are using mangrove ecosystems

Shiori Kanno (PhD candidate at James Cook University, Australia)

留学を始めるにあたって、オーストラリア北東部の観光地・ケアンズで出会った人に、これからわたしが住むことになるタウンズビル (Townsville) とはどんな町なのか尋ねてみたところ、「タウンズビルは町の中に突然巨大な岩があって、とにかく茶色いところだ」と言っていたのだが、本当にそうだった。タウンズビルといえはここ、キャッスルヒル(Castle Hill) (写真1) が堂々と海を見下ろす様は確かに初めてだと異様に映る。雨季と乾季がはっきりしていて、乾季になると地域一帯の緑が枯れて一瞬で茶色くなるため、別名・ブラウンズビル(“Brownsville”)と呼ばれているほど。わたしが研究拠点にしているここタウンズビルは、クイーンズランド州北部の都市で、グレートバリアリーフに囲まれたのんびりした小さな町である。

海があり、山があり、川があり、スポーツやアウトドアが盛んな土地柄で、海沿いを散歩したり、家族や友人と大勢で集まってバーベキューをしたり、気軽にキャンプに出かけたり、ボートに乗って釣りをしたりすることが日常である。リラックスした雰囲気やのんびりした時間が流れる、大都市・ブリスベンから遠く離れたこの土地に、便利な電車やなんでも手に入る大きなショッピングセンターはないけれど、家族や友だちと気候の良い外でゆっくり過ごすことのよさを改めて学ぶ毎日である。南半球なので日本と季節は逆、緯度の低い“北国”で一年中トロピカルな気候が楽しめる...ただし、6年近く住んでいると寒さに弱くなり、真冬の朝晩の冷え込み(11度ほど)が厳しく、トロピカルは名ばかりだと感じる(そんな日でも日中は25度ほどになる)。

James Cook University (JCU)は、このタウンズビルに東京ドーム約80個分の広さ(386ha)のメインキャンパスを持つ、クイーンズランド州で2番目に古い国立大学である(写真2)。特に観光学、環境学、熱帯生物学・海洋生物学の研究分野は世界トップクラスであり、国際留学生も多い(1500人以上、のべ111か国から)。中でも、わたしが所属している大学院の海洋生物学系群は留学生が大多数を占めていて、それぞれの出身国の研究機関や大学とのコラボレーションした研究テーマなどが多く集まっているのが特徴である。グレートバリアリーフが目の前に広がっているため、とりわけサンゴの研究やサンゴ礁に棲む魚の研



写真1 キャッスルヒルと、そこから見たタウンズビル (昼と夜)

究分野は世界ランキング 1 位である(Marine and Freshwater Biology, 2017 Centre for World University Rankings (CWUR))。

わたしは Fish and Fisheries Research Team (F&F) (<https://www.fishandfisheries.com/>) という研究グループに所属している。その名の通り、板鰓類だけでなく、漁獲対象となる魚介類と、その漁業を行う人・社会について研究するチームである。わたしのようにフィールドに出てサメの生態学を研究している人もいれば、遺伝学、漁業資源やマネジメントの研究、保全学、社会的アプローチをとっている人もいて、研究分野はなかなか幅広い。フィールドの場所も、クイーンズランド州内に留まらず、国内の他の州、また、東南アジア各国、南太平洋諸島など、オーストラリア国外での調査も多い。研究テーマの一例としては、パプアニューギニアの淡水・汽水域の板鰓類の資源学、eDNA を使ったノコギリエイの分布や生態調査、サカタザメ類の保全やIUCN レッドリスト調査と幅広く、他にも南太平洋地域の漁業管理、オーストラリア東海岸のサメの食害とその社会学... などなど。週に一度の Morning Tea (ミーティング) では、それぞれの研究の進捗を報告するだけでなく、新しく出版された論文について議論したり、最新の漁業資源・管理や生物保全について意見交換をしたりするのだが、それぞれの専門分野が異なっているので面白い。自分の詳しい分野の知識をもっていることと同時に、多角的な学際的 multi-discipline な思考は大事である。

研究グループ F&F でもう一つ特筆したいことは、女性研究者の多さ...いやこれは、一般的に言って、海洋学系郡全体についても言えるだろう。船、サメ、漁を野外調査でこなす女性たちのパワフルなこと。日本の学部で理系の研究室に所属し、日本で板鰓類研究会シンポジウムに参加したわたしからすると、研究グループ内の多様性—9 割が女性で、かつ出身国も様々—は、一つのカルチャーショックであると同時に、自慢したいことでもある。日本で博士課程まで研究を続けた友だちはかなり少ないが、さらに女性ともなるとほぼゼロであるのに比べて、ここでの女性研究者・研究学生たちの活気と、多様性がもたらす風通しの良さは、本当に居心地がよく、いつも周りからエネルギーをもらっている。

わたしは日本で学部を終えた後で渡豪したため、日本の大学院での研究生活については、友人や弟に聞いたことしかわからないのだが、日本の大学(学部)の卒業研究で経験した研究生活と今の研究を含むここでの生活は、アドバイザー・指導教官との関係性、研究の雰囲気、取り組み方、ライフワークバランス



写真2 James Cook University. 水槽は研究棟の中にあり、グレートバリアリーフを代表する魚たちが見られる。構内にはたくさんのカンガルーがいる。この写真にはレアなジョーイも(カンガルーの赤ちゃん)

の捉え方から、大きく異なっている。まず驚いたことは、指導教官や他の研究生、ポスドクとのフラットな関係性である。日本とは違って先輩・後輩という感覚がないオーストラリアでは直接の指導教官もファーストネームで呼び、フィールドワークやラボワークの手伝いも年齢、学位、果ては研究グループの垣根を超えて協力し合う。

ワークライフバランスの取り方は、まだまだ個人的にも試行錯誤中なのだが、わたしはオーストラリアに来てからより気楽に、かつ、より生産的に、そして何より、人生を楽しめるようになったと感じている。研究がすべて、他には何もない、というようなことは誰をとってもない。修士を始めたばかりの頃、指導教官も学生も誰もが5時前には家に帰ることは、カルチャーショックであった。一度、修士の頃にビデオ調査の動画を見続けて夜7時ごろまで残っていたら、忘れ物を取りに来た指導教官に見つかり、“人生には研究だけでなく、他にも大事なことがある”と諭されたことがある。仕事熱心もいいことだけれど、まずは自分の毎日を楽しむことだ、バランスをとることが大事だと、ここに来て本当にいろいろな人から教えられている。仕事終わり(午後3時~5時ごろ)のジムは大混雑、海辺は友人と語り合いながら歩く人で溢れ、家族や友達とのディナーを楽しんで、ゆっくり時間を取りつつ早く寝る…。年齢も性別も人種も関係なく、ここでは誰しもが、楽しむことを忘れずに、仕事と生活と趣味のバランスをとることを実践している気がする。

海で、生きたサメの研究がしたい、とここへ来て6年。ここで少しでもわたしが研究している、マングローブ生態系と板鰐類の関わりについても紹介したいと思う。マングローブ生態系は、マングローブ林という物理的な組織を海・川と陸の境界に作り出しているだけでなく、生産性が高く複雑なエネルギー網をもっているのが特徴で、もっとも生物多様性の高い生態系の一つである(写真3)。水温、水質、波、天候などが長期的にも短期的にも変わりやすい環境ではあるものの、食べ物が豊富であることや、隠れ家としての便利さから、多くの魚が集まってくる場所である。この複雑かつ貴重なマングローブ生態系、板鰐類がその場所をどう使っているのか(行動)、また栄養・エネルギー的にはマングローブ生態系とどうリンクしているのか(栄養生態)については、あまりわかっていないのである。わたしの研究では、主に行動学と栄養学の手法を用いてマングローブ生態系と板鰐類がそれぞれに対してどのような役割を担っているのか、について調べている。まずは地域や季節によって、マングローブ域に現れるサメやエイがどう変化するかを知るため、おもに西オーストラリア州とクィーンズランド州での調査を行なっている(写真4)。本当に多様なサメを生で見られるので、毎回感動する(写真5)。漁獲データをとるだけでなく、音響テレメトリーの手法を用いた発信器をつけることで、6種類のサメとエイのマングローブ域における行動を1年以上にわたって調べてい



写真3 オルフェウス島(Orpheus Island)にある研究ステーションのマングローブ



写真4 フィールドワーク



るほか(写真6)、2種類のサメについてはより詳細な動きを潮位の変化とともに船から追跡している(写真7)。さらに放射性同位体分析を使うことで、マングローブに頻繁に訪れるサメやエイたちが、どの程度マングローブ生態系から生産された栄養分(具体的には、炭素や窒素成分)を利用しているのか、またサメがマングローブ食物網のなかでどのように貢献しているのか(あるいはいないのか)を明らかにしようとしている。詳しくなりすぎてしまったので、興味のある方はぜひご連絡いただきたい。

常套句ではあるが、わたしもほかの先輩方と同じく、海外で勉強・研究をすること強く勧めたいと思う。だって、ここまで読んでいただいたら分かる通り、楽しそうでしょう？スタンダードは一つではなく、自分の価値観や思考だけが正解ではないこと、そして改めて日本人とは、日本とは、と深く考えずにはいられない。また、英語が使えれば世界中のサメの文献が読めるし、研究者とも話ができるので、もっともっとサメについて知ることができる。これがわたしの、海外でサメの研究がしたい一番の動機であった。6年前の自分と、様々な人との関わりを通して、船に乗り、海に出て、多様なサメ・エイ類と出会ってきた今の自分は、大きく違っている。難しいことも、苦しいこともあるが、若いうちの苦労は買ってでもしたい。できない理由を探すより、どうすればできるか？を考え、行動できるよう、少しでも興味がある方の背中を押したいと思う。最後に、わたしのオーストラリアでの研究生活を支えてくれるすべての人—家族、友人、指導教官やアドバイザー、研究室の仲間、これまで出会ったすべてのサメ好き仲間—to感謝したい。

Email: shiori.kanno@my.jcu.edu.au

ResearchGate: Shiori Kanno <https://www.researchgate.net/profile/Shiori-Kanno>

Twitter & Instagram: @ShioriSharky



写真5 ヒラシュモクザメの組織サンプリング！感動！(左) Giant shovelnose ray (*Glaucostegus typus*)にタグをつけてリリース(右)。



写真6 サメに発信器をつけているところ(左)。ツカエイ(*Pastinachus ater*)に発信器をつけてリリース(右)。



写真7 サメ追跡中…超・体力勝負。夕方の写真で、このあと翌朝6時まで…



# 新刊書籍紹介

## 『沖縄 さかな 図鑑』

下瀬 環 (著)

沖縄タイムス社 (2021年3月、本体1800円)

当研究会の会員であり、現存する唯一の日本産ノコギリエイの標本に関する報告や漁網が頭部に絡まったまま成長したエイラブカの報告等、会報にも様々な話題を提供されている下瀬さんによって書き上げられた図鑑を紹介する。本書は沖縄県内で食用とされる水産生物を主な対象としており、漁業以外に養殖業や潮干狩り、遊漁等で扱われる734種(魚類632種、その他102種)が掲載されている。掲載種の明瞭な写真は、全て下瀬さんが20年間の沖縄県在任中に市場等の現地にて撮影したものである。図鑑には、下瀬さんが数回しか水揚げを確認していない希少な生物も比較的多く掲載されている。沖縄県において水産物として通常流通するものは約500種であるとのことから、『あとがき』にて述べられている沖縄県内で食用に漁獲される水産物が全て掲載された図鑑を作りたいとのご自身の夢のひとつがきちんと形にされた素晴らしい成果物であると感じる。



図鑑前部には、『本書の使い方』として図鑑部分に記載されている情報や付与される絵文字(その生物がどのような漁法や釣餌で漁獲されるのか容易に判別できる)の見方が記されている。また、漁業上重要な種に関しては漁期が示されており、750日間におよぶ市場での調査結果等に基づき水揚げ頻度に応じた塗分けが月別になされているため分かりやすい。このような科学者として正確な情報を的確に伝える工夫は他にも多数確認できる。例えば、下瀬さんご自身が大変な作業と述べていた魚の形に切り抜かれた写真で示された種は、同一見開きページ内で掲載される他種と同程度の尺度となるように工夫がなされている。他にも、琉球列島と沖縄県の地理や水産生物の生息環境、水産業に関する解説にはイラストも用いられており理解しやすい。図鑑の前部では、これらの内容から沖縄県における資源管理に関する話題へと続

き、最後に外国の方に向け英語で書かれた簡単な解説にて図鑑部分へと移る。

図鑑部分における魚類の掲載順序は進化の道筋に沿った分類順となっており、板鰐類は最も早く出てくる。沖縄県ではアイザメ科魚類以外は漁業の対象となっていないとのことであるが、6目16科21属28種のサメと2目8科12属12種のエイが掲載されており、八重山地方で毎年実施されるサメ駆除にて普通に観察されるイタチザメやツマジロの他、アオザメ等の外洋性種も掲載されている。冒頭で触れたノコギリエイの写真やエイラブカの話も盛り込まれている。また、オオテンジクザメでは、背鰭が1基と2基の2個体の写真が採用され、異なる背鰭数について未だ原因が解明されていないことが紹介されている。かつて沖縄に存在したとのネムリブカに対する特有の漁法に関する情報も貴重である。

沖縄県には、サンゴ礁域や砂泥地等の沿岸域に加え、東シナ海の大陸棚や太平洋側の外洋域といった多様な漁場が存在し、海洋生物の多様性は極めて高い。このような多様性の高さは、図鑑内においても色鮮やかな水産生物の写真にて確認できる。近年、海洋生態系の保全を前提とした水産資源の持続的利用が注目されつつある。本書にて沖縄県における水産物として利用可能な種の多さを実感するとともに、板鰐類等の高次捕食者と適切に共存していくことについても考えさせられる。

沖縄県に住んでいた身としては、県内各市町村魚の紹介や地方名に関する解説は興味深く読むことができ、また幼い頃より危険生物として教えられていたヒョウモンダコが実は別の種を指していると知った時には驚いた。本書を利用することで同様の発見をする方は多いと思う。それは、図鑑内に記載されている内容の多くが、下瀬さんご自身の豊富な知識と自らの研究活動によって収集された知見に加え、漁業者や仲買業者等の水産に関係する数多くの方々から地道に収集したことを読み取れる貴重な情報に基づくためである。図鑑内の至る所に散りばめられたそのような情報を発見するのも宝探しのようで面白く、心からおすすめできる一冊である。(水産大学校 矢野寿和)

## 『寝てもサメでも 深層サメ学』

佐藤圭一・富田武照（著）

産業編集センター（2021年5月、本体1800円）

面白い。“うっかりサメに人生を捧げてしまった科学者”である著者らは、沖縄美ら島財団の美ら海水族館に勤務している。日本の水族館は基本的に研究ができる環境にはないが、彼らが“科学者”として活躍できている所以は、同財団に設置されている充実した総合研究センター



の存在である。そこで彼らは自由に研究活動を行い、論文作成に専念し、研究業績を積み上げてきた。そして、彼らは今や世界をリードする研究者でもある。そんな“科学者”らが研究成果の中から、いくつかのホットな話題を取り上げたのが本書である。メガロドンのホントの顔は？、サメは生きている化石？、メガマウスザメの謎と真実？、サメは不倫をする？、ジョーズの新発見の子育て術？、胎児の深刻なウンチ問題？などなど、どれも興味深い。著者らは“定説にとらわれることなく・・・科学的・客観的に論じることを目指す”とも述べているが、自らと古今の研究者による研究結果から斬新な自説を展開している。その思考過程は示唆に富み、サメ学の将来をも予見させる好著である。お勧めの一冊である。（北海道大学 仲谷一宏）

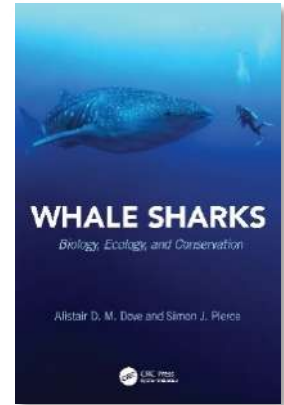
## 『Whale Sharks: Biology, Ecology, and Conservation』

Alistair D.M. Dove・Simon J. Pierce（編著）

CRC Press（2021年8月、本体99.95ドル）

ジンベエザメの生態や保全に関する最新の研究成果をまとめた書籍が出版された。ジンベエザメ研究に情熱を注ぐアル・ドーブ（ジョージア水族館）とサイモン・ピアース（Marine Megafouna Foundation）の呼びかけにより、世界中の研究者が集まり、原稿を作成した。本書には一般財団法人沖縄美ら島財団（沖縄美ら海水族館）の研究員が著者に加わり、本種の生態に関する調査や研究の成果を紹介している（Chapter 2, 9, 13）。特に、水族館の動物健康管理技術を応用した生理や繁殖に関わる知見は、本種の生態解明や保全の取り組みに不

可欠な情報を提供している。また、本書の各章では、ジンベエザメの成長、回遊生態、神経学、生理学や機能解剖学など、あらゆる生物学的分野を網羅的に参照できるようまとめられており、一般の読者から、将来の研究者や保全関係者、資源管理の担当者まで、広範囲な読者を対象とする書籍になっている。史上最大の魚類であり、穏やかな巨人として知られる本種に、より一層の興味と好奇心をかきたてられる1冊となっている。（沖縄美ら島財団 松本瑠偉）



## ■板鰐類シンポジウム 2021

(東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会)

日時：2021年12月17日(金)

場所：オンライン (Zoom meeting および Gather town 利用)

## プログラム

12月17日(金)

9:30 開会挨拶・説明

## 口頭発表の部 Zoom meeting 利用

午前の部 (座長：堀江琢)

9:40~10:05 1. ジンベエザメは垂直摂餌中に吸い込んだ空気で浮いている？

○富田武照・戸田実・村雲清美・宮本圭・松本瑠偉・植田啓一・佐藤圭一 (沖縄美ら島財団)

10:05~10:30 2. ナヌカザメはどのように膨らむのか〜その謎に挑む

○仲谷一宏 (北海道大学)・富田武照 (沖縄美ら島財団)・中村 将 (沖縄美ら島財団)・荻本啓介 (下関水族館)・何 宣慶 (台湾国立海洋生物博物館)

10:30~10:55 3. 『サメの歯化石のしらべ方』の出版の意義と反省

○後藤仁敏 (鶴見大)・田中猛 (小田原市)・金子正彦 (加須市)・鈴木秀史 (長野県小諸高)・高栞祐司 (群馬県立自然史博)・サメの歯化石研究会

午前の部 (座長：北村徹)

10:55~11:20 4. 板鰐類血中に常在する細菌叢の検出と解析

○長澤貴宏 (九州大学)

11:20~11:45 5. 板鰐類のゲノム情報集積の現状とそこから展開する研究への期待

○工樂樹洋 (国立遺伝学研究所、総合研究大学院大学、理研 BDR)

昼休み (幹事会)

午後の部 (座長：高木互)

13:00~13:25 6. 小笠原諸島における画像によるシロワニ個体識別調査

○中村雅之 (マリンワールド海の中道)・田中彰 (東海大学海洋学部)・シロワニ繁殖協議会 (登別マリンパークニクス、茨城県立アクアワールド大洗水族館、しながわ水族館、横浜・八景島シーパラダイス、東海大学海洋科学博物館、マリンワールド海の中道)

13:25~13:50 7. シロワニの水槽内繁殖について

○徳永幸太郎・齋藤伸輔・柴垣和弘 (アクアワールド茨城県大洗水族館)

13:50~14:15 8. 水槽内で観察されたジンベエザメの繁殖行動

○松本瑠偉 (沖縄美ら海水族館、沖縄美ら島財団総合研究センター)・村雲清美 (沖縄美ら海水族館)・野津了 (熊本大学大学院先端科学研究部)・富田武照・佐藤圭一 (沖縄美ら海水族館、沖縄美ら島財団総合研究センター)

午後の部（座長：田中彰）

14:20～14:45 9. エコー検査を活用したトラザメ産卵周期の非侵襲的同定と性ステロイドホルモンの変動

○兵藤晋・井上拓人・下山紘也・川野真依・斎藤萌々子（東大大海研）・野津了・村雲清美・松本瑠偉（沖縄美ら島財団）・徳永幸太郎（大洗水族館）・佐藤圭一（沖縄美ら島財団）

14:45～15:10 10. 長期飼育による深海ザメ類の繁殖様式の研究とその意義

高岡博子・村雲清美・金子篤史・比嘉俊輝（沖縄美ら海水族館）・○佐藤圭一（沖縄美ら島財団総合研究センター）

15:10～15:35 11. ナルトビエイの繁殖戦略と胚休眠の生態的意義～板鰐類研究の更なる発展へ

○山口敦子・古満啓介（長崎大学）・Jennifer Wyffels（University of Delaware）

15:35～16:15 総括

### ポスター発表の部 Gather town 利用

16:30～17:30

P1 アカエイにおける妊娠時の酸素要求量増加への応答に関する予備的研究

○山川真由・喜納泰斗・朝比奈潔・鈴木美和（日大生物資源）

P2 ジンベエザメのロドプシンは深海に到達する光を効率的に受容する

○山口和晃（理化学研究所生命機能科学研究センター分子配列比較解析チーム）・小柳光正（大阪市立大学大学院理学研究科生体高分子機能学Ⅱ研究室）・佐藤圭一（沖縄美ら島財団総合研究センター、沖縄美ら海水族館）・寺北明久（大阪市立大学大学院理学研究科生体高分子機能学Ⅱ研究室）、工樂樹洋（理化学研究所生命機能科学研究センター分子配列比較解析チーム、国立遺伝学研究所ゲノム・進化研究系分子生命史研究室、総合研究大学院大学遺伝学専攻）

P3 板鰐類における繁殖様式とピテロジェニンの遺伝子レパートリーとの関連性を探る

○大石雄太（理研 BDR, 神戸大）・工樂樹洋（理研 BDR, 遺伝研）

P4 トラザメの卵胞発育過程における生殖腺刺激ホルモンの役割

○有村省吾・藤森千加（東京大学大気海洋研究所生理学分野）・徳永幸太郎（アクアワールド茨城県大洗水族館）・高木互・兵藤晋（東京大学大気海洋研究所生理学分野）

P5 腎機能に注目したアカエイの淡水適応メカニズムの解析

○油谷直孝・高木互（東京大学大気海洋研究所）・工樂樹洋（国立遺伝学研究所）・齊藤和裕・牛堂和一郎・坂本竜哉（岡山大学理学部附属牛窓臨海実験所）・兵藤晋（東京大学大気海洋研究所）

P6 駿河湾で採集したシロシユモクザメ *Sphyma zygaena* の相対成長解析

○秋山美華（東海大院海洋）・堀江琢・田中彰・大西修平（東海大海洋）

P7 東シナ海におけるモヨウカスベの年齢、成長、および成熟

○原康二郎・古満啓介・山口敦子（長崎大学水産・環境科学総合研究科）

P8 ジンベエザメに見られた台風への行動的な反応

○中村乙水（長崎大学海洋未来イノベーション機構）・土田洋之（かごしま水族館）・刀祢和樹（長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科）、米山和良（北海道大学水産学部）・佐々木章（かごしま水族館）・河邊玲（長崎大学海洋未来イノベーション機構）

P9 駿河湾におけるフトツノザメとトガリツノザメの標識放流結果について

○堀江琢・田中彰（東海大海洋）

P10 軟骨魚類トラザメの塩類細胞における転写因子 *forkhead box I3* の発現

○宮西 弘・西 真理奈（宮崎大学農学部）・高木 互（東京大学大海研）・井ノ口 繭（東京大学農学部）・兵藤 晋（東京大学大海研）・内田 勝久（宮崎大学農学部）

P11 アカエイにおける血中カルシウム濃度調節機構についての研究

東野将也・鈴木信雄・○関口俊男（金沢大学 環日センター 臨海）

オンライン懇親会 Gather town 利用

17:30～19:30 懇親会

## ■総務・広報報告

本年度より、会報の電子化とあわせ、HP を一新して広報活動の充実を図りました。トップページを飾る数々の板鰓類に加え、新たに会員による学術雑誌掲載論文を紹介する「研究紹介」ページを開始しました。書籍紹介ページもさらに充実したものにしていきますので、原著論文や書籍が発刊された場合には広報幹事（佐藤圭一：k-sato@okichura.jp）までお知らせ下さい。また、周囲で本研究会に興味を持っておられる方がいらっしゃいましたら、ぜひ入会をお勧め下さい。入会案内も HP に掲載しております。

会報を電子化することで節約できた経費は、HP の充実やシンポジウムの運営にあてさせていただく予定です。今年度はコロナ禍の影響により対面開催がかなわず、全面的にオンライン開催となってしまう、直接顔を合わせての議論ができないことはとても残念です。その一方で、業務等で当日会場に出かけることができない方々にも参加していただきやすいという、オンライン開催ならではのメリットもあります。ポスター発表や懇親会も Gather town のようなシステムを使用することで、オンサイト開催に比較的近い雰囲気を進めることができるようになってきています。次回以降も、一部オンラインを併用したハイブリッド形式を取り入れることで、多くの会員のみなさまに参加していただけるよう努力していきたいと考えています。ご要望がありましたらお知らせいただくとともに、これらの活動を支える会費納入についてもご協力よろしく願いいたします。

日本板鰓類研究会では、日本国内の板鰓類研究を促進するため、今後とも会員相互の情報交換の場を提供してまいります。会員の皆様におかれましては、今後の研究会の運営に対するご理解とご協力をお願いいたします。

日本板鰓類研究会ホームページ

<https://jses.info>

（広報幹事：佐藤圭一・総務幹事：兵藤 晋）

## ■会計報告

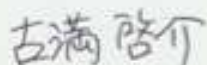

板鯉類研究会令和2年度会計報告 2021年4月7日現在


収入の部	金額	備考
項目		
前年度繰越	1,106,149	
会費2020年度入金分	104,000	
合計	1,210,149	

支出の部	金額	備考
項目		
会報第56号		
会計報告書・領収書等送付	470	
その他郵送料	930	新規会員への会報送付(310円×3)
ホームページ関連		
サーバー利用料	17,967	2020年1月～2020年12月
ドメイン使用料	3,960	
合計	23,327	

次年度繰越金	1,186,822
--------	-----------

2021年4月7日現在の郵便局残高と照会した結果、上記の通り相違ありません。

会計担当 古満 啓介 (自署  )

監査担当 堀江 球 (自署  )

年会費 正会員2,000円/年 もしくは、10,000円/6年  
学生会員1,000円/年



振替受払通知書 00250-0-111916 令和 3年 3月 5日  
 横浜 野金事務所センター

通知番号及び種別		16号	1,184,822円
受 入 れ 信 用	払込金(一般)	0	
	払込金(新帳票)	1	2,000
	払込金(DT)		
	払込金(MT)		
	振替受入れ		
	公金払込み		
	自動払込み		
	その他受入金		
	電 払 込 金		
	振替受入れ		
私 出 し 信 用	現金払出し		
	振替払出し		
	簡易払		
	その他払出金		
	現金払出し		
	振替払出し		
	加入者即時払		
	小切手払渡し		
	料 金		
	現 在 高		1,186,822

料 金 内 訳	
払込料金	円
払出料金	
振替料金	
その他料金	

小 切 手 番 号	

小 切 手 支 払 保 証	
	円

明細番号	始番号	終番号
電信受		
電信払		

振替受払通知書 00250-0-111916 令和 3年 4月 7日  
 横浜 野金事務所センター

通知番号及び種別		1号	1,186,822円
受 入 れ 信 用	払込金(一般)	0	
	払込金(新帳票)		
	払込金(DT)		
	払込金(MT)		
	振替受入れ		
	公金払込み		
	自動払込み		
	その他受入金		
	電 払 込 金		
	振替受入れ	1	2,000
私 出 し 信 用	現金払出し		
	振替払出し		
	簡易払		
	その他払出金		
	現金払出し		
	振替払出し		
	加入者即時払		
	小切手払渡し		
	料 金		
	現 在 高		1,188,822

料 金 内 訳	
払込料金	円
払出料金	
振替料金	
その他料金	

小 切 手 番 号	

小 切 手 支 払 保 証	
	円

明細番号	始番号	終番号
電信受	1	1
電信払		

### 年会費の振り込みについてのお願い

2021年度も残すところあと3か月となりましたが、年会費未納の方が多数おられますので、振り込みをお願いいたします。

年会費は、学生会員1,000円、一般会員2,000円となります。

なお、一般会員に限り10,000円をお振込みいただくと6年分の年会費となります。  
年会費の振り込みは、下記口座をお願いいたします。

銀行：ゆうちょ銀行

支店名：〇二九店

口座記号：00250-0

口座番号：111916

口座種類：当座

加入者名：日本板鰐類研究会

会費の納入状況がご不明の場合は、会計担当までご連絡いただければ納入状況をお知らせいたしますので下記までお問い合わせ下さい。

会計担当役員：古満啓介 [furusuke@nagasaki-u.ac.jp](mailto:furusuke@nagasaki-u.ac.jp)

## 編集後記

板鰐類研究会報は、1977年の第1号から44年目で第57号の発刊となりました。昨年度、当会は新たな体制へと大きく変わりました。それに伴い、これまで長きにわたり冊子体で提供してきた会報を電子媒体での提供へと変えることといたしました。それに伴い、会員の皆さんに板鰐類研究の魅力を分かりやすく伝えるため、コンテンツやレイアウトの見直しを進めてまいりました。

今号は、「胎仔研究の今」と題する特集を組み、水族館やフィールドでの長い期間の観察によって初めて明らかになってきた繁殖や胎仔の研究成果に関する最新情報をご紹介します。会員から寄せられた自由な話題として、板鰐類の奇形個体とエイ類の寄生虫に関する新たな記録とシロワニ個体識別調査の概要についてご報告いただきました。今号から、会員の皆さんに板鰐類研究の魅力をさらに知ってもらうことを目的として「板鰐類研究の地平線」と「海外研究室だより」を新たに設けたところ、国内外の3名の研究者から魅力的で多彩な板鰐類研究の一端をご紹介します。「こんな研究があったんだ」とあらためて知る事ができたのではないのでしょうか。さらに、新たなコンテンツとしてサメと社会の繋がりを紹介していただく「サメと働く現場より」を設けたところ、青森県のサメ食文化を中心としながらサメ漁業にまつわる世の中の動きを詳細にご紹介いただきました。サメという存在は、私たちにとって魅力的な海洋生物であると同時に重要な水産資源でもあります。会報を通じてその両面からサメを考える機会となれば幸いです。また、今号では板鰐類に関する3冊の新刊書籍を紹介いただきました。会報の電子媒体化にあわせて新たな会報作りを進めてきた中で、現役の板鰐類研究者として活躍している若手編集委員を中心とするコンテンツ作りのおかげで、これまでにない充実した会報に仕上がったと思います。これからも、会員間での自由で活発な情報交換を通じて板鰐類を対象とする研究の幅を広げるため、会報の充実を進めて参りますので、会員の皆様からの情報提供や誌面に対するアイデアをお寄せ下さい。

当会では定例のシンポジウムだけでなく、教育機関や水族館での教育・啓蒙活動など、板鰐類にまつわる各種イベントの企画を広く募集しております。シンポジウムやその他イベントに関するご提案・ご相談は、当会事務局または幹事までお知らせ下さい。

【会報編集委員記】

---

### 日本板鰐類研究会報 第57号

会 長：中野 秀樹（水産研究・教育機構 水産資源研究所）

副 会 長：山口 敦子（長崎大学 水産・環境科学総合研究科）

編 集 者：

編集担当幹事：後藤 友明（岩手大学三陸水産研究センター）

編集委員：仙波 靖子（水産研究・教育機構 水産資源研究所） / 富田 武照（沖縄美ら島財団）

／ 矢野 寿和（水産研究・教育機構 水産大学校 海洋生産管理学科）

事 務 局：〒277-8564 千葉県柏市柏の葉 5-1-5 東京大学大気海洋研究所 日本板鰐類研究会 兵藤 晋

ホームページ：http://www.jses.info/

### Report of Japanese Society for Elasmobranch Studies No. 57

C/O Hideki NAKANO

Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8564 JAPAN

TEL: +81-4-7136-6202 / FAX: +81-4-7136-6206

E-mail: hyodo@aoori.u-tokyo.ac.jp

Web site: http://www.jses.info/

---