

サメを知り 漁業との共生をさぐる 講演会

サメの生物学的特性と漁業との深い関係

2025.1.09.

講演者紹介 Introduction



経歴 2000年：北海道大学大学院・博士(水産学)

Ph.D (Hokkaido University)

2000年～国営沖縄記念公園水族館

Okinawa Expo Aquarium

2002年～沖縄美ら海水族館

Okinawa Churaumi Aquarium

2013年～沖縄美ら島財団動物研究室長

Curator, Zoological Laboratory

2017年～現職 沖縄美ら海水族館統括

Direct General,

Okinawa Churaumi Aquarium

専門分野 サメの比較解剖学/繁殖学/生態学・

Research field Reproductive biology & ecology

Comparative anatomy of elasmobranchs

本日の話題



①サメとは？

②少産少子なサメの繁殖

③サメとヒトとの関係

④サメとヒト・漁業の共生は可能か？

軟骨魚類の系統

Eschmeyer and Fong 2010 による

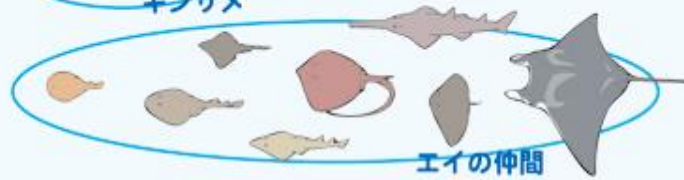
ギンザメ類

chimeras



エイ類

rays



カグラザメ類

six-gill sharks



ツノザメ類

dogfish sharks



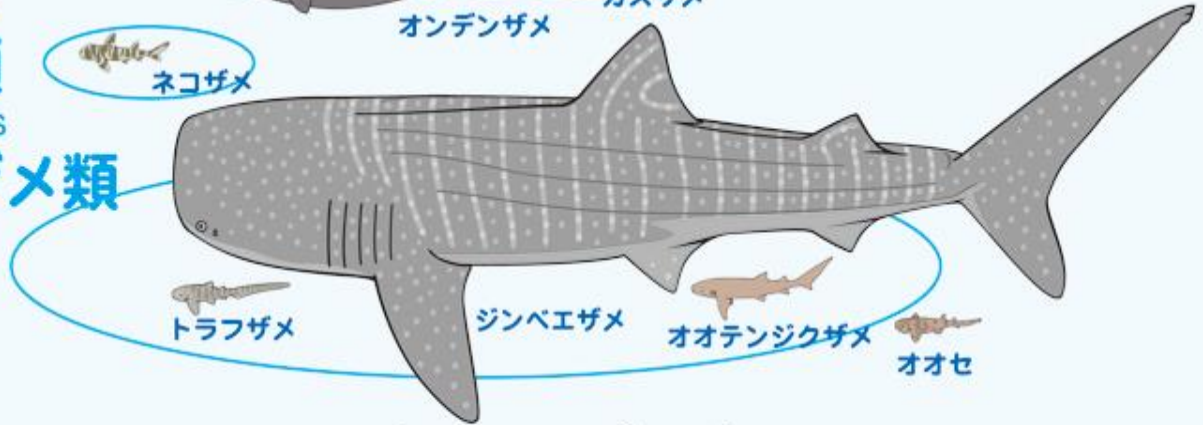
ネコザメ類

bullhead sharks



テンジクザメ類

carpet sharks



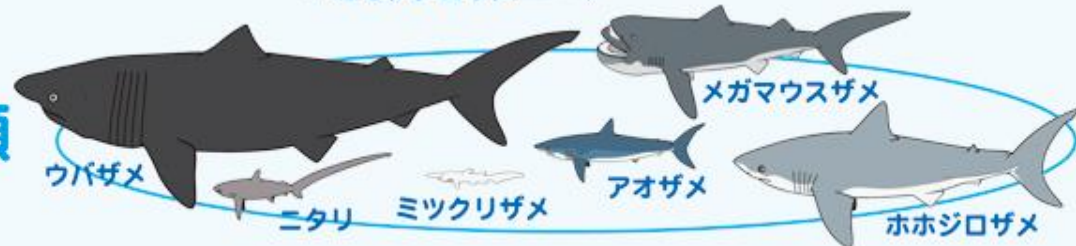
メジロザメ類

ground sharks

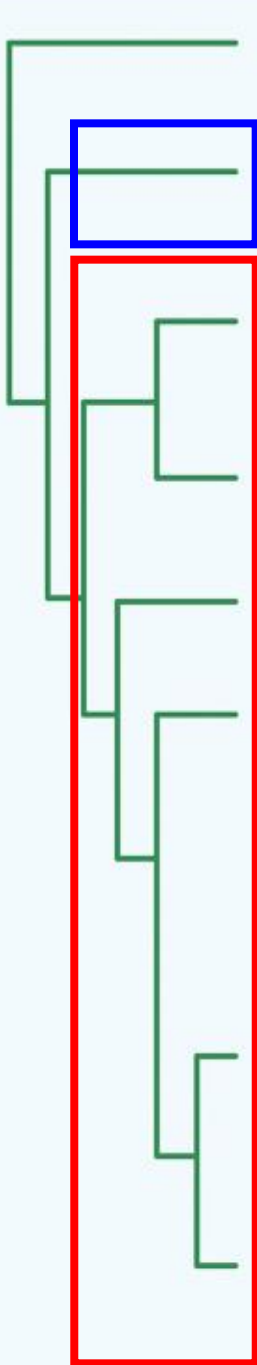


ネズミザメ類

mackerel sharks



エイ類 + サメ類
= 板鰓 (ばんさい) 類



さまざまなサメの仲間

サメ類(Sharks: 559種)

*Eschmeyer's Catalog of Fishes
(2024.7.26)

Galeomorphii

(メジロザメ系: 374種)

ネコザメ目
テンジクザメ目
メジロザメ目
ネズミザメ目

Squalomorphii

(ツノザメ系: 185種)

カグラザメ目
ツノザメ目
ノコギリザメ目
カスザメ目
キクザメ目

サメは魚類(サカナ)の仲間である

最も種数の多いサメのグループ(属)は？

① ヘラザメ属 42種



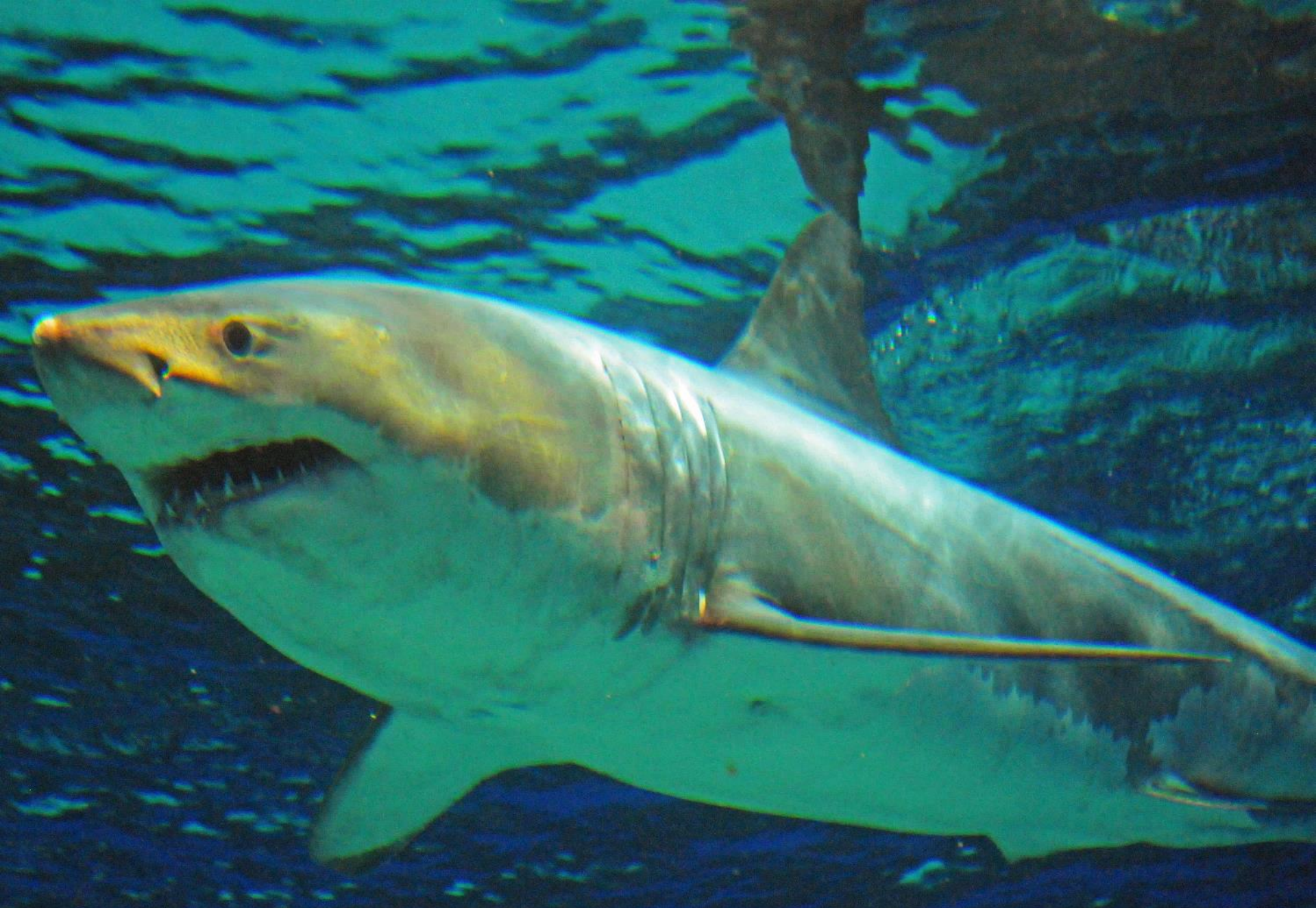
② ツノザメ属 42種



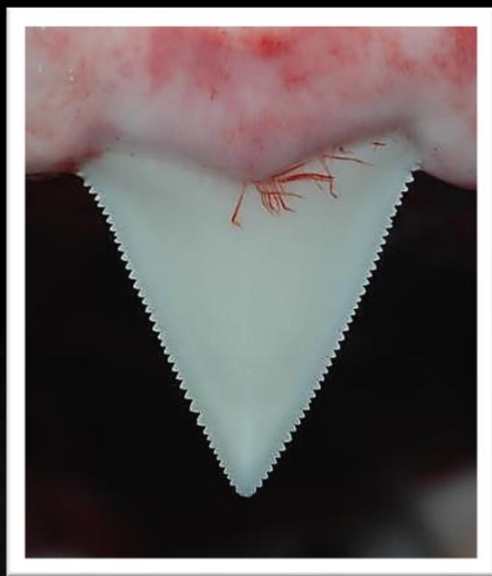
③ カラスザメ属 40種



全て深海性のサメ！



ホホジロザメ（撮影：沖縄美ら海水族館）



ホホジロザメの歯





イタチザメ（撮影：沖縄美ら海水族館）

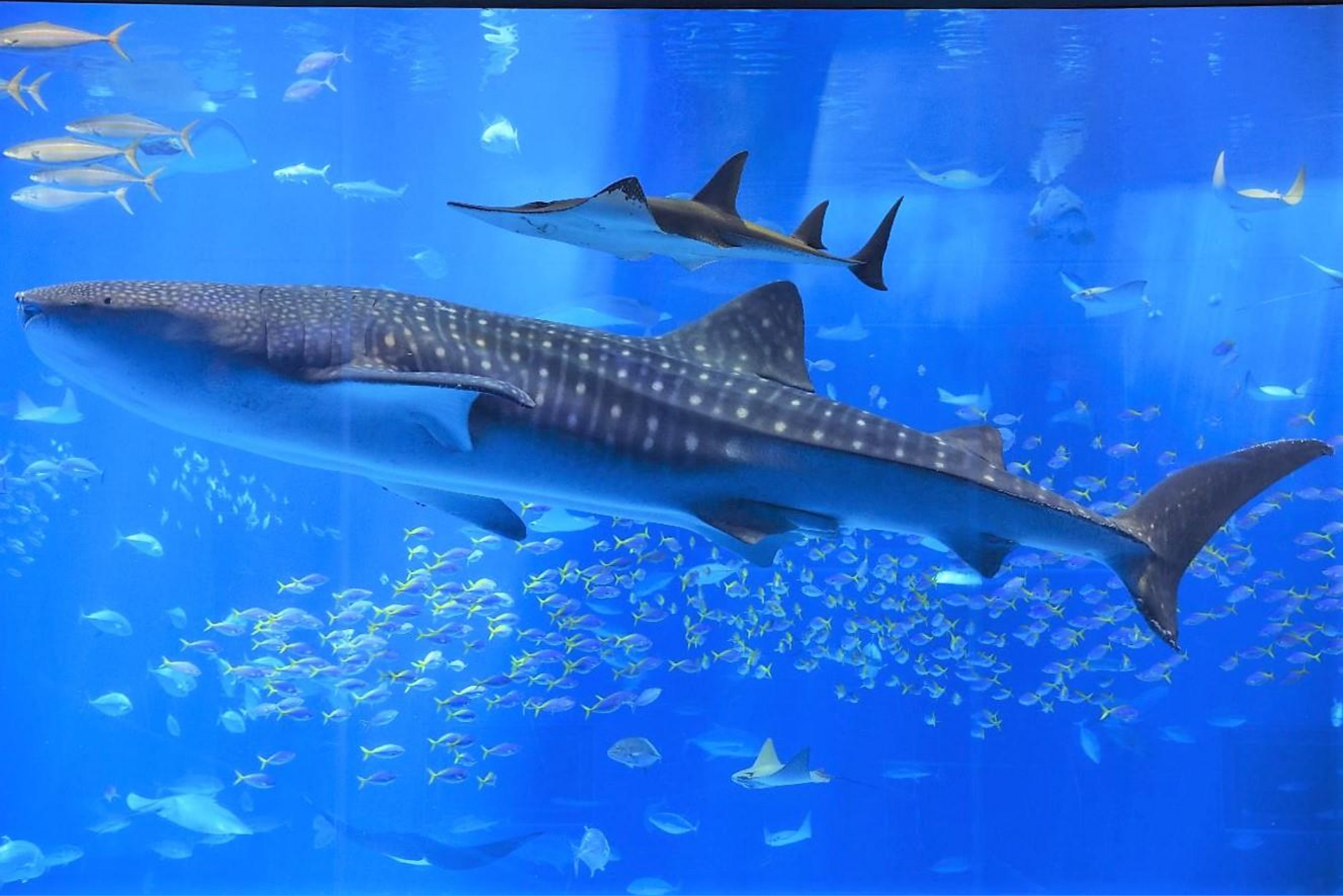




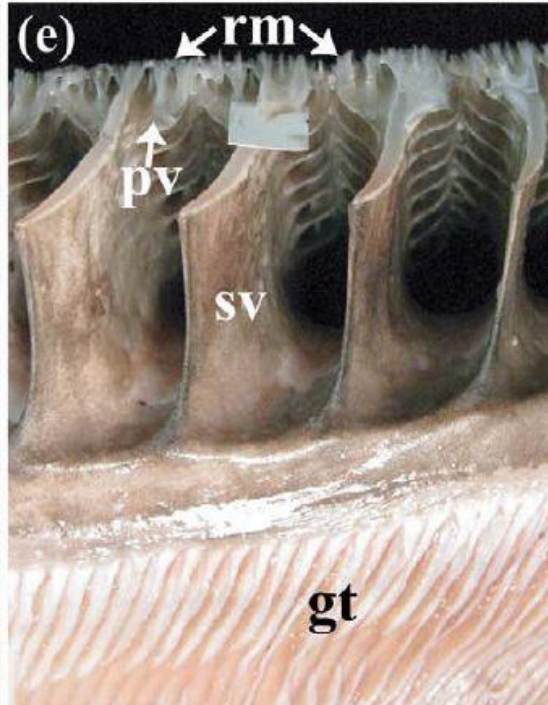
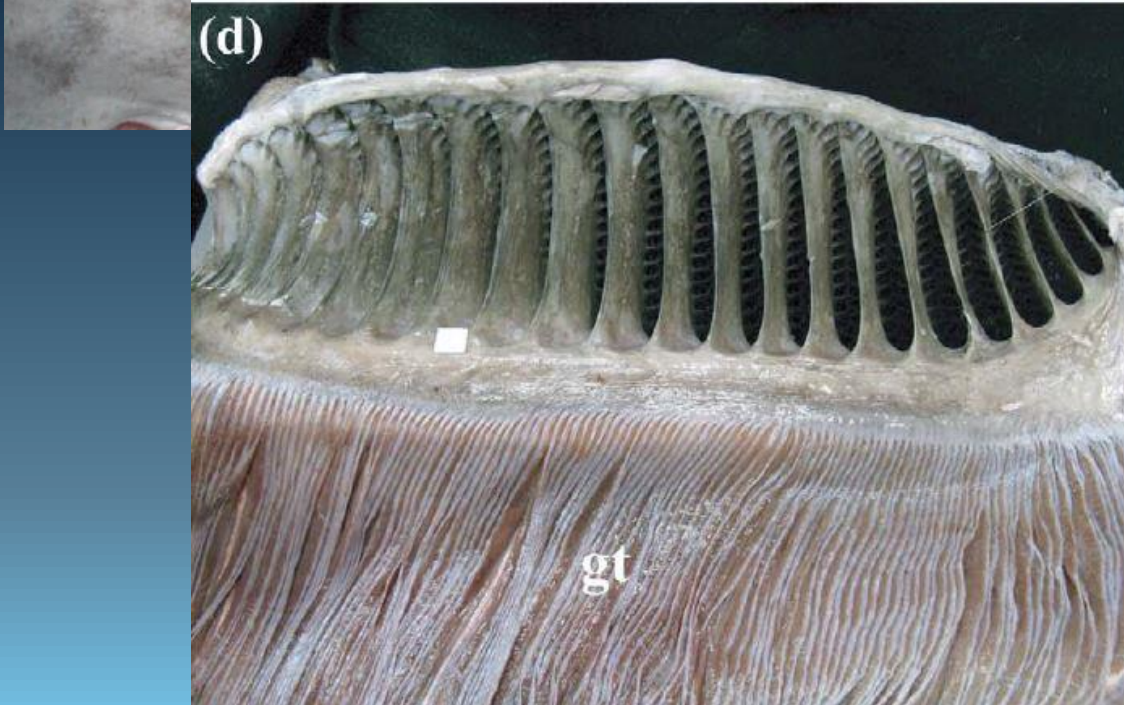
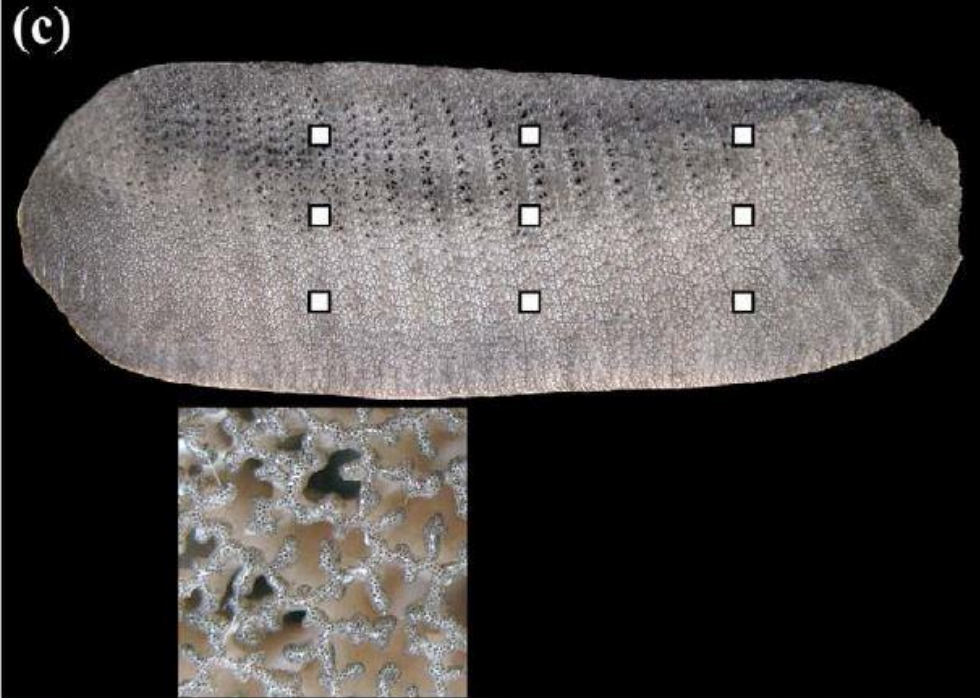
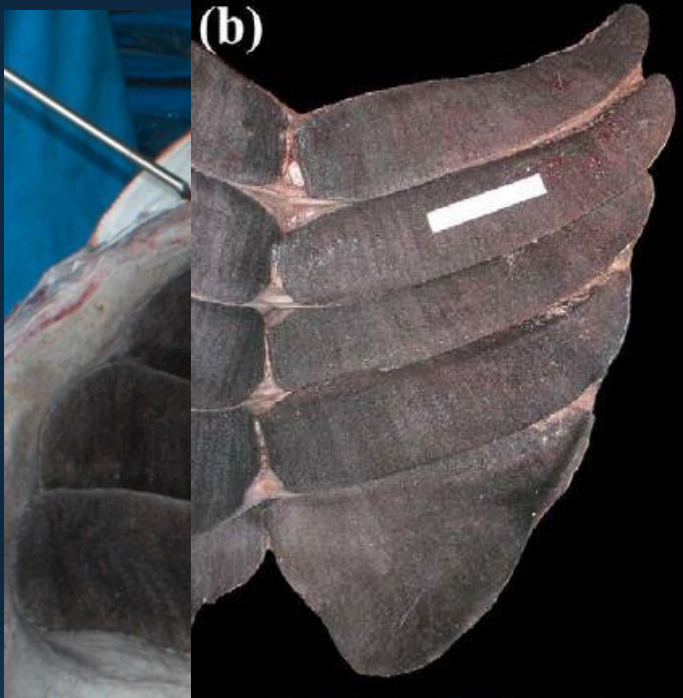
オオメジロザメ (撮影: 沖縄美ら海水族館)



オオメジロザメの上顎歯



世界最大の魚類ジンベエザメ（撮影：沖縄美ら海水族館）





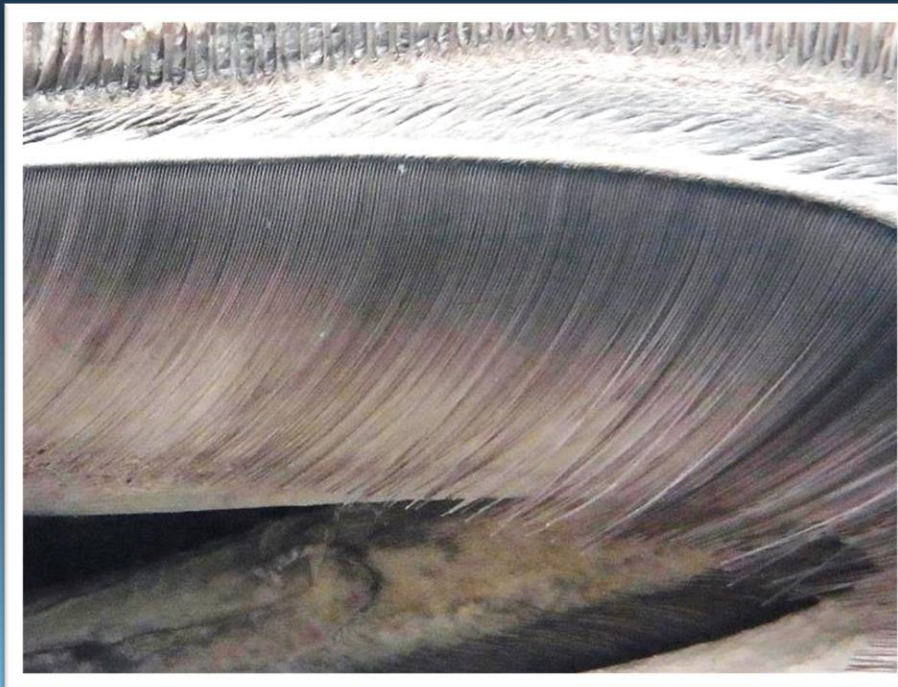
ウバザメ(撮影:山口県宇部市)

ウバザメの歯



ウバザメの鰓把 ⇒ 冬場に鰓把が脱落する
(餌を濾しとるフィルター) 春～夏

秋～冬





メガマウスザメ（撮影：神奈川県湯河原町）

Photo Atsushi Kaneko



メガマウスザメ (撮影:沖縄美ら海水族館)



メガマウスザメの鰓耙
(エサを濾すフィルター)



ニシオンデンザメ (グリーンランド産)

最も小さなサメのなかま（カラスザメ属） 水深500mで撮影



最も小さなサメのなかま（カラスザメ属）の発光



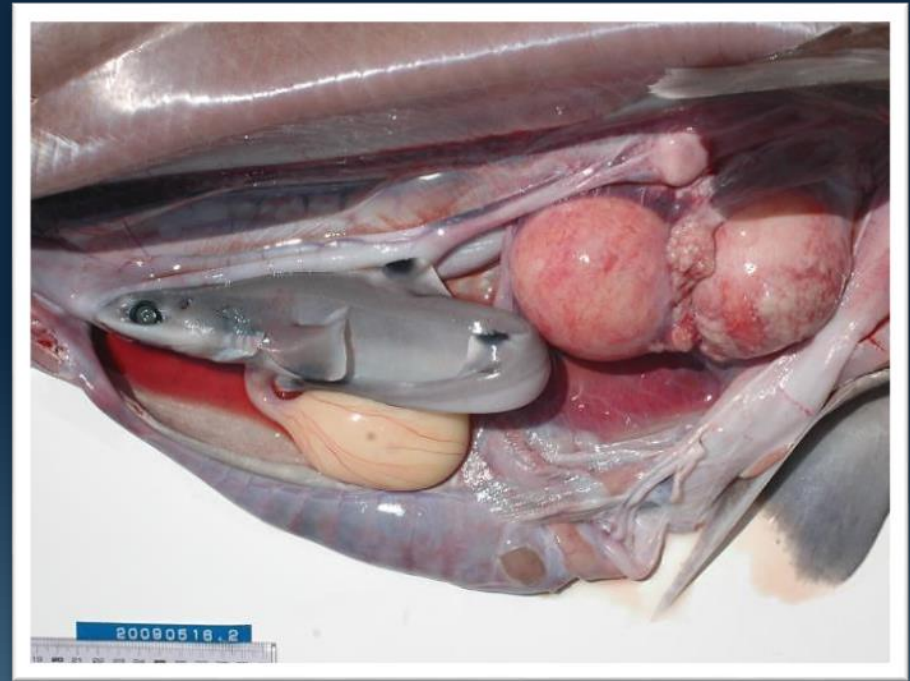
サメやエイはどのように繁殖するか？

How do sharks and rays reproduce?



卵生のサメ・エイ Oviparous

トラザメ類 Cat sharks
ネコザメ類 Bullhead sharks
テンジクザメ類 Carpet sharks
ガンギエイ類 Skates



胎生のサメ・エイ Viviparous

その他多数 Others

全般にサメは少産・少仔

サメ・エイの繁殖方法 Variation in reproductive mode of sharks & rays

1. 卵生 (Oviparous)

2. 胎生 (Viviparous)

a) 卵黄依存型 (Yolk dependent)

らんおういぞん

卵黄依存

Lechithotrophy
(Yolk dependent)

b) 母体依存型

たいぼん

• 胎盤形成型 (Placental)

ひたいぼん

• 非胎盤形成型 (Aplacental)

えいようぶんびつ

栄養分泌型 (Histotrophy/Embryotrophy)

らんしょく

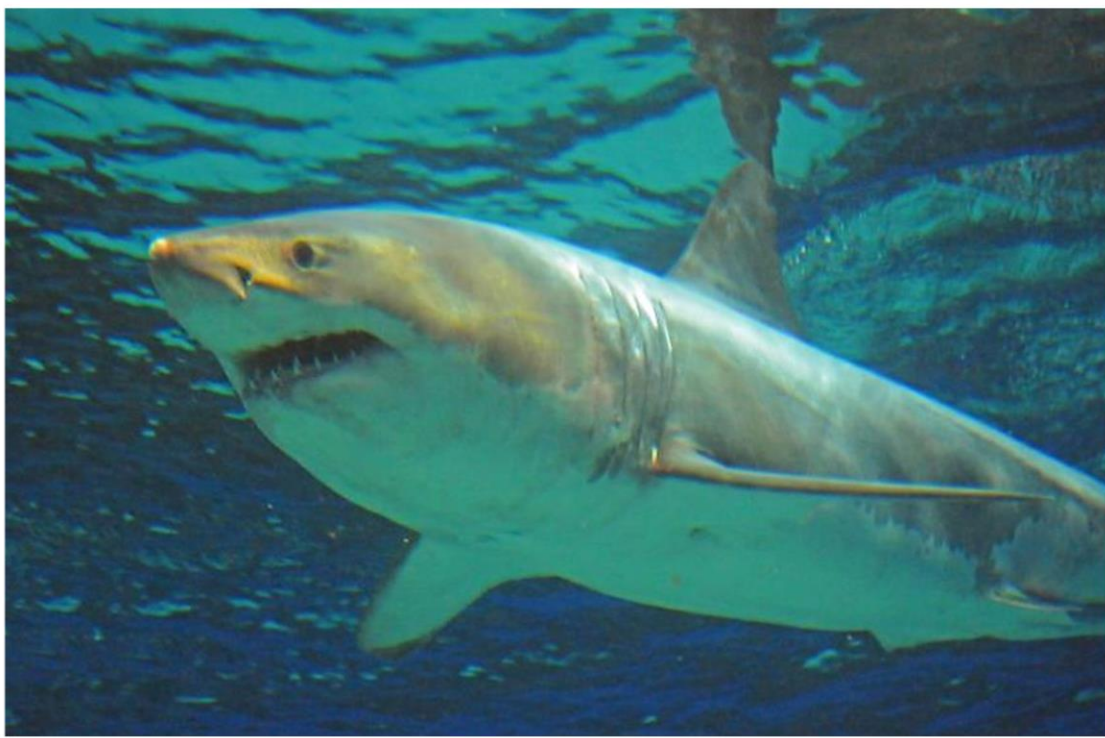
ともぐ

卵食・共食い型 (Oophagy or adelphophagy)

ぼたいいぞん

母体依存

Maternal input



人間襲撃率の高いサメ
Shark species responsible for
most unprovoked attacks on humans

第1位
ホホジロザメ
(White shark)
全長：6m以上



第2位
イタチザメ
(Tiger shark) 全長 4.7m



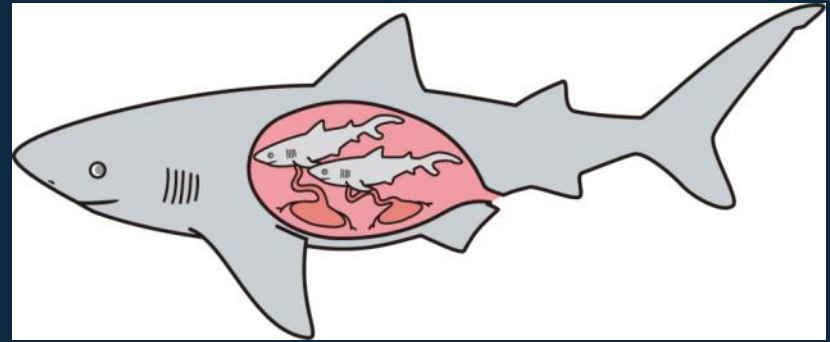
第3位
オオメジロザメ
(Bull shark) 全長3.5m

b) 母体依存型

- 胎盤形成型

(Placental)

オオメジロザメ
Bull shark

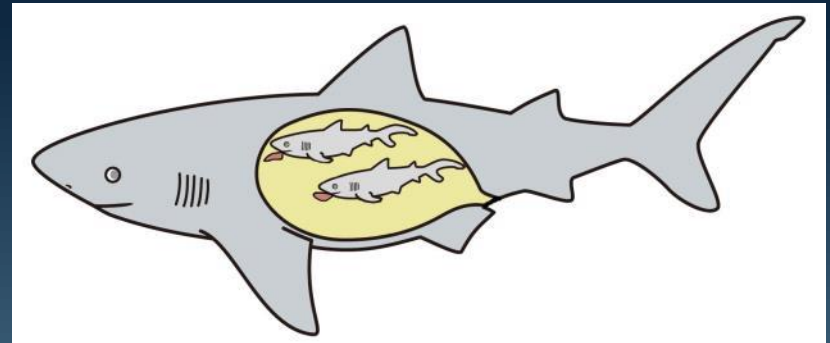


- 非胎盤形成型 (Aplacental)

栄養分泌型

(Histrophy/Embryotrophy)

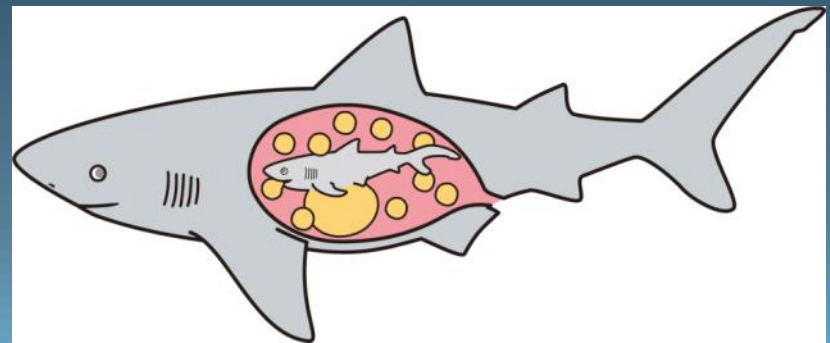
イタチザメ
Tiger shark



卵食・共食い型

(Oophagy/adelphophagy)

ホホジロザメ
White shark



・胎盤形成型のサメ ← オオメジロザメ

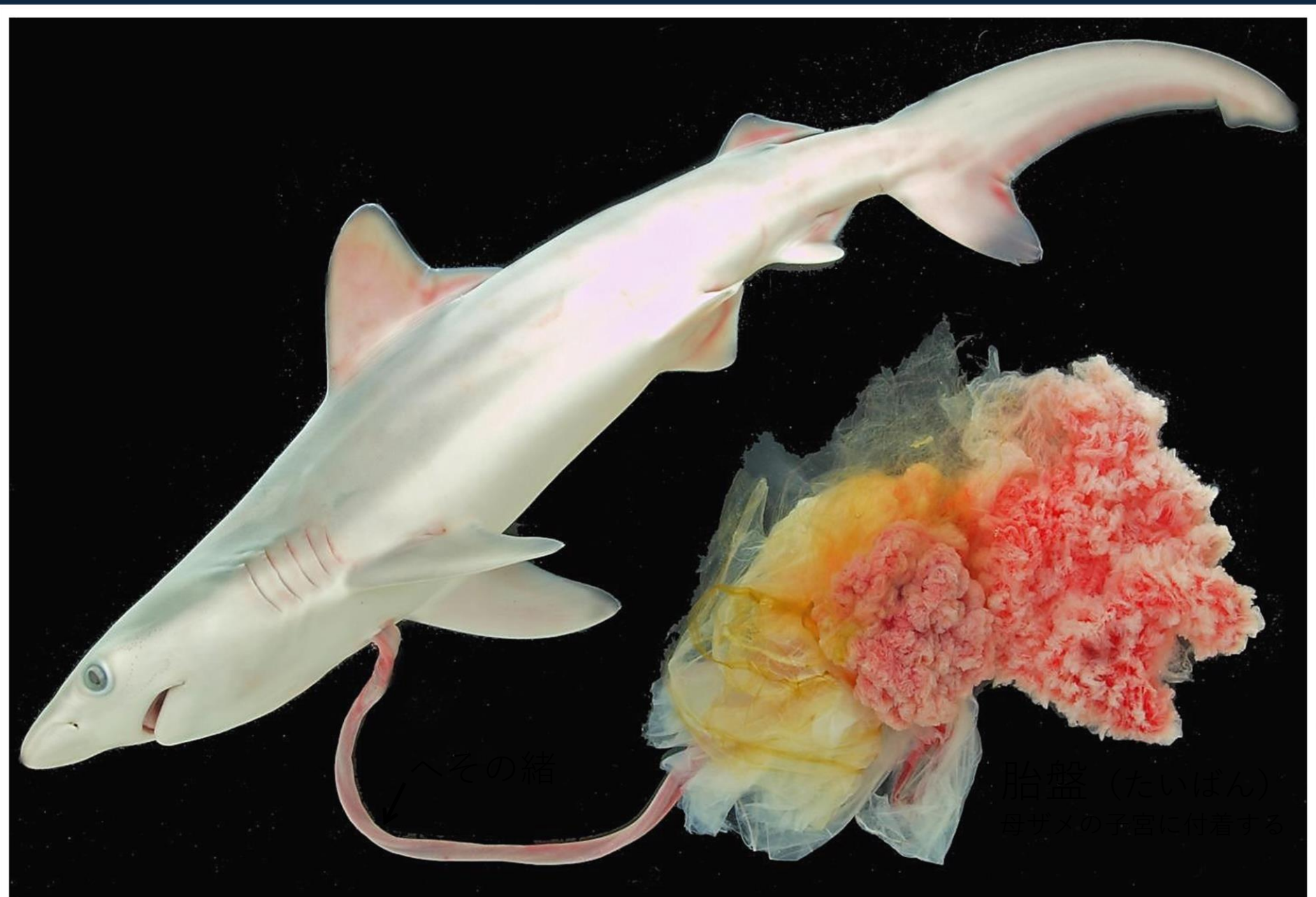
(写真：カマストガリザメ)



胎盤型：主にメジロザメ科のサメに多い
繁殖周期：2年周期が多い



胎盤型胎生の胎仔

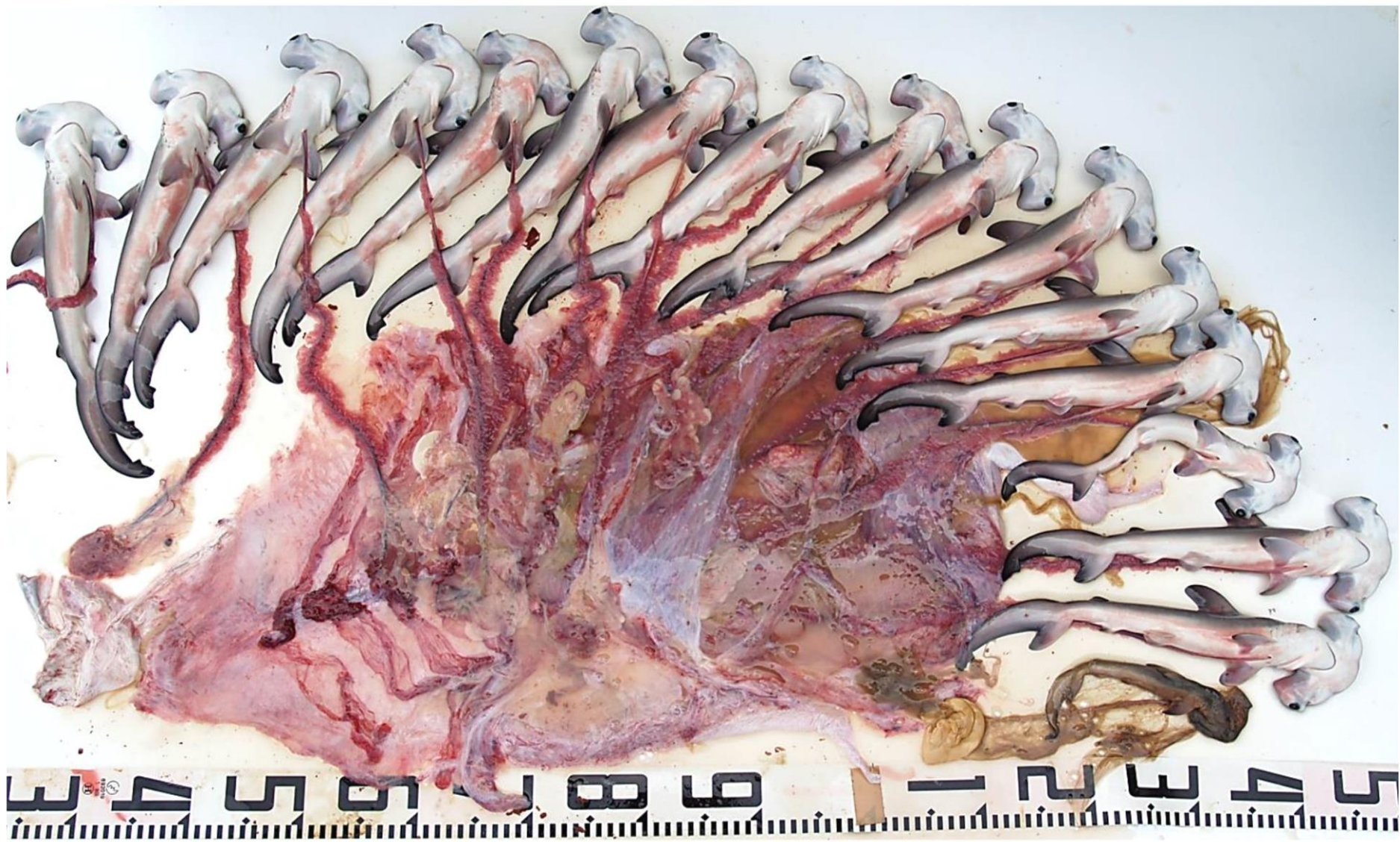


へその緒

胎盤 (たいばん)
卵黄の嚢 (らんわうのう)

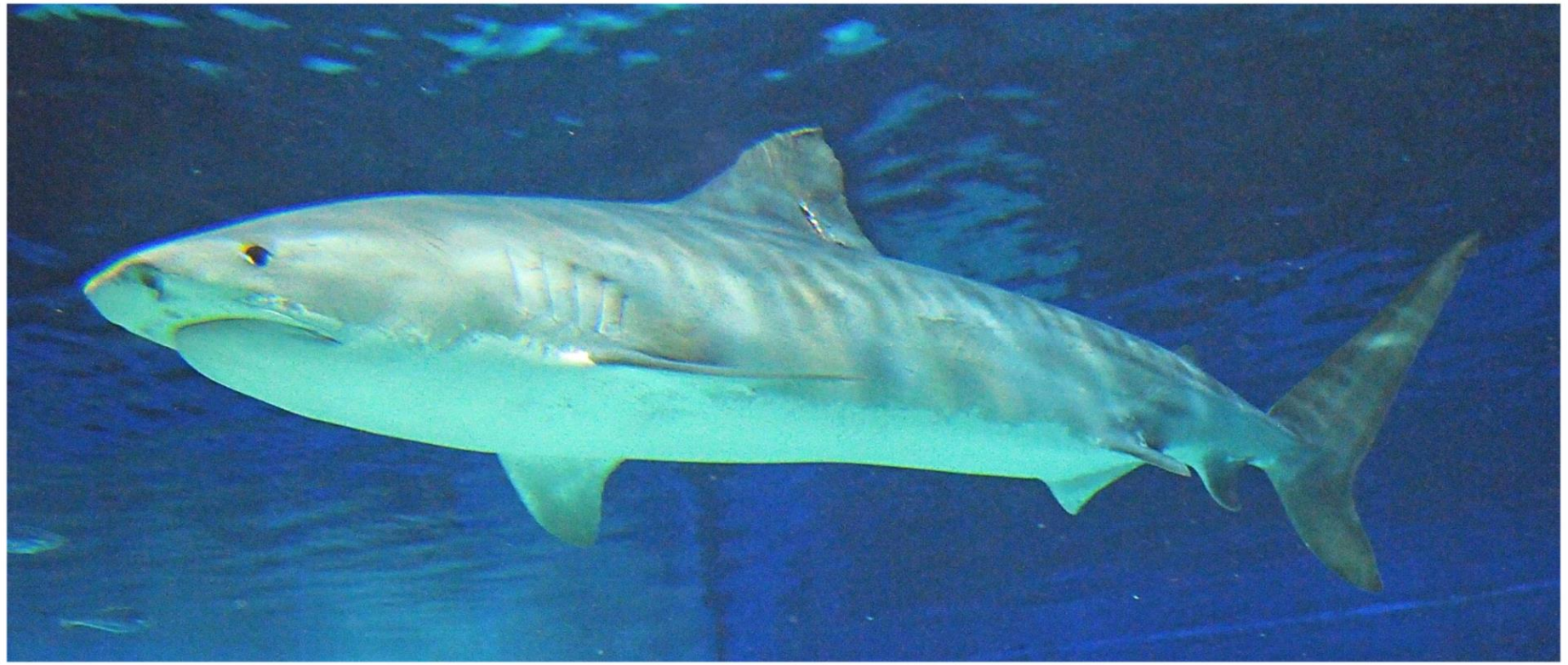
シロシュモクザメの子宮と胎仔

Uterus and embryos of the smooth hammerhead



• 非胎盤形成型 Aplacental viviparity

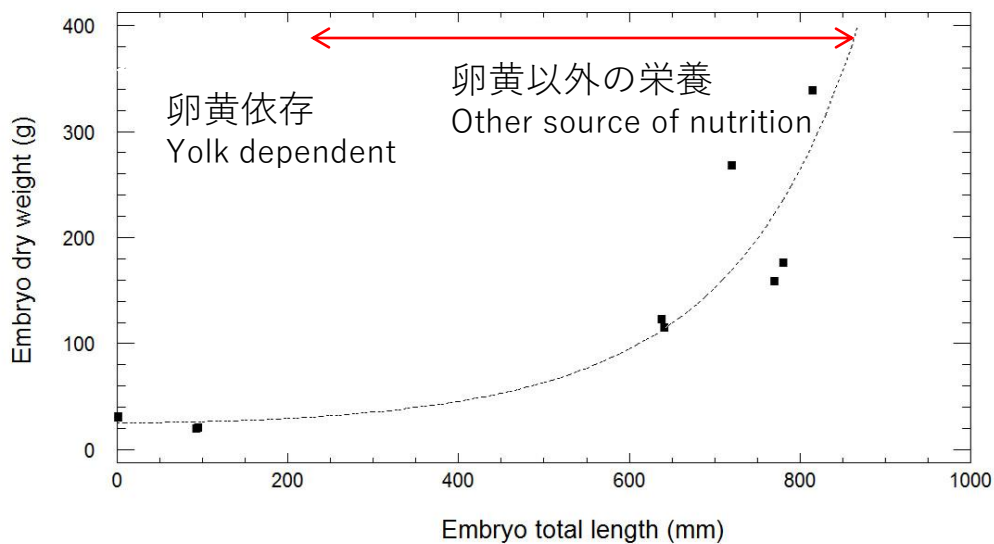
栄養分泌型のサメ ← イタチザメ Tiger shark
(Histotrophy/Embryotrophy)





妊娠末期の子宮（左図）と胎仔（右図：全長約70cm）

Uterus in late gestation (left) and a term embryo (right: 70cm-TL)



卵黄依存
Yolk dependent

卵黄以外の栄養
Other source of nutrition

胚重量(乾燥重量)

胚全長

謎 1

卵黄以外の栄養とは何か？

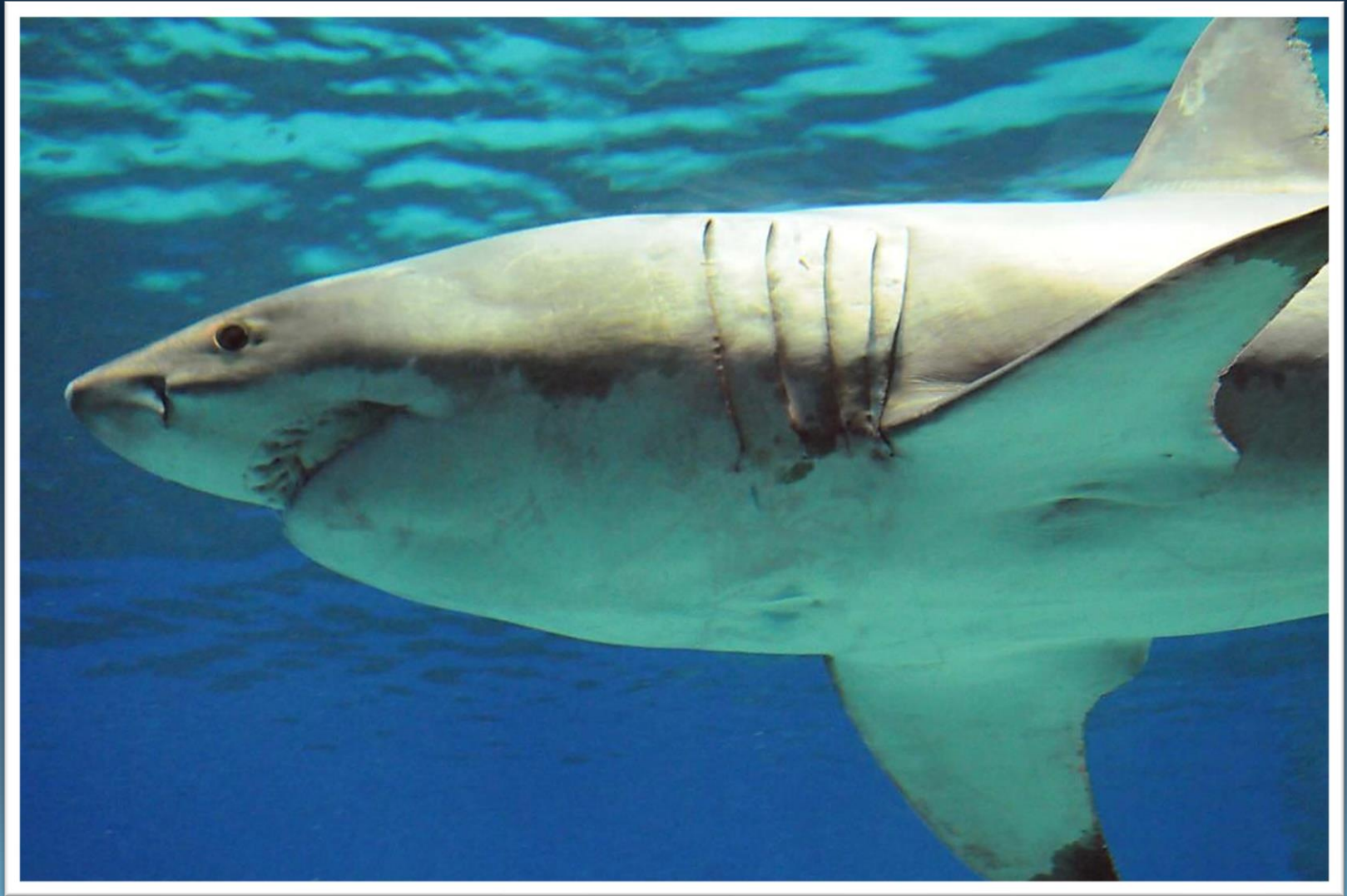
What is the other source of nutrition?

謎 2

栄養はどこから来るのか？

Where is the nourishment source supplied from?

卵食型のサメ ← ホホジロザメ White shark
(Oophagy)



ホホジロザメの妊娠メス個体 Pregnant female of the white shark



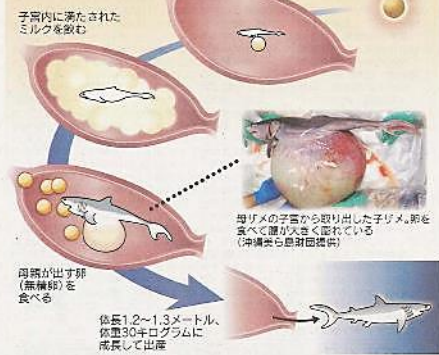
全長： 4,950 mm (Total length) 体重： 1,525 kg weight
捕獲場所： 沖縄県読谷村沖の定置網 日時： 2014年2月13日
Accidental bycatch in the Yomitan setnet, Okinawa

妊娠個体から取り出された胎仔（全長85cm）



Yolk stomach
(卵黄で満たされた胃)

1メートルを超す大きになって出産



ホホジロザメの特徴



体長	6メートル
体重	3000キログラム
寿命	70年以上
遊速	時速30キロメートル

(注)最大値

ダラシックス 大島 高千穂



ザメ類

絶滅の恐れで取引規制
 体の骨の多くが軟骨性のある軟骨でできた「軟骨魚類」の一種。石灰質の硬い骨を持つカツオやコイなどの魚は「硬骨魚類」と呼ばれる。キハピアで有名なチョウザメはザメ類ではなく、硬骨魚類に分類される。
 深海から浅い海にまですみ、世界に約500種類がいるとされる。人間を襲うのは1割以下で、危険な種類はホホジロザメ(ホオジロザメ)やイタチザメ、オオメジロザメくらいといわれる。
 ツカシメのような高級食材のほか、かまぼこなどの練り製品に用いられる。世界でザメはとられており、絶滅が心配される種類もある。ホオジロザメやジンベエザメなどはワシントン条約で輸出入が規制されている。

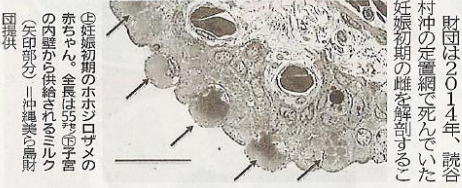
「シヨーズ」誕生胎内に1年
 胎内に1年を過ごすシヨーズは、母メの子宮で育ち、母乳を飲む。母メの子宮は、シヨーズの成長を促す。シヨーズは、母メの子宮で育ち、母乳を飲む。母メの子宮は、シヨーズの成長を促す。

「シヨーズ」誕生胎内に1年
 シヨーズは、母メの子宮で育ち、母乳を飲む。母メの子宮は、シヨーズの成長を促す。シヨーズは、母メの子宮で育ち、母乳を飲む。母メの子宮は、シヨーズの成長を促す。

ミルクや無精卵与えられ
 シヨーズは、母メの子宮で育ち、母乳を飲む。母メの子宮は、シヨーズの成長を促す。シヨーズは、母メの子宮で育ち、母乳を飲む。母メの子宮は、シヨーズの成長を促す。

子宮内シヨーズに授乳

映画「ジョーズ」のモデルになったホホジロザメの母親が、子宮内でミルクを出して赤ちゃんを育てていることが、沖縄美ら島財団(本部町)の研究で分かった。マンタは、知られているが、サメで確認されたのは初めて。財団は「世界的にも非常に貴重な発見」と説明する。



美ら島財団初確認「世界でも貴重」

ホホジロザメにミルク器官

とに成功した。子宮内で赤ちゃんの胚盤を多く含むミルクを確認した。2016年、妊娠初期の雌も同様に解剖して比較すると、ミルクを出していた子宮内の突起が代わりに酸素を供給する形に変化していた。
 「この頃の赤ちゃんは、母親が供給する無精卵を食べて育つことが以前から知られている。6人からなる研究チームの代表、財団総合研究センター動物研究室の佐藤圭室長は「子宮を解剖に変化させ、赤ちゃんの栄養源を途中で切り替える仕組みは想像すらしなかった」と驚く。
 「ミルクは早産児のみに適している。その後、無精卵に切り替え、胎内で大きく育つことが出来る。捕食者が守るための戦略だろう」と指摘する。
 研究成果は16日、英国のオンライン学術誌「公開された」。

最近の話題 Recent topics

ホホジロザメが体内で“授乳”する！ White shark nourish embryos with milk!

(左) 2016.7.10. 日本経済新聞 朝刊

Left: Nikkei

(右) 2016.9.18. 沖縄タイムス 朝刊

Right: Okinawa Times

漁業とサメの共存は可能か？



サプリメントの原料となるアイザメ類

サメによる様々な食害



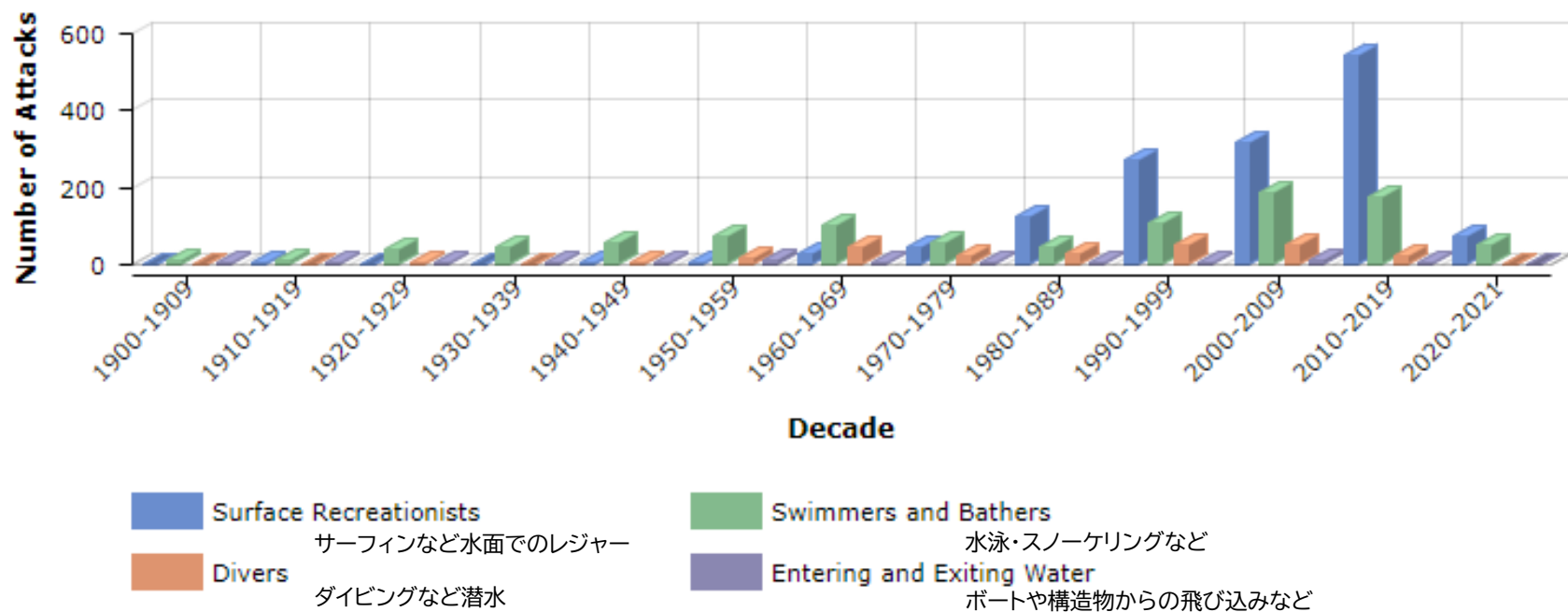
カマストガリザメによる養殖網の被害

体長3mのサメ…養殖の網を食いちぎる 鹿児島湾で被害相次ぐ「出荷直前で死活問題」 海水温上昇が原因か？



サメと人間の共生に向けて(サメの人的被害)

Victims' Activity During Unprovoked Shark Attacks Worldwide



フロリダ大学の調査によるサメの主な被害とその件数 (International Shark Attack Fileより)

サメによる人的被害は、ほとんどが水上のレジャーで発生する
(→ダイビングなど水中での事故は比較的少ない)

単独での潜水や餌が豊富な条件(潜水漁・養殖イケス周辺)での潜水は危険

サメの駆除は有効な解決手段か？



漁協前で巨大サメ

体長約3メートル、270キロ釣れる
漁港内では高校生ら泳ぐ

今年1月ごろから出没

八里山漁協前の漁港
内で31日午後、巨大な
サメが釣り上げられ
た。体長2・99メートル、
重さ700キロのオオサ
メ。釣り人が釣った
から出沒を確認してい
たもので、30日夜に
野城漁港で釣ったサ
メの出沒が確認され
ており、水際からサメが
入ってくるものと感
れる。漁協では、漁港
内で遊漁禁止。泳が
ないでほしいと注意
を促している。

サメ駆除の被害防
れでいた海洋除鯨
理センター船組深田
系保の佐藤三三さん
(右)と、オオサメ、
オオサメはサメの
中でも大きく同種
類を危険な種。体長
2メートル以上のサ
メは、漁港域では、
遊漁禁止と注意を
促すサメと注意を
漁港内に現れた原因で

「血の臭いがする
からではないかと話
した。」
仕掛けを入れた漁
協で釣りをすると
が、今年1月ごろか
らサメの出沒をみる
ようになったりして
内を飛び込んだりし
てきたので危な
しく思った。30日夜
9時ごろ大きな釣り
針を食ったという
けを食った。

「専門はサメが
食いついたが、釣
り上げた後、サメ
の口を開き、サメ
のウロコを叩き
ました。」
ちょうどこの日、
八里山漁協前のサ
メ駆除が始まったた
り。深田は、サメ
の口を開き、サメ
のウロコを叩き
ました。」

石垣島でのサメ駆除事業の事例

→世界中でサメ駆除が問題を解決した事例はほぼ存在しない

アオウミガメの増加による漁業被害・藻場の食害

「捕食者おらず、ウミガメのパラダイス」アオウミガメ急増で食害 希少海草群生地消失の危機...沖縄・西表島

2022/06/27 15:00

📄 保存して後で読む



南西諸島を含む熱帯・亜熱帯の海に生息する絶滅危惧種のアオウミガメが近年急増し、希少な海草の食害など新たな問題が発生している。沖縄県の西表島（竹富町）では同じく絶滅危惧種いりあちての海草・ウミショウブが食い荒らされ、環境省は今年度、アオウミガメの食害対策を盛り込んだ初の計画を策定する。漁業への影響も出ており、専門家は個体数調整の必要性を指摘している。（坂田元司）

|| かつては食用



環境省がウミショウブを守るために設置した囲いの外でウミショウブを食べるアオウミガメ。枠外の葉は5センチにも満たない（いであ株式会社撮影） = 環境省提供

アオウミガメが増加



海草群落の食害



魚類の産卵場の荒廃
観光資源への影響

アオウミガメ増加の理由

- ①ウミガメの保護・保全
- ②食用利用の減少
- ③捕食者(サメ類)の減少 など

2022.6.27. 読売新聞電子版

アオウミガメの増加による漁業被害・風評の流布

ウミガメの死骸30匹超 久米島 漁業者が関与認める 刃物か、首などに刺し傷

公開日時 2022年07月16日 00:01 更新日時 2022年07月16日 12:12



#久米島

この記事を書いた人 ▶ 琉球新報社



久米島町真謝の海岸で見つかったアオウミガメの死骸や瀕死の個体=14日 (久米島ウミガメ館提供)

沖縄県久米島町真謝の沖合約50メートルの海岸で14日午後3時ごろ、30~50匹のアオウミガメの死骸や瀕死（ひんし）の個体が見つかった。鋭利な刃物で首の付け根などを刺されたとみられるカメもいた。地元の漁業関係者は「漁を守るために駆除（殺傷）せざるを得ない状況がある」と説明して、漁業者が今回の事案に関わっていることを認めた。県警は関係者から話を聞くなどして、経緯を調べている。

アオウミガメが増加



海草藻場への侵入



刺網に30尾が混獲

その後ウミガメを網から外して
投棄した漁業者に苦情が殺到

2002.7.16. 琉球新報電子版より

サメが生態系に与える影響(有明海の事例)

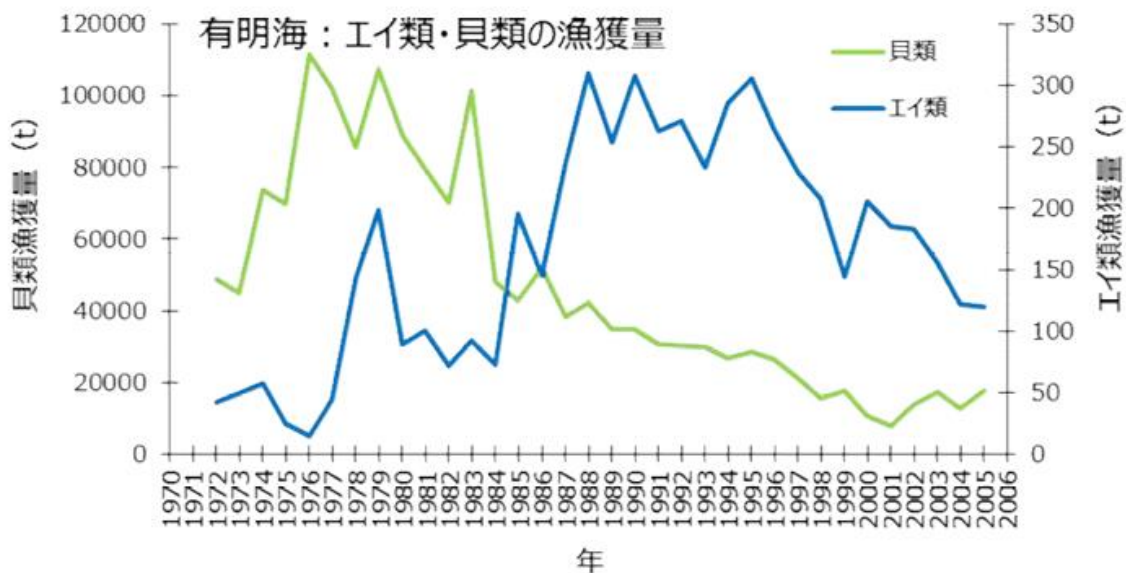
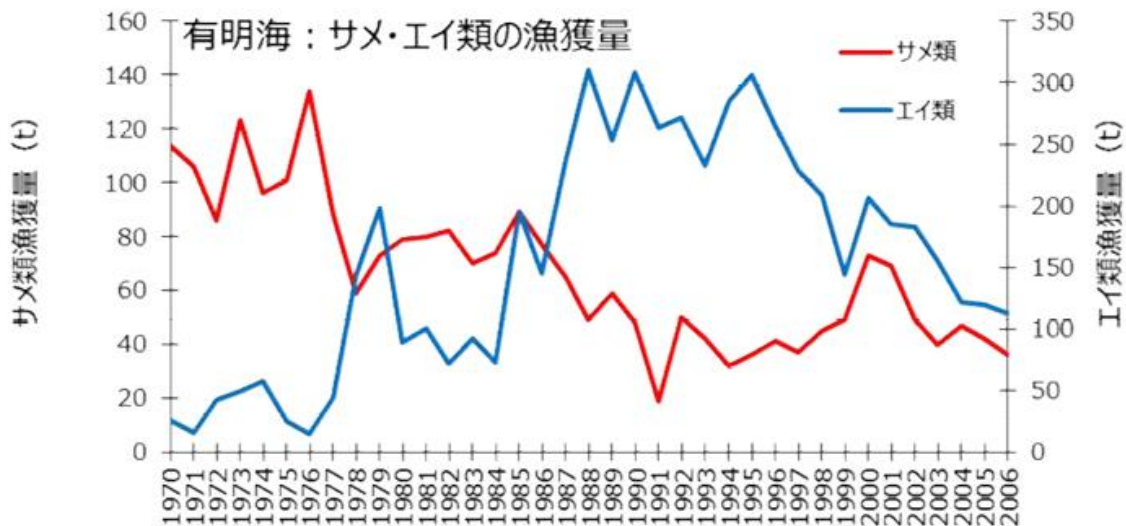


図 35 有明海におけるサメ・エイの漁獲量とエイ・貝類漁獲量

サメ類が減少
↓
ナルトビエイが増加
↓
貝類が激減(被食される)

捕食者—被食者の
バランスが重要

サメと人間の共生に向けて(漁業におけるサメの被害)

表1 八丈島周辺海域におけるサメ類の捕獲数とIUCNレッドリストカテゴリー

標準和名	学名	捕獲数		IUCN レッドリストカテゴリー
		N	%	
アカシュモクザメ	<i>Sphyrna lewini</i>	9	4.2	絶滅危惧・危機種 (EN)
ニタリ	<i>Alopias pelagicus</i>	7	3.3	絶滅危惧・危急種 (VU)
ハチワレ	<i>Alopias superciliosus</i>	1	0.5	絶滅危惧・危急種 (VU)
アオザメ	<i>Isurus oxyrinchus</i>	11	5.1	絶滅危惧・危急種 (VU)
ヨゴレ	<i>Carcharhinus longimanus</i>	19	8.8	絶滅危惧・危急種 (VU)
ドタブカ	<i>Carcharhinus obscurus</i>	18	8.4	絶滅危惧・危急種 (VU)
メジロザメ	<i>Carcharhinus plumbeus</i>	1	0.5	絶滅危惧・危急種 (VU)
シロシュモクザメ	<i>Sphyrna zygaena</i>	4	1.9	絶滅危惧・危急種 (VU)
カグラザメ	<i>Hexanchus griseus</i>	1	0.5	準絶滅危惧 (NT)
クロヘリメジロ	<i>Carcharhinus brachyurus</i>	7	3.3	準絶滅危惧 (NT)
ハナザメ	<i>Carcharhinus brevipinna</i>	2	0.9	準絶滅危惧 (NT)
ガラパゴスザメ	<i>Carcharhinus galapagensis</i>	26	12.1	準絶滅危惧 (NT)
クロトガリザメ	<i>Carcharhinus falciformis</i>	63	29.3	準絶滅危惧 (NT)
イタチザメ	<i>Galeocerdo cuvier</i>	25	11.6	準絶滅危惧 (NT)
ヨシキリザメ	<i>Prionace glauca</i>	21	9.8	準絶滅危惧 (NT)
合 計		215		

堀井ほか(2010)Nippon Suisan Gakkaishi 76(2)より

- ・駆除対象種の多くが高度な回遊を行うメジロザメ類(= 駆除効果は一時的)
- ・ほとんどの種がIUCNレッドリストに掲載されている(= 社会的な圧力を伴う)

世界と日本のサメ・エイ漁獲量の推移

Copyright (C) 2022 水産庁 水産研究・教育機構

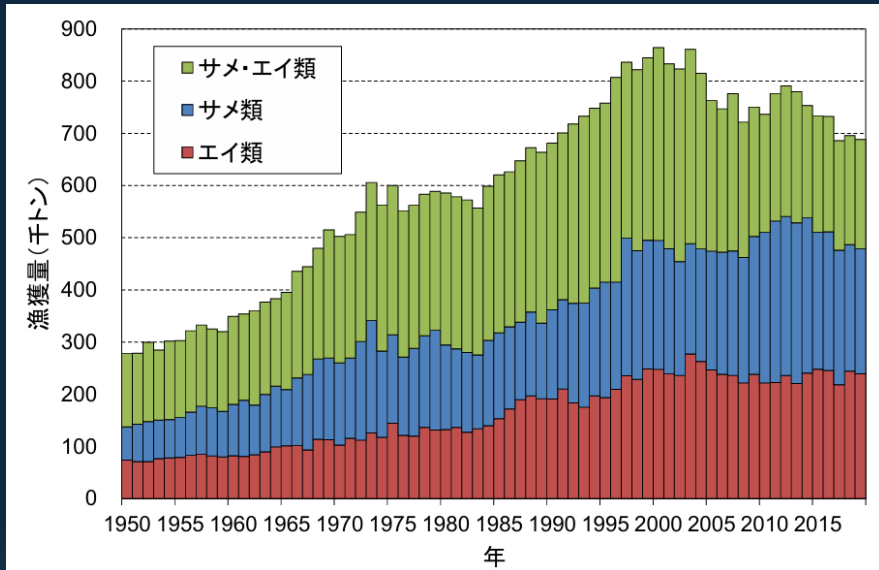


図 1. 世界のサメ・エイ類漁獲量 (1950～2019年)

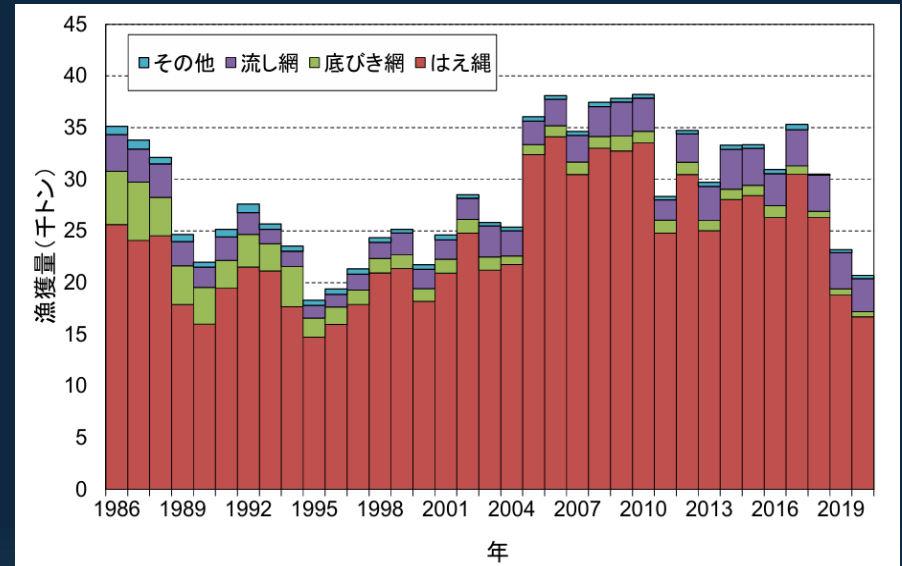


図 2. 日本の漁業種別サメ類漁獲量 (1986～2020年)

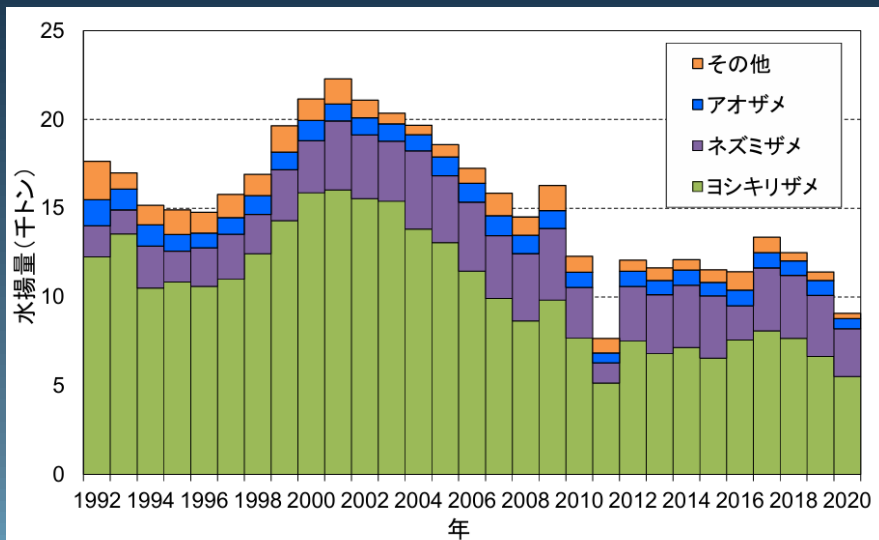


図 3. 主要港における外洋性サメ類の種別水揚量 (1992～2020年)

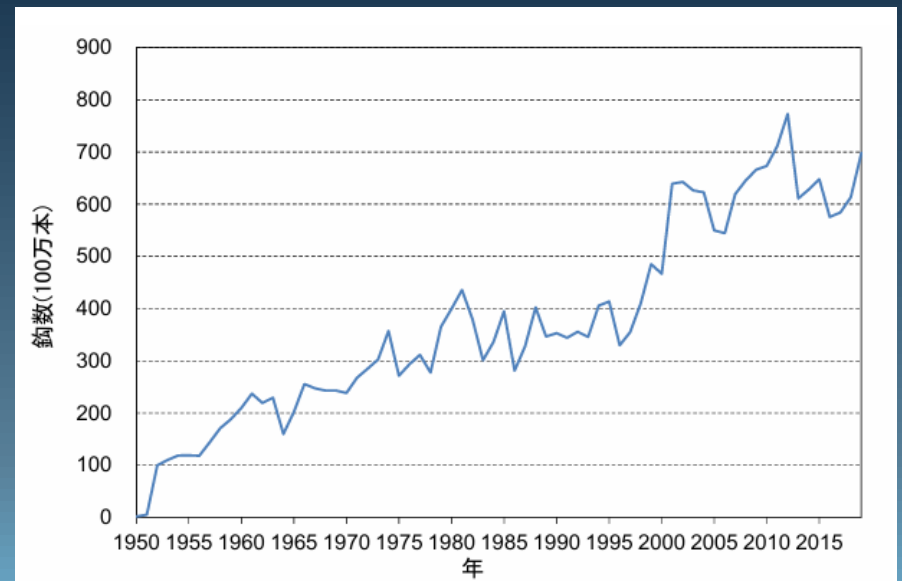


図 5. 中西部太平洋漁業国全体のはえ縄努力量 (1950～2019年)

サメによる漁業被害を低減する方法はあるのか？

1：サメの季節的な回遊や出現動向を把握する (一般に大型のサメは定住しない)

メリット：①対策費用がかからない ②持続的な手法である

デメリット：①調査に時間がかかる ②漁獲対象種によっては無効

2：サメの接近を物理的に避ける (サメを遮断するネット・忌避効果のある機材など)

メリット：①効果が実感できる ②自分の意思で対策可能

デメリット：①費用がかかる ②大型網（巻き網など）は効果が無い

3：1と2を併用

サメの電気感覚を利用した忌避装置の開発

ロレンジャーニ器官

(Ampullae of Lorenzini : AoL)

特徴

1. 軟骨魚類の頭部に密集
2. 表皮に開口する小孔・導管・肺胞状器官
3. 導管には、ゼリー状物質が充満

機能

1. 動物に由来する電場の検出
2. 地磁気の検出によるナビゲーション

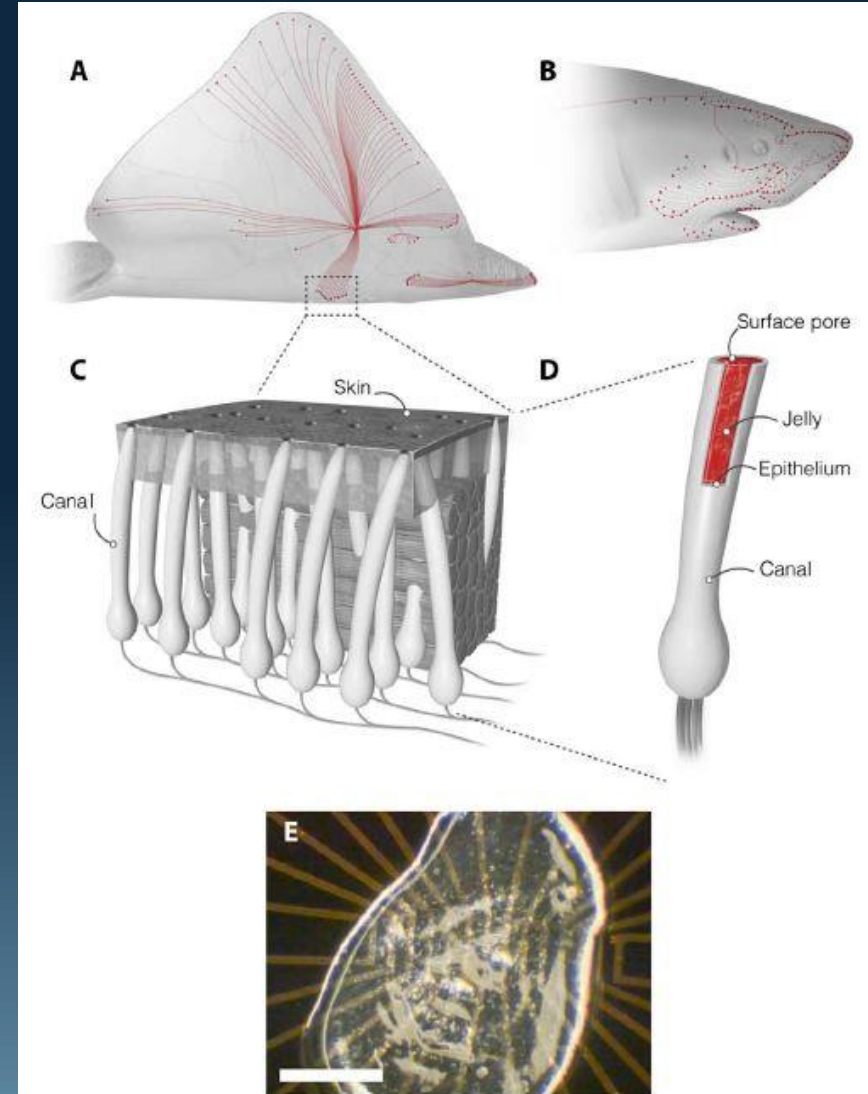


Fig. 1. The AoL. (A and B) Skates and sharks locate their prey by detecting the weak electric fields naturally generated by biomechanical activity. (C) A network of electrosensory organs called the AoL is responsible for this

Kalmijn (1971) による捕食実験

(a) 砂中に生きたカレイを隠した場合

(b) 生きたカレイを寒天に入れて砂中に隠す

(c) カレイの切り身を寒天に入れて砂中に隠す

(d) 生きたカレイを寒天に入れてその上をプラスチックフィルムで覆う

(e) 双極電場を砂中に隠す

(f) 電極と切り身を1つずつ置く

→ (a) (b) (c) (e) (f) それぞれに反応

(d) 電場と臭いを遮断すると反応しない

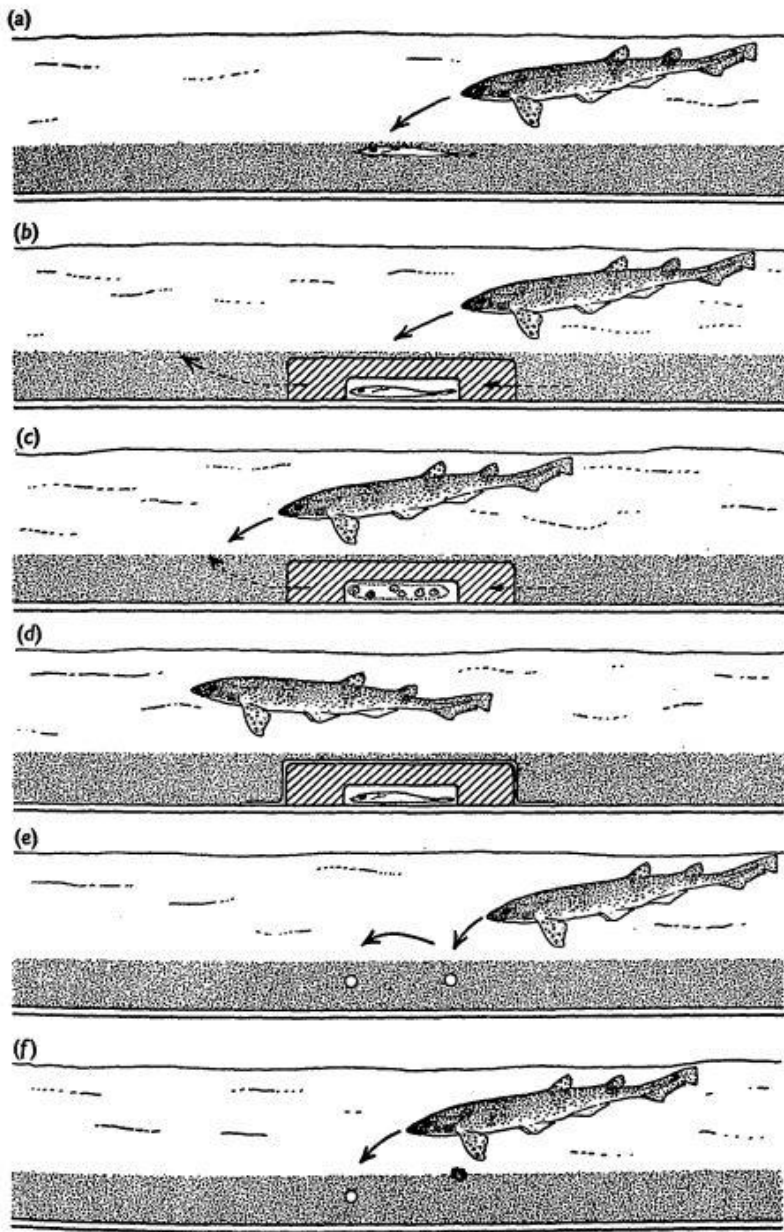
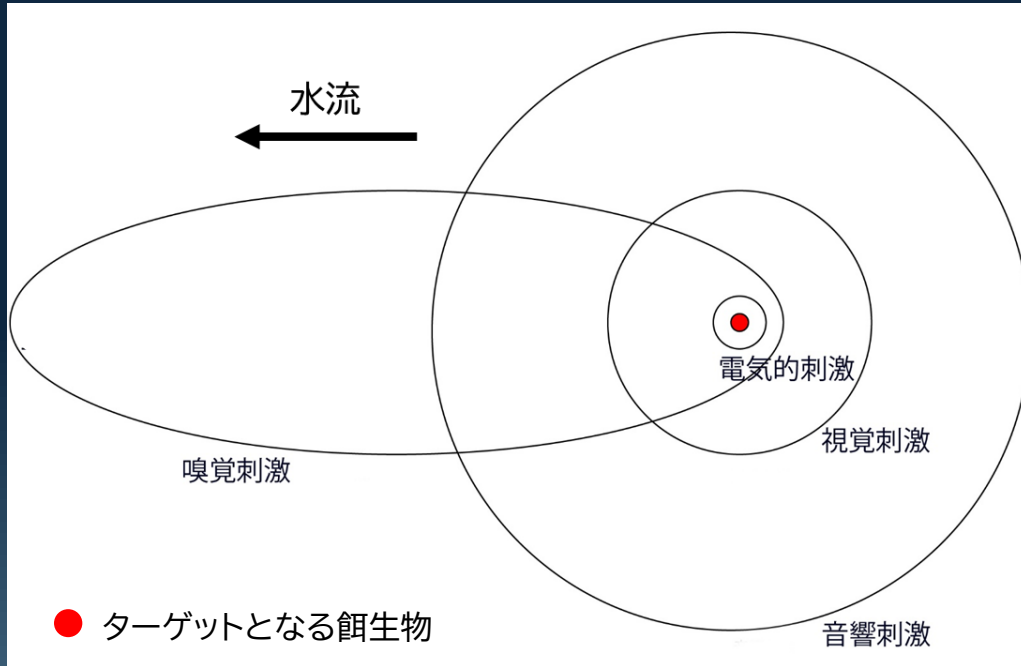


Fig. 2. Feeding responses of the shark *Scyliorhinus canicula* to (a) plaice under sand, (b) plaice in agar chamber, (c) pieces of whiting in agar chamber, (d) plaice in agar chamber covered with plastic film, (e) electrodes producing electric dipole field, and (f) piece of whiting and electrodes (only one shown). Agar chamber not to scale; compare with Fig. 1. Solid arrows: responses of shark; dashed arrows: flow of sea water through agar chamber. For discussion, see text.

サメの電気感覚を利用した忌避装置の開発



刺激に対する応答とその距離関係

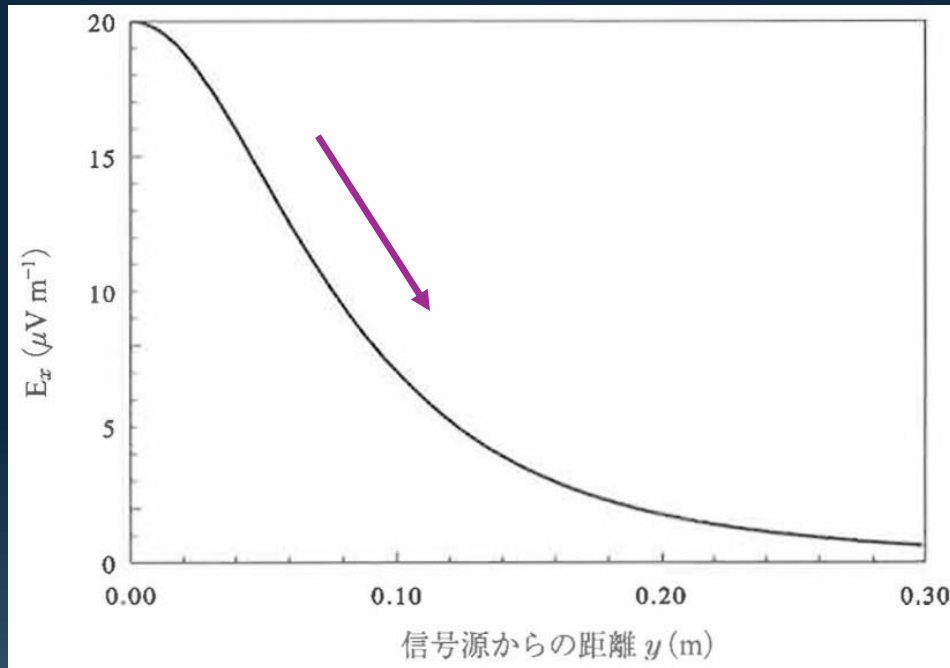
音響・嗅覚(水流に依存)刺激

↓
視覚刺激

↓
電気刺激

* 電気的刺激は最も応答範囲が狭い
(~数十cm)

なぜサメは遠くの電場を検出できないのか？



双極子信号源が作り出す電場の強さは信号源からの距離とともに小さくなる。信号源の2つの球を結ぶ線の中央から、垂直方向に諮った高さでの電場の強さを示している。

(引用:生物学のための水と空気の物理より)

サメが検知できる電気的信号は、信号源からの距離の6乗に逆比例する
⇒信号源からの距離が2倍になると、電気信号は1/64となる。

電気的刺激によるサメ除け器具は・・・

サメが数十センチに接近して初めて効果が得られる

ロレンチーニ器官に含まれるゼリーのプロトン伝導性

BIOPHYSICS

Proton conductivity in ampullae of Lorenzini jelly

Erik E. Josberger,^{1,2} Pegah Hassanzadeh,^{2,3} Yingxin Deng,² Joel Sohn,^{3,4}
Michael J. Rego,⁵ Chris T. Amemiya,^{5,6} Marco Rolandi^{2,3*}

2016 © The Authors, some rights reserved; exclusive licensee American Association for the Advancement of Science. Distributed under a Creative Commons Attribution NonCommercial License 4.0 (CC BY-NC). 10.1126/sciadv.1600112

In 1678, Stefano Lorenzini first described a network of organs of unknown function in the torpedo ray—the ampullae of Lorenzini (AoL). An individual ampulla consists of a pore on the skin that is open to the environment, a canal containing a jelly and leading to an alveolus with a series of electro-sensing cells. The role of the AoL remained a mystery for almost 300 years until research demonstrated that skates, sharks, and rays detect very weak electric fields produced by a potential prey. The AoL jelly likely contributes to this electro-sensing function, yet the exact details of this contribution remain unclear. We measure the proton conductivity of the AoL jelly extracted from skates and sharks. The room-temperature proton conductivity of the AoL jelly is very high at 2 ± 1 mS/cm. This conductivity is only 40-fold lower than the current state-of-the-art proton-conducting polymer Nafion, and it is the highest reported for a biological material so far. We suggest that keratan sulfate, identified previously in the AoL jelly and confirmed here, may contribute to the high proton conductivity of the AoL jelly with its sulfate groups—acid groups and proton donors. We hope that the observed high proton conductivity of the AoL jelly may contribute to future studies of the AoL function.

室温におけるプロトン伝導度 → 2 ± 1 mS/cm
(最新の人工素材Nafionのわずか40倍低い値)

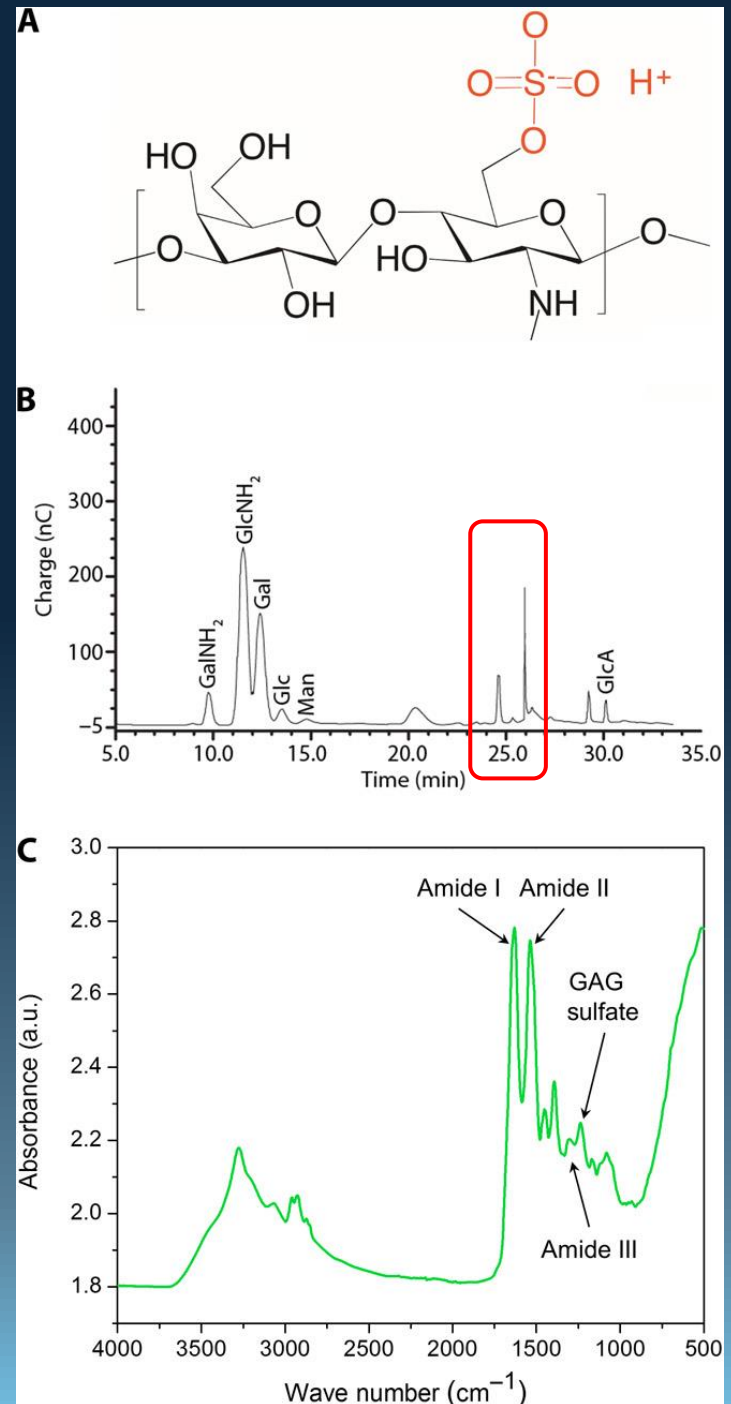
Josberger EE et al. (2016) DOI: 10.1126/sciadv.1600112

右図

A: プロトン伝導体となるケラタン硫酸の構造

B: ゼリーの組成分析

サメやエイは 5 nV/cm の電場の変化を検出可能



電気感覚を利用したサメ避け器具の開発

①サメの餌に対する反応(電流OFF)



海園の模型を配置。出力無し。

電気感覚を利用したサメ避け器具の開発
②サメの餌に対する反応(電流ON)



サメ被害軽減装置



マグロ釣り用(リング)



養殖網用忌避装置

サメとヒトの未来について(まとめ)

1. 海洋汚染(海洋ごみ問題をふくむ)

2. 地球温暖化(海水温の上昇など)



サメの分布の変化
食性の変化

3. 人口増加による漁獲圧の増加



少産・長寿命のサメは資源回復が困難

- ・サメの資源回復力は脆弱であり、資源管理が不可欠
- ・サメの混獲を避ける科学的手法が求められる