

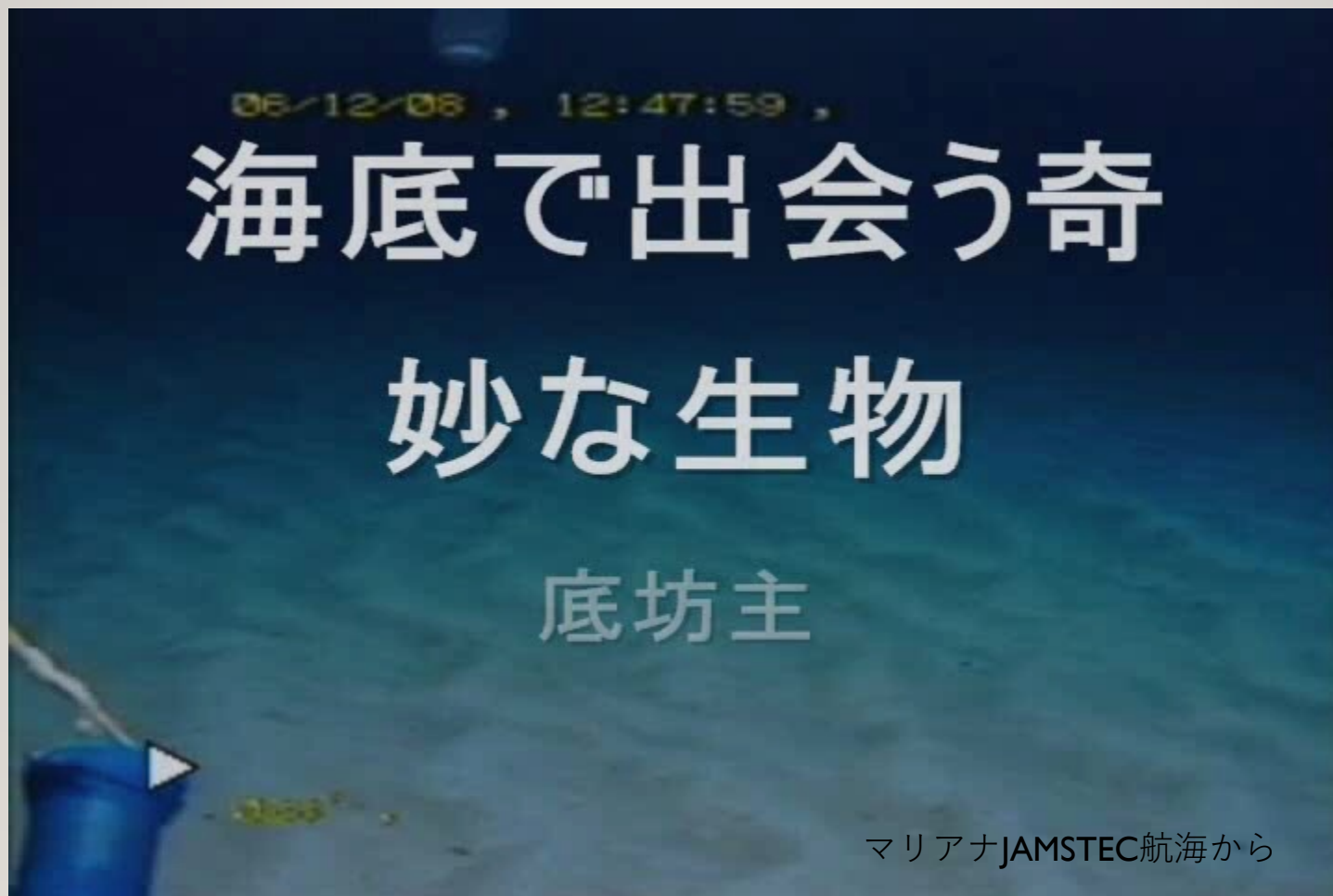
はじめて学ぶ海洋学 第D7回

深海魚の形の謎を探る

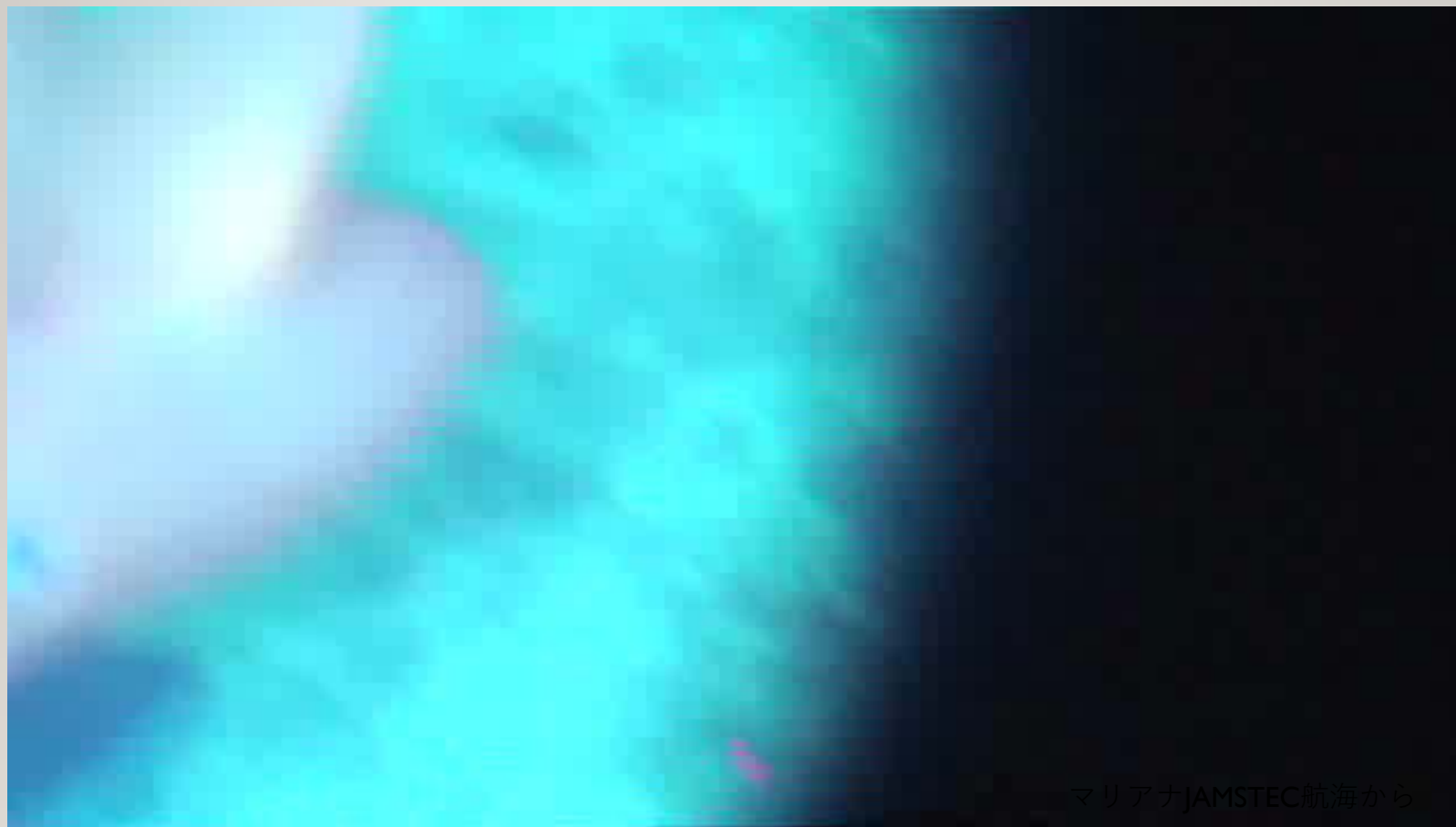
教科書対応箇所 「第3.3章 深海魚の奇抜な形はどのように決まったか」
p. 101 ~ p. 110

yokose@kumamoto-u.ac.jp

深海底で出会う、魚達



魚だけではなく、いろいろな生物がいます。



2009年に遭遇した、十字ダコ（英名：ダンボオクトパス）

深海無生物説

- イギリスの博物学者であるエドワード・フォーブス（**Edward Forbes**）は、**1839**年に行った調査船による観測結果を元に、深海（**300**ファゾム＝水深**548m**以深）には生物が存在しないという「深海無生物説」を提唱した。
- この説を決定的に否定したのは、**1872**年から**1876**年にかけて行われた英国海軍のチャレンジャー号による世界一周探検航海である。この航海による膨大な海洋学的研究成果がきっかけで、深海魚研究の歴史も幕を開けた。



http://en.wikipedia.org/wiki/Edward_Forbes

そもそも深海魚とは？

- **深海魚**（しんかいぎょ、英: **Deep sea fish**）は、深海に生息する魚類の総称。一般に、水深**200m**より深い海域に住む魚類を深海魚と呼んでいる。ただし、成長の過程で生息深度を変える種類や、餌を求めて大きな垂直移動を行う魚類も多く、「深海魚」という用語に明確な定義が存在するわけではない。

『尼岡著：深海魚』より

生息水深の物理的意味



- **補償深度**(compensation depth) :
補償深度は、植物の光合成による酸素生産量と呼吸による消費量がつりあう場所。経験的には、表面の太陽エネルギー(100%)が1%までに減衰する深度と考えられている。
- **有光層**(euphotic layer): 補償深度よりも浅い部分(外洋で200m前後)
- **薄光層や透光層 (disphotic zone)** (外洋で200~1000m程度)
- **無光層**(aphotic layer): 補償深度よりも深い部分(外洋で1000m以深)

日本では用語の混乱があるので、注意が必要

DEEP SEA FISH: WIKIPEDIA

- **Deep sea fish** is a term for any fish that lives below the photic zone of the ocean. The lanternfish is, by far, the most common deep sea fish. Other deep sea fish include the flashlight fish, cookiecutter shark, bristle mouths, anglerfish, and viperfish.
- Lanternfish (ランタン魚) : ハダカイワシ
- Flashlight fish (フラッシュライト魚) : ヒカリキンメ
- Cookiecutter shark (クッキーカッター鯨) : ダルマザメ
- Bristlemouths (ブリストルマウス) : ヨコエソ口に剛毛 (bristle) のような歯を備えることに由来
- Anglerfish (アングラール魚) : アンコウ目
- Viperfish (バイパー魚) : ワニトカゲギス

毒蛇 (Viper)

LANTERNFISH

(ランタン魚) : ハダカイワシ 等



FLASHLIGHT FISH

(フラッシュライト魚) : ヒカリキンメ 等

- 美ら海水族館：ヒカリキンメ



目の下の発光器を使って
仲間とのコミュニケーション
を行っているらしい。



COOKIECUTTER SHARK

(クッキーカッター鯨) : ダルマザメ

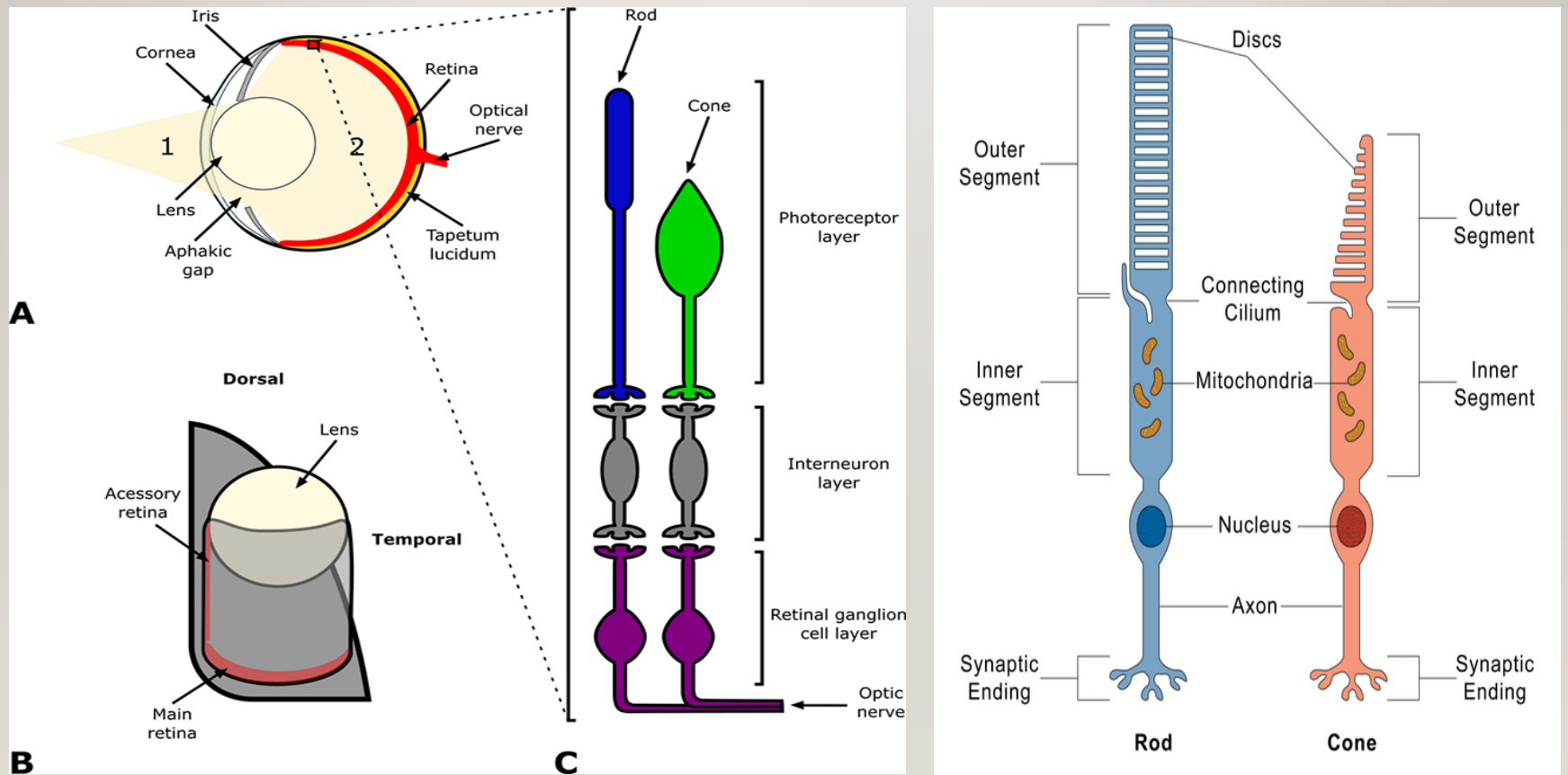


クッキーカッターシャークに剥ぎ取られたマグロの表皮



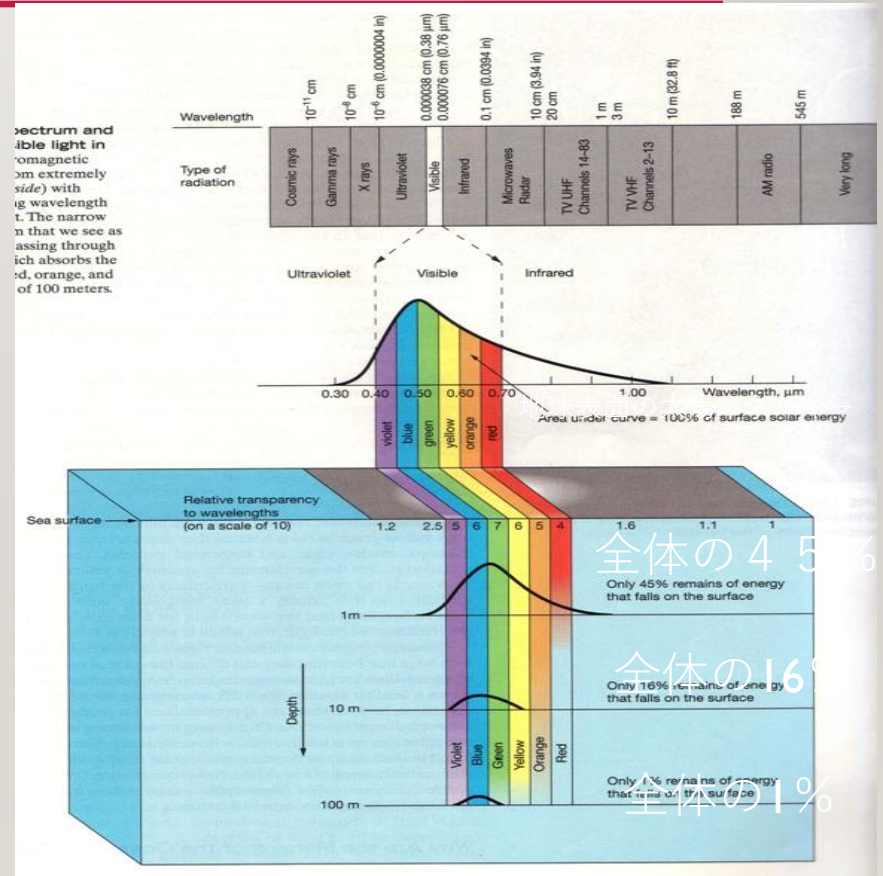
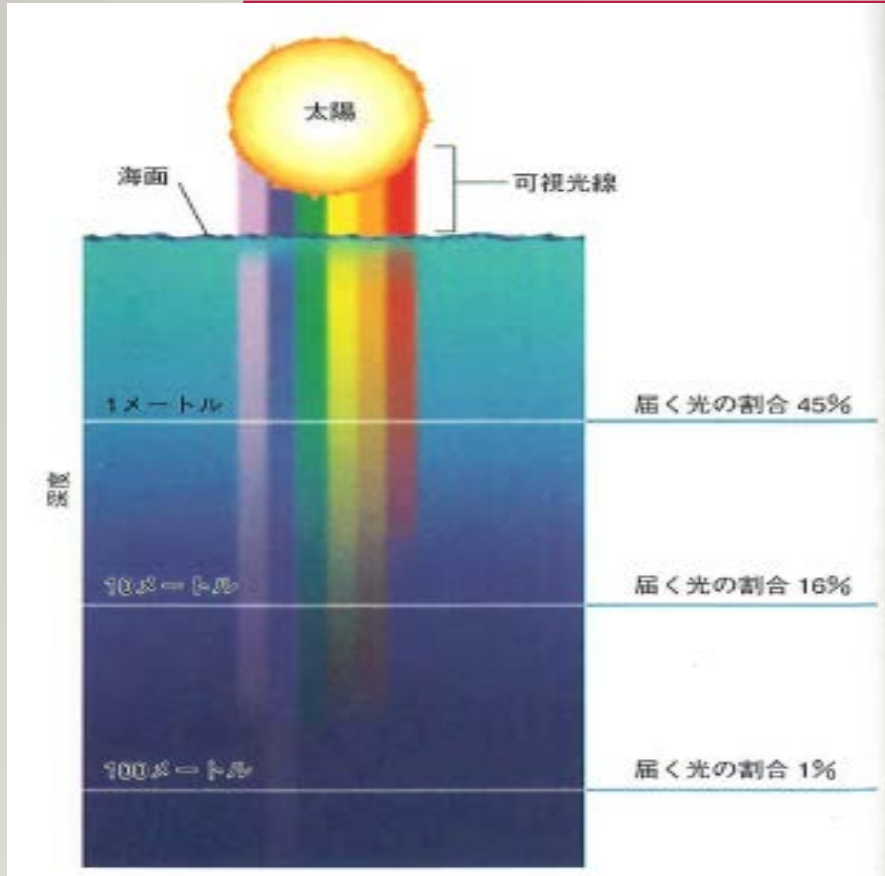
深海に棲むサメは生きている時の眼が非常にきれいでエメラルドグリーンに輝いています。これは網膜の裏側にタペータム層というグアニンで作られた銀色の器官があるためで弱い光刺激を増幅して感じ取るための機能。青や緑を反射しやすくなっている。

深海魚は、目が良いのか悪いのか



桿体細胞（光の強弱）と錐体細胞（色の識別）

海中を遠くまで進むことのできる エメラルドグリーン色の光



色を見分けられる(?) 深海魚



COVER The tube-eye (*Stylephorus chordatus*) is one of several species of deep-sea fish to have expanded its repertoire of rhodopsin genes to maximize visual sensitivity and, possibly, color detection. In the deep sea, multicolored bioluminescence replaces surface illumination as the main source of light. Many fishes that reside at great depths have evolved a visual system for recognizing bioluminescent signals and perceiving color in the dark. See pages [520](#) and [588](#).

Photo: Danté Fenolio/DEEPEND/Gulf of Mexico Research Initiative

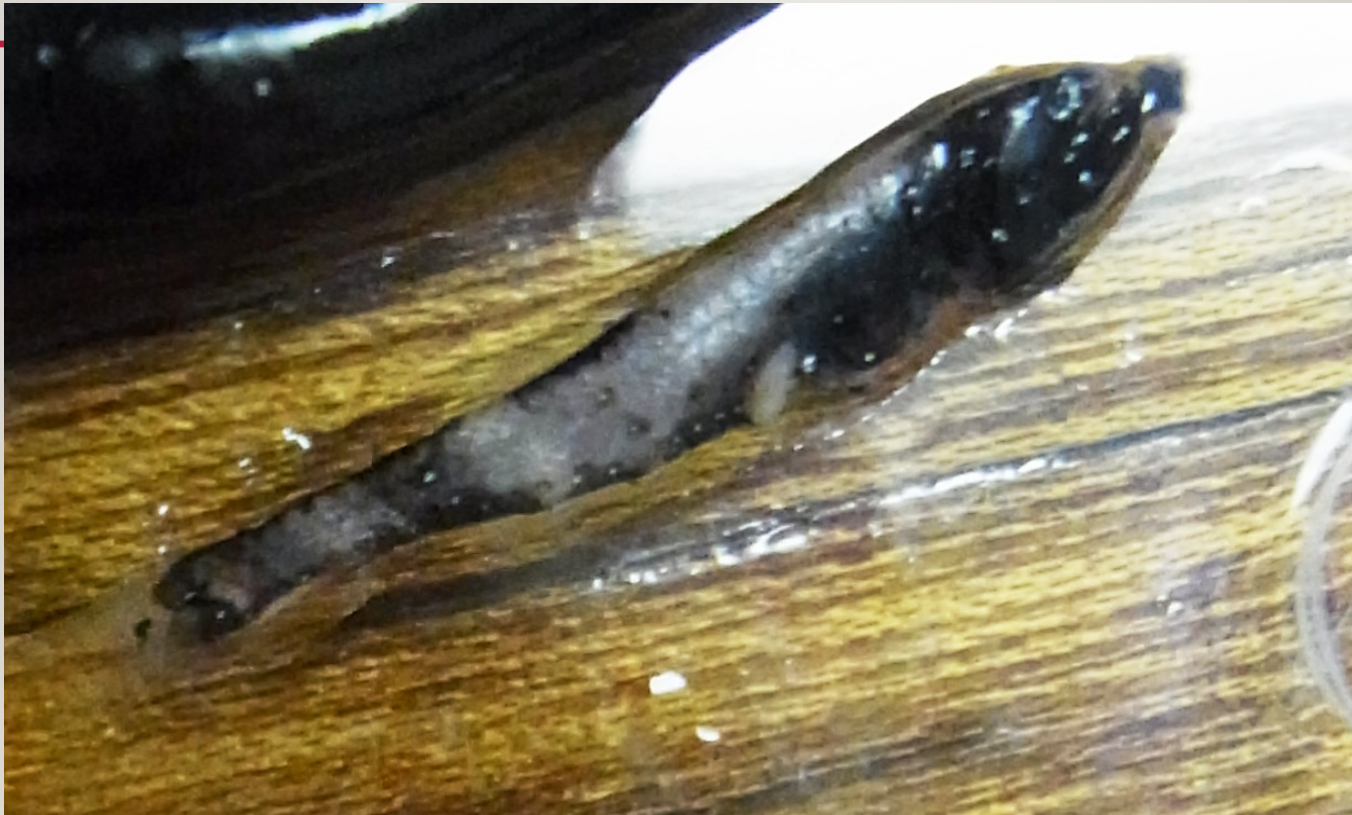
“Vision using multiple distinct rod opsins in deep-sea fishes”

SCIENCE 2019 : 588-592 より

<https://science.sciencemag.org/content/364/6440>

BRISTLEMOUTHS

(ブリストルマウス) : オニハダカ



オニハダカ属は、地球上の脊椎動物として最大の個体数をもつ一群と考えられている。

ワニトカゲギス目トカゲハダカ科



深海魚の和名にある~~ハダカとは？

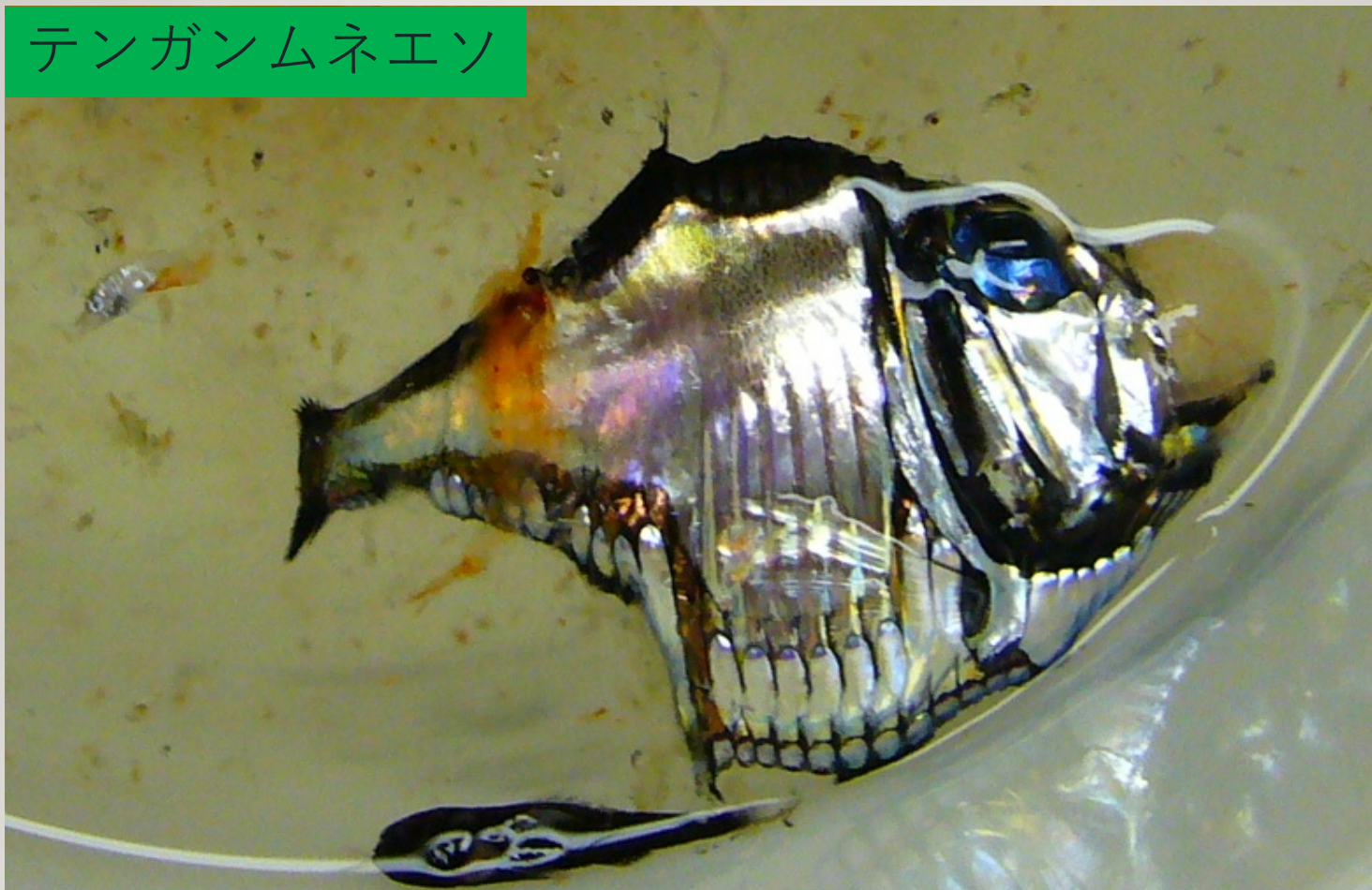


深海魚は、表皮がはげやすいため~~ハダカという名前が多い

MARINE HATCHETFISHES

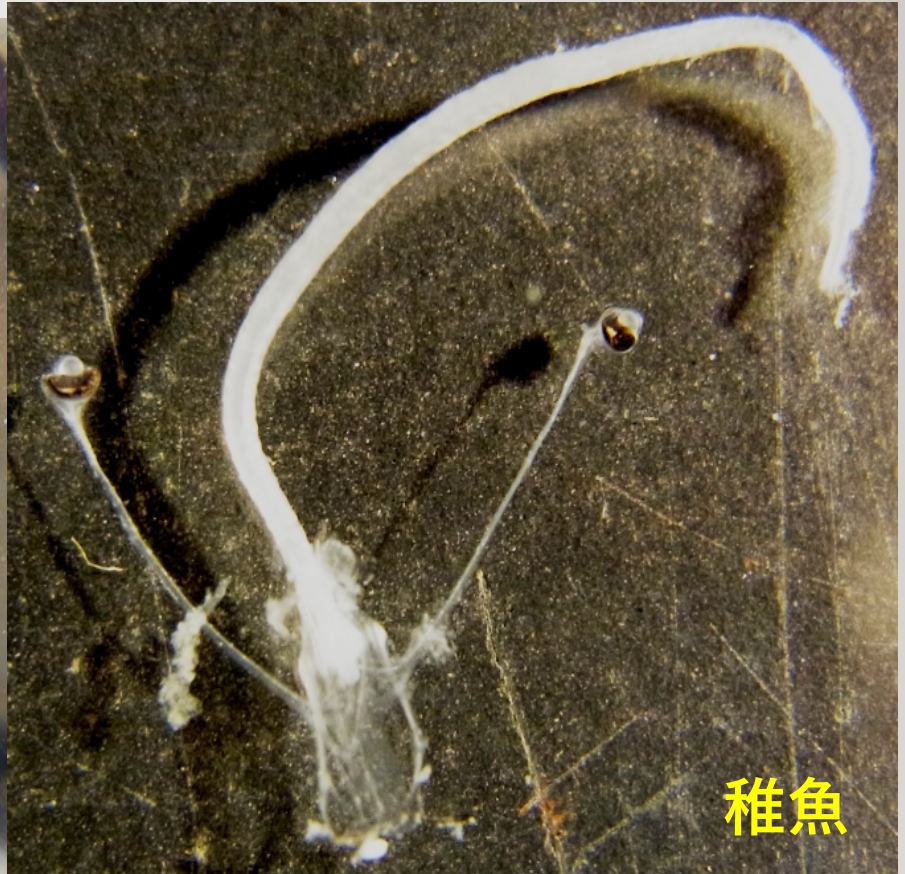
(海の手斧魚) : ムネエソ科

テンガンムネエソ



VIPER FISH (直訳：毒蛇魚)

ワニトカゲギス目ミツマタヤリウオ科



ANGLERFISH

(アングラー魚) : アンコウ目

REALPLAYER



よく見るアンコウ類



ミドリフサアンコウ
：水深 90－500m



アカグツ：1500~3000mに達することがある。
アンコウ：水深30－500m、砂泥底

VIPERFISH

(バイパー魚) : ワニトカゲギス



アカマンボウ目フリソデウオ科？



幼魚のころは、表層のプランクトンを食べて大きくなり、成長すると水深200-1000mで生活するようになる。全世界の外洋に分布する。リュウグウノツカイは硬骨魚類の中では最大の長さ（8m程度）に成長する種類で、日本の海岸にもまれに漂着することがある。

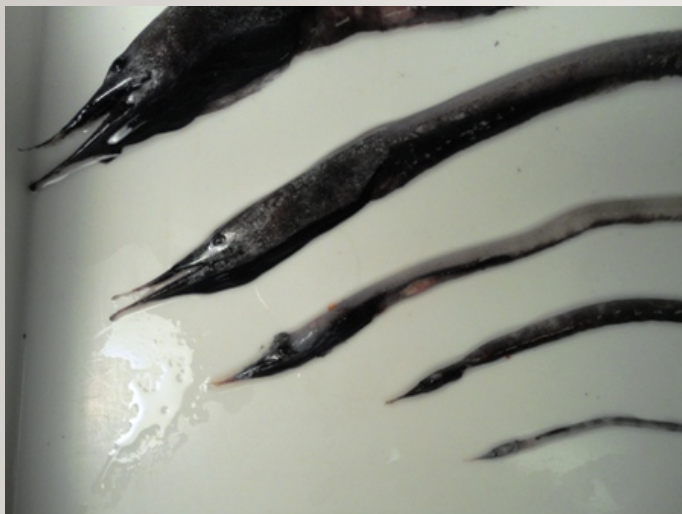
地震魚の一種：サケガシラ



リュウグウノツカイと同様に、地震や嵐の後に打上げられることが多く、地震の前兆現象ではという都市伝説もある。そのため、これらの魚は地震魚と呼ばれることもある。

サケガシラ（裂頭 学名 *Trachipterus ishikawae*）は条鰭綱アカマンボウ目フリソデウオ科の魚類の一種。沖合いの中層水深200～500mに生息。

ウナギ目ノコバウナギ科



水深300から1800mに生息：深海にはウナギ目の魚がたくさんいる。



ウナギ目の仔魚は、透明なゼラチン質

深海魚の生息環境

- 暗い 200m以深で光量は1%
以下、1000m以深では
ほぼゼロ%
- 冷たい 水温は数度~1°C
- 高圧 水圧20~1000気圧

深海魚の形は生き抜くための知恵である。

1. 泳がなくても沈まないようにする。

泳ぐには、エネルギーが必要となる。食料のあまりない深海では浮きも沈みもしない状態で獲物を待つ方が合理的。

そのため生息水深に合わせて中性浮力を獲得する。

2. 敵に見つからないようにしつつ、伴侶を探す。

カモフラージュとコミュニケーション

3. めったにありつけない食料を確保する。

歯が発達し、胃袋が大きくなった。

浅海の魚と浮力調整の方法が違う

中性浮力の獲得方法（教科書105～107p. 参照）：

高密度組織を減らす：骨・軟骨・筋肉を減らす。

浮力を獲得する：低比重の水分と脂肪分を蓄える。

- 高圧のため、浅海魚のようにガス交換による浮き袋が使えない。深海魚は、浮き袋を丈夫な素材にし、内容物をワックスや脂肪で満たしていることが多い。そのため深海魚は概して脂分が多い。代表は、サメやエイといった軟骨魚類は、浮き袋を持たない代わりに、脂肪で満たされた大きな肝臓を持っている。
- （因みに、釣り上げられて胃袋や目玉が飛び出している魚は、浮袋で浮力調整できるくらいの深さに生息する魚で、深海魚ではないことも多い）

海洋生物の発光

- 深海生物の大多数は発光する。
- 500m以深に住む魚類の90%、
- 十脚類（エビ・カニ類）の40-80%（水深500-1,000m）、
- オキアミ類の99%（表層-1,000m）、
- カイアシ類の20-30%（表層-1,000m）（すべて種数ではなく個体数での割合）。

『深海の生物学』より

生物発光のしくみ

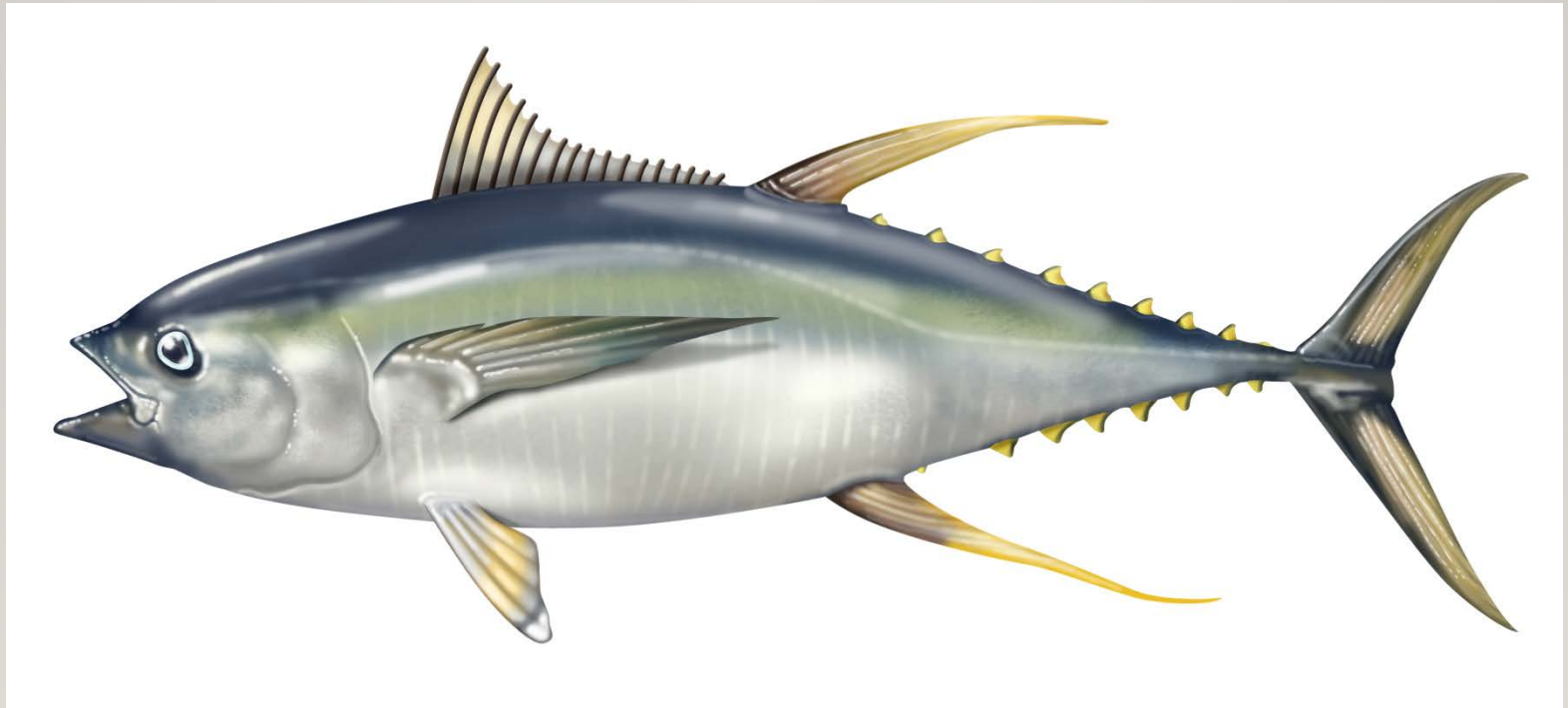
- **ルシフェリン・ルシフェラーゼ反応**
- **ルシフェリン**：ルシフェラーゼによって酸化されて発光する物質の総称。**発光素**とも言う。ルシフェリンの基本骨格はイミダゾピラジノンであり、多くの互変異性体がある。ルシフェリンの生合成には、イソロイシン、アルギニン、トリプトファンの三種のアミノ酸が含まれる。
- **ルシフェラーゼ**：発光バクテリアやホタルなどの生物発光において、発光物質が光を放つ化学反応を触媒する作用を持つ酵素の総称である。**発光酵素**とも呼ばれる。

生物発光の目的：暗闇で生き抜く知恵

- カモフラージュ：カウンターシェーディング
- 捕食：口の中やルアーの先端を光らせて、餌となる魚をおびき寄せる。目の周りにある発光器を使って、サーチライトのようにして餌を探す。
- コミュニケーション：発光パターンを使ってコミュニケーション
- 防衛：発光液を吐き出して逃げる

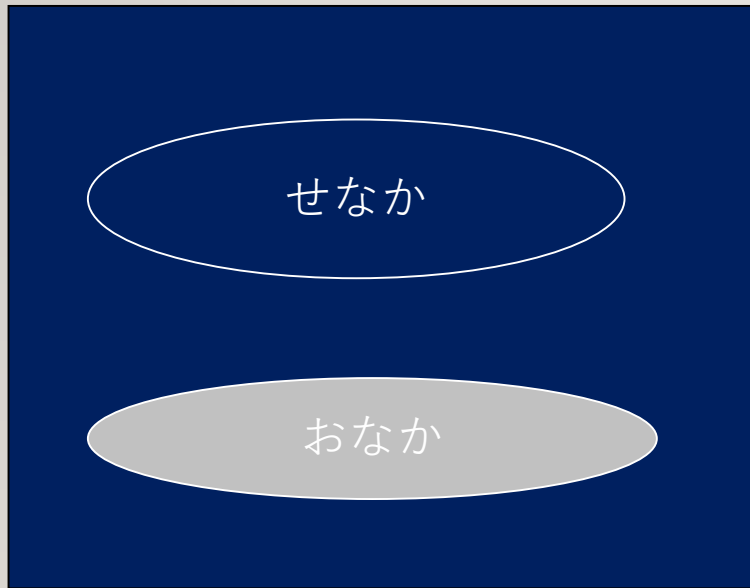
食べられないための戦略：魚の色と身の隠し方

- Countershading (camouflageの一種)

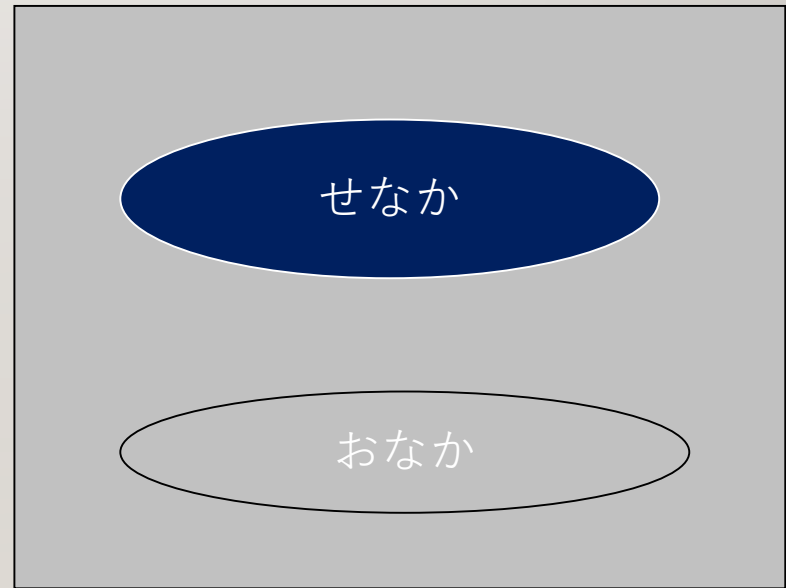


青物魚のカモフラージュ

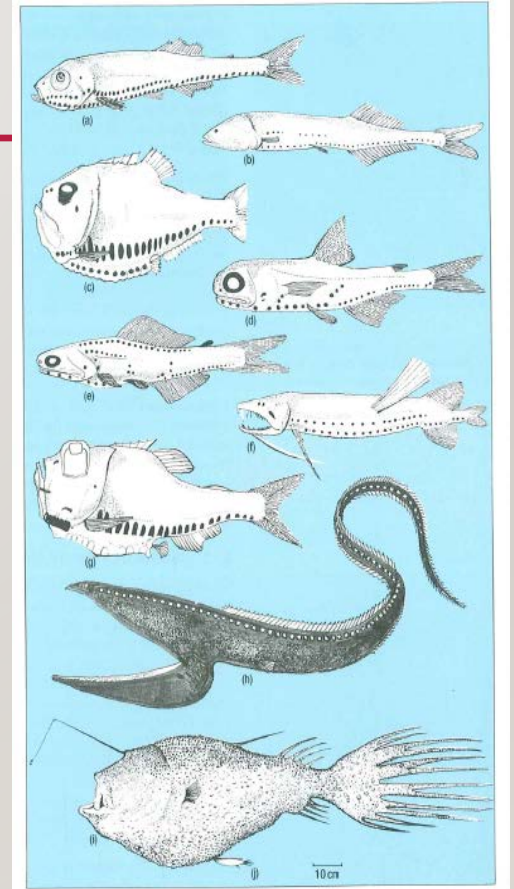
海面から見下ろす場合



海中から見上げた場合



深海魚の発光器も同じ役割



比較的深い宙層を主に遊泳する魚達は、日中のかすかな光に自分の影を出さないように発光器を使ってカモフラージュしている。

水深**400M**以浅で深海魚採集に挑戦
果たして、深海魚はたくさん採取できるか？



夜間に大型プランクトンネットを使う



1 時間ほど曳網しても魚の少ない黒潮ではこの程度



プランクトンネットによる採集



プランクトンだけではなく深海魚も上にあがってきます



少ない食料を獲得する戦略



図 40 フウセンウナギの摂餌前 (荒井・上野 1980 より) と満腹時 (Norman 1963 より略写)

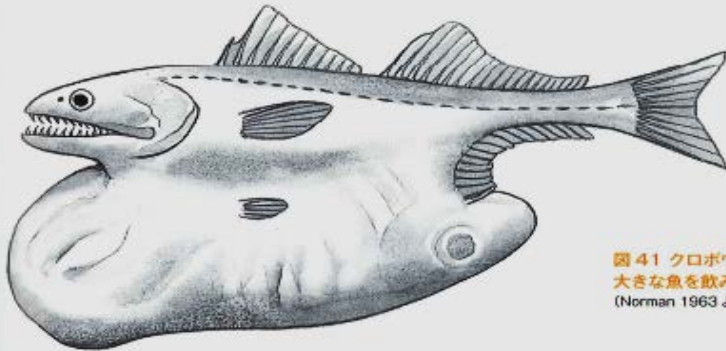


図 41 クロボウズギス類が大きな魚を飲み込んだところ (Norman 1963 より略写)

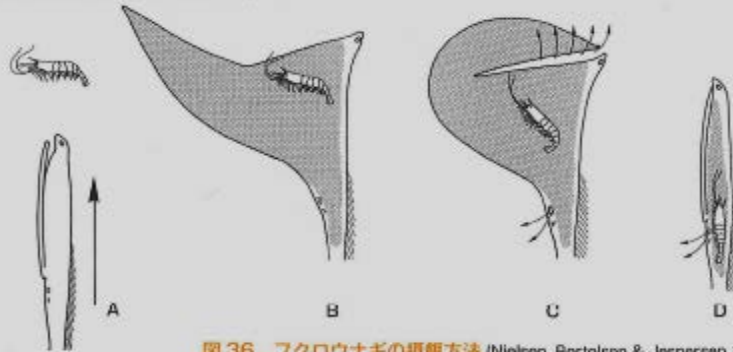
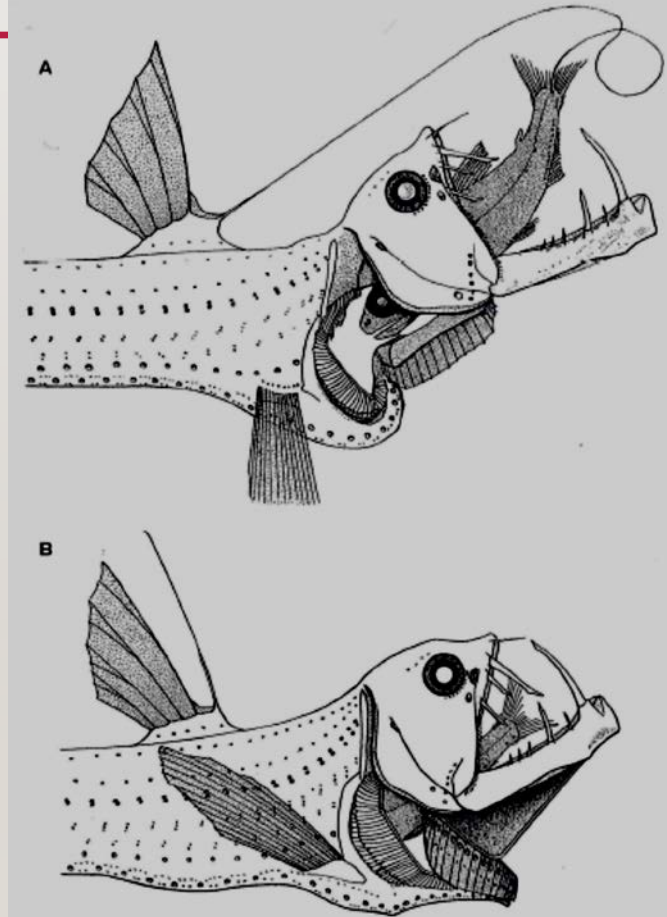


図 36 フクロウナギの摂餌方法 (Nielsen, Bertelson & Jespersen 1989 より)



海底熱水活動地域のバクテリアを 餌にする深海熱水域の生物達

ゴエモンコシオリエビ

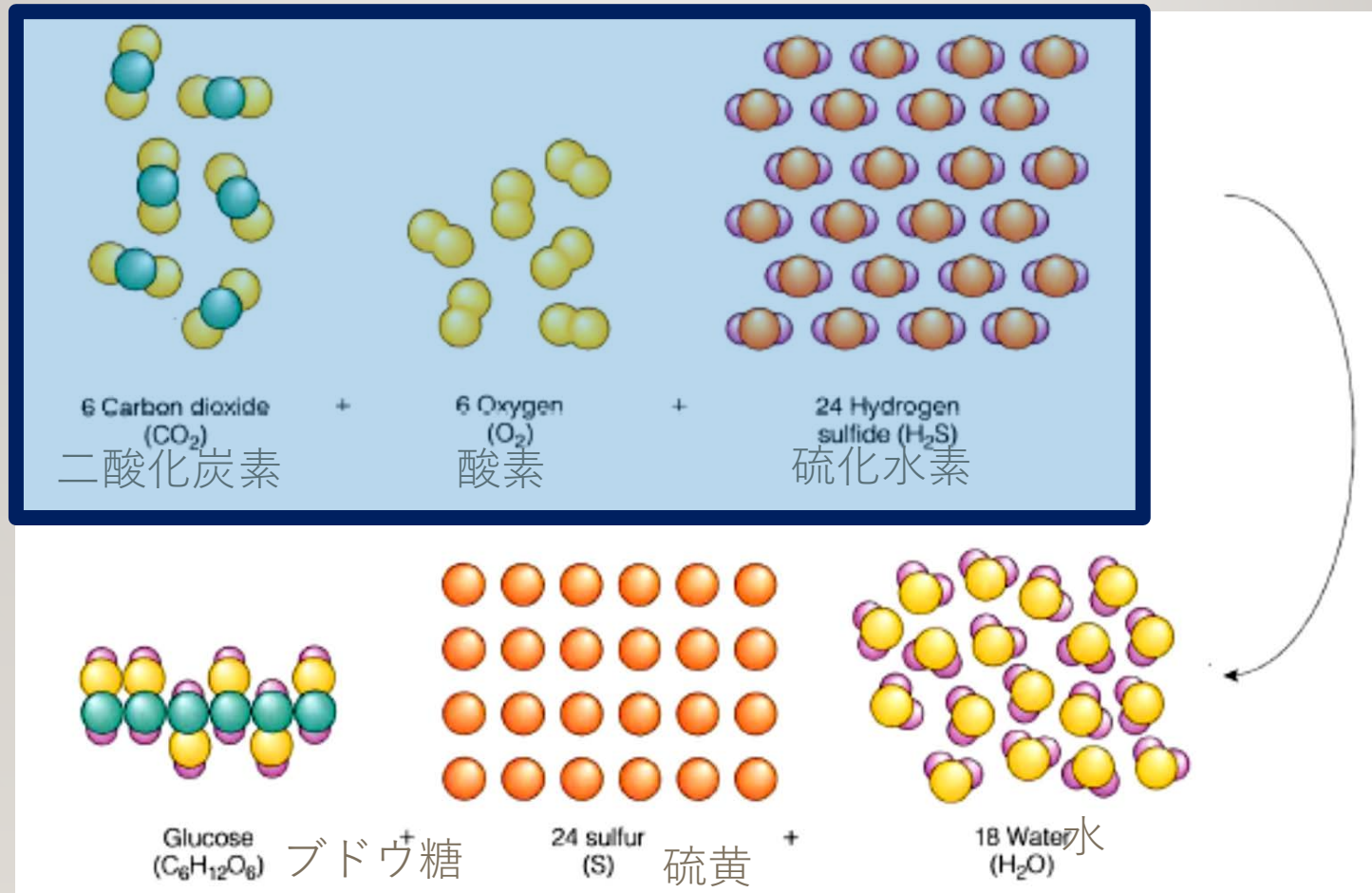


シンカイヒバリガイ



ゴエモンコシオリエビ腹部剛毛

化学合成：化学反応エネルギーを使って有機物を確保



深海魚をおもちゃにしない！

基本的には過酷な環境を何とか生き抜くために形を変えた動物たちが、深海の生物です。特に大きな深海魚は**20歳**以上で、中には**100歳**を超える魚もいるようです。（教科書 110ページ参照）

数十年かけてやっと大きくなった魚を、テレビでは面白がって釣り上げて、適当に調理して殺してしまいますが。。。

講義を聞いて、皆さんどう思いましたか？



エネルギーの受け渡し

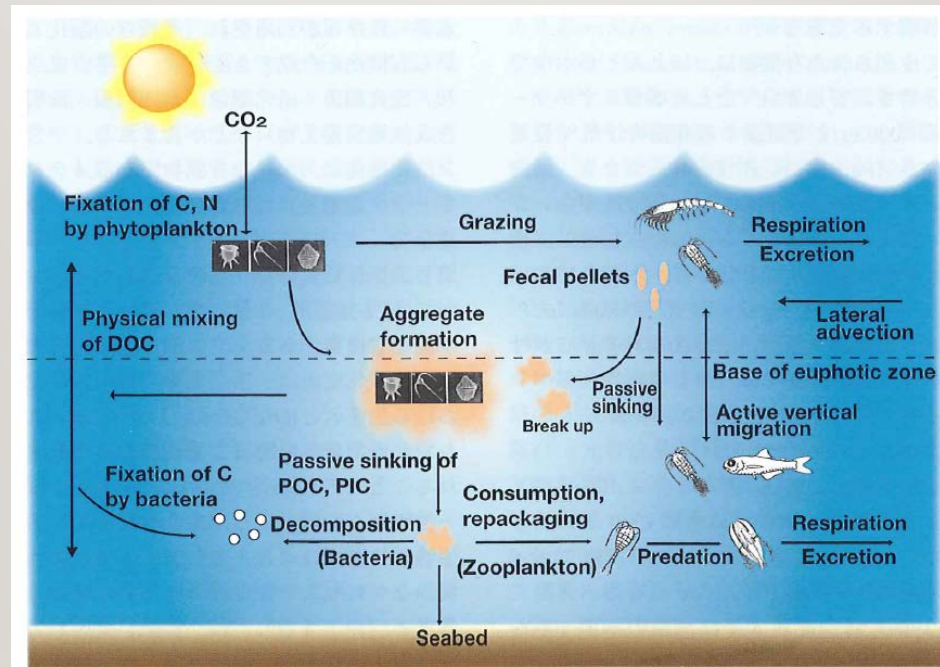


Fig. 2.14. 生物ポンプのダイアグラム. De la Rocha (2006)を改変. Diagram of the biological pump. Modified from De la Rocha (2006).

日周鉛直移動

- 昼間は深海に住む魚が、夜間に餌を求めて浅海に移動することを日周鉛直移動（英：**diel vertical migration**）と呼び、中深層遊泳性の深海魚に多くみられる特徴である。
- 深海魚に限らず、ヤムシやカイアシ類などの動物プランクトン、サクラエビなど多くの深海生物が日周鉛直移動を行う。
- 日周鉛直移動を行う深海魚は比較的発達した浮き袋をもち、一部の種類では鉛直移動に伴う水圧の変化に対応するため、空気の代わりに脂肪を蓄えるなどの適応がみられる

植物プランクトン (PHYTOPLANKTON)

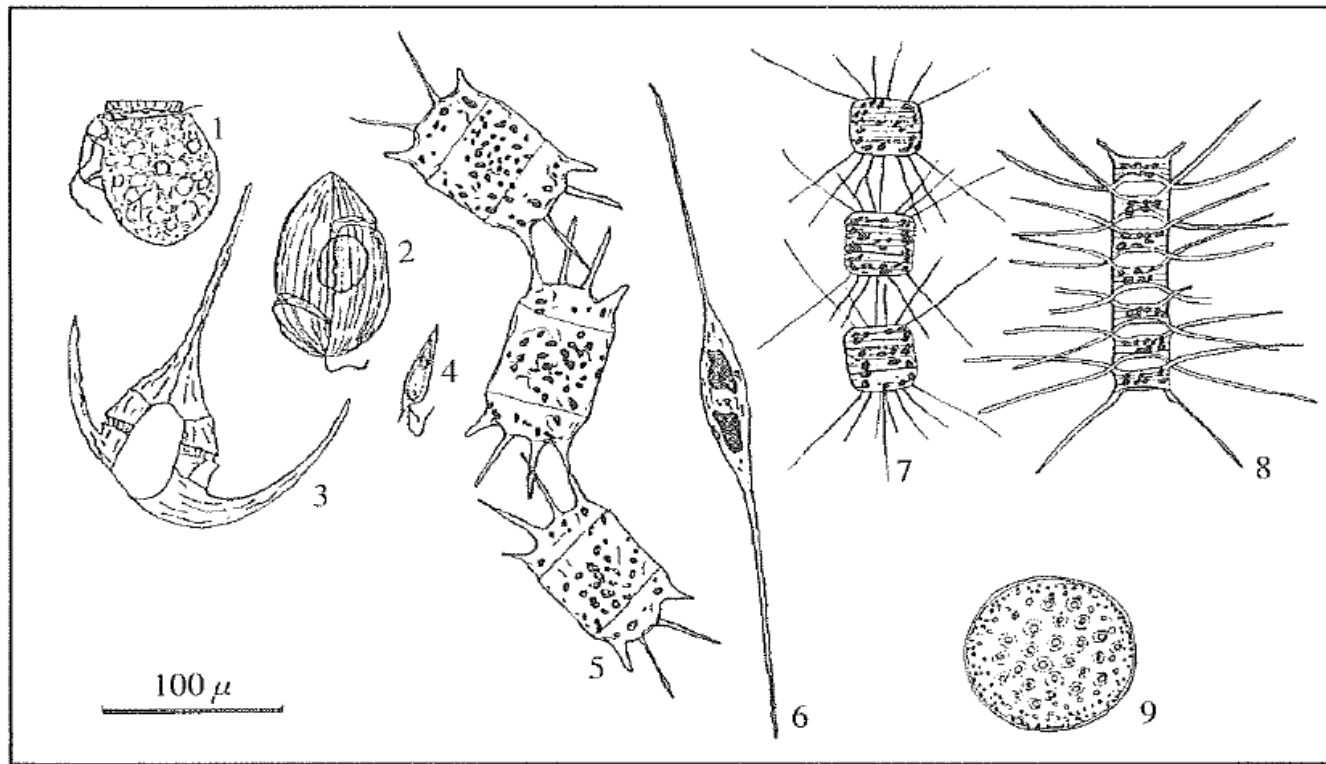


図 8-3 小型植物プランクトンの例 (Wailes, 1939; Cupp, 1943)

渦鞭毛藻類: *Dinophysis* (1), *Gyrodinium* (2), *Ceratium* (3), *Prorocentrum* (4), 珪藻類: *Biddulphia* (5), *Nitzschia* (6), *Thalassiosira* (7), *Chaetoceros* (8), *Ciscinodiscus* (9)

太陽エネルギーを使って、光合成する生物：珪藻類、藍藻類、鞭毛藻類
棘が生えていたり、複雑な形をしているのは、沈みにくくするため。

動物プランクトン (ZOOPLANKTON)

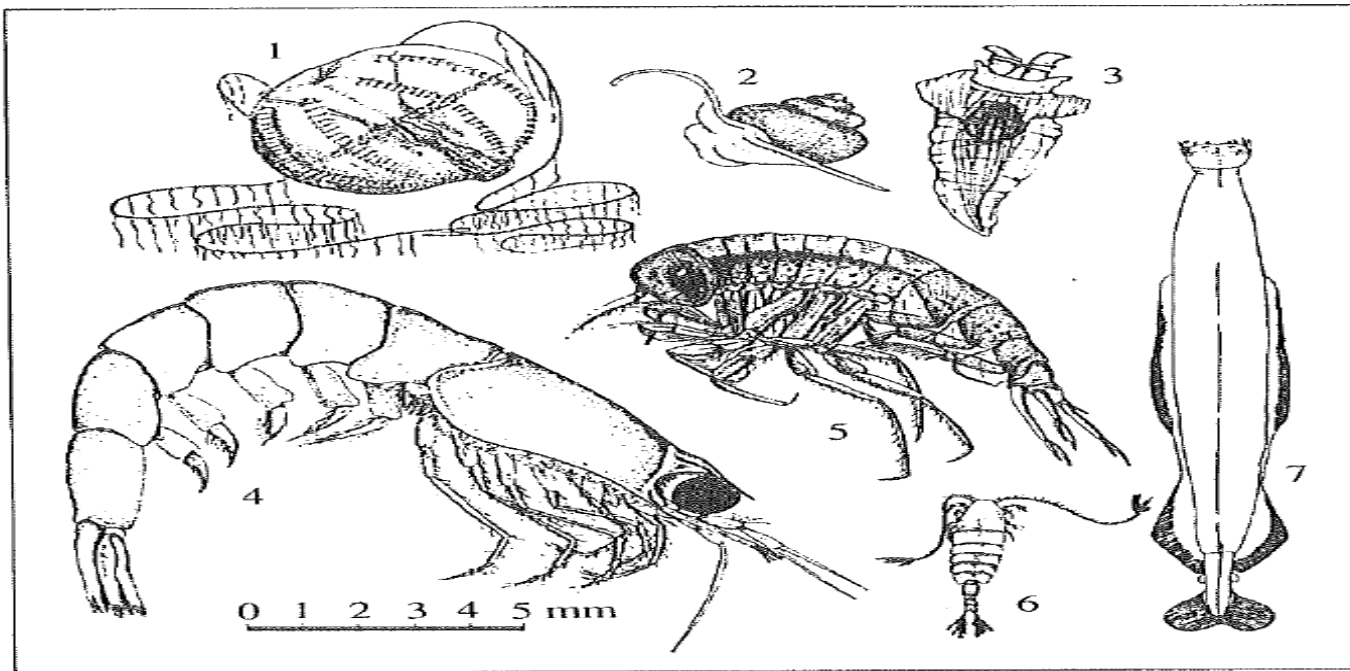
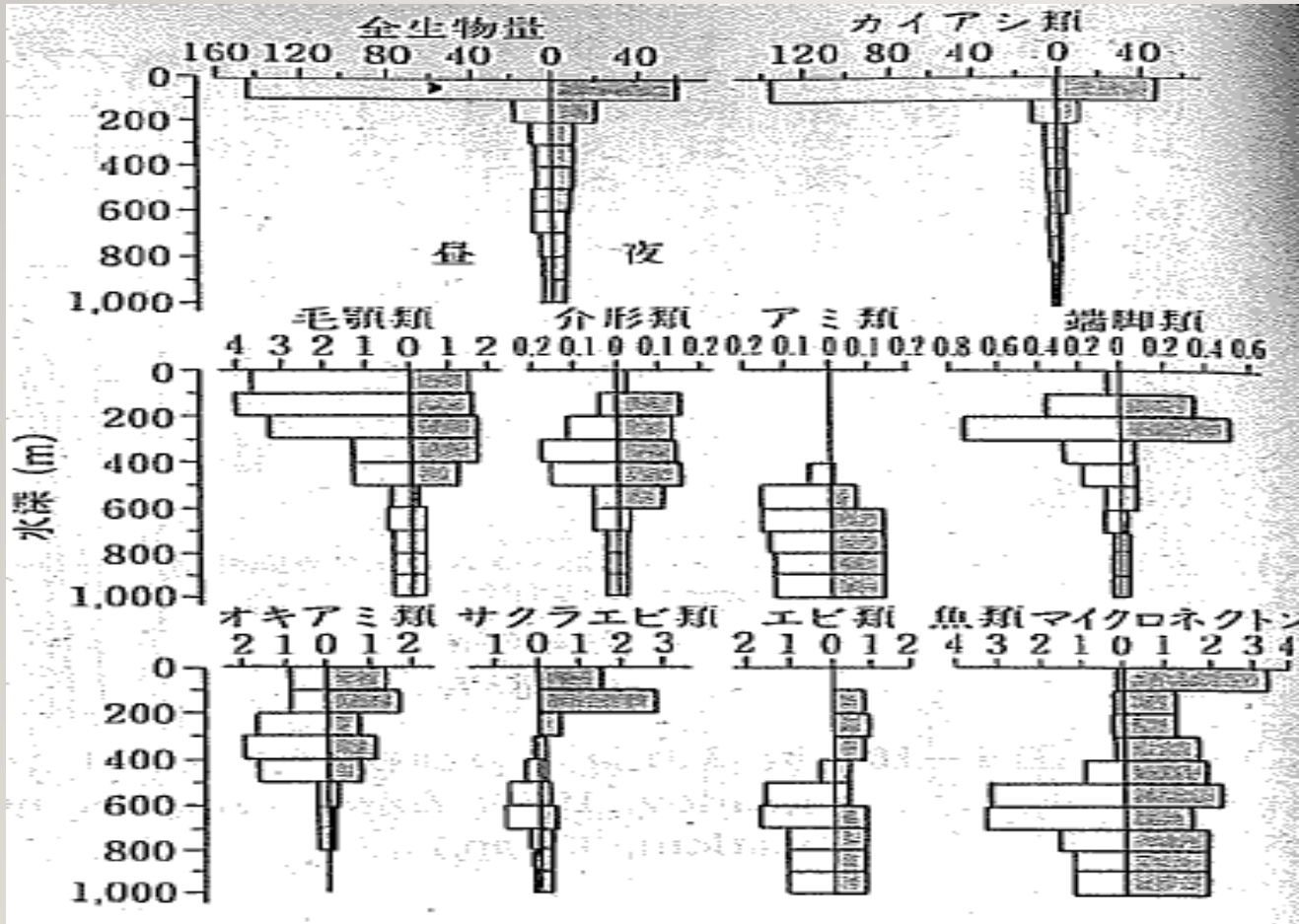


図 8-4 大型動物プランクトンの例 (LeBrasseur and Fulton, 1967)

クシクラゲ： *Pleurobrachia* (1), 軟体動物腹足類： *Limacina* (2), *Clione* (3), オキアミ： *Thysanoessa* (4), 端脚類： *Parathemisto* (5), コペポーダ： *Calanus* (6), ヤムシ： *Sagitta* (7)

- 端脚類：タルマワシ、ヨコエビ、ワレカラ
- 毛顎類：ヤムシ
- 翼足類：タリオネ
- かいあし類：コペポーダ、ケンミジンコ

日周鉛直移動



関東近海黒潮水域での動物プランクトンとマイクロネクトンの鉛直分布 (M. Murano *et al.*, 1976: *Bull. Plankton Soc. Japan*, 23, 1-12.)

陰の部分が夜.

熱水系におけるエネルギーの受け渡し

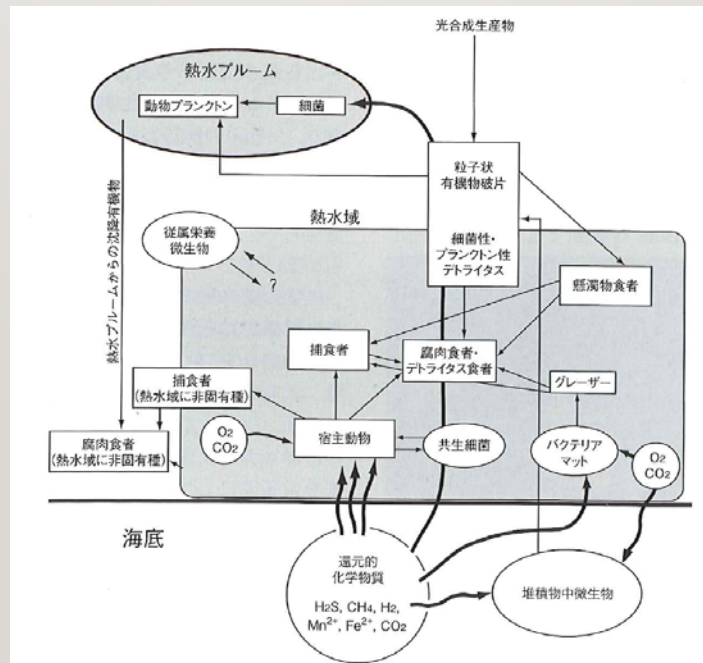
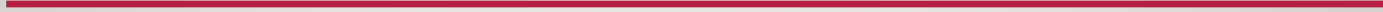


Fig. 2.16. 熱水噴出域における栄養段階のダイアグラム. Tunnicliffe (1991)を改変. The trophic interactions diagram of a hydrothermal vent ecosystem. Modified from Tunnicliffe (1991).



進化

● 一次性深海魚

外洋性深海魚とも呼ばれ、ワニトカゲギス目・ハダカイワシ目など遊泳性深海魚が主に含まれる。彼らは出現初期から深海に進出し、管状眼・発光器など浅海魚からかけ離れた特異な形態、および日周鉛直移動など独自の生態を、非常に長い時間をかけて特化させたとみられている。

● 二次性深海魚

陸棚性深海魚の別名をもち、タラ目・アシロ目など底生魚が所属する。彼らは初期の進化を浅海の海底で経験した後、一次性深海魚よりも遅れて深海底に進出するようになったと考えられている。このため、二次性深海魚が所属する分類群には浅い海で暮らす魚類も多く含まれるほか、形態的にも浅海魚と極端な変化がみられないことがしばしばある。

生息環境による分類

- 深海底付近で生息するグループ

底生性深海魚

底生魚 (Demarsal fish)

Benthic fish: 海底と物理的に接触し

ながら生活する魚

Benthopelagic: 一生を海底から 5 m

以内で生活する魚

Demarsal fish とほぼ同義

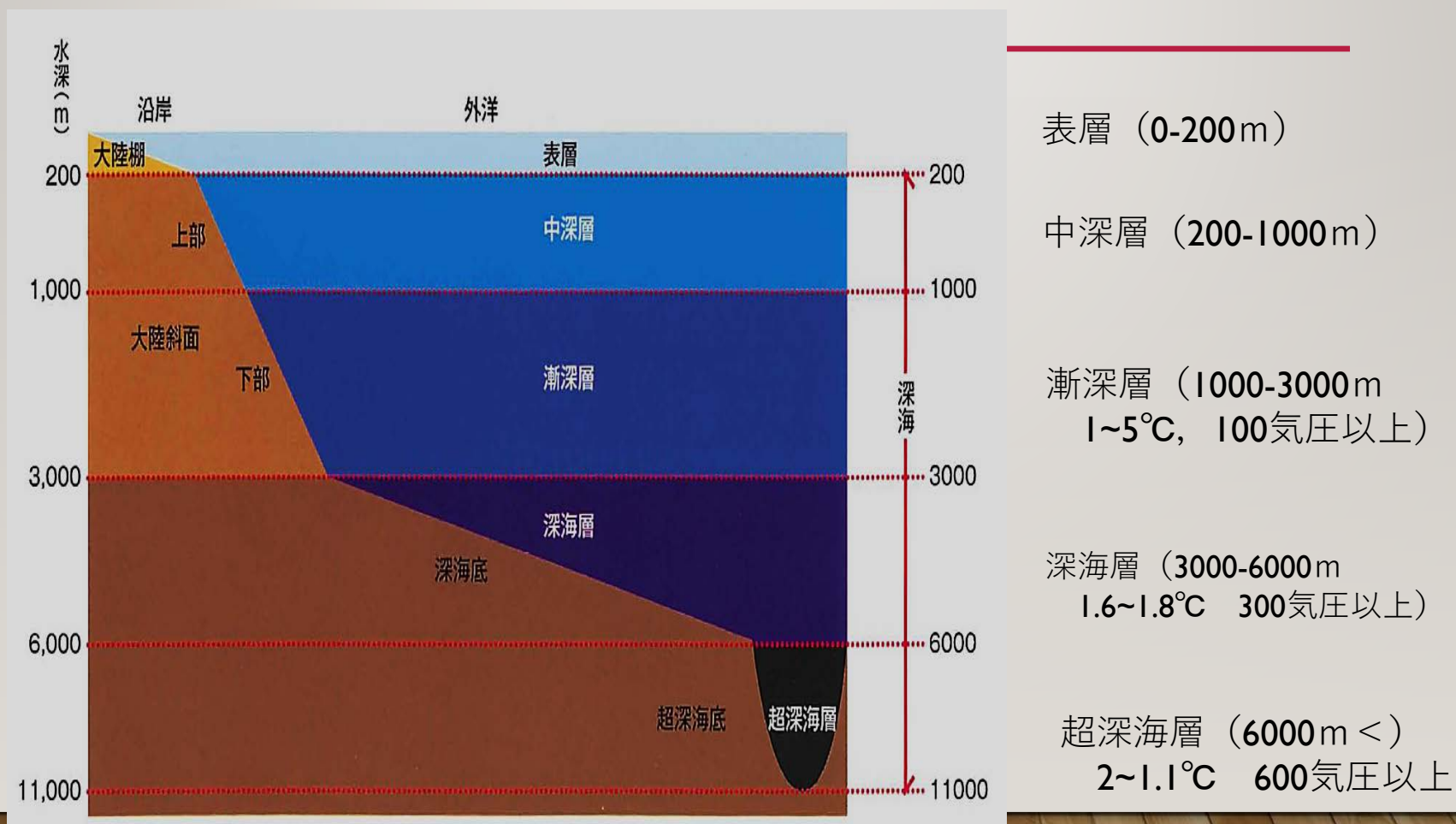
- 海底を離れて中層で生息するグループ

遊泳性深海魚 (pelagic)

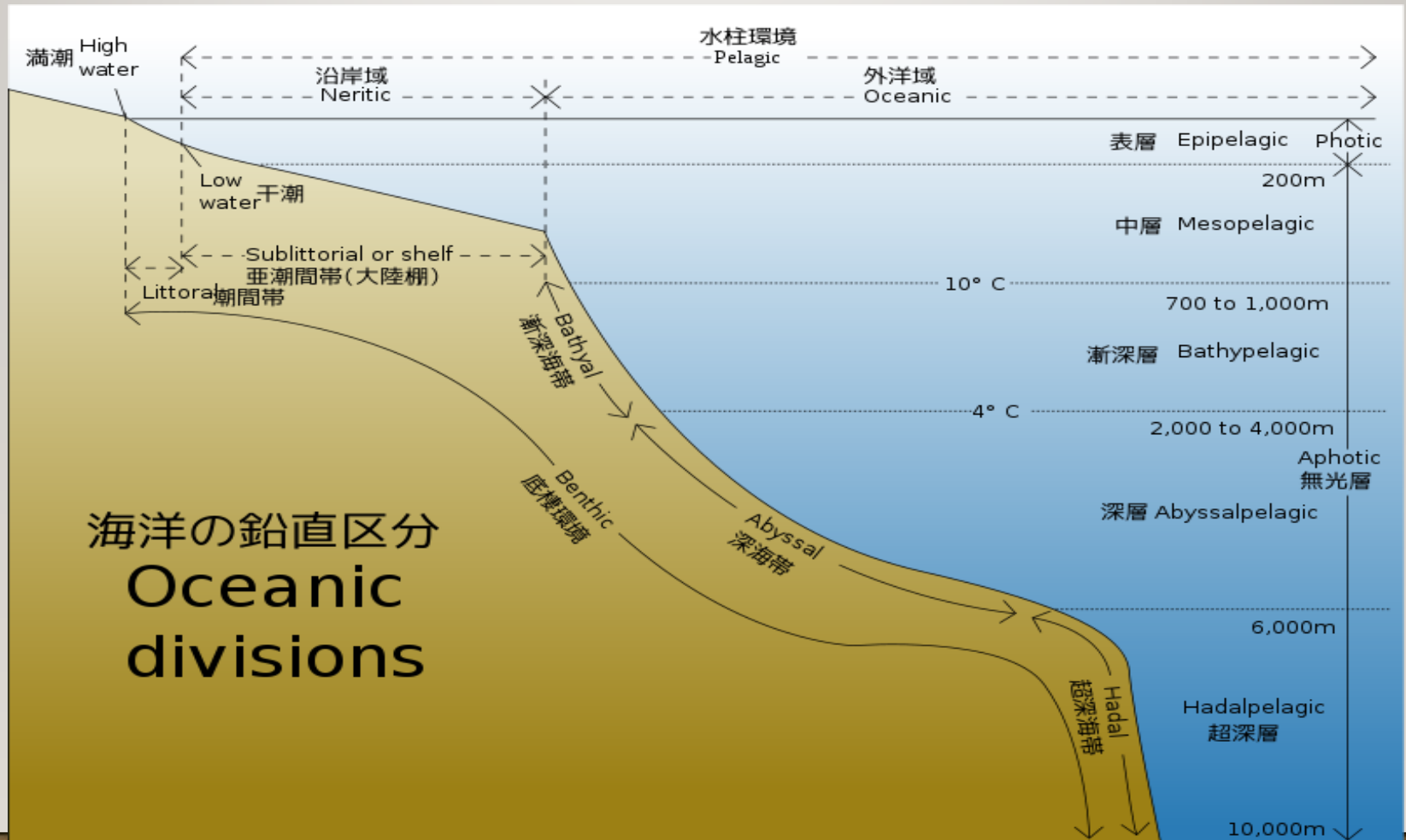
水深に応じて、表層、中深層、漸深層、深海

層、超深海層に分けられる。

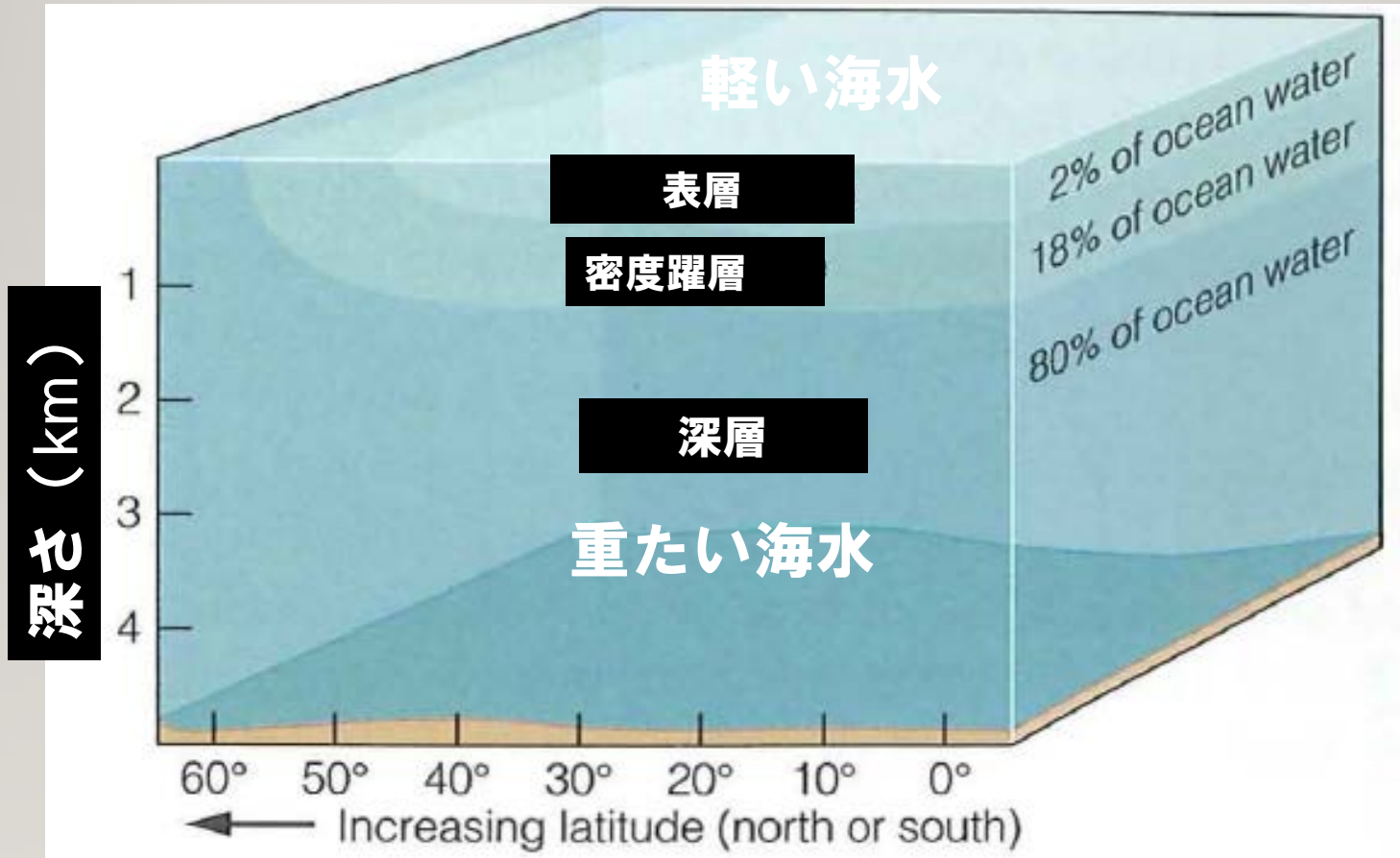
生息水深による深海魚の分類



生息環境区分のまとめ

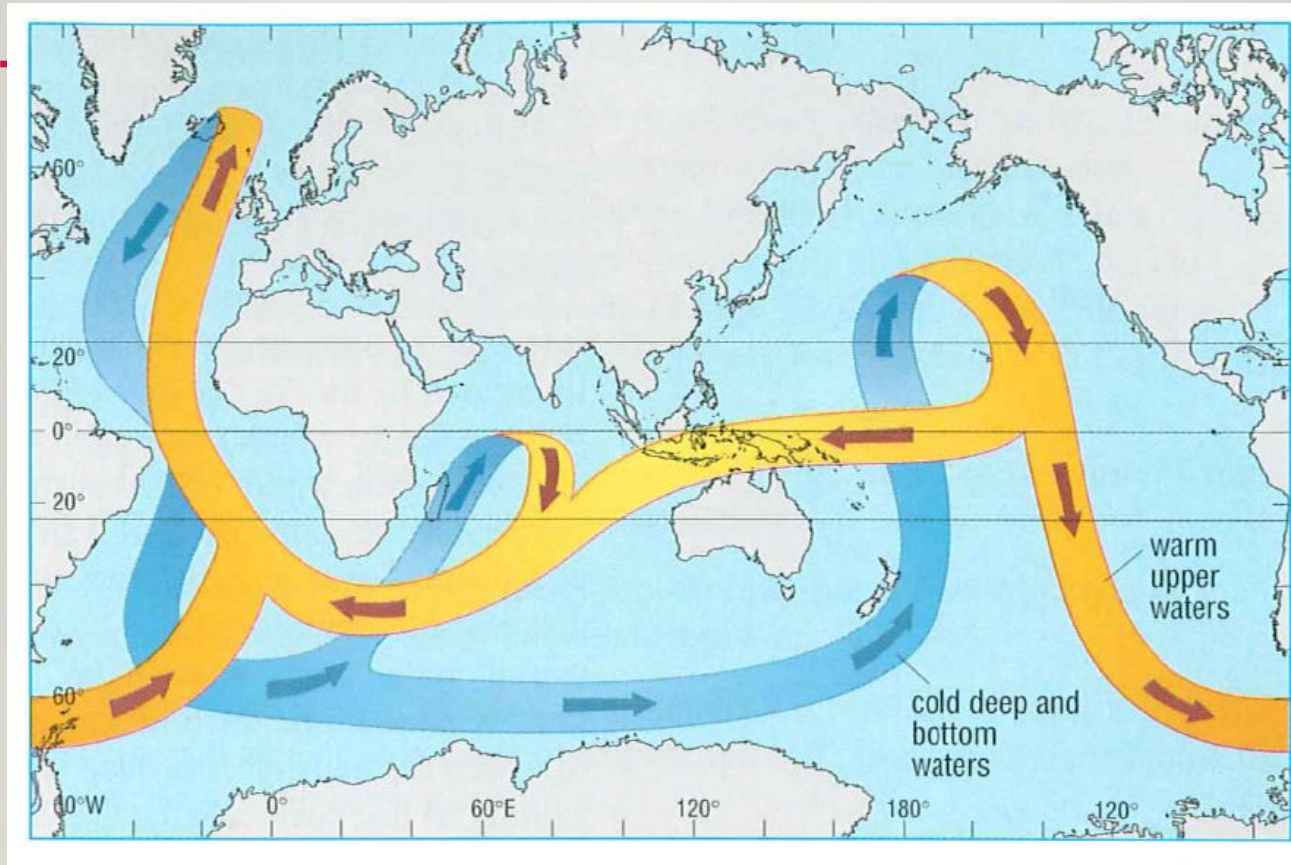


海水は密度成層した3層構造



深海魚の多くは、深層水の領域となる。

WALLACE BROECKER による THERMOHALINE CONVEYOR BELT (ベルトコンベアモデル)



もっと立体的な深層流のモデルを構築。
オレンジ色の部分は、最浅部でも1000m前後を想定している。

日本列島周辺の海

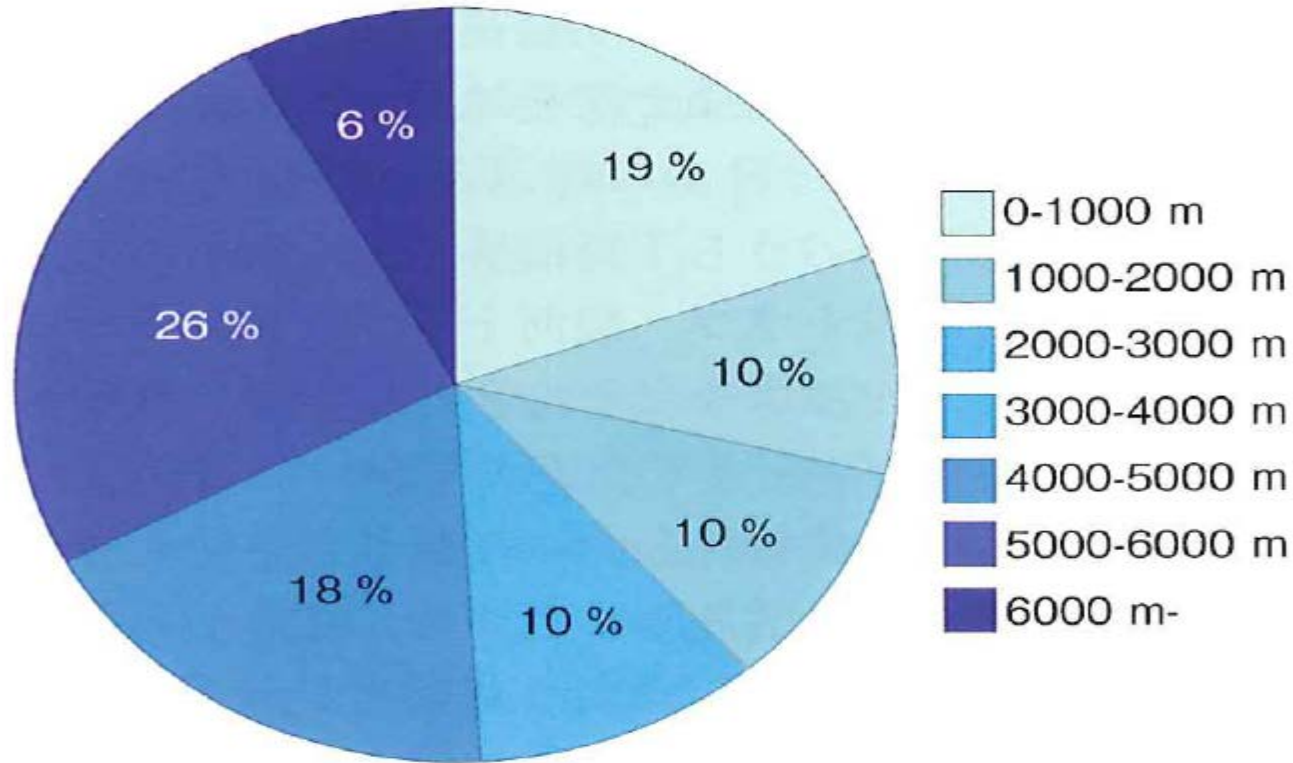
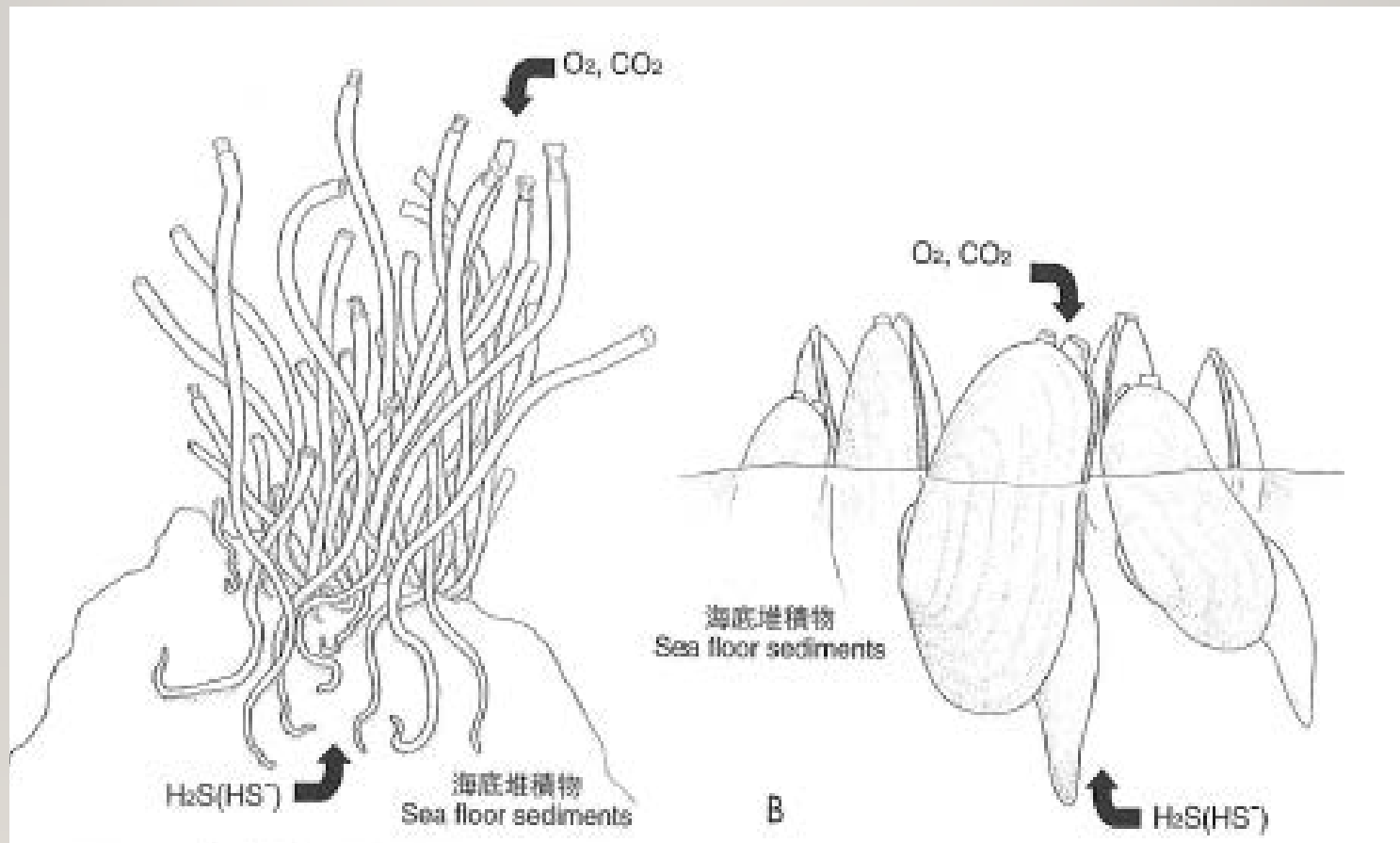


Fig. 1.1. 日本の排他的経済水域内における水深帯の面積比. 松沢(2005)を改変. Areal ratio of each 1000 m depth zone in the Japanese EEZ. Modified from Matsuzawa (2005).

ハオリムシやヒバリガイの生態



生物発光の仕方

- 共生発光：比較的少数派

遊泳性：チョウチンアンコウとニギス目の一部、

底生性魚類：ソコダラ科・チゴダラ科

- 自力発光

ツノザメ目：ダルマザメなどヨロイザメ科の一部と、

カラスザメ科・オンデンザメ科の多くの種類。

ワニトカゲギス目：ヨコエソ・ムネエソ・ワニトカ

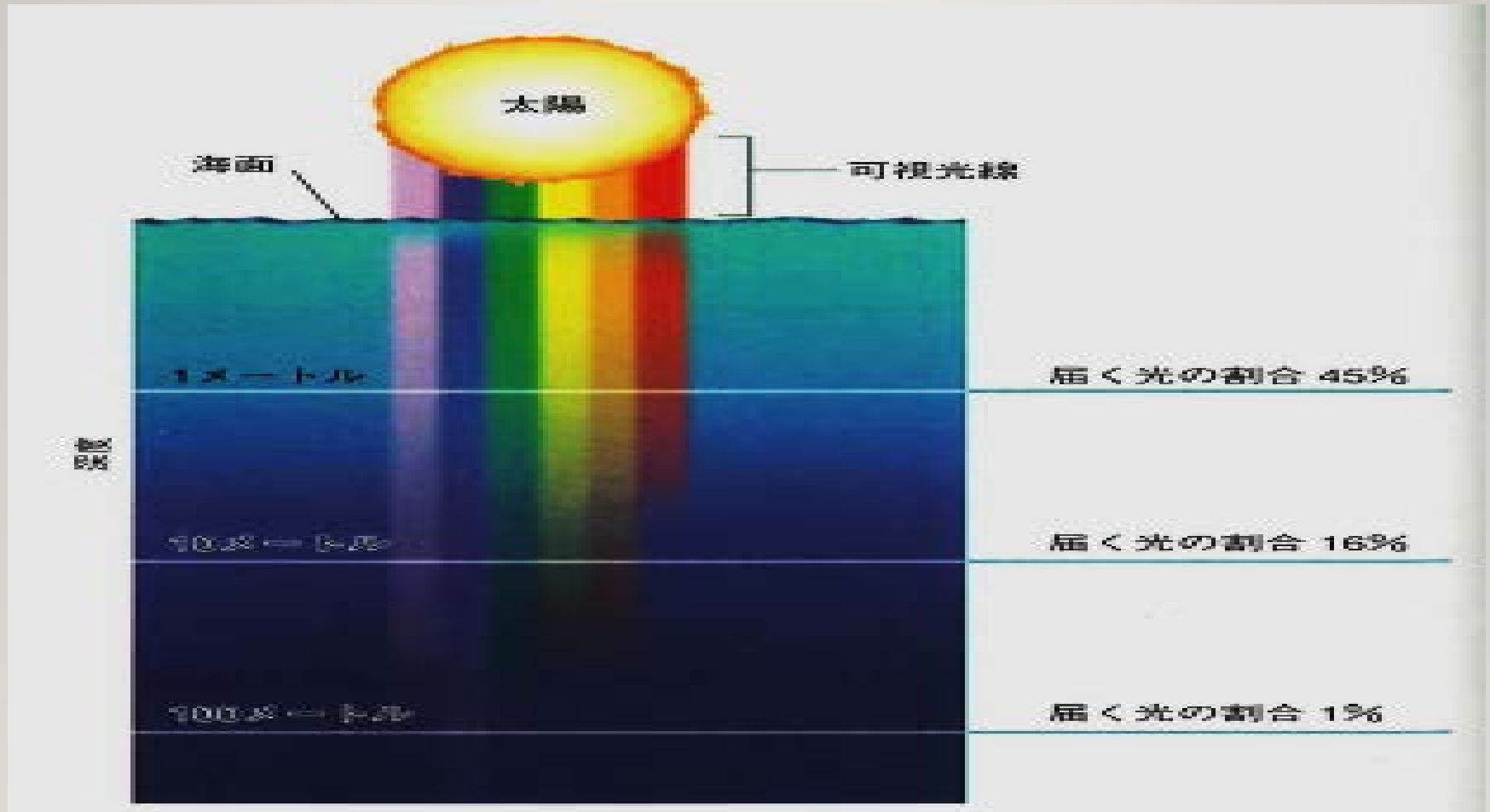
ゲギスなど、ほぼ全種。

ハダカイワシ目：ハダカイワシなど、ほぼ全種。

ガマアンコウ目：イサリビガマアンコウの仲間。

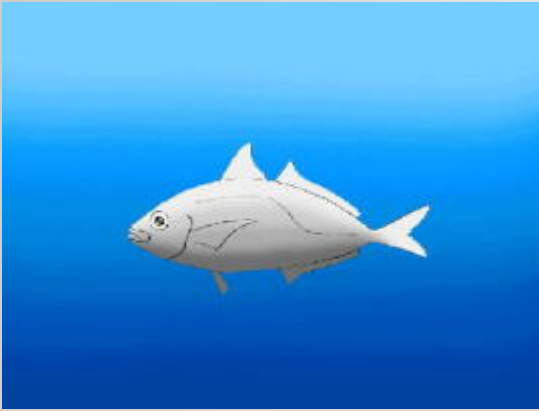
アンコウ目：オニアンコウ科

光と食物網：弱肉強食の世界



水は、電磁波を容易に吸収してしまう。吸収の度合いは波長によって異なる。つまり、光エネルギーは表層で吸収される。

COUNTERSHADING



近くで
見た場合



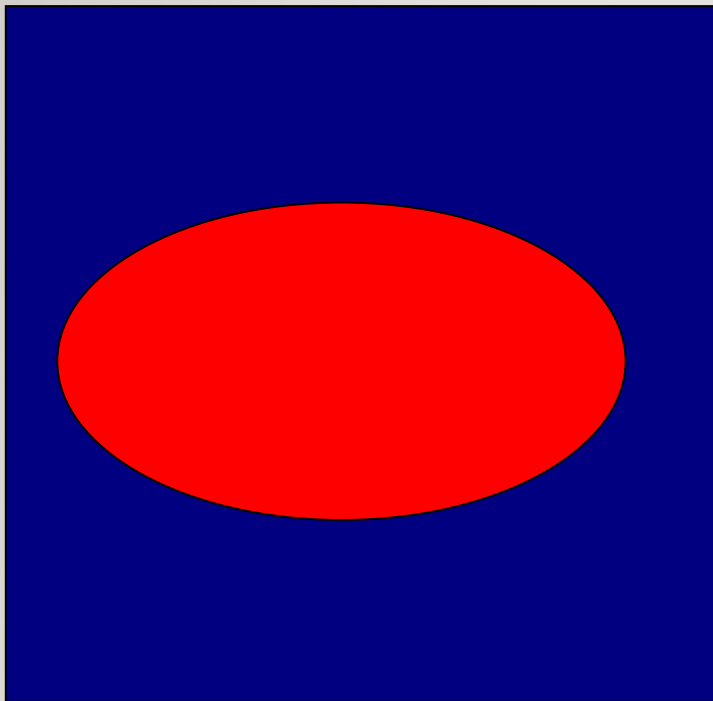
遠くから
見た場合

<http://ww6.enjoy.ne.jp/~iwashige/camouflage.htm>

葛西臨海水族館で泳いでいる マグロ



真鯛やガラカブはなぜ赤い



海底の赤い魚



海底の赤い魚（実際は保護色になる）