



# 水圏生命科学

## Aquatic Biology of Life Science

9/7/2021

KENJI SHIMIZU

清水健次

放送大学教授（生物学）

（元東京海洋大学教授）


# 水圏生命科学

2



- ▶ 淡水、汽水の生物学、生化学と海洋生物学を混ぜた分野を研究しています。。
- ▶ 技術士（水産）はまだ受験していません。



A vibrant underwater photograph of a coral reef. The foreground is filled with various types of coral, including branching red corals and large, rounded brown corals. Numerous small, colorful fish are swimming around the coral. The water is clear and blue, with sunlight filtering down from the surface, creating a shimmering effect. The background shows more coral and fish, extending into the distance.

# 水圏生命科学 魚の生態学



# 水域

4



淡水 pure water

川

- 上流
- 中流
- 下流

湖

沼



汽水 brackish  
water

河口



海水 salt water

外洋

湧昇域

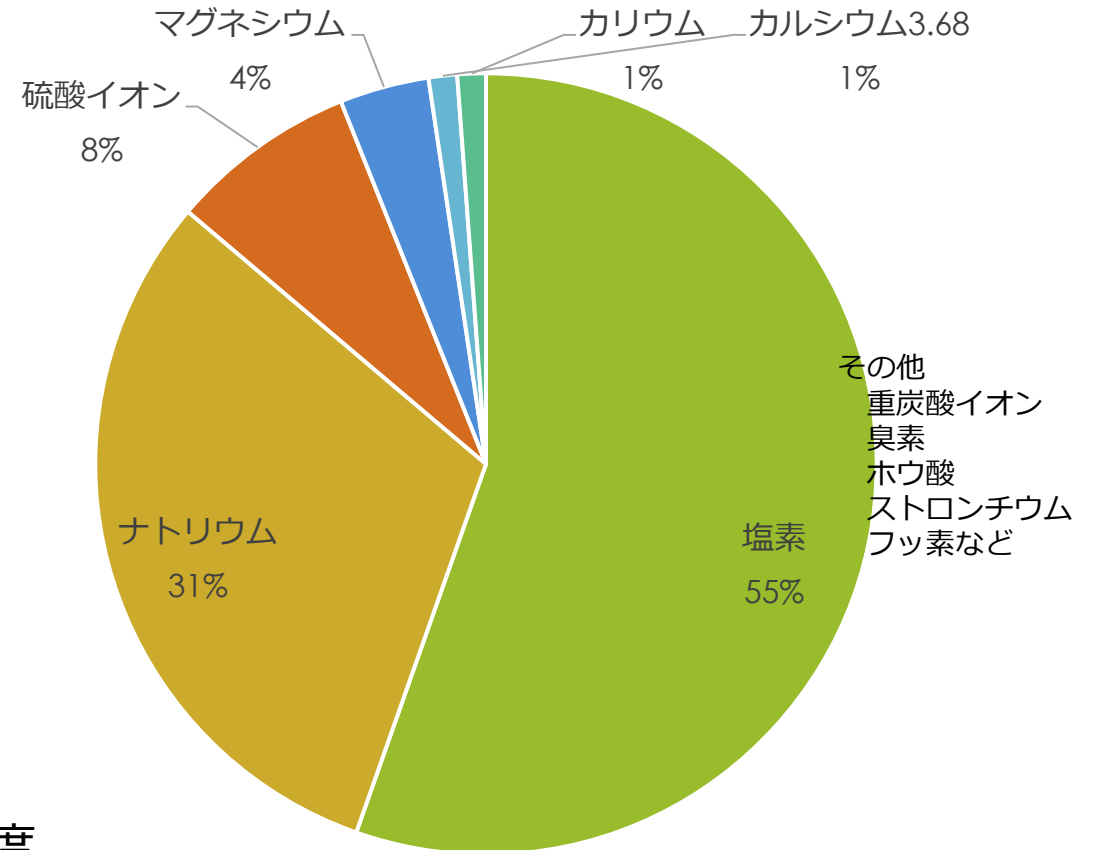
大陸棚

藻場と珊瑚礁

入江

# 海水の塩分

海水の濃度  
3.4%程度  
(3.1~3.8%)



# 魚類の浸透圧調整機能 osmoregulation

6

## 細胞外不等浸透圧調節

- 300m Osm/kg  $H_2O$   
海水のほぼ三分の一
- 狭塩性魚 stenohaline fishes
- 広塩性魚 euryhaline fishes

## 細胞内不等浸透圧調節

- 無脊椎動物

TMAOタンパク質安定化機能、尿素とトリチルアミノオキサノイドを蓄積。

- サメ、エイ

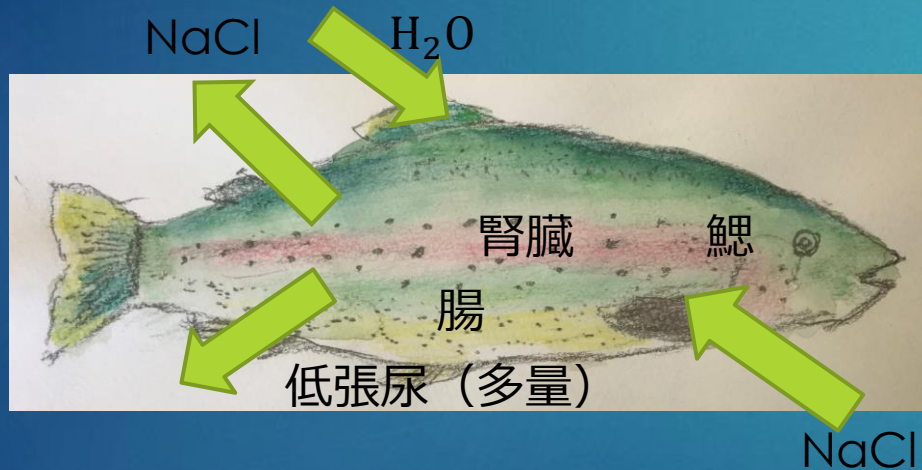
## 海水と同じ濃度

- タウナギの仲間

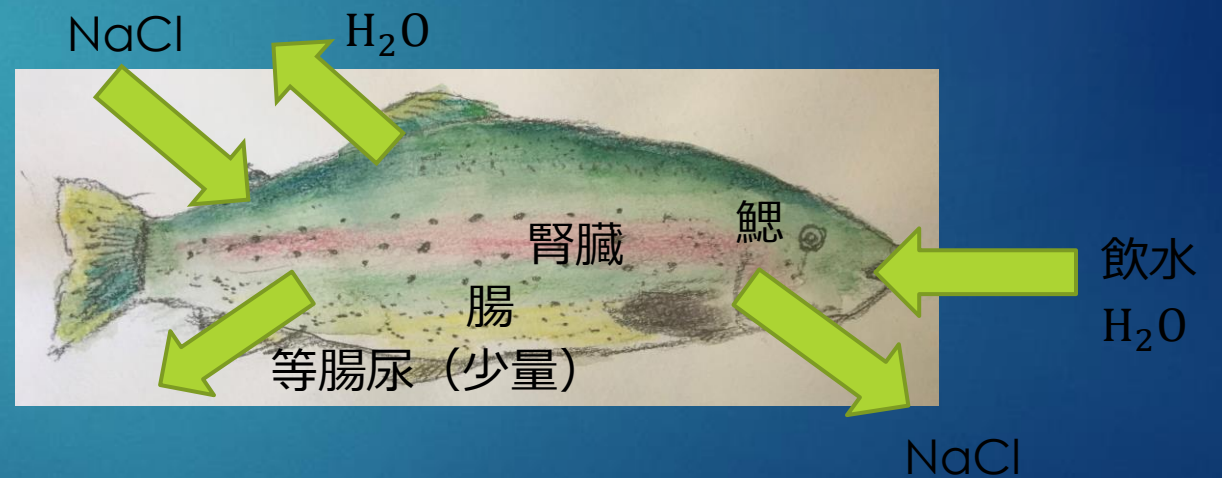
# 魚類の浸透圧調整機能 osmoregulation

7

淡水魚（ニジマス）



海水魚（スチールヘッド）



# 光

8

赤外線（波長780nm以上）

紫外線（380nm以下）

残り50%可視光線  
（400-700nm）

赤色光（650nm） 水  
深10mまで

青色光（450nm） 水  
深150mまで

熱帯外洋では1000mま  
で透過。

沿岸では20mまで。透  
過。

400-700nmの波長域は、  
光合成有効放射PAR  
(photo synthetically  
available radiation )



# 化学環境①

9

## 栄養塩

- 無機塩
- 窒素塩
- 硝酸塩
- 亜硝酸塩
- アンモニア塩
- リン酸塩
- ケイ酸塩

## 溶存酸素

- 大気中分圧 21%
- 海洋表面平衡濃度 0°C  
 $3.8 \times 10^{-4} \text{ mol/kg}$
- 海洋表面平衡濃度 24°C  
 $2.4 \times 10^{-4} \text{ mol/kg}$

## 化学環境②

### pH

- 海水表層ではpH7.6-8.2。
- 生物生産の多い内海ではpH9以上になることもある。
- 河川や湖沼川のpHは6.0-8.0。
- 石灰岩地域は重炭酸塩でアルカリ性
- 火山地域は硫酸や塩酸の影響により、pHは1.0-2.0。
- pH3.5でもウグイが棲めるそうです。

# 海洋生態系における炭素循環

---

CO<sub>2</sub>入る

---

大気に溶解。呼吸。無機化。炭酸カルシウムの溶解



---

CO<sub>2</sub>の利用

---

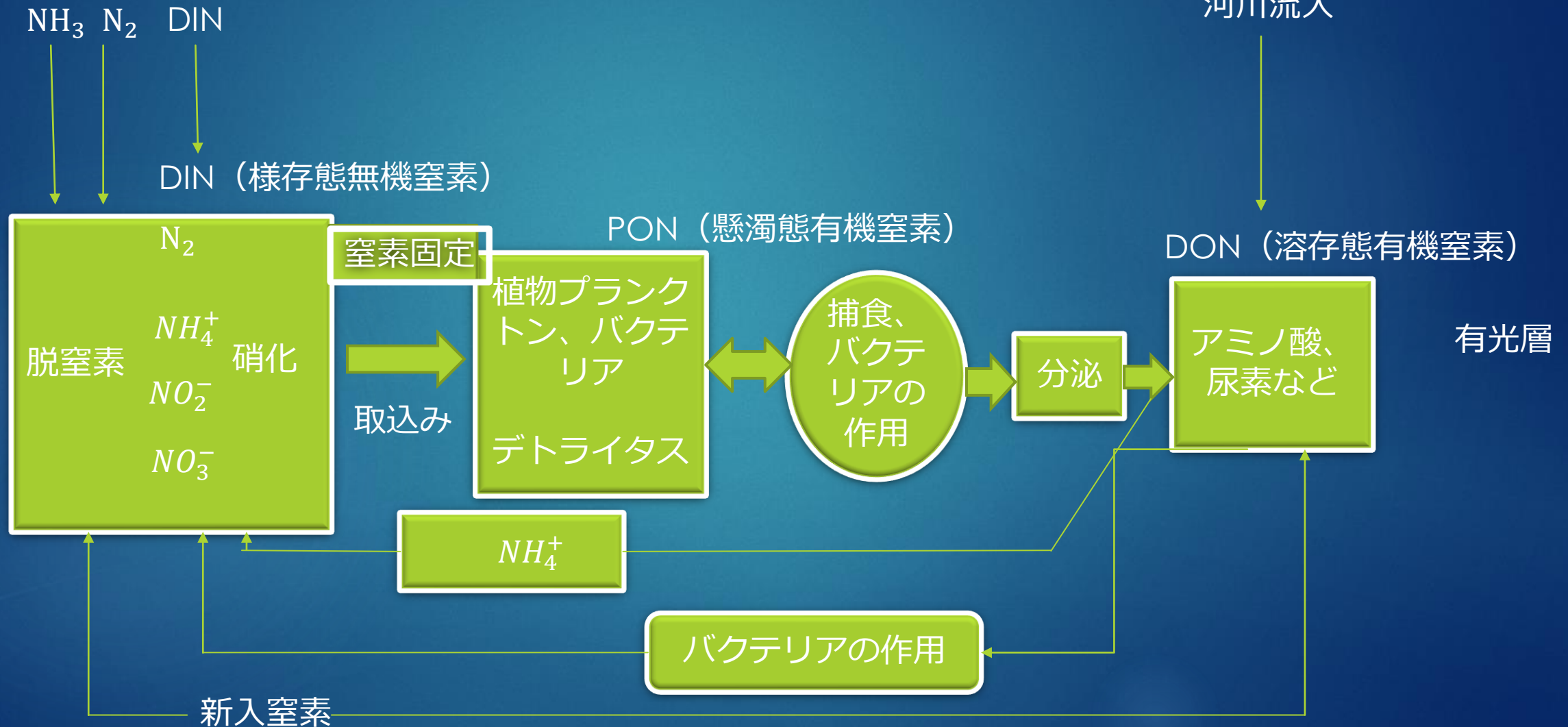
光合成、炭酸カルシウムの生成



# 海洋生態系における窒素循環

12

大気と交換



# 海の植物界

## 被子植物

- アマモ、コアマモ、スガモ、ウミヒルモ

## 緑藻（80%淡水）

- ヒトエグサ、アナアオサ、スジアオノリ、ミル、クビレズタ、カワノリ、マリモ

## 紅藻（ほとんど海産）

- スサビノリ（板海苔）
- ウミゾウメン、マクサ、エゾイシゴロモ、ツノマタ、オゴノリ、ダルス

## 褐藻（ほとんど海産）

- モズク、マツモ、セイヨウハバノリ、マコンブ、アラメ、ワカメ、ヒジキ、アカモク

# 海の動物界

14

## 節足動物

- ブラインシュプリング、チュウ、ウミホタル、フジツボ、エビ、カニ

## 環形動物

- ゴカイ、ミミズ、ヒル

## 軟体動物

- ヒザラガイ、ツノガイ、二枚貝、マキガイ、イカ、タコ、ウミウシ

## 輪形動物

- ワムシ、シオミズツボワムシ

## 扁形動物

- ブラナリア、ヒラムシ、キュウチュウ

## 脊椎動物

- 魚類、海鳥類、海産哺乳類

## 原索動物

- ホヤ、サルパ、ナメクジウオ

## 棘皮動物

- ウニ、ヒトデ、クモヒトデ、ナマコ

## 刺胞動物

- エチゼンクラゲ、ミズクラゲ、イソギンチャク、サンゴ

## 海綿動物

- アミカイメン、カイロウドウケツ、クロイソカイメン



# 原生生物界と 原核生物界と 菌類

## 菌類

- 卵菌類、ミズカビ

## 原生生物界

- 単細胞藻類
  - ヤコウチュウ、ミドリムシ、ハネケイソウ、クロレラ
- 原生動物
  - アメーバ、ゾウリムシ

## 原核生物界

- 藍藻
  - スイゼンジノリ、シイクラゲ、ネンジュモ、スピルナ

## 細菌類

# 水圏生態系と生物

16

## 漂泳生態系

- 海底と直接関係ない。

## 底生生態系

- 海底、海岸線と関係ある。

### プランクトン 浮遊生物

- メロプランクトン（一時プランクトン）
  - 生活史で一部浮遊生活
- ホロプランクトン（終生プランクトン）
  - 生涯を通じて浮遊生活

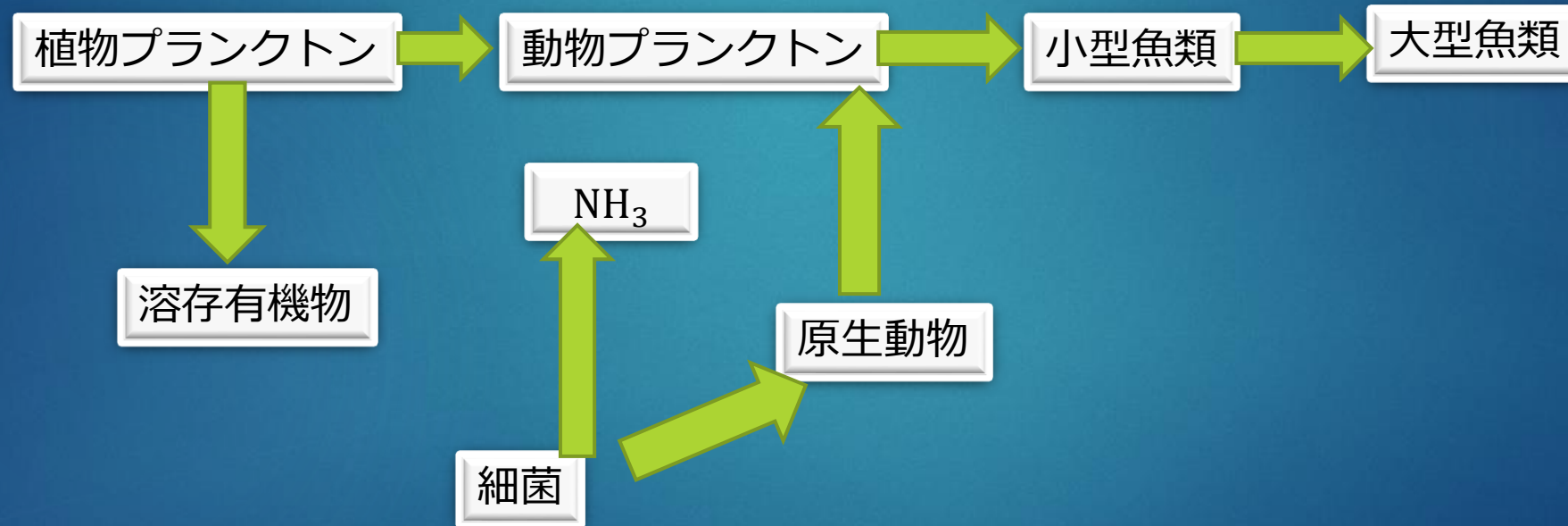
### ネクトン 遊泳生物

- マイクロネクトン
- オキアミや幼稚魚、ハダカイワシなど

### ベントス 底生生物

# 微生物ループ(microbial loop)と生食 食物連鎖(grazing food chain)

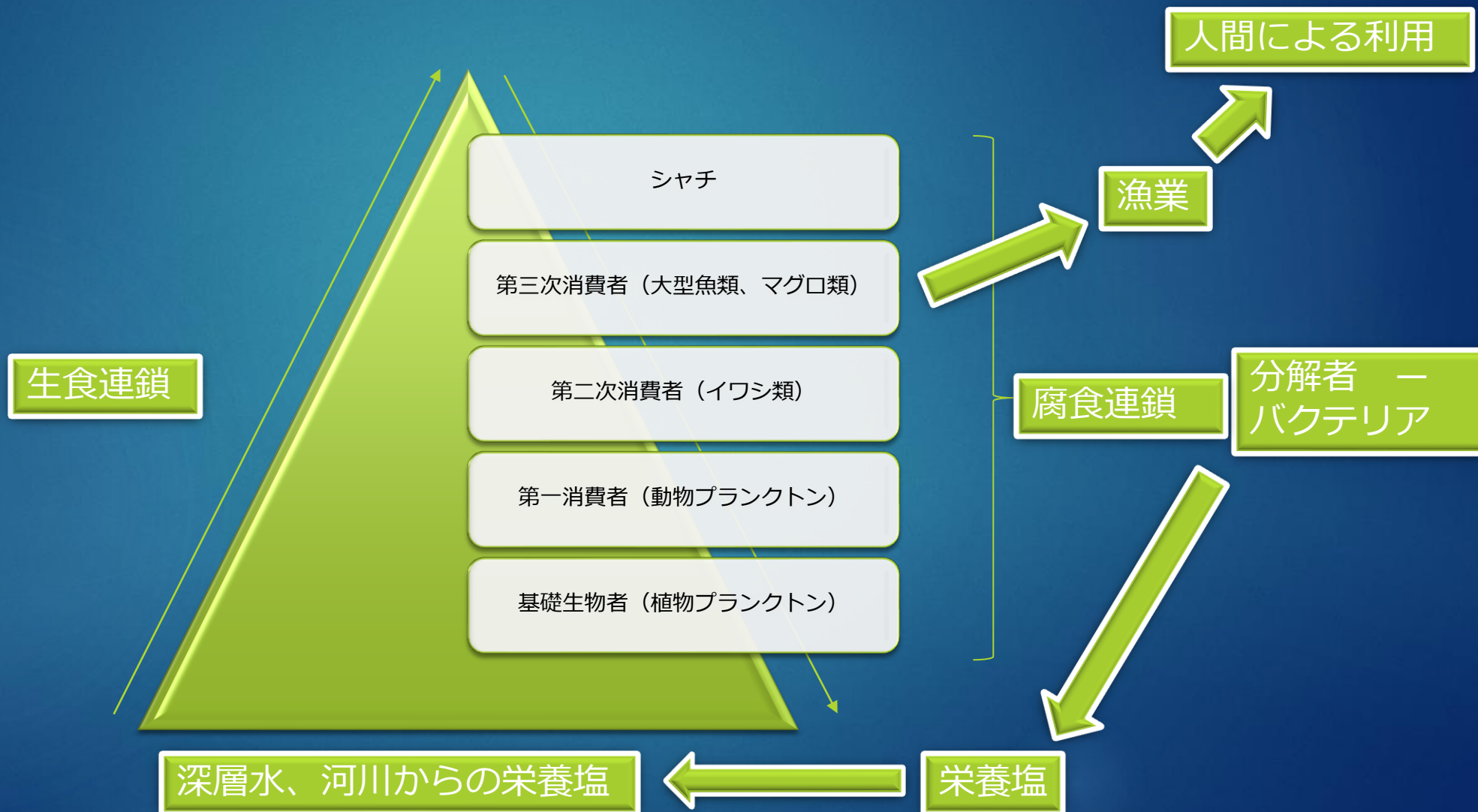
17





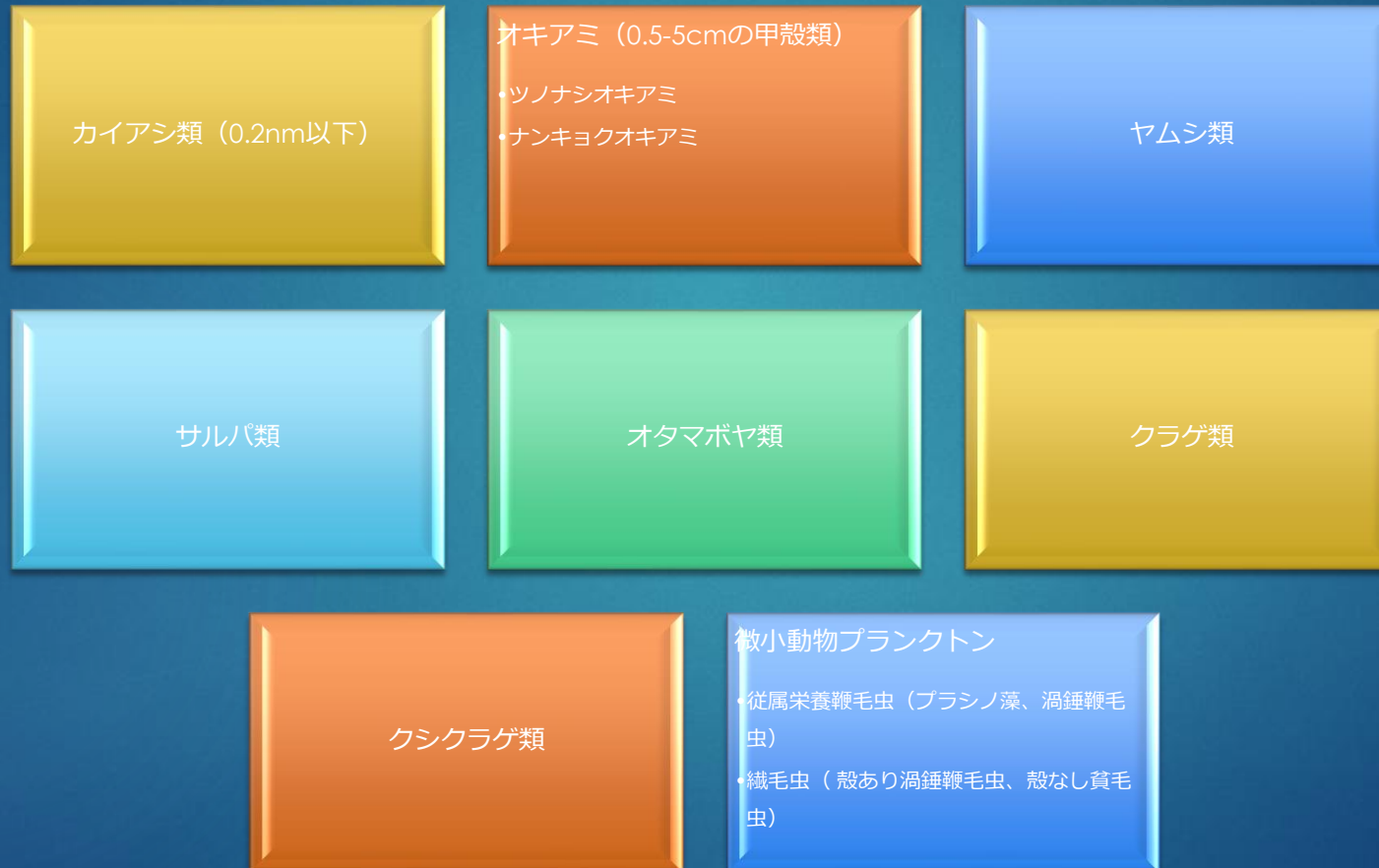
# 海洋生態系の食物連鎖のピラミッド構造

18



# 二次生産者（一次消費者）と高次生産者。動物プランクトン

19



## 岩礁域

### コンブ場

- (コンブ目褐藻、冷水域)
- マコンブ、ホソメコンブ、ミツイシコンブ、リシリコンブ、ナガコンブ、オオコンブ、ガッカラコンブ

### ガラモ場

- (ホンダワラ目褐藻)
- アカモク、シダモク、タマハハキモク
- ヤツマタモク、マメタワラ、ノコギリモク、オオバモク、ヨシモクモドキ、ウミトラノオ

### アラメ、カジメ場

- (コンブ目褐藻、暖水域)
- アラメ、サザアラメ
- カジメ、クロメ、ツルアラメ
- アワビ、サザエ、ウニなどの餌になる。

## 砂浜域

### アマモ場

- 水深40m以浅の潮下帯



## ホンダワラ類

- ▶ ヤツマタモク
- ▶ アカモク
- ▶ ノコギリモク

## 流れ藻に集まる魚類たち

マアジ、ブリ、カンパチ、メダイ、イシダイ、メジナ、イスズミ、アイゴ、カワハギ、ウマズラハギ、メバル、クジメ、アイナメなど。

①常に接触する ヨウジウオ

②時折離れる メバル類、カワハギ類、アミメハギ類

③周囲を遊泳 ブリ、イシダイ

④水面に体を水平に遊泳 アミモンガラ

⑤下の面を遊泳 マフグ、ヤマトカマス

# 藻場の機能

22

植物多様性の維持

栄養的資源の供給

逃避場所

幼生加入・成育所の  
供給

サンマやブリなどの  
産卵場、初期成育場

# コンブ料理の産地

23

日高昆布（ミツ  
イシコンブ）

羅臼昆布（オニ  
コンブ）

長昆布（ナガコ  
ンブ）

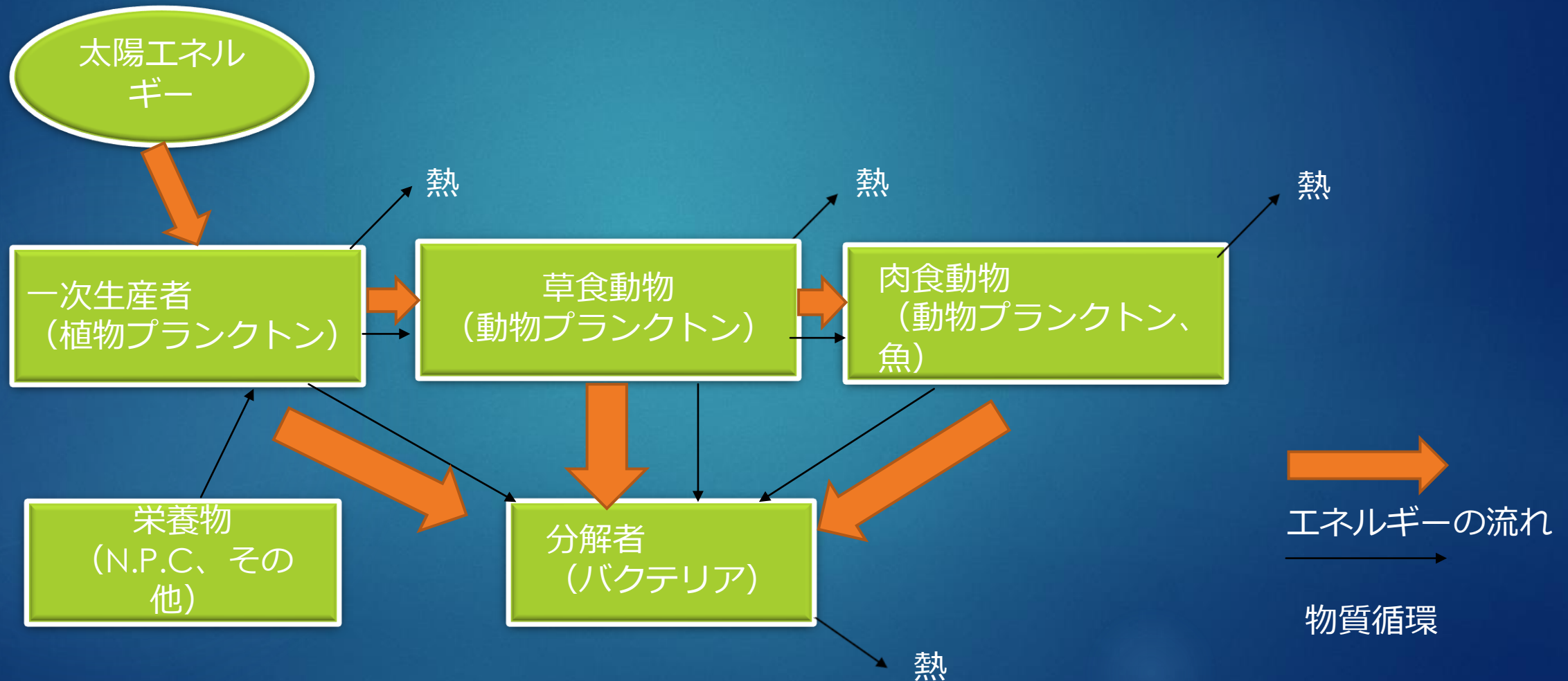
利尻昆布（リシ  
リコンブ）

真昆布（マコン  
ブ）

アラメ

# 海洋生態系における物質循環とエネルギーの流れ

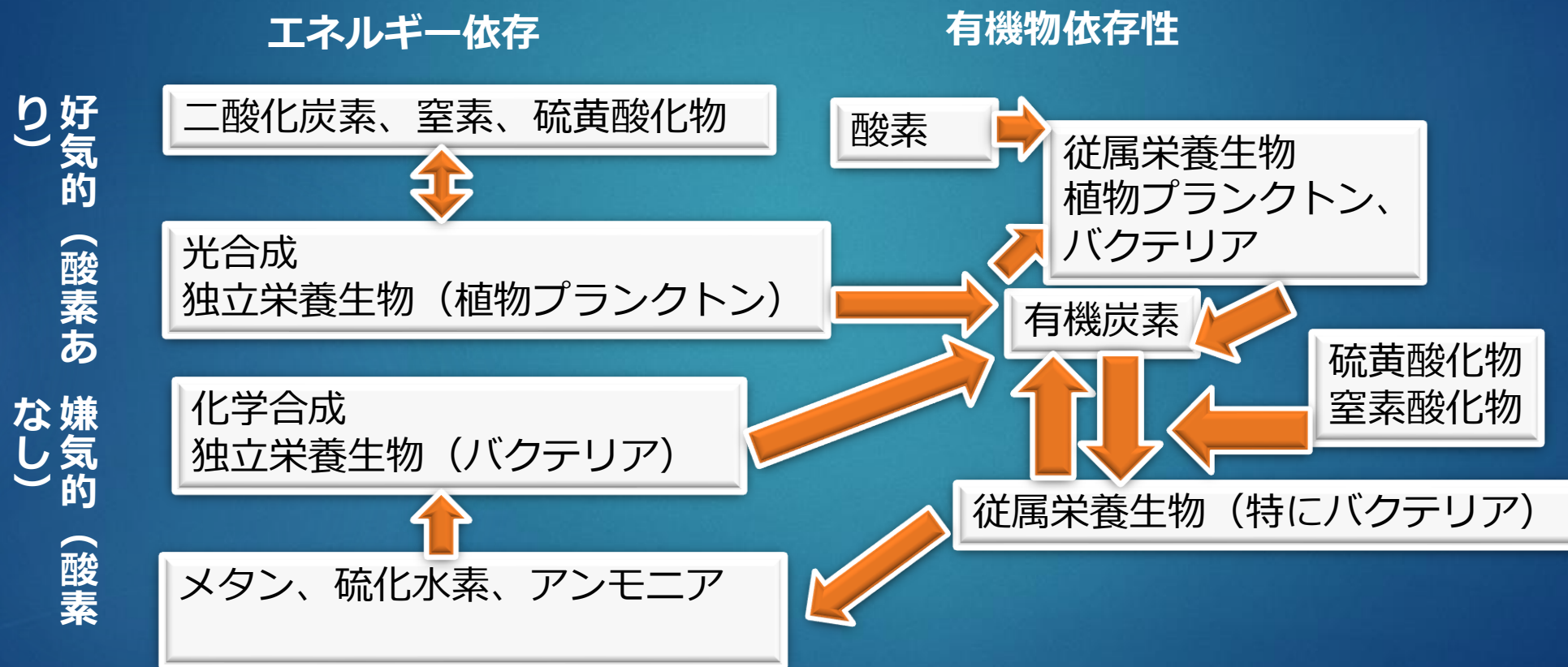
24





# 海洋生物のエネルギー供給源

25



# 外洋域（6栄養段階）

26

ナノプランクトン  
(鞭毛藻類)

微小動物プランクトン  
(原生動物)

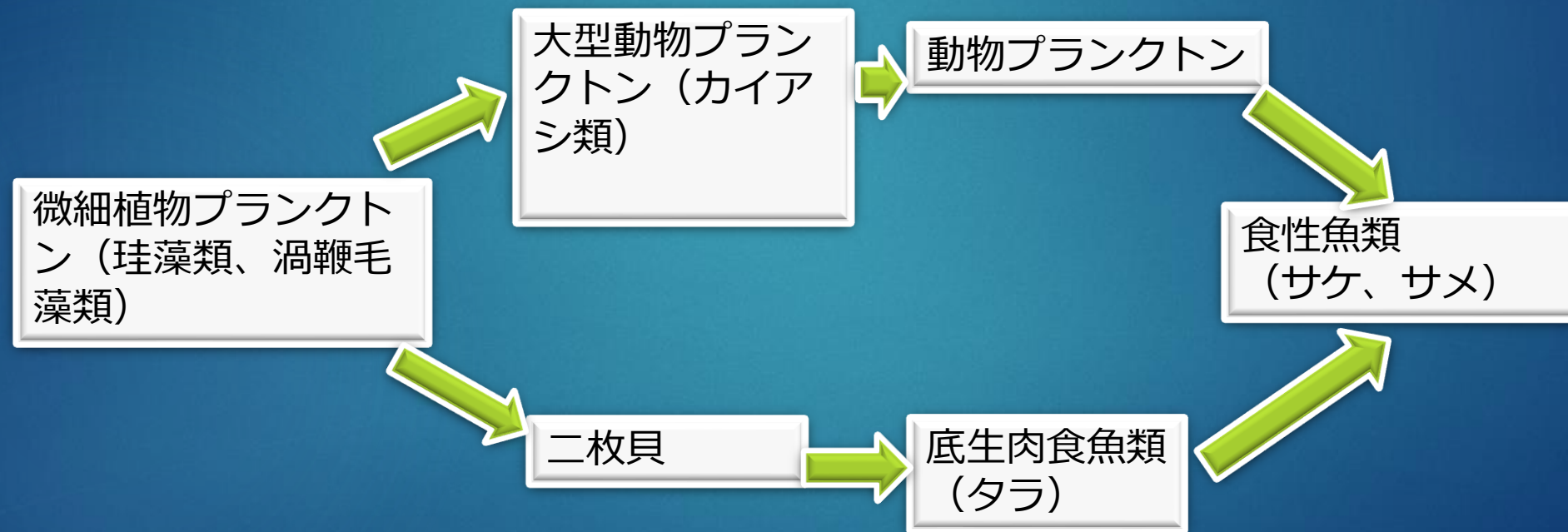
大型動物プランクトン  
(カイアシ類)

動物プランクトン食性魚類  
(ハダカイワシ)

魚食性魚類  
(マグロ、イカ)

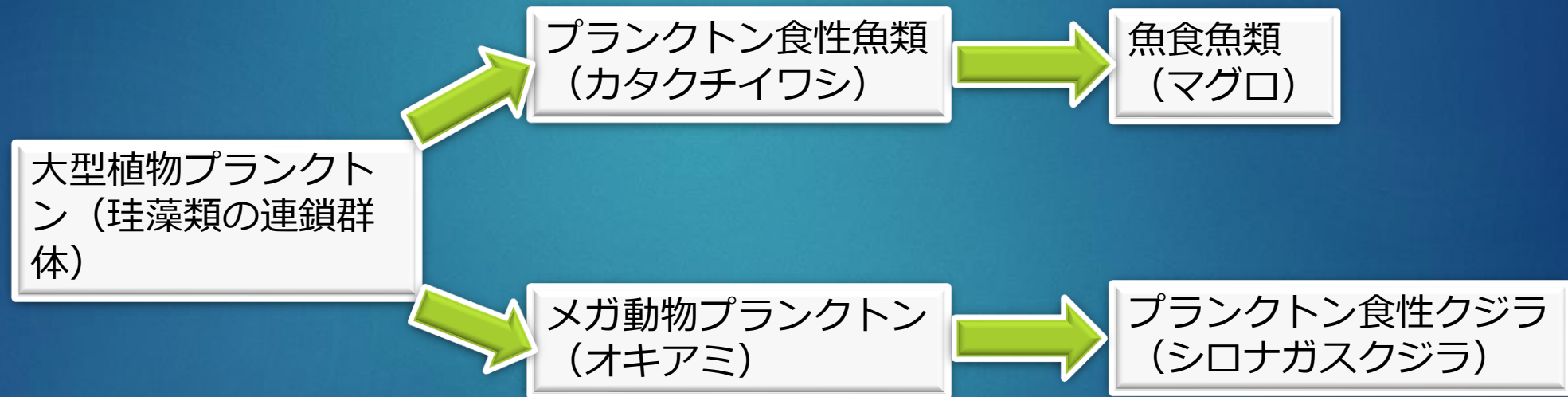
# 大陸棚域（4栄養段階）

27



# 湧昇域（3栄養段階）

28





# 魚類の生活史

29



- 回遊
- 性分化
- 性転換

- 繁殖期間
- 産卵数
- 回数
- 卵サイズ



# 回遊魚

30

## 河川回遊

potamodromy

- ビワコオオナマズ
- コイ、カワムツ、ムギツク

## 海洋回遊

oceanodromy

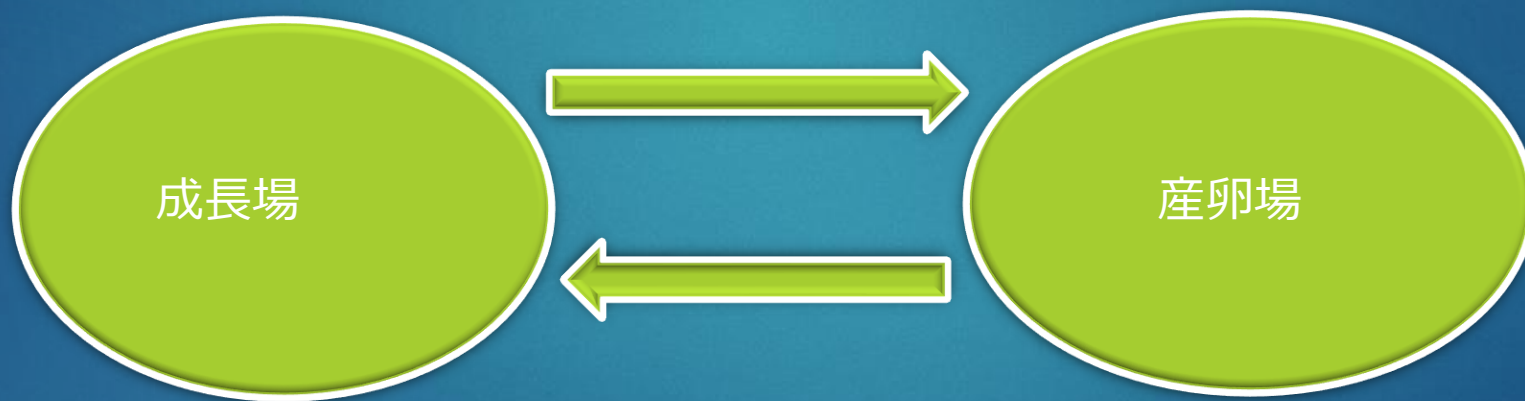
- 南北に回遊
  - イワシ、アジ、サバ、ブリ
- 海底に沿って回遊
  - マダイ、タラ、ヒラメ

通し回遊 daidromy

# 回遊環 migration loop

31

- ▶ 索餌回遊
- ▶ 適温回遊
- ▶ 産卵回遊



# 回遊のメカニズム

## 回遊の3条件

- 運動能力 locomotion
- 航海能力 navigation
- 動因 drive, motivation

## 回遊のその他の要因

- 太陽コンパスと体内時計
- 磁気コンパス
- 臭覚の感覚生理学 臭い物質による母川回帰行動。
- 甲状腺ホルモン、チロキシンなど。
- 他の生物の渡り行動の研究と類似。



# 通し回遊魚

33

## 遡河回遊魚

- ヤツメウナギ
- サクラマス
- シラウオ
- チョウザメ
- 14科

## 降河回遊魚

- ニホンウナギ
- アユカケ
- ヤマノカミ
- 8科

## 淡水性両側回遊魚

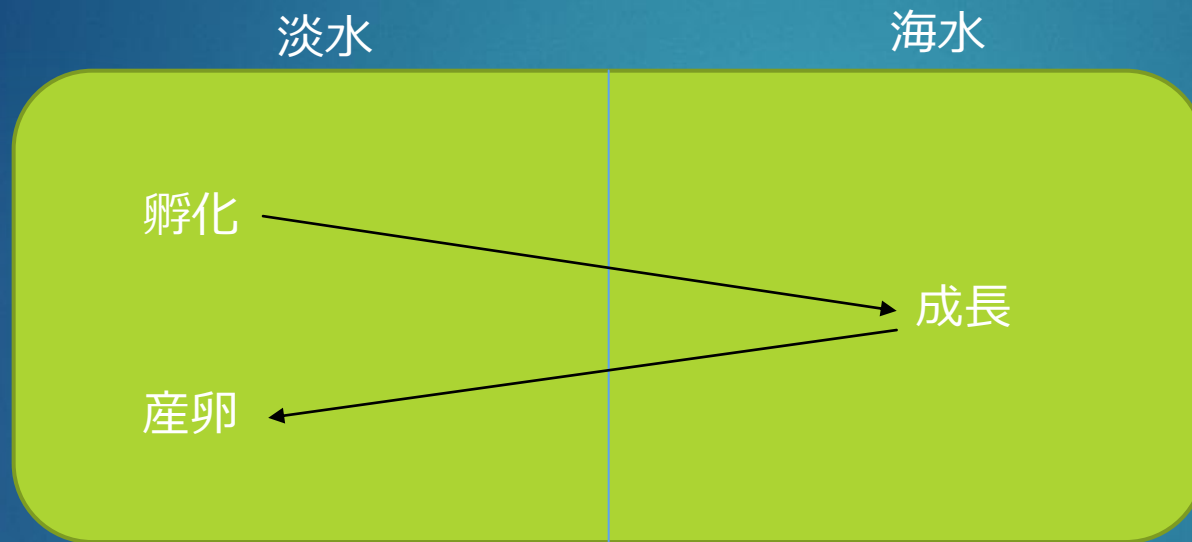
- アユ
- ヨシノボリ
- ボウズハゼ

## 海水性両側回遊魚

- ボラ
- スズキ

# 溯河回遊 anadromy

34

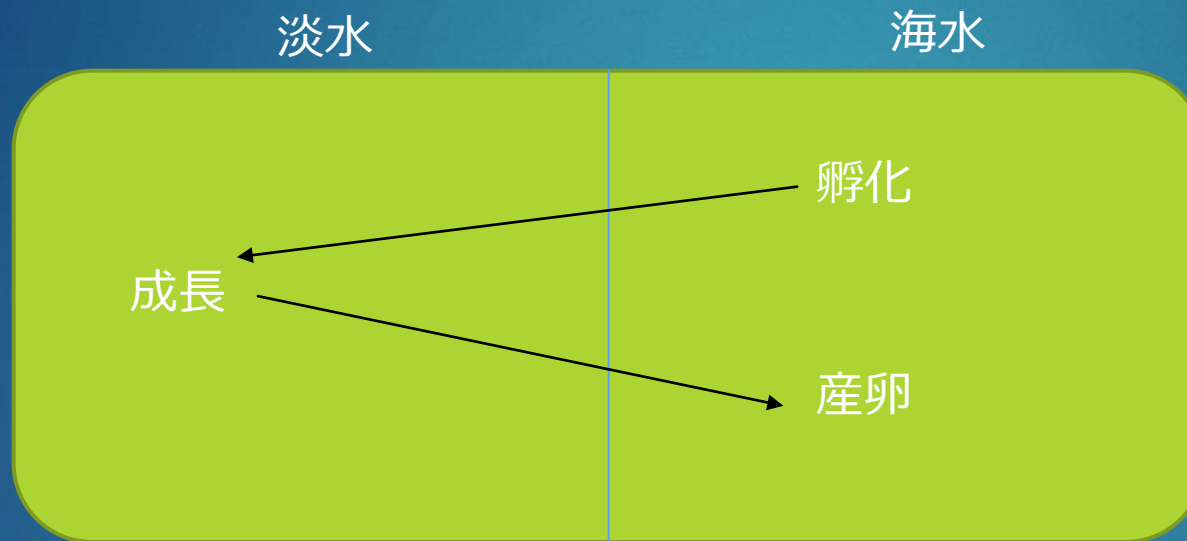


溯河回遊

サケ

# 降河回遊 catadromy

35

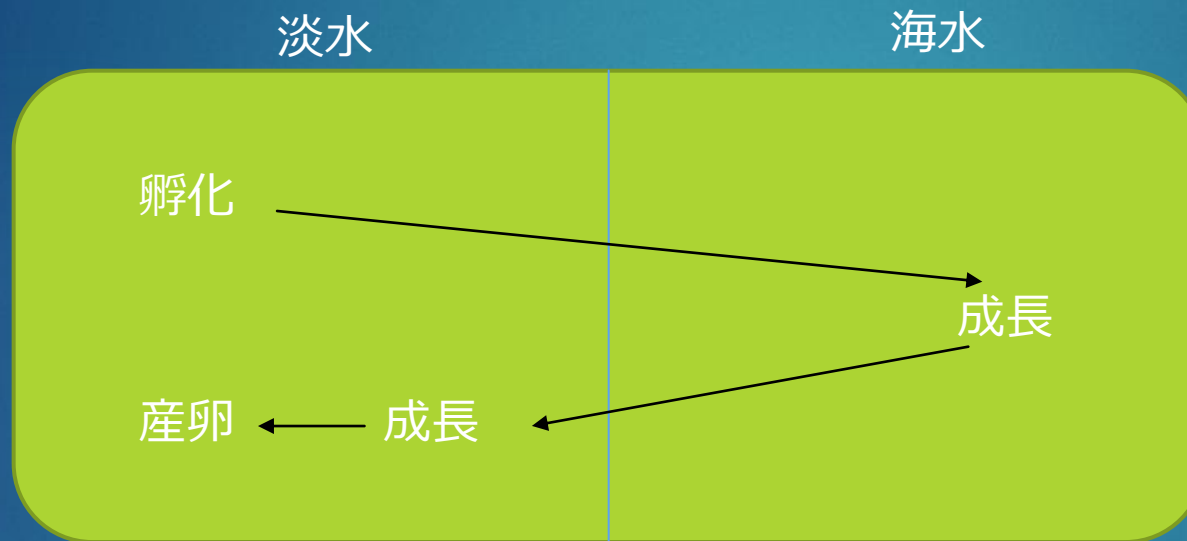


降河回遊

ウナギ

# 淡水兩測回遊 amphidromy

36

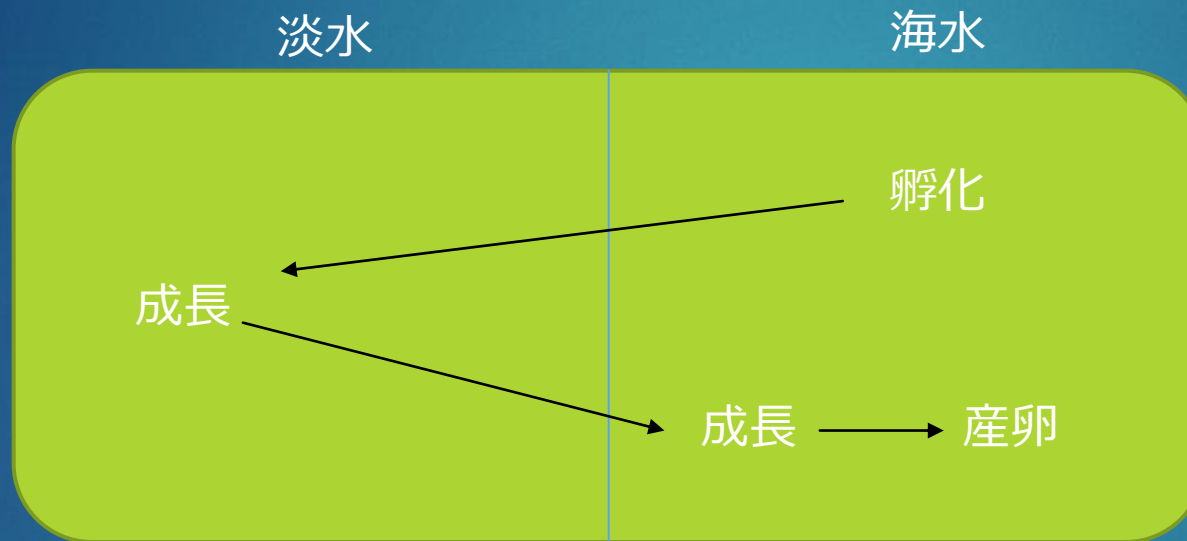


淡水兩測回遊

アユ

# 海水両側回遊 amphidromy

37



海水両側回遊

ボラ



# 採餌生態①

38

---

|       |                                                    |
|-------|----------------------------------------------------|
| 形態と食性 | キンブナ、ギンブナ、ゲンゴロウブナの鰓耙（さいは grill raker）の大きさの違いと食性の違い |
|-------|----------------------------------------------------|

---

|        |                    |
|--------|--------------------|
| 最適採餌理論 | 採食時間内に最大の利益を上げること。 |
|--------|--------------------|

---

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| Optical<br>forging theory | 早飯早食理論。 |
|---------------------------|---------|

---

|        |                                                |
|--------|------------------------------------------------|
| 日周期と採餌 | 水温、照度、CODなど、餌の利用度、捕食圧、競争相手など<br>夜間に藻を食べる魚はいない。 |
|--------|------------------------------------------------|

---

# 採餌生態②

39

---

採餌時間帯  
と季節変化

---

冬の夜行性理論。

---

干潟の生物  
の採餌行動

---

大きい魚は満潮時にやってくる。体の小さい魚は鳥を恐れて夜の満潮時にやってくる。生き物は大潮の満潮時に産卵行動するのが多い。

---

捕食リスク  
と採餌

---

鳥に食われないように魚は逃げて、安全なところで餌を食べる。

## 相利共生

- クマノミとイソギンチャク
- ハゼとテッポウエビ
- ホンソメワケベラ、ソメワケベラとクエなど（清掃魚と依頼魚の関係）
- アカシマシラヒゲエビとウツボなど（清掃魚と依頼魚の関係）
- 発光バクテリアと共生する魚類（共生発光型魚類）
- クロソラスズメダイと藻類の栽培の関係

## 片利共生

- コバンザメ
- カクレウオ

## 寄生

- 托卵魚
  - ムギツクなど
- 矮雄
  - 3分の1から13分の1程度
  - チョウチンアンコウの夫婦の夫
- ヤツメウナギ



# 水圏生命科学 魚の生理学と解剖学

# 魚類（海産物）の栄養について①

42

## 脂質

- DHA、EPA
- IPA

## コレステロール

- アン肝 560mg/100g
- 子持ちシシャモ、ワカサギ 210-230mg
- 魚卵 350-480mg
- ウナギ 230mg
- アナゴ 140mg

## タウリン

- 白身魚に多い。血合筋に豊富。無脊椎動物に多い。
- コレステロール低下作用。心臓病予防。

## ビタミンA

- マグロなどの大型老魚に多いので取りすぎに注意
- 器官の成長、分化に必須。皮膚や粘膜強化、視覚機能に作用。

## ビタミンD

- 回遊魚の赤身、ウナギ、サケ



# 魚類（海産物）の栄養について②

43

## ビタミンB<sub>1</sub>

- 淡水魚に多い

## ビタミンB<sub>2</sub>

- 回遊性の赤身、ドジョウ、タニシ、シジミ

## ナイアシン

- タラコ、ビンナガ、カツオ、キハダなど

## ビタミンB<sub>12</sub>

- 肝臓や内臓、血合筋、シジミ、赤貝など

## カルシウム

- 佃煮（イワシ、フナ、ハゼなど）
- 骨ごと食べること。

## 鉄

- ミオグロビン、赤身。カキ。タニシなど

亜鉛

銅

セレン

# 魚類や貝類のタンパク質の機能

44

- ▶ 20種類のL型標準アミノ酸から生成されるタンパク質
- ▶ アミノ酸が直鎖上にペプチド結合してできた物質
- ▶ アミノ酸
  - ▶ アミノ基、カルボキシル基、水素結合した炭素と側鎖が共有結合した構造

|          |             |
|----------|-------------|
| パルプアルブミン | • Ca輸送 ?    |
| ミオグロビン   | • 酸素貯蔵      |
| トリプシン    | • タンパク質分解酵素 |
| トロネボミオシン | • 筋委縮制御     |
| ペプシン     | • タンパク質分解酵素 |
| アクチン     | • 筋収縮       |
| ミオシン     | • 筋収縮       |
| トイッチン    | • 二枚貝の筋委縮制御 |

# 魚類の呼吸 respiration

45

## 1心房1心室

- 静脈洞(sinus)、心房(atrium)、心室(ventricle)と動脈球（硬骨魚類）、心臓球（軟骨魚類）からなる。
- 動脈(artery)と静脈(vein)と毛細血管(capillary)による循環系。
- 心筋（横紋筋）。

## 鰓によるガス交換

- 鰓弁(gill filament)と二次鰓弁

## 血液によるガス運搬

- 赤血球とヘモグロビンの可逆反応

## 外呼吸と細胞呼吸

- $C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2 + 38ADP + 38pi \rightarrow 6CO_2 + 12H_2O + 38ATP$

# 魚類の変態 metamorphosis

46

## ヒラメやカレイの片目の移動

- ⇐ 甲状腺ホルモンによる誘因。
- 左ヒラメ、右カレイ

## ウナギの稚魚の成長

- ⇒ レプトケファルスから細長いウナギへ成長。

## サケのスモルト化とパーマークに関係

# 魚類の成長 growth

47

下垂体成長ホルモンによる制御、促進

- インスリン様成長因子-1 (insuline -like growth factor -1 IGF-1)
- ソマトスタチン(somatostatine)

メダカの成長からジンベイザメの成長まで様々な成長がある。



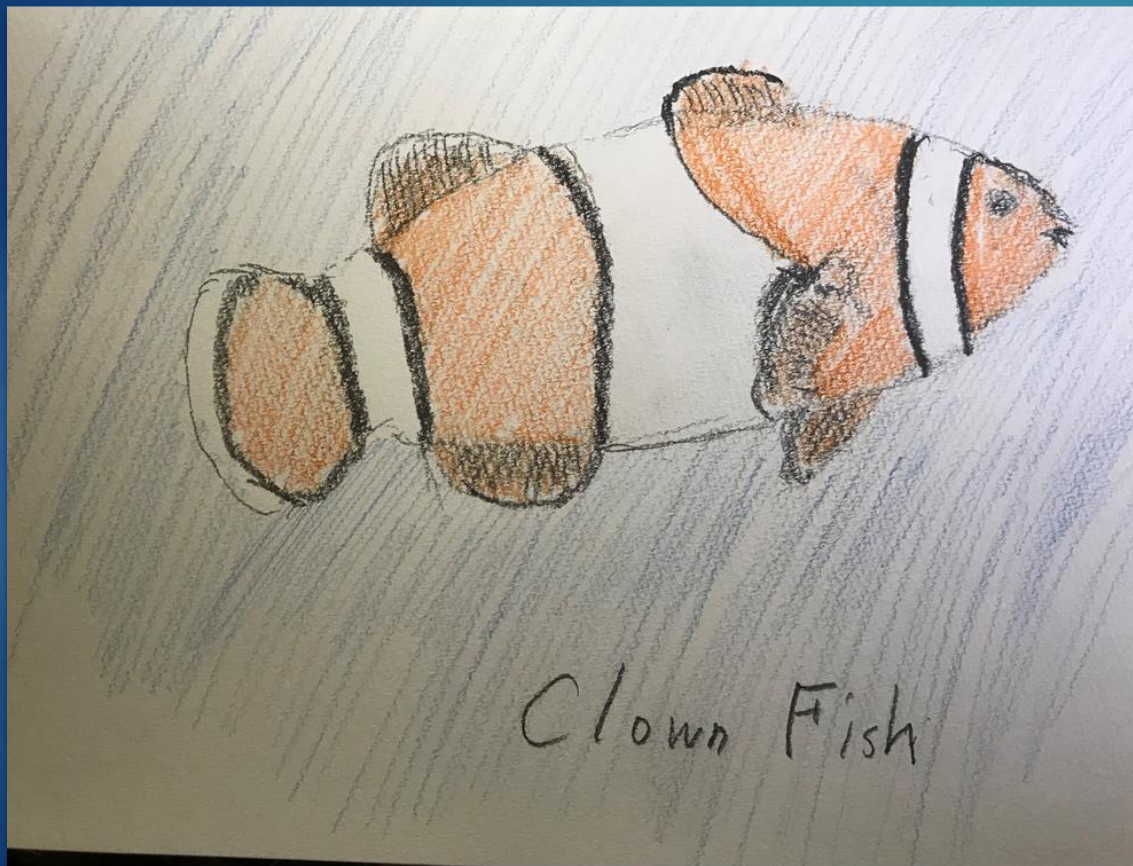
# クロマグロの成長

48

| 0歳     | 1歳     | 2歳     | 3歳      | 4歳      | 5歳      |
|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 19.1cm | 58.6cm | 91.4cm | 118.6cm | 141.1cm | 159.7cm |
| 0.2kg  | 4.4kg  | 16kg   | 34.5kg  | 58.4kg  | 85.2kg  |
|        |        |        | 20%成熟   | 50%成熟   | 100%成熟  |
| 幼魚     | 幼魚     | 幼魚     | 成魚      | 成魚      | 成魚      |

# 魚類の性転換

49



多くの魚類は雌雄異体。

- 異性配偶体による有性生殖

性転換する魚類もいる。

雄性成熟 (protandry)

- クロダイなど。

雌性成熟 (protogyny)

- キュウセンなど。

社会的要因による性転換

- ホンソメワケベラ、クマノミなど。

# 魚類の多産多死と少産少死の生活史

50

## 多産多死の魚

- シロザケ 2500粒の卵。
  - 遡河回遊型回遊行動と母川回帰性。1万キロの回遊行動
- マンボウ 2億個
- マイワシ、ニシン 数万から数十万

## 少産少死の魚

- タツノオトシゴ、ウミタナゴ 数十個
- メジロザメ 数十個
- ミズワニ、メジロザメ 1, 2個

# 魚類の受精形式と産卵形式①

51

## 体外受精

- 硬骨魚類のほとんど。

## 体内受精

- カサゴ、ウミタナゴ、メバル
- カダヤシ

## 配偶子体内会合型

- ニジカジカ
- クダヤガラ
- 体外受精に含まれるが、体外受精の交尾行動をとものう。

## ペア産卵

- 雄一個体と雌一個体で産卵する。

## 一雌多雄型産卵

- 群れやグループでの産卵。

## 雌のみでの産卵

- 関東地方にありふれた魚だがギンブナの無性生殖。近縁種の雄の精子で未授精のまま母方と同じクローンが生まれる珍しい魚。（普通に乗りっこみブナもいる。）
- マングローブキリフィッシュで自家受精する珍しい魚



# 魚類の子の保護

52

## 体内運搬型

- 卵胎生
  - ウミタナゴ
  - カサゴ
  - アカエイ

## 体外運搬型

- シクリッド
- テンジクダイ
- スズメダイ
- ネンブツダイ
- ヨウジウオ
- タツノオトシゴ
- コウモリウオ
- ギンポ

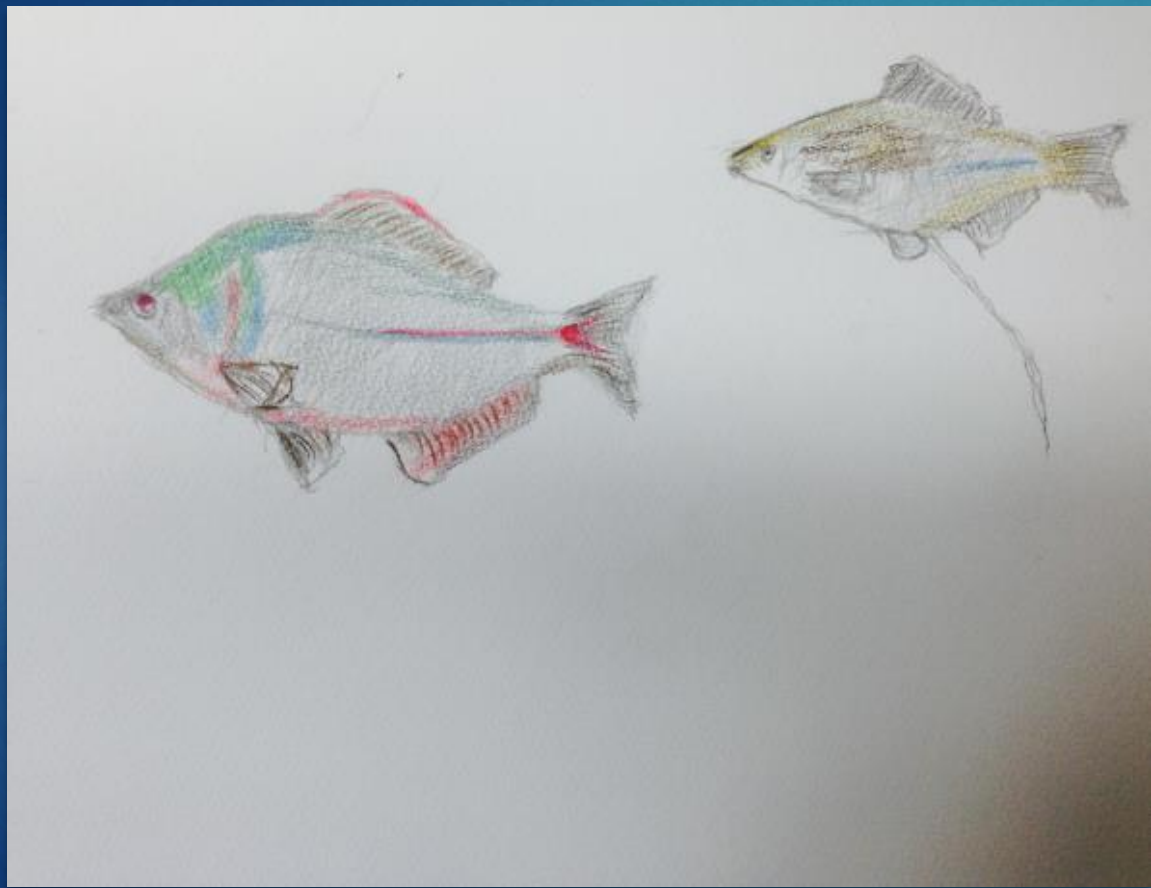
## 見張り型

- トゲウオ
- アミメハギ
- カワハギ
- ヨソギ
- シワイカナゴ
- ブラックバス



# 魚類の受精形式と産卵形式と子の保護

53



## ▶タイリクバラタナゴの雄と雌

- ▶成熟すると雄は婚姻色が出ている。鼻に追星が出てくる。
- ▶雌は産卵管がある。
- ▶産卵期を迎えると、カラスガイに産卵管を入れて雄と交尾をする。稚魚は、カラスガイの中で孵化し、成長する。
- ▶タナゴ類以外に、ヒガイやビワヒガイなどのヒガイ類も同様に雌に産卵管があり、貝に産卵することが知られている。

# 魚類の主要ホルモン①

54

## 腺 下 垂 体

|             |                      |
|-------------|----------------------|
| プロラクチン      | 淡水適応                 |
| 副腎脂質刺激ホルモン  | コルチゾルの分泌促進           |
| 甲状腺刺激ホルモン   | 甲状腺ホルモンの分泌促進         |
| 生殖腺刺激ホルモン   | 生ステロイドホルモンの産生、生殖腺の発達 |
| 成長ホルモン      | 成長促進、海水適応            |
| 黒色色素胞刺激ホルモン | 黒色色素のメラトニン顆粒の拡散      |
| ソマトラクチン     | 塩酸気調節、体調変化、ストレス応答    |

## 神 経 下 垂 体

|                 |                                |
|-----------------|--------------------------------|
| アレ르기ニン<br>バソトシン | 血圧上昇、生殖輸<br>管の収縮、糸球体<br>ろ過量の増加 |
| イソトシン           | 鰓毛血管の収縮                        |
| メラトニン凝<br>集ホルモン | 黒色素胞のメラト<br>ニン顆粒の凝集            |

# 魚類の主要ホルモン②

55

|             |                      |                             |
|-------------|----------------------|-----------------------------|
| 松果体         | メラトニン                | 明暗リズム                       |
| 甲状腺         | チロキシン、トリ<br>ヨードチロキシン | 細胞分化、成長促進、変態<br>促進、銀化（スモルト） |
| シタニウ<br>ム小体 | スタニオカルシン             | カルシウム取込み抑制                  |
| 鰓後腺         | カルシトニン               | カルシウム調節                     |
| 間肝腺         | コルチゾル                | 糖新生、ストレス応答、海<br>水適応         |

## クロ ム親 和細 胞

アドレナリン、  
ノルアドレナ  
リン

心拍数の増大、血  
圧の上昇、血糖値  
の上昇、血管の収  
縮、黒色素胞のメ  
ラトニン顆粒の凝  
縮

## 腎臓

|              |        |                            |
|--------------|--------|----------------------------|
| アンギオテン<br>シン |        | 血液上昇、飲水誘<br>起、抗利尿作用        |
| ランゲルハン<br>ス島 | インスリン  | 血糖値低下、糖、脂質の蓄積<br>促進        |
|              | グルカゴン  | 血糖値上昇、グリコーゲン、<br>中性脂肪の分解促進 |
| 尾部下垂体        | ウロテンシン | 水、電解代謝                     |

# 魚類の脂質①

56

## 貯蔵脂質

- マグロの赤身は1%からトロは30%
- サンマ、ブリなどは筋肉に脂肪を蓄える。  
特に皮下組織、血合筋など。
- フグ、アンコウ、タラは肝臓に貯蓄。
- 甲殻類、貝類は筋肉ではなく、内臓（中腸腺）に貯蓄。

## 組織脂質

## 多価不飽和脂肪酸

- オレイン酸
- リノール酸
- アラキドン酸
- $\alpha$ リノレン酸
- イコサペンタエン酸 IPA
- DHA



# 魚類の脂質②

57

## アシルグリセロール

- アブラボウズ 老成魚でお腹壊すので注意。

## ワックス

- ボラのカラスミは珍味ではあるが、食べ過ぎに注意。
- バラムツ、アブラソコムツの販売禁止

## グリセルエーテル脂質

- カゴカマスで注意

## 炭化水素

- スクアレンオイル（深海ザメ）

## ステロール、ステロールエステル

## 極性脂質

## ヒトに対する生理作用

- IPAやDHAの摂取による循環器疾患の死亡率が低い。
- 魚油中のIPAが体内でイコサノイドに変換。アラキドン酸由来のイコサノイドと拮抗作用を起こす生理作用。
- n-6系列脂肪酸とn-3系列脂肪酸の摂取のバランスが健康維持に不可欠。



# ミオグロビン(Mb)

58

筋肉中に酸素保存をする物質。

ヘム鉄を含む、水溶性。

マグロの赤身、血合筋の赤い色を出している物質。

ヘモグロビン(Hb)は血液内の赤血球で酸素の運搬に関わる物質で、類似している。

酸素欠乏状態で、嫌気性の状態で、魚類の体内での酸素供給を助けます。

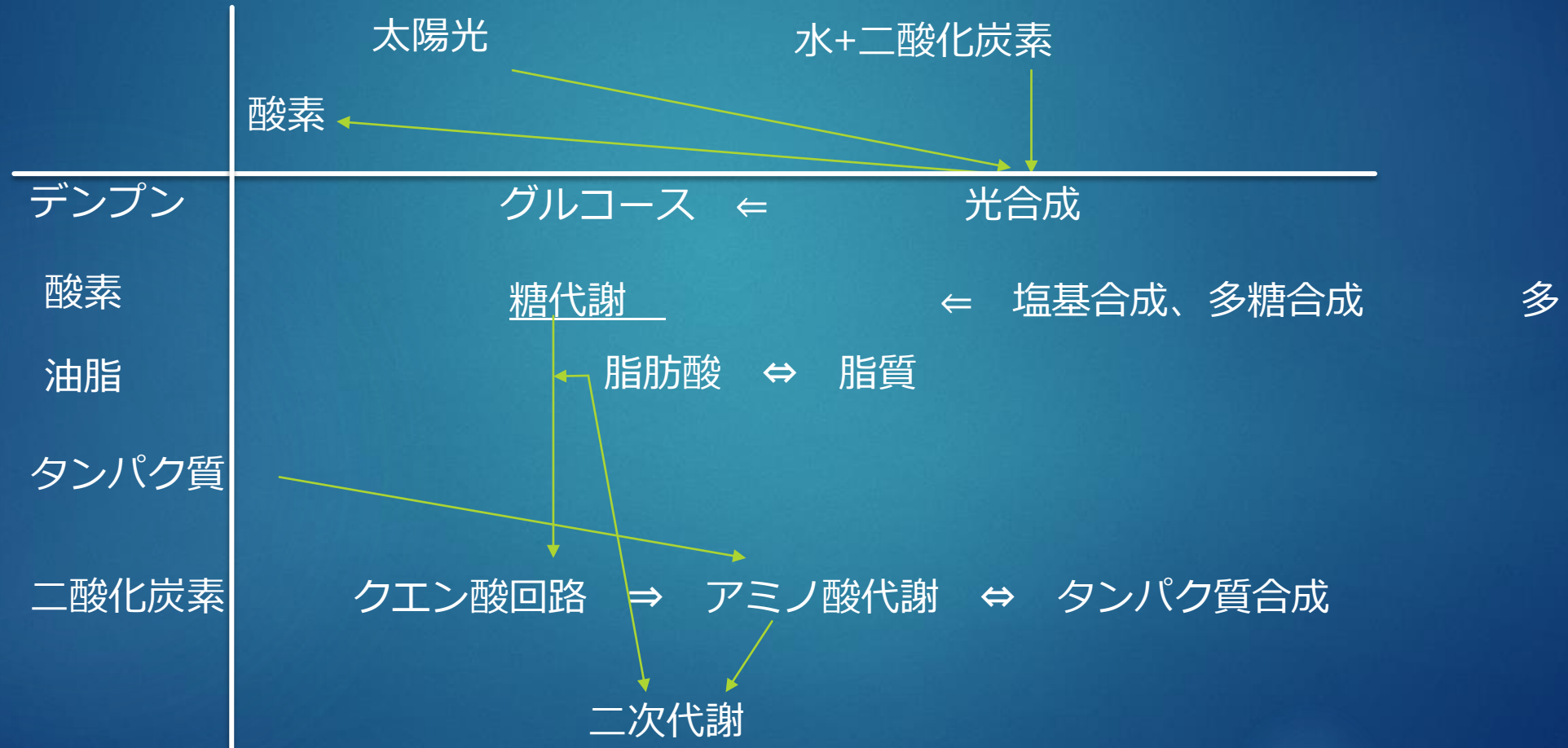
哺乳類はクジラとアザワシなどに多く含んでいます。

多くの魚類ではミオグロビンを筋肉に貯蓄しています。

軟体動物は銅を含むヘモシアニンが酸素の運搬の役割を果たしている。

# 主要な生体代謝回路との関係

59



# カルビン・ベルソン回路（光合成の仕組）

60

## カルビン・ベルソン回路

- $12H_2O + 12NADP \rightarrow 12NADPH + 12H^+ + 6O_2$
- $6CO_2 + 12NADPH + 12H^+ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 12NADP^+$

## 光合成全体での化学反応

- $6CO_2 + 12H_2O + 686kcal(2867kJ) \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$

# 藻類の光合成の葉緑体と色素

61

## 葉緑体の構造

- 葉緑体包膜内部はストロマとチラコイド膜からなる。
- 葉緑体の構造は極めて多様性に富んでいる。

## 光合成色素

- クロロフィル
- カロテノイド
- フィコビルン

## 光合成色素の吸収スペクトル

# 藻類の葉緑体の構造

62

## 原核藻類（葉緑体なし）

- 藍色植物
- 原核緑色植物

## 真核藻類（二重包膜葉緑体）

- 紅色植物
- 灰色植物
- 緑色植物（グラナ構造あり）

## 真核藻類（三重包膜葉緑体）

- ユーグレナ植物
- 渦鞭毛植物

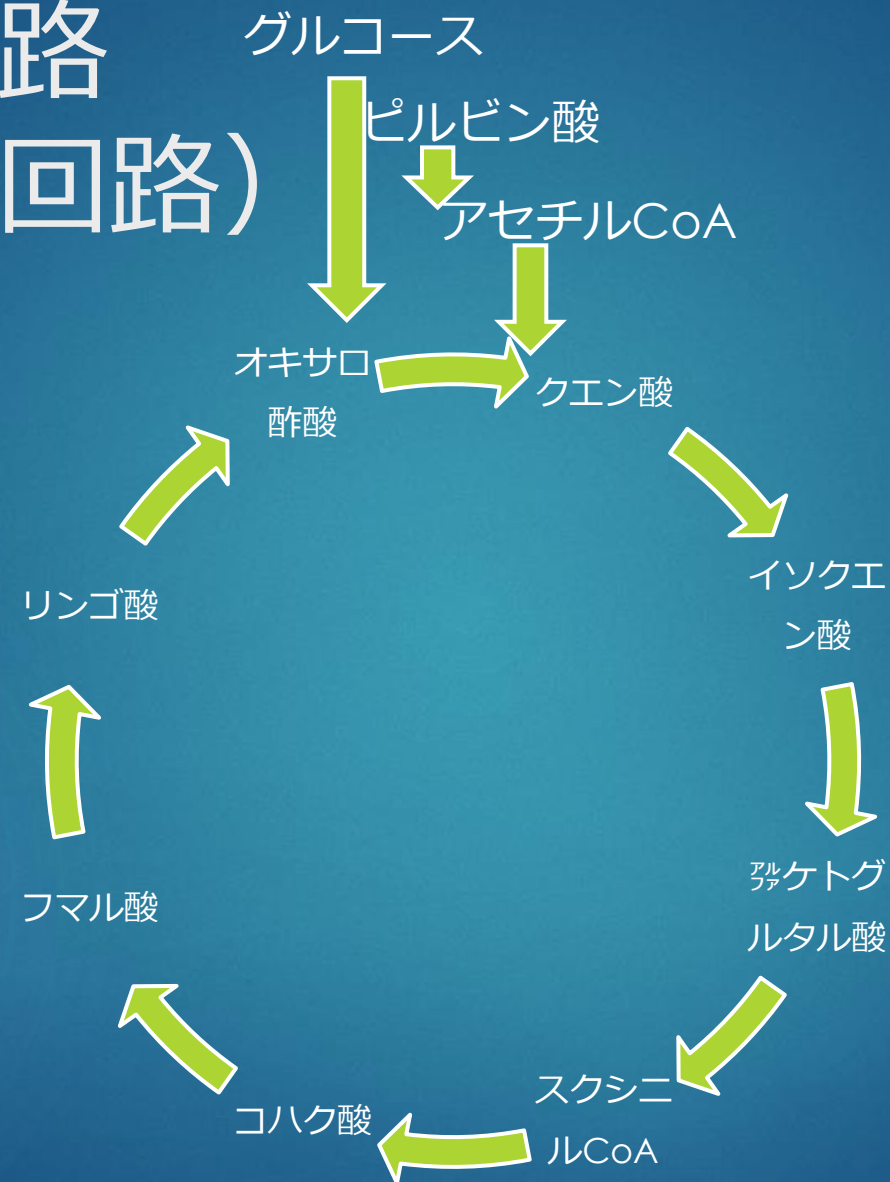
## 真核藻類（四重包膜緑体）

- クリプト植物
- クロララクニオン植物
- ハップト植物
- 不等毛植物



# クエン酸回路 (クレブス回路)

63



# アミノ酸回路

64

セリン、トレオニン、トリプトファン、アラニン、システイン、グリシン

イソロイシン、ロイシン、トリプトファン  
リシン、フェイルアラニン

アルギニン、グルタミン酸、グルタミン、ヒスチジン、プロリン

イソロイシン、メチオニン、トレオニン、バリン

グルコース  
↓  
ピルビン酸

↓  
アセチルCoA

アスパラギン  
アスパラギン酸  
↓  
オキサロ酢酸 (2C)

アセチルCoA + オキサロ酢酸 → α-ケトグルタル酸 (5C)

α-ケトグルタル酸 (5C)  
↓  
スクシニルCoA (5C)

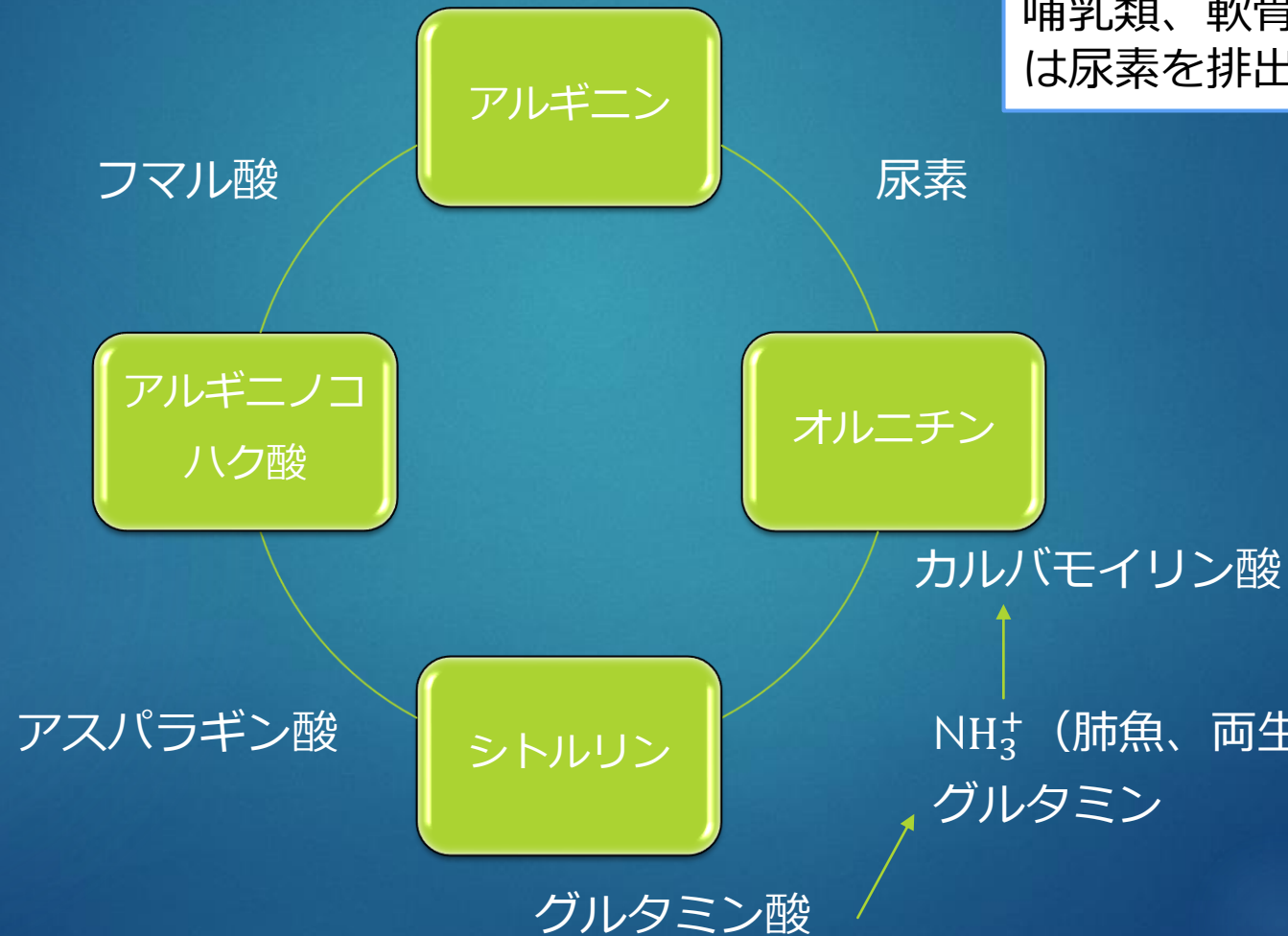
アスパラギン酸  
フェニルアラニン  
チロシン  
↑  
フマル酸 (4C)

↑  
フマル酸 (4C)

スクシニルCoA (5C) + フマル酸 (4C) → α-ケトグルタル酸 (5C)

# 尿素回路（オルニチン回路）

65



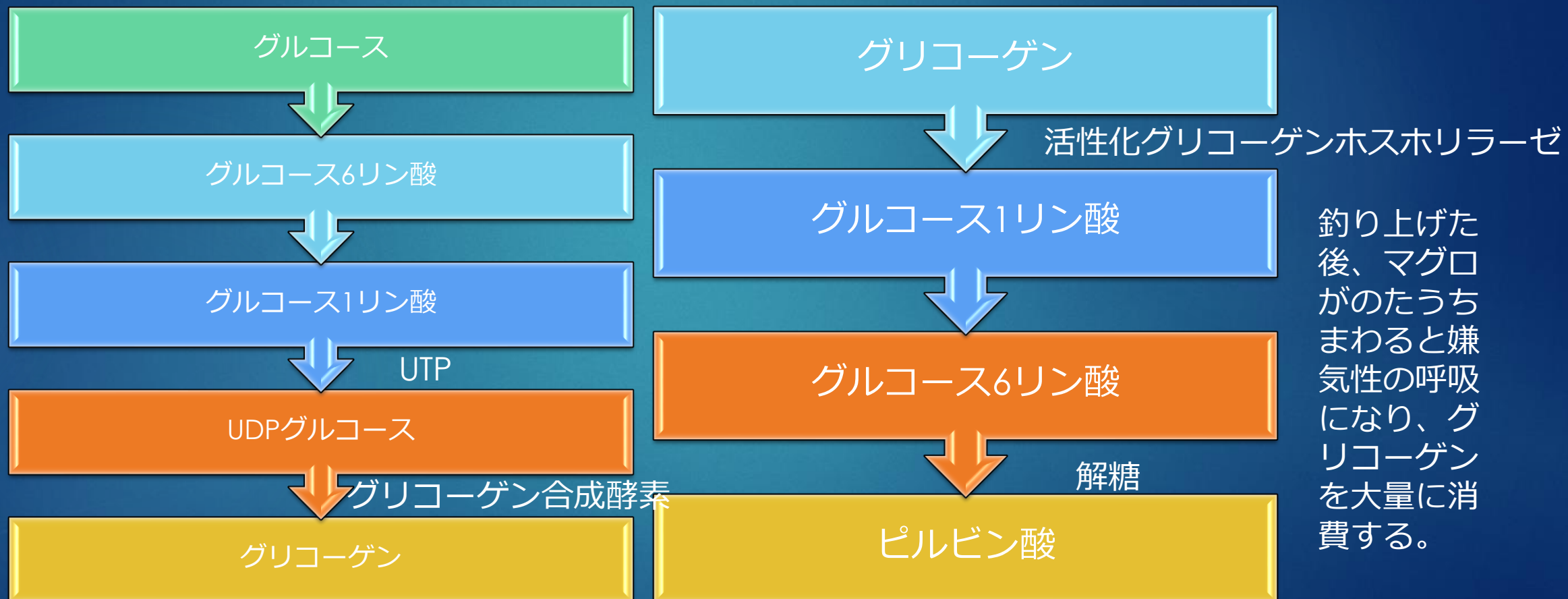
哺乳類、軟骨魚類と肺魚、両生類では尿素を排出する。

爬虫類、鳥類は尿酸。

硬骨魚類のほとんどはアンモニアを直接排出。

# グリコーゲンの合成と分解（マグロの筋肉内、肝臓内）

66



# 魚介類の鮮度保持と筋肉の仕組み

67

## 魚の筋肉の仕組みと死後硬直と軟化、腐敗のプロセスの説明

- ▶ 筋原線維
  - ▶ アクチンフィラメント
  - ▶ ミオシンフィラメント
- ▶ ATP分解能
  - ▶ 筋原線維ATP分解能
  - ▶ トロポニンが関係
- ▶  $ATP \Rightarrow ADP$ 
  - ▶ クレアチンリン酸からリン酸になる。
  - ▶ 乳酸の蓄積。
  - ▶ 生きていた時のグリコーゲンに頼って、 $pH 5.5$ まで達する。
- ▶ プロテアーゼ作用による軟化
- ▶ IMPの増加と細菌による腐敗。

## 鮮度保持と活けじめ

- ▶ 静止魚体（筋肉弛緩カルシウムイオン $<$ ）
- ▶ 活 $\times$ （延髄刺殺）＝筋肉弛緩のまま
- ▶ 筋小胞体カルシウムイオン取込み低下
- ▶ 筋原線維中カルシウムイオン濃度上昇
- ▶ 筋原線維マグネシウムATP分解能賦活＝ATP消費速度増大
- ▶ 死後硬直の促進



# 魚の鮮度の指標の計算式

68

K値＝

$$\frac{[\text{HxR}] + [\text{Hx}]}{[\text{ATP}] + [\text{ADP}] + [\text{AMP}] + [\text{IMP}] + [\text{HxR}] + [\text{Hx}]} \times 100$$

- ATP アデノシン5－3リン酸
- ADP アデノシン5－2リン酸
- AMP アデノシン5－1リン酸
- IMP イノシン酸
- HxR イノシン
- Hx ヒポキサチン

K値の上昇とともに、

硬化⇒軟化、自己消化⇒腐敗

アンモニア、トリメチルアミン（臭さの原因物質）と相関関係がある。

活けしめ8時間後が一番おいしい。イノシン酸のピーク。

# マグロ、カツオに含まれるヒスチジン 腐るとどうなるか？


マグロにはヒスチジンが多い。

- 成長期には必須のアミノ酸
- 1500mg/100g
- 成長に作用。抗酸化作用。
- 神経機能や関節に作用する。

ヒスチジンとヒスタミンの関係

- ⇒ 微生物による腐敗
- ⇒ ヒスチジンでカルボキシラーゼ酵素の影響
- ⇒ ヒスタミンによるアレルギー発生がありうる。注意。できるだけ新鮮なマグロを食べること。
- ⇒ 一度ヒスタミンができてしまうと、加熱してもヒスタミンはなくなるので注意。
- ⇒ 魚を殺した瞬間から、冷蔵庫での温度管理が必要。



A vibrant underwater photograph of a coral reef. The foreground is filled with various types of coral, including branching red corals and large, rounded brown corals. Small blue and yellow fish are swimming around the coral. The water is clear and blue, with sunlight filtering down from the surface, creating a shimmering effect. The background shows more coral and fish, extending into the distance.

# 水圏生命科学 魚の病理学



# 養殖魚類の主な疾患①

71

## ウイルス

- ▶ 伝染性造血器壊死症（IHN）（サケ科）
- ▶ コイヘルペスウイルス病
- ▶ マダイイリドウイルス病
- ▶ VNN（シマアジ）
- ▶ リンホシスチス病（ヒラメ）
- ▶ クルマエビ急性ウイルス血症

## 細菌

- ▶ セツそう病（サケ科）
- ▶ ビブリオ病（アユ）
- ▶ パラコロ病（ウナギ）
- ▶ レンサ球菌（ブリ）
- ▶ 類血節病（ブリ）

# 養殖魚類の主な疾患②

72

## 真菌

- ▶ ミズカビ病（サケ科）
- ▶ フサリウム（クルマエビ）
- ▶ 壺状菌病（スサビノリ）
- ▶ アカグサレ病（スサビノリ）

## 原虫

- ▶ イクチオボド病（サケ科）
- ▶ 白点病
- ▶ ゲルゲア症（アユ）
- ▶ 卵巣肥大症（マガキ）



# 養殖魚類の主な疾患③

73

## 粘液胞子虫

- ▶ 鰓ミクソボルス症（コイ）
- ▶ 奄美クドア症（ブリ）

## 大型寄生虫

- ▶ イカリムシ症（淡水魚）
- ▶ ベネデニア症（ブリ、カンパチ）
- ▶ ヘデロボツリウム症（トラフグ）
- ▶ 血管内吸虫症（カンパチ）

# 養殖魚類の主な疾患④

74

## 非感染症

- ▶ ビタミンB<sub>1</sub>、ビタミンE欠乏症（海水魚）
- ▶ 色素異常（ヒラメ）
- ▶ ガス病（淡水魚）
- ▶ メトヘモグロビン血症
- ▶ 体色異常（ヒラメ）
- ▶ ポリドラの突孔（ホタテガイ、マキガイ）



# 水圏生物科学 資源管理の漁 業科学

資源管理と漁業の数学的説明





# Russellの方程式と最大持続生産量 (Maximum Sustainable yield, MSY)

76

$$\Delta B = R + G - V - Y$$

- R : 若齢魚の加入量
- G : 資源全体での成長量
- V : 自然死亡量(natural mortality)
- Y : 漁獲量(yield)

$$P = R + G - V, \text{ 自然増加量、余剰生産量}$$

- $Y = P$  漁獲量 = 自然増加量
- $\Delta B = 0$ 、持続生産量, (Sustainable yield)
- 最大持続生産量 (Maximum Sustainable yield, MSY)

# 余剰生産モデル

77

## 個体群の増殖過程

$$\Delta B/dt = f(B)B$$

- $B$  : 生物資源量
- $f(B)$  : 資源量が  $B$  の時の資源増加率

$$B = B_0 e^{rt}$$

- $R$  : 内的自然増加率、密度効果のない時の増加率

$$f(B) = r \left( 1 - \frac{B}{K} \right)$$

$$B = K$$

$$B = K \{ 1 + e^{-r(t-t_0)} \}$$

- logistic式
- $K$  : 環境収容力 (carrying capacity)

## Schaeferの余剰生産モデル

$$\Delta B/dt = rB(1-B/K) - Y$$

$$\Delta B/dt = 0$$

$$B = K/2、$$

$Y_e$  は最大になる。

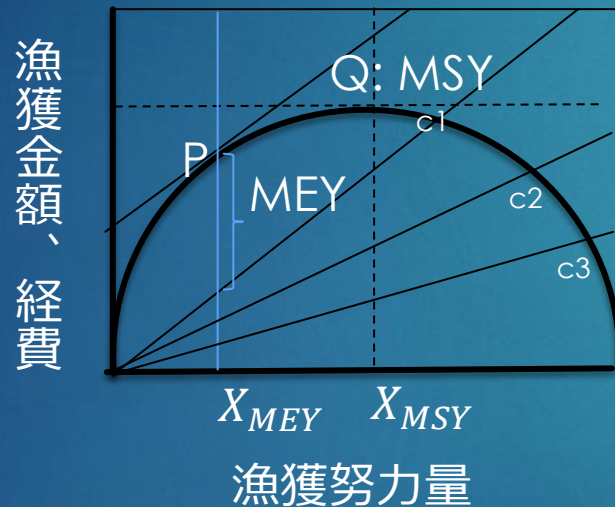
資源量が環境収容力  $K$  の半分になるように  
漁獲を継続



# 最大経済生産量 MEY(maximum

78

economic yield),  
最大経済生産量 MEY、最適  
生産量 OY (optimum yield)



生存数が減ってしまっても、子を産んで多くなり、元に戻る再生産になる。再生産量を利息と考え、元が減らないように利息の範囲内で利用すれば、永遠に使い続けることができる。持続生産量の利息を最大化するとMSYになるというモデル。その資源にとっての現状の生物的、非生物的环境条件のもとで持続的に達成できる最大の漁獲量。

## 自由な漁獲競争下での経済均衡の考察 Gordon

- ▶ 漁業参入自由におくと、新規参入、新たな投入が起こる。
- ▶ 生産金額と生産コストが等しくなって利益が0になるまで漁獲努力が増加する。(C1, C2, C3)
- ▶ コストが高くないとMSYを超えて乱獲に陥る。
- ▶ 【適用】
- ▶ ① 資源を私有財産化し、分割所有。⇒ IQ、ITQ
- ▶ ② 資源を漁業グループの私有財産化。協調的利用 ⇒ 漁業権制度
- ▶ ③ 資源を公有資産化し公共機関による管理 ⇒ TACや許可制
- ▶ ④ 漁業努力に合った課税

# 成長—生存モデル

79

## ▶ 成長

Von bertalanffy式

- $L_t = L_\infty \{1 - e^{-k(t-t^0)}\}$

Von bertalanffy 3  
乗式

- $W_t = W_\infty \{1 - e^{-k(t-t^0)}\}^3$

Gompertz式

- $L_t = L_\infty \exp\{-e^{-k(t-t^0)}\}$

Logiostic式

- $L_t = L_\infty / \{1 + e^{-k(t-t^0)}\}$

Richards式

- $L_t = L_\infty / \{1 + e^{-k(t-t^0)}\}^{1/r}$

# 生存モデルと漁獲方程式

80

$$\frac{dN}{dt} = -ZN$$

- $Z$  : 瞬間死亡係数

$$Z = F + M$$

- $F$  : 漁獲係数
- $M$  : 自然死亡係数

$$dC/dt = FN$$

生存モデル  $N_t = N_0 S =$   
 $N_0 e^{-zt} = N_0 e^{-(M+F)t}$

漁獲方程式  $C =$   
 $EN_0 = \frac{F}{M+F} \{1 - e^{-(M+F)t}\} N_0$

- $S$  : 生存率
- $E$  : 漁獲率

$$F = qX$$

- $Q$  : 漁具能率
- $X$  : 漁獲努力量 (資本、労働の投入量)

# 加入当たりの漁獲量 (recruit)

YPR (yield per

81

$$Y = \int_{t_c}^{t_d} N_t FW_1 dt$$

- $Y$  : 漁獲量
- $t_c$  : 漁獲開始年齢
- $t_d$  : 寿命
- $R$  : 加入尾数
- 魚が成長していく過程で、小さいうちに漁獲した方がいいのか、大きくなるまで待っていた方がいいのか、よく考える。

# 再生產曲線

82

Beverton-Holt型  
再曲線  $R = \frac{\alpha S}{1 + \beta S}$

Ricker型再生產曲  
線  $R = \alpha S \exp(-\beta S)$

一般式  $R = \frac{\alpha S}{(1 + r\beta S)^{1/r}}$



# 生物学的許容漁獲量ABC (allowable biological catch )

83

ABC $\alpha$  (資源の理想的水準  
を維持する漁獲量)

ABC $\beta$  (現状の資源水準を  
維持する漁獲量)

ABC $\gamma$  (資源を崩壊させない  
最低の資源水準を残す漁  
獲量)

適切と考えられる管理規則  
による資源管理を継続する  
ことで得られる漁獲量

# 特定海洋生物資源 TAC(total allowable catch),TAE(total allowable effort)

84

## 第一種特定海洋生物資源

TAC漁獲可能量が定められている。

- サンマ、スケトウダラ、マアジ、マイワシ、サバ（マサバ及びゴマサバ）、ズワイガニ、スルメイカ、7種類

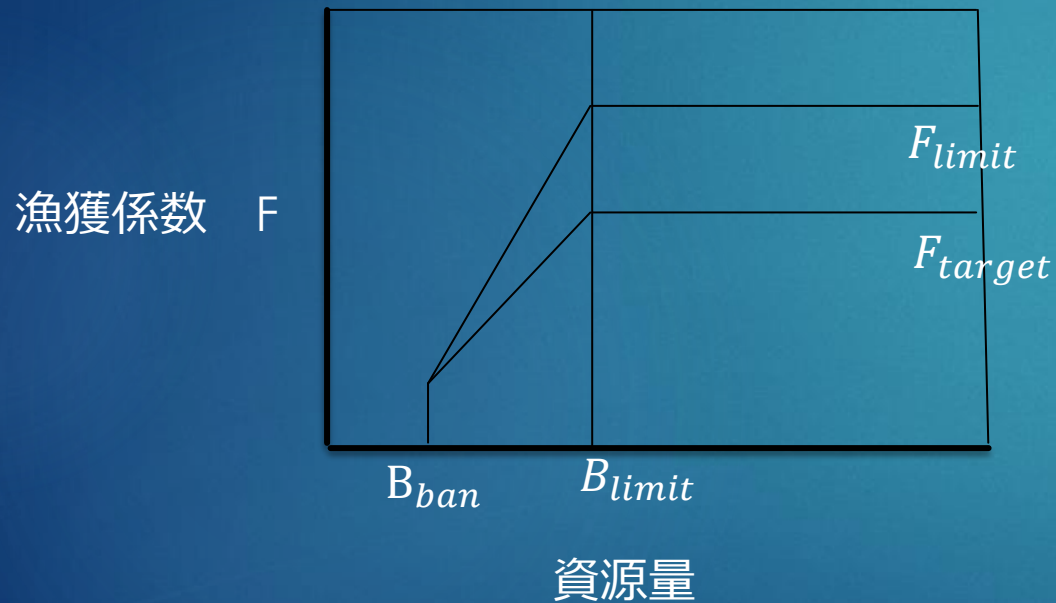
## 第二種特定海洋生物資源

TAE漁獲努力可能量が定められている。

- あかがれい、さめがれい、さわら、とらふぐ、やなぎむしかれい、9種類

# ABC算定ルール

## ABC: Allowable biological catch



- ▶ ABCはTACの設定の際の科学的根拠とされる。
- ▶ 生物学的管理基準BRP（MSYに与える漁獲係数 $F$ など）に基づく漁獲係数に従った漁業がなされる。
- ▶  $B_{limit}$ を下回ると $F$ を引き下げる資源回復措置が取られる。
- ▶ 漁業規制ルールの例。
- ▶  $B_{ban}$ で禁漁。

# マグロの漁業管理委員会

86

インド洋まぐろ類委員会 (IOTC)

みなみまぐろ保存委員会 (CCSBT)

北太平洋まぐろ暫定科学委員会 (ISC)

中西部太平洋まぐろ類委員会 (WCPFC)

全米熱帯まぐろ委員会 (IATTC)

大西洋まぐろ類保存国際委員会 (OCCAT)

地中海漁業総務理事会 (GFCM)

まぐろ、カジキ類常設委員会 (SCTB)

# 代表的な漁業管理手法

87

|                     | 量的規制                                                  | 質的規制                     |
|---------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------|
| 入口規制<br>固定設備<br>固定費 | 漁獲能力規制<br>船の規模<br>エンジン馬力<br>漁具の規模                     | 漁具漁法の制限<br>漁具の選択制、禁止漁具   |
| 入口規制<br>操業内容<br>変動費 | 漁獲努力量の制限<br>船の数、日数、回数の制限<br>漁具の使用数<br>漁獲努力可能量（TAE）    | 産卵期、小型魚の<br>禁漁区、<br>禁漁期間 |
| 出口規制                | 漁獲量の制限<br>漁獲可能量（TAC）<br>個別漁獲割当（IQ）<br>譲渡可能個別漁獲割当（ITQ） | 体長別漁獲制限<br>性別漁獲制限        |



A vibrant underwater photograph of a coral reef. The foreground is filled with various types of coral, including branching red corals and large, rounded brown corals. Small blue and yellow fish are swimming around the coral. The water is clear and blue, with sunlight filtering down from the surface, creating a shimmering effect. The background shows more coral and the surface of the water with ripples.

# 水圏生命科学 漁業技術

釣りと漁業の技術のまとめ



# 漁業技術 漁具の分類

89

## 引き網

トロールとも呼ばれる。海底に住む魚を捕る

中層引き網。中層、表層にいる魚を捕る。

カレイ、アナゴ、タチウオなど

## 巻き網

イワシ、アジ、サバを対象。スズキなど。

## 刺網

タラ、サケ、マス、エビ、カニなど。

ヒラメ、イセエビなど

## 敷網

サンマ棒受け網

## 定置網

サバ、イワシ、アジなど

## 延縄

浮き延縄 マグロなど。

底延縄 スケトウダラなど

一本釣り、  
機釣り、引  
き縄釣り

カツオ、イカ、マグロ、カジキなど

## 雑漁具

(蛸壺、蟹壺、穴子壺、もりややり)、  
藻をねじり取る、貝を取る。

# 漁業機械、計器

90

## 漁業機械

### 揚網機

- ネットホーラー（刺網、巻網用）
- パワーブロック（巻網用）
- ラインホーラー（延縄用、幹縄の揚収機）
- トロールウィンチ（底引き網用）
- パースウィンチ（巻網）
- 多段ウィンチ（棒受け網）
- 自動釣り機（イカ、カツオ）

## 漁業計器

---

魚群探知機(echo sounder)

---

スキャニングソナー(scanning sonar)

---

---

---

---

---

---





# 水圈生命科 学 食品

# サケ属の名称と英名

92

|         |                  |
|---------|------------------|
| カラフトマス  | • Pink salmon    |
| シロサケ    | • Chum salmon    |
| ベニザケ    | • Sockeye salmon |
| ギンザケ    | • Cocho salmon   |
| マスノスケ   | • Chinook salmon |
| サクラマス   | • Masu salmon    |
| スチールヘッド | • Stealhead      |



# カツオ、マグロの仲間の名称と英名

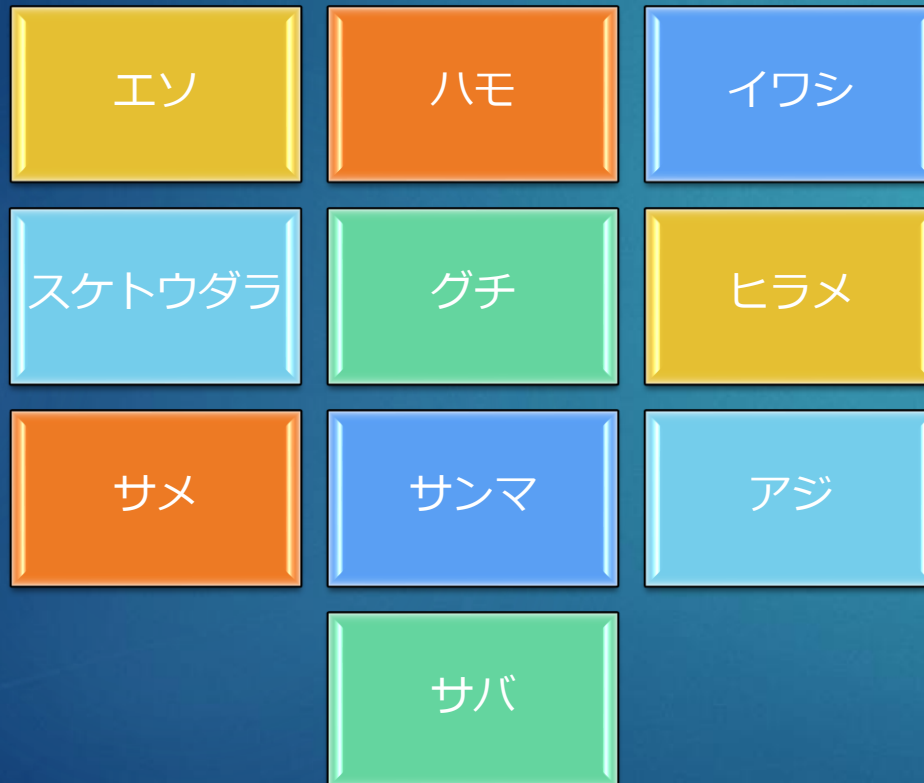
93

|         |                          |
|---------|--------------------------|
| カツオ     | • Skipjack tuna          |
| ビンナガ    | • Albacore               |
| クロマグロ   | • Atlantic bluefine tuna |
| クロマグロ   | • Pacific bluefine tuna  |
| ミナミマグロ  | • Southern bluefine tuna |
| メバチ     | • Bigeye tuna            |
| キハダ     | • Yellowfine tuna        |
| コシナガ    | • Longtail tuna          |
| セイヨウマグロ | • Blackfine tuna         |

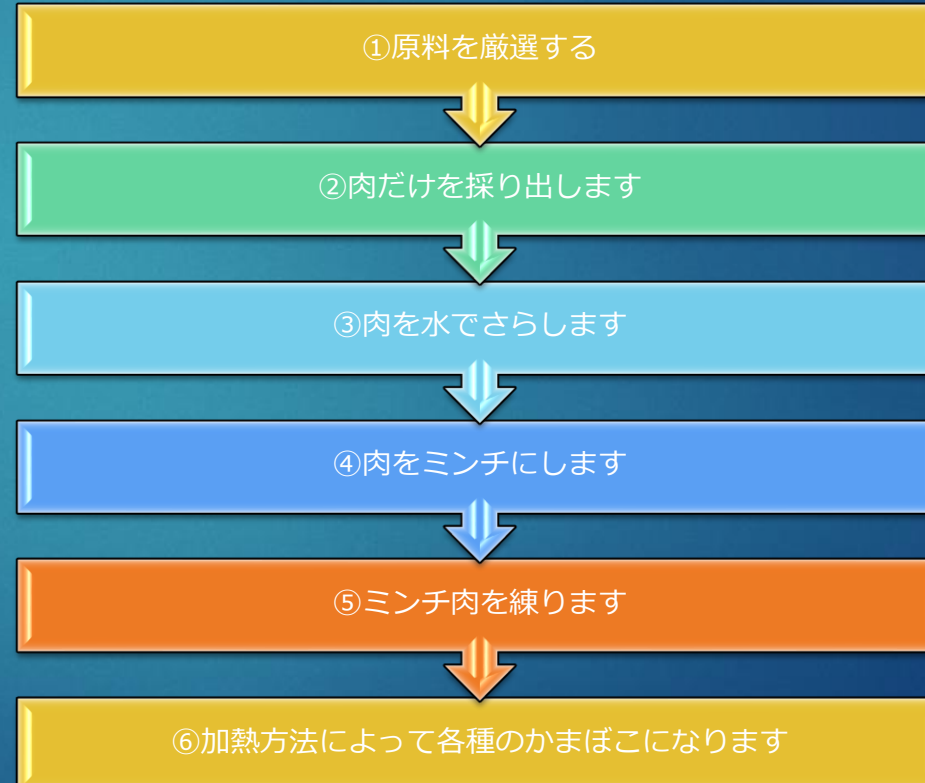
# 練り製品、かまぼこの作り方

94

## 原材料



## 作業工程



# 加熱方法とかまぼこの種類

95

蒸す

- 蒸し板かまぼこ、焼板かまぼこ（蒸板かまぼこの表面を焼く）、す巻きなど。

焼く

- 焼抜きかまぼこ、焼ちくわ、笹かまぼこ、伊達巻など。

揚げる

- 揚げかまぼこ（関東ではさつまあげ、関西ではてんぷら、鹿児島ではつけあげなどと呼ばれています）

ゆでる

- はんぺん、なると、つみれ、すじなど。

# HACCP（ハサップ）

96

- ▶ Hazard Analysis and Critical Control Point
- ▶ HACCPによる衛生管理とは、食品等事業者自らが食中毒菌汚染や異物混入等の危害要因（ハザード）を把握した上で、原材料の入荷から製品の出荷に至る全工程の中で、それらの危害要因を除去又は低減させるために特に重要な工程を管理し、製品の安全性を確保しようとする手法である。HACCPによる衛生管理は、それぞれの事業者が使用する原材料、製造方法等に応じて自ら策定し、実行するため、従来の一律の衛生管理基準による手法よりも、合理的で有効性が高い手法である。webより引用。



# 筆者について

97

清水健次 Kenji Shimizu

## 【屋号】

Kenji Shimizu Office

## 【学歴】

放送大学教養学部卒。慶應義塾大学法学部法律学科で単位取得。放送大学大学院で法律学、国際関係論の単位取得。  
ネバダ大学大学院MBA（会計学）

## 【著作とWebのキーワード】

「水圏生命科学」、「淡水魚類学概論」、「基礎航海技術論」、「英文会計学」、「英文簿記論」、「監査論」、「管理会計論」、「英米契約法」、「情報処理とICT」、「教育とICT」、「ネットワークの基礎」、「精神医学」などを自身のwebに掲載。

## 【職歴】

屋根屋（営業）、ローソン（店員）、トリムライン（営業）、Costco（料理係）、成田空港（航空管制官）、東芝（技術）、リクルート（翻訳）、illumina（経営とIT）等に勤務経験を持つ異色のキャリア。数学とITの教育経験があります。

## 【資格】

学生時代に、首席で生物学と英語学の大学終身教授資格が与えられました。山梨大学教授（英語学）、放送大学教授（生物学）。裁判官。

# 終わり

98

- ▶ 魚に偏った生物学なので、ご注意。
- ▶ お魚は小さなメダカなど小魚から、ジンベイザメまでいろいろあります。水圏生態系では創造物は豊かにあり、楽しいことばかりです。
- ▶ 幼いころ淡水魚ばかり飼育して遊んでいましたが、今度はちょっと海のお魚の勉強もしてみました。淡水魚学概論に続いて、海洋生物学を学んでみました。水圏生命科学として記してみました。

