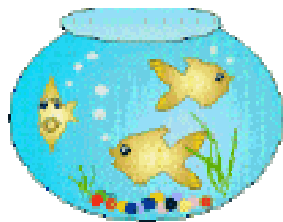
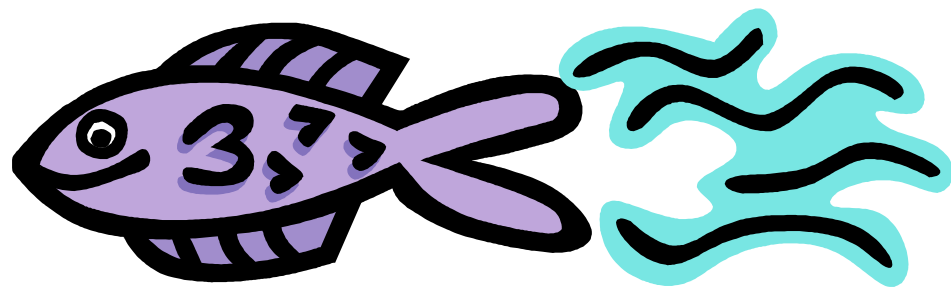


魚類の遊泳行動と筋肉の生理学

—魚の行動生理学と漁法

—生物の泳法 講談社ブルーバックスB412



生物の泳法

ーバクテリアからヒトの泳ぎまでー

東 昭 (ブルーバックス412)

- 水と生物のかかわり
- 浮力と抗力はどうはたらくか
- 鞭毛と繊毛による運動
- ジェット推進の生物たち
- 蛇行運動による泳ぎ
- 扇ぎのメカニズム
- 漕ぎのメカニズム
- 水中の羽ばたき運動
- 哺乳類の泳ぎ
- 波乗り, 帆走, および歩行

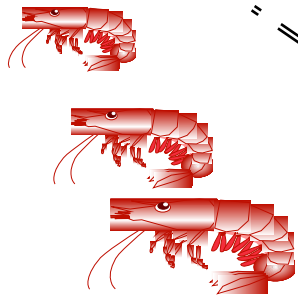
魚の行動生理学と漁法

水産学シリーズ108 恒星社厚生閣

- P.60-73 6. 魚類の遊泳行動と漁法
 - § 1 魚類の遊泳能力
 - § 2 遊泳速度の測定方法
 - § 3 遊泳能力測定の実際
 - § 4 筋肉生理学からのアプローチ
 - § 5 トロールと遊泳行動
 - § 6 旋網と遊泳行動

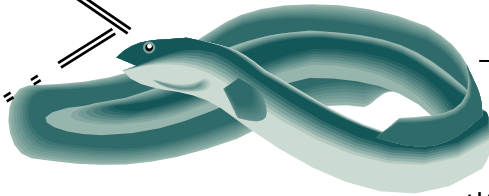
魚はなぜ群れで泳ぐか？

- 魚の泳ぎ方
 1. 泳ぎ方のさまざま
 2. 泳ぐ速さと筋肉の使い方
 3. 泳ぎ方の分類
 4. マグロの泳ぎ方



How far can eel see?

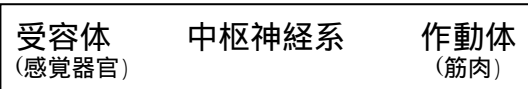
刺激



反応

入力系

出力系



刺激-反応系の入力・出力システム



運動系の機能
筋肉, 心臓

視覚系の機能

視力
視軸
視野

How far can eel swim?

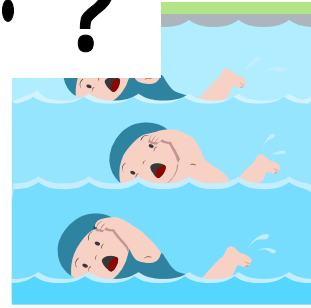
Temperature / Scale Effect ?



遊泳行動と視覚の機能からみたウナギの行動戦略



それでは、魚の泳ぐ速さは・・・？



• 走る

- 100m 10秒
- 1500m 3分40秒
- マラソン 2時間10分

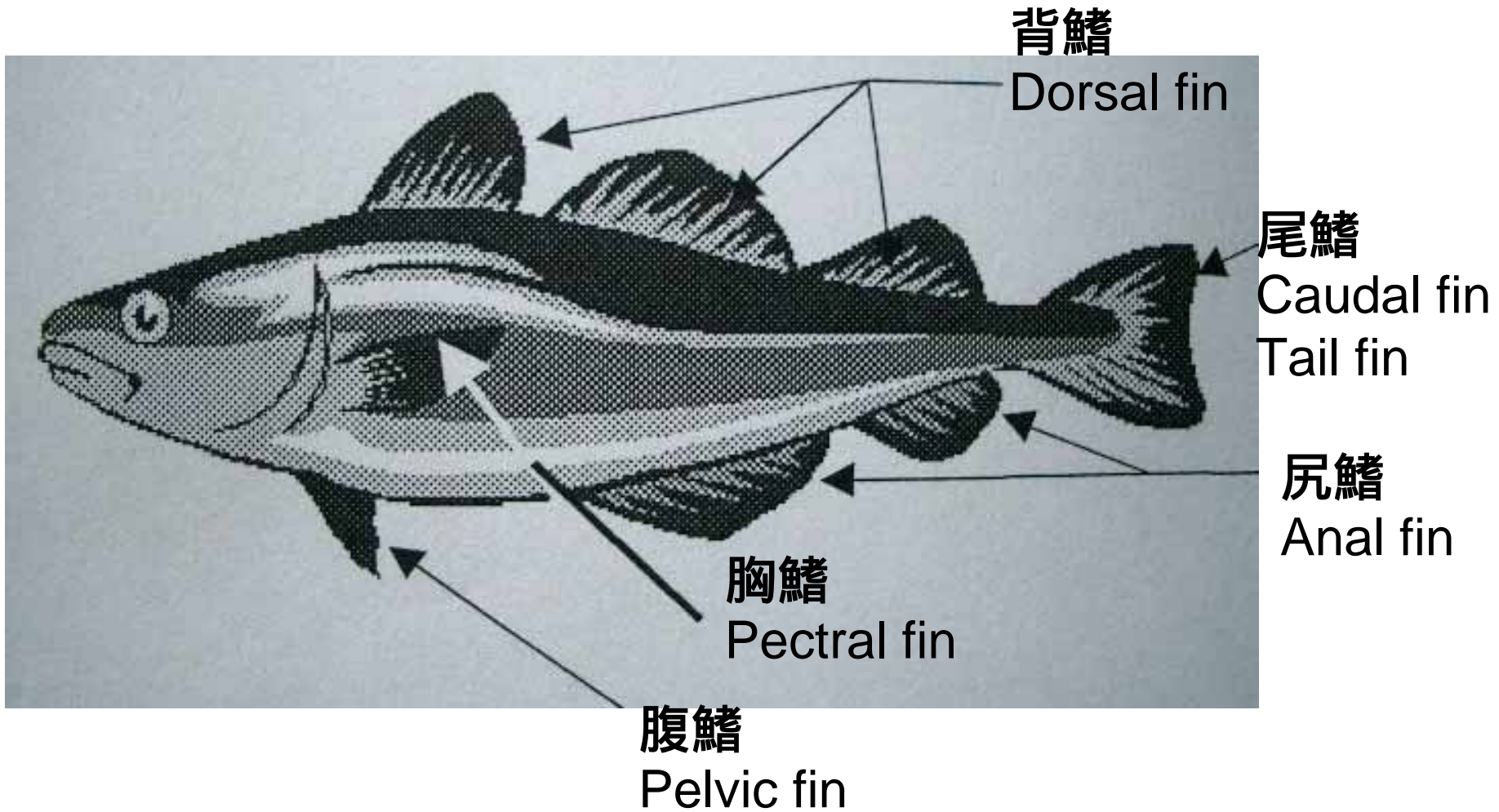


• 泳ぐ

- 50m自由形 20秒
- 100m 50秒
- 1500m 14分40秒
- 100m平泳ぎ 1分
- バタフライ 50秒
- 背泳ぎ 50秒

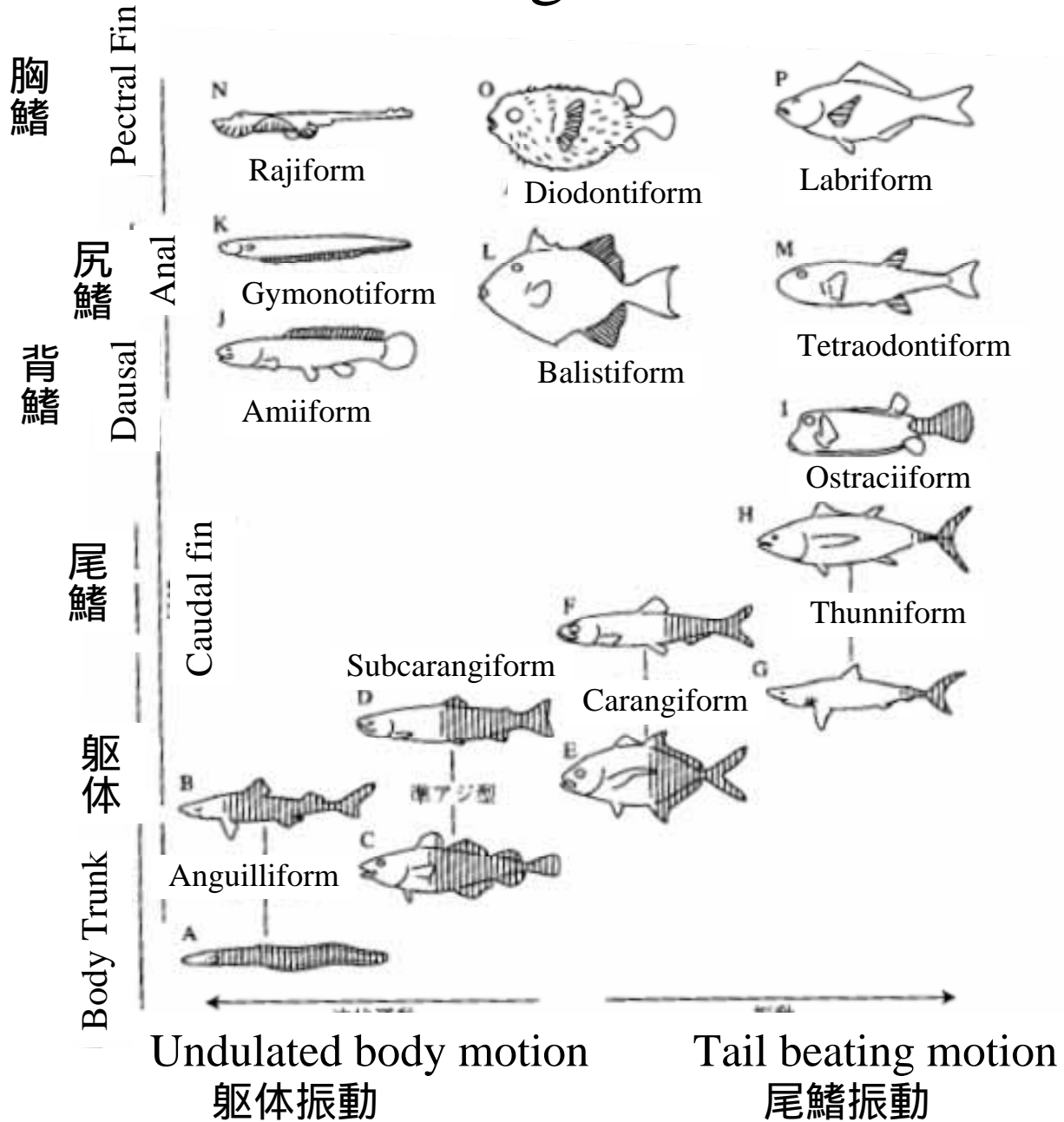


質問: 魚は身体のどこを使って泳ぐか? 鰭の名前を言えますか?



魚類の泳法

Swimming Mode of Fish



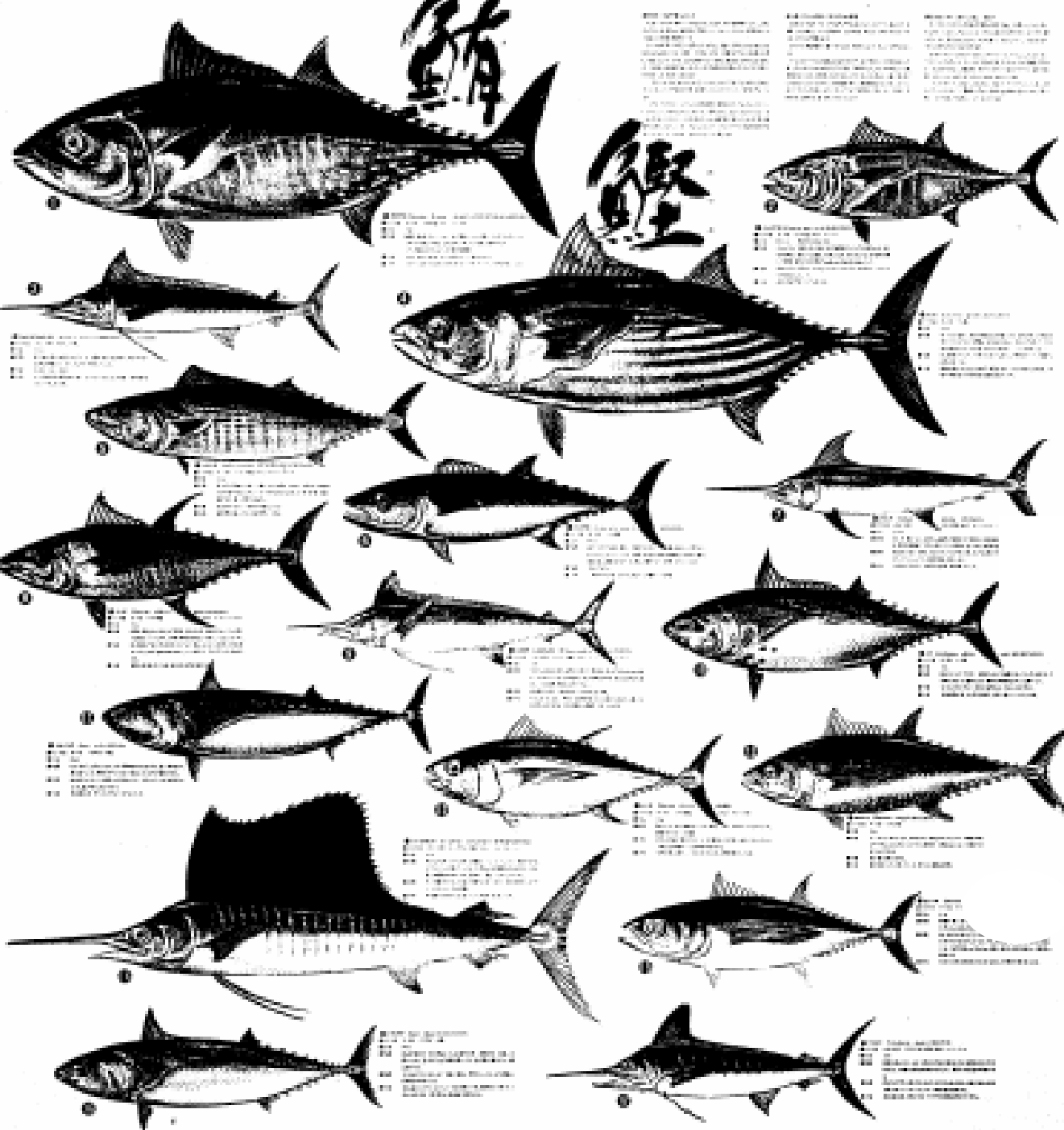


世界一大きなクロマグロ

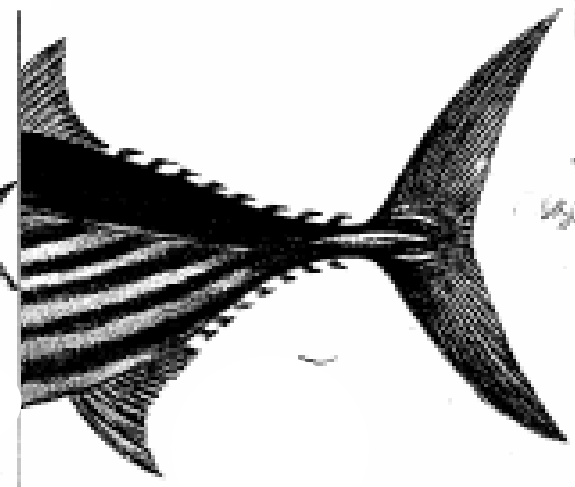


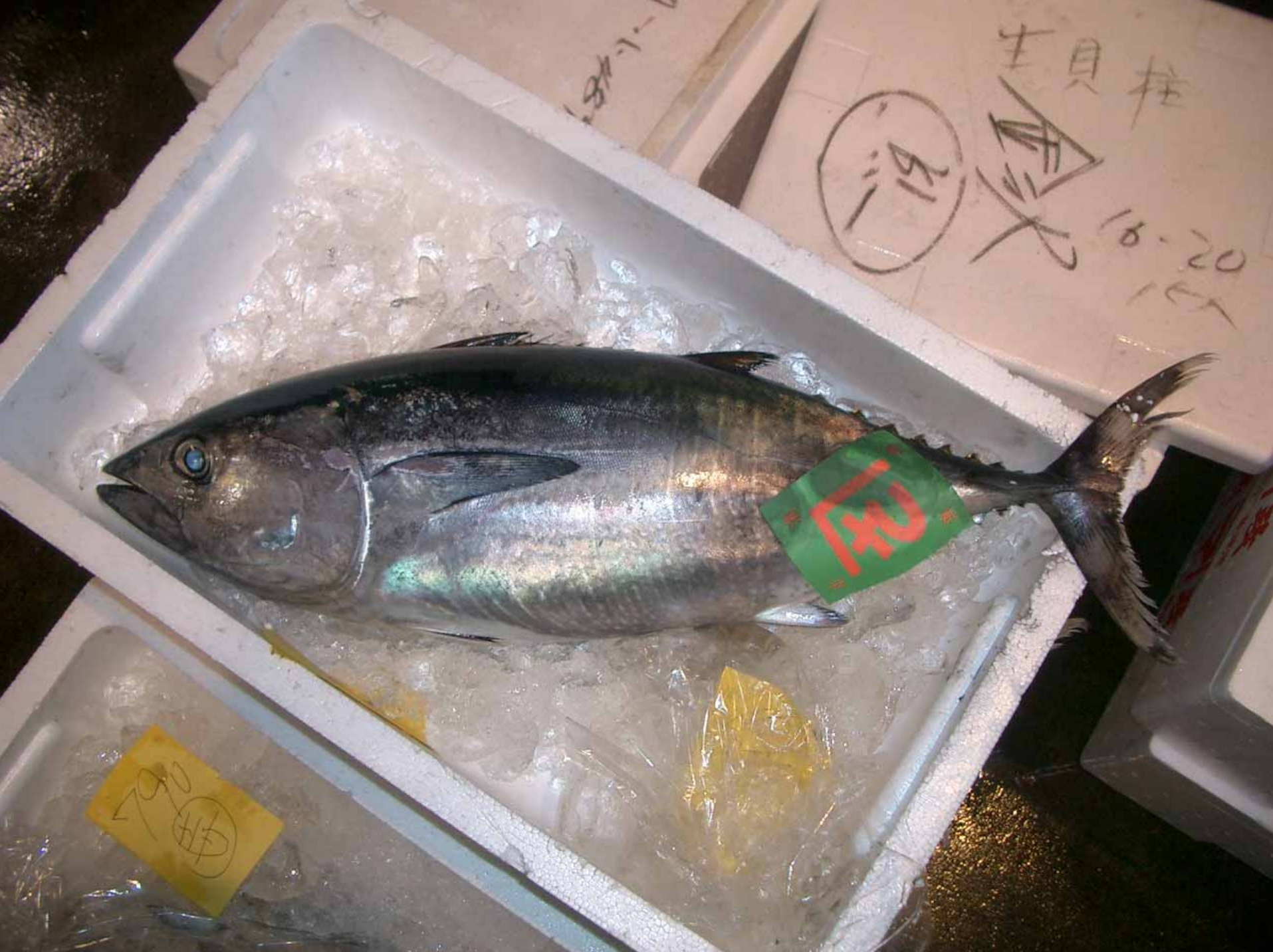
鯖

鰹



尾柄部





18-20

B1

生貝柱

金沢

18-20

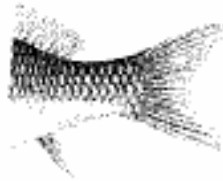
790
B1



クロマグロ



マダイ



コイ



ヒラメ

魚の尾ヒレの形状

2種類の筋肉：2種類のエンジン

赤身の魚
白身の魚

血合筋
(Blood Muscle)

普通筋
(Ordinary Muscle)





今
きょう
聞けない

白身と赤身

冬の旬の魚といえばブリ。富山湾では、いよいよ寒ブリ漁が始まった。脂がたっぷりこのった身は、焼いてよし、刺し身にしてよし。冬の味覚の代表格だ。ブリや、仲間のカンパチ、ヒラマサは、身の色から白身魚として扱われることもありますが、

実は赤身魚だという。赤身魚と白身魚は見た目の色の違いで区別され、厳密な基準があるわけではない。ブリのように迷う魚もある。色素の観点からみると分かりやすくなる。魚の主な色素たんぱく質は、筋肉中のミオグロビンと血中の

ヘモグロビンだ。色素を多く含む赤身の筋肉を「赤色筋」、色素が少ない白身の筋肉を「白色筋」と一般によんでいる。おさかな普及センター資料館（東京・築地）の坂本一男館長によると、一般に肉100g中のミオグロビンとヘモグロビン

赤身の魚と白身の魚

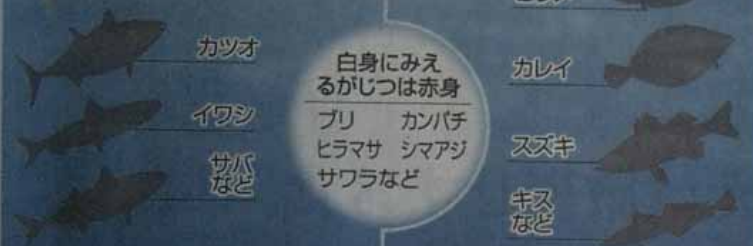


赤身魚

代表マグロ

白身魚

代表マダイ



カツオ

イワシ

サバなど

ヒラメ

カレイ

スズキ

キスなど

白身にみえるがじつは赤身
ブリ カンパチ
ヒラマサ シマアジ
サワラなど



グラフィック・寺島隆介 / The Asahi Shimbun

外見で迷っても筋肉の色素量で分類

の合計が10ミクログラムを超えたあたりから身が赤く見え始める。ブリは白身のようにみえても、色素たんぱく質が12ミクログラムあるので赤身魚といえる。

赤身魚の代表はマグロやカツオなどの回遊魚だ。国立科学博物館の松浦啓一さんによると、赤色筋はミオグロビンの働きにより血液から酸素を取り入れ、脂質を効率よく使ってエネルギーを得て動く。酸素が供給されればずっと動き続けられる。マグロが長距離を泳げるのは赤色筋が多いからだ。

一方、白身魚の代表はマダイやヒラメなどの近海魚だ。白色筋は酸素を使わずに筋肉中のグリコーゲンを分解することでエネルギーを得て動く。赤色筋と比べて瞬間的に大きな力を出すことができるため、エサを探ったり、外敵から逃げたりするのに必要な瞬発力を発揮しやすい。しかし、持久力はない。

では、サーモンピンクといわれるサケは白身だろうか。それとも赤身だろうか。

坂本館長によると、サケの身の色はエサとして食べたエビ類の赤いカロテンノイド色素が筋肉にたまったものだ。イクラが赤いのも同じ理由だ。身にミオグロビンが少ないうち、白身魚だといえる。

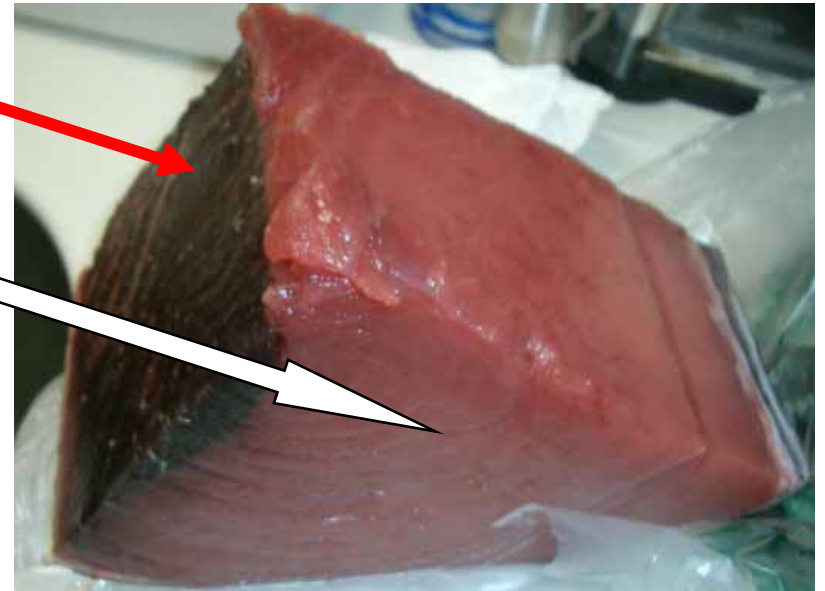
(中村裕盛)

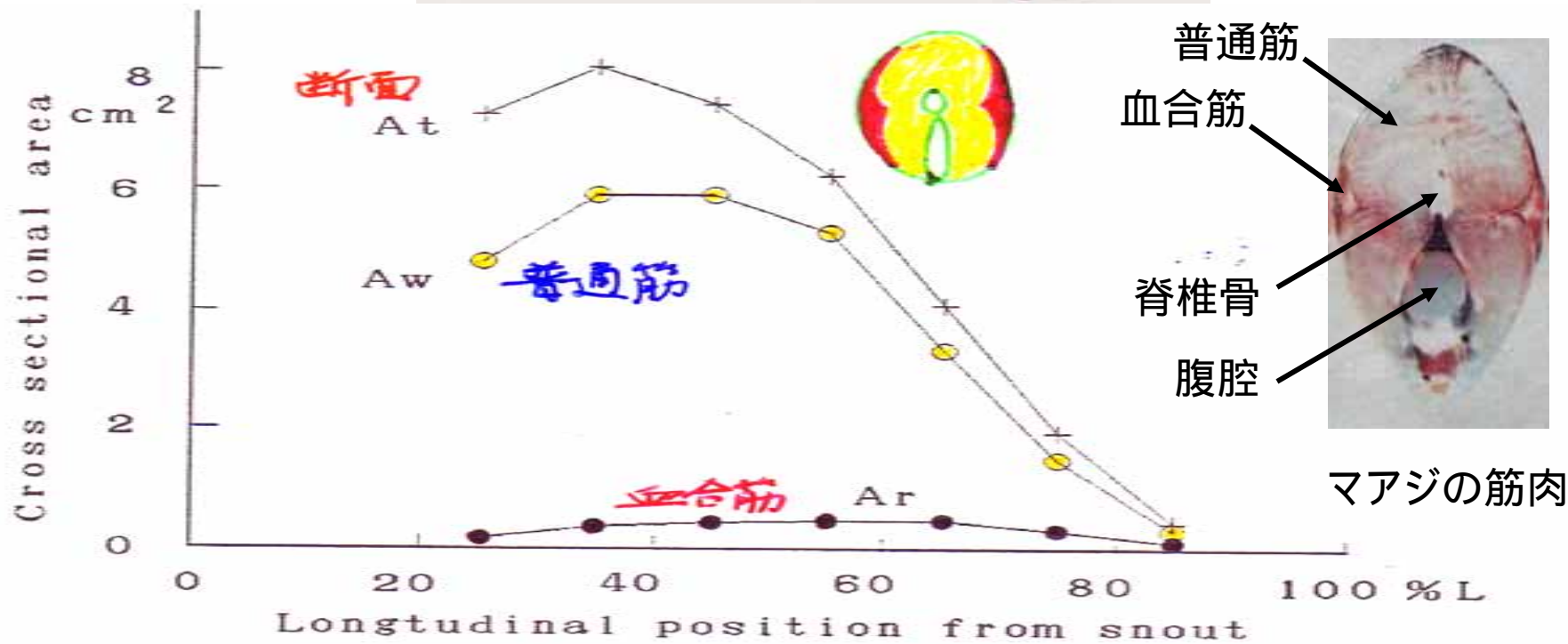
Two Types of Muscle



Blood Muscle

White Muscle





魚体各部位断面の筋肉面積 (尾又長 18 cm)

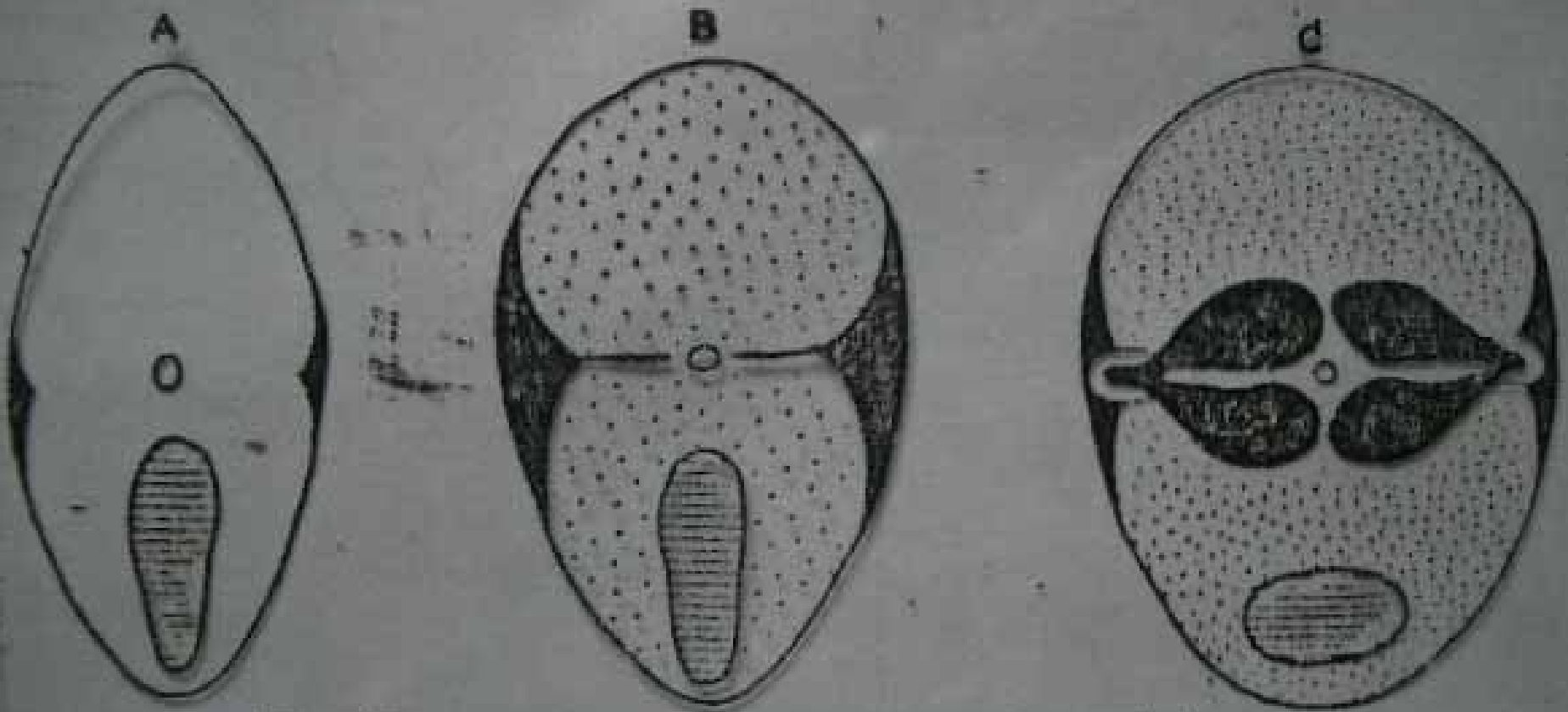
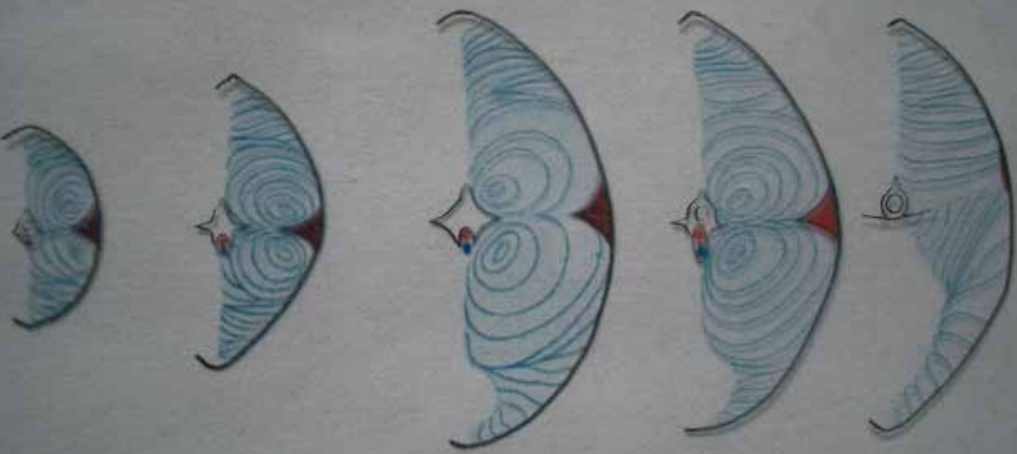
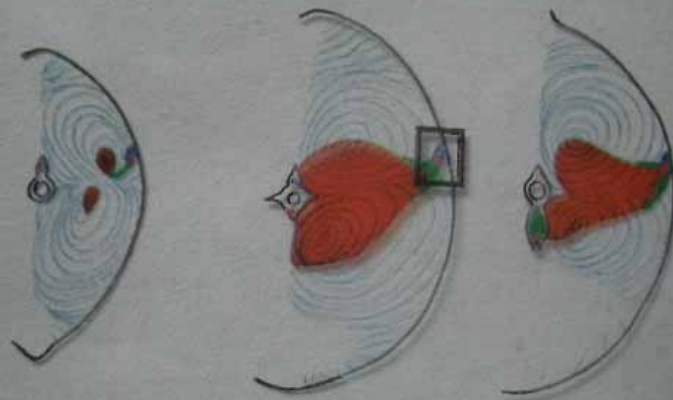


図 1 体側筋の色と血合筋の発達状態を模式的に示す

A: イサキ; B: マサバ; C: マルソーダ, □: 淡色; 粗点部分: 淡赤色; 細点部分: 赤色; 黒部分: 血合筋



MACKERELS



AUXIS



魚類の遊泳速度の分類と筋肉の機能分業

巡航速度 (Cruising Speed)

最小遊泳速度 (Minimum Speed)

: 魚体沈下を防ぐ揚力を得るための前進速度

持続速度 (Sustained Speed)

: 血合筋による疲労しない速度

: 実験的には1-2時間以上の継続遊泳

最大持続速度 (Maximum Sustained Speed)

: 普通筋を利用しない遊泳の境界速度

中間速度 (Prolonged Speed)

: 普通筋が関与し、速度に応じて持続時間が減少

突進速度 (Burst Speed)

: 普通筋が主体の瞬間的な速度

: 数秒間のみ持続できる高速遊泳

最大遊泳速度 (Maximum Speed)

: 筋肉の能力として理論的な最大値



回流水槽 Swimming Channel

遊泳様式

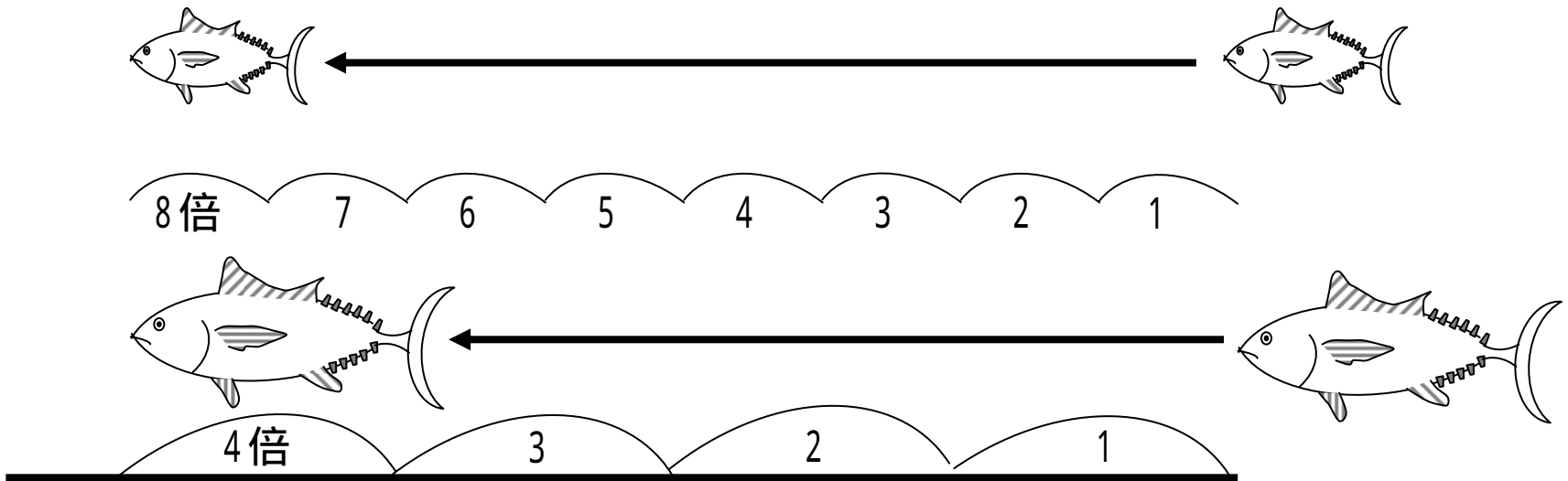
尾鰭の振動数と遊泳速度

遊泳速度と遊泳耐久時間

筋電図の測定

遊泳速度の単位

時速, 秒速, ノット……

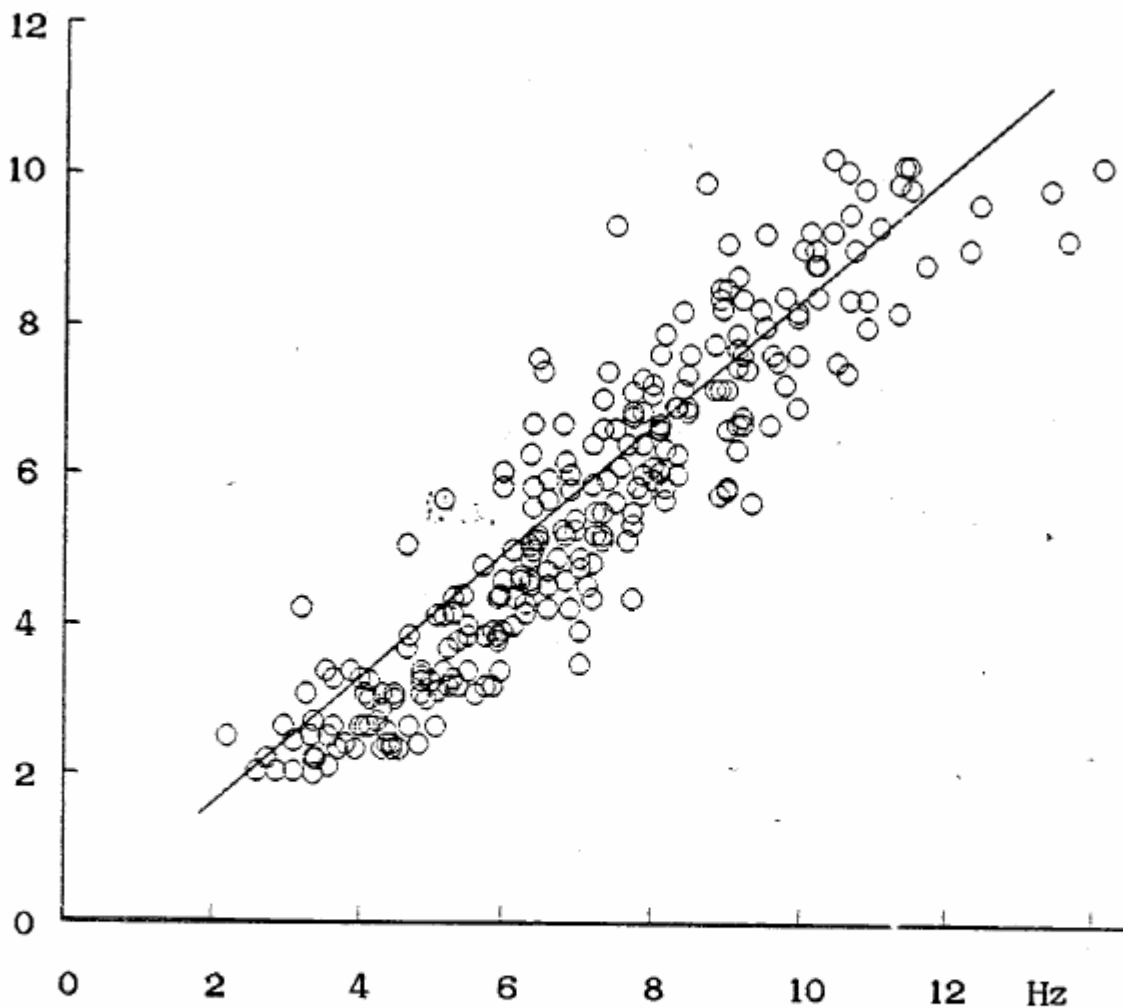


魚体長の何倍進んだか？

魚体長倍速度 (BL/s)

魚体長倍速度

Specific speed (U/L)



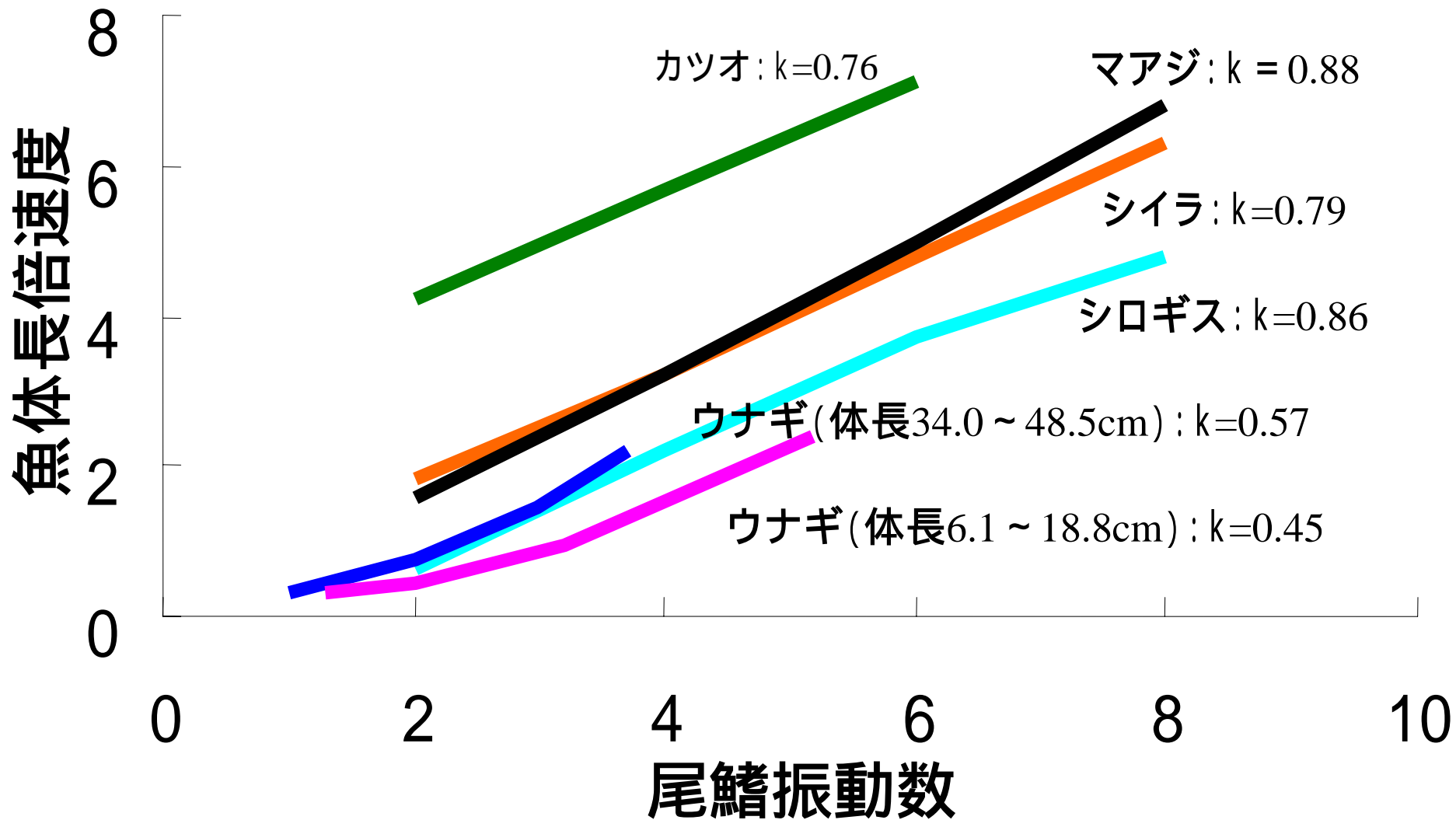
Tail beat frequency (F)

尾鰭振動數

劉安成

$$U = 0.87L(F - 2.09) + 22.68$$

$$r = 0.93$$



遊泳速度の測定方法

速度検出のセンサーを取り付ける

標識放流: 回遊経路のA地点からB地点までの時間(距離 / 時間)

水槽内で一定距離間の通過時間

ビデオ画面で一定距離間の通過時間

回流水槽内で……………

持続速度 ~ **中間速度**: 回流水槽で流速段階を変えて, 観察する。
尾鰭振動数と魚体長倍速度の関係式を求める。

$$U = k \times F \times L$$

$$U = k \times (F - a) \times L + b$$

U: 遊泳速度 (m/s, cm/s, ノット, 時速, ……) BL/s(魚体長倍速度)

F: 尾鰭振動数 (回 / 秒, Hz)

L: 魚体長

K: 遊泳係数(尾鰭の1往復で前進する距離)

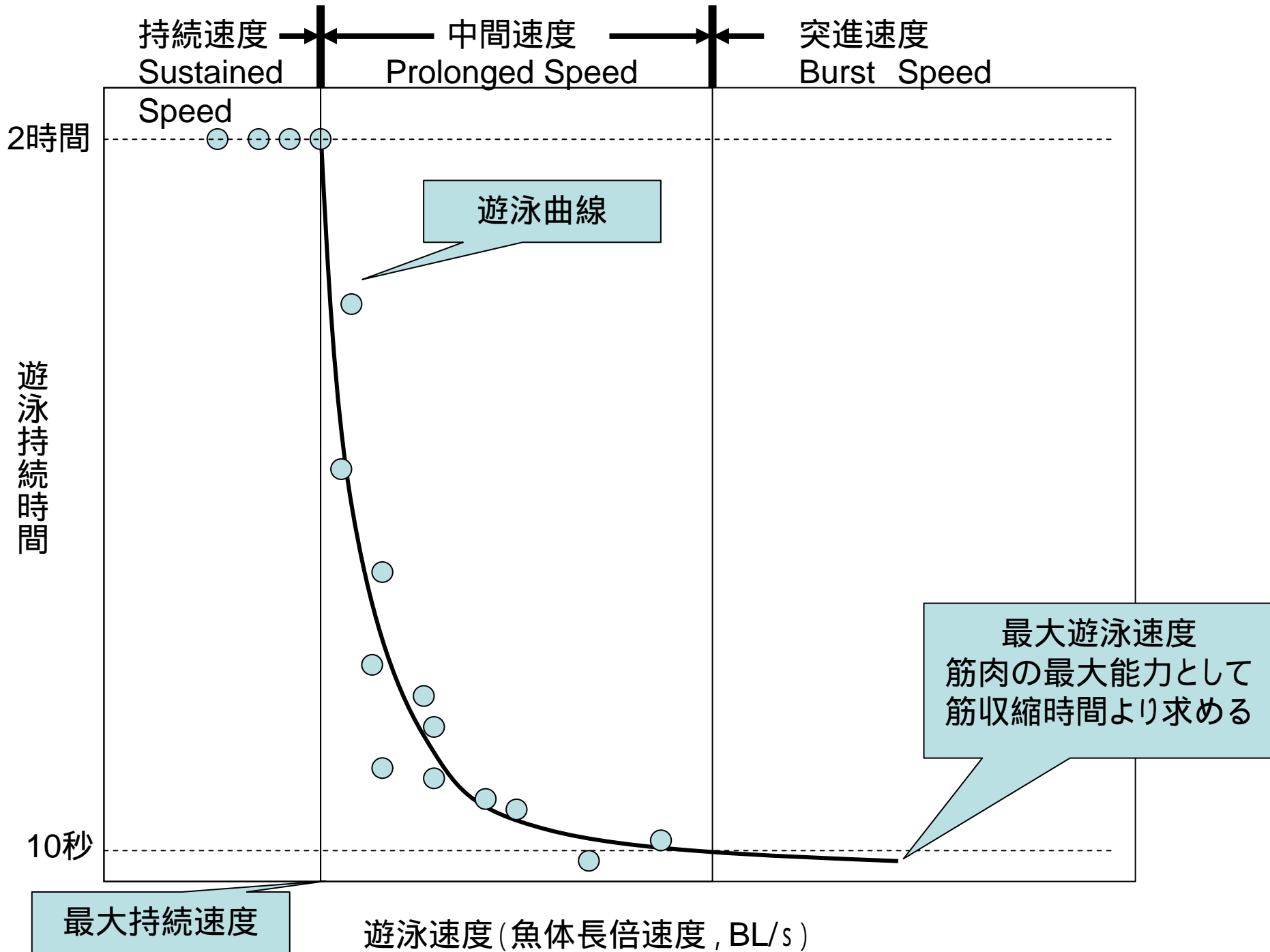
最大持続速度: 2時間以上続けられる速度

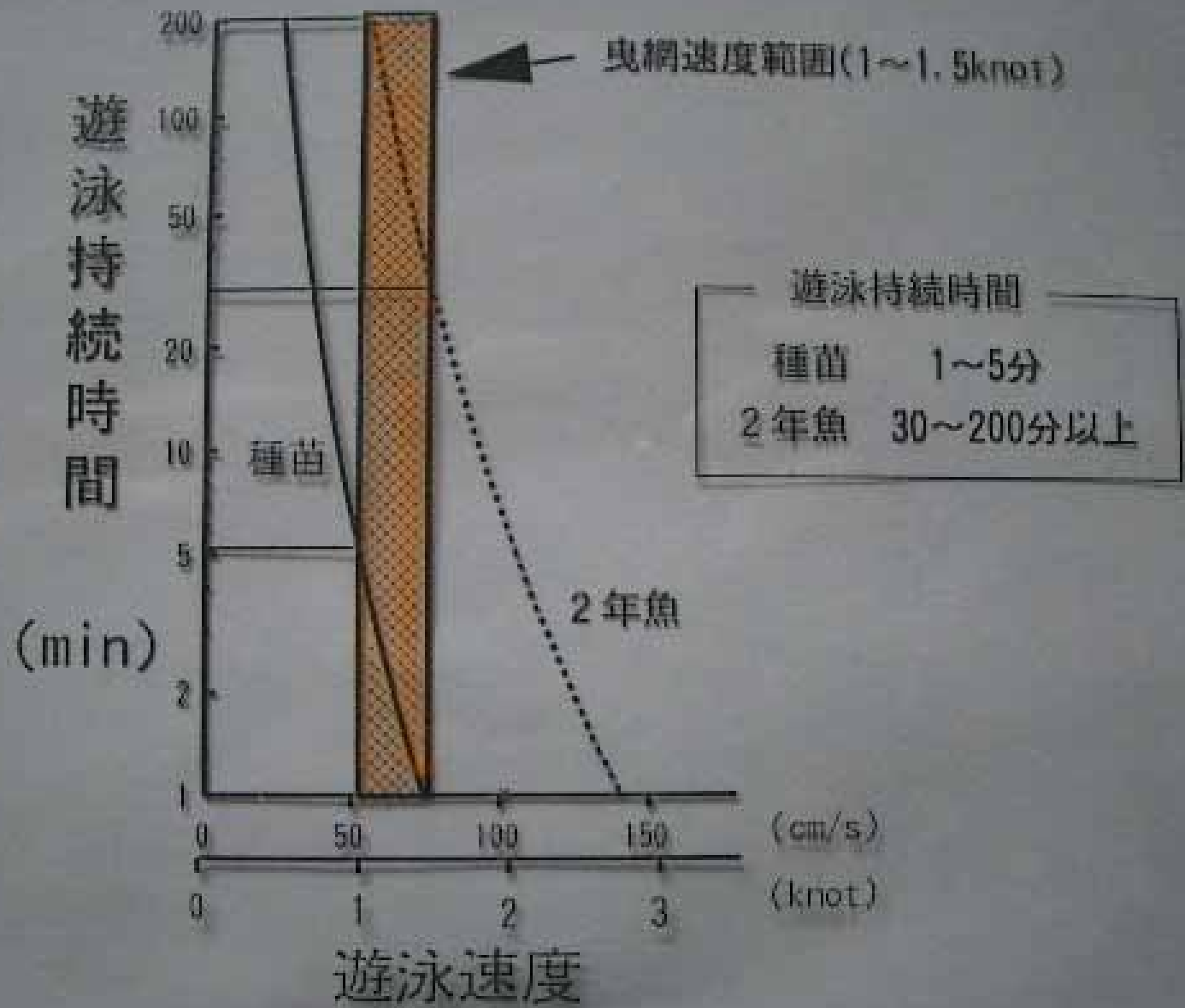
1) 遊泳曲線から求める

2) 筋電図測定から普通筋の関与を確認する

突進速度: 長水路や大型水槽で, または自然条件下での瞬間的な摂餌・回避遊泳

最大遊泳速度: 電気刺激による筋収縮時間の測定

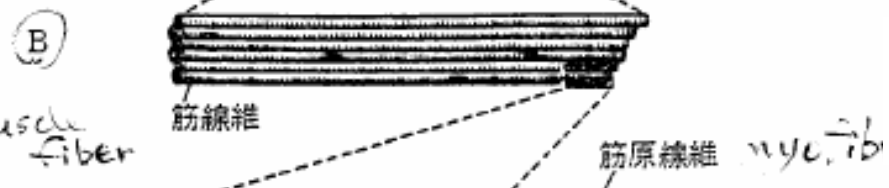




曳網速度と遊泳持續時間



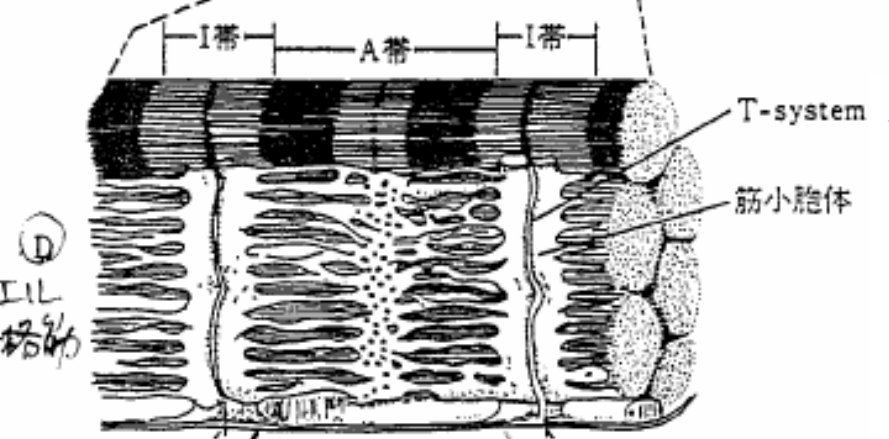
血管: 酸素供給
 神経: 収縮のための命令(興奮)の伝達
 収縮に応じた張力検出



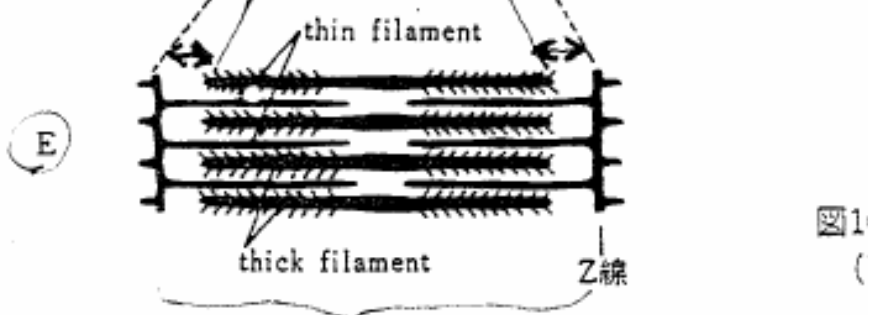
筋収縮の仕組み



筋肉の構造と 筋収縮の最小単位



神経興奮 筋肉
 : 筋肉細胞膜に膜電位が発生
 T管 筋小胞体からカルシウムが遊離
 カルシウムが筋原繊維のなかに入りこみ,
Iフィラメント(アクチン)上のトロポニンと結合
AフィラメントのミオシンがもつATPが分解
 され, エネルギー放出



AとIの間で滑り込み運動 筋肉収縮
 筋小胞体はATPのエネルギーでカルシウムを取りこむ
 筋原繊維のカルシウムがなくなり,
AとIが反応を止めて, 筋肉が弛緩する

図1

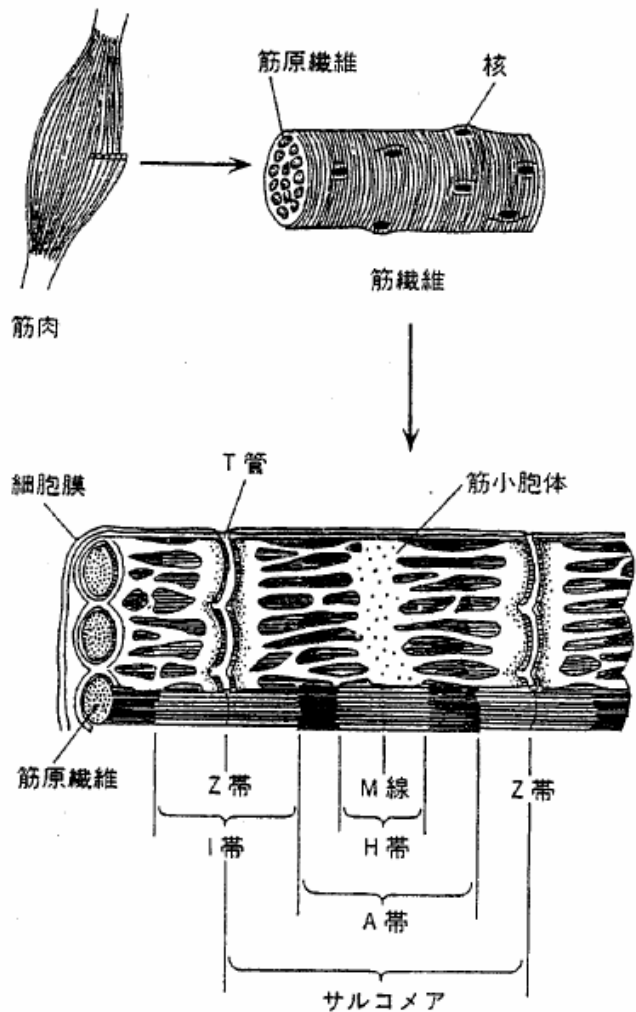


図 4-2-1 筋肉の構造

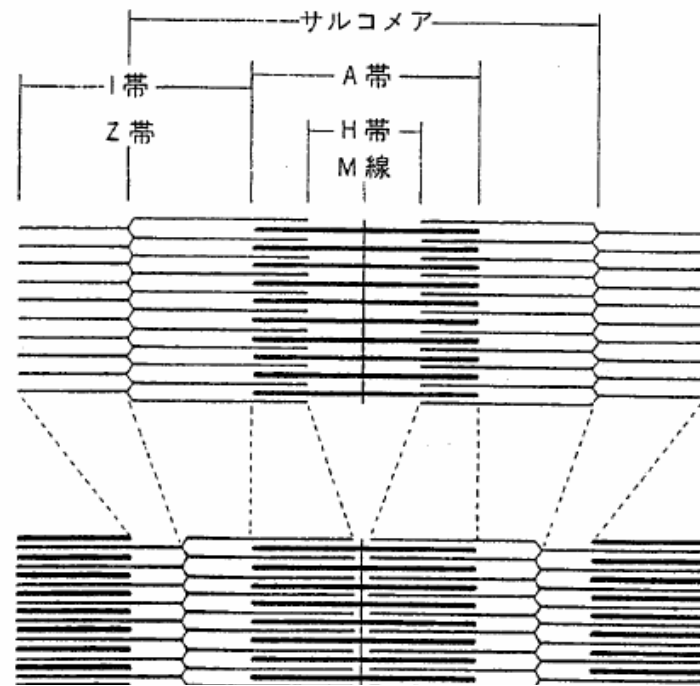


図 4-2-3 A フィラメント(上)
I フィラメント(下)の構造

神経興奮 筋肉

: 筋肉細胞膜に膜電位が発生

T管 筋小胞体からカルシウムが遊離

カルシウムが筋原繊維のなかに入りこみ,
フィラメント(アクチン)上のトロポニンと結合

AフィラメントのミオシンがもつATPが分解

され, エネルギー放出

AとIの間で滑り込み運動 筋肉収縮

筋小胞体はATPのエネルギーでカルシウムを取りこむ

筋原繊維のカルシウムがなくなり,

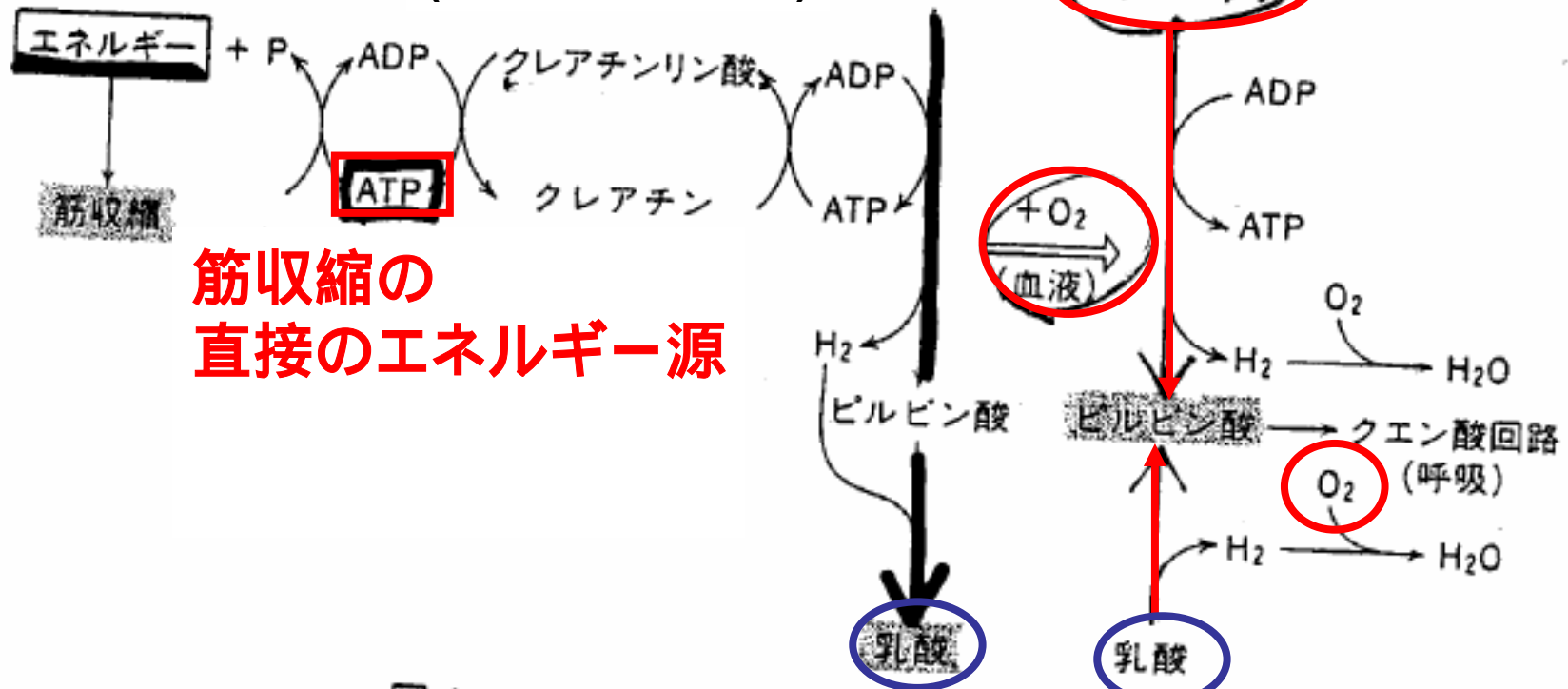
AとIが反応を止めて, 筋肉が弛緩する

疲労

回復

(エネルギー貯蔵庫) グリコーゲン

グリコーゲン



筋収縮の
直接のエネルギー源

図 4-2-4 筋の疲労と回復

筋肉の疲労: グリコーゲンが減って, 乳酸がたまる
筋収縮 解糖によるグリコーゲンの分解と ATPの生成
ピルビン酸が水素と結合して乳酸となる。

(エネルギー貯蔵庫)



(筋収縮の直接のエネルギー源)

筋電図の測定

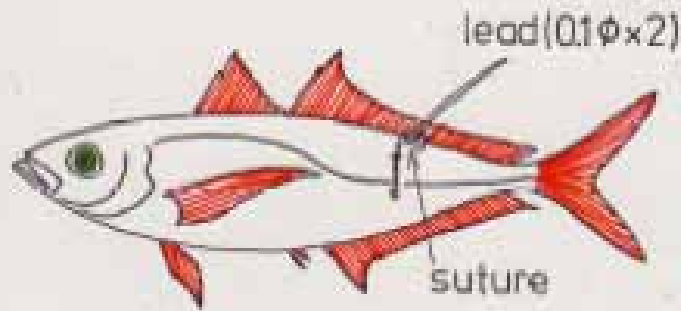


INJECTION NEEDLE

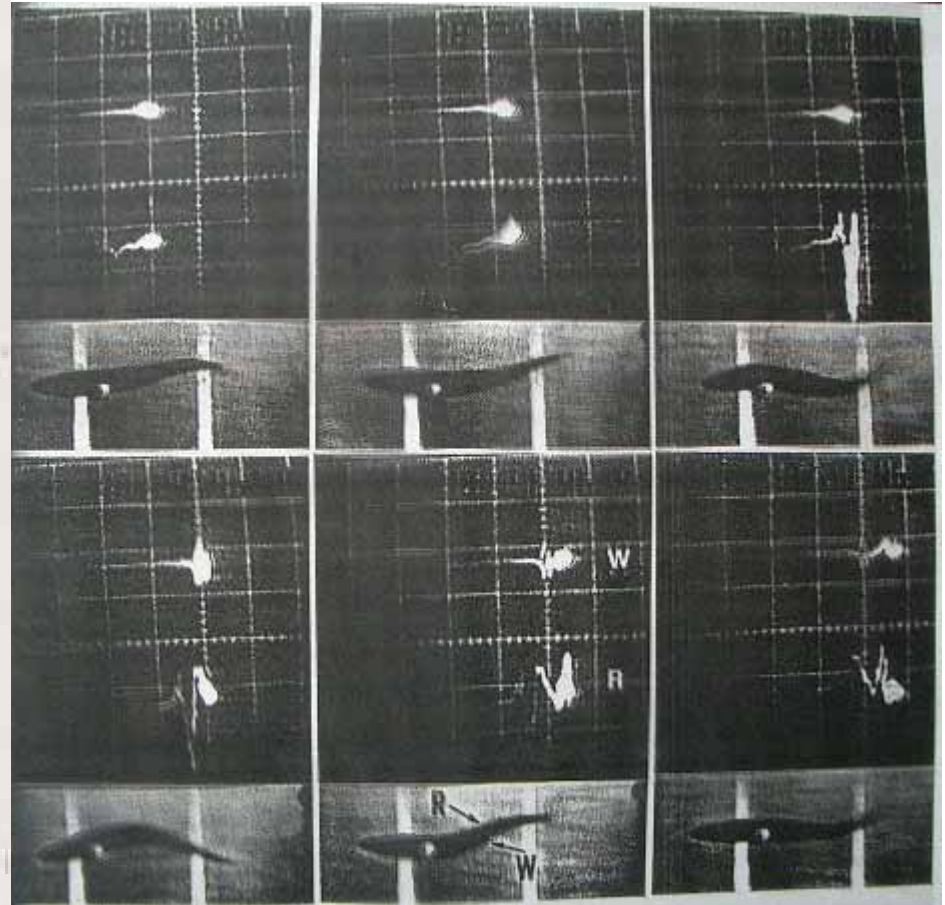


21G (0.8 × 38 mm)

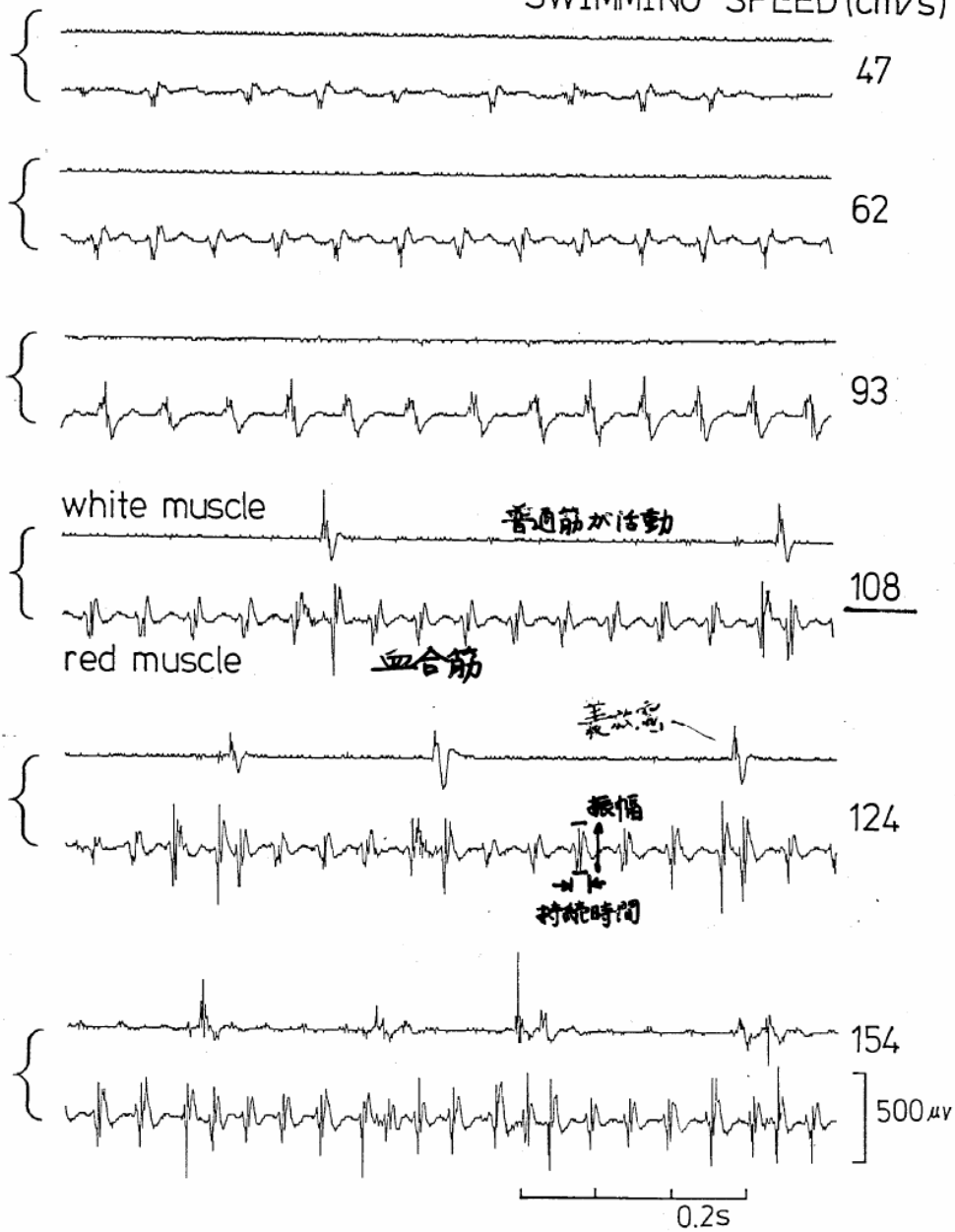
FISH



双極的針型電極及び魚体への装着方法

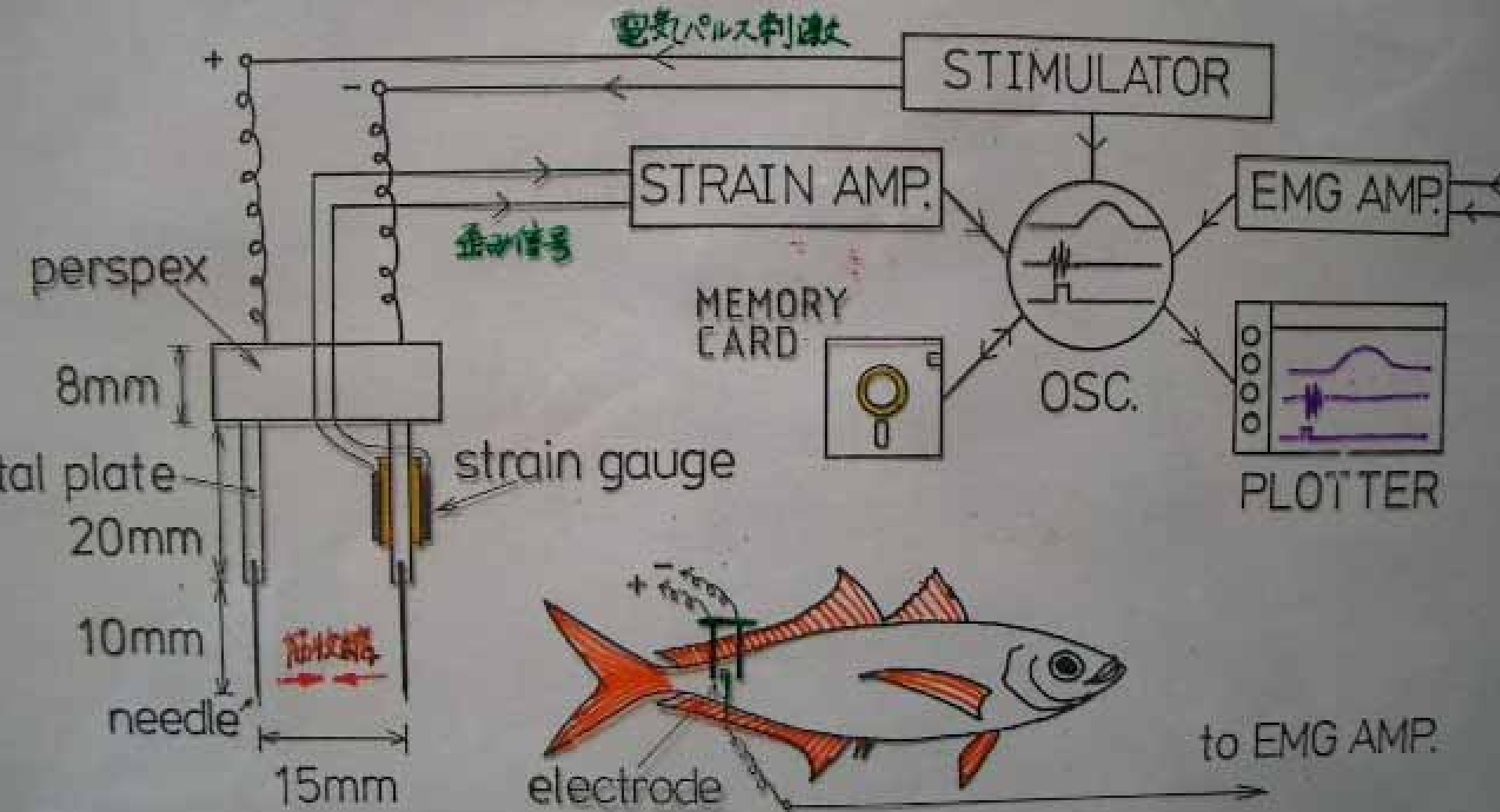


SWIMMING SPEED (cm/s)

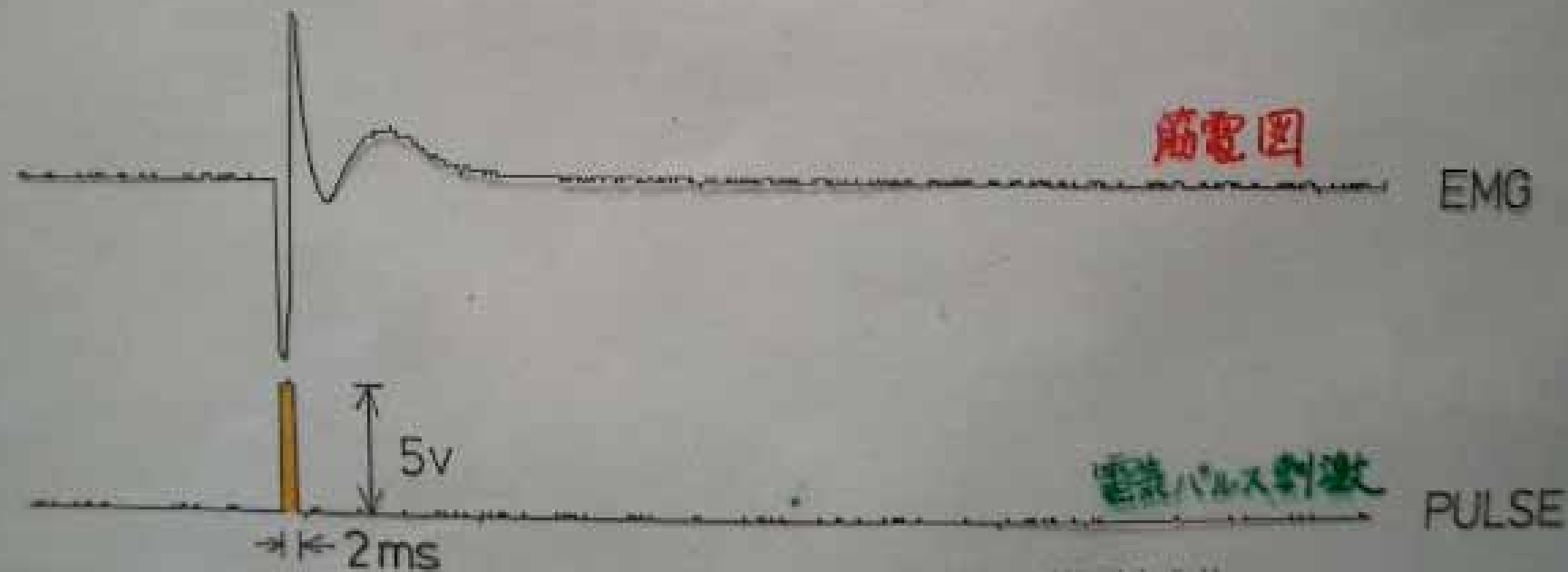
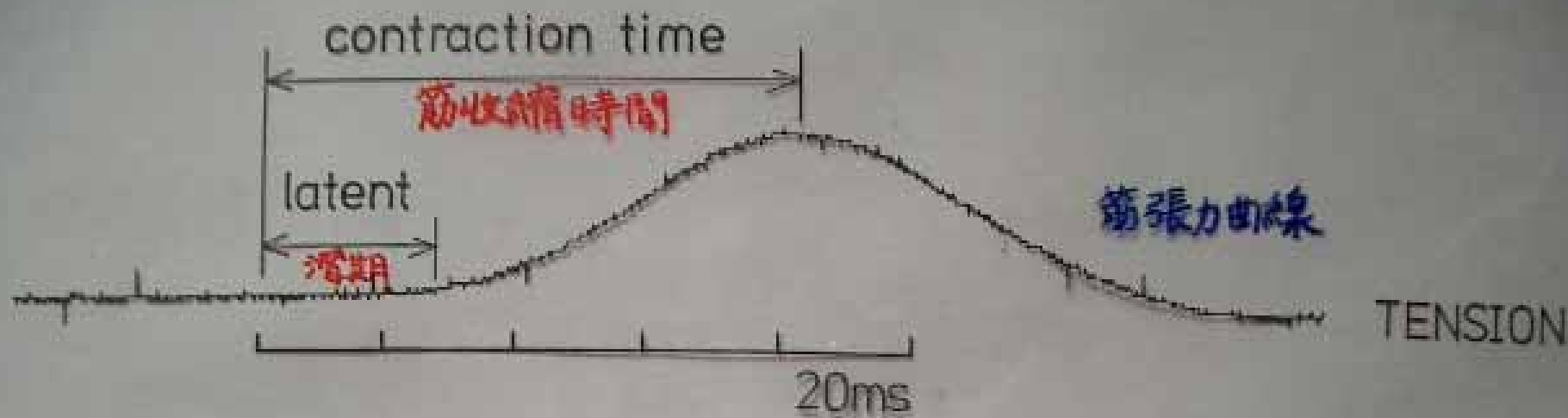


遊泳速度別の血合筋と普通筋の活動

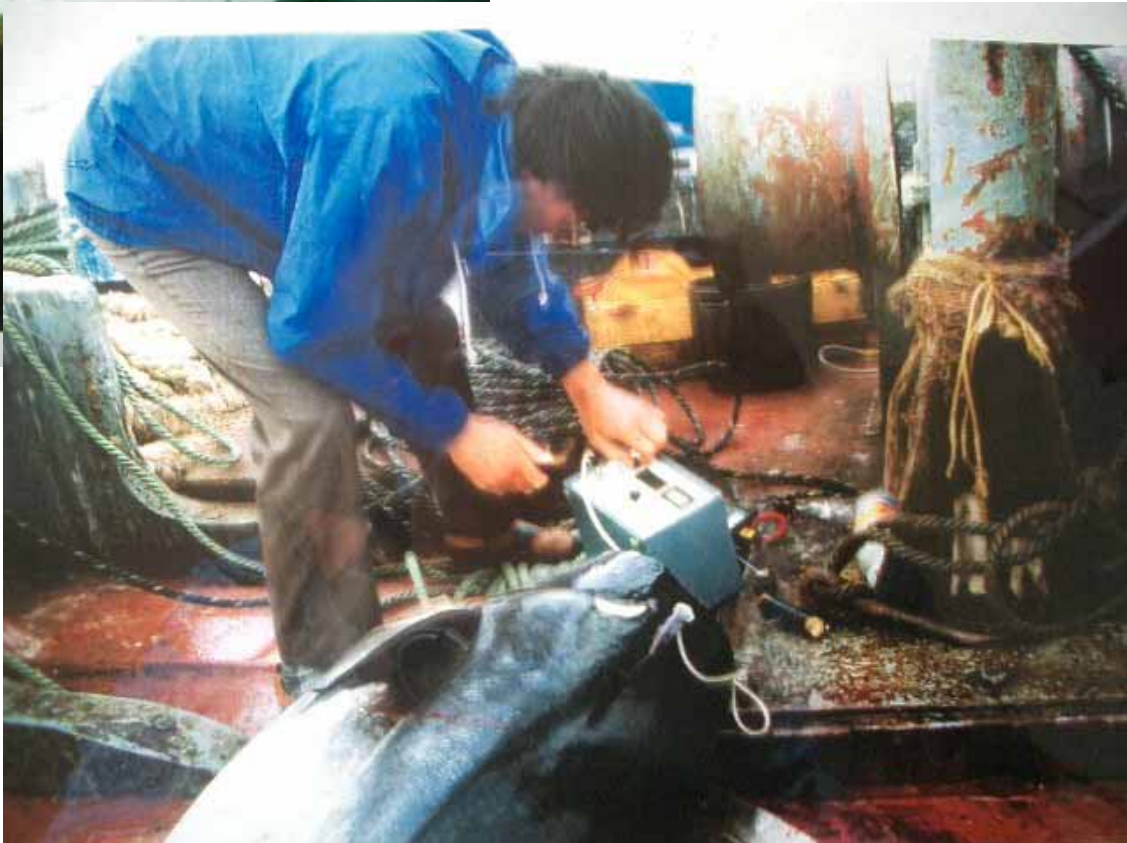
筋収縮変換器
TRANSDUCER



筋収縮時間と筋電図の測定方法



電気パルス刺激、筋電図及び筋張力曲線



最大遊泳速度の推定

- 最大尾鰭振動数 $F_{\max} = 1 / (2 \times \text{筋収縮時間})$
- $U_{\max} = k \times F_{\max} \times L$

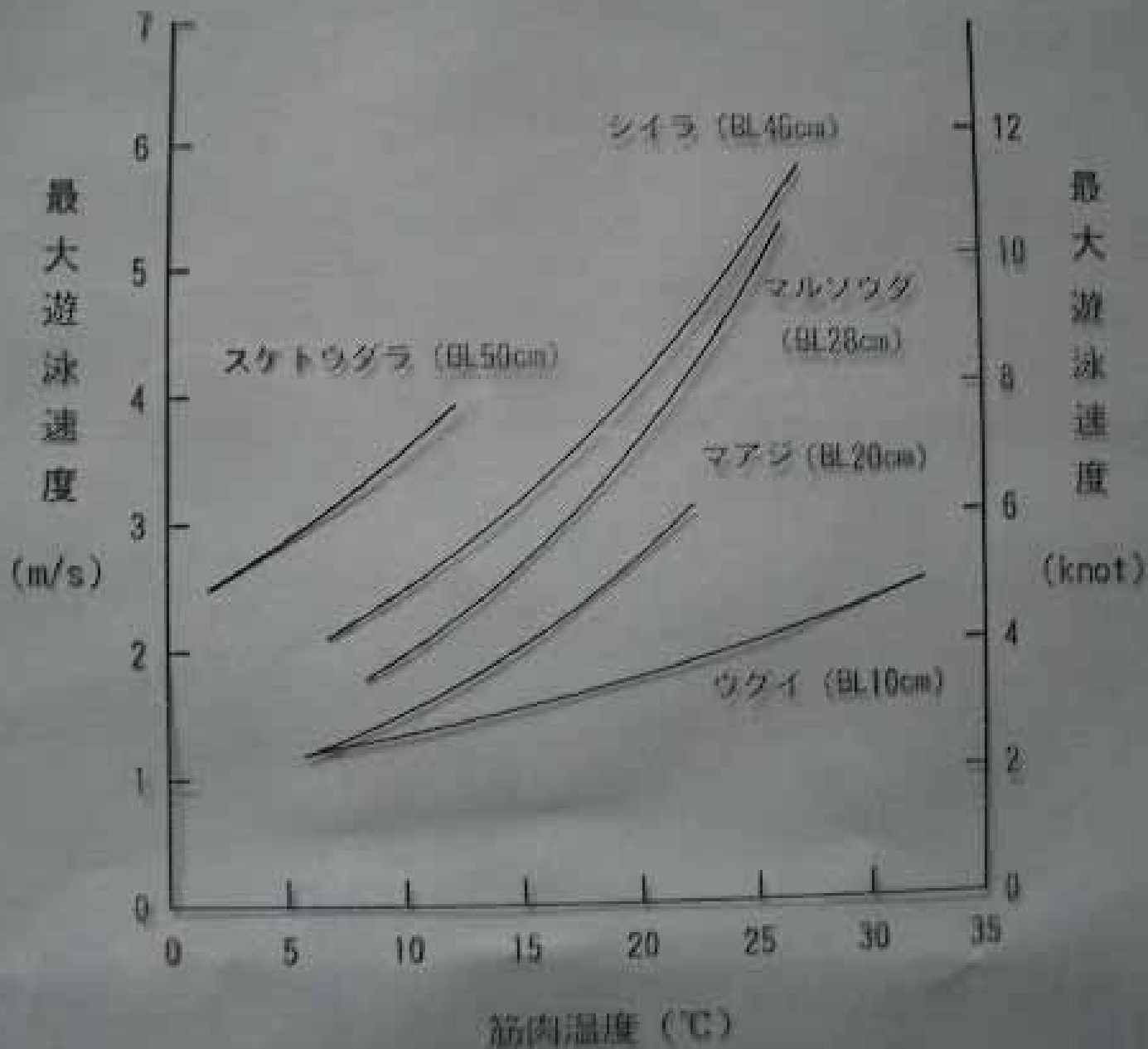
最大遊泳速度 =
 $k \times \text{最大尾鰭振動数} \times \text{魚体長}$

例えば 100msであれば 5 Hz

10msであれば 50 Hz

Kは遊泳係数(尾鰭1振動で進む距離)

最大遊泳速度の比較



Max
various
Pace

0 5 10 15 20 25 30

筋肉温度 (°C)

Pace

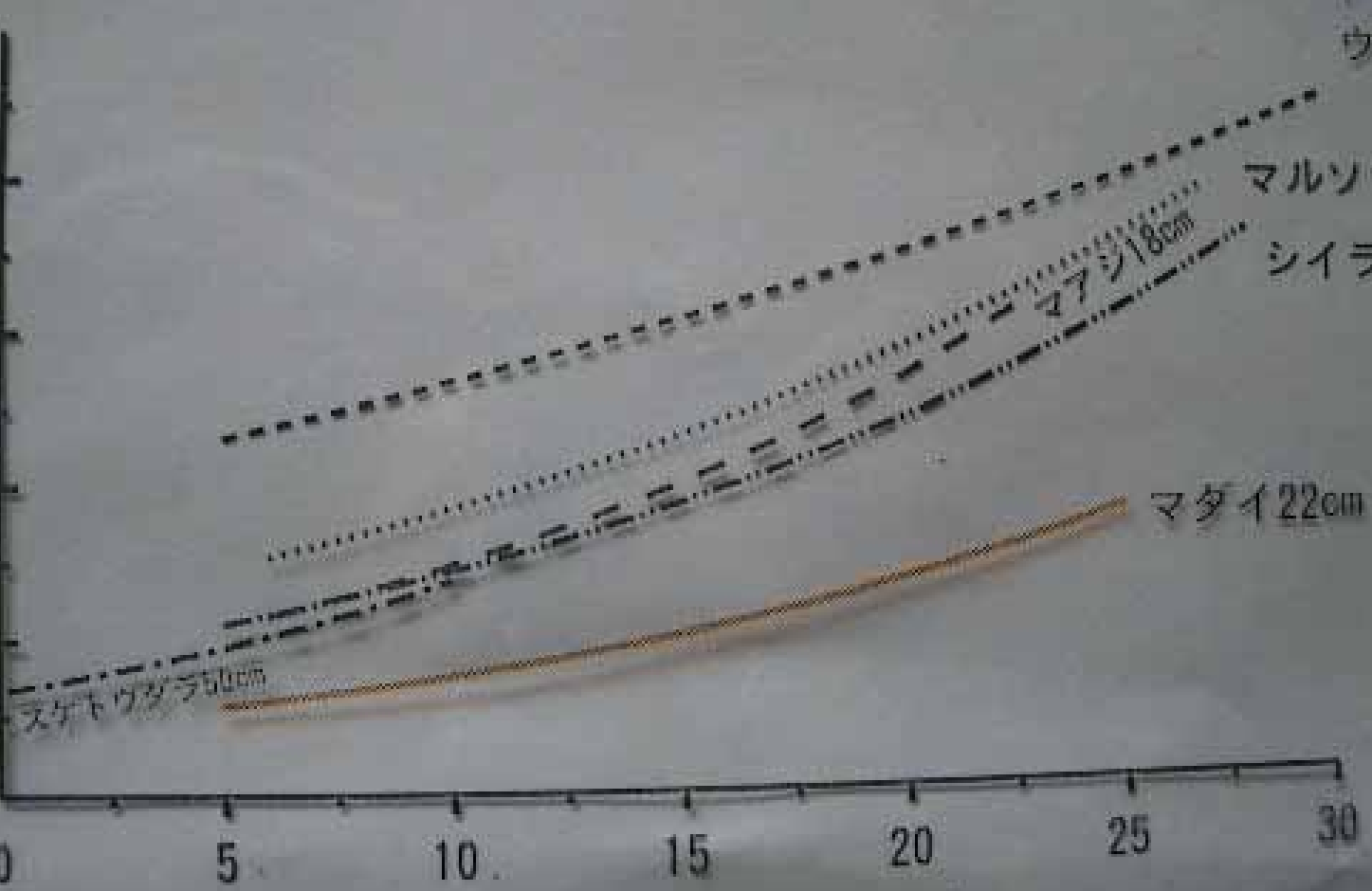
ウグイ 10cm

マルソウダ 28cm

シイラ 43cm

マアジ 18cm

マダイ 22cm



最大遊泳速度

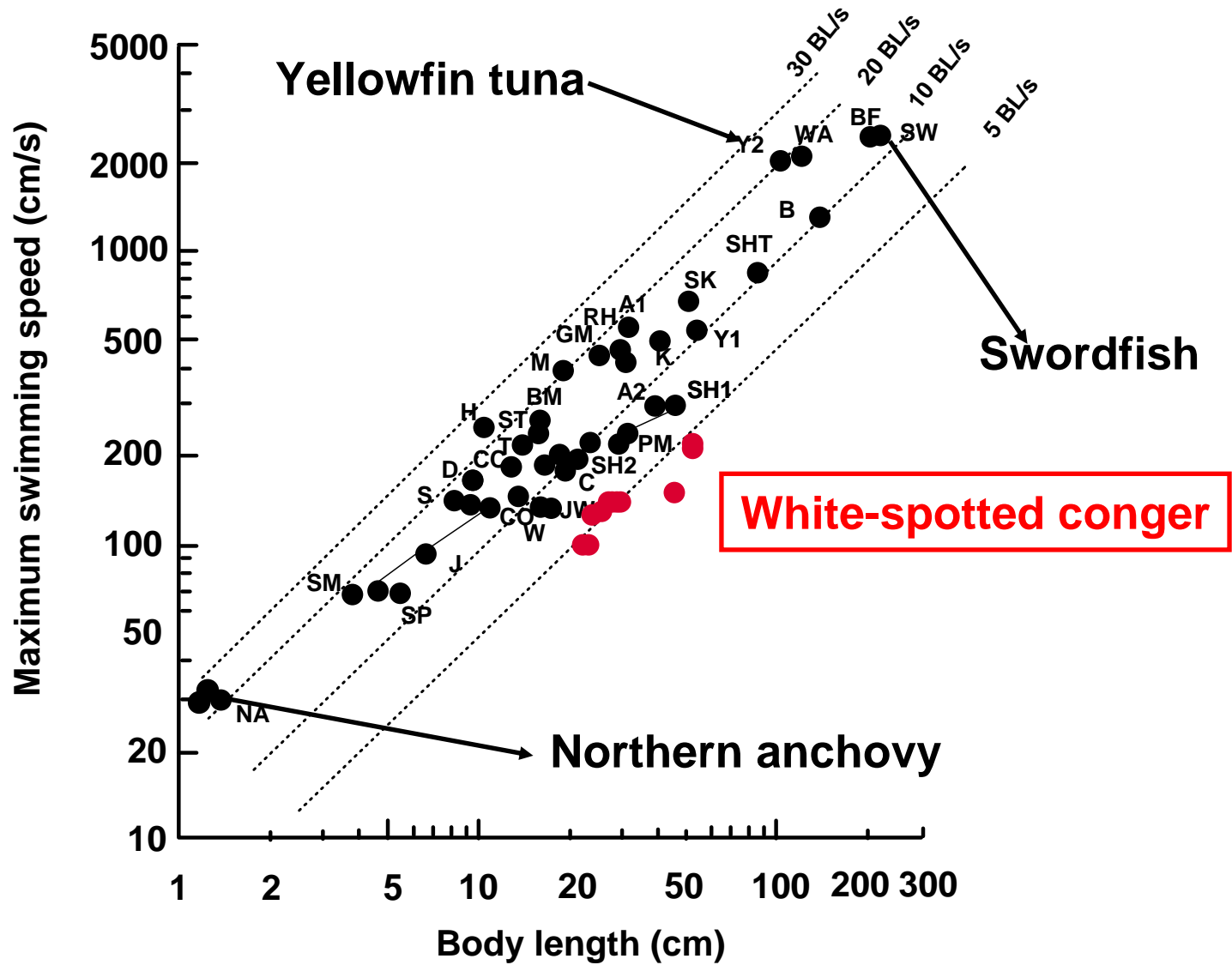
(BL/S)

0 5 10 15 20 25 30

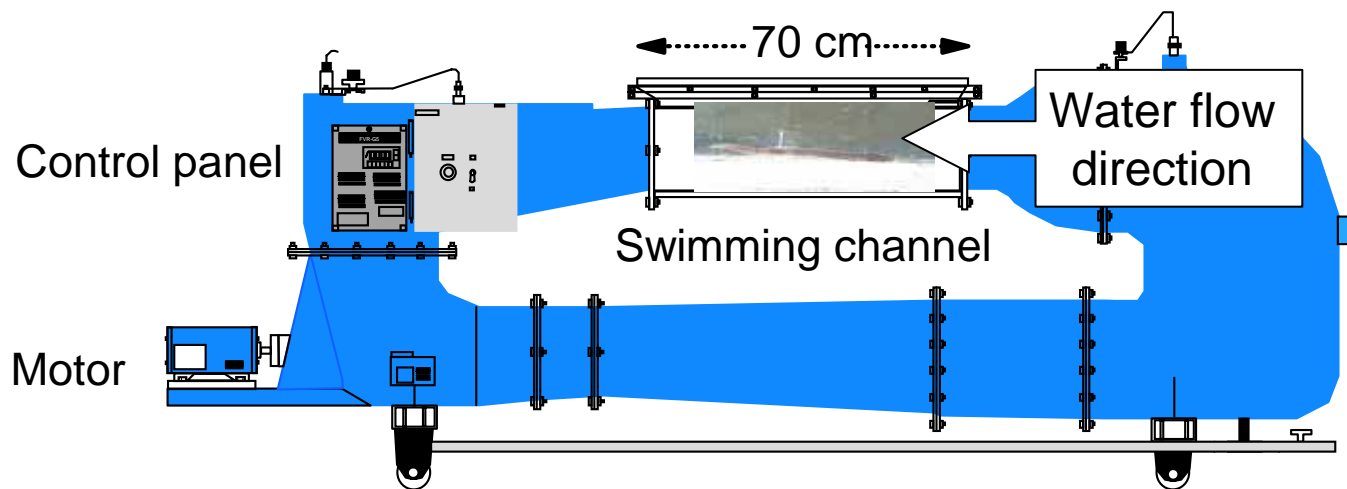
筋肉温度 (°C)

Temperature

温度の比較



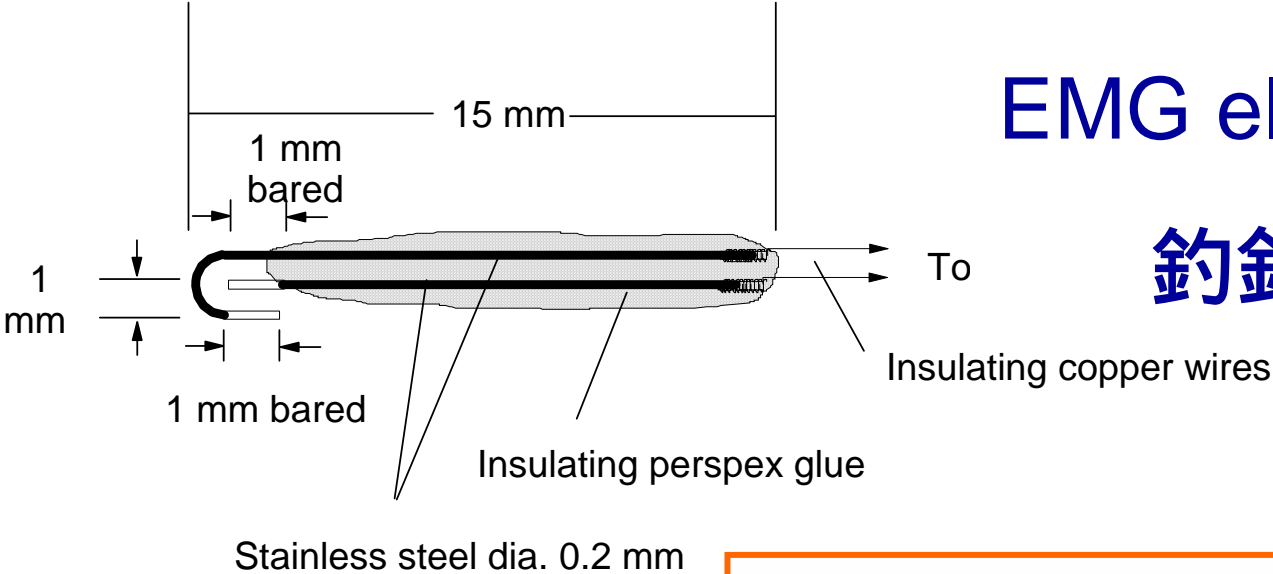
Maximum swimming speeds of fishes (From He, 1986)



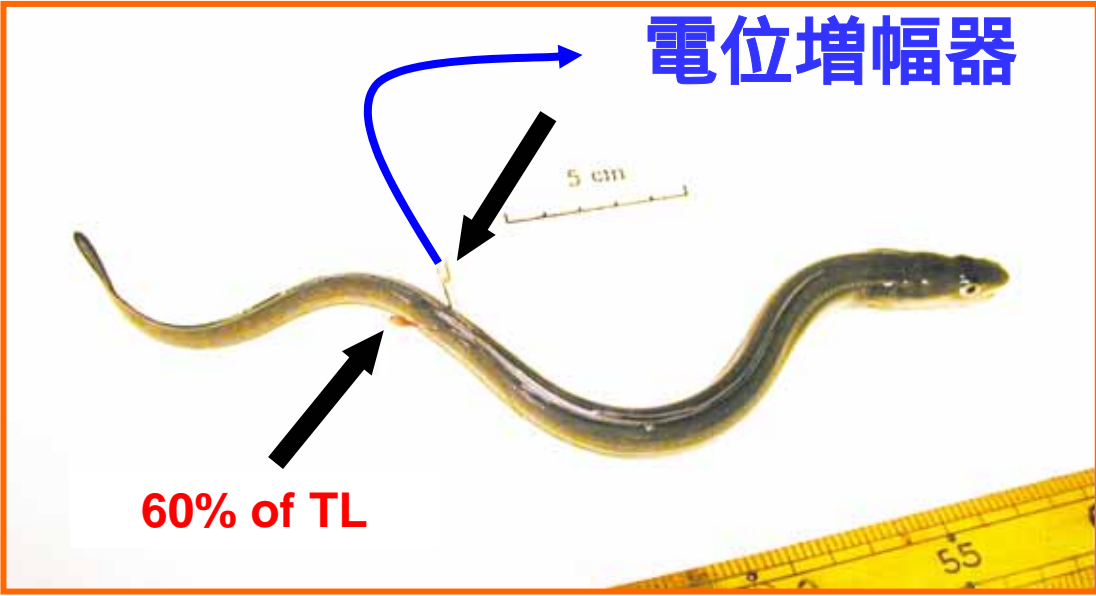
遊泳行動観察のための小型回流水槽

EMG electrode unit

釣針型電極



Implantation



筋電図測定実験

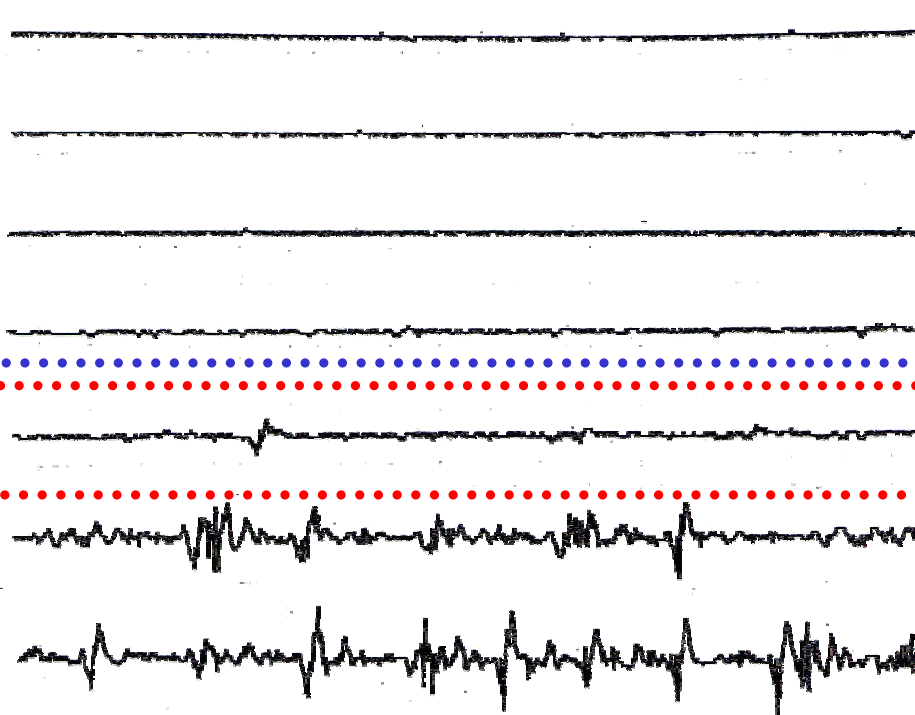
普通筋からの活動電位記録による遊泳速度の分類

EMG 筋電図記録

遊泳速度

cm/s

BL/s



10

0.34

20

0.69

30

1.03

40

1.38

50

1.72

60

2.07

70

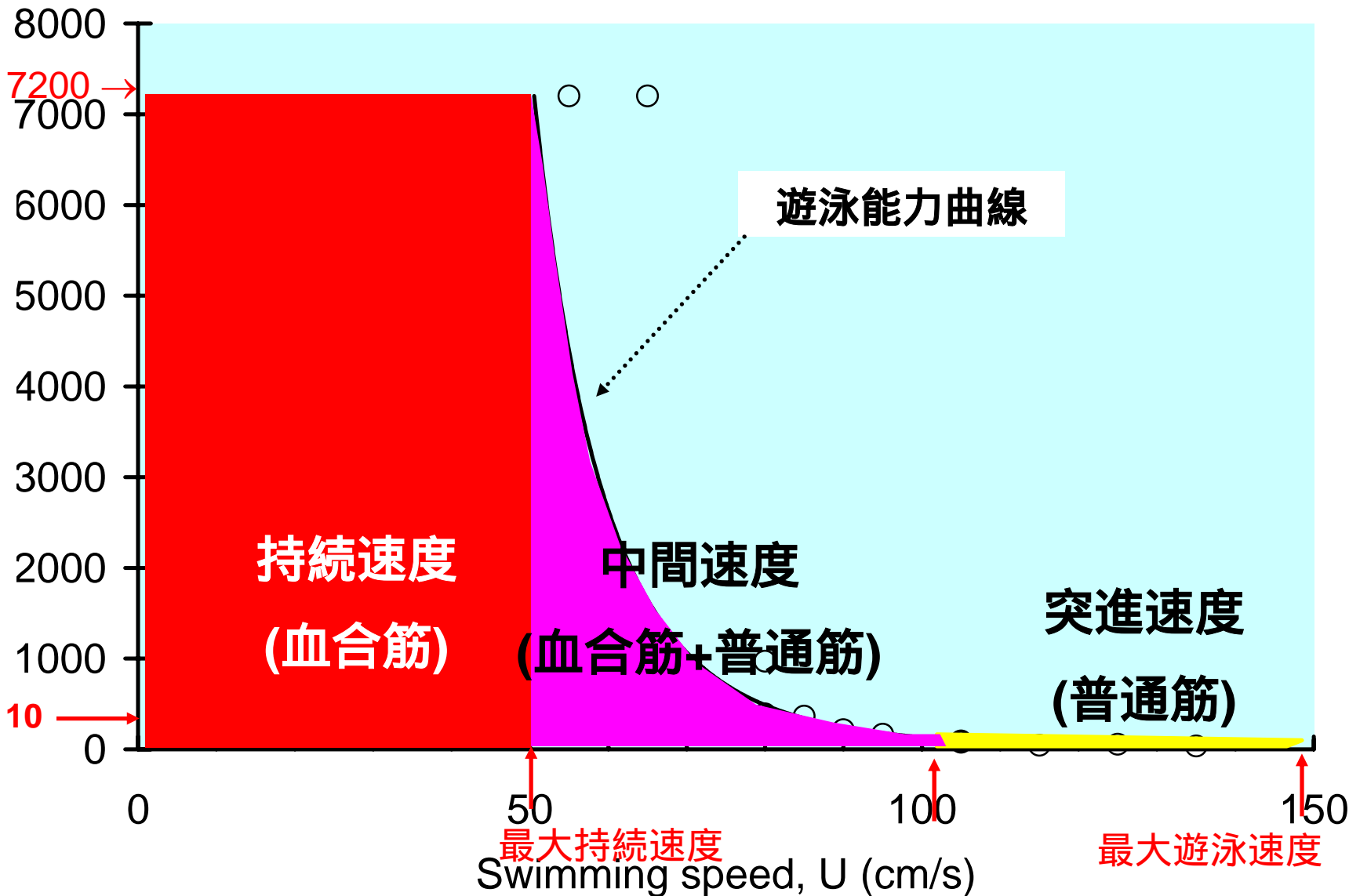
2.41

持続速度

最大持続速度

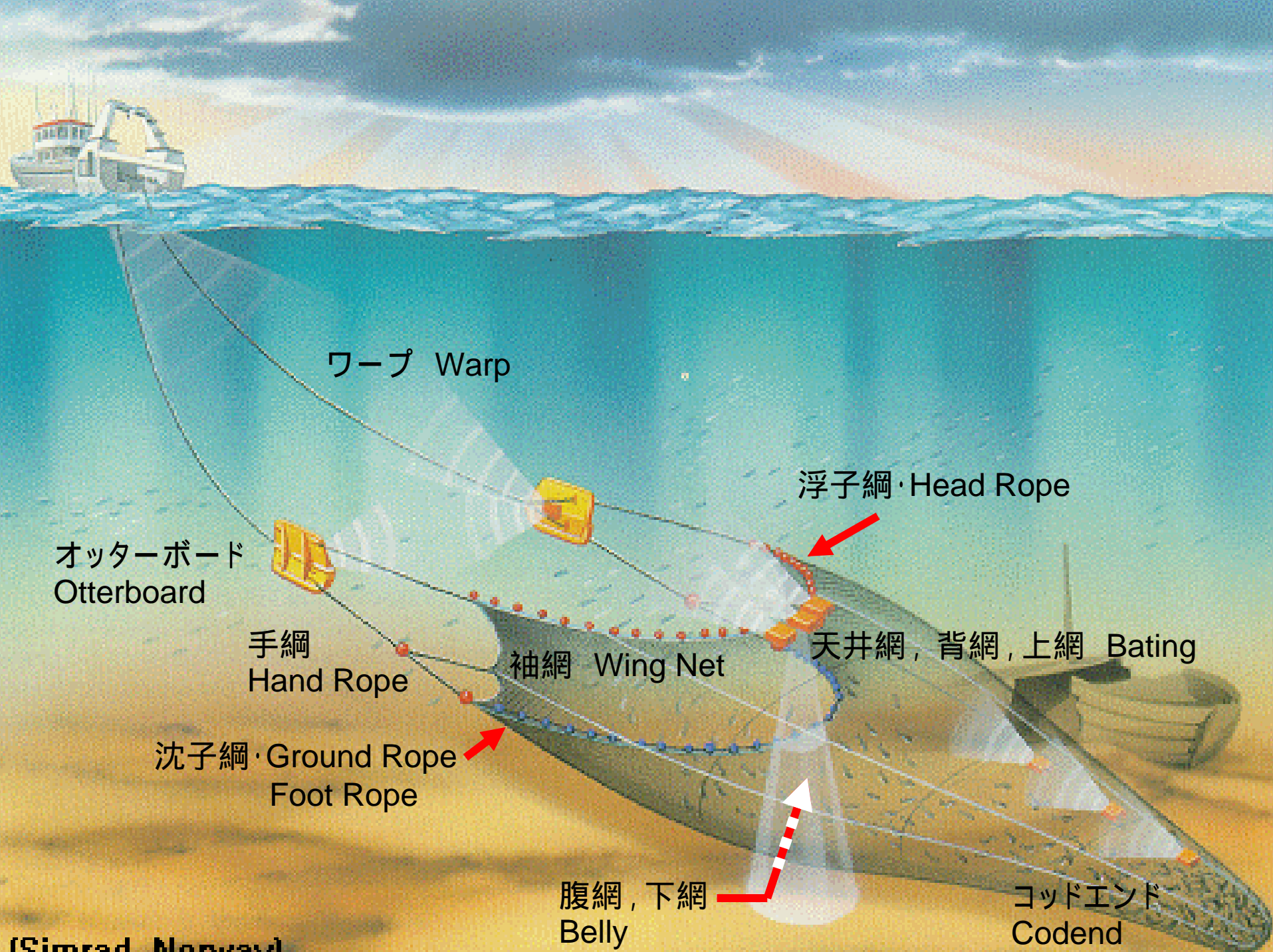
中間速度

遊泳耐久時間
(秒)



マアナゴの遊泳速度分類と耐久時間

(全長 23.5-33.0 cm)



ワープ Warp

浮子網・Head Rope

オッターボード
Otterboard

手綱
Hand Rope

袖網 Wing Net

天井網, 背網, 上網 Bating

沈子網・Ground Rope
Foot Rope

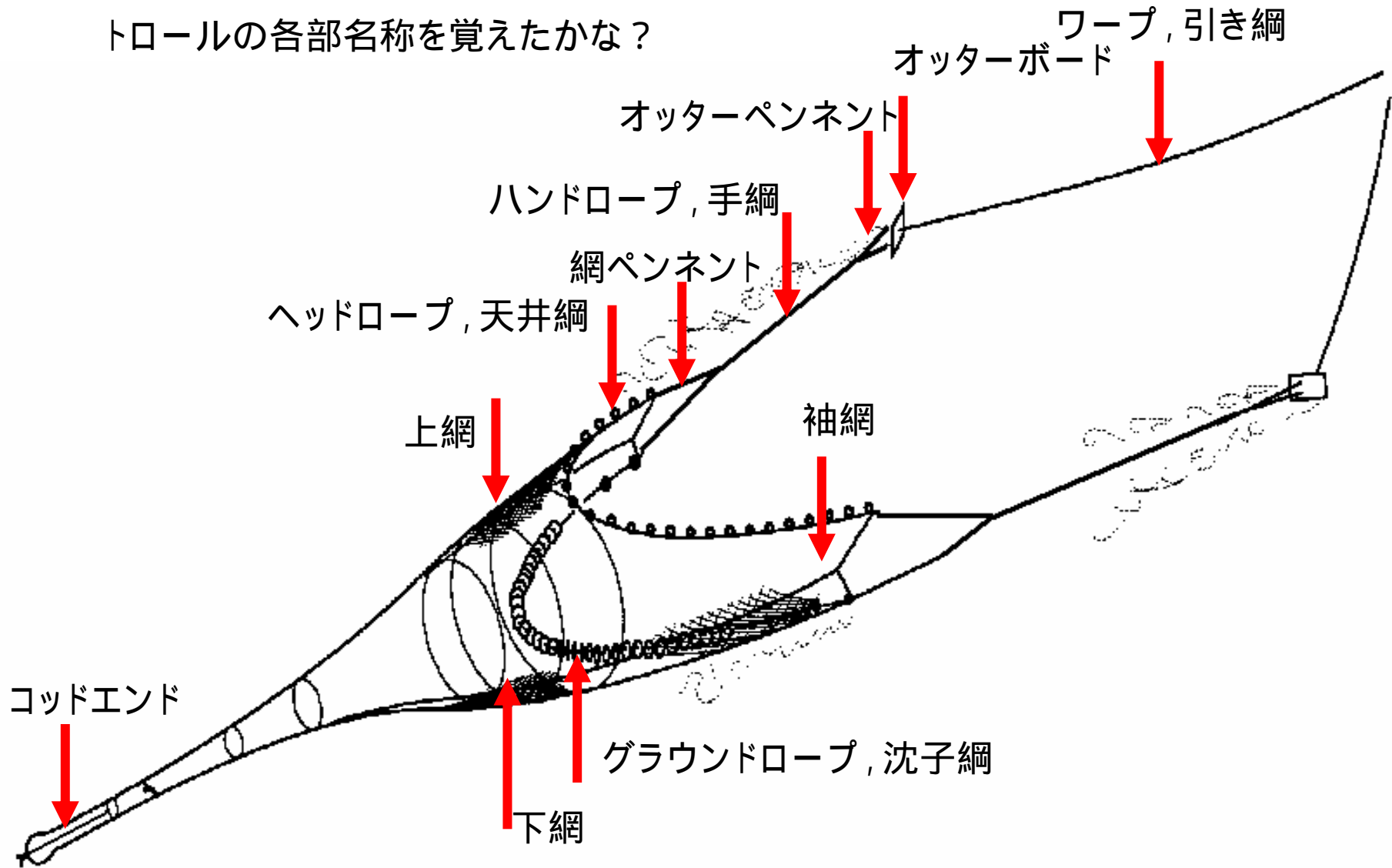
腹網, 下網
Belly

コッドエンド
Codend

(Simrad, Norway)



トロールの各部名称を覚えたかな？



トロールの漁獲過程の理解

- 漁具認知(感覚の生理学)
- 回避行動(運動の生理学)



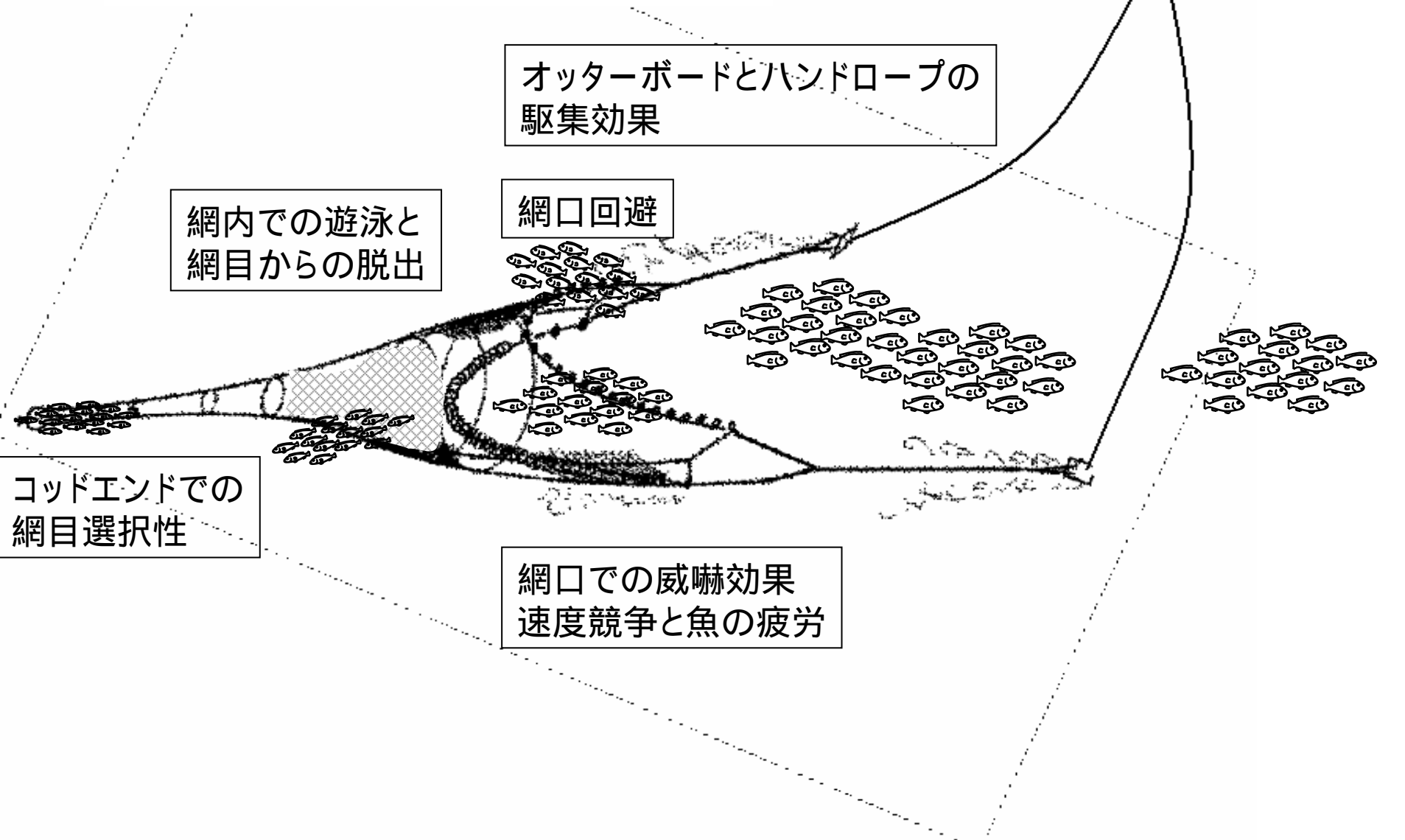
オッターボードとハンドロープの
駆集効果

網内での遊泳と
網目からの脱出

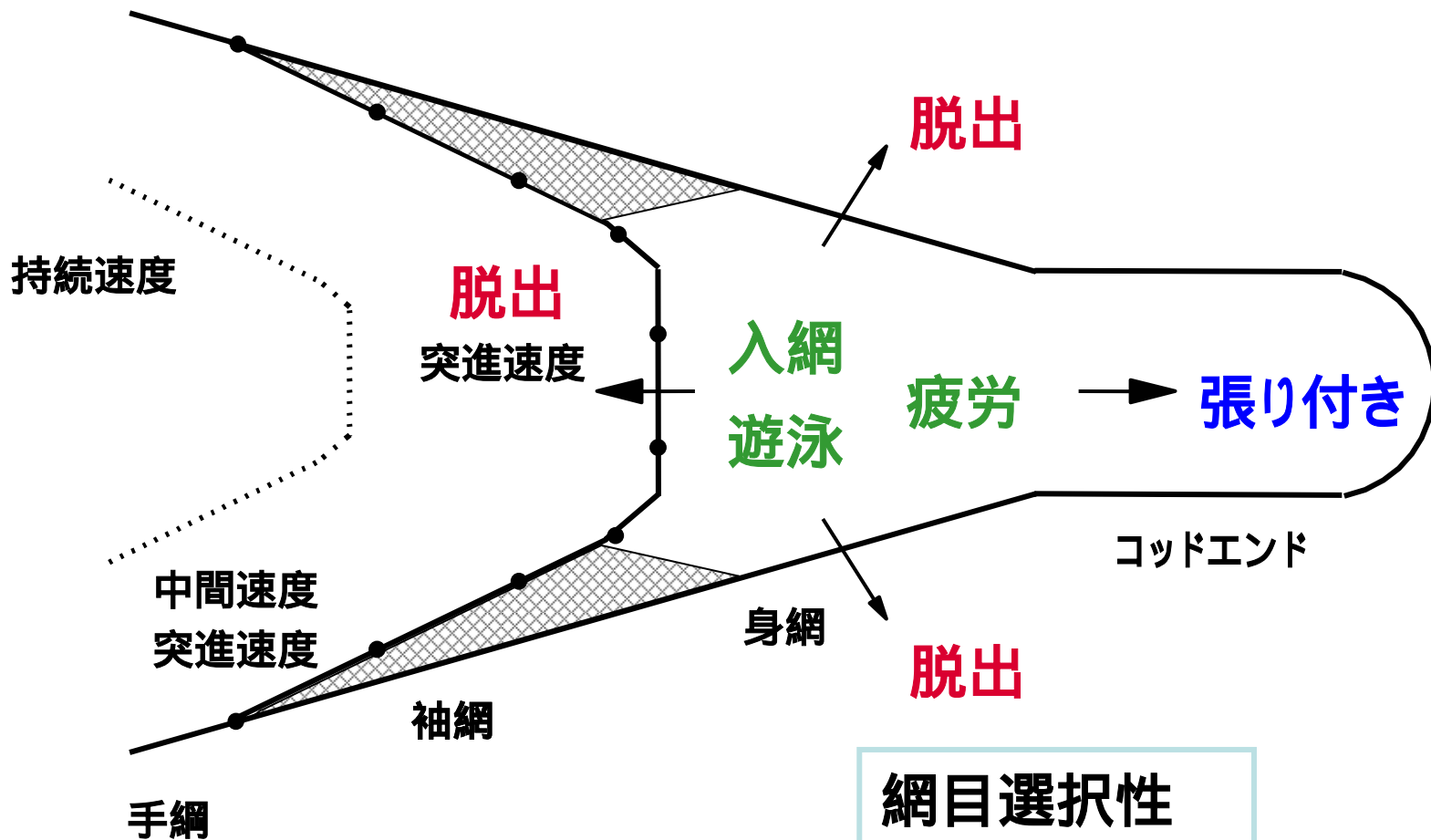
網口回避

コッドエンドでの
網目選択性

網口での威嚇効果
速度競争と魚の疲労



駆集 → 入網 → 網内行動 → 蓄積



網目選択性
混獲防止装置

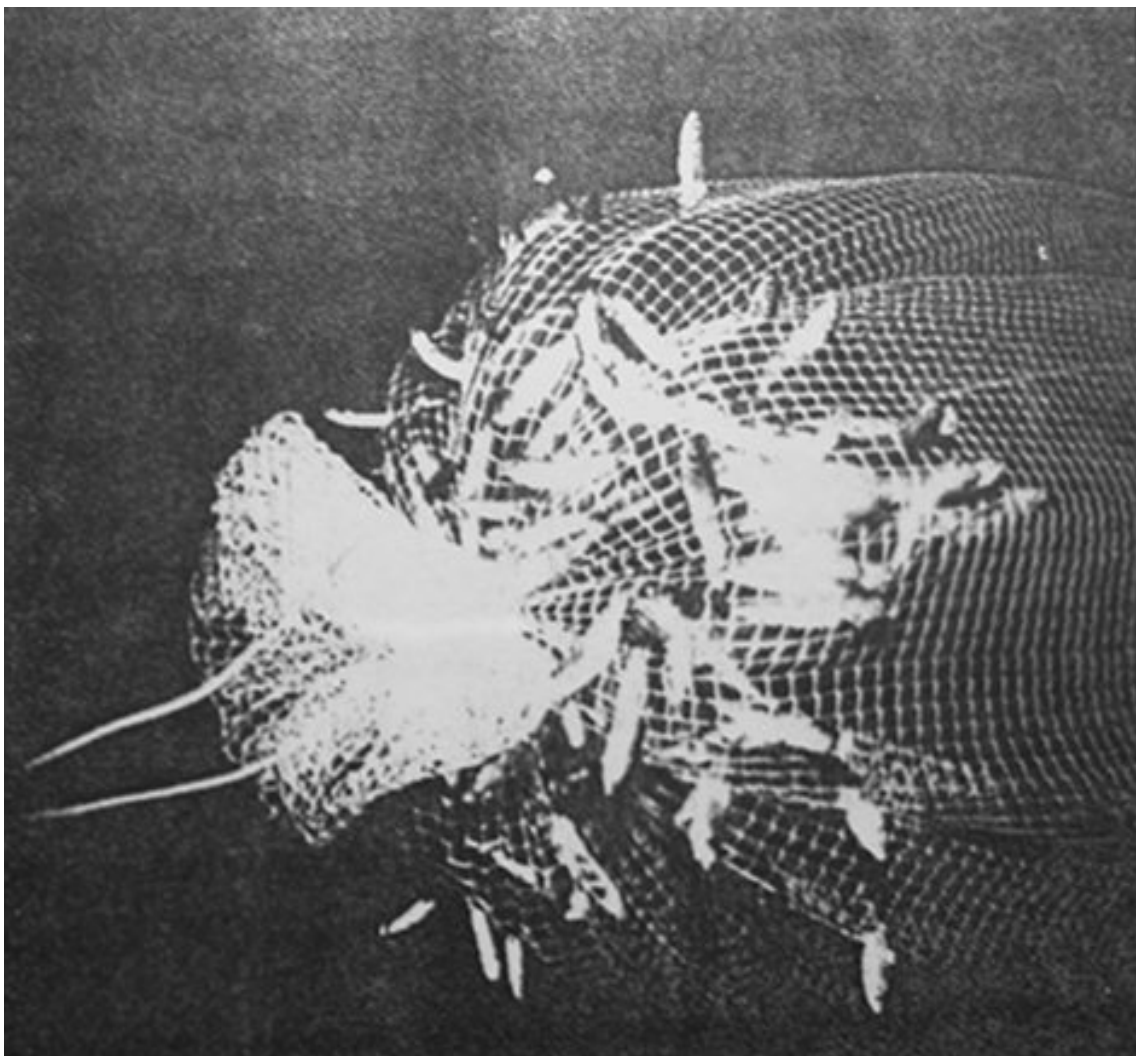
Fish behaviour





コッドエンドの網目から逃げる魚の行動

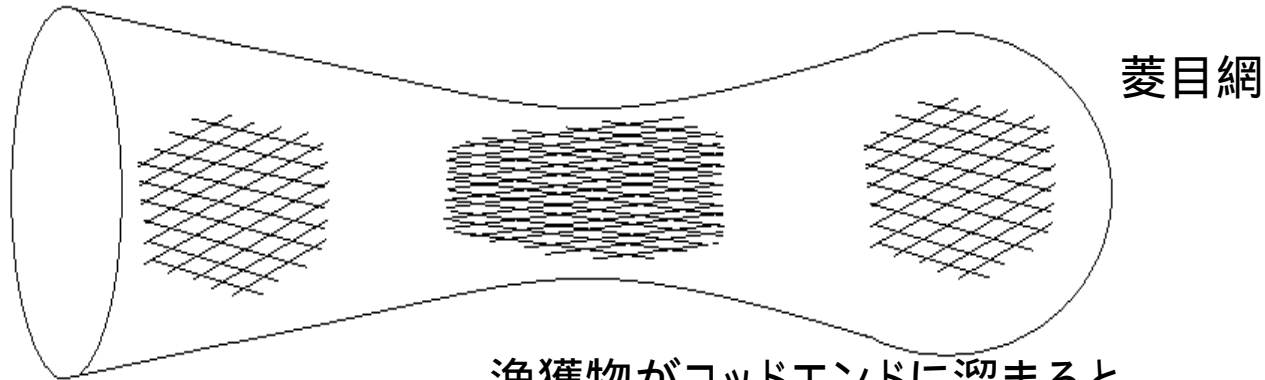
コッドエンドの網目の大きさによって、小さい魚を逃がす・・・？



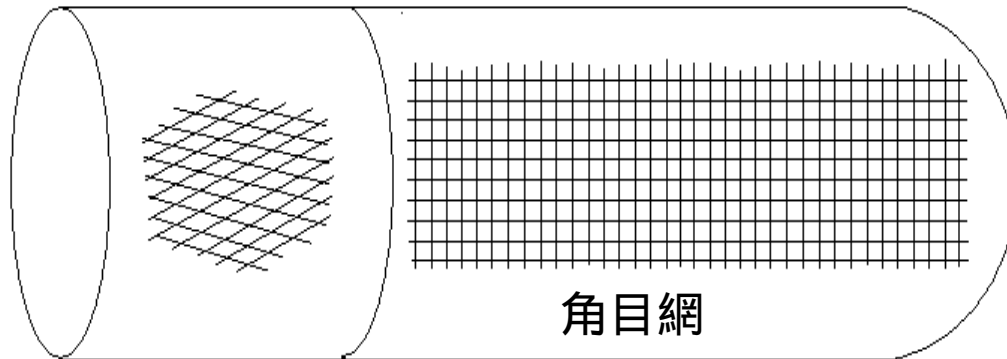
Source :
SOAFD Marine
Laboratory

混獲投棄を減らすための工夫

By-catch Reduction Devices for Trawl Codend

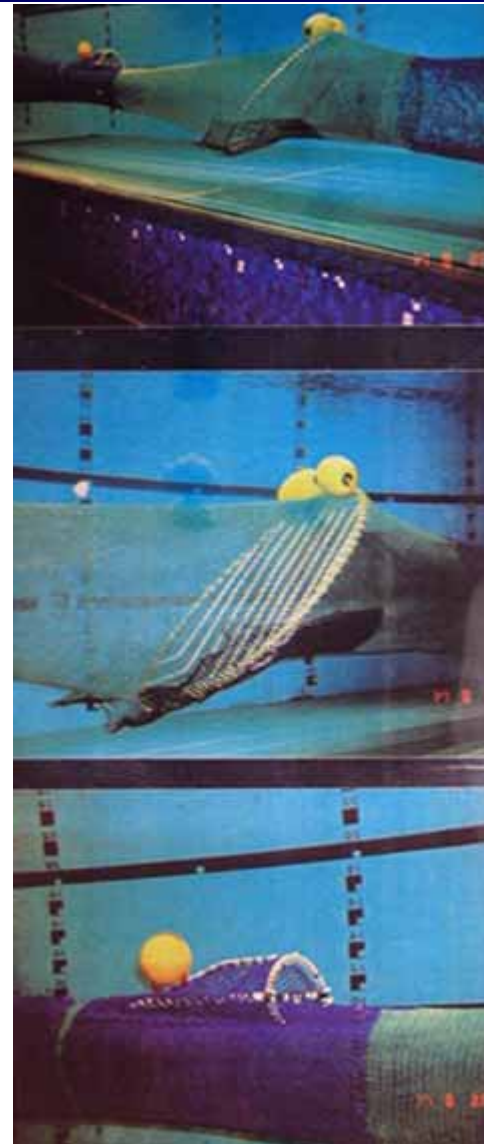
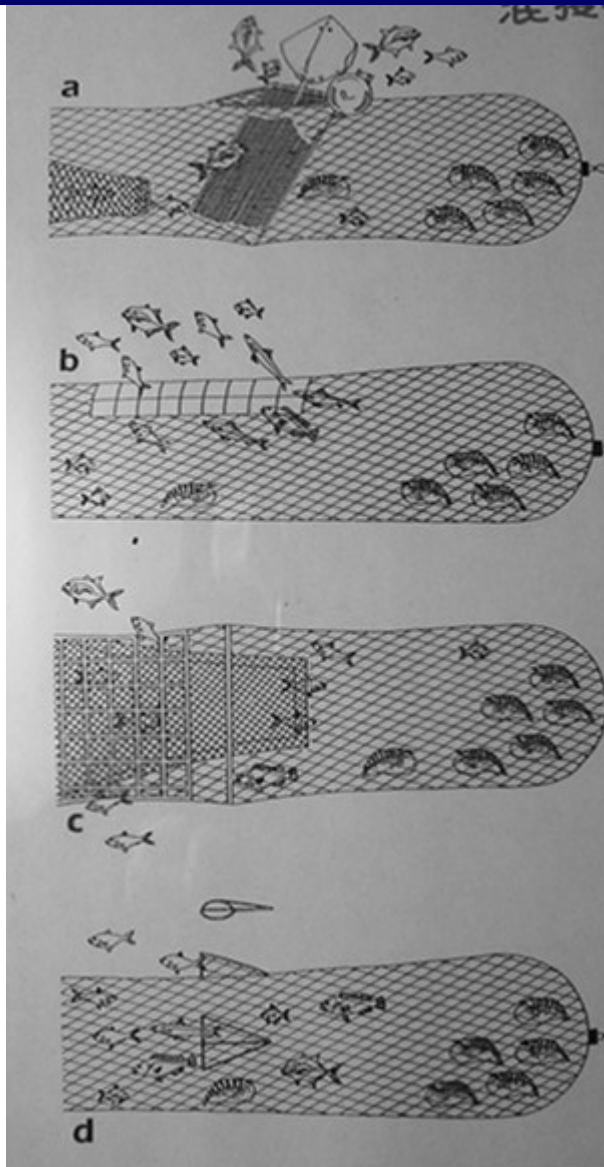


漁獲物がコッドエンドに溜まると
網目が閉じてしまう



混獲投棄を減らすための装置

By-catch Reduction Devices for Trawl Codend



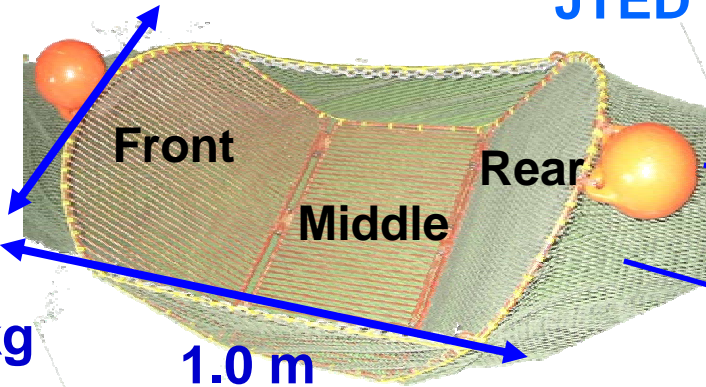
JTED (Juvenile and Trash Excluder Device)



トロールの混獲防除装置

JTED

0.6 m



Front

Middle

Rear

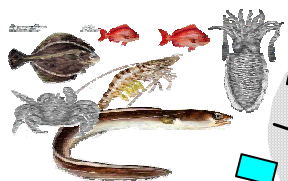
Float

Connected to the codend



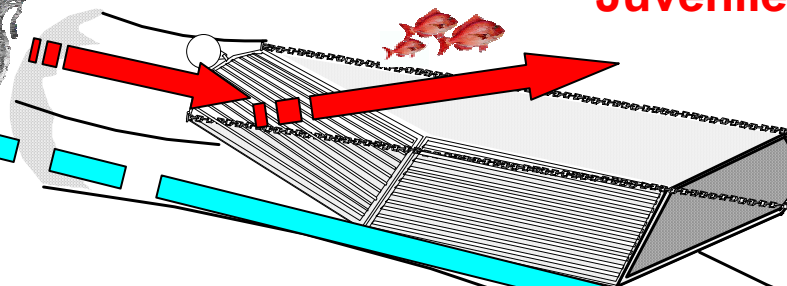
Weight 12.5 kg

1.0 m



Juvenile fish

Direction of tow



Large fish, Large animals,
Non-swimmers

Codend

