第15回「ジャパン・インターナショナル・シーフードショー」
The 15th Japan International Seafood & Technology Expo

鮮度とは何か

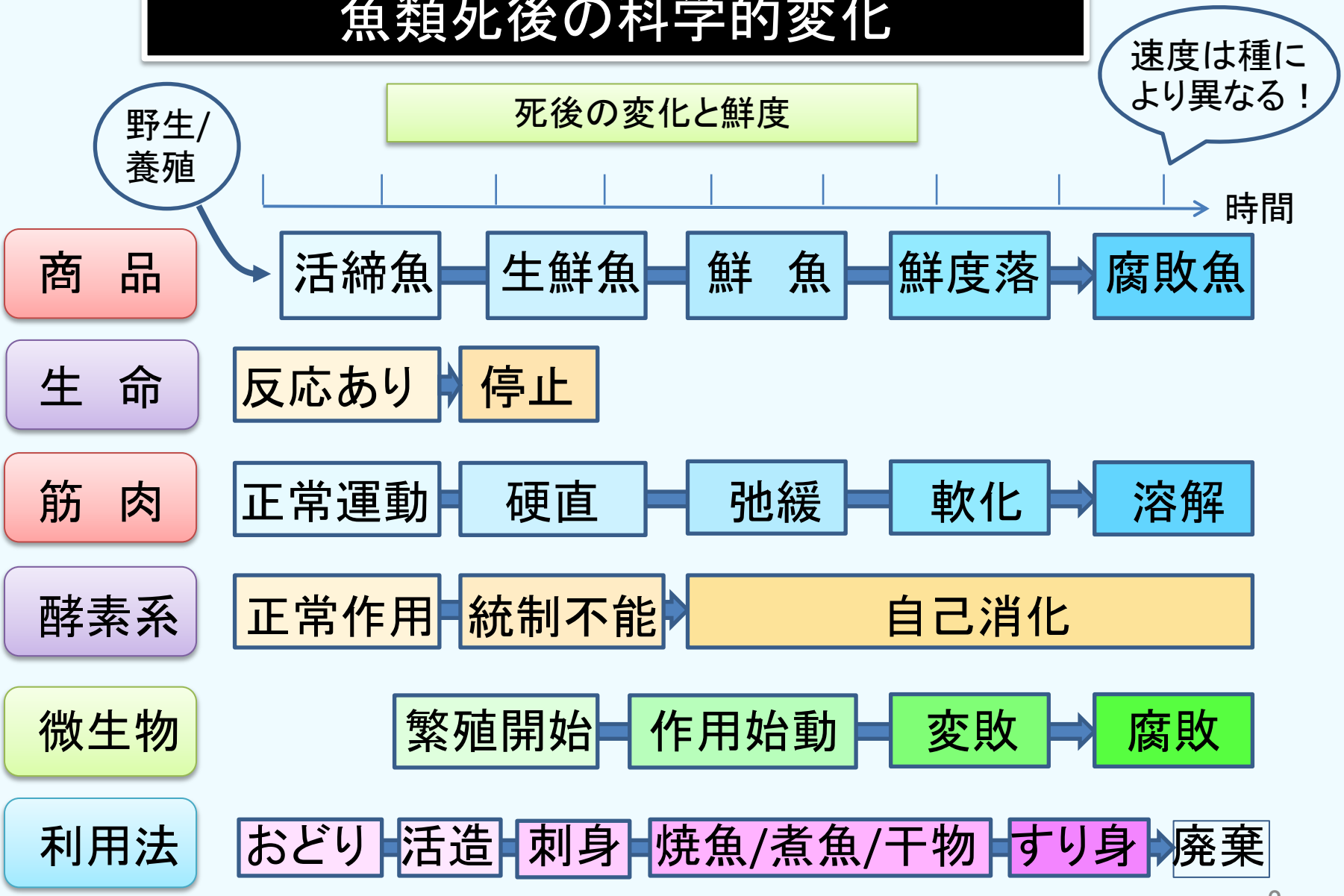
Freshness of the Fish, It's Measurement and Keeping Technology

Aug 23rd 2013

公益社団法人日本技術士会 水産部会
杉本昌明（杉本技術士事務所）

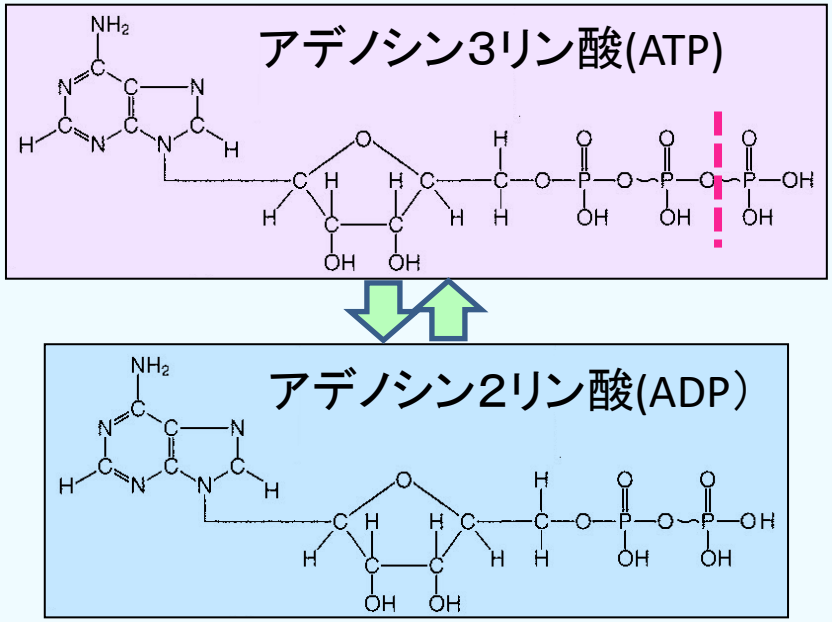
Sugimoto, Masaaki (Professional Engineer, Japan)
sugimoto_fish@yahoo.co.jp

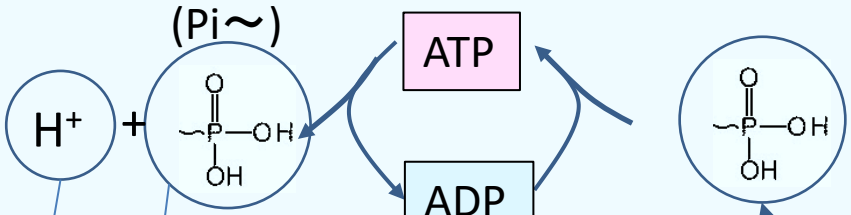
魚類死後の科学的変化


速度は種により異なる！
死後の変化と鮮度
野生/養殖
時間
商　品
活締魚
生鮮魚
鮮　魚
鮮度落
腐敗魚
生　命
反応あり
停止
筋　肉
正常運動
硬直
弛緩
軟化
溶解
酵素系
正常作用
統制不能
自己消化
微生物
繁殖開始
作用始動
変敗
腐敗
利用法
おどり
活造
刺身
焼魚/煮魚/干物
すり身
廃棄

魚類死後の科学的変化

新鮮度に関わる中心的物質（高エネルギーリン酸化合物）





血液

糖（エネルギー成分）

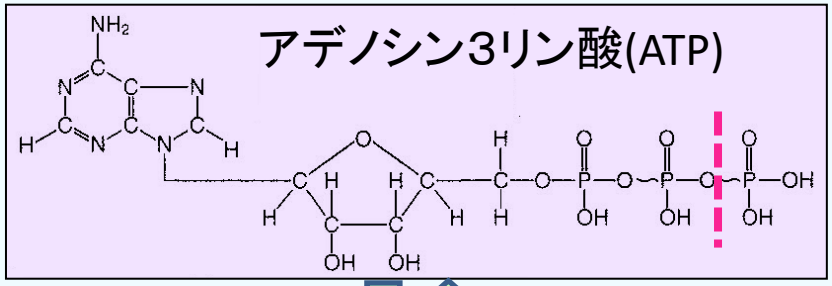
水素イオン

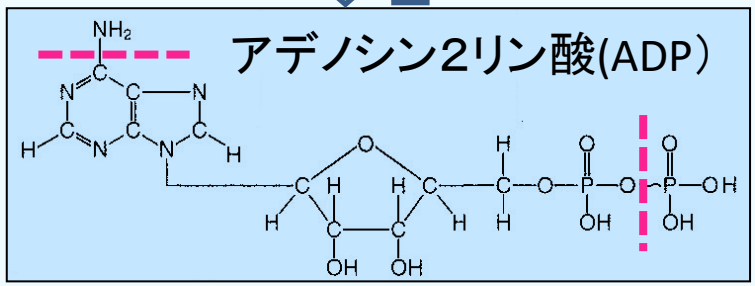
リン酸基

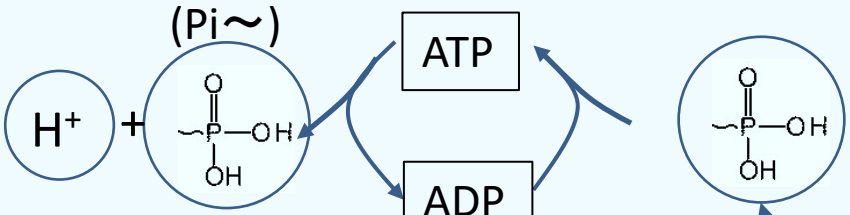
生きているとき

魚類死後の科学的変化

新鮮度に関わる中心的物質



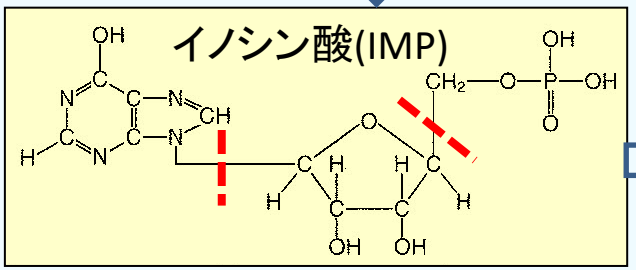




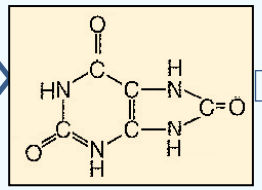
血液

糖（エネルギー成分）

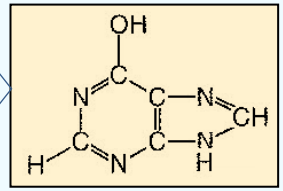
死後



ヒポキサンチン(Hx)

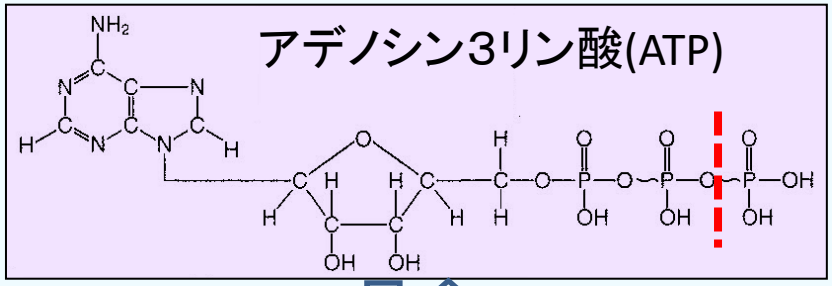


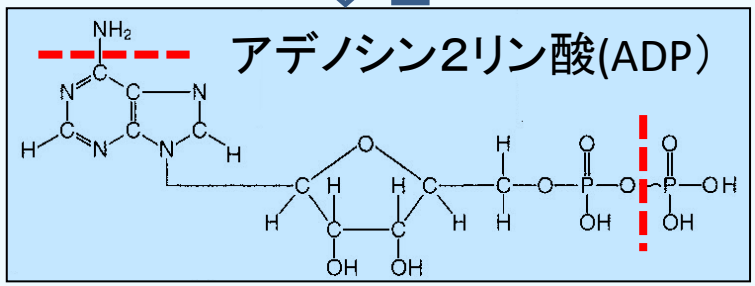
尿酸（UA）



魚類死後の科学的変化

新鮮度に関わる中心的物質

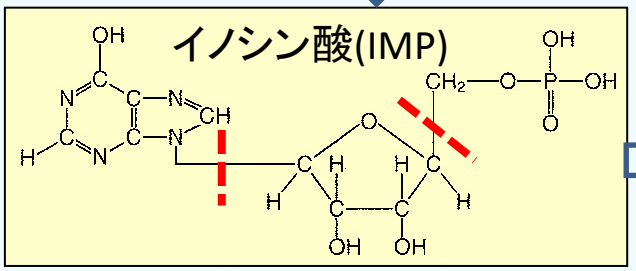




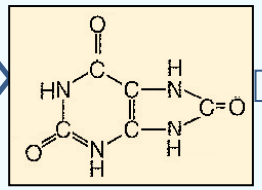
- 生物（筋肉）が働くためのエネルギー源。
- 筋収縮すると Pi～ が消費されADPになる。
- 食物から Pi～ を補給されまたATPとなる。
- ATPがある限り筋肉は死後も硬直している。

- 血液の流れが止まりPi～の補給がとだえると、ATPが再生産できず、底をつく。
- すると、ADPは一方的にヒポキサンチン(Hx)まで分解を始める。
- その分解中間物にイノシン酸も生成する。
- イノシン酸はご存じのうまみ成分のひとつ。

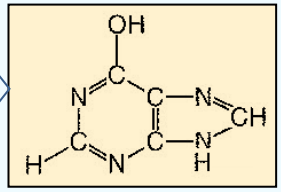
死後



ヒポキサンチン(Hx)



尿酸（鳥類・・）



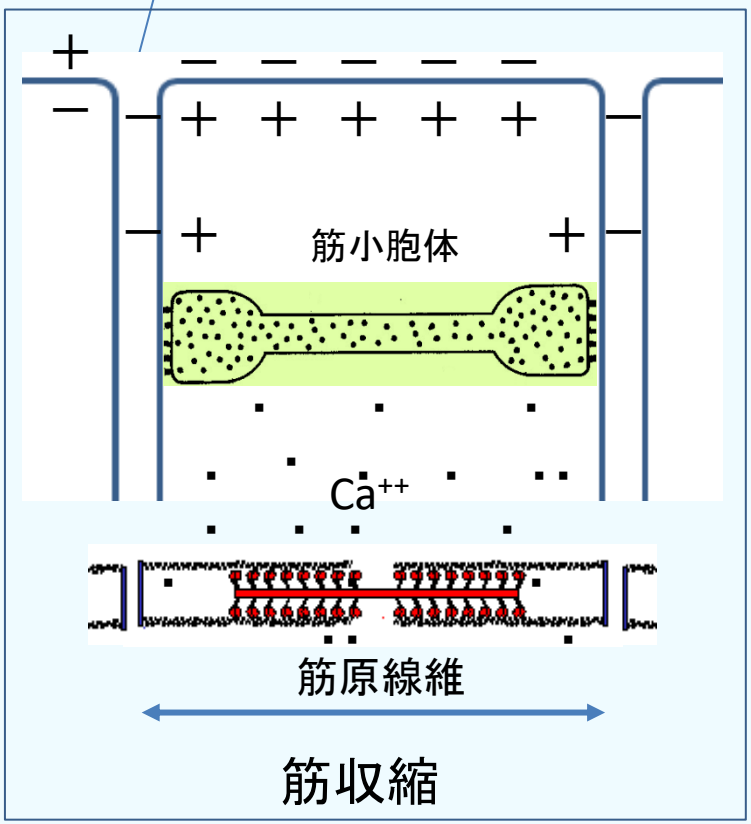
アンモニア（魚類・・）

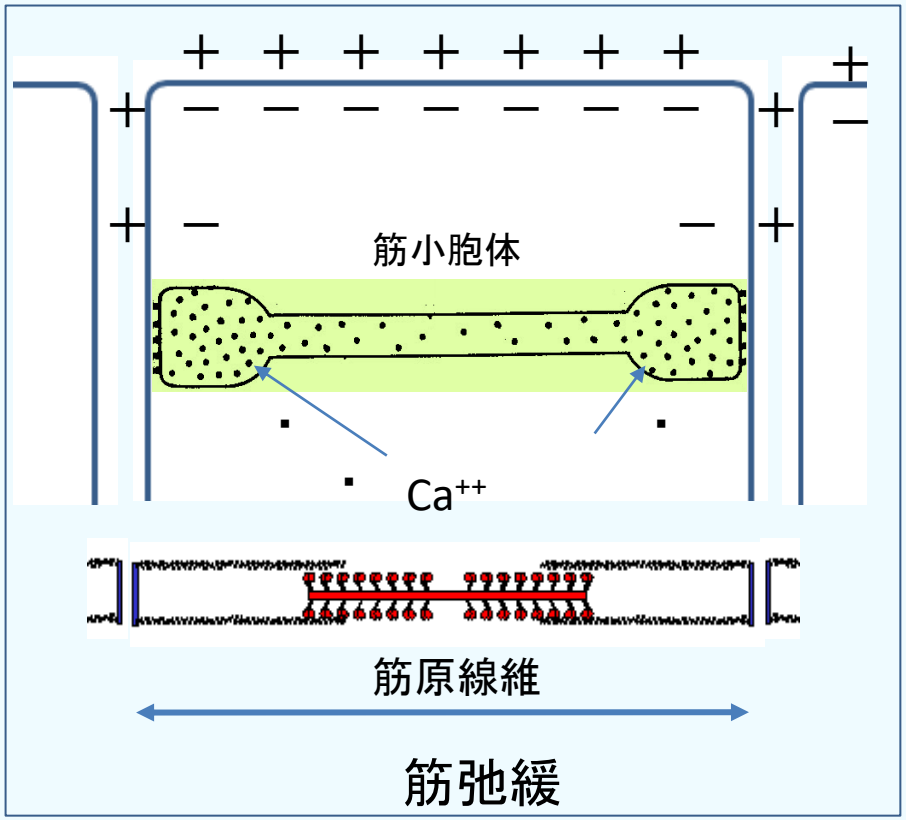
アラントイン

尿素（哺乳類・・）

魚類死後の科学的変化

筋肉収縮のメカニズム（筋細胞モデル）

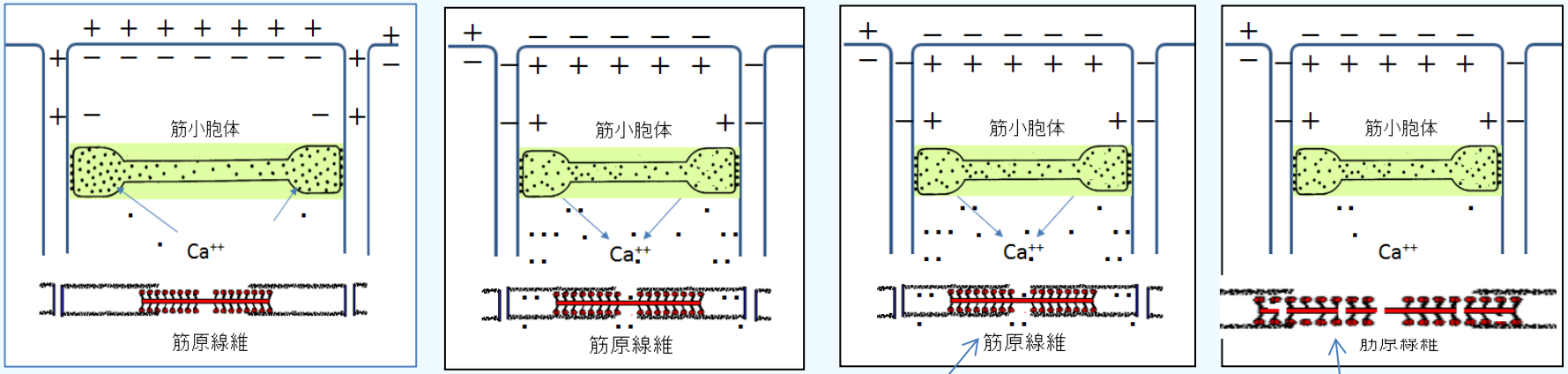




T細管部の脱電極によって筋小胞体からカルシウムイオンCa^{++}が遊離し、筋原線維に達して収縮が起こる。脱分極終了とともにCa^{++}は能動的に取り込まれ、筋は弛緩する。

魚類死後の科学的変化

死後硬直のメカニズム



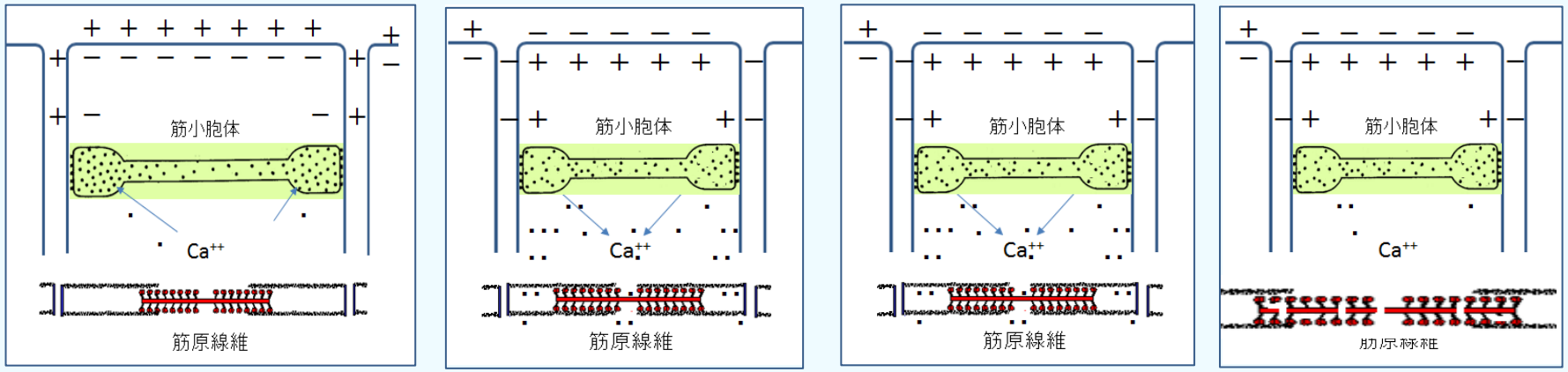
弛緩 ⇔ 収縮 ⇒ 死後硬直 ⇒ 解硬

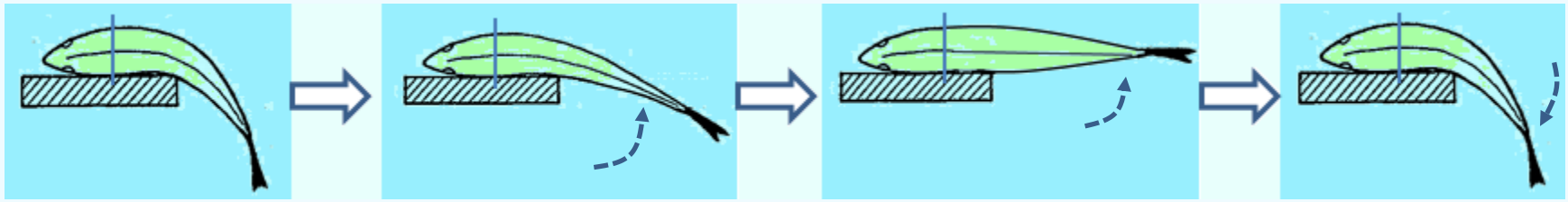
①ATPが消耗し、
②筋小胞体のCa^{++}取り込み機能が衰え、Ca^{++}が出っ放しとなり、
③筋原線維は収縮したまま、即ち硬直が続く。

①筋原線維の構造的な劣化により、小片化し、
②死後硬直が徐々に解ける。

魚類死後の科学的変化

死後硬直の進行





即殺直後 → 硬直開始 → 死後硬直 → 解硬

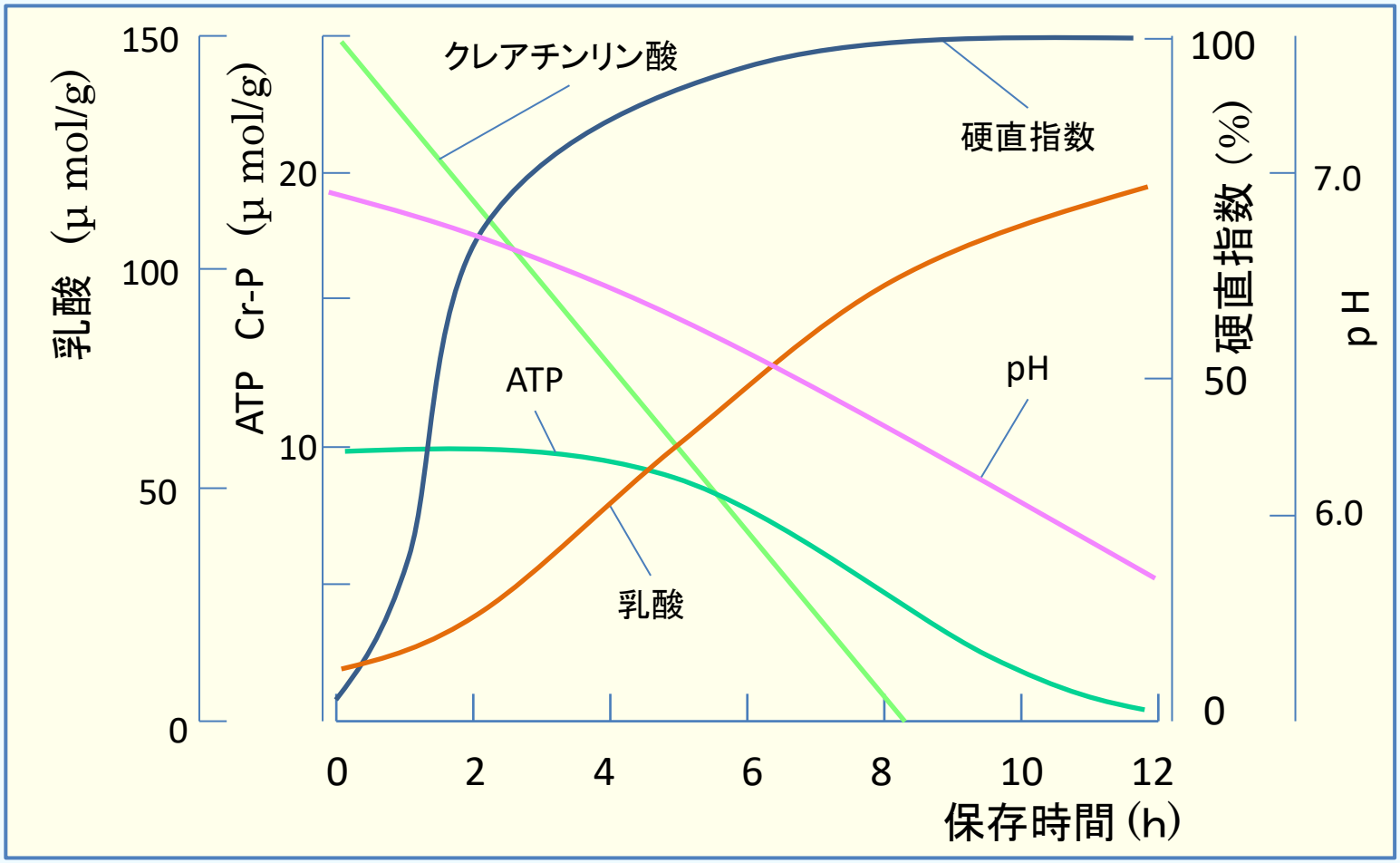
始まりは

魚類死後の科学的変化（まとめ）

エネルギー・酸素の補給がなくなる

死後の筋肉の変化 （即殺イワシ、氷蔵）

Watabe S. 1989

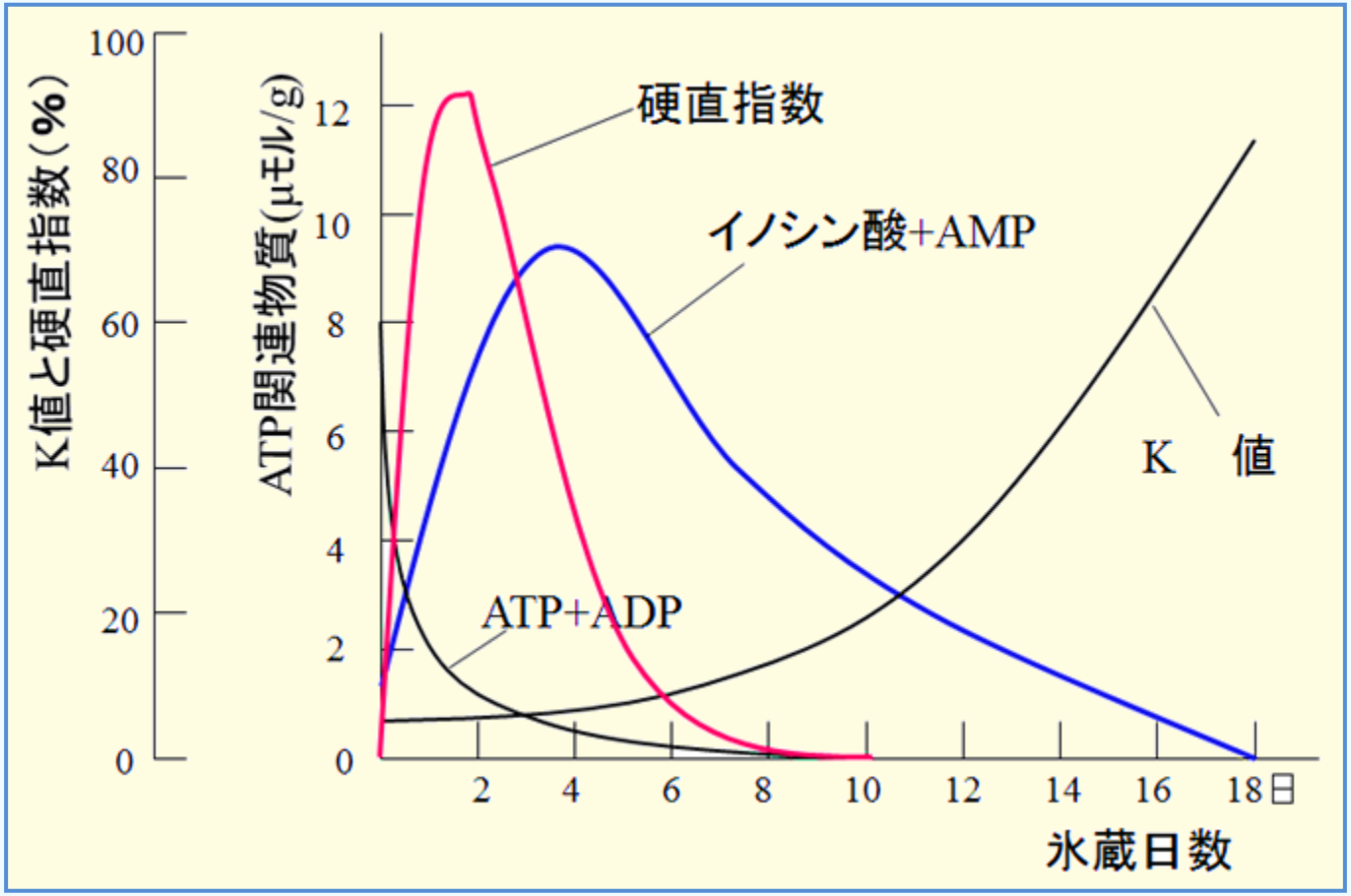


美味しさ？
①味 ②食感
③張り
④におい⑤色

鮮度と美味しさ

さしみとしての食べごろは？（ヒラメ、氷蔵）

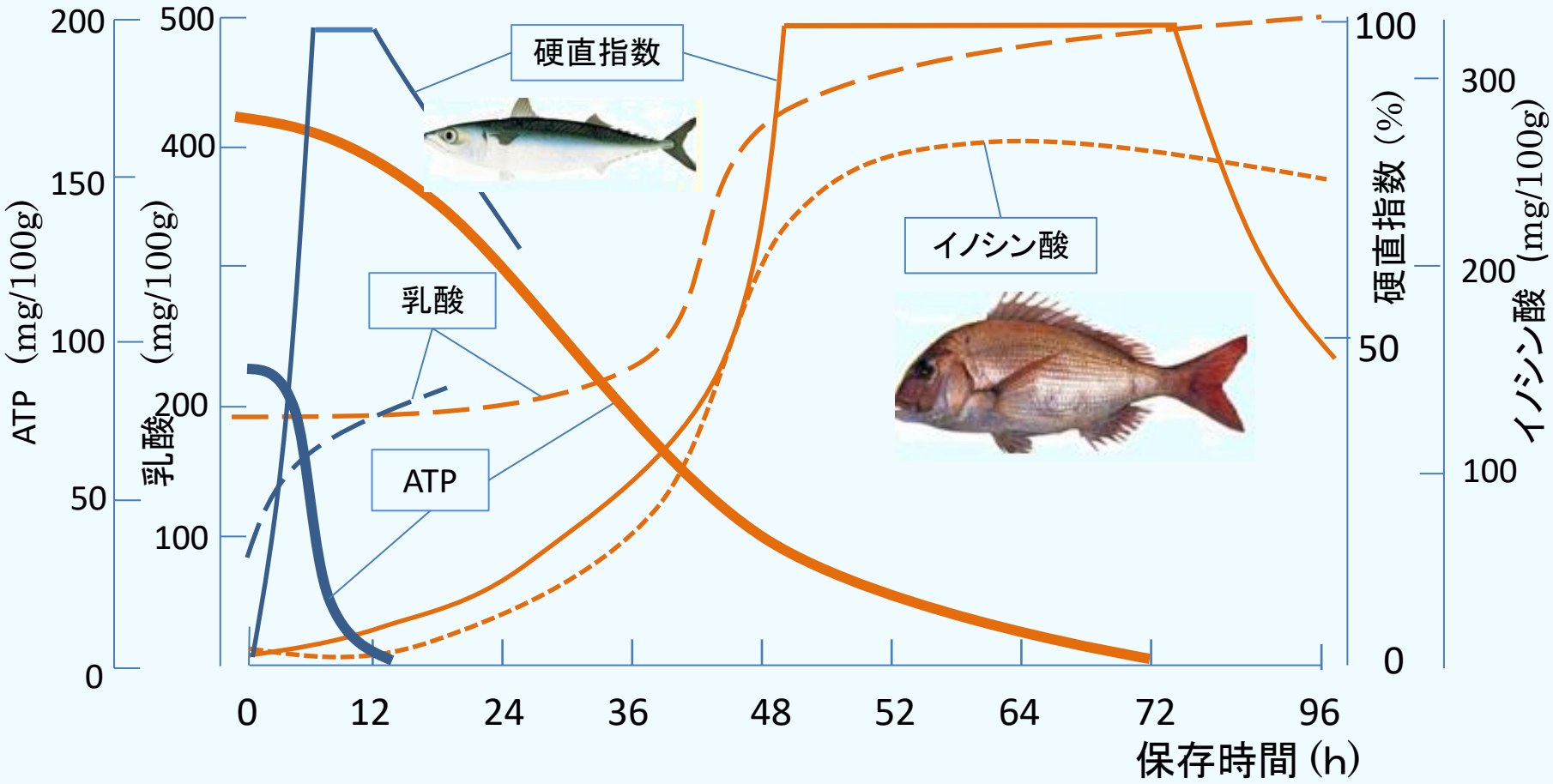
野口栄三郎　1972



鮮度と美味しさ

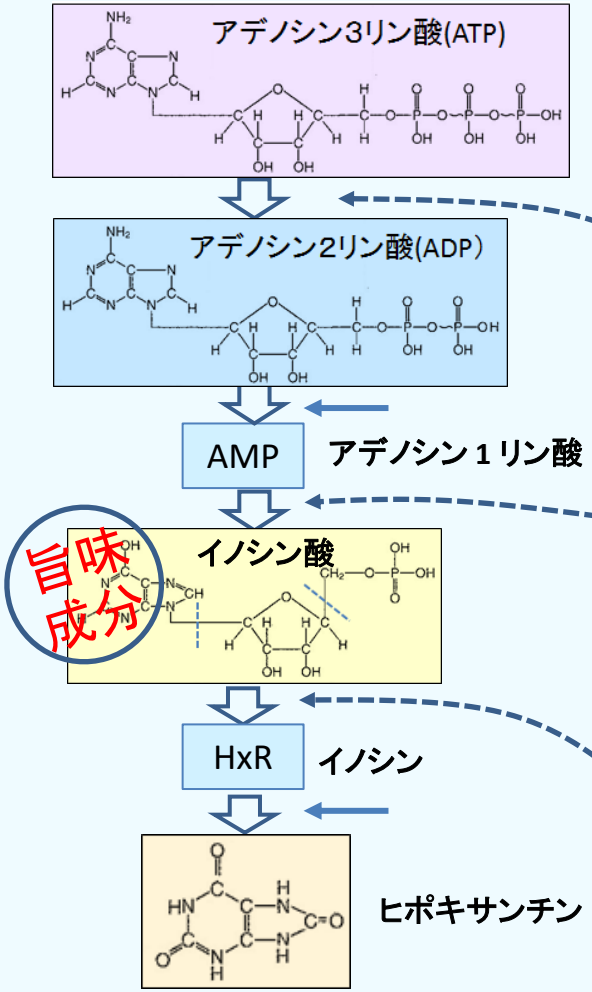
「鯖の生き腐れ」、「腐っても鯛」

Iwamto M.　1986



鮮度と美味しさ

「鯖の生き腐れ」、「腐っても鯛」

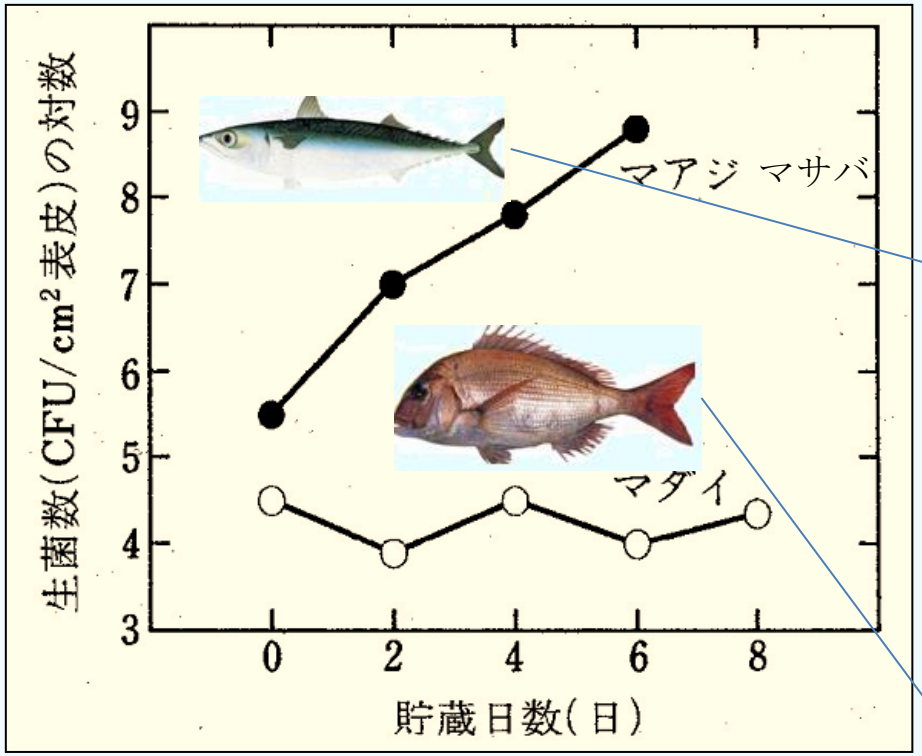


ATP分解酵素活性

分解酵素	マサバ	マダイ
ATP ase	＋＋＋	＋＋
AMP deaminase	＋＋＋	＋＋
Inosine monophosphotase	＋＋＋	＋

鮮度と美味しさ

「鯖の生き腐れ」、「腐っても鯛」



マアジ(マサバ)、マダイのフィレ5℃保管における生菌数の増加　木村1989

①pH低下が速く、大きい。
②すぐに硬直し、解硬する。
③酵素活性が強く、軟化しやすい。
④細菌が攻撃しやすくなる。→腐敗。
⑤赤身魚はヒスチジンを多く含み、低pH(弱酸性)ではヒスタミン生成菌が繁殖しやすい。
⑥ヒスタミンは無味無臭。外観はくっきりしているのに、食べて思わず中毒。

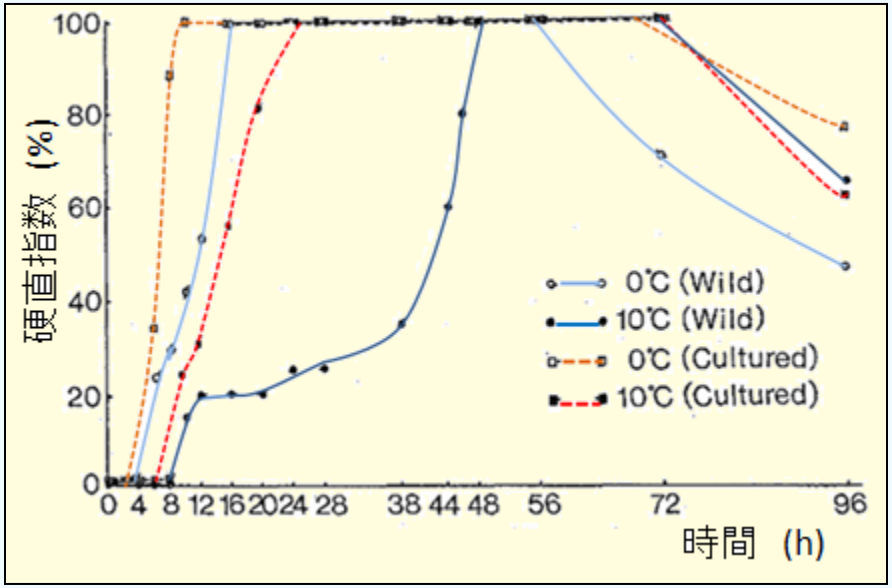
①硬直開始が遅く、持続する。
②pH低下が緩やか。
③細菌が攻撃しにくい。
④イノシン酸が2日後にピークに達し、3～4日後でも味がよい。

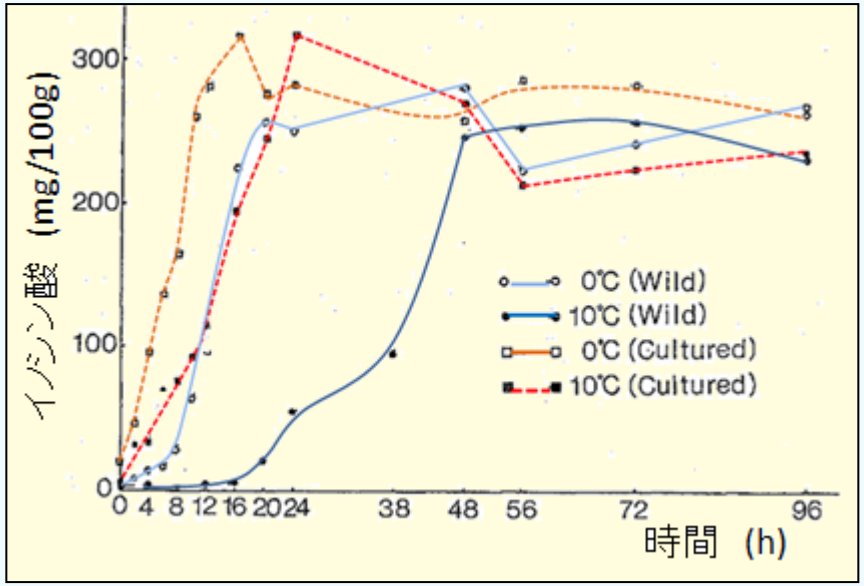
鮮度と美味しさ

「野生魚」、「養殖魚」

岩本宗明　1991

野生(wild)マダイ、養殖(culture)マダイの食べごろ





養殖魚は野生魚に比べ運動不足で弱もの。
→すぐに硬直し、また硬直期間が短い。
→賞味期限（美味しさ持続期間）が短い。

鮮度と美味しさ

「野生魚」、「養殖魚」

岩本宗明　1991

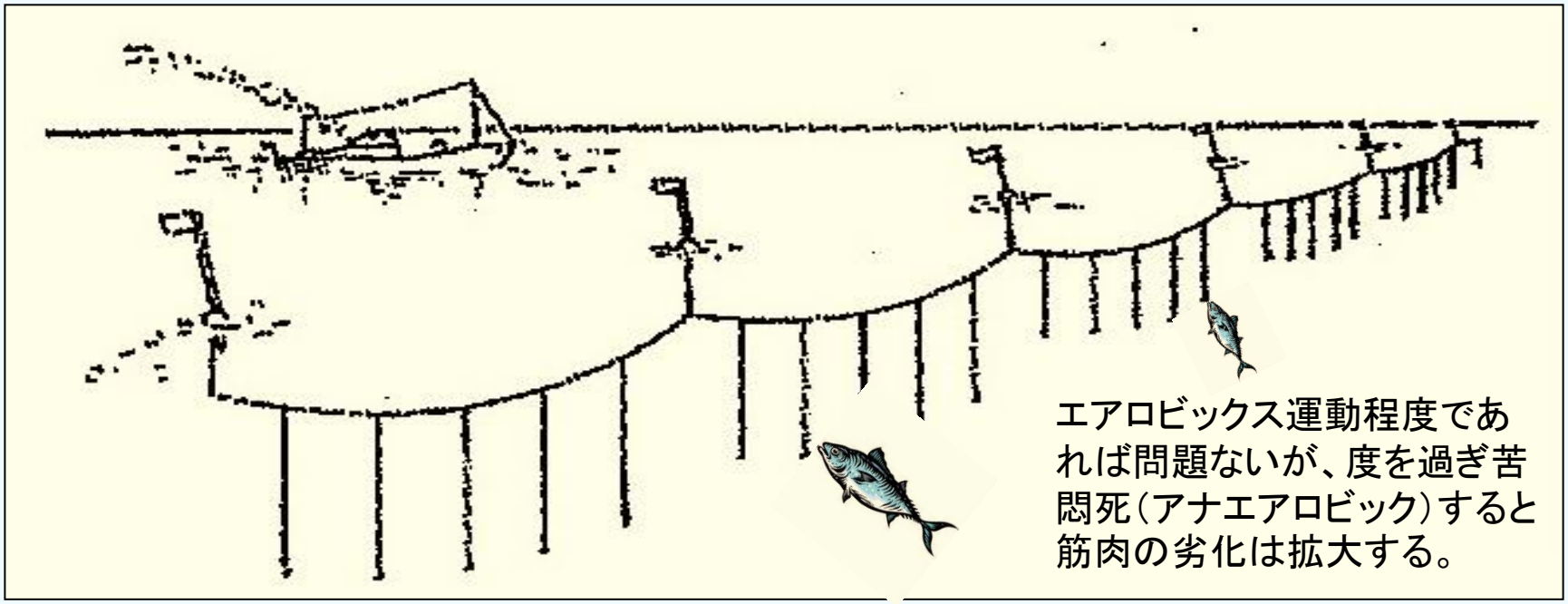
試験区分				硬直開始時間	完全硬直到達時間	ATP消失時間	乳酸最大	
							到達時間	最大値
即殺	マダイ	野生	0℃	4	16	16	16	55
			10℃	8	48	48	48	54
		養殖	0℃°	4	10	10	10	64
			10℃°	8	26	24	24	62
	ヒラメ	野生	0℃	3	21	15	15	34
			10℃	6	32	32	32	33
		養殖	0℃°	3	21	18	15	34
			10℃°	6	32＜	32＜	32＜	30
苦悶死	ヒラメ	野生	10℃	2	8	4	6	43
		養殖	10℃	2	8	2	6	39

養殖魚は野生魚に比べ運動不足で弱もの。
→すぐに硬直し、また硬直期間が短い。
→賞味期限（美味しさ持続期間）が短い。

改良が進んでいる。

鮮度保持技術　･･･苦悶死と即殺･･･

マグロ鮮度差の発生



マグロ延縄漁の一日

04：00 ―― 09：00 ―― 12：00 ―― 20：00 ･･･

5h	3h	8h
投縄	縄待	揚縄

鮮度保持技術　･･･苦悶死と即殺･･･

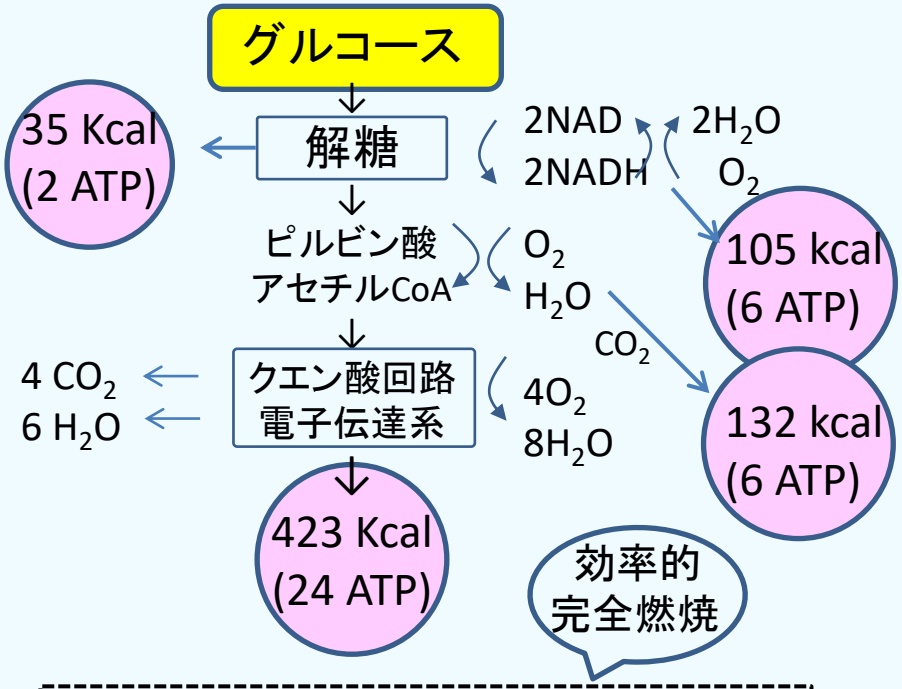
マグロ肉の鮮度差の分析

等級	pH	乳酸 (%)	ATP (ppm)	ADP (ppm)	AMP (ppm)	IMP (ppm)	Hx (ppm)	解凍ドリップ (%)	メト化率 (%)
SA	6.80	1.1	3,700	490	350	310	0	16.1	16.3
A	6.51	1.2	150	20	465	2,850	―	18.1	20.7
B	5.91	1.5	―	―	120	1,970	―	25.1	18.5

SA	生きたまま水揚げ、即殺、即凍結したもの。	ATP残存し、pH中性域
A	疲弊した魚	ATPやや残存、微pH酸性
B	死んで水揚げ、苦悶死	ATP残存０、　酸性

鮮度保持技術　・・・苦悶死と即殺・・・

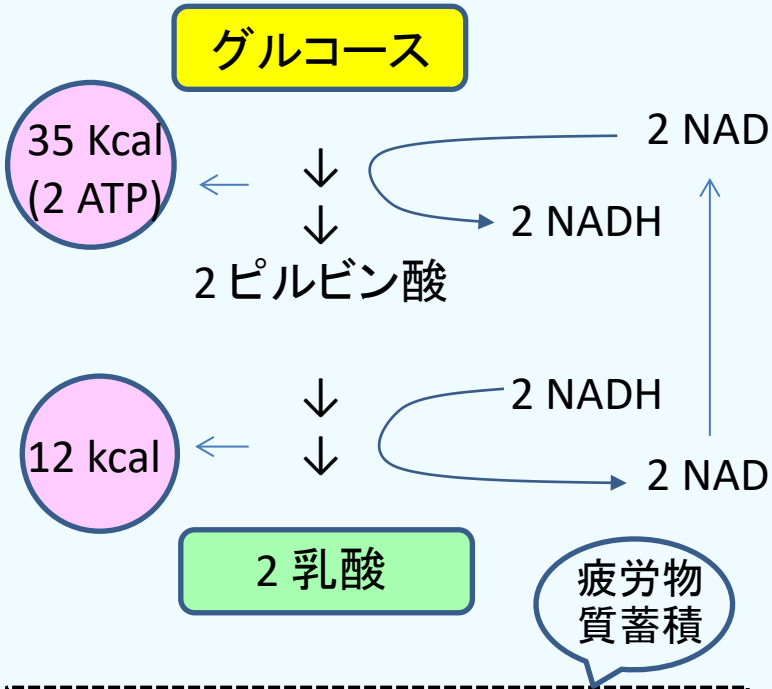
好気的エネルギー代謝 (aerobic metabolism)



グルコース＋$6O_2$ → $6CO_2$＋$12H_2O$

ΔG=－686 Kcal (38 ATP)

嫌気的エネルギー代謝 (anaerobic metabolism)

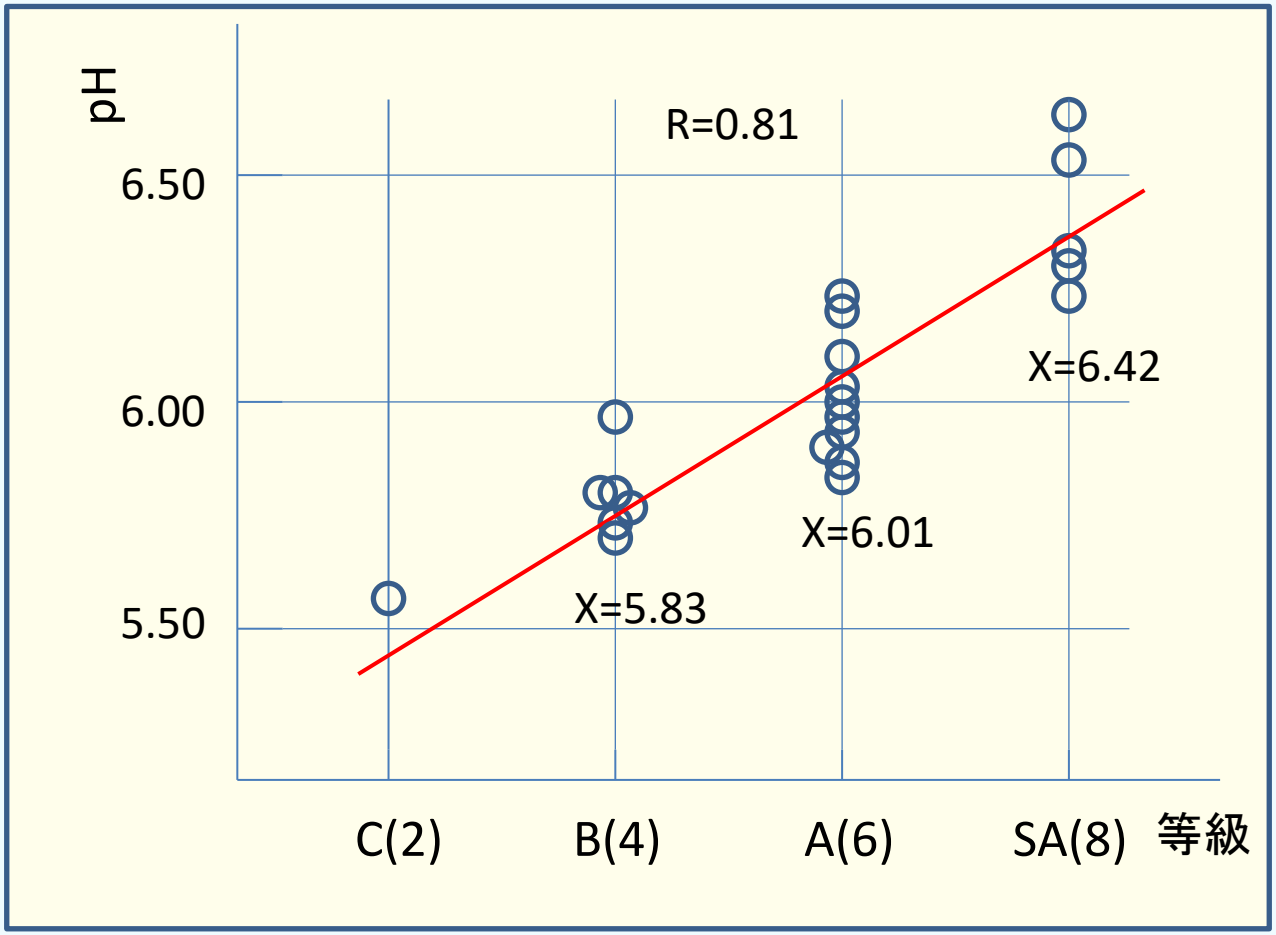


グルコース　→　2 **乳酸**

ΔG=－47 Kcal (2 ATP)

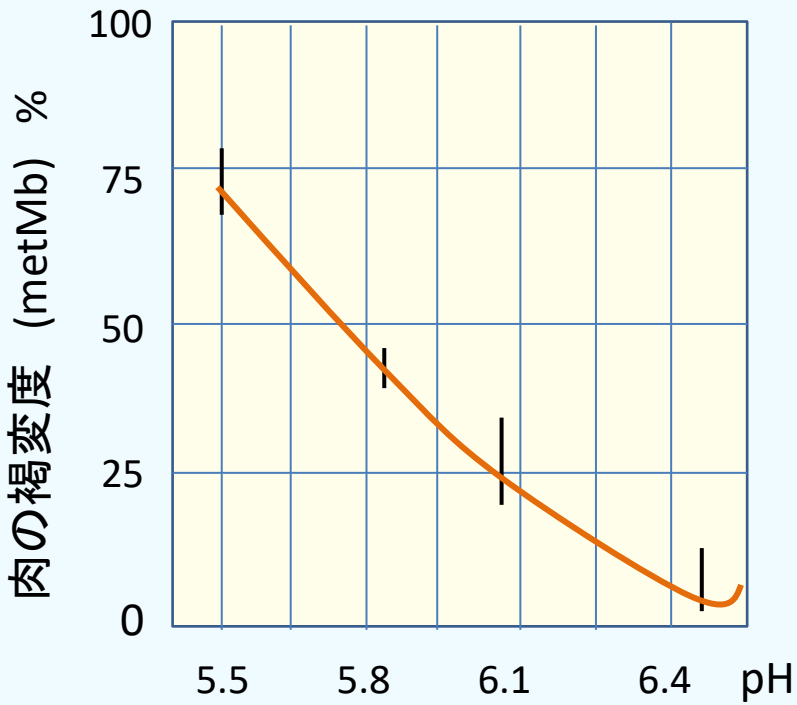
鮮度保持技術　･･･苦悶死と即殺･･･

メバチ鮮度等級と肉のpH との相関

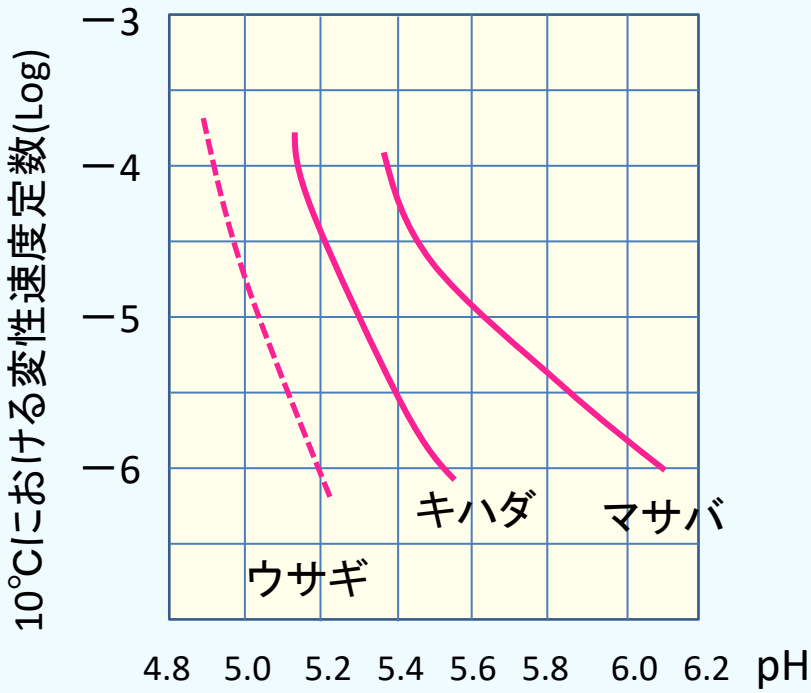


鮮度保持技術　･･･苦悶死と即殺･･･

pHが低下するとタンパク質が変性しやすくなる



酸性下におけるクロマグロミオグロビン(Mb)の酸化　落合芳博 1985



酸性下における筋原線維タンパク質の不安定化　橋本昭彦 1978

鮮度保持技術　･･･苦悶死と即殺･･･

pHが高いと必ずしも味はよくない。程よい酸味（乳酸）が必要。

等級	pH	乳酸 (%)	解凍 drip(%)	メト化率 (%)
SA	6.80	1.1	16.1	16.3
A	6.51	1.2	18.1	20.7
B	5.91	1.5	25.1	18.5

SA ＝ 色変わり遅い。Dripは少ない。食感は滑らか。味は薄い。

B ＝ 色変わり速い。Dripは多い。食感ざらつき。味は良い。

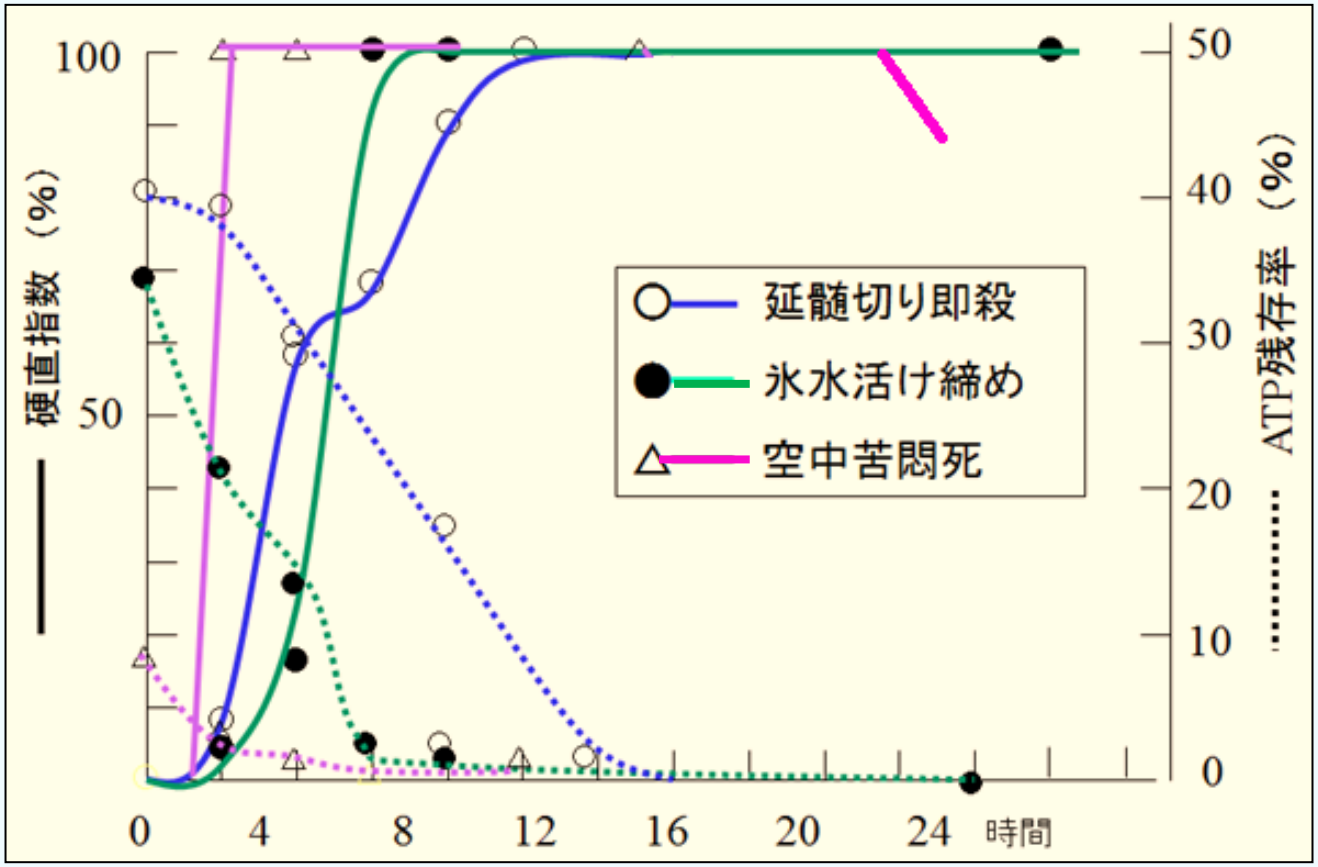
乳酸を中和してみると、

色変わり改善。Dripは改善。食感が改善。味は悪い。

鮮度保持技術　･･･苦悶死と即殺･･･

即殺法のメリット　（養殖ブリ、死後5℃保管）

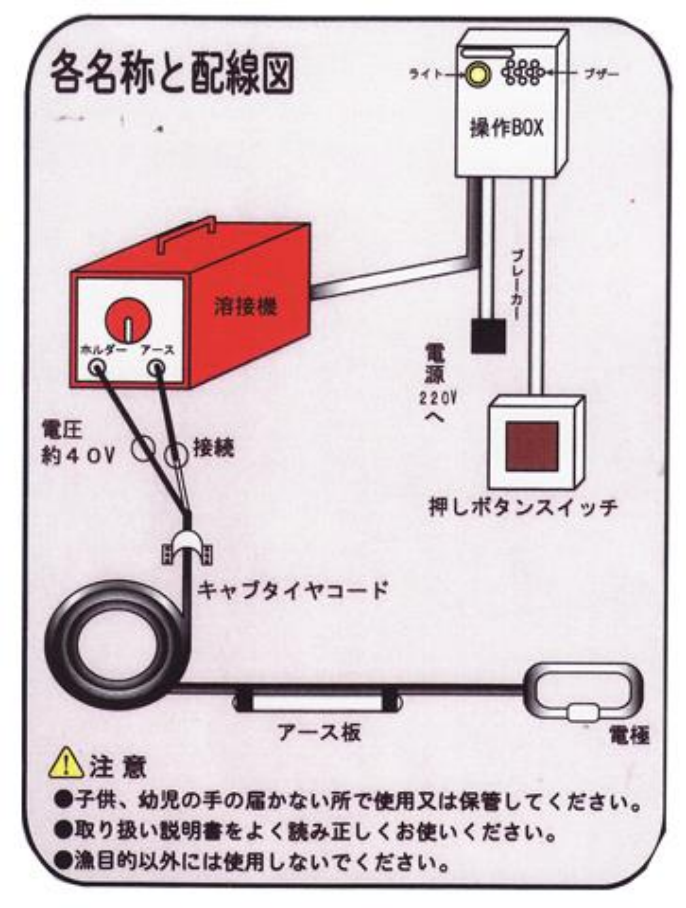
岡弘康　1990



鮮度保持技術　･･･即殺の技術･･･

鎮静化（マグロ用電気ショッカー）/撲殺

村林電機 2013

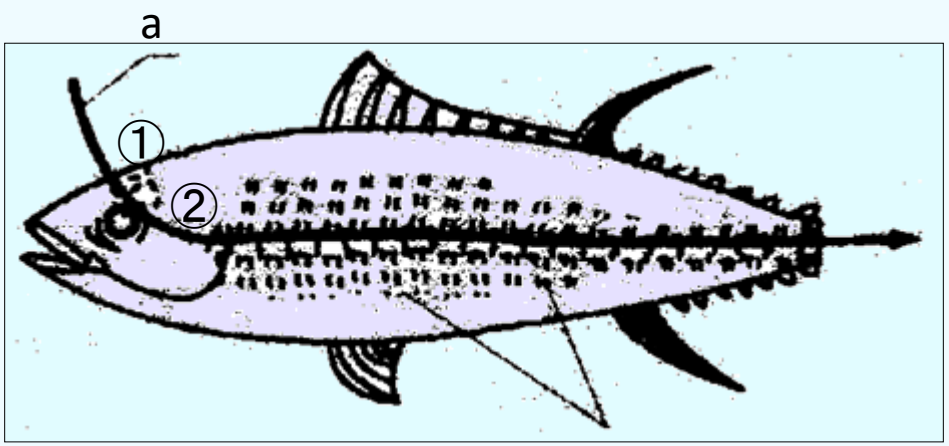


40V程度で電気ショック
一時心停止

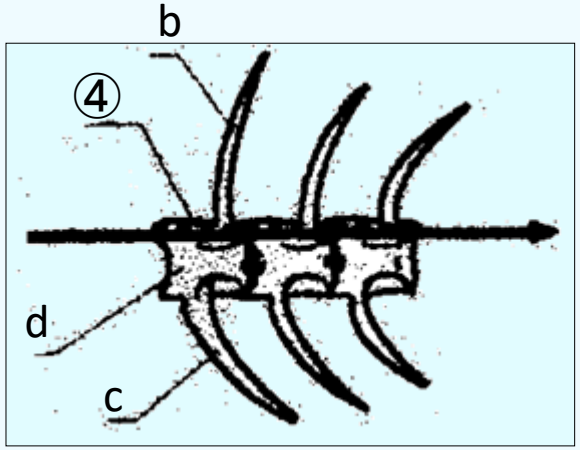
鮮度保持技術　･･･即殺の技術･･･

マグロ中枢神経破壊によるエネルギー（ATP）の保存

Ando M. 1996



Insert part of steel wire



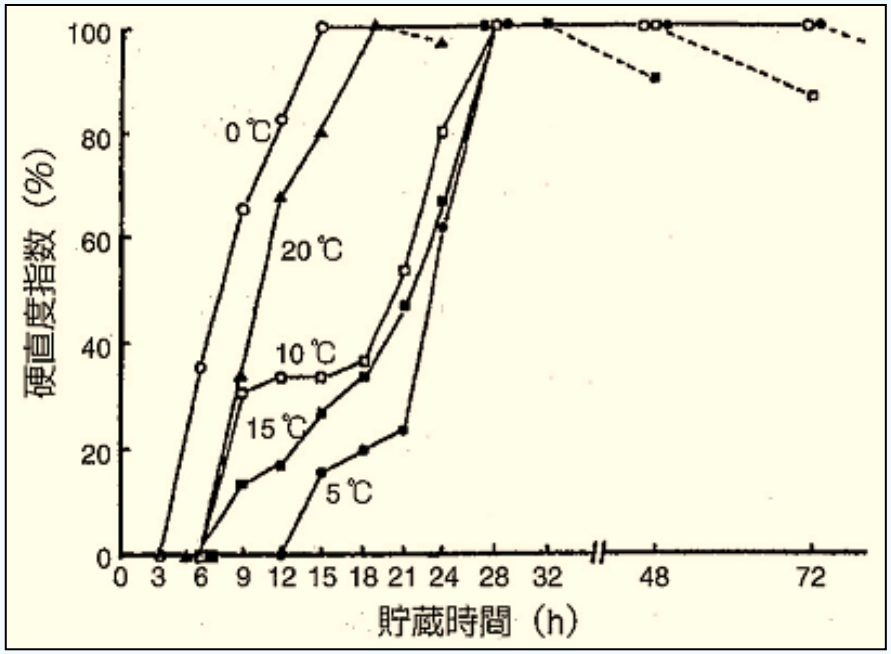
Caudal vertebrae

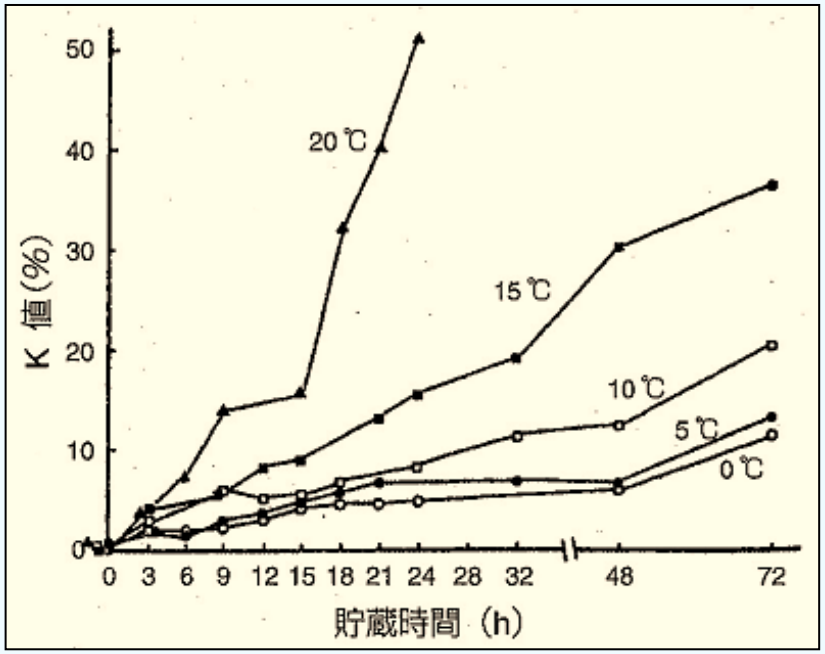
①white mark and pineal window; ②brain;③vertebrate；④vertebral foramen;
a:steel wire; **b**: neuralspine; **c**:hemal spine; **d**:centrum

鮮度保持技術　･･･冷却温度効果･･･

冷却保存の効果（養殖ヒラメの硬直度と鮮度の維持）

Iwamoto 1990





・硬直は0℃で最も速く始まり、5℃で最も遅れる。「寒冷硬直」といわれる。

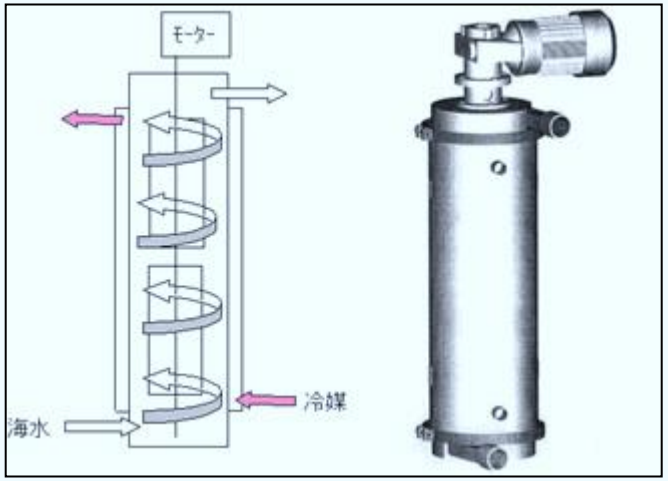
・K値の上昇は保管温度の低いほど遅れる。

・冷たすぎると筋小胞体からCa^{++}がドッと出る。

鮮度保持技術　･･･氷冷却･･･

冷却システム（スラリー状の氷）

日新興業㈱2012



スラリーアイスと塩分濃度・温度の

製氷後の氷濃度	原海水の塩分濃度 3.4%	2.0%
0%	3.4% (-1.9℃)	2.0% (-1.1℃)
10%	3.8% (-2.1℃)	2.2% (-1.2℃)
15%	4.0% (-2.3℃)	2.4% (-1.3℃)
20%	4.3% (-2.4℃)	2.5% (-1.3℃)
25%	4.5% (-2.6℃)	2.7% (-1.4℃)
30%	4.9% (-2.9℃)	2.9% (-1.5℃)
混合割合【海水:清水】	10:0	6:4

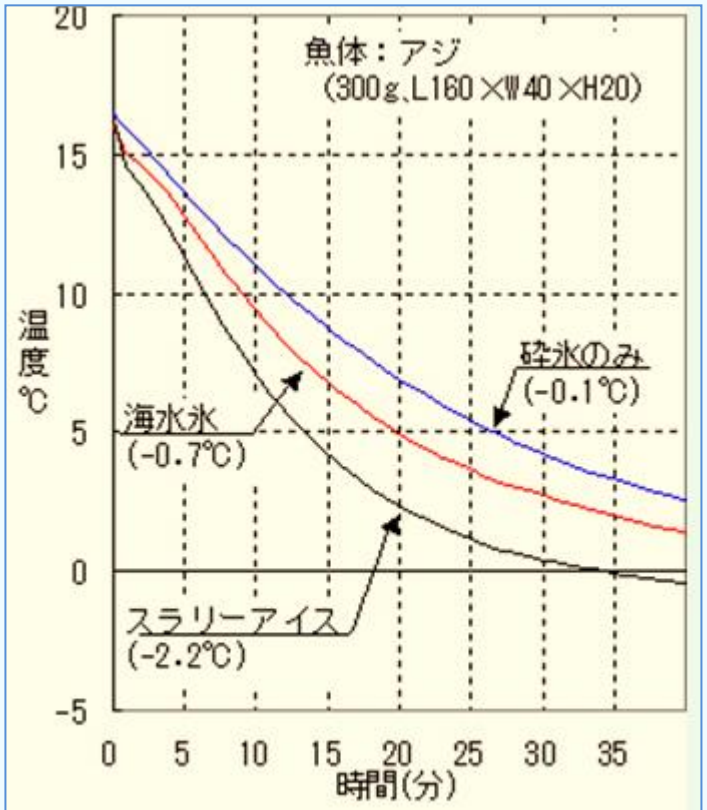


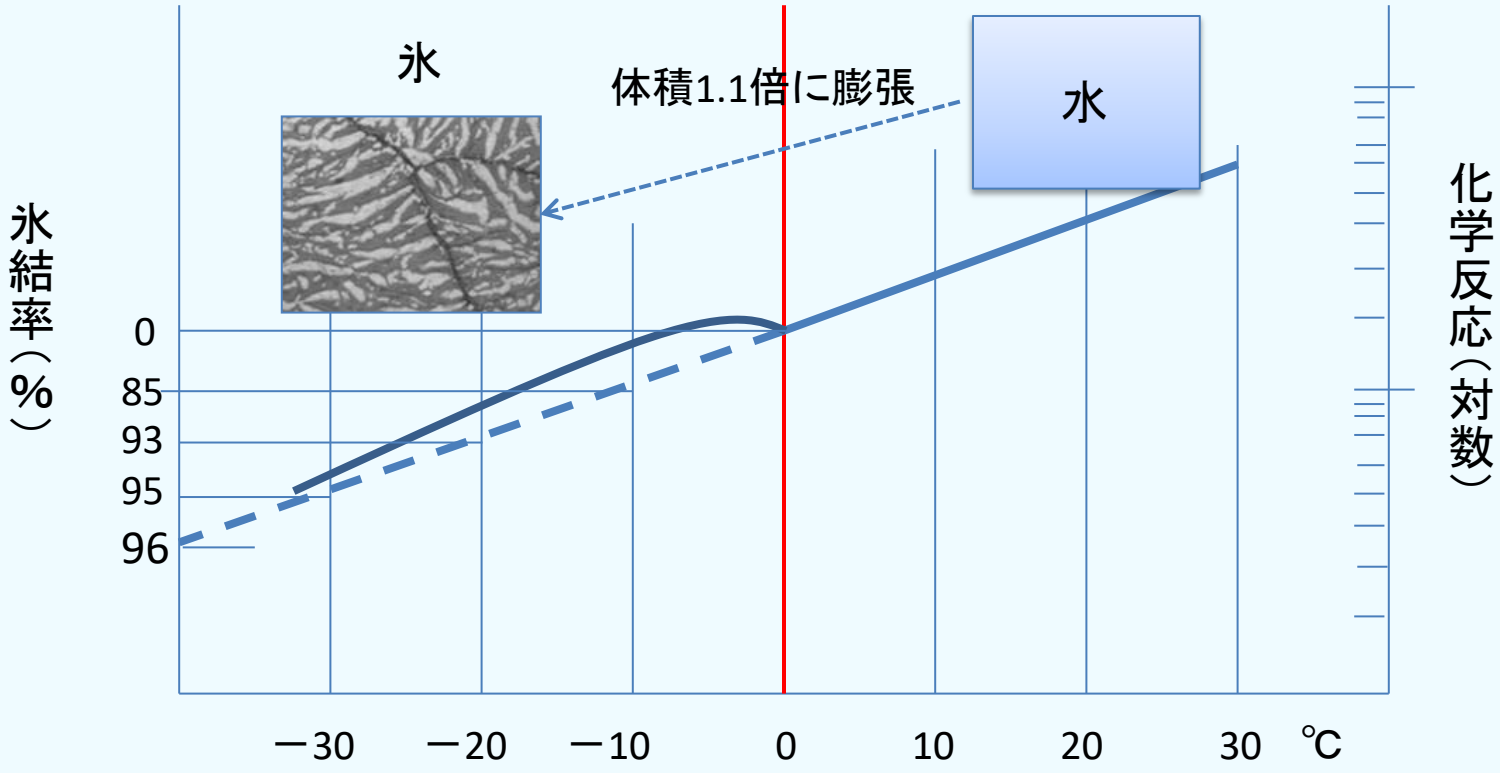
図1　アジの冷却曲線

アイスジェネレータは二重管構造をしており、外管と内管の隙間に冷媒を供給し、内管を流れる海水を冷却します。内管内部にはスクレーパーが設置されており、これが回転することにより内管内面で発生した微細氷を海水中に取り込む。ポンプ輸送も可能。

氷の径が0.1～0.2mmの微細なシャーベット状で魚表面を損傷せず、氷の潜熱を発揮して、急速にその凍結点付近まで冷却する。

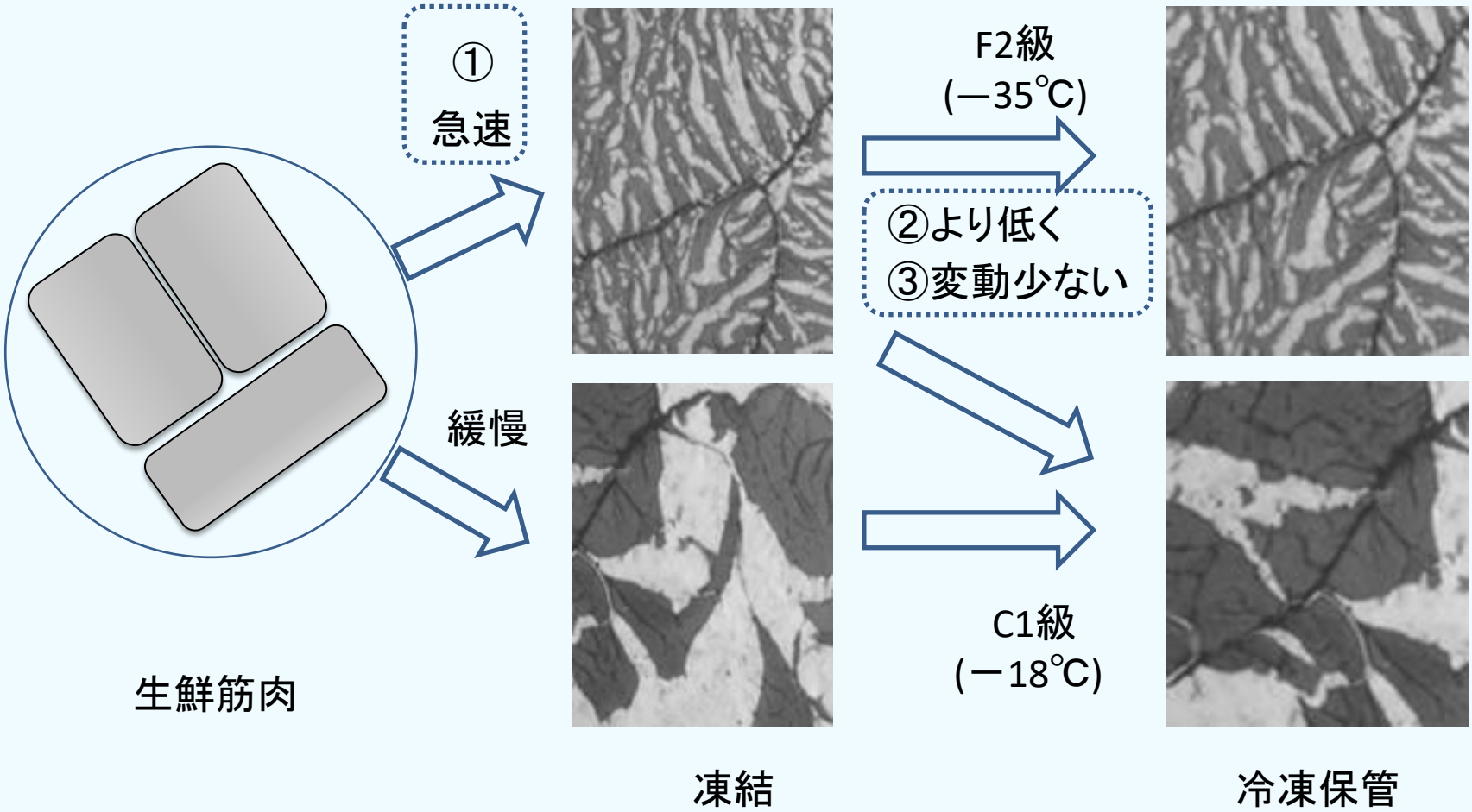
鮮度保持技術　･･･凍結･･･

凍結の功罪　⊕ 生化学反応の抑制
　　⊖ 氷の結晶による筋組織の損傷



鮮度保持技術　･･･凍結･･･

少しでも凍結損傷を抑える～細かい氷結晶を作り維持する3条件～



鮮度判定とその数値化

官能検査（生化学的鮮度、微生物学的鮮度）

魚の鮮度判定基準（八幡製鉄所 昭和25年）

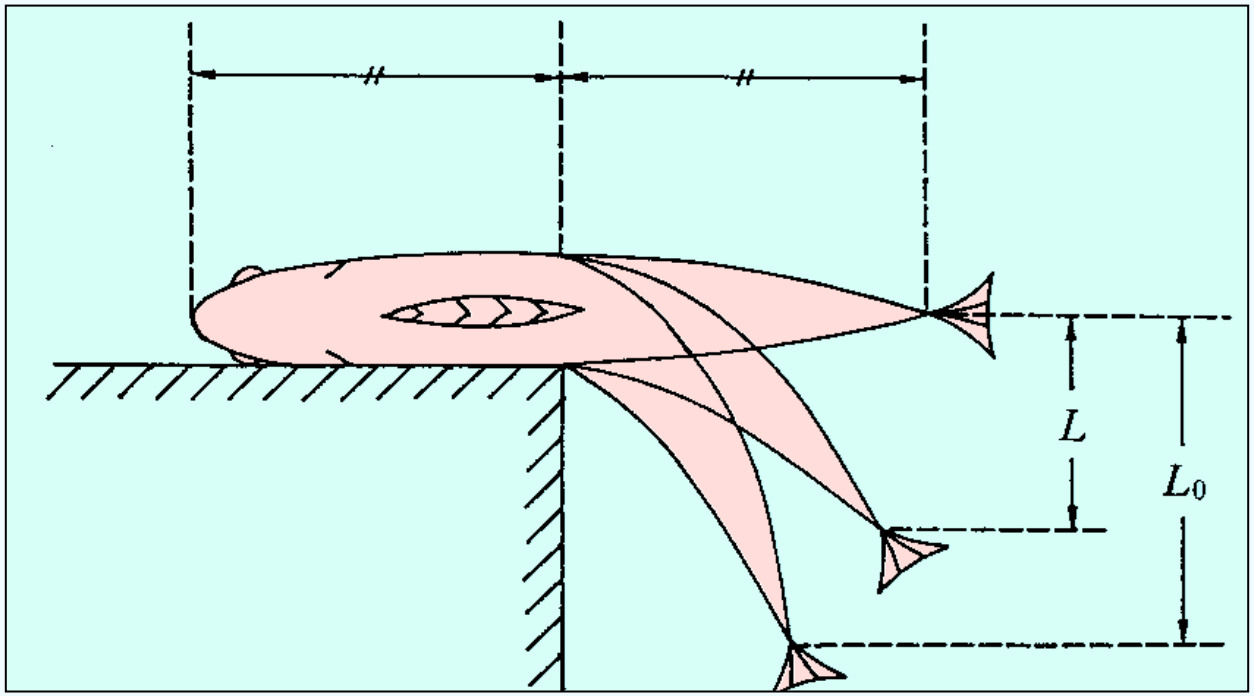
	新　鮮	中等度	やや不良	不　良
硬直度	魚体は硬直期	まだ弾力あり	弾力劣り脱鱗	軟化後自己分解
眼　球	突き出て清澄	緊張やや劣る	突出せず混濁	沈殿混濁
え　ら	鮮紅色	周辺部不鮮明	暗赤色で臭う	赤み消失
におい	弱い	やや生臭い	生臭さ強い	鼻つく腐敗臭
肉　質	透明で骨に付着	血管やや不明	肉質やや不透明	肉質は白濁
腹　部	白色で緊張	緊張やや劣る	軟弱	腹切れ露出

新鮮 5　中程度 4-3　やや不良 2　不良 1　等に評点し、「総合点」及び、「“2”が1個以内、“1”が0」などとする評価システムを作ればなおよい。

鮮度判定とその数値化

理化学検査（死後硬直度）

尾藤方通 1983

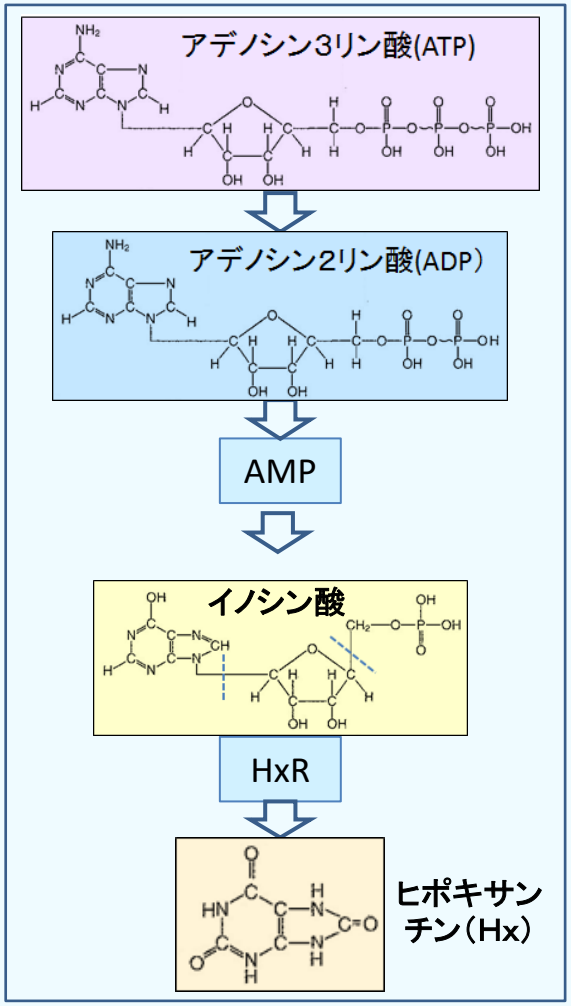


$$\text{硬直指数}(\%) = \frac{L_0 - L}{L_0} \times 100$$

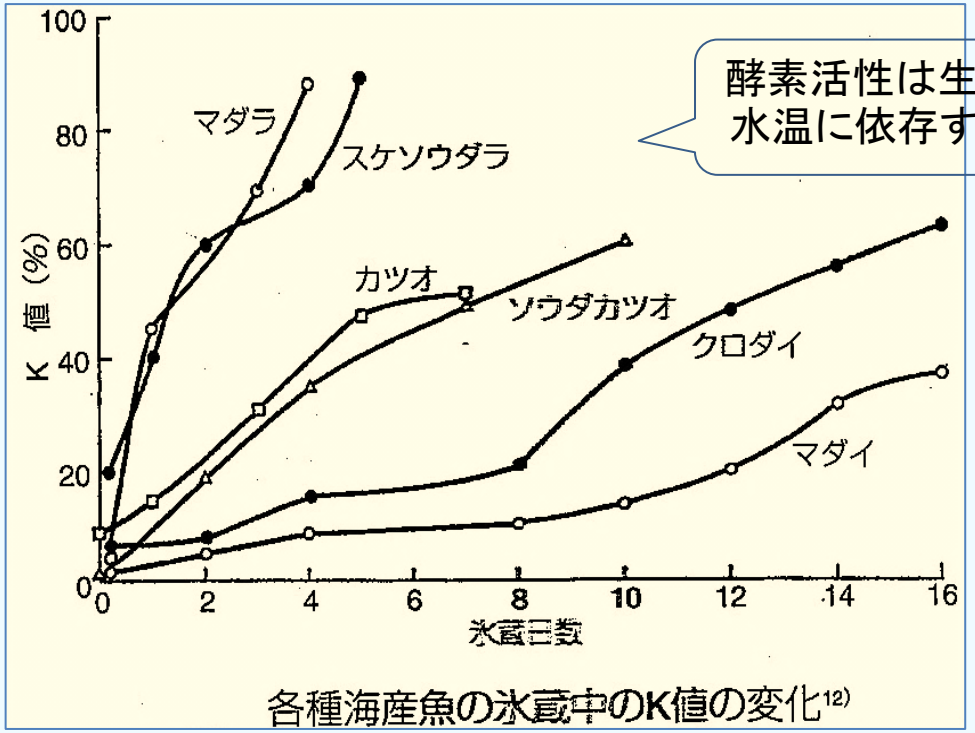
鮮度判定とその数値化

理化学検査（K値）

斉藤恒行1959



$$K値(\%) = \frac{HxR + Hx}{ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx} \times 100$$

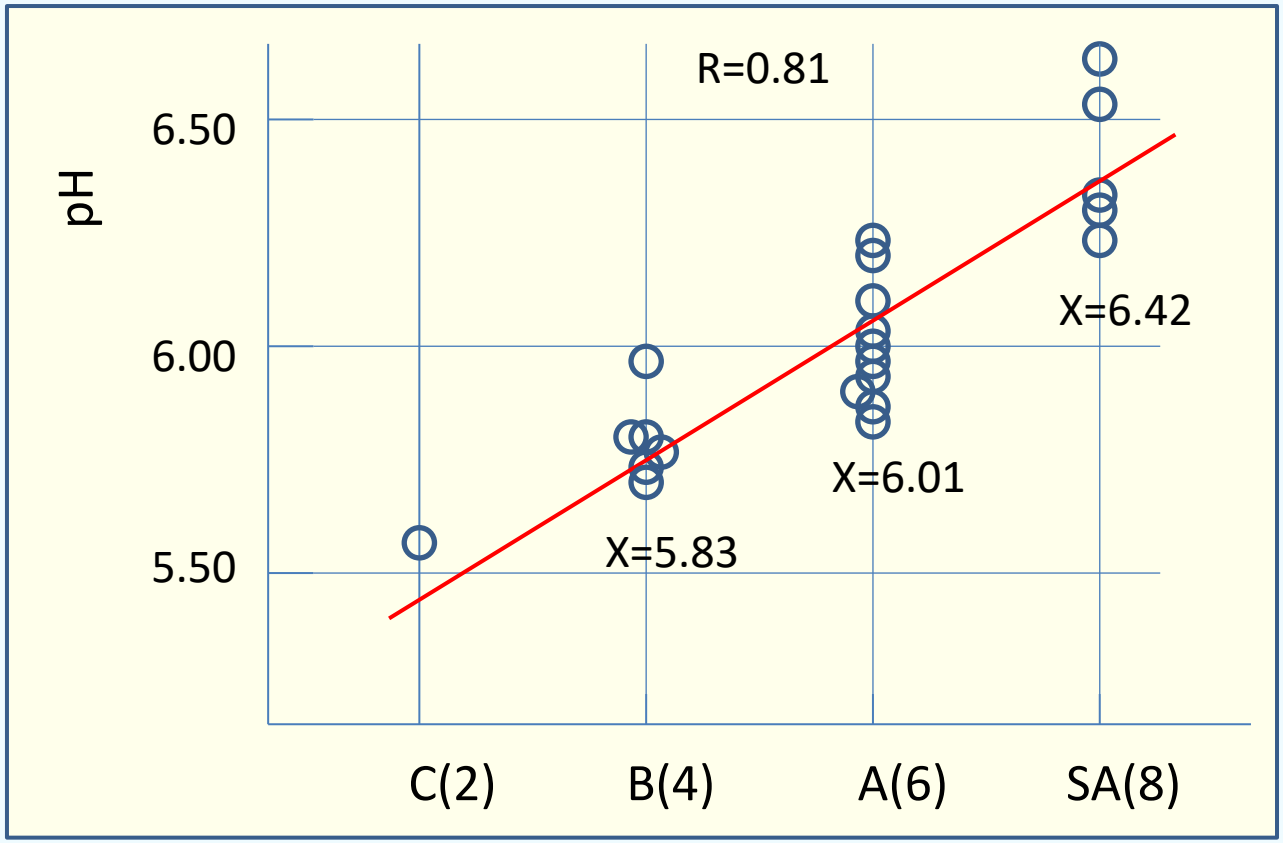


各種海産魚の氷蔵中のK値の変化[12)]

内山均 1976

鮮度判定とその数値化

理化学検査（pH、メバチ）



赤身魚ではpH測定することでほぼ鮮度が分かる。

鮮度判定とその数値化

理化学検査（色彩/色差）

魚類表皮の構造	サンマやマアジの青～緑色が冷凍すると消失
タコ・イカの色	水溶性紫色オモロームの性質、色素細胞の劣化
赤魚・マダイの色	多彩な脂溶性赤色系色素カロティノイドの光退色
サケ・マス肉の色	赤色肉色素アスタキサンティンの酸化・退色
エビ・カニの黒変	鮮度が落ちると黒色物質メラニンの合成が始まる
マグロ肉の褐変	水溶性筋肉色素ミオグロビンの酸化（メト化）開始
ホタテ貝の褐変	グリコーゲンの分解とメーラード反応による褐変

鮮度判定とその数値化

微生物菌数とにおいの変化

内在酵素作用

魚類筋肉（血合肉、タラ類）
トリメチルアミンオキシド → トリメチルアミン（魚腥臭）

鮮度指標菌（腐敗菌）

一般生菌数 → アンモニア、アミン、CO_2などを産生
常温腐敗菌
低温腐敗菌（*P. fluorescens*など）
海洋細菌（*Pseudomonas sp*, *Vibrio sp*など）

菌数の測定：公定法、迅速法
アミン類の定量：揮発性塩基窒素（VBN）・・・コンウェイユニット

海洋性病原微生物

ヒスタミン生成菌（*Morganella morganii*など）
腸炎ビブリオ菌（*Vibrio parahaemolyticus*など）
ボツリヌス菌（*Clostridium boturinus*）
ノロウィルス（*Norovirus*）

シーフードと「微生物」と「安全性」については、またの機会にしましょう。

鮮度とは何か（今日のまとめ）

1．鮮度とは、魚の品質が時間とともに劣化する過程である。
2．生きている筋肉はエネルギーを補給できるが、死ぬとそれが絶たれる。
3．死後の肉質の変化に関係する本体は、体内のＡＴＰである。
4．ＡＴＰの補給が続かなくなると、死後の硬直が始まる。
5．即殺魚では、ＡＴＰの分解と死後硬直とが遅れる。
6．苦悶すると、有酸素運動ができず、そのため乳酸が生成・蓄積する。
7．乳酸は魚肉を酸性化し、Mbの変色及び筋原線維の劣化を速める。
8．鮮度保持とはエネルギー物質の温存のこと。即殺と冷却はその基本技。
9．養殖魚は野生魚に比べ弱ものである。養殖魚が美味しい期限は短い。
１０．魚種により賞味期限が異なる。生息水温や赤身魚と白身魚との違い。

著作紹介

2012.4.刊行　定価 1,200円
特価 1,000円

シーフード ベーシック　目　次

まえがき

第1章　マグロ（鮪）……1
第2章　カツオ（鰹）……15
第3章　ブ　リ（鰤）……23
第4章　サ　バ（鯖）……31
第5章　イワシ（鰯）……41
第6章　サンマ（秋刀魚）……51
第7章　ア　ジ（鯵）……59
第8章　サ　ケ（鮭）……67
第9章　タ　ラ（鱈）……79
第10章　ヒラメ・カレイ（鮃・鰈）……89
第11章　タ　イ（鯛）……95
第12章　フ　グ（河豚）……103
第13章　ウナギ（鰻）……109
第14章　エ　ビ（海老）……115
第15章　カ　ニ（蟹）……127
第16章　イ　カ（烏賊）……135
第17章　タ　コ（蛸）……145
第18章　カ　イ（貝）……151
付　章　魚　卵……165

あとがき……179
さくいん……181

iii