

魚の収容に伴う水温上昇について

林 陽子

Relationship between the amount of fish and the temperature increase in the cooling sea water.

Yoko HAYASHI*

A B S T R A C T

To maintain the optimum cooling effect of the fish catch in the fish hold of set net fishing boat, the amount of fish and the temperature increase in the cooling sea water below 5 of the experimental tank were examined.

The cooling sea temperature rose in proportion to the amount of fish regardless of fish species or surface temperature when the sampling fish were collected. The relationship between the temperature increase (T) and the amount of fish (W) was expressed by a curve regression as follows:

$$T = 2 \times 10^{-7} W^2 + 0.0033W \quad (R^2=0.933)$$

The temperature increase of experimental tank increased as the surface sea temperature became higher. The time required on radiating heat of fish except for frigate mackerel was within twenty minutes.

It was considered that it was easily able to calculate reasonable ice quantity according to fish catch and surface sea temperature regardless of fish species.

はしがき

近年全国的にコールドチェーンが発達し、市場から消費地までの低温流通が可能となった。しかし、特に西湘地域の定置網の場合、漁場から市場までの所要時間が1時間以内と近く、また消費市場までの距離も短いため、遠洋・沖合漁場の漁獲物と比較し、漁獲物の品質に対する関心が低かった。

漁獲物の品質管理の基本は、魚倉内の水温を適正に管理することである。これは、魚の鮮度を保ち、品質を均一にする上で、最も重要な要素である。望月ら(1994)¹⁾によると、マアジの致死条件を変化させてその後のATPや乳酸の変化速度を調べた結果、魚を苦悶死させることが、最も品質劣化を速める原因であるとしている。漁獲直後に魚倉内で十分に冷却されず、生きたまま選別されるような魚は、苦悶死させたことに相当する。

著者は、定置網漁場で魚倉内水温を調査したところ、魚倉水温は漁場毎に季節やその日の漁獲量によって大きく異なること、また同じ魚倉内においても、真水氷が融解した冷水と海水が混合し難いことや、漁獲物を大量に収容した魚倉内の攪拌が難しいことに起因して、魚倉の上層と下層の水温差が大きいこと、さらに魚倉内にクラゲが混入することで、魚倉の冷却が阻害されることを報告した。あわせて、マアジについてそのK値を調べたところ、魚倉下層水温が概ね7以下の場合、漁獲直後

から30時間後に至るまで、20%以下と良好であることも示した(林, 1996²⁾, 1998³⁾)。

実際の現場における漁獲量と氷の使用量との関係は、個々の漁業者の経験に基づいている。この氷の使用量を、漁獲量や季節、魚種毎に決定することは、経済的で効果的な氷の使用法を考える上で、重要な要素を占める。魚倉内の水温は、氷で十分に冷却していても、魚の収容に伴い大幅に上昇することや、イワシやサバといった魚種では水温上昇量が大きいことが経験的に知られている。また、魚は死亡時に暴れて発熱するといわれているが、その発熱量について実験的に報告した事例はない。そこで、魚倉内に入れる魚体量と昇温量の関係を調べるために、実験水槽を用いて魚種毎、季節毎、収容量毎に検討を行った。

材料と方法

実験は、漁獲物の体温に関連する海水温が幅広くなるように、1995年10月から1997年2月までの間、小田原市沖で計16回行った。実験当日の表面水温は、夏季の24から冬季の13であった。

試料は、小田原魚市場から約40分程度離れた定置網漁場で、揚網直後に魚種を選定し、直ちに活魚状態で実験に供した。実験水槽には、発泡スチロール製の厚さ22mmのクーラーを用い、最初に海水と氷を入れ冷却した。氷を取り除

いた後、揚網直後の活魚を、実験水槽内に収容して一定時間放置し死亡させた。このときの実験水槽内の水温変化を、メモリー式水温計（離合社製）で測定した。調査日、調査漁場、供試魚はTable 1に示した。

Table 1 Sampling locations and fish species used in this study

Sampling date	Sampling area	Sampling fish	Water temperature ()
1995.10.18	Enoyasu	Japanese barracuda	21
1995.10.26	Enoyasu	Japanese barracuda	20
1995.11.10	Enoyasu	Japanese barracuda	20
1995.11.16	Enoyasu	Big-eye sardine	19
1995.11.21	Komekami	Frigate mackerel, Yellow tail	19
1995.11.30	Komekami	Yellofin horsa mackerel	19
1995.12.21	Komekami	Japanese barracuda, Yellofin horsa mackerel	18
1996.1.16	Komekami	Yellofin horsa mackerel	17
1995.2.26	Komekami	Yellofin horsa mackerel	13
1995.3.16	Komekami	Yellofin horsa mackerel	13
1996.8.7	Komekami	Japanese barracuda, Spotted chub mackerel	24
1996.8.23	Komekami	Japanese barracuda Spotted chub mackerel	24
1996.11.8	Komekami	Three-line grunt, Japanese barracuda	19
1996.12.17	Komekami	Spotted chub mackerel	17
1997.1.7	Iwa	Threadsail filefish	16
1997.2.6	Komekami	Japanese pilchard	16

実験に先立ち、実験水槽内の海水の冷却温度による漁獲物の収容後の水温上昇量を調べるため、水槽内の冷却温度を変えて水温上昇量を測定した。実験水槽内の海水は3ℓとし、供試魚はマアジ10尾500gを用い、漁獲時の海水温度は13.2と18.5であった。水槽内の海水を冷却には氷500~2500gを使用した。

また、魚を収容直後から水温の上昇勾配が大きくなり、その後緩やかな勾配で上昇したので（Fig. 1）、水温上昇量は、ほぼ上昇が止まり一定となった時の水温と供試魚収容直前のクーラー内の冷却水温との差とした。あわせて魚収容後からこの時点までの所要時間を、魚の放熱に要する時間としてもとめ、魚種、収容量毎に整理した。

実験は、実験水槽内の冷却水が漁獲物が発する熱によって上昇すると考えられたので、漁獲物の収容量（密度）、魚種、魚の体温を主なパラメーターとして、次の3通りについて行った。

実験1は、魚種、魚の体温、すなわち、漁獲直前までに遊泳していた海水の温度（表面水温）を一定にし、収容密度の違いによる冷却水の水温上昇量を測定した。なお、収容密度は、 $[\text{魚の量} / (\text{水の量} + \text{魚の量})] \times 100$ として計算した。

実験2は、漁獲物の収容密度、魚の体温を一定にし、魚の種類を変えたときの冷却水の水温上昇量を測定した。水温上昇量は実験水槽に収容する量によって異なるので、収容量が幅広く実験に供することのできた魚種であるヤマトカマス、イサキ、ウルメイワシを選んでプロットした。

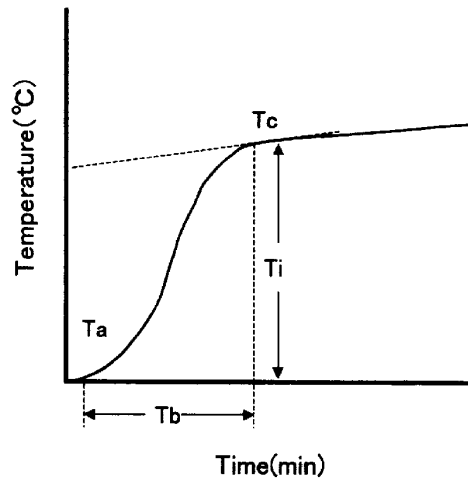


Fig.1 The definition of the term in this study.
 Ta : Time got the fish into the fish hold
 Tb : Time required until the end of radiated heat from fish
 Tc : Time when the temperature become to rise very slowly
 Ti : Temperature increase by each experiment used in this study

実験3は、漁獲物の収容密度、魚種を一定にし、魚の体温を変えたときの冷却水の水温上昇量を測定した。なお、魚の体温は体の周りの海水温度によって左右されるが、漁獲時の体温を測定した結果によると海水温度とほぼ同じか、またはそれよりもやや高いといわれている（川本, 1991）。そこで、魚の体温を漁獲時の海水の表面水温と仮定して、それぞれの海水温帯における魚の収容量と水温上昇量の関係を求めた。

物質熱収支の理論式に、漁獲物の場合をあてはめると、漁獲物の収容量(C)と水温上昇量(t_2)との関係式は、下記の式で表される。

$$t_2 = (M t_1 + C s t_3) / (M + C s)$$

M : 水の量(g)、C : 魚の量(g)、s : 漁獲物の比熱

t_1 : 魚収容前の水温()、 t_3 : 漁獲物の体温()

このうち漁獲物の体温は、魚の発熱量を含む値である。そこで、実験結果を上式にあてはめて、漁獲物の比熱を計算により求めた。

これらの実験に用いた実験水槽内の冷却水量、収容量、魚の種類、漁獲時の海水の表面水温等はTable 2に示した。

Table 2 Measured factor and environment factor on each experiment.

Measurement factor	Fixed factor				
	Quantity of cooling sea water	Fish	Weight of specimens		
Experiment 1	Proportion of fish in cooler	2 ~ 20 ℓ	Yellowfin horse mackerel	760 g	19°C
Experiment 2					
Experiment 3	Fish body temperature	3 ℓ	7 species	500~2500 g	13~24°C

結 果

冷却水温の違いによる水温上昇量 マアジを収容する前の実験水槽内の冷却水温と、収容後の水温上昇量の関係を Fig.2 に示した。実験水槽内の冷却水温が漁獲時

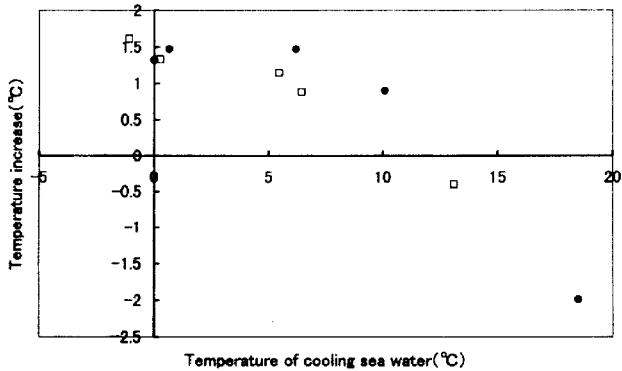


Fig.2 The relationship between the temperature increase of fish cooling sea water before getting the fish in the fish hold.

: Surface temperature caught the fish was 18.5
 : Surface temperature caught the fish was 13.5

の海水温よりも同じかやや高い状態では、水槽内の海水はマアジの収容によってさらに冷却され、海水温が 13.5 の時には、水槽内の水温は約 0.5 下がり、海水温が 18.5 の時には、水槽内の水温は約 2.0 下がった。これと対照的に、実験水槽内の海水が 0 近くにまで冷却されていると、マアジの収容によって、この上昇量は漁獲時の海水温が 13.5、18.5 のいずれの場合でも、約 1.5 の水温の上昇がみられた。実験水槽内の冷却水が 5 ~ 6 では、水温上昇量は漁獲時の海水温が低い方が小さいが、18.5 の海水温における水温上昇量は、0 の冷却水のそれとほとんど同じ値を示し、13.5 の海水温では 0 の冷却水のそれよりも小さかった。

このことから、実験水槽内の海水は、水温上昇量が漁獲時の海水温の影響を受けないようにするために 5 以下に冷却して実験を行うことにした。

収容密度の違いによる水温上昇量 魚の収容密度の違いによる実験水槽内の水温上昇量を Fig.3 に示した。魚の収容密度が増加するに従い、冷却された水槽内の海水温度は上昇した。魚の収容密度が 11% 以下では、水温上昇量は約 1 以下であったが、収容密度が 15% では約 2.5 上昇した。収容密度が 33% と高くなると、水温上昇量は約 4 と高くなった。これらの関係は次式で示された。

$$\text{水温上昇量} = 0.1239 \times \text{魚の収容密度}$$

また、この実験からマアジの比熱を求めたところ、収容密度が 12% 以下の場合、0.5 ~ 0.66 であり、一方 15% 以上の場合 1.0 ~ 1.1 と値は安定しなかった。

そこで、氷の必要量を算出する上で、ゆとり量を加味

するため、最も高い比熱 1.1 をマアジの比熱として用い、理論的に水温上昇量を算定し、Fig.3 に併せて示した。収容率が 12% 以下のときは理論値の 50 ~ 60% の水温上昇量を示したが、15% 以上では理論値に比較的近似した値を示した。

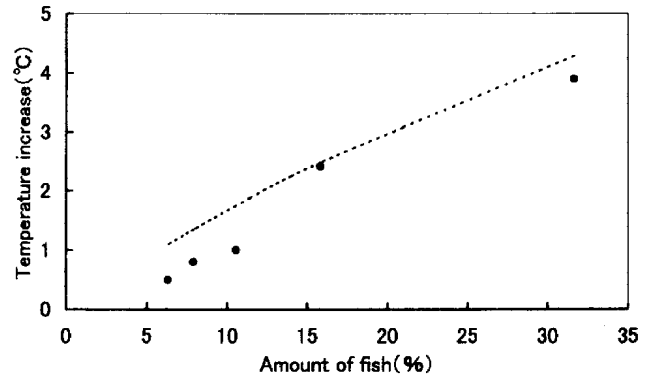


Fig.3 The relationship between the amount of fish used and temperature increase. Broken line indicates the theoretical regression curve.

魚種の違いによる水温上昇量 魚種の違いによる実験水槽内の水温上昇量を、Fig.4 に示した。収容量が 500g 以下では、3 魚種とも 1 の水温の上昇が見られ、600 ~ 1000g の収容量では 2 魚種について約 2 の水温上昇量であった。収容量 2000g では、1 魚種について約 6 の水温上昇量であった。

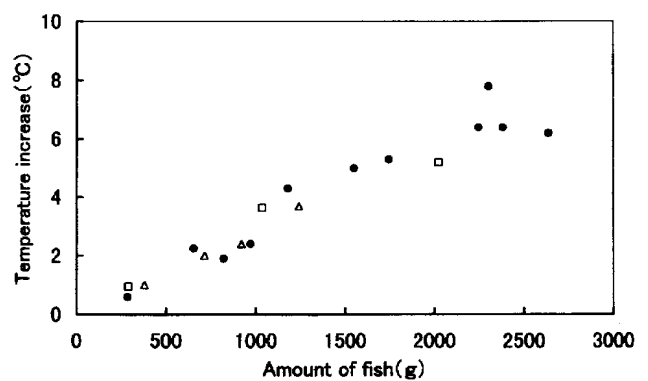


Fig. 4 The relationship between the amount of fish used and temperature increase.

: Japanese barracuda
 : Big-eye sardine
 : Three-line grunt

これら 3 魚種による水温上昇量に有為な差がみられないことから、魚種の違いを無視して漁獲物の収容量と水

温上昇量との関係を求めたところ次式で示された。

水温上昇量 ()

$$= -2 \times 10^{-7} \times \text{収容量 (g)}^2 + 0.0033 \times \text{収容量 (g)}$$

$$R^2 = 0.9332$$

そこで、魚は揚網時に水深40m付近の箱網下層に滞留しているため、魚の体温を表面海水温度より1℃低いと仮定して、ヤマトカマスの収容量別の魚の比熱を計算によりもとめプロットした (Fig.5)。比熱は0.6から1.5の範囲でばらつきが大きい、収容量に対し緩い正の相関が見られた。

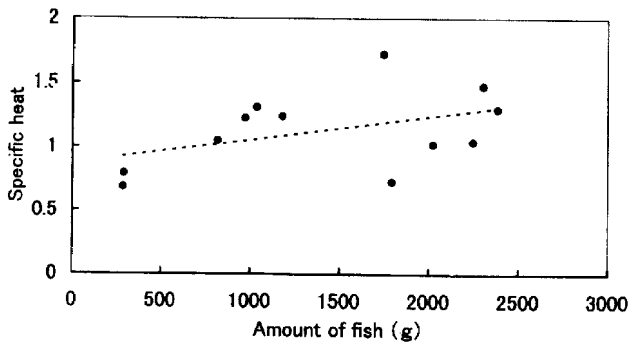


Fig.5 Changes in specific heat of Japanese barracuda estimated from experimental data. Broken line indicates line experimentally.

魚の体温の違いによる水温上昇量 それぞれの海水温度帯における魚の収容量と水温上昇量の関係を Fig.6 に示した。収容量が1000gのときの水温上昇量は、海水温が

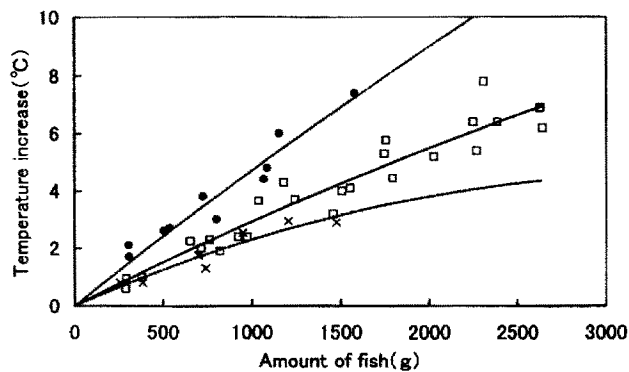


Fig.6 The relationship between the amount of fish, got in cooling sea water and the temperature increase.
 ● : Surface temperature caught the fish was 24
 ○ : Surface temperature caught the fish was 19~21
 × : Surface temperature caught the fish was 16~17

24 のときは約 4.5 であるが、19~21 のときは約 3.5、16~17 のときは 2.5 であった。さらに、1500g の収容量のときは、24 のときは約 7.0、19~21 のときは約 4、16~17 のときは 3 と海水温度に応じて、大きくなっていった。それぞれの海水温における水温上昇量と収容量の関係は次式で表された。

海水温度 24 のとき

水温上昇量 ()

$$= -2 \times 10^{-7} \times \text{収容量 (g)}^2 + 0.0049 \times \text{収容量 (g)}$$

海水温度 19~21 のとき

水温上昇量 ()

$$= -2 \times 10^{-7} \times \text{収容量 (g)}^2 + 0.0031 \times \text{収容量 (g)}$$

海水温度 16~17 のとき

水温上昇量 ()

$$= -4 \times 10^{-7} \times \text{収容量 (g)}^2 + 0.0027 \times \text{収容量 (g)}$$

魚の放熱に要する時間 魚種別の水温上昇量を測定した際に、あわせてもとめた魚体の放熱に要する時間 (以下放熱時間と記す) を、横軸に供試魚の平均個体重量を縦軸に放熱時間を取り魚種別にプロットして Fig.7 に示した。

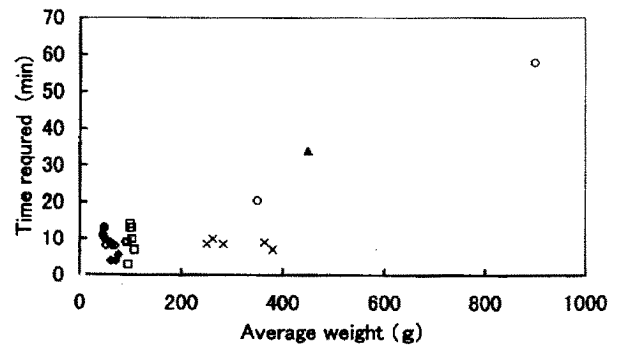


Fig.7 The relationship between average weight of fish and time required on radiating heat of fish body.
 □ : Three-line grunt, ○ : Japanese barracuda
 △ : Yellow tail, × : Spotted chub mackerel
 ● : Frigate mackerel, ○ : Big-eye sardine
 ○ : Japanese pilchard

体重 900g と 350g のソーダガツオでは、それぞれ 58分、25分の時間を要したが、体重 50g 前後のウルメイワシでは 9~13分、50~70g のマイワシでは 9分、90g のヤマトカマスでは 3~15分、250~380g のゴマサバで 7~10分であった。個体重量が大きくなるに従って、放熱時間は長くなる傾向にあったが、定置網で主に漁獲される大半の魚種は 20 分以内の比較的短い時間を示した。

さらに、イサキとウルメイワシの冷却水 3l 中の収容量と放熱時間の関係を Fig. 8 に示した。これらの放熱時間は、収容量が変化してもイサキで 5分前後、ウルメイワシで 10~13分と変化はなかった。

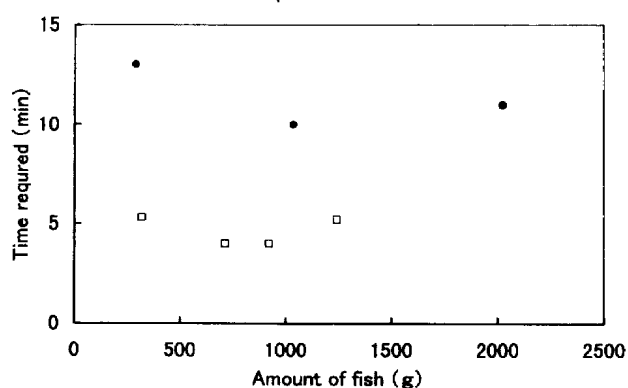


Fig. 8 The relationship between the amount of fish got in cooling water and time required on radiating heat of fish body.

: Big-eye sardine, □ : Three-line grunt

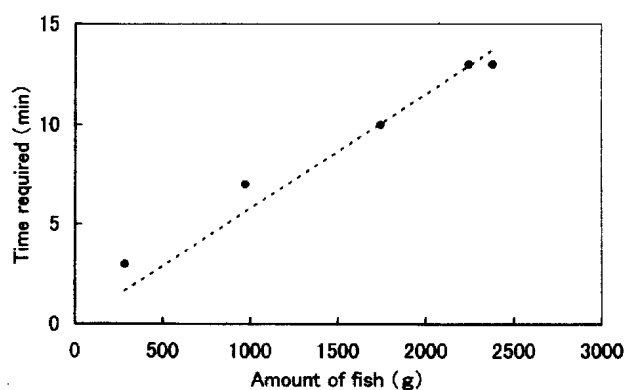


Fig. 9 The relationship between the amount of fish gotten in cooling water and time required on radiating heat of Japanese barracuda. Broken line indicates the regression line experimentally.

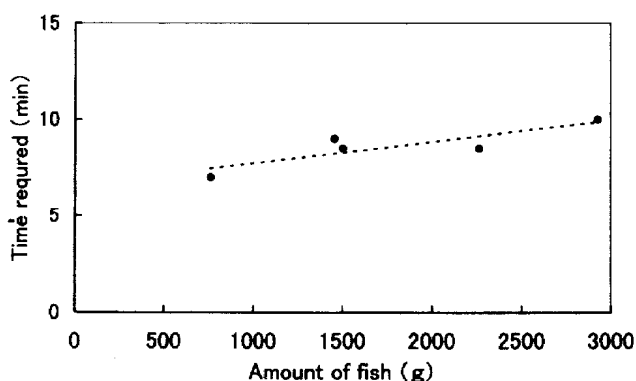


Fig. 10 The relationship between the amount of fish got in cooling water and time required on radiating heat of Spotted chub mackerel. Broken line indicates the regression line experimentally.

一方、ヤマトカマスは、同じ重量であっても、3分から15分の間で放熱時間に差が見られた (Fig. 7)。ヤマトカマスの放熱時間と収容量の関係を Fig. 9 に示したところ、収容量に比例して放熱時間は長くなり、収容量が1000gで7分、2200gで13分を要した。ヤマトカマスの冷却水 31 中の収容量と放熱時間の関係は、次式で示された。

$$\text{放熱時間 (分)} = 0.0058 \times \text{収容量 (g)}$$

同様にゴマサバについては、放熱時間は平均個体重量に関係なく10分前後であった (Fig. 7) が、この収容量と放熱時間の関係は、収容量に対応して緩い正の相関が見られるものの、収容量750gのとき7分、2500gのとき10分と7~10分の一定した放熱時間を示していた (Fig. 10)。

考 察

魚の蓄熱容量を考える場合、魚の体温と魚が死亡時に発散させる発熱量 (以下発熱量という) の2つの熱量を考慮する必要がある。一般的に魚の体温は、マグロやサメなどの魚類を除き、生体機構上生息水温+0~0.7程度といわれている。しかし、魚の脂肪含有量、生息水温、魚種によって変化し、また季節によっては遊泳水深の水温と表面水温の差があるため、体温を決定することは難しい。また、発熱量は、魚に温度計を差し込むという刺激を与えると体温が上昇してしまうため、測定が難しい (川本, 1959)⁴⁾。本報では、魚の体温と発熱量をあわせた熱量を、冷却水との熱交換に置き換えて冷却水の水温上昇量としてもとめた。この方法では、厳密に体温と発熱量を区別して測定することはできないが、単純に魚体内の水温上昇量を測定することができる。

本報では、まず収容密度を変化させて水温上昇量を測定した。漁獲物の収容率が15%を越えているときは、その水温上昇量は比熱1.1で計算した理論値に近似していたが、現場の魚の収容量と比較して極端に収容量が低い12%以下の場合には、低くなることが認められた。これは、漁獲直後の初期段階の放熱が十分でなく魚がまだ熱を蓄積している可能性が考えられる。実際の魚の収容率は、12%以下になることはほとんどないので、魚の初期放熱に関しては、現行の収容比率が効果的であると考えられる。

現場魚の氷の必要量を算出するのを困難にしていた原因の一つには、活魚の比熱がわからないことが挙げられる。本実験の結果でも、魚の比熱は鉄のような物質とは異なり均一な値は得られなかった。しかし、実際の漁場における氷の必要量を算出するためには、本実験で得られた最大の比熱で代表させることができると考えられる。なぜなら、最も厳しい条件下でのゆとり量を含めた氷の使用量で代表させることができるためである。

魚の鮮度と生息水温には密接な関係がある。温度馴化させたコイが、0、10 貯蔵の場合は低温馴化させた方が死後硬直の進行が遅いのに対し、20 貯蔵の場合は速

いとした黄、潮らの報告(1991)⁵⁾と、32における種々の魚種のK値上昇率レベルが、棲息水温により異なるとした槌本ら(1986)⁶⁾の報告は、季節毎に魚を締めるのに必要な水温が異なることを示唆している。またマダイなどの魚種で、10における貯蔵が、0よりもATPの減少が緩慢で死後硬直を遅らせることができるとした岩本らの報告(1985)⁷⁾からは、魚種毎に鮮度低下の傾向は異なるため、魚種毎に漁獲直後に魚を締めるのに最も適した水温帯が異なることを示唆している。本報では、魚種間で差はなく魚の生息水温(体温)に応じて水温上昇量が異なることを明らかにし、この結果から現場の漁場における水温管理を単純化して計算できることを示した。これにより、魚艙内のみならず生簀等に収容された魚種、量が既知な漁獲物の冷却水温の制御にも利用できると考えられる。

そこで、相模湾定置網の大漁期の海水温に相当する19~21の場合の魚収容に伴う水温上昇量を試算してみた。3tの冷海水(0)に3tの魚を収容したとすると、 $-2 \times 10^{-7} \times (3000)^2 + 0.031 \times 3000 = 7.5$ となる。7.5まで上昇した水温を再び0に下げするためには、氷を281kg足せばよいことになる。ただし、魚を収容した後に氷を加えても下層の水温は低下しないため、事前に所定量の氷を下層に設置するなどの工夫が必要と考えられるが、あらかじめ漁獲量から水温上昇量を予測することができれば、現場の魚艙の水温管理に大いに役立つであろう。

魚の放熱時間は、収容量に応じて変化するヤマトカマスの場合を除き、定置網漁獲対象魚の大半が20分以下であることがわかった。このことから、通常の定置網漁獲物に関しては、漁獲後極めて短時間の間に魚の冷却が

終了するため、港に帰港してからの増し氷や、漁獲物の冷却が進むまで長時間魚艙内に放置しておくことが無意味であることが示された。また、大きさに比例して長くなることから、定置網のように多魚種が混在する場合には、収容前の段階で簡単な選別作業を行い、大きい魚と小さい魚を分別して収容し、大きい魚は時間をかけて冷却する必要があると考えられる。

いろいろな魚種が混在する魚艙の温度管理は、氷や魚艙の形態、収容状態などの様々な要素が複雑に絡み合っているため、非常に難しいと考えられてきた。しかし、本報の結果から、魚の収容に伴う水温上昇量の見積もりを単純に計算することができるため、現場で氷の必要量の算出したり、魚艙水温をコントロールするのに役立つものと考えられる。今後は、魚艙の水温に影響を及ぼす魚以外の要素について研究をすすめたいと考えている。

引用文献

- 1) 望月聡, 佐藤安岐子(1994): 日水誌, 60(1), 125-130
- 2) 林 陽子: 水産海洋研究(1996), 60(2), 172-175
- 3) 林 陽子(1998): 日水誌, 64(6), 1046-1052
- 4) 川本信之(1959): 魚類生理生態学. 水産学全集, 恒星社厚生閣, pp289-291
- 5) 黄, 潮, 渡部, 岩本, 橋本(1991): 日水誌, 57(3), 541-548
- 6) 槌本六良, 三島敏雄, 宇津木照洋, 北島俊一, 矢田殖朗, 千田哲資, 保田正人(1986): 日水誌, 52(8), 1431-1441
- 7) 岩本宗昭, 井岡久, 斉藤素子, 山中英明(1985): 日水誌, 51(3), 443-446