冷凍に依る魚肉の熱傳導度の變化 III.

小 川 朋 次 郎

(水 産 講 習 所)

Effects of Freezing on the Thermal Conductivity of Fish Muscles. III.

Tomozirô OGAWA

SYNOPSIS

Variation in the thermal conductivity of cod (*Gadus macrocephalus* TILESII), tunny (*Thunnus orientalis* (T. & S.)) and salmon (*Oncorhynchus masou* (BREVOORT)) due to the freezing was observed by the similar method as in the previous study. With the temperature, $-\theta^{\circ}\text{C}$, beneath the freezing point, $-\theta_c^{\circ}\text{C}$, the thermal conductivity, k , varies as

$$k = K - \beta \frac{\theta_c}{\theta} = k_0 + \beta \left(1 - \frac{\theta_c}{\theta_0}\right), \quad K = k_0 + \beta,$$

where k_0 is the conductivity at $-\theta_c^{\circ}\text{C}$ or that of unfrozen fish, which is nearly constant irrespective of temperature. The constant β seems to increase as k_0 for the five kinds of fishes hitherto experimented. The asymptotic value of conductivity, K , thus, varies more vigorously than k_0 . Both constants vary considerably among the specimens even of the same kind of fish.

前回⁽¹⁾カツラ, ブリ, ヒラメ肉に就いて行なつたと同様に、市販のタラ, マス, めじ肉の各種冷凍温度に於ける熱傳導度を比較法に依つて測定した。その結果を今迄に得た結果と綜合比較して報告する。

實驗 測定装置は第 1 圖の如く大體前回と同様で、厚さ $l_g = 0.589 \text{ cm}$, 8 cm 角の標準硝子板の熱傳導度 $k_g(0^{\circ}\text{C}) = 2.425 \times 10^{-3} \text{ cal/cm sec}^{\circ}\text{C}$ に比較して、その上方に厚さ夫々 $l_a = 0.640 \text{ cm}$ 及び $l_b = 0.570 \text{ cm}$ の角型硝子枠に填めて重ねた魚肉 a, b の熱傳導度を測定する。肉片の面を平面に保ち且つ温度測定用熱電對を固定するために厚さ $d = 0.143 \text{ cm}$ 熱傳導度 $k'_g(0^{\circ}\text{C}) = 1.769 \times 10^{-3} \text{ cal/cm sec}^{\circ}\text{C}$ の硝子板を用ひたが、第 1 圖 T_1, T_2 の兩接點は前回の如く硝子板の間に挿入することなく、單に硝子面に淺く溝を切りその中に蠟にて絶縁固定した。 T_0, T_3 は前回の如く 2 枚の硝子の間に蠟で封入した。此の装置では肉片 a, b の熱傳導度 k_a, k_b は夫々

第 1 圖 A 標準硝子板, B 硝子枠, C 銅板, D 硝子板, T 熱電對接點, M コルク板, R 冷却タンク, H 電熱器

$$k_a = k_g \left/ \left\{ \frac{l_g(T_0 - T_1)}{l_a(T_2 - T_3)} - \frac{dk_g}{l_a k'_g} \right\} \right., \quad k_b = k_g \left/ \left\{ \frac{l_g(T_1 - T_2)}{l_b(T_2 - T_3)} - \frac{dk_g}{l_b k'_g} \right\} \right. \quad (1)$$

で計算されることになる。但し斜體活字で各接點の温度を示す。分子の k_g には温度係數 $+0.0025^{\circ}\text{C}^{-1}$ として温度の補正を施したが、 k_g/k'_g にはその必要を認めなかつた。

魚肉を装着した装置は之を冷蔵庫内に收容し、上部の銅板を直接冷蔵庫の冷却タンクの下

(1) 小川朋次郎： 冷凍に依る魚肉の熱傳導度の變化 II. 本誌 7 (3), 1938, 163~164.

面に接觸して $-20\sim-30^{\circ}\text{C}$ にて冷凍し、後電熱器 H を種々の温度に調節し、数時間後に測定した。各温度の値を得んが爲に同一材料はなるべく融解せしめることなく約 1 週間使用した。

結果 魚肉の平均温度に対する熱傳導度の関係は第 2 圖の如く、かなりひどい偏差を示し、又タラの例では明かな個體に依る偏異を示す。此等の値を平均温度に従つて數箇の群に分け群毎に平均して、温度の逆数に対する関係を圖示すると第 3 圖の如く何れも大體直線で表はされ、前回カツヲ、ブリに就いて得た結果と一致する。第 3 圖には此等前回の結果も共に示してある。但しカツヲの結果は個體の偏異が認められるから、同一個體の値のみに就いて計算し直した。

考察 第 3 圖の結果から見ると冷凍魚肉の熱傳導度 k は温度 $-\theta^{\circ}\text{C}$ に對し

$$k = K - \frac{\alpha}{\theta}, \quad K, \alpha \text{ は常數} \quad (2)$$

で與へられる。 k は温度の低下すると共に一定値 K に近づく。前回述べた如く氷點 $-\theta_c^{\circ}\text{C}$ の魚肉中に生ずる氷の量の全水分に對する比 r が $r = 1 - (\theta_c/\theta)$ で表はされるとすれば、式 (2) に於て $\alpha = \beta\theta_c$, β は常數と考へられ、氷點に於ける熱傳導度を k_0 とすれば

$$k = K - \beta \frac{\theta_c}{\theta} = k_0 + \beta \left(1 - \frac{\theta_c}{\theta}\right) = k_0 + \beta r, \\ K = k_0 + \beta \quad (3)$$

となる。近似的には熱傳導度は氷の析出する割合に比例して増加すると考へられる。

凍結しない魚肉の熱傳導度は從來の實驗の結果からも温度に依つて殆ど變らないから、氷點以上の測定値を平均して k_0 と看做し、第 3 圖の直線から K, α を、別に測定した θ_c と α から β を求めると第 1 表及び第 4 圖に示す如く、各魚種を通じ β は k_0 の増加に伴つて増加し、従つて K は k_0 よりも稍著しく變化することが分る。

第 3 圖 温度 θ の逆数と熱傳導度 k との関係 $k = K - \beta(\theta_c/\theta)$ を示す。G タラ、M マス、T めじ、S ブリ、B カツヲ。

第 2 圖 G タラ、M マス、T めじ。矢は氷點、符號は個體別。

第 4 圖 常數 $K(\circ)$, $\beta(\bullet)$ と凍結しない肉の熱傳導度 k_0 との関係。N キハダマグロ、H さめ、S ブリ。以上立野・二戸兩氏測定。他は第 3 圖に同じ。

第 1 表 (10^{-3} c.g.s. * は $^{\circ}\text{C}$)

魚	種	k_0	K	α	$-\theta_c^*$	β
カツヲ	B	1.04	2.8	2.9	-2.0	1.4
ママス	M	1.19	2.7	1.6	-1.0	1.6
ブリ	S	1.42	3.3	2.4	-1.3	1.9
めじ	T	1.43	2.3	1.7	-1.3	1.3
タラ	G ₃	1.36	3.2	3.9	—	—
	G ₂	1.83	4.2	3.1	—	—
	G ₁	1.85	4.5	1.9	-0.7	2.7

曩に立野・二戸兩氏はキハダマグロ・ブリ・さめ肉に就き不凍結状態及び夫々平均 -45.6°C , -31.4°C , -24.1°C に達する低温に冷凍した状態に於ける熱傳導度を測定した。⁽¹⁾ 此等が夫々 k_0 及び K を近似的に示すものと看做して第 4 圖に示すと、今回得た k_0 と K との関係が兩氏の結果にもその儘擴張出来ることが分る。

尙熱傳導度を計算する爲の式 (1) は肉片の熱傳導度が一定と看做し得る場合を假定して導かれたものである。 k が (2) の如く温度で變る場合には (1) を用ひる際に一應吟味しなければならない。第 1 圖で上向に x 軸を取れば、單位時間に x 方向に流れる熱量は單位面積につき

$$H = \left(K - \frac{\alpha}{\theta} \right) \frac{d\theta}{dx}$$

従つて魚肉中の温度の分布は

$$K\theta - \alpha \log \theta = Hx + C, \quad C \text{ は常數} \quad (4)$$

で與へられる。之から魚肉の兩面の温度を夫々 $-\theta_1$, $-\theta_2$ とし厚さを l とすれば

$$H = \frac{K}{l} (\theta_2 - \theta_1) - \frac{\alpha}{l} (\log \theta_2 - \log \theta_1) \quad (5)$$

$$\bar{\theta} = (\theta_1 + \theta_2)/2 \text{ と置けば、 } \bar{\theta} - \theta_1 = (\theta_2 - \theta_1)/2, \quad \bar{\theta} - \theta_2 = (\theta_1 - \theta_2)/2,$$

$$\text{そこで} \quad \log \theta_2 = \log \bar{\theta} + \log (\theta_2/\bar{\theta}) = \log \bar{\theta} + \log \{1 + (\theta_2 - \theta_1)/2\bar{\theta}\},$$

$$\log \theta_1 = \log \bar{\theta} + \log (\theta_1/\bar{\theta}) = \log \bar{\theta} + \log \{1 - (\theta_2 - \theta_1)/2\bar{\theta}\}$$

と置き展開して差を取ると

$$\log \theta_2 - \log \theta_1 = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\bar{\theta}} + \frac{(\theta_2 - \theta_1)^3}{12 \bar{\theta}^3} + \dots \quad (6)$$

第一項に對して第二項以下が無視出来れば (5) は

$$H = (K - \alpha/\bar{\theta})(\theta_2 - \theta_1)/l$$

と看做せる。實驗中 $\bar{\theta}$ が小さい場合には (6) の第二項以下が無視出来ないやうな場合も起るが、實際はその他の未知の原因から起る偏差の方が大きいものと考へられる。

(1) 立野新光・二戸一磨：冷凍による魚肉の熱傳導度の變化 I. 本誌 5 (1), 1936, 42~44.