

北大工学部 正員 佐伯 浩
 北大工学部 学生員 ○住田 徹
 北大工学部 学生員 横山隆夫

1. はじめに 昭和47年より、我々は港内の結氷についての調査、実験を行ってきた。これまでの研究では、輻射量が、水温変化に大きな影響をおよぼし、水面での熱交換の重要な要因となり、結氷期では、輻射量と他の要因による損失熱量は、ほぼ同等であることが明らかとなった。水面での熱交換に関しては、これまで、熱量保存の関係から方程式が導かれているが、式の構成が複雑で取り扱いが困難である。Edinger等は、平衡水温と熱損失係数の概念を導入して、熱交換を表わしたが、平衡水温は直接には測定できない。Dingman等は、平衡水温の代りに気温を用いて簡便にした。しかし、Dingman等の論文には、実験装置、測定法などの詳細が述べられておらず、不明確な点が多い。そのため、我々は、大学構内においての実験により適用と比較してみたい。

2. 実験装置、測定方法 実験は、昭和49年11月28日より12月4日まで、北大構内において行った。実験装置をFig-1に示す。使用した水槽は、2.70M×2.70M×0.70Mで、断熱効果を期待してブロックで外かくとし、シートを敷いた。水槽の底面、側面には断熱材としてスタイロフォームを敷き、熱交換は水面においてのみ生ずるとした。輻射量の測定は、FUNKの示差輻射計を用い、感知部は水槽の中央、水面と1Mの位置に固定し、Netの輻射量を求めた。水温測定は電気温度計を用いた。気温測定は棒状温度計を用い、直射日光、雪などの影響を防ぐために遮蔽し、地上約1.5Mの位置で測定した。風速の測定は、水槽の横、地上2.5Mの位置で複算風速計を用い、2分間測定した。天候は視覚とした。測定間隔は30分とした。なお、実験には、約30%の塩水を用いた。その日の水温の垂直分布は、ほぼ一様となり、水平分布も測定の結果、ほぼ一定である日の水温の測定は、Fig-1のA₂点、水面下0.40Mの点で代表させた。(Table-1)

記号を以下に示す。

T_a: 気温(°C), T_w: 水温(°C), Q_k: 大気-水体間の熱伝達に伴う熱量(cal/cm²·hour), Q_E: 水体の蒸発、凝縮に伴う熱量(cal/cm²·hour), K: 大気-水体間の熱の損失係数(cal/cm²·hour·degree), V: 風速(m/sec), Q_{RN}: 輻射に伴うNetの熱量(cal/cm²·hour)
 3. 水面における熱交換 問題を単純にするための水塊は十分に混合され、内部の水温は一様であると仮定する。ある地域における、大気-水体間の熱交換量は、他からの熱移流、降雪、降雨が無い場合、

$$\Delta Q = Q_k + Q_{RN} + Q_E \quad (1)$$

となる。Q_{RN}は輻射計により測定できる。Q_Eは蒸発量を直接に測定すれば良いが、蒸発計を用いて測定された量は、実際の蒸発量に比較

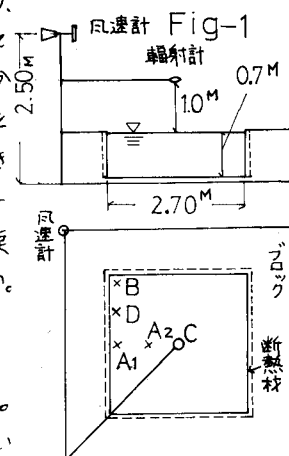
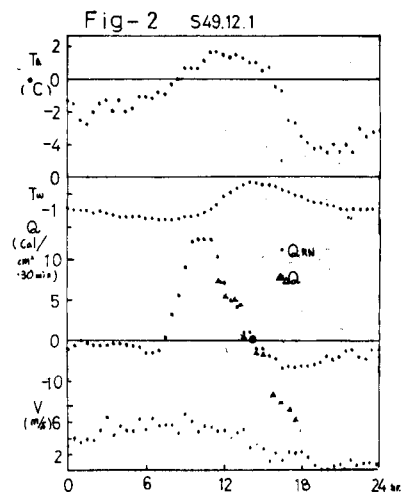


Table-1 s49.12.1. AM 11:00

	C	A ₂	A ₁	D	B	mean
0	-0.90	-0.89	-0.89	-0.90	-0.90	-0.90
5	-0.90	-0.89	-0.89	-0.90	-0.89	-0.89
10	-0.90	-0.89	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
20	-0.90	-0.89	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
30	-0.90	-0.89	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
40	-0.90	-0.89	-0.90	-0.90	-0.89	-0.90
50	-0.90	-0.89	-0.90	-0.90	-0.89	-0.90
60	-0.90	-0.89	-0.90	-0.90	-0.89	-0.90
bottom	-0.90	-0.89	-0.90	-0.90	-0.89	-0.90
mean	-0.90	-0.89	-0.90	-0.90	-0.89	



して差が大きいことが発表されており、 Q_E と Q_K を直接に規定することは困難である。Dingman等は、熱損失係数 K を用いた輻射量を除く Net の熱交換量は $(T_w - T_a)$ の一次式で表わしうると仮定して

$$Q_K + Q_E = Q_{KE} = -\{Q_0 + K(T_w - T_a)\} \quad (2)$$

を得、(1)式より

$$\Delta Q = Q_{RN} - Q_0 + K(T_a - T_w) \quad (3)$$

となる。Dingman等は、 Q_{KE} を決定する際、気象条件の多くの要因のうち風速が主要な役割を持つことを指摘し、天候により輻射量が大きく変化することから、はれとくもりに分け、 K と Q_0 と風速の関係を求めている。

4. 実験結果および考察 T_a , T_w , Q_{RN} , ΔQ , V の関係をFig-2に示す。Net 輻射量、気温、水温の順にピークをとる。Net 輻射量は午前7~8時と午後3時頃の間に正となり、他は負値となり水面からの逆輻射が卓越する。この時期におけるNet 輻射量は、 $-40 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ 程度であるが、図

においては、前日からの降雪があり水面上に積もっているため、午前中のNet 輻射量は小さくなっていると思われる。 ΔQ は、午後3時頃0となり熱交換は平衡状態となる。 $Q_{KE} - (T_a - T_w)$ の関係をFig-3に示す。 Q_{KE} と $(T_a - T_w)$ には相関が見られ、

一次式で表わしうるとの仮定は満足する。 $V = 2 \sim 3 \text{ m/sec}$ の例をFig-4に示す。鎖線はDingman等の近似式($V = 2.5 \text{ m/sec}$)を示す。くもりの場合には良い一致をみる。Fig-5に、 $K - V$ の関係を示す。我々の結果は、Dingman等のものと比較して、風速が熱損失係数に与える影響はより大となった。風速が3~4 m/sec では両者は良い一致をみている。Fig-6に Q_0 と K の関係を示す。今回の実験では、ばらつきが大きく傾向は把握できなかった。なお、今回の実験では、約30%の塩水を使用しているが、

この塩分濃度における結氷水温は -1.7°C 程度である。しかし、実際は、水温が結氷温度に達する以前に表面において結氷が開始する。これは、水塊の対流に伴う熱移動以上に、水表面から大気中に発散する熱量移動が大きいため水表面近傍では、水温は急激に低下し結氷温度に達していると思われる。

5. あとがき これまで主に熱損失係数に関して述べてきたが、Dingman等が指摘したように、大気-水面間の熱交換には有益な概念である。すなわち、風速が水温変動の1大きな要因であることが明らかになった。我々の実験に関しては、実験開始の時期が雪の降り始める時期と一致し、そのために、水面に雪が堆積し、Net 輻射量、天候、水温に大きな影響を与え、有益なデータ数が減少した。測定時期、測定間隔を十分考慮する必要があると思われる。今後、実験を通じて、水面における熱交換および結氷の研究を実際の現地海面に適用させていきたい。

Fig-3

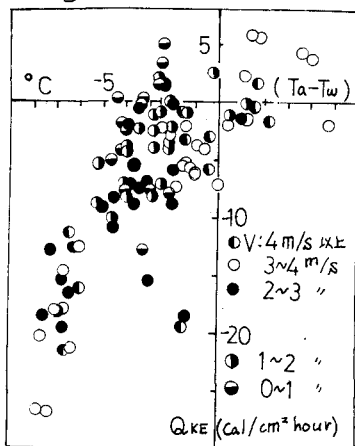


Fig-4. $V = 2 \sim 3 \text{ m/s}$

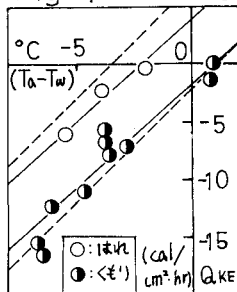


Fig-5

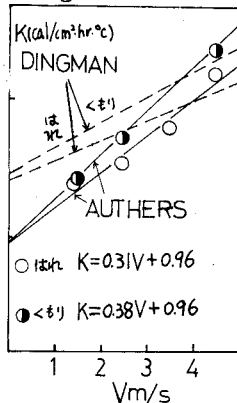
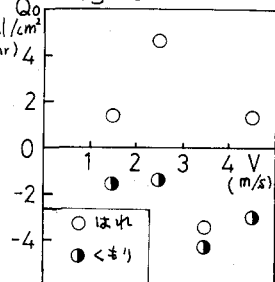


Fig-6



参考文献 1. Dingman ; Equilibrium Temperatures of Water Surface as Related to Air Temperature and Solar Radiation. Vol 8. No 1, Water Res. Feb 1972. 2. Edinger, et. al. The Response of Water Temperatures to Meteorological Conditions. Vol 4 No 5 Water Res Oct. 1968. 3. 尾崎 佐伯 泉 老湾内の結氷について (1) (2) 年次学術講演会論文、土木学会、48. 49年. 4. 水面熱損失係数と平衡水温-温排水問題に関連して、大西外明、土木学会誌、49. 3