

北大工 正眞 佐伯浩
 鹿島建設 正眞 住田徹
 北大工 正眞 尾崎晃

§1. 温排水の問題は環境保全との関係から社会問題になっているし、北海道においては港湾等の集積が重要な問題である。これらの問題の解決には大気・海水間熱の出入量を明らかにする必要がある。熱交換は主に輻射熱・潜熱・顕熱交換の過程から成り立っているが現実の海において流に伴う熱移流も大きな影響を持っている。上 Fig. 1

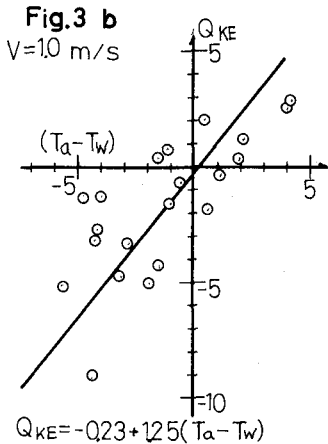
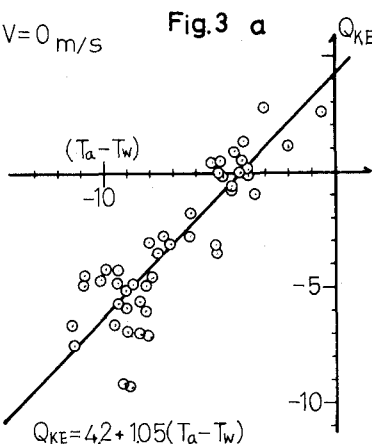
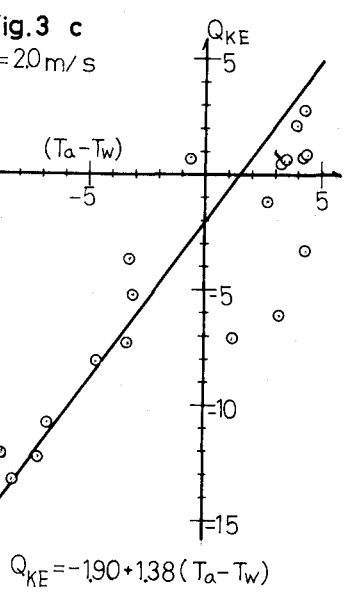
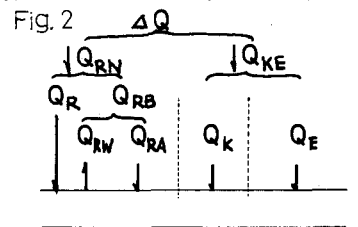
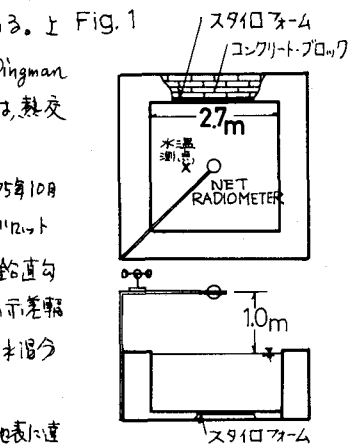
記の熱交換過程の中で、潜熱・顕熱交換過程は、分離して測定する事が非常に困難である。Dingman は測定困難な潜熱・顕熱交換量を熱交換係数を用いる事による単純化に成功した。本研究は、熱交換係数を求める事と、既存の各熱交換量に関する諸式の検討を行なったものである。

§2. 実験方法及び装置 本実験は北大構内の牧地において1974年11月28～12月4日、1975年10月19～11月2日にかけ行なった。装置を(Fig-1)に示す。本装置は4列4段の軽量コンクリートブロックと25mm厚のスタイロフォームで囲み、熱の出入は水面のみで行なわれるようにした。また水温の鉛直勾配を小さくするため塩水(30%)を使用し、対流による混合を期待している。測定にはFunkの示差輻射計を用い、水温は-5.0℃、-4.0℃の2点に自記水温計を設置した。また簡易電気水温計で本装置内部の温度を行なった。その他、相対湿度、蒸発量、気温の測定を行なった。

§3. 実験結果 海面からの熱の交換過程の図解を(Fig-2)に示す。図中、 Q_R : 太陽から地表に達した短波長輻射熱量。 Q_{RW} : 水面から大気に向かう長波輻射熱量。 Q_{RA} : 大気から水面に向かう長波輻射熱量。 Q_{RB} : 有効長波輻射熱量。 Q_{RN} : 正味の輻射熱量。 Q_K : 大気と水面の温度差による乱流熱交換量。 Q_E : 蒸発、凝縮にもよる潜熱交換熱量。 Q_{KE} : 輻射以外の熱交換量。Dingman 等は(Fig-2)に示す熱交換過程を輻射に関する項とそれ以外の2つの項で表わされる事を示した。

$$\Delta Q = Q_{RN} + Q_{KE} \dots (1) \quad Q_{KE} = Q_0 + K(T_a - T_w) \dots (2)$$

Q_{KE} は潜・顕熱量と表わしている。また Q_{KE} は風速(V) と $(T_a - T_w)$ で表わされる。この式の K を熱交換係数とする。実験結果の一部を(Fig-3)の(a)(b)(c)に示す。 $T_w = 9.0$ 分は大きい。 $Q_{KE} \propto (T_a - T_w)$ の関係があるが、これは Dingman の結果と一致している。これらの図より Q_0 と K を求め、 Q_0 と V 、 K と V の関係を示したものが



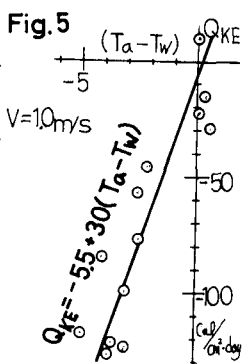
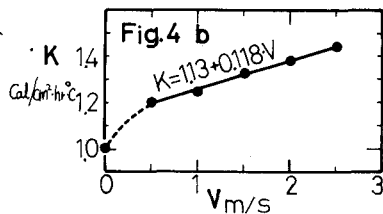
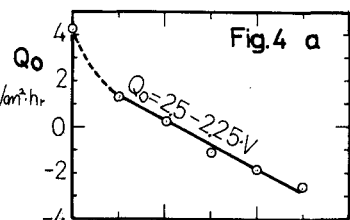
(Fig-4)の(a),(b)である。この図を用いる事により、潜熱・顕熱の熱量が求めらるわけである。(Fig-3)は1時間単位で求めたものであるが、18単位で Q_{KE} を求めたものを(Fig-5)に示す。これは $V=1m$ の時であるが、これは(Fig-3)の(b)の24倍した $cal/cm^2 \cdot hr$ 値に相当している事から、この熱損失係数を用いて水温変化を計算する場合、時間間隔は無関係に(Fig-4)を用いて良い事になる。風速と Q_{RN} とを与えて、根室港での港内水温の変算予測をした結果、11月~2月の間では約 $100 cal/cm^2 \cdot day$ の熱輸送と見込めば実測水温に良好一致を示す事が明らかとなった。これは港内外の水温差と潮差を考慮すると妥当な結果であった。

§4. 実測値と諸公式の比較

(1) Q_{RN} について； $Q_{RN}=Q_R-Q_{RB}$ で表わされる。 Q_R は主に緯度と季節によって求まり、 Q_{RB} は表面水温、気温、月日、雲量、相対湿度、飽和蒸気圧等によって求まる。 Q_R についてはSavinovとÅngströmの式とUkrainstsevの表より求め、 Q_{RB} については、 Q_{RW} はStefan-Boltzmanの法則より求め、 Q_{RA} についてはÅngström, Brunt, Elsasser等の式があるが、最もよく用いられるBruntの式を用いた。 Q_{RN} の実測値と計算値との比較したものが(表-1)である。この測定期間は要するに平均して2.2以上であり、実測値の方が計算値より大きい。この原因の1つには主に Q_{RW} の見積りにあると思われる。我々は水面下5 cm の水温を用いている。理論では表面水温であり、その差が Q_{RW} に出ていいると思われる。しかし現実には海面の表面水温の測定は非常に困難であるので、 Q_{RW} の計算値も実際の計算に当たっては非常に困難になると思われる。

(2) Q_{KE} について； Q_K についてはRossby等により得られた式を用い、熱伝達係数はFaureの得た実験式を用いて計算し、 Q_E については熱収支法、乱流熱交換法、バルク法、混合法等があるが、乱流熱交換法とバルク法で計算した結果、乱流熱交換法の値が他の方法のより大き過ぎる値を示すので、バルク法を用い、蒸発係数にはRohwerの値を用いて計算した。

実測値と計算値と比較したものが(表-2)である。実測値の Q_E と Q_K の分離はかなり正確に成り上った。表からも明らかなように計算により求めた Q_{KE} の総値の方が実測値に較べて大きい値を示している。この事は計算値は水面からの放射量を大きめに見積る事を意味している。以上述べたように理論式・実験式から Q_{RN} 、 Q_{KE} は計算する事が可能であるが、その精度については若干疑問が残る。特に Q_{RN} の計算には水面における水温が求められなければならないし、 Q_E については多くの式が発表されているが、どの式が一番妥当であるか今のところ明確にできていない。今回の我々の結果からはバルク法で蒸発係数にはRohwerの式が一番近い値を示した。工学的な見地からすれば、熱交換係数の概念がある程度有効な手段である事が明らかになった。



(表-1)

day	UNRYO							EXP.	
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
10.18	127	79	56	42	39	51	119	晴	
10.19	128	80	57	42	39	51	112	晴	
10.20	136	87	64	48	44	53	127	晴	
10.25	95	48	28	17	21	37	65	晴	
10.31	118	70	48	35	36	44	44	晴	
11. 3	148	117	93	74	61	34	119	曇り	
11. 4	-7	-34	-45	-43	-26	-14	69	晴	
11. 5	23	-5	-18	-20	-9	-5	32	晴	
11. 6	69	40	22	13	22	4	67	晴	
11.12	16	-11	-25	-26	-13	-10	10	晴	
11.13	180	148	121	98	77	41	10	曇り	
11.14	56	28	11	4	9	2	-28	晴	
11.18	176	144	118	95	76	43	-25	曇り	

(表-2)

day	EXP.			CAL.			V	Ta-Tw
	QKE	QE	QK	QKE	QK	QE		
10.18	125.7	96.7	29.0	145.4	51.6	93.8	0.41	-3.7
10.19	121.7	93.6	28.1	141.8	49.8	92.0	0.44	-3.6
10.20	123.1	94.7	28.4	134.7	45.7	89.2	0.54	-3.1
10.25	116.9	89.9	27.0	188.3	78.4	109.9	0.64	-5.0
10.31	134.1	103.1	31.0	170.2	66.5	103.7	1.28	-3.4
11. 3	46.4	35.7	10.7	84.3	34.5	49.8	0.71	-2.1
11. 4	84.6	65.1	19.5	140.9	65.6	75.3	0.64	-4.2
11. 5	78.6	60.4	18.2	113.3	38.4	74.9	0.85	-2.4
11. 6	29.7	22.8	6.9	37.3	-11.1	48.4	1.46	-0.5
11.12	57.6	44.3	13.3	94.5	37.6	56.9	0.46	-2.6
11.13	16.6	12.8	3.8	42.7	-5.3	48.0	0.58	0.3
11.14	24.2	18.6	5.6	42.3	-0.5	37.8	0.76	0.0
11.18	-8.9	-6.8	-2.1	44.7	0.0	44.7	1.47	0.0