



Title	噴火湾における正味の海面熱輸送量の簡易計算法
Author(s)	磯田, 豊; 末武, 秀己; 東屋, 知範
Citation	北海道大学水産科学研究彙報, 55(1), 43-52
Issue Date	2004-08
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/21993">http://hdl.handle.net/2115/21993</a>
Type	bulletin (article)
File Information	55(1)_P43-52.pdf



[Instructions for use](#)

## 噴火湾における正味の海面熱輸送量の簡易計算法

磯田 豊<sup>1)</sup>・末武 秀己<sup>2)</sup>・東屋 知範<sup>3)</sup>

(2004年3月8日受付, 2004年5月26日受理)

### Simple Estimation of Net Heat Transport through the Sea Surface in Funka Bay

Yutaka ISODA<sup>1)</sup>, Hideki SUETAKE<sup>2)</sup> and Tomonori AZUMAYA<sup>3)</sup>

#### Abstract

The stability of the water column due to warming plays an important role in the onset of diatom spring-bloom in Funka Bay (Azumaya et al., 2001). This suggests that net heat transport through the sea surface becomes a good index for the onset time of spring-bloom. However, to estimate such heat transport, the complex calculations using many meteorological and oceanographical data are needed. In the present study, we proposed the simple equations for estimation of net heat transport by only using most dominant a few meteorological data, e.g., air temperature, wind speed, amount of cloud and so on.

**Key words:** net heat transport, simple estimation, spring-bloom, Funka Bay

#### はじめに

噴火湾内はホタテの養殖やスケトウダラの産卵場として有名であるが、これらの生物生産を支えているのが、春季における植物プランクトンの大増殖(春季の珪藻ブルーム)による基礎(一次)生産である。この春季ブルームの発生は水柱の安定を引き金としているが、その安定性を左右している要因として、低塩低温で特徴づけられる沿岸親潮の表層流入と海面加熱による水柱の安定が挙げられていた。Azumaya et al. (2001)では、どちらの要因が重要であるかを湾内の海洋構造の時間変化と生態系モデルを組み合わせた研究により検討を行った。その結果、沿岸親潮が流入していても海面冷却時であれば顕著なブルームは発生しないこと、そして成層していない状態でも海面冷却による鉛直混合が停止した時点、すなわち海面冷却から海面加熱に変わった時点で大規模な春季ブルームが発生できることを明らかにした。

この研究結果は正味の海面熱輸送量さえ計算できれば春季ブルーム時期を推測できる可能性を示し、年により異なるブルーム時期とその後の生物生産との関係が議論でき

るといった新たな研究の方向性を生み出すものでもある。ところが、正味の海面熱輸送量を定量的に計算するためには(バルク法を想定)、海面水温、気温、風速、気圧、湿度、日射量などの多くの気象・海洋パラメータがわかっている必要はない。加えて、これらのパラメータが組み合わされたバルク式は非常に複雑である(磯田・長谷川, 1997を参照)。それゆえ、当年ではない過去のブルーム時期については解析時間とデータ入力の手間を省けば可能であるが、リアルタイムですべての気象・海洋パラメータの入手が可能でない状況において、当年もしくは現在のブルームの有無を判断できる手段はない。そこで本研究では、リアルタイムで入手可能な、できるだけ少ない気象・海洋パラメータを用いて、精度が保障される範囲において正味の熱輸送量を推測できる簡易計算法を提案する。

この簡易計算法が海洋物理を専門としない噴火湾研究者や噴火湾における生物生産を生活の糧としておられる漁業者の方々に少しでも役立つ情報であることを願っている。

<sup>1)</sup> 北海道大学大学院水産科学研究科資源環境科学講座  
(Laboratory of Marine Environmental Science, Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University)  
(e-mail: isoda@sola3.fish.hokudai.ac.jp)

<sup>2)</sup> 北海道大学水産学部  
(Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

<sup>3)</sup> 北海道区水産研究所  
(Hokkaido National Fisheries Research Institute)

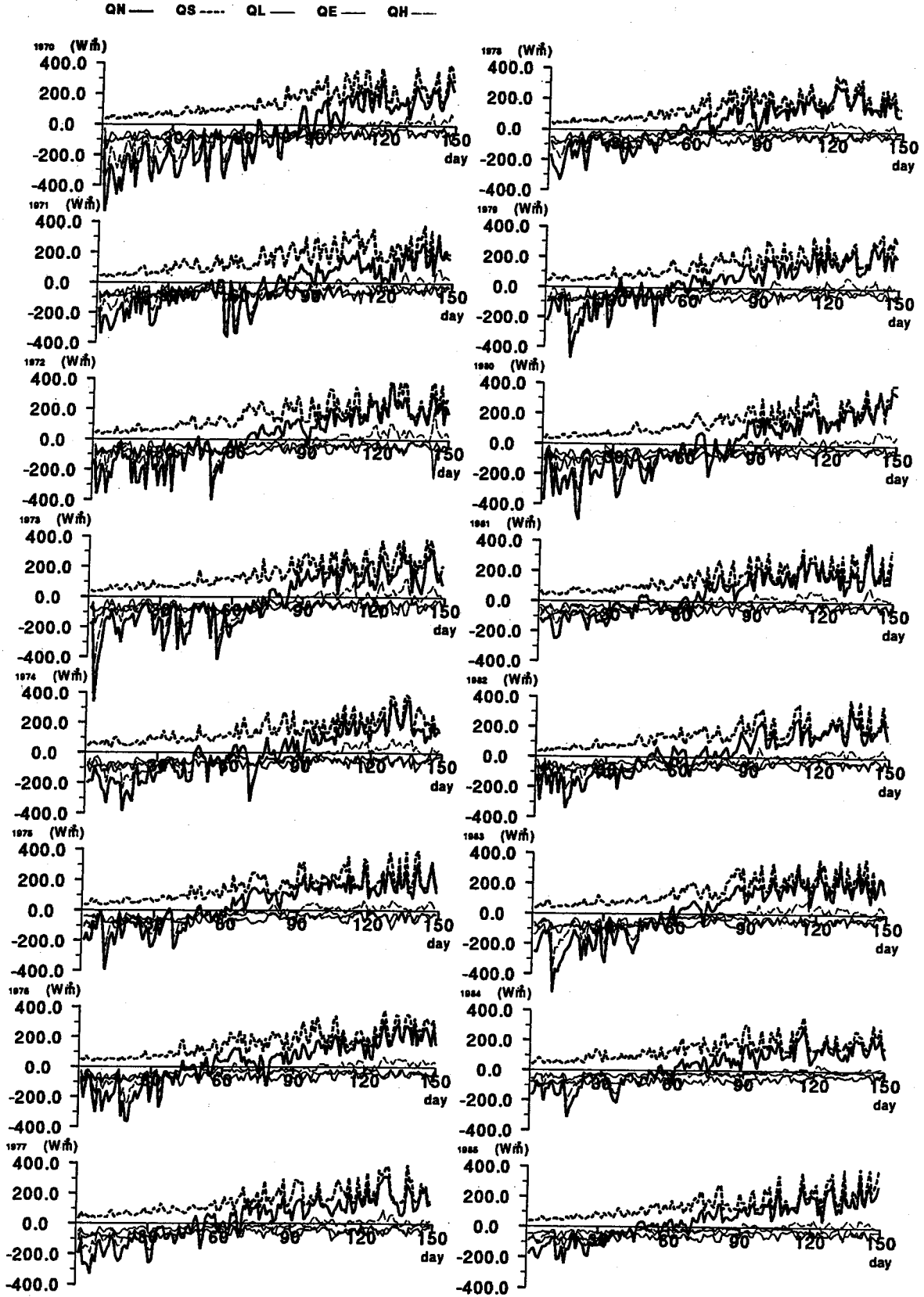


Fig. 1(a) Time series of  $QN$ ,  $QS$ ,  $QL$ ,  $QE$  and  $QH$  at the period from January to May in 1970–1985.

解析資料及び解析方法

本解析では噴火湾の海面水温資料として、北大理学部付属海藻研究施設(室蘭)で観測されている1970年から1995年までの1月から5月の期間を使用した。種々の気象資料としては、気象庁月報より同期間の室蘭の日平均値を用いた。

バルク法による海面を通しての正味の熱輸送量(QN)は次式で表される。

$$QN = QS + QL + QE + QH \quad (1)$$

ここで、QNが正の場合には大気から海へ熱が入ると定義し、QSは海が吸収する短波放射量、QLは海から大気への有効長波放射量、QEは水が水蒸気に状態変化するときに放出する海から大気への潜熱輸送量、QHは大気と海の温度差による顕熱輸送量である。各輸送量を示すバルク式は磯田・長谷川(1997)と同じであるため、ここでは省略する。以下には、各輸送量がどのような気象・海洋パラメー

タの関数(F)であるかだけを示す。ただし、後の解析でその詳細が取り上げられることになるQSとQHに関しては、バルク式そのものも示しておく。

$$QS = F(Q_0, CL) = Q_0(1 - 0.62CL) \quad (2)$$

ここで、Q<sub>0</sub>は水平面日射量(場所と時間で決まる固定値)、CLは日平均雲量である。

$$QL = F(T_w, T_a, CL, e_a(RH, T_a)) \quad (3)$$

ここで、T<sub>w</sub>とT<sub>a</sub>はそれぞれ日平均海面水温と日平均気温の絶対温度、e<sub>a</sub>は大気の飽和蒸気圧で相対湿度RHと気温T<sub>a</sub>の関数である。

$$QE = F(e_w(T_w), e_a, U, AP) \quad (4)$$

ここで、e<sub>w</sub>は海面の飽和蒸気圧で水温T<sub>w</sub>の関数、Uは風速、APは日平均海面補正気圧である。

$$QH = F(T_w, T_a, U) = -\rho_a C_p C_H (T_w - T_a) U \quad (5)$$

ここで、ρ<sub>a</sub>は空気の密度、C<sub>H</sub>はスタントン数、C<sub>p</sub>は通常

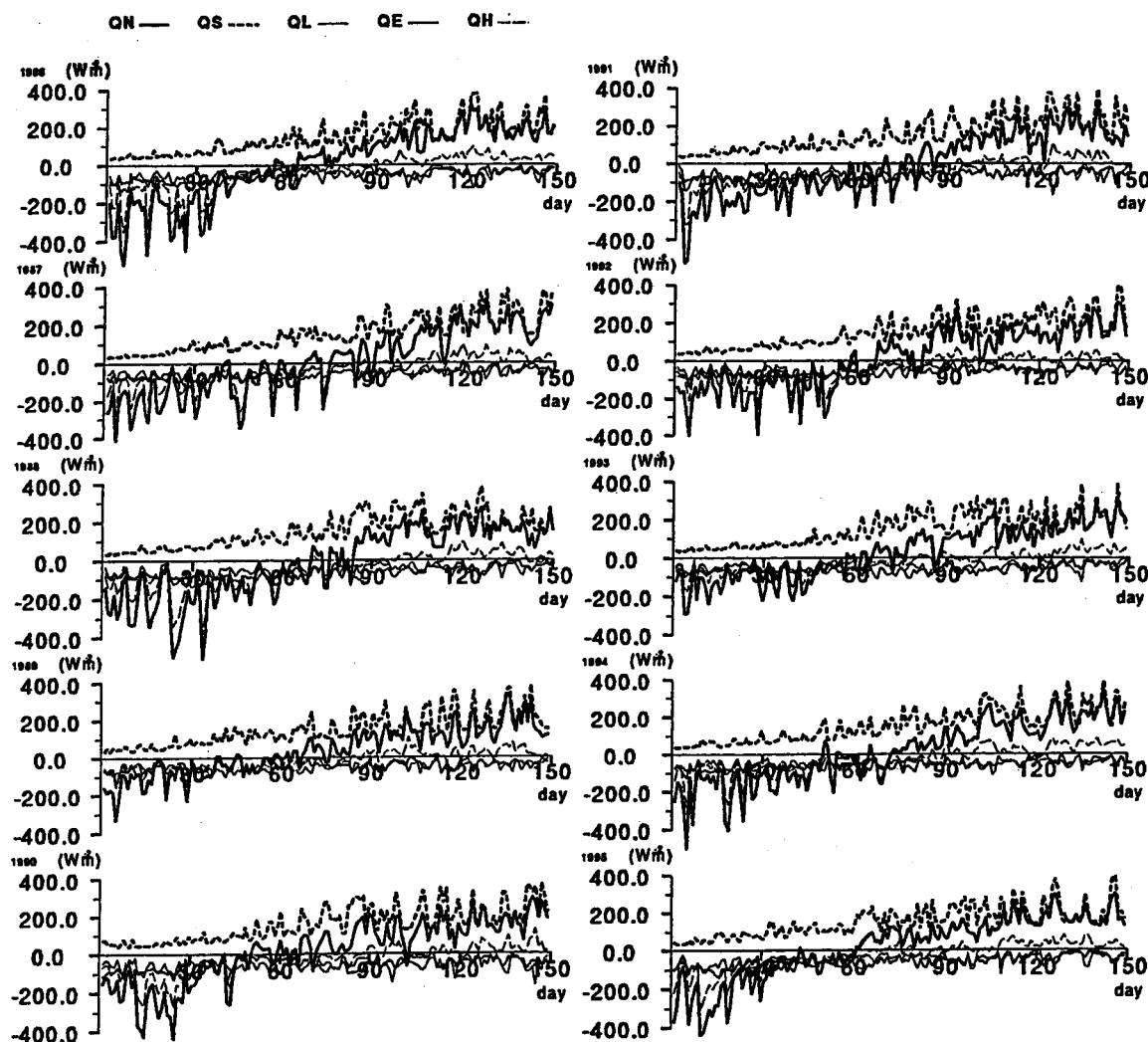


Fig. 1(b) Same as Fig. 1(a) but in 1986-1995.

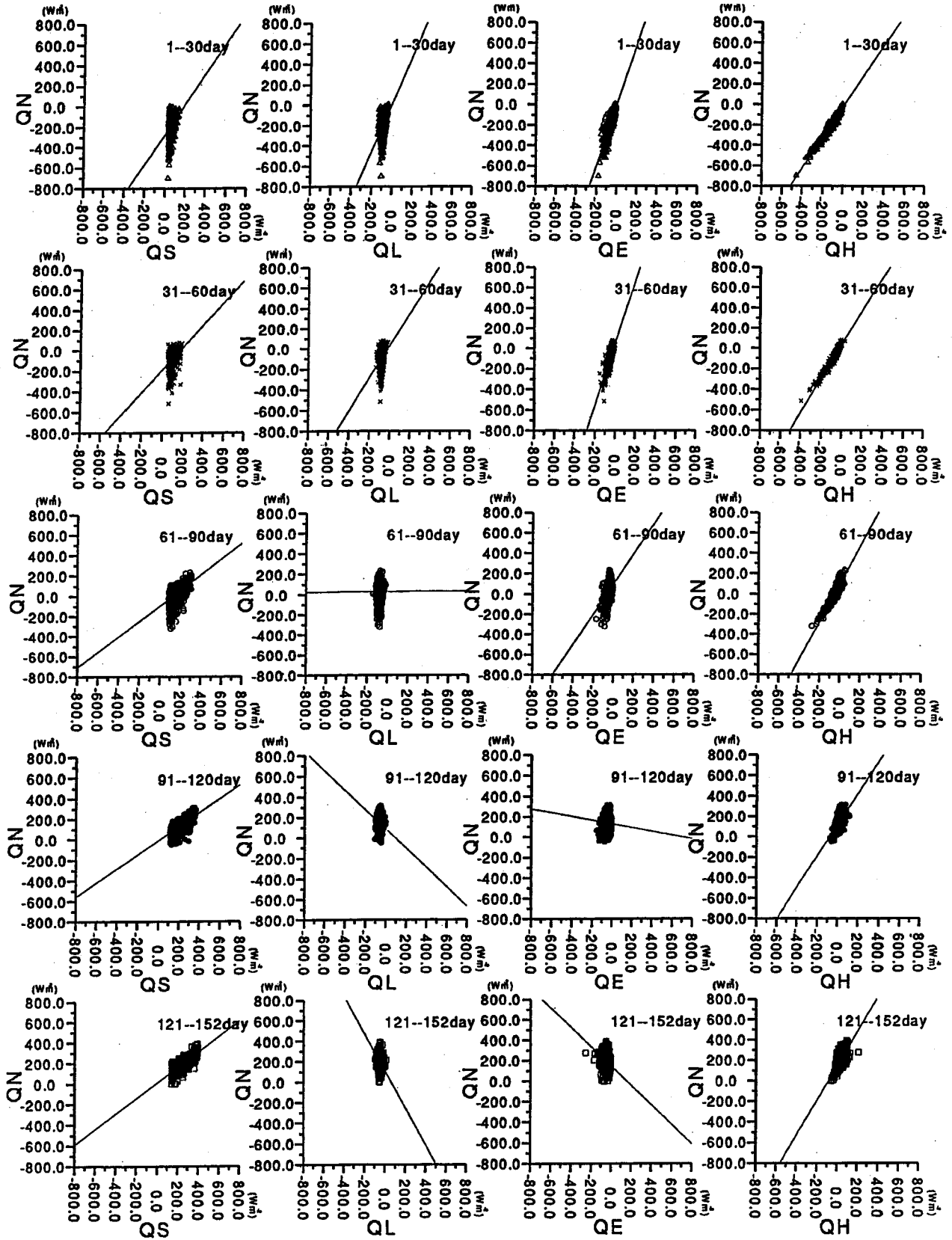


Fig. 2 Scattering plots between QN and four elements, i.e., *QS*, *QL*, *QE* and *QH*, at the five periods of 1-30, 31-60, 61-90, 91-120 and 121-152 days.

の大気圧下での比熱である。

このようなバルク式を用いて計算した1970年から1995年における $QN \cdot QS \cdot QL \cdot QE \cdot QH$ の時系列図(1月～5月)をFigs. 1(a)(b)に示す。 $QN$ の海面冷却から海面加熱に変わる時期は2月中旬から3月にあることがわかる。詳しくみると、海面加熱に変わる時期は1976年, 1977年, 1985年, 1989年, 1990年が2月中旬から下旬にある一方, 1970年, 1980年, 1988年, 1991年は3月下旬にある。Azumaya et al. (2001)をもとにすれば、噴火湾の春季ブルーム時期は年により一ヶ月以上の違いのあることが推測される。

本解析は以下の手順で行う。まず、 $QN$ に対する4つの要素( $QS \cdot QL \cdot QE \cdot QH$ )の相関を調べる。ただし、 $QN$ に対する4つの要素の寄与は時期により大きく異なるため、1月から5月までの計151日(閏年は152日)を5つの期間(1～30日, 31～60日, 61～90日, 91～120日, 121～151日(閏年は121～152日))に分け、各期間(一ヶ月単位)で最も相関の高い要素を選択する。次に、選択された要素を構成する気象・海洋パラメータと $QN$ との相関を調べ、できるだけ少ないパラメータで $QN$ を予測できる推測式( $pQN$ )を簡単な線形式で表現する。

## 解析結果

5期間毎の $QN$ と4要素間の散布図をFig. 2に示し、相関係数をTable 1にまとめた。海面冷却期である1～60日は $QE$ と $QH$ の相関が高く、海面加熱へ変化する時期の61～90日は $QH$ のみの相関が高く、海面加熱時期である91～152日は $QS$ との相関が高いことがわかる。最も高い相関の要素でみれば、1～90日は $QH$ 、91～152日は $QS$ であり、これら二つの要素で $QN$ を近似することができる。

$QH$ と $QS$ に関係する気象・海洋パラメータは気温 $Ta$ ,

Table 1 Correlation coefficients between  $QN$  and four elements, i.e.,  $QS$ ,  $QL$ ,  $QE$  and  $QH$ , at the five periods of 1-30, 31-60, 61-90, 91-120 and 121-152 days.

	$QS$	$QL$	$QE$	$QH$
1～30 day	0.277	0.376	0.840	0.970
31～60 day	0.394	0.303	0.792	0.955
61～90 day	0.597	-0.036	0.417	0.838
91～120 day	0.761	-0.300	-0.063	0.615
121～152 day	0.866	-0.458	-0.329	0.616

Table 2 Correlation coefficients ( $r$ ) and regression constant values ( $a$ ,  $b$ ) between  $QN$  and six parameters, i.e.,  $Ta$ ,  $Ta \cdot U$ ,  $U$ ,  $Tw$ ,  $Tw - Ta$  and  $CL$ , at the five periods of 1-30, 31-60, 61-90, 91-120 and 121-152 days.

	$Ta$			$Ta \times U$		
	$a$	$b$	$r$	$a$	$b$	$r$
1～30 day	22.57	-140.73	0.608	5.05	-134.22	0.771
31～60 day	24.77	-29.82	0.686	5.42	-35.20	0.814
61～90 day	23.30	18.54	0.736	5.93	29.39	0.710
91～120 day	16.85	44.47	0.659	1.70	103.90	0.304
121～152 day	15.66	25.01	0.612	1.18	145.17	0.243

	$U$			$Tw$		
	$a$	$b$	$r$	$a$	$b$	$r$
1～30 day	-37.99	17.08	-0.800	1.93	-200.64	-0.018
31～60 day	-30.00	60.36	-0.748	16.25	-139.49	-0.061
61～90 day	-23.87	136.51	-0.571	35.00	-69.35	0.306
91～120 day	-14.80	195.57	-0.358	15.40	67.14	0.222
121～152 day	-9.73	220.70	-0.189	5.77	140.42	0.102

	$Tw - Ta$			$CL$		
	$a$	$b$	$r$	$a$	$b$	$r$
1～30 day	-31.96	28.80	-0.712	-9.51	-111.62	-0.195
31～60 day	-29.76	56.51	-0.718	-8.79	-18.61	-0.227
61～90 day	-27.48	101.91	-0.683	-11.03	96.27	-0.473
91～120 day	-19.41	123.20	-0.665	-13.40	216.31	-0.699
121～152 day	-19.50	138.98	-0.660	-18.09	299.71	-0.862

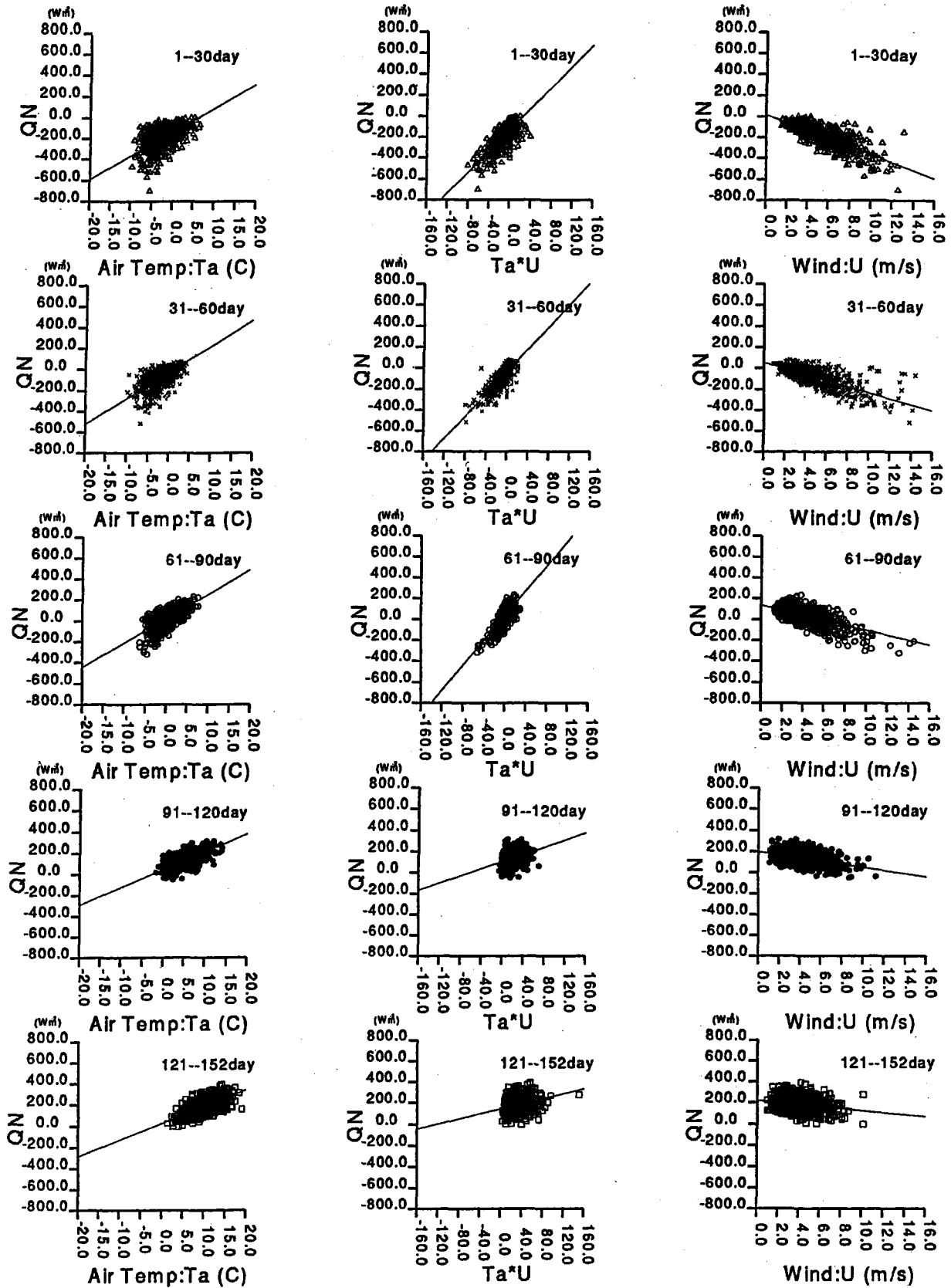


Fig. 3(a) Scattering plots between QN and three parameters of  $T_a$ ,  $T_a \cdot U$  and  $U$  at the five periods of 1-30, 31-60, 61-90, 91-120 and 121-152 days.

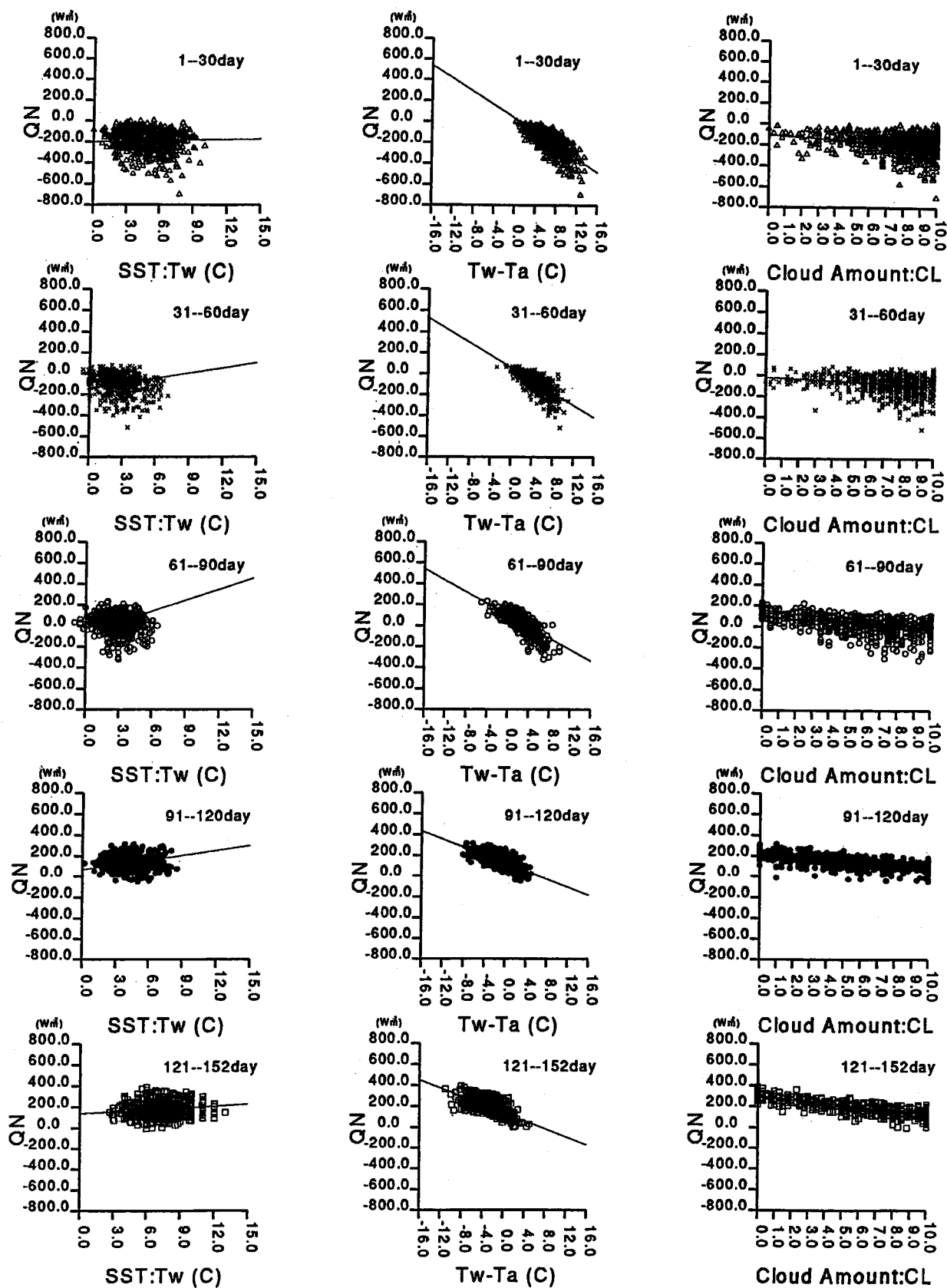


Fig. 3(b) Same as Fig. 3(a) but between  $Q_N$  and three parameters of  $T_w$ ,  $T_w - T_a$  and  $CL$ .



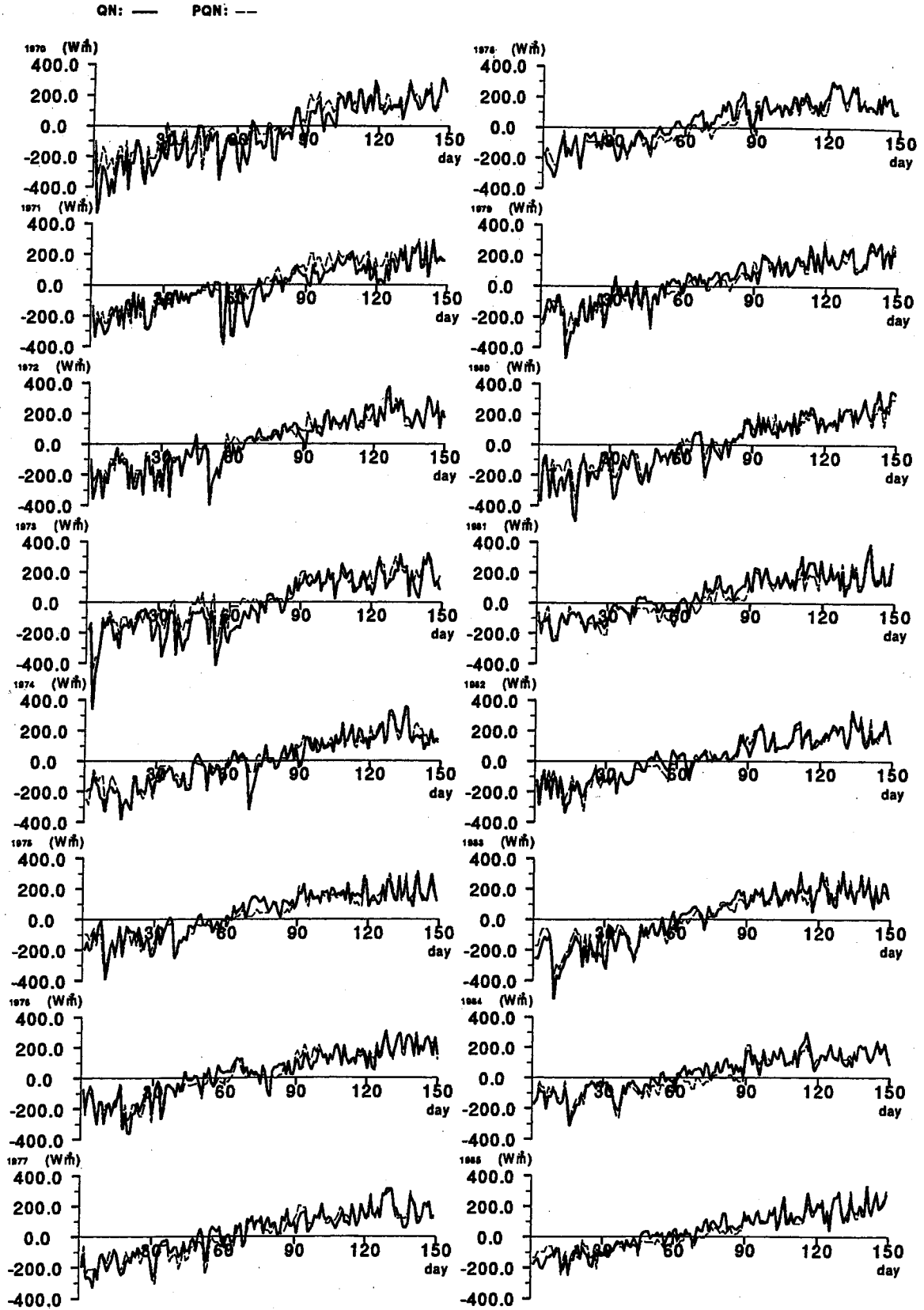


Fig. 4(a) Time series of  $QN$  and  $pQN$  in 1970-1985.

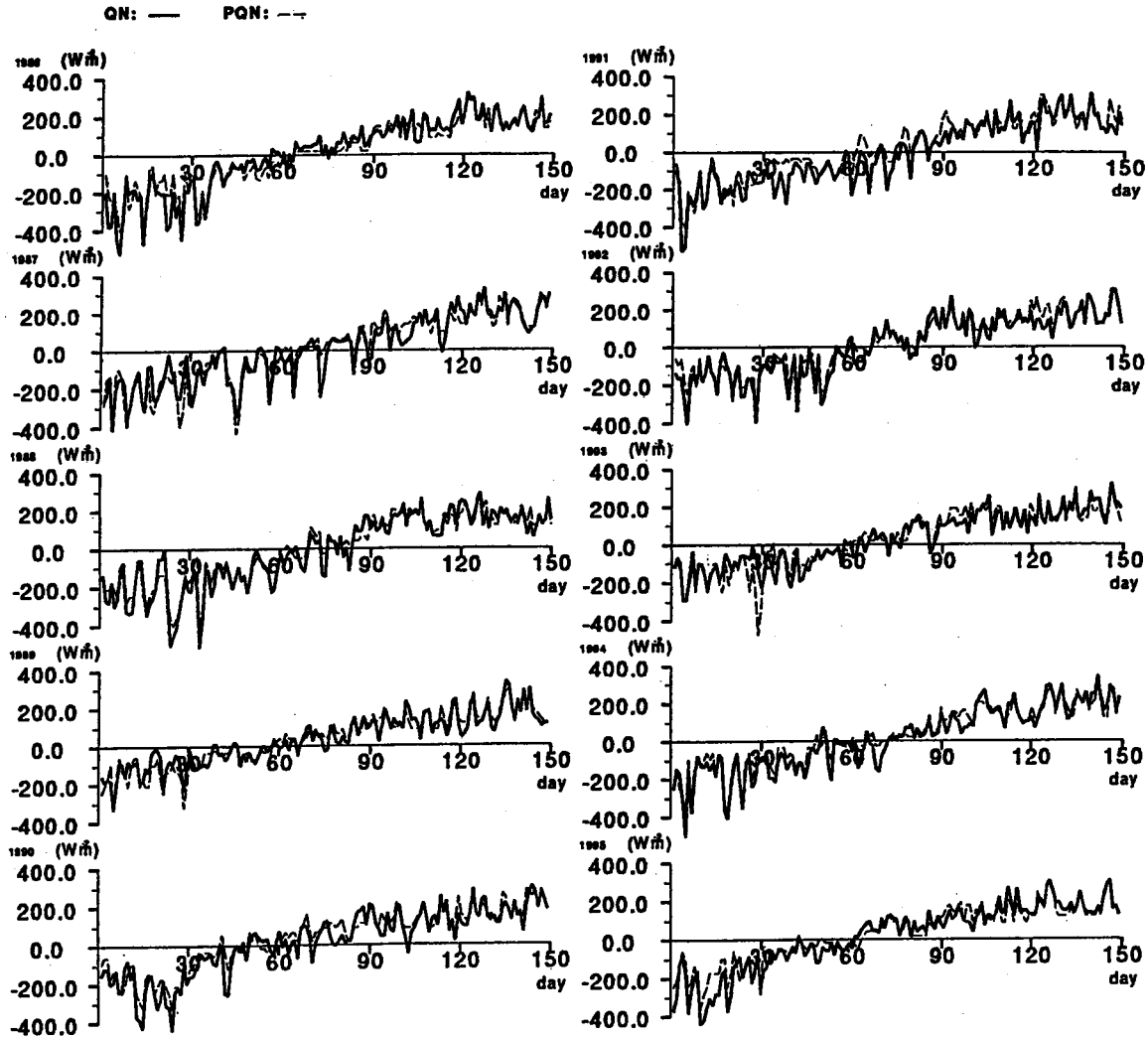


Fig. 4(b) Same as Fig. 4(a) but in 1986-1995.

水温  $T_w$ , 風速  $U$ , 雲量  $CL$  である。  $QN$  とこれらのパラメータとの相関を調べる場合、(2) と (5) 式からパラメータの組み合わせとして、  $CL$  のみ、  $T_a$  のみ、  $T_w$  のみ、  $U$  のみ、  $T_w$  と  $T_a$  の差、  $T_a$  と  $U$  の積の 5 つが考えられる。そこで、5 期間毎の  $QN$  と上記 5 つのパラメータ間の散布図を Figs. 3(a) (b) に示し、相関係数  $r$  を Table 2 にまとめた。なお、Table 2 には推測式を線形の関係式  $pQN = aX + b$  ( $X$  は任意のパラメータ) とした場合の定数値  $a, b$  の値も示してある。各期間で最も相関の高いパラメータを列挙すると、1~30日は  $U$  ( $r = -0.800$ ), 31~60日は  $T_a \cdot U$  ( $r = 0.814$ ), 61~90日は  $T_a$  ( $r = 0.736$ ), 91~120日は  $CL$  ( $r = -0.699$ ), 121~152日も  $CL$  ( $r = -0.862$ ) となる。この結果をもとに、  $QN$  の簡易計算式  $pQN$  を以下に示す。

$$1 \sim 30 \text{ 日: } pQN(\text{Wm}^{-2}) = -38U (\text{m s}^{-1}) + 17 \quad (6)$$

$$31 \sim 60 \text{ 日: } pQN(\text{Wm}^{-2}) = 5T_a(^{\circ}\text{C}) \cdot U (\text{m s}^{-1}) - 35 \quad (7)$$

$$61 \sim 90 \text{ 日: } pQN(\text{Wm}^{-2}) = 23T_a(^{\circ}\text{C}) + 19 \quad (8)$$

$$91 \sim 120 \text{ 日: } pQN(\text{Wm}^{-2}) = -13CL + 216 \quad (9)$$

$$121 \sim 152 \text{ 日: } pQN(\text{Wm}^{-2}) = -18CL + 300 \quad (10)$$

上記の  $pQN$  の推測式で再現された  $pQN$  と  $QN$  を比較するため、両時系列を重ねて Figs. 4 (a) (b) に示す。数日周期の  $QN$  変動の振幅に関しての再現性は悪いものの、その周期性はある程度再現されており、海面冷却から海面加熱へ変化する時期を予測するには十分な精度のあることがわかる。

#### おわりに

本研究で提案した予測式 (6)~(10) は、1月ころは風が強いほど海面冷却が大きく、2月に入ると単なる風速ではなく冷たい風であることが冷却には重要となり、3月は海面冷却から海面加熱に変化する時期であるが風速よりも寒暖(気温)の情報が海面加熱・冷却の指標となり、4月以降は雲が少ない天気の良い日であれば海面加熱量も多いことを示唆している。これらは海面加熱・冷却に対して我々が

漠然ともっていた感覚に近いものであり、本研究はその感覚をきちんとしたデータをもとに裏付けている。また、いずれの期間も水温との相関が低く、大気のパラメータのみで  $QN$  が予測できることも本研究で得られた一知見と考える。

最後に、本研究の結果をもとに、春季ブルームの発生時期を予報できる簡単な指標について提案しておく。「はじめに」で述べたように、2月中旬から3月(50~90日)に発生する春季ブルームの時期は海面冷却から海面加熱になる時の水柱の安定が引き金になると推測されている(Azumaya et al., 2001)。この時期の海面熱輸送量は(8)の推測式が役に立ち、この式において  $pQN=0$  とすると、 $Ta=-0.8^{\circ}\text{C}\sim-1^{\circ}\text{C}$  が得られる。すなわち、2月末から3月の期間で日平均気温が約 $-1^{\circ}\text{C}$ より低ければまだ海面冷却、約 $-1^{\circ}\text{C}$ を超え始めたときには海面加熱になっている。このように、「日平均気温が $-1^{\circ}\text{C}$ 」となる境界の時期が春

季ブルームの発生時期の目安となる。日常の情報としては天気予報で発表される翌日の最低・最高気温が役に立ち、両気温の平均値(最低気温と最高気温の中間値)を指標とすることができるであろう。噴火湾の場合、春季ブルームの主体は珪藻であり、この珪藻ブルームが発生したときには海水の色や透明度が大きく変化すると言われている。春季ブルーム時期の予測において、「日平均気温が $-1^{\circ}\text{C}$ 」という指標がどれだけ役に立つものなのかどうかは、海を毎日眺めておられる漁師の方々の判断を仰ぎたい。

#### 参 考 文 献

- Azumaya, T., Y. Isoda and S. Noriki (2001) Modeling of the spring bloom in Funka Bay, Japan. *Conti. Shelf. Res.*, **21**, 473-494.  
磯田 豊・長谷川伸彦 (1997) 噴火湾の熱収支. 海と空, **72**, 93-101.