

大槌湾における海面熱収支の経年変動

安保綾子*¹・長島秀樹*¹・根本雅生*¹・轡田邦夫*²・乙部弘隆*³

Inter-annual variation of heat budget through the sea surface in Otsuchi Bay.

Ayako ANBO*¹, Hideki NAGASHIMA*¹, Masao NEMOTO*¹, Kunio KUTSUWADA*² and
Hirotaka OTOBE*³

Abstract : We investigated inter-annual variation of heat budget through the sea surface of Otsuchi Bay by using weather and sea condition data supplied by International Coastal Research Center, the University of Tokyo and neighborhood meteorological stations, the Japan meteorological agency. The results show a clear difference in heat budget between the 80' and 90'. This difference is attributed to differences in both downward shortwave radiation and wind speed in Tohoku area.

Keywords : Otsuchi Bay, Heat budget, Downward shortwave radiation, Wind speed

1. 緒言

大槌湾は、岩手県の東部、陸中海岸のほぼ中央に位置する三陸リアス式湾の一つである。湾奥には、東京大学海洋研究所国際沿岸海洋研究センター（当時の名称は、大槌臨海研究センターで、以下センターと略す）が1973年に設立され、臨海におけるフィールド研究施設として機能している。同センターでは、1977年から稼動している海象・気象観測装置（四竈ら、1978）により風向、風速、気温などの海上気象要素のほか、湾内の1定点における海水温が4層で四半世紀以上にわたり連続観測されている。これらの資料は、旬平均値として大槌臨海研究

センター報告に収録され、沿岸に生息する生物環境をモニターする資料として利用されている。また、これらの資料は、湾内の水温変動を支配すると考えられる海面を通しての熱収支を知る上で有用である。このような観点から乙部ら（1979, 1982）は、大槌湾における海面熱収支を評価することに着手した。その後、これらの研究を踏まえ、轡田・四竈（1988）は1978年から1987年の海面熱収支の時間変化に対して考察を行った。その結果、湾内水温の季節変化は、海面を通しての熱フラックスによってほぼ説明できるが、経年変化は海面熱フラックスのみによって説明することは困難であり、湾外の水温変化に依存することを指摘している。しかし、1988年以降の水温変動や海面熱収支に関しては、旬平均値として毎年大槌臨海研究センター報告に記されているが、長期的な変動については考察されていない。

そこで本研究では、1980年から1999年のデータを使用して海面熱収支の経年変動を調べたところ、80年代90年代に大きな相違があることがわかり、この20年の変化を80年代と90年代に分けて、それぞれの年代における海面熱収支の特徴を把握し、年代間の相違を生む気象要因を明らかにすることを目的とした。また、大槌湾の海面熱収支を支配するこの気象要因について、東北地方広域の気象データに基づいて考察した。

2. 資料と計算方法

大槌湾は、南北約2 km、東西約8 km、湾口部の平均

*¹ 東京海洋大学海洋科学部 〒108-8477 東京都港区港南4-5-7

Department of Ocean Sciences, Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7 Konan, Minato-ku, Tokyo 108-8477, Japan

*² 東海大学海洋学部海洋科学科 〒424-8610 静岡県静岡市清水折戸3-20-1

School of Marine Science and Technology, Tokai University, 3-20-1 Shimizu-Orido, Shizuoka 424-8610, Japan

*³ 東京大学海洋研究所国際沿岸海洋研究センター 〒028-1102 岩手県上閉伊郡大槌町赤浜2-106-1 International Coastal Research Center, Ocean Research Institute, the University of Tokyo, 2-106-1 Akahama, Otsuchi, Iwate 028-1102, Japan

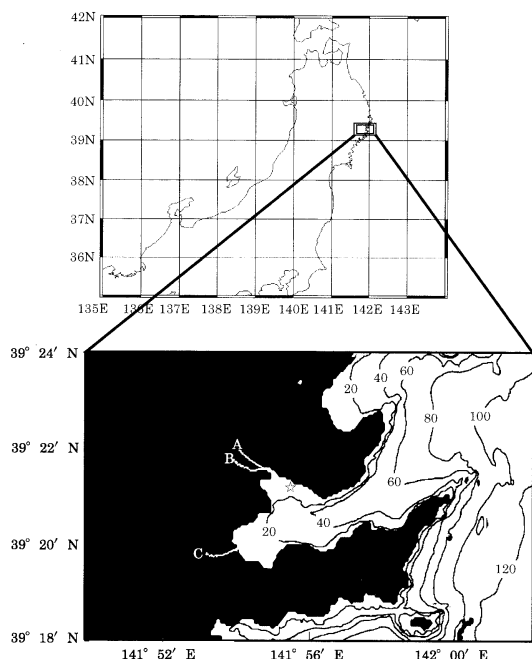


Fig. 1. Coastal and Bottom topography in Otsuchi Bay. Numerals attached to lines denote depth in meter. ☆ : Sea-condition and weather monitor station. A : Otsuchi river, B : Kotsuchi river and C : Unosumai river.

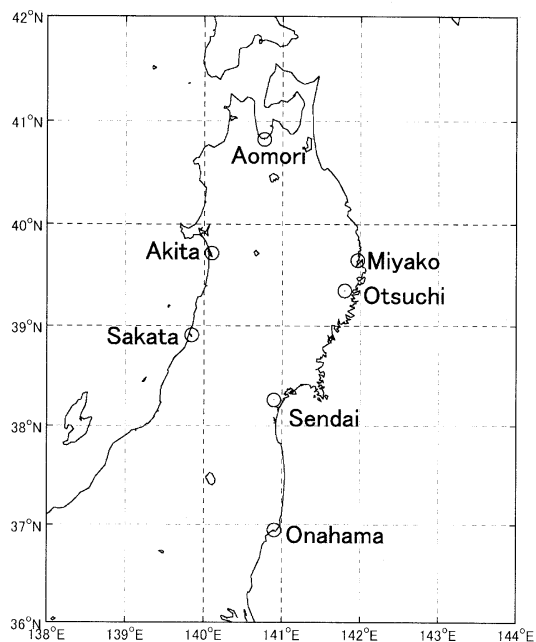


Fig. 2. Meteorological data used in this study collected by local meteorological stations at 6 cities in Tohoku area.

水深は約80mの湾である。湾軸はほぼ東西に位置し湾口部は東向きである。また、湾内には3つの河川が流入する (Fig. 1)。大槌湾の海象・気象資料は、センターが設置した海象・気象観測総合記録装置により連続的に得られている。それらの中で本研究に使用した項目は、水温 (1m深)、風速、気温、湿度、海面気圧、日射 (短波放射の下向き成分、全放射 (下向き成分) である。ただし、1990年以前の気象データは測器の故障による欠測が多い等のため、近隣の宮古と大船渡における測候所が測定したデータを用いて推定した (安保ら、投稿中)。解析にあたっては、気象庁が提供している日射量や風速データと同様に、月平均値を用いた。解析期間は、1980年から1999年までの20年間である。また、考察では、Fig. 2に示すように、臨海都市である青森市、秋田市、酒田市、宮古市、仙台市、小名浜 (いわき市) の気象データを用いた。

次に、海面熱収支の算出方法を示す。海面を通しての熱フラックスは、次のように表すことができる。

$$Q_n = Q_r + Q_e + Q_h \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Q_n は海面熱収支、 Q_r は放射フラックス、 Q_e は潜熱フラックス、 Q_h は顕熱フラックスである。各フラックスは下記の経験式を用いて求めた。

$$Q_r = (Q_{sd} - Q_{su}) + \varepsilon(Q_{ld} + Q_{lu}) \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_{su} = rQ_{sd} \dots\dots\dots (2a)$$

$$Q_{lu} = \sigma T_w^4 \dots\dots\dots (2b)$$

$$Q_e = \rho C_p C_L W (q_a - q_w) \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_h = \rho C_p C_s W (T_a - T_w) \dots\dots\dots (4)$$

計算式 (2)~(4) の各変数と定数の説明を、Table 1に示す。なお、 L 、 ρ 、 C_p 、 C_L は、それぞれ気象ハンドブック (1979)、理科年表 (1979)、Kondo (1975) を使用した。また、それぞれの熱フラックスは、大気から海洋への値を正としている。

3. 結果

1980年から1999年における放射収支 (Q_r)、潜熱 (Q_e)、顕熱 (Q_h)、海面熱収支 (Q_n) の変化をみるため、それらの月平均値の時系列をFig. 3に示す。いずれも顕著な季節変化を示している。 Q_r の経年変化は明瞭ではないが、90年代の1990、1993、1995、1996年の夏季において他の年と比較すると小さい傾向がみられる。また、 Q_r はほとんどの年に5月から6月と8月から9月にピークが2つ現れる。冬季の Q_r は年による相違は小さい。一方、 Q_e と Q_h は、冬季において経年的な変化がみられる。特に、80年代と比較して90年代の Q_e と Q_h の値は小さく、海から大気への熱輸送が増加している。

Table 1. Items for calculating equations of (2)–(4).

Symbol	Content	Value/Unit
Qsd	Downward shortwave radiation	W/m^2
Qld	Downward longwave radiation	W/m^2
Qsu	Upward shortwave radiation	W/m^2
Qlu	Upward longwave radiation	W/m^2
ρ^{*1}	Air density	1.15–1.33 kgm^{-3}
ε	Emissivity at the sea surface	0.9
r	Albedo at the sea surface	0.06
L^{*2}	Latent heat of evaporation	2.43–2.52 Jkg^{-1}
qw	Saturated specific humidity at T_w	
qa	Specific humidity	
T_w	Sea surface temperature	$^{\circ}C$
T_a	Air temperature	$^{\circ}C$
σ	Stefan-Boltzmann constant	$5.673 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$
C_p	Specific heat of air	1002.8
C_s, C_L^{*3}	Bulk transfer coefficients	

*1 ρ is computed by using Chronological Scientific Table (1979).

*2 L is computed by using Meteorological handbook (1979).

*3 C_s, C_L is computed by using Kondo (1975).

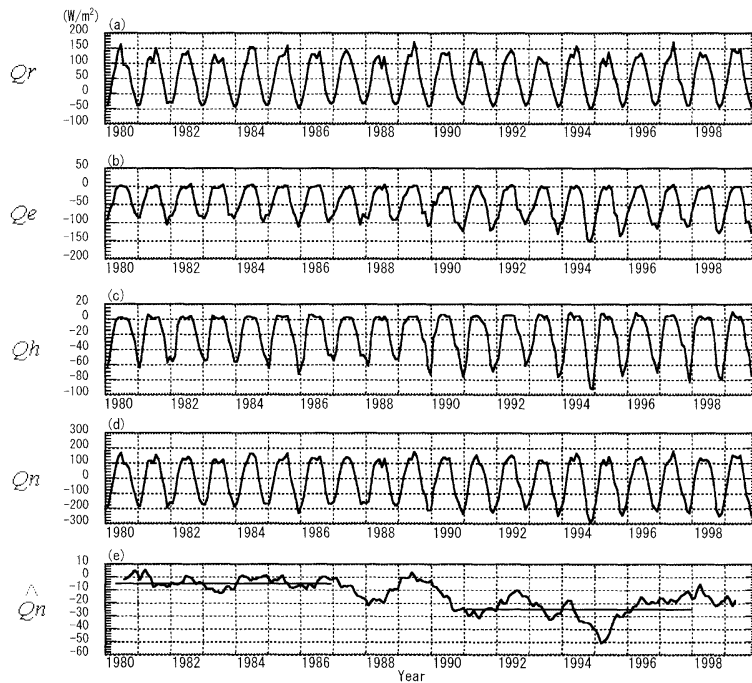


Fig. 3. Time series of heat fluxes; a) monthly mean of Q_r , b) monthly mean of Q_e , c) monthly mean of Q_h , d) monthly mean of Q_n and e) 12-month moving average of \hat{Q}_n . Two solid lines indicate the average from 1980 to 1986 and from 1991 to 1997.

Q_r, Q_e, Q_h をすべて加算した海面を通しての正味の熱収支である Q_n は、夏季における経年変動は明瞭ではないが、冬季は年とともに減少する傾向がみられる。そこで、 Q_n の経年変動を明確にするため、 Q_n の12ヶ月移動平均 \hat{Q}_n を求め、結果をFig. 3 (e) に示した。 \hat{Q}_n は全

期間を通して、 $5.3 \sim -51.1 W/m^2$ の範囲で変動しているが、数年スケールの変動を繰り返しながら80年代から90年代にかけて減少傾向にあることがわかる。この傾向を詳細にみると、1980年から1987年までは、平均値 $-4.9 W/m^2$ を中心として約 $\pm 10 W/m^2$ 以内の比較的狭

Table 2. Q_n , Q_r , Q_e and Q_h averaged over 20years between 1980 and 1999.

	Q_n	Q_r	Q_e	Q_h
20-year average* ¹	-15.3	53.1	-46.7	-21.6
80's* ²	-4.9	54.0	-39.3	-19.6
90's* ³	-25.6	52.1	-54.1	-23.6
Difference between 90's and 80's	-20.7	-1.9	-14.8	-4.0

Unit: W/m²*¹ between 1980 and 1999.*² between 1980 and 1986.*³ between 1991 and 1997.Table 3. Monthly average of Q_r , Q_e and Q_h in 80' s and 90' s, and their difference.

Q_r												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
80's	-35.3	-1.6	49.0	97.2	125.7	128.7	126.3	125.7	70.0	22.5	-20.8	-39.0
90's	-32.7	1.9	45.3	97.3	120.5	121.2	133.7	113.2	60.5	24.3	-18.1	-42.2
90's-80's	2.6	3.5	-3.7	0.1	-5.2	-7.5	7.4	-12.5	-9.5	1.8	2.7	-3.2
Q_e												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
80's	-84.0	-60.5	-33.1	-7.4	-3.1	-2.6	0.7	-0.5	-33.2	-70.7	-88.8	-88.5
90's	-109.0	-85.2	-53.8	-23.4	-6.6	-2.3	1.4	-10.4	-47.0	-80.2	-112.0	-120.8
90's-80's	-25.0	-24.7	-20.7	-16.0	-3.6	0.3	0.7	-9.9	-13.8	-9.6	-23.2	-32.3
Q_h												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
80's	-60.8	-43.7	-13.5	2.8	3.1	1.7	1.8	2.6	-7.2	-25.0	-42.9	-54.6
90's	-69.9	-51.9	-22.0	2.2	6.4	4.1	4.2	1.4	-10.1	-26.9	-50.0	-70.6
90's-80's	-9.2	-8.2	-8.5	-0.7	3.2	2.4	2.4	-1.2	-2.9	-1.9	-7.1	-16.1

Unit:W/m²

い範囲で変化している。しかし、1987年の中頃から減少傾向に転じ、1987年から1990年までは、冷却傾向がさらに強まる1991年以降の期間への移行期と考えられる。1987年1月から1990年12月の間に約20 W/m²の減少を示す。この減少は、1986年以前にはみられない大きいものである。1991年以降においては変動を示すものの常に負の値を示し、平均値は-25.6 W/m²となっている。この期間における Q_n は、最大でも-10.1 W/m²である。

また、1994年から1995年にかけて冬季には Q_n が低下し、海面から冷やされる傾向が顕著にみられた。これは北西からの卓越季節風の強化に起因する潜熱、顕熱フラックスの増加によると考えられる(乙部ら, 1995)。このことはまた、Fig. 3 (b) と (c) で Q_e と Q_h の冬季における値が小さいことに対応している。また、夏季(1995年6月)については、Fig. 3にもみられるように、 Q_r が平年に比べ小さいことによるが、これはこの時期雨天の日が多く、日射量が例年より低下したためである(乙部ら, 1996)。

この Q_n の急激な低下の後、 Q_n は1995年の冬季に向って増大する。1997年以降の Q_n は、90年代初期の変化よ

りは、それほど大きな変動ではなく比較的安定している。このように1990年以降において Q_n は変動を示すもの、平均的には1980年から1986年の Q_n に比べ小さな値をとっている。

以上のように、1987年から1990年を移行期として考えると、それ以前と以降では Q_n の値に大きな相違がみられる。そこで、この相違に着目し、以後便宜的に1980年から1986年までの期間を80年代、1991年から1997年までの期間を90年代として呼ぶことにした。

80年代と90年代における各熱フラックスの平均値($\overline{Q_n}$, $\overline{Q_r}$, $\overline{Q_e}$, $\overline{Q_h}$)を、Table 2に示す。これより、 $\overline{Q_n}$ は、80年代では-4.9 W/m²、90年代では-25.6 W/m²で、両年代の間には20.7 W/m²もの差がある。この差は、大槌湾の晴天時における冬季の日中短波放射の25%に相当する。このように、大槌湾は平均的にみると海面から冷やされる傾向にあるが、90年代では80年代よりさらに冷やされる傾向が強まっていることがわかる。各熱フラックスをみると、90年代の放射収支($\overline{Q_r}$)、潜熱フラックス($\overline{Q_e}$)、顕熱フラックス($\overline{Q_h}$)は80年代と比べそれぞれ1.9 W/m²、14.8 W/m²、4.0 W/m²低く

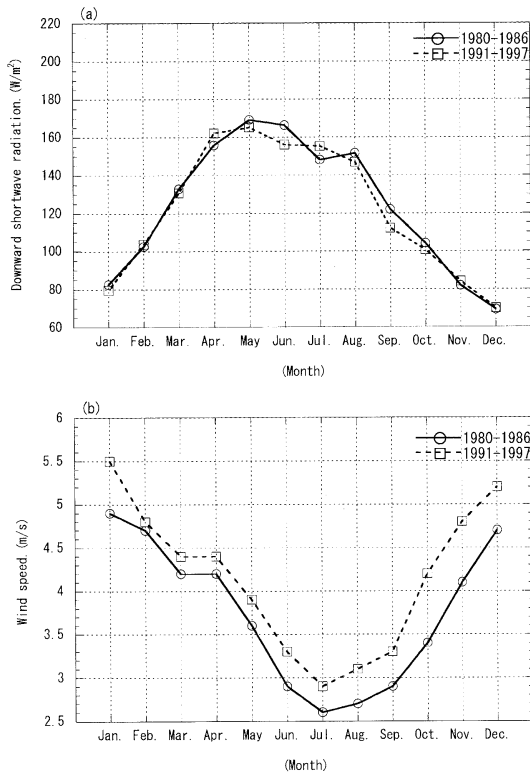


Fig. 4. Seasonal variation of downward shortwave radiation (a) and wind speed (b), observed in 80's (circle) and 90's (square).

なっており、中でも $\overline{Q_e}$ は最も大きな差がみられる。そこで、このような各熱フラックスの相違を詳細に調べるために、それぞれの熱フラックスの月平均値を求め、結果をTable 3に示した。これによると、 $\overline{Q_r}$ は3, 5, 6, 8, 9, 12月において、90年代の方が80年代に比べて小さくなっていた。その中で、特に6, 8, 9月が顕著であり、それぞれ年代間で $7.5 W/m^2$, $12.5 W/m^2$, $9.5 W/m^2$ の差があった。最も大きな差がみられたのは8月である。一方、1, 2, 4, 7, 10, 11月においては、他の月と反対に日射量は90年代の方が大きい。しかし、7月の $7.4 W/m^2$ を除いて全般的にその差は小さく $3.5 W/m^2$ 以下となっている。一方、 $\overline{Q_e}$ は6, 7月を除く全ての月で90年代の方が80年代より小さい、特に11月~3月の冬季において年代間の差が大きく、12月に最大値 $32.3 W/m^2$ を示す。また、 $\overline{Q_h}$ は、 $\overline{Q_e}$ とほぼ同様な季節的な変化を示していた。以上のように、80年代と90年代の $\overline{Q_r}$, $\overline{Q_e}$, $\overline{Q_h}$ には差があるが、その差は季節によって異なる。

そこで、これらの差が生じる原因を明らかにするため、各気象要素の中で Q_r に大きな影響を及ぼす(2)式の Q_{sd} , および Q_e , Q_h に大きな影響を及ぼす(3), (4)式の W に関して月別に検討した。Fig. 4は、大槌湾に

おける日射量と風速の年代別の月平均値の推移を示したものである。Fig. 4に示した日射量をみると、90年代は80年代に比べ5, 6月と8, 9月に値が低く、その中でも6月における年代間の差は $10.1 W/m^2$ と最も大きかった。これとは逆に7月は $7.1 W/m^2$ と90年代の日射量の方が80年代より大きかった。これらの結果は、前述したように90年代の Q_r が80年代より、5, 6, 8, 9月において小さいことと一致する。さらに、90年代の日射量が80年代より大きいことは、90年代の Q_r が80年代に比べ7月において大きいこととも一致する(Table 3)。したがって、日射量の年代間での相違が Q_r の年代間の相違を引き起こしていることがわかる。

次に、Fig. 4に示した風速をみると、年間を通して常に90年代の方が強く、10月~1月の年代間の差はそれぞれ0.6, 0.8, 0.7, 0.6 m/s であった。90年代の風速が全ての月で80年代と比べ大きいことは、90年代の Q_e と Q_h がほぼ全ての月で80年代と比べ小さいことの要因となっていることがわかる(Table 3)。また、90年代の風速が80年代と比べ、特に10月~1月において大きいことは、前述した冬季の90年代の $\overline{Q_e}$ が80年代と比べ小さいことの要因である。したがって、風速における年代間の相違が Q_e と Q_h の年代間の相違を引き起こしていることがわかる。

4. 考察

1980年~1999年において、大槌湾は、平均的にみると海面から冷やされていることを述べた。この冷やされる傾向を経年的にみると、80年代より90年代において強まり、その結果、1987年~1990年を移行期としてそれ以前と以後では大きな相違が生じている。この明瞭な相違は、日射量と風速の相違に起因していた。

そこで、大槌湾でみられた日射量と風速の80年代と90年代における相違が、東北地方でどの程度広範囲にみられるかを調べた。Fig. 5に、それぞれの期間における月平均日射量を示す。左側に日本海側の都市を、右側に太平洋側の都市を表示している。全ての都市において、6月から7月に極小がみられ、これは梅雨と密接な関係があることを示している。Fig. 5から、80年代と比べ90年代において日射量が少ない時期は、仙台市、小名浜では5月、他の都市では6月、また、青森市、宮古市、仙台市では9月にも日射量が減少する傾向がみられた。特に、6月にはTable 4に示した全ての都市において日射量が減少している。Sato and Takahashi (2001)は、近年、全国的に夏季の日照時間が減少していると指摘しており、その原因として日本周辺の寒帯気団の強化を挙げている。このことは、大槌湾および東北地方における90年代夏季の日射量が80年代と比べて少ないことを裏付けている。

次に、大槌湾の80年代と90年代における風速の相違が、東北地方でどの程度広範囲にみられるかを調べた。Fig.

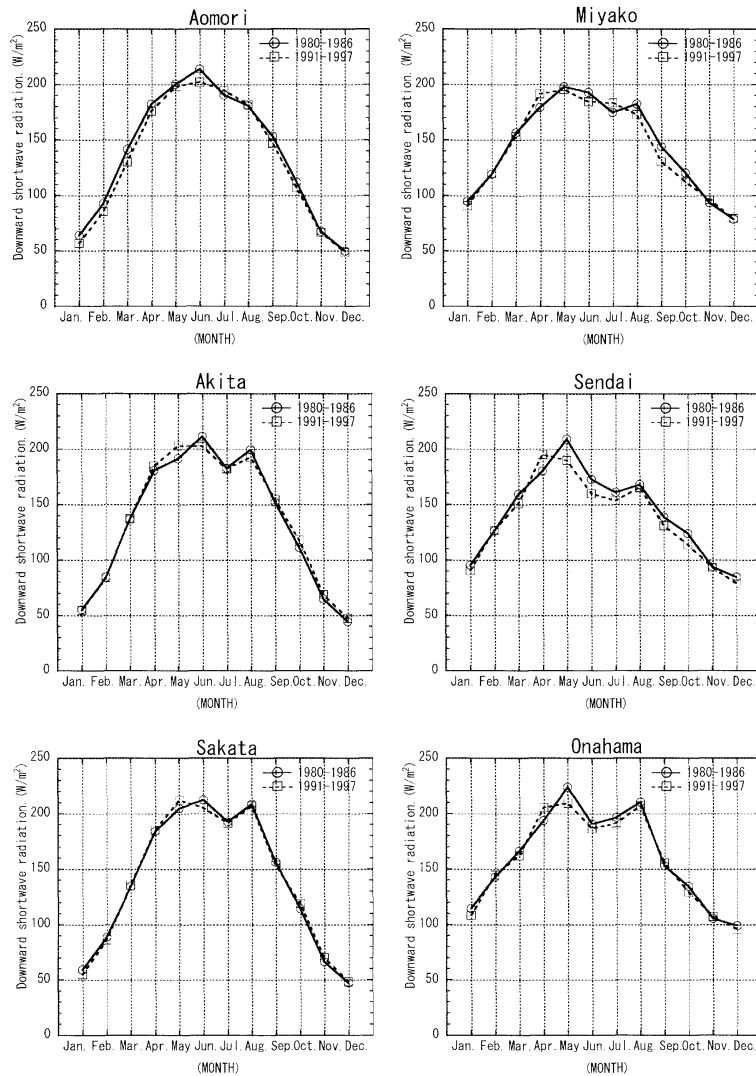


Fig. 5. Comparison of monthly shortwave radiation averaged over a period between 1980 and 1986 (circle) with those between 1991 and 1997 (square) in 6 cities.

6は、それぞれの期間における月平均風速を表している。月平均風速は、冬季から春季にかけ最も強くなり夏季に最も弱くなる。また、小名浜、秋田市、酒田市を除いて、いずれの月においても90年代は80年代に比べ風速が強くなっていることがわかった。Table 4に各都市における各月平均風速の90年代と80年代の差を示す。これによると、青森市、宮古市、仙台市、大槌湾では冬季から春季にかけて、秋田市、酒田市は、夏季において、風速が80年代と比べると90年代において強くなっていた。近隣の宮古市、仙台市は、年代間で比較すると1月から2月に相違が顕著で90年代では80年代と比べ、両市ともに平均0.9 m/s強くなっていた。さらに、6つの都市の90年代

の風速から80年代の風速を差し引いた年平均値は、青森市が0.8 m/s、秋田市が0.4 m/s、酒田市が0.3 m/s、宮古市が0.6 m/s、仙台市が0.5 m/s、小名浜が0.1 m/sである。このように、東北地方ほぼ全域において90年代は80年代に比べ程度の差はあるものの風速が強くなっていることがわかる。

杉本・吉田(2002)は、北太平洋冬季における風応力場を調べ、亜寒帯循環と亜熱帯循環の境界にあたるcurl $\tau = 0$ となる緯度帯が、1980年代前半には36°N付近であったのに対して、1990年代には38°N付近に移動していると指摘している。このことは、90年代には、強風帯が大槌湾の位置する39°Nにより近づいたことを意味す

Table 4. Difference of monthly mean of downward shortwave radiation and wind speed between 90's and 80's.

Downward shortwave radiation

	Aomori	Miyako	Sendai	Onahama	Sakata	Akita	Otsuchi
Jan.	-7.2	-3.9	-4.7	-6.4	-4.1	-0.8	-3.0
Feb.	-7.2	0.9	0.5	2.1	-2.4	-0.2	1.1
Mar.	-11.5	-3.3	-8.3	-4.2	1.2	0.3	-2.1
Apr.	-6.3	12.4	14.9	11.7	1.2	3.9	6.2
May	-2.2	-2.7	-19.1	-14.6	7.5	11.6	-4.0
Jun.	-11.6	-8.5	-12.8	-4.1	-7.2	-8.9	-10.1
Jul.	4.2	8.6	-7.4	-5.0	-1.3	-0.6	7.1
Aug.	1.1	-9.6	-2.6	-3.6	-1.8	-6.8	-4.7
Sep.	-6.3	-13.6	-7.8	2.7	-2.8	2.6	-9.8
Oct.	-5.2	-8.0	-10.1	-5.1	4.8	6.8	-3.5
Nov.	-0.8	2.7	-0.7	1.8	3.9	4.0	2.3
Dec.	-1.2	0.4	-5.9	-3.2	0.9	3.1	0.7

Unit: W/m²

Wind speed

	Aomori	Miyako	Sendai	Onahama	Sakata	Akita	Otsuchi
Jan.	0.7	0.8	0.8	0.1	-0.3	-0.4	0.6
Feb.	0.9	1.0	0.9	0.2	0.3	0.2	0.1
Mar.	1.0	0.5	0.4	0.2	0.5	0.3	0.2
Apr.	1.1	0.7	0.8	0.2	0.7	0.6	0.2
May	0.6	0.7	0.6	0.2	0.5	0.4	0.3
Jun.	0.8	0.4	0.4	0.1	0.6	0.4	0.4
Jul.	0.9	0.4	0.3	0.0	0.9	0.6	0.3
Aug.	0.7	0.4	0.2	-0.1	0.8	0.6	0.4
Sep.	0.8	0.4	0.4	0.2	0.8	0.7	0.4
Oct.	0.6	0.4	0.1	0.0	0.1	0.1	0.8
Nov.	0.9	0.7	0.4	0.2	0.3	0.3	0.7
Dec.	0.9	0.3	0.3	0.0	0.3	0.4	0.5

Unit: m/s

る。このため、90年代には大槌湾での風速が強まったものと考えられる。このような傾向は、大槌湾だけのローカルな現象ではなく、東北地方広域にみられる (Fig. 4, 6)。

以上をまとめると、1980年から1999年における大槌湾海面熱収支を調べた結果、海面熱フラックスは総じて海より大気への向きであり、海面を通して大槌湾は冷やされていることがわかった。また、90年代は、80年代と比べその傾向が強くなり、年代間の差は20.7 W/m²に達する。これは、90年代における夏季の日射量の減少、冬季における風速の増大が原因であることがわかった。

謝辞

本研究は、東京大学海洋研究所国際沿岸海洋研究センターとの共同研究として行われた。研究を行うにあたり、貴重な資料を提供いただき、数々のご協力を賜りました同センターの皆様へ深く感謝いたします。また、本論文に対して有益なコメントをいただいた査読者の方々に心より感謝いたします。なお、本研究は平成16、17年度科学研究費補助金の援助を受けた。

文献

- 安保綾子・長島秀樹・根本雅生・乙部弘隆：大槌湾で連続観測された海象・気象データの特性とその利用。東京大学海洋研究所国際沿岸海洋研究センター研究報告，投稿中。
- 朝倉 正・関口理郎・新田 尚 (1979)：気象ハンドブック。朝倉書店，東京，661pp。
- KONDO, J. (1975)：Air-sea bulk transfer coefficients in diabatic conditions. *Boundary-Layer Meteorol.*, 9, 91-112.
- 響田邦夫・四竈信行 (1988)：大槌湾における海面熱収支の変動特性。東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター報告，14, 47-53。
- 文部省国立天文台 (編) (1979)：理科年表。丸善，東京，437pp。
- 乙部弘隆・四竈信行・中井俊介・平 啓介・服部明彦 (1979)：大槌湾における熱収支の研究のための予備観測。東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター報告，5, 1-7。
- 乙部弘隆・四竈信行・中井俊介・平 啓介・服部明彦

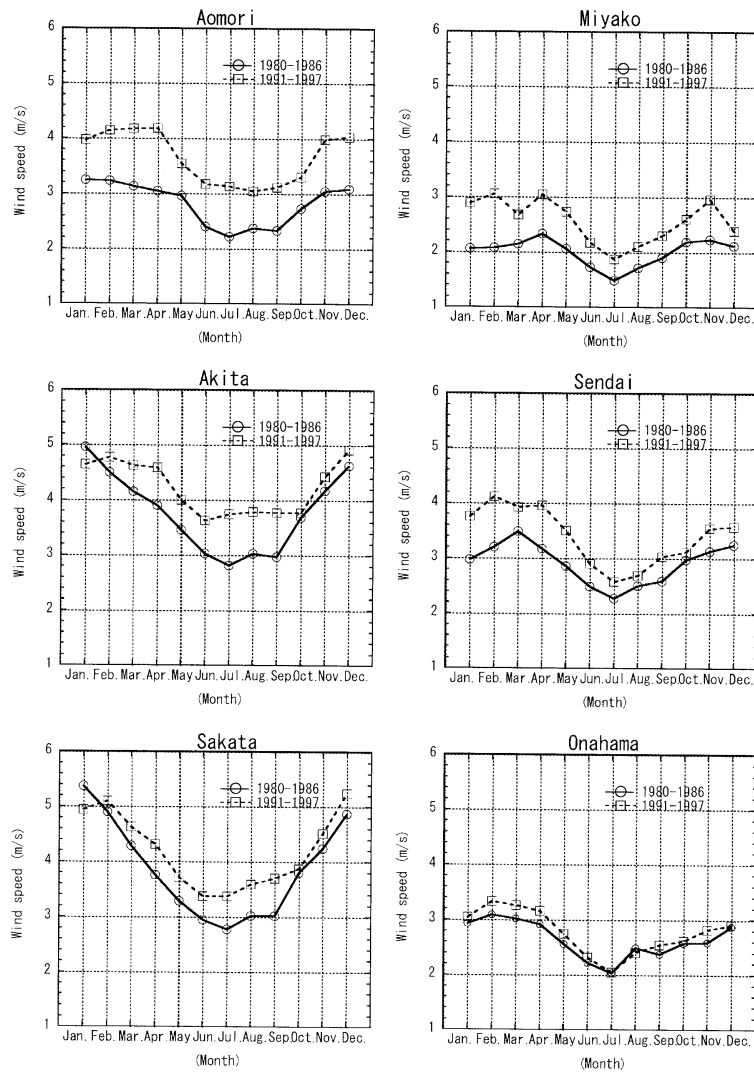


Fig. 6. Comparison of monthly wind speed averaged over a period between 1980 and 1986 (circle) with those between 1991 and 1997 (square) at 6 cities.

(1982)：大槌湾における熱収支の研究のための予備観測－Ⅲ．東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター報告，8，77-82.

乙部弘隆・佐々木千昭・盛田孝一・川村 忠・平野健一 (1995)：海象・気象観測結果 (1994年版)．東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター報告，20，91-106.

乙部弘隆・加賀美美・佐々木千昭・盛田孝一・平野健一・佐渡欣也・川村 忠 (1996)：海象・気象観測結果 (1995年版)．東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター報告，21，93-109.

SATO, N. and M. TAKAHASHI (2001)：Long-term

Variations of the Baiu Frontal Zone and Mid summer Weather in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, 79 (3), 759-770.

四竈信行・川村 忠・藤井繁幸 (1978)：海象・気象総合記憶装置について．大槌臨海研究センター報告，4，80.

杉本悟史・吉田 隆 (2002)：表面水温の長期変動，SAGE第1分科会講演要旨，SAGE，つくば，茨城.

2005年10月13日受付

2005年12月4日受理