

新潟市関屋浜における気温, 海水温の季節変化

著者	阿部 邦昭
雑誌名	日本歯科大学紀要. 一般教育系
巻	36
ページ	15-22
発行年	2007-03-20
URL	http://doi.org/10.14983/00000624

新潟市関屋浜における気温、海水温の季節変化

Seasonal variations of air and sea-water temperatures observed at Sekiyahama in Niigata city

日本歯科大学新潟短期大学 阿部邦昭

Kuniaki ABE

Niigata Junior College, Nippon Dental University

(2005年11月24日受理)

Abstract

Air and sea surface temperatures were simultaneously measured at Sekiyahama beach, Niigata city, Japan on the period from 2004 to 2005. The measurements were carried out at about 10:00 am in time interval of one week. The time series were smoothed through the moving averages. Applying sine curves to the smoothed temperatures in two years, we obtained amplitude and phase lag to radiation intensity curve from the minimum standard deviations. For air temperature 11.0°C and 44 days were obtained as the amplitude and the phase lag. For sea-water temperature 9.3°C and 54 days were obtained as the amplitude and the phase lag. The best fit curves show that sea-water temperature exceeds air temperature from the first decade of November to the second decade of February.

Key Words : Seasonal variation, Air and sea-water temperature, Sekiyahama

序論

大気中の二酸化炭素量の増加で地球の温暖化が注目されている。これは年間平均気温の上昇としてばらつきを含んで徐々に現れている (J. Houghton, 2002)。その効果はより明瞭に海水温に現れてくる事が期待される。海水の比熱は $3.93 \times 10^3 \text{JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$ (17°C) であるのに対し大気の定圧比熱は $1.01 \times 10^3 \text{JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$ (20°C) であり、海水の比熱は大気のそれより約4倍大きい。このため海水温は気温に比べてより温度の変動が小さく安定しており、温暖化の指標として有効である。

新潟市は日本海に面しており、市内に広い砂浜をもっていて容易に海水温を測定できる。日本海は縁海で外海と浅い海で隔てられ、閉鎖性が強く、深部には日本海固有水の名前で呼ばれる低温で溶存酸素量の多い海水が存在することが知られている (たとえば Senjyu et al., 2005)。にもかかわらず北太平洋の主要な海流である黒潮の分流、対馬海流、が表層を北流し、緯度の割りに夏は暑く、冬も暖かい。一方、冬の季節風は暖流の対馬海流から水分の補給を受けて、海岸に強く吹き付ける。これは脊梁山脈に衝突して上昇し、上空の寒気と出会って大量の降雪をもたらすことが知られている。

海水温が大気温に比べ変動の幅が小さいといっても、海流の影響があるのでどこでも同じということにはならない。局地性が現れるはずである。局地性を把握した上で地球的な変

化が見えてくると考えることができる。そのためには長期間の測定が必要となる。

方法

新潟市の関屋浜は信濃川の河口から約4 km北西に位置し、関屋分水の河口から300 m北東の砂浜である (図1)。ここで2004年1月1日から2005年12月31日まで2年間、週1回の割合で、気温と海水温の同時測定を行った。中には欠測や、間隔が短い場合も含んでいる。また測定時刻は一定ではなくばらつきがあるが、大部分は午前9時から11時の間で、平均して10時頃になる。測定に用いた温度計は登山用の小型のアルコール温度計、水温計は水槽の温度測定に開発されたデジタル水温計である。気温は地表から約1 m上の日陰の温度である。海水は直径6 cm、深さ4.5 cmのプラスチック容器に長さ1.5 mのひもをつけて渚から海に投げつけて汲み上げ、その温度を測定して測定値とした。従ってこの温度は海水表面温度に相当するものである。

結果

表1と図2に測定結果を示す。これを見ると春から夏にかけての気温の上昇する時期に気温のばらつきが大きく、気温と海水温の差も大きい。秋から冬にかけての下降する時期には気温のばらつきが小さくその差も小さい事がわかる。年

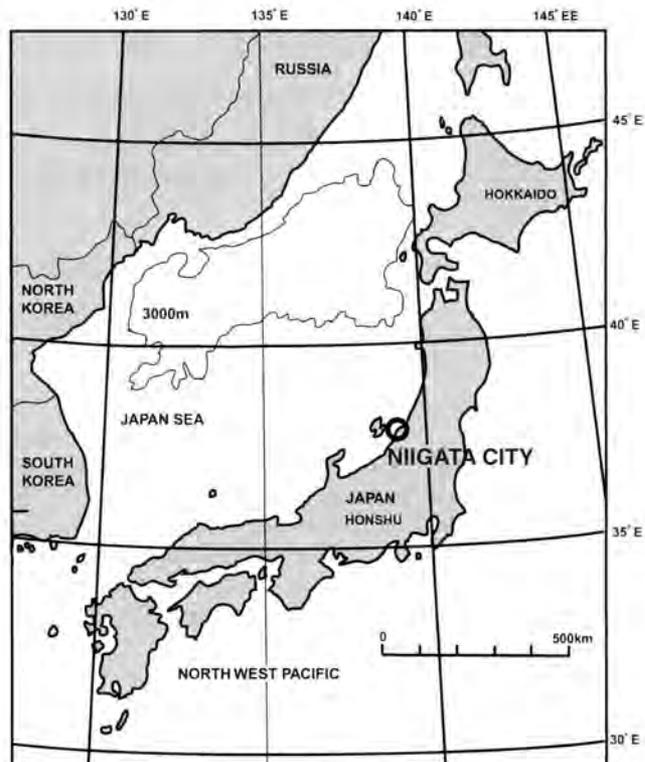


Fig.1 Measuring point at Sekiya Hama (solid circle in left figure) and Niigata city (open circle in right one).

間の平均値を求めると2004年は気温が 18.2°C 、海水温が 16.7°C に対し、2005年は気温が 17.2°C 、海水温が 15.7°C で両方とも2005年が 1°C 低かった。図2の結果に対して両隣の7点を使って移動平均を施し、滑らかにしたものが図3である。平滑化した温度曲線をもとにして気温、海水温の年較差を求めると、それぞれ 22.6°C 、 18.5°C (2004年)、 23.1°C 、 18.6°C (2005年)になる。2005年は平均気温、海水温ともに2004年より下がっているにもかかわらず、年較差は両方で大きくなっている。このことは2005年が気温は低かったが変動はより激しかった事を示している。気温の年較差の差は 0.5°C の増加であるのに対し、海水温のそれは 0.1°C の増加にとどまり、海水温は変動が小さい事を改めて示したものになっている。気温と海水温の差の季節変化をみると11月初旬から2月初旬の間は海水温が気温を上回ることがわかる。このことは海水から大気に熱の移動が起こっている事を示し、海が冬の寒さを和らげている証拠となる。

季節変化のモデル

気温、海水温の季節による変化は太陽輻射の強度が季節によって変化することによって発生する。そしてその太陽の輻射強度の変化は地球の自転軸が公転軸と 23.5° の傾きをなしている事が原因で生じる (図4の(a))。今、赤道上で太陽が南中するときの天頂角を α とすると α は春分の日に 0° 、夏

至に 23.5° 、秋分の日に 0° 、冬至に -23.5° と 365 日 (正確には 365.2422 日)を周期として変化する (図4の(c))。一方、ある地点の地表が受け取る太陽輻射の強度 I' は入射強度 I と太陽高度 δ の \sin の積に比例すると考えられるので、太陽の高度を δ 、太陽輻射の入射強度を I として

$$I' = IL/L' = I \sin \delta$$

の関係がある。ここで L 、 L' は入射面、受光面の内の1辺の長さを表す (図4の(b))。 I を年間を通して一定とすれば I' は $\sin \delta$ の関数になる。今緯度 ϕ の地点でこれを考えると、太陽の南中時の δ は先の α との関係から

$$\delta = 90 - \phi + \alpha$$

となる。新潟市の緯度を 38° とすると新潟市での太陽高度は

$$\delta = 52 + \alpha$$

となり、 δ は α とともに 52° ずれた値で年周変化する事になる (図4の(d))。この関係は太陽が南中する前の午前10時を基準にとってもその周期には変わりがない。気温、海水温とも地表での太陽輻射 I' と同じ一年周期で変化すると考え

temperature °C

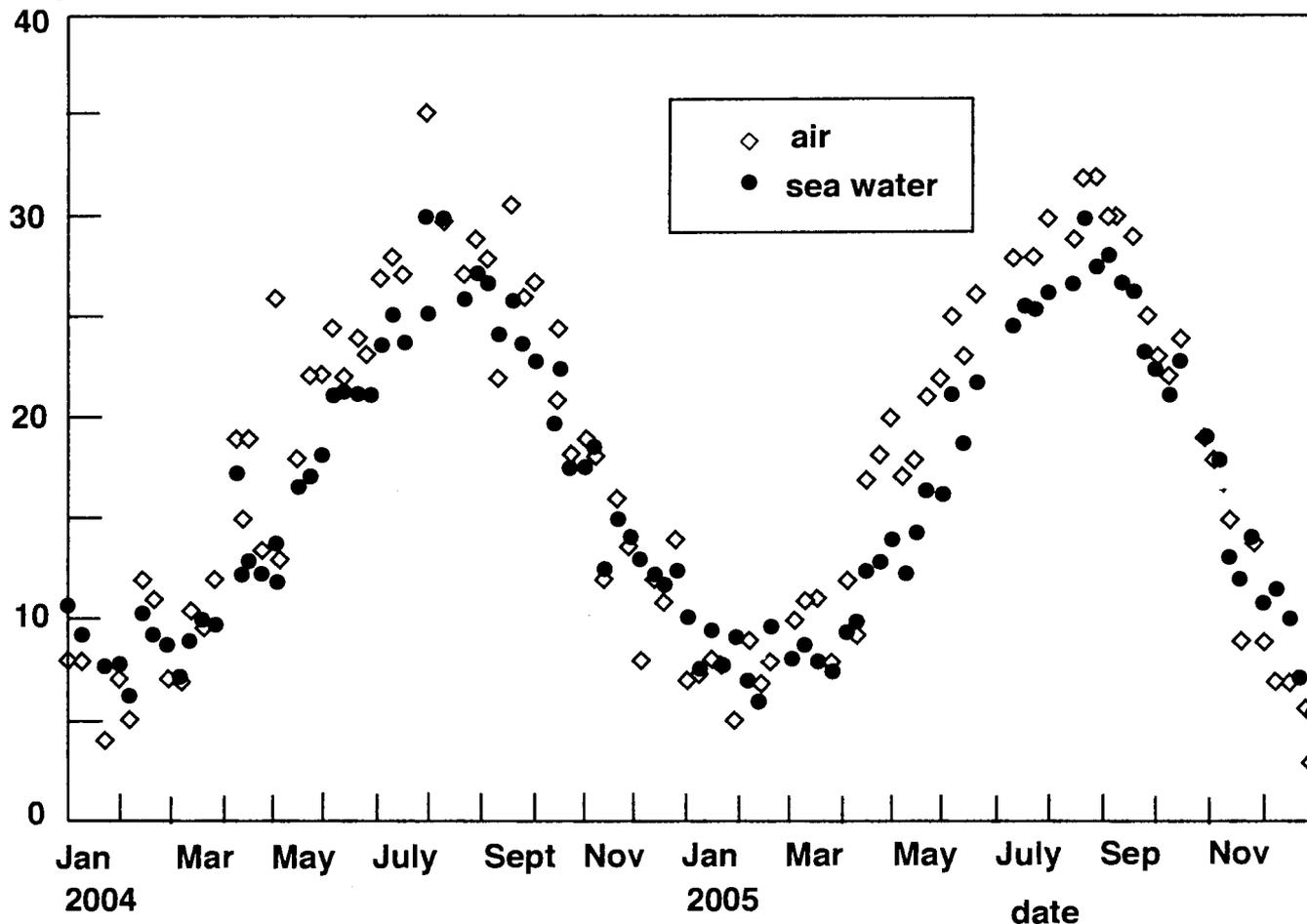


Fig.2 Observed temperatures for air (open diamond) and sea-water (solid circle).

られるので、その年周変化を春分の日を原点としてそこから経過した日を x 、温度を y として周期 365 日、平均値 y_{ave} で変動するとする。変動振幅を a (°C)、位相のずれを b (日) とすると温度は

$$y = a \sin\left(\frac{2\pi(x-b)}{365}\right) + y_{ave}$$

で表わされる。

これを平滑化した、気温、海水温のグラフに当てはめ、標準偏差が最小になるように、気温と海水温についてそれぞれの a 、 b を決めた。図 5 は横軸に b 、縦軸に a をとった等標準偏差値のグラフである。これより最適の曲線として標準偏差が最小になる a 、 b として大気、海水に対してそれぞれ $a=11.0^{\circ}\text{C}$ 、 $b=43.5$ 日及び $a=9.3^{\circ}\text{C}$ 、 $b=54.3$ 日が得られるので

$$y = 11.0 \sin\left(\frac{2\pi(x-43.5)}{365}\right) + 17.8$$

$$y = 9.3 \sin\left(\frac{2\pi(x-54.3)}{365}\right) + 16.3$$

が最適曲線になる。これらの式で近似した場合の標準偏差値は気温に対して 1.1°C 、海水温に対して 1.0°C になる。振幅 a の 2 倍が 2 年間の平均年較差にあたり、位相のずれ b は同じく 2 年間の平均での応答の遅れの日数を表す。これを図にして、観測結果に重ねたのが図 6、図 7 である。これで見ると気温は最高 29.4°C から最低 7.4°C まで変化するが、その変化は太陽高度に対して 44 日遅れている事を示す。また海水温は最高 26.1°C から最低 7.5°C まで変化するが、その変化は春分の日を 0° とする太陽高度に対して 54 日遅れている事を示す。従って、最高気温や最低気温が夏至または冬至から気温で 44 日、海水温で 54 日遅れて現れている事になる。

議論

生データにおいて気温と海水温の差を天気と関連づけると

Table 1. Measuring conditions.

date	local time	weather	air temp	sea water temp	date	local time	weather	air temp	sea water temp
2004.1.1	15:20	hare	8	10.7	2005.1.1	10:26	hare	7	10.1
2004.1.10	11:02	kumori	8	9.1	2005.1.8	10:37	kumori	7	7.5
2004.1.24	9:57	kumori	4	7.7	2005.1.15	10:36	hare	8	9.5
2004.1.31	10:07	kumori	7.5	7.7	2005.1.22	10:00	kumori	8	7.7
2004.2.7	12:35	kumori	5	6.1	2005.1.29	9:10	hare	5	9.1
2004.2.14	10:37	hare	12	10.3	2005.2.5	9:58	kumori	9	6.9
2004.2.21	9:47	hare	11	9.3	2005.2.12	9:35	kumori	6.7	5.9
2004.2.28	9:21	kumori	7	8.7	2005.2.19	10:28	kumori	8	9.7
2004.3.6	13:41	kumori	7	7	2005.3.5	6:52	yuki	10	8.2
2004.3.13	9:30	hare	10.5	8.9	2005.3.12	10:07	kosame	11	8.8
2004.3.20	10:50	kumori	9.5	10.1	2005.3.19	10:16	hare	11	7.9
2004.3.27	10:01	hare	12	9.7	2005.3.26	9:20	kumori	8	7.5
2004.4.10	9:22	hare	19	17.1	2005.4.5	8:25	hare	12	9.3
2004.4.13	8:20	kumori	15	12.3	2005.4.9	6:55	kumori	9	9.5
2004.4.17	11:27	kumori	19	12.9	2005.4.16	9:17	hare	17	12.3
2004.4.24	9:21	kumori	13.5	12.3	2005.4.24	11:15	hare	18	12.9
2004.5.2	15:18	hare	26	13.9	2005.4.30	9:07	hare	20	13.9
2004.5.3	5:45	hare	13	11.9	2005.5.7	9:37	kosame	17	12.3
2004.5.15	9:03	hare	18	16.6	2005.5.14	9:53	hare	18	14.3
2004.5.22	11:06	kumori	22	17	2005.5.21	9:22	hare	21	16.3
2004.5.29	9:52	kosame	22.2	18.1	2005.5.28	8:39	hare	22	16.3
2004.6.5	7:23	hare	24.5	21.1	2005.6.4	9:38	kumori	25	21.1
2004.6.12	10:37	hare	22	21.3	2005.6.11	9:50	kumori	23	18.7
2004.6.19	6:07	kumori	24	21.2	2005.6.18	9:50	hare	26	21.7
2004.6.26	7:21	kumori	23	21.1	2005.7.9	8:43	hare	28	24.7
2004.7.3	9:49	hare	27	23.6	2005.7.16	10:10	kumori	28	25.6
2004.7.10	6:13	hare	28	25.1	2005.7.23	9:23	hare	28	25.5
2004.7.17	10:23	ame	27	23.6	2005.7.30	9:23	hare	30	26.1
2004.7.29	12:14	hare	35.1	29.9	2005.8.13	9:23	kumori	29	26.7
2004.7.31	9:38	hare	35.2	25.1	2005.8.20	10:10	hare	32	29.9
2004.8.8	10:32	hare	30	29.8	2005.8.27	10:05	hare	32	27.5
2004.8.21	10:32	hare	27	25.9	2005.9.3	9:45	kumori	30	28.1
2004.8.28	9:43	hare	29	27.1	2005.9.10	9:55	kumori	30	26.7
2004.9.3	10:52	hare	28	26.7	2005.9.17	11:40	hare	29	26.3
2004.9.11	9:30	kumori	22	24.1	2005.9.24	10:25	kumori	25	23.3
2004.9.18	10:23	hare	30.7	25.9	2005.10.1	10:50	ame	23	22.5
2004.9.25	9:14	kumori	25.9	23.7	2005.10.8	10:21	ame	22	21.1
2004.10.2	9:37	kumori	26.7	22.8	2005.10.15	13:11	kumori	24	22.9
2004.10.13	8:20	kumori	20.5	19.7	2005.10.29	10:23	kumori	19	18.9
2004.10.16	13:50	hare	24.4	22.3	2005.11.5	9:50	hare	18	17.9
2004.10.23	9:44	kumori	18.1	17.4	2005.11.12	6:32	ame	15	13
2004.11.1	8:30	kumori	18.9	17.5	2005.11.19	11:21	kumori	9	12
2004.11.6	10:35	hare	18	18.5	2005.11.26	10:43	hare	14	14.1
2004.11.13	8:21	kumori	12	12.3	2005.12.3	10:17	kumori	9	10.9
2004.11.20	9:45	kumori	16	14.9	2005.12.10	10:56	kumori	7	11.5
2004.11.27	10:47	ame	13.5	14.1	2005.12.17	10:10	kumori	7	10
2004.12.4	7:06	hare	8	13	2005.12.24	9:54	hare	6	7
2004.12.11	10:32	kumori	12	12.3	2005.12.31	7:10	kumori	3	5.3
2004.12.18	13:32	kumori	11	11.8					
2004.12.25	13:08	hare	14	12.3					

average temperature °C

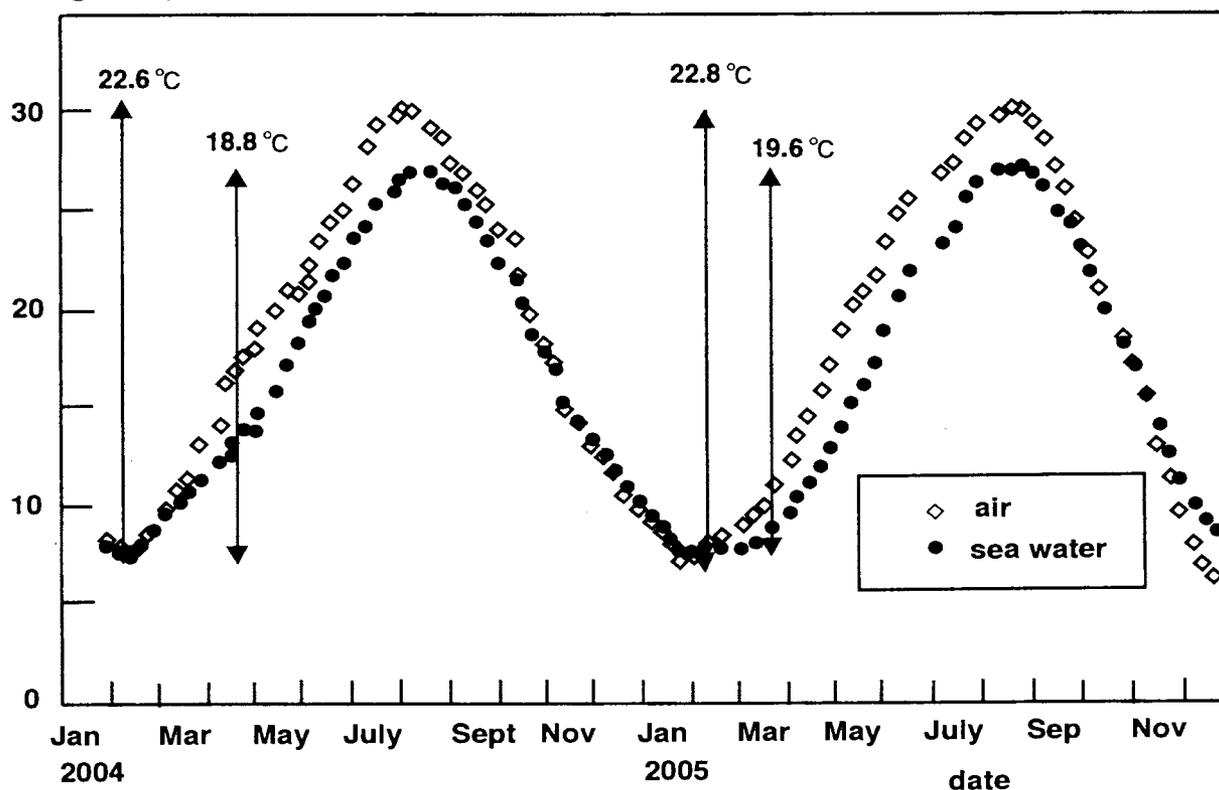


Fig.3 Moving averages of observed temperatures for air (open diamond) and sea-water (solid circle).

その差は晴れの日が最も大きく、次いで曇り、雨及び雪の日は最も差が小さい傾向にある。これを図8に示す。これは晴れの日には太陽の輻射で比熱の小さい大地が急速に昇温し、その熱が速やかに大気に伝わったためである。大地を構成する代表的な岩石の花崗岩の比熱は $0.80\text{--}0.84 \times 10^3 \text{JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$ (理科年表, 2005年版) で大気のそれより小さく熱くなりやすいことと、伝導や対流で熱が大地から直接的に大気に伝わるメカニズムが存在する事 (例えば小倉, 1987) はこの根拠になる。晴天時には短波長の太陽輻射が大地を暖め、対流や伝導によって熱が大地から大気に速やかに伝えられているのである。一方、曇りや雨の日は短波長の太陽輻射が雲で遮られて輻射が大地に届かず、大地の温度は上がらない。そのため、大地と海との間の温度差が小さい。雨の場合は湿度が高いため大地からの蒸発が抑制され、相変化に伴う熱の移動がないことも気温と海水温の差を小さくする要因となりさらに差が小さくなっている。

関屋浜は海水浴場である。海水浴に適する海水温は子供で 25°C 以上とされている (例えば森田, 2004)。これをここで測定した海水温に当てはめると7月17日から9月11日までの57日間という事になる。従って約2ヶ月間は海水浴に適

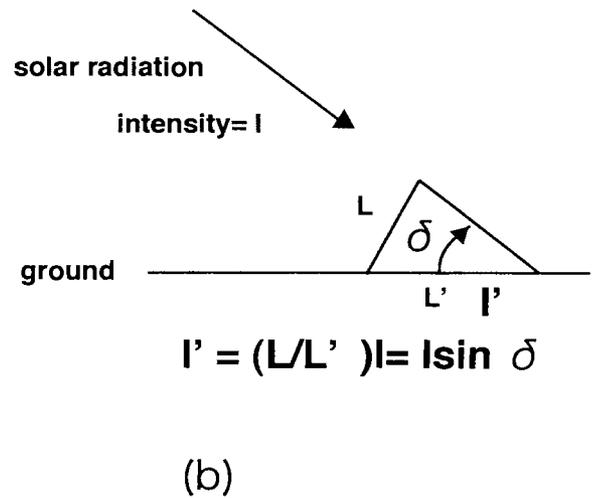
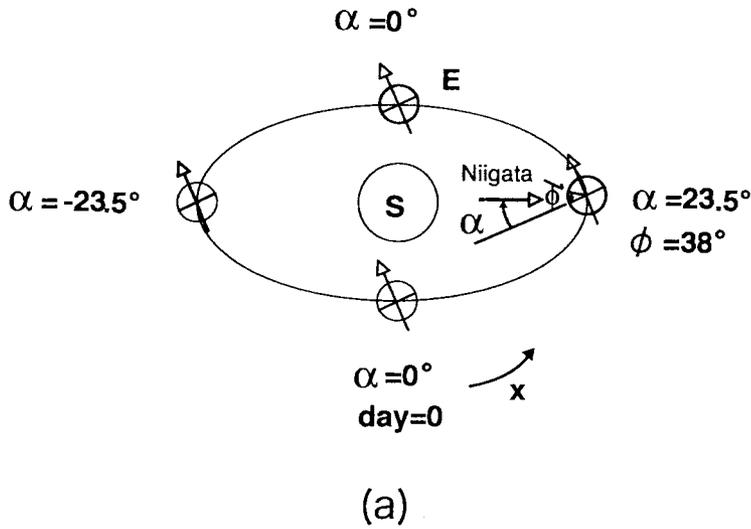
する環境といえる。

まとめ

2003年から2004年まで2年間関屋浜で気温と海水温を測定した。得られた温度に3月21日を原点とする正弦曲線を当てはめて、気温に対して、平均 17.8°C 、振幅 11.0°C 、位相差44日を得た。また海水温に対しては、平均 16.3°C 、振幅 9.3°C 、位相差54日を得た。海水温は気温に比べ年較差で 3.4°C 低い値になっている。曲線の振幅、及び応答の遅れには大気と海水の比熱の差が反映している。

参考文献

- 森田, <http://www.tbs.co.jp/morita/19990910w.html>, 2004
 小倉, 一般気象学, 東京大学出版会, 1987
 Senjyu, T., Y. Isoda, T. Aramaki, S. Otosaka, S. Fujio, D. Yanagimoto, T. Suzuki, K. Kuma and K. Mori, Benthic front and the Yamato Basin Bottom Water in the Japan Sea, *J. Oceanogr.*, 61, 1047-1058, 2005.
 Sir J. Houghton, An Overview of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and Its Process of Science Assessment, 2002
 / http://www.rsc.org/images/is017001_tcm18-27378.pdf



$$\delta = 90 - \phi + \alpha$$

$$= 90 - 38 + \alpha \text{ at Niigata}$$

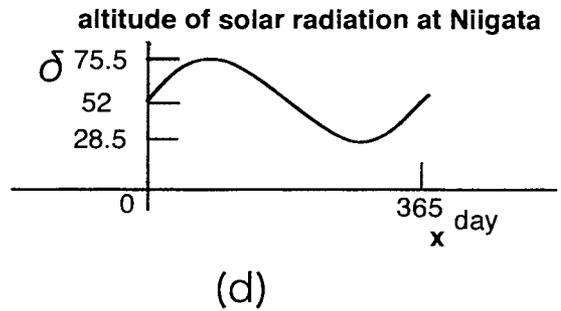
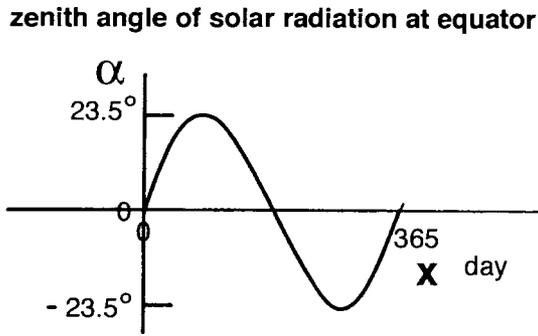


Fig.4 (a): Relative position of the earth (E) to the sun (S). (b): Receiving radiation intensity per unit area (I'). (c): Annular variation in a zenith angle of sun α . (d): Annular variation in an altitude of sun δ .

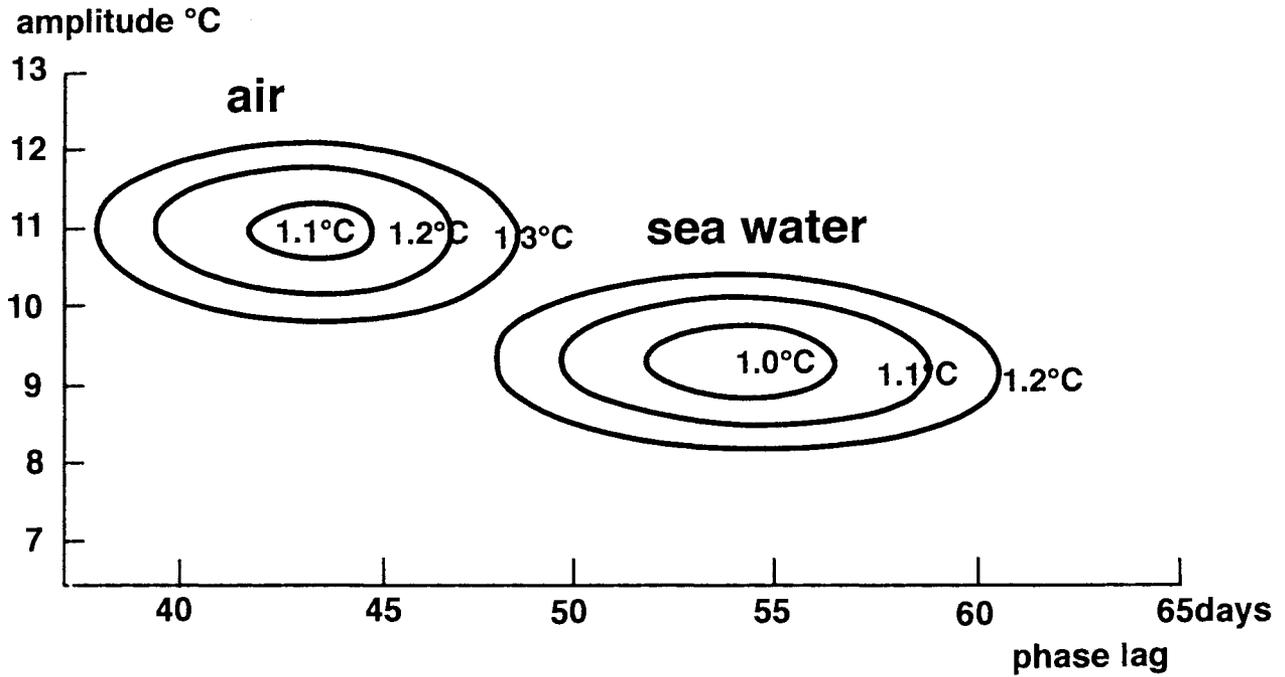


Fig.5 Diagrams of equi-standard deviations for air temperature and sea-water temperature.

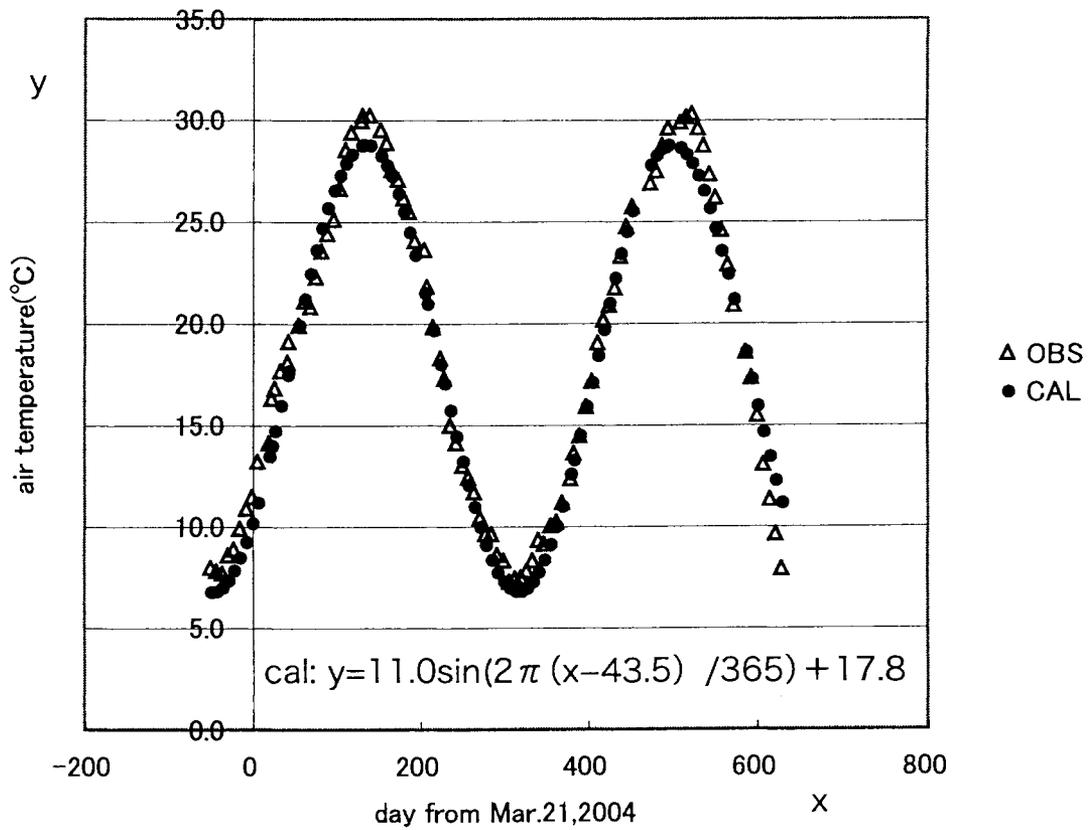


Fig.6 Smoothed observation curve (open triangle) and the best fit curve (solid circle) for air temperatures. The formula is shown in the bottom.

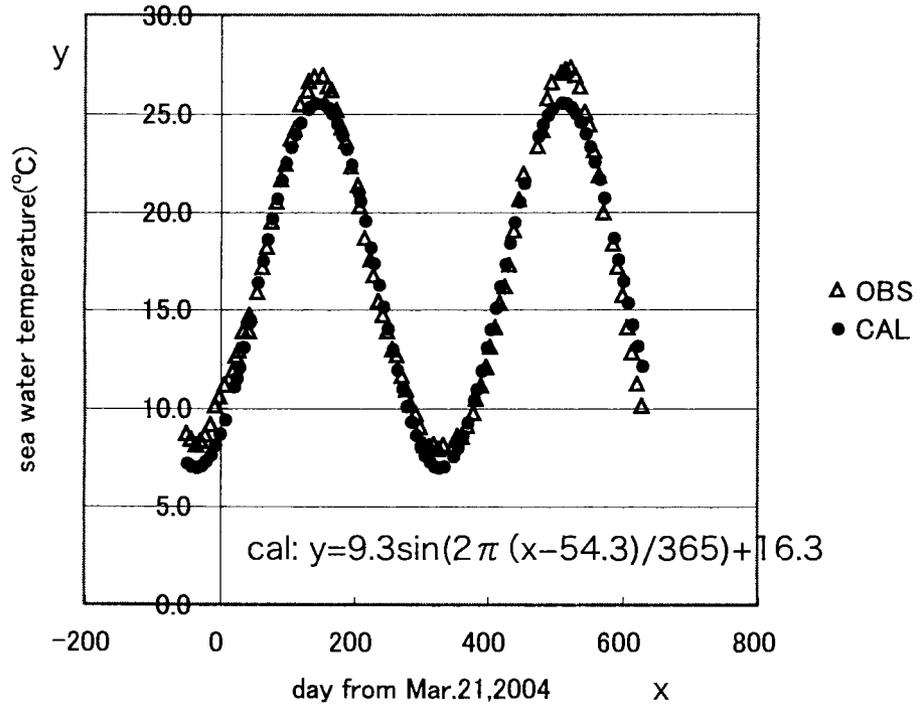


Fig.7 Smoothed observation curve (open triangle) and the best fit curve (solid circle) for sea-water temperatures. The formula is shown in the bottom.

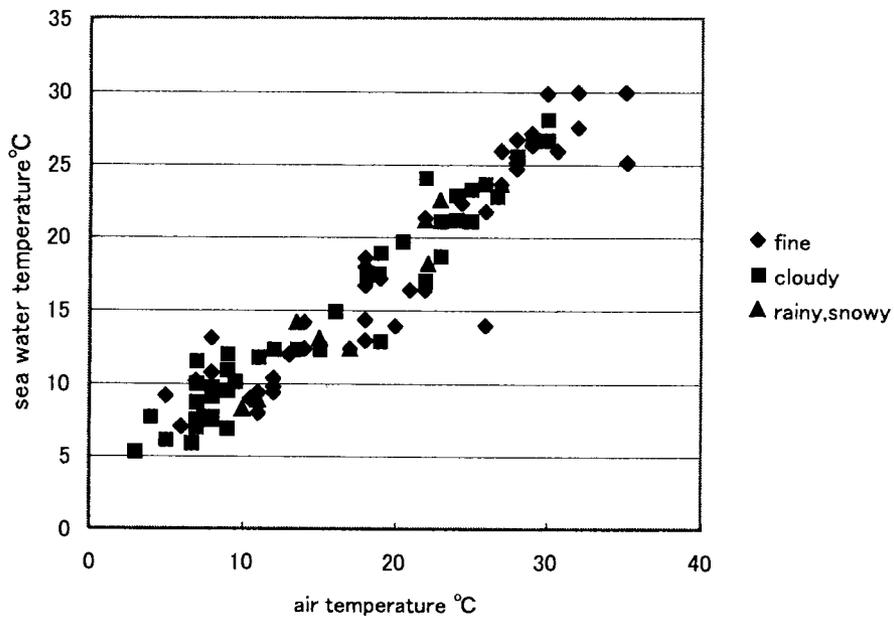


Fig.8 Correlation relation between air temperature and sea-water temperature. Weather condition is shown with diamond (fine), rectangle (cloudy) and triangle (rainy and snowy).