HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	湖沼が周辺の気温に及ぼす冷却効果について : 洞爺湖を例として
Author(s)	板垣, 昭彦
Citation	環境科学 : 北海道大学大学院環境科学研究科紀要, 3(2), 185-197
Issue Date	1980-12-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/37105
Type	departmental bulletin paper
File Information	3(2)_185-197.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

環境科学（北海道大学）	3 (2)	185～197	1980・9月

湖沼が周辺の気温に及ぼす冷却効果について

―― 洞爺湖を例として ――

板垣昭彦
北海道大学大学院環境科学研究科環境基礎学研究室

On the Cooling Effect of the Lake on Surrounding Air Temperature in the Vicinity of Lake Toya

Akihiko Itagaki
Laboratory of Fundamental Research, Division of Environmental Structure, Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, Sapporo

はじめに

地表状態はその地域の気候を決定する重要な条件の一つであり，湖沼周辺の様な境界地帯においては，表面温度，粗度等の違いにより，特徴的な気候が形成される。北米の五大湖付近では，湖の影響が降雪現象にまで及ぶことが報告され (Jiusto and Kaplan, 1972; Strommen and Harman, 1978)，その予報に関する研究も始められている (Dewey, 1975)。

しかし，我国に存在する湖沼はその表面積が小さく，上記の様に降水現象にまで影響が及ぶとは考えられないが，人造湖が霧の発生を助長するとの報告もあり (Rodhe, 1973; Vogel and Huff, 1975)，今後の研究が待たれる問題である。

一方，気温について言えば，湖沼の存在は周辺地域の気温特性を決定する一因子になることは十分に予想される。一例として，Takahashi *et al.* (1978) は，冬の洞爺湖岸における気温分布観測から湖による昇温効果について述べている。今後，開発行為に伴う地表状態の改変――例えば人工湖の形成――はますます激しくなると予想され，それによる環境の変化を予め把握しておくことは極めて重要である。

そこで，湖沼が周辺の気温を低下させる現象を定量的に把握することを目的とし，北海道南西部に位置する洞爺湖を対象に，1978年の春に気温観測を実施した。

調査地域の概要

調査地である洞爺湖は北海道後志火山地帯に生じたカルデラ湖で，その輪郭はほぼ円形で東西長約 11 km，南北長約 9 km を有し，湖面面積は中央にある中島を除き，約 69.6 km^2 である (元田ら, 1971)。Fig. 2 に示す様に周囲は台地又は山で囲まれ，その比高は大部分が 200 m 以上である。

湖周辺の気温は Fig. 3 に示す通りで，海洋性の気候を示す室蘭に比べ，気温日較差の大きさが2倍近く

1979年12月1日受理
Received Dec. 1, 1979

もあり，これは，より内陸にある留寿都に近い値である (Fig. 1 参照)。

また，北海道としては温暖な気候下に位置するため，冬期においても湖水温は 4°C 前後を保っている。

観 測 方 法

湖が周辺の気温に及ぼす影響は，水温と気温の差に最も大きく左右されるため，湖による冷却効果は，日中の気温が水温に比べて最も高い時期に現われると予想される。そこで，水温と気温の差が最も大きい期間に当る 1978年の 4月 27日より，5月 10日にかけて観測を実施した。

(i) 観測地点及び観測項目

洞爺湖の北北西岸に位置する噴地区から，湖岸線にほぼ直角に内陸へ向かって 6 カ所の観測地点を設け (Fig. 4, ①～⑥ 地点)，①，②，④，⑥ 地点では地上 6, 3, 1.5 m の気温を自記させた。また，観測期間中は，各観測点を車で周回し，以下の項目について観測を行なった。

(1) 日最高最低気温 (前日の午前観測時刻から当日の午前観測時刻間に現れたもの)

(2) 現 在 気 温

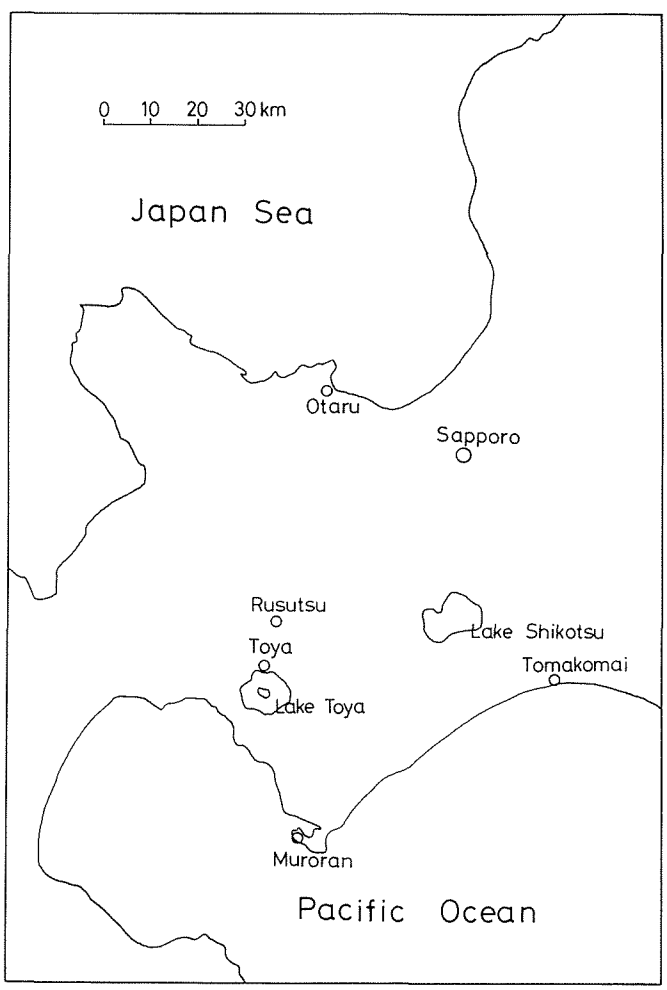

Fig. 1. Location of Lake Toya.

(3) 風向，風速

(4) 天　　候

さらに，洞爺村の桟橋 (Fig. 4, ⑦ 地点) において，バケツ採水による水温の測定も行なった。

また，地上付近の一般風を連続記録するため，成香地区 (Fig. 4, ⑧ 地点) に自記風向風速計を設置した。

Fig. 5 に曙地区の湖岸から北西側に向かってとった観測地域の概略断面図を示す。各観測点の湖岸との高度差及び水平距離は，Table 1 の通りである。

(ii) 観測機器

日最高最低気温の測定には，ルサフォード型最高最低温度計を使用し，日射除け付の木製の支柱に取り付けた。

現在気温は，アスマン通風乾湿計を用いて測定し，自記記録計の確認に使用した。

風向，風速の観測には，中浅式風向風速計を使用し，100 秒平均の風向，風速を求めた。

気温の連続測定には，①，④，⑥ 地点については銅—コンスタンタン熱電対を，② 地点については白金抵抗温度計を使用した。なお，日射の影響を防ぐためのシェルターとして，表面を白色塗装した硬質塩化ビニール管を使用した。

記録計としては，① 地点では基準接点機能を持つデジタル温度記録計，YODAC-8 を使用し，10 分間隔で気温を記録させた。② 地点では電子式小型記録計，CHINO ES 200-06 BK を使用し，連続記録させた。

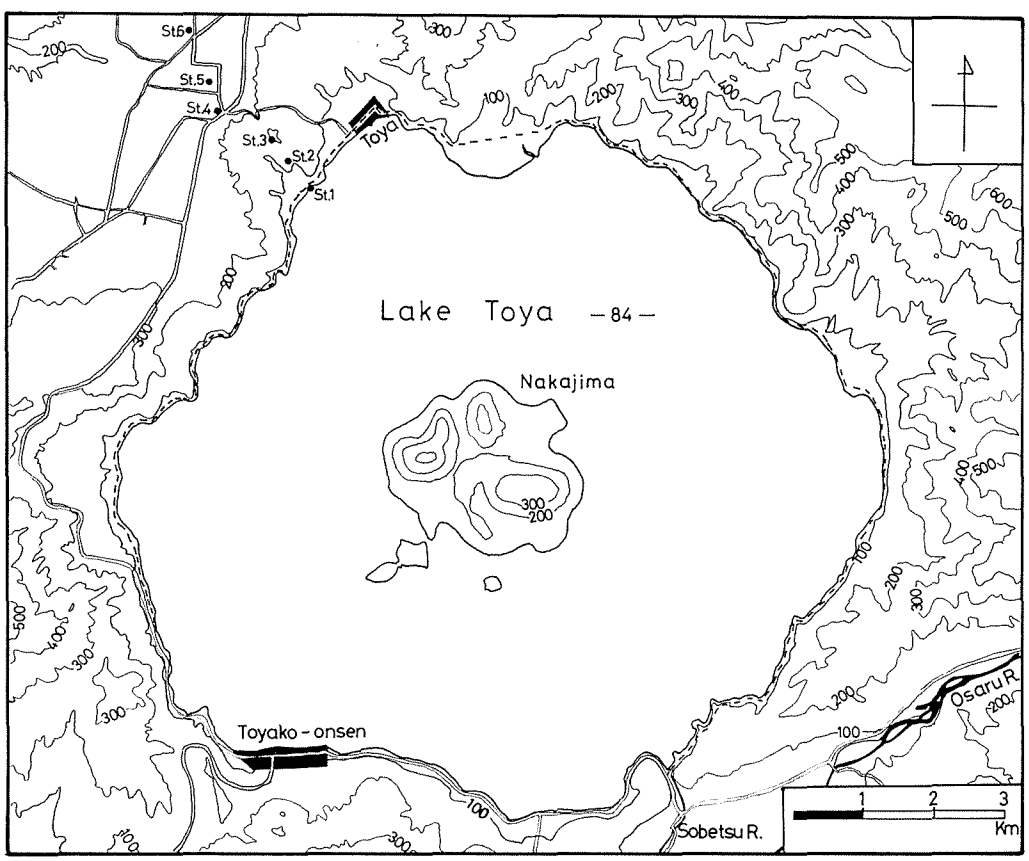

Fig. 2. Station locations and topography of Lake Toya (Heights in meter).

④, ⑥ 地点では，日変化の少ないと思われる地中温度を基準温度とし，気温と地中温度の差によって生じる起電力を電子管式平衡記録計に連続記録させた。そして，基準となる地中温度の測定を，やはり銅—コンスタンタン熱電対により，観測期間中3回行なった。その間の地中温度は補間法より求め，最終的にはアスマン通風乾湿計で測定した現在気温を参考に補正を行なった。なお，使用熱電対のそれぞれについて観測終了後，検定を行ない，温度—起電力の関係をを求めた。

結　　果

観測期間中の平均水温は5.7°C (4.1～9.9°C) であり，Fig. 6 に見られる様に内陸の日中気温との差は10～15°C に達した。ここで，特徴的な数日について各自記観測点の地上1.5 m の気温推移を示すと Fig. 7～Fig. 11 の様になる。

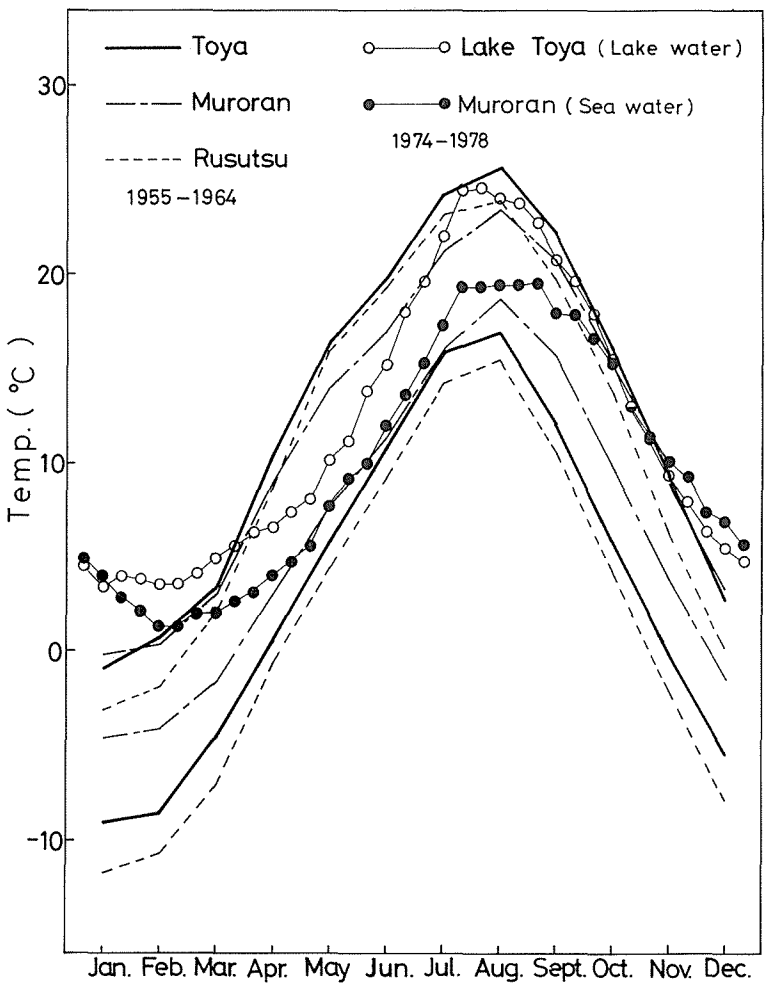

Fig. 3. Annual change of air and water temperature of Lake Toya and neighbouring region.

Air temperature: Average of daily maximum temperature and average of daily minimum temperature.

Water temperature: Average of that measured at about 1000 JST.

(i) 5月1日 (Fig. 7)

4月29日以来，洞爺湖周辺は曇天が続き，当日も午前中は曇り時々小雨，午後からは雷を伴った本格的な雨となった。成香地区での風向は南東風が卓越しており，観測地点での風向もほぼ一致していた。

気温推移で特徴的なことは，終日，湖岸の方が内陸に比べ低温であったことが挙げられる。特に9時から10時にかけて，他の観測地点が著しく昇温しているのに対し，湖岸では気温があまり上昇せず，その差が大きくなっている。

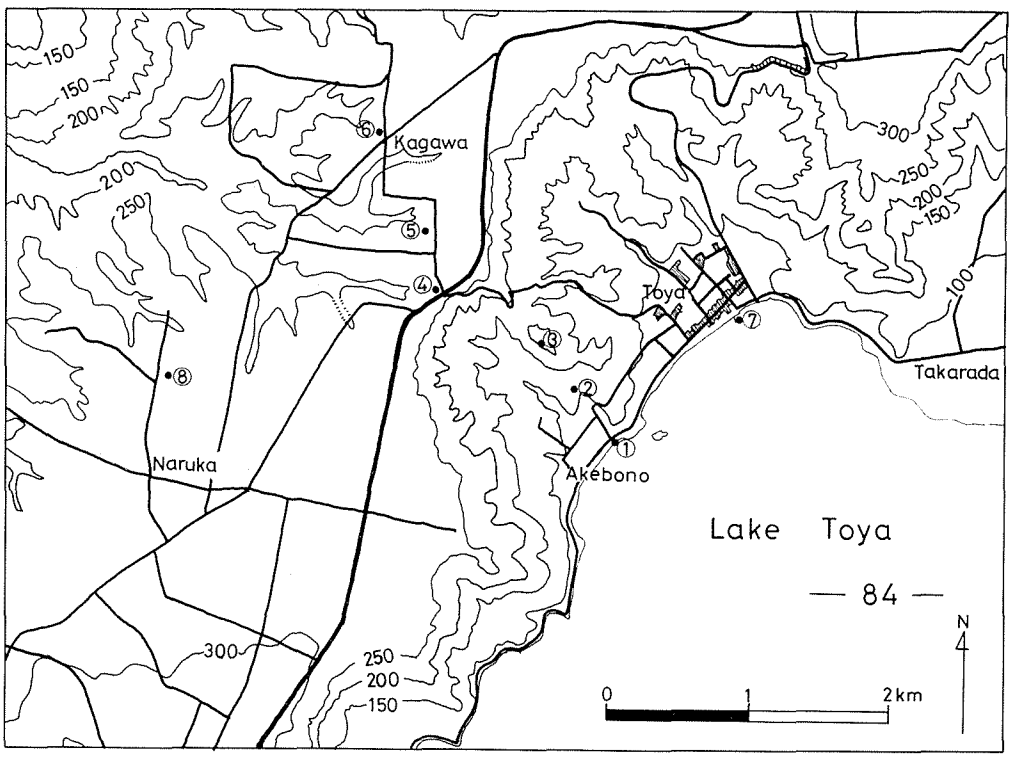

Fig. 4. Location of observation stations (Heights in meter).

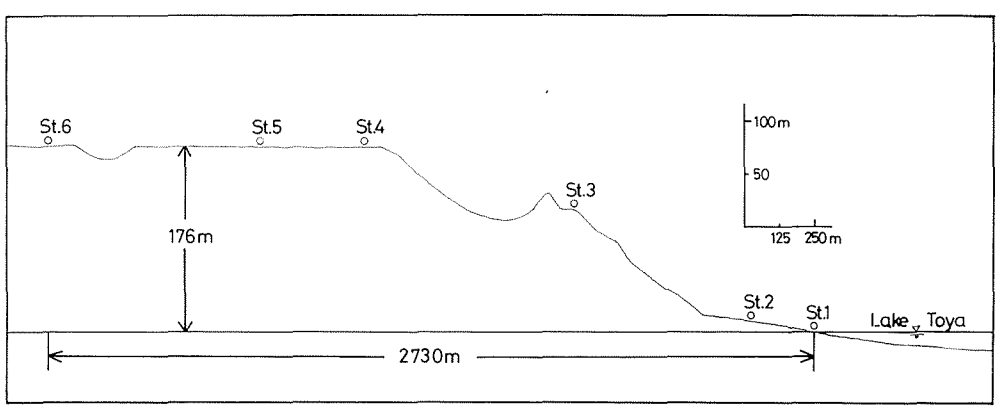

Fig. 5. Cross section of observation site.

(ii) **5月2日** (Fig. 8)

前日の雨が明け方に上がり，早朝は濃霧が発生し，視程が約100 mまで落ちた。その霧が9時頃に消え，天気はしだいに回復し，午後からは快晴となり気温も上昇した。午前中は殆んど無風に近く，午後からは北寄りの風が高台で6 m/s前後，カルデラ壁内で2 m/s前後吹いていた。

気温推移の特徴としては，

(1) 5月1日と同様，湖岸の気温上昇が他の地点に比べて遅れている。

(2) しかし，日射量の増加に伴い，11時頃から湖岸は急速に昇温し，さらに風向が北寄りに変わったこともあって，午後には内陸地点に比べて高温となった。

Table 1. Relative height of each station above the lake surface and distance from the lake shore.

Stations	Relative hight	Distance
1	0 m	0 m
2	36	450
3	116	850
4	176	1,630
5	176	2,000
6	176	2,730

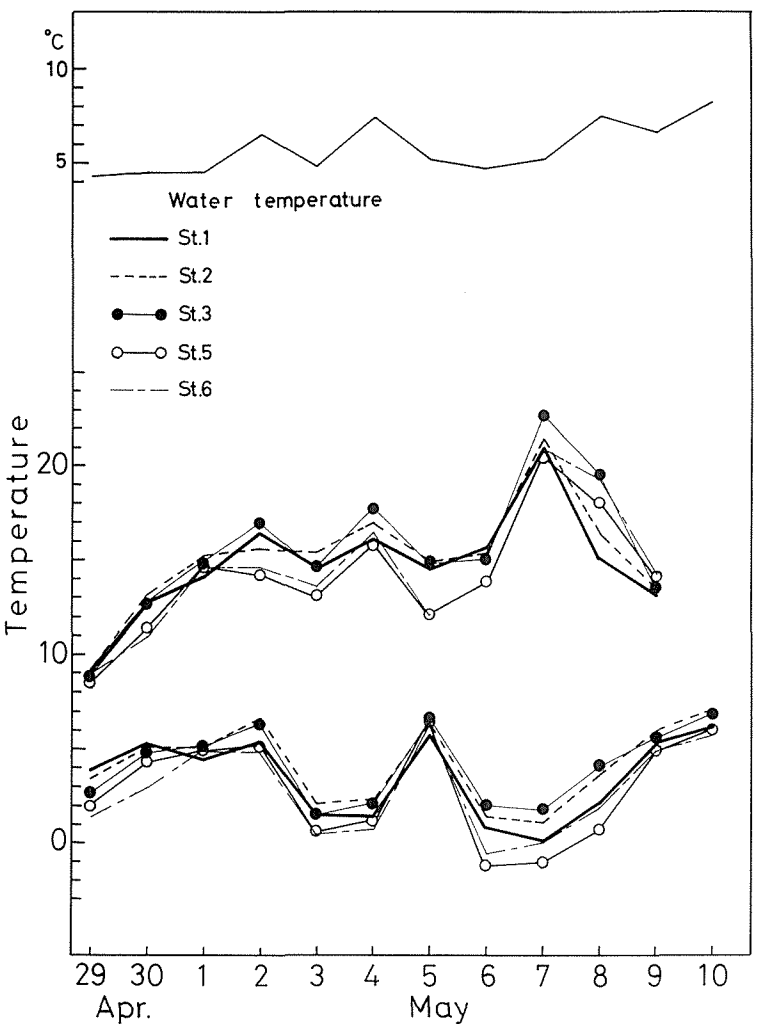

Fig. 6. Daily maximum and minimum temperature at each station and water temperature.

(iii) **5月6日** (Fig. 9)

前例の2日間と対照的に当日は午前中から強い北風 (6 m/s 前後) が吹き，終日晴れていた。

気温推移の特徴として，

(1) 湖岸気温の上昇が前例2日間に比べて早い時刻から始まっている。

(2) 湖岸と高台の気温を比べると，日中は1～2°C 湖岸の方が高い。

(iv) **5月7日** (Fig. 10)

天候は午前中快晴。午後からは上層雲が少し (雲量 4～5) 現われた。成香地区での風向は7時過ぎから北又は西の微風 (2 m/s 以下) であった。しかしながら午前中の観測で，カルデラ壁内では南寄りの微風 (1 m/s 前後) が吹いており，湖風が発生していたと考えられる。

気温推移の特徴として，

(1) 湖岸では早朝の気温上昇が抑えられ，高台との差は 6～7°C とこれまでになく大きくなった。

(2) また，一旦，気温が上昇した 11 時以降も湖岸の気温は変化が大きく，14 時から 16 時にかけては，再び高台より低温となった。

(v) **5月8日** (Fig. 11)

天候は晴れ。午後から薄雲が拡がったが，日射を遮る程ではなかった。成香地区での風速は弱く (2 m/s 以

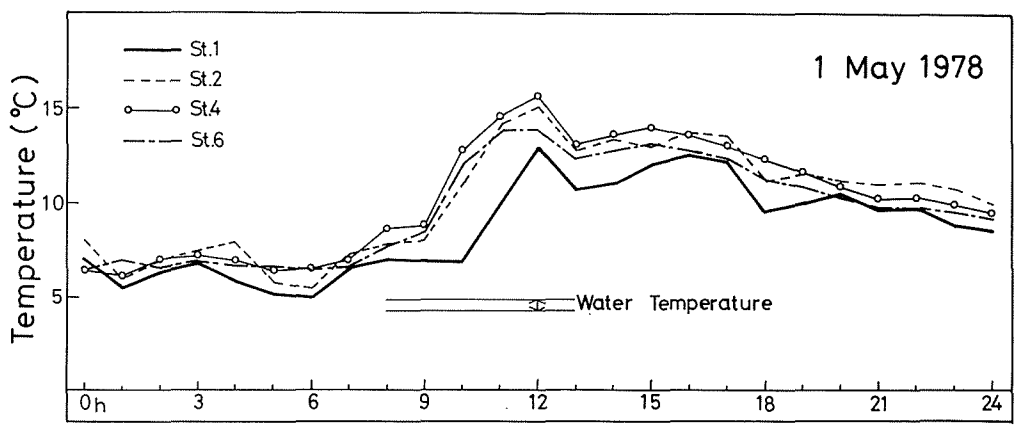

Fig. 7. Diurnaal variation of air and water temperature on 1 May 1978.

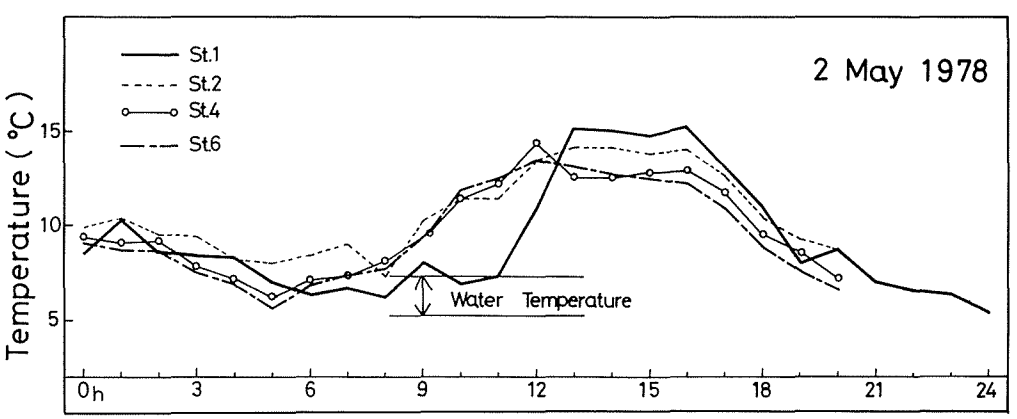

Fig. 8. Same as fig. 7 except for 2 May 1978.

下), 観測地点の風向と少しずれが見られた。観測地点では, 午前, 午後の観測時間帯とも, 湖からの風が吹いていた。なお, ⑥ 地点の電源が11時25分から14時6分にかけて切れており, この間のデータは入手できなかった。

気温推移の特徴として, ① から ④ に進むにつれ, つまり, 湖岸から離れるにつれ, 気温が上昇する傾向が見られる。

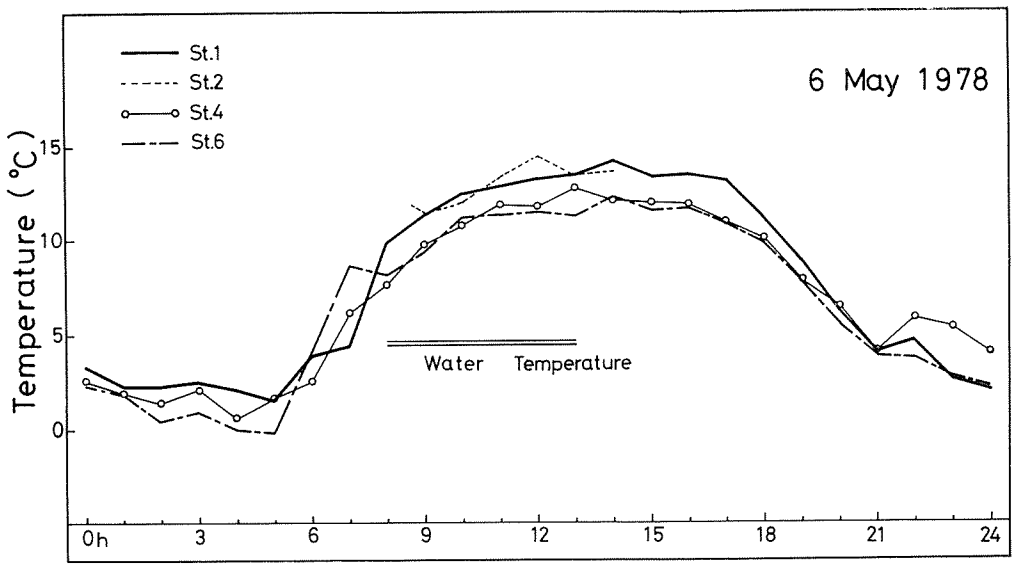

Fig. 9. Same as fig. 7 except for 6 May 1978.

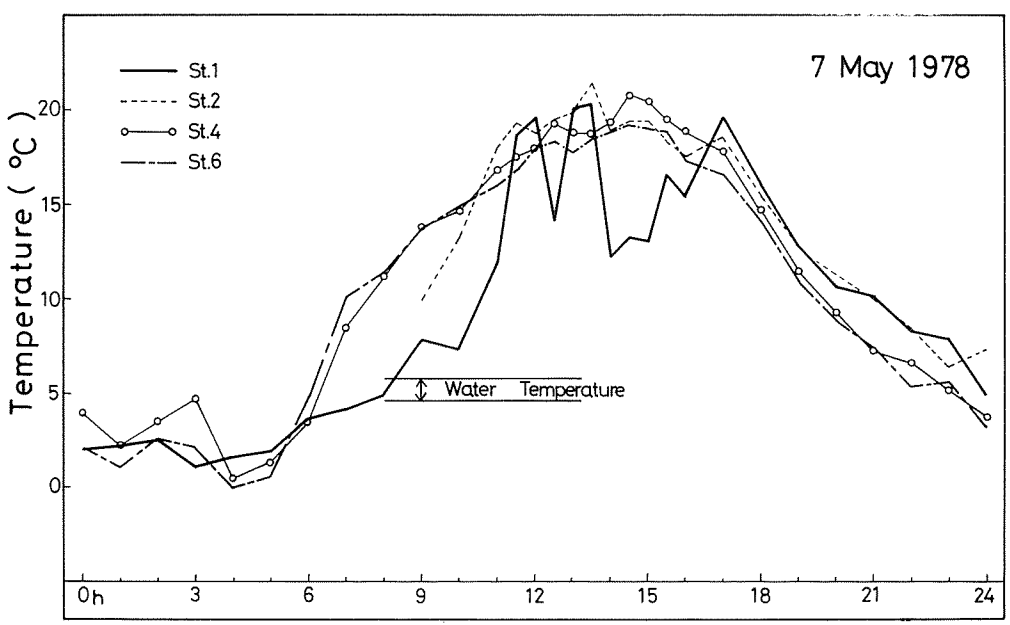

Fig. 10. Same as fig. 7 except for 7 May 1978.

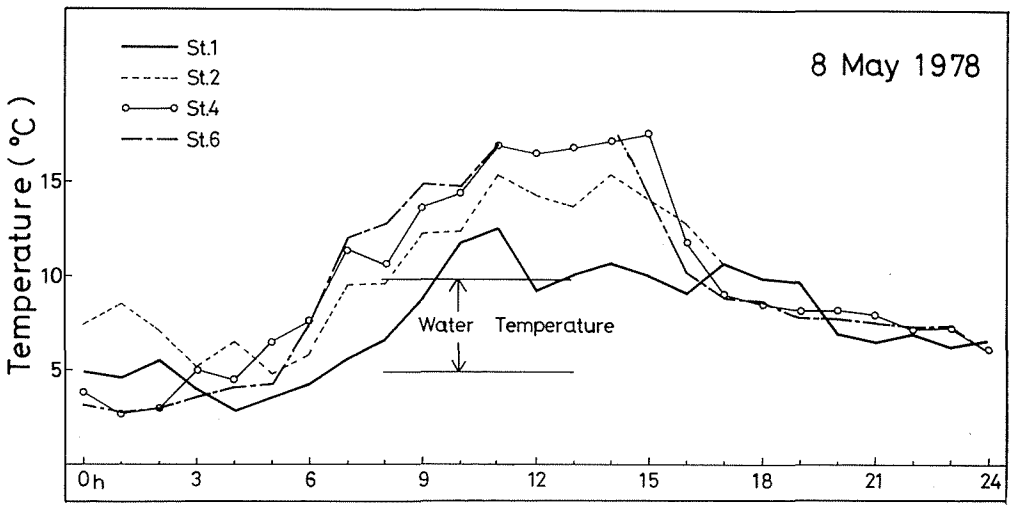

Fig. 11. Same as fig. 7 except for 8 May 1978.

考　　察

以上の観測結果から，春季におけるこの小地域の気温特性として次の4点を挙げることができる。

(1) 湖岸と内陸の気温差は，湖より風の吹く，晴天日に顕著である (5月8日)。

なお，この時の日中の気温の湖岸からの距離による変化を示すと Fig. 12 の如くなり，湖から吹き込んだ空気は，内陸に比べ約7°C も低温である。これに，地点の高度差による気温減率を加味すると約9°C もの差となる。

(2) 雨の日でも湖による冷却効果が狭い範囲で若干見られる (5月1日)。

(3) 高台から吹き降ろす一般風が強い時，当然のことながら湖による冷却効果は見られず，湖岸の方がやや高温になる (5月2日午後，5月6日)。

このことについては，気温減率によってある程度説明できる。即ち Fig. 9 で湖岸 ① 地点と高台 ④ 地点の昼間の気温を比較すると，1～2°C の範囲で湖岸の方が高い。この2点間の高度差は 176 m であり，気塊が斜面に沿って乾燥断熱昇温 (+1°C/−100 m) したとすれば，④ 地点と ① 地点の温度差は約 1.8°C となり，上記の範囲に収まる。

(4) 一般風が弱く，日射量の多い日には湖岸の気温変化が激しいことがある (5月7日)。

この時の湖岸域での気温変化をもう少し詳しく見るために，①，②，④ 各地点の10分間隔の気温推移を示したのが Fig. 13 である。他の2地点に比べ，湖岸の気温変化が著しいのが分る。

これは，湖岸が湖面上の冷気塊と内陸の暖気塊に交互に支配されていたためと考えられる。

当日は一般風がそれ程強くなく (2 m/s 以下)，風向の局地性，変動性が顕著に現われていたと考えられる。その様な場合，湖岸では南寄りの風 (湖からの風) が吹いている間に気温が低下し，北寄りの風 (陸からの風) が吹いている間に，逆に気温が上昇したのであろう。つまり，どちらの空気塊の支配下に置かれるかで湖岸の気温は決定され，支配空気の交代が頻繁に行なわれる程，気温変化が激しくなると考えられる。

これを確かめるために，湖岸での地上 1.5 m と 6 m の気温差 ($\Delta T_a = T_{1.5\,m} - T_{6.0\,m}$) を10分間隔で求め，Fig. 13 に示した。ΔT_a が正の時，気温は逓減状態にあり，負の時，逆転状態にあることを意味する。

これを見ると，湖岸の気温変化と ΔT_a との間によい対応があることが分る。即ち，湖岸の気温が高いの

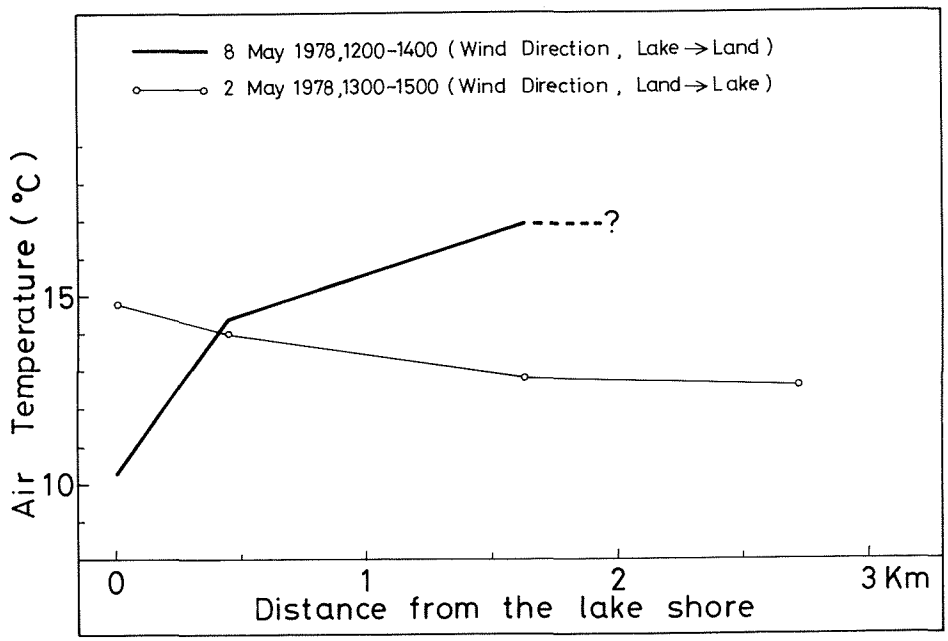

Fig. 12. Air temperature change as function of distance from the lake shore.

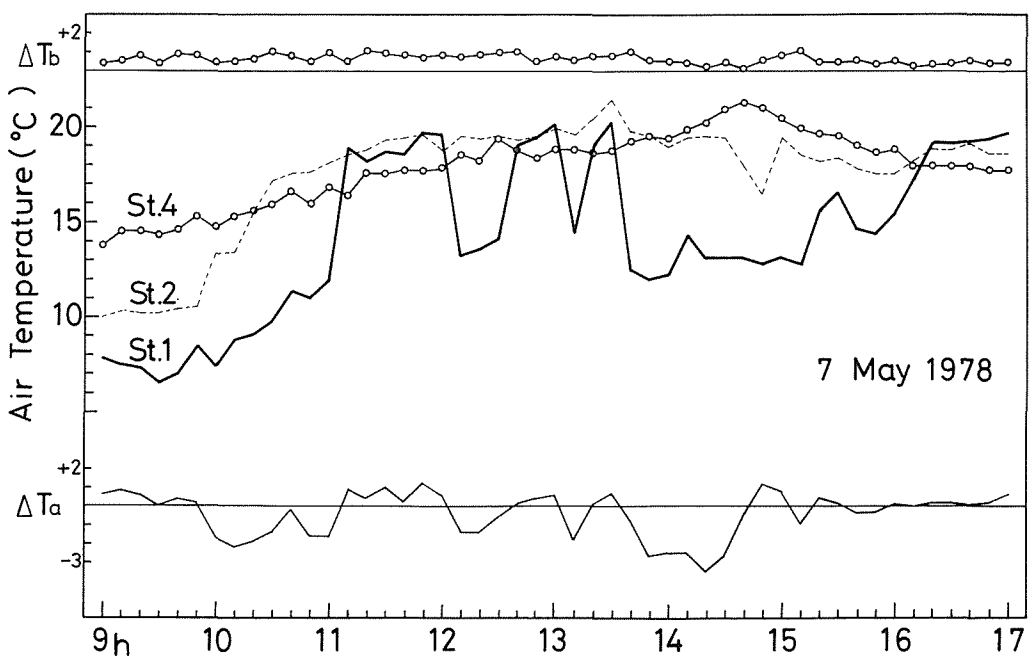

Fig. 13. Air temperature variation at station 1, 2, 4 and air temperature difference between 1.5 m and 6 m above the grond at station 1 and 4.

は，逓減状態にある場合であり，低いのは逆転状態にある場合に多い。

湖水温が気温に比べて低いことから，湖面上の気塊は逆転していると考えられ，湖岸気温の逆転は湖面上の冷気の侵入と解釈できよう。即ち，ΔT_a の急変は支配気塊の急変と同義であり，湖岸気温急変の原因になっていると考えられる。

さらに，この様な気温の急変は Fig. 13 より，湖岸にのみ見られる現象であることから，当日の冷気の侵入は湖岸に近い範囲に限られていたと思われる。④ 地点の ΔT_b は図に示す通り，終始正の値をとり，その変化も極めて少ない。

湖沼が周辺地域に及ぼす重要な影響の1つとして，前述の5月8日の観測結果に見られる湖から内陸への冷気の侵入現象がある。当日における様な天候下では，空気は冷たい湖水面上を吹送してきており，湖水面の影響を受け，ある高さ h を持つ冷気層をなして湖岸に到着する。その冷気層は内陸に進むにつれ，今度は暖かい地表からの熱を受け，下方から徐々に暖められ，新しい条件に変質していく。その変質を受ける厚さ h′ は，最初はごく地表付近に限られるが，湖岸から離れるにつれ上方に移動し，最終的には湖面上で作られた冷気層を解消するに到ると考えられる (Fig. 14 参照)。

この様な地表状態の変化に伴う空気塊の変質については多くの研究がなされている。例えば，Richards *et al.* (1966) は，エリー湖 (面積 $2{,}567\times10^2\,km^2$) 及び，オンタリオ湖 (面積 $1{,}968\times10^2\,km^2$) において，空気の安定度と湖岸からの距離が湖水上の風速に及ぼす影響を見積った。Phillips (1972) は，やはりオンタリオ湖での観測より，空気塊の変質にとって重要な因子が，風上の気温，表面水温，及び湖面上の吹送時間であることを見い出した。

我国においては小沢ら (1970) が，北海道東岸における海から侵入する冷気の変質について報告している。

また，境界層の発達に注目した観測としては，SethuRaman (1976) が，合衆国の大西洋上の気温鉛直分布から，その厚さを求めたものがある。

さらに，表面粗度と温気を組み合わせた数値実験として，Taylor (1970) の研究があるが，実験値との比較が乏しく，これからの検証が期待されるところである。

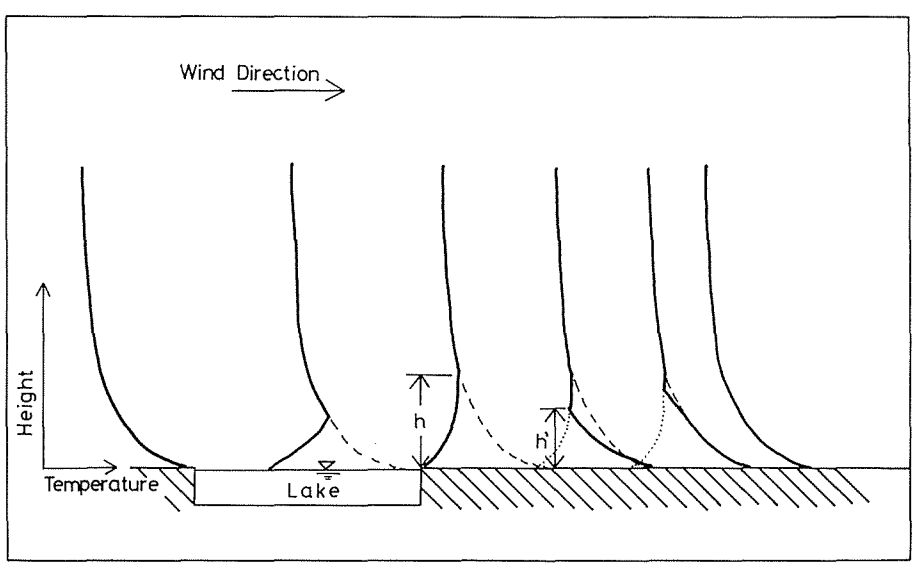

Fig. 14. Simple model of dvevlopment and vanishing of cold layer.

本研究における様な狭い範囲での観測例としては，Vugts and Businger (1977) が，オランダの北にある小島の海岸線で観測を実施し，波打際から約 1,000 m の範囲内の気温の水平及び鉛直分布を見積る実験式を考案したものがある。

また Shitara (1967) は，1963年の7月に猪苗代湖 (面積 104 km²) で気温観測を行ない，湖の冷気が平野部に侵入した場合，湖岸地域における気塊の変質は湖岸から 3.5 km 以内に限られ，その変質の大きさ (湖岸と内陸の気温差) は，2.5°C 前後であったと報告している。

今回の観測によって得られた結果によれば，湖による冷却効果は晴天の例では約 7°C もあり，その程度ははるかに大きい。しかし，その範囲は約 1.6 km で，ほぼカルデラ内におさまる程度であった。

この一つの原因として，観測時期の違いが考えられる。Shitara が観測を行なったのは7月上旬であり，今回の観測時期と2カ月程の隔たりがある。そのため，猪苗代湖の水温も内陸気温に比べ，それ程低になかったものと思われる。

また，洞爺湖が周囲を山や台地で囲まれた盆地状の地形条件にあることも，この様な気温特性に影響を与えていると考えられる。すなわち，高台の気温は，斜面に沿って変質しつつ上昇して来る冷気だけによって決まるものではなく，水平方向から移動して来る，湖の影響をあまり受けていない湖面上空の空気塊の温度にも作用されることも考えられるからである。

おわりに

水温が日中の気温に比べ最も低い時期の観測結果から，湖による冷却効果は湖からの風が吹く日中に見られることが確認できた。その冷却効果の程度とその及ぶ範囲は風速にもよるが，地表付近について言えば，冷却効果は従来報告されていた値よりはるかに大きいが，影響範囲はほぼカルデラ壁内におさまっていた。

その様な冷却効果の現われる頻度について述べるためには，当地での長期的な気象観測が必要であり，1979年の春から，湖周辺の数カ所に自記温度計を設置し，データを収集しつつある。

謝辞

本研究を行なうにあたり，終始御指導，御鞭撻を頂いた北海道大学大学院環境基礎学講座の門村浩教授，高橋英紀助教授，山本博助手に深く感謝いたします。現地での観測基地としては，北海道大学水産学部附属洞爺湖臨湖実験所を利用させて頂き，さらに黒萩尚助教授，春名寛幸技官には数々の御教示，御協力を賜りました。また，北海道大学理学部附属海藻研究施設による海水温資料を利用させて頂いた。観測の実施に際しては，香川小学校を始め，地元の皆様の御理解と御協力を頂いた。改めて感謝いたします。最後に，観測装置の運搬，設置，撤収に際し，多大な御協力を頂いた北海道大学環境科学研究科の中村英雄技官と，観測の協力を頂いた北海道大学大学院環境基礎学講座の加藤央之氏を始めとする院生諸氏に感謝の意を表します。

参考文献

Dewey, K. F., 1975: The prediction of Lake Huron lake-effect snowfall systems. *J. Appl. Meteor.*, **14**, 3–7.

Jiusto, J. E. and Kaplan, M. L. 1972: Snowfall from lake-effect storms. *Mon. Wea. Rev.*, **100**, 62–66.

元田 茂・大友 渉・川村輝良 1971: 洞爺湖臨湖実験所，北海道大学水産学部付属実習施設. 陸水学雑誌, **32**, 1–14.

日本気象協会北海道本部 1955–1964: 北海道の気象 (昭和30年～昭和39年).

小沢行雄・岩切 敏・井上君夫・八木鶴平 1790: 冷害気象の局地的発現機構に関する研究 (第2報). 防

災科学技術総合研究報告, **23**, 3-29.

Phillips, D. W., 1972: Modification of surface air over Lake Ontario in winter. *Mon. Wea. Rev.*, **100**, 662-670.

Richars, T. L., Dragert, H. and Mcintyre, D. R., 1966: Influence of atomospheric stability and over-water fetch on winds over the lower Great Lakes. *Mon. Wea. Rev.*, **94**, 448-453.

Rodhe, B., 1973: The effect of lake regulation on local climate. The consequences on the environment of building dams, Q. 40, R. 10 (pp. 123-141), *Trans. of the 21th Internat. Congr. on Large Dams*, Madrid, 1973.

SethuRaman, S., 1976: Air mass modification due to change in surface characteristics. *Mon. Wea. Rev.*, **104**, 1040-1043.

Shitara, H., 1967: Air temperature in summer on and around the Lake Inawashiro, Fukushima prefecture. *Sci. Rep. Tohoku Univ. 7th Ser. (Geogr.)*, No. 16, 67-84.

Strommen, N. D. and Harman, J. R., 1978: Seasonally changing patterns of lake-effect snowfall in western lower Michigan. *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 503-509.

Takahashi, H., Yamamoto, H., Suzuki, K. and Moriya, H., 1978: Local climate near the small lake. Part 1. Air temperature distribution near Lake Toya, Hokkaido, in winter. *J. Agr. Met.*, **34**, 77-82.

Taylor, P. A., 1970: A model of airflow above changes in surface heat flux, temperature and roughness for neutral and unstable conditions. *Boundary-Layer Meteor.*, **1**, 18-39.

Vogel, J. L. and Huff, F. A. 1975: Fog effects resulting from power plant cooling lakes. *J. Appl. Meteor.*, **14**, 868-872.

Vugts, H. F. and Businger, J. A. 1977: Air modification due to a step change in surface temperature. *Boundary-Layer Meteor.*, **11**, 295-305.

Summary

The cooling effect of a lake on the surrounding air temperature was investigated in this paper. Air temperatures at six observation stations in the vicinity of Lake Toya, Hokkaido, were observed for about two weeks in spring, 1978. One of the stations was on the lake shore and the other five stations were located at about 450 m, 850 m, 1630 m, 2000 m and 2730 m from the lake shore, respectively. During the observation period, the lake water temperature was about 10-15°C lower than the air temperature.

The results obtained were summarized as follows.

(1) The cooling effect of the lake was very strong when the wind was blowing from the lake in clear weather. On such days the air temperature difference between the lake shore and the interior, approximately 1600 m from the lake shore, was about 7°C.

(2) The cooling effect of the lake was seen even on rainy days, although the effect was less pronounced.

(3) The cooling effect of the lake disappeared when the wind was blowing from the interior to the lake.

(4) On the lake shore, the change of the air temperature was very large when the wind was slight and the weather was clear.