HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	洞爺湖の湖陸風
Author(s)	加藤, 央之
Citation	環境科学 : 北海道大学大学院環境科学研究科紀要, 4(2), 233-247
Issue Date	1982-03-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/37119
Type	bulletin (article)
File Information	4(2)_233-247.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

環境科学（北海道大学）	4 (2)	233～247	1981・9月

洞爺湖の湖陸風

加藤央之
北海道大学大学院環境科学研究科環境基礎学講座

Land and Lake Breeze of Lake Toya

Hisashi Kato
Laboratory of Fundamental Research, Division of Environmental Structure, Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan, 060

I. はじめに

周囲を山や台地で囲まれた湖（人造湖を含む）が周囲の小気候に及ぼす影響をとらえることを目的として風を中心とした調査を行い，前報では特にその風系についていくつかの知見を得た（加藤，1980）。この中で湖周辺ではいずれの季節にも湖と陸との温度差に起因する湖陸風系が確認されたが，その構造などはまだはっきりとはつかめなかった。しかし湖の影響を更に詳しく知るためには，この湖陸風の細かな特徴やその構造をとらえることが必要である。

実際，湖陸風は，湖がその周囲の小気候に与える影響の例として良く知られているものの一つであり，これらは湖周辺の風系を変化させたり（Weber, 1978），独自の循環系により汚染物質を運んだり（Lyons, 1972; Lyons and Olsson 1973; Keen and Lyons, 1978），降水パターンを変化させる働きをも行ったりすることが報告されている（Strommen and Harman, 1978）。特に近年，北米の五大湖では1972～73年のIFYGL（International Field Year of the Great Lakes）に関連してかなり大がかりな調査も行われた（Chen, 1977）。また，Estoque（1960）の数値実験を出発点とし，理論的な研究も観測と対応しながら発展して来ている（Moroz, 1967; Estoque *et al.*, 1976）。

わが国における湖陸風の研究は諏訪湖における吉野ほか（1970），猪苗代湖における Shitara（1967）の例に代表されるが，実際その数は少なかった。最近，各地で湖陸風の研究が手がけられており，渡辺（1981）は猪苗代湖における地上観測より，その湖陸風の様々な特徴についての報告を行った。また，湖陸風の鉛直構造についても最近明らかにされつつある（加藤，1980; Kato and Takahashi, 1981）。

実際，湖の周辺に人間が生活し，とりわけ農業を営んで行く上では，気温の変化などにも関連して，この湖陸風の特徴や構造をつかんでおくことは重要である（Takahashi *et al.*, 1978; Takahashi and Itagaki, 1980）。本研究は，相対的に小さくかつ周囲を山や台地で囲まれた湖における湖陸風の特徴，その構造のより正確な断面をとらえ，また，湖陸風に伴っておこる気温への影響についてもより詳細な解析を行ったものである。

1981年8月10日受理
Received 10 Aug. 1981

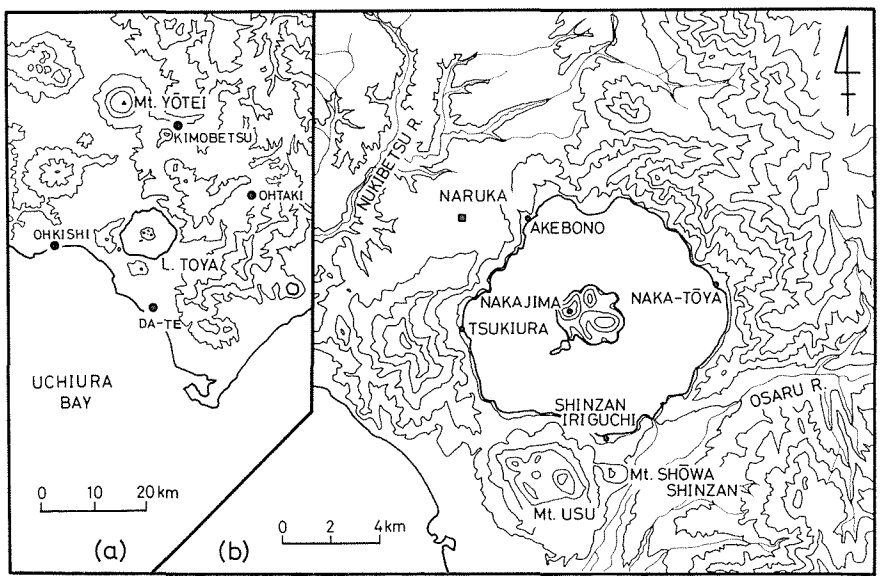

Fig. 1. Topography surrounding Lake Toya and location of the observational stations. Contours are drawn for every 300 m (a), and 100 m (b).

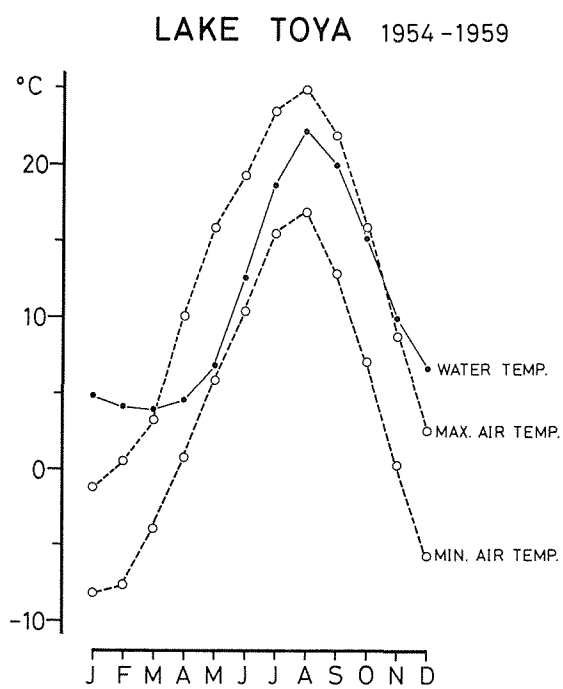

Fig. 2. Monthly mean temperatures of air and water at Lake Toya, after Tokui (1961).

II. 調査地域及び方法

調査地域の洞爺湖は，札幌の南西約60 kmに位置し，また南西約5 kmを隔てて内浦湾に面している。湖水面積は約69 km^{2}であり，周囲を山や台地に囲まれたカルデラ湖である (Fig. 1)。

Fig. 2 には洞爺湖の水温（徳井, 1961）と洞爺農業気象観測所（洞爺湖の北西約2 km, 成香付近）における最高最低気温の年変化を示している。調査は，水温が最高気温と最低気温の間にあり，夜間の陸風，日中の湖風の発達条件に適していると考えられる8月29日～9月1日 (1979年) に行った。

a) 湖周囲の地上風向，風速変化

観測は，湖の西岸（月浦），南岸（昭和新山入口），東岸（仲洞爺），北岸（曙）の4地点 (Fig. 1) において1979年8月30日，陸風から湖風への変化時刻にまたがった早朝4時から9時にかけて行った。風向は，手持ちの風向計により10分毎に，また風速計は小型ロビンソン風速計（地上2.5 m）の on-off パルスを音にかえてテープレコーダーに記録し，1分毎の平均を読み取った。低風速に対する風速計の精度を考慮し，0.6 m/sec 以下の風速は風があった事の目安とした。

これら風の観測と同時にアスマン通風乾湿計によって10分毎に気温も記録した。

b) 北部湖面上での上層風断面

観測は，8月31日早朝と午前遅くの2回，それぞれ陸風と湖風の断面をとらえるために行われた。湖北岸の曙から中島にかけての湖面上で各回それぞれ4地点から船でパイバルを放し，これを2台のセオドライトで同時にとらえ，その位置の変化から上層の風を求めた。また，これと平行して午前4時から12時まで，同じくパイバルにより1時間毎に曙で上層風の変化を調べた。

c) 定点での連続記録

湖の北岸（曙）に15 mのタワーを立て，風向，風速（地上15 m），気温（銅—コンスタンタン熱電対温度計による——3 m, 5 m, 7 m, 10 m, 15 m），湿度（通風型乾湿計——1.5 m），地温，日射を10分毎に記録した。Fig. 3 には観測タワーの写真が示されている。

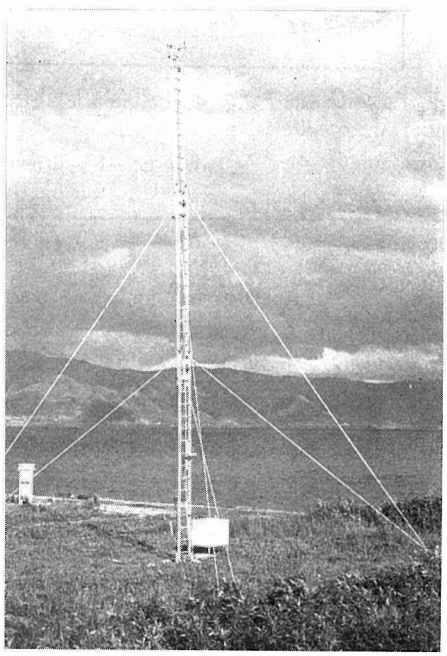

Fig. 3. The observation tower at Akebono station.

また，中島山頂には自記風向，風速計（地上2.5 m）を設置した。水温は，観音島（中島）と月浦北大臨湖実験所で行っている長期観測記録のデータを用いた。更にこの長期観測記録のうち，洞爺農業気象観測所近くの成香での気温も解析の一部に用いた。

III. 調査期間の総観場

Fig. 4 に集中観測を行った8月30日・31日それぞれ午前9時の天気図をのせてある。この期間，北海道付近は移動性の高気圧におおわれていた。上層風は，札幌のデータで見れば地上1,500 m付近までかなり弱く (Table 1)，湖陸風の発達条件として両日とも適していたと考えられる。湖水温は20.5°Cでほぼ平年並み，また，気温は成香のデータによれば，最高気温は23°C前後でほぼ平年に近いが，最低気温は9°C付近まで下がり，この季節にしては低かったと考えられる。

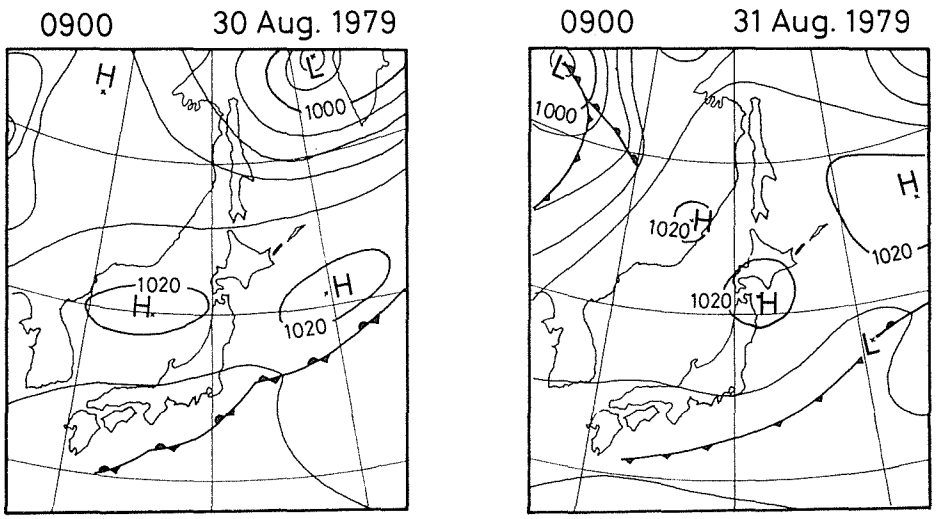

Fig. 4. Synoptic situation at 0900 30th and 31st Aug. 1979.

Table 1. Upper wind speed and direction at Sapporo during the observation period

August 30	0300		0900		1500		2100	
	Degree	m/sec	Degree	m/sec	Degree	m/sec	Degree	m/sec
900 mb	284	1	288	3	76	2	263	2
850	300	4	320	4	201	5	270	4
800	276	8	308	4	241	5	292	7
700	260	14	285	10	283	5	260	8

August 31	0300		0900		1500		2100	
	Degree	m/sec	Degree	m/sec	Degree	m/sec	Degree	m/sec
900 mb	308	5	208	1	310	3	116	1
850	307	8	272	6	261	6	250	1
800	293	9	279	8	300	5	293	4
700	285	12	309	14	331	10	319	8

IV. 結果と解析

a) 湖周囲の地上風向，風速変化

Fig. 1 に示した湖岸4地点での風向，風速の同時観測の結果を Fig. 5 にまとめて示した。各地点毎に，上段の棒グラフは1分毎の風速を，下段の矢羽根は10分毎の風向を表わしている。また Fig. 6 に同じ4地点での10分毎の気温の変化と各地点での日射の始まり時刻を示した。Fig. 5 によれば，東西南北のどの地点でも夜間から早朝にかけて陸風が，また，それ以後は弱風時間帯をはさんで湖風へと入れ替わっているのがわかる。しかしながら，陸風から湖風への変化時刻は地域により異なっていた。Fig. 6 と対応すれば分かるように，特に日射が早い時刻からあたり気温が上昇を始める西岸，北岸でこの変化時刻は早く，逆に南岸，東岸で

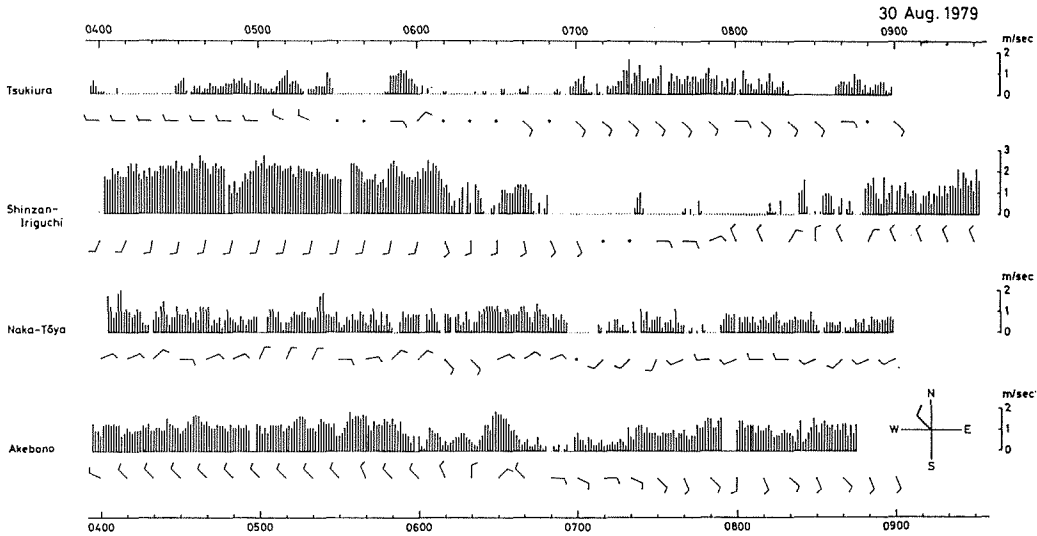

Fig. 5. Variations of the wind speed (bar) and direction (barb) at four stations around the lake on the morning of 30th Aug. 1979.

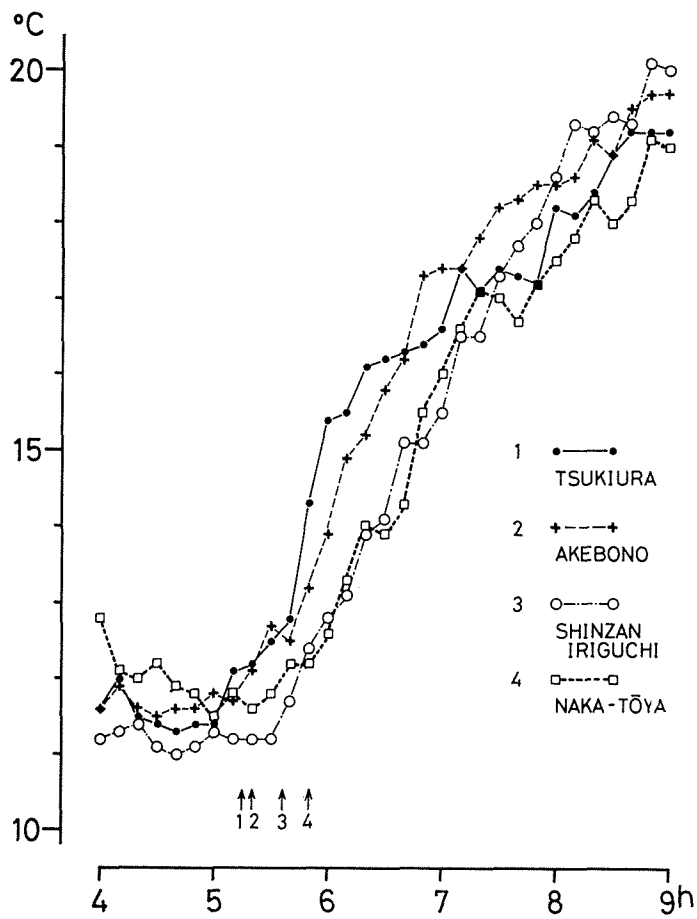

Fig. 6. Variation of air temperature at four stations around the lake in Fig. 1.

↑: sunrise at each station

は遅くなっており，その差は約1時間にも及んでいた。このことは洞爺湖における湖陸風の発達は周囲で一様ではなく，地域毎にその形態や発達の程度が異なっている可能性を示唆している。

風向の変化形態として興味があるのは北岸（曙）と南岸（昭和新山入口）の例であり，共に陸風から湖風へと変化する弱風時間帯に東の風向を示すことである。これは，ひとつには午前中早いうちには洞爺湖付近一帯が弱い東よりの成分を持った風におおわれることを示している。この弱い東成分の風については IV-b) で議論する。

この観測時間帯において，陸風の風速はすべての地点で約1～2 m/sec であったが，特に南岸（昭和新山入口）でやや大きかった。このことは，背後の地形による斜面風にも関連したものと考えられる。

北岸（曙）の連続記録によれば，8月30日～9月1日までの3日間，湖風の始まり時刻はほぼ一定していたが，逆に陸風の始まり時刻は一定していなかった。この結果は1978年同地点での8月の13日間にわたる観測の結果と同じであり，日中，この地域が湖風にかわる別の風系におおわれやすいことを示している（加藤，1980）。

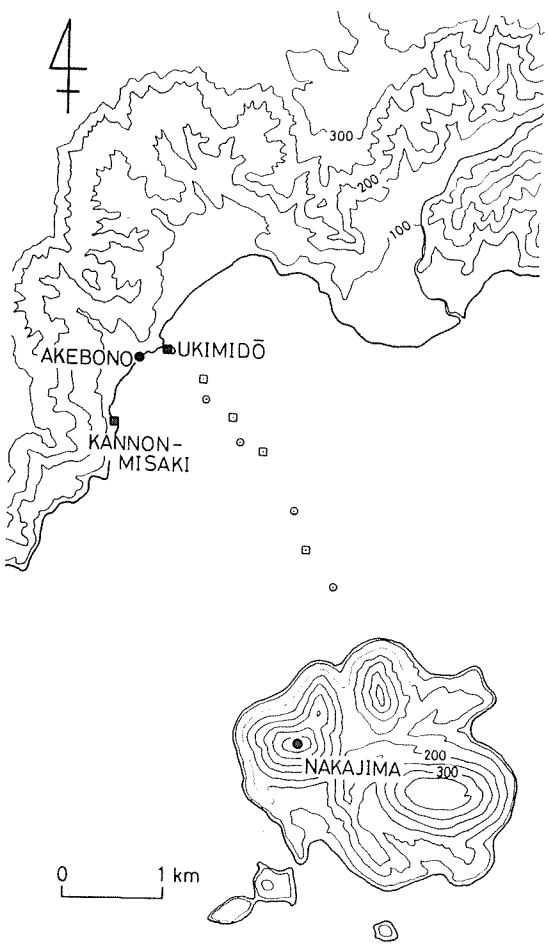

Fig. 7. The released points of the balloons (⊙ 0503-0602); (⊡ 1044-1143) and the topography near the observation area to the north of the lake.
■: *theodolite tracking sites*
●: location of the observational stations (See Fig. 1)

b) 湖陸風の断面

上層風の観測は，湖の北西部から中心にかけての地域において8月31日に行った。パイバルは早朝5時31分～6時02分と午前10時44分～11時43分の2回，それぞれ Fig. 7 に示す4地点から放球した。放球は岸に近い方から湖の中心に向かって順に行ったが，この間要した約1時間は，前日の観測や，曙での風向，風速の連続記録などから，陸風，湖風ともにほぼ一定状態にあると見なした。

8月31日午前の曙における1時間毎の上層風の変化を Fig. 8 に示す。30日午前中の同地点での地上風の観測結果と同様に，地上付近では午前6時頃まで陸風が卓越し，この後風向は東まわりに湖風へと変化している。陸風の return current は，陸風が衰退する6時半にはかなり弱まっていた。また，湖風の return current は10時には明瞭に現われていた。

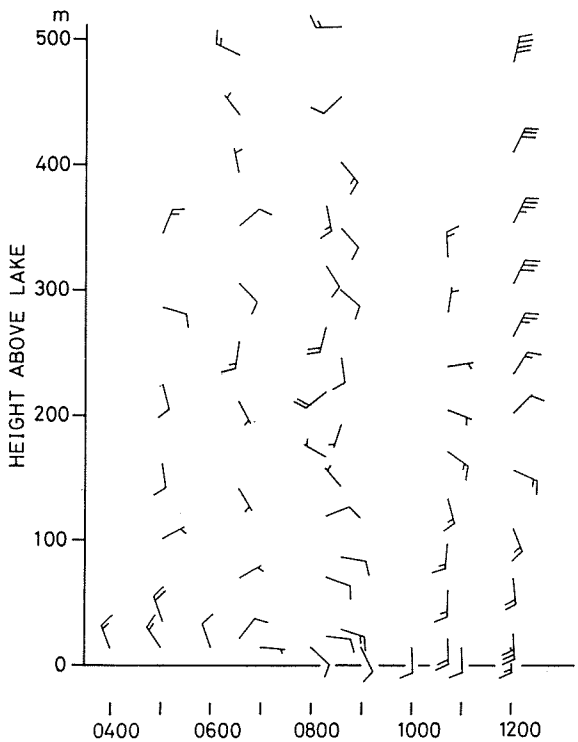

Fig. 8. Time section of wind at Akebono on 30th Aug. 1979 based on the pilot balloon observations. One wind barb equals 1.0 m/sec.

Fig. 9 と Fig. 10 に陸風と湖風の観測された断面図を示す。これらの図の横軸の距離は湖の北西部から中心部に向かった NW-SE の断面に沿って岸から測ってとってあり，また，たて軸には湖面 (84 m MSL) からの高さをとってある。これらの結果によれば，この時間帯では湖岸付近の陸風の厚さは約 100 m であり，また，その return current もほぼ同等の厚さを持っていたが，湖の中心では陸風の層もやや薄くなり，return current も不明瞭であった。湖風は陸風よりもやや厚く，湖岸に近い所で約 150 m で，湖の中心に近づくにつれて薄くなり，湖岸より 2.5 km の地点では約 50 m 程度であった。Return current はその上空の風と同方向であったためにその厚さは不明であった。

Fig. 9 においては図の右端の位置に中島山頂での風が記録されているが，機械の故障のため，31日午前8時からはデータが入手出来なかった。しかし，湖岸から 2.5 km の地点での湖風の断面観測中，湖面上 300 m

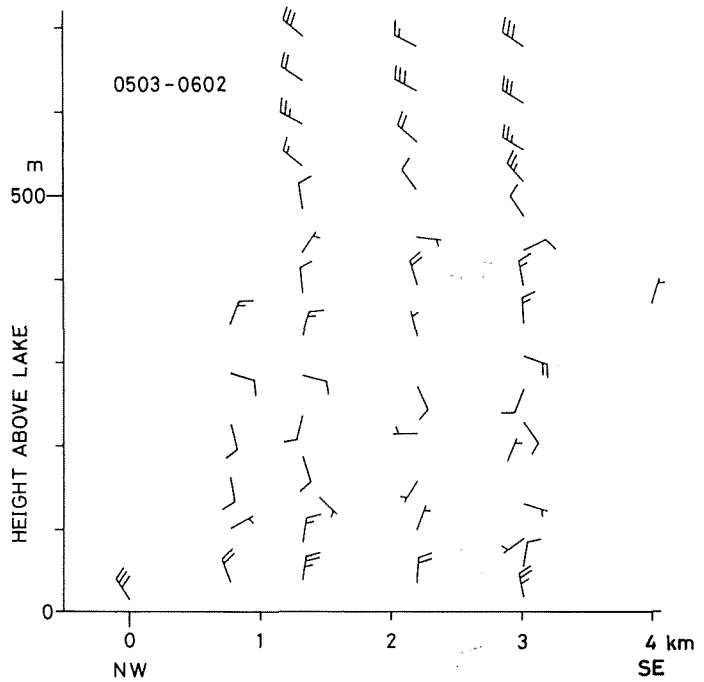

Fig. 9. Cross section of the land breeze to the north of the lake. The distances are measured along the NW-SE line with the lake shore at Akebono as the base.

Table 2. Hourly variation of the wind at the meteorological

August 30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OHKISHI	NW 3	NNW 2	NNW 2	NW 2	NNW 2	NNW 2	NNW 2	N 1	SSW 1	SSW 2	SSW 1
DA-TE	ENE 3	ENE 3	ENE 3	ENE 4	NE 3	N 2	— 0	NNW 2	NNW 2	WSW 3	SW 2
OHTAKI	NE 1	NNE 2	NNE 2	NNE 1	NNE 1	NNE 2	NNE 2	S 1	NE 1	SE 1	— 0
KIMOBETSU	— 0	— 0	— 0	— 0	— 0	— 0	— 0	— 0	SE 1	NW 1	SW 1

August 31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OHKISHI	NW 3	NNW 3	NW 4	NNW 2	NW 3	NW 2	NW 2	SE 2	S 2	S 2	S 2
DA-TE	NE 2	NE 2	NE 2	NNE 1	NNE 2	NE 2	NW 1	— 0	S 1	SSW 1	SW 2
OHTAKI	N 2	NNE 2	N 2	NNE 1	NNE 1	NNE 2	NNE 1	— 0	SSW 1	S 2	S 3
KIMOBETSU	ENE 1	E 1	— 0	— 0	— 0	E 1	— 0	— 0	— 0	W 2	NNW 2

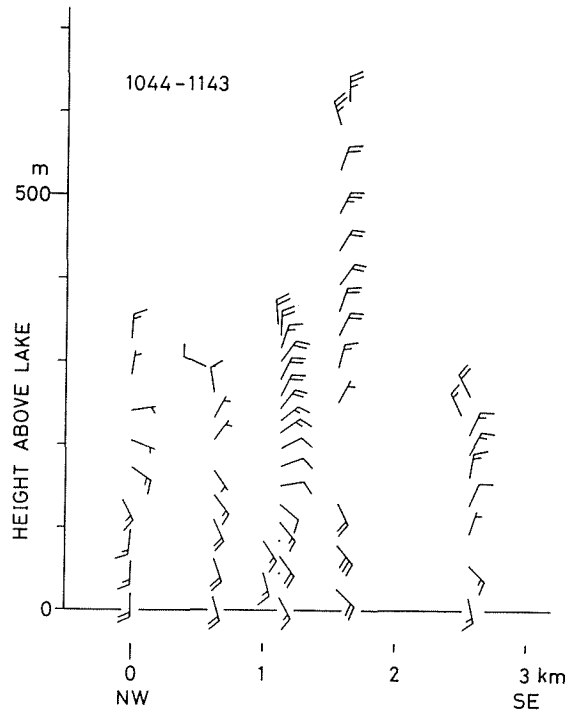

Fig. 10. The same as in Fig. 7, except for the lake breeze.

observatories of AMeDAS near Lake Toya on 30th-31st Aug. 1979

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24h
S 1	SE 3	SE 3	SE 3	ESE 2	ESE 2	NNW 1	NNW 2	N 2	NNW 3	NNW 3	NNW 2	NNW 3
WSW 2	S 2	S 1	S 2	SSE 1	SW 1	SE 1	ENE 3	ENE 3	ENE 3	ENE 3	NE 2	ENE 3
SSW 2	SSW 2	SSW 3	SSW 2	WNW 1	— 0	— 0	ENE 1	NNE 1	NE 1	NNE 2	NNE 3	NNE 2
WSW 2	WNW 2	WNW 3	WSW 2	WNW 3	NW 4	WNW 2	ENE 1	— 0	E 1	— 0	E 1	E 1

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24h
SSE 2	S 1	SSE 2	SE 2	S 1	SW 1	N 2	NNW 2	NNW 2	NNW 3	NNW 3	NW 3	NW 4
SW 2	WSW 2	WSW 2	WSW 3	WSW 2	S 1	ENE 2	NE 3	NE 2	NE 2	NE 2	NNE 2	NNE 1
N 2	NNW 2	NNW 2	NNW 2	NNE 1	NNW 1	— 0	NNE 1	NNE 2	NNE 2	N 2	NNE 2	N 2
W 2	NW 2	WNW 3	WNW 3	WNW 3	WNW 1	SW 2	E 1	E 1	E 1	— 0	E 1	ENE 1

付近でバルーンが強い下降流に巻き込まれた事実から判断して，この時刻には湖の中心付近には上空の NW の風が入り込んでいたと考えられる。

更に細かくこれらの図を見ると，Fig. 9 では陸風と return current の間，また return current とその上空の風の間，Fig. 10 では湖風と return current との間のいわゆる風が弱まっている部分に東成分を持った弱い風の層が見られた。ここで上空の風は約 50 m の層の平均であるため，これらの東の風向を示す風は必ずしも東の風とは限らず，東成分を持った風である事しかわからない。これらの東成分を持った風は，その高さや洞爺湖を含む更に広い地域から判断して，海陸風のうちの陸風が NE の風として，また海風が地形により変向されて SE の風としてそれぞれこの地域に進入して来たものではないかと考えられる。この東成分を持った風は前節 IV-a) における南北岸での早朝の風向が東成分をはさんで変化することとも関連している。実際，洞爺湖は数 km を隔てて内浦湾に面しており，また，海岸線に近い伊達，大岸などの AMeDAS station では風向が日中と夜間で海側から陸側へ逆転する日変化を見せている (Table 2)。更に加えて前報で述べた如く，この地域では上層風の変化がない場合でも午前中に出現した湖風系が午後にはこわされ，湖周辺すべてが強い南よりの海風におおわれる事があり，湖陸風と同一条件で発達した海陸風が，湖陸風に対して影響を及ぼしていると考えられる。これら海風の影響について興味が持たれるのが定点での風の記録である。Fig. 11 には 8 月 30 日の曙，中島山頂での風向，風速が 30 分毎に示されている。7 時過ぎから曙で湖風が始まるが，この時刻では中島で海陸風のうちの陸風がまだ名残りを留めていた。また AMeDAS のデータによれば，海岸付近の大岸・伊達でも同様な陸風系が残っていた。11 時過ぎより中島では風向が S に変わり，同時に風速も増大した。特にこの風向変化は急激なものであり，記録紙から読み取ると 11 時 10 分頃であった。これは海風前線の通過によるものと考えられる。これに対して曙では急激な風向，風速変化は見られなかったが 11 時 30 分頃から風速が一様に増加し，13 時 45 分には 6 m/sec にも達した。この強い風は海風が徐々に湖風に加わったために起こったものと解釈出来る。しかし，強い海風のためにこの湖風系はこわされ，海風だけが残る。この後，14 時 45 分頃には曙で突然の風向の変化と風速の弱まりを見せた。これは海風前線の後退によるものであり，特に湖風系がこわされてしまったため，南の風は残らなかったと考えられる。中島山頂では 17 時頃よ

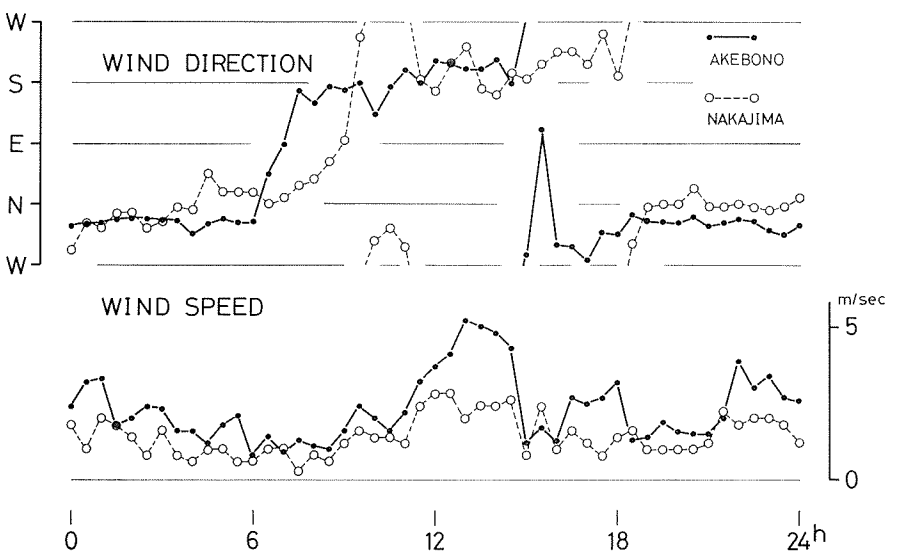

Fig. 11.　Variations of the wind direction and speed at Akebono and Nakajima on 30th Aug. 1979.

りゆっくりと海風が衰退して行き，19時には海陸風のうちの陸風が始まっていた。ここで31日には中島山頂での記録が途切れているため，詳しい解析は行えないが，曙での風速の増加は前日の30日程ではなかった。これは，この日には北からの一般風が強く，南西から入って来た海風がこの地域まで入り込めなかったのではないかと考えられる。しかしながら，湖東部～南部のいわゆる北風に対して風影にあたる地域から入り込んだ海風が弱いながらもこの地域に到達し，前述の様な東成分を持った風系を作り出したのではないかと考えられる。

これらの結果より，湖北部における湖陸風の循環をモデル化して Fig. 12 に表わした。上層の風の弱まる部分に入り込む東風のためにこれらの循環系はややねじれていると考えられる。陸風の上限値は約100 m,

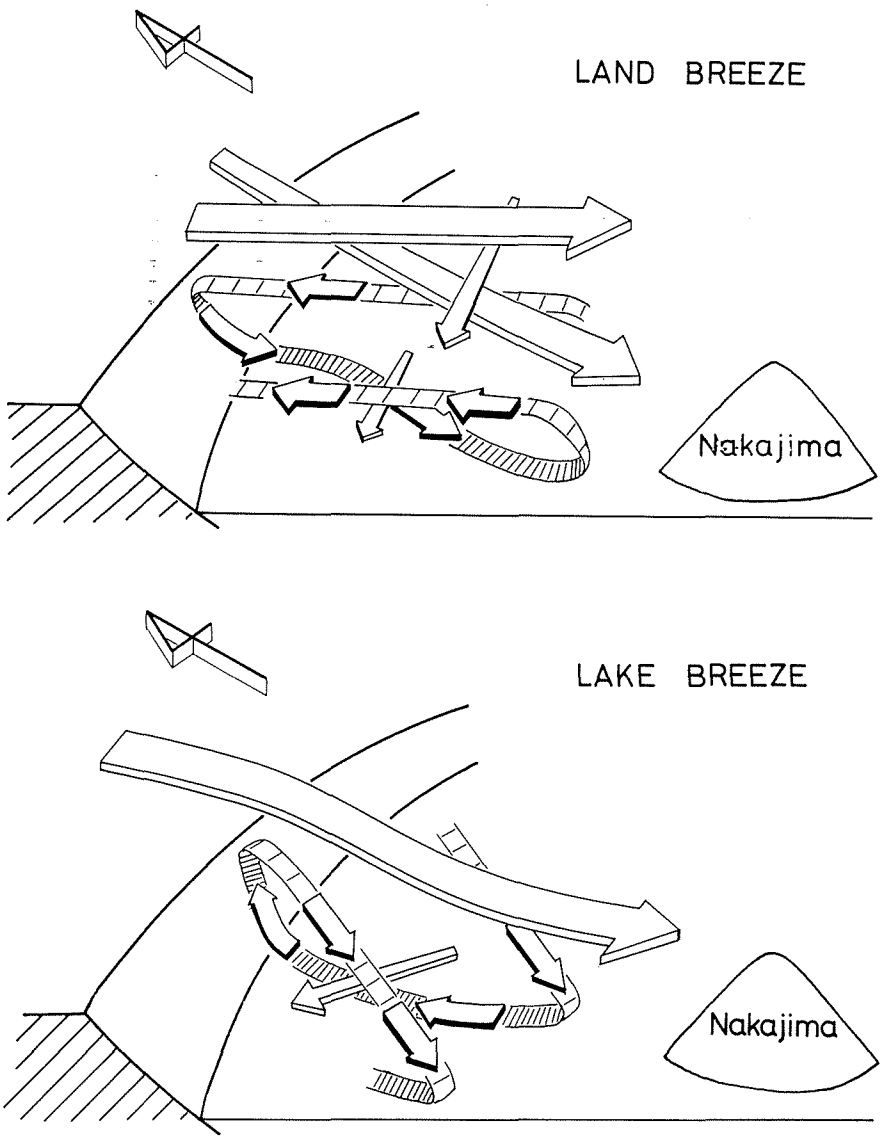

Fig. 12. The models of the land breeze (upper) and the lake breeze (bottom) circulations described by the data of Figs. 7 and 8.

また，湖風の上限値は150 m程度であり，ともに北部カルデラ壁の高さ（湖面上186 m）より低く，このことから考えて湖陸風の水平的な勢力範囲はこの湖盆地形程度のものと推測される。

c）湖岸における気温変化

一般に海風（湖風）の観測においては，陸上の各観測点で海風（湖風）の進行とともに気温の低下が起こることが知られている。この観測においても湖北岸の定点での記録には同様な結果が現われていたが，前報の例でも述べた様に，この気温の低下（又は頭打ち現象）は湖水温よりも低い温度で起こっていた。この興味ある結果を詳しく調べるために，湖陸風が観測された8月30日，31日の早朝の各気象要素を対応させてみた。ここで気温はタワーにおける地上3 m，15 mの両方の記録を用い，風向，風速，地温，日射量とともにFig. 13に示した。両日とも陸風から湖風に移り変わる時間帯に気温の低下が始まっており，この時，日射量の低下は見られなかった。また，この現象は特に15 mの高さにおいて顕著であり，31日には2°C近くも低下していた。湖風の始まる時刻にこのような現象が起きるのは北岸だけに限らず，Fig. 6の記録に見られるように他の地点でも起こっており，洞爺湖周辺の湖陸風に関連した特徴と考えられる。

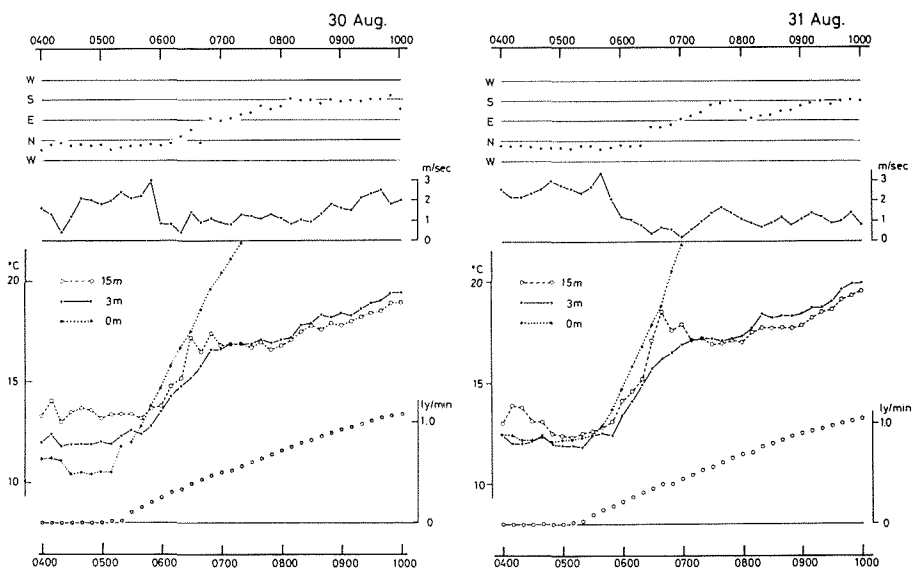

Fig. 13.　Variations of air temperatur , wind speed and direction, ground surface temperature and flux of solar radiation at Akebono in the morning of 30th and 31st Aug. 1979.

前報（加藤，1980；Kato and Takahashi, 1981）ではこの現象について陸風，湖風の変換と結びつけて考え，夜間陸風として吹き込んだ気塊が，湖水との間であまり熱交換を行わずに再び湖風として陸上に進入して来るために起こるものと推測した。今回は，この様な現象をより明らかにするため，湖岸のタワーでの記録により，30分毎の気温の垂直分布図を描いた（Fig. 14）。夜間，陸風が卓越している時間帯には陸から湖に入る気塊の温度成層は逆転の傾向を示しているが，風速が弱まる陸風の末期には，日射により温度が上昇した地面からの熱の影響を受けてほぼ鉛直方向に一様な温度となる。湖岸付近の気塊は，この後，湖風が始まるまでの弱風時間帯に地面からの熱を受けて上昇するが，湖風の始まりとともにほぼ17°C前後の一様な温度成層を持った湖からの気塊がこれに入れ替わるため，気温の低下もしくは頭打ちが起こる。この湖からの気塊は，夜間陸風として吹いた気塊であり，湖水面からの熱により，気温の逆転は消滅したが，多分ここで湖水面との間に熱的平衡状態が生じ，17°C前後の気温を保ったと考えられる。この後，日射の影響も加わり，湖水上の

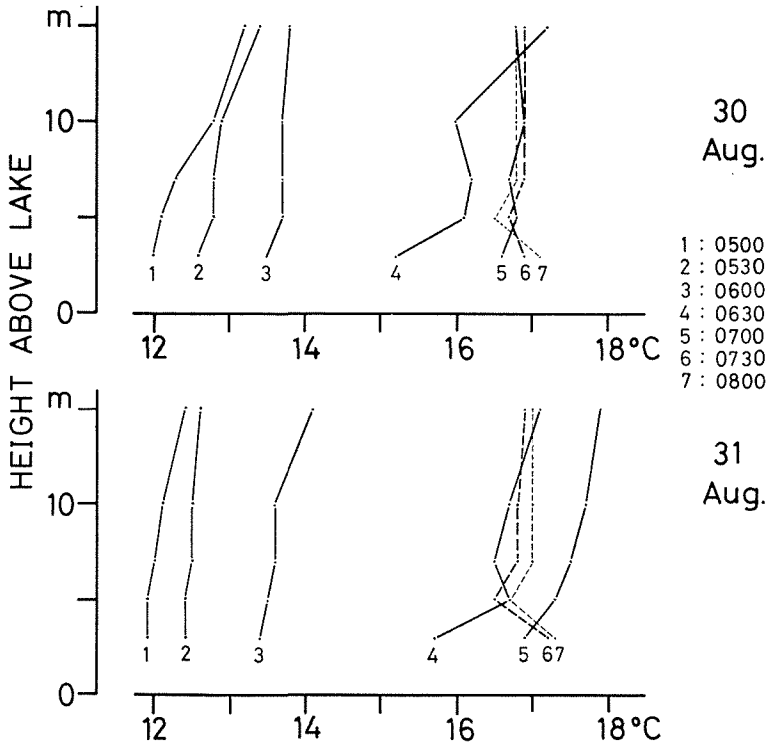

Fig. 14. The temperature profiles at the observation tower early in the mornings of 30th and 31st Aug. 1979.

気塊も下部から徐々に暖まり始めているが，その上昇率は陸上のそれに比べてあまり高くなく，低温の湖風が吹き続けることとなる。

ここでひとつ注目すべき点は6時から6時30分に到る気温逆転層の形成である。この現象については更に細かい観測によって明らかになるであろうが，その原因の一つとしては上部と下部に入って来る気塊の過去における通り道の違いが考えられる。つまり，上部は陸上を通りまだ温度上昇を続けている気塊であるが，下部はすでに湖面上へ出て再び入り込んで来た気塊とするものである。これには風向が陸側から湖側へ徐々に変化するということに加え，上部と下部での風速のちがいが必要である。これらについては更に詳しく調べて行く予定である。

実際，北岸の曙のみならず，この気温の低下の現象は湖周囲の他の地点でも起こっており，洞爺湖ではこの様な湖陸風の変換に伴う低温の気塊の存在は，周辺地域の植生，農作物へ少なからぬ影響を与えていると考えられる。

V. 結　　論

前報に引き続き，洞爺湖付近で風を中心とした気象観測を行い，特に湖陸風の特徴や構造について詳しく調べた。その結果次の様なことが分かった。

i) 湖の周囲4地点すべてで湖陸風が観測され，その風速は湖陸風共に1～2 m/sec 程度であった。陸風から湖風への変換形態は地域により異なり，また，変換時刻は日射が早くあたる西岸，北岸で早く，南岸，東岸で遅かった。

ii) 湖北部での陸風，湖風の厚さは，その return current を含めずにそれぞれ約 100 m，150 m であり，これはカルデラ内部に収まっていると考えられる。また，湖陸風の循環系は共に上空の東成分を持った風によりねじれているようである。湖風は，午前遅く入って来る海風により加速されるが，海風の発達に伴い，午後には湖風系はこわされる。

iii) 湖風の開始に伴い，湖水温より低い温度で気温が頭打ちとなる現象が見られた。これは，夜間に温度逆転形態を持った低温の陸風が湖面上で熱交換を行い，温度上昇を続けながら鉛直方向に一様な気温分布となったが，ここで湖水面との間に熱的平衡状態が生じ，湖水温より低い温度で湖風として再び陸上に戻って来たためと考えられる。

謝　　辞

本研究を行うにあたって御指導御教示を賜った北海道大学環境科学研究科環境基礎学研究室の門村　浩教授，高橋英紀助教授，浦野慎一助手に深く感謝いたします。また，野外調査に便宜を計って下さった北海道大学水産学部の黒荻　尚助教授，および観測に御協力をいただいた春名寛幸技官に深い謝意を表します。更に観測に際しては北海道大学環境科学研究科環境基礎学研究室の安斎智和（現宮城県職員），谷　宏（現北大農学部農業工学科）両君に御協力をいただきました。記して感謝の意を表します。

文　　献

Chen, W. Y. (1977): Analysis of vorticity and divergence field and other meteorological parameters over Ontario during IFYGL. Mon. Wea. Rev., **105**, 1298–1309.

Estoque, M. A. (1961): A theoretical investigation of the sea breeze. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., **87**, 136–146.

Estoque, M. A., Gross, J. and Lai, H. W. (1976): A lake breeze over southern Lake Ontario. Mon. Wea. Rev., **104**, 386–396.

加藤央之 (1980): 洞爺湖における風系. 環境科学・北海道大学大学院環境科学研究科紀要, **3**, 17–33.

Kato, H. and Takahashi, H. (1981): Local climate near the small lake. Part. 3. Land and lake breeze of Lake Toya, Hokkaido, in summer. J. Agr. Met., **37**, 29–37.

Keen, C. S. and Lyons, W. A. (1978): Lake/Land breeze circulations on the western shore of Lake Michigan. J. Appl. Meteor., **17**, 1843–1855.

Lyons, W. A. (1972): The climatology and prediction of the Chicago lake breeze. J. Appl. Meteor., **11**, 1259–1270.

Lyons, W. A. and Olsson, L. E. (1973): Detailed mesometeorological studies of air pollution dispersion in the Chicago lake breeze. Mon. Wea. Rev., **101**, 387–403.

Moroz, W. J. (1967): A lake breeze on the eastern shore of Lake Michigan; observation and model. J. Atmos. Sci., **24**, 337–355.

Shitara, H. (1967): Air temperature in summer on and around the Lake Inawashiro, Fukushima Prefecture. Sci. Rep. Tohoku Univ. 7th Ser. (Geogr.), **16**, 69–84.

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 distributions near Lake Toya, Hokkaido, in winter. J. Agr. Met., **34**, 77–82.

Takahashi, H. and Itagaki, A. (1980): Local climate near the small lake. Part 2. Air temperature distribution near Lake T ya, Hokkaido, in spring and summer. J. Agr. Met., **36**, 13–18.

徳井利信 (1961): 十和田湖・洞爺湖・支笏湖の表面水温について. 水温の研究, **4**, 26–27.

渡辺　明 (1981): 猪苗代湖周辺の局地循環について. 福島大学特定研〔猪苗代湖の自然〕研究報告, No. 2,

43–53.

Weber, M. R. (1978): Average diurnal wind variation in southern lower Michigan. J. Appl. Meteor., **17**, 1182–1189.

吉野正敏・漆原和子・大和田道雄 (1970): 諏訪湖の湖風について. 天気, **17**, 55–62.

Summary

As part of a series of observational studies, the effect of a caldera lake surrounded by the mountains and hills on the wind flow pattern over the lake was investigated. Particularly in this study, the observations of land and lake breeze were carried out on and around Lake Toya, and some features and the structures of these wind systems were noted.

1) Land and lake breeze was observed in the entire lake shore, and the mean speeds of these winds were found to be approximately 1–2 m/sec at lake shore. But the transition from land breeze into lake breeze was different at each site in mode and in time.

2) The maximum depth of the land breeze was about 100 m, and the lake breeze was approximately 150 m. The structures of these wind circulations were considered to be slightly twisted. The lake breeze was accelerated by the sea breeze from Uchiura Bay late in the morning. According as the sea breeze develops, however, the lake breeze was disrupted in the afternoon.

3) It is found that the lake breeze set in when the air was still cooler than water surface. This unique feature is explained in relation to the topography around the lake.