HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	洞爺湖における風系
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, 3(1), 17-33
Issue Date	1980-03-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/37098
Type	departmental bulletin paper
File Information	3(1)_17-33.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

環境科学 (北海道大学)	3 (1)	17～33	1980・3月

洞爺湖における風系

加藤央之
北海道大学大学院環境科学研究科環境基礎学研究室

Wind Flow Pattern over Lake Toya

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

I. はじめに

世界有数の火山国である日本には，火山に関連して，数多くのカルデラ湖が存在している。カルデラ湖は，形態上，平地に存在する湖とちがい，周囲を急勾配のカルデラ壁で取り囲まれているために，内部の水体が，その周囲の気象要素へ及ぼす影響などは特に興味深い問題となってくる。しかし，カルデラ湖周辺における気象要素の研究は，ほとんど成されていないのが現状である。人間がカルデラ湖周辺に生活し，とりわけ農業を営んでいる以上，その湖に関連した自然環境—気温，風などの気象要素の特性を知る事は，その対応を考えるためにも有効な事である。また，この湖盆地形内の気象環境をとらえる事は，人造湖の建設に伴う環境変化—周囲の植生への影響などを見積る上でも，周囲をかこまれた湖という共通性において，一つの基礎資料となるであろう。

従来の湖効果に関する研究は，降水現象，湖陸風，周辺気温への影響を対象としてとらえている。この中の風に関する研究—湖陸風に関する研究は，これとメカニズムを同じくする海陸風の研究に伴って発展している。この海陸風に関する研究では，現在もなお世界各地の海岸で，地上，上空での総合的な観測により，その特徴が調べられ，相互の比較検討が進められている (Johnson, 1973; Steedman, 1976; Colacino *et al.*, 1978)。一方，それと平行して海陸風に関する数値実験の研究も行なわれ (Estoque, 1961, 1967)，観測値との対応が成されるようになった。更に，海岸線の複雑さを加味したモデルも提出されるようになった (McPherson, 1970)。これに伴い，湖陸風の研究も進み，同様に観測が続けられる (Lyons, 1972; Lyons *et al.*, 1973 など) 一方，数値実験も行なわれ，良い一致を見ている (Moroz, 1967; Estoque, 1976)。しかしながら，これらは五大湖という広大な湖に関するものだけであった。わが国における湖陸風の観測例は数少く，諏訪湖における例 (吉野 *et al.*, 1970) がその代表的なものであるが，Shitara (1967) は，その研究の中に猪苗代湖での湖陸風の存在を認めており，数 10 km^2 の湖にも湖陸風は存在するようである。

そこで本研究は，湖盆地形という特殊な形態を持った湖において，その風系を中心として調査し，湖陸風及び，地形による局地気流をとらえ，周囲を囲まれた湖 (人造湖を含む) が周囲に及ぼす影響の一部を解明したものである。

1979年12月1日受理
Received Dec. 1, 1979

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，南西約4 kmを隔てて内浦湾（噴火湾）に面しているカルデラ湖である（Fig. 1）。周囲はカルデラ壁が発達し，湖の南南西に有珠山の山塊，西南西部にこれと同規模の山塊があり，また，東部～北部にかけては，貫別山に連なる山塊がある。北部～西部は，比高約180 mのカルデラ壁，南東部は，比高約100 mの低い尾根状の地形がある。このように洞爺湖は，周囲が一部（南東部の壮瞥川への出口と南西の低鞍部）を除いてほぼ囲まれた状態にある（Fig. 2）。

調査は，春，夏，秋の3つの季節に，それぞれ12～17日間行なった（春；1978年4月27日～5月13日），（夏；1978年8月1日～8月13日），（秋；1978年10月24日～11月4日）。

地上風の観測は，牧野式マイクロアネモを用い，1日3回，Fig. 2に示した9地点の移動観測により行なった。各地点では，風向，風速を2分間の平均で読み取った。この9地点間の移動観測には，約2時間の時間を要したので，その間の風系の変化をチェックするために，定点（春，秋は湖の北西部高台の成香，夏は北部湖岸の噴）において風の連続記録をとり，風向，風速の変動を調べた。この時，高台上の成香は周囲が開けているため，この地点の風を，この地域の一般風と見なした。また，噴での風は一般風の変化の目安として用いた。また，夏期の噴における風向，風速の連続記録は，同地点での気温，地温，日射の連続記録と対応され，詳細に検討された。

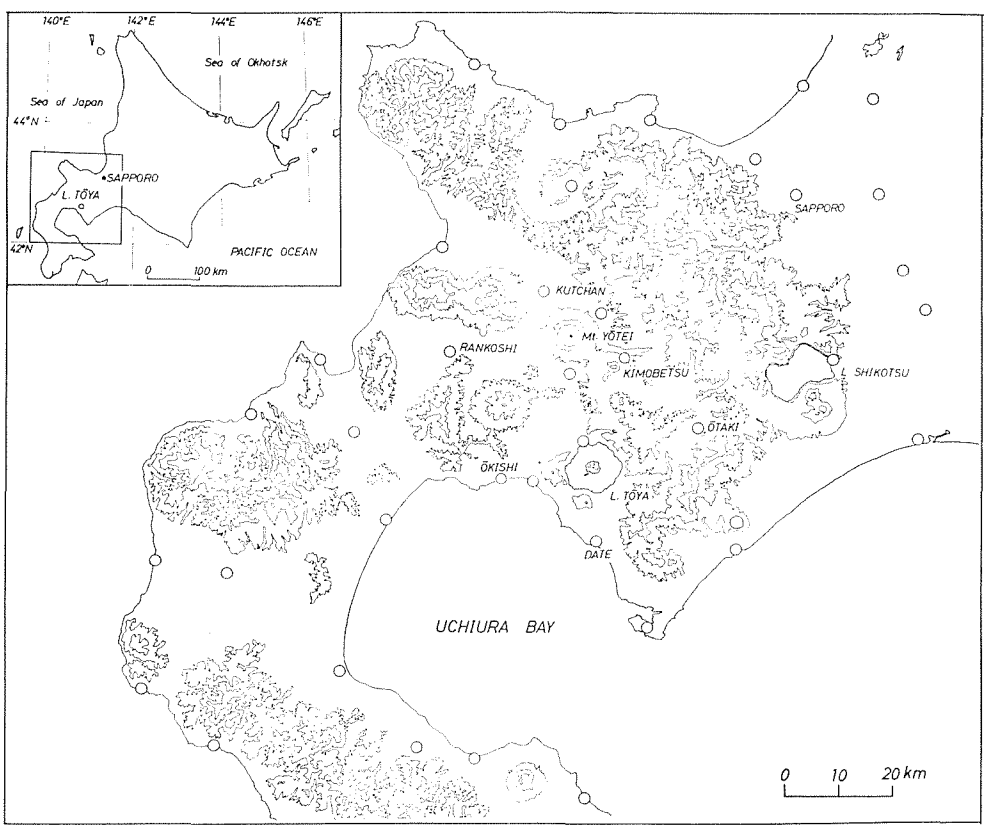

Fig. 1. Location of Lake Toya. Contours in every 300 m.
○ : Climatological stations.

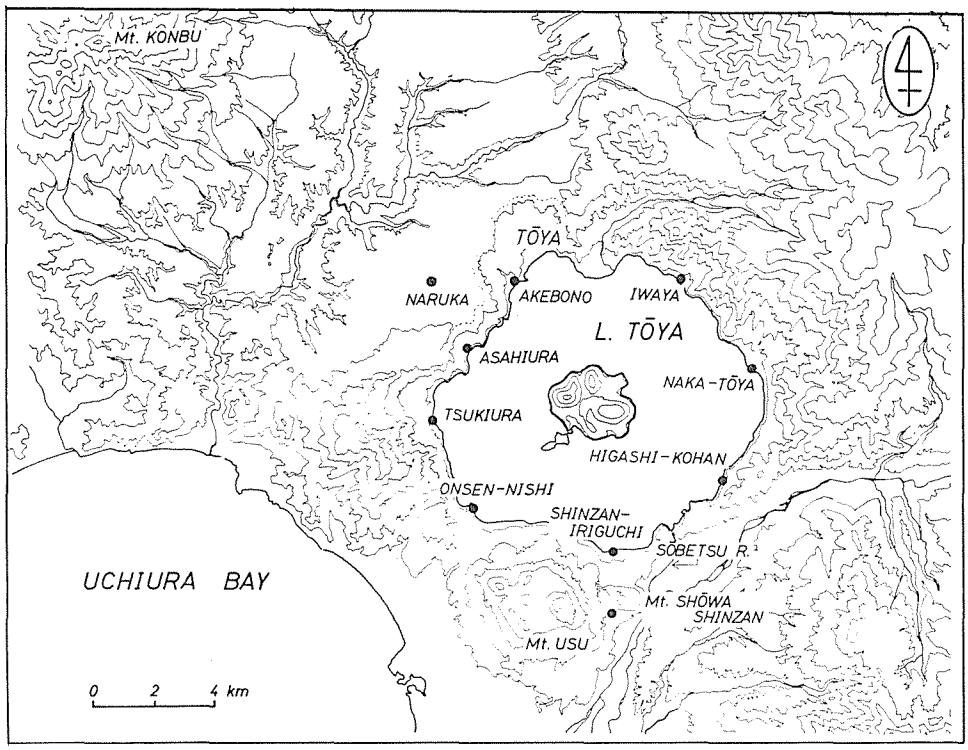

Fig. 2. Topography surrounding Lake Toya and location of the stations. Contours in every 100 m.

上層の風の観測としては，早朝，日中，夕方に，各観測地点付近で，湖面上約 1000 m までの風を小気球によって調べた。小気球は，赤色，20 g のものを用い (直径約 45 cm)，これを 2 台のトランシットで追い，1 分 (又は 30 秒) 毎にその位置を測定した。ある高さでの風向，風速はこの位置の変化より，平均的変化として求めた。気球の上昇速度はほぼ 100 m/min であるが，場合に応じ，浮力を減らしたものも使用した。

各季節での湖水温は月浦と昭和新山入口，洞爺村の湖岸において移動観測中に測定した。

III. 結果と解析

a. 地上風系

各観測期間において，1日3回の風系図を描いた。この時約2時間の移動観測時間内にその地域の一般風の風向，風速 (定点の連続記録) の大きな変化のあったものを除き，特徴的な風系を次のごとくに分類した。すなわち，湖を中心として，ほぼ収束する型，発散する型，ほぼ一方向に風向が片寄る型がそれである。それぞれを便宜上 A 型，B 型，C 型と名付けた。それぞれの型の代表例について Fig. 3 にまとめて示す。A 型は早朝，B 型は午前中にのみ出現した。C 型は一般に午後に出現するが，時に早朝や午前にも出現する事があった。A 型，B 型は一般的に風速が小さく，また C 型では比較的大きかった。地域的な特徴としては，背後の地形が急である旭浦，東湖畔などでは風速が他の観測点に比べて小さい事があげられる。各季節毎の特徴は次のようなものである。

＜春　季＞

早朝，午前は風が弱く，風系も不定のものが多かった。午後はほぼ C 型におおわれる事が多く，風速も比

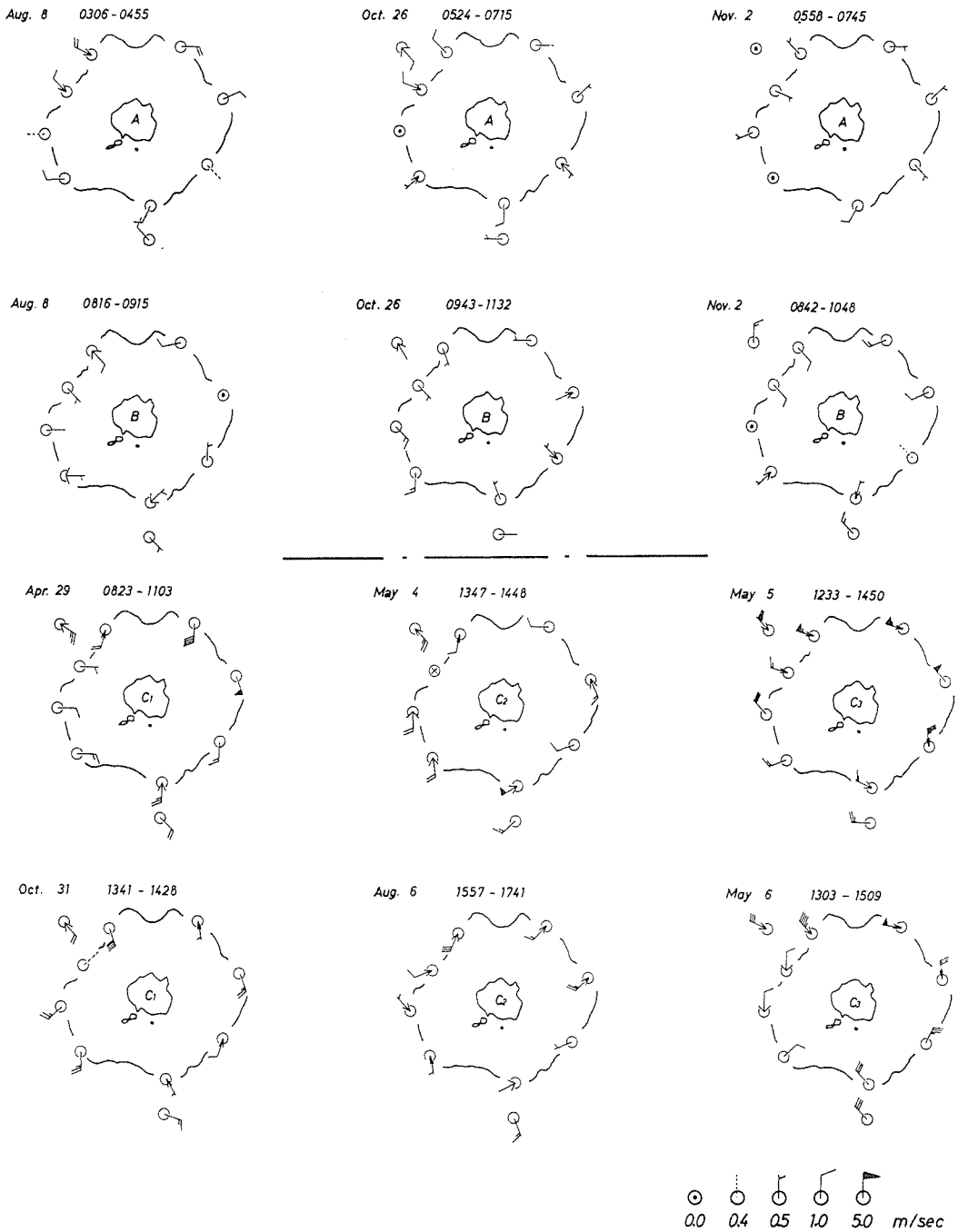

Fig. 3. The typical wind flow patterns classified into types A, B (top) and C_1–C_3 (bottom).

較的大きかった。湖水温は4～10°C で日変化はあるが，最高気温より約10°C 低く，また最低気温より2～3°C 高かった。

＜夏　季＞

早朝は，日により，開始時刻をずらし (3時～5時) 観測を行なったところ，特に3時開始の時の風系は収束風を示すA型が見られたのに対し，4時30分開始の時は風系が途中で収束から発散へと入れかわった。また5時開始の時も途中に風速0 m/sec の部分をはさんで収束から発散へ入れかわるなど，A型→B型への変化が見られた。この事から，A型→B型への変化は，この時期ではほぼ5時半～6時半頃起こるのではないかと考えられる。午後はC型の風系が多かった。湖水温は24～26°C で最高気温と最低気温の間にあり，両者との差は共に5°C 以下であった。

＜秋　季＞

夏季と同じく，早朝にA型，午前中にB型が見られた。A型に関連して特に10月26日と31日には，洞爺村 (湖北岸) と壮瞥温泉 (湖南岸) で湖面上に霧が見られた。この霧は湖に向かう風が湖に入った所から現われており，蒸発霧と考えられる。午後にはやはりC型が何例か見られた。水温は11～13°C であり，最高気温とほぼ同温，最低気温より約10°C 高かった。

A，B型のすべてについて高層風 (札幌；850 mb) との比較を行なった。いずれの場合も高層風の風速は比較的小さいようであり，最大のもので7 m/sec であった。各観測点の風速はほぼ一定でA，B型ともに0.5～2.0 m/sec であった。また，A，B型の場合の各地点の風向はほぼ一定で互いに逆向きであり，高台上の定点成香の風向とは無関係のようである。この事からA，B型の風系―陸風，湖風は湖盆地域内部だけで起こっているようである。ここでA，B型ともに温泉西では風向がばらついているが，これは，その背後が低鞍部を隔ててすぐ海なので，気流の動きも複雑になるものと考えられる。B型のとき，観測時刻が午前中比較的遅い時に温泉西で南風が見られる事があるが，この時の上層風には大きな変化は見られない。この南風は海風の進入を意味するものと考えられる。実際，洞爺湖は大地形的に見れば陸と海との境界付近にあり，大きな循環での海陸風の存在も予想される。山本 (1973) が海陸風と山谷風との複合を考えたように，洞爺湖周辺でも海陸風と湖陸風との複合が生じる可能性はある。このように考えてみると洞爺湖では，上層風が弱く，湖陸風が発達する日には，同時に海陸風の循環が存在し，その現象を複雑にしているとも考えられる。

C型について比較的風系が明瞭なものを集めた所 (18例) これらは大きく3つに分けられた。この3つの風系に対し，便宜的に C_1, C_2, C_3 と名付けた。概略的な特徴としては，C_1 は風の流線が主に SE→NW (もしくは W) に向くもの，C_2 は S→N (もしくは NE) に向くもの，C_3 は NW→E (もしくは SE) の方向に向くものである。ここで各々の風系図について高層の風と対応させてみた。高層の風については河村 (1961) と同じく 850 mb の風をとったが，同時に 900 mb の風も対象とした。C_1 の時の高層風はSW～S・7 m/sec～15 m/sec で比較的強いが，C_2 はSW～WNW の風が比較的弱い時も含まれていた。C_3 はWNW～Nの風の時に出現していた。しかしながら C_1 と C_2 との境界は明瞭ではなかった。C_1 に関して特に湖の東側と西側では風のちがいが見られる。一般風がSに近い時は，東側湖畔で比較的一般風の方向に沿って強い風が吹くが，西側では風向がまちまちである。この事から湖の東側はSの風に関して風の通り道にあたる事が推定できる。まわりの地形と比べてみると，湖南東部

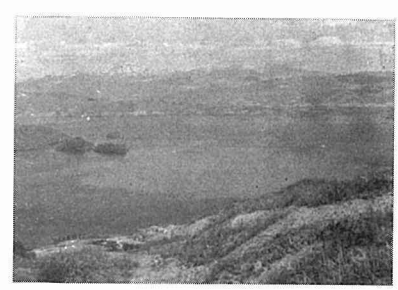

Fig. 4. Convergence zone over the Lake Toya between Tsukiura and Toyako-Onsen in the afternoon of 12 May 1978.

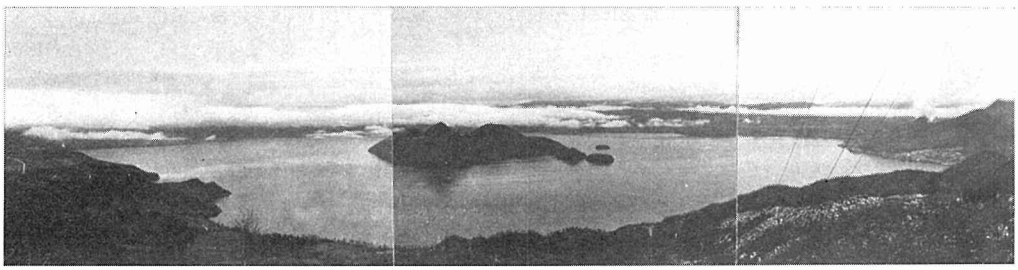

Fig. 5. The cloud band over Lake Toya early in the morning of 18 November 1977.

Fig. 6. Over flow of cloud from the southwest side of Lake Toya early in the evening of 30 April 1978.

が比較的低く，ここが気流の入り口となるようである。また，C_3 の流線を見ると，この時の風の入り口は，湖北西の高台，出口は湖南東の低鞍部と考えられる。ここで温泉西において，C_3 の場合，風向が 180° 近く異なっている場合がある。この事は，月浦西側の山塊を回り込んで来た風と，湖内部を通り吹き出そうとする風との間の強弱により変化するものと考えられる。これに関して，5月12日午後の月浦西からの写真を示す (Fig. 4)。これら2つの風の間に収束帯が出来，前述の議論の裏付けとなっている。高台の風は NW 4～5 m/sec であった。これらから，洞爺湖には3つの気流の入り口が考えられる。すなわち，南東の低鞍部，南西の低鞍部，北西の高台である。これらの風の流れについて Fig. 5, Fig. 6 にその根拠となる写真を示す。Fig. 5 は1977年11月18日早朝，Fig. 4 と同一地点から写したものである。雨あがりの洞爺湖に，南西及び南東の低鞍部から北西部の高台へと雲バンドが出現している。この時，洞爺村ではSの風であった。Fig. 6 は南西低鞍部からの気流の進入を示す，雲の over flow の写真である。これは1978年4月30日夕方に北月浦から撮影されたものであり，この時高台では WNW 0.7 m/sec であった。

b. 上空の風

上空の風の観測は各季節に各観測点付近で行なったが，それらのうち，特に地上と上空との風が顕著にちがっているものが数例見出された。ここには，その代表的な例として，1978年5月4日の早朝と正午及び8月9日午前，午後の，洞爺村付近での観測結果を掲げ，考察する。

i) 5月4日・早朝・洞爺村

小気球は，4時47分 (No. 1) 洞爺村桟橋から，また5時27分 (No. 2) 浮見堂から放された。Fig. 7 には放球地点付近の地形と小気球の軌跡とを，また，Fig. 8 には放球地点付近の軌跡の拡大図を示す。この時同時に桟橋付近の湖岸において地上風の連続記録をとった。地上風はほぼ一定で，風向 N，風速は 1 m/sec 前後であった。上空での観測された風向，風速をまとめて Fig. 9 に示す。上空の風は地上とかなりくい違っており，湖面上 50～100 m で大きく変化している。また，風速もこの高度で一度減少し，湖面上 150～200 m の間に急激な増加を見せている。上空 900 mb の風は3時の札幌での値で SSW・5 m/sec，また，9時には WSW・6 m/sec であり，Fig. 9 の値とほぼ同じである。また Fig. 9 には，高台上の成香 (海抜 268 m，湖面上 184 m) での風向も示した。風速は 0.5 m/sec～0.7 m/sec であった。上空での風も比較的弱い状態にあり，地上と上空の風向が反転している事から，この桟橋付近の風は，湖陸風のうちの陸風を示していると考えられる。

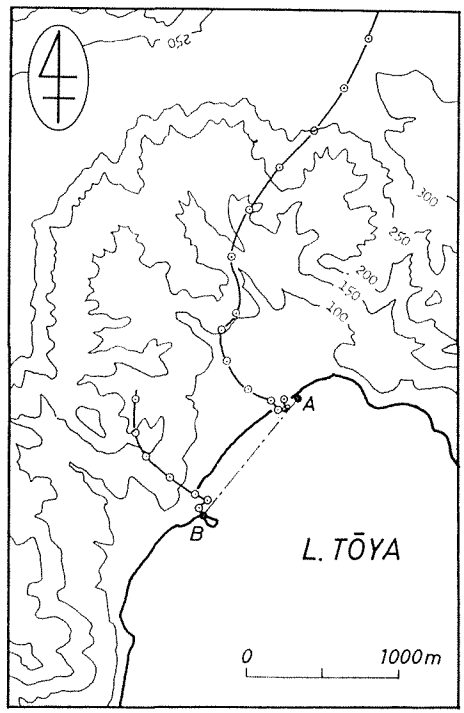

Fig. 7. The trajectories of the balloon flights and the topography near the observation area at Toya early in the morning of 4 May 1978. A and B are the theodolite tracking sites.

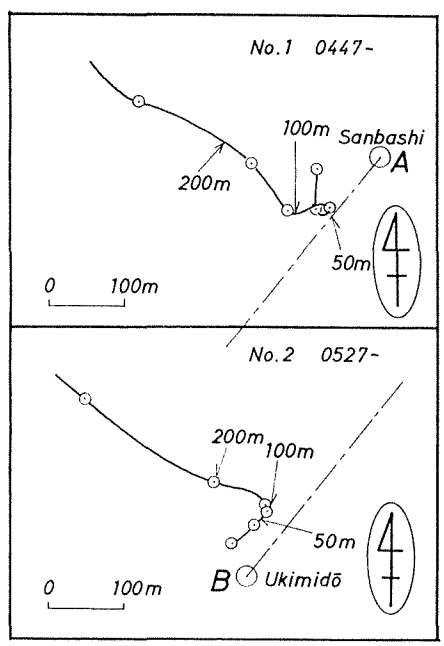

Fig. 8. The detailed trajectories of the balloon near points A and B in Fig. 7.

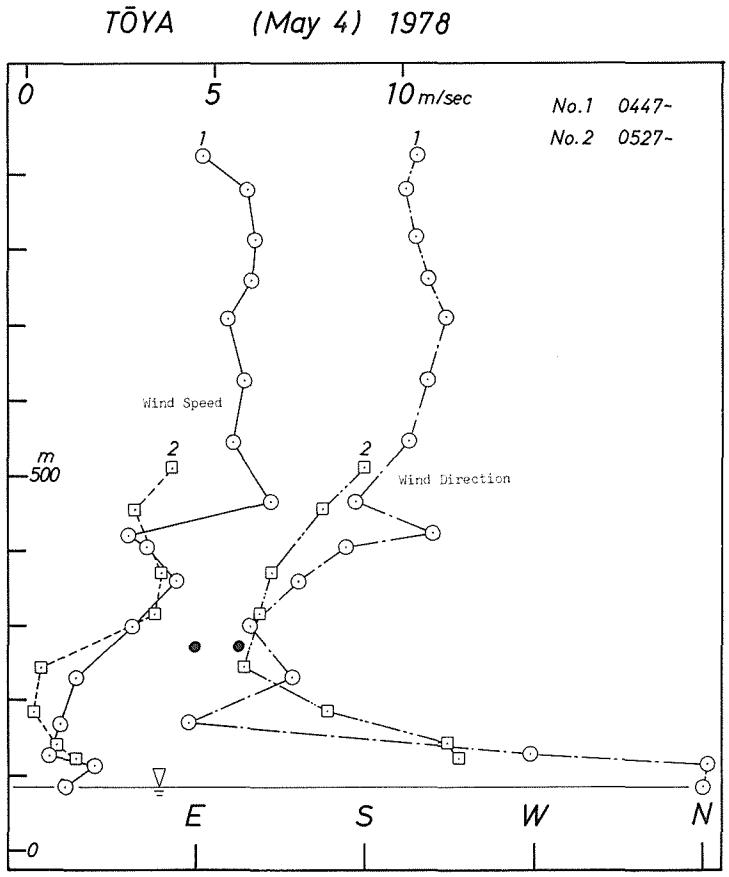

Fig. 9. Change in wind direction and wind speed with height at Toya V. early in the morning of 4 May 1978. ●: Wind direction at Naruka.

ii) 5月4日・正午・洞爺村

小気球は i) と同じ地点で，同日 12時 14分 (No. 1) 洞爺村桟橋からと，12時 28分 (No. 2)，12時 41分 (No. 3) に浮見堂より放球された。放球地点付近の地形と気球の軌跡を Fig. 10 に示す。成香での風は S～SE・2～3 m/sec であった。地上風 (浮見堂での連続記録) は No. 1 の観測中は SE・1 m/sec 前後であったが，No. 2 放球前に S・2～3 m/sec と変化し，以後はそのままであった。上空での観測された風向，風速を Fig. 11 に示す。風向は上空でもほとんど変化が無く，風速は湖面上 50 m 前後で急激に増加している。上空 900 mb の風は札幌で 9時に SW・7 m/sec，15時に SW・5 m/sec であり，Fig. 11 の結果はこれと比べ，風速はややはずれてはいるが，ほぼ一般風におおわれた状態であったといえる。

これら 2 つの観測結果において，特に興味深いのは i) の早朝の風についてである。ここで着目すべき点は 150～200 m (湖面上) の間での急激な風速の変化である。この高さ以上では一般風の影響を受けており，その下層では一般風の影響を受けていないと考えられる。(例えば逆転層の存在があげられる) すなわち，地上付近の風は上層風とは無関係な風であり，風向，風速から考えて陸風と推定できる。その厚さは 50～100 m であると見られ，また，return current はあまり明瞭ではないが，その上部に同程度の厚さで，SE の風として存在

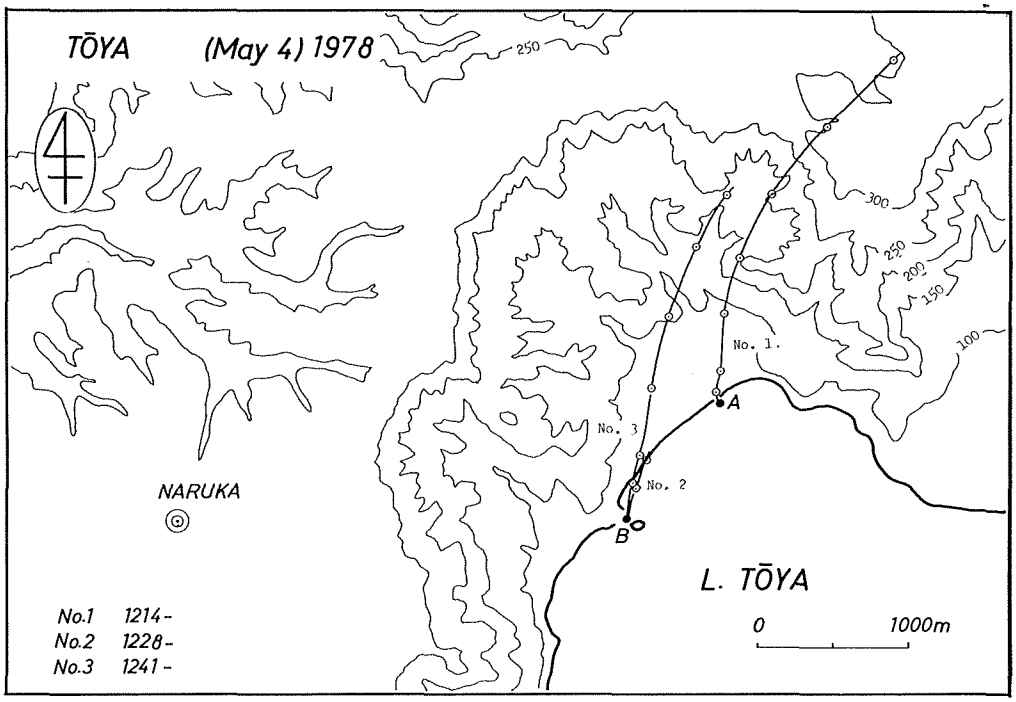

Fig. 10. Same as Fig. 7, early in the afternoon of 4 May 1978.

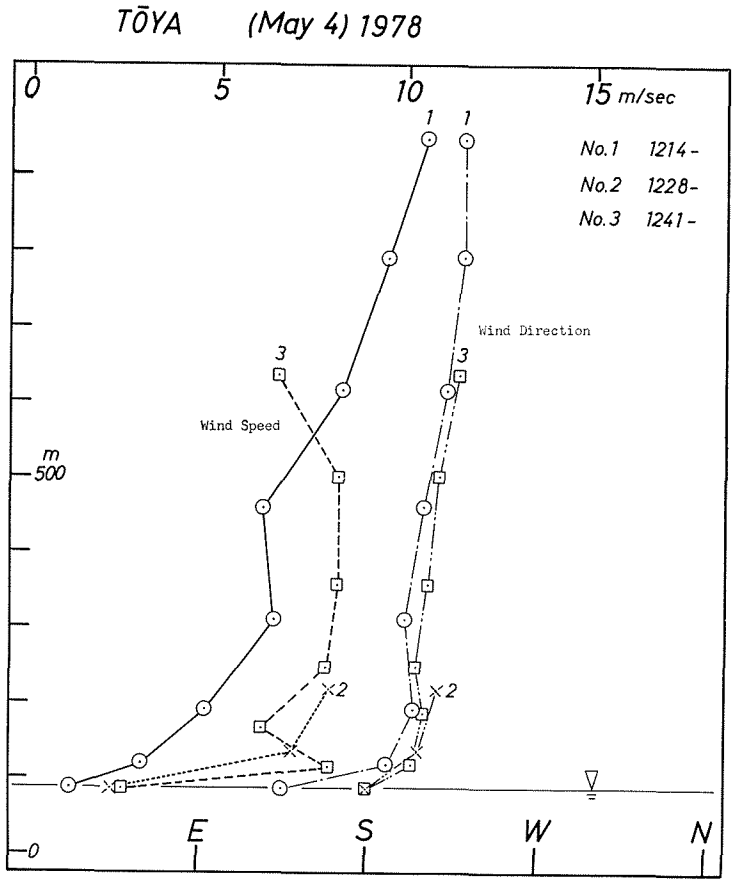

Fig. 11. Same as Fig. 9, early in the afternoon of 4 May 1978.

しているように見える。また，観測時間中に桟橋と浮見堂の中間地点に煙の流れが見られた(Fig. 12)。この流れの方向は陸→湖に向かっている事が両観測地点より確かめられた。これも陸風を示す一つの証拠となろう。この陸風の及ぶ範囲は return current も含めて湖面上 150～200 m と考えられるが，この高さは高台の高さに近く，この事からこの湖陸風は湖盆地形内部だけの小さなものである事が推定される。

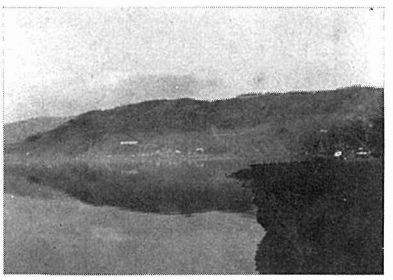

Fig. 12. The flow of smoke at Toya in the morning of 4 May 1978.

5月4日の午前中の地上風系 (8時22分～9時45分) はB型に近かった。しかし午後 (13時47分～14時48分) では C_2 型になっており，昭和新山入口でSWの風 5.1 m/sec が観測されている事から見ても ii) の洞爺村での正午頃の風は一般風と見なして良い。

iii) 8月9日・午前・洞爺村

小気球は，10時45分 (No. 1)，11時36分 (No. 2)，11時46分 (No. 3) 浮見堂付近の湖面から，また12時01分 (No. 4) に浮見堂より放球した。上空での観測された風向，風速を Fig. 13 に示す。地上風 (曙での連続記録) はS～SEで，風速は観測開始時刻の 2 m/sec から時間と共に増加し，観測終了時刻には 4 m/sec に

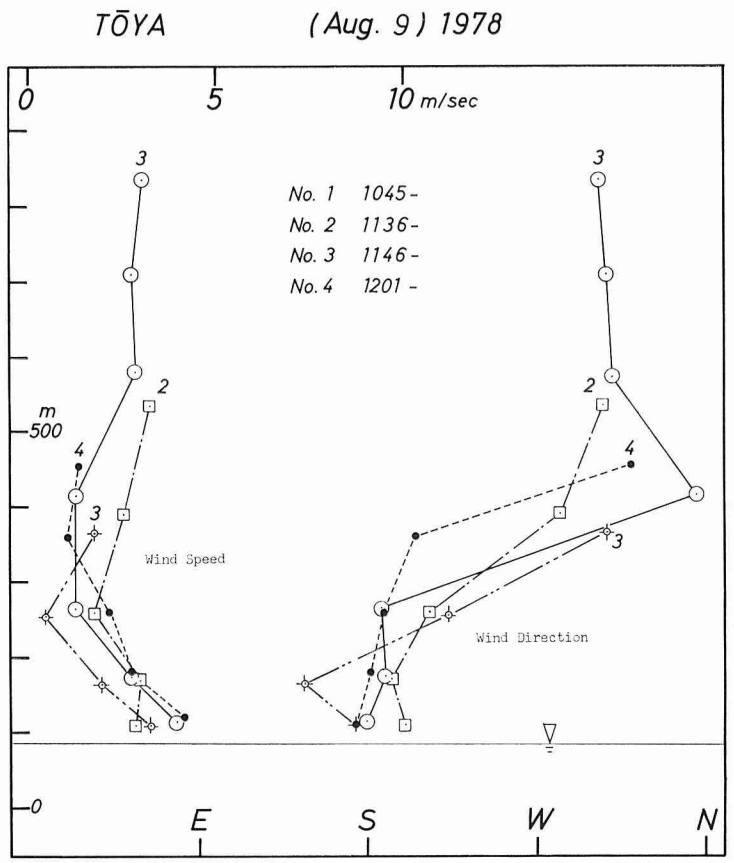

Fig. 13. Same as Fig. 9, at Toya late in the morning and early in the afternoon of 9 August 1978.

達した。上層の風は 900 mb (札幌での値) で 9 時に NNW・5 m/sec, 15 時に N・3 m/sec で Fig. 13 の値はこれに比較して風向はやや西寄りであるが, 風速はほぼ一致している。上空の風は, 湖面上 200～300 m をもってSから WNW へ変化し, 風速は地上からその高さまでは減少, それ以上の高さでは徐々に増加していた。地上付近の風向は湖からの風を示しているが, 風速が 4 m/sec に達する事から, この風は湖風とは別の局地風, もしくは湖風に局地風が加わったものと考えられる。

iv) 8月9日・午後・曙

小気球は 14 時 36 分 (No. 1), 14 時 49 分 (No. 2), 15 時 02 分 (No. 3), 15 時 20 分 (No. 4) に曙の観測点付近より放球した。Fig. 14 に, 観測された上空の風向, 風速を示す。地上風の連続記録は曙でS・2～4 m/sec を示した。上層の風 (札幌での値) は 15 時に 900 mb で N・3 m/sec, 850 mb で WNW・4 m/sec であった。上空の風は湖面上 200～300 m の高さでSから NW～N と変化し, 風速は地上から風向変化高度まで減少し, それ以上の高度ではほとんど一定であった。Fig. 14 は, 同日午前, 洞爺村での観測結果ときわめて良く似ており, この事は, この地域内での風が日中数時間同様な形で吹いていた事を示している。

これら 2 つの観測結果について, 特に興味深いのは地上付近で比較的風が強く, 上空に行くに従い弱くもしくは一定になる事である。風向自体から見れば, 地上と上空の風の変化は湖風とその return current に見える。しかし, ここでの地上付近の強い風速は, 湖陸風だけによるものではないと考えられる。この南風は, 地上風系の章 (III-a) で推定された海風が加わったものではないだろうか。実際 Table 1 に示すように, 海

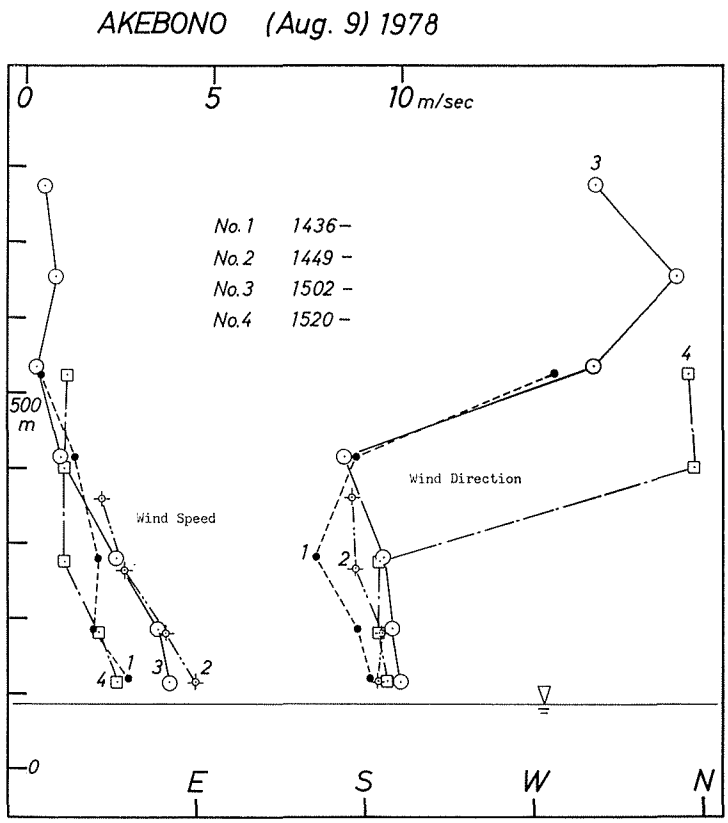

Fig. 14. Same as Fig. 9, at Akebono in the afternoon of 9 August 1978.

Table 1. Hourly variation of the wind at meteorological observatories of AMeDAS near Lake Toya in the daytime of 8–9 August 1978

August 8	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 h
OKISHI	NNE	NNW	WNW	SSW	SSW	SSE	S	SSW	NNW	N	NNW	NNW	NNE
	3	2	1	2	2	3	2	2	2	4	4	1	2
DATE	ENE	N	N	NNW	SW	W	WNW	WSW	N	NNE	NNW	N	—
	3	2	2	2	1	2	1	2	1	3	2	3	0
OTAKI	NE	—	SE	SW	SW	SW	NE	N	NNW	N	N	N	ENE
	1	0	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1
KIMOBETSU	—	—	WSW	—	NE	WNW	WNW	NW	N	NNW	NW	NNW	NW
	0	0	1	0	1	3	1	4	3	3	3	1	3

August 9	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 h
OKISHI	N	NNE	NNE	SSE	SSW	SSW	SSW	SSW	SSE	SSE	SSE	SSE	ESE
	2	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1
DATE	NE	NNE	NNE	NNW	S	SSW	SW	SSW	SSW	SW	SSW	SSW	—
	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	0
OTAKI	NE	NE	E	SE	SSW	SW	SSW	SW	SW	E	SSW	NE	NNE
	2	1	2	1	1	1	2	4	2	2	1	1	1
KIMOBETSU	E	SSW	—	W	NW	WNW	WNW	NW	NW	NW	NW	NNW	SW
	1	1	0	2	2	3	2	5	3	3	4	2	1

Table 2. Hourly variation of wind at Akebono in August

Aug.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23 h
1																			SSE 5.5	SE 5.0	NW 1.5	NW 2.5	NNW 1.0	NW 1.5
2	NW 2.0	NW 2.0	NNE 1.0	NNW 1.0	NW 1.0	WNW 1.0	NW 1.5	SE 1.5	E 3.0	S 3.0	S 4.0	SW 4.0	S 4.5	S 4.5	S 3.0	S 4.0	S 4.0	S 3.0	S 1.5	NW 1.0	** 0.5	W 1.0	NW 0.5	W 1.5
3	NW 0.5	W 1.0	NW 1.5	NW 1.0	NW 1.5	SE 4.0	SE 0.5	SE 5.5	SE 2.5	SE 5.5	S 3.0	S 2.0	SE 3.0	SE 1.5	W 3.0	W 4.5	W 2.0	W 2.5	NW 2.5	NW 2.5	NW 2.5	W 1.5	NW 2.0	N 1.0
4	E 1.0	W 1.0	SE 5.5	E 4.5	SE 7.5	SE 9.5	—	—	—	S 7.0	W 2.5	W 4.5	W 4.5	W 7.0	NW 3.0	NW 3.5	W 2.0	W 2.5	N 2.5	N 1.0	W 1.0	N 1.0	NW 1.0	N 1.0
5	N 2.0	N 1.0	N 1.0	NW 1.0	NW 0.5	NW 1.0	N 0.5	E 2.0	E 1.5	S 3.0	S 5.5	SW 4.0	SW 7.0	W 2.5	N 3.0	N 3.0	N 2.0	SW 2.0	W 4.0	SW 4.0	NW 1.0	NW 1.5	NW 1.5	NW 1.5
6	NW 1.0	NW 1.5	NW 1.5	NW 1.5	NW 1.5	NW 1.0	NE 0.0	E 1.0	S 2.0	S 2.5	S 3.0	S 3.0	SE 3.0	S 2.0	S 3.5	S 3.0	S 3.0	SW 3.0	SW 3.5	W 0.5	NW 1.5	—	—	—
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	NW 1.0	W 1.0	NW 1.0	NW 0.5	N 1.0	NW 0.5	N 1.0	N 1.5
8	NW 0.5	NW 1.5	NW 2.0	NW 1.5	NW 2.5	NW 2.0	NW 1.5	NE 0.5	E 1.5	S 1.5	S 2.0	E 2.0	S 2.0	S 2.5	N 2.0	NW 2.0	NW 2.0	NE 1.5	NE 1.5	N 1.5	N 1.5	NW 2.0	N 1.0	NW 2.0
9	N 1.0	N 1.5	NW 3.0	N 2.0	NE 1.5	N 1.5	NW 1.5	NW 2.0	NE 2.0	E 1.5	SE 1.5	S 2.0	S 3.5	S 5.0	S 2.5	S 2.0	S 3.0	SW 2.0	NW 1.5	N 1.0	NW 1.5	NW 1.0	W 1.5	NW 1.5
10	E 4.5	E 4.0	E 4.0	SE 3.5	SE 5.0	SE 5.5	SE 4.0	SE 2.5	S 3.5	SE 6.5	SE 7.5	SE 4.0	SE 2.5	SE 4.0	S 2.0	S 3.0	S 2.0	S 2.0	NW 0.5	SW 2.5	SE 1.0	SW 3.0	SW 2.5	SW 3.0
11	SW 4.0	SW 5.0	SW 4.0	N 2.5	N 3.0	N 3.0	N 2.5	N 1.5	NW 0.0	NW 3.0	NW 2.5	NW 2.5	N 4.0	NW 3.0	NW 2.5	W 2.0	N 1.5	N 1.5	N 1.0	NW 1.5	NW 1.0	NW 1.0	NW 1.5	W 1.5
12	NW 1.5	NW 1.5	NW 1.0	NW 1.5	NW 1.5	NW 1.0	NW 1.5	NW 1.0	S 1.5	SE 1.0	E 1.5	S 2.5	S 2.5	E 1.5	S 1.5	S 5.0	S 3.5	S 2.0	NW 2.0	N 1.0	NW 1.5	NW 1.0	W 1.0	NW 1.0
13	NW 1.5	NW 1.0	NW 0.5	NW 1.0	NW 2.0	NW 1.5	NW 1.5	N 0.5	SE 0.5	E 0.5	E 1.5	SE 1.5	S 2.0	S 3.0										

岸沿いの地域の AMeDAS の記録を見ると，高層風一定の状態で海風を示す風向変化を示していた。また，特に Fig. 14 が示す通り，曙で S の風が午後に，より上層にまで発達しており，これも海風の発達と湖風の発達の両方に関連したものではないかと考えられる。地上風系の章 (III-a) で，午後に B 型風系が見られないのはこの事にも関連している可能性がある。すなわち，上層の風が弱く，一般風の影響を受けない状態で，午前には B 型の風系を形成していても，午後には湖風の発達と同じ条件で発達した海風が進入し，この風系をこわすものと考えられる。

c. 湖岸定点における風の変化

8月1日～8月13日までの曙における風向・風速の変化を Table 2 に示す。各時刻の風向・風速は，正時の5分前から正時までの平均を取っている。風速は 0.5 m/sec 単位で記録し，風向は8月1日～2日午前8時までは16方位，以後は8方位で示している。この表によれば，夜間はほぼ NW 系・1.5 m/sec の風，日中は E～S～W の風におおわれている事がわかる。また，約 180° の風向変化が午前6時～8時の間に起こっている例が数例見られた。この早朝の風向変化のうち，風速が極端に大きくないものを7例選び出し，更に詳しい風向・風速の変化を Fig. 15 に示した。風速は10分毎にその平均値を出している。この風向変化は，ほぼ6時～7時の間に起こっており (III-a で移動観測から推定したおおよその時間帯とほぼ一致している) NW 系の風 1.5 m/sec から，風向が不定もしくは NE 系に変化し，風速も 1.0 m/sec 以下となり，その後 E～SE の風，2.0 m/sec 前後になるのが一般的のようである。この早朝の風向の変化は上層の一般風の変化 (札幌・3時と9時) の有無にかかわらず起こっており，これは陸風から湖風への変化と考えられる。ここで，ただ一例だけ，13日の朝は変化時間が約1時間遅れているが，この日は曇天であり，気温上昇が遅れていたためと考えられる。地上風系の変化で見られたように，日中は特に湖風以外の影響を強く受けているようであり，E～SE 系の風は種々の方向の風 (特に SW) 3 m/sec 以上に置き換わっていた。この強い風のためか，夜間における風向の変化の時間帯は明瞭ではない。しかし，この強風も遅くとも20時には消えており，その後は NW・1.5 m/sec 前後の風が吹く事が多かった。夜間の NW の陸風に比べ，日中の湖風が比較的短い時間でとぎれて強い風におおわれている事は，日中は一般風におおわれる可能性が高い事を示している。これは例えば下層付近の大気の安

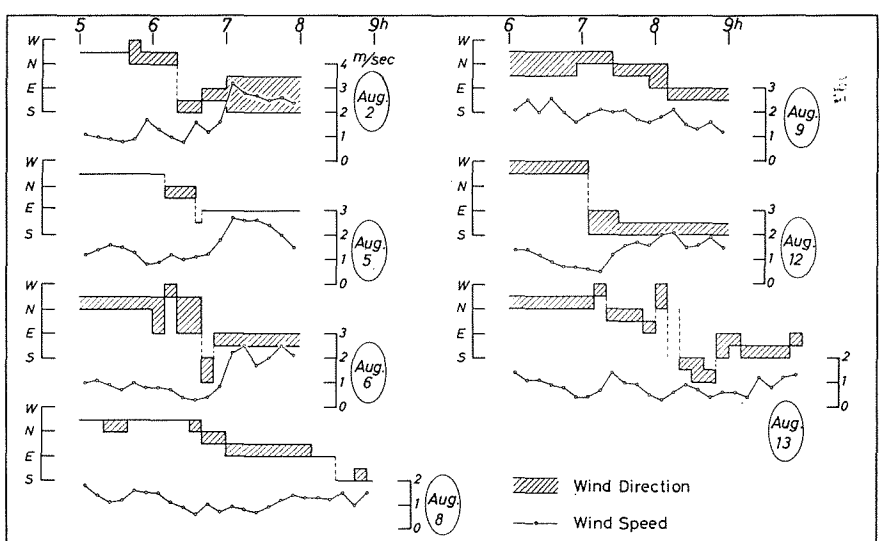

Fig. 15. Variation of wind speed and direction at Akebono in the morning in August.

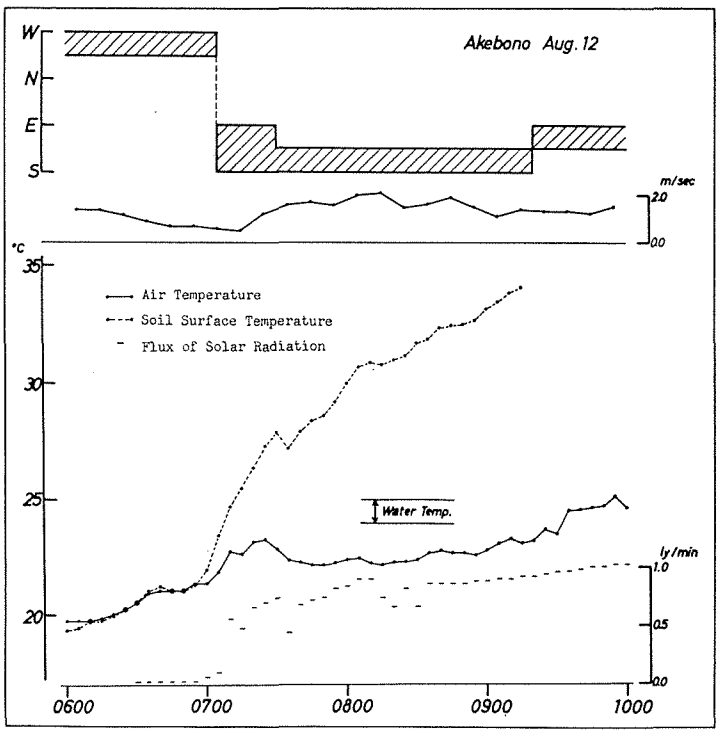

Fig. 16. Variation of wind speed and direction, air temperature, soil surface temperature, flux of solar radiation at Akebono early in the morning of 12 August 1978.

定度による上層一般風の影響にも関連するであろうが，これに加えて III-b で述べた毎く，上層の風が比較的弱い時でも海風の影響が湖風に加わって強い風になる事も考えられる。

ここで Fig. 15 の陸風→湖風への変化に同地点での気温，地温及び日射の記録を対応させてみたところ，興味深い現象がうかびあがった。特に風向の変化の明瞭な 8 月 12 日の早朝の例を Fig. 16 に示す。水温は 24～25°C であった。この図に示す毎く，気温は風速がかなり弱くなる時間帯に高くなり，湖風が始まる時刻には水温よりも 2～3°C 低くなり，それから徐々に増加している。この現象については次のように説明できる。5 時 45 分に日射が始まり，地温，気温が共に上昇し，地温が湖水温より高くなってしばらくたつと湖風が始まる。この時，湖から吹いて来る風は，風速が弱まる時間帯以前に陸から湖へ吹き込んだ冷たい空気塊が湖面上に停滞していたものと考える事ができる。また，陸風が止まったいわゆる凪の時，地温は湖水温より温度があがるため，陸上の空気はあたたかくなるが，湖水上の空気はこれに比べて温度があがらない。このため，湖風が始まった時にはあまり昇温していない，湖水温より低温の空気が陸上に向かって吹く事になる。この後，時間がたつにつれて湖風の温度が徐々に上昇して行くのは，遅い時刻に吹く風は，より長い時間湖面上にあった空気に相当し，湖水との熱交換も進んでいた事によるのであろう。しかしながらこの低温の風は陸風から湖風への変換時刻から数時間続き，農業的な意味においても陸上にもたらす影響は大きいと考えられる。

IV. 結　　論

洞爺湖における，地上及び上空の風の観測結果から次のような事が分かった。

i) 洞爺湖周辺ではいずれの季節 (春～秋) にも夜間から早朝に陸風が，午前中早いうちには湖風が現わ

れた。風速はいずれも1～2 m/secであり，また，小気球の軌跡によればその影響範囲はほぼカルデラ内におさまる程度のものと見なされる。

ii) 午後にはいずれの季節（春～秋）にも湖風は見られず，比較的強い風におおわれていたが，風系は上層風向に対応して大きく3つに分けられた。この風系は，湖の周囲の地形と対応していると思われる。

iii) 上層の風が弱い時でも湖北岸でSW系の比較的強い風におおわれる事があるが，これは湖南西部からの海風の進入と考えられる。この風により湖の収束風系は午前中遅くにはこわされ，この風下域の地上風は強くなる。特にこの地域での強風は湖風と海風との合成によるものであろうと推定される。

iv) 夏期，湖岸で湖風が吹き始める頃から水温より低い温度で約2時間気温が頭打ちとなる事があり，これは夜間に陸風として湖上へ吹き込んだ冷たい空気が，あまり昇温されずにもどって来たためと推測される。この現象は湖盆地形特有のものかどうか現在の所不明であるが，湖風が低温である事の一つの新しい解釈といえる。

以上，洞爺湖周辺における風を中心とした比較的長期にわたる一連の研究により，わが国に存在するような小さな湖については従来事例的に報告されていた湖周辺の特徴的な気象現象が湖盆地形と関連して時間的にも空間的にも一層明瞭な形で把握し得たものと考える。

謝　辞

本研究を行なうにあたって多大なる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，山本博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するとともに調査にあたり御協力をいただいた，洞爺村，虻田町，壮瞥町の関係諸機関に謝意を表します。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大学院生諸氏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

Colacino, M. and Dell'osso, L. (1978): The local atmospheric circulation in the Rome area. *Boundary-Layer Meteor.*, **14**, 133–151.

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

——— (1967): The sea breeze as a function of the prevailing synoptic situation. *J. Atmos. Sci.*, **24**, 337–355.

——— (1976): A lake breeze over southern Lake Ontario. *Mon. Wea. Rev.*, **104**, 386–396.

Johnson, A. Jr. and Obrien, J. J. (1973): A study of an Oregon sea breeze event. *J. Appl. Meteor.*, **12**, 1267–1283.

河村　武 (1961): 北海道における冬季の降水分布の総観気候学的考察. 地理学評論, **34**, 583–595.

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

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

McPherson, R. D. (1970): A numerical study of the effect of a coastal irregularity on the sea breeze. *J. Appl. Meteor.*, **9**, 767–777.

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**, 37–50.
Steedman, R. A. and Ashour, Y. (1976): Sea breezes over north-west Arabia. *Tellus*, **28**, 299–306.
山本武雄 (1973): 山口盆地の冷気湖と地形風. 天気, **20**, 74–76.
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

The effect of a caldera lake surrounded by the mountains and hills on the wind flow pattern over the lake was investigated in this study. Two objects were studied in this paper. One was to clarify the influence of lakes on the meteorological phenomena over the surrounding area, and the other was to obtain fundamental data for the assessment of environmental changes caused by man-made lakes.

The series of observations were carried out on and around Lake Toya, about 60 km southwest far from Sapporo, in the spring, summer and autumn of 1978. The surface wind, upper wind and water temperature were observed for about two weeks in each season. From these observations the following features were noted.

1) The land and lake breeze system over Lake Toya and its surrounding region were observed in a series of observations. Land breezes were observed during the night and early in the morning. And after sunrise the lake breeze blew and continued until about noon during these seasons. The wind speed of land and lake breeze were approximately 1–2 m/sec. It appeared that the extent of the land and lake breeze were limited within the caldera judging from the trajectories of the pilot balloon.

2) In the afternoon the lake breeze ceased to blow and lake was exposed to a comparatively strong wind. The wind flow patterns over the lake and its surrounding region were classified into three types, affected by topographical conditions.

3) Even when the upper winds were weak, a south-westerly wind prevailed over the lake. It is considered to be the sea breeze from Uchiura Bay. By the sea breeze, the lake breeze system (divergent wind) was disrupted late in the morning. Then, the wind became strong at the leeward shore of the Lake. It seems to be the result of a building up of the lake breeze and sea breeze.

4) In summer, as the land and lake breeze developed, the air temperature became 2–3°C lower than that of the water temperature at the outset of the lake breeze. And these phenomena continued for about two hours. It was suggested that cold air had flown into the lake from inland at night, and a sufficient exchange of heat of the lake surface had not set in.