

佐久盆地千曲川の谷地形における冷えこみと山風の形成

田中正昭・枝川尚資

FORMATION OF THE NOCTURNAL LOWERING OF THE TEMPERATURE AND MOUNTAIN WIND ALONG THE CHIKUMA RIVER VALLEY IN THE SAKU BASIN

By *Masaaki* TANAKA, *Hisashi* EDAGAWA

Synopsis

The purpose of the paper is to investigate thermal and dynamical effects of the mountain topography to the lower atmosphere. Observations of the wind, temperature, humidity and net radiation were made in July and August 1984 at 5 sites along the V-shaped Chikuma River Valley, slope inclination of 1/60, located in the Saku Basin, Nagano Prefecture in the central part of Honshu. Special observations of the vertical distribution of wind, temperature and humidity from surface up to 3 km height were carried out from 28 to 29 in July 1983 and from 1 to 3 in August 1984 at three sites, Komoro, Saku and Usuda. Relationships among the general flow (gradient flow), nocturnal lowering of the temperature, stability of the lower atmosphere, and formation of the local winds were analyzed and discussed on the basis of the observational data. At night and in the early morning, for some effective radiation, the temperature of a ground surface dropped several degrees, stable layer and mountain (down slope) wind developed along the valley. The wind speed increased with lowering of the temperature, its maximum was more than 3 m/s when the temperature dropped about 7°C.

But, the local mountain wind unformed when the general flow along the valley was stronger than 10 m/s. Observations suggested that cold advection due to the crossvalley flow from the mountain region into the lower atmosphere over the valley dominated the formation of thick stable layer.

From afternoon to midnight easterly wind of regional scale often appeared over the Saku Basin, which effected on the temperature over the valley. The nature of the regional scale wind was discussed.

1. は し が き

ある場所における夜間の冷えこみを鉛直一次元の熱収支の問題として取りあつかえるのは、ごく限られた条件下のみで、通常は地形、気候条件などにより熱の水平分布に不均一が生じ、種々な流れを作り大気の流れと流れは相互に作用しあって複雑なものとなる。

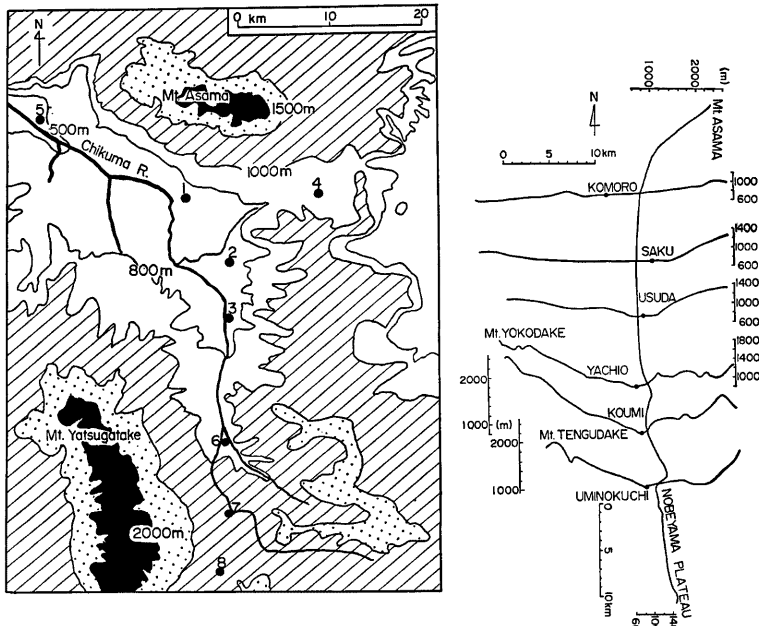
われわれは中央部に南北20 km 東西8 kmの平坦地をもち、周囲を300~500m高度の山地で囲まれた京都盆地で、四季毎に実施された風、気温の鉛直分布観測資料から夜間の冷えこみと、盆地内に発生する局地風の鉛直構造を解析し、その相互関係と安定層、局地風の形成について検討した。その結果、1)一般風が13m/s以上のときは下層まで上層風の支配下に入るが、それ以下の場合、周囲の山の熱的影響で、安定層が早朝周辺の山地高と同程度にまで発達する、2)安定層内には盆地内の夜間の数°Cの北高南低の気温差により、水平対流が発生し、盆地スケールの2~3 m/sの南風が地上から数100m高度にまで形成される、3)この南風

は盆地内の気温を均一化する働きをもつ、などが明らかになった。

本報告では、京都盆地での研究と同様に盆地、谷など複雑な地形が周辺の局地気象に及ぼす影響といった基本的視点に立って、典型的な谷地形である佐久盆地、千曲川沿いの谷において風・気温その他の気象要素を観測しその資料に基づいて、冷えこみと山風の形成、その鉛直構造を詳細に論じた。また午後から夜半にかけて、しばしば出現する谷スケールより大きい地域スケールの冷氣移流を伴う東風について、その性質を考察した。

2. 観測地点周辺の地形と観測項目

われわれが測器を設置して直接に風、気温その他を観測した地点は **Fig. 1** の左図に示した、千曲川沿いに北から南へ、小諸(1)、佐久(2)、臼田(3)、小海(6)、南牧(7)である。典型的な谷地形をなしている地域は、**Fig. 1** からわかるように南牧(7、海拔1046m)から北へ約20 km 下流の臼田(3、海拔694m) 辺までであり、谷の平均勾配は約1000分の17である。谷の両側の山地をみると、上流の小海(6、海拔870 m)の付近では、東を海拔1800~1900m級の関東山地に、西を海拔2,000mを越す八ヶ岳山脈にはさまれ、深い谷のなかにある。下流に下るとともに谷は徐々に拡がり、両側の山地も低くなり、小海から約12 km の臼田では、東は1,400m、西は1,000m程度となる。臼田の東側の山地は、大きな谷で峠に通じている。佐久(2)、小諸(1)、両地点は谷地形のなかとはいえない。特に小諸は北側にある海拔2000mを越す浅間山山系の影響を受け、臼田などとは異なった風の構造を持つ。しかし観測結果からみると佐久では、ごく地表付近は複雑であるが数100mより上層の風は、谷地形上のもと同様な性質を持っているようである。



Numerals indicate 1 Komoro, 2 Saku, 3 Usuda, 4 Karuizawa, 5 Ueda, 6 Koumi, 7 Minami-maki, 8 Nobeyama (see table 1)

Fig. 1 Map (left) and cross-section (right) of the Saku Basin

Table 1 Observation site, Measuring factor, Instrument, period

Site	Altitude	Measuring Factor	Instrument	Location	Period
Komoro Higashi Junior high School (1) in Fig. 1	718 m	Temperature Humidity	Long Range Thermo-Hygrograph (Nakaasa)	Field 1.5 m (Shelter)	1984. 7. 1-8. 24
		Wind Profile	Pilot Baloon	up to 3 km	{1983. 7. 28-7. 29 1984. 8. 1.-8. 3}
Nagano Livestock Breeding Station (2) in Fig. 1	701 m	Wind Speed Wind Direction	Anemo-Micro Pair (Makino, AVS-16)	Field 4 m	1984. 8. 3-8. 25
		Net Radiation	Net Radiometer (Eiko, CN-11)	Field 1.5 m	1984. 7. 1-8. 24
		Wind Profile	Piot Baloon	up to 3 km	{1983. 7. 28-7. 29 1984. 8. 1-8. 3}
		Temperature Profile Humidity Profile	Tethersode (A.I.R.C, TS-2A)	up to 0.5 km	{1983. 7. 28-7. 29 1984. 8. 1-8. 3}
		Ozone Profile	Temperature Sonde (Meisei, JWA-76)	up to 2 km	
Usuda Junior High School (3) in Fig. 1	694 m	Wind Speed Wind Direction	Anemo-Micro Pair (Makino, AVS-16)	18m hight	1984. 7. 1-8. 24
		Temperature Humidity	Long Range Thermo-Hygrograph (Nakaasa)	Field 1.5 m (Shelter)	1984. 7. 1-8. 24
		Wind Profile	Pilot Baloon	up to 3 km	{1983. 7. 28-7. 29 1984. 8. 1-8. 3}
Koumi Junior High School (6) in Fig. 1	870 m	Wind Speed Wind Direction	Anemo-Micro Pair (Makino, AVS-16)	10m hight	1984. 7. 1-8. 24
		Temperature Humidity	Long Range Thermo-Hygrograph (Nakaasa)	Field 1.5 m (Shelter)	1984. 7. 1-8. 24
Minamimaki Junior High School (7) in Fig. 1	1046 m	Temperature Humidity	Long Range Thermo-Hygrograph (Nakaasa)	Field 1.5 m (Shade)	1984. 7. 1-8. 24
		Net Radiation	Net Radiometer (Eiko, CN-11)	Field 1.5 m	1984. 7. 1-8. 24

観測項目などは **Table 1** にまとめて示したが、次の2つの観測からなる、すなわち、1)千曲川の谷に沿って南牧、小海、臼田で、1984年7月、8月に行った地上の風、気温などの連続観測、2)佐久盆地の小諸、佐久、臼田で、1983年7月28、29日の2昼夜と、1984年8月1、2、3月の2昼夜行ったパイバルによる地上約3 km 高度までの風、佐久での低層ゾンデ、係留気球による地上約2 km 高度までの気温、比湿の鉛直時間分布観測、および地上一般気象観測である。

1)の観測で地上付近の風を測定する場合、谷に沿って吹く風は谷の断面のどの位置に風速計を設置するかによって風速が異なることが予想される。その点を考慮して風速計はできるだけ谷の中央部に近く、しかも地上から約10m離れた中学校の校舎の屋上に設置した。

観測結果の解析考察には上記のわれわれが実施したもの他に、佐久(種畜牧場の南西1.8 km)と野辺山(8)にある気象庁アメダス資料、長野種畜牧場が常時実施している気象観測資料、上層の一般風の風向、風速の目安として高層気象観測点で佐久に最も近い館野の850 mbの風の資料を用いた。また2)の観測は科研費による共同観測で、別のグループによって軽井沢(4)、上田(5)で同様な風の鉛直時間分布観測がなされ、その結果も参考にしている。

3. 観測結果と考察

3.1 夜間の地表付近の風

小海と臼田で得られた地表付近の風の記録から毎正時前10分間の最多風向, 平均風速を読みとり, 日々の変化と日変化の様子がわかるように風向図, 風速図とし **Figs. 2, 3** に示した。風向図で S と描いた時間帯は S, SSE, SSW の風向, すなわち南風 (180°) $\pm 22.5^\circ$ の範囲の風向, 同様に N は北風 (0°) $\pm 22.5^\circ$, E は東風 (90°) $\pm 22.5^\circ$ の範囲の風向を示した。他の風向はわずかの時間帯しかなく白ぬきで示されている。風速図の等風速線は 2 m/s 毎に描かれ, 2 m/s 以下の弱風, 無風は白ぬきで示した。

夜間の風についてみると, 風向図から, 谷のなかにある両地点は南風 (山風) が圧倒的に多く, かつ発現時間帯もほぼ一致している。谷のなかにはない野辺山(8)と佐久(2)のアメダスの風は, 風速は多くの場合無風または, 1 m/s で, 風向は野辺山で南西, 佐久で東南東が多く, 谷のなかと異なる。このことは, 小海, 臼田の地上付近は谷スケール (20 km 程度) の山風がよく形成されていることを示している。風速の記録をみると, 山風は多くの場合, 夕方から夜半にかけて発生し, 徐々に強まり 2 時間程して 1~3 m/s の定常な風となる。詳細にみると風速は一定値プラス小さな振動 (振巾 10~20 cm/s, 周期 10~20 分) 成分からなり, 風向は一定な南風で, 変動巾は小さいという特徴をもつものが多い。朝地上気温が急上昇する時間に風は弱まり風向が急変して山風は終了する。終了の時刻は小海と臼田で 1 時間以内の範囲で一致し, どちらかが常に早く終了するといった傾向はみられない。

観測期間中で, 山風が発生しなかった日 (夜間の風向南風でない日, 夜間南風でも日中も引き続いて南風の日) とその日の天気概要は次の通りである, 1) 梅雨前線や低気圧の影響で佐久地方に降水があった 7 月 7, 8, 18, 19, 20, 21 日, 2) 東高西低の気圧配置で風雨も強く (11 m/s 程度) 悪天であった 7 月 11, 12, 13,

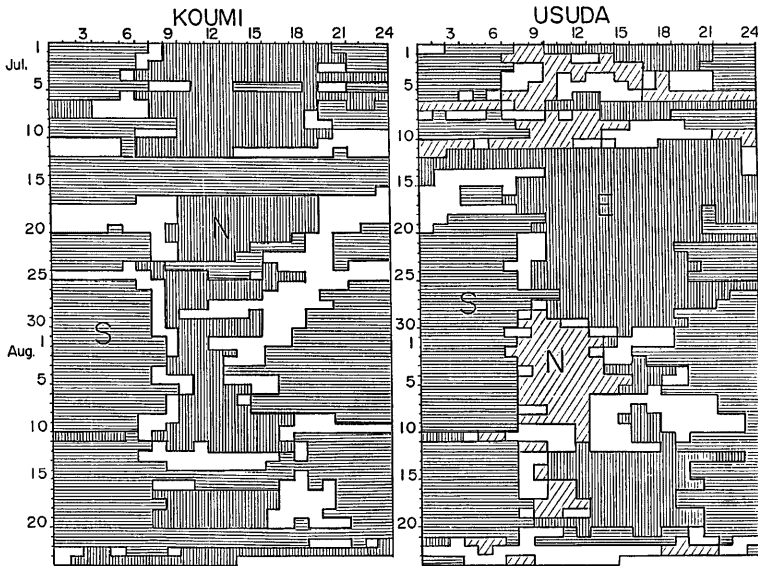


Fig. 2 Daily patterns of the wind direction at Koumi (left 18m height), Usuda (right 10m height) in July and August 1984. The abscissa is local time.

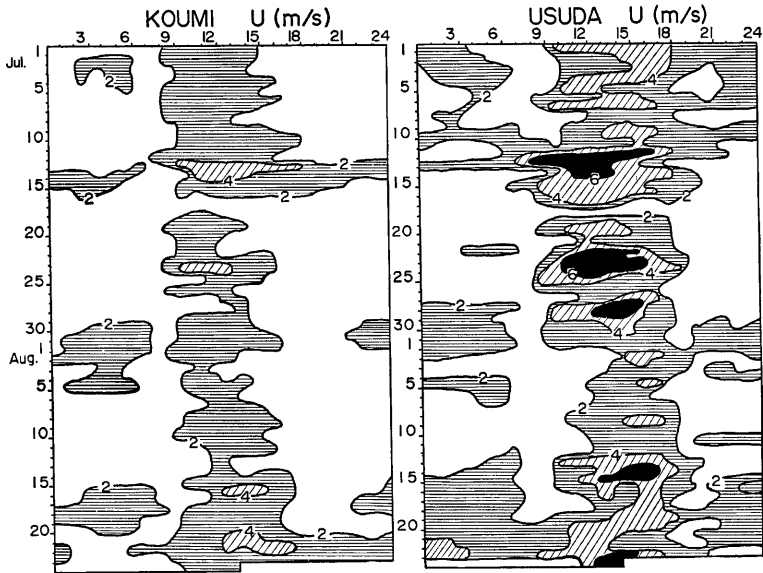


Fig. 3 Same as Fig. 2. But for wind speed U (m/s).

14, 15, 16, 17日, 3)台風10号による強い南西風 (10~24m/s) と雨であった8月21, 22, 23, 24日, 4)ははっきりした原因がわからない7月25日と8月11日。逆に山風の発生が明瞭な日は放射収量が夜間上方に0.05ly/min 以上の日と対応する。これらの結果から雨など悪天候, 上層の一般場の風が10m/s以上の強い場合を除いた日に, 山風が形成されていることがわかる。

京都盆地の場合も同様な天気条件で局地風が形成されるが, 局地風の発生を阻止する一般風の強さは13m/s以上であった。この値は, 地形による障壁効果, そのときの大気安定度などに関連するから, 観測地域によって異なってもよい。今回観測した千曲川沿いの谷地形についてこの関係をみると, 1)一般風 (館野の850 mb 面03時の風) が6 m/s以上10m/s以下の場合, 期間中, 北西, 南西, 西, 南東, 北東が各一夜, 南が3夜計8夜あったが, そのとき地表付近の風は, 小海, 臼田ともすべて山風2m/s程度, 2)一般風が10m/s以上で南風の場合が期間中5夜あったが, 地表付近の風は小海は南, 臼田は東風が多い, 風速は3m/s程度, 3)一般風が10m/s以上で西北西風が一夜 (8月23日12m/s) あった, 小海は北北西, 臼田は西北西で, 風速は臼田は4m/s, 小海は3m/s程度であった。

以上の観測事実から, 谷と直角方向の一般風が東または西風の場合は観測例がなくわからないが, 谷に沿った一般風の場合風速10m/s程度が, 下層に谷スケールの山風が形成されるか, 一般風が下層にまで侵入し発生を阻止してしまうかの境界の値と考えられる。京都盆地の13m/sの値と比べ, 千曲川の谷地形では谷に平行な風がやや侵入し易いということになる。

3.2 谷地形における夜間の冷えこみと山風の強さ

前章では, 地表付近に形成される山風は, 上層の風が10m/s以上だと阻止され, 10m/sより弱いとその風には無関係に1~3m/sの風速になることをみた。本節では, 谷のなかの気温変化の状態から, 冷えこみと風速の関係を検討する。放射量の測定は, 佐久種畜牧場(2)と南牧中学校(7)で実施したが, 両地点で, 夜間放

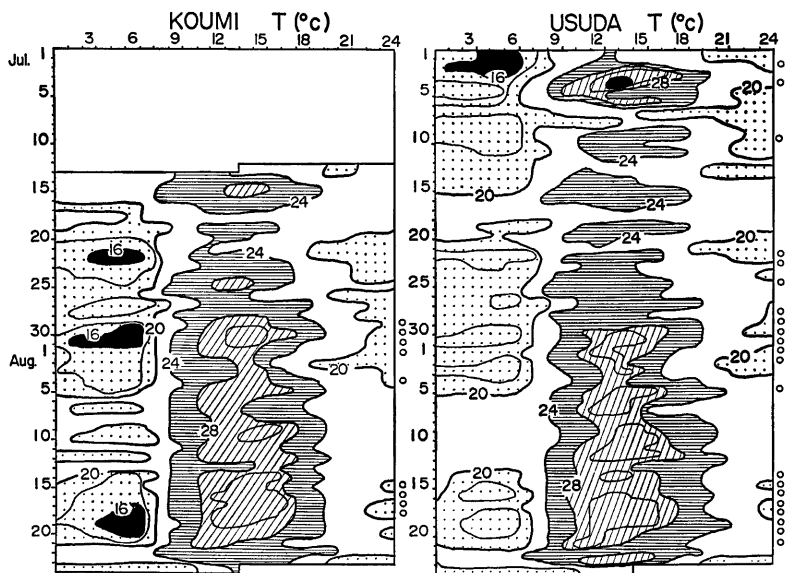


Fig. 4 Same as Fig. 2. But for air temperature at 1.5m height $T(^{\circ}\text{C})$. Marks \circ in right hand side indicate the day which mountain wind speed is faster than 2 m/s.

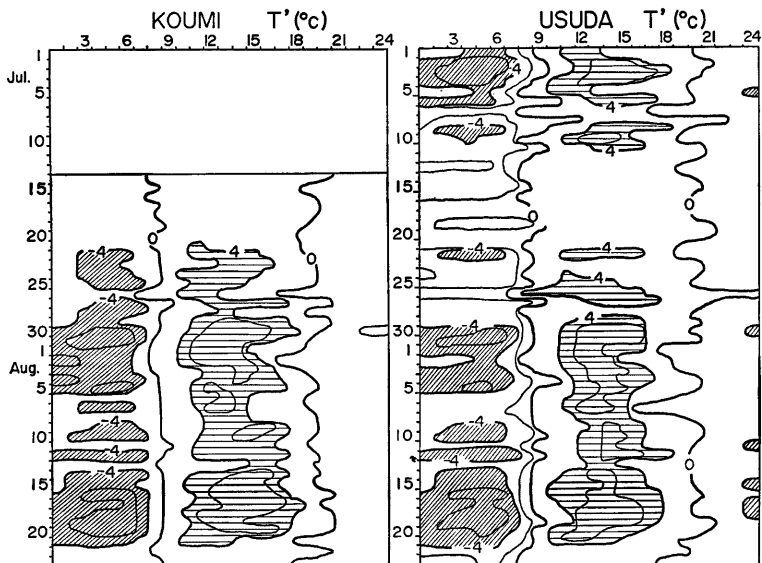


Fig. 5 Same as Fig. 2. But for temperature deviation $T'(^{\circ}\text{C})$ (temperature T - daily mean temperature \bar{T}).

射量の変化パターン、および値に大きな差はなく水平20km程度のこの谷のなかでの放射条件はほぼ等しいと考えられる。

小海と臼田の地上1.5mの気温の測定値から毎正時の値と日平均値からの偏差を求め気温図をFig. 4に偏差図をFig. 5に示した。等温線は4℃毎に描かれているが高温域、低温域は特徴がわかるように細い線で2℃の補助線を加えた。また気温図の右端に山風が2m/s以上(1時から7時までの平均)であった日を○印で示した。夜間の気温について小海と臼田を比べると、海拔高度の高い小海の方が低いが、変化パターンは偏差図からほぼ等しく、両地点の気温が同一の機構で形成されていることが示唆される。しかし昼間の両地点の気温を検討すると、8月は小海の方が低いが、7月の後半は逆に海拔高度の低い臼田の方が低い。この期間はFig. 2からわかるように昼間臼田に東風が入ったときと一致し、後の節で詳しく述べる東風による冷氣移流があることを示唆している。山風の強い日をFig. 4の右端

に○印で示したが、それらの日の気温の変化をみると、冷えこみの大きい日、夕方から夜半0時まで冷却の大きい日に対応している。臼田で2m/s以上となった山風の強い日の早朝5時、小海と臼田の気温差は1℃で、これは山風の弱い日も含めた期間中の両地点の気温差平均0.6~0.7℃より大きい。

山風が形成された日について午前1時から7時までの平均風速 U (m/s)と前日の日平均気温マイナス早朝5時の気温で定義した冷えこみ量 ΔT (℃)との相関をプロットしたものがFig. 6である。風速は冷えこみの他に安定度などに関係するが、これから冷えこみが強まると風速が増すという関係は、かなりのばらつきはあるが、はっきりと示されている。ただしこの結果から風速 U と冷えこみ量 ΔT に比例するか、 $(\Delta T)^{1/2}$ に比例するかを決めることは無理である。両地点の結果を比べてみると、上流の小海より下流の臼田の方が同じ冷えこみに対して約0.5m/s速くなっている。

3.3 昼間の地表付近の風

小海と臼田の距離は、わずか12kmであるが、昼間の風の様子は大きく異なる。すなわちFigs. 2, 3から小海では通常谷の上流に向かって吹く谷風(北風)が発達し、風速は夜間の山風よりやや強い程度にしかならないのに、臼田は谷風もあるが東風の発現頻度が多く、かつ風速も大きい、特に午後は圧倒的に東風となっている。これらは昼間、大気安定度の関係で上層の風が地表付近までよく侵入するためである。小海、臼田の地表付近への上層風の侵入の様子を検討してみる。小海は館野の850mb面の風が南風5~6m/s以上であると、南風で風速は4m/s程度以上となる。しかし上層風が同程度の風速でも風向が谷に直角の東または西だと強まらず2~3m/sの谷風となる。一方臼田は上層の風向が東または南成分のとき、東風となり風速は午後、上層と同程度にまで強まる。しかし上層風が西風の場合は弱められている。両地点は大きくみればV字谷のなかにあるが、小海が深い谷(比高1,000~1,100m)のなか、臼田はやや谷が拡がり周囲の山地の比高も300~700mと低いという地形が昼間の風の特徴を大きく異なったものになっている。

3.4 風と気温の鉛直構造

1983年7月28, 29日と1984年8月1, 2, 3日に臼田中学校(3)で測定した風と臼田の北約6kmの長野種

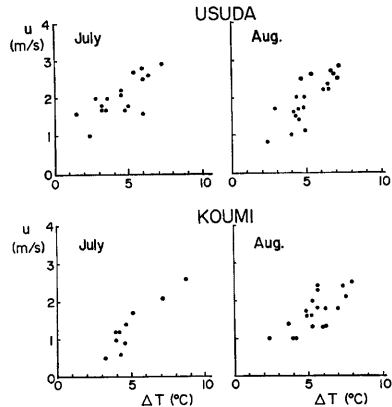


Fig. 6 Relations between the speed of mountain wind U (m/s) and nocturnal lowering of the temperature ΔT (℃) at Koumi(upper), Saku(lower)

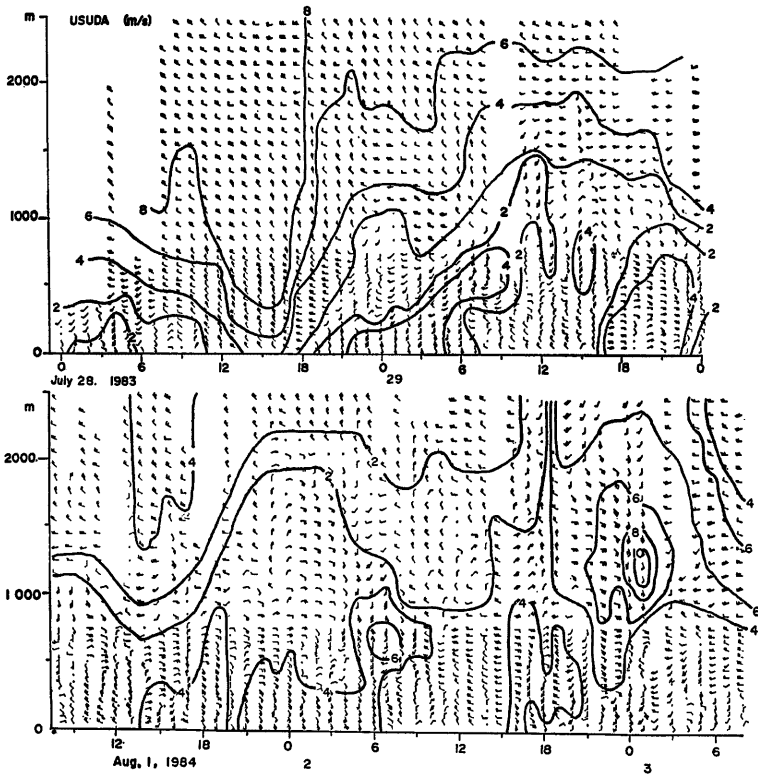


Fig. 7 Variation with height and time of wind speeds in meter per second observed at Usuda from 28 to 29 July 1983 (upper), from 1 to 3 August 1984 (lower). Arrows indicate horizontal wind direction and speed.

畜牧場(2)で測定した気温と水蒸気圧の鉛直時間断面図を **Figs. 7, 8** に示した。高度は地表面 (海拔701 m) からの高さである。

観測時の天気概況は、次の通りであった。1983年7月29, 30日, 観測地点の長野県は快晴, 日本の東海上に低気圧が停滞し, 観測地点の上空1,500m高度付近の風向は29, 30日とも北西, 風速は28日 8 m/s, 29日 4 m/s であった。1984年8月1, 2, 3日は高気圧におおわれ典型的な夏型となり, 上層の風は2~3 m/sの弱い北西風であった。雷雲が観測地点周辺に1, 2, 3日とも午後に発生し, 佐久盆地北部では10 mmを越す降雨があり, 観測地点の臼田中学校, 佐久畜舎牧場では期間中2日15時頃1 mmと19時頃1.5 mmの降雨があった。

観測された風の鉛直分布構造を詳しく検討する。臼田で観測された地上の一般気象観測結果を**Fig. 9**に示す。1983年7月28日, 夜間早朝, 昼間とも, 上層の風は北西 8 m/sと比較的強い風であった。昼間午後, 上層の風が地表付近にまで侵入し強さは2分の1になったが局地風は発生していない。夜間から10時頃までは中層で風速は急激に減じ下層には伝わらず, 地表付近は南風 (山風) が形成されている。しかし山風の高さは300m程度で低く, 一般風におさえこまれている。これらの観測事実は**3.1節**で上層風と地表風とからみ

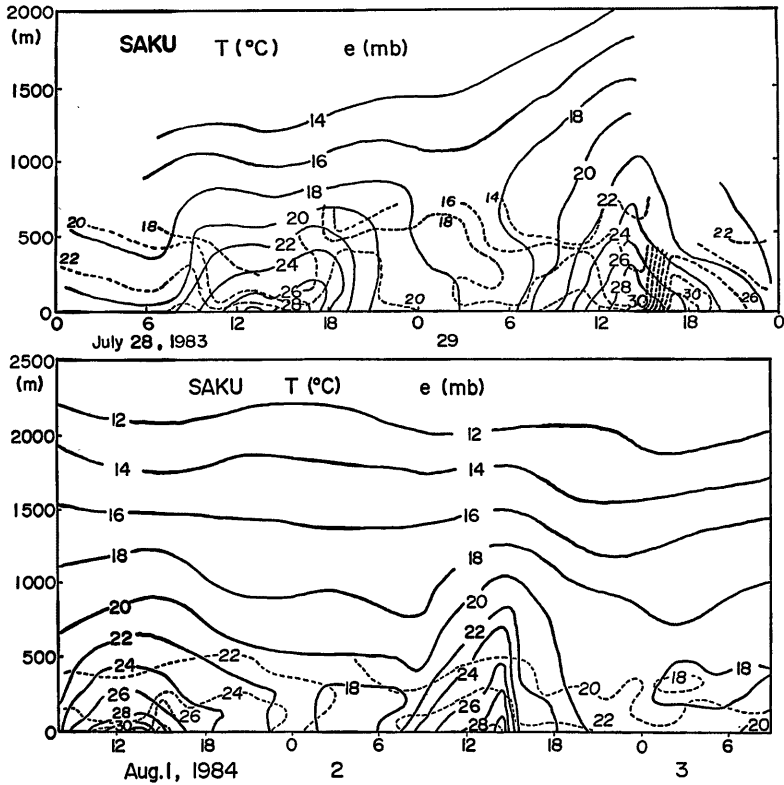


Fig. 8 Same as Fig. 7. But for air temperature(°C) and water vapor pressure(mb)

た結論と一致している。

28日18時すぎから地表付近に山風が発生し徐々に上方にあたかも conduction wave のような形で伝わり早朝地表近くが谷風(北風)に変わっても中層には安定層 (Fig.8, 参照) とともに10時頃まで明瞭に存在した。その到達高度は1 km, 仮りに伝導波とすると位相速度は125m/hr となる。この南風の上方向への伝達の様子は白田の北6 km の佐久でもほとんど同様であった。3.1 節で佐久の夜間の地表風は千曲川の谷の山風の性質を持たないことを述べたが, 中層は佐久には山風の性質が残る。さらに北西7 km 離れた小諸には中層にも山風の性質は残っていなかった。28日と29日の早朝の山風の強さ, 到達高度の違いは, 1) 上層の風の強い, すなわち29日が弱かったこと, 2) 早朝の冷えこみの違い, すなわち Fig.9, Fig.8 からわかるように, 29日冷えこみが大きく1 km 高度付近まで強い安定層が形成されていたこと, の2点による。

29日7時すぎ地表面の温度上昇とともに谷風(北風)が発現し, 上層に伝わって行く。正午をすぎると, 下層から上層まで境界層内は風速が弱まり, 特徴はなくなってしまった。このときの大気はほぼ中立であった。

29日16時すぎから地表から高度800mまで, 東風が入り7時間程度継続した。この東風は, 小諸(1), 佐久(2), 軽井沢(4)で, ほぼ同様な性質を持って現われた, が上田(5)には現われなかった。木村らの解析によると,

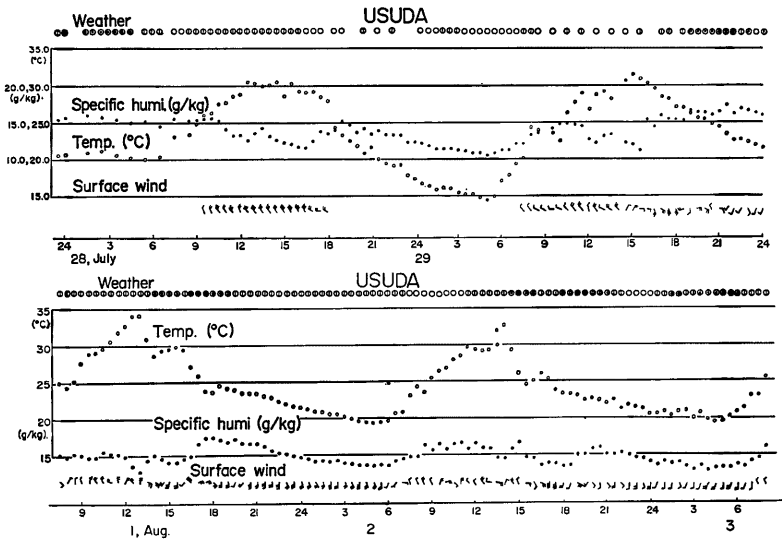


Fig. 9 Variations with time of weather (cloudiness), specific humidity (g/kg), air temperature (°C), wind speed at 1.5 m height at Usuda from 28 to 29 July 1983 (upper), from 1 to 3 August 1984 (lower)

この風域は正午頃東京付近に発生し、850 mb 面高度の風によって国鉄信越線沿いに内陸部に侵入し16時30分佐久、臼田に到達したことが明らかになった⁴⁾。山谷風は谷ないし盆地スケールの風であるが、この東風は水平スケール 200 km 鉛直 1 km 程度の地域スケールを持っている。

1984年8月1, 2, 3日は前年より上層の風は弱かった。地表から5~600m 高度までは2日間とも、夜間は山風、午前は谷風が形成されているが、その上の中層600mから1,200mは前年に比べて複雑になっている。**Fig. 7**を注意深くみると1日14時地表付近まで4 m/sの東風が入っている。夜間になると地表付近下層は山風に変るが、この東風は中層500mから1 km 付近に14時から2日1時頃まで継続した。このときの地上の風の記録には、臼田で13時から1時間、東風7 m/s、小海で13時30分から10分間、風向、風速の大きな変動が測定されているのみである。この風は佐久、小諸にもみられ、前年7月29日に発生した東風と同様な地域スケールの局地風であろう。

2日午後15時から16時の間の西風から東風への急変、3日0時頃の1.2 km 高度付近のジェット状の強い南風などの成因、スケールは、今だ解析していないが佐久盆地の小諸、佐久の風の観測結果にも現われている。この風は発現時刻からみてこの日の午後から夜間に発生した雷雨と関連したものであろう。

3.5 夜間の谷地形における安定層の形成

境界層において一般に一日スケールの大気温度の形成には、地表面からの暖冷気の上方向への拡散が最も大きな役割をはたす。しかし、個々のケースでは **Fig. 8** の実測大気温度の分布からわかるように水平の冷気移流 (1983年7月29日午後、1984年8月1日午後) や降雨による冷却 (1984年8月2日午後) などが影響を及ぼす。

観測例 4 昼夜のなかで、地表での夜間の放射収量が上向き0.1ly/min 程度で放射冷却が大きく、かつ大規模な水平移流や降水による熱源がなかった1983年7月28日の夜から29日の早朝について、地表から1 km

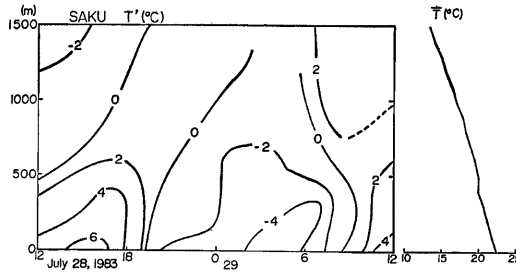


Fig. 10 Variation with height and time of temperature deviation T' (°C) (left), daily mean vertical distribution of temperature \bar{T} (°C) (right) at Saku from 12^h on 28 to 12^h on 29 July 1983.

高度までの気温形成を吟味してみる。なお佐久は厳密に言えば谷地形のなかにはないが、上空の風、や気温の構造は、谷地形のそれとほぼ等しい。気温の日平均 $\bar{T}(Z)$ (28日12時から29日12時の平均) と偏差 $T'(Z, t) = T - \bar{T}$ の分布を Fig. 10 に示した。この Fig. 10 から、上層 1,000m から 1,500m の気層は一日で約 4°C も気温が上昇していることがわかる。また 1,000m 以下の境界層は地表面から上方への暖(昼間)冷(夜間)気の伝導拡散によって大気温度が形成されている状態がよくわかる。伝播の位相速度は昼間 200m/hr, 夜間 100 m/hr, 程度で、夜間のこの速度は、前節の山風の上方向への伝播速度とほぼ等しい。Fig. 10 をみると 0時から 4 時頃まで地上 200m から 700m 高度まで、偏差 -2°C の領域が広がって、大きい冷却率 (21時から 3 時の平均で $-0.5^\circ\text{C}/\text{hr}$) になり、これは地表面からの冷気の伝導拡散でこの高度が受ける冷却率より大きな値である。この時の同高度の風は Fig. 7 からわかるように臼田 (佐久も同じ) は弱い南西の風である。地形からみるとこの風は周辺で最もスロープの長い八ヶ岳山地から来たもので、さきの大きな冷却は、山地からの冷気移流によるものと思われる。

同様な観点で残りの 3 夜について検討してみると、上層風が 8 m/s と比較的強かつ放射冷却の弱かった 1983年 7月 28日朝と夜間雨があった 1984年 8月 3日朝は移流による冷却はなく、1984年 8月 2日の朝は夜半まで地域スケールの東風のあった日であるが、冷気移流効果は少量だけみとめられた。最近、盆地など複雑な地形の上空では、平地より高高度まで冷却を受け、安定層が高くまで発達することがみいだされ、それが周辺山地からの冷気の移流堆積によることが指摘されている^{11), 51) 9)}、今回の観測例は谷地形においてもそれを支持するものであった。

3.6 地域スケール局地風の特徴と下層大気温度への影響

地域スケールの局地風、東風がはっきりと地表から 800m 高度まで入った 1983年 7月 29日の午後の大気温度は Fig. 8 から 200m から 800m 高度まで東風とともに $2^\circ\text{C} \sim 3^\circ\text{C}$ 低下したと推定される、また同時に水蒸気圧が急上昇している。Fig. 9 をみると地上の気温、湿度にも同様な傾向がみられる。これは冷たくかつ湿った気塊が地上から中層まで移流してきたことを意味し、風上側に降水があることを推測させるが、この日風上の群馬県に降水は無かった。1984年 8月 1日午後東風の場合は、前の例ほど明確ではないが、Fig. 8 の気温分布図から午後の気温上昇が、高度 500m 付近では、おさえられているとみることができる。

この地域スケールの局地風の観測例は 2 例であるが、いずれも東風で暖域に吹きこむ風であること、発現時刻が午後から夜半までであることが共通した性質であった。このことは今後、この風の成因を考える上で重要な点であろう。

この風が夜間の冷えこみに直接与える影響は、夜半から早朝には発現していないから大きくはない。しか

しこの風があると冷えこみの始まる夕方の気温分布は影響を受けるだろうから、冷えこみ量をより高精度で論ずる場合は、この点も考慮しなければならないだろう。

この風は中層に発達し、地上の記録には、明確にその特徴が現われない場合もある。しかし臼田の地上付近の風の記録には午後、圧倒的に東風が多いから、このなかには地域スケールの東風がかなりの数、含まれていると推定される。さらにこの風は雷や降水とも関連していることを考えると、この地域の局地気象を論ずる場合、最も重要な現象で今後その性質さらに成因の解明のための研究が必要である。

4. あとがき

夏季、佐久盆地、千曲川沿いの谷地形(勾配 1/60)内にありおたがいに 12 km 離れた小海と臼田で測った地上付近の風と気温、および、臼田と佐久で測定した風と気温の鉛直分布を解析し、以下のことを明らかにした。

〔山風と冷えこみについて〕

- 1). 雨や強風の日は除くと、地上付近は夕方から早朝まで谷スケールの山風が形成される。形成された山風の速度は、冷えこみ量(前日の日平均気温マイナス朝5時の気温)とよい相関があり、冷えこみ量の増大とともに風速が増し、7℃で3m/s程度となる。
- 2). 上流(小海)と下流(臼田)とでは形成された山風の速さは臼田の方がやや大きく、冷えこみ量は、ほぼ等しい。
- 3). 上層の風の風向が谷に平行な場合10m/sを越えると上層の風が地上付近にまで侵入し、山風の発生は抑制されてしまう。一般風が10m/s以下の場合、地上付近は上層風の影響をみかけ上受けず、山風が形成される。ただし山風の鉛直発達高度は、上層風が強い(8m/s程度)と下層への侵入により、低くおさえられる。
- 3). 上層の一般風が弱く(5m/s以下)、かつ晴天で放射による地表面の冷却が大きいときには、周辺の山地から中層に冷気の移流があり、安定層の高さは約1kmと周囲の山地の高度と同程度になる。山風も伝導波に似た形で上方に伝わり、1kmに達することもある。この場合山風の最大速度の現われる高度は地表付近よりやや高い(100m~200m)ところにある。

〔地域スケールの局地風、東風について〕

- 1). 山谷風より大きな地域スケールの局地風が観測期間中(4昼夜)に2回出現した。発現、継続時間は午後から夜半までで6時間ないし8時間、水平スケールは200km、鉛直には地上から1km高度程度で、地上の気象記録には、ごくわずかな変化しか現われない場合がある。
- 2). この東風は2ケースとも、暖域に吹きこみ、冷気移流をともなっていた。
- 3). 臼田、佐久の地上付表の風からみて、夏季この地域には、しばしばこの地域スケールの風が侵入していると推定される。
- 4). 1), 2), 3)から本州中央部に位置する佐久盆地上空の風の構造は、上層からの一般風およびその変形、地表付近からの谷スケールの局地風の他に、中層に地域スケールの局地風といった特性をもっている。この風が地上から1,000m高度までの気温分布に影響を与えている。

本論文では、観測事実から両側を山地で囲まれ傾斜(勾配1/60)した谷における主として夜間の気温と局地風について、その構造と相互作用を考察していくつかの興味ある特性を見いだした。これらの特性を説明する定量的な理論は現在検討中である。

謝 辞

本研究は文部省科学研究費自然災害特別研究「作物被害の要因となる接地層の異常冷却の発生機構と量的予知に関する研究」（代表者近藤純正）と環境科学特別研究「内陸域における大気汚染の動態」（代表者木村竜治）でわれわれが担当した観測結果に基づいて解析考察を加えたものであることを付記する。現地観測において、長野種畜牧場、小諸東中学校、臼田中学校、小海中学校、南牧中学校の関係者に御協力、御援助を受けた、心から謝意を表します。観測には本研究所技官、多河英雄、北川吉男両氏、理学研究科大学院生、黒田芳史、神本裕治、奥山和彦、秋山孝治、近藤裕史、の諸氏はか滋賀大学および愛知教育大学教育学部学生諸氏の御協力を得たことを記し謝意を表す。中島暢太郎教授および災害気候研究室の方に研究遂行の過程で討論していただいた。また図面の整理、清書は片岡玲子、大野富子両事務員にいただいた。

参 考 文 献

- 1) 田中正昭：盆地上空の安定層と局地風の形成—京都盆地—，京都大学防災研究所年報，第27号B-2，1984，pp. 107-119.
- 2) 木村竜治：内陸における大気汚染の動態，文部省科学研究「環境科学」No. 28，58年度研究成果報告，1984，pp. 49-52.
- 3) 同上，No. 31. 1985，pp. 46-48.
- 4) 木村竜治・中西幹郎：アメダスデータの流跡線解析から見た広域拡散，日本気象学会1984年春季大会.
- 5) 近藤純正：複雑地形における夜間冷却—研究の指針—・天気，29，1982，pp. 935-956.
- 6) 近藤純正：地形と地表面性質が夜間の斜面風・山風・盆地大気の冷却に及ぼす効果(1)，天気，31，1984，pp. 625-632.
- 7) 近藤純正・桑形恒男：盆地内に形成される夜間冷却層（冷氣湖）の厚さと地形との関係，天気31，1984，pp. 727-737.
- 8) 森洋介，近藤純正：冷気の堆積・流出を考慮した山地の夜間放射冷却，天気，31，1984，pp. 45-52.
- 9) 真木雅之・播磨屋敏生・菊地勝弘・谷口恭・堀江成人：盆地における夜間冷却過程，北海道大学地球物理学報告，43，1984，pp. 17-29.