農業気象 (*J. Agric. Meteorol.*) 51 (1): 1–10, 1995

冬季のトルファン盆地における 風および逆転層の気温と湿度の特性

真木太一*・潘 伯榮**・閻 国榮***
上村賢治****・鮫島良次*****・杜 明遠*****

(* 農業研究センター耕地利用部
** 中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所吐鲁番沙漠研究站
*** 静岡大学農学部
**** 東京大学農学部
***** 国際農林水産業研究センター環境資源部)

Characteristics on Air Temperature and Humidities of Inversion Layer and Wind in Winter at Turfan Basin

Taichi MAKI*, Borong PAN**, Guorong YAN***,
Kenji UEMURA****, Ryoji SAMESHIMA***** and Mingyuan DU*****

(*Department of Farmland Utilization, National Agriculture Research Center,
3-1-1, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan
**Turpan Desert Research Station, Xinjiang Institute of Biology, Pedology and
Desert Research, 40, Beijing South Road, Urumqi, China
*** Faculty of Agriculture, Sizuoka University, 836, Ohtani, Sizuoka, 422 Japan
**** Faculty of Agriculture, University of Tokyo, 1-1-1, Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo,
113 Japan
***** Environmental Resources Division, Japan International Research Center for
Agricultural Sciences, 1-2, Ohwashi, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan)

Abstract

Air temperature, soil temperature, humidity, wind speed and wind direction were observed at the sloped and lowland areas of the Turfan Basin from Nov. 26 to 28, 1991 and the characteristics of inversion layer, cold air current and temperature resources were made clear as follows:

(1) Profiles of air temperature and relative humidity showed symmetrical changing patterns. Occurrence rate and intensity of temperature inversion were high in an early morning under weak wind on clear-fine day in winter. Averaged daily maximum and minimum gradients were $0.8^{\circ}\text{C}/\text{m}$ and temperature inversion of $-2.0^{\circ}\text{C}/\text{m}$, respectively in winter. Vertical profiles of wind speed expressed stable or unstable patterns shifted from the log-low profile.

(2) Air temperature increases with the increase of wind speed in night and vice versa. The changing pattern of 3 hour cycle was observed at the Turfan Desert Research Station of -80 m in a lowland area of the basin.

(3) The higher inversion layer and trailing smoke were observed at the level of about 500 m and not destroyed even in the daytime.

(4) The temperature difference of inversion between the sloped area and lowland area near the basin bottom was 2°C at noon, 4°C at night and 8°C in an early morning, and temperature resources of thermal belt seem to be useful.

1992年7月5日 全国大会にて発表

1994年5月19日 受付, 1994年12月9日 受理

(5) The basin was frequently covered by cold air lake and cold air current also blew down from the sloped area of Flaming Mountain and several inversion layers were recognized. The “warm” wind of cold air current was also useful as temperature resources.

(6) Temperature resources of thermal belt and warm wind were partially used for agriculture and husbandry, however, they are rare cases. Therefore, it is hopeful and necessary to expand the utilizations hereafter.

Key words: Basin, Cold air current, Inversion layer, Meteorological resources, Thermal belt.

キーワード: 気象資源, 逆転層, 斜面温暖帯, 盆地, 冷気流

1. は し が き

吐魯番(トルファン)は中国国内はもとより,世界的に見ても地形,気候の面で極めて特徴のある地域である。その特異な地形・気候条件下で,カレーズによるワタ,コウリヤンなどの灌漑農業が,また羊,山羊の移動式放牧による牧畜が行われている。

トルファンは盆地であり,タリム盆地やジュンガル盆地より,はるかに小さいが,それでも日本的な盆地のイメージを考えると,トルファン盆地は極めて大きい。盆地面積は50147 km²,その内,海面下の面積は4050 km²(8.1%)であり(夏・胡,1982),最低地点は海拔-155 m(楊,1987)である。

気候的には極乾燥(年降水量16mm)で,夏季は高温(極値48℃),冬季は低温(極値-28℃)であり,風は年平均風速(1.7m/s)では弱い(張・林,1985)が,強風による砂塵嵐がしばしば発生する特徴がある。

盆地では,主として寒候期に気温の逆転が起こり,逆転層,または温暖帯が形成される。中国新疆のタリム盆地とジュンガル盆地に形成される逆転層は,新疆綜合自然区劃概要(楊,1987)によると,冬季の天山北斜面の逆転層の厚さは厚く,逆に天山南斜面の逆転層の厚さは薄く,南北での違いが大きい。

典型的な逆転層は南極で観測される(Maki,1974)が,冬季,弱風時の盆地においては,南極の接地逆転強度に匹敵するほどの逆転層が形成され,興味深い現象があるため,新疆,特にトルファンの気温と湿度の特性について検討した。また冬季のトルファン盆地における盆地底部の山地(傾斜地,山谷)における短期間の局地・微気象の特徴,特に気温の逆転の観測結果および露場の長期間の気候的観測結果の特性について比較・検討した。

また,逆転層の斜面温暖帯と冷気流の気象(温度)資源の農牧業への利用の可能性について,中国新疆での若干の利用例を示しながら報告する。

2. 観 測 方 法

トルファン市の北方の最短60 kmに天山山脈(付近の

最高峰5445 m,北西120 km)があり,そこから盆地の方向に緩やかに傾斜して,平坦に近いゴビ(石礫)砂漠になったその場所に(Fig.1),北から見るとわずかに高くなった最高峰が851 mの火焰山山脈(南側は急斜面)が東西に走り,その南方にトルファンアオシスがあって,-155 mのアイデン湖へと緩やかに下っている。盆地の西部・南部は天山の支脈のジュラグ山脈(最高峰2470 m)がある。また東部は標高の低い山地(高原)があるが,巨視的に見ると比較的開けており,さらに東部はハミ盆地となり,併せて細長い盆地地形を形成している。

1991年11月26~28日にトルファン盆地の低地域(海拔約-80 m)の吐魯番沙漠研究站内の裸地圃場(図中DR,以下圃場)および火焰山中腹(図中FO,付近の最高峰375 m)の山間傾斜地(盆地斜面,150,180,220 m,以下山地)の2地点において局地気象と微気象を代表する気温,相対(絶対)湿度,風速の移動観測を短期間実施した。これを短期移動観測と呼ぶ。観測高度は圃場で5,3,2.5,2,1.5,1,0.5,0.3,0.1,0.01 m,山地で2,1.5,

Fig. 1. A sketch map of the observation field in the Turfan Basin.

▲ FO : Field observation area of sloped terrain at 220, 180 and 150 m.

○ MO : Turfan Meteorological Observatory at 34.5 m.

● DR : Meteorological observation field at -82 m and the naked cultivation field at -79 m in the Turfan Desert Research Station.

1, 0.5, 0.1, 0.01 mであり、観測時間は1点当たり2.5分であった。

火焰山山麓の葡萄溝の西側にある山地（FO内の3ヶ所）の移動観測場所は沙漠研究駅の圃場と約14 km離れている。観測は一定時間毎に2地点間を車で移動して観測する方式を取った。従って圃場の観測後、山地に移動して観測するため約1時間の時差があり、比較には注意が必要である。

移動観測機器として、風速はアネモマスター（日本科学工業社, 6061）、気温と相対湿度はデジタル温湿度計（チノー社, NH-K）、地表温は赤外線放射温度計のスポットサーモメーター（ミノルタ TR-0510）を用いた。

一方、上述の沙漠研究駅の裸地圃場の南方約600 mにある露場（DR、以下露場）の自動気象観測装置で気温、地温、風速、風向などの定常観測を長期間実施した。これを長期定点観測と呼ぶ。観測高度は気温、湿度は1.6 mと1.0 mであり、その他に1.8と1.4 m、1.2と0.8 mに設定してある気温差計から、2点間の気温を比例配分して求めた計6点の気温および0.5, 5 cm深の地温の垂直分布を求めた。なお0.5 cm深の地温を、ここでは地表温と呼ぶ。露場の相対湿度は湿球水結のため、観測を行っていない。

なお、露場の観測機器などは真木ら（1994）で示した。気候の解析には1990～92年の冬季の気象データを用いた。

3. 観測結果

（1）沙漠研究駅の露場と圃場の気温、地温、風速、風向の時間変化

トルファン沙漠研究駅の露場で定常的に収録している気象データの内、1991年11月26～28日の48時間の30分毎の気温、地表温、地温、風速の時間変化をFig. 2に示す。2日間とも類似した変化を示した。

①露場の気温・地温の時間変化（Fig. 2A）：1.6 mと1 m高の気温では、昼間は1 m高の方が高いが、その他の時間では低かった。昼間は比較的滑らかな時間変化を示すが、夜間には数回周期的な温度変動が認められた。地表温は最も大きい温度変化を示し、昼間には10℃、夜間-12℃になった。5 cm深の地温は最も変化が小さく、9～12時頃は最も低く、15～9時頃は概して高かった。

②露場の風速の時間変化（Fig. 2B）：時間平均風速は2昼夜とも比較的弱く、1.6 m高の平均ではわずかに昼間が強いが、風速変動が激しい。また夕方17～19時頃と朝方8～9時頃に、風向変化による弱風化が認められた。

なお、夕方18時から朝方9時（Fig. 2C）には風速の

Fig. 2. Variations of (A) 30-min averaged air temperatures at 1.6 m and 1.0 m heights and soil temperatures at 0.5 and 5 cm depths, (B) 30-min averaged wind speeds at 6.0, 1.6 and 1.0 m heights and (C) 10-min averaged wind speed at 1.6 m height at the meteorological observation field of DR at -82 m from Nov. 26 to 28, 1991.

ピークが5回あり、約3時間周期の変動が認められた。

③露場の風向の時間変化：26日13時～28日12時の時間平均風速の最多風向はNNEであり、主風向範囲は北寄りのNNW～NEであった。強風（最大瞬間風速）の風向では、平均風速の風向よりやや南寄りになるが、最多風向はNNE、主風向範囲はNNW～NEで同じであった。夜間（18～8時）ではNNEが最も多く、次にN、NEの順であり、昼間（9～17時）はNEとSSEが多かった。

なお、27日3時～27日14時にWからSWへと、W, WNW, N, NE, E, ESE, SSW, SWの順に時計まわりに1回転する特徴があった。この時計回りは他の晴天日にも、風向が急変しないで、短時間に連続移動をする日に多く認められた。

④圃場の気温、地表温の時間変化：沙漠研究駅の露場

の気温・地表温変化 (Fig. 2A, 3A) と沙漠研究駅の圃場の気温 (Fig. 4A) を比較すると、昼間には圃場の方が2~3℃高温であった。夜間にも平均的には圃場の方が高く、露場の方が低い、特に28日3, 8時では1~1.5℃も低かった。これには主として昼間の昇温が影響するが、夜間では標高が-79 m (圃場) と-82 m (露場) 差の3 m 低地での低温化現象も関与する。乾燥した壤・粘土質土壌の地表温を1 m 高の気温と比較すると夜間に3~8℃も低温であるが、昼間に12時で4~7℃、15時でも2℃高温であった。

(2) 沙漠研究駅の露場の気・地温と風速の垂直分布

Fig. 3A, B にトルファン沙漠研究駅の長期定点観測による気温、地温、風速の垂直分布を示す。

①気温・地温の垂直分布 (Fig. 3A): 26日18時の夕方には、すでに逆転成層となり、地表温が低く、5 cm 深の地温が最も高かった。21時、27日0, 3時の気温、地表温には、ほぼ等勾配の直線的垂直分布が認められ、6, 9, 15時では0.8~1.8 m 高での気温変化が小さく、特に9時には地温も含めて等温垂直分布を示した。27日12時には順転となり、地表温は8℃近くまで急上昇し、18時には逆転状態へ変っている。26~27日は27~28日より昼間はやや低温、夜間はやや高温であるが、両日も夜間は逆転、昼間は順転で、気温の垂直分布は類似している。

②風速の垂直分布 (Fig. 3B): 安定状態下の風速分布は下層域の風が相対的に弱く、対数分布からずれる。26

日18時では下層域の風速は小さく、また27日0, 6時では等勾配分布に近くなり相対的に下層域の風が弱く、安定状態下の風速分布となり、26日21時では対数分布にやや近い。27日3, 18時、28日3, 6時には全体的に弱風で、地表面をこのような風 (真木・黒瀬, 1988 a; 1990) が認められる。27日9時には全体的に2 m/s の強風で、中・下層域が相対的に強く、また12時では不安定、15時には不安定気層の影響が残っている。28日0時には下層は無風状態、上層は等勾配分布、9時には中立状態の対数分布に近い。

(3) 沙漠研究駅の圃場の気温と湿度の垂直分布

Fig. 4A~C に沙漠研究駅の圃場の短期移動観測による気温、相対湿度、絶対湿度の垂直分布を示す。なお地表面 (付近) の気温、湿度とは1 cm 高の値である。相対湿度は一般に理解しやすく、他の文献と比較するため、また絶対湿度は温度の影響を無視できるため、両方を示した。

①気温の垂直分布 (Fig. 4A): 11月26日18時の夕方には逆転成層で、21時、27日6時に5 m 高間で2℃以上の強い逆転であった。27日0, 3時には雲が出て純放射量が増加 (夜間は負で絶対値は減少) したため1℃程度の弱い逆転となった。9時には日射のため地表気温が上昇し、1 m 高の気温より約2℃高いが、2~3 m 高では等温で、5 m 高ではわずかに逆転が残っている。12時には0.5 m 高で4.0℃、1~5 m 高で1℃の不安定成層である。15時には地表温が9.7℃まで上昇し、接地気層の昇

Fig. 3. Vertical profiles of (A) air and soil temperatures (B) wind speed at the meteorological observation field of DR at -82 m from Nov. 26 to 28.

温が大きく、温度差は5 m高までに6.5℃もある。日没後1時間が経過した18時には、急激に逆転が進み、夜半までは同様の垂直分布であった。なお28日9時は27日9時より地表面の昇温が小さい。

地上1 cm 高より10 cm 高の気温が低いレイズドミニマム現象が26・27日21時や27・28日6時に認められた。

次に、赤外線放射温度計による圃場の畦上と畦間の地表面温を比較すると、畦間は夜間に1~5℃低い、朝9時には1℃程度高い。そして午後15時には早くも日陰となり、急激に8℃降温している。なお27日21時には雲のため、畦上と畦間ともに放射冷却による低温化が緩い。

②相対湿度の垂直分布 (Fig.4B)：26日21時、27日

0時では地表面付近と上層部の相対湿度が高く、0.5~2 m 高で低い。その高湿域は27日3時の1~3 m 高から6時の2~3 m 高へと上層に移動している。27日9~18時では上層の方が高いが、21時では中層に高湿域が発生し始め、28日0、3時では0.5~2 m 高にみられた。6時にはほぼ等湿分布となり、9時では27日と地表面付近で異なるが、12時では両日とも地表面の高湿化による乾燥化が認められた。

③絶対湿度の垂直分布 (Fig.4 C)：26日21時、27日0時には1~2 m 付近で湿度が高く、その高湿域は時間とともに弱くなりながら上層に移動する。また27日21時、28日0、3時にも1~2 m 高にやや高い値が認められた。

Fig. 4. Vertical profiles of (A) air temperature, (B) relative humidity and (C) absolute humidity at the naked cultivation field of DR at -79 m from Nov. 26 to 28.

乾燥地の特徴として、接地面の絶対湿度は夜間に低く、朝方6~9時の等湿分布を経て、日中(27日12, 15時, 28日12時)には接地面が高い垂直分布へと変化する。

(4) 山間傾斜地の気温と湿度の垂直分布

Fig. 5 A~Cに沙漠研究駅の圃場および火焰山の山地斜面の短期移動観測による気温、湿度の垂直分布を示す。

①気温の垂直分布 (Fig. 5 A) : 山地の観測場所の地点名(標高)を山上(220 m), 山中(180 m), 山下(150 m)と呼ぶ。各地点の気温の垂直分布を見ると、27日11時の山上における地表から0.2~0.3 m高までの気温減少率は、風陰になるため山中の場合より小さい。14時には地表面では8~9℃で、山上で最も高い。2 m高では山下が高いが、山上と山中は同程度であり、全般的に地表と2 m高の温度差が大きく5~6℃であった。なお0.5~2 m高の山下での高温化は地形的な防風による日溜まり的昇温である。

27日17時では接地気温は山上、山中、山下の順であるが、0.1~2 m高では1~2℃差で、垂直温度分布差が小さい。これは、日射が弱まり、放射冷却が大きくなって、17時には接地層内で逆転層が発達し始めたため、いわゆる等温分布に近い。21時には山中、山上、山下の順に接地逆転があるが、垂直温度差は1℃程度で大きくない。

28日7時では1~1.5℃/2 mのほぼ等温勾配で昇温するが、この逆転強度(率)で昇温する高度はあまり高くないと推定される。それは沙漠研究駅での測定例でも5 m高まではあまり大きい昇温を示さないことから想像でき

Fig. 5. Vertical profiles of (A) air temperature, (B) relative humidity and (C) absolute humidity at the sloped area in the Turfan Basin on Nov. 27 and 28.

る。

なお、昼間11時近くまで上空500 m付近に逆転層の残存が目視観測されており、その付近に高温層としての斜面温暖帯があると推測される。

②相対湿度の垂直分布 (Fig. 5 B) : 昼夜とも相対湿度の垂直分布は気温のそれとおおむね逆の変化形態である。高度別では夜間には山上が乾燥し、山下が湿っているが、山下の方が気温の上昇が大きいため、昼間27日11時の1~2 m高と14時でも乾燥化が認められた。

③絶対湿度の垂直分布 (Fig. 5 C) : 昼間14, 17時および早朝7時では山上、山中、山下の順に絶対湿度は高いが、夜間21時には山中の上層部で山下より高くなった。昼間は地表面付近が高く、夜間は低い逆関係の変化を示した。なお昼間には、蒸発のある垂直分布を示した。

(5) 盆地の斜面と低地の気温と湿度の垂直分布

①気温の垂直分布 (Fig. 6 A) : 高度別の気温変化をみると中腹斜面の山上が高温、山下が低温である。高度220, 180, 150 mの気温は微地形の影響を受けるため複雑な変化を示すが、7~14時の昼間には気温は山下が高く、夕方17時から夜間は低い傾向がある。

Fig. 6. Vertical distributions of (A) air temperature, (B) relative humidity and (C) absolute humidity at sloped area of FO at 220, 180 and 150 m, and the naked cultivation field of DR at -79 m on Nov. 27 and 28.

次に、3 高度の平均的な値を示す標高 180 m と標高 -80 m の沙漠研究站(距離間 14 km)の 1 m 高の気温を比較すると、昼夜とも盆地底に近い低地の方が低い、昼間は 260 m の高度差で約 2℃、夜間 27 日 21 時では 4℃、28 日早朝 7 時では 8℃以上の顕著な逆転が認められた。

②相対湿度の垂直分布 (Fig. 6 B)：高度別変化は概して高地が乾燥し、低地が湿っている。27 日 11 時までの昼間には気温の逆転によって上層で低い、日中 14 時には上層でわずかに高い。そして 27 日 17 時には、それがくずれ始め、上層が乾燥化し、220 m と -80 m 間で 27 日 21 時に 8%、28 日 7 時には 14% の差に達している。

③絶対湿度の垂直分布 (Fig. 6 C)：絶対湿度は一般に山上、山中、山下の順に高くなる。気温と絶対湿度は 27 日 11 時の分布をはさんで逆の対称変化を示すが、11 時には盆地底部も含めて等値であり、興味深い。

(6) 新疆と沙漠研究站の逆転層の気候的特徴

Table 1 に 1990 年 12 月～91 年 2 月、1991 年 12 月～92 年 2 月および 1991 年 11 月の逆転・順転強度を示す。気温傾度 (℃/m) は沙漠研究站の露場の 1.8, 1.4 m 高間と 1.2, 0.8 m 高間の気温傾度(差温出力)より 1.8, 0.8 m 高間の気温差に換算して求めた。

1990～91 年冬季の逆転強度の最大は -4.72℃/m、日最大月平均でも -2.24℃/m であり、1991～92 年冬季には -4.90℃/m、月平均でも -1.88℃/m で、2 冬季の平均で -2.06℃/m と非常に大きく、また 1991 年 11 月 28 日では最大 -1.50℃/m、26～28 日の日最大の平均でも -1.39℃/m でかなり大きく、盆地の接地付近での逆転強度の大きさを表す。なお、この期間中、日単位では必ず気温逆転が発生している。

一方、日中の順転は 1990～91 年冬季では最大 1.94℃/

m、月平均で 0.90℃/m、2 冬季平均で 0.83℃/m であった。1991 年 11 月 28 日には 0.90℃/m、26～28 日平均でも 0.73℃/m であり、日中の不安定気層もかなり大きかった。

このようにトルファン盆地では、冬季は特に風が弱い、昼夜の気温の垂直分布が安定・不安定状態に大きく変動する気候特性を示した。

4. 考 察

(1) 微細・局地気象の考察

①気流の気温、風速の周期的変動：1991 年 11 月 26～28 日の気温と風速の周期的な変動傾向 (Fig. 2 A, B) は、愛媛県西条市や香川県高瀬町の冷気流の観測 (真木・黒瀬, 1988; 1990) においても同様に認められたが、間欠的な相対的に強い気流の発生には、ある程度、冷気の蓄積が必要なことを意味する。

②気流の風向変動：富山湾の海陸風は夏季には陸風から海風へ、海風から陸風へと時計回りに、逆に冬季には反時計回りに日変化する (吉野, 1986)。冬季、富山湾では夜間の陸風(南風)から朝方には能登半島南部での日射による昇温で、南東～東風が吹き、日中には海風(北風)になり、夕方には湾南東部の陸地による昇温のため北西～西風に変わる反時計廻りとなる。

冬季、トルファンでは夜間に火焰山または天山山脈から盆地底部方向に北風が吹くが、朝方には朝日が盆地の西斜面に当たり昇温するため東風が吹く、日中になると盆地の北斜面が昇温し、南風が吹き、午後には東斜面が夕日による昇温のため東風が吹く。従って、風向は N, E, S, W の時計廻りで吹くことになる。この風向変動を考えると、夜間の北寄りの風は次のように結論できる。

③冷気流の特徴：Fig. 2 A～C に示すように、夜間に吹く風は火焰山、または天山方向から吹く。例えば、27 日 22 時や 28 日 4 時のように夜間時々昇温するのは明らかに風が強くなっている時であり、暖風である。冷気流解析(真木・黒瀬, 1988; 1990)から判断すると、この暖風は斜面下降風、すなわち冷気流であると考えられる。ただし、トルファン盆地の -80 m の沙漠研究站では、すでに盆地の上層に逆転層のある冷気湖内に入っており、その中で局地的な冷気流が発生していると推論できる。

このことは、簡単な一次元パーセルモデル(近藤, 1984; 真木・黒瀬, 1990)で算定した冷気流速度が高度差 2000 m、斜

Table 1 Maximum and minimum, and their averaged values on gradient of air temperature (℃) per 1 m at the meteorological observation field of the Turfan Desert Research Station in 2 winter seasons from 1990 to 1992, and November, 1991. Negative sign shows the inversion of air temperature or stable air layer and positive unstable layer.

Air temperature gradient (℃/m)	Dec. 1990 -Feb. 1991	Dec. 1991 -Feb. 1992	Nov. 1991	Nov. 26 -28, 1991
Maximum in the period	1.94	1.78	1.78	0.90
Average of daily maximum	0.90	0.76	0.78	0.73
Minimum in the period	-4.72	-4.90	-3.05	-1.50
Average of daily minimum	-2.24	-1.88	-1.73	-1.39

面距離 50 km, 温度差 5~6°C, 周辺温度 0°C では, 冷気流の最強値は 9.5~10.4 m/s であるため, しかも観測地点(FO)の風上(天山)側は山地(付近の最高峰 375 m)で, その風上側が盆地状地形のため, 火焰山を越える天山山脈(5000 m)からの直接の風ではないと推論できる。一方, 山の中腹(FO)では, 標高 180 m, 高度差 200 m, 斜面距離 2 km, 温度差 2~3°C, 周辺気温 2°C で 1.9~2.3 m/s, 山麓域ではそれぞれ 20 m, 350 m, 4 km, 3~4°C, -2°C で 3.1~3.6 m/s, 露場ではそれぞれ -80 m, 100 m, 10 km (山麓より), 4~5°C, -5°C で 1.9~2.1 m/s と算定できる。

火焰山から直接露場に冷気流が流れてくると仮定すると風速は 4.5~5.0 m/s となり, 強過ぎることになる。これは冷気流が急傾斜地からはほぼ平坦な石礫砂漠(標高 20 m)に出ると, ある程度は慣性力で進むが, やがて石礫との摩擦によって弱まる。その弱い冷気流と風下の緩傾斜地(10 km で 100 m の勾配)を下降する冷気流(1.9~2.1 m/s, 露場の 6 m 高の強風に近似, Fig. 2 B) とが加算されると考えられるため, 結果的に火焰山からの風の流速(2~3 m/s)に近似することになる。上述のような簡単なパーセル法でもかなり説明できるが, そもそも火焰山の存在と逆転層高度(500 m)を考慮しても, 遠方の天山からでなく比較的近い火焰山からの風であると判断できる。

(2) 風速, 気温の垂直分布の局地的特性

①風速, 気温の垂直分布と冷気流: 均一な安定気層条件下で定常的に吹く風速分布は, 地表面の粗度による摩擦によって下層部が相対的に弱風化するが, この場合の気流は全体が安定気層中にあるため, 風は逆転層の上層部に進入すると考えられる。しかるに, 下層に進入する傾向があるのは次の理由による。

冷気流は, その吹き始め地点の接地面の空気が低温で, 密度が高く重いために, 重力で斜面を流下し始めるが, 下降中に次第に周辺より同様な冷気を吸収して加速し, ここでは 2~3 m/s 程度の強風(Fig. 2 B の強い時)で流下する。そして緩い傾斜地や平地に出ても, 前述のように慣性力で, ある程度吹走するが, 吹き始めの気流は低温で重く, 気流の厚さが薄い(パーセル法では 13.4 m)ため, 逆転層上でなく, 接地下層への進入形態をとる。ただ, この風は相対的に下層の方が強く, ある上層の方が弱い(近藤, 1984; 真木・黒瀬, 1990)分布であり, また地表面の摩擦抵抗のためすぐ弱まるが, 放射冷却で気温が低下する限り冷気流の及ぶ範囲では間欠的に吹き続ける。

弱風時, 盆地では放射冷却によって接地面がすでに限界近くまで低温化しており, これ以上低温化することは少ないが, 強風になると, 気温が上昇する。これらは

28 日 1, 4 時のように, 弱風期間中の相対的な強風であるため, 弱風時の風速分布と比較して下層部よりも上層部での風速の増加が大きく, 対数分布に近くなる。この時の風は比較的強い冷気流(6 m 高の風速分布から推定, 層高は 10 m 以上)と考えられ, 風が吹くと接地気層の気温が上昇するため逆転強度が小さくなるが, 時間変動の大きい風である。なお, この風の特徴として約 3 時間周期で吹くことが確認されている。

②逆転層の形成と温度資源: 前述したとおり, 火焰山の逆転層にたなびく煙から, 逆転層厚(厚さ)が 500 m 程度と目測されたが, このことは特に夜間は逆転層に盆地全体が覆われていることを意味する。また 11 月 28 日 7 時(Fig. 5 A)にもあるように, 接地逆転が比較的大きく(1~1.5°C/2 m の等温度勾配), 冷気流が弱いこと(Fig. 2 C)とも関連する。

従って, 冷気流は傾斜地の観測場所(FO)付近で発達する逆転層内を流れ, 盆地底部で最下層の逆転層の形成に作用していると考えられる。なお火焰山には, 時間によって異なるが, 2~3 層の逆転層が確認されている。ただ目視できた最上層のものが 500 m であり, さらに上層にもあると考えられる。この上層の逆転層は, この時は確認できなかったが, 天山山脈にはもっと規模の大きい逆転層が, 多くの日に目視される。

次に, この期間の逆転層高度(斜面温暖帯)の最高気温を推定すると高度 500 m で 4~8°C になる。ただ 150~220 m 高まではあまり昇温していないため(Fig. 6 A), 高度 200 m 以上では仮に半分の上昇率としても高度 500 m では 2~4°C となる。従って, 火焰山の中腹(100 m)~上層(850 m)では温度資源が 5~10°C 程度あり, 利用が期待される。

(3) 冬季, 新疆の逆転層と冷気流の温度資源

①乾燥地, 新疆の逆転層と温暖帯: 夏季には気温が 6~8°C/1000 m で通減するが, 冬季には逆転して気温が上昇する。冬季の天山北斜面のジュンガル盆地側では層厚 2000~2500 m の逆転層が形成されるが, 特に海拔 1000~2500 m で強い逆転強度を示す。逆転の強い冬季 1 月には 1.5°C/1000 m である(楊, 1987)。これは例えば, 月平均気温が標高 1272 m (木壘)で -12.0°C でも, 標高 2160 m (小渠子)では -10.6°C などである。ただし, 接地低層の影響を考慮しなくてよいとされる同一測定高度の月平均値である。

一方, 天山南斜面のタリム盆地側では冬季に, 1500 m 程度の逆転層(楊, 1987)が観測されるが, 北斜面よりは弱く, 南北の違いが大きい。これは緯度の差, 気流, 気層の安定度, 日中の日射などが関与するためと考えられる。ただし, これは巨視的には天山南斜面側に相当し,

局地的影響の大きいトルファン盆地の値とは異なる。

②気温の微細・局地・メソ的垂直分布と温度資源：接地気層を考えると、接地境界層底部の微細気象的な気温逆転は高度1m当たり2～3℃(2℃/m)、代表的距離が10～20kmの局地気象的な値では高度1m当たり0.02～0.03℃(2℃/100m)、代表的距離が100～200kmのメソ気象的な値では高度1m当たり0.001～0.002℃(2℃/1000m)となり、昇温率は大きく異なる。トルファン盆地の斜面と低地(底部)における気温逆転は、接地逆転(ミクロな逆転)を含めた一段規模の大きい局地的逆転と考えられる。

③逆転層と冷気流の温度資源の農牧業への利用：牧畜では夏季の草量(飼料)もさることながら、もっと大きく冬季の越冬中の飼料に影響される。このため低温の影響が小さいことは有利であり、特に年最低気温で出現するような厳しい期間には、逆転層による昇温は越冬家畜の生存率の増加に大きく関与するため、逆転層および冷気流による気象(温度)資源の有効利用が望まれる。これは、冬季には山前平原(ジュンガル盆地低平地)より気温逆転で温暖な中・低山帯(1000～2000m)に冬場草地を設ける場合が多いことを裏付けている。

天山山脈などの傾斜地では、盆地に溜まる冷気湖への流れとして、規模の大きい冷気流があると推測される。この風が吹いている場所の物体に対しては前述のとおり暖風(真木・黒瀬, 1988; 1990)であるため、この温度資源もまた有効利用が望まれる。

上述した斜面温暖帯および冷気流(暖風)の温度資源の活用が期待されるが、これらの温度資源を一部では、作物栽培で収量増や品質向上に無意識に利用している。例えば、前述の冬季草地での利用であり、また天山北部の阜康では、川が天池(山地の湖)から谷に沿って平地(扇状地)に流れ出た付近やその谷筋の地域などである。

(4) 気温逆転と熱風、発汗との関係

トルファンでの気温逆転と昇温、気象資源、フェーン風の考察の過程で関連する次の事項を検討した。

岑参(しんじん)が火焰山を通過する時に残した漢詩「経火山」の中に「我来たるは厳寒の時なるに、山下に炎風多し、人馬ことごとく汗流る」とある。詩中の厳寒に汗が流れるのは文学者にとっては誇張と受け取られている。しかし、そうではない理由を次に述べる。

トルファン盆地の低地ではかなり頻繁に-20℃以下になるが、冷気湖内で低温であっても、火焰山の中腹～頂上部では例の逆転層による斜面温暖帯によって0～5℃のことが多い。ここでは昼間、晴天で日射がある。旅人はシルクロードの哈密(ハミ)の厳寒地や安西の強風地を越えて来たため、寒さに慣れており、当然厚着をしてい

る。無風で日射があれば、暖かく感じる。これは南極での越冬後の体感温度(Maki, 1974)に似ている。乾燥した裸地で、特に西向き斜面のため、太陽が西に傾くと直角近く当たる。従って、山の斜面温暖帯では日中には地表面は20℃(後述の19.5℃)になり、しかも太陽が衣服に射し表面温度は20～30℃にもなる(真木・真木, 1992)。

観測事例としては11月28日の夜間に-80mの盆地低部の地上1m高の気温は-10.9℃であったが、昼間には2.1℃となり、また標高220mの斜面の地上1m高では気温4.2℃、地表温19.5℃であった。フェーン風でなくても、上述のような条件下で山道を歩いたり、観測作業中の登り降りでは当然汗をかくことになる。また、この漢詩の中では炎(熱)風が吹いている。これはフェーン風と解釈されるが、冬季でも時々天山山脈を越えたフェーン風が吹く。このため、山越気流の熱風で当然汗が流れることになる。

なお、逆転は夜間に強いが、盆地では日中でもかなり長時間残っており、一般に上空(500～800m)には煙のたなびきがあり、相対的に高温となっている。従って、火焰山の200～800m付近では高温条件が整っていることになる。ただし、曇天・降雪時および低気圧性・季節風的な強風時には、中腹でも当然、低温となる。

5. ま と め

トルファン盆地の斜面と低平地において、1991年11月26～28日に気温、地温、湿度、風速、風向などを観測し、逆転層・冷気流・温度資源の特徴を明らかにした。

(1) 対称な変化を示す気温と相対湿度の垂直分布を求めた。接地逆転の発生率と逆転強度は冬季、晴天、早朝、弱風時に大きく、冬季間の逆転は-2℃/m、順転は0.8℃/mであった。風速の垂直分布は対数分布からずれた安定、または不安定分布を示すことが多い。

(2) 盆地低地の沙漠研究站(-80m)では冬季、夜間に風が強くなると気温が上昇し、弱くなると低下する約3時間周期の変動が確認できた。

(3) トルファン盆地では平均的な逆転層の高さは約500mであり、その付近に煙がたなびく。また上層部の逆転層は昼間もほとんどくずれなかった。

(4) トルファン盆地の山地斜面と盆地低部付近の温度差は、気温逆転によって昼間に2℃、夜間に4℃、早朝に8℃となり、斜面温暖帯の温度資源が利用できる。

(5) トルファン盆地には冷気湖が形成され、火焰山からは冷気流が発生し、数層の逆転層が形成される。この冷気流の暖風としての温度資源も利用できる。

(6) 斜面温暖帯と暖風の温度資源は農牧業に一部利用

されているが、少ないため、今後利用拡大が望まれる。

引用文献

- 張 家誠・林 之光, 1985: 中国気候. 上海科学技術出版社, 上海, pp. 603.
- 近藤純正, 1984: 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**, 625~632.
- Maki, T., 1974: Turbulence characteristics and micrometeorological structure of atmospheric surface layer in stable stratification in Antarctica. *Memoirs of Natl. Inst. of Polar Research*, **B-2**, pp. 65.
- 真木太一・黒瀬義孝, 1988 a: 愛媛県西条市のハウレンソウ栽培地域に吹く局地風アラセの特性解明. 農業気象, **43** (4), 311~320.
- 真木太一・黒瀬義孝, 1988 b: 寒候季に西条市神戸地域に吹く局地風アラセの特性とハウレンソウの適地判定. 四国農試報告, **51**, 34~45.
- 真木太一・黒瀬義孝, 1990: 香川県高瀬盆地周辺における冬季の晴天日の局地気象特性の観測. 農業気象, **46** (2), 79~86.
- 真木太一・真木みどり, 1992: 砂漠の中のシルク ロード. 新日本出版社, 東京, pp. 206.
- 真木太一・杜 明遠・潘 伯榮・上村賢治, 1994: 中国北西部の乾燥地トルファンにおける砂漠・オアシス気候と蒸発散特性. 農業気象, **50** (3・4), 185~195.
- 楊 利普, 1987: 新疆綜合自然区劃概要. 科学出版社, 北京, pp. 93.
- 夏 訓誠・胡 文康, 1982: 吐魯番盆地. 新疆人民出版社, 烏魯木齊, pp. 122.
- 吉野正敏, 1986: 新版小気候. 地人書館, 東京, p. 298.