晴夜における小丘状地形上の冷気層と降霜分布*

今 岡 円 七

(西伯方中学校, 九州大学農学部)

Cold Layer on a Small Hill in Clear Nights
and Relation to Frostfall Distribution

E. IMAOKA

(Nishihakata Junior High School, Faculty of Agriculture, Kyushu University)

1. は し が き

瀬戸内海の島嶼部における農業経営は、栽培面積の50~60%が傾斜地であると考えられ、海拔100m以下の緩傾斜地はほとんど開墾され、時代の要求に応じてそれらの大部分の地域で柑橘、ゼラニウム等の園芸作物が栽培される様になりつつある。従つて小丘状地形(100~300m)の傾斜面上の局地気象を解明することは極めて重要である。これらの要求に応じてすでに幾つかの観測研究がなされているが、特に夜間傾斜面上で発生する冷却層と、接地気温、降霜状況等の様子を知ることができたので、それらの結果をとりまとめて報告することとする。

2. 観 測 要 項

観測は瀬戸内海にある伯方島¹⁾で行なわれた。同島の北部にある小半島上の海拔120mの小丘状地形で、観測場所の地形並びに測点の配置が第2図に示されている(1図参照)。同図をみればわかるように南斜面の下方は小規模な盆地となつており、北斜面の下方は海に連らなつてい。南北両斜面とも海拔40m以下は開墾されて主に麦、柑橘等が栽培されているが、それ以上の高度ではまばらに松が生え、その間に高さ1~2mのヤシヤブシが植えられている。従つて晩秋から春までは落葉しており、特に測点附近は半裸地の状態となる。

観測期間は1960年4月から1962年11月までの間であるが、主な観測は秋から晩春にかけてのみ行なわれた。

3. 観 測 結 果

1962年11月24日夜のリフトバルーン¹⁾による地上60m高度までの各点の風向が第3図に示されている。 $S_0 \sim S_{29}$ の南斜面では北北東、 $N_1 \sim N_{22}$ の北斜面では南東の風がそれぞれ下降風であると判断される。南北両斜面とも丘頂近くの $N_1 \cdot S_{29}$ の接地気層から斜面下降風が出發し、流下するに従つて厚さを増し、 $S_0 \cdot S_5$ で10m、 $N_{22} \cdot N_{17}$ で8mに及んでいるが、谷状地形での下降風の厚さが20~30m¹⁾であるのにくらべて、はるかにうすいことがわかる。また風速は $N_{22} \cdot S_0 \cdot S_5$ 等で最大値が得られたが、5m高度における風速は何れも1m/s以下であつた。なお同夜は海拔100m以上の層ではよわい西の一般風が発生していたことがわかる。

第4図に南斜面下部の S_5 丘頂 T_{01} における、1961年2月27日から3月1日までの間の、地上1m高度の

Fig. 1. Observing place at Hakatajima (34°14' N and 133°05' E)

* 昭和38年4月7日 農気全国大会にて発表

Fig. 2. Observing points.

Fig. 3. Distribution of the wind direction under 60m height.

風の自記記録が示されている。2月28日7時以後について丘頂 T_{01} では南の風が記録され、18時頃東の風にかわり、19時半頃よりさらに西に変化して、風速は 0.5m/s 内外の一般風の経過の様子を示しているが、 S_5 では日没の18時頃より翌朝の日出の7時まで、北東で平均 0.5m/s の変化の少ない定常的な下降流の様子を示している。

Fig. 4. States of the wind at the top (T_{01}) and the basin (S_5). (Wind direction by the recording anemoscope, wind speed by the small cup-anemometer)

(2) 斜面上の気温分布

1962年11月24日夜の地上60mまでの風向観測と同時に気温の観測もなされた。それらの結果を要約して説明することとする。

(i) 第5図に気温の垂直プロファイルが示されている。丘頂の T_{01} では地上1m以下が僅かに低温で、それ以上の高度ではほぼ断熱減率に近い値で降温している。南北両斜面とも下るに従って逆転層の高さが増し、南斜面では中腹の S_{14} 以下において急速に厚くなり、低地の S_0 では50mに達し、逆転度は 3°C に及んでいる。北斜面でも下方において逆転度は大きくなり、V字状地形

の底部の N_{22} では 4°C で、南斜面底部よりも大きな値を示しているが、その厚さははるかに薄く、 $N_{22} \cdot N_{17}$ 共に10m以下である。北斜面の下方は海に接し、斜面の平均勾配は約 30° で冷却された空気は極めて容易に海上に排出されていることを物語っている。これに反し南斜面では斜面の下方が平地で、その端の冷気の出口に当たるところに高さ10~15mの松林が密生し、冷気の流出を著しく阻害し、小規模な冷気湖が形成されているとみなければならない。北斜面の $N_{22} \cdot N_{17}$ の逆転

高度8~10m以下の気層は第3図の風向分布からもわかるように、明らかに流下しているが、南斜面の $S_0 \cdot S_5$ では10m以下の気層のみ流下の様相を示し、斜面上で冷却された空気が平地の冷気湖の底に流入している様相がうなずける。

(ii) 第6図に気温垂直分布の断面図が示されている。 9°C の等温線をみると北斜面ではほぼ地面に平行で、V

Fig. 5. Profile of the air temperature.
(Nov. 24, 1962, 18h 30m~20h 40m)

Fig. 7. Vertical distribution of the air temperature on the southern slope. (Nov. 24, 1962 18h 30m~20h 40m)

Fig. 6. Isotherm on the southern slope and the north-west slope.
(Nov. 24, 1962, 18h 30m~20h 40m)

字状地形の底の $N_{17} \cdot N_{22}$ に冷気の堆積の様子が僅かにみられるが、南斜面では海拔 60m の S_{19} を境にして 9°C の等温線がほぼ水平となり、(i) で説明した状況をよく表わしている。北斜面の海拔 30~80m、南斜面の 60~110m の間の接地気層の上空にそれぞれ温域がみられることは重要な意義があると思わなければならない。

(iii) 冷却層の様子をさらに詳しく知るために、冷気の蓄積が行なわれていると考えられる南斜面について、11

月 24 日夜の気温測定値を各測定点について海拔高度順にプロットしたものが第 7 図である。従つて同図は同地の最低部(海拔 20m)より、丘頂から気球の到達し得た海拔 180m までの、南斜面の気温の垂直分布のようを示していると考えることが出来る。100m 以上の高度では気温が $0.8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ の割合で降下し、自由大気の気温通減率とほぼ一致していると思なすことが出来る。60m 以下では著しく気温が低下して逆転の様子をよく表わしており、気温通

減率を上記の値とみなした場合、地上付近での自由大気からの気温の降下は、 4.5°C ぐらいとなつている。また 60~100m の間は気温の通増と逆転層による降下の割合がほぼ等しく、斜面上で高温帯を形成する結果となっている。

(3) 降霜状況

晴夜における斜面上の冷却層または下降風の様子は前述の如くであるが、それらに支配されると考えられる、接地気温の分布について検討を進めることとする。

Fig. 8. Distribution of the air temperature and the ground surface temperature. April, 1960, 22h (5th.) General wind 0m/s
04h (6th.) General wind 5m/s

(i) 第9図に1960年4月5日夜、同斜面上の第2図の各点で測定した、地表温度並びに20cm高度の気温分布を示している。22時のものは丘頂で測定された一般風が0m/sの場合のもようであるが、地表温の高温部は北斜面下方のV字状地形の東側壁と、南斜面の中腹に現われている。気温の高温部は北斜面の尾根、丘頂、南斜面の中腹以上に現われ、地表温の分布とよく似ている。南斜面では海拔40m以下ではほぼ等高線と等温線が平行になり、最低3°Cまで下つて高温部との差は4.5~5.0°Cにも達している。北斜面では下方のV字状地形の底部に冷気が集合して低温を示すと考えられるが、蓄積されることなく容易に海上に排出されるため、南斜面の低部程低温とならず、また低温域の範囲も小さい。04時の分布は一般風が南西で5.0m/sに達した場合の分布である。真正面から受ける南斜面はほとんど等温化し、一般風による逆転層の消滅の様子が察せられる。風

の背後にある北斜面ではなお3°Cの気温差が残っているが、低温域の位置がかわつている。

(ii) 上記の観測において得られた、4月5日14時から4月6日12時迄の2時間毎の、南斜面下方の S_1 から、丘頂 T_{01} を通つて N_{22} に至る線上の12の測点の、地表温度と20cm高度の気温についての調和分析結果を第1表に示している。気温の1日項の振幅(R_1)は冷気の堆積が行なわれている南斜面下方の $S_1 \cdot S_8$ 等で大きく、南斜面中腹の S_{17} より北斜面尾根にかけて小さく現われている。また1日項の位相(ϵ_1)は冷気の排除され易い $S_{24} \cdot S_{27}$ 等では $S_1 \cdot S_8$ にくらべて10°以上のおくれがみられ、北南面では谷尾根共に $S_{24} \cdot S_{27}$ と同程度の位相を示している。

(iii) 1960年2月22日から3月2日迄の間、南面上の $S_5 \cdot S_8 \cdot S_{14} \cdot S_{19} \cdot S_{27} \cdot T_{01}$ の各点の、自記温度計による地上30cmの気温の連続測定がなされた。この間の天候は2月24日・26日・3月2日は曇天であつたが、他は快晴または晴で降霜があつた。夜間平均値については高温部は海拔90mの S_{27} 附近に現われ、下方の $S_5 \cdot S_8$ 等に比して2.2~2.8°C程度高温になつている。

(4) 降霜状況

冷却層並びに下降風の農業気象的研究として重要視されねばならぬものは、それらによつて起ると考えられる局地的気温差と、降霜の状況であろう。これらの問題の解決をはかるため、1960年11月から1961年4月にかけて前述の斜面上において、同地の中学生の協力を得て、大規模な降霜日数の調査を行なつた。前記の気温測点以外に新たな測点($F_{11} \cdot F_{15} \dots$)を追加し、各測点において日の出前その附近の地面もしくは植物・わら等に多少にかかわらず、降霜の認められたものは日数に入れて降霜日数を観測した。

第9図に地形と降霜日数との関係を示している。全期間を通じて完全な観測がなされた南斜面上では、斜面下方の平地 $S_0 \sim S_{10}$ で降霜日数28日以上、平地より30m高いところにある F_{16} あたりから急減して、斜面中腹の F_{28} (海拔60~70m)附近はせまい範囲ではあるが無霜地帯であることがわかつた。また丘頂(海拔120m)に近づくにつれて急増し、 T_{01} では平地近くの F_{17} と同日数となつている。

4. 考察及び結論

同地において現在までに行なつた観測の期間は秋から晩春にかけてのものであるが、各種観測の実施については系統性がうすい。南斜面下方の平地における冷却層の厚さはリフトバルーンの測定では50mに達し、それと

Table. 1. States of the temperature and the harmonic constants. (April, 1960, 5th, 14h~6th, 12h)
Air temperature (20cm above the ground)

	Southern slope				Top	Northern slope				
	S ₁	S ₈	S ₁₇	S ₂₇		Ridge		Valley		
	S ₁	S ₈	S ₁₇	S ₂₇	T ₀₁	N ₈	N ₂₄	N ₁	N ₈	N ₂₂
Mean	9.8°C	10.4	11.6	10.9	11.1	10.8	11.4	11.1	10.8	10.2
Day mean	14.3	15.1	15.3	14.4	14.8	14.6	15.5	14.8	14.3	13.9
Night mean	5.4	5.7	7.8	7.4	7.4	7.0	7.3	7.4	7.3	6.5
Max.	18.6	17.2	18.3	17.0	17.6	17.6	19.7	18.0	16.4	17.0
Min.	2.3	2.2	6.2	7.4	6.4	6.2	6.7	6.0	5.8	4.2
Range	16.3	15.0	12.1	9.6	11.2	11.4	13.0	12.0	10.6	12.8
A ₀	9.8°C	10.4	11.6	10.9	11.1	10.8	11.4	11.1	10.8	10.2
R 1	8.0°C	7.3	5.7	5.4	5.6	6.0	6.1	5.9	5.5	5.7
ε ₁	254°	257	247	241	249	240	246	242	241	252
R 2	1.5°C	1.4	1.6	1.5	1.0	1.6	1.6	1.4	0.9	1.7
ε ₂	42°	21	18	8	37	15	40	18	23	4

Temperature of the ground surface

Mean	11.9°C	12.1	13.6	13.7	11.0	10.6	11.8	11.6	9.8	11.1
Day mean	17.9	18.5	19.9	20.3	16.7	16.1	16.9	16.6	15.4	16.0
Night mean	6.0	5.7	7.3	7.2	5.3	5.3	6.8	6.5	4.2	6.2
Max.	28.2	29.8	28.5	29.1	25.7	24.4	22.7	27.8	22.0	23.8
Min.	4.1	4.0	5.9	5.8	4.1	4.2	5.9	5.0	2.8	5.3
Range	24.1	25.8	22.6	23.3	21.6	20.2	16.8	22.8	19.2	18.5
A ₀	11.9°C	12.1	13.6	13.7	11.0	10.6	11.8	11.6	9.8	11.1
R 1	9.4°C	10.0	10.1	11.2	8.9	9.0	8.1	8.9	8.0	8.7
ε ₁	250°	257	249	238	241	231	243	239	240	233
R 2	2.5°C	2.9	3.6	4.8	2.6	3.4	2.8	1.7	2.7	3.2
ε ₂	65°	89	71	33	12	5	54	35	25	16

Note: The harmonic constants with, $\theta = A_0 + R_1 \sin(\delta t + \epsilon_1) + R_2 \sin(\delta t + \epsilon_2) + \dots$,
($t=0$ at midnight, $\delta=2\pi/T$, $T=\text{one day}$) are listed.

同高の斜面上の海拔 60~70m 以下は、蓄積された冷却層の影響下にある様子が察せられるが、極端な冷却層は海拔 40~50m 以下に限られていることが、第 5, 6, 7 図からわかり、その低温域は接地気層の観測結果とも一致しており、また降霜日数も海拔 50m あたりから急増している。霜朝において地上 20cm の接地気温を降霜調査と同時に、各点において測定したが、その結果は霜朝における南斜面上の気温分布が、ある点を境界にして直線的に降下している場合が多く、その境界点は 80~90m (S₂₇) 海拔ぐらいに達する場合も見られたが、大部分の霜朝で海拔 50~60m 以下であり、各晴夜において冷却層の影響を受ける範囲の変動は少ないことがわかる。

亜熱帯作物ゼラニウムについては、年間降霜日数 20 日以上地域では栽培不能^{3,4)}とされているが、これらを基準に南斜面を降霜日数について区分すると第 10 図の如くなり、霜朝の平均接地気温分布との対応がよく現われている。

北斜面の下方は海に直結しているため、冷氣は極めて容易に海上に排出されて、低温域の範囲は南斜面よりはるかにせまくなっている。南北両面の条件が異なるため、昼間の受熱量の差による両斜面の夜間の接地気温差を検討することは困難であるが、北斜面の N₁₂・N₁₇ 附近において霜朝の接地最低気温が、極めてせまい範囲であるが、南斜面の最低部よりも 0.5~1.0°C 低温な地域があることが確かめられている。

接地気温分布において南斜面の海拔 40~50m 以上、北斜面の V 字状谷間以外の地域は、共に最低低温域に比べて 2~3°C 高温であるが、同島の南西部にあつて南北斜面の両下方が海に直結しており、丘頂の海拔高度 140m の小丘状地で観測を行なつた木村²⁾の論文にも、丘腹の 50~80m の地域に高温帯が存在することが指摘されており、その高温帯は下降気流に対する補償としての、海上暖気の侵入によつて起ることが確かめられている。我々の観測でも下方が海に直結している北斜面の様相は、それに似ていることが推察されるが、斜面の下方が

平地になつている南斜面では、気温の断熱遙減と下層逆転との関係において一応説明することができたが、補償流の作用が加わっていることも充分想像でき、今後の観測による検討が期待される。

参考文献

- 1) 今岡円七 (1964): 斜面下降風の構造に関する観測とその考察. 農業気象 20. 17.
- 2) KIMURA, H., (1961): Micrometeorological Surveys at Hakatajima and Ōshima, Small Inlands in the Inland Sea of Seto. The Meteorological Notes of the Meteorological Research Institute, Kyoto University, Series 2, No. 22.
- 3) 吉田照雄・今岡円七 (1959): 小気候的に見たゼラニウムの栽培環境. 愛媛県農林水産園芸課資料.
- 4) 吉田照雄・今岡円七 (1959): 香料ゼラニウムの精油分泌機能に関する生理・生態学的研究. 日作紀 28.

Summary

On a small Hill at Hakatajima in the Inland Sea of Seto (at $34^{\circ}14'N$ and $133^{\circ}05'E$), from 1960 to 1962, some observations on cooling layers in a clear night were made in relation to the state of frostfall. Results of the observations are summarized as follows:

1. At each bottom of the northern and southern slopes an area with lower temperature due to the cooling layer was observed, the northern slope being connected to the southern slope to a small basin. But the depth of the cold air was less than 10 meters for the northern slope and the 50 meters or more for the southern slope.

2. High temperature zones were observed on the both slopes, but height ranges were different, i.e. 30~80 meters on the northern slope and 60~110 meters on the southern slope.

3. Number of frosty days observed during the year amounted to more than 30 at the foot of the southern slope and decreased gradually upward the slope, and near the top of the hill it began to increase, the frostless zone being observed at the height of 90~100 meters above the sea level, quite in agreement with the high temperature zone.

Fig. 9. States of the frost fall. (1960~1961)

Earliest frosted day, Dec. 2, (S_0)
Latest frosted day, Apr. 11, (S_6)

*. Mean air temperature in the early morning at 20cm above ground. (Jan. 27-Mar. 1, 1961)

☉ Frost days (Nov. 1960-Apr. 1961)

Fig. 10. The agricultural meteorological division on the southern slope.