

# 自動車による気温の移動観測について

河 村 武\*

せまい地域内における気温分布を観測する目的で近年測器の発達とともに自動車やオートバイのような高速の乗物を使用して移動観測が行われるようになった。この際の気温観測値の持つ誤差のうち、特に測器の遅れによるものを調査した。まず夜間のように短週期の微変動のない場合について取扱い、次いで昼間のような、微変動の大きい場合について論じた。

## 1. は し が き

せまい地域内の気温分布を観測するためには、自動車やオートバイを使って移動観測が行われることが多い。しかし測器に遅れがあるために観測値の取扱いに種々の問題が生じ、とくに定点観測の場合よりさらに多くの問題が起る。一般的に言って、遅れの小さい測器を使うことが移動観測には便利であるが、その反面、観測値の時間的、空間的代表性が小さくなり気温の微変動の影響が入ってくる。また、近年盛んに行われるようになった遅れの小さいサーミスター温度計を使用して走りながら観測するときには、遅れが比較的小さくても実際の気温とは若干の誤差を生じ、ときとしては無視できない程度におよぶ。その反面週期の小さい微変動は消されてしまう。以上のような現象を明かにして、今後の移動観測値の整理取扱いに資したいと思う。

1956年夏、長野県菅平の平坦な草地上で観測した結果によると、気温観測値の微変動は日中大きいが夜間になると、いちじるしく小さくなることが明らかとなった。地上被覆の複雑な都市の内部でも昼間に比較すると夜間の微変動は小さくなる。このような点からみて、まず気温に週期的な微変動のない場合を取扱い、次いで微変動のある場合を取扱いたい。取扱いの方法は矢島の方法に従う<sup>1)</sup>。

## 2. 気温の微変動がないとき

### (1) 気温が階段状に不連続な変化をする場合

まず或地点から気温が不連続な変化をする場合を取扱う。この取扱いのできるのは、(a)実際の気温の不連続がある場合。(b)他の自動車が先行したり、すれ違ったりして排気ガスの影響をうけて一時的に気温が上昇する場合。(c)車が一時停止して通風が止った場合。(d)温度差のある室内に放置してあった測器を装備して、観測を開始したとき。などが考えられる。ただし(a)の場合はむしろ次の(2)で取扱うような方法をとる方が現実に近いかもしれないが、近似的にはこの取扱いの方が簡便である。(d)の場合は、冬季、暖い室内に放置してあった測器を温度差のある戸外に持ち出して観測をするような場合、最初は測器の示度と真の気温の示度との間に 2°C 位の差があることは、珍しくないから特に重要である。

いま遅れの係数  $\alpha$  が一定であると仮定する。最初外気温  $\theta_a = \theta_0 = \text{const.}$  で測器の感温部の温度  $\theta = \theta_0$  であったものが、急に  $\theta_a = \theta_e$  に上昇したときには、上昇時よりの時間を  $t$ 、温度計の示度  $\theta$  とすると、次式が成立つ。

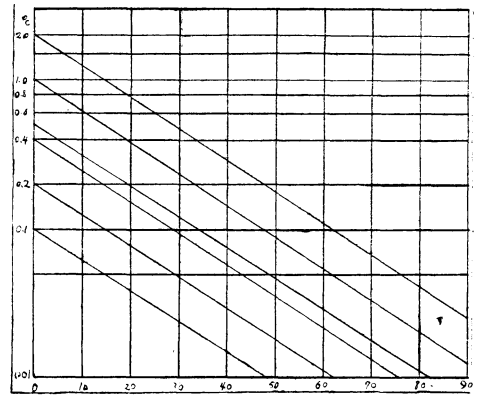
$$\theta - \theta_e = (\theta_0 - \theta_e) e^{-\frac{t}{\alpha}} \quad (2.1)$$

或地点を境にして気温が不連続的に変化しその両側ではそれぞれ気温が  $\theta_0$  および  $\theta_e$  であるとき、秒速  $V$  m の速さで、自動車がこの不連続面を横断して走るとすれば、温度計の示度と真の気温との差と、不連続面からの距離  $x$  m との間には

$$\Delta\theta = (\theta - \theta_e) e^{-\frac{x}{V\alpha}} \quad (2.2)$$

となる。

実用的な見地より温度計の遅れの係数 3 秒<sup>2)</sup> (サーミスター) 自動車の秒速 7 m (時速約 25km) とする。不連続面における温度差  $\Delta\theta_0$  を 2°C, 1°C, 0.5°C, 0.4°C, 0.3°C, 0.2°C, 0.1°C とすると第 1 図のような結果が



第 1 図 遅れの係数 3 秒のサーミスター温度計を使用した時の地点のずれと、温度計の示度と真の気温との差との関係 (自動車風速 7 m (時速約 25km))

得られる。2°C, 1°C という程の温度差は前述(d)の場合以外には起らないと考えてよいが、0.1°C の差を測器の

\* 東京教育大学地理学教室 —1957年 5月10日受理—

上で認めるのは  $\Delta\theta_0=0.1^\circ\text{C}$  の場合 15m,  $0.2^\circ\text{C}$  の場合は約 30m,  $0.5^\circ\text{C}$  の場合は 50m,  $2^\circ\text{C}$  の場合は 75m にも及ぶことが考えられる。したがって観測の開始は自動車の走りはじめ 100m 内では少くとも見合わせた方がよいし、一時停車をしたり、排気ガスの影響をうけた後は、30m, できれば 50m 程度走った後に測定を行うことが望ましい。不連続面付近での温度示度の変形も一応 2, 30m はあると考えた方がよい。

もちろん遅れの係数や自動車の速さが異なれば上述の結果の異なることは (2.2) より明らかである。自動車の秒速 7m 遅れの係数 1 秒の測器の場合は  $\Delta\theta_0=2.0^\circ\text{C}$  として約 15m 走ればこの影響は消えることになる。

(2) 水平方向に単調な温度勾配のある場合の観測

100m につき  $\Delta\theta_0^\circ\text{C}$  の温度勾配のある道路上を秒速  $V$  m で走る自動車上で温度示度は最初からの走行距離を  $x$ m, 最初の気温を  $\theta_1^\circ\text{C}$  で  $x=0$  において温度計の示度  $\theta=\theta_1$  であったとすると

$$\theta = \theta_1 + \frac{\Delta\theta}{100} x - \frac{\Delta\theta}{100} V \alpha (1 - e^{-\frac{x}{V\alpha}}) \quad (2.3)$$

で表わされる。

真の気温と観測値との差は

$$\Delta\theta = \frac{\Delta\theta}{100} V \alpha (1 - e^{-\frac{x}{V\alpha}}) \quad (2.4)$$

となる。

(1) と同じ条件で種々の温度勾配があるときの例を第 1 表に示した。

第 1 表 遅れ 3 秒のサーミスター温度計を使用し、秒速 7m で温度勾配のある場所を走ったときの示度の差

不連続面からの距離	7	14	21	28	42	63	84	$\infty$	m
温度勾配									
0.2°C/100m	0.010	0.020	0.020	0.030	0.040	0.040	0.040	0.04	°C
0.5°C/100m	0.030	0.050	0.070	0.080	0.090	0.100	0.10	0.11	
1.0°C/100m	0.060	0.110	0.130	0.160	0.190	0.200	0.21	0.21	
2.0°C/100m	0.120	0.220	0.260	0.320	0.370	0.400	0.41	0.42	

温度勾配が 100m につき  $1.0^\circ\text{C}$  以上のような大きな値が水平的に 100m もの長い距離続くことは殆んどないから、実際問題としては 20m 程度の範囲内で考慮を加えればよいし、100m につき  $0.5^\circ\text{C}$  以下の温度勾配ならば 100m 走っても差が  $0.1^\circ\text{C}$  程度であるから、 $0.1^\circ\text{C}$  の精度を問題にするときは考えなければならないが、それ以下の精度では余り問題にならない。また、せまい範囲内で極めて大きな温度勾配が存在する場合は (1) の方法で取扱っても実用的にはいちじるしい差は生じない。

実際に移動観測を行う場合この例に入るものは、夜間あるいは早朝に都市気候の観測を行う場合、郊外から都市中心部へ、あるいは都心部から郊外へ、都市を縦断も

しくは横断するようなときにあらわれる。都市内外の温度差は従来の観測例によると温度勾配の大きい地域で 100m につき  $0.5^\circ\text{C}$  位である。地上被覆にいちじるしい差異のある場合には、せまい範囲内で大きな温度差のある場合もあるが、むしろ (1) の方法で取扱う方が望ましい。なお、温度勾配のある道路上を往復したり、あるいは 2 台の自動車がすれ違ったりして、同一地点でそれぞれ逆の方向から走って得られた 2 個の観測値を比較する。その 2 つ以上の観測値の差は、時刻のずれによる差異を考えなければ、一方は  $\Delta\theta^\circ\text{C}$  だけ高く、他方は  $\Delta\theta^\circ\text{C}$  だけ低く出ているので上述の誤差よりも値としては大きく出る傾向にある。温度勾配のある距離が充分に長ければ同一地点での相反する方向に走って得られた 2 つの観測値を平均することによってこの節で取扱った誤差は消去できることになる。

3. やや複雑な温度変化

i) 段階的な温度変化の直後、気温が水平的に単調な勾配を持つとき

或地点までは気温が一樣で或地点で不連続的に  $\Delta\theta_0^\circ\text{C}$  だけ気温が上昇し、それより先は、単調な温度勾配があるような地域を前例と同様な観測を行うときには、温度勾配を 100m につき  $\Delta\theta_1^\circ\text{C}$  とすれば

$$\theta - \theta_0 = -\frac{\Delta\theta_1}{100} V \alpha (1 - e^{-\frac{x}{V\alpha}}) + \Delta\theta_0 e^{-\frac{x}{V\alpha}} \quad (3.1)$$

で与えられるから、不連続面よりの距離 7, 14, 21, 28, 42, 63, 84m において不連続面での温度差  $\Delta\theta_0=0.3^\circ\text{C}$  温度勾配  $\Delta\theta_1/100$  の  $\Delta\theta_1$  をそれぞれ  $0.5^\circ, 0.2^\circ, -0.5^\circ\text{C}$  としたときの観測値と真の値との差は第 2 表に示した通りになる。この場合には、不連続面に近い地点では不連続面での影響を、また不連続面よりも遠い地点では温度勾配の影響をうけ、両者が加算されて誤差としてきてくるから、温度勾配の小さい場合でも不連続面での影響は温度勾配のない場合よりも大きく、50m 位の距離の範囲内での誤差は十分示度の上にあらわれる。

第 2 表 遅れ 3 秒のサーミスター温度計を使用し、秒速 7m で、不連続的に  $0.3^\circ\text{C}$  上昇し、その後、温度勾配のある道路を走るとき誤差

不連続面からの距離	7	14	21	28	42	63	84	$\infty$
$\Delta\theta_1$								
0.5°C/100m	0.250	0.200	0.180	0.16	0.13	0.12	0.11	
0.2°C/100m	0.230	0.170	0.130	0.11	0.08	0.06	0.03	
-0.5°C/100m	0.190	0.100	0.040	0.00	-0.05	-0.08	-0.09	

ii) 温度傾度がある地点を境にして変るとき

最初に温度勾配  $\Delta\theta_1^\circ\text{C}/100\text{m}$  の道路上を十分に長い距離 (例えば遅れ 3 秒のサーミスター温度計ならば約 100m) 走った後に温度勾配  $\Delta\theta_2^\circ\text{C}/100\text{m}$  の道路上を引続き走る自動車に設置した温度計の誤差は、自動車の速度

$V$  m/sec が変わらないとすれば、温度傾度の変化した地点からの距離を  $x$  m とすると、誤差  $\Delta\theta^\circ\text{C}$  は

$$\Delta\theta = \frac{\Delta\theta_1}{100} V \alpha e^{-\frac{x}{V\alpha}} + \frac{\Delta\theta_2}{100} V \alpha (1 - e^{-\frac{x}{V\alpha}}) \quad (3.2)$$

で示される。

温度勾配が正であったものが負に変わる場合たとえば郊外から都心に向かって走ってきた自動車が都心を通り抜けて郊外に向うような場合で、温度傾度の絶対値が同じ場合には

$$|\Delta\theta_1| = |\Delta\theta_2| = \Delta\theta_0 \text{ とすると}$$

$$\Delta\theta = \frac{\Delta\theta_0}{100} V \alpha (1 - 2e^{-\frac{x}{V\alpha}}) \quad (3.3)$$

となるので

$$x=0 \text{ のとき} \quad \Delta\theta = -\frac{\Delta\theta_0}{100} V \alpha$$

$$x=\infty \text{ のとき} \quad \Delta\theta = \frac{\Delta\theta_0}{100} V \alpha$$

となるから、最初低く（あるいは高く）出ている示度が次第に真の値に近づき

$$x = -\frac{1}{V\alpha} \log e^{\frac{1}{2}} \text{ のとき} \quad \Delta\theta = 0$$

となって一致し、その後次第に高く（あるいは低く）出ることになる。したがって温度勾配が正から負へ、あるいは負から正に変るとき誤差は(2)で示した  $\frac{\Delta\theta_0}{100} V \alpha$  よりも、絶対値が大となることはない。

このことは  $|\Delta\theta_1| \neq |\Delta\theta_2|$  であっても両者の符号が異なれば成立して

$$|\Delta\theta_1| > |\Delta\theta_2| \text{ ならば} \quad \Delta\theta < \frac{\Delta\theta_1}{100} V \alpha \text{ であり}$$

$$|\Delta\theta_1| < |\Delta\theta_2| \text{ ならば} \quad \Delta\theta < \frac{\Delta\theta_2}{100} V \alpha \text{ である}$$

ただし、両者の符号が同じで、絶対値だけが変わるときは(3.2)式の第1項、第2項ともに同符号となるから  $\Delta\theta$  は温度勾配が単独の場合よりも大となる。

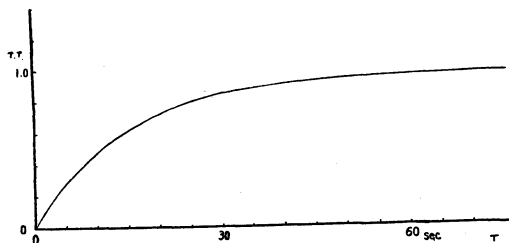
### iii) 小範囲内だけ局部的に気温の異なる地域を通過する場合

極めて局部的に気温が違っている地点を通過する場合を考える。問題を簡単にするためにある地点で不連続的に気温が  $\Delta\theta_0^\circ\text{C}$  だけ上昇し  $x$  m だけ進んだ地点で  $\Delta\theta_0$  だけ不連続的に下降して元の状態に復すると考えると(1)の場合の応用と考えることができる。

いま  $\Delta\theta_0$  に種々の値を与え  $x$  m 走ったときの示度をグラフに示すと第2図のようになる。

縦軸は  $x=0$  のときの  $\theta$  の値を原点として温度計の示度をとってある。  $V$ ,  $\alpha$  の値は変りない。したがって、  $\Delta\theta_0=0.2^\circ\text{C}$  巾15mの温度差のある地帯を通過したときには、辛うじて  $0.1^\circ\text{C}$  の上昇として示されるにすぎない。また  $1^\circ\text{C}$  の温度差があっても20m程度の範囲であるときは  $0.6^\circ\text{C}$  の温度差が記録されるにとどまる。

これらの点を改善するためには、より遅れの小さいサ



第2図 ある地点で不連続に  $\Delta\theta_0^\circ\text{C}$  気温が上昇するとき、その地点から自動車の走った距離  $x$  と示度の上昇値  $\Delta\theta^\circ\text{C}$  との関係。(但し、自動車の速度 7 m/sec 測器の遅れの係数 3 sec)

ーミスターを使用するか、自動車の速さを遅くするか、いずれかの方法をとる以外にない。しかし、自動車の速さを遅くすることは移動観測の計画全体に関係することで、観測の目的に応じて決められなければならない。より遅れの小さいサーミスター温度計あるいはその他の測器を使用すれば、微変動の影響をより強く受けることになるが、小範囲内の局部的な気温分布まで観測しようとするにはこれ以外に方法はない。

### (3) 微変動の存在するとき

昼間、日射の強いときに定点で気温の観測を行うと気温の微変動が明瞭で、特に週期が短くて、振幅の大きい微変動がいちじるしいことがわかる。このようなときに、自動車に比較的遅れの小さい測器（たとえばサーミスター）を付設して移動観測を行った場合にも、定点で観測される値に比較すると、短い週期の微変動が消えていることに気がつく。

定点で測定をした場合、週期  $T$ 、振幅  $\Delta\theta_0$  の正弦波であらわされるような微変動を、遅れの係数  $\alpha$  の測器で観測したときの見かけ上の振幅を  $\Delta\theta$  とすると relative response  $r$  は

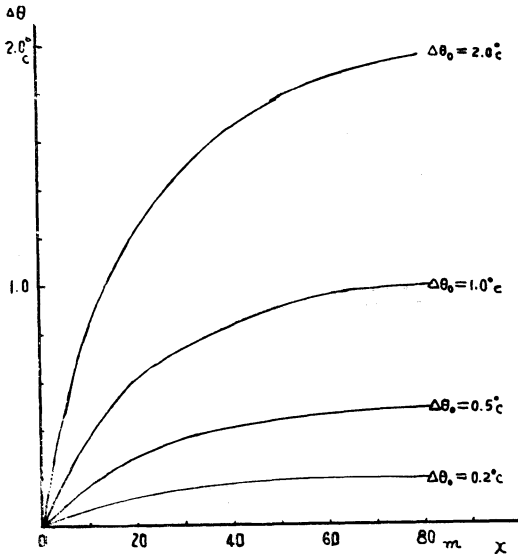
$$r = \frac{\Delta\theta}{\Delta\theta_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi\alpha}{T}\right)^2}} \quad (3.1)$$

いま  $\alpha = 3$  秒として  $T$  の種々の値に対する relative response をグラフに表わすと第3図のようになる。また位相角のずれは

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{2\pi\alpha}{T}\right) \quad (3.2)$$

であらわされることから、真の微変動の振幅を完全に示しているのは遅れの係数3秒のサーミスター温度計の場合ではほぼ1分程度の週期のものからで、それ以下はかなり小さく変形されていることを考えなければならない。

気温変化を週期の異なる正弦波の合成されたものと考え、週期の短い変動の波長は短く、週期の長い変動の波長は長いことが知られているから、移動観測をする場合はドップラーの原理が成立し、短週期の波ほど見か



第3図 遅れの係数3秒の測器の relative re-sponse と微変動の週期  $T$  との関係

け上の週期が短くなる結果 relative response がいちじるしく小さくなって消えてしまうものと考えてよからう。

すなわち、自動車の秒速を、 $V$  m/sec、波長： $\lambda$  m、週期  $T$  秒の波の見かけ上の週期  $T'$  は

$$T' = \frac{T}{1 + \frac{T}{\lambda} V}$$

となるから、例えば  $T=15$  秒、振巾  $\lambda=30$  m 自動車の秒速  $V=7$  m/sec とすれば、

$$T' = \frac{15}{1 + \frac{15}{30} \times 7} = \frac{15}{4.5} = 3.3 \text{ 秒}$$

となり、定点で観測したときの relative response の  $1/4$  程度の relative response となる。したがって週期に対応する波長は厳密には多くの資料を調和分析する必要があるが、一応オーダーはこの程度のもと考えられるので、移動観測値の時間補正を行う際には、定点での観測値の移動平均を行って、短い週期の変動を消して、補正を行うことができるのである。

なお自動車で観測されるような地表付近の気層の気温の微変動の週期と波長との関係の検討は特に都市内部のように地上被覆の複雑な地域においてなされたものが、今日までのところ見あたらないから、今後明らかにされる必要がある。

#### 4. あとがき

自動車やオートバイなどにサーミスター温度計を装備して移動観測を行った場合に起る気温観測値の誤差のうち、主として測器の遅れの面から生じる誤差について、今までに行った観測の実例にもとづく数値を用いて検討した。計算値と実測値との間のより詳細な比較のためには、より詳細な観測を行う必要があるが、過去の観測例よりみると、妥当な結果が得られたように思われる。上述の事項をまとめると、遅れの係数3秒のサーミスター温度計を用いて移動観測を行うときには、

- 1) 観測開始は自動車を少なくとも 100m 走らせた後にすべきであること。
- 2) 都市と郊外との境界付近、或は都市内部などに見られるようなかなり顕著な気温の不連続面の影響は、少なくとも不連続面の両側 20m 程度、大きいときには 50m 以上に及ぶこと。
- 3) 都市を横断するときのように、水平方向に温度勾配がある観測の場合に、自動車を走らせているときの観測値は、真の値よりも  $0.1 \sim 0.2^\circ\text{C}$  低く或は高く読むことがあること。
- 4) 水平方向に温度勾配のある地域で、2台の自動車がすれ違うときに、双方同時の読取の値を比較すると  $0.1 \sim 0.2^\circ\text{C}$  の差が生じることは十分考えられること。
- 5) 自動車の排気ガス、あるいは一時停車等の影響をうけて気温が異常な変動を示したときは、影響が直接なくなっても 50m 位の間は読取をしない方がよいこと。
- 6) 以上の諸事項を考え併せると、一地点での読取の値はその地点より前 50m 程度の影響をうけていること。
- 7) 自動車で観測しているときは、短週期の微変動の影響は、定点の観測に比較して小さくなり週期の長い変動のみを考えればよいこと。

などの諸点が明らかとなった。したがって、今後、遅れの係数3秒程度のサーミスター温度計を用いて、時速 25km 位の速さで移動観測を行うときには、時刻補正には、定点での観測値の1分以下の微変動は消して考えればよいと考えられる。また、観測値も一応 50m 位の範囲内での差違は、余り細く論じない方がよいであろう。

終に、御指導や原稿の御閲読をいただいた福井英一郎教授、関口武助教授、吉野正敏氏に深謝を表す。

#### 参考文献

- 1) 矢島幸雄, 1954: 温度計の遅れについて, 研究時報 **6**, 615—625.
- 2) 関口武・氷見順一, 1956: サーミスターとその他の温度計との比較, 熊谷市およびその周辺における気候(概報1), 都市気候総合研究班パンフレット 10.