

ラジオゾンデ測温部の凍結について*

迎 正 秋**

要 旨

昭和42年8月22日9時潮岬測候所で観測したラジオゾンデ測温部のバイメタルに着氷、凍結がおり、観測値に誤差を生じたケースについて、その凍結条件や高度および温度などについて解析した。

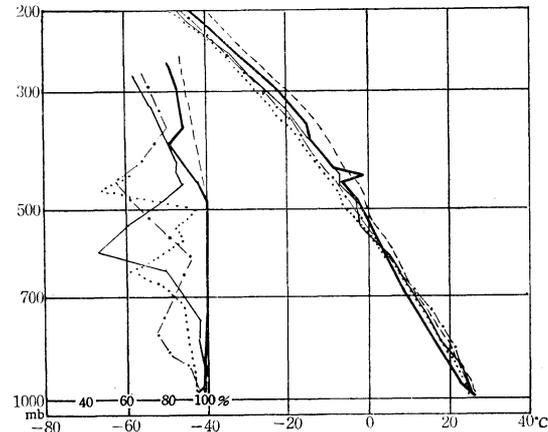
1. バイメタルに付着した水滴の0.041gr, 高度451mb, 気温 -6.9°C で凍結し、その潜熱のため短時間に数度の急昇温があった。
2. その後短時間で正常なバイメタル指示温度に戻った。

ま え が き

ラジオゾンデ測温部のバイメタルまたは切断温度計に着氷凍結して観測値に誤差を生ずることは、多くの研究者の実験結果で知られているが、実際にラジオゾンデ観測の際、その現象がどの高度において、またどれだけの気温のときあらわれるかを調査するのが本調査の目的である。

1. 潮岬のゾンデ観測について

第1図は昭和42年8月22日9時、潮岬測候所で観測されたラジオゾンデの P-T Chart である。当日の同時刻

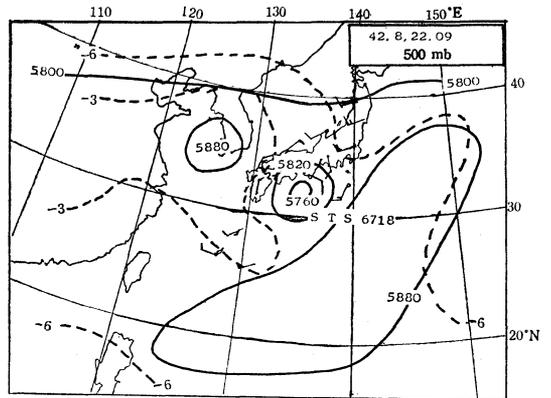


第1図 昭和42年8月22日の状態曲線 (P-T chart)

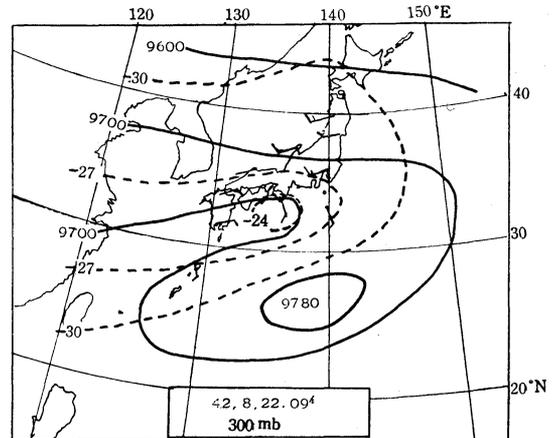
- 2h30m (潮岬) — 8h30m (潮岬)
- 14h30m (潮岬) - - - 8h30m (八丈島)
- 8h30m (館野)

* On the Freezing of Bimetal Thermometer of Radio Sonde

** M. Mukai 気象庁高層課
—1968年9月4日受理—
—1969年4月1日改稿受理—



第2図の a 昭和42年8月22日9時の500mb高層天気図



第2図の b 昭和42年8月22日9時の300mb高層天気図

の地上観測は雲量8で可成りの雲が全天を覆い、積雲系の雲としゅう雨性の降雨があり、第2図の(a)および、(b)の500mb, 300mb 面高層天気図でわかるように

熱帯低気圧 LOUISE が接近しつつあるため、潮岬測候所の上層はかなりの高温域であった。さらに湿度は高度490mbまでは100%、451mbでは96%を示していた。したがって凍結発生の条件を満足させ得る可能性は充分にあるといえる。

さらに第1図または第3図(a) (第3図(a)は第1図の問題とする部分を拡大図示したもの)で示すように、高度451mb、気温 -6.9°C より -1.9°C まで約20秒間に 5°C の温度昇温があり、その後間もなくバイメタルに急速な指示温度の降下があらわれ、約1分20秒で -1.9°C より -8.0°C まで温度降下があった。このときの気球上昇速度は500mb~400mb間では330m/min、またバイメタル温度計と切断式温度計と差は、 -30°C で -0.3°C 、 -50°C で -0.5°C であった。

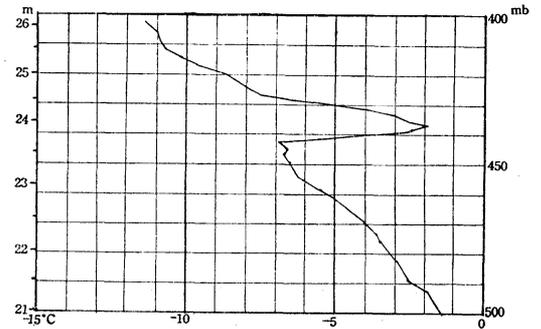
2. 凍結について

第1項で紹介した事象の生ずる原因として考えられることはバイメタルの凍結であろう。そこで筆者は下記の2の1、2の2のような仮説を立て、それが証明されればその凍結の事実が解明され、なお観測値の誤差も指摘出来ると考えた。低温層の中に水滴を付けたバイメタルを挿入して行なった実験によれば、氷の凍結時に明らかに温度上昇が見られた。このバイメタルに凍結実験で付着した水滴の凍結の際には、潜熱によってバイメタル自身の温度が上昇すると結果より、もしゾンデのバイメタルに付着した水滴量とその凍結量とをある方法で求め得るならば、その凍結による潜熱で第3図a, bのような温度曲線を示す事実が実証されるであろう。この理由からバイメタルに附着したであろうある水滴量を次のように算出した。

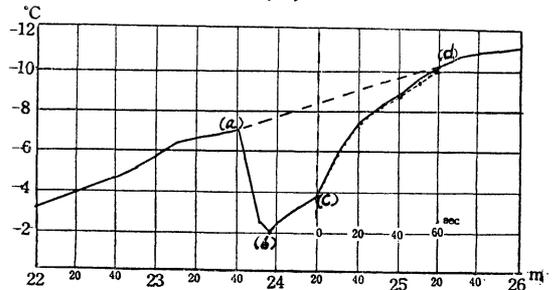
2.1 凍結量計算

いまバイメタルの熱容量を $0.59\text{cal}/^{\circ}\text{C}$ とし、凍結する水滴量を $x\text{ gr}$ とする。

そのときの潜熱による融解熱 $80\text{cal}/\text{gr}$ とし凍結する水滴とバイメタルの温度上昇を ΔT とすると、融解熱のための全潜熱は $80x(\text{cal})$ 、またバイメタルと水の得た熱量は $\Delta T(0.59+x)\text{cal}$ となる。従って $\Delta T(0.59+x)=80x$ 。ここに $\Delta T=5.0^{\circ}\text{C}$ (実測値)とすると求める x は $0.041(\text{gr})$ となる。そこで第3図(b)のa点でこの $0.041(\text{gr})$ の水滴が凍結し、その潜熱のためバイメタル指示温度は約20秒間に 5°C 昇温してb点に達した。ここにおいて $0.041(\text{gr})$ の水滴量の凍結による潜熱で温度上昇したことについては矛盾は考えられない。次に附着していた残りの水滴も24分20秒のc点に到って



(a)



(b)

第3図 a, b ラジオゾンデ観測における凍結の前後のバイメタル温度曲線

全量が凍結した。この間(b点~c点)は潜熱の供給と対流による熱発散はほとんど釣りあった状態が続き、25分20秒でd点に達し、この点で正常なバイメタル指示温度に戻っている。しかしながらバイメタル指示温度が、いま述べたように指示するかどうかを見るために次式によりこれを試みた。

2.2 温度計過渡応答微分方程式

今附着した水分が全部水結し終った状態のバイメタルに対する熱平衡を考えてみる。

ただし簡単のためバイメタル周辺を過ぎる空気流温度 θ は時間に対し直線的に変化するものとすれば

$$\theta = \theta_0 + \alpha t \dots\dots\dots(1)$$

ここに t は時間(sec), θ_0 は氷結が完了した瞬間の空気流温度(温度は全て $^{\circ}\text{C}$), α は温度の時間的变化係数。一方バイメタルに対する熱平衡式は

$$C \frac{d\theta}{dt} = k(\theta - \theta) \dots\dots\dots(2)$$

ここに C : バイメタル熱容量 $=0.59\text{cal}/^{\circ}\text{C}$

前項で述べたように附着水分の熱容量は無視できる。

k : バイメタルの空気に対する対流熱コンダクタンス $=3.5 \times 10^{-2}\text{cal}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{sec}$

ただし、バイメタルは気流に平行な平板と考え、通風速度 5 m/s, 標準大気3000m 高度の条件を仮定して計算した。

θ : バイメタルの温度 $^{\circ}\text{C}$

(1)および(2)式から

$$\frac{d\theta}{dt} + \frac{\theta}{K} = \frac{\alpha}{K} t + \frac{\theta_0}{K} \dots\dots\dots(3)$$

ここに

$$K = \frac{C}{k}$$

(3)式を

$$t = 0 \text{ のとき } \theta = \theta_0 \dots\dots\dots(4)$$

なる初期条件で解けば

$$\theta = (\theta_0 - \theta_0 + \alpha K) e^{-\frac{t}{K}} + (\alpha t + (\theta_0 - \alpha K)) \dots\dots(5)$$

いま(5)式を用いて24分20秒を0秒と置いて、各10秒毎に60秒までの θ を算出して表1に示した。なお、24分20秒を基点とした理由は前述したように、第3図(b)の(b)~(c)間は熱の供給と熱発散は均衡状態にあって、c点に到って全量が凍結しているのであるから同図のb点よりd点までのカーブ上で24分20秒のc点を基点にとるのが最も適当と考えたからである。次に求めたこの θ を第3図(b)に点線で示すと、バイメタル指示温(実線)上にはほとんど平行であることがわかった。この事実より凍結による機械的拘束力はバイメタル自身には及んでないといえる。さらに前述した仮説すなわちバイメタルの凍結については、2の1および2の2の凍結量計算および温度計過渡応答微分方程式で証明されたわ

表1 バイメタル指示温度と計算値

ゾンデ符号 受信時間	バイメタル 指示温度	θ	Time
24m20s	-3.8 $^{\circ}\text{C}$	-3.8 $^{\circ}\text{C}$	0s
30	-6.1 $^{\circ}\text{C}$	-6.02 $^{\circ}\text{C}$	10
40	-7.4 $^{\circ}\text{C}$	-7.29 $^{\circ}\text{C}$	20
50	-8.2 $^{\circ}\text{C}$	-8.15 $^{\circ}\text{C}$	30
25m00s	-8.8 $^{\circ}\text{C}$	-8.76 $^{\circ}\text{C}$	40
10	-9.5 $^{\circ}\text{C}$	-9.26 $^{\circ}\text{C}$	50
20	-10.2 $^{\circ}\text{C}$	-9.78 $^{\circ}\text{C}$	60

けである。

結 論

以上述べた事実を要約すると次のようになる。

1. ラジオゾンデ観測中バイメタルに付着した水滴の 0.041 (gr) は高度451mb, 気温-6.9 $^{\circ}\text{C}$ で凍結し, その潜熱のため20秒の間に5 $^{\circ}\text{C}$ の急昇温であった。
2. その後20秒の間に残りの水滴も凍結したが, 潜熱の供給と対流による熱発散がほとんど釣りあった状態が続き, 1分後に正常なバイメタル指示温度に戻った。

なお、この方法については今後も改善できるところは改めて行きたいので、皆様方のご批判を期待したい。本調査をまとめるに当って、高層課の方々に御指導して頂いたことについて、ここに感謝の意を表する。