

ドロップ・ゾンデによる下層大気の測定*

木村 忠志 孫野 長治**

1. はしがき

移動する気象現象を調査する場合、固定点から行なわれる飛揚式ラジオ・ゾンデの測定だけでは不十分なことが多い。たとえば着目した雲を観測しようとする場合など、航空機が飛行できさえすれば、確実にその雲に入れることができるという点で、ドロップ・ゾンデを使用するのが便利である。

日本におけるドロップ・ゾンデの試験的な投下は、1955年5月に中央気象台が行なったもの¹⁾が最初と思われる。これは飛揚式に使用されるラジオ・ゾンデの通風筒を下向きにしてパラシュートをつけたもので、南方定点上空で投下された。

数年来、手稲山を中心として雪の観測^{2),3)}が行なわれているが、札幌管区気象台で行なっている飛揚式ラジオ・ゾンデから得られる資料では、手稲山頂(1024m)付近の状態を表わせないことが多かった。1962年の1月下旬に実施された雪の観測にあたって、試作したドロップ・ゾンデを手稲山頂付近に投下した結果、山頂付近の高湿状態が測定され、所期の成果が得られた。

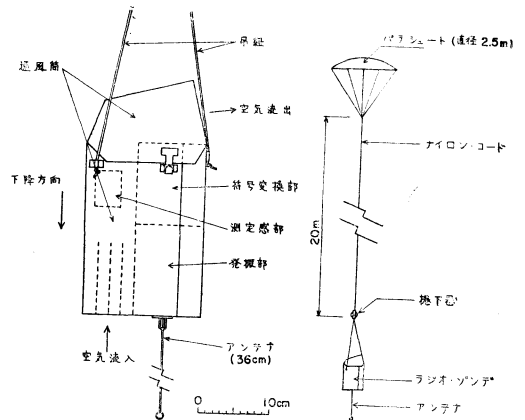
以下に、試作したドロップ・ゾンデと、得られた測定結果について記述する。

2. ドロップ・ゾンデの構造

今回試作したドロップ・ゾンデは、S56型ラジオ・ゾンデ⁴⁾の通風筒と気圧計を作りかえたもので、第1図左側に示したような構造をもっている。通風は下降時に左下の取入口から縦方向に行なわれる。送信部、符号変換部および測定感部の形式・動作機構などはS56型の場合と殆んど同じであるが、注液電池(B-50型⁴⁾)を液も

れが起きないように位置させ、アンテナを下向きにとりつけるために、送信部を縦向きにケース内に収容したほか、湿度計を除く各測定感部の感度と測定範囲を若干変更した(第1表参照)。

第1図右側は下降状況の略図である。パラシュートは



第1図 ドロップ・ゾンデ略図

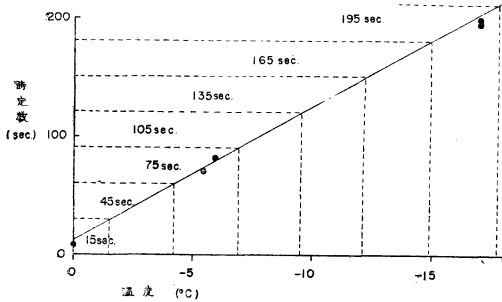
第1表 CMO-S56とドロップ・ゾンデの比較

ゾンデ名称		CMO-S56	ドロップ・ゾンデ
使用符号	TNBOCZGM long T. 5		
気圧計	測定範囲 一符号の気圧 使用符号数	1040mb—5mb 11.5mb(平均) 90	1040mb—650mb 5mb(平均) 80
温度計	測定範囲 一符号の温度 使用符号数 時定数	40°C—-80°C 1°C(平均) 90 12.7sec.	40°C—-30°C 0.8°C(平均) 85 10.7sec.
湿度計	測定範囲 一符号の湿度 使用符号数	100%—0% 2%(平均) 50	100%—0% 2%(平均) 50
上昇(下降)速度	9 m/sec		3.5m/sec

* Measurements of the Low-Level Atmosphere by the Drop-Sonde

** T. Kimura C. Magono 北海道大学理学部地球物理学教室

—1962年4月6日受理—



第4図 ドロップ・ゾンデの湿度計時定数の温度特性

5. 気圧測定感部

気圧計の空盒は、S56型のものとはほぼ同じ条件にあるので、その周囲温度 θ は外気温 T の変化に対して、かなりおくれた変化をする。今回のドロップ・ゾンデには、S56型ゾンデに使用されている θ の T に対する時定数 λ の⁷⁾ を用いて、気温の測定値 T と空盒周囲温度 θ の差 ΔT を、各高度について

$$\Delta T = \lambda \frac{dT}{dt} (1 - e^{-t/\lambda}) + \Delta T_0 e^{-t/\lambda} \dots\dots (1)^{6),7)}$$

から計算し、この ΔT と S56型ゾンデ用の気圧第2温度補正図表⁷⁾ から温度補正值を求めた。但し、第2温度補正図表は次式、

$$\Delta P = \Delta \theta (\beta_1 P_A - \alpha_1) \dots\dots (2)^{7)}$$

ここで P_A は空盒の常温検定値を示し、

α_1 β_1 は次の量を表わす。

$$\alpha_1 = \frac{A}{k} \beta (1 - \alpha) \pi_0 \dots\dots (3)^{5)}$$

$$\beta_1 = \frac{T}{k} \beta \dots\dots (4)^{5)}$$

ここで

A : 空盒の表面積

k : 常数 (β に比例)

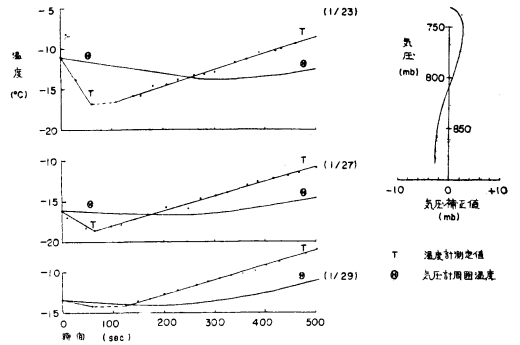
β : 空盒材料のヤング率

α : 空盒内残留気体の膨脹係数

π_0 : 空盒内残留気体の 0°C における気圧

を図表化したものである。そしてドロップ・ゾンデの空盒は、S56型のもの、材質・工程が全く同じであり、 A を2倍にして感度をあげているので、上述のように求めた温度補正值は更に2倍して使用した。

第5図に、 T の時間変化と、それから計算した θ の変化を示す。横軸は投下してから経過した時間、縦軸は温度である。1月27日の場合について、各高度の ΔT から求めたそれぞれの ΔP を、高度変化の形に示したものを図の右上に併記する。最大 3 mb の補正值がこれから



第5図 気圧計周囲温度の変化

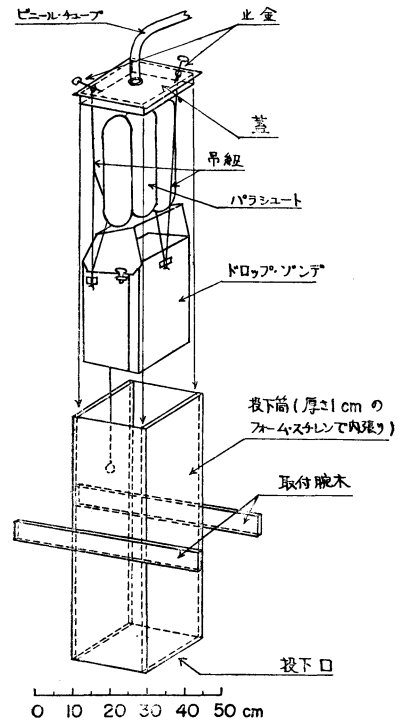
認められる。

経過時間は、ゾンデの信号を記録したテープ・レコーダーで測定した。

なおドロップ・ゾンデの投下高度が 700mb 以下だったので、日射補正は行なわなかった⁷⁾。

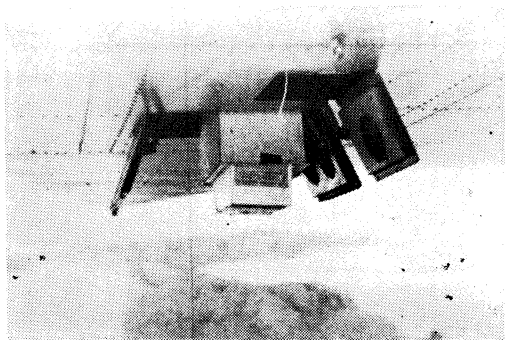
6. 投下方法その他

ドロップ・ゾンデの投下は、LM-1型観測機の航空写真撮影用ピットから行なったが、第6図に示すような



第6図 投下装置とドロップ・ゾンデの装填

木製の投下筒を作り、この中に全装備したドロップ・ゾンデを吊して全体をピット内に固定し、投下地点上空で吊紐の止金を外して投下した。この投下筒は緩衝と断熱のためにフォーム・スチレンで内張りしてある。蓋にとりつけたビニール・チューブは、外気を投下筒内にとり入れるためのものであるが、あまり役に立たなかった。また、LM-1型機の構造上、投下筒のすぐ下をエンジンの暖かい排気ガスが流れるので、投下筒内の通風を行なわないで、 T と θ が投下前に一致していたとして、前述した計算によって θ を求めた。第5図で投下直後に温度の急変があるのは排気ガスの影響と思われる。その様子は一定したものではない。



第7図 観測機に装着したドロップ・ゾンデ

第7図はLM-1型機にとりつけた投下筒を、前方から眺めたものである。このまま地上からゾンデを動作させて離陸し、受信を確実にした。

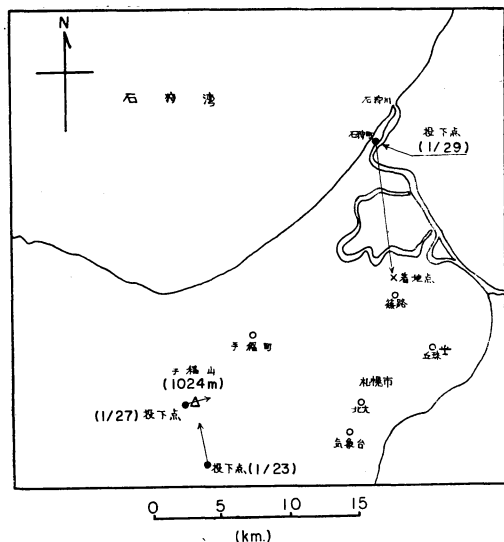
受信は丘珠飛行場で行ない、雨量ロボット用の400MC帯受信機をトランジスターで構成したもの(単スーパー・ヘテロダイン)を、4素子の八木アンテナで使用した。直視距離で約60kmまで、確実に受信できた。

投下は、下降経路が手稲山頂付近を通るように行なったが、投下時刻に最も近い飛揚ゾンデの航跡を参考にして投下地点を決定し⁸⁾、パイロットの目測によって投下した。

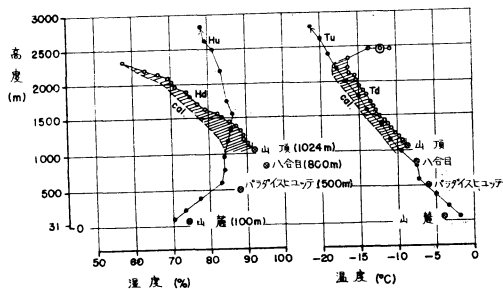
7. 測定結果

第8図にドロップ・ゾンデの投下地点などを示す。●印が投下地点、矢印は流れた方向、×印は落下地点の確認されたものを示す。

1回目の投下は1月23日で、このときは手稲山の南方で投下し手稲山頂をかすめる予定であった。このとき投下したドロップ・ゾンデは受信地から見て山かげに降下したらしく、100(m)以下が受信できなかった。



第8図 投下地点



第9図

日付	1962 1 23
時刻	Up 1430-1556
	Down 1613-1621
風向・風速	NNE 1.0m/s
投下地点	手稲山
降下速度	3.2m/s

第9図は同日の気温と湿度の垂直分布を飛揚ゾンデの測定値と共に示したものである。○印がドロップ・ゾンデ、●印が飛揚ゾンデ、◎印は投下直前の投下筒内の測定値、⊗印は手稲山の各観測点で測定した値である。また、ドロップ・ゾンデの気温・湿度曲線をそれぞれ T_d , H_d と名付け、飛揚ゾンデの場合は T_u , H_u と名付ける。

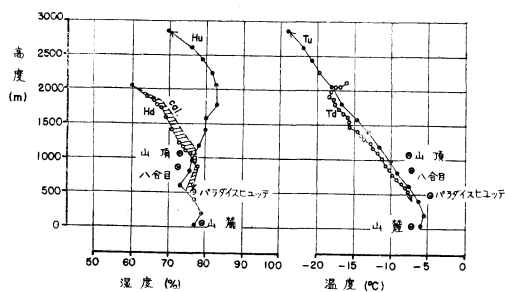
飛揚ゾンデは札幌で1430に上昇し、ドロップ・ゾンデは手稲山南方で1613に投下した。

気温の場合、飛揚ゾンデの測定値(黒丸実線)と手稲山の地上観測値が比較的よく一致して、気温に関しては場所の差があまりないことがわかる。投下直前のドロップ・ゾンデの温度が飛揚ゾンデに比べて著しく高いの

は、投下筒内の温度が高かったためである。従って投下後に飛揚ゾンデと大体一致するのに、約300mを要し、その後は温度差1℃のずれで飛揚ゾンデと併行している。この原因として、ドロップ・ゾンデの温度計と飛揚ゾンデの温度計の時定数が考えられる。そこでこのときの気温遞減率、上昇(降下)速度などからドロップ・ゾンデの温度計の動きを計算すると図の破線のようになる。そして破線とTdとの差、即ちハッチングを施した部分は場所の相異に基くものと考えられる。

湿度の場合、飛揚ゾンデとドロップ・ゾンデの測定値(HuとHd)の開きが、投下後かなりの時間、大きく現われているが、これは地域差がなければ殆んど湿度計の時定数に因るものと考えられる。Hu曲線が大体直立しているので、この場合は飛揚ゾンデの時定数による影響を考えなくてもよい。そこでHu曲線を基準として、ドロップ・ゾンデが飛揚ゾンデと同じ状態を測定したとして、時定数に因る誤差の補正を第1式の方法で行なうと、湿度の測定値はHcal(破線)のようになる。ハッチングした部分は従って時定数以外の原因に基づくものと考えられる。この時の上空の状態は口絵写真1のようになっている。この写真は投下点付近の雲の状況を投下直後に、丘珠付近の上空約2000mから眺めたものである。飛揚ゾンデの上昇した、手前の札幌市上空には雲が無いが、投下した手稲山方面にはStがかなりあって、このとき手稲山頂で降雪が観測されている。従って札幌市上空の方がはるかに乾いていたと思われるので、手稲山付近のドロップ・ゾンデの湿度の測定値が大きくなった理由もうなずける。

口絵写真2は2回目の投下を行なった1月27日の投下



第10図

日付 1962 1 27
 時刻 Up 0830—0942
 Down 0955—1006
 風向・風速 SE 2.2m/s
 投下地点 手稲山
 降下速度 3.2m/s

直後の状況で、丘珠上空2000mで撮ったものである。札幌市上空のごく低いところにスモッグがたちこめているが、スモッグの上空は写真で見ると同じ状況である。ドロップ・ゾンデは高度500m以下を測定していない。このときは手稲山頂の西側で投下したが、山頂から降下状況が望みされ、第8図に示した経路に沿って降下したことが確認された。

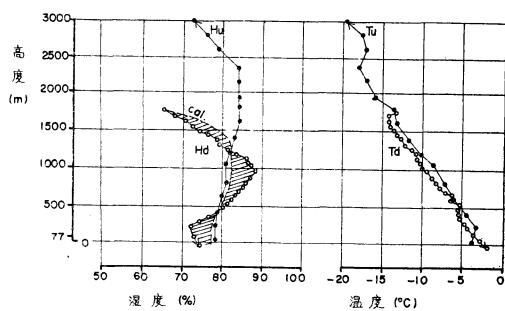
第10図にこのときの測定結果を、第9図の場合と同じ表示で示した。このときのHu~Hd, Tu~Tdの差は、殆んど時定数だけで説明される。即ち、湿度についてはすでに第2図で述べた、湿度については“ハッチングの部分”がわずかに認められるが、この部分の最大の中は1.7%程度なので、Huの方に含まれている誤差を無視していることでもあり、むしろ時定数の実測値を信用してよいと考えられる。

1月29日には、すでに雪の観測は終わっていたが、受信機の感度試験の後に石狩町上空で投下した。

口絵写真3に投下直後の状況を示す。石狩河口近くにもやのようなうすい雲が海上から内陸に向かって入りこんでいるが、札幌の上空はよく晴れていた。

このときの測定値を第11図に示す。Tu~Tdのほうはそうでもないが、Hu~Hdには、かなり計算とことなる部分が認められる。これは地域差によるものであろう。何故ならば、札幌上空の湿度曲線は平滑であるが石狩のドロップ・ゾンデには高度1000m付近に湿度の最大があり、写真3の層雲に対応している。

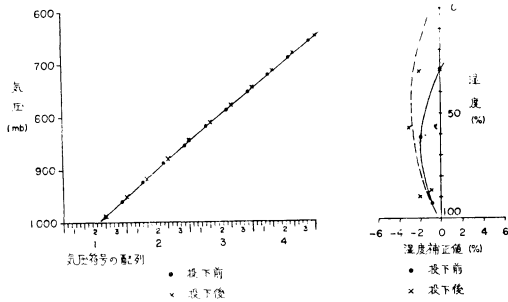
1月29日に投下したドロップ・ゾンデは回収することができた。口絵写真4は着地の状況である。着地点の雪



第11図

日付 1962 1 29
 時刻 Up 0830—0942
 Down 1033—1046
 風向・風速 WNW 2.2m/s
 投下地点 石狩町
 降下速度 2.2m/s

面はかなり固くなっていて、ゾンデは着地後2mほど引きずられていたが、アンテナが曲ったほかは異常がなかった。



第12図 気圧計・湿度計に対する投下の影響

第12図は回収2日後に行なったこのゾンデの再検定の結果である。左側は気圧計の検定値で、横軸に符号、縦軸に気圧をとった。実線で結んだ●印は投下前のもので、×印は投下後のものである。右側は湿度計の場合で横軸に補正值、縦軸に読取湿度をとって投下の前後における湿度補正值の変化を表わした。これらの図から投下に伴うさまざまなショックが、測定機構に使用不能に近いほどの狂いを与えていないと考えることができるであろう。

8. むすび

今回のドロップ・ゾンデ観測は、1回の失敗（アンテナの脱落と思われる）を含んで4回より実施できなかったが、測定機構や投下の形式が十分実用になることが判明した。

しかし3.5m/secの通風速度は、前述のように、湿度計感部が通風速度に左右されなくなるぎりぎりの値であるから、落下速度を若干増加すべきかも知れない。

また、湿度測定感部について、時定数の温度特性を更にくわしく測定すべきであろうが、我々が使ったような投下方式では、 -20°C 近くの温度の場合、目的高度より最大1000m上空から投下しなくてはならない。このことは、投下前にゾンデを外気に十分なじませる必要を痛感させた。

9. 謝辞

今回のドロップ・ゾンデ観測は、札幌管区気象台高層課の多大な御援助を受けて実施された。また、ドロップ・ゾンデの設計・製作に際して、気象研究所の小林寿太郎博士に有益なご指示を頂いた。共々、厚くお礼申し上げる。

なお、ドロップ・ゾンデの製作は久保田気象測器株式会社でなされ、受信機は明星電機株式会社で製作した。LM-1型観測機は陸上自衛隊丘珠分屯隊に出勤をお願いした。以上を記して謝意にかえる次第である。

最後に、ゾンデの投下作業を担当した織笠桂太郎博士に厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 淵 秀隆, 1955: ドロップ・ゾンデ, 天気, 2 (7号の表紙写真説明), 180.
- 2) Choji Magono and Colleagues, 1959: Preliminary Investigation on the Growth of Natural Snow Crystals by the Use of Observation Points distributed vertically, Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. VII, (Geophys.), vol. I, No. 3, pp. 195~211.
- 3) Choji Magono and Colleagues, 1960: Investigation on the Growth and Distribution of Natural Snow Crystals by the Use of Observation Points Distributed Vertically, Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. VII, (geophys.), Vol. I, No. 4, 267~282.
- 4) 高層観測指針, 1951年版, 中央気象台編.
- 5) 佐貫亦男・磯野謙治, 1959: 気象機械, 気象学講座第6巻, 地人書館, (第5版), 14~17, 66~73, 84~89.
- 6) 鈴木 茂, 鹿野 到, 中村 繁, 1954: ラジオ・ゾンデの箱内温度の遅れについて, 高層気象台彙報, 5巻, 4号, 109.
- 7) 高層気象常用表, 1957年版, 気象庁.
- 8) Higuchi K, 1962: Experimental Studies of Diff and Turbulent Diffusion of Paperlets Emitted from Aircraft on a model of Snowflakes, Jour. Met. Soc Japan, Ser. II, Vol. 40, No. 3, pp. 170~180.