

ドロップゾンデ観測結果について*

松本 誠一** 中垣 克之**

要旨: 航空測量写真撮影用航空機の航測カメラ穴を利用してドロップゾンデ観測の実験を行った。気圧および温度の観測についてはほぼ満足すべき結果がえられたが、湿度観測のおくれが目立っている。

3回の試験飛行の結果、i) 下層ジェットに関連すると考えられる温度傾度が見出された。ii) 冬期日本海で卓越する下層の逆転層は陸上に比し海上で約 50mb 程度低い。iii) cold dome の中にはこの逆転層はみられず背の高い湿潤不安定層が存在する。などの事実を解析することができた。

1. はしがき

北北陸豪雪特別観測の一環として、航空測量用飛行機によるドロップゾンデ観測を計画し、昭和37年11月より昭和39年2月にいたる間数次にわたるテストおよび予備的観測を実施した。

使用した飛行機はエアロコマンドー 680F 型機および同 500A 型機であり、何れも 6000m 以上の高度で5時間程度の作業をすることが可能である。この機動性を利用すれば、東京を基地としてたとえば北陸地方の降雪と関連するといわれている北陸不連続線の実体を掴むために、細かい時間および空間々隔の観測をすることが可能となるであろう。

たまたま気象研究所でトランソ・ゾンデの開発が行なわれており、これが飛行機に應用された。使用したゾンデおよび受信機の製作ならびに改良はすべて小林寿太郎博士の協力によるものである。

2. ゾンデ型式、投下・受信方法について

使用したゾンデは、トランソゾンデと同型式の 400メガ用 S 62 K (重量 1.16kg) および改良型と、GMD-1A による地上受信のテスト用に 400メガ、1600メガ併用の RS III-D 63 (重量 2.14kg) を試作実験した。

投下は機体中央部下面にある航空測量用カメラ設置穴(直径 40~45cm の円または楕円形)を利用し、シュートその他は使用しなかった。機速は約 300km/hr であり、パラシュートの開傘時には大きなショックがあり、重量の重い RS III-D 63 型はゾンデ収容箱および吊紐を補強する必要があった。

受信は i) 400メガ受信機による地上受信、ii) GMD-

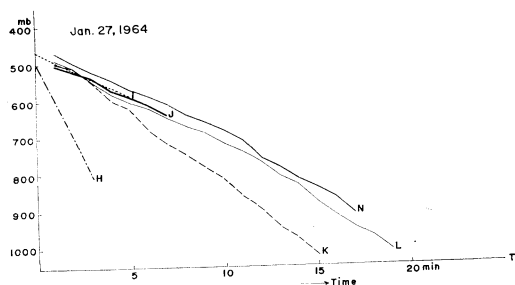
1A (または D 55 A) 1600メガ受信機による地上受信、および iii) 400メガ受信機による機上受信の3通り方法について実施した。次にその結果について述べる。

i) 館野(昭和37年11月30日および12月14日)と日本海観測中の凌風丸(昭和38年11月3日および4日)¹⁾で受信し、何れも良好な成績が得られた。投下位置および時刻の推定の成否にかかっているといえる。ii) 輪島(昭和38年11月3日、4日および昭和39年1月2日)と新潟(昭和39年1月2日)で実施した。主要な目的は GMD-1A の自動追跡による風の観測が可能か否かを検討することにあつた。投下高度を 6000m とすると、完全な受信をしかつ実用的価値のある資料を得るためには半径 20km 以下の範囲内で投下しなければならないことが判明した。

iii) 機内での受信は、ゾンデ投下直後投下穴から受信アンテナを機外にスライドさせる方法で行った。発動機その他よりのノイズの影響は殆どなかった。受信音はテープレコーダーに録音した。

3. 落下速度その他

受信気圧符号から算出した落下状態の一例を第1図に



第1図 ドロップゾンデの落下曲線(昭和39年1月27日実施の分)、縦軸は気圧高度、横軸は時間。図中の文字は投下地点(第9図参照)。

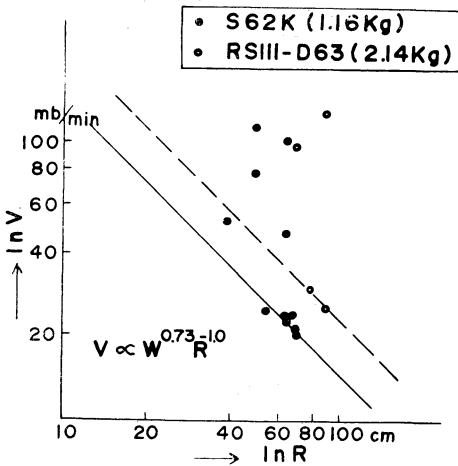
* Results of Drop-Sonde Observation

** S. Matsumoto, K. Nakagaki, 気象研究所
—1964年12月24日受理—

掲げる。これは北陸沿岸で昭和39年1月27日に実施した第9図の各点で投下したものの成績で他もほぼ同様である。落下傘は布製のものを使用、傘紐の長さ(頂長から周辺まで、布にとりつけてある。Rで示す)は40cm~95cmである。何れの場合も

$$V = \frac{dp}{dt} \propto \rho w = \text{const}$$

の関係が満たされている。ここで w は落下速度、 V は同じく気圧速度、 ρ は空気密度である。図中直線が途中で切れているものは受信感度の低下による観測中止を示し、また異常落下(H点)は落下傘開傘の異常によるものと推定される。



第2図 落下速度 (V) と落下傘傘紐の長さ (R) との関係。黒点は S62K 型ゾンデ、白点は RS III-D63 型ゾンデに対するもの

落下速度 V と傘紐の長さ R との関係を図2に示す。図中黒丸は S62K ($208 \times 117 \times 225 \text{mm}^3$, 1.16kg) 白丸は RS III-D63 ($208 \times 184 \times 350 \text{mm}^3$, 2.14kg) を示す。図中の直線 ($R62S$ に対しては実線, RS III-D63 に対しては破線) は $V \propto R^{-1}$ を仮定して描いたもので、重量の違いを考慮すると

$$V \propto W^{0.73} R^{-1.0}$$

の関係式がえられる。ここに W は重量を示す。直線から著しくはなれた点が散在するが、落下傘開傘の異常による有効面積の低下とみることができ、とくに早い落下を示したものにつき R を逆算すればほぼゾンデのサイズと一致することから無開傘状態の自然落下とみることができるようである。

微小水滴の落下速度は Stokes の定理によれば

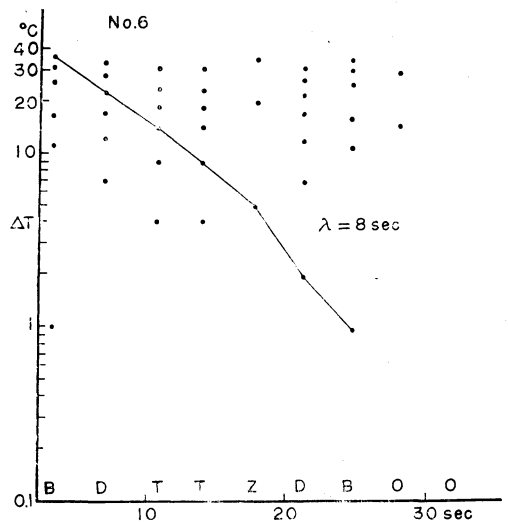
$$V \propto W^{1.0} R^{-1.0}$$

Newton の定理によれば

$$V \propto W^{0.5} R^{-1.0}$$

である。上の実験式は両者の中間にある。

8000m の高度からゾンデを投下する場合機内と機外の温度差は約 40°C あるが、投下後の温度符号の変化は第3図に示すように約 30sec で飽和に達する。直線で結んだ温度経過を仮定するのがこの場合最適と考えられるのでこれにより response time λ を計算すると $\lambda = 8 \text{sec}$ という数値がえられる。この場合の落下速度は地上に換算すると 8m/sec であった。通風筒は垂直にとりつ



第3図 投下直後の温度符号の変化(横軸上の文字)と温度差(縦軸)。30秒後には平衡状態に達している。

けられているので落下中の通風は極めて良いと考えられ、小林²⁾の実験室内においてバイメタルエレメントに対する実験値ともよく一致している。このように温度計の response time が極めて短かいので、自然落下に近い状態(6000m から約5分で落下したことが数回あった。この場合の落下速度は 110m/min または平均 20m/sec) の場合でも温度の観測が一応得られた。

空盒気圧計が 1000mb (地上) と約 450mb (投下高度) の間で往復することによるヒステリシスは経験的に最大約 10mb とされているが、ゾンデ製作会社(久保田気象測器)における検定でもほぼ同様の成績を示した。

4. ドロップゾンデ観測によりえられた結果の数例

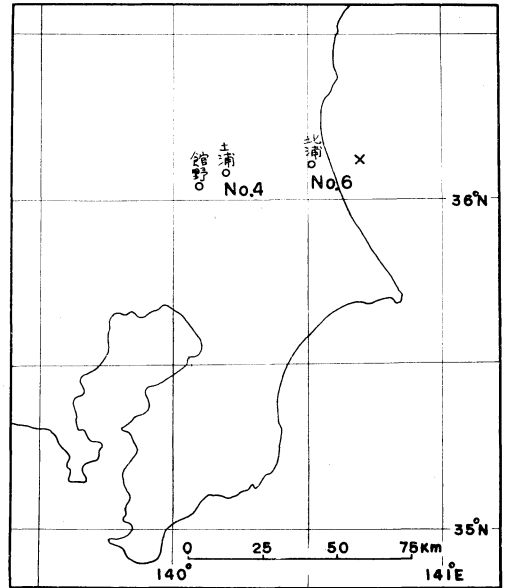
4.1 館野における地上受信

昭和37年12月14日14時18分土浦上空 6000m より投下 (所要時間5分), 続いて14時44分北浦上空 8000m より投下 (所要時間14分) したドロップゾンデを館野で何れも受信することに成功した (第4図参照)。

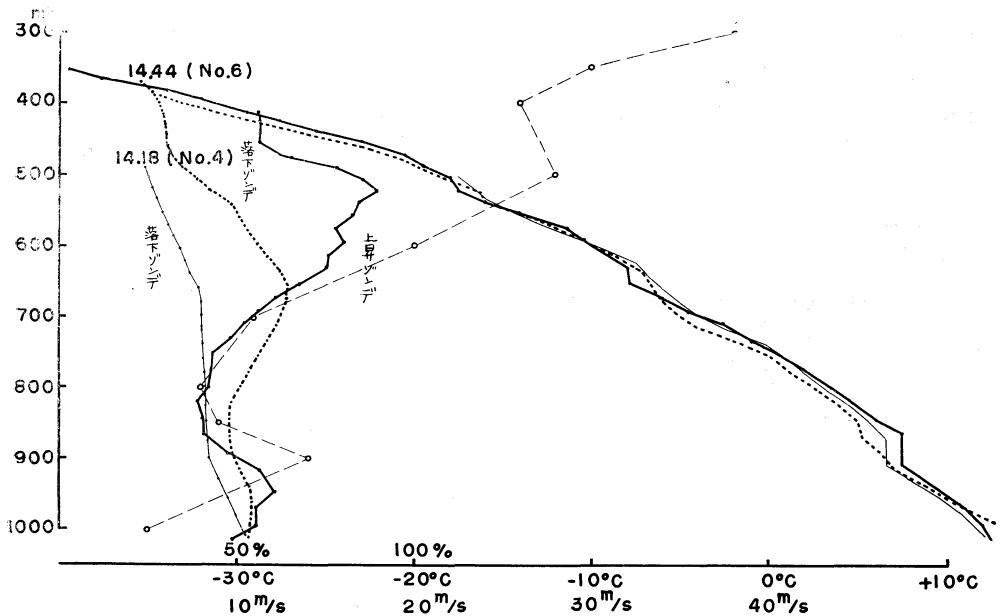
また14時30分には館野でレーウィンゾンデを放球し観測したのでこの3者の観測結果を第5図に示す。図中大い実線は上昇ゾンデ細い実線は土浦投下ゾンデ点線は北浦投下ゾンデである。温度の観測については $\pm 2^\circ\text{C}$ の範囲内で特長的にはよく一致している。当日 500mb 層に片積雲層があり、安定層および湿度の極大が認められる。ドロップゾンデの湿度の観測は図の左側に示してある通り、上昇ゾンデと比較すると大きく喰違い、極大極小のおくれが著しい。

温度測定値に大きな開きが見られるのは、900mb 層付近であって、館野の観測と北浦の観測との間に約 2°C の温度差がある。この高度におけるドロップゾンデの推定位置は第4図に×印で示してあるが、館野上昇ゾンデの位置との間隔は 50km である。 $2^\circ\text{C}/50\text{km}$ の東向き温度傾度は、温度風を仮定すれば 100mb につき 13m/sec の風のシャ (上方に南風が増大) に対応する。この時刻の風速分布は第5図に破線で記入してあるが、900

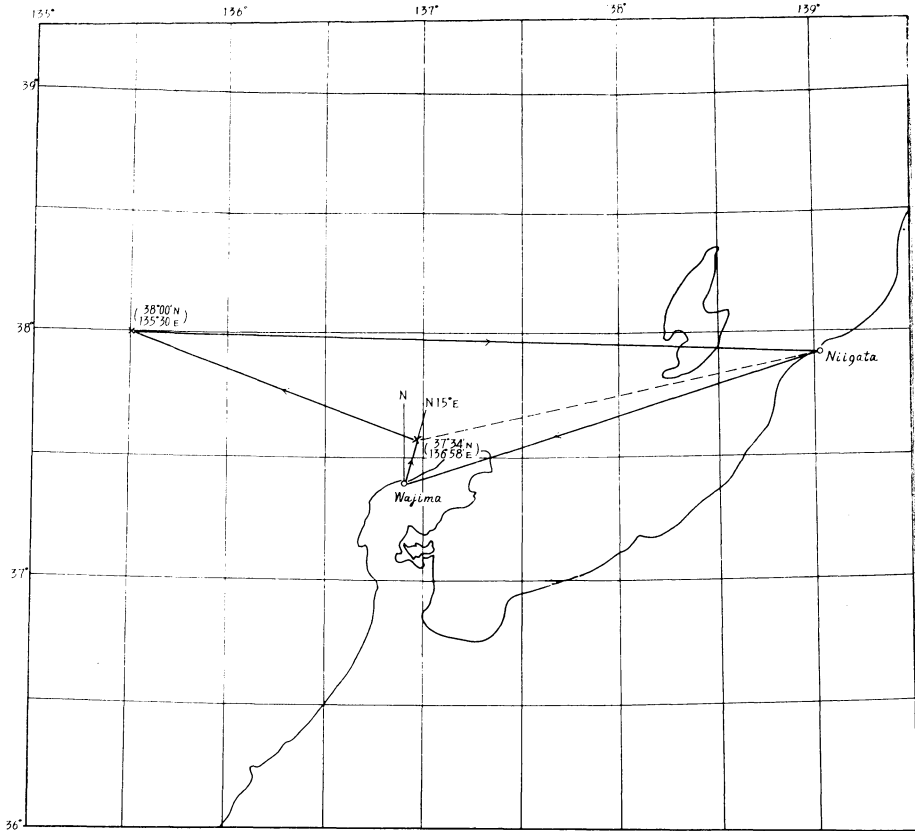
mb 層に強い南風の下層ジェットが存在し (移動性高気圧が銚子沖にあった) ほぼ上述の数値に近い垂直シャが実際に観測されているので、この温度差は意味のあるも



第4図 ソンデ投下位置 (昭和37年12月14日)。图中×印は北浦より投下したゾンデの着水予想位置。



第5図 温度および湿度の観測値。太線は館野における上昇ゾンデ。細線は土浦上空より投下の、点線は北浦上空より投下のドロップゾンデ観測値。細い破線は館野における風速分布を示す。



第6図 飛行コースおよびドロップゾンデ投下位置 (×印). 昭和38年11月3日および4日に実施.

のとの見ることができるようである。

4.2 日本海における地上および船舶観測との比較

昭和38年11月3日および4日, 第6図に示すコースで予備観測を行なった. この期間(38°00'N, 135°30'E)の地点で凌風丸が定点観測を実施していた. 輪島の北々東約20kmの地点で11月4日13時38分投下したRSⅢ-63

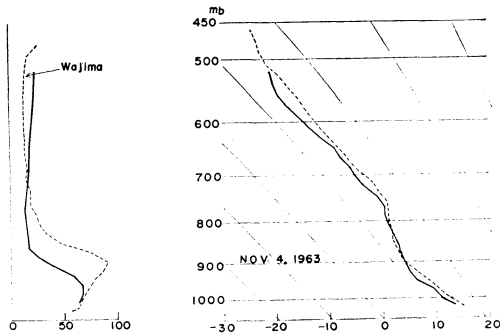
D型ゾンデを輪島のD55Aで受信することに成功(受信時間3分)同日14時30分輪島で飛揚させたレーウインゾンデ観測と比較させて第7図に示した.

これに続き凌風丸近傍上空で14時37分投下したS62K型ゾンデは凌風丸で受信することに成功した(受信時間18分). その資料は第8図に凌風丸における午前9時の高層観測資料と比較させて図示した.

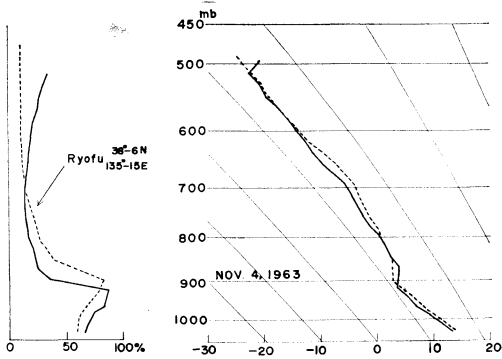
共通して云えることは, この期間中卓越していた900~800mb付近にある安定層の存在をよく記述していることである.

4.3 北陸豪雪特別観測

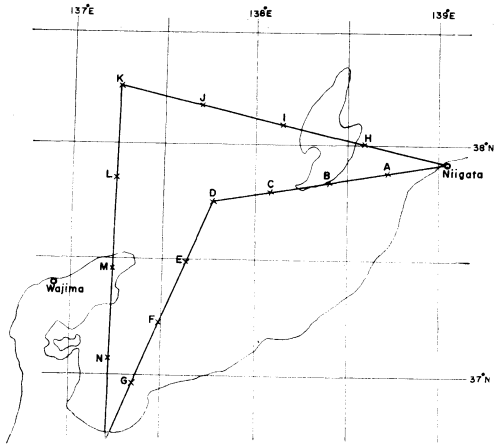
昭和39年1月26日, 27日および2月1日の3回にわたり, 第9図に示したA-B-C-D-E-F-GコースまたはH-I-J-K-L-M-Nコースの何れかで実施した. 受信感度の低下低温によるテープレコーダーの機能停止などがあって, 成功率は約60%であった. それぞれの観測のエマグラムを第10図, 第11図, 第12図に示す. これらの図には, 輪島および新潟の15時の特別観測を比較のために記



第7図 温度および湿度の観測値. 実線はドロップゾンデ, 破線は輪島における上昇ゾンデ.



第8図 温度および湿度の観測値。実線はドロップゾンデ、破線は凌風丸よりの上昇ゾンデ。



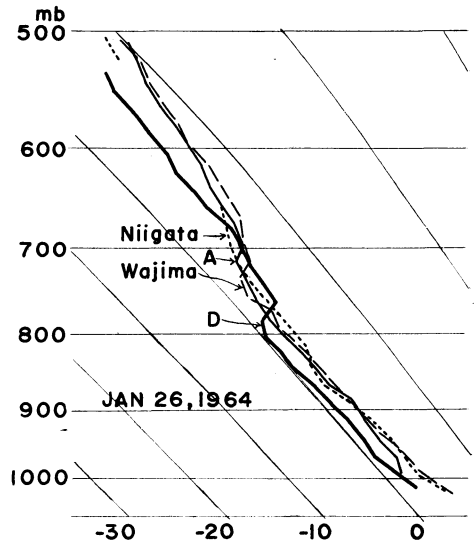
第9図 ドロップゾンデ投下位置 (昭和39年1月26, 27日, 2月1日実施)。

入してある。

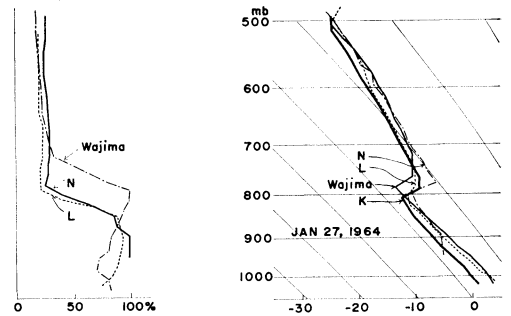
1月26日, 27日の観測について顕著なことは, 著しい安定層が700~800mbの層に存在することであり, この下層では飽和に近く不安定, 上層では非常に乾燥し安定となっている。従ってこの層は対流雲の上限と一致し, 雲高々度が2000~3000mという観測事実とも合致する。この逆転層は日本海周辺ばかりでなく, 九州, 南大東島でも観測される。

これに対して2月1日の観測では, 下層の逆転層は観測されず500~600mbまで湿潤で不安定である(第10, 11, 12図の斜の線は湿潤断熱線)。この日上層には小型のcold vortexが存在し, 北陸近海はその前面に位置していた。cold vortex内では安定度は極めて悪く, 雲高も高いという事実を明瞭に示している。

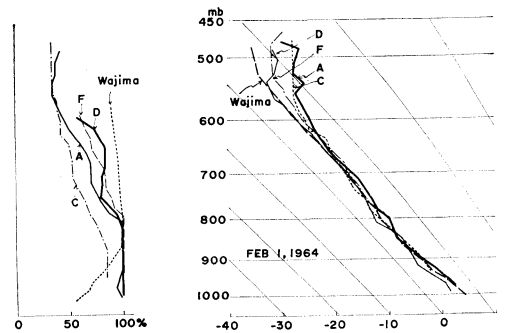
湿度の観測はエマグラム左側に示してあるが, 館野



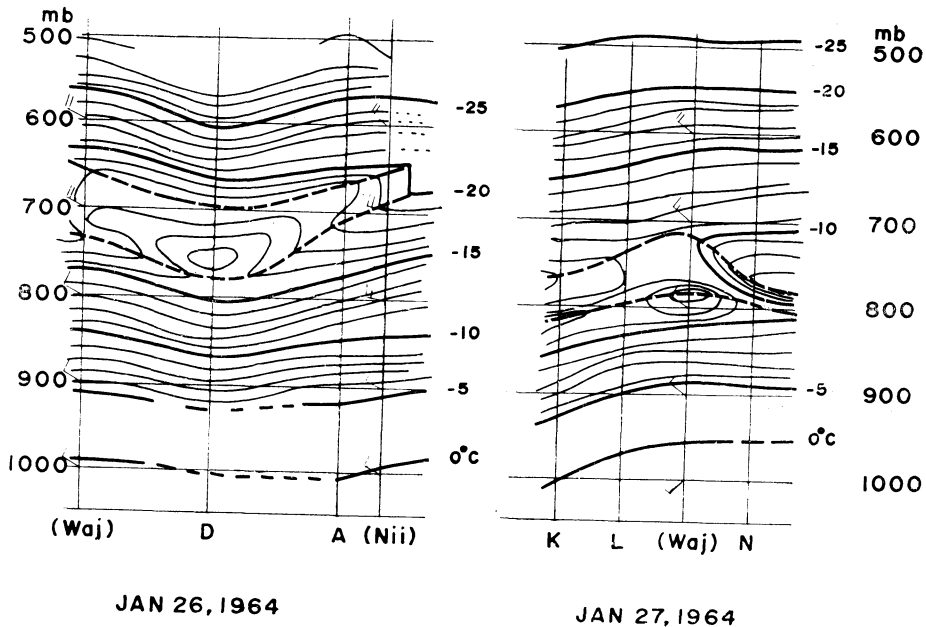
第10図 昭和39年1月26日実施したゾンデ観測。(破線)および新潟(点線)の上昇ゾンデ観測結果を比較のために記入してある。



第11図 昭和39年1月27日実施したゾンデ観測。輪島の上昇ゾンデ観測を比較のため記入してある。



第12図 昭和39年1月27日実施したゾンデ観測。輪島の上昇ゾンデ観測を比較のため記入してある。



第13図 北陸沿岸における垂直断面図。観測地点は第9図参照。輪島と新潟における上昇ゾンデ観測で補つてある。

観測（第5図参照）に比べ改善されている。これは毛髪を圧延し更に硫化バリウム処理をして低温における感度を上げたためである。

第13図は輪島と新潟の上昇ゾンデ観測を補い、北陸沿岸部において東西（左図）および南北（右図）断面図を作ったものである。図中太い実線は逆転層の下限を示したものであるが、前節にも指摘したように、海上の観測ではこの逆転層が50mb前後低くなっていることが認められる。またこの逆転層の上面の温度は極めて高く、このためこの高度では接近した2点間に非常に大きい温度差がありうることを示しているようである。

なお1月26日A点、1月27日L点における観測はそれぞれ新潟、輪島において高層観測班が受信することに成功し、投下位置の確認がえられた。

5. むすび

中小規模現象の微細構造を知り、または海上の観測を得るためには、ドロップゾンデ観測は極めて有利であるが、同時にまた幾つかの困難な点も指摘することができる。今後に残された幾つかの問題点を例記すれば、

- 投下位置決定の精度向上、
- 必要な時期に観測するための機動性の向上、
- 風の観測を如何にして行ふか、

d) 湿度計の改良

e) 投下方法、ゾンデ構造の改善による成功率の向上など改良すべき点は多々残されているようである。

本報告で述べた一連の実験を行うに当って、数多くの方々のご協力を得た。最初の地上受信ならびに上昇ゾンデとの比較は館野高層気象台の協力によるものであり、輪島および新潟における他上受信は気象庁高層課輪島測候所その他よりの観測班の協力により、また凌風丸との連繫観測は気象庁海上気象課の協力によるものであった。また数次の観測飛行に従事したのは気象研村上多喜雄、広瀬元孝、飯田陸治郎、浅井富雄、および筆者、協力した航空機会社は東日本航空、日本航空の両社である。また航空の安全、地対空の連絡のため新潟航空保安事務所管制タワー使用の便宜を供与された。関係された各位のご協力鞭撻を深く感謝する次第である。

文 献

- 1) 気象研究所, 1964: 北陸豪雪特別観測資料, 1964年1月20~1月27日
- 2) Kobayashi J. and Y. Toyama, 1960: An improved bimetal thermometer self-compensating for radiation error and its flight results, Pap. in Met. and Geophys., **11**, p 1~22.