



Title	4. 1961年4月6日の不安定線について
Author(s)	樋口, 敬二; HIGUCHI, Keiji; 榎, 国夫 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 11, 25-39
Issue Date	1964-02-15
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.11.25">https://doi.org/10.14943/gbhu.11.25</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/13859">https://hdl.handle.net/2115/13859</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	11_p25-39.pdf



## 4. 1961年4月6日の不安定線について

樋口 敬二・榎 国夫

(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和38年6月受理 —

### I. ま え が き

1961年4月6日正午近く、北海道千歳基地にある航空自衛隊第二航空団第三飛行隊では、F86Fセーバー・ジェット戦闘機四機墜落という事故を起した。これは、航空自衛隊発足以来、最大の事故といわれている。この事故の原因は、突然おそってきた強風と吹雪であった。

筆者らは、この時の天候急変が、不安定線の性質と似ていることに着目し、事故発生の後、当時の地上観測資料を集めて、解析したところ、やはり、不安定線であることがわかった。

日本における不安定線の調査研究は、これまで、九州近海に発現するものを対象として進められ、総合報告<sup>1)</sup>や多くの研究論文が発表されている。これに対して、北海道に発現したという報告は、今までなかった。しかし、ここに紹介する例からみると、不安定線が日本北部に発現する可能性がないとはいえない。

本報告が、北日本における不安定線や雷雨突風に関する調査研究のいとぐちとなれば、幸いである。

なお、函館海洋气象台では、同年4月20日付の異常気象報告<sup>2)</sup>で、函館・江差・森の観測資料からこの突風がメソ高気圧に伴うものであったことを指摘している。その解析の迅速さと正確さに敬意を表する。

### II. 不安定線の特徴

不安定線については、既に多くの研究や紹介<sup>3),4),5)</sup>があるが、寒冷前線に平行にあらわれる中規模の気象現象である。不安定線は、異常な速さで移動してゆくが、これが通過する時に、地上で観測される気象要素の変化として、気圧上昇、風向急変、風速急増、気温下降、降水現象が起り、雷、雹を伴うこともある。また、これらの変化が、わずか、10分位の間に起るのが特徴である。

不安定線は、寒冷前面で発生し、暖域内を移動してゆく場合が多いが、ここに報告する1961年4月6日には前線は閉塞の状態にあり、やや条件が異なっていた。第1図に、同日9時、

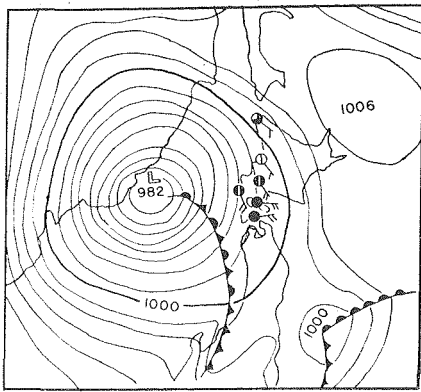
1) 岡村 存; 九州附近における不安定線, 気象研究ノート, **14** (1963), 112-126.

2) 函館海洋气象台; 異常気象報告, 第35号, 昭和36年, 第2号 (昭和36年4月20日)

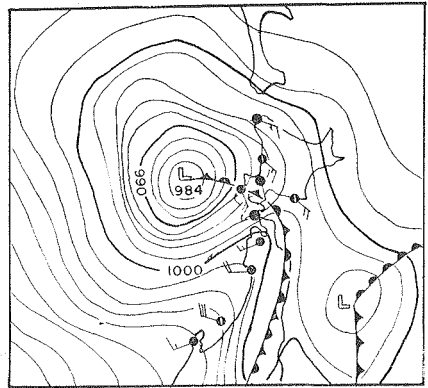
3) Fulks, J. R.; "The Instability Line", Compendium of Meteorology, American Meteorological Society, (1951). 647-652.

4) Petterssen, S.; "Weather Analysis and Forecasting", Vol. II, Mc Graw-hill (1956), 174-187.

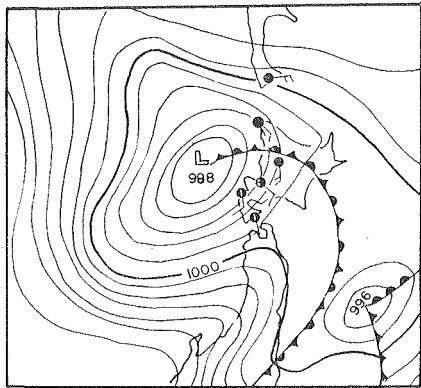
5) 気象研究ノート, メソ気象特集, **11** (1960), 第2号.



(A) 0900 JST

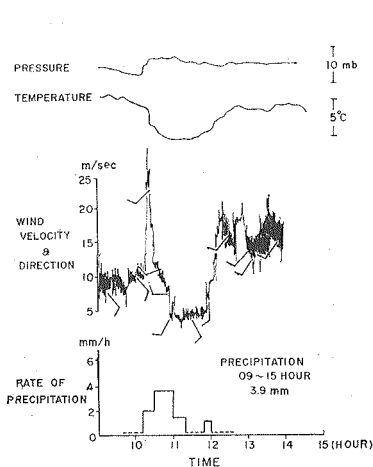


(B) 1200 JST

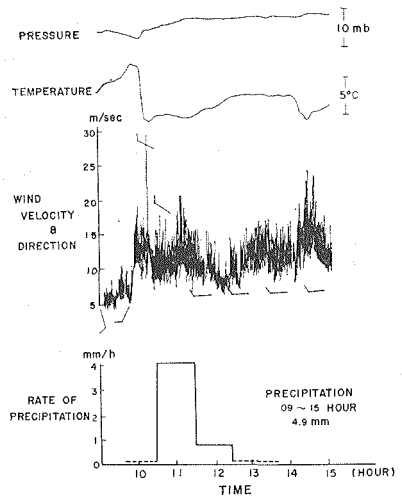


(C) 1500 JST

第 1 図 地上天気図 (1961年4月6日)  
Fig. 1. Surface weather maps at 0900 JST, 1200 JST and 1500 JST, April 6, 1961.



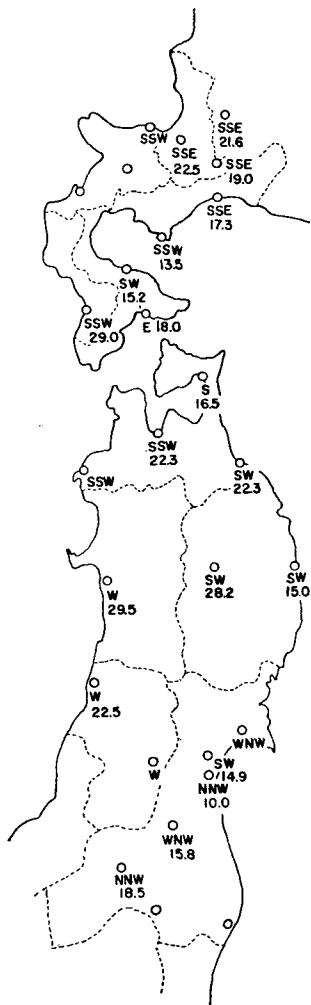
(A) 江差 (Esashi, No. 1)



(B) 秋田 (Akita, No. 23)

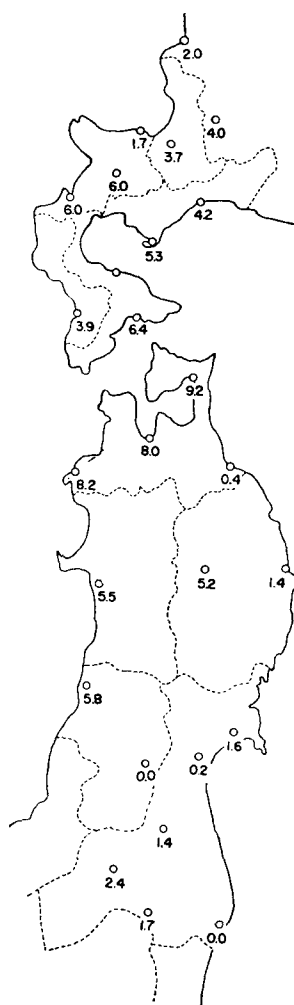
第 2 図 不安定線の通過時における地上気象要素の変化 (1961年4月6日)  
Fig. 2. Examples of surface meteorological records associated with the passage of the squall line.

12時、15時の地上天気図を示したが、ここにみるように、日本海にあった低気圧からのびる閉塞前線が、9時から15時までの間に、東北地方と北海道を通過している。この前線が日本海から北海道と本州に上陸した際における地上気象要素の変化を示す例として、江差・秋田の記録を、第2図にあげた。この図でよくわかるように、この時の気象変化には、突風、気圧上昇、気温下降など不安定線通過に伴う性質があらわれている。こうした気象変化が、北海道南西部



第3図 北海道南西部と東北地方の各地における瞬間最大風速の値 (m/sec) と風向 (1961年4月6日)

Fig. 3. Distribution of the maximum values of the surface wind gusts in *m/sec* and their direction observed on April 6, 1961, in the south western part of Hokkaido and Tohoku District.



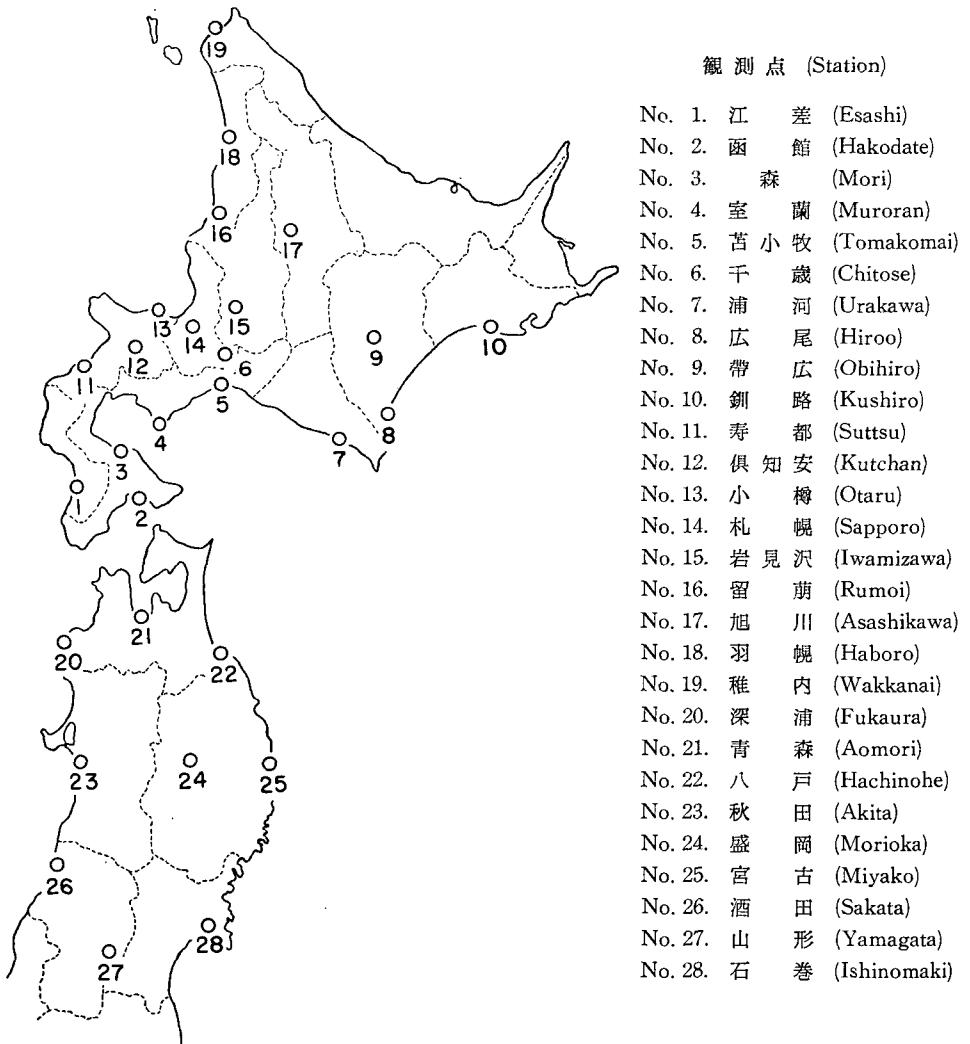
第4図 北海道南西部と東北地方の各地における日降水量 (1961年4月6日)

Fig. 4. Distribution of amounts of the daily precipitation in *mm* on April 6, 1961.

と東北地方の各地で起り、しかも、西から東へ移動している所からみて、この日の突風や雷雨が不安定線に伴うものであったことは間違いない。なお、本来の前線の通過を示すと思われる気象要素の変化は、不安定線の影響によって、不明瞭になっているが、気温などから判断すると、北海道南西部では、不安定線の通過の少しあと、東北地方では、ほぼ同時に前線が通過したとみられる。

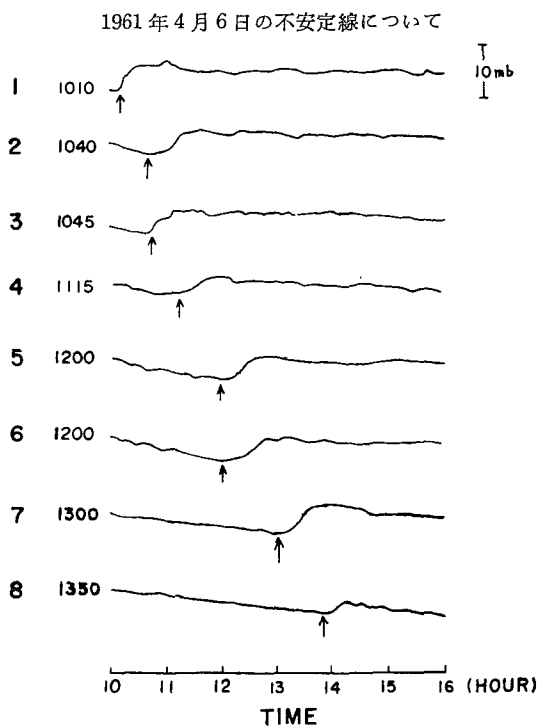
第3図に、この不安定線による突風の瞬間最大風速の値とその風向を示しておいたが、日本海側で強く、太平洋側で弱まっている傾向がみえるのは、背梁山脈など地形の影響を受けたためであろう。

降水現象としては、雷を伴って雨、雪、霰、雹などが降ったが、第4図の通り、降水量は

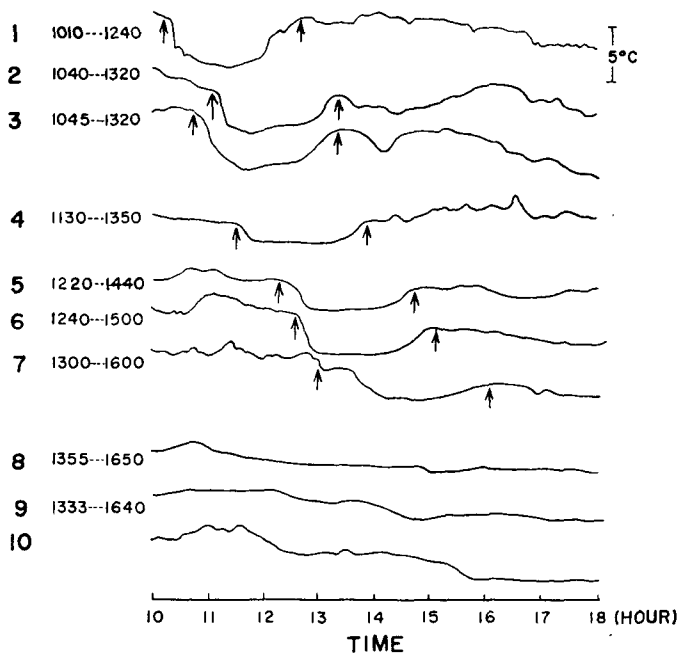


第5図 観測点の位置と番号

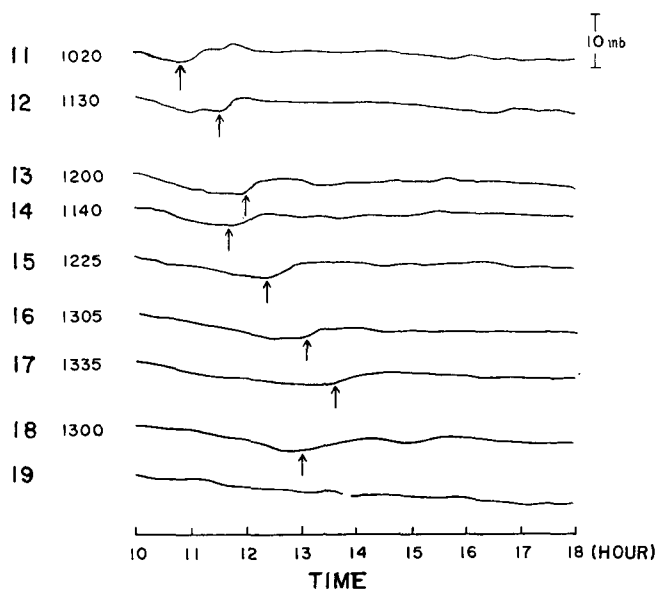
Fig. 5. Geographical location of the stations.



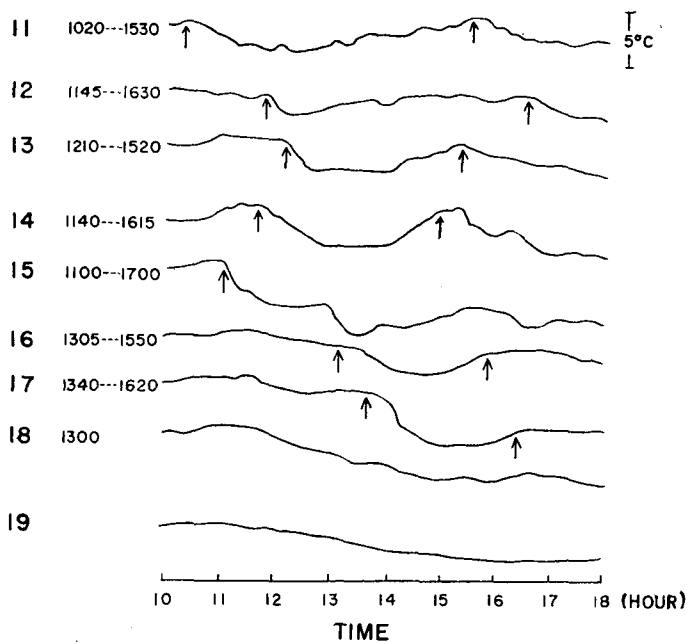
第 6 図 北海道南西部の各地における気圧の自記記録 (1961年4月6日)  
 Fig. 6. Record traces of the barograph at the stations in the south western part of Hokkaido.



第 7 図 北海道南西部の各地における気温の自記記録 (1961年4月6日)  
 Fig. 7. Record traces of the thermograph at the stations in the south western part of Hokkaido.



第 8 図 北海道中部と北部の各地における気圧の自記記録 (1961 年 4 月 6 日)  
 Fig. 8. Record traces of the barograph at the stations in the middle and northern part of Hokkaido.

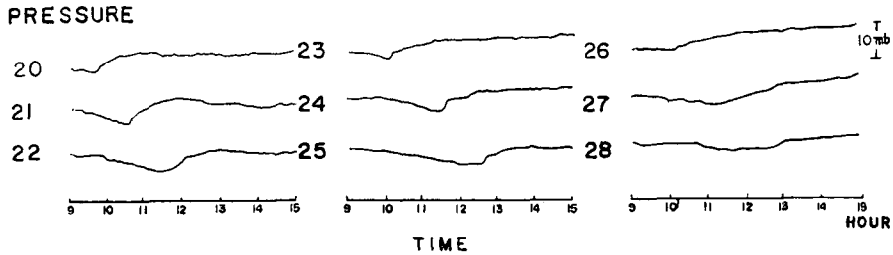


第 9 図 北海道中部と北部の各地における気温の自記記録 (1961 年 4 月 6 日)  
 Fig. 9. Record traces of the thermograph at the stations in the middle and northern part of Hokkaido.

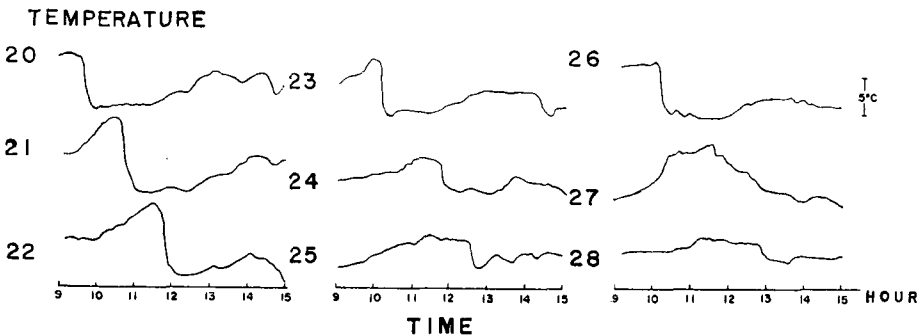
少なく、日降水量は 10 mm をこえた所はない。不安定線は強い雷雨群に伴うとされているが、それにしても、地上で降った降水が少なすぎる。したがって、この日には海上でかなりの降水があったと考えられる。

つぎに気圧上昇、気温下降、突風の発現時刻など、顕著な変化に着目して、第 5 図に示した各地の測候所の記録から、不安定線の移動方向と速度をもとめた。第 6 図は、北海道南西部にある各測候所の自記気圧計の記録を西から東への順番で、上から並べたものである。気圧波が西から東へ伝播してゆく有様が、この図によくあらわれている。この気圧波の移動速度は、毎時 75 km であった。第 7 図は、同じように気温の記録を並べたものである。気温下降の継続時間と、移動速度から計算すると、不安定線のメソ高気圧帯の幅は約 200 km となった。

第 6 図、第 7 図からわかるように、気圧上昇も気温下降も、移動につれてゆるやかになっており、不安定線が衰弱の過程にあったことを示している。気温下降が移動と共に変化してゆく過程の中で、日高山脈をはさんだ浦河 (No. 7) と広尾 (No. 8) との違いが特に注目される。というのは、山脈の西側の浦河までは、気温下降がはっきりみとめられるのに、東側の広尾では、気温下降は起っていない。これは、III. で述べるように、気温の下降を起すコールド・ドームの高さが、日高山脈より低いためドームが山脈をこえる際に、周囲の空気と混合したためと



第 10 図 東北地方の各地における気圧の自記記録 (1961 年 4 月 6 日)  
 Fig. 10. Record traces of the barograph at the stations in the Tōhoku District.



第 11 図 東北地方の各地における気温の自記記録 (1961 年 4 月 6 日)  
 Fig. 11. Record traces of the thermograph at the stations in the Tōhoku District.

考えられる。

第8図、第9図は、北海道中部と北部における気圧と気温の記録を、それぞれ示したものであるが、気圧上昇、気温下降ともに南部におけるほど顕著ではない。これによって、この日の不安定線の北限は、留萌・旭川を結ぶ線であったとみられる。

次に、第10図と第11図は、東北地方の北部（深浦—青森—八戸）、中部（秋田—盛岡—宮古）、南部（酒田—山形—石巻）における東西に並んだ測候所の気圧、気温の変化を示したものである。これらの記録からもとめた気圧波の移動速度は、毎時70 kmであった。このような気象要素の急変は、若浜まで、白河・小名浜ではみとめられないので、不安定線の南限は、このあたりと考えられる。

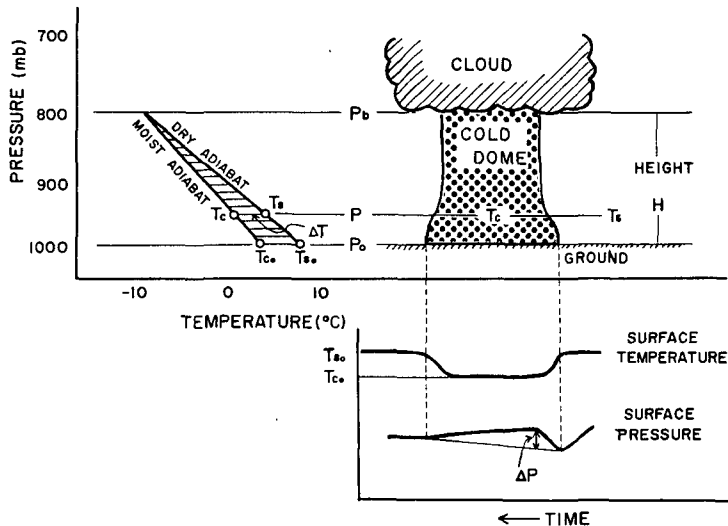
東北地方では、気圧波の形は、日本海側と太平洋側とでは、ほとんど変化していないが、これは北海道の場合と異なり、観測した範囲が東西に短かったためであろう。ところが気温下降の形は、気圧とちがって、日本海側と太平洋側とでは、かなりちがっている。

山がほとんどない平野部にある深浦、青森、八戸を結ぶ線では、気温下降の形がほとんど変化していないのに、途中に山脈をはさんだ他の部分は形が変化している。これは、上に述べた日高山脈の場合と同じように、コールド・ドームと周囲の空気との混合が山脈によって起ったためであろう。

以上の結果を総合すると、この日の不安定線は、東西約200 km、南北約650 kmのコールド・ドームが、70~75 kmの時速で移動して行なったものと云うことができる。

### III. 気温下降と気圧上昇との関係

不安定線に伴う気圧上昇は、雷雲中の下降気流によってできるコールド・ドームのためと



第12図 コールド・ドームのモデル

Fig. 12. Schematic diagram showing a model of the cold dome.

されている。そこで、第7図のように、気温が下降して一定を保ち、再び上昇してもとの値にもどるような場合、すなわち、コールド・ドームの通過をはっきりと示している記録から、ドームの高さ、気温下降と気圧上昇との関係を調べてみた。計算に用いたコールド・ドームのモデルは、第12図に示したものである。

まず、コールド・ドーム内の気温の垂直分布を湿潤断熱減率、周囲の空気の気温分布を乾燥断熱減率であると仮定し、地上の気温下降からドーム頂の高さを推定した。すなわち、気温下降が起る前の地上気温  $T_{so}$  を通る乾燥断熱線と、下降後の地上気温  $T_{co}$  を通る湿潤断熱線との交点をもって、ドームの高さ  $H$  とした。第1表は北海道南西部の各地における  $T_{so}$ ,  $T_{co}$ ,  $H$

第1表 北海道南西部各地における気温下降、ドーム頂の高さ、気圧上昇  
Table 1. Temperature drop and Excess pressure at the surface, and the estimated values of height of the cold dome.

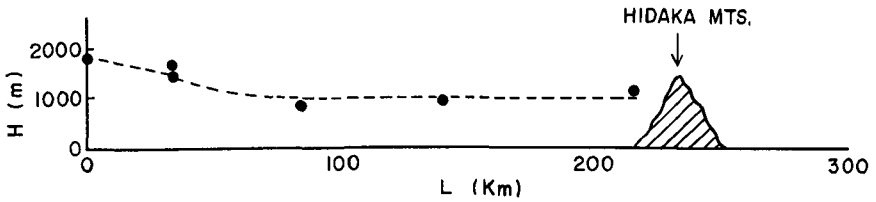
No.	地名	$T_{so}$ (°C)	$T_{co}$ (°C)	$H$ (m)	$\Delta p'$ (mb)	$\Delta p$ (mb)
1	江 差	6.0	1.6	1770	2.9	4.2
2	函 館	4.3	0.6	1430	2.8	3.1
3	森	6.5	2.0	1690	2.0	3.1
4	室 蘭	2.2	0.5	770	0.57	2.8
5	苫 小 牧	3.2	0.7	950	1.0	3.2
6	千 歳	4.8	1.0	1400	2.0	3.3
7	浦 河	4.0	1.2	1150	1.7	3.4
13	小 樽	3.6	0.9	850	0.93	2.0
14	札 幌	6.4	3.2	1050	1.7	2.0

の値を示したものである。ここにみるように、コールド・ドームは、北海道南西部では日本海側で 1800 m くらいであったのが東へ進むにつれて、次第に低くなっている。海岸にある測候所の記録から計算したドームの高さが、移動方向にとった距離  $L$  とともに、どう変るかを示したのが第13図である。この図には、浦河・広尾を結ぶ線で切った日高山脈の高さを記入してあるが、コールド・ドームは、山脈に近づく頃には山よりも低くなっている。したがって、ドームが山脈をこえる時に、周囲の空気との混合を起したことは、充分可能性がある。II. で述べたように、浦河までみとめられていた気温下降が、山をこえた広尾では、もはや起っていないのは、その結果と考えられる。

つぎに、藤田<sup>6)</sup>が行なったように、気温下降から気圧上昇を計算した。コールド・ドームと周囲の空気との温度差  $\Delta T$  だけによって起る地上気圧の上昇量を、 $\Delta p'$  とすれば、次の式で計算できる。

$$\Delta p' = R \int_{p_0}^{p_0} \rho \Delta T d(\ln p) \quad (1)$$

6) Fujita, T.; Precipitation and Cold Air Production in Mesoscale Thunderstorm Systems, J. of Met., 16 (1959), 454-466.



第 13 図 コールド・ドームの高さと不安定線の移動距離との関係

Fig. 13. Relation between the estimated heights of the cold dome and the propagation distance of the squall line.

ただし、 $p_0$ 、 $p_b$  は、それぞれ地上とドーム頂における気圧、 $\rho$ 、 $\Delta T$  は、気圧  $p$  の高さにおける空気の密度と温度差、 $R$  は空気の気体常数をあらわしている。ドームの頂が高くないときには、 $\rho$  を、気温下降が起る前の地上における空気の密度  $\rho_0$  に等しいとおき、(1)を

$$\Delta p' \doteq \rho_0 \int_{p_0}^{p_b} R \Delta T d(\ln p) \quad (2)$$

で近似すれば、計算が容易である。またドーム頂の高さを計算したのと同様に、ドーム内の気温分布を湿潤断熱減率、周囲の空のそれを乾燥断熱減率と仮定すれば、(2)式の積分項は、エマグラム上で湿潤断熱線と乾燥断熱線と地上の等圧線とがつくる三角形(第12図で線をほどこした三角形)の面積であらわされる。

この計算方法によって、気温下降から計算した気圧上昇の量  $\Delta p'$  の値を第1表に示した。また、その次の欄には、第12図の下に示したとり方でもとめた気圧上昇の量  $\Delta p$  をあげてある  $\Delta p'$  と  $\Delta p$  とを比較すると、江差・函館・森では、かなり一致がよい。しかし、他の地点では、計算値が実測値より、相当下廻っている。この不一致の原因としては、ドーム頂の高さの見積り、 $\Delta p$  のとり方に問題があると考えられる。ドーム頂の高さを計算する際、周囲の空気の気温分布を乾燥断熱減率と仮定しているが、もしそれより安定な気層であったとすれば、ドーム頂の高さは、この計算値より大きくなり、したがって、気圧上昇の計算値も増すことになる。また  $\Delta p$  は、ドームの周囲の気圧が時間と共に直線的に増加すると仮定してもとめてあるが、これが  $\Delta p$  を大きく見積らせている可能性がある。また江差・函館・森のように、不安定線が北海道に上陸して間もない頃に、計算値と実測値とが、かなりの一致をみせているのは、地形の影響を受けない状態では、不安定線に伴う気圧の上昇は、ここに用いた方法で気温下降から計算した値に近いことを意味していると思われる。

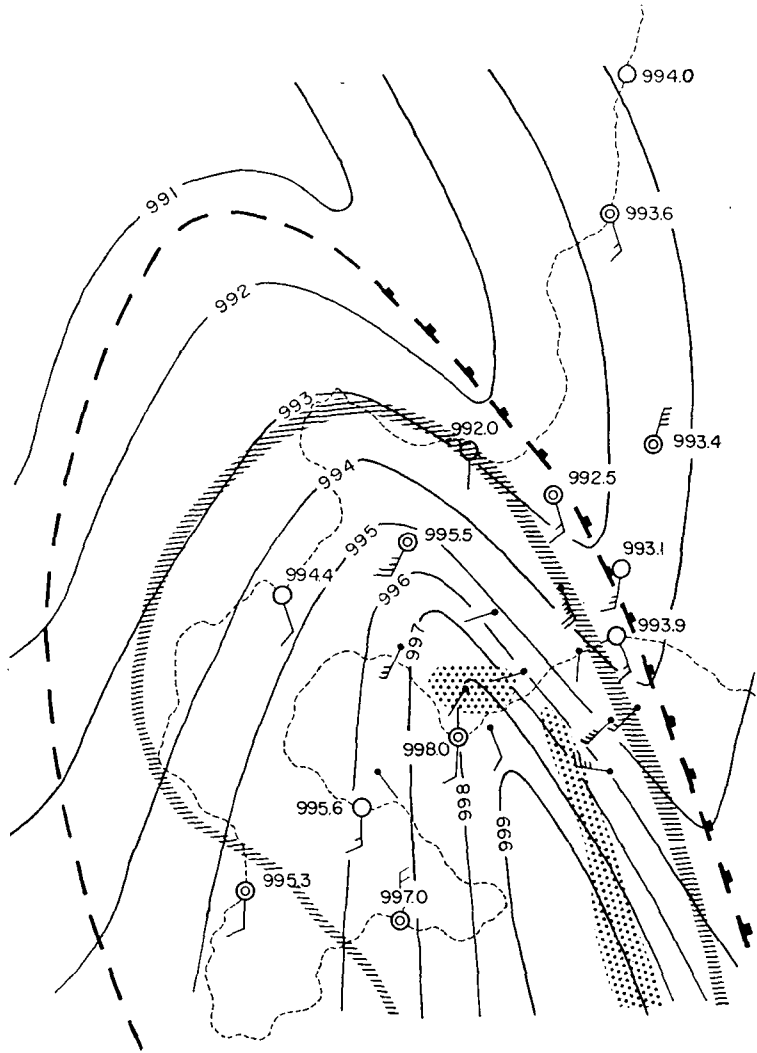
#### IV. メソ天気図

メソ解析の方法は、藤田<sup>7)</sup>によって発展させられたもので、不安定線のような中規模の気象現象の解析は、この方法によってはじめて行なうことができる。メソ解析を行なうには、地上で観測された気象要素の時間的変化を、現象の移動速度を媒介として、空間的变化に変換し

7) Fujita, T.; Results of Detailed Synoptic Studies of Squall Lines, Tellus, 2 (1955), 405-436.

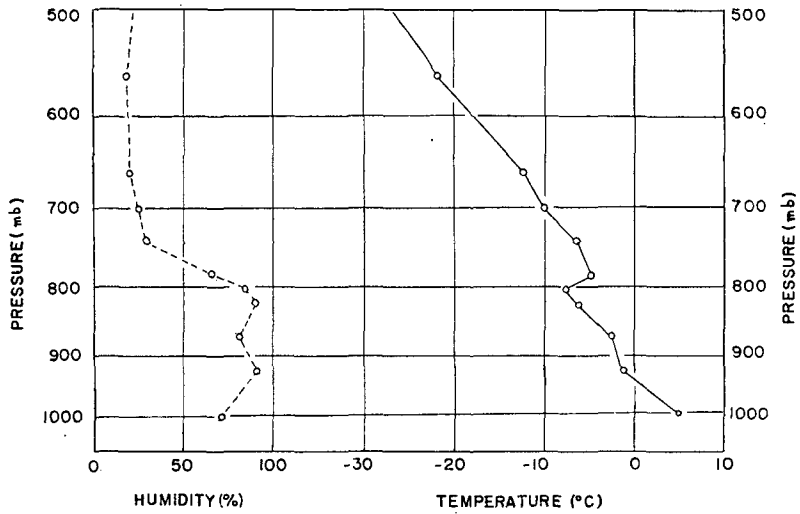
測候所のない所の気象要素を推定して詳細な天気図を画くのである。

4月6日の不安定線に関するメソ天気図を画くために、気圧上昇、気温下降、突風などの各地で起った時刻から、不安定線の移動方向と速度をきめた。方向は北海道と東北地方とでやや異なるが、ほぼ西から東へであり、速度は北海道南西部で毎時75 km、東北地方で70 kmであった。これらの値によって、北海道南西部にある各測候所の自記記録を空間的变化に変換し



第14図 北海道南西部における不安定線のメソ天気図(1200 JST, 4月6日, 1961)(//// の線で囲まれた区域が雨と雪の降った地域で, □□ は雷と雹を伴った地域である)

Fig. 14. Meso-synoptic chart in the area of the south western part of Hokkaido, 1200 JST, April 6, 1961. The area of rain and snowfall is indicated by the area surrounded by a broad line of hatching, and that of thunder- and hail-storm by the dotted area.



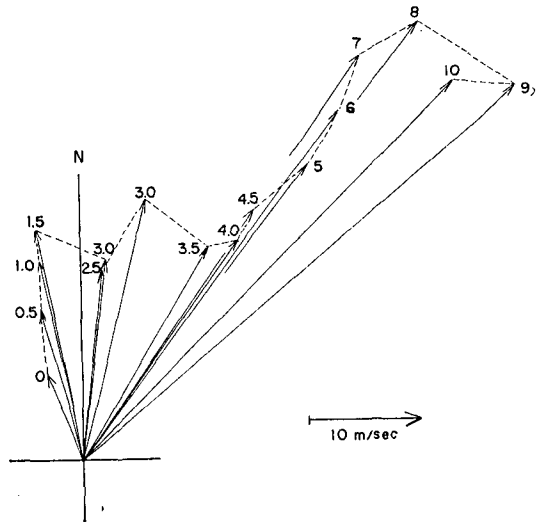
第15図 札幌における状態曲線 (0900 JST, 4月6日, 1961)

Fig. 15. Sounding curve at Sapporo, the station No. 14, 0900JST, April 6, 1961.

て画いたメソ天気図が、第14図である。不安定線が、千歳をおそう直前、4月6日正午の状態を示している。雪と雨の降った地域は、斜線の太い線で囲んだ区域であり、そのまわりに帯状のメソ高気圧があり、これの前線が気圧波の形をなし、突風が起っている。雷と雹を伴った地域は、点をほどこした区域で、メソ高気圧帯の前縁より南北に細長くのびている。なお、東北地方のメソ解析は、現在進行中であるので、次の報告では北海道、東北地方にわたるメソ天気図とその時間的変化を発表する予定である。

またこの日の高層の気象状態についても解析を行なう予定であるが、その手がかりとして次のような特長をあげておく。

第15図に、札幌における同日9時の高層観測の結果を示したが、これにみるように、800 mbに気温の逆転があり、それより下では湿潤で上では乾燥している。このような成層は、不安定線が起る前の典型的状態<sup>8)</sup>とされているものである。また第16図は、同じく9時の札幌にお



第16図 札幌における hodograph (0900 JST, 4月6日, 1961, 数字は高さを km で示したものである)

Fig. 16. Hodograph at Sapporo, the station No. 14, 0900 JST, April 6, 1961. Numbers indicate the height in km.

8) Petterssen, S.; 4)と同じ, 186.

けるホドグラフであるが、1.5 kmの高さに21 m/secの南南東の強風があり、4 km以上の上層には南西の強風がある。こうした風の垂直分布は強い雷雨や不安定線の発生を示すものとしてよく知られている湿潤な下層ジェットと乾燥した上層ジェットとの交叉<sup>9)</sup>によく似ている。これらの問題点は、今後の解析によってさらに詳細に論じられることであろう。

## V. あとがき

ここに報告した結果によって、1961年4月6日に北海道、東北地方に起った天候の急変は、不安定線の通過によるものであることが明らかになった。

現在の気象観測網では、不安定線のように中規模の気象現象の発生と襲来を予知することはむづかしい。ことに日本のように、観測点のない海によって囲まれている地形的条件の下では、その予知は一層むづかしい。しかもここに報告した不安定線が起った当時、北海道には、気象用レーダーがなく、海岸のごく近くにおける海上の気象状態を知る手段がなかった。こうした事情を考えると、この日の不安定線を原因として起った航空自衛隊の事故は、止むを得なかったと云えるかもしれない。

しかし、突風と吹雪が千歳に達する二時間以上も前に、江差では突風や雷雨などが起っていた。だから、もしこの時に、不安定線によるものと判断し、その後の函館・森の状況から移動方向と速度とを推定していれば、千歳に達する前に充分予報できたことと思われる。この観測点からすれば、観測網は、このままでも不安定線についての調査研究が進めば、予報の精度はかなり改善されるに違いない。幸いその後、函館・札幌に気象用レーダーが設置され、不安定線のように強い降水を伴う現象の観測手段は飛躍的に向上した。このような観測技術の進歩とともに、過去の資料によって、日本北部における不安定線の出現に関する研究を進めることもそれを予知するためになされねばならない仕事であろう。

この研究を行なうに際して、中谷宇吉郎教授から一方ならぬ激励を戴いた。先生亡き今、深い悲しみと共に謝意を表す。また孫野長治教授には、よせられた討論に対してお礼申上げる。この解析に用いた資料を集めるに際しては、札幌管区気象台をはじめ管内の地方気象台、測候所、区内観測所の方達の好意ある協力を戴いた。厚くお礼申上げる。またこの研究の費用の一部は、日本航空工業会から支弁された。謝意を表す。

9) Petterssen, S.; 4)と同じ, 194.

#### 4. A Study on the Squall Line which Occurred in the Northern Part of Japan on April 6, 1961

By Keiji HIGUCHI and Kunio ENOKI

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

It was found from the analysis of the surface records of meteorological elements that a squall line passed through the northern part of Japan on April 6, 1961, when an accident to aircrafts occurred near the Chitose Airport, Hokkaido. Surface weather maps at 0900 JST, 1200 JST and 1500 JST on this day are shown in Fig. 1. As seen in these figures, the occluded front passed through Japan during the period 0900 JST to 1500 JST. The squall line was associated with this front. Fig. 2 shows typical examples of the change of surface meteorological elements during the passage of the squall line, namely, pressure surge, temperature drop and surface gust etc. The maximum wind velocity and the amount of precipitation at the stations in the northern part of Japan on this day are shown in Figs. 3 and 4 respectively. The record traces of the pressure and temperature at the stations in Fig. 5 are reproduced in Figs. 6-11. As easily seen in these figures, the pressure surge and temperature drop propagated from west to east, the estimated values of the velocity being 70-75 km/hr.

The height of the cold air dome under the cloud layer is estimated from the temperature drop, according to the model in Fig. 12. Fig. 13 presents the relation between the estimated heights of the dome and the distance of propagation of the squall line. When the squall line neared the mountain range, the height of the dome was lower than that of the mountain as seen in Fig. 13. It may be possible, therefore, that the mixing of the cold dome with the environment air occurred during the passage of the squall line over the mountain range. The possibility of occurrence of such a mixing is supported by close examination of recorded observations as follows. As seen in Fig. 7, the temperature drop was observed at station No. 7 on the west side of the mountains, but was not observed at station No. 8 on the east side of them. It is reasonable to consider that the propagation of the temperature drop was disturbed by such mixing of the cold dome with the environmental warm air as above.

The excess pressure at the surface due to the cold dome was estimated from Fujita's following equation,

$$\Delta p' = \rho_0 \int_{p_0}^{p_b} R \Delta T d(\ln p)$$

where  $\Delta p'$  is the excess pressure;  $\rho_0$ , the surface air density;  $\Delta T$ , the temperature difference between dry and moist adiabats;  $R$ , the specific gas constant;  $p_0$  and  $p_b$ , the pressure at the surface and the top of the cold dome, respectively. Table 1 shows the calculated values of  $\Delta p'$  at the stations in the south western part of Hokkaido and the corresponding values of the observed excess pressure  $\Delta p$ , which is estimated from the barograph trace as shown in the lower part of Fig. 12. As seen in this table, agreement of  $\Delta p'$  with  $\Delta p$  is fairly good in the case of stations Nos. 1, 2 and 3, where the structure of the squall

line is considered to be not so different from that in the stage of the propagation over the Sea of Japan.

Fig. 13 is a meso-synoptic chart at 1200 JST on this day, which was constructed according to Fujita's method from the record traces of self-recording instruments at the stations in the south-western part of Hokkaido. Figs. 14 and 15 show the sounding curve and the hodograph at Sapporo, station No. 14, at 0900 JST on this day. As seen in these figures, the condition of the wind aloft seems to be similar to the combination of high level jet and low-level jet.