

第2部 上層の寒冷渦と豪雨及びサイクロゲネシスについての一例*

竹内 衛 夫**

1. 緒言

梅雨末期の豪雨域が、上層の寒冷谷の前面に位置している事が多いということは、すでによく知られている事実であり、予報則として、広く大雨予想のワークシートに記載されている。(参照文献(1),(2)等)

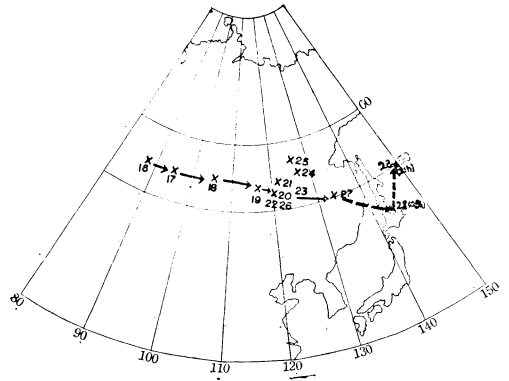
また上層の長波の寒冷谷にできる寒冷渦の生涯に関連して、寒冷渦が、その前面に、非前線性の降雨域及び地表面の低気圧の発生発達を伴っているという現象についてもすでに早くから注目されて来た。(Yi-Ping Hsieh⁴⁾, E. Palmén³⁾, Saylor et. al⁷⁾, Riehl⁶⁾, Mohri⁸⁾等)しかしながら、この現象が、いかなる領域に、いかなる過程で生じているかということは、まだ十分に解明されているとは云えない。非前線性降雨域の発生発達、cold domeの間接循環を意味するような、寒気団降雨、後の段階での低気圧の発生に伴う前線性降雨、すなわち暖気団降雨との混合等々、特にこの降雨域については既に、jet streamによる力学的な場とか熱力学的不安定性等々の説明はなされてはいるけれども、さらに解明されなければならない、多くの問題があるように思われる。この報告においては、昭和36年6月の36・6豪雨の際の一つの寒冷渦の生涯と、降雨域と地表面低気圧の推移とを記述して、寒冷渦と地表面の現象との関係についての若干の物理的説明を試みたいと思うものである。

2. 現象の記述

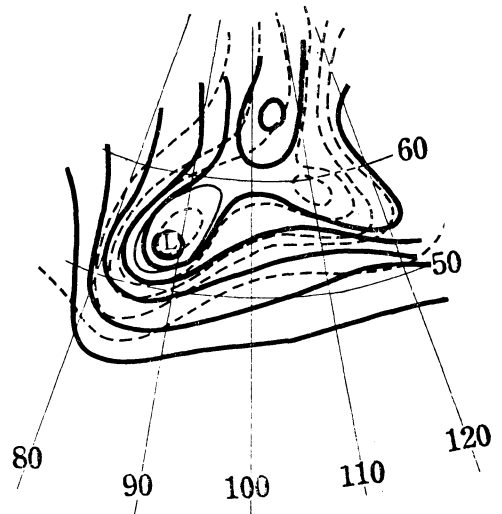
(1) 寒冷渦の発生及びその消長

6月15日21時の500mb面の天気図では、85°E, 55°N付近の長波の谷がその振幅を増大してきていた。16日21時には、明瞭に寒冷渦が切離されていた。切離とともに、その切離渦は寒冷化し、低気圧の示度も深まった。その後は次第に衰えながら東進した。この寒冷低気圧の下層は高気圧であってこの高気圧は上層の寒冷渦の移動に

伴なわれて、移動した。17日21時には、この寒冷渦の前面の地上に低気圧が発生し、19日21時には、116°E, 50°N付近で閉塞した。この低気圧の閉塞に伴って、19日21



第1図 寒冷渦の中心位置(1961年6月500mb) 数字は日付であり各21時における位置を示している。

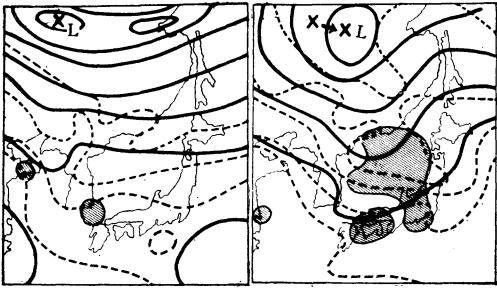


第2図 500mb 天気図(1961年6月16日21時), 実線は等高線, 点線は等温線を示す。

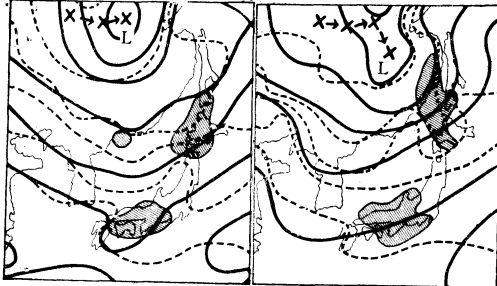
* A Case Study on the Relation between the Cold Vortex in the Upper Atmosphere and the Heavy Rainfall and Cyclogenesis on the Surface.

** Morio Takeuchi 気象研究所
—1962年7月4日受理—

時には、再び寒冷渦は強化され、寒冷になった。またこの地上の高気圧は置き換って、閉塞低気圧になった。こ

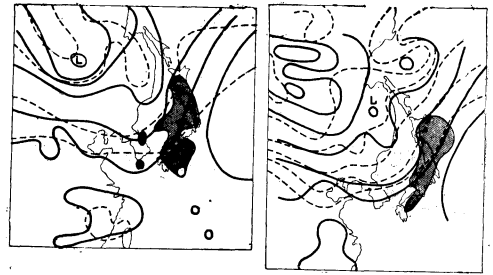


第3図 21h, 22th, June. 第4図 21h, 23th, June.



第5図 21h, 24th, June. 第6図 21h, 25th, June.

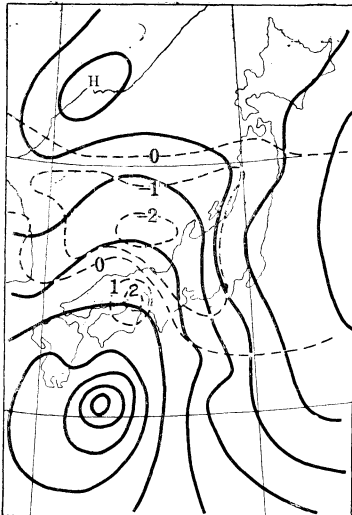
の地上から上層迄の低気圧系は、停滞して、徐々に衰えて行った。切離低気圧が一旦衰えて移動し、その前面に発生した低気圧の閉塞発達に伴って、再び強化され、かつ間接循環を強め、寒気の上昇に伴って一層寒冷化されるという現象は、注目すべきことである。低気圧の閉塞過程のモデルでは、暖気塊の上昇が生ずると云われて



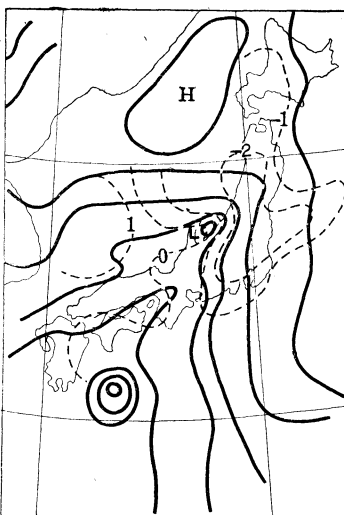
第7図 21h, 26th, June, 第8図 21h, 27th, June, 1961.

第3図～第8図 500mb 天気図。実線は等高線、点線は等温線を示す。影をつけた領域は雨域を示している。(第9図省略)

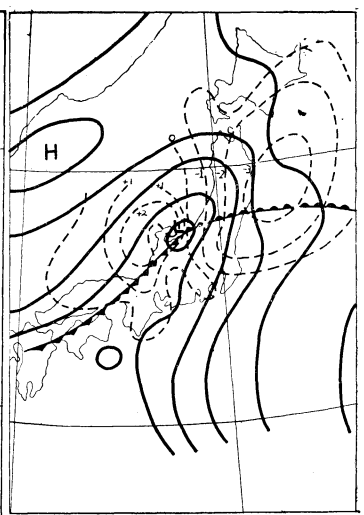
いるので、この間接循環によると見られるような、寒冷渦の強化は低気圧の閉塞現象について、従来と異ったモデルを考えるべきであることを示唆している。このような低気圧の発達に伴う、寒気渦の寒気塊の上昇と寒冷化の著しい例は、また Riehl and Teweles⁵⁾⁶⁾ によって報告されている。E. Palmén³⁾ によって、地上の低気圧の閉塞過程に伴って、上層の切離低気圧の発生がある例が調べられているが、その場合にもまた切離低気圧は、閉塞によって強化され、かつ下層は閉塞低気圧になっていることが示されている。この閉塞過程のさらに詳しい他の場合も含めてこの解析例及び、その考察は別論文で提出される予定である。



第10図 03h, 27th, June, 1961.
Surface.
Tendencies 03h-06h.

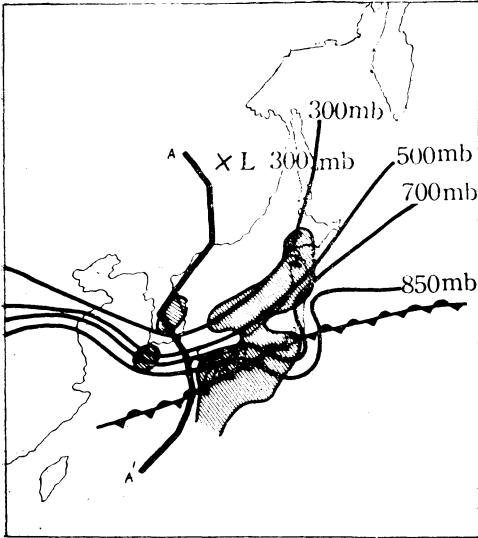


第11図 09h, 27th, June, 1961.
Surface.
Tendencies 09h-12h.

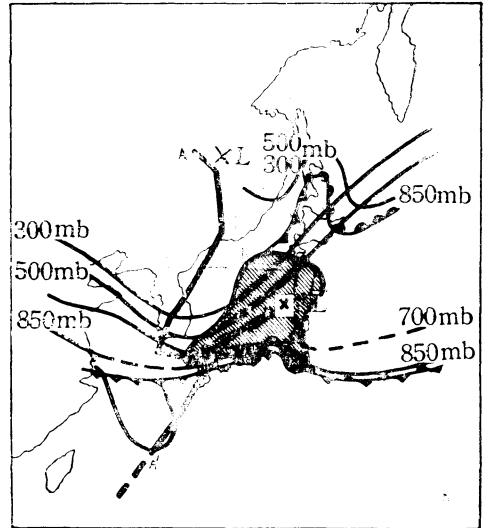


第12図 15h, 27th, June, 1961.
Surface.
Tendencies 15h-18h.

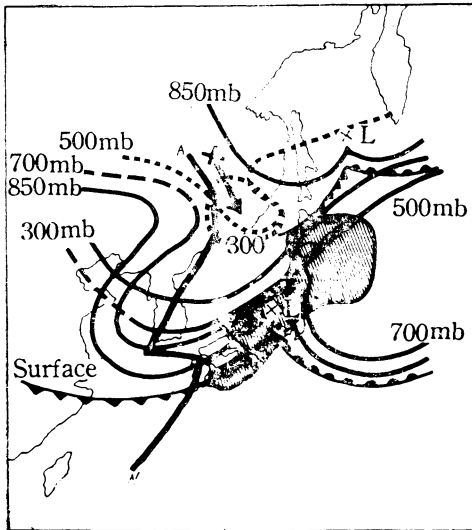
第10図～第12図 地上天気図。実線は等圧線、点線は等3時間気圧傾向線を示し数字は mb 単位で示してある。



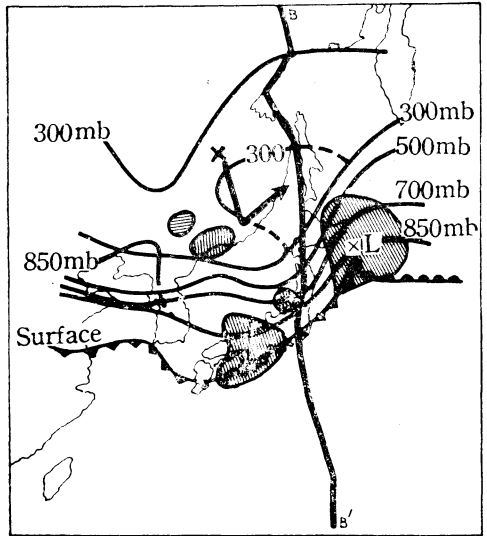
第13図 21h, 26th, June, 1961.



第14図 09h, 27th, June, 1961.



第15図 21h, 27th, June, 1961.



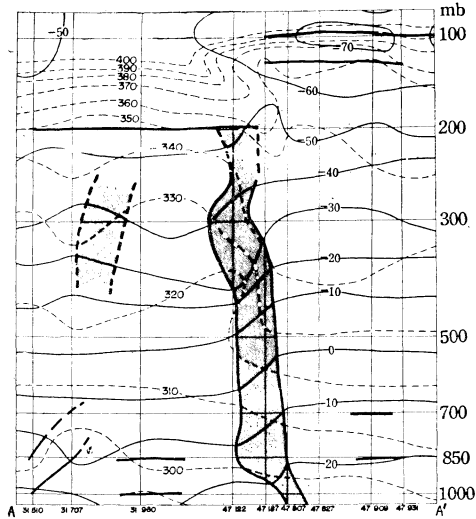
第16図 09h, 28th, June, 1961.

第13図～第16図 前線の Contour Chart. 影を施した部分は雨域を示し、太実線は、対応する日付けの断面図。(第18図～第20図)をとった線を示している。

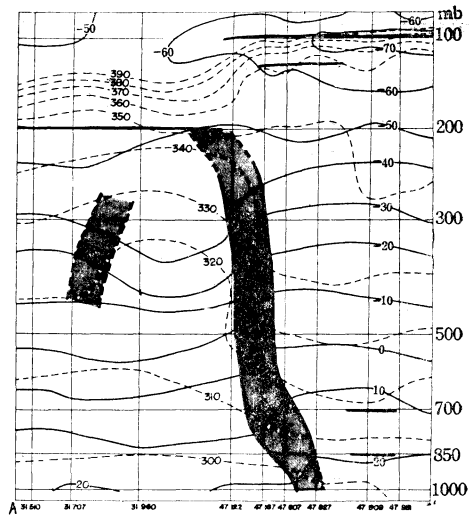
この cold dome は徐々に衰えながら、125°E, 53°N 付近に停滞して、25日に至った。25日から26日には南進し27日には東進して、500mb では、さらに衰えて解消したようにみえている。28日09時には、北陸に発生した低気圧の谷が著しくなって、それに移ったように見られる。しかしながらすでに、寒冷渦は、そのときは解消している。(第3図～第8図) (第9図省略)

この停滞閉低気圧には伴う上層の谷は、22日21時には

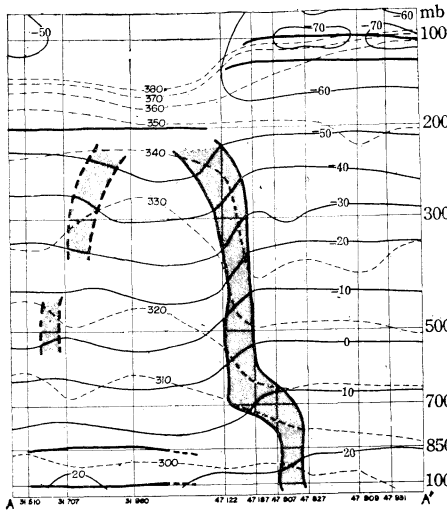
その振巾を増大し始めて、ゆっくり東進して、23日21時には、日本海に入った。その後は停滞して、26日に至って、その前面での低気圧の発生に伴って、移動し始めた。本邦付近がこの寒冷谷の影響を受け始めたのは、22日頃であり、これは28日まで継続したと考えられる。この寒冷谷の基部の地上は、すでに述べたように、閉塞低気圧であったが、谷の下の地上は、背の低い寒冷型高気圧であって、26日には最も高い中心示度を示して、1012



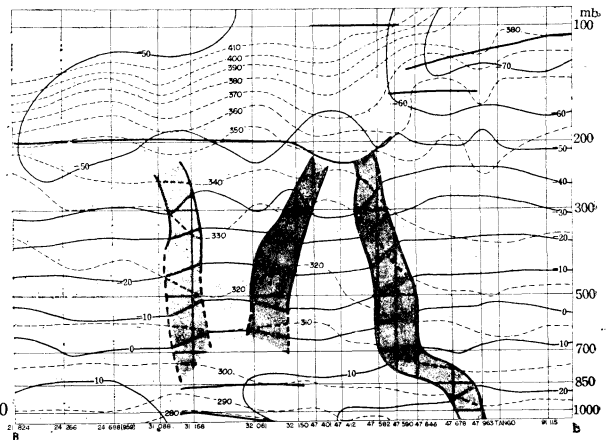
第17図 21h, 26th, June, 1961.



第18図 09h, 27th, June, 1961.



第19図 21h, 27th, June, 1961.



第20図 09h, 28th, June, 1961.

第17図～第20図 高層断面図。実線は等温線、点線は等温線を示し、影を施した部分は、水平の温度傾度の混んだ部分を連ねて、上層の前線帯を示してある。

mb になった。

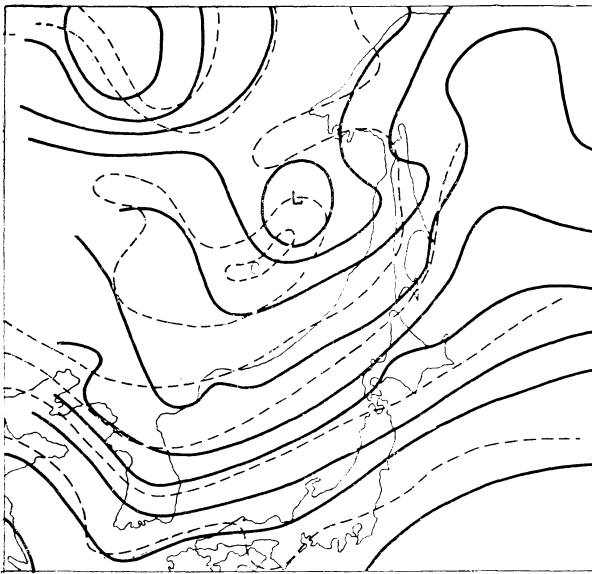
(2) 寒冷渦と cyclogenesis

6月17日21時には、この寒冷渦の前面の地上に低気圧が発生した。この低気圧は北東に進んで、6月19日に閉塞した。この閉塞低気圧は、すべに述べたように、上層の切離渦と合同して停滞した。この低気圧は、最初には、前線性波動としてではないように見えたが、その後は、前線の波動低気圧と同様な外観を示していた。

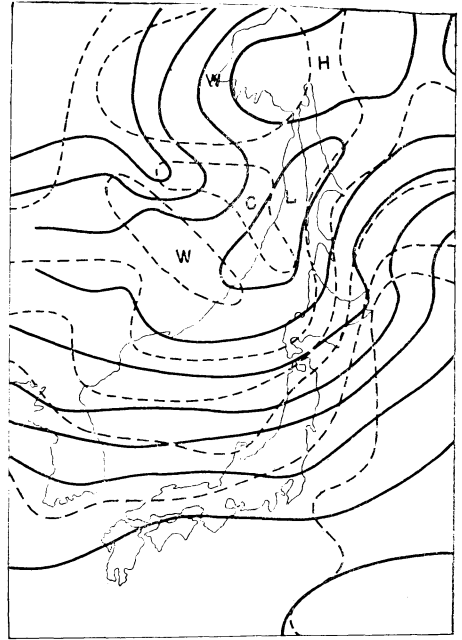
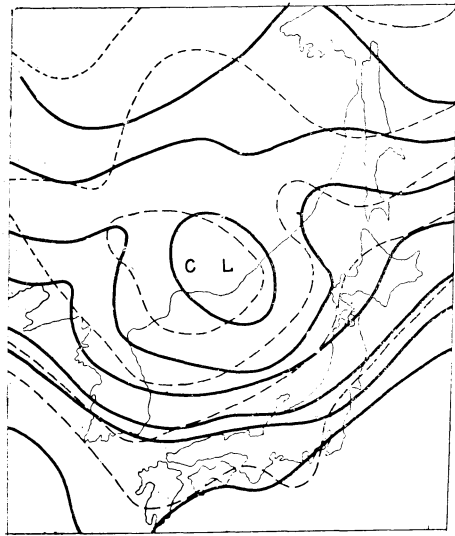
6月27日03時には、切びこの寒冷谷の前面に位置して

いる能登半島西方海上に気圧下降域が発生し、次第に東進して、09時には、富山湾に1004mbの低気圧を発生させた。低気圧が発生すると同時に、その後面は、気圧上昇域になって、前面の気圧下降域と共に東北方に進行して行った。(第10図～第12図)

この場合のこの cold dome の構造をみるために、第13図～第20図までに、前線の contour chart 及び南北高層断面図が示されている。この cold dome は、背が高いということ、水平の温度傾度の大きい点の南端を連



第21図 21h, 26th, June, 1961. 300mb.

第23図 09h, 28th, June, 1961. 300mb.
第21図～第23図 300mb 天気図。実線は等
圧線、点線は等温線を示している。

第22図 21h, 27th, June, 1961. 300mb.

ねて定義した前線の高さに伴う傾斜が極めて大きいとい
うことが見られる。特に 300mb 以上では、著しい寒冷
渦になっていることが明らかである。このことは、300
mb の天気図上でも明らかである。特に 500mb では消
滅したようにみえている27日～28日には、縁辺の切離高
気圧の発生によって、寒気のドームの「島」はさらに明
らかになっている。この寒気のドームは、背が高く維持
されていたということ、すなわち、直接循環による寒

気の沈降が弱かったことが示されている。これは、す
でに述べたように、閉塞低気圧によるこの切離渦の間接循
環によると思われる、再生後は、直接循環による寒気の沈
降に伴う切離渦の衰弱が徐々にあったということに対応
している。閉塞に伴って、低気圧の下層を満たした寒気
がさらに南下して行くという過程ばかりではなくて、こ
のように、全対流圏にわたって、寒気が閉塞後南及び東
方へ流れるということは、この際特に注目すべき現象で
あると思われる。閉塞によって低気圧の下層の寒気の領
域が次第に拡って行くと同時に、上層の切離低気圧が間
接循環によって強化され、維持の時間が増大して厚い気
層にわたった寒気は、その後更に、ゆっくり南下及び東
進し、同時に、これに伴う上層の谷が出来てしかも、
その上層の谷の下は寒冷型高気圧であったということが
この場合に見られたことである。

この寒冷渦が南に次いで北東進して、動いて行ったの
に対応して、本邦付近の寒冷渦の気圧、気温場は変動し
て行った。27日09時には、500mb において、日本海
中部に弱い気圧の谷が発生した。それはその下の 700mb,
850mb, 地上には低気圧としてあらわれていた。この気
圧の谷は、寒冷渦からの寒冷谷の前面を北東進して、28
日09時には、北海道の北のオホーツク海沿岸に達した。

(第9図)

(3) 寒冷渦と雨域

寒冷渦の前面に雨域が発生し発達するという現象は、此の場合にも見られた。6月15日に切離される前に、既にその前面の95°E-105°E, 50°N付近に弱い対流性の降雨域があらわれ始める。16日にも続いていた。17日以後には低気圧が形成されてそれに伴って、切離渦の前面の雨域は移動した。第一次の閉塞によって19日には雨域は強度も、またその振りも増して、発達していた。

20日21時には、主に縁辺に移動して、低気圧の中心付近にわずかの雨域が残った。700mb以下の低気圧の閉塞による塞気の下層での溢出に伴われて、縁辺に雨域が移って行ったよう見られる。21日には、縁辺の雨域は弱まったが、閉塞低気圧の中心付近は、その背後の別な寒冷渦の接近につれて西の方え振りを増した。22日には、低気圧中心域では、雨は上り、縁辺においてもわずかの雨域が残されていただけであった。(第3図)23日には、日本海の寒冷谷の発達に対応して、その前面に著しい雨域が拡った。(第4図)それ以後、二つの寒冷渦の縁辺に生じた降雨域は、継続して26日に至った。(第5図~第7図)27日以後は低気圧に伴って移動し、顕著になった寒冷前線に沿って、細長く南北に伸びて雨域が、それに連っていた。23日以後の降雨域の推移は Yi-Ping Hsieh⁴⁾によって報告されているアメリカにおける寒冷渦に伴った降雨域の推移の例、またそれと似ている23日以前のこの場合の寒冷渦の降雨域の推移と比べて、より寒冷渦の縁辺に伸びて居り、渦の中心付近の前面はむしろ天気よくなっているという点が著しい特徴であった。この縁辺は、主要極前線域になっており、その北側に主に雨域が拡って居た。この雨域の北側の部分は寒気の上昇による寒気団降雨であり、南側の部分は寒暖両気団の上昇の気流混合型もしくは、暖気團の上昇による一応考えることは出来るけれども、力学的な解析による結論は、将来にまっことにして、こゝでは北側には、寒気團の降水があったように見えるということだけに止めることにする。

3. 結果の考察

上層の寒冷渦の生涯について、多くの説明すべき現象が残されていることは云うまでもないことである。例えば、切離過程、寒冷渦の衰弱、発達移動、寒冷渦の間接循環、地表面の天気現象との関連性—低高気圧との関係、降雨との関係—等々が挙げられるであろう。こゝでは、上にのべた現象の中、主に36年6月27日09時頃より

始った低気圧形成について考察を加え、又降雨との関連性について若干考察を加えてみることにする。他の問題に関してのさらに進んだ解析や考察は、将来に委ねることにしたい。

(1) 低気圧形成について、

p 一面における傾向方程式をかくと

$$\left(\frac{\partial p}{\partial t}\right)_{1000} = \int_{1000}^{100} \frac{R}{p} J(z, T) dp - \int_{1000}^{100} \omega \frac{\alpha}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial p} \dots \dots \dots (1)$$

となる。今、

$$\omega \frac{\alpha}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial p} = \frac{\bar{\alpha}}{\theta} \frac{\partial(\omega\theta)}{\partial p} - \bar{\alpha} \frac{\partial \omega}{\partial p}$$

とにおいて、1000mb及び100mbにおいて $\omega=0$ と仮定すると、

$$\left(\frac{\partial p}{\partial t}\right)_{1000} = \int_{1000}^{100} \frac{R}{pf} J(z, T) dp \dots \dots \dots (2)$$

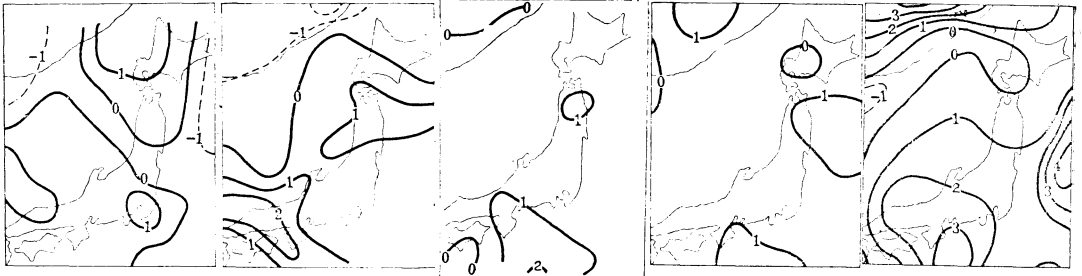
とかくことが出来る。こゝに

$$J(z, T) = \left(\frac{\partial z}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial y} - \frac{\partial z}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial x}\right)$$

であり、 $f=2\omega \sin\phi$ である。これらの式の詳しい議論は他の論文に譲ることにして、こゝでは触れないことにする。26日21時~27日21時の期間に於ける、1000, 850, 700, 500, 300mbの各面に於ける300軒の格子間隔で計算した $\frac{R}{pf} J(z, T)$ 即ち傾圧性の分布を第24図~第40図に示してある。又(2)式で計算した地表面の気圧変化傾向が、第41図、第43図、第45図、又実測の三時間気圧変化の一時平均値が第42図、第44図、46第図に示されている。これらの図は、26日21時に始った上層の寒冷渦の著しい移動に伴う、上層の傾圧性の著しい増大が、地表面、700, 850mbの低気圧及び500mbの波長の短い低気圧波を発生発達させたということを示している。この渦が如何にして移動したかという問題はまた将来に残されている問題であり、それがまた移動に伴う傾圧場の変化を説明することにもなることと思われる。また極前線帯におけるこのような、極めて厚い層にわたる寒気の溢出という現象及び、その後の寒冷気団の変質がどうなるかということについては、さらに多くの資料にまちたいと思うものである。

(2) 寒冷渦と降雨域

断熱変化の式より、



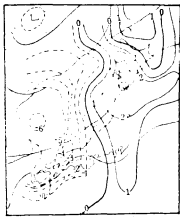
第24図 21h, 26th, June. 1961. 300mb

第25図 21h, 26th, June. 1961. 500mbs.

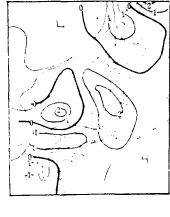
第26図 21h, 26th, June. 1961. 700mb.

第27図 21h, 26th, June. 1961. 850mb.

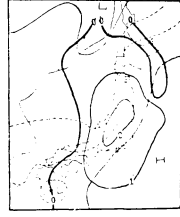
第28図 21h, 26th, June. 1961.1000mb



第29図 9h, 27th, June, 1961 300mb



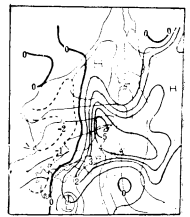
第30図 9h, 27th, June. 1961 500mb



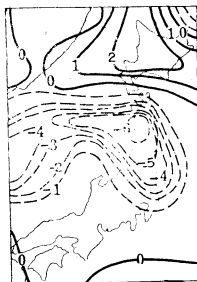
第31図 9h, 27th, June. 1961 700mb



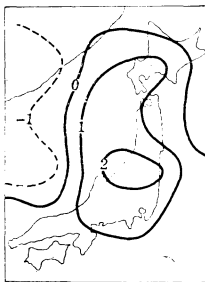
第32図 9h, 27th, June. 1961 850mb



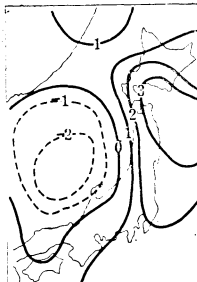
第33図 9h, 27th, June. 1961 1000mb



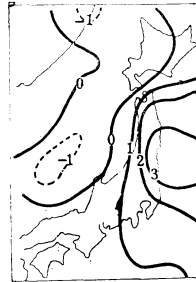
第34図 21h, 27th, June. 1961. 300mb.



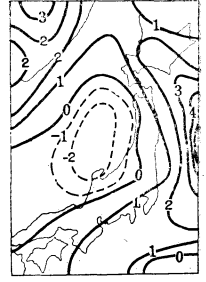
第35図 21h, 27th, June. 1961. 500mb.



第36図 21h, 27th, June. 1961. 700mb.



第37図 21h, 27th, June. 1961. 850mb.



第38図 21h, 27th, June. 1961.1000mb.

第24図～第40図 傾圧性 $V \cdot \nabla T$ を示す。数字の単位は $0.3^\circ\text{C}/\text{sec} \times 10^{-4}$ である。

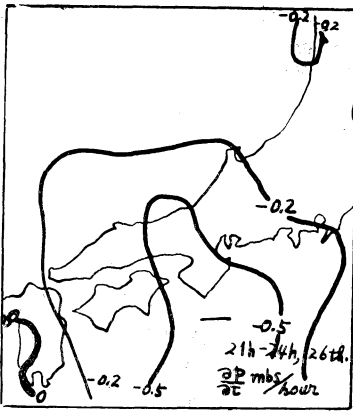
$$\omega = -\frac{1}{S} \left\{ \frac{\partial T}{\partial t} + V \cdot \nabla T \right\}$$

とかくことが出来る。 $V \cdot \nabla T$ の分布図より、寒冷渦の前面の cyclogenesis の生ずる部分は、 $\{V \cdot \nabla T\} > 0$ であった。(2)式より $\nabla P < 0$ であるので、それは、地表面気圧下降域を生じた。 $S < 0$ なので、このような降雨域は、 $V \cdot \nabla T$ による上昇気流域と略一致していることが見られる。従って上層の寒冷渦の前面に生ずる雨域は、cyclogenesis と同じ原因によって生じていることが推論され、かつ、雨域と cyclogenesis との一致を説明されることが出来る。しかしながら、量的には、 $\frac{\partial T}{\partial t}$ の分布及び大きさが問題であって、このような部分では $\frac{\partial T}{\partial t} > 0$ であって $|V \cdot \nabla T| > \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)$ ならば、この領域では、下降気流になる筈であり、 $\frac{\partial T}{\partial t} < 0$ ならば、上昇気流はさら

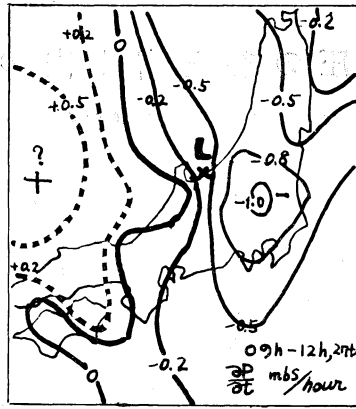
に増大してあらわれることになる筈である。 $\frac{\partial T}{\partial t}$ の項の近似計算による垂直気流及び垂直流と降水との関係については、今後の解析にまつことにして、ここでは現象的に 850mb と 700mb の $V \cdot \nabla T$ によって期待される上昇気流域が実際の雨域とほぼ一致しているのが見られたということを指摘することに止めることにする。

4. 結 語

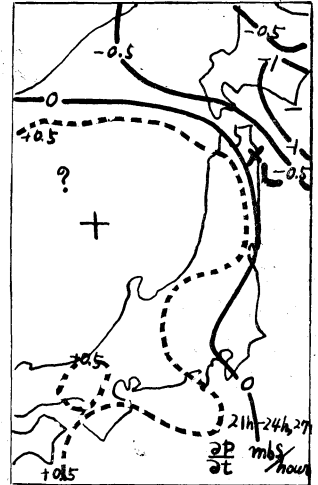
この論文においては、36・6 豪雨の際に現われた一つの上層の切離渦の生涯を記述して、若干の解析を付け加えて、寒冷渦が作り出す前面の力学的な場が、降雨域及び cyclogenesis 域を伴うことを示そうとした。また寒冷渦の前面に生ずる傾圧性が、これらの地上の現象を生ずるのに有利な役割を占めていることを示した。すでにのべた通りに、この現象は、さらに多くの将来の問題点



第39図 (Observed)

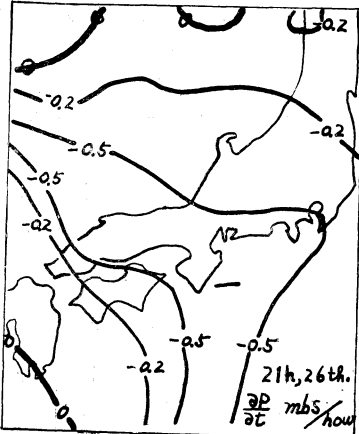


第41図 (Observed)

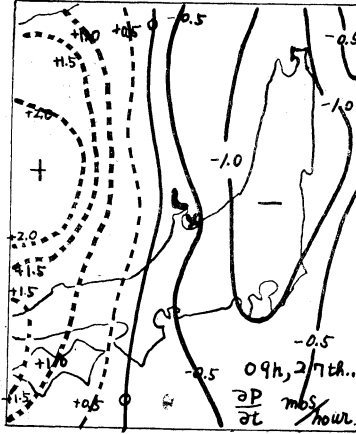


第43図 (Observed)

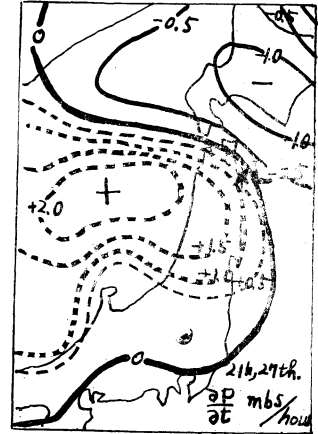
生ずるのに有利な役割を占めていることを示した。すでにのべた通りにこの現象は、さらに多くの将来の問題点



第40図 (Calculated)



第42図 (Calculated)



第44図 (Calculated)

第41図～第44図 実測及び計算気圧傾向。

を提出していることは、言うまでもない。その意味も含めて、序報としてここに主として現象の記述と、問題点を提出して将来の解析を進める方向を報告した次第である。終りに資料の整理、計算及び製図に当って載いた林日奈子氏にあつく謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 昭和36年全国予報検討会資料, 36・6 豪雨の検討の資料.
- 2) 昭和35年全国予報検討会資料, 降水予報分科会資料.
- 3) Palmén, E., 1951: The Aerology of Extratropical Disturbances, Compendium of Meteorology, 600-620.
- 4) Hsieh, Yi-Ping, 1949: An Investigation of a Selected Cold Vortex over North America,

Journ. Met. 6, 401-410.

- 5) Riehl, H., and Teweles, S., Jr., 1953: A Further Study on the Relation between the Jet Stream and Cyclone Formation, Tellus, 5, 66-79.
- 6) Riehl, H., Alaka, M.A., Jordan, C.L., and Renard, R.J., 1953: The Jet Stream, 38-45. (The Bureau of Aeronautics and the University of Chicago)
- 7) Saylor, H.K., and Caporaso, R.J., 1958: Development of a Large-Amplitude 500-MB Trough in Western United Surface Cyclogenesis, Nov. 13-18, 1958, Month. Weath. Rev. 86, 447-456.
- 8) Mohri, K., 1956: An Aerological Study of Heavy Rainfall over West and Central Japan during Early Summer, Journ. Met. Soc. Japan, 34, 244-253.