

## 山陰沖で発生・発達した 典型的な渦状じょう乱

村松照男\*

### 1. はじめに

気象衛星写真で見る冬の日本海上には、北は北海道西海岸沖から南は山陰沖まで、直径 20 km くらいから数百 km にも及ぶ渦状雲がしばしば現われる。この渦状雲は、北陸沿岸のレーダサイトで渦状エコーとして観測され、渦状のじょう乱に伴うものとして解析されている (Miyazawa, 1967)。

昨年(1978)の2月、典型的な渦状雲の発生から消滅までの過程を、GMS “ひまわり” で捕えることに成功した。3時間間隔の画像および赤外放射温度データから、発生・発達・消滅過程を定量的に追跡できたので、松江レーダエコーの解析を含め報告する。

### 2. 渦状雲の発生・発達

写真1は、1978年2月16日15時(渦状雲付近を撮影した時刻は14時38分(0538Z))の可視画像である。この渦状雲はGMSで観測されたなかで最も典型的なものである。渦の中心には直径約20kmの明瞭な眼がみられる。スパイラル状の雲バンドが北側から低気圧性に巻き込んでいて、直径は500kmを越えており、中規模の渦状じょう乱の特徴を呈している。同時刻の松江レーダでもレーダサイトの西南西約110km付近にエコーのない領域(おそらく写真1に見る眼に相当)があり、それを取り囲むドーナツ状のエコー域と北側のスパイラル状のエコーが観測された。ともにエコー頂は3kmを越える対流セルを含む発達中の渦状エコーと考えられる。

写真1と同時にGMSが測定した赤外放射温度( $T_{BB}$ : blackbody temperature)分布図を第1図に示す。 $T_{BB}$ を画素ごとにラインプリンターに打ち出したもので、図の左上の表に記号・温度の対応を示してある。 $T_{BB}$ は、雲の射出率を1と仮定すると雲頂温度となる。第1図の雲は主として対流雲であり、射出率はほぼ1と見なしてよい。状態曲線がわかれば温度・高度変換を行ない雲頂

高度が得られる。写真1で見られる眼の部分は、この図では $-5^{\circ}\text{C}$ ないし $-10^{\circ}\text{C}$ 、これを $-30^{\circ}\text{C}$ 以下の領域がドーナツ状に取り巻き、さらに $-20^{\circ}\text{C}$ 以下の帯状の低温域がスパイラル状に北を廻ってのびており、写真1の雲分布とよく対応している。

この渦状雲の初期の発達は急激なものであった。写真2は、16日0028Zであるが、まだ閉じた低気圧性循環はなく、低気圧性曲率をもった積雲のラインが放射状に分布しているだけで、雲頂温度( $-20^{\circ}\text{C}$ )から推定した雲頂高度も2.7kmと比較的低く、第2図の松江レーダのエコースケッチでもエコーは渦状の形を示していない。3時間後の写真3(0323Z)では、写真1と同様に眼とスパイラル状の腕をもつ典型的な渦状雲となっている。しかし、この時刻から23分前のレーダ観測ではまだ明瞭な渦状パターンは観測されておらず、低気圧性循環の形成が急激に行なわれたことがわかる。0435Zのレーダ観測では、松江南西130kmに循環中心をもつ渦状エコーが明瞭となった(第2図)。次に、このあとの経過をも含めて渦状雲の発達・衰弱を $T_{BB}$ (赤外放射温度)デジタルデータで定量的に見てみよう。

### 3. $T_{BB}$ から見た渦状雲の発達・衰弱

第2図は、第1図と同様の $T_{BB}$ 分布の変化をエコー分布の変化と対応させて示したものである。この $T_{BB}$ 分布図では、見易くするため、 $T_{BB}$ が $-20^{\circ}\text{C}$ 以下の領域のみを示し、さらに $5^{\circ}\text{C}$ ごとに符号を変えてある。0323Zでは、低気圧性循環が明瞭化し、渦状雲の形態となったが、まだ $-30^{\circ}\text{C}$ 以下の領域はない。0538Zでは、眼とそのまわりのドーナツ状の低温域およびスパイラルバンドが現われた。写真1はこの状態である。0838Zでは、 $-40^{\circ}\text{C}$ 以下の領域(雲頂高度にして約5km)が一部現われ、全体として雲頂温度が低下し、この傾向と渦状の形態は1138Zの観測まで続いた。この間の松江レーダエコーの変化を見ると、0435Zに渦状エコーとな

\* T. Muramatsu, 気象衛星センター解析課。

り、エコー頂は 2~2.9 km であった。エコー頂は次第に増加し、06Zには 3~3.8 km となった。09Zでは、眼を中心に円形に近い渦状エコーの形態を示し、エコー頂も中心を取り巻くところで 5.0 km まで発達した。形状・雲頂高度とも最盛期を迎えている(第2図)。このあと、12Zまでは強いエコー域(黒塗り領域)は増大するが、渦状エコーの形態としては10~11Zが最盛期と見られ、13Z以後は急速に組織的でなくなった。GMS の  $T_{BB}$  分布で見ても明らかなように、1138Z観測のものがこの渦状雲の最も発達した形態を示している。1538Zでは、渦状雲の形態が崩れて北東部分と南西部分とに分裂し、1738Zでは急速に  $-20^{\circ}\text{C}$  以下の低温域の面積が減少し、21Z(図省略)には消滅した。寿命は約15時間であった。

この発達・衰弱過程を、 $T_{BB}$  データの  $-20^{\circ}\text{C}$  以下、 $-30^{\circ}\text{C}$  以下、 $-40^{\circ}\text{C}$  以下の領域の面積変化で示したのが第3図である。第2図の分布形態の変化と合わせて見ると次のことが明らかである。渦状雲が発生し、写真1, 3のように閉じた低気圧性循環が形成されると、渦状雲は急速に雲頂温度が低く(雲頂高度が高く)なり、低温域が拡大する。下層の収束、上層の発散に伴うものと考えられる。 $-20^{\circ}\text{C}$  以下の領域(以下、 $-20^{\circ}\text{C}$  領域と呼ぶ。他の温度でも同様)の拡大率は、発生・発達初期の0023Zから0538Zでは  $1.9\text{ km}^2/\text{sec}$  であったが、その

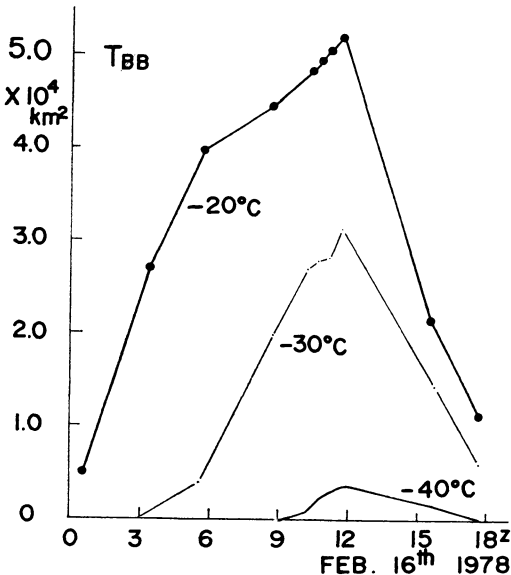
後は約  $1/3$  の拡大率となった。一方、 $-30^{\circ}\text{C}$  領域の拡大率は0538Zから1138Zまで  $1.3\text{ km}^2/\text{sec}$  であり、渦状雲全体としては発達期間を通じた拡大率が同じオーダーである。この  $-20^{\circ}\text{C}$ 、 $-30^{\circ}\text{C}$  領域の拡大は、次のように考えられるだろう。

$T_{BB}$  は射出率が1に近い場合は雲頂温度に相当することは先に述べたが、濃絹雲の場合も射出率が1に近い。写真1~3を通して見ると、渦状雲の発生前である0028Z(写真2)の可視画像に比べ、発生直後の写真3では、渦状雲を構成する対流セルの上端から明瞭な濃絹雲が吹き出しており、写真1も同様である。すなわち、 $-20^{\circ}\text{C}$ 、 $-30^{\circ}\text{C}$  領域の拡大は、第1の原因としては、積雲対流の活発化によって雲頂高度が全体として高くなるためであり、第2の原因としては、活発化した対流雲の上端から吹き出す濃絹雲が渦状雲全体として広がったためと考えられよう。米子の高層データによれば、16日00Zには約 3 km 付近、12Zには約 5.3 km 付近に明瞭な安定層が存在しており、じょう乱の上端に“ふた”をした状態となっている。16日00Zではこの安定層下端の温度は  $-24^{\circ}\text{C}$ 、09Z頃には  $-32^{\circ}\text{C}$  であり、0023Zから0538Zにかけての  $-20^{\circ}\text{C}$  領域の拡大は安定層直下を水平に拡大する積乱雲とその吹き出しの濃絹雲の水平発散を示していると考えられる。09Zの安定層下端温度が  $-32^{\circ}\text{C}$  であるので、06Zから12Zにかけての  $-30^{\circ}\text{C}$  領域の拡大も、渦状雲上端からのじょう乱の水平発散と考えられる。

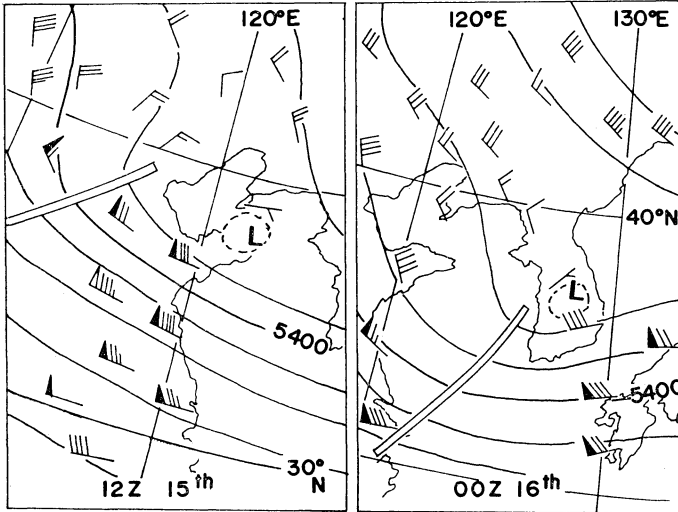
上述の拡大率、 $1.9\text{ km}^2/\text{sec}$  は、領域の面積  $A$ 、 $\delta t$  時間後の面積の変化量を  $\delta A$  として、

$D=1/A \cdot \delta A/\delta t$  で与えられる水平発散で表わすと、 $1.1 \times 10^{-4}\text{ sec}^{-1}$  となり(領域  $A$  は03Zで  $100 \times 150\text{ km}$  と仮定)、中規模じょう乱の下層収束のオーダー( $10^{-4}\text{ sec}^{-1}$ )である。09Zの  $A$  はレーダエコー、衛星写真より  $150 \times 180\text{ km}$  とし、発散量を求めると、 $0.48 \times 10^{-4}\text{ sec}^{-1}$  となった。上層発散量は、渦状じょう乱の初期の発達期には  $10^{-4}\text{ sec}^{-1}$  を越す。最盛期に近づくこの値は減少傾向となるが、最盛期まで持続的に発散を示している。

この渦状雲は1008Zには  $-50^{\circ}\text{C}$  領域が現われ、この最低温域は1138Zまで拡大し、第3図でも明らかなように、雲で見ると1138Z頃が最盛期である。レーダエコーでは、前述のごとく10Zから11Zにかけてがエコーの渦状形態から見て最盛期であると考えられ、雲システムとレーダエコーとの差がある。発生・発達初期は雲のほうが先行し、最盛期から衰弱期にかけては雲がエコーより



第3図  $T_{BB}$   $-20^{\circ}\text{C}$  以下、 $-30^{\circ}\text{C}$  以下、 $-40^{\circ}\text{C}$  以下の領域の時間変化。



第4図 500 mb 天気図. 2月15日 12 Z, 16日 00 Z, 白二重線はトラフの位置を示す.

遅れているのが注目される。

#### 4. 小寒冷渦と渦状じょう乱の発生・発達

この渦状雲の発生・発達には、500 mb 面で追跡できる上層の小寒冷渦が関係していると考えられる。第4図で見ると、15日12Zには山東半島付近に、16日00Zには朝鮮半島南部に、閉じた破線で示した小寒冷渦があって東南東に進行している。16日12Zには米子のすぐ西に進んできている。このような小寒冷渦は500 mb面の強風核の北側の弱風域に見られる場合が多く、高層観測網が好条件の場合にのみ検出される。一般には、単なる風系の乱れのような循環として現われる場合が多く、この事例でも60 m 毎の等高度線では閉じた低気圧として解析されない。この小寒冷渦は、米子の高層シーケンスで見ても6~12時間の乱れを伴うじょう乱であり、水平スケールは1,000 km 程度と見られる。北海道地方でもこの種の小寒冷渦の通過で中規模じょう乱が発生し、日降雪量で1 m を越す集中豪雪がもたらされている(村松, 1976)。

第4図にみられるような小寒冷渦を総観規模場の中の

微細構造と考えると、数百 km スケールの渦状じょう乱の急激な発生・発達過程と関連しているように思われる。しかし、まだ観測網の時間的空間的粗さから充分な因果関係は解明されていない。

#### 5. あとがき

GMS の赤外放射温度データ ( $T_{BB}$ ) の定量処理を行なうことにより、明瞭な構造のじょう乱において、発生発達を定量的に議論できることが明らかになった。しかし、じょう乱に伴う雲の雲頂温度が解析の主体となるので、その雲より高高度の雲(主として網雲)からの妨害を除去しなければならない点に問題が残る。

#### 文 献

- Miyazawa, S., 1967: On vortical mesoscale disturbances observed during the period of heavy snow or rain in the Hokuriku district, *J. Met. Soc. Japan*, 45, 166-176.
- 村松照男, 1976: 石狩湾小低気圧による大雪, 札幌気象100年記念論文集, 31-47.