若狭湾沖で発達する渦擾乱について

落合 弘明*

Study on the Vortical Disturbance off Wakasa Bay

H. Ochiai

Abstract

For the purpose of prevention of shipwreck, especially small vessel, I studied some vortical disturbance off Wakasa Bay using the PPI scope photographs taken at Fukui radar site during the special co-operative observation for heavy snow fall in Hokuriku district from Jan. 18 to 22 1966.

Namely, first I attempted to catch the dynamic developing and moving of vortical disturbance by Fujita's Cine-Meteorology technic with 8 mm cine-camera.

Next, I investigated meso-scale structure of vortical disturbance by using the surface meteorological elements and, conversion method of aerological data from thier time change to space change.

1. ま え が き

fig 1

PPI scope phtograph taken at Fukui radar site.
Jan. 22 '66 (09h JST)

fig 2

PPI scope photograph taken at Fukui radar site.
Jan. 18 '66 (18h JST)

* 鳥羽商船高等学校 (三重県鳥羽市池上町1番1号)

集中豪雨, 集中豪雪など局地的な気象現象のレーダ観測によれば, しばしば直径50 km前後の渦状エコーが発見され, 最近では Mini-cyclone と呼ばれるようになった。我が国においては日本海沿岸地域における発生が多く, 富山・新潟沿岸に発生するものについては, 新潟(弥彦山)レーダを利用して宮沢(1)が詳しい解析を行っている。

筆者は, 昭和40年度北陸豪雪共同観測に際して, 福井(東尋坊)レーダが観測し, 長尺フィルムを使つて連続撮影を行った(期間は昭和41年1月18~23日)資料を基に, 冬型気圧配置出現時における山陰沖に発生して福井・石川地方に達する擾乱の Cine-meteorology 方式による解析を試みた。総観天気図に現われないこの種の擾乱については海上予報の面でも今後重要視しなければならない問題の1つであるように思われる。(fig 1・2・3 参照)

fig 3
Surface weather map. Jan. 22 '66 (09h JST)

2. Cine-meteorology方式

この写真解析法はシカゴ大学の Fujita によつて開発され主として A T S (静止衛星) 写真の解析に利用されているもので, 筆者はこれをレーダ写真の解析に応用したわけである。長尺フィルムによつて連続撮影したレーダ写真のうち, 渦状エコーが出現しているものをアニメーション方式を使つて8ミリ映画に収録し, 更にこの方法を数回繰返すのである。

各レーダサイトにおいては一定時間(ふつう30分毎)にレーダ写真が撮影されているが, 16ミリあるいは8ミリによるコマ落とし映画は常時撮影されていないのでレーダ解析にはこの方法が極めて便利である。

3. 山陰沖に発生する渦擾乱について

豪雪共同観測中に出現した渦擾乱を200 Kmレンジで観測した結果次のことが判明した。

3.1 発生地域

渦状エコーは丹後半島沖合でその渦状が一層明瞭となるが, 擾乱そのものは松江レーダによつても視認されていることから山陰沖すなわち地蔵崎一経ヶ岬間で発生し, それが丹後半島沖合で成長する。これは同海域が風の水平速度シャーを増大させるのに都合がよい地形であることが影響しているわけで, エコーセルの動きから推定すると経ヶ岬付近と同岬沖合20 Km付近では極めて大きな水平速度シャーがあることが判る。(fig 4 参照)

3.2 径路

傾角35度の対数らせんによりエコーセルを追跡すると, fig 4に示したようにメアンダシ乍ら移動することが判る。宮沢(1)が指摘したようにらせん状態が一段と明瞭となる場合径路は右偏する傾向が強く, Fujita(2)の渦回転とその径路についての理論を満足させる。1月22日09時に渦状エコーは一段と明瞭となつたがこのときその径路は右偏し, おなじく11時30分にもこの現象が

見受けられる。反対に10時に左偏したのは丹後半島に接近してその影響が出たことおよび12時に左偏したのもおなじく陸地に接近し過ぎて渦回転が弱まることに起因している。すなわち左偏しているのはあくまでも見かけ上のもので渦回転が弱まるにつれ径路の右偏度合が小さくなるのに過ぎない。

3.3 移動速度

渦擾乱が非常に明瞭となった丹後半島沖合から上陸して埋積するまでの移動速度を見ると、1月18日、21日および22日に発生したものはいずれも15~40Kmで移動している。そして渦状態が明瞭となる丹後半島沖合および上陸地点付近では15Km前後と非常に遅いのに対し途中では40Kmに達している。(fig 4 参照)

3.4 渦擾乱の持続時間

宮沢(1)は富山・新潟地方に達するものは発生から消滅まで1時間半前後が多いと述べたが、本調査でとりあげたものは2時間半から8時間と比較的持続時間が長い。しかもこの時間は渦擾乱が明瞭になった時以降のものであるからそれ以前の時間を加えればかなり長時間に達することが判る。

4. 渦擾乱のメソ解析

fig 3 に示したように渦擾乱発生時の総観的な気圧配置は冬型であり、これから擾乱の存在をつきとめることはできない。従つてレーダ写真、高層資料および地上資料を基にメソ解析が必要となる。

4.1 地上解析

A 気温

金沢から小浜間のイソプレットを画き、1月22日の渦擾乱を解析すると、中心付近の気温は 1°C となつており渦の外側の気温 0.5°C との間 1.5°C の温度差がある。温度傾度は渦の前面が大きく後面は比較的ゆるやかであることが判つた。(fig 5 参照)

B 気圧

気圧の変化量を前後3時間の移動平均値からの偏差として求めると13時に福井付近に最大値が検出される。最大偏差量は -5mb で、 -4mb の範囲は小松・細呂木の間から敦賀にまで達している。(fig 6 参照)

fig 4

Track of vortical disturbance. Jan. 22 '66

fig 5

Time-isopleth of temperatur (solid line) and snow fall depth (dash line). Shaded area show warm sect of disturbance. Jan. 22 '66 (09-17h JST)

C 風向

13時を境いに小松の風向が反転しているのに対し福井の風向に変化が見られないことから渦擾乱の中心は福井の北方を通過したことが推定されるがレーダによる追跡では中心は福井の南方を通過していることに注目しなければならない。(fig 6 参照)

D 風速

中心通過前にくらべて通過後が増大しており、中心より20~40Km間が特に強くなっている。(fig 6 参照)

E 流線

地上観測点における観測値と、レーダエコーを重ねたコンポジットマップを画くと、流線とエコーがよく対応していることが判る。

すなわち西郷・鳥取・舞鶴・敦賀・福井の順に風向を見ると明らかに反転しており渦擾乱の存在を物語っている。fig 7・8 参照

4.2 高層解析

Tatehira(3), 島田(4)の例にならい、高層観測値の時間変化を空間変化に変換する方法をとることによりまばらな高層観測点を補った

メソ解析が可能となる。まず輪島・米子の2高層観測点におけるゾンデ資料により1月18日~22の風向、風速および気温の時間等値線を描き、それから補間法によつて毎時の値を読み取れる。風向については700mb面においては輪島は南分の風となつていのにに対し米子は北分の風となつてい。22日09時頃は300~500mb間は輪島・米子共に北分の風となつてい。風速について

fig 6

Deviation of pressure against 3-hourly transfer mean. shaded area show the deviation less than 1 mb. Jan. 22 '66 (09-17h JST)

fig 7

Stream line on mesoscale. Shaded area indicate spiral radar echo. Jan. 18 '66 (18h JST)

fig 10

Time-isopleths of wind-velocity on aerological data. Jan. 18-22 '66

A 断面解析

輪島・米子の2高層観測点資料からその中間の補間が可能となる。この場合輪島・米子両地点の観測値にかなりの差があるが、中間点はいずれも海上であるところから補間法を採用し、輪島・米子における時間等値線から毎時の断面解析が可能となるから、その中間点B・C・D列についての推定値が算出できる。この場合中間資料の不足からある程度の主感が入るのは止むを得ないが、層別解析・発散解析・渦度解析などが容易となり極めて便利である。(fig 12・13・14・15参照)

B 層別解析

fig 12によつて擾乱の移動方向に沿つた各列各点の値が読み取れるからこれに基く各成層のメソ解析が可能となる。

a 風向

850m b面では米子からB・C列付近が西寄りとなつていゝのに対し輪島付近は310度と北寄りとなつていゝ。700m b面では逆に輪島からD列付近が南分の風となつていゝ。500~300m b面では米子・輪島間はいずれも280度前後となつていゝ。すなわち渦擾乱発生時には下層の風が収束しやすい状態となつていゝ。(fig 16参照)

b 風速

850m b面では渦擾乱の南側で風速が大きいのに対し700m b面ではわずかではあるが輪島寄りの風速が大きくなつていゝ。

fig 11

Time-isopleths of temperature on aerological data. Jan. 18-22 '66

fig 12

Conversion of aerological data from time change to space change.

fig 13

Cross-section analyses of wind-direction on mesoscale. Jan. 22 '66

fig 14

Cross-section analyses of wind-velocity on mesoscale. Jan. 22 '66

fig 15

Cross-section analyses of temperature on mesoscale. Jan. 22 '66

fig 16

Wind-direction analyses on mesoscale. Jan. 22 '66 (09h JST)

500~300m b面ではいずれも米子寄りの風速が大きい。(fig 17参照)

fig 17

Wind-velocity analyses on mesoscale. Jan. 22 '66 (09h JST)

fig 17

Wind-velocity analyses on mesoscale. Jan. 22 '66 (09h JST)

C 気温

850~700m b間は渦擾乱付近は暖域となつているのに対し500~300m b間は寒域となつてい
る。すなわち下層から中層にかけて暖気、それ以上は寒気という成層状態となつてい
る。このことは擾乱を持続するのに極めて都合がよいわけである。(fig 18参照)

fig 18

Temperature analyses on mesoscale. Jan. 22 '66 (09h JST)

5. 力学的考察

fig 19

Horizontal divergence (left), vorticity (right) calculated from surface wind.
Shaded area indicate spiral radar echo. Jan. 22 '66 (13h JST)

fig 20

Horizontal divergence on mesoscale. Jan. 22 '66 (09h JST)

5.1 地上発散解析

15Kmのこうし間隔で地上風から収束・発散を計算すると、fig 19に示すようにエコーと収束分布はかなり一致している。(22日13時)

5.2 渦度

おなじく15Kmのこうし間隔で渦度を求めるとfig 19のようになる。

5.3 高層発散解析

fig 12を用いて rectangle methodにより発散の層別解析を行うとfig 20のようになる。発散は 10^{-4} のオーダーで計算されるが、850mb 面では渦擾乱付近に収束域が見受けられるが700mb 面では発散域となつている。そして500~300mb の間では収束域となっており、特に300mb 面では収束域が広範囲に拡がっている。この結果渦擾乱はそれ程背の高いものでないことが判明する。北陸における豪雪時の発散鉛直分布は強い下層収束、中・上層での発散が指摘されているがこれと全く一致した結果となつている。

5.4 循環

単位時間内のエコーセルの動きから低気圧性循環を取り出すことができるから、循環(C)、絶対循環(Γ_a) および平均渦度(ζ) が算出される。

$$C = 2\pi\gamma\nu_\theta$$

$$\Gamma_a = 2\pi\gamma(\nu_\theta + \omega r \sin\varphi)$$

$$\zeta = 2\pi\gamma \nu_\theta / \pi r^2$$

式を用い

$$(a) \quad \gamma = 10\text{km} \quad \nu_\theta = 5 \text{ m/Sec}$$

$$(b) \quad \gamma = 15\text{km} \quad \nu_\theta = 5 \text{ m/Sec}$$

$$(c) \quad \gamma = 20\text{km} \quad \nu_\theta = 3 \text{ m/Sec}$$

を与えると、

$$(a) \quad C = 31.4 \times 10^8 \text{ cm}^2 \text{ Sec}^{-1}$$

$$\Gamma_a = 34.1 \times 10^8 \text{ cm}^2 \text{ Sec}^{-1}$$

$$\zeta = 10^{-3} \text{ Sec}^{-1}$$

$$(b) \quad C = 47.1 \times 10^8 \text{ cm}^2 \text{ Sec}^{-1}$$

$$\Gamma_a = 51.1 \times 10^8 \text{ cm}^2 \text{ Sec}^{-1}$$

$$\zeta = 7^{-3} \text{ Sec}^{-1}$$

$$(c) \quad C = 37.7 \times 10^8 \text{ cm}^2 \text{ Sec}^{-1}$$

$$\Gamma_a = 43.1 \times 10^8 \text{ cm}^2 \text{ Sec}^{-1}$$

$$\zeta = 6^{-3} \text{ Sec}^{-1}$$

となり、宮沢が解析した渦擾乱に比較してやや規模が小さいことが判る。

6. ま と め

石狩湾小低気圧、北陸小低気圧をはじめとして渦擾乱に関する研究調査は各方面で行われている。これらの研究はいずれも豪雨、豪雪といった防災的見地から究明されているが、小型船舶に対する海上予報の面でも今後の継続調査が必要である。1月22日に発生した渦擾乱は、移動速度、気圧変化量から計算すると気圧傾度は3.2mb/111kmでそれ程大きいとはいえないが渦擾乱である限りその通過の際には、海上においてはかなりの気象変動があるものと思われる。レーダを装備しない小型船舶の降雪による視程障害に基く海難発生を防止する意味においてもその動静

を注目しなければならない。船舶運航者も風の水平速度シヤーが大きくなるような地形付近を航行する場合には、気圧配置、大気の成層状態を把握して渦擾乱の発生を考慮しなければならない。本調査に当って御便宜をはかつて頂いた福井地方気象台・鈴木要技術係長、討論して頂いた気象庁・島田守家、宮沢清治両予報官、気象大学校・瀬下慶長助教授、特に御指導願った気象庁・土屋清予報官それに来日毎にわざわざ面接の機会を与えて頂いているシカゴ大学・Fujita 教授に心から感謝の意を表します。

質 疑 応 答

- 1) 天気図に見られない小擾乱をレーダエコーにより動画的にその動静を示したことは興味がある。然しこのような小規模の擾乱は地形とウインドシアーが主な原因であるから少数ない高層気象のデーターで解析することは無理を生ずるのではないか、かかる解析には更に多くの小擾乱について解析し結論を出す必要がある。(吉田実)

〔答〕

(1)高層観測点が非常に少いのを補うために、輪島・米子の2地点におけるゾンデ資料から時間変化を空間変化にしたわけで、これ以外の方法は現段階では見当らない。集中豪雨・トルネードなどの解析もこの方法で行われているが、指摘されたように若干の無理があると考えられても致し方ない。

(2)数多くの解析が必要であることは判つていても、レーダは常時作動されていないので、発生から消滅までを完全にとらえることは困難であるから特別観測期間のものを解析したわけである。本調査ではレーダ写真のアニメーションと併行して解析を進めたが、発表時間の関係で他の擾乱についても説明できなかつた点は了承して欲しい。今年度も資料を入手して解析する予定である。

(1) 若狭湾沖合に渦擾乱が発生しやすい理由は

(2) 本渦擾乱の他地域に発生するものと比較して何か顕著な特長如何(及川)

〔答〕

(1) 経ヶ岬沖合における風の水平シヤーが非常に大きく、中層の渦度分布が発散状態であり擾乱発生に極めて都合がよい。

(2) 持続時間がかなり長いこと、レーダにとらえられたエコーセルが他の海域、富山湾、石狩湾のものにくらべてはつきりしていること、循環が他の海域のものにくらべてやや弱いことが見出される。

参 考 文 献

- (1) 宮沢清治 北陸地方の豪雪について(4) 研究時報 Vol.18 No.1
- (2) T. Fujita Formation and Steering Mechanisms of Tornado Cyclones and Hook Echoes. Month. Weath. Rev. 93
- (3) 立平良三 台風の降雨帯の解析 研究時報 Vol.13 No.4
- (4) 島田守家 梅雨前線豪雨の構造と降雨の解析—1958年 研究時報 Vol.18 No.3