

1978年1月2～3日の小低気圧の解析*

渡部 浩章**

要旨

1978年1月2日の朝に対馬海峡で発生し、3日未明にかけて山陰沿岸を通過した中間規模の小低気圧について、レーダー・地上・高層観測資料を用いて解析を行なった。この小低気圧は、じょう乱発生に好条件である上層総観場の中で、地上風が収束し易く顕熱および水蒸気の補給の大きい地域で発生した。小低気圧の発達に伴い顕著なうず状レーダーエコーが観測され、その大きさは長径約400 km、うずの目の直径は約70 kmだった。小低気圧の発生・通過した地域の地上風を用いて計算した収束量、小低気圧の最盛期頃においてレーダーエコーセルの移動ベクトルから求めた渦度・収束量は、これまでにメソスケールのうず状エコーについて計算されたオーダーに等しかった。

1. はじめに

中間規模の小低気圧の解析について、これまでにいくつか報告されている(和田ほか, 1973; Nitta・Yamamoto, 1974; Saito, 1977)。しかし、時間的・空間的に十分密な観測網の中を小低気圧が通過した例は少ない。

今回の解析では、小低気圧の発生した地域は海上であったが、高層・レーダー観測データのある福岡の近くであった。その後、小低気圧は急速に発達しながら北東に進み、島根県の沿岸で最も発達した(第1図)、その模様は松江レーダーで観測された。

以下に定常観測で得られたデータを用いてできるだけ詳細な解析を行なった。

2. 総観場の解析

2日09時の500 mb 天気図では、トラフが中国大陸東岸まで東進してきた(第2図)。-39°Cの寒気核は渤海湾にある。また、北海道にも東進してきたトラフがあり、日本海北部にはすでに寒気が入っている。21時には中国大陸東岸のトラフは朝鮮半島の東海上まで、寒気核は朝鮮半島まで東進した。850 mb では、2日09時に朝鮮半島と九州の間に弱い低気圧性循環があるが、まだ低

気圧としてまとまっていない(第3図)。その後、21時には島根県沖で1410 mの低気圧にまとまったが、700 mb では低気圧はなく弱い気圧の谷となっていた。

地上天気図では、小低気圧が発生するまでは典型的な冬型の気圧配置であったが、1日夜から北海道に上層トラフが東進してきたのに伴い日本海北部に高気圧が張り出した。一方、朝鮮半島から九州北部にかけて相対的に低圧部となり、2日09時頃に福岡の北西の対馬海峡で1018 mbの低気圧となった(第4図)。

以上の総観場の電計ファインメッシュモデルによる力学的諸量を第5図に示す。2日09時の渦度の中心は500 mb では黄海南部、850 mb ではそれから400~500 km東の朝鮮半島の南海上にあり、渦軸は西に傾いている。900・700 mbの上昇流は、共に大きな渦度移流域となっている島根県沖で強くなっている。21時になると500・850 mb共に渦度の中心は山陰沖まで東進し、渦軸の傾きはなくなった。

第6図は小低気圧の発生地域に近い福岡の時間断面図である。安定層は2日21時を中心に盛り上がりを示しており、500 mbにやや先行して700 mb付近を中心に入ってきた寒気が、安定層に境界されたドーム状寒気として解析される。小低気圧が発生した2日09時は、このドーム状寒気が入り始めた頃で、800 mbを中心に湿潤な不安定層となっている。

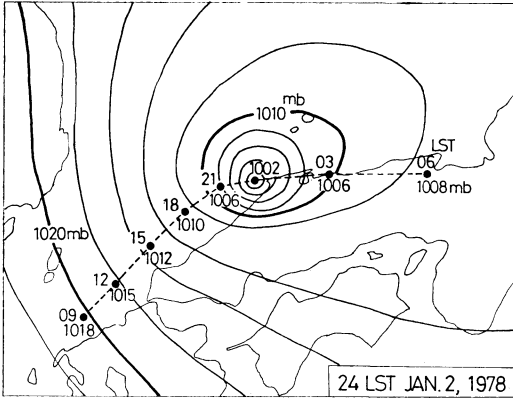
風の鉛直変化をシア- hod グラフで示すと(第7図)、2日03時には700 mb以下に寒気移流があったが、09時

* Synoptic and mesoscale analyses of the medium scale low for January 2~3, 1978.

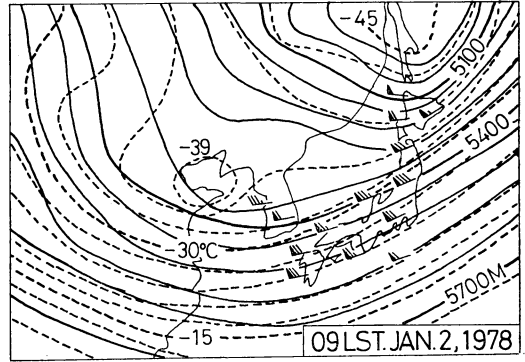
** Hiroaki Watanabe, 松江地方気象台

—1980年5月9日受領—

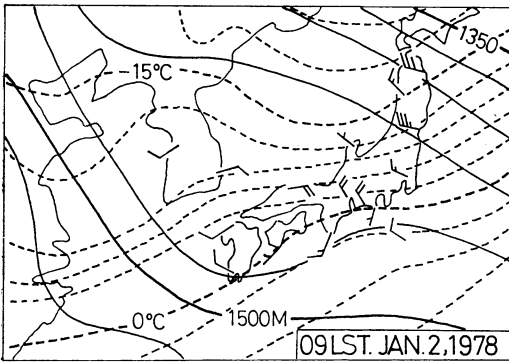
—1980年8月19日受理—



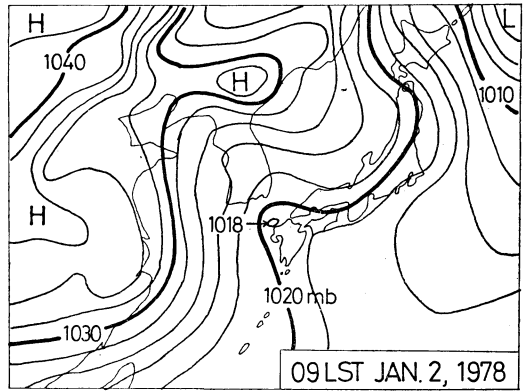
第1図 1978年1月2日24時の地上天気図と小低気圧の経路、黒丸は3時間おきの低気圧の位置を示す。



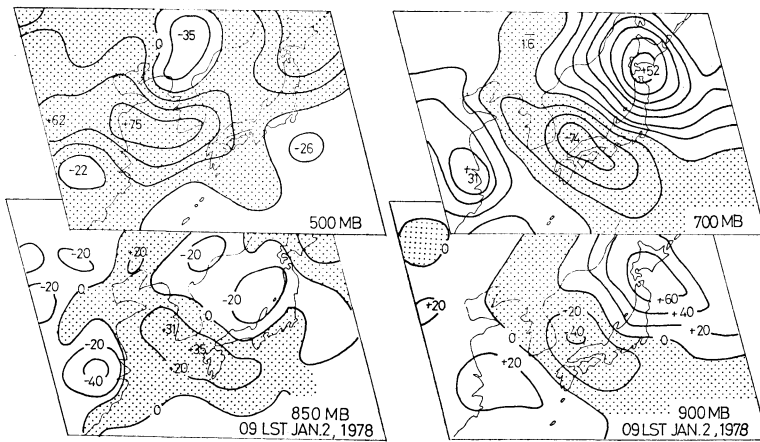
第2図 500 mb 天気図, 1978年1月2日09時。



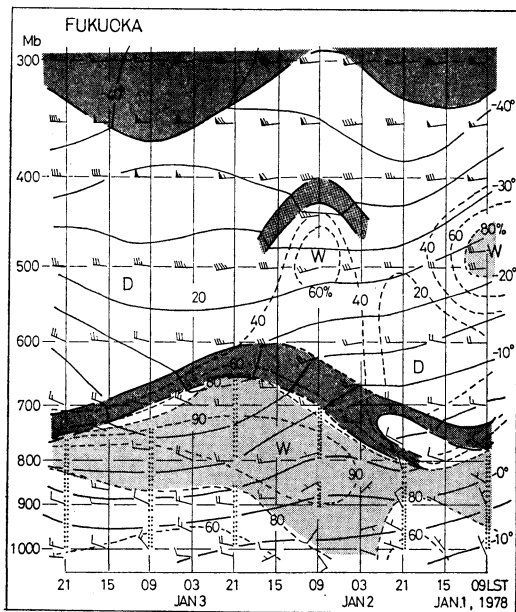
第3図 850 mb 天気図, 1978年1月2日09時。



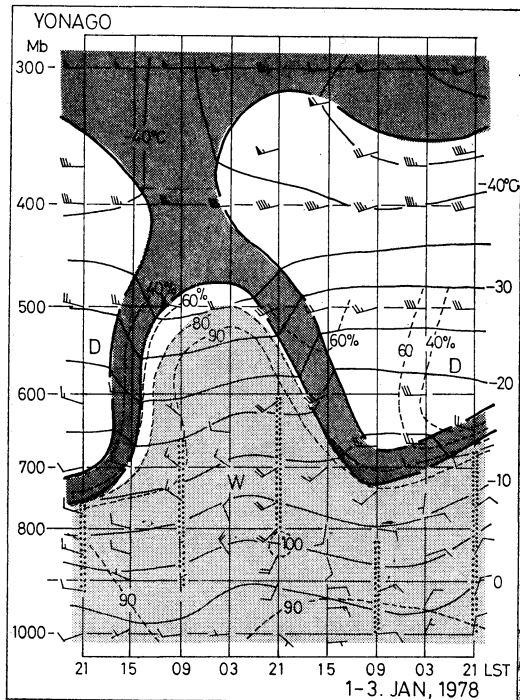
第4図 地上天気図, 1978年1月2日09時。



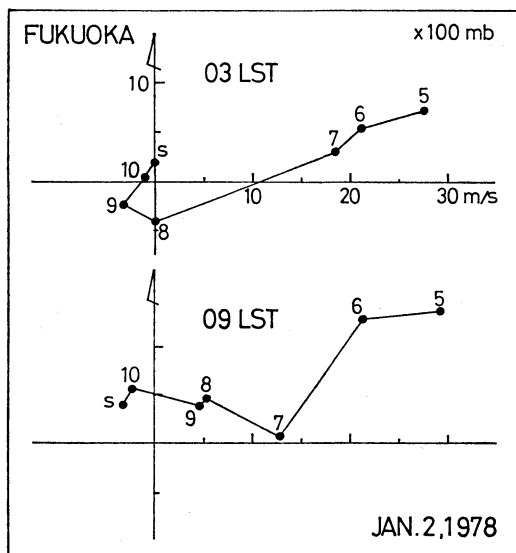
第5図 500・850 mb の渦度分布 ($\times 10^{-6} \text{sec}^{-1}$) と 700・900 mb の上昇流分布 ($\times 10^{-6} \text{sec}^{-1}$), 1978年1月2日09時。



第6図 福岡の時間断面図。1978年1月1～3日，Wは湿潤域，Dは乾燥域，薄い陰影域は湿度80%以上の湿潤域，濃い陰影域は安定層，実線は気温，破線は湿度，鉛直にのびる二重点線は相当温位で調べた対流不安定層を示す。



第8図 米子の時間断面図。1978年1月2日～3日。第6図に同じ。



第7図 福岡のシアードグラフ。1978年1月2日03時，09時。添字は $\times 100$ mb，Sは地上を示す。座標中心から黒丸へのベクトルが風向・風速である。

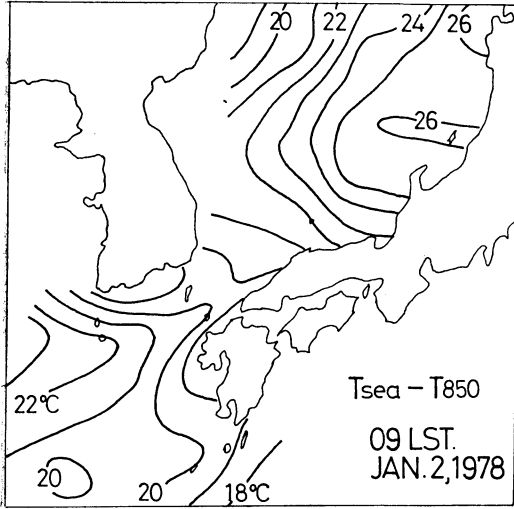
には暖気移流に変わっている。1000～850 mb の平均温度移流を計算すると 6×10^{-5} deg/sec であった。同じ層間の安定指数は約 0.5°C の低い状態が続いていた。

さらに、小低気圧が衰弱しながら通過した米子の時間断面図(第8図)では、安定層は3日02時頃を中心に盛り上がり、地上から500 mb 近くまで湿度90%以上の湿潤域となっている。

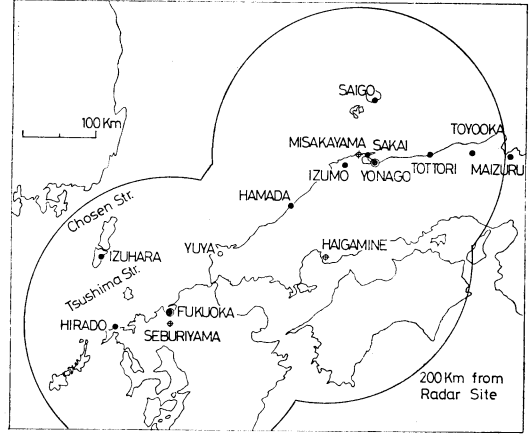
以上の断面図から見ると、福岡で500 mb の寒気核の南東側に先行した寒気が700 mb を中心に入り下層の不安定化を引き起こし、その後500 mb の寒気核が急速に東進して、米子で下層のじょう乱に追いついたことが示されている。

七沢(1975)、入田ほか(1976)は、メソスケールのうず状エコーの発生・発達重要な条件の一つとして、海面からの顕熱・水蒸気の補給が重要であると報告している。また、佐藤(1973)は冬期日本海上に発生する点エコーは、下層気温と海面水温の温度差が主な条件であると推定している。

そこで、1月上旬の海面水温と小低気圧の発生した2日09時の850 mb の気温の差を求めてみると、対馬海

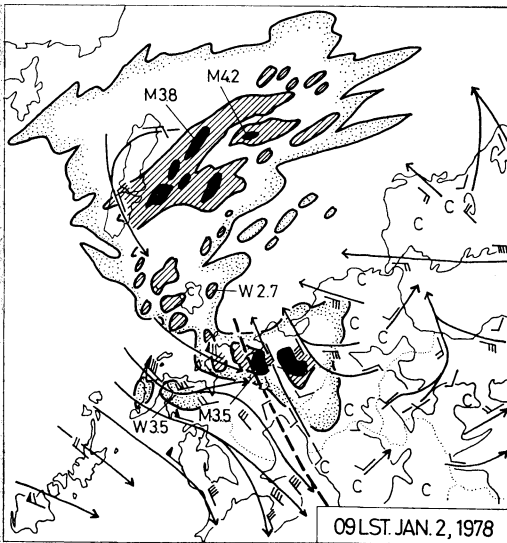


第9図 海面水温と850 mb 気温の差の分布, 1978年1月2日09時.



第10図 解析に用いた気象観測地点とレーダーの200 km レンジ.

- アメダス観測所
- 気象官署
- 高層気象官署
- ⊕レーダー観測所



第11図 1978年1月2日09時の福岡レーダーエコーと流線。エコー強度は Vevy weak (点影), Weak (斜線), Moderate (黒色) の3段階。Cは静穏, 矢羽1本は 1 m/s を示す。流線は 500 m 以上の山岳 (内陸部の細線) を越えないように引いた。太破線はシャールラインを示す。

域があり、顕熱および水蒸気の補給が大きいと推定される。

以上の総観場をまとめると、2日朝には渦軸は西に傾きその東側に大きな上昇流があって、じょう乱が発達することを示していた。地上の気圧配置では対馬海峡付近は低圧部となり、日本海東部からの北東風・朝鮮半島からの北西風・九州および中国地方からの南東風が吹く状態にあった。一方、時間断面図によると700 mb 付近に寒気が入り、その下層に暖湿流が入り気層は不安定化した。また、海面水温と850 mb 気温の差は、日本海東部で特に大きい。この海域を吹いてくる北東風は吹走距離が長く、顕熱および水蒸気の補給は他の風系に比べ大きいと推定できる。

3. メソスケール解析

第10図は、小低気圧が発生・通過した地域の主な気象官署を示す。小低気圧の中心は福岡(背振山)・松江(三坂山)レーダーから共に200 km 以内を通過した。

04時30分の福岡レーダーによると、対馬海峡には北東から南西の走行を持つエコーと、その南西端には北西から南東の走向を持つエコーがあって、全体としては“く”の字型のエコーがすでに発生していた。このエコー系は停滞し続け、09時にはやや発達した(第11図)。同時に地上風は低気圧性循環を示すようになり、12時には更に

峡の平年値は約 10°C だが、20°C の等値線が南西から細長く延びている(第9図)。また対馬暖流の流れこんでいる日本海東部には、25°C 以上の特に差の大きい地

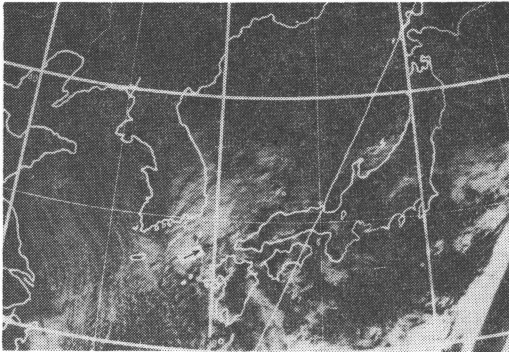


写真1 NOAAの雲画像(VIS). 1978年1月2日09時51分. 矢印はドライエリアを示す.

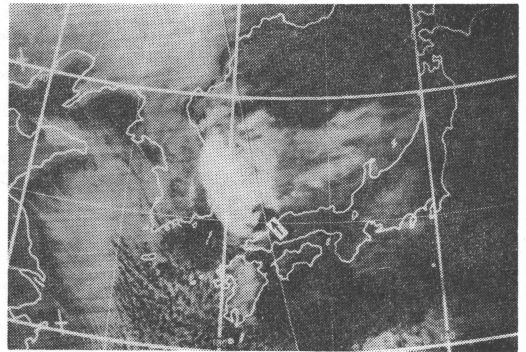
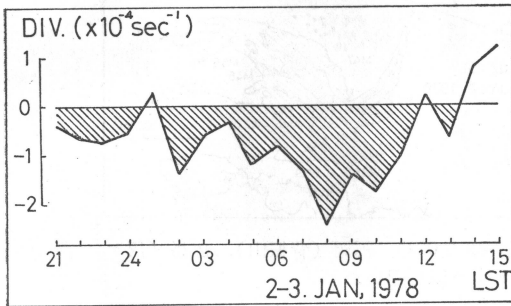


写真2 NOAAの雲画像(IR). 1978年1月2日20時54分.



第12図 巖原・平戸・福岡・油谷を結ぶ四辺形の地上発散 ($\times 10^{-4} \text{sec}^{-1}$). 1978年1月1日～2日.

はっきりと低気圧性循環を示すようになった。また、佐賀県から有明海にかけて明瞭なシアラインがあり、北西から南東の走向を持つエコー系に対応している。エコー頂高度は北側のエコーが4 km 前後に対し、南側のエコーは約3 km でやや低い。一方、09時までは島根県沖にエコーがまだ出ていなかった。

09時51分の気象衛星ノアの雲画像(VIS)によると、朝鮮海峡・対馬海峡から山陰沖にかけて広く雲域となっており、対馬海峡には矢印で示すように小さなドライエリアがあって、小低気圧に対応している(写真1)。

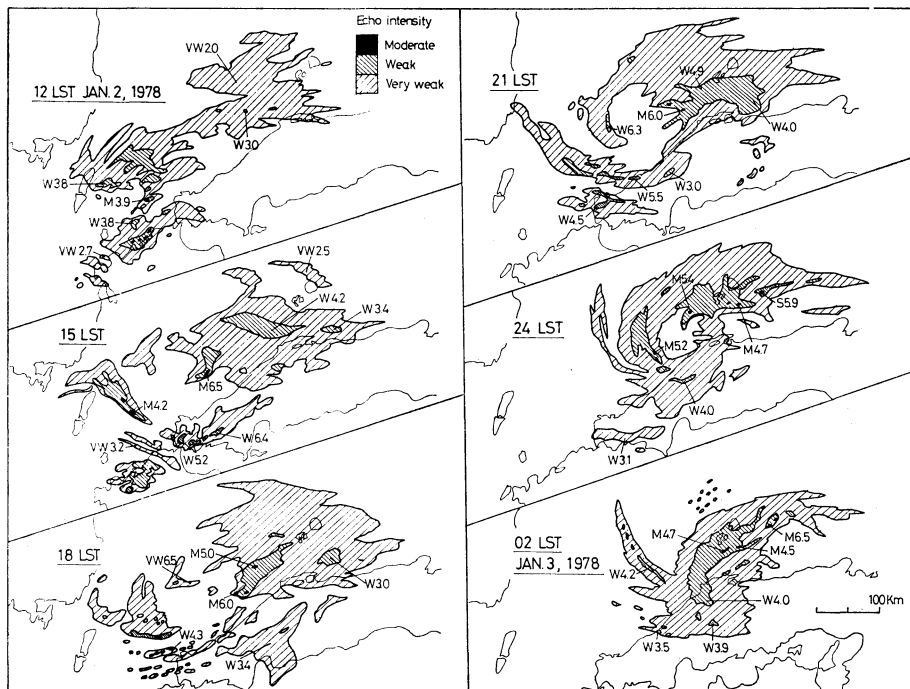
次に、小低気圧の中心を含むようにとった巖原・平戸・福岡・油谷を結び四辺形領域において、地上風の発散量を計算した(第12図)。1日夜から次第に収束量が増し、2日08時に $2 \times 10^{-4} \text{sec}^{-1}$ のピークとなり、小低気圧の発生時刻とはほぼ一致している。その後、14時には小低気圧はこの四辺形の外に移動したので発散が変わっている。四辺形の取り方が不十分かもしれないが、収束値

はメソスケールのじょう乱に特徴的なオーダーであった。

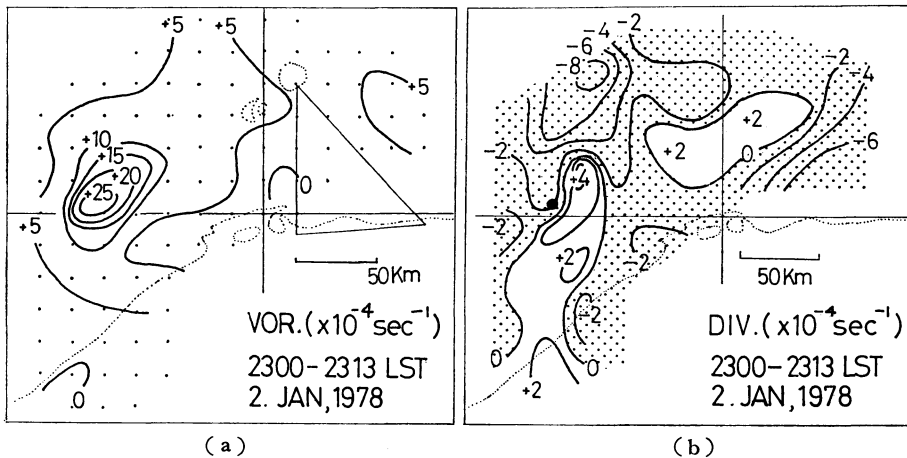
小低気圧は発生後、時速約40 km で北東に進み、21時から24時の間に最も発達し、中心気圧は1002 mb 以下になったと推定される(第1図)。その後、加速しながら東進し、3日06時には舞鶴の西、09時には名古屋の西まで東進して衰弱した。

2日12時から3日02時までの小低気圧の移動に伴うレーダーエコーの変化を第13図に示す。09時のエコー分布と比較し、12時には小低気圧の中心から西のエコーは一時消えた。一方、09時にはエコーが発生していなかった島根県沖にVWのエコーが動きはじめた。15時では小低気圧の西側にエコーが再び現われ、12時に比べてエコー頂が急速に高くなった。18時には島根県沖のVW域は更に広がり、福井レーダーによると福井県沖にもVW～Wのエコーが広がり始めている。21時になると、小低気圧の北東側のエコーの一部が次第に小低気圧の西側に巻き込まれ、浜田沖ではっきりとしたうず状エコーが形成された。小低気圧は更に東北東に進みながら発達し、24時には非常にはっきりとしたうず状エコーとなった。その中心は島根県日御崎の西北西約40 km にあって、直径約70 km のNO ECHO域となっている。また、うず状エコーの長径は約400 km となった。うずの中心付近のエコー頂高度は5 km 余りとなり、21時に比べやや低くなっている。うず状エコーは21時と24時の間に最も発達したと思われる。この後、うず状エコーは急速に形が崩れていった。

次に、小低気圧の最盛期に近い20時54分の気象衛星ノアの雲画像(IR)で見ると、浜田沖に進んで来た小低気圧に対応して明瞭なドライエリアを持つ大きな雲域に発



第13図 レーダーエコー合成図。1978年1月2日12時～3日02時。福岡(背振山), 広島(灰ヶ峰), 松江(三坂山)の各レーダーによるスケッチ図を用いた。



第14 a, b 図 エコーセルの移動ベクトルから求めた渦度 (a) と水平発散 (b) ($\times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$)。1978年1月2日23時00分～23時13分。高度角 $=0.3^\circ$ 。(a)図に計算に用いた 20km 格子を点で示した。(b) 図の黒丸は渦度最大の地点を示す。

達し、日本海の南半分をおおっている(写真2)。特に小低気圧の北側では、東西約 300 km 南北約 500 km の範囲は特に低温である。他の地域に見られる筋状雲との比較から、この区域の雲頂は 5 km 以上と推定される。

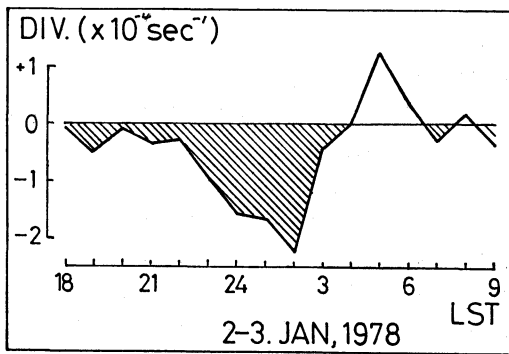
第14図は、うず状エコーが最も発達した時期に近いと思われる時刻において、レーダーエコーセルの移動ベクトルから渦度と発散を計算したものである。まず補正を全くかけてない ATTO の写真を用いて、23時00分か

ら12分にかけてのエコーセルの移動ベクトルを23時06分でチェックして求めた。更に、同様にして Weak 以上のエコーを表わすように補正をかけてある ATT2 の写真を用いて、23時01分から13分にかけての移動ベクトルを23時07分でチェックして求めた。この両方の移動ベクトルを用いて、20 km のメッシュで渦度・発散を計算した。ATT0, ATT2 の両方の写真を用いたのは、ATT0 の写真だけでは Weak 以上のエコーセルの動きがわからず、ATT2 の写真だけでは Very Weak のエコーセルの動きがわからないからである。また両方共に同じ高度の風を代表すると仮定した。レーダーサイトからうずの中心付近までの距離が約 100 km で高度角は 0.3° な

ので、高度約 1500 m 付近の風を示すと考えられる。渦度は小低気圧の中心付近で $25 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ (第14 a 図), うずの中心では $2 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ の収束, その北東には $4 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ の発散がある (第14 b 図)。これらの値は、いずれもメソスケールのうず状エコーについてこれまでに計算されたオーダーに等しい (例えば入田ほか, 1976)。

次に、小低気圧が衰弱しながら通過した西郷・米子・鳥取を結ぶ三角形 (第14 a 図の中の三角形) の地上風による発散量を計算した (第15図)。小低気圧が通過した時には $2 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ の収束のピークがあった。

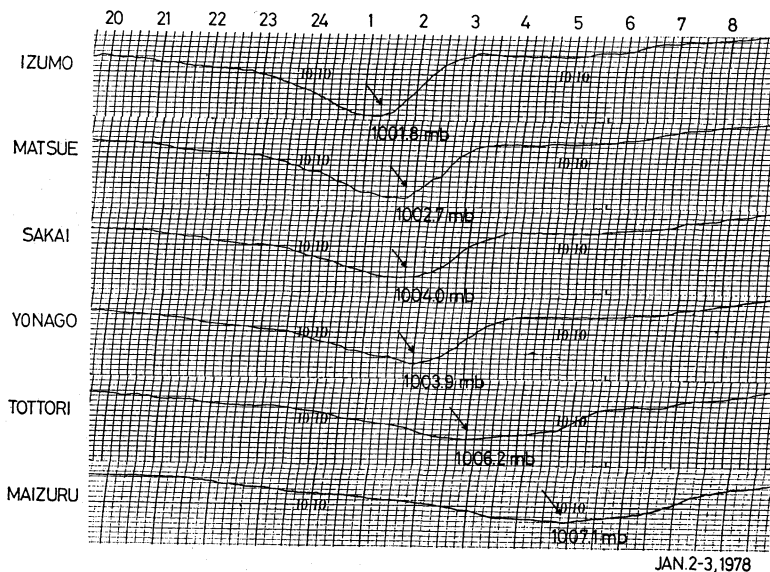
雲画像 (写真2) に示されていたように、中国地方の陸地にはほとんど雲がなく日本海の南半分が雲域となっていること、小低気圧の北東進に先だてエコーが発生していることは、やはり日本海東部からの北東風が不安定化していることを示している。



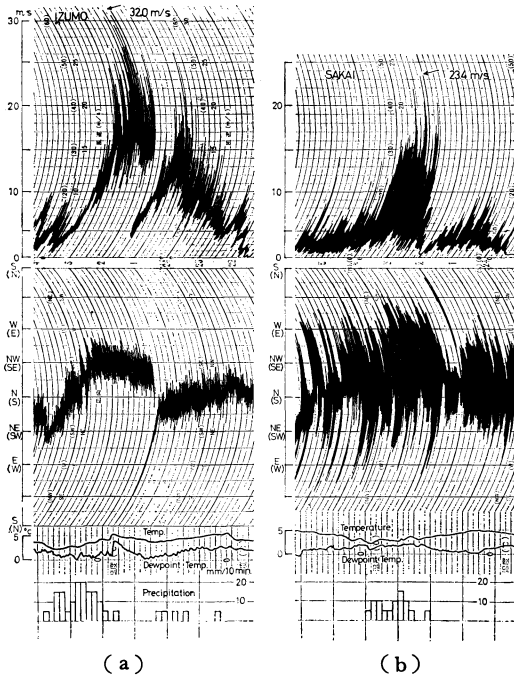
第15図 西郷・米子・鳥取を結ぶ領域の発散 ($\times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$)。1978年1月2日～3日。

4. 地上気象要素の変化

小低気圧の通過に伴い、地上の気象要素に大きな変化があった。第16図は各地の気圧自記紙で、上から出雲・松江・境・米子・鳥取・舞鶴の順である。出雲では、気圧下降時には1時間に 4 mb, 気圧上昇時には1時間に 9 mb というかなり急激な変化を示している。東の地点ほど最低気圧が高くなり、気圧の変化もゆるやかになっている。各地の最低気圧の起時から移動速度を求める



第16図 気圧自記紙。1978年1月2日～3日。矢印は最低気圧を示す。



第17図 気象要素の変化。1978年1月2日～3日。

(a) 出雲空港出張所

(b) 境測候所

上から風速・風向・気温・露点温度・10分間雨量を示す。

と、島根県沖までは時速 40 km, それ以後は時速 65 km と加速している。

第17図は出雲・境の気象変化を示す。出雲の最低気圧は3日01時20分に 1001.8 mb となった(第16図)。01時30分までSないしSSWの風が続いた。その後、10分間に風向は時計まわりに急変してNNWになり、6~7 m/sの弱風となった。01時40分から20 m/s以上の強風が続き02時20分にNW 32.0 m/sを記録した。気温・露点温度は共に01時40分まではわずかであるが上昇している。風向がNNWに変わった時、気温は1°C下がり露点温度は3°C下がっている。また、小低気圧通過後に降水が14.5 mmあった。

境では01時50分に最低気圧が1004.0 mbになった(第16図)。02時までSないしSSEの風が続き、それから約10分間はほぼ静穏となった。同時に風向が180度変化し、03時10分にはNW 23.4 m/sの強風となっている(第17b図)。一方、気温の変化はほとんどない。小低気圧通過後の降水量は9 mmであった。

鳥取の気象変化は出雲とほぼ同様で、04時10分から35

分までにSSWから時計まわりに急変してNNWとなり、その間は2~3 m/sの弱風となっている。その後、04時50分にはNNW 30.3 m/sを記録した。また小低気圧通過時の気温変化はほとんどなく、降水量は4.5 mmであった。

さらに豊岡・舞鶴での最大瞬間風速は、それぞれ20.1 m/s, 14.9 m/sで、数mmの降水があったが特徴的な気温変化はなかった。

その他の山陰沿岸各地の気象官署でも、小低気圧の通過後に強風が吹き、最大風速10 m/s以上、最大瞬間風速20 m/s以上を記録している。特に浜田では最大瞬間風速WSW 35.0 m/sを記録した。

5. 検討とまとめ

小低気圧のスケールは、雲画像・レーダーエコー合成図・地上天気図上で閉じた等圧線の大きさ等から見て400~500 km, 寿命が約1日であるので中間規模じょう乱として考えられる。

上層総観場がじょう乱の発生・発達を示している中で、2日早朝から対馬海峡には北東から南西の走向を持つエコー、その南西端に北西から南東の走向を持つエコーがあり、全体として“く”の字形のエコーを観測していた。これらはそれぞれ、日本海東部からの北東風と九州・中国地方からの南東風の間、朝鮮半島からの北西風と九州からの南東風の間生成されたエコー系であると考えられる。後者については第10図に示したように、佐賀県から有明海にかけての地上風のシアラインと、ほぼそれに対応するエコー系を観測していることにはっきり示されている。

また、3つの風系のうち北東風は海面からの顕熱・水蒸気の補給が大きいと推定できた。七沢(1973)は海上で発生したメソスケールのうず状じょう乱の形成には、3方向からの異なる気流系と海面からの熱補給が重要であると報告している。今の場合スケールが約2倍だが、この2つの条件は同じと思われる。

小低気圧通過時の地上風の収束量のオーダー、エコーセルの移動ベクトルから計算した渦度・発散のオーダーは、メソスケールのじょう乱についてこれまでに求められたオーダーに等しかった。

地上気象要素の変化の特徴は、小低気圧通過直後から10 mm前後の降水があったこと、最大瞬間風速がNWないしNNW 20 m/s以上を記録していることである。

冬期に日本海で発生し、日本海側の地方に影響を与え

る小低気圧の中で、中間規模のオーダを持つ典型例についての事例解析を行ない、その性質の一部について知ることができたと思われる。

謝辞

この報告は広島気象台在勤中にまとめたものであり、大変多くの方々にお世話になった。

九州北部から山陰・北陸の各気象官署から大変多くの資料を提供して戴いた。特に松江気象台からは貴重なレーダーフィルムを借用させて戴いた。広島気象台の石丸順一郎予報課長（現大阪管区気象台）には、この研究のテーマを載せ、資料の収集にお世話になった。斉藤卓巳予報官には大変多くの資料を収集して戴いた。広島女子大の宮田賢二助教授には平素から貴重な助言を受けている。広島気象台の村山信彦台長（現気象研究所）には気象衛星資料についての助言を受け、本稿を閲読して戴いた。ここに深く感謝申し上げる。

文 献

- 宮沢清治, 1975: 日本海に発生する小低気圧について, 天気, 22, 170-174.
- 七沢 謙, 1973: うず状エコーについて, 1973年度秋季大会予稿集, 40.
- Nitta, J. and J. Yamamoto, 1974: On the Observational Characteristics of Intermediate Scale Disturbances Generated near Japan and Vicinity, J.M.S.J., 52, 11-31.
- 入田 央, 深津 林, 江口 博, 1976: うず状エコーの解析, 天気, 23, 255-266.
- 佐藤幸夫, 1973: 啓風丸レーダーから見た冬期日本海上に発生する点エコーについて, 天気, 20, 181-186.
- Saito, N., 1977: On the Structure of Medium Scale Depressions over the East China Sea during AMTEX '75, J.M.S.J., 55, 286-300.
- 和田徳弘ほか, 1973: 日本海の強風と高波について, 気象庁技術報告, 83, 71-103.