

本州中部を通過する寒冷前線の地形による変形*

萬納寺 信崇**・栗原 和夫***

要 旨

本州中部の太平洋側の関東地方、東海地方では、寒冷前線が日本海側から下りてくるとき、本州中部の地形の影響により風、気温、降雨が複雑な変化をする。今回は10 kmの格子間隔のモデルを用いて、1991年4月18日に寒冷前線が本州中部を通過したときの、地形効果について調べた。

寒冷前線通過に伴う寒気流入は、地形の影響で、3つの主要な経路に分かれておこることが確認された。それは、(A) 若狭湾から関ヶ原を経て伊勢湾に抜ける経路、(B) 東北地方の東海上から関東地方に北東風として吹き込む経路、(C) 中部山岳地帯の谷筋を抜けて三国峠から関東地方に入る経路、である。(A)の経路の寒気は、東海地方に西よりの風として吹き込む。(B)は関東地方の大部分への寒気の流入をおこす。(B)の寒気は関東地方から伊豆半島、東海地方東部に入り込み、(A)の寒気の東端との間でシアラインを形成する。

このような寒気の流れにより、風や気温の時系列に複雑な変化が現われる。東海地方から伊豆半島、新島、三宅島などでは、最初に関ヶ原からの寒気が到達し、気温の低下が見られるが、風向は西寄りあるいは南西寄りで暖域内の風向と大きな変化はない。その後、(B)の寒気が入り、風向は、東あるいは北東寄りへと大きく変化するが、温度変化は小さい。

降雨パターンも地形により変形される。関東地方では、実況で、前線通過時に降雨がほとんどなかったが、これも中部山岳の影響であることが確認された。関東地方の大部分を(C)からの寒気がおおい、この寒気の前面には、広範囲にわたる降雨域は見られない。その後、3つの寒気の南端は海上で一つの寒冷前線を形成し、降雨のない関東地方をジャンプしたように見える。

1. はじめに

日本の本州上を通過する寒冷前線は、本州の地形の影響を受ける。そのため、関東地方などでは、風向が複雑な変化をしたり、前線通過時に降雨が総観規模の前線の動きを基にした予想より遅れたり、ほとんど降らなかったりすることもある。

寒冷前線通過時の寒気の流入とそれに伴う風向変動について、山本(1984)は、アメダスデータを解析して前線のふるまいについて調べ、寒冷前線の通過後の

寒気の流入経路は、地形の影響を受けて第1図のようになるとしている。また、伊藤ら(1990)がアメダスの風向データから、2つのタイプの前線通過について調べた結果によれば、寒気の流入経路として、越後平野から関東平野に至る経路と、若狭湾から伊勢湾に至る経路とが認められる。

降雨については、降雨域が関東平野をジャンプするようにして抜けてしまったり、途中で衰えてしまったりする例が報告されている(櫃間・上坂, 1978, 村木, 1978, 櫃間, 1979, 井上・小司, 1990)。

一方、数値モデルを使い実際の状況での地形の影響を調べたものはこれまでにない。それは、中部山岳の地形を十分な精度で表現し、しかも寒冷前線の大きな動きを精度良く予報するのに十分な大きさを持ったモデルがなかったためである。

しかし、計算機と数値モデルの進歩によりこれが可

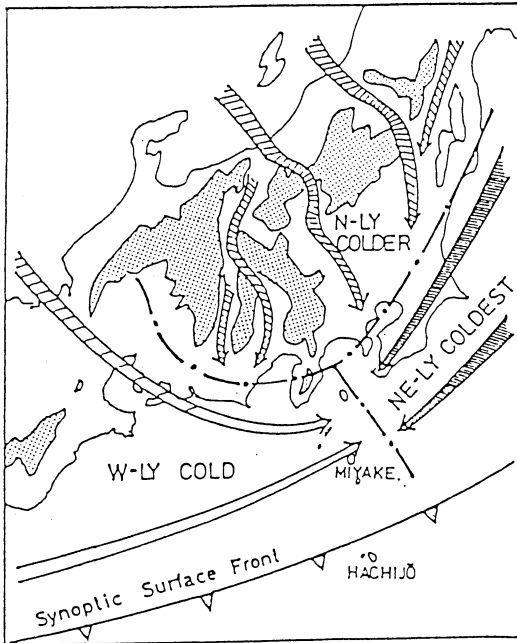
* Deformation of the Cold Front over the Terrain of Central Japan.

** Nobutaka Mannoji 気象庁数値予報課 現在 The Florida State University.

*** Kazuo Kurihara 気象庁数値予報課.

——1991年6月26日受領——

——1993年3月10日受理——



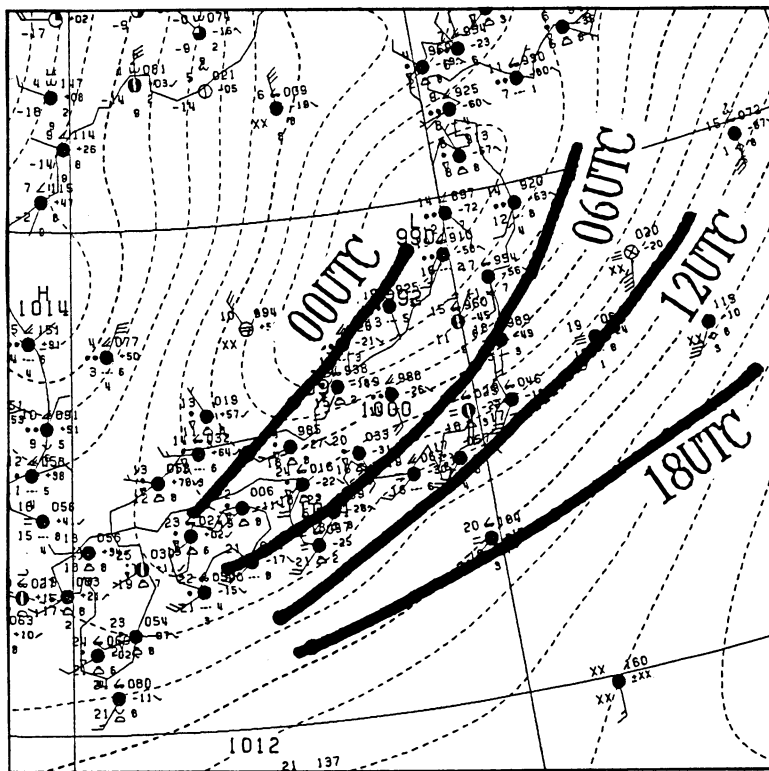
第1図 山本(1984)による総観場の寒冷前線後方に入る寒気移流.

能になりつつある. 今回は, このような寒冷前線通過時の, 寒気の流入がどのように起こるかを調べるために, 10 km の格子間隔のモデルを使って, 寒冷前線の通過時の, 本州中部の地形による前線の変形のシミュレーションを行なった. この結果から, 寒冷前線通過時の寒気の流入と, 前線や降雨域のジャンプについて調べた.

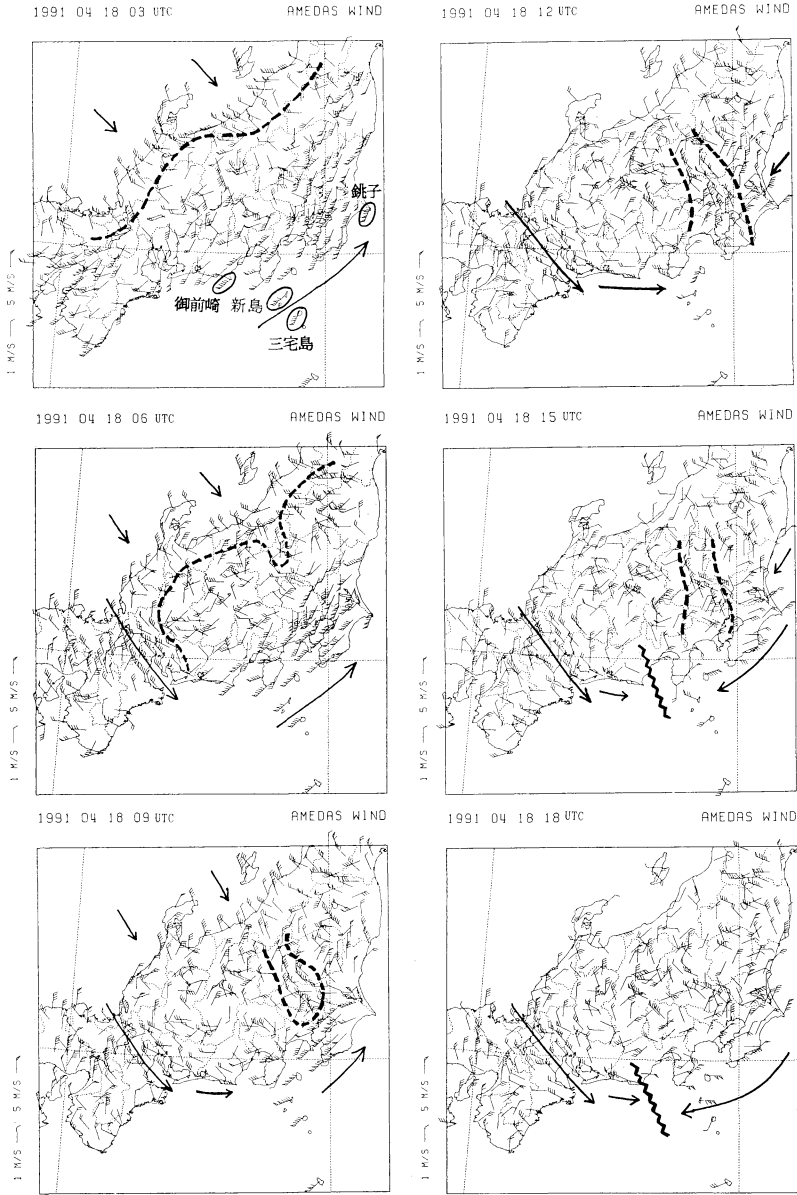
2. 寒冷前線通過時の実況の推移

(a) 総観場

予報実験の対象とした日は1991年4月18日である. 第2図に, この日の総観場の前線の動きを, 00 UTC から6時間毎に示す. 観測値及び等圧線は00 UTCのものである. 00 UTC に秋田西部にあった総観規模低気圧が東に進み, これから延びる寒冷前線が, 00 UTCには日本海の海岸沿いを南西に向かって延びている. 前線は全体の場の動きとともに南下し, 06 UTCには本州の南部, 12 UTCには日本の南東海上に抜けている. この前線は大規模場からみて決めたものであり, メソスケールの方で見ると, このようにきれいに動いてゆ



第2図 1991年4月18日 00UTC の地上天気図と6時間毎の寒冷前線の位置(太線).



第3図 1991年4月18日の、アメダスによる3時間毎の地上風の変化。長い矢羽根は1 m/s、ペナントは5 m/sである。矢印はおおまかな地上の風の流れを、破線はシアーラインを表わす。

くものではないことは以下のデータを見れば分かる。

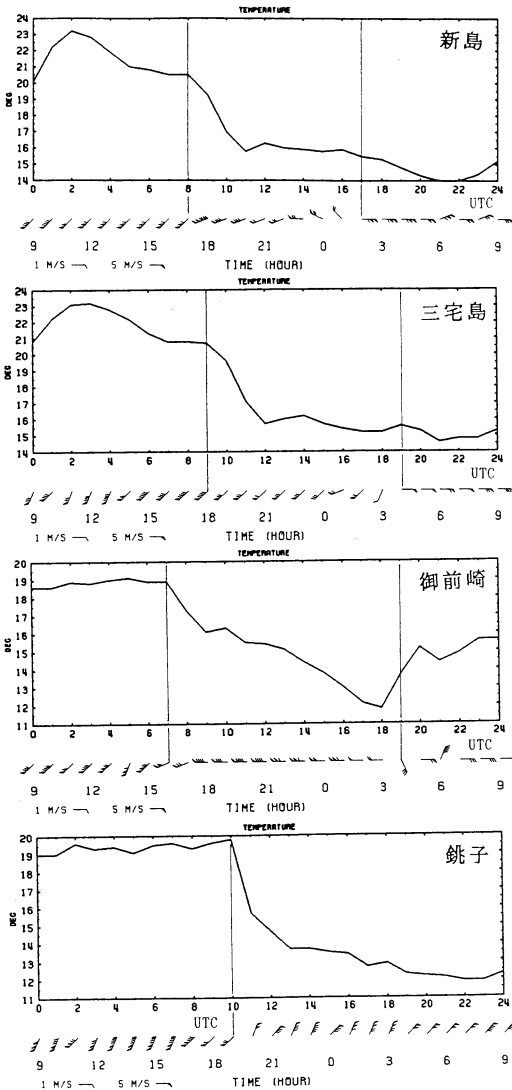
(b) 地上風

このときの、アメダスによる本州中央部付近の風の様子を第3図に示す。普通、地上風は、周囲のごく細かい地形、植生、建造物などの影響を受け、局地性が強いが、おおづかみな地上付近の大気の流れを知ることができる。ここでは、3時間の時間間隔で示し、顕著

な流れについてだけ述べる。

00 UTC では、第3図に示した本州中部の領域は暖域で、南ないし南西の風が卓越している(図は略す)。

03 UTC では、前線に伴う北風が北陸に沿ってあらわれている。この時点では、前線は地形の影響をあまり受けていないと考えられる。関東地方は暖域内の南西風が卓越している。



第4図 新島・三宅島・御前崎・銚子の1時間毎の地上気温と地上風の時系列。地上風の風向は上向きの矢羽根が北風である。横軸の時間は、上段はUTC、下段は日本時間である。

06 UTC には、北陸の北風の前線はあまり動いていないように見える。地形の複雑さからはっきりとはみえないが、越後平野から三国峠にかけては北風が入っている。一方で、若狭湾から関ヶ原を通り伊勢湾にかけては、強い北西風が入り込んでいる。ここでは風向はほとんど一様で、風速は 10 m/s 近くになっている。

09 UTC では静岡県沿岸の風が西寄りの風になっている。後述するように、御前崎では 08 UTC に急激な気温の下降が起こっていることから、この風はもはや

暖域内の風ではない。三国峠のあたりからは関東地方へ向かって北西風が入り込んでいる。関東地方の暖域の南西風はまだ残っている。

12 UTC にも、東海地方では西寄りの風が続いている。越後平野から三国峠付近を通って北西風が入り込み、関東地方南部から伊豆半島に及んでいる。関東南岸沿いの暖域の南西風はもう見られない。銚子付近では、東北地方の東岸からの北東風が入り始めている。

15 UTC になると、房総半島付近の北東風は更に西に広がり、伊豆半島に達している。三国峠からの北西風はまだ続いているが、南端は北東風に吸収されてしまっている。若狭湾から伊勢湾へ抜けている流れも続いている。

18 UTC では、東北地方東海上からの北東風はさらに広がり、御前崎に到達している。北東風の西端は関ヶ原からの西風の東端との間でシアラインを形成している。

この図から、この領域での3つの寒気的主要な流入経路が推測出来る。

- (A) 若狭湾から関ヶ原を通り伊勢湾に抜けるルート。この寒気は東海地方に流れ出している。
- (B) 東北地方の東海上から、関東地方へ北東風として流れるルート。この寒気は、後に東海地方へ流れている。
- (C) 三国峠から関東地方へ北西風として流れ込むルート。

これらのルートは山本 (1984) により示されたものに含まれている。この3ルートの他にも、東北地方南部から関東地方の東北部へ流れ込むルートなど、いくつかのルートが見えるようであるが、ここでは、主要な3つのルートに議論を限ることとする。なお、以下の図において、A, B, Cの記号はおのおのこの3つのルートに対応している。

(c) 地上気温と地上風の時系列

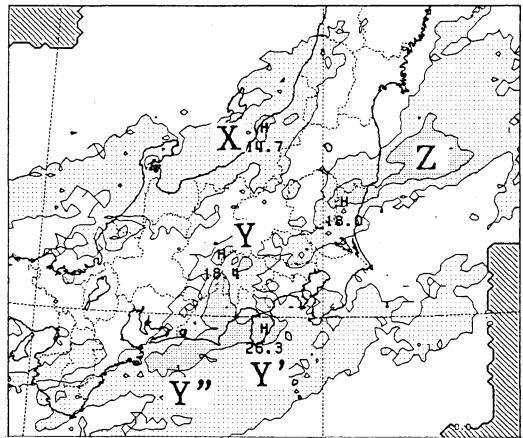
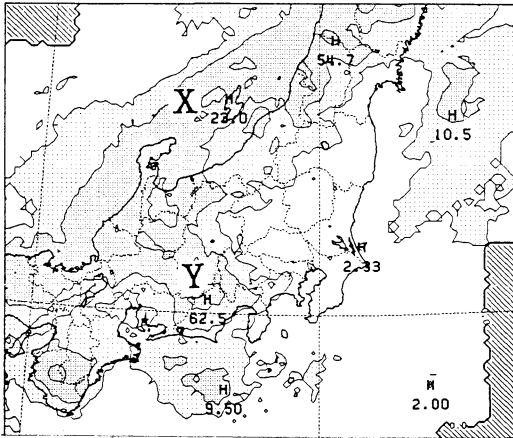
この時の地上気温の変化を、1時間ごとのアメダスデータの時系列で示す(第4図)。地点は新島、三宅島、御前崎、銚子である。各図の下段に地上風の時系列を示してある。

新島では、08 UTC 過ぎに、20°Cから16°Cに約4°Cの気温低下が見られる。この時地上風の風向は南西から西南西に変わっている。17 UTC 以降は東風が入り、強い風向変化が見られるが、気温の変化は小さい。

三宅島は、風向は 18 UTC までほとんど南西で一定している。しかし、気温は 09 UTC 過ぎに約4°C低下

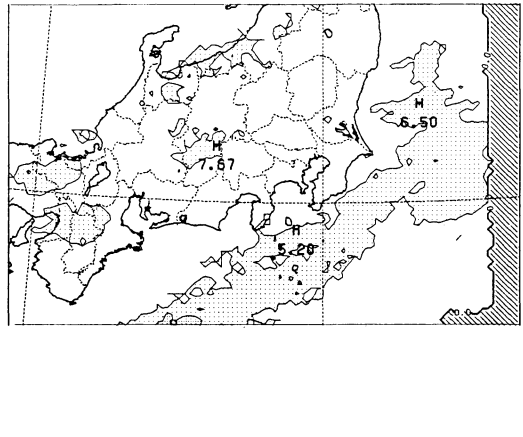
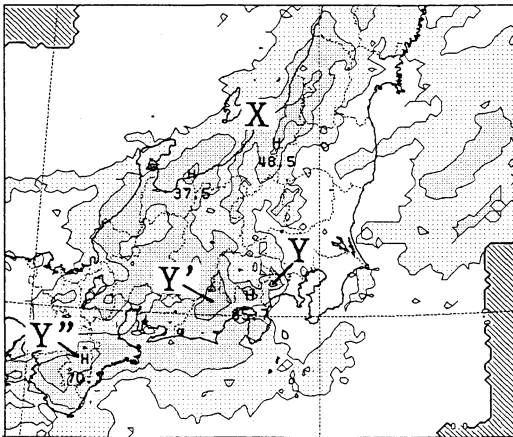
RADAR-AMEDAS : 1991 04 18 00Z --- 18 03Z

RADAR-AMEDAS : 1991 04 18 06Z --- 18 09Z



RADAR-AMEDAS : 1991 04 18 03Z --- 18 06Z

RADAR-AMEDAS : 1991 04 18 09Z --- 18 12Z



第5図 レーダーアメダス合成図による3時間毎の3時間降雨量 (mm). 等値線は, 1, 6, 30, 150 mm について引いてある (以下3時間降雨量の図では同様の等値線を引いた). 図中の斜線部分はレーダーの探知範囲外で, レーダーアメダスを作成しない領域である. X, Y などの記号については本文参照.

している. 19 UTC 以降には風向が大きく変化し, 東風になるが, 気温変化はほとんどみられない.

御前崎でも同じような傾向がある. ただし, 気温低下は新島, 三宅島より早く, 07 UTC 頃から始まっており, 08 UTC に急激な気温低下が見られる. その後の風向変化は19 UTC 以降と, 新島, 三宅島と同じかやや遅くなっている. 19 UTC 以降では気温はやや上昇している.

銚子では, 他の3地点と様子が異なっている. 最初は暖域内の南西風が吹き, 10 UTC 過ぎに北東風が入ると同時に約6°Cの気温低下が起こっている. 以後風向はほとんど一定のままである.

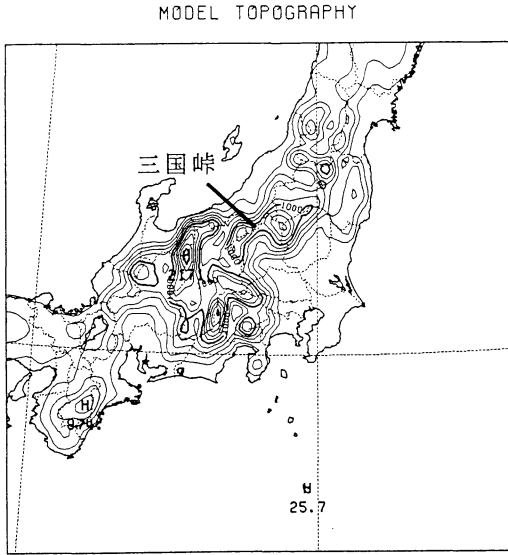
(d) 降水

第5図は, 3時間毎に積算したレーダーアメダス合成図である. この事例では, 関東地方では降水はごく少なかった.

03 UTC までの3時間では, 前線による雨は北陸地方(X)にある. また東海地方(Y)には暖域内の雨が見られる.

06 UTC では, 降雨域は北陸地方(X), 東海地方(Y, Y') から近畿地方東部(Y'')にある.

09 UTC まででは, 一部は北陸地方(X)に留まり, 東海地方の雨(Y, Y', Y'') がやや南下している. 東北地方東海上の雨域(Z)の一部が茨城県にかかってき



第6図 10 km メッシュの数値モデルの地形(m). 等値線は 200 m ごと.

ている。なお、以下の図において、X, Y, Z は、各々この3つの雨域に対応している。

12 UTC まででは降雨域は太平洋上に抜け、線状になっている。この時間に至るまで、関東地方の雨は、局所的で弱く、この時間になって、海上に降雨域がジャンプしたように見える。

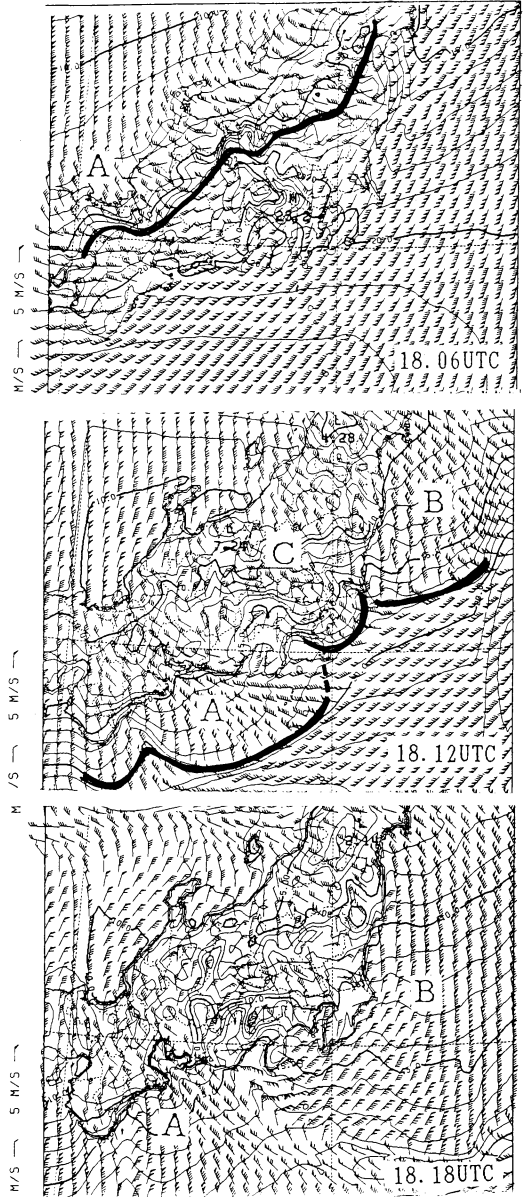
3. 予報実験の方法

このような寒冷前線通過時の寒気の流入が、どのようなおこっているかという問題をより明らかにするために、数値モデルによるシミュレーションを行なった。アメダスデータは局地性が強いために、全体の流れが見えにくい。一方、数値モデルでは分解能以上の細かな状況は分からないが、全体の流れの場はより見通し良く明らかになる。

また、本州の中部の地形が、寒冷前線の寒気の流入にどのように影響するかを知るために、山を除いたモデルによる実験も行なった。

用いた数値モデルは、格子間隔 10 km (60° N) のモデルである。日本付近では 8 km 強の格子間隔に相当する。このモデルは気象庁数値予報課の JSM (Japan Spectral Model, 格子間隔 40 km, Segami *et al.*, 1989) と同じつくりのモデルである。ただし、分解能、領域、側面境界条件 (このモデルでは JSM の予報値を用いている) は異なっている。

このモデルの領域と地形を第6図に示す。中部山岳

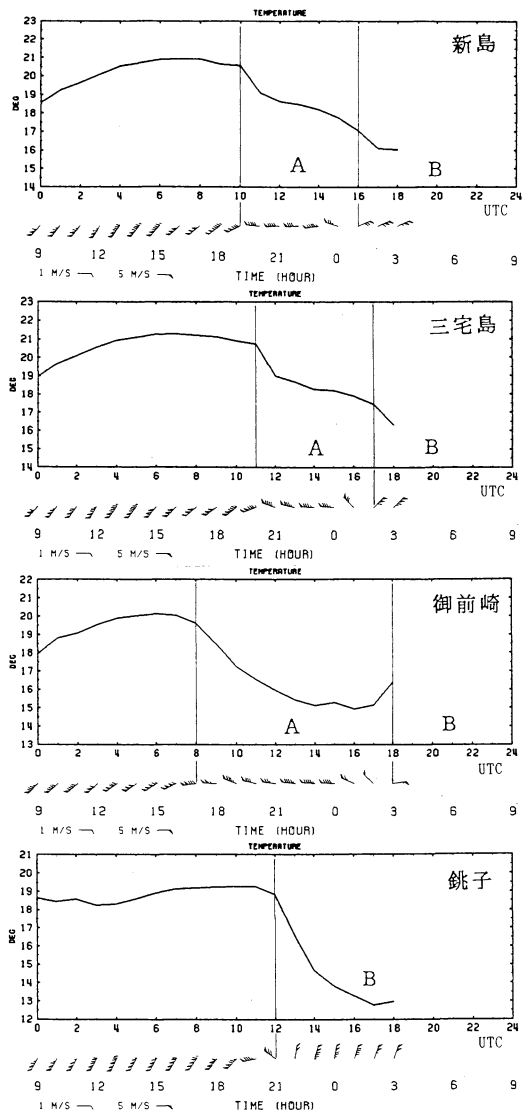


第7図 CNTL でシミュレートされた6時間毎の地上風と地上気温(°C)。地上気温は1°Cごとに等温線を引いた。太線は地上気温傾度の集中域の南端を表わす。

地帯の地形が細かく現われていて、主要な山脈と谷筋が充分見分けられる。

初期値は、気象庁のルーチンの客観解析 (格子間隔 80 km) の結果で、日付は1991年4月18日 00UTC である。

以下では、地形を含んだモデルの結果を CNTL、地形を除いたモデルの結果を NOMT と呼ぶ。



第8図 CNTL でシミュレートされた地上気温と地上風の時系列, 地点は第4図と同じ, 新島・三宅島・御前崎・銚子.

4. 予報実験 (CNTL) の結果

(a) 地上風と地上温度の分布

CNTL の実験により, 本州中部での寒気と北風の3つの流入経路が明瞭に確認された. ここでは平面図を用いて予報時間毎に説明してゆく.

第7図に CNTL でシミュレートされた地上風と地上気温を6時間毎に示す. 風の単位は第3図と同じである. 地上気温は減率 $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ で0m高度に変換し, 1°C 毎に等値線を引いてある.

06 UTC に対応する予報では前線は北陸地方にさしかかっている. 北寄りの風の領域の前面では, 気温傾度が強い. 若狭湾からの北西風(A)の進入は, 始まったばかりのように見える. これは実況に比べて遅い. 暖域の東海地方では南西流が卓越している.

12 UTC になると, 若狭湾からの北西風(A)が太平洋上にまで及んでいる. その流れは, 西寄りの風となって伊豆半島から房総半島南端までひろがっている. 気温の勾配は, 伊勢湾南方の海上では大きくはっきりした前線を成しているが, 東海地方から, 伊豆, 房総半島の方向では気温傾度は小さい.

また, 別のルート, 三国峠から関東平野(C), 及び東北地方東海上からの北風(B)の進入も見られる. 三国峠からの北西風は関東南部に達し関東平野の大部分をおおっている. 東海上からの北風は, 銚子にまでとどいている. この2つのルートの北寄りの風の前面には, はっきりとした寒気の境界が見られる.

3つの寒気の南端は, 一つの大きな前線帯をなす3つある.

18 UTC では, 関ヶ原からの北西流は続き, 太平洋を南下しつつある. 関東地方から東海地方東部は東北地方東海上からおりてきた寒気に覆われ, 北東ないし東の風向になっている. 三国峠からの風の先端はこの北東ないし東の風と合流している. 関ヶ原からの風と東海上からの風の境界では, 大きな気温傾度はないが, 明瞭なシアラインが見られる. シアラインは御前崎付近から南方海上の前線帯まで続いている.

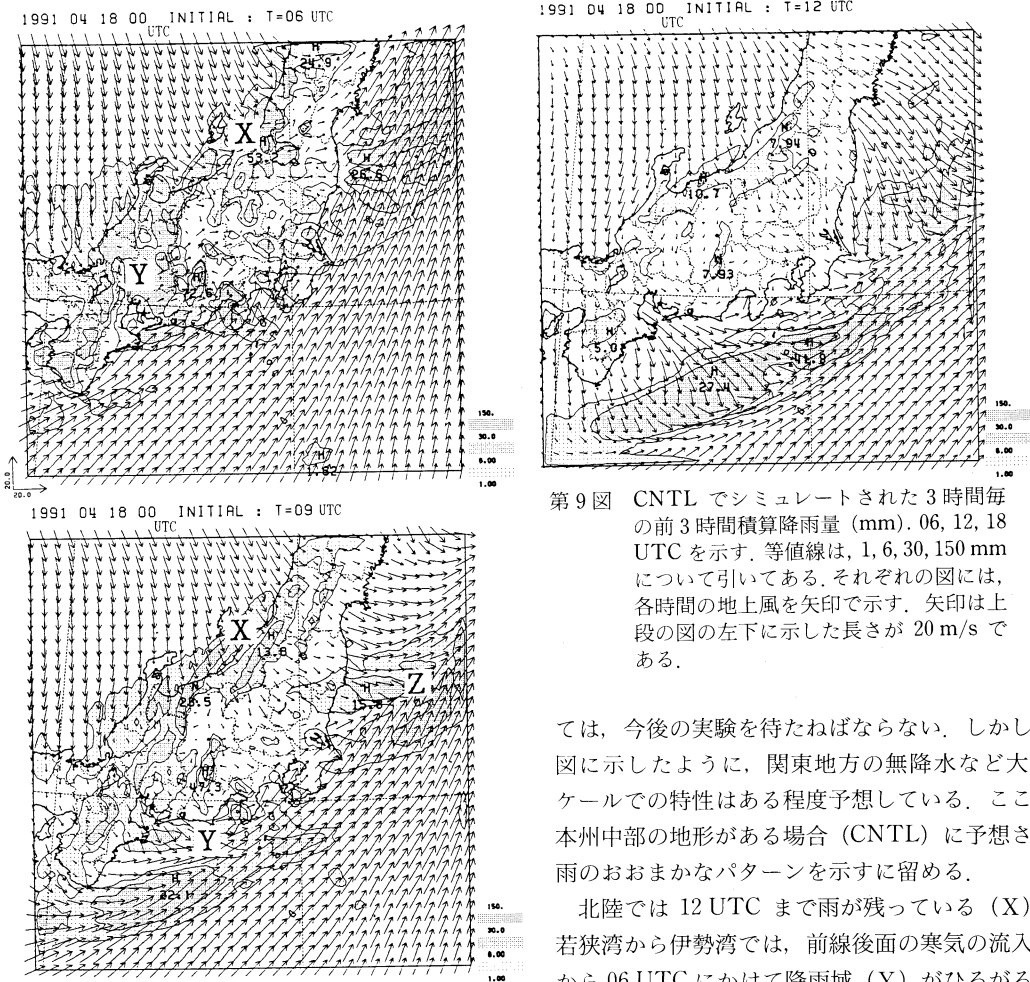
(b) 地上気温と地上風の時系列

CNTL で計算された, 新島, 三宅島, 御前崎, 銚子の地上気温と地上風の時系列を, 第8図に示す. これは第4図と非常に良く似た結果である.

新島では10 UTCに風向が南西から西に変わり, 気温が約 3°C 下がっている. この時の寒気は, 関ヶ原から入ってきたもの(A)である. 16 UTCに風が東北東に変わる. このとき入ってくるのは, 東北地方の東海岸からの寒気(B)である. この寒気は, (A)に比べて温度が低いので, モデルではこの時点でさらに温度が下がっている. 山本(1984)も(B)の寒気が最も冷たいとしており, 今回の結果と一致する. ただし, 実況(第4図)では(A)と(B)の温度差はそれほどはっきりしたものではない.

三宅島でも新島とほとんど同じ変化をしている.

御前崎でも同様だが, (A)の寒気の到達は08 UTCごろで, 新島や三宅島より早い. これは御前崎のほう



第9図 CNTL でシミュレートされた3時間毎の前3時間積算降雨量 (mm). 06, 12, 18 UTC を示す. 等値線は, 1, 6, 30, 150 mm について引いてある. それぞれの図には, 各時間の地上風を矢印で示す. 矢印は上段の図の左下に示した長さが 20 m/s である.

が関ヶ原に近いという地理的な原因による。一方、風向が東寄りになるのは、18 UTC であり、新島や三宅島より遅い。これは、御前崎のほうが西にあるためである。また、西寄りの風が東よりになった時に気温がやや上昇しているが、これは陸からの冷たい風が、暖かい海面上を渡ってきた風が変わったためであろう。この気温上昇は実況ともあっている。

銚子では予報でも他の地点と違っている。13 UTC に北東寄りの風になり、気温が約 6°C 下がっている。これは、この地点では (B) の寒気だけの影響を受けており、他の経路を通ってきた寒気が入り込んでいないことを示している。

(c) 降雨

降雨の予想は、長野、山梨県の雨が予想されないなど、必ずしもよくない。降雨機構の細かな解析につい

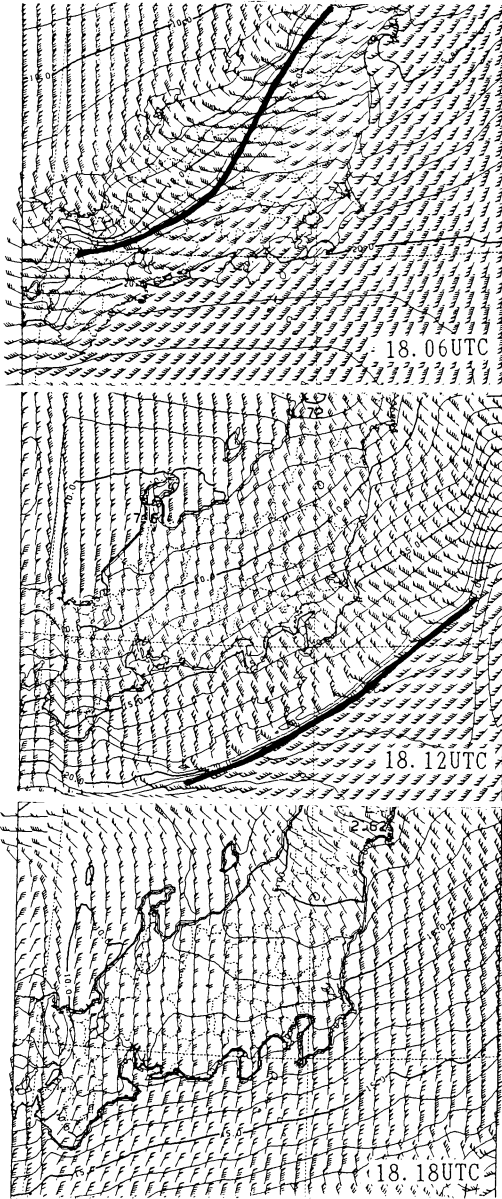
ては、今後の実験を待たねばならない。しかし、第9図に示したように、関東地方の無降水など大きなスケールでの特性はある程度予想している。ここでは、本州中部の地形がある場合 (CNTL) に予想された降雨のおおまかなパターンを示すに留める。

北陸では 12 UTC まで雨が残っている (X)。一方若狭湾から伊勢湾では、前線後面の寒気の流入する 03 から 06 UTC にかけて降雨域 (Y) がひろがる。東北地方東海上にも 03 から 12 UTC にかけて降雨域 (Z) がある。

関東地方では、一部で降雨があるが、局所的である。先に述べたように、関東地方は三国峠からの寒気にはほとんどおおわれている。他のルートからの寒気の前面には降雨が見られるのに、三国峠からの寒気の前面には広範囲にわたる降雨域は見られない。これについては、狭い峠を通り抜けるために、このルートからは寒気の流入が少なく、その前面に関東地方をおおう程の広範囲に強い収束を作ることが出来ないなどの原因が考えられる。

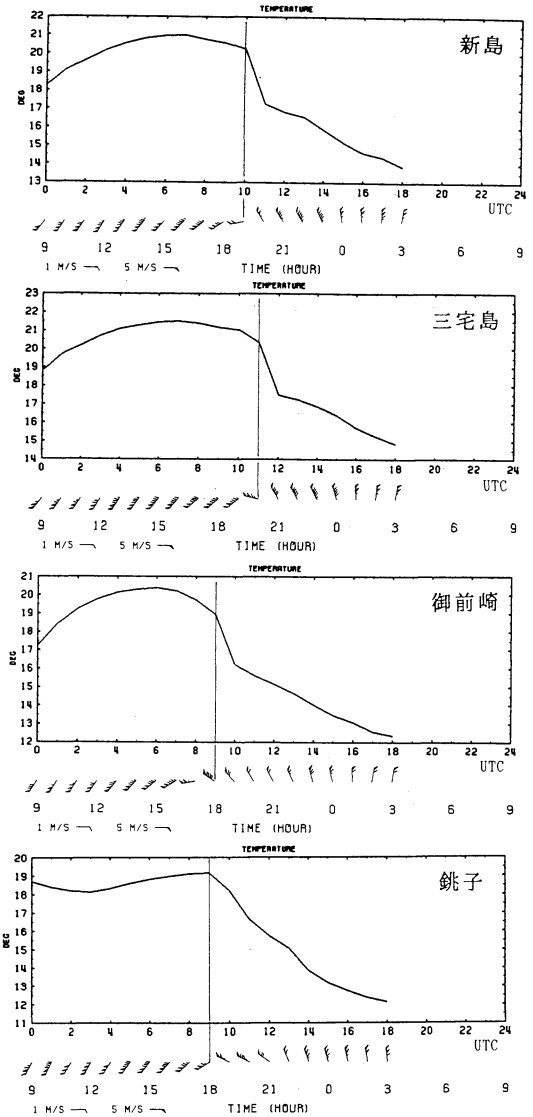
5. 本州の山の影響

山の効果を調べるために、山のないモデルの結果 (NOMT) を示す。結果は極めて単純である。風と気温の平面図 (第10図) を見ても、各地点の時系列図 (第



第10 NOMT でシミュレートされた地上風と地上気温。地上気温は1°Cごとに等温線を引いた。太線は地上気温傾度の集中域の南端を表わす。

11図) を見ても、線状の寒冷前線が南下して気温が下がり、風が北よりになって、それが持続することが判る。また降雨(第12図)を見ても、雨は前線上でほぼ一様に降り、関東地方でも降雨の変形は見られない。03-06 UTCでの東海地方での狭い降雨域は、海と陸の摩擦の違いによる収束によるものであろう。

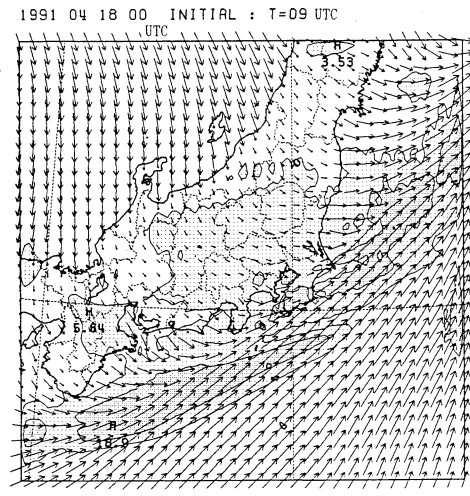
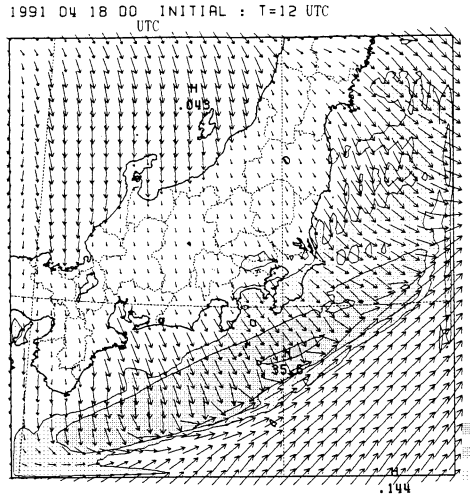
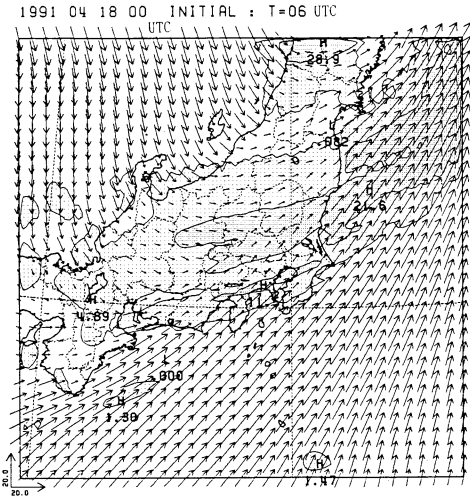


第11図 NOMT でシミュレートされた地上気温と地上風の時系列。地点は第4図と同じ、新島・三宅島・御前崎・銚子。

このように、寒冷前線通過の時に、関東地方や東海地方などで、気温や風、降雨の複雑な変化をもたらすのは、本州中部の山があるからであることが確認できた。

6. まとめ

本州中部の太平洋側の関東地方、東海地方では、寒冷前線が日本海側から下りてくるとき、複雑な風の変化をすることが言われており、それは本州中部の地形



第12図 NOMT でシミュレートされた3時間毎の前3時間積算降雨量 (mm)。他は第9図と同じ。

示されている。

(A)の経路の寒気は、東海地方に西よりの風として吹き込む。(B)は関東地方の大部分への寒気の流入をおこす。(B)の寒気は関東地方から伊豆半島、東海地方東部に入り込み、(A)の寒気の東端との間でシアラインを形成する。

東海地方東部から伊豆半島、新島、三宅島などみると、最初に関ヶ原からの寒気が到達し、気温の低下が見られるが、風向は西寄りあるいは南西寄りで暖域内の風と大きな変化はない。その後、(B)の寒気が入り、風向は西寄りあるいは南西寄りから、東あるいは北東寄りへと大きく変化するが、温度変化は小さい。

降雨のシミュレーションの結果は必ずしもよくないが、前線通過時に、関東地方で降雨がほとんど見られない現象も、中部山岳が大きな影響を及ぼしていることを確認できた。(C)の狭いルートを通ってきた山越えの寒気が関東地方の大部分をおおい、この寒気の前には、広範囲にわたる降雨域は見られない。

前線通過後に、3つのルートを通った寒気の南端は海上で一つの寒冷前線を形作り、この時、降雨のない関東地方をジャンプしたように見える。

今回は寒冷前線の一つのケースについて述べた。しかし、寒冷前線後面での寒気の流れは、場合によって著しく異なる。幸い、実験に用いた数値モデルは、中部山岳の地形効果のある程度表現できることが分かったので、今後も様々なケースに適用し、寒冷前線の通

の影響であるとされてきた。だが、これまで数値モデルを用いてこのことを調べた例はない。今回は10 kmの格子間隔のモデルを用いてシミュレーションを行ない、このような、寒冷前線通過時の気温や風、降雨の複雑な変化は、本州中部の地形の影響であることを確認した。地形がなければ、気温や風はごく単純な変化をする。

対象としたのは1991年4月18日のケースである。

その結果、この例では、次の3つの主要な経路があることが確認された。それは、(A)若狭湾から関ヶ原を経て伊勢湾に抜ける経路、(B)東北地方の東海上から関東地方に北東風として吹き込む経路、(C)中部山岳地帯の谷筋を抜けて三国峠から関東地方に入る経路、である。これらの経路は山本(1984)の報告にも

過に伴うメソスケールの現象の理解に役立てて行きたい。また今回は必ずしも満足な結果は得られなかった、降雨の詳細な機構についても、更に調査を続けて行く予定である。

謝 辞

今回の調査を行なうことを許可して頂いた、中山嵩前数値予報課長に感謝します。数値予報課、及び、メソ気象研究会の方々には有形無形の御助力を頂きました。また、本論文の改稿を辛抱強く待って頂いた「天気」編集部の方々にも感謝したいと思います。

参考文献

- 櫃間道夫, 上坂慶正, 1978: アメダスの風・気温データを雨予報に利用するための事例研究, 研究時報, 30, 207-212.
- 櫃間道夫, 1979: 本州中部を南下する降雨帯が足踏み後ジャンプする現象についての一考察, 天気, 26, 329-333.
- 井上長俊, 小司禎教, 1990: 中部山岳を越える寒冷前線の分類, 東京管区地方研究会誌, No.23, 11-12.
- 伊藤敏, 小司禎教, 浅沼幸喜, 1990: 中部・関東領域における前線通過時の風速場の特性, 日本気象学会1990年春季大会予稿集, 34.
- 村木彦磨, 1978: 寒冷前線に伴う帯状エコーの本州中部付近における変化, 天気, 25, 723-730.
- Segami, A., K. Kurihara, H. Nakamura, M. Ueno, I. Takano and Y. Tatsumi, 1989: Operational Meso Scale Weather Prediction with Japan Spectral Model. J. Meteor. Soc. Japan, 67, 907-924.
- 山本晃, 1984: 春季, 中部日本を通過した前線による風と気温のメソ解析, 研究時報, 36, 1-14.