

B-11 地球温暖化による水収支への影響評価に関する研究

(1) 気象・水文モデル開発による流域水文循環変化予測に関する研究

研究代表者 建設省土木研究所 寺川 陽

建設省土木研究所

河川部水文研究室 寺川 陽

藤兼雅和

平成2年度－4年度合計予算額 20,368千円

[要旨] 本研究では二酸化炭素等の温室効果気体の増加に伴う地球温暖化による地球規模の気候変化が地域スケールの水文循環に及ぼす影響を予測するために開発された大気数値モデルに、流域の水文循環や熱循環を考慮して改良することを目的としている。これまでの研究で、特に地表面過程の改良（大気と地表との熱、水、運動量のやりとり）を行ったことにより、現況の降水量シミュレーションの精度向上が図られた。

[キーワード] 水文循環, 気象・水文モデル, 流域スケール, 降水予測, 地表面過程

1. 序

気候は地域社会の発達を左右する第1級の因子である。多くの国々は数百年以上かけて、地域社会、インフラストラクチャーをその地域の気候条件、水文条件に適用させることによって発展してきた。しかし、産業革命以降の工業及び農業活動により二酸化炭素を始めとする温室効果気体が大量に大気中に放出されるようになり、気候変化の潜在的な原因として認識されるようになった。二酸化炭素を始めとする温室効果気体がこのまま無規制のまま放出されると2030年頃までには産業革命以前の2倍の二酸化炭素等量に達し、地球の気候系に深刻な影響を及ぼすと予想されている。

地球規模の気候変化により地域的な気候、流域の水文循環も変化し、すべての水工施設の設計条件である気候の定常製はもはや成り立たなくなる。しかも、気候変化は急速に進む可能性があり、早急に社会を予想される気候変化に適応させなくてはならない。そのために、できる限り正確に気候変化とその水文循環への影響を予測する必要がある。

本研究は米国カリフォルニア大学デービス校との共同研究である。

2. 研究目的

本研究の目的はGCMによる地球規模の気候変化の研究成果を、日本のメソスケール地域の流域水収支への潜在的な影響へと変換するために、信頼性の高いメソスケール大気モデルの開発を行うものである。GCMのメッシュサイズは最低でも300km程度であるので、それによる気候変化予測結果は概して粗いものとなり、凹凸の激しい地形をもった日本のような地域においては、それに対応したモデルによる予測が不可欠となる。

本研究ではメソスケール大気モデルに大気境界層・地表面過程などのいわゆる水文過程のモデル化、大気モデルへの導入を行うことによって、気象・水文モデルを開発することを目的とする。

3. 研究方法

3.1. 研究の流れ

本調査は以下のスケジュールに沿ってカリフォルニア大学との共同研究として行われた。

平成2年度 モデルの基本構成調査，地表面過程の基礎実験

平成3年度 モデルの構築，テストシミュレーション

平成4年度 日本地域への適用、地表面過程の導入，日本における冬期降水のシミュレーション

3.2. 基本的なモデル構成

このモデルでは地形順応型の σ 座標系による一連の基本式が用いられている。モデルは水平方向には変数 x ， y の普通の直角座標系を使い、 σ 座標($\sigma = P/P_{sfc}$)は地形に由来する問題を扱うために、鉛直座標として用いられる。ここで P は大気圧を表し、 P_{sfc} は地表の大気圧である。 σ 座標の概要を図-1に示す。以下に基本方程式を示す。

x ， y 方向の水平運動量の保存

$$\frac{Du}{Dt} = \left[f - v \frac{\partial m}{\partial x} + u \frac{\partial m}{\partial y} \right] v - \sigma \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \left[m \frac{\partial \Phi}{\partial x} + mc_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial x} \right] + F_{u\sigma}$$

$$\frac{Dv}{Dt} = \left[f - v \frac{\partial m}{\partial x} + u \frac{\partial m}{\partial y} \right] v - \sigma \frac{\partial v}{\partial \sigma} - \left[m \frac{\partial \Phi}{\partial y} + mc_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial y} \right] + F_{v\sigma}$$

熱エネルギーの保存

$$\frac{D\theta}{Dt} = -\sigma \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} + \frac{\theta}{c_p T} H + F_{\theta\sigma}$$

水蒸気の保存

$$\frac{Dq}{Dt} = -\sigma \frac{\partial q}{\partial \sigma} + M + F_{q\sigma}$$

質量の保存

$$\frac{D \ln P_{sfc}}{Dt} = -\nabla_{\sigma} \cdot \bar{V} - \frac{\partial \sigma}{\partial \sigma}$$

静水力学方程式

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} = -\frac{RT}{\sigma} = -c_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial \sigma}$$

ここで、 D/Dt =水平方向の時間微分 $=\frac{\partial}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla$ ， f =コリオリのパラメータ $=2\Omega \sin \phi$ ， Ω =地球の角速度， ϕ =緯度， $u, v=x, y$ 方向の水平流速， $\dot{\sigma}=d\sigma/dt=w$ = σ 座標における鉛直流速， Φ =重力ポテンシャルの高さ； $d\Phi(z)=gdz$ ， C_p =空気の定温比熱 $=1004\text{JKg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ， T =気温， θ =温度ポテンシャル， π =無次元圧力 $T/\theta=(P/1000)^{0.286}$ ， m =極座標立体投影のための地図係数 $=(1+\sin \phi)/(1-\sin \phi)$ ； $\phi_0=60^\circ\text{N}$ ， $F_{u\sigma}, F_{v\sigma}$ =それぞれ x 方向および y 方向運動量の鉛直方向乱流フラックスの発散， H =加熱または冷却率， $F_{\theta\sigma}$ =鉛直方向の熱の乱流フラックスの発散， q =混合比， M =鉛直方向の対流による混合比の変化， $F_{q\sigma}$ =水分の鉛直方向乱流フラックスの発散， p_{sfc} =地表面気圧， R =乾燥空気の気体定数 $=287\text{JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$

積分手法は疑似ラグランジュ移流法を用いている。本モデルの最終バージョンは大領域モデル(60*60km)と小領域モデル(20*20km)がネスティングされているモデル構成となっている(図-2参照)。

3. 2. 大気境界層・地表面過程の導入

平成4年度にモデルの予測精度向上のための改良を行った。モデルの主な改良点は、(1)大気境界層の細分化とエネルギーフラックス計算手法の改変、(2)簡易な地表面過程の導入、(3)初期条件の設定方法の改変である。

(1)大気境界層

以前のモデルは鉛直10層であったが、これを12層に増やした。これにより最下層の厚さは以前のモデルの225mから改良モデルでの70mに薄くなった。12層の境界の高さは $\sigma=1.0, 0.99, 0.97, 0.95, 0.90, 0.80, 0.60, 0.40, 0.325, 0.25, 0.175, 0.10, 0.0$ である。最下層以外での運動量、熱及び水分の輸送は3年度まで用いてきた動力学方程式と乱流輸送方程式で表される。

(2)簡易な地表面過程の導入

改良したモデルでの地表面過程は、表層のある厚さの1層の土層を考えこの層の底の温度は季節を通じて一定に保たれるとした。そして、層内の温度の鉛直分布は放物線型と仮定した。従って、この土層の最上部の温度が予測変数となる。

(3)初期条件の設定方法の改変

初期条件の設定には、カリフォルニア大学が入手したNMC（合衆国国立気象センター）データセットおよびCOADS（海洋・大気・総合資料集）が用いられた。気温、風向、湿度および地表面気圧はNMCの資料集から内挿により求められた。海水面温度と混合比の初期値はCOADSより設定した。地表面温度の初期値設定はAMeDASデータを用いた。

4. 研究結果

改良モデル計算値を旧モデル計算値あるいは観測値と比較することによりモデルの精度を検証する。改良モデル計算値は12層からなる60kmメッシュの「12層大領域モデル」、この12層大領域モデルの本州・四国部分に20kmメッシュをネスティングした「12層小領域モデル」の2種類がある。12層大領域モデルでは地表面過程はまったく考慮していない。昨年度作成した大領域モデルからの唯一の改良点は層が増えたことのみである。旧モデルは「10層小領域モデル」である。検証対象期間は1989年1月で、観測値はAMeDASあるいはNMC内挿データである。すべての値は月平均値である。

4. 2. 改良12層大領域モデル

旧10層大領域モデルと比較する。地表面気圧の分布は旧10層モデルでも改良12層モデルでもほとんど同じである。観測値による気圧分布ともほぼ一致する。対流圏 $\sigma=0.98$ 層における気温分布は改良12層モデルの方が旧10層モデルより観測値に近い温度分布を与えた。旧10層モデルでは観測値より2～3℃低かったが、改良12層モデルでは一部の地域を除き1℃程度の誤差に改良されている。同じく風向風速の分布は両モデルとも適当な結果を与えている。同じく湿度分布については旧10層モデルでは混合比で0.002g/gに改善された。

降水量分布は図-3に示すとおり、改良12層モデルにより大幅に改善された。旧10層モデルでは計算降水量は観測値の1/100であるのに対し改良12層モデルでは観測値と同じオーダになった。

4. 3. 小領域モデル

図-4に富士山付近のメッシュにおける地表面温度の観測値と計算値の比較を示す。これから、両者が良い一致を示していることから、地表面過程の改良が成功していることが分かる。

降水量分布については、改良12層モデルは旧10層モデルよりはるかによい結果を与える。図-2に降水を示す。観測による降水は男鹿半島から日本アルプスに至る日本海沿いの連続した地域にある。旧10層モデルではこれを再現できなかったが改良12層モデルではこれが再現できた。また、紀伊半島周辺、四国南部の降水も良く再現できている。

5. 今後の方針

温暖化時の降水特性を表現するためには、大気大循環モデル（GCM）の出力結果を境界条件として用いる手法を開発することが必要である。

6. 研究発表の状況

Application of a Mesoscale Atmospheric Model for the Prediction of Regional Climate Change: J. YOSHITANI, K. MASUKURA, M. L. KAVVAS et. al, JUCHWR 1st Workshop of JUCHWR, Feb, 1992, PWRI, Japan

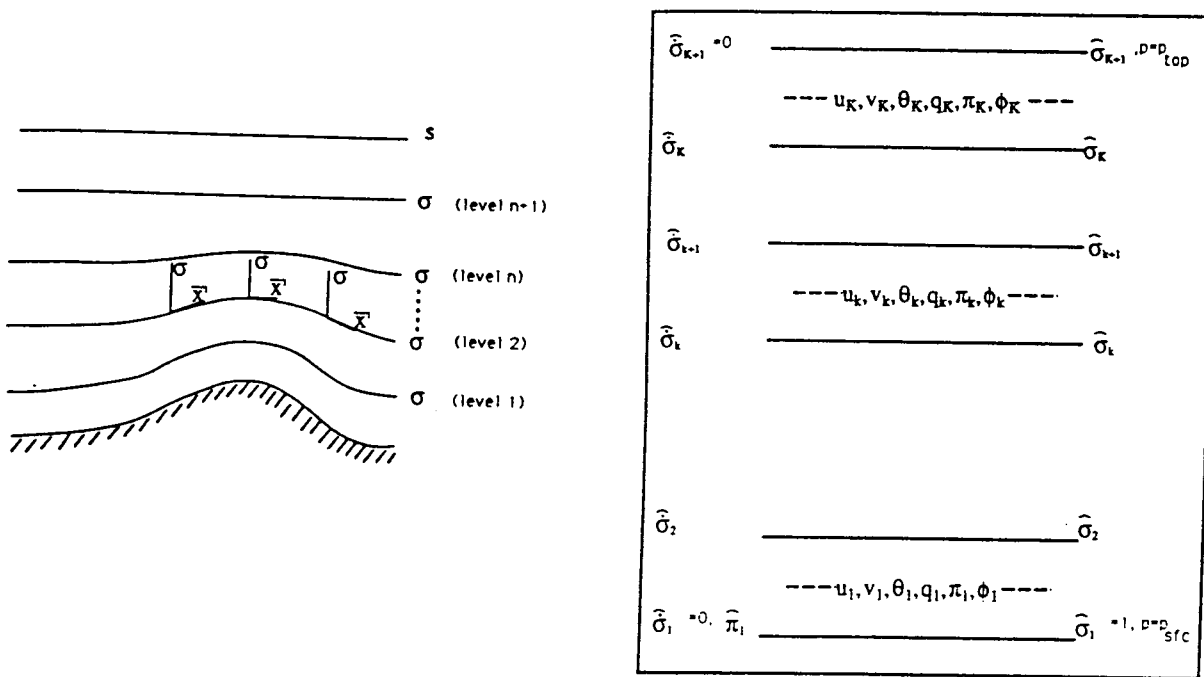
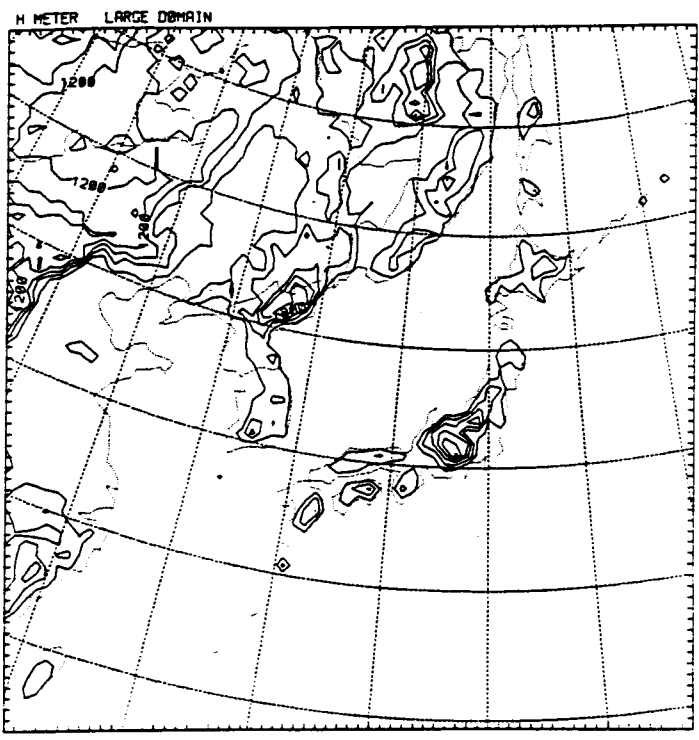
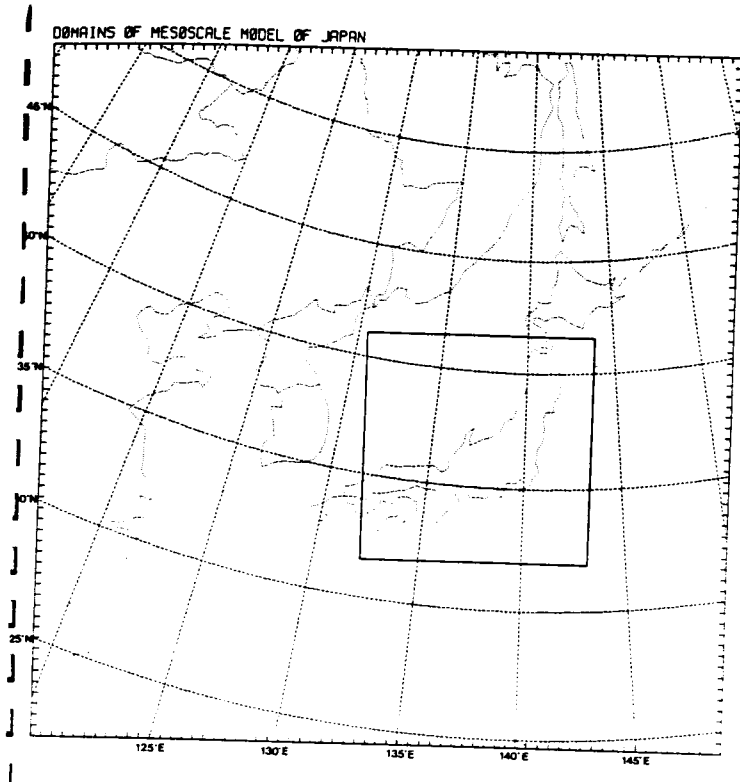
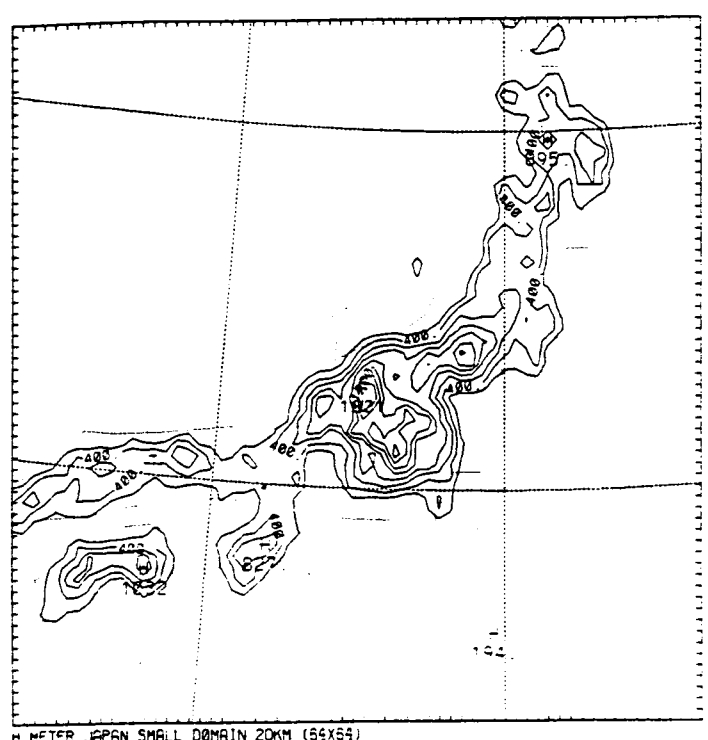


図-1 鉛直座標



CONTOUR FROM .00000E-00 TO 3000.0 CONTOUR INTERVAL OF 300.00 PT12.31= 167.85



H METER JAPAN SMALL DOMAIN 20KM (64X64)
CONTOUR FROM 200.00 TO 3000.0 CONTOUR INTERVAL OF 200.00 PT12.31= .00000E-00

図-2 大領域モデルと小領域モデルで表される日本の地形

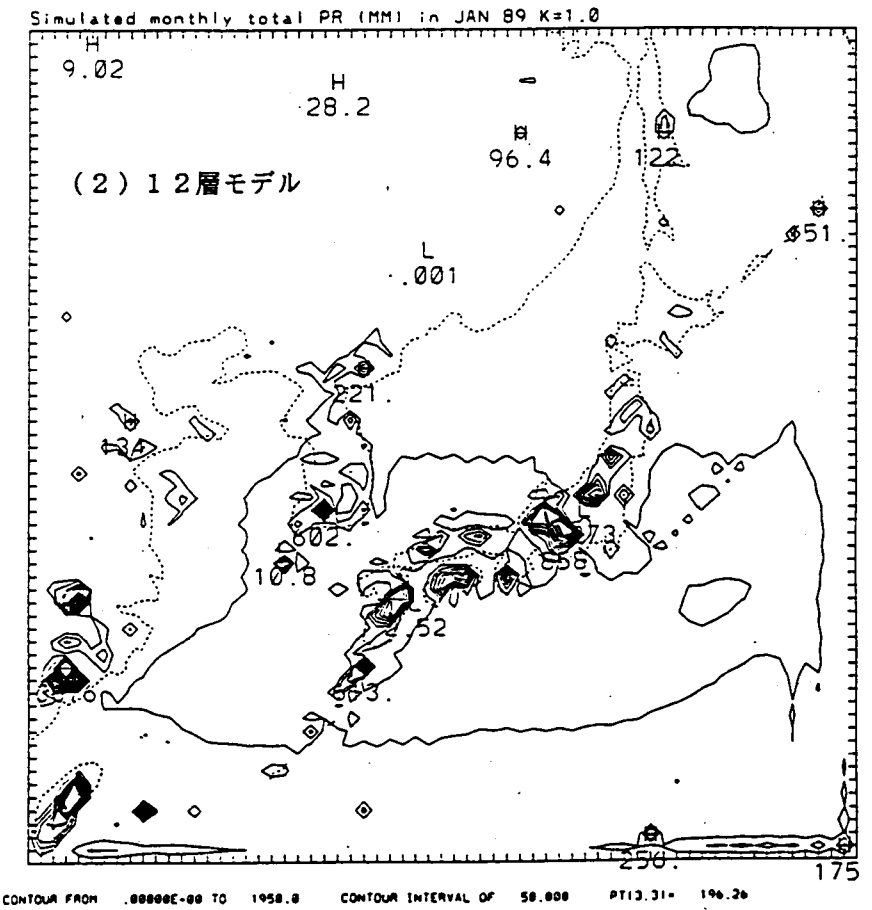
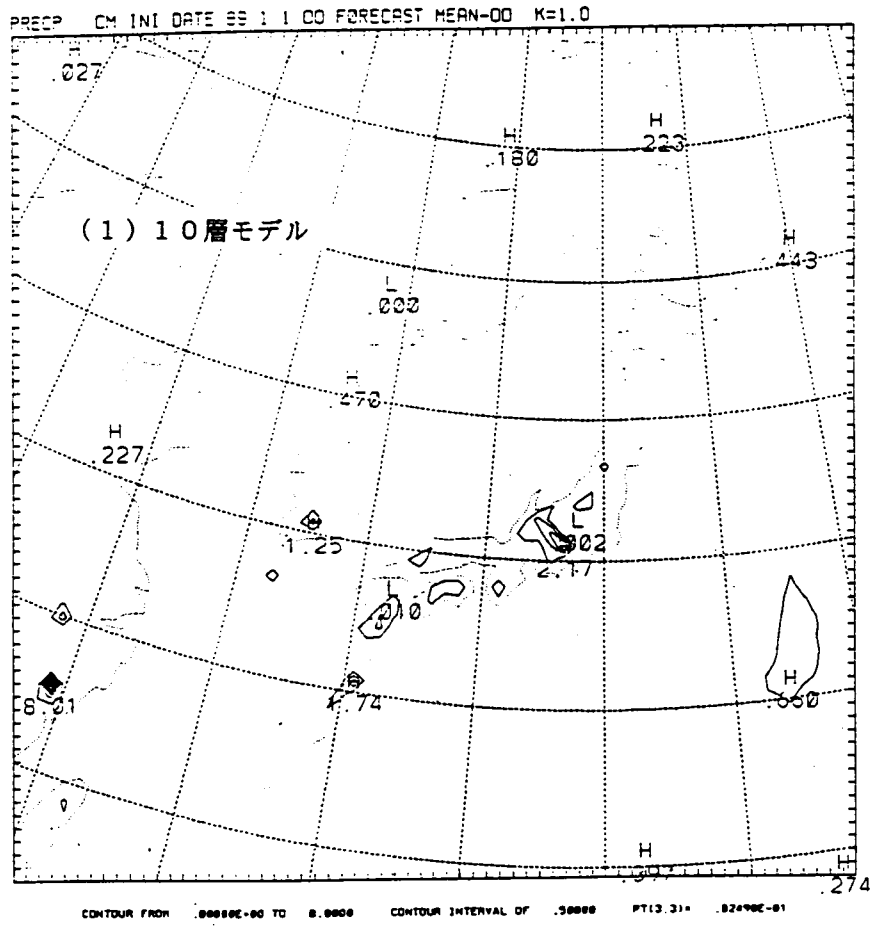


図-3 大領域モデルによる1989年1月の降水量分布

Surface Air Temperatures at node (39,25)

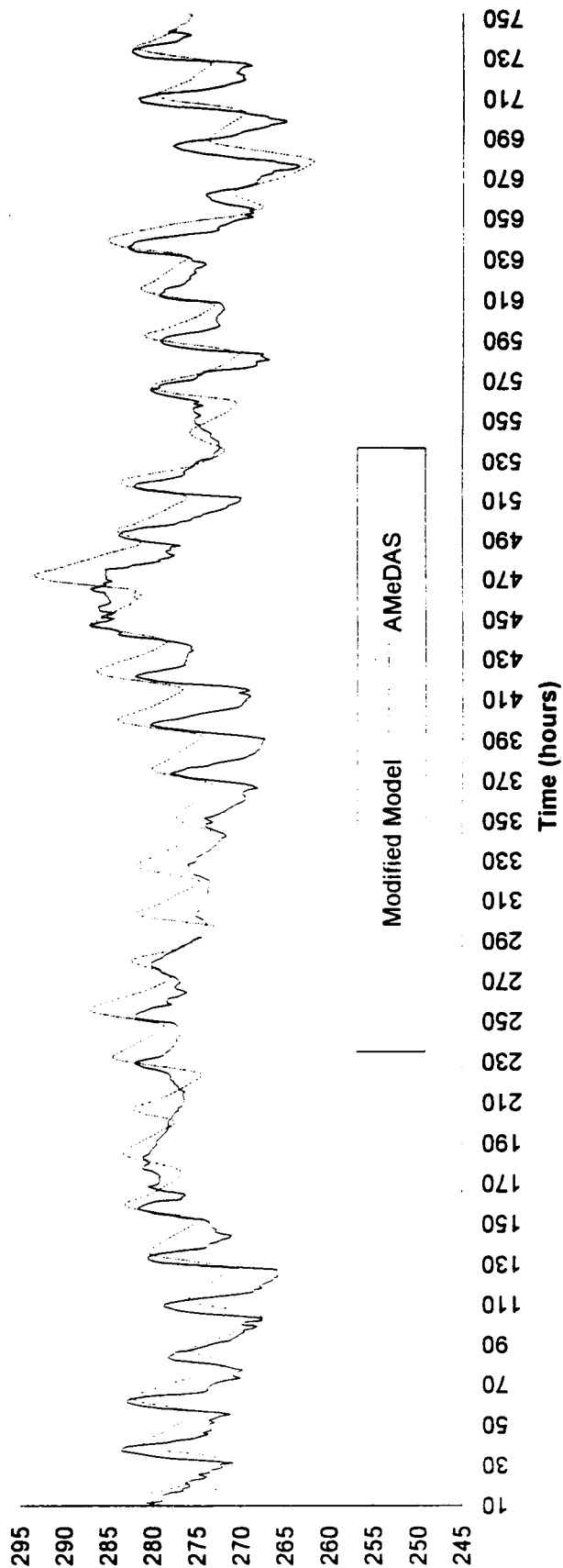
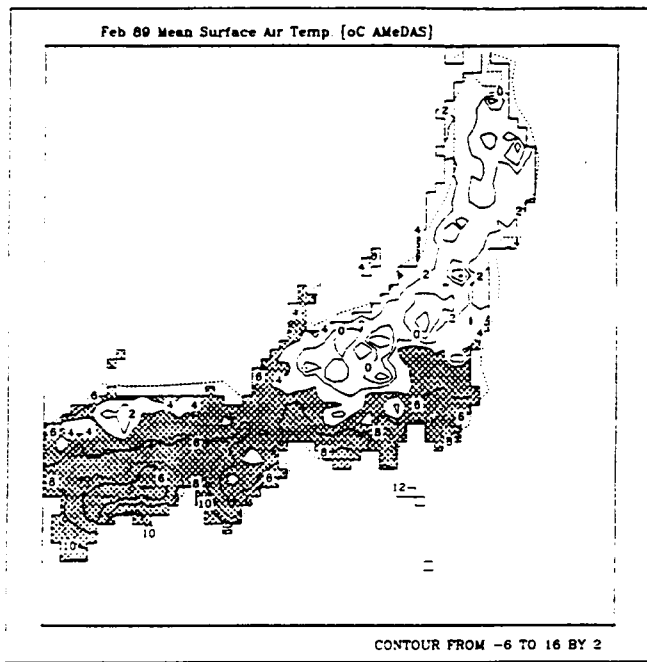
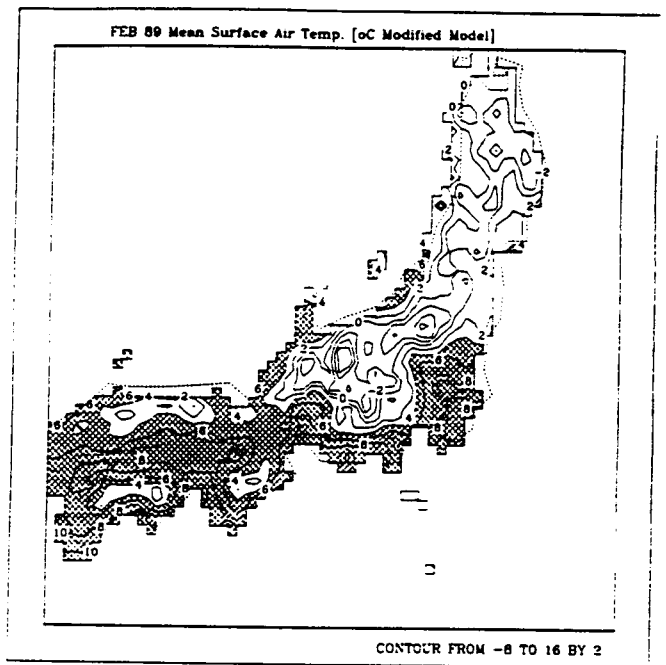


図-4 1988年12月の富士山付近の1メッシュの地表面温度比較

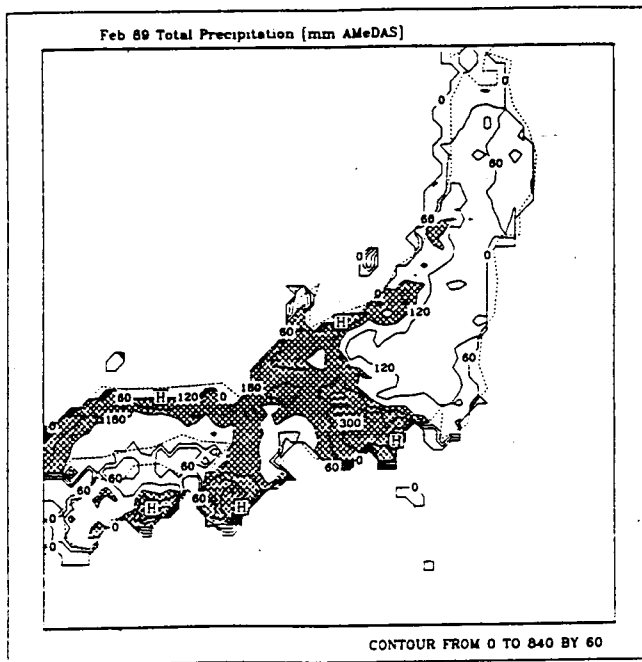


Observation

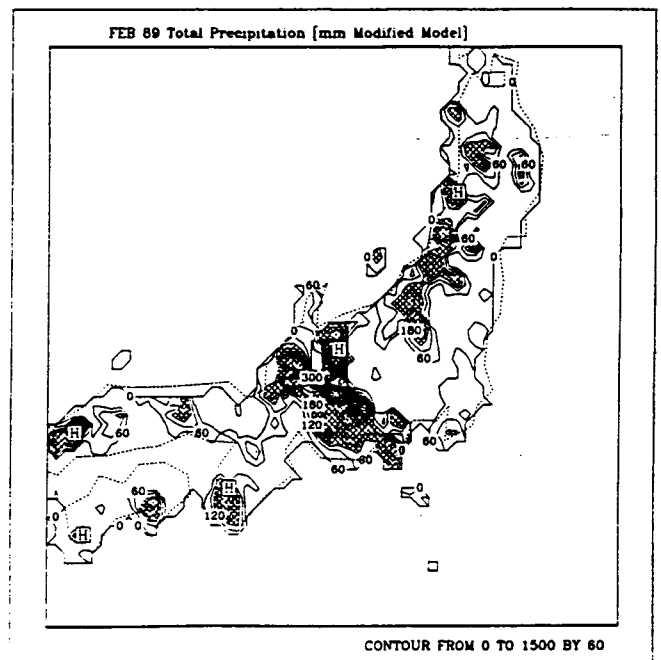


Calculation

a) Surface temperature



Observation



Calculation

b) Precipitation amount

図-5 小領域モデルによるシミュレーション結果