

降雨分布の推定に関する研究

Estimation of Rainfall Distribution

東京大学大学院 沖 大幹 T . O k i
芝浦工業大学 高橋 裕 Y. Takahasi
東京大学工学部 玉井信行 N . T a m a i
東京大学工学部 小池俊雄 T . K o i k e

1. はじめに

降水は水文現象の素過程として極めて重要であることはいうまでもなく、その激しい変動性の面的（空間的）解析については観測網の限界からか、なおあいまいな点が多く残っているものの、時系列的（時間的）解析はかなりの成果が得られている。しかし気象庁によりAMeDASが全国に展開されて以来10年が過ぎ、またレーダ雨量計の整備も進められて、降水を流域規模で面的にとらえることが可能になりはじめている。一方近年の計算機及び数値気象学の発達により、数値モデルによる気象現象のシミュレーションもしくは予測が実用に耐えうるようになってきた。

そこで筆者らは降雨分布の可視化作業を行って、豪雨時における気象擾乱と地形条件との関係を調べるとともに、降雨分布に与える地形の影響を評価する手法としてプリミティブ方程式による三次元数値モデルを作成してこれを実地形に対して適用し、流域規模の降雨予測への応用可能性を明らかにした。

2. 豪雨時の降雨分布解析

2. 1 データ及び対象の選定

対象地域には、従来より気象擾乱と降雨分布との間に相関があるとされている九州に着目して、ほぼ全島が入る北緯31度から34度、東経129度から132度の経緯線に囲まれた領域を選んだ。地形データは国土地理院の国土数値情報・標高ファイルを3次メッシュ内で平均して用いた。降水データは気象庁のアメダス要素別雨ファイルの日降雨データを用いた。豪雨としては1978年から1986年までの雨期（5月～10月）の間で、対象領域内152地点のアメダス降水観測点のうち10以上の地点で日雨量が100mm以上である日を抽出した。豪雨日の気象状態は天気図及び台風経路図から判断した。日雨量を取り上げたのは観測の空間スケールとのバランスからである。なお、24時間雨量100mmというのがほぼ九州全域における大雨注意報の基準値にあたる。

2. 2 分布解析の結果

得られた豪雨日について日降水量と地形とを重ね併せて表示した。分類した結果を表-1に、代表的なものを図-1に示す。条件に当てはまる日が連続していても別々にカウントした。明らかなように台風時の豪雨については南東部に集中する場合が顕著にみられる。この場合の多くは図-1-⑥に示した別府と阿久根を結ぶラインがその境界となっていた。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	合計
①前線	16	-	4	4	6	5	1	9	3	48
②台風	3	2	-	1	-	1	16	1	1	25
③低気圧	-	-	1	-	-	-	2	2	2	7
④その他	2	-	2	1	-	1	-	-	-	6
合計	21	2	7	6	6	7	19	12	6	86

降雨分布の分類
A. 北部集中型 21例
B. 北東部集中型 2例
C. 北部・中部分布型 7例
D. 有明湾沿岸型 6例
E. 中部集中型 6例
F. 中部・南部分布型 7例
G. 南東海岸型 19例
H. 南部集中型 12例
I. 全域分布型 及び その他 6例

表-1 豪雨時の降雨分布の分類 （1978～1986、九州）

2. 3 台風の経路と豪雨分布

さらに台風による豪雨日について経路との関係を調べた結果が図-2である。日付の下の方の四桁の番号(XXY Y)は台風ナンバーで西暦19XX年の台風YY号を表す。曲線は九州で豪雨が生じた日におけるその台風の中心の位置を表し、白丸から白丸までが24時間で6時間おきに×がプロットしてある。

南東部に降雨が集中するのは、台風が九州の南東岸(もしくは南東岸沖)を北上した場合だけでなく九州西方海上を北上したりする場合などにも見られる。これらは台風の周りの直接の雨雲のみならず、中心に向かって吹き込む太平洋からの暖かい湿った風が、九州の脊梁山脈で強制上昇を受けて激しい雨を降らせ、別府-阿久根ラインを形成していると考えられる。また、北東部に集中している二例はいずれも南東部に豪雨を降らせた翌日でいわゆる台風の吹き返しに当たるものである。

いずれにしても台風の経路と九州の豪雨分布とは一義的には地形と中心位置(その方向へ反時計周りに風が吹き込む)により理解されることがわかる。また、一般に九州において北部では梅雨により、南部では台風により豪雨災害が生じるといわれることも表-1から統計的に裏付けられる。

2. 4 台風以外の場合と予測への展望

台風の場合には中心といふかなりはっきりと位置を特定できる構造を持つため、以上のようにかなり降雨分布とのよい相関が得られた。しかし梅雨時や温帯低気圧などによる場合については例えば前線や低気圧の中心を同様にプロットしてもはっきりしたことはわからなかった。また、台風の場合にしても予報へとつなげるためには進路の予測が必要となる。筆者らはこれらの諸問題に対して気象学的なアプローチも有効な手段であると考え、次に示すように数値モデルを用いて大気に及ぼす地形の効果を評価した。

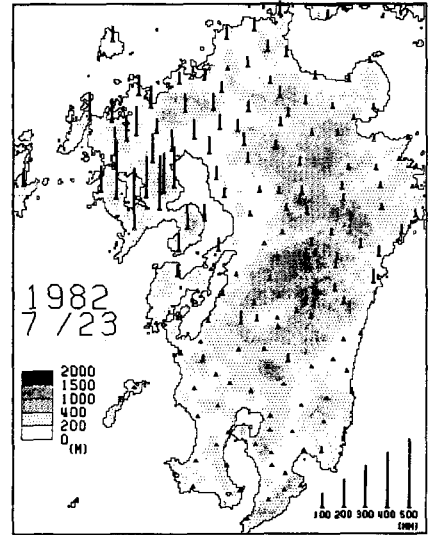


図-1-④ A型(前線)

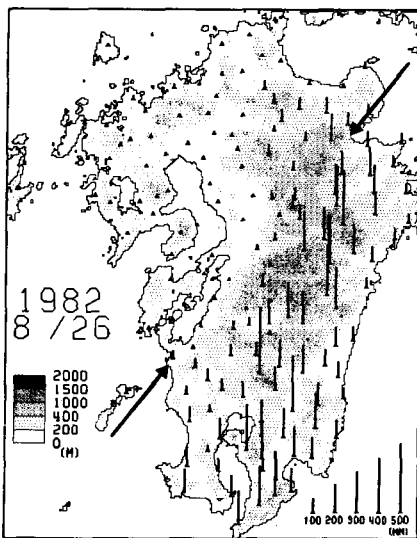


図-1-⑤ G型(台風)

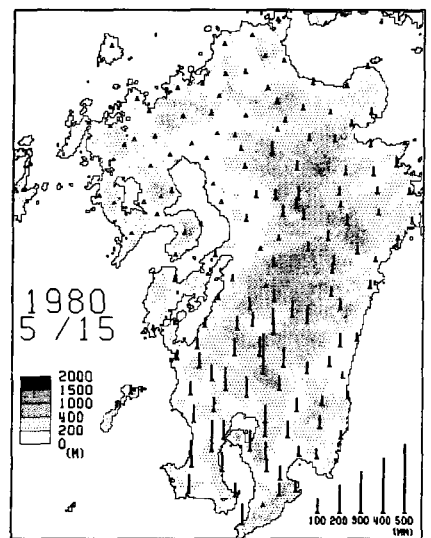


図-1-⑥ H型(低気圧)

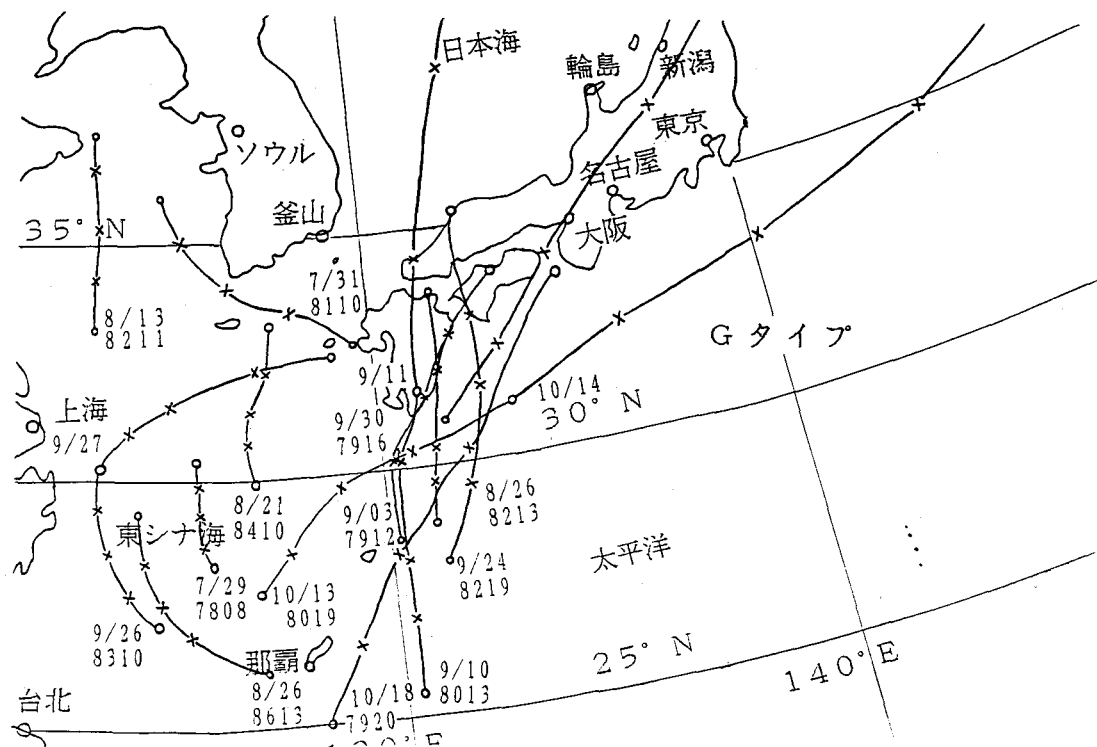


図-2-⑤ 九州南東部に豪雨を降らせた際の台風の進路状況

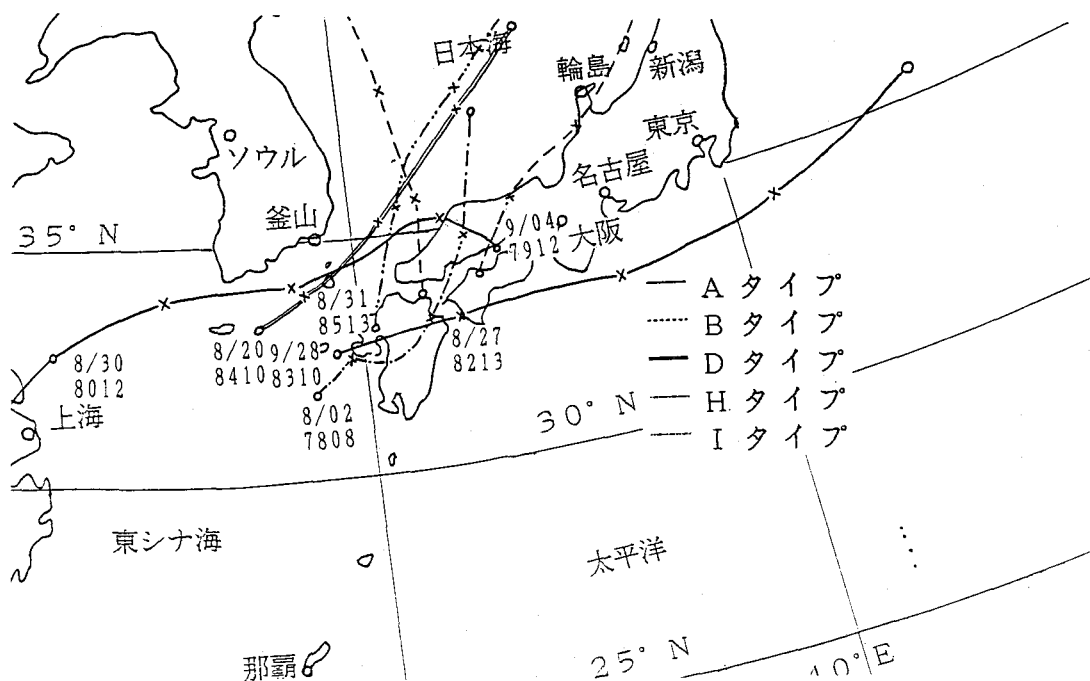


図-2-⑥ 九州南東部以外に豪雨を降らせた際の台風の進路状況

3. 基本的気象モデルを用いた降雨分布に与える地形の影響の評価

3. 1 モデルの概要

支配方程式を表-2に、数値化の概要を表-3に示す。変数は各グリッドで図-3のようにくい違えて定義した。鉛直方向にも σ について一様にとり、地表面付近を細かくとるようなことはしていない。比較的狭い対象範囲を念頭に置いているため、コリオリ力や経度方向のグリッド間隔は一定で緯度による変化はないものとし、北緯30度での値で代表させている。なお、グリッド間隔は地表面境界条件に国土数値情報が取り込み易いように3次メッシュに対応してとっており、 Δx 、 Δy はそれぞれ9メッシュ、11メッシュ分にあたる。初期状態には気温減率6.5K/kmの静止大気を与え、積分開始と同時に風速成分を加えた。

3. 2 仮想的な山岳へのモデルの適用

標高700m半振幅10kmのベル型の山の地表に対して、10%の v を与えてテストした。モデルの大きさは20(x)*40(y)*20(σ)である。10分後の $y-\sigma$ 断面の流れの様子を図-4に示す。鉛直速度は ω (Pa/s)で表してある。プログラムなどに起因するエラーはないと判断される。

3. 3 実地形への適用

前章の対象領域の標高データからピックアップした地形条件に対して南風と東風をそれぞれ与えた場合について50*60*20のグリッドモデルで計算を行った。風速はテストと同じように10%とした。南風を与えた場合の10分後の $y-\sigma$ 断面の流れの様子は図-5のように良好であった。

☆支配方程式系☆	
$\frac{\partial \pi u}{\partial t} = -\frac{\partial \pi u^2}{\partial x} - \frac{\partial \pi u v}{\partial y} - \frac{\partial \pi u \dot{\sigma}}{\partial \sigma} + f \pi v - \pi \frac{\partial \phi}{\partial x} - \pi \sigma \alpha \frac{\partial \pi}{\partial x}$	
$\frac{\partial \pi v}{\partial t} = -\frac{\partial \pi u v}{\partial x} - \frac{\partial \pi v^2}{\partial y} - \frac{\partial \pi v \dot{\sigma}}{\partial \sigma} - f \pi u - \pi \frac{\partial \phi}{\partial y} - \pi \sigma \alpha \frac{\partial \pi}{\partial y}$	
$\frac{\partial \pi}{\partial t} = -\frac{\partial \pi u}{\partial x} - \frac{\partial \pi v}{\partial y} - \frac{\partial \pi \dot{\sigma}}{\partial \sigma}$	
$\frac{\partial \pi}{\partial t} = -\int_{\sigma}^1 \left(\frac{\partial \pi u}{\partial x} + \frac{\partial \pi v}{\partial y} \right) d\sigma$	
$\delta \phi = -\pi \frac{RT}{p} \delta \sigma = -RT \delta (\ln p)$	
$\frac{\partial \pi C_p T}{\partial t} = -\frac{\partial \pi u C_p T}{\partial x} - \frac{\partial \pi v C_p T}{\partial y} - \frac{\partial \pi \dot{\sigma} C_p T}{\partial \sigma} + \pi \omega \alpha$	
$\pi \dot{\sigma} = -\int_{\sigma}^1 \left(\frac{\partial \pi u}{\partial x} + \frac{\partial \pi v}{\partial y} \right) d\sigma - \sigma \frac{\partial \pi}{\partial t}$	
☆変数☆	
$\sigma = \frac{(p - p_t)}{\pi}$ ps:地上気圧(Pa), pt:モデル上端気圧(Pa)として $\pi = ps - pt$ (Pa)	
定義より $0 \leq \sigma \leq 1$ であり $\sigma=0$ がモデルの上端 $\sigma=1$ が地表面である。	
u : x方向(東向き)速度。(m/s)	
v : y方向(北向き)速度。(m/s)	
T : 気温。(K)	
ϕ : ジオポテンシャル。(空気塊の位置エネルギー) (J/kg)	
$\dot{\sigma}$: 鉛直速度。(s ⁻¹)	
等 σ 面に相対的な空気塊の鉛直速度。 $\dot{\sigma} < 0$ は上昇流 $\dot{\sigma} > 0$ は下降流を表す。	
$\omega \equiv \frac{\partial p}{\partial t} = \pi \dot{\sigma} + \sigma \left[\frac{\partial \pi}{\partial t} + u \frac{\partial \pi}{\partial x} + v \frac{\partial \pi}{\partial y} \right]$, 鉛直p速度。(Pa/s)	
$\alpha \equiv \frac{RT}{p} = \frac{1}{\rho}$, 比容で密度 ρ の逆数。	
☆定数☆	
f : コリオリパラメーター。	
g : 重力加速度。	
R : 気体定数。	
C_p : 定圧モル比熱。	

表-2 支配方程式

鉛直座標	σ 座標系
モデル上端気圧	100mb
空間差分	中央差分
時間差分	松野スキーム
グリッド間隔	10. 8km (Δx) 10. 2km (Δy)
積分時間間隔	10秒
端部境界条件	中央差分を満たすように外挿
上下境界条件	フリースリップ (u , v) 外挿 (T) 0 ($\dot{\sigma}$)
物理過程	なし

表-3 数値化の概要

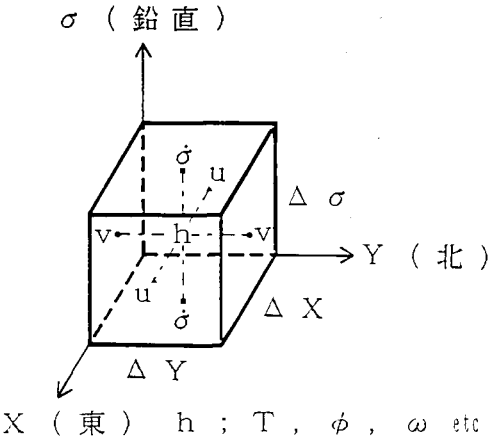


図-3 グリッド内での変数の配置

また、それぞれの場合について900mb面(約1km)及び700mb面(約3km)での ω 速度が負の領域は図-6、7の陰の部分であった(海上は表示していない)。負の鉛直 p 速度 ω (すなわち上昇流)は降水と直接結びついていると考えられるが、その分布は先に示した図-1-⑥に代表される降水分布によく一致し、台風時の降雨分布を定性的ながらうまく説明できている。なお、与えた地表面境界条件・積分領域を図-8にあげておく。

4. むすび

気象原因及び地形と降雨分布との関係を整理して、特に台風性豪雨について台風の経路・地形条件と降雨分布の間に明白な関係が示された。さらにその場合については基本的な大気モデルを用いて風向と地形により説明できることがわかった。水蒸気の効果を加えるなどして今後モデルを発展させることにより、定量的に降水分布を計算したり、台風以外の場合についても降水分布が再現できるようになることが期待される。

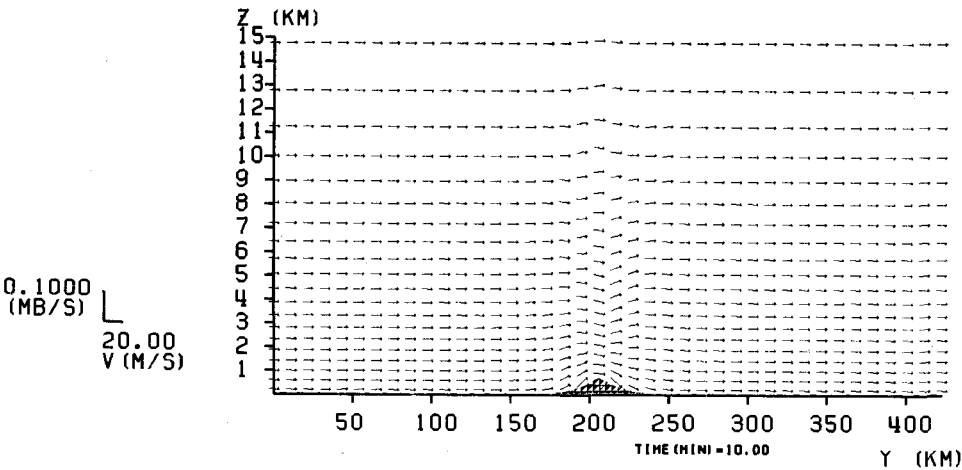


図-4 ベル型の山を越える流れ

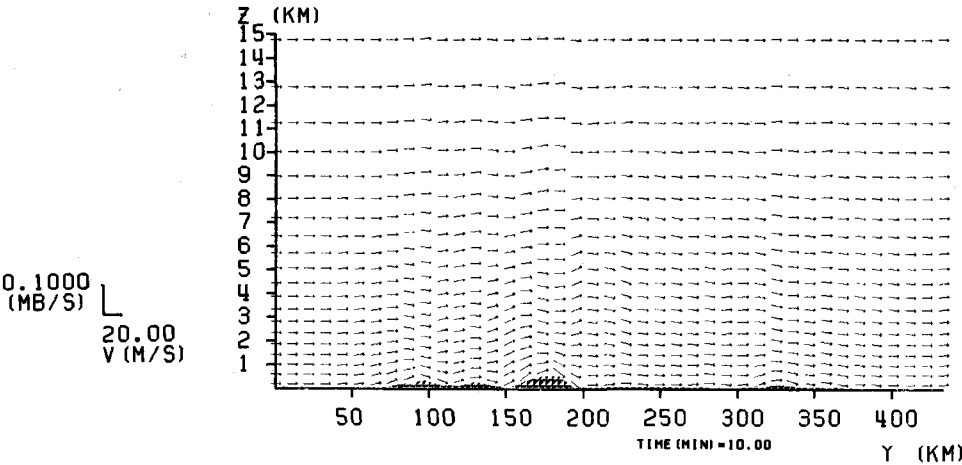


図-5 九州の脊梁山脈を越える流れ

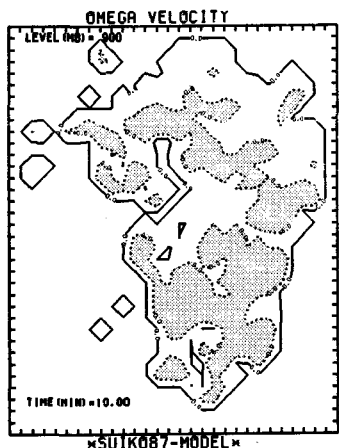


図-6-③ 南風の場合 (900 mb)

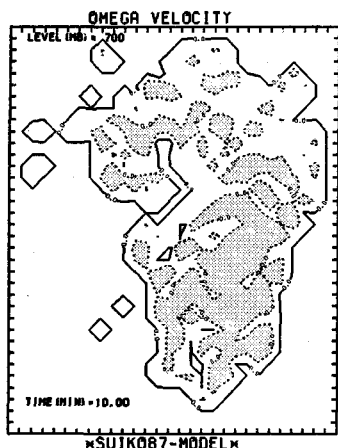


図-6-④ 南風の場合 (700 mb)

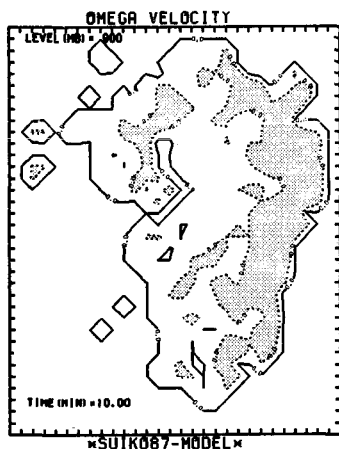


図-7-③ 東風の場合 (900 mb)

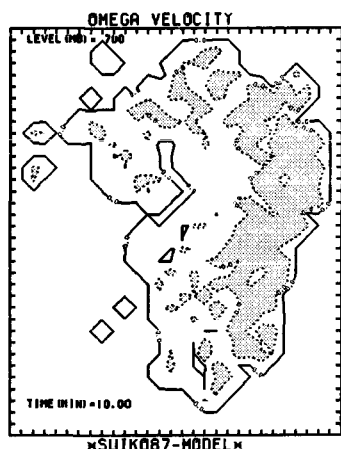


図-7-④ 東風の場合 (700 mb)

謝辞 : 今回の研究に貴重な助言と資料を下さった気象庁予報部数値予報課数値予報班長北出武夫予報官ならびに東京大学理学部地球物理学科気象学教室の方々に深く感謝いたします。また、本研究で用いた地形データは国土整備事業の一環として建設省国土地理院において作成された標高に関する国土数値情報を使用しました。そして降水のデータは気象庁統計室より提供を受けました。データ解析、数値計算並びにその出力には東京大学計算機センターを使用し、本論文で用いた図のいくつかにはライブラリに登録されているNCARで開発された図形出力プログラムを使用しました。ここに記して甚大なる感謝の意を表します。

参考文献

1) 沖 大幹・高橋 裕・小池俊雄: 降雨分布に及ぼす地形効果のシミュレーション, 土木学会第42回年次学術講演会講演概要集第Ⅱ部, pp.100-101, 1987.

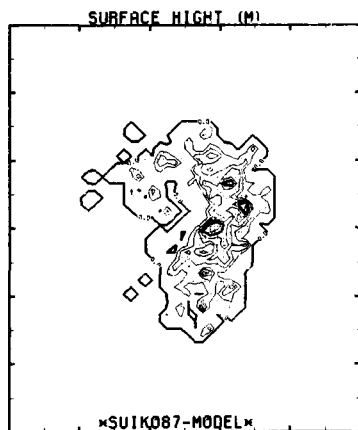


図-8 地表面境界条件と積分領域