

II-23

流域特性の空間スケールに基づく分布型流出モデルの検討

北見工業大学工学部 正員 早川 博
 北見工業大学大学院 学生員 東村 和香子
 北見工業大学工学部 正員 内島 邦秀

1. はじめに

近年、レーダー雨量計の開発により今までの点的な雨量分布から、面的さらには空間的な雨量分布の観測が可能になった。一方、地形、地質などの地理的情報は、国土数値情報¹⁾などから数値地形として容易に入手できる。これらの流域水文情報を用いた分布型流出モデルがいくつか提案されてきている^{2~4)}が、解析を行おうとする流域の基準サイズの判断が困難である。本研究では、降雨の空間変動を考慮して、レーダー雨量より降雨場の一様とみなすことができる雨域のサイズを調べるとともに、降雨の受け皿となる流域場において、国土数値情報から地形、地質などの流域特性が均質とみなせる流域サイズを明らかにする。本研究の目的は、この結果を基に、分布型流出モデルサイズを推定することである。

2. 流域場の流域サイズ

流出解析するにあたって、対象となる流域の流域特性は均質であることが望ましい。そこで、流域場の特性量として、国土数値情報に整備されている地形分類、表層地質を取り上げ(表-1)、流域の中でこれらの特性量が同じものの集合、すなわち均質とみなすことのできる面積を調べた。流域は、北海道の一級河川13水系の本川とその主要な支川を含む20流域を対象とした。一例として、十勝川流域の地形分類(表-1,項目No.1~15)は、図-1のようになっている。その中で項目No.1~15の各特性量が同一となる部分に流域を分割し、各々の大きさをメッシュ個数でカウントする。1メッシュは1km×1kmの3次メッシュで与えられているので、メッシュ個数が面積(km²)となる。表層地質(表-1,項目No.16~26,図-2)も同様にして特性量が均質となる面積を調べた。

2.1 地形分類、表層地質の均質な面積

計測結果は、各項目毎に均質となる面積を頻度図で表し、地形分類の中起伏山地(No.2)、大起伏山地(No.5)、表層地質の礫・砂・碎屑物(No.16)、ローム・火山灰(No.22)を例に挙げ、図-3~6に示した。各特性量のデータ個数は、約20~200とばらついているが、これは流域によっては存在しない特性量があったり、特性量の均質な面積

表-1 流域場の特性量

項目No	地形分類	項目No	表層地質
1	大起伏山地	16	礫・砂・碎屑物
2	中起伏山地	17	砂・礫・粘土
3	小起伏山地	18	粘土・泥炭
4	山麓地	19	礫岩・砂岩・珪岩
5	大起伏火山地	20	石灰岩・泥岩
6	中起伏火山地	21	砂岩・泥岩互層
7	小起伏火山地	22	ローム・火山灰
8	火山麓地	23	火山碎屑物
9	丘陵地	24	火山性岩石
10	火山性丘陵地	25	深成岩類
11	ローム台地	26	変成岩類
12	砂礫台地		
13	岩石台地		
14	扇状地		
15	三角州・砂州		

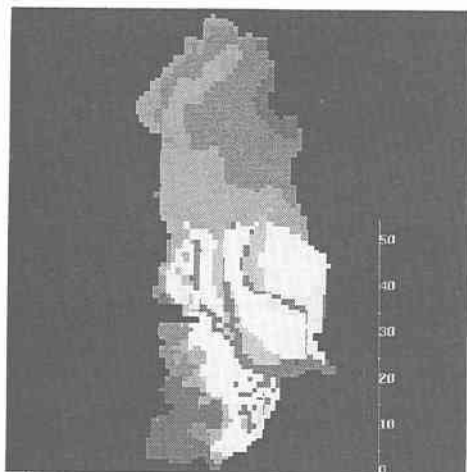


図-1 地形分類(十勝川, 帯広)

A Study on Scaling problems of Distributed Runoff Models based on Spatial Characteristics of River Basin

by Hiroshi HAYAKAWA, Wakako HIGASHIMURA and Kunihide UCHIJIMA

がかなり大きいものを含むためである。図に示したように、どの特性量においても頻度図は指数分布形に相似した分布になっていることがわかる。つまり、各特性量の均質な面積の大きさは、一定の大きさに集中するのではなく、特性量が同一な部分は比較的小きな塊として数多く分布し、その中に所々面積が大きいものが存在していることを表している。図-7, 8は、各特性量毎に得られた均質な面積の平均値(●印)と平均値± σ (標準偏差)を示している。一般的に指数分布に従うとき、平均値=標準偏差の関係がある。図の中で平均値と標準偏差± σ の範囲が小さい特性量は、山麓地(No. 4), 粘土・泥炭(No. 18)である。これは、この特性量が占める割合がどの流域においても元々少ないため、均質となる面積の大きさも小さくなると考えられる。一方、小起伏山地(No. 3), ローム・火山灰(No. 22)は、平均値と標準偏差が大きい。これは、この特性量の均質な面積がかなり大きなものが存在していることを意味している。

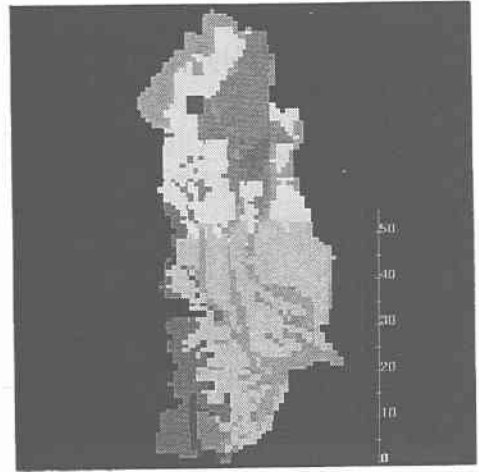


図-2 表層地質(十勝川, 帯広)

以上の様に、各特性量毎に均質とみなせる面積は平均値、平均値± σ (標準偏差)の範囲の両方とも異なっている。どの特性量についても均質であるためには、平均値± σ (標準偏差)が全ての項目に共通している範囲がなければならない。この範囲は、約5~20 km^2 となる。平均値の範囲をみると約5~110 km^2 とかなり幅広い。したがって、全ての特性量が均質とみなすことのできる面積は、平均値の最大公約数を考え、約5 km^2 となる。

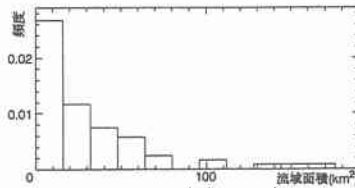


図-3 頻度図(項目No.2)

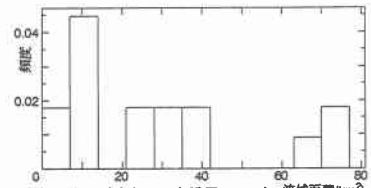


図-4 頻度図(項目No.5)

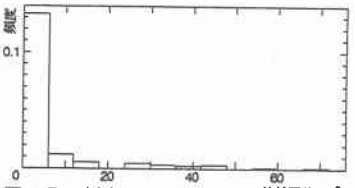


図-5 頻度図(項目No.16)

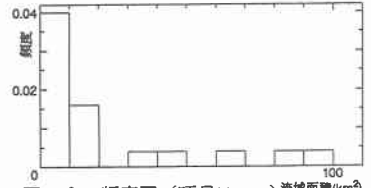


図-6 頻度図(項目No.22)

2.2 地形分類と表層地質を組み合わせた均質な面積

2.1で特性量の均質な部分の面積が大きい場合に、それが地形分類のある項目で、その中に表層地質の特性量が異なる部分が存在していることがある。この部分は、場の特性量が均質であるとは厳密にはいえない。そこで、対象流域毎に地形分類と表層地質を組み合わせて、両者が同一なより均質となる面積を2.1と同様に調べた。図-9は、十勝川流域の地形分類と表層地質を組み合わせた図である。頻度図は、2.1と同様にどの特性量の組み合わせもほぼ指数分布形となっているが、均質とみなす条件を厳しくしたため、小さい面積の割合が増え、より歪んだ分布になっている。平均値と平均値± σ (標準偏差)を示した図-10より、異なる特性量を組み合わせた場合、流域場の特性量が均質とみなせる面積の

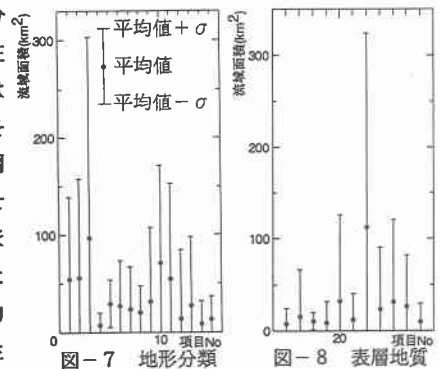


図-7 地形分類

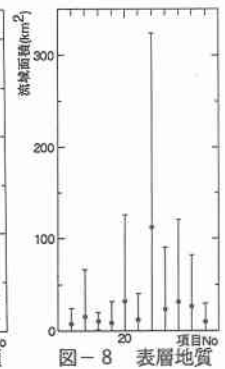


図-8 表層地質

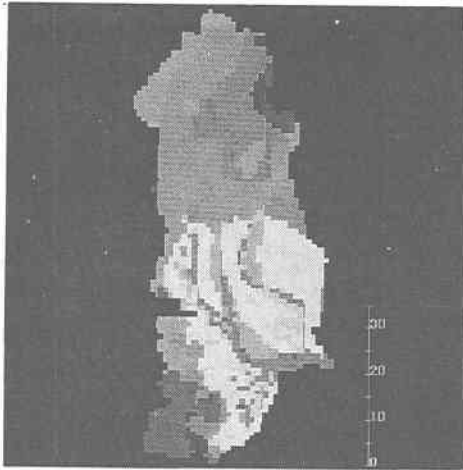


図-9 地形分類、表層地質の組み合わせ

範囲は狭くなり、平均値の変動は約 $5\sim 15\text{km}^2$ となった。また、平均値 $\pm\sigma$ （標準偏差）の範囲が重複するのは、上限が 10km^2 である。したがって、この組み合わせた特性量が均質とみなすことのできる面積は、平均値の最大公約数を考えると約 5km^2 となり、組み合わせない場合と同じ結果となった。しかし、変動の幅は小さい。

2.3 均質な流域サイズの検討

2.1.2.2では、北海道内の20流域を対象に、均質となる面積の頻度図、平均値と平均値 $\pm\sigma$ （標準偏差）を各特性量毎に示し、その結果から流域場の特性量が均質とみなせる面積が約 5km^2 となることを示した。この結果を特定の流域に適用し、上述の均質な面積が妥当なものであるかを検証する。図-11～13は、十勝川流域だけの頻度図であるが、やはり指数分布の形になっている。平均値と平均値 $\pm\sigma$ （標準偏差）を示した図-14をみると、十勝川流域の均質な面積の範囲は、2.1、2.2と同様に平均値の最大公約数を考慮すると約 10km^2 となる。したがって、2.1、2.2の結果である 5km^2 の面積の大きさで十勝川流域を分割した場合、十勝川流域の均質な面積 10km^2 よりも小さいので、その分割した流域内の特性量は均一とみなせる。つまり、結果は妥当と考えられる。

3. 降雨場の雨域サイズ

流出解析では、流域場の特性量が均質であることと共に、降雨も流域に空間的に一様であることが望ましい。この条件から、降雨は地点雨量をティーセン法などによって一様降雨とみなす流域代表降水量が流出解析に用いられている。近年整備されてきたレーダー雨量計は、面的（3次元レーダーでは空間的）な降雨強度が得られるため、精度の高い面積雨量を推定できる。ここでは、流出解析上必要な一様な降雨とみなすことのできる面積を、このレーダー雨量計の観測データを基にして調べる。降雨の一様性を判断する基準として、本研究では、平均雨量強度、降雨継続時間、降雨波形数（1降雨内で連続して降った降雨波形の個数）を取り上げ、これらの条件が同一である降雨の雨域面積について調べた。

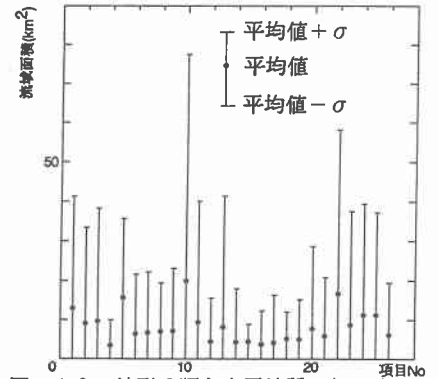


図-10 地形分類と表層地質の組み合わせ

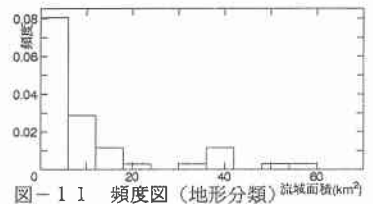


図-11 頻度図（地形分類）

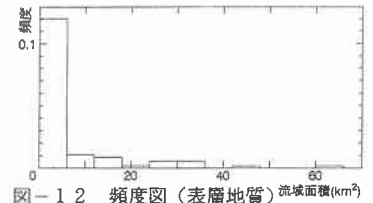


図-12 頻度図（表層地質）

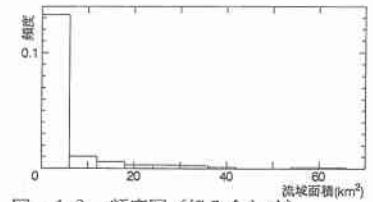


図-13 頻度図（組み合わせ）

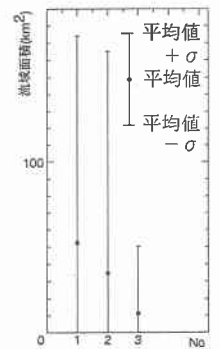


図-14 十勝川流域

対象区域は、北海道開発局の道東レーダー（霧裏山）の定量範囲（半径120km）とした。対象降雨は、対象区域内の十勝ダム上流域、札内川流域、足寄川流域にある計11ヶ所の地上雨量をもとに、1994年9月～10月にかけての比較的降雨の強い6降雨（表-2）を選定した。

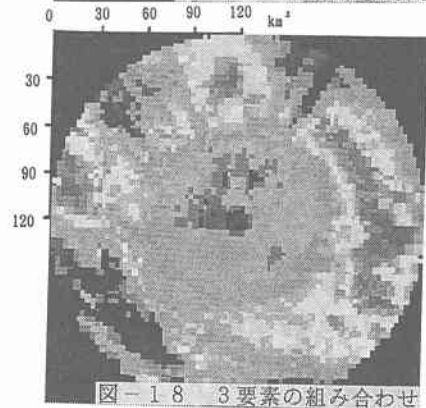
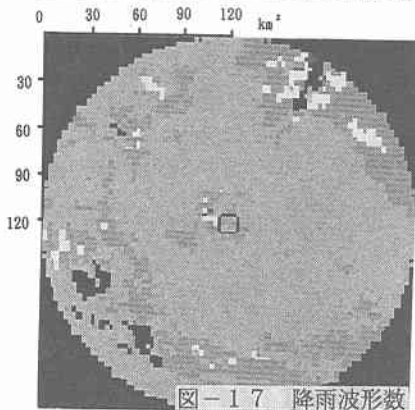
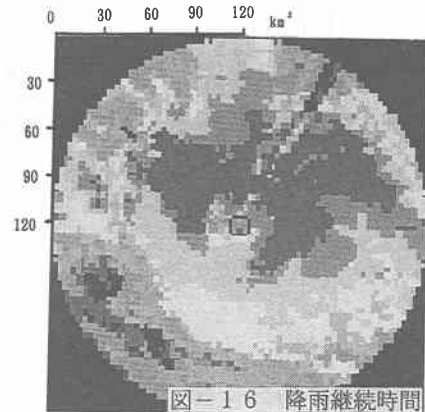
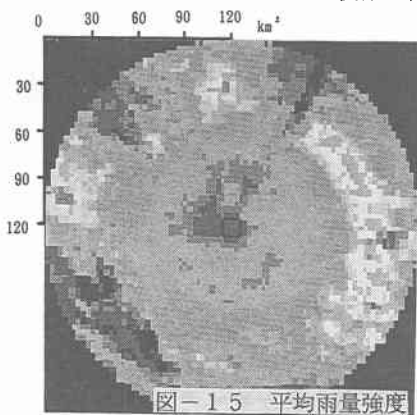
表-2 対象降雨

No	降雨期間
1	1994. 9.15～9.16
2	1994. 9.20
3	1994. 9.23～9.24
4	1994. 9.30
5	1994.10.12～10.13
6	1994.10.16

レーダー雨量計のデータは、円周方向に128分割、半径方向に3kmの円筒座標メッシュで与えられているが、取り扱いが不便であるので、3km×3kmの直交座標のメッシュに変換した。したがって、降雨のメッシュは、1メッシュ=9km²として雨域面積を算定した。

3.1 降雨の一樣性の判断基準の検証

本研究では、平均雨量強度、降雨継続時間、降雨波形数が同じものを一樣降雨として空間的に一樣とみなすことのできる降雨面積を推定する。まず、一樣降雨とみなすこの判断基準が適当であるかあらかじめ検討しておく。図-15～17は、降雨2の場合の平均雨量強度、降雨継続時間、降雨波形数について示している。また図-18は、3要素を重ね合わせた場合の図である。検証に用いた条件は、降雨2について、①平均雨量強度3(mm/hr)、降雨継続時間8(hr)、降雨波形数1個、②平均雨量強度7(mm/hr)、降雨継続時間7(hr)、降雨波形数1個の場合である。①、②の条件が該当する雨域を図-18から取り上げ、降雨の一樣性は、その雨域内のメッシュ毎に5分雨量と一時間雨量のハイトグラフを比較することで検証する。結果を図-19～22に示すが、5分雨量のハイトグラフは、時間的変動が大きいので、①、②の条件とも多少違うように見える部分もある。しかし、1時間雨量のハイトグラフをみると、①、②の条件ともほぼ同様なハイトグラフになっているので、この3要素が同一であるメッシュの降雨は、空間的にほぼ一樣であるとみなせる。



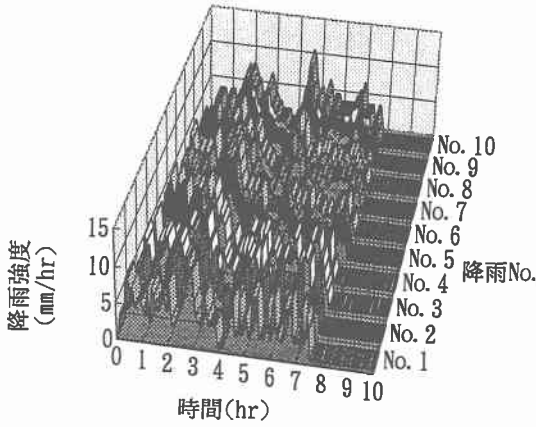


図-19 ハイゲラフ (5分間雨量)

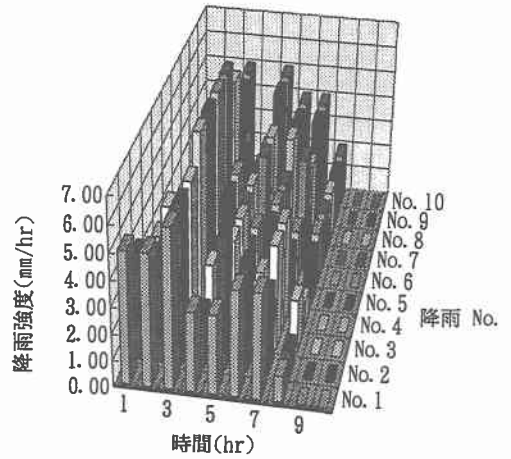


図-20 ハイゲラフ (1時間雨量)

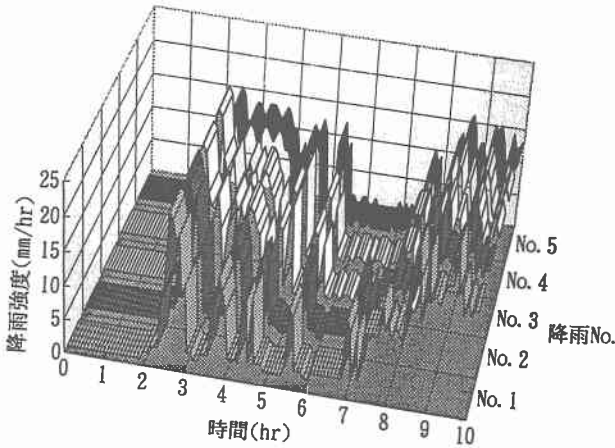


図-21 ハイゲラフ (5分間雨量)

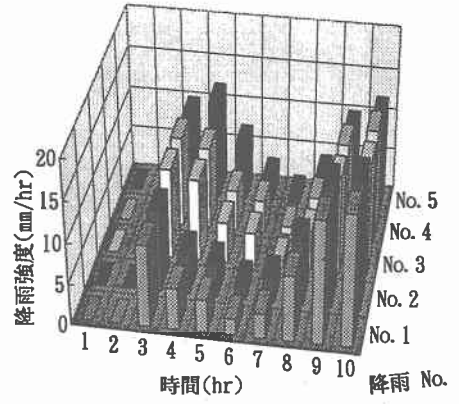


図-22 ハイゲラフ (1時間雨量)

3.2 一様な降雨の雨域サイズ

上述の検証結果から、3要素の値が同じ部分を一樣降雨とみなし、その雨域面積を調べた。結果は、雨域サイズの頻度図を図-23~28、平均値と平均値±σ (標準偏差) を図-29に示す。頻度図は降雨場の場合も指数分布形になり、一樣降雨となる面積の大きさは、一定値に集中しないことがわかる。平均値と平均値±σ (標準偏差) の図に

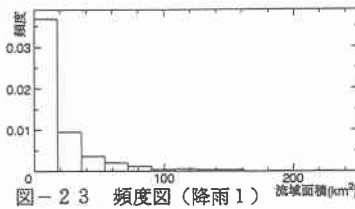


図-23 頻度図 (降雨1)

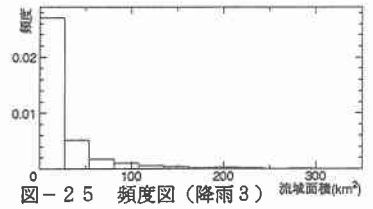


図-25 頻度図 (降雨3)

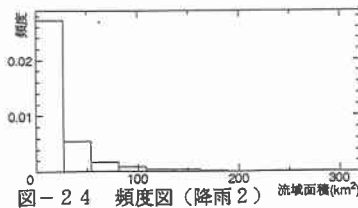


図-24 頻度図 (降雨2)

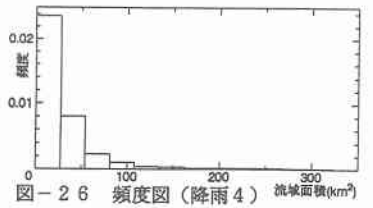
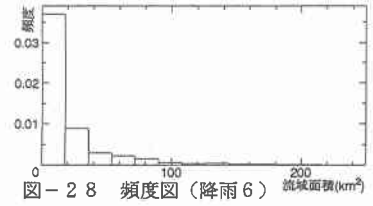
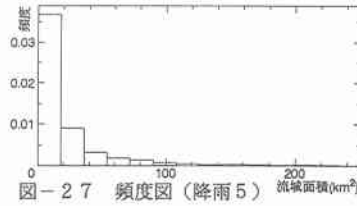


図-26 頻度図 (降雨4)

において、平均値はどの降雨についても約 $35\sim 40\text{km}^2$ の同程度の値を示している。また、平均値 $\pm\sigma$ （標準偏差）も降雨によらず、重複する範囲の上限がほぼ 100km^2 となった。したがって、一様降雨とみなせる



降雨場の雨域面積の範囲は、平均値の最大公約数を考慮すると、約 35km^2 である。

4. 分布型流出モデルの基準流域サイズ

本研究は、分布型流出モデルにおける、合理的な基準流域サイズを推定するために、降雨場と流域場から均質あるいは一様となる流域面積を検討した。降雨は外的営力となって地表面の形態を改変し、流出は、地表付近のさまざまな性状によって影響を受ける。したがって、流域の特性量として、本研究では前者から地形分類、後者から表層地質を取り上げた。流域場では、これらの特性量が同一となる面積が約 5km^2 となった。また、降雨場では、平均雨量強度・降雨継続時間・降雨波形数の3要素が等しくなる降雨を降雨が一様であるとみなし、この条件を満たす流域面積を求めると、約 35km^2 となった。流域解析では、流域特性量と降雨のどちらについても、空間的に一様であることが望ましい。以上の観点から、分布型流出モデルの基準流域サイズは、面積が小さい方の約 5km^2 が適当であると考えられる。

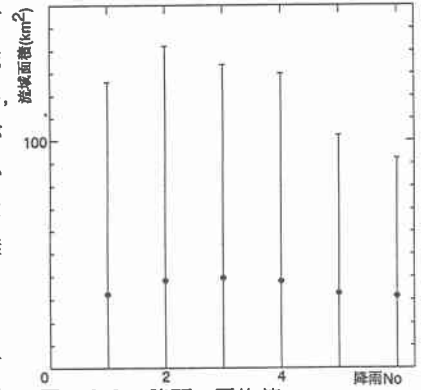


図-2 6 降雨の平均値、
平均値 $\pm\sigma$ （標準偏差）

5. おわりに

今回は、流域場の流域特性、降雨の空間的特性を把握し、これらの特性を考慮した分布型流出モデルの基準流域サイズを示した。しかし、このサイズを用いたモデルの流出解析まで至ってないため、今後はこれを検証していく予定である。

<謝辞>

北海道開発局帯広開発建設部より道東レーダーの実測資料を提供して頂いた。また、レーダー降雨の表示には、本学情報処理センターのグラフィックソフトAVSを使用した。ここに記して、関係各位に深謝致します。

<参考文献>

- 1)国土庁計画・調査局、建設省国土地理院編：国土数値情報，大蔵省印刷局，1984。
- 2)陸・小池・早川：分布型水文情報に対応する流出モデルの開発，土木学会論文集，第411号/Ⅱ-12，pp.135-142，1989。
- 3)吉野・古谷・堀内：分布型流出モデルの開発と実流域への適用，土木技術資料，Vol.32，No.10，1990。
- 4)宇治橋・高瀬：メッシュタンクモデルによる融雪流出解析，水文・水資源学会1991年研究発表会要旨集，pp.22-25，1991。