

V-18 レーダ雨量計の多目的運用方策に関する研究

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 15～平 17

担当チーム：水文チーム

研究担当者：深見 和彦、今村 仁紀

【要旨】

本研究では、レーダ雨量計の多目的運用へ向けての方策提案を行うことを目的として、豪雨発生時の危機管理への高度利活用手法として二つの方策についての提案を行った。一つは、近年洪水災害が頻発している中小河川流域を主たる利活用対象として想定し、過去の水文資料やリアルタイム雨量・流量データが不足している流域においても過去の豪雨との比較や川筋毎の比較により相対的な洪水危険度評価が可能なシステムの開発である。もう一つは、全国合成レーダ雨量データを用いた DAD 解析によって、洪水災害を引き起こす豪雨の時空間分布特性を解明するとともに危険度判定を行う手法の開発である。この結果、前者では、レーダ雨量を用いた疑似流量波形作成手法（メッシュ型合成合理式モデル）の開発とそれを用いたリアルタイム危険度判定手法を提案し、洪水危険度を 2～3 段階程度に分類することが可能であることを示した。また、後者では、継続時間毎の最大 DA 位置と DD 解析切片値等を水災発生因子とした、リアルタイム監視システム構築の可能性について検討を行った。キーワード：メッシュ型合成合理式、DAD 解析、全国合成レーダ雨量、洪水危険度、リアルタイム監視システム

1. はじめに

台風や局地的豪雨により多くの洪水被害が依然として毎年のように発生している。治水施設整備の水準を全国一律に直ちに引き上げることは困難であり、洪水予警報等のソフト的な危機管理手法の重要性がクローズアップされている。国管理の河川においては、通常洪水予測モデルは整備済みであるが、都道府県管理の中小河川では水文資料不足やコスト面から、洪水予測に対する整備が十分になされていない状況が散見される。このことから、中小河川における効率的かつ効果的な洪水予測手法の開発が喫緊の課題となっている。

本研究の課題設定当初においては、国土交通省河川局・道路局レーダのみならず気象庁レーダも含めて、多目的運用改善方式、高度利活用手法、ならびに多目的連携運用方式について提案を行うこととしていたが、本研究を実施した 3 年間においては、特に、上記の中小河川向けの洪水予警報に資する新技術の提案が最も行政的ニーズも高いと判断し、その意味での高度利活用手法に集中して研究を実施した。

まず、レーダ雨量を用いた疑似流量波形作成手法（メッシュ型合成合理式モデル）の開発とそれを用いたリアルタイム危険度判定手法についての研究を実施した。土木研究所では、平成 14 年度までに当該

目的のためにメッシュ型合成合理式モデル¹⁾のプロトタイプを開発していたことから、それを母体として洪水危険度の判定手法について追加開発を行い、九州遠賀川流域及び御笠川流域において開発モデルの追加検証を行った。

次に、国土交通省河川局・道路局レーダデータ（平成 15 年より供用開始された全国合成レーダ雨量データ）を用いて洪水災害をもたらした近年の主要な豪雨事例を対象として DAD 解析を行い、それらの降雨の時空間分布特性を定量的に明らかにするとともに、被害規模の異なる複数の洪水を対象として DAD 解析を行うことで、水災発生因子について検討し、流域ごとに被害が発生する閾値について検討することで、リアルタイム監視システム構築の実現性について検討を行った。

2. 研究方法

2.1 メッシュ型合成合理式の精度検証

平成 14 年度までに研究開発を行ったメッシュ型合成合理式モデルを用いて、平成 15 年 7 月 11 日洪水、19 日洪水における遠賀川流域の解析を行い、各水位観測所における実測流量（水位－流量変換後の流量）と、推算流量とを時系列に比較して精度の検証を行った。また、既往の研究では流下時間のみを

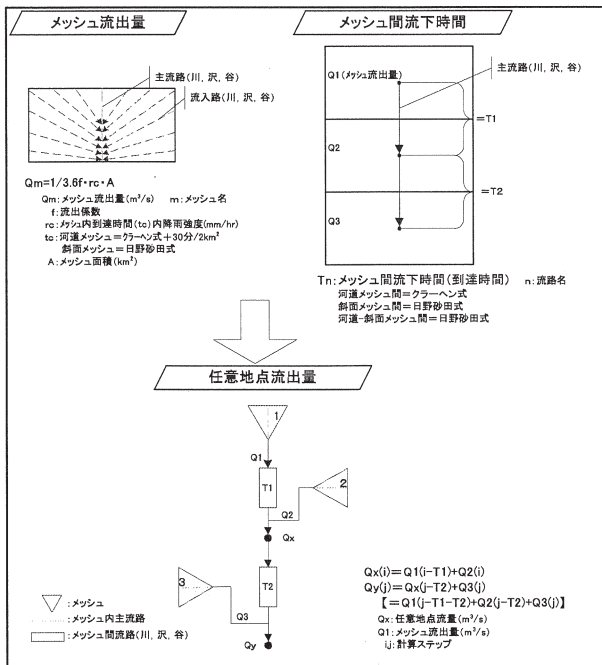


図-1 メッシュ型合成合理式モデルの概要図

考慮したモデルであったが、本研究ではさらに改良を加え、メッシュ内洪水到達時間を考慮したモデルとしている。(図-1)

検証計算に代入するレーダ雨量は、「オフライン全国合成処理済みレーダ雨量」とし、5分間平均強度(mm/hr)であり、5分間一定強度として流出計算を実施する。また、地上雨量との比較のため、アメダス地上雨量での計算も実施する。なお、アメダスについては1時間平均強度(mm/hr)であり、60分一定強度として流出計算を実施する。

メッシュサイズは500mメッシュ(約580m×約460m)とし、解析領域のメッシュを河道メッシュと斜面メッシュとに区分する。区分方法は、簡易的に区分できる方法として「国土数値情報の河川図」(国土交通省)に示されている河道中心線を含む500mメッシュを河道メッシュ、それ以外を斜面メッシュとする方法とした。(図-2) このメッシュは、標高データの作成及びメッシュ間流下時間の算定に使用される。

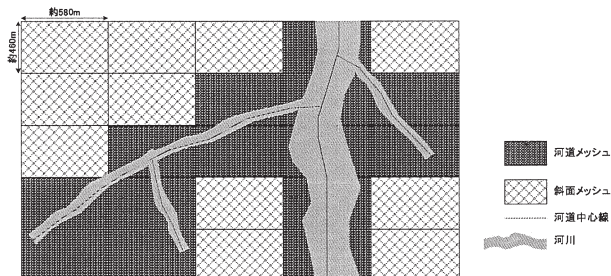


図-2 メッシュ区分イメージ図

解析メッシュの標高値は、「数値地図50mメッシュ標高」(国土数値情報)を基に作成するものとし、斜面メッシュは50mメッシュ標高の平均値、河道メッシュは落水線作成時の連結を考慮して50mメッシュ標高の最小10メッシュの平均値として作成する。

作成した標高データを、落水線作成プログラム(土木研究所)に入力し、各流域のメッシュ毎に流下方向、メッシュ間距離、勾配を算定し整理する。落水線データは窪地を修正した後、その修正標高を用いて作成する。(図-3)

落水線データより、河道・斜面メッシュ毎にメッシュ間の到達時間をクラークヘン式、日野・砂田式で算定し、メッシュ毎に整理する。(図-4)

流出係数は土地利用メッシュデータの土地利用状況より、表-1に対応する値を500mメッシュ用に平均して算出する。

検証結果から、当モデルによる計算流量は実績流量に対して大きくなり、流域面積が小さいほどその傾向が強かった。実績と計算流量の関係(ピーク実績流量÷計算流量)は上下限値で大きく幅のある値を示しており、一貫性は見られない。(表-2) また、洪水規模や流域面積との関係を見ても、任意地点で定量的補正定数を設定できるような相関性は見られない。さらに流量規模が大きい方が、誤差は小さい

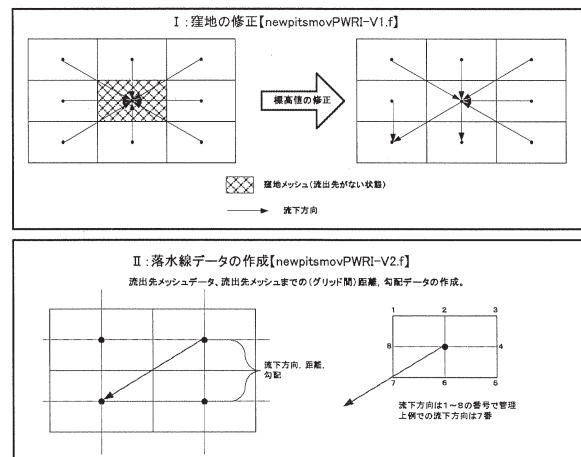


図-3 落水線データ作成イメージ図

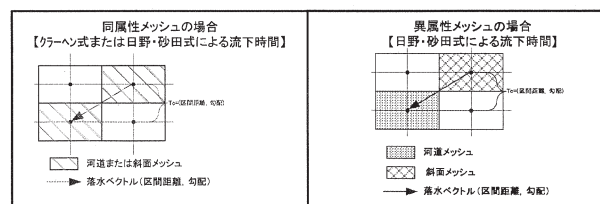


図-4 流下時間算定式選定

表-1 土地利用分布による流出係数の設定

土地利用メッシュデータ(KS-202)土地分類	物部によって提示されたピーク流出係数		採用値 f (中間値)
	対応を想定する地形の状態	f p	
田	平らな耕地	0.45-0.60	0.525
畑			
果樹園			
その他の樹木畑			
森林	起伏のある土地 および樹林地	0.50-0.75	0.625
荒地			
建物用地	平らな耕地	0.45-0.60	0.525
幹線交通用地			
その他の用地			
湖沼	平地小河川	0.45-0.75	0.600
河川地	流域の半ば以上が 平地である大河川	0.50-0.75	0.625
	海浜・海水域	-	-

傾向にあり、合理式（降雨→流出が線形関係）を基本としていることを考慮すれば一見不合理である。遠賀川のように川筋毎に水位流量観測所が良く整備されている流域であれば、表-1 によって自動的に与えられる流出係数や経験式による洪水伝播時間ではなく、観測データによるチューニングによってパラメータを最適化したり、リアルタイムに補正することによって洪水予測モデルとしての精度を向上させることは原理的に可能であろう。しかし、本メッシュ型合成合理式モデルの開発の目的は、そのようなパラメータ最適化やリアルタイム補正のために必要なリアルタイム水文観測データが無い中小河川流域を利活用対象として開発を想定しているモデルである。このことから、本モデルは、洪水予測モデルとしての精度向上が目標ではなく、パラメータの1次設定のみによって、どこまで精度を確保できるかを目標として想定し、それに対応した評価を行うことが必要と考えられる。

一方、洪水波形形状やピーク流量発生時刻は実績とほぼ整合していると評価できた。(図-5)

表-2 実績—計算ピーク流量比較表（レーダ雨量）

本系名 河川名 観測地点 観測面積(km ²)	遠賀川水系										観音川水系 観測地点 観測面積(km ²)	
	大橋	川島	駒六橋	日の出橋	秋松橋	伊田	赤池	中島	椋目橋	露田		東大橋
H15.7.11 洪水	①実績ピーク流量(m ³ /s)	10	247	449	888	68	53	415	491	37	97	-
	②計算ピーク流量(m ³ /s)	61	952	1,190	2,094	568	283	826	927	237	267	-
	③差	0.173	0.259	0.377	0.424	0.120	0.188	0.503	0.530	0.159	0.363	-
H15.7.19 洪水	①実績ピーク流量(m ³ /s)	23	1,791	1,601	2,533	1,065	174	1,063	1,348	184	20	887
	②計算ピーク流量(m ³ /s)	116	3,228	3,742	5,368	2,218	310	1,628	1,784	453	212	1,072
	③差	0.202	0.585	0.428	0.472	0.480	0.560	0.653	0.756	0.407	0.092	0.828
④差率(③÷①)×100	-0.96%	-30%	-134%	-112%	-128%	-78%	-53%	-32%	-14%	-382%	-21%	-

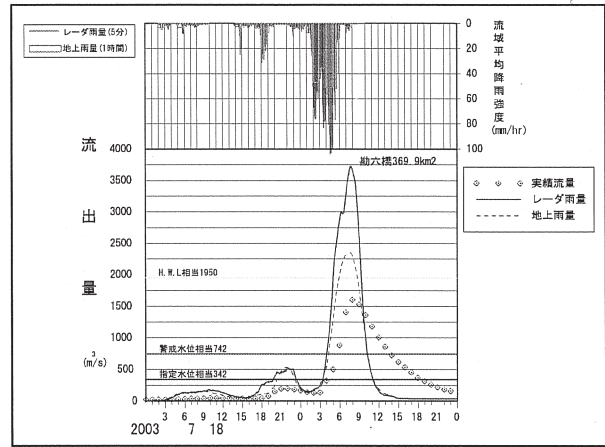


図-5 流出モデル検証図

これら検証の結果から、メッシュ型合成合理式モデルの特徴を整理し、危険度判定への適用方法を整理した。

- 簡単な境界条件、計算条件のみで、比較的簡単に流出量を算出することが出来る。
- 特定の洪水やリアルタイム予測の任意地点における危険度判定を実施できる可能性がある。
- 中小河川では、レーダ雨量強度が流出量に大きく影響するため、リアルタイム洪水危険度予測を実施するために、レーダ雨量の蓄積が不可欠である。
- 検証から、従来の洪水予測の意味での定量評価（絶対量）への適用は難しい。
- 絶対量としての精度は期待できないが、洪水波形形状やピーク発生時刻の精度が良く、かつ、安全側の評価にはなっている。
- 相対指数（確率規模、流量規模や基準水位）を用いた時間的（過去災害事例との比較）もしくは空間的（川筋毎の比較）な定性的危険度評価は可能であると考えられる。
- レーダ雨量による降雨の面的分布のみでは得られない、具体河川の任意地点の危険度を定性的に評価できるモデルといえる。

メッシュ型合成合理式モデルは、合理式を基本に構築された簡便な流出解析手法であるため、定量的な評価は期待出来ないが、河川危険度の定性的な評価は期待出来ると判断する。しかし、実際に使用する際には対象とする河川で被害の発生状況等との比較による十分な検証を行い、モデルの適応度を十分に吟味し、必要に応じて流出係数等の再検討を行う必要があると考えられる。

2.2 全国合成レーダ雨量データを用いた DAD 解析

全国合成レーダ雨量を用いて、降雨の DAD 解析を行った。解析対象は、大きな被害の発生した平成 17 年台風 14 号時の九州地方大淀川流域及び四国地方仁淀川流域である。

大淀川流域については、被害発生の閾値を検討するため、近年発生した水害を「水害統計」からまとめ、なるべく被害規模が連続となるように 5 降雨を抽出し、それらについても DAD 解析を行った。さらに、水害が発生する閾値については、平成 16 年に大きな被害の発生した五十嵐、刈谷田、足羽川流域を対象としても行っている。これらは、大淀川流域の場合と同様、近年被害が発生した降雨を中心に 5 降雨ずつ DAD 解析を行った。

ここで、代表的な降雨として、平成 17 年台風 14 号時の九州地方における、全国合成レーダ雨量データによる総雨量分布図を図-6 に示す。

次に、DAD 解析についてであるが、DAD 解析は各降雨に対して DD 解析と DA 解析とを行い、さらに降雨の DAD 特性を見ることで行っている。

DD 解析は以下の式の a を降雨ごとに決めることで行っている。

$$R = aT^n \quad (1)$$

ここで、R：降雨、T：継続時間、a、n：係数で n=0.5 としている。

DA 解析は、面積雨量の算定は、レーダ雨量を単位とした面積固定法を適用する。DA 解析を行う面積は、3 次メッシュの数で設定し、1×1 から 64×64 までの計 7 通りとする。

DA 包絡線の作成は、以下の考え方に従い、各対象流域の DA 包絡線を作成した。

DA を表現する式を

- $Pa = a \cdot t^{1-c} \cdot \exp(-u \cdot t^v \cdot A^n)$ とする。
- a は DD 解析の結果より設定し、c=0.5 とする。また、n=0.5 とする。
- $y = \log(\ln(a \cdot t^{1-c} / Pa)) - n \cdot \log A$

$$x = \log t$$

とすると、

$$y = -v \cdot x + \log u$$

となる。

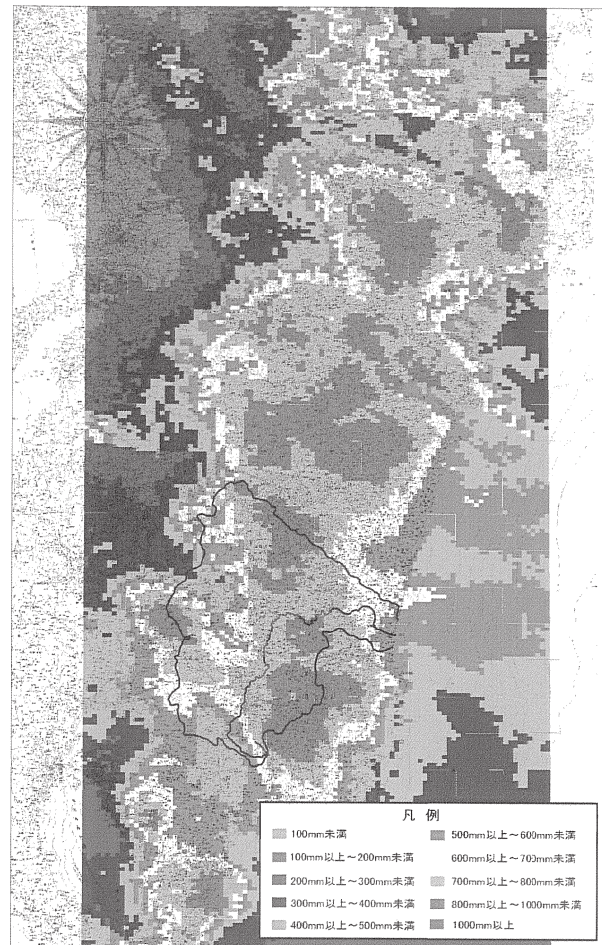


図-6 総雨量分布(台風14号)

- 従って、t と Pa,A の実測データ群から最小二乗法等により、u,v を定めることができる。

ここで、求められる u,v はデータ群を平均的に表現するものであるため、データを包絡するように切片 log u をスライドさせて包絡線を作成する。

この結果から、DA 包絡線を表現する式を作成する。

洪水被害と DAD 関係については、前述した DAD 解析結果のうち、DD 解析切片値と被害状況とで比較を行った。ただし、DD 解析切片値については、面的に 3 次メッシュごとに見た場合と、流域平均雨量で見たものについて検討を行った。これは、リアルタイム監視システムを考える上では、ある程度流域としての閾値が必要であることと、局所的な被害を把握する上では流域平均雨量では粗すぎるためである。また、これに関係して、最大 DA 位置を示す範囲の大きさを変えた場合の閾値についても検討するため、3 次メッシュ 1 つずつではなく、2×2、4×4、8×8 メッシュでも DD 解析切片値を求め

た。

また、リアルタイムで被害を監視・予測するとき
に目安となる継続時間として、洪水到達時間がある
が、これについては以下の角屋式に基づき決定して
いる。

$$T_p = CA^{0.22} r_e^{-0.35} \quad (2)$$

ここで、 T_p ：洪水到達時間[min]、 A ：流域面積
[km^2]、 r_e ：平均有効降雨強度[mm/hr]、 C ：流域特
性を表す係数 ($C=290$ ：丘陵山林地流域) である。

ただし、雨量、流量（水位）データの得られた大
淀川流域以外については、有効雨量強度に関しては、
いくつか任意に設定することで、その流域の洪水到
達時間について検討している。

リアルタイム監視システムの予備検討では、どの
ようなシステム機能が必要であり、そのために必要
なデータ、機器等についての検討を行い、その実現
可能性について検討した。

3. 研究結果

まず、台風 14 号時の大淀川流域での DD 解析結果
について、図-7 に DD 解析切片地決定継続時間分布
を、図-8 に DD 解析切片値分布を、図-9 に継続時間
1 時間の場合の最大 DA 位置を示す。大淀川流域で
の DD 解析切片値を決めた継続時間の多くは 24~48
時間という非常に長い時間であり、大淀川において
想定される洪水到達時間（6~14 時間程度）を大き
く上回っていることが明らかとなった。また、その
長い継続時間における最も極値的な豪雨は、大淀川
流域の中流域のみに集中していることもわかる。こ
れらの点は、土木研究所で過去に DAD 解析を行っ
てきた東海号や新潟・福井豪雨と異なる点であり、
DAD 解析が豪雨の時空間分布特性の定量的比較に
役立つことを例証している。また、このことが、総
雨量としてみたときに記録的な豪雨であったにもか
かわらず、大淀川本川における破壊的な洪水災害が
必ずしも発生しなかった背景要因の一つになっている
ものと推定される。もちろん、治水施設整備や水
防活動等の効果も主要な要因であることは言うま
でもないと考えられ、その定量的な判断は、より詳細
な水理水文解析を必要とするであろう。

一方、継続時間が 3 時間程度までの短時間降雨に
ついては、最大 DA 位置が外水氾濫の生じた右支川
大谷川流域周辺に集まっていた。一方、範囲を拡大
して、九州地方全体を対象としても、短時間の比較

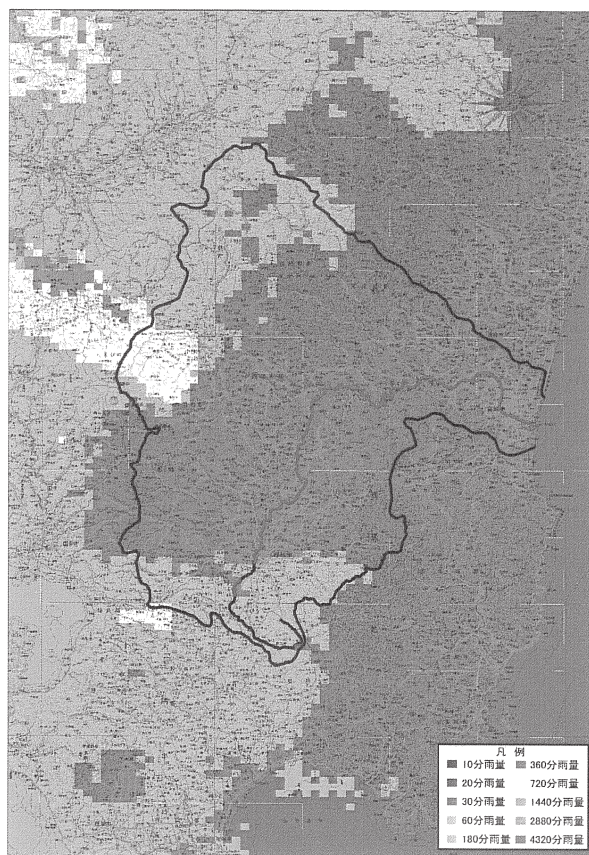


図 - 7 DD 包絡線決定継続時間分布（台風 14 号）

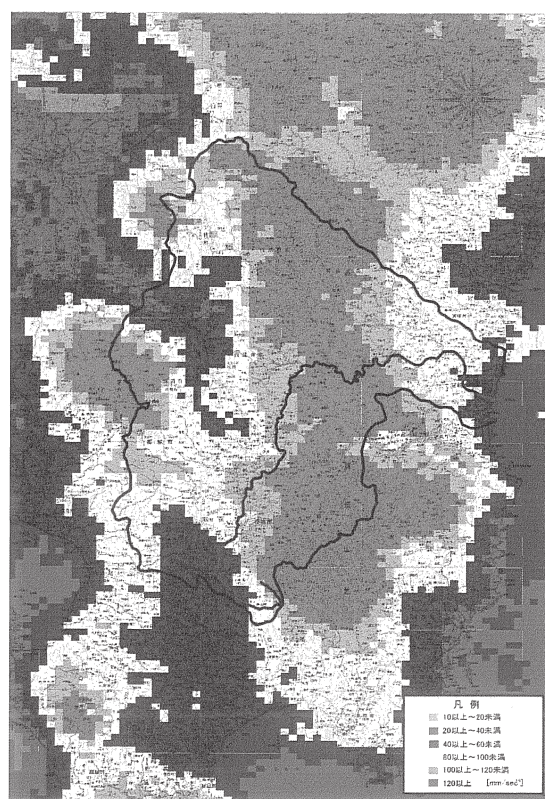


図 - 8 DD 包絡線切片値分布（台風 14 号）

表-3 対象降雨とそのときの被害（大淀川流域）

NO	対象降雨	家屋被害	
	年月日	床上浸水	床下浸水
1	2005.9.3	3834	872
2	2004.8.29	162	94
3	2004.9.5		1
4	2004.10.18	207	232
5	2004.8.16		

(出典：水害統計)

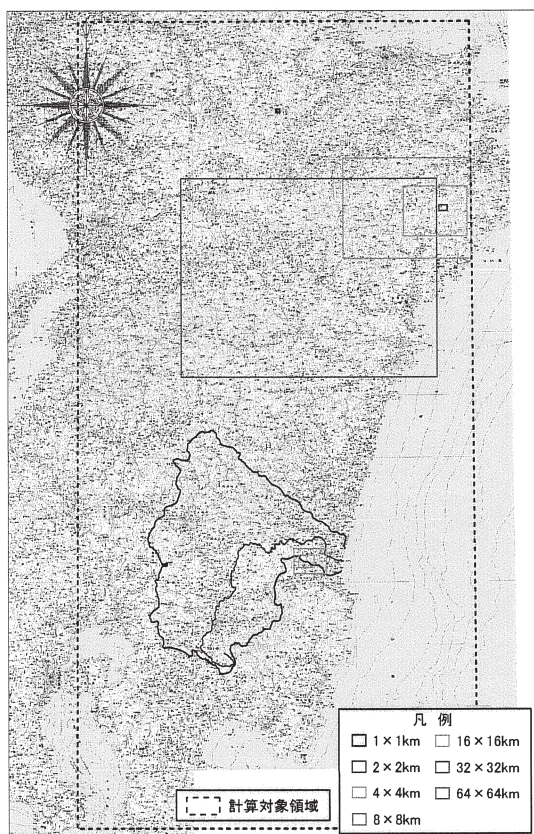


図-9 最大DA位置(継続時間1時間)(台風14号)

的狭い範囲の最大DA位置は大谷川流域周辺に現れた(図-9)。これより、当時の豪雨条件のみから見ると、洪水到達時間が数時間以下の中小河川流域スケールにおいては、大谷川流域周辺が九州地方の中でも最も危険度の高い地域であったと推定できることがわかった。

また、表-3に示す被害規模の異なる5降雨を対象としてDAD解析を行った結果、以下のような結果が得られた。被害規模が大きかった降雨では、DD解析切片値が多くなる傾向が見られ、洪水被害発生と関連づけられる因子としての可能性があることがわかった。

また、これまでのDD解析結果は任意の継続時間

大淀川流域のDD解析結果

2005.9.3 : $R = 280t^{0.5}$	2004.8.29 : $R = 251t^{0.5}$
2004.9.5 : $R = 210t^{0.5}$	2004.10.18 : $R = 161t^{0.5}$
2004.8.16 : $R = 139t^{0.5}$	

に対する雨量の最大値で決定していたが、継続時間を洪水到達時間で固定する方が被害との関係は大きいと考えられるため、次に継続時間を洪水到達時間としたときのDD解析切片値分布を示すが、まず大淀川流域での角屋式による洪水到達時間を以下のような実績ハイドロと雨量ハイトグラフから有効雨量強度を求め、洪水到達時間を求めた。(図-10)これを抽出した5降雨に対して行い、それらの結果から大淀川流域の大規模な出水においての平均的な洪水到達時間を11時間と設定した。

表-4 実績データを用いての洪水到達時間

降雨	洪水到達時間(hr)
2005.9.4	9.8
2004.8.29	9.4
2004.10.18	10.6
2004.9.5	12.3
2004.8.16	14.6

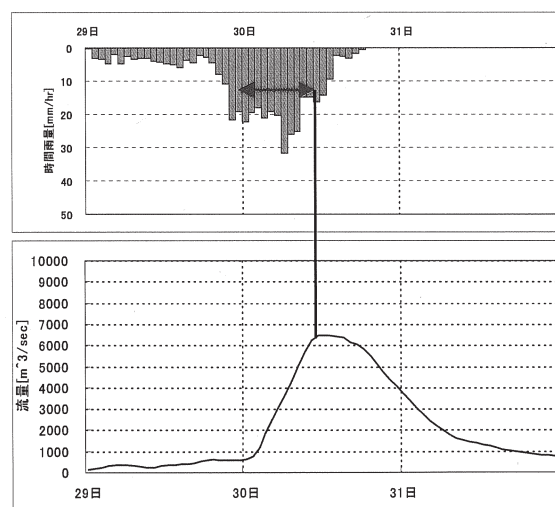


図-10 有効雨量強度の設定方法

次に、継続時間を11時間と固定した場合のDD解析切片値分布を図-11に示す。

次に、そのDD解析切片値が洪水の継続中にどのように変化し、洪水被害が発生した時にそれがどの程度の数値を示したのかを知ることで、リアルタイム監視システムを構築した場合の閾値について

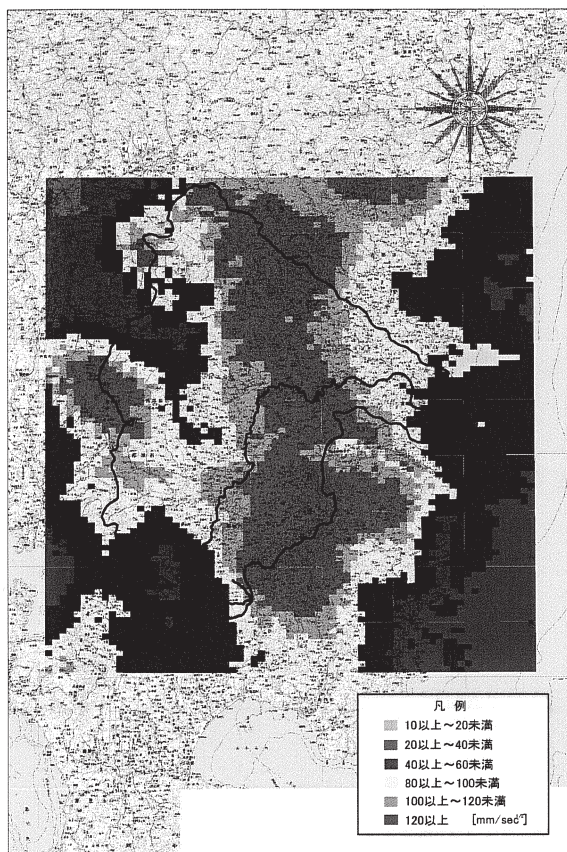


図-11 DD 解析切片値分布 (洪水到達時間)

検討を行った。図-12 に流域平均雨量で見た場合の DD 解析切片値の変化と水位の関係を示す。

これらの関係を抽出した 5 降雨について行い、大淀川流域における閾値として、DD 解析切片値が 50 程度で危険になりうるということを明らかにした。

同様に、五十嵐・刈谷田川流域、足羽川流域で検討した結果、それぞれ 60 程度、50 程度という閾値を設定した。

ただし、これらについては、さらにより多くの降雨を対象に検討することが必要で、そのために中小規模の被害について、その発生時刻や被害成因などについても把握する必要がある。

4. まとめ

本研究では、レーダ雨量データの高度利活用手法として、メッシュ型合成合理式を用いた洪水危険度判定モデルの開発、ならびに、DAD 解析を基礎とした豪雨時空間分布特性の把握手法と洪水危険度判定手法の開発を行った。

レーダ雨量データを入力として用いたメッシュ型合成合理式モデルについては、リアルタイム雨量・水位流量データが得られない川筋も含めた洪水危険

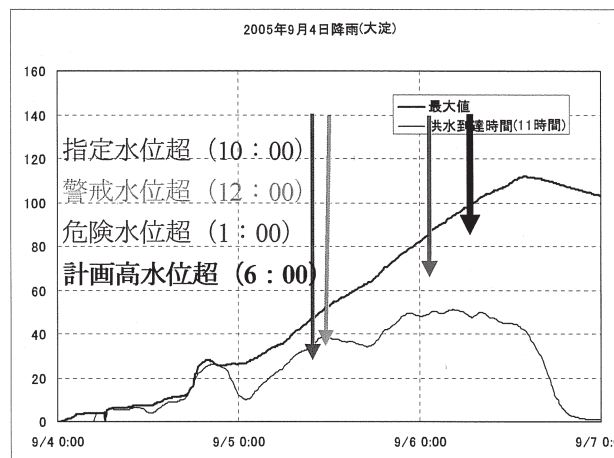
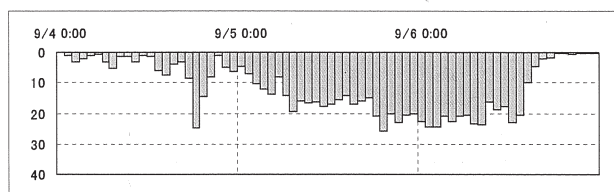


図-12 DD 切片値と基準点水位の関係

度評価を目標として開発した。その結果、従来の貯留関数法とフィードバックシステムを基盤として構築された洪水予測モデルと同等の定量的精度を得ることは困難であるが、それらの水文資料が得られない中小河川流域を想定した場合、過去の出水事例との危険度比較や川筋毎の危険度比較といった時間空間的な相対的洪水危険度の評価手法としては、その適用可能性を示すことができた。しかし、実利用に当たっては、対象とする河川で被害の発生状況等との比較による十分な検証を行い、モデルの適応度を十分に吟味する必要があると考えられる。

また、DAD 解析を基礎とした豪雨時空間分布特性の把握手法と洪水危険度判定手法の開発においては、以下のことが明らかとなった。

- レーダ雨量データを活用した DAD 解析は、豪雨の時空間分布特性を定量的に把握し比較する上で、非常に有効な手法である。
- 平成 17 年台風 14 号による豪雨を大淀川流域を対象として実施した結果、24～48 時間が最も極值的であった長時間に及ぶ降雨継続時間特性と、そのような真に極值的な豪雨が必ずしも流域全体に広がっていなかった空間特性が、大淀川本川での破壊的な洪水災害に至らなかった背景要因の一つの推定された。
- その一方で、大淀川右支川の大谷川流域は、

大淀川流域ではもちろん九州地方全体の中でも継続時間によっては最大 DA 位置が現れており、被害が最も発生しやすい状況にあったことが判明した。しかし大谷川の氾濫については大淀川本川水位上昇の影響が大きいと思われるため、直接的な関係があるかどうかはさらに検討が必要である。

- 大淀川流域、五十嵐・刈谷田川流域、足羽川流域を対象に DAD 解析を行った結果、水災発生因子として、DD 解析切片値分布やその極値をもたらした継続時間分布図、及び、継続時間毎の最大 DA 位置、といった情報が一つの判断材料になる可能性がある。

今回検討を行った全国合成レーダ雨量データによる水災発生因子リアルタイム予測の有効活用として、現時点では流域としての危険度を判定する材料になりうるが、DA 位置から雨量の大きな場所まで特定していることを考えると、土砂災害などの予測にも用いることが可能ではないかと考える。但し、土砂災害ではその瞬間の雨量だけではなく、前期降雨等も重要な要素であるため、どのような指標を用いるかなどについての検討を行う必要がある。

今後は、被害発生時刻など被害の実態をより詳細に検証することで、洪水被害との関係が、DD 解析切片値の勾配と絶対値のどちらがより効いているのかさらに検討が必要であると考えます。

参考文献

- 1) 土木研究所水工研究グループ水理水文チーム：「GIS を活用した河川流況予測システムの研究開発」、国土交通省総合技術開発プロジェクト先端技術を活用した国土管理技術の開発総合報告書、p3-57、2003,3
- 2) 深見和彦、清水敬生、栗林大輔：レーダ雨量による 2004 年新潟・福井豪雨 DD 解析（速報）、土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集、Vol.60、第 II 部門、pp.135-136、2005.
- 3) 深見和彦：レーダ雨量計利活用の前提となる観測精度の実態と今後の研究課題、河川、Vol. 62, No.3, pp.40-46、2006.