レーダ雨量データを用いた降雨の時空間分布解析と水災害危険度指標の検討

平尾　和彦[1]

[1]淀川ダム統合管理事務所　広域水管理･品質確保課　（〒573-0166大阪府枚方市山田池北町10-1）

本検討は、レーダ雨量計の観測データが蓄積されてきたことを踏まえ、そのデータを活用して、どのような強度の降雨が、どのような継続時間、どのような空間分布で降り得るのかという降雨の時空間分布解析（DAD 解析）を行い、あわせて、分布型流出モデルで把握した各地点の集水面積や地表面勾配等の流域特性と豪雨災害の発生事例との関係から水災害の危険度評価指標を検討し、これまで局地的な豪雨が発生していない地域での被害発生の可能性を推定したものである。

キーワード　ＤＡＤ解析，レーダ雨量計，分布型流出モデル

1. はじめに

近年、全国で局地的集中豪雨による浸水被害が増加しており、近畿圏内でも2008年6月、2009年6月、2011年7月に宇治市域で、2011年8月に大阪市域で局所的集中豪雨が発生し、市街地を中心に浸水被害が発生した。数km程度の狭い地域でおきる局所的集中豪雨は、その予測が難しく、また浸水実績地域以外でも発生する可能性があるなど、局所的集中豪雨により多くの人命や資産が脅威にさらされている状況にある。

一方、2003年以降、面的な降雨分布を把握するのに有効なレーダ雨量データが、全国合成レーダ雨量として整備され、2011年までに9年間のレーダ雨量データが蓄積されてきた。

このような背景のもと、近畿圏内の降雨の時空間分布特性を把握し、局地的な集中豪雨による既往の浸水被害を踏まえて、雨量、集水面積等を用いた汎用的・実用的な危険度評価指標を検討し、この指標を用いて浸水被害の危険性がある地域を把握することを目的とした。

本検討では、**図-1**のフローにもとづき、全国合成レーダ雨量を用いたDAD解析を行い、最大可能雨量や降雨発生頻度を算定した。この解析結果をもとに分布型流出モデルを用いて流出状況を検討するとともに、降雨に対する危険度評価指標の可能性について検討を行った。

本検討では、**図-2**に示す流域・地域を検討対象流域としてDAD解析を行った。検討対象流域のうち、既往業務で分布型流出モデルを構築し、モデル検証を別途行っている琵琶湖流域以外の流域を対象に、浸水危険度マップ案等を作成した。

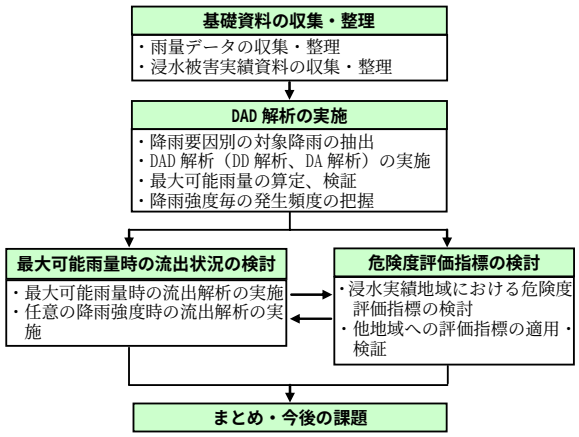

図-1 検討フロー

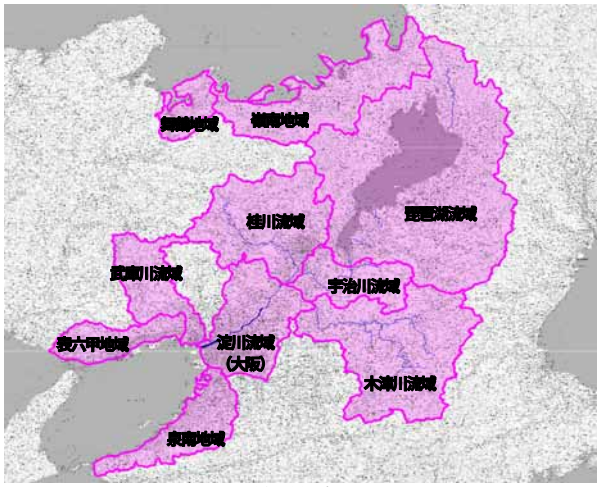

図-2 検討対象流域

2. 基礎資料の収集・整理

解析・検討を行うにあたって必要となるレーダ雨量計データ、地上観測雨量データ、浸水被害実績資料等の基礎資料の収集・整理を行った(**表-1**参照)。

表-1 収集資料一覧表

項目	資料名称	備考
レーダ雨量	深山レーダ雨量	収集期間：1981 年 7月～2003年6月
	全国合成レーダ雨量(Cバンドレーダ雨量)	収集期間：2003 年 7月～2011年11月
	Xバンド MP レーダ・Cバンドレーダ雨量の合成雨量	収集期間：2010 年 7月～2011年11月
地上観測雨量	地上観測雨量(気象庁、国土交通省)	収集期間：2003 年 7月～2011年11月
浸水被害実績資料	宇治川分布型洪水予測システム構築業務報告書	2010年3月
	木津川桂川分布型洪水予測システム構築業務報告書	2010年3月
	分布型洪水予測システム検証業務報告書	2011年11月
	分布型洪水予測システム改良業務報告書	2012年2月

3. ＤＡＤ解析の実施

レーダ雨量計データを用いて、対象流域のＤＡＤ解析を実施し、対象流域における降雨面積及び降雨継続時間に応じた最大可能雨量を推定するとともに、任意の降雨強度の降雨が発生する頻度を評価した。

(1) 解析方法

各流域・地域に対して、下記の方法で最大降雨量を算定した(**図-3** 参照)。

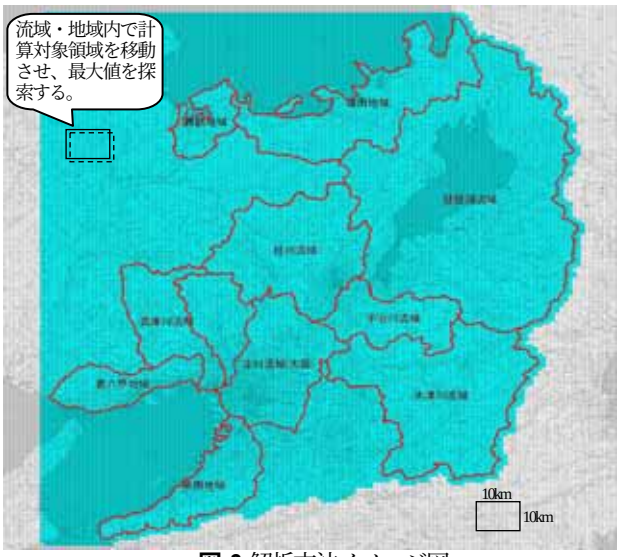

図-3 解析方法イメージ図

① 地域・流域内で計算対象領域を移動させながら、対象降雨継続時間雨量を算出した。
② ①で算出された雨量の中で、最大となる雨量を対象時刻の最大降雨量とした。
③ ①～②の手順を繰り返し、対象期間内の時系列毎の最大降雨量を算出した。
④ ③で算出された結果に対して、台風に起因する降雨を除いた最大値を最大降雨量として抽出した
⑤ 降雨継続時間、計算対象面積を変えて①～④の計算を繰り返して、降雨継続時間、計算対象面積毎の最大降雨量を算出した。

(2) 検討条件の設定

a) 検討期間

2003 年～2011 年の 9 年間を計算対象期間とし、各年の出水期（5月～11月）を対象とした。

b) 検討ケース

全国合成レーダはデータ間隔が 5 分間隔、メッシュサイズは 1km^2 であることを考慮して、検討ケースを**表-2** のとおり設定した。

今回対象とする集中豪雨の雨域は一般的には、円状から東西に長い楕円状であると考えられる。しかし、レーダ雨量が矩形メッシュであり、円形での解析が現実的に困難であるため、本検討では、矩形のモデル流域を仮定して最大降雨量を算出した。

表-2 検討ケース

	計算対象面積	降雨継続時間
内容	①1km×1km=1km^2 ②2km×2km=4km^2 ③3km×3km=9km^2 ④5km×5km=25km^2 ⑤7km×7km=49km^2 ⑥10km×10km=100km^2 ⑦15km×15km=225km^2 ⑧20km×20km=400km^2 ⑨50km×50km=2,500km^2 ※⑨のケースは琵琶湖のみ	①10分 ②20分 ③30分 ④40分 ⑤50分 ⑥1時間 ⑦2時間 ⑧3時間 ⑨4時間 ⑩5時間 ⑪6時間 ⑫12時間 ⑬24時間 ⑭48時間

c) 一連降雨の設定

一連の降雨は最大値降雨が観測されてから 0 となるまでを一連降雨として定義する（**図-4** の赤丸が一連降雨の最大値の抽出値）。

この一連の降雨毎の最大値に対して、検討期間中の最大値(最大降雨量)を整理するとともに、閾値を超えた回数を抽出し、豪雨の発生頻度として整理する。

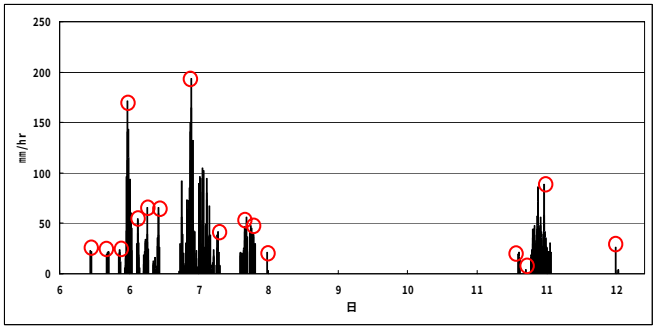

図-4 一連降雨の最大値の抽出イメージ

d) 台風による豪雨期間の設定

台風による豪雨期間は、2003 年～2011 年の間に日本に上陸および接近した台風を対象として設定した。

対象とする台風は緯度 36°±10°、経度 136±10°の範囲を通過したものとし、通過開始から消滅までを台風による豪雨期間として設定した。

(3) DAD解析の実施

a) 最大降雨量の計算結果

本検討では、中小河川における危険度評価を実施することを目的としている。集中豪雨による浸水被害実績地域の流域面積は、約 5km^2 以下と非常に小さい。そこで、検討対象流域で発生した 1km×1km と 2km×2km のケースの最大降雨量を**図-5** に示す。

同図から宇治川、桂川、琵琶湖流域の最大降雨量は、他の表六甲地域、舞鶴地域、武庫川流域と比較して大きいことがわかる。降雨継続時間が 10 分～30 分では、256mm/hr 以上の雨量が発生している可能性がある。

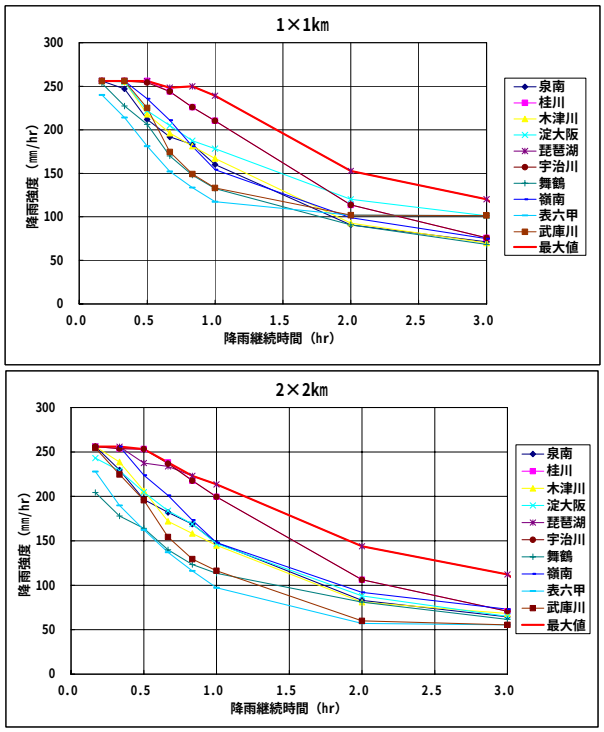

図-5 降雨継続時間と最大降雨量の関係（集中豪雨）

2km×2km と 10km×10km のケースについて、集中豪雨と台風性豪雨の最大降雨量を比較した結果を**図-6** に示す。流域面積が小さい場合（2km×2km）、舞鶴地域、嶺南地域、琵琶湖流域では、集中豪雨と台風性豪雨の雨量の差は小さい。一方、桂川流域、宇治川流域では、集中豪雨の最大降雨量の方が大きい。また、流域面積が大きい場合（10km×10km）、舞鶴地域、嶺南地域では、降雨継続時間が 1 時間以下の範囲で、台風に起因する雨量と集中豪雨に起因する雨量の差が大きくなる。

他の地域では、流域面積と関係なく、降雨継続時間が短い場合（数時間）は集中豪雨に起因する雨量が大きくなる傾向となっている。

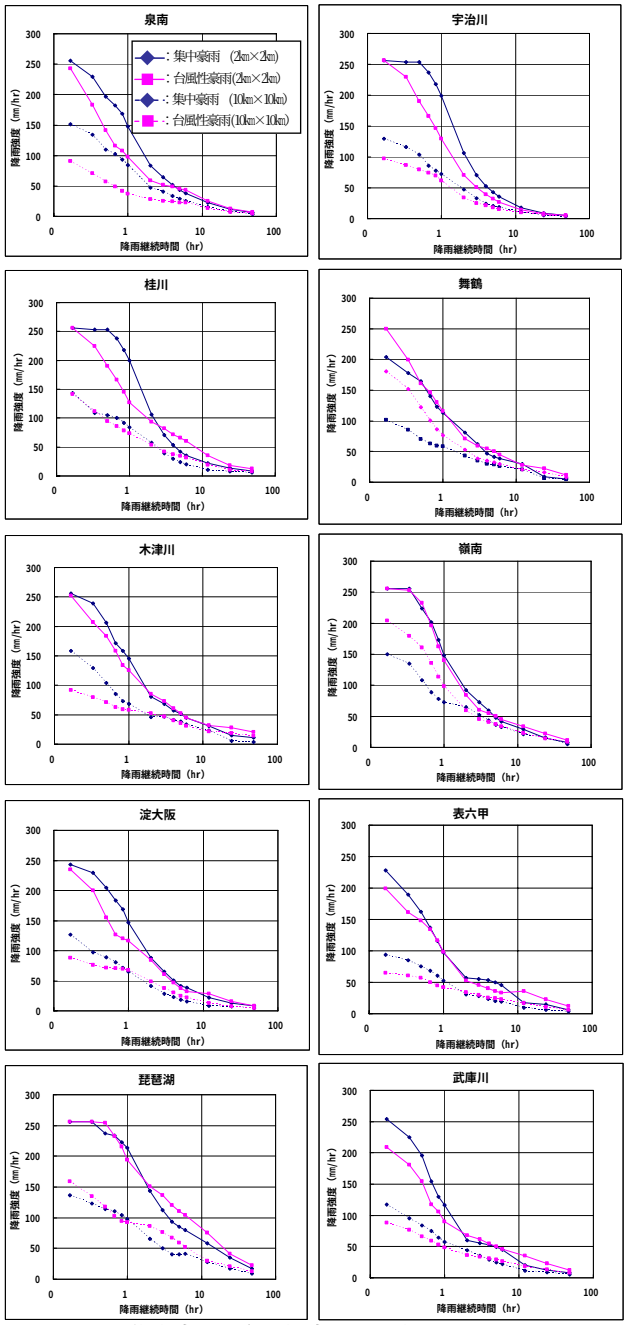

図-6 集中豪雨と台風性豪雨の最大降雨量の比較

b) 降雨発生頻度の検討

集中豪雨は 1 年のうちに複数回発生しており、発生頻度も重要となるため、整理した毎年値に対して、一連の降雨毎に最大値を抽出する。

検討の結果、閾値(20mm/hr)を超えた各流域の降雨の発生頻度は、琵琶湖流域で高く、舞鶴、表六甲地域で低い傾向となった。**表-3** に検討対象流域の面積を示すとおり、琵琶湖流域と舞鶴・表六甲地域では、流域面積に大きな差があるため、流域面積が大きい流域で発生頻度が高くなっている可能性も考えられる。

表-3 検討対象地域面積比較

地域名	泉南地域	桂川流域	木津川流域	淀川流域(大阪)	琵琶湖流域	宇治川流域	舞鶴地域	嶺南地域	表六甲地域	武庫川流域
面積（km^2）	596	1,167	1,649	857	3,754	514	258	1,151	395	547

そこで、前述の発生頻度を同一流域面積(1,000km^2）として比較検討を行った。降雨強度 20～100mm/hr の範囲の降雨発生頻度の関係を**図-7-1** に、降雨強度 110mm/hr 以上の降雨発生頻度の関係を**図-7-2** に示す。

泉南地域、桂川流域、淀川流域（大阪）、宇治川流域での、規準値を超過する発生頻度が高くなる傾向となっている。また、舞鶴地域では、20mm/hr 以上の発生頻度は高くなるものの、降雨強度が大きくなると発生頻度が小さくなっている。

このことから、舞鶴地域では、集中豪雨で降雨強度の非常に大きい降雨の発生頻度は低いと推察される。

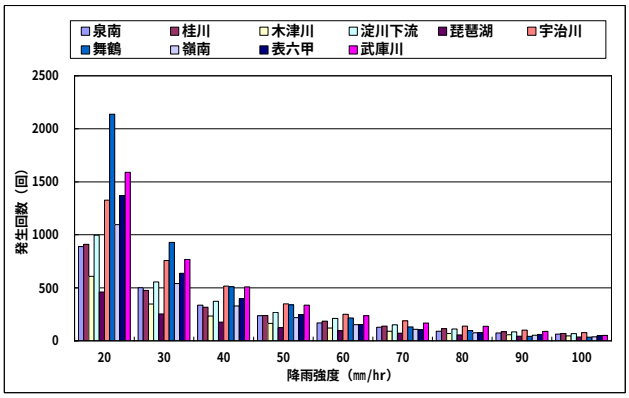

図-7-1 基準値以上の降雨発生頻度

（1×1km　30 分雨量：降雨強度 20mm/hr～100mm/hr：1000km^{2}あたり）

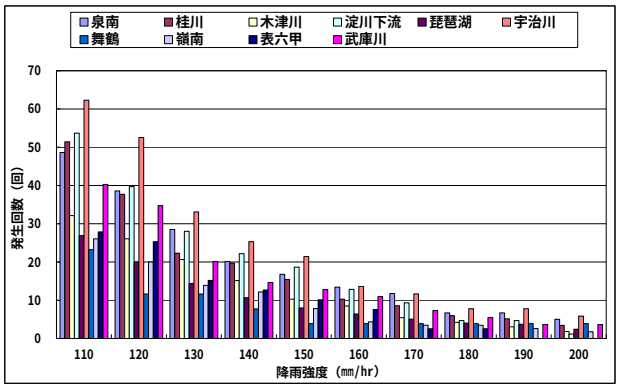

図-7-2 基準値以上の降雨発生頻度

（1×1km　30分雨量：降雨強度110mm/hr～200mm/hr：1000km^{2}あたり）

c) 降雨発生確率の検討

プロッティングポジションにより、統計量の非超過確率を算出する。1km×1kmのケースについて、集中豪雨における降雨継続時間10分、30分の降雨発生確率の解析結果を**図-8**に示す。

検討対象地域では、同一の降雨強度で比較すると舞鶴地域、表六甲地域、嶺南地域、武庫川流域の降雨発生確率（頻度）が小さくなる傾向にある。

現在のレーダ雨量データは256mm/hrが上限値となっているため、降雨継続時間10分のケースでは、同一の降雨強度で発生確率が異なる結果となっている。この降雨発生確率の検討結果からも256mm/hr以上の雨量が発生している可能性が考えられる。

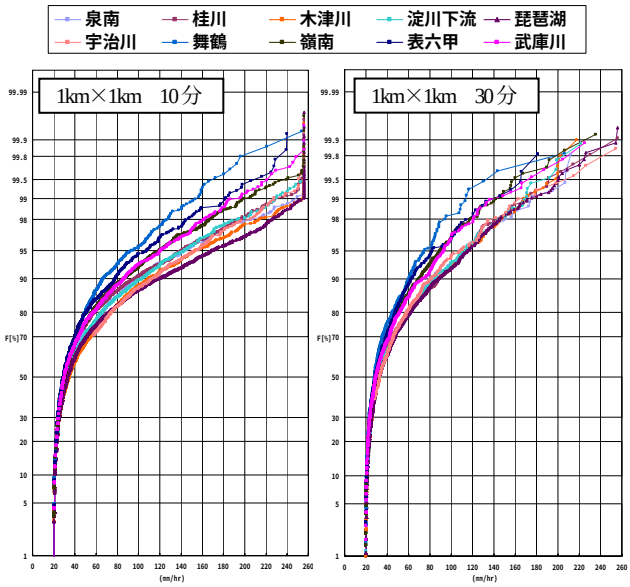

図-8 降雨発生確率の解析結果

4. 最大可能雨量時の流出状況の検討

「3.DAD解析の実施」で推定した降雨が発生した場合の流出状況を別途構築済みの分布型流出モデルを用いて検討した。

(1) 検討方法

最大可能流量を算定するにあたり、計算条件を**表-4** に示す。外力となる降雨条件については、「3.DAD 解析の実施」で推定した各地域の最大可能雨量（モデル降雨：降雨強度一定）とする（**表-5** 参照）。琵琶湖流域以外については、既往業務で分布型流出モデルを構築し、モデル検証を別途行っている。

表-4 最大可能雨量の算定条件

項目	内容
対象地域	・淀川流域、表六甲地域、武庫川流域、泉南地域、宇治川流域、木津川流域、桂川流域、嶺南地域、舞鶴地域
降雨強度	・最大可能雨量（地域毎に設定）
降雨波形	・モデル降雨（一定）
流出モデル	・分布型流出モデル（土木研究所モデル、KW モデル） メッシュサイズ：250m
モデル定数	・既往検討における設定値
計算時間間隔	・10 分
洪水調節施設	・考慮しない
外水・内水氾濫	・考慮しない

表-5 各地域の最大可能雨量（集中豪雨）

面積	降雨継続時間	最大降雨量（降雨強度）										最大値
		泉南	桂川	木津川	淀大阪	琵琶湖	宇治川	舞鶴	嶺南	表六甲	武庫川	
1km×1km	30分	212	256	218	222	256	254	206	236	181	225	256
2km×2km	30分	196	253	206	205	237	253	164	224	162	196	253
3km×3km	1時間	142	189	188	128	204	180	98	131	90	107	204
5km×5km	1時間	118	154	97	99	185	145	87	94	79	97	185
7km×7km	2時間	58	64	54	52	93	58	51	70	36	44	93
10km×10km	2時間	47	57	46	42	66	47	43	65	30	39	66

(2) 最大可能流量の評価

検討で得られた最大可能流量を既往研究成果の洪水比流量曲線と比較する。分布型流出モデルにより算定した全メッシュのピーク流量をもとに、集水面積と比流量の関係を作成し、**図-9** に示す。各地域の最大可能雨量の大きさに応じて、桂川流域、宇治川流域、舞鶴流域の比流量が大きく、表六甲地域が小さい結果となった。

また、同図にダムの設計洪水流量の算定に用いられるクリーガー曲線を重ねて表示した。クリーガー曲線の適用範囲である集水面積 20km^{2}以上に着目すると、桂川流域、宇治川流域、舞鶴流域等の最大可能流量とクリーガー曲線は概ね近い値となっている。一方、表六甲地域は近畿地域に属するが、最大可能流量は小さいといったように地域毎に差異がみられた。

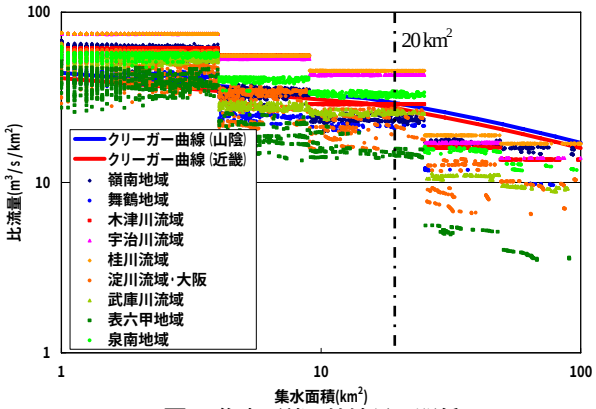

図-9 集水面積と比流量の関係

5. 危険度評価指標の検討

「4.最大可能雨量時の流出状況の検討」の結果及び浸水被害実績より、対象流域における地域・地勢条件の違いを踏まえて、降雨に対する危険度を評価することができる指標の可能性について検討を行った。また、危険度評価指標の検討結果及び浸水被害実績より、浸水危険度マップ案を作成した。

(1) 検討方針

図-10 のフロー図にもとづき、降雨に対する危険度評価指標の検討を行った。既往の浸水実績地域において降雨強度の頻度から危険度評価指標を検討し、既往の浸水実績地域以外の地域に評価指標を適用する。

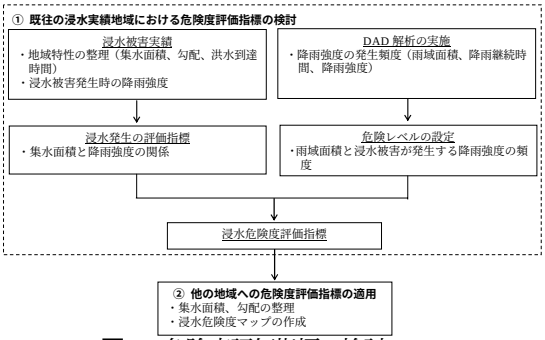

図-10 危険度評価指標の検討フロー

(2) 既往の浸水実績地域における危険度評価指標の検討

図-11に既往浸水実績地域において集水面積と浸水被害発生時の降雨強度の関係を整理し、同図に浸水被害発生時の降雨強度の下限値を包絡する曲線（赤線）を重ねた。浸水被害発生時の降雨強度の下限値包絡曲線（赤線）をもとに集水面積と浸水被害発生時の降雨強度の関係を整理し、**表-6**に示す。

対象地域全体の浸水被害が発生する降雨強度の発生頻度は、220（回/1,000km^2）～1,010（回/1,000km^2）となり、平均値は 580（回/1,000km^2）となる（**表-7** 参照）。本検討では、**表-8** のとおり、最小～最大発生頻度を等分割し、発生頻度から危険度を 3 段階に設定した。危険度のレベル設定結果を**表-9** に示す。

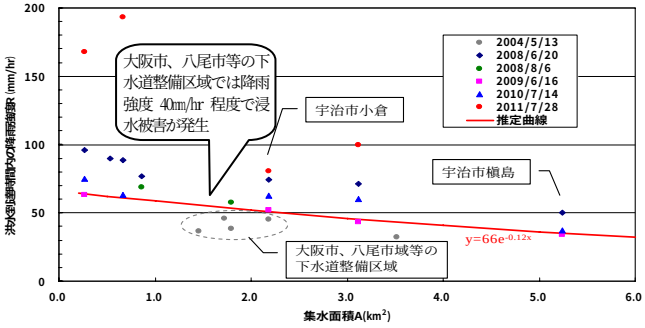

図-11 集水面積と降雨強度の関係（既往浸水実績地域）

表-6 集水面積と浸水被害発生時の降雨強度の関係

集水面積（km^2）	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
降雨強度（mm/hr）	58.5	51.9	46.0	40.8	36.2	32.1	28.5	25.3	22.4	19.9

表-7 浸水被害が発生する降雨強度の発生頻度

集水面積	浸水被害が発生する降雨強度の頻度（回/1,000km^2）										備考
	泉南	桂川	木津川	淀大阪	琵琶湖	宇治川	舞鶴	嶺南	表六甲	武庫川	
1km^{2}未満	724	784	515	826	409	1014	600	526	549	841	1km×1km 継続時間30分 被害発生60mm/hr以上
1～2km^2	667	690	468	679	372	913	619	558	430	640	2km×2km 継続時間30分 被害発生50mm/hr以上
2～5km^2	433	459	283	459	236	572	368	340	294	406	2km×2km 継続時間50分 被害発生40mm/hr以上
5～10km^2	659	665	463	706	374	954	952	652	562	748	3km×3km 継続時間60分 被害発生20mm/hr以上

表-8 危険度の設定

	浸水被害が発生する降雨強度の発生頻度（回/1,000km^2）	設定地域の説明イメージ
危険度小	230以上～490未満	1年間に約4回（100km^{2}当たり）浸水被害が発生する可能性がある地域
危険度中	490以上～750未満	1年間に約7回（100km^{2}当たり）浸水被害が発生する可能性がある地域
危険度大	750以上～1,010未満	1年間に約10回（100km^{2}当たり）浸水被害が発生する可能性がある地域

表-9 危険度のレベル設定

集水面積	浸水危険度									
	泉南	桂川	木津川	淀大阪	琵琶湖	宇治川	舞鶴	嶺南	表六甲	武庫川
1km^{2}未満	2	3	2	3	1	3	2	2	2	3
1～2km^2	2	2	1	2	1	3	2	2	1	2
2～5km^2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
5～10km^2	2	2	1	2	1	3	3	2	2	2

：危険度小(1)、：危険度中(2)、：危険度大(3)

(3) 他の地域への危険度評価指標の適用

地域毎に地域特性として、各メッシュの集水面積、地表面勾配を整理した。宇治川・木津川・桂川流域の集水面積の分布図、地表面勾配の分布図を一例として**図-12**に示す。

危険度評価指標の検討結果及び浸水被害実績より、「市街地を含むメッシュ」かつ「地表面勾配＜0.03 のメッシュ（既往の浸水実績地域の地表面勾配を目安に設定）」の条件を満たすメッシュのみ抽出し、**表-9** の危険度レベル設定をもとに浸水危険度マップ案を作成した。

浸水危険度マップ案の一例を**図-13** に示す。浸水危険度マップ案における浸水危険箇所と、浸水実績地域とは概ね合致しており、本検討で設定した危険度指標は妥当であると判断できた。京阪神地域では、主に淀川沿いに発生する高強度の線状降水帯（「淀川チャネル型降水現象」）が度々発生することが気象研究分野において報告されている。淀川流域（大阪）、宇治川流域、桂川流域において単位面積当たりの高強度の降雨発生頻度が大きい検討結果とも合致している。

なお、集水面積（降雨継続時間）と浸水被害発生時の降雨強度の関係から、任意の降雨強度・降雨継続時間が発生した場合、浸水被害が発生する可能性のある箇所を表示した浸水危険箇所マップの作成も行っている。

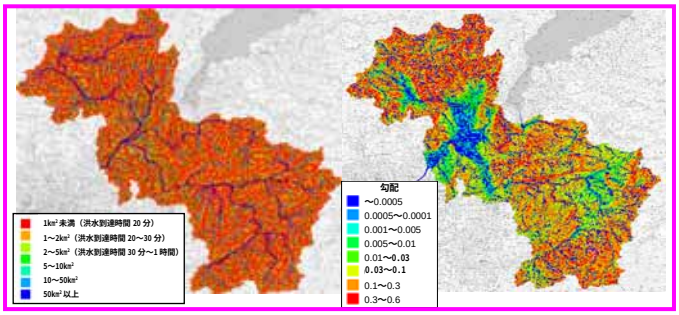

図-12 集水面積､地表面勾配の分布図例

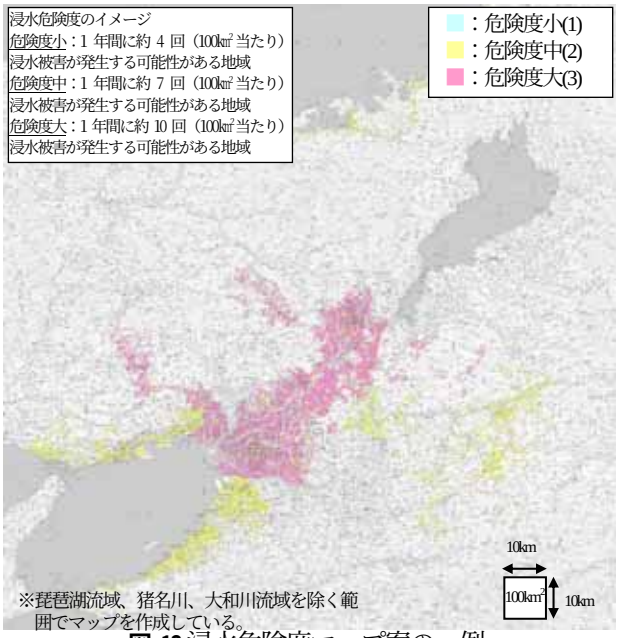

図-13 浸水危険度マップ案の一例

6. まとめ

(1) DAD 解析の結果、検討対象地域の最大可能雨量は 160～260mm/hr 程度（集中豪雨時：降雨継続時間 30 分、流域面積 2×2km）となった。最大可能雨量を地域毎にみると、宇治川流域、琵琶湖流域では大きく、表六甲地域、舞鶴地域では小さい結果となった。

(2) 降雨継続時間毎に任意の降雨強度が発生する頻度を地域毎に整理した結果、例えば、浸水被害が発生する降雨強度 40mm/hr （降雨継続時間 30 分）の頻度は淀川流域（大阪）、宇治川流域で多い結果となった。

(3) 既往の浸水実績地域において浸水被害と降雨強度と降雨継続時間の関係を整理した結果、一定の関係が得られた。そこから地域毎の降雨強度を評価指標とする危険度を設定した。

(4) 集水面積と被害発生時の降雨強度との関係式を作成・適用し、地域毎の危険度評価指標と集水面積から浸水危険度マップ案を作成した。結果、淀川流域（大阪）、宇治川流域、桂川流域で危険性が高く、危険性の高い箇所を把握できた。

7. 今後の課題

(1) C バンドレーダ雨量の降雨強度の最大値が 256mm/hr で頭打ちとなっていることは、中小河川では実際の降雨状況を過小に評価している可能性がある。このため、深山レーダ雨量計データ（地上雨量とのキャリブレーション前）等の降雨強度の最大値を確認する。

(2) 1km メッシュ単位の降雨発生頻度から頻度等高線を作成することにより、「淀川チャネル型降雨現象」を立証する。

(3) 近畿圏内の最大可能雨量を評価するにあたり、今回の検討対象範囲外の猪名川、大和川流域等で、今回算出した最大雨量以上の強度の雨量が発生している可能性があるため、猪名川流域、大和川流域等を対象に降雨強度毎の発生頻度の特性等を検討する。

(4) 今後、X バンド MP レーダ雨量データ及び局地的集中豪雨による水災害の事例を蓄積し、DAD 解析を実施する。

(5) 本検討では危険度評価指標を地域毎に設定しており、低平地部では明確な地形特性の区分がない。今後、メッシュ単位で降雨強度の発生頻度、発生場所を整理し、危険度の不連続の有無を確認する。

(6) 今後、水災害の事例を蓄積するとともに、猪名川流域、大和川流域等の既往検討対象流域以外の流域における既往浸水地域を対象として、検討した危険度評価指標の妥当性を検証する。