

1-8 レーダ雨量計情報を活用した洪水危険度評価技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 18～平 20

担当チーム：水災害研究グループ水文チーム

研究担当者：深見和彦、杉浦友宣、今村仁紀

【要旨】

台風や前線及び短時間に記録的な豪雨をもたらす気象等により、多くの洪水被害が発生している中で、洪水予警報等のソフト的な危機管理手法の高度化が必要とされている。本研究では、レーダ雨量情報を用いて様々な規模の過去の豪雨の時空間分布特性に関する分析（DAD 解析）を行い、そこで抽出された降雨特性と発生した被害との関係性を検討し、レーダ雨量計情報を用いた河川災害発生危険度の評価手法について検討を行った。

キーワード：危機管理、豪雨、レーダ雨量情報、DAD 解析、災害発生危険度指標

1. はじめに

近年、東海豪雨(H12年)、新潟豪雨(H16年)、福井豪雨(H16年)など、中小河川の流域において、豪雨による洪水被害が発生している。これら洪水被害の原因としては、河道の整備水準が低い、河道整備が必ずしも十分に進んでいない、あるいは都市化に伴う流出率の増加等が挙げられるが、降雨そのものの時空間的分布も影響している可能性が考えられる。また、国管理の一級河川においては、洪水予測モデルは整備済みであるが、自治体管理の中小河川においては、雨量・水位・流量といった水文観測データの蓄積が十分でないケースもあり、そういった場合、洪水予測システムの構築が困難な場合がある。

一方で、H16年度以降は、降雨の面的分布を把握するのに有利なレーダ雨量による雨量情報が、全国合成レーダ雨量として全国统一した形式で配信されており、水文観測データが不十分な中小河川において、レーダ雨量計情報による効率的・効果的な洪水予測手法の開発が必要とされている。

このため本研究では、レーダ雨量を活用することにより、これら中小河川の流域において洪水被害をもたらすような規模の洪水を対象に DAD 解析を行い、レーダ雨量計による DAD 解析手法の確立およびその結果を基に、河川災害発生危険度の検討を行った。以下に、検討結果を示す。

2. レーダ雨量計を用いた DAD 解析手法

DAD 解析はレーダ雨量計情報を用いて、各降雨イベントに対して DD 解析（降雨強度と降雨継続時間の関係解析）と DA 解析（降雨強度と雨域面積との関

係解析）を行い、さらに各降雨の DAD 特性を見ることを行っている^{1),2),3)}。

DD 解析は以下の式の a を降雨毎に決めることで行っている。

$$R = aT^n$$

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 迄の計 7通りとした。

また、DA 解析を表現する式を以下に示す。

$$Pa = a \cdot t^{1-c} \cdot \exp(-u \cdot t^v \cdot A^n)$$
 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。

$$y = \log(\ln(a \cdot t^{1-c} / Pa)) - n \cdot \log A, \quad x = \log t$$

とすると、 $y = -v \cdot x + \log u$ となる。

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し、この結果から DA 包絡線を表現する式を作成する。

3. レーダ雨量と地上観測雨量の比較

レーダ雨量計と地上観測雨量を用いた DD 解析結果の比較について、一例として多摩川流域における

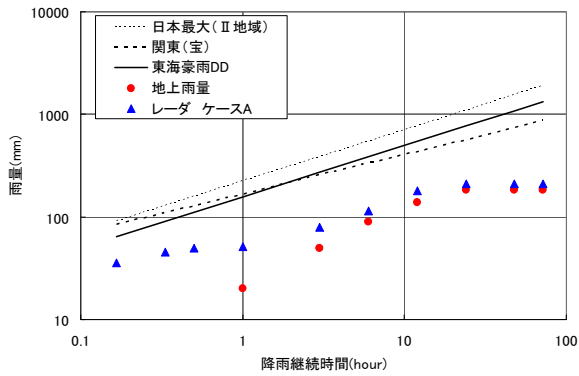


図1 レーダ雨量と地上観測雨量のDD解析結果
(多摩川 2006年12月出水)

結果を図1に示す。この図によれば、地上観測雨量の結果に比べてレーダ雨量の値が大きく、降雨継続時間が短いほど相対的にその差が大きくなっている。

これは、DD解析による最大値は、対象範囲内の最大となる雨量値を示しており、図2の大淀川流域での例に示すようにレーダ雨量では対象範囲内にある全てのメッシュの最も大きな降雨を捉えるのに対し、地上観測雨量では、地上観測雨量計が設置された地点のみの降雨を対象としているため、レーダ雨量の結果に比べて値が小さくなっている。また短時間の降雨現象ほど局所的であると考えられるため、多摩川の事例のように降雨継続時間が短いほど両者の差が大きくなっている可能性がある。

同様に、釧路川、多摩川、九頭竜川、高津川、大淀川流域における各流域各5洪水を対象に、レーダ雨量と地上観測雨量を用いたDAD解析結果を、降雨継続時間ごとに図3に示す。図中の最大値を結ぶ包括線が最大DA値となる。これらの図によれば、各継続時間ともに、最大DA値は、地上観測雨量よりもレーダ雨量の値の方が大きく、特に面積が数百km²以下においてその差は顕著となっている。

これは、より狭い範囲に降る降雨ほど極值的であり、前述のDD解析結果と同様に地上観測雨量では局所的・局値的な降雨を捉えきれず、レーダ雨量よりも小さな値となっていると考えられる。なお、レーダ雨量計の観測誤差による影響もあると考えられるが、対象面積が広がるとレーダ雨量と地上観測雨量の差は小さくなることから(観測誤差であるならば面積が増せば誤差も増し両者の差は大きくなると考えられる)、誤差による影響はあると思われるものの、定性的な傾向は、局所的・局値的な降雨を捉えているかどうかの差によるものと考えられる。

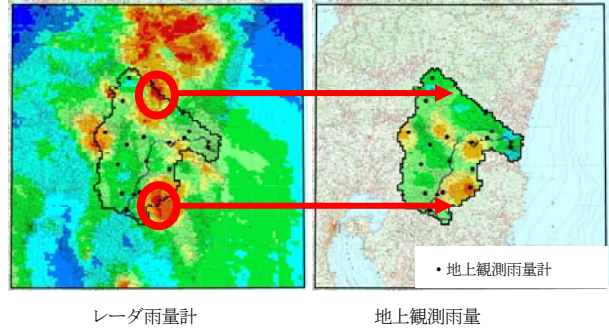


図2 レーダ雨量と地上観測雨量の差

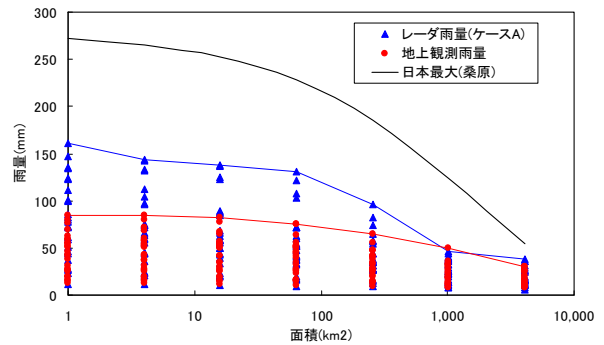


図3(1) レーダ雨量と地上観測雨量のDAD解析結果(降雨継続時間1時間)

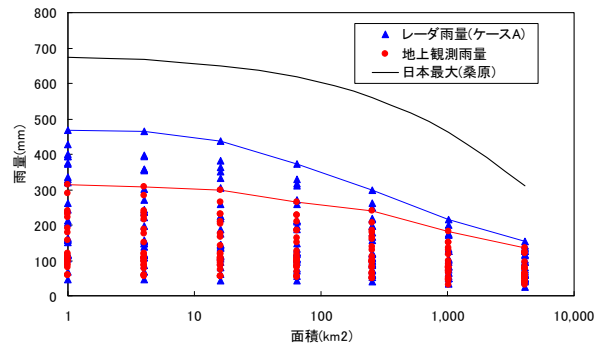


図3(2) レーダ雨量と地上観測雨量のDAD解析結果(降雨継続時間6時間)

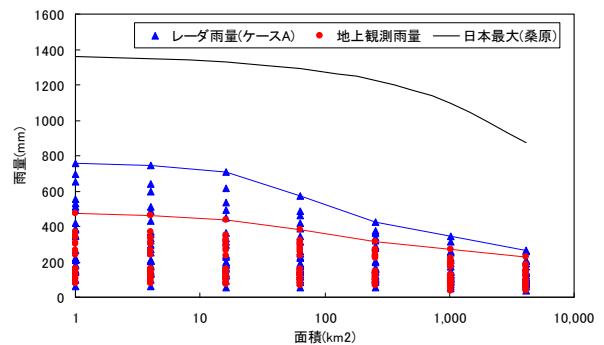


図3(3) レーダ雨量と地上観測雨量のDAD解析結果(降雨継続時間12時間)

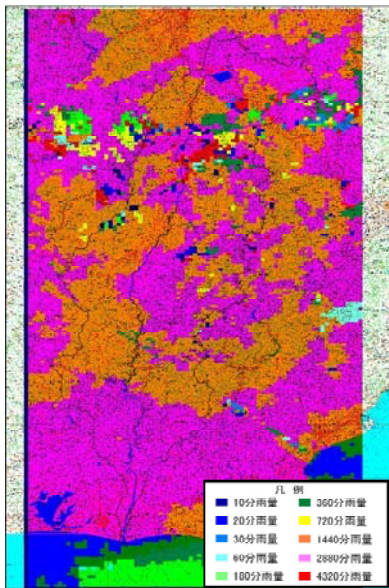


図4 DD包絡線決定継続時間分布
(H18. 7)

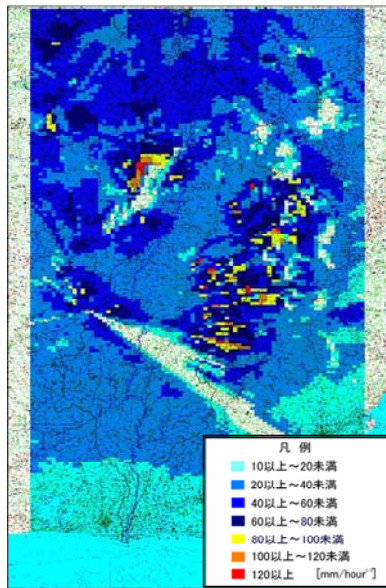


図5 DD包絡線切片値分布
(H18. 7)

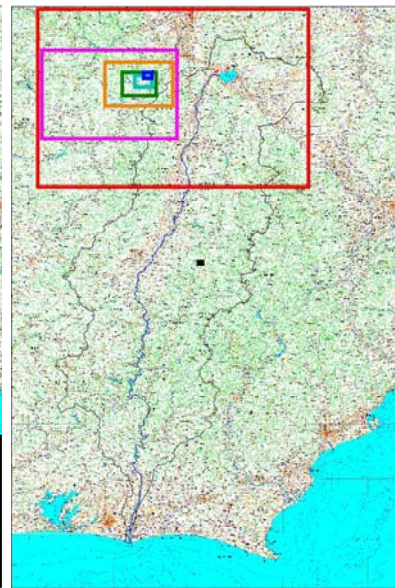


図6 1時間後の最大DA位置
(H18. 7)

4. レーダ雨量計によるDAD解析事例

レーダ雨量計によるDAD解析事例について、天竜川流域における平成18年7月降雨を例に以下に示す。なお、この降雨イベントにより、天竜川上流支川横川川では約900戸の床上浸水被害が生じている。

図4~6にDD包絡線決定継続時間分布図(図4)、DD包絡線切片値分布図(図5)及び継続時間1時間の場合の最大DA位置図(図6)を示す。まず図4によれば、天竜川流域でのDD解析切片値を決めた継続時間の多くは24時間から48時間という非常に長い時間であり、天竜川基準点において想定される洪水到達時間(14時間程度)と比較して大きく上回っていることがわかる。しかしながら、大きな被害が発生した横川川流域にあたる天竜川上流では、6時間から12時間と継続時間が短くなっている。

また、DD包絡線切片値分布を見ると、その長い継続時間におけるもっとも局地的な豪雨は、天竜川流域の中・上流域の右岸側に集中していることがわかる。次に、1時間後の最大DA位置をみると、同様に横川川流域にあたる天竜川上流部に集中しているのがわかる。この傾向は1時間から12時間雨量で見られた。

これらの結果から、平成18年7月降雨は、天竜川流域全体としては降雨継続時間が長い期間の降雨量が相対的に多かったものの、上流部では降雨継続時間が12時間以内での短時間で降雨が激しく、これにより災害が発生したものと考えられる。

5. レーダ雨量計を用いた危険度評価指標の検討

5. 1 DD解析切片を用いた外水による災害発生指標の検討

天竜川上流支川横川川流域(流域面積136.5km²)について、DD切片値の時間変化を図7に示す。なお、土研式から洪水到達時間を4時間と算定し、この降雨継続時間におけるDD切片値と任意の降雨継続時間において最大値となるDD切片値を示す。また図8に他の流域の事例を示す。

図7によれば、DD切片値と河川水位には、DD切片値が増せば河川水位も上昇し、両者には定性的な関係が見られる。しかし、図8によれば、氾濫注意水位を超過するDD切片値は約70となっており、横川川流域のDD切片値20~30とは大きく異なる。これは、DD切片値と河川水位との間には定性的な相関は見られるものの、その関係は流域(対象とする地点)によって異なることを示しており、DD切片値を河川災害(洪水災害発生指標)とするためには、任意の地点において災害発生とDD切片値の関係を事前に算定しておく必要がある。しかし任意の地点についてこの関係を算定することは現実的ではない。

この検討では、洪水到達時間におけるDD切片値を指標しているため、検討を行う前に災害発生地点を特定する必要がある。このため災害発生後、その要因となった降雨の特性を解析するには有効であるが、災害が発生した地点からその地点までの洪水到

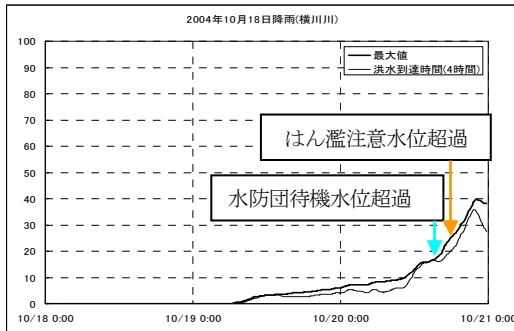
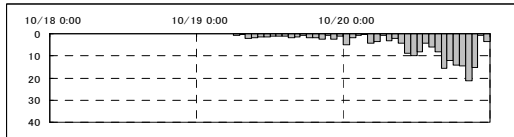


図 7(1) DD 解析切片値時間変化
(横川川流域 H16 年 10 月)

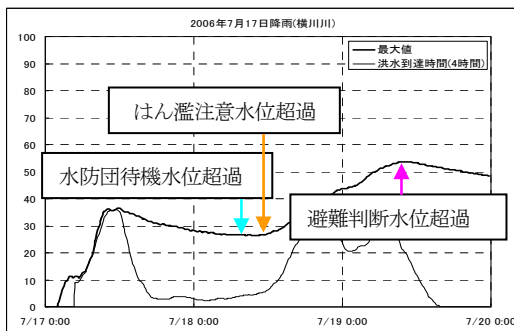
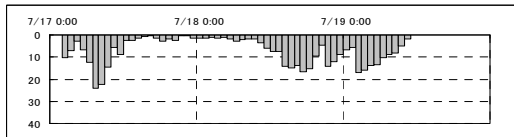


図 7(2) DD 解析切片値時間変化
(横川川流域 H18 年 7 月)

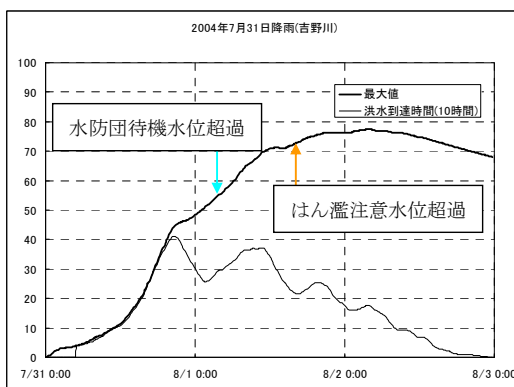
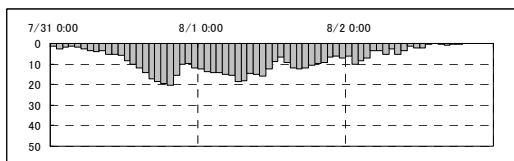


図 8 DD 解析切片値時間変化
(吉野川流域 H16 年 7 月)

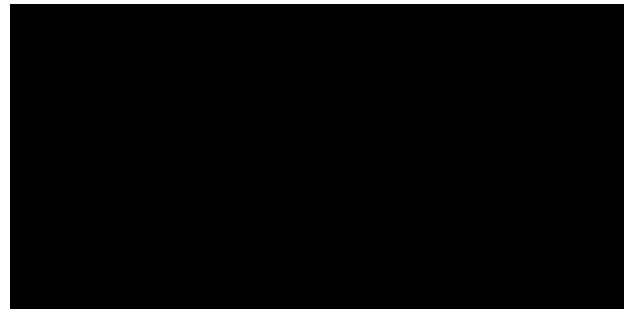
達時間を算定し、その時間に相当する降雨継続時間による DD 解析値の時間変化を見る必要があるため、リアルタイムでの評価手法としては課題が残る。

5.2 DD 解析切片を用いた内水による災害発生指標の検討

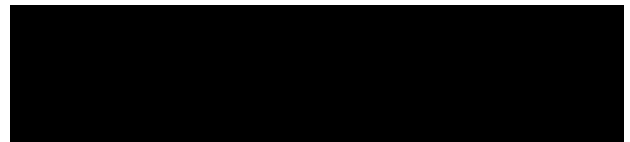
同様に神田川流域(105km²)について、平成 16 年から 19 年度における降雨イベント(表 1)を対象に、DD 解析切片値の算定を行った。なお、比較として河川災害を起こさなかった降雨イベントも対象としている(流域内の練馬観測所において平成 16 年から 19 年度における 1 時間雨量が 30mm 以上または 24 時間雨量 100mm 以上の降雨全て)。

ここでは河川災害として、内水氾濫によるものを対象としている。これは、前述のように外水による河川災害によるものでは河道網やこれによって決まる降雨の流出経路を特定した上で解析を行う必要があるが、内水氾濫による河川災害であれば、流出経路によらず降った雨がその場所近傍で河川災害を引き起こすため、流出経路による影響を受けにくく、降雨による危険度指標が有効であると考えたためである。

表 1 検討対象降雨イベント(神田川流域)
(1) 災害が発生した降雨イベント



(2) 災害が発生しなかった降雨イベント



この結果を図 9 および表 2 に示す。図 9 は、DD 解析結果を示し、表 2 は各降雨継続時間における雨量あるいは DD 解析切片値と浸水面積(被害の有無)を示し、表の上段から下段に向けて、降雨継続時間における雨量あるいは DD 解析切片値が増加するように降雨イベントを並べ替えている。

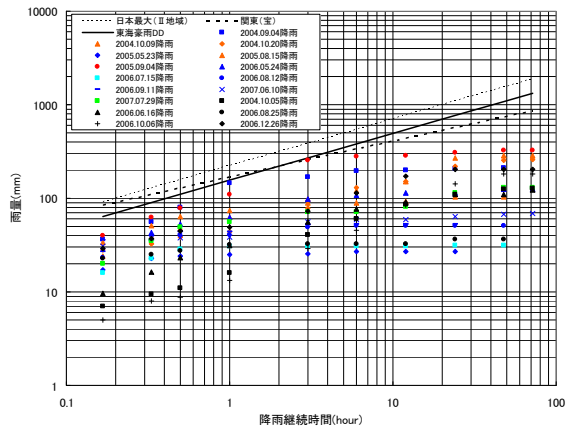


図9 DD解析結果(神田川流域)

表2 累積雨量およびDD解析切片値と内水氾濫による浸水被害発生との関係

イベント名	1時間雨量 (mm)	浸水面積 (ha)	イベント名	6時間雨量 (mm)	浸水面積 (ha)
2007.6.10	8.1	0.038	2006.7.15	16.6	0.004
2005.5.23	9.4	0.040	2007.6.10	18.5	0.038
2006.7.15	10.7	0.004	2006.9.11	19.2	0.027
2006.9.11	10.7	0.027	2006.8.12	25.1	0.065
2006.10.6	11.0	被害なし	2005.8.15	29.3	3.711
2004.10.5	12.0	被害なし	2005.5.23	30.4	0.040
2007.7.29	17.6	0.947	2007.7.29	33.8	0.947
2006.12.26	18.0	被害なし	2006.8.25	46.0	被害なし
2005.8.15	18.1	3.711	2006.10.6	48.0	被害なし
2006.8.12	18.7	0.065	2004.10.5	52.0	被害なし
2006.5.24	21.8	0.010	2006.5.24	55.4	0.010
2004.10.20	28.0	2.957	2006.6.16	58.0	被害なし
2006.6.16	30.0	被害なし	2004.9.4	85.4	0.041
2004.9.4	35.7	0.041	2006.12.26	90.0	被害なし
2006.8.25	39.0	被害なし	2004.10.20	97.7	2.957
2005.9.4	43.8	126.026	2004.10.9	106.4	10.754
2004.10.9	47.9	10.754	2005.9.4	125.4	126.026

イベント名	24時間雨量 (mm)	浸水面積 (ha)
2006.9.11	19.3	0.027
2007.6.10	22.9	0.038
2006.7.15	24.8	0.004
2006.8.12	25.1	0.065
2005.5.23	36.4	0.040
2006.8.25	46.0	被害なし
2005.8.15	47.6	3.711
2006.5.24	61.8	0.010
2007.7.29	64.8	0.947
2006.6.16	83.0	被害なし
2004.9.4	96.8	0.041
2004.10.5	107.0	被害なし
2005.9.4	148.3	126.026
2006.10.6	149.0	被害なし
2004.10.20	183.3	2.957
2006.12.26	201.0	被害なし
2004.10.9	246.0	10.754

1時間雨量、6時間雨量、24時間雨量と災害の有無の関係について、表2によれば、累積雨量が少ない場合においても浸水被害が発生しその関連性は低いのにに対し、DD解析切片値と浸水被害の有無については、DD解析切片値が小さい場合には被害がなく、概ね40を超えると浸水被害が発生していることが

わかる。このことから、神田川流域においてはリアルタイムでDD解析切片値を観測することにより、その値が概ね40となった時点で内水氾濫が発生する可能性があるといった簡便な指標を設定することが可能となる。またその値を超えた場所をレーダ雨量計上で特定することにより、内水氾濫が想定される場所についても特定することが可能であると考えられる。

ただし、内水による氾濫においても、災害の発生の有無やその被害の大きさは、降雨の影響だけでなく、その地点の整備の状況によっても異なる。このため、内水氾濫に結びつくDD解析切片値はその地点の整備状況によっても異なると考えられるとともに、本検討では、流域内の整備(内水氾濫対策)等が概ね同じレベルで進んでいることを前提としており、整備状況が一様ではない場合においては、各地点の整備状況によって河川災害につながるDD解析切片値は異なるため、この違いを考慮した指標が必要となる。また降雨域の広さによっても浸水範囲は変わると考えられるため、浸水範囲の広さや被害の大きさの指標とするためには、DD関係だけでなく、DAD関係を考慮した指標が必要となる。

6. まとめ

本研究では、レーダ雨量および地上観測雨量を用いたDAD解析を実施し、レーダ雨量計を用いたDAD解析手法について検討を行うとともに、その結果を基に洪水の発生に関する危険度指標についての検討を行った。この結果、地上観測雨量によるDD値、DA値はレーダ雨量計による値よりも小さく、降雨継続時間が短く対象とする面積が狭いとその差が大きく、特に数百km²以下となるとその差が顕著になる傾向が見られた。この結果から、レーダ雨量による誤差等の影響はあるものの、数百km²の流域では、相対的にレーダ雨量に比べて地上観測雨量が小さく、降雨を過小評価している可能性が確認された。またレーダ雨量は、約1km四方のメッシュデータとして整理されているため、観測誤差に注意する必要があるもののDD解析やDAD解析を行う上で、非常に有用であると考えられる。

またレーダ雨量計を用いた河川災害の危険度評価手法に関しては、DD解析切片値について着目し、流出解析を行わず雨量のみによる河川災害発生の危険度指標の検討を行った。この結果、外水による河川災害について、複数の流域で検討を行ったものの、

DD 解析切片値と河川災害につながる河川水位との関係は定性的な関係が見られるのみで、各地点ごとに流出経路等により流量が変わるため、定量的な基準は見いだすことができなかった。これに対し、内水による河川災害と DD 解析切片値の関係は、神田川流域のみの限定された検討ではあったものの、累積雨量に比べて災害発生有無が明確であった。このため、適応できる流域の条件や精度的な課題はあるものの、内水氾濫に対しては、降雨の影響がより直接的に現れることから、レーダ雨量計を用いることにより、複雑な流出解析を行わずに任意の地点での内水氾濫の発生危険度を算定できる可能性がある。今後、この指標の精度向上や実用化に向けて、他流域や流域内の整備状況が異なる河川において検討を行うことが求められる。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 深見和彦、今村仁紀、萩野睦：レーダ雨量計により観測された 2005 年 9 月台風 14 号豪雨の DAD 特性～大淀川流域における事例（速報）～、平成 17 年度文部科学省科学研究費補助金（特別研究促進費）報告書「2005 年 9 月台風 14 号による水災害と土砂災害に関する研究」、pp.172-179、2006.3.
- 3) 深見和彦、今村仁紀、萩野睦：大淀川流域における 2005 年 9 月台風 14 号豪雨の時空間分布特性—国交省河川局・道路局レーダ雨量による DAD 解析—、水文・水資源学会 2006 年度研究発表会要旨集、pp.10-11、2006.8.
- 4) 桑原英夫：日本における最大級豪雨の時間的空間的集中特性に関する実証的研究、東京大学博士論文、1988. 12.

STUDY OF FLOOD RISK EVALUATION TECHNOLOGY USING RADAR RAIN GAUGE INFORMATION

Abstract : Many flood damages have been recently occurred in small-scale rivers by typhoons, fronts etc. which brings localized heavy rain in a short time. Therefore, advanced risk management such as flood forecast/warning is needed. In this research, we analyzed the characteristics of space-time distribution (DAD analysis) of heavy rain using the radar rain-gauge and the ground rain-gauge information for recent typical storm events. We also examined the relationship between their DAD characteristics and rainfall of the designed flood, and the possibility to construct 'indicator of flood' using the relationship.

Key words : risk management, radar rain-gauge, DAD analysis, Heavy rain, Indicator of flood