

# 雨域の移動が流域の降雨流出・洪水氾濫過程に及ぼす影響

## THE INFLUENCE OF THE MOVING RAINSTORMS ON THE RAINFALL-RUNOFF AND FLOOD INUNDATION PROCESSES IN A CATCHMENT

小林健一郎<sup>1</sup>・宝 馨<sup>2</sup>

Kenichiro KOBAYASHI and Kaoru TAKARA

<sup>1</sup> 正会員 Dr. -Ing. 京都大学 生存基盤科学研究ユニット (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

<sup>2</sup> フェロー 工博 京都大学 防災研究所 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

This paper presents a numerical experiment to identify the influences of the moving rainstorms on the rainfall-runoff and flood inundation processes specifically in the Hinogawa river catchment, Shiga, Japan and Ryuou Town in the catchment. To be concrete, an assumed rainstorm moves over the catchment from the north, south, east and west with a total rainfall amount of 228.7mm equivalent to 100-year daily rainfall in the catchment. Then, the rainfall-runoff and the inundation processes induced by the rainfall are studied. The results indicate some characteristics that the discharge at a point in the Hinogawa mainstream becomes larger when the rainstorm moves toward downstream than upstream; the inundation process changes according to the direction of the moving rainstorm and the process is not determined only by the characteristics of the discharge hydrograph in the Hinogawa mainstream. In other words, the influences by the flow from the tributaries on the inundation process is not negligible.

**Key Words:** *Moving rainstorms, rainfall-runoff simulation, flood inundation, hazard map*

### 1. はじめに

豪雨洪水災害を防止・軽減するためには、治水システムの計画・施工及び管理を適切に行うことが肝要で、当該流域の洪水流出の特性を事前の計画段階、問題があれば適応的に現段階で的確に把握しなければならない。また、流域の洪水特性を明らかにし地域に還元することができれば地域防災計画策定にも役立つ。本研究ではこうした視点に立ち、雨域の移動が洪水流出ハイドログラフ、洪水氾濫に及ぼす影響について数値実験を行うこととした。これにより、洪水防止の観点から危険な豪雨パターンや豪雨域の移動について検討することができる。

現行の河川計画では当該地域の過去の大雨・洪水時の降雨パターンを幾つか選別し、それを計画降雨量まで引き伸ばし、集中型の降雨流出モデルに入力することにより、応答である流出量の不確定性を考慮することが多い。しかしながら分布型の降雨流出モデルを用いて、雨域の移動や盛衰を考慮することができればより適切である。また本稿のように雨域の移動を系統的に考慮して流出過程だけでなく氾濫過程まで検討した例は見られない。こうした点に着目して当該流域の降雨に対する応答特性をより具体的に把握することを試みた。これにより今後の河川計画や水防活動において雨域の移動を考慮することの重要性を指摘する。

### 2. 既往の研究

本論に入る前に関連する既往研究をレビューする。国外に目を向けると Yen and Chow (1969)<sup>1)</sup> は実験室で、豪雨シミュレータを用いて流出の特性を検討し、流れ方向の豪雨の移動がピーク流量の増大をもたらす、反対方向に移動する場合には応答時間が長くなりピーク流量が減少する、といった直感的な予想を検証した。しかしながら、実験室での結果が直接実際の流域に適用できないとしている。Surkan (1974)<sup>2)</sup> はネブラスカの自然流域での応答を簡単な分布型モデルを用いて検討した。仮想豪雨を 3.6~64.8km/hr の速さで色々な方向に移動させて、上下方向の移動によるピーク流量の変動が 6 倍にも及ぶことを示した。Ngirane-Katashaya and Wheeler (1985)<sup>3)</sup> は流域面積 20km<sup>2</sup> 以下の都市流域における豪雨の流出特性を数値実験により検討しているが、その際正 12 角形の仮想流域を用い分布型の非線形流出モデルを適用した。また、Surgent (1981)<sup>4)</sup> は排水設備の整った都市流域を対象として 0.5~32km<sup>2</sup> の仮想の矩形流域を用い、空間変動をもつ移動豪雨 (0~61.2km/hr) による洪水流出への影響を検討し、下流方向の豪雨の移動によるピーク流量は上流方向への移動によるピーク流量の 25 倍の大きさになるとしている。

日本では、実験室での豪雨シミュレータを用いたものとして室田・原 (1974)<sup>5)</sup> の研究がある。Takahashi et al. (1971)<sup>6)</sup> は 374km<sup>2</sup> の流域 (神流川流域) におけ

る実際の雨域の移動が流出に与えた影響を調べている。高棟ら (1975)<sup>7)</sup> は降雨の空間分布をガンマ分布で与え、その出水への影響を検討した。日野・砂田 (1977)<sup>8)</sup> は周期変動降雨に対する表面流出の応答特性について検討した。

室 (1987)<sup>9)</sup> は 仮想流域モデルとして中央部に主河道があり、主河道方向 24km、縦断方向 16km の矩形流域を設定した (流域面積 384km<sup>2</sup>)。流域は 4 つの支流と 9 つの部分流域からなり、仮想豪雨モデルで降雨入力を行い豪雨特性が流出に与える影響について数値実験を行っている。各部分流域は山腹斜面として斜面流出計算を行うが、この斜面は A 層で被覆されているものとし、斜面流出は中間流と表面流を考慮した山腹斜面集中化モデルで追跡し、河道流出については kinematic wave モデルを用いている。仮想豪雨モデルにより 130 通りの組み合わせのシミュレーションを行い、雨域の移動方向・速度・強度が洪水流出に与える影響を調べた。

これまでのこうした研究は流域条件がかなり単純化されたものが多かった。これはデータが未整備であったことや、計算機能力の制限などによったと思われる。本研究では分布型降雨流出モデルと氾濫モデルを組み合わせ、滋賀県日野川流域と竜王町を対象に、流域・地域をなるべく忠実に表現して同様の解析を行う。

### 3. 滋賀県日野川

滋賀県日野川は鈴鹿山脈の綿向山 (標高 1100 m) を源流とし、日野町、東近江市、竜王町、近江八幡市、野洲市の 3 市 2 町を流れ琵琶湖に注ぐ淀川水系に属する一級河川 (流域面積 207.1 km<sup>2</sup>, 流路延長 42.2 km) である。図-1 に日野川流域の概要を示す<sup>10)</sup>。日野川は東に鈴鹿山系 (綿向山)、西に琵琶湖が位置しており、したがって上流部は勾配が急で土砂流出が激しく、中下流部で河床上昇に伴う洪水氾濫を防止するために長い年月をかけて堤防の嵩上げ工事が繰り返されてきた。結果として、日野川中下流は天井川となっている<sup>11)</sup>。こうした理由から沿川住民はたびたび洪水被害を被ってきた。なお日野川上流には日野川ダム (多目的ダム: 治水、灌漑) と利水ダムの蔵王ダム (灌漑) がある。

竜王町 (図-1, 図-2) は日野川の中下流部に位置し、東部の雪野山、西部の鏡山、南部の丘陵地帯と北部の日野川で町の大部分が囲まれており、町面積 44.52 km<sup>2</sup> に人口 13674 人 (男 7529 人, 女 6145 人) 5045 世帯 (平成 20 年 3 月 1 日現在) が居住する<sup>12)</sup>。中央部から北部にかけて居住区や田園地帯が広がり、町では石器時代の名残を残す出土品なども発見されている。町内には日野川に加えて、その支流である善光寺川、祖父川、惣四郎川、中津井川、新川、大洞川などが貫流する。

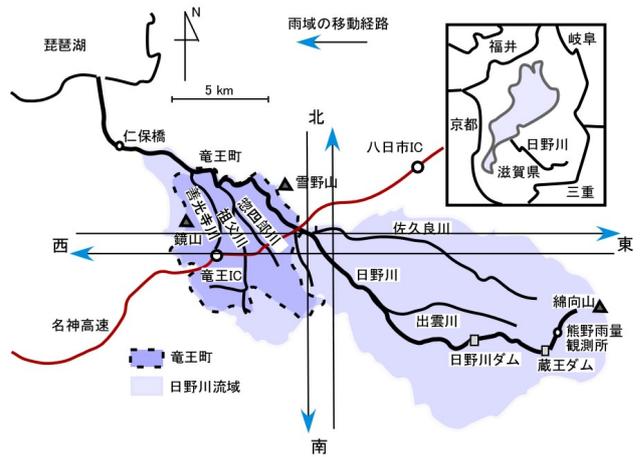


図-1 日野川流域模式図

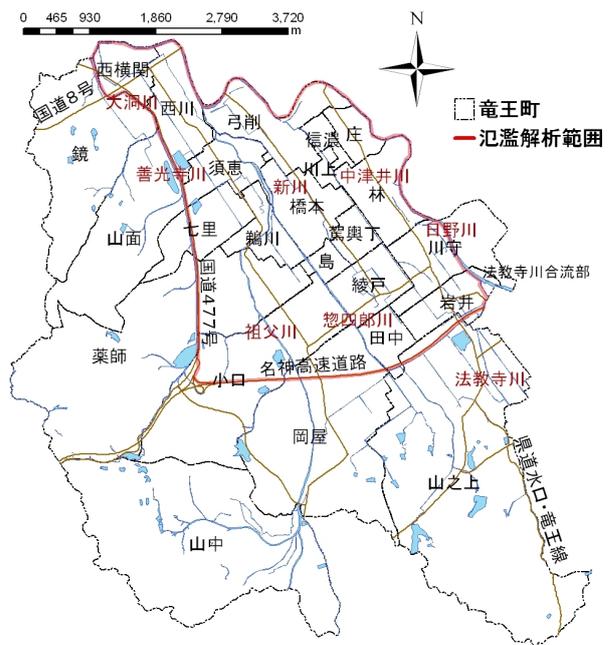


図-2 竜王町全体図

### 4. 降雨流出モデル

日野川流域を対象に物理則に基づく分布型降雨流出モデルを構築して、これにより降雨流出解析を行う。日野川ダムによる洪水調節機能を考慮するため、ダム操作を計算アルゴリズムに組み込み、ダムからの放流量を操作規則に従い計算できるようにした。操作に関しては平常時操作、ピークカット操作、但し書き操作の 3 過程をモデル化している<sup>13)14)</sup>。これらのモデルは OHyMoS (降雨流出モデル構築システム<sup>15)</sup>) により構築した。斜面流、河道流は kinematic wave 法により追跡し、斜面表面の流量流積関係式については飽和流、不飽和流、表面流を区別できる立川ら<sup>16)</sup> の関係を用いた。これにより、斜面流の追跡では土層圧  $D$ 、全空隙に相当する層厚  $d_a$ 、毛管帯の層厚  $d_m$ 、大空隙での飽和透水係数  $k_a$ 、

斜面粗度係数  $N_{slope}$ , パラメータ  $\beta$  が推定対象パラメータになる. 河道流の追跡については河道粗度係数  $N_{river}$  が未知パラメータになり, 最終的に斜面流と合わせて7つの未知パラメータを推定する. 分布型降雨流出モデルのパラメータ推定については, 由良川を対象として著者らが行った Levenberg-Marquardt アルゴリズムによる手法<sup>17)</sup>をここでも用いる.

平成2年9月19日の日野川における洪水時の降雨とダムへの実測流入出力を用いてパラメータ推定を行った. この降雨を対象にしたのは実際にダムがピークカットを行っている最も最近の事例だからである. これによりダムへの流入, ダム操作にともなう放流過程が良く再現されることを確認している<sup>14)</sup>.

## 5. 洪水氾濫モデル

洪水氾濫解析についてはまず解析範囲内の河道(日野川, 善光寺川, 祖父川, 惣四郎川, 中津井川, 新川, 大洞川)の水位・流量を一次元不定流解析で追跡する. なお, 流出解析では小河川の中津井川, 新川, 大洞川は考慮していない. 河道網の上流端では降雨流出モデルにより計算された流量ハイドログラフを入力する. 2川が合流して1川となるような合流点では2つの下流端と1つの上流端により構成される3端点の水位が等しく, 流入量の合計が流出量に等しいとする.

一次元不定流解析における最下流端の水位は, 最下流端とすぐ上流側の計算断面の諸値を用いて外挿計算して与えた. つまり最下流端については, それより下流側の影響は上流に伝播しないとして取り扱った. 日野川と善光寺川の合流点より上流の河道網では下流端の水位が上流断面より高くなる場合に生じる水位上昇の上流側への伝播, 所謂堰上げの効果を考慮できる(kinematic wave法ではできない).

なお, これまでに日野川流域では中津井川など日野川支川の日野川への排水不能による溢水氾濫が発生しており, このような現象を再現するためには, 今後はこうした小河川まで考慮していく必要がある. 溢水は河道内の水深が堤防高さを上回った場合に起こるとし, 越流公式により溢水流量を計算する. これらの溢水流量を二次元氾濫解析モデルに与える<sup>14)18)19)</sup>. なお, この氾濫解析モデルでは, 河道から堤内地に溢れた水が河道に再流入して湛水が引けて行く様子もシミュレーションできるようにプログラムしている. この再流入量も越流公式により計算する.

### (1) 河川網の1次元不定流解析

以下の連続式と, 抵抗則に Manning 公式を用いた St. Venant 式を適用する.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q, \quad (1)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} = s_0 - \frac{n^2 u |u|}{R^{4/3}} \quad (2)$$

ここに  $A$  は河道での流水断面積,  $Q$  は河道内流量,  $q$  は  $x$  方向の単位長さあたり横流入出力 (流入が正),  $u = Q/A$  は断面平均流速,  $s_0$  は水路床勾配,  $n$  はマンニングの粗度係数,  $R$  は径深である. これらの式を特性曲線法で解く.

### (2) 氾濫原での2次元洪水氾濫解析

堤内地の氾濫解析には2次元浅水流方程式を用いる.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = Q_{in} \quad (3)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - gn^2 u \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (4)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - gn^2 v \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (5)$$

ここに  $h$  は水深,  $M = uh$ ,  $N = vh$  で  $M, N$  は流量フラックス,  $u, v$  はそれぞれ  $x$  方向,  $y$  方向への流速,  $H$  は水位,  $Q_{in}$  は単位面積当たりの溢水流量である. ここでは数値解を得るために  $h, M, N$  を千鳥格子状に配置し(staggered grid), 時間方向差分には陽的解法の Leap frog 法を用いる.

こうして計算された結果を ArcGIS により可視化する.

## 6. 降雨の決定

本研究の目的は豪雨の移動方向が降雨流出・氾濫過程に与える影響を知ることである. このためにはまず, 一定の大きさを持ち, その中では降雨強度が一樣な豪雨モデルを用いることが, 基本的な挙動を分析するという点で最適であると考えた. 雨域が流域に対して小さすぎると, 流域全体に対して十分な雨量が得られない. 雨域が流域に対してあまりに大きすぎると雨域が移動しているにもかかわらず同じ強度の降雨が長時間継続するため, 雨域の移動を考慮したことになる. そこで本研究では図-3を参考にして流域を完全に覆う程度の雨域(35km × 30km)を考えた. 流域に降る総雨量は日野川流域の河川計画や竜王町のハザードマップ作成で適用されている滋賀県により算定された100年確率日雨量(石原・高瀬法による)と同じとした. これによると100年確率日雨量は228.7mm(計画日雨量)である.

雨域モデルの移動速度については宝<sup>9)</sup>を参考にしていく. 宝によると, 台風の移動速度は20km/hr付近が最も多く, 速いものでは80km/hrを超え, 遅いものでは5km/hrに満たない. 前線性豪雨でもこの傾向は大体同じである. したがって, 今回は先に述べた大きさの雨域が時速5kmで東西南北方向から日野川流域上を移動するものとした(図-1). 移動速度を遅めの5km/hrとしたのは, 今回は流域に降る総雨量を一定とする雨

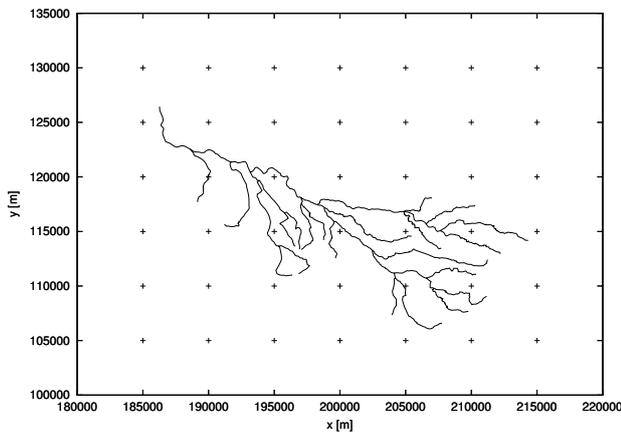


図-3 降雨流出計算のためにモデル化された河道網（実線）と 5km 間隔の降雨入力点（+印）

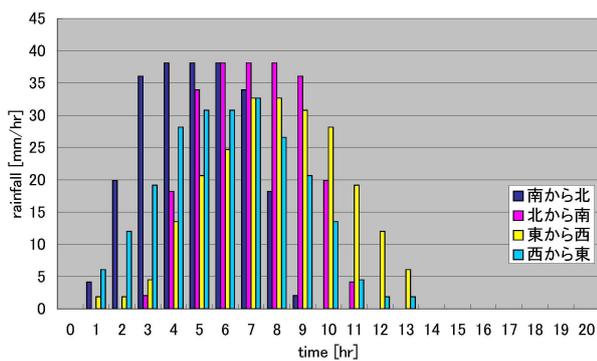


図-4 流域平均雨量時系列（雨域が西から東，東から西へ，南から北，北から南に移動する場合）

域モデルを採用することから、雨域の移動速度をあまり速くすると降雨強度が大きくなりすぎてしまうためである。この総降雨量一定雨域モデルでは西から東，東から西へ雨域が移動する場合の降雨強度を 32.67mm/hr，北から南，南から北へ雨域が移動する場合の降雨強度を 38.12mm/hr とし，流域に降る総降雨量を 228.7mm に統一した。この点は降雨強度を移動方向の異なる各雨域に対して一定とした宝のアプローチ（降雨強度一定雨域モデル）とは異なる。これにより算定された日野川の流域平均一時間雨量時系列を図-4 に示す。

## 7. 計算結果

### (1) 雨域の移動による降雨流出過程の違い

図-5 に雨域が東西南北方向から流域を通過する場合の日野川と法教寺川合流部（日野川本川：図-2 参照）での流量ハイドログラフを示す。これらからわかるように、雨域が南から北へ移動する場合のピーク流量が最大で  $709\text{m}^3/\text{s}$  となり，ピーク生起時刻は降雨開始から 7.5 時間後となる。次に雨域が北から南へ移動する場合のピーク流量が高く最大流量は  $655\text{m}^3/\text{s}$  で，ピーク生起時刻は 9.7 時間後である。雨域が東から西へ移動する場合はピーク流量が  $633\text{m}^3/\text{s}$  で生起時刻が 10.7 時間

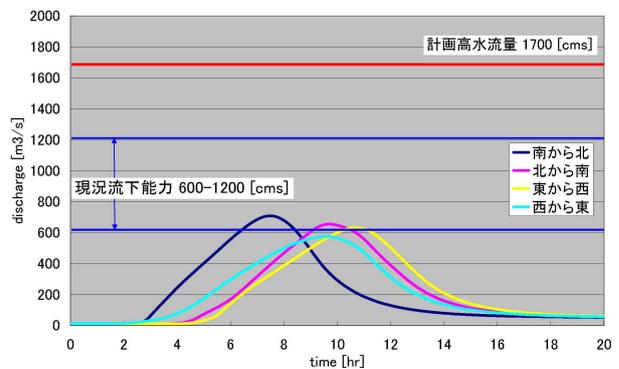


図-5 流量ハイドログラフ（日野川・法教寺川合流点）

後，西から東へ移動する場合は最大流量が  $575\text{m}^3/\text{s}$  で，生起時刻は 9.7 時間後である。ここでは雨域の形状と総降雨量は 4 降雨パターンとも同じであるが，南北方向に雨域が移動する場合の降雨強度（38.12mm/hr）が東西方向のそれ（32.67mm/hr）より高いことが南北方向のピーク流量が高くなった理由と考えられる。

南北方向のみで比較すると，南から北への雨域の移動によるピーク流量は北から南へのそれより  $54\text{m}^3/\text{s}$  高い。東西方向の比較では，東から西への雨域の移動によるピーク流量は西から東へのそれより  $58\text{m}^3/\text{s}$  高い。これから，下流方向（南から北，東から西）に向かって雨域が移動する方がピーク流量が高くなるのがわかる。宝<sup>9)</sup>の仮想流域を対象とした結論では，雨域が下流方向へ移動するほうが，上流方向へ移動した時よりも常にピーク流量は大きいとあるが，実流域を対象に行った流出計算でもこれと一致した。なお，ピーク流量が生起する時刻の順序は，図-4 の流域平均雨量の最大値が生起する時刻の順序に一致している。

### (2) 雨域の移動による氾濫過程の違い

次に日野川及び善光寺川，祖父川，惣四郎川（図-1 参照）上流端でこれらの流出計算結果を与えて河道流の一次元不定流解析を行い，氾濫計算を行った結果を図-6～図-9 と表-1 に示す（降雨による内水については考えていない）。なお表-1 の浸水面積は浸水深が 0.1m を超えた場合の浸水域である。今回の計算では日野川の水位が上がることにより日野川支川で堰上げ（排水不能状態）が生じることに溢水が生じた（これは過去の事例に一致する）。

表-1 にあるように，浸水面積（最大浸水面積で表示）は雨域が南から北へ移動する場合が最も大きい。図-5 で示したように日野川本川の流量ハイドログラフのピーク流量が最大であることから妥当な結果であると考えられる。次に雨域が北から南へ移動する場合に浸水面積が大きくなった。これも日野川本川のピーク流量が 2 番目に大きいという状況と一致する。しかしながら，東西方向で比較すると，雨域が西から東へ移動する場合の方が東から西へ移動する場合より浸水面積が大きくなった。雨域が西から東へ移動する場合の日野川本

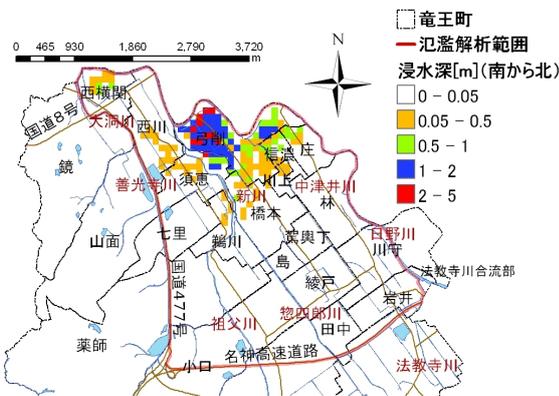


図-6 雨域が南から北に移動する場合の浸水深（8.4時間後：溢水終了時刻）

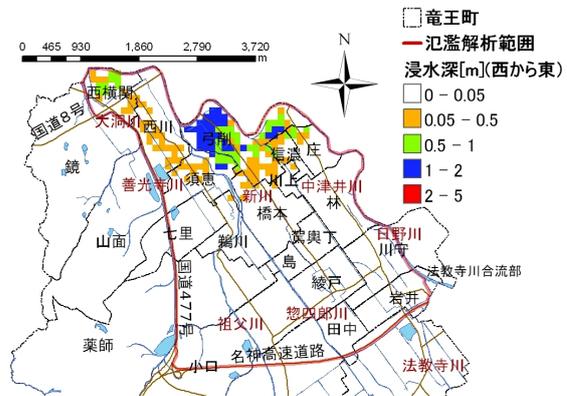


図-8 雨域が西から東へ移動する場合の浸水深（10.9時間後：溢水終了時刻）

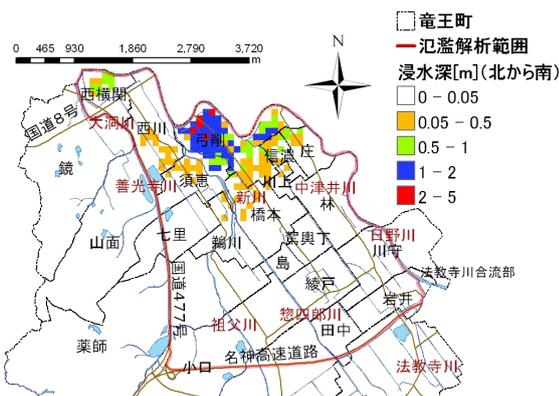


図-7 雨域が北から南に移動する場合の浸水深（11.1時間後：溢水終了時刻）



図-9 雨域が東から西へ移動する場合の浸水深（8.4時間後：溢水途中）

川の流量ハイドログラフのピーク流量は、東から西へ雨域が移動する場合より低いことを考えると、氾濫過程には本川だけでなく支川も影響を与えているということになる。

溢水開始時刻を見ると、西から東へ雨域が移動する場合が一番早く、東から西へ移動する場合が一番遅い。その差は3.3時間である。東から西へ雨域が移動する場合の氾濫過程の進行が遅いのは、この場合に日野川本川の流量ハイドログラフのピークが観測されるのが4パターン中一番遅いという傾向に一致している。一方、西から東へ雨域が移動する場合、流域の西寄りに位置する祖父川の流量ハイドログラフの立ち上がりが4パターン中最も早くなるため、これにより祖父川と新川の合流部で早い時刻に溢水が始まる。なお、他のパターンでは全て日野川と中津井川の合流部で最初の溢水が始まっている。こうして雨域の移動方向により氾濫開始位置が異なり、溢水開始時刻の違いに現れる。これらは日野川本川の流量・水位を観測したり、その改修を進めたりするだけでは、必ずしも洪水被害を適切に予測・軽減できないことがあることを意味している。現在は、日野川本川の水位計測データに基づき洪水注意報・警報が発令されているが、支川にも水位計を設置するなど、氾濫過程への支川の影響を考慮する必要がある。

図-6～図-8には3降雨パターンについて最大浸水面積が生じた時刻での浸水深を示している。雨域が西から東へ移動する場合（図-8）は、日野川本川のより下流側（善光寺川との合流点付近）で溢水が多く生じているのが特徴である。なお、図-9は溢水プロセスが一番遅く進む雨域が東から西へ移動する場合で、南から北に雨域が移動する場合の溢水終了時刻（図-6）と同時刻（8.4時間後）の状況を特に示した。これにより雨域が南から北に移動する場合は、例えば同時刻で橋本に浸水が及んでいるが、東から西へ雨域が移動する場合は浸水がほとんど生じていないのがわかる。こうして総降雨量が等しい降雨でも降雨パターンにより結果としての浸水過程には大きな差が生じることがわかる。例えば洪水ハザードマップにはこうした情報は含まれないため、氾濫計算結果の提示の仕方についても更に検討していく必要がある。

表-1 溢水時間と浸水面積

	南-北	北-南	東-西	西-東
溢水開始時間 [hr]	4.5	6.9	7.2	3.9
氾濫流再流入終了時間 [hr]	23.0	24.0	24.8	24.7
最大浸水面積 [km <sup>2</sup> ]	1.57	1.55	1.49	1.53
最大浸水面積生起時間 [hr]	8.40	11.1	12.5	10.9

## 8. 結語及び今後の予定

本稿では、流域における流出過程・氾濫過程を物理的に解析する水文・水理モデルを構築し、雨域の移動を仮想的なモデルで表現して、その移動方向が降雨流出・洪水氾濫過程にどのような影響を及ぼすかについて検討した。結論は以下の通りである。

- 日野川流域において流域に降る総雨量が一定228.7mm（100年確率日雨量）の雨域が東西南北方向から流域上を通過する場合、日野川本川の法教寺川合流部における流量は、雨域が南から北、東から西へ移動する場合、つまり下流側へ移動する場合の方が、上流側へ移動する場合よりも一般に高くなる。
- 今回の雨域モデルの移動方向により日野川本川法教寺川合流部で洪水ピークが観測される時刻は計算上数時間も異なった。
- 竜王町における氾濫過程では他の要素もあるものの日野川本川の流量ハイドログラフの傾向は必ず反映される。したがって、日野川本川の観測、管理は重要である。
- それに加えて、支派川の流量ハイドログラフの形状も洪水氾濫に影響を及ぼすことがある。特に竜王町では、西から東へ雨域が移動する場合に竜王町の西側に位置する支川の流量増加のタイミングが速くなる。これにより計算では、例えば祖父川と新川の合流部で溢水が早々に始まった。他の降雨パタンの計算では日野川本川と中津井川合流部での溢水が最初に生じたことから、本川に加えて支川の水位を計測するなど支川の氾濫過程への影響を更に検討することが重要である。

今後もモデルに関する検討を更に加え、同地域の洪水問題を考えていく。

### 謝辞：

氾濫解析手法については、井上和也京都大学名誉教授、京都大学防災研究所の川池健司博士に貴重なご示唆を頂きました。また、滋賀県河港課、河川開発課、竜王町役場にはデータや資料を提供して頂きました。ここに記して感謝いたします。

### 参考文献

- 1) Yen, B.C. and Chow, V. T.: A laboratory study of surface runoff due to moving rainstorms, Water Resources Research, Vol. 5, No. 5, pp.989-1006, 1969
- 2) Surkan, A.J.: Simulation of storm velocity effects on flow from distributed channel networks, Water Resources Research, Vol. 10, No. 6, pp. 1149-1160, 1974
- 3) Ngrane-Katashaya, G.G. and H.S.Wheather: Hydrograph sensitive to storm kinematics, Water Resources Research, Vol. 21, No. 3, pp. 337-345, 1985

- 4) Sargent, D. M.; An investigation into the effects of storm movement on the design of urban drainage system, 1, Public Health Eng., 9, pp. 201-207, 1981
- 5) 室田明・原幸男：移動する降雨シミュレータによる洪水発生の実験的研究，第29回土木学会年次学術講演会，II-56，1974
- 6) Takahashi, Y., Mushiake, K. and Hashimoto, T.: Effects of movement of precipitation area upon runoff phenomena, in Systems Approach to Hydrology, Proc. the First Bilateral U.S.-Japan Seminar in Hydrology, Hawaii, Honolulu, Jan. 11-17, 1971, pp. 279-293, 1971
- 7) 高棹琢馬・椎葉充晴・久保省吾：降雨の空間的分布が出水に及ぼす影響，第30回土木学会年次学術講演会，II-85，1975
- 8) 日野幹雄・砂田憲吾：周期変動降雨に対する表面流出の応答特性に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，第262号，pp. 55-56, 1977
- 9) 宝 馨：豪雨特性が洪水流出に及ぼす影響に関する数値実験的検討，昭和61年度文部科学省研究費補助金（自然災害（1））研究成果報告書「豪雨域の強度・規模・移動方向が洪水流出に及ぼす効果に関する研究」，pp. 151-164, 1987
- 10) 日野川みらい会議：みんなが水に遊び、学ぶ日野川（パンフレット），2000
- 11) 滋賀県：淀川水系東近江圏域河川整備計画，[http://www.pref.shiga.jp/h/y-doboku/kasensabo/kasen/h\\_river\\_improvement\\_plan.pdf](http://www.pref.shiga.jp/h/y-doboku/kasensabo/kasen/h_river_improvement_plan.pdf), 2008
- 12) 滋賀県：滋賀県の人口と世帯数，<http://www.pref.shiga.jp/data/population/renew/index.html#jinko>, 2008
- 13) 市川温・平野一志・椎葉充晴・立川康人：構造的モデル化によるダムモデルの構築，土木学会第54回年次学術講演会講演概要集，第2部，pp. 592-593, 1999
- 14) Kobayashi, K. and Takara, K.: Comprehensive Analysis of the Flooding in the Hinogawa River Catchment in Shiga, Japan, Advances in Hydro-science and Engineering, Vol. VIII (CD-ROM), The 8th International Conference on Hydro-Science and Engineering, Nagoya, Japan, September 8-12, 2008
- 15) 市川温・村上将道・立川康人・椎葉充晴：流域地形の新たな数理表現形式に基づく流域流出系シミュレーションシステムの開発，土木学会論文集，No. 691/II-57, pp. 43-52, 2001.
- 16) 立川康人・永谷言・宝 馨：飽和不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発，水工学論文集，Vol. 48. pp. 7-12, 2004.
- 17) 小林健一郎・宝 馨・立川康人：最適化手法による分布型降雨流出モデルのパラメータ推定，水工学論文集，Vol. 51, pp. 409-414, 2006
- 18) 井上和也・戸田圭一・前田修：河川網が発達した領域での氾濫解析法とそのメコンデルタでの適用，水工学論文集，Vol. 44, pp. 485-490, 2000
- 19) 川池健司，井上和也，戸田圭一，野口正人：低平地河川流域での豪雨による都市氾濫解析，土木学会論文集，No. 751/II-67, pp.57-68, 2005.

(2008.9.30 受付)