

洪水氾濫シミュレーションによる農地の作物被害の推定

小林健一郎*・寶 馨

*京都大学生存基盤科学研究ユニット

要 旨

洪水問題について考える場合、ハザード（洪水現象）の定量的な評価に基づくリスクの同定が必要であるという立場に立って、洪水氾濫シミュレーション（ハザードの同定）から作物被害（リスク）の推定を行った。従来あまり考慮されてこなかった湛水継続時間をも推定できるような氾濫モデルを本研究において構築し、浸水深・浸水時間と作物被害率の関係表を用いて作物被害率を推定し、単位面積あたりの作物収量と単位重量あたりの作物小売価格を利用して損害額を推定した。対象地域は滋賀県日野川流域とその流域内部の竜王町とした。本研究によって、降雨、流出、内水・外水氾濫、排水、被害という一連の過程を計算する枠組みが概ね完成できた。

キーワード：降雨流出、内水・外水氾濫、作物被害推定、日野川、竜王町

1. はじめに

洪水氾濫とそれによる被害の問題を考える際に物理則に基づいて浸水深を推定し例示することは（例えば現時点の市町村が発行している多くの浸水想定区域図）、重要であるが十分とは言えない。浸水深の大きさと人的・物的被害が必ずしも比例するわけではないからである。つまり物理計算結果をより有効に解釈・利用するために、ここでは浸水深や流速と被害の関係を定性・定量的に把握することが必要になる。このような因果関係は最近浸透しつつあるリスクガバナンス（狭義にはリスクマネジメント）の概念を通じても考えることができる。リスクガバナンスではリスクを以下のような定義で考えることある。

[1] 日本リスク研究学会（編）（2006）：

ある有害な原因（障害）によって損失を伴う危険な状態（peril）が発生する時、「リスク＝損失×その損失の発生する確率」と表現される。

[2] International risk governance council (2005)：

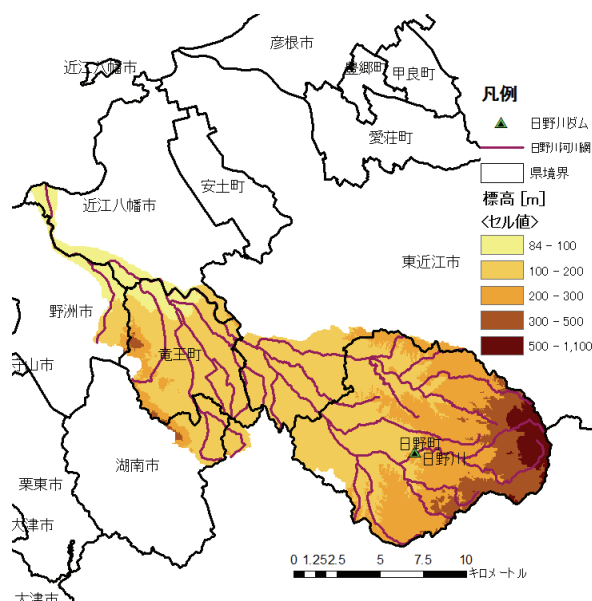
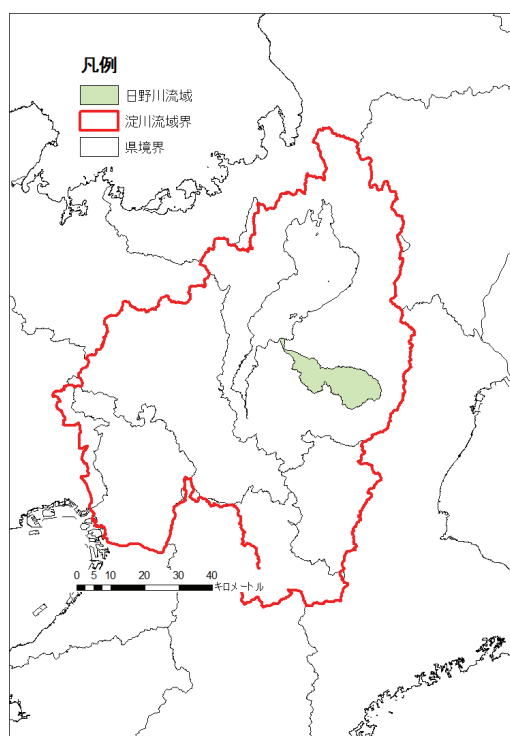
自然あるいは人間災害と脆弱な状態の相互作用から生じる害のある結果、すなわち予期される生命・負傷者・資産・生活の損失、経済活動の損害の確率。リスクは慣例的に「リスク＝ハザード×脆弱性」と表現される。

[3] Kaplan, S. and B. Garrick (1981):

リスク三重項（risk triplet）「 $Risk=f(S_i, P_i, D_i)$ 」
 S_i ：起こりうる事象のシナリオ、 P_i ：その事象がどの程度の頻度で起こりえるか、 D_i ：起こった場合のダメージ

ここでの[2]にもあるが慣例的には「リスク（Risk）＝ハザード（Hazard）×脆弱性（vulnerability）」という定義をすることが多い。この考え方に沿うと、洪水氾濫そのものはハザードに相当する。翻って、これまでの洪水研究はこのハザード研究に相当するものが大きな割合を占めてきた。物理則に基づいて洪水氾濫の浸水深や流速を推定することはハザードを定量化していると言える。

他方で、このリスク概念に沿えばハザードが如何ほどであっても、社会が脆弱でなければ（脆弱性が低ければ）、実際のリスクは低いということになる。リスクが低いのであれば、ハザードが大きくても、そのハザードには応分の対処さえすれば良い。従って、社会の安全・安心を守るためにはハザードについてのみ研究するだけ是不十分で、脆弱性をどのように低下させるかをより真剣に考えるのが良いのだが、こうした脆弱性の定性・定量的な研究はこれまであまり進んでいない。人口・社会資本データなどを時空間でデジタルに可視化するのが難しかったこ



ともその一因と考えられる。

る。

こうした点に留意し、本稿では降雨流出解析、洪水・内水氾濫解析によりハザードの定量化を行い、それによる農作物被害（リスク）について考えた。従来あまり考慮されてこなかった湛水継続時間をも推定できる氾濫モデルを構築し、浸水深・浸水時間と作物被害率の関係表（定量化された脆弱性）を用いて作物被害率を推定し、単位面積あたりの作物収量と単位重量あたりの作物小売価格を利用して損害額を大まかに推定した。対象地域は滋賀県日野川流域と流域内部の竜王町とした。

2. 滋賀県日野川と童王町

淀川流域全体図とその内部の滋賀県日野川流域を Fig. 1 に示す。日野川は鈴鹿山脈の綿向山（標高1100 m）を源流とし、淀川水系に属する一級河川（流域面積207.1 km²，流路延長42.2 km）である。日野川流域は日野町，東近江市，竜王町，近江八幡市，湖南市，野洲市の4市2町に及ぶ。Fig. 2 に日野川流域の概要を示す。日野川は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おり、沿川住民はたびたび洪水被害を被ってきた（滋賀県，2008a）。なお日野川上流には日野川ダム（多目的ダム：治水，灌漑，Fig. 2）と利水ダムの蔵王ダム（灌漑）がある。

竜王町 (Fig. 2, Fig. 3) 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 km² 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(滋賀県, 2008b)。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 (Fig. 3) などが貫流する。なお氾濫解析については日野川、善光寺川、名神高速を分水界とみなし、これらで囲まれた領域 (図中赤線内部) で行った。

3. 分布型降雨流出モデル

分布型降雨流出モデルはOHYMoS (目的指向型水文モデル構築システム, 椎葉 (1999), 市川 (2001), 立川 (2004), 小林・宝 (2008)) を用いて構築する。

3.1 流域地形モデル

流域地形のモデリングの手順は以下のである。

- [1] 国内で整備されている国土数値情報(流路位置ファイルKS-272, 河川単位流域台帳KS-271)をもとに当該対象地域の河道網点列データセットを作成する。
- [2] 国土地理院が発行する数値地図メッシュ (標高) データで[1]の河道網点列データを覆う範囲を切り出し、標高データの各格子点に最近傍の河道点が一致するように河道網を修正する。
- [3] 各格子点の標高を基に各河道に流出する斜面要素を決定し、各斜面での流れ方向を上流の始点から最急勾配方向を取るように一次的 (落水線) に決定する。

この手順に従い250mメッシュ (標高) を用いて流域地形をモデル化した。モデル化された流域の落水線をFig. 4に示す (座標原点は北緯34°, 東経134°地点をUTM座標に変換した位置とする)。

3.2 分布型降雨流出モデル

斜面流の追跡

流域モデルで決定された各落水線上を流れる斜面流はKinematic Wave法で追跡する。基礎方程式は以下のである。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r(t) \quad (1)$$

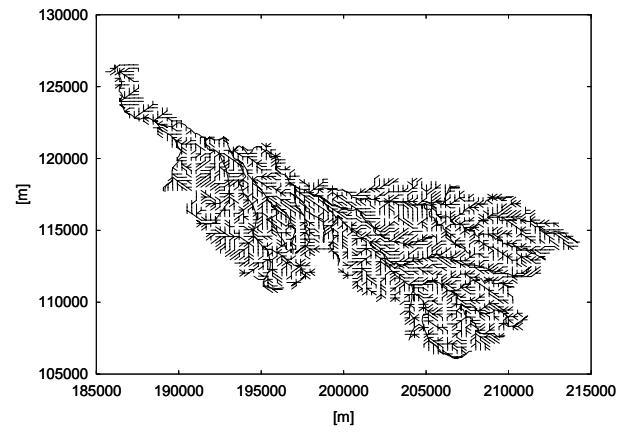


Fig. 4 The drainage path of the Hinogawa River catchment in the rainfall-runoff simulation

ここに t は時間, x は斜面上流端からの距離, h は水深, q は単位幅流量を表す。単位幅流量の計算については以下の流量流積関係式を用いる。この概念図をFig. 5に示す。

$$q(h) = \begin{cases} v_m d_m \left(\frac{h}{d_m} \right)^\beta, & (0 \leq h \leq d_m) \\ v_m d_m + v_a (h - d_m), & (d_m < h \leq d_s) \\ v_m d_m + v_a (h - d_m) + \alpha (h - d_s)^{5/3}, & (d_s < h) \end{cases} \quad (2)$$

ここに D は土層厚, d_s は土層厚から固体の土粒子相当を除いた厚さ, $d_a (= d_s - d_m)$ は重力流発生部に相当する厚さ, d_m は毛管流発生部に相当する厚さである。

る。 $v_m = k_m i$, $v_a = k_a i$, $\alpha = \sqrt{i} / N_{slope}$ で, v_m は毛管流の流速, k_m は毛管帯の飽和透水係数, i は斜面勾配 (斜面要素ごとに異なる値をとる), v_a は地中の大空隙での重力流の流速, k_a は大空隙の飽和透水係数, N_{slope} は斜面等価粗度である。ここで, 流量流積関係の $h = d_m$ での連続性を満たすように $\beta k_m = k_a$ ($2 \leq \beta \leq 6$) とする。

この流量流積関係式から伝播速度

$$c = \frac{\partial q}{\partial h} \quad (3)$$

をもとめ、連続式を

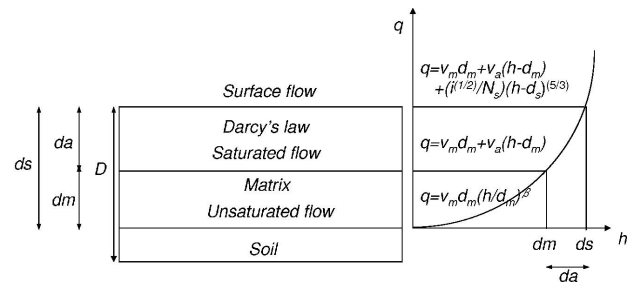


Fig. 5 The stage-discharge relationship

$$\frac{\partial q}{\partial t} + c \frac{\partial q}{\partial x} = cr(t) \quad (4)$$

と変形し差分法により q を求める。この時モデルパラメータは D , d_a , d_m , k_a , β , N_{slope} , N_{river} の6つとなる。

河道流の追跡

河道流に関してもKinematic Wave法で追跡する。基礎方程式は以下のようである。

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q(t) \quad (5)$$

ここに t は時間, x は各河道区分の上流端からの距離, W は河道流断面積, Q は河道流量, $q(t)$ は斜面から河道への単位長さあたりの流入量である。流量流積関係がマニング則に従うと仮定すると

$$Q = \frac{WR^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}}}{N_{river}} \quad (6)$$

を得る。ここに N_{river} は河道の粗度係数, R は径深, I は河道勾配である。 R , I は河道区分ごとに異なる値をとる。径深 R を定数 Z , 及び定数 K_1 を用いて,

$R = K_1 W^Z$ として式 (6) に代入し, (5) 式と連立さ

せて差分法により Q を求める。河道流では河道粗度係数 N_{river} がモデルパラメータである。結局, 斜面流と合わせて7つのパラメータを最適化アルゴリズムを用いて同定する。

3.3 ダムモデル

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。

日野川ダムは滋賀県所管のダムとしては最小級のダムであり, 洪水調節機能はそれほど高くないと想定されているが, 現存しているためモデル化する必要がある。本稿では継続時間が一日前後の降雨イベントを対象とするため, 中長期の天候予測に基づいた事前の予備放流などの操作過程はモデル化せず, 迎洪水位を予備放流水位 (EL. 204 m) として計算を始める。これは日野川ダムの過去3度の操作事例 (昭和46年 (1971年) 8月台風23号, 昭和47年 (1972年) 9月台風20号, 平成2年 (1990年) 9月台風19号) の操作に大筋一致する。

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。概要はそれぞれ以下のである。

[1] 平常時操作: ダム上流からの流入流量が平常時

流量から日野川ダム規定の洪水流量160 m³/sに至るまでは流入量=放流量の操作を行う。ただし, ピークカット・ただし書き操作後は以下の[2][3]の操作に従う。

- [2] ピークカット操作: ダム上流からの流入流量が160 m³/sを超えた場合, ダム貯水位がただし書き操作開始水位 (EL. 208.2 m) に達するまではダムからの放流量を一定量160 m³/sとしたピークカットを行う。この一定放流は水位が迎洪水位に低下するまで行う。
- [3] ダム貯水位がただし書き操作開始水位を超えた場合はただし書き操作に入る。この状況では流入量=放流量とする。ただし書き操作終了後も, 水位が迎洪水位に至るまでは一定量160m³/sの放流を行う。

3.4 分布型降雨流出モデルの検証

分布型降雨流出モデルのパラメータ同定と, そのパラメータによる流出・ダムモデルの検証を1990年 (平成2年) 9月の台風19号による降雨時系列を入力情報とし (Fig. 6), ダム地点での実測流入・放流量を計算値と比較することにより行った。パラメータ推定は著者らが京都府由良川流域を対象に行った際にも用いたLevenberg-Marquardt法により行っている (小林・宝 (2006))。計算されたダムへの流入量とダムからの放流量, およびそれらの実測値をFig. 6に示す。ダムへの流入量を見ると, 計算値は実測値とよく一致しており, ダム上流の集水過程を良く再現しているのがわかる。また実測放流量を見ると実際にダムがピークカット (洪水流量160 m³/sを超えた場合に余剰流量をダムに貯留する) を行っている様子, また計算放流量からダムモデルがこの状況を良く再現しているのがわかる。この際同定されたモデルパラメータは $D=1.14$ m, $d_a=0.229$ m, $d_m=0.452$ m, $k_a=0.029$ m/s, $\beta=4.04$, $N_{slope}=0.153$ m^{-1/3}/s, $N_{river}=0.01$ m^{-1/3}/sであった。以降, これらのパラメータを流域一様に与える。

Fig. 7には観測貯水位と計算貯水位を示す。計算値については流入量と放流量はピークカットが行われるまでは完全に等しいため水位の変動は起こらず, ピークカットに至り貯水位が上昇している。他方, 実測値については実際の操作では人為的な影響がありピークカット時以外でも流入量が放流量より大きいことがあるため貯水位は計算値よりも高い。こうした人為的な不確定性はモデル化するのは難しい。計算結果は全体の傾向を大よそ把握していると考えられるため, 以降このモデルを用いる。

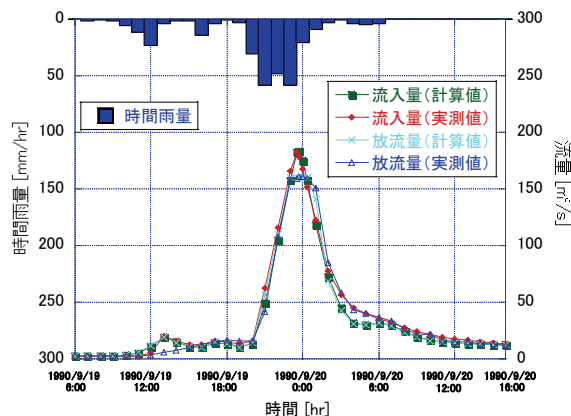


Fig. 6 The rainfall, observed/simulated inflow and outflow at the Hinogawa Dam during 19-20 Sep. 1990

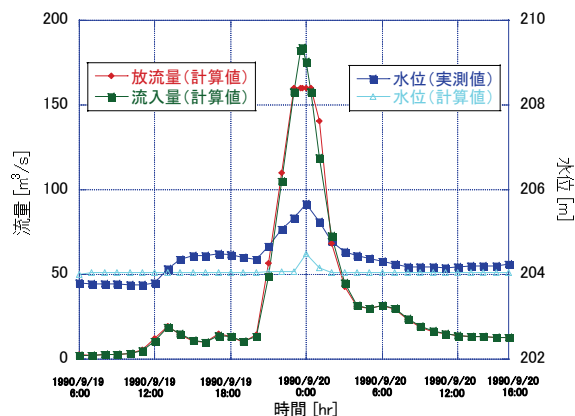


Fig. 7 The observed/simulated water stage at the Hinogawa Dam during 19-20 Sep. 1990

4. 洪水・内水氾濫＋排水モデル

洪水・内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浅水流方程式による二次元氾濫解析モデルに与える（小林・宝（2008））。なお，この氾濫解析モデルでは，降雨による内水，あるい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。以下に適用した支配方程式を記述する。

4.1 河川網の一次元不定流解析

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

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (7)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} = s_0 - \frac{n^2 u |u|}{R^{4/3}} \quad (8)$$

ここに A は河道の流水断面積， Q は河道内流量， q は x 方向の単位長さあたり横流入出量（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。

4.2 堤内地での二次元洪水氾濫解析

堤内地の氾濫解析には二次元浅水流方程式を用いる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = Q_{in} \quad (9)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - gn^2 u \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (10)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - gn^2 v \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (11)$$

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。

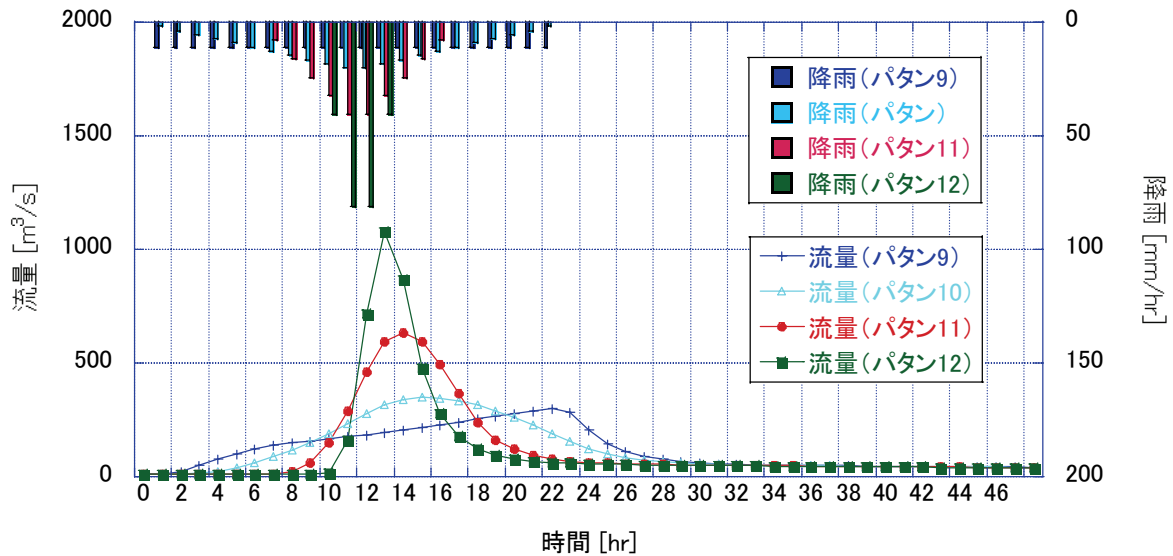


Fig. 8 The rainfall pattern from 9 to 12 and the simulated discharge at the Hinogawa/Hokyojigawa confluent

5. 作物被害推定法

浸水深、浸水時間と建造物被害あるいは作物被害の関係を統計的に定量化している例はほとんどない。ここではその数少ない一つである建設省河川砂防技術基準（案）同解説－調査編の関係表を被害率推定に用いることにする。この被害率がいわゆる脆弱性指標である。前述の降雨流出・洪水氾濫モデルにより堤内地の浸水深と浸水時間を計算し、これに基づき関係表から各地点での作物の被害率を求める。なお本稿では作物をすべて米として計算する。その後、農林水産省統計（平成20年産水稻の作付面積及び予想収穫量、農林水産省（2008））により得た滋賀県的水稻の単位面積あたりの予想収穫量（滋賀県の作物高は 0.530 kg/m^2 ）に、米穀の流通・価格・需給情報（米穀安定供給確保支援機構、2008）によるコメの小売価格（407.1 円/kg）を乗じて、全資産額を推定し、これに被害率を乗じることにより被害額を推定する。要約すると、作物被害額 $=0.530 \times \text{セルサイズ} \times 407.1 \times \text{作物被害率}$ により被害額を試算する。

6. 結果と考察

6.1 想定する降雨入力条件：

滋賀県により日野川流域の50年、100年、150年確率日雨量は、それぞれ204.8 mm, 228.7 mm, 242.9 mmと推定されている。全雨量が50年、100年、150年確率日雨量のいずれかに相当し、それぞれの確率日雨量に対して4つの異なる時間分布を持つ合計12パタンの降雨波形を降雨流出計算の入力条件とした。Fig. 8に150年確率日雨量に相当する場合の降雨波形4パターン（パタン9～12）を示す。Fig. 8にあるように、

パタン9は矩形（一定強度）の降雨波形（ピーク降雨強度：11.0 mm/hr）でパタン10, 11, 12は中央にピークをもつ降雨波形でそれぞれピーク降雨強度が20.2, 40.5, 81.0 mm/hrである。50, 100年確率日雨量についても同様な降雨パターン（パタン1～8）を設定した（図省略）。

6.2 降雨流出解析結果

Fig. 8に分布型降雨流出モデルに150年確率日雨量4パタンの降雨波形を入力して計算した日野川と法教寺川合流部（Fig. 3参照）での日野川河道流量を示す。図からわかるように入力降雨のピーク降雨強度が高いほど、ピーク洪水流量が高くなる。ピーク流量はパタン9～12で順に $300 \text{ m}^3/\text{s}$, $350 \text{ m}^3/\text{s}$, $634 \text{ m}^3/\text{s}$, $1076 \text{ m}^3/\text{s}$ であった。

6.3 洪水氾濫解析結果

日野川本川の流量ハイドログラフ、および惣四郎川、祖父川、善光寺川の流量ハイドログラフを上流端境界条件として、外水・内水氾濫計算を行った。特にパタン9（150年確率雨量）に相当する降雨イベントが起こった場合の計算浸水深分布をFig. 9に示す。同図には氾濫実績範囲も示している。この氾濫実績範囲は竜王町が住民の聞き取り調査を行い同定したものを著者らがデジタル化したものであり、過去数度の浸水範囲を重ね合わせたものである。この氾濫実績範囲は実際の何時の降雨に対応しているものかわからないため再現計算はできない。しかしながら、日野川河川改良全体計画書(1997)によるとS57.9.12の台風18号、S61.7.10の前線、H7.5.12の低気圧による降雨で、竜王町より下流に位置する日野川

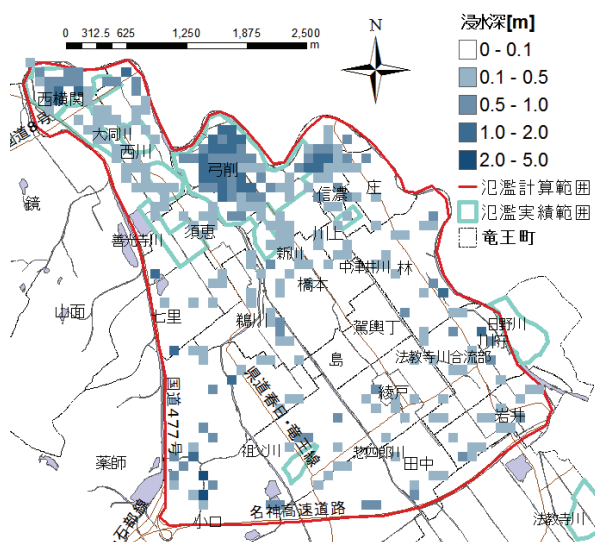


Fig.9 The simulated water depth (pattern 9) and digitized observed inundation areas

の桐原橋地点で450 m³/s, 400 m³/s, 350 m³/s の流量が記録された際に日野川流域で浸水が生じたと記録されている。今回パタン9の降雨により同桐原橋地点で430 m³/sの流量が推定されたため、パタン9程度の降雨により浸水実績程度の浸水が生じると考えパラメータを調節した。なお、計算結果は降雨による内水浸水も含んでいるため、氾濫解析範囲全体に浅い浸水が生じているが、弓削や西横関付近など標高が低く窪地になっている地域に大きな浸水が生じている様子は実績氾濫と一致しているため、洪水・内水氾濫モデルは概ね適当であるとみなしている。なお、計算では浸水は中津井川、新川、大洞川の日野川への排水不能による溢水と降雨により生じている。

6.4 被害額推定結果

各降雨に対する浸水深を計算し、それに基づき米(等価)被害率を推定した結果をFig. 10～11に示す。Fig. 10はパタン9について、Fig. 11はパタン12についての米被害率である。なお、この計算では河川ネットワークにより排水されない地域の湛水時間を特に一週間以上と仮定しており、それらの地域では作物被害率が70%以上になっている。標高が低い地域(弓削、西横関など)では浸水深が大きくなるため作物被害率が高くなっている。また、パタン9とパタン12の比較により、総降雨量が同じでも、降雨の時間分布により被害の広がりが大きく異なることがわかる。

こうして算定された作物被害率を基に、作物被害額を試算した(Table. 1)。これらの計算結果から、降雨の総量よりも降雨波形に被害額が依存することが判る。ピークが明瞭でない降雨の場合(パタン1,

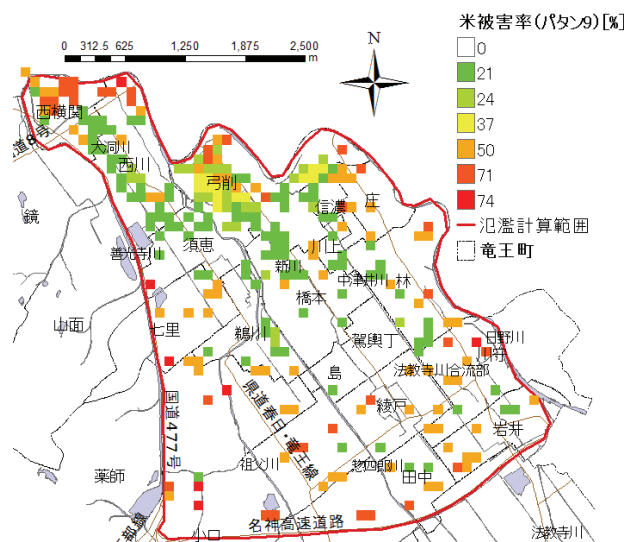


Fig. 10 The distribution of the simulated rice damage ratio (pattern 9)

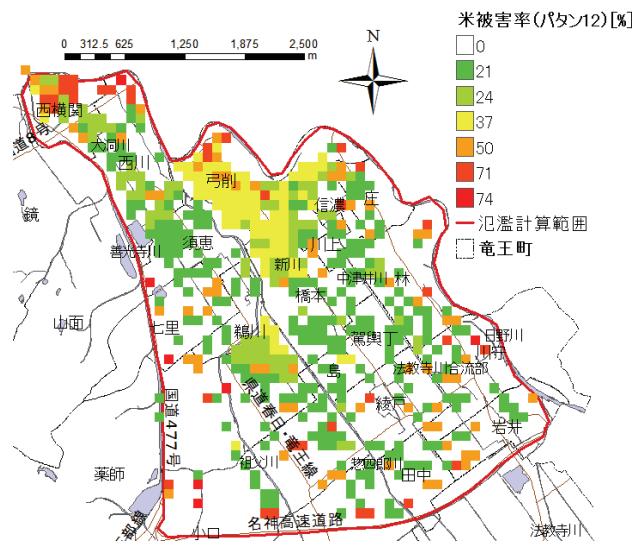


Fig.11 The distribution of the simulated rice damage ratio (pattern 12)

5, 9), 被害額は2億円程度、大きなピークを持つ降雨波形の場合(パタン4, 8, 12) 3.5億円以上になることが推算できた。

降雨のピーク強度、日野川と法教寺川合流部におけるピーク流量、被害額の4パタン間での増加率を計算すると、150年確率日雨量の場合、パタン9に対して例えばパタン12では降雨は7.4倍、流量は3.6倍、被害額は1.7倍の増加となる。つまり、ピーク降雨強度が増えても被害はそれほどには増えないことがわかる。

7. おわりに

降雨、降雨流出、内水・外水氾濫、排水、被害という一連の過程を計算する枠組みが概ね完成できた。

Table 1 Estimated economic loss due to rice damages in the region

イベント	確率日雨量 [mm/day]	ピーク降雨強度 [mm/hr]	日野川・法教寺川合流部のピーク流量[m ³ /s]	被害額 [億円]
パタン1	204.8	9.3	227	1.97
パタン2	204.8	17.1	266	2.28
パタン3	204.8	34.1	476	2.88
パタン4	204.8	68.3	799	3.56
パタン5	228.7	10.4	272	2.09
パタン6	228.7	19.1	316	2.44
パタン7	228.7	38.1	571	3.04
パタン8	228.7	76.2	96	3.71
パタン9	242.9	11.0	300	2.18
パタン10	242.9	20.2	350	2.51
パタン11	242.9	40.5	634	3.12
パタン12	242.9	81.0	1076	3.75

滋賀県、竜王町との共同により、より詳細な家屋データ、土地利用データを入手できるので、今後はさらに厳密な解析を行い、実被害額データなどと比較することによりモデルのさらなる精緻化に努め、地域住民と情報を共有することにより、リスクマネジメントについて考える。

謝 辞

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

市川温・村上将道・立川康人・椎葉充晴（2001）：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
建設省（1997）：建設省河川砂防技術基準（案）同解説-調査編，山海堂，pp.544-545
小林健一郎・宝 馨（2009）：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，水工学論文集，Vol. 53, pp. 841-846
小林健一郎・宝 馨・立川康人（2006）：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
立川康人・永谷言・宝 馨（2004）：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

椎葉充晴・市川温・榊原哲由・立川康人（1999）：河川流域地形の新しい数理表現形式，土木学会論文集，No. 621/II-47, pp. 1-9

滋賀県（2008a）：淀川水系東近江圏域河川整備計画

滋賀県（2008b）：滋賀県の人口と世帯数

滋賀県（1997）：日野川河川改良全体計画書

農林水産省（2008）：農林水産省統計（平成20年産水稻の作付面積及び予想収穫量）

<http://www.maff.go.jp/j/tokei/>

米穀安定供給確保支援機構（2008）：米穀の流通・価格・需給情報

<http://www.komenet.jp/komedata/kakaku/2004/data14.html>

日本リスク研究学会（2006）：リスク学事典，pp. 16-17，阪急コミュニケーションズ

International Risk Governance Council (IRGC) (2005): White Paper on Risk Governance, Vol. 1, pp. 5-8.

Kaplan, S and B. Garrick (1981): On the quantitative definition of risk, Risk Analysis, 1(1), pp. 11-28

Economic Loss due to Crop Damages by Flood Inundation: an Integrated Flood Risk Assessment Framework

Kenichiro KOBAYASHI* and Kaoru TAKARA

*Institute of Sustainability Science, Kyoto University

Synopsis

Identifying the agricultural risk by flooding based on the quantified hazard is vital when addressing the flood disaster problem. This paper carries out the crop damage (risk) estimation by flood based on the flood inundation (hazard) simulation. The flood inundation model developed here can simulate not only the flood inundation by bank overtopping and rainwater, but also the drainage process through the river network system. After simulating the flood inundation process, the crop damage by flood is estimated using a vulnerability index, that is, the relationship among the crop damage ratio, the inundation depth and the inundation duration. Afterwards, the economic loss is estimated with the average crop yield per area and the retail price of the rice per weight (kg) of Shiga Prefecture. The Hinogawa River, Shiga, Japan and Ryuou Town in the catchment are selected as case study sites. This paper has established a framework to assess flood risk in a river basin from rainfall, rainfall-runoff, flood inundation, drainage and the economic loss estimation.

Keywords: rainfall-runoff, inundation, crop damage, economic loss, the Hinogawa river, Ryuou Town