

流域の水文・水理情報に基づく低平地の水害軽減に関する研究

大串浩一郎 | 佐賀大学理工学部

北田幸夫 | 株式会社ミゾタ

岸原信義 | 佐賀大学理工学部

渡辺訓甫 | 佐賀大学理工学部

1. はじめに

集中豪雨等に伴う流域の水害は、今日においても国の内外を問わず多発している。特に我が国では大都市の多くが河川中下流域、特に低平地に集中しており、ひとたび水害が起これば流域住民は多大の被害を受ける。これらの水害が、いつ、どこで、どれくらいの規模で生じるのかを予測することは重要なことであり、この洪水予測をいかに予測時間・予測精度のバランスのとれた流出計算手法で行うかが防災計画にも直接関係してくる。

ところで、昭和60年に財団法人河川情報センター（以下、河川情報センターと呼ぶことにする）が開設され、全国でFRICS端末機の設置並びにサービスが開始されると共に、河川流域のレーダ雨量情報、テレメータ雨量、水位データ等の情報をリアルタイムで得ることが可能となった。しかしながら、これらの情報はあくまで観測されたデータであり、この観測値を有効に利

用した洪水予測は、まだほとんど行われていない。

そこで、今回は研究フィールドとして低平地である佐賀平野を取り上げ、河川情報センターFRICSシステムの水文・水理情報を利用し、タンクモデルによる流出解析を行い、洪水の実時間予測を可能とするシステムの検討を行った。

2. FRICSシステムについて

河川情報センターのFRICSシステム（河川・流域総合情報システム FOUNDATION OF RIVER & BASIN INTEGRATED COMMUNICATIONS）は、建設省等が提供する各種の河川・流域情報と河川情報センターが入手する情報を地方センター（九州の場合は福岡センター）の情報処理装置で処理し、それらを利用者に提供するシステムである。平成7年12月1日現在で、全国の国や地方公共団体、民間等に4067の端末が設置され、情報が提供されている。これらの情報は24時間リアルタイ

ムで得ることができる。今回使用した情報は主に以下のようなものである。

(1) 地方雨量 (九州全域)

九州地方の降雨状況がレーダ観測データをもとに表示されることにより、現在の降雨状況を把握することができる (図-1)。

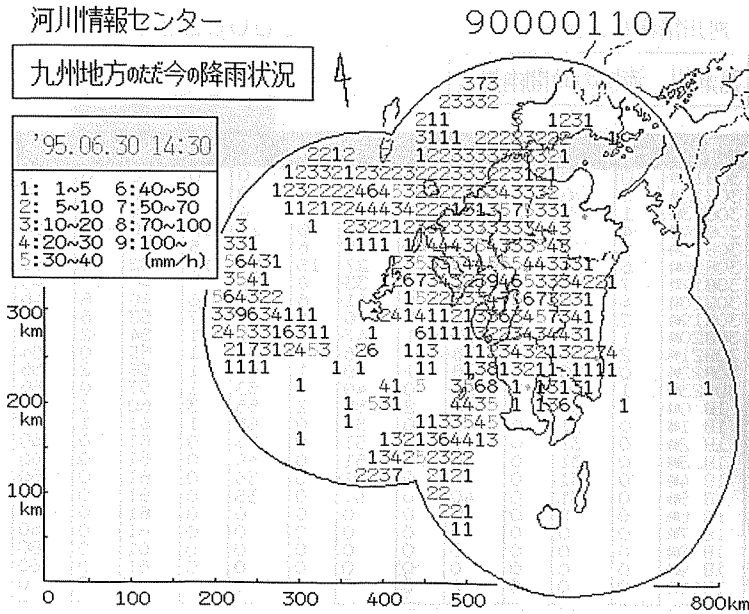


図-1 地方雨量 (九州全域) の一例

(2) 雨域移動ベクトル

レーダ観測データをもとに、降雨域の移

動状況をその移動方向と移動速度を示すベクトルで表示する (図-2)。

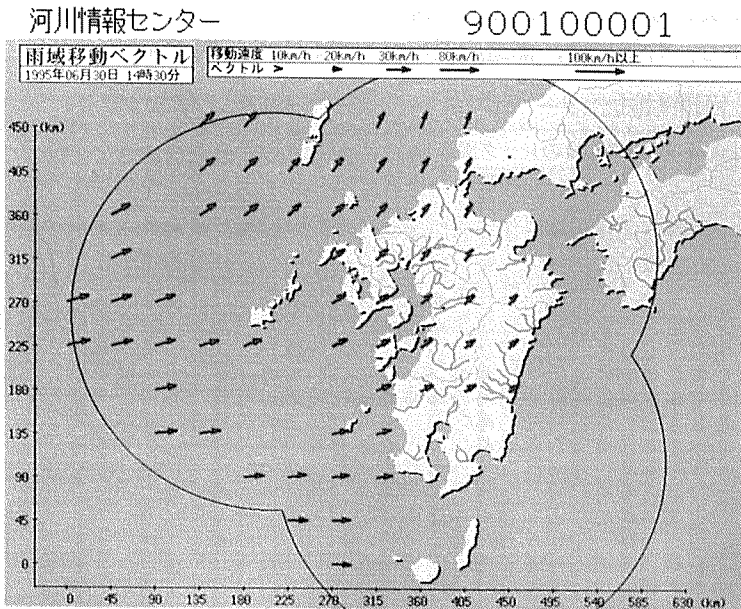


図-2 雨域移動ベクトルの一例

(3) 毎時間雨量一覧表 (流域別)
各テレメータ雨量観測所の過去24時間の
時間雨量と降り始めからの累加雨量を流域

別にまとめて表示したもので、ユーザによ
り観測所の選定を行うことができる (図一
3)。

河川情報センター 900023161

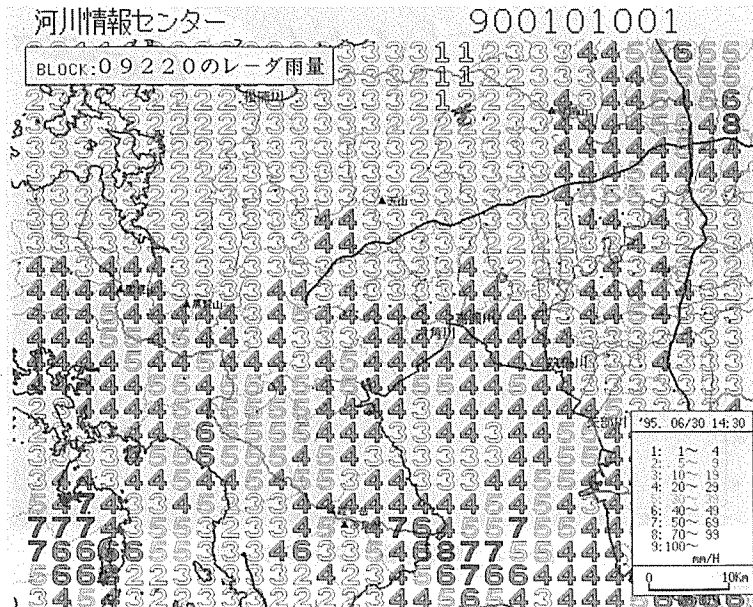
嘉瀬川 流域の時間雨量 1 '95.06.30 11:00 ~ 07.01 10:00 (mm)

時刻	宇	渡	古	湯	名	尾	祇	園	今	重	橋	佐	賀
30B11時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30B12時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30B13時	1	1	2	2	3	3	4	4	4	4	3	3	3
30B14時	4	5	4	6	5	8	6	10	12	16	11	14	14
30B15時	2	7	5	11	7	15	6	16	5	21	15	19	19
30B16時	6	13	20	20	12	27	15	31	11	32	11	30	30
30B17時	7	20	9	29	6	33	8	39	8	40	10	40	40
30B18時	4	24	5	34	8	41	6	45	6	46	6	46	46
30B19時	2	26	2	36	5	46	4	49	7	53	6	52	52
30B20時	1	27	1	37	1	47	2	51	1	54	2	54	54
30B21時	2	29	1	38	1	48	0	51	1	55	2	54	54
30B22時	0	29	0	38	1	49	1	52	1	56	2	56	56
30B23時	1	30	1	39	1	49	1	53	1	57	0	56	56
1B 0時	1	31	1	40	2	51	2	55	3	60	3	59	59
1B 1時	0	31	0	40	0	51	0	55	1	61	1	60	60
1B 2時	0	31	0	40	0	51	0	55	0	61	0	60	60
1B 3時	0	31	0	40	0	51	0	55	0	61	0	60	60
1B 4時	0	31	0	40	0	51	0	55	0	61	0	60	60
1B 5時	0	31	0	40	0	51	0	55	0	61	0	60	60
1B 6時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	60	60
1B 7時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	60	60
1B 8時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	60	60
1B 9時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	60	60
1B10時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図一3 毎時間雨量一覧表 (流域別) の一例

(4) ユーザ指定地域雨量
レーダ観測データをもとに、指定の位置
が画面のほぼ中央になるように観測域の降
雨状況を表示する。背景には、都道府県市

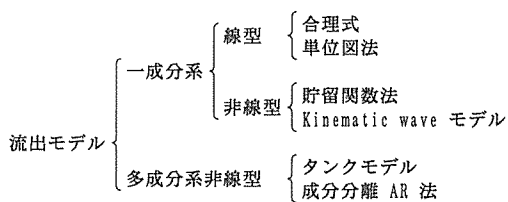
町村の行政界、各役所、山岳、湖沼、高速
道路および海岸線もあわせて表示し、ど
こでどれくらいの雨が降っているのかが一目
でわかる (図一4)。



図一4 ユーザ指定地域雨量の一例

3. 洪水流出解析

水文学においては、降雨という入力に対して河川等への流出という出力を定量的に求めるための流出モデルが種々提案されている。図一5に代表的な流出モデルの一覧を示す。本研究においては、多成分非線型モデルの1つであるタンクモデルを流出モデルとして採用し、低平地佐賀平野を含む嘉瀬川水系を研究対象領域として選び、モデルの適用を試みた。

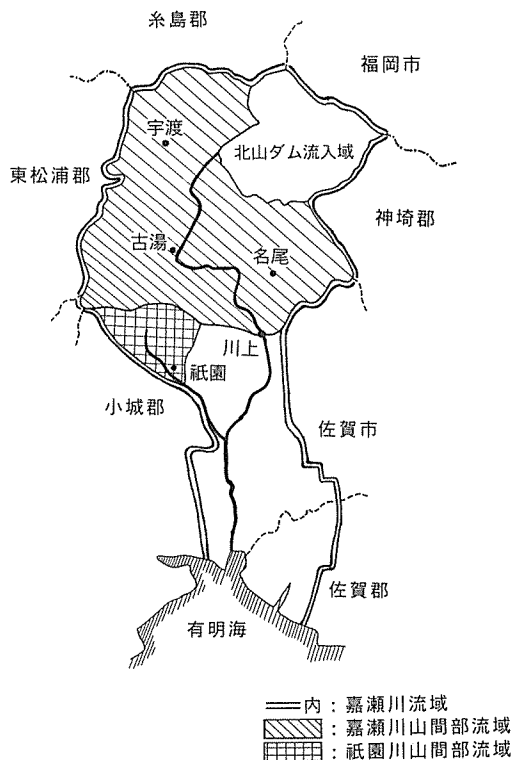


図一5 種々の流出モデル

3. 1 佐賀平野（嘉瀬川水系）の概要

嘉瀬川は神埼郡三瀬村の背振山系に水源を持ち、途中北山ダムを経て、山間部を流下し、大和町で多布施川を分派、そして三日月町で祇園川を合わせ、我が国有数の穀倉地帯である佐賀平野を貫流した後、久保田町で有明海に注ぐ、幹線流路延長57kmの1級河川である。

図一6に嘉瀬川流域図を示す。この流域は、流域面積368km²であり、山間部(251km², 68%)と平野部(117km², 32%)に明瞭に二分される。山間部は古湯を中心とした円形をなす、典型的な山地河川である。平野部は川上を要とした扇形に広がり、ここからは緩やかな扇状地河川となっている。この山間部と平野部の境界が川上にあたり、山間部の降雨による流出はほとんど全てこの川上地点に集中することになる。対象流域は北山ダム流入域(60.5km²)を除いた嘉瀬川山間部流域(172.0km²)とし、北山ダム流入域からの影響は北山ダム放流量のみ考慮することにする。この対象流域には、雨量観測所が宇渡、古湯、名尾、権現山、古湯



図一6 嘉瀬川流域図

岳、杉山、市川の7カ所あり、流量観測所は川上の1カ所である。

一方、祇園川山間部流域(18.5km²)には、雨量観測所が石体と祇園に1カ所ずつ計2カ所在り、流量観測所は祇園の1カ所である。今回の計算では支川はこの祇園川のみを考慮した。

これらの流域について、平成2年7月洪水(平成2年6月28日~7月3日)を対象洪水として用いて洪水予測計算を行い、本流出解析の精度を検証した。

3. 2 流域平均雨量

嘉瀬川対象流域内にある7カ所の雨量観測所の内、宇渡、古湯、名尾はテレメータ雨量計(遠隔雨量観測装置)により観測されている。この降雨データはFRICSシステムを用いて、リアルタイムで得ることができ、降雨状況の迅速な把握が可能である。一方、権現山、古湯岳、杉山、市川の雨量計は自記タイプであるため、この4カ所の

雨量データはリアルタイムには得ることができない。そこでテレメータ雨量計により観測されている宇渡、古湯、名尾の3カ所みのデータを使用し、ティーセン分割法を用いて求めた雨量データをこの対象流域の平均雨量とした。なお、宇渡、古湯、名尾のそれぞれの支配面積は、50.3km²、75.6km²、46.1km²である。

また、祇園川対象流域内においても2カ所の雨量観測所の内、祇園はテレメータ雨量計により観測されており、一方、石体の雨量計は自記タイプである。石体の雨量データはリアルタイムには得ることができないが、この対象流域の面積は18.5km²と小さく、祇園の雨量データをそのままこの流域の平均雨量としても差し支えないと考えられるので、祇園の雨量データをこの対象流域の平均雨量とした。したがってこの祇園の支配面積は18.5km²となる。

3.3 タンクモデル

タンクモデルは、科学技術庁の菅原正巳氏によって提唱された方法で、流域をいくつかの貯留型の模型容器（俗にタンクとい

う）の組み合わせに置き換えて考える流出計算法である。タンクモデルの孔の高さ、係数を決定するには試行錯誤の繰り返し並びに若干の経験が必要であるが、モデルの構造が単純明解であり、加減乗除のみによって誰にでも解析可能であること、さらには非線型効果を表現でき、高水、低水を含めて解析できる融通性を持つこと等の利点がある。既往洪水のデータより決定した嘉瀬川対象流域におけるタンクモデル形状とそのパラメータを図-7に示す。また、祇園川対象流域におけるタンクモデル形状とそのパラメータを図-8に示す。いずれの場合も直列4段タンクモデルを用い、洪水の再現性を良くするため、最上段タンクの流出孔の数を3個にしているのが特徴である。嘉瀬川対象流域の場合は、遅滞時間を1時間考慮し、一律に1時間遅らせた。祇園川対象流域の場合は、遅滞時間は考慮しなかった。

3.4 結果と考察

川上流量観測所地点におけるハイドログラフを図-9に、祇園流量観測所地点にお

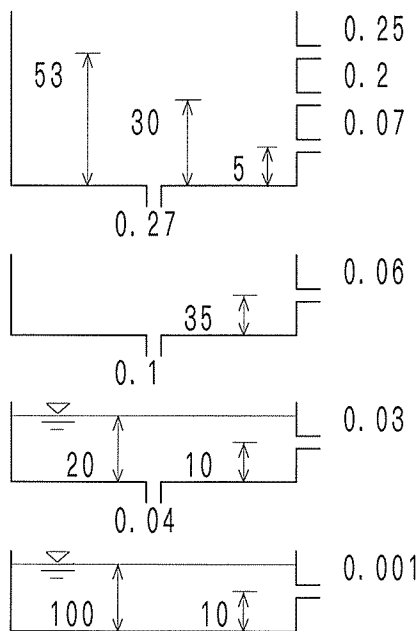


図-7 タンクモデル形状とそのパラメータ
(嘉瀬川対象流域)

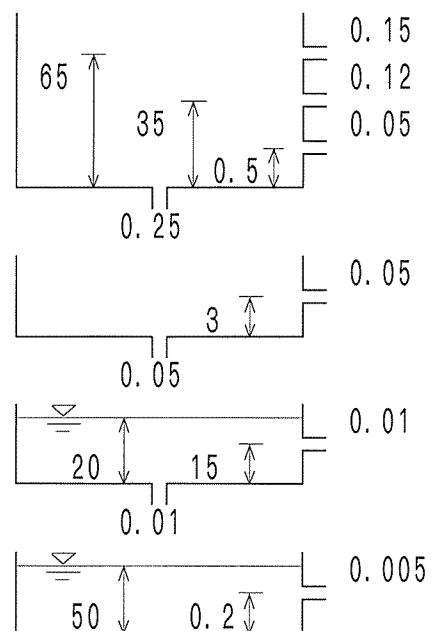


図-8 タンクモデル形状とそのパラメータ
(祇園川対象流域)

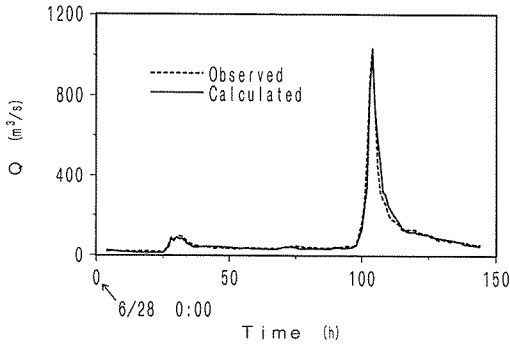


図-9 ハイドログラフ (川上流量観測所地点)

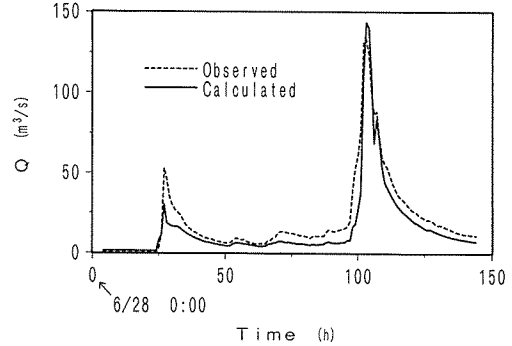


図-10 ハイドログラフ (祇園流量観測所地点)

けるハイドログラフを図-10に示す。いずれの図も実線が計算値、破線が実測値であり、横軸の Time=0 h は6月28日午前0時を示している。

図-9より、川上流量観測所地点では、計算値は実測値をほぼ再現しているといえるであろう。

一方、図-10の、祇園川流域では、嘉瀬川流域に比べて計算値と実測値があまり一致していないように見えるが、流出量の桁に注意して見ると、祇園川のピーク流量は嘉瀬川本川(川上)の約8分の1でしかなく、相対的にはさほど大きな誤差はない。さらにピーク時間付近では誤差が小さいので、流出予測の精度は十分に満足しているといえる。

また、嘉瀬川流域の流出計算では、北山ダム流入域は対象流域から除外し、放流量のみを考慮していたが、北山ダムから放流した水が川上に到達する時間は、2時間と仮定している。実際はもっと早いかもしれないが、0~2時間の間でいろいろ試してみたところ、対象流域流出量に対して放流量がかなり小さいため、いずれの結果も大差はなかった。以上のようにして、タンクモデルを用いて、嘉瀬川・祇園川の山間部対象流域における雨量→流量の予測が可能となった。

4. 平野部における洪水予測

4.1 水理計算手法

前節では、タンクモデル法を用いた流出解析について述べたが、ここでは2ステップLax-Wendroffスキームとリンクし、水理計算を行った。図-11に嘉瀬川流域における洪水予測システムの概略を示す。この対象流域には、前述したように、テレメータによる雨量観測所が宇渡、古湯、名尾の3カ所にあり、河川情報センターFRICSシステムにより、リアルタイムで降雨状況を把握することができる。北山ダム流入域は対象流域から除外し、北山ダム放流量のみを考慮した。一方、有明海の潮位は、佐賀大学農学部が設置している海象観測装置より得られる潮位データを用いた。

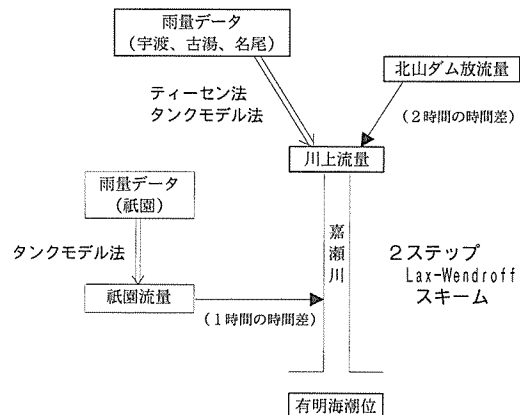


図-11 洪水予測システムの概略

これは、テレメータにより佐賀大学内に送信されるので実時間でデータが得られる。

嘉瀬川平野部では、タンクモデル法で求めた川上の流量と有明海の潮位を境界条件とし、以下のような2ステップLax-Wendroffスキームを用いて水理計算を行った。すなわち、第1ステップの式は、

$${}_{n+1/2}A_{j+1/2} = \frac{{}_nA_j + {}_nA_{j+1}}{2} - \frac{\delta t}{2\delta x}({}_nQ_{j+1} - {}_nQ_j) + \frac{\delta t}{2} \frac{Q_s}{2\delta x} \quad (1)$$

$${}_{n+1/2}Q_{j+1/2} = \frac{1}{1+n^2g \frac{|{}_n u_{j+1/2}|}{({}_{n+1/2}R_{j+1/2})^{4/3}} \frac{\delta t}{2}}$$

$$\left[\frac{{}_nQ_{j+1} + {}_nQ_j}{2} - \frac{\delta t}{2\delta x} \left[g {}_{n+1/2}A_{j+1/2}({}_n h_{j+1} - {}_n h_j) + {}_n \left(\frac{Q^2}{A} \right)_{j+1} - {}_n \left(\frac{Q^2}{A} \right)_j \right] + g {}_{n+1/2}A_{j+1/2} S \frac{\delta t}{2} \right] \quad (2)$$

第2ステップの式は、

$${}_{n+1}A_j = {}_nA_j - \frac{\delta t}{\delta x}({}_{n+1/2}Q_{j+1/2} - {}_{n+1/2}Q_{j-1/2}) + \frac{\delta t}{\delta x}Q_s \quad (3)$$

$${}_{n+1}Q_j = \frac{1}{1+n^2g \frac{|{}_{n+1/2}u_j|}{({}_{n+1}R_j)^{4/3}} \frac{\delta t}{2}}$$

$$\left[{}_nQ_j - \frac{\delta t}{\delta x} \left[g {}_{n+1}A_j({}_{n+1/2}h_{j+1/2} - {}_{n+1/2}h_{j-1/2}) + {}_{n+1/2} \left(\frac{Q^2}{A} \right)_{j+1/2} - {}_{n+1/2} \left(\frac{Q^2}{A} \right)_{j-1/2} \right] + g {}_{n+1}A_j S \delta t \right] \quad (4)$$

ここに、 δt ：時間ステップ、 δx ：距離ステップ、 A ：流水面積、 Q ：流量、 u ：流速、 h ：水深、 n ：Manningの粗度係数、 R ：径深、 S ：河床勾配、 g ：重力加速度、 Q_s ：支川流入量である。時間 t のステップ数を左下添字 n で、距離 x のステップ数を右下添字 j で表している。たとえば ${}_nA_j$ は (n, j) ステップの A の値を表すものとする。

河川形状は複断面としたが、実際の断面形状や河床勾配は複雑であるため、現況河道の本質を失わない程度に簡略化したものを用いた。なお、支川は祇園川のみを考慮し、流入流量は前述したタンクモデル法により求めた。

4. 2 結果と考察

前節と同様、既往洪水を対象洪水として、

本洪水予測システムにより計算を行い、実測データとの比較を行った。図-12に川上流量がピークに達した場合の川上地点から有明海沖5kmまでの水位変化を示す。0km地点が嘉瀬川河口であり、16.6km地点が川上である。マイナスは有明海沖であることを示しており、ハッチ部は河床高を示して

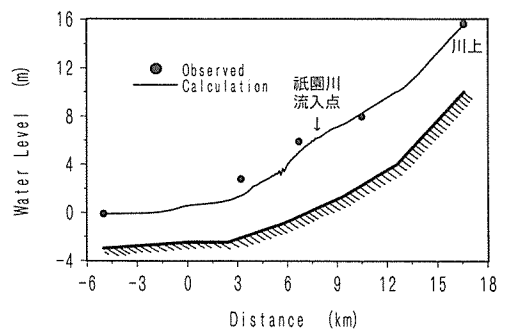
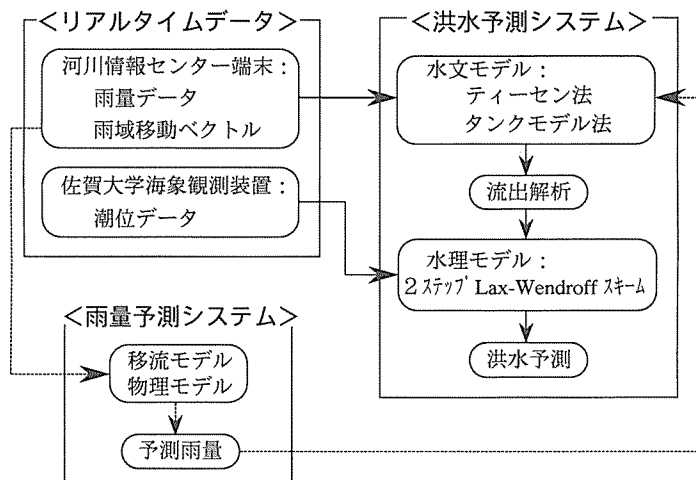


図-12 水位変化(川上地点~有明海沖5km)



図一13 実時間洪水予測システムの稼働概略

いる。丸印は実測値，実線が計算値である。有明海の潮位を境界条件として与えているため，当然 実測値と計算値は下流端で一致するが，中流部域でもほぼ一致していることがわかる。河口から上流へ約6 km付近で計算値が振動しているが，これは，河川断面を複断面としているために発生する，高水敷と低水路との境での径深の急激な変化に起因するものであり，この振動の増幅因子は数値計算手法に依存する。本計算手法においては，振動の範囲が小さく，全体に対してはほとんど影響していないと考えられ，水理計算手法としては，精度に問題はないと言える。

5. 洪水の実時間予測について

以上のようにして，水文モデルにタンクモデルを，水理モデルに 2ステップ Lax-Wendroff スキームを適用し，洪水予測を行うことが可能となった。しかしながら，洪水予測を行う際は，精度と同時に即時性も重要である。いかに精度の良い予測を行っても時間がかかりすぎて災害回避に役立たなければ意味がない。そこでここでは時間の問題を考えることにする。

水文モデルとしてタンクモデルを用いた場合，現在の降雨時刻まで流量の計算はで

きるが，将来予測は行えない。そこで，降雨予測を用いた洪水予測システムが必要となる。つまり，ある程度は降雨量を予測しなければならないわけである。降雨予測に関しては，気象庁を始めいろいろな所で予測モデルが使われているが，ここでは簡単のため，FRICS システムを用いて降雨予測を行うことを考える。嘉瀬川水系を例にとれば，まず，九州全域の地方雨量画面において降雨状況を把握し，雨域移動ベクトル画面により降雨域の移動方向と速度をとらえ，次に，佐賀県に対してより詳しい雨量強度分布を提供している，ユーザ指定地域雨量画面を見ながら，先ほどの降雨域の移動状況を加味しつつ，1～3時間程度の降雨の予測が必要になる。この実時間洪水予測システムの稼働概略を 図一13 に示す。河川情報センター端末で得られるリアルタイム降雨データと，有明海潮位データを本洪水予測システムに入力し，さらに河川情報センター端末で雨域の移動状況を確認しながら，1～3時間後の予測降雨を入力することによって，嘉瀬川流域の実時間洪水予測計算が可能となる。

6. 結論

河川情報センター FRICS システムの水

文・水理情報を利用し、水文モデルにタンクモデルを、水理モデルに2ステップLax-Wendroffスキームを採用し、研究対象領域として、低平地 佐賀平野を含む嘉瀬川水系において、洪水予測システムの構築を行った。また、FRICS システムを用いて雨域の移動状況を確認しながら、予測降雨を入力することによって、洪水の実時間予測を行うことができることが明らかとなった。

謝辞

本研究の遂行にあたり、資料の提供などご協力を頂きました 建設省九州地方建設局武雄工事事務所、嘉瀬川ダム工事事務所、佐賀県庁 ならびに 佐賀土地改良区の方々に深謝致します。

参考文献

- 1) 建設省水文研究会 編：流出計算例題集 1, 2, (株)全日本建設技術協会, 1992.
- 2) 伊藤剛：数値解析の応用と基礎, アテネ出版, 1971.
- 3) 高橋裕：河川工学, 東京大学出版会, 1990.
- 4) 日野幹雄・長谷部正彦：水文流出解析, 森北出版, 1985.
- 5) 佐藤勝夫：洪水流出計算法, 山海堂, 1982.
- 6) 日野幹雄・太田猛彦・砂田憲吾・渡辺邦夫：洪水の数値予報〈その第一歩〉, 森北出版, 1989.
- 7) 石黒正儀・岩井重久：応用水文統計学, 森北出版, 1979.
- 8) 北田幸夫・大串浩一郎・宮崎良：佐賀平野における洪水予測に関する研究, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.158~159, 1995.
- 9) 北川明・川崎重明・高水克哉・中原保夫・保倉修詞：高性能端末を利用した洪水予測システムの開発, 河川情報研究 No.2, pp.81~89, 1994.

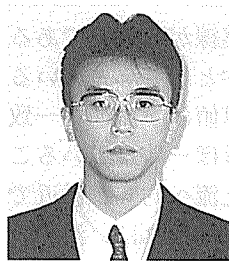
著者略歴



大串浩一郎

(おおぐしこういちろう)

- 1986年 九州大学大学院工学研究科
修士課程修了
- 1994年 佐賀大学理工学部助教授
博士(工学)



北田 幸夫

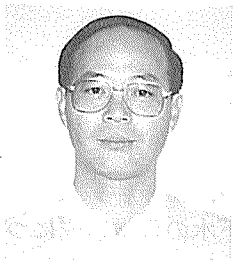
(きただ ゆきお)

- 1991年 佐賀大学大学院理工学研究科
修士課程修了
- 1991年 千代田化工建設株式会社入社
- 1993年 同上退社
- 1993年 株式会社ミゾタ入社
- 1995年 佐賀大学大学院工学系研究科
博士課程入学



岸原 信義
(きしはらのぶよし)

- 1954年 九州大学農学部卒業
- 1984年 佐賀大学理工学部教授
- 1994年 低平地防災研究センター長(併任)
農学博士



渡辺 訓甫
(わたなべくにとし)

- 1970年 九州大学大学院工学研究科
修士課程修了
- 1975年 佐賀大学理工学部助教授
工学博士