

氾濫解析に基づく避難システムの河川工学的研究

西原 巧

氾濫解析に基づく避難システムの河川工学的研究

西 原 巧

序

近代的な治水工事の嚆矢ともいえる淀川改良工事は、明治29年に起工し明治44年に完成した、基準地点枚方における計画高水流量を20万個、すなわち $5,560 \text{ m}^3/\text{s}$ にとった、当時の一般の認識からすれば万全の計画であった。

その淀川が大正6年10月現在の高槻市内大塚地先において破堤したことは、治水関係者にとっても流域の住民にとってもまさに青天の霹靂であったに違いない。

災害後着手された淀川増補工事（大正7年～昭和8年）は、財政上の観点から改良工事計画時に見送られたものを主体に、相当に大幅な施設の強化を内容とするものであった。また、どのように立派な堤防も適切な維持管理を欠くならば蟻の一穴からも崩壊するとの反省から、水防に力が入れられ、淀川左岸水防事務組合をはじめとして多くの水防団体が設立されたことは広く知られている。連続堤方式による治水工事が進むにつれて、洪水氾濫に対する社会の準備度が低下する傾向があることは否めない事実である。大正6年の淀川右岸堤の破堤流失後のこの動きは、そのことに対する社会の反省としてとらえることができるであろう。

本論文は国民の過半数が洪水氾濫原に生活の場を求めているわが国の現状を背景に、万一堤防が破堤にいたった場合の氾濫水の挙動を追求し、住民の避難システムを構成するひとつの方法論を提出しようと試みたものである。

本論においては、氾濫水の挙動を2次元不定流として取扱い、いくつかの氾濫形態に対応するモデルを開発し、それらを淀川水系の現地河川に適用した。

避難システムについては、種々の手法が考えられるが、ここではいわゆる最短経路選択の方法を応用した。

本論文がいささかなりとも洪水に対する地域の防災対策を考えるうえでお役に立つことを祈って、序に代える次第である。

最後に、本研究を実施するにあたり、終始ご懇篤なご指導を賜った京都大学教授岩佐義朗先生、京都大学助教授井上和也先生および金沢大学助教授木俣

昇先生に対し、心から感謝いたします。

また、計算や図表の作成等でご尽力戴いた、近畿地方建設局河川部、淀川工事事務所および淀川ダム統合管理事務所の諸氏に謝意を表します。

昭和58年 盛夏

西 原 巧

目 次

緒 論	1
第 1 章 洪水災害と地域避難	5
第 1 節 概 説	5
第 2 節 わが国河川の自然的・社会的特性	5
2-1 わが国河川の地形特性	5
2-2 わが国の気象特性	6
2-3 わが国河川の水文・水理特性	7
2-4 洪水氾濫原と人間活動	12
2-5 洪水氾濫原への人口・資産の集中	13
第 3 節 流域開発と洪水災害	14
3-1 河川流出形態の変貌	14
3-2 住民意識の変貌	17
3-3 水防活動の変貌	19
第 4 節 総合治水対策	22
4-1 治水事業の制約と限界	22
4-2 総合治水対策の展開	23
4-3 総合治水対策と氾濫解析	26
第 5 節 洪水避難システムの意義	27
5-1 緊急対応システムの必要性	27
5-2 洪水避難システムの意義	28
第 2 章 洪水氾濫の水理解析	32
第 1 節 概 説	32
第 2 節 氾濫解析法の必要性	32
2-1 洪水計算法の発展	32

2 - 2	新計算法開発への要請	33
第 3 節	わが国の洪水氾濫の実態	35
第 4 節	氾濫水の数値解析法	44
4 - 1	河道における洪水の数値モデル	45
4 - 2	氾濫水の数値モデル	49
4 - 3	排水路の数値モデル	54
4 - 4	盛土（線状構造物）の数値モデル	56
第 5 節	結 語	57
第 3 章	氾濫解析法の現地流域への適用	61
第 1 節	概 説	61
第 2 節	旧巨椋池干拓地流域	63
2 - 1	流域および氾濫の概要	63
2 - 2	計算に使用した資料および条件	65
2 - 3	実績と計算結果との比較	72
第 3 節	淀川本川右岸流域	85
3 - 1	流域および氾濫の概要	85
3 - 2	計算に使用した資料および条件	86
3 - 3	実績と計算結果との比較	92
第 4 節	猪名川多田流域	99
4 - 1	流域および氾濫の概要	99
4 - 2	河川上流域への適用と問題点	101
4 - 3	計算に使用した資料および条件	102
4 - 4	実績と計算結果との比較	105
第 5 節	結 語	111
第 4 章	洪水氾濫に伴う地域避難システム	115
第 1 節	概 説	115
第 2 節	災害と避難	116
2 - 1	災害と避難行動	116

2-2	災害と避難システム	121
2-3	洪水避難システムの特徴	124
第3節	洪水避難の現状分析	126
3-1	洪水避難の現状	126
3-2	洪水避難計画の現状	139
第4節	洪水避難システムの基本フレーム	150
4-1	避難システムの機能	150
4-2	避難システムの外部環境	152
4-3	避難システムの構成	154
第5節	洪水避難システムの構成手法	158
5-1	氾濫水の予測システム	158
5-2	避難ネットワークシステム	159
5-3	避難誘導システム	162
第6節	避難行動シミュレーションモデル	166
6-1	シミュレーションモデルの要件	166
6-2	シミュレーションモデルの構造	167
第7節	結語	178
第5章	洪水避難システムの現地流域への適用	182
第1節	概説	182
第2節	洪水避難システムの構成	183
2-1	氾濫水の予測システム	183
2-2	避難ネットワークシステム	184
2-3	避難誘導システム	192
第3節	避難システムの評価	193
3-1	シミュレーションモデルによる計算結果	193
3-2	数量化理論による解析	207
第4節	結語	211
結論		213

結 論

洪水災害が絶対に起こらない社会の現出—いわゆる完全治水の実現—は全人類の見果てぬ夢である。われわれはこの大目標に向って努力を続けているが、予算の制約や他分野との間での資源の配分を考えると、完全治水への道程はまだ遙か彼方のことであるといわねばならない。

このような現状下においてわれわれのとるべき方策は、治水事業の強力な推進に加えて、現在の治水施設のもとでいかにして洪水による人命や財貨の損失を少なくするかを、追求することでなければならない。これは具体的には水防体制の強化を含む社会の洪水に対する準備度の向上であり、さらに、洪水によって破堤や氾濫が起こったとしても破局的な被害を受けない施設の設計であるといつてよいであろう。以上のようなことは、四分の一世紀前、中部地方を襲った大災害を契機として、すでに十分論議されている。

国土の三分の一が海面下にあるオランダをみると、この国では、1953年の大災害以後国家の総力を挙げて治水事業—デルタプラン—を推進すると同時に、そのような安全度の高い施設すらも自然の猛威の前には無力化する場合があることを想定して、種々の対策を講じている。すなわち、第一線の堤防の背後にいわゆる二線堤、三線堤を配置し、また、干拓堤防の計画に際しては、万一破堤したときの干拓地区での氾濫水による水深の増加速度を、住民が避難可能となる限度以下に押えるなどの配慮をしている。そのうえ、全国的な規模での停電事故に備えて、排水ポンプの動力用として風車を保存していることなど、もって他山の石とすべきであろう。

わが国においては、最近、従来の治水事業のみによらない治水—いわゆる総合治水対策—の必要性が強調されるようになった。このことは、洪水災害に対する社会の認識を高め、災害に対する社会の準備度を向上させるのに大いに役立っている。

洪水予警報が河川管理の実務として行われるようになって以来、雨水の流出現象や洪水の流下現象の解明には力が注がれ、理論および応用の両面で大きな

1)-3) 進歩があった。計算手段については、真空管式のアナログコンピュータから大規模な汎用型電子計算機へと進化し、また雨量の観測通報システムは、サイホン式自記雨量計と電話もしくは電報との組み合わせから、転倒マス型雨量計とテレメータとの組み合わせに置き換えられ、一部の地域ではレーダを主体とするレーダ雨量計が用いられるようになってきている。

しかしながら、洪水の流下過程の追求についてみると、従来の研究は河道内の現象に関するものに限られていて、破堤等により堤内地に侵入した氾濫水の挙動の解明については、ほとんど眼が向けられなかったといえる。氾濫水の水平貯留を仮定する単純な計算法がしばしば用いられたが、この方法は氾濫する堤内地が袋小路状を呈する地形のみに適用可能であり、しかもこの方法では、破堤点の近傍の現象や破堤直後の現象を表現することはできない。それゆえ、洪水氾濫時の住民の避難誘導や、さらに進んで事前の避難計画の策定などに利用するには不十分なものであった。このような用途に用いるには、変化の多い堤内地の地形に適用でき、さらに氾濫水の流速や水位の時間的变化を表現することが可能な解析法でなければならないのである。

水理学の立場からみれば、河道を流下する洪水に対しては一次元の不定流としての取扱いが適当としているが、氾濫水の運動については二次元不定流として取扱う必要がある。さらに具体的に述べると、堤防によって河道と堤内地とがはっきり分離されている河川においては、河道内の洪水に対して一次元不定流を、氾濫水に対して二次元不定流を適用し、その二つの流れを破堤点において何らかの手段で連結することが考えられよう。このような取扱いが困難なはっきりした堤防を持たない河川 — 無堤河川 — においては、河道の内外を問わず二次元不定流として取扱うべきである。

洪水の流出と河道内での流下、さらに洪水の氾濫に関する種々の情報が得られ、それが必要な時刻に必要な方面に伝達されるならば、洪水調節ダム等の治水施設の管理は完全に行われ、万一破堤した場合においても被害は最小限に抑えられるであろう。そのための努力が一方では洪水予報や水防の実施であり、他方では災害時の住民の避難である。

洪水予警報と水防については本論においてはその概略を紹介するにとどめよう。

本論の次の主題は住民の避難の問題である。

災害時の住民の避難については、治水事業の進捗により水害の頻度が低下するにつれて年々関心が低下してきた。もっとも、水害常襲地帯と呼ばれる一部の地域や、津波の危険が大きいとされる三陸地方等においては、常時避難のことが住民の意識下であり、また、地方公共団体等においてもそのための体制を整えているが、全体からみるとその割合は必ずしも高くない。

選定された住民の避難場所ひとつを見ても、地震時の避難場所と共用したために洪水時には安全とはいえない場合すら散見する。また、避難路についての検討は不十分な例が多いし、検討や計画の方法論にも確立したものは存在しないようである。

さて、避難路の検討においては、オペレーションズリサーチの最短経路選定の手法の応用が考えられる。その過程において、洪水氾濫に関する諸情報を活用すべきであることは当然である。

著者は以上縷々述べた観点から、洪水氾濫の解析方法と洪水氾濫時の住民の避難とについて研究を進めてきた。本論はそれらの取りまとめをなすものであってその構成は以下のとおりである。

第1章ではわが国の河川の特徴と治水の現況とを概観する。

第2章ではわが国の洪水氾濫の解析結果から二次元不定流を基礎とする数値モデルを構成し、種々の地形条件に合致するモデルを作成する。

第3章では第2章で作成したモデルを現地河川に適用し、モデルの妥当性と適用性について検証する。

第4章では洪水時の避難システムの現況を概観し、第2章および第3章で述べた方法を用いて得られる洪水氾濫の区域、湛水深等の予測値に対応して、避難場所や避難路を設定する方法を提示する。

第5章では前章までで得られた結果を現地流域に適用して、その方法の有用性を検証すると同時に、かくして得られた避難システムの評価方法を提示する。

最後に、それまでに得られた結果をまとめて結論とする。

参 考 文 献

- 1) 石原藤次郎，高棹琢馬：単位図法とその適用に関する基礎的研究，土木学会論文集，第60号 別冊3-3，1959。
- 2) 木村俊晃：貯留関数法，土木技術資料，vol.3，No.4 - vol.4，No.7，1961～1962。
- 3) 石原藤次郎，高棹琢馬：中間流出現象とそれが流出過程に及ぼす影響について，土木学会論文集，第79号，pp.15-23，1962。

第1章 洪水災害と地域避難

第1節 概 説

わが国の河川は、国土が狭小であることを反映して、流路は短く勾配は急であり、降雨から出水までの時間が短いといわれる。これらの特性は洪水追跡や氾濫解析の面では、欧米の大陸河川におけるような単純化した手法の採用を困難にする。また、洪水氾濫原に大多数の国民が居住していることは、治水事業の重要性をいやがうえにも高くすると同時に、避難システムの確立を重要なものとする。

洪水時、破堤や氾濫の恐れがある緊急の場合の対応システムは、これらの要素を考慮して構成しなければならない。

建設省は、氾濫原人口の急増に治水事業が追随し得ない現状にかんがみ、河川行政の従来の枠を離れて、より広い河川の流域全体という視点からこの事態に対処すべく、昭和54年以降いわゆる総合治水対策を講じつつある。そのなかで新しく取り上げられたもののひとつは氾濫原管理であり、他のひとつは洪水予警報と洪水情報の伝達とからなる警戒避難システムである。

本章においては、本論の目的である洪水氾濫解析とそれに基づく洪水時の地域避難システムについて、その具備すべき条件を明らかにするため、わが国河川の特性について述べ、さらに、主として都市河川を対象に推進されつつある総合治水対策を紹介し、それらとの関連において、地域避難システムの意義を明らかにする。

第2節 わが国河川の自然的・社会的特性

2-1 わが国の地形特性

わが国はアジア大陸の東端に、ほぼ南北に沿って細長く伸びる延長2,000 Kmの日本列島から構成されるが、その幅は広いところでも300 Kmに過ぎず、しかも中央部を高さ2,000mから3,000mの背梁山脈が縦断し、一般に地形は急峻である。また、日本列島の形成は地質年代的には新しく、度重なる造山

運動を受けて褶曲作用を繰り返し、地殻は脆弱である。このようなことからわが国の河川は一般に流路は短く、勾配は急で、かつ、流域面積は狭小である。わが国最大の流域面積を有する利根川ですら、アメリカ合衆国のミシシッピ川のそれと比べると約200分の1に過ぎない(表1-2-1²⁾)。

表1-2-1 わが国と欧米の主要な河川

No.	日 本				ア メ リ カ 合 衆 国				ヨーロッパ(東欧を除く)			
	河川名	流域面積(km ²)	延長(km)	主要都市	河川名	流域面積(km ²)	延長(km)	主要都市	河川名	流域面積(km ²)	延長(km)	主要都市
1	利根川	16,840	322	高崎・前橋	ミシシッピ川	3,221,000	6,021	ニューオクリンズ セントルイス	ライン川	224,000	1,320	アムステルダム デュッセルドルフ
2	石狩川	14,330	268	旭川・札幌	コロラド川	667,500	2,334	ラスベガス	ロアール川	121,000	1,020	ナント
3	信濃川	11,900	367	長野・新潟	コロンビア川	610,900	1,954	ボールド	ローヌ川	99,000	810	リヨン マルセイユ
4	北上川	10,150	249	盛岡	リオグランデ川	120,700	3,030	エルパソ	セーヌ川	77,000	776	パリ
5	木曾川	9,100	227	岐阜・泉	ブラソス川	114,000	1,947	ウェコ	ボア川	74,970	655	ミラノ トリノ
6	十勝川	8,400	156	十勝	コロラド湖(テキサス)	107,000	1,392	オースティン	ガロンヌ川	56,000	580	ボルドー
7	淀川	8,240	144	京都・大阪	サクラメント川	85,000	613	サクラメント サンフランシスコ	ティベール川	17,168	405	ローマ
8	阿賀野川	7,710	210	会津・若松	アラバマ川	57,000	1,028	バーミング	アディジェ川	12,200	410	トレント ベローナ
9	最上川	7,040	229	山形・酒田	トリニティ川	44,500	1,151	ダラス	テムズ川	9,950	239	ロンドン
10	天塩川	5,590	256	天塩	ニューエセス川	43,100	544	コーバスター	セバーン川	9,900	225	バーミング

2-2 わが国の気象特性

わが国はアジア大陸と太平洋の境に位置する温帯多雨、亜寒帯多雨気候区に属し、年平均降水量は世界平均の約2.5倍の1,820mmに達する。

また、同時に、日本列島は大陸性の気候と海洋性の気候の交錯する位置にあり、それぞれに影響され変化に富んだ複雑な気候を呈す

るほか、台風の進路に当ることから、地域的、季節的に偏った降雨分布を示している(図1-2-1³⁾、図1-2-2⁴⁾)。

6月初旬から7月中旬にかけて、オホーツク海高気圧と小笠原高気圧の間のできる不連続線が停滞し、梅雨前線となって日本列島に長雨をもたらす、時には大出水を起こすこと、また、8月から9月にかけては太平洋上に発生した熱帯性低気圧が台風となって北上し、そのいくつかが日本列島に上陸して豪雨をもたらすことは周知のとおりである。

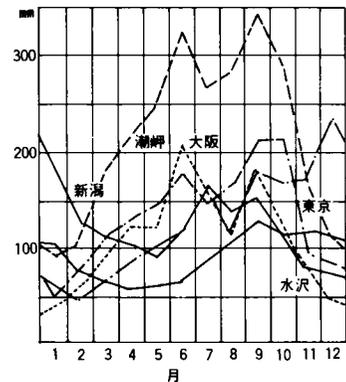


図1-2-1 月別降水量図

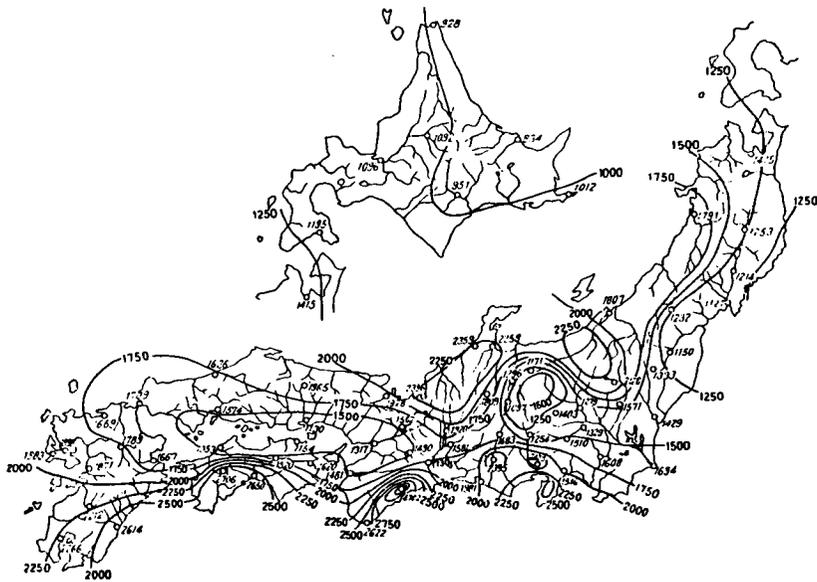


図1-2-2 年降水量図

わが国各地における豪雨の頻度分布を図1-2-3⁵⁾に、また、年降水量の構成内容を表1-2-2⁶⁾に示しておく。

治水上からわが国の降水をみると、年降水量自身が諸外国に比べて多いうえに、6月～10月にかけて年降水量の大部分が降るといふ季節的に偏在した降雨分布が洪水を多発させる素地となっているといえる。特に重要なのは、比較的短時間の降雨強度が大きいことで、このことは図1-2-4⁷⁾にみられるように、3時間、6時間、12時間、24時間のわが国既往最大地点雨量が、それぞれの世界最大値にきわめて近くなっていることから明らかである。

2-3 わが国河川の水文・水理特性

わが国の河川は前述した地形、気象特性のゆえに、いくつかの際だった水文特性を有し、それらがいずれも治水上不利に働いている。以下にわが国河川の水文特性と諸外国の河川のそれとを比較しておく。

① 河床勾配が急である。

急峻な地形を反映して、わが国河川の河床勾配は急で、流路は一般に短

(a)日降水量 200 mm 以上

(b)日降水量 300 mm 以上

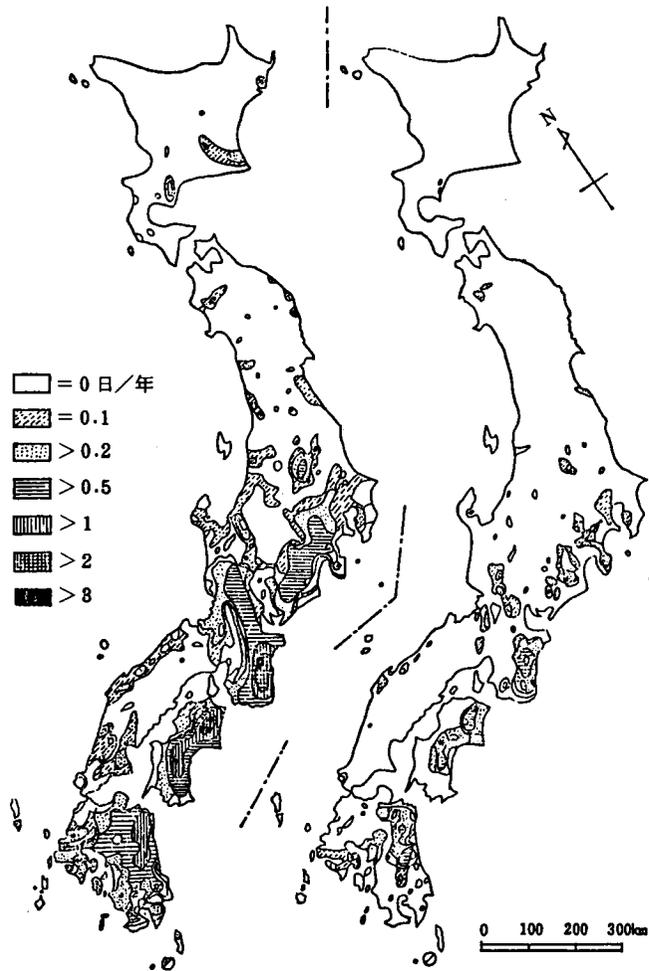


図 1-2-3 豪雨の頻度分布 (1956 年~1965 年)

表 1-2-2 わが国の降水量の構成内容

	降水量 (mm)	台風 (%)	梅雨 (%)	雷雨 (%)	雪 (%)	地雨 (%)
鹿児島	3,429.7	25	26	4	—	64
福岡	1,820.3	24	14	2	2	57
高知	2,995.0	27	10	9	—	54
広島	1,535.6	15	18	6	2	58
大阪	1,402.8	24	15	4	—	57
東京	1,784.3	18	19	7	2	53
米子	1,705.4	9	39	8	13	30
新潟	1,595.7	7	11	10	14	58
仙台	1,355.4	32	11	1	5	51
青森	1,472.2	5	6	3	37	49
札幌	1,023.1	8	3	5	39	45
稚内	937.0	14	1	5	37	43

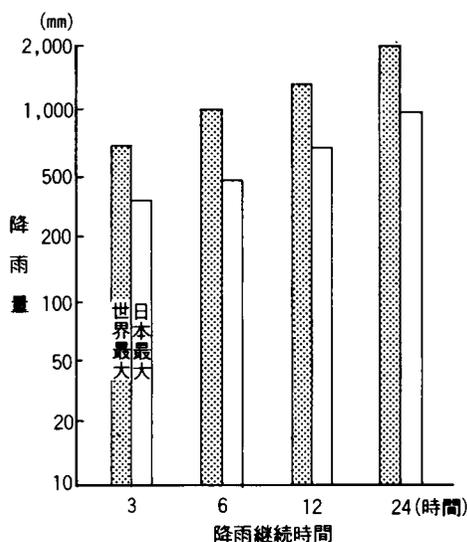


図1-2-4 既往最大地点降雨量

い。したがって、流出は早く、洪水時の流水の侵食エネルギー、土砂運搬エネルギーは大きい。流出が早いという特性は、洪水時に避難を行ううえで時間的余裕が短い結果となる。また、洪水時の大きな侵食エネルギーは河道の安定の確保を難しくし、強固な護岸、床固、水制、流路工等の高価な治水施設を必要とする。

② 洪水の比流量が大きい。

地形急峻で流域面積の小さいわが国河川に、前線性、或いは台風性の豪雨が降ると諸外国河川に比べて桁違いに大きな洪水比流量を生じる。図1-2-5⁸⁾にわが国と諸外国の河川の洪水比流量を示すが、わが国の主要河川のほとんどが洪水比流量 $1.0 (m^3/s/Km^2)$ から $10.0 (m^3/s/Km^2)$ に分布しているのに対して、諸外国の河川はミシガン湖南西域を除いて総て $1.0 (m^3/s/Km^2)$ から $0.01 (m^3/s/Km^2)$ に分布している。わが国河川の洪水比流量が大きいことは、相対的に大きな規模の洪水を対象とする治水対策を必要とする。

③ ハイドログラフがシャープである。

わが国河川のハイドログラフは、諸外国河川のそれと比較して流量の時間的変化が大きく、シャープなパターンを示す。わが国河川のハイドログ

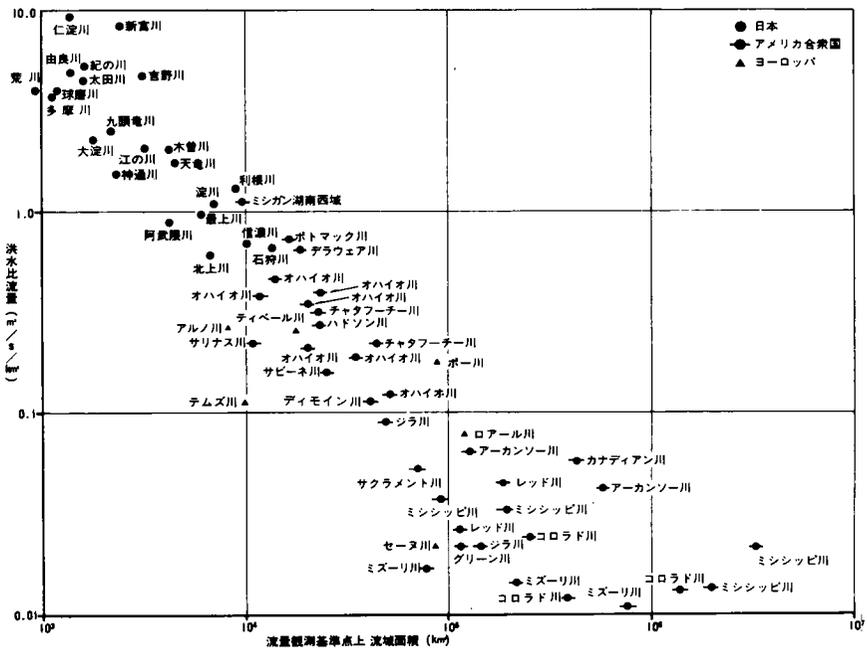


図1-2-5 各国河川の洪水比流量（実績洪水）

ラフは、いわば、時間単位で変動するのに対し、諸外国河川のそれは、日単位で変化しており、図1-2-6⁹⁾からみるとわが国河川の洪水がせいぜい

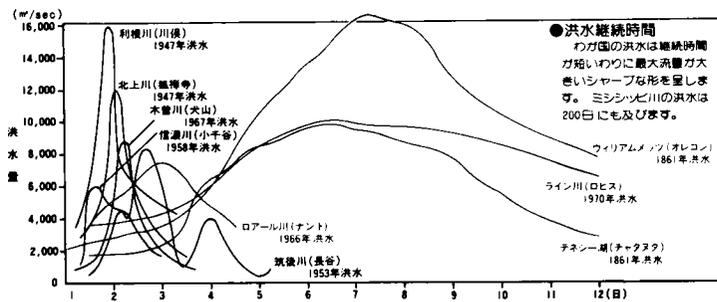


図1-2-6 各国河川のハイドログラフ

2～3日で終わるのに対して、諸外国のそれは約2週間続いている。

④ 河状係数が極めて大きい。

わが国河川の河状係数（最大流量／最小流量）は図1-2-7¹⁰⁾にみられるように、上流に天然の大貯水池である琵琶湖を持つ淀川を別にすると、諸外国の河川のそれに比較して桁違いに大きい。

また、年流況図で比較すると、たとえば利根川は、ローヌ川と比べて流

量変動が激しく、流況が不安定である

(図1-2-8、¹¹⁾図1-2-9¹²⁾)。つまり、わが国の河川は洪水流量と渇水流量の比が一般に大きい。

⑤ 流出土砂の生産量が比較的多い。

地形が急峻で洪水比流量が大きいことから、洪水時の河川の侵食エネルギー、土砂運搬エネルギー

はともに大きい。加

えて、日本の地殻は度重なる造山運動で、褶曲作用を受けていること、および火山が多く地質も複雑で風化しやすい火成岩地帯が広く分布している

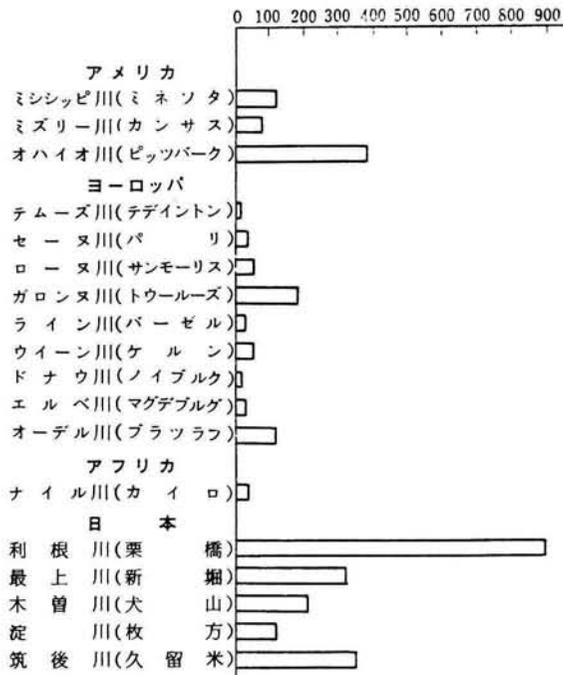


図1-2-7 河状係数(最大流量/最小流量)

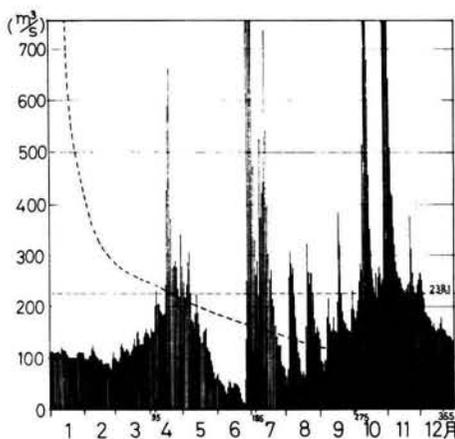


図1-2-8 利根川栗橋 (8,588 Km²)

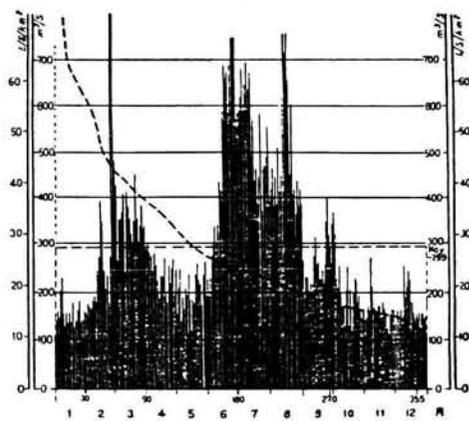


図1-2-9 ローヌ河ジェニシア (10,900 Km²)

ことから、洪水時には崩壊、侵食を繰り返して土砂を生産し、下流に土砂を堆積させる。とくに扇状地頭部では、縦断勾配が急変し、掃流力が低下して土砂を堆積し、河道を不安定にする。また、大量の流出土砂は河床を上昇させて天井河川とし、一旦破堤した場合の災害を一層激甚なものにしている。

2-4 河川氾濫原と人間活動

人間活動のないところでは洪水が発生しても洪水災害は生じない。

わが国の洪水災害には洪水をひきおこしやすい自然的特性に加えて、本来的に

洪水氾濫の危険が内在する河川氾濫原の利用、開発を図らざるを得ないという社会的特性が深く関わっている。しかも、度重なる洪水災害にもかかわらず河川氾濫原の利用と開発が営々として進められ、河川氾濫原を社会活動、経済活動の主要な場とする高密度社会が形成されているのがわが国の現状であろう。

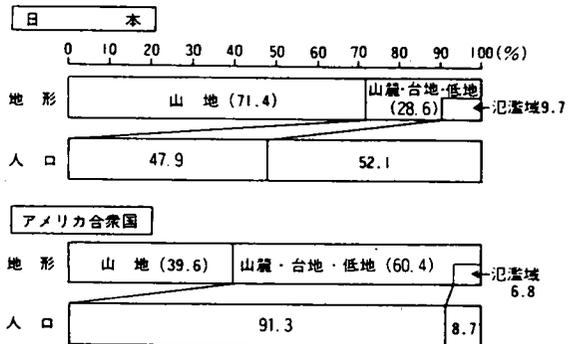


図1-2-10 わが国とアメリカ合衆国の地形とそこに占める人口の割合

表1-2-3 主要都市の氾濫面積比率

都市名	河川名	氾濫面積 平地面積	都市名	河川名	氾濫面積 平地面積
東京	荒川、江戸川、多摩川	35%	熊本	白川、坪井川	86%
大阪	淀川、大和川、寝屋川	94	長崎	城山川	67
横浜	鶴見川、境川、帷子川	28	新潟	信濃川	61
名古屋	庄内川、新川	87	岐阜	長良川	100
京都	淀川、鴨川	73	金沢	犀川	56
神戸	宇治川、新湊川	27	松山	重信川	58
札幌	石狩川、豊平川、新川	46	長野	千曲川	60
北九州	紫川	87	富山	神通川	77
福岡	那珂川、三笠川	89	福島	阿武隈川	27
広島	太田川	24	福井	九頭竜川、足羽川	64
仙台	名取川、広瀬川	76	盛岡	北上川、中津川	42
岡山	旭川	65			

表1-2-3¹³⁾はわが国主要23都市の平地面積に対する氾濫面積の割合を示したものである。最低の広島市(24%)から、最高の岐阜市(100%)まで、いずれの都市も洪水氾濫の危険性を大きく内蔵している。

一方、洪水災害を防止する治水事業は時代時代の財政や、技術の水準に応じた規模で実施され、今日の治水施設の蓄積をみるに至っている。この治水施設によってある程度までの規模の洪水が無害化された反面、その規模を越えると急激に被害が大きくなるのはやむを得ないとすべきであろう。

アメリカ合衆国における河川氾濫原内の人口分布をみると、わずかに8.7%の人口が分布しているに過ぎないが、わが国では52.1%の人口が河川氾濫原内に居住している(図1-2-10¹⁴⁾)。

2-5 河川氾濫原への人口、資産の集中

河川氾濫原への人口、資産の集中は、昭和30年代後半から始まった高度経済成長に伴って著しくなったが、その急激さは世界に類のないもので¹⁵⁾人口集中地区面積(DID面積)の推移でみると、昭和35年の3,865Km²が昭和50年には8,280Km²となり、わずか15年間に有史以来昭和35年までかかって形成された面積を上回る人口集中地区が新たに出現した(表1-2-4¹⁶⁾)。そうして、昭和55年には国土の1割にも満たない河川氾濫原に全人口の5割と全資産の7割が集中するまでに至ったのである。

表1-2-4 河川氾濫区域人口・DID地区面積・資産の推移

区 分		昭和35年		昭和40年		昭和45年		昭和50年		昭和55年	
		実数	シェア								
面積 (km ²)	全 国	377 700	100	377 700	100	377 700	100	377 700	100	377 700	100
	河 川 氾 濫 区 域	38 000	10	38 000	10	38 000	10	38 000	10	38 000	10
	人 口 (万人)	9 342	100	9 828	100	10 370	100	11 194	100	11 706	100
	資 産 (兆円)	121	100	197	100	311	100	494	100	593	100
	河 川 氾 濫 区 域	62	51	116	59	196	63	334	68	427	72

注) 昭和55年価格である。

第3節 流域開発と洪水災害

3-1 河川流出形態の変貌

近年の急激な都市化は、治水施設を徐々に整備しつつ、洪水氾濫原に立地する既成市街地を核として進展してきたものである。

降雨から洪水災害の発生までの過程を人間活動との関連においてみると、降雨そのものは自然現象で何ら人間活動の影響を受けないが、その後の過程は人間活動と密接な関係を有している。もとより人間活動の範囲や規模が小さかった時代には、流出に与える人間活動の影響は無視し得る程小さく、また、防災の施設は、貧弱であっても、洪水災害を受けないように高台に居住するという減災的選択をとり得た。しかしながら、人間活動の拡大、人口、資産の増大はそのような選択を著しく困難にした。

洪水災害に対する流域開発の影響が最も顕著に現れるのが、いわゆる都市河川である。

たとえば、東京都の神田川は、¹⁷⁾昭和5年から昭和14年にかけて全体事業費920万円をもって、時間雨量50mmに対応する河川改修を完了したがその後の急激な人口の集中と流域開発との結果、再び浸水被害を繰り返すようになり、再改修を余儀なくされている。当時の改修計画においては、計画時間雨量50mmに対応する基本高水流量を240 m³/sとしていたが、昭和43年に策定された新しい改修計画では同一の計画時間雨量に対して、基本高水流量を590 m³/sと2.4倍に増大させている。この背景には、この間に流域に占める農地面積の比率が75%から17%に減る一方、市街地面積が16%から77%に拡大した事実がある。

つぎに、東京湾に注ぐ流域面積230 Km²の都市河川である鶴見川流域における昭和33年、41年、50年および将来の土地利用の変遷をみると、昭和33年には、流域の下流部を中心に市街地がありその比率は流域面積の10%に過ぎなかったが、昭和50年には市街地は、中流域および上流域にまで拡大して、市街地率は60%に及び、さらに将来は、市街化区域は流域の80%に達するものと予測されている(図1-3-1¹⁸⁾)。

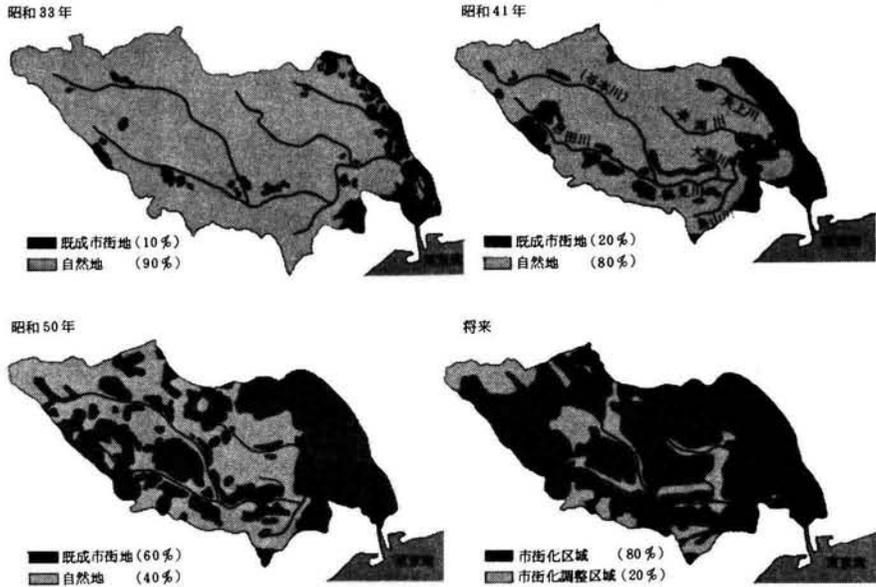


図1-3-1 鶴見川流域の土地利用の変遷

このような著しい流域開発は河川の流出形態に大きな影響を与えないではおかない。

上流域の開発は、山林原野の地表を屋根、舗装、排水路等の不浸透物や排水施設で代替することとなって、流域の浸透能を減少させ、保水効果や貯留効果を低下させ、流出率の増大、ピーク流量の尖鋭化、洪水到達時間の短縮をもたらす(図1-3-19)²⁰⁾、図1-3-3²¹⁾)。

同一の降雨に対してピーク流量が増大するということは、洪水災害がそれだけ引き起こされやすくなることであり、治水施設が同一の場合、治水安全度は低下することを意味しよう(図1-3-4)²¹⁾。つぎに、大阪府と兵庫県との府県境に位置する都市河川猪名川の場合をみよう。図1-3-5²²⁾は猪名川流域における土地利用の変遷を示すが、明治20年頃は、僅か2%

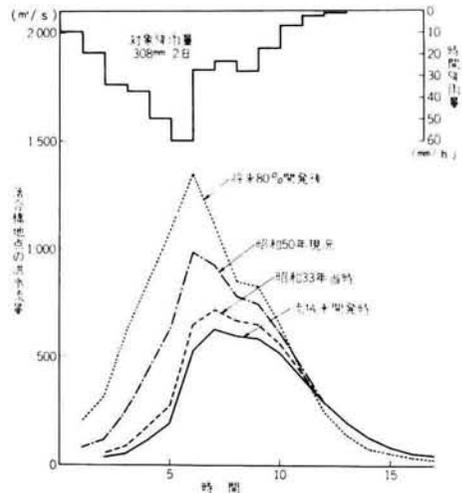


図1-3-2 水源地区の開発と落合地点の洪水流量の変化

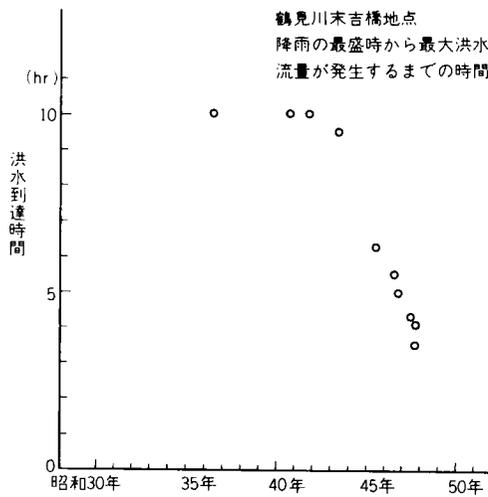
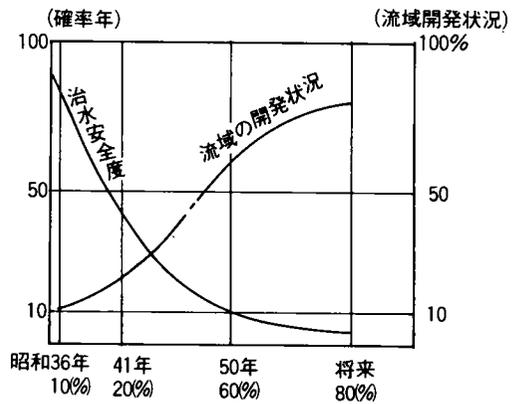


図1-3-3 洪水到達時間の
移り変わり



注：上図の治水安全度はピーク流量が $950\text{m}^3/\text{s}$ を越す洪水の発生確率年を示している。

図1-3-4 鶴見川流域の流域開発状況
と治水安全度の移り変わり

を占めるに過ぎなかった市街地が昭和65年には35%に達するものと見込まれている。このような流域の都市化に伴って、基準地点小戸における暫定計画高水流量 $1,770\text{m}^3/\text{s}$ に対する河道の安全度は低下の一途をたどるものと考えられる。

23)
図1-3-6はその模様を確率年の低下として示したものである。

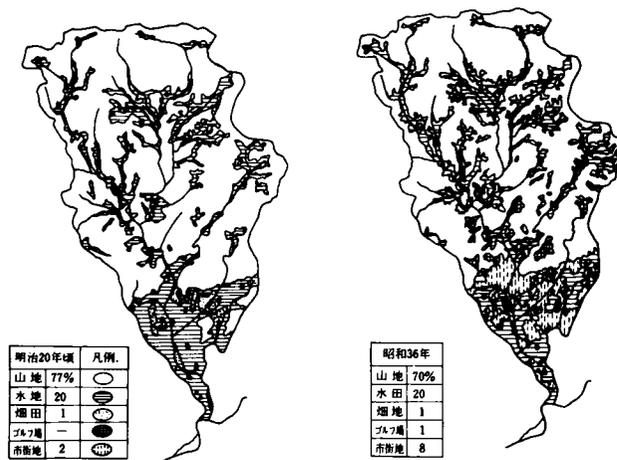


図1-3-5 猪名川流域における土地利用の変化(その1)

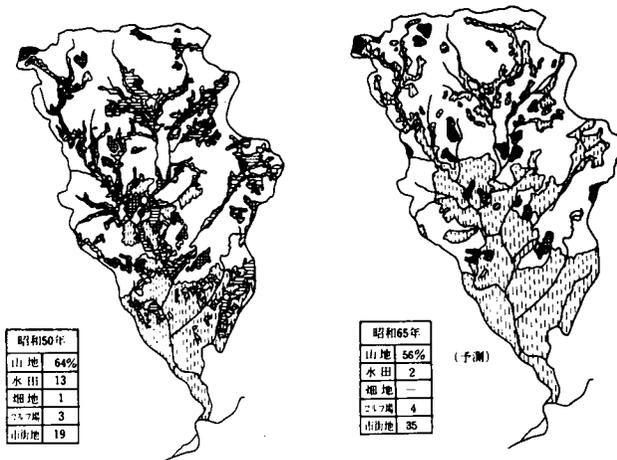


図1-3-5 猪名川流域における土地利用の変化(その2)

3-2 住民意識の変貌

都市住民の洪水氾濫に対する危険意識は非常に低い。これには治水施設の整備水準が、都市化の進展や流域の諸活動に比較して相対的に立ち遅れているとはいうものの、営々として続けられてきた治水事業が治水安全度を向上させ、洪水氾濫の頻度を減少させたことが一因として挙げられる。

水害を受ける住民の数とその頻度が相対的に減少した結果、被災経験を持たない都市住民が増加し、また経験者であっても、その経験は年月とともに風化し、矮小化し、水害に対する危険意識は年々薄らぐのである。

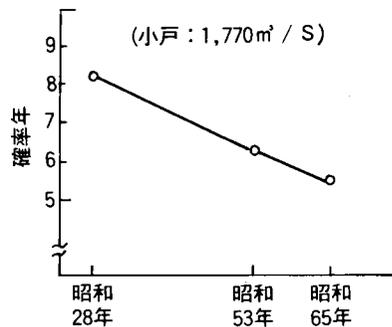


図1-3-6 河道安全度の低下

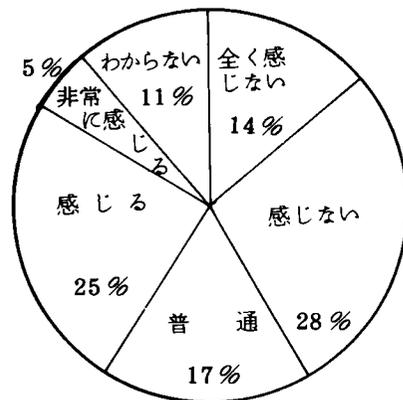


図1-3-7 洪水氾濫に対する危険意識

都市化流域における住民意識を淀川流域におけるアンケート調査の結果からみると、図1-3-7に示すように42%の人が洪水の危険を感じてい

ない。²⁴⁾

洪水氾濫に対して危険意識のない理由を調べたのが表1-3-1であるが、興味深いのは、洪水氾濫に対し危険意識のない理由として「高い所に住んでいる」と答えた人の1/4が河川氾濫原に住んでいることである。²⁵⁾

また、埼玉県浦和市と愛知県一宮市とにおいて実施されたアンケート調査の結果によれば、水害を受けやすい土地に住んでいるにもかかわらず、そのことを居住前に知らなかったのは前者で82%、後者で65%に達し²⁶⁾ている(図1-3-8)。

表1-3-1 洪水氾濫に対し危険意識のない理由

流域理由	淀川(本川)下流部	淀川(本川)中流部	大川	鴨川	桂川	宇治川	本瀬川	武庫川下流部	武庫川上流部	無回答	計
今までに被害にあつたことがない	(51) 897	(48) 628	(51) 210	(53) 672	(56) 14	(40) 227	(42) 60	(63) 187	(37) 112	(62) 28	(49) 3,017
洪水が起るとは考えられない	(11) 198	(10) 127	(14) 57	(13) 170	(4) 1	(4) 21	(5) 7	(11) 32	(4) 11	(7) 3	(10) 627
高いところに住んでいる	(13) 233	(25) 330	(12) 51	(15) 195	(20) 5	(37) 211	(34) 48	(4) 13	(43) 150	(22) 10	(20) 1,246
堤防・ダムなどの施設が完備されている	(19) 338	(12) 163	(16) 67	(15) 100	(12) 3	(17) 96	(18) 25	(10) 29	(2) 5	(2) 1	(15) 917
その他	(5) 87	(5) 72	(6) 25	(3) 42	(8) 2	(1) 8	(1) 2	(13) 38	(9) 26	(7) 3	(5) 305
計	(100) 1,735	(100) 1,320	(100) 410	(100) 1,269	(100) 25	(100) 542	(100) 142	(100) 299	(100) 304	(100) 45	(100) 6,112

()内は百分率

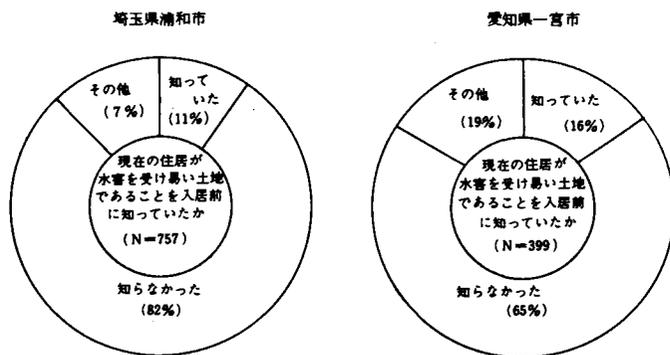


図1-3-8 都市住民の水害に対する意識

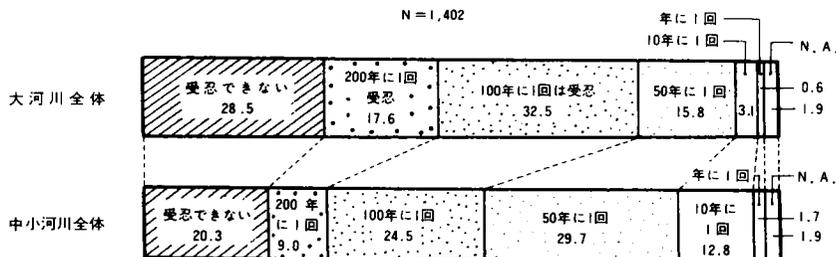


図1-3-9 水害に対する受忍の限度

一方、住民の「水害に対する受忍の限度」についての意識を調査すると、
図1-3-9²⁷⁾に示すように受忍の限度が著しく低いのに驚かされる。「50
年に1回は受忍」から「受忍できない」までを高度に治水安全度を期待し
ている層とみなすと、その層は大河川の場合で94%、中小河川でも83
%に達するのである。

3-3 水防活動の変貌

水害との戦いの歴史の中で、村落等を中心とする自治組織による水防活
動は、自然の猛威にさらされた貧弱な治水施設の効用をぎりぎりまで高め、
水害を防止、或いは軽減するうえで大きな役割を果たしている。

とくに組織だった水防活動が行われだしたのは、水田と集落とが河川沿
濫原に大きく進出し、水害を頻繁に蒙り出した江戸時代からであって、各
地でそれぞれ独自の発達を遂げてきた。このように古い伝統を持つ水防は、
明治21年市町村制の施行に伴いその事務を市町村で扱うこととはなった
ものの、地縁的、郷土愛的精神から発達した水防活動の歴史的実態が尊重
され、以後も自治組織によって担当されてきた。その後、自治水防組織
を法的に認知した明治23年の水利組合条例から、もっぱら水防に関する
規定として成立した昭和24年の水防法、および、その後の改正まで、幾
多の変遷を経て水防に関する法令の整備が行われているが、法律の精神と
して流れているのは自主的、自衛的な水防活動への依存であるといえる。²⁸⁾

現在では、治水施設の整備は明治以前に比べて格段に進んだが、一方、
人口や資産は河川沿濫原に極度に集中しており、少ない費用で大きな効果
を挙げ得る水防活動の重要性は、今日においてもいささかも変わってはい
ない。

昭和50年8月23日から24日にかけての台風6号による増水で、
石狩川右岸新篠津村字川下および下篠津地先の堤防に決壊の恐れが生じた
際には、新篠津消防団員75名、地域住民約230名の6時間余にわたる水
防活動によって、2,500袋余の土のうが積載され、決壊が未然にくい止めら
れた。その結果、新篠津村の田畑1,099ha、家屋102戸が水害を免れ、隣接の江

別市美原、篠津地区も浸水から守られた。この水防活動による被害防止額は、新篠津村分だけで9億8千万円と推定されている²⁹⁾。

また、昭和47年7月9日より降り始めた梅雨前線による豪雨で、島根県神戸川左岸木村橋下流堤防、妙見橋付近堤防等数カ所に亀裂が発生した際には、ただちに団員が召集され、適切な応急水防工法が施された。その後、斐伊川、神戸川の2河川の本流が急激に増水し、堤防の洗掘、崩壊が続出し、神戸川左岸木村橋下流、馬木町一本松付近、古志橋下流、妙見橋付近および右岸古志橋上流付近は危険に類した。そのため、地域住民に避難命令が出されると同時に、水防団員による積土俵、杭打積土俵、張りむしろ工等の水防工法が実施され、11日、12日の再度にわたって危険を回避することに成功した。破堤寸前の状態にあった神戸川の左岸堤4カ所、右岸堤2カ所、斐伊川左岸堤1カ所の破堤が防止されたことによって、住家2,300戸、田畑1,300ha、その他の公共施設が流失を免れ、その被害防除額は合計200億円に及ぶと推定されている³⁰⁾。

このように、水防活動による洪水氾濫の未然防止の例は多いが、総じてみると近年の急速な流域と社会との変貌の中で、水防そのものに対する認識が低下していることは否めず、また水防活動自身にも種々の問題が内在することが指摘される。

表1-3-2 水防団員等の推移

区 分	水 防 団 員 数			全 人 口 (B)	A / B
	専 任	兼 任	計 (A)		
昭和					
42.1.1	26,500人	1,331,855人	1,358,355人	100,196千人	1.4%
43.1.1	23,675	1,212,482	1,236,157	101,331	1.2
44.1.1	27,300	1,219,624	1,246,924	102,536	1.2
45.1.1	29,167	1,208,580	1,237,747	103,725	1.2
46.1.1	28,539	1,195,864	1,224,403	105,014	1.2
47.1.1	19,909	1,168,916	1,188,825	107,332	1.1
48.1.1	20,709	1,146,445	1,167,154	107,630	1.1
49.1.1	21,09	1,126,987	1,148,488	109,000	1.1
50.1.1	22,279	1,177,369	1,199,648	110,049	1.1
51.1.1	20,750	1,123,624	1,144,374	111,934	1.0
52.4.1	20,875	1,089,018	1,109,893	113,225	1.0
53.4.1	20,128	1,071,434	1,091,562	114,275	1.0
54.4.1	19,930	1,087,402	1,107,332	115,286	1.0
55.4.1	20,342	1,068,764	1,089,106	116,195	0.9
56.4.1	20,787	1,062,810	1,083,597	117,009	0.9

第1の問題は、水防団員の確保が難しくなり、高齢化が進行していることである。

表1-3-2³¹⁾によれば、昭和42年に135万人を数えた水防団員が昭和56年には108万人になり、全国総人口に占める割合は昭和42年の1.4%から昭和56年の0.9%に低下した。

一方、水防団員等の年齢構成比の年次別変遷をみると表1-3-3³²⁾のとおりであって、昭和44年には30才未満が40.2%を占めていたのが昭和56年には32.8%に低下している反面、60才以上の割合は0.6%から1.0%に増加し、高齢化の傾向を如実に示している。

また、108万人の水防団員の98%にあたる106万人が兼任水防団員であって、季節的地域外勤務による長期不在や、大都市周辺における昼間不在により、現実には水防活動が不可能な団員の増加が目立ってきている。

第2の問題は、市町村の財政難により水防施設の整備が不十分であることである。水防倉庫を例にとると、昭和52年現在5,298棟を数えるが、改修の必要な河川延長、すなわち、大河川12,700Km、中小河川73,500Km、合計86,200Kmに比較すると、その設置水準は理想には程遠いといわねばならない。³³⁾

表1-3-3 水防団員等の年齢構成比

(単位：人・%)

区 分	30才未満	60才未満	60才以上	計
昭和44.1.1	(40.2) 502,373	(59.2) 737,340	(0.6) 7,211	(100) 1,246,924
45.1.1	(38.1) 472,402	(61.2) 756,931	(0.7) 8,414	(100) 1,237,747
46.1.1	(39.3) 481,292	(60.1) 736,162	(0.6) 6,949	(100) 1,224,403
47.1.1	(40.1) 476,397	(59.3) 704,843	(0.6) 7,585	(100) 1,188,825
48.1.1	(39.7) 463,804	(59.7) 696,237	(0.6) 7,113	(100) 1,167,154
49.1.1	(39.1) 448,727	(59.9) 687,829	(1.0) 11,932	(100) 1,148,488
50.1.1	(38.6) 462,916	(60.7) 727,804	(0.7) 8,928	(100) 1,199,648
51.1.1	(39.9) 456,240	(59.4) 679,502	(0.7) 8,632	(100) 1,144,374
52.4.1	(41.3) 458,741	(57.9) 642,464	(0.8) 8,688	(100) 1,109,893
53.4.1	(41.9) 457,417	(57.3) 625,483	(0.8) 8,662	(100) 1,091,562
54.4.1	(40.5) 448,581	(58.7) 649,897	(0.8) 8,854	(100) 1,107,332
55.4.1	(34.6) 376,994	(64.5) 702,530	(0.9) 9,582	(100) 1,089,106
56.4.1	(32.8) 355,298	(66.2) 717,896	(1.0) 10,403	(100) 1,083,597

第4節 総合治水対策

4-1 治水事業の制約と限界

周知のように、明治29年の河川法制定によって近代的河川行政の基礎を固めた政府は、大河川を中心に積極的に治水事業に取り組むこととなった。その後昭和7年には中小河川改修費の補助制度が創設され、補助事業による治水事業が新たに加わったのである。

昭和30年代後半のわが国経済の高度成長は治水投資の大幅な増大を可能とした。戦後の災害復旧重点時代はここに終りを告げ、昭和35年の治山治水緊急措置法の制定を期に、数次にわたって治水事業5箇年計画が策定され、積極的、かつ計画的な治水投資の時代に移った。このような治水への努力が、洪水氾濫原での産業の発展と社会経済の拡大とをもたらし、今日のわが国の発展の基礎となったことは今さら多言を要しないであろう。

しかしながら、最近の国家財政の窮迫は治水事業に大きな制約となりつつある。

整備すべき治水施設の量を河川の延長で示すと、地球2週り以上に相当する86,200Kmに及んでいる。しかも、その整備状況は比較的整備の進んでいる利根川、淀川等の大河川においても、戦後最大洪水による再度災害を防止するという当面の整備目標に対してやっと58%であり、中小河川においては時間雨量50mmに対して約18%と非常に低い水準にとどまっている。図1-4-1は、河川氾濫区域内の各種資産に対する治水粗資産の割合を示したものであるが、その比率は近年低下しており、治水投資が相対的に立ち遅れていることがわかる。⁸⁴⁾

治水安全度を戦後最大洪水を防禦するまでに高めるために必要な投資額は約50兆円という試算があるが、これは昭和57年度の治水事業費1兆2,600億円の約40倍に相当する。

水害をひきおこす自然現象として

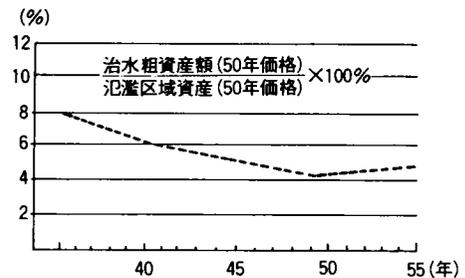


図1-4-1 氾濫区域内資産と治水粗資産額との比較

の洪水は、その規模、作用力において上限がなく、かつ未知の要素が多いのに対して、治水事業はある有限の規模や機能を持つ堤防、ダム等の治水施設を、時の財政水準や技術水準を前提に、流域社会の発展に応じ、また水害との関連における社会的要請に応じて、水害を絶対的に防止できないにしても、極力防止し、または軽減する目的を持って、段階的に整備されるものである³⁶⁾。

わが国の治水工法は、河川氾濫原の土地利用が高度化されるに従って、洪水氾濫頻度を少なくしたいという社会的要請から、それまで用いられてきた霞堤や輪中堤のような洪水を遊水させながら流下させるフレキシブルな工法から、氾濫を許さない連続堤を中心とするリジッドな工法へと変わってきた。しかし、堤防が土で築造されていることを考えると、ある一定規模以内の洪水は安全に流下させても、その規模を越え、溢水するような洪水に対しては堤防は無力に近いことを十分認識しておく必要がある。

すでに述べたように、都市部における水害は、最近の急激な人口や資産の集中によって顕在化したが、このような新しい事態に対応する諸施策は到底追いつけないのが実情である。従来であれば、居住するに当たって風水害や土砂害などを蒙らないように注意し、自らの力でそれら避ける努力がなされたのであるが、最近の住宅進出にはそのような配慮はなく、低地であっても治水安全度にかかわらず個人個人の自由意志で開発が急激に進行している。とくに、河川上流域の開発は流出量を増大させ、洪水災害を起こしやすくすることで、下流の治水安全度に大きな影響を与えている。

4-2 総合治水対策の展開

こうした背景を踏まえて、昭和51年10月、河川審議会は建設大臣からの諮問に応じて、都市化の進展と流域開発に伴う治水安全度の低下に対する施策を含む総合的な治水対策について、中間答申を提出した。

同答申によれば、総合治水対策の概念は図1-4-2³⁷⁾に示すとおりであって、大別して防禦システムと警戒避難システムとからなるものとされている。

防禦システムは2本の柱からなり、1本の柱には従来から進められてきた河道改修等の治水施設や流出量を抑制するダム、遊水地、防災調節池等

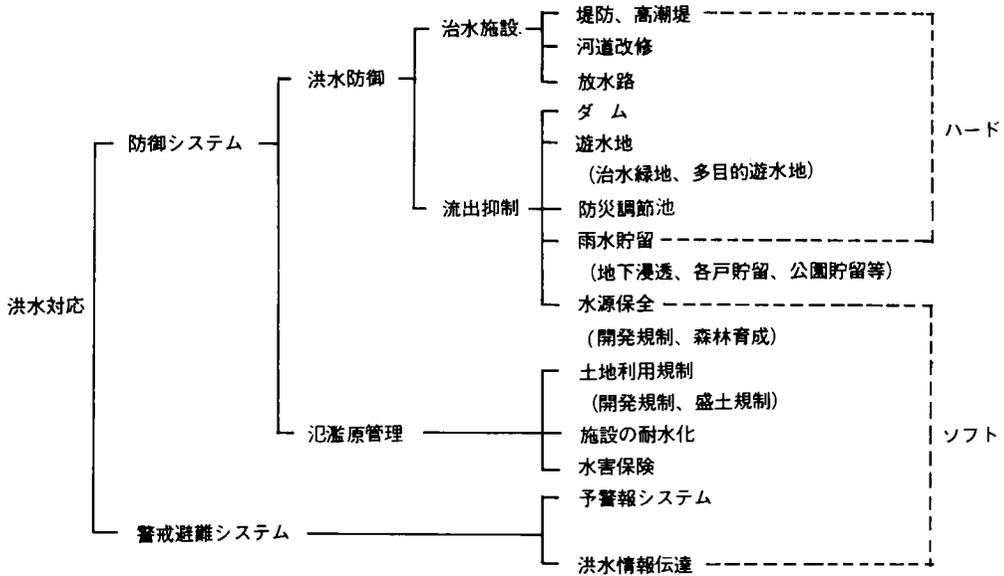


図1-4-2 総合的な治水対策システム

の施設のほかに、新たな地下浸透、各戸貯留、公園貯留等の雨水貯留と、開発規制や森林育成等の水源保全とが加わって、流域のもつ保水、貯留機能を有効に利用しようとする。

また、防禦システムのもう1本の柱は氾濫原管理で、土地利用規制、施設の耐水化および水害保険からなっていて 新しい治水対策の側面をみせている。

建設省では、この答申の趣旨を踏まえて、昭和54年度から都市化の進展の著しい河川流域を総合治水対策特定河川に指定し、当面治水施設の整備を促進するのみならず、流域の開発計画、土地利用計画等と有機的な連携・調整を図る総合的な治水対策を重点的に講じている。

総合治水対策は、当面おおむね10箇年程度で、時間雨量50mm相当(年超過確率1/5~1/10)の降雨に対する治水上の安全を確保することを目標とし、次のような諸施策を実施するものである。³⁸⁾

1. 総合治水対策特定河川に係る河川改修事業は、新たに総合治水対策

特定河川事業として、他の河川事業とは区分して積極的に推進する。

2. 当該流域に関係する地方建設局、都道府県および市町村の河川担当部局、都市、住宅、土地担当部局等の関係部局からなる流域総合治水対策協議会を設置する。
3. 流域総合治水対策協議会は、当該河川の改修事業並びに流域の適正な保水、遊水機能の維持、確保等総合治水対策の具体的施策を検討、選択し、「流域整備計画」として策定する。各担当部局はこの流域整備計画にのっとり、具体的施策を推進する。
4. 適正な土地利用の誘導と緊急時の水防、避難等の便に資する為、洪水による浸水実績を公表する。
5. 流域住民に治水上の問題について理解と協力を求める働きかけを行なう。

わが国の浸水実績図の公示に類似したものとして、アメリカやカナダで制度化されている洪水危険区域公示制度³⁹⁾がある。たとえば、カナダのセント・ジョン河の場合をみると、洪水危険区域は1973年に起きた確率1/70の洪水による浸水実績に加えて、1/20確率洪水の氾濫予想区域および1/100確率洪水による氾濫予想区域が図示され、公衆、企業、市および地方公共団体への周知徹底、政府投資の抑制などによって開発が抑制される。仮に開発する場合には危険度に応じた洪水防禦手段、もしくは被害軽減手段を講ずることが義務づけられており、万一被害を受けても災害救助による各種恩典は与えられない制度となっている。

しかし、これらの国々のように広大な国土を持ち、わざわざ氾濫原を開発する必要に乏しいところでは、このような洪水被害の軽減計画が成り立つかも知れないが、わが国のように狭い国土に多くの人口をかかえ、土地の利用開発が非常に高度なところでは、危険なところには住まないという施策はとても無理であろう。

この意味で、危険な地域を安全な地域に変化させて土地利用の高度化を図るという従来の手段は、今後とも強く進めなければならない。

しかしながら、洪水危険区域を図示し一般公衆に周知させることは①洪水危険区域の開発が抑制され、もしくは開発が行われたとしてもその危険度に対応した防災対策がとられること ②自分達の居住場所が治水上どのような安全度に位置するかを知ることができるので、災害に対して自ら備えるという態勢がとられること ③洪水危険区域の治水上の機能を明らかにすることにより、国土利用計画法、都市計画法、建築基準法などの諸法律が、治水という防災的側面から適正に施行されるようになることなどの諸点から考えて、有効な施策たり得るであろう。ただ、浸水実績のみに頼る洪水危険区域の公示は、各河川で浸水実績の生起確率がまちまちであることや、浸水実績が現状に即していない地域が存在することから、決して満足すべきものとはいえない。

総合的な治水対策のもうひとつの大きな柱である警戒避難システムは、洪水予警報システムと洪水情報システムとからなっている。

洪水予警報システムは、コンピュータの発達を背景に、とくに大河川を中心に技術開発が進められ、大きな成果をみせてはいるが、関連技術の進歩に対応してさらに秀れたシステムへの改良が望まれる。

一般住民に洪水の情報を短時間のうちに的確に伝達するための情報伝達システムは、変貌する流域社会の中で、しかも洪水に対する関心が低い一般住民を対象とするなど多くの困難を抱えている。その重要性にかんがみ早急な対策が望まれるところである。

4-3 総合治水対策と氾濫解析

総合治水対策のひとつの特徴は、洪水氾濫が起こり得るものと想定したうえで、その被害を極力軽減すべく、警戒避難システムや、氾濫原管理等種々の施策を多面的に講じようとしている点にある。

それゆえ、その前提として洪水氾濫に関する詳細な情報が整っていないならばならない。

氾濫原管理や警戒避難システムを具体化するための情報は、土地利用形態や地形に変化が加えられたり、河川改修が進捗した場合にその事実を十

分反映し得るもので、かつ、洪水の規模に対応した洪水氾濫区域を正確に推定でき、そのうえ、氾濫水の挙動を、流速、流向、湛水深の時間的変化として把握できるものであることが望ましい。

従来広く用いられてきた一次元の不等流や不定流に基礎をおく洪水の氾濫計算では、このような詳細な情報を入手することはできない。ここに、本研究の主題である氾濫水を二次元流れとしてとらえ、不定流の基礎方程式を直接積分する新しい氾濫解析法の意義が存在すると考えられる。

第5節 地域避難システムの意義

5-1 緊急時対応システムの必要性

洪水の氾濫が予想されるような緊急時に対応するためには、事前に十分検討を加えた特別のシステムを用意しておかなければならない。このようなシステムを緊急時対応システムと呼ぶことにすると、このシステムは洪水予警報システム、洪水情報伝達システム、水防システムおよび避難システムによって構成される。

本節の主題は最後の避難システムであるが、ここでその他のシステムについて簡単にふれておこう。

わが国の洪水予報は、昭和22年9月のカスリン台風による利根川の氾濫を契機として開始された。しかし、洪水予報が法律上制度化されたのは昭和30年の水防法改正以後のことで、洪水によって国民経済上重大な損害を生ずるおそれのある河川について、気象庁と建設省とが共同して洪水予報を行うこととなった。最近のめざましい洪水予報技術と通信・観測機器の発達と観測網の広がりの中で洪水予報は着実に発展し、現在17水系28河川で洪水の予報が実施されている⁴⁰⁾。

「ひまわり」等の気象衛星の出現は、広域的ではあるが防災に対して有力な情報を提供するようになってきた。また、最近、利根川、淀川等に導入されたレーダー雨量計システムは、従来の雨量観測所とは別の次元において、洪水予警報を実施する上で必要な降雨情報を与えるものである。

洪水情報伝達システムは、有線、無線通信機器の発達と普及により大きな発達を遂げ、関係行政機関相互の連絡は円滑に行われるようになったが、関係行政機関から一般住民への伝達の面では問題が残されているようである。

水害経験を持たない住民が増加するなかで短時間で正確な洪水情報を伝達するのは容易ではない。情報伝達手段としてはラジオ、テレビ等のマスメディアを利用する方法や広報車によるマイク放送や有線放送等があるが地域の特性に合わせて有効に機能するようにすべきである。

最後に水防システムについてであるが、水防とは、洪水時の堤防、樋門等の巡視、警戒を通じて、危険箇所の早期発見に努め、破堤、氾濫の未然防止を図る活動を指す。

興味深いものとして、昭和52年9月、淀川工事事務所の指導と淀川流域内に事業所を置く建設業者の協力により組織された「淀川中流協力会」および「淀川上流協力会」がある。これらの組織は洪水時に水防管理者から要請があれば、会員の保有する建設機械と労務者を動員して、水防団、消防団の水防活動を支援することとなっている。さらに、淀川では、万一の破堤を想定した上で、避難計画の基礎的検討を行うほか、復旧計画についても図上検討を行い、復旧工法、復旧に必要な機械、資材、人員とその輸送計画、資材備蓄計画、工程計画等について検討を実施しており、従来の水防の概念を打破する新しい水防システムの構築を模索している。⁴¹⁾

5-2 地域避難システムの意義

洪水氾濫による被害は、公共土木施設、一般資産等に対する直接被害から、計量化されない人命の損失、負傷、精神的苦痛や社会的混乱等まで多岐にわたるが、洪水被害軽減策としても最も優先すべきものは人命の損失を防ぐための地域避難システムの構成である。

従来から、洪水避難の重要性、有効性は認識されているものの、洪水氾濫解析手法が確立されていないことから避難計画策定の前提となる洪水氾濫水の挙動の予測が困難であり、その結果として避難計画に不備がみられ

る場合がある。

地域避難計画は、当然ながら一般住民を対象とすることになるが、その協力を得るためには地域避難計画は十分に説得力のあるものでなければならない。したがって、地域避難計画は単なる避難命令の発令と避難施設の指定とでこと足りるものではなく、その策定に当たっては、洪水氾濫の予測、洪水情報の伝達、避難対象者、避難命令、避難誘導、支援組織、避難経路、避難施設、防災啓蒙活動等の要素の分析と評価とを行い、それらの要素を総合しなければならず、そのためにはシステム工学的アプローチが必要とされよう。

参 考 文 献

- 1) 建設省：日本の河川，1978，p.2。
- 2) 建設省河川局監修：わが国の河川外国の河川，1980，p.3。
- 3) 紫原孝太郎：水利河川学，水利科学研究所，1962,p.6。
- 4) 前掲3),p.4。
- 5) 西原巧：洪水予報，全日本建設技術協会，1976，p.154。
- 6) 藤村重任：水資源総論，水利科学研究所，1967，p.4。
- 7) 前掲1)，p.5。
- 8) 前掲2)，p.9。
- 9) 前掲2)，p.8。
- 10) 前掲1)，p.8。
- 11) 建設省：流量年表，1961,p.105。
- 12) 前掲3)，p.11。
- 13) 前掲1)，p.10。
- 14) 前掲2)，p.2。
- 15) 小林好寛：訴訟事例における管理責任，河川，№418，1981，p.25。
- 16) 建設省：国土建設の現況，1982，p.260。
- 17) 加藤昭：都市河川の治水計画とその問題点，河川，№389，1978，p.32。
- 18) 建設省関東地方建設局京浜工事事務所：鶴見川水防災計画（中間報告）の概要 - 1 - ，河川，№377，1977，p.24。
- 19) 前掲18)，p.25。
- 20) 前掲18)，p.24。
- 21) 建設省河川局：日本河川と治水事業，1982，p.25。
- 22) 斎藤尚久：流域の変化と治水対策，水工学「水災害の予測と対策」，土木学会関西支部，1981，p.41。
- 23) 前掲22)，p.43。
- 24) 前掲22)，p.31。

- 25) 前掲 22), p. 31。
- 26) 前掲 22), p. 34。
- 27) 建設省河川局：21世紀の河川 — 望ましい河川像をめざして — p.17。
- 28) 井上淳昭：森田米郎：実務者のための水防技術ハンドブック，1980, p. 218。
- 29) 狩野昇：薄らぐ水防意識と体制の現状，河川レビュー，№ 17，1976，
p. 77。
- 30) 前掲 29), p.77。
- 31) 建設省河川局治水課：水防のしおり，1982，p.5。
- 32) 前掲 31), p.6。
- 33) 前掲 28), p.185。
- 34) 建設省：国土建設の現状，1982，pp. 260 - 261。
- 35) 前掲 21), p.18。
- 36) 井上章平：河川改修の計画と実施及び堤防について — 長良川水害訴訟
陳述書 — ，河川，№ 428，1982，p.21。
- 37) 前掲 22), p. 36。
- 38) 前掲 22), p. 37。
- 39) 西原巧，定道成美，貞包秀浩：北米河川における洪水被害軽減計画とわ
が国への適用について，河川，№ 359，1976，pp. 5-9。
- 40) 前掲 28), pp. 205-206。
- 41) 建設省近畿地方建設局淀川工事事務所：淀川水防対策シリーズ，第1巻
1978。

第2章 洪水氾濫の水理解析

第1節 概 説

本章は洪水氾濫の流下過程を追跡する新しい数値解析法について述べたものである。本章ではまず氾濫解析の必要性について述べるとともに、わが国の一級河川の建設省直轄管理区間において戦後に生起した氾濫事例調査の結果に基づいて、わが国の洪水氾濫の実態について述べる。ついで、河道と堤内地が明確に分離されている河川（連続堤河川）と比較的狭い川幅と低い堤防しか持たない河川（不連続堤河川）を対象とした氾濫解析法の基礎式とその数値モデルを導くとともに、数値解析を行うにあたっての境界条件などの決定法について述べる。また、氾濫水の挙動に大きな影響を及ぼすと考えられる支川の堤防や堤内地の盛土など線状構造物のための数値モデル、ならびに排水用の小河川のための数値モデルを導くことにする。

本章で述べる数値解析法によると、流域の微細地形構造や堤防、盛土、排水路といった地形条件を考慮した解析が可能であり、しかも氾濫水を二次元平面流れとして取り扱っているために、堤内地の各地点での流向、流速、湛水深などを時間的に追跡することができる。したがって、氾濫水の複雑な挙動を明らかにすることはもとより、氾濫被害を軽減するための種々の施策を計画する際の有力な手法になりうるものと考えられる。

なお、ここで述べる数値解析法は、京都大学工学部岩佐義朗教授の指導のもと、京都大学工学部と建設省とが共同で実施した洪水氾濫水理に関する研究の成果の一部であることを付記しておく。

第2節 氾濫解析法の必要性

2-1 洪水計算法の発展

河川改修計画のうえで、もっとも重要な河道の設計 — 疎通能力の検討 — に際して、19世紀以降、第二次大戦前後にいたるまで、主として用いられてきた水理学的アプローチは、Chézy、Manning 等の公式による一次

元の等流計算¹⁾であった。もちろん、流れの場所的な変化を考慮に入れるための不等流計算は、すでに1860年代に可能となっていたが、一様断面一幅の広い長方形¹⁾に対して前もって計算された係数を利用する背水計算²⁾が主体であって、現地河川におけるような不規則に変化する断面に対する逐次計算³⁾が広く行われるようになったのは、1950年代以降のことのようである。

場所的な変化に加えて流れの時間的な変化を考慮するためには、不定流としての取り扱いが必要となる。しかし、数学的には非線型の双曲形微分方程式で表現される不定流⁴⁾を現地河川に応用することは、電子計算機が未発達であった時代においては不可能であって、目的や対象に応じていくつかの項を省略し、単純化した擬似不定流的な取り扱い⁵⁾が行われたに過ぎなかった。段波やサージタンク系の流れなど不定流として扱うべきものは存在していたが、工学目的のうえからは模型実験が用いられ、計算はそれらの流れに卓越する性質を定性的に示すのに使われるに留まったのである。

これと別系統の試みとして第二次大戦後よく用いられたものに、連続式を基礎にして河道内の貯留水量と河道の流量とを関係づける洪水追跡法がある。その代表的なものはMuskingum⁶⁾法であるが、これに非線型性を加味したものは貯留法⁷⁾の名のもとに降雨による流出量の推定に広く用いられており、その数学的な取り扱いの容易さから、あまり急激な流量変化を伴わない洪水の河道内での追跡計算にも利用されている⁸⁾。

2-2 新計算法開発への要請

不定流の基礎方程式の忠実な積分が行われなかったのはそれが不可能であったことによるが、一面では河川改修その他の河川行政の場において、必ずしもそれを必要としなかったからでもあった。しかし、昭和40年代に入ると事情は変化した。数次にわたる治水5ヶ年計画の実施によって、数多くの多目的ダムや河口堰が建設されるようになり、それらの施設の操作に伴う水理現象を詳細に検討する必要が出てきたからである。河川上流部の支川に数箇所の洪水調節ダムを設置し、それらの総合的な操作によっ

て本川下流部の洪水ピークのカットを計画する場合には、各支川の洪水の合流時差等を正確につかむ必要がある。また、上流部ダムの複雑な操作が下流合流点付近で望ましくない水理現象を惹起するかもしれない。著者らは特性曲線法⁹⁾を利用して、淀川水系天ヶ瀬ダムの鍋底カット¹⁰⁾によって起こされる背水の検討を行ったことがある¹¹⁾。

このように、河川行政上の必要から新しい計算法の開発が期待され、加速されることが多いが、現在その開発がもっとも急がれているのは、河川の洪水氾濫に対する計算法の確立であると思われる。

一部の国々においてすでに法制化され¹²⁾、わが国においても研究¹³⁾が行われている洪水危険区域の公示制度は、氾濫した洪水の挙動を正確に推定する技術手段を前提としている。改修工事によって河状が激変している河川においては、過去の氾濫経験から危険区域を決定することは不可能に近い。国民の52%が広い意味での洪水氾濫区域に居住するというわが国の特性¹⁴⁾を考えると、このような場合に利用できる計算法の確立はきわめて重要であるといわねばならない。

治水事業に対しては不断の努力が払われているが、その進捗率は大河川の戦後最大洪水に対する対策のみについてみても60%を下回る現状にある¹⁵⁾。とすれば、河川によって堤防が決壊し、破堤の憂き目に逢うことも予想しておかねばならない。このことは計画どおりの改修が完了している河川においても、頻度こそ改修途中の河川より小さいが、十分起こり得ることである¹⁶⁾。このような場合の避難の仕方、避難経路および避難先の選定等に際して、あるいは、不幸にして被災した後の復旧工事の計画立案に際しても、洪水氾濫に関する十分な情報が必要とされる。また、無堤部の多い河川 — これは開発途上国はもちろんのこと先進国においてもしばしばみられるが — における氾濫解析も今後機会が多くなるとみてよいであろう。

以上述べた河川行政の直面する課題から考えて、洪水氾濫に対する計算法の確立こそ目下の急務であると結論せざるを得ないのである。

第3節 わが国の洪水氾濫の実態

わが国の一級河川の建設省直轄管理区間において、1945年から1981年までの37年間に生じた破堤による氾濫事例のうち、水理諸量に関する記録が整っている表2-3-1に示す186件の事例について整理し、概括的にわが国の洪水氾濫の実態をみることにする。

概括的にいうと、この期間内において氾濫が生じた河川は45河川であり、一級河川直轄管理区間のどこかにおいて、1年間に1.2河川以上で氾濫が生起している。氾濫の起因となった洪水数は33であり、1.1年に1回と、ほぼ毎年どこかで破堤を伴う洪水が生起している。

表2-3-1 氾濫事例調査の概要

対象河川	全国一級河川	対象区間	国直轄管理区間																								
氾濫事例のある河川	石狩川、尻別川、北上川、岩木川、米代川、子吉川、最上川、利根川、常陸利根川、鬼怒川、小貝川、荒川、多摩川、富士川、渡良瀬川、狩野川、天竜川、豊川、木曾川、長良川、揖斐川、鈴鹿川、黒部川、淀川、由良川、九頭竜川、揖保川、日野川、天神川、高梁川、小瀬川、斐伊川、江の川、渡川、仁淀川、遠賀川、大分川、五ヶ瀬川、大淀川、川内川、白川、菊地川、矢部川、筑後川、本明川 (以上45河川)																										
氾濫が生じた年月	1945'9、1947'7、1947'9、1948'7、1948'9、1949'9、1950'8、1951'10、1953'6、1953'9、1954'9、1958'9、1959'8、1959'9、1961'6、1962'7、1963'8、1965'7、1967'8、1969'6、1969'8、1972'7、1974'7、1974'9、1975'8、1976'6、1976'9、1979'6、1980'4、1980'7、1980'8、1981'8、1981'10 (以上33洪水)																										
氾濫事例の総件数(186)	既往最大の洪水 101 有効サンプル 182	計画高水規模を上回る洪水 104 有効サンプル 179																									
1945年以降の著名な大規模氾濫の例	<ul style="list-style-type: none"> ・カスリーン台風 (1947年) : 利根川、荒川、渡良瀬川 ・北九州災害 (1953年) : 筑後川、矢部川 ・台風テス (1953年) : 淀川、由良川、九頭竜川 ・狩野川台風 (1958年) : 狩野川 ・伊勢湾台風 (1959年) : 木曾川 																										
1960年以降の比較的大規模氾濫域50ha以上の氾濫例	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">1961年 天竜川、</td> <td style="width: 25%;">1963年 渡川、</td> <td style="width: 25%;">1967年 最上川、</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td>1969年 黒部川、</td> <td>1969年 豊川、</td> <td>1972年 江の川、</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1972年 子吉川、</td> <td>1972年 米代川、</td> <td>1972年 高梁川、</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1972年 岩木川、</td> <td>1974年 鈴鹿川、</td> <td>1975年 最上川、</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1975年 石狩川、</td> <td>1976年 川内川、</td> <td>1976年 長良川、</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1980年 筑後川、</td> <td>1981年 石狩川、</td> <td>1981年 小貝川、</td> <td></td> </tr> </table>			1961年 天竜川、	1963年 渡川、	1967年 最上川、		1969年 黒部川、	1969年 豊川、	1972年 江の川、		1972年 子吉川、	1972年 米代川、	1972年 高梁川、		1972年 岩木川、	1974年 鈴鹿川、	1975年 最上川、		1975年 石狩川、	1976年 川内川、	1976年 長良川、		1980年 筑後川、	1981年 石狩川、	1981年 小貝川、	
1961年 天竜川、	1963年 渡川、	1967年 最上川、																									
1969年 黒部川、	1969年 豊川、	1972年 江の川、																									
1972年 子吉川、	1972年 米代川、	1972年 高梁川、																									
1972年 岩木川、	1974年 鈴鹿川、	1975年 最上川、																									
1975年 石狩川、	1976年 川内川、	1976年 長良川、																									
1980年 筑後川、	1981年 石狩川、	1981年 小貝川、																									

* 資料期間：1945年以降

氾濫の原因となった洪水の半数以上が非常に大規模なものであった。すなわち、氾濫時点において記録上既往最大のもの101（有効サンプル数182）、計画高水規模を超えたもの104（同179）である。

氾濫面積についてみると、10,000 haを超える破堤による大規模氾濫は、1947年の利根川の49,000 ha、1953年の筑後川の85,000 haと矢部川の17,200 ha、および1959年の木曾川の31,000 haの4例である。1960年以後は10,000 ha以上の破堤による氾濫の事例がみられない。1960年以降においては、氾濫面積が比較的大きい（50 ha以上）事例は17河川で生じており、その中での最大規模の事例は1975年の石狩川の氾濫（3,800 ha）である。

図2-3-1は、氾濫面積からみた氾濫事例の累加百分率を37年間の全数と1960年以降の事例とについて図示したものである。これをみると1960年以降では大規模な氾濫は減っており、平均値 \bar{A} も全数の場合の約1/6となっている。しかし、これは1959年以前に前述した非常に大規模な数例の氾濫があったためであり、構成比率50%における氾濫面積 A_{50} については両者がほぼ等しいから、洪水氾濫全体が小規模になっているのではない。最近では大規模な一級河川が氾濫して大平野全体が水没するような大氾濫は生起していないが、中規模程度の氾濫は依然として発生しているのである。

氾濫の平均水深についてみると、累加百分率は図2-3-2のとおりである。構成比率50%の水深 H_{50} と平均水深 \bar{H} はいずれも約2 mである。また、平均水深の大きさは、氾濫面積の比較的小さい1975年の仁淀川の例（6.72 m）を除けば、大きいもので4 m程度である。

氾濫水の最大流下距離を図2-3-3に示すが、全数についてみると10 km以下が84%、1960年以降では5 km未満が89%を占めている。このうちの最大のもの1947年の利根川の57 kmであるが、これを除くと大きいものでも20 km以下である。

最大湛水深についてみると、図2-3-4にみられるように6 m以下が大部分を占める。

氾濫水の挙動に着目して氾濫形態を分類すると、流下型氾濫、貯留型氾濫、

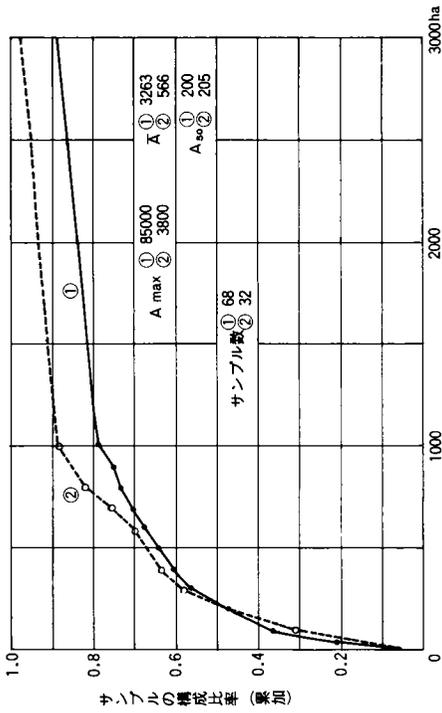


図2-3-1 氾濫面積

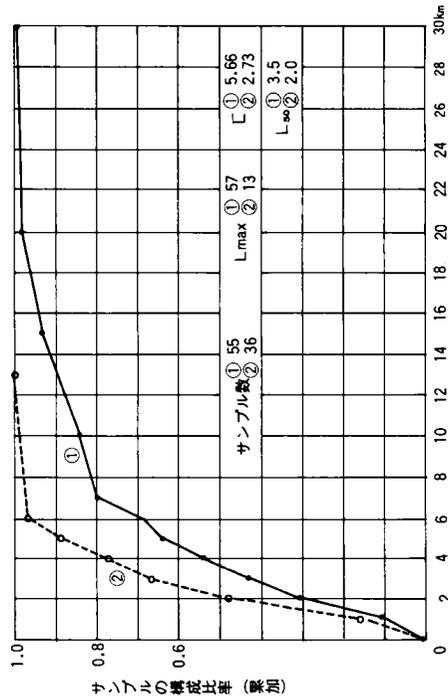


図2-3-3 氾濫水の最大流下距離

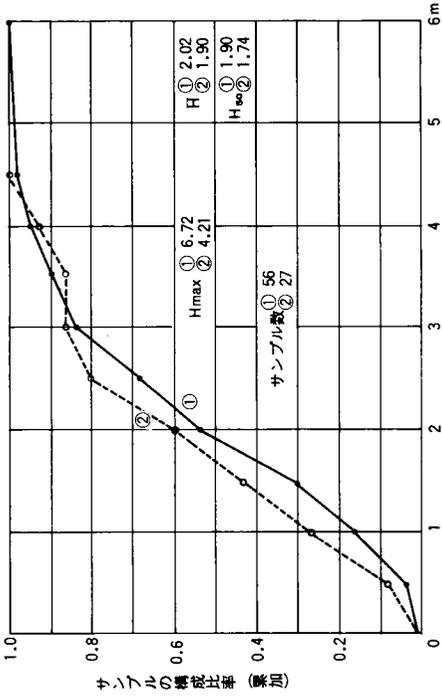
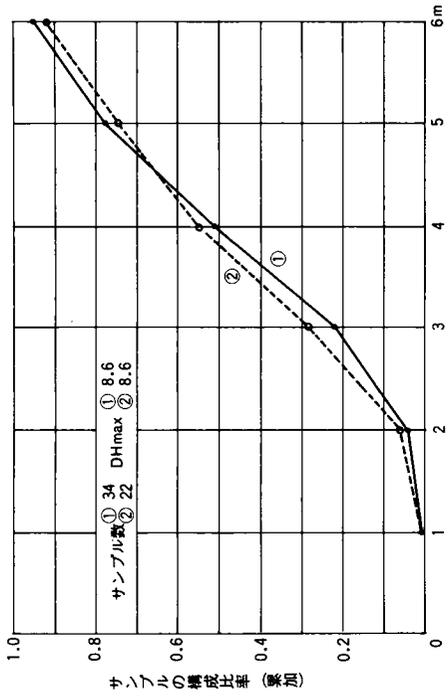


図2-3-2 氾濫の平均水深



ここに①は、1945年以降の全サンプル ②は、1960年以降のサンプル
A(H, L, DH)maxは、最大値 $\bar{A}(H, L)$ は、平均値 A(H, L)₉₀は、50%値

図2-3-4 氾濫水の最大湛水深

および拡散型氾濫の3形態に集約される。流下型氾濫は、勾配のある氾濫原を一定の方向へ流下していくタイプであって、流末は海或いは下流河道へ流入する。貯留型氾濫は、氾濫原の下流側が閉塞していることなどによって、氾濫水が低地部から高標高地帯へ向かって遡上拡大していき、河川水位が低下すれば氾濫水は戻ってきて、決壊口から河道へ復帰していくタイプである。拡散型氾濫は、傾斜の少ない平原を起伏に沿って多方向へ拡っていくタイプであるが、氾濫水は決壊口へは戻って来ない。実際の洪水氾濫は地形によって上記3タイプが混合した複雑な挙動を示す場合が多い。

これらの3タイプの代表的事例をそれぞれ1～2例抽出して、氾濫水の時間的挙動、或いは氾濫水の拡がりの方向等を示すことにする。取上げた事例は次のとおりである。

- 流下型氾濫 ・ 1947年 カスリン台風起因する利根川の氾濫
- 貯留型氾濫 ・ 1959年 伊勢湾台風起因する揖斐川の氾濫
- ・ 1976年 台風17号起因する長良川の氾濫
- 拡散型氾濫 ・ 1981年 台風15号起因する小貝川の氾濫

1947年9月16日のカスリン台風による利根川の氾濫は、勾配の緩やかな氾濫原を拡大・縮流・停滞・減速・加速をおりませながら延々57Kmを流下した史上稀にみる大規模な流下型氾濫である。¹⁷⁾

16日0時20分頃生じた東村堤防の破堤による氾濫水は図2-3-5に示すように拡がり始めた。いったん扇形に広がった氾濫水は地形に従って南下し、11時頃には幸手町松石あたりで古利根川の流路に沿って合流する。一方、庄内古川に流入した氾濫水は上宇和田で左右岸堤を破り、右岸の氾濫水は古利根川沿いの氾濫水と合流する。庄内古川左岸の氾濫水は庄内古川と江戸川との間の低地を南下する。春日部～金杉村間は丘陵が接する狭窄部であり、横断地物の少ない地形でもあるため流速を増し、5Kmを6時間で流下している。庄内古川右岸は、古利根川と元荒川とが合流しているなど変化に富んだ地形であるため氾濫水の停滞がみられ、吉川対岸あたりでは左岸沿い氾濫水より約1日遅れて到達している。流速の大きい庄内古川左岸地域の氾

溢水の先端は、18日5時には早稲田村、正午には桜堤に達して湛水し始め、
 20時には桜堤の一部を決壊させ、19日2時には堤を突破して同日9時に
 新宿町に到達している。氾濫水はさらに中川の堤防2箇所を破り、20日
 3時に西小松川町に到達する。このように、東村で氾濫した洪水は利根川旧

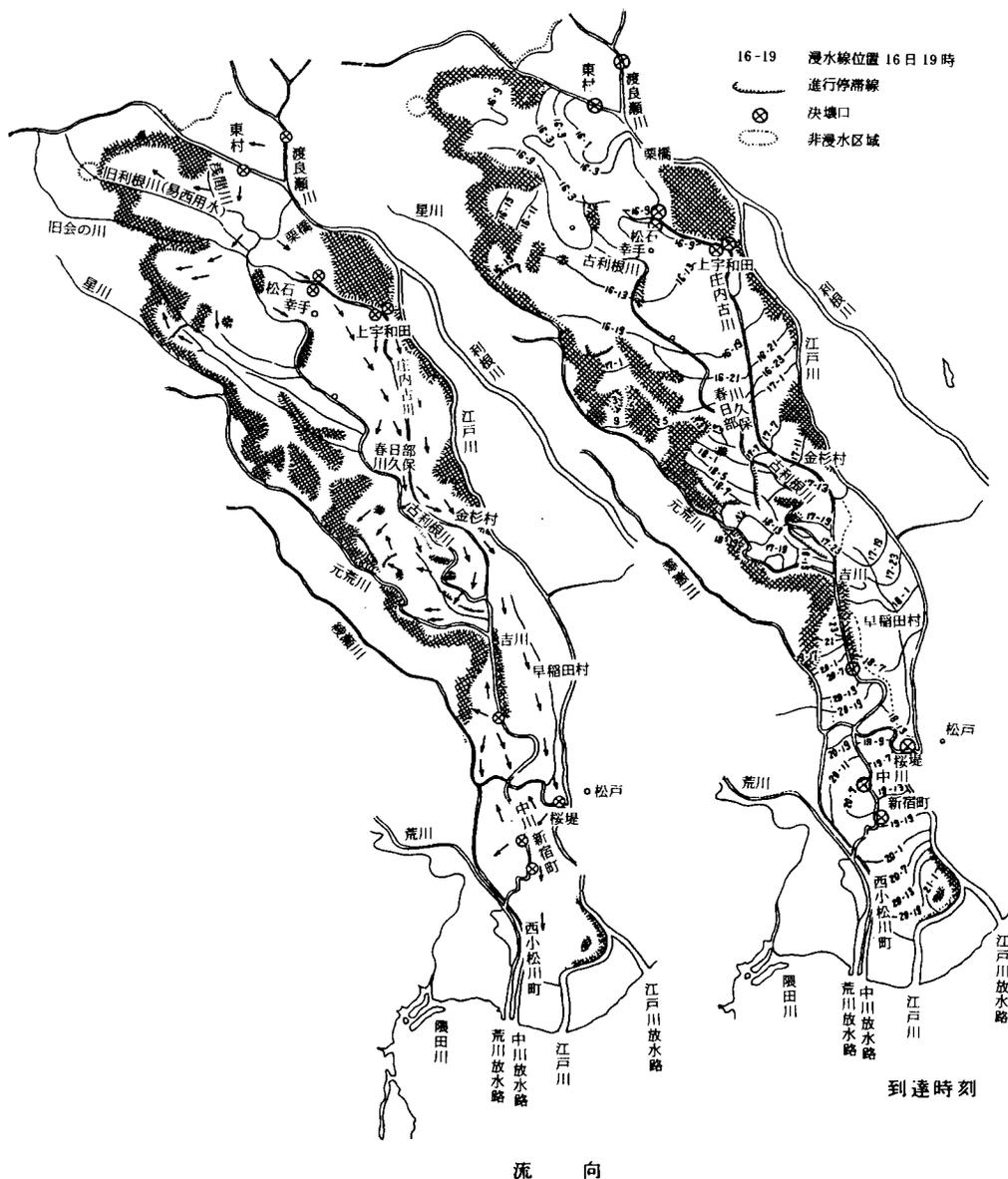


図 2-3-5 1947.9.16 カスリーン台風による利根川・東村堤防決壊時の氾濫流の到達時刻と流向

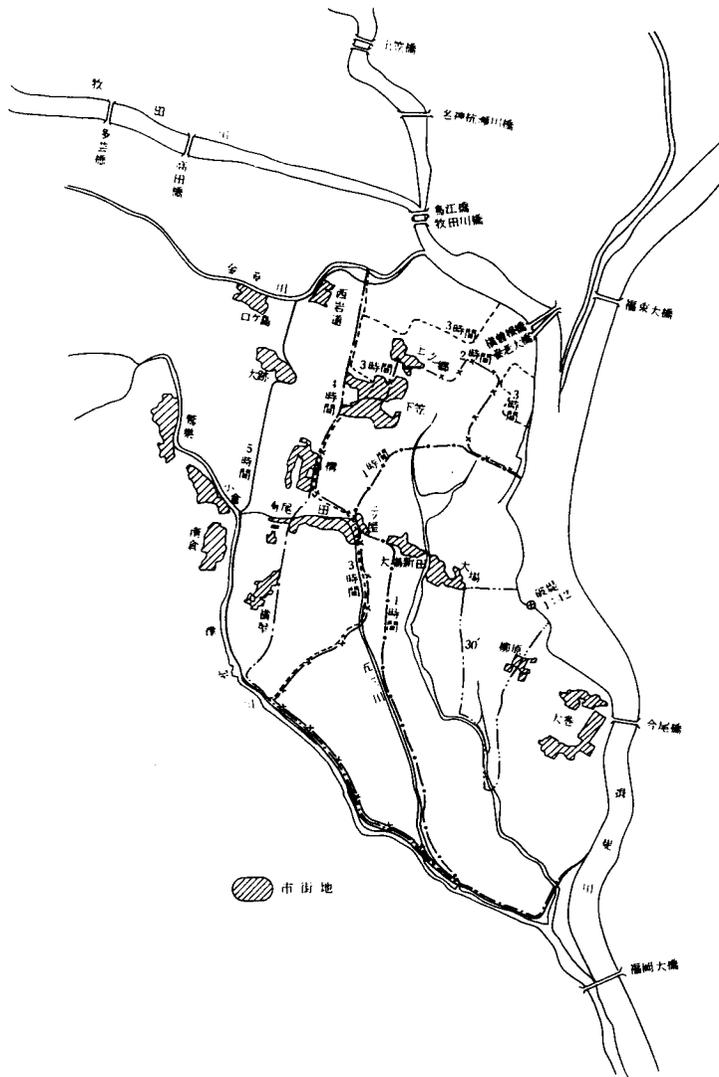


図 2 - 3 - 7 1959.9.27 台風 15 号による揖斐川・多芸輪中
決壊時の氾濫流の流向と到達時間

西部地域に浸入した。図からわかるように、西部地域に到達するのに約 5 時間を要している。氾濫面積は約 2,320 ha であった。

1976 年 9 月 12 日の台風 17 号による長良川・安八町での氾濫は、図 2 - 3 - 8 に示すとおり、4 本の堤防で締められた比較的傾斜の小さい平野地帯¹⁹⁾で生じた典型的な貯留型氾濫である。旧輪中堤に沿って拡がっていく様子や、低地帯への拡がり極めて短時間で達成される様子が明瞭に読みとれる。

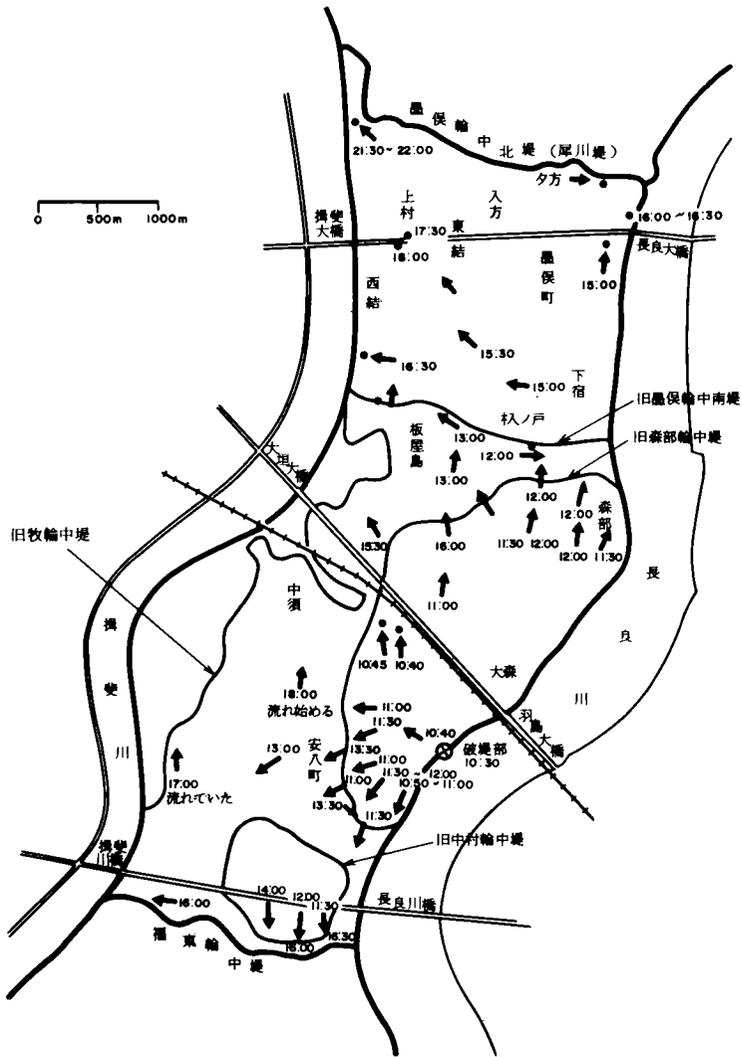


図 2 - 3 - 8 1976.9.12 台風 17 号による長良川・安八町
堤防決壊時の氾濫流の流向と到達時刻

氾濫水の平均速度は毎時 0.5 Km、最大到達距離は 5.4 Km、氾濫面積は 1,400 ha であった。

1981 年 8 月 24 日の台風 15 号による小貝川・高須町での氾濫は、ほとんど傾斜していない平地で生じた拡散型氾濫の事例である。起伏の少ない地形²⁰⁾であるため、氾濫水の先端が比較的なめらかな形状で拡がっている(図 2 - 3 - 9)。速度も緩慢であり、3 Km を流下するのに約 20 時間を要して、

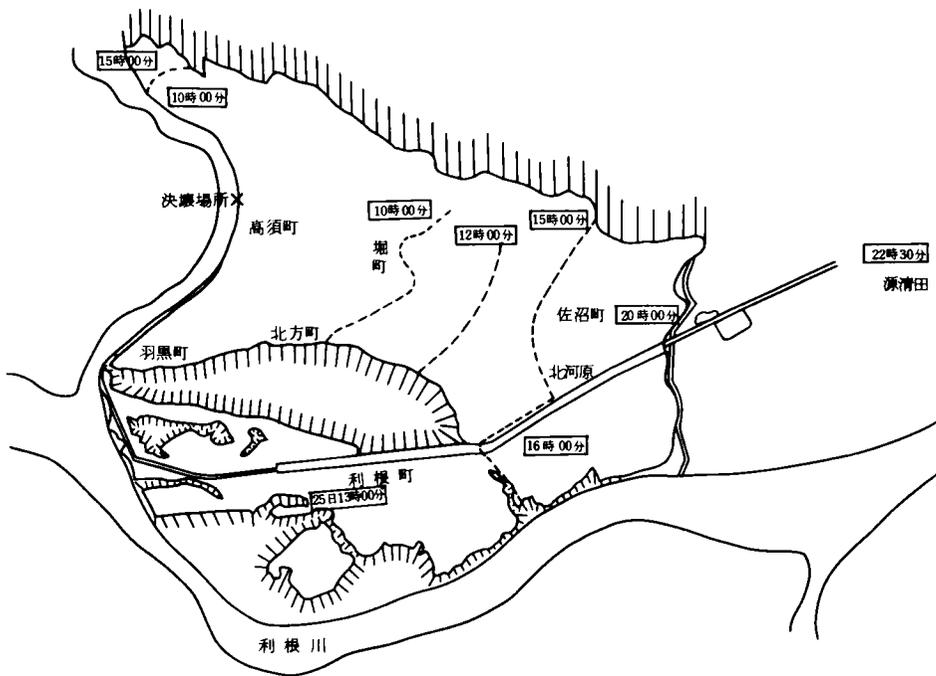


図 2 - 3 - 9 1981.8.24 台風15号による小貝川・高須堤防決壊時の氾濫流の到達時刻

氾濫水は下流河道へ流入した。なお、氾濫面積は3,300 haであった。

以上、4箇の氾濫事例について説明を試みた。前述したように、これらの形態は基本的には流下型、貯留型および拡散型の3タイプに分類できるとしても、実際の氾濫においては、氾濫水の所在する場所の地形や氾濫の時間経過に応じて、ひとつのタイプから他のタイプに変化することが示されているといえよう。したがって、洪水氾濫の解析には、貯留型に対応する水平湛水モデルや、本来河道での一方向の流れの追跡に用いられる一次元等流モデルや一次元不定流モデルでは不十分であって、氾濫水の空間的な移動や時間的な変化を表現することが可能な多次元モデルが必要である。しかし、過去の氾濫記録による限り、氾濫水の鉛直方向の運動は水平方向のそれに比較して無視できると考えられるので、三次元モデルは必要とはしないであろう。

第4節 氾濫水の数値解析法

洪水の氾濫は河道内を流下する水量が河道の容量を超過することにより、河岸もしくは堤防からの越流が起こるか、堤防自身が破壊されることによって発生する。堤内地（氾濫区域）を流れる氾濫水の流量、流速、水深等は堤内側の土地の高低や傾斜などの地形条件に加えて、河道内を流下する洪水の大きさやハイドログラフの形状などによって決まってくるから、洪水氾濫の解析は河道内と氾濫区域との両方について行われねばならない。

通常の洪水に対して十分な河幅と高い堤防とを備え、河道と氾濫区域とが明瞭に分離されている河川（連続堤河川）においては、解析法は、

- イ) 河道内の洪水のモデル
- ロ) 堤内地の氾濫水のモデル
- ハ) 前二者を連結するモデル

の三つから構成される。

これに反して、比較的狭い河幅と低い堤防（これを欠く場合もある）しか持たない河川（不連続堤河川）においては、河道内の洪水に対して特別のモデルを用意しなくても氾濫区域に対するモデルのみで十分な場合があるであろう。

連続堤河川に対する従来の解析法では、河道内の洪水モデルとしては破堤点直上流のハイドログラフや不等流を基本としたモデルを用い、堤内地の氾濫水のモデルとしては氾濫区域を一つの貯水池と考え、水平貯留を仮定して連続式のみから湛水位を求め²¹⁾るもの、あるいは氾濫区域を数個のブロックに分割し、各ブロック内では水平貯留の仮定が成立するものとして、連続式と簡略化された運動方程式とから水位と流量を求め²²⁾るものがあった。

このような解析法では、勾配が緩やかで付近に合流点があるような河川に対しては、河道内での洪水の挙動—とくに背水の影響など—を明らかにすることは不可能であり、堤内地の洪水氾濫については堤防その他で囲繞された地域以外に対しては適用できず、適用可能な地域であっても、そこでの地形等の変化—地面の流水抵抗、小堤防、道路、排水路などの存在—が氾濫水に

与える影響を把握することは不可能であった。

前述した洪水氾濫解析の目的を考えると、このような解析法では十分であるとはいえないであろう。

ここに述べる新しい解析法では、河道内の洪水および堤内地の氾濫水に対するモデルとして、ともに不定流の基礎方程式を使用し、図 2-4-1 に示す解析フローにしたがって計算を行うことにする。²³⁾ 既改修河川(連続堤河川)²⁴⁾ に対しては河道内では一次元流れに対する基礎方程式を用い、氾濫域においては二次元流れの基礎方程式を用いる。²⁵⁾⁻²⁸⁾ 両者を連続するモデルは越流公式^{29),30)} である。また、河川上流部の未改修区間(不連続堤河川)に対しては直接二次元流れの基礎方程式の適用を試みる。^{31),32)}

4-1 河道における洪水の数値モデル

河道の洪水計算では、流れを一次元的とみなし、一次元解析法による基礎式を特性曲線による表示に改めた後、特性曲線の方に沿った差分式を導き、これを直接数値積分することによって解析を行う。特性曲線法を用いる理由は、特性曲線が dynamic wave の伝播という流れの水理学的特徴をもっともよく表現できるためであり、しかも、数値計算にあたって境界条件の組み込み方法などに、水理学的にみて適切な指針を与えることができるからである。

河道における洪水の基礎式として、次の 2 式を用いる。

$$\text{連続式: } \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{エネルギー式: } \frac{\beta}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \lambda \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\alpha v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} = s_0 - s_f \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

ここに、 A : 流水断面積、 Q : 流量、 q : 単位長さあたりの横流入量、 $v = Q/A$: 平均流速、 $s_0 = \sin \theta$: 水路底勾配、 s_f : 摩擦勾配で、抵抗則として Manning 公式を用いるとき $s_f = n^2 v^2 / R^{4/3}$ (n : 粗度係数、 R : 径深)、 h : 水深、 α : エネルギー係数、 β : 運動量係数、 λ : 圧力分布係数、 x : 距離、 t : 時間である。

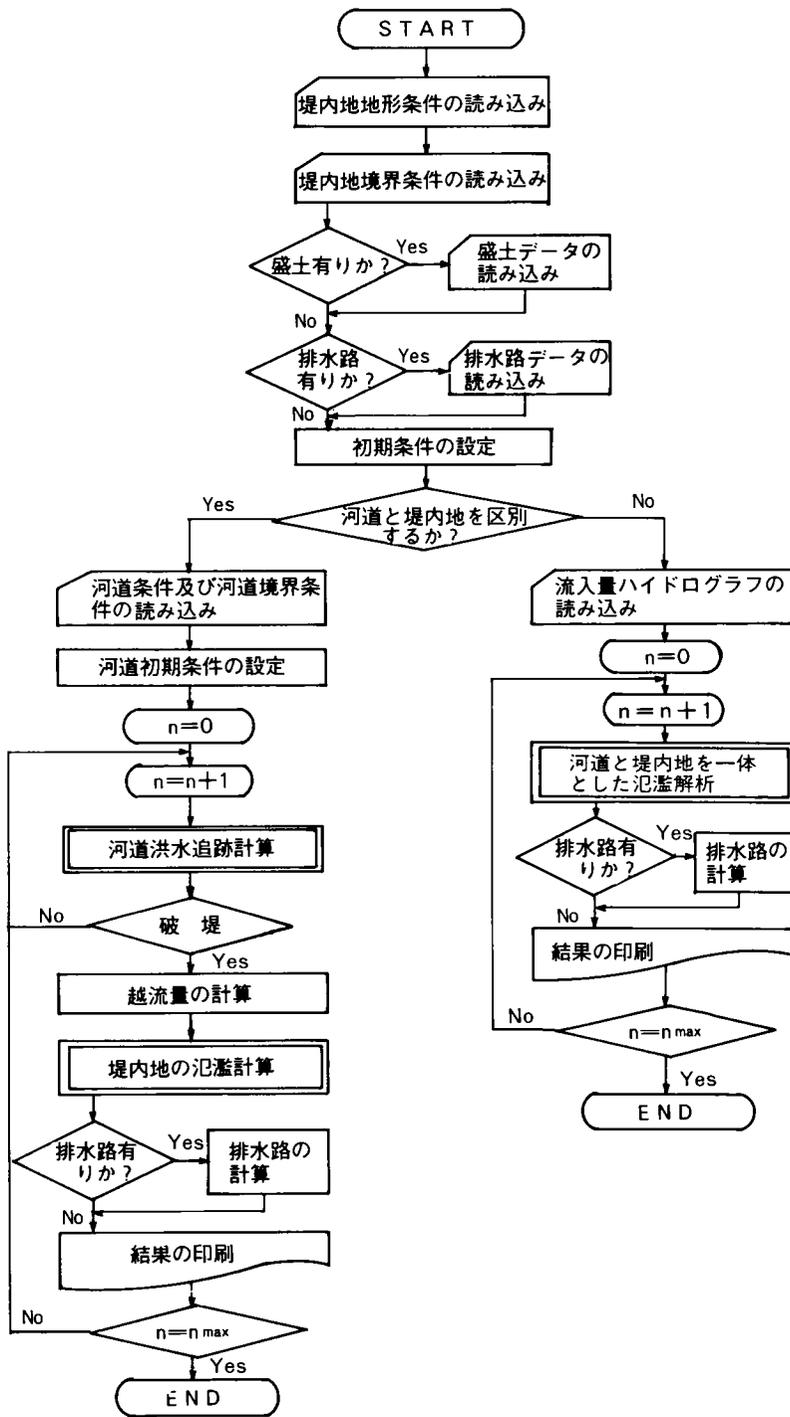


図 2 - 4 - 1 氾濫解析のフロー

(2.2)式は次の全エネルギー水頭 H_t :

$$H_t = z + \lambda h \cos \theta + \frac{\alpha v^2}{2g} = H + \frac{\alpha v^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

を導入すれば次のように表わされる。

$$\frac{\beta}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial H_t}{\partial x} = -s_f \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

ここに、 z : 基準面から河床までの高さ、 $H = z + \lambda h \cos \theta$: 基準面から水面までの高さ、つまり水位である。

(2.1)および(2.4)式によって構成される系は双曲型であるから、次のように特性曲線による表示に改められる。

特性曲線 :

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_{\pm} = \frac{\alpha + \beta}{2\beta} v \pm c \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

に沿って

$$\frac{\lambda \cos \theta}{B} \left(\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q \right) + \left(\frac{\alpha - \beta}{2\beta} v \pm c \right) \left(\frac{\beta}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial H_t}{\partial x} + s_f \right) = 0 \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

が成立する。ここに複号は同順にとられ、また c は、

$$c = \sqrt{\left(\frac{\alpha - \beta}{2\beta} v\right)^2 + \frac{\lambda g \cos \theta \cdot A}{\beta B}} \quad (\approx \sqrt{gA/B}) \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

で定義され ($B = (\partial A / \partial h)_{x, \text{const}}$: 水面幅)、平均流速に相対的にとられた dynamic wave の伝播速度を示す。(2.6)式の関係は、(2.5)式で表わされる伝播速度を有する dynamic wave によって伝えられる影響を意味するものであり、流れがもつ dynamic wave としての水理学的特性を表わしている。

つぎに、上に導かれた特性曲線表示を用いて、固定格子点法による差分式を構成する。この場合には、従来流速 v および波速 c ((2.7)式)が従属変数となるように変換されることが多かったが、水路が一様でなくまた長方形断面とみなしえないときには、このような変換を行っても便利な方

法とはならない。ここでは (2.6) 式をそのまま固定格子点について図 2-4-2 に示すように差分化した次式を用いることにする。すなわち、計算断面の番号 j が下流から上流へ順につけられているとし、また流れを常流とするとき $(j+1) \sim (j)$ 間ではつぎの差分式を適用する。

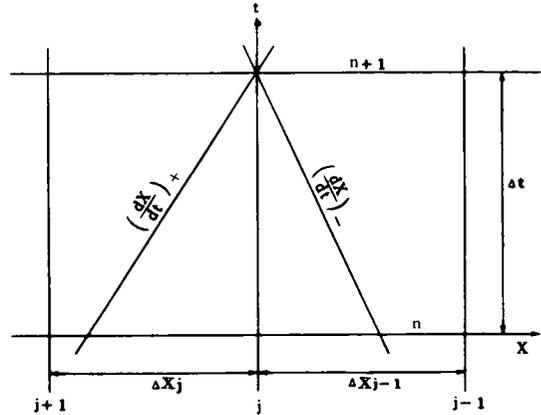


図 2-4-2 特性曲線法による差分法

$$\left(\frac{\lambda \cos \theta}{B}\right)_j^n \left(\frac{A_j^{n+1} - A_j^n}{\Delta t} + \frac{Q_j^n - Q_{j+1}^n}{\Delta x_j} - q_j^n\right) + \left(\frac{\alpha - \beta}{2\beta} v + c\right)_j^n \left(\frac{\beta}{g} \frac{v_j^{n+1} - v_j^n}{\Delta t} + \frac{H_{ij}^n - H_{ij+1}^n}{\Delta x_j} + \frac{s_{fj+1}^n + s_{fj+1}^{n+1}}{2}\right) = 0 \quad \dots\dots\dots (2.8.1)$$

また $(j) \sim (j-1)$ 間では

$$\left(\frac{\lambda \cos \theta}{B}\right)_j^n \left(\frac{A_j^{n+1} - A_j^n}{\Delta t} + \frac{Q_{j-1}^n - Q_j^n}{\Delta x_{j-1}} - q_{j-1}^n\right) + \left(\frac{\alpha - \beta}{2\beta} v - c\right)_j^n \left(\frac{\beta}{g} \frac{v_j^{n+1} - v_j^n}{\Delta t} + \frac{H_{ij-1}^n - H_{ij}^n}{\Delta x_{j-1}} + \frac{s_{fj}^{n+1} + s_{fj-1}^n}{2}\right) = 0 \quad \dots\dots\dots (2.8.2)$$

ここに Δx_j は断面 (j) と $(j+1)$ の距離、 Δt は時刻 (n) と $(n+1)$ の時間間隔、 q_j はこの間に流入する河道単位長さあたりの横流入量である。したがって、この区間に Q_ℓ なる横流入量があるときには $Q_\ell = q_j \Delta x_j$ となる。

(2.8.1) および (2.8.2) 式による洪水の具体的な計算方法については文献 24) に報告されているので、その詳細については省略するが、後述するように現地流域への適用にあたって重要な意味をもつ河川合流点については、次の方法によって計算を行うことにする。いま、図 2-4-3 に示すような 2 支川の合流点において断面番号を図のようにつけ、

(a) 合流点では水位が等しい。 $\therefore H_2 = H_3 = H_5$

(b)支川の流量の和は
合流後の流量に等
しい。

$$\therefore Q_2 = Q_3 + Q_5$$

が成立するものとする。
このとき(a)および(b)の
3式および断面3～4、
断面5～6間で成立す
る(2.8.1)式、断面1
～2間で成立する(2.
8.2)式より、繰り返
し計算によって解を求める。

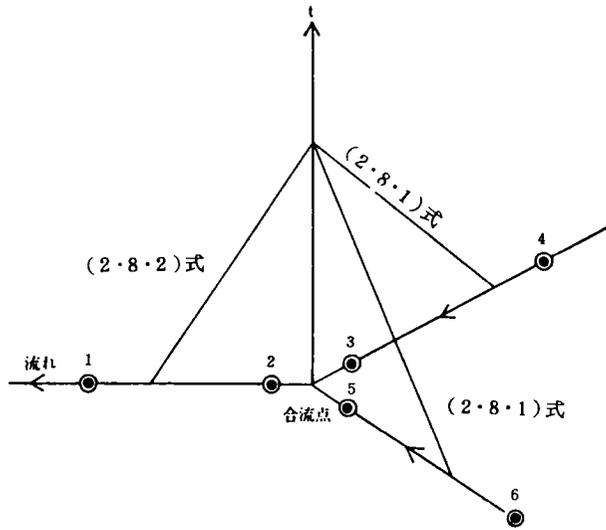


図 2 - 4 - 3 合流点の計算法

4 - 2 堤内地における氾濫水の追跡法

氾濫水の拡がりおよび伝播を表す数
学モデルとして二次元一層モデルを採
用し、その運動を記述する連続式として、
連続式：

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

運動方程式：

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad \dots (2.10)$$

ここに x_i : (x, y, z) 座標で、水平
面内東向きに x 軸、北向きに y 軸を
とり、鉛直上向きに z 軸をとる。また、
氾濫域はそれほど大きくないとして、
ここでは Coriolis の力を無視してい
る。

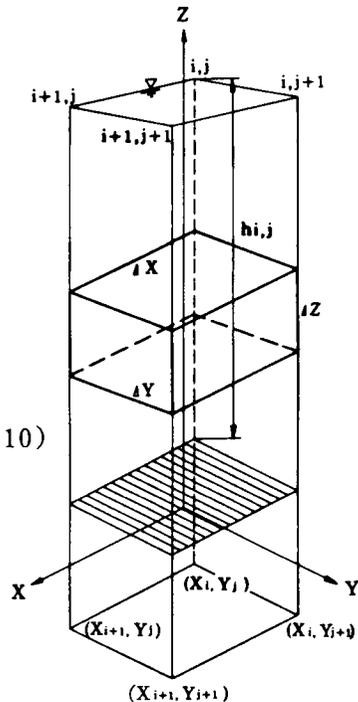


図 2 - 4 - 4 コントロール
ボリューム

さて、初めに述べたように本研究においては氾濫水の挙動を二次元平面流れとしてとらえることにしているから、(2.9)および(2.10)式をそのための基礎式に書き改めなければならない。まず、(2.10)式の z 軸方向の式において鉛直方向の加速度が重力の加速度に比して小さいと仮定し、また、水表面で圧力は一定の大気圧に等しいとすると、静水圧分布 $p = \rho g(H - z)$ が得られる (H : 水位)。つぎに、(2.9)式および上の静水圧分布と(2.10)式の x および y 軸に関する式から二次元平面流れの基礎式を導くのに、図 2-4-4 に示されるような Control Volume について(2.9)式および(2.10)式を積分する。その結果基礎式として次式が得られる。

連続式：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} M \Big|_{x_i}^{x_{i+1}} + \frac{1}{\Delta y} N \Big|_{y_j}^{y_{j+1}} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

x 方向運動量式：

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} uM \Big|_{x_i}^{x_{i+1}} + \frac{1}{\Delta y} vM \Big|_{y_j}^{y_{j+1}} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{xb}}{\rho} \quad \dots\dots\dots (2.12.1)$$

y 方向運動量式：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} uN \Big|_{x_i}^{x_{i+1}} + \frac{1}{\Delta y} vN \Big|_{y_j}^{y_{j+1}} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{yb}}{\rho} \quad \dots\dots\dots (2.12.2)$$

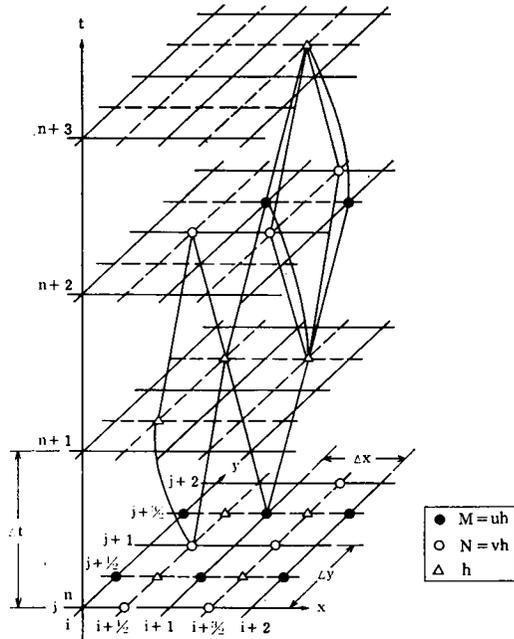
ここに、 u および v : それぞれ x および y 方向の深さ方向に平均された流速、 h : 水深、 $M = uh$ および $N = vh$: それぞれ x および y 方向の流量フラックスである。 τ_{xb} および τ_{yb} は底面において作用する x および y 方向のせん断応力であって、抵抗則として Manning 公式を用いると、

$$\tau_{xb(\text{or } yb)}/\rho = gn^2 u(\text{or } v) \sqrt{u^2 + v^2}/h^{1/3} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

で表わされる。

つぎに、堤内地における氾濫水の計算法として(2.11)および(2.12)式を次のように差分化する。まず、 (x, y, t) 空間を図 2-4-5 のように格子分割し、従属変数 M 、 N および h を図のように千鳥状に配置する。

x, y および t の格子間隔をそれぞれ Δx 、 Δy および Δt とし、差分化にあたって変数の右下に (x, y) 平面での位置を示す添字 i および j 、変数の右肩に時間ステップを示す添字 n を附すことにする。



(2.11) 式 (連続式) :

図 2-4-5 差分スキーム

$$\frac{h_{i+1/2, j+1/2}^{n+3} - h_{i+1/2, j+1/2}^{n+1}}{2\Delta t} + \frac{M_{i+1, j+1/2}^{n+2} - M_{i, j+1/2}^{n+2}}{\Delta x} + \frac{N_{i+1/2, j+1}^{n+2} - N_{i+1/2, j}^{n+2}}{\Delta y} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

(2.12.1) 式 (x 方向の運動量式) :

$$\frac{M_{i, j+1/2}^{n+2} - M_{i, j+1/2}^n}{2\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \left[\frac{1}{h_{i+1/2, j+1/2}^{n+1}} \left(\frac{M_{i+1, j+1/2}^n + M_{i, j+1/2}^n}{2} \right)^2 - \frac{1}{h_{i-1/2, j+1/2}^{n+1}} \left(\frac{M_{i, j+1/2}^n + M_{i-1, j+1/2}^n}{2} \right)^2 \right] + \frac{1}{\Delta y} \left[\frac{(M_{i, j+1/2}^n + M_{i, j+3/2}^n)(N_{i+1/2, j+1}^n + N_{i-1/2, j+1}^n)}{h_{i-1/2, j+1/2}^{n+1} + h_{i+1/2, j+1/2}^{n+1} + h_{i+1/2, j+3/2}^{n+1} + h_{i-1/2, j+3/2}^{n+1}} - \frac{(M_{i, j+1/2}^n + M_{i, j-1/2}^n)(N_{i+1/2, j}^n + N_{i-1/2, j}^n)}{h_{i-1/2, j-1/2}^{n+1} + h_{i+1/2, j-1/2}^{n+1} + h_{i+1/2, j+1/2}^{n+1} + h_{i-1/2, j+1/2}^{n+1}} \right]$$

$$\begin{aligned}
&= -g \frac{(h_{i+1/2, j+1/2}^{n+1} + h_{i-1/2, j+1/2}^{n+1})(H_{i+1/2, j+1/2}^{n+1} - H_{i-1/2, j+1/2}^{n+1})}{2\Delta x} \\
&- g n_{i, j+1/2}^2 \frac{\bar{u}_{i, j+1/2} \sqrt{(u_{i, j+1/2}^n)^2 + (v_{i, j+1/2}^n)^2}}{[(h_{i+1/2, j+1/2}^{n+1} + h_{i-1/2, j+1/2}^{n+1})/2]^{1/3}} \dots\dots\dots (2.15.1)
\end{aligned}$$

(2.12.2) 式 (y 方向の運動量式) :

$$\begin{aligned}
&\frac{N_{i+1/2, j}^{n+2} - N_{i+1/2, j}^n}{2\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \left[\frac{(M_{i+1, j+1/2}^n + M_{i+1, j-1/2}^n)(N_{i+1/2, j}^n + N_{i+3/2, j}^n)}{h_{i+1/2, j+1/2}^{n+1} + h_{i+1/2, j-1/2}^{n+1} + h_{i+3/2, j-1/2}^{n+1} + h_{i+3/2, j+1/2}^{n+1}} \right. \\
&- \left. \frac{(M_{i, j+1/2}^n + M_{i, j-1/2}^n)(N_{i-1/2, j}^n + N_{i+1/2, j}^n)}{h_{i-1/2, j+1/2}^{n+1} + h_{i-1/2, j-1/2}^{n+1} + h_{i+1/2, j-1/2}^{n+1} + h_{i+1/2, j+1/2}^{n+1}} \right] \\
&+ \frac{1}{\Delta y} \left[\frac{1}{h_{i+1/2, j+1/2}^{n+1}} \left(\frac{N_{i+1/2, j}^n + N_{i+1/2, j+1}^n}{2} \right)^2 - \frac{1}{h_{i+1/2, j-1/2}^{n+1}} \left(\frac{N_{i+1/2, j-1}^n + N_{i+1/2, j}^n}{2} \right)^2 \right] \\
&= -g \frac{(h_{i+1/2, j+1/2}^{n+1} + h_{i+1/2, j-1/2}^{n+1})(H_{i+1/2, j+1/2}^{n+1} - H_{i+1/2, j-1/2}^{n+1})}{2\Delta y} \\
&- g n_{i+1/2, j}^2 \frac{\bar{v}_{i+1/2, j} \sqrt{(u_{i+1/2, j}^n)^2 + (v_{i+1/2, j}^n)^2}}{[(h_{i+1/2, j+1/2}^{n+1} + h_{i+1/2, j-1/2}^{n+1})/2]^{1/3}} \dots\dots\dots (2.15.2)
\end{aligned}$$

ここに

$$\bar{u}_{i, j+1/2} = (M_{i, j+1/2}^{n+2} + M_{i, j+1/2}^n) / (h_{i+1/2, j+1/2}^{n+1} + h_{i-1/2, j+1/2}^{n+1}) \dots\dots (2.16.1)$$

$$\bar{v}_{i+1/2, j} = (N_{i+1/2, j}^{n+2} + N_{i+1/2, j}^n) / (h_{i+1/2, j+1/2}^{n+1} + h_{i+1/2, j-1/2}^{n+1}) \dots\dots (2.16.2)$$

である。(2.14) 式においては h^{n+3} が未知量であり、(2.15.1) および (2.15.2) 式においてはそれぞれ M^{n+2} および N^{n+2} が未知量である。(2.15.1) および (2.15.2) 式の右辺の摩擦項にも、(2.16.1) および (2.16.2) 式に示されるように未知量 M^{n+2} および N^{n+2} が含まれているのは、摩擦項に基づく数値計算上の不安定 (Vasiliev の不安定) を避けるための工夫の結果であり、一次元の流れの場合によく知られている方法である。³³⁾

河道と堤内地を区別せずにひとつの氾濫区域とみなして計算する場合においても、(2.14) 式および (2.15) 式が基本式となる。ただし、後述する

ように、計算格子の地盤高の高低差が大きい河川上流域などを対象とする場合には、(2.15.1)および(2.15.2)式の左辺第2項および第3項(非線型項)が他の項に比較して大きくなり、計算上の不安定が生じやすくなる。したがって、計算の初期のみにおいて大きな影響を及ぼし、ある程度湛水が進行し、水深が大きくなればそれほど大きい影響を及ぼすとは思われないうちの非線型項を省略する場合がある。

つぎに、2-4-1で述べた河道の洪水追跡計算と堤内地における氾濫計算とを組み合わせる解析を行う場合には、両者を連結する破堤点の取り扱いが重要な問題となる。以下にはその取り扱い方法について述べることにする。いま河道と堤内地は破堤点および排水機場のみを通じて結びつけられるとする。計算をすすめる上で明らかでなければならないのは、破堤点の位置、破堤の開始に関する条件、破堤部分の堤長(破堤幅)、破堤敷高およびそれらに対応する越流流量である。これらのうち破堤点の位置は任意に想定することも可能であるが、それ以外の破堤の過程や越流流量については、きわめてむずかしい問題が含まれている。ここでは簡単のため次のように取り扱うことにした。

いま、想定された破堤点における河道の水位(外水位)を H_r 、同じ地点の堤内地の水位(内水位)を H_f 、さらに破堤開始外水位を H_1 、破堤敷高を H_0 および破堤長を L とし、これらのうち H_1 、 H_0 および L は先験的に与えられているとする。このとき、 $H_r \geq H_1$ になれば一定時間で長さ L および破堤敷高 H_0 の破堤が生じるとして、破堤が生じた後に対しては、文献29)に示した長方形の堰に関する伊藤・本間の横越流公式によって越流流量 Q_0 を計算することにする。

すなわち、 $H_r > H_f$ のとき、河道から堤内地へ越流するとして、 $h = H_r - H_0$ とにおいて、

$$Q_0 = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} L h^{3/2} \dots\dots\dots (2.17)$$

とする。ここで μ は流量係数である。逆に $H_f > H_r$ のときは堤内地より

河道への逆流が生ずるから、この場合には文献 30) の本間の越流公式を用いて、 $h_1 = H_r - H_0$, $h_2 = H_f - H_0$ とおいて

$$(a) \quad h_2/h_1 \leq 2/3 \text{ のとき } Q_0 = \mu' L h_1 \sqrt{2g h_1} \quad \dots\dots\dots (2.18.1)$$

$$(b) \quad h_2/h_1 > 2/3 \text{ のとき } Q_0 = \mu'' L h_2 \sqrt{2g (h_1 - h_2)} \quad \dots\dots\dots (2.18.2)$$

とする。ここで μ' および μ'' は完全越流および潜り越流時の越流係数でそれぞれ 0.35 および 0.91 とされている。このようにして求められた越流流量は、堤内地においてその方向に応じて x および y 方向の流量フラックス M あるいは I および N に改められる。また一方、河道の洪水に対しては、越流流量は横流出量になるものとする。すなわち破堤点の下流側の河道の計算断面番号を j とすれば、 $Q_0 = -q_j \Delta x_j$ となる。

排水機場については、複雑な操作方式を考えずに、排水機場が含まれる堤内地の一般格子に浸水が及んでいるときのみ排水能力に応じた排水が行われるし、この排水流量は上と同様にその点から河道への横流入流量として扱うことにする。

4-3 排水路の数値モデル

堤内地において氾濫水の挙動に影響を与えるいくつかの地形構造のうちで、その効果が無視できないものに排水用の小河川（排水路と呼ぶ）や盛土の存在が考えられる。盛土の効果の計算法については次項に述べることにし、ここでは排水路の計算法について述べる。

ここで対象とする排水路の幅は、たかだか 10～20 m 程度であるとしておく。いま、このような排水路の存在を考慮する方法として、排水路が通る格子を地盤高の低い格子に置き換えることにより、その格子自体を排水路とみなす方法や格子自体の大きさを排水路と同程度にとるという方法が考えられる。もし、これが可能であれば、2-4-2 の計算法が何らの修正なしに適用されるから、もっとも容易な方法であることはいうまでもない。しかしながら、前者については格子の地盤高の設定法に問題が残

り、後者については格子の大きさが小さくなることにより、格子数が著しく増大し、全体の計算時間が膨大になるという問題がある。したがって、ここでは排水路をそのまま水路として取り扱うことにし、これを一般格子^{*}の周囲に沿うように配置して以下に述べる方法によって計算を行う。

排水路は格子の x 軸方向に沿う東西方向の排水路と y 軸方向に沿う南北方向の排水路とに分けられるが、後者は前者を 90° 回転しただけであるから、ここでは前者についてのみ示すことにする。

まず、排水路の流れ方向（この場合 x 軸方向）の運動方程式として

$$\frac{\partial H_d}{\partial x} = \frac{n^2 v_d |v_d|}{h_d^{4/3}} \dots\dots\dots (2.19)$$

を適用する。（ H_d ：排水路の水位、添字 d は排水路に関する量であることを示す）。いま図 2-4-5 に示される格子点 (i, j) と $(i+1, j)$ の間に排水路があるとすれば、(2.19) 式より排水路方向の流速 v_d は

$$v_{d_{i+1/2, j}}^{n+2} = \text{sign}(H_{d_{i, j}}^{n+1} - H_{d_{i+1, j}}^{n+1}) \frac{1}{n} \left(\frac{h_{d_{i, j}}^{n+1} + h_{d_{i+1, j}}^{n+1}}{2} \right)^{2/3} \left| \frac{H_{d_{i, j}}^{n+1} - H_{d_{i+1, j}}^{n+1}}{\Delta x} \right|^{1/2} \cdot (2.20)$$

で求められる。ここに $\text{sign}(x)$ は x の符号を表わす。また排水路と一般格子の間では (2.15.2) 式の非線型項（左辺第 2 および第 3 項）を省略し、かつ Δy を $(\Delta y + b) / 2$ (b ：排水路幅で一定とする) で置き換えた式より $N_{i+1/2, j}^{n+2}$ を求める。これは考えている排水路からその北側の一般格子に向かう流量フラックスであるので、この北側の辺で接している一般格子より排水路に流入する排水路単位長さあたりの流量を $q_{i+1/2, j}^{n+2}$ とすれば、 $q_{i+1/2, j}^{n+2} = -N_{i+1/2, j}^{n+2}$ である。全く同様にして南側の辺で接している一般格子より、排水路に流入する単位長さあたりの流量 $q_{i+1/2, j}^{n+2}$ が計算される。つぎに、格子点 (i, j) における水深 $h_{d, j}^{n+3}$ は連続式を用いて次のように求められる。

* 本解析法においては、対象とする堤内地を矩形の格子に分割するが、プログラムを簡略化するために、対象領域の境界に接する格子のさらに外側に同じ大きさの格子を考え、これを境界格子と呼び、境界格子以外の計算の対象となる格子を一般格子と呼ぶ。

$$\begin{aligned} \frac{h_{di,j}^{n+3} - h_{di,j}^{n+1}}{2\Delta t} &= \frac{1}{b} \left[\Sigma_i \{ q_{i+1/2,j}^{n+2} + q_{i+1/2,j}^{n+2} \} + \Sigma_j \{ q_{i,j+1/2}^{n+2} + q_{i,j+1/2}^{n+2} \} \right] \\ &+ \frac{1}{\Delta x} \left[(h_{di,j-1}^{n+1} + h_{di,j}^{n+1}) v_{di,j-1/2}^{n+2} - (h_{di,j}^{n+1} + h_{di,j+1}^{n+1}) v_{di,j+1/2}^{n+2} \right] \\ &+ \frac{1}{\Delta y} \left[(h_{di-1,j}^{n+1} + h_{di,j}^{n+1}) v_{di-1/2,j}^{n+2} - (h_{di,j}^{n+1} + h_{di+1,j}^{n+1}) v_{di+1/2,j}^{n+2} \right] \quad \dots\dots (2.21) \end{aligned}$$

ここに、 Σ_i は格子点 (i, j) に集まる東西方向の排水路についての和を表わし、 Σ_j は南北方向の排水路についての和を表わす。なお、いうまでもなく一般格子の辺に排水路が存在しないときには $v_{di+1/2,j}$ および $q_{i+1/2,j}$ 等は 0 となる。

4-4 盛土(線状構造物)の数値モデル

堤内地に存在する各種の盛土あるいは有堤区間における河川堤防によって氾濫水の浸入が遮られる効果を考慮することは、この種の計算の精度を上げるうえで、欠くことのできない点である。その計算方法としては、盛土が含まれる一般格子の地盤の高さを、たとえば、盛土天端高に等しくし、その格子自体を盛土とみなす方法が考えられる。しかし、2-4-3で述べたと同様

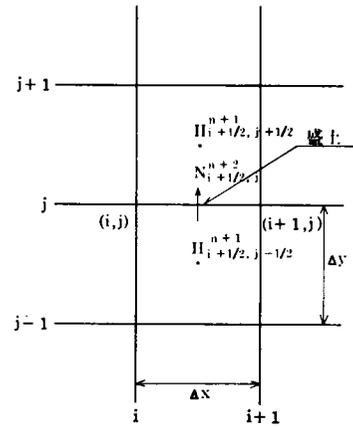


図 2-4-6 盛土の配置

の理由に加えて、氾濫水が盛土を越流する場合の流れは(2.14)および(2.15)式では正しく計算できないことなどから、この方法は適切なものとはいえない。それゆえ、ここでは盛土を線状構造物であると考え、一般格子の周囲に沿って配置して計算を行うこととする。

さて、この場合の計算方法としては次の方法を採用する。

- (a) 盛土を挟む一般格子間の流れ、すなわち盛土を越流する流れについては、どちらかの格子の水位が盛土の天端高よりも大きくなったときに生じるものとし、越流流量については簡単のため、(2.18)式を用いて計算

することにする。たとえば、図2-4-6に示すように格子点 (i, j) と $(i+1, j)$ の間に天端高 H_b の盛土があるとき $H_{i+1/2, j-1/2}^{n+1} > H_{i+1/2, j+1/2}^{n+1}$ でかつ $H_{i+1/2, j-1/2}^{n+1} > H_b$ であれば、 $h_1 = H_{i+1/2, j-1/2}^{n+1} - H_b$ 、 $h_2 = H_{i+1/2, j+1/2}^{n+1} - H_b$ および $L = \Delta x$ として(2.18)式を用いて越流流量 Q_0 を求め、盛土を越流する流量フラックス $N_{i+1/2, j}^{n+2} = Q_0 / \Delta x$ を求め^{*}。また、格子点 (i, j) と $(i, j+1)$ との間に盛土がある場合にも、全く同様の方式により、盛土を越流する流量フラックス $M_{i, j+1/2}^{n+2}$ が計算される。

- (b) 盛土の長さ方向の流れは簡単のため無視することにする。排水路の場合と異なり、盛土ではこの仮定は極端な場合を除いて妥当なものである。

第5節 結 語

本章は氾濫水の流下過程を追跡するための数値解析法について述べたものである。本章では始めにわが国の洪水氾濫の実態ならびに氾濫解析法の必要性について述べ、つぎに、解析法についてその詳細を述べた。本文で得られた成果をとりまとめると、以下のようである。

- ① わが国における洪水氾濫の実態調査によれば、洪水氾濫水は時間的にも空間的にも複雑な挙動を示していることが確かめられたが、平均湛水深は氾濫水の平面的な拡がりに比べて小さく、鉛直方向の水理量の変化はほとんど無視できることから、氾濫水の挙動を追跡する解析法としては平面二次元流れの流体運動として取り扱えばよいことが明らかとなった。
- ② 河道における洪水に対しては一次元解析法を適用し、数値解析法としては特性曲線法の固定格子点に関する差分式を導いた。堤内地の氾濫水に対しては二次元平面流れとして解析することにし、基礎式と計算のための差分式を導くとともに、数値計算にあたっての境界条件などの設定法について考察した。また、堤内地における氾濫水の挙動に影響を与える地形構造のうち、排水路および盛土を取り上げ、その計算法を導いた。

以上、洪水氾濫水の複雑な挙動を解析するための数値モデルについてとり

* もちろん、このときは $N_{i+1/2, j}^{n+2}$ の計算式である(2.12.2)式は適用されない。

まとめて述べた。これらの数値モデルを適用することによって、連続堤河川ならびに河川上流域にみられるような不連続堤河川における氾濫解析が可能になるものと考えられる。また、数値モデルの妥当性は第3章で検証することにする。

参 考 文 献

- 1) 土木学会編：水理公式集，1971，pp.155-161。
- 2) 本間仁，安芸峻一編：物理水理学，1962，p.252。
- 3) 岩垣雄一：開水路水流の理論，「水工学の最近の進歩」土木学会，1954。
- 4) たとえば岩佐義朗，井上和也：漸変流の水理とその応用，水工水理学，1972，pp.27-67。
- 5) 同上 1)。
- 6) Linsley, Kohler, Paulhus : Applied Hydrology, McGraw-Hill, 1949, pp.502-503。
- 7) 木村俊晃：貯留関数法，土木技術資料，vol.3, №4-vol.4, №7, 1961-1962。
- 8) 望月邦夫：淀川の治水計画とそのシステム工学的研究，京都大学学位論文，1970。
- 9) Stoker, J.J : Water Waves, The Mathematical Theory with Applications Interscience, 1957。
- 10) 西原巧編：洪水予報，全日本建設技術協会，pp.197-201。
- 11) 建設省近畿地方建設局：6524号出水の解析，淀川統合管理資料，1967。
- 12) 西原巧，定道成美，貞包秀浩：北米における洪水被害軽減計画とわが国への適用について，河川，№359，1976，p.5
- 13) 井上章平：洪水氾濫予想区域の設定について，河川，№352，1975，pp.12-14。
- 14) 建設省河川局監修：わが国の河川外国の河川，河川協会，1980，p.2。

- 15) 建設省：建設白書 昭和 56 年度版，p.243。
- 16) 西原巧：河川計画の基本量をめぐって，河川，№ 341，1974，pp.22-27。
- 17) 地理調査所：昭和 22 年 9 月洪水・利根川及び荒川の洪水調査報告，地理調査所時報－特報－，1947。
- 18) 鶴巻有一郎，奥田朗，神月隆一：平面流れとして取り扱った氾濫シミュレーションについて，第 25 回水理講演会論文集，1981，p.253。
- 19) 国立防災科学技術センター：1976 年台風第 17 号による長良川地域水害調査報告，主要災害調査，第 12 号，1977，p.79。
- 20) 茨城県土木部河川課：洪水・利根川荒川洪水予報連絡会，第 21 号，1982，p.28。
- 21) 建設省近畿地方建設局淀川工事事務所：淀川左岸氾濫水理計算報告書（その 2），1964。
- 22) 建設省土木研究所：巴川洪水氾濫予想地図解説書，土木研究所資料，第 1238 号，1977。
- 23) 西原巧：氾濫解析とその現地流域への適用（その 1），水利科学，№ 142，1981，pp.1-17。
- 24) 岩佐義朗，井上和也，片山猛：開水路非定常流の数値計算法について，京都大学防災研究所年報，第 19 号 B-2，1976，pp.187-200。
- 25) 岩佐義朗，井上和也：氾濫水の水理の数値解析モデル（その 1），第 16 回自然災害科学総合シンポジウム講演会論文集，1979，pp.145-146。
- 26) 岩佐義朗，井上和也：氾濫水の水理の数値解析モデル（その 2），第 17 回自然災害科学総合シンポジウム講演会論文集，1980，pp.241-244。
- 27) 岩佐義朗，井上和也，水鳥雅文：氾濫水の水理の数値解析法，京都大学防災研究所年報，第 23 号 B-2，1980，pp.305-317。
- 28) Iwasa, Y and Inoue, K : Mathematical simulations of flood and overland flow, Proc. International Conference on Numerical Modeling of River, Channel and Overland Flow, Bratislava (Czechoslovakia), 1981。

- 29) 前掲 1), p.271。
- 30) 前掲 1), p.265。
- 31) 岩佐義朗, 井上和也, 西原巧: 無堤部の含まれる地域の氾濫水の数値解析,
第18回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, 1981。
- 32) Iwasa, Y and Inoue, K: Mathematical simulations of channel and
overland flood flows in view of flood disaster engineering, Jour.
of Natural Disaster Science, vol.4, №1, 1982, pp.1-30。
- 33) 伊藤剛編: 数値解析の応用と基礎, アテネ出版, 1971, pp.206-207。

第3章 氾濫解析法の現地流域への適用

第1節 概 説

本章では氾濫水の数値解析法を現地流域へ適用し、その妥当性を検証することにする。解析の対象としては図3-1-1に示す淀川水系の3流域（淀川本川右岸流域、旧巨椋池干拓地流域、猪名川多田流域）を取り上げる。

わが国においてもっとも古くから開けた流域の一つである淀川では、洪水の歴史も古く、記録によれば推古帝（西暦601年）以来、大出水は200余回に及び、4～5年に1回あるいは連年出水を経験してきた。明治以降においてもいわゆる主要洪水は表3-1-1に示すように23回も発生している。

表3-1-1 淀川主要洪水一覧表

起年月日	最高水位 (m)	最大流量 (m^3/s)	平均雨量 (mm)	摘 要
1885 明-18. 7. 2	(5.51)	*4,280	257	北東進型台風と前線(明治大洪水)
1889 明-22. 8.30	(5.09)	3,820	140	北西進型台風
1896 明-29. 8.31	(5.03)	*3,730	162	北上型台風
1896 明-29. 9. 8	(5.48)	4,240	278	北東進型台風(琵琶湖大水害)
1903 明-36. 7. 9	5.08	3,950	225	東北東進型台風
1917 大- 6.10. 1	5.68	*4,620	223	北東進型台風(大正大洪水)
1918 大- 7. 9.24	5.36	4,320	134	北上型台風
1921 大-10. 9.26	5.44	4,400	159	北上型台風
1930 昭- 5. 8. 1	4.98	4,000	217	北西進型台風
1938 昭-13. 7. 5	4.98	4,000	197	阪神大水害(梅雨前線)
1944 昭-19.10. 8	5.67	4,970	174	北上型台風
1949 昭-24. 7.29	5.63	4,880	188	ヘスター台風(北西進型)
1953 昭-28. 9.25	6.97	*7,800	250	5313号台風(テス・北東進型)
1956 昭-31. 9.27	5.49	4,600	175	5615号台風(ハリエット・東北東進型)
1958 昭-33. 8.27	5.07	4,200	166	5817号台風(フロシー・北東進型)
1959 昭-34. 8.14	6.50	6,800	267	5907号台風と前線
1959 昭-34. 9.27	6.69	7,200	212	伊勢湾(5915号)台風
1960 昭-35. 8.29	4.70	4,000	187	6016号台風
1961 昭-36. 6.27	5.27	4,680	376	6006号台風と前線
1961 昭-36.10.28	6.95	7,800	261	6026号台風(北上型)と前線
1965 昭-40. 9.17	6.75	6,980	212	6524号台風(北東進型)
1972 昭-47. 9.27	4.62	4,840	180	7220号台風
1982 昭-57. 8. 1	4.65	6,260	200	8210号台風

(注) 最高水位、最大流量は淀川本川枚方、()は島本、平均雨量は琵琶湖流域を除く枚方上流域平均総雨量。

* 破堤したために流量が小さくなっていると考えられる洪水。

ここで解析の対象とすることにした3流域は、いずれも過去に氾濫被害を被ったことから比較的データも豊富である。しかも氾濫解析の立場からみて、

* 淀川の流量基準地点である枚方で最高水位5m以上、または最大流量4,000 m^3/s 以上のもの。

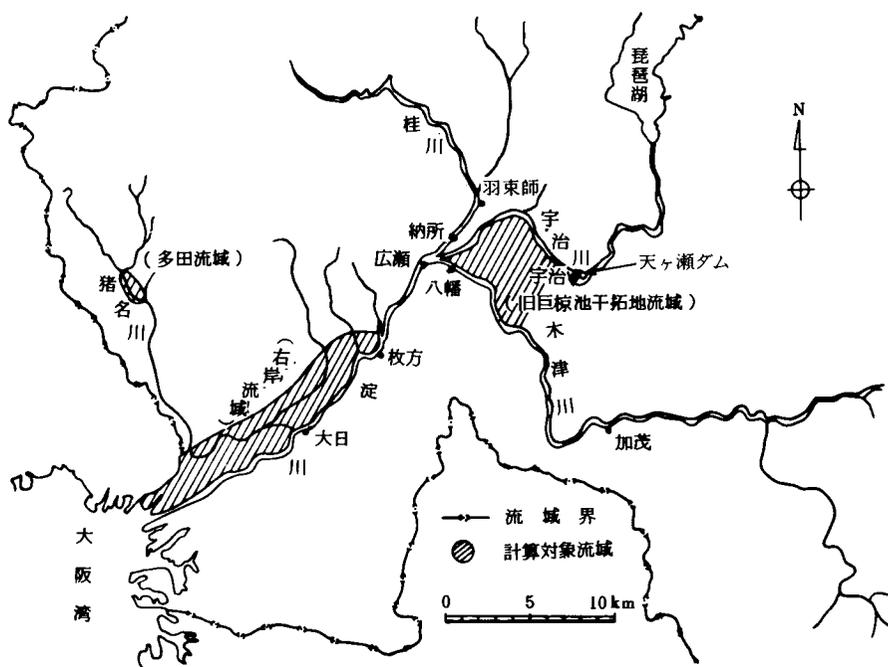


図 3 - 1 - 1 淀川水系と計算対象流域

それぞれが異なったパターンに属し、解析の結果が改修計画や洪水時の避難計画の立案などに大いに役立つとみられる流域である。以上がこれらの流域の選定の理由であるが、各流域ごとに解析手法をまとめると以下のとおりである。

まず、旧巨椋池干拓地流域においては、木津川および桂川からの出水による宇治川への背水の影響を考慮した氾濫解析を行うために、河道洪水追跡計算と堤内地の氾濫計算とを組み合わせた解析を採用する。

つぎに、淀川本川右岸流域では、支川堤防による氾濫水の阻止効果や破堤による氾濫水の挙動を表現するために 2 章の 4 節で述べた盛土を堤防として河川沿いに配置した解析を行う。

最後に猪名川多田流域では、有堤区間や無堤区間が混在し、河道と堤内地を区別して解析することができない流域における氾濫水の挙動を追跡するために、河川上流部の地形条件を考慮しながら、河道と堤内地を一体化した解析を行う。

第2節 旧巨椋池干拓地流域

2-1 流域および氾濫の概要

この流域は図3-2-1に示すように、宇治川と木津川にはさまれた面積約60km²、古来万葉集にも詠われた巨椋池を中心とした地域である*。巨椋池は元来、洪水時には宇治川の遊水池的な役割を果たしていたところであり、この流域は古くから洪水による被害をたびたび被っていた。昭和に入ってから数回にわたっ

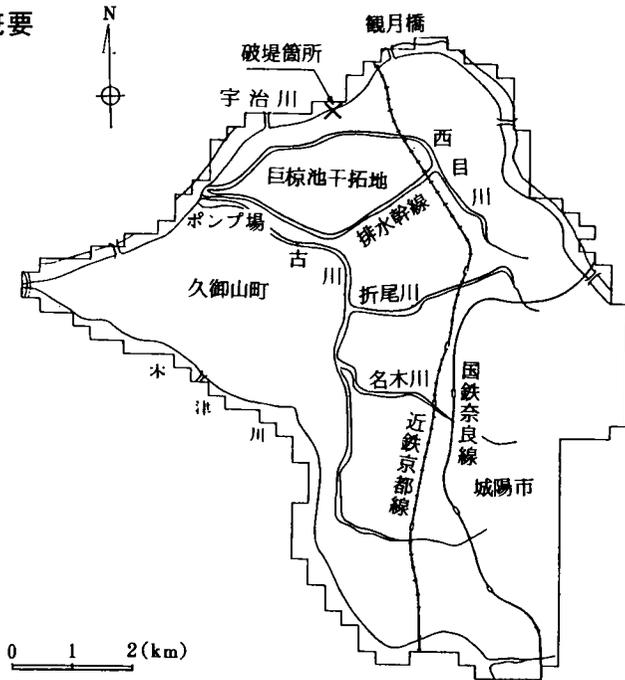


図3-2-1 流域の概要

て被害を受けたが、ここで解析の対象とする昭和28年の13号台風(以下5313号台風と呼ぶ)による被害はその中でも甚大であった。

5313号台風は図3-2-2に示すように、近畿地方を北東方向に進行するコースをとった。このコースは統計的にみて、近畿地方に大雨をもたらすとされるコースであり、図3-2-3の総雨量図に示すように、淀川流域全域に豪雨をもたらし、大正6年以来の大洪水となった。それまでの淀川改修計画は、木津川と桂川では同時に大きな出水をすることはなく、また共に大きい場合でも強雨発生時刻に差があるために、洪水のピークは重ならないことなどを基本条件として計画されていた。しかし、5313号台風時には強雨が全流域にほとんど同時に起こったために、木津川と桂川との出水のピークが重なったこと、および宇治川残流域からの流出量が大きかったことなどから、淀川本川では未曾有の大洪水となったのである。

* もっとも巨椋池は昭和8年～16年に実施された干拓事業で完全に消滅した。

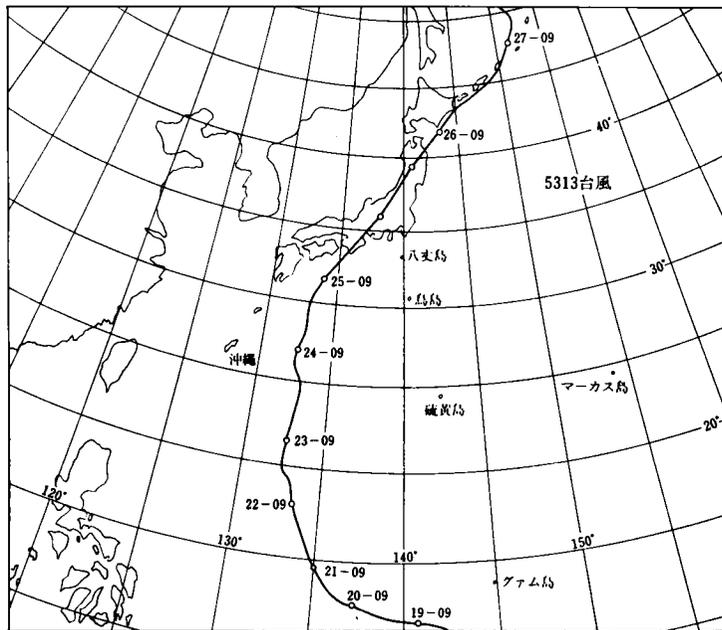


図 3 - 2 - 2 台風の進路

宇治川では本川からの背水の影響をうけ、流水は流路をふさがれて水位が異常に高まり、図 3-2-1 に示すように、向島観月橋下流約 2 Kmの左岸が破堤し、大量の水が旧巨椋池干拓地流域に流入した。この破堤によって旧巨椋池干拓地区を中心に面積約 2,880 ha、期間約 25 日の湛水被害を被った。

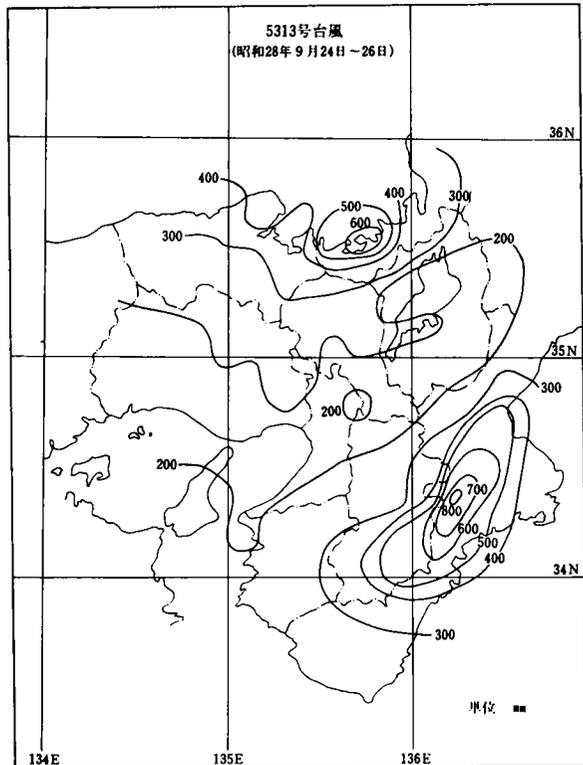


図 3 - 2 - 3 総雨量

もし、この氾濫がな

ければ、枚方地点のピーク流量は、当時の計画高水量 $6,950 \text{ m}^3/\text{s}$ を大幅に上回る $8,650 \text{ m}^3/\text{s}$ に達したものと推定され、上流に天ヶ瀬、高山の2つの洪水調節用ダムを建設することを中心とする「淀川水系改修基本計画」が策定される契機となった。

2-2 計算に使用した資料および条件

(1) 河道の洪水計算

(a) 対象河道と粗度係数

淀川本川の下流端を枚方地点、木津川の上流端を加茂地点、桂川の上流端を納所地点、宇治川の上流端を淀川 50.2 Km (宇治) の断面とし、図 3-2-4 のようにこの河道区間に計 37 の計算断面を設定した。断面特性は淀川本川と宇治川については昭和 27 年 8 月の横断測量結果を使用した。桂川および木津川については洪水後の昭和 30 年および昭和 32 年の測量結果をそれぞれ使用した。これらの河川については、昭和 27 年の測量結果が見当らなかったためである。したがって、全体的な整合性にはやや欠けることになるが、木津川および桂川の当時の改修状況から判断すると、計算に使用した断面特性でも 5313 号

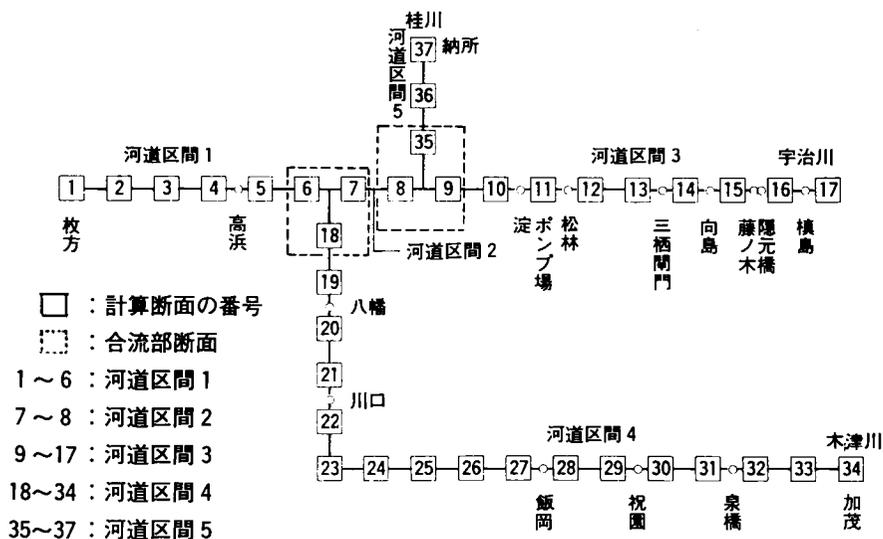


図 3-2-4 河道のモデル化

台風当時の断面特性と大差ないと考えてよいと思われる。なお、粗度係数については桂川において $n=0.04$ 、それ以外の河川では $n=0.03$ ⁵⁾ を用いた。

(b) 境界条件

上記の上流端にはそれぞれ図 3-2-5 に示すような流量ハイドログラフを与えた。同図において、加茂と納所については実測の水位から換算された流量ハイドログラフである。淀川 50.2 Km の断面については、大峯ダム^{*}の放流量に下流支川および山科川の流量を加えた流量⁶⁾とした。下流端においては図 3-2-6 に示す昭和 28 年当時の枚方地点の水位—流量曲線を与えた。

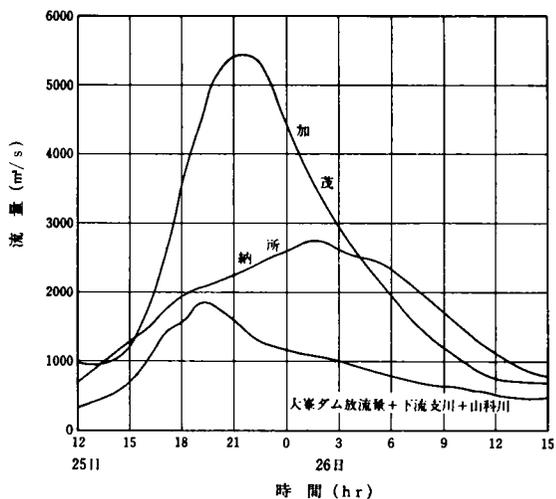


図 3-2-5 流量ハイドログラフ

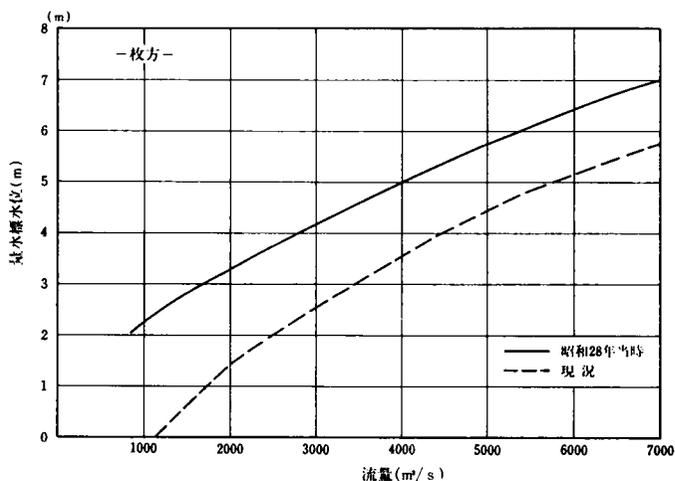


図 3-2-6 水位—流量曲線

* 現在では天ヶ瀬ダム湖の中に水没している。

(c) 初期条件

標準逐次計算法による不等流計算の結果を与えた。

(2) 堤内地の氾濫水の計算

(a) 堤内地分割と地盤高

対象とする堤内地を図3-2-7のように格子に分割し、さらにその周辺に境界格子をつけ加える。格子の大きさは $\Delta x = 285.44 \text{ m}$ 、 $\Delta y = 231.00 \text{ m}$ である。一般格子の地盤高としてはその格子内の地盤高平均値を与える。この地盤高は昭和28年当時の地形図が入手できなかったために、調査対象区域内各市町村が作成している1/2,500地形図より読み取った。堤内地の地盤高の現況は図3-2-8に示すとおりである。図から明らかなように、巨椋池があった中央部が凹形状となっている。

地盤の高低は氾濫水の挙動に影響を与える大きな要因であるから、昭和28年当時と現況地盤高がどの程度異なっているかを確かめておく必要がある。図3-2-9は、図3-2-8に示すA~A'断面およびB~B'断面で、現況と昭和28年当時とを比較した

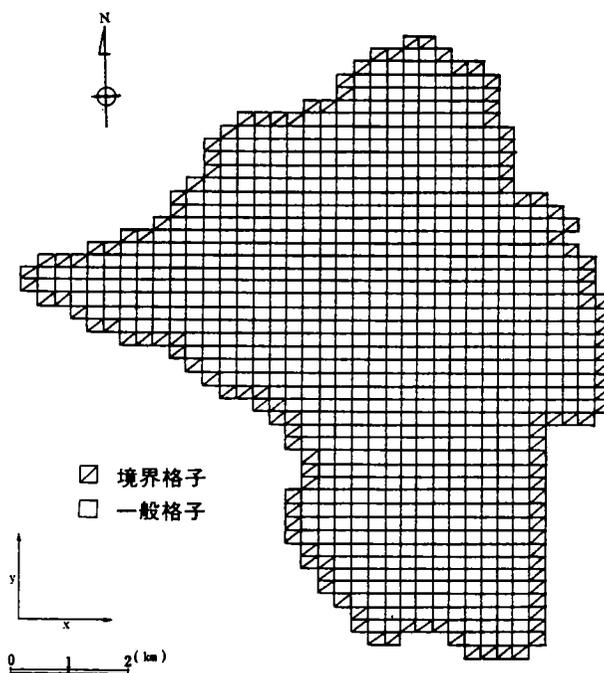


図3-2-7 堤内地の分割

ものであるが、両者は大略一致している。したがって現況と昭和28年当時では地盤の高低は大きくは違っていないとしてよいようである。

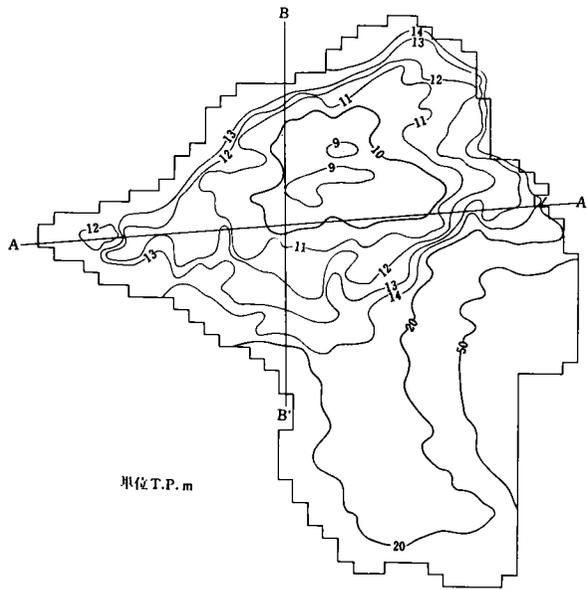


図 3 - 2 - 8 地盤高の現況

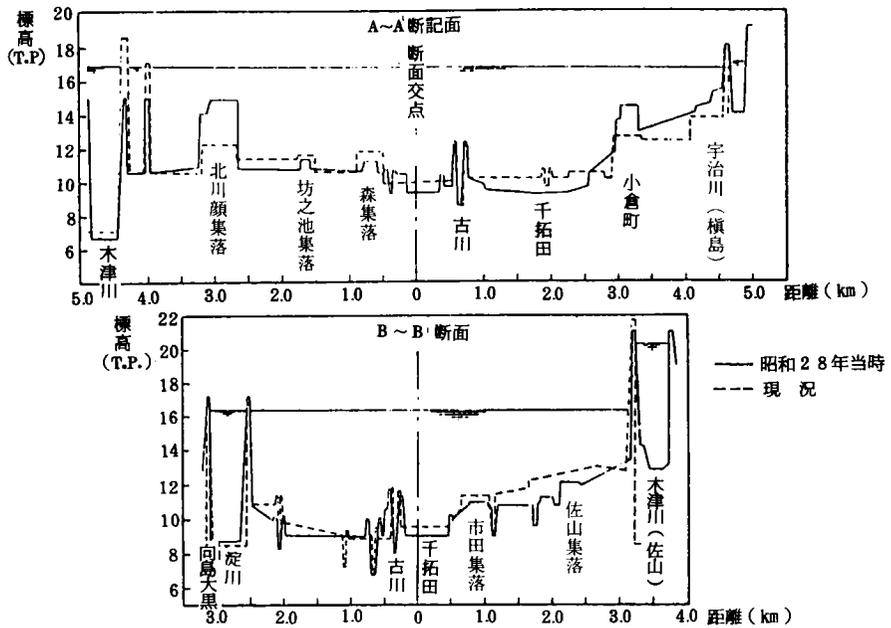


図 3 - 2 - 9 地盤高の比較

(b) 土地利用状況と粗度係数

土地利用状況については地盤高と同様、2500分の1の地図から宅地、田畑および山林の3地目に分類した。その結果は、図3-2-10に示

すとおりである。

この流域は近年急速に都市化が進んでいるが、氾濫区域は旧巨椋池干拓地を中心とした地域であるために、現在でも土地利用は田畑が主である。この点からいえば28年当時と大きな相違はないと考えられる。

堤内地の粗度係数については、Xanthopoulos⁷⁾らの結果などを参考に、土地利用状況にあわせて、田畑 $n = 0.025$ 、山林 $n = 0.060$ 、宅地 $n = 0.040$ を与えた。

(c) 排水路および排水機場

排水路としては図3-2-11に示したように、北から西目川、排水幹線、古川、折尾川および名木川の5つの排水河川を考慮し、一般格子の周に沿わせて幅10mの排水格子を配置する。ただし、上流端の排水路では流速は0とした。また、下流端の排水路は、

巨椋池干拓地排水機

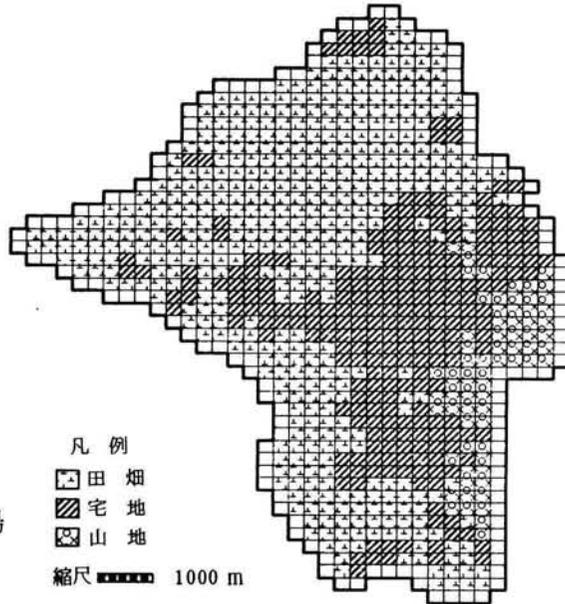


図3-2-10 土地利用の状況

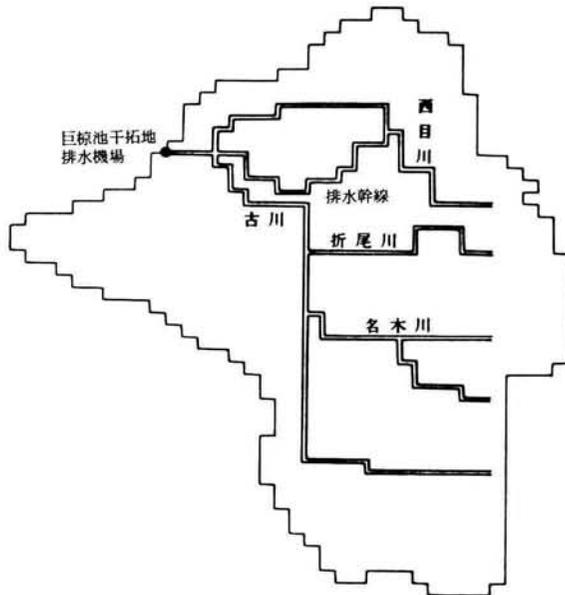


図3-2-11 排水路および排水機場の位置

場を想定したポンプ格子に接続されているものとし、ポンプ排水能力は $40 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。なお、粗度係数は一律に $n = 0.025$ とした。

排水路の計算では計算の安定上の問題などから計算時間間隔を十分小さくとる必要があるので、計算に長時間を必要とする。したがって、排水路の効果を検討する際には、排水路がないとした場合の河道一堤内地系の氾濫計算から得られた越流流量ハイドログラフを入力として、堤内地だけの氾濫解析を行うことにする。

(d) 越流量の計算

観月橋下流 2 Km の地点に相当する格子を破堤格子とし、破堤の条件および越流量の算定に必要なパラメータは次のように設定した。すなわち、破堤開始外水位 $H = \text{T.P.} 15.44 \text{ m}$ 、破堤敷高 $H = \text{T.P.} 10.44 \text{ m}$ 、破堤長 $L = 600 \text{ m}$ である。破堤開始外水位は破堤地点の近くにある三栖水位観測所で測定された記録（後述する図 3-2-13 参照）によれば、破堤が起こったとされる時間では約 $\text{T.P.} 16.23 \text{ m}$ であるが、⁸⁾ 河道洪水追跡計算の結果では $\text{T.P.} 15.44 \text{ m}$ までしか水位が上昇しなかった。したがって、破堤時間をあわせるという意味で $H = \text{T.P.} 15.44 \text{ m}$ に設定した。破堤敷高については田面高まで決壊したという記録をもとに決定した。破堤幅についても、450 m と 600 m という 2 つの説があるが、⁹⁾ ここでは 600 m に設定した。また、破堤は一定速度で徐々に進行するものとし、破堤開始後 2 時間で設定された破堤幅や敷高になるものと仮定した。2 章 4 節で述べたように、破堤のメカニズムは複雑であり、最終破堤断面に至るまでの時間の与え方によっては、氾濫の形態がかなり異なることも予想される。したがって、この時間の与え方によって氾濫の形態がどのような影響を受けるか調べておく必要があろう。

図 3-2-12 は最終破堤断面に至るまでの時間を 30 分、60 分、90 分、120 分、および 150 分と変化させた場合の越流量ハイドログラフ、氾濫面積、ならびに破堤点直下のメッシュにおける南向（堤内

地の方向)の流速の計算結果をそれぞれ示したものである。当然ながら、これらの計算結果には河道の水位ハイドログラフの影響も含まれているが、今回のケースでは破堤が河道内の水位が急激に変化する時間帯に起こったものではないため、大きな影響はないものと考えられる。図3-2-12(a)の越流量ハイドログラフから分かるように、最終破堤断面になった時間でピーク流量が発生しており、図3-2-12(b)

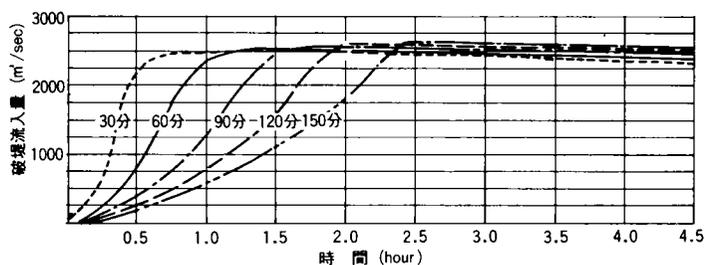


図3-2-12(a) 越流量の変化

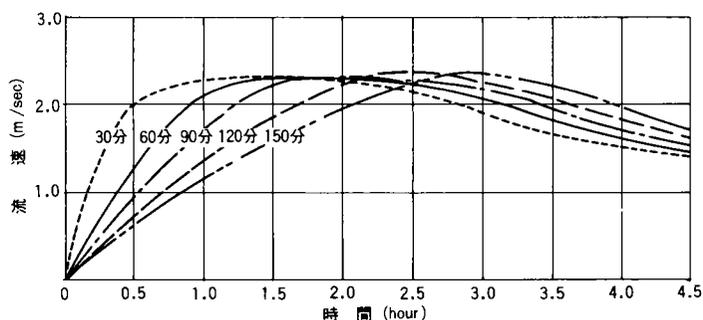


図3-2-12(b) 流速の変化

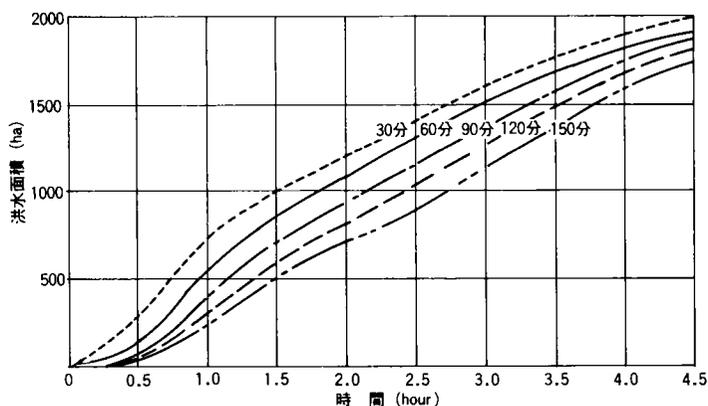


図3-2-12(c) 氾濫面積の変化

の破堤口直下の流速も越流量と対応した結果となっている。このように破堤口からの流入水は最終断面に至るまでの時間にかなり影響をうけることが分かる。また、図 3-2-12(c)の氾濫面積の比較から分かるように堤内地の氾濫水は、ある一定時間遅れで広がっており、最終破堤断面に至るまでの時間は氾濫水の初期の挙動にもかなり影響していることが分かる。しかしながら、その影響は時間の経過とともに徐々に小さくなっており、破堤 4 時間半後位になると氾濫面積は大差なくなっている。これは旧巨椋池干拓地流域の氾濫特性の影響もあるが、氾濫水の挙動自体も流域の粗度等の影響をうけて徐々に大差のないものとなったと考えられる。このように、破堤の仕方、すなわち、最終破堤断面に至る時間の影響は氾濫の初期には大きいといえるが、時間の経過とともに次第に小さくなる可言えよう。したがって、ここで想定した 2 時間で最終破堤断面になるという設定には問題が残るが、その妥当性は計算値と実績値との比較によってある程度検証できるものと考えられる。

(e) 初期条件

破堤以前の状態として、対象領域全体において水深および流量フラックスはすべて 0 とした。つまり、降雨などによる内水は初期には存在しないとするのである。

(f) 計算時間間隔

計算の結果、河道については $\Delta t = 10 \text{ sec}$ 、堤内地については $\Delta t = 5 \text{ sec}$ とする。

2-3 実績と計算結果との比較

(1) 河道洪水追跡計算

河道の洪水追跡計算の妥当性については既に文献 5) で確かめられているが、破堤を伴った解析については、必ずしも明らかではない。したがって、破堤点における水位が計算によって、どの程度再現できるかを調べたのが図 3-2-13 である。黒丸は破堤点近くにある三栖水位観測

所において観測されたものであり、実線が計算値である。^{*} 破堤時刻は9月25日21時30分頃であり、破堤が生じたために水位が急激に下がっているのがわかる。実績値と計算値

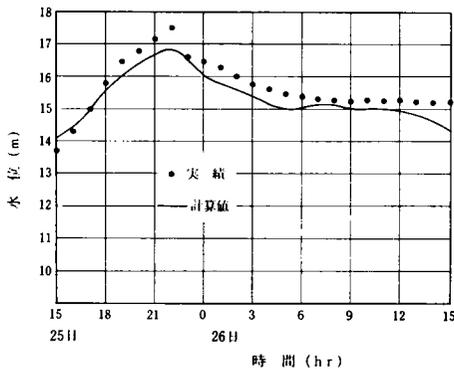


図3-2-13 破堤点における水位の比較

とではピークで約79cmの誤差があるが、両者の傾向はほぼ一致している。また図3-2-14には枚方での流量および水位のハイドログラフを示しているが、計算値と実績値はほとんど一致している。^{**} 図3-2-14には破堤がなかったとした場合の枚方における流量ハイドログラフを併記し

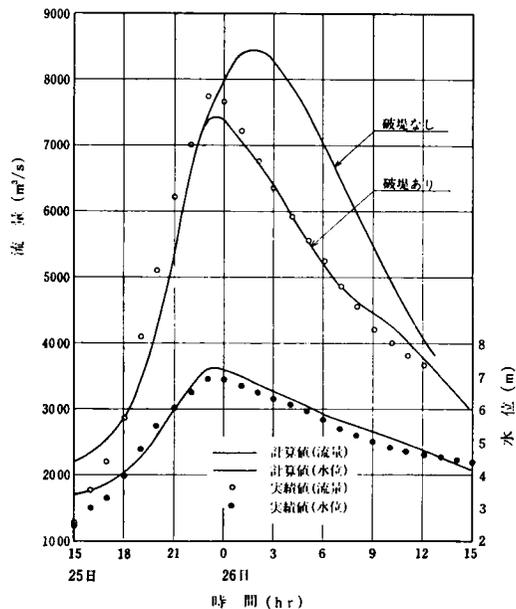


図3-2-14 枚方における水位・流量の比較

ているが、ピーク流量は8,450 m³/sであり、過去の検討結果と同程度の値を示している。破堤点における計算値と実績の水位とのずれの主な原因は、宇治川の流量ハイドログラフの信ぴょう性の問題等も含めて、^{***}

* 水位の基準点は量水標の零点高をとっており、T.P. に換算するには-1.30mを加えればよい。
 ** 水位をT.P. に換算するには+5.87mを加えればよい。
 *** 大峯放流量は実測水位から換算されたものであるが、下流支川や山科川流量の算定根拠が明確でない。

計算の入力条件の精度にあると考えられる。しかしながら、河道洪水追跡計算全体からみれば、その再現性は満足すべきものであるといえよう。また、破堤後についても実績と計算値とはよく一致していることから、破堤のメカニズムやパラメーターの値もほぼ妥当なものとしてよいであろう。また、越流流量がピークに達するのが26日0時であるが(後述する図3-2-18参照)、その時点での河道の流量の分布を図3-2-15に示しておく。

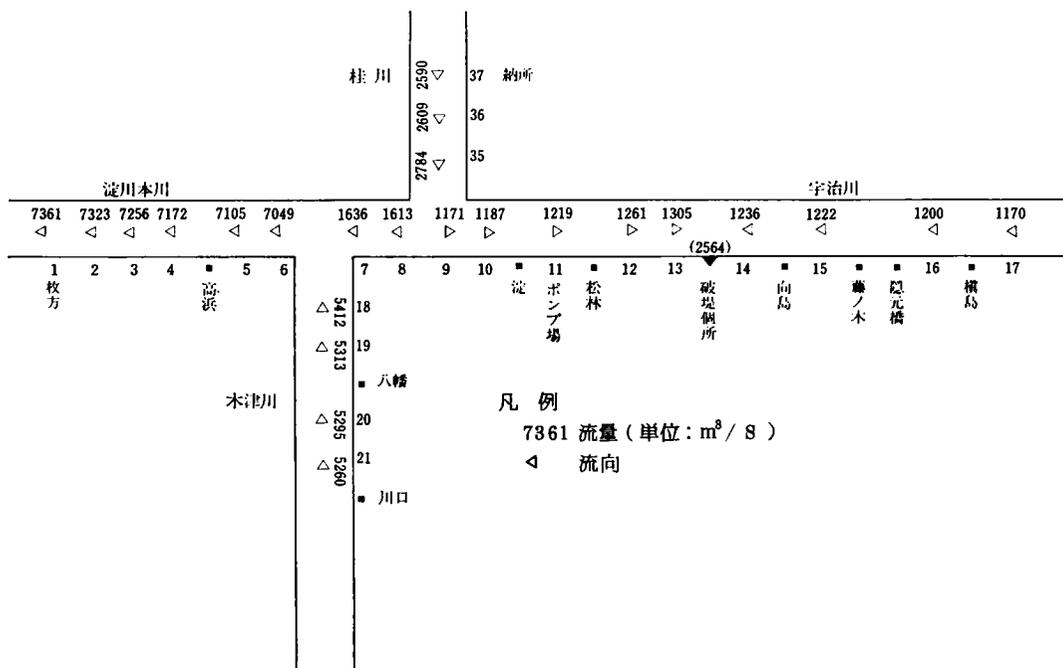


図3-2-15 河道流量の分布状況(越流量ピーク時)

図から明らかなように、破堤地点下流の宇治川では大きい流量の逆流となっていること、および桂川の流量が二分されていることが分かる。これは木津川の流量がこの時点ではきわめて大きく、その結果、木津川の合流点において水位が相当上昇し、これによるせき上げのために桂川の流量の一部が宇治川へ逆流したことを表わしており、三川合流部における各河川の洪水の複雑な挙動がうかがわれる。

(2) 堤内地氾濫水の追跡計算

この氾濫は比較的近年に起こったにもかかわらず、氾濫区域や湛水深など氾濫水の挙動を詳細に記録した文献は数少なく、したがって、断片的な資料を寄せあつめて、氾濫水の挙動を推定するより他に方法がない。

氾濫被害の約半年後に発行された文献 9)

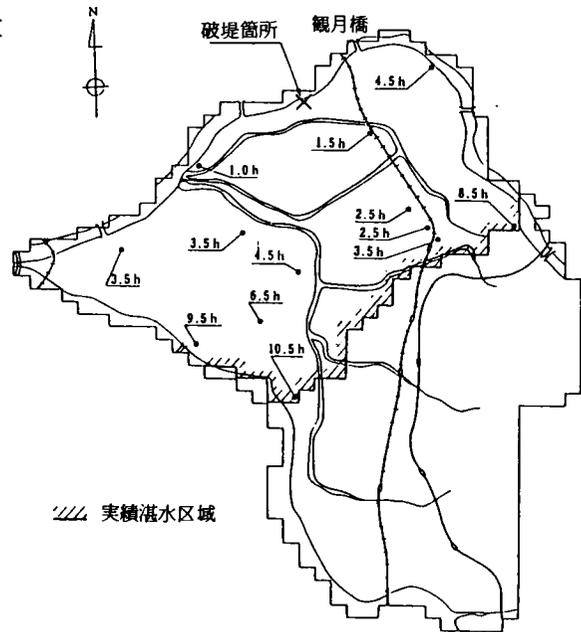


図 3-2-16 氾濫水の実績到達時間分布

によれば、氾濫水は図 3-2-16 に示すような到達時間分布で堤内地の各所に到達している。図 3-2-16 を、図 3-2-8 に示した等高線図と比較すれば明らかなように、凹型の低地にかなり速い速度で侵入してきた氾濫水は、地盤の高いところに阻止されて、その後はそれほどの拡がりを見せることなく、徐々に湛水深を増加させながら、地盤の高いところに侵入していったものと考えられる。これは当時の新聞でも「袋水」と称されたように、出口を見出せない氾濫水が流域内に徐々に湛水していった結果である。巨椋池干拓地排水機場で観測された最大湛水深は、26日の正午で T.P. 14.3 m であったことから、この時間にはこの水位でほとんど水平に湛水していたものと考えられる。図 3-2-17 には T.P. 14.3 m の等高線に相当する格子を結んで湛水区域とした推定の実績最大湛水区域を示しておく。

つぎに、以上のような氾濫水の挙動が、どの程度計算によって再現できるかを調べてみる。まず堤内地の排水路の存在を無視した場合について述べる。図 3-2-18 は堤内地への越流量と湛水量のハイドログラフである。25日の23時頃ピークとなった越流量は、26日

の4時頃から急激に減少している。これは堤内地の水位と宇治川の水位とがあまり差がなくなってきたことを意味しており、図3-2-13に示したように宇治川の水位が低下するとともに氾濫水の挙動が拡散型から湛水型へ移行して堤内地の水位が上昇したためである。一方、湛水量は26

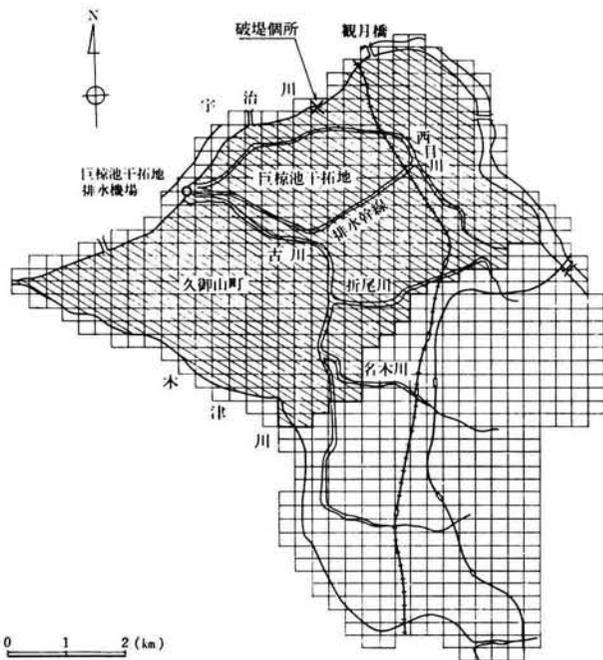


図3-2-17 実績最大湛水区域(推定)

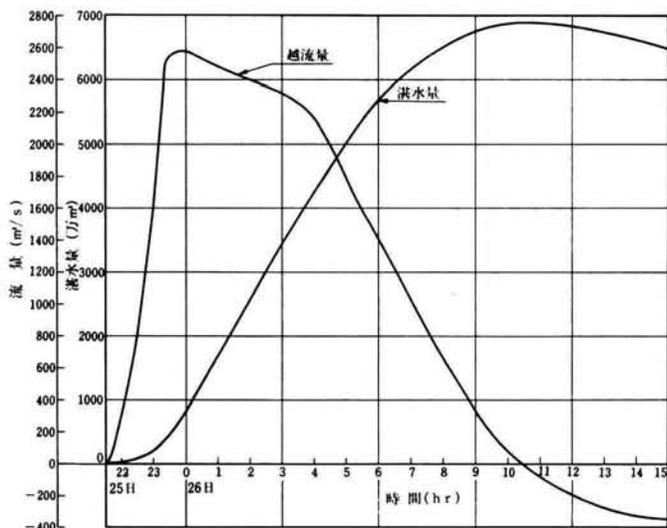


図3-2-18 越流量および湛水量ハイドログラフ

日の11時頃に最大(約6,900万 m^3)となっており、その後は堤内地から河川への逆流が生じている。減水状況に関しては計算値と比較できる資料は見当たらないが、文献12)によれば減水が始まったのは26日の14時頃とされている。図3-2-18からも明らかなように計算値にお

いて湛水量が大きく減少していくのは26日13～14時頃であり、26日11時頃から14時頃までの水位減少量は図3-2-19に示す対象区域内の水位一湛水量曲線から判断すると、約15cmである。したがって、14時頃までには湛水深の減少が被災住民の眼にもみえる状況にあったものと推定されるが、湛水深の減少は実際には11時頃から徐々に進行していたものと考えられる。

図3-2-20(a)～(e)は湛水深や流量フラックスの時間変化を示したものである。図3-2-20(a)、(b)は破堤開始後約2時間と5時間を経過した越流量がピークに近い時点のものである。氾濫水が地盤の高いところを避けながら、順次低地に浸

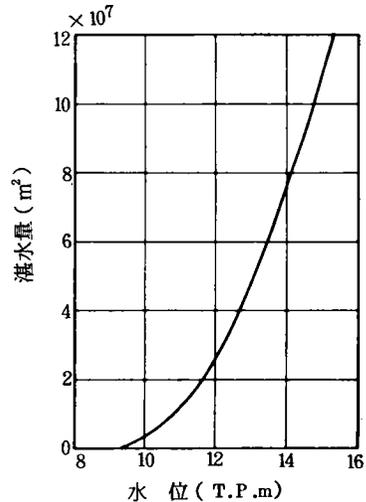


図3-2-19 水位一湛水量曲線

入しつつあることがみられ、地形にしたがった氾濫水の拡散の過程が示されている。また、図3-2-20(c)および(d)、(e)はそれぞれ破堤後8時間と最大湛水深を示した後、逆流が始まった13.5時間と17時間後の状況を示したものである。この3つの図を比較すると明らかなように、破堤8時間後にはT.P.13～14mの地盤高まで到達した氾濫水は、その後、高い地盤に阻止されたために氾濫区域をそれほど拡大できず、湛水深のみを増大させ、その後徐々に減水している。このことは前述の図3-2-18の結果と対応するものであり、氾濫水の形態が拡散型から湛水型へ移行した後、減水していく様子が示されているといえよう。

つぎに、堤内各地点での氾濫水の挙動を調べてみる。図3-2-21はその一例として、破堤点の直下の格子における氾濫水の流速、湛水深の時間変化を示したものである。ここで、 V_x は東西方向の流速で東向きを正、また V_y は南北方向の流速で北向きを正としている。破堤点におけるこの種の情報は、堤防の締切工法や作業の開始時間などを決定する際

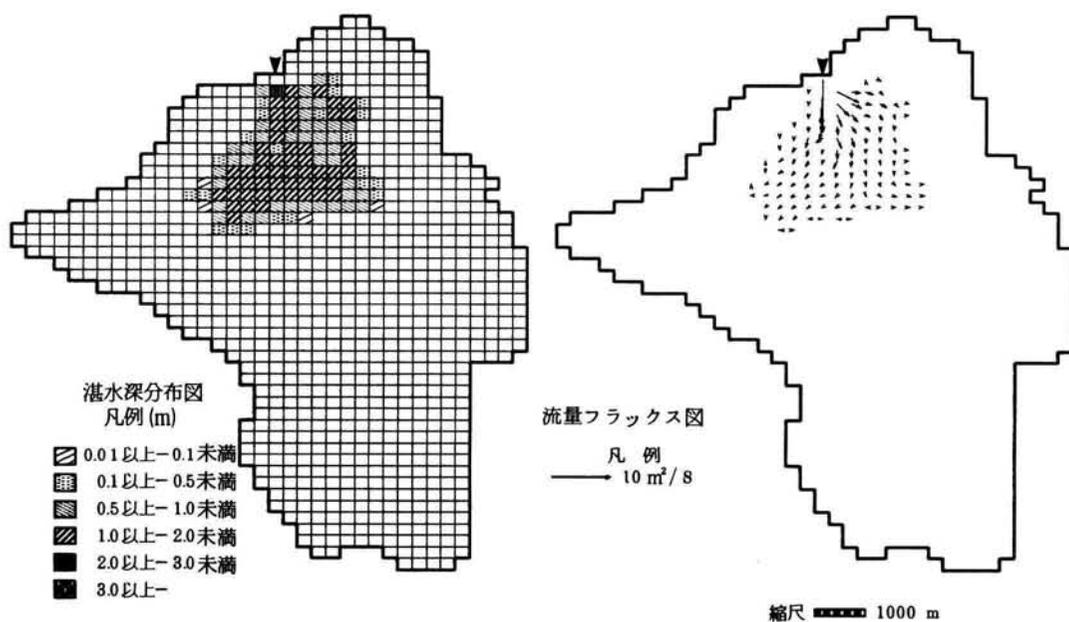


図 3-2-20 (a) 氾濫水の状況—破堤 2 時間後
(昭和28年9月25日 23時30分)

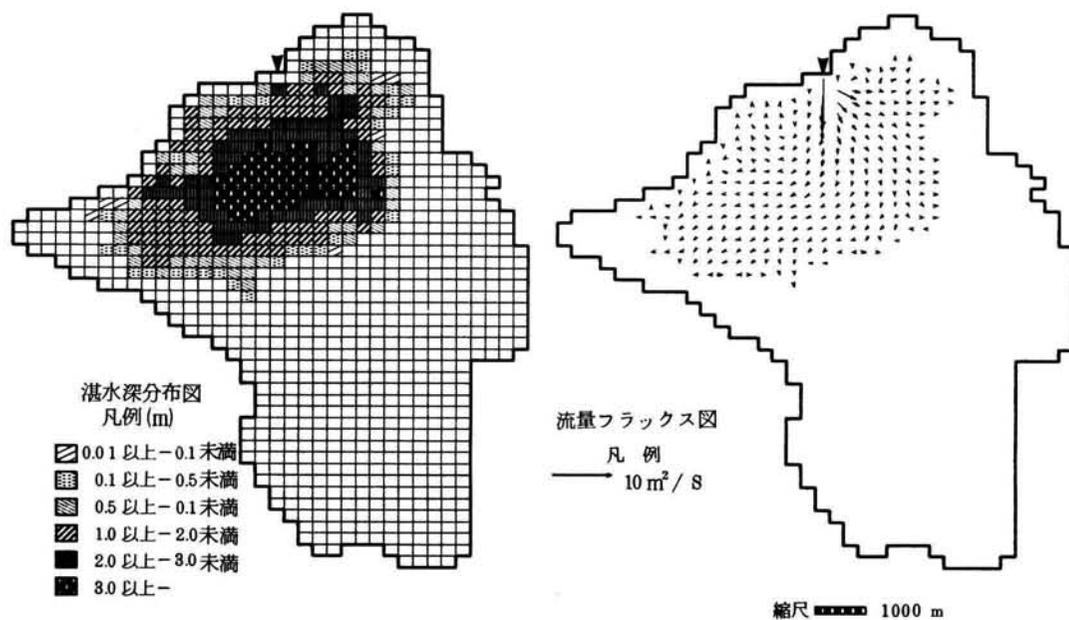


図 3-2-20 (b) 氾濫水の状況—破堤 5 時間後
(昭和28年9月26日 2時30分)

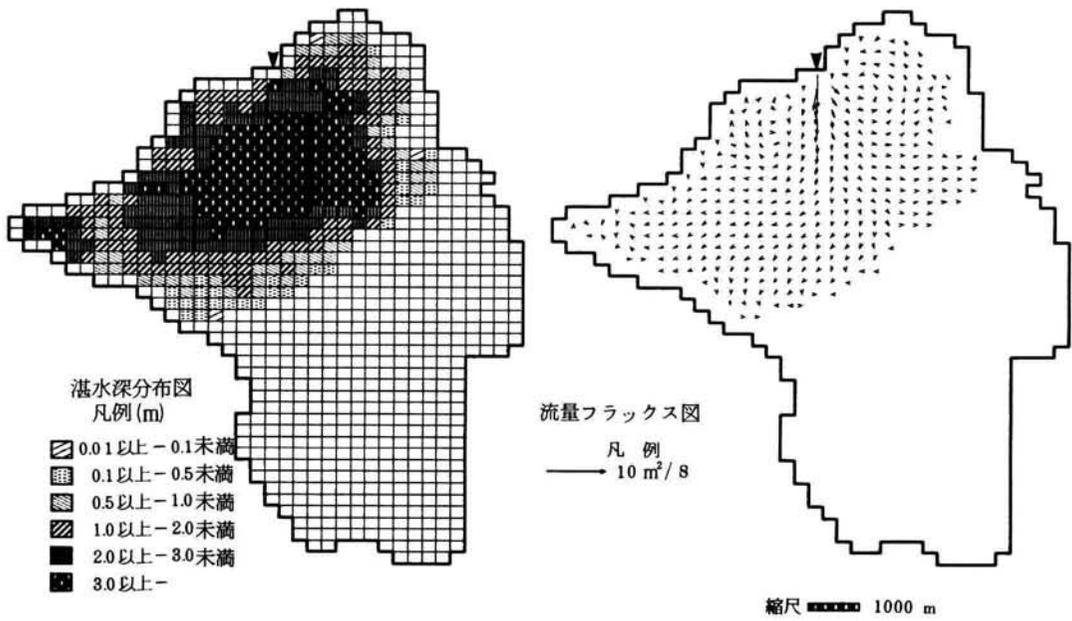


図3-2-20(c) 氾濫水の状況—破堤8時間後
(昭和28年9月26日 5時30分)

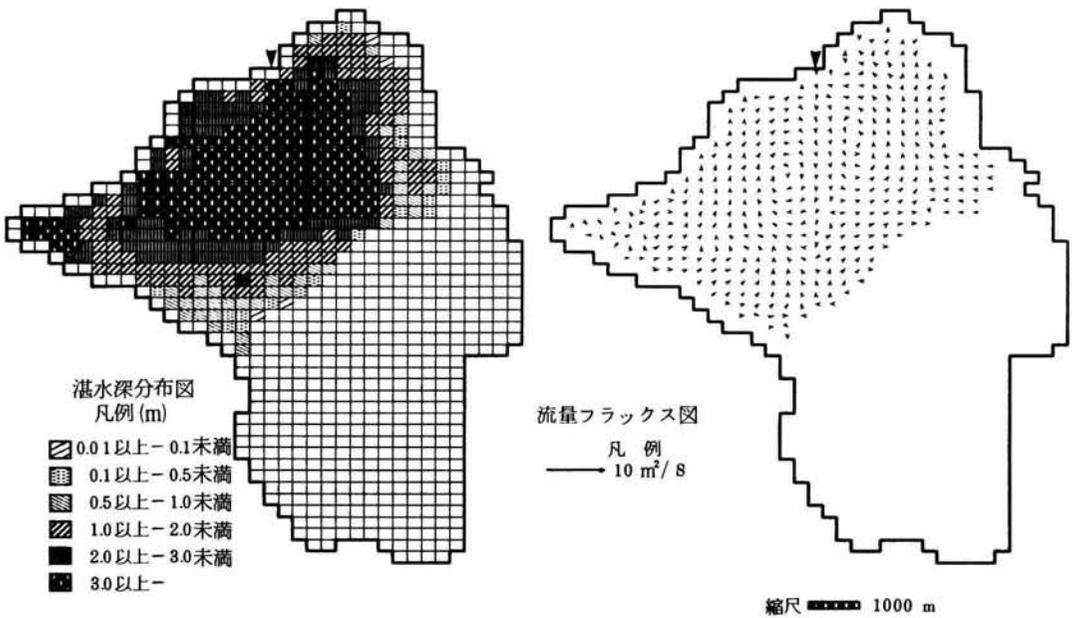


図3-2-20(d) 氾濫水の状況—破堤13.5時間後
(昭和28年9月26日 11時00分)

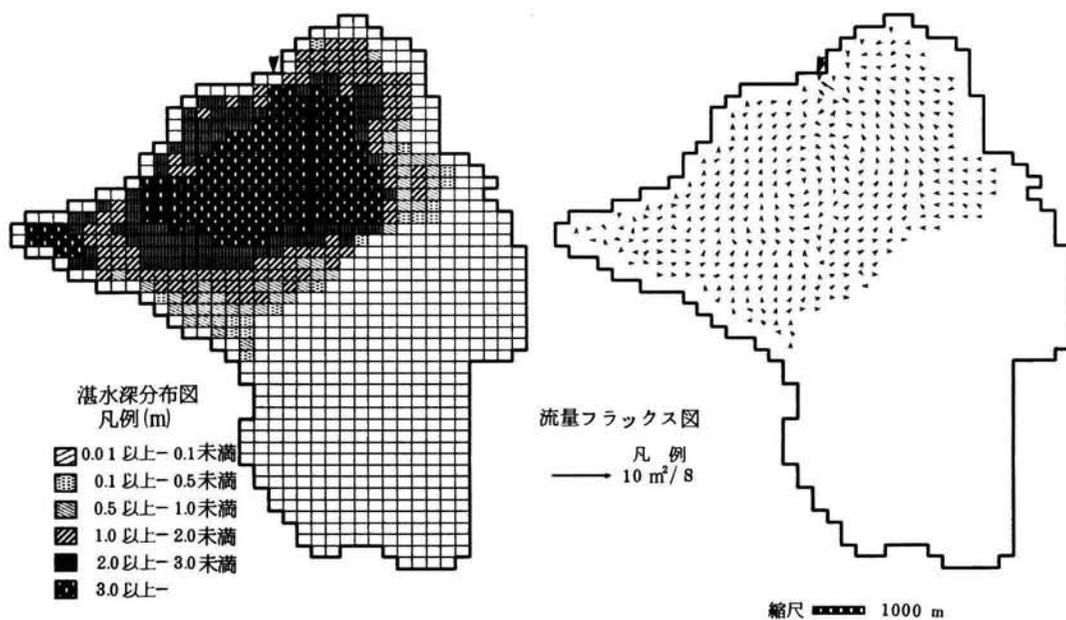


図 3-2-20 (e) 氾濫水の状況—破堤 17 時間後
(昭和 28 年 9 月 26 日 14 時 30 分)

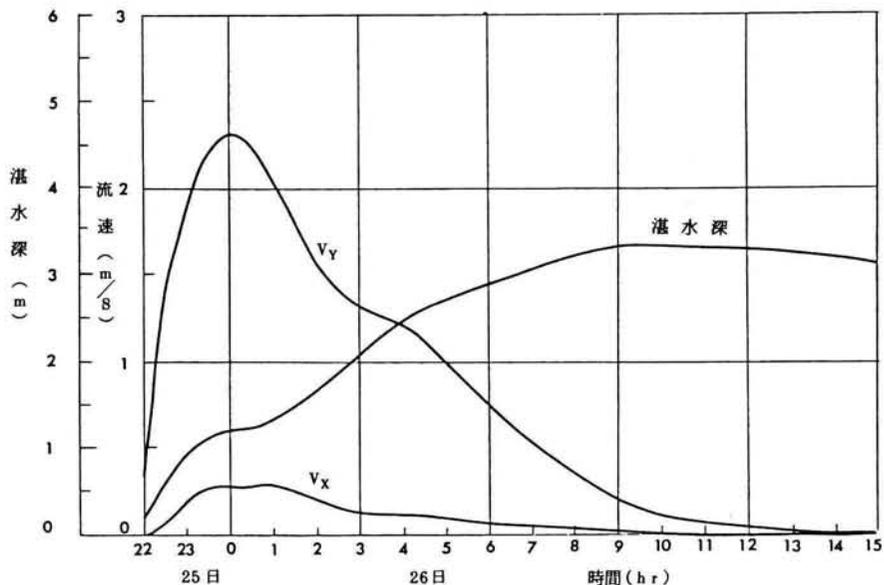


図 3-2-21 破堤点直下における氾濫水の流速と湛水深

にはきわめて重要なものである。図 3-2-21 から流速に関して次のようなことがわかる。すなわち、氾濫水の流れは南向き（堤内地の方向）

の流れが卓越していること、越流量のピーク時にあたる26日0時頃には、流速もピークとなっており、その値は約2.3 m/sとかなり速いものであること、また、越流量が減少するにつれ、流速も徐々に小さくなり、付近の格子で堤内地から河道への逆流が始まる26日の11時頃にはほとんど0となっていること、などである。湛水深については26日11時頃をピークに徐々に減少しており、図3-2-18と一致した結果となっている。このような破堤点付近における氾濫水の状況は、当然ながら破堤の仕方によってかなり異なることになる。したがって、流速値の妥当性などについては破堤のメカニズムの仮定の問題を含めて、今後さらに検討する必要があるが、計算結果から判断すれば、破堤点付近の流れの状況はうまく再現できているといえよう。

図3-2-22と図3-2-23はそれぞれ氾濫水の到達時間分布と湛水区域および湛水深を示したものである。まず、到達時間分布については図3-2-16に示した実績と比較すると明らかなように、2、3の地点で異なるところはあるが、両者の値は大略一致しているといえる。

つぎに、湛水区域と湛水深とを比較してみよう。各メッシュの地盤高に図3-2-23に示した湛水深を加えると、T.P.13.8 mの高さで水平に湛水した結果となっている。したがって、氾濫区域は図3-2-17に示した実績とほぼ一致するが、湛水深については実績のT.P.14.3 mと約50 cmの差がある。この水位差は図3-2-19の水

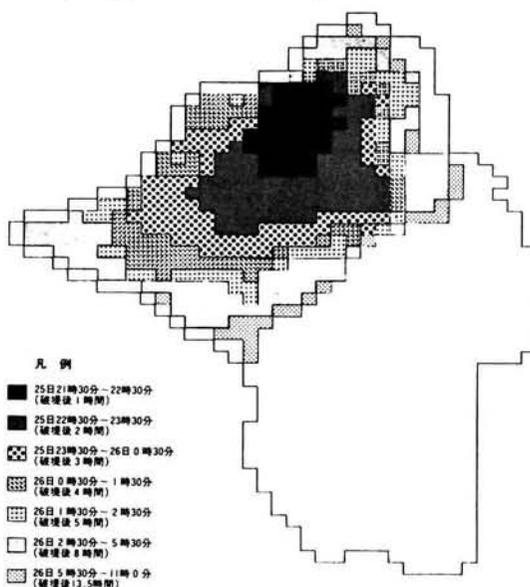


図3-2-22 氾濫水の計算到達時間分布

位一湛水量曲線を使って流量に換算すると約1,400万 m^3 となる。しかしながら、計算に使用した入力条件の精度や破堤のメカニズムを単純化して取り扱っていることなどを考えると、実績値と計算値のこの程度の差は大きな問題とはならないであろう。むしろ上述のような計算値と実績値の比較の結果から判断すると、河道と堤内地とが一体となった複雑な水の動きが、本解析法によってきわめて精度よくシミュレートできているとあってよいと思われる。

つぎに、図3-2-11に示したような中小河川を排水路として取り扱った計算結果を述べることにする。この計算では破堤点において図3-2-18に示した越流量ハイドログ

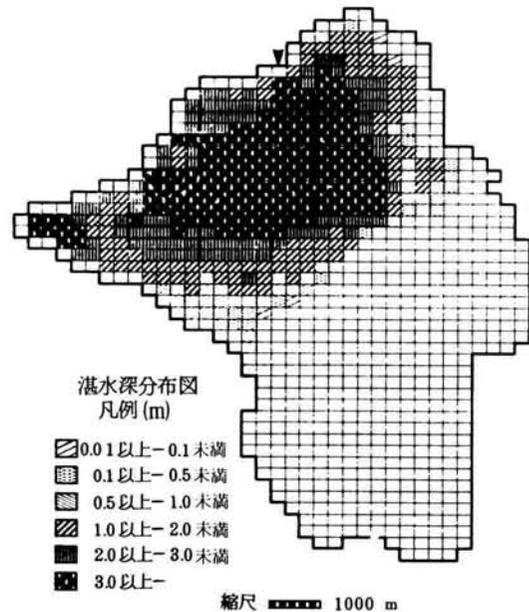


図3-2-23 湛水区域および最大湛水深分布

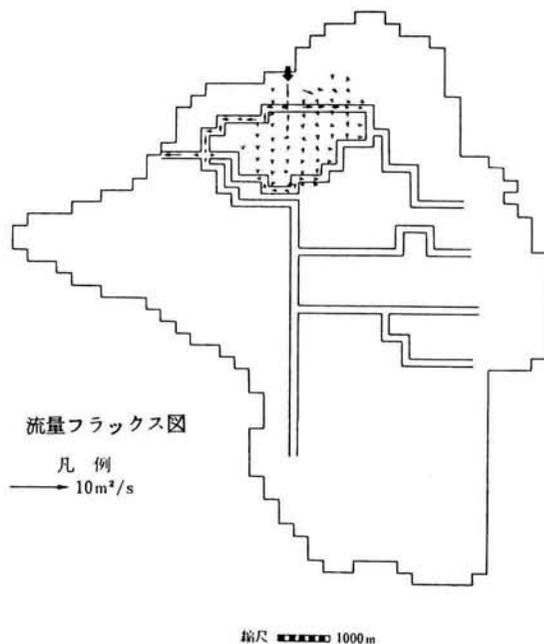


図3-2-24(a) 排水路がある場合の
氾濫水の状況
破堤1時間後(昭和28年9月25日13時0分)

ラフを与えている。図 3-2-24 (a)、(b)には破堤 1 時間後と 5 時間後の流量フラックスを示しているが、初期の段階では排水路方向の流れが、他の一般格子の流れより卓越している。これは氾濫水が排水路に流れ込み、排水路に比較的大きい流量フラックスが発生するとともに、排水路沿いに浸水が伝播し、排水路に接する一般格子にも浸水が早期に及んでいることを示している。しかし、破堤後 5 時間経過した図 3-2-24 (b)では、一般格子の流量フラックスがきわめて小さくなっているのに対し、排水路に沿った流量フラックスは依然として大きいままである。この時間では計算された水面はほぼ水平となっており、排水

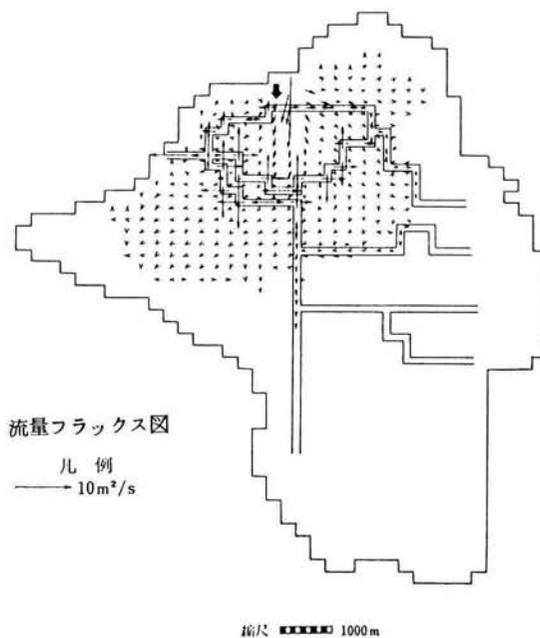


図 3-2-24 (b) 排水路がある場合の
 氾濫水の状況
 破堤 5 時間後 (昭和 28 年 9 月 25 日 17 時 0 分)

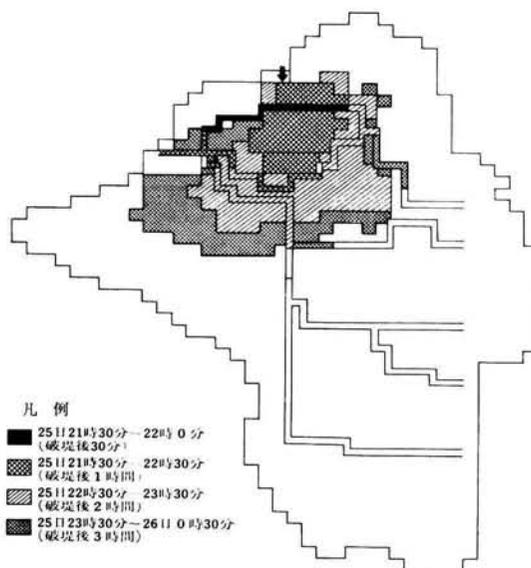


図 3-2-25 排水路がある場合の
 到達時間分布

路だけにこのような大きい流量フラックスが残ることは実際には考えにくい。

図3-2-25は破堤3時間後までの氾濫水の到達時間分布を示したものであるが、前述したように排水路に流れ込んだ氾濫水は一般格子の流れよりも速い速度で流下するために、1時間後には既に巨椋池排水機場に到達している。図3-2-16の実績到達時間分布において、巨椋池排水機場付近に1時間で氾濫水が到達した地点があるが、これは排水路を速い速度で流下してきた氾濫水が、排水路から流れ出たために、排水路を考慮しない場合の計算値では説明がつかない程早く到達したものと考えられる。

以上のように、排水路の計算方法は破堤初期においてはほぼ妥当な計算結果を与えるが、破堤後相当時間を経過したときの排水路の流れの計算になお検討の余地を残しているといわねばならない。また、計算時間間隔をきわめて小さくとらなければ安定な解が得られないということも現地に応用する場合には問題となるであろう。これらはいずれも基本的には、粗度係数の与え方や排水路と一般格子の大きさが極端に異なることに起因するものであると考えられる。したがって排水路の計算に複雑な方法を採用前に、これらの点についての検討が必要であると考えられる。

第3節 淀川本川右岸流域

3-1 流域および氾濫の概要

この流域は図3-3-1に示すように淀川本川27km下流の右岸地域で、芥川、安威川、神崎川などの支川で囲まれた面積約90km²の流域である。この流域は大正6年10月、図3-3-2に示すように潮岬沖をかすめて関東地方へ上陸した台風による出水によって、大きな氾濫被害をうけた。この台風による雨は図3-3-3の総雨量図に示すように木津川流域に中心があったが、支川芥川が破堤したのに続いて、枚方市の対岸の高槻の大塚地先で本川が破堤したのである。

この破堤による氾濫水は右岸沿いの各市町村を直過して現在の東淀川区、西淀川区の工場地帯にまで到達した。この洪水は右岸および左岸のほぼ全域が湛水被害を被った明治18年の大洪水と並ぶ歴史的な大洪水であり、浸水面積は約5,200haに及んだ。この出水によって淀川治水計画が再検討され、「淀川改修増補工事」が実施される運びとなったことは周知のとおりである。

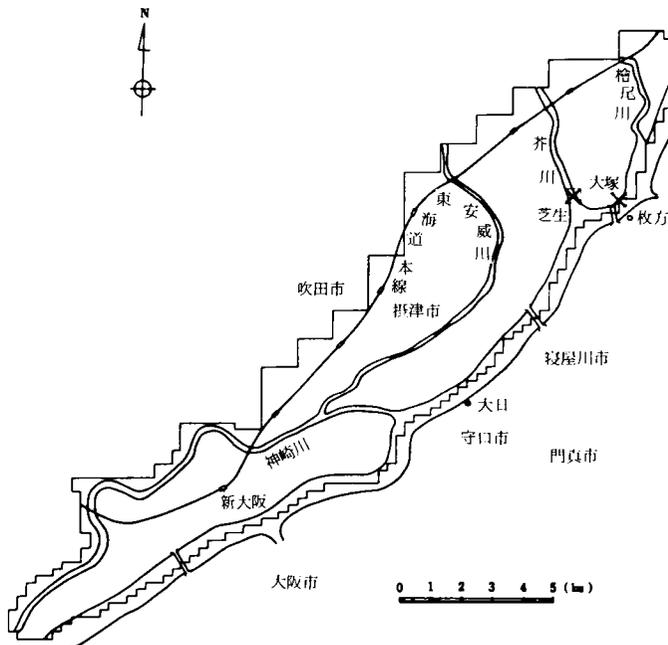


図3-3-1 流域および災害の概要

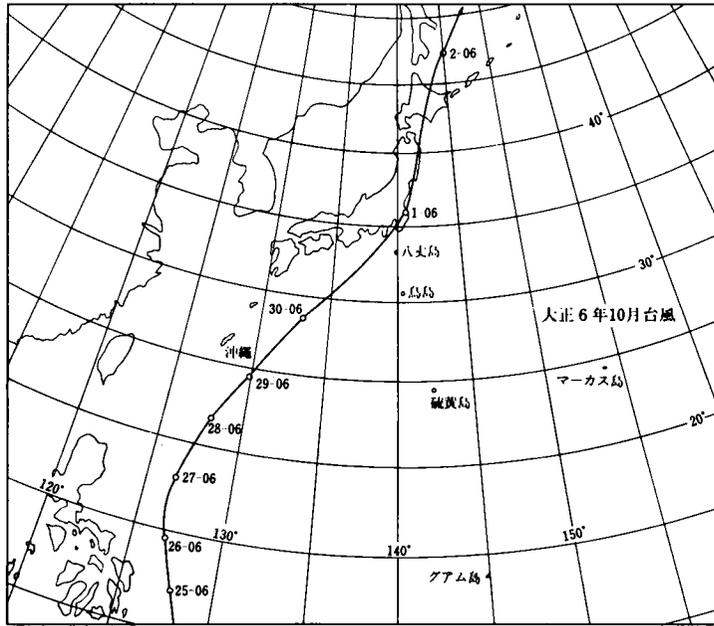


図 3 - 3 - 2 台風の進路

3 - 2 計算に使用した資料および条件

① 破堤越流量ハイドログラフの推定

この洪水は、5313号台風時と違って正確な水位観測資料が十分でないため、^{10), 11)} 現有の資料をもとに破堤地点からの越流量ハイドログラフを以下のように推定した。

大塚地点での越流量ハイドログラフは、その上下流の流量ハイドログラフが推定できれば、その差として大略の推定が可能である。大塚の上下流

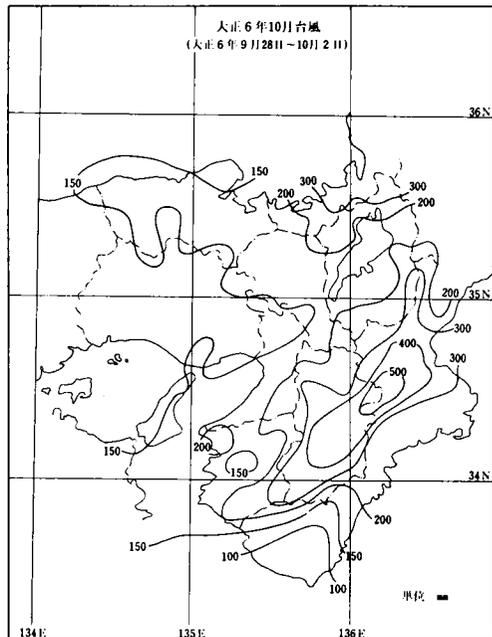


図 3 - 3 - 3 総雨量

に位置する広瀬と枚方では洪水時に水位が観測されているために、あとはこれを当時のH-Q曲線を使って流量に換算すればよい。当時の代表的な観測地点のH-Q曲線については、米田正文博士の「淀川計画高水論¹²⁾」に取りまとめられているが、広瀬については河床変動が大きかったこともあり、昭和年間の関係式しか記載されていない。したがって、このH-Q曲線を使って推定された広瀬の流量ハイドログラフの妥当性を木津川、桂川および宇治川の流量ハイドログラフから調べてみる必要がある。2章4節でも述べたように三川合流点の水理現象は複雑であり、厳密な値を推定しようとするれば、前述のような河道洪水追跡計算を行う必要がある。当時の河道特性を推定するための資料はほとんどなく、宇治川での水位観測も部分的にしか行われていないために、詳細な再現計算を行うことはできない。したがって、ここでは河道を単純な線型水路と考へて、ハイドログラフの変形は考えずに単に流下時間のみを考へることによって越流量の推定を試みる。まず、木津川では八幡の観測値を、桂川では羽束師の観測値を使用する。宇治川については部分的な観測しか行われていないので、それらを参考にして一律に500 m³/sの流出量と仮定する。文献11)によれば、当時においては羽束師から三川合流後の広瀬までは約2時間、八幡からも約2時間の流下時間を要し、さらに

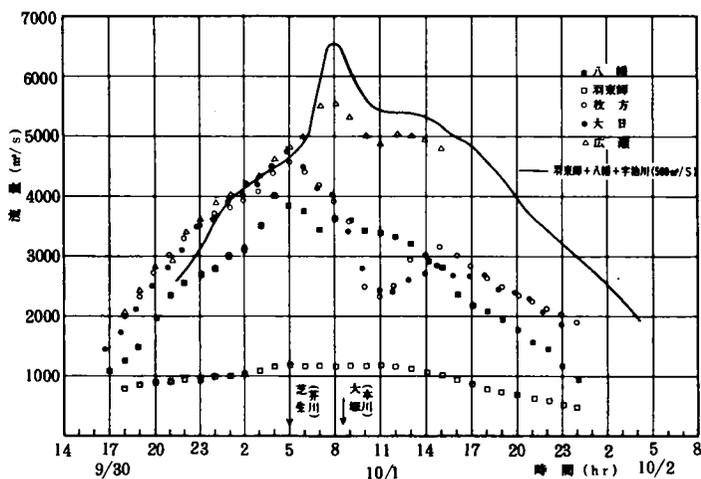


図 3-3-4 基準地点における流量ハイドログラフ

広瀬と枚方とではピークのずれが約2時間と推定されることから、これらのピーク時間のずれを考慮しながら三支川の流量ハイドログラフを重ねあわせると、枚方での流量ハイドログラフが推定できる。図3-3-4はこのようにして求められた流量ハイドログラフである。なお、図中の大日の流量ハイドログラフは、水位観測値から当時のH-Q曲線を使用して流量に換算し、1.2時間早めたものである。大日は枚方の約8km下流に位置しているが、1.2時間のピークのずれを考慮すれば、両者の観測値はほとんど一致することがわかる。このことは枚方における観測値がほぼ正確であることを裏付けるものである。また、広瀬の流量ハイドログラフと三支川の単純合計流量ハイドログラフとを比較するとピーク時で約1,000 m³/sの差があるが、全体的には同様な形状となっている。羽東師の下流の納所で氾濫が生じていた事実や、河道によるピーク流量の低減効果を考えると、昭和年間のH-Q曲線を使用した広瀬の流量ハイドログラフはほぼ妥当なものと考えてよいようである。したがって、広瀬のハイドログラフとして10月1日の15時までは広瀬の観測値をそのまま使用し、その後は三支川の合計流量ハイドログラフを使用することにして、広瀬と枚方との流量の差を大塚における越流量ハイドログラフとすることにする。こうして求められた越流量ハイドログラフは図3-3-5に示すとおりである。なお、大塚で破堤したのは、10月1日8時40分頃であるが、すでに5時頃には本川の背水の影響を受けて、支川芥川が芝生地点で破堤しており、このことは枚方の流量ハイドログラフがそれぞれの時間で急

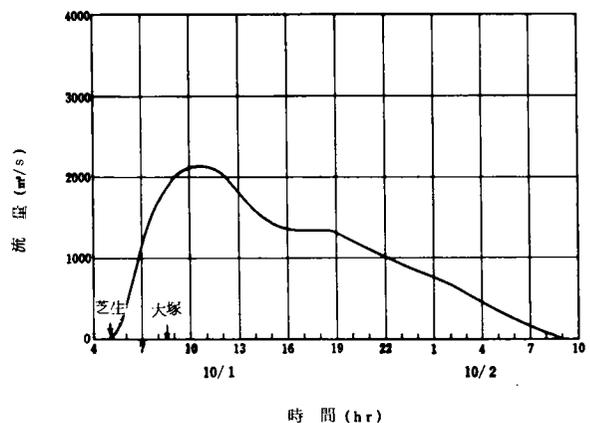


図3-3-5 越流量ハイドログラフ

激に落ち込んでいることに対応している。

② 堤内地の分割と地盤高

対象とする流域を図 3-3-6 のように分割し、さらにその周辺に境界

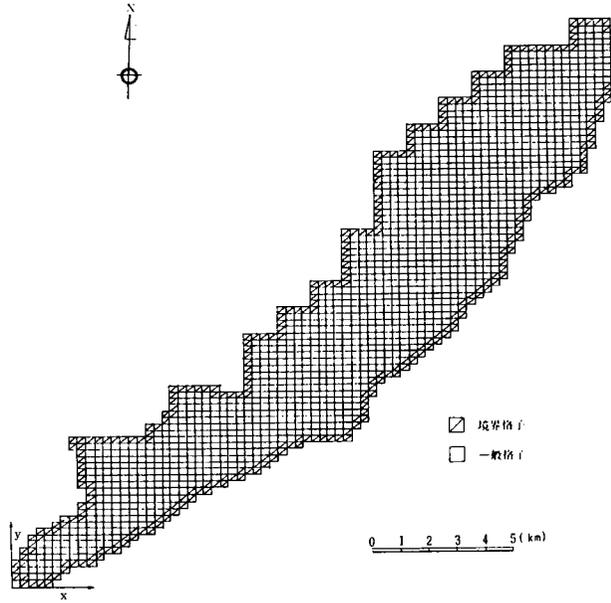


図 3-3-6 堤内地の分割

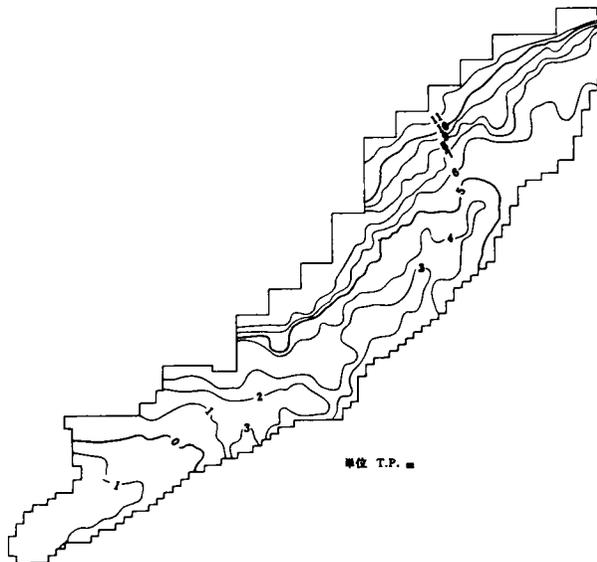


図 3-3-7 地盤高の現況

格子をつけ加える。格子の大きさは $\Delta x = 285.44 \text{ m}$ 、 $\Delta y = 231.00 \text{ m}$ である。一般格子の平均地盤高は、1/2,500の地形図から読み取ったデータを使用した。地盤高の分布状況は図3-3-7に示すとおりである。

③ 土地利用状況と粗度係数

土地利用状況は地盤高と同様、1/2,500の地形図から読み取ったデータから、宅地、田畑、山林の3地目に分類した。その結果は図3-3-8に示すとおりであるが、当然ながら、大正6年当時とはかなり違うものと考えられる。明治末期の地図があればそれを利用して同様の解析を行うべきであろう*。なお、各地目の粗度係数については旧巨椋池干拓地流域と同様の値を採用した。

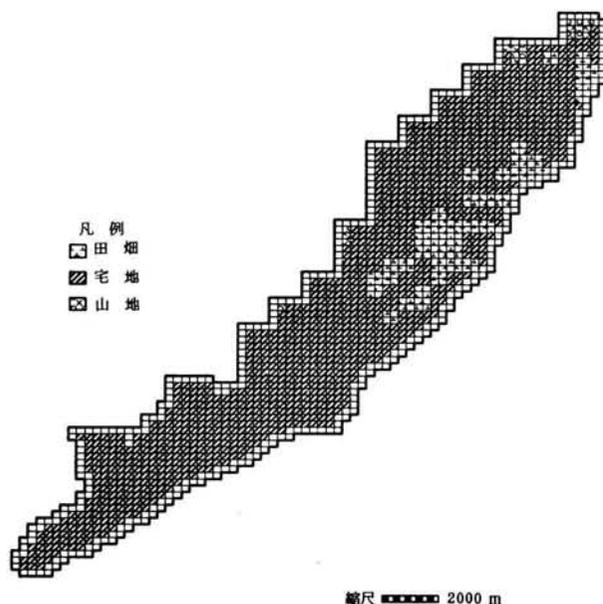


図3-3-8 土地利用の現況

④ 盛土の配置

図3-3-1の流域概要図に示したように、この流域にはいくつかの支川があり、その堤防によって氾濫水の挙動が左右される。この現象をシミュレートするために、2章4節で述べた盛土を堤防と考えて各支川沿いは図3-3-9のように配置する。また、大正6年洪水では氾濫水

* 明治18年測量の陸地測量部の2万分の1の地図は存在する。

の浸入によって支川の堤防がつぎつぎに破堤したが、その現象を再現するために、一定時間後には天端高が0となる仮想堤防を破堤個所にあわせて設定した。(後述する図3-3-10参照)。大塚と芝生の間には設けた堤防も仮想堤防であり、芥川に続く本川の破堤に伴う氾濫水の挙動を

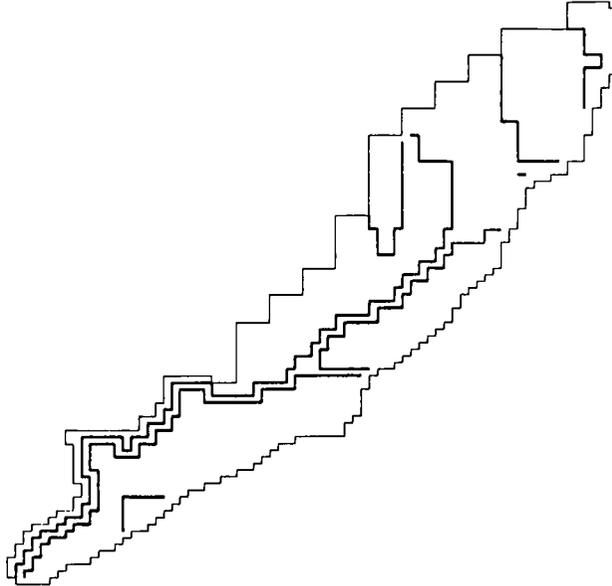


図3-3-9 盛土(堤防)の配置

再現するためのものである。破堤の仕方としては破堤開始後30分で盛土の高さが0となるように設定する。一般の堤防の高さとしてはT.P.20mを一律に与えたが、これは仮想堤防以外での越流を防ぐためである。ただし、玉川の堤防だけは盛土高をT.P.7.5mと地盤高より、約3m高いものとした。また、安威川および神崎川の河床高については、現況の河床高を入力した。したがって、当時に比べて疎通能力をかなり過大に評価していることになる。

⑤ 境界条件

破堤点である大塚地点に相当する格子に、図3-3-5に示した越流量ハイドログラフを左側に向かう流量フラックスとして与えた。神崎川の下流端にあたる境界格子には仮想の排水機場を設け、その格子に到達

した流量は全て排水できるものとした。

⑥ 初期条件と計算時間間隔

初期条件については、旧巨椋池干拓地流域と同様、破堤以前の状態として、対象領域全体において水深および流量フラックスはすべて0とした。この場合、河道の初期条件としては不自然であるが、計算の簡略化のために上記のように与えることにした。計算時間間隔については試算の結果 $\Delta t = 10 \text{ sec}$ とした。

3-3 実績と計算結果との比較

この氾濫は約60年前に起こっているので、5313台風時と比べて氾濫水の挙動を記録した文献はさらに少ないが、これらの資料に記録されている氾濫被害の状況から、氾濫水の挙動は大略次のように推定できる。

大正6年10月1日5時頃、淀川本川からの背水の影響もあって支川芥川が芝生地点で破堤し、氾濫水が安威川および玉川方面へ浸入したために付近一帯はたちまちのうちに浸水した。ついで、同8時40分頃に本川大塚堤防が破堤し、大量の氾濫水が堤内地に流れ込んだが、流勢は2方向に分れ、一方は高槻方面へ拡がり、同11時30分頃には高槻に到達した。また、他方は芥川からの氾濫水と合流して安威川の左岸堤防沿いに流下し

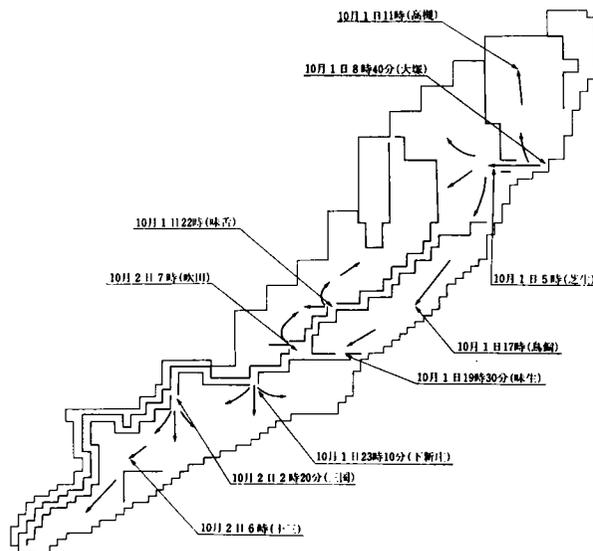


図 3-3-10 氾濫水の挙動

ながら、同 17 時には鳥飼付近に到達し、遂には神崎川の堤防にまで到達した。そして、同 19 時 30 分頃神崎川の堤防に決壊口を作って神崎川に流れ込んだ氾濫水は、神崎川の水位を急激に増加させながら流下した。そのために、同 23 時 10 分頃には左岸の下新庄で破堤が生じ、氾濫水が神崎川の左岸へ流れ込んだ。また、下新庄の下流に位置する三国でも、流失した橋桁が、下流の鉄橋にさえぎられて河川をせき止めた形となったために溢水が生じ、越流水は三国および十三方面に浸入した。一方、安威川筋においても各所で破堤を生じ、安威川右岸一帯はほとんど浸水被害を被った。このような状況を図示したのが図 3-3-10 である。こうして支川の堤防をつぎつぎと破堤させながら流下した氾濫水は、本川右岸全域を襲って、明治 18 年の本川右左岸が浸水した大災害と並ぶ壊滅的な被害を与えた。図 3-3-11 は浸水被害をうけた地点を地盤高を考慮しながら推定した実績湛水区域図であるが、右岸のほとんど全域が浸水被害をうけていることがわかる。

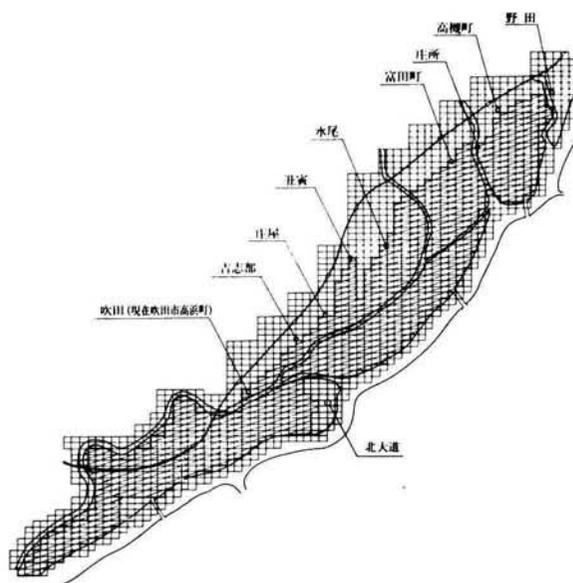


図 3-3-11 実績最大湛水区域 (推定)

つぎに、上述した氾濫水の挙動を計算によって追跡してみよう。

まず、図 3-3-12 (a)~(e) は流量フラックスと湛水深の時間変化を示し

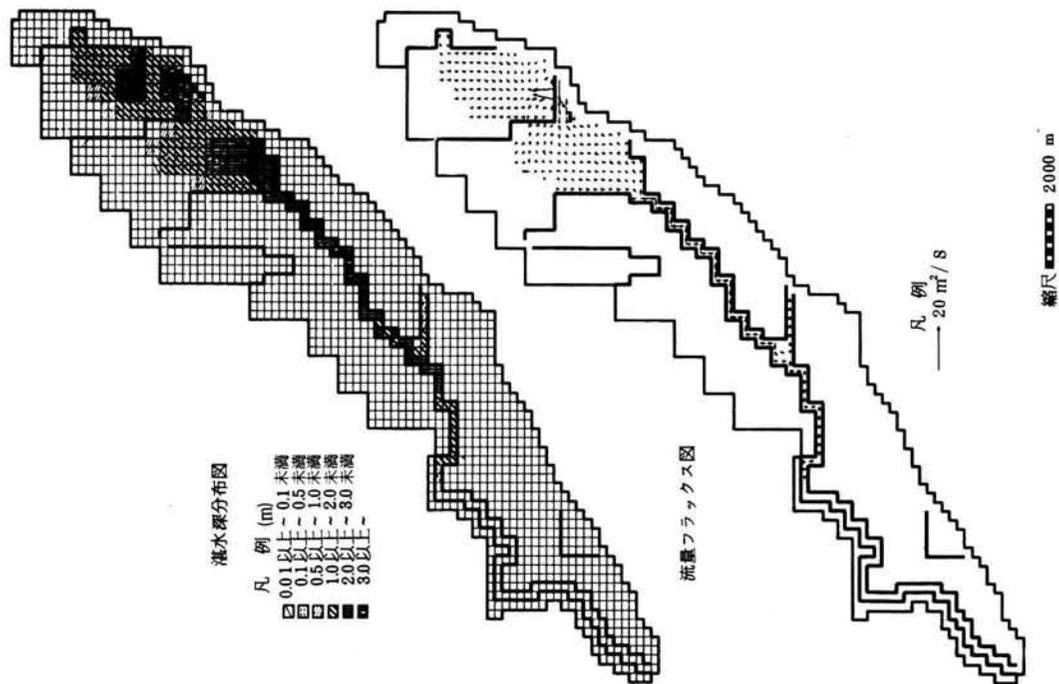


図 3 - 3 - 12 (b) 氾濫水の状況
(大正6年10月1日12時0分)

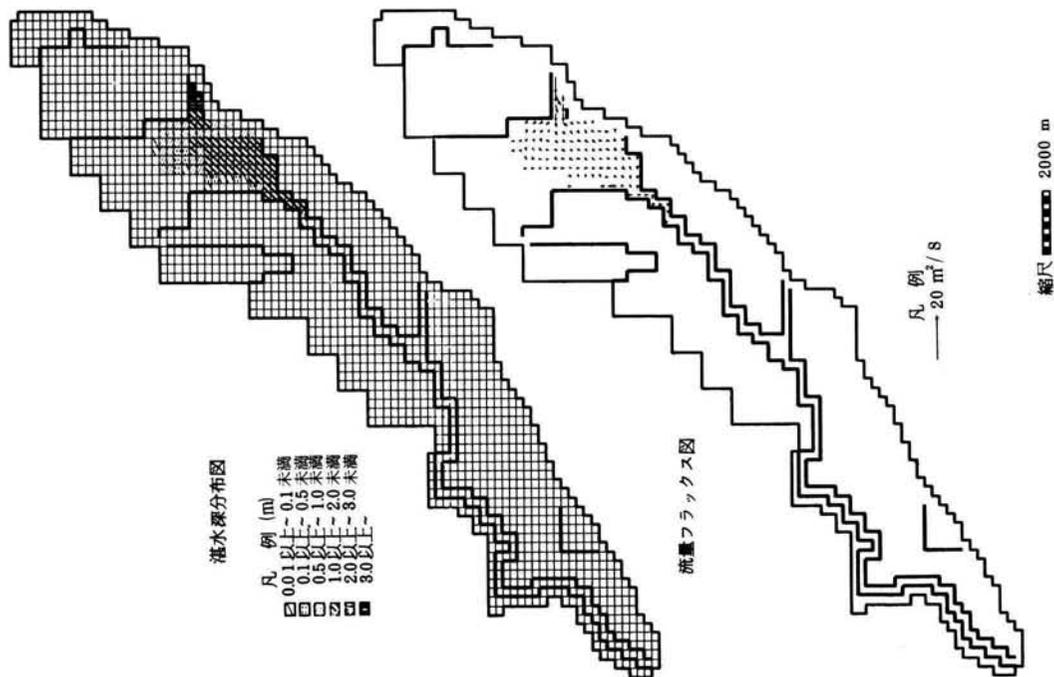


図 3 - 3 - 12 (a) 氾濫水の状況
(大正6年10月1日8時0分)

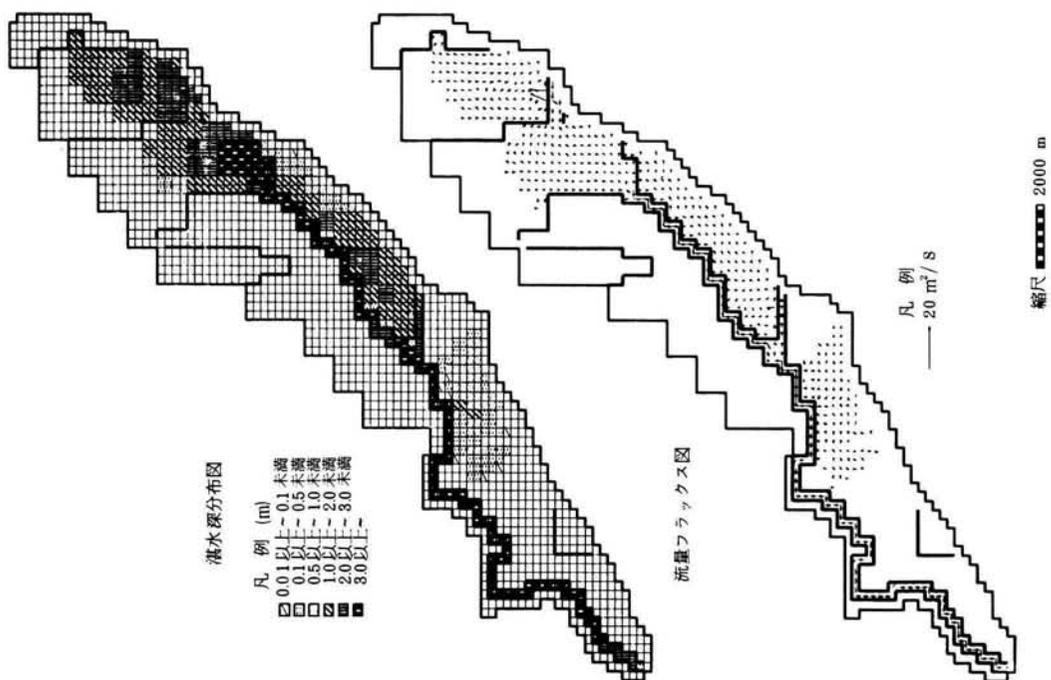


図 3-3-12 (d) 氾濫水の状況
(大正6年10月2日1時0分)

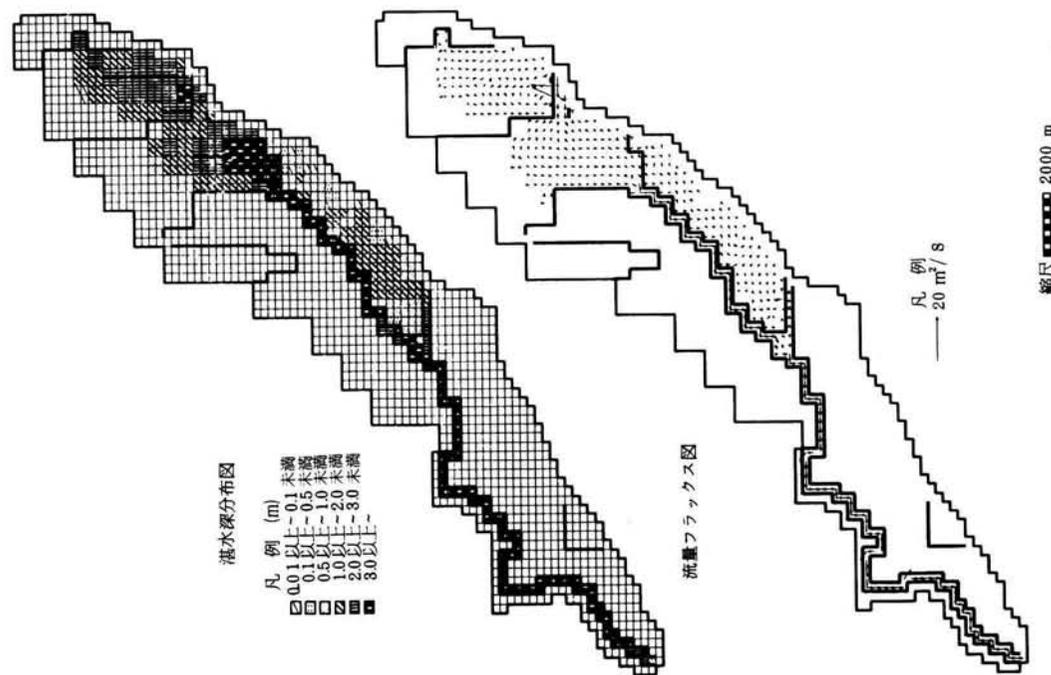


図 3-3-12 (c) 氾濫水の状況
(大正6年10月1日21時0分)

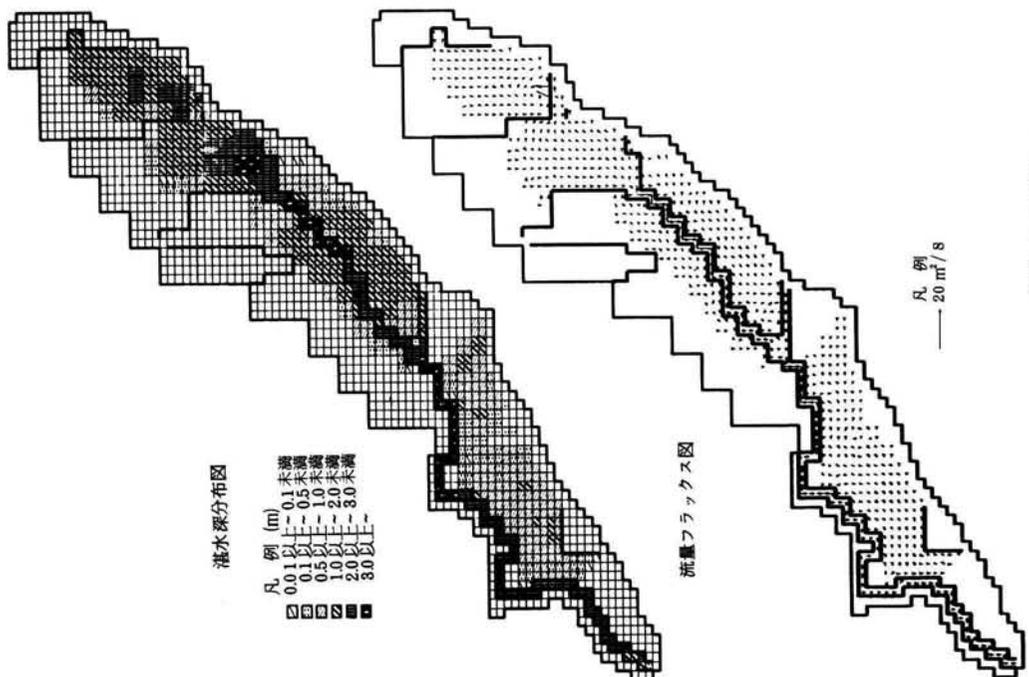


図 3-3-12 (e) 氾濫水の状況
 (大正6年10月2日5時0分)

たものである。図3-3-12(a)は10月1日8時のもので、芥川の破堤を再現するために設けられた仮想堤防に沿って氾濫水が安威川および玉川方向へ流下していく様子がみられる。図3-3-12(b)は仮想堤防を大塚破堤時間にあわせて破堤させた後約3時間後の状況で、既に氾濫水は高槻に到達している。図3-3-12(c)は1日21時のものであるが、19時30分に神崎川の仮想堤防が破堤しているために、氾濫水は既に神崎川へ流れ込んでいる。図3-3-12(d)、(e)は2日1時と5時の状況であるが、下新庄および三国で破堤が起こっているため、神崎川左岸一帯は大半浸水している。また、(e)では安威川右岸一帯も吹田や味舌での破堤によって浸水被害をうけているが、上流一帯の氾濫は下流にあたる吹田や味舌での破堤によって生じた氾濫水が浸入してきた結果であることがわかる。また、この時間になると最上流側の高槻では徐々に減水が始まりかけている様子がかがえる。

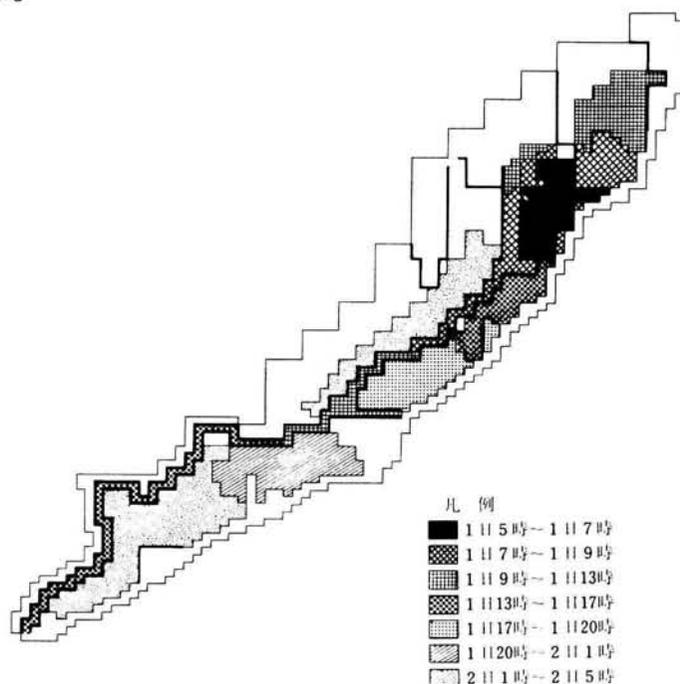


図3-3-13 計算到達時間分布

図3-3-13には氾濫水の到達時間分布を示しているが、図3-3-10

に示した鳥飼、高槻および十三での実績時間と比較するとほぼ一致していることがわかる。

図3-3-14は湛水区域および最大湛水深の分布図である。湛水区域については、図3-3-11をみれば明らかなように、計算と実績とはほとんど一致しているが、安威川の右岸沿いで計算値の方がわずかに狭くなっている。湛水深については比較すべき正確な記録が残されていないために詳細は不明であるが、一丈(3.03m)を越える湛水深も数箇所記録されていることから、計算値が多少小さめの湛水深となっているようである。こ

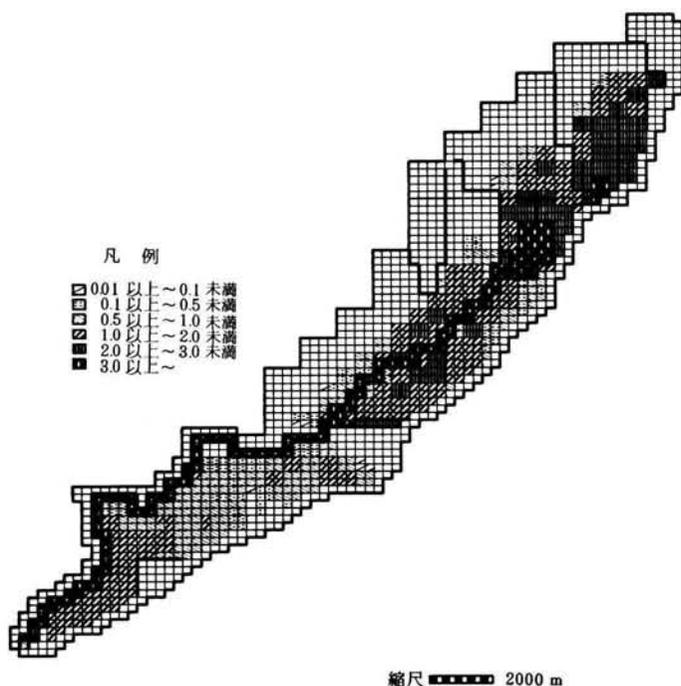


図3-3-14 湛水区域および最大湛水深の分布

これは各支川の破堤点からの越流量が少ないためであり、当時の状況から判断してもかなりの流量が流れていたと考えられる各支川の流量を全く無視していることや、図3-3-5に示した流入量ハイドログラフの推定精度などに起因するものであろうと考えられる。

以上述べたように、入力条件の妥当性の問題もあって、計算値と実績値とは多少の違いがみられるが、支川堤防に阻止された氾濫水が、つぎつ

ぎと破堤を生じさせながら下流に浸入していく様子が現実に近い形で再現されているように思われる。しかしながら、ここで述べた解析方法を淀川右岸流域と類似の地形の流域に適用することによって、治水上の種々の施策を検討するためには、破堤のメカニズムを明らかにして破堤時刻等を正確に推定する必要がある。

第4節 猪名川多田流域

4-1 流域および氾濫の概要

この流域は淀川の支川である猪名川の上流部に位置し、図3-4-1に示すように面積5 km²程度の小流域であるが、この区間の河道の上流端および下流端が狭窄部となっているために、過去しばしば洪水氾濫に見舞われてきた。近年、猪名川流域では急速な都市化が進行して中・下流部は典型的な都市河川の様相を呈し、最近では水源に近いところにまで開発が及んできた。したがって、多田流域にも洪水氾濫に関する十分な知識を持たない人々が居住する傾向にあり、建設省や関係自治体では総合治水対策の一環として、過去の実績浸水区域を公表するなどの対策をとっている。

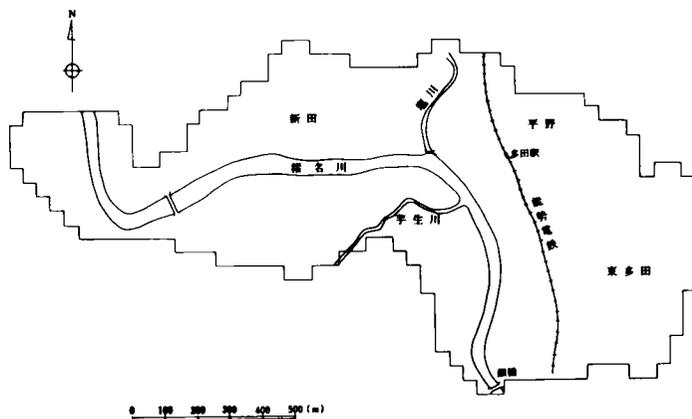


図3-4-1 流域の概要

本解析で対象とする洪水氾濫は昭和47年9月の台風20号(以下7220号台風と呼ぶ)によるものである。この台風による出水によって多田流域は昭和28年、35年、42年に続く浸水被害をうけた。7220号台風は

図 3-4-2 に示すように前記 2 洪水の場合と同様に北東進型台風であり、
 図 3-4-3 に示すように降雨量がかなり多く、淀川水系では桂川流域の

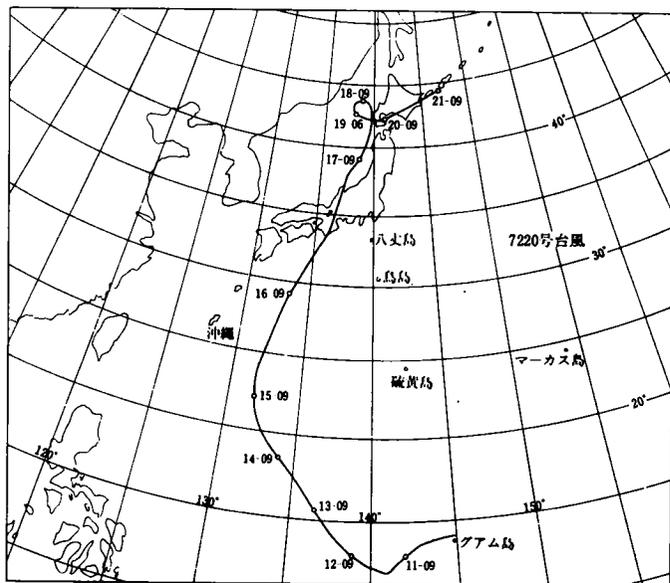


図 3-4-2 台風の進路

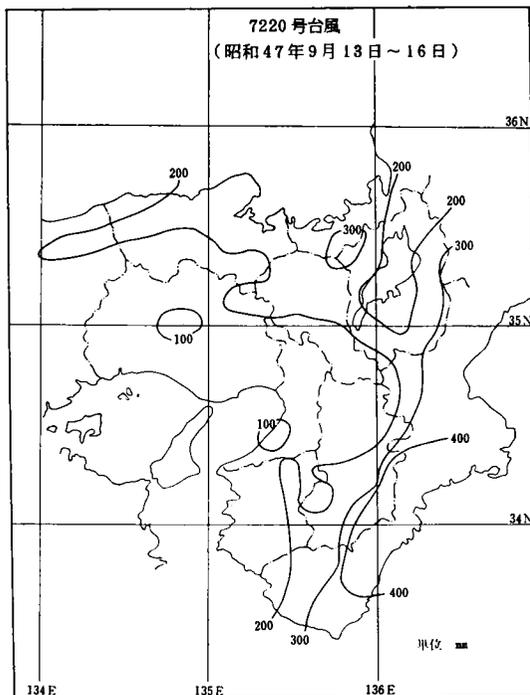


図 3-4-3 総雨量図

亀岡盆地でも浸水被害をうけている。多田流域に関していえば、5313号台風の出水の方が大きく、浸水区域も広がったと推定されているが、7220号台風による氾濫は比較的近年に起こったものであるために、氾濫に関する聞き取り調査¹⁶⁾が行われており、計算結果の検証が容易である。

4-2 河川上流域への適用と問題点

前述の2流域で実施した氾濫解析は、比較的平坦な堤内地を対象としたものであり、旧巨椋池干拓地流域についてはこれに次元解析法による河川の洪水追跡計算を組み合わせたものである。しかしながら、ここで対象とする流域は連続な河川堤防が存在せず、有堤区間と無堤区間が混在しており、したがって、流れにとって堤内地と堤外地との区別が必ずしも明確ではない。

このような流域を対象として氾濫水の解析を行う場合は、中・下流域のように堤内地と堤外地とを明確に区別して取り扱うことは適切ではなく、また実際には不可能である。したがって、ここでは対象流域のうち比較的地盤の低い部分が通常は河川と呼ばれる部分であると考え、氾濫区域全体に対して二次元の氾濫水の解析モデルを適用することにする。この場合、有堤区間の扱いには淀川右岸流域の場合と同様に河川堤防を氾濫区域内に存在する盛土の一つであると考え、盛土を考慮した場合の解析法を適用すれば、それ以外に何ら特別な扱いをしなくてもよいことになる。

しかしながら、このような河川上流域における氾濫水の挙動を解析する際には、河川上流域の地形的特徴として勾配が比較的急なことと、上述のように、河川と堤内地とを区別しなかったことにより生じる新たな問題がある。それは計算格子の地盤高の高低差が中・下流域の堤内地のそれに比較してそうとうに大きくなること、とくに河川とみなされる部分とそれに隣接する部分との間に河岸段丘が発達している場合にそれが著しいことに起因するもので、このような地形は数値計算を実施する面からみると、次のような不都合を生ぜしめる。つまり、周辺より地盤高の高い地点に浸水が及んだとき、そこでは当然水深は周囲に比較して浅いため、前述の

(2.15.1)および(2.15.2)式の左辺第2項および第3項(非線型項)が他の項に比較して大きくなり、極端な場合には発散する恐れがあることである。さらにこの種の水の運動の計算において避けられない水面の振動が重なれば、上記のような地点において、解が不安定となることが考えられる。このような問題を避けるには(2.12.1)および(2.12.2)式の非線型項の差分化に(2.15.1)および(2.15.2)式のような中央差分をとらずに流れ方向に応じて差分をとる区間を変化させる前方差分をとればよいとされているが、¹⁷⁾この問題は氾濫水の先端部の処理方法と密接に関連していることは明らかであり、差分のとり方だけの問題とも考えられない。ただ上述の非線型項は上記のように浸水の初期のみにおいて大きな意味をもつものであり、湛水が進行し水深がかなり大きくなれば、それほど大きな影響を及ぼすとは思われないので、以下に述べる計算においては、数値的に安定な解を得るためにこの項を無視することにする。

4-3 計算に使用した資料および条件

① 堤内地の分割と地盤高

対象とした堤内地を図3-4-4のように格子に分割する。周辺には境界格子をつけ加える。格子の大きさは $\Delta x = 50.0 \text{ m}$ 、 $\Delta y = 50.0 \text{ m}$ である。地盤高は1/2,500の地形図より読み取った。堤内地の地盤高の現況は図3-4-5に示すとおりであり、狭い流域にもかかわらず、地盤

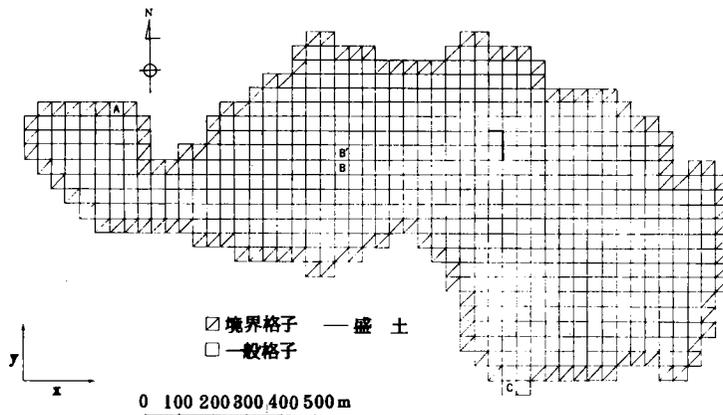


図3-4-4 堤内地の分割

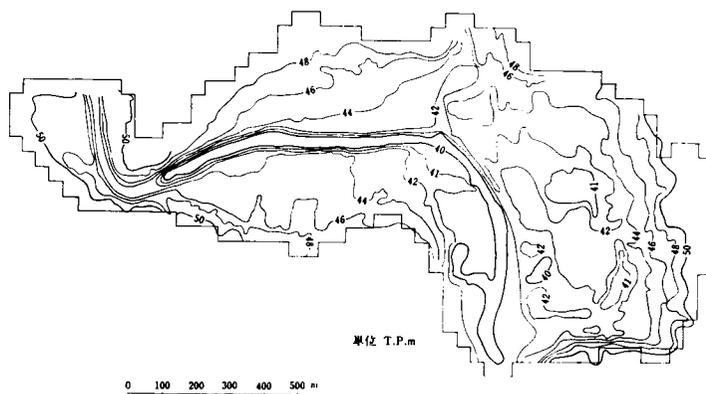


図 3-4-5 地盤高の現況

の高低差が大きいことがわかる。

② 河道の計算方法

上述のように、ここでは河道も氾濫区域の一部とみなし、対象領域すべてにわたって二次元的な解析を行うために、次に述べる境界条件が与えられる上流端、下流端および河川の堤防等の盛土を考える格子以外は、一般格子と同様に取り扱う。

③ 境界条件

河道の上流端に相当する境界格子に、流量ハイドログラフを、下流端に向かう流量フラックスとして与えなければならない。しかし、河道の上流端に相当する地点では水位観測が行われていないために、図 3-4-6 に示す流出計算によって求められた流量ハイドログラフ¹⁸⁾を入力として使用した。また、下流端の条

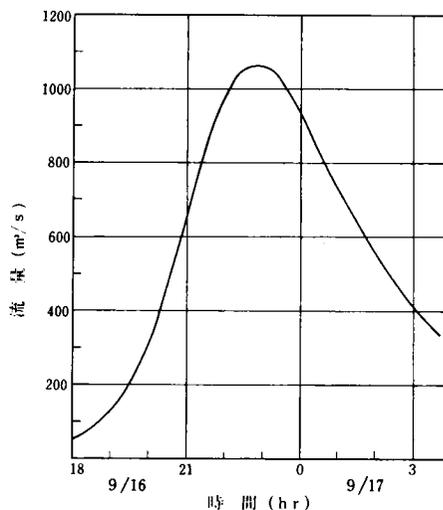


図 3-4-6 流量ハイドログラフ

件として河道の下流端に相当する格子に図 3-4-7 に示すような H-Q

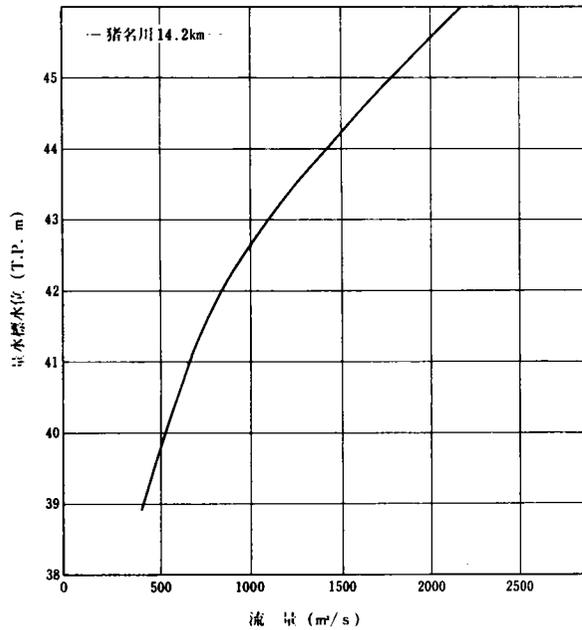


図 3-4-7 下流端H-Q曲線

曲線を与えた。このH-Q曲線は、不等流計算によって求められた最も狭窄部となっている猪名川 14.2 kmの地点のもので、¹⁹⁾実際には河道下流端より約 0.2 km上流側のものである。

④ 盛土

盛土は図 3-4-4 に示したように、一般格子の周囲に沿って配置するものとし、それぞれの盛土についてその天端高を与えた。

⑤ 初期条件

簡単のため、計算対象領域全体にわたって、水深および流量フラックスがすべて 0 であるとした。すなわち、河道を含め対象領域には降雨などによる内水は初期には存在しないとしたのである。この条件は河道の初期条件としては不自然であるが、このことの影響は氾濫が問題となる頃までは及ばない。

⑥ 粗度係数

多田流域では全域にわたって $n = 0.035$ を与えることにした。

⑦ 計算時間間隔

計算時間間隔は試算の結果 $\Delta t = 1.0 \text{ sec}$ とした。

4-4 実績と計算結果との比較

前述のように7220号台風による洪水氾濫時の湛水被害の状況については、建設省猪名川工事事務所が実施した聞き取り調査の結果がある。この調査では湛水深と地盤高が調べられており、この湛水深と地盤高とを加え、

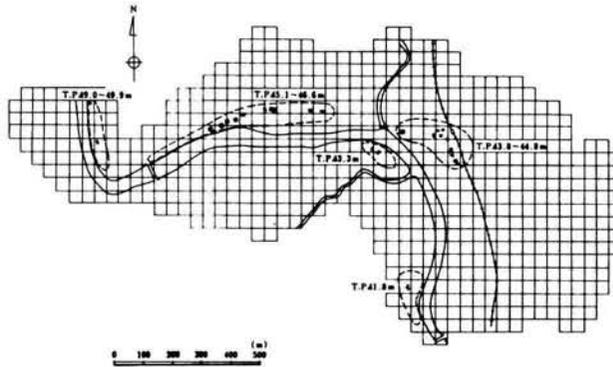


図 3-4-8 実績湛水位

あわせて湛水位の分布を調べたのが図 3-4-8 である。この図から、上流部、中流部および下流部での水位にかなりの差があることがわかる。これは対象領域が狭いにもかかわらず、高低差が大きいことを反映した結果である。

図 3-4-9 は図 3-4-8 の結果をもとに、地盤高を考慮しながら推定した実績最大湛水区域である。同図において、上流部は T.P.48.0~49.0

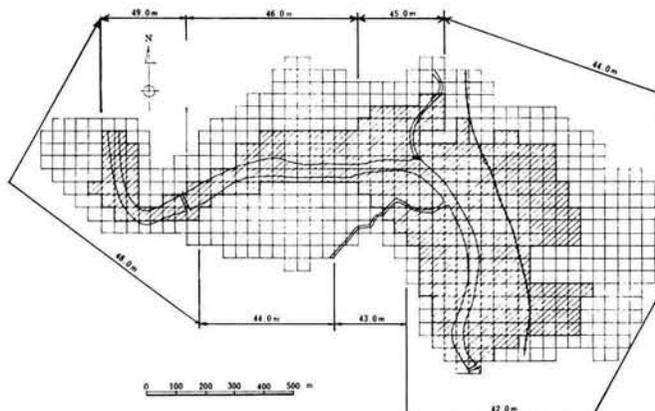
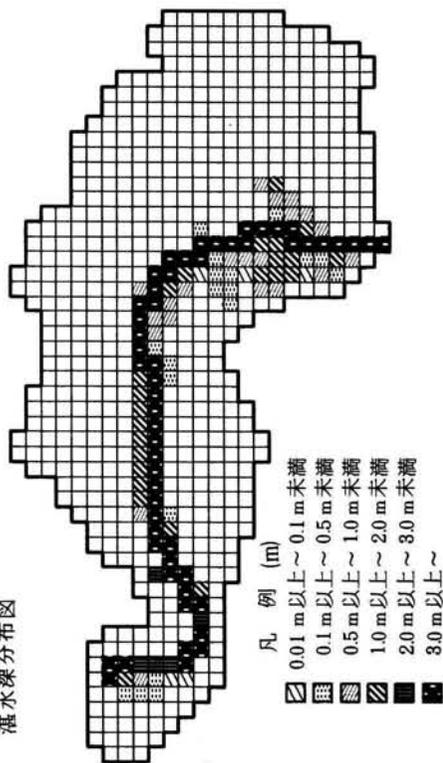
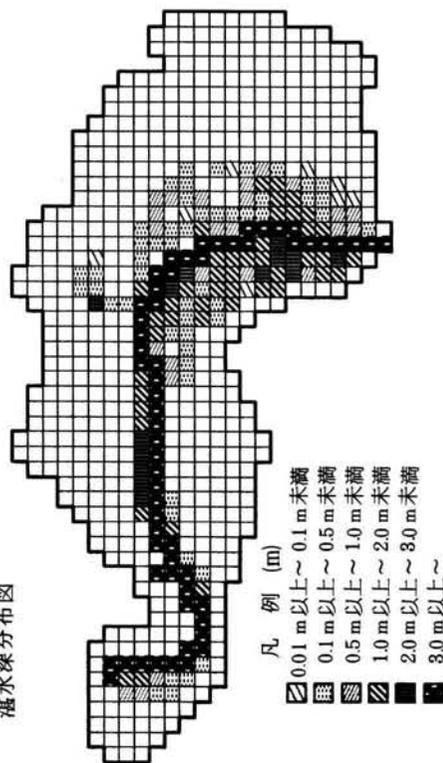


図 3-4-9 実績最大湛水区域（推定）

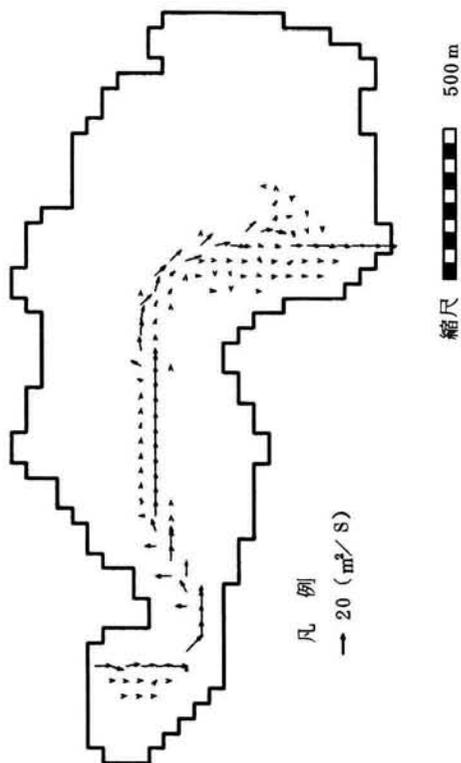
湛水深分布図



湛水深分布図



流量フラックス図



流量フラックス図

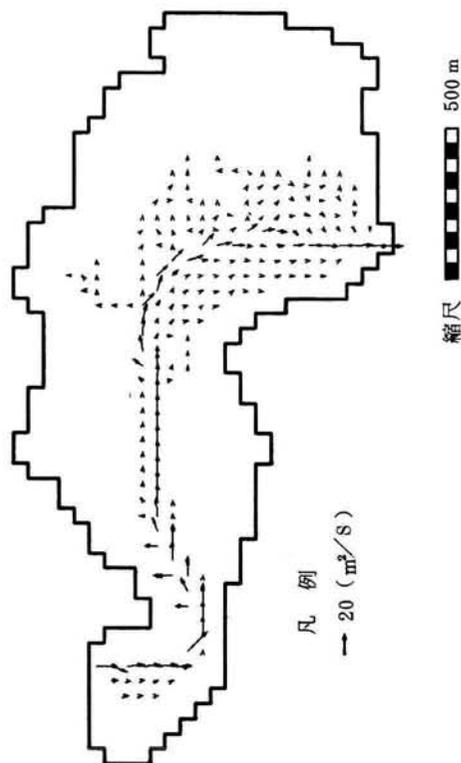


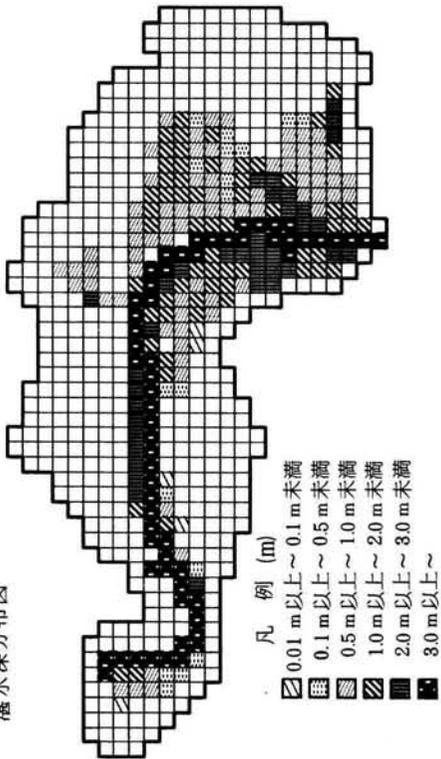
図 3-4-10 (a) 氾濫水の状況

(昭和 47 年 9 月 16 日 21 時 30 分)

図 3-4-10 (b) 氾濫水の状況

(昭和 47 年 9 月 16 日 22 時 0 分)

湛水深分布図



流量フラックス図

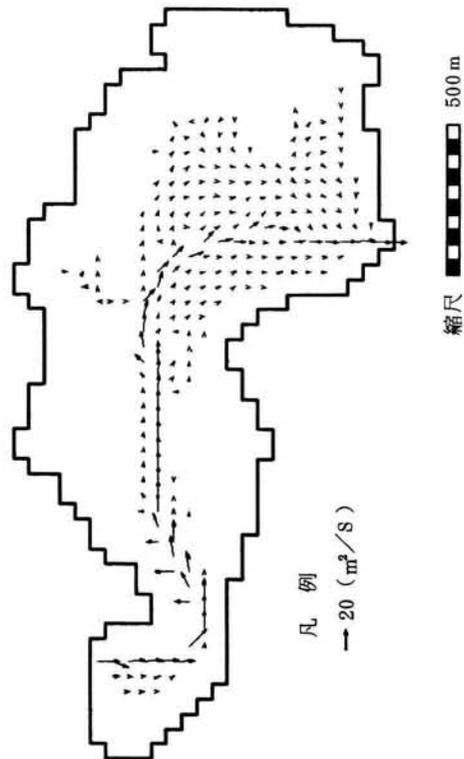
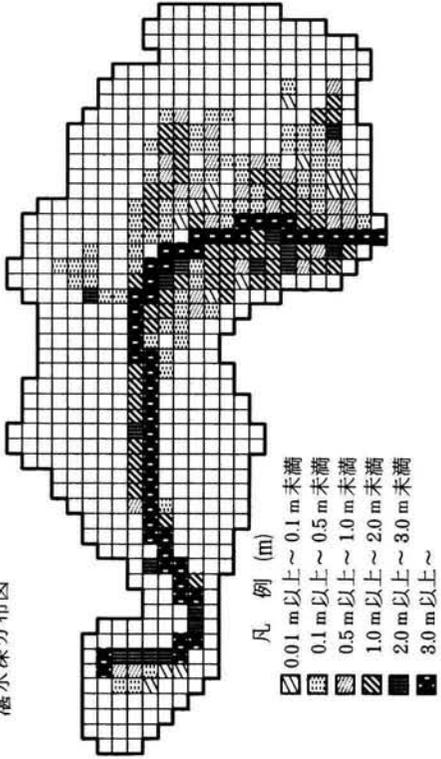


図 3-4-10(c) 氾濫水の状況
(昭和47年9月16日 23時0分)

湛水深分布図



流量フラックス図

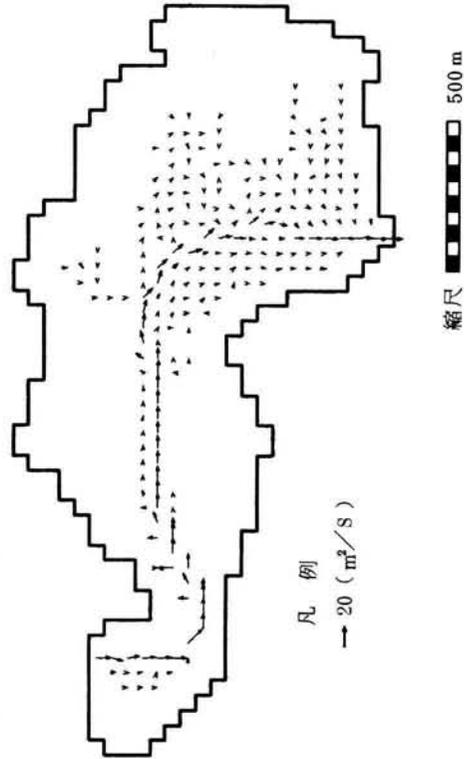
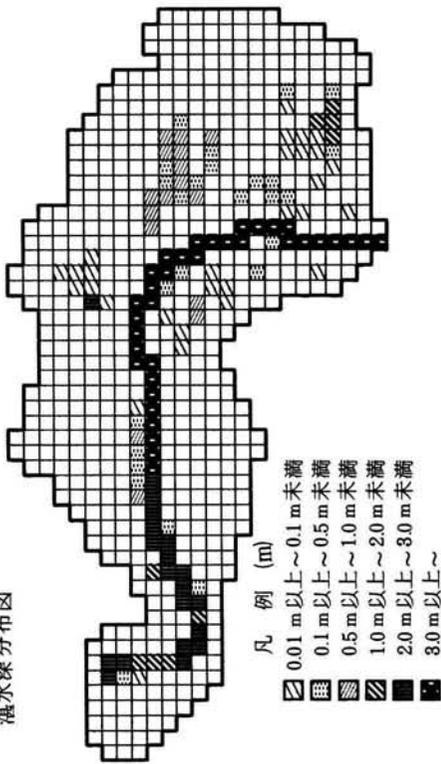


図 3-4-10(d) 氾濫水の状況
(昭和47年9月17日 1時0分)

湛水深分布図



流量フラックス図

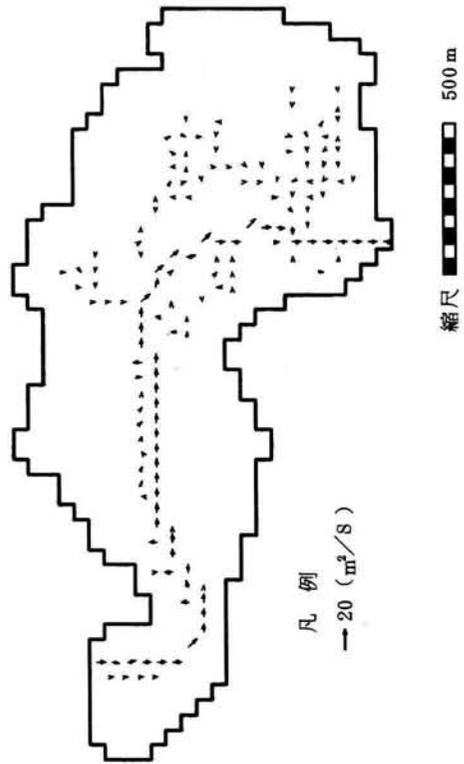


図 3-4-10(e) 氾濫水の状況
(昭和 47 年 9 月 17 日 3 時 0 分)

m、中流部はT.P.44.0～46.0 m、下流部はT.P.42.0～43.0mの地盤高の区域を湛水区域としている。

つぎに、上述のような河川上流域の特性が本解析法によってどの程度再現できるかを検討してみよう。まず、氾濫水の挙動の時間変化を流量フラックスと湛水深とによって示したのが図3-4-10(a)～(e)である。図3-4-10(a)は16日21時30分の状況であるが、洪水の流入とともに河道の流量が増加し、徐々に河道周辺の低地へ浸水が始まっている。とくに右岸下流部では浸水区域が広がっているが、この地区は遊水池の計画があるところでもあり、流れの挙動とよく対応しているといえよう。図3-4-10(b)、(c)は16日22時、23時の状況で、流量ハイドログラフのピーク時付近のものである。氾濫水は下流左右岸一帯に浸水しており、とくに左岸側はかなり広い区域に湛水している。この地域は近年急激に宅地化が進行しているところであるが、ひとたび氾濫が起きると湛水被害を被る危険性が高いのである。図3-4-10(d)、(e)はそれぞれ17日1時と3時の状況であり、減水時の状況を表しているが、流量フラックスのベクトルは河道に向かっており、浸水した水が河道に戻っているのがわかる。湛水深分布図をみると、周囲から取り残された湛水区域が存在するが、これは周囲の地盤より相対的に凹地であるためである。

つぎに、図3-4-11は湛水区域と最大湛水深の分布とを示したものであるが、図3-4-9と比較すると明らかなように、中流部の氾濫区域に多少の相違はあるが、計算値は実績値とほとんど一致している。また、図3-4-12は図3-4-11の最大湛水深に地盤高を加えて湛水位として表したものであり、氾濫区域には実績とほぼ同様の水位差がついている。このことから、河川上流域を対象とした場合においても、本解析法はほぼ妥当な結果を与えることが明らかであり、非線型項を無視しても大きな問題とならないことがわかる。

河川上流域における氾濫水の挙動をもう少し詳しく検討するために、流域内の各地点における水位ハイドログラフを調べたのが図3-4-13であ

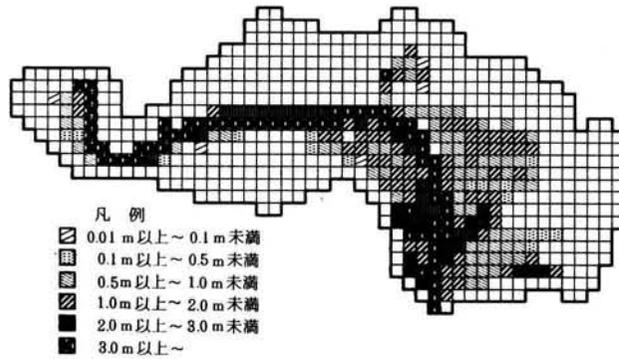


図 3-4-11 湛水区域および最大湛水深分布

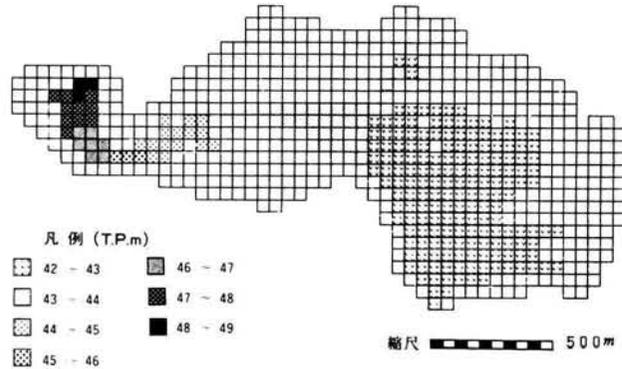


図 3-4-12 湛水位の分布

る。図中において、上流端、中間部、堤内地および下流端は、それぞれ図 3-4-4 に示した A、B、B'、C 地点に対応する。図からわかるように、各地点の水位に相当の差があり、ピーク時刻のずれは 10～20 分程度であることがわかる。また、図 3-4-14 は上・下流端の流量ハイドログラフを示したものであるが、ピーク時刻のずれは約 20 分程度であり、洪水はきわめて早い速度で流域内を流下していることになる。こ

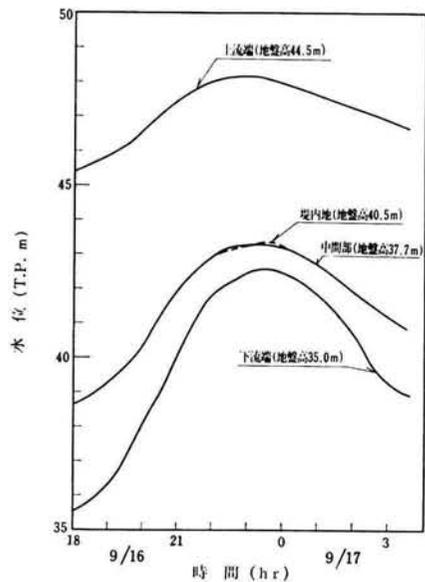


図 3-4-13 水位ハイドログラフ

これらの結果は地形が比較的急峻な河川上流域の氾濫水の特徴をよく説明しているものといえよう。したがって、このような流域では図3-4-15の到達時間分布図に示すように氾濫水は急速に拡がるために、洪水氾濫に対して事前に周到な準備をしておかなければ、大きな氾濫被害を被ることが予想される。築堤などの治水施設の建設は早急には実現しないことから、当面の対策としては洪水予報を行うとともに、避難システムを確立することが急務であろうが、これらの計画の策定にあたっては本解析法が役立つであろう。

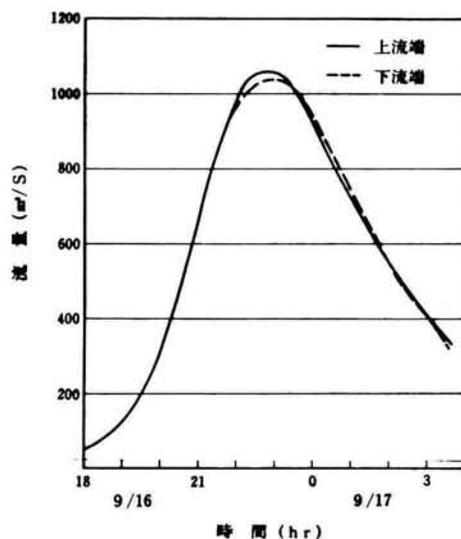


図3-4-14 上・下流端の流量
ハイドログラフ

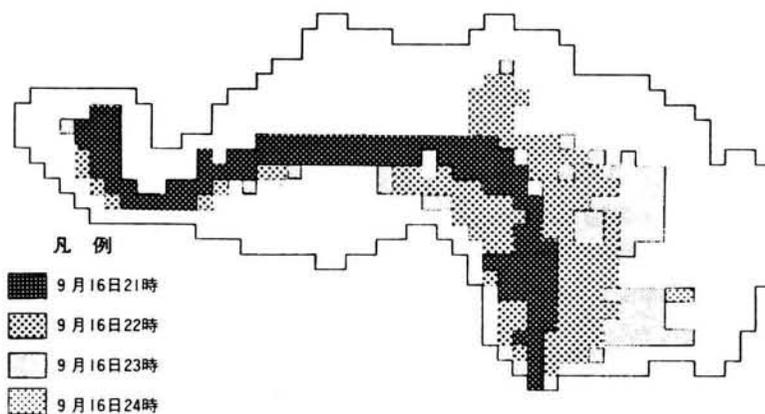


図3-4-15 計算到達時間分布

第5節 結語

本章はそれぞれに特徴的な地形構造をもつ淀川水系の3流域を対象に、第2章で述べた氾濫水の数値解析法を適用し、その妥当性を検証したものである。

旧巨椋池干拓地流域では、河道と堤内地をそれぞれ独立に取り扱った計算法によって計算を行った。つぎに淀川本川右岸流域では支川堤防を盛土として取り扱った計算法によって計算を行った。最後に、猪名川多田流域においては、河川上流域の特殊な地形条件を考慮しながら、河道と堤内地とを一体化した計算法によって計算を行った。

本文で得られた成果をとりまとめると、以下のようである。

- ① 河道と堤内地をそれぞれ独立に取り扱った解析結果は、河道および堤内地いづれについても妥当なものであり、この計算法によって河道内の洪水および氾濫水の挙動が解析できることが明らかとなった。
- ② 支川堤防を盛土として取り扱った解析結果では、堤防によって氾濫水が遮られる様子がよく捉えられ、氾濫の状況および氾濫区域も実績ともよく一致したことから、この計算法の妥当性が確かめられた。
- ③ 河川上流域を対象とした解析結果では、急峻な地形特性に影響された氾濫水の挙動がよく捉えられており、実績とも良好な一致をみたことから、河道と堤内地とを一体とした計算法の妥当性と、非線型項を無視しても大きな問題は生じないことが確かめられた。
- ④ 堤内地の微地形の一つである排水路を考慮に入れた場合には計算法がきわめて煩雑となり、しかも湛水が相当に進んだときの計算結果に問題があることが明らかになった。したがって、計算上の安定性の問題をも含めて、排水路の数値モデルの改良については、今後の研究が必要であると考えられる。
- ⑤ 洪水危険区域の推定等に本解析法を利用する場合において、とくに支川堤防の破堤等が重要な要素となるときには、破堤のメカニズムを十分研究し、破堤時刻等の推定に正確を期す必要がある。

なお、今後本解析法を現地流域に適用することによって、堤防等の施設計画の検討を進めることも重要であるが、本研究では第4章以下において、万一破堤が起こった場合の人身被害を軽減するための最も有効な施策となる避難システムの研究を行うこととしたい。

参 考 文 献

- 1) 西原巧：氾濫解析とその現地流域への適用（その2），水利科学，
№143，1981，pp.24-70。
- 2) 西原巧：氾濫解析とその現地流域への適用（その3），水利科学，
№144，1982，pp.76-94。
- 3) 建設省近畿地方建設局淀川ダム統合管理事務所：洪水避難検討（その2，
その3）業務報告書，1979，1980。
- 4) 建設省近畿地方建設局：淀川百年史，1974，p.130。
- 5) 建設省近畿地方建設局淀川ダム統合管理事務所：淀川中・下流部の不定
流計算検討業務報告書，1977。
- 6) 建設省近畿地方建設局：昭和28年9月25日台風13号による淀川洪
水の解析について，1954。
- 7) Xanthopoulos, Th. and Ch. Koutitas : Numerical Simulation of
a Two Dimensional Flood Wave Propagation Due to Dam Failure,
Jour. Hydraulic Research, vol.14, №2, 1976, pp.321-330。
- 8) 淀川大和川洪水予報連絡会：淀川・大和川の洪水，1960，p.248。
- 9) 巨椋池土地改良区：改良区報「巨椋池」1号，1954。
- 10) 建設省近畿地方建設局淀川工事事務所：淀川洪水史，1969, pp.103-158。
- 11) 前掲7)，p.217。
- 12) 米田正文：淀川計画高水論，建設省近畿地方建設局，1952。
- 13) 淀川左岸水防予防組合：淀川左岸水防組合誌（中編），1929。
- 14) 建設省近畿地方建設局：濁流が走る（新聞記事にみる淀川大和川の洪水）
1981，pp.68-85。
- 15) 建設省近畿地方建設局淀川工事事務所：明治大正洪水箇所図。
- 16) 建設省近畿地方建設局猪名川工事事務所：既往洪水浸水実績調査作業報
告書，1981。
- 17) 堀江毅：沿岸海域の水の流れと物質の拡散に関する水理学的研究，京都

大学学位論文，1981。

18) 建設省近畿地方建設局猪名川工事事務所：猪名川総合治水対策調査検討業務報告書，1978。

19) 建設省近畿地方建設局猪名川工事事務所：猪名川不等流計算業務報告書，1975。

第4章 洪水氾濫に伴う地域避難システム

第1節 概 説

本章では第2、3章で述べた洪水氾濫水の数値解析法を組み入れた洪水災害時の避難システムの構成と評価の手法について述べることにする。

災害時における避難活動は、人身被害を最小限にとどめるための方策としてはもっとも効果的であり、避難計画は災害対策基本法に基づき防災機関が作成する地域防災計画においても重要な位置を占めている。しかしながら、これらの避難計画には十分とはいえないものもあり、実際の災害時において必ずしも円滑に機能しない場合がみられる。近年、防災対策の進展によって災害を相当程度防止もしくは軽減できるようになってはきたが、毎年のように災害によって人命が失われている事実が変わりはなく、災害時における警戒避難体制の一層の充実は今後の防災行政の最も重要な課題であるといわねばならない。

ここで述べる避難システムの構成と評価の方法においては、洪水氾濫水による堤内地の湛水深や湛水区域の時間的・平面的分布の予測値をもとにして、避難システムの構成要素である避難施設、避難路の配置や規模および避難誘導方法などを個々に評価した後、住民の避難行動を最短経路選定問題としてモデル化し、その結果を用いて上述の各要素で構成される避難システム全体の適正度を評価する。

この方法によれば、避難施設や避難路などの適正規模や最適配置の計画が可能となり、さらには避難命令の発令時期や情報伝達方式の改善にも役立てることができる^{1),2)}と考えられる。

本章では、最初に災害時の人間行動の特性について述べ、そのなかで制御誘導可能な領域を見出し、洪水時における避難システムの構成のための基本フレームを提示する。ついで避難システムの構成手法と評価のためのシミュレーションモデルを提案する。

第2節 災害と避難システム

2-1 災害と避難行動

(1) 平常時における避難行動

災害が発生し、もしくは発生が予想される場合において、それによって被害をうける可能性のある人間の対応行動は多様である。しかしながら、この多様にみえる対応行動も基本的には図4-2-1に示すような個人内部における意思決定プロセスに基づくものであると考えることができる。すなわち、災害にかかわる外力そのものを直接に、あるいは何らかの情報を通じて災害（の接近）を認知した後、状況の確認、自己の定位、切迫度の想定とい

う判断過程を経て、個人レベルでの最も合理的と考えられる行動の選択が行われ、避難行動が開始されるとみるのである。ここで、状況の確認、自己の定位、切迫度の想定とはそれぞれ次のような内容を持つ。

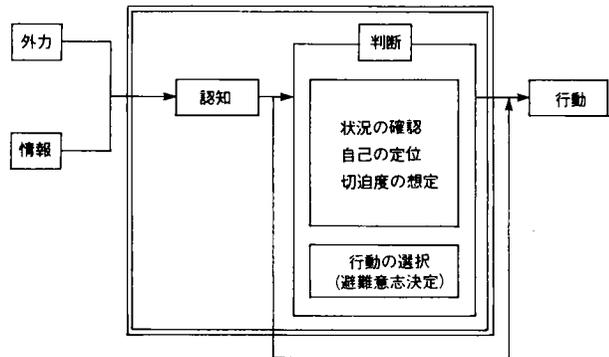


図4-2-1 避難時における意思決定プロセス

イ) 状況の確認

状況の確認とは、危機的事態（またはその可能性）を告げる外界からの情報に対する最初の反応であって、それによって「何が起こったか（起こりつつあるか）」を確かめようとする行動をさす。

ロ) 自己の定位

自己の定位とは、状況の確認の後、災害発生の確度と規模とを予想し、その災害における自己の立場、すなわち自己の安全性を定めようとすることをいう。

ハ) 切迫度の想定

切迫度の想定とは、事態がどの程度切迫していて、どれくらいの時間内に意思決定すべきかを想定するもので、いわば時間軸に関する状況の確認である。

以上の判断プロセスを経て、被害を軽減するために実行可能な対応行動の選択

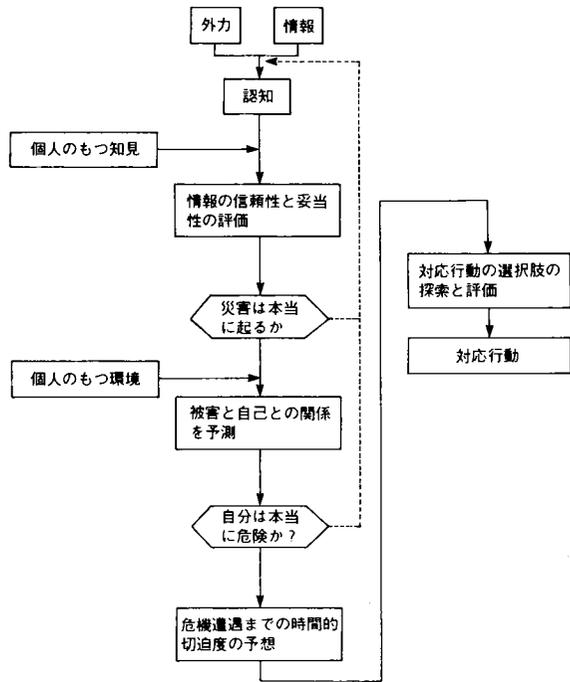


図 4-2-2 意思決定プロセスの詳細フロー

の選択肢の中で被害が最小に抑えられる行動が実行に移されることになる。

このプロセスをもう少し詳しく表現すると図 4-2-2 のようになるであろう。すなわち、情報を認知した後、個人のもつ知見——災害に関する科学的知識、避難施設についての知識など——や、個人の置かれている環境——防災施設の整備状況、家屋構造など——に照らして、災害は本当に起きるか？自分は本当に危険か？などを判断する。そして、危機遭遇までの時間的余裕を考慮に入れて対応行動の選択肢を選定した後、最終的に最も合理的と考えられる行動に移る。時間的余裕が少ない場合には当然ながら選択の幅が狭くなり、結果的には不合理となる行動をとる可能性が強くなる。もし時間的余裕が全くないとすれば、判断のプロセスを経ず反射的に対応行動に移ることになる。したがって、このような意思決定プロセスにおいて、対応行動の合理性を支配する主な要素は、認知から意思決定までの時間的余

裕、個人のもつ災害などに関する知見、および個人の置かれている環境ということになる。

以上は個人レベルの行動分析であるが、その行動原理は人々が集団となって避難を行う場合においてもほぼ適用可能なものと考えられる。ただし、集団避難時においてはいわゆるパニック現象が発生しやすいといわれており、避難システムを考えるにあたっては、その制御が重要な課題となる。パニックとは、所与の社会的・環境的条件のもとで、危険に直面した(と認知した)個人および(または)人々の集合が起こす心理的・行動的反応のうち、被害や正常な機能の阻害の最小化という観点からみて好ましからざるものを指すとされている⁴⁾。パニック現象には現在なお不明な点が多く、その制御方法も明らかではない。また、本章で対象とする洪水災害では、パニックが発生するような状況に直面することはほとんどないと考えられるので、ここではこれ以上ふれないこととする*。

(2) 避難行動における制御誘導可能領域と制御方法

前項においては災害時における住民の対応行動について、その背景となる意思決定プロセスを中心に述べた。すでに明らかなように、災害時には個々の人間の固有の判断で避難が行われるが、災害時において個々の住民が独自の意思決定プロセスに基づいて勝手に行動を起した場合、たとえそれが個人レベルでは合理的な行動であっても、コミュニティ、すなわち集団としての避難行動に対しては混乱を巻き起こす可能性がある。避難システムの重要な課題のひとつは、住民の行動を誘導し、このような混乱を生じさせないようにすることであり、そのためには、住民の行動を望ましい方向へ制御誘導する機能をシステム自身において持つ必要がある。本節では住民の避難行動の制御誘導可能領域を明らかにするとともに制御誘導の方法について述べることにする**。

* 火災、震災などでは重要な課題となる。

** 本項では以下、簡単のため、制御誘導を制御と書くことにする。

さて、災害時に住民を安全に避難させるための制御は、住民の災害対応行動における意思決定プロセスへの物理的・心理的作用として捉えることができる。⁵⁾

物理的制御には、たとえば人々が避難するための場所・経路を確保し災害時にそこへ人々を誘導したり、さらには各種行動を義務づけ、あるいは禁止するという法・条例的処置などが含まれる。

一方、心理的制御とは、災害時という制約された条件の下で、情報の信頼性の評価、内容の理解、自分のとるべき行動の検討という合理的、かつ合目的な意思決定プロセスへの強制力のない心理的作用をいうのであって、人々の意思決定プロセスにおける認知能力の向上をはかり、ついで「状況の確認、自己の定位、切迫度の想定」という判断プロセスを制御主体の意図する方向へ導こうとするものである。

ところで、物理的制御および心理的制御には、災害時の制御と災害に備えての平常時の制御という二側面がある。同じ外界からの情報を与えられても、意思決定プロセスを経て引き起される住民個々の反応は、まちまちである。これは、前述したように住民各々のもつ知見、さらには日常置かれている広義な環境条件の差によるものである。これらを総称して住民のもつ「初期的条件」と呼ぶこととするが、これらのうち災害に関する知見は、その大部分が災害に備えての平常時の啓蒙活動により培われるものである。また、個々の住民の置かれている環境や住民個々の属性のうち家屋条件、土地利用条件、および各種の防災施設整備などは、災害という視点からみれば、制御主体が平常時にある程度介入可能な領域であるといえる。

しかしながら、平常時から災害に関する住民の初期的条件のうちのある部分を制御できたとしても、その達成の度合やさらには残された制御し得ない多くの不確定要素の存在等を考え合わせると、住民の避難行動を意図する方向に導くためには災害時の制御が不可欠である。

災害時の制御は、ひとつには住民の意思決定プロセスが作動するため

に必要な外界からの認知レベルへの作用である。外界からの情報を受けて、（自分で外力を認知する場合を含めて）住民は個々の初期的条件の下で各種の判断を行うが、認知レベルに必要な情報は「状況の確認、自己の定位、切迫度の想定」という判断のために必要な情報といえる。

つぎに、このような判断に必要な情報を与えても、その結果としての反応、すなわち、対応行動において制御主体の意図と一致しない住民の存在が危惧される。その場合は、意思決定プロセスの判断レベルへの直接的制御としての行動指示がある。認知レベルの制御は、いわば心理的制御に属するが、行動指示は物理的制御の一種といえる。

以上述べたように避難行動の制御領域は住民の意思決定プロセスの中に位置づけることができ、避難行動の制御時期は平常時と災害時の2つに分離することができる。図4-2-3は避難行動の制御領域と制御の時期と方法とをモデル化して示したものである。

さて、以上の制御の大部分は一般に情報を媒介として展開される。では住民の持つ意思決定プロセスにどのような情報を提供すれば組織として意図する方向に誘導することができるであろうか。ここで情報を「認知情報」と「行動指示情報」とに分類し、それらを災害の経緯という時間軸の関係でまとめると表4-2-1に示すようになる。⁶⁾

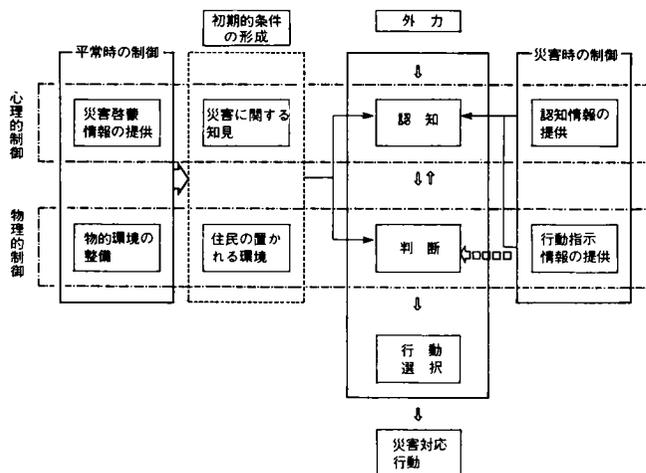


図4-2-3 制御領域と制御方法

表 4-2-1 認知情報と行動指示情報

	認知情報	行動指示情報
正常時における災害啓蒙情報	<ul style="list-style-type: none"> • 災害に関する科学的情報 • 予想される災害の規模、被害の程度についての情報 • 避難場所や避難道路についての情報 etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • 予警報発令時や災害時の心構え • 対応行動に関する事前の示唆 etc.
発災前の災害予報・警報	<ul style="list-style-type: none"> • 災害に関する科学的情報 • 災害の規模に関する情報 etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • 予報・警報発令時に組織や個人がとるべき応急対策の指示 • 避難の勧告・指示 etc.
発災直後の災害情報	<ul style="list-style-type: none"> • 災害の規模、被害状況に関する情報 • 経路、避難施設に関する情報 • 災害対策活動の実施状況についての情報 etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • 発災時に組織や個人がとるべき応急対策の指示 • 避難の勧告・指示 etc.
避難行動時の災害情報	<ul style="list-style-type: none"> • 避難経路、施設の安全性に関する情報 • 災害の規模、被災状況に関する情報 etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • 避難行動の継続・中断の指示 • 避難先での対応に関する指示 etc.

2-2 災害と避難システム

(1) 避難システムと外力の特性

災害時における避難行動は前述のように図 4-2-1 に示した意思決定プロセスに基づいて実行される。一方、災害の形態は外力の特性によって大きく異なるから、情報をうけて行動を起こす反応プロセスは、当然ながら外力の特性によって大きく変わってくる。したがって避難システムの内容は外力特性によって大きな影響をうけることになる。

災害の原因となる外力の特徴は各様に記述できるが、避難システムの構成において考慮すべき特性としては以下のものが考えられる⁷⁾。

イ) 危害因子と衝撃度

危害因子とは、直接人間に危害を加える要素であり、たとえば水、土砂などである。危害因子の違いは溺死、圧死など被害形態を変化させる。このことは、避難方法に支配的な影響を及ぼす。一方、衝撃度とは、水深、流速、風速などで評価されるものであり、住民やコミュニティの対応行動への指示を含む災害情報では重要な意味をもつもので

ある。また、危害因子と衝撃度により避難路や避難施設の備えるべき条件が異なってくる。

ロ) 発生頻度

特定の外力による災害が繰り返し発生している地域では、避難活動が円滑に行われている場合が多い。これは度重なる災害が住民の防災意識を向上させ、地域社会の災害に対する準備度（preparedness⁸⁾が高まるためである。したがってこのような場合には避難システムにとっては制御すべき要素が少なくなることになる。

ハ) 影響範囲

影響範囲は広域的な場合と局地的な場合とに区別できるが、影響範囲の大小は、警報の伝達や住民の避難の困難さに大きく影響する。

ニ) リードタイム（予知から発災までの時間）

一般にリードタイムが長ければ、警報などの情報を十分に住民に伝達することが可能となり、住民も的確な判断のもとに行動を行うことが可能となる。

ホ) 予測可能性

予測可能性としては外力の発生を事前にどの程度の確実性をもって予測できるかということである。このことは避難警報の発令時期を決める重要な要素となる。予測の可能性が低い場合には的確な警報発令が困難になるばかりではなく、警報に対する住民の信頼性が低くなり、結果的には警報による住民行動の制御が難しくなる。

ヘ) 制御可能性

外力の発生とその規模を事前に制御できるかどうかは、警報システムや住民の対応行動に対して様々な影響を及ぼす。ただし、洪水災害の場合には、一般に制御不可能である。

(2) 避難システムと地域性

災害の規模と様相は洪水や地震など災害原因となる外力の破壊力と被害対象の脆弱性とのバランスによって決定される⁹⁾。それゆえ、同程度の

規模の外力であっても、地域における災害の規模や様相は、地形的・気象的条件などの自然環境ならびに防災施設や防災計画の整備状況など災害に対する地域社会の準備度によって大きく左右される。周知のように自然環境や災害に対する地域社会の準備度はそれぞれの地域によって異なるものであり、いまこれらを地域性と呼ぶことにすれば、避難システムの内容は第2節2-2で述べた外力の特性と同様に地域性によっても大きな影響を受けることになる¹⁰⁾。地域性を構成する要因には種々のものがあるが、避難システムの構成にあたって考慮すべきものとしては以下のものが考えられる。

イ) 地形的・気象的条件

地形的・気象的条件は主に外力特性をとおして避難システムに影響を与える。すなわち、地域の地形的・気象的条件によって発生しやすい外力が定まり、その発生頻度、衝撃度、影響範囲などから、避難システムの対象とすべき外力や範囲が明らかとなる。

ロ) 防災体制の充実度

防災体制の充実度とは、避難施設や避難路を含めた防災施設や防災計画がどの程度の整備状況にあるのかということである。防災体制が充実していれば、避難行動の物理的・心理的制御が容易になり、避難システムの内容はより一層充実したものになる。防災体制の整備が十分でなければ、避難システムはあらゆる事態を想定して計画する必要があり、自づとその構造が複雑となる。

ハ) 住民の防災意識・災害文化の程度

住民やコミュニティの防災意識や災害文化の程度が高いことは、災害に関する知見が豊富なことであり、避難の意思決定プロセスが的確にしかも円滑に行われる可能性が高くなることを意味する。また、情報を媒介とした心理的制御が容易になり、避難システムとしてはより高次の機能をシステム内部に組み込むことが可能となる。

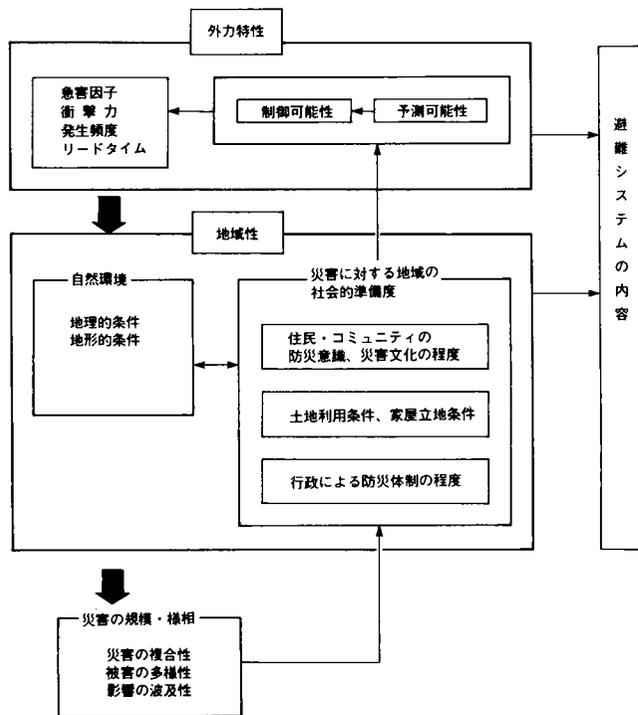


図 4-2-4 避難システムと外力特性・地域性の関係

二) 土地利用条件

地域の土地利用条件は災害の規模や様相を決定する重要な要因である。低湿地や急傾斜地等洪水災害や土砂害の危険区域に宅地が密集していたり、二次災害が発生しやすい土地利用がなされていれば、避難システムとしては考慮すべき要因が多岐にわたることになり、非常に複雑なものとなる。

以上の検討結果をもとに、避難システムの内部と外力特性ならびに地域性の関係とをとりまとめて示すと図 4-2-4 のようにあらわすことができる。

2-3 洪水避難システムの特徴

洪水災害における危害因子は決壊口や溢水地点からの氾濫水であり、その衝撃度は水深、流速、などであらわされる。氾濫水の水理的現象をみると、一般に、侵入地点付近では異常な運動エネルギーを有しているが、侵

入地点から遠ざかるにつれてエネルギーが拡散する。このように洪水災害にあっては危害因子が水であることから、火災や土砂害に比べその身体にうける衝撃度が過少評価されるきらいがある。このことは後述するように、災害時における対応行動の判断を誤らせる一つの原因ともなり得るものである。一方、危害因子と衝撃度から判断すると避難路や避難施設については構造自体はそれ程の強度は必要とせず、浸水をしないことが第一の要件となる。

洪水災害の発生頻度は他の自然災害に比べると高い方であり、しかも発生地域は河川周辺に限定される。したがって、それらの地域では洪水災害を防ぐための独自の災害文化ともいべきものが継承されていることが多い。このような地域においては洪水災害に強い土地利用や家屋構造がとられており、しかも住民の防災意識が高いために、洪水情報や避難命令などの災害情報が日常培われた伝達ルートにのってスムーズに伝達される。しかしながら、近年流域の都市化に伴って地域の洪水氾濫特性に関する知識を持たない住民が洪水危険地帯に数多く居住するようになってきており、必ずしも発生頻度の高いことが災害時における住民の対応行動を円滑にする要因とはなっていない。

洪水災害の影響範囲は堤内地の地形条件、洪水の規模ならびに侵入位置に最も影響される。したがって、影響範囲の大小は様々に変化するが、このような諸条件が別途与えられれば、比較的容易に影響範囲を明らかにすることができる。それ故他災害に比べて避難システムの対象範囲は設定しやすいといえよう。

リードタイムについては、洪水災害には先行現象としての降雨があり、さらに降雨から洪水氾濫までには一般にかなりの時間がある。したがって、地震災害などと比較すると、的確な避難行動がとりやすいといえる。しかし、小流域、とくに都市化した流域においては、洪水流出時間が短いので、このような地域に対する避難システムの構成にあたっては、流域の流出特性の正確な把握が重要である。

第3節 洪水避難の現状分析

3-1 洪水避難の現状

前節で述べた視点から実際の災害時の避難活動を分析するのが本節の目的である。なお、洪水災害時の住民レベルの避難行動に関する記録や調査事例は非常に乏しく、とくに、発災前、発災直後、発災後という時間的経過の下での住民個々の対応行動とその背景となった行政的対応等とを共に取り扱ったものは皆無に近い。したがって、様々の要因が錯綜する住民の避難行動を少ない資料から一般化するには問題が多いが、ここでは昭和49年の静岡県巴川災害や昭和50年の高知県仁淀川災害、昭和53年の広島・島根県江の川災害、昭和54年の名古屋南部地区災害に際して行われた住民の避難行動に関するアンケート調査の結果を中心^{11)~14)}に分析を行い、洪水時における避難行動について、一般的な傾向をみてみることにしたい。なお、データの出所については以下巴川(S.49)のように略記する。

(1) 予警報段階での住民の対応

イ) 予警報の認知

一般に洪水災害の発生する状況下においては、降雨および洪水に関する予警報がテレビ・ラジオ等のマスメディアを通じて発表される。昭和47年に淀川流域の12,000人を対象にして行われたアンケート¹⁵⁾調査によれば、図4-3-1に示すように洪水に関するニュースへの関心度はかなり高い。図4-3

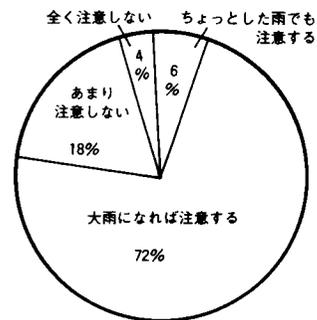


図4-3-1 洪水に関するニュースへの関心度(淀川)

-2(a)~(b)に実際時のマスメディアからの予報認知率を示しているが、仁淀川(S.50)では約9割の認知率であり、図4-3-1に示した平常時の予警報への関心度とほぼ一致している。一方、巴川(S.49)では認知率は5割強とかなり低い。その背景には、巴川災害が参議院・

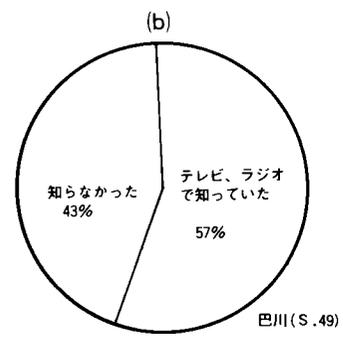
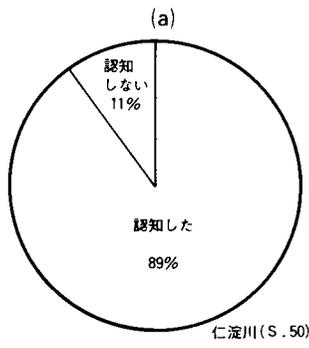


図 4-3-2 予警報の認知率

県知事選挙日と重なって、マスメディアおよび住民の関心事が選挙速報に向けられていたという悪条件がある。それゆえ、特別の場合を除いて、予警報はほぼ9割近くの人々が認知するものと考えて差しつかえないと思われる。

ロ) 予警報に対する判断

つぎに、予警報を認知した人々の自己の定位についてみてみよう。図4-3-3 (a)~(b)は予警報認知後の人々の反応が示されているが、仁淀川 (S.50) では3割の住民が危機意識を抱いたのに対し、巴川 (S.49) では1割に満たない。この差が意味するところは十分に解明できないが、巴川 (S.49) では「今まで予警報がでていても大事に至ったことがなかった」と

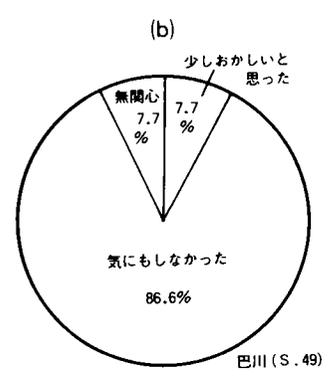
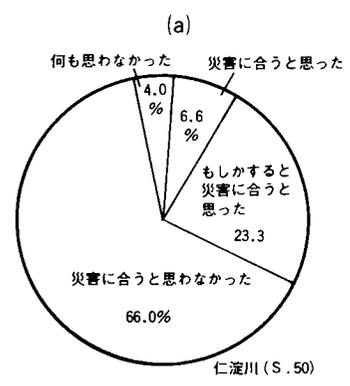


図 4-3-3 大雨情報に対する災害意識

とが自己の定位を誤らせた大きな原因となっている。仁淀川流域は台風の常襲地域ともいえる災害経験に富んだ地域である。このことを考えれば、両災害時における自己の定位の差はひとつには被災経験の有無によると考えられよう。参考までに示すと、災害に対する危機意識と被災経験について淀川流域の調査では図4-3-4のような結果が報告されている。

つぎに、仁淀川(S.50)において「これは大変なことになりそうだ」と思った時刻と災害発生時刻との関係を示したものが図4-3-5である。約3割の住民が発災の1時間以上前に状況の確認、自己の定位を行っているが、災害の発生の直前もしくは発災後にそれらを行った人々が大部分を占めている。

ハ) 予警報に対する行動

仁淀川(S.50)における予警報発令から災害発生前までの間における住民の対応行動は図4-3-6のようなものである。もっとも多いのは「家財道具の高所への移動」であり約3割を占めている。ついで

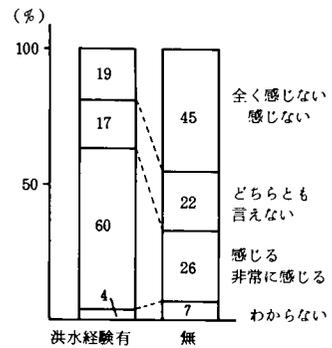


図4-3-4 洪水に対する危機意識 (淀川)

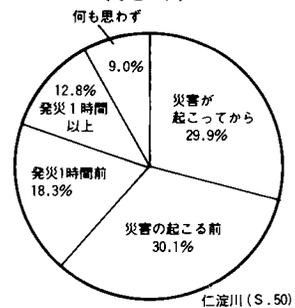


図4-3-5 恐怖感を抱いた時刻

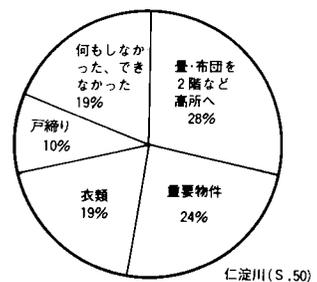


図4-3-6 予警報への対応行動

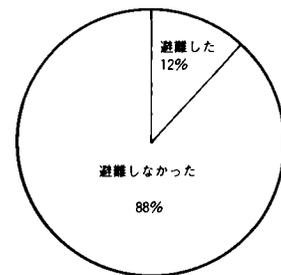


図4-3-7 予警報段階で避難した人の割合

貴重品の整理、衣類の整理、戸締りといった避難準備である。予警報段階ですぐ避難を開始する者の有無についての資料はほとんどないが、洪水災害と比較的類似した予警報内容をもつ土砂災害（昭和16年千葉県災害）の例では図4-3-7に示すように約1割の人が予警報段階で避難を開始している。また、参考までに、地震災害に関する警戒宣言発令後の住民の行動意識調査によると、図4-3-8に紹介するように、警戒宣言時点で避難しようと考えている住民は1割弱である。

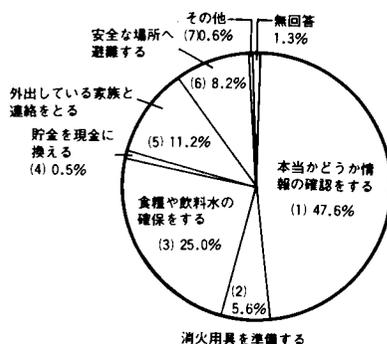


図4-3-8 警戒宣言時点で避難しようと考えている住民（地震災害時）

以上のことからもうかがえるように、予警報発令段階における住民の対応活動は、そのほとんどが家財の保護や避難準備であり、この時点で避難する住民はリードタイムの短い他種災害の例からみても、ほとんどないとみるべきであろう。

(2) 避難勧告・指示発令後もしくは災害発生認知後の住民の対応

イ) 避難勧告・指示発令の認知

災害時においては、国や府県の洪水情報を受けて市町村の防災対策本部が設置され、種々の対応がなされる。そのなかで、危険区域の住

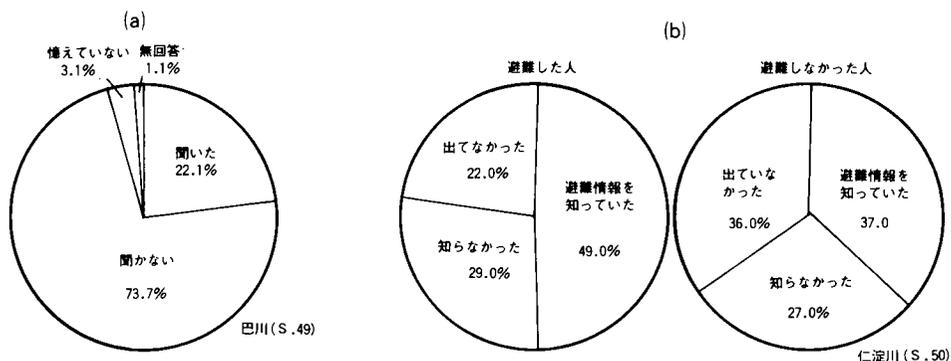


図4-3-9 避難命令の認知率（その1）

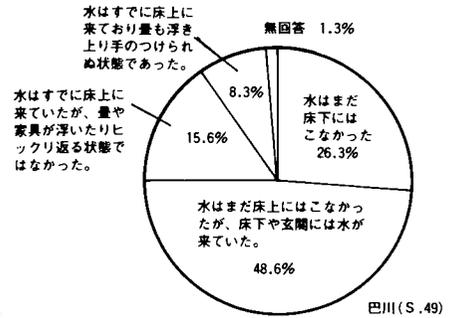
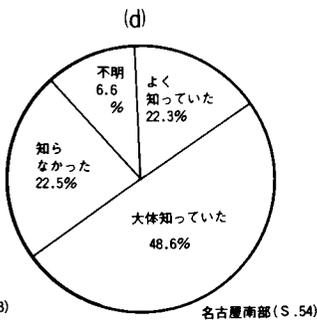
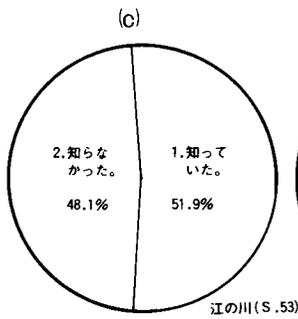


図4-3-9 避難命令の認知率 (その2)

図4-3-10 「洪水」とわかった時の浸水状況

民への避難勧告、指示情報の発令は、その時期や方法が住民避難活動全般に非常に大きな影響をあたえる。

さて、図4-3-9(a)~(d)は巴川(S.49)、仁淀川(S.50)、江の川(S.53)及び名古屋南部(S.54)の災害における避難命令の認知状況を示したものである。仁淀川(S.50)、江の川(S.53)および名古屋南部(S.54)ではほぼ半数の人々が避難命令を認知しているのに対し、巴川(S.49)では認知率は約2割である。このことは、前述したように、災害発生日が選挙と云う特異な日であったことのほか、災害が夜半に発生したことによるものである。災害が夜半に発生したことによる影響が大きいと考えられる理由として、図4-3-10に示す「洪水だ」と認知したときの浸水状況がある。これによると、約7割の住民が家が浸水してから災害発生を認知したことになる。なかでも約1割の住民にいたっては床上浸水でしかも畳が浮くといった状況で初めて認知している。

江の川(S.53)では、避難命令に先立ち、避難準備命令が発令されていた地区と、避難命令だけが発令された地区とにわかれていたが、それぞれの地区によって図4-3-11に示すように避難命令認知

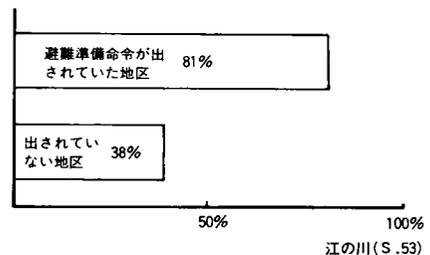


図4-3-11 避難準備命令の有無と避難命令認知率

率の差が出ている。

また、仁淀川(S.50)では、予警報の認知率に比べて避難命令の認知率が低い。その理由は、災害の発生と各避難地区を対象とした避難命令の発令とがほとんど同時であったために、避難命令を待たずに行動した人が多かったことによると推定されている。

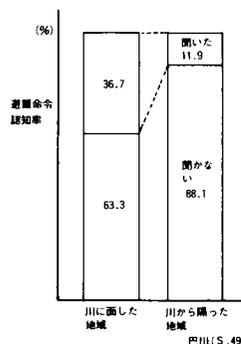


図4-3-12 河川からの距離と避難命令認知率

図4-3-12 は避難命令の認知率と住民の河川からの距離との関係を巴川(S.49)についてみたものである。これによると、避難命令時の詳細な状況を分析しなければ断定できないにしても河川との近接度が認知度を高めているといえそうである。

なお、一般に避難勧告・指示の伝達方法としては、広報車、サイレン、半鐘、電話、口頭によるものが多いが、既往災害時の経験によると、これらの伝達手段には災害の段階によっては十分にその機能を果たせないものがある。たとえば、江の川(S.53)では浸水により広報車での伝達活動が十分に実施できなかったことが報告されている。

ロ) 避難勧告・指示もしくは災害発生認知後の判断

前述のように、避難勧告・指示情報の認知率は既往4事例に見るかぎり低い。そのため、自分の目で外力である氾濫水を見てはじめて洪水災害が発生したことを知った人々がかなりいると考えられる。このような形で洪水災害の発生を知った瞬間の住民の意識について、図4-3-13 に示す巴川(S.49)の状況を見ると、「おどろいて何も手につかなかった」という住民が2割強存在している。また、「無我夢中でよく覚えていない」といった住民をも含め錯乱に近い状況におちいった人々は4割程度に達する。このことは、災害発生の認知から対応行動の選択までの時間的余裕が少なかった人々の多いことを考えれば仕

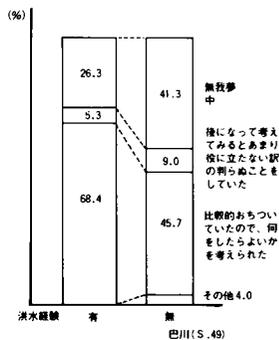


図4-3-13 洪水と知った瞬間の気持

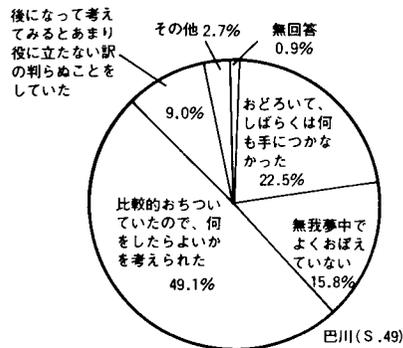


図4-3-14 洪水経験と洪水直後の精神状態

方がないことであろう。図4-3-14 は上記の意識を被災経験の有無との関係についてみたものであるが、被災経験が突発的事態へのより適切な心理的対応を促していることがわかる。

ハ) 避難勧告・指示発令後の住民行動

洪水災害の発生を知った直後の住民の意識は巴川(S.49)でみたとおりであるが、その後住民のとった対応行動について同事例からみると図4-3-15に示すとおりであり、時間的余裕がほとんどないともいえる切迫度の想定の下で「とるものも取りあえず避難した」という住民が約1割に達している。しかし、7割以上の住民が「家財道具を水につからない所へ移した」といっているのは、切迫度を過少に判断したものと考えられる。このことは後に紹介するように、多くの人がかんりの浸水深の中を避難していることからもうかがえる。なお、巴川

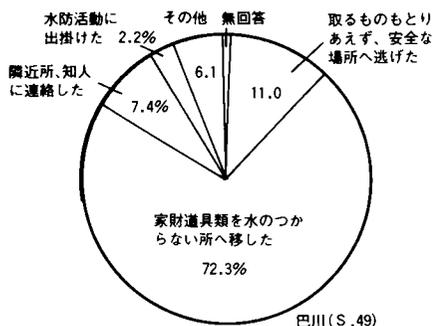


図4-3-15 洪水と知った直後の行動

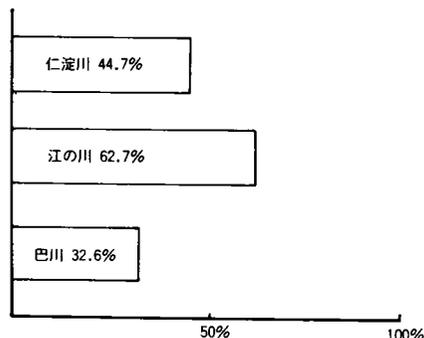


図4-3-16 避難率

(S.49)ばかりでなく、家屋が浸水していても避難せずに家財道具等¹⁸⁾の保護にあたるという行動が多く報告されている。

最終的に避難することに意思決定して実際に避難した住民の割合はどの程度であったかを示すと図4-3-16のとおりである。仁淀川(S.50)、江の川(S.53)では避難命令の認知率とほぼ同値の避難率となっているが、巴川(S.49)ではそれを若干上回ってはいるものの、避難した割合は約3割と少ない。

つぎに、避難の意思決定に影響をおよぼした他の要因を調べてみよう。巴川(S.49)では、避難をしなかった理由として、図4-3-17に示すように過半数の人が、自宅に2階があったことをあげている。平屋と2階屋にわけて調べた結果でも図4-3-18(a)に示すとおり2階屋に住む約7割の人は避難をしていない。また、名古屋南部(S.54)でも図4-3-18(b)に示すように避難した人の中で2階屋以上と集合住宅に住む人が占める割合は約3割にすぎないことが明らかになっている。

このように、洪水災害においては家屋構造は避難の意思決定を左右する大きな要素であるということが出来る。また、自分が災害時に危険な状態におかれていても、自

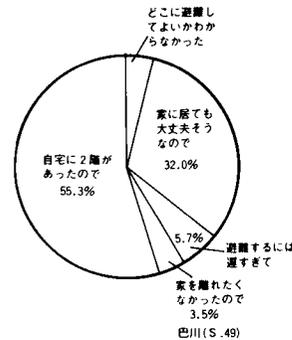


図4-3-17 家族全員が避難しなかった理由

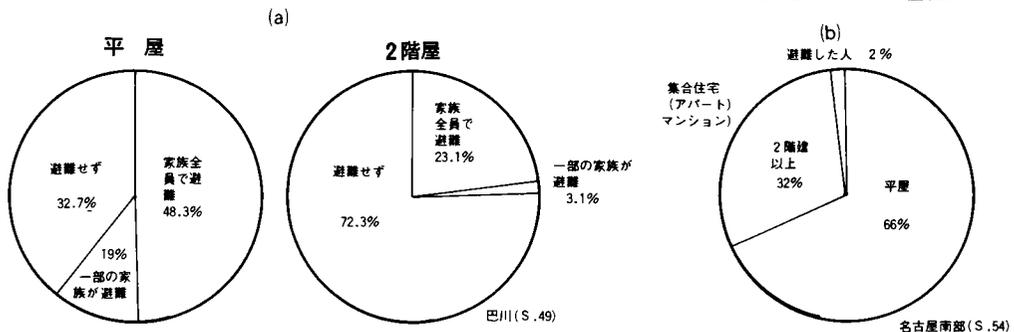


図4-3-18 家屋構造と避難率

己の災害観や家財への執着心などから避難を拒否する人がいるといわれるが、^{*}事実、図4-3-17に示したように、家を離れたくないという理由で約4%の人が避難をしていない。避難システムの計画に当たってはこのような人々にどのような啓蒙活動をすべきかを検討する必要があるであろう。

(3) 避難時の住民行動

避難時の住民の行動はまちまちであり、その行動を決定するプロセスを明らかにすることは、避難システムを計画するうえで非常に重要である。しかしながら、避難途上における各種行動の選択プロセスに関してははっきりしない点が多いので、本文においては人々がとった行動を羅列的に紹介するに留めたい。

イ) 避難時の携帯品

洪水災害避難時の携帯品について仁淀川(S.50)の例をみると、図4-3-19に示すように、現金とか貴重品のほかに、懐中電燈、トランジスターラジオといった避難

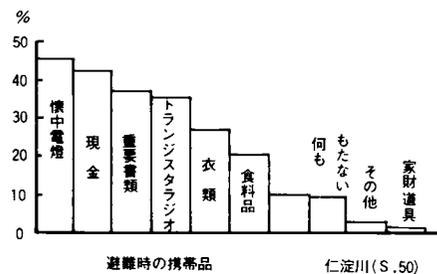


図4-3-19 避難時の携帯品

必需品の占める割合が高い。さらに長期間の避難が予想されるという洪水災害の特性を反映して、衣料や食料品を携帯する住民が多い。

ロ) 避難の手段

避難時にどのような手段を利用するかについての詳細な情報は得られていないが、一般的には徒歩によるものが多い。しかし、なかには自動車、ボートと云った例も報告されている。

長良川(S.51)では自動車によって避難した住民があった。避難速度の大きさや家族ぐるみの避難が可能なこと、自動車のもつ財産的価値の高いことなどがそのような行動を起こさせたものと考えられる。

*東京都が行った震災時の避難に関する住民アンケート調査¹⁹⁾でも避難の決心がつかない理由として約4割の人が家財が心配なためと答えている。

しかし、自動車の走行可能な浸水深は排気口の高さまでであり、長良川(S.51)においても最終的には堤防上に車を放置せざるを得なくなった場合が多いことが報告されている。因に、巴川(S.49)では図4-3-20(a)~(b)に示すように相当大きな浸水深、速い水流によって、身の危険に迫られた人が多かった。

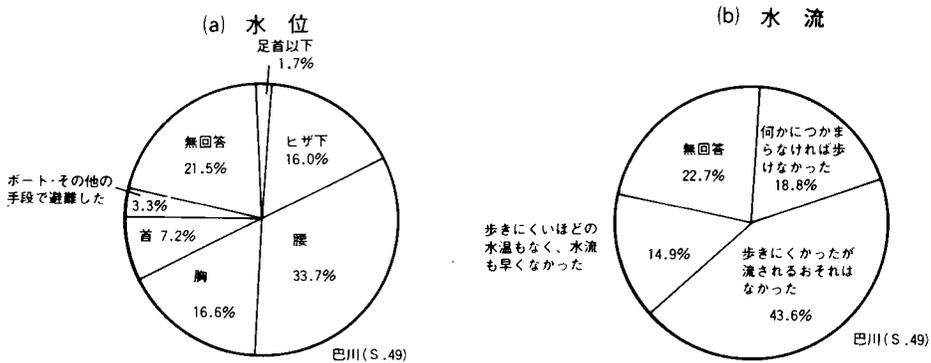


図4-3-20 避難時の最高水位と水流

ハ) 避難施設の選択

洪水災害時に住民がどのような所に避難したかについて、巴川(S.49)、仁淀川(S.50)および名古屋南部(S.54)の状況を図4-3-21(a)~(c)に示した。

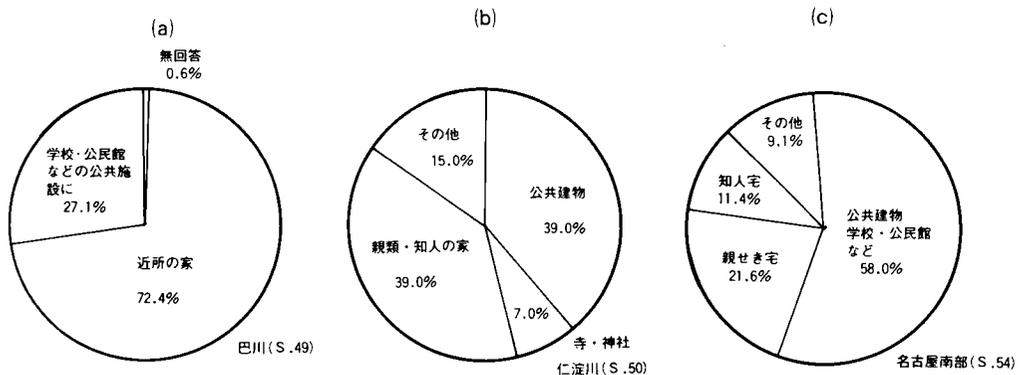


図4-3-21 避難場所の選定

なお、ここでは自宅内の避難は除外してある。仁淀川(S.50)においては約4割の人が、名古屋南部(S.54)では約6割の人が公共建物へ避難しているのに対し、巴川(S.49)では、その割合が3割弱と低い。

反面、近所の家へ避難した人の割合は巴川(S.49)の方が圧倒的に多い。比較的公共建物への避難率が高かった仁淀川(S.50)および名古屋南部(S.54)について避難先までの距離と所要時間とについてまとめると、
 図4-3-22 (a)~(b)に示すとおりである。

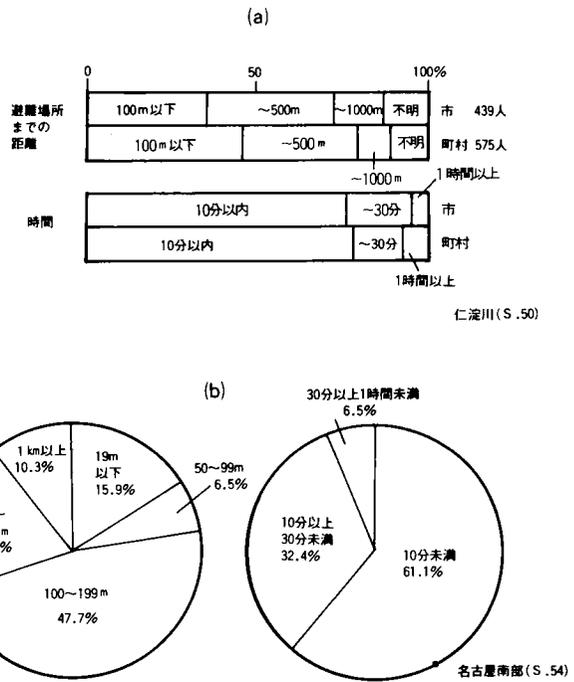


図4-3-22 避難先までの距離と時間

1 km以内に避難施設を求めた人が8割強と圧倒的に多い。参考までに、地震災害に対する避難行動のアンケート調査の結果を示すと図4-3-23に示すように、ある施設へ避難するか否かの意思決定の変曲点となる避難所要時間はおおむね1時間になるという。興味深い結果が報告されている。また、同報告では避難施設に到着するまでに避難住民はどのような避難形態をとるかについても調査しており、その結果は図4-3-24に示すよ

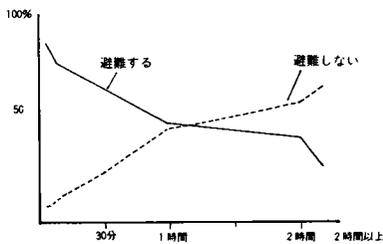


図4-3-23 避難所要時間と避難意思の決定 (地震災害時)

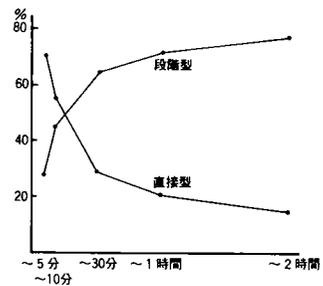


図4-3-24 避難所要時間と避難形態 (地震災害時)

うに避難所要時間が長くなればそれだけ避難途中一旦立ち止まって状況を判断するといった「認知→判断→行動」という意思決定プロセスが多重に展開されがちな特徴をもつ段階型の避難形態が現われている。

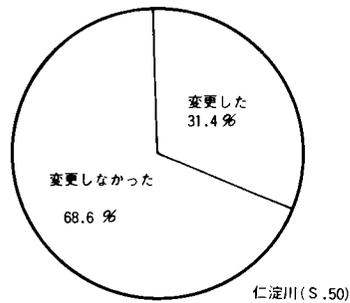


図 4-3-25 避難場所の変更は、おそらく浸水に行く手をさまたげられたか、もしくは災害危険度が低くなったのであろうと考えられるが、図 4-3-25 に示すように 3割強の人が途中で避難場所を変更している。

(4) まとめ

以上、既往の事例を中心にして洪水災害時の避難実態を住民行動を中心に分析した。調査事例が少ないために避難行動に至る住民の意思決定プロセスの一般性が必ずしも十分に把握されていない恐れはあるが、以下に、明らかになった問題点をとりまとめて示すことにする。

- イ) 洪水情報を聞いても危機感を持たなかった人があり、洪水災害に対する住民の危機意識は意外と低い。日常の啓蒙活動を通じて住民の災害に対する認識を高めていくことが重要であるといえる。
- ロ) 災害情報に対して、自己の定位を安全側に評価する傾向がある。このことは、初期段階での大雨や洪水注意報などの情報が非常に広域的であり、住民の意思決定プロセスにおける認知レベルで必要とされる情報密度にまで達していないことが、その原因のひとつである。
- ハ) 住民が災害発生を認知してから行動を起こすまでの時間、すなわち判断レベルでの時間的余裕が少なければ、的確な判断に基づいた行動ができなくなり、錯乱を招く恐れがある。これを回避するためには、予警報、避難勧告・指示などの発令時期に対して十分な配慮が必要である。

ニ) 住民の避難の有無についてみると、家屋形態によって大きな差異が

認められる。すなわち、2階屋とか鉄筋コンクリート集合住宅に居住している住民は平屋居住の住民に比べて避難しない人が多い。これは2階屋は安全であり避難場所として利用できると考えている住民が多いためである。鉄筋コンクリート集合住宅は別として、2階屋の安全性の評価は十分に検討する必要があるであろう。また、避難意思の決定をしても避難場所が明確でないため実際に避難しなかった住民がいる。洪水に対して安全な避難施設を確保するとともにその周知徹底が必要である。

一方、避難意思決定を情報との関係でみると、大雨予警報・洪水予警報のレベルでの情報は避難の意思決定には影響していない。やはり実際に避難させるには、避難勧告・指示情報が必要である。

ホ) 一部の住民は、避難を拒否したり、家が浸水していても家財への執着心が強いために避難意思決定の時期や避難開始時期を誤るなど不適切な行動をとる場合がある。このような事態を回避するためには、避難準備命令を発令するほか、避難後の家財の保全（盗難予防）などについて適切な処置が望まれる。

ヘ) 住民の災害情報や避難命令の認知率が低い理由として、情報の伝達手段の整備が十分でないことがあげられる。洪水災害時においては、広報車・電話・警鐘・サイレンなどによる伝達手段には時期によっては不適切な場合が見受けられるので、お互いの不備を補う意味で情報伝達手段の多重化が必要であろう。

また、災害時に有効な情報伝達手段となる防災行政無線の整備は重要である。

ト) 多くの住民がかなりの浸水の中を避難している。このような事態を避けるためにも情報伝達を通じて早期避難を誘導することはもとより、危険地域の氾濫特性を十分に考慮した避難場所の設定と、そこへの安全な避難経路を確保し一般住民に周知させねばならない。

3-2 洪水避難計画の現状

本節では淀川流域を例にとり、災害対策基本法により直接的に住民を避難誘導する立場にある市町村が前節で指摘した問題をどの程度認識し、また、それを避難システムの計画、実施段階にどの程度、反映しているかについて分析する。

このような目的から、本研究では図4-3-26に示す淀川流域の40市町村を対象として、『洪水災害時における警戒避難システムに関するアンケート調査』

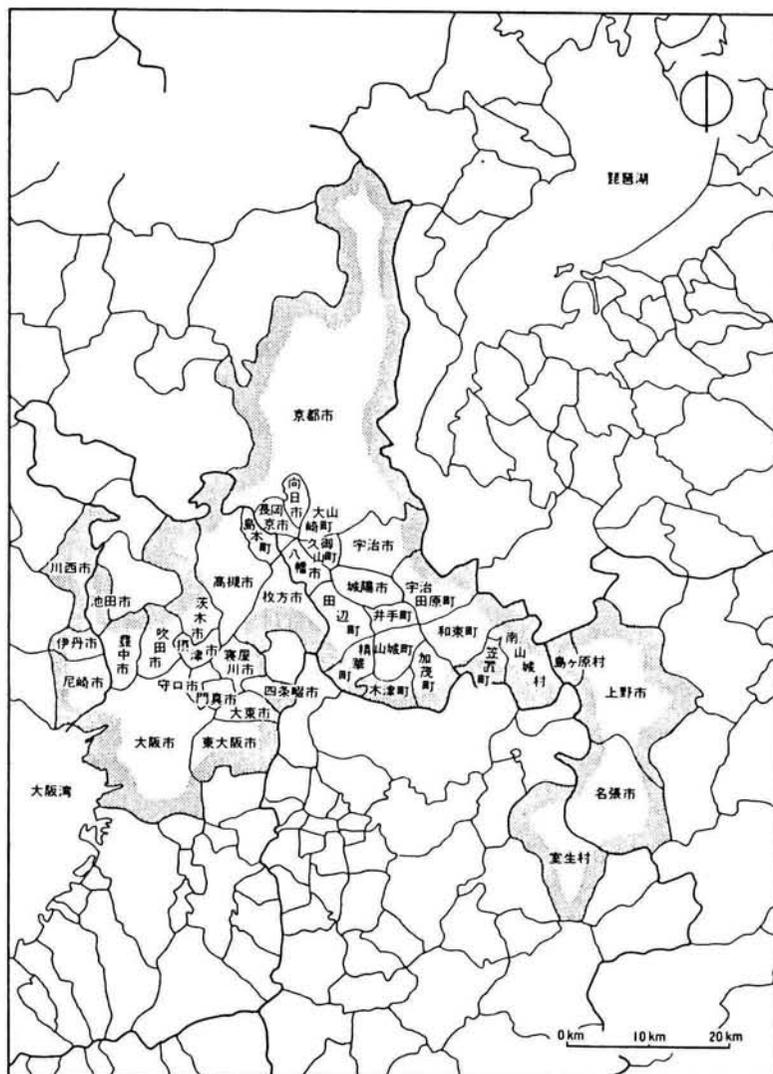


図4-3-26 アンケート調査対象地域

(S57.2)を行った。

このアンケート調査のフレームは、図4-3-27に示すとおりであり、洪水避難システムにおける行政的対応—情報収集・伝達計画、避難ネットワーク計画、避難誘導計画—を中心に構成されている。

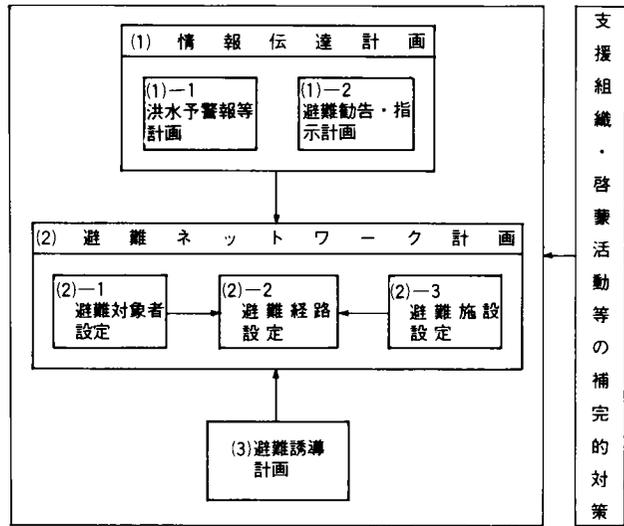


図4-3-27 アンケート調査のフレーム

(1) 災害時の情報収集・伝達計画

1) 気象情報・洪水情報等の入手計画

気象や洪水に関する情報は、洪水時にもっとも必要な情報であるが、図4-3-28に示すように、日頃河川管理者から情報をうけているのは、36市町村のうち28市町村である。その内容は図4-3-29に示すように、「河川改修の進捗状況に関する情報」や「洪水時のダム操作等に関する情報」である。

また、洪水時における降雨および洪水に関する情報入手のルートは国→府県→市町村というのが一般的であるが、情報伝達時間の短縮や市町村の実情にあった情報提供、あるいは、情報伝達システムの簡素化・統一化などが、改善すべき事項として述べられている。

日頃、河川管理者から河川の状況等に関する情報を受けていますか？

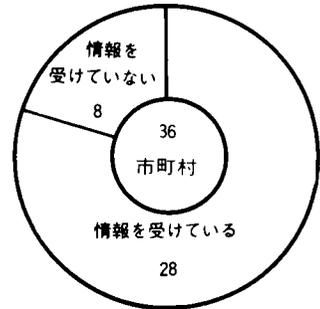


図4-3-28

受けられている情報はどのような内容ですか？

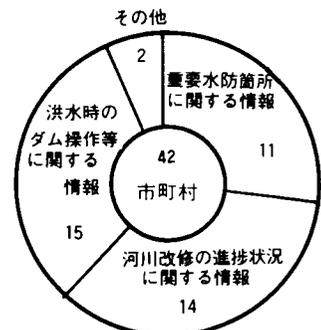


図4-3-29

一方、このような状況下では各市町村が独自に河川水位の動向を監視しているかどうか問題になってくる。図4-3-30は監視体制の有無についての調査結果である。調査対象のうち21市町村では独自に河川パトロールや水位自動観測所などの監視体制を整えている。市町村によりまちまちであるが、おおむね、監視を必要とする河川区間に水防団員等を中心とした監視員を配置し、緊急時には、市町村の災害対策本部に、水防無線、防災無線、有線等による連絡体制をとっている。

ロ) 避難勧告・指示計画

避難勧告および指示の時点について調べてみると、図4-3-31のように、河川の警戒水位などを基準に明確にその時期を決めている市町村は、調査対象のうち24市町村である。

一方、避難勧告・指示の時期を決めていない12市町村については、「状況の判断による」、「災害により危険が急迫しているとき」等の回答が多い。避難勧告・指示の時期を逸すると被害を助長することにもつながることから、なんらかの基準が必要であると考えられる。また防災行政無線については、図4-3-32にみるように通信系統が決めているの

貴市町村では、独自に河川の洪水状況や氾濫状況を監視するなどの監視体制を設けていますか？

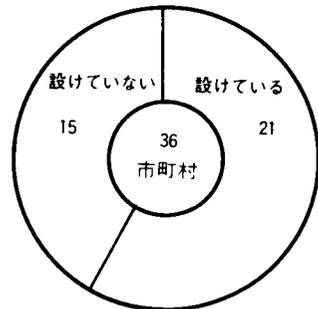


図4-3-30

避難勧告・指示の時点を明確に決めていますか？

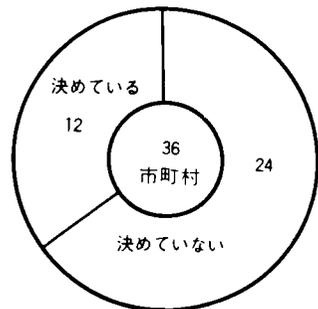


図4-3-31

現在、貴市町村では洪水災害時の防災行政（遠隔地や独立地区への通信方法）の通信系統を決めていますか？

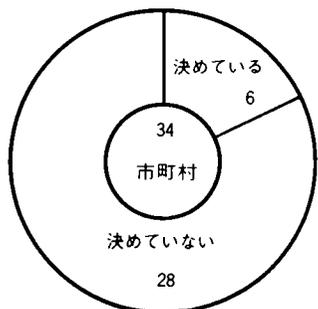


図4-3-32

は、調査対象のうち6市町村である。また「決めていない」と回答した市町村のうち11市町村は、「設置計画がある」「現在検討中」ということで、大半の市町村が行政防災無線の重要性を認識している。

(2) 避難ネットワークの計画

イ) 避難対象者の設定

避難対象者の設定は避難計画の基本であり、そのためには氾濫区域の把握が前提となる。しかしながら、市町村レベルで氾濫区域を把握しているところは少なく、この調査では38市町村のうち僅かに15市町村であった。また、把握の方法についてみると、「過去の実績」、「国や府県の資料」によるものが大半であるが、中には独自に水理計算を実施し把握しているところ(1市)がある。

なお、氾濫時に公的施設を利用する住民の数を把握しているところは図4-3-33にみるように7市町村である。

一方、氾濫区域内において、地区別に危険度ランクを設定しているところは図4-3-34にみるように6市町村あるが、危険度の高い地区の住民に対する特別の対策は現在のところ立てられていないようである。

ロ) 避難施設の計画

氾濫区域内の住民のうち、貴市町村が計画する避難施設を利用することの必要な住民の数を把握されていますか？

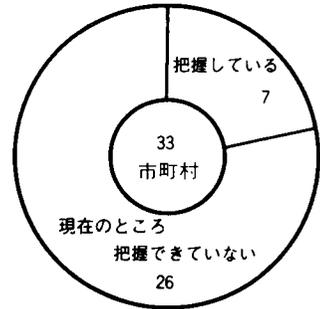


図 4-3-33

氾濫区域内において、地区別に危険度ランクを設定されていますか？

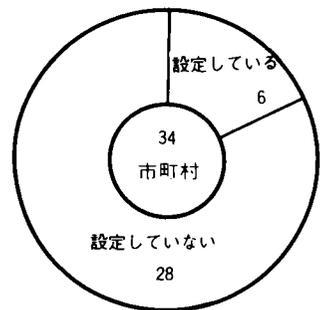


図 4-3-34

避難施設の備えるべき条件として、どのような点を配慮なさいましたか？

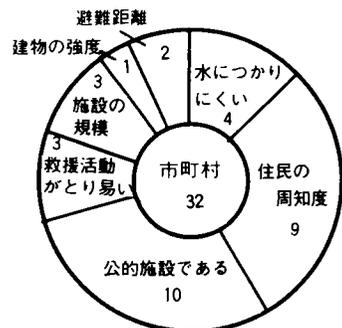


図 4-3-35

避難施設の計画にあたって留意すべき事項は

- 避難施設の具備すべき条件
 - 避難施設の規模と配置
 - 避難施設の住民への周知
- 等である。

まず、避難施設の具備すべき条件についてアンケート調査結果をみると図4-3-35に示すように、「住民の周知度の高いこと」、「公的施設であること」が重要視されているようである。また、1/4の市町村では「震災時と避難場所が共通すること」についても重要な条件としている。

つぎに、計画されている避難施設の位置を氾濫区域との関係でみると、氾濫区域を掌握している15市町村のうち13市町村においては、おおむね、氾濫区域から4 Km圏内に避難施設を確保しているようであり、そのほとんどが公的施設となっている。

地理的条件等で近距離に避難施設を確保し得ない場合には、一時的に比較的安全な場所へ住民を避難させ、危険が迫ればより安全な所へ避難させる2次避難という考え方がある。この点については、27市町村で2次避難の必要性を認めており、そのうち8市町村では2次避難を計画的に取り入れている。2次避難を必要とする背景としては図4-3-36に示すように、「避難住民の立場を考慮災害規模に応じた多段階避難を考慮する必要がある」とするものももっとも多いが、「地形的条件等により、近くに最終避難場所を確保できない」とするものも多い。一方、2次避難を必要としない市町村

2次避難を必要とする背景として該当するもの

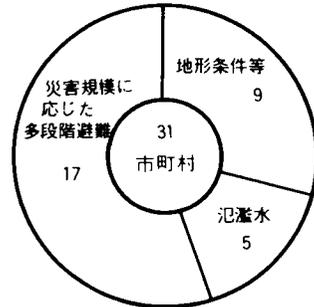


図4-3-36

避難施設をどのような方法で住民にPRしていますか？

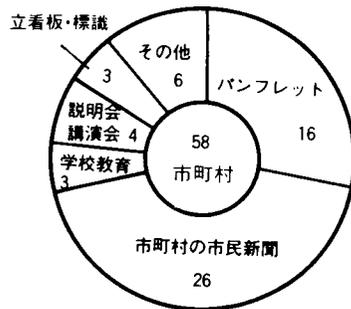


図4-3-37

では、氾濫域が狭く、近くに安全な避難施設を確保できるとしているようである。

最後に、避難施設の住民への周知についてみると、図 4-3-37 に示すように「市町村の市民新聞」、「パンフレット」などにより PR している市町村が多い。なかには市民ハンドブックに防災地図を明記し配布している市町村がある。

なお、アンケート調査の対象とした市町村のうち 17 市町村が、避難施設計画について以下のような改善すべき点のあることを指摘している。

- ・避難施設に応急物資の備蓄がない。
- ・避難施設に災害対策本部との通信施設がない。
- ・夜間無人化するので洪水災害時の対応が心配である。
- ・民間施設なので洪水災害時にスムーズに受け入れ体制がとれるか疑問な点がある。
- ・避難施設が地域的に偏在している。
- ・都市の人口分布や周囲状況の変化に伴う避難計画の見直しが必要である。

ハ) 避難経路の計画

避難経路を計画に盛り込んでいるところは 1 市町村のみであった。

ほとんどの市町村が避難経路を計画していない背景としては、図 4-3-38 に示すよう「氾濫水の挙動が十分に把握できない」ことによるものが最も多く、また、地形的条件等で「行政として安全と断言できるルートが確保できない」ことを指摘する市町村も 13 市町村を数える。一方「住民の選択に任す方がよいと思うから」という理由を 12 市町村が挙げている。

洪水災害時の避難経路を「決めていない」と答えた場合の理由

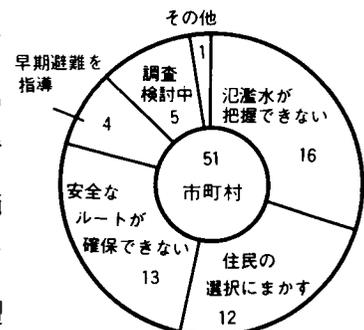


図 4-3-38

つぎに、地震・火災時の避難経路と洪水災害時の避難とを共用させることについて市町村の意向を質問したところ、
 図 4-3-39 に示すように「共用させるべきである」と 16 市町村が考えているが一方で「わからない」という市町村の割合も高い。「共用させるべきである」と答えた市町村の理由としては、「住民によく知られ、洪水災害時に混乱を招かない」からと考える市町村が圧倒的である。また、一部の市町村では、市街路の整備状況からみて「区分して考える余地がない」と指摘する市町村もある。一方、「共用させるべきでない」と考える市町村ではその背景として、「外力が異なれば避難経路の具備すべき要件が異なる」と指摘している。

最後に、避難経路計画における改善目標としては、安全な避難経路を道路計画の中で考えたいとする意見が出ている。

(3) 避難誘導計画

避難誘導は避難勧告・指示等の情報による誘導と避難経路の要所に誘導員を配置して住民を誘導する方法とに大別される。前者については既述してきたとおりであるが、
 図 4-3-40 に示すアンケート調査の結果によれば、8 市町村では避難勧告・指示による誘導のみで、避難経路における誘導員に

地震・火災時の避難路と洪水災害時の避難路を共用させることについてどのようにお考えですか？

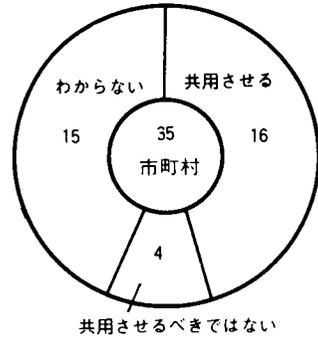


図 4-3-39

洪水災害時に住民をどのような方法で誘導なさいますか？

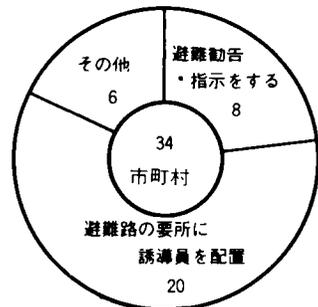


図 4-3-40

洪水災害時に住民の避難誘導をどのような方が担当されますか？

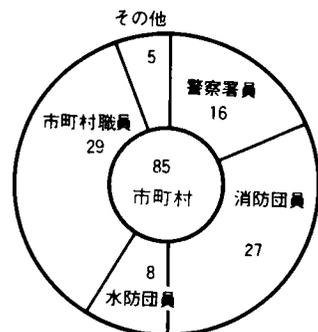


図 4-3-41

よる誘導は考えられていない。一方、避難経路に誘導員を配置する計画を立てている市町村では、図4-3-41に示すように、市町村職員がその役割を担当する他、警察署員、消防・水防団員が担当している。また、誘導員の招集時期は、おおむね避難勧告発令時と対応している。避難誘導の指揮は市町村長が担当している所が多いが、なかには、水防団や消防団の長にその指揮権を移譲している市町村がある。

さて、誘導計画の内容においては

- ・避難住民の自動車利用
- ・避難弱者の誘導
- ・災害時の防犯活動

の3つの側面が重要である。

まず、第1点目の避難住民の自動車の利用については、図4-3-42に示すように「何も指導していない」のが22市町村、「利用しないよう指導している」のが8市町村、

なお、一部の市町村では老人・傷病者などの避難弱者のみを対象に車両による避難誘導を実施している。

第2点目の病人や老人等の避難弱者の避難誘導については、図4-3-43に示すように10市町村で

- ・避難誘導を優先する
- ・避難時に介助員を同行させる
- ・避難時に車両利用を行う

などの対策を考えており、そのため、寝たきり老人等の所在地リストを作成し水防団員に周知させている市町村がある。

洪水災害時の避難方法として住民が自動車を利用することに対してどのように指導されていますか？

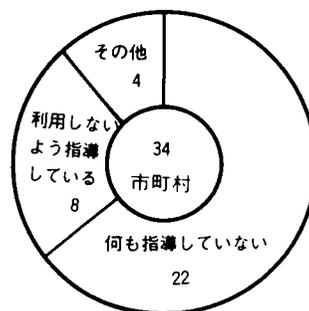


図4-3-42

病人・老人等の避難弱者の避難誘導について、何等かの対策をたてておられますか？

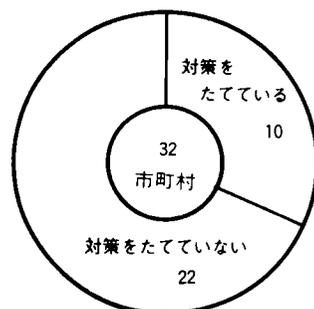


図4-3-43

第3点目の災害時の防犯計画は、図4-3-44に示すように「防犯計画を立てている」と答えた8市町村では警察署員が中心に担当することとしている。災害対策基本法では、災害時の防犯計画の策定が義務付けられているが、実際には計画されていない市町村が多い。

最後に、避難誘導計画上、改善すべきものとして

- ・警察、日赤奉仕団、水防団等の関係機関との連絡が円滑に行えるような情報網の整備
- ・避難弱者の誘導方法
- ・避難勧告、指示の権限のあり方

が指摘される。

(4) 支援組織・啓蒙活動等の補完的対策

図4-3-45は、洪水災害時に応援、協力を依頼している外部組織の有無について調査したものである。調査対象中22市町村が「ある」と答えており、警察、自衛隊、日赤奉仕団、自治会等に避難誘導や救助活動を依頼している。

図4-3-46は、氾濫実績公示の是非についての設問である。公示した方がよいと考える市町村は「災害に対する住民の認識を高め、平素からの心構えを養う」としており、どちらともいえない、公示しない方がよいと考える市町村では「過去の事例がそ

貴市町村では洪水災害時の防犯について何か計画をされていますか？

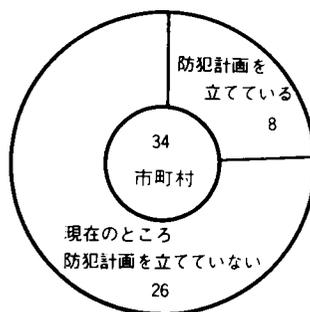


図4-3-44

水防団組織以外に洪水災害時に応援・協力を依頼されている外部団体がありますか？

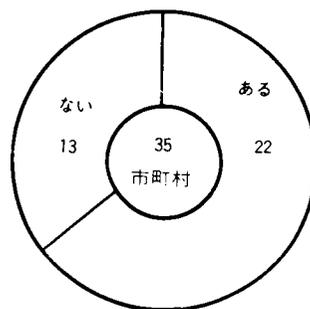


図4-3-45

氾濫実績を公示することについてどのようにお考えですか？

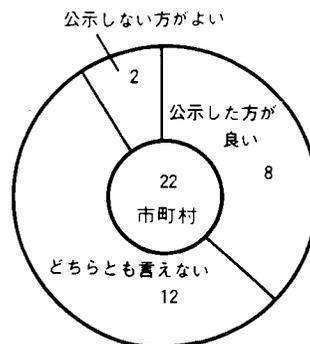


図4-3-46

のまま改修の進んでいる現状にあてはまらないし、公示方法をあやまると住民に不安を起こさせる原因になる」あるいは「当該地域のイメージが低下する」と答えている。

図 4-3-47 は、職員に対し防災計画に関する教育を行っているかどうかを調査したものである。35 市町村のうち 16 市町村で教育を行っており、その内容は図 4-3-48 に示すように防災計画書の説明が中心となっている。

(5) まとめ

以上、避難システムの計画主体である市町村に対して行ったアンケート調査の結果について述べたが、(4)で述べた避難システムの備えるべき要件をすべて含めた形でシステムを計画している自治体は少なくとも調査時点(S.57)においては見当たらない。

また、計画内容は充実しているにしても、災害時にはたしてうまく機能するかどうか疑問に思われる自治体も見受けられた。

以下、アンケート調査の結果から明らかとなった避難システムにおける今後の課題を列記して、まとめとすることにする。

1) 災害時の情報収集・伝達計画

- ・洪水情報等の入手については、伝達時間はできるだけ短い方が望ましい。伝達時間を短縮するためには、情報伝達システムの簡素化および統一化が望まれる。
- ・伝達される情報の内容は市町村の実情に合致したものでなくてはならない。
- ・防災行政無線については、計画、検討中のものが多いが早急にその

貴市町村では、職員に対し防災計画に関する教育を実施されていますか？

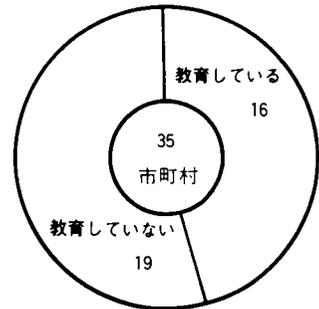


図 4-3-47

どのような方法でなされていますか？

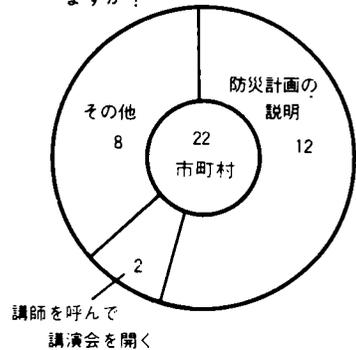


図 4-3-48

設置が望まれる。

- 住民に対して短時間のうちに避難勧告、指示の周知を図るためには情報連絡システムの強化が望まれる。また、避難勧告、指示の判定基準については十分に地域性を考慮に入れて定めることが望まれる。

ロ) 避難ネットワーク計画

- 避難対象者の設定は、避難システム構成の原点である。国や府県から氾濫区域に関する情報を得るか、あるいは独自の方法で十分な精度をもった水理計算を施し、氾濫区域を把握すべきである。
- 避難施設については、その規模、配置について十分検討し、住民への周知を図る必要がある。また、施設には災害対策本部との連絡用無線や自家発電機等を設置し、応急物資の備蓄を考えるべきである。
- 避難経路の設定に関しては、災害をひきおこす外力別に安全なルートを確認することが前提である。しかし、現状では、住民への周知徹底や住民の混乱を避けるためという理由で、他種の災害に対するものと共用されている。今後は道路計画の中で、この点を考慮した避難経路を検討すべきであろう。

ハ) 避難誘導

避難誘導は、避難勧告、指示だけでは不十分であり、避難経路の要所に誘導員を配置し、スムーズな避難を促すことが必要である。また、避難弱者（病人・老人・子供等）の誘導や家財の盗難の防止について具体的な方策をたてる必要がある。

二) その他

- 各自治体は、外部組織（警察・自衛隊・日赤奉仕団体等）との協力を強化する必要がある。
- 住民の防災意識を高めるように努力するとともに、各自治体職員に対する防災教育や訓練を強化する必要がある。

第4節 洪水避難システムの基本フレーム

4-1 避難システムの機能

洪水避難とは、住民が氾濫水という外力から身を守るために安全な場所へ移動するための各種行動としてとらえられる。住民個々の洪水災害時の避難をシステムとしてみると、第4章2-1で述べてきたように、その基本構造は「認知」、「判断」、「行動選択」という機能により構成される意思決定プロセスとして記述できる。

しかしながら、この意思決定プロセスに基づく住民の対応行動は、個々の初期的条件によりまちまちであり、住民の避難行動には脱合理的ともいえる行動がみうけられる。そのため、第4章3-1で指摘したように、コミュニティ全体としての避難活動は往々にして混乱したものとなりがちである。この混乱を防止し、住民避難が安全かつ円滑に行われるためには、コミュニティとしての避難システムの整備が必要となる。

コミュニティというレベルで洪水災害時の避難を考えた場合、そこでは多数の個人や組織がそれぞれの目的に応じて様々な行動を展開するが、これを一つのシステムとしてとらえると、図4-4-1のように概念づけられる。

すなわち、このシステムは基本的に、各種行政組織等が住民避難を安全かつ円滑に導くための「制御誘導システム」と洪水災害から

住民が避難するための「行動システム」という二つのサブシステムから構成されると見なせる。住民の行動システムについては既に触れてきたのでここでは各種行政組織等が行う制御誘導システムについて考えてみる。

住民の避難行動システムを制御誘導するためのシステムは、第4章2-1で述べたように、「平常時の制御誘導」と「災害時の制御誘導」という二つの側面から構成される。平常時の制御誘導は洪水災害に対する住民の知見を高めるための災害啓蒙による心理的制御と、住民の適正な避難行動を実行可

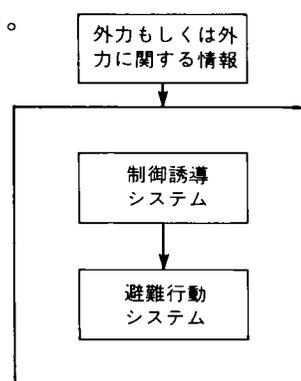


図4-4-1 避難システムの概念図

能ならしめるための避難施設や避難経路等の物的環境の整備による物理的制御とで構成される。

一方、災害時の制御は災害の発生もしくはその可能性に関する情報を提供することにより、住民の行動システムが機能する状態へと導くことである。すなわち、住民の避難意思決定プロセスが作動するために必要な認知情報の提供といえる。この制御誘導により、住民は個々の意思決定プロセスに基づき行動をするが、その行動は住民個々のもつ初期的条件（この多くは平常時の制御のうち災害啓蒙により培われる）によりまちまちであり、適切な避難行動がとられない場合がある。

このような場合には行動指示という物理的（強制的）な制御誘導が必要となる。この制御誘導は強制力を持つべきものと考えられ、そのためには住民がそれを受け入れるための前提条件である平常時の制御誘導システムの整備が必要であることはいうまでもない。そのうちの最も重要なものとして、前述した物的環境の整備を指摘することができる。

以上のようにコミュニティとしての避難システムを広義にとらえると、それは図4-4-2に示すように構成される。

このように制御誘導システムは、平常時の制御誘導システムと災害時の制御誘導システムとに分けることができる。そして、これら二

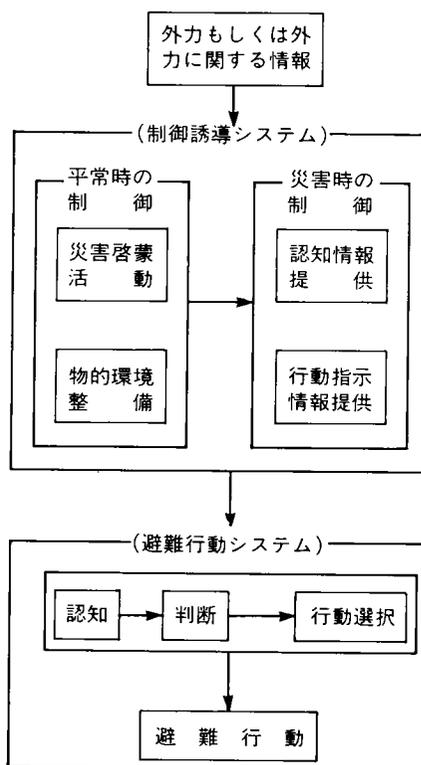


図4-4-2 避難システムの基本的構造

つの制御誘導システムが住民の行動システム内部において相互に補完しあって初めて安全かつ円滑な避難となるが、本文ではこれらの制御誘導システムの中でとくに、災害時の制御誘導システムを対象とすることにする。^{*}なぜなら、第4章3-2でも述べたように、洪水災害時の制御システムは緊急性の高いものであるにもかかわらず、従来系統的な研究がほとんど行われていないからである。しかも、災害時の制御誘導システムを対象とすれば、このシステム成立の前提条件である平常時の制御誘導システムについても必然的に言及することになる。

以下にはこのシステムを構成する場合の前提条件としての外部環境ならびに設計の基本フローについて述べることにする。

4-2 避難システムの外部環境

本文で対象とする避難システムの機能レベルは、啓蒙活動や物的な防災環境の整備など平常時の制御システムによって培われたコミュニティの災害準備度に応じて変化する。すなわち、平常時の制御誘導システムによって培われたコミュニティの災害準備度は、避難システムの外部環境として位置づけることができる。避難システムの外部環境としての災害準備度は、様々な要素で形成されるが第4章2-2で述べたように

- ・行政による防災体制の程度
- ・土地利用条件、家屋立地・構造条件
- ・住民の防災意識、災害文化の程度

に区分して考えることができよう。本文で対象とする洪水避難システムの外部環境としては、これらの要素のなかでも防災施設整備状況、土地利用状況、住民の防災意識が特に重要なものといえる。

(1) 避難システムと防災施設整備

洪水避難という緊急事態下において、住民の行動を誘導する場合には避難システムは可能な限り単純な構造が望ましい。しかしながら、防災施設整備が遅れ、洪水時に破堤位置やその規模を予想することが極めて

* 本論文では、以下災害時の制御誘導システムを避難システムと呼ぶ。

困難であるといった状態や避難施設、避難経路の安全性が十分に確保されていない状態などを想定した場合、避難システムはあらゆる事態に備えて計画されねばならず、効率的な避難システムとするには自づとその構造は複雑になってくる。

(2) 避難システムと土地利用

洪水氾濫危険区域における土地利用規制は、洪水氾濫被害の軽減にとっては極めて有効な手段である。すなわち、土地利用規制が円滑に進んでいる地域では、重点的に制御誘導できるのでより効率のよい避難システムの運用が可能となるが土地利用規制が十分でない地域ではそれだけ補完的機能としての避難システムの果たすべき役割は重要なものとなる。

(3) 避難システムと住民意識

避難行動の主体は住民である。既に述べてきたように、洪水災害に対する住民の危機意識の構造は多様であり、同一の情報を認知してもその

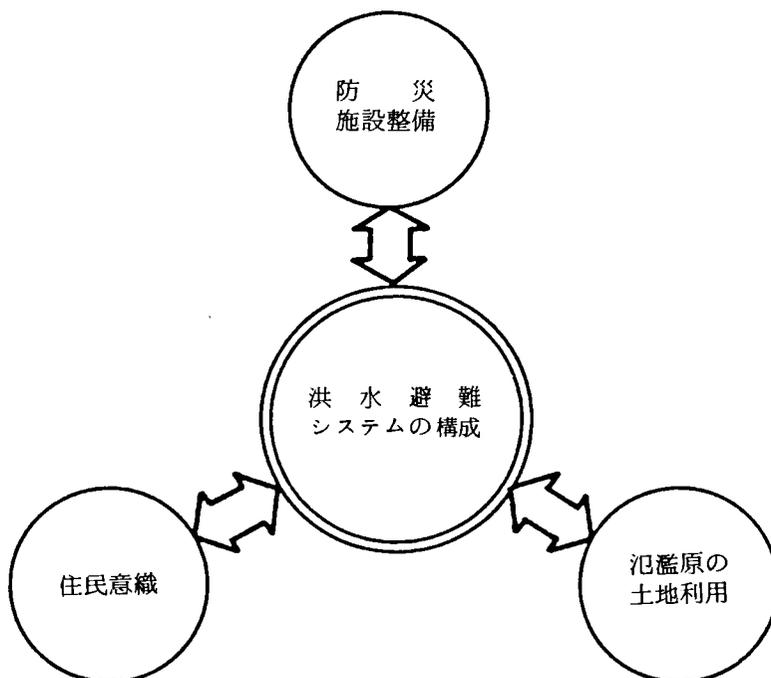


図 4-4-3 避難システムと外部環境

評価、行動はまちまちである。洪水災害の危険性に対する住民の認識と理解が得られれば避難システムはより高次元の制御手段をシステム内部に織り込むことが可能となる。

以上、避難システムを取りまく外部環境要素についてその概略を述べた。図4-4-3に避難システムと外部環境との関係を示す。ところで、外部環境は避難システムを設計する場合の前提条件であるから避難システムの機能をより一層高めるためには、外部環境の改善方法に関する情報—避難経路や避難施設の適正規模やその配置のあり方、氾濫区域内の土地利用のあり方など—が不可欠である。このような情報を与えることも、本文で取り扱う避難システムの構成と評価の手法の開発の目的の一つといえる。

4-3 避難システムの構成

避難システムの機能は図4-4-4に示すように、国や府県から入手した降雨、洪水等各種災害情報（独自の監視体制により得られた情報をも含めて）と地域特性との関係から災害発生の可能性を刻々分析し、災害の発生が想定される場合には氾濫水により危険となる住民を設定し、それらの住民に対して氾濫水から安全な避難施設とそこへ至る避難経路を指示するとともに洪水氾濫という時間的・空間的にダイナミックな現象に対応した住民避難行動を制御誘導することといえる。

このように考えると、避難システムは基本的に「氾濫水」、「住民」、「避難空間（避難施設と避難経路）」、および「制御誘導情報」という4つの概念から構成され、図4-4-5に示すようにモデル化できる。

ところで、いざ災害という時点で図4-4-4に示す作業のすべてを行っていたのでは避難システムは十分に機能し得ないであろうし、また、それだけの時間的余裕もないであろう。

そのため、

- 河道流況と破堤、溢水の可能性
- 破堤、溢水した場合の氾濫区域

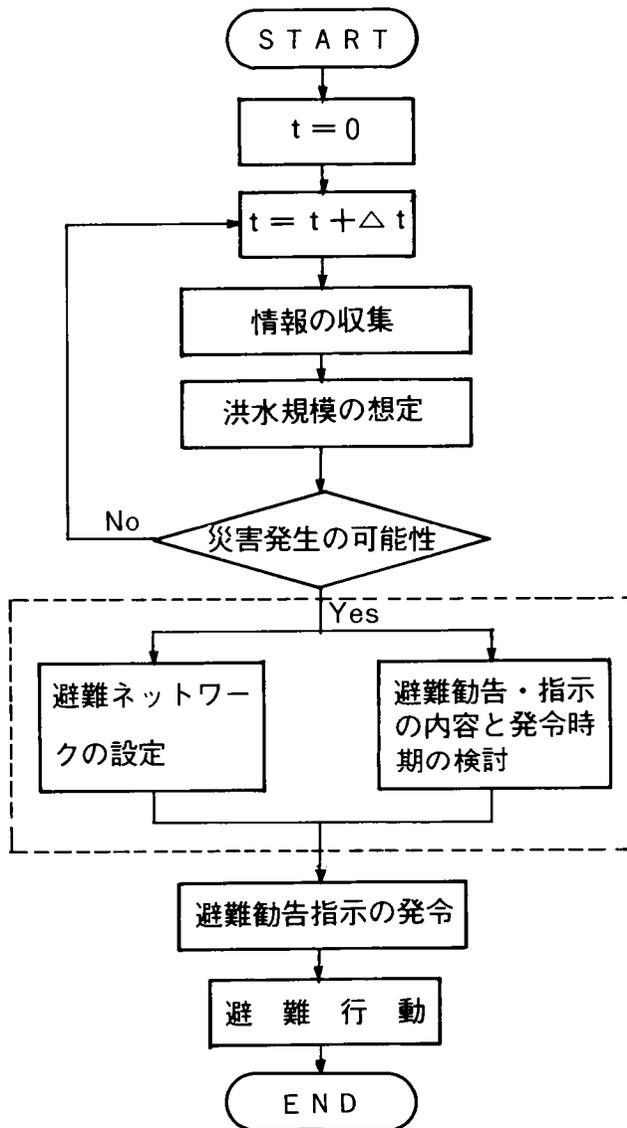


図 4-4-4 避難システムのプロセスモデル

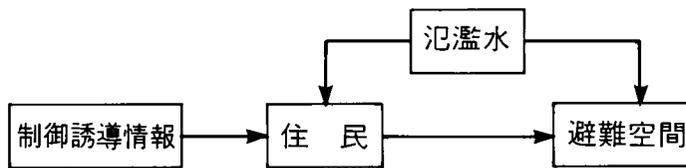


図 4-4-5 避難システムの概念モデル

- 氾濫区域内の避難住民、避難施設、避難経路の数と分布
- 避難勧告指示の内容と発令時期

などの情報を洪水規模別にあらかじめ作成（型紙化）しておき、洪水時に、国や府県から入手した洪水情報や独自の監視体制によって得られた情報をインプットすれば制御誘導が可能なようにしておく必要がある。本章でいう避難システムの構成とは、いわばこの型紙を作成することといえよう。

したがって、その構成内容は避難対象者の設定、避難経路・避難施設の設定という基本的作業をふまえた「避難ネットワーク計画の作成」とそのネットワーク上において住民を、いつ、どのように避難誘導するかという「避難勧告・指示計画の作成」といえる。

上記した2つの内容を構成するためには、洪水災害時の氾濫の状況を時間的・空間的に予測しておく必要がある。このように考えれば、避難システムは図 4-4-6 に示すように、

- 氾濫水の予測システム
- 避難ネットワーク設定システム
- 避難勧告、指示計画システム

という3つのサブシステムから構成されることが考えられる。

一般に、複雑な機械システムや社会システムの場合には、システムの信頼性、安全性を向上させるために、ハイアラーキ構造をもつシステム、冗

長性を考慮したシステム、フィードバック機構をもつシステムとなるような設計が行われるが、ここで述べる避難システムも図4-4-4からわかるように、いくつかのサブシステムからなるハイアラキ構造をもっており、また、評価過程などをおしてシステム内部に冗長性、フィードバック機構を組み入れたシステムとなっている。

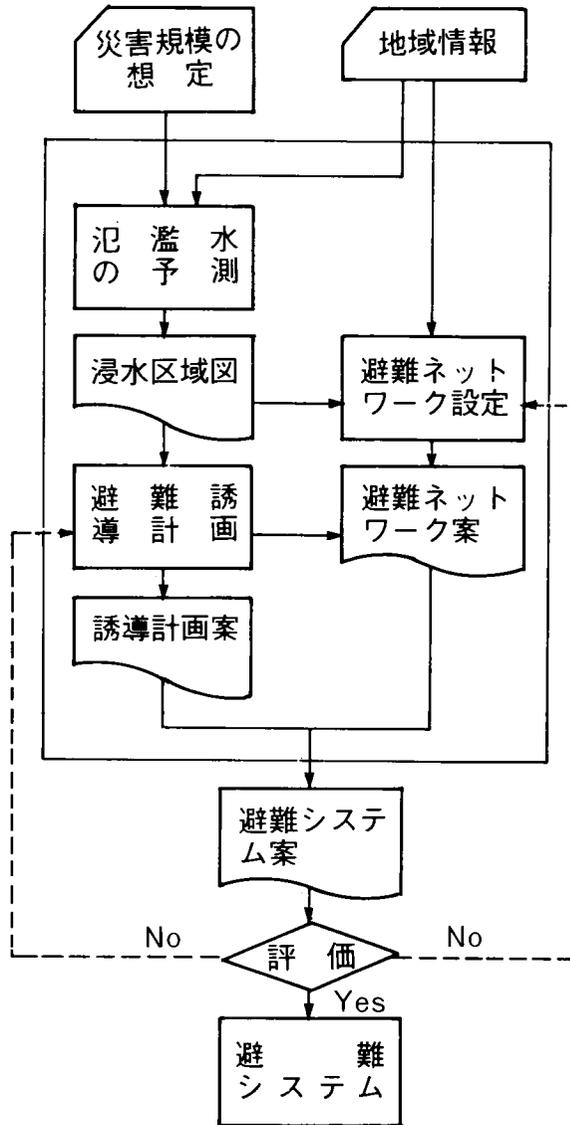


図4-4-6 避難システムの構成

第5節 洪水避難システムの構成手法

5-1 氾濫水の予測システム

本節では第4章4-2で述べたように防災施設整備を、避難システムの外部環境として位置づけている。すなわち、システムの作成にあたっては、どこで、どの程度の破堤が生起するか明らかでないため、「破堤カ所・規模」を仮定条件として取り扱い、各仮定条件の変化に対し弾力性（適応性）の強い避難システムを構成しておく必要がある。

一方、避難システムの備えるべき指示情報は、第4章4-3で述べたように基本的には、

- ・避難対象者指示情報
- ・避難施設および避難経路指示情報
- ・避難行動指示情報

の3つといえる。このような指示情報を避難システムとして提供するためには、洪水氾濫解析、すなわち、予測システムは洪水氾濫水の挙動を、時間的、空間的に微小な単位で把握できるものでなくてはならない。このような目的を満足する解析手法として本論文では、第2、3章で述べた氾濫水の数値解析法を予測システムのモデルとして使用することにする。図4-5-1にはこの数値解析法を中核とする予測システムの流れを示す。

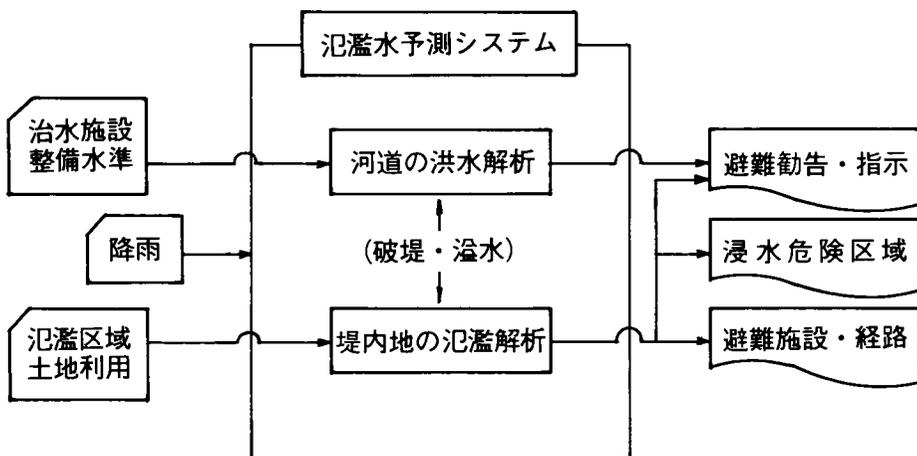


図4-5-1 氾濫水の予測システム

5-2 避難ネットワークシステム

避難ネットワークシステムは避難対象者の設定、避難施設の設定、ならびに両者を結ぶ避難経路の設定から構成される。このサブシステムは、前項で述べた氾濫水の予測システムからもたらされる氾濫水の挙動を情報として構成するものとする。

(1) 避難対象者の設定

避難対象者をシステムモデルにより把握していくためには、まず次のことを明らかにする必要がある。すなわち

- ・避難必要性の判定基準
- ・避難対象者の掌握単位

である。

(a) 避難必要性の判定基準

氾濫水の予測システムにより洪水氾濫区域図が得られるが、この情報（主として湛水深）により避難の必要性の判断を行う。この場合、3節でも述べたように、家屋形態による危険度の差異、被災経験の有無や性別などの個人的属性、さらには、一般人と子供、老人、病人といった行動能力の差異なども考慮する必要がある。また、洪水氾濫からの避難だけでなくガケ崩れ等2次災害の危険性も避難判定基準として考慮する必要がある。

(b) 避難対象者の掌握単位

避難は住民個々の行動である。そのため避難システムは、その対象を個々の住民単位とするのが基本的にいて望ましいといえよう。しかしながら、対象とする地域が広範囲に及ぶ場合には、個々の住民を対象として、避難行動指示を行うことはほとんど不可能に近い。そのため住民を個人→家族→町内会→校区といった集団としてとらえざるを得ない。この場合、どの集団レベルを掌握単位として設定するかは、住民の集団行動原理や対象地域の空間スケール、さらには氾濫水の予測システムの精度などによって決まるものと考えられる。

以上の前提条件の下で、避難対象者の設定は図 4-5-2 に示したフロー図に従って行えばよい。

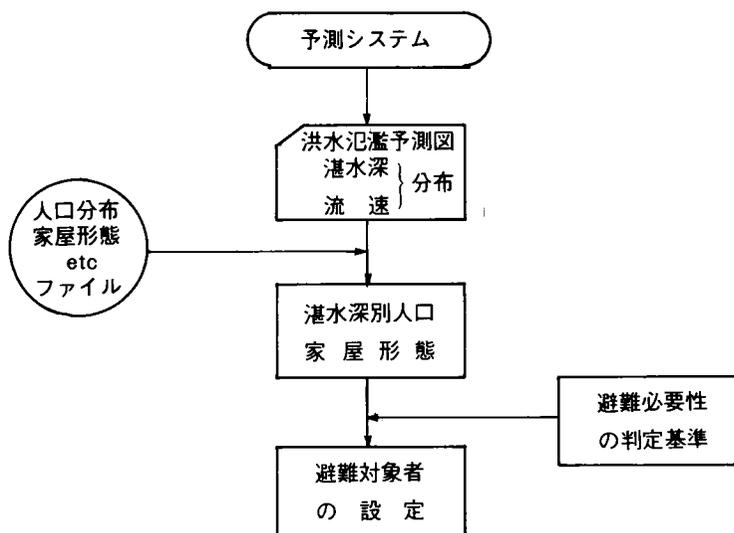


図 4-5-2 避難対象者設定システム

(2) 避難施設の設定

避難対象者が決まると、それら対象者に避難すべき施設を指示する必要がある。避難対象者が洪水氾濫水という自然現象より一意的に定まるのに対して、避難施設の指示は避難システムの計画要素として位置づけられる。

住民に指示する避難施設を設定するには、既存の施設を設定する場合と、新たな避難施設を計画して設定する場合とがある。前者の場合は、主として既設の各施設が避難場所として適切かどうかの評価を行うものであり、その評価は氾濫水の予測システムから得られる氾濫水からの安全度や避難住民の周知度等の側面から行われる。

一方、後者は前者の補完的役割として位置づけられる。すなわち、評価基準を満足する避難施設を既存の施設でまかないきれない場合や後述する避難経路網からみて、望ましい避難施設を設定できない場合に新たな施設を計画設定することを意味する。

この場合、計画の主要課題は施設の配置と規模の決定といえよう。そ

して、施設の配置と規模の決定は避難経路網と一体となった避難ネットワークのなかで計画されなければならない。図4-5-3は避難施設設定方法のフローを示したものである。

(3) 避難経路網の設定

避難経路網に課せられる要件として、次のことが考えられる。

- ・浸水に対して安全な経路とする。
- ・避難システムの混乱を招かないため、さらには住民の周知度を高めるために同一地区（集

団）の避難住民は同じ避難場所を割り当てる。

- ・どの住民にとっても避難行動可能範囲内の避難経路網とする。同時に各避難において、避難所要時間の平等性を確保する。
- ・洪水氾濫の状況変化に弾力的な避難システムとする。そのために図4-5-4に示すように多段階の避難行動が可能な避難経路網の計画とする。

以上、避難対象者の設定、避難施設の設定および避難経路網の設定について検討してきたが、これらによって構成される避難ネットワークシステムの構成のためのチェックリストを表4-5-1に示す。

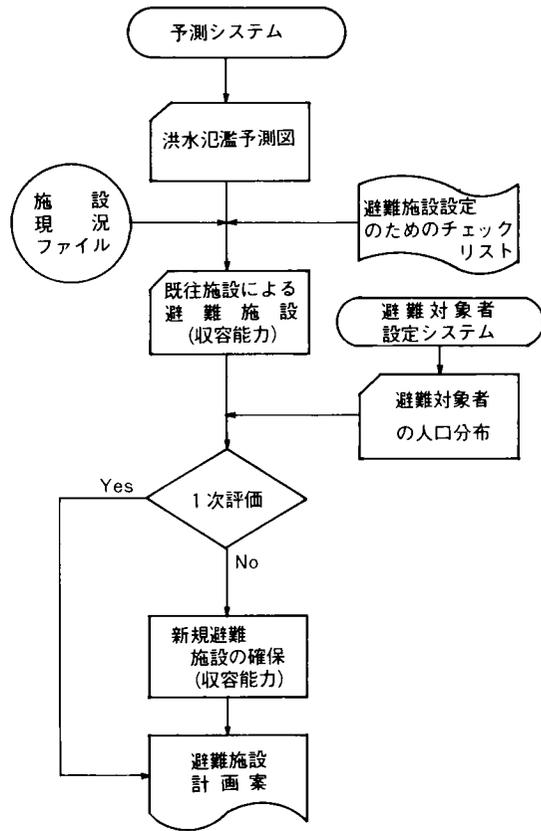


図4-5-3 避難施設設定システム

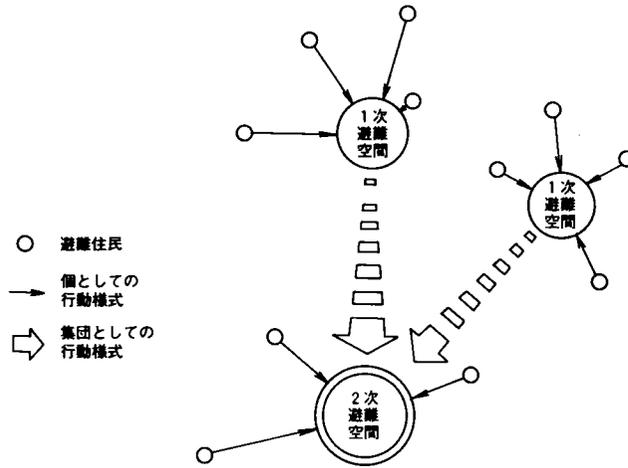


図 4-5-4 2次避難行動パターン

5-3 避難誘導システム

避難ネットワークシステムの構成につづいて、災害時に計画された避難ネットワーク上で、安全かつ確実に避難が展開されるような避難誘導システムを立案する必要がある。災害時における避難誘導には様々な方法が考えられるが、ここでは避難勧告・指示の伝達による誘導を中心に考える。洪水災害時に住民が必要とする情報は表4-2-1に示したとおりであり、これら情報の大部分は、前述した氾濫水の予測システムから得られる洪水氾濫に関する情報を媒介として作成される。すなわち

- ・要避難人口とその地域分布
- ・安全な避難施設と避難経路
- ・避難勧告・指示の時期

である。このうち、前二者については避難ネットワークシステムの構成において触れたので、ここでは省略するが、避難勧告・指示の時期については図4-5-5に示す流れで把握することができる。避難誘導システムにおいては特に重要となる情報伝達方式の計画については、伝達方式や対象地域の特性を十分検討した上で計画すべきである。表4-5-2に避難誘導システム作成のためのチェックリストを示す。情報伝達メディアの選定にあたっては

表 4-5-1 避難ネットワーク設定のためのチェックリスト

	避難対象者の設定		避難施設の設定		避難経路の設定	
	検討内容	視点	検討内容	視点	検討内容	視点
要件の分析・分類	<ul style="list-style-type: none"> ○ 浸水深からみた避難対象者の分布 ○ 2次災害の可能性からみた避難対象者の分布 ○ 家屋特性からみた避難対象者の分布 (階層、耐水性) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 避難対象者の人口と分布 ○ 公的避難施設の利用人口 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 浸水からの安全性 ○ 2次災害からの安全性 ○ 施設の公共性 ○ 施設の持続性 ○ 全天候性 ○ 昼夜間利用の可能性 ○ 施設の規模 (収容能力) ○ 施設の設備状況 <ul style="list-style-type: none"> ・ 食料の備蓄 ・ 通信設備 ○ 救援活動の容易性 ○ 施設の高台のイメージ 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 施設の安全性 ○ 施設の収容可能量 ○ 施設の周知度 ○ 住民の利用意欲 ○ 救援活動の可能性 ○ 施設の夜間利用可能性と雨天利用可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 冠水深からみた道路の安全性 ○ 道路種別 (幅員) 道路分布 ○ 夜間利用の可能性 (照明) ○ 冠水による路肩の識別可能性 (ガードレール等) ○ 住民の周知度 ○ 通行人阻害要因の状況 (橋梁) ○ 鉄軌道利用可能性 ○ (避難対象者の分布) ○ (避難施設の分布) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 経路の安全性 ○ 経路の通行可能容量 ○ 経路の周知度 ○ 避難施設の夜間利用可能性 ○ 避難距離の検討
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 災害規模別避難対象者の人口と分布 ○ 小学校区、町丁目単位別避難対象者の人口と分布 ○ 災害発生までの余裕時間別避難対象者の人口と分布 ○ 避難住民相互の連帯感 ○ etc 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地区別危険度ランクの設定 ○ 避難対象集団の分類と適正規模の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 災害規模別施設数と収容能力の分布 ○ 小学校区、町丁目単位別避難施設の数と分布 ○ 要件充足度別の避難施設の数と収容能力の分布 ○ etc 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 施設の適正度ランクの設定 ○ 避難対象者と施設収容能力のバランス検討 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 災害規模別利用可能道路の分布 ○ 要件充足度別避難路の分布 ○ 橋などの道路分断要素の分布 ○ etc 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 避難路の適正度ランク設定 ○ 避難施設と避難対象者の結合状況の検討

メディアがもつ情報伝達の確実性、広域性、瞬時性を考慮に入れる必要²¹⁾がある。

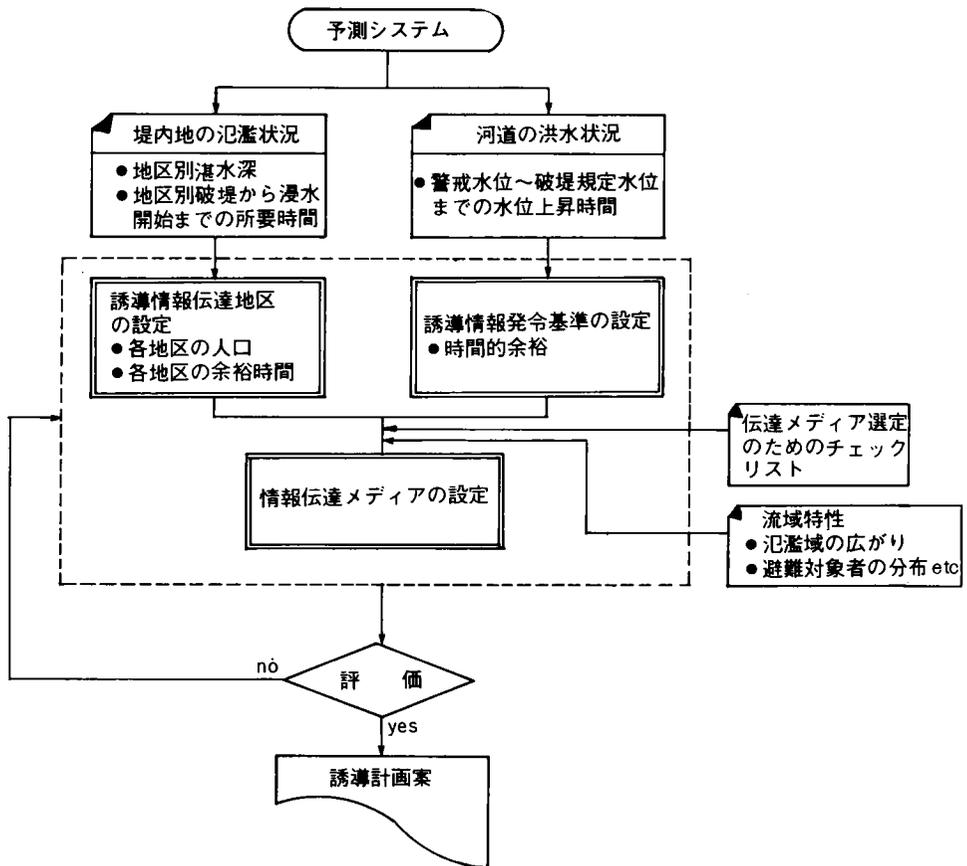


図 4-5-5 避難誘導システム

表 4-5-2 避難システム作成のためのチェックリスト

避難勧告・指示計画	検討内容	視点
<p>情報伝達地域の設定</p>	<p>○災害規模別河川別氾濫想定地域の把握 ○災害規模別危険地区の地域的分布 ○災害規模別河川別破堤・溢水から浸水開始までの地域的時間分布 etc</p>	<p>○災害規模別地区別危険度ランクの設定 設定→伝達対象地区の分類 (湛水位、時間的緊急性からみたランク付け)</p>
<p>情報伝達内容の設定</p>	<p>○災害対策基本法に基づく伝達内容</p> <ul style="list-style-type: none"> ・発令者 ・避難勧告・指示の別 ・気象・洪水の現況と見とおし ・避難の心得 ・避難施設および経路 <p>○既往災害記録および住民への意向調査結果の分析 etc</p>	<p>○地域特性の反映</p>
<p>情報伝達時期の設定</p>	<p>○河川別区間別現況疎通能力の把握 ○河川別河道洪水特性（水位変化の速さ） ○氾濫水の伝播時間の地域的分布 ○警戒水位記録時から被害発生までの余裕時間の地域的分布 etc</p>	<p>○避難勧告・指示発令時期 ○避難指示発令の時間的余裕 ○同、伝達地区別時間的余裕</p>
<p>情報伝達メディアの設定</p>	<p>○浸水危険地区別情報通信設備の整備状況 ○通信設備の耐災害性の検討 ○災害時利用可能通信設備の地域的分布 ○災害時の情報伝達中継機関から各危険地区への伝達メディア別ネットワークと連絡所要時間分布 ○伝達メディア別、確実性、広域性、同時性等の分析 ○通信不能（不良）地区の地域的分布 etc</p>	<p>○地区別伝達メディアの検討 ○通信不能地区の改善</p>

第6節 避難行動シミュレーション モデル

第5節で述べた構成手順に従って避難システムの個々のサブシステムは構成できることになるが、これらのサブシステムを結合して得られる避難システム案が災害時にどの程度、避難システムとしての目的を達成し得るかを事前に評価しておく必要がある。

前述のように個々のサブシステムは、主として汜濫解析から得られる最終的な湛水深の空間分布から評価できるが、避難システム全体としての評価は住民の避難行動を考慮に入れた動的な側面から行う必要がある。本節では、避難システム全体としての評価を行うための手法として開発したシミュレーション モデルについて以下に述べることにする。

この手法は、避難システム案に従って展開される避難の様子を住民の行動様式および汜濫水の挙動を組み込んだシミュレーション モデルにより机上実験し、その結果をうけて避難システムの具備すべき要件を満足するか否かを評価する方法である。

避難システム案を評価する指標は多様であるが、それらは大きく区分して表4-6-1に示すように3つの側面に区分される。そして、評価は図4-6-1に示すように各々の評価指標がある許容水準を満足しているか否かによってなされる。さて、シミュレーション モデルを作成する前に、避難システムの評価においてモデルのはたすべき要件とその基本構造を明らかにすることにする。

6-1 シミュレーション モデルの要件

前述のように、避難システム案において、避難施設、避難経路、避難誘導などのサブシステムはそれぞれ単独に評価され既に許容されたものである。した

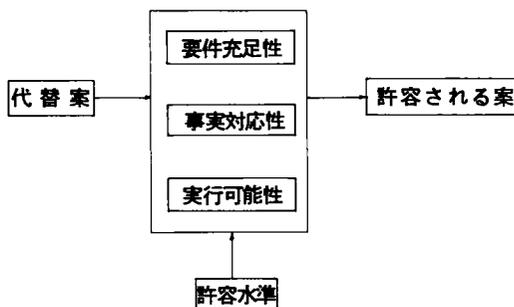


図4-6-1 評価の手順

がって、ここで検討するシミュレーション モデルの目的は、図4-6-2に示すように各サブシステムを結合させた場合に、避難システム全体としての適正度を評価することにある。この段階において、避難システムの適正度を評価する具体的な指標を列記すると以下のように考えられる。

イ) 避難住民の安全性

表4-6-1 避難システム案の評価指標

評価側面	評価項目
要件充足性	<ul style="list-style-type: none"> ● 避難不可能者数 ● 避難所要時間 ● 平等性 ● 洪水氾濫状況との弾力性 ● 避難システム構造の簡索性 ● e t c
実行可能性	<ul style="list-style-type: none"> ● 技術的制約 ● 社会的制約 ● 法・行政的制約 ● 経済的制約 ● 時間的制約 ● e t c
事実対応性	<ul style="list-style-type: none"> ● 現象との整合性 ● 仮説、仮定の確からしさ。● e t c

- 避難人口
- 避難完了人口
- 避難未了人口

ロ) 避難の円滑性

- 避難所要時間
- 避難先の変更状況

ハ) 避難路および避難施設の配置の適否

- 避難施設別避難住民数
- 避難経路上の避難住民数

したがって、以上の情報を時間的、空間的に良好な精度で提供しうることがシミュレーション モデルの要件といえよう。

6-2 シミュレーション モデルの構造

住民が避難誘導等の情報もしくは氾濫水を認知してから、安全な場所へ移動する状況を再現し、その結果として前節で述べた情報を提供することが、避難システム評価のためのシミュレーション モデルの役割である。したがって、

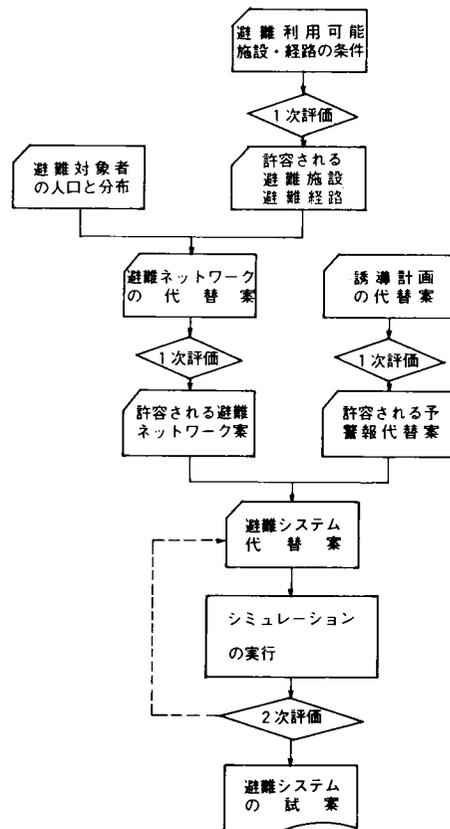


図4-6-2 避難システムにおける段階的評価

モデルを構成する基本要素は、氾濫水、避難住民、避難経路網、避難施設、避難誘導情報ということになる。このうち避難経路および避難施設については避難ネットワーク案として、また避難誘導についてもその時期や内容、伝達方式を考慮に入れた計画案として提示する。

このように考えると、シミュレーションモデルは基本的に図4-6-3に示すように、

- ・ 氾濫水の挙動を表現するモデル
- ・ 住民の避難行動を表現するモデル

の2つの現象モデルで構成される。

洪水災害時における住民の行動については、2節および3節においてその概要を紹介したが、住民の避難行動は模式的に示すと図4-6-4のようにとらえられる。このようにして示される住民の避難行動を模擬するシミュレーションモデルの具体化について以下に検討を行う。

(1) 対象流域のモデル化

避難システムの主体は個々の住民である。そのためシミュレ

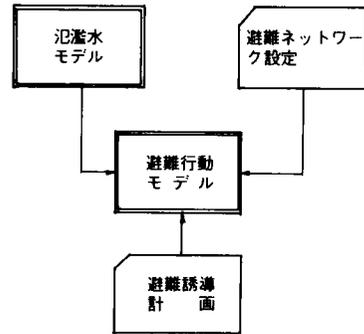


図4-6-3 シミュレーションにおける現象記述モデル

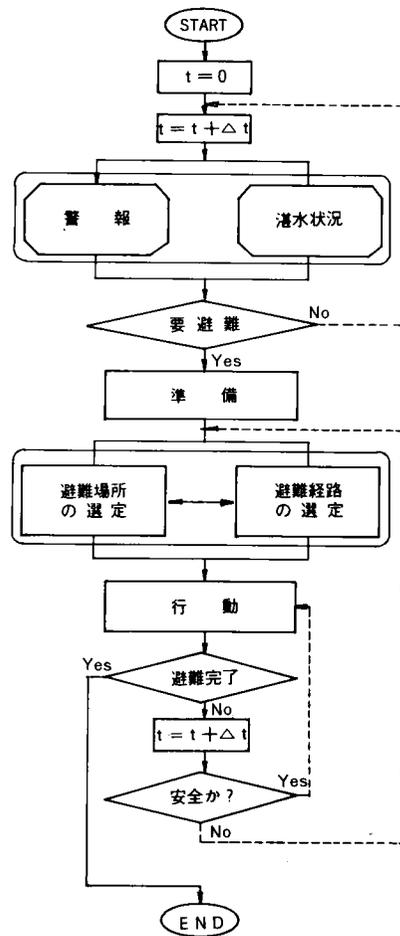


図4-6-4 住民の避難行動

シミュレーションモデルは住民一人一人の避難行動をシミュレートすることが基本となる。ところが、対象とする流域（氾濫区域）が広域に及ぶ場合、避難住民が非常に膨大な人口となり、コンピューターモデルの演算時間および記憶容量などの点において不都合である。また、このことは避難システムの性格からみても徒労に過ぎない面が多い。すなわち避難システムとして行政的に住民に公示する場合、避難対象者が個人ではなく、ある集団として指定される場合が一般的であるからである。このような観点に立って、本モデルでは避難対象者を個人ではなく集団として取り扱うこととする。この場合避難対象者としての集団のもつ属性を表わすための手法として、対象流域をメッシュ分割法によりモデル化し、個々のメッシュに集団のもつ属性を以下のように設定する。

- ・集団の氾濫区域内における空間的位置
- ・人口

なお、メッシュスケールは対象圏域の大きさ、避難ネットワークの密度、必要とされるアウトプット情報の精度等にも左右されるが、避難集団として適正規模であることが望ましい。ここでは氾濫解析モデルとの関連も考慮して、氾濫解析モデルの堤内地のメッシュ分割と合わせることをとする。

(2) 避難ネットワークのモデル化

計画案として提示された避難施設、避難経路に基づいて図4-6-5に示

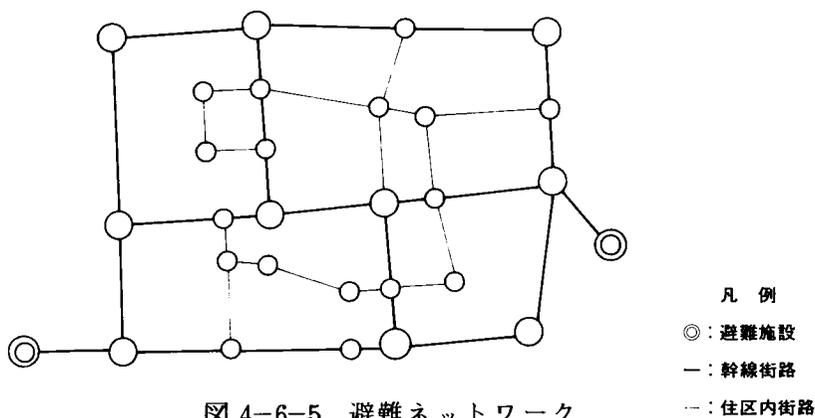


図 4-6-5 避難ネットワーク

されるようなネットワークを、結接点（ノード）とそれらを結合する経路（リンク）を組合せてモデル化する。なお、避難施設は便宜的に実際の位置ともっとも近いノードの位置に設置されているものとして取扱うことにする。

また、ネットワーク情報としては以下のものを与える。

- ノードの座標
- リンクの種別（幹線・細街路・幅員・地盤高等）
- ノードの種別（一般交差点・避難施設）

(3) 避難行動のモデル化

(a) 災害発生の認知と避難の意思決定

洪水氾濫による災害の認知方法は、次の2つに大別される。一つは警報や他人からの情報認知であり、もう一つは氾濫水を見て認知する場合である。警報の認知率は主として情報伝達の方法や警報の時期、それに情報を受ける側である住民側の防災意識などに左右される。また氾濫水を見て認知する場合についても家屋の位置や構造、破堤の時間帯などによって変わってくる。また、住民は洪水氾濫を認知したあと避難を行うか否かについての意志決定を行う必要があるが、その決定は4-2-1で述べたように、住民個々の災害に関する知見、置かれている環境などにより異なってくる。

以上のように、災害発生の認知や避難意思決定に係わる要素は複雑であり、現状では明確でない部分が多い。本文の目的は、避難システムの構成手法と構成された避難システムの評価の手法の開発であるから、住民の避難行動を完全には再現できなくとも、システム全体として安全側に設計できれば問題はないと考えられる。したがって、このシミュレーションモデルでは次のように警報の伝達および住民の避難意思の決定をモデル化することにする。

まず警報については、コミュニティの有する警報発令基地から同心円状に伝わっていくものとし、警報が伝達された地区では、すべての

人が警報を認知すると仮定する。なお、情報の伝達速度は、使用するメディアによりかわると考えられるためパラメータとして取り扱う。又本来警報を聞いた人は避難開始するまでに準備のための時間を要するが、ここでは無視することにする。

一方、氾濫水を見て避難する人は図 4-3-10 を参考にして、浸水が始まる（湛水深 5 cm 以下）とただちに避難する人が 30%、床下（15～45 cm）まで水がくると避難する人が 50%、床上（45 cm 以上）にならないと避難しない人が 20% と 3 段階に分類して考えることにする。

(b) 避難場所と避難経路の選択

避難の意思決定を行った後の住民の避難行動をどのような形でモデル化するかは、避難行動のシミュレーションモデルにおいて基本的な問題である。一般に、複数カ所点在する避難施設から、住民がひとつの避難施設を選択する際に考慮する要因としては、施設の安全性、施設までの距離、施設の周知度、避難経路の有無、避難経路の安全性などがあげられる。このなかで、施設の安全性、周知度などは避難施設の計画段階で一次評価をうけ、要件を満たしているものであるから、避難施設の選択はその施設までの距離、換言すれば所要時間によって決定されるものと考えられる。ここでは、このような観点から、避難施設の選択を、ネットワーク理論の最短経路選択問題としてモデル化する。

すなわち、あるメッシュ内の住民は、避難の各時間で、それぞれの避難施設までの所要時間を避難経路の浸水状況を考慮に入れて計算し、もっとも短時間で到達可能な位置にある避難施設へ向かって避難すると仮定する。地震災害時の避難行動を取り扱った研究²²⁾においても住民の避難行動をこのような最短経路選択問題としてモデル化した例がある。この他にも避難行動を群衆流として取り扱う方法も考えられるが、洪水時においては地震時と異なり避難対象者数も少ない場合が多いことから、最短経路選択問題によるモデル化がより妥当なものと考えら

れる。避難施設の選択を以上のようにモデル化することにより、避難経路の選択も自づと時間最小となる経路が選択される。すなわち、時間最短ルート of 探索によりモデル化することになるが、ここではさらに次の条件を付加する。

- イ) 近隣住区内の避難にあたっては、住区内街路も避難路として利用する。
- ロ) 一旦、近隣住区内を通過した住民は、その後幹線道路のみを利用し、他の住区内の細街路は利用しない。

これは避難という緊急時においては幹線道路など、幅員が大きく、かつ周知度の高い道路が避難経路として選択されやすいことを考慮に入れたためである。

さて、最短経路選択問題の解は一般に以下のように与えられる。²⁵⁾

いま、図 4-6-6 に示すようなノードの集合と、そのうちの幾つかの対を結ぶ有向アークから成るネットワークを考える。

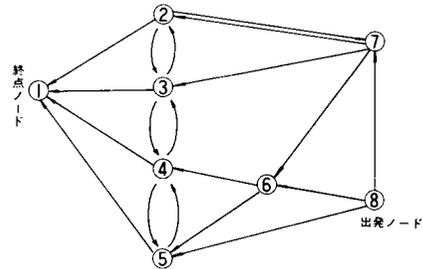


図 4-6-6 最短経路問題のネットワーク例

図 4-6-6 においてノード⑧と①

をそれぞれ出発ノード、終点ノードとし、 C_{ij} をノード i に始まりノード j に終るアーク (i, j) の長さとするれば、最短経路選択問題はある制約条件のもとで、目的関数 F を最小化するアーク (i, j) の組合せを求めることに帰着する。

すなわち、

$$F = \sum C_{ij} X_{ij} \longrightarrow \text{最小化} \quad \dots\dots (4.1)$$

ここで、制約条件は

$$\sum_{\text{ネットワーク中の}(k, j)} X_{kj} - \sum_{\text{ネットワーク中の}(i, k)} X_{ik} = \begin{cases} 1 & k = s : \text{出発ノード} \\ 0 & \text{その他すべての } k \\ -1 & k = r : \text{終点ノード} \end{cases} \quad \dots\dots (4.2)$$

$X_{ij} \geq 0$ (ネットワーク中のすべての (i, j) について)
である。

いま、洪水時において住民はもっとも近いルートを通して安全な避難施設へ避難すると仮定すれば、避難行動は上述の最短経路選択問題によって容易にモデル化できることになる。すなわち、 C_{ij} を避難路 (i, j) の長さ、終点ノードを避難施設ノードとして、(4.1)～(4.2)式を解けばよい。しかしながら、洪水時における住民の避難行動を最短経路選択問題としてモデル化するにあたっては、上記のままでは問題がある。それは、洪水時においては氾濫水の状況によって、避難路や避難施設が浸水のために使用不能になる場合が存在することである。これは、 C_{ij} や終点ノードが時間的に変化することに対応する。

したがって、ここでは避難行動を氾濫水の状況に対応して、各時間ステップにおける最短経路選択問題として以下のようにモデル化する。

いま、避難路をアーク、避難施設および交差点をノードとして避難空間を図4-6-7のようにネット

トワーク化するものとする。

このネットワーク上において、時刻 t に避難住民は交差点ノード n_1 から $C_{n_1 n_2}$ ・ Z だけ離れた地点にいるものとする。このとき住民の

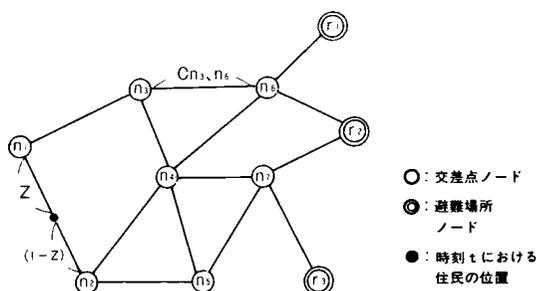


図4-6-7 避難ネットワーク

避難行動は次の5ステップで行われる。

ステップ1：住民はまず近くの交差点に避難するものとし、対応する交差点ノードを選定する。

ステップ2：ステップ1で選定された交差点から、その時点で浸水しておらず安全と考えられるすべての避難施設までの経路を最短経路問題として計算する。

いま、対象となる安全な避難場所ノード r_f が m カ所存在するとすれば、交差点ノード n_s における目的関数 F_{n_s, r_f}^t は、

$$F_{ns,rf}^t = \sum C_{ij} X_{ij} \quad (s=1,2 \quad f=1,2 \dots m) \dots (4.3)$$

ここで、制約条件は

$$\begin{array}{l} \text{ネットワーク} \quad \text{ネットワーク} \\ \text{中の} \quad \text{中の} \\ (k, j) \quad (i, k) \end{array} \sum X_{kj} - \sum X_{ik} = \begin{cases} 1 & (k=ns : \text{出発(交差点)ノード}) \\ 0 & (\text{その他のすべての} k) \\ -1 & (k=rf : \text{終点(避難施設)}) \end{cases}$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (\text{ネットワーク中のすべての}(i, j)\text{について})$$

\dots (4.4)

のように定式化できる。このとき既に氾濫水によって浸水している避難路についてはその長さ C_{ij} を、次のように浸水による歩行割引率を考慮に入れた換算値 C'_{ij} で表わすものとする。

すなわち、

$$C'_{ij} = C_{ij} / W^{t_{ij}} \quad \dots (4.5)$$

ここで、

C'_{ij} : 時刻 t から $t + \Delta t$ の間における浸水による歩行割引率を考慮に入れた避難路 (i, j) の長さ

$W^{t_{ij}}$: 時刻 t から $t + \Delta t$ の間における避難路 (i, j) 上の最大湛水深からきまる歩行割引率

当然ながら、一定値以上浸水している避難路については $C'_{ij} = \infty$ とする。

ステップ3 : ステップ2で計算された各々の避難施設に対する目的関数の中で最小値を求める。すなわち、

$$F_{ns,r}^t = \min \{ F_{ns,r1}^t, F_{ns,r2}^t, \dots, F_{ns,rm}^t \} \quad \dots (4.6)$$

($s=1,2$)

である。

ステップ4 : ステップ3で計算された交差点 n_1 と n_2 に対応する $F_{n_1,r}^t$ と $F_{n_2,r}^t$ にそれぞれの交差点に到るまでの距離を加え、値の小さい方を時刻 t における最短経路および対応する避

難場所とする。すなわち、最短経路長 $l_{n,r}^t$ は次式で与えられる。

$$l_{n,r}^t = \min \{ F_{n1,r}^t + C_{n1,n2} \cdot Z, F_{n2,r}^t + C_{n1,n2}(1-Z) \} \quad \dots\dots (4.7)$$

ステップ5：ステップ4までの計算によって避難経路と避難場所が求まることになるが、つぎに、行動の計算時間間隔 Δt 間に避難場所まで到着できるか否かを判定する必要がある。ステップ4で得られた避難路を通して避難場所まで到着するのに要する時間を y_t とすると、 y_t は次式で計算できる。

$$y_t = l_{n,r}^t / (P_n^t \cdot T \cdot V) \quad \dots\dots (4.8)$$

ここで、

P_n^t ：時刻 t から Δt 時間内に到達できる避難ルート上の避難住民数から決まる群集流動による割引率

T^t ：避難開始から時刻 t までの時間による疲労のための歩行割引率

V ：歩行速度で 1.4 m/s と仮定する

である。

$y_t \leq \Delta t$ の場合は避難完了とし、 $y_t > \Delta t$ の場合には、 Δt 時間に行動可能な距離を計算し、(4.7)式と比較することによって時刻 $t + \Delta t$ における住民の位置を求める。

以上の計算を時間ステップ Δt 時間毎に行うことによって、避難完了者、避難未了者、避難所要時間などが計算できることになる。なお住区内の街路を利用して幹線道路上に出る場合にも、交差点を避難場所と考えた最短経路選択問題として同様な計算を行う。

群集流動、湛水深、疲労による歩行割引率はそれぞれ以下のように

与える。

イ) 湛水深による歩行割引率²⁶⁾

伊勢湾台風時に大人の男で約70 cm以下で浸水中やっと脱出できたと云う事例をもとに、湛水深70 cm以上は通行不可能とし歩行速度の割引率 W_{ij}^t を次式のように仮定する。

$$W_{ij}^t = -(1/70) d_{ij}^t + 1 \quad (w_{ij}^t > 0) \quad \dots\dots (4.9)$$

ここで、 d_{ij}^t : 時刻 t から Δt 時間内における避難路 (i, j) 上の最大湛水深 (cm) である。

巴川災害におけるアンケート調査からも胸から首まで水につかって避難した人は何かにつかまらなければ歩けなかったことが明らかになっており、(4.9)式はほぼ妥当なものと考えられる。

ロ) 疲労による歩行割引率²⁷⁾

避難時間の長さに応じた疲労曲線により、歩行速度の割引率 T^t を次式のように仮定する。

$$T^t = \frac{1}{0.982 + \exp(1.12t - 4)} \quad \dots\dots (4.10)$$

ここで、 t : 避難開始からの経過時間 (hour)

ハ) 群集流動による歩行割引率²⁸⁾

群集流動の速度 U_n^t (m/s) を

$$U_n^t = \begin{cases} 1.42 - 0.241 P_n^t & P_n^t \leq 3.85 \\ 0.49 & P_n^t > 3.85 \end{cases} \quad \dots\dots (4.11)$$

ここで、 P_n^t : 時刻 t から Δt 時間内に到達できる避難ルート上の群集密度 (人/m²) と仮定すると、群集流動による歩行割引率は次式で与えられる。

$$P_n^t = U_n^t / V \quad \dots\dots (4.12)$$

以上の計算は細街路から、幹線ネットワーク上に至る住民の避難行動においても同様に適用する。図4-6-8に避難システム評価のためのシミュレーションモデルのフロー図を示す。

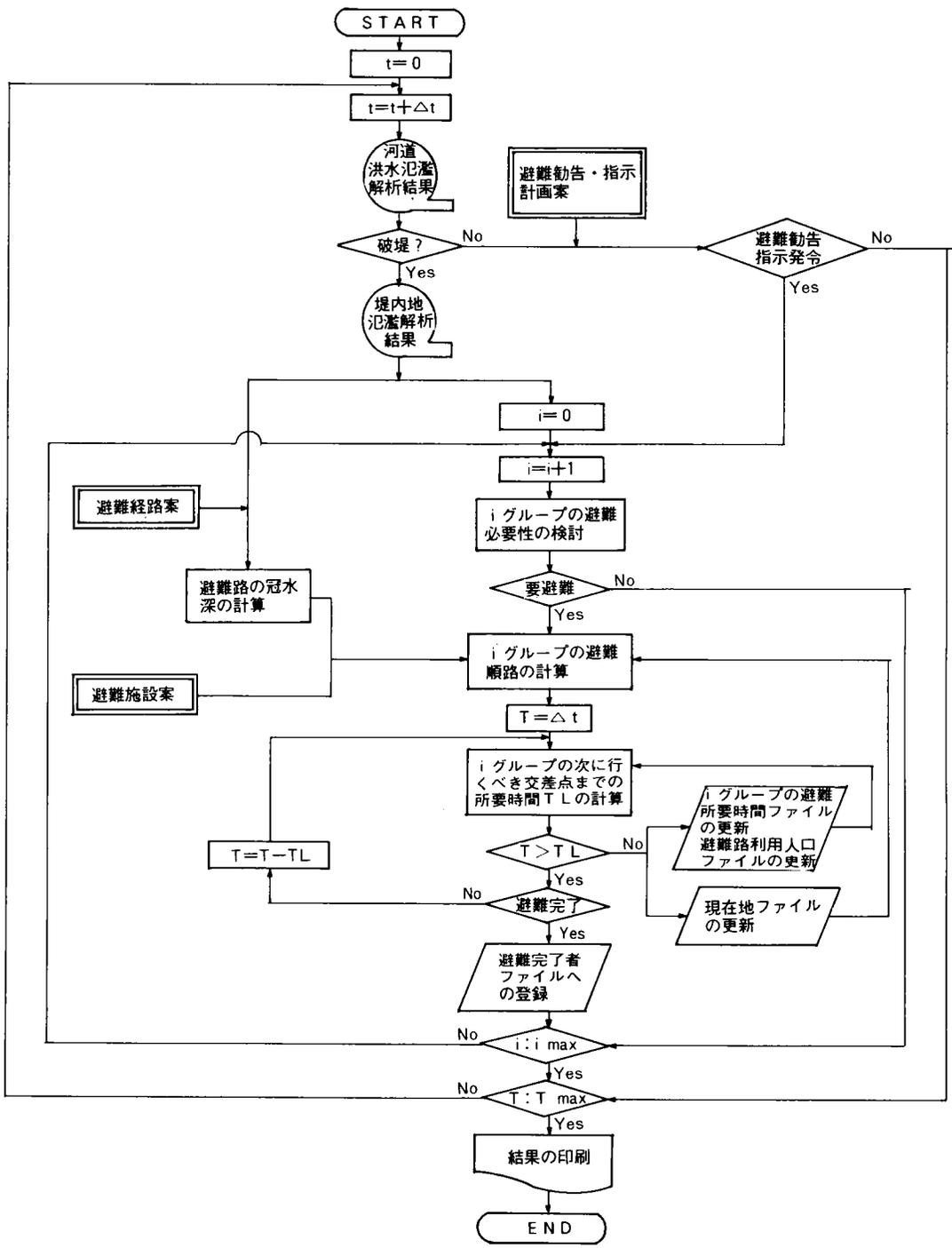


図 4-6-8 避難システム評価のためのシミュレーション モデル

第7節 結 語

本章は洪水時における避難システムの構成と評価の手法について述べたものである。本文においては、まず災害時における人間行動特性を明らかにするとともにその制御誘導領域と方法について述べた。ついで、避難システムの内容を決定する要因を指摘し、洪水避難システムの特徴について言及した。また、洪水災害時における避難事例調査や淀川流域40市町村に対して実施した洪水時の警戒避難体制に関するアンケート調査の結果から、洪水避難システムの現状分析を行った。これらの結果を踏えて、洪水災害時における避難システム構成のための基本フレームと構成の具体的方法を提示するとともに、各種の避難システム案を評価するための住民の避難行動シミュレーションモデルを開発した。本章で得られた成果を取りまとめると以下のようなものである。

- (1) 災害時における住民の避難行動は、情報の認知、判断、行動の選択といった一連の意思決定プロセスに基づいて行われ、この意思決定プロセスを制御誘導することによって、安全かつ円滑な避難行動が可能となる。
- (2) 災害時における避難システムの内容を決定する主たる要因は外力特性と地域性であり、氾濫水という外力を対象とする洪水避難システムの内容は地域の自然環境や災害に対する準備度といった地域性によって大きな影響をうける。
- (3) 洪水時における避難事例に基づく住民の避難行動の分析を実施することによって、避難行動特性が定性的にはあるが明らかとなり、住民の避難行動が安全かつ円滑に行われるためには、洪水予警報の発令方法、避難勧告・指示の方法および時期、災害情報の住民への伝達方法、避難施設や避難経路の計画などに改善すべき点があることが確められた。
- (4) 淀川水系40市町村に対する警戒避難体制のアンケート調査結果によれば、既存洪水災害事例の分析結果から必要であると考えられた避難システムのもつべき条件を十分に満足した形で避難システムを整備している市町村は少なく、現行の避難システムをよりよいものに改善していく必要があることが明らかとなった。

(5) 洪水避難システムは平常時と災害時の制御誘導システムとに大別されるが、災害時の制御誘導システムは情報の媒介を中心としたものであり、氾濫水の予測、避難ネットワーク、避難誘導の3つのサブシステムによって構成される。各々のサブシステムの具体的な構成手法とシステム全体の評価は本文で提案した方法によればよい。

参 考 文 献

- 1) 西原巧：洪水災害時における地域避難システムの設計と評価（その1）、水利科学，№147，1982，pp.1 - 39。
- 2) 西原巧：洪水災害時における地域避難システムの設計と評価（その2），水利科学，№148，1982，pp.57 - 84。
- 3) 池田謙一：災害と人間行動－危機的状況における意志決定と情報の機能－東京大学出版会，1982，pp.50 - 54。
- 4) 鈴木裕久：災害と人間行動－パニック概念の問題点について－，東京大学出版会，1982，p.6
- 5) 鈴木裕久，池田謙一，橋本良明：災害と人間行動－地震への不安－，東京大学出版会，1982，pp.41 - 45。
- 6) 広井脩：災害と人間行動－災害とマスメディア－，東京大学出版会，1982，pp.127 - 130。
- 7) 三上俊治：災害と人間行動－災害警報の社会過程－，東京大学出版会，1982，pp.79 - 80。
- 8) アレン・H・バートン（安部北夫監訳）：災害の行動科学，学陽書房，1974，pp.38 - 41。
- 9) 高橋浩一郎：災害論，東京堂出版，1977，pp.8 - 9。
- 10) 国土庁：災害多発地域防災調査報告書（地域防災副読本），1980
- 11) 建設省土木研究所：地域総合洪水防禦計画調査報告書（その1），土木研

- 究所資料第 1188 号, 1977, pp.48 - 104。
- 12) 村本嘉雄, 今本博健他: 昭和 50 年度台風による高知県下の水害とその避難に関するアンケート調査 / 昭和 50 年 8 月風水害に関する調査研究総合報告書, 1976, pp.159 - 171。
 - 13) 縄田政浩, 岩浅武夫: 江の川(三次地区)洪水災害時の住民意識調査について—アンケート調査による分析—, 第 33 回建設省直轄技術報告書, 1979, pp.595 - 601。
 - 14) 長尾正志, 小塩敬三: 名古屋市南部の集中豪雨災害に対する住民意識のアンケート調査, 第 17 回自然災害科学シンポジウム, 1978, pp.248 - 249。
 - 15) 川崎精一: 都市化流域における河川システムに関する研究, 建設省近畿地方建設局, 1974, 付-22。
 - 16) 大久保駿, 服部泰英: がけ崩れに対する住民の意識—昭和 46 年の千葉県の実例—, 土木技術資料 15 - 3, 1973, pp.16 - 21。
 - 17) 東京消防庁: 都民の防災意識・行動力調査, 1980, pp.59 - 60。
 - 18) 国立防災科学技術センター: 1976 年台風 17 号による長良川地域水害調査報告, 主要災害調査第 12 号, 1977, pp.36 - 37。
 - 19) 警視庁大震災対策委員会, 警視庁警備心理学研究会: 大震災対策のための心理学的調査研究, 1970。
 - 20) 安倍北夫: いざという時どう逃げるか—防災の行動科学—, 損保協会, 1973。
 - 21) 建設省土木研究所: 地域総合洪水防禦計画報告書(その 3), 土木研究所資料第 1238 号, 1977, p.39。
 - 22) 堀内三郎: 大震時における群集流動と避難経路に関する研究, 大阪市防災会議地震専門部会, 1974。
 - 23) 藤田隆史: 地震災害のシミュレーションについて, 人間工学 Vol.13, No.6, 1977, pp.239 - 246。
 - 24) 建設省: 建設省総合技術開発プロジェクト 都市防災対策手法の開発概

要報告書，1982，pp.21 - 27。

25) H・M・ワグナー，（森村英典・伊理正夫監訳，真鍋龍太郎訳）：オペレーションズ・リサーチ入門-2) ネットワーク・モデル，培風館，1976 pp.58 - 67。

26) 建築研究所第6研究部：大震災時における総合的被害予測モデルに関する研究，建築研究所報告№78，1977，p.88。

27) 前掲26)，P.90。

28) 藤田隆史：火災と避難シミュレーション，第13回生産講演会テキスト，財団法人生産技術研究奨励会，1976，p.23。

第5章 洪水避難システムの現地流域への適用

第1節 概説

本章では第4章で提案した避難システムの構成と評価の手法を現地流域へ適用することによって、この手法の現地流域への適用性を検証することにし、あわせて当該流域における避難システムの整備の基本的方向について検討を行うこととする。^{1),2)}対象とする流域は第3章で氾濫解析の対象とした旧巨椋池干拓地流域である。

第3章で述べたように旧巨椋池干拓地流域は宇治川、木津川に挟まれた流域であり、流域面積は約60 km²である。巨椋池は、昭和8年から16年にかけて実施された干拓事業によって完全に消滅したが、この流域は元来、洪水時には宇治川の遊水池的な役割をはたしていたところであり、古くから洪水氾濫による被害を度々被ってきた。

この流域の地形は図3-2-7に示したように、旧巨椋池干拓地区を中心にすり鉢状の地形となっており、その背後には地盤の高い地域が広がっている。したがって、宇治川左岸堤が破堤した場合には、例えどの地点の破堤であっても氾濫水は旧巨椋池干拓地区全体に短時間に拡がり、その後は背後の高い地盤にさえぎられて、徐々に湛水するという形態をとる。すなわち、拡散型から貯留型へ移行する氾濫形態を示すことになり、氾濫水は出口を見出せないまま長時間湛水することになる。

近年、この流域は大阪、京都という二大都市のベッドタウンとして急激に市街化が進展したこともあって、現在では流域の約半分が市街地となっており、昭和28年災害時の湛水区域には約15,000世帯が居住している。その結果、氾濫の経験をもたない人々が多く居住するようになっていることから、破堤や溢水によって洪水氾濫が起こった場合にはかなりの混乱が生じる可能性がある。したがって、万一の破堤に備えてこの流域全体を対象とする避難システムの検討を行っておくことは有意義なことと考えられる。

第2節 避難システムの構成

2-1 氾濫水の予測システム

氾濫水の予測システムとしては、木津川および桂川からの出水による宇治川への背水の影響を考慮に入れて、第3章で述べた河道と堤内地とを分離した氾濫解析モデルを適用することにする。

① 河道のモデル化

淀川の中・下流域を対象とし、河道を図3-2-4と同様にモデル化する。ただし、断面特性は昭和54年の測量成果を使用する。なお粗度係数については第3章と同様である。

② 堤内地のモデル化

対象とする堤内地を図3-2-7と同様の大きさの格子に分割し、また地盤高と土地利用状況は図3-2-8、図3-2-10と同様に現況とする。粗度係数についても第3章と同様とする。

③ 洪水規模

淀川流域における戦後最大洪水となった昭和28年の13号台風の実績洪水を対象とする。したがって、各河川上流端のハイドログラフは図3-2-5に示したものを使用する。

④ 破堤想定箇所と破堤規模

堤内地における氾濫水の挙動は破堤の規模や位置によって大きく左右される。したがって、破堤の位置や規模をどのように定めるかは避難システムの内容を決定する重要な要素となるが、実際には破堤地点を予想することはほとんど困難である。本来、避難システムは事前に公表されるべき性質のものであるから、どこで破堤しても安全のように設計する必要がある。前述のように、旧巨椋池干拓地流域は凹型の地形であるために、破堤箇所が宇治川左岸堤のどこであっても最終的な湛水区域には大きな差異はないが、氾濫の初期には破堤箇所の規模や位置によって氾濫の形態は大きく異なる。したがって、ここでは破堤位置については28年災害と同じ向島地点が破堤した場合、ならびに氾濫の初期において向

島地点とは大きく異なる氾濫形態を示す隠元橋地点が破堤した場合を想定することにする。

破堤の規模については、いずれの破堤箇所においても昭和28年災害時と同じ規模とし、破堤幅は600 m、破堤敷高は現況田面高とする。また破堤開始時刻については、25日の21時30分とし、破堤開始後約2時間で所定の破堤断面に達すると仮定する。

⑤ 計算結果

上記の前提条件のもとで行った解析結果を図5-2-1～2に示す。ここで図5-2-1(a)、(b)はそれぞれ向島破堤後1時間と6時間後の氾濫水の状況であり、図5-2-2(a)、(b)は隠元橋破堤後1時間と6時間後のものである。これらの図を比較すると明らかなように、破堤の初期には当然ながら氾濫水の挙動はかなり異なるが、6時間を経過するとその相違は明確ではなくなっている。

図5-2-3は向島と隠元橋破堤の場合の最終的な最大湛水区域と湛水深の分布を示したものであるが、両者はほとんど一致している。第4章5節で述べたように要避難人口や避難場所・避難施設の設定を行う場合には、氾濫区域や湛水深の分布が重要な情報となるが、氾濫解析の結果から判断するとこの流域においては破堤位置の違いによる影響はそれ程考慮に入れる必要がないことになる。このことは、安定した避難システムを整備する上で都合がよい。なお、避難行動シミュレーションの対象とする時間は湛水量が横ばいとなり、堤内地から河道への逆流が始まる直前までとする。氾濫解析の結果によれば、この時点における向島・隠元橋破堤とも堤内地への総流入量は約6,500万 m^3 にも達する。

2-2 避難ネットワークシステム

① 避難対象者の設定

図4-5-2に示した構成プロセスに基づいて避難対象者を設定することにする。堤内地の分割は氾濫解析と同じ分割を用いるものとし、昭和50年度の国勢調査の調査結果をもとに、それぞれのメッシュ内の人口を求

湛水深分布図

流量フラックス

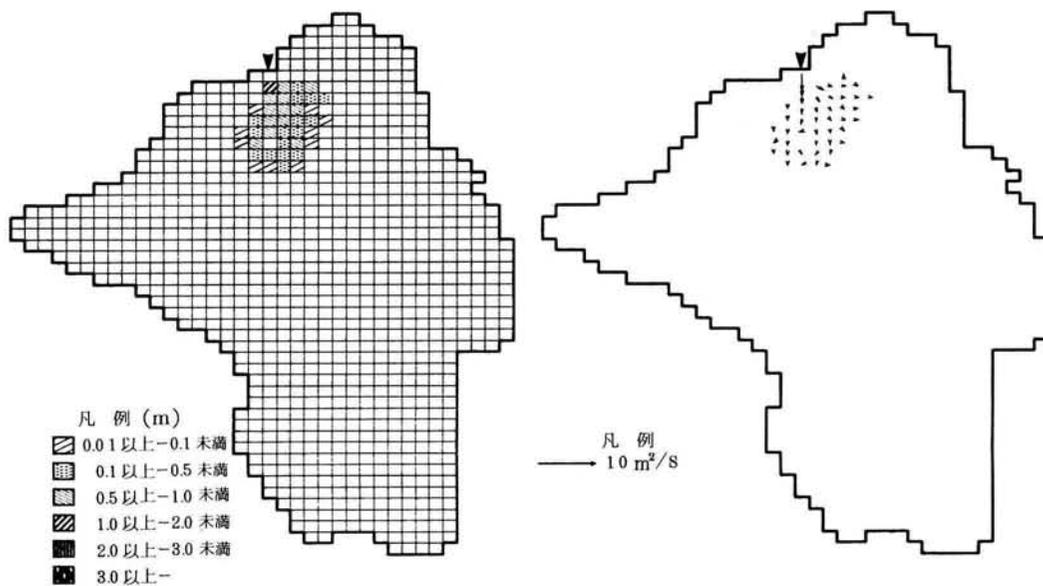


図 5-2-1 (a) 氾濫解析の結果 (向島破堤1時間後)

湛水深分布図

流量フラックス

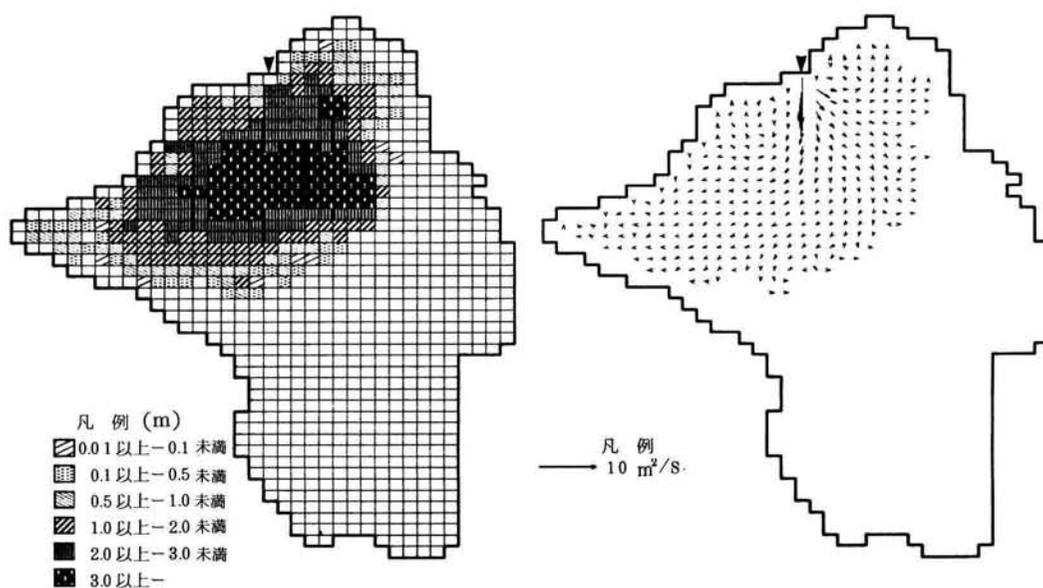


図 5-2-1 (b) 氾濫解析の結果 (向島破堤6時間後)

湛水深分布図

流量フラックス

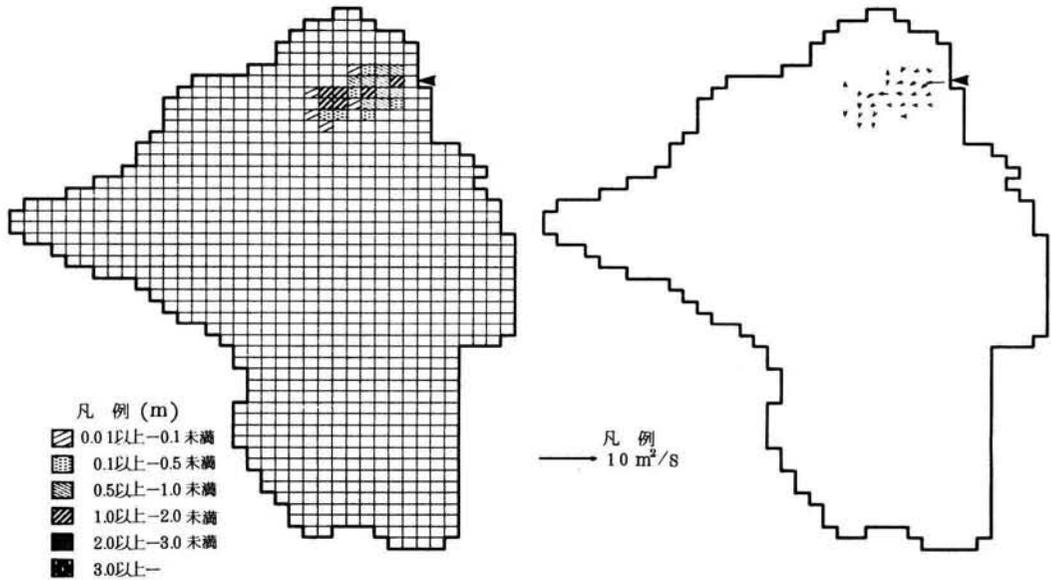


図 5-2-2 (a) 氾濫解析の結果 (隠元橋破堤 1 時間後)

湛水深分布図

流量フラックス

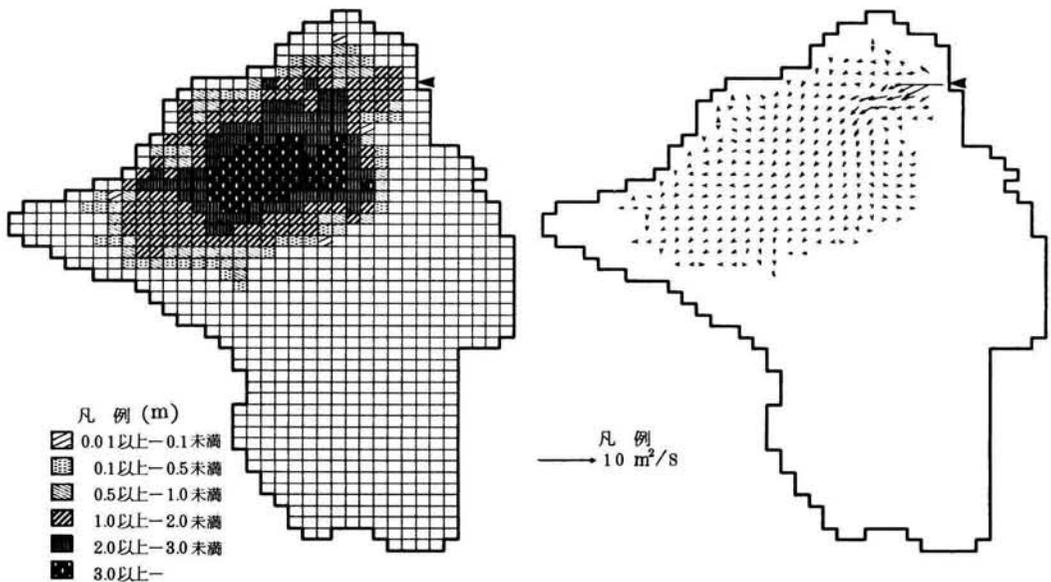
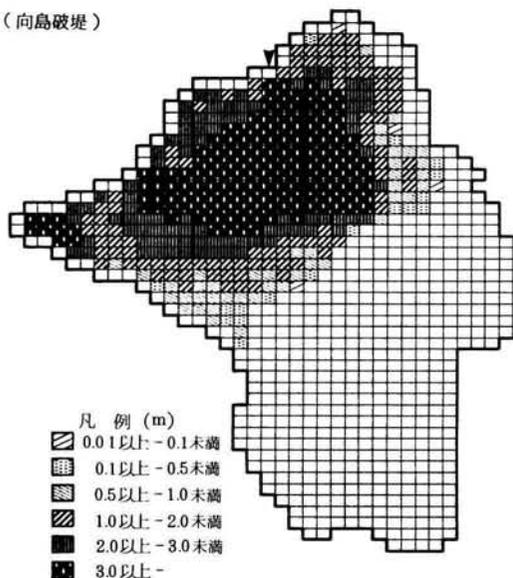


図 5-2-2 (b) 氾濫解析の結果 (隠元橋破堤 6 時間後)

(向島破堤)



(隠元橋破堤)

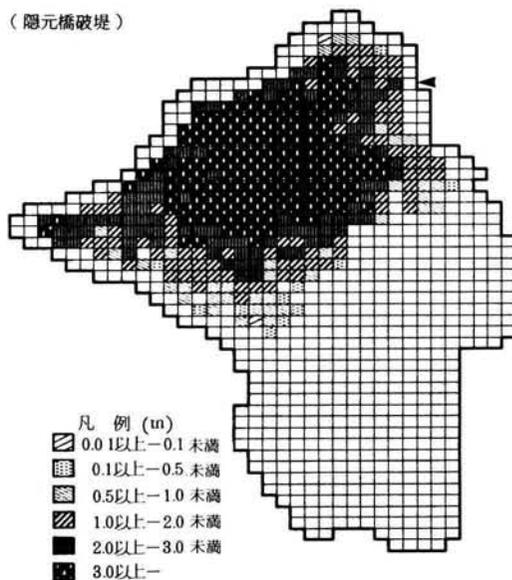


図5-2-3 最終湛水区域および湛水深分布図

めることにする。図5-2-4にはその結果を示しているが、一部のメッシュで500人を超える人数となつてはいるものの、大半はメッシュでは500人以下である。したがって、この程度の住民数であれば同一に行動する集団と考えても差支えないものと考えられる。つぎに、これら住民の中で避難の必要な人口を調べてみる。

図5-2-3に示した氾濫解析の結果によれば向島、隠元橋破堤ともほとんど同一の湛水区域となっており、この結果を人口分布に重ね合わせることによって氾濫区域内の居住人口を求めることができる。図5-2-4にはすでにこの結果を示しているが、この湛水区域内に居住する世帯数は15,000世帯、人口にして約4.8万人に達している。第4章3節でも述べたように避難の意志決定には複雑な要因が絡みあっており、簡単ではないが、それらの要因の中でも洪水災害時には特に家屋構造の影響が大きい。すなわち、過去の事例をみると、2階屋や鉄筋コンクリート集合住宅の住人には避難しない人が多い。この湛水区域内にも2階屋はもちろ

ん大規模な鉄筋コンクリート集合住宅が存在するが、ここでは第4章5、6節で提案した手法に従ってこの流域における避難システムの基本的構成のみを行うものであるから、詳細な分類は別の機会に譲ることにしてここでは単純に湛水区域内の全人口を対象とすることにする。

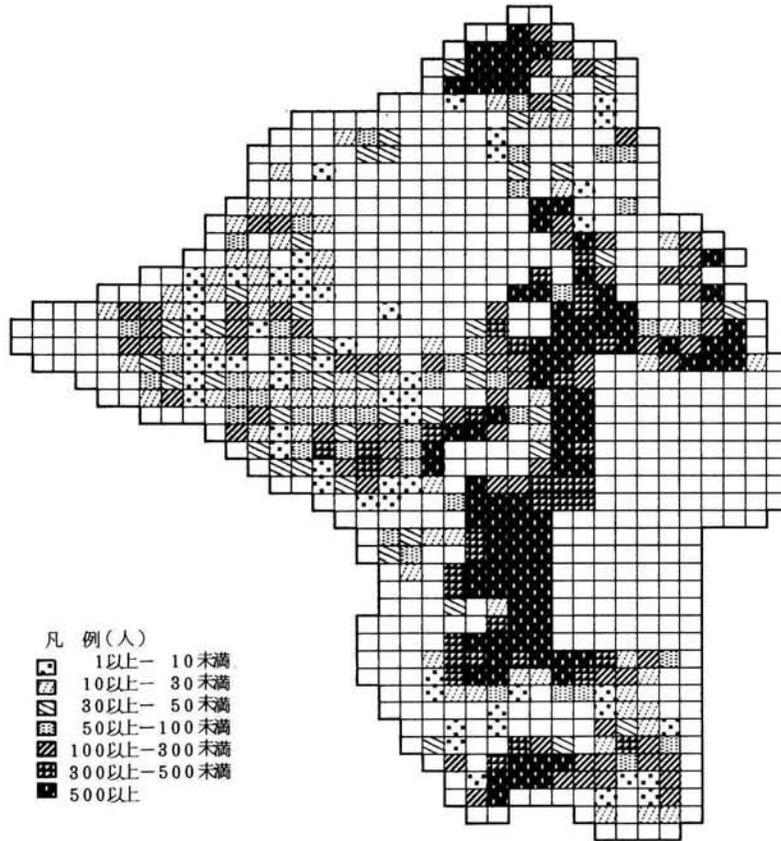


図 5-2-4 氾濫区域内人口分布と避難対象者

② 避難施設の設定

図 4-5-3 に示した構成プロセスに従って避難施設の設定を行うことにする。現在、この流域には、地域防災計画に基づいて図 5-2-5 に示す³⁾ような避難施設が整備されており、ほとんどが小学校など公共の建物である。これらの施設は地震災害などを含めた災害全般を対象として設定されたものであり、選定にあたっては、公的施設であること、住民の周知度、避難距離などの要因が考慮されている。

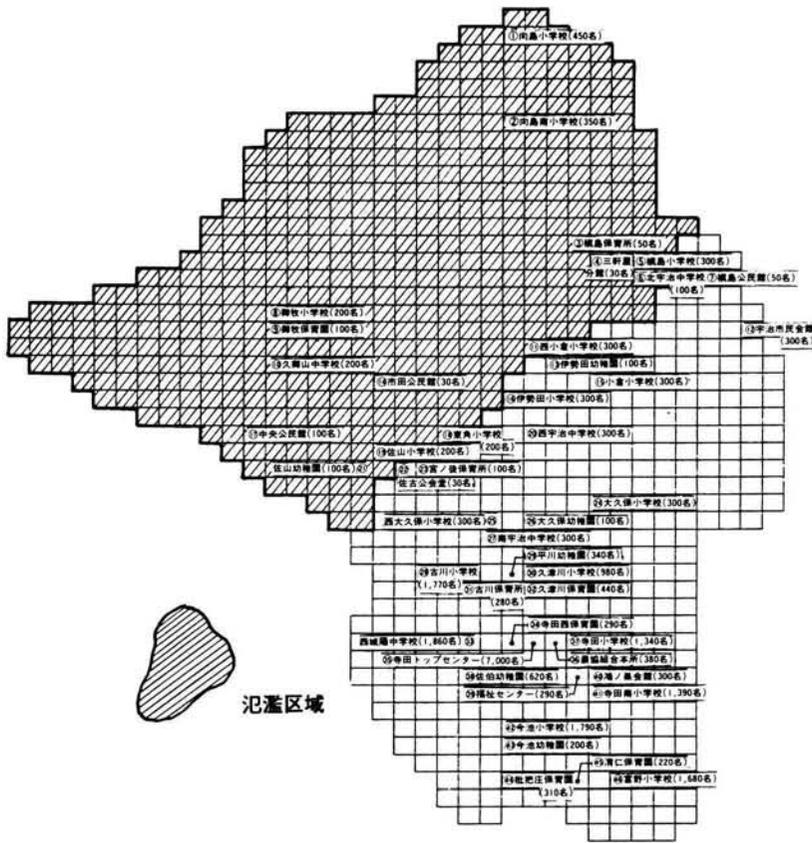


図 5-2-5 避難施設の分布と避難施設の指定

図 5-2-5 には氾濫解析によって求められた最大湛水深をあわせて示しているが、一部の避難施設は 1～3 m 程度湛水し、洪水氾濫時には使用できない施設も存在することがわかる。したがって、ここでは湛水区域の外周に沿って配置されている避難施設を統合した形で、6ヶ所の避難施設を選定する。なお、避難行動のシミュレーションにあたっては、これらの避難施設は便宜的にそれぞれの避難施設に最も近い避難経路上の交差点の位置にあるものと仮定し、これらの施設に住民が到着すれば、避難完了と判断するものとする。これは、この流域の地形特性から判断してこれらの施設にまで到着すると一応安全性が確保されるからであり、あとは図 5-2-5 に示した浸水区域外の避難施設へ適宜 2 次避難を行えばよいからである。

さて、上記の避難施設は氾濫区域外の避難施設を中心にしたものであるが、図 5-2-4 に示した要避難人口の分布と比較すれば明らかなように、避難施設が地盤高の高い地域に偏在した形となっているために、住民は遠距離避難を強いられることになる。第 4 章 3 節で述べたように、既往洪水時の避難事例からみると避難施設までの距離は 500 m、所要時間は 10 分程度が望ましい。したがって、ここでは氾濫区域内にある避難施設 4 ケ所を耐水構造とするなどの改善を行い避難施設として指定した場合と氾濫区域の中央に位置するところに避難台地を設置した場合の 2 ケースを考え、その妥当性もあわせて避難行動シミュレーションモデルによって評価することにする。図 5-2-6 は避難施設の位置を示したものである。

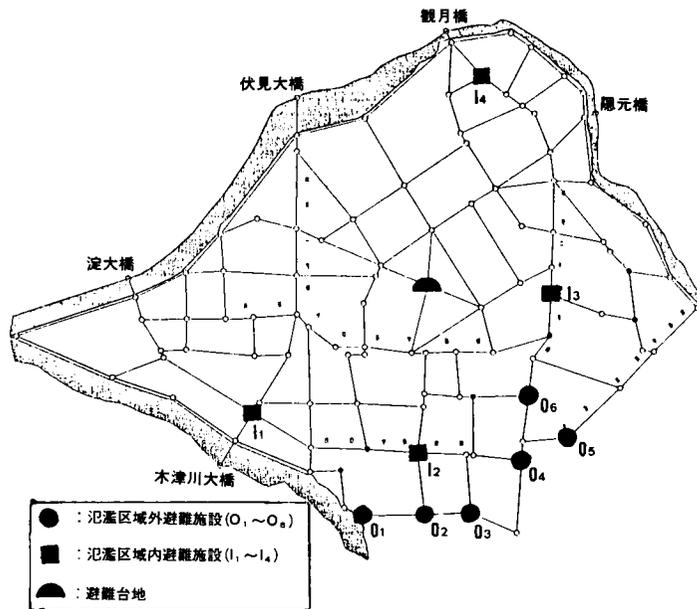


図 5-2-6 避難施設の位置

③ 避難経路の設定

図 5-2-7 からわかるように、流域内における道路網については国道 1 号線と 24 号線が南北に通じており、東西方向には府道八幡荘・宇治線、府道宇治・淀線が走っている他、宇治川の堤防沿いにも地方道があり、かなりの密度で道路網の整備が進んでいる。しかしながら、宇治川堤防

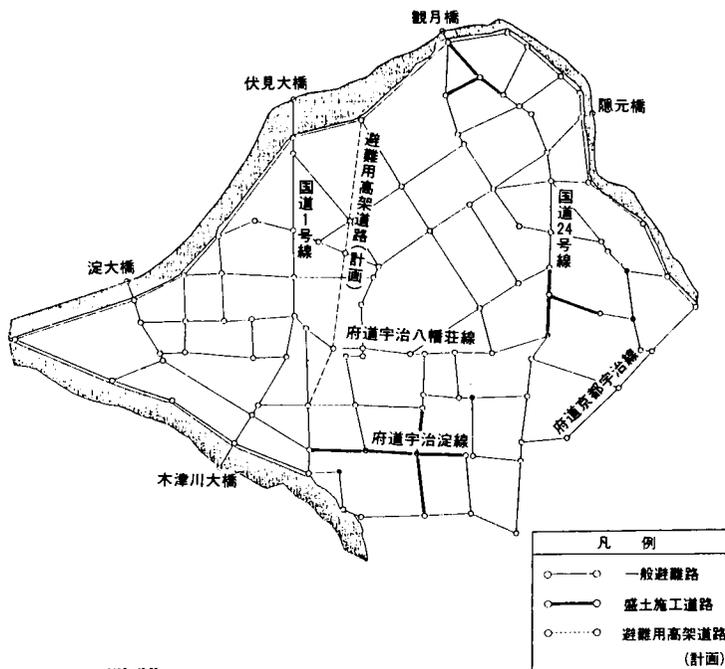


図 5-2-7 避難ネットワークシステム

沿いの道路を除くと、そのほとんどが地盤高とあまり高さの変わらない道路であり、最終的には湛水することになる。

このように、この流域内のほとんどの道路は最終的には湛水することから、避難経路の設定にあたっては、避難対象者や避難施設の設定とは異なり、最終的な湛水分布というよりも、氾濫水の挙動を考慮に入れたネットワークとして考える必要がある。そしてこのネットワークの適否は避難行動シミュレーションによって評価することになるが、避難経路としては、表 4-1 に示したように道路幅員、住民の周知度等避難経路のもつべき要件を満足しているものを選定しておく必要がある。したがって、ここでは図 5-2-7 に示すような国道、主要地方道、堤防上の道路を骨格とした幹線ネットワークを構成する。なお、各メッシュから幹線ネットワークへ到着するための道路としては、近隣住区内の細街路を利用するものとする。さて、上記の避難ネットワークは現況の道路網を中心としたものであるが、前述のように、この流域における道路網はかなり整備されているとはいえ、洪水氾濫時の避難経路の条件としては必ずし

も恵れているとはいえないようである。したがって、ここでは避難施設の近くの道路をかき上げた場合並びに避難用高架道路を新たに設けた場合の2ケースを考え、その妥当性についてもあわせて評価の対象とすることにする。これら2ケースの避難ネットワークは図5-2-7に示したとおりである。

2-3 避難誘導システム

ここでは避難勧告・指示の時期ならびに情報伝達メディアの設計を図4-5-5に示した手順にしたがって実施することにする。

まず、この流域内の4市町村における避難誘導システムの設定について地域防災計画書⁴⁾⁻⁶⁾によって調べてみる。避難勧告・指示の発令時期に関しては、いずれの市町村においても明確な規定 — 例えば避難水位を定めるなど — は定められておらず、状況に応じて各々の行政の長が避難命令を出すことになっている。情報の伝達はいずれも広報車が主体であり、防災無線については、設置しているところもあれば、設置の計画がないところもあるなど、その整備水準にはかなりのバラツキがみられる。ここでは、このような現状を考慮に入れて、図5-2-8に示すような7局の無線局を設置するケースを考えることにする。

河道の洪水状況もしくは破堤に関する情報を受けて避難命令が出されると、この無線局から同心円状に避難命令が伝達されるものとし、情報伝達速度は口コミによる伝達速度として毎分10m、広報車による伝達速度として毎分85m、さらに、サイレン等による伝達速度として毎分300mを仮定し3段階に変化させるものとする。なお、情報伝達範囲は基地局から2.0Kmの範囲内と仮定する。情報伝達速度は伝達メディアや住民の防災意識、災害の時間帯などによって複雑に変化すると考えられることから、ここで想定した速度が上記のような状況を反映したものであるかを確認することは困難であるが、ここでは一応上記の速度で情報伝達がなされるものと仮定する。なお、情報が伝達された地域においては、情報は住民に確実に周知されるものとする。また、避難命令の発令時期については破堤時より

30分前と破堤時の場合を評価の対象とする。



図 5-2-8 避難誘導システム

第3節 避難システムの評価

ここでは前節に示した各々の避難システムを、避難行動シミュレーションを用いて評価する。評価指標としては①避難の安全性を表わす避難完了人口と避難未了人口、②避難の円滑性を表わす1人当りの平均避難所要時間、③避難施設および避難経路の配置の妥当性を表わす避難施設別避難人口と避難経路別避難人口をとりあげる。評価の対象とする避難システムは、表5-3-1に示すとおりである。

3-1 シミュレーション モデルによる計算結果

シミュレーション モデルによる計算は、氾濫水予測システムの結果をうけて向島と隠元橋地点が破堤した場合について、表5-3-1に示したケースのすべての組合せ(84ケース)についてそれぞれ実施した。表5-3-2はこれらの計算結果のなかで、1人当りの平均避難所要時間、避難完了

者数、避難未了者数について代表的なケースの計算結果をしたものである*。
 また、図 5-3-1 (a)~(d)には表 5-3-2 に対応する向島破堤のケースの避難完了者所要時間分布を示す。

表 5-3-1 避難システムの計画要素とそのカテゴリー

要因	避難勧告・指示							避難施設				避難経路		
計画内容	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	①	②	③	④	①	②	③
	避難勧告・指示無し	破堤時に発令 伝達速度毎分 一〇m	破堤時に発令 伝達速度毎分 八五m	破堤時に発令 伝達速度毎分 三〇〇m	破堤30分前に発令 伝達速度毎分 一〇m	破堤30分前に発令 伝達速度毎分 八五m	破堤30分前に発令 伝達速度毎分 三〇〇m	氾濫区域外避難施設—6箇所	①+氾濫区域内避難施設—10箇所	氾濫区域内避難施設—4箇所	①+避難台地—7箇所	既存道路	既存道路の内 避難施設付近を盛土	既存道路+避難用高架道路

表 5-3-2 においてケース I は避難勧告・指示の発令時期の影響を調べるためのものであり、ケース II、III は情報伝達速度の影響を調べるためのものである。なお、いずれも避難施設としては氾濫区域外の施設を、避難経路として既存道路を利用した場合である。

* 避難命令を発令したケースと発令しないケースで避難対象者数(避難完了者数+避難未了者数)が異なるのは、湛水深によっては避難する必要のない住民まで、避難命令によって避難することになるからである。

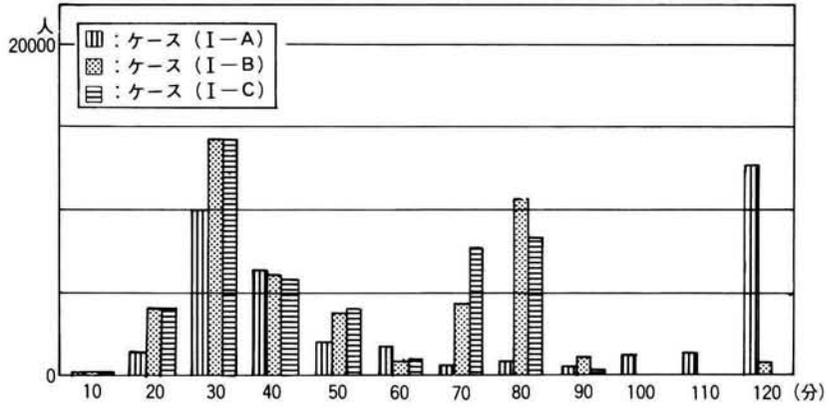
表 5-3-2 避難行動シミュレーション解析結果一覧

要因	避難勧告・指示	避難施設	避難経路	分析結果																
				向島破堤			隠元橋破堤													
計画内容	① 避難勧告・指示無し	② 破堤時に発令 伝達速度毎分 一〇m	③ 破堤時に発令 伝達速度毎分 八五m	④ 破堤時に発令 伝達速度毎分 二〇〇m	⑤ 破堤30分前に発令 伝達速度毎分 一〇m	⑥ 破堤30分前に発令 伝達速度毎分 八五m	⑦ 破堤30分前に発令 伝達速度毎分 二〇〇m	⑧ 氾濫区域外避難施設 10箇所	⑨ 氾濫区域内避難施設 4箇所	⑩ 氾濫区域内避難施設 10箇所	⑪ ①+避難台地 7箇所	⑫ 既存道路	⑬ 既存道路の内 避難施設付近を 盛土	⑭ 既存道路+避難用 高架道路	①	②	③	④	⑤	⑥
															一人当り平均避難所要時間 (分)	避難完了者数 (人)	避難未了者数 (人)	一人当り平均避難所要時間 (分)	避難完了者数 (人)	避難未了者数 (人)
ケースⅠ	A	●						●				●			77	39,277	5,397	67	37,682	2,980
	B		●					●				●			51	46,057	1,300	53	40,259	1,342
	C				●			●				●			49	46,061	1,332	48	39,492	2,111
ケースⅡ	A		●					●				●			51	46,057	1,300	53	40,259	1,342
	B			●				●				●			51	47,367	0	49	41,608	0
	C				●			●				●			51	47,367	0	48	41,608	0
ケースⅢ	A				●			●				●			49	46,031	1,322	48	39,492	2,111
	B					●		●				●			51	47,367	0	48	41,608	0
	C						●	●				●			51	47,367	0	48	41,608	0
ケースⅣ	A	●						●				●			77	39,277	5,379	67	37,682	2,980
	B	●							●			●			17	39,564	5,092	19	38,271	2,391
	C	●								●		●			17	39,388	5,268	19	37,087	3,575
	D	●									●	●			78	37,013	7,643	64	34,535	6,127
ケースⅤ	A	●						●				●			77	39,277	5,379	67	37,682	2,980
	B	●						●				●			77	39,277	5,379	67	37,682	2,980
	C	●						●					●		74	89,715	4,941	65	37,939	2,723

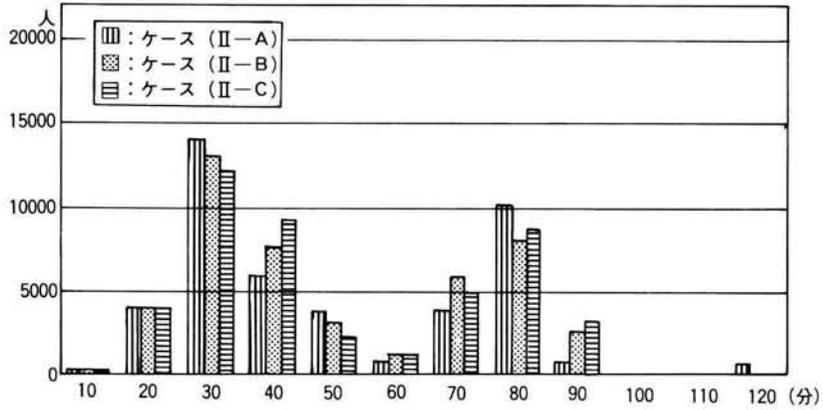
ケースⅣは避難施設の影響をみるためのものであり、避難命令がなく避難経路は既存道路を利用した場合である。ケースⅤは、避難経路の影響を調べるためのものであり、避難命令がなく避難施設は氾濫区域外の施設を利用した場合である。

* 以下、本節では避難勧告・指示を避難命令と書くことにする。

(a) ケース I



(b) ケース II



(c) ケース III

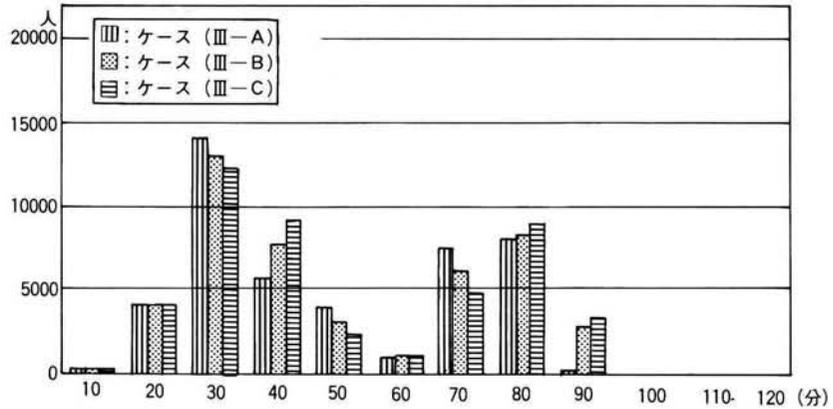
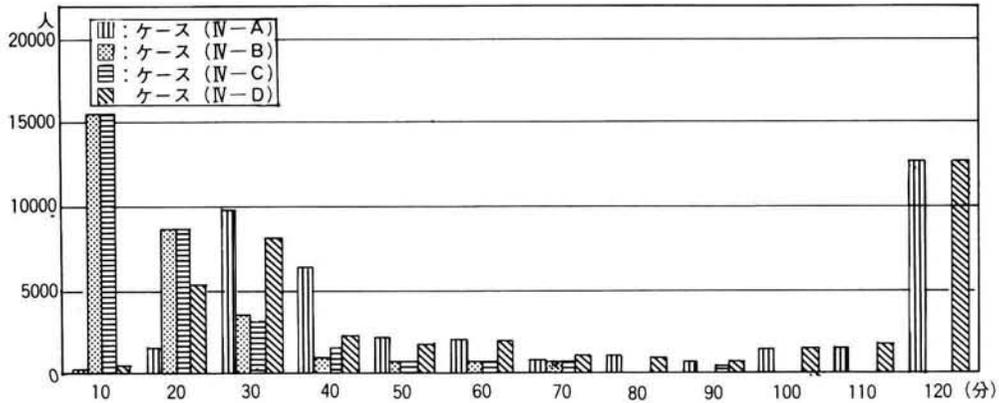


図 5-3-1 避難完了者所要時間分布 (その 1)

(d) ケースⅣ



(e) ケースⅤ

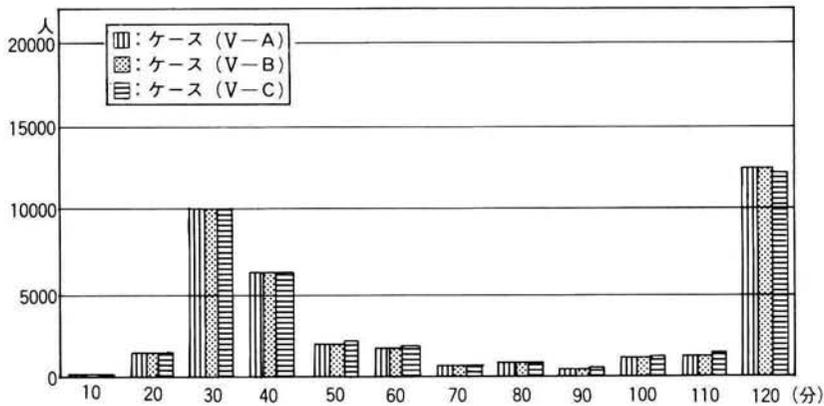


図 5-3-1 避難完了者所要時間分布 (その2)

なお、表 5-3-2 に示したように、向島破堤の場合と隠元橋破堤の場合では、破堤地点付近の人口分布が異なるために、避難完了者数などには若干の差異が認められるが、警報の有無など各要因の違いによる避難完了者や避難所要時間などの増減の傾向はほとんど同一であることから、この流域では破堤地点が異なることによる影響はほとんどないとみてよさそうである。このことは後述する数量化理論Ⅰ類による分析結果からも明らかである。したがって以下では向島破堤の場合について考察を加えることにする。まず、評価の基準となる状態を明らかにするために、氾濫区域外の避難

施設と既存道路を利用し、避難命令がないとしたケース（Ⅰ-A）の結果について調べてみる。表 5-3-2 からわかるように、避難完了者数、1人当りの平均避難所要時間、避難未了者数はそれぞれ 39,277 人、77 分、5,379 人である。また、図 5-3-1 に示した避難完了者所要時間分布図からわかるように、2 時間以上の長時間の避難となっている住民が 11,254 人も存在する。

つぎに、避難施設別人口とその地域分布ならびに地域別避難所要時間分布を示したのが図 5-3-2、図 5-3-3 である。

これらの図から、現状では近くに安全な避難施設が確保されていないために、遠距離避難を余儀なくされていることがわかる。図 5-3-4、図 5-3-5 にはそれ

ぞれ破堤 3 時間後の住民の避難状況と最終的な避難経路の利用状況を示している。図 5-3-4 からは、氾濫水を避けながら住民が避難している状況やすでに一部の住民が氾濫水によって避難不能に陥っている状況などがわか

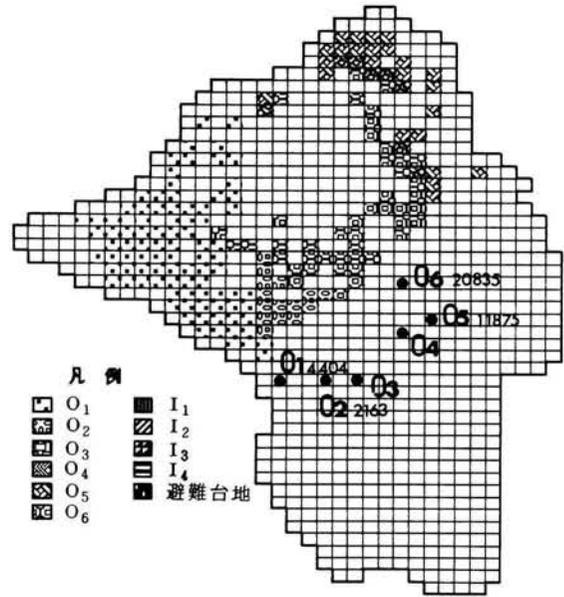


図 5-3-2 避難施設別避難人口とその地域分布・ケース（Ⅰ-A）

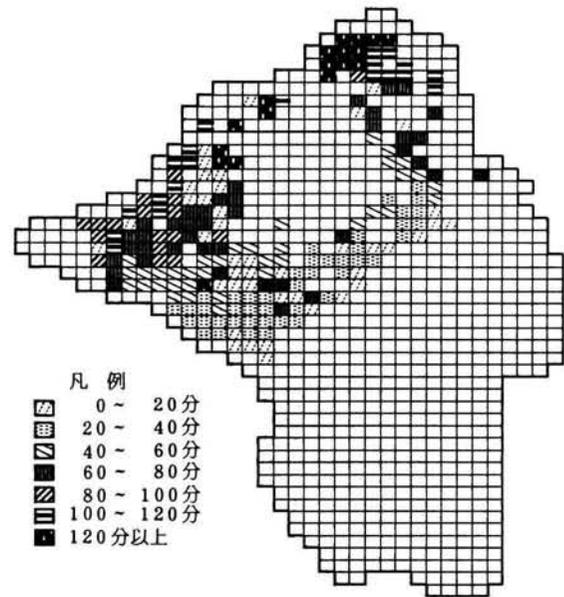


図 5-3-3 地域別避難所要時間分布・ケース（Ⅰ-A）



図 5-3-4 破堤 3 時間後の住民の避難状況・ケース (I - A)

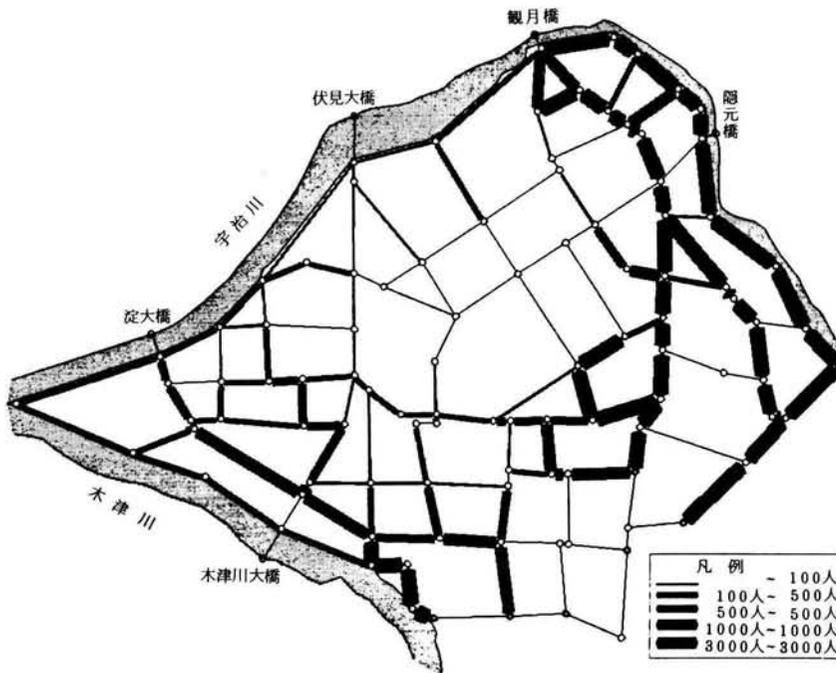


図 5-3-5 避難経路の利用状況・ケース (I - A)

る。つぎに、図5-3-5からは旧巨椋池の周辺の道路を多く利用して各避難施設へ避難していることがわかる。また、避難完了状況を示したものが図5-3-6である。図からもわかるように、避難未了者は氾濫区域内一帯に分散していることから、これらの住民をどのようにして救済するかは重要な課題である。このような住民を救済するためには、後述するような避難命令の発令や避難空間の整備などが中心的な役割を果たすことになるが、それらの対策がなされていない段階では救命ボートやヘリコプターなどによる救助活動が必要になる。

避難命令の有無については、表5-3-2からわかるように、その情報が10m/分で伝達された場合には、発令を受けずに氾濫水を見て避難する場合と比較して1人当たりの避難所要時間が20分以上短縮されており避難未了者についても約4,000人減少しているなどその効果が大きいことがわかる。避難所要時間が短縮された原因は図5-3-1(a)に示した

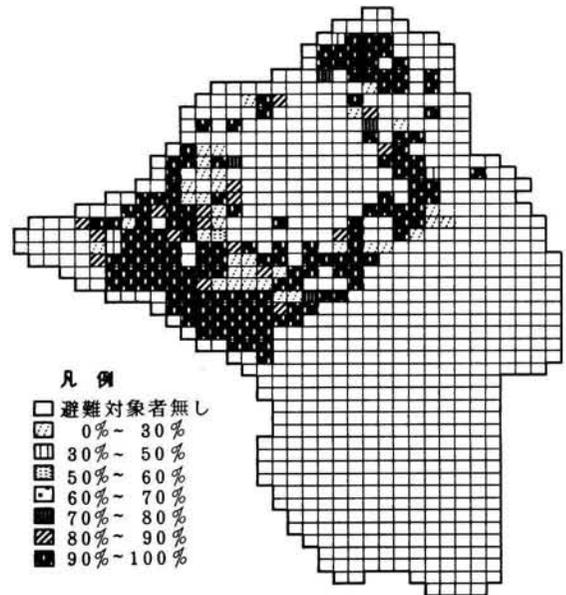


図5-3-6 避難完了状況・ケース(I - A)

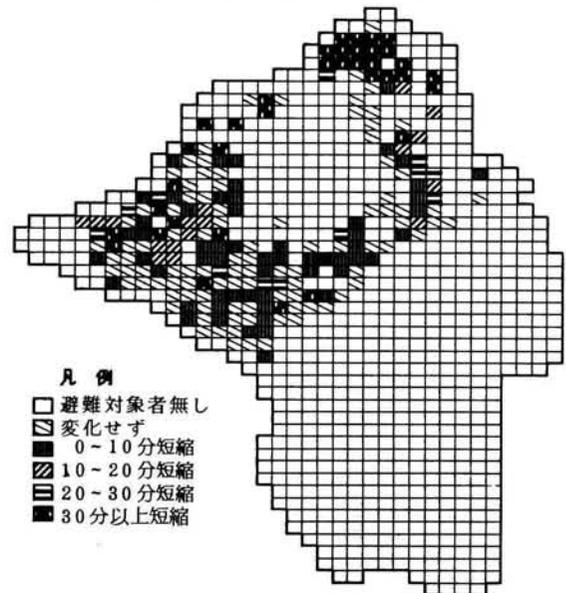


図5-3-7 避難完了時間の短縮状況・ケース(I - B)

ように、避難命令が発令されることによって2時間以上の長時間の避難を余儀なくされていた人が、早期に避難を開始したために氾濫水の影響を大きく受けることなく短時間に避難できたためである。それでは、どの地域の住民の早期避難が可能になったのかを調べてみよう。

図5-3-7はケース(Ⅰ-A)に対してケース(Ⅰ-B)の避難完了時間が何分短縮できたのかを示したものである。図5-3-7からわかるように全体的に各地区とも避難所要時間は短くなっているが、特に観月橋付近の住民の所要時間が短くなっている。また、ケース(Ⅰ-B)の場合の避難施設別避難人口とその地域分布は図5-3-8に示すとおりであり、ケース(Ⅰ-A)の場合には利用されていた避難施設O₅がほとんど利用されず、避難施設O₆が利用される結果となっている。

つぎに、ケース(Ⅰ-C)の場合の避難完了状況を示したのが図5-3-9である。なお、ケース(Ⅰ-B)もほぼ同様の状況である。図5-3-9から

わかるように避難未了者は、

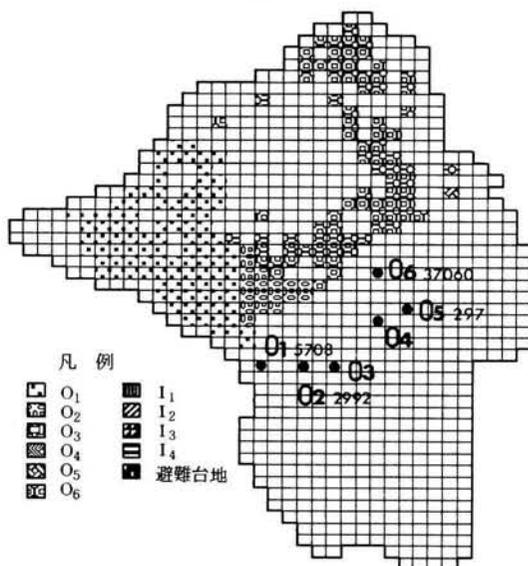


図5-3-8 避難施設別避難人口とその地域分布・ケース(Ⅰ-B)

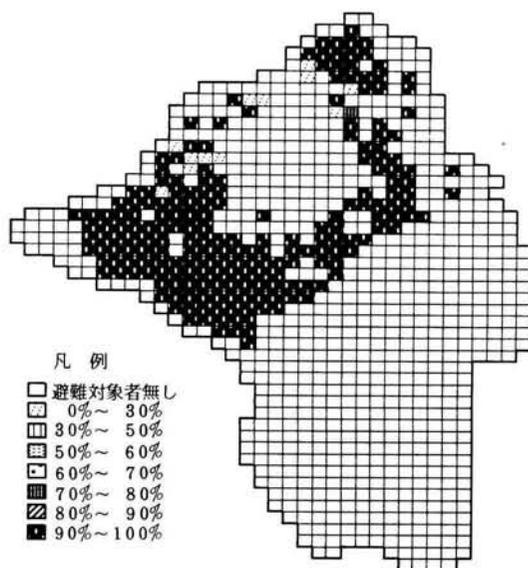


図5-3-9 避難完了状況・ケース(Ⅰ-C)

ほとんどが破堤口付近の住民であり、避難命令が伝達されるよりも早く氾濫水が到達したために避難不能となったものである。

避難命令の発令時期の影響については、伝達速度との関係もあるが表5-3-2、図5-3-1(b)、(c)に示したケースⅡ、Ⅲの結果から明らかなようにほとんど見当らない。これは両者の時間差が30分と比較的小さかったためである。

避難命令の伝達速度については、伝達速度を変化させても1人当りの避難所要時間はほとんど変化しないが、避難未了者は85m/分以上で情報が伝達される場合には0人となっており、避難の安全性にはかなりの効果があることがわかる。これは、避難命令が図5-3-9に示した破堤口付近の住民に氾濫水が到達する前に伝わることによって、これらの住民の早期避難が可能になったためである。

このように、この流域においては破堤直後であっても、情報伝達網が整備され避難命令がある程度の速度で伝達されれば、避難の円滑性はさておき避難の安全性という点からはかなり改善されることが予想されるが、一方で85m/分で確実に情報が伝わることは実際にはかなり困難な仮定であることを意味しているとも考えられる。情報伝達速度は伝達メディアや住民意識などによって複雑に変化するものと考えられることから今後とも十分に検討する必要がある。

つぎに、避難施設の効果を調べてみる。表5-3-2に示したように氾濫区域内の避難施設を利用することによって、避難完了者数はほとんど変化しないといえるが1人当りの避難所要時間は

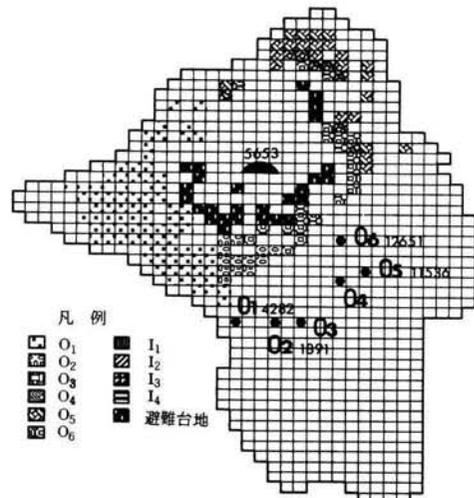


図5-3-10 避難施設別避難人口とその地域分布・ケース(Ⅳ-D)

大幅に短縮されている。これは図5-3-1(d)からわかるように所要時間のピークが5～10分であり、この間に15,000人も住民が避難を完了した結果を反映したものである。これは、避難施設を避難対象者が多い地区に設定したことから当然といえよう。

一方、市町村が共同して利用することを意図して、旧巨椋池干拓地流域の中央に設置した避難台地は、図5-3-10に示す避難施設別避難人口とその地域分布図からわかるように避難台地付近の住民約5,000名の人々が避難を行ってはいるが、避難所要時間、避難未了者ともケース(Ⅰ-A)より増大している。これは図5-3-11に示す破堤3時間後の避難状況図からわかるように、氾濫水によって避難台地に通ずる道路が湛水して利用できなくなり、結局従来通りの避難施設へ避難せざるをえなくなったためである。また、避難未了者が多い理由は図5-3-11からわかるように避難台地に向かう途中で氾濫水に捕まる人が多いためである。



図5-3-11 破堤3時間後の住民の避難状況・ケース(Ⅳ-D)

図5-3-12には氾濫区域内の避難施設4ヶ所を利用した場合にケース(Ⅰ-A)に対して避難完了時間がどれだけ短くなったかを示したものであるが、各地区とも大幅に時間が短縮されていることがわかる。このように、この流域においては氾濫区域内にある避難施設を改善して利用することが避難の円滑性から考えると最も効果的であると考えられるが、この場合問題となるのは図5-3-13に示すように、4つの避難施設ともかなりの住民が避難をしてくるために、避難施設の規模を必然的に大きくせざるを得ないことである。また、避難路も最終的にはかなり湛水することになるために、避難住民の長期の滞留が可能施設としなければならない。このような事態を避

けるためには2次避難が必要となるが、氾濫水の挙動を考慮に入れるとかわって危険な場合もありうるものと考えられる。また、図5-3-14にはケース(Ⅱ-B)の場合の避難完了状況を示しているが、ケース(Ⅰ-A:図5-3-

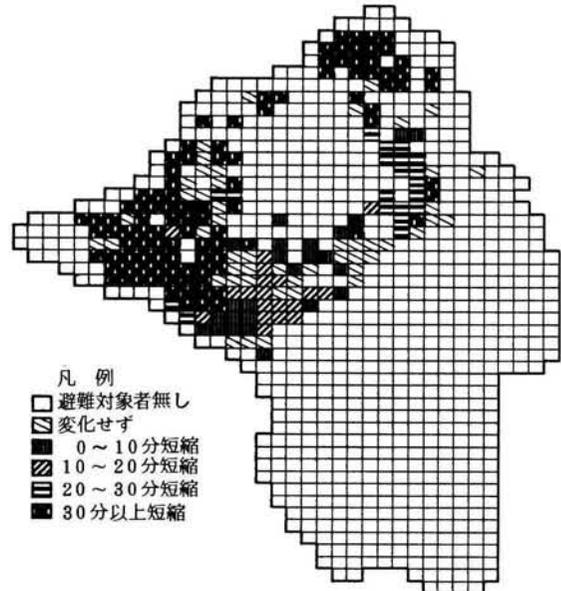


図5-3-12 避難完了時間の短縮状況・ケース(Ⅱ-C)

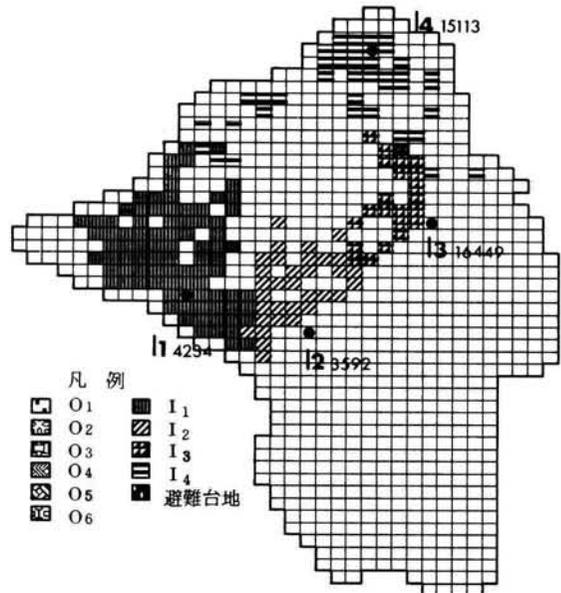


図5-3-13 避難施設別避難人口とその地域分布・ケース(Ⅱ-C)

けるためには2次避難が必要となるが、氾濫水の挙動を考慮に入れるとかわって危険な場合もありうるものと考えられる。また、図5-3-14にはケース(Ⅱ-B)の場合の避難完了状況を示しているが、ケース(Ⅰ-A:図5-3-

6)と比較しても大差ない。これは、氾濫区域内の4箇所の避難施設を利用して避難未了者を救済することはできないことを示したものである。このような事態を避けるためには、前述のように避難命令を発令し、その情報がある程度の速度で確実に伝達されるようにすることも一つの方法であるが、これとは別に氾濫水の挙動を考慮に入れて、あらかじめ地区別に避難施設を指定しておくことも効果的な方法の一つと考えられる。避難施設を指定した場合の計算は本文で提案した避難行動シミュレーションモデルで容易に計算できることから、その効果を確かめるためにケース(Ⅳ-B)と同じ条件で計算を行ってみる。図5-3-15はそのシミュレーション結果であり避難完了状況を示したものである。なお、避難地区と避難施設の対応関係は図中に合わせて示しているが、これは避難未了者が少なくなるように、その分布と避難ネットワークとの関係を考えながら試算的に設定したものである。図5-3-15からわかるように、避

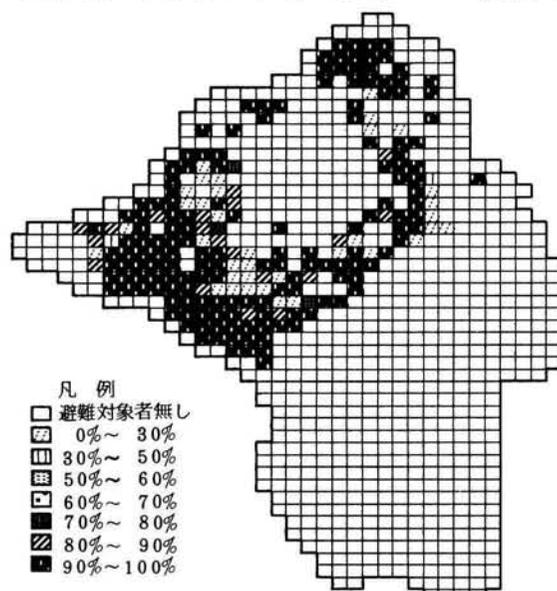


図 5-3-14 避難完了状況・ケース(Ⅳ-B)

難地区と避難施設の対応関係は図中に合わせて示しているが、これは避難未了者が少なくなるように、その分布と避難ネットワークとの関係を考えながら試算的に設定したものである。図5-3-15からわかるように、避

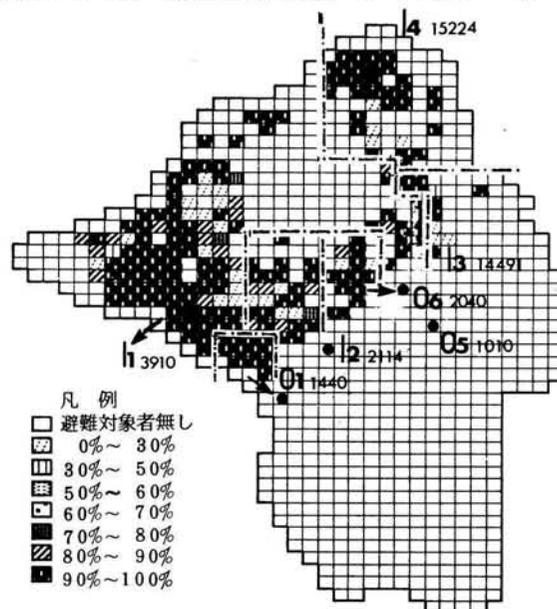


図 5-3-15 避難完了状況(避難施設指定の場合)

難完了率はほとんど向上しておらず、避難施設を指定しても、その効果は小さいことがわかる。これはシミュレーションモデル自体の構造が氾濫水を避けながら最短経路となる避難施設を選定するように住民の避難行動をモデル化しているためであると考えられる。したがって、逆にこのシミュレーション結果を用いて避難施設の最適な指定を行うことも可能であろう。

避難経路については、表5-3-2からわかるように、避難施設付近の道路を高架にしたケースや避難用高架道路を設けたケースでは、それ程効果が認められないようである。したがって、この流域では既存道路網を利用した避難ネットワークで十分であるといえる。しかしながら、避難用高架道路の場合には、図5-3-16、図5-3-17に示す避難施設別避難人口とその地域分布図ならびに避難所要時間が短縮された地域図からわかるように、ケース(Ⅰ-A；

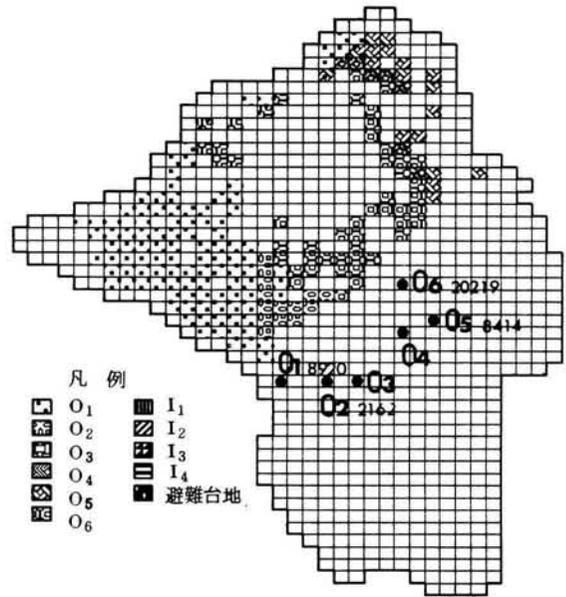


図5-3-16 避難施設別避難人口とその地域分布・ケース(V-C)

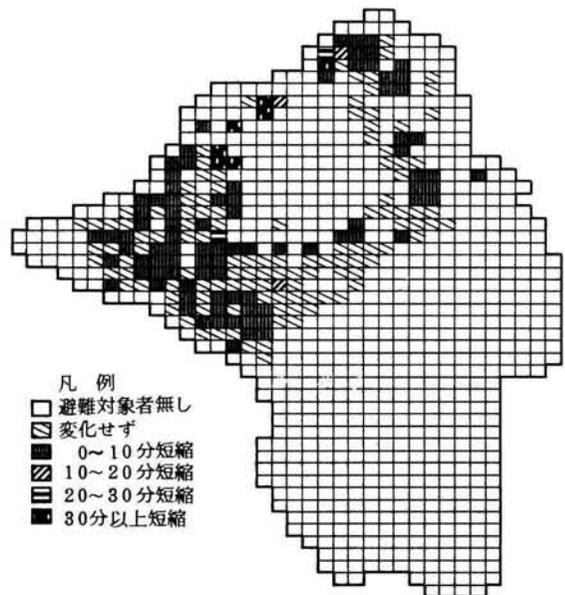


図5-3-17 避難所要時間の短縮状況・ケース(V-C)

図 5-3-2、図 5-3-3) の場合に比べて、高架道路が避難路として使用されることによってかなり改善されることがわかる。なお、避難用高架道路の利用状況は図 5-3-18 に示すとおりである。

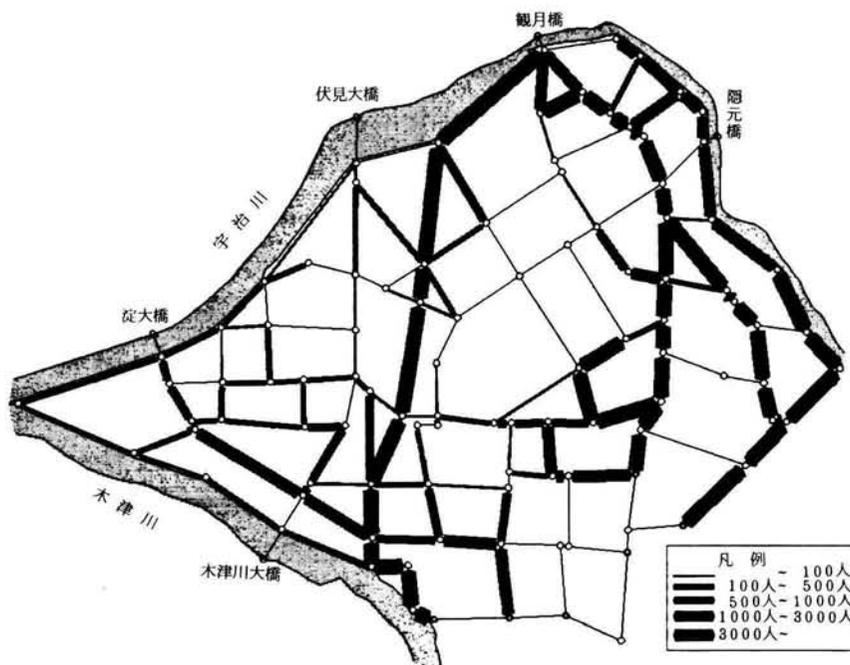


図 5-3-18 避難経路の利用状況・ケース(V-C)

3-2 数量化理論 I 類による分析

前項では避難命令の発令時期、避難施設、避難経路の条件を種々変化させた場合の個々の計算結果について詳細な分析を行ってきたが、ここではどの要因がもっとも効果的かを定量的に明らかにするために数量化理論 I 類⁷⁾を使って分析を行った結果を述べることにする。ここで対象とするデータは向島と隠元橋破堤の全ケース(168 ケース)の計算結果であり、説明変数としては避難命令、避難施設、避難経路、破堤地点の 4 変数、外的基準としては避難の円滑性の指標として 1 人当りの平均避難所要時間⁷⁾をとり、避難の安全性をあらわす指標として避難完了率(=避難完了者数/避難対象者数)をとる。

図 5-3-19 は外的基準が 1 人当りの平均所要時間の場合の分析結果を示

要 因	カ テ ゴ リ ー	カ テ ゴ リ ー ス コ ア		レ ン ジ
		-	+	
避 難 勸 告 ・ 指 示	① 避難勧告・指示無し		11.526	
	② 破堤時に発令、伝達速度毎分 10m		- 0.879	
	③ 破堤時に発令、伝達速度毎分 85m		- 2.334	
	④ 破堤時に発令、伝達速度毎分 300m		- 2.132	14.269
	⑤ 警戒水位時に発令、伝達速度毎分 10m		- 2.743	
	⑥ 警戒水位時に発令、伝達速度毎分 85m		- 2.424	
	⑦ 警戒水位時に発令、伝達速度毎分 300m		- 2.195	
避 難 施 設	① 現況避難施設 6箇所		20.187	
	② 現況施設+新設 4箇所=10箇所		-18.469	38.656
	③ 新設避難施設 4箇所のみ		-17.766	
	④ 現況施設+避難台地 = 7箇所		11.373	
避 難 経 路	① 既存道路		0.396	
	② 既存道路の内、避難施設付近を盛土		- 0.683	1.183
	③ 既存道路+避難用高架道路		0.500	
破 堤 箇 所	① 隠元橋破堤		- 0.775	1.550
	② 向島破堤		0.775	

図 5-3-19 数量化理論 I 類モデルによる制御誘導手段の効果分析（円滑性の分析）

したものである。まず各要因の寄与を表わすアイテム レンジの値をみてみる。図からわかるようにアイテム レンジの値は避難施設の要因がもっとも大きく、避難命令、破堤箇所、避難経路の順になっている。この結果は、前述のように氾濫区域内の避難施設を利用したり避難命令を発令すると避難所要時間が大幅に短縮されたことから当然の結果であるが、この流域においては避難施設を氾濫区域に設置するかもしくは避難命令を出して確実に避難をさせるということが、避難の円滑性を高めるうえでもっとも効果的であることを示したものといえよう。避難経路の要因はこれら2つの要因に比べてその効果が小さいことがわかる。また、破堤地点の影響についてもほとんど無視できる程度であり、この流域においては避難システムを計画するにあたって、複数の破堤地点を考慮に入れる必要はなく、避難システムの構造は他の流域に比べて比較的簡単なものにすることができる。

つぎに、各要因のなかで、さらに細分化した要因の効果をあらわすカテゴリ スコアの値を調べてみよう。なお避難命令の要因については、避難命令が発令され、その情報が85m/分以上で確実に伝達されれば、伝達速度にはほとんど影響をうけないことがわかる。避難施設については氾濫区域内の4つの避難施設を利用すると明らかに所要時間が短縮されることがわかるが、さらにその最適避難施設数を求めようとすれば、避難施設数を順次増加させた計算が必要となる。また、避難経路については新たな経路を設定しても大きな効果は認められず既存道路を利用するだけで十分であるといえる。

つぎに、避難完了率を外的基準とした場合の分析結果を図5-3-20に示す。図5-3-20からわかるように、アイテム レンジをみると避難命令の要因がもっとも大きく、ついで避難施設、避難経路の順となっており、図5-3-19とは避難命令と避難施設の順序が変わっただけではほぼ同様の傾向を示している。これは、避難命令を発令することによって避難未了者が0人となったことから当然の結果であり、外的基準として避難完了率をとった場合においても避難命令の発令や避難施設の整備が重要であることは明らか

要因	カテゴリー	カテゴリー	スコア ⁺	レンジ
避難勧告・指示	① 避難勧告・指示無し		- 7.616	10.568
	② 破堤時に発令、伝達速度毎分 10m		- 1.222	
	③ 破堤時に発令、伝達速度毎分 85m		2.952	
	④ 破堤時に発令、伝達速度毎分 300m		2.787	
	⑤ 警戒水位時に発令、伝達速度毎分 10m		- 1.121	
	⑥ 警戒水位時に発令、伝達速度毎分 85m		2.952	
	⑦ 警戒水位時に発令、伝達速度毎分 300m		2.787	
避難施設	① 現況避難施設 6箇所		0.435	4.328
	② 現況施設+新設 4箇所=10箇所		1.500	
	③ 新設避難施設 4箇所のみ		1.211	
	④ 現況施設+避難台地 = 7箇所		- 2.828	
避難経路	① 既存道路		- 0.121	0.399
	② 既存道路の内、避難施設付近を盛土		0.222	
	③ 既存道路+避難用高架道路		- 0.177	
破堤箇所	① 隠元橋破堤		0.700	1.400
	② 向島破堤		- 0.700	

図 5-3-20 数量化理論 I 類モデルによる制御誘導手段の効果分析 (安全性の分析)

である。また、カテゴリー スコアの値を調べてみると、アイテム レンジと同様に、図 5-3-19 とほとんど同様の傾向を示しているが、避難施設のなかで避難台地の要素がプラスとなっており、避難台地をつくることができなくなって逆効果となっていることをしめしている。これは前述のように、避難台地に向かって避難していく途中で氾濫水のために身動きがとれなくなった住民が多いことを反映した結果である。

このように数量化理論Ⅰ類モデルを適用することによって、各種要因の効果を定量的に明らかにすることができ、より客観的な評価が可能となる。

第 4 節 結 語

本章では、最初に第 4 章で述べた避難システムの構成プロセスに従って、旧巨椋池干拓地流域における具体的な避難システム案を作成し、ついで、避難行動シミュレーション モデルを用いてこれらの避難システム計画案の評価を行うとともに、数量化理論によって計算結果の分析を行った。

本章で得られた結果をとりまとめて示すと、以下ようになる。

- ① 現地流域の特性を考慮に入れた種々の避難ネットワーク計画案と避難誘導計画案から構成される避難システム案の構成と評価が、この手法を適用することによって容易にできることが確かめられたものと考えられる。
- ② 旧巨椋池干拓地流域における避難システム整備の基本的方向については、避難の安全性を確保するためには避難誘導體制の確立が重要であり、また避難の円滑性を確保するためには氾濫区域内の避難施設を利用する必要があることなどが確かめられた。当然ながら、ここで評価の対象とした避難システム案は、この流域における避難システム整備の方向を探るために構成したものであり、避難システムとしての妥当性を検証するためには表 4-6-1 にも示したように、さらに実行可能性という観点からも詳細な評価検討を行わねばならないが、本文で提案した手法を適用することによって、避難システム整備の基本的方向は明らかになったもの

と考えられる。

以上、洪水災害時の避難システムの構成と評価の方法の現地流域への適用結果をとりまとめて述べた。本論文で提案した方法は避難システムを計画する上で有効な手法となりうるものと考えられるが、第4章でも述べたように住民の避難行動は複雑であるにもかかわらず、本論文では極めて単純化して考えているなど今後住民の避難行動特性に関するデータの集積をまって改善すべき点が多い。また、本論文で対象とした洪水災害時の避難システムが有効に機能するためには、平常時のシステムの整備、すなわち、啓蒙活動の充実や避難空間の整備が重要であるが、これらについては避難空間の整備の基本的方針を決定する方法についてのみ言及したに留まっている。これらの点については今後の研究課題としたい。

参 考 文 献

- 1) 西原巧：洪水災害時における地域避難システムの設計と評価（その3），水利科学，*№* 149, 1983, pp. 12 - 50。
- 2) 建設省近畿地方建設局淀川ダム統合管理事務所：洪水避難検討（その4）業務報告書，1981。
- 3) 建設省近畿地方建設局淀川工事事務所：淀川水防対策シリーズ（資料編），第一巻，1978。
- 4) 京都府防災会議：京都府地域防災計画，1982。
- 5) 宇治市防災会議：宇治市地域防災計画，1982。
- 6) 久御山町防災会議：久御山町地域防災計画，1982。
- 7) 安田三郎，海野道郎：社会統計学，丸善，1977, pp. 105 - 109。

結 論

本論文は、洪水氾濫の流下過程を追跡する新しい数値解析法と、その結果を利用する洪水災害時の避難システムの構成と評価の手法とについて、提案したものである。

第1章においては、わが国河川の一般的な自然特性、社会的特性について述べるとともに、流域の急激な都市化に河川改修が十分に対応できない現状と洪水災害との関連について述べた。ついで、このような状況下において洪水災害を防止するための有効な手だてとして、建設省が積極的に推進しているいわゆる総合治水対策を紹介し、これらの施策を推進するためには、複雑な氾濫水の挙動を正確に追跡できる新たな氾濫解析法の開発が必要であることを明らかにした。あわせて、流域の洪水被害軽減策としてもっとも優先すべきでありながら、現在もっとも立ち遅れているとみられる避難システムの現状から判断して、避難システムの構成と評価のための手法を早急に確立する必要があることを示し、本論文の目的と意義を明らかにした。

第2章においては、わが国の1級河川において戦後生じた洪水氾濫事例についての調査結果から、氾濫水は時間的にも空間的にも複雑な挙動していることを示し、その運動を解析するには平面2次元流れの流体運動として取扱わねばならないことを明らかにした。

続いて、連続堤河川と不連続堤河川とを対象とする氾濫解析のための新しい数値解析法を提案した。まず、河道における洪水に対しては1次元解析法を適用し、数値解析法としては特性曲線法の固定格子点に関する差分式を用いた。また、堤内地の氾濫水に対しては2次元平面流れとして解析することとし、基礎式と計算式とを導いた。さらに、堤内地における氾濫水の挙動に影響を与える地形構造のうち、排水路及び盛土を取りあげ、それらに対する計算法を導いた。

第3章においては、それぞれに特徴的な地形構造をもつ淀川水系の3流域を対象に、第2章で述べた氾濫水の数値解析法を適用し、その妥当性を検証

した。その結果、河道と堤内地とをそれぞれ独立に取扱う解析法は、河道内および、堤内地のいずれについても妥当なものであること、また、河道と堤内地とを一体とする解析法についても、対象とした河川上流域の解析結果から実績をうまく再現できることが確かめられた。また、盛土の数値モデルについても、支川堤防を盛土として取扱った解析結果からその妥当性が検証されたが、排水路の数値モデルについては改良の余地があり、今後の研究が必要と考えられる。

第4章においては、新しい氾濫解析法の具体的応用の一つとして、氾濫解析の結果を利用する洪水災害時の避難システムの構成と評価の手法について述べた。まず災害時における人間行動の特性を明らかにするとともに、その制御誘導領域と方法とについて述べた。ついで、避難システムの内容を決定する要因を指摘し、洪水避難システムの特徴について言及した。また、洪水災害時における避難事例の調査や淀川流域の40市町村において実施した洪水時の警戒避難体制に関するアンケート調査の結果から、洪水避難システムの現状分析を行った。

最後に、これらの結果を踏まえて、氾濫水の挙動予測、避難ネットワーク、避難誘導の3つのサブシステムから構成される洪水災害時の避難システムの基本フレームとシステム構成のための具体的方法を提示するとともに、構成された各種の避難システム案が洪水時にどの程度避難システムとしての目的を達成しうるかを事前に評価するために、ネットワーク理論の最短経路選択問題を応用した住民の避難行動シミュレーションモデルを開発した。

第5章においては、淀川流域の旧巨椋池干拓地流域を例にとり、第4章で提案した避難システムの構成と評価の手法の現地流域への適用性を検討し、さらに同流域の避難システム整備の基本的方向についての若干の検討を行った。

その結果、現地流域の特性を考慮に入れた種々の避難ネットワーク計画と避難誘導計画から構成される避難システムの構成と評価とが、この手法を適用することによって容易に可能となることが確かめられた。

また、旧巨椋池干拓地流域における避難システム整備の基本的方向については、避難の安全性を確保するための避難誘導體制の確立が重要であり、円滑な避難を確保するためには氾濫区域内の避難施設の活用が必要であることなどが確かめられた。

このように、本論文で提案した方法は避難システムを計画する上で有効な手法となりうるものと考えられるが、複雑な住民の避難行動を本論文では極めて単純化して考えているなど、今後住民の避難行動特性に関するデータの集積をまって改善すべき点が残されている。

以上を要するに、本論文では河川行政上もっとも対応が急がれている改修中途の河川における災害対策の一環として、新しい氾濫解析法を開発し、その結果を利用する洪水災害時の避難システムの構成と評価の手法を提案した。

厚顔の誇りを免れないが、本論文が今後この方面の研究を促進するうえで役立ち、流域の総合的な治水対策の確立をはかっていくうえで、何らかの参考になることを期待して結びに代える次第である。