

リアルタイム氾濫解析システムの構築と その活用の方向性について

CONSTRUCTION OF A REAL-TIME INUNDATION FLOW ANALYSIS SYSTEM AND DIRECTIONS OF ITS PRACTICAL USE

平川了治¹・館健一郎²・武富一秀³・安田浩保⁴・金木誠⁵・飯田進史¹・五十嵐孝浩¹・谷岡康¹

Ryouji HIRAKAWA, Kenichiro TACHI, Kazuhide TAKEDOMI, Hiroyasu YASUDA,
Makoto KANEKI, Shinji IIDA, Takahiro IGARASHI and Yasushi TANIOKA

¹正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社水工技術本部河川部 (〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2-7-1)

²正会員 国土交通省四国地方整備局那賀川工事事務所 (〒774-0011 徳島県阿南市領家町室の内 390)

³正会員 国土交通省国土技術総合研究所水害研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市大字旭 1 番地)

⁴正会員 独立行政法人北海道開発土木研究所河川研究室 (〒062-8602 札幌市豊平区岸 1 条 3-1-34)

⁵正会員 国土交通省中部地方整備局中部技術事務所 (〒461-0047 愛知県名古屋市東区大幸南 1-1-15)

For making flood-control measures during flood events, such as flood prevention activities and evacuation, more effective, real-time flood forecasting information, which reflects continuously-changing precipitation and water level, is useful. In this paper, aiming at practical use of real-time flood forecasting information, a prototype of 'the real-time inundation flow analysis system' is developed. In this system, radar rainfall forecasting data are automatically obtained, inundation flow analyses are performed, and the results of those analyses are automatically displayed. An example of applying this system to risk management assistance is also given.

Key Words : landside water, inundation flow analysis, real-time, precipitation forecast, flood estimate

1. はじめに

従来の洪水ハザードマップ等の浸水予測情報は、降雨、河川水位、河川管理施設の稼働状況等をある一つの固定条件とした氾濫解析結果や浸水実績にもとづき予め作成しているのが一般的である。しかしながら、実際の水害では、降雨や河川水位等の個々の状況は多様であり、その規模により浸水の発生場所や浸水深も大きく異なってくる。すなわち、その防災措置としての避難・水防等の諸活動は、浸水の発生状況に応じ臨機に行っていく必要がある。このことから、臨災時における防災活動をより効果的に行うために、時々刻々と変化する状況を反映しながらリアルタイムに得られる浸水予測情報は、非常に有用なものといえる。

本研究では、氾濫予測計算のリアルタイム化を行うとともに、既存氾濫解析モデル¹⁾の浸水再現性の向上を図り、リアルタイム氾濫解析システムのプロトタイプを構築した。また、著者ら²⁾が開発した避難解析モデルと組み合わせて用いることで、危機管理支援ツールとしての活用の

方向性について考察した。

2. リアルタイム氾濫解析システムの要件

リアルタイムに提供される浸水予測情報は、首長が避難勧告を発令する場合、または、水防活動や避難行動時に通行する道路を選定する場合の判断材料になることが期待される。こういった使用目的から、リアルタイム氾濫解析システムに求められる要件としては、表-1に示したものと考えられる。

表-1 リアルタイム氾濫解析システムの要件

項目	要件	使用目的
浸水予測の精度面	◇破堤氾濫の氾濫水到達時間、氾濫エリアの再現性 ◇降雨パターンでの再現性の安定化 ◇局地浸水や道路冠水の再現性 ◇浸水終期(減水時)の再現性	◇避難勧告発令の判断材料 ◇水防活動時の参集ルート選定の判断材料 ◇避難時の移動ルート選定の判断材料
システム性能	◇連続自動処理 ◇システムの安定化 ◇演算処理等の高速化 ◇フィードバック機能(予測データでの解析結果を実測データにより補正)	◇復旧の見込み時期の判断材料

浸水予測の精度面では、台風や雷雨等の降雨パターンの違いにより浸水再現性にばらつきがないことが望ましい。また、避難勧告発令の判断のために、破堤氾濫の氾

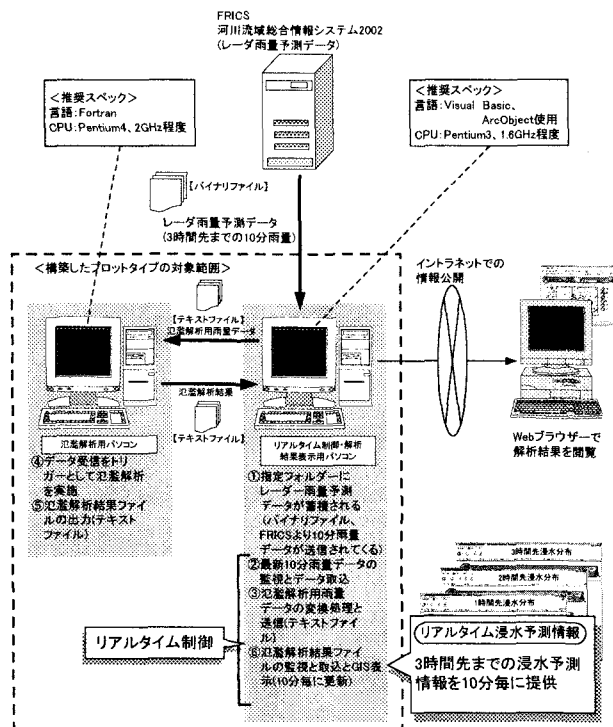


図-1 システム概要

洪水到達時間や氾濫エリアの再現性が求められ、併せて水防活動時や避難時の移動ルート選定の際に何処がいつ頃冠水して通行不能となるかどうかの再現性も重要である。さらに、復旧・復興の見込み時期を情報提供しようとした場合に、いづろ氾濫水が引くのかの再現性が求められる。システム性能では、定期的かつリアルタイムに情報提供するために、降雨等の氾濫解析に必要な入力データの取得、氾濫解析の実行、解析結果の表示・配信という一連の処理が自動的に行われることが望ましく、併せて演算処理等の高速化も必要となる。また、システムが停止することが無いようシステムの安定性が求められ、実測値との比較検証により浸水予測結果を補正する等のフィードバック機能が望まれる。

本研究では、システム性能と浸水予測の精度面の両面について考察した。

3. システムのリアルタイム化

(1) 構築したシステムの概要

本研究で構築したシステムの概要図を図-1に示す。(財)河川情報センター提供の河川流域総合情報システム2002のレーダ雨量予測データ(3時間先の10分雨量データ)を自動取得して氾濫解析を行い、その浸水解析結果をGIS画面に自動表示するシステムとした。本システムの一般化を考え汎用パソコンの使用を前提としてリアルタイム制御及び解析結果表示用、氾濫解析用の2台の

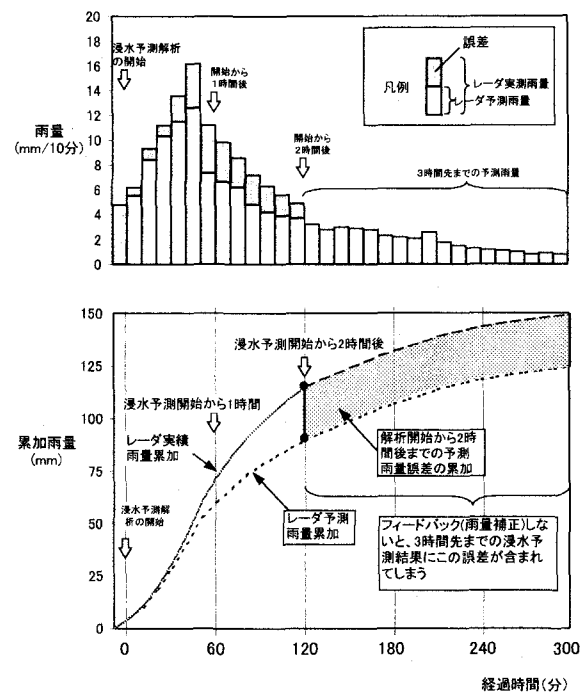


図-2 予測降雨解析結果の実測降雨での補正(フィードバック)

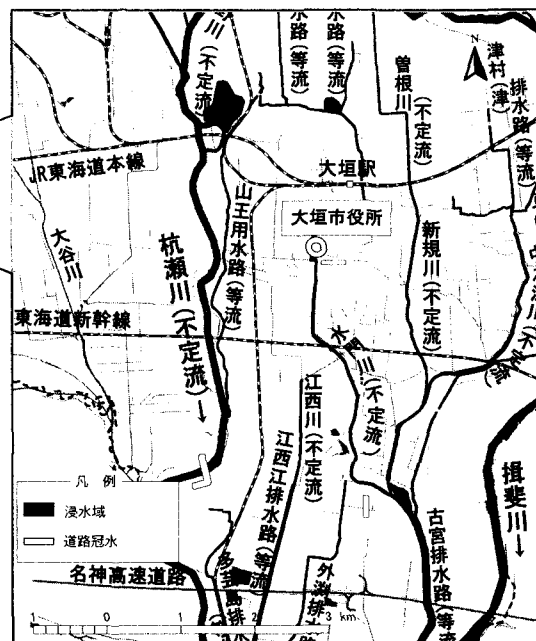
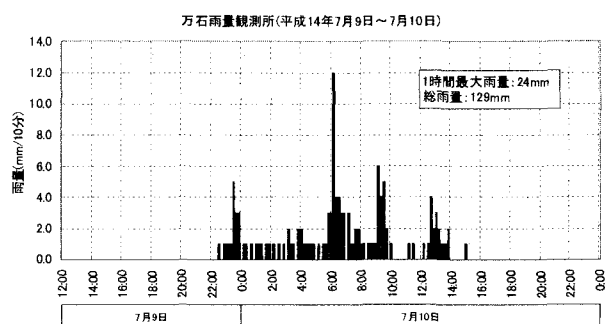
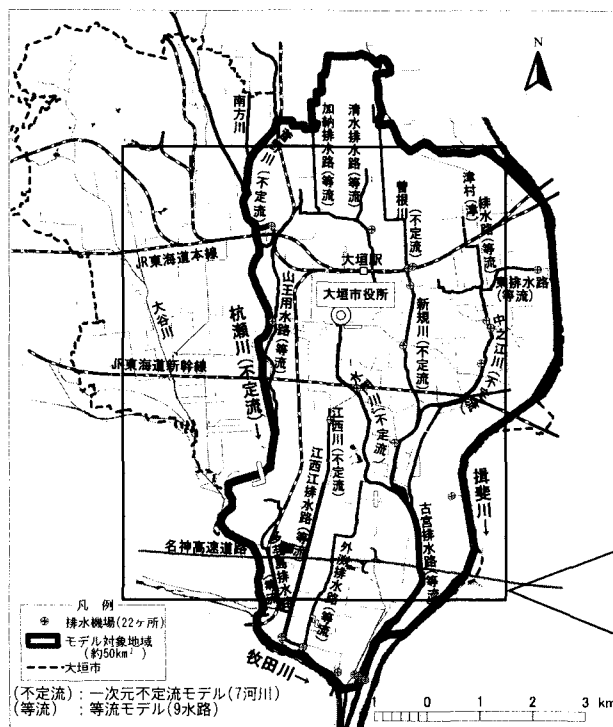
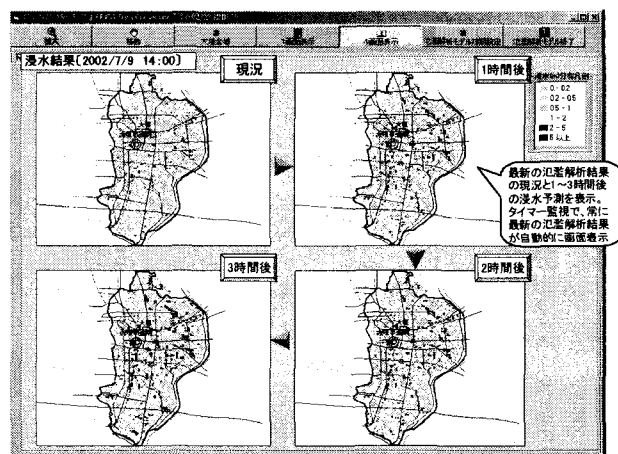
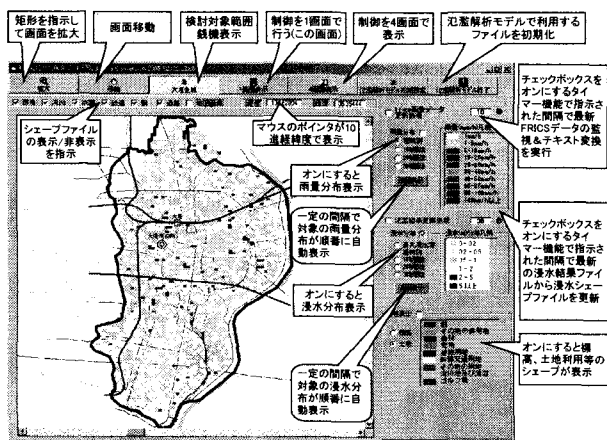
表-2 システムの機能一覧

要求機能	システム機能
レーダ雨量データ(実測値と予測値)の監視と取込	◇データの更新状態を定期的に自動監視(時間間隔を任意設定可能) ◇定期的に自動取込(欠測・更新遅れの場合、前データを使用)
氾濫解析用雨量データへの変換処理と送信	◇氾濫解析用データへ自動変換し、氾濫解析用パソコンへ自動配信 ◇データの自動保存
氾濫解析の実行と結果の保存	◇氾濫解析を定期的に自動実行(実時間3時間を約6分で解析終了) ◇現在までの実測降雨の計算結果と3時間先の予測降雨による計算結果を分けて毎回自動保存し解析結果表示用パソコンへ自動配信 ◇実測降雨の部分は、それまでの計算結果を境界条件として追加分の実測降雨(1回分・10分雨量)を計算 ◇予測降雨の部分は、毎回データを更新し3時間分を計算
氾濫解析結果の出力・GIS画面への表示	◇氾濫解析結果ファイルの自動監視とGISデータへの自動変換 ◇GIS画面への表示(自動と手動) ◇イントラネットのWebブラウザで閲覧可能

パソコンを連動させ、また、システムの軽量化や最適化を行った。その結果、3時間先までの浸水予測情報を10分毎に提供するシステムが構築できた。

(2) システムの機能

表-2に本システムの機能を整理した。主要なものとして、①レーダ降雨データ、氾濫解析用データ、氾濫解析結果データ等の入出力データを定期的に監視し自動処理するリアルタイム機能がある。②また、3時間先の予測降雨による解析結果の出力の他、現時刻までの実測降雨による解析結果を履歴保存し、これを境界条件として毎回更新される実測降雨部分のみの解析結果を継ぎ足していくフィードバック機能がある。この機能により演算時間を短縮できる他、図-2に示すように予測降雨の持つ誤差を累加せずに毎回ゼロクリアできる。③そして、図-3、図-4に示すようにGIS画面でハンドリングできるようにすると共に、Webブラウザでの解析結果の閲覧を可能とした。このことで、イントラネットを利用した浸水予測情報のリアルタイム提供を可能とした。



4. 汎濫解析モデルの精度向上

(1) 汎濫解析モデルの概要

既存の氾濫解析モデルは、大垣市東部の約 50km²(図-5)のエリアを対象に、氾濫原を直角格子(格子サイズ 100m)の二次元不定流モデル、揖斐川や氾濫原内の中小河川・排水路を一次元不定流モデル、側溝等の小水路を全格子に設定する等流水路モデルとし、組み合わせている¹⁾。実績の時空間分布を考慮した降雨を各解析格子に与え、全格子の等流水路モデルで水が解析格子間を移動し、一次元不定流モデルに集まる排水過程をモデル化している。すなわち、側溝等の小水路の流下能力以上の箇所では生じる内水氾濫、河川の流下能力以上の箇所では生じる天端溢水等の外水氾濫を同時に表現できるようにしている。

(2) 汎濫解析モデルの改良点

今回、昭和 51 年 9 月で検証した既往モデル¹⁾で、中小洪水である平成 14 年 7 月洪水(台風 6 号)について再現計算を行った。図-6 に万石地点の降雨量時間変化、図-7 に浸水実績を示す。図-8 は既往検証条件での再現計算結果であり、実績に比べ浸水域や浸水深が大きめにでており、浸水分布もうまく再現されていない。

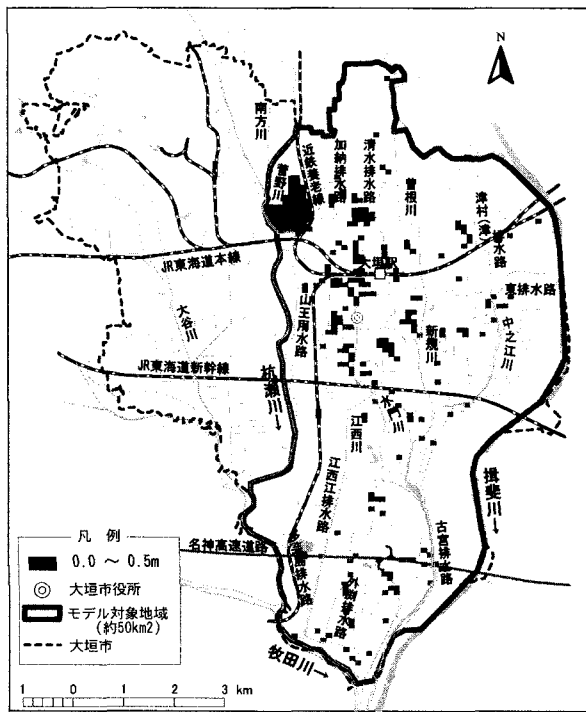


図-8 既往検証条件での再現計算

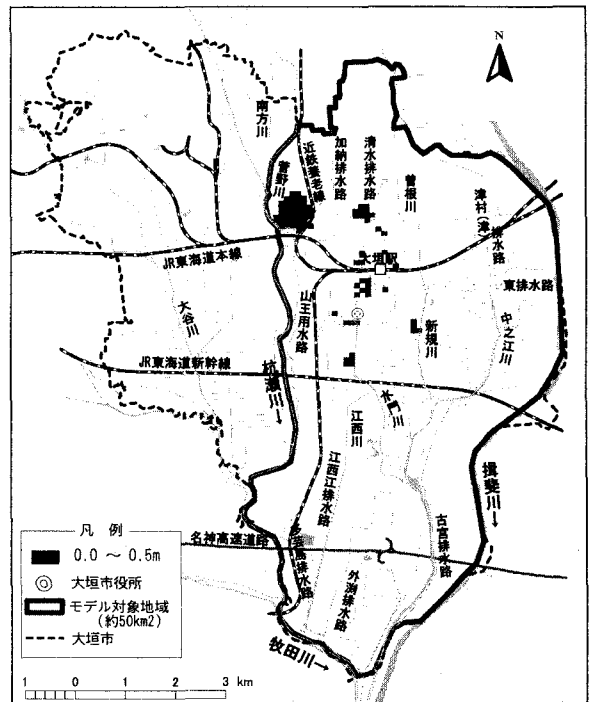


図-9 ケース1の最大浸水深分布

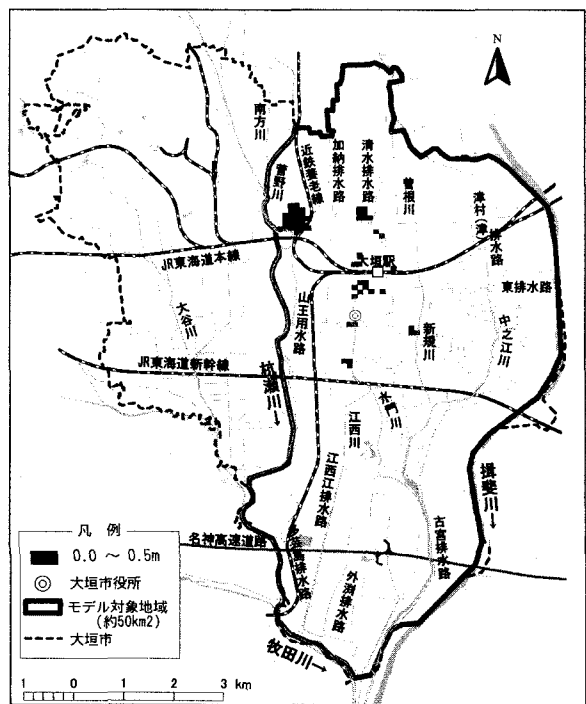


図-10 ケース2の最大浸水深分布

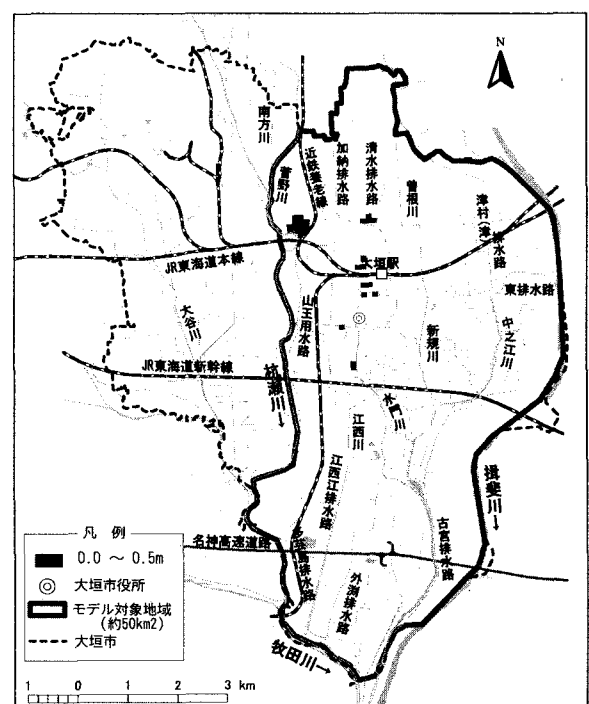


図-11 ケース3の最大浸水深分布

これは、既往最大降雨である昭和51年9月洪水は降雨規模(1時間最大42mm、総雨量814mm)や浸水規模(杭瀬川破堤もあり市域全体が浸水)が大きかったことから、多量の氾濫水が高水深で地表伝播する場合には浸水再現性が確保されているものの、平成14年7月洪水のような局地湛水や道路冠水といった少量かつ低水深の氾濫水が地表伝播する中小洪水に対して浸水再現性が十分でないことが考察される。本研究では、こういった中小洪水に

対し浸水再現性を向上させること、すなわち、洪水初期の局地湛水や道路冠水の再現性を向上させることが、水防や避難の諸活動に資するものと考え、窪地貯留や浸透の損失の与え方、小水路や側溝等を対象とした排水システムのモデル化方法の一つである“全格子等流水路”に着目して、既往氾濫解析モデルの改良を行った。なお、これらについては、リアルタイム氾濫解析システムとして必要な計算速度を維持する方向で検討を進めた。

表-3 解析条件と解析ケース一覧

ケース	損失の設定方法		全格子等流水路の大きさ	
	降雨	メッシュ	市街地	水田・畑地
既往検証	○		50×50	
1		○	50×50	50×50
2		○	50×100	50×50
3		○	50×150	50×50

水路幅×水路高(単位cm)

(3) 解析結果

表-3 に解析条件と解析ケース一覧を示す。既往検証では、窪地貯留や浸透の損失を降雨から差し引く設定方法としており、また、全格子等流水路(側溝等の小水路のモデル化)について水路幅 50cm×水路高 50cm の断面を全解析格子一律に与えていた。

しかし、窪地貯留や浸透は降雨に対してだけでなく、内水や地表伝播してきた外水の氾濫水に対しても効力があると考えの方が合理的であり、これらの損失をメッシュに設定することとした。また、全格子等流水路について、対象としている側溝等の小水路は道路・宅地整備が進んでいる市街地の方が多くあると考えられ、水田や畑地より断面を大きくすることとした。すなわち、土地利用別に全格子等流水路断面の大きさを変えることとした。

図-9 は損失の設定方法をメッシュにした場合(ケース 1)の解析結果であり、図-8 に比べ浸水が大幅に減少しており、損失の設定方法の影響が大きいことがわかる。図-10、図-11 はケース 1 に対し、市街地の全格子等流水路断面の大きさを 50cm×100cm(ケース 2)、50cm×150cm(ケース 3)とした場合の解析結果である。水路断面を大きくすることで、菅野川左岸の JR 東海道線と近鉄養老線に囲まれた窪地における浸水が減少していることがわかる。今回の解析結果ではケース 3 の適用性が最も高くなっており、損失をメッシュに設定し、土地利用別に等流水路断面の大きさを設定することで、中小洪水での局地湛水に対する浸水再現性が向上したことを示せた。

5. システム活用の方角性について

本研究で構築したリアルタイム氾濫解析システムについて、危機管理支援への活用の方角性を考察する。図-12 に示すように、昭和 51 年 9 月降雨(1/100 引き伸ばし)が降った場合、まず先に内水氾濫が発生し、その後杭瀬川の破堤氾濫が重なる複合氾濫の状況となることが解析結果から想定される。特徴として、内水氾濫のみでも約 40cm~50cm の浸水深がみられ、破堤前に避難勧告を行っても避難移動時には既に地域が湛水していることがあ

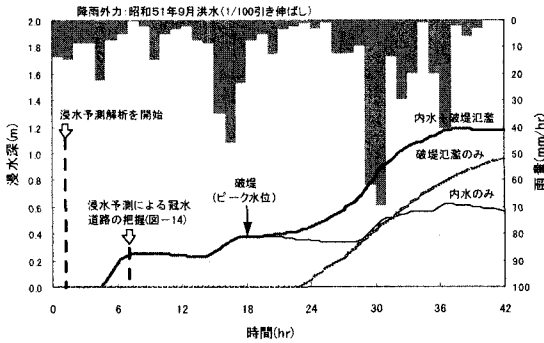


図-12 湛水深の経時変化(大垣市役所付近)

げられる。すなわち、破堤氾濫のみを対象として避難勧告を行うことの危険性を示唆している。ここでは、本システムによりリアルタイム浸水予測情報を入手でき、道路冠水前の早い段階で避難勧告発令が行えた場合と、浸水予測情報がなく破堤氾濫の直前に避難勧告をした場合における住民の避難所までの移動時間の変化をみてもみた。避難所までの移動時間は、著者らが開発した避難解析システム²⁾より試算した。図-13 は、図-12 に示す浸水予測解析開始から 7 時間目の道路冠水の予測状況であり、解析対象エリアの大半が既に約 0~50cm の道路冠水深となっている。図-14 は、道路が冠水している状態で避難した場合に対し、浸水予測情報にもとづき早めの避難勧告によって道路冠水前に避難した場合における移動時間の差を示している。道路が冠水している地域を中心に 10 分以上の時間短縮がみられている。また、図-15 は、移動時間毎の避難者の分布を示しており、道路冠水前に避難できたことで、対象地域の要避難者全員が 30 分以内の移動時間になっている。移動時間が 60 分以上と長かった 50 人が 30 分以内に半減されている効果もみられる。さらに、全要避難者数の 6 割に相当する約 22,000 人が冠水した道路を通過することになり、その内、約 5,000 人が 50cm 以上の湛水深を通過することになる。既往水害での道路沿いの水路や川などに転落して亡くなる方が多い事例を鑑みると、その危険性を防止できる効果も大きいといえる。

以上のように、浸水予測情報があることによって避難勧告が的確に発令でき、その結果として避難時間の短縮ができると共に、冠水する道路を移動するという危険性も防止できる可能性が示せた。内水氾濫は降雨パターンによって発生状況が大きく左右されることを考え併せると、リアルタイムに降雨を取り込んで浸水状況が予測できる“リアルタイム氾濫解析システム”は、危機管理支援ツールとしての有用性が高いと考える。

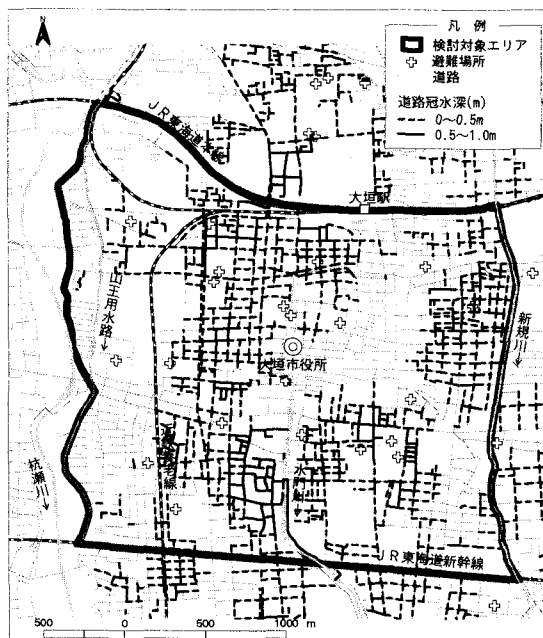


図-13 リアルタイム氾濫解析により予測した冠水道路

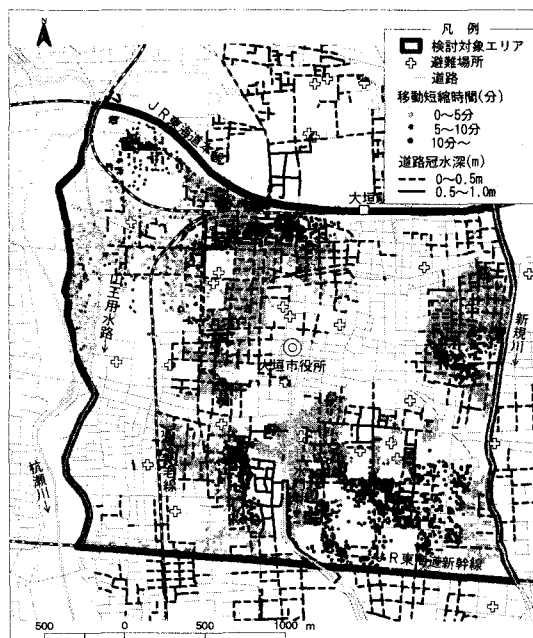


図-14 移動時間が短縮される世帯の分布

6. おわりに

本研究において得られた主要な結論は、①降雨データ取得から浸水域の予測結果の表示までの一連の処理を、降雨状況に合わせて自動的にシステムを運用するためのアルゴリズムの開発及びその高速化の実現、②様々な降雨パターンにおける浸水状況の予測精度の向上であり、リアルタイムでの浸水予測情報の提供の可能性を示した。この他、本システムから得られた浸水予測情報を利用して避難勧告を実施した場合における避難までの移動時間の短縮効果を分析し、リアルタイム氾濫解析システム活用の方向性の一例を示した。

今後、本システムの実用化に向け、観測データを取得し様々な降雨パターンや他地域への適用性を高めるとともに、危機管理支援ツールの使用目的(誰が、何のために、どのような場面で使うのか)を十分に踏まえ、提供すべき予測情報の内容の整備とリアルタイムシステムとしての機能拡充が必要である。

◇浸水再現性：微細な道路冠水までの再現が十分にできていない。また、側溝等の排水能力と全格子等流水路の形状との関係が定量的に示されていない。それから、今回対象とした中小洪水のような少量かつ低水深での氾濫水の地表伝播における氾濫原粗度係数についても課題が残っている。

◇システム性能：平常時から危機管理訓練等に活用してもらい、課題点を洗い出す等してシステム強化を図る。

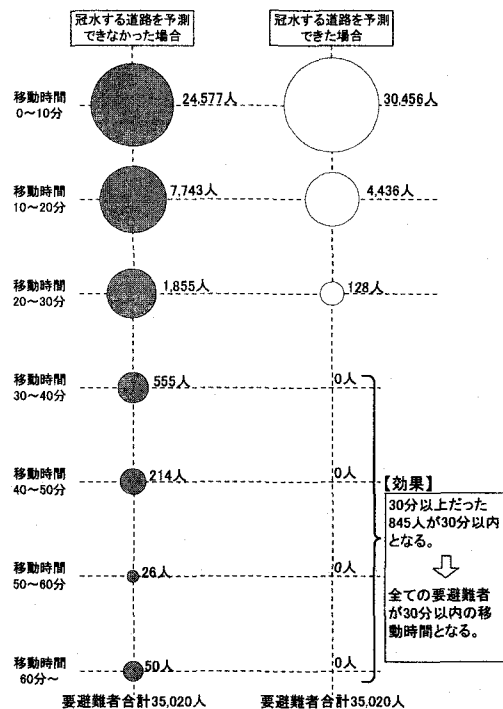


図-15 冠水道路の予測有無による移動時間の変化

謝辞：岐阜県大垣建設事務所、大垣市役所、財団法人河川情報センターにはデータ提供やヒアリングでお世話になりました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 館健一郎、武富一秀、川本一喜、金木誠、平川了治、飯田進史、谷岡康：内水を考慮した氾濫解析モデルの構築と検証—大垣市を対象として—、河川技術論文集、第8巻、2002.6
- 2) 飯田進史、館健一郎、武富一秀、川本一喜、金木誠、平川了治、谷岡康：水害時の避難解析システムの構築と危機管理支援の適用性検証、河川技術論文集、第8巻、2002.6

(2003. 4. 11受付)