

## 洪水災害及び土砂災害危険度分布を用いた佐用川流域における 避難意思決定支援

### The Study on Supporting Evacuation Decision-making Using Risk Map of Flood, Sediment Disaster at the Sayou River Basin

戸田淳治<sup>(1)</sup>・田中賢治・浜口俊雄・田中茂信

Junji TODA<sup>(1)</sup>, Kenji TANAKA, Toshio HAMAGUCHI, and Shigenobu TANAKA

(1) 京都大学大学院工学研究科

(1) Graduate School of Engineering, Kyoto University

#### Synopsis

The evacuation decision-making support system is proposed to prepare for a flood, sediment disaster in this research. Based on the reproduced result for 2009 event at the Sayou River basin, the risk map of the above-mentioned disasters is drawn by the time sequence. By using this map, we can give the river management administrators and the concerned residents an appropriate direction for evacuation. We are going to raise the completeness of this system to reduce the victims of these disasters.

**キーワード:** 洪水災害, 土砂災害, 危険度分布, 避難意思決定支援

**Keywords:** flood disaster, sediment disaster, risk map, evacuation decision-making support

## 1. はじめに

### 1.1 研究の背景

I P C C (気候変動に関する政府間パネル)の第5次評価報告書によると, 中緯度大陸の大部分では今後極端に強い降水の頻度が増加する可能性が非常に高いとのことである. それに伴いわが国でも洪水災害や土砂災害が発生する頻度が高まると予想され, 防災システムの高度化がより一層求められている.

しかしながら現状の防災システムは以下のような問題点がある.

- ・洪水ハザードマップが自治体毎に整備されているが, 既往最大クラスの大雨に対する浸水深分布であり今後起こりうる個々のイベントに対応するものではない.
- ・対象地域内で土砂災害警戒区域が広く分布している場合など, 大雨時にどの地区に避難の呼びかけ

を行えばよいのか判断が難しい. 気象庁から土砂災害に対する警戒情報も発表されるが対象範囲が広く, 対策の優先順位付けに苦慮すると思われる.

- ・自治体が洪水災害や土砂災害に警戒を呼び掛ける情報を発表する際, 住民に伝達する手段はテレビや防災行政無線など複数存在するが, 緊急性が伝わらず避難行動に結びつかないケースも多い. 伝達手段, 切迫性の伝え方など自治体毎に十分検討する必要がある.

### 1.2 研究の目的

洪水災害及び土砂災害に対する避難の必要性の有無やタイミングなど, 防災情報を必要とする人々が避難の意思決定を行う上での指針を示すシステムを構築することで上記災害による犠牲者を一人でも減らすことが主目的である.

## 2. 避難意思決定支援システム

### 2.1 概要

1. で述べた問題点を解決すべく避難意思決定支援システムを開発中である。Fig.1 にその概念図を示す。

最初に計算条件を入力する。防災担当者向けまたは住民向けを選択し、過去事例の再現計算かリアルタイム計算を選択する。本論文では過去事例の再現計算として、2009年8月の兵庫県佐用町での豪雨災害を取り上げる。

過去事例の再現計算は平常時の防災教育という位置付けで防災担当者及び住民に使用していただき、どのタイミングで避難に関する意思決定を行いどのように行動すれば犠牲者を出さない、あるいは被災せずに済むのか疑似体験できる。

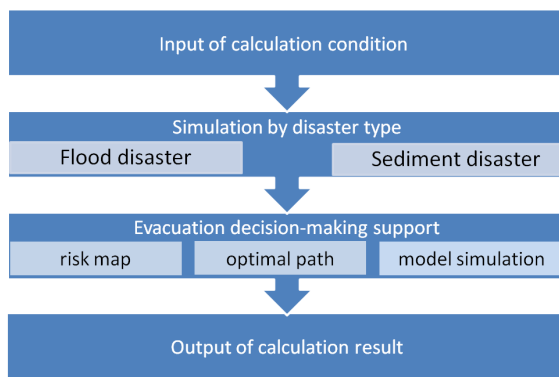


Fig.1 Evacuation decision-making support system overview

次に災害種別を選択する。洪水災害、土砂災害、これらが同時発生した災害(複合災害)が選択できる。災害別に表示項目を選択し計算結果を出力する。

- 洪水災害
- \* 浸水深分布：降雨データから流出シミュレーション及び氾濫シミュレーションを実行

\* 危険度分布：複数の降雨データからアンサンブル計算で算出

\* 避難シミュレーション(防災担当者向け)：避難情報の発表時刻等から歩行速度など様々な条件を基にして住民の行動パターンをモデル化

\* 避難最適経路(住民向け)：現在地から避難所までのルート上における浸水深分布または危険度分布から算出

• 土砂災害

\* 土壌雨量指数分布：降雨データからモデルシミュレーションで算出

\* 警戒レベル分布：60分間積算雨量と土壌雨量指数、土砂災害警戒基準線で求める

\* 危険度分布：複数の降雨データからアンサンブル計算で算出

ここで災害危険度分布とは、被害の受けやすさを空間的及び時間的に示すものであり、それにより優先的に対策(避難の呼びかけ等)を講じる必要がある場所を選別することができる。

### 2.2 モデル及びデータの説明

#### (1) 流出モデル

洪水災害に対する浸水深分布及び危険度分布を導出する際に用いる。小尻ら(1998)が開発したHydroBEAMを使用した。Table 1 はモデルで使用されたデータの一覧である。降雨データを入力とし流量及び水位データが出力される。

#### (2) 氾濫モデル

越流過程は本間の越流公式、氾濫過程は川池ら(2002)が構築した平面2次元不定流解析モデルを使用した。(1)と同様に洪水災害に対する浸水深分布及び危険度分布を導出する際に用いる。Table 2 はモデルで使用されたデータの一覧であり、(1)で出力さ

Table 1 Dataset used in runoff model

type	contents	geodetic datum	resolution	time step
input	W07_52M(流域・非集水域メッシュ)	Tokyo Datum	1km	-
input	W15_52L(流路データ)	JGD2000	-	-
input	W13_52T(河川台帳)	-	-	-
input	L03-a-06(土地利用データ)	JGD2000	1km	-
input	DEM_10m(標高データ)	JGD2000	10m	-
input	Analysis Precipitation(解析雨量)	JGD2000	1km	1 hour
input	Meso Ensemble precipitation(メソアンサンブル雨量)	JGD2000	1km	-
output	BI, HI(川幅及び計画高水位)	JGD2000	1km	-
output	discharge, water level(流量及び水位)	JGD2000	1km	10 minute

Table 2 Dataset used in inundation model

type	contents	geodetic datum	resolution	time step
input	DEM_10m(標高データ)	JGD2000	10m	-
input	BldA, BldL(建築物及び建築物の外周線)	JGD2000	-	-
input	water level(水位データ)	JGD2000	1km	10 minute
input	BI, HI(川幅及び計画高水位)	JGD2000	1km	-
input	river cross section(河道断面データ)	-	-	-
output	inundation depth(浸水深)	JGD2000	50m	0.2second

れる水位分布を入力データとする。

(3) 土砂災害モデル

土砂災害に対する土壌雨量指数分布及び警戒レベル分布、危険度分布を導出する際に用いる。土壌雨量指数分布の算出には Ishihara, Y. and S. Kobatake (1979)によるタンクモデルを使用した。モデルで使用されたデータの一覧を Table 3 に示す。

(4) 補足事項

(a) アンサンブル計算

・解析雨量

過去事例の再現計算で用いる。実際の雨量を数 mm ずつ増減させて模擬的に複数の雨量データを用意して計算した。今回は降雨の時間的及び空間的分布は変化させず、指定した閾値(30mm)を上回る場合のみ増減させた。

・メソアンサンブル雨量

本来はリアルタイム計算で用いるが、本研究では過去事例の再現計算でも使用した。2009年8月9日15時(JST)を初期時刻とする18時間予報データであり、メンバ数は20である。予報期間内におけるメンバ毎の積算降水量分布図を付録に掲載する。なお、本データは文部科学省の「HPCI 戦略プログラム」の中の超高精度メソスケール気象予測の実証実験から得られた結果であり、今後現業で使用予定である。

(b) 危険度分布

洪水災害の場合、複数メンバの降雨データから浸水深を求め、各浸水深に対応する影響度の加重平均を危険度とする。影響度は浸水深が 0[m]のときは「0.0」、0.5[m]のときは「1.0」とし、その間は直線的に変化させる。浸水深が 0.5[m]以上のときは「1.0」とする。土砂災害の場合、複数メンバの降雨データから警戒レベルを求め、警戒レベルの加重平均を危険度とする。

3. 算定結果と考察

3.1 洪水災害

(1) 解析雨量データ

(a) 浸水深分布

Fig.2は2009年の佐用豪雨災害を再現したものである。表示地区は犠牲者を多く出した佐用川支流の幕山川付近である(本論文では本郷地区と記す)。赤枠はシミュレーションにおける越流地点であり、対象エリアで実際に越流した箇所を指定している。

またFig.3は被災地点を含む50mメッシュ(Fig.2の青枠、「33888」はメッシュ識別番号)における浸水深時系列グラフである。牛山ら(2010)の報告によ

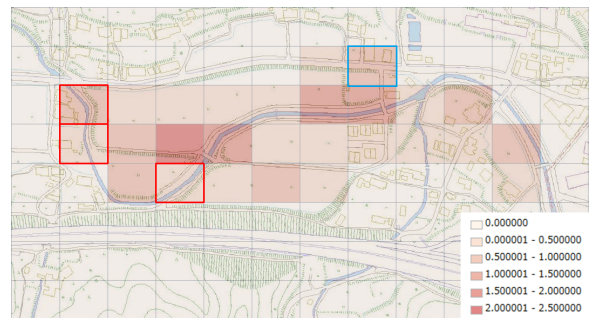


Fig.2 Maximum inundation depth map at 2009 Sayou event : unit [m], 50m mesh

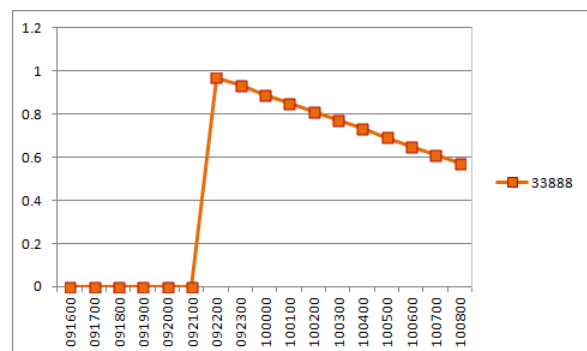


Fig.3 Inundation depth time sequence for the stricken area at 2009 Sayou event : unit [m]

Table 3 Dataset used in sediment disaster model

type	contents	geodetic datum	resolution	time step
input	Analysis Precipitation(解析雨量)	JGD2000	1km	1 hour
input	Meso Ensemble precipitation(メソアンサンブル雨量)	JGD2000	1km	-
input	warning or advisory standard (大雨警報・注意報基準値)	JGD2000	1km	-
input	Critical Line (土砂災害警戒基準線)	JGD2000	1km	-
output	soil precipitation index (土壌雨量指数)	JGD2000	1km	10 minute
output	warning level (土砂災害警戒レベル値)	JGD2000	1km	10minute, 60minute

ると、被災地点付近でのピーク水位は0.8m程度であった。

(b) 危険度分布

2.2の(4)で説明したように影響度の加重平均で求めるが、各メンバの重みは一定とする。Fig.4は9日20時、Fig.5は9日21時、Fig.6は9日22時の結果である。河田 (2010) の報告書によると、本郷地区の幕山川では9日20時過ぎに越流を開始したとのことである。被災地点付近では9日20時頃から9日22時頃にかけて時間が経過するにつれて危険度が増す結果が得られた。一方牛山ら (2010) の報告では被災した方々は9日20時から9日22時の最も危険な時間帯に避難行動を起こしてしまったようである。

(c) 避難最適経路

Fig.7は9日18時における10mメッシュ浸水深分布である。現在地を黒丸、避難所を黄色丸で表すと、避難経路は道幅などを考慮して北上してすぐの橋を渡るルート及び南下して迂回するルートがある。降雨が比較的弱く浸水がまだ始まっていない時間帯であるため移動距離が短い方の赤矢印となる。

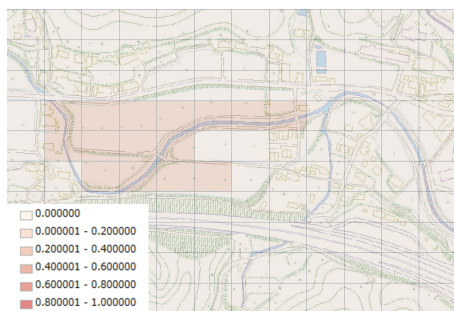


Fig.4 Risk map for the flood disaster at 2009 Sayou event (time : 0908092000)

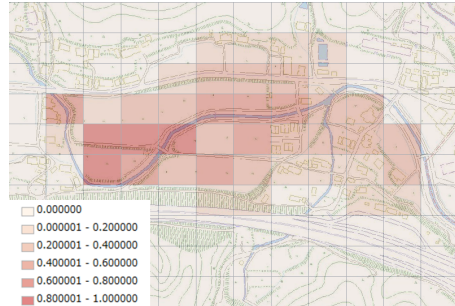


Fig.5 Risk map for the flood disaster at 2009 Sayou event (time : 0908092100)

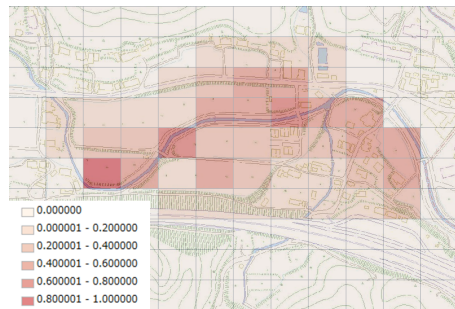


Fig.6 Risk map for the flood disaster at 2009 Sayou event (time : 0908092200)



Fig.7 Inundation depth map (unit [m], 10m mesh) and optimal evacuation path : 0908091800[JST], at 2009 Sayou event

(2) メソアンサンブル雨量データ

(a) 浸水深分布

佐用川下流で佐用川と千種川の合流点付近に位置する円光寺観測点における当時のピーク流量が約1400[m<sup>3</sup>/s]であったのに対し、最も大きな流域積算降

水量を計算したメンバ(015:4.3参照)のピーク流量は約350[m<sup>3</sup>/s]である。図は省略するが、どのメンバについても計算対象領域で河川からの越流がないため全てのメッシュ及び時間帯で浸水深は0[m]ということになる。

(b) 危険度分布

(a)と同様な理由で全てのメッシュ及び時間帯で危険度は0という結果になった。

### 3.2 土砂災害

#### (1) 解析雨量データ

##### (a) 土壌雨量指数分布

Fig.8は計算期間内での最大値を示している。2013年までの過去10年程度で最も大きい指数を記録した地点も多い。

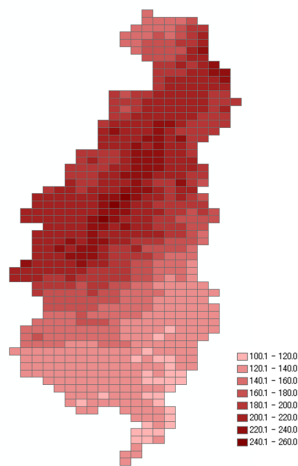


Fig.8 Maximum soil precipitation index distribution at 2009 Sayou event : unit [mm]

##### (b) 警戒レベル分布

Fig.9に警戒レベルの算定例を示す。

本郷地区付近では、9日20時と9日21時の間に土砂災害警戒情報の発表基準を超過すると見積もられた。ただ、実際にはこの付近で土砂災害は発生していない。

次にFig.10に警戒レベル分布の期間最大値を示す。水色枠(上)は佐用町、水色枠(下)は上郡町の範囲を表している。佐用町に関して言えば大部分が土砂災害警戒情報の基準を超過する結果となった。

##### (c) 危険度分布

まずFig.10の各カテゴリを数値化する。「実況で土砂災害警戒情報の基準を超過」は0.8, 以下0.4, 0.2, 0.0とし、「予想で土砂災害警戒情報の基準を超過」を0.6とする。

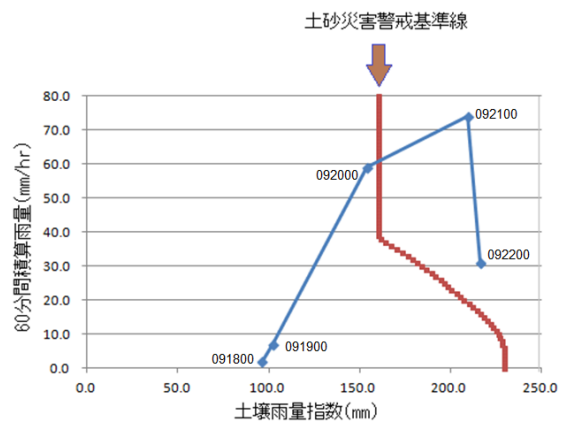


Fig.9 Estimating of sediment disaster warning level at the 3rd mesh(52344214)

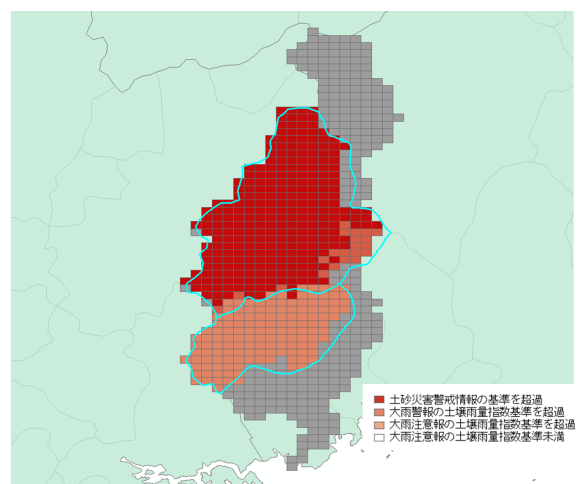


Fig.10 Maximum sediment disaster warning level distribution at 2009 Sayou event

上記警戒レベルの加重平均で危険度とし、各メンバの重みは一定とする。Fig.11に期間内の最大値を示す。

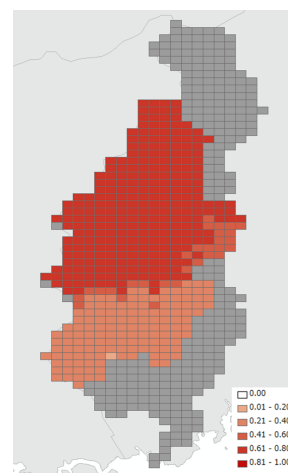


Fig.11 Risk map for the sediment disaster at 2009 Sayou event (maximum value : using Analysis Precipitation)

## (2) メソアンサンブル雨量データ

### (a) 危険度分布

各メンバの降雨分布(流域積算降水量)の実測と予測の差で重み付けし、警戒レベルの加重平均をとった。Fig.12に最大危険度を示す。降雨予測が過小なため、Fig.11と比較してかなり小さな値となっている。

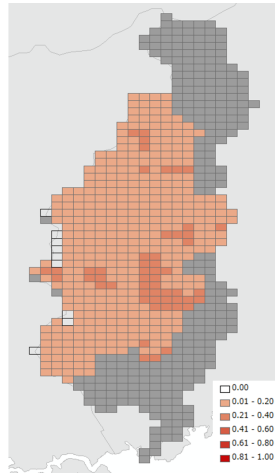


Fig.12 Risk map for the sediment disaster at 2009 Sayou event (maximum value : using Meso Ensemble precipitation)

## 4. おわりに

### 4.1 洪水災害

リアルタイム計算で2009年の佐用町事例のような状況が起こりえると事前に予想できていれば、自治体からの避難情報により住民に対し早めの避難を促すことができる。すでに危険が差し迫った状況なら水平避難でなく2階などへの垂直避難を呼びかけることができる。もちろん住民自ら情報収集して避難の意思決定を行ってもよい。

予想される個々のイベントに対し浸水深や危険度の時系列データ等を精度良く提示することにより1.で述べた問題点は解決できると考える。ただ、精度良く予測することが前提であり流出及び氾濫予測の誤差を統計的な手法で補正することなどが今後求められる。

### 4.2 土砂災害

自治体は避難情報を市町村などの広い地域を対象とするのではなく地域を細分化した地区単位で発表したいというニーズがある。特に警戒を要する地域をある程度狭くすることで、対象地区に対し避難の呼びかけや状況把握を優先的に行うことができる。

Fig.10の佐用町のようなケースでは、過去の土壌雨量指数履歴順位を考慮して一定のレベルまで範囲を絞り込むことが求められる。

また、土砂災害の発生メカニズムは詳細には解明できていないのが現状であり、過去の災害事例を検証して発生有無に関係する因子(斜面形状、地質、土地利用や植生等)を分析する取り組みを行うことも必要である。

## 4.3 補足事項

ここではメソアンサンブル雨量データに関し補足する。まずはFig.13からFig.15に予報期間内の最大時間雨量分布図を掲載する。

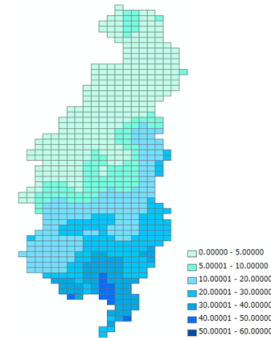


Fig.13 Maximum rainfall intensity forecast at 2009 Sayou event : unit[mm/hr], 001

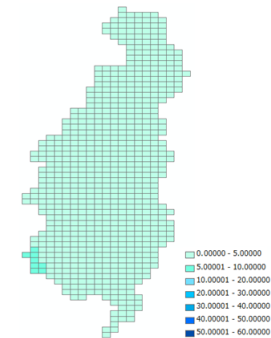


Fig.14 Maximum rainfall intensity forecast at 2009 Sayou event : unit[mm/hr], 002

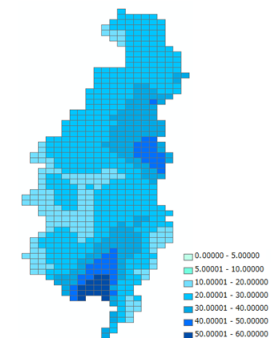


Fig.15 Maximum rainfall intensity forecast at 2009 Sayou event : unit[mm/hr], 015

これらは計算対象領域内で最大総雨量が300mm前後となった3メッシュである。Fig.16のように実際300mmを超える総雨量を観測したのは佐用雨量観測所付近であるのに対し、付録で示したようにピーク雨量を計算した地点は空間的なずれが大きい。

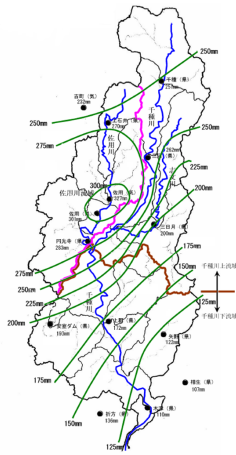


Fig.16 Rainfall distribution map at 2009 Sayou event  
source : JSCE(kansai)

次に予報期間内の時間雨量の時系列データをFig.17に示す。これは佐用雨量観測所が含まれる3次メッシュのデータである。実況(obs)と比較すると時間的にも量的にもずれが大きい。

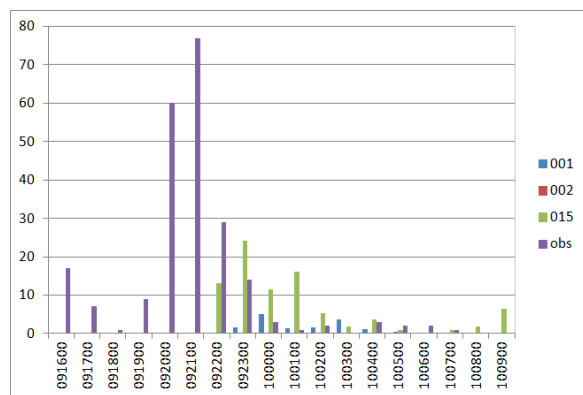


Fig.17 Rainfall intensity time sequence for the 3rd mesh(52344208) at 2009 Sayou event : unit [mm/hr]

このように2009年の佐用町事例に関してはメソアンサンブル雨量データの予測精度が悪く、再現計算での使用には適さなかった。

#### 4.4 その他の課題

避難意思決定支援システムのリアルタイムでの運用に際し、降雨予測(メソアンサンブル雨量データ)をいかに利用するか思案すること及び降雨以外の気象予測の利用法を検討することが必要となってくる。前者に関しては、降雨分布予測の実況との時間的及

び空間的なずれを考慮して統計的手法でデータを取り扱う。後者に関しては、降水量以外の気象要素(風, 気温, 大気不安定度など)の予測データも考慮する。

他には予測が実況とずれてきたときの対応, 防災担当者及び住民への情報伝達手段などが課題となる。予測と実況をうまく組み合わせ、災害危険度分布や避難最適経路, 避難シミュレーションなどの結果を避難の意思決定支援につなげるのが肝要である。

#### 参考文献

井本昂志・小尻利治・田中賢治・浜口俊雄 (2008) : 気候変動による流域水環境の変動特性に関する比較, 京都大学防災研究所年報, 第 51 号, pp. 799-813.

牛山素行・片田敏孝 (2010) : 2009年8月佐用豪雨災害の教訓と課題, 自然災害科学, Vol.29, No.2, pp.205-218

川池健司・井上和也・林秀樹・戸田圭一 (2002) : 都市域の氾濫解析モデルの開発, 土木学会論文集 No.698.

河田恵昭 (2010) : 近年の風水害の激化と減災対策, 阪神・淡路大震災記念 人と防災未来センター, 減災 Vol.4, pp.4-11

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書 第1作業部会報告書概要, pp. 4, 2013.

建設省土木研究所河川部都市河川研究室(1996) : 氾濫シミュレーション・マニュアル(案), 土木研究所資料, 第3400号

小尻利治・東海明宏・木内陽一 (1998) : シミュレーションモデルでの流域環境評価手順の開発, 京都大学防災研究所年報, 第41号B-2, pp. 119-134.

佐藤嘉展・道広有理・鈴木靖・中北英一・小尻利治 (2010) : 気候変動に伴う木曾三川流域の流況予測, 京都大学防災研究所年報, 第53号, pp. 723-735.

浜口俊雄・小尻利治・Mukta SAPKOTA (2011) : 分布型流出モデルと統合化可能な内・外水氾濫マクロモデルの開発, 京都大学防災研究所年報, 第54号B, pp. 673-682.

藤田一郎 (2010) : 平成21年台風9号による兵庫県佐用町河川災害について, 平成21年度河川災害に関するシンポジウム

Ishihara, Y. and S. Kobatake (1979): Runoff Model for Flood Forecasting, Bull.D.P.R.I., Kyoto Univ., 29, 27-43

付 録

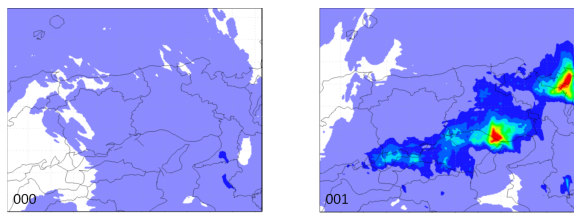


Fig.18 Cumulative rainfall distribution(1) : unit[mm],  
Meso Ensemble forecast

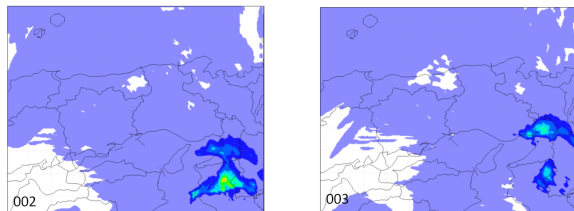


Fig.19 Cumulative rainfall distribution(2) : unit[mm],  
Meso Ensemble forecast

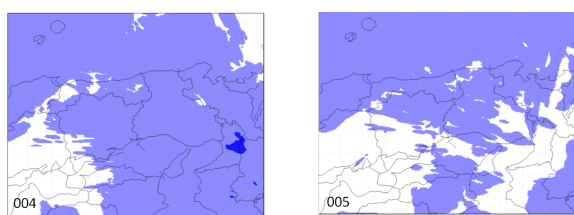


Fig.20 Cumulative rainfall distribution(3) : unit[mm],  
Meso Ensemble forecast

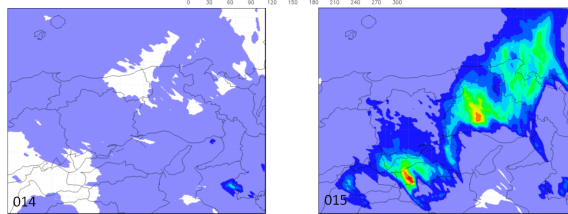
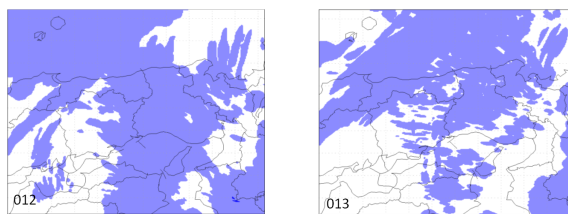
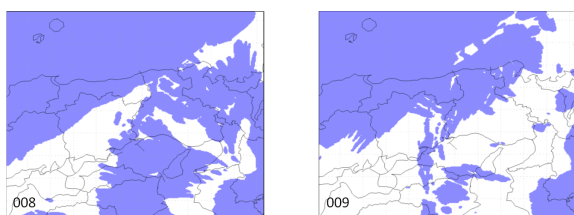
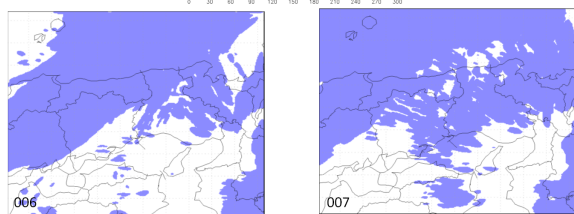


Fig.21 Cumulative rainfall distribution(4) : unit[mm],  
Meso Ensemble forecast

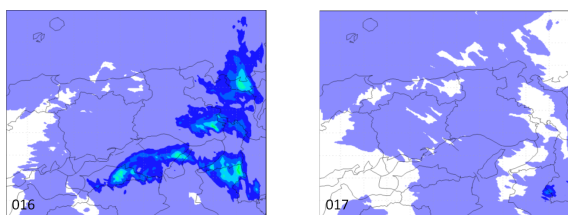
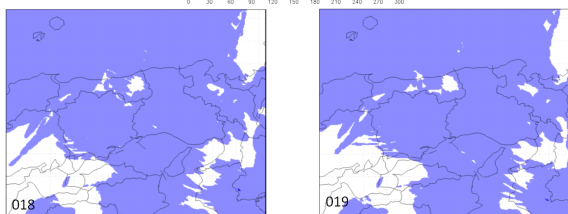


Fig.22 Cumulative rainfall distribution(5) : unit[mm],  
Meso Ensemble forecast



(論文受理日 : 2014年6月16日)