

2. 新潟・福島豪雨の確率評価と流出解析

2.1. 降雨の確率評価

今年、全国各地で豪雨が発生し、大きな被害をもたらした。7月13日に新潟県が未曾有の大雨に見舞われ、五十嵐川と刈谷田川を中心に破堤が発生し、甚大な被害を受けた。また、7月18日には福井が豪雨に襲われた。これらの水災害の共通した特徴に、洪水到達時間の小さい中小河川であることが挙げられる。新潟豪雨の中心に近い三条、長岡と栃尾の最大48時間雨量の半分が6時間以内に集中しており、五十嵐川や刈谷田川のような洪水ピーク到達時間が数時間程度の中小河川では、ピーク流量を大きくし、被害を大きくしていると思われる。福井豪雨では、河川計画に用いられている足羽川天神橋上流域の流域平均2日雨量が268.8mmで、25年確率でしかないのに、6時間雨量が228.9mmとなっており、1000年確率となっていた(国土交通省近畿地方整備局、2004)。新潟豪雨よりも短時間集中型の降雨であり、中小河川の河川計画を考える上で、計画継続時間内の雨の振り方、つまり、短い継続時間の降雨の統計的性質を把握することが重要であることを示唆した事例でもある。

しかし、現行の河川計画では日雨量、2日雨量を用いることがほとんどであることと、時間雨量の蓄積がまだ二十数年しかないことから、広範囲に渡って短時間降雨の統計的性質を調べた研究があまり行なわれてこなかった。また、各継続時間の雨量データをただ統計処理するだけでは矛盾が生じる可能性もあるので、確率降雨強度式による整理が必要である。今まで、鈴木ら(1996)がフェア式を用いて全国展開しているアメダス地点の時間雨量から得られる各継続時間の年最大雨量の特性を調べた。吉谷ら(2003)はさらに鈴木ら(1996)をソフトウェア化し、ホームページで一般公開している。

本研究では、鈴木ら(1996)と吉谷ら(2003)に習い、フェア式を用いて7・13新潟豪雨の短時間降雨特性を調べることにする。ただし、フェア式のパラメーター推定に関しては、河川計画雨量の対数ではなく、雨量そのものが重要であることを鑑み、実数空間で最適化する手法を開発して推定することにした。本研究ではパラメーター推定法による影響も併せて検討する。

2.1.1. 研究対象地域とデータの概要

本研究では、7・13新潟豪雨を研究対象とし、豪雨中心付近の新潟および長野の34のAMeDAS地点での時間雨量データを用いて短い継続時間の年最大雨量の統計的な性質を調べることにした。解析の対象期間は基本的に時間雨量が観測された年から2002年までとした。

2.1.2. 日雨量の統計特性

本研究では、まず図-2.1に示すAMeDAS地点の内に豪雨中心に近い三条、長岡と栃尾



図-2.1 AMeDAS 地点分布図

番号	分布	母数推定法	長岡	三条	栃尾
1	指数分布	L積率法	0.097	0.053	0.036
2	ガンベル分布	L積率法	0.120	0.036	0.067
3	平方根指数型最	最尤法	0.082	0.036	0.047
4	一般化極値分布	L積率法	0.047	0.036	0.023
5	対数ピアソンIII型	(実数)積率法	X	0.031	X
6	対数ピアソンIII型	(対数)積率法	X	X	X
7	3母数対数正規	岩井法	X	0.029	X
8	3母数対数正規	石原・高瀬法	X	0.029	X
9	3母数対数正規	Quantile法	0.054	0.032	0.024
10	3母数対数正規	積率法	X	0.029	X
11	2母数対数正規	L積率法	X	0.028	X
12	2母数対数正規	積率法	X	0.029	X
13	4母数対数正規	積率法	X	X	X

の年最大日雨量を抽出し、日雨量の統計的特性を調べることにした。短時間雨量の解析と併せるために、統計に用いたデータは時間雨量のある1979年から2002年の年最大日雨量とした。統計解析に当たって、財団法人国土技術研究センターから公開されている水文統計ユーティリティを用いて表-2.1に示す13種類の確率分布と母数推定法の組合せについて行なった。図-2.2に計算結果の一例として、長岡、三条と栃尾の結果を示す。これらの方法で得られた結果の適合度を示すために、表2.1に確率分布適合度指標の一つ、SLSCを示している。サンプルが小さいことなどから、一部の組合せでは、母数を推定できないものも出ており、×で示している。SLSCの値がそれほど小さくないが、年最大12時間雨量、年最大6時間雨量に対して行なった同様な解析でも同じ傾向が見られ、一般化極値分布(GEV)が全般的に最も適合度が高く、母数推定の安定性も高いので、GEV分布を用いて短時間雨量の統計特性を検討することにする。なお、長岡、三条と栃尾で観測された7・13豪雨の日雨量はそれぞれ225mm、208mmと421mmで、この解析で得られた100年確率雨量、213mm、161mmと204mmを上回っている。今回の豪雨の大きさを物語っている。前述のように、この雨量の半分以上が6時間に集中して降っており、降雨継続時間内の雨の降り方が計画流量の算定に大きな影響を及ぼし得るために、短時間降雨特性を調べる必要がある。

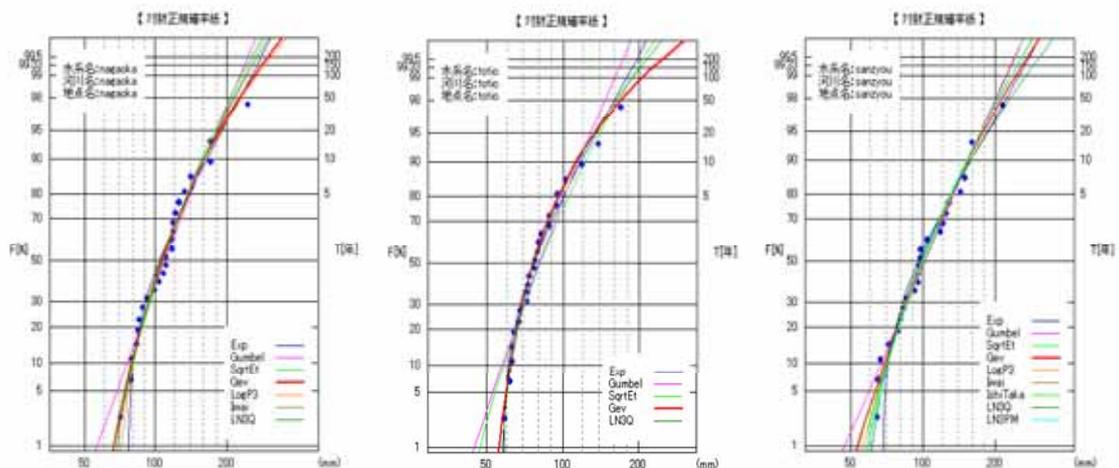


図 2.2 日雨量の統計解析結果

2.1.3. 短時間雨量の統計特性

本研究では、GEV 分布を用いて対象となる 34 観測所の年最大 1 時間、2 時間、3 時間、4 時間、6 時間、8 時間、12 時間、24 時間、48 時間雨量を抽出し、統計解析を行なうことにした。解析には日雨量同様、水文統計ユーティリティを使用した。すべての観測所の各継続時間に対し、GEV 分布の分布関数

$$F(x) = \exp\left(-\left(1 + \gamma \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{\frac{1}{\gamma}}\right) \quad 1 + \gamma \frac{(x - \mu)}{\sigma} > 0 \quad \gamma > 0 \quad \sigma > 0 \quad (2.1)$$

のパラメータ μ 、 σ と γ を母数推定する。これらの母数はそれぞれ分布の位置、スケールと形状を表している。図 2.3 は析尾の計算結果を対数正規分布確率紙にプロットしたものである。各継続時間に対して、母数を独立に推定しているため、各継続時間の分布曲線の間には整合性が取れない、つまり分布曲線が交差し、同じ確率年に対して短い継続時間の雨量が長い継続時間の雨量よりも大きくなる可能性がある。また、サンプルが小さいこともその原因の一つとして考えられる。

2.1.4. 確率降雨強度式

本研究では、鈴木ら(1996)と吉谷ら(2003)に習い、フェア式を用いて 7・13 新潟豪雨の短時間降雨特性を調べる。それぞれの観測所に対して、前節で得られた年最大 t 時間雨量の GEV 分布パラメータ μ_t 、 σ_t と γ_t を用いて T 、 $(T=2,5,10,20,50,100,150,200)$ 年確率雨量 $R(t,T)$ 、そして降雨強度 $i(t,T)=R(t,T)/t$ を求め、フェア式

$$i(t,T) = \frac{bT^m}{(t+a)^n} \quad (2.2)$$

のパラメータ a 、 b 、 m と n を推定する。吉谷ら(2003)は a に 0.001 刻みで任意の値を代入し、求められた確率降雨強度と降雨継続時間の相関が最も高くなるものを選択する。次に、 b 、 m と n については、フェア式を以下のように変形し、

$$\ln i(i,T) = \ln b + m \ln T - n \ln(t+a) \quad (2.3)$$

確率降雨強度の対数との差を取り、最小自乗法を用いて求めていた。鈴木ら(1996)は $n=0.75$ と固定していた。

本研究では、フェア式のパラメータ推定に関して河川計画上雨量の対数ではなく雨量そのものが重要であることを鑑み、実数空間で最適化する以下の手法を開発し、推定することにし

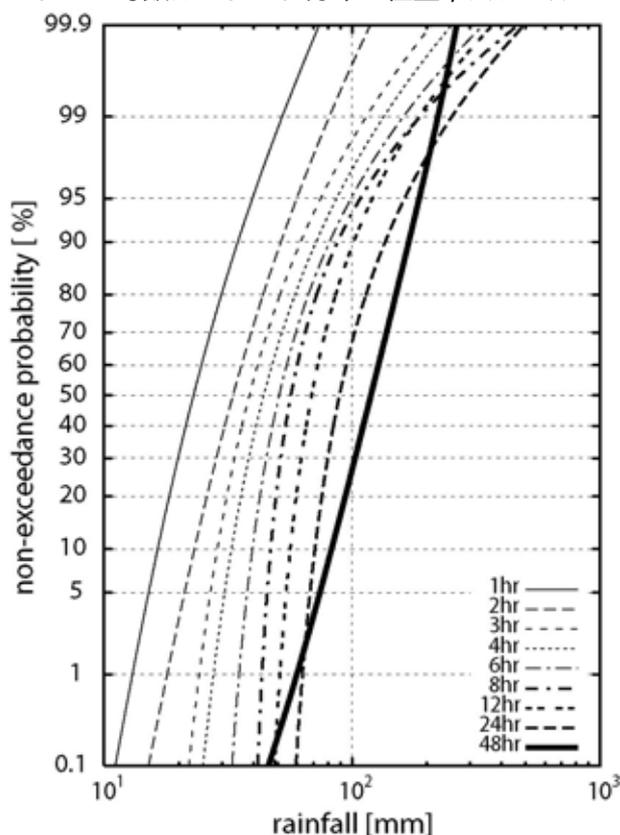


図 2.3 析尾の各継続時間の GEV 分布

た．この方法では式の構造を利用し，三つのステップに分けてパラメーターを推定している．(1) **パラメーターmの推定**

まずは $i(t,T)$ を同じ継続時間の T_0 年確率降雨強度 $i(t, T_0)$ で除し，降雨強度比 $i(t,T)/i(t, T_0)$ を算出する．フェア式では，この比が

$$\frac{i(t,T)}{i(t,T_0)} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^m \quad (2.4)$$

となるので，降雨強度比の偏差の自乗和 E_m

$$E_m = \sum_t \sum_T \left(\frac{i(t,T)}{i(t,T_0)} - \left(\frac{T}{T_0}\right)^m \right)^2 \quad (2.5)$$

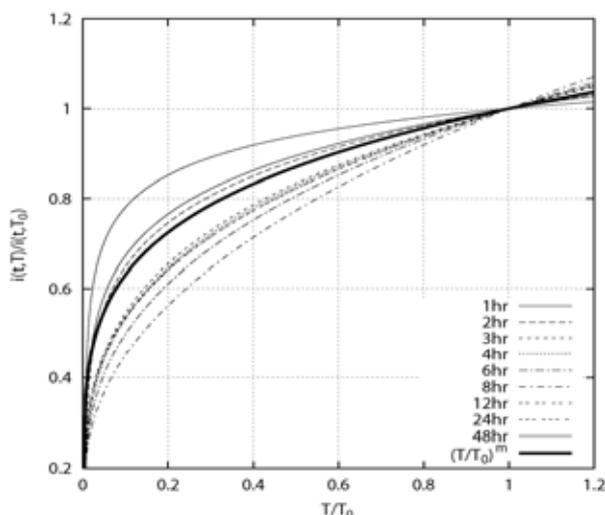


図 2.4 フェア式のパラメーターmの推定

を最小にすることにより，パラメーターmを最適化することができる．本研究では，最適化にフリーソフトウェアOctaveのNewton-Raphson法による一次元最適化ツールnrmを用いて，最適な値を求めた．なお， T_0 に関しては，日本で数十年から200年までの確率年が採用されていることから，本研究では $T_0=150$ 年とした．

図 - 2.4 は栃尾の各継続時間の降雨強度比と最適化で得られたmによる降雨強度比を示している．各継続時間の平均的なパラメーターmが得られたことが分かる．

(2) **パラメーターaとnの推定**

次に， $i(t,T)$ を同じ確率年Tの t_0 時間降雨強度 $i(t_0,T)$ で除し，降雨強度比 $i(t,T)/i(t_0,T)$ を算出する．フェア式では，この比が

$$\frac{i(t,T)}{i(t_0,T)} = \left(\frac{t+a}{t_0+a}\right)^n \quad (2.6)$$

となるので，降雨強度比の誤差自乗和 $E_{a,n}$

$$E_{a,n} = \sum_t \sum_T \left(\frac{i(t,T)}{i(t_0,T)} - \left(\frac{t+a}{t_0+a}\right)^n \right)^2 \quad (2.7)$$

を最小にすることにより，パラメーターaとnを最適化することができる．本研究では，最適化にフリーソフトウェアOctaveのNelder-Mead法による最適化ツールnelder_mead_minを用いて，最適な値を求めた．なお， t_0 に関しては，本研究では最も長い $t_0=48$ 時間とした．

(3) **パラメーターbの推定**

最後のパラメーターbについては

$$b = \frac{(t+a)^n}{T^m} i(t,T) \quad (2.8)$$

を利用し， $i(t,T)(t+a)^n T^{-m}$ の平均値とした．

表 - 2.2 に本研究の対象となる34観測所でのパラメーターを示す．合わせて土木研究所のソフトウェアで使われているパラメーターも示している．なお，空欄になっている観測所は土木研究所が行ったデータの品質チェックにデータの年数の少ないなどの理由で採用されなかった

観測所である。

2.1.5. 結果と考察

図 2.5 は長岡, 三条と栃尾における 7・13 豪雨の各継続時間の最大雨量と、GEV とフェア式による確率年を示している。この図からも、降雨が 6 時間から 12 時間の間に集中的に降っていることが読み取れる。赤線が各継続時間の最大雨量、GEV 分布から計算した確率年、黒い線がフェア式で計算した確率年である。GEV とフェア式の間にある程度の差はあるものの、6 時間から 20 数時間の継続時間の降雨が確率的にまれなものが降ったことが分かる。栃尾においてその傾向が特に顕著である。

図 2.6 に、34 地点における各継続時間の GEV 分布から得られた 7・13 豪雨の最大 4 時間、6 時間、12 時間と 24 時間雨量の確率年の空間分布と、フェア式によるものを示している。もちろん、GEV による結果では、各継続時間の間の整合性を考慮されていない。この図から、フェア式で得られた確率年の空間分布がほぼ GEV 分布から得られた分布を再現していることが分かる。その上に、フェア式による結果には各継続時間の間に整合性が確保される。フェア式が短い継続時間の降雨の統計特性を考慮する場合に有効であると思われる。

また、この分布図から、栃尾周辺に 24 時間雨量の確率年が 100 年以上の地域が広く分布していることが分かる。6 時間、12 時間雨量については多少範囲が狭くなるが、ほぼ五十嵐川、刈谷田川流域をカバーしている。降雨ピークから流量ピークとの間のピーク到達時間が 6 時間程度であるこれらの流域にとって大きい洪水ピークの形成の重要は要因と考えられる。これらの中小河川の河川計画において、流域の時間スケールにあった降雨継続時間の降雨特性を考慮する必要がある。

参考文献

- [1] 熊倉俊郎, 勝島隆史, 原田裕子, 陸旻皎, 中井専人: 平成 16 年 7 月新潟, 福島豪雨の雨量時空間解析と流域平均雨量について, **水工学論文集**, 第 49 巻, pp. 415-420, 2005.
- [2] 国土交通省近畿地方整備局(2004): 「平成 16 年 7 月福井豪雨」の雨量・流量結果及び足羽川ダムの治水効果. http://www.kkr.mlit.go.jp/asuwa/15¥_whatsnew/08/index.html
- [3] 鈴木俊郎・寺川陽(1996): アメダスデータを用いた確率降雨量分布図の作成. 土木技術資料 38-12, pp.20-25.
- [4] 吉谷純一・松浦直(2003): 全国アメダス観測地点における確率雨量算定に関する研究報告書. 土木研究所資料第 3900 号.

図-2.2 得られたフェア式のパラメーター

Name	Name	Latitude	Longitude	本手法				土木研究所			
				m	b	n	a	m	b	n	a
				羽茂	Hamochi	37.8417	138.3133	0.24	32.0	0.72	0.23
両津	Ryoutsu	38.0733	138.4400	0.17	20.1	0.43	-0.32	0.21	39.5	0.74	1.43
粟島	Awashima	38.4617	139.2517	0.21	39.0	0.76	1.32				
高根	Takane	38.3300	139.6067	0.17	27.2	0.57	-0.38				
村上	Murakami	38.2267	139.4783	0.14	27.9	0.57	-0.22	0.20	36.6	0.74	0.58
下関	Shimoseki	38.0900	139.5633	0.17	57.7	0.88	1.33	0.24	33.8	0.70	0.54
中条	Nakajo	38.0600	139.4083	0.17	28.2	0.58	-0.01				
赤谷	Akadani	37.8350	139.4150	0.20	32.5	0.59	0.55	0.27	30.3	0.61	0.82
巻	Maki	37.7633	138.9117	0.16	185.1	1.25	3.97	0.20	47.9	0.84	1.40
新津	Niitsu	37.7917	139.0867	0.25	43.1	0.79	2.08	0.28	46.3	0.84	2.40
村松	Muramatsu	37.6967	139.1883	0.24	85.6	1.02	2.18	0.30	33.6	0.73	0.70
寺泊	Teradomari	37.6383	138.7667	0.17	53.6	0.89	0.53	0.22	40.9	0.80	0.51
三條	Sanjo	37.6400	138.9550	0.21	78.4	0.99	2.67				
津川	Tsugawa	37.6717	139.4467	0.19	28.3	0.55	0.57	0.24	41.9	0.75	1.60
栃尾	Tochio	37.4750	138.9917	0.24	41.2	0.78	1.84	0.24	36.2	0.74	1.23
長岡	Nagaoka	37.4500	138.8233	0.23	61.9	0.90	3.05	0.28	30.4	0.70	1.23
入広瀬	Irihirose	37.3567	139.0717	0.26	60.6	0.90	2.50				
柏崎	Kashiwazaki	37.3517	138.5533	0.16	143.6	1.17	3.11	0.19	52.0	0.83	1.40
小国	Oguni	37.2917	138.7017	0.23	62.6	0.92	1.82	0.27	32.7	0.69	0.73
小出	Koide	37.2383	138.9600	0.16	38.8	0.76	0.60				
大潟	Oogata	37.2317	138.3333	0.21	35.1	0.70	0.98	0.26	26.2	0.66	0.53
十日町	Tohkamachi	37.1417	138.7267	0.15	38.8	0.77	0.15	0.17	30.0	0.67	0.57
松代	Matsudai	37.1317	138.6067	0.17	26.8	0.60	0.04	0.24	27.5	0.63	0.54
高田	Takada	37.1050	138.2467	0.19	46.1	0.78	1.19	0.21	38.0	0.72	0.96
安塚	Yasuduka	37.1067	138.4567	0.22	36.9	0.74	0.90				
能生	Nou	37.0833	138.0233	0.17	80.7	0.83	2.71				
糸魚川	Itoigawa	37.0383	137.8617	0.21	79.0	0.88	2.92	0.22	71.6	0.85	2.95
津南	Tsunan	36.9967	138.6833	0.17	39.8	0.75	0.82				
湯沢	Yuzawa	36.9417	138.8100	0.26	24.9	0.59	-0.07	0.31	36.0	0.79	0.95
関山	Sekiyama	36.9317	138.2217	0.16	29.7	0.57	0.97				
平岩	Hiraiwa	36.8867	137.8617	0.20	64.8	0.83	2.38				
只見	Tadami	37.3433	139.3133	0.23	317.5	1.38	5.80				
檜枝岐	Hinoemata	37.0250	139.3850	0.23	25.320	0.58	1.03	0.26	39.0	0.77	2.37
金山	Kaneyama	37.4517	139.5250	0.15	29.1	0.65	-0.04	0.25	30.2	0.72	0.39

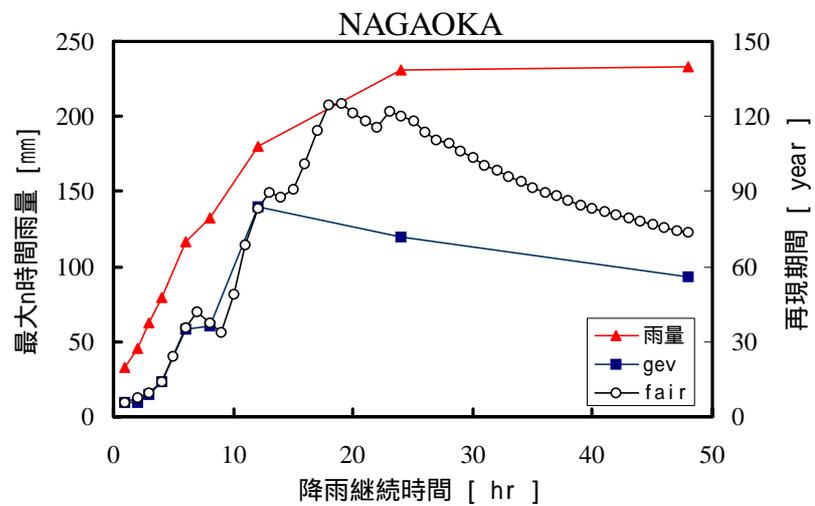
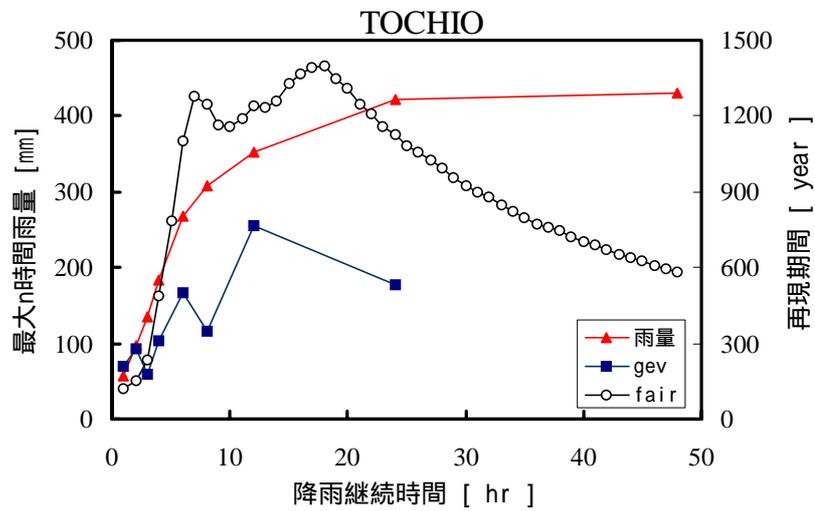
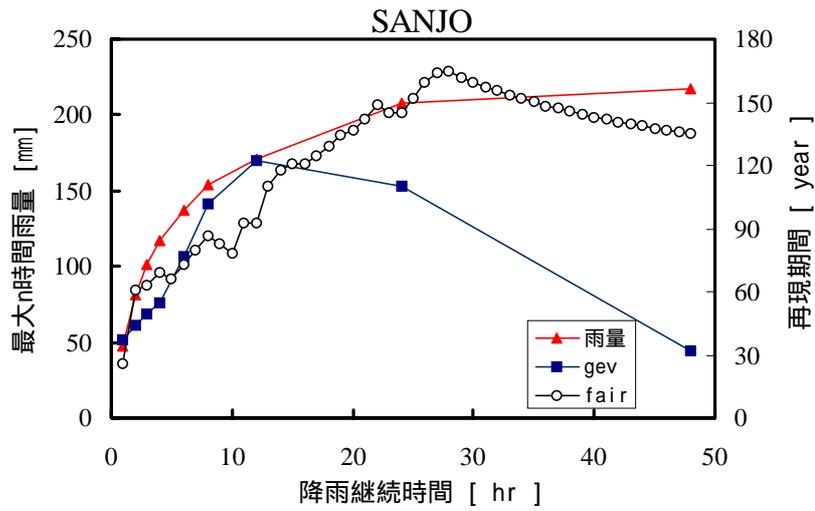


図 2.5 長岡、三条と栃尾の各継続時間の最大雨量の確率年

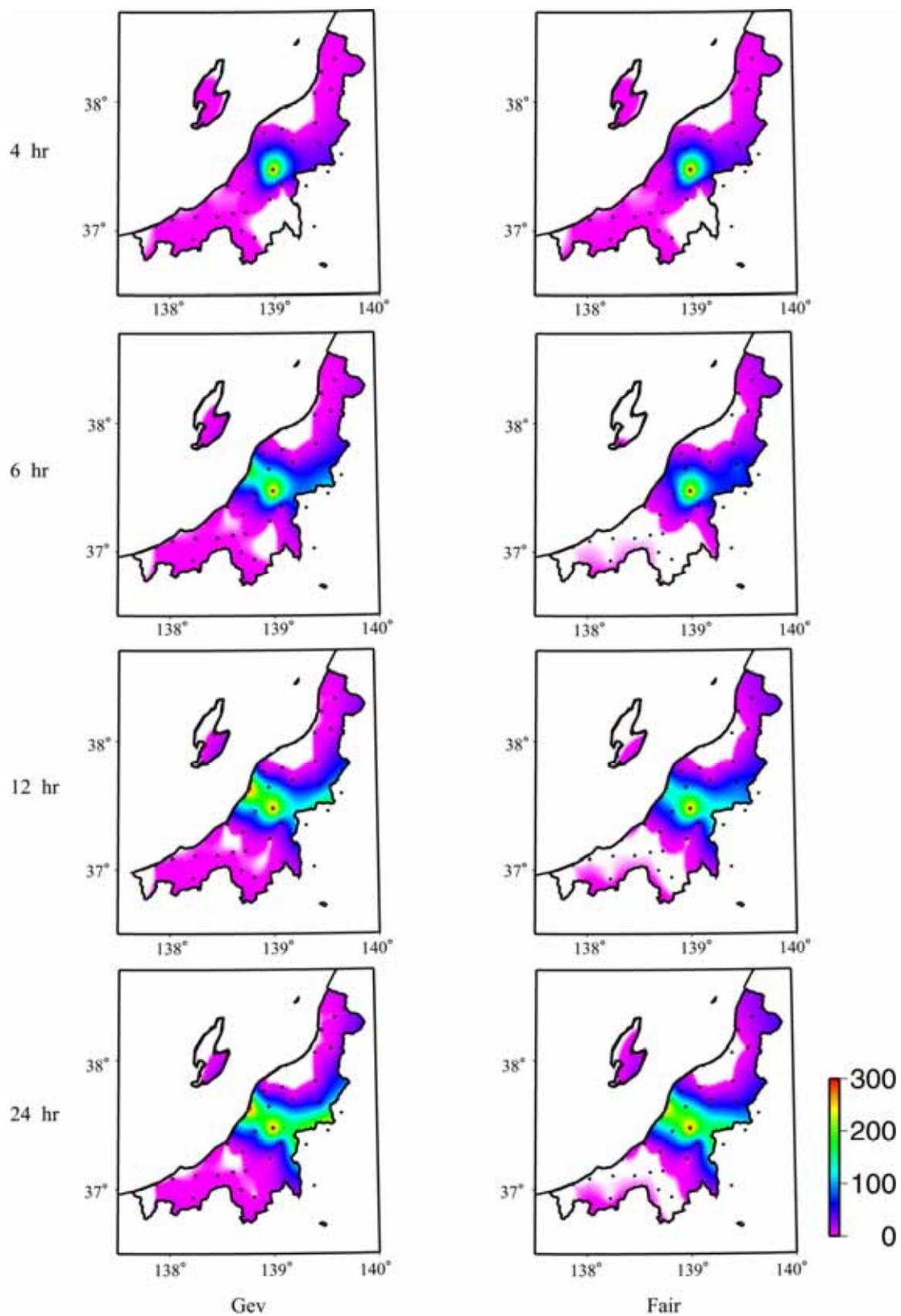


図 2.6 GEV とフェア式による 7・13 豪雨の最大 4 時間、6 時間、12 時間、24 時間雨量の確率年の空間分布

2.2 流出解析による流量の再現と考察

2.2.1 刈谷田川と五十嵐川の流出解析

平成 16 年 7 月 12 日から 13 日にかけて、梅雨前線の影響により、新潟県中部、福島県西部に大きな豪雨が発生し、甚大な被害をもたらした。豪雨による洪水の実態を把握するために、刈谷田川と五十嵐川流域の流出解析を行う。

2.2.2 対象流域

五十嵐川、刈谷田川は一級河川信濃川の下流域に位置し、流域上流にダムを有する河川である。また、両河川ともに下流側は市街地を流下しており、土地が低く、ふだんでも排水の悪い地帯が存在する。そのため洪水になると土地の高さよりも河川水位の方が高くなり、ひとたび堤防が決壊すると大きな災害となる危険性が非常に高い流域である。

五十嵐川は烏帽子岳や粟ヶ岳に隣接する堂の窪山に源を発し、笠堀川、守門川と合流して下田村を流れ、三条市で信濃川と合流する。流域面積は約 310km²、流路延長は 38.7 km である。

刈谷田川は守門岳を源として流れ始め、栃尾市を流れ西谷川、塩谷川、稚児清水川と合流して見附市を流れ、栄町で信濃川と合流する。流域面積は約 240 km²、流路延長が 50.0 km である。

図-2.7 に五十嵐川流域、刈谷田川流域の図を示す。刈谷田川には刈谷田川ダム、五十嵐川には笠堀ダムと大谷ダムがある。

五十嵐川に合流する笠堀川に建設された笠堀ダムは、1964 年度に完成した一定量一定率調節方式の重力式コンクリートダムである。主に洪水調節、河川環境の維持、上水道用水、発電に利用され、ダム流域は奥早出・粟・守門県立自然公園に位置し、ダム周辺は特別天然記念物で

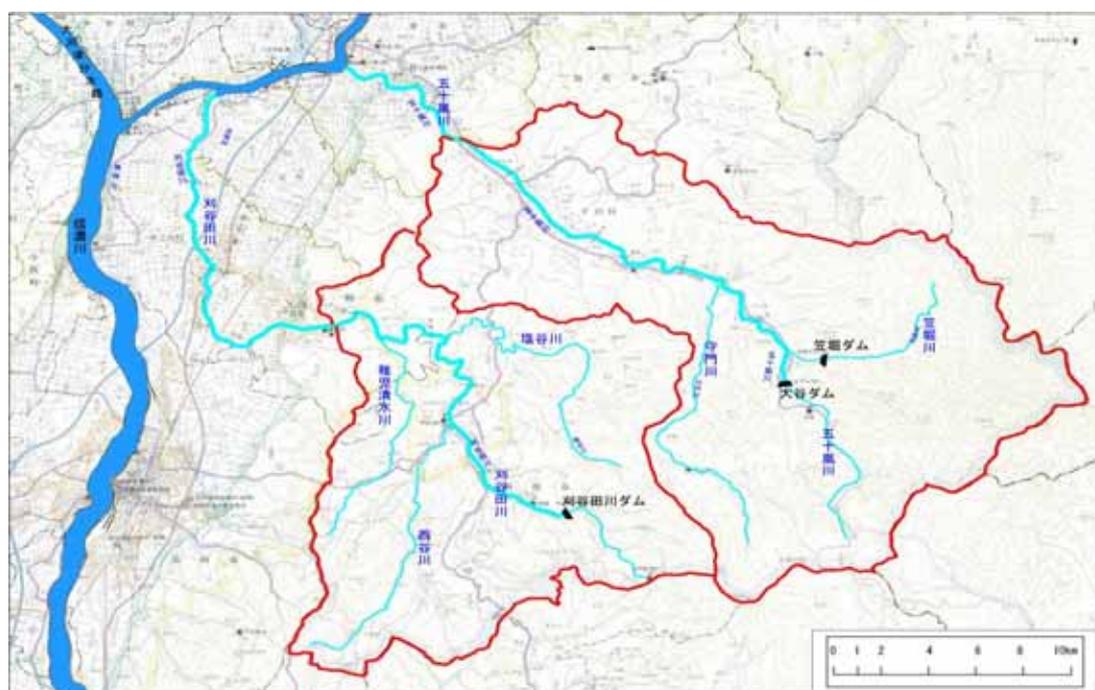


図-2.7 刈谷田川と五十嵐川流域

あるカモシカの保護区となっている。

五十嵐川の上流に建設された大谷ダムは、1993 年度に完成した自然調節方式のロックフィルダムである。主な利用目的は笠堀ダムと同じく洪水調節、河川環境の維持、上水道用水、発電となっている。「ひめさゆり湖」と命名されたダム湖には、ダム資料館や広場、遊歩道、大噴水などが整備され、ダム下流には娯楽施設もあり河川に親しめる環境が揃っている。

刈谷田川の上流に建設された刈谷田川ダムは、1979 年度に完成した一定量調節方式の重力式コンクリートダムである。主な利用目的は洪水調節、上水道用水、工業用水、発電となっている。ダム周辺は奥早出・粟・守門県立自然公園に指定され、ダムは守門岳への登山口となっている。

表 2.3 では、それぞれのダムの諸元を示す。

表 2.3 各ダムの諸元

ダム名 河川名	堤高 堤頂長 (m)	堤体積 (km^3)	集水面堰 湛水面積 (km^2)	総貯水容量 堆砂容量 (km^3)	洪水貯水容量 (km^3)
笠堀ダム 笠堀川	74.5 225.5	230.9	70.0 0.63	15400.0 2100.0	8700.0
大谷ダム 五十嵐川	75.5 360.0	2278.0	56.2 1.01	21100.0 4050.0	13750.0
刈谷田川ダム 刈谷田川	83.5 202.5	214	24.0 0.23	4450.0 300.0	3250.0

2.2.3 水文気象データ

この隣接する二つの流域の内部および周辺には以下に示す水文気象観測所があり、本解析では以下の観測所のデータを入力し、流出解析の入力データ及び検証データとした。

雨量データ

AMeDAS 観測点：長岡、栃尾、守門岳、入広瀬、三条、宮寄上

国土交通省管轄：長岡、見附、栃堀、上条、笠堀、戸倉、黒水

新潟県管轄：刈谷田川ダム、前山、三条、大谷ダム、大谷、笠堀ダム、笠堀

期間：2004 年 7 月 12 日 1:00 ~ 14 日 24:00 72 時間分

図-2.8 にデータの例として栃尾、守門岳と三条の時間雨量と累積雨量を示している。雨は 6 時間程度の短い期間に集中して降ったことがこの図から読み取れる。

水位データ

五十嵐川流域：一新橋、籠場、島湯、荒沢、宮地

刈谷田川流域：今町、大堰、見附、本明、栃尾、西谷川、塩谷川

期間：1998 年の 1 年間と 2004 年 1 月 ~ 9 月までの 1 時間値

図 - 2.9 に破堤地点に近い五十嵐川の一新橋地点と刈谷田川今町地点の水位経過を示す。

流量データ

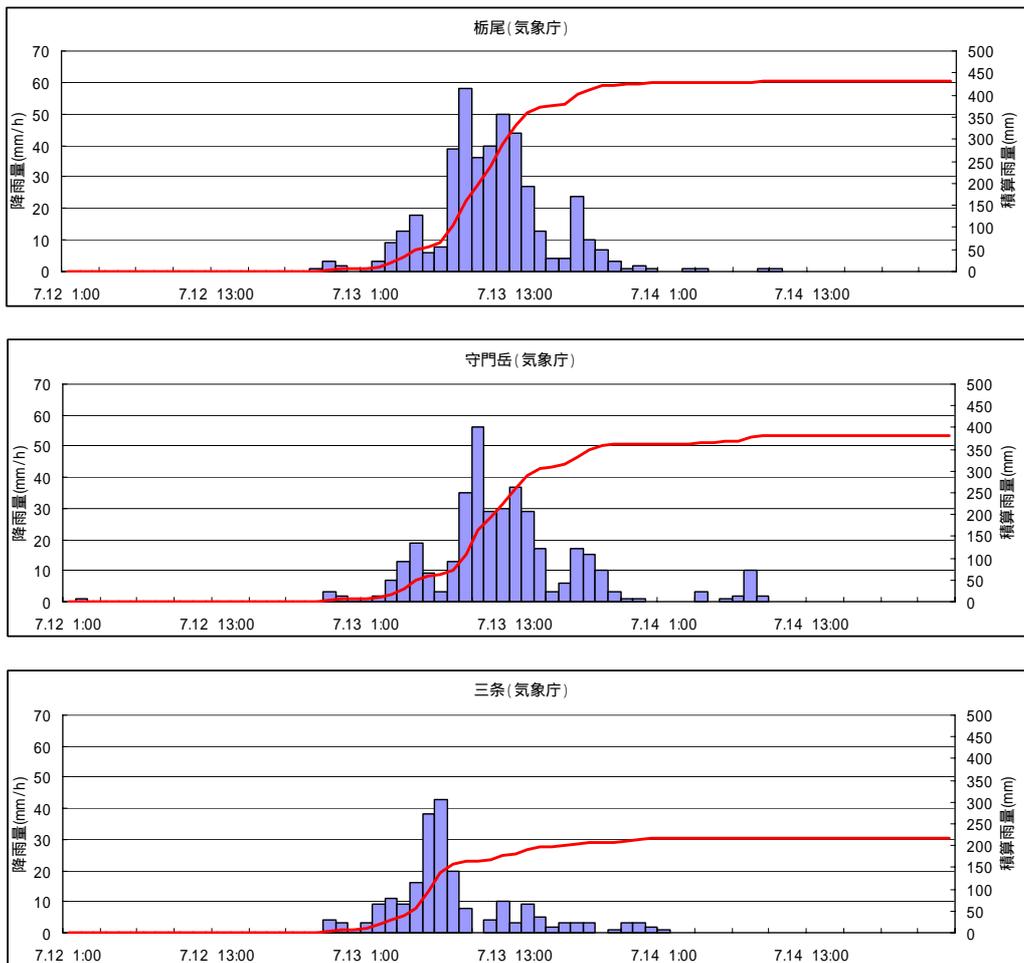


図-2.8 栃尾、守門岳、三条の AMeDAS 観測点での 1 時間雨量と累積雨量

見附地点、荒沢地点：1998 年の 1 年間および、2004 年の 1 月～9 月の 1 時間値
 笠堀、大谷ダム：2004 年 7 月 13 日 0：00～15 日 24：00 49 時間分
 刈谷田川ダム：2004 年 7 月 12 日 9：00～15 日 2：00 66 時間分
 （ダムにおける流量はダム管理日報からの 1 時間毎のダムへの流入流量）

図-2.10 に三つのダムの流入量と放流量を示す。この図からダムが洪水調節の様子が分かる。

補正レーダー雨量

7・13 豪雨が時間的にも空間的にも集中して発生しているために、雨の時空間分布を把握するにはレーダー雨量が有効である。ここでは、第 1 章で説明した補正レーダー雨量をも用いた。補正には、地上降水量観測として気象庁の AMeDAS、国土交通省、新潟県の降水量観測を用いた。補正方法は気象庁が用いているレーダー・アメダス解析雨量算定法と同じ考え方に基づいており、その詳細については第 1 章を参照されたい。レーダー雨量から得られた補正值の例として、図 2.13b に平成 16 年 7 月 13 日 8 時での補正レーダー雨量水平分布を示している。

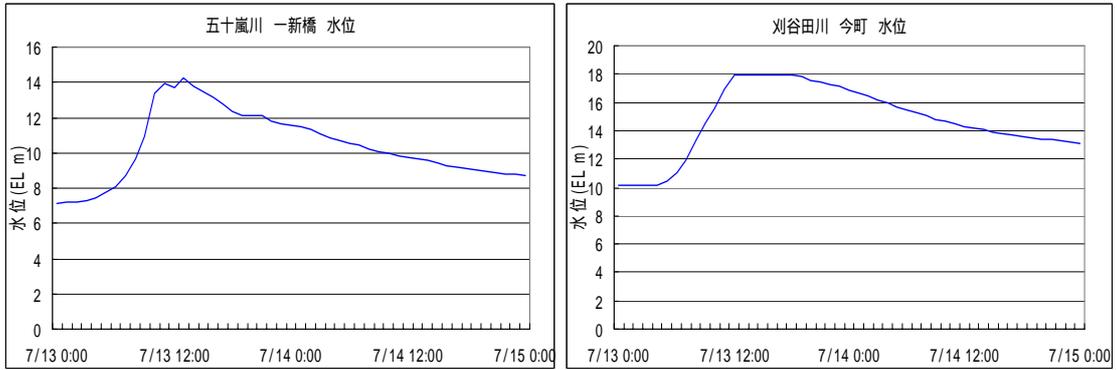


図 - 2.9 五十嵐川一新橋観測点と刈谷田川今町観測点の水位

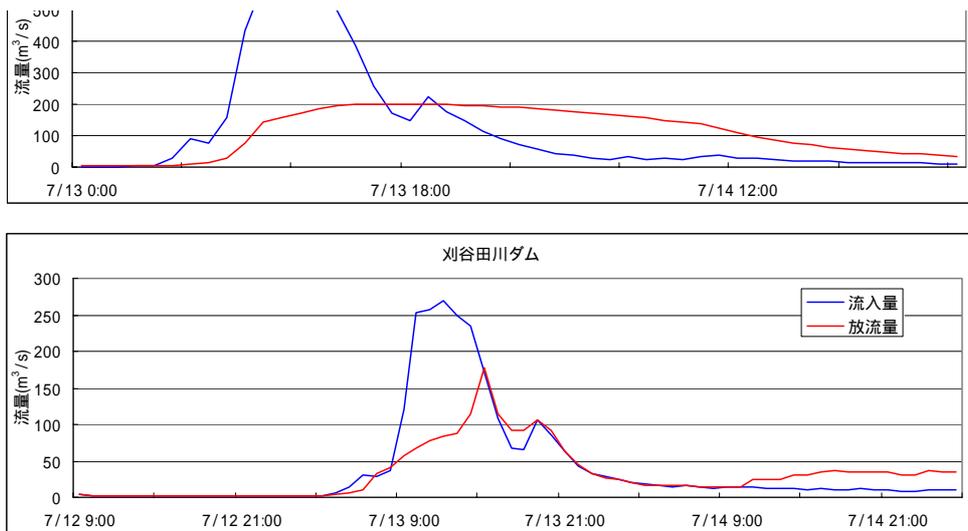


図 - 2.10 2004年7月13日0:00~15日24:00でのダムの流入、放流データ

2.2.4 流出解析

解析では流出解析法として広く使われている貯留関数法を採用した。実際の流出解析を行なうにあたり、財団法人国土技術研究センターの開発した「流出解析シミュレータ」を使用し、流域を小流域に分割して解析を行なった。

流域分割

本解析では、国土数値情報 50mDEM を用いて、まず河道網を算出し、各水位観測点（図中の三角）までの集水面積を抽出し、水位観測点まで、あるいは水位観測点間の小流域を抽出した。五十嵐川流域は 8 つの小流域、刈谷田川流域は 6 つの小流域に分割した。図-2.11 にこれらの小流域とその境界線（赤線）を示す。また、各小流域の面積を表 2.4 に示す。

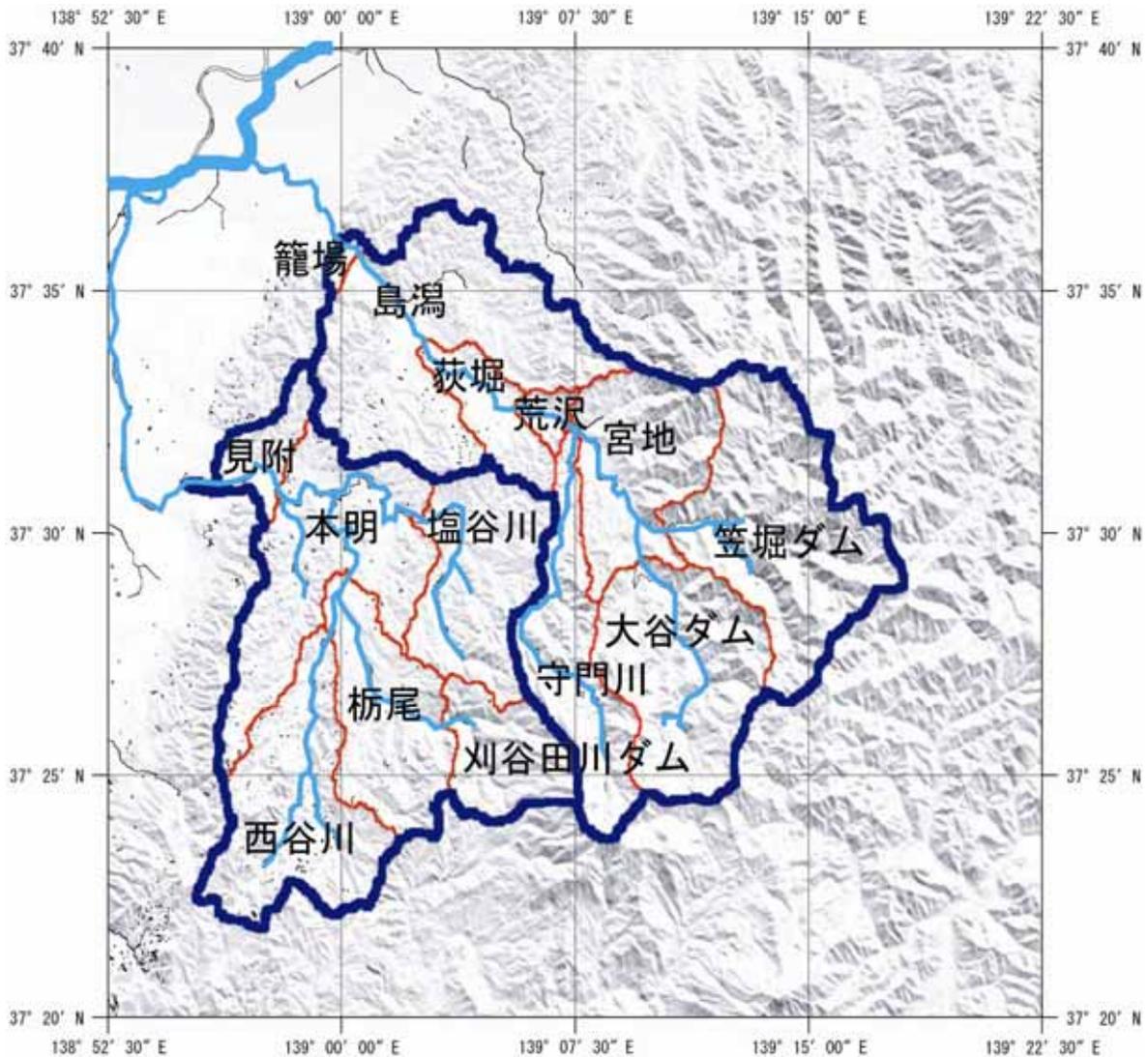


図-2.11 五十嵐川、刈谷田川流域分割図

表-2.4 各小流域別流域面積

五十嵐川流域 (km ²)		刈谷田川流域 (km ²)	
地点名	小流域面積	地点名	小流域面積
籠場	2.1	見附	12.7
島渦	80.7	本明	60.0
荻堀	16.4	塩谷川	42.3
荒沢	4.5	栃尾	39.8
宮地	41.9	西谷川	54.0
守門川	40.0	刈谷田川ダム	24.2
大谷ダム	56.2		
笠堀ダム	70.4		

この流域分割により、五十嵐川流域の流出モデルは図 2.12a、刈谷田川流域の流出モデルは図 2.12b となる。図中の三角形は小流域を表しており、それぞれ貯留関数法によって表現されている。台形はダムを表している。長方形は河道調節を表しており、本解析では河道遅延のみを考慮する。

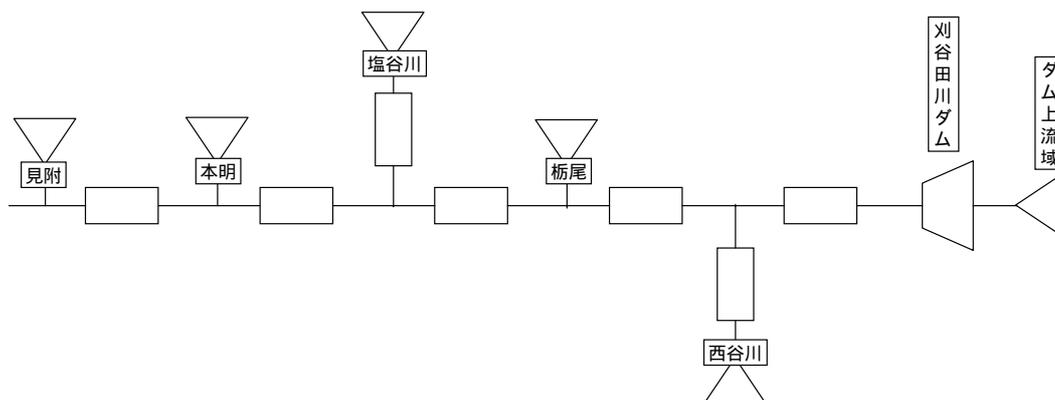


図-2.12a 五十嵐川流域の流出モデル

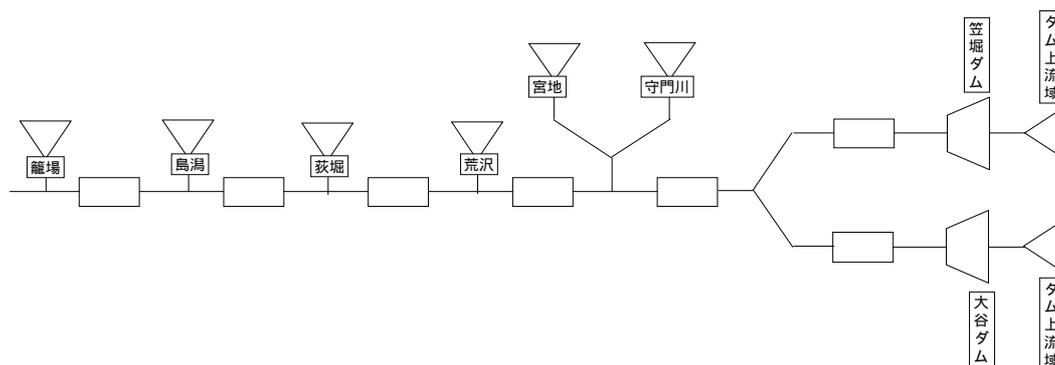


図-2.12b 刈谷田川流域の流出モデル

流域平均雨量の計算

貯留関数法の入力値である各小流域の流域平均雨量を求めるにあたり、観測点での降雨量つまり地点雨量よりも、そのときに降った空間的特性を考慮した流域平均雨量が必要である。本解析では、雨量計雨量からは広く用いられているティーセン法による各 50m メッシュの雨量、雨量の水平分布をより詳細に表現できる補正レーダー雨量からの各 50m メッシュの雨量を、小流域ごとに集計し、各小流域の 1 時間毎の流域平均雨量を算出した。ティーセン法に関しては、すべての観測点での雨量を使用するが、ティーセンポリゴンを切り直した。図-2.7 に平成 16 年 13 日 8 時のティーセン法による雨量と補正レーダー雨量の空間分布を示す。等値線は 10mm/h から 10mm/h 毎に引き、それにあわせて濃淡をつけた。図中の黒丸は雨量観測点を示しており、大きい黒丸は気象庁の AMeDAS 観測点を示す。

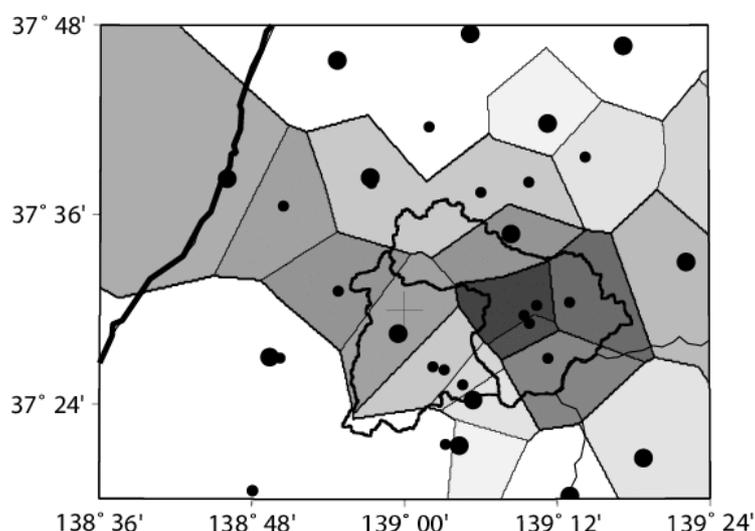


図-2.13a 平成 16 年 7 月 13 日 8 時でのティーセン法による 1 時間雨量の水平分布

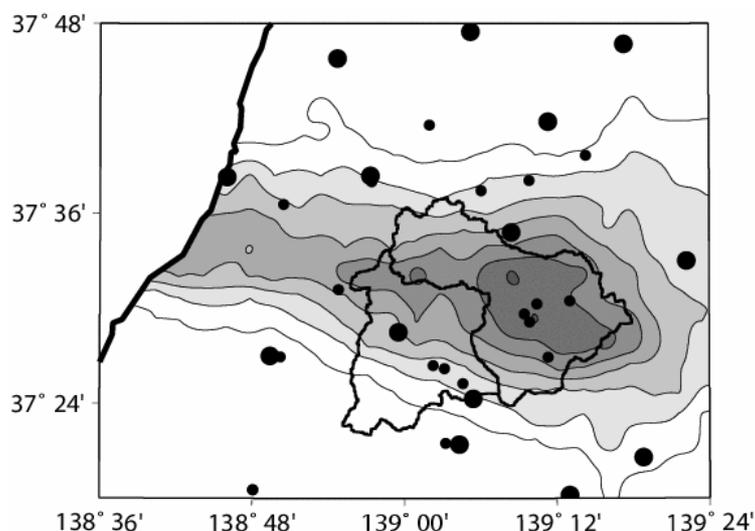


図-2.13b 平成 16 年 7 月 13 日 8 時での補正レーダー雨量水平分布

貯留関数パラメーター

各小流域の貯留関数パラメーターは各小流域出口地点において、その上流域平均の雨量と流出量データを基に同定すべきであるが、流量データがないために、本解析では、流量データの入手できる三つのダム流域を対象に、補正レーダー雨量を入力とし、流出解析シミュレータの貯留関数パラメーター同定機能を用いて同定した。表-2.5 にこれらの流域のパラメーターを示す。図-2.14 には同定したパラメーターを使用して得られたハイドログラフと実測流量を示している。

流量観測を行っていない地点の存在や、データの入手がなかなか困難であったことにより流量データが無い小流域について、本解析では、五十嵐川流域では大谷ダム上流域のパラメーターを笠堀ダム流域以外の小流域に適用し、刈谷田川流域では刈谷田川ダム上流域のパラメーターをすべての小流域に適用した。

表-2.5 各流域のパラメーター（補正レーダー雨量）

流域	流域の貯留関数			一時流出率	基底流量
	K	P	TL	F1	Q_b (m ³ /s)
笠堀ダム流域	17.848	0.497	0.100	0.915	5.0
大谷ダム流域	16.648	0.422	0.800	0.788	10.0
刈谷田川流域	27.821	0.324	0.300	0.922	2.0

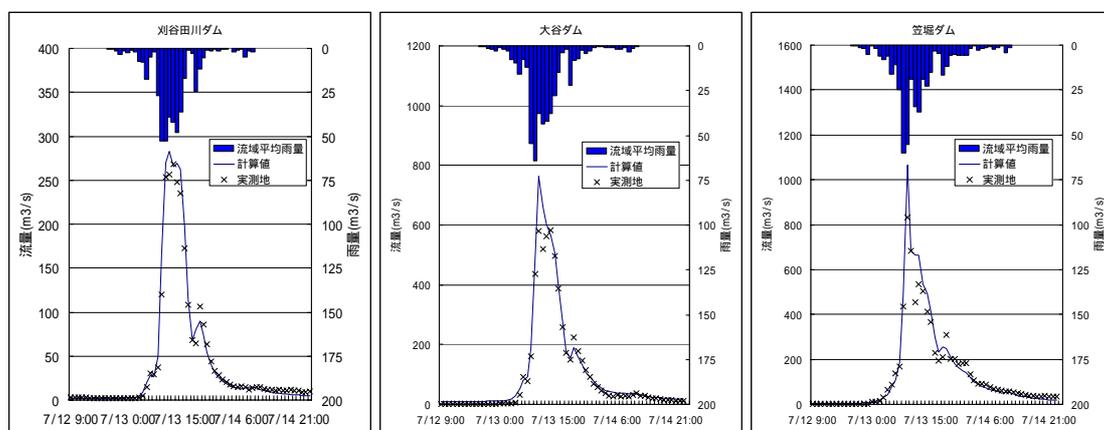


図-2.14 ダム流域の計算と実測ハイドログラフ

また、河道については、河道の平均勾配と流路延長を求め、次式を用いて同定した。なお、平均勾配は縦断測量図から河床高を基に求め、流路延長については図-4.5 から実際に測って求めた。

$$T_L = 7.36 \times 10^{-4} \times L / \sqrt{I}$$

ここに、L：流路延長（km） I：河床勾配

2.2.5 解析方法と結果 ダムの洪水調節効果

刈谷田川流域の計算結果

ダムの洪水調節効果の捉え方として、各ダム地点から下流への流量を、ダムが存在する場合はダムからの実績放流量とし、ダムが存在しない場合はダムへの実績流入量として扱い、両者の結果を比較することによってダムの有無による影響評価を行い、ダムの洪水調節効果とする。

図-2.15 に刈谷田川流域についてダムが存在する場合と存在しない場合の解析結果を示す。実績流量との比較は、データが得られる見附地点のみで行った。図を見ると、パラメーターが最適化されていないにもかかわらず、実測流量をおおむね再現している。洪水の立ち上がりには、計算と実測ハイドログラフがおおむね同じ挙動を示しているが、減水部にはある程度の差異が見られる。その一部が上流の破堤と氾濫によるものとも考えられる。ピーク流量は栃尾地点では $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 弱、本明地点では $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度、見附地点ではおよそ $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ と推定されている。刈谷田川ダムは、ダムによる洪水調節でピーク流量を最大で $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 低減させた。河川計画上で設計されたピーク流量 $185 \text{ m}^3/\text{s}$ をカットする役割を果たしたといえる。また、その効果は下流域まで及び、下流域でもダムによるピーク流量の低減が確認できる。

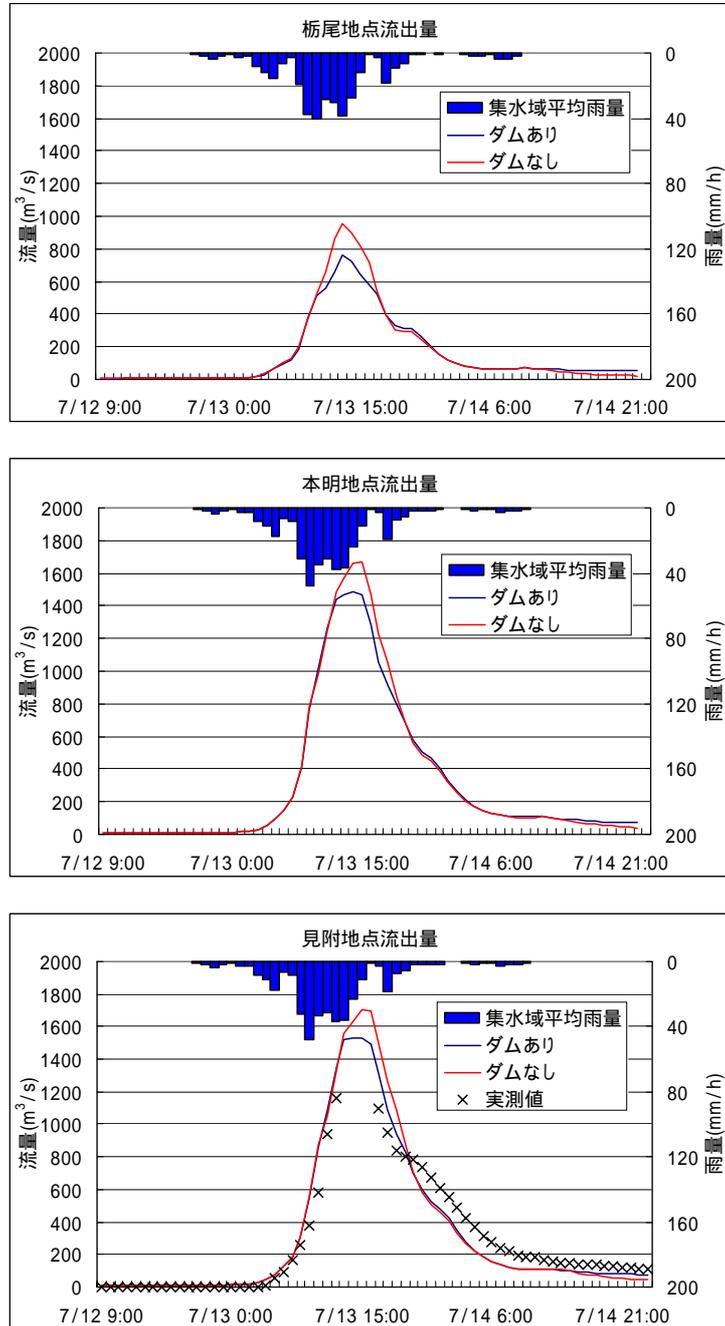


図-2.15 刈谷田川流域の解析結果

五十嵐川流域の結果

図-4.16 に五十嵐川の解析結果を示す。実測流量との比較は流量データが得られる荒沢地点で行った。この図から、パラメーターが最適化されていないにもかかわらず、ハイドログラフの立ち上がりと減水部はおおむね再現されている。ただピーク付近では荒沢の水位データが欠測となっているために、ピーク流量付近では検証できない。ピーク流量は荒沢地点では1400 m³/s程度、島潟地点では1700 m³/s、破堤地点に近い籠場地点では、1700m³/sと推定されている。

また、前述したとおりダムの有無以外条件はすべて同じことからダムなしとダムありのハイドログラフの差がダム調節効果と考えることができる。

五十嵐川では、ダムによる洪水調節でピーク流量を最大で1200m³/s低減させた。河川計画上で設計されたピーク流量 990m³/sをカットする役割を果たしたといえる。また、その効果は下流域まで及び、下流域でもダムによるピーク流量の低減が確認できる。この図から、下流では、笠堀ダムと大谷ダムの洪水調節効果により、ハイドログラフが二山となっていることが分かる。ダムが2つ存在すること、ダムによって制御されている流域面積の割合が大きいことから、五十嵐川のダムによる洪水調節効果は刈谷田川流域のそれより大きいことが読み取れる。

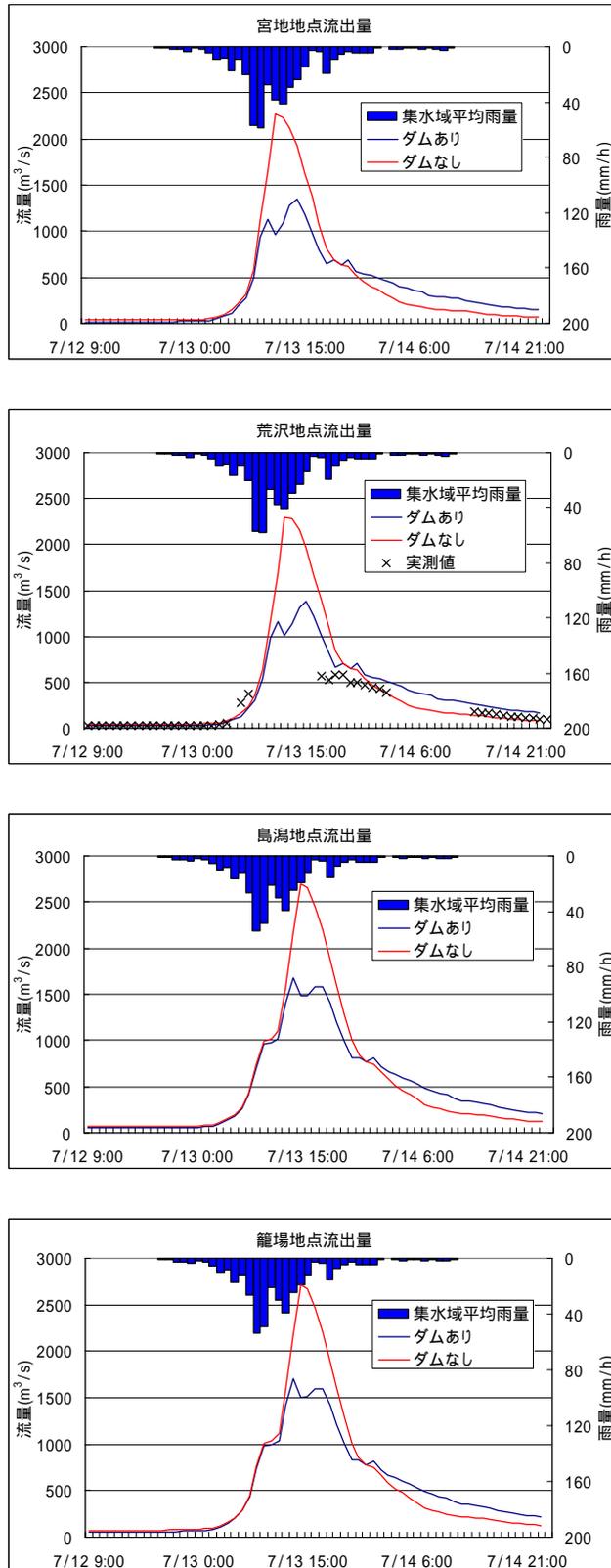


図-2.16 五十嵐川流域の解析結果

2.2.6 考察

本解析では、7・13豪雨による洪水の規模を把握するために、財団法人国土技術研究センターの開発した「流出解析シミュレータ」を用いて流出解析を行い、流域内主な水位観測地点での流量を推定した。刈谷田川流域でのピーク流量は栃尾地点では800 m³/s弱、本明地点では1500 m³/s程度、見附地点ではおよそ1500m³/sと推定されている。五十嵐川流域内でのピーク流量は荒沢地点では1400 m³/s程度、島潟地点では1700 m³/s、破堤地点に近い箆場地点では、1700m³/sと推定されている。

また、ダム流入量とダム放流量を用いた解析から、ダムが存在する場合と、存在しない場合の2通りの流出解析を行い、両者の結果を比較することにより、ダムの洪水調節効果を検証した。両方の流域で洪水ピーク時の流量の低減が確認された。刈谷田川流域では最大で200 m³/s、五十嵐川流域では最大で1200 m³/sのピーク流量のカットが行われ、河川計画上で設計されたピーク流量をカットする役割を果たしたといえる。