

東海豪雨における豪雨と中小河川水位の関係

中根和郎*

Relation of the Water Level with Heavy Rainfall in the Small River Basin on the Tokai Torrential Rainfall

Kazurou NAKANE

*Disaster Prevention Research Group,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan*

Abstract

Typhoon No. 14 moved northeastwards from the South China Sea to the south of Japan from 9 to 12 September 2000. The Akisame Front (Autumn rain front) had covered the Japanese Archipelago, and was moving alternatively northwards and southwards. Under these conditions, a high-temperature, humid air mass, propelled forward by Typhoon No. 14, gradually covered the Tokai district in central Japan. As a result, extremely heavy rain showers fell on the Tokai district from the evening of September 11 to the morning of the 12th. The Nagoya Local Meteorological Observatory observed a maximum rainfall amount of 534.5 mm in 24 hours, with a maximum hourly rainfall amount of 97 mm. These rainfall figures broke all records since January 1891, when statistical observations were started. The heavy rainfall generated enormous flash floods, causing severe damage over the entire Tokai district. In particular, Nagoya, one of Japan's major cities, was severely damaged, with 4 fatalities, 9,818 houses inundated above floor level, and 4,013 people needing rescue by boats. Altogether about 87,000 people were affected.

In this paper, it was investigated the water level estimation in small rivers using dense rainfall data which were observed by both the prefecture office and the city office. A water level estimation was carried out in 14 small river basins including the city area to the local area by two simple methods: the run-off coefficient multiplied by the moving average rainfall (hereinafter termed the 'Simple Rational Method') and the Tank model. In this analysis, 10-minute rainfall data of dense 31 stations were used for simulating the rapidly change of flood run-off due to the heavy rainfall in small river basins. As the results of the analysis, it was found following newly knowledge.

- (1) The Simple Rational Method gave an accurate estimate when applied to urban areas.
- (2) The Tank model gave a fairly good estimate in spite of applying small river basins including the city area to the local area.
- (3) Water levels in the lower part of the small rivers, which were affected by tidal movements, were also fairly accurately estimated when the Tank model was combined with the Tide Tables published by the Japan Meteorological Agency.
- (4) Some relationships, described below, were observed during the heavy rainfall in the Tokai District.
 - (a) The maximum rainfall amount of the each period was represented by the function of maximum hourly rainfall amount and maximum 24 hours rainfall amount.
 - (b) The time of flood concentration was represented by the function of $0.036 \times (L / I)^{0.7}$, where L is the length of the main stream in a basin and I is the average gradient along the main stream.
 - (c) The run-off coefficient increased according to the increase of urbanized area in a basin.
Even if the ratio of urbanized area to a basin was small, the run-off coefficient increased to 0.7~0.8 according as heavy rainfall continued a long time.

- (d) According to the increase of urbanized area in a basin, the run-off ratios from the Second Tank and the Third Tank decreased. The height of the run-off pipe on the wall of the Top Tank decreased as the increase of urbanized area.

Key words : Urban flood disasters, Flash floods, Nagoya City, Aichi Prefecture, Small river, Run-off coefficient, Concentration time of the flood, Maximum rainfall amount and the period, Tank model

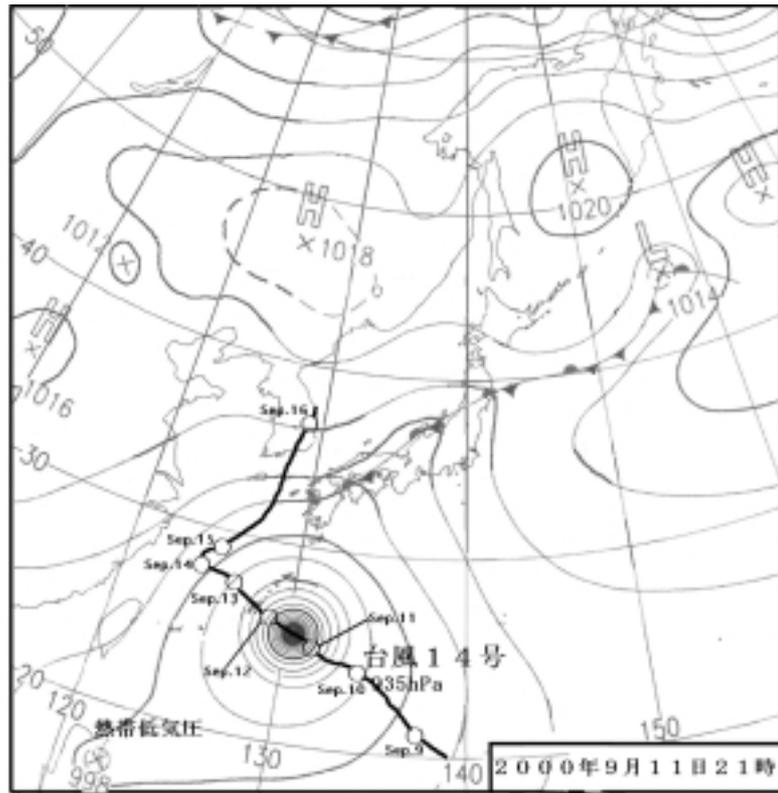
1. はじめに

2000 年 9 月 10 日から 12 日にかけて東海地方に集中豪雨がもたらされ、愛知県では死者 7 名、全半壊家屋 142 棟、床上浸水 23,869 棟の大きな被害が発生した。特に、名古屋市では 11 日 18 時から 12 日 5 時にかけて記録的な大雨が降り、新川、天白川等の中小河川の氾濫、土砂崩れ等が発生し、死者 4 名、床上浸水 9,818 棟に達し、罹災者数は約 8 万 7 千人に上った。この災害は住宅、道路網、地下鉄等の都市機能が密集する低平地で起こった大規模な都市型水害であり、同種の災害として長崎豪雨災害（1982 年 7 月）、鹿児島災害（1993 年 8 月）、ソウル災害（2001 年 7 月）、台北災害（2001 年 9 月）等々でも同様に治水計画規模を大きく越える都市型水害が起こっている。この種の災害は東京や大阪等の主要都市でも起こることが予想され、想定される被害の大きさが懸念されている。このように東海豪雨災害は都市型水害という重大な側面を持っていることもあって、既にこれに関する多くのレポートが発表されている（参考文献参照）。また、国土交通省では「都市型水害緊急検討委員会」を設置し、水災対策の基礎調査・影響予測、水災危機管理・被害軽減、水災時の情報提供等々について、国、自治体、住民、企業等あらゆる機関が連携、協力して、これらを推進するように緊急提言を行っている。この災害を契機に都市域での中小河川の洪水予報等きめ細かな防災情報がより一層強く求められるようになった。洪水時の防災情報として、テレビ、ラジオ、インターネット等を通じて、気象情報、降雨量、河川水位、レーダ情報等が広く一般に伝えられるようになってきている。また、気象台により気象予報・警報および気象情報が出され、国が管理し、かつ 2 県以上にまたがり重大な被害の発生が予想される河川については国の河川管理者と地方気象台が共同して洪水予報を発表している。さらに、重大な被害の発生が予想される主要な河川について、的確な水防活動を促すために、国や県の河川管理者は水防警報を発令している。このように災害時には多くの防災情報が出されているが、名古屋市の場合では夜間に起こった災害ということもあって、家屋や車両に閉じこめられた人 4,013 名が船艇等により救助される事態（名古屋市、2001）が発生した。このため、早めに的確な避難勧告を出すことが求められ、自治体の多くは避難勧告の数値基準を作ることを検討している。地域住民にとって中小河

川はより身近な存在であり、その水位は地域の浸水危険度を示す的確な指標となることから、中小河川の洪水予報は周辺住民の早期の防災対策を促すことができるインパクトの大きい数値情報と考えられる。これまで、中小河川では洪水は短時間に急激な変化をすることから、予報には 1 - 3 時間先の降雨予測が必要であること、また、洪水予報の対象となる 2 級河川の数は非常に多く、県等の河川管理者の負担が大き過ぎること等から中小河川の予報は困難視されて来た。しかし、高密度な雨量および河川水位の観測網が整備され、時々刻々変化する雨量、河川水位等の状況がリアルタイムで監視されており、短時間の降雨予測も行われるようになってきていることから、中小河川の洪水予報の可能性が高まっていると考えられる。そこで、本災害調査では各地にある詳細な雨量および河川水位情報を用いることにより、どの程度の河川水位予測の可能性があるかを検討した。解析したデータは谷底平野、低平地および海岸低地に設置された 14 か所の水位観測点のものであり、各水位観測地点での河川水位と降雨量との関係を調べた。その結果、いずれの地点でも良好な河川水位の予測可能性が示された。以下に、2. 降雨概況および 3. 洪水災害概況を述べ、4. 雨量と水位の関係およびタンクモデルによる流出解析結果について述べる。

2. 降雨概況

2000 年 9 月 11 日に東北地方から山陰にかけて停滞していた秋雨前線が 12 日にかけて、大陸からの高気圧の接近に伴い図 1 の地上天気図に示すように西日本付近で南下するとともに、大型で強い勢力を持った台風 14 号の影響を受けて、その活動が著しく活発となり、東海地方に記録的な集中豪雨がもたらされた。図 2 は 9 月 11 日 18 時の豪雨時における気象衛星 GMS-5 の水蒸気バンドの画像を示したものであり、白く輝いているところが水蒸気量の非常に多い地域を示している。この図からも分かるように東海地方は一段と白く輝く部分に覆われており、水蒸気量が集中していた地域であったことが分かる。名古屋地方気象台（2000）によれば、“東海地方には 10 日夜から台風の東側に広がる雨雲がかかりはじめ、11 日には台風からの暖かく湿った空気が多量に流れ込み前線の活動は著しく活発となった”という。このため、尾張および三河地方では 11 日早朝から時間雨量 20 ~ 30mm の



は日本時間で18時の位置

図1 地上天気図，2000年9月11日21時（提供：気象庁，2000）

Fig. 1 Surface weather chart at 21:00 on Sep. 11, 2000 (courtesy of Japan Meteorological Agency, 2000).

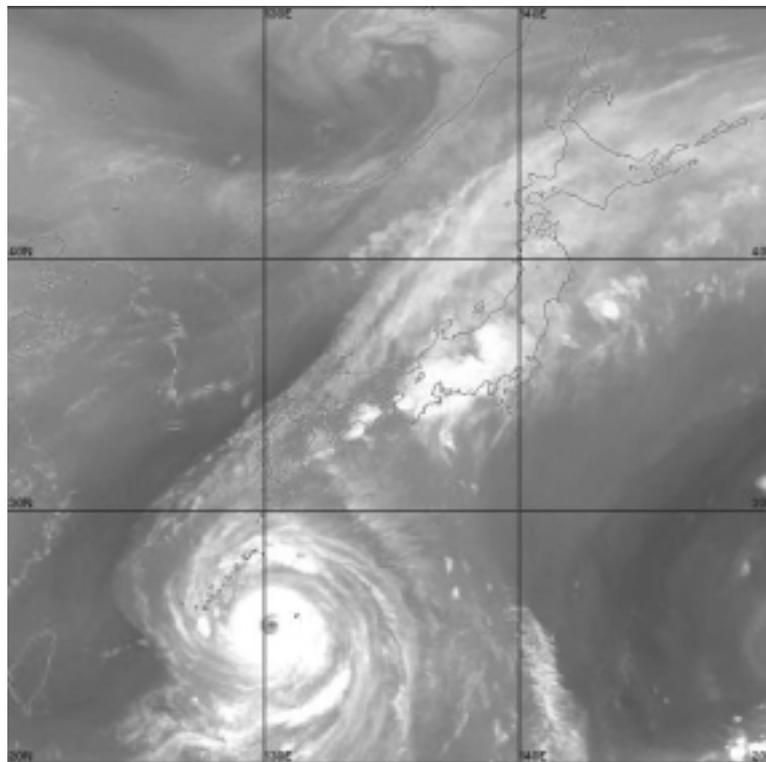


図2 気象衛星GMS-5の2000年9月11日20時39分の水蒸気チャンネル画像（提供：気象庁，2000）

Fig. 2 Satellite image of GMS-5 on water vapor channel at 20:39 on Sep. 11, 2000 (courtesy of Japan Meteorological Agency, 2000).

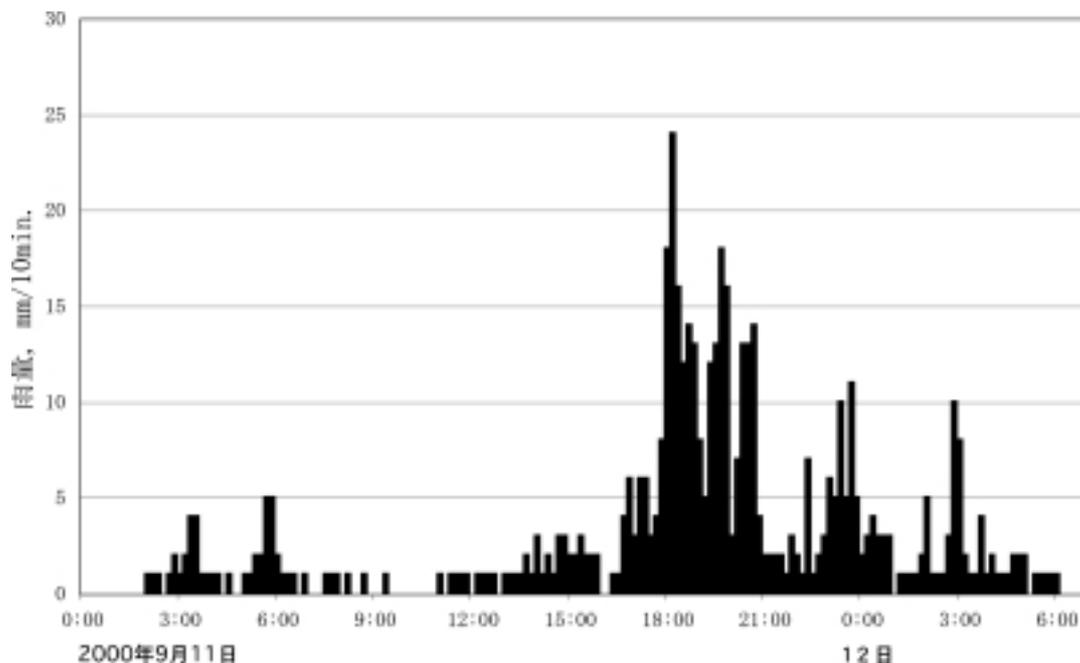


図3 東海豪雨域の2000年9月11日2時から12日20時における東海市の10分雨量
 Fig. 3 Hourly rainfall spell from 2:00, Sep.11 to 8:00, Sep.12, 2000 at the Tokai City in the Tokai Heavy Rainfall area.

激しい雨が降り、昼ごろ一旦雨足は弱まるが、夕方から翌日の早朝にかけてさらに激しい豪雨が続いた。この間の降雨状況を時間雨量が最も多かった東海市の10分雨量を事例として図3に示す。名古屋地方気象台では最大時間雨量97mm、最大日雨量428mmという1891年1月からの観測統計開始以来最大の豪雨を記録した。知多半島の付け根に位置する東海市でも最大時間雨量114mm、最大日雨量492mmの記録的な豪雨を観測した。図4および図5に東海地域の総雨量分布、最大時間雨量分布をそれぞれ示す。この図4から分かるように、総雨量500mm以上の大雨区域は東西方向約15km、南北方向約45kmの

狭い範囲に集中していた。図6には東海地域の過去20年間(1979～1990)の年降水量の分布を示した。この図からも分かるように大部分の地域は年間降水量1,600mm前後であり、今回の豪雨では狭い地域に年間の約3分の1に相当する大雨が一度に降ったことになる。また、図5の最大時間雨量分布から分かるように名古屋市内から大府にかけての広い範囲で最大時間雨量70～90mmの豪雨が降っていた。これらは名古屋市の雨水排水計画量50mm/hを大きく越えるものであり、新川、天白川等の中小河川で激しい洪水が発生し、多くの地点で越水・破堤による大きな浸水被害が発生した。

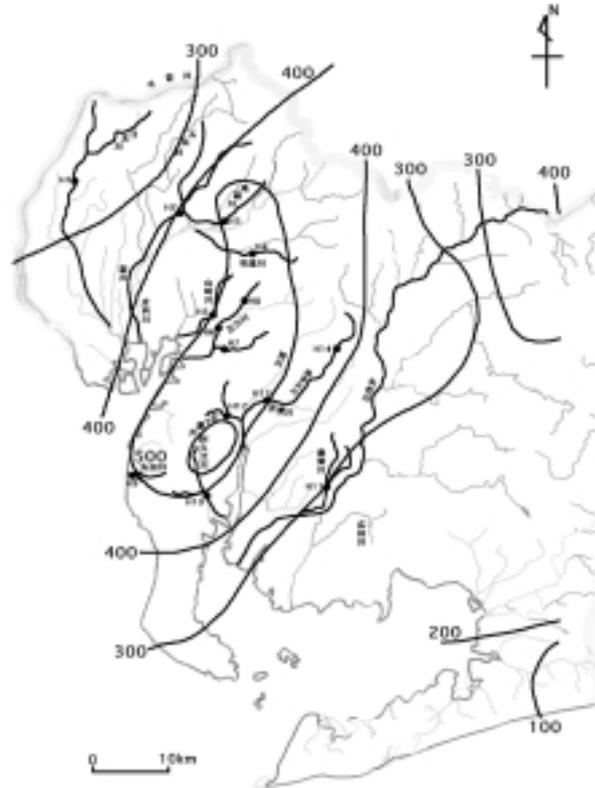


図4 東海豪雨域の2000年9月11日から12日にかけての総雨量分布(編集:愛知県,2000)

Fig. 4 Distribution of the total rainfall amount from Sep.11 to Sep.12, 2000 over the Tokai Heavy Rainfall area.

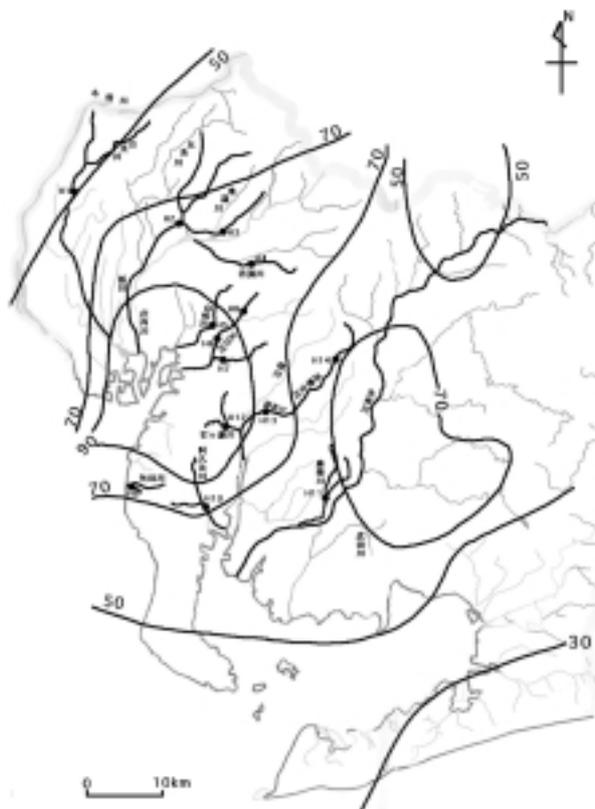


図5 東海地域の2000年9月11日から12日にかけての最大時間雨量分布(編集:愛知県,2000)

Fig. 5 Distribution of maximum hourly rainfall amounts from Sep.11 to Sep.12, 2000 over the Tokai Heavy Rainfall area.

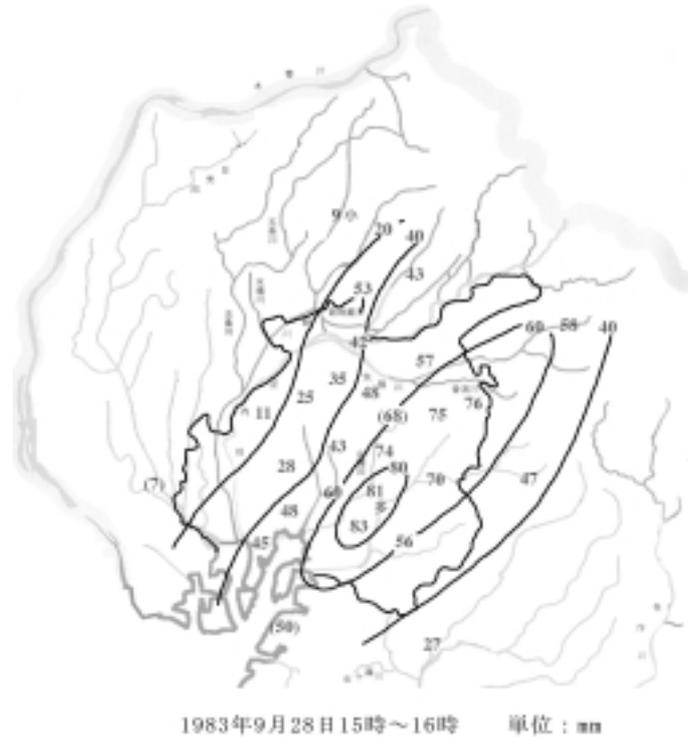


図7 1983年9月豪雨における名古屋地域の降雨ピーク時の時間雨量分布
 Fig.7 Distribution of hourly rainfall amounts at the rainfall peak during the heavy rainfall on Sep. 1983 over the Nagoya City area.

上、名古屋市での洪水災害を2例挙げたが、住宅、地下空間、交通網、情報網等が密集する都市ではこの他にも様々な種類の災害が起こる可能性があり、東京および福岡での地下室での氾濫水による溺死事故はそれを示唆している。今回の洪水でも地下鉄鶴舞線、桜通線、名城線の4か所の駅で氾濫水が進入し、地下鉄が不通となった。また、見回り中の消防団員が側溝で流され溺死した事故、洪水氾濫による火災の発生等の被害が発生した。これら都市型水害の対策について、災害時の大量の情報の処理・伝達、対策要員の参集、早めの避難勧告等多くのことが指摘されており、名古屋市消防局の細萱さんの対談(近代消防, 2000), (松浦・佐合, 2001)の論文等多くの報告書に取りまとめられている。

今回の豪雨災害では図8の浸水実績図に示すように愛知県の各地で浸水被害が発生した。特に、名古屋市、尾張、知多、西三河および海部の地域で大きな被害が発生している。名古屋市北部の新川流域では名古屋市西区あし原地区の新川左岸が約100mにわたり破堤し、新川と庄内川に挟まれた後背低地にある西区や西枇杷島町は激しい浸水被害を受けた(写真1)。また、新地藏川、水場川等の支川も各地で越水・氾濫し、浸水区域は新川の右岸やその上流地域にも広がった。名古屋市の中心部でも各地で浸水被害が発生した。特に、豪雨の集中した、天白川流域では排水路や小河川が越水・氾濫し、河川沿い低地の多くが浸水した。河川に挟まれた後背低地にある中坪および野並地区では郷下川から溢れた氾濫水により2mを越える激しい浸水被害が発生した。天白川流域南の

境川流域でも豪雨がもたらされ、大府市、東浦町等で大きな浸水被害が発生した。この災害による愛知県下の被害は死者7人、全半壊家屋142棟、床上浸水23,896棟、床下浸水39,544棟(愛知県, 平成12年10月10日現在)であり、その内、名古屋市の被害は死者4人、全半壊家屋102棟、床上浸水9,818棟、床下浸水21,852棟(愛知県, 平成13年3月30日現在)に上った。



写真1 名古屋市西区あし原地区の新川破堤点付近の洪水氾濫状況, 2000年9月12日撮影(提供: 愛知県, 2000)

Photo 1 Flood caused by breaching the right side bank of the Shinkawa River at the Ashihara district in Nishi Ward of the Nagoya City taken on 12th Sep., 2000(courtesy of the Aichi Prefecture Office, 2000).

4. 東海地域各地の豪雨と河川水位の関係

近年，都市域では空間的・時間的に密な雨量観測網が整備され，気象庁のアメダス観測網に加えて，より詳細な降雨分布が把握できるようになってきた．これら詳細な降雨データと地域の災害発生との関係がより具体的に解明されるならば，現在出されている大雨注意報・警報等の気象情報は地域住民に自衛の対策を促すよりインパクトのある情報として認識されると思われる．これは各機関の防災担当者が様々な防災態勢を敷くための基準情報として活用していた気象情報をさらに有効活用しようという試みでもある．こうした指摘は災害が起こる度になされ，それに答えるものとして，昭和57年7月の長崎豪雨災害後，記録的最短時間大雨情報が出されるようになり，また今回初めて，土壌雨量指数を活用した警報および気象情報が発表された（名古屋気象台，2000）．豪雨による浸水被害は繰り返し発生しているがその中で多くの場合，中小河川や排水路が溢れるような状況になると床上浸水等の被害が一層深刻なものとなる．それ故，降雨量から中小河川や排水路の越水危険度を予測し，それらを一般住民に気象情報または防災情報として伝達できるようになれば，より多くの人々の早めの自衛対策が期待できるようになると思われる．そこで，ここでは豪雨時の降雨と中小河川水位との関係を調べた．

4.1 解析手法

地表に降った雨水は下水道や雨水排水路に集まり，河川の水位観測地点まで一定の時間を要して流れ出て来る．この雨水の流出量とそれが流れ出て来るまでの時間は流域の地形，土地利用状況，排水施設の整備状況，洪水流量の規模によって異なる．地域の市街化が進めば建物が密集し，アスファルト舗装道路網，雨水排水路網，ポンプ場等が整備される．これらは雨水の地中への浸透を減少させ，地表に溜まる雨水を短時間に河川や海へ排水する機能を有している．その結果，河川の洪水流量が増大し，雨水の河川への短時間の集中が起こるため，急峻なピークを持つ大きな洪水が現れるようになったことは“都市化が洪水流出に及ぼす影響”として，良く知られていることである．河川流域の最上流遠点に降った雨水が河川の水位観測地点まで流れ出てくるのに要する時間は洪水到達時間と定義され旧建設省土木研究所の経験式（1975），角屋・福島の経験式（1976）等多くの推定式が提案されている．これらはいずれも河川流量が大きい状態では洪水到達時間はそれぞれの河川流域毎にほぼ一定の値となっている．今回の東海豪雨では後述するように14河川について降雨量と河川水位の関係を調べた結果，図9に示すような洪水到達時間と地形要素の関係が得られた．流域の最大流路辺長をL，最大流路辺長における

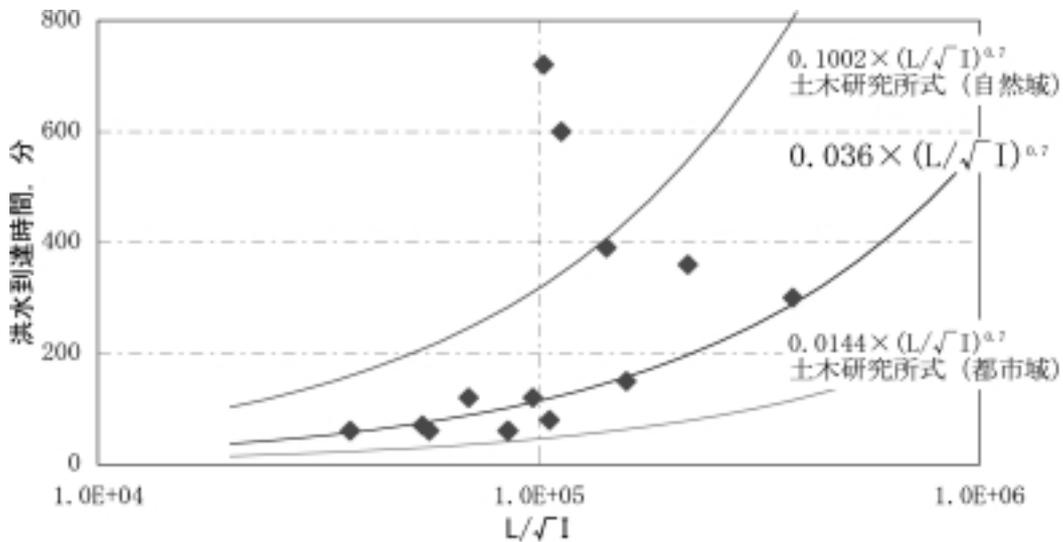


図9 東海豪雨における14河川流域の洪水到達時間と地形要素(L / I)の関係，ここに，Lは流域の最大流路辺長，Iは最大流路辺長における平均勾配

Fig. 9 Relation between the time of flood concentration in 14 small rivers and the topographical features (L / I) of their basins during the Tokai Heavy Rainfall, where L is the length of main stream and I is the average gradient along the main stream.

平均勾配を I とすると、洪水到達時間は L/I と密接な関係があり、東海豪雨の解析では都市域から郊外の河川を含んでいるにも拘わらず、4 河川を除いて洪水到達時間は $(L/I)^{0.7}$ に比例することが分かった。これは土木研究所 (1975) の経験式に沿うものであるが、分単位の比例定数は東海豪雨では 0.036 であり、土木研究所経験式における都市域の比例定数 0.0144 および自然流域の比例定数 0.1002 とは異なったものとなった。これについては流域の下水道、ポンプ排水等の排水設備の整備状況の違いによる影響が大きいと思われるが詳しいことは分からない。例外的な 4 つの河川はいずれも洪水到達時間が長くなっており、自然遊水池、内水氾濫、本川水位の上昇に伴う支川または排水路への背水の影響、他の大きな河川からの洪水の流入等々洪水波形を平滑化する作用が働いたものと考えられるが詳しいことは分からない。

洪水到達時間内の平均降雨強度に対する河川流量の比を到達時間流率と定義する (木下, 1982) と、それは累加雨量の増加に伴って大きくなる。ここに、洪水流量は (1) および (2) 式で表され、洪水ピーク時における到達時間流出率は合理式における流出係数と同じものとなる。

$$Q(t) = f_T(t) \times R_T(t) \times A \times (1000/600) \quad (1)$$

$$R_T(t) = \frac{1}{T_c} \int_{t-T_c}^t r(t) dt \quad (2)$$

ここに、 $Q(t)$ は流出量 (m^3/sec)、 t は時刻 (10 分単位)、 $f_T(t)$ は到達時間流出率、 $R_T(t)$ は洪水到達時間内平均降雨強度 ($mm/10$ 分)、 A は流域面積 (km^2)、 $(1000/600)$ は単位換算係数、 $r(t)$ は降雨量 ($mm/10$ 分)、 T_c は洪水到達時間 (10 分単位) である。

図 10 は都市化された東京都の桃園川中野地点 (流域面積 $5.1km^2$) および山間部の島根県周布川の周布川ダム地点 (流域面積 $88.5km^2$) の豪雨時における到達時間流出率の変化を示したものである。ただし、洪水到達時間は一定とし、桃園川では 30 分、周布川では 230 分とした。都市化した桃園川の到達時間流出率は約 0.8 の周辺を激しく変動している。一方、山間部の周布川では累加雨量の増加に伴って、地中に浸透する雨水量が減少するとともに、遅い流出成分が増加するため、到達時間流出率は次第に大きくなり、最終的には約 0.8 まで上昇している (中根, 1985)。この到達時間流出率の性質を使うと、都市域では当該時刻以前の洪水到達時間内に降った雨量の平均雨量強度 (以下、移動平均降雨という) に到達時間流出率と流域面積をかけることにより簡易に近似的な河川流量が推定できる。ただし、簡便なピーク付近の洪水推定であることを重視して、洪水到達時間は一定とする。東海豪雨のような降雨が都市域の中小河川流域にもたらされた場合に到達時間流出率がどのようになっていたかを明らかにすることは重要なことであり、ここでは後述するように 14 河川について到達時間流出率を調べた。その結果、図 11 に示すように、洪水初期および洪水ピーク

時の洪水到達時間流出率と市街地面積率の関係が明らかになった。これによると、洪水初期の洪水到達時間流出率は市街地面積率に比例しているが、降雨継続時間が長くなると市街地面積率が低くても降雨に対する流出の割合は増大する。東海豪雨の事例では同図に示すように、洪水ピーク時の洪水到達時間流出率は 0.7 ~ 0.8 の範囲にあり、市街地面積率との相関は低い。

河川水位は求めた河川流量から水位 流量関係式を用いて容易に算出される。中小河川の水位観測地点では流量観測に基づく水位 流量関係式が得られていないところが多く、このような地点では“洪水流量の平方根は河川水位に比例する”という性質を用いて、試行錯誤により適切な水位 流量関係式を求めるか、水位観測点の横断面の形状・河床縦断勾配・適切な粗度係数 (水理公式集, 1945)、(3) および (4) 式を用いて、径深 R を水深と近似し、流水の断面積 A および Manning の平均流速 v から各水深に対する河川流量を計算し、水位 流量関係式を求める必要がある。

$$Q = A \times v \quad (3)$$

$$v = \frac{1}{n} \times I^{1/2} \times R^{2/3} \quad (4)$$

ここに、 Q は流量 (m^3/sec)、 A は流水の断面積 (m^2)、 v は流水の平均流速 (m/sec)、 n は粗度係数、 I は河床の縦断勾配、 R は径深 (m)：流水の断面積 A を河道横断面と流水との接触部の潤辺で割った値である。この径深は水深と比較して川幅が広い河川の場合では水深として近似できる。

これらは代替的な手法であり、誤差も大きいので、可能であれば重要な地点で洪水予報が必要と思われる地点については困難であっても流量観測を行うことが望ましい。

降雨量に到達時間流出率と流域面積を掛けて河川流量を計算し、水位 流量関係式を用いて、河川流量から河川水位を推定する手法 (以下、移動平均降雨洪水推定法という) は現場で、時々刻々入る雨量情報から電卓で簡易におおよその河川水位を求めるのに役立つと考えられることから、東海豪雨における愛知県下の中小河川水位の簡易推定に適用した。都市域では洪水到達時間は地形、土地利用、雨水排水施設、排水ポンプ施設等の影響を受けるため、地域に適した洪水到達時間を既存の方法で合理的に求めるのが困難であったため、ここでは幾つかの移動平均時間で移動平均雨量強度の時系列波形を発生させ、それと洪水波形を比較し、両者の洪水ピーク付近の波形や位相が類似するような移動平均時間を求め、これを洪水到達時間と仮定した。

豪雨時における降雨と河川水位の関係をさらに詳しく調べるため、タンクモデルによる流出解析も行った。タンクモデルは洪水時の水収支の視点から、流域全体をマクロ的に見て、降った雨がどの程度地中に一時的に貯留

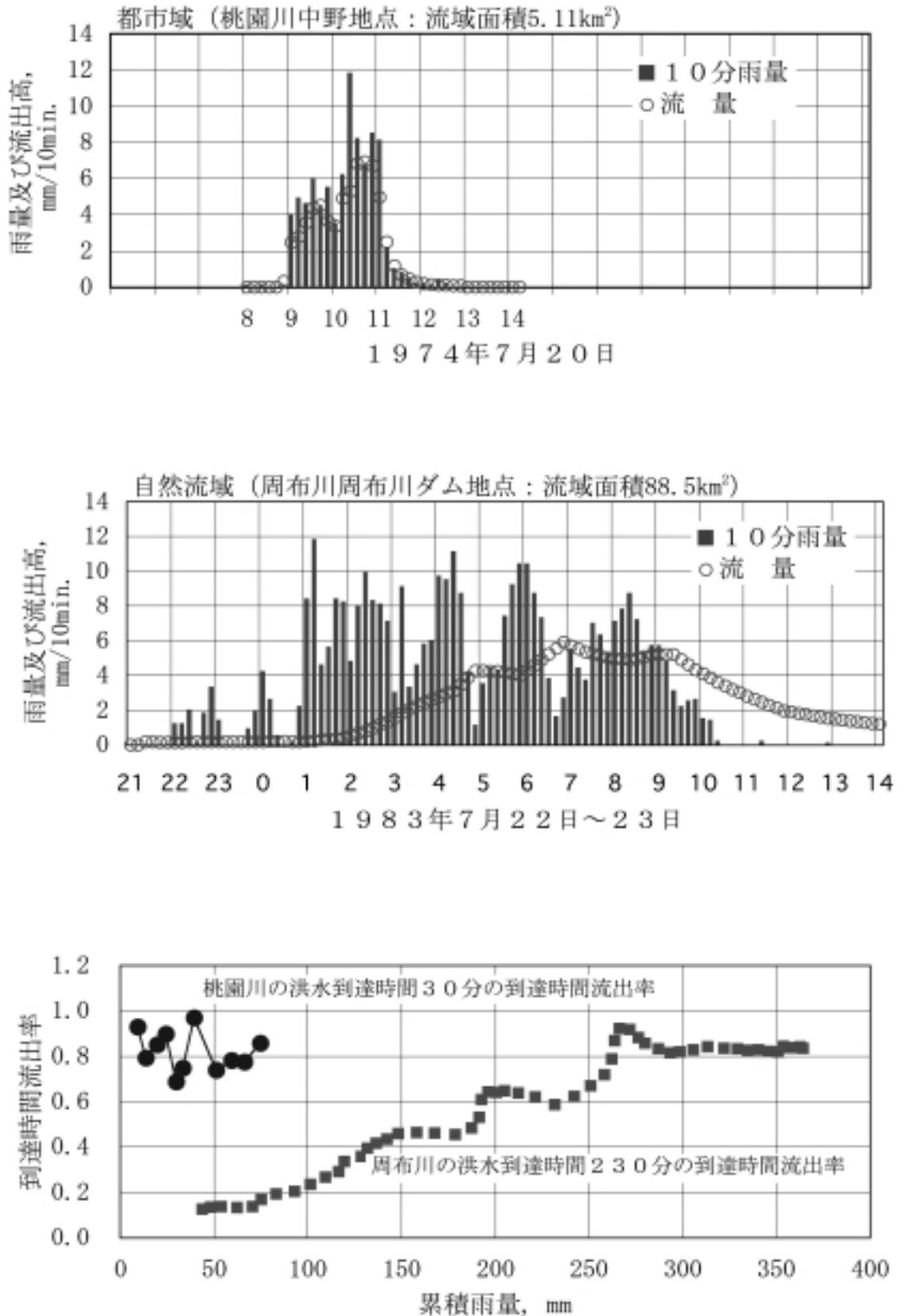


図 10 都市域および自然流域における豪雨時の到達時間流出率の変化
 Fig. 10 Change of run-off coefficients at the period of the heavy rainfall in the city area and mountainous area.

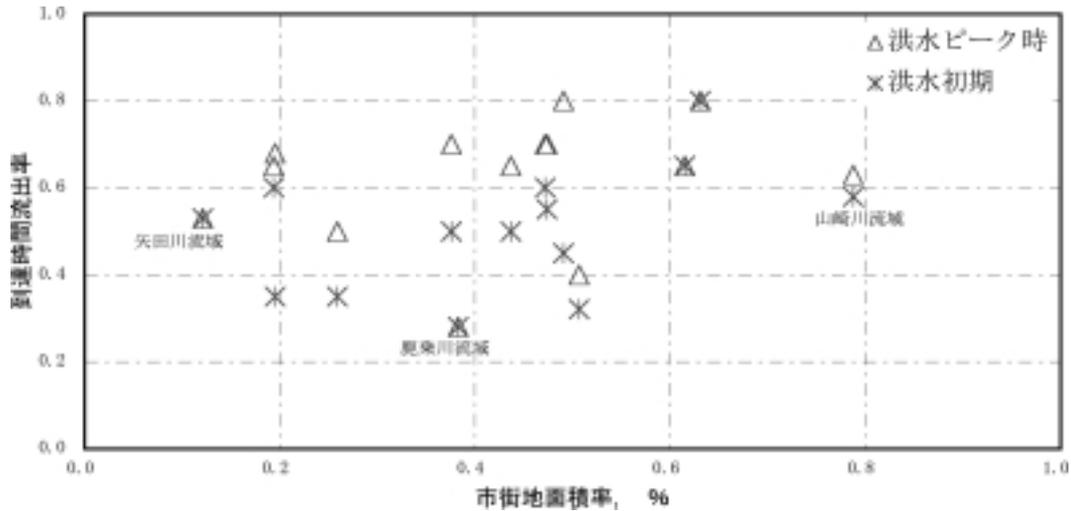
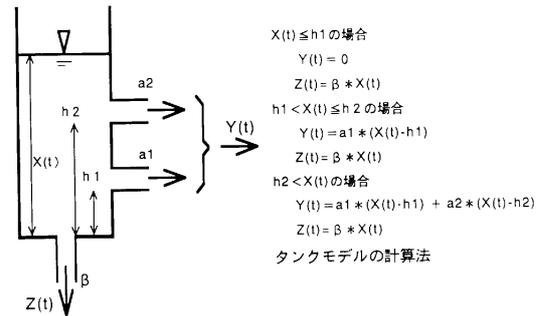


図 11 東海豪雨における 14 河川流域の到達時間流出率と市街地面積の関係
 Fig. 11 Relation between run-off coefficients of 14 small rivers and ratio of urbanized area to their river basins during the Tokai Heavy Rainfall.

され、それが時間の経過とともにどのように河川に流れ出るか、また、地中の貯水量の増加に伴って、流出量がどのように変化するかを直列に 2 段～ 4 段並べたタンクにより簡易に推定する。それぞれのタンクは図 12 に示すように側面に流出穴、底面に浸透穴を持った構造をしており、降雨量を順次第一段目タンクに流入し、同図に示す計算法で側面の流出穴からの流出量と底面の浸透穴からの浸透量を計算する。この流出穴からの流出量が河川流量となる。下段の第二段目タンクの計算は上段タンクの浸透穴からの浸透量を順次タンクに流入し、上段タンクと同様な方法で計算を行う。以下同様に第三段目タンクおよび第四段目タンクの計算を行う。詳しくは流出解析法（菅原，1973）を参照していただきたい。この解析では 14 河川流域において、モデルパラメータを試行錯誤により求め、各流域の地形要素および市街地面積率と各段タンクの流出割合および側壁流出穴の高さとの関係を調べた。結果の一部を図 13 に示す。この図はタンクモデルの各段のタンク貯留水の流出割合と市街地面積率との関係を示したものであり、相互の関係は明瞭には表せないが傾向として、第一段タンクの流出割合は市街地面積率に依存しないが、第二段タンクおよび第三段タンクの流出割合は市街地面積率が大きくなるにしたがって減少している。一方、第一段タンクの第一流出穴の高さは市街地面積率が大きくなるにしたがって 10mm から 2mm に減少する傾向が見られた。これは市街化により地表面に雨水が溜まることなく河川へ流出し、地中へ入る雨水量が減少することにより、地中から河川へ流出する割合が減少したと想像される。



ここに、 a_1, a_2 はタンク内の貯留水が単位時間に河川へ流出する割合を示す定数、 β はタンク内の貯留水が単位時間に下層へ浸透する割合を示す定数、 h_1, h_2 はタンクの底からの流出穴の高さで mm 単位で表す。 $X(t)$ は時刻 t におけるタンク内の貯水量で mm 単位で表す。 $Y(t)$ はタンクから単位時間に河川へ流出する量を、 $Z(t)$ はタンクから単位時間に下層へ浸透する量をそれぞれ mm 単位で表す。

図 12 タンクモデルの基本構造とその計算方法
 Fig. 12 A basic element of the Tank Model with its calculation procedure.

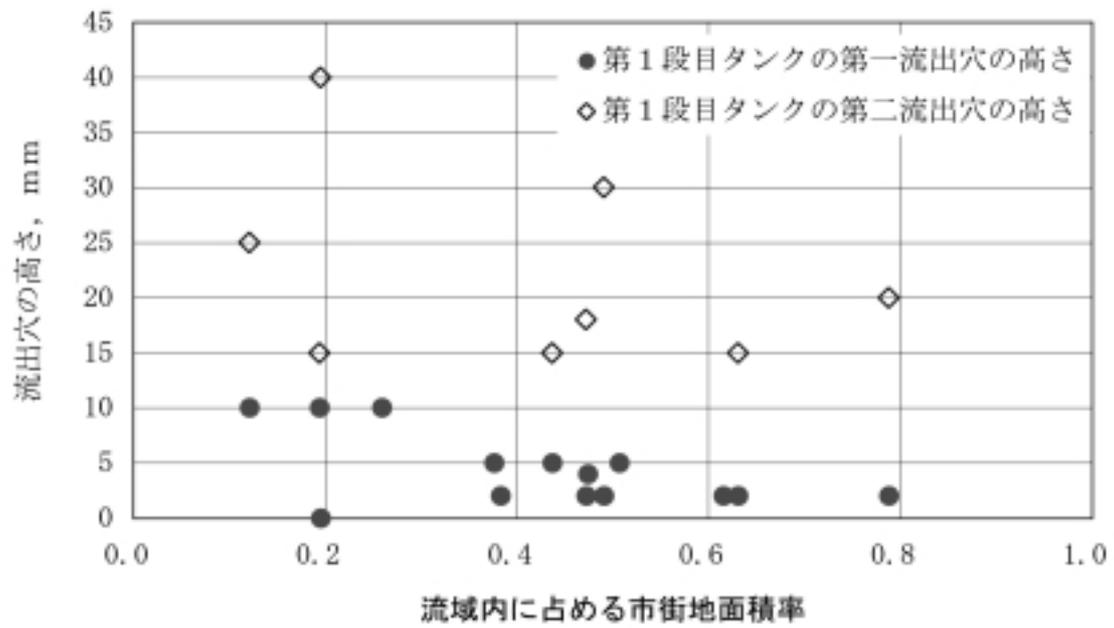
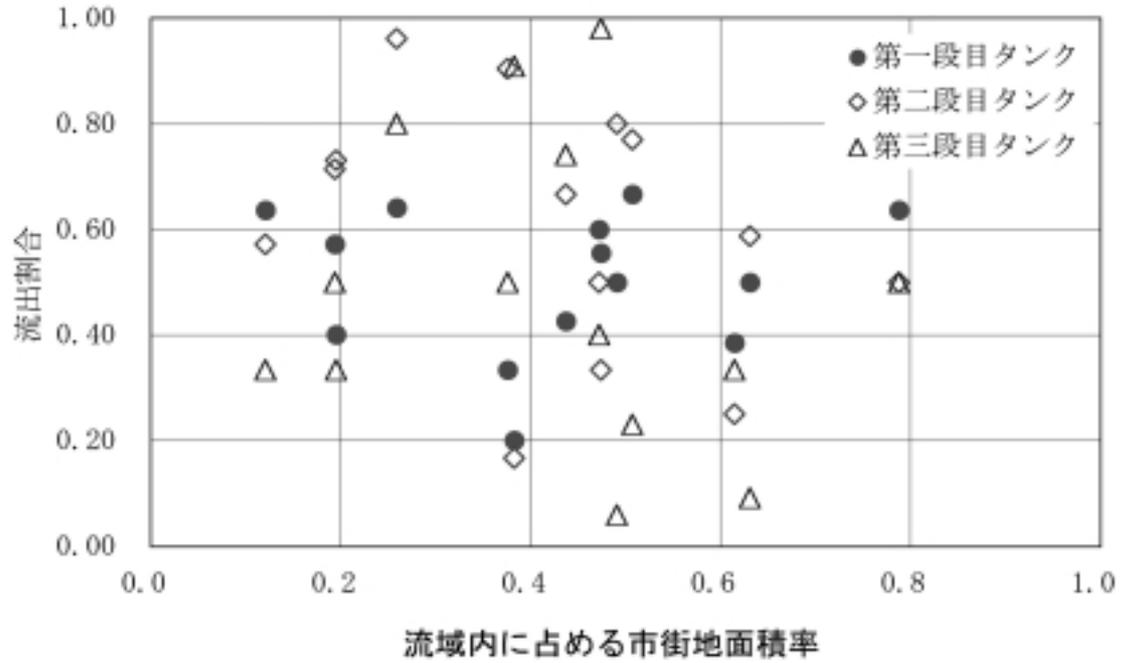


図13 タンクモデルの各タンク流出割合と市街地面積率の関係

Fig. 13 Relation between the discharge ratio from each tank and the ratio of urbanized area to each river basin among 14 small rivers.

4.2 解析地域の概要および解析結果

ここでは各解析地域の地形、地質および市街地面積率の概略、豪雨と河川水位の関係およびタンクモデルによる流出解析結果について述べる。解析した水位観測地点は豪雨が観測された名古屋市、大府市、半田市等の地域に分布する(1)名古屋市の都市化した4つの中小河川流域、(2)名古屋市北部新川流域の2つの中小河川流域、(3)感潮河川区域の2つの中小河川、(4)郊外の低平地の4つの中小河川流域および(5)大河川の後背低地にある2つの中小河川流域の14か所を選定した。雨量は名古屋市および愛知県が観測した時間的空間的に高密度な10分雨量を用いた。それら水位観測地点および雨量観測点の位置を図14に示す。本解析では簡易な移動平均降雨洪水推定法に加えて、豪雨に対する洪水の立ち上がり、洪水ピーク、洪水減衰等の全体の状況、および流域の水収支状況を詳しく調べるため、直列4段のタンクモデルによる解析も行った。

4.2.1 解析対象区域の地形、地質、標高分布および降雨の概況

解析した地点は愛知県の尾張および西三河地域の中小河川であり、この地域の地形、地質および標高分布の概況を図15、図16および図17にそれぞれ示す。この地域の大部分は木曽川および庄内川によって作られた濃尾平野、矢作川によって作られた西三河平野等の沖積平野で占められている。東部地域には標高500m前後の平坦なところを各所に残す隆起準平原の美濃・三河高原がある。この地域は中央構造線の内帯に位置し、地質は主に花崗岩類と領家変成岩類から成っている。高原の西側には瀬戸・小牧丘陵、西加茂丘陵、尾張丘陵、西三河丘陵、知多丘陵等の丘陵地帯が広がっている。これら丘陵の表層地質は第3紀の砂岩、泥岩、礫岩、珪岩質岩石等で構成されている。丘陵地帯の西側には春日井・小牧台地、名古屋東部台地、豊田台地、碧海台地等が広がっている。これら台地の表層地質は洪積世の礫、砂、泥等の未固結堆積物で構成されている。台地の西側や台地を開さくした谷底には沖積世の砂、泥、礫等に覆われた平野が広がっている。知多半島は尾張東部から南に延びた知多丘陵によって作られており、山頂の標高は60m前後の定高性を示す。半島の両側には急峻で流路長の短い多くの小河川がある。

流出解析を行った流域の地形諸元および東海豪雨の降雨諸元を表1に示す。解析流域は流域面積が8.5～108.2km²、流域内の流路沿い最大流路辺長(以下、最大流路辺長という)が5.8～16.4kmの中小河川である。それら流域の形状は流域形状係数^{注1}が0.12～0.78に分布することから分かるように丸い流域から細長い流域まで様々である。

東海豪雨は前述したように、この地域の既往最大の降

雨であり、表1に示すように、流域平均の最大日雨量は225～566mm、最大3時間雨量は89～213mm、最大時間雨量は45～88mmであった。この降雨規模を近年の大きな災害を起こした豪雨と比較するため、図18に示すように降雨継続時間と最大降雨量の関係で相互比較した。これによると東海豪雨の短時間最大雨量は1982年の7月の長崎豪雨に次ぐ規模であり、1993年8月の鹿児島豪雨とほぼ同規模、1998年8月の北関東東北豪雨より大きい規模であった。最大24時間雨量では長崎豪雨と北関東東北豪雨と同規模であり、鹿児島豪雨より大きな規模であった。長崎豪雨および鹿児島豪雨は県庁所在地を襲い、都市機能を麻痺させ、大きな被害を発生させたが、東海豪雨もこれに匹敵するものと言える。図中には過去に大きな災害をもたらした豪雨を基に経験的に求めた各継続時間に対する最大雨量を推定する補間式を載せている。この式は最大時間雨量と最大日雨量から各種継続時間の最大雨量を推定するのに便利である。

4.2.2 豪雨と中小河川水位の関係およびタンクモデルによる流出解析結果

ここでは前述したように特徴的な5つの地域を対象に、愛知県と名古屋市の31地点の10分雨量データと愛知県の14地点の河川水位データを用いて移動平均降雨洪水推定法およびタンクモデルによる流出解析を行った。表2に14流域の流出解析に用いた雨量観測点とそれらの重み付けを示した。

(1) 都市化した名古屋市東部の中小河川の事例

解析地点は庄内川支川矢田川支流の香流川猪子石観測点、山崎川瑞穂観測点、天白川上流支川植田川観測点および天白川天白観測点である。これら河川は尾張東部にある猿投山西側山麓の西加茂丘陵および尾張丘陵を水源とし、その西側に広がる名古屋東部台地を流れている。西加茂丘陵および尾張丘陵の表層地質は第3紀の砂岩、泥岩、礫岩等の堆積岩類で構成され、谷底平野は沖積世の砂、礫、泥等の堆積物で覆われている。その両側の台地は洪積世の砂、礫、泥等の堆積物で構成されている。以下に、各観測点における移動平均降雨強度と河川水位の関係およびタンクモデルによる流出解析結果について述べる。特に、香流川、植田川および山崎川では流出試験地を設けて、都市化が洪水流出に及ぼす影響を詳しく調査(庄内川工事事務所、1975)しており、それらの内、1971年および1972年の洪水データを用いて流出解析を行い、今回の東海豪雨の洪水との比較を行った。

① 香流川猪子石観測点の解析

猪子石観測点は図14のH4地点に在り、その上流域は表1に示すように流域面積24.93km²、最大流路辺長12.0km、流域形状係数0.17の細長い流域であり、最大流

注1：流域形状係数は流域面積(S)を最大流路辺長(L)の二乗で割ったもので、形状係数は S/L^2 となり、流域が細長くなるほど形状係数は小さくなる。極端な場合として流域が円の場合の形状係数は約0.79となる。

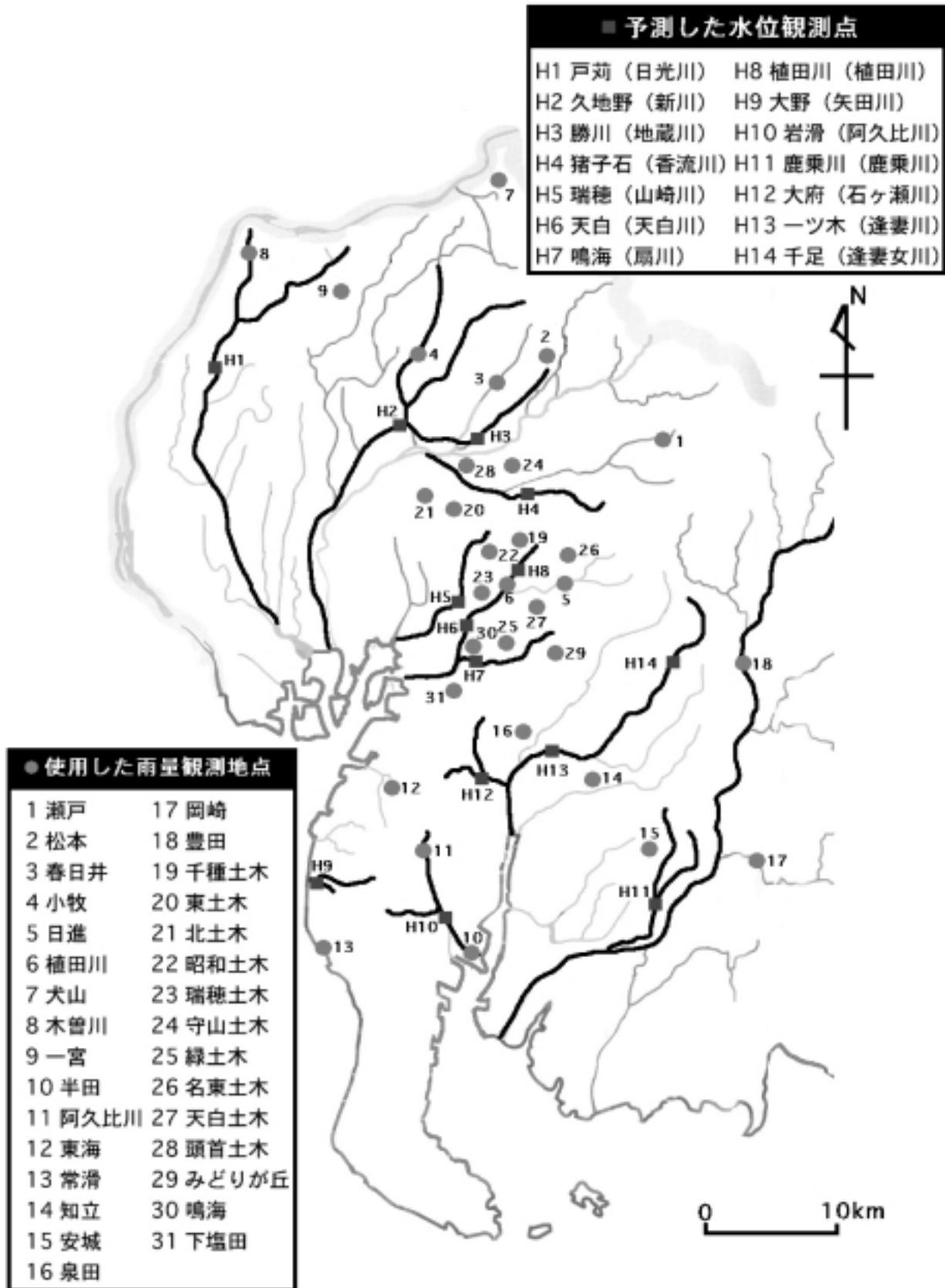


図 14 洪水解析に使用した水位観測地点および雨量観測点の位置図

Fig. 14 Location of observation stations for water level and rainfall using the flood analysis.

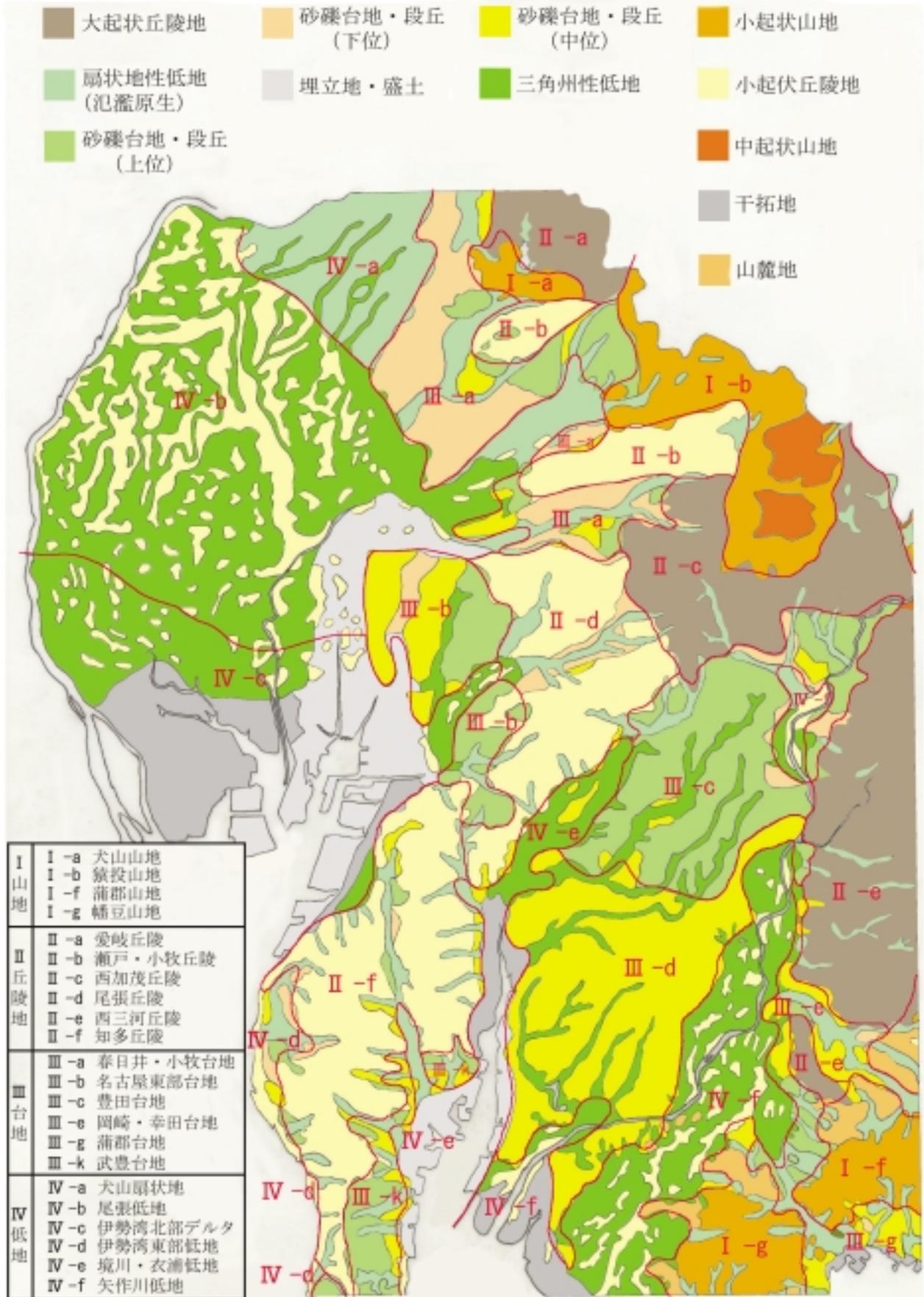


図 15 東海地域の地形図 (経済企画庁, 1974 より編集)

Fig. 15 Geographical feature over the Tokai district located the central Japan.



図16 東海地域の表層地質図（経済企画庁、1974より編集）

Fig. 16 Geological features of the surface over the Tokai district located the central Japan.

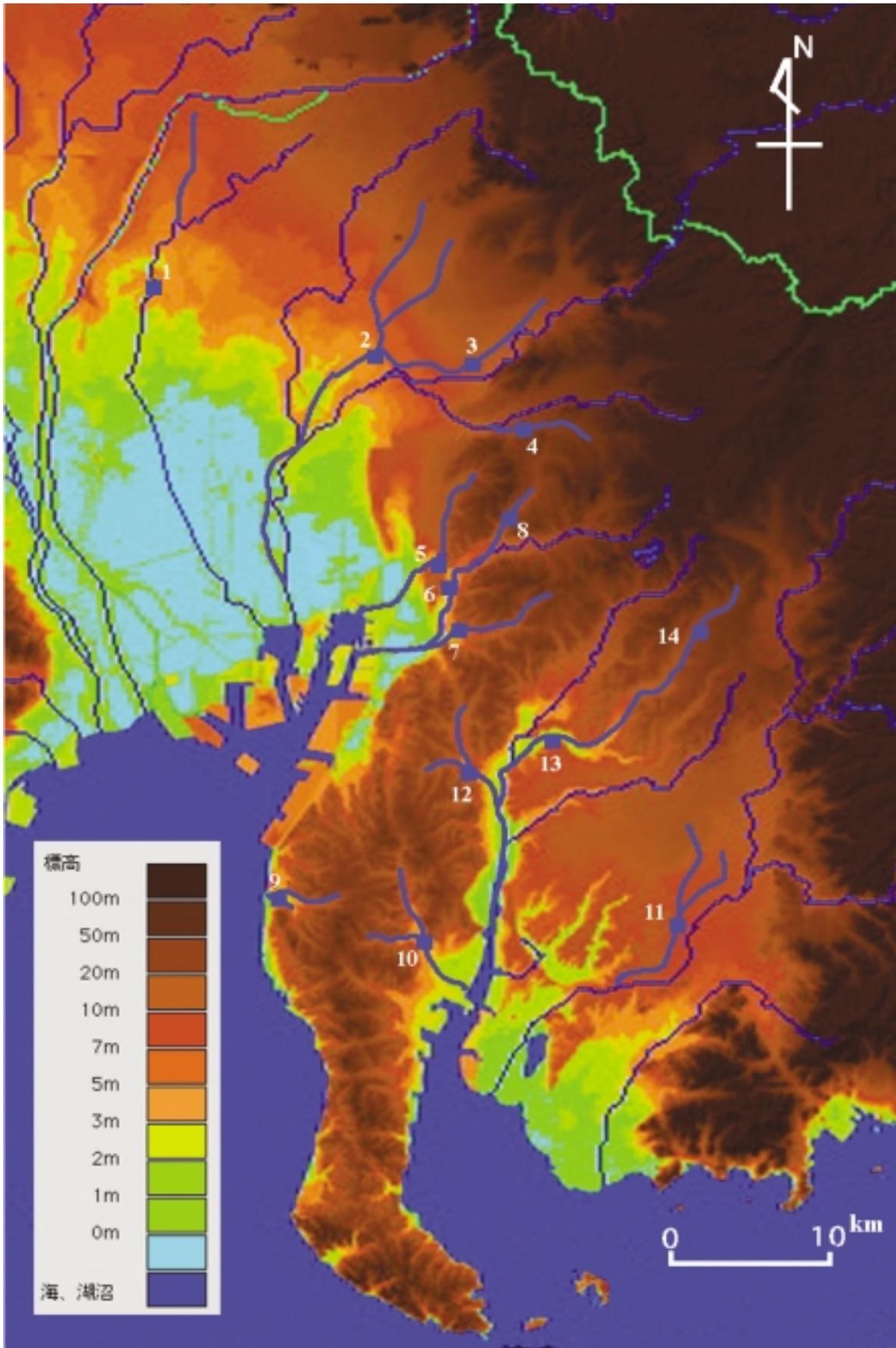


図 17 東海地域の標高分布図

Fig. 17 Digital elevation map over the Tokai district located the central Japan.

表1 流出解析地域の河川状況および降雨諸元
 Table 1 Topographical feature of analyzed 14 river basins and maximum rainfalls during the Tokai Heavy Rainfall.

解析観測地点名	河川名	流域面積 (S), km ²		流域形状係数 (S/L ²)	最大流路延長 (L), km	最大流路の比流, %	東海豪雨 (2000年9月11日~12日) の降雨状況					
		流域面積 (S), km ²	最大流路延長 (L), km				最大日雨量	最大6時間雨量	最大3時間雨量	最大1時間雨量	最大30分雨量	最大10分雨量
戸高 (01)	日光川	62.15	12.89	0.37	15	225.0	152.3	97.7	45.3	32.0	14.3	274.3
久通峠 (02)	新川	108.18	17.64	0.35	269	445.4	224.6	156.3	65.8	35.9	13.5	473.3
野川 (03)	地蔵川	21.92	9.57	0.24	93	485.5	248.7	168.2	72.6	39.3	15.7	513.3
猪子石 (04)	新虎川	24.93	12.01	0.17	154	488.8	293.5	182.3	71.9	39.9	16.6	517.4
瑞穂 (05)	山崎川	13.33	6.86	0.28	101	521.7	300.4	207.4	81.3	45.3	17.8	558.5
天白 (06)	天白川	74.09	16.41	0.28	176	518.7	314.8	192.1	76.6	46.2	17.8	553.8
鶴峰 (07)	藤川	20.64	7.92	0.33	68	565.6	346.1	213.3	87.9	47.7	17.5	604.0
植田川 (08)	植田川	19.31	4.99	0.78	89	517.7	310.1	195.9	81.4	48.9	22.3	553.4
大野 (09)	矢田川	14.39	6.33	0.36	35	447.0	257.1	149.9	58.1	37.0	15.0	492.7
影番 (010)	向久比川	30.81	9.57	0.34	69	448.6	262.6	154.2	60.6	31.8	12.0	489.2
大野 (012)	石ヶ瀬川	8.47	5.84	0.25	67	527.6	326.5	179.2	68.3	34.5	13.9	565.5
一ツ木 (013)	蓬瀬川	71.63	11.31	0.56	137	481.0	281.1	173.7	77.8	41.7	16.3	522.1
宇足 (014)	蓬瀬女川	15.43	8.12	0.23	111	404.3	252.3	137.7	66.7	42.9	17.4	429.6
鹿嶋川 (011)	鹿嶋川	33.32	11.14	0.27	29	294.5	148.3	89.3	57.2	34.7	16.1	342.4

表 2 各地の流出解析に用いた雨量観測点とそれらの重み付け

Table 2 Rainfall stations and their weight for flood analysis in 14 small river basins.

その 1

雨量観測点番号 解析観測地点名	(1) 瀬戸	(2) 忍本	(3) 泰田井	(4) 小牧	(5) 日越	(6) 植田川	(7) 大山	(8) 木俣川	(9) 一宮	(10) 半田	(11) 阿久比	(12) 東海	(13) 岩滑	(14) 知立	(15) 安城	(16) 泉田
とがり 戸 蒔 (01)	日光川	-	-	-	-	-	-	0.67	0.33	-	-	-	-	-	-	-
くじの 久徳野 (02)	新川	-	0.17	0.33	0.08	-	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
かちがわ 勝 川 (03)	地蔵川	-	0.08	0.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
いのこいし 紫子石 (04)	かみれがわ 香流川	0.25	-	-	-	0.25	-	-	-	0.25	-	-	-	-	-	-
みずは 堀 徳 (05)	山崎川	-	-	-	-	-	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
てんばく 天 白 (06)	天白川	-	-	-	-	0.30	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
なるみ 鳴 海 (07)	扇川	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
うえだがわ 植 田 川 (08)	植田川	-	-	-	-	0.29	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
大野 (09)	矢田川	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.29	-	0.71	-	-	-
やなべ 岩 滑 (010)	あくいがわ 阿久比川	-	-	-	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	0.40	-	-	-
おはら 大 野 (012)	石ヶ瀬川	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.34	0.38	-	-	0.38	-
ひとつぎ 一ツ木 (013)	あづまがわ 逢妻川	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.20	0.40	-
せんぞく 千 足 (014)	あづまがわ 逢妻女川	-	-	-	-	0.29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
まのりがわ 粟 葉 川 (011)	鹿野川	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09

その 2

雨量観測点番号 解析観測地点名	(17) 岡崎	(18) 豊田	(19) 千種土木	(20) 東土木	(21) 北土木	(22) 昭和土木	(23) 瑞穂土木	(24) 守山土木	(25) 緑土木	(26) 名東土木	(27) 天白土木	(28) 額首土木	(29) みどりが丘	(30) 鳴海	(31) 下塩田
とがり 戸 蒔 (01)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
くじの 久徳野 (02)	-	-	-	-	-	-	-	0.17	-	-	-	0.17	-	-	-
かちがわ 勝 川 (03)	-	-	-	-	-	-	-	0.08	-	-	-	-	-	-	-
いのこいし 紫子石 (04)	-	-	-	-	-	-	-	0.25	-	0.25	-	-	-	-	-
みずは 堀 徳 (05)	-	-	0.24	0.025	0.005	0.29	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-
てんばく 天 白 (06)	-	-	0.13	-	-	-	-	-	-	0.13	0.38	-	0.13	-	-
なるみ 鳴 海 (07)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.34	-	0.38	-	0.34	0.07	0.07
うえだがわ 植 田 川 (08)	-	-	0.29	-	-	-	-	-	-	0.29	-	-	-	-	-
大野 (09)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
やなべ 岩 滑 (010)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
おはら 大 野 (012)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ひとつぎ 一ツ木 (013)	-	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.20	-	-
せんぞく 千 足 (014)	-	0.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
まのりがわ 粟 葉 川 (011)	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

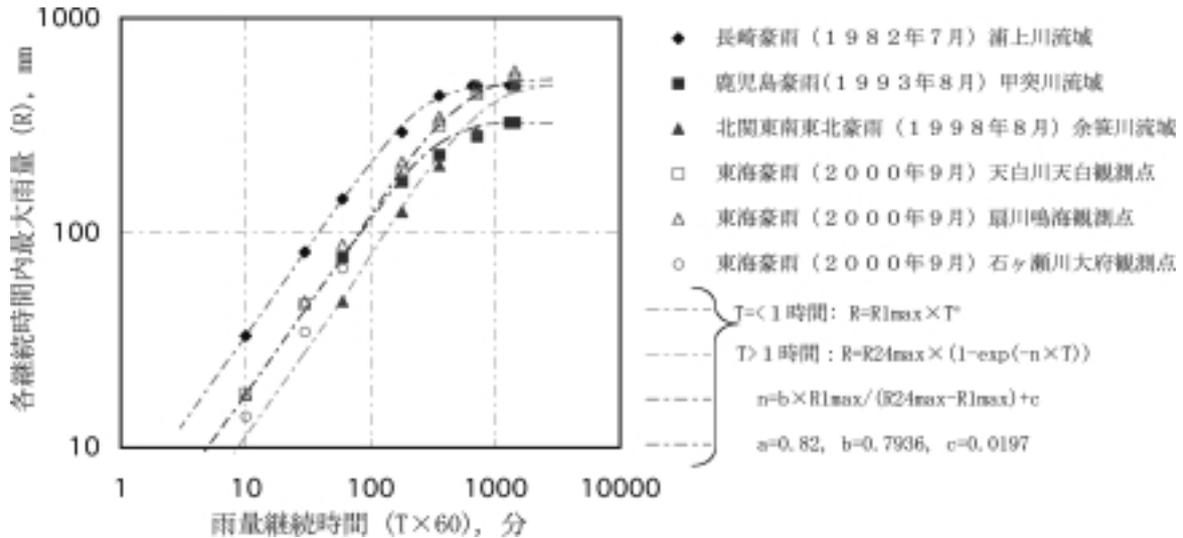


図 18 東海豪雨および過去に大きな災害をもたらした豪雨における最大雨量と降雨期間の関係
 Fig. 18 Relation between the maximum rainfall amount and the period of time during the Tokai Heavy Rainfall and other heavy rainfall caused historical severe disasters.

路辺長の比高は 154m である。流域内の地形，地質および市街地分布を図 19 に示す。この地域は名古屋市の新興住宅地として，近年，開発が急ピッチで行われたところである。流域内の 1970 年に対する 1999 年の人口の変化を見ると，名古屋市名東区では 3.41 倍になっており，その上流域の長久手町では実に 3.78 倍になっている。同地域の人口密度（人/km²）は名東区 7,884 および長久手町 1,988 である。なお，人口密度は，名古屋市は平成 12 年および愛知県の他の地域は平成 11 年の統計を用いており，以下の人口密度も同様である。岡本（1976）によれば 1976 年当時の流域の都市化率は 31 % 程度で流域の開発がこれから始まる地域であった。同図の市街地分布は 1997 年当時の国土地理院の細土土地利用図（2000）から住宅地，工業用地および公共用地のみを拾い上げて図化したものであり，全流域の 47 % を占めている（以下，他の 13 河川流域の 1997 年市街地面積率についても同様な方法で求めている）。写真 2 に名古屋市長久手町付近の香

流川の状況を示す。この流域は雨水の自然排水区域であり，分流式の下水道が整備されている。また，開発に伴う雨水流出を緩和するため，貯水容量 2,000m³ の香流雨水調整池，貯水容量 6,800m³ のよもぎ調節池等がある。図 20 に猪子石観測点の 1972 年 7 月洪水および東海豪雨の降雨と河川水位の時間変化を示す。この図から分かるように，流域の市街化状態の違いを反映して，28 年前の洪水では降雨に対して河川水位は相対的に低く，洪水の逡減も緩やかになっている。一方，東海豪雨の洪水では洪水位も相対的に高く，急峻な洪水波形になっている。これらを洪水到達時間および到達時間流出率の違いで見ると，1972 年 7 月洪水では洪水到達時間 110 分，到達時間流出率約 0.4 であったのに対して，東海豪雨の洪水では洪水到達時間は 80 分と短くなり，到達時間流出率は約 0.7 と大きくなった。同図には第 3 基準水位^{注 2}および計画高水位を示した。

注 2：第 3 基準水位は河川の計画流量の 6 割程度に相当する流量時の河川水位で，水防警報基準地点では水防警報の出動水位に相当する水位である。水防警報は社会的・経済的に重要な河川区域において，堤防欠壊，堤防越水，破堤等の災害を未然に防ぐため，地域一体となった水防活動体制を敷く基準情報として，河川管理者が市町村等の水防管理団体に向けて出される警報であり，水防警報基準水位観測所の洪水水位に応じて，水防警報準備，水防警報出動等として発令される。基準水位観測所には通報水位，警戒水位および出動水位の 3 種類の水位基準が設定されている。通報水位は計画流量の 2 割程度に相当する流量時の河川水位で，今後の水位状況を注意深く監視する必要がある状態の基準水位を現す。警戒水位は計画流量の 4 割程度に相当する流量時の河川水位で，河川を見回って，堤防漏水，堤防欠壊等が生じていないかを監視しなければならない状態であり，水防活動の準備をする必要がある状態を現す基準水位である。出動水位は河川に堤防欠壊，堤防漏水等の危険が生じ，堤防越水等の危険が迫っている状態を現し，地元の水防団員（多くの場合，消防団員がこれにあたる。）が出動して水防活動に当たらなければならない状況になっていることを現す基準水位である。また，計画高水位は河川が守ることのできる計画上の最大洪水位を現し，河川に破堤等の危険が生じている状態を現す水位である。



写真2 名古屋市長久手町付近の香流川の河川状況（引用：愛知県，2000）

Photo 2 Condition of the Kanare River in the Nagakute Town of the Nagoya City (source: the Aichi Prefecture Office, 2000).

東海豪雨では河川水位は11日19時40分には第3基準水位を越えていたが、幸いにして計画高水位を越えるまでには至らなかった。この豪雨により流域では内水氾濫が発生し、流域の約2%の地域が浸水し、床下41棟、床上61棟の浸水被害が発生した。ここでは流域の浸水面積および浸水棟数は国土交通省の水害統計（2001）を用いて、当該地域のそれぞれの値を集計した（以下、他の13河川流域の浸水面積および浸水棟数についても同様な方法で求めている）。図21に1972年7月洪水および東海豪雨の洪水について、洪水到達時間を一定とした場合の移動平均降雨および移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果を示す。この図から分かるように、東海豪雨の洪水では移動平均降雨洪水推定法は洪水ピーク付近の洪水水位を適切に推定しており、市街化の進んだ現在の香流川流域では、およそその洪水水位を簡便に推定する方法として、この手法の有効性が認められる。

次に、直列4段のタンクモデルを用いた香流川猪子石観測点上流域の洪水流出解析について述べる。図22は1972年7月洪水および東海豪雨の洪水のタンクモデルとそれらを用いた洪水水位の推定結果を示したものである。この解析では洪水流量から洪水水位への変換は1972年7月洪水では流量観測に基づく水位-流量関係式を使用し、東海豪雨では試行錯誤により推定した水位-流量関係式を用いた。この水位-流量関係式は上述の移動平均降雨洪水推定法にも用いている。洪水水位の推定結果は図に示すように、両洪水とも洪水の立ち上がり、洪水ピークおよび洪水の逓減状況を良好に推定している。両洪水のタンクモデルの違いを見ると、第一段目タンクは洪水の急激な変化および大きなピーク流量を表現するために、東海豪雨のタンクモデルの方が流出穴および浸透穴の係数が2倍程度大きくなっている。流出穴の取り付け位置の高さは洪水の立ち上がりと洪水ピークの細部を合わせるため、両モデルで微妙に異なっている。第二段目タンクは洪水後の逓減部を合わせるため、東海豪雨のタンクモデ



写真3 名古屋市瑞穂区付近の山崎川の流域状況（引用：愛知県，2000）

Photo 3 Condition of the Yamazaki River in Mizuho Ward of the Nagoya City (source: the Aichi Prefecture Office, 2000).

ルの方が流出穴および浸透穴の係数が1.3倍程度大きくなっている。また、洪水後の水位を低くするため、流出穴の高さは東海豪雨の洪水のタンクモデルの方が高く15mmとなっている。第三段目タンクおよび第四段目タンクの係数は両モデルとも等しくなっている。以上述べたように東海豪雨のタンクモデルは大きなピーク流量と急峻な洪水波形を現すようになっており、都市化の影響をより反映したモデルとなっている。

②山崎川瑞穂観測点の解析

瑞穂観測点は図14のH5地点に在り、その上流域は表1に示すように流域面積13.33km²、最大流路辺長6.9km、流域形状係数0.28の流域であり、最大流路辺長の比高は101mである。流域内の地形、地質および市街地を図23に示す。この地域は平和公園、東山公園、瑞穂公園等のある緑豊かな古くからの住宅地である。特に、山崎川は周辺の景観や地域整備を一体化した河川改修が行われ、市民の水辺として親しまれている。流域内の1970年に対する1999年の人口の変化を見ると、瑞穂区では0.79倍、その上流域の昭和区および千種区ではそれぞれ0.81倍、0.87倍と少し減少している。この地域の人口密度は瑞穂区9,297、昭和区9,633および千種区8,143である。岡本（1976）によれば1976年当時の流域の都市化率は91%で流域の大部分が既に都市化されていた。同図の市街地は1997年当時の区域を示したものであり全流域の79%を占めている。この値は1976年より12%低くなっているが、前述したようにここでは市街地を詳細土地利用図から住宅地、工業用地および公共用地のみを集計し、市街化区域であっても公園、畑等は除いているので、既存資料の都市化率との違いが大きく出たものと思われる。写真3に名古屋市瑞穂区付近の山崎川の流域状況を示す。この流域は雨水の自然排水区域であり、合流式の下水道が整備されている。また、住宅地域からの雨水流出を緩和するため、多くの雨水調整池（自由が丘雨水調整池

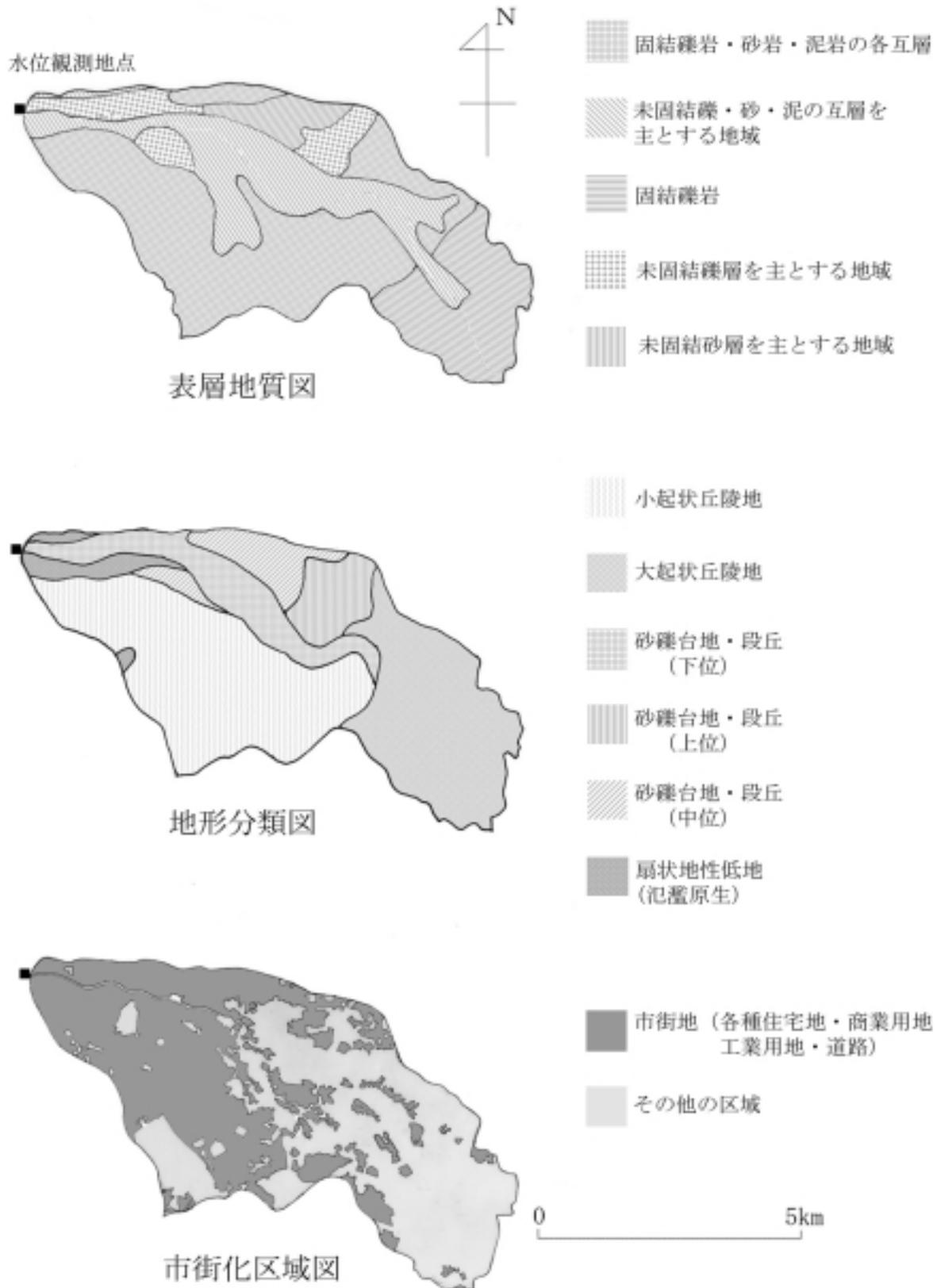


図19 香流川猪子石観測点上流域の地形、表層、地質および市街地分布の状況
 Fig. 19 Maps of the topography, the surface geology and the urbanized area in the upper river basin of the Inokoishi Station in the Kanare River Basin.

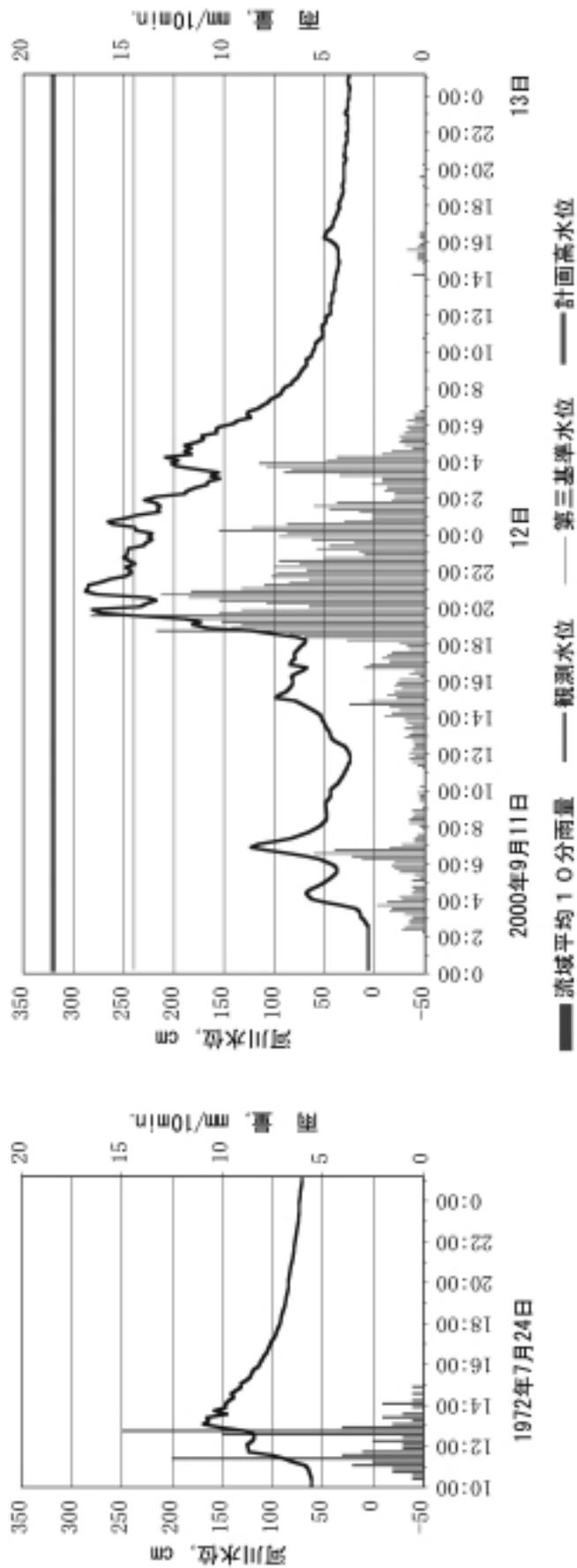


図20 1972年7月洪水および2000年9月の東海豪雨の降雨における香流川猪子石観測点の降雨量と河川水位の時間変化
 Fig. 20 Change of water level and average rainfall in the upper basin of the Inokoishi Station of the Kanare River during floods in July 1972 and Sep. 2000 of the Tokai Heavy Rainfall.

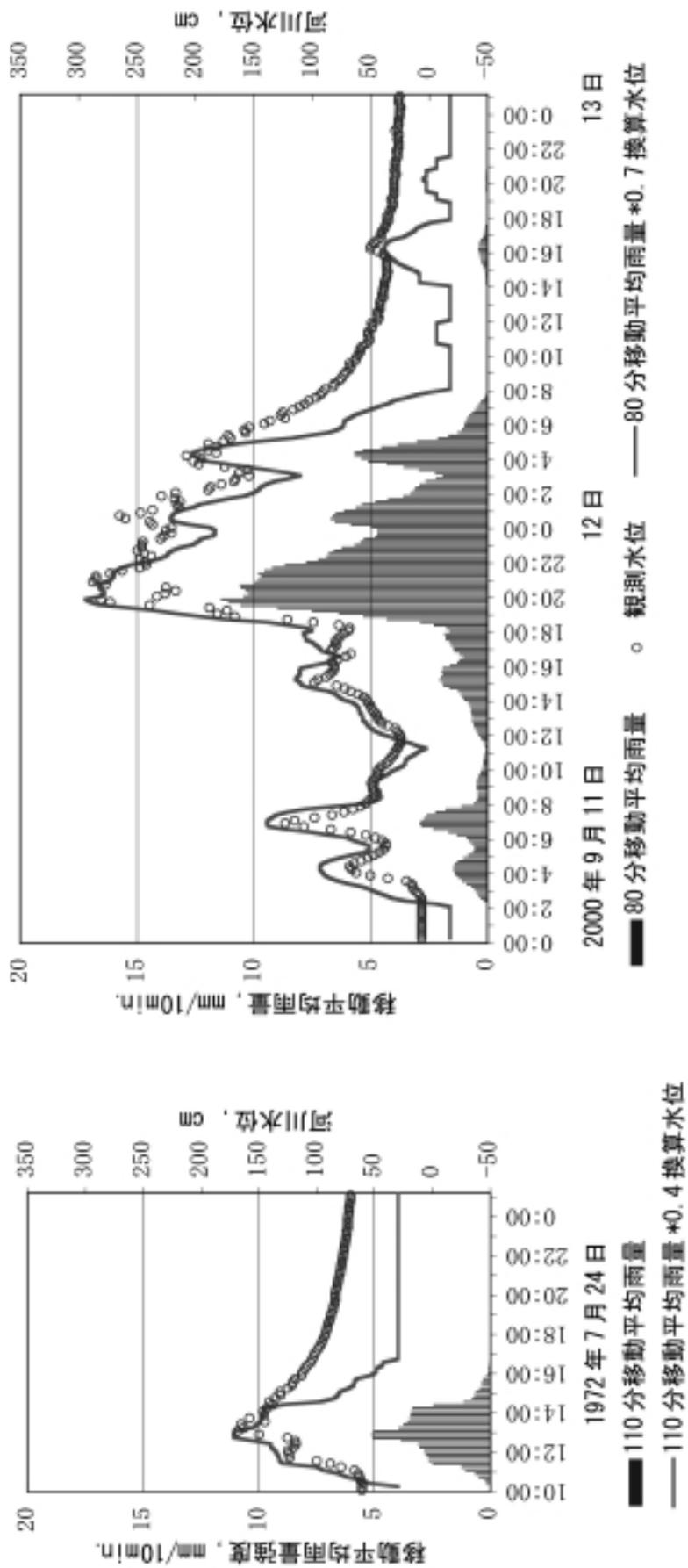


図 21 1972 年 7 月洪水および 2000 年 9 月の東海豪雨における香流川猪子石観測点の移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果
 Fig. 21 Estimated water level of the flood at the Inokoishi Station of the Kanare River with observed one in July 1972 and Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were simply calculated by using the moving average rainfall and run-off coefficient.

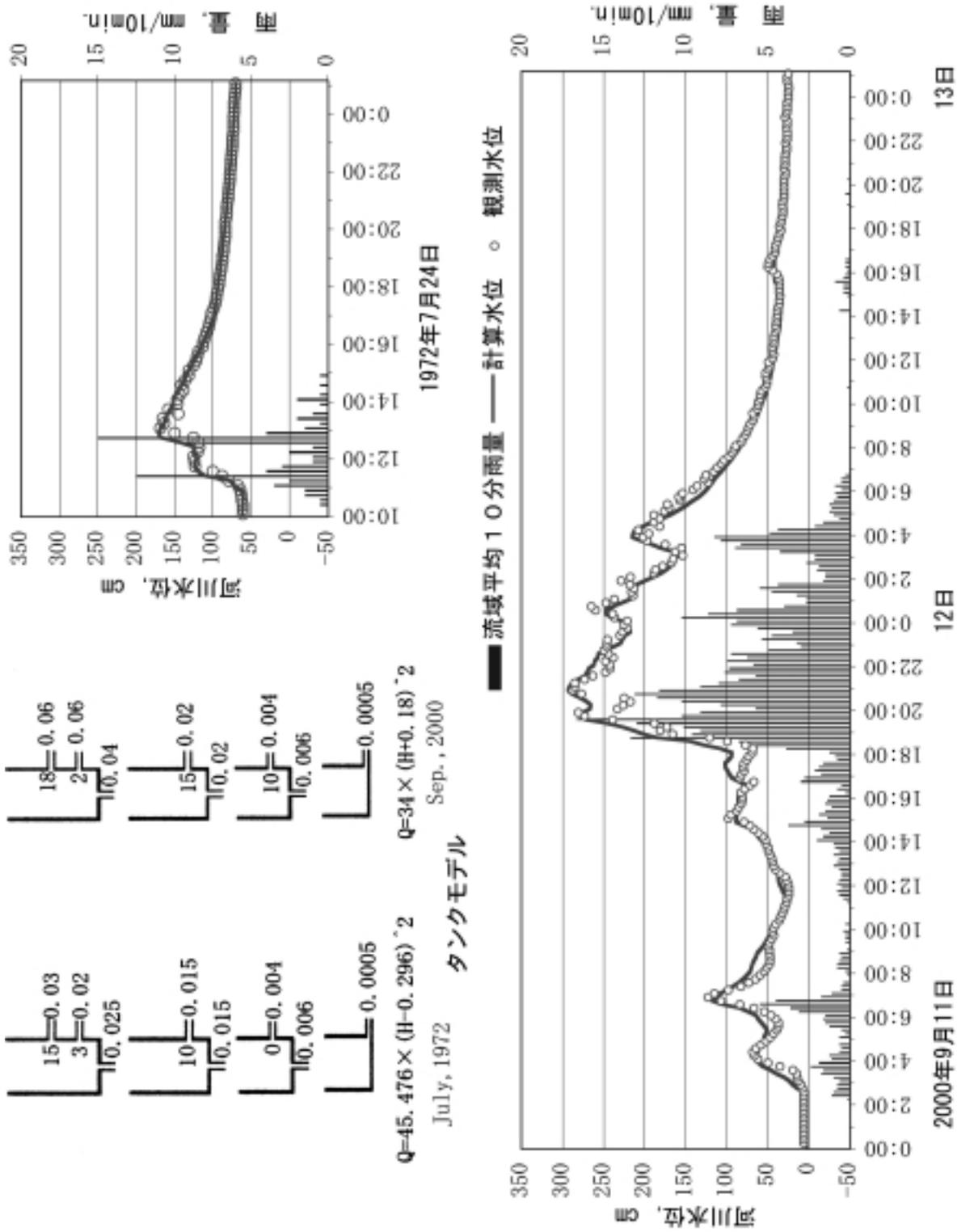


図22 1972年7月洪水および2000年9月の東海豪雨における香流川猪子石観測点のタンクモデルによる河川水位推定結果
 Fig. 22 Estimated water level of the flood at the Inokoishi Station of the Kanare River with observed one in July 1972 and Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were calculated by the Tank Model described in the upper left side of the figure.

10,000m³, 自由が丘第2雨水調整池 1,000m³, 東山雨水調整池 9,000m³, 瑞穂通雨水調整池 4,600m³, 山崎川右岸の雨水滞水池 16,500m³等) やかんがい用ため池(猫ヶ洞池, 新池等)がある。図24に瑞穂観測点の1971年8月洪水, 1971年9月洪水および東海豪雨の降雨と河川水位の時間変化を示す。ただし, 1971年9月洪水では大きな洪水氾濫が発生しており, 洪水ピーク付近の波形は緩やかになっている。1971年と2000年の流域の市街化状態は大きな変化はないと考えられ, 同図からも分かるように1971年9月洪水と東海豪雨の洪水は降雨に対する相対的な洪水の高さ, 洪水の逓減状態は類似している。ただし, 1971年8月洪水は特異であり, 降雨に対する相対的な洪水水位が異常に高くなっている。降雨の代表性, 水位-流量関係式等に問題があることも考えられるが詳しいことは分からない。これらを洪水到達時間および到達時間流出率の違いで見ると, 1971年9月洪水は洪水到達時間60分, 到達時間流出率約0.65であり, 東海豪雨の洪水も洪水到達時間60分, 到達時間流出率約0.63と29年前の洪水とほぼ同様な値であった。ただし, 上述したように1971年8月洪水は特異であり, 洪水到達時間は他と同様60分であるが, 到達時間流出率は約0.9と異常に大きくなっている。図24には瑞穂観測点の第3基準水位および計画高水位も示した。当時河川水位は11日18時40分には第3基準水位を越えており, 11日19時10分には計画高水位を越えていた。この豪雨による流域の状況は11日18時45分頃汐路小東側下り斜面から山崎川に沿って内水氾濫が発生し, 深いところで70cm冠水した。19時20分頃新瑞穂橋付近の妙音通南で道路が冠水し通行困難となった。19時~22時頃御園橋下流の各所で堤防越水が発生し, これより西側周辺の低地で床上浸水が発生した。21時50分頃瑞穂通2丁目の歩道でマンホールの蓋が浮き上がって外れる現象が起こった。このように河川が2か所で堤防越水し, 各地で内水氾濫が発生した。これにより流域の約22%の地域が浸水し, 床下2,444棟, 床上384棟の浸水被害が発生した。図25に1971年8月洪水, 1971年9月洪水および東海豪雨の洪水について, 洪水到達時間を一定とした場合の移動平均降雨および移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果を示す。この図から分かるように, 3洪水とも移動平均降雨洪水推定法は洪水ピーク付近の洪水位を適切に推定しており, 適度に市街化が進んだ山崎川流域でもおおよその洪水位を簡便に推定する方法として, この手法の有効性が認められる。ただし, 東海豪雨の洪水後半部分については長期の流出成分が増加してくるため, 到達時間流出率が0.7~0.8程度に上昇し, 推定値が実測値と合わなくなっている。このように洪水が長く継続すると長期の流出成分が増加してくるため, 特に, 都市化の影響の少ない地域ではこの現象が顕著に現れるので移動平均降雨洪水推定法を適用する場合に注意する必要がある。

次に, 直列4段のタンクモデルを用いた山崎川瑞穂観測点上流域の洪水流出解析について述べる。図26は

1971年8月洪水, 1971年9月洪水および東海豪雨の洪水のタンクモデルとそれらを用いた洪水位の推定結果を示したものである。ここでも洪水流量から洪水位への変換は, 1971年8月洪水および1971年9月洪水については流量観測に基づく水位-流量関係式を使用し, 東海豪雨では試行錯誤により推定した水位-流量関係式を用いた。この水位-流量関係式は上述の移動平均降雨洪水推定法にも用いている。洪水位の推定結果は図に示すように, 1971年8月洪水および東海豪雨の洪水の立ち上がり, 洪水ピークおよび洪水の逓減状況を良好に推定している。1971年9月洪水は上述したように洪水ピーク付近で氾濫が起きているので, 洪水ピーク付近の推定値は観測値に合わないが, それ以外のところは良好な推定ができています。3洪水のタンクモデルの違いを見ると, 1971年9月洪水と東海豪雨の洪水のタンクモデルはほぼ同様なモデルとなっていた。しかし, 細かく見ると東海豪雨のタンクモデルの方が, 第一段目タンクの下への流出穴の係数が少し小さく, 第一段目タンクおよび第二段目タンクの浸透穴の係数がやや大きくなっていました。これらは洪水を緩和して計算する機能があり, 東海豪雨の洪水の方が降雨に対して相対的にやや緩和した洪水流出になっていることを表す。これはこの間に設置された雨水調節池等の流域総合治水対策の効果が現れているものと考えられるが, さらに詳しい解析が必要である。1971年8月洪水は上述したように特異であり, 第一段目タンクの下への流出穴の係数が大きく, 第一段目タンクおよび第二段目タンクの底の浸透穴の係数が小さくなっている。これらは洪水を激化させて計算する構造であり, 1971年8月洪水は降雨に対して相対的に激しい洪水流出になっていることを現している。

③天白川上流支川植田川観測点の解析

植田川観測点は図14のH8地点に在り, その上流域は表1に示すように流域面積19.31km², 最大流路辺長5.0km, 流域形状係数0.78の丸い流域であり, 最大流路辺長の比高は89mである。流域内の地形, 地質および市街地を図27に示す。この地域は香流川上流域と同様に名古屋市の新興住宅地として, 近年, 開発が急ピッチで行われたところである。流域内の1970年に対する1999年の人口の変化を見ると, 天白区では2.18倍, その上流域の名東区では3.41倍に大きく増加している。この地域の人口密度は天白区7,096および名東区7,884である。岡本(1976)によれば1976年当時の流域の都市化率は52%程度で流域内は開発の途上にあり既に約半分の地域が都市化されていた。同図の市街地は1997年当時の区域を示したものであり, 全流域の63%を占めている。写真4に名古屋市天白区の植田川合流点付近の流域状況を示す。この流域は雨水の自然排水区域であり, 分流式の下水道が整備されている。また, 上流には雨水流出の調節機能を持つ牧野池(面積約17ha)がある。図28に植田川観測点の1971年8月洪水, 1971年9月洪水および東海豪雨の降雨と河川水位の時間変化を示す。ただし,

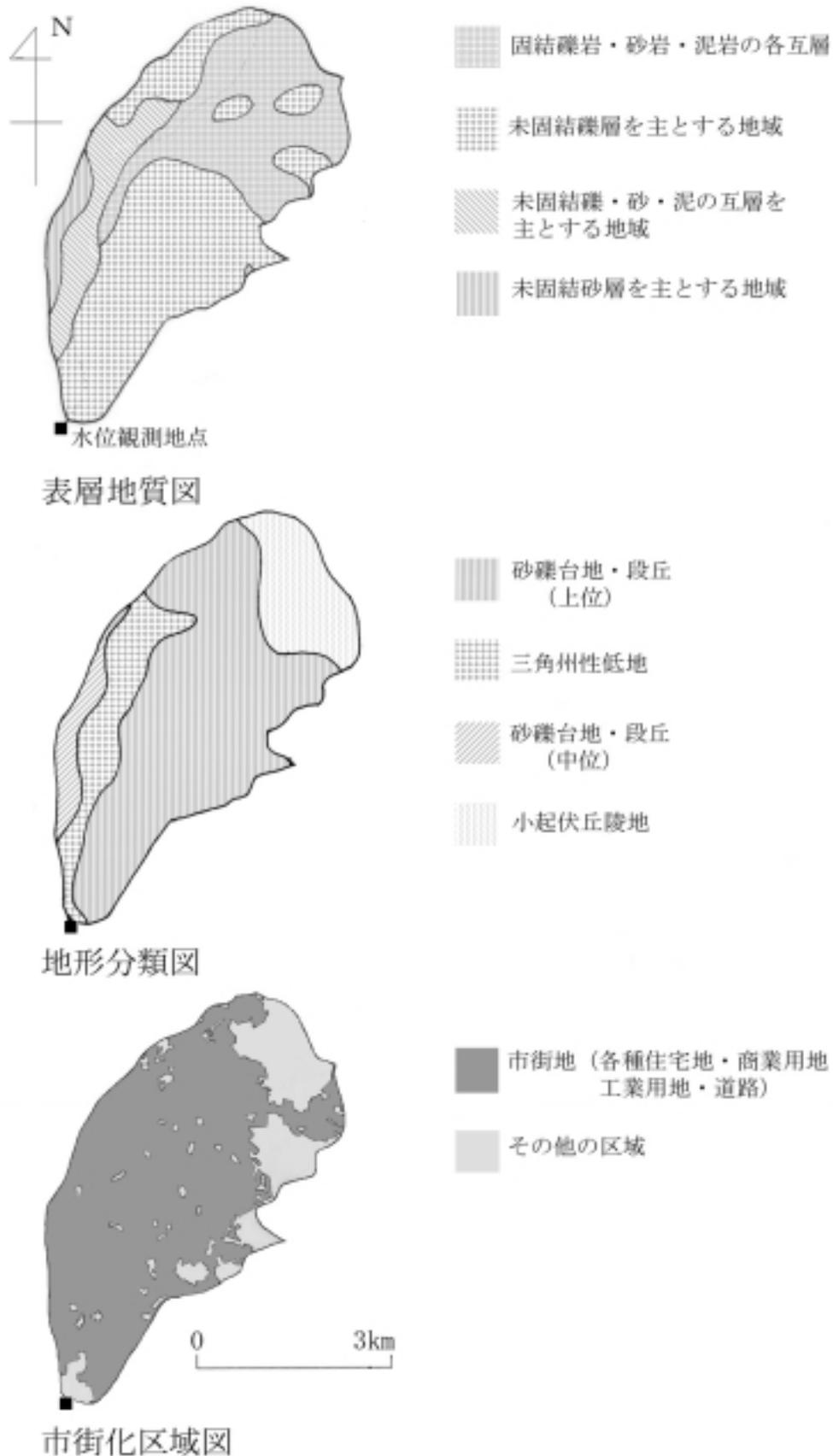


図 23 山崎川瑞穂観測点上流域の地形，表層，地質および市街地分布の状況

Fig. 23 Maps of the topography, the surface geology and the urbanized area in the upper river basin of the Mizuho Station in the Yamazaki River Basin.

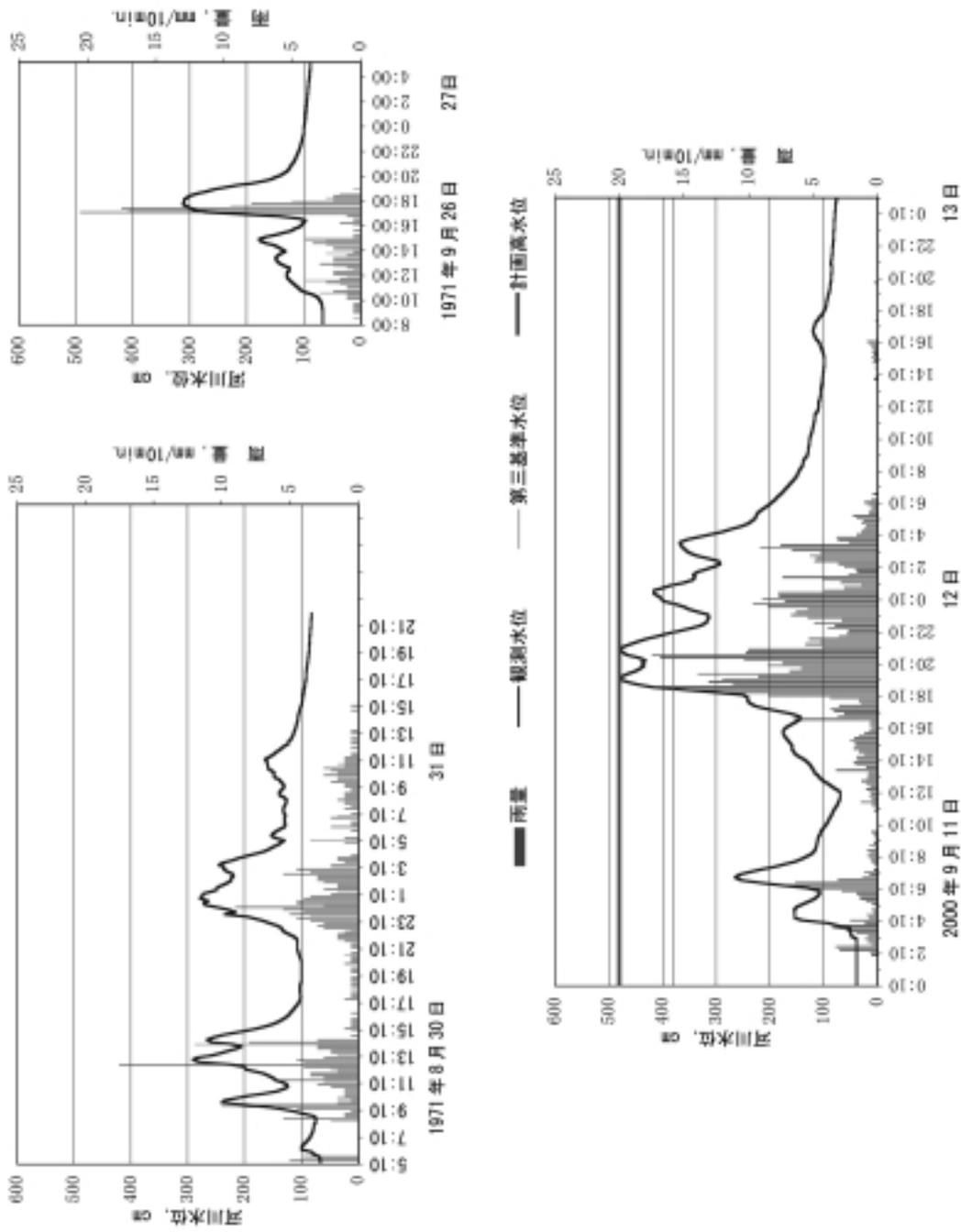


図 24 1971 年 8 月洪水，1971 年 9 月洪水および 2000 年 9 月の東海豪雨における山崎川瑞穂観測点の降雨量と河川水位の時間変化
 Fig. 24 Change of water level and average rainfall in the upper basin of the Mizuho River during floods in Aug. 1971, Sep. 1971 and Sep. 2000 of the Tokai Heavy Rainfall.

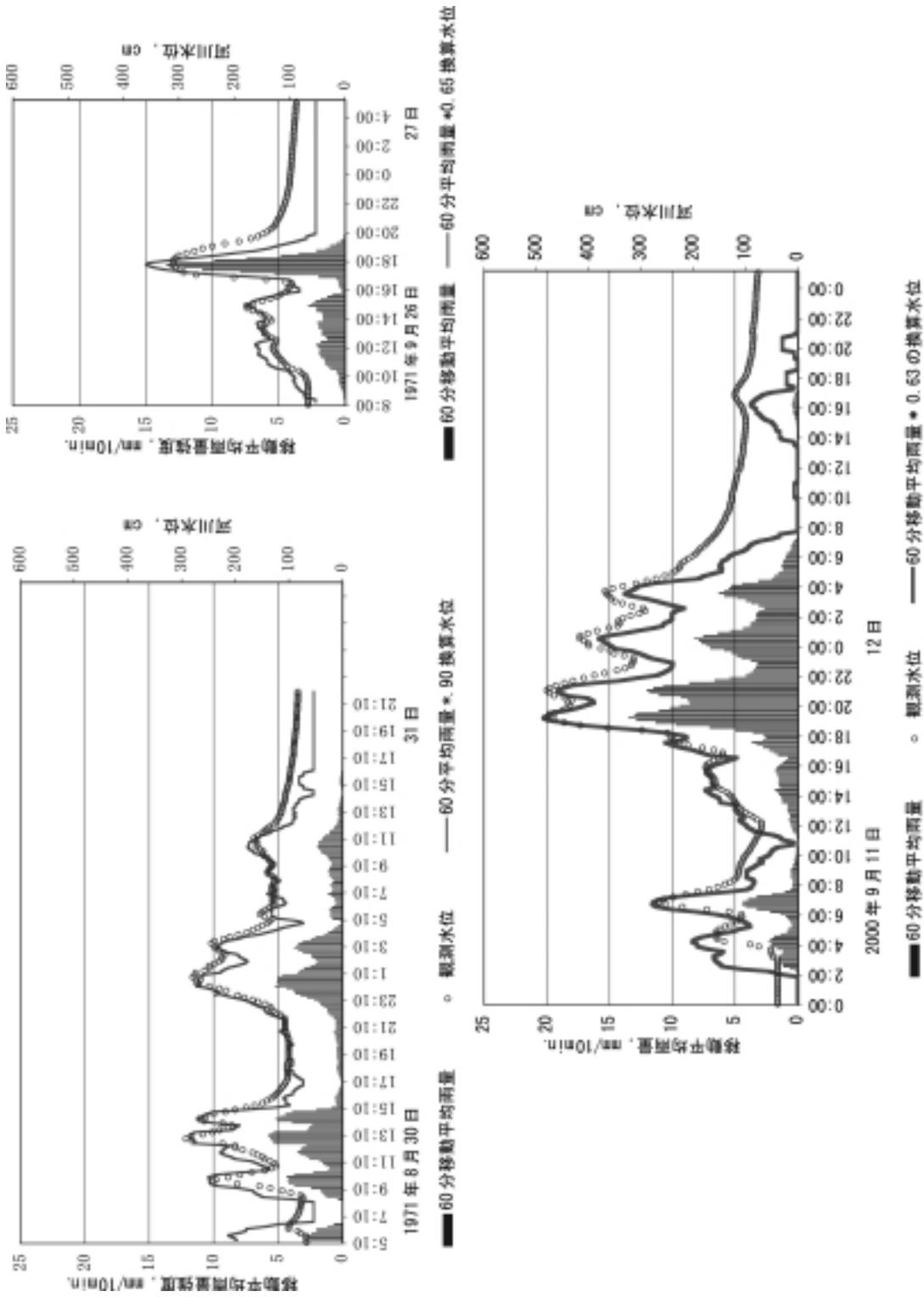


図25 1971年8月洪水, 1971年9月洪水および2000年9月の東海豪雨における山崎川瑞穂観測点の移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果
 Fig.25 Estimated water level at the Mizuho Station of the Yamazaki River with observed one in Aug. 1971, Sep. 1971 and Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were simply calculated by using the moving average rainfall and run-off coefficient.

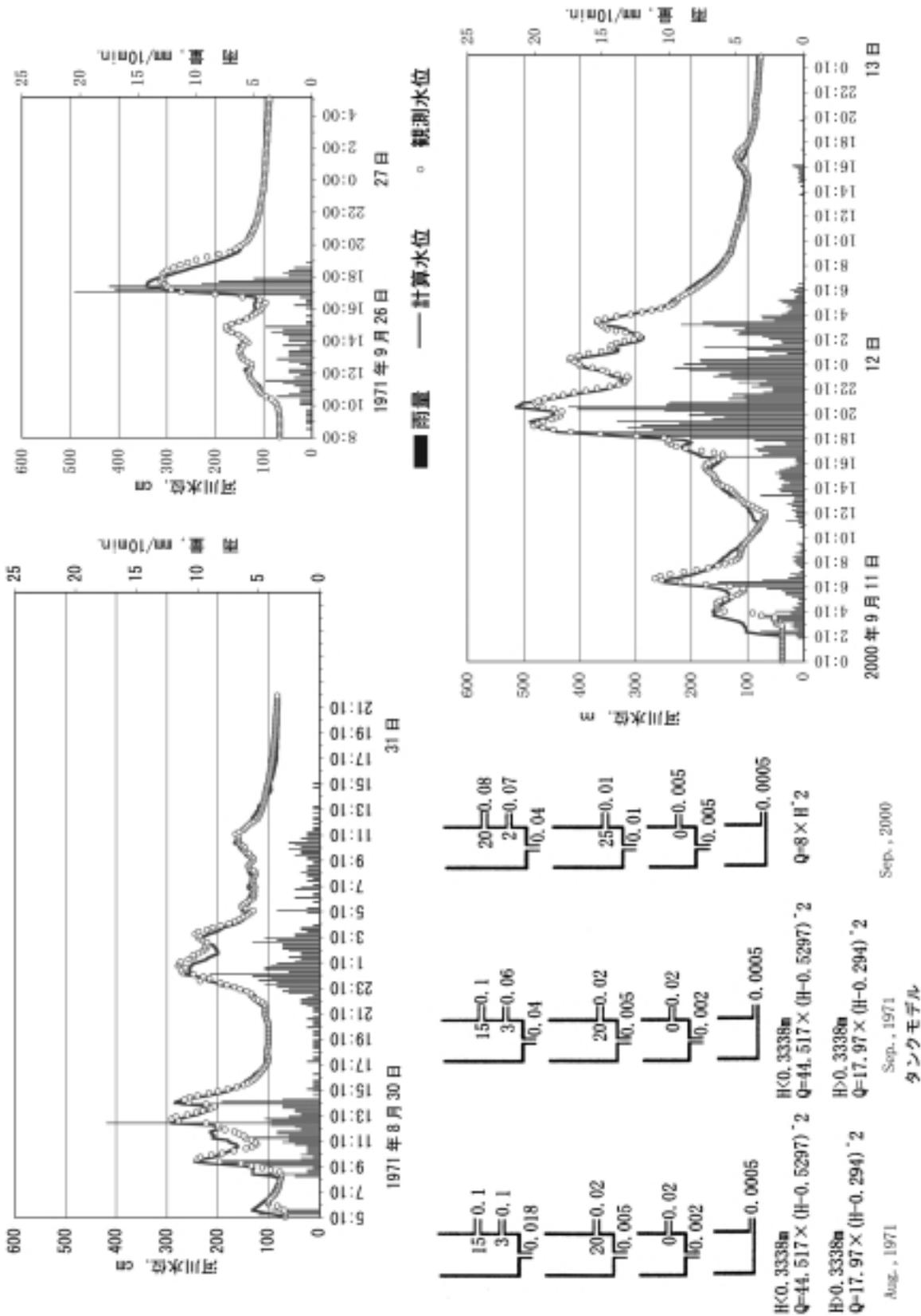


図 26 1971 年 8 月洪水, 1971 年 9 月洪水および 2000 年 9 月の東海豪雨における山崎川瑞穂観測点のタンクモデルによる河川水位推定結果
 Fig. 26 Estimated water level at the Mizuho Station of the Yamazaki River with observed one in Aug. 1971, Sep. 1971 and Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were calculated by the Tank Model described in the lower left side of the figure.



写真4 名古屋市天白区付近の植田川の流域状況（引用：愛知県，2000）

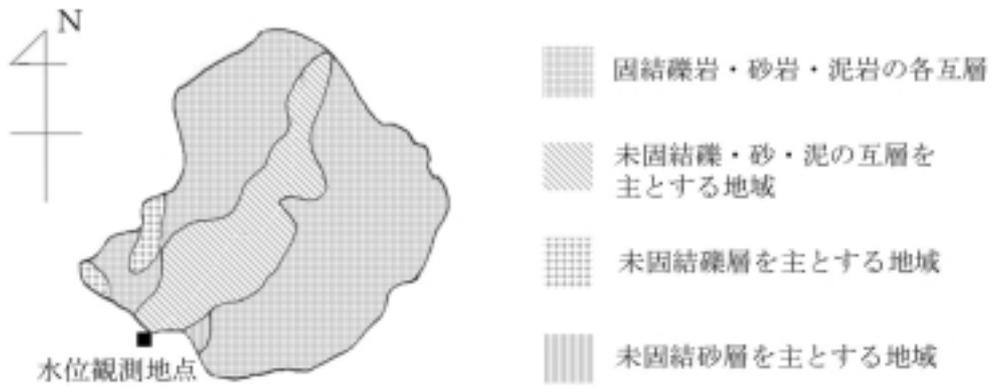
Photo 4 Condition of the Ueda River in the Tenpaku Ward of the Nagoya City (source: the Aichi Prefecture Office, 2000).

1971年9月洪水では山崎川と同様に大きな洪水氾濫が発生しており、洪水ピーク付近の波形が緩やかになっている。この図から分かるように、流域の市街化状態の違いを反映して、29年前の洪水では降雨に対して河川水位は相対的に低く、洪水の遞減も緩やかになっている。一方、東海豪雨の洪水では洪水位も相対的に高く、急峻な洪水波形になっている。これらを洪水到達時間および到達時間流出率の違いで見ると、1971年8月洪水および1971年9月洪水では洪水到達時間は80分、到達時間流出率約0.3～0.75であったが、東海豪雨の洪水では洪水到達時間は短く60分となり、到達時間流出率は約0.8と大きくなった。図28には植田川観測点の第3基準水位および計画高水位も示した。河川水位は11日19時40分には第3基準水位を越えたが、計画高水位を越えるには至らなかった。この流域では11日19時55分頃下流に位置する地下鉄鶴舞線塩釜口～植田間の軌道が内水氾濫により冠水し、運休するとともに、塩釜口付近および植田西付近は道路冠水により交通規制が行われた。このように下流の谷底低地や合流点の後背地で内水氾濫が発生し、流域の約2%の地域が浸水し、床下67棟、床上233棟の浸水被害が発生した。図29に1971年8月洪水、1971年9月洪水および東海豪雨の洪水について、洪水到達時間を一定とした場合の移動平均降雨および移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果を示す。この図から分かるように、東海豪雨の洪水では移動平均降雨洪水推定法は洪水ピーク付近の洪水位を適切に推定しており、市街化が進んだ植田川流域ではおおよその洪水位を簡便に推定する方法として、この手法の有効性が認められる。1971年8月洪水では流域は未だ開発途上にあり、市街化率も低く52%であったため、洪水初期の到達時間流出率は0.3と小さく、洪水後半では長期の流出成分が増加し、到達時間流出率が0.6～0.75に増加した。このため、洪水後半では推定値が実測値と合わなくなってくる。

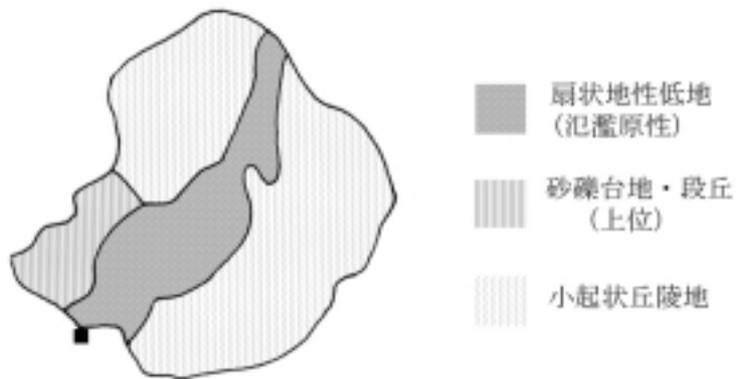
次に、直列4段のタンクモデルを用いた植田川観測点上流域の洪水流出解析について述べる。図30は1971年8月洪水、1971年9月洪水および東海豪雨の洪水のタンクモデルとそれらを用いた洪水位の推定結果を示したものである。ここでも洪水流量から洪水位への変換は、1971年8月洪水および1971年9月洪水については流量観測に基づく水位流量関係式を使用し、東海豪雨では試行錯誤により推定した水位流量関係式を用いた。この水位流量関係式は上述の移動平均降雨洪水推定法にも用いている。洪水位の推定結果は図に示すように、東海豪雨の洪水は洪水の立ち上がり、洪水ピークおよび洪水の遞減状況を良好に推定し、1971年8月洪水では洪水の初期の部分を除いてほぼ妥当な推定結果を示した。1971年9月洪水では上述したように洪水ピーク付近で氾濫が起きているので、洪水ピーク付近の推定は良くないし、前半の洪水部で推定値が合わなくなっている。この点についてはさらに検討する必要がある。3洪水のタンクモデルの違いを見ると、1971年8月洪水と1971年9月洪水は同じタンクモデルを使用しており、東海豪雨のタンクモデルと比較すると同モデルの第一段目タンクに流出穴が2つあり、係数も大きくなっている。また、浸透穴の係数も大きくなっている。このように東海豪雨のタンクモデルはより、都市化の影響を反映したモデルとなっている。

④天白川天白観測点の解析

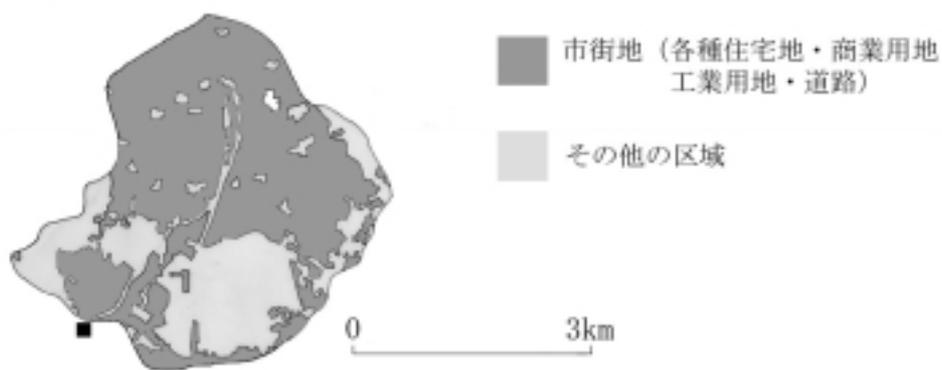
天白観測点は図14のH6地点に在り、その上流域は表1に示すように流域面積74.09km²、最大流路辺長16.4km、流域形状係数0.28の流域であり、最大流路辺長の比高は176mである。流域内の地形、地質および市街地を図31に示す。この地域は名古屋市の新興住宅地として、近年、開発が急ピッチで行われたところである。流域内の1970年に対する1999年の人口の変化を見ると、天白川右岸の南区、瑞穂区および昭和区は約0.8倍に減少しているが、右岸側の緑区は2.17倍、天白区は2.18倍、名東区は3.41倍、上流の日進市は3.18倍に増加している。この地域の人口密度は南区8,008、瑞穂区9,297、昭和区9,633、緑区5,464、天白区7,096、名東区7,884および日進市1,959である。同図の市街地は1997年当時の区域を示したものであり、全流域の44%を占めている。写真5に名古屋市天白区天白川天白水位観測点付近の状況を示す。この地域の大部分は雨水の自然排水区域であり、台地部には荒池、細口池、大根池等のため池がある。下流部では河川が地盤高より高いところを流れる天井川になっているため、洪水時には谷底平野に溜まる雨水をポンプ排水する必要があり、菅田、弥富および野並にそれぞれ排水容量11.8m³/sec、16.7m³/secおよび7.6m³/secの排水ポンプが設置されている。また、天白川と支川の植田川の合流点の後背低地には植田処理場があり、ここにも17.3m³/secの雨水排水ポンプが設置されている。さらに、河川への洪水流出を緩和するため、雨水調整池（中根雨水調整池1,000m³、弥富ポンプ場に併設された弥富雨水



表層地質図



地形分類図



市街化区域図

図 27 植田川植田川観測点上流域の地形，表層，地質および市街地分布の状況
 Fig. 27 Maps of the topography, the surface geology and the urbanized area in the upper river basin of the Uedagawa Station in the Ueda River Basin.

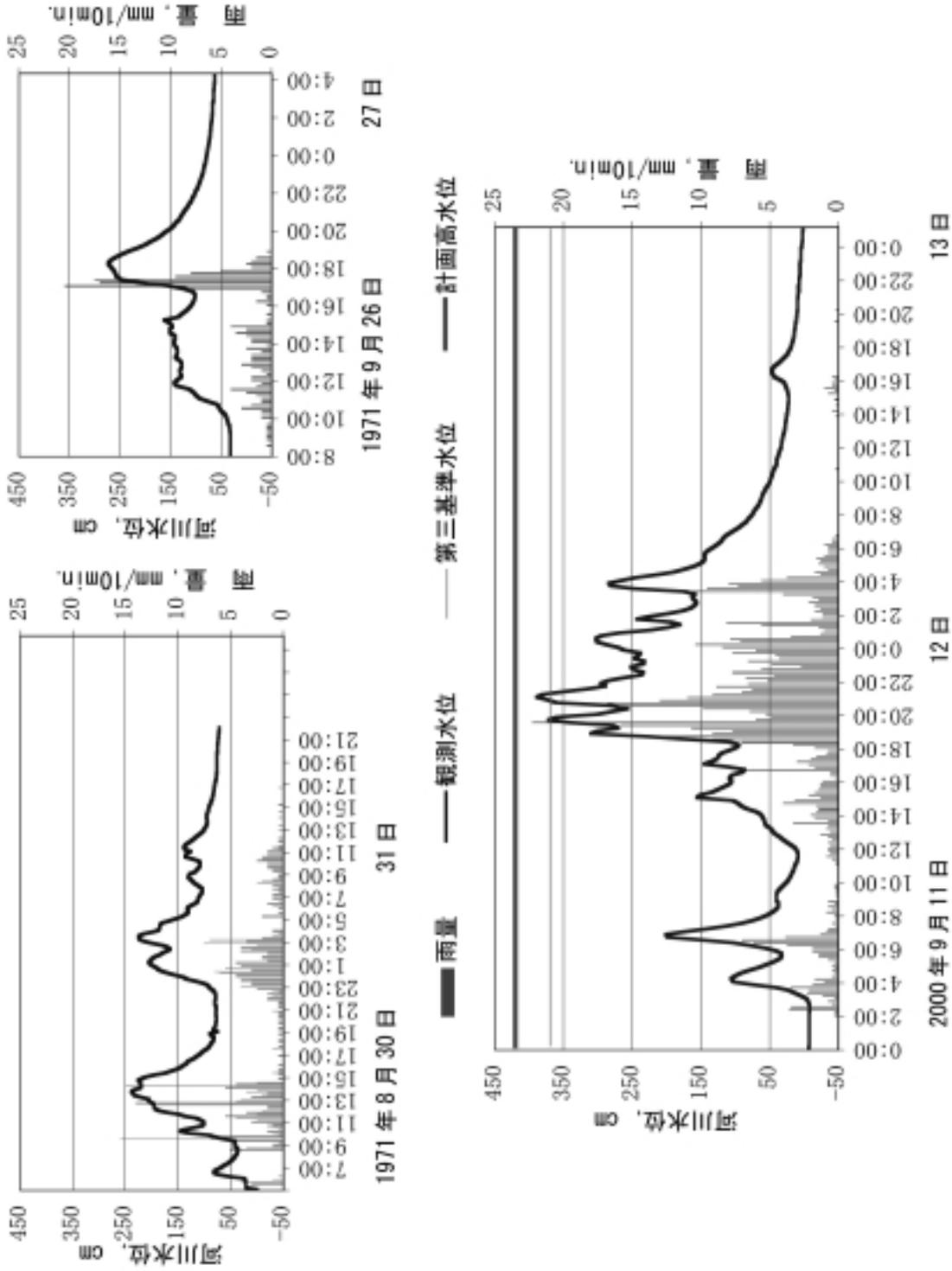


図28 1971年8月洪水, 1971年9月洪水および2000年9月の東海豪雨における植田川観測点の降雨量と河川水位の時間変化
 Fig. 28 Change of water level and average rainfall amount in the upper basin of the Uedagawa Station of the Ueda River during floods in Aug. 1971, Sep. 1971 and Sep. 2000 of the Tokai Heavy Rainfall.

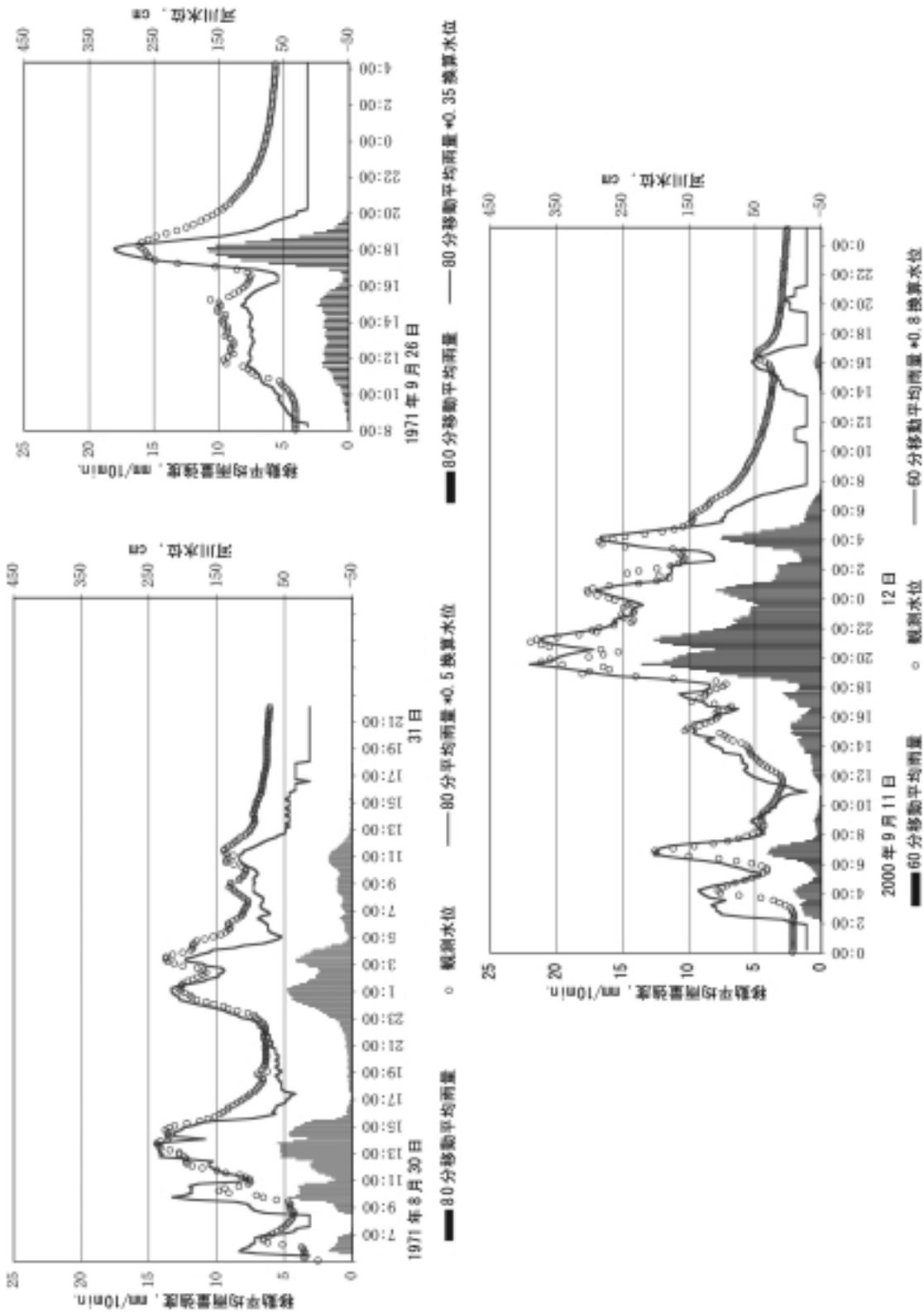


図 29 1971 年 8 月洪水および 2000 年 9 月の東海豪雨における植田川植田川観測点の移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果
 Fig. 29 Estimated water level at the Uedagawa Station of the Ueda River with observed one in Aug. 1972, Sep. 1972 and Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were simply calculated by using the moving average rainfall and run-off coefficient.

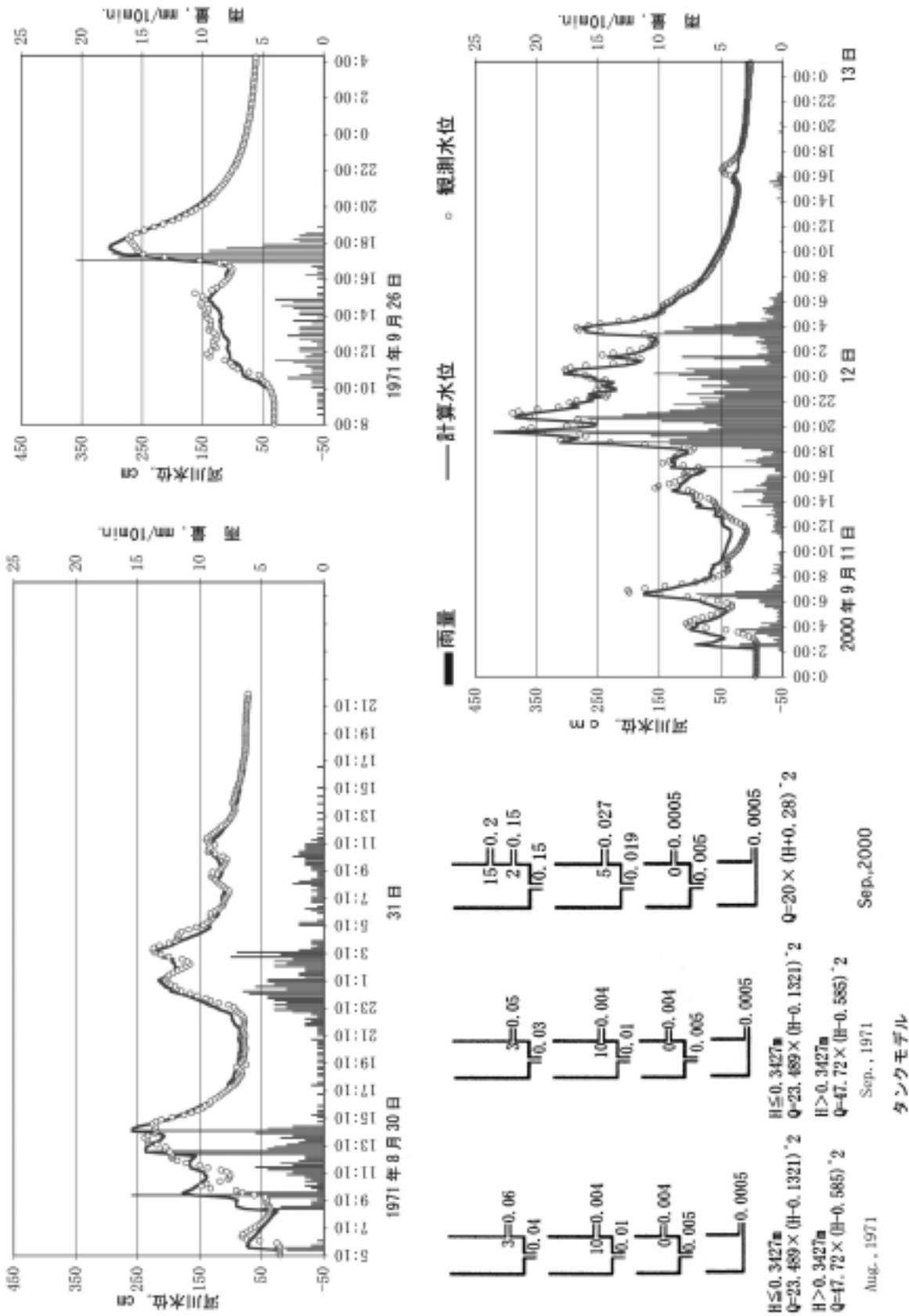


図 30 1971 年 8 月洪水, 1971 年 9 月洪水および 2000 年 9 月の東海豪雨における植田川植田川観測点のタンクモデルによる河川水位推定結果
 Fig. 30 Estimated water level at the Uedagawa Station of the Ueda River with observed one in Aug. 1971, Sep. 1971 and Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were calculated by the Tank Model described in the lower left side of the figure.



写真5 天白水観測点付近の天白川の状況。写真右端の天白川と藤川の合流点に位置する天白川左岸の野並地区は深く浸水した、2000年9月12日撮影（提供：パスコ株式会社）

Photo 5 Condition of the Tenpaku River near the Tenpaku Water Level Station. The Nonami district left side of the river were inundated deeply, where is the junction point of the Tenpaku River and the Fuji River in the lower right side corner of the picture taken on 12th Sep. 2000 (courtesy of the Pasco Co. Ltd.).

調整池 1,200m³、野並ポンプ場に併設された野並雨水調整池 5,400m³等)がある。天白観測点では 1971 年洪水のデータが得られなかったため、東海豪雨の洪水についてのみ解析を行った。図 32 は降雨と河川水位の時間変化を示したものであり、この洪水の洪水到達時間は 150 分、到達時間流出率は 0.65 であった。同図には水防警報の出動水位および計画高水位も示した。河川水位は 11 日 19 時 10 分には出動水位を越えており、11 日 19 時 50 分には計画高水位を越えていた。洪水はさらに上昇し、最高水位は計画高水位を 1.32m 越える 9.98m に達した。流域内では 11 日 19 時頃野並地区付近で床上浸水が発生し、20 時頃天白区北沢交差点～平子橋間および野並交差点～野並橋間の道路が冠水し、交通規制が行われた。写真 6 に天白川左岸の福池、中坪地区の浸水状況を示す。20 時 20 分頃には地下鉄桜通線鶴里～野並間の軌道が冠水し、地下鉄が桜山～野並間で運休した。22 時 16 分頃には野並交差点北西一帯で浸水による救助要請が多発した。12 日 2 時頃には野並ポンプ場の燃料供給ポンプが浸水し、同日 3 時 40 分頃から 10 時頃まで 3 台のポンプが停止した。河川も堤防越水が 4 か所で発生し、各地で内水氾濫が発生した。このため、流域の約 4 %の地域が浸水し、床上 4,642 棟、床下 5,023 棟の浸水被害が発生した。図 33 に同洪水について、洪水到達時間を一定とした場合の移動平均降雨および移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果を示す。この図から分かるように、移動平均降雨洪水推定法は洪水ピーク付近の洪水水位を適切に推定している。ただし、洪水後半の洪水ピークではゆっくりした流出成分が相対的に増すため、到達時間流出率が



写真6 名古屋市天白区付近の天白川左岸の洪水氾濫状況、2000年9月12日撮影（提供：パスコ株式会社）

Photo 6 Flood on the left side of the Tenpaku River in the Tenpaku Ward of the Nagoya City taken on 12th Sep. 2000 (courtesy of the Pasco Co. Ltd.).

0.95 程度に上昇し、推定値が実測値と合わなくなっている。

次に、直列 4 段のタンクモデルを用いた天白川天白観測点上流域の洪水流出解析について述べる。図 34 に東海豪雨の洪水のタンクモデルとそれらを用いた洪水水位の推定結果を示す。ここでも洪水流量から洪水水位への変換は試行錯誤により推定した水位-流量関係式を用いた。洪水水位の推定結果は図に示すように、洪水ピークおよび洪水の通減状況を良好に推定している。タンクモデルの構造を見ると、第一段目タンクは 3 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、最も下の流出穴は 5mm の高さであり、その上の流出穴は 15mm の高さ、さらにその上の流出穴は 30mm の高さにある。これは流域平均にして 5mm の雨水がタンクに溜まるまではタンク内の全雨水は下段のタンクへ浸透し、タンク内に雨水が 5 ~ 15mm 溜まっている間はタンクからの流出割合は 0 %から 33 %の間で変化し、タンク内に雨水が 15 ~ 30mm 溜まっている間は流出割合は 33 %から 50 %の間で変化する。タンク内に雨水が 30mm 以上溜まるようになると流出割合は 50 %から 67 %に次第に増加する。第二段目のタンクは 2 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、下の流出穴は 25mm の高さであり、その上の流出穴は 40mm の高さにある。このタンクからの流出は相対的に大きく、タンク内に雨水が 25mm 溜まるまではタンク内の全雨水は下段のタンクへ浸透し、タンク内に雨水が 25 ~ 40mm 溜まっている間はタンクからの流出割合は 0 %から 43 %の間で変化する。タンク内に雨水が 40mm 以上溜まるようになると流出割合は 43 %から 77 %に次第に増加する。第三段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は 25mm の高さにある。このタンクからの流出も相対的に大きく、タンク内に雨水が 25mm 溜まるまではタンク内の全雨水は下段のタンクへ浸透し、タンク内に雨水が

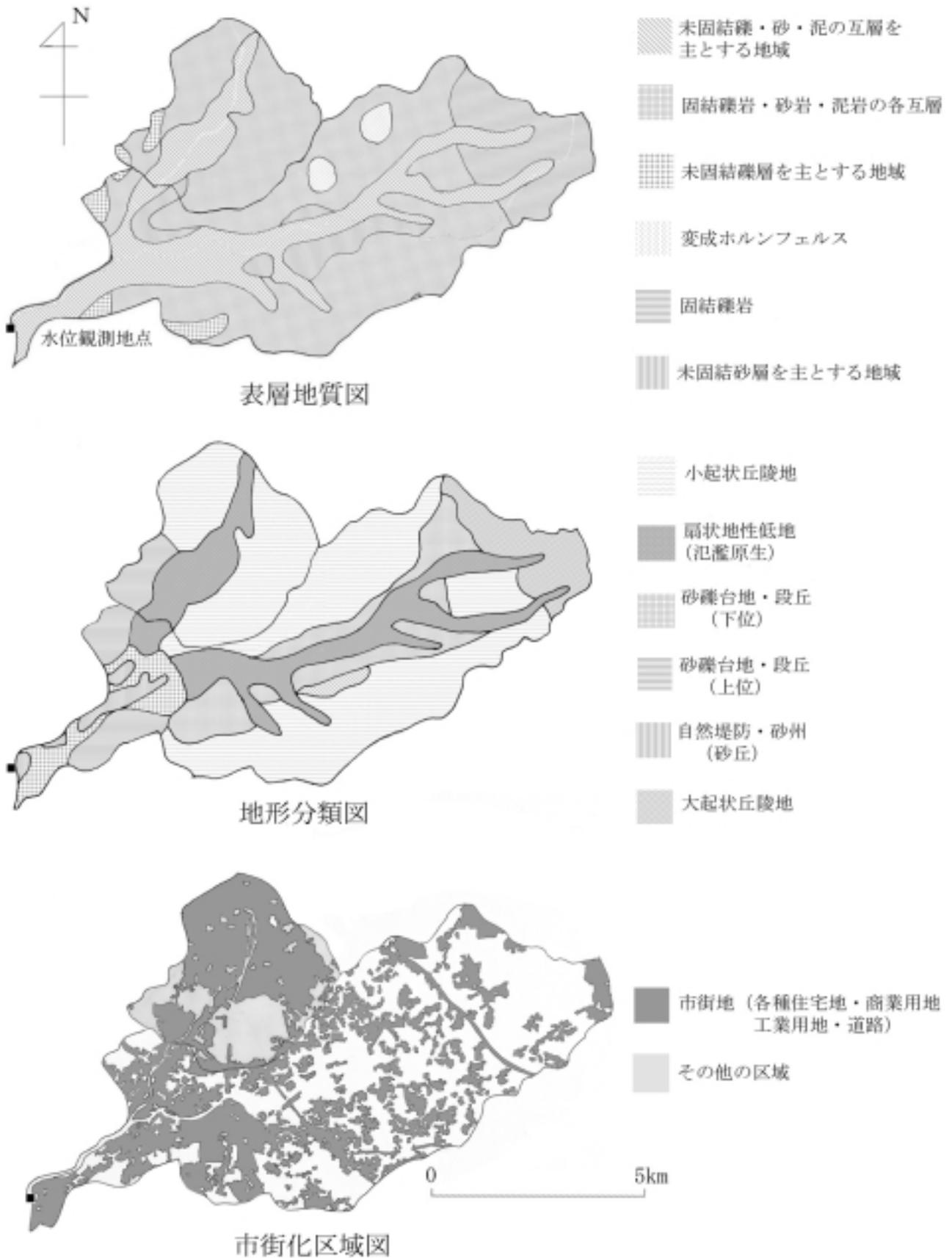


図31 天白川天白観測点上流域の地形，表層，地質および市街地分布の状況

Fig. 31 Maps of the topography, the surface geology and the urbanized area in the upper river basin of the Tenpaku Station in the Tenpaku River Basin.

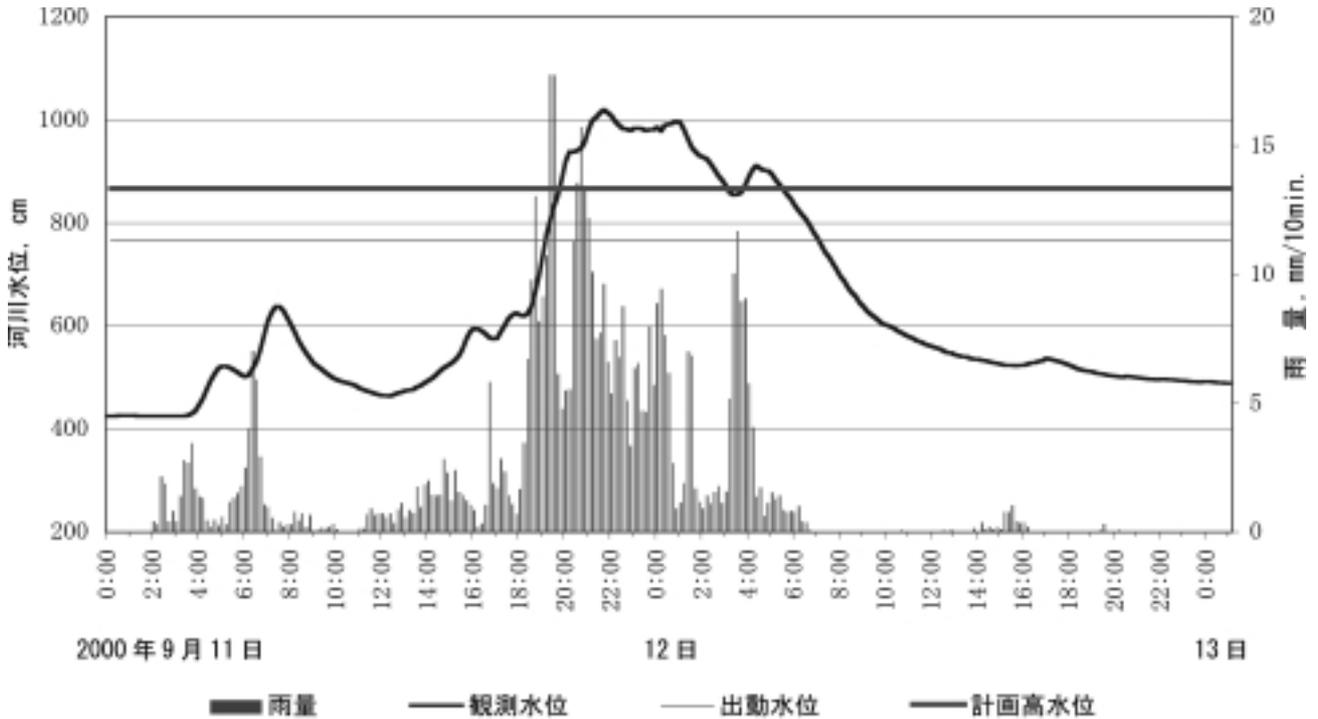


図 32 2000年9月の東海豪雨における天白川天白観測点の降雨量と河川水位の時間変化
 Fig. 32 Change of water level and average rainfall amount in the upper basin of the Tenpaku Station of the Tenpaku River during the flood in Sep. 2000 of the Tokai Heavy Rainfall.

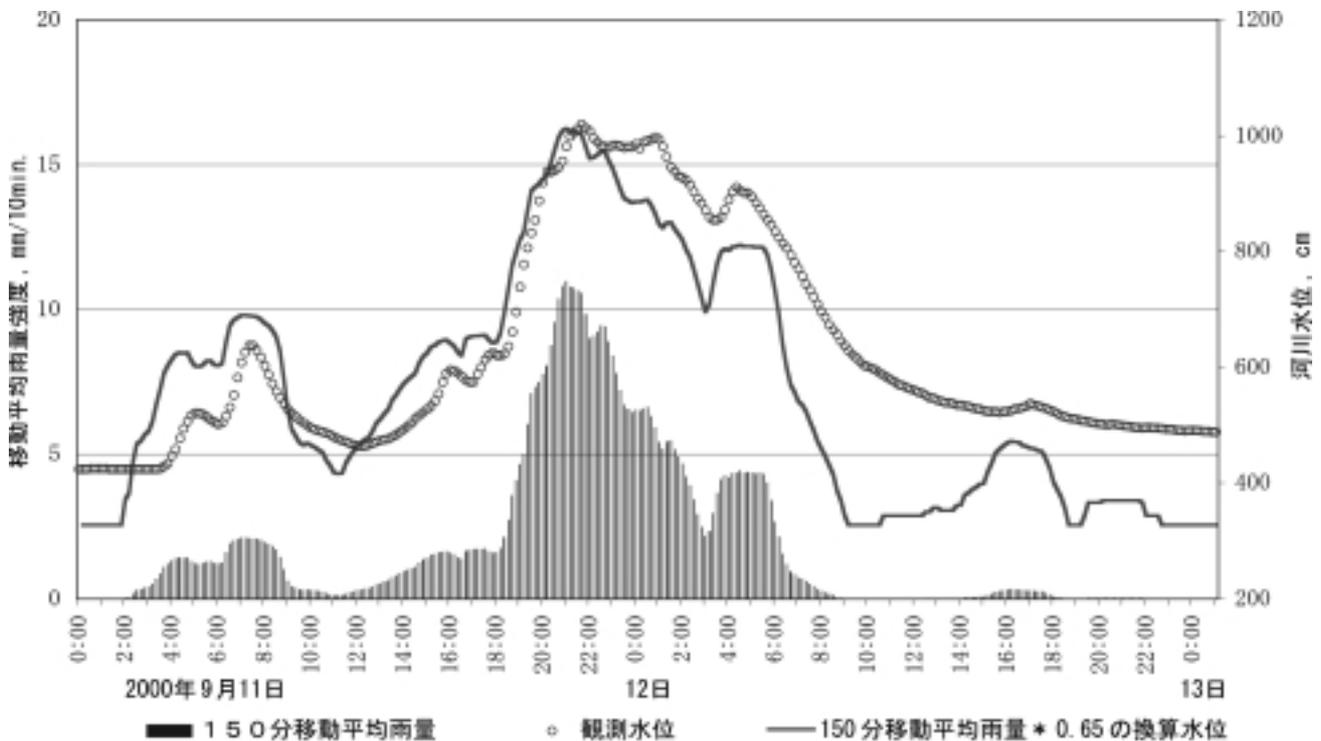


図 33 2000年9月の東海豪雨における天白川天白観測点の移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果
 Fig. 33 Estimated water level at the Tenpaku Station of the Tenpaku River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were simply calculated by using the moving average rainfall and run-off coefficient.

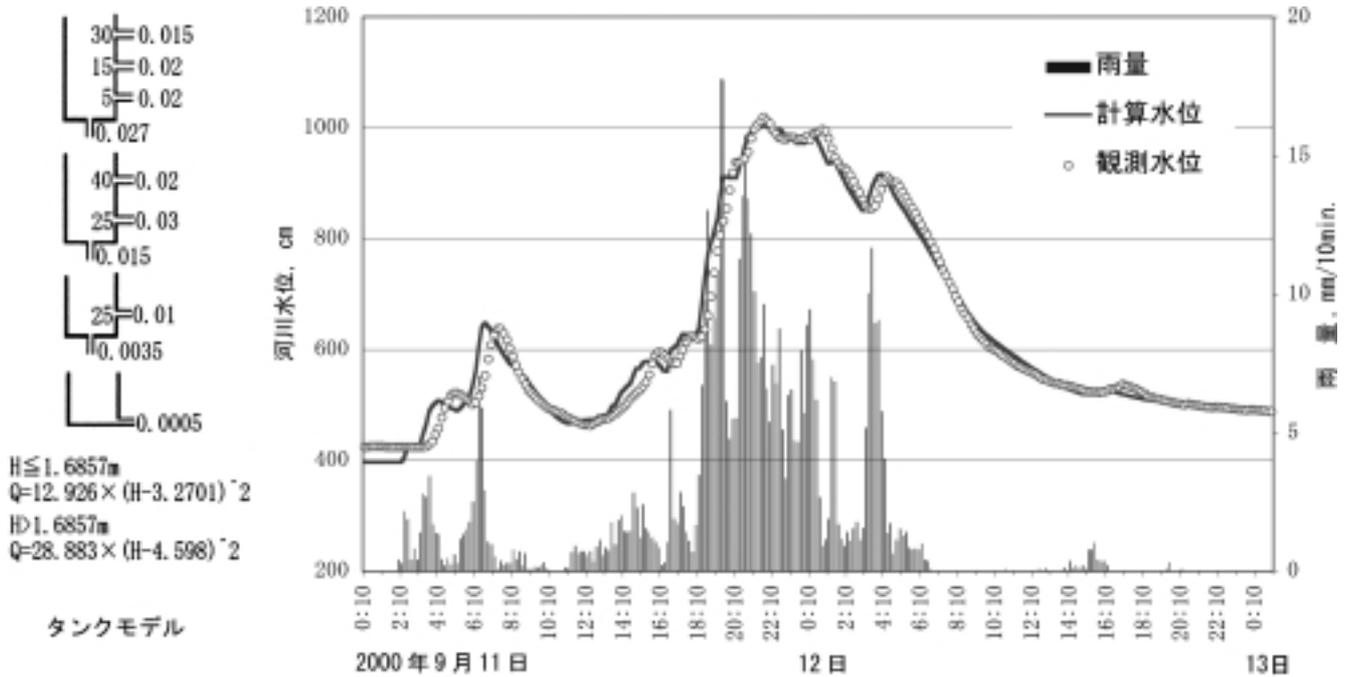


図 34 2000 年 9 月の東海豪雨における天白川天白観測点のタンクモデルによる河川水位推定結果

Fig. 34 Estimated water level at the Tenpaku Station of the Tenpaku River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were calculated by the Tank Model described in the left side of the figure.

25mm 以上溜まるとタンクからの流出割合は 0 % から 74 % に次第に増加する．このタンクモデルは強雨時には雨量の多くが第一段目タンクから流出するようになっており、さらに、流出の遅い成分も第二段目および第三段目のタンクから多く流出するようになっている．

(2) 名古屋市北部の新川流域の事例

解析地点は新川の久地野観測点および新川上流の地蔵川の勝川観測点であり、東海豪雨の洪水についてのみ解析を行った．新川は庄内川の右岸側に有り、犬山山地および瀬戸・小牧丘陵を水源とし、その西側に広がる春日井・小牧台地および尾張低地を流れている．犬山山地および瀬戸・小牧丘陵の表層地質は第 3 紀の礫岩、珪岩質岩石、砂岩等の堆積岩類で構成され、春日井・小牧台地は洪積世の砂、礫、泥等の堆積物で構成されている．尾張低地は沖積世の砂、泥、礫等の堆積物で覆われている．新川は江戸時代中期に庄内川の放水路および庄内川右岸低地の排水路として人工的に開削された延長約 20km の河川である．木曽川の扇状地の旧河道に沿った網状水路に集まる雨水は五条川、大山川、地蔵川等の支川を経てこの河川に流入するようになった．また、庄内川の洪水時には洪水の一部が庄内川洗堰から新川に流入するようになった．この河川の掘削により、庄内川右岸側低地の排水が良くなるとともに、庄内川の治水安全性も向上した．

①新川上流の地蔵川勝川観測点の解析

勝川観測点は図 14 の H3 地点に在り、その上流域は表

1 に示すように流域面積 21.92km²、最大流路辺長 9.6km、流域形状係数 0.24 の流域であり、最大流路辺長の比高は 93m である．流域内の地形、地質および市街地を図 35 に示す．この地域は交通の便も良く、名古屋市の新興住宅地として、近年、開発が急ピッチで行われたところである．流域内の 1970 年に対する 1999 年の人口の変化を見ると、豊山町は 1.19 倍、上流の春日井市は 1.77 に増加している．この地域の人口密度は豊山町 2,110、春日井市 3,090 である．同図の市街地は 1997 年の区域を示したものであり、全流域の 62 % を占めている．写真 7 に春日井市付近の地蔵川中流域の状況を示す．この地域では開発に伴う洪水流出の増大を減少させるため、雨水貯留施設設置区域を設けて、流域内の雨水貯留能力の低下に対する対策が行われているところである．写真 8 に小牧中学校における雨水の一時貯留方式の事例を示した．ここでは校庭が 1m 程掘り下げられて作られており、一時的にここに雨水を留めるようになっている．図 36 は降雨と河川水位の時間変化を示したものであり、この洪水の洪水到達時間は 120 分、到達時間流出率は 0.65 であった．同図には第 3 基準水位および計画高水位も示した．河川水位は 11 日 17 時 30 分には第 3 基準水位を越えており、11 日 18 時 40 分には計画高水位を越えていた．最高水位は計画高水位を 0.61m 越える 3.21m であった．流域では 11 日 21 時 30 分頃東名阪高速道路が勝川～名古屋間で、東名高速道路が春日井～名古屋間で道路冠水のため通行止めになった．このため、流域の約 5 % の地域が浸水し、床下 198 棟、床上 537 棟の浸水被害が発生した．また、隣の八田川では 2 か所で堤防越水するなど河川沿い低地

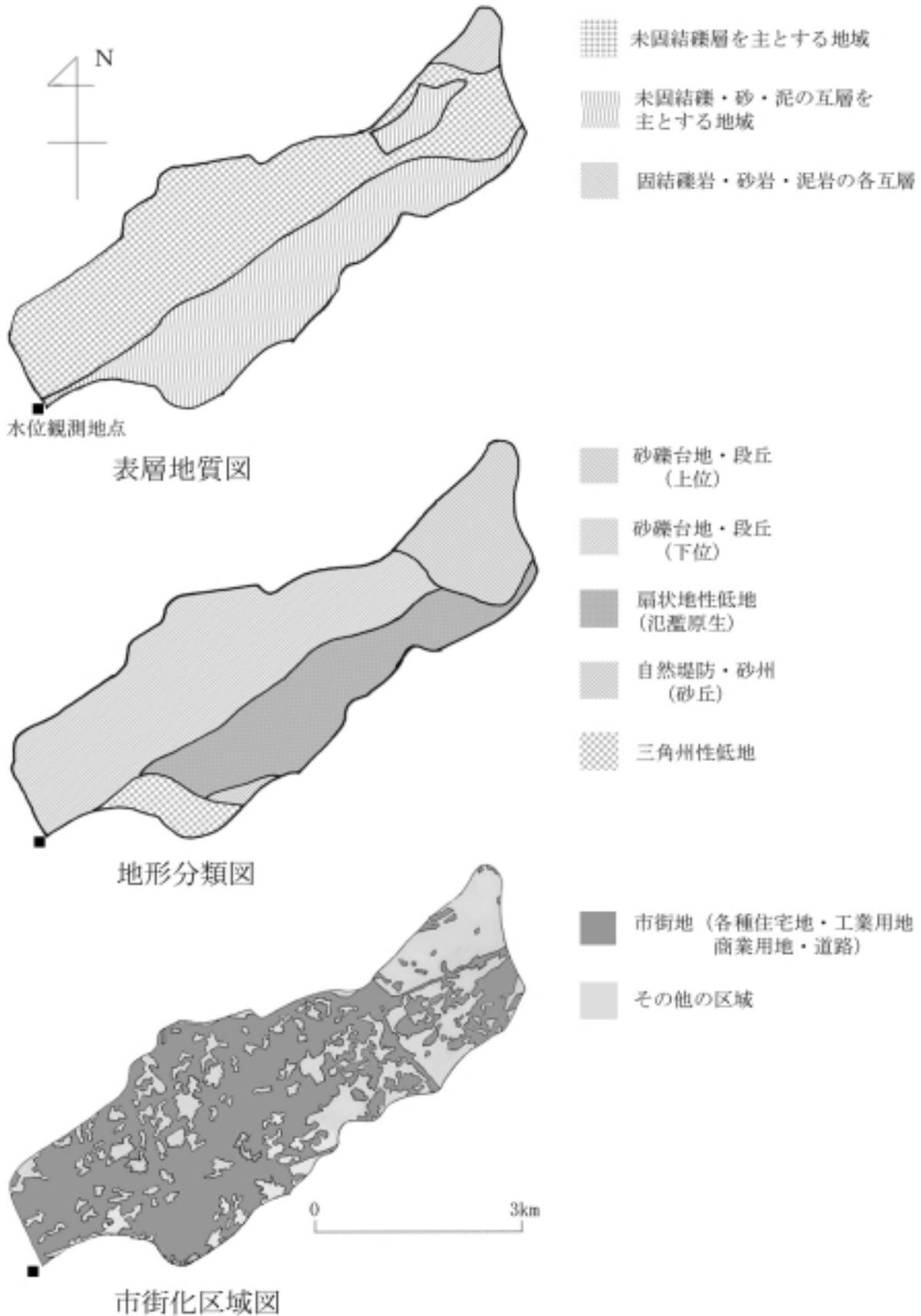


図 35 地蔵川勝川観測点上流域の地形，表層，地質および市街地分布の状況

Fig. 35 Maps of the topography, the surface geology and the urbanized area in the upper river basin of the Kachigawa Station in the Jizou River Basin.



写真7 春日井市付近の地蔵川中流域の状況（引用：愛知県，2000）

Photo 7 Condition in the middle part of the Jizou River Basin in the Kasugai City (source: the Aichi Prefecture Office, 2000).



写真8 新川流域内の小牧中学校における洪水抑制対策（引用：愛知県，2000）

Photo 8 A flood control measure at the Komaki Junior High School in the Shinkawa River Basin (source: the Aichi Prefecture office, 2000).

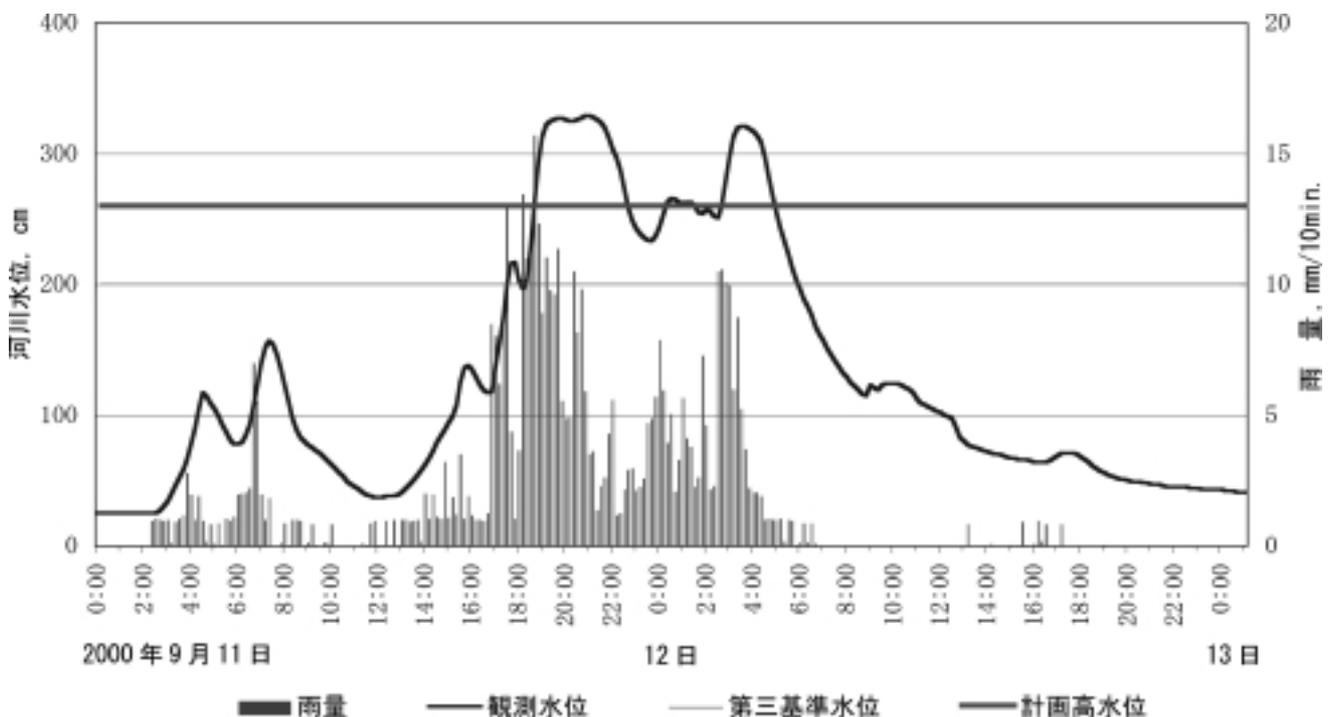


図 36 2000 年 9 月の東海豪雨における地蔵川勝川観測点の降雨量と河川水位の時間変化

Fig. 36 Change of water level and average rainfall amount in the upper basin of the Kachigawa Station of the Jizou River during the flood in Sep. 2000 of the Tokai Heavy Rainfall.

で浸水被害が広がった。図 37 に同洪水について、洪水到達時間を一定とした場合の移動平均降雨および移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果を示す。この図から分かるように、移動平均降雨洪水推定法は洪水ピーク付近の洪水水位を適切に推定している。ただし、洪水後半の部分については到達時間流出率が 0.9 程度に上昇したため推定値が実測値と合わなくなっている。

次に、直列 4 段のタンクモデルを用いた地蔵川勝川観

測点上流域の洪水流出解析について述べる。図 38 に東海豪雨の洪水のタンクモデルとそれらを用いた洪水水位の推定結果を示す。ここでも洪水流量から洪水水位への変換は試行錯誤により妥当と思われる水位 流量関係式を用いて行った。洪水水位の推定結果は図に示すように、洪水初期の一部分を除いて、洪水ピークおよび洪水の遞減状況を良好に推定している。タンクモデルの構造を見ると、第一段目タンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、

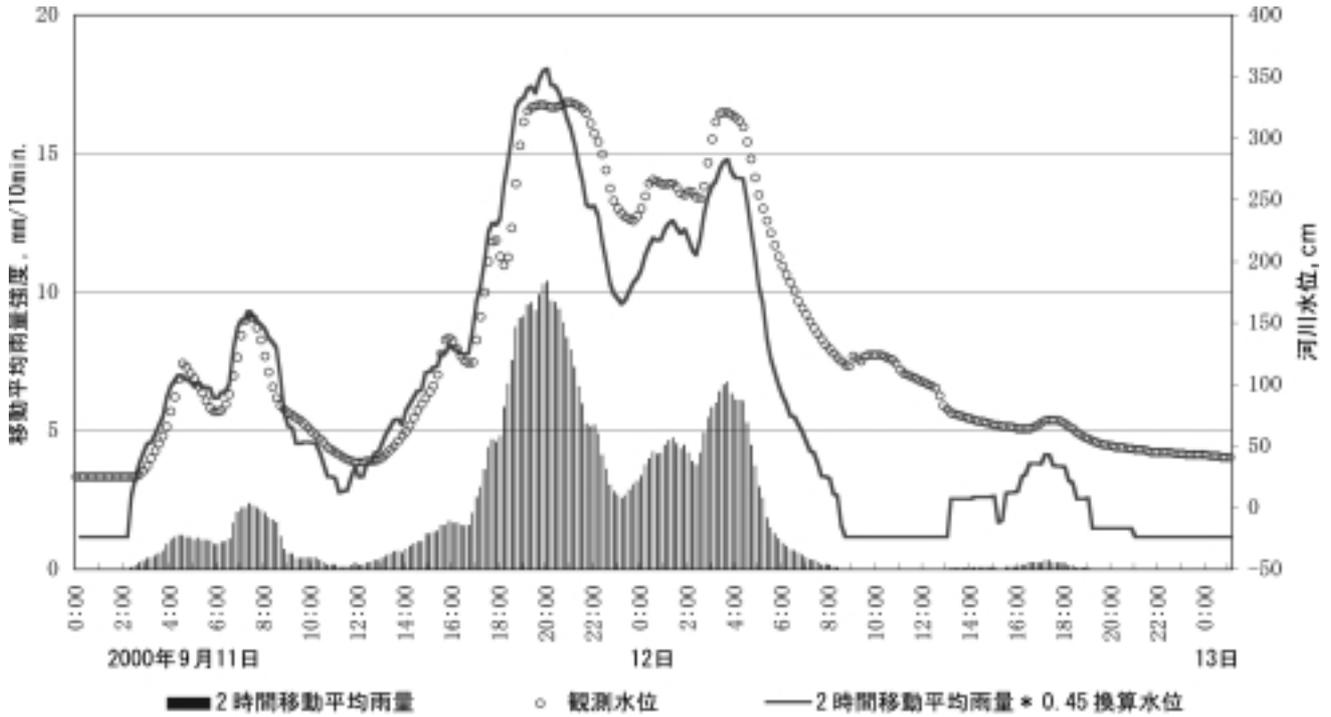


図 37 2000 年 9 月の東海豪雨における地蔵川勝川観測点の移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果
 Fig. 37 Estimated water level at the Kachigawa Station of the Jizou River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were simply calculated by using the moving average rainfall and run-off coefficient.

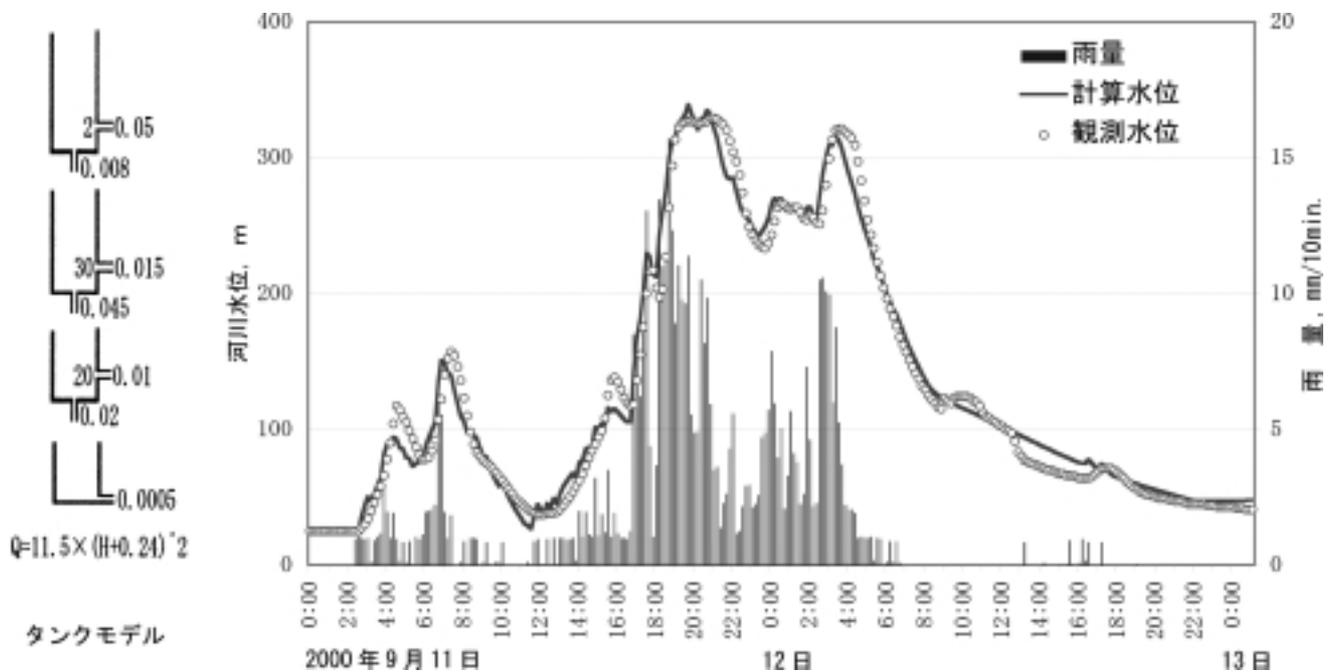


図 38 2000 年 9 月の東海豪雨における地蔵川勝川観測点のタンクモデルによる河川水位推定結果
 Fig. 38 Estimated water level at the Kachigawa Station of the Jizou River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were calculated by the Tank Model described in the left side of the figure.

流出穴は 2mm の高さにある．このタンク内に 2mm 以上溜まるようになると，タンクからの流出割合は 0 % から 86 % に次第に増加する．第二段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち，流出穴は 30mm の高さにある．このタンクに雨水が 30mm 以上溜まるようになると，流出割合は 0 % から 25 % に次第に増加する．第三段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち，流出穴は 20mm の高さにある．このタンクからの流出は相対的に大きく，タンク内に雨水が 20mm 以上溜まるとタンクからの流出割合は 0 % から 33 % に次第に増加する．このタンクモデルは強雨時には雨量の多くが第一段目タンクから流出するようになっており，さらに，流出の遅い成分が第三段目タンクから多く流出する構造を持っている．

②新川久地野観測点の解析

久地野観測点は図 14 の H2 地点に在り，その上流域は表 1 に示すように流域面積 108.18km²，最大流路辺長 17.6km，流域形状係数 0.35 の太い流域であり，最大流路辺長の比高は 269m である．流域内の地形，地質および市街地を図 39 に示す．この地域は名古屋市の新興住宅地として，近年，開発が急ピッチで行われたところである．流域内の 1970 年に対する 1999 年の人口の変化を見ると，師勝町は 1.70 倍，豊山町および春日井市は前述したようにそれぞれ 1.19 倍，1.77 倍であり，小牧市は 1.79 倍，犬山市は 1.44 倍に増加している．この地域の人口密度は師勝町 5,002，豊山町 2,110，春日井市 3,090，小牧市 2,264 および犬山市 673 である．同図の市街地は 1997 年の区域を示したものであり，全流域の 47 % を占めている．この地域は地蔵川流域と同様，開発に伴う洪水流出の増大を減少させるため，雨水貯留施設設置区域を設けて，流域内の雨水貯留能力の低下に対する対策が行われているところである．写真 9 に新川の久地野水位観測点



写真 9 久地野水位観測点付近の新川状況，2000 年 9 月 12 日撮影（提供：パスコ株式会社）

Photo 9 Condition of the Shinkawa River near the Kujino Water Level Station taken on 12 Sep. 2000 (courtesy of the Pasco Co. Ltd.).

付近の洪水状況を示した．この地域には水はけの悪い後背低地がり，ここに溜まる雨水をポンプ排水するため，喜惣治，落合にそれぞれ排水容量 7.3m³/sec および 8m³/sec の排水ポンプが設置されている．また，河川への洪水流出を緩和するため，喜惣治ポンプ場には貯水容量 5,000m³ の喜惣治雨水調整池が併設されている．図 40 は降雨と河川水位の時間変化を示したものである．この河川は洪水時には庄内川の放水路としても機能しており，当時，11 日 21 ~ 22 時頃から 12 日 11 ~ 12 時頃にかけて庄内川の洗堰から洪水が新川へ流入した．また，11 日 23 時頃名古屋市北区大我麻町の新地蔵川左岸および新川右岸で破堤が発生しおり，洪水波形は非常に平滑化されたものとなっている．写真 10 に新川上流域の洪水状況と新川上流楠町，新地蔵川大我麻地区および西区のあし原地区の破堤点の状況を示す．図 40 には水防警報の出動水位および計画高水位を示した．河川水位は 11 日 18 時 30 分には出動水位を越えており，11 日 19 時 40 分には計画高水位を越えていた．最高水位は計画高水位を 0.75m 越える 7.32m に達した．流域内では新地蔵川および新川の破堤により，名古屋市北区の五反田，楠，喜惣治等の地区で 2,832 棟の床上浸水が生じ，各地で避難勧告が出された．この時，浸水深は深いところで 1.95m にも達していた．このため，久地野水位観測点より上流域の 15 % の地域が浸水し，床下 1,194 棟，床上 4,659 棟の浸水被害が発生した．

上述したように庄内川から新川への洪水流入，新地蔵川および新川での破堤で，さらに新川の異常な水位上昇を少しでも下げるため，12 日 2 時 30 頃新川へのポンプ排水の停止要請がなされたがその甲斐もなく 3 時 30 分頃名古屋市西区あし原地区の新川左岸が破堤したこと，その後もポンプ排水の自粛が続ぎ，あし原地区破堤部の仮締切終了後の 12 日 17 時頃からポンプによる排水が再開されたこと等により，この地点では降雨と河川水位は必ずしも高い相関関係があるとはいえないが，おおよその洪水到達時間は 6.5 時間，到達時間流出率は約 0.7 であった．洪水時の雨水流出割合の少ない地域に移動平均降雨洪水推定法を適用するのは無理があるが，それでもおおよその降雨と流出の関係を見るのに有効なので敢えてこの解析を試みた．以下の各地の事例解析においても都市域以外の地域について同様の解析を行っている．図 41 に同洪水について，到達時間を一定とした場合の移動平均降雨および移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果を示す．上述したように，降雨と河川水位の波形は相互に複雑な関係を示している．

次に，直列 4 段のタンクモデルを用いた新川久地野観測点上流域の洪水流出解析について述べる．図 42 に東海豪雨の洪水のタンクモデルとそれらを用いた洪水水位の推定結果を示す．ここでも洪水流量から洪水水位への変換は試行錯誤により妥当と思われる水位 流量関係式を用いて行った．洪水水位の推定結果は図に示すように推定水位と観測水位は相互に異なった洪水波形となっているが，流域内の浸水が 11 日 17 時頃から始まり，同日 23 時頃

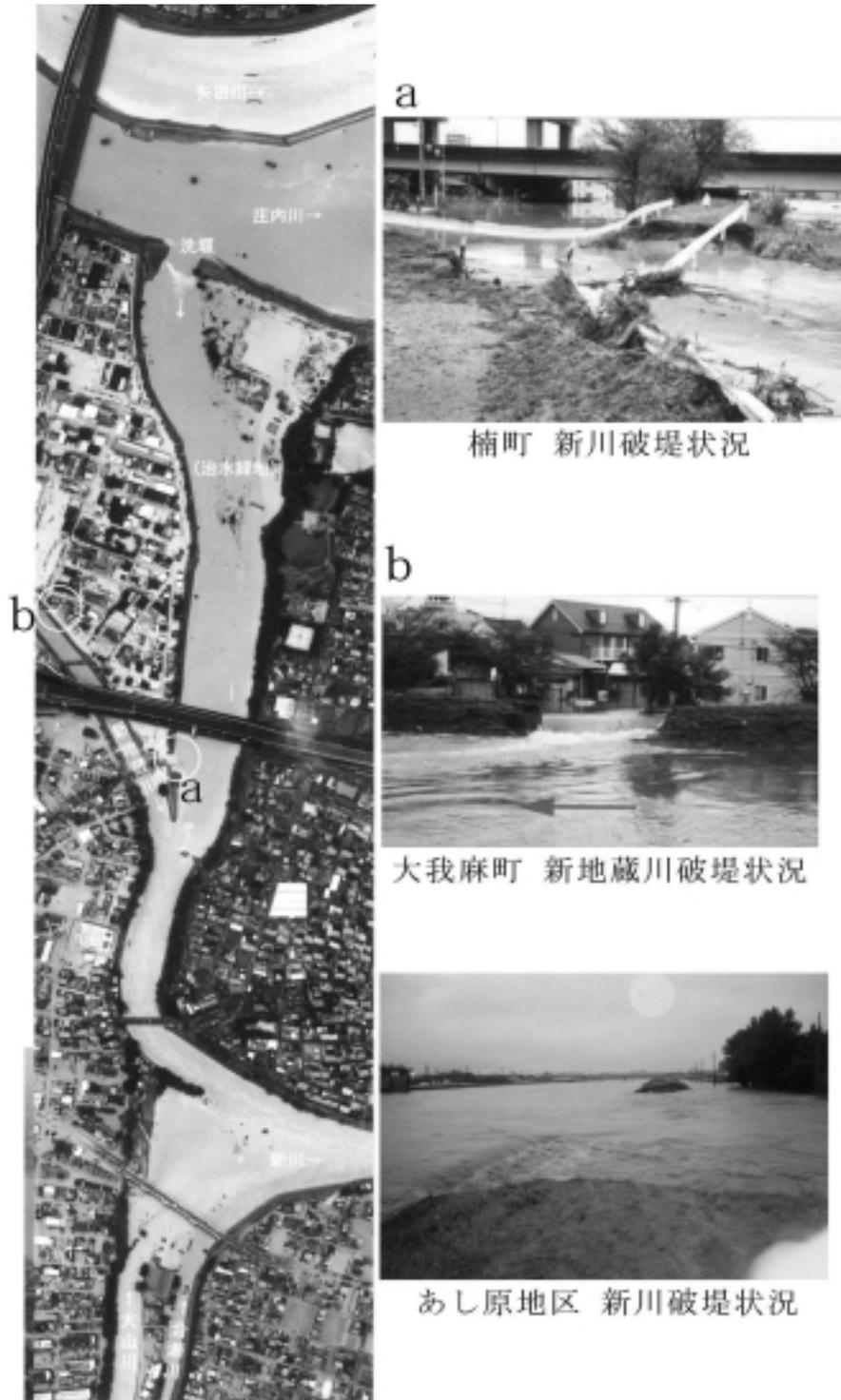


写真10 洪水の庄内川左岸の洗堰からの流入及び堤防破堤点からの楠町や大我麻町への洪水の流出が起こっている新川上流域の状況（引用：愛知県，2000）

Photo 10 Flood condition of the upper Shin River, where floodwater flew into the river through the emergency dam on the right hand side bank of the Shounai River and flew into the Kusunoki Town and the Ohogama Town in the Kita Ward of the Nagoya City from breaching point of the river bank (source: the Aichi Prefecture Office, 2000).

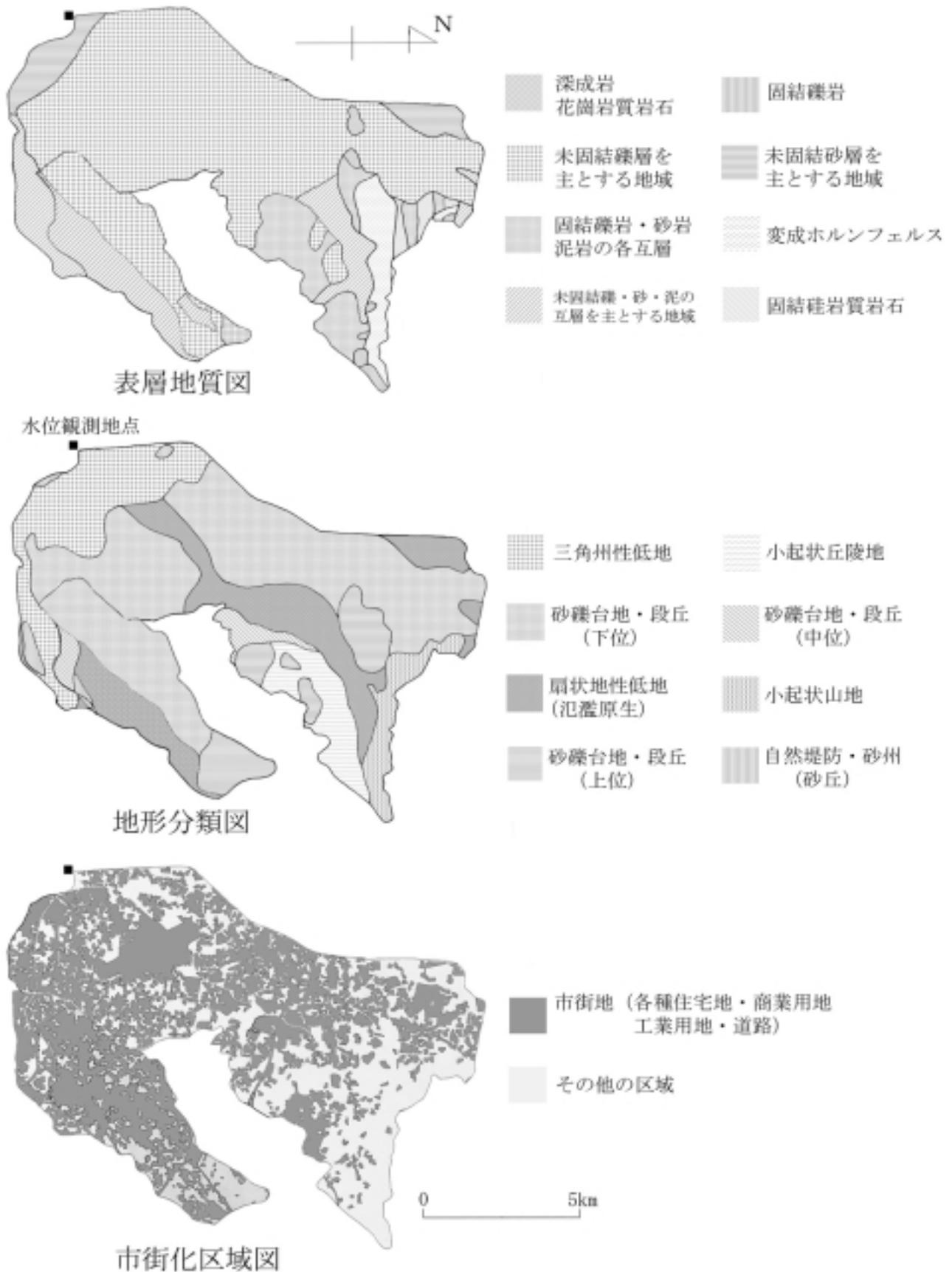


図39 新川久地野観測点上流域の地形，表層，地質および市街地分布の状況

Fig. 39 Maps of the topography, the surface geology and the urbanized area in the upper river basin of the Kujino Station in the Shinkawa River Basin.

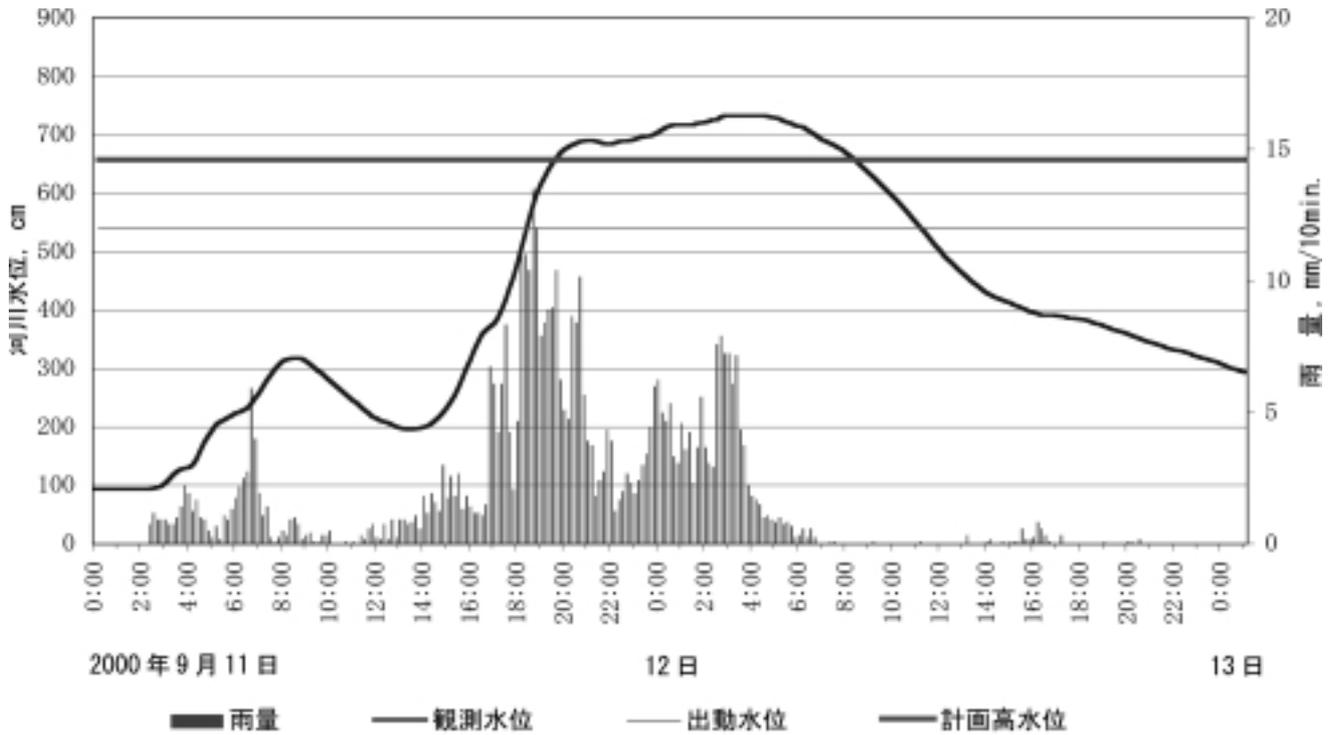


図 40 2000 年 9 月の東海豪雨における新川久地野観測点の降雨量と河川水位の時間変化
 Fig. 40 Change of water level and average rainfall amount in the upper basin of the Kujino Station of the Shinkawa River during the flood in Sep. 2000 of the Tokai Heavy Rainfall.

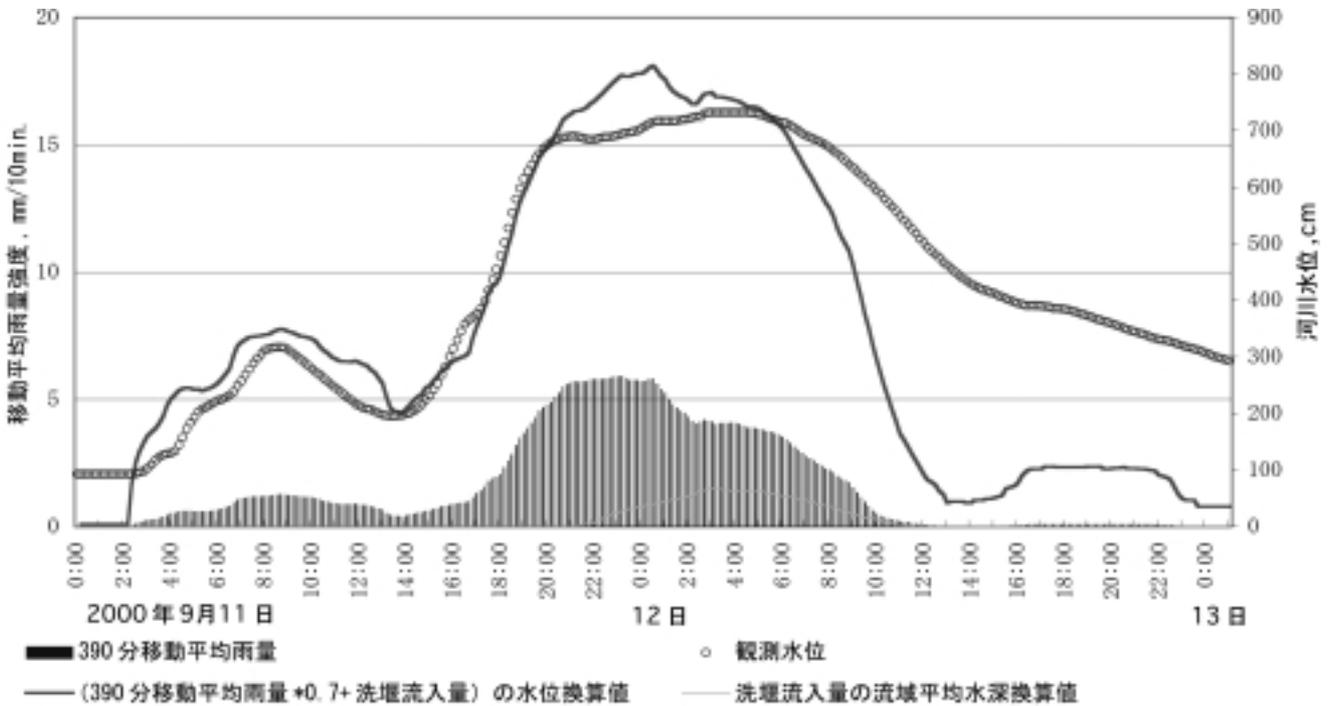


図 41 2000 年 9 月の東海豪雨における新川久地野観測点の移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果
 Fig. 41 Estimated water level at the Kujino Station of the Shinkawa River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were simply calculated by using the moving average rainfall and run-off coefficient.

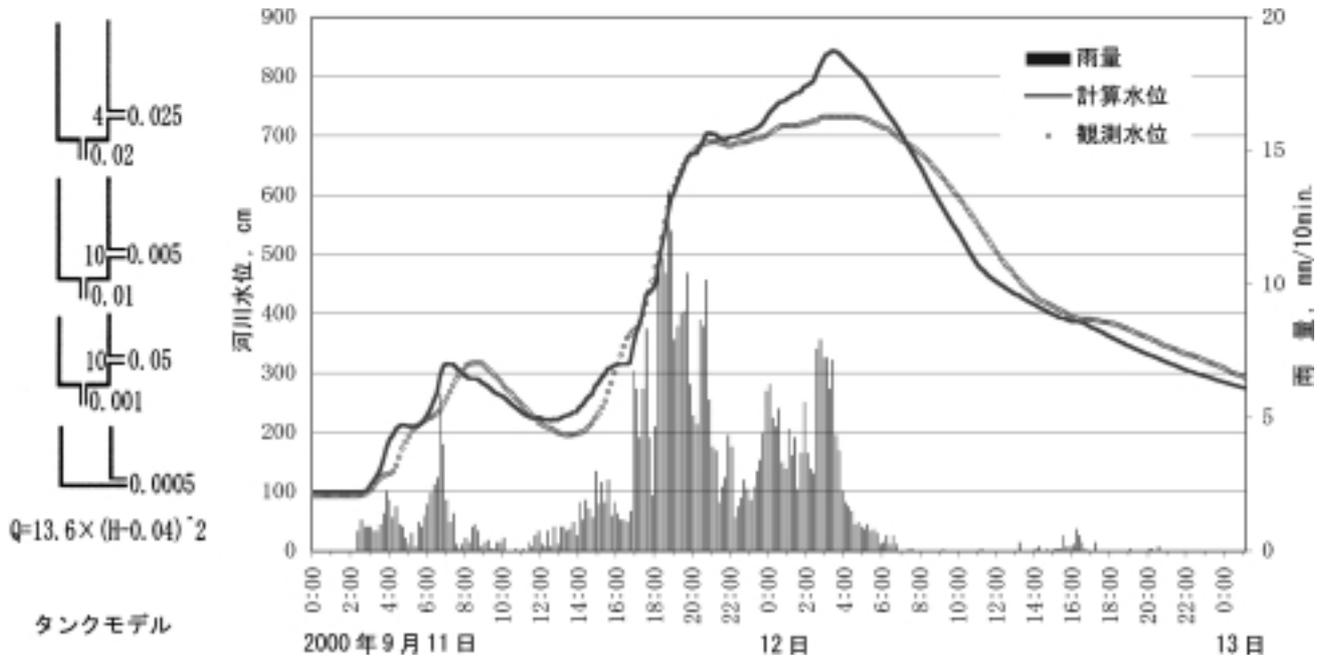


図 42 2000 年 9 月の東海豪雨における新川久地野観測点のタンクモデルによる河川水位推定結果

Fig. 42 Estimated water level at the Kujino Station of the Shinkawa River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were calculated by the Tank Model described in the left side of the figure.

には河川の破堤等も加わって、各地で床上を越す洪水氾濫が発生したこと、それらが 12 日 7 時頃から河川に排水し始め、同日 17 時頃からポンプ排水が再開されたこと等を考慮すると、ほぼ妥当な推定結果と思われる。タンクモデルの構造を見ると、第一段目タンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は 4mm の高さであり、タンク内に 4mm 以上の雨水が溜まるとタンクからの流出割合は 0 % から 56 % に次第に増加する。第二段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は 10mm の高さであり、このタンクからの流出は少なく雨水が 10mm 以上タンクに溜まった状態でも流出割合は 0 % から 33 % に次第に増加するのみである。逆に、第三段目タンクからの流出が相対的に大きくなっている。第三段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は 10mm の高さにある。タンク内に 10mm 以上の雨水が溜まるとタンクからの流出割合は 0 % から 98 % に次第に増加する。この流域は全体として比較的都市化の影響の少ない洪水流出状況になっているとともに、流出の遅い成分が多く流出する構造になっている。

(3) 感潮河川区域の中小河川の事例

解析地点は天白川下流支川の扇川の鳴海観測点および知多半島西岸にある矢田川の矢野観測点であり、東海豪雨の洪水についてのみ解析を行った。扇川は尾張丘陵を水源とし、その西側の名古屋東部台地を流れている。尾張丘陵および名古屋東部台地の表層地質は前述 (1) に述べている。矢田川は知多丘陵を水源とし、伊勢湾東部低地に注いでいる。知多丘陵は第 3 紀の砂岩、泥岩、礫岩等の堆積岩類で構成され、低地は沖積世の礫、砂、泥等

の堆積物で覆われている。

①天白川下流支川の扇川鳴海観測点の解析

鳴海観測点は図 14 の H7 地点に在り、その上流域は表 1 に示すように流域面積 20.64km²、最大流路辺長 7.9km、流域形状係数 0.33 の流域であり、最大流路辺長の比高は 68m である。流域内の地形、地質および市街地を図 43 に示す。この地域は名古屋市の新興住宅地として、近年、開発が急ピッチで行われたところである。この流域の大部分を緑区が占め、1970 年に対する 1999 年の人口の変化を見ると、同区は 2.17 倍、上流の東郷町は 3.13 倍に増加している。この地域の人口密度は緑区 5,464 および東郷町 1,995 である。同図の市街地は 1997 年当時の区域を示したものであり、全流域の 49 % を占めている。写真 11 に鳴海地区の扇川の流域状況を示す。この地域の大部分は雨水の自然排水区域であり、台地部には神沢池、新海池、琵琶ヶ池等多くのため池がある。下流部の谷底低地は地盤が低く、洪水時に溜まる雨水を排水するため、六条、鳴海処理場および汐田にそれぞれ排水容量 17.3m³/sec、33.8m³/sec および 9.8m³/sec の排水ポンプが設置されている。また、上流域には多くの灌漑用ため池があり、雨水調整池としても活用されている。写真 12 に名古屋市緑区にある神沢池のため池状況を示す。図 44 は降雨と河川水位の時間変化を示したものであり、この洪水の洪水到達時間は 60 分、到達時間流出率は 0.8 であった。同図には潮位表から推定した名古屋港の潮位も載せており、これからも分かるように鳴海観測点の洪水波形は低水位の部分で潮位の影響を受けている。同図には第 3 基準水位および計画高水位を示した。河川水位は 11 日

19 時 10 分には第 3 基準水位を越えており，11 日 21 時 00 分には計画高水位を越えていた．最高水位は計画高水位を 0.53m 越える 4.53m に達した．流域では 11 日 19 時頃扇川の水位が 2.91m に達し，注意を周知させるためサイレンが吹鳴された．同じ頃名古屋高速道路の笠寺入り口が洪水のため閉鎖され，緑区の汐田地区で浸水が発生した．21 時 10 分には緑区の鳴海，浦里および緑地区で避難勧告が発令された．23 時頃汐田ポンプ場が浸水し，排水ポンプが停止した．写真 13 に名鉄鳴海駅付近の洪水状況を示す．当時鳴海駅付近は少し高い位置にある軌道が冠水し，列車は運転停止となった．この豪雨により，流域の約 10 % の地域が浸水し，床下 903 棟，床上 876 棟の浸水被害が発生した．図 45 に同洪水について，到達時間を一定とした場合の移動平均降雨および移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果を示す．この図から分かるように，移動平均降雨洪水推定法は洪水ピーク付近の洪水水位を適切に推定している．

次に，直列 4 段のタンクモデルを用いた扇川鳴海観測点上流域の洪水流出解析について述べる．図 46 に東海豪雨の洪水のタンクモデルとそれらを用いた洪水水位の推定結果を示す．ここでも洪水流量から洪水水位への変換は試行錯誤により妥当と思われる水位 流量関係式を用いて行った．前述したようにこの観測点は低水時に潮位の影響を受けることから，タンクモデルにより推定した洪水水位が潮位の推定値（名古屋港の潮位 + 15cm）より低い場合は潮位推定値を推定河川水位とした．洪水水位の推定結果は図に示すように，洪水ピークおよび洪水の低減状況を良好に推定している．特に，低水部の潮位が影響する部分は名古屋港の潮位を用いて良好に推定ができた．なお，潮位の計算は潮位表（気象庁，2000）に記載されている満潮と干潮の時刻およびそれらの潮位を用いて，10 分毎の潮位を次式により推定した．

$$H(t) = \frac{h_1 + h_2}{2} + \frac{h_1 - h_2}{2} \times \cos\left(\frac{t - T_1}{T_2 - T_1} \times \pi\right) \quad (5)$$

ここに， $H(t)$ は時刻 t の潮位， T_1 および T_2 は任意時刻 t をはさむ満潮と干潮（または干潮と満潮）の時刻， h_1 および h_2 は時刻 T_1 と T_2 時の潮位， π は円周率である．

タンクモデルの構造を見ると，第一段目タンクは 2 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち，下の流出穴は 2mm の高さであり，上の流出穴は 30mm の高さにある．このタンク内に雨水が 2 ~ 30mm 溜まっている間はタンクからの流出割合は 0 % から 48 % の間で変化し，タンク内に雨水が 30mm 以上溜まるようになるとタンクからの流出割合は 48 % から 67 % に次第に増加する．第二段目のタンクは 2 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち，下の流出穴は 30mm の高さであり，上の流出穴は 60mm の高さにある．このタンクからの流出は相対的に大きく，タンク内に雨水が 30 ~ 60mm 溜まっている間は流出割合は 0 % から 67 % の間で変化する．タンク内に雨水が 60mm 以上溜まるようになると流出割合は 67 % から 94 % に次第に増加



写真 11 名古屋市緑区の鳴海地区付近の扇川流域の状況（引用：愛知県，2000）

Photo 11 Condition of the Ohogi River near the Narumi district in the Midori Ward of the Nagoya City (source: the Aichi Prefecture Office, 2000).



写真 12 名古屋市緑区の神沢池、灌漑用溜め池であり洪水の抑制機能を持っている（引用：愛知県，2000）。

Photo 12 Kamisawa Pond for storing irrigation water, which has a function of a flood control in Midori Ward of the Nagoya City (source: the Aichi Prefecture Office, 2000).



写真 13 名古屋市緑区の名鉄鳴海駅付近の洪水氾濫状況（引用：愛知県，2000）

Photo 13 Flooding near the Narumi Meitetsu Railway Station in Midori Ward of the Nagoya City (source: the Aichi Prefecture Office, 2000).

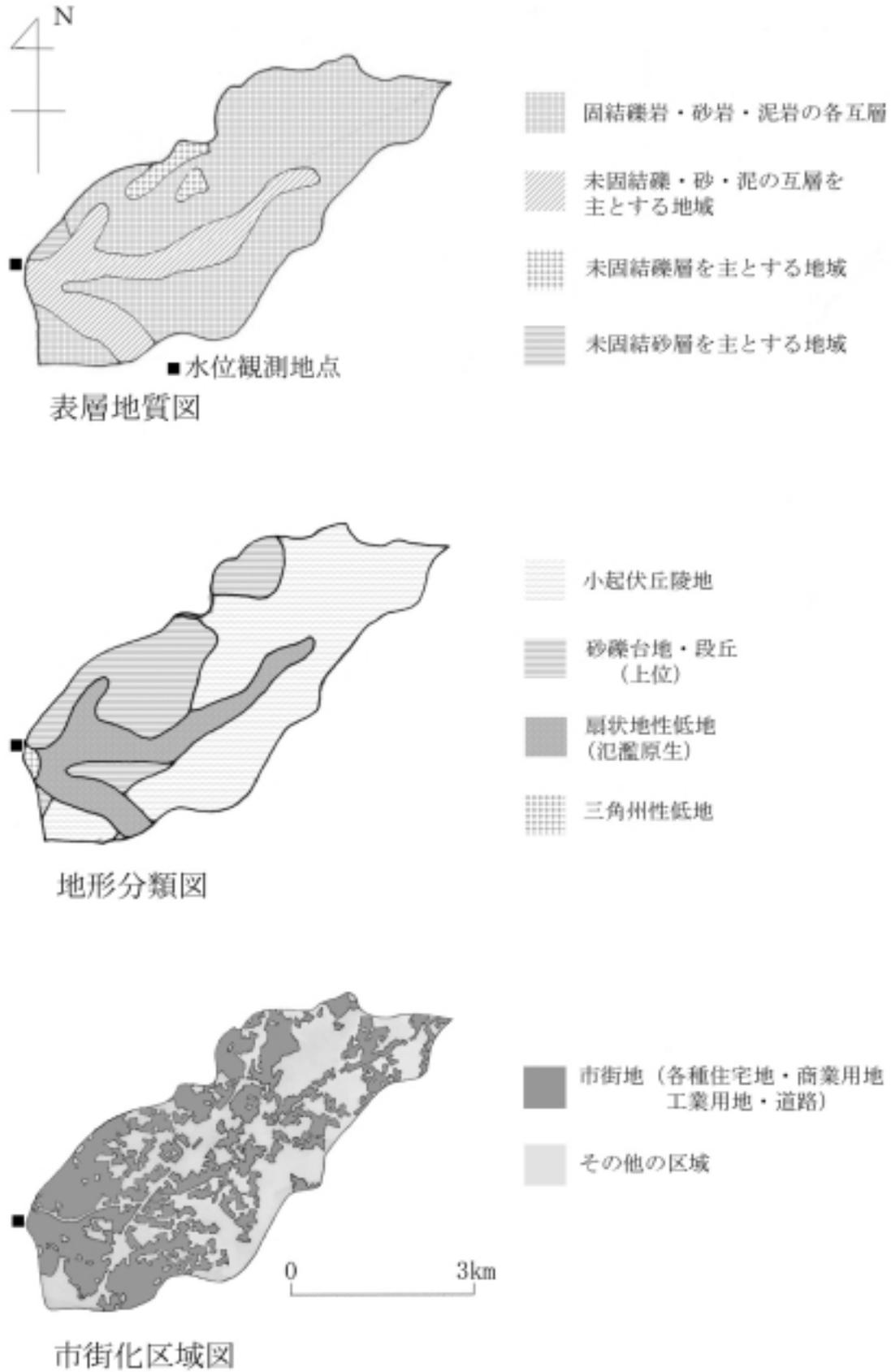


図 43 扇川鳴海観測点上流域の地形，表層，地質および市街地分布の状況

Fig. 43 Maps of the topography, the surface geology and the urbanized area in the upper river basin of the Narumi Station in the Ougi River Basin.

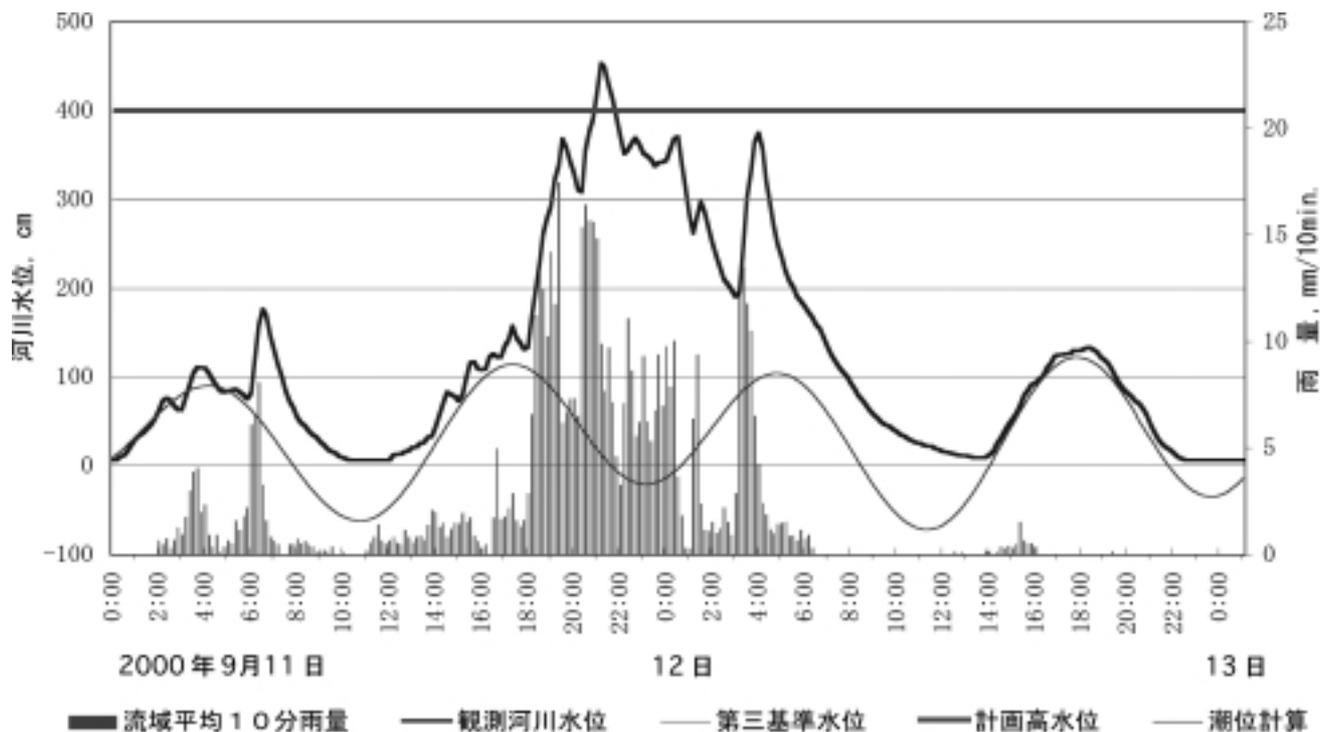


図 44 2000 年 9 月の東海豪雨における扇川鳴海観測点の降雨量と河川水位の時間変化

Fig. 44 Change of water level and average rainfall amount in the upper basin of the Narumi Station of the Ougi River during the flood in Sep. 2000 of the Tokai Heavy Rainfall.

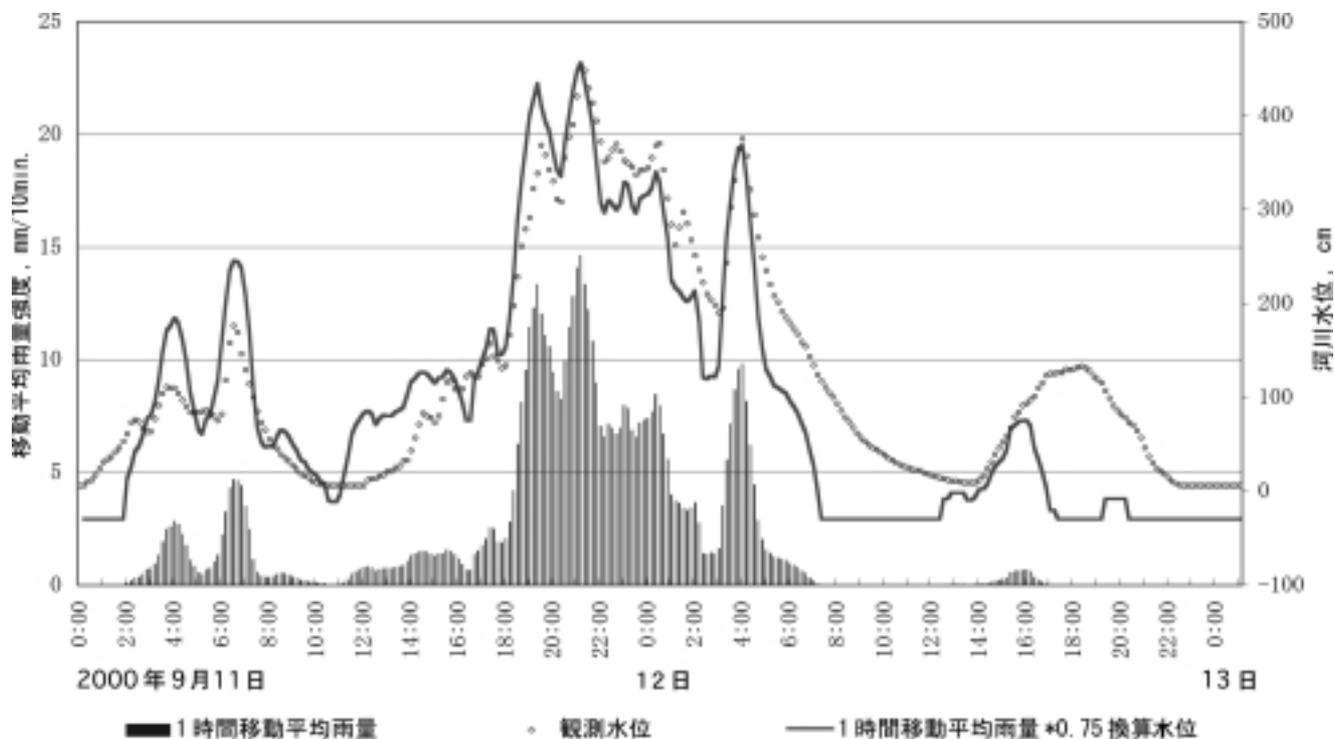


図 45 2000 年 9 月の東海豪雨における扇川鳴海観測点の移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果

Fig. 45 Estimated water level at the Narumi Station of the Ougi River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were simply calculated by using the moving average rainfall and run-off coefficient.

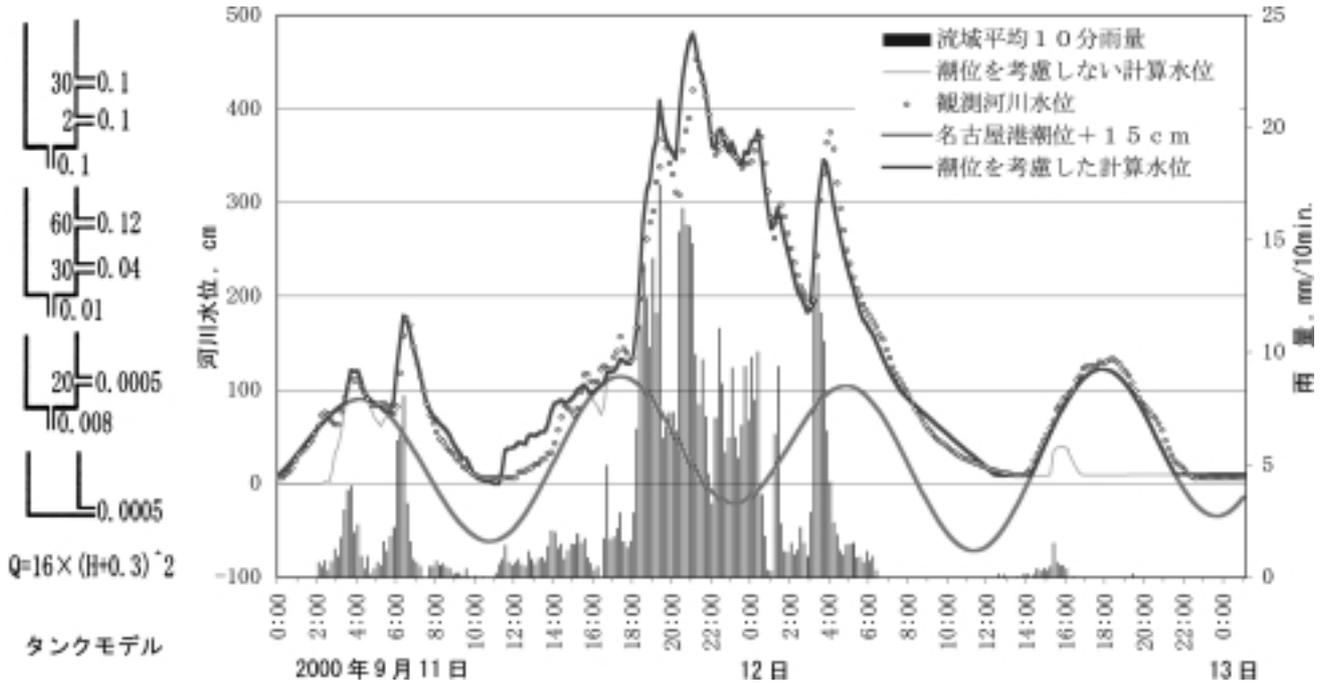


図 46 2000 年 9 月の東海豪雨における扇川鳴海観測点のタンクモデルによる河川水位推定結果

Fig. 46 Estimated water level at the Narumi Station of the Ougi River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were calculated by the Tank Model described in the left side of the figure.

する。第三段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は 20mm の高さにある。このタンクからの流出は相対的に小さく、タンク内に雨水が 20mm 以上溜まってもタンクからの流出割合は 0% から 6% に次第に増加するのみである。このように、このタンクモデルは強雨時には雨量の多くが第一段目タンクから流出するようになっており、流出の遅い成分も第二段目のタンクから非常に多く洪水時に流出する構造を持っている。

②知多半島西岸の矢田川大野観測点の解析

大野観測点は図 14 の H9 地点に在り、その上流域は表 1 に示すように流域面積 14.39km²、最大流路辺長 6.3km、流域形状係数 0.36 の流域であり、最大流路辺長の比高は 35m である。流域内の地形、地質および市街地を図 47 に示す。この地域は静かな農村地域であり、1970 年に対する 1999 年の人口の変化を見ると、常滑市は 0.93 倍に減っている。流域北部の一部は知多市に属し、知多市では 2.02 倍に増加している。この地域の人口密度は常滑市 2,013 および知多市 1,774 である。同図の市街地は 1997 年当時の区域を示したものであり、全流域の 12% を占めており、現在も大きな変化は無いと思われる。この地域の大部分は雨水の自然排水区域であるが、下流部の河口付近は海岸低地にあり、感潮区域となっている。図 48 は降雨と河川水位の時間変化を示したものであり、この洪水の洪水到達時間は 60 分、到達時間流出率は 0.53 であった。同図には鳴海観測点と同様に潮位表から推定した名古屋港の潮位も載せている。これからも分かるように

大野観測点の洪水波形は低水位の部分で潮位の影響を受けている。また同図には計画高水位を示した。河川水位は 11 日 18 時 20 分には計画高水位を越えており、最高水位は計画高水位を 0.55m 越える 2.45m に達した。このため、流域の約 6% の地域が浸水し、床下 141 棟、床上 73 棟の浸水被害が発生した。図 49 に同洪水について、到達時間を一定とした場合の移動平均降雨および移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果を示す。この図から分かるように、移動平均降雨洪水推定法は洪水ピーク付近の洪水水位を適切に推定している。

次に、直列 4 段のタンクモデルを用いた矢田川大野観測点上流域の洪水流出解析について述べる。図 50 に東海豪雨の洪水のタンクモデルとそれらを用いた洪水水位の推定結果を示す。ここでも洪水流量から洪水水位への変換は試行錯誤により妥当と思われる水位 流量関係式を用いて行った。前述したようにこの観測点は低水時に潮位の影響を受けることから、タンクモデルにより推定した洪水水位が潮位の推定値（名古屋港の潮位 + 10cm）より低い場合は推定河川水位を潮位推定値とした。洪水水位の推定結果は図に示すように、洪水ピークおよび洪水の低減状況を良好に推定している。特に、鳴海観測点と同様に低水部の潮位が影響する部分は名古屋港の潮位を用いて良好に推定ができた。タンクモデルの構造を見ると、第一段目タンクは 2 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、下の流出穴は 10mm の高さであり、上の流出穴は 25mm の高さにある。このタンクに雨水が 10mm ~ 25mm 溜まっている間はタンクからの流出割合は 0% から 51% の間で変

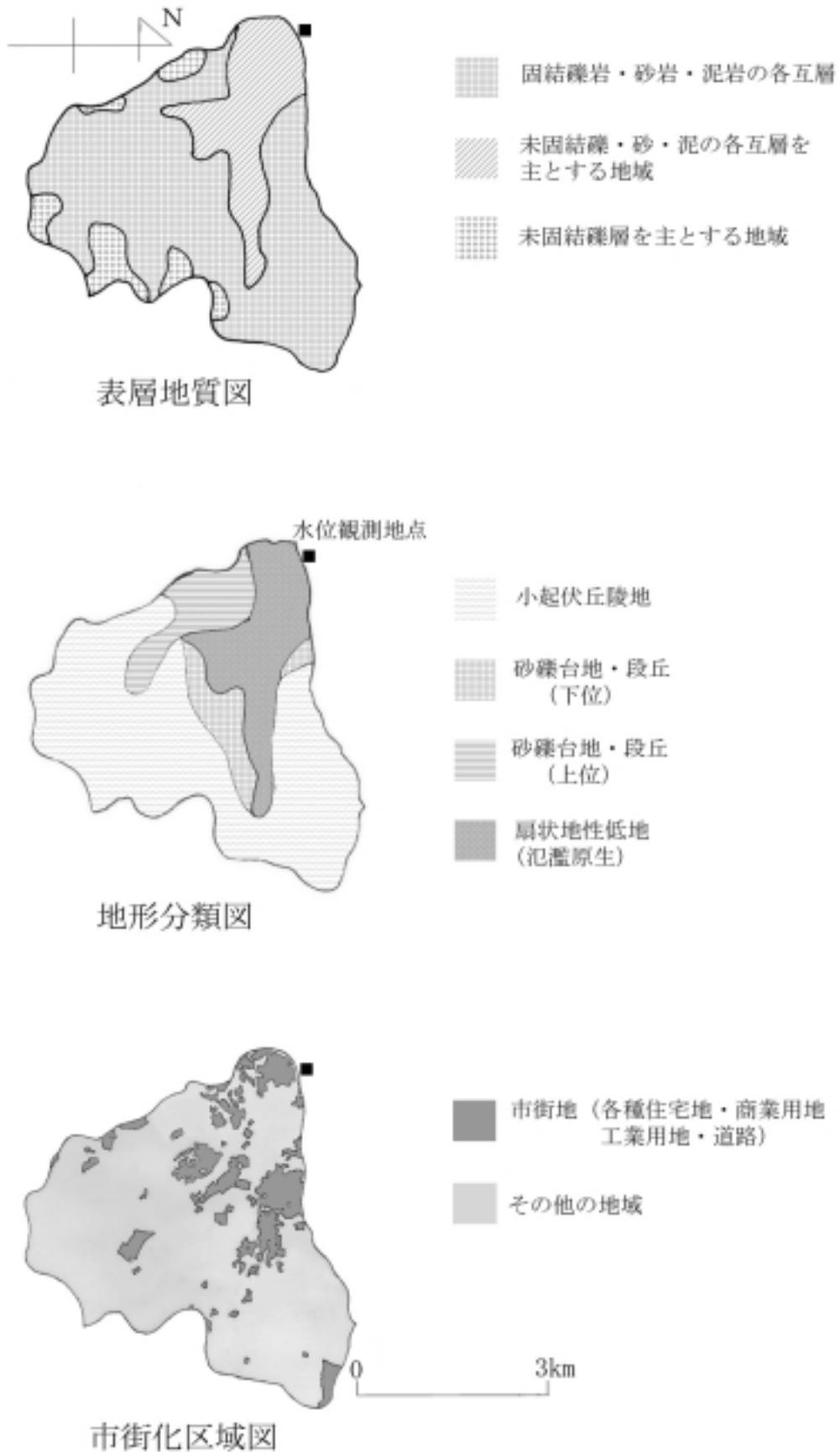


図 47 矢田川大野観測点上流域の地形，表層，地質および市街地分布の状況
 Fig. 47 Maps of the topography, the surface geology and the urbanized area in the upper river basin of the Ohono Station in the Yata River Basin.

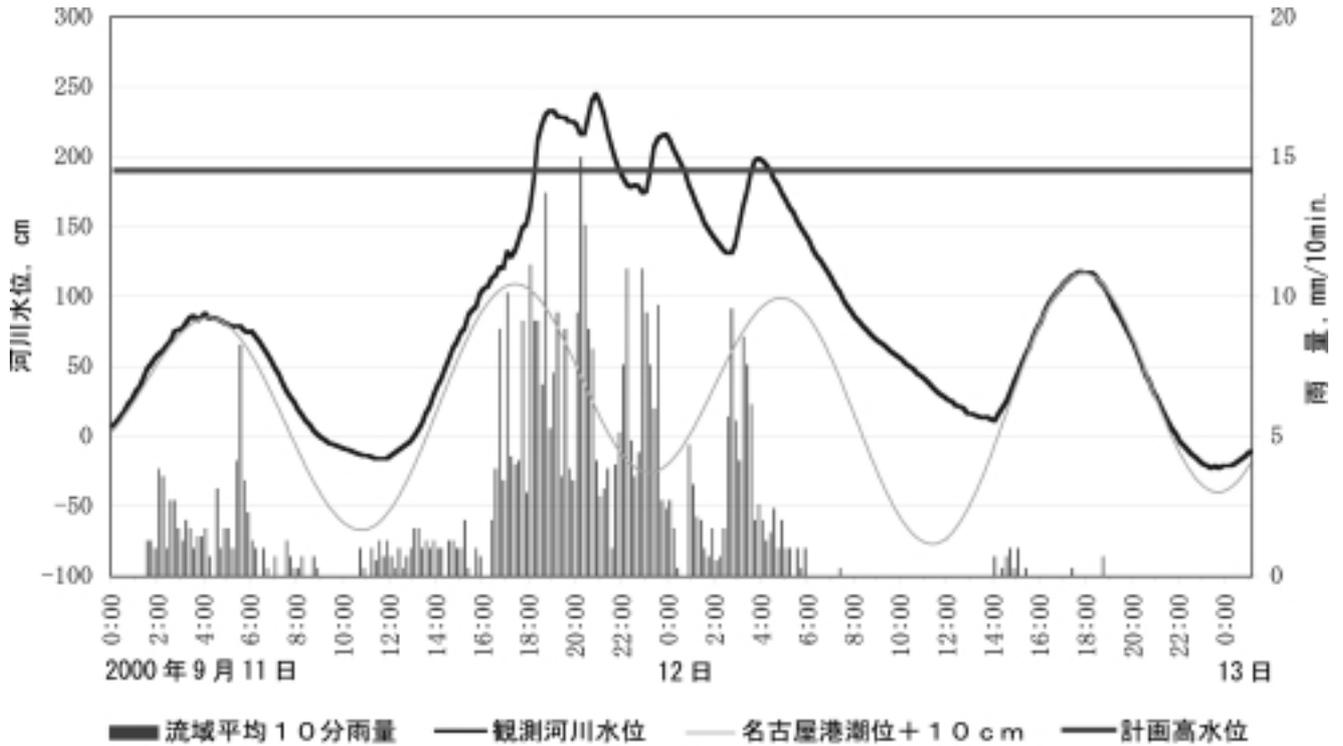


図 48 2000 年 9 月の東海豪雨における矢田川大野観測点の降雨量と河川水位の時間変化
 Fig. 48 Change of water level and average rainfall amount in the upper basin of the Ohono Station of the Yata River during the flood in Sep. 2000 of the Tokai Heavy Rainfall.

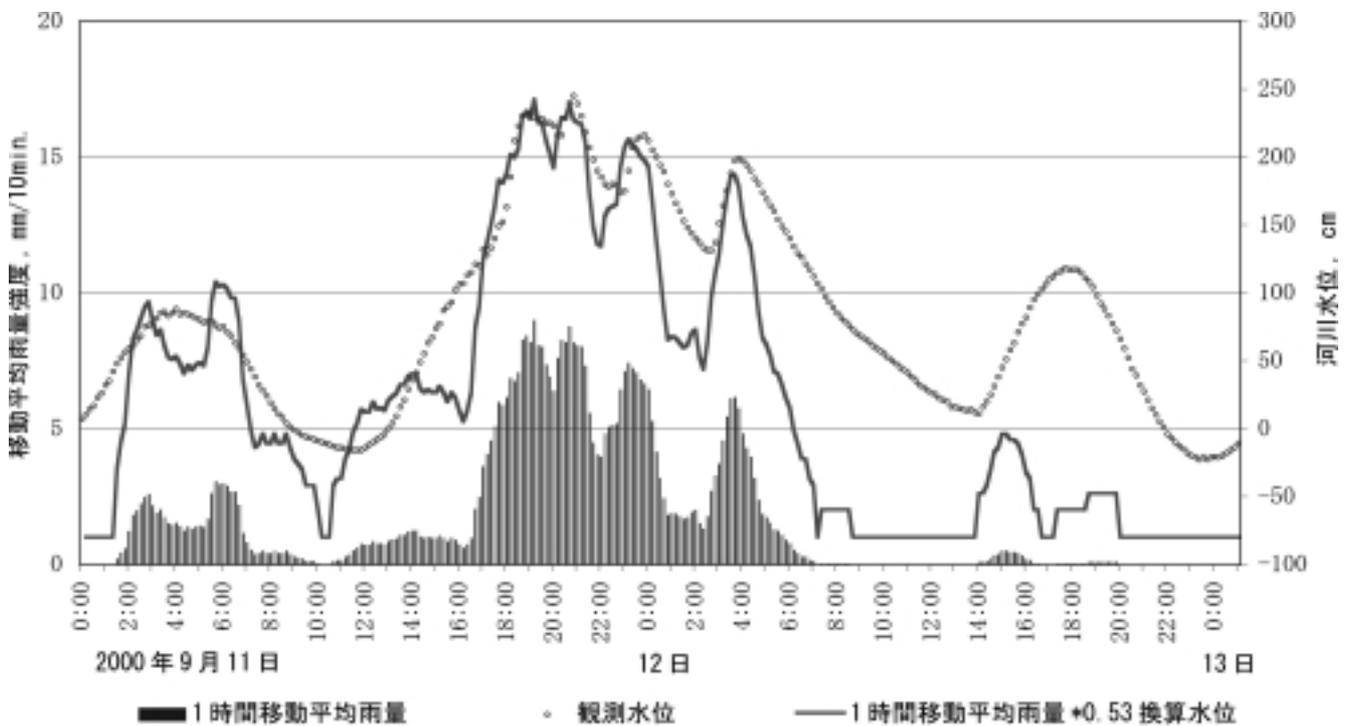


図 49 2000 年 9 月の東海豪雨における矢田川大野観測点の移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果
 Fig. 49 Estimated water level at the Ohono Station of the Yata River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were simply calculated by using the moving average rainfall and run-off coefficient.

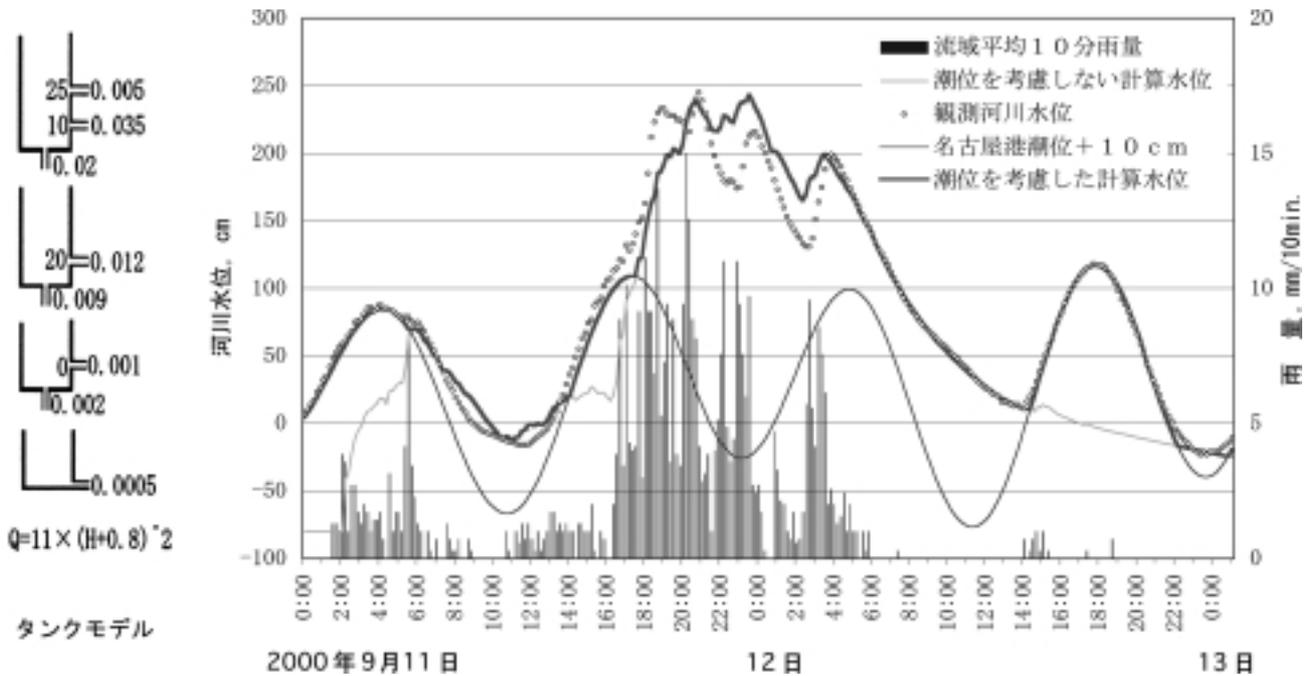


図 50 2000 年 9 月の東海豪雨における矢田川大野観測点のタンクモデルによる河川水位推定結果
 Fig. 50 Estimated water level at the Ohono Station of the Yata River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were calculated by the Tank Model described in the left side of the figure.

化する．それ以上の雨水がタンクに溜まると流出割合は 51 % から 67 % に次第に増加する．第二段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち，流出穴は 20mm の高さにある．このタンクからの流出は相対的に大きく，タンク内に雨水が 20mm 以上溜まると流出割合は 0 % から 57 % に次第に増加する．第三段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち，流出穴は底にある．このタンクからの流出割合は 33 % となる．このように，このタンクモデルは強雨時には雨量の多くが第一段目タンクから流出するようになっており，流出の遅い成分も第二段目および第三段目のタンクから多く流出する構造を持っている．

(4) 郊外の低平地の中小河川の事例

解析地点は境川下流右支川の石ヶ瀬川大府観測点，逢妻川の一ツ木観測点，その上流，逢妻女川の千足観測点および知多半島東岸にある阿久比川の岩滑観測点であり，東海豪雨の洪水についてのみ解析を行った．境川は西加茂丘陵を水源とし，途中皆瀬川等の右岸側支川により尾張丘陵からの雨水を集め，豊田台地を流れ下り，東側に位置する逢妻川と平行して境川・衣浦低地を流れて，衣浦湾に注いでいる．逢妻川は西加茂丘陵を水源とし，豊田台地を流れ，境川と平行して境川・衣浦低地を流れている．阿久比川流域は知多丘陵を水源とした知多半島では比較的大きな流域である．その谷底平野や衣浦湾に面した海岸平野は比較的広がっている．西加茂丘陵および尾張丘陵の表層地質は前述(1)に述べている．豊田台

地で閉削されずに細長く残った地域は第 3 紀の砂岩，泥岩，礫岩等の堆積岩類で構成され，台地上の凹地は洪積世の砂，礫，泥等の堆積物で覆われている．また，台地に深く入り込んだ谷は沖積世の砂，礫，泥等の堆積した谷底平野を形成している．

① 境川下流右支川の石ヶ瀬川大府観測点の解析

大府観測点は図 14 の H12 地点に在り，その上流域は表 1 に示すように流域面積 8.47km²，最大流路辺長 5.8km，流域形状係数 0.25 の細長い流域であり，最大流路辺長の比高は 67m である．流域内の地形，地質および市街地を図 51 に示す．この地域も交通の便が良くなり，名古屋市の新興住宅地として，開発が行われてきたところである．流域内の 1970 年に対する 1999 年の人口の変化を見ると，大府市は 1.54 倍，流域の南側の東浦町は 1.82 に増加している．この地域の人口密度は大府市 2,240 および東浦町 1,439 である．同図の市街地は 1997 年の区域を示したものであり，全流域の 19 % を占めている．この地域の大部分は自然排水区域であるが，境川の合流点では後背湿地が広がり洪水時にはポンプによる排水が行われている．図 52 は降雨と河川水位の時間変化を示したものであり，この洪水の洪水到達時間は 70 分，到達時間流出率は 0.65 であった．同図には第 3 基準水位および計画高水位を示した．河川水位は 11 日 18 時 30 分には第 3 基準水位を越え，11 日 18 時 40 分には計画高水位を越えていた．最高水位は計画高水位を 1.25m 越える 6.70m に達した．このため 3 か所で堤防が決壊し，流域

の約 16 % の地域が浸水し、床下 66 棟、床上 338 棟の浸水被害が発生した。写真 14 に東浦市森岡付近の石ヶ瀬川破堤による住家の被害状況を示す。破堤は 11 日 20 時頃と考えられており、氾濫水により家の土台が抉られ、家が傾いている。図 53 に同洪水について、到達時間を一定とした場合の移動平均降雨および移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果を示す。この図から分かるように、移動平均降雨洪水推定法は洪水初期と洪水後半を除いて、洪水ピーク付近の洪水位をほぼ良好に推定している。

次に、直列 4 段のタンクモデルを用いた石ヶ瀬川大府観測点上流域の洪水流出解析について述べる。図 54 に東海豪雨の洪水のタンクモデルとそれらを用いた洪水位の推定結果を示す。ここでも洪水流量から洪水位への変換は試行錯誤により妥当と思われる水位・流量関係式を用いて行った。洪水位の推定結果は図に示すように、洪水ピークおよび洪水の低減状況を良好に推定している。タンクモデルの構造を見ると、第一段目タンクは 2 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、下の流出穴は 10mm の高さであり、上の流出穴は 15mm の高さにある。このタンク内に雨水が 10 ~ 15mm 溜まっている間はタンクからの流出割合は 0 % から 31 % の間で変化する。タンク内に雨水が 15mm 以上溜まるようになるとタンクからの流出割合は 31 % から 84 % に次第に増加する。第二段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は 20mm の高さにある。このタンクからの流出は相対的に大きく、タンク内に雨水が 20mm 以上溜まるようになると流出割合は 0 % から 71 % に次第に増加する。第三段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴

は底にある。このタンクからの流出割合は 50 % となる。このように、このタンクモデルは強雨時には雨量の多くが第一段目タンクから流出するようになっており、流出の遅い成分も第二段目のタンクから多く流出する構造を持っている。

②逢妻川一ツ木観測点の解析

一ツ木観測点は図 13 の H13 地点に在り、その上流域は表 1 に示すように流域面積 71.63km²、最大流路辺長 11.3km、流域形状係数 0.56 の太い流域であり、最大流路辺長の比高は 137m である。流域内の地形、地質および市街地を図 55 に示す。この地域の上流域は交通の便が良くなり、名古屋市、豊田市等の新興住宅地として、開発が行われてきたところである。流域内の 1970 年に対する 1999 年の人口の変化を見ると、刈谷市は 1.49 倍、知立市は 1.48 倍、上流の三好町は 2.33 倍、豊田市は 1.77 倍になっている。この地域の人口密度は刈谷市 2,593、知立市 3,792、三好町 1,434 および豊田市 1,205 である。同図の市街地は 1997 年の区域を示したものであり、全流域の 38 % を占めている。この地域では開発に伴う洪水流出の増加抑制や治水安全度の向上を目指して、当面時間雨量 50mm の強雨に対する安全度を確保するため、市街化調整区域の保持、開発による洪水流量増大を緩和するための調整池の設置、流域内の雨水貯留・浸透施設の整備等を行っている。また、この流域の上流には多くの灌漑用ため池が有り、下流の支川合流部には自然遊水池が広がっている。これらは洪水を軽減させる機能を持っており、流域総合治水対策としてこれらの保全も行われている。写真 15 は東浦町五ヶ村の境川、逢妻川および石ヶ瀬



写真 14 洪水により破壊された民家、大府市で写真右端にある石ヶ瀬川の堤防が破堤し、そこから洪水が流れ込んだ（引用：愛知県，2000）。

Photo 14 Residential houses damaged by floodwater, which flew from the breached dike of the Ishigase River being the right side of the picture in the Ohbu City (courtesy of the Aichi Prefecture Office, 2000).



写真 15 一ツ木水位観測所下流の五ヶ村付近の境川と逢妻川に沿った低地の洪水氾濫状況（引用：愛知県，2000）

Photo 15 Flood condition in the low-lying area along the Sakai River and the Aizuma River in the Gokamura district, where is the down stream of the Hitotsugi Water Level Station (courtesy of the Aichi Prefecture Office, 2000).

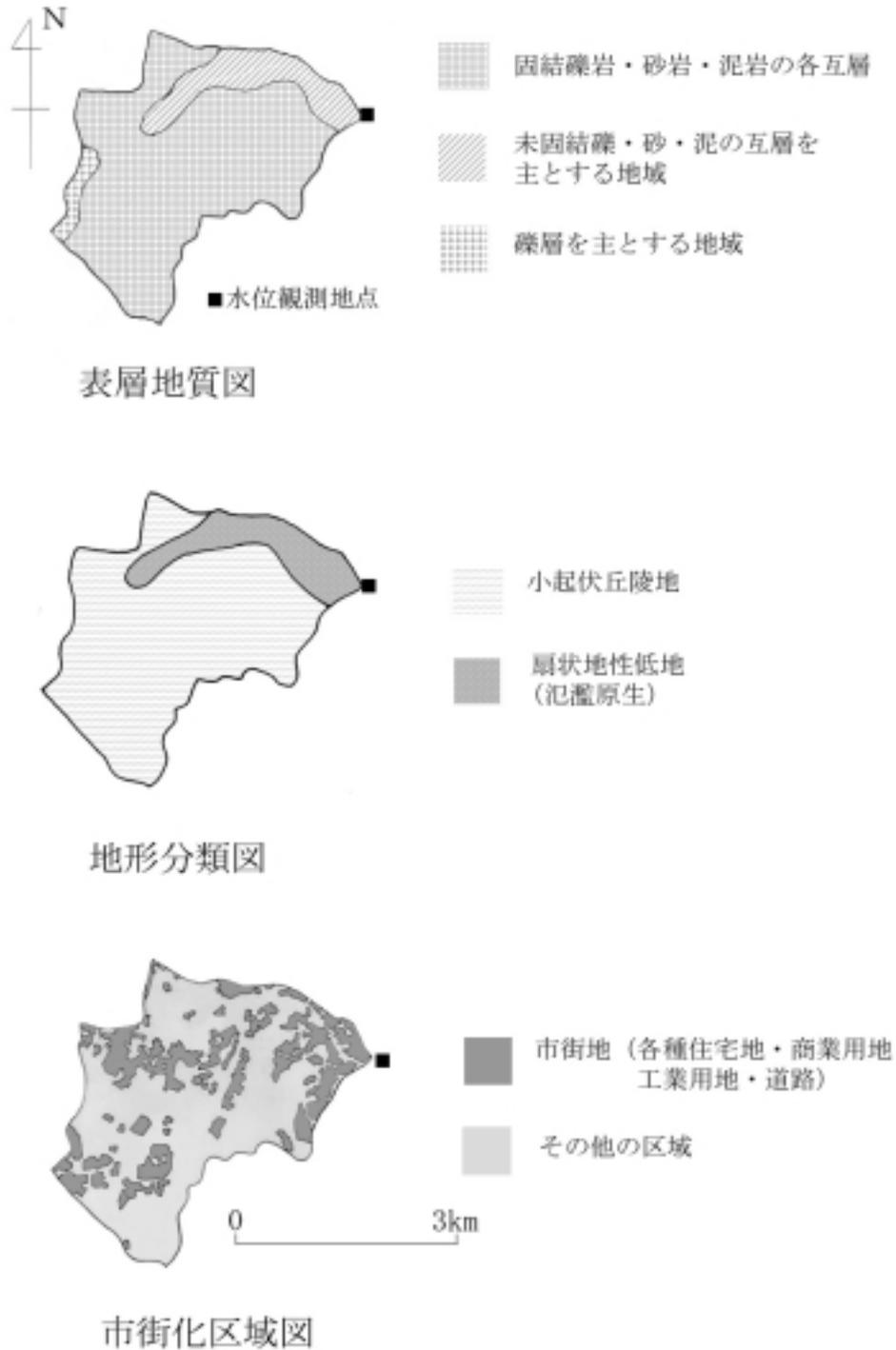


図 51 石ヶ瀬川大府観測点上流域の地形，表層，地質および市街地分布の状況
Fig. 51 Maps of the topography, the surface geology and the urbanized area in the upper river basin of the Ohobu Station in the Ishigase River Basin.

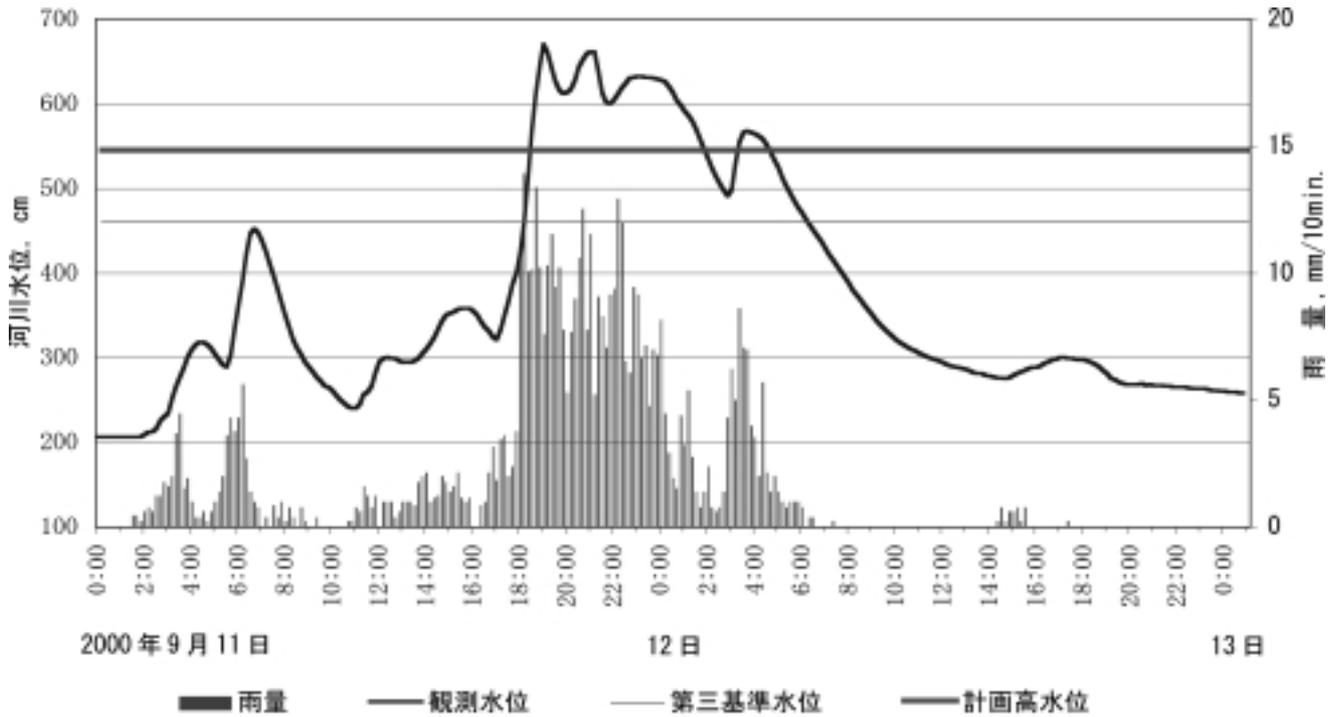


図 52 2000 年 9 月の東海豪雨における石ヶ瀬川大府観測点の降雨量と河川水位の時間変化
 Fig. 52 Change of water level and average rainfall amount in the upper basin of the Ohobu Station of the Ishigase River during the flood in Sep. 2000 of the Tokai Heavy Rainfall.

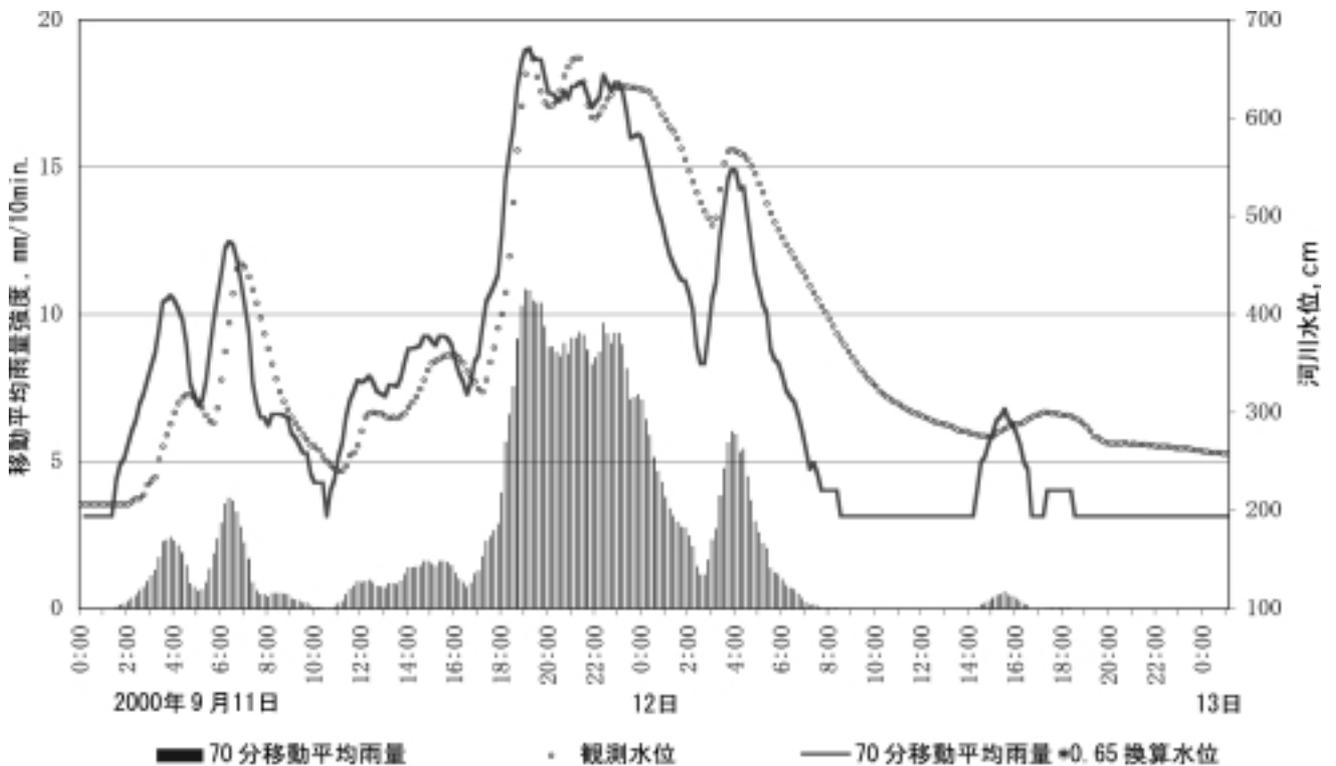


図 53 2000 年 9 月の東海豪雨における石ヶ瀬川大府観測点の移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果
 Fig. 53 Estimated water level at the Ohobu Station of the Ishigase River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were simply calculated by using the moving average rainfall and run-off coefficient.

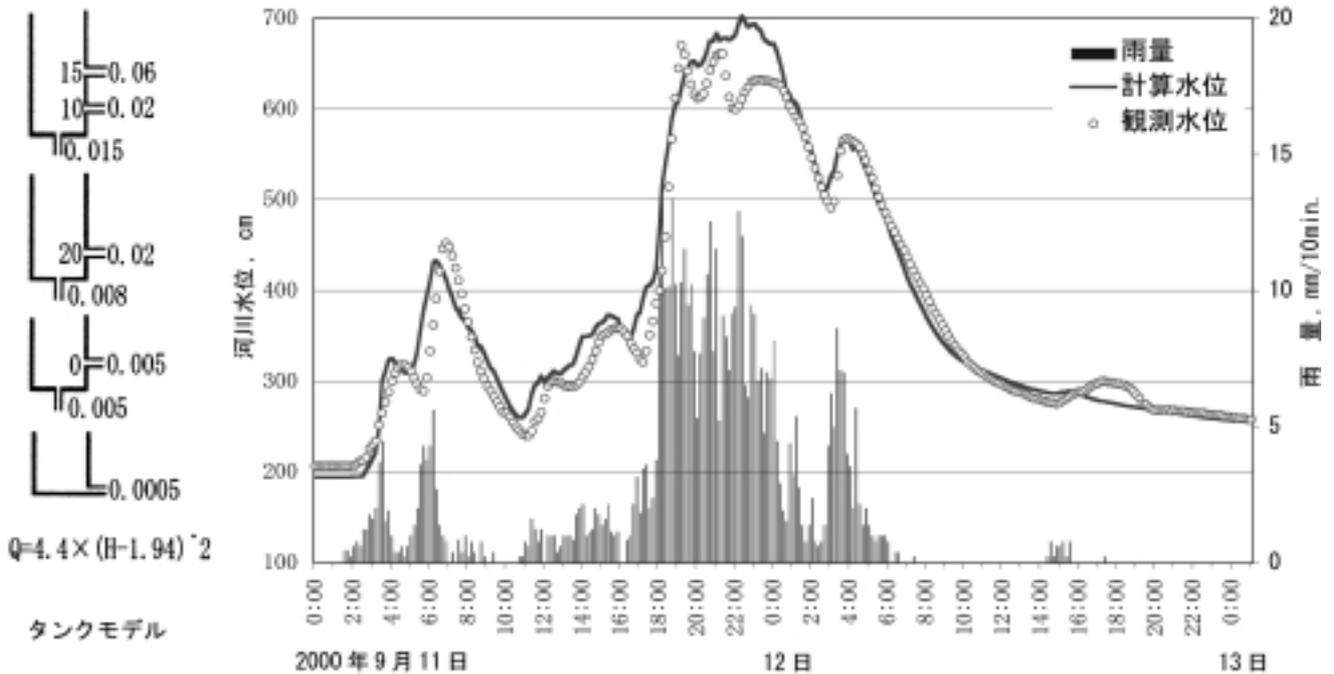


図 54 2000 年 9 月の東海豪雨における石ヶ瀬川大府観測点のタンクモデルによる河川水位推定結果
 Fig. 54 Estimated water level at the Ohobu Station of the Ishigase River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were calculated by the Tank Model described in the left side of the figure.

川合流点付近の浸水状況を示す。図 56 は降雨と河川水位の時間変化を示したものであり、この洪水の洪水到達時間は非常に長く 12 時間となり、到達時間流出率は 0.7 であった。同図には第 3 基準水位および計画高水位も示した。河川水位は 11 日 21 時 10 分には第 3 基準水位を越えており、11 日 23 時 00 分には計画高水位を越えていた。最高水位は計画高水位を 0.90m 越える 6.00m に達した。このため皆瀬川、正戸川等で堤防越水・決壊し、流域の約 12 % の地域が浸水し、床下 227 棟、床上 234 棟の浸水被害が発生した。図 57 に同洪水について、到達時間を一定とした場合の移動平均降雨および移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果を示す。この図から分かるように、移動平均降雨洪水推定法は洪水初期では適合性が良くないが、洪水ピーク付近の洪水水位はほぼ妥当に推定している。

次に、直列 4 段のタンクモデルを用いた逢妻川一ツ木観測点上流域の洪水流出解析について述べる。図 58 に東海豪雨の洪水のタンクモデルとそれらを用いた洪水水位の推定結果を示す。ここでも洪水流量から洪水水位への変換は試行錯誤により妥当と思われる水位・流量関係式を用いて行った。洪水水位の推定結果は図に示すように、洪水の初期は適合性が良くないが、洪水ピークおよび洪水の低減状況を良好に推定している。タンクモデルの構造を見ると、第一段目タンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は 5mm の高さにある。このタンク内に雨水が 5mm 以上溜まるようになるとタンクからの流出割合は 0 % から 33 % に次第に増加する。第二段目のタンク

クも 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、下の流出穴は 70mm の高さにある。タンク内に雨水が 70mm 以上溜まるようになると流出割合は 0 % から 90 % に次第に増加する。このため、タンクからの流出は洪水後半に相対的に大きくなる。第三段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は底にある。このタンクからの流出割合は 50 % となる。このように、このタンクモデルは第一段目タンクからの流出が少ない構造となっている。しかし、洪水が長引くと、流出の遅い第二段目のタンクから多く流出するようになる。

③ 境川上流の逢妻女川千足観測点の解析

千足観測点は図 13 の H14 地点に在り、その上流域は表 1 に示すように流域面積 15.43km²、最大流路辺長 8.1km、流域形状係数 0.23 の細長い流域であり、最大流路辺長の比高は 111m である。流域内の地形、地質および市街地を図 59 に示す。この観測点は逢妻川一ツ木観測点より上流約 3km にあり、前述したように、交通の便が良くなり、名古屋市の新興住宅地として、開発が行われてきたところである。流域内の 1970 年に対する 1999 年の人口の変化を見ると、前述したように三好町は 2.33 倍、豊田市は 1.77 倍に増加している。この地域の人口密度は三好町 1,434 および豊田市 1,205 である。同図の市街地は 1997 年の区域を示したものであり、全流域の 26 % を占めている。写真 16 に豊田市西端付近、千足水位観測点より下流の逢妻女川の河川状況を示す。この地域は逢妻川一ツ木観測点の上流に位置し、自然排水区域である。

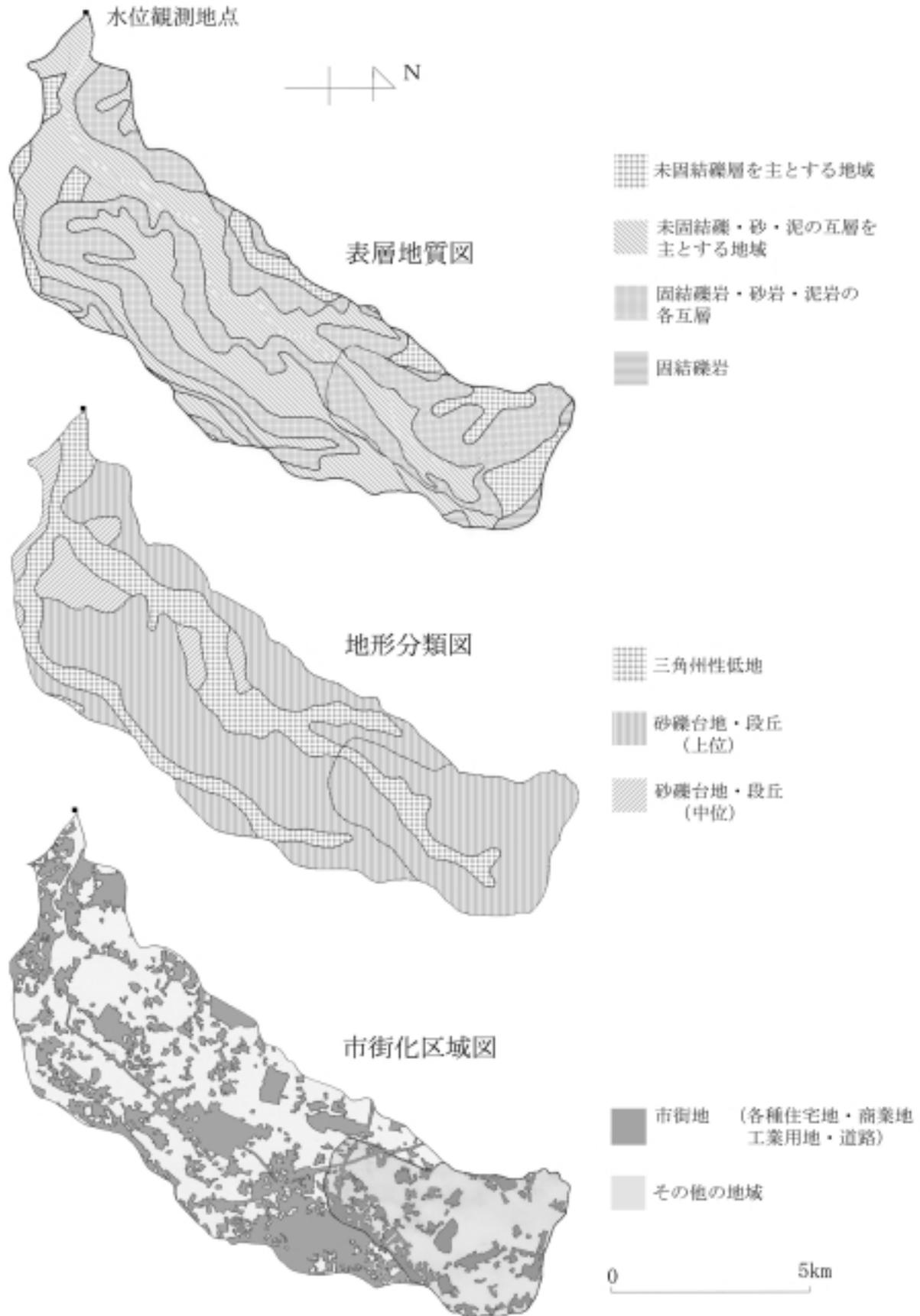


図55 逢妻川一ツ木観測点上流域の地形，表層，地質および市街地分布の状況
 Fig. 55 Maps of the topography, the surface geology and the urbanized area in the upper river basin of the Hitotsugi Station in the Aizuma River Basin.

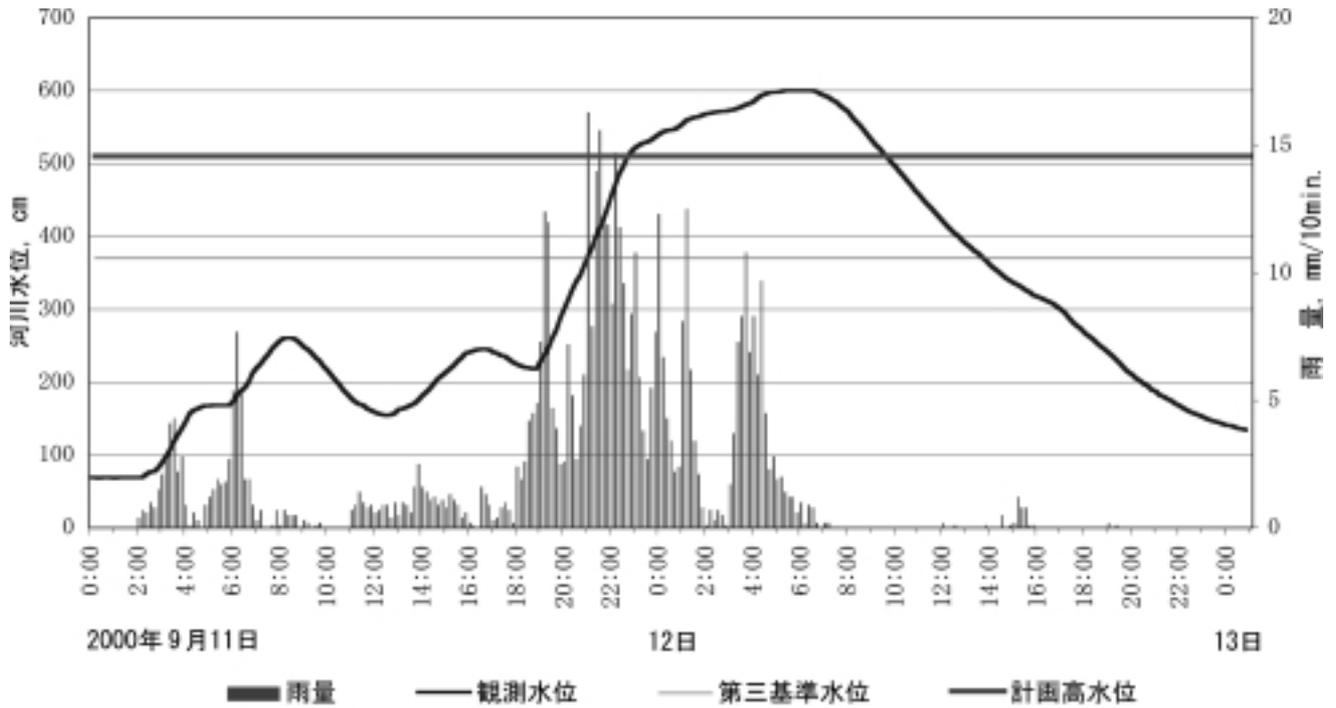


図 56 2000 年 9 月の東海豪雨における逢妻川一ツ木観測点の降雨量と河川水位の時間変化

Fig. 56 Change of water level and average rainfall amount in the upper basin of the Hitotsugi Station of the Aizuma River during the flood in Sep. 2000 of the Tokai Heavy Rainfall.

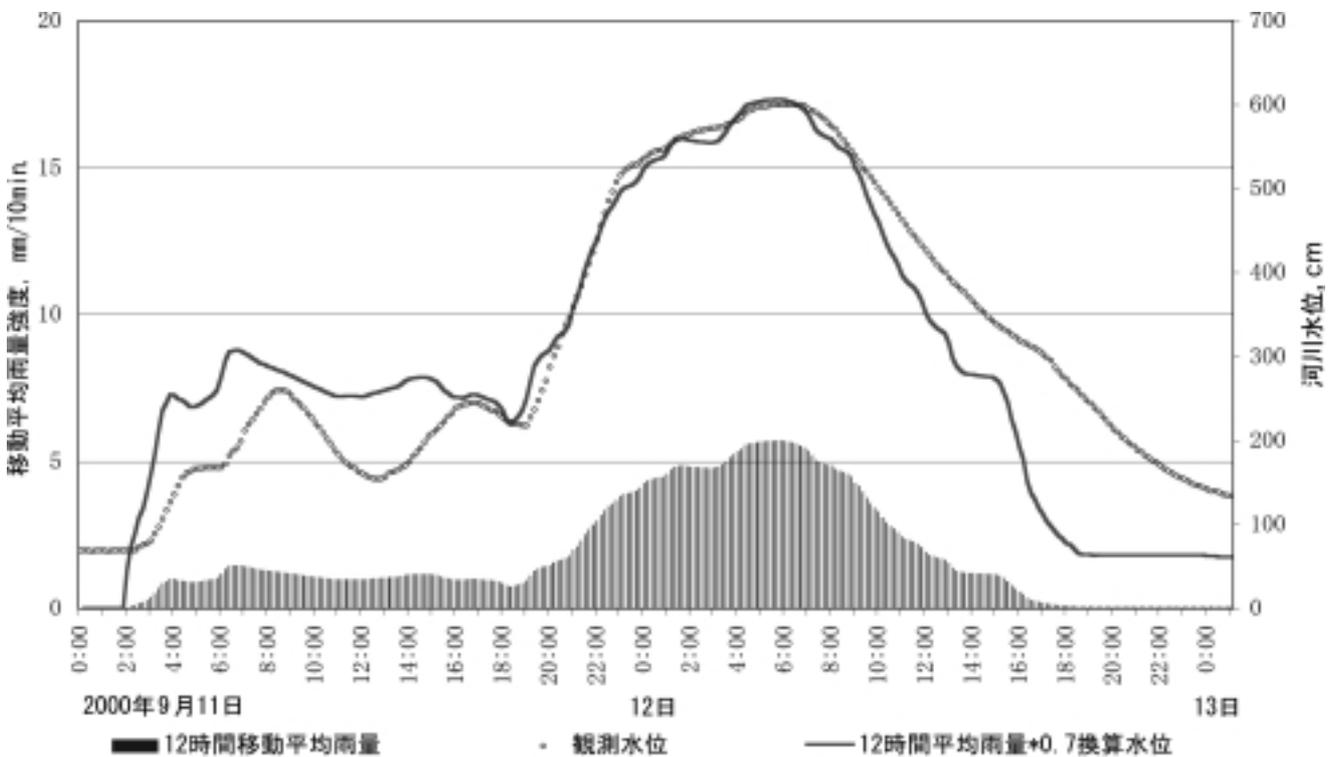


図 57 2000 年 9 月の東海豪雨における逢妻川一ツ木観測点の移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果

Fig. 57 Estimated water level at the Hitotsugi Station of the Aizuma River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were simply calculated by using the moving average rainfall and run-off coefficient.

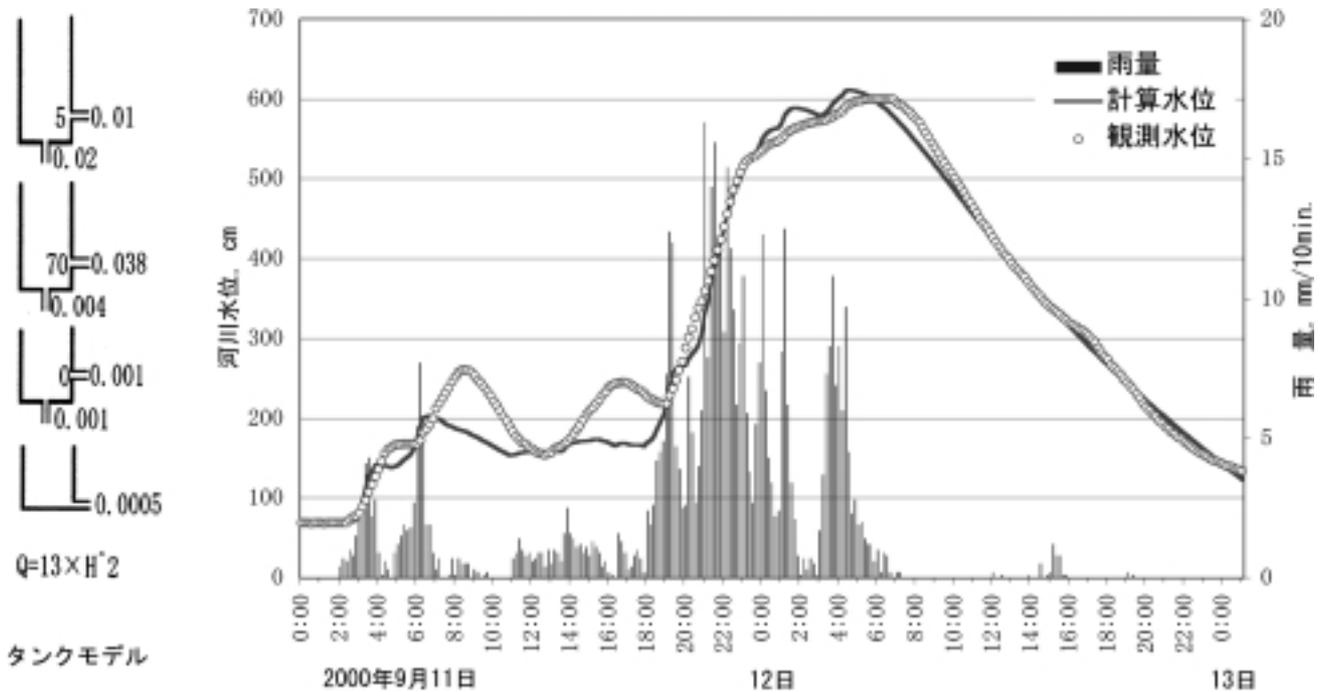


図 58 2000 年 9 月の東海豪雨における逢妻川一ツ木観測点のタンクモデルによる河川水位推定結果
 Fig. 58 Estimated water level at the Hitotsugi Station of the Aizuma River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were calculated by the Tank Model described in the left side of the figure.

また、前述したように開発による洪水流量を緩和するための調整池の設置、灌漑用ため池の保全が行われている。図 60 は降雨と河川水位の時間変化を示したものであり、この洪水の洪水到達時間は 120 分、到達時間流出率は 0.5 であった。同図には第 3 基準水位および計画高水位も示した。河川水位は 11 日 21 時 30 分には第 3 基準水位を越え、11 日 21 時 50 分には計画高水位を越えていた。最高水位は計画高水位を 0.66m 越える 3.36m に達した。このため、流域の約 5 % の地域が浸水し、床下 46 棟、床上 131 棟の浸水被害が発生した。図 61 に同洪水について、到達時間を一定とした場合の移動平均降雨および移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果を示す。この図から分かるように、移動平均降雨洪水推定法は洪水初期と後半の洪水を除いて、洪水ピーク付近の洪水水位をほぼ良好に推定している。

次に、直列 4 段のタンクモデルを用いた逢妻女川千足観測点上流域の洪水流出解析について述べる。図 62 に東海豪雨の洪水のタンクモデルとそれらを用いた洪水水位の推定結果を示す。ここでも洪水流量から洪水水位への変換は試行錯誤により妥当と思われる水位 流量関係式を用いて行った。洪水水位の推定結果は図に示すように、洪水ピークおよび洪水の低減状況を良好に推定している。タンクモデルの構造を見ると、第一段目タンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は 10mm の高さにある。このタンク内に雨水が 10mm 以上溜まるようになるとタンクからの流出割合は 0 % から 64 % に次第に増加する。第二段目のタンクも 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は一ツ木観測点と同様 70mm の高さにある。



写真 16 千足水位観測所下流付近の逢妻女川の河川状況 (引用：愛知県, 2000)
 Photo 16 Condition of the down stream at the Senzoku Water Level Station in the Aizume River (source: the Aichi Prefecture Office, 2002).

このタンク内に雨水が 70mm 以上溜まるようになると流出割合は 0 % から 96 % に増加する。このため、一ツ木観測点と同様このタンクからの流出は洪水後半に相対的に大きくなる。第三段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は底にある。このタンクからの流出割合は 80 % となる。このように、このタンクモデルは洪水が長引くと、流出の遅い第二段目および第三段目のタンクから多く流出するようになる。

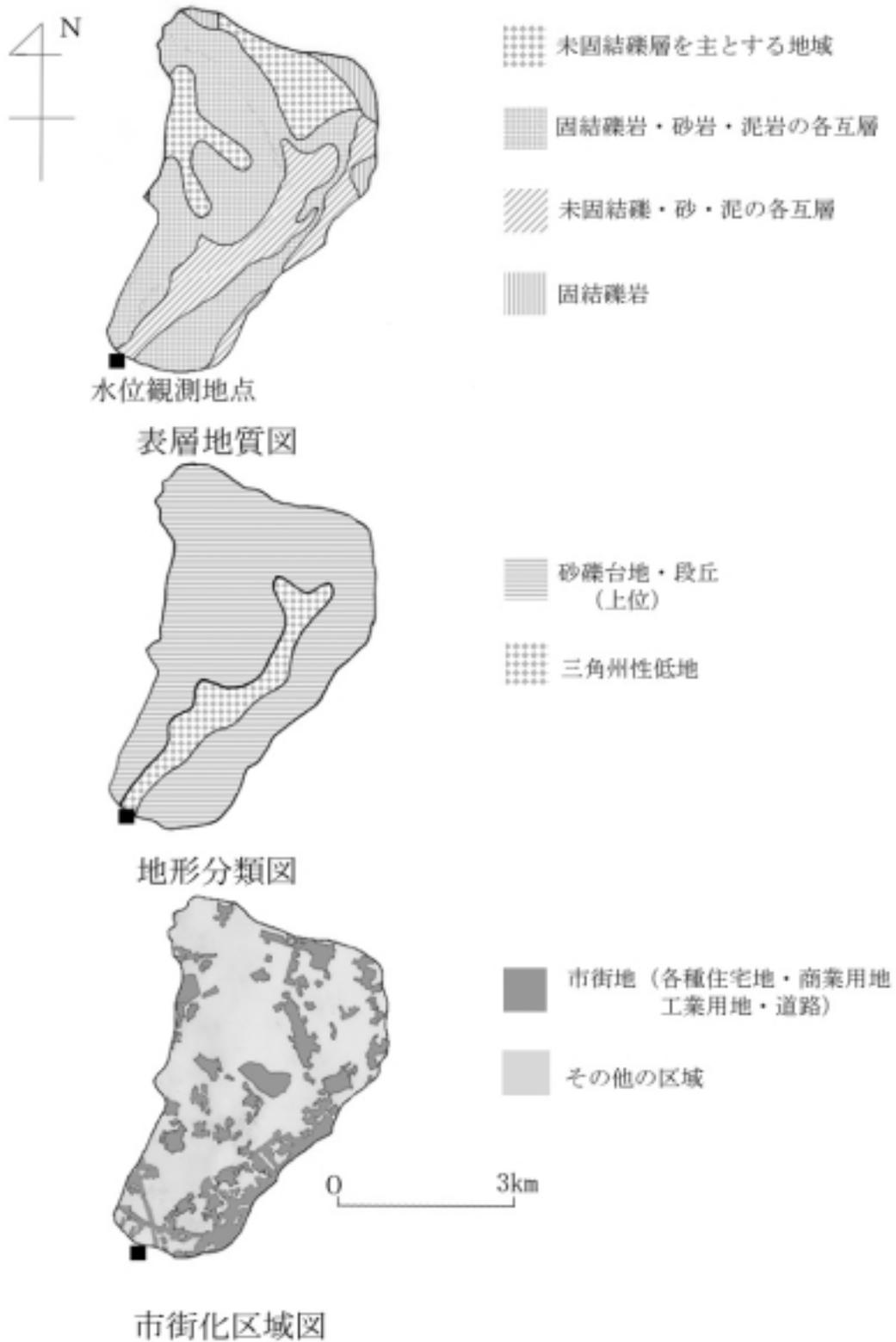


図 59 逢妻女川千足観測点上流域の地形，表層，地質および市街地分布の状況
 Fig. 59 Maps of the topography, the surface geology and the urbanized area in the upper river basin of the Senzoku Station in the Aizume River Basin.

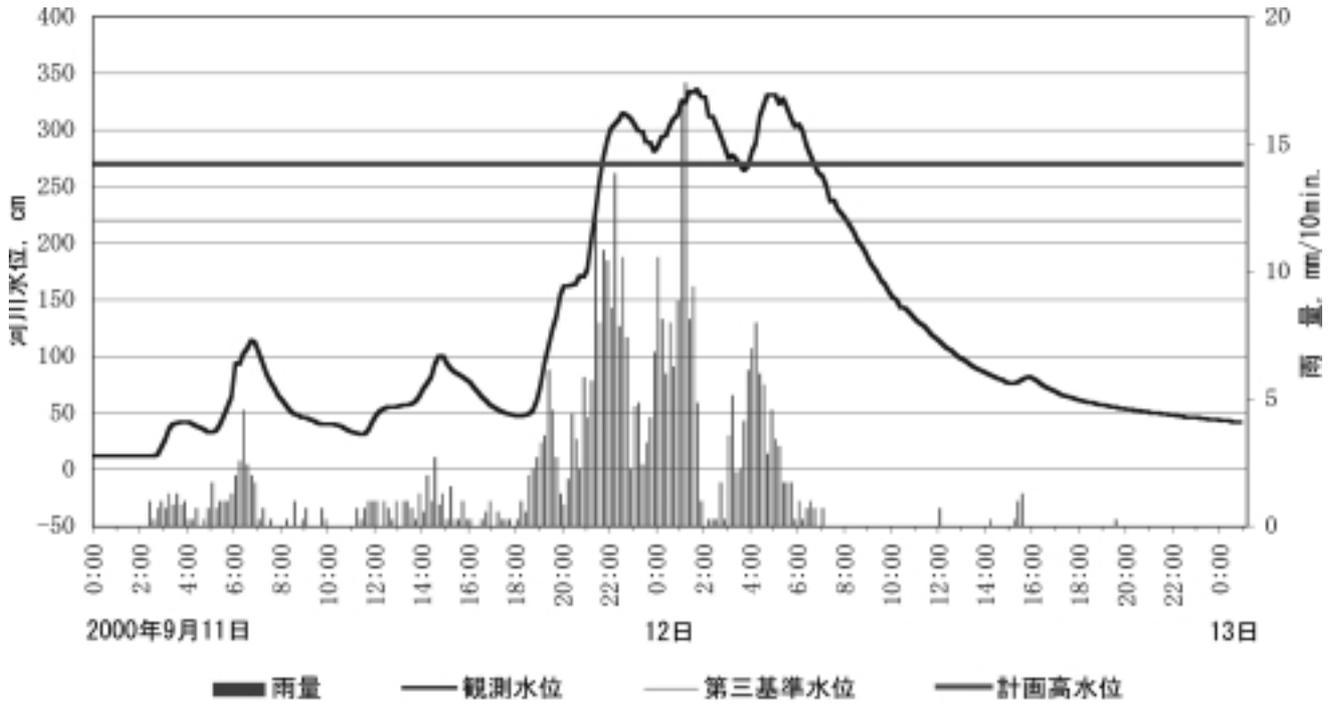


図 60 2000 年 9 月の東海豪雨における逢妻女川千足観測点の降雨量と河川水位の時間変化

Fig. 60 Change of water level and average rainfall amount in the upper basin of the Senzoku Station of the Aizume River during the flood in Sep. 2000 of the Tokai Heavy Rainfall.

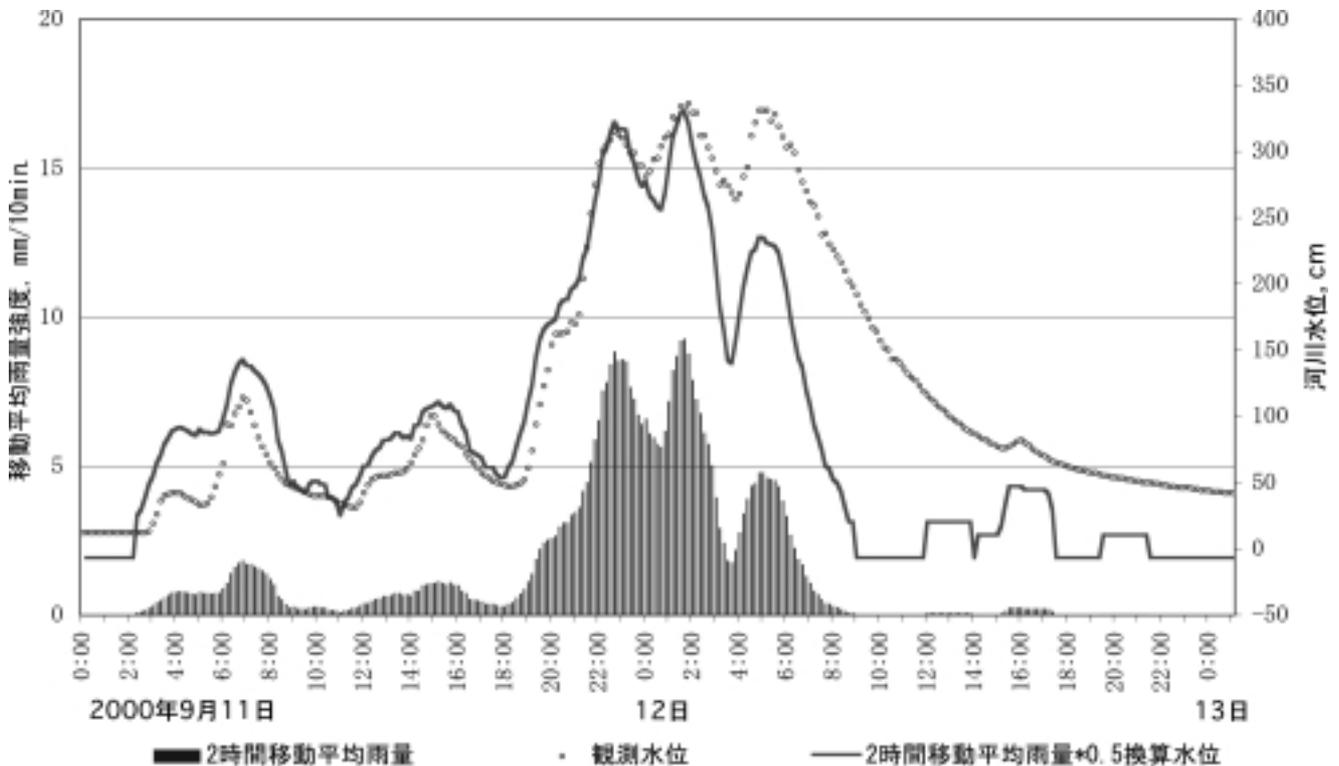


図 61 2000 年 9 月の東海豪雨における逢妻女川千足観測点の移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果

Fig. 61 Estimated water level at the Senzoku Station of the Aizume River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were simply calculated by using the moving average rainfall and run-off coefficient.

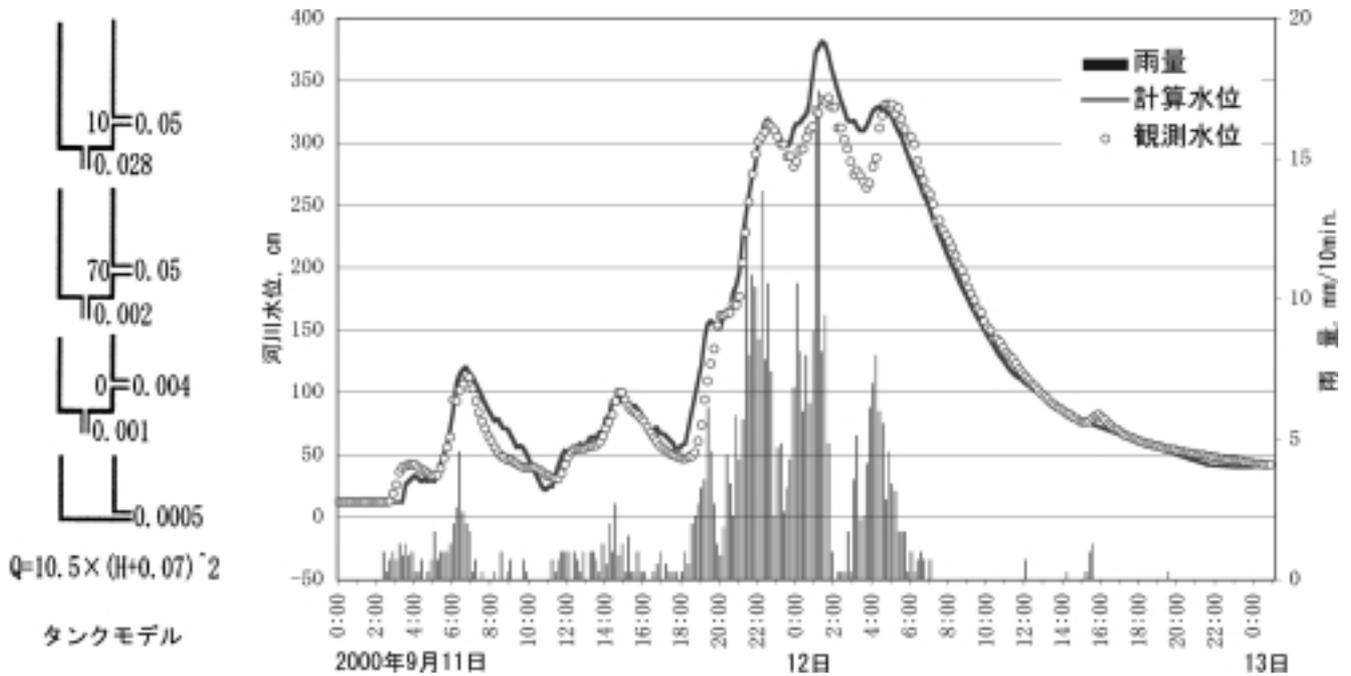


図 62 2000 年 9 月の東海豪雨における逢妻女川千足観測点のタンクモデルによる河川水位推定結果
 Fig. 62 Estimated water level at the Senzoku Station of the Aizume River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were calculated by the Tank Model described in the left side of the figure.

④知多半島東岸の阿久比川岩滑観測点の解析

岩滑観測点は図 14 の H10 地点に在り、その上流域は表 1 に示すように流域面積 30.81km²、最大流路辺長 9.6km、流域形状係数 0.34 の流域であり、最大流路辺長の比高は 69m である。流域内の地形、地質および市街地を図 63 に示す。この地域は交通の便も良く、名古屋市の新興住宅地として、近年、開発が急ピッチで行われたところである。流域内の 1970 年に対する 1999 年の人口の変化を見ると、半田市は 1.37 倍、上流の阿久比町は 1.30 に増加している。この地域の人口密度は半田市 2,340 および阿久比町 1,003 である。同図の市街地は 1997 年の区域を示したものであり、全流域の 20 % を占めている。写真 17 に半田市の岩滑水位観測点付近阿久比川の河川状況を示す。この地域の大部分は雨水の自然排水区域であるが、下流部は谷底平野が長く延びており、洪水時には河口付近でポンプによる排水が行われる。図 64 は降雨と河川水位の時間変化を示したものであり、この洪水の洪水到達時間は長く 10 時間となり、到達時間流出率は 0.68 であった。同図には第 3 基準水位および計画高水位も示した。幸いにして洪水は第 3 基準水位を越えなかった。しかし、支川等の堤防越水と内水により、流域の約 11 % の地域が浸水し、床下 107 棟、床上 59 棟の浸水被害が発生した。図 65 に同洪水について、到達時間を一定とした場合の移動平均降雨および移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果を示す。この図から分かるように、移動平均降雨洪水推定法は洪水ピーク付近の洪水水位を適切に推定している。ただし、洪水後半の部分については

到達時間流出率が 0.9 程度に上昇したため推定値が実測値と合わなくなっている。

次に、直列 4 段のタンクモデルを用いた阿久比川岩滑観測点上流域の洪水流出解析について述べる。図 66 に東海豪雨の洪水のタンクモデルとそれらを用いた洪水水位の推定結果を示す。ここでも洪水流量から洪水水位への変換は試行錯誤により妥当と思われる水位 流量関係式を用いて行った。洪水水位の推定結果は図に示すように、洪水



写真 17 半田市阿久比川の岩滑水位観測点上流付近の河川状況 (引用: 愛知県, 2000)
 Photo 17 Condition in the upstream of the Yanabe Water Level Station of the Agui River in the Handa City (source: the Aichi Prefecture Office, 2000).

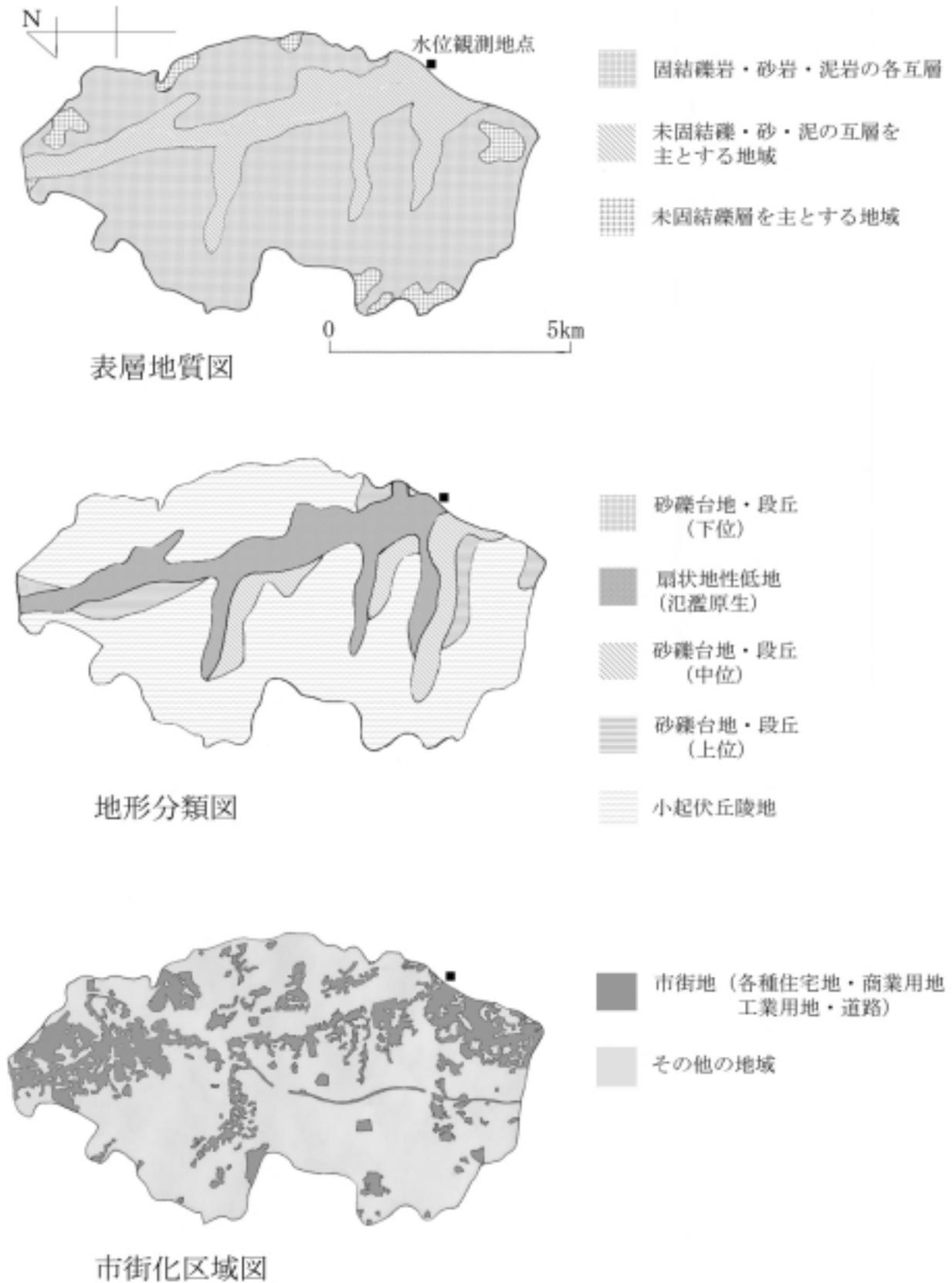


図 63 阿久比川岩滑観測点上流域の地形，表層，地質および市街地分布の状況
 Fig. 63 Maps of the topography, the surface geology and the urbanized area in the upper river basin of the Yanabe Station in the Agui River Basin.

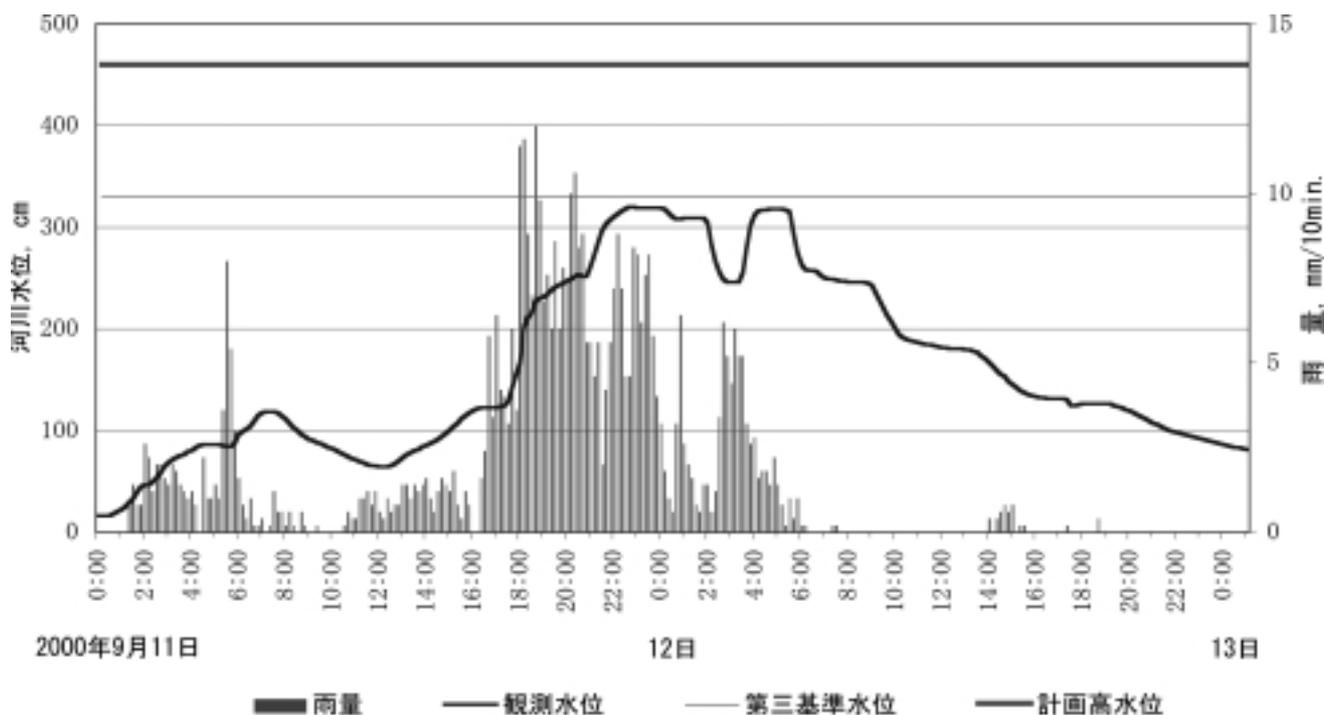


図 64 2000年9月の東海豪雨における阿久比川岩滑観測点の降雨量と河川水位の時間変化

Fig. 64 Change of water level and average rainfall amount in the upper basin of the Yanabe Station of the Agui River during the flood in Sep. 2000 of the Tokai Heavy Rainfall.

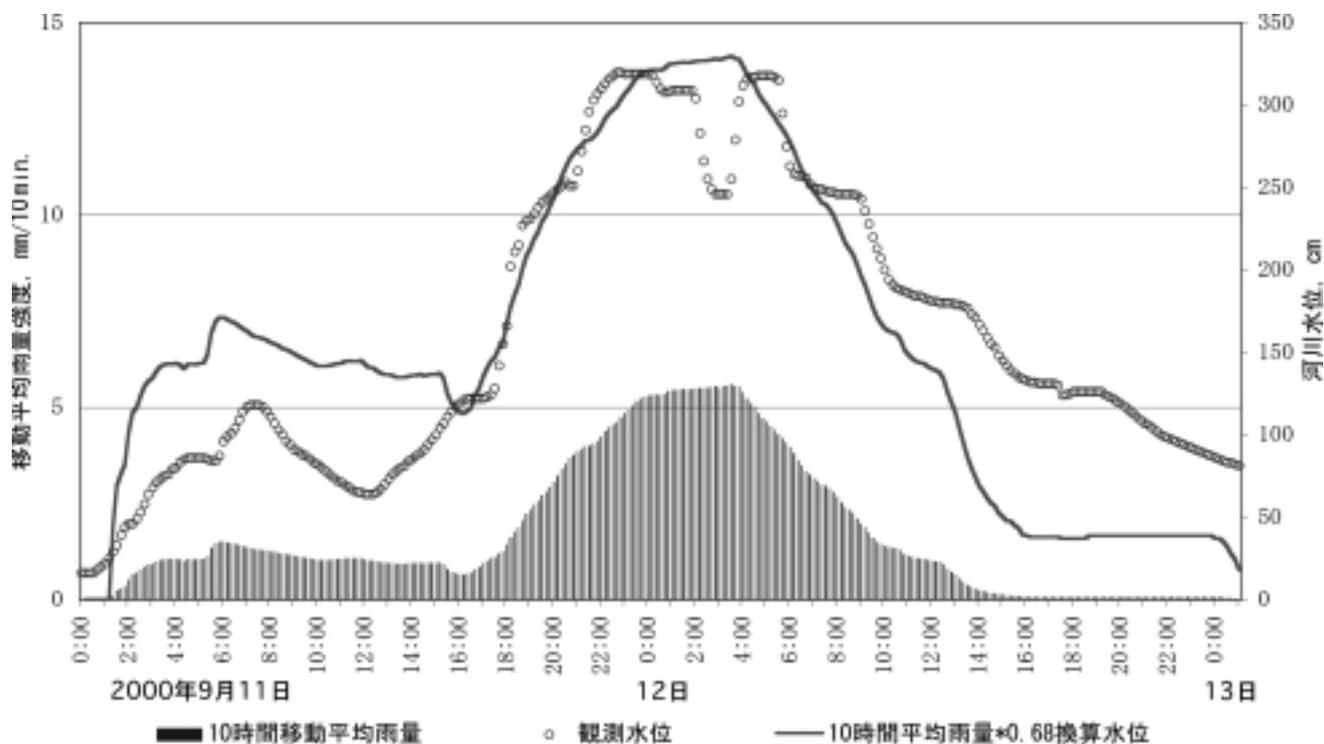


図 65 2000年9月の東海豪雨における阿久比川岩滑観測点の移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果

Fig. 65 Estimated water level at the Yanabe Station of the Agui River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were simply calculated by using the moving average rainfall and run-off coefficient.

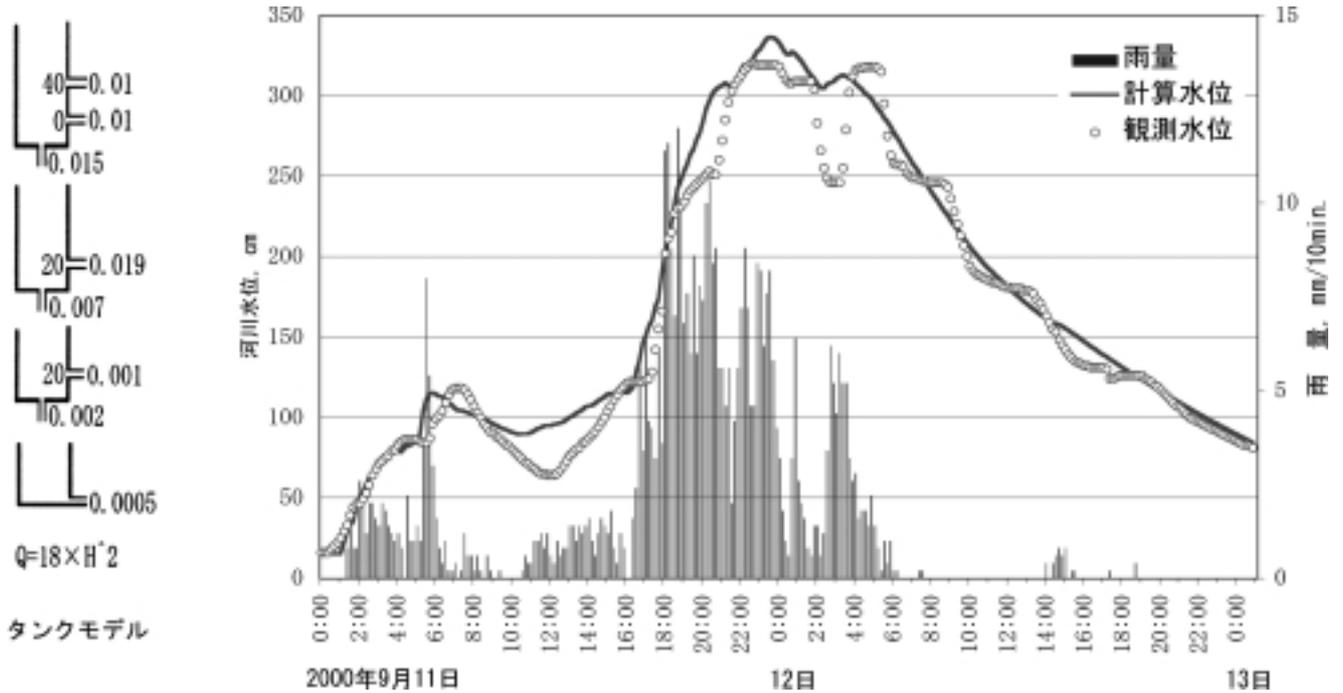


図 66 2000 年 9 月の東海豪雨における阿久比川岩滑観測点のタンクモデルによる河川水位推定結果
 Fig. 66 Estimated water level at the Yanabe Station of the Agui River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were calculated by the Tank Model described in the left side of the figure.

ピークおよび洪水の低減状況を良好に推定している。タンクモデルの構造を見ると、第一段目タンクは 2 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、下の流出穴は底にあり、上の流出穴は 40mm の高さにある。タンク内の雨水が 40mm 溜るまではタンクからの流出割合は 40 % となり、タンク内に雨水が 40mm 以上溜まるようになるとタンクからの流出割合は 40 % から 57 % に次第に増加する。第二段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は 20mm の高さにある。このタンク内に雨水が 20mm 以上溜まるようになると流出割合は 0 % から 73 % に次第に増加する。このタンクからの流出は洪水後半に比較的大きくなる。第三段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は 20mm の高さにある。このタンク内に雨水が 20mm 以上溜まるとタンクからの流出割合は 0 % から 33 % に次第に増加する。

(5) 大河川の後背低地にある中小河川の事例

解析地点は木曾川左岸の日光川上流戸苜観測点および矢作川右岸支川の鹿乗川の鹿乗川観測点であり、東海豪雨の洪水についてのみ解析を行った。日光川上流域は尾張低地に位置し、木曾川が作った標高 15m 前後の自然堤防を流域界としている。低地の表層地質は木曾川によって運ばれてきた沖積世の砂、泥等の堆積物で構成されている。矢作川支川鹿乗川は碧海台地を水源とし、矢作低地を流れている。矢作低地は矢作川によって運ばれてきた沖積世の砂、泥等の堆積物に覆われている。

①日光川上流戸苜観測点の解析

戸苜観測点は図 14 の H1 地点に在り、その上流域は表 1 に示すように流域面積 62.15km²、最大流路边長 12.9km、流域形状係数 0.37 の細長い流域であり、最大流路边長の比高は 15m と非常に平坦な流域である。流域内の地形、地質および市街地を図 67 に示す。この地域は静かな農村地域で、流域内の 1970 年に対する 1999 年の人口の変化を見ると、尾西市は 1.13 倍、一宮市は 1.25 倍および木曾川町は 1.21 倍になっている。この地域の人口密度は尾西市 2,634、一宮市 3,316 および木曾川町 3,244 である。同図の市街地は 1997 年の区域を示したものであり、全流域の 51 % を占めている。この地域は平坦な低平地が多く、木曾川への放水路、遊水池等の整備が行われている。この下流域には 1965 年代に進行した地盤沈下も原因となつて海拔 0メートル地帯が広がっている。図 68 は降雨と河川水位の時間変化を示したものであり、この洪水の洪水到達時間は長く 5 時間となっており、到達時間流出率は 0.4 であった。同図には水防警報の出動水位および計画高水位を示した。河川水位は 11 日 16 時 40 分には出動水位を越えており、11 日 18 時 30 分には計画高水位を越えていた。最高水位は計画高水位を 0.10m 越える 3.62m であった。このため、流域の約 1 % の地域が浸水し、床下 442 棟、床上 36 棟の浸水被害が発生した。図 69 に同洪水について、到達時間を一定とした場合の移動平均降雨および移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果を示す。この図から分かるように、洪水初期と後半の洪水減水部を除いて、移動平均降雨洪水推定法は洪水ピー

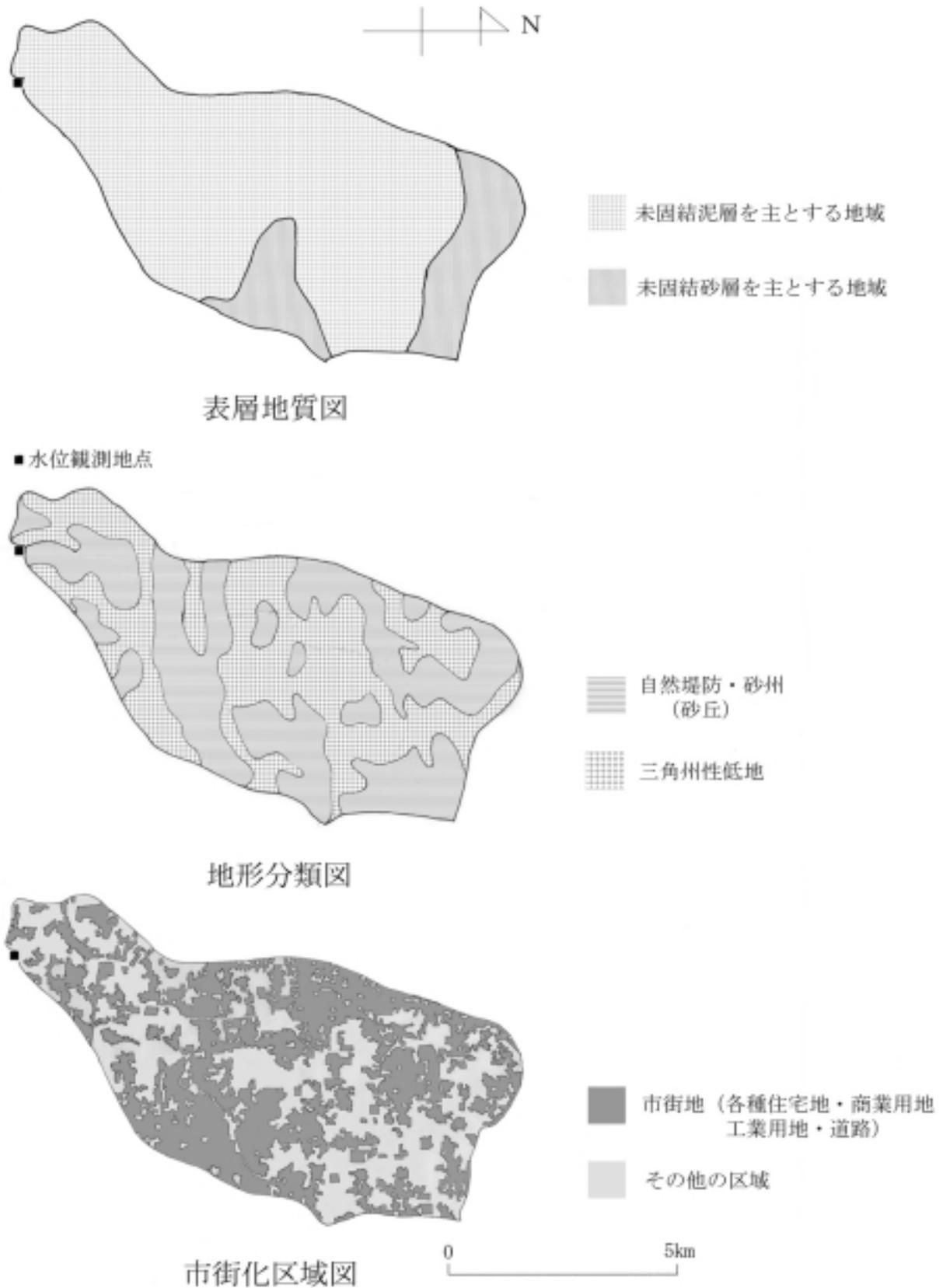


図 67 日光川戸苅観測点上流域の地形，表層，地質および市街地分布の状況
 Fig. 67 Maps of the topography, the surface geology and the urbanized area in the upper river basin of the Togari Station in the Nikko River Basin.

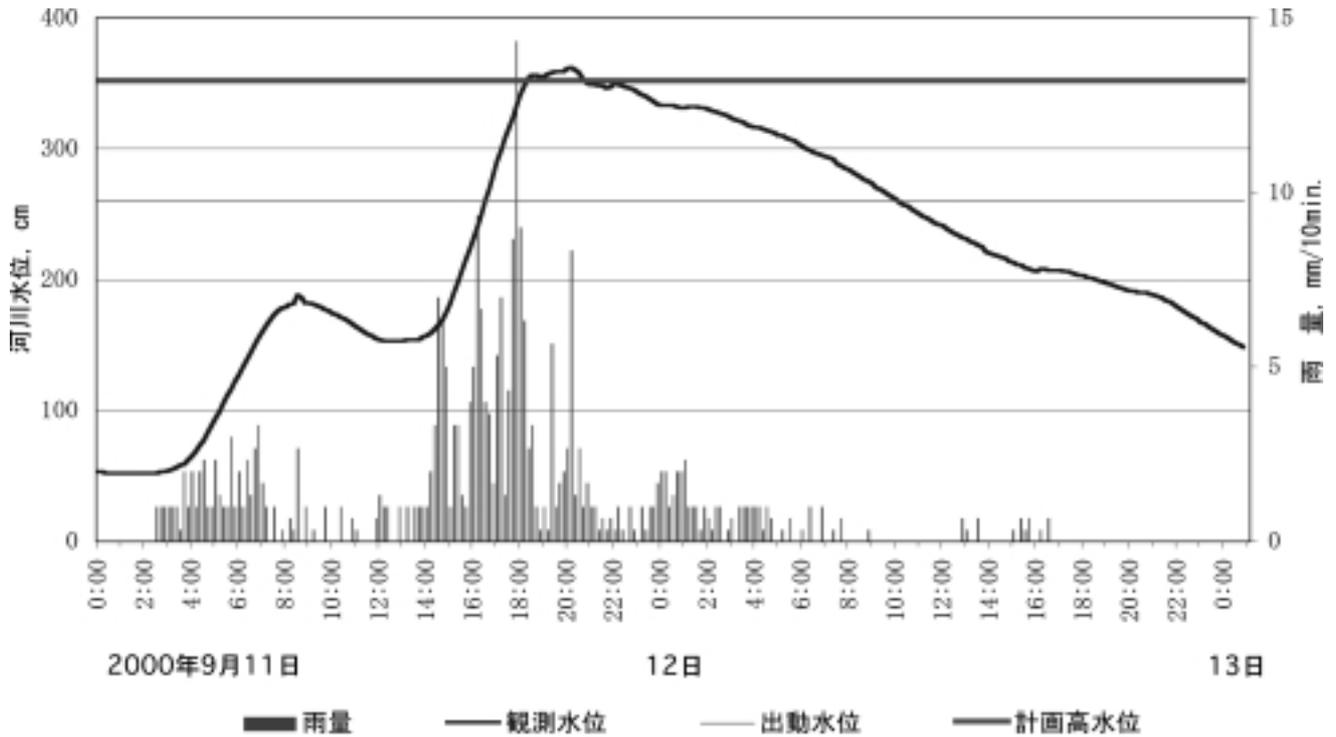


図 68 2000 年 9 月の東海豪雨における日光川戸苅観測点の降雨量と河川水位の時間変化
 Fig. 68 Change of water level and average rainfall amount in the upper basin of the Togari Station of the Nikko River during the flood in Sep. 2000 of the Tokai Heavy Rainfall.

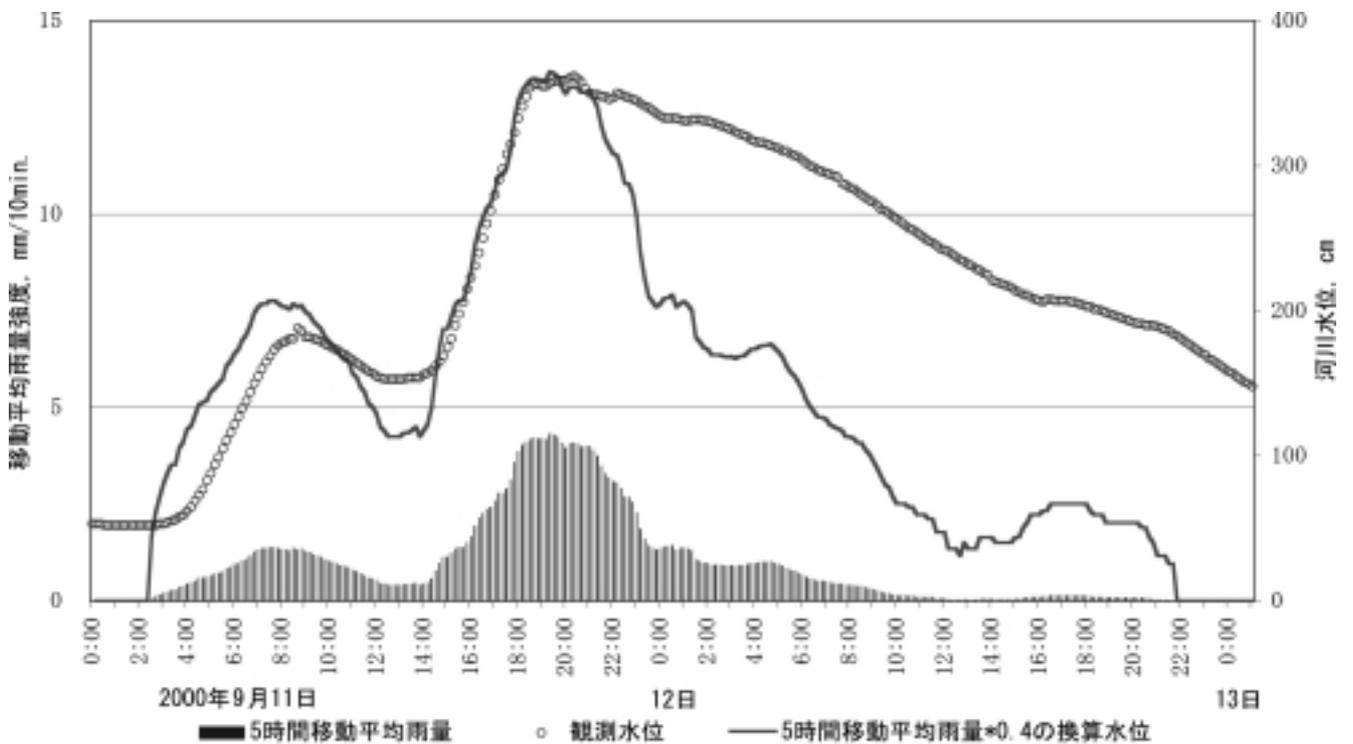


図 69 2000 年 9 月の東海豪雨における日光川戸苅観測点の移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果
 Fig. 69 Estimated water level at the Togari Station of the Nikko River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were simply calculated by using the moving average rainfall and run-off coefficient.

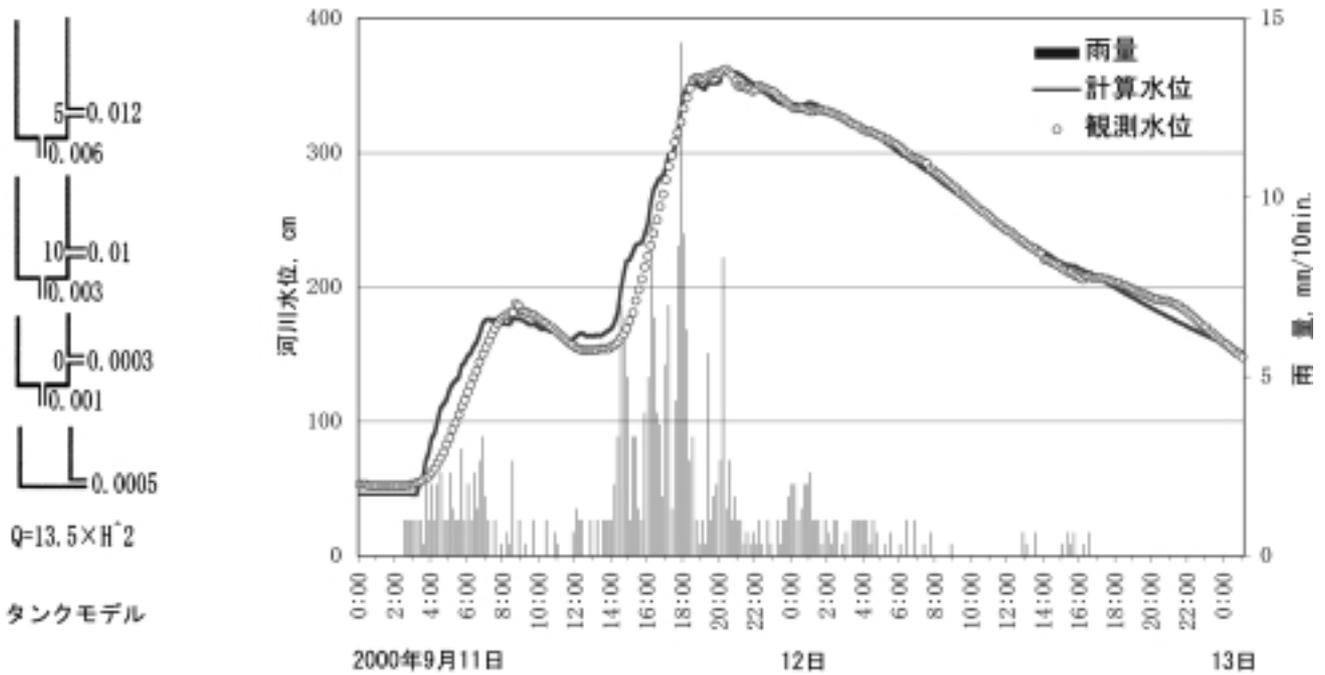


図 70 2000 年 9 月の東海豪雨における日光川戸苅観測点のタンクモデルによる河川水位推定結果
 Fig. 70 Estimated water level at the Togari Station of the Nikko River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were calculated by the Tank Model described in the left side of the figure.

ク付近の洪水水位を良く推定している。

次に、直列 4 段のタンクモデルを用いた日光川戸苅観測点上流域の洪水流出解析について述べる。図 70 に東海豪雨の洪水のタンクモデルとそれらを用いた洪水水位の推定結果を示す。ここでも洪水流量から洪水水位への変換は試行錯誤により妥当と思われる水位 流量関係式を用いて行った。洪水水位の推定結果は図に示すように、洪水ピークおよび洪水の低減状況を良好に推定している。タンクモデルの構造を見ると、第一段目タンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は 5mm の高さにある。このタンク内に雨水が 5mm 以上溜まるようになるとタンクからの流出割合は 0 % から 67 % に増加する。第二段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は 10mm の高さにある。このタンクからの流出は相対的に大きく、タンク内に雨水が 10mm 以上溜まるようになると流出割合は 0 % から 77 % に次第に増加する。第三段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち、流出穴は底にある。このタンクからの流出割合は 23 % となる。このように、雨水の流出状況は緩やかであるが、第一段目タンクから流出割合は相対的に多くなっている。また、流出の遅い成分も第二段目のタンクから多く流出する構造を現している。

②矢作川支川鹿乗川観測点の解析

鹿乗川観測点は図 14 の H11 地点に在り、その上流域は表 1 に示すように流域面積 33.32km²、最大流路辺長 11.1km、流域形状係数 0.27 の細長い流域であり、最大流

路辺長の比高は 29m と平坦な流域である。流域内の地形、地質および市街地を図 71 に示す。この地域は日本のデンマークといわれた豊かな農村地帯であったが交通の便が良いこともあって、近年開発が行われてきたところである。流域内の 1970 年に対する 1999 年の人口の変化を見ると、安城市は 1.68 倍、岡崎市は 1.59 に増加している。この地域の人口密度は安城市 1,839 および岡崎市 1,472 である。同図の市街地は 1997 年の区域を示したものであり、全流域の 38 % を占めている。この地域は自然排水区域であるが、洪積世の台地に降った雨水がゆっくり沖積世の低地に流出するような地域である。写真 18 に岡崎市 JR 西岡崎駅周辺の鹿乗川流域の浸水状況を示す。図 72 は降雨と河川水位の時間変化を示したものであり、この洪水の洪水到達時間も長く 6 時間となっている。到達時間流出率は 0.28 であった。同図には第 3 基準水位および計画高水位も示した。河川水位は 11 日 23 時 50 分には第 3 基準水位を越えており、12 日 4 時 20 分には計画高水位を越えていた。最高水位は計画高水位を 0.19m 越える 3.99m であった。このため支川等の越水や内水により、流域の約 12 % の地域が浸水し、床下 603 棟、床上 163 棟の浸水被害が発生した。図 73 に同洪水について、到達時間を一定とした場合の移動平均降雨および移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果を示す。この図から分かるように、洪水初期と後半の洪水減水部を除いて、移動平均降雨洪水推定法は洪水ピーク付近の洪水水位をほぼ妥当に推定している。

次に、直列 4 段のタンクモデルを用いた鹿乗川の鹿乗

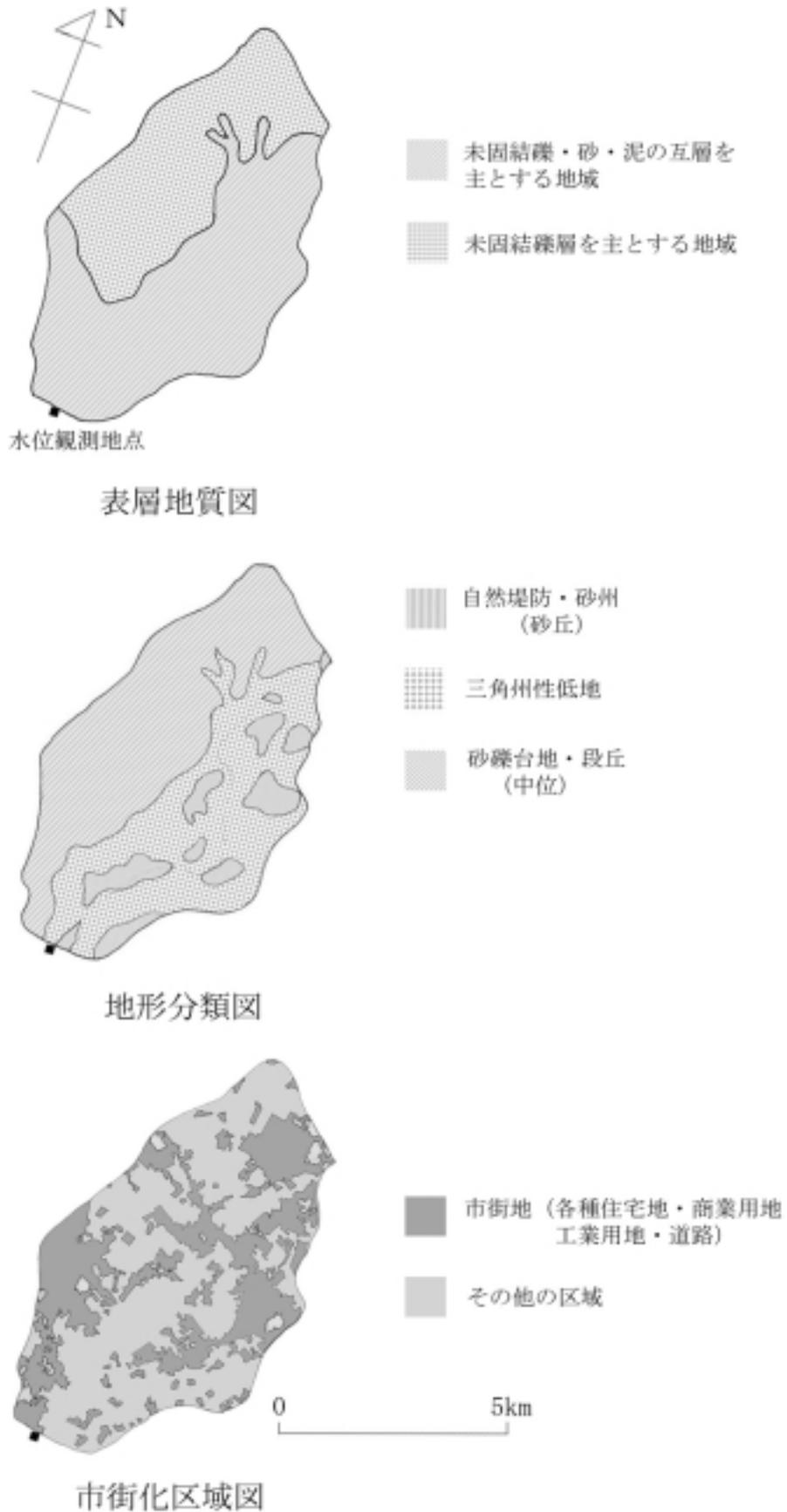


図 71 鹿乗川鹿乗川観測点上流域の地形，表層，地質および市街地分布の状況
 Fig. 71 Maps of the topography, the surface geology and the urbanized area in the upper river basin of the Kanorigawa Station in the Kanori River Basin.

川観測点上流域の洪水流出解析について述べる．図 74 に東海豪雨の洪水のタンクモデルとそれらを用いた洪水位の推定結果を示す．ここでも洪水流量から洪水位への変換は試行錯誤により妥当と思われる水位 流量関係式を用いて行った．洪水位の推定結果は図に示すように，洪水ピークおよび洪水の低減状況を良好に推定している．タンクモデルの構造を見ると，第一段目タンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち，流出穴は 2mm の高さにある．このタンク内に雨水が 2mm 以上溜まるようになるとタンクからの流出割合は 0 % から 20 % に次第に増加する．第二段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち，流出穴は底にある．このタンクからの流出割合は 17 % となる．第三段目のタンクは 1 つの流出穴と 1 つの浸透穴を持ち，流出穴は底にある．このタンクからの流出は相対的に大きく，タンクからの流出割合は 91 % となる．このように，このタンクモデルは洪水時の流出が小さく，ゆっくりと流出する．特に，流出の遅い第三段目のタンクから相対的に多く流出する構造を持っている．



写真 18 岡崎市の JR 西岡崎駅付近の鹿乗川沿い低地の洪水氾濫状況（提供：愛知県，2000）

Photo 18 Flood condition in the low-lying area along the Kanori River around Nishiokazaki JR Station in the Okazaki City (courtesy of the Aichi Prefecture Office, 2000).

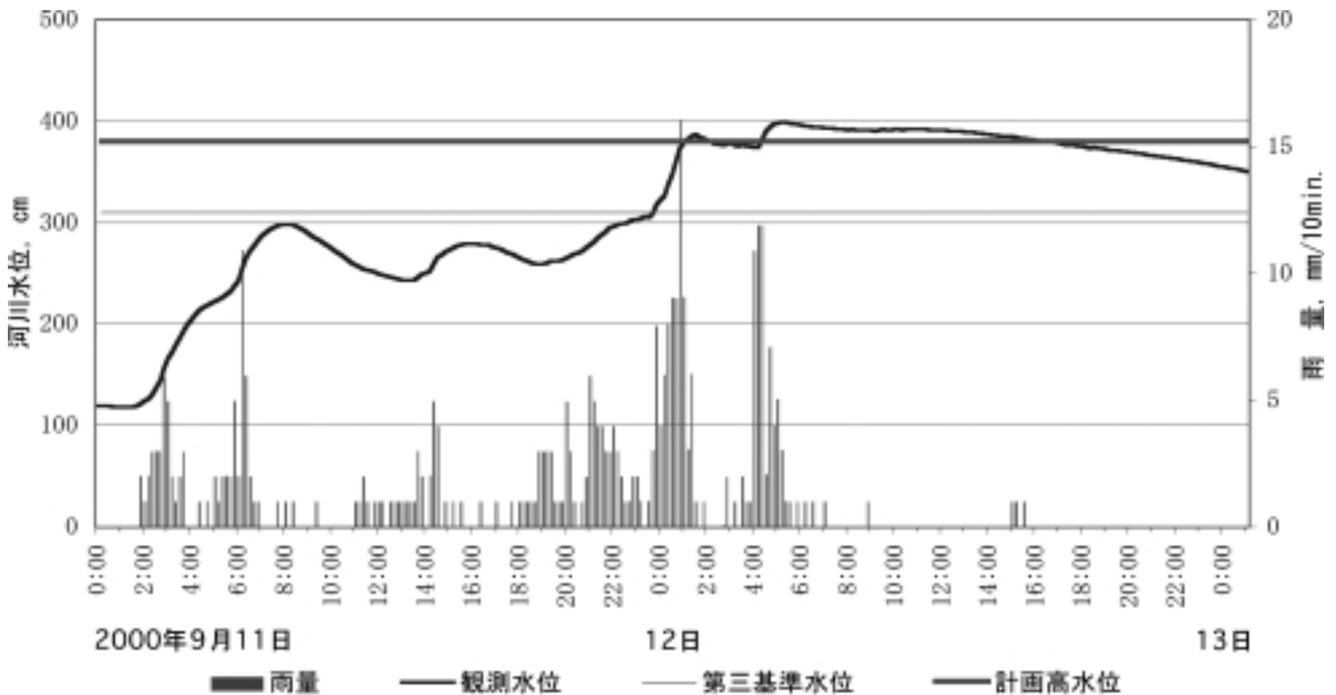


図 72 2000 年 9 月の東海豪雨における鹿乗川観測点の降雨量と河川水位の時間変化

Fig. 72 Change of water level and average rainfall amount in the upper basin of the Kanorigawa Station of the Kanori River during the flood in Sep. 2000 of the Tokai Heavy Rainfall.

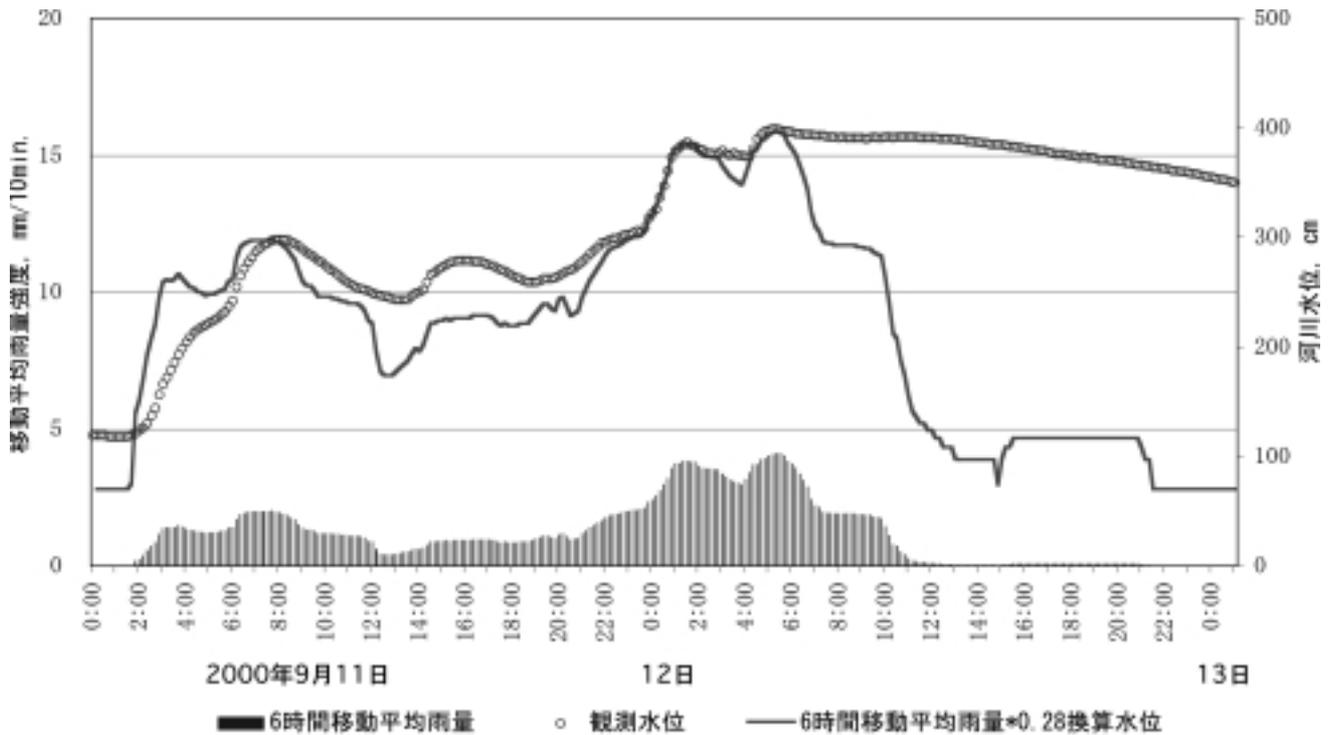


図 73 2000年9月の東海豪雨における鹿乗川鹿乗川観測点の移動平均降雨洪水推定法による河川水位推定結果
 Fig. 73 Estimated water level at the Kanorigawa Station of the Kanori River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were simply calculated by using the moving average rainfall and run-off coefficient.

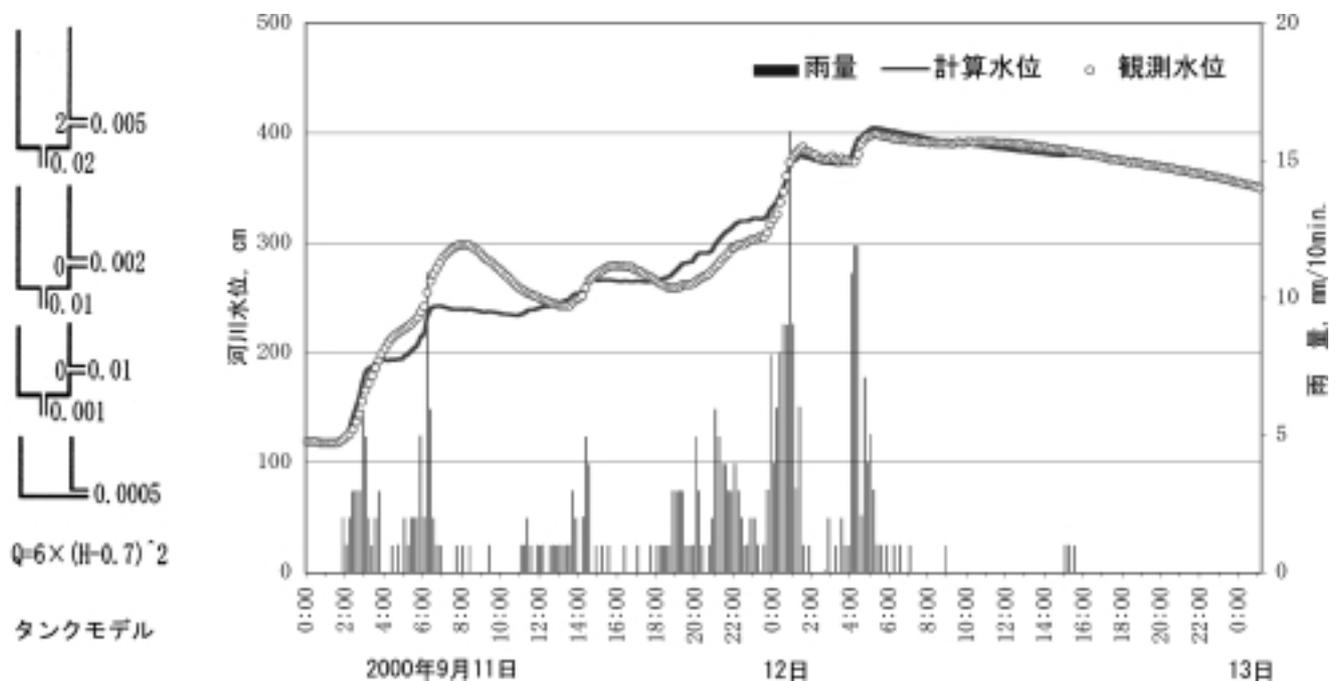


図 74 2000年9月の東海豪雨における鹿乗川鹿乗川観測点のタンクモデルによる河川水位推定結果
 Fig. 74 Estimated water level at the Kanori Station of the Kanori River with observed one in Sep., 2000 of the Tokai Heavy Rainfall, which were calculated by the Tank Model described in the left side of the figure.

5. まとめ

近年、時間雨量 50mm を越える豪雨が各地で記録されており、計画規模を上回る強雨による浸水被害が都市域で起きている。東海豪雨災害では名古屋市内だけで約 4 千名の方が家屋や車に閉じこめられ、船艇等により救助される事態が発生し、早めの避難勧告やその発令基準の設定の必要性が指摘された。このような発令基準の一つとして中小河川の水位が考えられることから、ここでは豪雨時の中小河川の水位変化の実態を明らかにするとともに、中小河川の水位予測の可能性を検討した。解析は市街地から郊外に分布する 14 河川で行った。この内、天白川支川扇川鳴海地点上流域では流域平均の最大日雨量は 567mm、最大 3 時間雨量は 213mm、最大時間雨量は 88mm に達した。これは 1982 年 7 月の長崎豪雨災害には及ばないが 1993 年 8 月の鹿児島豪雨災害、1998 年 8 月の北関東東北豪雨災害を越える降雨規模であった。

豪雨に対する洪水の流出割合の指標である到達時間流出率は市街地面積率の増加に伴って増大する。また、図 11 に示したように市街地面積率の少ない中小河川であっても、強雨が長時間続けば到達時間流出率は 0.7 ~ 0.8 に増加することにも注意しておく必要がある。

表 3 に流出解析によって得られた各流域の洪水到達時間、到達時間流出率、到達時間内最大雨量強度、流出率等を取りまとめた。到達時間内最大雨量強度は多いところで 60 ~ 90mm/時に達し、到達時間流出率は市街地では 0.65 ~ 0.8 まで増加した。総雨量に対する 2 日間の流出率は多くの河川で 70 ~ 90 % と推定された。

洪水流出の速さの指標である洪水到達時間は流域の最大流路辺長を L 、最大流路辺長における平均勾配を I とすると L/I と密接な関係があり、東海豪雨ではおおそ $0.036 \times (L/I)^{0.7}$ によって表せることが分かった。これは土木研究所の経験式に沿うものであるが、分単位の比例定数は東海豪雨では 0.036 であり、土木研究所経験式の都市域の比例定数の 2.5 倍であった。

名古屋西部の香流川、植田川および山崎川では約 30 年前に流出試験地を設け、都市化が流出に及ぼす影響を調査しており、東海豪雨域はこれらの流域を含んでいるため、同一流域における市街地の拡大に伴う洪水流出の増加の実態を明らかにすることが出来た。それによると、山崎川では 29 年前既に市街の拡大は終息しており、市街化率は殆ど変化無いが、近年流域を対象とした総合治水対策が行われたこともあって、洪水流出は以前より緩和されている結果が得られた。香流川および植田川では 29 年前の市街化率はそれぞれ 31 % および 52 % であったのが現在では 47 % および 63 % に変化し、洪水流出は到達時間流出率で見ると香流川では 0.4 から 0.7 に増加し、植田川では 0.5 から 0.8 に増加していることが分かった。洪水到達時間も香流川では 30 分短くなり、植田川では 20 分短くなった。一方、山崎川では洪水到達時間は到達時間流出率と同様変化がなかった。

解析地点には潮位の影響を受ける観測点があり、洪水水位と潮位の関係が明らかとなった。感潮区間にある扇川

鳴海観測点および矢田川大野観測点では洪水水位の低い間は名古屋港の潮位推定値に鳴海観測点では 15cm、大野観測点では 10cm を加えた値が河川水位になっていることが明らかとなり、洪水水位が潮位よりも高い場合は河川水位は潮位の影響を殆ど受けていないことも分かった。

豪雨による洪水水位の推定は簡易の移動平均降雨洪水推定法とタンクモデルによる推定を行った。その結果、移動平均降雨洪水推定法は市街化が進んだ地域では降雨から単純に洪水ピークを推定するのに有効な方法であることが分かった。また、タンクモデルは中小河川の洪水であっても詳細な 10 分雨量を用い、適切なモデルパラメータを設定することにより、洪水流量が的確に計算できることが分かった。表 4 に 14 河川流域の流出解析によって得られたタンクモデルの定数を示す。図 13 にも示したように第 1 段タンクの流出割合と市街地面積率との関係は得られなかったが、市街地面積率が大きくなるにしたがって第 2 段タンクおよび第 3 段タンクの流出割合は減少する傾向を示した。また、第 1 段タンクの流出穴の高さは市街地面積率が大きくなるにしたがって、減少していることが分かった。

この解析では各水位観測地点の水位 流量関係式を仮定しており、また、流域内の多くの排水ポンプの稼動状況、各種の雨水調節設備の貯水状況および河川の越水・破堤の影響はモデルには考慮していない。このことが逆に推定水位と観測水位の差となって現れている部分もあり、洪水氾濫やポンプ排水等の洪水流出に与える影響を知る手掛かりにもなった。以上、既存の 10 分雨量を用いて中小河川の簡易な水位予測を試み良好な結果を得た。

一方、表 5 に東海豪雨における各流域の河川水位状況を示す。表には水防団が出勤して水防活動に当たる基準となる第 3 基準水位の発生時刻および河川が越水・破堤等危険な状態になる計画高水位の発生時刻を示した。両水位の発生時刻の差は流域によって異なるが都市域の中小河川ではおおそ 30 分 ~ 1 時間となっている。このことは中小河川の洪水予報を行う場合に考慮すべき点であり、降雨予測に加えて、迅速な情報伝達・減災対策が必要なことを示す。

豪雨時において、中小河川の洪水流量を測定することは現象が早いと困難であるが、各水位観測地点の水位 流量関係は降雨から河川水位を推定するのに不可欠な情報であり、社会的に重要な地域で洪水予報が必要と思われる地点については多少の困難はあっても流量観測を行うことが望ましい。

おわりに、本解析に当たり、保田保子さん、倉林夢香さんには資料整理および図表の作成をしていただいた。また、愛知県、名古屋市の方々には詳細な雨量および水位データを提供をいただきました。ここに記して感謝致します。

表3 流出解析によって得られた14河川流域の流出諸元
Table 3 Run-off characteristics derived from the flood analysis in 14 small river basins.

解析拠地点名 河川名	流域面積(S) km ²	最大流路辺長 (L), km	市街化区域占有率, %		洪水到達時間, 分	到達時間 洪水初期 ピーク時	到達時間内 最大 流出量 mm/100ha	総雨量 mm	総流出高 mm	流出率 mm	計算総流出高 計算総流出率 mm	
			1983年	1997年								
戸成(01)	62.15	12.89	0.460	0.507	300	0.32	4.3	274.3	218.7	0.80	221.8	0.81
久持野(02)	108.18	17.64	0.447	0.474	350	0.55	5.9	473.3	423.7	0.90	437.3	0.92
藤川(03)	21.92	9.57	0.627	0.615	120	0.45	10.4	513.3	388.4	0.60	310.8	0.61
菅波川(04)	24.00	12.01	0.322	0.472	80	0.60	11.4	517.4	456.9	0.79	430.4	0.83
山崎川(05)			0.800	0.788	110	0.40	4.7	73.0	49.2	0.67	53.1	0.73
天白(06)	74.00	16.41			60	0.58	13.5	542.2	469.8	0.87	480.0	0.89
駒橋(07)	20.64	7.92	0.348	0.491	60	0.45	5.8	321.5	289.1	0.90	302.1	0.94
榎田川(08)	19.31	4.99	0.448	0.631	60	0.65	13.4	165.0	138.5	0.87	133.6	0.84
矢田川(09)	14.39	6.33	0.145	0.121	150	0.50	11.0	553.8	470.9	0.85	472.7	0.85
向次比川(10)	30.81	9.57	0.186	0.195	60	0.45	14.6	604.0	477.9	0.79	499.0	0.83
石ヶ瀬川(11)	8.47	5.84	0.212	0.194	70	0.60	10.8	565.5	450.3	0.80	501.7	0.89
津島川(12)	71.63	11.31	0.198	0.376	720	0.50	5.7	523.1	463.9	0.77	387.3	0.74
子足川(13)	15.43	8.12	0.12	0.259	120	0.35	9.3	429.6	318.5	0.74	341.8	0.80
龍巻川(14)	30.32	11.14	0.190	0.383	300	0.28	4.1	342.4	268.8	0.61	203.9	0.60

(注) 413.7は浜塚からの確率流入量70.4mmを、477.9は前位の影響による見かけ上の流出量29.1mmを差し引いている。364.0も同様の前位の影響による見かけ上の流出量70.8mmを差し引いている。

表5 14 河川流域の基準水位と東海豪雨におけるそれら水位の発生時刻

Table 5 Specific water levels in 14 small river basins and times reached each water level in the Tokai Heavy Rainfall.

解析観測地点名	河川名	流域面積(S), km ²	第3基準水位	第3基準水位 を越えた時刻	計画高水位	計画高水位を 越えた時刻	最大水位
戸部(H1) *	日光川	62.15	2.60	11/16:40	3.52	11/18:30	3.62
久地野(H2) *	新川	108.18	5.40	11/18:30	6.57	11/19:40	7.32
勝川(H3)	地藏川	21.92	2.00	11/17:30	2.60	11/18:40	3.21
猪子石(H4)	香流川	24.93	2.40	11/19:40	3.20	-	2.88
瑞穂(H5)	山崎川	13.33	3.80	11/18:40	4.80	11/19:10	4.81
天白(H6) *	天白川	74.09	7.66	11/19:10	8.66	11/19:50	9.98
鳴海(H7)	扇川	20.64	3.00	11/19:10	4.00	11/21:00	4.53
植田川(H8)	植田川	19.31	3.70	11/19:40	4.20	-	3.89
大野(H9)	矢田川	14.39	-	-	1.90	11/18:20	2.45
岩瀬(H10)	阿久比川	30.81	3.30	-	4.60	-	3.20
大府(H12)	石ヶ瀬川	8.47	4.60	11/18:30	5.45	11/18:40	6.70
一ツ木(H13)	逢妻川	71.63	3.70	11/21:10	5.10	11/23:00	6.00
千足(H14)	逢妻女川	15.43	2.20	11/21:30	2.70	11/21:50	3.36
鹿乗川(H11)	鹿乗川	33.32	3.10	11/23:50	3.80	12/04:20	3.99

注) : 第3基準水位は河川水位が計画高水位になる計画流量の6割程度に相当する流量時の河川水位で、水防警報基準地点では出動水位に相当する水位である。*を付けた観測点は県知事が水防警報を行う河川の水防警報基準地点を示す。

参考文献・資料

- 1) 愛知県(1973): 災害の記録. 7-10.
- 2) 愛知県(1983): 災害の記録. 40-61.
- 3) 愛知県(1997): 天白川. 6p.
- 4) 愛知県(1999): 新川流域総合治水対策.
- 5) 愛知県(2000): あいちの河川と海岸. 75p.
- 6) 愛知県建設部河川課(2000): 愛知県河川堤防緊急強化検討会第1回(参考資料).
- 7) 愛知県建設部河川課(2000): 平成12年9月11日東海豪雨災害資料.
- 8) 愛知県建設部河川課(2000): 平成12年9月東海豪雨 二級河川天白川 河川激甚災害対策特別緊急事業. 10p.
- 9) 愛知県建設部河川課(2000): 平成12年9.11~12 豪雨災害(台風14号・秋雨前線).
- 10) 角屋睦・福島晟(1976): 中小河川の洪水到達時間. 京都大学防災研究所年報, No.19 B. 143-152.
- 11) 経済企画庁総合開発局(1974): 土地利用分類図(愛知県).
- 12) 建設省中部地方建設局・愛知県(2000): 平成12年9月東海豪雨 庄内川・新川河川激甚災害対策特別緊急事業. 14p.
- 13) 建設省中部地方建設局, 庄内川工事事務所, 愛知県建設部河川課(2000): 平成12年9月12日出水:
庄内川・新川出水状況.
- 14) 建設省中部地方建設局豊橋工事事務所(2000): 平成12年9月12日矢作川出水状況.
- 15) 建設省土木研究所(1972): 建設省における流出試験地第1報観測網. 土木技出研究所資料 781, 77p.
- 16) 建設省国土地理院(1999): 細密数値情報(10mメッシュ土地利用), 中部圏1997 CD-ROM.
- 17) 木下武雄(1982): 浦白川流出試験地における流出係数・流出率の変化, 国立防災技術センター研究報告, No.27, 13-24.
- 18) 気象庁(2000): 気象衛星観測月報 CD-ROM 2000年9月.
- 19) 気象庁(2000): 気象庁天気図 CD-ROM 平成12年9月および平成12年10月.
- 20) 松浦茂樹・佐合純造(2001): 2000年9月東海豪雨における西枇杷島町の危機対応, 水利科学, No.261. 1-32.
- 21) 森岩聰ら(2001): 「東海豪雨」がもたらした災害 平成12年9月11日から12日の局地的な豪雨. 気象, No.532, 12-17.
- 22) 名古屋地方気象台(1990): 創立百年誌. 69-79.
- 23) 名古屋地方気象台(2000): 平成12年台風第14号および前線による9月11日から12日にかけての愛知県地方の大雨. 2000年農業気象災害速報, No.1,

- 15p .
- 24) 名古屋市 (2001) : 東海豪雨水害に関する記録 . 144p .
- 25) 名古屋市下水道局 (1998) : 下水道事業概要 (平成 9.4.1 ~ 平成 10.3.31) . 98p .
- 26) 中根和郎 (1985) : 昭和 58 年 7 月山陰豪雨時の洪水流出の特徴 . 国立防災技術センター研究報告 , No.34 , 1-12 .
- 27) 岡本芳美 (1976) : 流域の都市化についての一考察 . 第 31 回土木学会年次学術講演会講演概要集 , 182-183 .
- 28) 精電舎 (2001) : 東海豪雨のあとに学ぶこと 平成 12 年の豪雨災害から 1 年 , 災害対策本部の課題 . 近代消防 2001 年 9 月号 , 42-47 .
- 29) 庄内川工事事務所 (1975) : 庄内川流出試験地水文資料 . 670p .
- 30) 菅原正巳 (1973) : 流出解析法 , 257p . 共立出版 .
- 31) 水文・水資源学会東海豪雨災害調査委員会 (2001) : 2000 年 9 月東海豪雨災害の実態と教訓 . 水文・水資源学会誌 , 14-5 , 411-432 .
- 32) 玉井信行 (2001) : 東海豪雨を通して現代の都市型洪水を考える . 2001 予報時報 , No.206 , 8-13 .
- 33) 辻本哲朗 , 安部友則 (2001) : 愛知県河川堤防緊急強化検討会報告 , 新川破堤メカニズムと今後の復旧方針 . 土木学会誌 , 86 , 74-77 .
- 34) 牛山素行・石垣泰輔・戸田圭一・千木良雅弘 (2000) : 2000 年 9 月 11 日 ~ 12 日に東海地方で発生した豪雨災害の特徴 . 自然災害科学 , 19-3 , 359-373 .
- 35) 吉野文雄・米田耕蔵 (1973) : 合理式の洪水到達時間と流出係数 . 土木技術資料 , 15-8 . 3-6 .
- (原稿受理 : 2001 年 4 月 10 日)

要 旨

2000 年 9 月 10 日から 12 日にかけて東海地方に記録的な豪雨をもたらされ、大きな被害が発生した。特に、住宅、道路網、地下鉄等の都市機能が密集する名古屋市では新川、天白川等の中小河川の氾濫、土砂崩れ等が発生し、死者 4 名、床上浸水 9,818 棟に達し、罹災者数は約 8 万 7 千人に上った。災害が夜間に起こったこともあって、家屋や車両に閉じこめられた人 4,013 名が船艇等により救助される事態が発生した。そこで、本調査では地域の浸水危険度の的確な指標となる中小河川の水位が各地の詳細な雨量観測データを用いて、簡易な手法によってどの程度予測できるかを豪雨をもたらされた谷底平野、低平地および海岸低地にある 14 か所の中小河川流域で検討した。その結果、到達時間降雨水位推定法は市街化が進んだ地域では降雨から単純に洪水ピークを推定するのに有効な方法であること、タンクモデルは中小河川の洪水であっても詳細な 10 分雨量を用い、適切なモデルパラメータを設定することにより、洪水流量が的確に計算できることが分かり、いずれの地点でも良好な河川水位の予測可能性が示された。また、感潮区間にある扇川鳴海観測点および矢田川大野観測点では洪水位の低い間は潮位の影響を受け、洪水位が潮位よりも高い場合は潮位の影響をあまり受けていないこと、到達時間流出率と市街地面積率の関係および洪水到達時間と地形要素の関係が明らかとなった。特に、市街地面積率が少なくても強雨が長時間続けば到達時間流出率は 0.7 ~ 0.8 に増加することが示された。

キーワード：都市水害，洪水，名古屋市，愛知県，中小河川，流出係数，洪水到達時間，最大雨量と降雨期間，タンクモデル