

レーダー雨量情報に対応する分布型流出モデルの検討

Distributed Rainfall-Runoff Model Using Radar Rain Gauge

長岡技術科学大学 学生員	陸 旻 皎	Minjiao LU
長岡技術科学大学 正 員	小 池 俊 雄	Tosio KOIKE
長岡技術科学大学 正 員	早 川 典 生	Norio HAYAKAWA

Distributed rainfall-runoff model was developed using Radar AMeDAS Raingage Composite Map of Precipitation as input. It consists of two submodels: one for direct runoff and other for base flow. The direct runoff submodel is a distributed model which routes direct runoff in each grid through a channel network to outlet using the kinematic wave model. In this submodel, a watershed is considered as meshed grids connected by a channel network which is derived from altitude data at grid points. The base flow submodel is a lumped storage-drainage model. The model makes it possible to take the effects of areal distribution and movement of storm into account. Sample calculations with respect to Uono River basin resulted in a good correspondence between predicted and observed hydrographs.

Keywords: rainfall-runoff model, kinematic wave model, channel network, Radar AMeDAS Raingage Composite Map of Precipitation

1. はじめに

近年、洪水流出解析においては、強雨域が流域の一部分に限定されていたり、強雨域が移動することが流出形態に大きな影響を及ぼすことがTakahasi et al¹⁾、Surkan²⁾、宝³⁾、小池⁴⁾らによる観測やシミュレーションによって示された。こういう場合には従来より用いられている降雨入力の流れ平均的な取り扱いでは洪水特性の表現は困難となる。一方近年、気象庁の気象レーダーとアメダスの合成や、建設省や河川情報センターのレーダー雨量計システムの整備により、流域の面的な雨量分布や雨域の移動の観測が可能となってきており、また、渡辺⁵⁾、中北⁶⁾、沖⁷⁾らによって、地形による降雨分布のモデル化も試みられている。さらに、国土数値情報の整備に伴い、流出場に関するメッシュデータが整備され、衛星リモートセンシングによる土壌水分観測の可能性も検討されるようになった。そこで、このような雨量（入力）と流出場（変換系）に関する時空間分布情報を用いて、多様な洪水形態に対応する洪水流出モデルの開発が重要となった。本研究はその第一段階として、標高データを用いた簡単な分布型洪水流出モデルを開発し、レーダーアメダス合成値を用いたモデルの実用性の検討を目的とする。

2. 対象流域の概要と解析手法

本研究の対象流域は図-1に示す信濃川支川魚野川六日町流域で、集水面積が355km²である。夏期には雷雨がよく発生し、しばしば短時間・小領域の集中豪雨が発生する。本研究では、1988年8月下旬に毎日のように同流域で発生した雷雨を起源とする三洪水を対象とした。用いた雨量データは昭和63年にはほぼ全国に整備されたレーダーアメダス合成値の時間雨量で、メッシュサイズは緯度方向3.00' * 経度方向3.75' (約6kmメッシュ) である。流量データは公式な報告がないので、過去の水位と暫定的流量資料からH-Q関係を類推し、水位データから流量を算出した。

本研究は図-2に示すフローチャートで行った。まず、100mメッシュ標高デジタルマップと主要実河道データを用いて、擬河道網を算出する。一方、全国レーダーアメダス合成値の対象流域への切り出しを行い、直接流出成分と基底流出成分を分離し、それぞれを分布型モデル、集中型モデルで計算し、これらを合成することにより、洪水ハイドログラフを得て、観測ハイドログラフと比較した。

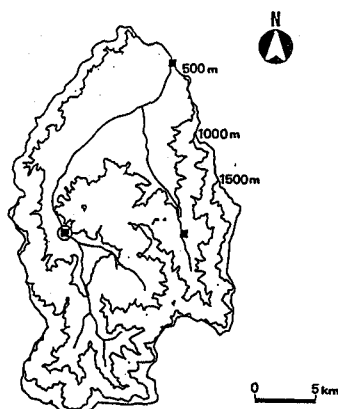


図-1 対象流域の概況

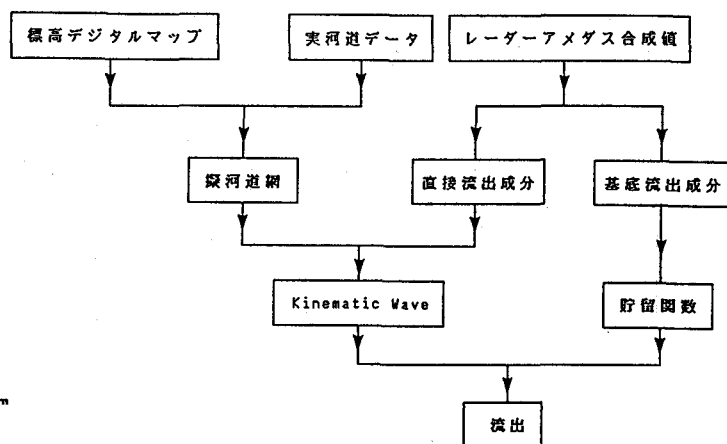


図-2 モデルのフローチャート

3. 流出モデル

図-2に示すように、各メッシュにおいて、それに対応するレーダーアメダスメッシュの合成値に流出率 α_r を乗じて、さらに、直接流出及び基底流出成分の配分率 α_s 、 $(1 - \alpha_s)$ を用いて、直接流出成分と基底流出成分を分離し、前者は擬河道網を用いて、Kinematic Wave法で計算し、後者は貯留関数で表す。直接流出成分に関しては、各メッシュ点の間を結ぶ流路を広幅矩形と仮定し、図-3のように流路への入力メッシュ点のみで考え、流路途中での横流入や降雨入力は考えない。メッシュ点への入力にはさらに Δt 間の上流からの流入量が加算される。⁸⁾

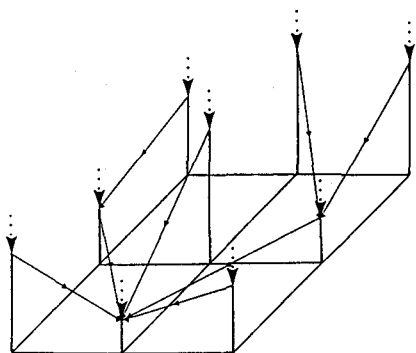


図-3 洪水追跡の概念図

下流への伝播はkinematic waveとし、運動方程式はManning則を用いる。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2-A)$$

$$V = R^{2/3} I^{1/2} / N \quad (2-B)$$

$$A = B h V \quad (2-C)$$

仮想流路が広幅矩形であるため、

$$R = h \quad (3)$$

となる。ここで、 B 、 h 、 A はそれぞれ流路幅、水深と通水面積で、 N 、 I はそれぞれ粗度係数、流路勾配で、 R 、 V 、 Q は径深、流速、流量である。なお、粗度係数 N と水路幅 B は各メッシュで異なると考えられるが、本研究では簡単のために流域内一定とした。これらの方程式により、

$$\frac{dQ}{dt} = 0 \quad (4-A)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{5 I^{0.3} Q^{0.4}}{3 N^{0.6} B^{0.4}} \quad (4-B)$$

が得られる。メッシュ点間の伝達時間は上流端の流量を用いて計算でき、従って、下流端への到達時間も簡単に求められる。各流路の下流端で時間配分をおこなって、下流流路への流入量時系列となる。なお、洪水波の追い越しが発生した場合に、特性曲線が直線であることを利用し、幾何学的に追越しの処理を行う。複

数回の追越しを処理することもできる。

計算上、メッシュ点が 36226個もあるため、すべてのメッシュ点において、流量時系列を記憶させることはメモリの制限で困難である。大流域での計算や長時間の計算は不可能に近い。本研究では、実行順番を決め、バッファを介して、計算を行うことにした。メッシュ点の実行順番と入出力バッファ番号及びバッファサイズは得られた擬河道網を用いて、計算機で算出した。本計算では、バッファサイズは27である。

また、基底流出成分に対し、分数減水式にあたる次の貯留関数を用いた。

$$\frac{dS_g}{dt} = \alpha_r * (1 - \alpha_g) * P - Q_g \quad (5)$$

$$S_g = Q_g^{0.5} / A_u$$

但し、 S_g 、 Q_g 、 P はそれぞれ貯留量、基底流量、流域平均雨量で、 A_u は分数減水係数であり、洪水の減水部を用いて、定めた。本計算では、 $A_u=0.0018$ であった。

4. 擬河道網の算出

河道網情報の抽出は、宝⁹⁾、嶋田¹⁰⁾らにより検討されているが、本研究では、あるメッシュ・サイズの標高デジタルマップとそれに対応する主要な実河道網データから擬河道網を算出する方法を提案する。図-4はそのフローチャートである。

A. 標高デジタルマップの作成と実河道網データの採集：本方法では特にメッシュサイズを限定しないが、国土数値情報細メッシュ（250m）データの将来の利用可能性の検討を考え、二万五千分の一の地図から実用的に読み取りが可能な100m角メッシュの標高データからなるデジタルマップ、メッシュコードとその方向からなる実河道網データを用いた。標高はメートル単位で読み取るが、実河道網を読み取る時には、河道が最寄りのメッシュ点を流れるとする。

B. メッシュ点における水の流下方向の算出：本方法では、各メッシュ点において、勾配の一番急な方向に水が全部流れると考え、3*3メッシュの中心点の水流の方向は周囲8点との間に勾配が一番大きい点を指すように仮定する。むろん、8方向に勾配がすべて負であれば、その点が窪地となり、その方向も自分自身に指すようになる。このような窪地が多数存在すると、流路網の作成を阻害するので、これらの点の処理をしなくてはならない。

B-1. 窪地の一次処理：本計算では、複雑な処理による副作用を避けるために、3*3メッシュをベースに、全ての処理を行うことにした。次の簡単な計算によって一次処理を施した。ある点の方向を計算し、そこが窪地であると判定されれば、その点の周りの点の平均標高をその標高とする。この操作を行えば、その点が窪地でなくなるが、回りの点には影響があるので、一回の処理で、窪地が全部なくなることはない。そこで、プログラム上では、処理回数を指定し、繰り返し同様な処理を行うことができるようにした。計算時間や処理効果などを考慮し、本流域では、処理回数は5回が適当であると思われる。残りの窪地は二次処理で処理する。

B-2. 窪地の二次処理：二次処理は、一次処理が終わった時の流下方向データに、河道データを加えて行う処理である。この処理の基本的な考え方は水流にいくつかの経路が考えられる場合には、実河道に最短距離で辿りつく経路を流れると言う考えである。処理方法としては、ある窪地に対し、回りの8点を出発点として、追跡を行い、その経路の長さを計算す

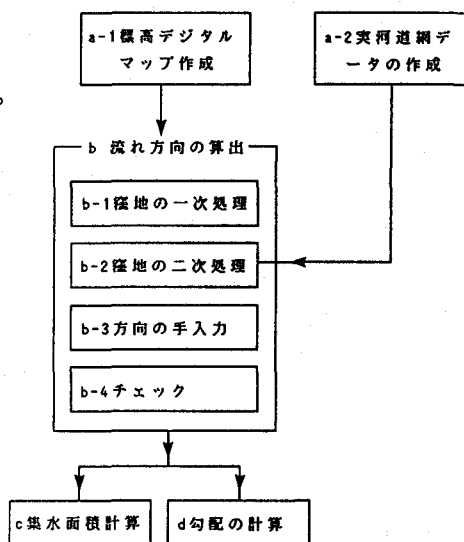


図-4 擬河道網作成のフローチャート

る。ただし、斜めの方向に対して、長さを 1.414 とし、他の方向は 1 とする。その窪地の方向は、最短経路を持つ点に指すような値を取る。

B-3. キーボードによる入力：二次処理が終わると、残りの窪地の数は手入力できる程度のもとなり、手入力により、これらの点の流下方向を入力する。本計算では、手入力の点数が僅か 4 点であった。

B-4. 擬河道網の最終チェック：全ての点の流下方向が確定できるが、最後に色々なチェックが必要である。本プログラムでは次のようなチェックを行う。

I. 交差しているかどうかをチェックする。

II. 向い合わせになる点の存在をチェックする。

III. 全ての点が流域の出口に辿りつくかどうかをチェックする。

チェック I では、実河道網を取り入れることにより生じた交差が自動的に実河道に従うように処理され、チェックの対象としない。全てのチェックを終えれば、擬河道網が得られる。もしそうでなければ、入力データセットをチェックしなければならない。

C. 各点の集水面積の計算：ある点の集水面積はそれに流れ込む上流側の点数によって決められる。本計算では、全ての点から追跡を行い、通過するたびに、通過点のカウンターに 1 をたすことによって、各点の集水面積を計算することができる。得られた方向と集水面積データを用いて、ある集水面積以上のメッシュ点からなる擬河道網を作成し、実河道網と比較することができる。

D. 勾配の計算：メッシュ点を結ぶ仮想流路の勾配の計算は生の標高データと方向データを用いて計算することができる。勾配が負である点にたいして、平均勾配が正になるまで下流へ追跡し、この平均勾配をその点の勾配とする。また、出口付近では、平均勾配が正にならない点がある。これらの点に対し、標高読み取り単位の関係で読めない勾配の最大値を与える。本計算では 0.005 を与えた。

本研究では、36226 個のメッシュ点を持つ対象流域にパソコン上で、擬河道網を作成するプログラムを開発した。図-5 は得られた擬河道網の一例で、太い実線は入力した実河道である。

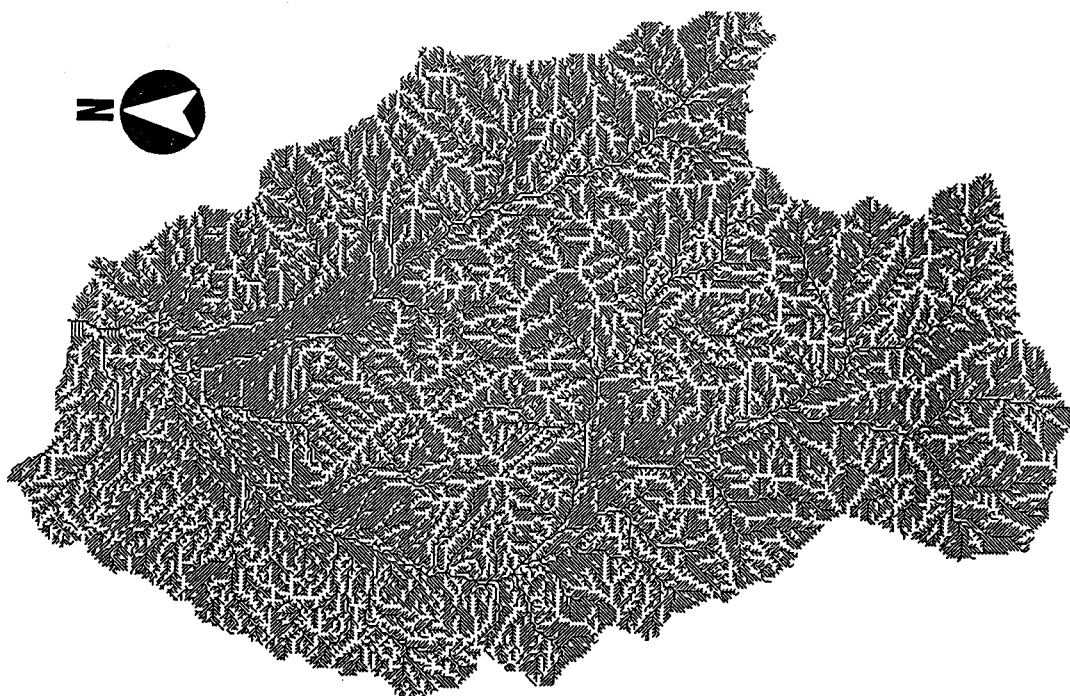


図-5 擬河道網

5. モデルの適用

3章のモデルを用いて、対象流域に対して、上、中、下流部の三分の一の面積に降雨強度 $1\text{mm}/\text{min}$ の雨を1時間降らし、六日町の流量を求めた。また、降雨強度が同じく $1\text{mm}/\text{min}$ で、南北方向に幅 30km の雨域を北から南へまたは南から北へ $30\text{km}/\text{hr}$ の速度で移動させ、その流量をも求めた。図-6はその結果である。この図から、小池⁴⁾と同じような結論が得られる。つまり、降雨が上、中、下流部に集中している場合には、ハイドログラフに時間遅れは認められるが、形状の大きな違いは認められず、ピーク流量にも大きな違いはないが、雨域が流路方向に移動する場合には、降雨強度と雨域移動速度に応じてハイドログラフに大きな違いが生じる。本計算では、雨域が南から北に（上流から下流に）移動する場合には、南から北に（下流から上流に）移動する場合に比べて、ピーク流量が1.45倍になった。

本研究では、さらに、モデルを対象流域へ適用した。解析の対象は2章で述べた3つの洪水である。雨の時空間分布は図-7に示す。この図において、中にハイトグラフが書いてある升目はレーダーメッシュで、そのメッシュコードは下と左の数値で表され、曲線は流域境界であり、四角マークは流域の出口を示す。図-7から分かるように、対象とした降雨はいずれも流域の中、下流部に集中している。本研究では、水収支から流出率(α_r)と直接流出成分の配分率(α_s)を求め、 $\Delta t = 10$ 分でモデルを用いて計算を行った。ただし、10分間雨量はレーダーアメダスの時間雨量値を6で割って与えた。流路幅(B)、粗度係数(N)を同定することにより、流域の部分的な降雨入力に対応する流出量を再現し、図-8に示すハイドログラフ得られた。なお、図中の洪水番号は計算開始の年月日時を表し、その時間の0分から計算を行った。また、各

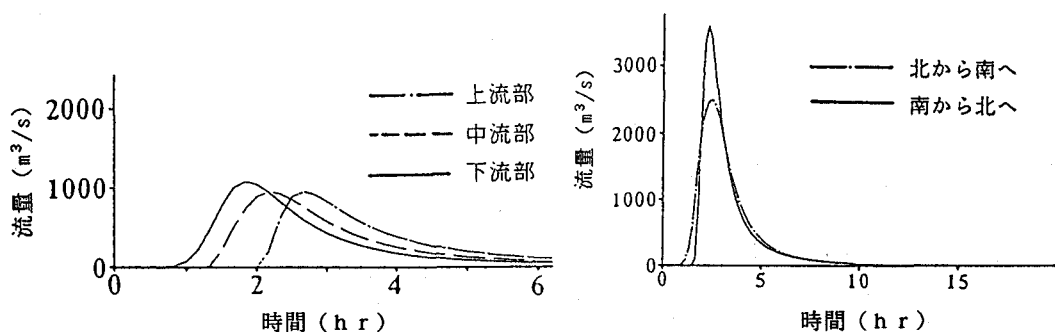


図-6 シミュレーションの結果

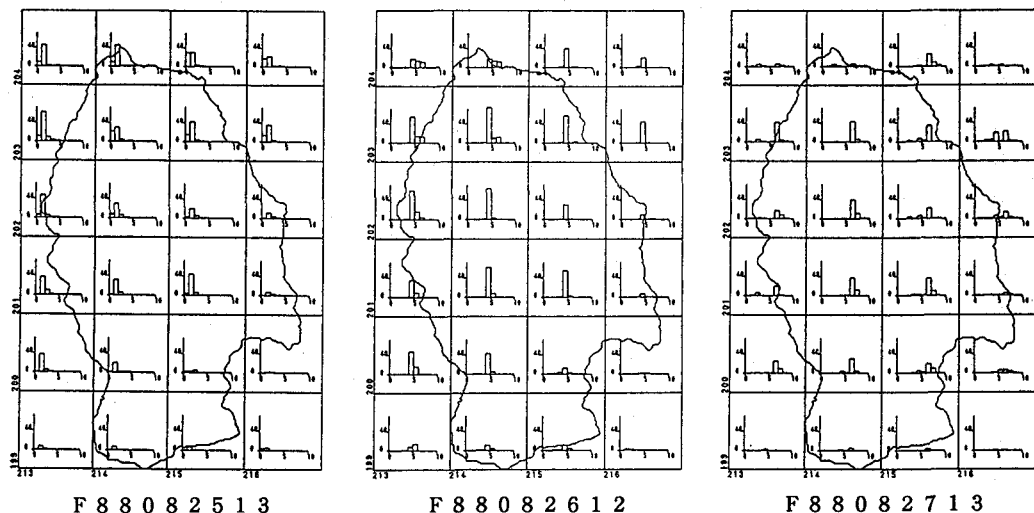


図-7 各洪水の雨量時空間分布

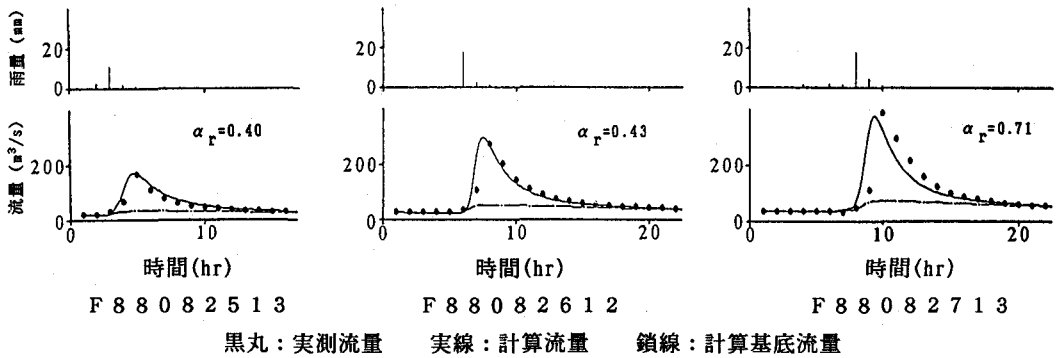


図-8 実測及び計算ハイドログラフ

洪水の流出計算に用いた流出率 α_r を付記してある。その他の係数は対象とした3洪水に共通して、 $\alpha_s = 0.35$, $B = 30\text{m}$, $N = 0.15$ となり、全体的にハイドログラフをよく再現したと言える。洪水ピークが多少ずれてはいるが、いずれも一時間以内であり、雨量データが時間単位であることを考慮すれば、一時間内の雨の降り方によるものと考えられる。流域平均雨量のピークに対する洪水ピークの遅れ時間を比較し、ピーク流量の一番小さい洪水 F88082513 が一番短いこともこれを裏付けることになる。さらに、3 番目の洪水 F88082713 において、流出率が最大となることは前2洪水による流出寄与域の拡大によるものと考えられる。

6. 主要な結論: 1) レーダー・アメダス雨量合成データより、魚野川の夏期の雷雨の空間分布と移動特性が示され、それに対応する流出モデルが構成された。

2) 実流域への適用により、モデルの実用性が示された。

7. 謝辞 本研究を進めるに当り、貴重なデータを提供して頂いた気象庁と建設省信濃川工事事務所の関係各位に心より感謝の意を表す。この研究の一部は文部省科学研究費補助金重点領域研究(1)「気象解析とレーダー雨量計を補完的に組み合わせた豪雨災害の予測手法に関する研究」(代表: 山田 正)の補助のもとに行われている。ここに記して謝意を表す。また、標高デジタルマップと主要実河道データを作成した長岡技術科学大学学生の古谷、八田両氏に感謝する。

参考文献: 1) Takahashi et al: Effects of movement of precipitation area upon runoff phenomena, System Approach to Hydrology, Proc. the First Bilateral U.S.-Japan Seminar in Hydrology, pp. 279-293, 1971. 2) Surkan, A. J.: Simulation of storm velocity effects on flow from distributed channel networks, Water Resources Research, Vol. 10, No. 6, pp. 1149-1160, 1974. 3) 宝: 豪雨特性が洪水流出に及ぼす影響に関する数値実験的検討, 昭和61年度文部省科学研究費補助金(自然災害(1))研究成果報告書—豪雨域の強度、規模・移動方向洪水流出に及ぼす効果に関する研究(代表: 小尻利治), pp. 151-164, 1987. 4) 小池: 洪水流出に及ぼす降雨分布の影響, 昭和61年度文部省科学研究費補助金(自然災害)研究成果報告書—1986年台風10号による関東・東北地方の災害に関する調査(代表: 高橋裕), pp. 136-142, 1987. 5) 渡辺、山田: 地形性降雨の数値シミュレーション, 土木学会第42回年次講演会予稿集, pp. 98-99, 1987. 6) 中北、椎葉、池淵、高棹: 3次元レーダー雨量計情報を用いた水蒸気相変化量推定の試み, 水文・水資源学会1988年研究発表会要旨集, pp. 210-213, 1988. 7) 沖、虫明、小池: 豪雨時に於ける降水分布の地形と風向による解釈, 水文・水資源学会1988年研究発表会要旨集, pp. 218-221, 1988. 8) 高橋、小池、吉野、中谷: 融雪量の空間分布を考慮した流出解析, 土木学会第31回水理講演会論文集, pp. 173-178, 1987. 9) 宝、高棹、溝渕: 水文地形解析の自動化の試み, 土木学会第32回水理講演会論文集, pp. 25-30, 1988. 10) 嶋田、山田、藤田、洪: 流域の地形特性が降雨流出に及ぼす影響について、土木学会第32回水理講演会論文集, pp. 43-48, 1988.