

衛星積雪面積情報と分布型融雪流出モデルを用いた 広域降雪特性抽出の試み

Approach to Retrieve Regional Snowfall Distribution Using Remotely Sensed
Snow Covered Area and Distributed Hydrological Model

陸 旻皎* ・ 早川典生** ・ 吉岡喜浩***

Minjiao LU, Norio HAYAKAWA and Yoshihiro YOSHIOKA

ABSTRACT

The objective of this study is to retrieve regional snowfall distribution from standard meteorological data and remotely sensed snow covered area using a distributed hydrological model. Two snowfall models are implemented into a distributed hydrological model to simulate snowfall, snowmelt and runoff processes during a complete snowfall-snowmelt cycle from Nov.1, 1992 to May 31, 1993 over Uono River basin. Hydrographs and images of snow covered area are derived for various sets of parameters in snowfall models and compared with the observed ones. In order to select parameters, a criteria is proposed to consider errors of both hydrograph and snow covered area. Using this criteria, reasonable parameters which represent the regional snowfall distribution are obtained for above two snowfall models.

Key Words : *Distributed runoff model, snowmelt, snowfall, remote sensing, geographic information system.*

1. はじめに

近年の水需要の増加に伴い、新たな水資源開発の必要性が生まれてきている。北陸のような豪雪地帯での降雪・積雪特性を把握し、夏場における雪解け水を水資源として有効利用する動きがある。しかし、標高の高い所での降雪・積雪特性があまり明らかにされていない。本研究では、信濃川支川魚野川流域を対象とし、降雪モデルを構築し、分布型融雪流出モデルに組み込み、降雪・融雪のシミュレーションを行い、流域出口の流量と衛星観測日の積雪面積分布が実測流量と衛星による積雪面積情報にそれぞれ一致するように、この流域の降雪特性を表す降雪モデルのパラメータを抽出した。

2. 対象流域とデータの概要

魚野川流域は、標高が160m-2000mまでで、流域面積が355km²である。冬期の降雪が多い豪雪地帯に位置している。本研究の対象期間は1992年11月から1993年5月までで、一つの降雪・積雪・融雪シーズンである。本研究で用いたデータは、同時期のAMeDAS地点湯沢の降水量、気温、風向・風速データ、日照データである。モデルを構築する際の地理情報として100mメッシュの流域標高データと河道の位置データを用いた。これらのデータにより流域内各メッシュでの気温、日射等融雪計算に必要な気象要素が算出される。また、検証データとして、同時期の魚野川六日町の時間流量と1993年4月26日、5月12日と5月28日に取得したLANDSAT TM画像から得られた積雪面積情報を用いた。

3. 分布型降雪・融雪・流出シミュレーションモデルの概要

降雪シーズンの始まりの11月頃から融雪終了の5月頃までの一つの降雪・融雪シーズンを再現するために、本研究では以下のモデルからシミュレーションモデルを構成した。

* 工博 長岡技術科学大学環境・建設系 〒940-21 新潟県長岡市上富岡町1603-1)
** Ph.D. 長岡技術科学大学環境・建設系
*** 長岡技術科学大学大学院

- 日射量算定モデル：融雪計算において日射量が必要不可欠であるが、日本でも僅かな気象官署でしか観測されておらず、観測密度が極めて不足している。それを補うため、本モデルでは、対象流域に時間日射量のデータがないことから次式に示す陸ら¹⁾の日射量推定モデルにより、アメダスの日照データから時間直達と散乱日射を求める。
- 雪面アルベドモデル：雪面のアルベドは雪面の熱収支そして融雪に大きな影響を及ぼす。それを定量化するために、山崎らの式²⁾を用いる。
- 降雪量モデル 流域内の降雪特性を表すモデルとして、二つの降雪モデルを実装した。いずれのモデルでも、降雪が標高の増加にしたがって線形的に増加するとしており、降水が降雪と判断された時に標高 h のメッシュでの降雪量 $P(h)$ を

$$P(h) = A (1 + B(h - h_0)) P(h_0) \quad (1)$$

で表す。ここで、 h_0 と $P(h_0)$ が降水量観測点の標高と降水量であり、 A と B それぞれ雨量計補正係数と降雪量標高補正係数である。二つのモデルの違いは雨量計補正係数(A)にあり、一つのモデルでは A を定数とし、もう一つのモデルでは WMO 固体降水観測の相互比較の結果³⁾に基づいて

$$A = \exp(0.157 w^{1.28}) \quad (2)$$

としている。ここで、 w は降水量観測点での風速である。風速が大きくなれば、雨量計の捕捉率が低下し、 A が大きくなることをモデル化している。以下にこれらの降雪モデルを定数モデルと WMO モデルを呼ぶ。

- 融雪モデル：本研究では小池ら⁴⁾のモデルを用いる。このモデルは、メッシュ標高データとそのデータから計算される斜面特性を地形データとし、降雨、気温、日射量を気象データとして入力して各メッシュ点での融雪量を推定するものである。ここで必要な日射量データは前述の日射量推定モデルによりアメダスの日照データから時間直達と散乱日射を求めたものを用いる。また、本研究では斜面と太陽の相対的位置関係から、時間毎に単位面積あたりの直達日射を計算している。
- 流出モデル 降雨と融雪量から流出量を計算するモデルとして中国で広く使われている新安江モデル^{5),6)}を用いる。このモデルにより各メッシュでの直接流出成分と基底流出成分を算出する。
- 分布型流出モデル：陸ら⁷⁾の分布型流出モデルを採用した。このモデルでは、流域をメッシュに分割し、各メッシュに対し、融雪流出モデルを適用し、そのメッシュからの流出量を計算し、その流出量はメッシュ標高データから作成した擬河道網を介し、Kinematic Wave 法により流域出口まで追跡計算され、流域出口の洪水波形を得る。

4. 解析方法と解析結果

本研究では、図-1のように試行錯誤的に降雪モデルのパラメータ A と B を決め、シーズンを通して降雪融雪のシミュレーションを行い、流域出口の流量と積雪面積分布の時系列を実測したものと比較した。画像の定性的比較から $A = 2.0$ と $B = 0.0005$ の値を得ている⁸⁾。

本研究の主な目的は、シミュレーション結果と実測値との定量的な比較である。降雪特性を更に明らかにするために、標高情報をもとに定量的比較を行う。標高情報を元にした積雪状況の定量的比較のために、魚野川流域の標高 160–2000 を 20 等分し、流域を 20 の標高帯に分割する。標高帯の番号は標高が高くなるほど大きい。それぞれの標高帯において、衛星リモートセンシングにより得られる実測積雪状況（ありなし）とシミュレーションで得られる計算状況（積雪量）に応じ、a, b, c, d の 4 つのグループに分けられる。a グループは積雪が実測であり、計算でもありの場合である。ここで、実測でありというのは各メッシュでの積雪面積率が 50 % 以上の場合であり、計算でありというのは積雪深が 0 以上の場合である。b グループは実測でなし、計算でありの場合である。c グループは実測であり、計算でなしの場合である。d グループは実測でなし、計算でなしの場合である。本研究では、 j 番目の衛星画像に対し、 i 番目標高帯の b グループと c グループに属するメッシュの割合を E_{ij} とし、積雪面積の予測誤差の指標として、

$$E_{oca} = \bar{E} + \sigma_E \quad (3)$$

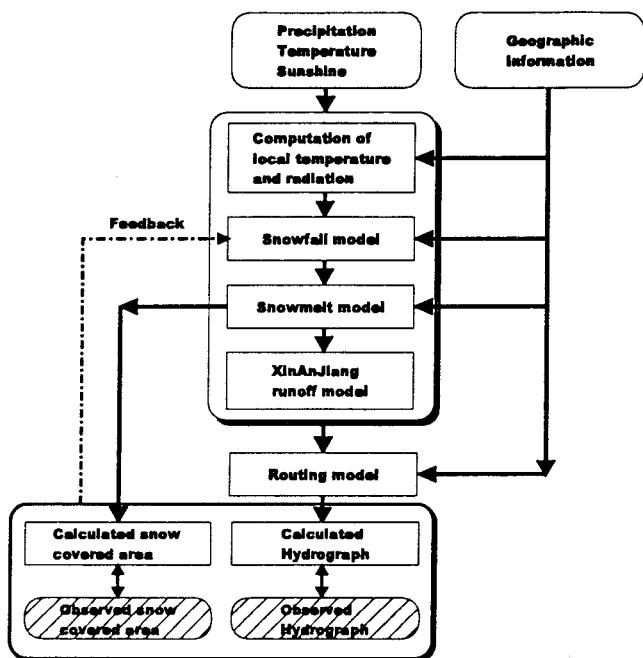


図-1 解析の流れ

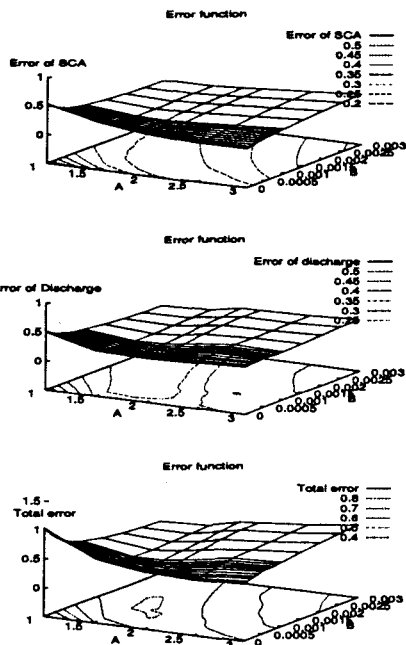


図-2 定数モデルにおける誤差 上:積雪面積の予測誤差、中:日流量の相対誤差、下:総誤差)

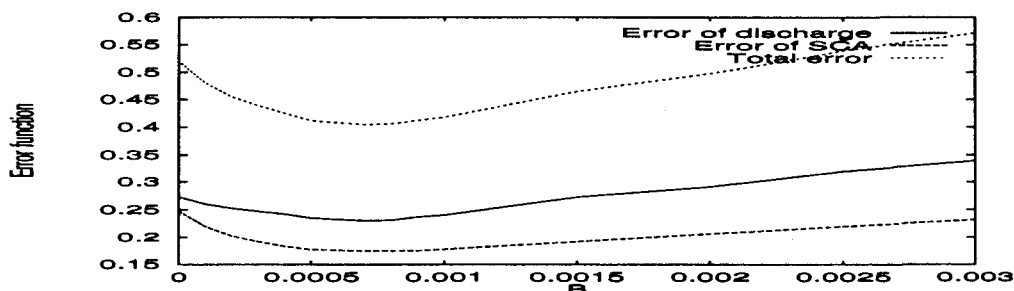


図-3 WMO モデルにおける誤差

$$\bar{E} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N E_{ij}$$

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M E_{ij} - \bar{E} \right)^2}$$

を用いる。ここで、 M と N はそれぞれ標高帯数と衛星画像数で、本研究では $M = 20$ と $N = 3$ となる。この指標を用いることにより、それぞれの衛星画像取得日での積雪面積の適合度だけでなく、その時系列的変化の適合度も評価されることになる。 A を1.0, 1.5, 1.8, 2.0, 2.5, 3.0と変化させ、そして $B = 0$ から $B = 0.0010$ まで0.0001刻み、 $B = 0.0010$ から $B = 0.0030$ まで0.005刻みで変化させた場合の積雪面積の予測誤差を図-2の上のグラフに示す。このグラフから、このパラメータ空間において、等高線が細長い形状をしており、定数モデルでは、 A と B の間に強い相互作用があることが示され、積雪面積のみによる降雪特性の抽出が困難であることが明らかになった。一方、WMOモデルでは、図-3に示されているように、 E_{sca} は緩やかではあるが、 $B = 0.0007$ 付近に最小値を取る。これは標高が1000m高くなったら降雪量が1.7倍になることを意味し、合理的な値である。

本研究では、さらに流域出口の流量についても評価を行っている。積雪面積のシミュレーションが良い結果を得たとしても、流域出口での流量のシミュレーションが精度よく再現されるとは限らないからである。そこで、流域出口での実測流量(Q_{obs})と計算流量(Q_{cal})を比較し、日平均流量に対し、流量の相対予測誤差

$$E_Q = \frac{\sum |Q_{obs}^d - Q_{cal}^d|}{\sum Q_{obs}^d} \quad (4)$$

を計算し、精度評価の指標とする。ここで Q_{obs}^d は実測日平均流量、 Q_{cal}^d は計算日平均流量である。定数モデルおよびWMOモデルによる同じパラメータの組合せの計算結果は図-2の真中のグラフと図-3に示されている。これらの図から、WMOモデルでは B に対して、 E_Q が E_{sca} とほぼ同様な挙動を示すが、定数モデルでは、 E_Q が広い範囲にわたり緩やかに変化しており、 E_Q だけによるパラメータ同定は困難であることが分かる。しかし、 E_{sca} と E_Q の等高線の方向が異なっており、両者を組み合わせることにより、より効率的にパラメータを同定できる可能性がある。

本研究では以上のことから、 E_{sca} と E_Q の和

$$E = E_{sca} + E_Q \quad (5)$$

を用いて総合的な評価の指標とする。その値は図-2の下グラフと図-3に示されている。定数モデルは $A = 1.8$ と $B = 0.0007$ 、そしてWMOモデルは $B = 0.0007$ 付近に E が最小値を取ることが分かる。これらのパラメータの組合せによる計算積雪分布とハイドログラフを図-4、図-5と図-6に示す。

5. 考察

上記の結果から、流域内の数少ない気象データと、適切な降雪モデルを用いることにより、降雪・積雪・融雪現象を広域的にとらえることができ、流量だけでなく、積雪面積をも再現でき、本研究で用いた手法による広域降雪特性抽出の可能性が示された。WMOモデルでは、風速を用いた雨量計補正により、流量あるいは積雪分布データを用いることにより、降雪量標高補正係数を求めることができるが、定数モデルでは、流量と積雪分布を同時に使う必要があり、総合的な評価指標を用いることにより、より効率的にパラメータを同定できる可能性が明らかになった。また、風速データがなくても、平均的な雨量計補正を行なうことにより、降雪量標高補正係数を求めることができるが示された。今後さらにbグループとcグループのメッシュの地理特性を抽出、それらの降雪との関連を調べていく予定である。

謝辞

本研究で使用したデータは建設省北陸地方建設局信濃川工事事務所より提供され、(株)パスコからは種々の協力を得た。ここに記して深謝を申し上げる。

参考文献

- 1) 陸 旻皎・早川典生・小池俊雄: AMeDAS データによる実時間日射量算定について, 土木学会第49回学術講演会予稿集, p.246, 1994.
- 2) 山崎 剛・田口文明・近藤純正: 積雪のある森林小流域における熱収支の評価, 天気, 41, pp.71-77, 1994.
- 3) Yang, D, Goodison, B. E., Metcalfe, J. R., Golubev, V. S., Bates, R, Pangburn, T. and Hanson, C. L.: Accuracy of NWS 8" standard non-recording precipitation gauge: result of WMO intercomparison, Proceedings of Ninth Conference on Applied Climatology, p.29, 1995.
- 4) 小池俊雄・高橋裕・吉野昭一: 積雪面積情報による流域積雪水量の推定, 土木学会論文集, 357/II-4, p.159.
- 5) 趙人俊: 流域水文シミュレーション (中国語), 1984.
- 6) Zhao R.-J.: The Xinanjiang model applied in China, J. Hydrol., 135:371-381, 1992.
- 7) 陸 旻皎・小池俊雄・早川典生: 分布型水文情報に対応する流出モデルの開発, 土木学会論文集, 第411号/II-12, pp. 135-142, 1989.
- 8) 陸 旻皎・久保貴士・小池俊雄・早川典生: 衛星による積雪面積情報と分布型融雪流出モデルを用いた降雪特性抽出の試み, 水文・水資源学会 1996 年研究発表会要旨集, pp. 96-97, 1996.

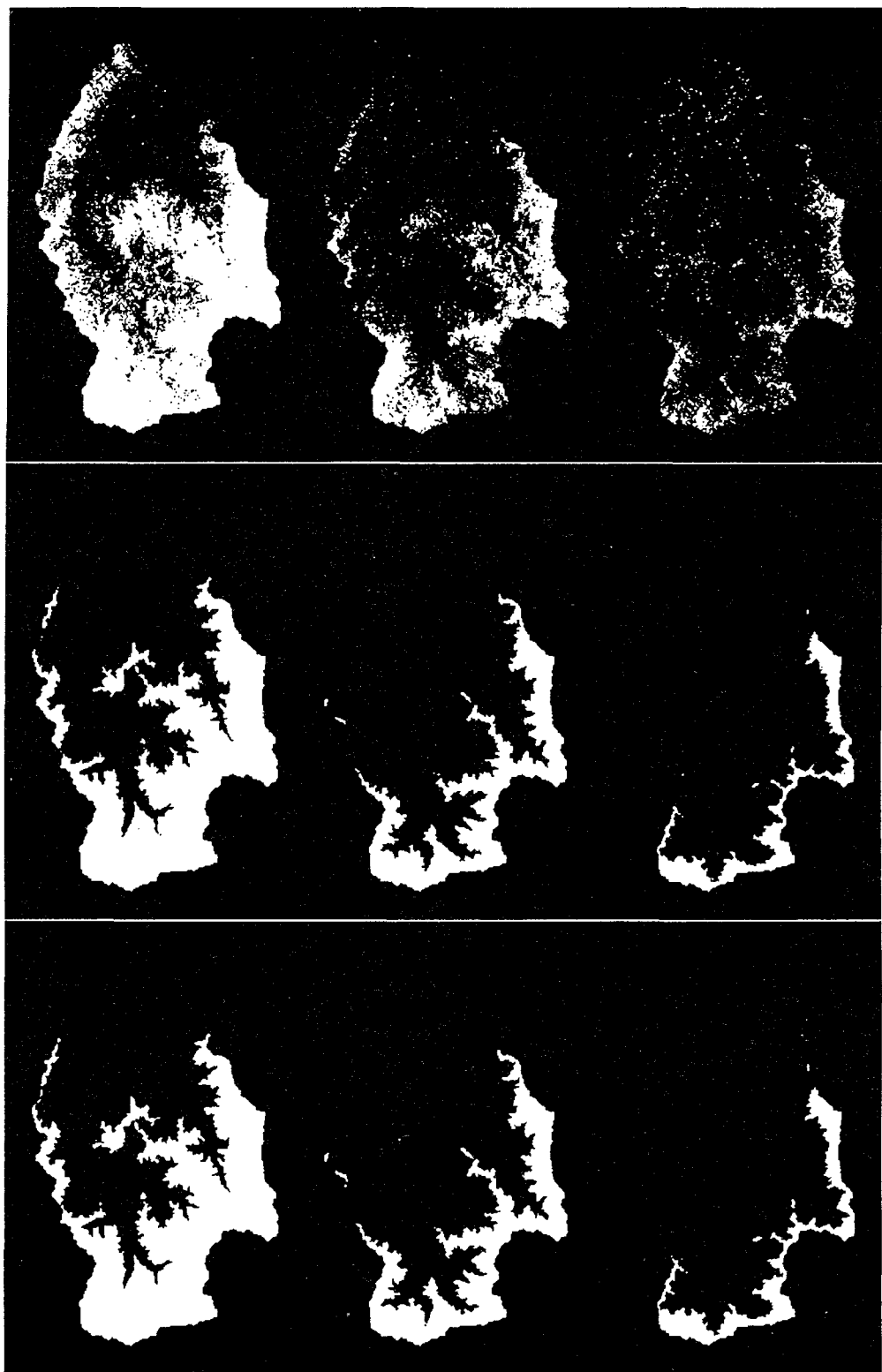


図-4 衛星による積雪分布とモデルによる積雪分布 (上 :衛星による積雪分布、中 :定数モデルによる積雪分布、下 :WMO モデルによる積雪分布)

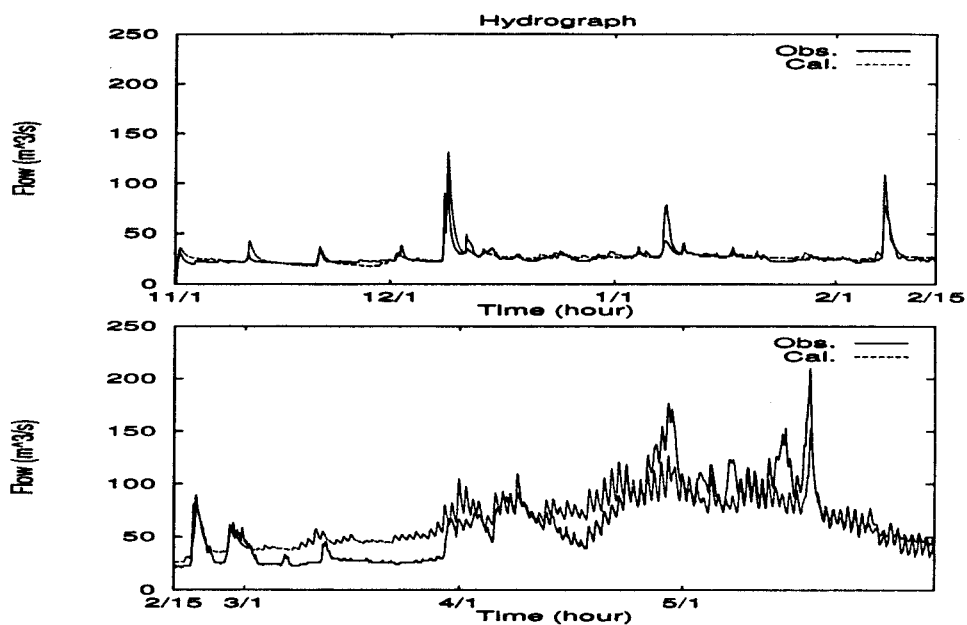


図-5 1992年11月1日から1993年5月31日までの実測ハイドログラフと定数モデルによる計算ハイドログラフ

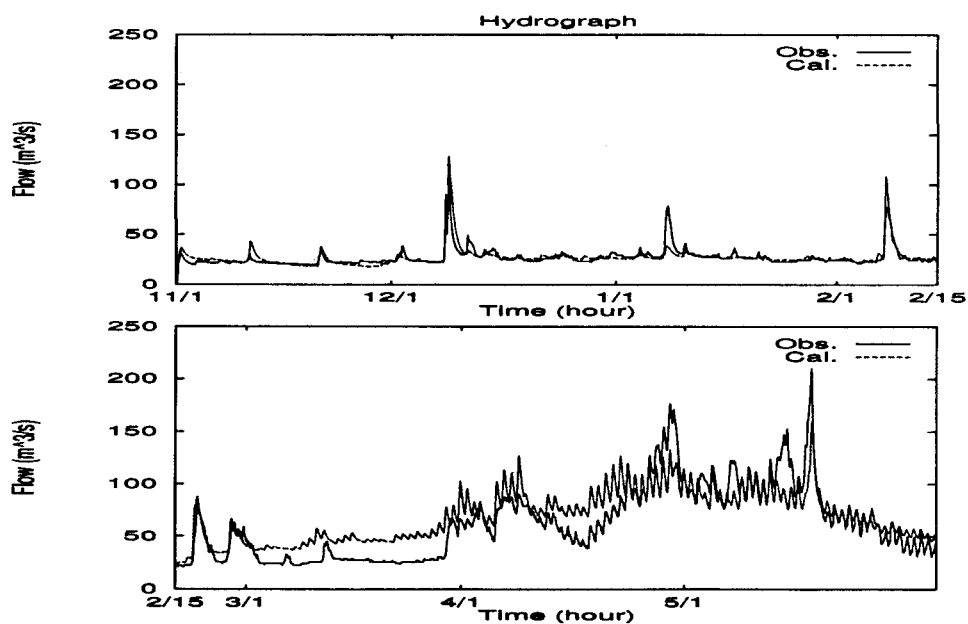


図-6 1992年11月1日から1993年5月31日までの実測ハイドログラフとWMOモデルによる計算ハイドログラフ