

水文解析モデル HEC-HMS の北海道諸河川への適用とその問題点

Application and its problems of HEC-HMS to the rivers in Hokkaido

北見工業大学大学院 ○学生員 水落彰宏 (Akihiro Mizuochi)
 北見工業大学工学部 正 員 早川 博 (Hiroshi Hayakawa)
 北見工業大学工学部 正 員 内島邦秀 (Kunihide Uchijima)

1. はじめに

国民の環境に対する関心の高まりや地域の実情に応じた河川整備の必要性等を踏まえ、治水・利水に加え、環境の整備と保全を目的とした河川法が平成9年に成立した。これにより、新たに、地域住民の意見を反映した河川整備計画が導入された。このように、河川の特性和地域の風土・文化などの実情に応じた河川整備を推進していくためには、地域住民に対する分かりやすい説明や情報提供が必要不可欠となる。

欧米の河川実務者レベルでは、流出、河道追跡、下水道などの解析対象に応じて標準化された解析モデルを用いるのが現状であるのに対し、本邦では、従来から河川流域毎に、あるいは所轄省庁によって多種多様の解析モデルが使われてきた。河川法が改正され地域住民との対話が不可欠な現在、河川計画の立案においても標準的な解析モデルが望まれている。

本研究ではこのような観点を重視し、誰にでも利用しやすく、GUIに優れた米国陸軍工兵隊により開発された統合流出解析ソフト HEC-HMS¹⁾ (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) を取り上げ、北海道内の諸河川に適用し、その適用性や諸問題について検討した。

2. HEC-HMS の概要

HEC-HMS は、分割流域毎に集中型流出モデルを当てはめ、それらを河道モデルでリンクして流出量を算定する HEC-1¹⁾ の Windows 版で、図-1 はサブ流域、合流点とそれらをリンクする河道からなる常呂川の分割流域モデルの構成画面である。これらはマウス操作で容易に作成でき、モデルの選択、パラメータの設定、相互のモデルの接続、さらには計算結果の表示も容易に行える GUI に優れた統合流出解析ソフトである。HEC-HMS には表-1 に示すような遮断・浸透・蒸発散による損失雨量を算定するための損失モデル、有効雨量から直接の流出量を算定する流出変換モデルと地下水流出に対応する基底流出モデルの3つで構成される流域モデルおよび表-2 に示した河道モデルが組み込まれている。しかし、ユーザ独自のモデルを組み込むことはできない。また、各モデルの詳細については参考文献^{1), 2)}を参照されたい。

HEC-HMS には、モデルパラメータを最適化するためのプログラムも組み込まれており、最適化の際に使用する目的関数と最適化手法を表-3 に示す。しかしながら、パラメータの意味を十分理解せずに最適化を利用すると、一見満足すべき結果を得ることはできるものの、同定し

たパラメータが非現実的な値になることもあり、最適化には、多くの降雨-流量データや専門的な知識が不可欠である。そこで、本研究ではこの最適化の問題点についてのみ検討を行い、実河川の解析にはこの最適化プログラムは利用せず、HEC-HMS のマニュアルに記載されているパラメータの標準値¹⁾を参考にして流域の地形、地質、土地利用などの情報からパラメータを試行錯誤的に同定する手法をとった。



図-1 HEC-HMS における流域モデルの構成画面

表-1 流域モデル

損失モデル	流出変換モデル	基底流出モデル
(※) Green-Ampt モデル	(※) Clark の単位図法	(※) 遞減曲線法
(※) 初期損失一定割合法	(※) Snyder の単位図法	月一定法
(※) SCS-CN 法	(※) SCS の単位図法	線形貯水池モデル
欠損一定損失モデル	Kinematic-wave モデル	
長期土壌水分算定モデル	ModClark モデル	
グリッド SCS-CN 法	ユーザ一定義単位図法	
グリッド SMA モデル	ユーザ一定義 S-グラフ法	

表-2 河道モデル

(※) Lag 法	(※) Muskingum-cunge の 8 点断面法
修正 Puls 法	Muskingum-cunge 法
Muskingum 法	Kinematic-wave モデル

表-3 目的関数と最適化手法

目的関数	最適化手法
ピーク値に重みを付けた平方2乗誤差	単一変数勾配法(ニュートン法)
残差平方和	Nelder-Mead 法(改良シンプレックス法)
絶対誤差の総和	
ピーク流量の相対誤差	
容積の相対誤差	

3. 最適化結果とその問題点

図-2 は図-1 に示す常呂川の置戸地点における最適化前の解析結果で、3 個のサブ流域からなる流域モデルの損失モデルに初期一定割合法、流出変換モデルに SCS の単位図法、基底流出モデルに逓減曲線法を適用し、河道モデルには Lag 法を使用した。また、図-3 は図-2 と同じ置戸地点における最適化結果で、目的関数にピーク値に重みをつけた平方 2 乗誤差、最適化手法に単一変数勾配法を使用した。この目的関数は平方 2 乗誤差を改良したもので、誤差が大きい場合は重みを大きく、誤差が小さい場合は重みを小さくすることで、ピーク流量近傍の最適化に重みをおいている。ピーク値に重みをつけた平方 2 乗誤差は式(1)で定義される。

$$Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N ((Q_0(t) - Q_s(t))^2 \frac{Q_0(t) + Q_A}{2Q_A})}{N}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$Q_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_0$$

ここに、 Z : 目的関数、 $Q_0(t)$: 時刻 t での実測流量、 $Q_s(t)$: 時刻 t での計算流量、 Q_A : 平均実測流量である。
最適化結果は満足すべき結果が得られているようであるが、置戸地点の上流に位置する図-4 の常元流域における最適化結果を見ると、得られたハイドログラフが非現実的なものとなっている。これは初期一定損失モデルの損失割合と逓減曲線法の逓減定数が過大に最適化されたことが原因である。このように、ハイドログラフは一見正しように思えても、パラメータを吟味すると明らかにおかしな値をとることがある。このような場合、初期値を変えるか、あるいはパラメータの変動できる範囲の制約条件を加える必要がある。最適化を利用する場合はこのような点に留意して利用しなければならない。

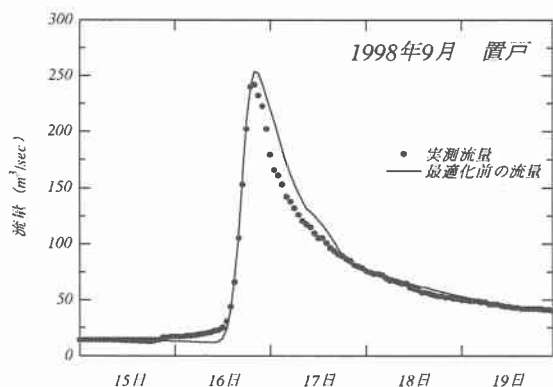


図-2 最適化前の解析結果（常呂川置戸地点）

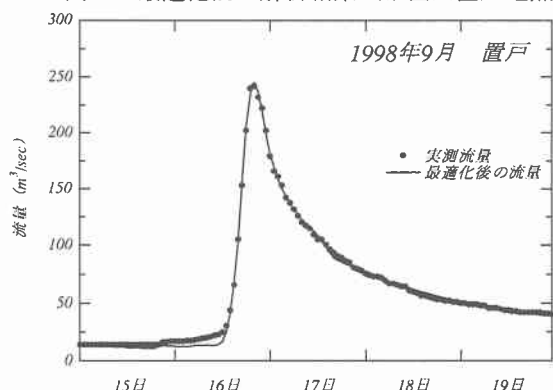


図-3 最適化後の解析結果（常呂川置戸地点）

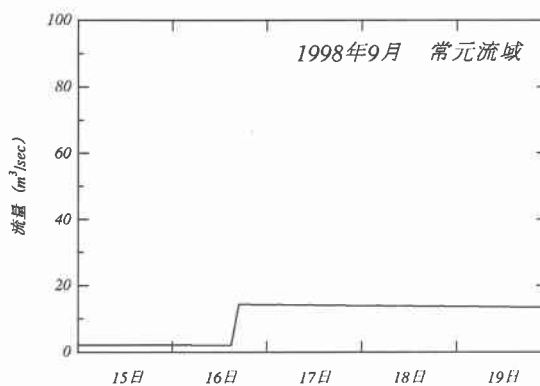


図-4 最適化後の解析結果（常呂川常元流域）

4. 解析結果と考察

今回の北海道諸河川における流域モデルの解析では、有効雨量の算定に表-1 に※印を付記した SCS-CN 法、Green&Ampt モデル、初期損失一定法の 3 モデルと、流出変換モデルに単位図法の SCS 法、Clark 法、Snyder 法の 3 モデルを組み合わせた 9 通りの解析を行った。なお、基底流出モデルはすべて逓減曲線法を採用した。また、分割流域の河道モデルには表-2 に※印を付記した Lag 法と Muskingum-cunge の 8 点断面法を適用した。

4.1 単一流域による解析

図-5、図-6 はそれぞれ雨竜川多度志地点（流域面積 $A=996\text{km}^2$ ）と後志利別川今金地点（ $A=361.4\text{km}^2$ ）までを単一流域として流域モデルに Green&Ampt モデルと Clark の単位図法を、また、河道モデルに Lag 法を用いて解析した結果である。他の損失モデルと流出変換モデルの組み合わせにおいても、各々ハイドログラフの流量ピークは同程度に良好に再現できるものの、損失モデルによってはハイドログラフの立ち上がり部の再現性が悪くなる場合もあった。

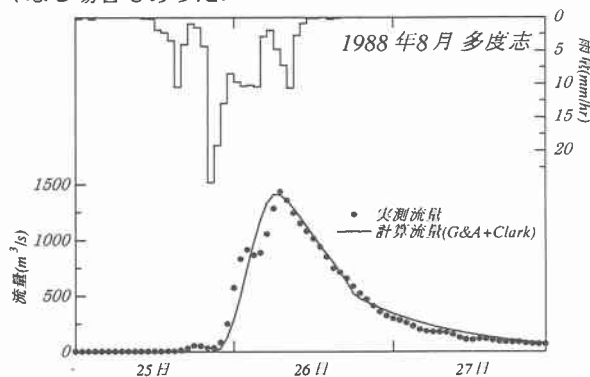


図-5 1988.8 雨竜川多度志

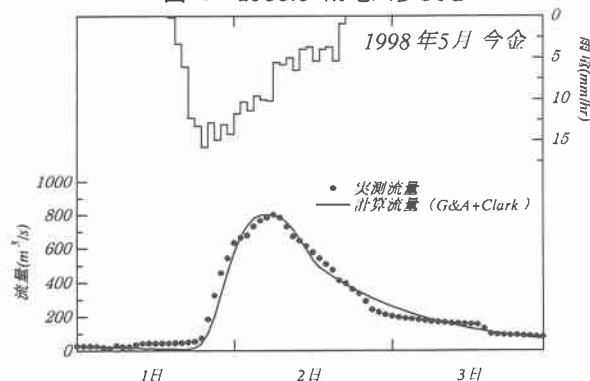


図-6 1998.5 後志利別川今金

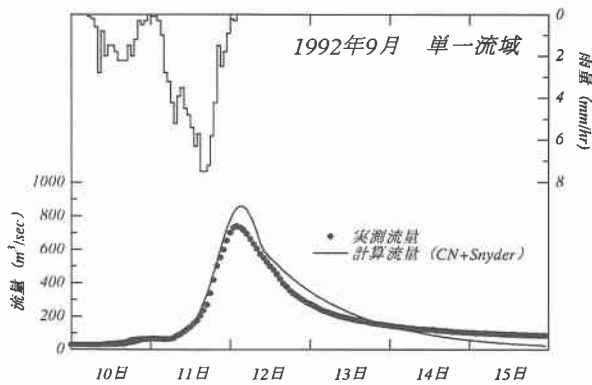


図-7 1992.9 常呂川忠志 (単一流域)

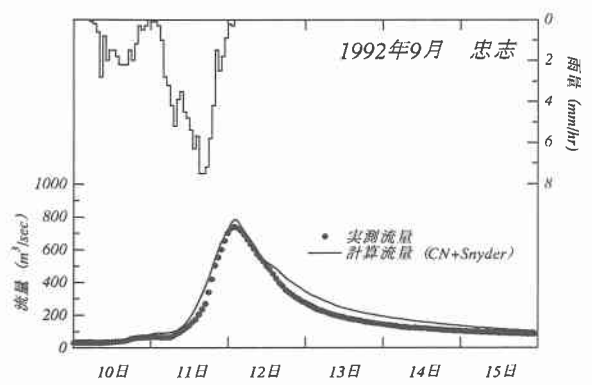


図-10 1992.9 常呂川忠志 (分割流域)

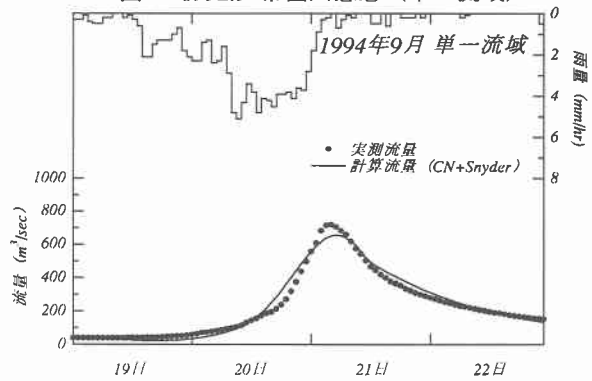


図-8 1994.9 常呂川忠志 (単一流域)

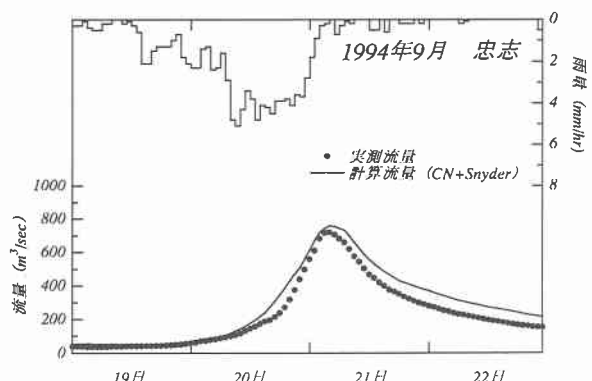


図-11 1994.9 常呂川忠志 (分割流域)

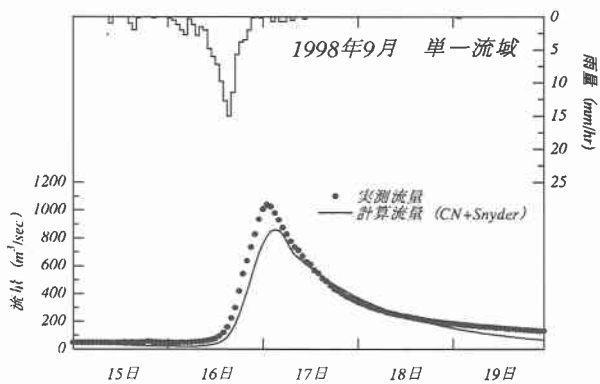


図-9 1998.9 常呂川忠志 (単一流域)

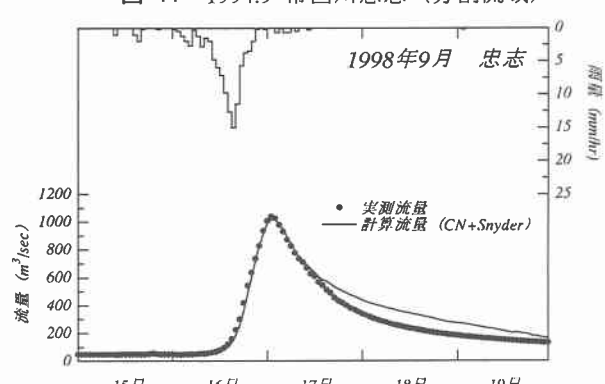


図-12 1998.9 常呂川忠志 (分割流域)

また、図-7～図-9 は常呂川忠志地点 (A=1550.1 km²) までの単一流域として流出モデルに SCS-CN 法と Snyder の単位図法を、また、河道モデルに Lag 法を用い、初期条件以外のモデルパラメータを変化させずに解析した結果である。どの流出変換モデルにおいても損失モデルに SCS-CN 法を用いた場合が最も再現性が高く、損失モデルに Green&Ampt モデルを用いた場合が最も悪かった。しかし、最も再現性が高かった SCS-CN 法と Snyder の単位図法を用いてもハイドログラフの立ち上がりやピーク部分をうまく再現することはできず、単一流域を線形の単位図法で解析する場合の限界であると考えられる。

4.2 分割流域による解析

図-10～図-12 は常呂川流域を図-1 のように流域を分割し、単一流域による解析結果と比較するために流域モデルに SCS-CN 法と Snyder の単位図法を、河道モデルに Lag 法を用いた場合の忠志地点における解析結果である。ここで、各分割流域の初期流量は、各流量観測地点における初期流量に流域面積比を乗じた分配流量とした。

単一流域と分割流域による解析結果を比較すると、単一流域よりも流量逕減部分の再現性は若干悪くなっているが、単一流域ではうまく再現できなかったハイドログラフの立ち上がりやピーク部分が多少誤差は見られるものの、分割流域による解析では良好に再現することができた。これは流域を分割することによって降雨や流域の土地利用などの空間分布が考慮された結果であると考えられる。

また、図-13 は各モデルの組み合わせによる再現性を比較するために、横軸に各モデルの組み合わせ、縦軸に相対誤差(%)をとり、棒グラフで表したものである。ここで、相対誤差は次式を用いて計算を行った。

$$\text{相対誤差 (\%)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|Q_i^* - Q_i|}{Q_i^*} \times 100 \quad \dots \dots (2)$$

ここに、N : データ数、 Q_i^* : 実測流量、 Q_i : 計算流量。

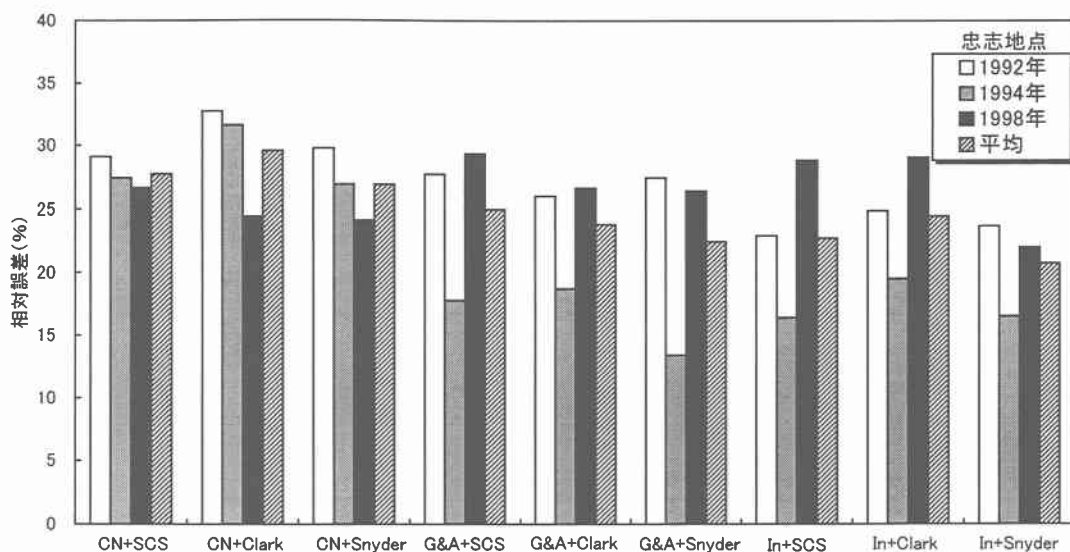


図-13 各モデルの組み合わせと相対誤差（忠志地点）

各モデルの組み合わせによる相対誤差は忠志地点だけではなく、置戸や北見地点においても損失モデルに初期一定損失モデルあるいは Green&Ampt モデルを使用した場合、相対誤差が小さくなるという結果が得られた。図-14～図-16 は常呂川流域の解析の中で最も再現性が良かった解析結果で、流域モデルに初期一定損失モデルと Snyder の単位図法、河道モデルに Lag 法を使用した。

今回の解析により有効雨量を算定する損失モデルの違いによる差はあるものの、損失モデルの設定を適切に行えば、北海道内の諸河川に分割流域による HEC モデルの単位図法を適用できることが明らかとなった。

5. おわりに

HEC-HMS モデルはその大きな特徴として、GUI に優れ、流域モデルの構築やモデルパラメータの設定、計算データの入力、計算結果の表示などをマウスで操作でき、グラフィックによるハイドログラフなどの計算結果の表示にも優れた統合ソフトである。流出解析の実務を経験したことない人でも、このソフトを使えば容易に流出計算をすることは可能である。しかし、特にパラメータを自動最適化した解析結果は、一見正しそうに思えるが、パラメータを吟味すると明らかにおかしい値をとる場合も多くあり、この点を留意して利用する必要がある。

なお、今回は検討できなかったが、HEC-HMS には流域をグリッド単位に分割して解析する分布型モデル（グリッド SCS-CN 法、グリッド SMA 法、ModClark 単位図法）もあり、国土数値情報などの地理情報やレーダ雨量データと結合した解析も可能である。現在、日本のレーダ雨量データを HEC の DSS データ形式へ変換する作業中であり、適用結果については別の機会に発表する予定である。

〈謝 辞〉本研究に用いた水文データ収集には、北海道開発局網走開発建設部治水課の多大な協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献

1) HEC-HMS User's and Technical Reference Manual, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center,

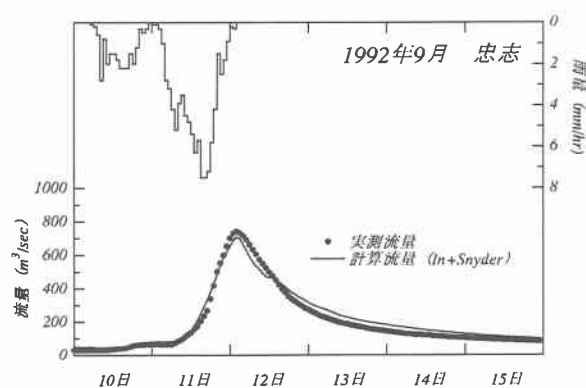


図-14 1992.9 常呂川忠志（分割流域）

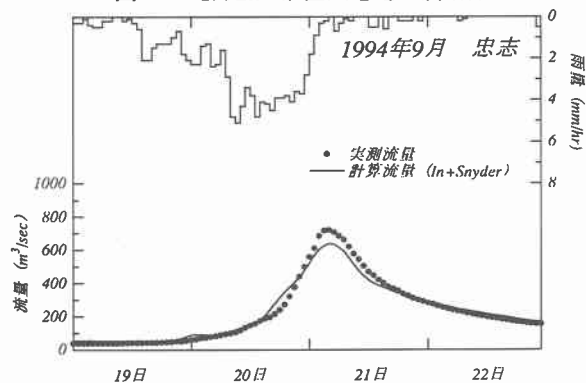


図-15 1994.9 常呂川忠志（分割流域）

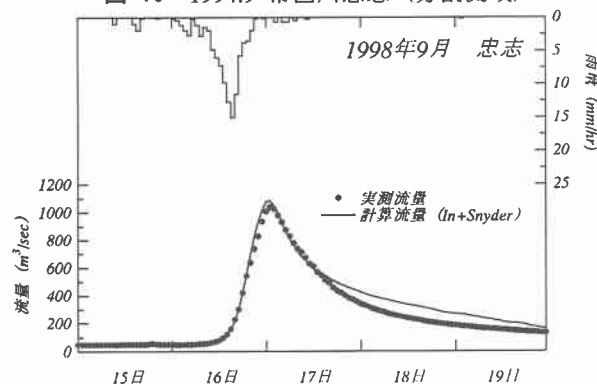


図-16 1998.9 常呂川忠志（分割流域）

2001.

2) 例えば、水村和正：水圏水文学，山海堂，1998.