

流出シミュレーションモデル構成の新しい枠組み

A New Framework for Building Runoff Simulation Models

高棹琢馬*・椎葉充晴**・堀智晴***・鈴木俊朗****

by Takuma TAKASAO, Michiharu SHIIBA, Tomoharu HORI and Toshiro SUZUKI

A basin is composed of a number of basin elements. Corresponding to this, we thought up a new system of building a runoff model by combining element models. To realize the system, we separate following two problems. One is to build element models and the other is to build runoff models combining element models. To solve these problems, we extract and pack common functions among element models. This new system will make it easy to correct existing runoff models and to build new one.

keywords : Runoff model, Computer model, Object oriented programing

1. 部分モデルによる流域のモデル化

流域は、様々な特性の要素が分布する多成分から構成される系と見なすことができる。従って、流域をモデル化する場合には、おおむね特性が一樣と見なせる流域要素を単一の部分モデルとして表現し、この部分モデルを相互に複数連結して、流域全体に対応する全体モデルを構成する方法が考えられる。ここで、ある流域要素を部分モデル化するとき、既存の部分モデルのパラメータを操作するだけで流出現象に対応できない場合は、新たな構造の部分モデルを作成することが必要となる。

このとき、既存モデルの成果を取り入れつつ、流域に生じた局所的変化や水文学理論の進歩に柔軟に対応していくためには、新しく作成した部分モデルと既存の部分モデルを自由に連結して全体モデルを作成できることが望ましい。そのためには、新たに作成する部分モデルと、その部分モデルに連結する全ての既存部分モデルとの間で、整合のとれた数値の入出力方法、動特性の実現方法を採用する必要がある。

本研究では、流域モデルの動的特性や各部分モデルの接続様式を分離・抽出しておき、モデル作成者は個々の現象のモデル化に専念できるような流出シミュレーションモデルの新しい枠組を提案する。

2. 既存の流出モデルの問題点とモデルの構成上の新しい枠組

現在用いられているコンピュータモデルには、HEC-1, HSPF, TR-20, SSARR, SWMM などがある¹⁾。これらの多くは約30年前に開発されたモデルであるが、モデルの開発機関が水文学の成果を次々にモデルに取り入れてモデルの適用範囲を拡大してきたので、現在に到りなお用いられている。これら既存のモデルの成果を利用しつつ、ユーザーが新たなモデルを独自に付加する必要性が生じた場合、1に述べた通り、新たなモデルと既存モデルとの間で整合のとれた接続を行う必要がある。そのためには、既存モデルのソースコードを詳細に理解する必要があるだろう。しかし、上に挙げたような既存モデルは改良を重ねて適用範囲を拡大して

*	正会員	工博	京都大学教授 工学部土工学教室	(〒606 京都市左京区吉田本町)
**	正会員	工博	京都大学助教授 工学部土工学教室	(同上)
***	正会員	工修	京都大学助手 工学部土工学教室	(同上)
****	学生員		京都大学工学部大学院修士課程	(同上)

きたので、そのソースコードは膨大であり、ユーザーがこれを理解するにはかなりの労力と時間を割かなければならない。このことは、これらの既存モデルの柔軟性を少なからず制限していると考えられる。

既存モデルの拡張時に見られるこうした限界は、単に各部分モデル間の接続関係の複雑さのみに起因しているのではなく、個々の部分モデルが全体モデルから充分に分離されていないことに起因するものと考えられる。つまり従来のモデルでは、部分モデルを全体モデルの中に埋め込むという形でソースコードを構成しているため、部分モデルの追加、修正時に、部分モデルの埋め込まれているソースコードを修正する必要がある。このことが、新たな部分モデルの埋め込み先のソースコードに関する詳細な理解を必要としていた原因と考えられる。

そこで本研究では、全体モデルに部分モデルを埋め込む方法をとらず、

『部分モデルという”部品”の組み合わせによって全体モデルを構成する』

という新しい枠組で流域をモデル化する必要があると考えた。この新しい枠組のためにはまず、部分モデル自体を部品のように扱えるような構造にすること、つまり、部分モデルの”部品化”を実現しなければならない。

3. 部分モデルの部品化

ここで、まず部品化の条件として以下の二点が挙げられる。

- ・ 決った手続きに従えば、部分モデルを自由に接続できること。
- ・ 新たなモデルを組み込むことで全体モデルの機能が損なわれないこと。

この二つの条件が満たされるためには、まず第一に各部分モデルの接続方法、入出力方法が同じであることが必要である。また、部分モデルの接続により構成された全体モデルが単一モデルのような動作を実現するには、各部分モデルを共通のシミュレーション時間で起動する必要がある。従って、部品化のためには各部分モデルに共通の接続機能、動的機能を与え、部分モデルの”規格化”を実現することが必要であると考えられる。ここで考慮すべき点は、ユーザーが規格の内容自体に患わされたり、規格化によりモデルの拡張性が失われてはならないということである。

そこでモデルを作成するシステムには、下記の二点が求められることになる。

- ・ 部分モデルを容易に規格化できること
- ・ 部分モデルの独自機能を表す部分と規格化する共通部分を表す部分とを明確に分離できること

ところが、Fortran, C などのいわゆる手続き型言語により、このようなシステムを実現するのは困難である。そこで本研究では、新しいモデルの開発にあたりオブジェクト指向言語 C++ を用いることにした。これは、オブジェクト指向言語に用意された”継承”、”多態性”という概念を利用することにより上記のようなシステムが実現できるからである。オブジェクト指向言語のうち C++ を選んだ理由は、C++ が C の拡張版であり、C 言語によるプログラムの経験者なら本研究で開発したモデルを容易に利用できると考えたからである。

ここで、オブジェクト指向言語の継承、多態性という概念についてについて簡単に説明しておく。

A, A1, A2 という三つのモデルを考える。モデル A1, A2 が、モデル A の機能に加え、A1, A2 独自の機能を備えているとする。ここでモデル A1, A2 を作成するとき、モデル A と独立して作成するのではなく、モデル A から派生させることができる。A1, A2 が A から派生していることを宣言すれば、A1, A2 のソースコードで A の機能を繰り返し定義し直す必要はない。A1, A2 のソースコードでは、A から派生したという宣言と A1, A2 独自の機能のみを記述すればよい。このように派生宣言を行うだけで、A1, A2 が A の機能を引き継ぐことを”継承”という。

A, A1, A2 が全く同じ機能を備える場合は、継承を利用すれば良いことが分かった。しかし A の機能によっては、A1, A2 がともにその機能を必ず備えることが分かっているにもかかわらず、その内容までは同一に定義できない場

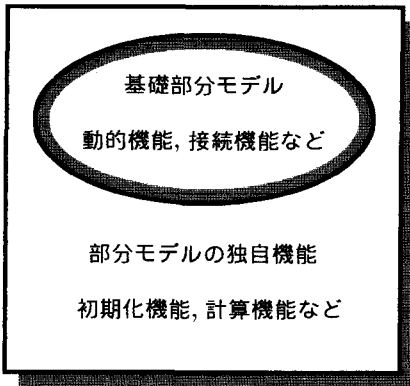


図-1 基礎部分モデルと部分モデル

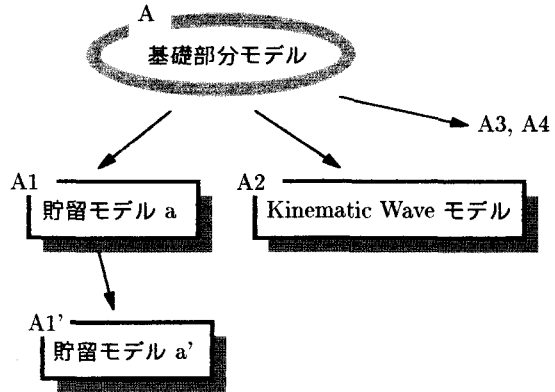


図-2 派生による個々の部分モデルの作成

合も考えられる。例えば、全ての自動車はアクセルという共通の機能を備えているが、その内部のメカニズムは各自動車によって個別に決まるものであろう。しかしアクセルという基本的な機能が用意されているため、ドライバーは全ての自動車を画一的に扱うことができる。このような条件をモデル化するため、オブジェクト指向言語では A ではある機能を備えることのみを宣言して、A1, A2 でそれぞれのモデルに応じて機能の内容を独自に定義できる。この概念は“多態性”と呼ばれ、C++ では“仮想関数”として実現されている。

本研究では、継承を利用した次のような方法により部分モデルの規格化を実現することができた(図-1)。

- ・ 動的機能、接続機能を持つ“基礎部分モデル”を前もって作成しておく
- ・ 部分モデルを作成するときは基礎部分モデルを必ず継承する
- ・ 部分モデル独自の機能は派生モデルで追加するものとする
- ・ 基礎部分モデルの機能は変更しない

個々の部分モデルは、図-2 に示すように、基礎部分モデルを継承して作成する。すでに作成された部分モデルの一部を変更したモデルを作成する場合も継承を利用できる(貯留モデル a を継承して貯留モデル a' を作成)。

こうして、基礎部分モデルを継承した部分モデルには共通の入出力機能、動的機能が与えられるので、規格化が実現されることになる。従って、ある部分モデルを規格に準拠させるために部分モデルの作成者に要求される手続きは、先にも述べたとおり基礎部分モデルの派生宣言だけなので容易に規格化することができる。

また、例えばパラメータや状態量の初期化機能、流出計算機能などのように、各部分モデルごとに内容は異なるものの、共通に備えているべきと考えられる機能については、仮想関数として基礎部分モデルに定義した。これにより、全ての部分モデルにある動作をさせる場合に一種の命令で画一的に扱うことができるので、部分モデルの統合を全体モデルとして操作することを容易にすることができる。

以上の考察に基づき、各部分モデルに共通とすべき構造や多くのモデルで共通に見られる機能を抽出し、基礎部分モデルを設計した。

4. 本研究で開発した基礎部分モデル

部分モデルの機能は下記の二種類に分けられる。

- ・ 基礎部分モデルでその内容を完全に定義すべき機能
- ・ 基礎部分モデルでは仮想関数として宣言し、内容の定義は各派生モデルごとに行うべき機能

本研究ではこれらの機能を適宜使い分け、基礎部分モデルの機能を以下のように定義した。

4.1 接続機能 異なる種類のモデルを容易に接続できるようにするため、各部分モデル間の全ての入出力は、必ず受信端子モデルと送信端子モデルを通して行うものとした。部分モデルを定義するときに、必要な送信端子、受信端子を設定しておき、特定の流域に対応して全体のモデルを構成するときに、これらの端子を他の部分モデルの端子と接続することで実現される。接続関係が初期化されて流出計算が始まると、各部分モデルは自動的に接続先の部分モデルに出力を送信する。

ここで、あるモデルの端子を他のモデルの端子と接続するための機能は基礎部分モデルにおいて定義済みであり、送信されてきたデータをストックする機能は受信端子モデルにおいて既に定義済みである。従って部分モデルを作成するときに、これらの機能を定義し直す必要はない。

4.2 動的機能 各部分モデルが共通のシミュレーション時間で起動されなければ、全体モデルが流域全体を表すモデルとして正常に機能することにはならない。例えば、ある部分モデルの計算実行可能な時間範囲が他の部分モデルに比べ短いと、この部分モデルの出力を入力として受け取る部分モデル、更にそのモデルの出力を入力として受け取る部分モデルへと次々に伝播していく。そこで、各部分モデルに共通のシミュレーション開始時刻、終了時刻を与え、その間の計算を必ず実行するように制御する。

複数の開発者が個別に作成したモデルを自由に接続して全体モデルを作成する場合、この機能は特に重要である。この機能も基礎部分モデルで既に定義済みである。

4.3 計算機能 計算機能の内容は各部分モデルごとに異なるが、3 で示した自動車のアクセルの例に見られる通り、仮想関数を利用するとモデルを起動する時点で各部分モデルの操作性を高めることができる。また、計算機能は複数の機能の結合から構成されていると考えられるので、本研究ではこれらの機能を分離し、基本モデルの機能として定義できるものについては定義しておくこととした。

まず、計算機能を以下の 5 機能に分離した。

1. 初期化機能
2. 計算を開始できるか判断する機能
3. タイムステップを設定する機能
4. 1 ステップ分の流出計算機能
5. シミュレーション開始時刻から終了時刻までの計算機能

このうち 2, 5 は基礎部分モデルで定義済みであるが、1, 3, 4 は各部分モデルにより明らかに異なるので仮想関数として定義した。具体的に言うと、2 ではシミュレーション開始時刻から終了時刻までの入力データが揃っているかを調べる手続きを定義した。これは、ある種の部分モデルでタイムステップ、パラメータを計算するときに、シミュレーション開始時刻から終了時刻までのデータを必要とするからである。また 5 では 2, 3, 4 を組み合わせてシミュレーション開始時刻から終了時刻までの計算方法を定義しておいた。

5. 現在までの成果と今後の課題

4 で示した各機能を基礎部分モデルに与えることにより、新しい部分モデルを作成するときに新たに定義すべき機能は、初期化機能、タイムステップを設定する機能、1 ステップ分の流出計算機能の 3 機能のみとなった。

現在は基礎部分モデルを利用して、基本的な部分モデルである線形・非線形貯水池モデル、Kinematic Wave モデル、Kinematic Wave モデルと貯水池モデルを組み合わせた Attenuation Kinematic モデルを開発中である。今後は、更に既存モデルの移植を進め、必要に応じて新しいモデルを開発していく。

参考文献

- 1) Victor Miguel Ponce: Engineering Hydrology – Principles and Practices –, chapter. 13 : Catchment Modeling, pp.389-451, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1989.