

# CommonMP要素モデルの改良について

井川 貴史

近畿地方整備局 河川部 地域河川課 (〒540-8586大阪市中央区大手前1-5-44)

CommonMPは河川系のモデリング・シミュレーションソフトであるが、職員自らがこれを使用することにより、技術力の向上に資することが期待されているツールでもある。しかしながら、筆者が実際に使用してみると、いくつかの課題に直面し、使用を継続する意欲が失われていく事態に陥ってしまった。しかし今一度気を取り直し、自らが経験した課題を解決できるよう、既存の要素モデルを改良することにより、多くの職員の方々にCommonMPの更なる活用を図っていただけるようにしたいと考えた。本論文は、それらの改良内容について紹介するものである。

キーワード CommonMP, 貯留関数法, 洪水調節計算, 要素モデル

## 1. はじめに

CommonMPは要素モデルと呼ばれる部品を組み合わせてさまざまなモデルを構築し、各種のシミュレーションが行えるソフトウェアとなっており、職員自らがそれを活用し、その経験を積むことにより技術力の向上に繋がることが期待されている。

そのため、本体はもちろんのこと、要素モデルのいくつか（2016年3月末時点で18種類）については、CommonMPのホームページから自由にダウンロードできるようになっている。

要素モデルについては、貯留関数法の流域モデルと河道モデル、及びそれらに接続する雨量や流量の入力モデル、ダムモデルなどが多くダウンロードされている。

貯留関数法による流出計算は実務においても実施頻度が高く、またCommonMP入門のためのモデル構築対象として最適であるため、上記の要素モデルが多く利用されているものと思われる。

筆者も同様に、CommonMPを習得するための手始めとして、紀の川水系河川整備計画で使用されている貯留関数法による流出計算モデルをCommonMP上で構築し、シミュレーション計算を行った。

その過程で、以下のような課題にぶつかった。

- ①整備計画流量が再現できない。
- ②暫定操作のダムのただし書き操作が反映できない。

そこで、上記課題を克服するため、既存の要素モデルを改良することとした。具体的には、貯留関数法のモデルを構築するために必要な以下の要素モデルについて、既存のものをベースに改良することとした。

- a. 貯留関数法（流域）モデル（以下、「流域モデル」という。）

- b. 貯留関数法（河道）モデル（以下、「河道モデル」という。）

- c. ダムモデル（以下、「ダムモデル」という。）

本論文は、課題①②に対する解決方法と、それに対応する要素モデルa～cの改良内容について紹介するものである。

## 2. 整備計画流量が再現できない

### (1) CommonMPで紀の川流出計算モデルの構築

紀の川水系河川整備計画の流出計算で用いられている貯留関数モデル（直轄区間整備後の流出計算モデル）は、流域要素が30個、河道要素が15個（うち、二段河道が2個）、ダム要素が1個（大滝ダム）で構成されている。

モデル図、貯留関数法の定数等については、本論文での掲載は割愛する。詳細については、和歌山河川国道事務所のホームページの中の第15回紀の川流域委員会（資料-1）を参照いただきたい。

紀の川水系河川整備計画の流出計算について、整備計画の対象洪水である戦後最大洪水（昭和39年伊勢湾台風の降雨波形）のダム無しの場合の再現を、CommonMPを用いて試みた。

CommonMPの要素モデルの種類としては、大きく分けて、演算要素、入力要素、出力要素の3つに分けられる。

このうち、演算要素としては、貯留関数法による流出計算の場合は、「流域モデル」、「河道モデル」、「加算モデル」（支川との合流点で使用する要素モデル）、「ダムモデル」の4種類を基本に構成することとなる。ただし、ここでは、ダム無しのケースでのシミュレーションを行うので、「ダムモデル」を除いた3種類の演算要素で全体のモデルを構成することとなる。

(2) 演算間隔をいろいろ変えてみる

CommonMPでは演算要素については、各個別の要素ごとに、たとえば「流域モデル」の流域1、流域2、・・・、「河道モデル」の河道A、河道B、・・・、「加算モデル」の合流点a、合流点b、・・・等、それぞれ別々に演算間隔を秒単位で変えることができる。

そこで、まず最初のケースとして、すべての演算要素の演算間隔について同一の値を設定し計算した。

紀の川の主要地点におけるピーク流量について、整備計画策定時の計算結果（以下、「既存の計算」という。）との誤差を見ることにより、その再現性を確認することとした。なお、演算間隔による違いを把握するために、演算間隔をパラメーターとして計算を実施した。演算間隔のケースとしては、60秒（1分）、300秒（5分）、900秒（15分）、1800秒（30分）の4ケースとした。なお、出力間隔は既存の計算と同じ1800秒（30分）とした。この条件による計算結果を図-1に示す。

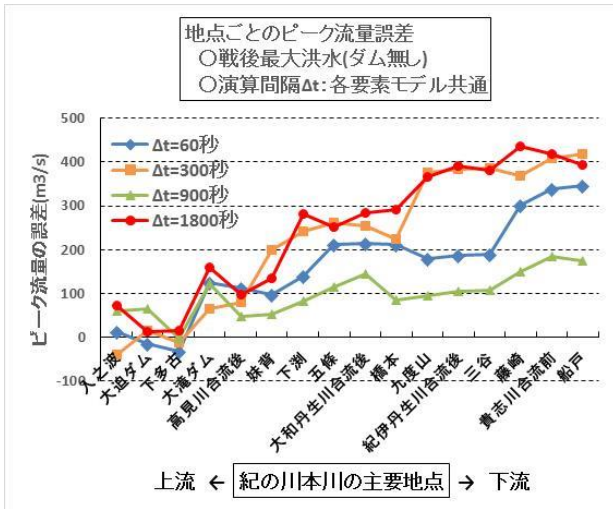


図-1 地点ごとのピーク流量誤差（ダム無し）

縦軸の「ピーク流量の誤差」は、各地点における[CommonMP計算のピーク流量値-既存の計算のピーク流量値]を表している。

最下流の船戸地点において整備計画流量（ダム無し）では約1万m³/sであるが、図-1を見ると、その流量に対して数百m³/sオーダーで誤差が生じていることがわかる。また、演算間隔を細かくすると誤差が小さくなると目論んでいたが、必ずしもそうはならなかった。CommonMPの要素モデルは事前に計算チェックされた上で公開されているので、貯留関数法の計算自体には間違いはないはずである。では、この誤差はどういった理由から生じるのであろうか？単にモデルの要素数が多いので、下流に行くほどに誤差が積み重なるからということも考えられるが、それにしては誤差が大きすぎると思われる。

既存の計算を実施したコンサルタント会社に相談して

みると、既存の計算では演算間隔（出力時間も同じ）を30分間隔、すなわち、1800秒としているので、「加算モデル」の演算間隔を1800秒とし、「流域モデル」と「河道モデル」を60秒とするとよいとの助言をいただいた。

そこで、次のステップとして、「加算モデル」の演算間隔は1800秒で固定とし、「流域モデル」と「河道モデル」の演算間隔をパラメーターとして同様の計算を行った。その結果を図-2に示す。

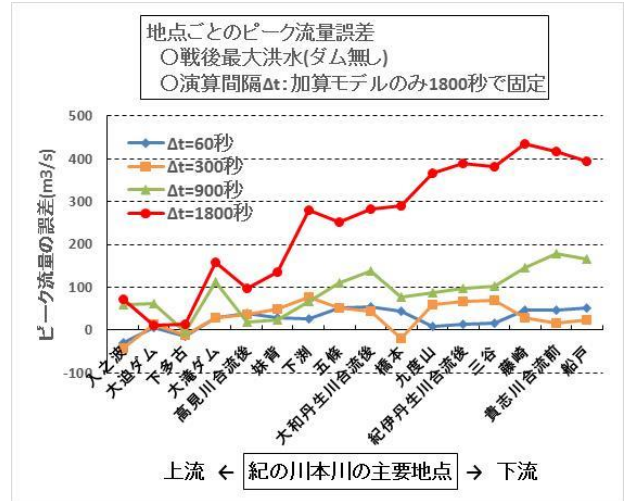


図-2 「加算モデル」の演算間隔を1800秒で固定した場合の地点ごとのピーク流量誤差（ダム無し）

この結果と図-1とを比較するとかなり改善されたことがわかる。なお、当然のことながら、1800秒の場合は図-1と同じ結果である。

しかし、なぜ「流域モデル」と「河道モデル」の演算間隔を細かくし、「加算モデル」を既存の計算と同じ1800秒にすると誤差が改善されたのであろうか？ひとつ気になる点としては、流域の流出計算、河道の貯留計算における流出の遅れ時間のデータ処理に関して、既存計算との間で違いがあることが考えられる。

そこで、「流域モデル」と「河道モデル」について、プログラムのソースコードそのものをチェックし、遅れ時間のデータ処理の方法について確認した。

(3) 遅れ時間のデータ処理を変えてみる

貯留関数法においては、流域、河道とも、流出計算した結果を遅れ時間分、後ろにずらすという操作を行う。通常、遅れ時間は、1.2時間とか0.9時間といった中途半端な数字となっている。そのため、計算結果を出力する時間ピッチと合わなくなるため、適切なデータ処理が必要となる。

CommonMPの「河道モデル」について、遅れ時間のデータ処理に係る部分のソースコードを確認してみると、計算値を遅れ時間分後ろにずらして、それを演算間隔ごとの時間ステップに当てはめる際に、直近後ろのデータをそのまま当てはめるという処理が行われていた。

CommonMPでは演算時間を細かく設定できるので上記のような処理形態でも特段問題はないと思われる。

しかし、既存の計算では、CommonMPほど演算間隔は細かくしていないので、前後のデータを比例配分、すなわち計算値を案分するといったデータ処理となっていると思われる。

図-3に遅れ時間のデータ処理の違いを表すイメージ図を示す。

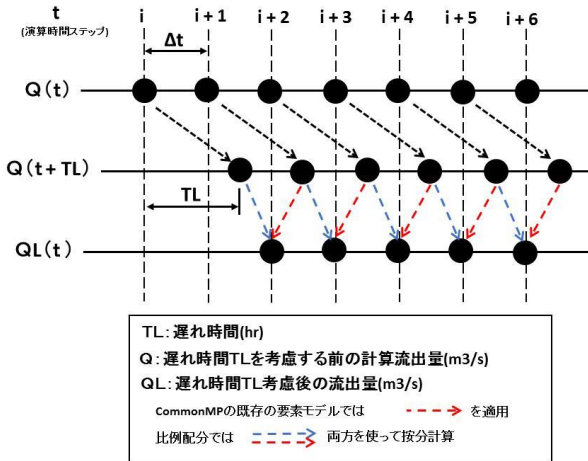


図-3 遅れ時間のデータ処理のイメージ図

このデータ処理の差が既存の計算との差となって現れていると判断した。

そこで、CommonMPの「流域モデル」と「河道モデル」について、遅れ時間のデータ処理を比例配分とするようにソースコードを変更し、再度シミュレーション計算を行った。

遅れ時間のデータ処理を比例配分とし、図-2と同じケースで再計算した結果を図-4に示す。



図-4 遅れ時間を比例配分とし、かつ「加算モデル」の演算間隔を1800秒で固定した場合の地点ごとのピーク流量誤差 (ダム無し)

これを見ると、どの演算間隔においても誤差が改善されていることがわかる。特に、1800秒においてそれが顕

著であり、かつ他の演算間隔の結果よりも、上流から下流へ向かってなめらかな誤差の増加傾向となっている。

これらの結果から以下のことが推察される。

- ①図-4の演算間隔1800秒の結果は、既存の計算に対して演算間隔と遅れ時間のデータ処理方法が合致したため、誤差が少なくなり、かつ、下流に向かってなめらかな誤差増加となったと思われる。
- ②図-4の演算間隔1800秒における下流に向かってのなめらかな誤差増加は、個々の「流域モデル」や「河道モデル」のわずかな誤差が、蓄積されていったためと考えられる。すなわち、モデル全体の要素数に比例した誤差の増加と判断される。
- ③図-1と図-2の比較において、「加算モデル」の演算間隔を1800秒で固定し、「流域モデル」と「河道モデル」の演算間隔を細かくしていくと誤差が改善されたのは、結果的に比例配分と近似させる効果を生じさせたためと思われる。

すなわち、CommonMPにより整備計画流量の再現性を高めるには、以下の2つの方法により可能となる。

(方法1) 既存の要素モデルを使用し、「加算モデル」の演算間隔を既存の計算における演算間隔に合わせた上で、「流域モデル」と「河道モデル」の演算間隔を細かく設定する。最適な演算間隔はトライアルする必要がある。

(方法2) 本章で改良した遅れ時間を比例配分とする「流域モデル」と「河道モデル」を使用し、「加算モデル」も含めた演算間隔を既存の計算における演算間隔に合わせる。

以上が本章における結論であり、課題「整備計画流量が再現できない」に対する回答となる。

(4) 蛇足ではあるが、更なる改善を試みる

図-4の1800秒の結果において、最下流の船戸地点において、46m³/sの誤差となっている。これを更に改善したいと考えた。

「流域モデル」と「河道モデル」それぞれについて、個々の要素ごとに誤差をチェックしてみると、「流域モデル」の個々の誤差が全体に対して支配的、かつ累積的に影響しているようであった。

そこで、「流域モデル」における個々の誤差を少なくすることが必要と判断し、再度、ソースコードの計算方法をチェックした。

「流域モデル」における流出計算は、Newton-Raphson法により近似計算が行われている。その収束判定の方法をソースコードから読み取ってみると、以下のとおりであった。

すなわち、非線形方程式  $f(X)=0$  の実数解  $X$  を求める場合におけるNewton-Raphson法の近似計算式、

$$X_{n+1} = X_n - f(X_n) / f'(X_n) \tag{式1}$$

ここに、

$n$ : 繰り返し計算における計算ステップ  
 $f(X)$ : 貯留関数法の式から導かれる差分式 (ここでは詳細省略)  
 $f'(X)$ :  $f(X)$ の導関数  
 $X$ : 流出高(mm/h)

において、収束条件は、  
 $|f(X_{n+1})| \leq \text{許容誤差}$  (式2)

となっており、ここで、  
 許容誤差 =  $0.01 \times 3.6 / \text{流域面積}(\text{km}^2)$  (式3)  
 となっていた。

式3の意味は、流出計算における流出高の単位[mm/h]から流量の単位[m<sup>3</sup>/s]に変換した時に、小数点以下2桁までの精度でOKということと思われる。

そこで、式3における「0.01」をもっと小さくすると既存の計算結果との誤差が小さくなるのでは考えた。しかし、実際に計算してみるとほとんど変わらないという結果となった。これは、収束速度が速いためと思われる。

そのため、式2についてはあえて、別の収束条件式を用いることとし、以下のように変更することとした。

$$|X_{n+1} - X_n| \leq \text{許容誤差} \quad (\text{式4})$$

この式を用いて、式3の「0.01」を変化させて、既存の計算結果との誤差が最も小さくなる値を探った。その結果を図-5に示す。

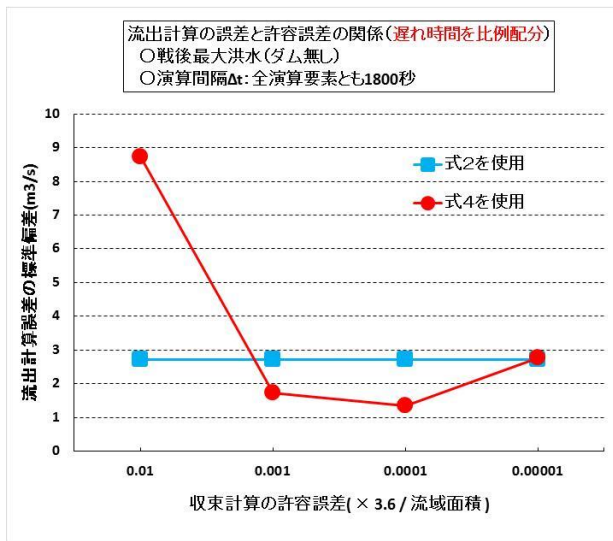


図-5 流出計算の誤差と許容誤差の関係

縦軸は、個々の「流域モデル」のピーク流量誤差を用いて、その標準偏差を求めたものであり、この値が小さいほど「流域モデル」全体として総合的に既存の計算に対する誤差が小さいということになる。

これを見ると、式2を用いた場合は標準偏差はほとんど変わらないが、式4を用いた場合は「0.0001」とした場合に最も標準偏差が小さくなり、かつ式2を用いた場合よりも小さくなるのがわかる。

したがって、式4を用いて、かつ式3で「0.01」を

「0.0001」とすることにより、既存の計算に対する誤差が改善できることとなる。

この収束条件により再度シミュレーション計算を行った結果を図-6に示す。

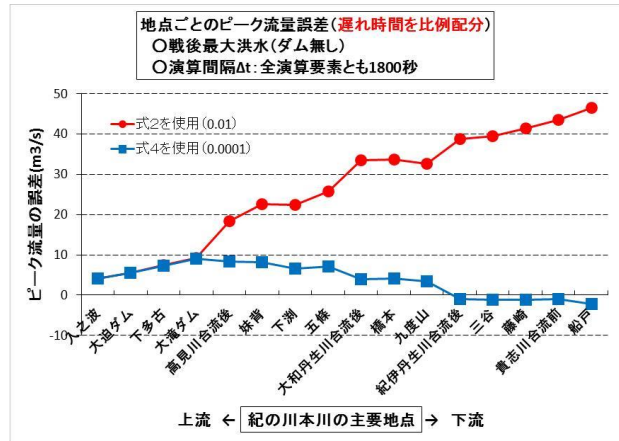


図-6 収束条件の違いによる地点ごとのピーク流量誤差 (ダム無し) の比較

「式2を使用 (0.01)」のケースは、図-4の演算時間1800秒のケースと同じものである。なお、縦軸のレンジが図-4のものから1/10に変更されていることに注意。

「式4を使用 (0.0001)」のケースでは、下流の地点で誤差がかなり改善されている。ただし、上流の地点で誤差がいったん増加し、それが下流に向けて減少していく傾向となっている。これは、各「流域モデル」それぞれの誤差 (プラスの誤差あるいはマイナスの誤差) の組み合わせによって、下流に行くほどそれぞれの誤差が相殺されていったのではないと思われる。つまり、「紀の川流域においては、たまたまこのようになった」感が否めない結果となった。

納得のいかない結果となってしまったが、これ以上の対処は無理と判断し、整備計画流量 (ダム無し) の再現に関してはここまでの改良で終えることとした。

### 3. 暫定操作のダムのただし書き操作が反映できない

#### (1) CommonMPであるがゆえのジレンマ

ダム無しの再現が終わったので、これにダムの操作を入れることとする。

具体的には、今回の場合は、大滝ダムの操作を入れることとなるのであるが、大滝ダムは、下流の河道整備の進捗の関係で、現在、暫定操作となっている。すなわち、戦後最大洪水の場合は、容量が足りなくなるので、洪水調節操作が継続できず、途中から放流量を増加させる「ただし書き操作」を行うこととなる。

CommonMPには、ダムの要素モデルとして「ダムモデル (一定量、定率定量方式)」が存在する。ただし、この「ダムモデル」は、ただし書き操作が反映できない。

ただし書き操作開始水位に達したら、瞬間的に放流量＝流入量となるように設定されており、実際の放流能力に応じた操作が設定できる仕様となっていない。

この課題に対する解決策は、第一義的には、外注して新たな要素モデルを作ってもらうことである。CommonMPの要素モデルは、共有化できるように、プログラミング言語C#を用いてDLL (Dynamic Link Library) ファイルにする必要がある。そのため、職員が独自に開発するには敷居が高く、外注することとなる。

ここでジレンマが生じる。個々のダムに特化してその操作を正しく反映できる「ダムモデル」を作成することは簡単であるが、CommonMPの要素モデルとして開発するからには、他のダムでも使えるよう限りなく一般化した「ダムモデル」とした方がよい。しかし、計画上のダム操作ならまだしも、暫定操作のダムはさまざまなバリエーションがあるので、それをプロパティ設定のみでカバーするのはかなり困難であると思われる。

筆者としては、なんとか職員でも扱うことができ、少なくとも特定のひとつのダムに特化することなく、暫定操作のダムの操作が反映できるような「ダムモデル」を作成したいと考えた。

そこで、ソフト開発においてはよく使われる手ではあるが、Excelを活用することを考えた。

## (2) 計算はExcelに丸投げ

Excelを活用するとは、CommonMPの要素モデル「ダムモデル」として見かけ上は使用するが、計算自体はExcelに行わせるというものである（以下、「ダム用ExcelVBAモデル」という。）。図-7にイメージ図ではあるがその仕組みを示す。

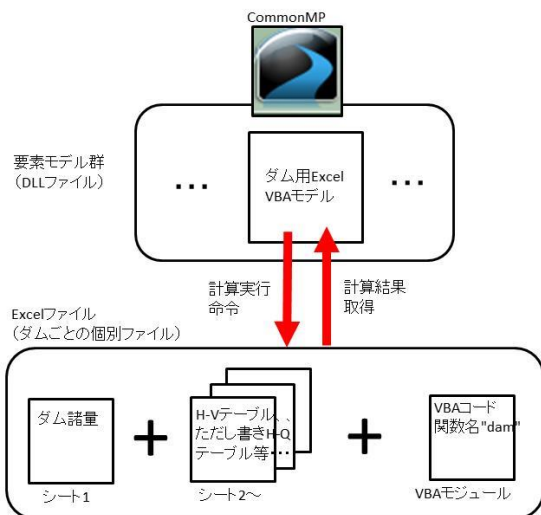


図-7 「ダム用ExcelVBAモデル」のイメージ

すなわち、「ダム用ExcelVBAモデル」は要素モデルとしては、特定のダムには依存しないが、その下請けで計算を行うExcelファイルは特定のダムのものということになる。言い換えれば、従来、プロパティとして設定

していたものがExcelファイルに置き換わるということになる。

なお、VBAとは、ExcelなどのOffice製品上で作成・実行できるプログラミング機能のことで、Visual Basic for Applicationの略称である。つまり、プログラミング言語としては、Basicが基本となっている。

「ダム用ExcelVBAモデル」のメリットとしては、

①CommonMPでモデルを構築する際の要素モデルとしては、見かけ上、一般化することができる。

②しかし、実体としてはExcelなので、個々のダムの操作が簡単に反映、修正ができ、職員でもなんとか対応できる。

となる。当然のことながら、デメリットも存在する。

①Excelファイルについては、計算の検証も含めて、作成者個人が管理しないといけない。

②最低限、ExcelVBAの習得は必要である。

このような要素モデルは邪道であると感じられるかもしれない。また、ただし書き操作も含めた暫定操作のダムの正式な「ダムモデル」が開発・公開されれば、本「ダムモデル」のニーズはないかもしれない。しかし、筆者が本論文においてこれを紹介する意図としては、必要な機能の「ダムモデル」を作成する際の敷居を低くし、職員の方々にCommonMPの更なる活用を図っていただきたいとの想いからであることをここに記しておきたい。

以上、「ダム用ExcelVBAモデル」の作成が本章の結論であり、課題「暫定操作のダムのただし書き操作が反映できない」に対する回答となる。

以下、「ダム用ExcelVBAモデル」の仕様及び気になる点について簡単に解説しておく。

## (3) プロパティの設定

「ダム用ExcelVBAモデル」のCommonMP要素モデルとしてのプロパティ設定は、①演算間隔、②Excelファイル名、③初期貯水位のみとなっている。

## (4) Excelファイルの設定

Excelファイルの設定条件等は以下のとおり。

①ファイル名は自由。

②シートの数、シート名、シート内のデータ設定内容は自由。

③関数"dam"が含まれるVBAモジュールは必ず必要。

④関数"dam"の引数は表-1のとおりとなっており、変更することはできない。

⑤引数及びシート内の任意のデータ（ダム諸量、H-Vテーブル、H-Qテーブルなど）を用いて、関数"dam"の具体的なプログラムを記述する

## (5) 計算に時間がかかるようになるのではないかと

2章で作成したダム無しのモデルに、本章で作成した「ダム用ExcelVBAモデル」を組み込み、大滝ダムの暫

表一 関数“dam”の引数

引数	引数の意味
dt	計算時間間隔(sec)。CommonMPから与えられる。
qin	現時刻の流入量(m <sup>3</sup> /s)。CommonMPから与えられる。
qin_pre	前時刻の流入量(m <sup>3</sup> /s)。CommonMPから与えられる。
qout_pre	前時刻の放流量(m <sup>3</sup> /s)。CommonMPから与えられる。
h_pre	前時刻の貯水位(m)。CommonMPから与えられる。
qout	現時刻の放流量(m <sup>3</sup> /s)。計算値としてCommonMPIに返す。
h	現時刻の貯水位(m)。計算値としてCommonMPIに返す。
v	現時刻の貯水量(m <sup>3</sup> )。計算値としてCommonMPIに返す。
data1	計算中の変数として任意に使用できる。
data2	計算中の変数として任意に使用できる。

定操作（ただし書き放流を含む）の内容を設定した状態でシミュレーション計算を行った。

CommonMPの裏でExcelが動作するので、計算が遅くなるのではと危惧したが、全く気にならなかった。ただし、計算開始時に裏でExcelが立ち上がるタイミングで若干の間（ま）が生じるのは致し方ないと考えている。

#### (6) 計算精度は大丈夫なのか？

既存の「ダムモデル」と同じ条件で計算を行ってみた結果、全く同じ結果となったので、計算精度に問題はない。

### 4. その他の付随的な改良

2章での検討において、演算間隔をさまざまに変えて計算を行った。その際に、演算間隔の変更を各要素モデルごとにひとつひとつ変えていかななくてはならず、非常に手間がかかることとなった。

そこで、モデル内で共通のパラメーターファイルを設定し、それに演算間隔を書き込んでおくことで、どれかひとつの演算間隔を変更すると、それが連動化されて、同じ種類の要素モデルは自動的にその演算間隔を使用して計算されるように要素モデルの改良を行った。

また、併せて、「流域モデル」に降雨倍率も設定できるようにし、これも同様に連動化されて、同一モデル内の「流域モデル」は、自動的に共通化できるように改良を行った。

なお、これらの改良の詳細については、ここでは省略させていただく。

### 5. 課題に対する対応結果のまとめ

CommonMPを使って、紀の川流出計算を行おうとしてぶつかった課題に対する対応と、それに伴って取り組んだ要素モデルの改良内容をまとめると、次のとおりとなる。

#### ① 整備計画流量が再現できない

「流域モデル」「河道モデル」において、貯留関数法

の遅れ時間の処理を比例配分にすることで改善することができた。また、Newton-Raphson法の収束条件式と許容誤差を変更することにより、紀の川の流出計算においては、既存の計算との誤差を更に減らすことができた。

#### ② 暫定操作のダムのただし書き操作が反映できない

Excelと連携して計算することができる新たな「ダムモデル」を作成することにより、個別のダムごとに対応できるようにした。なお、ExcelVBAを使用することにより、職員でも対応できるレベルにすることができた。

これらの対応を行った副産物として、要素モデルの改良版を手元に残すことができた。改良版の要素モデルは次のとおりとなる。

##### a. 改良版「流域モデル」

（その1）既存の「流域モデル」をベースに、遅れ時間の処理を比例配分にしたもの。

（その2）上記に加え、Newton-Raphson法の収束条件式を変更したもの。なお、許容誤差については、プロパティ画面で設定することができる。

##### b. 改良版「河道モデル」

既存の「河道モデル」をベースに、遅れ時間の処理を比例配分にしたもの。

##### c. 「ダム用ExcelVBAモデル」

Excelファイルと連携して計算するようにして、新たに作成した「ダムモデル」。なお、Excelファイルのひな形を用意したので、これを加筆・修正して使用することができる。

また、上記a及びbについては、4章の付随的な改良も含まれている。

### 6 おわりに

本論文は、筆者が和歌山河川国道事務所に所属していた際の業務内容に基づくものである。

なお、本論文において、改良版の要素モデルを作成しているが、元となった既存の要素モデルのプログラムは、著作権は放棄されていないが、修正して使用することが許されているものである。

本論文で紹介した改良版の要素モデルについては、和歌山河川国道事務所のホームページのご意見箱から、調査第一課あて、申し込んでいただければ、関係ファイル一式（解説書、プログラムのソースファイルも含む）を配布させていただく。職員の皆さんによるCommonMPの更なる活用を期待したい。

#### 参考文献

- 1) 「CommonMP 要素モデル開発 超初心者の頁」, Amateur\_Simulation\_Laboratory, [http://island.geocities.jp/snakeman\\_dyna/index.html](http://island.geocities.jp/snakeman_dyna/index.html) (参照 2016/3/29)