

分布型水循環モデルの実用性を向上するための流域地形自動解析ツールの構築

独立行政法人土木研究所（学術振興会外国人特別研究員）

正員 ○ 敖 天其

独立行政法人土木研究所 正員 吉谷 純一

独立行政法人土木研究所 正員 深見 和彦

山梨大学工学部

正員 竹内 邦良

山梨大学工学部

正員 石平 博

独立行政法人土木研究所 正員 岡田 拓也

1、はじめに

現時点では、分布型水循環モデルはまだ実用と普及の段階にいたっていない。その制約要因として、モデル構造による地形特性量等のスケール問題、データ入手の可能性と容易さなどが挙げられる。スケール問題については、グリッドサイズの影響は盛んに検討されてきているが、流域分割法に影響されるサブ流域の形状とスケールの影響に関する研究はまだ遅れており、異なる分割方法の比較及び分割程度の影響についての検討が必要である。また、分布型モデルに欠かせない擬河道網等の地形特性量は、流域規模を問わず、水文モデルと対象流域ごとに作成されており、実用上かなりの手間がかかる。従って分布型モデルの実用性を向上するために、スケール問題を更に検討すること、擬河道網を含めた汎用性のある広域地形特性量の数値データベースを構築することが必要である。そのために適当な地形解析ツールが必要となる。そこで本研究では、分布型モデルの実用性を向上するための流域地形解析ツールの開発を目的とし、Pfafstetter 流域分割法^{1) 2)}及び、筆者らが開発した窪地の全自動処理法³⁾を用いて、流域地形の自動解析ツールを構築し、黄河、メコン等の流域への適用によりその実用上の長短所について考察した。また、そのツールを BTOPMC 分布型流出解析モデル⁴⁾に取り込んだ結果、そのモデルに必要な地形特性量を簡単に一括して得ることが可能になった。

2、Pfafstetter 流域分割法の概要

Pfafstetter coding system は、1989 年にブラジル工学者 Otto Pfafstetter が提案した流域分割法と番地付け方である。その方法においては、分割の対象流域は常に 9 個の小流域に細分される。河口から源流への順で、本川沿いの 4 つの最大支流をそれぞれ 2,4,6,8 の番号を与え、支川サブ流域と定義する。それらの支川と本川との 4 個の合流点間の領域は、それぞれに番号 3,5,7 を与え、残りの最上下流に位置する二つの区域を 9 と 1 の番号を付ける。その 5 個の奇数領域は残（中間）流域と定義される。前回分割で得られたサブ流域を再分割する場合の番号付け方として、再分前の番号を 1-9 のいずれかで一桁増やすとする。この方法は、他の手法と比べ流域番号の桁数が少ないこと、サブ流域の番号から相対地理位置が分かること、流域の自然境界を表現できること等の特徴があり、既に ARC/INFO と ArcView 等に利用されているが¹⁾、その方法をどのように効率よく分布型モデルに活用すること、特にその方法の分割結果による地形特性量の妥当性などは、まだ十分に検討されていない。

3、Pfafstetter 法と窪地自動処理法を用いた流域地形解析ツールの構築

本研究においては、分布型モデルに必要な様々な地形特性量を一括して簡単に得られること及び流域分割結果を Excel でも簡単に図化できることを念頭におき、次の適用手法により、Pfafstetter 法と窪地自動処理法とを用いて、簡単に利用できる流域地形解析ツールの開発を試みた。

- 1) DEM、窪地の全自動処理³⁾と落水線理論により、対象流域の擬河道網データを作成し入力値とする。
- 2) 必要に応じて分割程度を決める：最大分割レベル（対象流域を繰り返しサブ流域に分割する最大限定回数）及び、分割を終了させる時のサブ流域の最大許可面積（閾値）をパラメータとして入力する。
- 3) 分割する前の対象流域（流域番号は 0）を 9 個のサブ流域に分割する（一次或いはレベル 1 の分割）。まず、河口から逆追跡し本川を認定する；第二、支川サブ流域出口の認定と番号付け。集水面積で本川に流入する 4 つの大支川を特定し、本川への最近流出点を各支川の出口とし、それぞれの河口までの距離により、下流から上流への順番で、その 4 箇所にそれぞれ 2,4,6,8 の番号を付ける。第三、残流域出口の特定と番号付け。対象流域の河口番地及び、その 4 つの支川と本川との合流点を、5 個の残流域の出口とし、河口から上流への順番で、1,3,5,7,9 の番号を、それぞれその 5 個のグリッドに与える。第 4、サブ流域の特定。確定された 9 個の出口に付いた番号をサブ流域番号とする。落水線の流れ方向の追跡により、各グリッドはどちらのサブ流域に属するかを判定する。
- 4) 閾値で判断し再分割が必要とされる全てのサブ流域を検出し、ステップ 3) と同じ手法で次の分割レベルに入り該当サブ流域を再分割する。ただし、再分割による各下位サブ流域の番号は、次式で与える：

$$N_r = 10 N_o + N_c \quad \dots\dots\dots (1)$$
 ここで、 N_r は再分割後の流域番号で、 N_o は再分割前の流域番号であり、 N_c は今回の分割における新出口番号（1-9）である。レベル n まで分割された領域における各サブ流域の番号は n 桁になる。同時に、閾値

キーワード DEM と擬河道網, Pfafstetter 流域分割法, 流域地形自動解析ツール, 黄河流域, 分布型水循環モデル
 連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市大字南原 1-6 独立行政法人土木研究所 水工研究グループ 水理水文チーム 電話 0298-79-6779

より大きい4つの支川がないため再分割が不可となるサブ流域も判定し記憶する。

- 5) 分割終了時サブ流域総数 N_t の計算: $N_t = 9 + 8 (N_{tr} - N_{tu})$ (2)
 ここで N_{tr} はこれまで再分割されたサブ流域個数で、 N_{tu} は再分割が不可となるサブ流域総個数である。
- 6) 流域番号に含んだ相対位置と従属関係の情報を活用し、最終分割レベルの結果のみで逆推定し、0次分割から最後レベルまでの各分割レベルに応じた各サブ流域に対して、様々な地形解析を行う。例えば、分割レベルに対応する流域境界を判定し図化する；各分割レベルにおける各サブ流域の地形特性量（面積、平均勾配と平均標高、平均地形指標²⁾、斜面長、本川長など）を算定する；水環境解析の対象流域とされる領域の地形特性情報を切り出し、モデルの入力データとするなどの解析を行う。

4、実流域への適用と考察

ここで、以上の手法で構築した流域地形解析ツールを、メコン、黄河、Kali Brantas、富士川と那珂川の5つの流域へ適用し、分割の概要と一部の結果を表1と図1に示す。これらの流域への適用により、このツールの実用上の長短所が分かった。まず、長所として、地形解析における重複作業と重複保存を回避するため、広域水系ごとに地形解析を行い大体一次流域まで細分しておき、その結果ファイルにおける流域番号を用いた逆推定により、任意サブ流域或いはある地点までの上流域の擬河道網や平均地形特性量等を抽出することが可能である。この点は、地形解析の作業効率、結果ファイルの保存と利用効率の大幅向上に対して大いに貢献できる。また、短所として、つぎのことが挙げられる：1) 可能分割程度問題：分割時常に4つ以上の支流がある場合、一次自然流域よりも小さく分割できるが、DEM分解能や実河道網構造により、この条件が満足できない場合は、再分割不可の領域もありうる。高分解能DEMを使うことによりこれを軽減するのが対策の一つと考えられる。2) サブ流域面積の過大と過小：実水系構造特性と分割程度によりサブ流域、特に残流域が過大（図1(a)の7番）或いは過小（図1(a)の3番）になるケースが見られ、平均地形特性量を算定する際、この現象への注意と適当な対策が必要である。

表1 5流域の分割概要と結果

	メコン川	黄河	Kali Brantas	富士川	那珂川
流域面積(万 km ²) ; DEM 分解能(km ²)	76.53; 5.3x5.5	95.87; 3x3.7	1.097; 0.92x0.92	0.35; 0.74x0.92	0.332; 0.75x0.93
閾値(cells) ; 閾値までの実分割レベル	2000; 3	2000; 4	800; 3	500; 3	500; 2
サブ流域数; 平均面積(km ²); 再分割不可個数	57; 13427.0; 0	177; 5416; 0	73; 150.2; 0	49; 71.4; 0	33; 100.1; 0
最小サブ流域面積(cells)と種類; 最大流域(cells)	6(残流域); 1520	2(残流域); 1986	1(残流域); 750	6(残流域); 492	4(残流域); 500

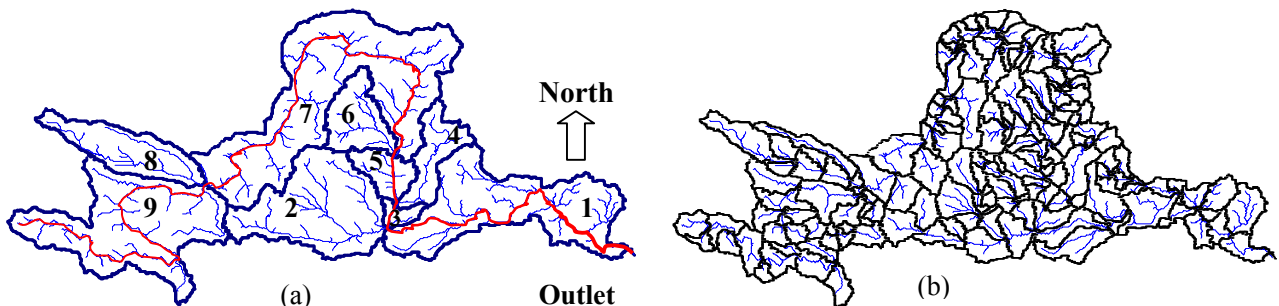


図1 黄河流域の自動分割結果。(a) レベル1の分割結果；(b) レベル4の分割結果

5、まとめ

Pfaffstetter 流域分割法と窪地自動処理法を用いて、水環境モデルと容易に対応できる流域地形解析ツールを構築し複数の流域へ適用した。結果として本ツールの有効性が確認され、実用上注意すべき点も明らかになった。また、本ツールにおいて流域番号にある地理情報を活用することにより、地形解析の重複作業量を大幅に軽減することが可能となった。今後、本ツールを改良し、サブ流域のスケールが流出解析などに対する影響、モデルパラメータのスケール依存性、広域擬河道網数値データベースの構築などを検討する予定である。

参考文献

- 1) Verdin, K. L. and Verdin, J. P., 1999. A topographical system for delineation and codification of the Earth's river basins, J. of Hydrology, 218, pp. 1-12.
- 2) Yang, D., Musiak, K., Kanae, S. and Oki, T., Use of the Pfaffstetter Basin Numbering System in Hydrological Modeling. 水文・水資源学会 2000年発表会要旨集, pp. 200-201.
- 3) 敖 天其, 竹内 邦良, 石平 博. 大河川の擬河道網作成における問題点およびその流出解析への影響. 水工学論文集第 45 巻, pp. 139 - 144, 2001.
- 4) 敖 天其, 石平 博, 竹内 邦良. ブロック型 TOPMODEL 及び M-C 追跡法による分布型流出解析モデルの検討. 水工学論文集第 43 巻, pp. 7-12, 1999.