

◆ 流域水管理特集 ◆

水循環シミュレーションのためのデータベースの設計

— 水資源連関表を用いた場合 —

宮井貴大* 柏井条介**

1. はじめに

平成 11 年 3 月に出された河川審議会答申「新たな水循環・国土管理に向けた総合行政のあり方について」において「水循環系の現状の把握」と「水循環アセスメント技法の開発に努め、圏域毎にアセスメントを実施する」等が謳われている等、水資源管理においても水循環系に基づく施策の展開が求められるようになってきている。

筆者らは、このような施策に対処するために、水循環系の現状を把握するとともに、水循環に関する各種解析に利用することができるシステムの構築を進めている^{1),2)}。本報文では、水循環系の現状把握に必要な水に関する多様な情報をデータベース化し利用する手法について報告する。

2. 水循環シミュレーションシステムの概要

2.1 水資源連関表の概要

流域内の水循環を把握するためには、循環系を構成する河川水、地下水、農業用水、水道水等における水の流入・流出を知る必要があり、その有力な方法として水資源連関表による方法³⁾が提案されており、本報告の水循環シミュレーションシステムも水資源連関表に基づいて設計している。水資源連関表は、対象流域をある大きさ

に地区分割し、水循環の構成要素(以下、「水資源関連要素」)間の地区内、地区間及び流域外との水の流入・流出を表現したもので、表-1、2に例を示す。

表-1は、分割されたある地区内、ある期間中での水循環を表しており、水資源関連要素として1~10の要素を選出している。例えば、流出要素5業務、流入要素8下水道に記入された数値は、業務用に利用され下水道に流入した水量を示している。

流域全体の水循環は、表-2に示すように表-1と同様の水資源連関表を地区間毎に作成して表示される。表-1の例は、表-2の行列地区1の欄に相当している。表-2には、流域外との移動量及び

表-1 地区内の水資源連関表 (表示例、単位: m³)³⁾

流入要素 \ 流出要素		地 区 1									
		1 河川	2 地下	3 上水道	4 家庭	5 業務	6 工業	7 農業	8 下水道	9 流域	10 ため池
地区1	1 河川			2,207			91	119,356			39,134
	2 地下	230,518		10,116	834	102	4,355	18,026			
	3 上水道		4,046		14,726	1,553	1,713				
	4 家庭	12,694							1,001		
	5 業務	1,356							99		
	6 工業	5,137					610		97		
	7 農業	59,874	158,766								
	8 下水道	4,829									
	9 流域	151,180	69,040						3,632		8,901
	10 ため池							48,036			

表-2 地区間の水資源連関表

流入要素 \ 流出要素		地区1	地区2	地区3	...	蒸発散	次期へのもちこし	地域外への水量
		地区1						
地区2								
地区3								
.								
.								
.								
降水								
前期からのもちこし								
地域外からの水量								

対象期間外との移動量についても併せて示されており、水資源関連要素のうち、 i 列の水量の和と i 行の水量の和が水収支の関係から一致するようになっている。

このような水資源関連表の作成フローを図-1に示す。まず、地区分割のもととなる基本図・特性図を作成する。ここに基本図とは、当該流域の水循環の特性を把握するために必要となる基本的な情報を得るための図で、河川網、等地下水位線、上・下水道網等、水資源関連要素の水の移動ルートを表す図、水理・水文データの観測地点、行政界、人口や農地面積分布等、水資源関連要素の水量を推定するために必要な図を指す。また、特性図は基本図をもとに流域内における水文、水利用形態、水供給・配水状況等の特性付けを行ったもので、こうした水循環に関する特性の流域内分布(例えば、同じ水供給システムの給水区域は、同じ地区内に入れる等)を踏まえ、さらに、水理・水文観測地点位置を考慮して地区分割を行う。

地区分割を行った後、各水資源関連要素の地区内、地区間及び流域外との水の移動の有無を明確

にして(水の受け渡しルートの作成)、水資源関連表内の数値欄を設定する。これに数値を入れて水資源関連表が完成し、水循環の把握がなされるが、数値欄の全てに亘り観測データがある訳では無く、未知数として空欄となる部分が出てくる。先に述べたように表-2における、ある水資源関連要素の水資源関連表の行と列は等しいという連立一次方程式が成立する。また、表中の対象時期外とのやりとりの関係から、

$n = \text{水資源関連要素数} \times \text{地区数} \times \text{時間ステップ数}$ の連立一次方程式が成立する。従って、最大で n 個の未知数を設定することが可能であるが、このことは逆からいえば、(数値欄数 $-n$) 個の欄は埋める必要があることを意味している。このため、例えば、降雨流出計算モデルの導入等による推定値を用いる必要があり、再現計算の結果が満足するものでない場合には、推定値の修正や地区分割の変更を行う。

以上の作業を通じ水資源関連表による水循環系の把握が可能になる。

2.2 水循環シミュレーションシステムの構成

筆者らが開発している水循環シミュレーションシステムは、図-2に示すように、連立一次方程式を解いたり、各種計算を行うシミュレーションモデル部と、GIS(地理情報システム: Geographic Information System)部及びデータベース利用システム部から構成される。GIS部は、地図データベースを管理するとともに空間的なデータ分析、表示機能を有するものでGISソフト及び地図データベースから構成される。水循環シミュレーションシステムのデータ管理、利用の中心となる部分であり、本システムでは、市販のGISソフトを用いている。なお、地図データは、地図上の点、線、面の座標データであり、河川網や農業用水路網、上・下水道網、水理・水文観測地点、行政界等については、線分の始端・終端等の座標にて表すベクタ

形式により、また標高や土地利用等の面的な情報については、メッシュの座標にて表すラスタ形式によりデータベース化している。

データベース利用システム部は、属性デー

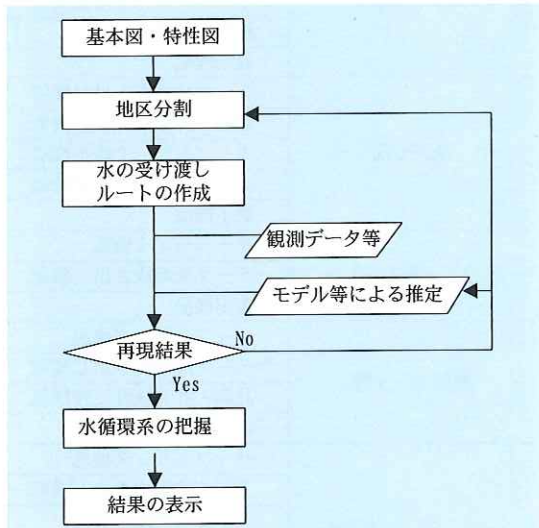


図-1 水資源関連表の作成フロー

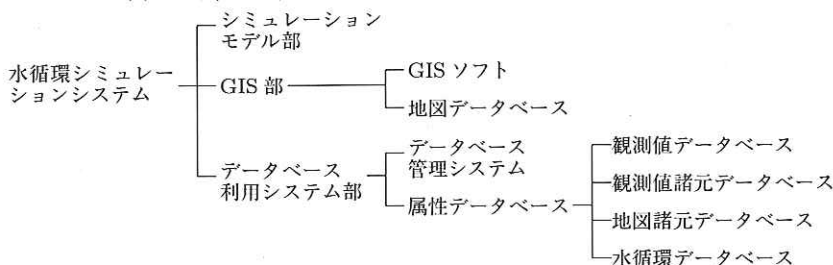


図-2 水循環シミュレーションシステムの構成

表-3 GIS の主要な機能

	機能	機能の説明
管理	データ入力	スキャナ、デジタイザ、マウス等による地図データの入力
	データ保存	地図データの保存
	データ変換	他のGISソフトで扱っている形式の地図データを変換する機能
	データの削除	地図データの削除
分析	バッファリング機能	点・線・面から一定距離の緩衝領域 (バッファ) を生成する機能
	オーバーレイ機能	複数のレイヤを重ねあわせる機能
	グリッド機能	グリッドデータ (格子状データ) 同士を重ねあわせる機能
	グリッド変換機能	ポリゴンデータ (多角形状データ)、グリッドデータ相互の変換
	データ検索抜き出し機能	データベース検索、地図の一部拡大、任意の形状による抜き出し
	計測・計算統計処理機能	点・線・面の計測、体積、統計量計算、属性間の加減乗除
	ポリゴン図面統一機能	図面接合 (継ぎ目の除去)
	ポリゴンデータ修正機能	線分の追加・除去・修正
	ポリゴンデータ変換機能	ポリゴンデータ、点データ相互の変換、点データから線・面データへの変換、面データのカテゴリー変換
	射影変換機能	縮尺変換、歪補正、射影変換、回転
表示	ネットワーク解析	最短経路解析
	表示機能	画面への表示、印刷、各種主題図の作成

文献⁴⁾ p.106の表を基に筆者が加筆修正

データベースとこれを管理・利用するデータベース管理システム (DBMS : Database Management System) より成る。属性データベースは、観測値、観測値諸元、地図諸元、水循環の各データベースにより構成される。このうち、観測値データベースは河川流量、降水量、上水道取水量等の水循環系の把握に必要な観測値データを管理するものである。また、観測値諸元データベースは、例えば、河川流量における観測地点の地点名、水系名、河川名及び管理者等の観測データの諸元を、地図諸元データベースは、例えば線データにおける、特性 (河川網を表す等)、データを得た地図精度 (縮尺) 等の地図データの諸元を管理するものである。

水循環データベースは、水資源関連要素間の水量のやりとり及び水量の決定根拠を表すデータを管理するもので、水資源関連表の形式をとる。

DBMS は、属性データベースの入・出力、データ更新等の管理、検索、並べ替え及び帳票等を実施している。なお、等高線の作成等、属性データベースを用いた空間的な分析・表示については、GIS ソフトから直接、属性データベースにアクセスできるようになっている。

以下では、図-1の水資源関連表作成フローにおいて、中心的な役割を果たすGISの利用方法及び水資源関連表そのものである水循環データベースの設計方法について報告する。

3. GIS の利用

GIS の主要な機能を表-3 に示す。GIS は、管

表-4 水資源関連表作成作業とGIS機能の関係

作業項目	GISの機能
基本図・特性図	オーバーレイ機能
	データ検索抜き出し機能
	計測・計算統計処理機能
	ポリゴン図面統一機能
	ポリゴンデータ修正機能
	射影変換機能
地区分割	表示機能
	データ検索抜き出し機能
	計測・計算統計処理機能
	ポリゴンデータ修正機能
	ポリゴンデータ変換機能
水の受け渡しルート	表示機能
	オーバーレイ機能
	データ検索抜き出し機能
観測データ等	表示機能
	バッファリング機能
	データ検索抜き出し機能
	計測・計算統計処理機能
モデル等による推定	表示機能
	バッファリング機能
	データ検索抜き出し機能
	グリッド機能
	グリッド変換機能
	計測・計算統計処理機能

理、分析、表示の各機能を有しており、水資源関連表作成フローにおいては、主として分析機能を駆使することになる。水資源関連表作成フローと、用いるGIS機能との関係を整理して表-4に示す。以下に作業項目毎に説明する。

流域全体の図面を作成するためには、縮尺や記

表-5 水の受け渡しルートの作成に必要な地図データ例

(1) 水の受け渡しルートの有無の判定を行うデータ

水資源関連要素	地図データ
河川	河道網(河川区域)
	湖沼・ダム貯水池
地下	標高等
上水道	導水・送水・配水網
	取水施設
	給水区域
	浄水施設
家庭	住居地域等
業務	商業地域等
工業	工業用水網
	取水施設
	排水施設
	工業地域等
	浄水施設
	廃水処理施設
農業	農業用水網
	取水施設
	排水施設
	水田
	畑等
下水道	分流式(污水管・雨水管)下水道網
	合流式下水道網
	排水施設
	集水区域
	下水処理施設
流域	森林・荒地・道路・建物等
ため池	ため池

(3) 地区間の水輸送の有無の判定を行うデータ

水資源関連要素	地図データ
河川	河道網(河川区域)
	湖沼・ダム貯水池
地下	標高等
上水道	導水・送水・配水網
工業	工業用水網
農業	農業用水網
	水田
下水道	分流式(污水管・雨水管)下水道網
	合流式下水道網
流域	森林等
ため池	ため池

(2) 地区内の重複の判定を行うデータ

地図データ	地図データ
河道網(河川区域)	標高等
	上水道取水施設
	工業用水取水施設
	工業用水排水施設
	農業用水取水施設
	農業用水排水施設
	下水道排水施設
標高等	湖沼・ダム貯水池
	上水道取水施設
	工業用水取水施設
	農業用水取水施設
	水田
	畑等
	森林・荒地等
給水区域	ため池
	住居地域等
	商業地域等
	工業地域等
集水区域	住居地域等
	商業地域等
	工業地域等
ため池	農業用水取水施設

(4) 貯留機能の判定を行うデータ

水資源関連要素	地図データ
河川	湖沼・ダム貯水池
地下	標高等
上水道	浄水施設
工業	浄水施設
	廃水処理施設
農業	水田
下水道	下水処理施設
流域	森林等
ため池	ため池

ための『オーバーレイ機能』や重ねあわせる基本図の精度差を補正する「射影変換機能」、特性図を表示する「表示機能」が用いられる。

地区分割作業では、分割線分をいれるため「ポリゴンデータ修正機能」を、また例えば行政区に付属する人口の属性データを配分・統合する必要があり、このため「データ検索抜き出し機能」、「計測・計算統計処理機能」及び「ポリゴンデータ変換機能」が用いられる。

水の受け渡しルートの作成においては、地区内における各水資源関連要素の有無を判定するとともに、例えば河川と上水道の取水施設が重複していれば、これを河川取水と判定する等、水資源関連要素間の接点の有無の判定を行う必要がある。また、地区間においては、地区をまたがる水資源関連要素の有無を判定する必要があり、「データ検索抜き出し機能」や「オーバーレイ機能」が用いられる。

載内容の異なる図面を接合する必要がある。このため、基本図の作成においては図面間のずれや不連続性を修正するため「射影変換機能」、「ポリゴン図面統一機能」及び「ポリゴンデータ修正機能」が必要になる。また、人口や農地面積等の分布図を作成する場合には、「データ検索抜き出し機能」や「計測・計算統計処理機能」が必要になる。特性図の作成では、基本図を重ねあわせる

ルート作成に必要な地図データの例を表-5に示す。表-5(1)は、水の受け渡しルートの有無を判定するために用いられるデータ例であり、河道網、取・排水地点、配水網・給水区域等が必要になる。住居地域、商業地域等は、用途別のルートを判定するために必要である。具体的なルートの有無は表-5(2)に示す。表-5(1)の各データの組合せが地図上で重複しているか否かにより判定される。また、表-5(3)は、地区間水輸送の判定の有無に必要なデータであり、地区間水輸送機能をもつデータを表している。住居等については、住居間での水輸送が無いということから省略される。表-5(4)の貯留機能は、ルートの作成とは直接関係しないが、ルートのもつ水循環の特性情報として必要になる。

GIS機能は、以上の基本図・特性図の作成から水の受け渡しルートの作成において主として用いられるが、この他にも観測データの呼び出し・引き出しや加工、降雨流出モデル等による推定においても用いられる。

4. 水循環データベースの設計

図-3に作成した水循環データベースのE-R図(Entity-Relationship図)を示す。本データベースは、水資源連関表における水資源連関要素のデータの集合を表す項目や単位をE-R図に従って相互に関係付けるリレーショナル形式により、構築されている。テーブルとして「時期」、「水資源連関要素」、「水資源連関表参照」等に整理しており、各テーブル間のデータのやりとりは、コード番号

を介して行われる。テーブルのうち「水資源連関表参照」は、水資源連関表の水量値が入るデータベースであり、図-1に示す作業の進展に伴って作成・更新されるものである。同様に「地区」のデータについても分割作業により設定されるものである。このように作業の進展により更新されないテーブルは、マスタテーブルと呼ばれ、図-3のE-R図では、「水資源連関要素」、「流出」、「流入」、「水量の性質」及び「単位」の各テーブルがマスタテーブルとなる。なお、「水量の性質」の意味はその値が観測値なのか、モデル等による推定値なのか、連立一次方程式の解なのかといったデータの属性である。また、「前時期」、「後時期」テーブルは、次期計算ステップの水量のもちこし(表-2参照)、言い換えると、ダム貯水池等の貯留機能を有する場合の貯留量を評価するために必要なテーブルであり、貯留が行われていない場合には「後時期」には「前時期」と同じ時期が入力され、貯留が行われる場合には次期計算ステップの時期が入力される。

先に「水資源連関表参照」等のテーブルについては作業の進展により更新されるとしたが、図-4に例として「水資源連関表参照」のデータ作成・更新状況と水資源連関表作成プロセスとの関係を示す。作成プロセスは、図-1を更に細分化して示しており、プロセス中に示したカッコの作業終了後の状態がデータ内容に示したカッコ番号と対応している。作業開始の段階では、データは何も入られていない((1)の段階)。データが入るのは、地区内の水の受け渡しルートが作成された後で

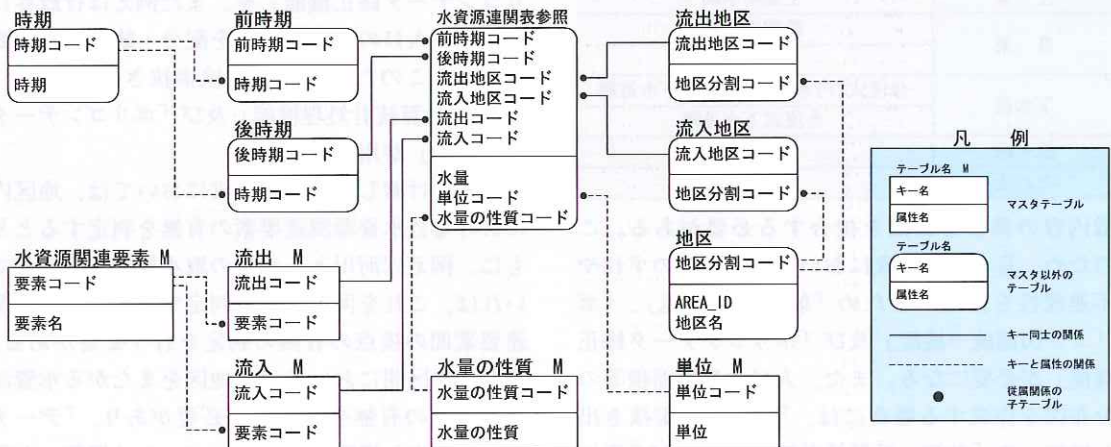


図-3 水循環データベースのE-R図

あり、地区間の水の受け渡しルート作成によりデータレコード数が更に拡大される((2)の段階)。この段階で前時期、流出・流入地区、流出・流入及び単位コードが設定される。また、地区内の貯留の有無が判定されることにより、後時期コードが設定される。次に水量の性質が入力され、観測値及び推定値の水量が代入される((3)の段階)。最後に連立一次方程式の解の部分の水量値が代入され((4)の段階)、水資源連関表作成のためのデータが全て揃えられる。

作成プロセス

- <準備>
 - ・データ整備
 - ・マスタテーブルの登録
 - ・計算期間の設定
 - ・計算時間間隔の設定
- <基本図・特性図の作成>.....(1)
- <地区分割>
 - <水の受け渡しルートの作成>
 - ・地区内における水資源関連要素の有無の判定
 - ・地区内の水の受け渡しルートの作成
 - ・地区間の水の受け渡しルートの作成
 - ・地区内における貯留の有無の判定.....(2)
 - <観測値・推定値の代入>
 - ・水量値の性質の選択
 - ・観測値・推定値の代入.....(3)
 - <水循環系の現状把握>
 - ・連立一次方程式の作成
 - ・解の算出
 - ・解の代入.....(4)
 - <結果の表示>
 - ・結果の表示

「水資源連関表参照」データの内容

前時期コード	後時期コード	流出地区コード	流入地区コード	流出コード	流入コード	水量	単位コード	水量の性質コード
--------	--------	---------	---------	-------	-------	----	-------	----------

(1) 空のデータ

前時期コード	後時期コード	流出地区コード	流入地区コード	流出コード	流入コード	水量	単位コード	水量の性質コード
2	2	3	3	1	2	0	2	4
2	2	3	3	1	6	0	2	4
2	2	3	3	1	11	0	2	4
2	2	3	3	1	1	0	2	4
2	2	3	4	1	1	0	2	4
2	2	3	3	2	1	0	2	4
2	2	3	3	2	6	0	2	4
2	2	3	3	2	2	0	2	4
2	2	3	3	2	2	0	2	4

(2) 水の受け渡しルート作成直後

前時期コード	後時期コード	流出地区コード	流入地区コード	流出コード	流入コード	水量	単位コード	水量の性質コード
2	2	3	3	1	2	146.016	2	2
2	2	3	3	1	6	5.548	2	1
2	2	3	3	1	11	6.815	2	2
2	2	3	3	1	1	0	2	4
2	2	3	4	1	1	1,067.904	2	1
2	2	3	3	2	1	2,788.127	2	2
2	2	3	3	2	6	139.624	2	1
2	2	3	3	2	2	0	2	4

(3) 観測値・推定値の代入直後

前時期コード	後時期コード	流出地区コード	流入地区コード	流出コード	流入コード	水量	単位コード	水量の性質コード
2	2	3	3	1	2	146.016	2	2
2	2	3	3	1	6	5.548	2	1
2	2	3	3	1	11	6.815	2	2
2	2	3	3	1	1	3,647.719	2	3
2	2	3	4	1	1	1,067.904	2	1
2	2	3	3	2	1	2,788.127	2	2
2	2	3	3	2	6	139.624	2	1
2	2	3	3	2	2	5,037.710	2	3
2	2	3	3	2	2	0	2	4

(4) 解の代入直後

図-4 データ作成・更新状況と水資源連関表作成プロセスとの関係

5. おわりに

以上のように、水資源連関表に基づいた水循環シミュレーションシステムのためのデータベースの設計について検討した。結果をまとめると以下のとおりである。

(1) 水資源連関表の

作成作業において、GIS機能が有効に活用できることが明らかになった。また、水の受け渡しルートの作成に必要な地図データが明確になった。

(2) リレーショナルデータベースの設計手法を

用いて水資源連関表を利用し易い構造に整理した。このことにより、例えば、農業用水取水量等の時系列グラフの作成などの各種データの利用が効果的に行うことができ、それが現象の理解につながると考えられる。また、蒸発散量や地下水涵養量等の観測値や推定方法の知見の蓄積に応じて計算精度や適用性の向上が容易に行うことができると考えられる。

筆者らは、本報文で紹介した手法を用いて、モデル流域を対象に水循環系の現状把握を検討中である。今後、何かの機会を発表したい。なお、

本報文では水量について紹介したが、水質についても項目を追加する形でデータベース化が可能であり、今後検討する予定である。

参考文献

- 1) 宮井貴大、角哲也、柏井条介：水資源管理におけるGISの活用に関する一考察、第5回水資源に関するシンポジウム、水資源シンポジウム委員会、pp.269-274, 1997.8
- 2) 宮井貴大、柏井条介：GISを用いた水の受け渡しルートの作成、第26回関東支部技術研究発表会、(社)土木学会、pp.220-221, 1999.3
- 3) 吉川勝秀、関正和、岩松幸雄：流域における水循環の把握と水資源の配分に関する研究(II)、土木研究所報告 第151号, 1978.11
- 4) 久保幸夫、巖網林：地理情報科学の新展開、日科技連, 1996.

宮井貴大*



建設省土木研究所ダム部
水工水資源研究室研究員
Takahiro MIYAI

柏井条介**



同 水工水資源研究室長
Jostuke KASHIWAI