降雨流出過程の逆推定法を利用した積雪・融雪機構のモデリング

○福島大学共生システム理工学類　学生員　吉田　　薫
福島大学共生システム理工学類　正会員　横尾　善之

1.　はじめに

本研究は，河川流量データを利用して流域内の雨水の貯留・流出機構を逆推定する手法を拡張した，積雪・融雪過程の逆推定法の開発を目的としている．

2.　方法

本研究は図 1 にある国土交通省の秋田県雄物川神宮寺観測所の集水域を対象とした．まず，成分分離 (Hino & Hasebe, 1984)と貯留量推定法 (千葉・横尾 2015)を利用した Yokoo *et al*. (2017)の手法でタンクモデルの構造，パラメータ，最上段に入力される有効降雨量を逆推定した．次に，逆推定した有効降雨が唯一の出力，降水量の観測値が唯一の入力となる雪のタンクモデルを作成した，降水量の観測値には，国土交通省の大曲観測所を選定した．なお，同観測地点の降雪・積雪記録を参考にしながら積雪開始日を指定し，それ以降の降水量は積雪タンクモデルに入力して，積雪深の水等量の経時変化を推定できるモデルを作成した．

2.1.　フィルター分離法

Hino and Hasebe (1984)が提案した手法では，まず流出高データを片対数プロットし，流出高の逓減部から傾きの異なる複数の逓減部を特定した．次に，この逓減部に指数関数をあてはめて求めた逓減係数の逆数である時定数 T_C を利用して数値フィルターを作成して，時間流量のハイドログラフを成分分離した．

2.2.　貯留量推定

Kirchner (2009)の貯留量推定法を拡張した千葉・横尾 (2015)の手法にしたがって推定した．まず毎時の河川流量データの逓減部を対象に，流量減少量と流量の関係を調べた．次に，両者の関係に比例関係を仮定し，その傾きを求めた．この傾きを利用することで，流量減少量と流量の関係を導くことができる．さらに，流量減少量と流量の関係式を積分することで，流域スケールの雨水貯留量と流量の関係式が導かれる．

2.3.　タンクモデル

タンクモデルは Yokoo et al. (2017)の手法で構築した．具体的にはまず，フィルター分離法で特定した流出高の成分数がタンクモデルのタンクの数(i)に等しいと仮定し，タンクモデルのパラメータを下のタンクから順に決定した．最下段のタンクの流出孔はタンクの下端に位置すると仮定するため，このタンクの流出係数は流量減少量と流量の関係で求めた傾きの値に相当する．タンク内の貯留量は流量から一意に決まるため，水収支式から最下段のタンクへの流入量 p_{i-1}^nが次式で求まる．

$$p_{i-1}^n = (s_i^{n+1} - s_{0,i}) - (s_i^n - s_{0,i}) + q_i^n \qquad (1)$$

下から 2 番目のタンクも貯留量 $s_i^n - s_{0,i}$ ，流出高 q_i^n，浸透高p_i^nが求まっているため，次の水収支式からこのタンクへの流入高p_{i-1}^nが求まる．

$$p_{i-1}^n = (s_i^{n+1} - s_{0,i}) - (s_i^n - s_{0,i}) + q_i^n + p_i^n \qquad (2)$$

最上段のタンクの場合はタンクへの入力が有効降雨pe^{n+1}になり，これは次式で求まる．

$$pe^{n+1} = (s_i^{n+1} - s_{0,i}) - (s_i^n - s_{0,i}) + q_i^n + p_i^n \qquad (3)$$

浸透高p_i^nと貯留高 $S_i - S_{0,i}$ の散布図とその線形回帰式を作成することで，傾きとしてb_i，切片として$-S_{0,i}$を求めることができる．ここで積分定数$s_{0,i}$の値は正と負の両方の場合があるが，積分定数$s_{0,i}$が正の場合，タンクに溜まる貯留量はSとなる．一方負の場合，貯留量は$S - S_0$となる．

キーワード：成分分離，貯留量，タンクモデル
連絡先：福島大学理工学群共生システム理工学類　960-1296 福島市金谷川 1　TEL 024-548-5241

3. 結果

図 2 と図 3 はそれぞれ 2009 年における秋田県雄物川神宮寺観測所の成分分離と貯留量推定の結果である．両図から，貯留高の変動は流出高の変動に比べて滑らかになることが読み取れる．

図 4 は積雪モデル内の積雪水等量の経時変化である．この図から，2009 年に関しては 3 月 20 日までは雪が積雪タンクにたまり，それ以降は積雪タンクの水等量がゼロになることが分かる．

以上の積雪・融雪機構のモデリングにより，単純な水収支モデルで積雪・融雪過程を表現することができた．モデルによる推定精度の確認は必要ではあるが，積雪域においても河川流量データから流域内の降雨流出機構に加えて積雪・融雪過程も逆推定する方法論を確立することができた．

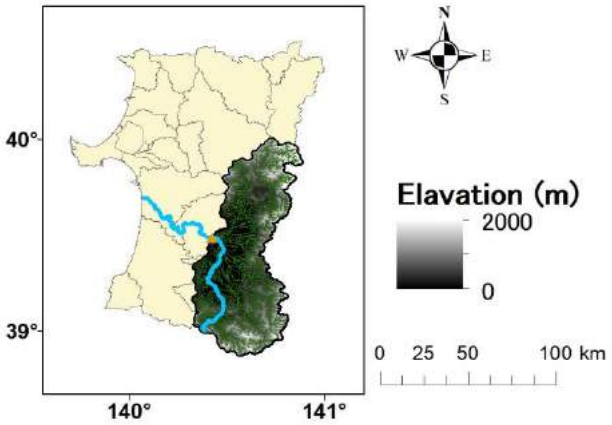

図 1　対象流域図

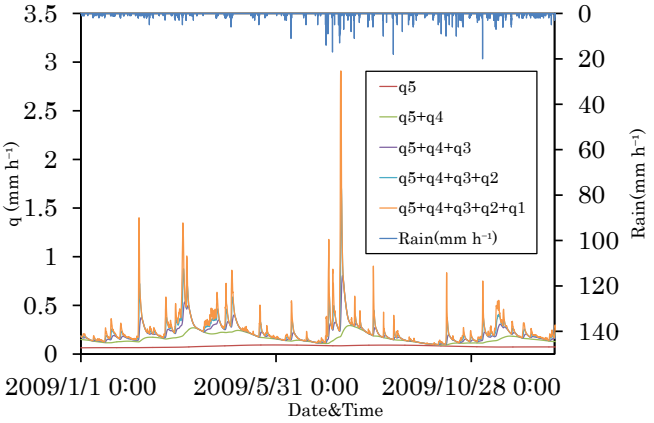

図 2　秋田県雄物川神宮寺観測所フィルター分離結果

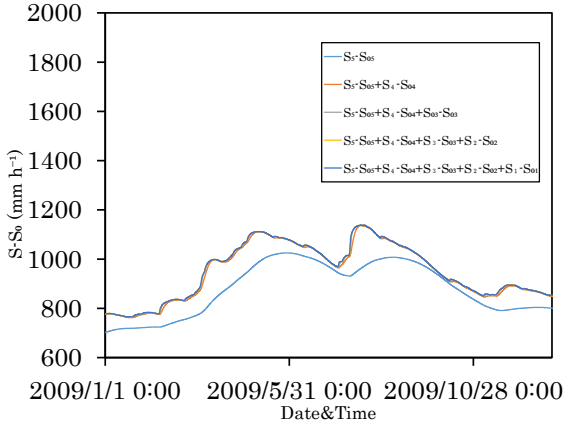

図 3　秋田県雄物川神宮寺観測所貯留量推定結果

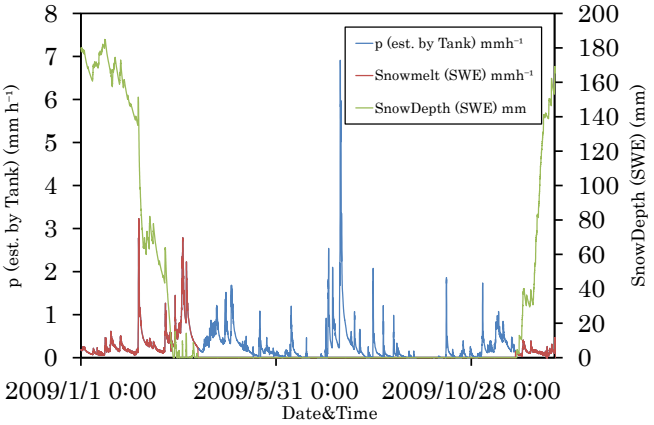

図 4　秋田県雄物川神宮寺観測所融雪タンク追加図

謝辞

本研究は，JSPS 科研費 JP16K0650100，JP16K0650100 の助成を受けたものである．

参考文献

千葉宇彦，横尾善之(2015) 流域スケールの雨水貯留量推定法の理論的修正とその効果，土木学会論文集 B1（水工学），71(4), I_289-I_294.

Hino, M., Hasebe, M. (1984) Identification and prediction of nonlinear hydrologic systems by the filter-separation autoregressive (AR) method: Extension to hourly hydrologic data, *Journal of Hydrology*, 68, 181-210. DOI: 10.1016/0022-1694(84)90211-7.

Kirchner, J. W. (2009) Catchments as simple dynamical systems: Catchment characterization, rainfall-modeling, and doing hydrology backward, *Water Resource Research*, 45, W02429, DOI: 29/2008WR006912.

Yokoo, Y., Chiba, T., Shikano, Y., Leong, C. (2017) Identifying dominant runoff mechanisms and their lumped modeling: a data-based modeling approach, *Hydrological Research Letters*, 11, 128-133. DOI: 10.3178/hrl.11.128.