

水文データの時間分解能が流出解析に与える影響

長岡技術科学大学 非会員 小出 大暉
長岡技術科学大学 正会員 陸 旻皎

1. はじめに

本研究では、降雨流出現象がどの程度の時間スケールで変動するのかを把握し、流出解析に用いる水文データを時間的に簡略化が可能か調べる。

新安江モデルを使用し、過去の洪水事例に対し時間単位、日単位等、複数の時間分解能の水文データを用いてそれぞれ流出解析を行っていく。

2. 対象流域・解析期間

本研究では、土器川常包橋地点上流 (90.7 km²) を対象流域とした。図 1 に土器川流域と本研究で使用する水文観測所の位置を示す。土器川は香川県の一級河川であり、幹線流路延長は 33km、流域面積は 140km² である。解析期間は 1978 年から 2005 年までの 28 年間とした。解析期間の内、1978 年 1 月 1 日～1992 年 12 月 31 日をパラメータの同定期間、1993 年 1 月 1 日～2005 年 12 月 31 日を検証期間とした。使用する水文・気象データの時間分解能は 1,2,3,4,8,12,24 時間とする。

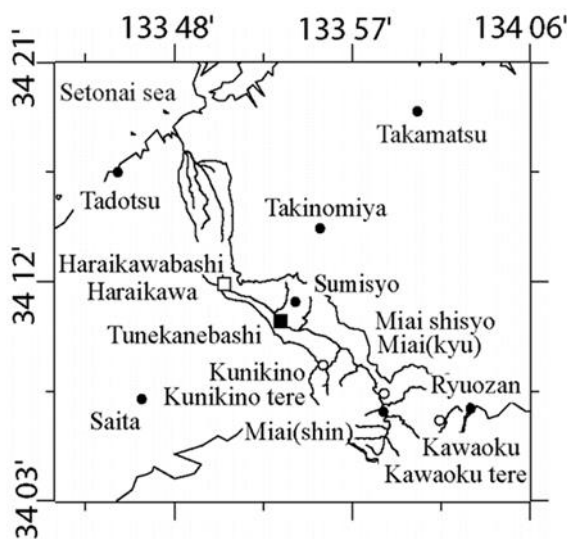


図 1 土器川流域図

3. 使用データ

新安江モデルに必要な入力データは、降水量及び蒸発散量である。降水量データは香川県内の 5 地点の AMeDAS と流域内の国土交通省河川局が運用している 9 地点のデータを用いた。流域平均雨量はティーセン法により推定した。

蒸発能の推定は、Priestley-Taylor 法 (Priestley and Taylor, 1972) を用いた。Priestley-Taylor 法の推定に必要なデータは気温及び純放射量である。気温は AMeDAS 滝宮地点、純放射量は全日射量で近似し、滝宮地点の日照時間から島崎 (1996) の方法を用い推定した。

モデル計算流量と比較するための検証用データとして、常包橋地点の流量データを用いた。なお、欠測データは前後の正常なデータを用いて補完した。

4. 使用モデル

新安江モデルは、中国で広く使われている手法であり、実蒸発散量を推定でき、流出量の評価に優れている。本研究では、流出モデル 3 成分の新安江モデルを適用している。3 成分の新安江モデルは、不浸透域を除く流出発生域内 F_R において、表面流出量 R_s 、中間流出量 R_i 、地下水流出量 R_g の 3 成分に分離させて、中間水、地下水涵養の効果を考慮している。式 (1) から式 (4) はそれぞれの流出量を出している。式 (5) から (7) はそれぞれ線形貯水池関数法を説くことによって河道に流入する q_s, q_i, q_g が得られる。

$$R = R_s + q_i + q_g \quad (1)$$

$$R_i = SK_i F_R \quad (2)$$

$$R_s = P_r F_{ipm} + q_s \quad (3)$$

$$R_g = SK_g F_R \quad (4)$$

$$q_s(t) = q_s(t - \Delta t)C_s + R_s(t)(1 - C_s) \quad (5)$$

$$q_g(t) = q_g(t - \Delta t)C_g + R_g(t)(1 - C_g) \quad (6)$$

$$q_i(t) = q_i(t - \Delta t)C_i + R_i(t)(1 - C_i) \quad (7)$$

ここで、 P_r は降雨量、 F_{ipm} は不浸透域面積率、 S は自由水平均貯水量、 K_i は中間流出、 K_g は地下水流出の各分離パラメータ、 C_s, C_i, C_g は表面流出、中間流出、地下水流出の各線形貯水池パラメータである。 R_s を線形貯水池に通じている。

表 1 新安江モデルの入出力・予報変数

入力変数	正味降水量 蒸発能
出力変数	蒸発散量 流出量
予報変数	土壌水分量 ($W_u \cdot W_l, W_d$)

5. 評価指標

水収支誤差の評価指標として、Nash-Sutcliffe 係数 (1970) (以下、NS) を用いた。NS の式は以下の通りである。

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (Q_{o(i)} - Q_{c(i)})^2}{\sum_{i=1}^{i=n} (Q_{o(i)} - \bar{Q}_o)^2}$$

ここで、 Q_c は計算流量、 Q_o は実測流量、 \bar{Q}_o は平均実測流量である。NS は 1 に近づくほど、ハイドログラフの再現性が高く、 $NS \geq 0.7$ でモデルの再現性が良好とされる。

また、洪水毎に計算ピーク流量及び実測ピーク流量を比較し検討するため、ピーク流量の相対誤差 RE を以下の式により求める。

$$RE = \frac{QPC - QP0}{QP0}$$

ここで、QPC: 計算ピーク流量、QP0: 実測ピーク流量である。

6. パラメータ同定

1 時間スケールの同定期間のデータを用いてパラメータ同定を行った。表 2 にパラメータの同定結果を示す。

新安江モデルの解析に必要なパラメータは 15 個である。それぞれのパラメータの感度は時間スケールによって違い、年スケールで敏感なパラメータ (グループ 1)、日スケールで敏感なパラメータ (グループ 2)、グループ 1 が固定されているとき、年スケールで効きやすいパラメータ (グループ 3) の 3

グループに大別される。そのため、年スケールで敏感なパラメータを年スケールでの水収支誤差が小さくなるように設定し、次に日スケールでの水収支誤差が小さくなるように同定を行った。

表 2 パラメーター一覧及び設定値

グループ1		
Cp	降雨量補正係数	1
Cep	蒸発能補正係数	0.46445
グループ2		
b	点貯水容量の形状パラメータ	0.3
imp	不浸透域面積率	0.01
WM	流域平均最大点貯水容量	90
WUM	上層の最大土壌水分量	20
WLM	下層の最大土壌水分量	60
C	深層の蒸発効率	0.1
グループ3		
SM	重力貯水容量	30
EX	自由点貯水容量の分布関数の形状パラメータ	0.5
KI	中間流出分離パラメータ	0.4
KG	地下水流出分離パラメータ	0.3
cs	表面流出減水係数パラメータ	0.01
ci	中間流出減水係数パラメータ	0.7
cg	地下水流出減水係数パラメータ	0.99

7. 1 時間スケールでの解析結果

表 2 の同定期間より同定したパラメータを用いて、検証期間及び解析期間全体で計算を行った。結果を表 3 に示す。NS が検証期間及び解析期間全体でも良好な結果を示していることから、土器川常包橋地点上流において解析期間全体で流域の状態が一樣であると考えられる。

解析期間全体のハイドログラフを図 2 に示す。また、同定期間及び検証期間でそれぞれ実測ピーク流量の高かった 5 洪水を選定し、NS とピーク流量の相対誤差 RE を算出した。洪水イベント毎の評価を表 4 に示す。図 2 及び表 4 の RE が 1989/9/19 の洪水を除いてすべて負の値であることから、規模の大きな洪水時に NS を過小評価する傾向が確認された。図 2 ハイドログラフ (全体、時間スケール: 1h)

表 3 各期間での NS (時間スケール:1h)

	同定期間 1978-1992	検証期間 1992-2005	全体 1978-2005
NS	0.857	0.880	0.869

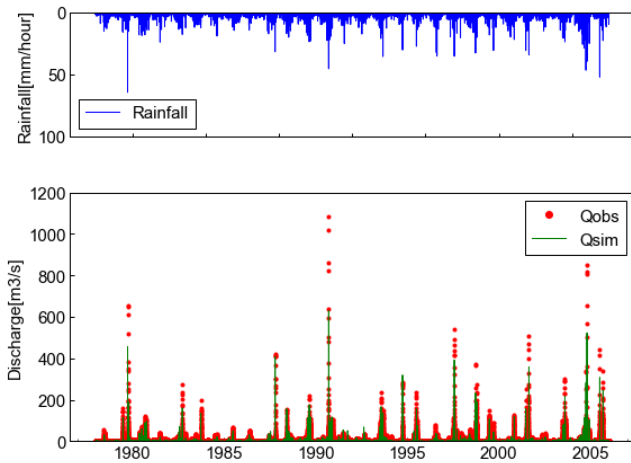


図 2 ハイドログラフ (全体,時間スケール : 1h)

表 4 主要洪水の NS 及びピーク流量の相対誤差 RE (時間スケール : 1h)

洪水	NS	ピーク流量の相対誤差 RE
1979/9/30	0.85	-0.30
1983/9/28	0.96	-0.32
1987/10/16	0.91	-0.03
1989/9/19	0.88	0.07
1990/9/19	0.88	-0.42
1994/9/29	0.9	-0.27
1997/7/26	0.95	-0.3
2001/8/21	0.95	-0.29
2004/10/20	0.83	-0.38
2005/9/6	0.95	-0.27

8. 各時間スケールでの解析結果

表 2 のパラメータを用いて時間分解能 1,2,3,4,8,12,24 時間の全期間のデータに対して流出解析を行った。時間スケール 2 時間以上のデータにおいて境界となる時刻を 1 時間ずつずらし、それぞれのケースの NS の平均及び標準偏差を算出した。結果をに示す。時間分解能が粗いほど NS が低くなる結果となっている。時間スケールが 8h 以上の

データでは、NS が 0.7 を下回り、降雨流出現象を再現することが難しくなっていることが分かる

粗い時間分解能のデータによる解析結果の一例として、時間スケール 24h のハイドログラフを図 3 に示す。また、時間スケール 24h での解析による洪水イベント毎の評価を表 6 に示す。表 6 を見ると、時間スケール 1h の解析と比べ NS が低く、再現性が低い傾向となっており、特に 2004/10/20 の洪水では、時間スケール 1h での解析では、NS が 0.83 と良好な結果を示しているのに対し、時間スケール 24h では、NS が -2.17 と著しく再現性の悪い結果となった。図 4 に 2004/10/20 の洪水の時間スケール 1h のハイドログラフを、図 5 に同洪水の時間スケール 24h のハイドログラフを示す。1 時間スケールでは NS が 0.83 と良好に再現できているが、日スケールでは NS が -2.17 が著しく低い結果を示している。これは、粗い時間スケールのデータでは、降水量が時間的に平準化されてしまうため、2004 年 10 月 20 日のような数時間程の豪雨を正しく再現できないことが理由であると考えられる。

9. 結論

- 長期の流出解析では、洪水時のピークを正確に評価することが難しかった。
- さまざまな時間スケールでの解析により、土器川上流域 (90.7 km²) の規模では、水文データを 6 時間程度までは簡略化できる可能性を確認できた。
- 時間分解能の粗いデータでは、降水量が時間的に平準化されてしまうため、特に規模の大きな洪水の際に再現性が著しく悪くなる可能性がある。

10. 今後の展望

- 規模の違う流域や地域特性の違う流域において水文データの時間分解能がどのように影響するかを確認する。
- 15 個のパラメータの同定手順を作業フローとして確立する。

表 5 各時間スケールの NS

時間スケール (h)	NS	標準偏差
1	0.869	0.000
2	0.886	0.000
3	0.867	0.002
4	0.833	0.006
6	0.759	0.022
8	0.688	0.024
12	0.483	0.227
24	0.518	0.232

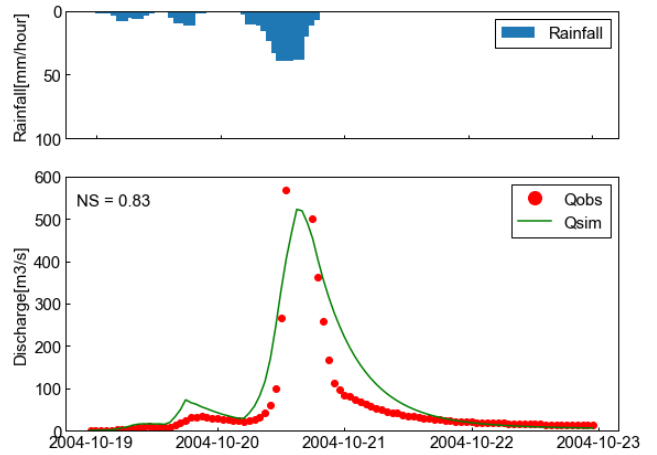


図 4 2004 年 10 月の洪水 (時間スケール : 1h)

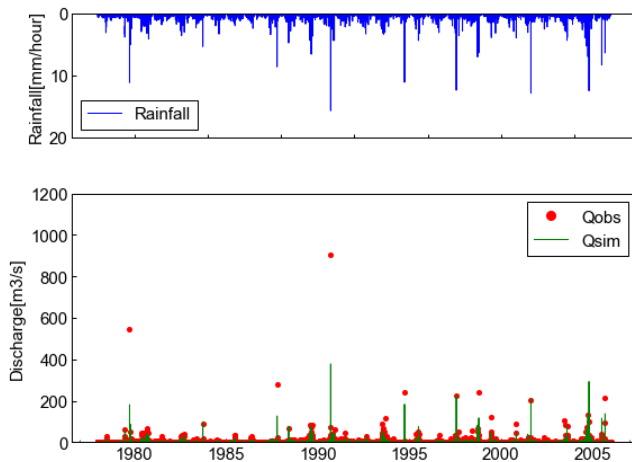


図 3 ハイドログラフ (全体,時間スケール : 24h)

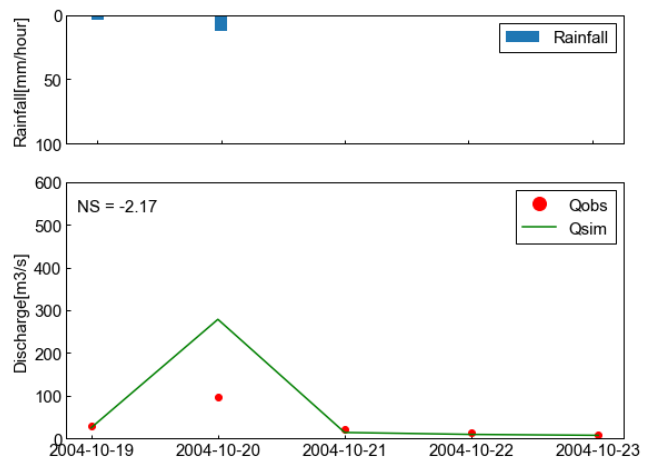


図 5 2004 年 10 月の洪水 (時間スケール : 24h)

表 6 洪水イベント毎の NS 及びピーク流量の相対誤差 RE (時間スケール : 24h)

洪水	NS	ピーク流量の相対誤差 RE
1979/9/30	0.55	-0.60
1983/9/28	0.98	0.43
1987/10/16	0.63	-0.42
1989/9/19	0.72	-0.17
1990/9/19	0.66	-0.56
1994/9/29	0.94	0.16
1997/7/26	0.99	-0.36
2001/8/21	0.99	0.21
2004/10/20	-2.17	2.1
2005/9/6	0.86	-0.27

参考文献

- 1) 山本隆広・陸旻皎 連続流出シミュレーションが可能な貯留関数の開発と評価-有効降雨計算を 2 成分,3 成分新安江モデルに置き換えた場合の比較-,水文学資源学会 2009 年度研究発表会要旨集,pp104-105,2009
- 2) 坂本朝子 流出モデルのダム管理への活利用について,長岡技術科学大学修士論文,2011
- 3) 谷口梨恵 中小河川洪水予測のデータインフラに関する基礎的な検討,長岡技術科学大学修士論文,2013
- 4) Minjiao Lu · Xiao Li Time scale dependent sensitivities of the XinAnJiang model parameters, Hydrological Research Letters 8 (1), pp51-56,2014