

多目的計画法による IE-Model 定数の同定とモデル評価 Optimization and Evaluation of IE-Model Using Multi-objective Programming

竹下伸一*, 三野徹*

TAKESHITASHinichi, MITSUNO Toru

1.はじめに 筆者らは Horton 型浸入能方程式および蒸発散サブモデルを導入した Fig.1 に示す長期間流出モデル(IE-Model)を開発し, 愛媛県の 2 流域に適用してモデルの有用性を確認した¹⁾²⁾. さらに適用例を増やし, 流域の大きさ, 地質, 土地被覆条件等とモデル定数の対応関係を明らかにする必要があるため, 新たに 2カ所の小試験流域にモデルを適用した.

一般に流出モデル定数の最適同定に際して, 複数の誤差評価関数が競合関係にある場合, 完全最適解は存在しない. そこで本研究では多目的計画法により複数の目的関数に対するパレート最適解を求め, 得られた一連のモデルパラメータを基にモデルの適用性を検討した.

2.対象流域 Fig.2 に示したように, 対象とする試験流域は奈良県中央部に位置する五條山林流域, および京都市北部に位置する上賀茂試験流域の 2 流域である. 五條流域は, 面積 12.82ha, マツを主とする混交林となっており, 三波川変成岩を基盤としている. 上賀茂流域は, 面積約 4.4ha, アカマツ, ヒノキ, 広葉樹が混交し, 母岩は古生層に粘板岩が混じった構造となっている.

解析資料には, 各流域において観測された雨量・流出量, および Makkink 式より求めた可能蒸発量を用い, 1996~1997 年の 2 年間を同定期間, 1998~2000 年の 3 年間を検証期間とした.

3.モデル定数の同定 IE-Model には 20 個の定数が存在するが, ここでは遮断モデル定数, 最下段タンク流出孔等を除く 13 個の定数を同定する. ここでは田中丸ら³⁾によって trade-off 関係が示された低水部の誤差を重視した(1)式(相対誤差の平均 2 乗平方根)と, 高水部の誤差を重視した(2)式(平均 2 乗誤差平方根)を目的関数として採用し, Yapo ら⁴⁾の MOCOM-UA 法を用いてパレート最適解を求めた.

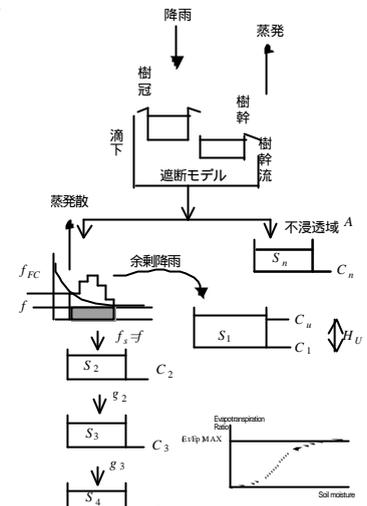


Fig.1 Structure of the IE-Model

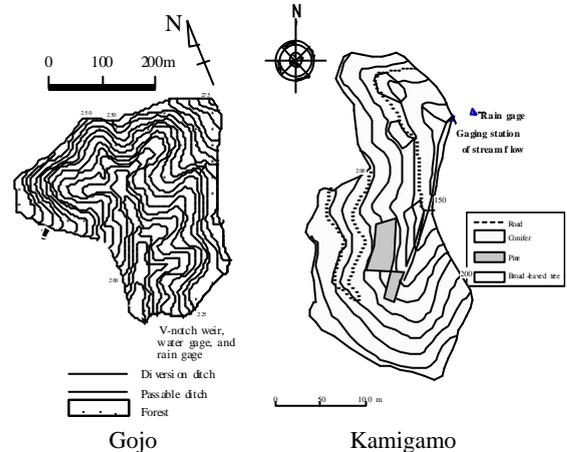


Fig.2 Outline of experimental catchment

$$RR = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(Q_{ci} - Q_{oi})^2}{Q_{oi}^2}} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{ci} - Q_{oi})^2} \quad (2)$$

*京都大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University

Keyword 流出モデル, パレート最適解, 最適同定, IE-Model

4.パレート最適解によるモデル評価 Fig.3 には、得られた結果の一例として上賀茂流域における RR と RMSE の競合関係を示した。得られた 76 個のパレート最適解に対する 1997~1998 年のハイドログラフを Fig.4 に示した。また Fig.5 には 1998 年夏季について、RR の低い解および RMSE の低い解に対する計算ハイドログラフを示した。これらを見ると大きなピーク流出の再現性はいずれの解でも良好であるが、比較的小さなピーク流出については、RMSE の低い解ほどよく再現できている。一方、降雨終了後の流出量については、RR の低い解ほどよく現象を再現できている傾向にある。しかし、いずれの解によっても長期の流出遞減部の再現性が悪い。これは、主に第 4 段流出係数を固定したことによる影響と考えられるが、低水部を再現するためにタンクをさらに 1 段追加するなど下部構造の改善の余地を示唆するものであるといえる。

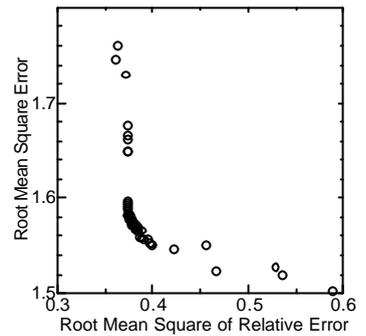


Fig.3 Pareto Solutions obtained with MOCOM-UA method

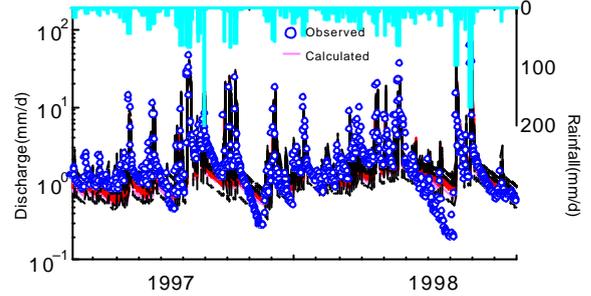


Fig.4 Hydrograph for pareto solution (kamigamo, 1997~1998)

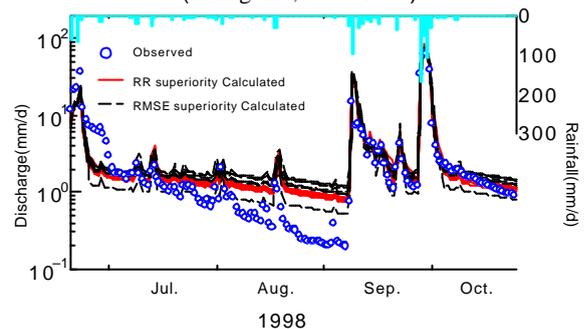


Fig.5 Comparison of simulated daily runoff for each superiority pareto solution

Table 1 には、各流域について、それぞれの目的関数値の最も低い解におけるモデル定数と、その目的関数値を示した。モデル定数について考察すると、いずれの目的関数においても浸透能、蒸発散モデルに関する定数が、レンジを考慮しても流域間で異なっており、流域特性、とくに表層土壌の保水特性の違いを反映していると考えられる。目的関数値については、同じ構造を持つモデルであっても、五條流域では、上賀茂流域と比べて高水部 (RMSE) がよく表せる一方で、低水部 (RR) を再現しにくい傾向にあり、直接流出よりも基底流出の発生機構がより複雑であることを示しているといえ、今後流域のもつ流出特性をより柔軟に表せるようモデルの構造を十分検討・改善していく必要があるといえる。

今後流出モデル定数の提案に際しては、本研究のようにレンジを持たせ、利用目的に応じて柔軟に定数を決定していくことが必要である。

参考文献: 1) 竹下ら (2001) 農土論集 121, pp.71-77, 2) 竹下ら (2000) 農土学会講演集, pp.284-285, 3) 田中丸ら (2001) 農土学会講演集, pp.126-127, 4) Yapo, P.O. et al. (1998) J. Hydrol., 204, pp.83-97

Table 1 Comparisons of model parameter values and validation results of two catchment

	Gojo		Kamigamo	
	RR	RMSE	RR	RMSE
遮断モデルパラメータ				
樹冠部貯留深 (mm) * ST	2.17		0.76	
樹幹部貯留深 (mm) * SS	0.77		0.32	
滴下率 * IT	0.78		0.74	
流下率 * IS	0.08		0.07	
蒸発散サブモデルパラメータ				
蒸発散比上限値 * PET	1.20	1.20	1.20	1.20
曲線係数 * k	9.69	9.76	3.38	3.65
不浸透域に関するパラメータ				
不浸透域面積割合 * A	0.01	0.01	0.02	0.02
不浸透域の流出係数 * Cn	0.2302	0.1468	0.1653	0.2170
浸透能に関するパラメータ				
最終浸透能 (mm/h) * f	1.10	2.36	0.68	0.42
減衰係数 (1/h)	2.05	1.92	1.67	1.10
圃場容水量に対応する				
浸透能 (mm/h) * fC	29.90	29.36	31.42	41.61
最大保水量 (mm) * SM _L	20.23	16.87	22.74	38.64
各タンクの流出係数				
第1段 上部流出孔 (1/h) * Cn	0.2302	0.1468	0.1653	0.2170
高さ (mm) * Hn	38.57	18.10	70.44	49.30
下部流出孔 (1/h) * C1	0.0569	0.0790	0.0307	0.0672
流出係数 (1/h) * C2	0.0296	0.0315	0.0306	0.0403
第2段 流出係数 (1/h) * C3	0.0040	0.0093	0.0034	0.0048
第3段 流出係数 (1/h) * C4	0.00045	0.00045	0.00060	0.00060
各タンクからの浸透強度				
第2段 (mm/h) * G2	0.1932	0.3711	0.3994	0.2752
第3段 (mm/h) * G3	0.0135	0.0237	0.1386	0.0446
目的関数値	0.5259	0.7297	0.3787	1.4510

表中、*は固定パラメータ