



流出計算ソルバー

S R M

(Storage Routing Model)

マニュアル

Release Date: 2014.7.10

Copyright 2014 iRIC Project All Right Reserved.

目次

1. 概要	1
1.1. SRM (Storage Routing Model) とは.....	1
1.2. 1 段タンク型貯留関数モデル, 2 段タンク型貯留関数モデルの特徴	1
2. 流出モデルの基礎式.....	2
2.1. 1 段タンク型貯留関数モデル (損失項を含む貯留関数法)	2
2.2. 2 段タンク型貯留関数モデル.....	3
2.3. 北海道内の流出モデル定数.....	4
3. 計算条件	5
4. 入力データ	8
5. ソルバーコンソールへの出力内容	10

1. 概要

1.1. SRM (Storage Routing Model) とは

SRM は、貯留関数モデルを用いた流出計算用ソルバーです。本ソルバーは、2種類の貯留関数モデル — 1段タンク型貯留関数モデル、2段タンク型貯留関数モデル — を採用し、雨量から流量を計算する機能、また、貯留関数モデルのモデル定数を同定する機能を搭載しております。iRIC の GUI を介して、雨量データ（もしくは、雨量および流量データ）を本ソルバーに与えれば、洪水ハイドログラフを計算することができます。

1.2. 1段タンク型貯留関数モデル、2段タンク型貯留関数モデルの特徴

本モデルは北海道河川防災研究センター（現 北海道河川財団）元研究所長、北海道開発局開発土木研究所（現（独）土木研究所 寒地土木研究所）元所長 星 清 博士により開発されたものです。星博士の開発した1段タンク型貯留関数モデル・2段タンク型貯留関数モデルは、有効雨量を必要とせず、観測雨量をそのまま使えるといった特徴があります¹。この特徴は、流出計算の前処理として必要とされていた基底流量の分離作業や流出率を決めるといった作業を不要にします。本モデルを用いれば、前処理をせず、観測雨量をそのまま流出モデルに入力するだけでハイドログラフを計算することができます。なお、本モデルは1時間間隔のデータに基づいて計算がおこなわれる集中型のモデルです。

本モデルは、国土交通省北海道開発局の洪水予測システムに搭載されるなど、豊富な実績をもつ流出モデルです。また、このモデルを用いた PUB (Prediction in Ungauged Basin) 研究も進められ、北海道の河川に対する代表的なモデル定数が求められています。この成果は書籍として公表^{2, 3}されており、流出計算を行う際のモデル定数の設定に有益な情報を与えます。

なお、適当な雨量データと流量データが与えられれば、本ソルバーを用いて流出計算を行うことにより、世界中のどの流域に対しても適切なモデル定数を求めることができます。ただし、総流量（出力）より総雨量（入力）が少ない場合、適切なモデル定数が得られない点にご注意ください。また、本モデルは適用された実績のある流域の面積は最大で1,000km²から2,000km²です。

流量データの無い流域に対するモデル定数の設定は今後の課題であり、新たな知見が得られるのに合わせて、ソルバーの改良やマニュアルの改訂を進める予定です。

¹ 〔監修〕国土交通省・北海道開発局建設部河川管理課，〔編集・発行〕（財）北海道河川防災研究センター・研究所：「実時間洪水予測システム理論」解説書，396p.，2004. URL<<http://www.ric.or.jp/profile/works/pdf/rironkaisetu.pdf>>

² 〔監修〕国土交通省・北海道開発局建設部河川計画課，〔編集・発行〕（財）北海道河川防災研究センター・研究所：単一流域を対象とした貯留関数法の精度比較，198p.，2002. URL<<http://www.ric.or.jp/profile/works/pdf/index.html>>

³ （財）北海道河川防災研究センター・研究所：実践流出解析ゼミ，2006. URL<<http://www.ric.or.jp/profile/works/pdf/text.pdf>><<http://www.ric.or.jp/profile/works/pdf/QandA.pdf>>

2. 流出モデルの基礎式⁴

本ソルバーで採用したモデルの基礎式を以下に記述します。なお、数値計算法、ならびに、モデル定数の最適化手法の詳細は、注釈に示した成書⁴をご参照ください。

2.1. 1段タンク型貯留関数モデル（損失項を含む貯留関数法）

1段タンク型貯留関数モデルの基礎式は次式で与えられます。

$$\begin{cases} \frac{ds}{dt} = r - q - b + q_0 \\ s = k_{11}q^{p_1} + k_{12} \frac{d}{dt}(q^{p_2}) \\ b = k_{13}q \\ q_0 = q_B \exp(-\lambda t) \end{cases} \quad (1)$$

ただし、

$$\begin{cases} k_{11} = c_1 A^{0.24} \\ k_{12} = c_2 k_{11}^2 (\bar{r})^{-0.2648} \\ k_{13} = c_3 - 1 \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 s ：貯留高（mm）、 r ：観測雨量（mm/h）、 q ：観測流出高（mm/h）、 b ：損失高（mm/h）、 q_0 ：基底流出高（mm/h）、 q_B ：初期流出高（mm/h）、 k_{11} 、 k_{12} ：貯留係数、 k_{13} ：損失係数、 p_1 、 p_2 ：貯留指数、 λ ：減衰係数、 A ：流域面積（km²）、 \bar{r} ：平均雨量強度（mm/h）、 c_1 、 c_2 、 c_3 ：モデル定数。

なお、貯留係数 p_1 、 p_2 は、表面流が卓越する比較的大きな洪水を解析対象とする場合、マニング則を想定すると $p_1=0.6$ 、 $p_2=0.4648$ に近似できます。また、減衰係数 λ は、北海道内で発生した650例の洪水を解析した結果 $\lambda=0.019$ が得られおり、本ソルバーにおいては、この値をデフォルト値としています。

⁴（財）北海道河川防災研究センター・研究所：実践流出解析ゼミ，2006。URL<<http://www.ric.or.jp/profile/works/pdf/text.pdf>><<http://www.ric.or.jp/profile/works/pdf/QandA.pdf>>

2.2. 2 段タンク型貯留関数モデル

2 段タンク型貯留関数モデルの基礎式は次のように与えられます.

$$\text{表面・中間流出成分：} \begin{cases} s_1 = k_{11}q_1^{p_1} + k_{12} \frac{d}{dt}(q_1^{p_2}) \\ \frac{ds_1}{dt} = r - q_1 - b \\ b = k_{13}q_1 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{地下水流出成分：} \begin{cases} s_2 = k_{21}q_2 + k_{12} \frac{dq_2}{dt} \\ \frac{ds_2}{dt} = b - q_2 \end{cases} \quad (4)$$

ただし,

$$\begin{cases} k_{11} = c_1 A^{0.24} \\ k_{12} = c_2 k_{11}^2 (\bar{r})^{-0.2648} \\ k_{13} = c_3 - 1 \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} k_{21} = (c_3 - 1) \frac{c_{01}}{c_{00}} \\ k_{22} = \frac{c_3 - 1}{c_{00}} \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} c_{00} = \left(\frac{\delta}{T_c}\right)^2 \\ c_{01} = \frac{\delta^2}{T_c} \end{cases} \quad (7)$$

ここで, s_1 : 1 段目タンク貯留高 (mm), s_2 : 2 段目タンク貯留高 (mm), r : 観測雨量 (mm/h), q_1 : 表面・中間流出高 (mm/h), q_2 : 地下水流出高 (mm/h), b : 1 段目タンクから 2 段目タンクへの浸透供給量 (mm/h), k_{11} , k_{12} , k_{21} , k_{22} : 貯留係数, k_{13} : 浸透係数, p_1 , p_2 : 貯留指数, T_c : 地下水流出成分の分離時定数, δ : 減衰係数, c_1 , c_2 , c_3 : モデル定数.

貯留係数 p_1 , p_2 は, 1 段タンク型貯留関数モデルと同様に $p_1=0.6$, $p_2=0.4648$ を採用しました. また, 減衰係数 δ は文献と同様に $\delta=2.1$ としました.

3. 計算条件

本章では、SRM ソルバーの計算条件について、iRIC の計算条件の設定ダイアログを示しながら説明します。

計算条件の設定ダイアログを図 3-1 に示します。設定項目は、図の(1)～(9)に示した 9 種類です。それぞれの設定内容、および、設定方法を表 3-1(1)と表 3-1(2)に示します。

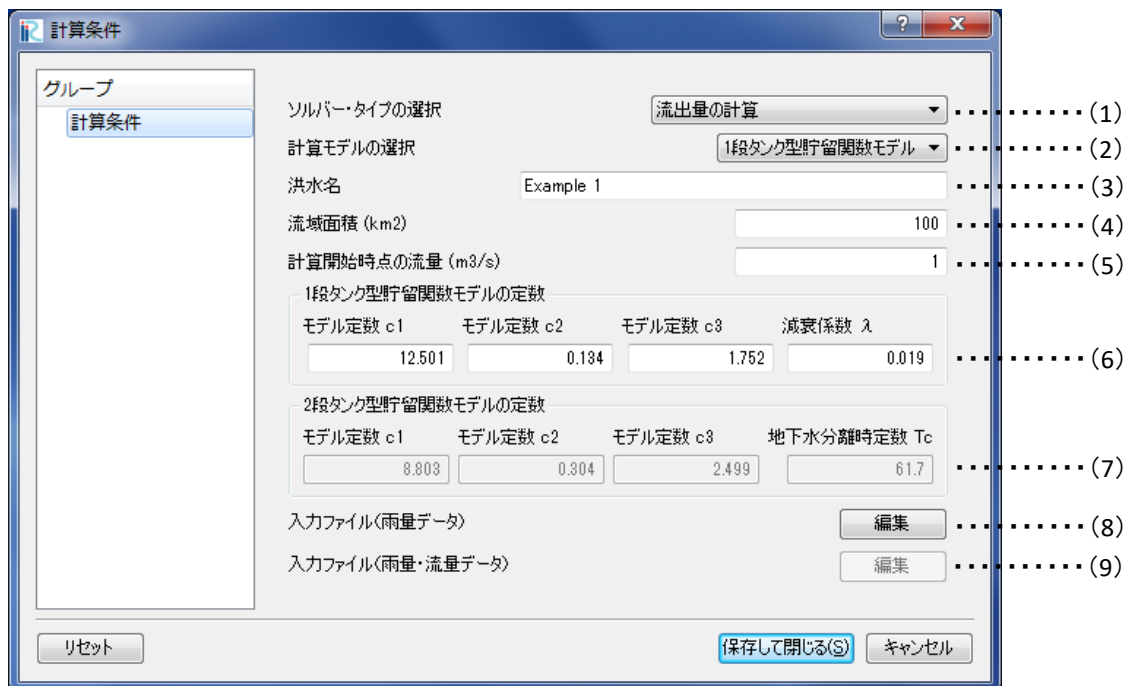


図 3-1 計算条件の設定画面

(図中の(1)～(9)は、表 3-1 の左列の番号に対応します)

表 3-1(1) 計算条件の設定項目

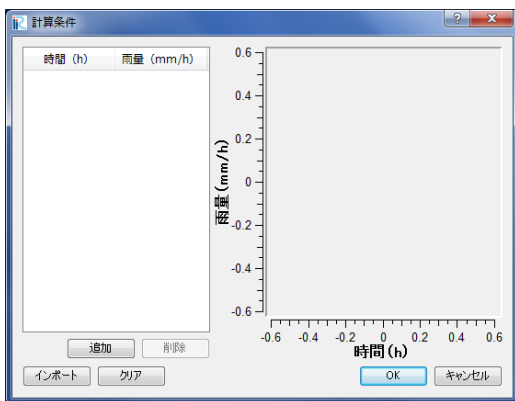
No	項目	設定方法	備考
(1)	ソルバー・タイプの選択	計算内容を選択します。「流出量の計算」もしくは「モデル定数の最適化と流出量の計算」を選択します。	<ul style="list-style-type: none"> - 「流出量の計算」は雨量データを与えて流出量を計算します。 - 「モデル定数の最適化と流出量の計算」は、雨量データと流量データを与えて、流出モデル定数を決定します。同時に、最適モデル定数を用いて流出量を計算します。
(2)	計算モデルの選択	「1 段タンク型貯留関数モデル」, 「2 段タンク型貯留関数モデル」のどちらかを選択します。	
(3)	洪水名	洪水名を入力します。	必須ではありませんので、必要に応じて入力してください。
(4)	流域面積 (km ²)	流域面積を入力します。	<ul style="list-style-type: none"> - 流域面積の単位は “km²”, 値は半角で入力してください。 - デフォルト値として 100km² が記入されていますが、対象とする流域の面積に変更してください。
(5)	計算開始時点の流量 (m ³ /s)	計算開始時点の流量を入力します。	<ul style="list-style-type: none"> - 上記(1)の「ソルバー・タイプの選択」において「流出量の計算」が選択された場合に設定が有効になります。 - この値を初期値として流出計算が行われます。 - 単位は “m³/s”, 値は半角で入力してください。 - デフォルト値として 1.0m³/s (≒ 0.73m³/s/100 km² (国内一級水系の平均維持流量⁶) × 100km² (上記の流域面積)) が記入されていますが、対象とする流域に応じて値を変更してください。
(6)	1 段タンク型貯留関数モデルの定数	モデル定数 (c_1, c_2, c_3) と減衰定数 λ を入力します。	<ul style="list-style-type: none"> - 上記(2)の「計算モデルの選択」において「1 段タンク型貯留関数モデル」が選択された場合に設定が有効になります。 - 各定数は半角で入力してください。 - モデル定数のデフォルト値は、表 2-1 の北海道全域の値です (2.3 節参照)。 - 減衰定数λの値は、そのままご使用しても問題はありません。必要な場合のみ変更してください。

⁶ 国土交通省河川局：正常流量検討の手引き (案), pp.58, 平成 19 年 9 月。

表 3-1 (2) 計算条件の設定項目

No	項目	設定方法	備考
(7)	2 段タンク型貯留関数モデルの定数	モデル定数 (c_1 , c_2 , c_3) と地下水分離時定数 T_c を入力します。	<ul style="list-style-type: none"> - 上記(2)の「計算モデルの選択」において「2 段タンク型貯留関数モデル」が選択された場合に設定が有効になります。 - 各定数は半角で入力してください。 - モデル定数と地下水分離時定数のデフォルト値は、表 2-2 の北海道全域の値です (2.3.節参照)。
(8)	入力ファイル (雨量データ)	雨量データファイルを指定します。	<ul style="list-style-type: none"> - 上記(1)の「ソルバー・タイプ選択」において「流出量の計算」が選択された場合に編集ボタンが有効になります。 - 編集ボタンをクリックすると、新たなウィンドウが表示されますので (図 3-2)、インポートボタンによってデータファイルを指定します。 - データファイルの形式については第 4 章をご覧ください。
(9)	入力ファイル (雨量・流量データ)	雨量・流量データファイルを指定します。	<ul style="list-style-type: none"> - 上記(1)の「ソルバー・タイプ選択」において「モデル定数の最適化」が選択された場合に編集ボタンが有効になります。 - 編集ボタンをクリックすると、新たなウィンドウが表示されますので (図 3-2)、インポートボタンによってデータファイルを指定します。 - データファイルの形式につきましては第 4 章をご覧ください。

雨量データ指定画面
(ソルバー・タイプ「流出量の計算」の場合)



雨量・流量データ指定画面
(ソルバー・タイプ「モデル定数の最適化」の場合)

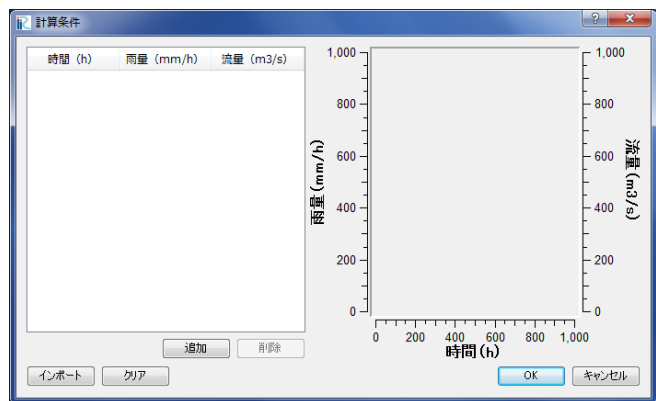


図 3-2 計算データ指定画面

左：ソルバー・タイプ「流出量の計算」の場合の画面，右：ソルバー・タイプ「モデル定数の最適化」の場合。

4. 入力データ

表 4-1 は入力データの書式です。なお、これらのデータは表 4-2 および表 4-3 に示す雨量・流量資料に基づいて作成したものです。このように入力データは、雨量や流量を縦に並べたテキストファイルです。なお、iRIC 上で入力することも可能です。

データの形式は、ソルバー・タイプが「流出量の計算」の場合と、「モデル定数の最適化と流出量の計算」の場合とで異なります。ソルバー・タイプが「流出量の計算」の場合はデータ番号・雨量、ソルバー・タイプが「モデル定数の最適化と流出量の計算」の場合はデータ番号・雨量・流量が必要です。なお、単位は雨量データが mm/h、流量が m³/s、いずれも 1 時間毎の値です。

データの区切り文字は、タブ、半角スペース、カンマ (,) のいずれかにしてください。

入力データは、計算対象とする期間に対して全て揃っている必要があります。予め、データに欠測が無いことや異常値が含まれてないことをご確認ください。

表 4-1 入力データの書式

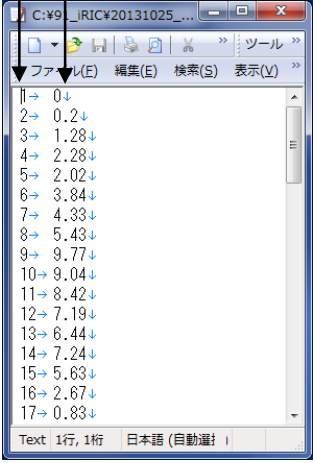
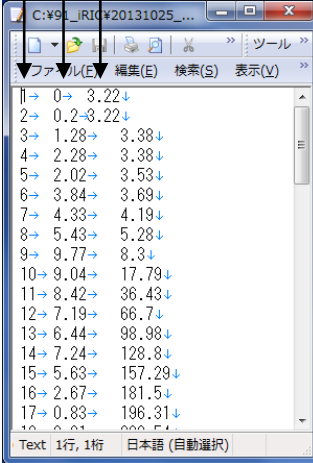
ソルバー・タイプ	流出量の計算	モデル定数の最適化と流出量の計算
データの並び	[データ番号_雨量]	[データ番号_雨量_流量]
サンプルデータ	<p>データ番号 雨量 (mm/h)</p> 	<p>データ番号 雨量 (mm/h) 流量 (m³/s)</p> 
備考	データ間の区切り文字は、タブ、スペース、カンマ(,)のいずれかです。	

表 4-2 雨量資料

No	時刻	雨量	No	時刻	雨量
	(年/月/日 時:分)	(mm/h)		(年/月/日 時:分)	(mm/h)
1	1981/08/05 03:00	0.00	24	1981/08/06 02:00	0.75
2	1981/08/05 04:00	0.20	25	1981/08/06 03:00	0.22
3	1981/08/05 05:00	1.28	26	1981/08/06 04:00	0.18
4	1981/08/05 06:00	2.28	27	1981/08/06 05:00	0.33
5	1981/08/05 07:00	2.02	28	1981/08/06 06:00	0.00
6	1981/08/05 08:00	3.84	29	1981/08/06 07:00	0.33
7	1981/08/05 09:00	4.33	30	1981/08/06 08:00	0.00
8	1981/08/05 10:00	5.43	31	1981/08/06 09:00	0.00
9	1981/08/05 11:00	9.77	32	1981/08/06 10:00	0.00
10	1981/08/05 12:00	9.04	33	1981/08/06 11:00	0.00
11	1981/08/05 13:00	8.42	34	1981/08/06 12:00	0.00
12	1981/08/05 14:00	7.19	35	1981/08/06 13:00	0.00
13	1981/08/05 15:00	6.44	36	1981/08/06 14:00	0.00
14	1981/08/05 16:00	7.24	37	1981/08/06 15:00	0.00
15	1981/08/05 17:00	5.63	38	1981/08/06 16:00	0.00
16	1981/08/05 18:00	2.67	39	1981/08/06 17:00	0.00
17	1981/08/05 19:00	0.83	40	1981/08/06 18:00	0.00
18	1981/08/05 20:00	0.61	41	1981/08/06 19:00	0.00
19	1981/08/05 21:00	0.48	42	1981/08/06 20:00	0.00
20	1981/08/05 22:00	0.77	43	1981/08/06 21:00	0.00
21	1981/08/05 23:00	0.00	44	1981/08/06 22:00	0.00
22	1981/08/06 00:00	0.08	45	1981/08/06 23:00	0.00
23	1981/08/06 01:00	0.00			

表 4-3 雨量・流量資料

No	時刻	雨量	流量	No	時刻	雨量	流量
	(年/月/日 時:分)	(mm/h)	(m ³ /s)		(年/月/日 時:分)	(mm/h)	(m ³ /s)
1	1981/08/05 03:00	0.00	3.22	24	1981/08/06 02:00	0.75	141.14
2	1981/08/05 04:00	0.20	3.22	25	1981/08/06 03:00	0.22	128.80
3	1981/08/05 05:00	1.28	3.38	26	1981/08/06 04:00	0.18	117.50
4	1981/08/05 06:00	2.28	3.38	27	1981/08/06 05:00	0.33	107.16
5	1981/08/05 07:00	2.02	3.53	28	1981/08/06 06:00	0.00	97.72
6	1981/08/05 08:00	3.84	3.69	29	1981/08/06 07:00	0.33	89.11
7	1981/08/05 09:00	4.33	4.19	30	1981/08/06 08:00	0.00	82.43
8	1981/08/05 10:00	5.43	5.28	31	1981/08/06 09:00	0.00	76.01
9	1981/08/05 11:00	9.77	8.30	32	1981/08/06 10:00	0.00	70.57
10	1981/08/05 12:00	9.04	17.79	33	1981/08/06 11:00	0.00	65.66
11	1981/08/05 13:00	8.42	36.43	34	1981/08/06 12:00	0.00	61.94
12	1981/08/05 14:00	7.19	66.70	35	1981/08/06 13:00	0.00	57.67
13	1981/08/05 15:00	6.44	98.98	36	1981/08/06 14:00	0.00	54.50
14	1981/08/05 16:00	7.24	128.80	37	1981/08/06 15:00	0.00	50.80
15	1981/08/05 17:00	5.63	157.29	38	1981/08/06 16:00	0.00	47.58
16	1981/08/05 18:00	2.67	181.50	39	1981/08/06 17:00	0.00	44.46
17	1981/08/05 19:00	0.83	196.31	40	1981/08/06 18:00	0.00	41.82
18	1981/08/05 20:00	0.61	202.54	41	1981/08/06 19:00	0.00	39.98
19	1981/08/05 21:00	0.48	201.84	42	1981/08/06 20:00	0.00	37.47
20	1981/08/05 22:00	0.77	194.26	43	1981/08/06 21:00	0.00	35.39
21	1981/08/05 23:00	0.00	183.48	44	1981/08/06 22:00	0.00	33.70
22	1981/08/06 00:00	0.08	169.81	45	1981/08/06 23:00	0.00	32.06
23	1981/08/06 01:00	0.00	156.06				

5. ソルバーコンソールへの出力内容

計算結果は、cgn ファイルに出力されるのに加え、ソルバーコンソールにも表示されます。ソルバーコンソールに表示される内容はソルバー・タイプによって異なります。ソルバー・タイプ「流出量の計算」の場合は図 5-1、ソルバー・タイプ「モデル定数の最適化と流出量の計算」の場合は図 5-2 に示す内容が表示されます。なお、図 5-2 に示す誤差指標（RMSE, Nash-Sutcliffe efficiency）は次式で算出しました。

ソルバー・タイプ「流出量の計算」の場合

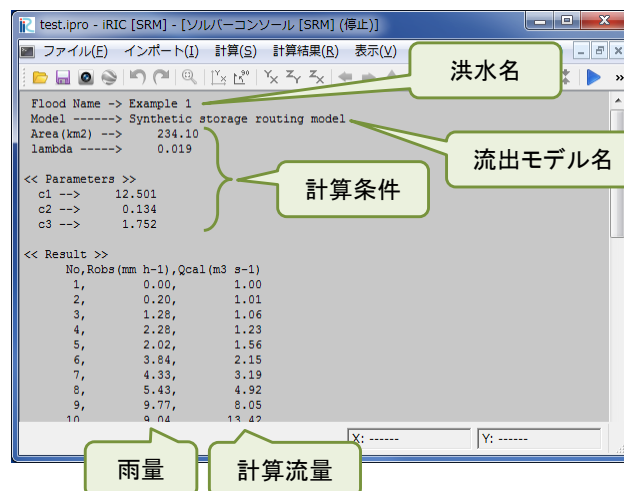


図 5-1 ソルバーコンソールの表示内容：ソルバー・タイプ「流出量の計算」の場合

ソルバー・タイプ「モデル定数の最適化」の場合

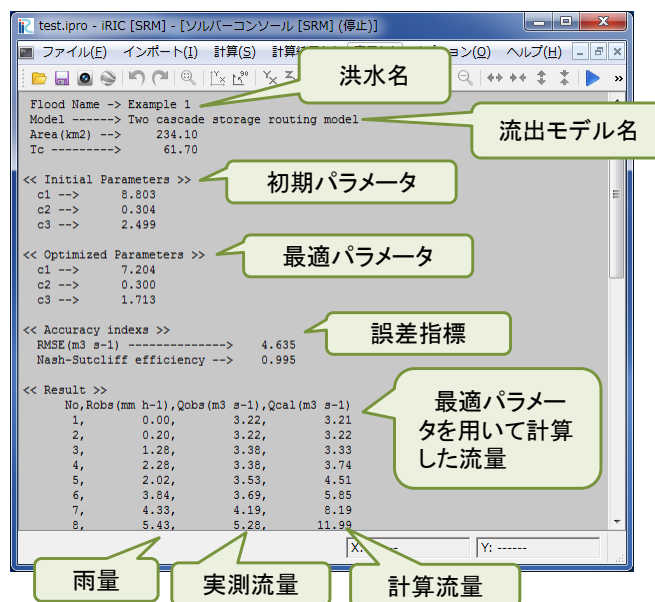


図 5-2 ソルバーコンソールの表示内容：ソルバー・タイプ「モデル定数の最適化と流出量の計算」の場合

RMSE (平均二乗誤差の平方根)

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

Nash-Sutcliffe efficiency

$$E_i = 1 - \frac{F_i}{F_*}$$

$$F_i = \sum_{i=1}^N (q_{oi} - q_{ci})^2, F_* = \sum_{i=1}^N \left(q_{oi} - \sum_{i=1}^N q_{oi} \right)^2$$

ここで, q_{oi} : 観測流量 (m³/s), q_{ci} : 計算流量 (m³/s), N : データ数,

【ご利用にあたって】

- 本ソフトウェアを使用した成果を用いて論文, 報告書, 記事等の出版物を作成する場合は, 本ソフトウェアを使用したことを適切な位置に示してください.
- ご感想, ご意見, ご指摘は <http://i-ric.org> にて受け付けております.

編集・執筆者	中津川誠 (室蘭工業大学大学院工学研究科)	監修
	臼谷友秀 (一般財団法人 日本気象協会 北海道支社)	執筆
	西原照雅 (独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所)	執筆

協力	一般財団法人 北海道河川財団
----	----------------