

融雪出水予測

臼谷 友秀

(財)日本気象協会 北海道支社

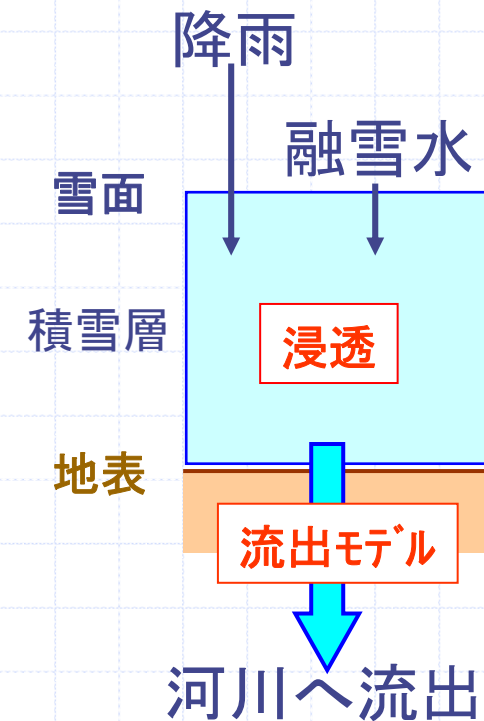
- H16,H17年度 依頼研修員(環境研究室) -

発表内容

①融雪流出モデルの開発

積雪内の水の流下: a)積雪層の浸透を考慮, b)大雨は, 積雪層の浸透を考慮しない方が, 流出量の計算精度が高い.

流出モデル定数: 融雪期を対象とする場合は, モデル定数を固定しても, 十分な再現精度が得られる.



②流入量予測例の紹介

:2006年融雪期において試験的に実施した予測の2例を紹介

2000年5月大雨時の出水状況



豊平峡ダムの貯水位・放流状況
(2000/5/13)

5/12~14の雨量 : 117mm/3day
ピーク流入量 : 約300m³/s (1996
年~2006年の融雪期においては最大)

※豊平峡ダム流域面積: 134km²



下流の定山溪温泉街の状況
(2000/5/13)

背景と目的

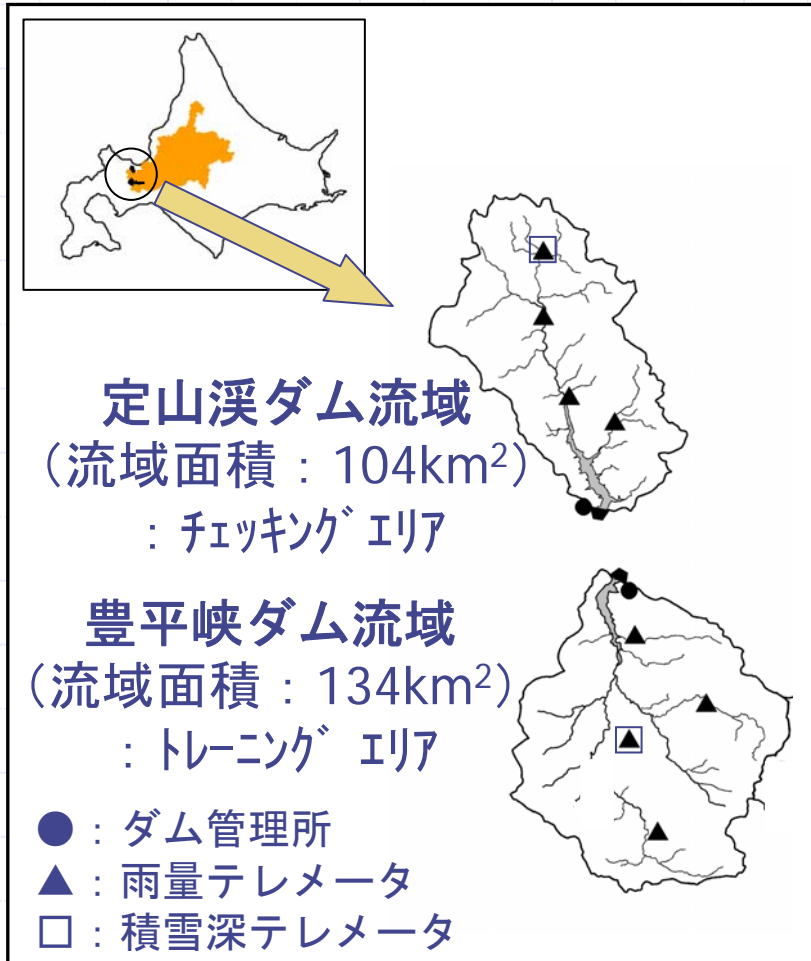
- ◆ 積雪寒冷地のダムでは、利水需要に備えて、融雪期の貯水位は高く維持される。
- ◆ 同時に洪水に対するリスクが高い。
- ◆ 2000年5月には、大規模な融雪出水が発生。
- ◆ 一方、積雪期や融雪期における大雨増加、渇水も懸念。
- ◆ 今後、更に厳しい気象条件下での水資源管理と洪水管理が要請されることが予想される。
- ◆ 降雨・融雪に伴う出水量を的確に予測することが重要。

⇒ 実用的な融雪流出モデルの開発。

融雪流出過程とモデル

- ◆ “融雪水の山腹における積雪内の流下時間”と“山腹地中の流下時間”は、ほぼ同じ(小林, 1970) ⇒ 積雪内の流下時間の重要性を指摘.
 - ◆ 提案されている手法は、融雪量の推定(融雪モデル)と流出モデルを組み合わせたものがほとんど. ⇒ 積雪内の流下時間を考慮したモデルは非常に少ない.
 - ◆ 水の積雪内の流下を考慮した流出モデル:
秀島・星(1993), 中津川・星(2001)
 - ◆ 現場において、実用化された報告例はない.
- ⇒ 積雪内の流下を考慮した, 実用的なモデル開発.

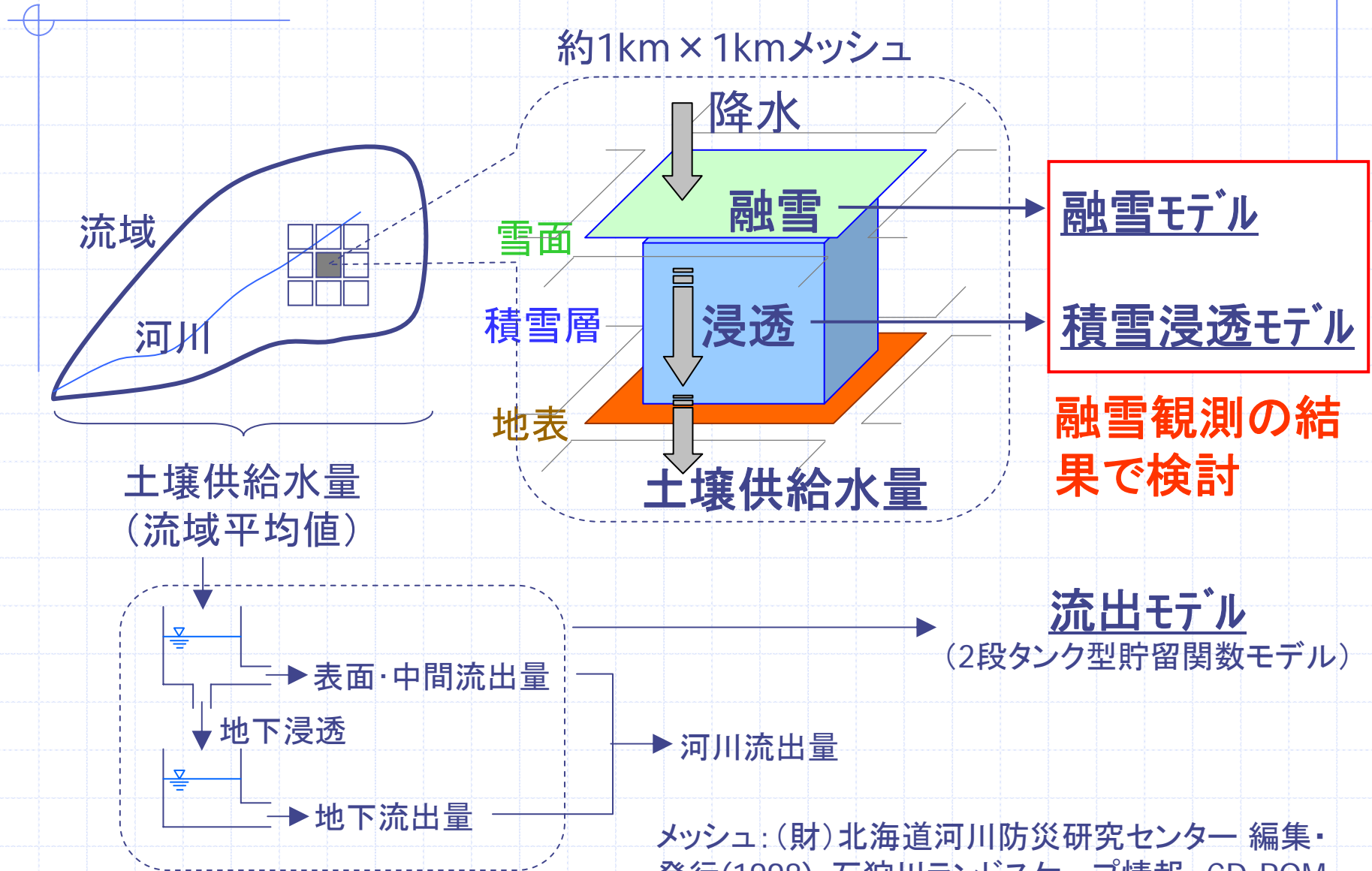
対象流域



気象観測項目

流域	ダム管理所	テレメータ
豊平峡 ダム	気温 湿度 風速 降水量 積雪深 気圧	雨量 積雪深
定山溪 ダム	気温 湿度 風速 降水量 積雪深 気圧 日射量 日照時間	雨量 積雪深

融雪流出モデルの全体構成



融雪モデル(Kondo and Yamazai, 1990)

◆積雪層全体の熱収支:

$$\frac{1}{2}c_s\rho_s\{Z(T_0 - T_s) - Z_n(T_0 - T_{sn})\} \\ + W_0\rho_sl_f(Z - Z_n) + M_0\Delta t = G\Delta t$$

◆雪面に関する熱収支:

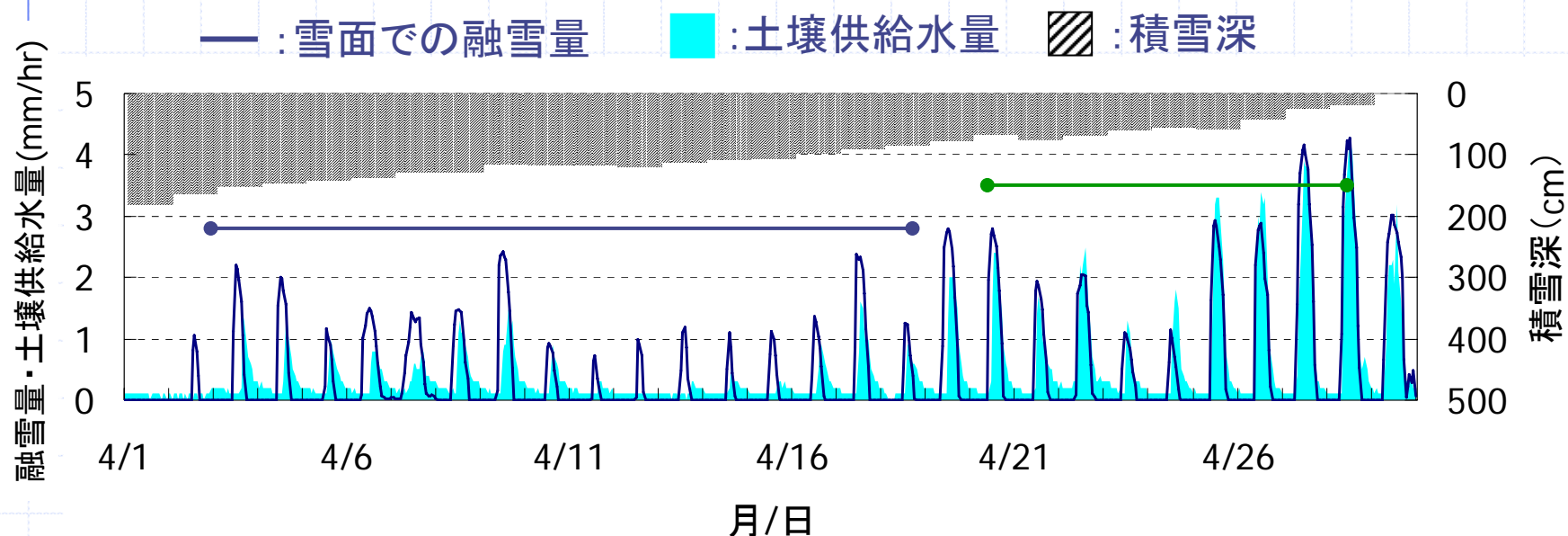
$$\varepsilon\left\{f_vL\downarrow + (1 - f_v)\sigma T_v^4 - \sigma T_{sn}^4\right\} - H - lE + \lambda_s\frac{T_0 - T_{sn}}{Z_n} = 0$$

c_s :積雪の比熱(J/kg/K), ρ_s :積雪の密度(kg/m³), l_f :雪の融解潜熱(J/kg),
 T_0 :0(°C), T_s :雪温(°C), T_{sn} :時間 Δt 後の雪温(°C), W_0 :最大含水率(=0.1),
 Z :凍結深(m), ε :射出率, Δt :時間間隔(s), G :積雪が受けるエネルギー
(W/m²), H :顕熱(W/m²), lE :潜熱(W/m²), M_0 :融雪熱(W/m²), Z_{sn} :時間
後の凍結深(m).

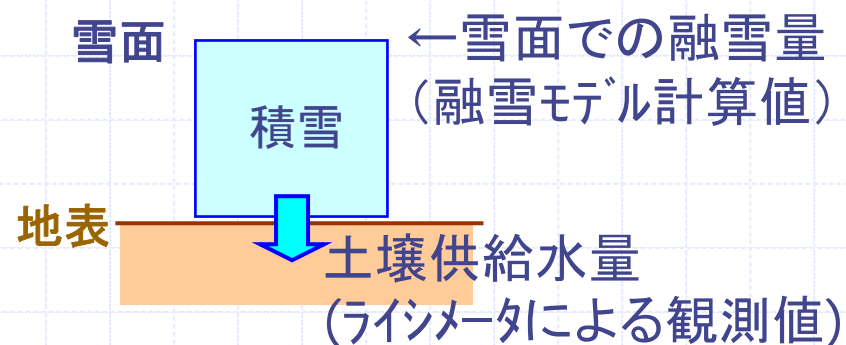
(計算法) 山崎剛(1993):融雪機構のモデリング, モデリング
技術の最近の進歩に関する基礎講座, pp.19-106.

積雪層の水の流下：融雪観測結果

1997年4月1日～4月30日，定山溪流木処理場

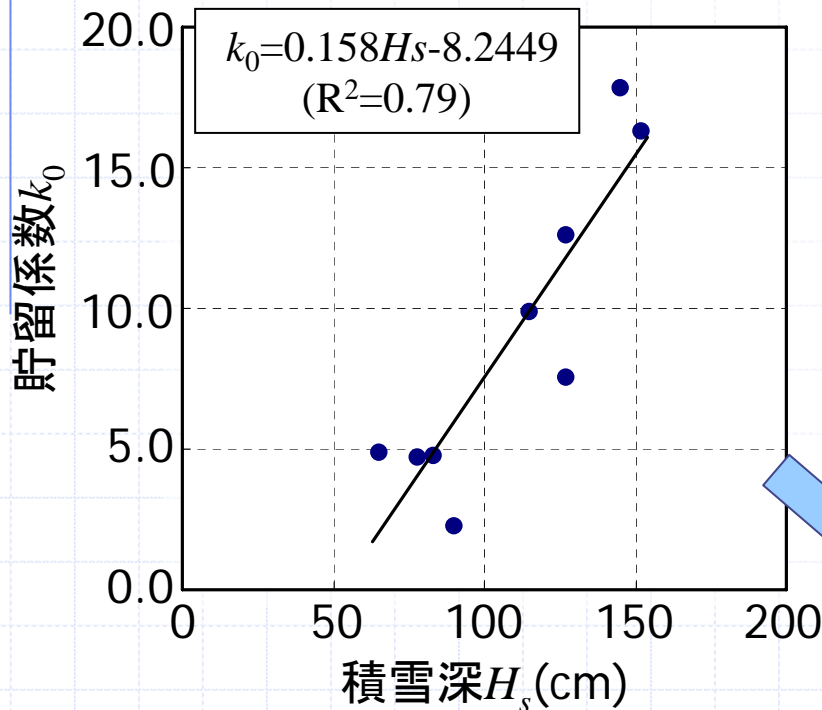


- ・4月上中旬：雪面の融雪水は、遅れて土壌に供給されている。
 - ・4月下旬：雪面での融雪量と土壌供給水量の波形はほぼ一致。
- ⇒ 遅れは変化している。



遅れのモデル化(積雪浸透モデル)

1997年4月1日～4月30日, 定山溪流木処理場



1価線形貯留関数法

$$\begin{cases} s_0 = k_0 q_0 \\ \frac{ds_0}{dt} = (m + r) - q_0 \end{cases}$$

S_0 : 貯留高, k_0 : 貯留係数, m : 融雪量, r : 雨量, q_0 : 土壌供給水量

貯留係数 k_0 を積雪深 H_s によってパラメタライズ

$$k_0 = 0.16H_s - 8.24$$

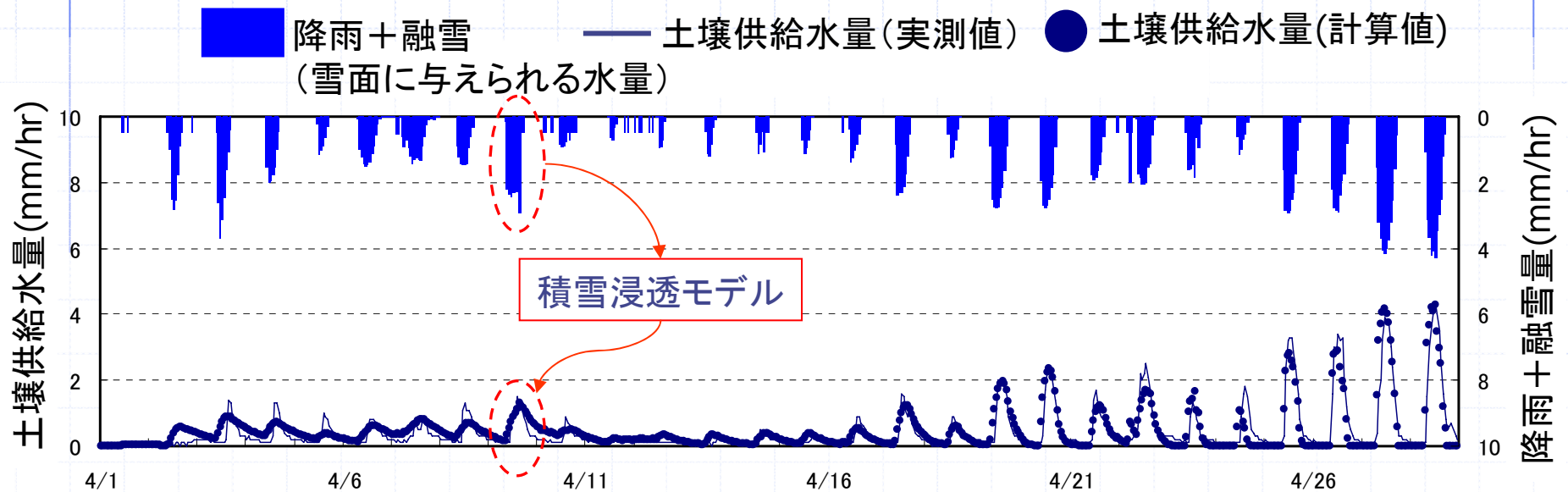


積雪深によって遅れの変化を表す.

顕著な融雪が観測された日の貯留係数 k_0 と積雪深 H_s の関係

土壌供給水量の推定結果

1997年4月1日～4月30日, 定山溪流木処理場

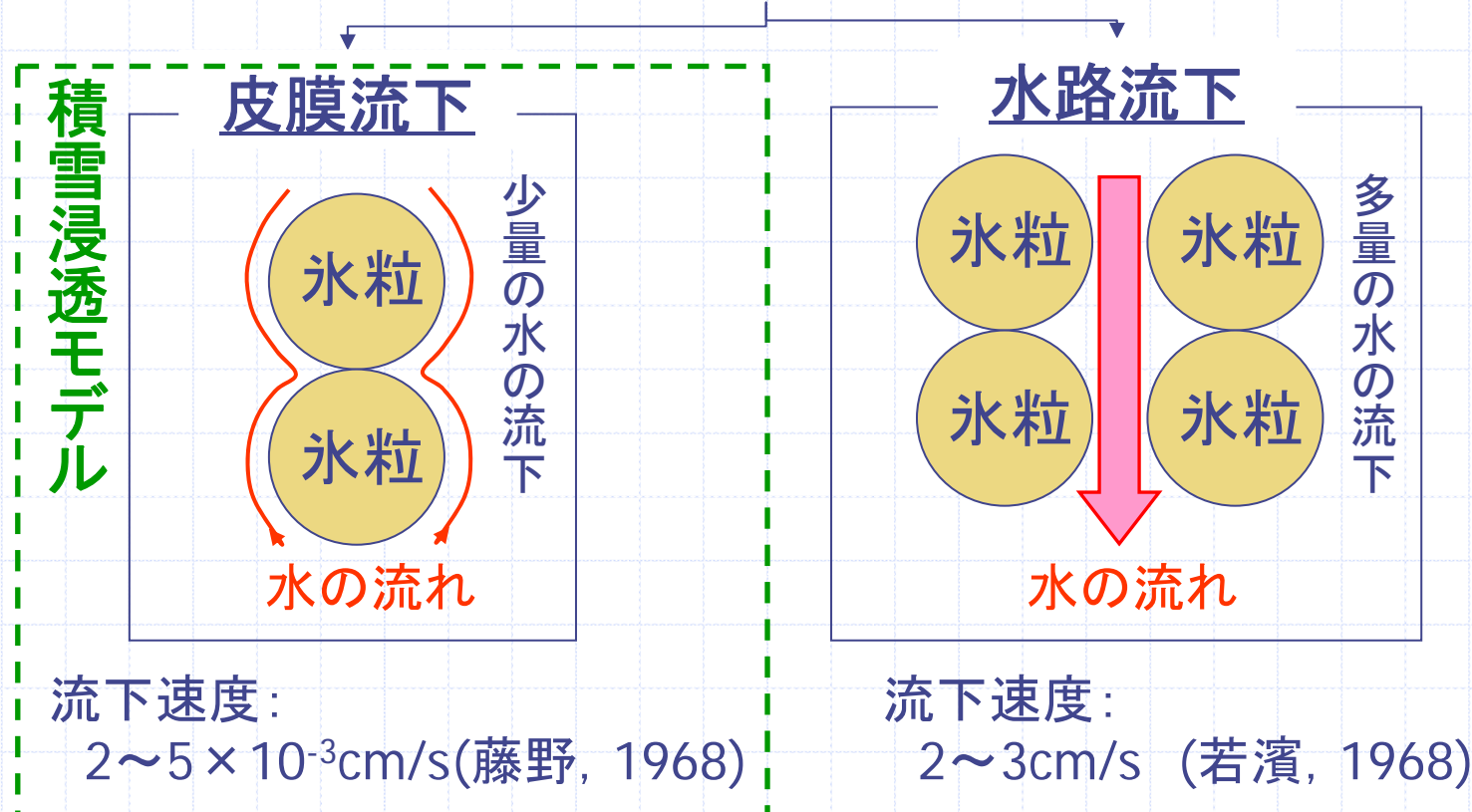


積雪浸透モデルによって, 土壌供給水量が再現できた.

しかし, 期間中, 大雨は観測されてなく, 積雪浸透モデルが大雨時にも適用可能かは不明

積雪内における水の流下形態

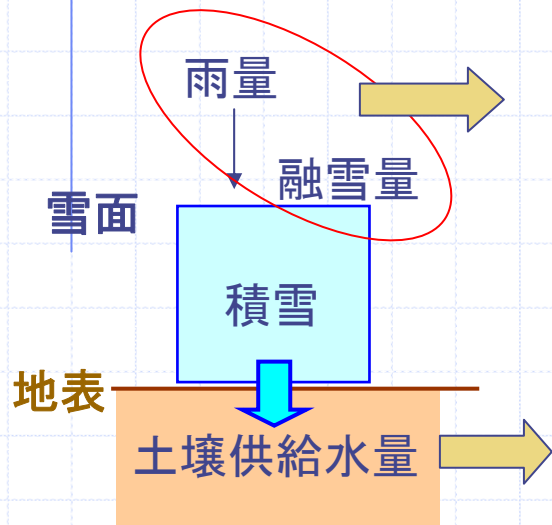
積雪内における水の流下形態(吉田, 1965)



大雨時は、水路流下になるのでは？ : 融雪観測の結果では検証できない。
⇒ 大雨が観測された2000年 : 雨量・融雪量・土壤供給水量(流域平均値)と流入量との対応を比較

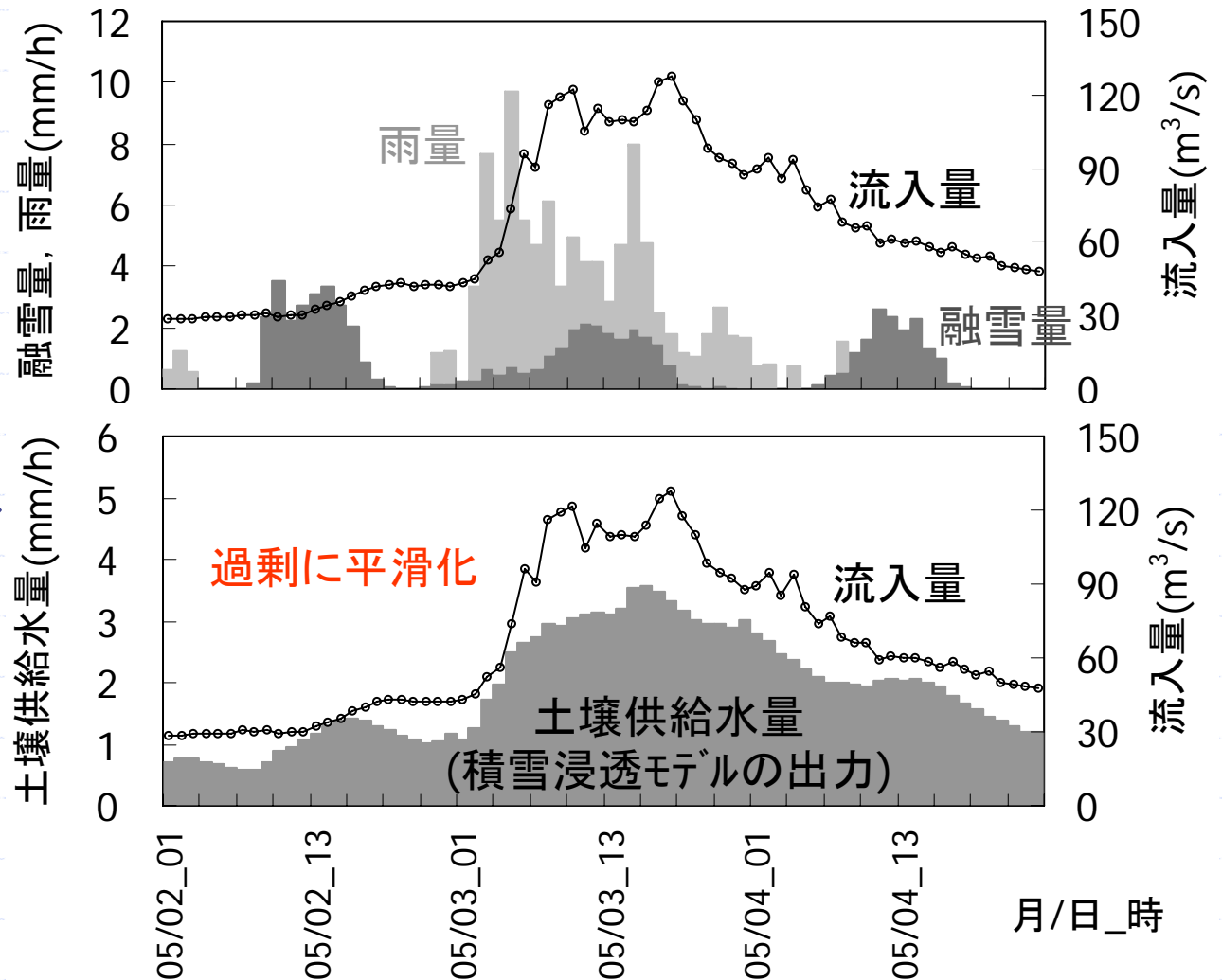
大雨時の流入量と雨量・融雪量, 土壤供給水量の変動

豊平峡ダム, 2000年5月2日~5月4日 雨量; 79mm/3day

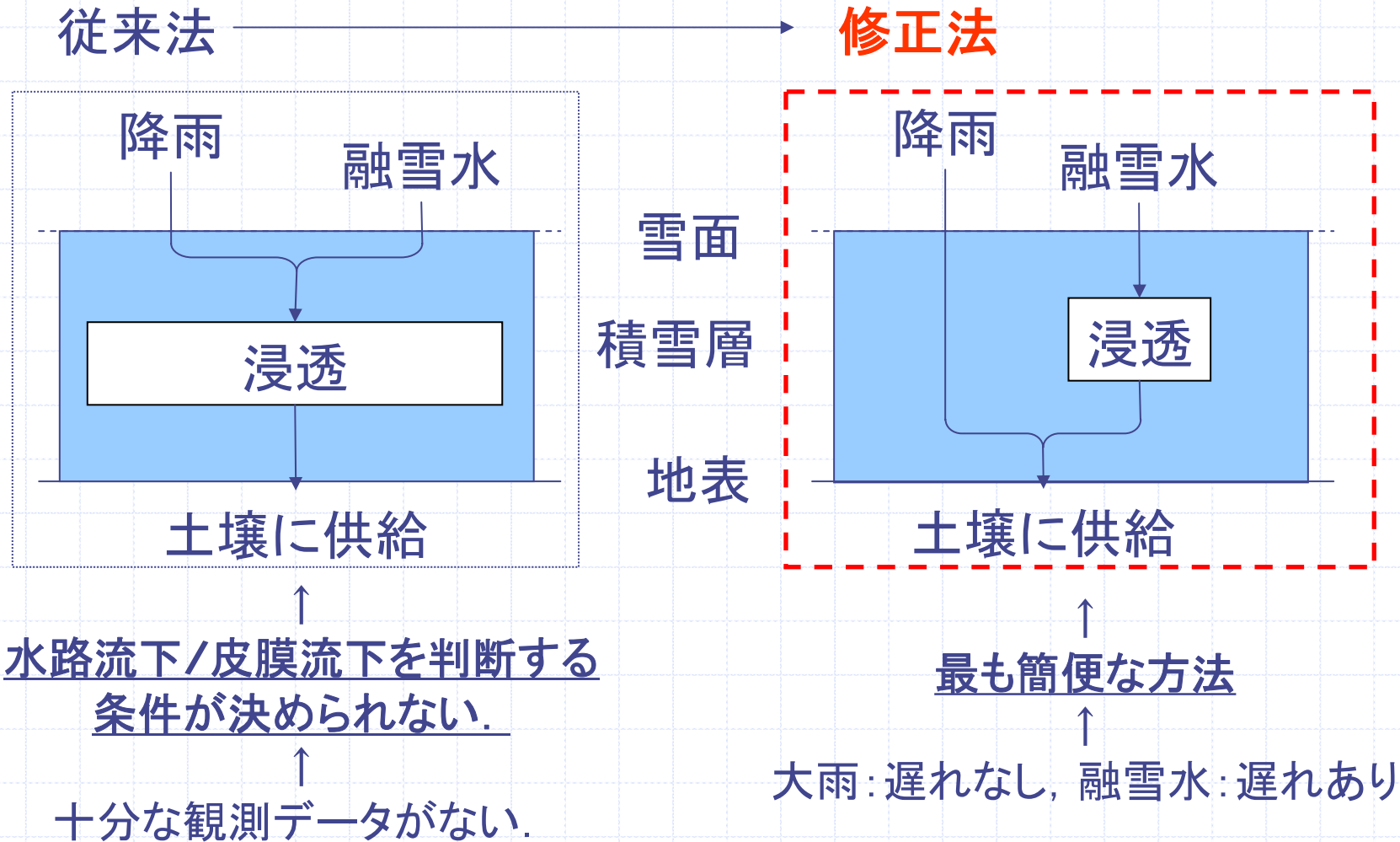


※流域平均値

⇒雨量は, 直接
土壤に達するとし
た方が妥当では
ないか?



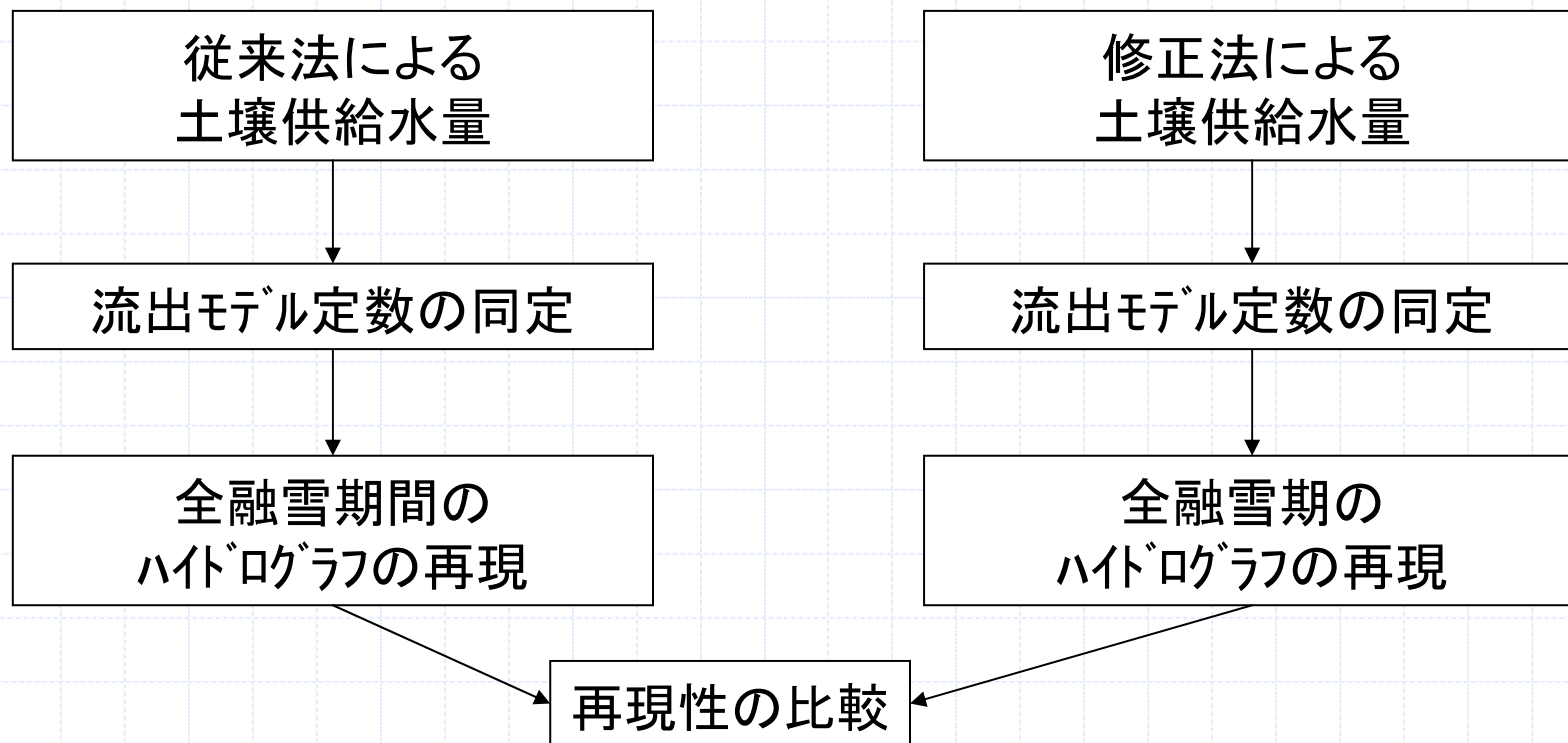
積雪浸透モデルの提案



⇒流入量の再現性によって、修正法の優位性を検証。

従来法と修正法の優劣の評価

評価方法：従来法と修正法で算出される土壌供給水量を用いて、融雪期のハイドログラフを再現し、その再現性によって評価する。

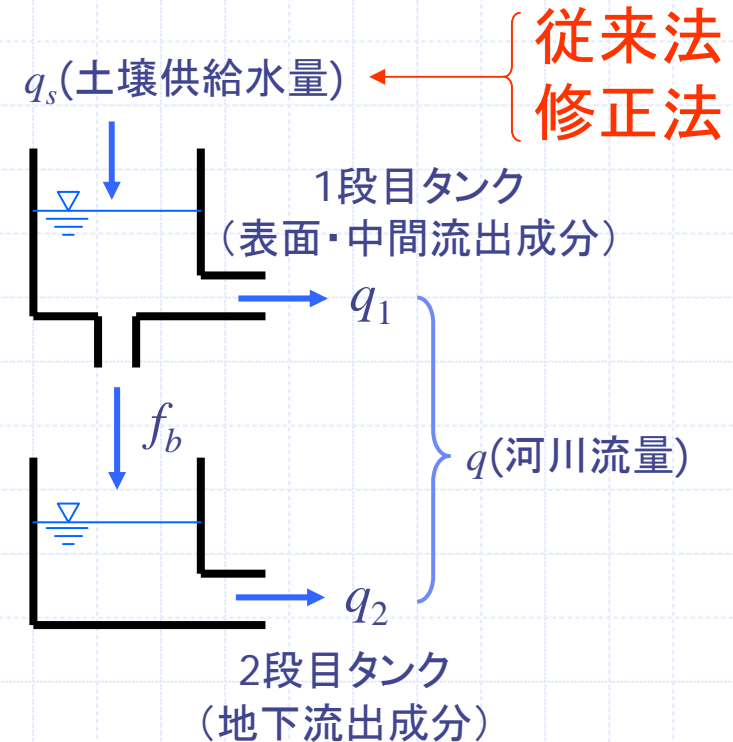


流出モデル: 2段タンク型貯留関数モデル

◆1段目タンク

$$\begin{cases} s_1 = k_{11}q_1^{p_1} + k_{12} \frac{d}{dt}(q_1^{p_2}) \\ \frac{ds_1}{dt} = q_s - q_1 - f_b \\ f_b = (c_3 - 1)q_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} p_1 = 0.6, p_2 = 0.4648 \\ k_{11} = c_1 A^{0.24}, k_{12} = c_2 k_{11}^2 (\bar{q}_s)^{-0.2648} \end{cases}$$



◆2段目タンク

$$s_2 = k_{21}q_2 + k_{22} \frac{dq_2}{dt}, \frac{ds_2}{dt} = f_b - q_2 \quad k_{21} = 0.0617c_4 A^{0.4}, k_{22} = 0.4k_{21}^2$$

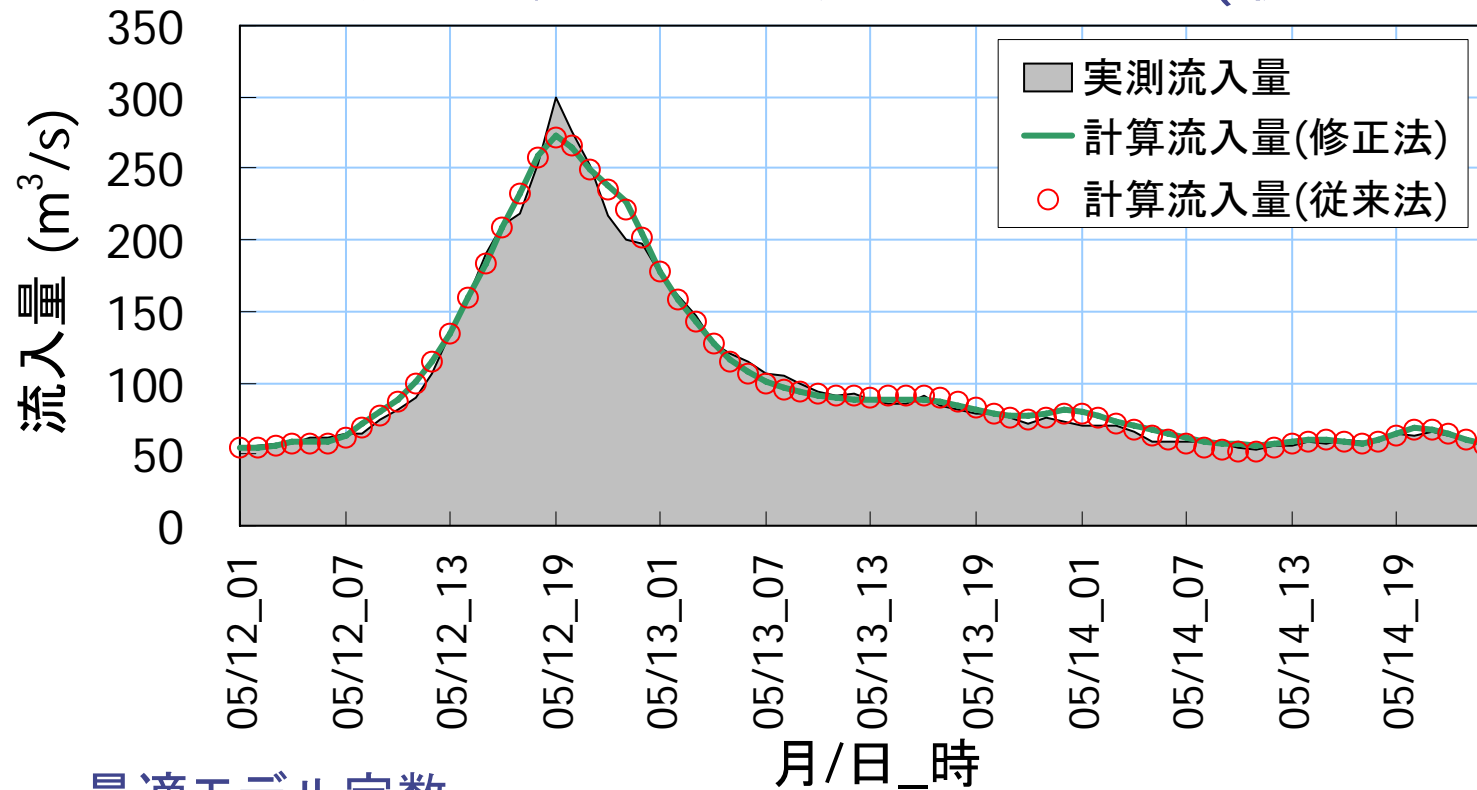
s_1, s_2 : 1段目, 2段目タンクの貯留高(mm), q_1, q_2 : 表面・中間流出成分, 地下流出成分の流出高(mm/h), q_s : 土壌供給水量(mm/h), f_b : 1段目タンクから2段目タンクへの浸透供給量(mm/h), $k_{11}, k_{12}, k_{21}, k_{22}$: 貯留係数, p_1, p_2 : 貯留指数, A : 流域面積(km²), \bar{q}_s : 土壌供給水量の平均強度(mm/h).

未知定数 : c_1, c_2, c_3, c_4

→感度係数を解析的に算定し, Newton-Raphson法によって最適化.

流出モデル定数の同定結果

豊平峡ダム, 2000年5月12日~14日(最大出水)



最適モデル定数

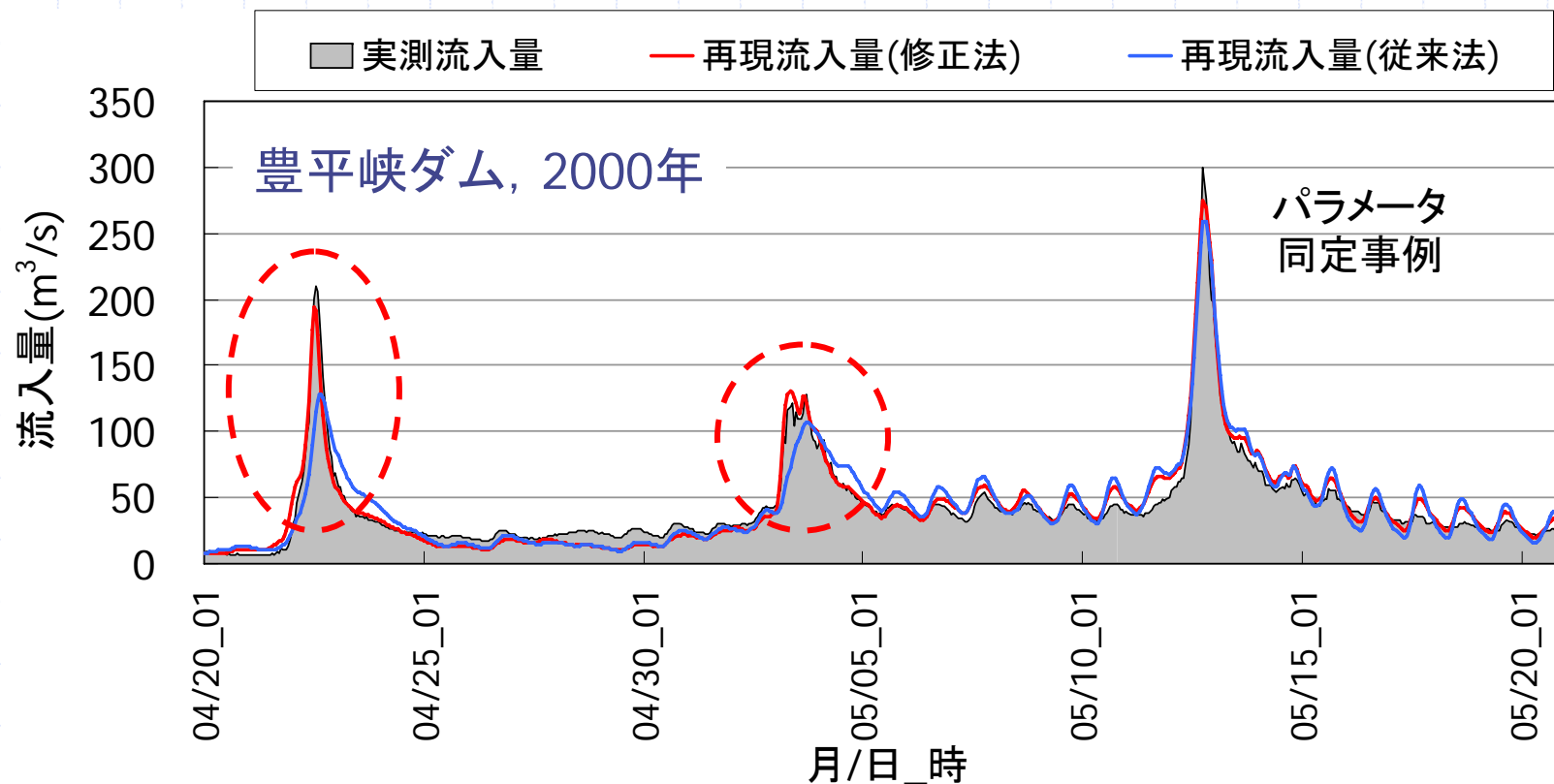
方法	c_1	c_2	c_3	c_4
従来法	4.046	0.162	1.334	53.6
修正法	6.388	0.071	1.354	59.6

⇒モデル定数は異なるが、一つ
の事例の再現性は同じ.

従来法・修正法の再現性の比較

-従来法に比べ、修正法を用いたハイドログラフは再現性が良い。

★適切な土壌供給水量が与えられれば、一組のモデル定数で融雪期全体のハイドログラフが再現できる。



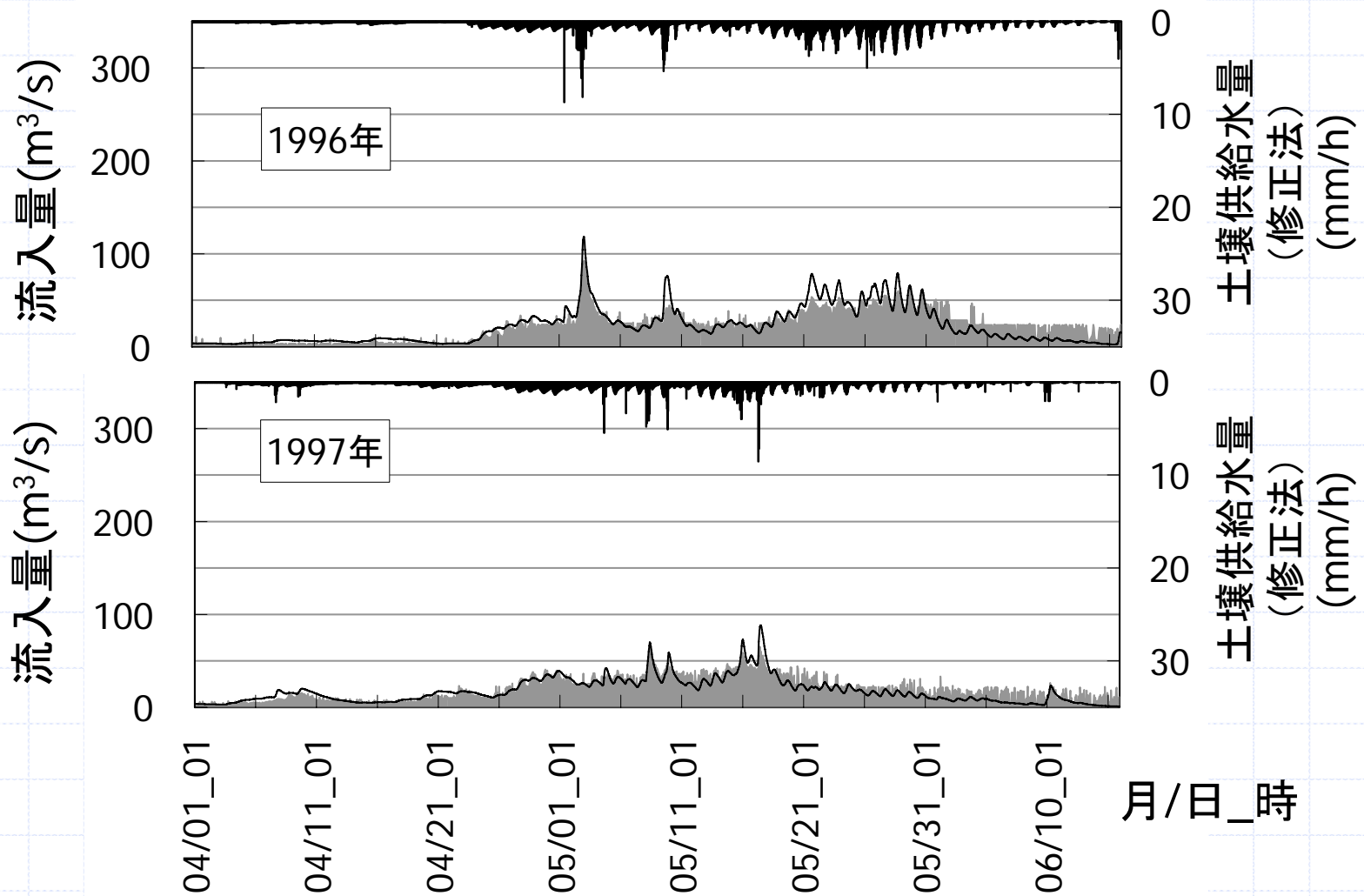
流入量の再現結果(1996年, 1997年)

豊平峡ダム(134km²)

■ 実測流入量

■ 土壌供給水量

— 計算流入量



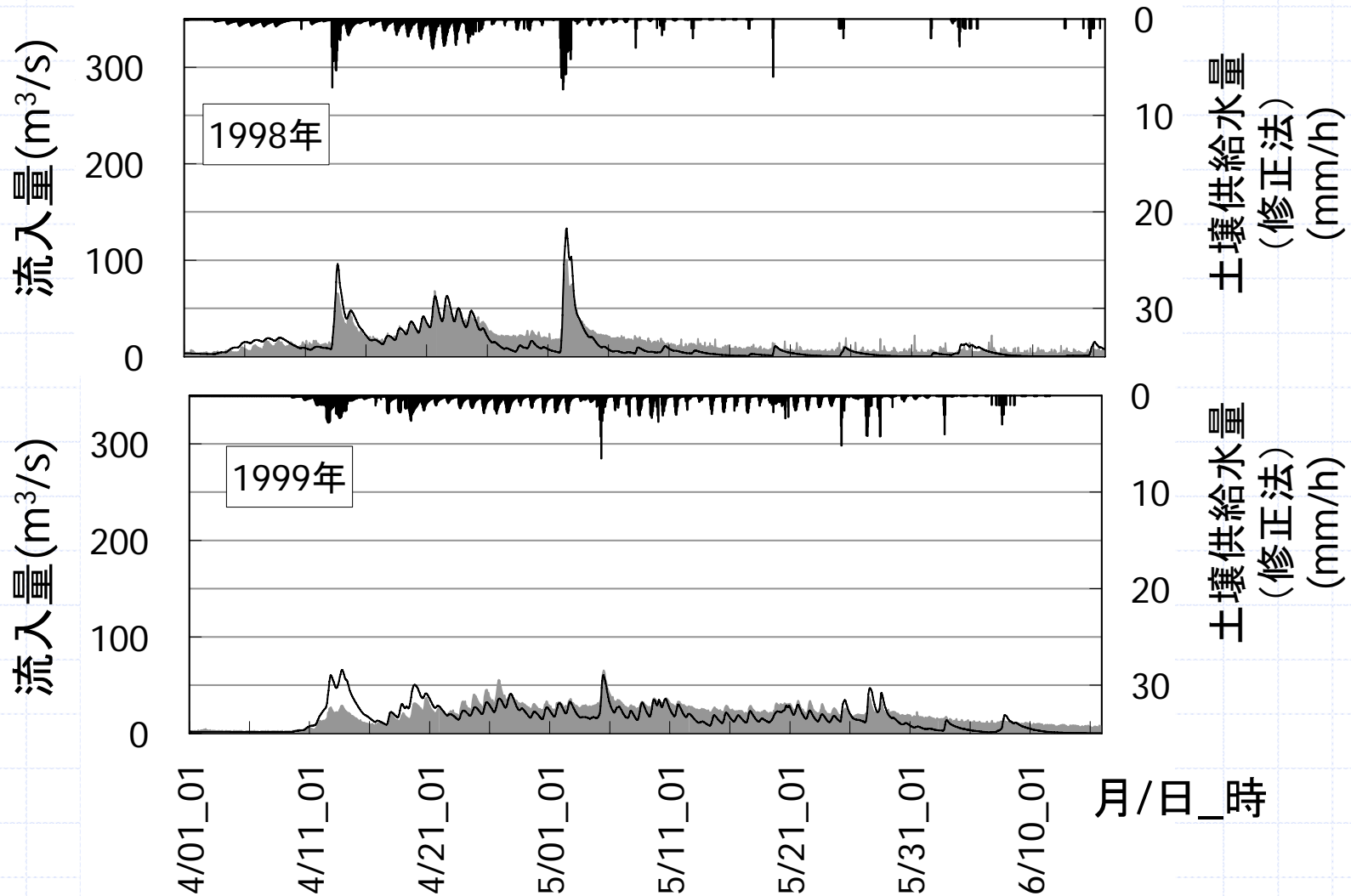
流入量の再現結果(1998年, 1999年)

豊平峡ダム(134km²)

■ 実測流入量

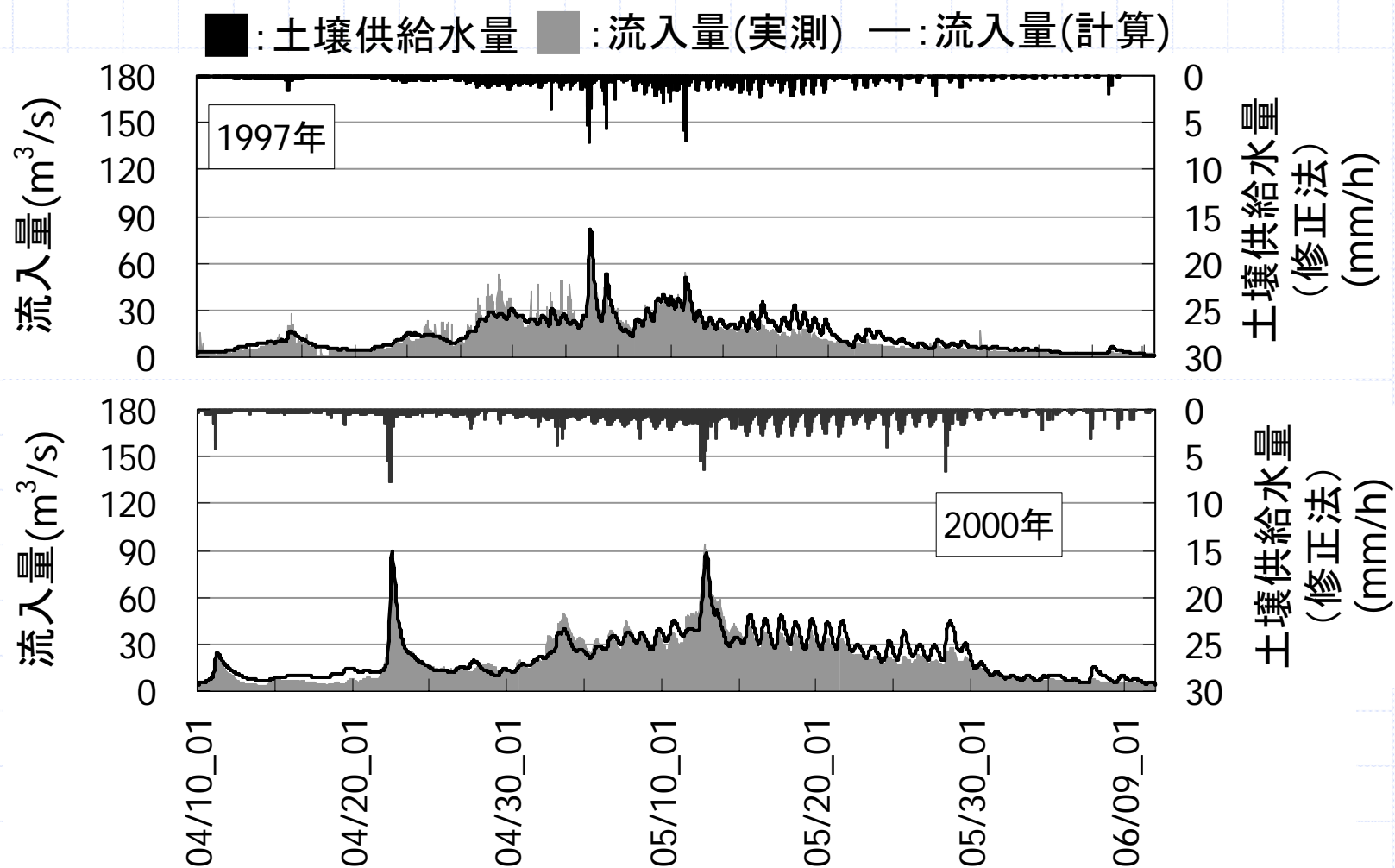
■ 土壌供給水量

— 計算流入量



融雪流出モデルの他流域への適用結果

定山溪ダム(104km²); 1997年, 2000年



解析結果

◆積雪浸透モデル

融雪期間の大雨に対しては、積雪層の浸透を考慮しない方が合理的であり、その方が、融雪期ハイドログラフの再現性が良い。

◆流出モデル

モデル定数を固定しても、全融雪期ハイドログラフを良好に再現できる。

入手可能な気象予測情報

※気象協会が配信できる主なもの

要素	メッシュサイズ	更新間隔	時間単位	備考
降水量	1km	1日2回	1時間	気象庁GPVベース・SYNFOS
気温	〃	〃	〃	〃
降雪量	〃	〃	〃	〃
風向風速	〃	〃	〃	〃
湿度	〃	〃	〃	〃
雲量	〃	〃	〃	〃
日射量	〃	〃	〃	SYNFOS
降水量	〃	毎時	〃	降水短時間予測

※初期時刻; 毎日09時, 21時(世界時00時, 12時)

※GPV; Grid Point Value

※SYNFOS; 気象協会独自モデル

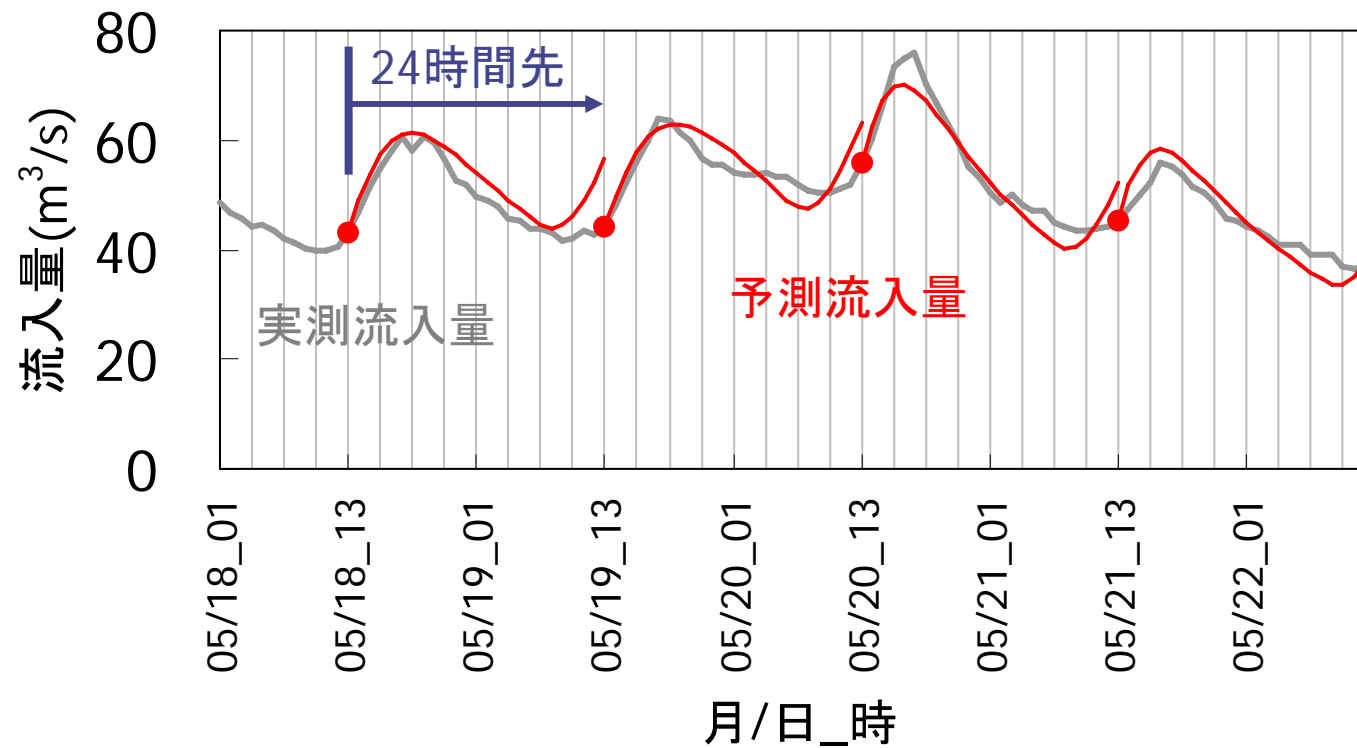
⇒これらのデータによって,

本報告で示した融雪流出モデルを稼働させることが可能.

流入量の予測例1

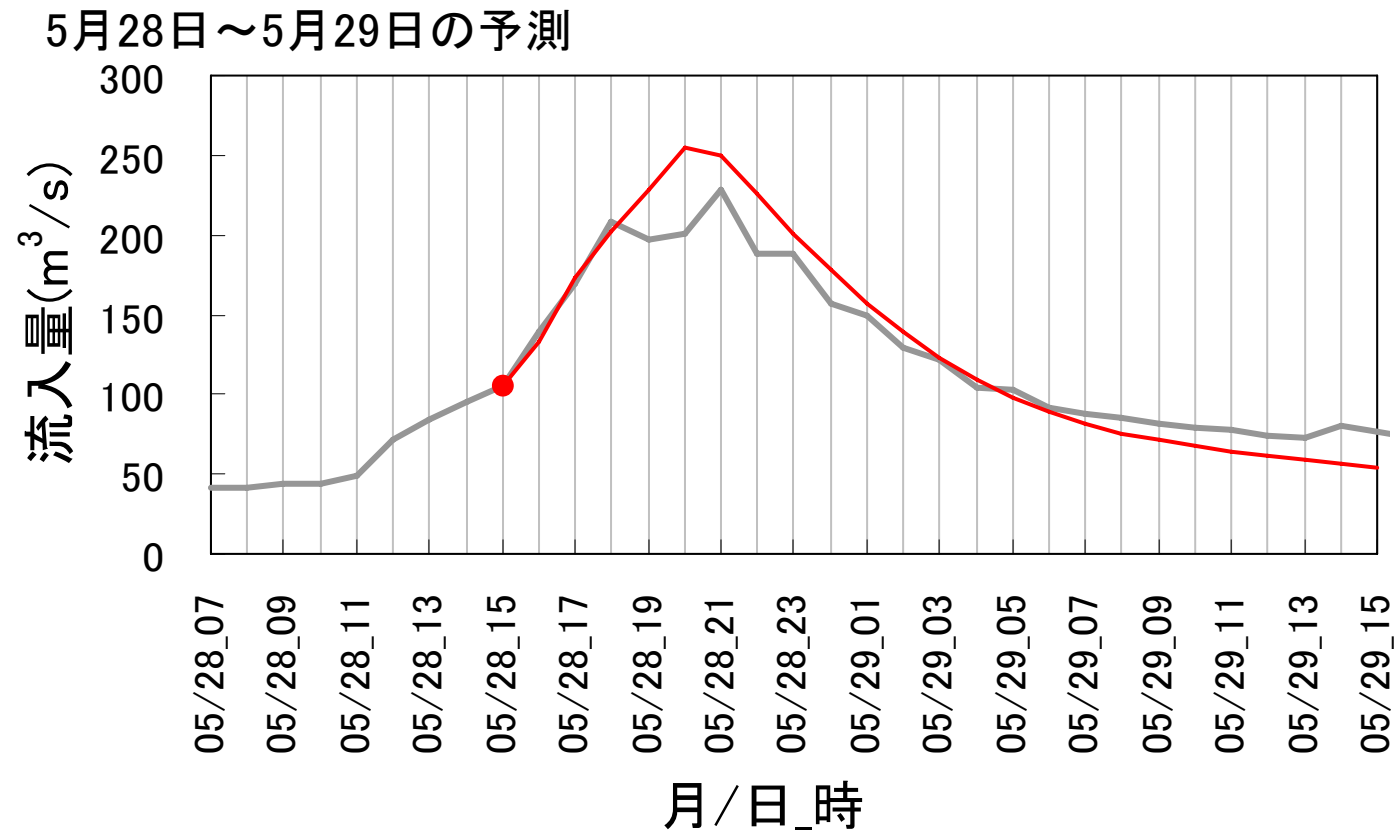
2006年5月18日～22日：降雨はなく、融雪による出水

5月18日～5月22日の予測



流入量の予測例2

2006年5月28日～29日：降雨による出水



終わりに

- ◆ 積雪内の水の流下を加味した融雪流出モデルを開発した.
- ◆ 融雪期に大雨が発生する場合, 降雨を直接流出モデルに入力することが合理的であることが分かった.
- ◆ 一組の流出モデル定数に固定しても, 融雪ハイドログラフは良好に再現できることが分かった.
⇒ 融雪洪水予測においては, 流出モデル定数を変える必要は無い.
- ◆ 今後, 他流域での検証, 本モデルの実運用を目指したい.

以上