

回 答

河川流出モデル・基本高水の検証に関する学術的な評価

— 公 開 説 明 (概要) —



平成23年(2011年)9月28日

作成の背景

「河川流出モデル・基本高水の検証に関する学術的な評価について」

国土交通省河川局長から日本学術会議会長宛に依頼を受けた。(平成23年1月)

河川整備基本方針(河川法)

長期的な河川整備の方針として、洪水防御に関する計画の基本となる洪水である基本高水等を定める。

利根川水系河川整備基本方針が平成17年度に策定された。
ただし、飽和雨量などの定数に関する検証が不十分であった。



国土交通省は自ら

- データを点検・整理し、
- 現行の流出解析手法の問題点を整理し、
- 新たな河川流出モデルを構築して、



基本高水を検証した。

日本学術会議は

学術的な観点からの客観的・中立的な河川流出モデルおよび基本高水の評価を実施した。

土木工学・建築学委員会 河川流出モデル・基本高水評価検討等分科会

委員長	小池 俊雄	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻教授
副委員長	椎葉 充晴	(特任連携会員)	京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻教授
幹事	窪田 順平	(特任連携会員)	大学共同利用機関法人人間文化研究機構総合地球環境学研究所准教授
幹事	立川 康人	(特任連携会員)	京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻水文・水資源学分野准教授
	池田 駿介	(第三部会員)	東京工業大学名誉教授
	沖 大幹	(連携会員)	東京大学生産技術研究所教授
	小松 利光	(連携会員)	九州大学大学院工学研究院環境都市部門教授
	寶 馨	(連携会員)	京都大学防災研究所教授
	鬼頭 昭雄	(特任連携会員)	気象庁気象研究所 気候研究部長
	田中丸 治哉	(特任連携会員)	神戸大学大学院農学研究科食料共生システム学専攻教授
	谷 誠	(特任連携会員)	京都大学大学院農学研究科森林水文学分野教授
	守田 優	(特任連携会員)	芝浦工業工学部土木工学科大学教授

作成の経緯：目的と方針

目的：

- 既存の河川流出計算モデルの課題を整理し、新たに構築されているモデルを評価した。
- 過去の雨量・洪水実績など、計画の前提となっているデータおよび基本高水等について妥当性を評価した。

問題点：現行手法に関しては科学的な追検証がほとんど不可能であった。

- 背景・経緯の記録が不在であった。
- 国土交通省から十分な説明が得られなかった。
- 洪水時のハイドログラフの変更理由が不明であった。

※現行モデルのプログラムソースコードの提供を受け、新モデルと同等の評価を実施した。

3つの方針：

- 1) 貯留関数法の位置づけとその詳細を検討し、利用可能なデータを吟味した。
→新モデルの構築における留意事項を国土交通省に提示した。
- 2) 評価軸を設定し、新モデル(国土交通省が作成)を評価した。
- 3) 他モデルによる新モデルの物理的意味合いを検討し、結果を比較した。

専門家ヒアリング：

- 基本高水の決定に重要である流出解析法の専門家
- 基本高水の決定に重要である既存データの取り扱いに詳しい専門家
- 利根川の洪水に詳しい専門家

方針1:貯留関数法の位置づけとその詳細を検討

流出解析の目的:

- 降水流出過程の物理機構の解明
- 洪水や渇水の予測
- 流域環境や気候の変化に伴う水循環の変化の予測

流出モデルの分類:

- 予測期間:短期流出モデル(洪水)、長期流出モデル(流況予測)
- 降雨一流出応答:応答モデル、概念モデル、物理モデル
- 空間的な構成方法:集中型モデル、分布型モデル

貯留関数法

- 短期流出モデル(洪水流出を表すイベントモデル \leftrightarrow 連続時間モデル)
- 物理モデル:運動方程式(貯留量一流出量関係)+連続式と組み合わせ(概念モデルとしての性質:流出域-浸透域)
- 集中型モデル \rightarrow 分布型モデル

貯留関数法の適用方法の違い

- 貯留量一流出量関係が二価関数となることへの対応
- 流域を区分(浸透域、非浸透域)するか、一括で扱うか

方針1:貯留関数法の採用と新モデル構築における留意事項

治水計画への貯留関数法の適用の妥当性

生起頻度の低い極端な現象に対する流域の応答を予測する必要がある、我が国の多数の流域で適用実績を持っていて信頼性がある貯留関数法を、分布型のモデル形式にして利用していくのが現実的である。

利根川水系への貯留関数法適用における留意事項

1. 流出モデルの頑健性を確保することを目的として、簡潔なモデル構造と適切な数のパラメータの組み合わせを用いること。
2. 十分な観測密度と精度、観測レンジを有する大出水時の観測データを用いてパラメータの推定などキャリブレーションを行い、さらにキャリブレーションに用いられていないデータを用いて検証を行い、その性能を評価すること。
3. 有効降雨モデルの開発に当たっては、各出水の総有効降雨量と観測ハイドログラフから求めた総直接流出量が合致することを確認し、地質区分を考慮して設定すること。
4. パラメータのバラツキによるピーク流量値の変化に関する感度分析を行い、既往最大でかつ観測データが不十分であったカスリーン台風の洪水ピーク流量の推定幅を算定して提示すること。
5. サブ流域の水文学的均一性、観測データの利用可能性に留意し、追検討可能な形式にすること。

方針1: 森林の変化による河川流出への影響の整理

利根川への貯留関数法の適用の妥当性(長期にわたって同じパラメータの値が適用可能であるか?)検討

→森林の変化による河川流出への影響についての小試験流域における観測研究の知見を整理した。

- 地上植生が減るとただちに蒸発散量減少し、流出量増大する。
- 土壌変化がないと規模の大きい洪水流出への影響は小さい。
- 森林の保水力: 土壌層全体における雨水の貯留変動によるもの
→大出水であっても、流出波形を緩やかにする機能を維持する。
- 花崗岩のはげ山: 植生・土壌の存在は不可→洪水流出量増大する。
- 里山: 人間活動により森林土壌が失われたが(→洪水流出量増大)、花崗岩以外の地質では、貧弱な植生と下層土壌は残された。
- 燃料革命以後森林が利用がない→土壌の厚さや保水力が長い年月をかけて回復→保水力回復の検出には至っていない。
- 花崗岩のはげ山緑化: 洪水流出量が低減する。
- 流域条件の変化には様々な要因が存在(宅地開発、鹿害など)
→流出モデルのパラメータの変化要因の考慮が必要である。

方針2:新モデルの提出と評価軸の設定

新モデルの概要(国土交通省からの提出)

- 雨量データの精査:時間雨量観測点の少ない昭和22、33、34年に洪水については観測日雨量と観測時間雨量とを組み合わせ、時間観測箇所が特に少ない昭和22年については、等雨量線図や観測所の時間分布で代表できる区域(影響区域)を設定した。→降雨データの質、量を向上させた。
- 地質区分と有効降雨モデルの導入:対象流域を4つの中流域に区分、近年の15出水の総雨量と総直接流出量を用いて、第四紀火山岩類の流域では一次流出率のみ、それ以外は一次流出率、飽和流出率、飽和雨量からなる有効降雨モデルを開発した。
- 流出域の区分:サブ流域を流出域、浸透域に分けることなく、一つの貯留関数で計算した。
- サブ流域区分:公開
- パラメータ推定:貯留量－直接流出高関係、観測流量への適合度

分科会における評価軸の設定

- 学術的な先端性を有しているか。
- 実用技術としての成熟度・利用実績があるか。
- 基礎方程式、数値計算手法において誤りがないか。
- 物理的妥当性を有しているか。
- 異なる事例にあってもモデルの適用性が担保されているか(頑健性)。

方針2: 評価－基礎方程式、数値計算手法において誤りがないか

ア 雨量データの検証

分科会で独自に時間降雨分布データを計算し、新モデル、現行モデルのそれぞれのサブ流域雨量と比較した。(分科会による算定値を真値としたときの、新モデル、現行モデルの2乗平均平方根誤差(RMSE)を用いた。)

- 昭和57年、平成10年の洪水時: RMSEの平均は2.0mm以下
 - 昭和33、34年の洪水時: RMSEの平均は4.0mm以下
 - 昭和22年洪水時: RMSEの平均は6.0mm以下
- 洪水量算定に用いられた雨量に、誤りがないことを確認した。

イ 新モデルの検証

- 新モデルの基礎方程式、プログラムソースコードを確認した。
 - 国土技術研究センターシステム上に実装の新モデルで動作確認と計算した結果、国土交通省の計算値との差: $-0.7 \sim +1.5\%$ (S33,34,57,H10)
 - 神戸大学の貯留関数で計算: ピーク流量の差: -0.6% (S57), -0.8% (H10)
- 新モデルは、基礎方程式、数値計算手法において誤りがないことを確認した。

ウ 現行モデルの検証

- CommonMP上に実装の現行モデルのプログラムソースコードより、基礎方程式の確認・動作確認・流量計算した結果、国土交通省の計算値との差: $+0.8 \sim +1.3\%$ (S33,34,57,H10)
- 現行モデルは、基礎方程式、数値計算手法において誤りがないことを確認した。

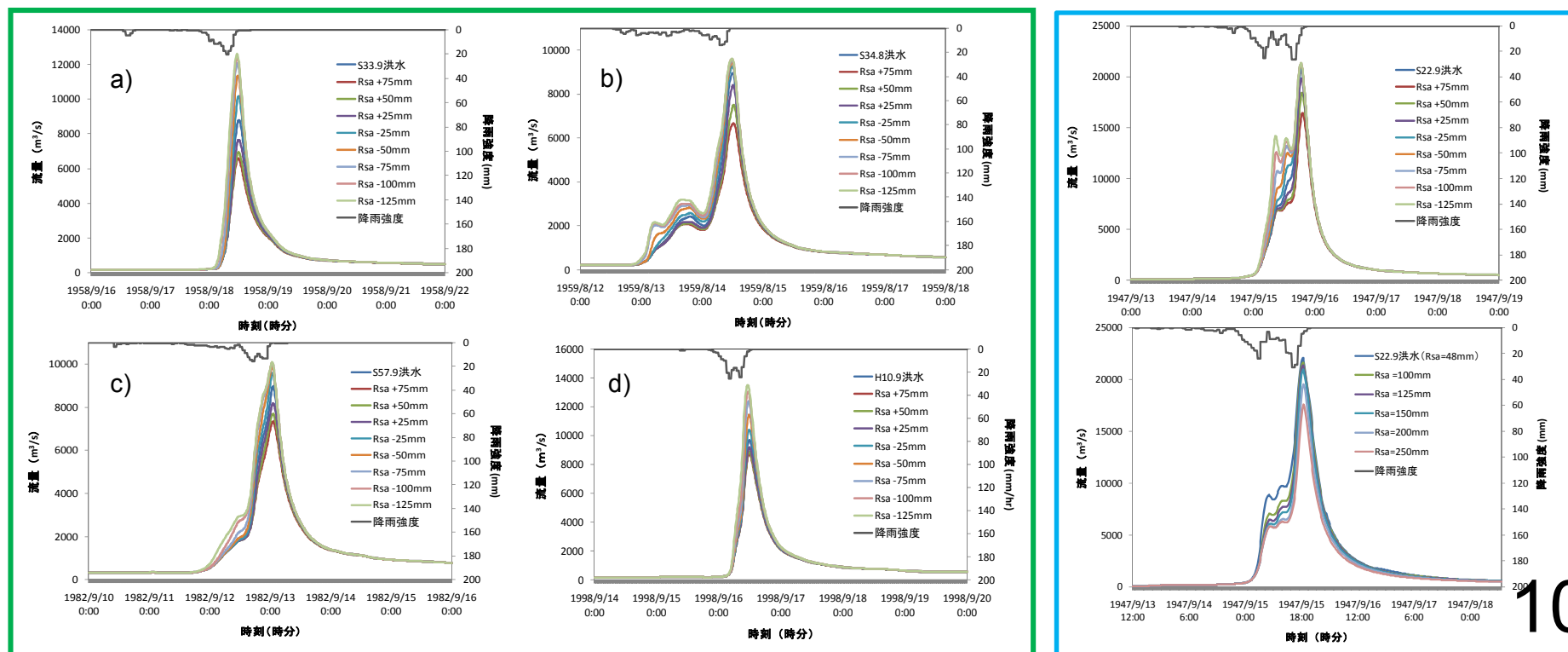
方針2: 評価－物理的妥当性を有しているか

ア 飽和雨量と流出率

- 事後解析にあつては総有効降雨量と総直接流出量の合致を確認した。
- 地質によっては、飽和雨量、飽和流出率を設定せずに一次流出率だけを用いた方が妥当な場合や、飽和雨量より大きな降雨について、飽和流出率が1.0より小さくなる場合もありうるかと判断した。

イ 飽和雨量の感度分析

- ハイトグラフが先鋭な場合: 大 ⇔ 幅広のハイトグラフの場合: 小
- 昭和22年洪水: ハイドログラフの立ち上がり部: 違い大、ピーク部: 違い小



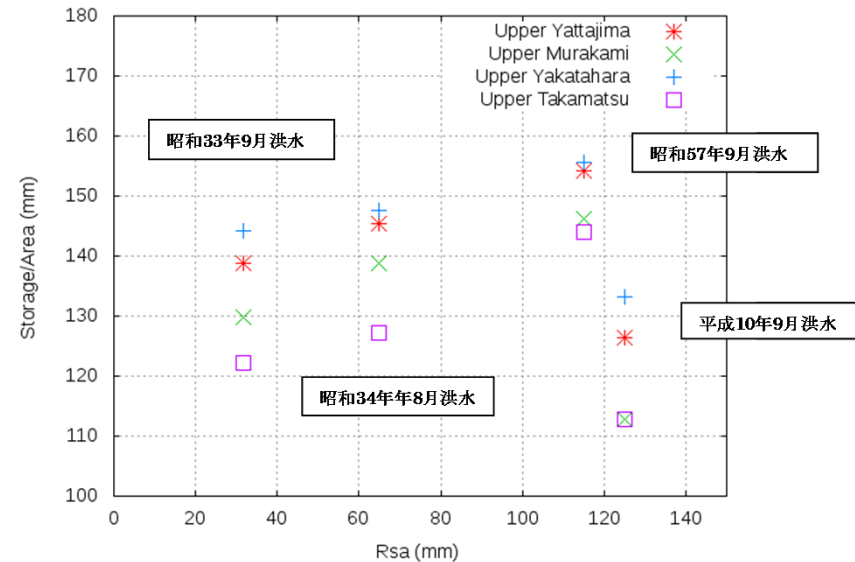
方針2: 評価ー物理的妥当性を有しているか

方針3: 他モデルの適用

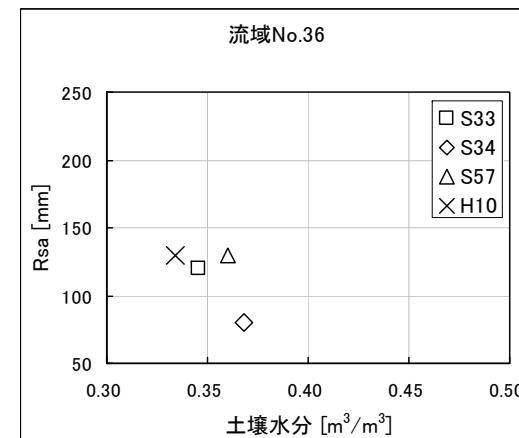
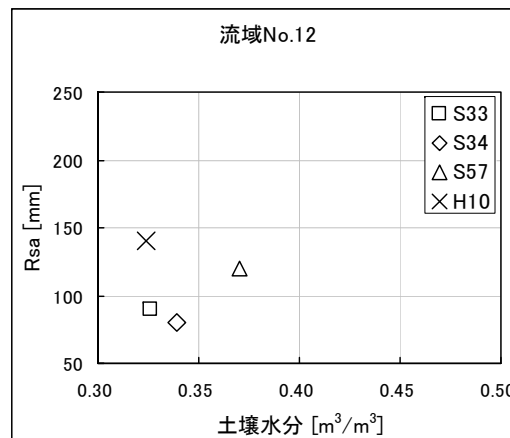
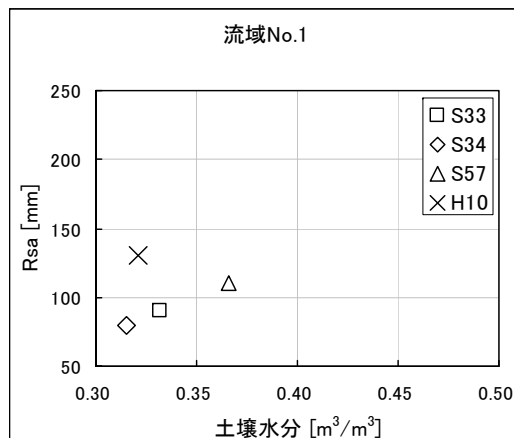
ウ 飽和雨量と流域の状態量

京大モデル:

洪水直前の流域平均貯留高と
現行モデルの飽和雨量との関係
は不明確であった。



東大モデル: 降雨前の土壌水分が高いほど新モデルで設定された飽和雨量が小さくなる傾向が見られた。(昭和33、34年については左下方に固まっている事例(サブ流域No.1,12): 新モデルと東大モデルでの昭和33、34年のサブ流域雨量の算定手法の違いか?)



方針2: 評価—物理的妥当性を有しているか

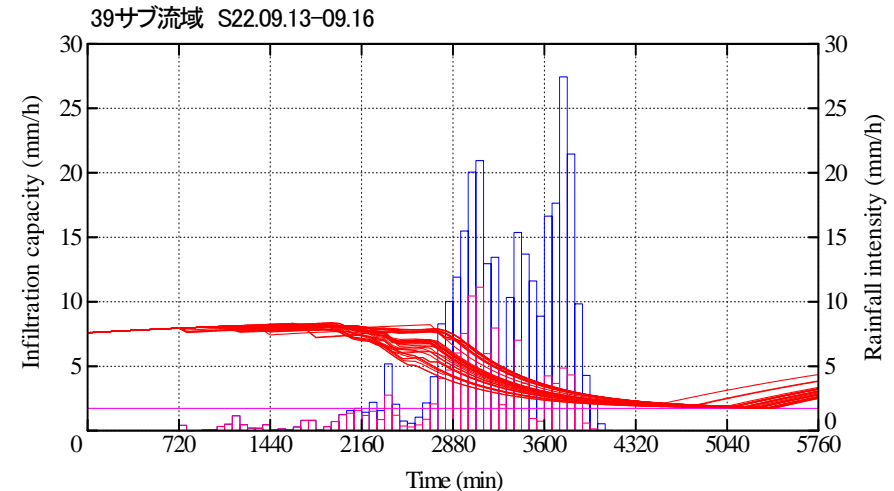
方針3: 他モデルの適用

エ 無降雨期間を含む出水(昭和22年洪水)における浸入能、保留能の回復

神戸大(長短期流出両用)モデル

39のサブ流域のそれぞれの浸入能を1本の曲線で表示している。

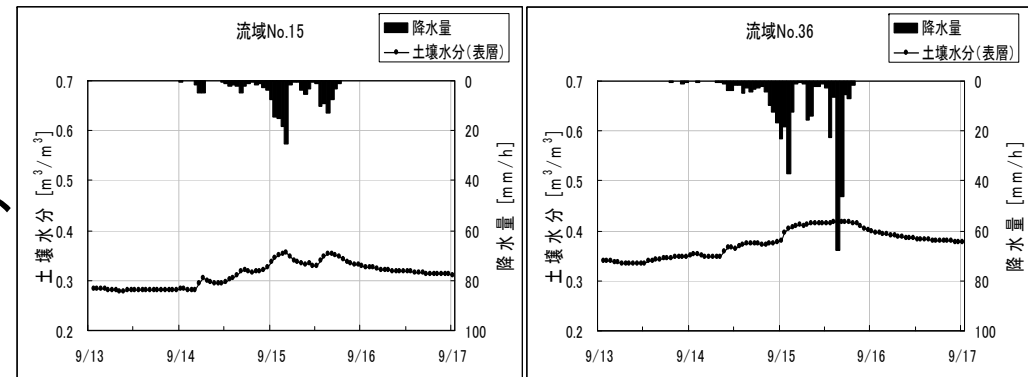
降雨前半の第一ピークと降雨後半の第二ピークの間(3600分頃)には、流域平均雨量では無降雨や微降雨の継続は認められず、どのサブ流域においても浸入能の回復は生じていない。



東大モデル

新生代第四紀火山岩類が支配的なサブ流域: 表層土壌水分が変化、浸入能、保留能の回復あり

その他のサブ流域: 無降雨期間に対応する変化は認められない



新モデルの有効降雨モデルが昭和22年洪水事例に適応可能であることを確認した。

方針2: 評価—物理的妥当性を有しているか

方針3: 他モデルの適用

オ 河道域の拡大と河道貯留

神戸大(貯留関数)モデル

データの利用が可能な一部河道について、河道域の拡大と河道貯留が洪水ピーク流量に与える影響を分析した。

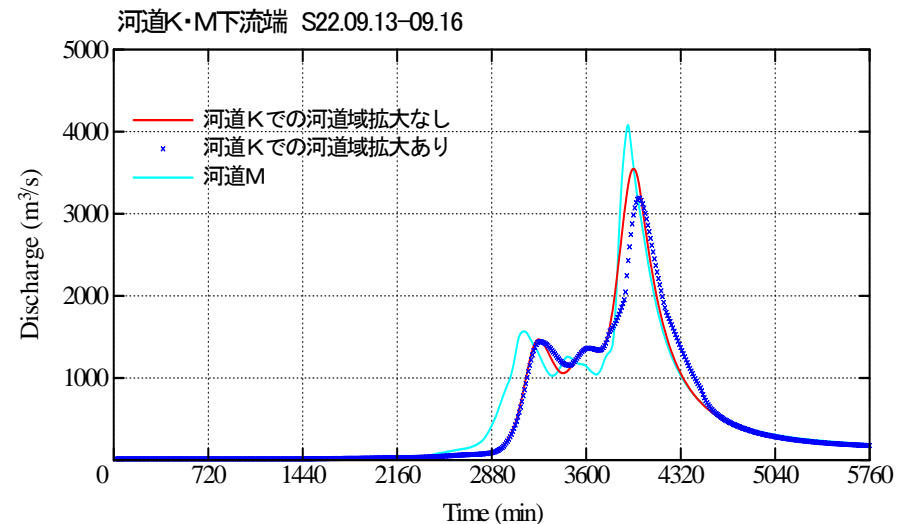
→洪水ピーク流量が低下し、時間遅れが発生した。

→別河道(M)と合流後の岩鼻地点の洪水ピーク流量が低下した。

→八斗島地点の流量も低下した。

↓

大規模氾濫とまではいかななくても、河道域の拡大と河道貯留によって、八斗島での実績流量が計算洪水流量より低くなることを示唆した。



方針2: 評価－異なる事例にあってもモデルの適用性が担保されているか(頑健性)

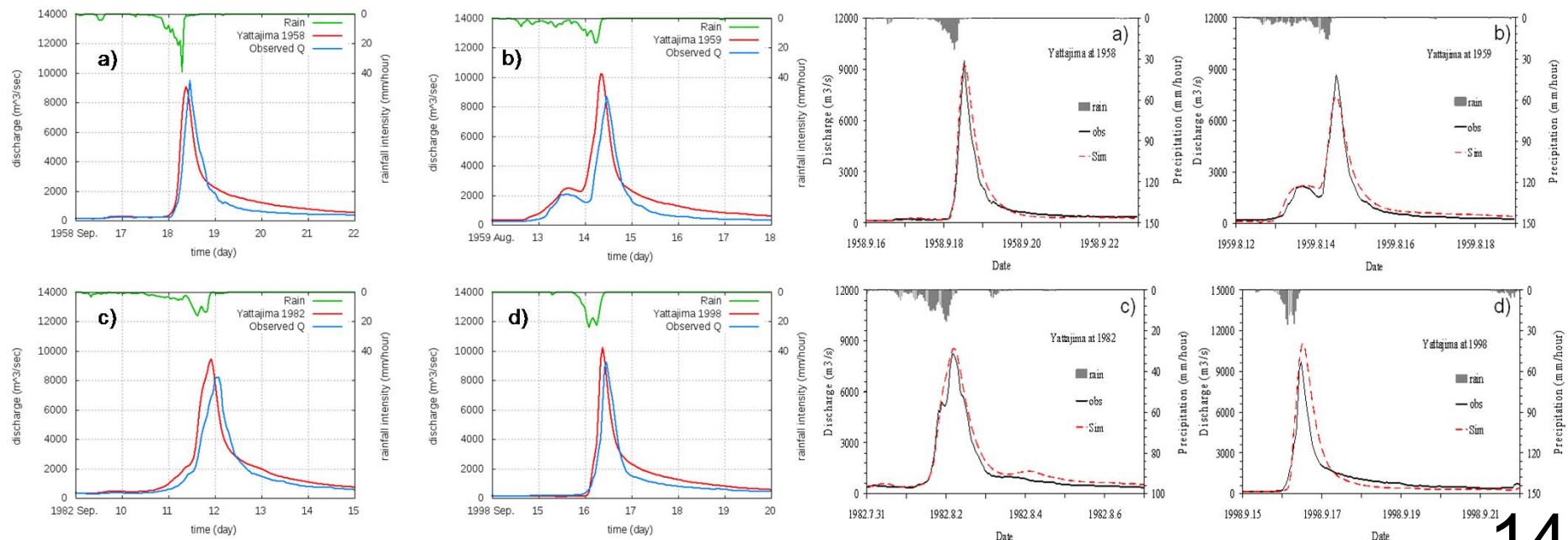
方針3: 他モデルの適用

ア モデルパラメータの感度分析とモデルの適用性

- パラメータの感度分析→ K 、 P ともに計算流量への感度は大きい。
- パラメータ同定に用いなかった昭和33、34年洪水の再現結果がよい。
→新モデルの頑健性

※ $10,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度のチェックのみでは、昭和22年の $20,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度の洪水に対して適用可能かどうかの確認はできていない。

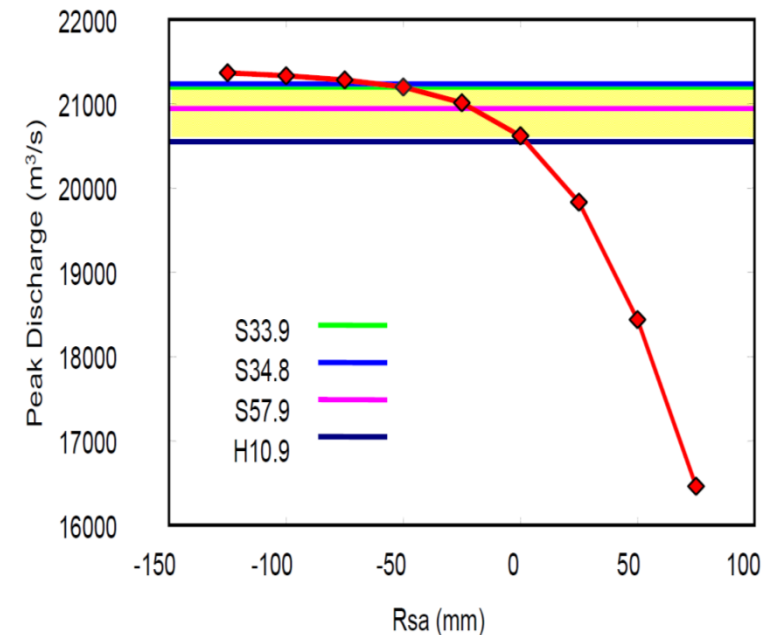
イ 他モデルによる長期の適用可能性の検討



方針2: 評価－異なる事例にあってもモデルの適用性が担保されているか(頑健性)
方針3: 他モデルの適用

ウ 昭和22年の洪水流量の推定幅

- ・ 貯留関数パラメータ: 頑健性を確認した。
- ・ 基底流量: 感度が極めて低い。
→ 初期損失雨量と飽和雨量の影響を確認した。
- ・ 初期損失雨量: 近年15洪水の平均値
- ・ 飽和雨量: 平均値から変化させて計算
- ・ 各洪水(S33,34,57、H10)ごとの値を利用した。
→ 推定値の幅: $-0.3\% \sim +2.8\%$
○ 京大モデル: $20,908 \sim 23,462 \text{ m}^3/\text{s}$
○ 東大モデル: $20,450 \sim 21,955 \text{ m}^3/\text{s}$



エ 洪水時の森林の保水力と流出モデルパラメータの経年変化

- ・ 利根川の里山ではおおむね森林の蓄積は増加し、保水力が増加する
- ・ 洪水ピークにかかわる土壌層全体の厚さの増加には長期の年月が必要。
- ・ 土地利用変化・河道改修などの影響がある
→ いずれのモデルにおいてもパラメータ値の経年変化は検出されず。
※ 森林管理のあり方によっては、モデルパラメータ値の変化に留意が必要。

総合確率法

- 河川計画で対象とする期間総降雨量(利根川流域の場合は3日雨量)から、ハイトグラフの多様性を考慮して、計画超過確率(利根川流域の場合は1/200)に対応する洪水ピーク流量(これを200年超過確率洪水流量とよぶ)を算定する手法として妥当と判断した。
- 個々の降雨波形に対して、洪水ピーク流量の超過確率を算定するときには、降雨の規模以外の諸量の不確かさによる推定幅は考えない。
- 基本高水の算定においては、既往洪水の解析による 推定値、確率降雨から流出モデルを用いて得られる 値、総合確率法によって得られる値、流量データ(氾濫もどし、もしくは雨量からモデルで計算したものを含む)の確率統計解析から得られる値などを総合的に検討することが必要。
- 基本高水の最終決定に至るプロセスと理由の妥当性が広く理解されるような努力が必要。

結 論

- モデルの内容を理解した。
- 現行モデルに含まれる問題点を整理した。
- 水収支に着目した有効降雨モデルに基づく新モデルの開発方法を推奨した。
- プログラム確認、動作をチェックを実施し、基礎方程式・数値計算手法に誤りがないことを確認した。
- 感度分析やシミュレーションを実施し、新モデルの物理的意味合いを検討した。
- モデルの頑健性のチェックと、不確定性の評価を行った。

国土交通省の新モデルによって計算された八斗島地点における

- 既往最大洪水流量の推定値： $21,100\text{m}^3/\text{s}$ の -0.2% ～ $+4.5\%$ の範囲
 - 200年超過確率洪水流量の推定値： $22,200\text{m}^3/\text{s}$
- が妥当であると判断する。

留意事項

技術文書の作成

- 社会基盤計画の基礎と位置づけられる基本高水の算定に当たって、河川管理者は算定の背景・経緯について十分な説明と、科学的な追検証の可能性を担保すべきである。
- 河川管理者は基本高水の算定手法を詳述する技術文書を作成し、レビューする体制を構築することが必要である。
- 河川管理者は観測資料を収集、品質管理、精査、アーカイブするとともに、その経緯を記した文書を整備することが必要である。

附帯意見

1. 既往最大洪水流量の推定値、およびそれに近い値となる200年超過確率洪水流量の推定値と、実際に流れたとされる流量の推定値に大きな差があることを改めて確認したことを受けて、これらの推定値を現実の河川計画、管理の上でどのように用いるか、慎重な検討を要請する。
2. 気候変化に鑑み、今後起こりうるリスクを徹底的に吟味し、様々な対応策のオプションを用意した上で、新たな河川計画、管理のあり方を検討することを要請する。
3. 観測体制の充実、再解析などのモデル出力の利用可能性、物理機構を捉えたモデル化手法や人工的な流水制御・土地利用の変化の効果を定量的に評価しうる分布型・連続時間の流出モデルによるシミュレーション技術、流出計算モデルの共有技術の進展などの、学術の近年の成果を効果的に取り込んだ、より合理的な河川計画の手法を確立し、そこから生み出されるより確かな情報を広く共有することによって、合意形成を図るための計画の形成を要請する。