

気象庁メソ予報モデルGPVを用いた 日本域河川流量予測システムの構築と検証

DEVELOPMENT AND VERIFICATION OF A PREDICTING SYSTEM
OF RIVER DISCHARGE OVER JAPAN USING JMA-MSM-GPV

芳村圭¹・岡澤毅²・キムヒュンジュン³・瀬戸心太⁴・小岩祐樹⁵・沖大幹⁶・鼎信次郎⁷

Kei YOSHIMURA, Tsuyoshi OKAZAWA, Hyungjun KIM, Shinta SETO, Yuki KOIWA, Taikan OKI, and
Shinjiro KANAE

- 1 正会員 工博 カリフォルニア大学サンディエゴ校スクリプス海洋学研究所/
東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)
- 2 非会員 工修 東日本電信電話株式会社 (〒163-8019 東京都新宿区西新宿 3-19-2)
- 3 非会員 工修 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)
- 4 正会員 工博 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)
- 5 非会員 工修 東海旅客鉄道株式会社 (〒450-6101 名古屋市中村区名駅 1-1-4)
- 6 正会員 工博 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)
- 7 正会員 工博 総合地球環境学研究所 (〒603-8047 京都市北区上賀茂本山 457-4)

A new river discharge predicting system all over Japan utilizing Japan Meteorological Agency's Meso-scale model Grid Point Value (MSM-GPV) datasets is developed. The system, "Today's Japan," consists of a land surface model Iso-MATSIRO and a river routing scheme J-TRIP. An Web browser-based visualization interface is also included. This paper presents structure of the system, and manipulates hindcasts for 2003 and 2004 and verifies them by using observed discharge data. The results indicate that the system is robust enough and acceptable for reproducing big flush floods and snowmelt floods, but also find some significant underestimates and shortcomings of reproducing low-flows.

Key Words: river discharge forecast, GPV, land surface models, river routing models

1. はじめに

研究用に開発された気象力学モデルを使って天気予報が始まったのは1950年代のことである。今や高解像非静力モデルを用いて日本全域数kmメッシュの気象が予報され、かつて問題視されていた¹⁾予測降水量の精度も徐々に向上してきている。そのような背景の中、近年世界各国の水文水工分野においても、このような気象予測データを用いた面的な河川流量変動予測に精力的に取り組んでおり、例えばWood et al. (2005)²⁾では北米西部・0.125度での季節予報を目的としたアンサンブル予測などが行われ、Maurer (2005)³⁾では、河川水文モデルを含む様々なモデルを統合した"Global Terrestrial Network Hydrology (GTN-H)"という枠組

みのリアルタイム稼動が提案されている。

本研究では、「リアルタイム洪水予測情報の提供」を念頭において設計された日本全域解像度0.1度における河川流量予測システム"Today's Japan"を構築し、その精度・改良点を検討する。日本において風水害特に洪水被害への対策は喫緊の課題であるが、これまで詳細な解像度で日本全域を対象とした河川流量予測はされていない。特定の河川だけではなく日本全域を対象とすることにより、全国どこにでも起こり得る洪水を逐次カバーできることが特長であり、かつ現在の我が国のニーズに見合ったものである。

本稿では、次章で具体的なモデリング及びシステム構築について説明し、3章にてシステムを検証、4章にてまとめと結論を述べる。

2. システム仕様

(1) データ

a) 入力境界値データ

河川流量予測に用いる入力データには、日々の天気予報に利用されている気象庁メソ数値予報モデル（以下 MSM とする）GPV (Grid Point Value) を利用する。MSM-GPV とは、6 時間毎(2006 年 3 月以降 3 時間毎)に更新される、同化解析値を初期値とした 18 時間先(同 15 時間先)までの日本域気象予測出力であり、本稿でははじめの 6 時間分の予報値を 6 時間毎につなぎ合わせて用いる。使用する地表面気象要素は、気温・比湿・風速・気圧・雲量・降水量のほか、標高・雲量・可降水量等を考慮して算出した下向き地表面短波放射及び長波放射である。この段階では雨雪の区別は行わず、後述する地表面モデル MATSIRO が地表面気温・相対湿度に応じて雨雪判別を行う。

また本稿では、降水量に関して MSM の予測値に加えて全国合成レーダーエコー強度データ（以下 RDR とする）も用意する。より精確な RDR 降水量を用いて流下モデルの感度実験を行う（後述）ためと、誤差の起源を特定しやすくするためである。

もとのデータの解像度は MSM が $0.1^\circ \times 0.125^\circ$ (06 年 3 月以降 $0.05^\circ \times 0.06125^\circ$)、RDR は 2.5km メッシュ (06 年 3 月以降 1km メッシュ) であるが、以降に述べるモデルの解像度である $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ に変換する。これらの気象庁 GPV データは、東大生研喜連川研究室にてアーカイブし、研究用に二次配布されている⁴⁾。

b) 初期値データ

後述するハインドキャスト(過去事象の予測)実験では、一様な初期条件から開始し、2003 年～2004 年の境界条件を 10 回繰り返した後の地表面物理量及び河川貯留量を初期値データとしている。リアルタイムランにおいては、直前の回によるその時刻の予測値をそのまま初期値として使用している。

c) 検証用流量データ

国土交通省水文学データベース (<http://www1.river.go.jp>) から入手できる流量データを用いる。1 年以上の年流量(流況表)が入手できる観測点は、212 地点(62 水系)であった(流量観測点は約 370 地点)。それぞれの観測点を次節で述べる河川流路網 J-TRIP に落としこんだところ、空間分解能の問題等から、地点によっては異なる水系に位置したり、同水系内でも合流点との相対位置の違いによって流域面積が大きく異なったりする。このようなエラーを排除した結果、流域面積がほぼ一致する検証用観測点の数は 99(35 水系)となった。これらの地点においては、複数年のデータを用い、平均年流量と年々変動幅を求めた。

観測された水位が流量として確定されるのは数年後であり、今回実験を行う 2003 年と 2004 年に関しては、

2006 年 9 月の時点で 2003 年の日流量が数点で出揃っているのみであった。よって、表-1 に示した代表的 6 河川下流域の観測点にて 2003 年 1 月 1 日から 2004 年 12 月 31 日までの毎時間の水位データを収集し、あらかじめ求めておいた水位-流量曲線を用いて経験的に時間流量を求めた。詳細は岡澤(2005)⁵⁾に記載がある。

表-1 詳細検証用水位観測地点

観測地点	水系	東経	北緯	流域面積(km ²)	
				モデル	観測
石狩大橋	石狩川	141.55	43.12	12470.5	12696.7
狐禅寺	北上川	141.17	38.95	7059.2	7065.6
栗橋	利根川	139.70	36.14	9039.0	8588.0
小千谷	信濃川	138.81	37.31	9322.9	9719.0
枚方	淀川	135.65	34.81	7279.9	7281.0
岩津	吉野川	134.20	34.06	2869.4	2810.0

(2) モデル

a) 地表面モデル Iso-MATSIRO

地表面における水・エネルギーの物理挙動を算定するモデルとして Iso-MATSIRO⁶⁾ を用いる。MATSIRO は CCSR/NIES 大気海洋大循環モデルの標準地表面モデルであり、マクロスケールでの基底流出過程に関する改善が施されている⁷⁾。Iso-MATSIRO は MATSIRO に水の安定同位体の挙動を組み込んだものである。鉛直一次元モデルであり、グリッドをまたいだ水平方向の熱・水輸送は考慮されていない。

河川流量に直結する流出量(Runoff)の計算は、大まかに基底流出計算と表面流出計算に分けられる。基底流出に関しては、TOPMODEL を広域に適用した応用概念を用いている。まず細かい空間解像度の高度データ(本稿では GTOPO30)から当該グリッド内における標高の標準偏差及び平均傾斜を算出する。この過程はモデルの空間解像度による流出特性の違いを考慮するものである。さらに、土壌水分量に応じて上下する平均地下水水面から当該グリッドにおける地下水涵養速度を求め、準定常仮定によりそれと釣り合う量の地下水(基底)流を求める。表面流出に関しては、飽和域における飽和表面流出と土壌の浸透能を越えた場合に発生する Horton Flow を考慮している。そのようにして算出した流出量は河川流下モデルに渡される。

b) 河川流路網及び流下モデル J-TRIP

空間解像度 0.1 度・日本全域を対象として作成した J-TRIP (Japan Total Runoff Integrating Pathways)⁵⁾ を用いる。モデルパラメタである実効流速については、後述の感度実験により 0.8m/s を採用した(cf. 解像度 1 度の全球 TRIP では 0.5m/s⁸⁾)。本モデルの特徴として、基底流などの比較的遅い流出成分も表層の流出メカニズムでまとめて表現しているため、実際に河道で直接測定される流水速度よりも小さな値が適切となる。

(3) リアルタイムラン及び視覚化インターフェイス：
Today's Japan

本研究では、実用に耐えうるリアルタイム河川流量予測システムの構築を目標としている。その一環として、Webブラウザを介して河川流量及びその他の水文要素の予測値をJAVA動画で配信するサービスを開発している。これは、東大生産研沖・鼎研究室で行っているリアルタイム水文予測シミュレーションToday's Earthシリーズ⁹⁾の一つ“Today's Japan”として実際に約10時間先までの予測を行い、公開している(図-1：<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/LIVE>)。

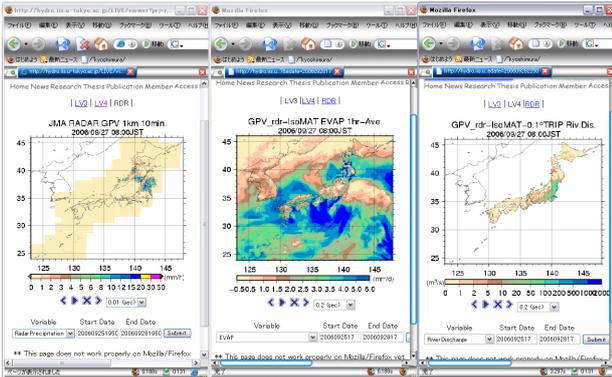


図-1 Today's Japan のブラウザ上での表示画面

左からレーダー雨量・蒸発量・河川流量が示されている。

3. 2003-2004 ハインドキャスト

実用に耐えうるリアルタイム河川流量予測システムの性能精査のため、過去を現在と見立てて予測するハインドキャストを行う。具体的には2003年から2004年の二年間を対象に、①入力降水量の比較、②観測降水量(RDR)を用いた感度実験及びパラメタの決定、③予測降水量(MSM)を用いた本実験及びRDR実験との比較、④2003年を教師期間とした予測誤差減少のためのモデル出力変換関数の考案及び2004年での検証、を順に行った。

(1) 降水量の比較

まず、MSM降水量とRDR降水量の比較を行う。前節で選別した99の流量観測点の上流域の平均年降水量を図-2に示す。RDR降水量は観測値であり、MSM降水量はモデルによる降水予測値である。全体的にMSMの過大傾向が見られるが、2004年に激しく過小評価している3地点は、全て吉野川流域であった。

このことを細かく見てみると、MSMでは2004年に頻発した台風がもたらした降水の定量的な予測精度が良くなかったことが分かった(図-3)。04年7月31日-8月2日に西日本に被害をもたらした台風10号、8月15日-17日の台風15号、9月27日-29日の台風21号の影響による降水量の過小評価が目立った。吉野川岩津地点において最高水位を記録(但し未確定)した台風23号(10月18日-20日)については、MSM・RDR共に同程度の降水量であった。

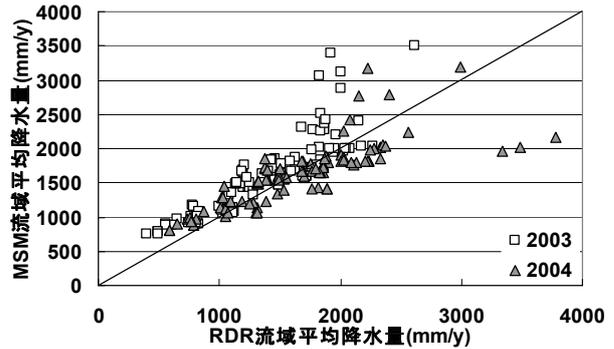


図-2 水位観測所99点における流域平均年降水量の比較

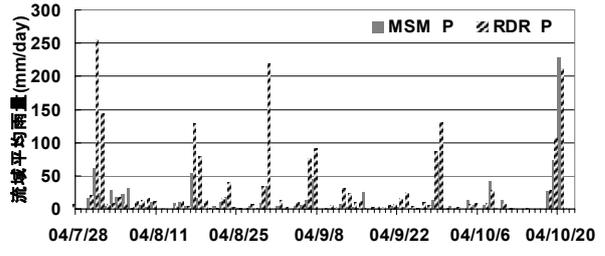


図-3 岩津地点での流域平均日雨量の推移

しかし上記のような見逃し例も存在するものの、その他の流域平均値を分析すると、時間単位・日単位変動において高い一致(相関係数で0.8以上;図は省略)を示す¹⁰⁾。すなわちMSM降水量は、空間的なずれがあるものの極端事象の再現性は決して低くなく、結果としてグリッド毎の比較においては精度の低い降水量¹¹⁾も、河川流量といういわば時空間積分値の予測目的においては利用可能だと考えられる。また、空間解像度の改善等により降水予測精度が着実に向上している背景において、どの程度の降水予測精度がどのような災害防止に役立つのか提示することは工学的に大変有意義である。そのような意味も含め本稿では、予測と観測両方の降水量を用いた実験を行う。

(2) RDRを用いた感度実験及びパラメタの決定

J-TRIPの実効流速を検討するため、RDR降水量を入力値としたいくつかの実験を行った。表-1の各流量観測地点で日平均流量の時系列変化と比較したところ、表-2のような結果となり、以降0.8m/sを実効流速として決定する。RMSEもV=0.8m/sのときに最小値が得られた(図表は省略)。ちなみに、RDRの精度が最高とするなら、表-2は本システムの河川流量予測性能のほぼ上限を表していることとなる(降水量以外の境界条件や初期条件を固定した場合)。

表-2 各実効流速における推定と観測流量の相関(RDR, 2003)

V(m/s)	石狩	狐禅寺	栗橋	小千谷	枚方	岩津	Ave
0.5	0.743	0.743	0.792	0.655	0.737	0.703	0.729
0.7	0.762	0.750	0.831	0.629	0.728	0.831	0.755
0.8	0.767	0.740	0.829	0.624	0.717	0.870	0.758
1.0	0.773	0.704	0.793	0.626	0.687	0.894	0.746
1.2	0.774	0.660	0.735	0.627	0.649	0.869	0.719

(3) MSM を用いた本実験及び RDR 実験との比較

a) 年総流量及び流域水収支

99 の水位観測点における年流量との検証を行う。2003 年・2004 年に関する確定流量データはまだ出揃っていないため、過去の平均値と変動幅を用いる。図-4 は、全ての地点について平均年流量で除すことにより標準化し、北から順に地域・水系別に並べたものである。この図から、北部日本(北海道・東北)において、MSM・RDR のいずれも流量の系統的な過小評価が目立つことが判明した。逆に中国・四国地方では観測の平均値を大きく上回る地点も見られる。しかし、後述するが、四国における 2004 年の RDR 実験による推定流量の大幅超過は 2004 年の観測事実よりはかなり小さい。

代表 6 河川を抽出し、実際の時間水位データから換算した流量によって検証を試みたのが表-3 である。2004 年の岩津を見ると、平年の 3 倍の流量があったことがわかる。前年と比較すると 4 倍近く、2004 年の台風被害の大きさが窺える。これに対し MSM 実験では前述の雨量再現性の問題もあり再現できなかったが、RDR 実験でも大きな差がある。このような、RDR 実験結果と実際の年観測流量と大幅な不一致は、総じて現在のシステムの瑕疵に拠るものであり、今後重点的に改良を加えていくべきである。

また MSM 実験と RDR 実験の流域水収支の違いからは、降水量が異なっても蒸発量にはあまり影響しないことがわかる。つまり蒸発に対しては水よりもエネルギーが制限要因であり、流出量には降水量の影響が強くなる、ということを示している。

b) 時系列データの分析

では、代表 6 地点における流量の時間変化について検証を進める。図-5 に、石狩大橋と栗橋の 2004 年のハイドログラフと流域平均降水量のハイトグラフを示す。石狩大橋では、4 月から 5 月にかけて融雪によるピークがあり、そのピークはタイミング・絶対値ともに良好に再現されている。どちらかというとも MSM 実験の精度のほうが良い。表-3 で明らかになった年流量の過小は、ピーク流量以外がほぼ一貫して過小となっていることに起因していることが分かる。実際には、正常な河道の維持に必要な水量約 100m³/s が真冬の間も流されているからだと考えられる¹¹⁾。

栗橋では、4 月から 6 月にかけてのピークの空振りが見られる。RDR 実験では顕著に見られないことから、MSM 降水量の空振りに起因するものであると考えられる。また、10 月の 2 つのピークはタイミング・絶対値共に精度良く再現されている。

他の地点、他の年の結果(紙面の都合上図は省略)をみても、春の雪解けピークは MSM 実験のほうが精度良く、夏の(フラッシュ)洪水ピークは RDR 実験のほうが良かった。すなわち、降雪量に関しては RDR の観測値

に問題がある可能性がある。この点は今後積雪や土壌水分を用いた検証などを行うことによって明らかにする必要がある。

(4) モデル出力変換関数の考案及び検証

前節までの解析により、絶対量に対する誤差はあるものの洪水ピークのタイミング及び相対的な量は許容可能であると考え、ここでは、絶対値の誤差を減少させる、すなわち予測誤差を最小にするモデル出力変換関数を考案する。

図-6 に、石狩大橋・栗橋・岩津の 3 地点での観測・MSM/RDR 実験の日単位流況曲線を示す。岩津を除いて、観測の流況は 2003 年と 2004 年で大きく異なることが見て取れる。また各予測流量と観測流量の違いは、対数軸によって強調されているように、豊水以下の流量において年々の違いよりも大きな系統的な差があることがわかる。そこで、ピークをずらさず相対的な大小も保存する変換関数として、モデルの流況曲線を観測のそれにフィッティングさせた関数を用意する。2003 年を教師期間として 2004 年に適用した結果を示す(表-4)。

2003 年と 2004 年の流況が特に大きく異なる岩津では大幅に再現性が減少してしまったが、他の地域では、相関係数が少しだけ上がり、RMSE が大幅に減少した。図-5 にはこの変換関数を通した予測流量も付記している。石狩大橋での低水期間の増量及び栗橋での空振りピークの低減に役立っていることが分かる。こうした経験的な変換関数を利用するのは、気象予測において数値天気予報結果を天気概況に結びつける model output statistics (MOS) と同様、数値モデルの誤差を実用的に減らすためには有効であるが、モデルの精度が向上した際などには再度設定しなおす必要が生じるという欠点もある。

4. おわりに

現在稼働中の気象庁メソ数値予報モデル GPV を用いたリアルタイム河川流量予測及び視覚化システム "Today's Japan" を構築し、その性能評価のため、2003-2004 年というまとまった期間に対してハインドキャストを実施し、検証を行った。行った解析は以下の通りである。

- ① 6 時間分の予測降水量とレーダー観測降水量の比較
- ② レーダー観測降水量を用いた流下モデルパラメタの感度実験及び実効流速の決定
- ③ 6 時間分の予測降水量及び予測気象要素を用いた 2003-2004 年のハインドキャスト及び性能評価
- ④ 流況曲線を利用したモデル出力変換関数の考案及び検証

流量検証用の観測データとして、国土交通省水文水質データベースの流量データ及び水位データを整備し、

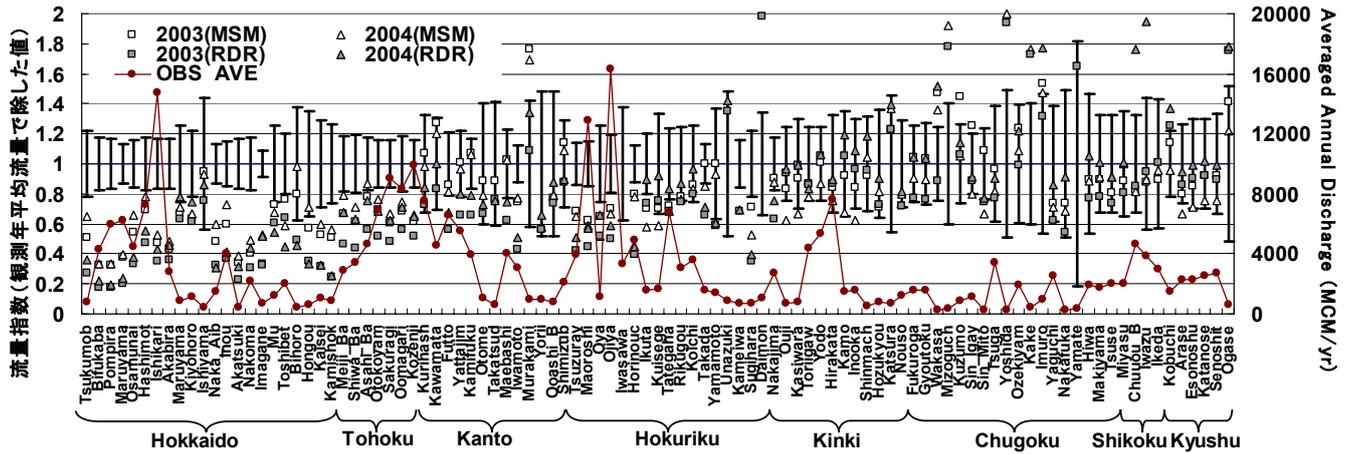


図-4 各観測地点での推定流量と観測平均年流量及び年々変動標準偏差との比較。各地点において観測年平均流量で除することで標準化している。白抜きはMSM実験、塗りつぶしはRDR実験を示す。●は観測平均流量。

表-3 詳細検証地点における年間水収支と観測年流量

年	観測地点	流量(MCM/yr)				降水量(mm/yr)		蒸発量(mm/yr)		流出高(mm/yr)		残差(mm/yr)	
		平年	観測	MSM	RDR	MSM	RDR	MSM	RDR	MSM	RDR	MSM	RDR
2003	石狩大橋	14711	13856	6970	5127	996.0	808.6	429.4	435.5	558.9	411.1	7.8	-38.1
	狐禅寺	9898	9159	6108	5101	1434.1	1279.2	590.7	582.8	865.2	722.7	-21.8	-26.3
	栗橋	7510	3343	8036	5486	1488.5	1176.1	610.9	594.6	889.1	606.9	-11.5	-25.5
	小千谷	16352	13920	11427	8111	1837.9	1439.8	615.8	615.9	1225.7	870.0	-3.5	-46.2
	枚方	7602	6603	6395	6614	1719.2	1758.9	846.6	860.0	878.5	908.5	-5.9	-9.7
	岩津	3866	3310	3407	3651	1967.4	2027.8	793.4	781.7	1187.3	1272.3	-13.4	-26.2
2004	石狩大橋	14711	13176	7719	6308	1106.8	1055.9	486.8	506.2	619.0	505.8	1.0	43.9
	狐禅寺	9898	10348	6510	6421	1576.1	1551.6	637.0	626.9	922.2	909.5	16.8	15.1
	栗橋	7510	4106	7403	6351	1482.3	1323.7	655.9	633.6	819.1	702.6	7.3	-12.5
	小千谷	16352	14614	10948	9570	1824.9	1693.1	657.9	675.3	1174.3	1026.5	-7.3	-8.8
	枚方	7602	6882	5727	6791	1659.5	1833.0	854.7	882.7	786.7	932.9	18.1	17.4
	岩津	3866	11690	3461	7540	2020.7	3489.9	805.5	850.5	1206.0	2627.9	9.1	11.6

(MCM: Million Cubic Meters)

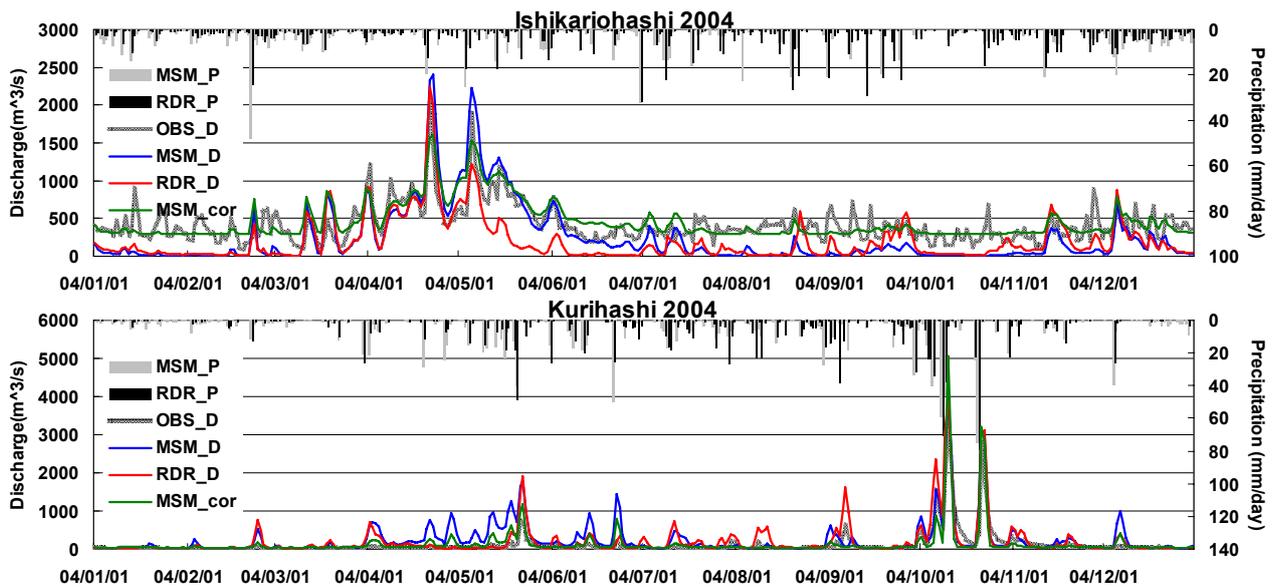


図-5 石狩大橋(上図)と栗橋(下図)におけるハイドログラフ及び流域平均雨量のハイトグラフ

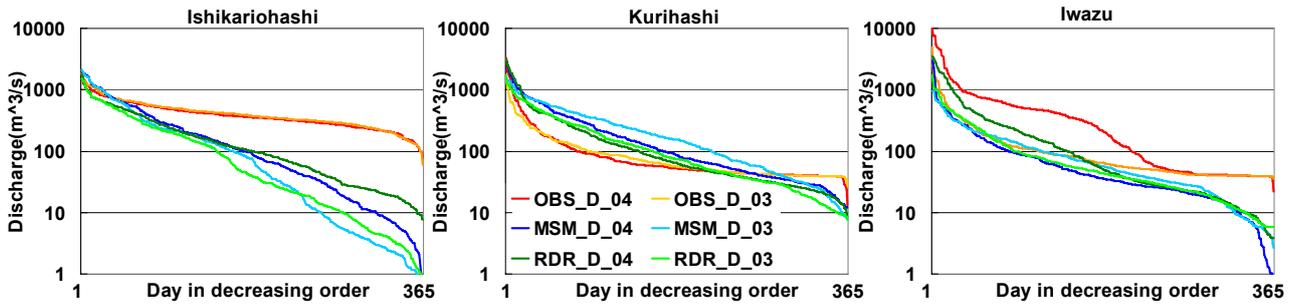


図-6 石狩大橋・栗橋・岩津各地点での流況曲線

表-4 モデル出力流量変換関数の詳細及び
2004年への適用結果 (灰色は改善点)

MSM		石狩	狐禅寺	栗橋	小千谷	枚方	岩津
Converter aX^2+bX+c	a	-9e-05	4e-05	3e-4	2e-4	3e-4	1.9e-3
	b	0.760	0.691	0.084	0.710	0.316	0.278
	c	289	152	40.3	140	99.2	47.8
	R ²	0.930	0.970	0.977	0.996	0.980	0.973
相関	前	0.794	0.790	0.832	0.739	0.658	0.570
	後	0.781	0.793	0.903	0.707	0.660	0.437
RMSE (m ³ /s)	前	303	225	266	351	337	1045
	後	166	153	171	370	417	1984
(参考2003)							
相関	前	0.823	0.730	0.698	0.819	0.538	0.638
	後	0.825	0.734	0.747	0.817	0.551	0.700
RMSE (m ³ /s)	前	319	212	286	223	264	284
	後	148	149	113	207	204	271

99地点において年流量ベースで、6地点において時間流量(水位)ベースでの検証を行った。

予測降水量は、特に大きな極値の再現性に関しては定量的な困難が付きまとうが、河川流量といういわば時空間積分された値の予測に関しては、十分実用に耐えうるシステムの構築が期待できる。流量に関しては、日本全体、特に北部に過小バイアスがかかったり、台風による記録的な洪水ピークが忠実に再現されなかったりするものの、年間を通じたハイドログラフではピーク流量及びタイミングが再現されており、今後の改善により実用可能なレベルにすることができると考えられる。例えば最後に提案した変換関数は経験的なものであるが、モデルと現実をつなぐ翻訳関数のような役割を担うため、実用化の際にはどうしても必須となると考えられる。

今後は、本研究によって見出されたシステムの弱点を補い改善する仕組み等をリアルタイム予測システムに取り入れ、より一層再現性を強化していく。例えば、ダム操作等の人間活動の考慮は最有力案の一つである。また、再現性だけではなく、さらにユーザーフレンド

リーなインターフェイスを開発し、分かりやすく社会に情報発信していくことが実用面において大切であると考えている。

謝辞: 有益なコメントを下された3名の査読者に感謝いたします。第一著者は海外特別研究員として日本学術振興会から研究活動費を頂いています。また本研究は、河川環境管理財団河川整備基金及び地球観測システム構築推進プラン(GEOSS)、環境省地球環境研究総合推進費S4テーマ2-1の助成を受けています。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 中北英一ほか6名:3次元レーダーおよびGPVデータを用いた短時間降雨予測手法, 水工学論文集, 第40巻, pp.303-308, 1996.
- 2) Wood, A.W., A. Kumar, and D.P. Lettenmaier, A retrospective assessment of NCEP climate model-based ensemble hydrologic forecasting in the western United States, *J. Geophys. Res.*, 110, D04105, doi:10.1029/2004JD004508, 2006.
- 3) Maurer, T, The Global Terrestrial Network for River Discharge (GTN-R) - Near real-time data acquisition and dissemination tool for online river discharge and water level information. Proc. First International Symposium on Geo-information for Disaster Management, 2005.
- 4) GPV Data Archive, <http://gpv.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp/GPV/>, 2006.
- 5) 岡澤毅, 0.1度グリッド河道網を用いた日本域河川流量予測システムの開発, 東京大学修士論文, 2005.
- 6) Yoshimura, K., S. Miyazaki, S. Kanae, and T. Oki, Iso-MATSIRO, a land surface model that incorporates stable water isotopes, *Glob. Planet. Change*, 51, 90-107, 2006.
- 7) Hirabayashi, Y., S. Kanae, I. Struthers, and T. Oki: A 100-year (1901-2000) Global retrospective estimation of terrestrial water cycle, *J. Geophys. Res.*, 110, D19, D1910110, doi 10.1029/2004JD005492, Oct, 2005.
- 8) Oki, T and Y. C. Sud, Design of total runoff integrating pathways (TRIP) A global river channel network, *Earth Interactions*, 2, 1998.
- 9) Live Simulations, <http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/LIVE/>, 2006.
- 10) 岡澤毅, 花崎直太, 沖大幹, 鼎信次郎, 芳村圭, 0.1度日本域河道網を用いた流量予報システムの開発, 生産研究, Vol57, No.4, pp192-196, 2005.
- 11) 是枝信和ほか6名:気象庁メソ数値予報モデル(MSM)GPVの危機管理型防災対策への利用可能性, 水工学論文集, 第47巻, pp.91-96, 2003.
- 12) 石狩川水系河川整備基本方針, 国土交通省河川局, 2004.

(2006.9.30受付)