ＪＭＡ89モデルを用いた河川流出量の評価（?）－流路網モデルの開発－

著者	一柳 錦平, 千葉 長, 杉 正人, 隅 健一, 佐藤 信夫
雑誌名	防災科学技術研究所　研究報告
巻	58
ページ	29-39
発行年	1998-03
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00001085

防災科学技術研究所研究報告　第58号　1998年3月

JMA 89モデルを用いた河川流出量の評価(II)
—流路網モデルの開発—

一柳錦平*・千葉　長*・杉　正人**・隈　健一***・佐藤信夫****

River Runoff Estimation Simulated by the JMA89 Model (II)
—Development of the River Routing Model—

By

Kimpei ICHIYANAGI*, Masaru CHIBA*, Masato SUGI,
Ken-ichi KUMA*** and Nobuo SATO****

**Atmospheric and Hydrospheric Science Division,*
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan
***Climate Research Department, Meteorological Research Institute, Japan*
****Numerical Prediction Division, Japan Meteorological Agency, Japan*
*****Office of Meteorological Satellite Planning Japan Meteorological Agency, Japan*

Abstract

A river routing model was developed to estimate seasonal variation in river runoff. ISLSCP data as opposed to AGCM output was used to parameterize the velocity of each rivers. Parametrization resulted in calculations for seasonal variation being well improved in about half of the subject rivers. The flow velocity was almost 0.1-0.2 m/sec. However, parametrization was not able to estimate the flow velocity in snowy or dry regions. For some rivers in snowy regions, results from the SiB Model corresponded well with observations during periods of snow melting. The results showed there is no need to consider residence time of the river channel if the flow velocity is so fast as to have no effect on the seasonal variation of river runoff.

Key words : Atmospheric general circulation model, Simple-Biosphere model, River runoff, Water balance in major river basins, River routing model

1．はじめに

大気大循環モデル（AGCM；Atmospheric General Circulation Model）における地表面過程は，水やエネルギーの再配分と植生によるフィードバック効果を表現するため非常に重要であり，例えば，Sellers *et al.* (1986) のSiB (Simple-Biosphere) モデルや，Dickinson *et al.* (1986) のBATS (Biosphere-Atmosphere-Transfer-Scheme) など，様々なモデルがAGCMに組み込まれている．これらのモデルを検証する方法の一つとして，短期間の集中観測データがよく利用されており，Betts *et al.* (1996) はAGCMの計算結果と，北アメリカで行われたFIFE (First International Satellite Land Surface Climatology Project Field Experiment) やBOREAS (Boreal Ecosystem Atmosphere Study) の観測データを比較して，異なる時空間スケールでの土壌水分，蒸発，降水の相互作用や初期値の重要性について議論している．

*防災科学技術研究所　気圏・水圏地球科学技術研究部
**気象研究所　気候研究部
***気象庁　数値予報課
****気象庁　気象衛星室

しかし，集中観測のデータはその期間内での評価であり，AGCMの長期積分の結果を評価するためには使用できない．そこで，AGCMの平均値を評価するためには，長期間にわたって観測が行われている河川の流出量データがよく利用される．河川流出量は，降水量から蒸発散量と土壌水分の変化量を引いたものであり，長期的に見ると土壌水分の変化量は無視できる．このように，河川流出量は流域単位での広域的な水循環を表しており，AGCMの結果と観測値の比較を行なった研究も多い．例えばRussel and Miller (1990) は33河川について，AGCMの結果はGRDC (Global Runoff Data Center) の観測データとよく一致していることが報告しているし，Oki *et al.* (1995) は，大気中の水蒸気量まで考慮した大気水収支法を用いて，流域の水収支を推定し，観測データと比較している．同様に，一柳ほか (1997) では積雲対流スキームの違いによる流域水収支の変化を，大河川について観測値と比較した．その結果，河道貯留の滞留時間を考慮しないと，河川流出量の季節変化が評価できないことが指摘された．

このようなAGCMの検証だけではなく，マクロな水文モデルとして，また大気—海洋結合モデルの淡水フラックスを表現するために，河川流出量の季節変化を表現できる流路網モデルが開発されている．例えば，Sausen *et al.* (1994) は土壌タイプや植生・地形勾配を使って，河川の滞留時間を表現しているし，鼎ほか (1995) は河川流速のパラメタリゼーションを行い，流路網モデルの有用性を評価している．しかし，これらの研究ではAGCMの出力結果を観測値に合うようにパラメタリゼーションしており，客観的に適切であるという保証はない．そこで本研究ではAGCMに流路網モデルを構築し，ISLSCP Initiative I CD-ROMのデータセットを使用して流速のパラメタリゼーションを行った．

2．数値実験および観測データ

2.1　JMA 89モデルと観測データ

本研究に使用したAGCM (JMA 89) は，気象庁において現業別の予報モデルとして使われていたものを，長期間積分し易いように水平分解能をT 42にしたものである．積雲対流スキームはKuo方式の他に，PAS (Prognostic Arakawa-Shubert) 方式を用いた．同じ初条件から，両スキームによる実験を10年間実行し，その平均値について解析を行った．陸面水文過程にはSiBモデル (佐藤，1989) が使われている．モデルの河川流域は，GRDCのデータから面積の大きい27河川を選定し，地形と流路を考慮して流域区分を行った．各河川の流出量は流域全体ではなく，流量観測地点より上流にある格子点の総和として計算した．

降水量の観測値は，NOAA Baseline Climatological Datasetsの中のMonthly Station Precipitation Dataを用い，河川流出量と同じく，流域ごとに全観測点を抽出して平均した．河川流出量の観測値はGRDCデータを用い，欠測期間を除いて月平均した．ただし観測期間が短い河川については，気候学的な平均値を表していない可能性もある．

2.2　流路網モデルと客観解析データ

各河川の流域区分と流路を，図1に示す．基本的には標高データを基にして流域区分し流向を決めたが，流路が連続するように手作業で修正した．各グリットとも河川の流れは4方向とし，流入はいくつあっても構わないが，流出は1方向とした．流路網モデルの基礎方式を，以下に示す．

$$\frac{\partial W}{\partial t}=R_{SiB}+(\alpha_1 W_1+\alpha_2 W_2+\alpha_3 W_3+\alpha_4 W_4) \qquad (1)$$

ここでWは各グリッド内の河道貯留量をR_{SiB}はSiBモデルの河川流出量を表す．またW_{1-4}は4方向の格子点からの移動量を，α_{1-4}は4方向の流出係数を表す．タイムステップは，AGCMに合わせて5日とした．流出係数は流速(v)のみの関数とし，流域内では一定とした．dはグリッド間の距離を表している．

$$\alpha=\frac{v}{d} \qquad (2)$$

河川流速を決定するために，ISLSCP (International Satellite Land Surface Climatology Project) Initiative I CD-ROM (Meeson *et al.*, 1995 ; Sellers *et al.*, 1995) のGlobal Data Sets for Land Atmospheric Modelsを利用した．降水量データとしてGPCP Precipitationを，蒸発量データとしてECMWF Surface latent heat fluxを用いた．このデータセットは1°グリッドであるが，AGCMに合わせてT 42に平均した値を用いた．1987年と1988年の「降水量—蒸発量」の月平均値を計算し，内挿して5日平均にした．その値を河川流出量の推定値と仮定して，流路網モデルのR_{SiB}に代入した．流速(v)を0.1 m/secから0.5/secまで変化させて，それぞれを3回（6年分）計算し，3回目の結果を観測値と比較した．

3．流路網モデル

3.1　流速のパラメタリゼーション

AGCMのSiBモデルから出力される河川流出量は，水平方向への移動は考慮されていない．そのため河川流出量の季節変化を評価するためには，河道貯留の滞留時間の影響を考慮する必要があることを前報で指摘した．そこで今回は，各河川流域内に流路網モデルを構築し，流速のパラメタリゼーションを行なった．代表的な河川について，「降水量—蒸発量」と，流路網モデルを使って流速を0.1 m/secから0.5 m/secまで変化させた結果を，図2-1および2-2に示す．ただし，GRDCの観測値は長期間の平均値であるため，1987年も1988年も同じ値として図中に示した．

その結果Amazonas, Danubeでは0.2 m/sec, Zaire, Blue Nileでは0.1 m/secとした時に，流路網モデルの結果は観測値の季節変化と非常に近くなる．このようにして流路網モデルの季節変化が，観測値に最も合う流速

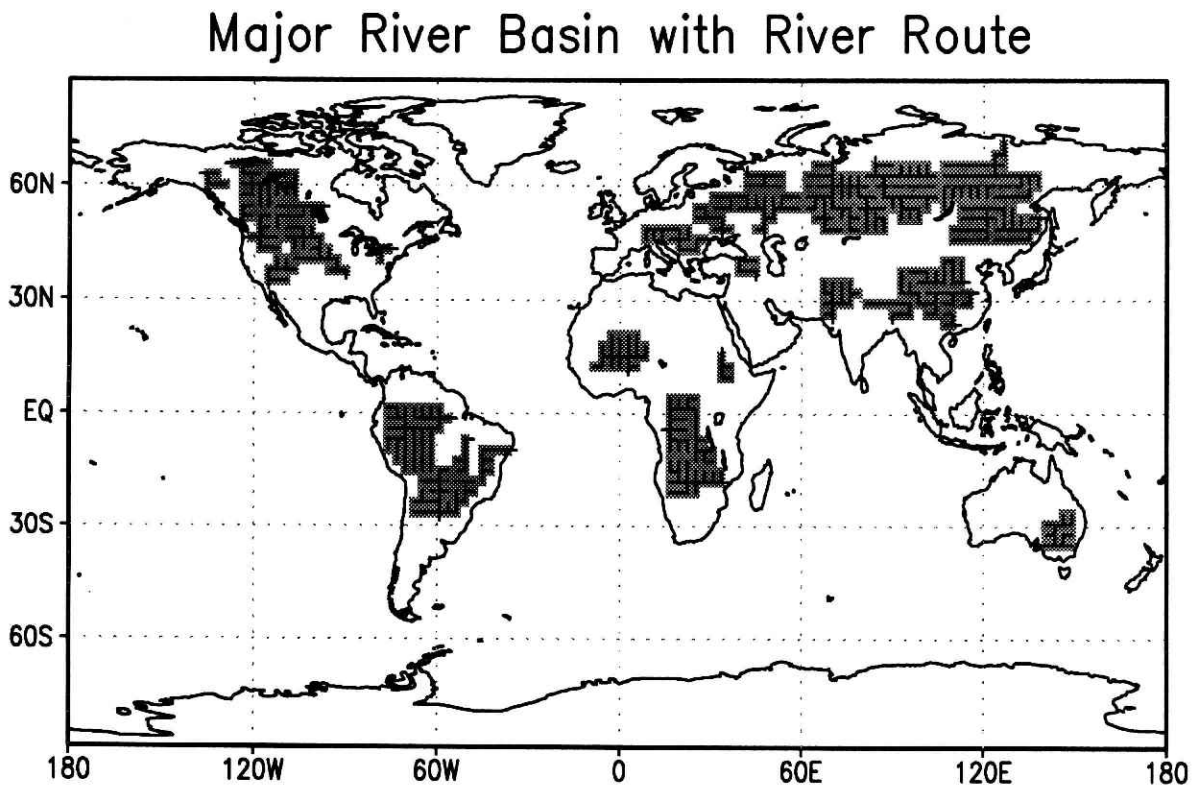


図1　各河川の流域区分と流路

Fig. 1　Distributions of river basins and channel network.

を求め，各河川の流速を決定した．その結果．約半数の河川で適切に流速を評価することができた．しかし積雪域の Lena, Yenissei では，融雪時に河川流出量が急激に増加する．このような融雪による河川流出量の急増は，ISLSCP の「降水量—蒸発量」のデータからは表現できないため，流路網モデルの流速を決定することはできなかった．また乾燥域の Murray, Colorado では，河川流出量の観測値は ISLSCP の「降水量—蒸発量」のデータと比べて非常に少ない．このように河川流出量が合わない理由として，沖ほか（1997）は，降水量の観測地点が少ないことを挙げている．その他，Brahmaputra, Changjiang では，流路網モデルを使わない ISLSCP の「降水量—蒸発量」のデータの結果と，観測値との間に位相のずれがない．Indus, St. Lawrence では，振幅の大きさが全く異なる．St. Lawrence でモデルの振幅が大きすぎるのは，現実の河川は湖の影響によって振幅が小さくなるためと推定される．以上のような河川では，流路網モデルの流速は適切に評価できない．全河川の結果を，表1に示す．

流速を評価できた河川は，Amazonas, Danube が 0.2 m/sec, Zaire, Parana, Missouri, Niger, Zambeze, Huanhe, Dniepr, Blue Nile, Araguaia, Euphrates が 0.1 m/sec となった．このように流速は 0.1 m/sec か 0.2 m/sec と推定され，それより流速の大きい河川は見られない．このことは，流速を早くすると河道貯留の滞留時間が短くなり，流路網モデルの効果が表れなくなることを示唆する．また，河川流出量の振幅が小さい河川では絶対値は合わなくても，流速を小さくしておけば振幅は小さくなり，ある程度は季節変化を表現できるようになる．一方，積雪域の Ob, Yenissei, Lena, Amur, Volga, Mackenzie, Fraser, Northern Dvina と，乾燥域の Murray, Colorado は流速の評価ができなかった．その他，Changjiang, Colombia, Brahmaputra, St. Lawrence, Indus, Xijiang の各河川も流速の評価ができなかった．

3.2　河川流出量の季節変化

Kuo 方式と PAS 方式の河川流出量の季節変化を比較するため，前報の結果に流路網モデルを加えて再評価を行った．流速が決定できた河川の JMA 89 モデルと流速網モデルの結果，および観測値の季節変化を図3に示す．Amazonas では流路網モデルによって季節変化が改善され，とくに PAS 方式は絶対値も季節変化もほとんど等しい．このように流路網モデルによって季節変化が改善され，PAS 方式の方が観測値に近い河川は，他に Parana, Indus, Huanhe, Blue Nile, Araguaia が挙げられる．Zaire では流路網モデルによって季節変化は改善されているが，Kuo 方式の方が観測値に近い．同様の河川は，他に Danube が挙げられる．Missouri, Niger, Dniepr では流路網モデルによって季節変化は改善され，Kuo 方式も PAS 方式も観測値に近い季節変化を表現しているが，反対に Amur, Zambeze, Euphrates では，流路網モデルの結果は Kuo 方式も PAS 方式も観測値

表1　流路網モデルにより決定された河川流速

Table 1 Flow velocity of rivers estimated by the river routing model

Velocity	River Name
0.2 m/sec	Amazonas, Danube
0.1m/sec	Zaire, Parana, Missouri, Niger, Zambeze, Huanhe, Dniepr, Blue Nile, Araguaia, Euphrates
Snowy Region	Ob, Yenissei, Lena, Amur, Volga, Mackenzie, Fraser, Northern Dvina
Dry Region	Murray, Colorado
Others	Changjiang, Colombia, Brahmaputra, St. Lawrence, Indus, Xijiang

と大きく異なる．以上のように河川流出量の季節変化を比較すると，Kuo方式よりもPAS方式の方が観測値に近い河川が多いことが分かる．

流速を決定できなかった河川については，前報（一柳ほか，1998）に降水量と河川流出量の季節変化が示してある．Lena，Yenisseiなどの積雪域では，JMA 89モデルの結果は降水量も河川流出量も観測値に近い．これらは流速は評価できなかったが，SiBモデルによって融雪の影響が適切に評価されていることを示している．同様にBrahmaputraでも，JMA 89モデルの結果は降水量も河川流出量も観測値に近い．このように流速が早く河道貯留の滞留時間が短い河川では，流路網モデルを考しなくてもSiBモデルによって，河川流出量は適切に表現することができる．

4．まとめ

JMA 89モデルでは，河川流出量の水平方向への移動は考慮されておらず，季節変化は観測値と大きく異なる（一柳ほか，1997，1998）．そこで，河道貯留の滞留時間を表現するために，流路網モデルを構築した．ISLSCP Initiative I CD-ROMのデータを使用して流速をパラメタリゼーションした結果，河川流出量の季節変化が大幅に改善された．流路網モデルの結果も，PAS方式の方が現実をよく再現している．各河川の流速は0.1 m/sec -0.2 m/secとなり，流速を早くすると河道貯留の滞留時間が短くなり，流路網モデルの効果が表れなくなることを意味する．また，積雪域で融雪の影響が大きい河川や，流域面積が小さく地形勾配が急で流速の早い河川では，河道貯留の滞留時間が短いため，流路網モデルを考慮しなくてもSiBモデルによって，河川流出量は適切に表現される．ただし，ここで議論しているのは月平均値であり，さらに細かい時間スケールを考慮するためには，空間分解能を細かくして流路網モデルを評価する必要がある．

謝辞

Global Runoff Data Centerには，貴重な河川流出量のデータを使用させて頂きました．その際，東京大学生産技術研究所の虫明研究室から供給して頂きました．また，防災科学技術研究所の飯塚聡研究員と金田昌樹研究員には，本稿をまとめるにあたり適切なアドバイスを頂きました．ここに感謝いたします．

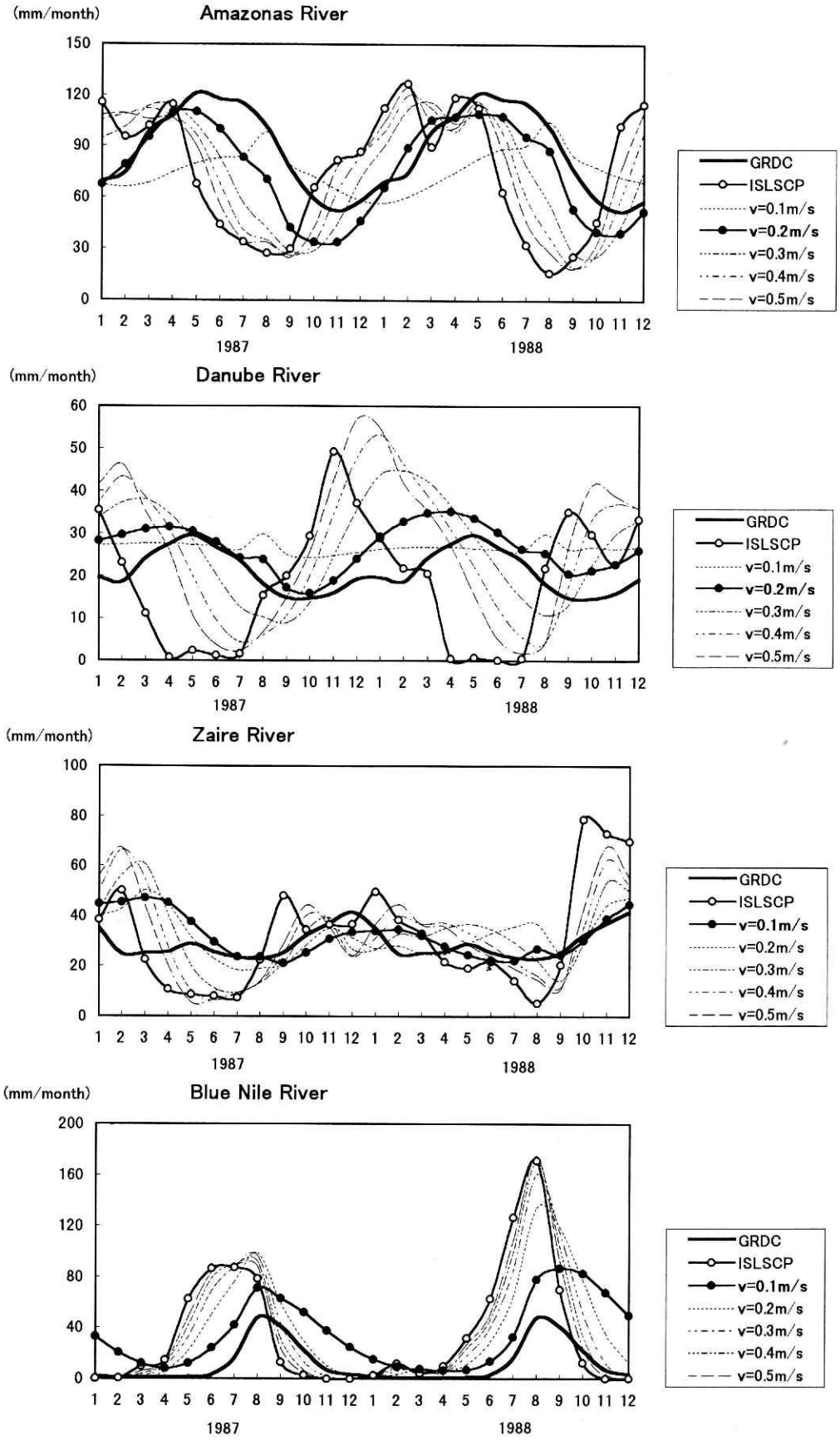


図2-1　流路網モデルを使った流速のパラメタリゼーション
流速0.2m/s (Amazonas, Danube), 0.1m/s (Zaire, Blue Nile)

Fig. 2-1　Parametrization of flow velocity using river routing model.
Flow Velocity 0.2m/s (Amazonas, Danube), 0.1m/s (Zaire, Blue Nile)

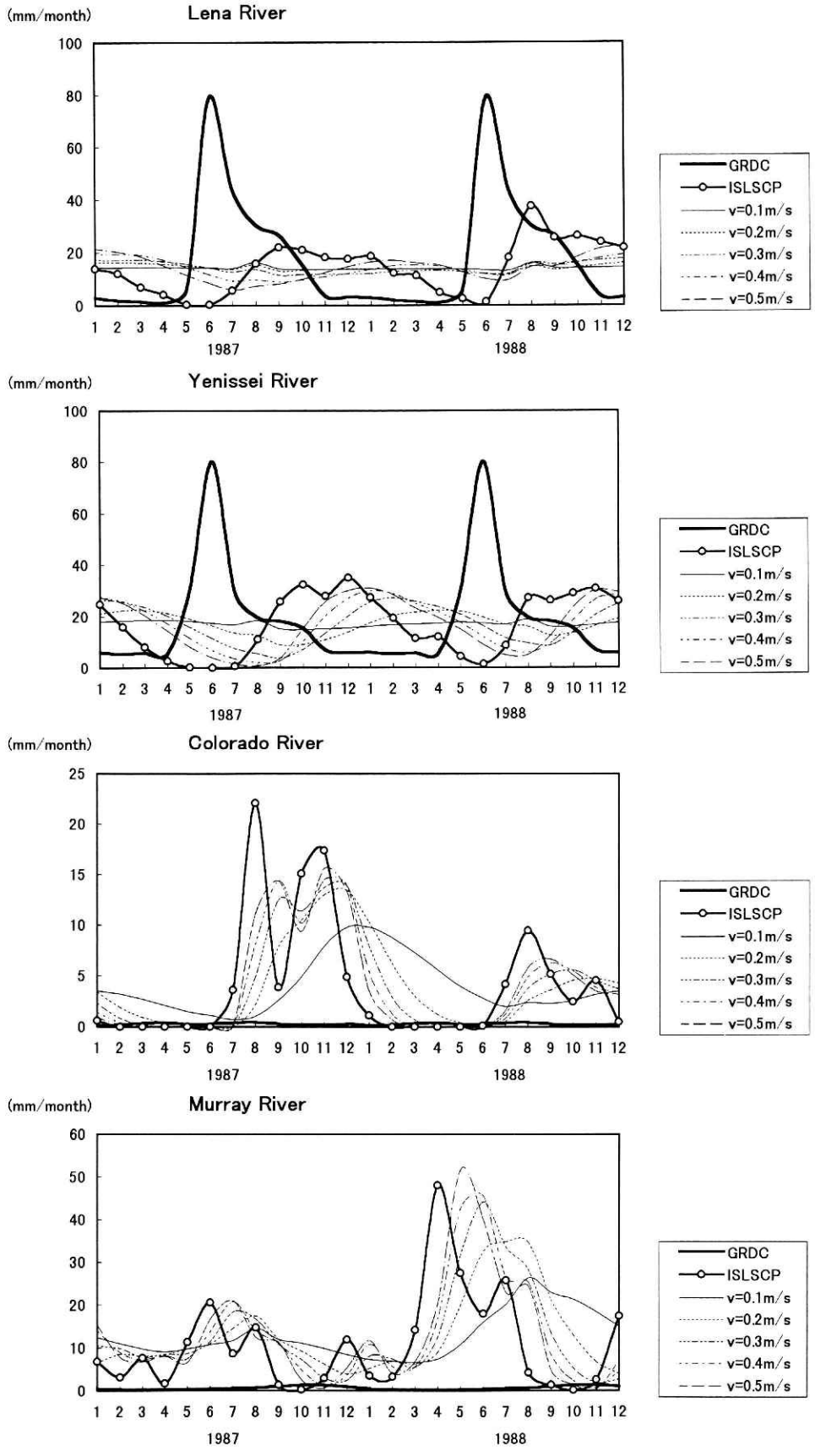


図2-2　流路網モデルを使った流速のパラメタリゼーション
積雪域（Lena,Yenissei），乾燥域（Colorado, Murray）

Fig. 2-2　Parametrization of flow velocity using river routing model.
Snowy Region (Lena, Yenissei), Dry Region (Colorado, Murray)

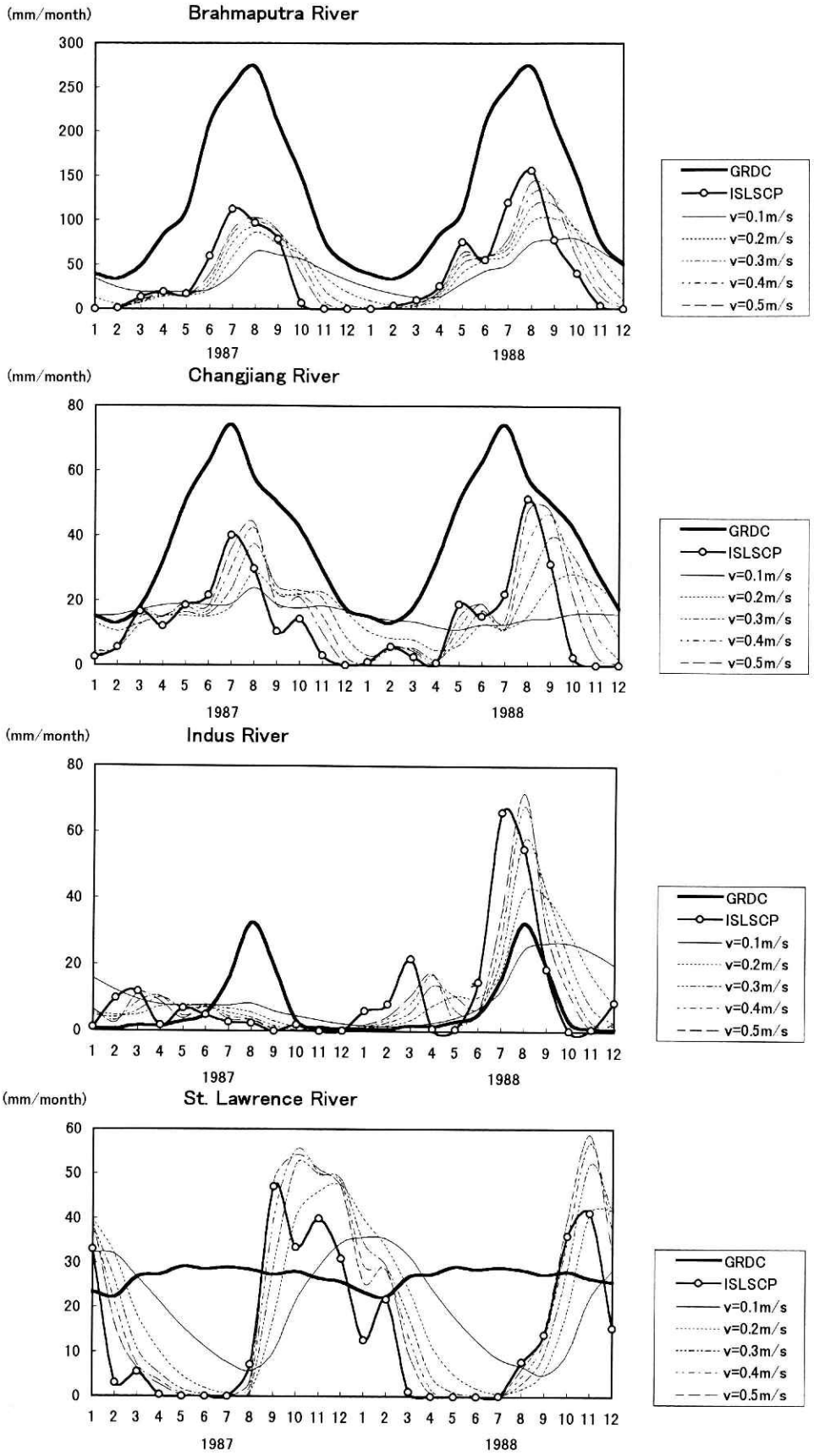


図2-3　流路網モデルを使った流速のパラメタリゼーション
その他 (Brahmaputra, Changjiang, Indus, St. Lawrence)

Fig. 2-3　Parametrization of flow velocity using river routing model.
Others (Brahmaputra, Changjiang, Indus, St. Lawrence)

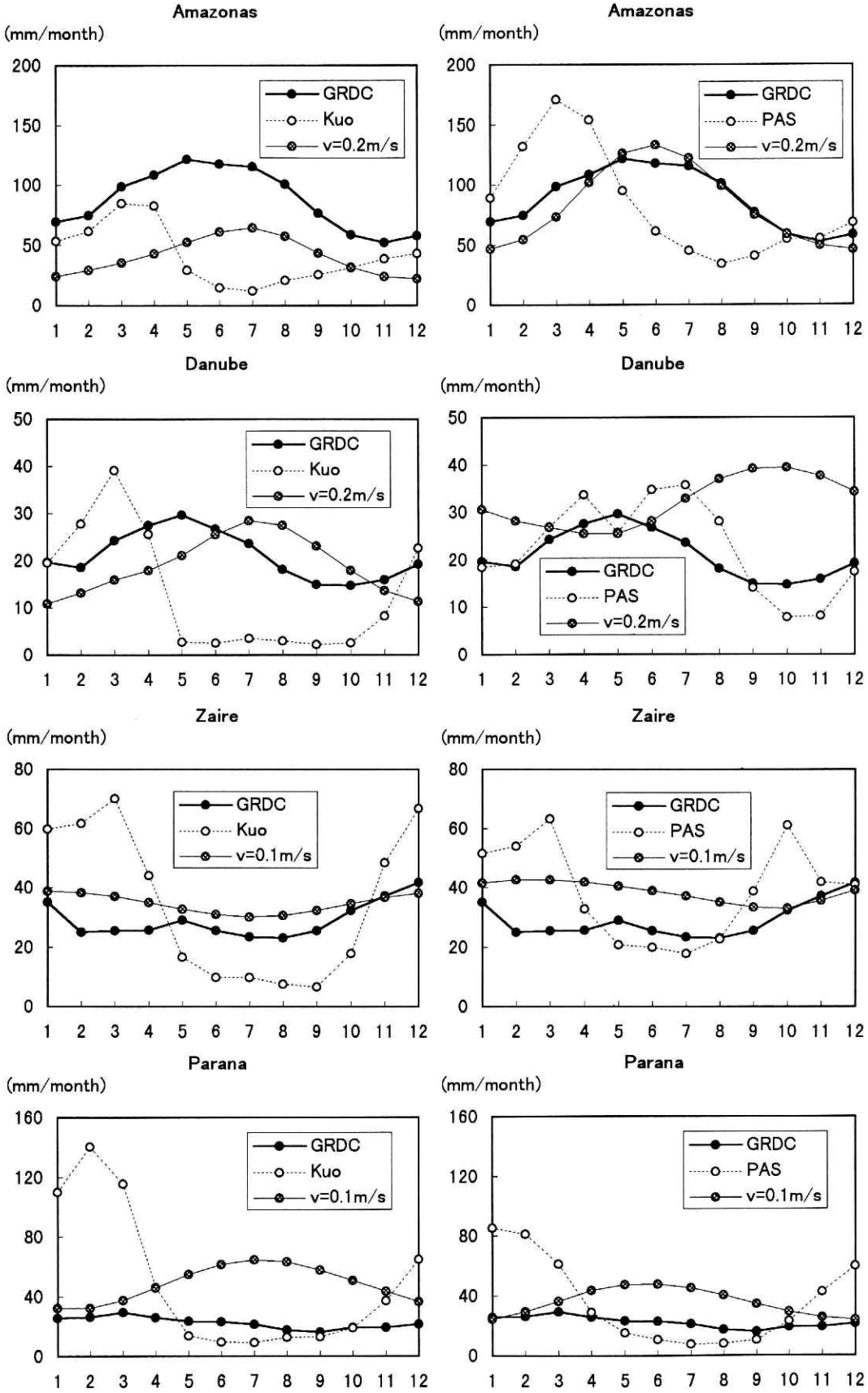


図3-1　JMA89モデルと流路網モデルの季節変化
Amazonas, Danube, Zaire, Parana

Fig. 3-1　Seasonal variation of JMA89 and river routing model.
Amazonas, Danube, Zaire, Parana

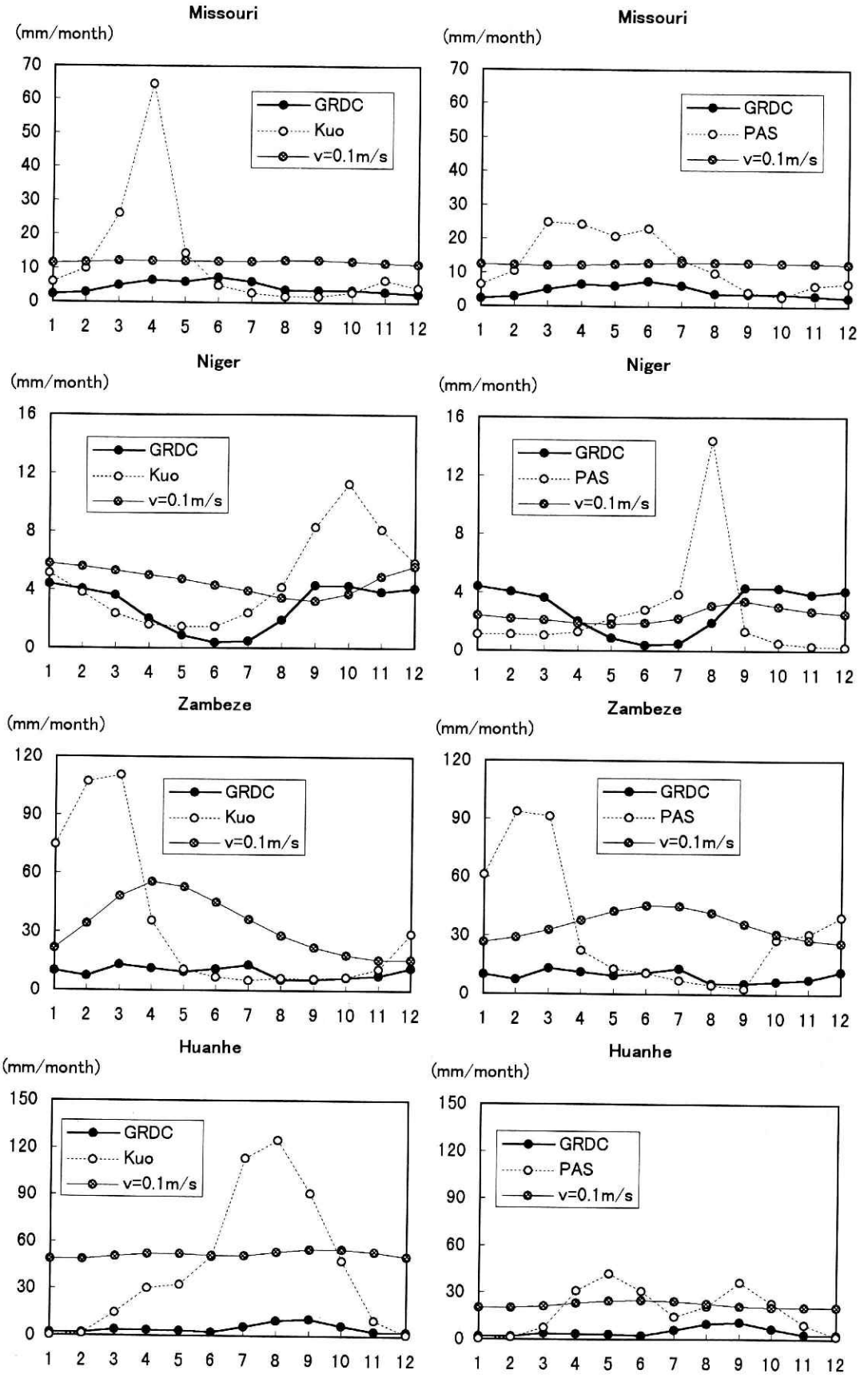


図3-2　JMA89モデルと流路網モデルの季節変化
Missouri, Niger, Zambeze, Huanhe

Fig. 3-2　Seasonal variation of JMA89 and river routing model.
Missouri, Niger, Zambeze, Huanhe

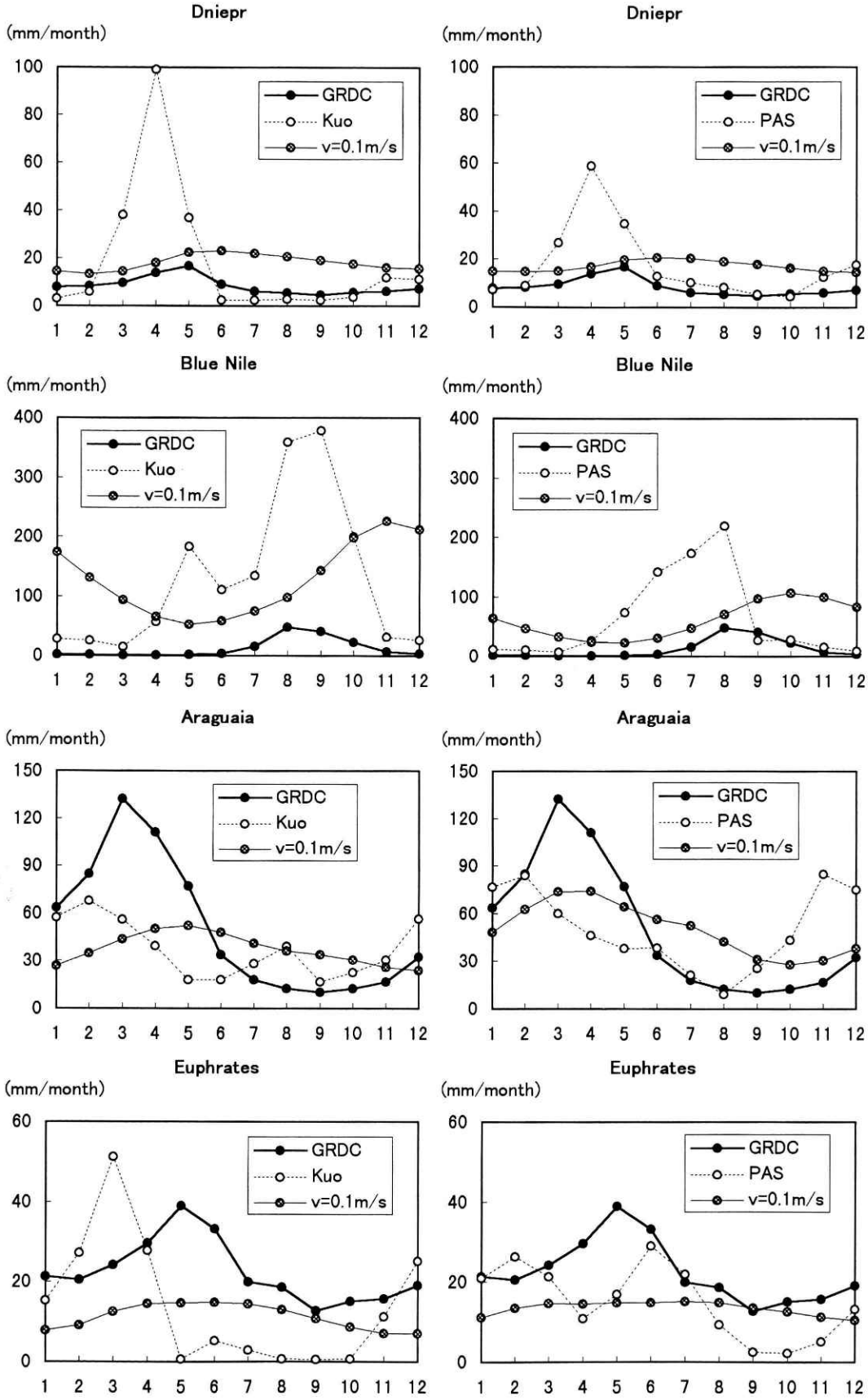


図3-3　JMA89モデルと流路網モデルの季節変化
Dniepr, Blue Nile, Araguaia, Euphrates

Fig. 3-3　Seasonal variation of JMA 89 and river routing model.
Dniepr, Blue Nile, Araguaia, Euphrates

参考文献

1) Betts, A.K., J.H. Ball, A.C.M. Beljaars, M. Miller and P. Viterbo (1996): The land surface-atmosphere interaction: A review based on observational and global modeling perspectives. J. Geophys. Res., **101**, 7209-7225.
2) Dickinson, R.E., A. Henderson-Sellers, P.J. Kennedy and M.F. Wilson (1986): Biosphere-Atmosphere transfer scheme (BATS) for the NCAR Community Climate Model, NCAR, Boulder, CO, Tech. Note/TN-275+STR, 69pp.
3) 一柳錦平・千葉　長・杉　正人・隈　健一・佐藤信夫 (1997)：JMA 89 モデルを用いた大河川の降水量および流出量の評価．天気 **44**, 551-554.
4) 一柳錦平・千葉　長・杉　正人・隈健一・佐藤信夫(1998)：JMA 89 モデルを用いた河川流出量の評価(I)—積雲対流スキームによる流域水収支の比較—．防災科学技術研究所報告 **58**, 15-27.
5) 鼎信次郎・西尾　健・沖　大幹・虫明功臣 (1995)：AGCM—流路網モデルによる世界の大河川の流出ハイドログラフ．水工学論文集 **39**, 97-102.
6) 松山　洋・沖　大幹 (1992)：GRDC (世界河川流量データセンター) とそのデータについて．水文・水資源学会誌 **5**, 65-70.
7) Meeson, B. W., F. E. Corprew, J. M. P. McManus, D. M. Myers, J. W. Closs, K. J. Sun, D. J. Sunday and P. J. Sellers (1995): ISLSCP Initiative I-Global data sets for land-atmosphere models, 1987-1988. Volumes 1-5, published on CD-ROM by NASA. (USA NASA GDAAC ISLSCP 001 USA NASA GDAAC ISLSCP 005).
8) Oki, T., K. Musiake, H. Matsuyama, and K. Masuda (1995): Global atmospheric water balance and runoff from large river basins. Hydrol. Process. **9**, 665-678.
9) 沖　大幹・西村照幸・ポール・ディルマイヤー (1997)：グローバルな河川流路網情報 (TRIP) を利用した年流量による地表面数値モデルの検証について．水文・水資源学会誌 **10**, 416-425.
10) Russell, G.L. and J.R. Miller (1990): Global river runoff calculated from a global atmospheric general circulation model. J. Hydrol., **117**, 241-254.
11) 佐藤信夫(1989)：生物圏と大気圏の相互作用．数値予報課報告別冊第 35 号，4-72.
12) Sato, N., P.J. Sellers, D.A. Randall, E.K. Schneider, J. Shukla, J.L. Kinter, Y-T. Hou and E. Albertazzi (1989): Effects of implementing the Simple Biosphere model in a General Circulation Model. J. Atmos. Sci., **46**, 2757-2782.
13) Sausen, R., S. Schubert and L. Dumenil (1994): A model of river runoff for use in couple atmosphere-ocean models. J. Hydrol., **155**, 337-352.
14) Sellers, P.J., Y. Mintz, Y.C. Sud and A. Dalcher (1986): A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models. J. Atmos. Sci., **433B**, 505-531.
15) Sellers, P. J., B. W. Meeson, J. Closs, J. Collatz, F. Corprew, D. Dazlich, F. G. Hall, Y. Kerr, R. Koster, S. Los, K. Mitchell, J. McManus, D. Myers, K. J. Sun and P. Try (1995): An overview of the ISLSCP Initiative I-Global data sets. On: ISLSCP Initiative I global data sets for land-atmosphere models, 1987-1988. Volumes 1-5., published on CD-ROM by NASA Volume 1: (USA NASA GDAAC ISLSCP 001. OVERVIEW. DOC).

(原稿受理：1997 年 11 月 12 日)

要　旨

前報 (一柳ほか，1997 b) では，JMA 89 モデルの河川流出量は水平方向の移動が考慮されておらず，季節変化が適切に表現されていないことが指摘されてた．そこで，河道貯留の滞留時間を表現するために，流路網モデルを構築して河川流出量を再評価した．ISLSCP Initiative I CD-ROM のデータを使用して流速をパラメタリゼーションした結果，河川流出量の季節変化は大幅に改善された．各河川の流速は 0.1 m/sec-0.2 m/sec となり，それ以上早い河川はない．これは流速を早くすると河道貯留の滞留時間が短くなり，流路網モデルの効果が表れなくなることを意味する．また，積雪域で融雪の影響が大きい河川や，流域面積が小さく地形勾配が急な河川では，流路網モデルを考慮しなくても，SiB モデルによって河川流出量は適切に表現される．

キーワード：大気大循環モデル，SiB，河川流出量，流域水収支，流路網モデル