

JMA89 モデルを用いた大河川流域の降水量および流出量の評価

一 柳 錦 平*¹・千葉 長*¹・杉 正 人*²
 隈 健 一*³・佐 藤 信 夫*⁴

1. はじめに

近年は、大気大循環モデル (AGCM; Atmospheric General Circulation Model) における陸面過程の重要性が認識され、様々な地表面状態を考慮した陸面過程モデルを組み込む研究が多く行われている。例えば Sato *et al.* (1989) はメリーランド大学の AGCM に SiB (Simple Biosphere) モデルを組み込むことによって、陸面の熱収支がより現実的になったことを報告している。また Betts *et al.* (1996) は、AGCM の計算結果と北アメリカで行われた特別観測 FIFE (First International Satellite Land Surface Climatology Project Field Experiment), BOREAS (Boreal Ecosystem Atmosphere Study) のデータを比較して、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。

しかし、このような特別観測のデータはその期間内での評価であり、モデルを長期積分した結果の評価には使用できない。そこでモデル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利用される。例えば、Russel and Miller (1990) や Sausen *et al.* (1994) は AGCM を使って河川流出量を再現する際に、Global Runoff Data Centre (GRDC, 詳しくは、松山・沖 (1992) を参照) の観測データと比較して、土壌タイプや植生・地形勾配などを使ったパラメタリゼーションを行っている。また Oki *et al.* (1995) は、大気中の水蒸気量まで含めた大気流域水収支から河川流出量の推定を行

い、GRDC のデータと比較している。

本研究では陸面モデルを評価するために、AGCM の計算結果から河川流域ごとの降水量と流出量を求め、観測値と比較した。また、AGCM における積雲対流パラメタリゼーションは降水量分布を変化させ、さらには河川流出量にも大きな影響を及ぼすと考えられる。そこで、2つの積雲対流スキームを用いた実験を行い、降水量と流出量の違いについても比較を行った。

2. 数値実験及び観測データ

本研究に使用した AGCM (JMA89) は、気象庁において現業用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 T42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。同じ初期条件から、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した。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 中の Monthly Station Precipitation Data を使い、河川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 データを使い、欠測期間を除いて平均した。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。

3. 全球水収支の比較

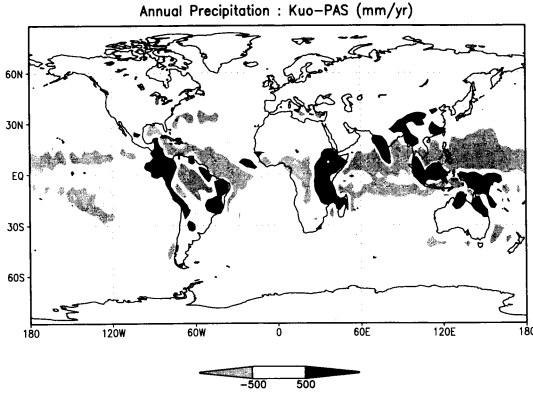
全球規模での降水量分布は、AGCM に用いられている対流スキームによって大きく異なる。第1図は、Kuo 方式と PAS 方式の違いが500mm/yr 以上の地域を示

*¹ 防災科学技術研究所。 *² 気象研究所気候研究部。

*³ 気象庁数値予報課。 *⁴ 気象庁気象衛星室。

—1997年2月13日受領—

—1997年6月5日受理—



第1図 Kuo方式とPAS方式の降水量分布の違い
(10年平均).

したものである。赤道をはさむ低緯度地域に顕著な違いが認められ、AmazonasやZaire流域を除いて、陸域ではKuo方式の方が降水量が多く、海洋ではPAS方式の方が多いのが特徴である。陸域でとくに違いが大きいのは、南アメリカ、アフリカ、アジアモンスーン地域である。

このような降水量分布の違いが、陸域の水収支に与える影響を明らかにするために、大河川の流域水収支を評価した。各河川流域の年降水量と年流出量について、観測値およびモデルの計算結果を第1表に示す。年降水量の合計値は観測値では21,548 mm/yrに対して、Kuo方式では23,023 mm/yr、PAS方式では20,581 mm/yrとなる。同様に年流出量の合計値は、観測値では8,149 mm/yrに対して、Kuo方式では11,555 mm/yr、PAS方式では9,511 mm/yrとなる。年降水量も年流出量も共に、PAS方式の方が観測値に近い。

しかし流出率(流出量/降水量)を計算すると、観測値では0.36に対して、Kuo方式では0.44、PAS方式では0.46となる。GRDC(1996)によると、流出率は0.33~0.38と見積もられており、本研究の観測値0.36は妥当な値である。モデルの結果は流出量を過大に評価しているため、流出率はかなり大きい。Kuo方式の方が観測値に近いのは、流域面積の大きいAmazonas流域において、流出量を過小に評価していることが原因である。

第1表 大河川流域の年降水量と年流出量.

River Name (Region)	Runoff Observation		Precipitation (mm/yr)			Runoff (mm/yr)		
	(km ²)	(years)	NOAA	Kuo	PAS	GRDC	Kuo	PAS
Amazonas (南アメリカ)	4640300	56	2309	1355	2110	1053	491	990
Zaire (アフリカ)	3475000	81	1392	1052	1331	349	412	459
Ob (ロシア)	2949998	55	400	433	303	134	205	151
Yenisei (ロシア)	2440000	49	511	493	471	229	252	236
Lena (ロシア)	2430000	50	269	413	370	216	218	207
Parana (南アメリカ)	1950000	80	1311	1191	913	268	582	429
Amur (ロシア)	1730000	52	672	652	561	150	248	237
Changjiang (アジア)	1705383	4	1278	1988	1518	465	1370	905
Mackenzie (北アメリカ)	1570000	19	291	478	469	168	187	184
Volga (ロシア)	1360000	106	314	628	457	188	276	222
Missouri (北アメリカ)	1357677	92	963	462	496	54	140	147
Niger (アフリカ)	1000000	29	827	217	39	34	50	26
Murray (オセアニア)	991000	20	277	426	112	8	31	21
Zambeze (アフリカ)	940000	4	933	945	991	112	404	396
Indus (アジア)	832418	7	187	207	304	86	93	184
Danube (ヨーロッパ)	807000	64	362	573	795	253	153	264
Huange (アジア)	688421	4	722	970	530	56	511	211
Colombia (北アメリカ)	631960	4	557	584	627	4	365	313
Colorado (北アメリカ)	613830	111	83	296	245	280	159	102
Dniepr (ロシア)	463000	33	467	564	552	101	214	202
Brahmaputra (アジア)	405000	9	1677	1810	1270	1541	1183	643
Northern Dvina (ロシア)	348000	103	540	629	534	302	320	271
Xijiang (アジア)	329705	8	1530	2010	1664	681	1038	657
Blue Nile (アフリカ)	325000	71	149	2137	1050	150	1542	735
Araguaia (南アメリカ)	320290	4	1720	1327	1439	604	444	596
Fraser (北アメリカ)	217000	73	761	838	917	396	504	551
Euphrates (アジア)	114000	4	1045	345	513	269	163	172
Sum	34634982		21548	23023	20581	8149	11555	9511
Runoff Ratio (Runoff/Precipitation)						0.38	0.50	0.46

4. 河川流域ごとの比較

対流スキームによる降水量分布の違いが大きな地域を流れる河川について、モデルと観測値との比較を行う。第1表より Amazonas, Huange, Xijiang 流域では、年降水量も年流出量も Kuo 方式より PAS 方式の方が観測値に近い。降水量と対応した流出量の変化は、流域へのインプットである降水量が変化したことが原因と考えられる。しかし反対に Niger, Parana 流域では、年降水量は Kuo 方式の方が観測値に近いが、年流出量は PAS 方式の方が観測値に近い。また Indus, Zaire 流域では、年降水量は PAS 方式の方が観測値に近いが、年流出量は Kuo 方式の方が観測値に近い。このように降水量と流出量が対応していない場合は、降水量の変化からは説明できない。

次に、Amazonas, Zaire, Brahmaputra 流域の季節変化を第2図に示す。モデルの降水量については3流域とも観測値に近い季節変化を示している。しかし流出量については、Amazonas 流域では降水量と流出量の位相遅れが、また Zaire 流域では季節変化の振幅の大きさが、それぞれ観測値と大きく異なる。このように流域面積の大きな河川で、流出量の季節変化が観測値と異なる原因としては、流域内の各格子から流量観測点までの流路を流れる時間、つまり河道貯留における滞留時間が考慮されていないことが挙げられる。それに対して Brahmaputra 流域の流出量は、観測値に近い季節変化をしており、流域面積が小さいために河道貯留の影響が少ないことを示している。

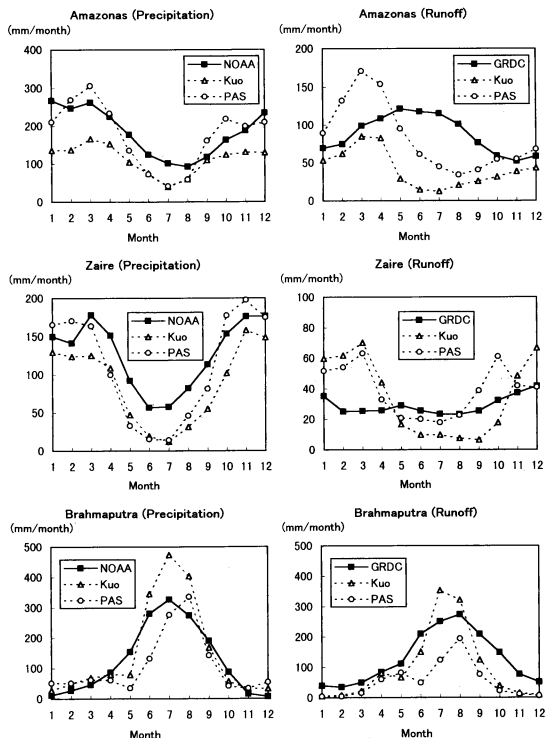
5. まとめ

JMA89モデルを用いて大河流域の流域水収支を解析した結果、年降水量と年流出量は Kuo 方式よりも PAS 方式の方が観測値に近い。しかし、モデルの結果は流出量を過大評価しているため、流出率は観測値よりもかなり大きい。

また流域面積の大きい河川では、降水量と流出量の位相の遅れや流出量の振幅の大きさが、観測値と大きく異なる。この原因として、モデルの流出量を評価する際に河道貯留の滞留時間を考慮していないことが挙げられる。今後はモデルの流域内に流路を構築し、流出量を適切に評価する必要がある。

謝辞

東京大学生産技術研究所の虫明研究室には GRDC のデータを使わせて頂きました。その際、東京都立大



第2図 代表的な河川流域の季節変化。

学理学部の松山洋助手と、東京大学生産技術研究所の仲江川敏之助手に便宜を図って頂きました。また、防災科学技術研究所の飯塚聡研究員には、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。ここに感謝の意を表します。

参考文献

Betts, A. K., J. H. Ball, A. C. M. Beljaars, M. J. 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.
 GRDC, 1996: Freshwater fluxes from continents into the world oceans based on data of the global runoff database, GRDC Report No. 10, Koblenz, Germany.
 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.
 Oki, T., K. Musiaka, H. Matsuyama and K. Masuda, 1995: Global atmospheric water balance and runoff from large river basins, *Hydrol. Process.*, **9**, 665-678.

- Russell, G. L. and J. R. Miller, 1990 : Global river runoff calculated from a global atmospheric general circulation model, *J. Hydrol.*, **117**, 241-254.
- 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.
- 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.
- Sausen, R., S. Schubert and L. D. ū menil, 1994 : A model of river runoff for use in coupled atmosphere-ocean models, *J. Hydrol.*, **155**, 337-352.

Estimation of Water Balance in Main River Basins Simulated by JMA89 Model

Kimpei Ichiyonagi*¹, Masaru Chiba*², Masato Sugi*³,
Ken-ichi Kuma*⁴ and Nobuo Sato*⁵

*¹ (*Corresponding author*) *National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Tsukuba 305, Japan.*

*² *National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention.*

*³ *Climate Research Department, Meteorological Research Institute.*

*⁴ *Numerical Prediction Division, Japan Meteorological Agency.*

*⁵ *Office of Meteorological Satellite Planning, Japan Meteorological Agency.*

(Received 13 February 1997 ; Accepted 5 June 1997)
