

2. 高解像度 CCSR/NIES/FRCGC GCM による

地球温暖化に伴う将来の渇水・洪水の展望

GLOBAL PROJECTIONS OF CHANGING RISKS OF FLOODS AND DROUGHTS UNDER GLOBAL WARMING SCENARIO BY CCSR/NIES/FRCGC HIGH-RESOLUTION GCM

平林 由希子*, 鼎 信次郎, 沖 大幹, 木本 昌秀, 竹内 邦良

Yukiko Hirabayashi, Shinjiro Kanae, Taikan Oki, Masahide Kimoto and Kuniyoshi Takeuchi

ABSTRACT: Simulated daily discharge data derived from a relatively high-resolution (T106) coupled general circulation mode (GCM) were used to investigate changes in the risks of global discharge extremes associated with changes in atmospheric composition caused by anthropogenic factors. The present-day GCM simulation reproduced the magnitude of discharge in 100-year return periods and the global distribution of the flood parameter, even though the absolute value of that parameter was underestimated. The simulated increase in floods and droughts between 2071 and 2100 significantly exceeds the natural change between 1941-2000 and 1971-2000. The frequency of very large floods was projected to increase over many regions, except for continental North America and middle to western Eurasia. Globally, the drought frequency was shown to increase in most regions except over the northern high latitudes, eastern Australia, and eastern Eurasia. Changes in flood and drought are not simply explained by changes in annual precipitation, heavy annual precipitation, annual evapotranspiration, or differences between annual precipitation and annual evapotranspiration. Several regions were projected to have increase in both flood frequency and drought frequency in the future. Such regions include basins in the northern high latitudes, where the timing of snowmelt would be earlier in warmer climates, and basins where precipitation patterns may change so as to decrease precipitation days but increase days with heavy rain. Because the predicted future changes in floods and droughts varied among rivers and sub-basins, projections of disastrous extremes in discharge using high-resolution GCMs will become important for local risk assessment.

KEYWORDS: Global Warming, high-resolution GCM, Flood, Drought

* 山梨大学大学院医学工学総合研究部

Interdisciplinary Graduate School of Medicine and Engineering, University of Yamanashi

1. 背景と目的

過去数十年間について見ると極端な水文事象の頻度が明らかに増加傾向にある、との報告が、多くの研究によりなされている。しかしながら、長期観測データが全球にわたって多くの地点で利用可能であることから、その種の分析の多くは降水について行われている(たとえば Kunkel et al. (2003), Emori et al. (2005) など)。また、気候モデルによる過去の再現実験結果が極端な水文事象の生起頻度や規模をどの程度良く再現できているか、気候モデルの温暖化実験によると将来の極端な水文事象はどうなるのか、といった分析についても、やはり降水の分析に留まっており、人間活動への影響をより端的に示す洪水・渇水を対象として同様の分析を行うことの必要性は大きい。よって、本研究では、気候モデルの実験結果を用いて、渇水・洪水の再現精度の検証と温暖化時の渇水・洪水リスクの変化について解析を行った。

2. 研究方法

解析には、高解像度大気海洋結合モデル MIROC3.2-hires の 20 世紀再現実験 (1941 年～2000 年) と SRES-A1B 温暖化実験 (2001 年～2100 年) の出力 (K-1 model developers, 2004) (「MIROC 実験流量データ」と呼ぶ)、GRDC (Global Runoff Data Center) の日流量観測点データ (「観測流量データ」と呼ぶ)、MIROC3.2-hires の陸面過程サブモデルである MATSIRO-LSM (Land Surface Model) を用いたオフライン実験出力 (Hirabayashi et al., 2005) (「CRU 実験流量データ」と呼ぶ) の、3 種のデータを用いた。ここで MATSIRO-LSM を用いたオフライン実験とは、CRU (Climate Research Unit) の $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ メッシュ観測気候値 (Mitchell et al., 2002) ①を基に作成した過去の観測気候値を入力として、MATSIRO-LSM を用いて行った水文シミュレーションのことである。本研究では、まず CRU 実験流量データが観測流量データをよく再現することを確認した後に、年最大日流量の分布特性 (具体的にはグンベル分布のパラメータを正規化したもの) について、MIROC 実験流量データが観測流量データならびに CRU 実験流量データをどの程度良く再現しているかを検証した。その後、MIROC 実験流量データの現状 (1941～2000 年) と将来 (2001～2030 年と 2071～2100 年) の年最大日流量を用いて、現状で 100 年に 1 度の再起確率で生ずる大きな年最大流量 (洪水流量) が、将来にはどの程度の確率で生ずるようになるのかを調べた。渇水については、1941～2000 年の日流量総サンプルの 10%ile 値 (日ごとに前後 20 日の 60 年間総サンプル数 ($21 \times 60 = 1260$ サンプル) をとり、その順位が下位 10% の流量) よりも日流量が小さな日数を年ごとに数えてそれを「渇水日数」と呼び、観測流量データに基づく渇水日数を CRU 実験流量データが良く再現することを確認した上で、MIROC 実験流量データの現状と将来の日流量を用いて、渇水日数の将来変化について調べた。

3. 結果・考察

高解像度大気海洋結合モデルでは、洪水の頻度分布を規定する最大日流量の平均値と標準偏差の比が、系統的に過大評価であるものの、地理的分布が観測流量データ・CRU 実験流量データから求めた値と比較的対応していること、100 年に 1 度の再起確率の洪水流量が観測値と対応していることが確かめられた。一方、渇水に関しては、渇水日数の再現精度が乾燥地・寒冷地においてあまりよくないことが判明した (以上、図省略)。

高解像度大気海洋結合モデルにおいて、温暖化時に洪水が増える場所は北米大陸の北部と東ヨーロッ

パを除く全球にわたっていること(図1)、
 渇水はユーラシア大陸の北東部を除いて
 全世界的に増加するということが(図2)
 が判明した。世界の30個の大河流域
 において詳細な検討を行った結果、高緯
 度の河川流域では融雪の季節が早まるこ
 とによる年ピーク流量の通減・洪水時期
 の流量の平滑化による洪水流量の低下と
 渇水日数の増加が見出された。その他の
 河川流域では年流量と洪水頻度が同じ増
 減傾向を示した。渇水頻度に関しては、
 年降水量よりも年降水量から蒸発散量を
 引いた値(P-E)とその増減傾向が対応
 している流域が多かった。高緯度河川流
 域では、ピーク時を含む春先の増水期の
 全体的な流量低下により、P-Eが増加し
 ても渇水日数は増えている河川が存在し
 た。また、ニジェール川やガンジス
 川など洪水と渇水の両方が増えている流
 域では、P-Eと年降水量の両方が増加し
 ている一方で豪雨が増加し降水日数が大
 幅に減少、つまり降水の降り方が変わっ

たことにより平常時には河川流量は減少するために渇水が増加しているということが判明した(表1)。

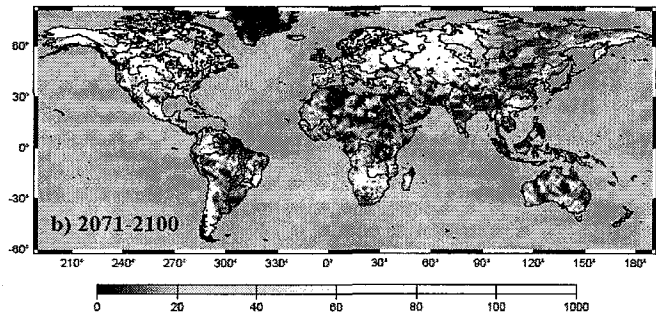


図1 現状(1941~2000年)の100年洪水流量の、将来(2071~2100年)における再現期間
 (単位: 年; 洪水流量の定義は本文中に記述)

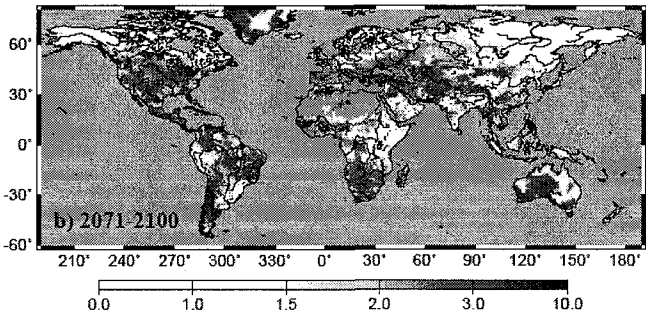


図2 将来(2071~2100年)の渇水日数/現状(2071~2100年)の渇水日数
 (渇水日数の定義は本文中に記述)

表1 世界30大河流域でのMIROC実験出力のまとめ

	100年 確率の 洪水流量	渇水日数 の変化率	年降水量		蒸発散量		年4位の日降水量		年流出量		P-E		日流量の ピーク月	降水日数		気温				
			20c mm/day	21c mm/day	21c-20c mm/day	20c mm/day	21c mm/day	21c-20c mm/day	20c mm/day	21c mm/day	21c-20c mm/day	21c-20c mm/day		21c-20c %	21c-20c mm/day		21c-20c %			
1 Yukon	448.3	1.45	1.05	2.61	0.69	0.71	0.58	0.24	13.72	18.96	5.22	1851.4	2453.7	502.3	25.7	0.41	0.01	22.89	21.81	4.75
2 Mackenzie	414.0	2.50	1.44	1.64	0.41	0.80	1.07	0.27	11.76	12.39	0.62	1351.5	1222.5	129.0	19.3	0.14	-0.08	16.21	21.57	8.88
3 Ob	149.2	2.12	1.31	1.60	0.29	0.87	1.11	0.23	11.61	14.65	3.04	892.3	1040.3	148.0	18.6	0.06	-1.10	11.79	16.66	9.81
4 Yenisey	138.6	0.51	1.97	1.78	0.41	0.90	1.11	0.22	12.74	16.79	4.06	811.3	1209.6	398.3	32.0	0.19	-0.63	18.39	26.67	3.53
5 Lena	4.5	0.55	1.21	1.57	0.35	0.78	0.92	0.14	14.01	13.62	4.51	549.1	1332.2	384.1	40.5	0.22	-0.31	13.23	24.23	9.13
6 Kolyma	5.4	0.23	1.35	1.86	0.52	0.57	0.71	0.14	12.87	18.46	5.09	724.3	985.0	260.7	33.0	0.38	-1.00	21.35	32.28	0.34
7 Reim	614.6	1.94	2.61	2.75	0.14	1.68	1.81	0.23	17.75	21.19	4.03	587.6	547.2	-40.4	-6.8	-0.03	0.35	-5.97	-4.48	4.35
8 Danube	2581	3.14	2.33	2.42	0.08	1.70	1.80	0.20	15.81	23.35	5.78	828.3	808.3	-20.0	-6.5	-0.12	2.50	-7.81	-7.91	4.84
9 Dnieper	2069.6	3.33	1.48	1.67	0.19	1.24	1.55	0.31	14.26	17.43	3.15	920.2	920.3	-0.1	-0.1	-0.02	0.55	2.04	2.74	5.18
10 Volga	663.9	3.31	1.50	1.72	0.21	1.04	1.35	0.31	13.34	18.13	2.84	885.6	838.5	-47.0	-14.8	-0.06	-1.11	4.45	5.64	8.94
11 Amur	193	0.48	1.76	2.11	0.33	1.25	1.58	0.21	22.35	23.39	6.03	913.5	1181.2	267.4	29.3	0.15	0.55	5.14	7.37	5.81
12 Columbia	52	3.43	3.63	3.89	0.36	1.80	1.84	0.34	24.78	29.89	5.11	1870.8	1654.2	-216.6	-11.0	0.02	-2.72	-4.31	-2.79	5.25
13 Nile	15409.0	3.26	1.31	1.45	0.14	1.05	1.25	0.21	13.85	15.87	1.90	421.9	346.9	-75.0	-17.8	-0.06	-0.89	5.23	6.34	6.52
14 St Lawrence	285.0	2.40	2.80	2.97	0.16	1.82	2.16	0.34	27.30	32.19	4.89	1888.6	1091.7	-796.9	-15.2	-0.18	9.68	-5.59	-4.93	9.14
15 Mississippi	121.0	3.48	2.50	2.34	-0.16	1.94	1.84	0.00	27.85	30.05	2.21	1267.7	1012.3	-255.4	-22.0	-0.16	2.57	-0.42	-10.25	6.14
16 Colorado	9845.03	4.48	1.86	1.69	-0.17	1.56	1.50	0.00	18.45	13.77	0.32	575.1	328.4	-246.7	-32.9	-0.17	1.32	-11.04	-12.86	6.33
17 Yellow	25	0.01	1.95	2.81	0.85	1.56	1.55	0.39	22.84	30.51	7.67	1181.2	1739.0	557.8	46.7	0.26	0.14	13.62	17.64	5.13
18 Yangtze	347	0.57	3.51	3.64	0.45	2.17	2.40	0.23	31.04	41.08	8.04	2857.7	3377.3	440.6	15.0	0.22	-0.57	0.33	0.28	5.05
19 Murray	61	0.89	1.74	1.73	-0.01	1.88	1.91	-0.07	25.86	25.92	5.11	188.4	310.0	140.6	93.0	0.09	0.44	7.79	-11.98	4.35
20 Zambezi	186.1	3.86	3.57	3.39	-0.19	2.86	2.85	-0.01	27.67	31.54	3.87	1309.3	1029.5	-279.8	-21.4	-0.18	0.45	-13.43	-11.27	5.07
21 Niger	111.5	2.37	3.28	3.46	0.22	1.88	1.99	0.12	32.64	31.50	11.86	2129.7	2292.4	162.7	7.8	0.10	1.40	-6.92	-6.80	5.19
22 Congo	83.6	2.48	5.93	5.66	0.03	3.51	3.75	0.27	35.74	44.58	10.84	5553.5	5483.5	-70.0	-1.3	-0.24	0.24	-21.89	-11.85	4.51
23 Nile	7.0	0.05	3.91	3.56	0.25	2.13	2.17	0.04	22.76	30.21	7.44	6185.1	7406.4	1221.3	19.7	0.21	0.09	6.15	-5.81	4.55
24 Euphrates	2725.6	4.04	1.07	0.65	-0.22	1.00	0.88	-0.15	12.56	19.38	-6.82	212.0	98.0	-114.0	-53.8	-0.07	0.10	-12.83	-25.56	5.15
25 Indus	1001	4.27	1.34	1.43	0.08	0.87	0.95	0.12	18.66	20.97	1.99	1892.5	1601.2	-291.3	-12.5	-0.02	0.25	-2.87	-5.74	0.02
26 Ganges	11.7	1.38	3.11	3.24	0.23	1.05	1.15	0.02	37.01	47.95	10.64	1884.6	2275.3	390.7	17.6	0.23	0.40	0.15	-10.01	5.02
27 Brahmaputra	37	0.10	5.13	7.33	1.91	1.84	2.14	0.36	46.77	72.30	25.53	5367.2	7104.5	1737.3	32.4	1.61	-0.50	6.41	4.48	5.81
28 Mekong	185.8	1.00	5.21	5.50	0.29	2.01	2.25	0.17	35.67	46.81	10.94	5584.9	3974.9	-1609.9	10.6	0.12	-1.77	-14.25	-8.00	1.45
29 Orinoco	1372.1	3.53	5.41	4.62	-0.79	2.98	2.57	-0.17	38.81	45.33	5.92	3712.2	2619.9	-1092.4	-29.4	-0.79	-0.99	-30.90	-20.24	5.18
30 Amazon	126.7	2.95	5.43	5.25	-0.18	3.31	3.21	-0.10	44.22	54.86	10.04	7013.3	6881.1	-132.2	-1.9	-0.09	-0.89	-22.80	-14.68	5.44

4. 本研究により得られた成果

本研究では、高解像度大気海洋結合モデル MIROC3.2-hires の結果を用いて、20 世紀再現実験（モデル値）の渇水・洪水の再現精度の検証と温暖化時の大河川流域の渇水・洪水の変化について解析を行った。その結果、MIROC3.2-hires が 20 世紀の洪水・渇水のリスクを良く再現できること、北米大陸の北部と東ヨーロッパを除く全球で 21 世紀に洪水が増加すること、ユーラシア大陸の北東部を除いて全世界的に渇水が増加することが示された。

参考文献

- Kunkel, K.E., D. R. Easterling, K. K. Redmond and K. Hubbard, 2003: Temporal variations of extreme precipitation events in the United States: 1895-2000. *J. Geophys. Res.*, **30**, CLM5-1-5-4.
- Emori, S., A. Hasegawa, T. Suzuki and K. Dairaku, 2005: Validation, parameterization dependence, and future projection of daily precipitation simulated with a high-resolution atmospheric GCM. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, doi:10.1029/2004GL022306.
- K-1 model developers, 2004: K-1 coupled model (MIROC) description. *Technical report, Center for Climate System Research, University of Tokyo*.
- Hirabayashi, Y., S. Kanae and T. Oki, 2005: A 100-year (1901-2000) global retrospective estimation of terrestrial water cycle. *J. Geophys. Res.-Atm*, **110**, doi:10.1029/2004JD005492.
- Mitchell, T.D. and P. Jones, 2005: An improved method of construction a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Int. J. Climatol. Res.*, **25**, 693-712.