

北海道石狩川流域に年最大降水量をもたらす気象概況

Weather pattern for annual maximum precipitation in Ishikari river basin

北海道大学大学院工学院 ○学生員 鎌田大督 (Daisuke Kamada)
北海道大学大学院工学研究院 正員 山田朋人 (Tomohito J. Yamada)

1. はじめに

北海道石狩川流域において、1981 年(昭和 56 年)8 月初旬に観測史上最大の降雨量、河川流量を記録する大洪水が発生した。樺太中部に発達した低気圧から南に延びる前線が北海道中央部に停滞し、これに北上した台風 12 号の影響が加わり、豪雨となった。8 月 3 日から 6 日の総降雨量は札幌で 294mm を記録した¹⁾。また、レーダー・アメダス解析雨量を用いた同期間の石狩流域平均総降雨量は、300mm を超えた(図-1)。

近年では、2014 年 9 月 11 日に北海道で豪雨が発生し、石狩、空知、胆振地方を中心に大雨警報が発表された²⁾。支笏湖畔雨量観測所において、9 月 9 日から 3 日間の積算降雨量は 380mm を記録した³⁾。

昭和 57 年に河川審議会で審議され改定した工事実施基本計画⁴⁾では、石狩川における計画降雨継続期間は 3 日を採用している。本研究においても主要降水期間を 3 日として解析を行い、石狩川流域における年最大降水をもたらす気象概況を明らかにすることを目的とする。

2. 本研究に用いるデータ

2.1 観測データ

雨量計ベースの降水量データは、Asian Precipitation – Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation(APHRODITE) of the water resources プロジェクト(Yatagai et al., 2009)⁵⁾によるプロダクトであり、日本における 0.05 度間隔格子の日降水量データを利用した。対象期間は 1980 年から 2007 年までの 28 年間とする。

2.2 再解析データ

再解析データは NCEP/NCAR Reanalysis 1 の海面気圧、500hPa 面におけるジオポテンシャル高度、850hPa 面の東西風速と南北風速を用いた。対象期間は、APHRODITE と同じく、1980 年から 2007 年までの 28 年間とする。

2.3 気候データ

気候データは全球気候モデル(GCM)の 1990 年代を現在気候とし、相互モデル比較プロジェクト(CMIP3)の 20 世紀気候再現実験(20C3)シナリオを用いた。将来気候は IPCC における温暖化ガス排出シナリオの一つである A1B を用いた。将来気候は GCM の感度により温度上昇幅が異なる。将来気候においては、GCM の 1 全球平均気温が 2 度上昇している MIROC (Hasumi and Emori, 2004)⁶⁾、の 2050 年代、MPI(Roeckner et al., 2003)⁷⁾の 2060 年代、NCAR(Collins et al., 2006)⁸⁾の 2080 年代のそれぞれ 10 年間を対象期間とした。

GCM のグリッド間隔は約 100km 以上あり、石狩川流域におけるグリッド数が限られてしまうため、同流域を対象とした解析に適していない。3 つの GCM を側方境界条件として、RSM(Juang and Kanamitsu, 1994; Kanamitsu Kanamaru and KanamaruKanamitsu, 2007)⁹⁾¹⁰⁾、NHM(Saito et al., 2006)¹¹⁾、WRF(Skamarock et al., 2008)¹²⁾の 3 つの地域気候モデル(Regional Analysis Model(RAM))を用い、グリッド間隔を 10km として、北海道地域(38~50°N、135~150°E)にダウンスケーリングした現在気候、将来気候の 9 つのデータを用いた¹³⁾(表-1)。複数の GCM と複数の RAM を用いることで、GCM に依存した不確実性と RAM に依存した不確実性の切り分けを行う。

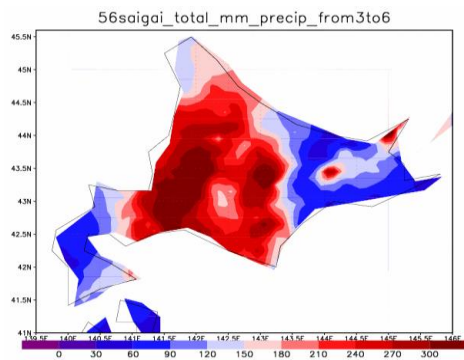


図-1 1981 年 8 月 3 日から 8 月 6 日までの総降水量(mm)

表-1 データセットとその年代

RAM GCM	RSM	NHM	WRF
MIROC (日本)	1990~1999	1990~1999	1990~1999
	2050~2059	2050~2059	2050~2059
MPI (独国)	1990~1999	1990~1999	1990~1999
	2060~2069	2060~2069	2060~2069
NCAR (米国)	1990~1999	1990~1999	1990~1999
	2080~2089	2080~2089	2080~2089
NCEP/NCAR	1980~2007		
Aphrodite	1980~2007		

3. 計算手法

本研究では、経験的直行関数展開(Dommenget and Latif, 2002)¹⁴⁾と k 平均法(Bradley et al., 2000)¹⁵⁾の手法を用いた。経験的直行関数展開は、多数のデータの次元を減らし、データの持つ意味を理解しやすくするために行われる。一方で、k 平均法はデータを k 個のクラスターに分類する手法である。

経験的直行関数展開では、海面気圧の時系列データ(N-1)個が観測点(M-1)箇所で作られる。海面気圧の変動は互いに直交し、相関を持たない M 個の関数の線形結合であると仮定する。全変動 $\psi_m(t)$ 、時刻 t における i

番目のモードの振幅 $a_i(t)$ 、観測点 m における i 番目の

モードの関数値 ϕ_{im} とすると、

$$\psi_m(t) = \sum_{i=1}^M [a_i(t)\phi_{im}] \quad (1)$$

となる。クロネッカーのデルタを用い、データの共分散行列を C、固有値 λ_i と固有ベクトル ϕ_{im} を用いると、

$$\sum_{i=1}^M [C_{im}\phi_{im}] = \sum_{i=1}^M [\lambda_i\phi_{im}] \quad (2)$$

と表せる。次元は元の N×M から M へと減少する。海面気圧は固有値と固有ベクトルの固有値問題に帰着する。

k 平均法では、上記の固有値の類似から、k 個のクラスターに分類する。k はクラスター数を意味し、累積寄与率が 8 割を超えるように 5 つとした。以下に分類手順を示す。

固有値がとり得る範囲に対して、ランダムに 5 つの初期値を与える。与えられた初期値から最も近くにあるデータを始点とする。クラスター内で重心を計算し、最も近くにあるデータを同クラスターに取り込む。全てのデータが 5 つになるまで繰り返す。5 つのグループ毎の重心を求める。2 回目以降はグループの重心を初期値として、上記の手順を繰り返し計算した。クラスター毎の重心の変動がなくなるまで計算を行った。

4. 計算結果

2 章で述べた全ての降水データを用いて、年最大 3 日降水量を流域毎に解析した。流域の規模が大きい石狩川流域、釧路川流域、天塩川流域、十勝川流域における 3 日降水量の比較を行った(表-2)。いずれの流域においても、将来気候の降水量は現在気候の約 1.2 倍に増加する。以降の章では、ことわりが無い限り、3 日降水は年最大 3 日降水量をもたらす現象である。

表-2 各流域の降水対象期間平均年最大 3 日降水量(mm)

年最大3日降雨量(mm)	石狩	釧路	手塩	十勝
APHRODITE	99.5	101.9	93.3	113.8
現在気候	88.9	107.8	80.8	102.6
将来気候	104.1	128.3	97.1	122.1
降雨倍率(将来/現在)	1.17	1.19	1.20	1.19

表-3 観測年代別クラスター分類

年	クラスター	タイプ	年	クラスター	タイプ
1982	A	④	1998	B	⑤
1985	A	③④	2001	B	①
1986	A	④	2006	B	②
1989	A	②	2007	B	③④
1990	A	②	1983	C	②
1991	A	②	1987	C	③
1994	A	①	1995	C	②
1997	A	③	1996	C	②
1999	A	①	2004	C	④
2000	A	①	1981	D	⑤
2005	A	①	1992	D	⑤
1984	B	④	2002	D	⑤
1988	B	②	2003	D	②④
1993	B	②	1980	E	④

4.1 観測データ、再解析データを用いた計算結果

観測データを用いた 3 日降水の 9 割は夏季(7~9 月)に発生している。3 日降水の中日に対応する再解析データの海面気圧を用い、A から E のクラスターに分類した(表-3)表-3 は年毎の 3 日降水と対応するクラスター、降水タイプを示す。タイプはそれぞれ、①前線停滞、②前線通過、③高気圧と低気圧の境目、④台風、温帯低気圧、⑤前線と台風が合わさるタイプである。クラスターE は当研究対象期間である夏期に存在しないため本研究では除外し、A から D の天気図に分類した(図-2)。

図-2 の(D)は 1981 年の豪雨を含むクラスターである。これは前線と台風が合わさるタイプである。海面気圧より北海道全域に強い低気圧が存在する。

クラスター毎の平均降水量は A から順に 96.6mm、106.3mm、68.7mm、146.3mm である。(D)の平均降水量が大きいのは 1981 年の豪雨の影響である。これを除くと 86.5mm となり、石狩流域にもたらされるクラスター毎の平均降水量は約 100mm 以下である。

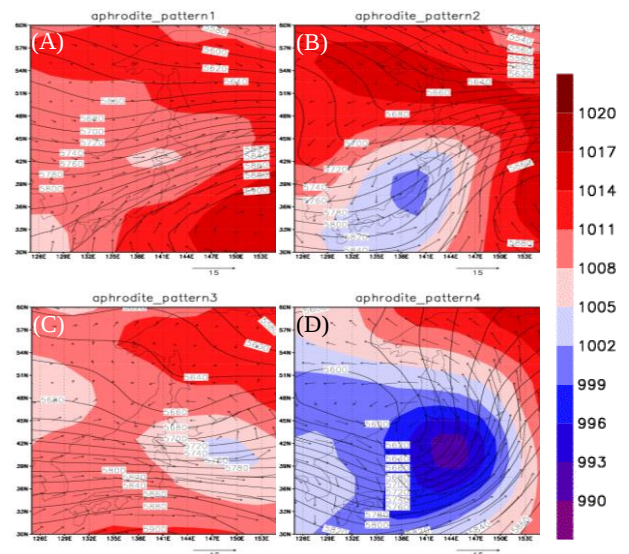


図-2 再解析データを用いた年最 3 日降雨時における天気図

4.2 気候データを用いた計算結果

(1) 現在気候

現在気候データを用いた 3 日降水の 79%は夏期に発生している。3 日降水の中日に対応する同データの海面気圧を用い、A から E のクラスターに分類した。クラスター毎のデータ数は A から順に 21、16、12、11、5 個である。平均降水量は A から順に 108.3mm、85.7mm、89.3mm、77.9mm、96.4mm である。クラスターA から E を天気図に分類した(図-3)。

図-3 の(E)は北海道北東沖に強い低気圧が見られる。クラスターE に関して、大気摩擦がない 850hPa 面における風速ベクトルは低気圧に沿う向きである。また、等値線で示している 500hPa 面におけるジオポテンシャル高さも風速ベクトルと同様に、低気圧に沿う蛇行がある。

(2) 将来気候

将来気候データを用いた 3 日降水の 69%は夏期に発生している。3 日降水の中日に対応する同データの海面気圧を用い、A から E のクラスターに分類した(図-4)。クラスターE は夏期に含まれないデータのみで構成されているクラスターなので本論文においては考慮しない。クラスター毎のデータ数は A から順に 25、24、4、2 個である。平均降水量は A から順に 102.3mm、124.7mm、99.3mm、182.0mm である。

図-4 の(D)は北海道に強い低気圧が見られる。4.1 における図-2 の(D)と似た気圧配置である。

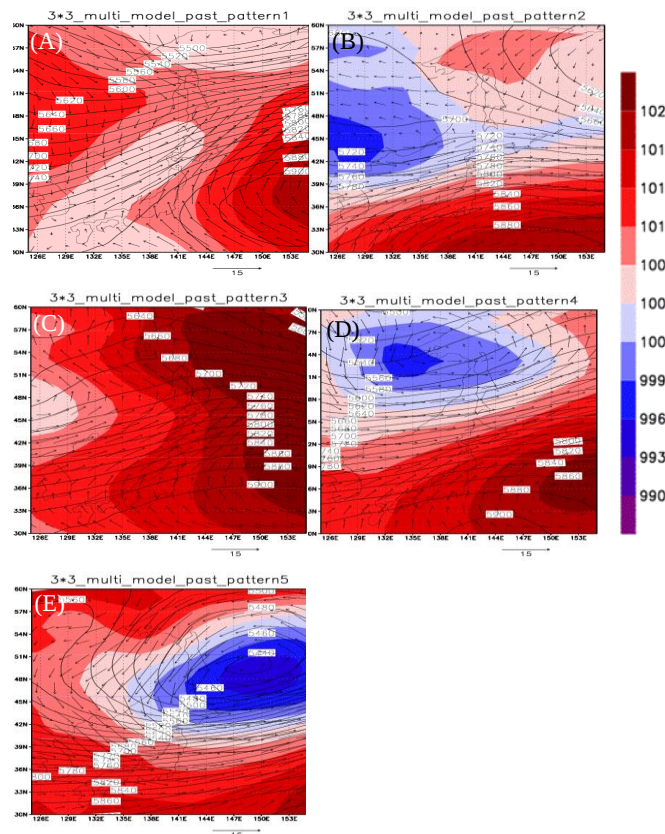


図-3 現在気候の年最大 3 日降雨時における海天気図

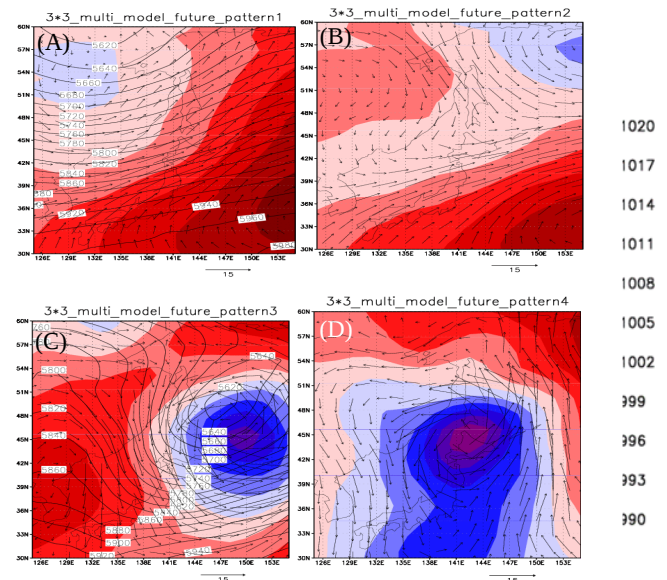


図-4 将来気候の年最大 3 日降雨時における天気図

5. 考察

4 章で示した各データの天気図は、クラスター毎のデータを平均した天気図である。図の右記にあるカラーバーは海面気圧(hPa)を表す。青色は気圧が低く、赤色は気圧が高い。黒色の矢印は地表面摩擦の影響が小さい 850hPa 面における風速ベクトル(m/s)を表す。黒線は 500hPa 面におけるジオポテンシャル高度(m)を表す。

5 章では、観測データを用いた計算結果における客観的分類であるクラスター分類と主観的分類である降水タイプを結びつけ、3 日降雨をもたらす気象概況を明らかにする。その後、観測データを用いた計算結果における天気図と気候データを用いた計算結果における天気図の比較を行い、将来気候における 3 日降雨をもたらす気象概況を明らかにする。

5.1 観測、再解析データを用いた年最大 3 日降水量をもたらす気象概況

図-2 の A では、北海道南東沖の気圧が高く、北海道の南東沖から北東沖を通り、北海道を取り囲むように気圧が高い。風速ベクトルは北緯 42 度付近に収束する。ジオポテンシャル高度が北海道の上で等間隔に並んでおり、上空の偏西風蛇行が少ない。他のクラスターと比較して、前線の停滞による降水が発生しやすい降水タイプを持つ事が特徴である。

図-2 の B では、東北から中部にかけて気圧が低く、北海道南東沖から北海道北部を通り、北海道西部へ気圧が高い。風速ベクトルは太平洋方面から北海道へ向いている。また、北海道北西沖では、日本海を徹り西向きの風速ベクトルを持つ。ジオポテンシャル高度は北海道北西沖で蛇行し、北海道北東沖では蛇行が少ない。そのため、北海道北西沖、北海道北東沖、北海道南西部において、降水が発生しやすい気象状態である。前線、台風または温带低気圧を伴う降水タイプを持つ。他のクラスターと比較して、前線と台風が混在する降水タイプを持つ事が特徴である。

図-2 の C では、北海道北東沖の気圧が高く、北緯 48 度、東経 129 度から北緯 36 度、東経 153 度の気圧が低い。風速ベクトルは北海道南西沖の気圧の低い地域に沿う。北海道南西部から東北における風速ベクトルは大きい。同地域において、ジオポテンシャル高度の等値線が密集しており、偏西風が強い。他のクラスターと比較して、前線の通過による降水が発生しやすい降水タイプを持つ事が特徴である。

図-2 の D では、北海道の気圧が非常に低い。北海道周辺の風速ベクトルは、他のクラスターの風速ベクトルと比較して大きい。ジオポテンシャル高度は北海道北西において北に蛇行し、偏西風の蛇行が大きい。他のクラスターと比較して、前線に台風または温帯低気圧が合わさる降水が発生しやすい降水タイプを持つ。

観測における年最大 3 日降水量をもたらし気象概況より、観測における上位 3 つのクラスター A、B、C の主な降水タイプは前線に関連する。また、クラスター D は前線に台風または温帯低気圧が合わさる特徴的な降水タイプを持つ。観測データを用いた計算結果で述べたように、クラスター B の平均降水量は 68.7mm と他のクラスターと比較すると低い傾向であるが、クラスター A、B、D の平均降水量は約 100mm であり、大きな値である。

5.2 天気図比較

論文投稿時にクラスター毎の個別の天気図を比較し検討できていない。発表時に、再解析データの年最大 3 日降雨時における天気図と現在気候の年最大 3 日降雨時における天気図比較概要、再解析データの年最大 3 日降雨時における天気図と現在気候の年最大 3 日降雨時における天気図の比較を行う予定である。

6.まとめ

北海道の石狩川流域、釧路川流域、天塩川流域、十勝川流域において、流域の降水対象期間平均年最大 3 日降水量の気候データは観測データよりも過小評価される傾向がある。上記の流域において、現在気候データの降水対象期間平均年最大 3 日降水量に対する現在気候データの降水対象期間平均年最大 3 日降水量は約 1.2 倍となる。

観測における年最大 3 日降水量をもたらし気象概況より、観測における上位 3 つのクラスター A、B、C の主な降水タイプは前線に関連する。また、クラスター D は前線に台風または温帯低気圧が合わさる特徴的な降水タイプを持つ。観測データを用いた計算結果で述べたように、クラスター B の平均降水量は 68.7mm と他のクラスターと比較すると低い傾向であるが、クラスター A、B、D の平均降水量は約 100mm であり、大きな値である。

参考文献

- 1) 札幌市ホームページ：
<http://www.city.sapporo.jp/kikikanri/higoro/fuusui/kako.html>
- 2) 気象庁:朝刊記者会見要旨(平成 26 年 9 月 18 日)
- 3) 国土交通省北海道開発局札幌建設開発部：低気圧に伴う豪雨による出水の概要[速報版](平成 26 年 9 月 11 日)
- 4) 国土交通省河川局:石狩川水系河川整備基本方針(案)基本降水等に関する資料(平成 16 年 3 月 30 日)
- 5) Yatagai, A., and P. Xie, 2006: Utilization of a rain-gauge-based daily precipitation dataset over Asia for validation of precipitation derived from TRMM/PR and JRA25. Proc. SPIE 0604-53, doi:10.1117/12.723829.
- 6) Hasumi H, Emori S. Eds. 2004. K-1 coupled GCM (MIROC) description. K-1 Technical Report 1, CCSR, Univ. of Tokyo, Tokyo.
- 7) Roeckner, E. Coauthors, 2003: The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: Model description. Max Planck Institute for Meteorology Rep 349 (13): 127
- 8) Collins WD: The community climate system model version 3 (CCSM3). J. Clim. 19: 2122–2143.
- 9) Juang HM, Kanamitsu M. 1994. The NMC nested regional spectral model, Mon. Weather Rev. 122: 3–26.
- 10) Kanamaru H, Kanamitsu M: Scale-selective bias correction in a downscaling of global analysis using a regional model, Mon. Weather Rev. 135: 334–350. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/MWR3294.1>
- 11) Saito K, Tsukasa F, Yoshinori Y, Jun-ichi I, Yukihiro K, Kohei A, Shiro O, Ryoji N, Saori K, Chiashi M, Teruyuki K, Hisaki E, Yosuke Y. 2006. The operational JMA nonhydrostatic meso scale model, Mon. Wea. Rev. 134: 1266–1298.
- 12) Skamarock WC, Joseph BK, Dudhia J, Gill DO, Barker DM, Duda MG, Huang X-Y, Wang W, Powers JG. 2008. A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 113 pp.
- 13) 山田朋人：北海道を対象とする総合的ダウンスケーリングスケールの開発と適用、文部科学省平成 25 年度地球観測技術等調査研究委託事業 平成 25 年度成果報告書
- 14) Dommenget, D. and M. Latif, 2002: A Cautionary Note on the Interpretation of EOFs. J. Climate, 15(2), 216-225, 2002
- 15) P. S. Bradley, K.P. Bennett, A. Demirez, 2000: Constrained K-Means Clustering.

謝辞

本研究は MEXT/RECCA, MEXT/SOUSEI(theme C-i-C), JST/CREST(Core Research for Evolutional Science and Technology)と JSPS 科研費 26242036 の成果の一部である。