

令和元年6月24日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14309

研究課題名(和文) 気象再解析と物理法則に基づく超長期河川流量の模擬作成と100年確率流量の内挿推定

研究課題名(英文) Flood quantile estimation by interpolation using pseudo-discharge data generated by a physically-based hydrologic model utilizing atmospheric re-analysis data

研究代表者

萬 和明 (Yorozu, Kazuaki)

京都大学・工学研究科・講師

研究者番号：90554212

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：限られた年数しか存在しない気象データから、多数年におよぶ河川流量データを擬似的に作成する手法の開発が本研究の目的である。具体的には、タイ国チャオプラヤ川上流のブミポンダム上流域を対象に多数年におよぶ河川流量データの擬似作成に取り組んできた。気象再解析の時系列を組み替えて、多数年におよぶ大気場を擬似作成する手法を提案明日。擬似作成した大気場から求めた年最大日流量は、通常的手法で得られる河川流量と比較して、統計的に有意な差が確認できず、擬似作成された河川流量は、概ね妥当なものであるとの結論が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

河川流量について、観測データは限られた年数しか得ることができない。そのため、河川計画に重要となる100年確率流量を外挿によって求めるしかなかった。しかし、本研究において、限られた年数しか存在しない気象データから、多数年におよぶ河川流量データを擬似的に作成する手法が提案された。

研究成果の概要(英文)：For river planning and basin water resources management, it is necessary to determine the design water level which has long term return period. In general, observation record is shorter than that. Therefore, pseudo-discharge data is generated much enough to determine design level. There are many methods for generating pseudo-discharge data. In this research, numerous atmospheric data was created by recombining both atmospheric reanalysis data and satellite based observed rainfall data as a data could be happened in actual situation. And then, Bhumibol dam inflow was calculated utilizing a distributed hydrologic model by those data. A histogram of annual maximum daily river discharge from generated long-term river discharge data was similar with that of original data.

研究分野：水文学

キーワード：大気再解析データ 分布型水循環モデル 河川流量 チャオプラヤ川 ブミポンダム 年最大日流量 擬似作成

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

- (1) 近年、記録的な豪雨など人々の生活に多大な影響を与える自然災害が多発している。日本においては2013年に台風18号による大規模な浸水や、2015年鬼怒川の堤防が決壊するなど、洪水や頻繁な豪雨が観測されている。特に、2017年の九州北部豪雨では、観測史上最高の24時間降水量を更新するほどの豪雨が発生しており、早急な対策が求められている。
- (2) このような状況下で、短期対策では降水量などの気象データの記録とそれに基づく気象予測が、水が関与する自然災害による被害を最小限に抑えるために大変有効である。一方で長期対策としてダムや河川堤防などによる治水計画が有効であり、その施工基準の指標の一つとして、100年確率流量などの確率水文学量がある。しかし、十分な数の観測データが蓄積されていなければ、信頼できる確率水文学量を求めることができない。このことを考慮すると長期にわたる気象・流量データが非常に重要であることは明確である。
- (3) 日本は世界的に見て雨が多い地域であり、古くから洪水や豪雨による被害を受けてきた。それにより気象データの観測が早い時期から必要とされ、日本国内での多くの地域で比較的容易に長期気象データを利用することが可能である。しかし世界の国々をみると、主に発展途上国では多くの地域で観測を始めた時期が遅く、十分な気象データが蓄積されていない場合がある。そのような地域では、精度のよい確率水文学量を求めることができない。仮に、既存の気象データから長期気象データを擬似的に作り出すことが可能となれば、観測開始時期が遅く蓄積された気象データが少ない地域においても、信頼できる確率水文学量を求めることが可能となる。

2. 研究の目的

様々な大気場を作成した研究成果としてもっともアンサンブル数の多いデータセットが「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース、database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)」である。d4PDFでは、初期条件および境界条件を多数作成し気象モデルを駆動し、数千年にもおよぶ大気場を作成している。しかし、大気場は気象モデルによって算定されたものであり、必ずしも現実に生じた場ではない。また、数千年にわたって気象モデルを積分するには計算量が膨大となり、容易ではない。そこで、より簡便に、かつ現実に生じうる大気場を様々な作成することを考える。本研究では、観測値や再解析による大気場の組み替えによって多数年の大気場を作成する手法を提案し、作成した多数年の大気場を分布型水循環モデルに入力することで多数年におよぶ河川流量データを作成する手法の開発に取り組む。

3. 研究の方法

- (1) 本研究では、タイ王国チャオプラヤ川上流に位置するブミボンダム上流域を対象とする。ブミボンダム上流域の集水面積は約26,000 km²である。HydroSHEDSの標高データによると流域は240 mから2500 mの標高に位置し、勾配は1/10から1/1000程度である。Global Land Cover CharacterizationのSiB2カテゴリーによると、流域の土地利用は約70%が森林で、草原と農地が約15%ずつである。
- (2) 大気場は時間連続的であるが、月単位で考えれば、経験的に前後の相関関係は強くないと予想される。そこで、連続する月単位の大気場に対して相関関係を調べ、翌月の大気場との相関関係がないと判断できるようなp月を求める。このとき、相関関係がないことを根拠として、p月以前の大気場はp+1月以降の大気場に影響しないものとする。その場合、あるx年の大気場Axはx年m月の大気場Ax_mの集合として、 $A_x = \{Ax_1, \dots, Ax_{12}\}$ として得られるが、p+1月以降の大気場をy年の大気場で組み替えた $A_{xy} = \{Ax_1, \dots, Ax_p, Ay_{p+1}, \dots, Ay_{12}\}$ を作成できると考える。この概念図を図-1に示す。
この考えに基づけば、p月末を境にあらゆる年の大気場を組み合わせた、多数年におよぶ大気場を作成できる。この大気場を入力として、分布型水循環モデルで河川流量を計算すれば、多数年におよぶ河川流量データを作成できる。なお、本論文では論点を単純にするため、pは特定のひとつの月を指し、大気場の連続性は月末で切れるものとする。
- (3) あらゆる年の大気場を組み合わせた、多数年におよぶ大気場は、分布型水循環モデルに入力し、多数年におよぶ河川流量を計算する。分布型水循環モデルとして、陸面過程モデルSiBUC (Simple Biosphere including Urban Canopy)と、kinematic wave理論に基づく1次元河道流追跡モデル1K-FRM-eventから構成される、分布型水循環モデル(以降YT15)を用いる。SiBUCでは土地利用をモザイク化しておりモデル格子内部の土地利用分布を考慮できる。考慮できる土地利用区分は、広葉落葉樹などの自然植生のみならず、灌漑畑地(春・冬小麦、トウモロコシ、大豆)、灌漑水田などの18種類である。1K-FRM-eventは山地斜面と一般河道に対して異なる粗度係数を設定することで流量流積関係の違いを表現している。
YT15の再現性を確認するため、タイ大洪水が発生した2011年を対象に河川流量の再現計算を実施した。再現計算では、気象庁55年長期再解析JRA-55のモデル格子出力(TL319、

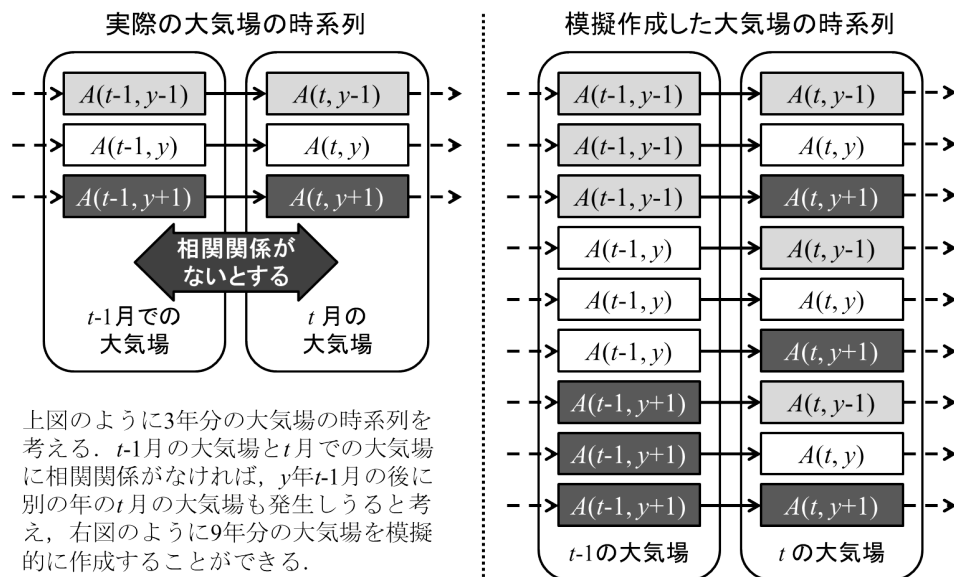


図-1 大気場の組替作成の概念図

約 60km 格子) を大気場の入力条件に使用した。気温, 比湿, 風速, 気圧は 6 時間, 長波放射, 短波放射と降水は 3 時間間隔でそれぞれ提供されているため, 1 時間単位の値とした。なお, 降水量は過大評価であったため, 緯度経度 0.0 度格子の Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) を使用した。YT15 に与える土層厚などの土壌パラメータには EcoCliMap, 標高は HydroSHEDS, 土地利用は Global Land Cover Characterization (GLCC) の SiB2 カテゴリー, 植生パラメータには MCD15A3 の各データを使用した。EcoCliMap と HydroSHEDS は緯度経度 30 秒格子, GLCC と MCD15A3 は 1km 格子でそれぞれ提供されており, 緯度経度 3 分格子に集約して使用した。MCD15A3 は 4 日間隔データであるが, 12 日間隔に集約して使用した。ここで記載していない粗度係数など他のパラメータはデフォルト値を使用し, チューニングは行っていない。再現計算は適当な初期値を与えて 2003 年 1 月 1 日から実施した。2003 年から 2010 年まではスピンアップ期間である。モデルの格子サイズは, SiBUC は緯度経度 3 分, 1K-FRM-event は緯度経度 30 秒に設定した。

4. 研究成果

- (1) 2011 年のタイ大洪水を対象とした YT15 による河川流量の再現計算の結果を図 2 に示す。同図では日単位の流入量を, 黒点で観測値を, 赤線で計算値をそれぞれ示している。ダム流入量の観測値によると, 2011 年の最大日流入量は $3353 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ で, 再現計算では $3410 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ であった。ピーク流量誤差は $57 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ で観測流入量の 1.7%, ピーク流量の生起日は観測と計算ともに 10 月 4 日であり, ピーク流量の再現性は極めて良好である。

日流量に対する Nash-Sutcliffe 係数は 0.79, 相関係数は 0.90, Root Mean Square Error は $219 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ であった。先行研究と比較して, いずれの指標(それぞれ 0.62, 0.63, $311 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)で比較しても高い再現性を示した。

以上のことから, YT15 のプミボンダム上流域における適用精度は十分であると判断した。

- (2) プミボンダムは 1964 年 6 月から Electricity Generating Authority of Thailand によって運用が開始されており, ダム流入量などの運用実績が公開されている。それによると, 1965 年から 2016 年までの 52 年間で, 9 月に 26 回, 10 月に 18 回, 8 月と 11 月にそれぞれ 4 回ずつ, ダム流入量が年最大値をとる。したがって, 大気場を組み替えるとすれば 8 月末以前が好ましいと考えられる。

CHIRPS の降水量を用いて連続する月降水量の相関を調べた。CHIRPS がデータを提供する 1981 年から 2016 年の気候値を求め, 月降水量から気候値を減じることで求まる月降水量の年々偏差を分析対象とする。連続する 2 ヶ月の相関係数を求め, 有意水準 5% で Spearman の順位相関係数の無相関検定を実施した。雨季である 5 月から 10 月に着目して分析した結果, 両者の関係は無相関とする帰無仮説はいくつかの格子で棄却され, その数をもっとも多いのは 7 月と 8 月の組み合わせで 802 格子中 94 格子, もっとも少ないのは 8 月と 9 月の組み合わせで 3 格子であった。なお, 流域月降水量で同様の分析をすると, 7 月と 8 月の組み合わせのみ有意水準が 10% であれば帰無仮説が棄却された。以上より, 7 月と 8 月の月降水量を除けば有意な相関は認められなかった。

ほかの大気場について連続 2 ヶ月の相関を調べた。大気場には JRA-55 を用いたところ, どの月も何らかの変数が翌月と相関がある格子が存在することがわかった。なお, 風速と比湿は概ね相関が有意であったが, 気圧はほぼ全ての格子で有意な相関とは判断されなかった。

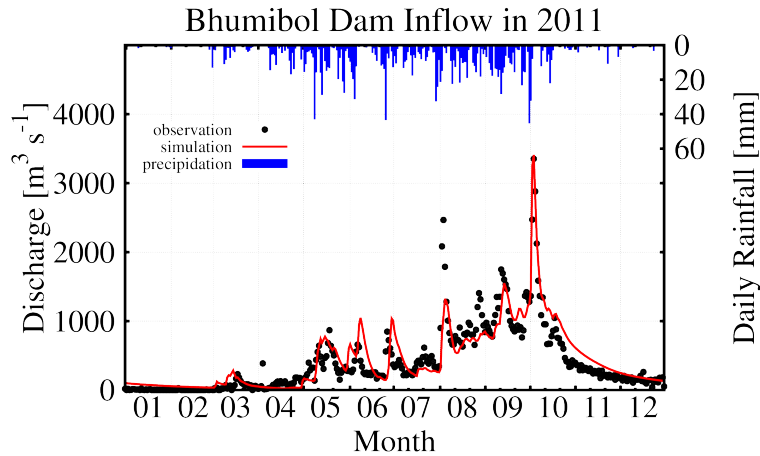


図-2 2011 年のプミボンダムへの日流入量．黒点は観測値，赤線は計算値，青棒は日降水量（右軸）である．

多数年におよぶ大気場の作成について述べる．本研究では分布型水循環モデルによる河川流量の推定が重要である．河川流量の推定にもっとも重要な降水について，月降水量が前後の月で相関が認められなかった．そこで，大気場としては一部に相関が有意であることに留意しつつ，月降水量に相関がないことを根拠として大気場の組み替えを行うことにする．組み替える時期は，ダム流入量のピーク時期から 8 月以前が好ましいが，7 月と 8 月の降水量は有意な相関を示しうる．そこで，8 月と 9 月を境界に大気場の組み替えを行うことにした．

JRA-55 の気温，比湿，風速，気圧は 6 時間値から，長波放射と短波放射は 3 時間値から，それぞれ 1 時間値に変換した．JRA-55 で過大算定されている降水量は，月降水量が 1961 年から 1980 年は APHRODITE と，1981 年から 2016 年までは CHIRPS と一致するよう一定比率を乗じて補正し，1 時間値を得た．以上のようにして，1961 年から 2016 年までの 56 年分の大気場を組み替えた．河川流量計算には，1963 年から 2016 年までの 54 年分の大気場を組み替えた計 2916 年分の大気場を使用した．

- (3) YT15 を用いた多数年におよぶ河川流量計算について述べる．入力する大気場は本研究で作成した組み替えた大気場である．このようにして計算する河川流量の特徴を把握するために，組み替える前の大気場を入力した計算も実施した．この計算は，大気場を通常の連続時系列として扱う計算であるから，これ以降は，連続計算と呼ぶことにする．また，組み替えた大気場を入力した計算を組替計算と呼ぶことにする．連続計算と組替計算の違いは入力する大気場のみである．連続計算では，適当な初期値を与えた 1961 年から 1970 年までの仮計算の後，引き続き 1961 年から 2016 年までの計算を実施する．ただし，1961 年と 1962 年の結果はこれ以降の分析には使用しない．組替計算は 1 年ずつ個別の計算を行い，初期値には連続計算の結果を使用した．

組替計算では計 2916 年分の河川流量推定を実施した．組替計算によって得られた年最大日流量の頻度分布を示す．同図では，組替計算による結果を青で，連続計算を赤で，それぞれ示している．同図から，組替計算による年最大日流量の頻度分布は連続計算のものと類似していることがわかる．両者に対して 2 標本の Kolmogorov-Smirnov 検定を実施したところ，2 標本の母集団が従う確率分布が異なるという帰無仮説は有意水準 10% でも棄却されなかった．連続 2 ヶ月の大気場の一部は相関が有意であったが，年最大日流量の頻度分布は組替計算と連続計算との間に差異は検出されなかった．組替計算の結果に連続計算の結果が含まれていることに留意が必要であるが，年最大日流量に関しては，組替計算による結果は概ね妥当なものであると考えられる．

- (4) タイ国のプミボンダム上流域を対象に本論文で得られた知見と課題をまとめる．連続する 2 ヶ月の大気場について相関の有無を調べた結果，7 月と 8 月を除き月降水量には有意な相関は認められなかった．8 月と 9 月を境界に大気場を組み替え，それらを分布型水循環モデルに入力して，多数年におよぶ河川流量データを得た．この河川流量データを，大気場を組み替えずに分布型水循環モデルに入力して得られた河川流量データと比較したところ，年最大日流量について，統計的特徴に差異は検出されなかった．このことから，本研究が提案する長期にわたる河川流量の推定手法は妥当であることが示唆される．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

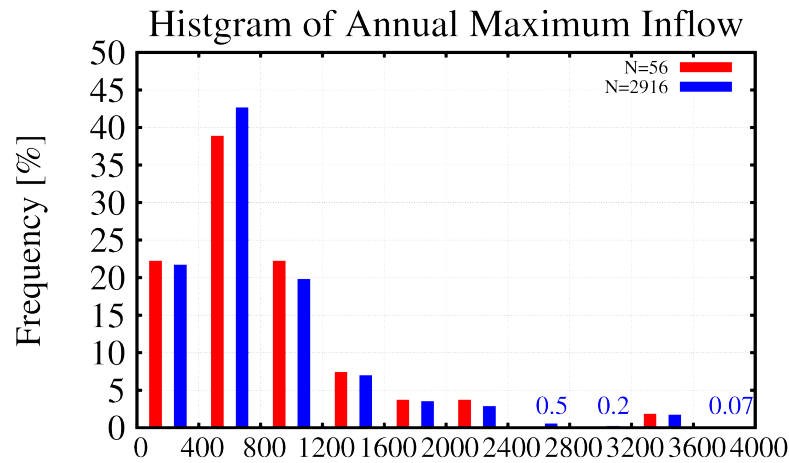


図-3 年最大日流量の頻度分布．連続計算の結果を赤で，組替計算を青で示している．頻度が小さい階級は補助として数値を記載した．数値の記載がない場合は 0 である．

Kazuaki Yorozu, Yutaka Ichikawa and Yasuto Tachikawa: Investigating the effect of initial soil moisture on river discharge using pseudo-discharge data generated by a distributed hydrologic model, Proceedings of THA 2019 International Conference on Water Management and Climate Change towards Asia's Water-Energy-Food NEXUS and SDGs, TA108-1, 2019.

萬和明, 黒崎直哉, 市川温, キムスンミン, 立川康人: 大気場の組み替えと分布型水循環モデルによる多数年におよぶ河川流量データ作成の研究, 土木学会論文集, B1(水工学), pp. I_127-I_132, Vol. 74, NO. 4, 2018.

〔学会発表〕(計 4 件)

Kazuaki Yorozu, Yutaka Ichikawa and Yasuto Tachikawa: Investigating the effect of initial soil moisture on river discharge using pseudo-discharge data generated by a distributed hydrologic model, THA2019, International Conference on Water Management and Climate Change towards Asia's Water-Energy-Food Nexus and SDGs, TA108-1, 2019.

萬和明, 黒崎直哉, 立川康人, 田中智大, 市川温, Kim Sunmin: 分布型水循環モデルで作成した疑似流量データによる確率流量の推定可能性, 水文・水資源学会 2018 年度研究発表会, 水文・水資源学会 2018 年度研究発表会要旨集, https://doi.org/10.11520/jshwr.31.0_270, 2018 年

黒崎直哉, 萬和明, 立川康人, 市川温: JRA-55 と分布型水循環モデルを用いた多数年に及ぶ流量データの擬似作成の提案, 水文・水資源学会 2016 年度研究発表会, 水文・水資源学会 2016 年度研究発表会要旨集, https://doi.org/10.11520/jshwr.29.0_136, 2016 年

黒崎直哉, 萬和明, 立川康人, 市川温: 気象再解析データと分布型水循環モデルを用いた多数年におよぶ流量データの擬似作成に関する研究, 土木学会関西支部 2016 年度年次学術講演会, 2016 年

6 . 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。