

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K08004

研究課題名(和文)大規模アンサンブル実験による渇水リスクの気候変動予測と不確実性の定量化

研究課題名(英文) Impact assessment of climate change on drought risk and quantification of its uncertainty by using large ensemble climate data set

研究代表者

工藤 亮治 (Kudo, Ryoji)

岡山大学・環境生命科学研究所・准教授

研究者番号：40600804

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：大規模アンサンブルデータセットd4PDFを利用し、全国の複数のダム流域を対象に渇水リスクの気候変動影響評価を行い、自然変動に起因する不確実性を分析した。影響評価では、代かき期と出穂期の10年確率渇水流量および年最大日流量から算出した10年確率日流量を水文指標とし、9,000通り(現在気候100メンバー×将来気候90メンバー)の変化率(将来気候下の水文指標/現在気候下の水文指標)を計算することで、その分布を吟味した。その結果、積雪地帯の代かき期を除いて変化率は大きくばらつき、地域によっては減少傾向と増加傾向が混在することが示され、極端現象において自然変動による不確実性が無視できないことを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

極端現象である渇水リスクの影響評価には自然変動による不確実性が大きいなど多く課題が残されているが、本研究で示したd4PDFを用いた影響評価法を用いることで、これまで定量化が困難であった渇水リスクに対する気候変動影響評価について確率情報を付加する形で影響評価結果の提供が可能となり、将来の農業用の水資源計画および水利施設管理への有用な情報を提供できる。

研究成果の概要(英文)：This study addressed the uncertainty in climate change impact on drought risk caused by the natural variability which hydrological indices naturally have, using d4PDF, large-ensemble climate dataset. We used three indices for the assessment: 10-year drought discharges during puddling and heading periods for drought risk, and 10-year daily discharge for flood risk. To detect influence of the natural variability, we calculated 9,000 pattern change ratio of each index using 100 ensemble members for present climate and 90 ensemble members for future climate. The results show the large distribution of the change ratio for each index except 10-year drought discharge during puddling period in heavy snow region; this means that in the assessment on extreme events such as flood and drought, the assessment results may include both increasing and decreasing trends due to the natural variability, the uncertainty in climate change impact caused by natural variability are inevitable.

研究分野：水文学

キーワード：大規模アンサンブルデータ 渇水リスク 気候変動 不確実性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

気候変動による気温や降水パターンの変化は地球規模、地域規模で水循環を変化させ、洪水・渇水リスクの変化に影響を及ぼす。特に、渇水時の水資源量の変化により、現在想定されている利水安全度が変わる可能性があり、最大の利水者である農業用水への影響が懸念される。気候変動が水資源に与える影響は、現在、将来それぞれの気象要素（降水量、気温、水蒸気量など）を水文モデルに入力し、その出力を比較して評価する。こうした水資源に対する気候変動影響評価は数多く行われているものの、一方でいくつかの課題も残されており、その中の一つが渇水リスク評価における不確実性である。渇水リスクの影響評価で不確実性が大きくなる要因として、水資源に影響を与えるような渇水は非常にまれな現象（低頻度事象）であり、こうした年変動が大きい事象では自然の揺らぎによる偶発的な不確実性が大きくなりやすい、ということが挙げられる。このような偶発性を有する不確実性は、モデルや現象に対する知見の不備による不確実性とは異なり低減することができないため、影響評価には多数のサンプルを用いた確率評価が必要となる。

### 2. 研究の目的

本研究では大規模気候変動実験アンサンブルデータセットである d4PDF (database for Policy Decision making for Future climate change) を利用し、自然変動の影響を考慮した渇水リスクの気候変動影響評価法の構築を目指す。d4PDF は文科省・気候変動リスク情報創生プログラムおよび海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題で実施した気候変動アンサンブル実験に基づくデータセットであり、異常天候や極端気象などの低頻度事象の気候変動予測およびその不確実性の評価を目的として作成された。同一 GCM による最大 100 アンサンブル（およそ 6000 年分のデータ）の気候シナリオが利用可能である。d4PDF はそもそも治水分野での影響評価が念頭に置かれているが、ここでは農業用水で重要となる渇水リスク評価に同データセットの利用を考えた。本研究では、この d4PDF を用いて将来の渇水リスクの変化を地域別に評価することを最終目的とする。

### 3. 研究の方法

様々な地域における渇水リスクの影響評価及びその不確実性を分析するため、北海道 1 流域、東北 2 流域、中四国 2 流域の合計 5 つのダム流域を対象とした。本研究では山地域が中心のダム流域を対象とするため、水文モデルには適用が比較的容易なタンクモデルを用いた。その際、多雪地帯の流域において風速による降雪量補正を導入して水収支を吟味した。最後に、対象流域において収集した d4PDF (現在気候：30 年間×100 アンサンブルメンバー=3000 年、4 上昇実験：30 年間×90 アンサンブルメンバー=2700 年) から各流域のデータを切り出して CDF マッピング法によるバイアス補正を行い、タンクモデルに入力した。タンクモデルから出力された流出量から影響評価に用いる水文指標を求め、現在と将来で比較し影響を評価した。本研究では、現在気候と将来気候の全メンバーの組み合わせ（100×90=9000 通りの組み合わせ）において、水文指標の変化率（将来気候の水文指標/現在気候の水文指標）を求め、その分布を吟味することで水文現象が持つ自然変動（年変動）に起因する不確実性を分析した。

### 4. 研究成果

#### (1) 風による降雪量補正を導入した長期流出解析

東北日本海側などの多雪地帯の流域も解析対象とするため、まずは降雪量補正について吟味した。降雪量の補足率低下は風の影響により雨量計で降雪が補足できないことに起因する。そこで、水収支がバランスするように風速から推定した捕捉率を調整することで降雪量の補正を行い、水収支の吟味を行った。このようにして求めた流域平均降水量と従来通り水収支がバランスするように降水量に年一律の補正係数を乗じて降水量を割増した流域平均降水量を用いて、流出解析を行った。その結果、従来法よりも降雪量のみを補正した方が、ダム流入量の再現精度および月ごとに算出したバイアス（総計算流出

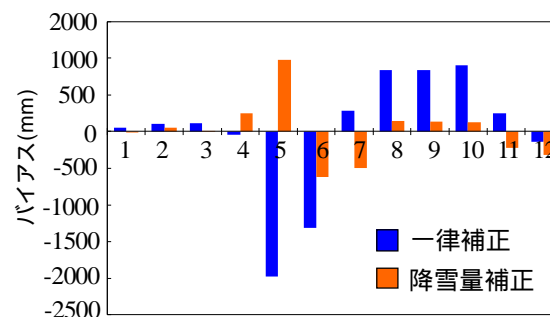
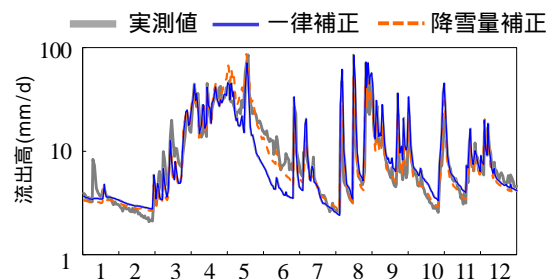


図1 ダム流入量の再現例および月ごとのバイアス

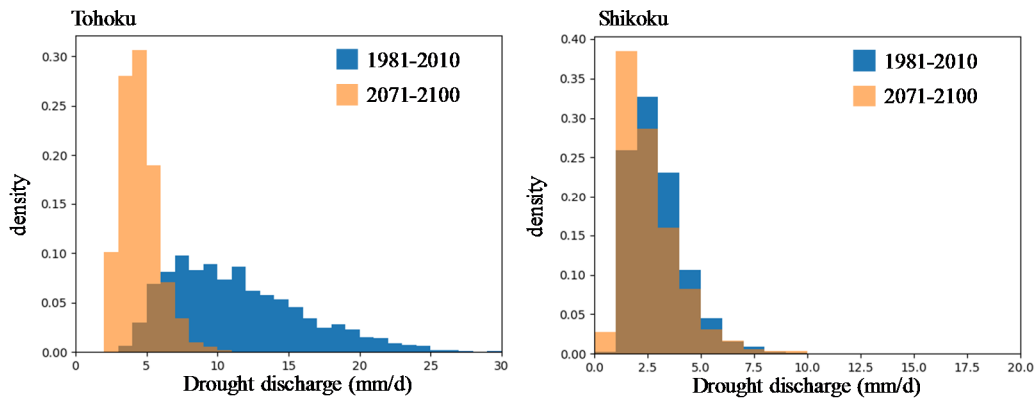


図2 代かき期渇水流量の頻度分布

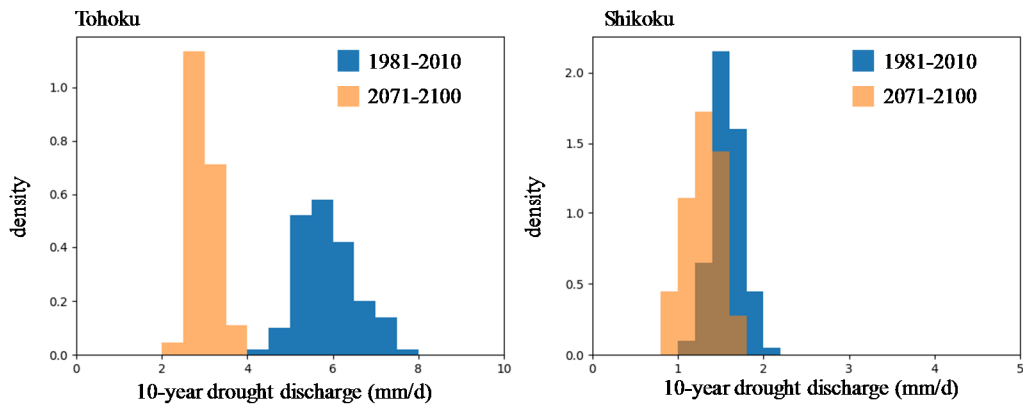


図3 10年確率代かき期渇水流量のアンサンブルメンバー間の分布

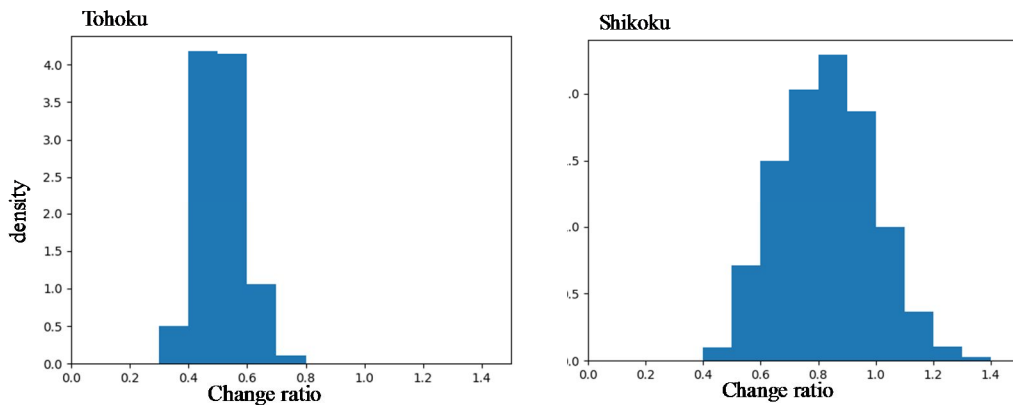


図4 10年確率代かき期渇水流量の変化率の分布

量 - 総実測流出量) が小さいことが示された(図1)。特に、降雪量補正を施したケースでは従来法で見られる融雪期の過小推定のみならず、夏から秋に見られる過大推定傾向も改善されている。このことから、多雪地帯における降水量不足の大部分は冬季降雪量の補足率低下によるものであることが示され、風速による降雪量補正の効果が高いこと、年一律に割増す方法では季節によって過大推定を生み出す要因となることが分かった。

## (2) 大規模気候変動実験アンサンブルデータセットによる渇水リスク評価とその不確実性

影響評価では、渇水には代かき期と出穂期の10年確率渇水流量を、洪水には年最大日流量から算出した10年確率日流量を評価に用いる水文指標として用いた。

**代かき期渇水流量**：代かき期渇水流量は代かき期間について求めた5日間平均流量の年最小値と定義し、30年間のうち小さい方から3番目の値をその10年確率相当値とした。現在気候、将来気候における代かき期渇水流量のヒストグラムを東北および四国の流域ダムを例として図2に示す。なお、現在気候は3000年分(30年×100メンバー)、将来気候は2700年分(30年×

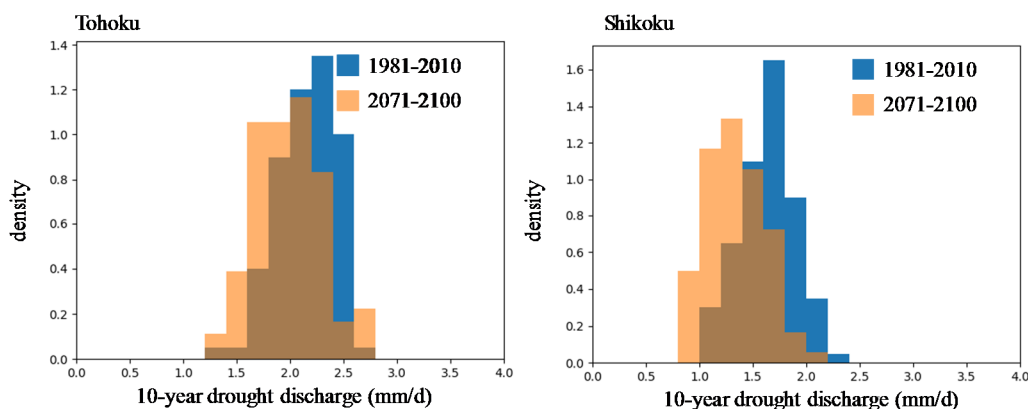


図5 10年確率出穂期渇水流量のアンサンブルメンバー間の分布

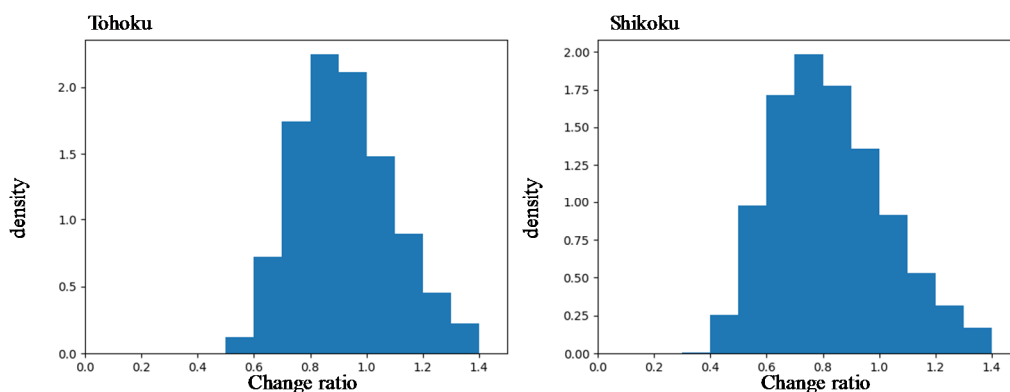


図6 10年確率出穂期渇水流量の変化率の分布

90メンバー)のデータを用いた頻度分布となっている。図より、東北地方のダム流域では代かき期が融雪期となるため、気温上昇の影響を受け将来気候の代かき期渇水流量が全体的に減少している。一方、四国の流域では代かき期が融雪期とは直接関係しないため、気温上昇による蒸発散量の増加により分布の中心が若干左に移動しているものの、大きな変化がみられない。図3は、両気候下の100メンバー、90メンバーの10年確率値の分布である。同じ気候条件でも、アンサンブルメンバー間で10年確率は異なっており、自然変動によりある程度の範囲に分布している。東北の流域では両者の分布は重なっておらずどのメンバーを選んだとしても明確な減少傾向を示しており、変化傾向の整合性が高いことが分かる。四国の流域では、将来気候の分布が左にシフトしているものの、両者の分布が重なっているためメンバーの選び方によっては減少傾向ではなく、変化が小さいあるいは増加傾向となる評価結果も発生しうる。実際に、9000通りの組み合わせで10年確率値の変化率を求めると(図4)、分布の中心は0.7~0.8辺りであるものの、組み合わせによっては変化率が1を超える(増加する)ケースも一定数は発生している。このことから、年変動の大きい降水量の影響を大きく受けている四国の流域では、代かき期渇水流量の年変動も大きくなるため、大部分のケースでは減少傾向を示すものの、組み合わせによっては増加傾向を示す可能性もあり、自然変動による不確実性がある程度大きいと言える。東北地方では、概ね0.5程度の領域に変化率が集中しており、4 上昇を想定すると代かき期渇水流量は概ね50%程度の減少の可能性が高いと判断できる。

**出穂期渇水流量：**代かき期と同様の方法で出穂期渇水流量の10年確率値を算出した。図5に出穂期渇水流量の分布およびアンサンブルメンバー間の10年確率値の分布を示す。両流域ともに、両期間の分布は重なる部分が多いものの、将来気候の分布の中心が若干左にシフトしており、将来気候化では出穂期の10年確率渇水流量は若干の減少傾向を示している。9000ケースの変化率の分布を見ると(図6)、分布の中心は0.7~0.9程度の範囲にあるが、増加傾向を意味する1以上のケースもある程度見られる。このように、出穂期渇水流量は地域によらず自然変動による不確実性が大きいことが分かった。

**10年確率日流量：**洪水期として6月から11月の日流量の年最大値を抽出し、30年間のうち3番目に大きい値を10年確率相当値として評価を行った。10年確率値をみると(図7)、もとも



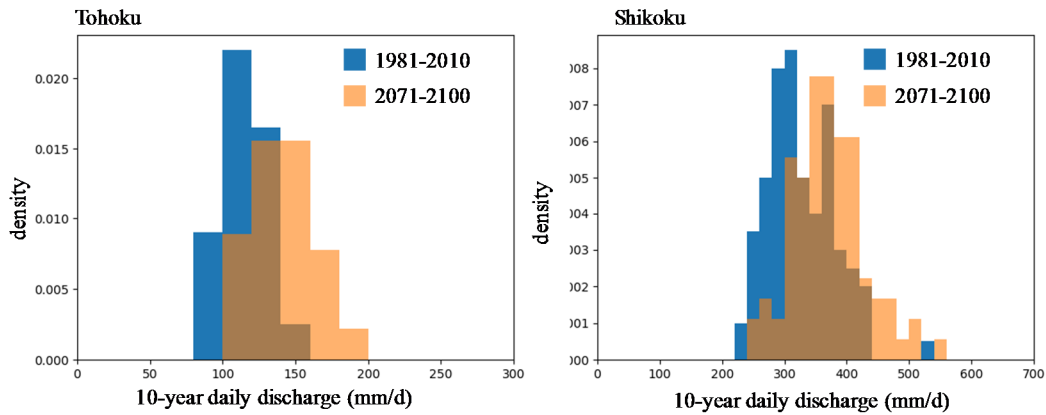


図7 10年確率日流量のアンサンプルメンバー間の分布

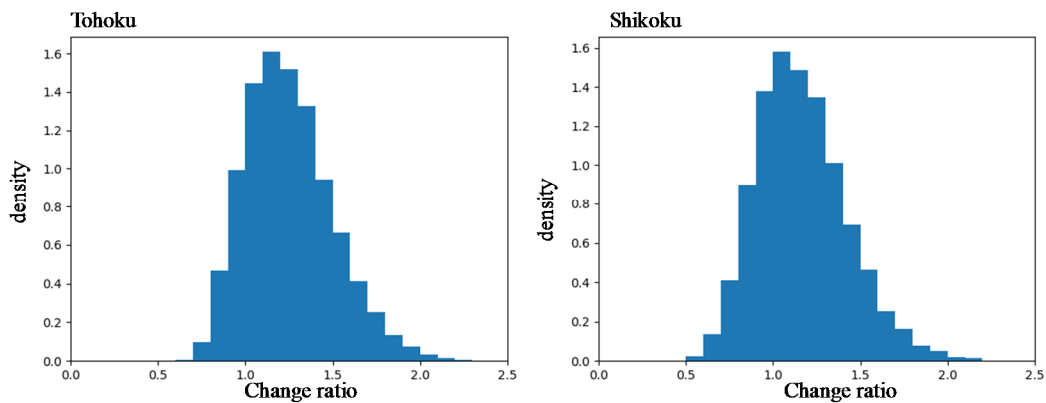


図8 10年確率日流量の変化率の分布

と年変動が大きい現象であるため現在気候でもメンバー間で広く分布しているが、両分布を比較すると将来気候の分布が右にシフトしており、全体的に増加傾向が強いことが分かる。ただし、分布が一部重なっているため組み合わせによってはほとんど変化が見られない、もしくは減少傾向を示す可能性もある。実際に変化率の分布をみると（図8）、大部分は増加傾向を示しており、概ね10～50%程度の増加となる可能性が高いことがわかるものの、東北の流域では全体の20%程度のケース、四国の流域では全体の35%程度のケースで減少傾向や変化無し（変化率0.95～1.05と定義）の傾向を示しており、地域によっては自然変動の不確実性が大きく評価が困難になる可能性がある。

d4PDFは温室効果ガスの排出量などの境界条件は全て同一とし、計算の初期値のみを変えたシナリオである。そのため、メンバー間の違いは純粋な自然変動であり、メンバー間で変化率がばらつくのはこの自然変動による不確実性に起因するものである。これまで、気候変動影響評価では排出シナリオやGCMの違いによる不確実性の議論が中心であったが、この自然変動による揺らぎは現在気候下、将来気候下どちらでも発生するため、特に低頻度事象にとっては無視できない要因となる。特に本研究で示したように、対象とする水文現象や地域によっても自然変動に起因する不確実性の大きさは変化するため、こうした多数のサンプルにより影響評価を行い、確率的に影響を評価する必要がある。本研究は4℃上昇実験を対象として分析を行ったため、自然変動と比べてもある程度の大きさで気候変化のシグナルが検出された。一方で、より温度上昇の小さいケースでは気候シグナルに比べ相対的に自然変動が大きくなり、気候シグナルはより検出しづらくなることが予想される。今後、本研究を開始した時点では配布されていなかった2℃上昇実験で同様の解析を行い、どの程度の気候シグナルが検知できるのかを検討する必要がある。また、本研究では時間とシステム容量の関係から全国を対象とした解析が行えなかった。今後、対象地域をさらに広げ水文量と自然変動による不確実性についてさらに検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 工藤亮治, 吉田武郎, 増本隆夫
2. 発表標題 気温変化に対する積雪融雪過程の感度が影響評価の不確実性に与える影響
3. 学会等名 平成29年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小野航暉, 工藤亮治, 近森秀高
2. 発表標題 降雨の空間分布を考慮した分布型流出モデルの構築
3. 学会等名 平成29年度農業農村工学会中国四国支部講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 近森 秀高, 吉村 裕也
2. 発表標題 既往最大面積雨量に基づく最大洪水比流量の推定とその規模評価
3. 学会等名 水文・水資源学会 2017年度研究発表会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	近森 秀高  (Chikamori Hidetaka)  (40217229)	岡山大学・環境生命科学研究科・教授    (15301)	