

# d4PDFを使用したベトナム・Red Riverの流量極値に寄与する極端降水をもたらす気象環境場の考察

1加藤大輔、1篠原瑞生、1永野隆士、2加藤雅也、2坪木和久、3田中智大、3立川康人、4中北英一  
 1(株)東京海上研究所、2名古屋大学宇宙地球環境研究所、3京都大学大学院工学研究科、4京都大学防災研究所  
 E-mail: kato@tmresearch.co.jp

## 1. はじめに

地球温暖化が水災害リスクへ与える影響を評価するためには、大規模洪水の原因となる極端降水をもたらす気象環境場を含めて考察する必要がある。そこで本研究では、ベトナム・Red River流域を対象に、d4PDFを活用して大規模洪水発生時の気象環境場を考察した。

## 2. 流域の概要

- ヒマラヤ山脈の東端、雲南山地に水源をもつ、中国とベトナムを流れる国際河川であり、長さ1,200 km、流域面積は168,700km<sup>2</sup>である。
- 下部のデルタ地帯は亜熱帯性気候であり、年間平均降水量は1,680mm、5月～9月は雨期で南西モンスーンが優勢となり、降水量は1,440mmと多く、台風による洪水の被害を受ける。

## 3. 研究手法

- 流出計算には、分布型降雨流出モデル1K-DHMを使用し、既往の洪水イベントの観測流量をもとにパラメータを同定した。
- 流出モデルへの入力データは、d4PDF過去実験、4℃上昇実験各シナリオから、雨期に相当する6月から9月のうち62日間の累積降水量が最大となる期間を切り出し作成した。
- 過去実験6,000シナリオ、4℃上昇実験5,400シナリオを対象に流出計算を行い、Son Tay地点における年最大流量の上位シナリオを各10シナリオ抽出した。
- 抽出した上位シナリオを対象に、流域に極端降水をもたらされる要因を分類した。
- 抽出した上位シナリオを対象に、積乱雲発生環境の指標となる大気鉛直安定度と水蒸気フラックスの収束に着目し、過去実験と4℃上昇実験を比較した。

## 4. 結果

### (1) 流域に極端降水をもたらされる要因の分類

- ① 台風または低気圧性循環
- ② 流域南東および北西からの水蒸気フラックスの流入
- ③ 流域北西からの水蒸気フラックスの流入
- ④ 流域南東からの水蒸気フラックスの流入
- ⑤ 流域南西からの水蒸気フラックスの流入

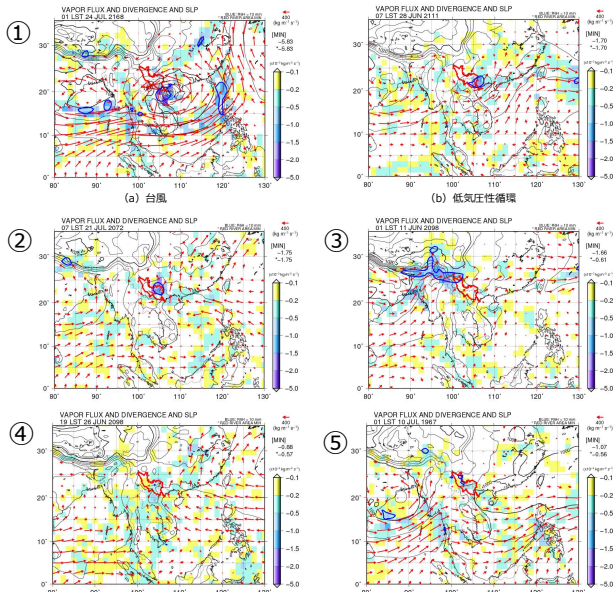


図-2：極端降水をもたらす気象場の例（4℃上昇実験最上位シナリオ）

表-2：年最大流量上位シナリオの大気鉛直プロファイルの解釈

指標	指標の内容	結果
$d\theta/dz$ 絶対安定度	高度上昇に伴う位温の変化の大きさ	200hPa高度以下の対流圏で、4℃上昇実験シナリオの温度減率は過去実験シナリオより概ね大きい。⇒ <b>将来気候下でより乾燥大気の安定度が増す。</b>
$d\theta_e/dz$ 対流不安定度	高度上昇に伴う相当位温の変化の大きさ	過去実験、4℃上昇実験共に500 hPa 高度以下の層で相当位温減率が負。⇒ <b>対流不安定な状態。</b> 400hPa高度以下の層では、将来気候下で相当位温減率がより小さくなる。⇒ <b>将来気候下でより対流不安定度が増す。</b>
$d\theta_{es}/dz$ 条件付不安定度	高度上昇に伴う飽和相当位温の変化の大きさ	相当位温減率のプロファイルと同様に500 hPa高度以下の層で過去実験、4℃上昇実験共に飽和相当位温減率が負。⇒ <b>条件付不安定な状態。</b> 400hPa高度以下の層では、将来気候下で相当位温減率がより小さくなる。⇒ <b>将来気候下でより条件付不安定度が増す。</b>
$\theta_{es}-\theta_e[850hPa]$ 潜在不安定度	各高度における飽和相当位温から最下層に当たる850hPa高度の相当位温を差し引いた値 * $\theta_{es}-\theta_e[850hPa]=0$ となる下端高度が自由対流高度(LFC)、上端高度が対流抑制高度(LNB)。 * $\theta_{es}-\theta_e[850hPa]$ の値が0以下の領域の大きさが対流有効位置エネルギー(CAPE)。	自由対流高度(LFC)は過去実験、4℃上昇実験共に600 hPa高度付近に存在するのに対し、対流抑制高度(LNB)は4℃上昇実験の方が高い。⇒ <b>将来気候下ではより高い高度まで積乱雲が発達する可能性がある。</b> LFCからLNBの間の層の $\theta_{es}-\theta_e[850hPa]$ の負の領域が4℃上昇実験の方が大きい(CAPEがより大きい)。⇒ <b>将来気候下においては、湿潤大気場においてより不安定な場で、より深い対流が発生する可能性がある。</b>

### (2) 大気鉛直安定度

- 流出計算対象期間で平均されたRed River流域平均の温度減率の鉛直プロファイルを図-3に、その解釈を表-2に示す。
- 将来気候下では乾燥大気の大気安定度が増す一方で、対流不安定度、条件付き不安定度、潜在不安定度が増すことが確認できた。
- これらの結果は、将来気候下において、湿潤大気場においてより不安定な場で、より深い対流が発生する可能性があることを意味する。

### (3) 水蒸気フラックスの収束

- Red River流域に対応するd4PDFの各格子（全50点）の、流出計算対象期間（62日）における6時間毎の鉛直積算された水蒸気フラックスの発散（横軸）と、6時間降水量（縦軸）の散布図を図-4に示す。
- 過去実験、4℃上昇実験共に、水蒸気フラックスの収束が大きいほど6時間降水量が多くなる傾向が見られた。
- 4℃上昇実験では水蒸気フラックスの収束が大きい場所が増え、それに対応して6時間降水量の値も増加した。

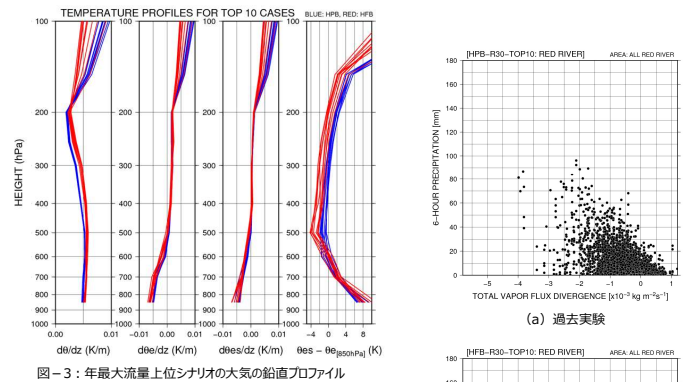


図-3：年最大流量上位シナリオの大気鉛直プロファイル

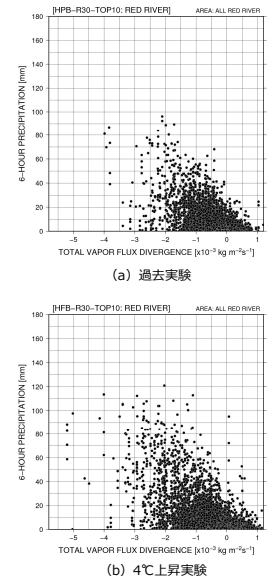


図-4：年最大流量上位シナリオにおける水蒸気フラックスの発散と6時間降水量

## 5. まとめ

- ベトナム・Red River流域を対象に、d4PDF過去実験、4℃上昇実験の年最大流量の上位シナリオについて、極端降水をもたらす気象環境場を考察した。
- 大規模洪水をもたらす極端降水が流域に発生する要因が、おおよそ5パターンに分類できた。
- 将来気候下で大規模洪水をもたらす極端降水発生時には、湿潤大気における不安定度（対流不安定度、条件付き不安定度、潜在不安定度）が増すことが確認できた。このような大気場において、鉛直積算された水蒸気フラックスの収束がより大きくなることで、より激しい降水をもたらされると考えられる。