

THE HEAVY RAIN EVENT OF JULY 2018 IN JAPAN
ENHANCED BY HISTORICAL WARMING
過去の温暖化による 2018 年 7 月の大雨について

川瀬宏明, 今田由紀, 津口裕茂, 仲江川敏之, 清野直子, 村田昭彦, 高藪出

和訳

2018 年 7 月に発生した先例のない豪雨による降水量は
日本周辺の急激な温度上昇によって約 7% 増加した。

2018 年 7 月、日本中部から西日本にかけて記録された豪雨は気象庁により、「平成 30 年 7 月豪雨」と名付けられた。気象庁は約 1300 の観測所を保有している。この豪雨では 48 時間と 72 時間の総降水量が 6 月 28 日から 7 月 8 日の間で 125 と 123 の観測地点で更新された。(観測地点によって更新日程が異なる。) 日本のすべての現場観測地点で蓄積された 10 日間の総降水量は、1982 年以降、月の 1 日、11 日、および 21 日から始まる 10 日間で最も多かった(図 1a) (Shimpo et al, 2019; TCC JMA 2018)。豪雨の際には、221 人が死亡し、6,000 以上の建物が洪水と地滑りにより破壊された(内閣府、日本政府 2018)。連続的な低レベルの水輸送により、活発な停滞前線が数日間維持され、更に高気圧の谷・トラフの通過によってこの大雨が続き、大豪雨となった(Shimpo et al. 2019; TCC JMA 2018)。メソスケール線状の降水システムが局所的に出現し、西日本の一部の地域で激しい降水の原因となった(Tsuguti et al. 2019)。

近年、日本では夏季における地表気温が急速に上昇している。クラウドユース・クラペイロンの式によると、大気が保持する水分量は約 7%K⁻¹ 増加した。7 月に観測された比湿度 850 hPa は、1981 年から 2018 年にかけて日本周辺の大気中の水分量が急激に増加していることを示す(Shimpo et al. 2019; TCC JMA 2018)。最近の地球温暖化による気温上昇と湿潤が、2018 年 7 月の豪雨の原因となった可能性がある。

イベント・アトリビューション(EA)は熱波や干ばつなどの特定の極端気象を人為的強制による地球温暖化に関連付けるのに役立つ(e.g., Stott et al. 2004; Shiogama et al. 2013, 2014; Imada et al. 2014)。EA は、全球気候モデル(GCMs) による大規模な歴史的及び非温暖化シミュレーションと地球温暖化の極端気象現象への寄与の確率論を用いる。Imada et al. (2019) は、2018 年 7 月に日本で起きた熱波は、人為起源の地球温暖化なくして発生することは事実上不可能であったことを明らかにした。Kim et al. (2019) は、モデル間のばらつきは大きいですが、2018 年に発生した深刻な洪水や熱波のような極端気象現象の組み

合わせが地球温暖化の影響を大きく受けている可能性を明らかにした。しかし、EAを豪雨に
 適応させることは困難である。Imada et al.(2013)は約 150 km の水平解像度を持つ大気
 GCM(AGCM)を使用して2012年に西南日本で発生した豪雨への地球温暖化の寄与を明
 らかにしたが、地域規模の豪雨をシミュレートすることはできなかった。日本の複雑な地形の
 影響される激しい降水を直接再現するには、5 km 程度の格子間隔の高解像度シミュレー
 ションが必要である。

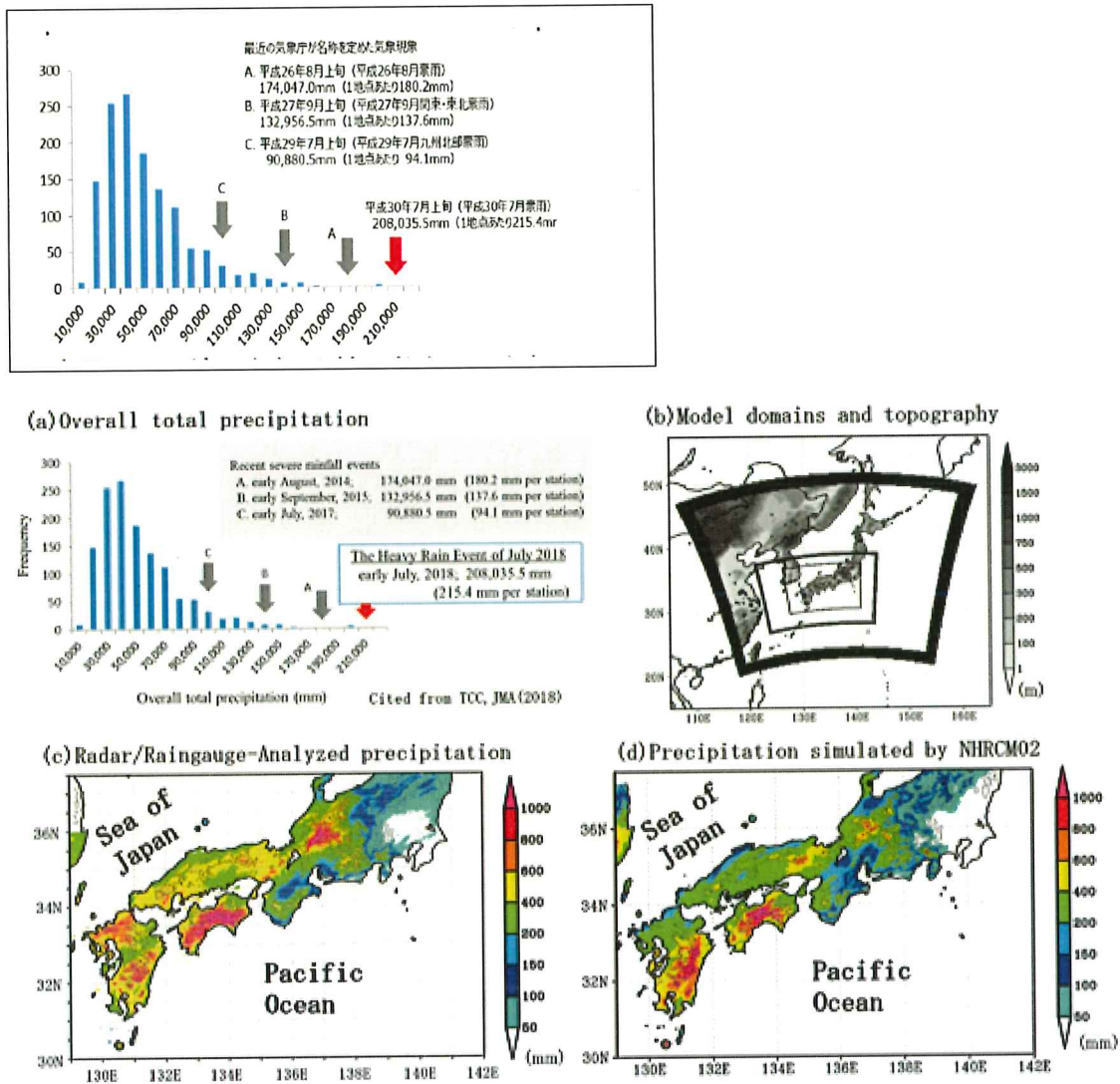


図 1.

(a).日本全国の選択された 966 の観測地点での 10 日間の総降水量の頻度分布(TCC JMA 2018)

(b).モデルドメインと地形。外側、中間、および内側の領域は、それぞれ NHRCM20、NHRCM05、および NHRCM02 のドメインを表す。(c).レーダー/雨量計で解析された降水量は、7 月 28 日 0000JST から 2019 年 8 月 8 日 2300 JST まで。(d).(c)と同様だが、NHRCM02 でシミュレートされた総降水量を示す。

ストーリーラインアプローチ (Shepherd et al. 2018) は、極端気象現象に対する地球温暖化の影響を評価するもう 1 つの方法である。ストーリーラインアプローチでは、再解析データに基づいた現実的な境界条件を備えた高解像度の地域気候モデル (RCM) によって、特定の極端気象現象をシミュレートする。次に、再解析データまたは地球気候シミュレーションによって推定された歴史的温暖化成分を使用せずに、地球温暖化の影響を反事実的シミュレーションによって定量的に評価する。ストーリーラインアプローチは、停滞前線や熱帯低気圧などのメソスケールシステムによって引き起こされる極端気象の評価に役立つ (例: タカヤブラ、2015)。2018 年 7 月の日本での豪雨では、地域気候モデルを使用したストーリーラインアプローチを用い、降水量に対する最近の温暖化と湿潤の影響を評価した。

方法・方式

私達は、非静力学地域気候モデル (NHRCM) を使用して、2018 年 7 月の豪雨を再現した (Sasaki et al. 2008)。境界条件は、水平解像度が 1.25° である日本の 55 年再解析 (JRA-55) (Kobayashi et al. 2015) から得た。NHRCM の水平格子間隔は、外側、中間、および内側の領域で 20、5、2 km だった (以下、NHRCM20、NHRCM05、および NHRCM02 とする) (図 1b)。NHRCM20 および NHRCM05 では、積雲対流パラメータ化スキーム (Kain and Fritsch 1993) と雲微物理スキーム (Ikawa et al. 1991) の両方が使用された。NHRCM02 では、いわゆる対流許可モデルの雲微物理スキームのみを用いた。対流許可モデルは、複雑な地形とメソ対流形の影響を受けた地域規模の豪雨をシミュレートできる (Prein et al. 2015)。NHRCM20 の最初の日付は 2019 年 6 月 20 日である。NHRCM05 の実行は、簡略化されたアンサンブル実験を行うために、6 月 22 日から 26 日までの 5 つの異なる初期の日付で開始された。NHRCM05 ランの初期の日付は、すべてのアンサンブル実験で 6 月 27 日だった。これらの推算実験は、今後「CTL 2018 ラン」と呼ぶ。気象庁が生成したレーダー/雨量計で分析された降水量は、NHRCM02 によってシミュレートされた降水量を検証するために使用された。私達は日本周辺で温度上昇が加速した 1980 年から 2018 年にかけての夏季 [6 月~8 月 (JJA) の平均] および各月 (6 月、7 月、8 月に分けて) での各気圧レベルでの地域平均気温と海面気温 (SST) の 4 種類の線形傾向を計算した。1,000 hPa での地域平均 JJA 温度は、年々大きな変動を伴う急速な増加を示している (図 2a)。温暖化の傾向は 7 月に最大 (1,000 hPa で $1.11\text{K}/39$ 年)、6 月に最小 (0.75K) だったが、8 月 (1.04K) の温暖化の傾向は JJA (0.96K) の傾向と類似していた。再解析データの温度傾向には、人為的要因による地球温暖化に加えて、自然の 10 年変動が含まれることに注意が必要。私たちは、これらの最近の温暖化傾向を反映した DeTRND2018_JJA、DeTRND2018_JUN、DeTRND2018_JUL、および DeTRND2018_AUG ランと呼ばれる 4 つの方式とは別に、JRA-55 を使用して同様の再予報シミュレーションを実行した。各実験では、異なる初期日付を使用した 5 つの NHRCM05 によるアンサンブルランが行なわれた。

結果

5つのCTL2018ランのアンサンブル平均は、2018年7月の豪雨の総降水量の水平分布をよく再現している(図1c, d)。地域平均降水量の時系列は、NHRCM02が6月29~30日、7月3~4日、7月5~7日の豪雨期間のタイミングをシミュレートすることを示している(図2c)。しかし、総降水量は陸地よりも過小評価されている。観測とシミュレートされた地域全体の平均降水量は、東経129°~142°と北緯30°~37.5°で、それぞれ357.0、269.2 mmである。日本海沿いの沿岸地域における降水量の過小評価は、NHRCM02によってシミュレートされた停滞前線の位置の偏りと一致する。

図2bは、CTL2018ランのアンサンブル平均とDeTRND2018ランのアンサンブル平均との間の土地全体の降水量の差を示す。大部分の地域は、CTL2018での降水量がDeTRND2018での降水量よりも多いことを示しており、最近の温暖化が豪雨を強める可能性があることを示す。私たちは、豪雨期におけるCTL2018とDeTRND2018の累積降水量の時系列を比較した(図2c)。アンサンブル平均降水量の差は、7月5日以降に大きくなったことが分かる。豪雨の終わりのCTL2018とDeTRND2018ランのアンサンブル平均の累積降水量の差は17.0 mmで、これはDeTRND2018の6.7%に相当する。トレンド除去方法の不確実性を考慮すると、JRA-55から排除された4つの温度傾向から生じるDeTRND2018アンサンブルランの間の不一致(細い青い線)も推定される。降水量の差の割合は、JJA、DeTRND2018、DeTRND2018_JJA、DeTRND2018_JUN、DeTRND2018_JUL及びDeTRND2018_AUGに対して、それぞれ、+7.4%、+6.5%、+2.7%および+10.7%である。5つの異なる初期日付を使用した変動は、4つの異なる温度傾向を使用した変動と比べてはるかに小さくなる(図2d)。DeTRND2018_JULの降水量の差は4つの実験の中で最も小さく、1,000 hPaでの気温の差はそれらの実験の中で最大である。これらの結果は、温暖化による降水量の変化が必ずしも低レベルの温度変化に対応するとは限らないことを示す。

ほとんどの水蒸気は日本周辺の海に由来するため、SSTの変化が低レベルの水分に影響する。さらに、大気の湿潤安定性は、相当温位と飽和相当温位の垂直プロファイルの変化によって変調される。私たちの実験は、湿潤安定性の変化(i.e., 図2の表の $\theta_{e1000}-\theta_{e600}$)が降水量の変化に影響することを示す。DeTRND2018_AUG(DeTRND2018_JUN)は、安定性の変化の最大(最小)と降水量の最大(最小)を示している。Hibino et al. (2018)は、将来、地球の温暖化による湿潤化が日本の異常な降水に与える影響は、熱安定性の向上による対流の抑制により相殺される可能性がある」と指摘した。

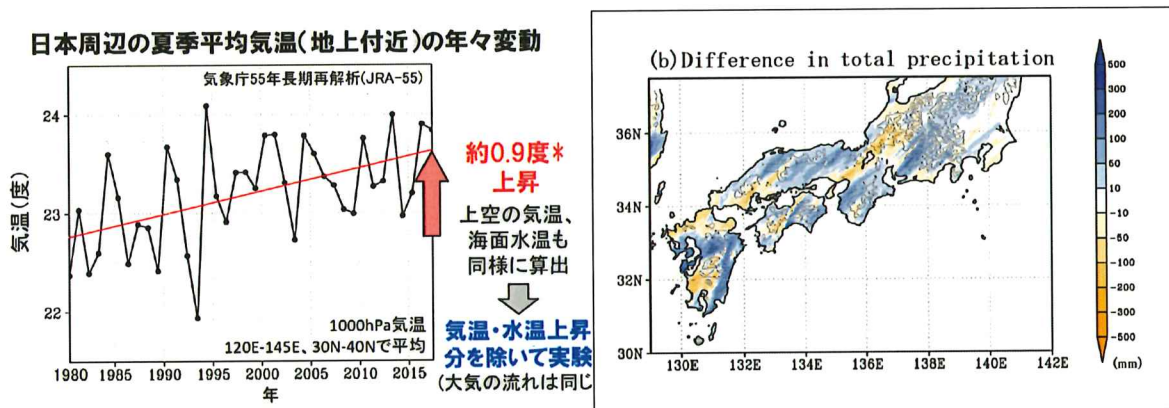
JRA-55の再分析データによると、1,000 hPaでの気温の上昇は、JJA、6月、7月、8月のそれぞれ0.96、0.75、1.11、1.04 Kである。クラウドジウス・クラペイロンの式に従って1°Cで7%増加すると仮定した場合、割合はそれぞれ6.7%、5.3%、7.8%、7.3%である。また、降水量の約6.7%の増加は予想範囲内である。しかし、この結果は、豪雨の変化は大気の湿

潤安定性の変化にも影響されることを示しており、これは地球温暖化による豪雨の変化の不確実性へのもう一つの原因となり得る。そのため、2018年7月の豪雨など、地球温暖化の長期間の豪雨へ影響を定量的に評価するには、大気温度の変化だけでなく、地球温暖化による大気湿潤安定性の変化も評価する必要がある。

現在の気候よりも暖かい気候を想定し、5つの初期日付を設定して、追加の実験が行われている。ここでは、JJAの温度傾向は、過去39年の同じ期間の温度傾向によって推定し、2018年に追加される。平均総降水量は、より暖かい状態で、CTL2018に対して6.1%増加する。(オンライン補足資料の図ES1を参照)

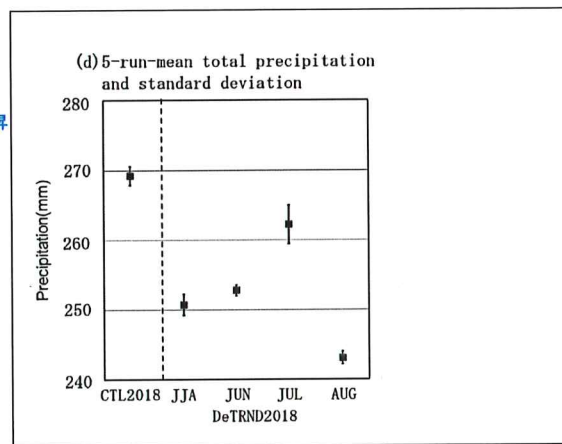
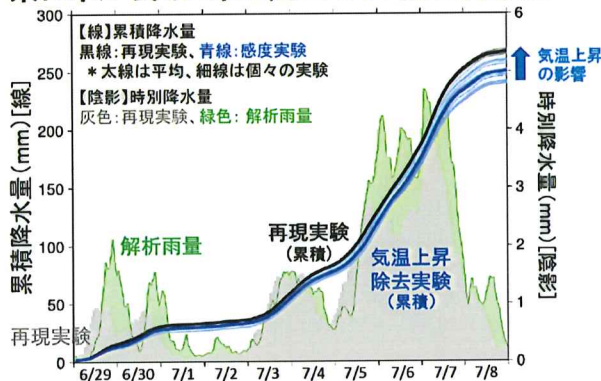
図2

(a)



(c)

東日本から西日本の陸上で平均した降水量



Table

EXP (5 runs mean)	θ_e 1000		θ_e 1000- θ_e *600		Total precipitation CTL-DeTRND (percentage)	T1000(given) CTL-DeTRND	SST(given) CTL-DeTRND
		CTL-DeTRND		CTL-DeTRND			
CTL2018	345.32 K	*	3.19 K	*	*	*	*
DeTRND2018_JJA	342.61 K	2.72 K	2.68 K	0.52 K	7.4 %	0.96 K	0.78 K
DeTRND2018_JUN	343.48 K	1.84 K	2.76 K	0.43 K	6.5 %	0.75 K	0.62 K
DeTRND2018_JUL	342.42 K	2.91 K	3.13 K	0.06 K	2.7 %	1.11 K	0.70 K
DeTRND2018_AUG	341.55 K	3.77 K	2.10 K	1.09 K	10.7 %	1.04 K	1.00 K
DeTRND2018 mean	343.07 K	2.81 K	2.67 K	0.53 K	6.7 %	-	-

図 2.

(a). JJA の東経 120°~145°、北緯 30°~40°における 1,000hPa の地域平均気温の経年変化。赤い線は、1980 年から 2018 年までの線形傾向を表す。(b). CTL2018 と DeTRND2018 のアンサンブル平均間の総降水量の差。青色(オレンジ色)は、CTL2018 の降水量が DeTRND2018 の降水量よりも多い(小さい)ことを示す。(c). 中部および西部日本における地域平均陸域降水量の時系列。黒い線と青い線は、それぞれ CTL2018 および DeTRND2018 ランによってシミュレートされた地域平均累積降水量を表す。太線は、対応するアンサンブル平均を表す。陰影とバーは、時間ごとの地域平均の降水量を示す: 観測(緑色)、CTL2018(灰色)、DeTRND2018(青色)。(d). 各実験でシミュレートされた平均総降水量と標準偏差。(表) CTL2018 と DeTRND2018 間のいくつかの指標の違い。T1000、 θ_e1000 、 $\theta^* e 600$ は、それぞれ 1,000 hPa での温度、1,000 hPa での相当温位、600 hPa での飽和相当温位を表す。

まとめ

歴史的地球温暖化の、2018 年 7 月に発生した日本での豪雨事象に対する寄与を、JRA-55 再解析データに基づき、NHRCM02 を使用して定量的に評価した。NHRCM02 は、西日本および東日本における豪雨の水平分布と降水のタイミングと、よくシミュレートした。1980 年から 2018 年までの夏の平均気温および毎月の平均気温の線形傾向を境界条件から排除した感度実験では、最近の温暖化による総降水量の増加が示された。CTL2018 ランの総降水量は、DeTRND2018 ランによるアンサンブル平均の総降水量よりも約 6.7%(+ 2.7% ~ + 10.7%)大きくなっている。これらの降水量の変化は、クラウジウス・クラペイロンの式に関係する大気温度の変化だけでなく、SST と大気の湿潤安定性の変化によっても引き起こされる。いずれにせよ、私たちの結果は、これまでの温暖化が 2018 年 7 月の日本での豪雨イベントの総降水量の増加に確実に影響したことを示す。この研究では、この極端気象現象に関連する特定の気象現象を制御するために、ストーリーラインアプローチを採用している。2018 年 7 月の豪雨発生の背景にある条件の頻度変化を評価するためには、今後更なる研究が必要である。

謝辞

この研究は、日本の文部科学省の東郷プログラム、文部科学省(JST)、独立行政法人科学技術振興機構(JST)と日本学術振興会(JSPS)の科学研究費補助金(科研費)助成金 16H01844 および 18K19951 の支援を受けている。

著者名と所属:

Kawase, Imada, Nakaegawa, Seino, murata, and Takayabu—気象庁気象研究所,茨城県; Tsugutii—気象庁, 東京.

責任著者:

Hiroaki Kawase, hkawase@mri-jma.go.jp

DOI:10.1175/BAMS-D-19-0173.1

この記事の補足はオンラインで入手可能です(10.1175/BAMS- D-19-0173.2)

© 2019 American Meteorological Society

このコンテンツの再利用および一般的な著作権情報については、AMS 著作権ポリシーをご覧ください。

引用

略

仮訳 浅岡美恵