

令和元年東日本台風 (台風1919) による大雨の気候学的評価

—区内観測資料の利用—

藤 部 文 昭*¹・松 本 淳*²・釜 堀 弘 隆*³

要 旨

区内観測資料を利用して、令和元年東日本台風 (台風1919) による降水量分布を過去の大雨事例と比較し、また、極値統計手法を使って大雨の再現期間を評価した。東日本台風による総降水量の分布は1947年のカスリーン台風のものと同様、関東山地から東北地方の太平洋側にかけて降水量が多かった。これらの台風による2日間降水量の再現期間は、一部の観測地点では数百年以上と計算されるが、多降水域の領域平均降水量については100年前後と見積もられる。

1. はじめに

令和元年東日本台風 (台風1919, Hagibis, 以下「東日本台風」と表記する) は関東甲信越～東北地方に記録的な大雨をもたらした。各地で災害を引き起こした。近年はこれ以外に、2017年の九州北部豪雨や2018年の西日本豪雨 (平成30年7月豪雨) など、毎年のように大雨災害が発生している。近年の大雨については、地球温暖化による増幅の可能性も指摘されている (Imada *et al.* 2013 ; Kawase *et al.* 2020)。

しかし、近來稀な大雨でも、時代を遡れば類例が見つかることがある。例えば、2011年の台風12号に伴う紀伊半島豪雨は、1889年に奈良県の十津川地区を潰滅させた豪雨と発生状況がよく似ていた (牧原 2012 ; 二宮 2013)。近年の大雨事例と過去の類例との共通点と違いを見出すことにより、今後の防災対策を講じていく上で有意義な情報を得られることが期待される。

東日本の広範囲に大雨災害をもたらした台風として

は1947年のカスリーン台風 (Kathleen) がある。この台風は関東～東北地方に大雨を降らせ、戦争直後の脆弱な治水体制の下、利根川や荒川の決壊・氾濫などにより、東京を含む広範囲に水害を引き起こした (水谷 2011)。この災害は首都圏の治水政策を論ずる際には今なお言及される (例えば中央防災会議 2012)。このほか、1948年にアイオン台風 (Ione)、1958年には狩野川台風 (台風5822, Ida) が東日本に大雨災害をもたらした。さらに遡ると、大河川の氾濫を伴う首都圏の広域洪水として、単一の台風によるものではないが1910年の「関東大水害」の先例がある (中央気象台 1948 ; 奥田 1987)。

本研究の主目的は、東日本台風による大雨の気候学的評価、すなわちこの雨が“どこで・どれぐらい・どのように極端だったか”を過去の観測データに基づいて検証することである。そのため、東日本台風と上記の3台風による降水量の空間分布を比較し、また、極値統計手法に基づいて東日本台風の大雨の再現期間を評価した。加えて、カスリーン台風と同様の広域被害を起こした1910年関東大水害の経過と降水量分布を付録で紹介する。なお、上記3台風は経路や大雨の広域性に基いて東日本台風の類例として選んだものであるが、定量的な基準で抽出したものではないことを付記する。

解析手法における本研究の特色は、区内観測のディ

*1 (連絡責任著者) 東京都立大学都市環境学部。

〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1。

ffujibe.bs@gmail.com

*2 東京都立大学都市環境学部。

*3 東京大学大気海洋研究所 / 気象研究所。

—2020年3月23日受領—

—2020年7月30日受理—

デジタル資料を使った点にある。区内観測とは、アメダスが全国展開される1970年代まで、全国の役場や学校などで行われていた気象観測である。これは主として1日1回、日最高・最低気温と日降水量を測るという簡易なものであったが、観測所の空間密度はアメダスと同程度か、これを上回る。この資料に基づき、カスリーン台風やアイオン台風の詳しい降水量分布図が作成されている（中央气象台 1948, 1950a, c; 日本気象協会 1973）。しかし、東日本台風との量的な比較を行うためには、デジタルデータが欠かせない。本研究では、近年デジタル化された区内観測の日降水量データ等を利用した。

2. 資料と解析方法

2.1 資料

1979年以降についてはアメダスの日降水量を使った。日界は24時である（以下すべて日本時間）。1975年までは区内観測による日降水量を使った。日界は1952年までは10時、1953年からは09時である。この場合、当日10時/09時〜翌日10時/09時の降水量がその日の観測値になる。1976〜1978年は区内観測が順次廃止され、アメダスは設置途上で、安定した観測網が得られないことから対象外とした。対象地域は東北〜関東・中部（三重県を含む）の1都22県とした。本研究で使われた観測地点数は、後出の第2表に記載した。

気象庁には1926年以降の区内観測結果を取めた原簿の画像ファイルが保管されている。2007年以降、科研費等によってこのファイルに収められた日降水量のデジタル化が進められ（藤部ほか 2008）、2012年ごろに全国の分が完了した。1925年以前についても、各气象台に保管されている紙の原簿により、2019年までに一部の県（主として関東〜東海）における観測開始以来の日降水量がデジタル化され、早い県では1890年代に遡るデジタル資料が得られている（釜堀ほか 2019）。

区内観測の原簿には誤データや疑問データが散見される（藤部ほか 2008）。また、1940〜1950年代前半は地点の入れ替わりが多く、原簿ファイルに収録されていない地点もあるようである。カスリーン台風については、内務省関東土木出張所（1947）、中央气象台（1948）、東京管区气象台（1949）などに、台風が通過した数日間の日降水量が載っているの、これらの中から地点位置を特定できたものを、前記のデジタルデータと併せて利用した。原簿中、周囲の地点に比べ

て不自然に小さい値や、1日ずれていると考えられる値は、上記の印刷物を参照して適宜修正し、疑問の残るデータは使わなかった。なお、岡本（2013）はカスリーン台風による群馬県内の降水量について区内観測のほか県や電力・鉄道関係等の資料を集め、データの品質について詳しく検討している。

2.2 降水量分布の解析

各台風による大雨の大半は24時間以内に降った。しかし、(1) その前後にも若干の降水があったこと、(2) 降った時間帯が地域によって異なること、(3) 大雨が日界をまたいで降った地点があることを考え、降水量分布の解析には4日間の総降水量を使った。期間は、東日本台風については2019年10月10〜13日（日界24時）、カスリーン台風は1947年9月13〜16日（日界10時）、アイオン台風は1948年9月14〜17日（日界10時）、狩野川台風は1958年9月24〜27日の4日間降水量（日界09時）とした。

事例ごとに地点が違うため、降水量を緯度30"×経度45"（ほぼ1 km 四方）の格子に内挿して比較をした。内挿は、格子の中心と観測地点との距離を r として、 $\exp[-(r/r_0)^2]$ の重みをかけて行った。観測地点の密度に応じた分解能の内挿が行えるよう、 r_0 は格子ごとに、重みの総和が1になる値を設定した^[注1]。

2.3 極値統計の方法

東日本台風による大雨の主要地域であった東北部〜関東・甲信越と静岡県の一都13県を対象にして、大雨の再現期間を評価した。再現期間とは、事象の生起確率を表すものであり、再現期間 T 年の事象が1年間に起きる確率は $1/T$ である。解析の対象地点は、以下の条件に基づいて選んだ。

- (1) 同一場所で区内観測からアメダスへ移行した地点、あるいは区内観測所から水平距離5 km未満かつ標高差50m未満にアメダス観測所が新設された地点。これは、アメダス観測所が移転したときに統計を接続できない条件が、“観測場所が、水平距離で概ね5 km以上、または海面上の高さで概ね50m以上変わった場合”とされていること（気象庁 2019a）に基づく。
- (2) 欠測が少ない地点。具体的には、日降水量の欠測が3日以上ある月を欠測月とし^[注2]、
 - ・区内観測期間については、1931〜1975年の45年間に於いて、5〜10月の各月に、欠測月が8つ未満（すなわち $8/45=18\%$ 未満）である。
 - ・アメダス期間については、1979〜2019年の41年

間において、5～10月の各月に、欠測月が3つ未満（3/41=7%未満）である。

の条件を満たす地点を採用した。区内観測の欠測条件の適用期間を1931～1975年としたのは、1930年以前と1976年以降はデータのない地点が多いからである。

(1) (2) により、110地点が解析対象になった（後出の第3図）。

再現期間の評価は2日間降水量を対象にした。これは、1回の大雨が日界で分割されることによる過小評価を避けるためである（第4節参照）。地点ごと・年ごとに、5～10月の2日間降水量の最大値を求めた。以下これを「年極値」と表記する。ただし、欠測日数が5～10月の20%（すなわち184日×0.2=36日）を超えるときは、年極値を欠損とした^[註2]。年極値の定義期間を1～12月ではなく5～10月にしたのは、寒候期の欠測による年極値の欠損を避けるためである。

加えて、いくつかの領域内の平均降水量の再現期間を調べた。領域平均降水量の算出に当たり、欠測地点がある場合には、降水量の気候的な地域差の影響が懸念される。例えば、ふだん雨の多い地点が欠測すれば、他の地点の観測値を単純に平均した値は欠測がないときの値よりも小さいであろう。この問題を避けるため、各地点の降水量の気候値に基づき、領域平均降水量を

$$P_0 = S_0 \frac{\sum_i P_i}{\sum_i S_i} \quad (1)$$

として求めた。ここで P_i は地点 i の2日間降水量、 S_i は地点 i の降水量の気候値であり、 Σ は領域内のデータが得られる地点についての和である。 P_0 、 S_0 は2日間降水量と気候値の領域平均値である。欠測地点がなければ、 P_0 は P_i の単純平均値になる。気候値としては、アメダス期間すなわち1979～2019年の5～10月の平均値を使った。

再現期間計算の基になる極値分布としては、Gumbel分布と一般化極値分布（GEV=generalized extreme value distribution）を使った。GEVには μ 、 σ 、 ξ という3つのパラメーターがある（山田 2020）。各パラメーターの推定には年極値のL-momentsを使った。 ξ は極値分布関数の3次モーメントすなわち分布の歪みに関係し、 ξ が正で大きいほど低頻度で極端な値が出やすい（long tailed）。Gumbel分布は $\xi=$

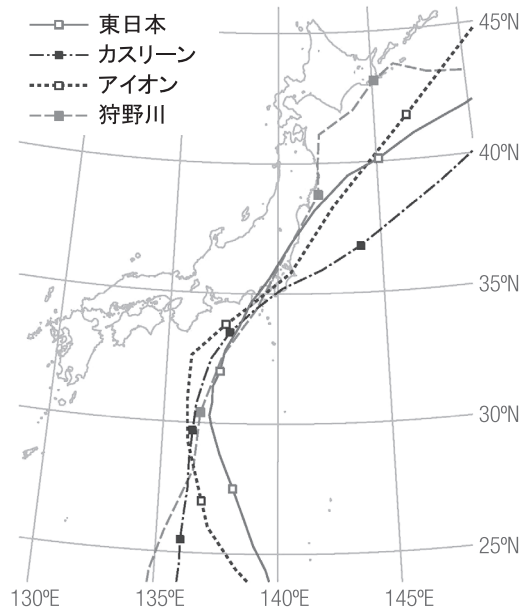
0とした場合である。GEV以外にもいくつかの極値分布関数が提案されているが、分布関数による違いに関わるのは4次以上のモーメントであり、むしろデータの確率変動に由来する不確実性が大きい（藤部 2011；藤部・酢谷 2020）。

3. 各台風による降水量分布の特徴

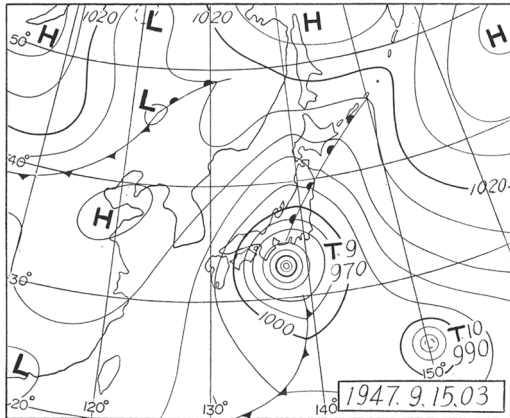
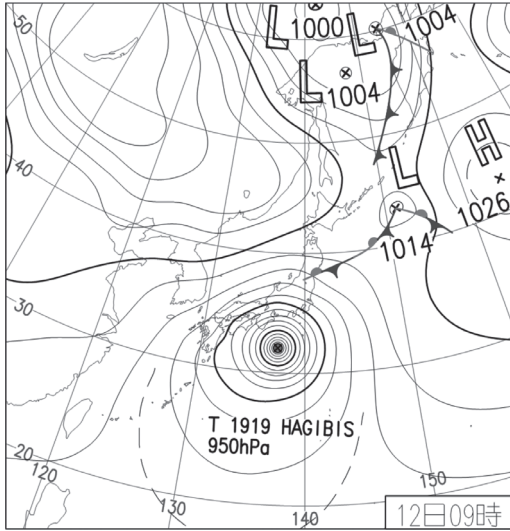
3.1 各事例の概要

第1図は本稿で取り上げる4台風の経路を、第2図は東日本台風とカスリーン台風の関東接近時の天気図を示す。第1表は各台風の主要データを示す。また、第3図は解析対象地域の主要部の地形と各台風経路、および本稿に出てくる主な地点の位置を示す。各台風とも本州の南を北上した後、北東へ転向して関東付近を通った。関東通過時刻は、狩野川台風は夜半過ぎ、その他の3台風は夕方～夜半であった。

東日本台風と狩野川台風は本州接近に先立ち、中心気圧がそれぞれ915hPa、877hPaまで下がったが、上陸時の中心気圧は955hPa程度だった。アイオン台風は4つの台風のうちで上陸前後の気圧が最も低く、風が強かった。一方、カスリーン台風は中心気圧が高



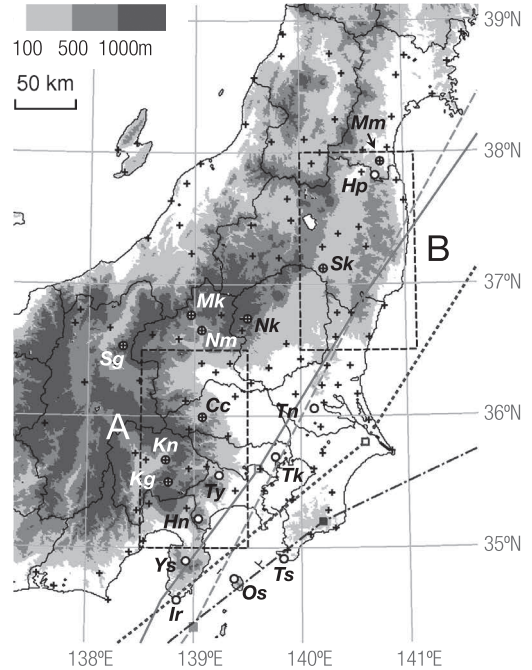
第1図 各台風の経路。東日本台風と狩野川台風は気象庁ベストトラックによる。カスリーン台風とアイオン台風は気象庁(1962)の図から読み取った。□、■等は毎日09時の中心位置。



第2図 東日本台風(上)とカスリーン台風(下)の接近時の天気図。2019年10月12日09時と、1947年9月15日03時。等圧線は4hPaごと。東日本台風は気象庁ホームページ、カスリーン台風は日本気象協会(1973;原図は等圧線2hPaごと)による。

かったが、その割に1000hPa半径は大きく、移動速度は他の台風より遅かった。

第4図はそれぞれの台風による4日間降水量の分布を示す。各台風による降水量の上位3地点を第2表に



第3図 解析対象地域の主要部の地形と台風経路、および主な地点。台風経路の表記は第1図と同じ。○は本文に出てくる主な地点で、北から、Mm=丸森、Hp=筆甫、Sk=白河、Mk=水上、Nk=奥日光(中宮祠)、Nm=沼田、Sg=菅平、Tn=館野、Cc=秩父、Tk=東京、Kn=勝沼、Ty=鳥屋、Kg=河口湖、Hn=箱根、Ts=富崎、Ys=湯ヶ島(上狩野)、Os=大島、Ir=石廊崎。+は第4節で再現期間の計算を行った110地点、破線の枠A、Bは第4節で参照する領域。

第1表 各台風についての主要データ。

	関東通過日	上陸場所	最低海面気圧 ¹⁾ (hPa)	最大瞬間風速 ²⁾ (m/s)
東日本台風	2019/10/12	伊豆半島	石廊崎 955.4	神津島 SE 44.8
カスリーン台風	1947/9/15	房総半島 ³⁾	石廊崎 986.3	八丈島 SW 28.0
アイオン台風	1948/9/16	房総半島	大島 942.7	富崎 60.1
狩野川台風	1958/9/26~27	三浦半島	石廊崎 955.2	大島 SSE 50.2

1) 気象庁・中央気象台の観測所における上陸前後の観測値。
 2) 風向を併記する(アイオン台風時の富崎は不明)。測器は時代により異なる。
 3) 房総半島南部付近を通過。中央気象台編(1950b)には“房総南部横断”とあり、本論文の第3図に示した経路も房総半島南部を横断しているが、中央気象台(1948)には台風の中心が分裂したという趣旨の記述があり、上陸したかどうか確実ではない。

掲げる。東日本台風（第4図a）においては、関東西部の県境付近すなわち関東山地に沿って南北に降水量500mm以上の領域がある。多降水域は北東方向に東北地方の太平洋側へ延び、奥日光（512.5mm）や宮城県南部の筆甫（607.5mm）でも降水量が500mmを超えた。筆甫は大きな浸水被害を受けた丸森町の山間部にある。第5図は、東日本台風の4日間降水量と気象庁メッシュ気候値（<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G02.html>, 2020.2.21閲覧）による9～10月の平年2ヶ月降水量との比を示す。関東山地から宮城県南部ではところどころで比が1を超え、平年の2ヶ月降水量を上回る大雨になった。この領域は第4図の多降水域とほぼ一致し、ここでは気候値と比べても降水量が多かったことが確認される。

カスリーン台風（第4図b）においても、関東山地に沿う南北の多降水域があり、栃木県北西部を経て宮城・岩手県まで延びている。降水量500mm以上の地点数は23である。アイオン台風（第4図c）の降水量分布も上記2台風に似ているが、関東山地の降水量はこれら2台風に比べて3割程度少なく、降水量が500mmを超えた地点は2つである^[注3]。実際、アイオン台風による水害は東北地方が中心だった。また、狩野川台風

（第4図d）は伊豆半島北部で局地的な大雨になったが、降水量が500mmを超えたのは2地点だった。他方、狩野川台風は関東の平野部で降水が多く、東京23区でも一部で降水量が400mmを超えた（深川で438mm、東京で407mmなど）。

第3表は、関東1都6県および2.3節で述べた1都13県について、各事例の空間平均降水量を示す。平均降水量は、格子点の値を平均したものと、地点ごとの降水量を単純平均したものとを併記する。1都6県の平均降水量は東日本台風が最大であり、カスリーン台風がこれに次ぐ。東日本台風の面積平均降水量はカスリーン台風と比べ、1都6県では約7%、1都13県では約12%多い。また、格子点値から求めた事例ごとの降水量の空間相関を第4表に示す。空間相関は狩野川台風を除き、1都6県でも1都13県でも0.7前後の値を持つ。東日本台風との相関が一番高いのはカスリーン台風であり、東日本台風の大雨は総量と空間分布の両面で、今回取り上げた3台風のうちカスリーン台風に最もよく似ていたことが結論される。

以下、東日本台風とカスリーン台風の降水量分布の基本的な類似性を認識した上で、両者の違いについて議論する。

第2表 各台風による4日間降水量（mm）の上位3地点。

年月日 地点数	東日本台風 2019年10月10～13日 672地点	カスリーン台風 1947年9月13～16日 673地点	アイオン台風 1948年9月14～17日 671地点	狩野川台風 1958年9月24～27日 810地点
1位	箱根（神奈川県） 1001.5	鳥屋（神奈川県） 634.4	中宮祠（栃木） ¹⁾ 588.9	上狩野（静岡県） 759.0
2位	湯ヶ島（静岡県） 760.0	秩父（埼玉県） 611.0	山中（山梨） 500.0	長又（神奈川県） 516.2
3位	浦山（埼玉県） 687.0	馬場（神奈川県） 605.3	煤ヶ谷（神奈川県） 475.0	大島（東京） 452.0

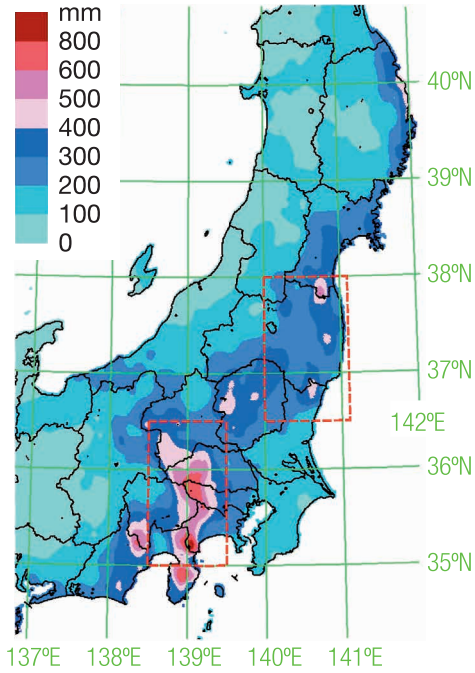
1) 後の日光測候所・奥日光アメダス

第3表 各台風による面積平均降水量（mm）。カッコ外は空間内挿値の平均値、カッコ内は地点ごとの値の単純平均値。

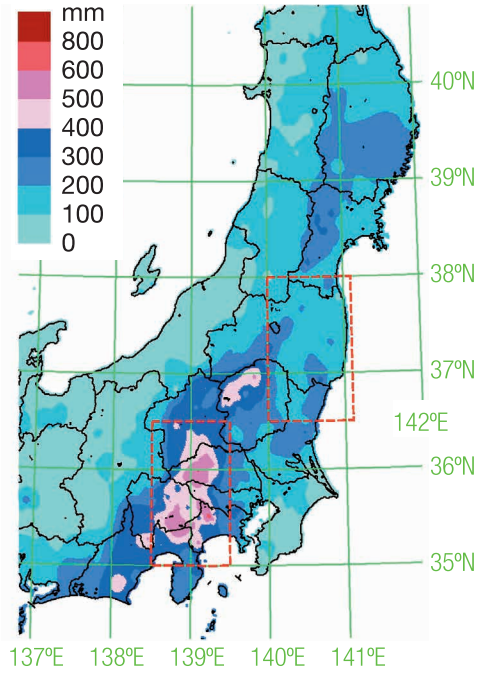
	東日本台風	カスリーン台風	アイオン台風	狩野川台風
1都6県	123地点 270.7 (269.4)	170地点 253.2 (252.4)	165地点 188.5 (192.3)	222地点 205.8 (225.5)
1都13県	343地点 231.6 (230.8)	429地点 206.9 (205.9)	431地点 167.3 (163.0)	511地点 155.6 (165.9)

第4表 各台風による降水量分布の空間相関。左下部分は1都6県、右上部分は1都13県のもの。

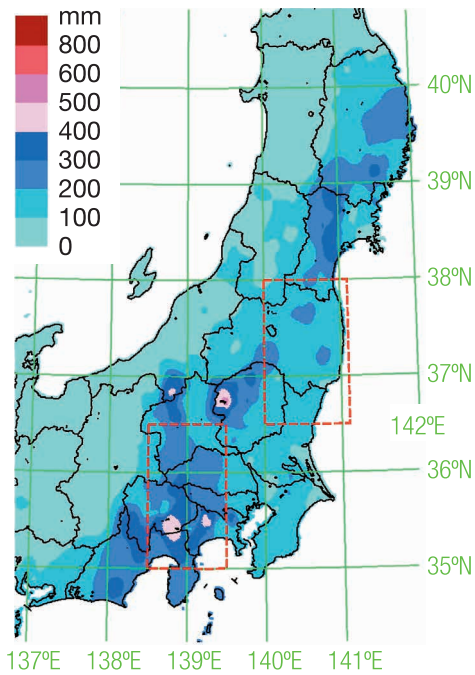
	東日本台風	カスリーン台風	アイオン台風	狩野川台風
東日本台風	—	0.73	0.71	0.56
カスリーン台風	0.77	—	0.81	0.38
アイオン台風	0.69	0.76	—	0.37
狩野川台風	0.23	0.16	0.14	—



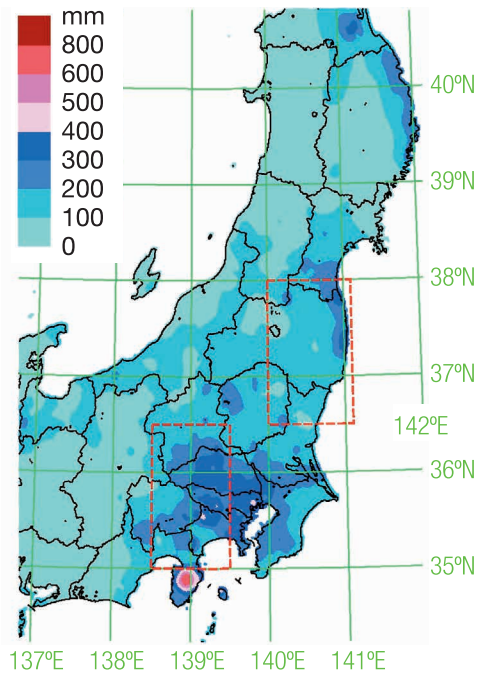
(a) 東日本台風 (2019年10月10～13日)



(b) カスリーン台風 (1947年9月13～16日)



(c) アイオン台風 (1948年9月14～17日)



(d) 狩野川台風 (1958年9月24～27日)

第4図 各台風による4日間降水量の分布. 赤枠は第4節で参照する領域A, B.

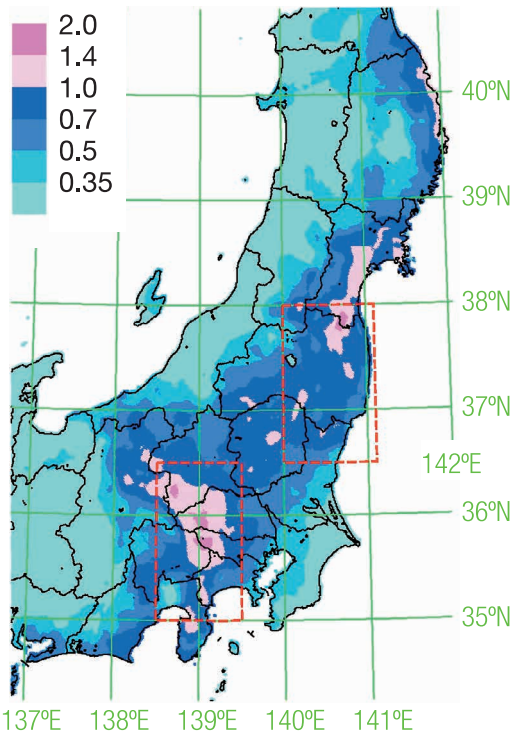
3.2 東日本台風とカスリーン台風の降水の比較

第6図は2台風の降水量の差を示す。長野県東部や茨城県北部～宮城県南部では東日本台風の降水量が多く、山梨県・群馬県・岩手県ではカスリーン台風の降水量が多い。これらの地域は、それぞれの台風による被害の大きかった地域と大まかに対応する。東日本台風の場合、長野県では千曲川が氾濫し、福島・宮城県では水害が多発して両県で全国の半数を超える死者・行方不明者が出た（89人中51人、http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19_44.pdf, 2020.2.21閲覧）。カスリーン台風においては、群馬・栃木県で土石流や河川の氾濫が多発し、東北地方では北上川水系の氾濫が起きた。

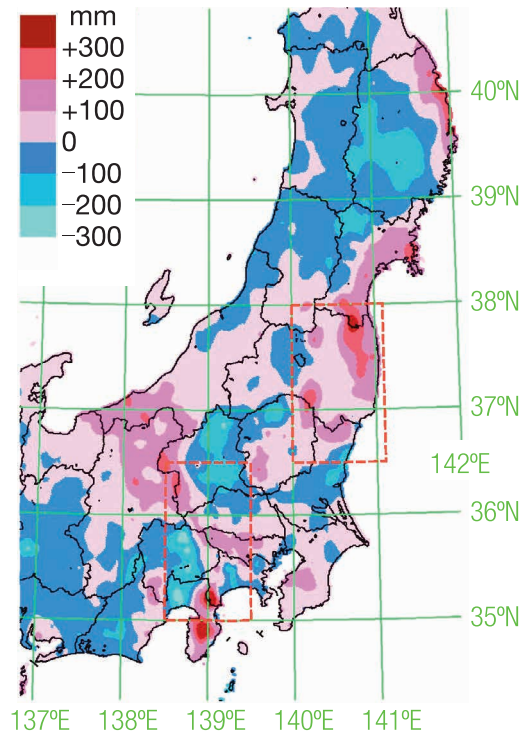
降水の時間変化にも違いがある。第7図は関東山地周辺地点の中から、毎時のデータが得られる秩父と河口湖の1時間降水量の時間変化を示す。東日本台風の降水は10月12日朝から夜にかけて降り、その間の時間変化は小さい。一方、カスリーン台風の降水は9月14日深夜と15日正午前後を中心とする2つの山があ

り、短時間の変動も目立つ。このような違いは前橋・熊谷など平野部の地点にも見られる。

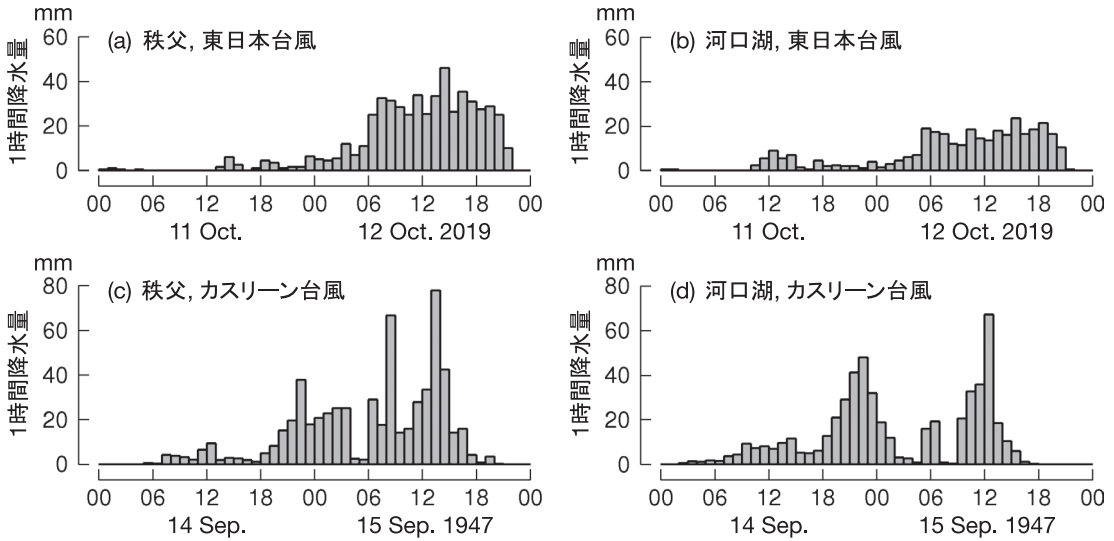
第8図は、2台風接近時の温位・相当温位・混合比および風速の高さ分布を、それぞれ館野と松江、および東京と米子（以下合わせて「関東」と「山陰」）について示す^[注4]。図示された時刻には、2台風の中心はいずれも石廊崎の南南西300km余にあり、関東山地付近で大雨が降り始めていた（第7図）。両事例とも関東の下層～中層は山陰より高温・高混合比である。そして、カスリーン台風時のほうが東日本台風時よりも関東の下層～中層は高温・高混合比であり、対流不安定層が厚い。関東下層～中層は両事例とも飽和に近く（図は省略）、水蒸気量の差は気温差にほぼ対応する。第8図の観測結果から関東上空の可降水量を求めると、東日本台風時は61mmであり、10月としては極めて大きい（Takemi and Unuma 2020）。カスリーン台風時の可降水量はこれを上回る85mmになる。一方、下層の南東風は東日本台風のほうが強い。以上のような2台風時の大気状態の違いは、第8図の各12時間後、すな



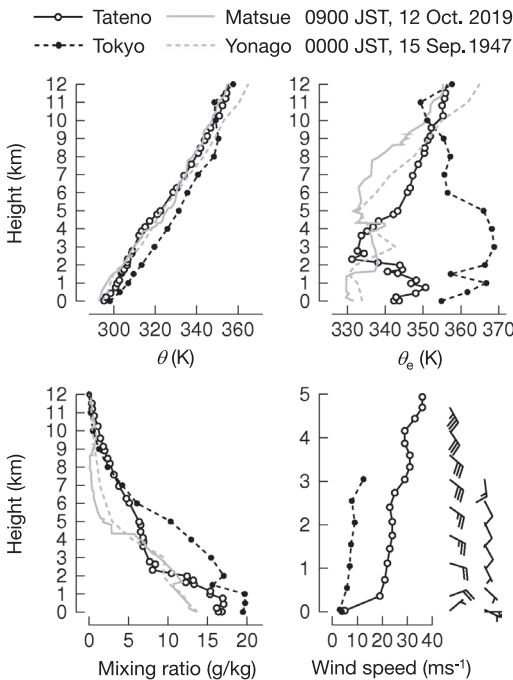
第5図 東日本台風による4日間降水量(第4図aと、気象庁メッシュ気候値による9～10月の平均2ヶ月降水量との比。



第6図 東日本台風とカスリーン台風による4日間降水量の差。東日本台風の降水量が多いときを正とする。



第7図 東日本台風とカスリーン台風による秩父と河口湖の1時間降水量。



第8図 東日本台風接近時（2019年10月12日09時）の館野と松江、およびカスリーン台風接近時（1947年9月15日00時）の東京と米子における温位 (θ)、相当温位 (θ_e)、混合比と、館野・東京の風速の高さ分布。風速図の矢羽根は左側が東日本台風時の館野、右側がカスリーン台風時の東京のもので、短い羽根が5 m/s、長い羽根が10 m/s。

わち台風が関東南部に接近した時点でも認められる（図は省略）^[註5]。これらから、東日本台風の大雨には前線や山岳による強制上昇がより強く働き、カスリーン台風の大雨には水蒸気量の多さや鉛直不安定がより大きく寄与したことがうかがえる。前者は、東日本台風時の降水の時間変動が小さいことと矛盾しない。これに対し、カスリーン台風時の降水は自由対流（不安定降水）の性格が相対的に強く、そのため降水系のメソ構造が顕在化し、大きな時間変動をもたらした可能性が考えられる。なお、東日本台風の際にも10分間降水量には平均値±数十%の時間変動があった。マクロにはほぼ定常的な降水が続く中で、降水セルの生滅・去来が繰り返されていたことが示唆される。

4. 東日本台風とカスリーン台風による大雨の再現期間の評価

1931～2019年の区内・アメダス110地点（第3図）を対象にして、東日本台風とカスリーン台風による2日間降水量の再現期間を評価した。2日間降水量としては、東日本台風に対しては2019年10月11～12日と12～13日の多い方、カスリーン台風に対しては1947年9月14～15日と15～16日の多い方を採用した。なお、カスリーン台風のデータは15地点で欠測になっている。

Gumbel分布による再現期間が100年を超えた地点は、東日本台風では110地点中15地点、カスリーン台風は95地点中8地点である。第5表は、Gumbel分布による再現期間の上位5地点を示したものである。東日

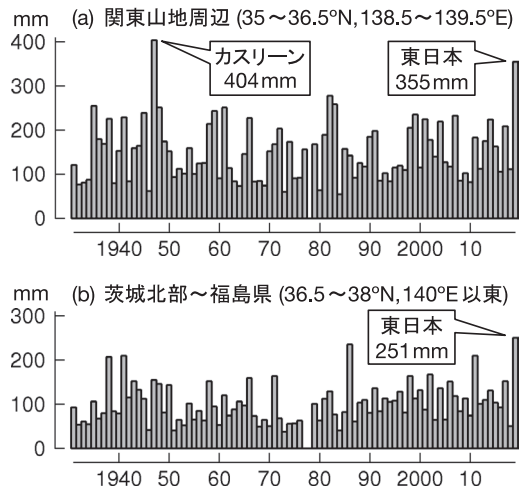
本台風は長野県や宮城・福島県、カスリーン台風は群馬・山梨県の地点が上位を占める。これらは第6図に示された相対的な多降水域に当たる。このほか、降水の絶対量が多かった関東山地付近でも、いくつかの地点で再現期間が100年を超える^[注6]。

極値分布としてGEVを使っても（すなわちξを地点ごとに計算しても）、全体としてはGumbel分布と似た結果になる。Gumbel分布を使った場合とGEVを使った場合の再現期間（対数値）の相関は、東日本台風については0.98、カスリーン台風は0.96である。しかし、再現期間の長い地点では値の違いが目立ち、GEVを使うとカスリーン台風による沼田の降水量の再現期間は10万年に近い値になる（第5表）。この地点のξの推定値は-0.12である。ξが負であることは極端な値が出にくいことを意味し、その分、大きい観測値の再現期間は長く算定される。前記のように、ξの推定値はデータの確率変動に影響されやすく、そのためGEVによる再現期間の推定幅はGumbel分布を使った場合よりも大きい（藤部 2011; 藤部・酢谷 2020）。今回の110地点を平均すれば、ξの推定値は-0.02である。すなわち、平均的にはξは0に近く、Gumbel分布の成立が期待できる。

東日本台風やカスリーン台風の大雨は、広域に降ったことが特徴である。第9図は、降水量が多かった関東山地付近（以下領域A：第3、4図参照）と、茨城県北部～福島県（以下領域B：第3、4図参照）について、区内・アメダス資料による各領域の平均降水量（地点ごとの降水量の平均値）の年ごとの最大値を示す。領域Aは35～36.5°N、138.5～139.5°Eで地点数は17、領域Bは36.5～38°N、140°E以東で地点数は16である。領域Aの大きさは南北167km×東西90km、領域Bもほぼ同じである。第6表は各領域の東日本台風とカスリーン台風の降水量を、条件を変えて計算した結果を示す。Gumbel分布による東日本台風の降水

量の再現期間は領域Aでは80年、領域Bでは113年である。カスリーン台風については、それぞれ199年と8年である（第6表a）。GEVを使えば、再現期間はやや短くなる（第6表b; ξの推定値は、領域Aは0.02、Bは0.04）。以上から、東日本台風による大雨の再現期間は、100km規模の領域スケールで見れば100年前後だったと言える。

試しにカスリーン台風が来襲した1947年のデータを除いて東日本台風の大雨の再現期間を計算すると、Gumbel分布による領域Aの再現期間は107年になり、1947年のデータを入れた場合（80年）よりも3割程度大きく見積られる（第6表c）。GEVなら80年から132年へと、6割以上の増加になる。これは、極値分布関数のパラメーター推定にカスリーン台風の大雨が寄与しないため、東日本台風の大雨がより極端なものとして評価されるからである。地点ごとの再現期間にも



第9図 (a) 領域A（関東山地付近）、(b) 領域B（茨城県北部～福島県）における領域平均2日間降水量の年最大値の経年変化。

第5表 東日本台風とカスリーン台風による2日間降水量について、Gumbel分布による再現期間の上位5地点を示したものの、GEVで求めた再現期間を併記した。

地点（県）	東日本台風			地点（県）	カスリーン台風		
	降水量 (mm)	Gumbel (年)	GEV (年)		降水量 (mm)	Gumbel (年)	GEV (年)
1位 菅平（長野）	281.0	798	398	水上（群馬）	373.6	2077	331
2位 丸森（宮城）	426.0	724	335	勝沼（山梨）	480.6	1392	723
3位 白河（福島）	378.0	324	601	沼田（群馬）	286.8	1141	9898
4位 白石（宮城）	364.0	284	1431	桐生（群馬）	370.0	1096	697
5位 佐久（長野）	311.5	282	527	前橋（群馬）	387.4	949	401

同様のことが起きる。このように、80年間を超える期間内における1回の大雨事象の有無によって、再現期間の推定値に数割程度の違いがでることは、データの確率的な変動（対象期間中に、たまたまカスリーン台風級の大雨が起きたかどうか）が極値統計に与える影響の大きさを表している。これは再現期間の推定にとって避け難い不確実要因である（藤部 2011；藤部・酢谷 2020）。

ここまでは2日間降水量を扱ってきた。これに代えて日降水量を使うと、東日本台風の大雨の再現期間は大幅に長くなる（第6表d）。これは、東日本台風の大雨がほとんど日界にかからなかったため（第7図）、日界による日降水量の減損が小さく、その極端度が相対的に増すからである。逆に、カスリーン台風の大雨は日界（10時）によって2日間に分割され、日降水量の再現期間は小さく評価される^[17]。この状況は、降水量の極値統計で日界を考慮することの重要性を表している。

5. 議論

東日本台風による降水量や降水分布は、カスリーン台風のものによく似ていた。すなわち、東日本台風は大雨に関してはカスリーン台風の再来と言い得るものであった。

Kamahori and Arakawa (2018) は、アメダスによる観測値を基に作成された APHRO_JP (Kamiguchi *et al.* 2010) による日降水量データ（1981～2010年）を使って台風に伴う降水量分布を調べた。その結果によると、伊豆半島から関東山地にかけて、台風による日降水量の50年再現値の大きい領域が南北に伸び、日光付近にも50年再現値の大きい場所がある。台風に伴う関東山地付近の多降水傾向は他の研究でも見出されている（水越 1965；関口 1965；片岡 2007など）。東日

本台風やカスリーン台風による降水量分布は、大まかに見てこれらの研究結果と共通する。しかし、これら2台風は関東山地付近の多降水がより顕著であるように見える。

強さや経路の点では、東日本台風はカスリーン台風よりもむしろ狩野川台風に似ている。しかし、狩野川台風による関東の大雨は東日本台風と比べ、山岳部では少なく平野部が多かった。狩野川台風の接近時には、関東平野に北東から南西へ延びる気温差5℃以上のメソ前線が存在し、その内陸側で強い雨が降った（気象庁 1964）。このようなメソ前線は、関東へ台風が近づく際にしばしば現れ、平野部に大雨を降らせる（藤部 1992）。東日本台風の北側にもメソ前線が存在したが、これは早期に内陸へ進み、平野ではなく関東山地周辺に大雨を降らせたことが指摘されている（気象庁 2019b）。カスリーン台風のときも同様であり、台風の接近に先立ってメソ前線が関東平野を西進したことが報告されている（中央気象台 1948）^[18]。これらから、降水量分布は台風の経路だけでなく総観場の状況に左右され、東日本台風とカスリーン台風の降水量分布の類似性は、両例ともメソ前線が内陸に位置したことに由来することが考えられる。ただし、2台風の降水の時間変動には若干の違いがあり、それには風速や成層状態の違いが関わっている可能性がある（3.2節）。

東日本台風やカスリーン台風による大雨（2日間降水量）の再現期間は、地点によっては数百年以上と算定される。このことから、両台風の大雨は極めて稀な事象だったという印象を受ける。しかし、それらの地点の近くに再現期間が数十年以下の地点があることも見落とせない。東日本台風の場合、菅平（第5表）から16km 南南西にある上田の2日間降水量は149.0mmで、Gumbel分布によるその再現期間は27年であった。

また、丸森から13km 北東にある亘理では、降水量は268.0mm、再現期間は34年であった。降水は局地性が強いので、観測点が多ければ極端な事象が捕捉される機会が増え、「再現期間数百年以上の事象が、数十年に1回ほどどこかの地点で起きる」ことがあり得るだろう。100km スケールの領域

第6表 東日本台風とカスリーン台風による領域A, Bの領域平均2日間降水量と、その再現期間（最下段は日降水量の再現期間）。

	東日本台風		カスリーン台風		
	領域 A	領域 B	領域 A	領域 B	
2日間降水量 (mm)	354.9	250.5	403.5	154.7	
再現期間 (年)	a. Gumbel 分布	80	113	199	8
	b. GEV	73	91	169	8
	c. 1947年除外 ¹⁾	107	117	279	8
	d. 日降水量 ²⁾	578	556	31	5

1) 1947年の資料を除いて Gumbel 分布を適用した (Gumbel 分布のパラメータを計算した) 場合。

2) 日降水量に Gumbel 分布を適用した場合。

単位で見れば、東日本台風の大雨の再現期間は多雨域でも100年のオーダーだった。これは短くはないが、空前絶後というほどではない。20世紀から現在のまでの120年間に、東日本台風時に匹敵する広範囲の大雨が、カスリーン台風時と1910年の関東大水害を含めて計3回起きていることを考えれば、現在の気候下において統計的にみても、近い将来に同程度の大雨が再来する可能性は低くはないと言えるだろう。

後 注

- [注1] 重みの総和の1という値は、内挿結果を見て主観的に決めたものである。総和を1よりも小さくすると内挿結果に地点ごとの凹凸が目立ち、内挿できない場所も現れる。また、総和が1よりも大きいと滑らかすぎる分布になる。
- [注2] 気象庁（2019a）による観測値の品質管理では、資料の充足度が80%未満である場合に資料不足値として統計に用いないこととなっている。本研究の方法は基本的にこれに沿ったものとなっているが、対象地点の採否においては結果の精度を確保するため条件を厳しくした。
- [注3] 中央気象台（1950a）には、仙石原（神奈川県）で9月15～16日に725.0mmの降水が観測されたというデータが載っている。この値を入れたときの1都6県の平均降水量は189.6mm（観測所の単純平均では195.5mm）、1都13県平均は168.6mm（同164.3mm）であり、入れないときとの差は1mm強（同3mm強）である。
- [注4] カスリーン台風時の高層観測資料は1947年9月のAerological Data of Japanによる。ここには日本時間00時ごろと12時ごろの気温と湿度の観測値が高さごとに表示されている。風についてはパイロットバルーンによる観測結果が載っている。
- [注5] 館野でもカスリーン台風時に高層観測が行われていたが、Aerological Data of Japanには載っていない。9月15日09時の観測原簿によると、館野の下層気温は東京の観測値（当日00時と12時）よりも3℃前後低い。それでも東日本台風時に比べて水蒸気量は多く、可降水量は69mmであった。
- [注6] 第2表に掲げられた地点のうち、湯ヶ島の値（760.0mm）の再現期間は198年である。箱根と浦山は第4節の極値統計の対象には含まれないが、1979年以降のアメダスデータを使って再現期間を求めると、それぞれ204年と72年になる。同様にして求めた筆甫の再現期間は450年である。
- [注7] カスリーン台風当時、気象官署の日界は24時または22時であった。気象官署も区内観測所を兼ねていて、秩父の日降水量は気象官署としては519.7mm（日界22時）、区内観測所としては359.8mm（日界10時）であった。なお、2日間降水量はそれぞれ609.5mmと597.0mmであ

り、日界による差は小さかった。

[注8] 本文で述べたメソ前線は、台風による暖湿気の流入に伴って顕在化すると考えられる。通常の温帯低気圧に伴う前線に比べ、台風の中心付近で局所的に強化されたと考えられることから、本稿では「メソ前線」と表記した。

謝 辞

カスリーン台風時の館野の高層観測原簿は高層気象台から提供して頂いた。

参 考 文 献

- 中央防災会議, 2012: 首都圏大規模水害対策大綱. 32pp.
<http://www.bousai.go.jp/fusuigai/pdf/honbun.pdf>
 (2020.2.28閲覧)
- 中央気象台, 1910: 気象要覧明治四十三年八月. 気象要覧, (128), 40pp.
- 中央気象台, 1948: カスリン台風調査報告. 中央気象台彙報, 32, 136pp.
- 中央気象台, 1950a: アイオン台風. 中央気象台彙報, 34 (2), 1-58.
- 中央気象台編, 1950b: 日本台風資料. 建設省河川局, 230pp.
- 中央気象台, 1950c: 日本台風資料第3巻. 24pp. 付図. 藤部文昭, 1992: 台風時の南東風場で関東平野に現れるメソ前線一事例と統計一. 天気, 39, 697-706.
- 藤部文昭, 2011: 極値分布関数の適合度評価に関する検討. 天気, 58, 765-775.
- 藤部文昭, 酢谷真巳, 2020: 極値統計の利用に関する問題. 気象研究ノート, (242), 43-69.
- 藤部文昭, 松本 淳, 小林健二, 2008: 区内観測による日降水量データのデジタル化と気候研究への利用における問題点. 天気, 55, 283-287.
- Imada, Y., H. Shioyama, M. Watanabe, M. Mori, M. Kimoto and M. Ishii, 2013: Contribution of atmospheric circulation change to the 2012 heavy rainfall in southern Japan. Bull. Amer. Meteor. Soc., 94, S52-S54.
- Kamahori, H. and O. Arakawa, 2018: Tropical cyclone induced precipitation over Japan using observational data. SOLA, 14, 165-169.
- 釜堀弘隆, 藤部文昭, 松本 淳, 2019: 関東・東海地方の降水量観測データレスキュー. 日本地理学会発表要旨集, (95), 247.
- Kamiguchi, K., O. Arakawa, A. Kitoh, A. Yatagai, A. Hamada and N. Yasutomi, 2010: Development of APHRO_JP, the first Japanese high-resolution daily precipitation product for more than 100 years. Hydrol.

- Res. Lett., 4, 60-64.
- 片岡久美, 2007: 台風通過時における日本列島の降水分布と大雨発生頻度に関する月別の特徴. 地理学評論, 80, 99-120.
- Kawase, H., Y. Imada, H. Tsuguti, T. Nakaegawa, N. Seino, A. Murata and I. Takayabu, 2020: The heavy rain event of July 2018 in Japan enhanced by historical warming. Bull. Amer. Meteor. Soc., 101, S109-S114.
- 気象庁, 1962: 台風経路図1940-1960. 650pp.
- 気象庁, 1964: 狩野川台風調査報告. 気象庁技術報告, (37), 168pp.
- 気象庁, 2019a: 気象観測統計の解説. 126pp.
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/kaisetu/index.html> (2020.2.21閲覧)
- 気象庁, 2019b: 令和元年台風第19号に伴う大雨の要因について.
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yohokaisetu/T1919/mechanism.pdf> (2020.2.21閲覧)
- 牧原康隆, 2012: 平成23年台風第12号と1889年(明治22年)十津川災害. 天気, 59, 151-155.
- 水越允治, 1965: 日本における日降水量の極値について(第二報). 地理学評論, 38, 447-460.
- 水谷武司, 2011: シリーズ「我が国を襲った大災害」—1947年9月カスリーン台風の豪雨による洪水・土砂災害—. 水利科学, 55, 82-99.
- 内務省関東土木出張所, 1947: 昭和二十二年九月洪水報告. 35pp.
- 日本気象協会, 1973: 台風経路図30年集1940-1970. 139pp.
- 二宮光三, 2013: 1889年(明治22年)8月19-20日の紀伊半島豪雨の気象状況. 天気, 60, 261-270.
- 岡本芳美, 2013: カスリーン台風による大水の検証—新方法による計算結果に基づいて—(I). 水利科学, 57(1), 73-96.
- 奥田 穰, 1987: 明治43年8月の大水害をもたらした大雨. 災害の研究, (18), 59-77.
- 関口 武, 1965: 台風時の日本の雨量分布. 地理学評論, 38, 501-518.
- Takemi, T. and T. Unuma, 2020: Environmental factors for the development of heavy rainfall in the eastern part of Japan during Typhoon Hagibis (2019). SOLA, 16, 30-36.
- 東京管区气象台, 1949: カスリン台風調査報告. 106pp.
- 山田道夫, 2020: 極値の統計理論. 気象研究ノート, (242), 23-42.

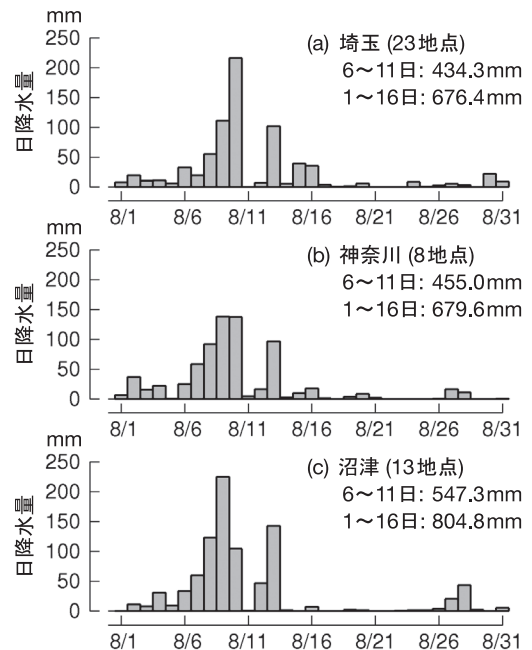
付録：1910年8月の関東大水害時の降水量分布

1910年8月前半は太平洋高気圧が北偏し、関東付近は低圧部になる状態が続いた。10～11日には台風が関東南岸を通り、14日にも別の台風が関東を通過した。この間、関

東～東海では大雨が断続し、場所によって総降水量が1000mmを超え、利根川や荒川が決壊・氾濫するなど各地で大水害が起きた(中央气象台 1948; 奥田 1987)。中央气象台(1910)には関東6県と山梨・静岡県を観測地点における8月6～11日の6日間降水量(日界10時, 以下同じ)の表があり、中央气象台(1950c)には同期間の全国の降水量分布図が載っている。一方、奥田(1987)は当時の総観況や東北地方を含めた大雨の経過を詳しく解析したが、中央气象台(1910, 1950c)の上記資料は利用せず、総降水量が一部で1000mm前後に達した神奈川県と静岡県は対象外になっている。

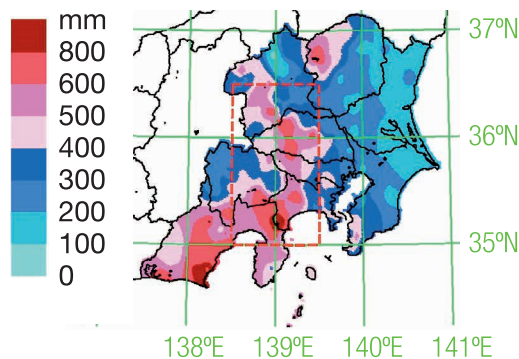
本稿では、区内観測原簿の日降水量をデジタル化した資料(第1節)と上記の6日間降水量を利用して大雨の概要を示す。なお、神奈川県の区内観測原簿は1923年の関東大震災で焼失し、震災後に観測データの一部を再収集したものである。今回利用した日降水量資料は再収集されたものであり、その中に箱根などは含まれない。

第A1図は埼玉県と神奈川県、および沼津測候所の管轄下にあった静岡県東部(静岡市付近以東)について、地域ごとに平均した日降水量の時系列を示したものである。最初の台風が接近した10日ごろとその前後に日降水量数十～100mmの日がある。大雨は東日本台風やカスリーン台風の時よりも長期間にわたり、8月1～16日の総降水量は地域



第A1図 1910年8月の埼玉県、神奈川県および沼津測候所管内(静岡県の東半分)の日降水量(それぞれ図中に記した地点の平均値)。8月6～11日の6日間と、1～16日の16日間の合計値を付記する。

平均値で600mmを超えた。第A2図は8月6～11日の6日間降水量の分布を示す。降水量は関東山地から静岡県にかけての一部地域で500mmを超え、箱根では1082.8mmに達した。静岡県でも6日間降水量が900mmを超えたところがある。1都6県（156地点）の6日間の面積平均降水量を本文と同じ内挿方法で計算すると325.6mm（地点ごとの値の単純平均は333.9mm）になり、東日本台風による4日間降水量（270.7mm、第3表）を上回る。



第A2図 関東大水害時の6日間降水量の分布（1910年8月6～11日）。

A Climatological Study of Heavy Rainfalls due to Typhoon Hagibis in 2019

Fumiaki FUJIBE^{*1}, Jun MATSUMOTO^{*2} and Hiroataka KAMAHORI^{*3}

^{*1} (Corresponding author) Research Center for Climatology, Department of Geography, Tokyo Metropolitan University, Hachioji 192-0397, Japan.
E-mail: ffujibe.bs@gmail.com

^{*2} Department of Geography, Tokyo Metropolitan University.

^{*3} Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo/Meteorological Research Institute.

(Received 23 March 2020; Accepted 30 July 2020)

Abstract

The climatological characteristics of the heavy rainfall event due to Typhoon Hagibis (2019), which caused landslides and floods in many places of eastern Japan in October 2019, was examined using daily precipitation data from the former JMA's *Kunai* (local) rainfall observations that were as dense as the current AMeDAS observation system. It was found that the rainfall distribution due to Hagibis was characterized by a heavy rain area over the Kanto Mountains extending northward to the eastern part of the Tohoku District, in a similar way to that of the Tropical Cyclone Kathleen case which caused severe floods in the Kanto Plain in 1947. An extreme value analysis for the two-day precipitation records indicated that area-averaged precipitation amounts in regions of heavy rainfalls due to both Hagibis and Kathleen had a return period of the order of a hundred years.