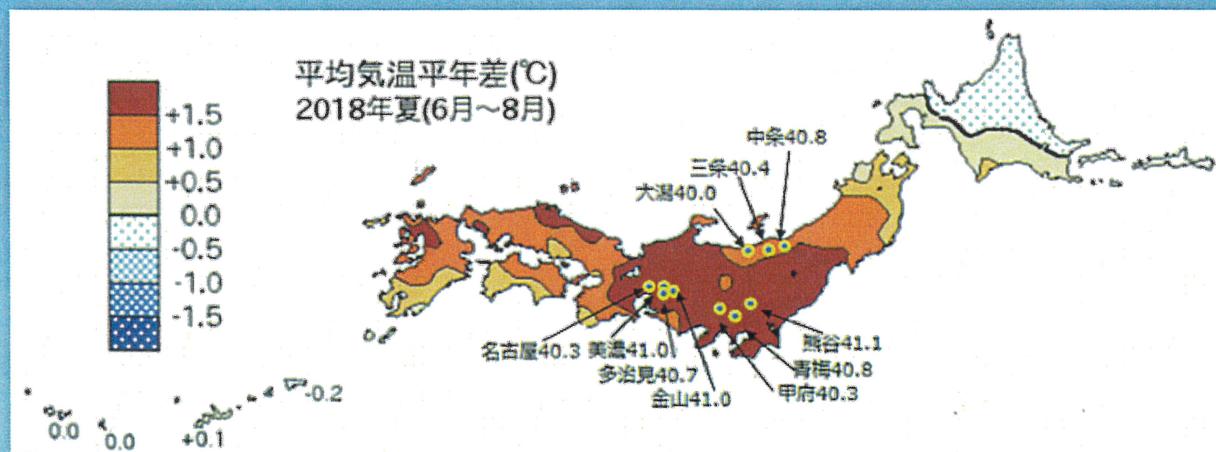
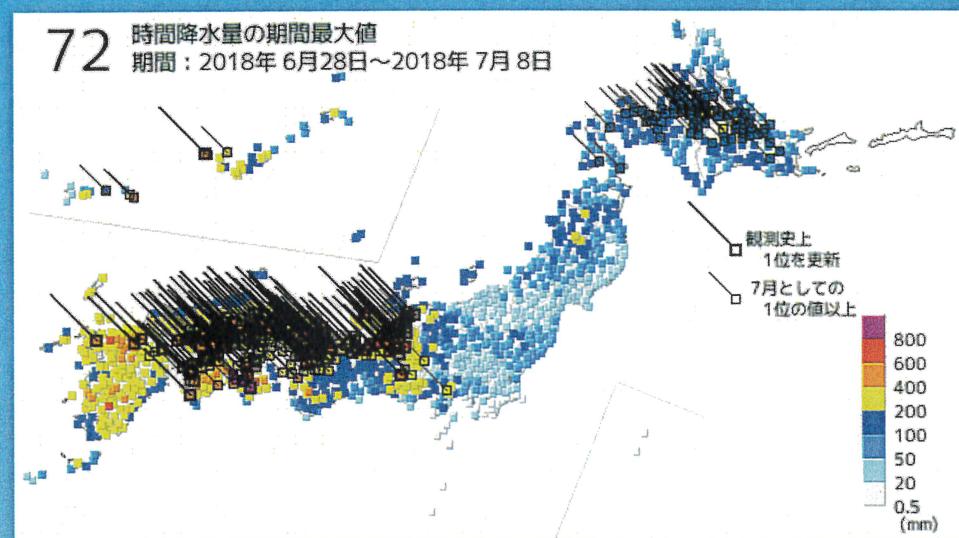


2018年夏の異常気象 —記録的な広域豪雨と猛暑—

気象研究ノート 第246号

編集 遠藤洋和・中村尚・立花義裕



第 11 章

2018 年夏の異常気象： 防災・減災への今後の取り組みにどう活かすか？

中村 尚¹⁾・中北英一²⁾・小坂田ゆかり³⁾・芳村 圭⁴⁾・
小池俊雄⁵⁾・米田雅子⁶⁾・和田 章⁷⁾

11.1 はじめに¹⁾

「平成 30 年 7 月豪雨」は西日本から岐阜県に至る広い範囲に甚大な被害をもたらした。この豪雨に関して、第 10 章までは主に気象学・気候学の観点からの最新の研究成果を紹介してきた。しかしながら、豪雨の際には河川の氾濫や山崩れ・地滑りなど様々な自然災害が誘発され、人的被害に加え、地域社会に大きな損失を与える。よって、こうした豪雨災害に未然に対処し、その災害を軽減するためには、気象・気候の観点のみならず、関連する他の多くの学問分野と幅広く連携し、かつ市民や地方自治体・政府・民間企業など社会との連携も不可欠となる。

そこで、11.2 節では工学系の研究者による西日本における豪雨のレーダ観測と気象・気候モデル実験との融合的研究を紹介する。続く 11.3 節では、豪雨で甚大な被害を受けた倉敷市真備町を対象に、水文分野の研究者による豪雨時の河川の状況と洪水予測への取り組みに関する研究を紹介する。そして

11.4 節では、豪雨・洪水被害を軽減するための具体的政策の歴史を紹介するとともに、今後求められる政策とその実現に不可欠な科学技術について、水文研究者からの提言を紹介する。さらに 11.5 節では、豪雨災害や台風災害を含む自然災害の軽減のために必要な、多様な学問分野の幅広い連携を促す「防災学術連携体」の活動について紹介する。

11.2 極端事象の理解^{2), 3)}

11.2.1 まえがき

平成 30 年 7 月豪雨では、広範囲で非常に多くの総雨量がもたらされ、西日本を中心に平成最大の死者数となる甚大で痛ましい人的被害が発生した。平成 29 年には短時間かつ局所的な九州北部豪雨で甚大な被害が発生しており、地球温暖化の影響が出始めているのではないかと感じるような、今までの常識が通用しない豪雨災害が頻発している。地球温暖化に対して後悔しない適応をするため、現象の理解を進めるとともに、災害からの教訓、そして将来予測の共有がますます重要になってくるだろう（中北ほか 2019）。

本節では、国土交通省の X バンド偏波ドップラーレーダ（以下、偏波ドップラーレーダを MP レーダと記す）、C バンド MP と X バンド MP レーダの合成雨量情報を用いて、本豪雨での気象・災害特性を

1) 中村 尚 Hisashi NAKAMURA 東京大学先端科学技術研究センター

2) 中北英一 Eiichi NAKAKITA 京都大学防災研究所

3) 小坂田ゆかり Yukari OSAKADA 京都大学防災研究所

4) 芳村 圭 Kei YOSHIMURA 東京大学生産技術研究所

5) 小池俊雄 Toshio KOIKE 土木研究所水害・リスクマネジメント国際センター

6) 米田雅子 Masako YONEDA 東京工業大学・防災学術連携体

7) 和田 章 Akira WADA 防災学術連携体

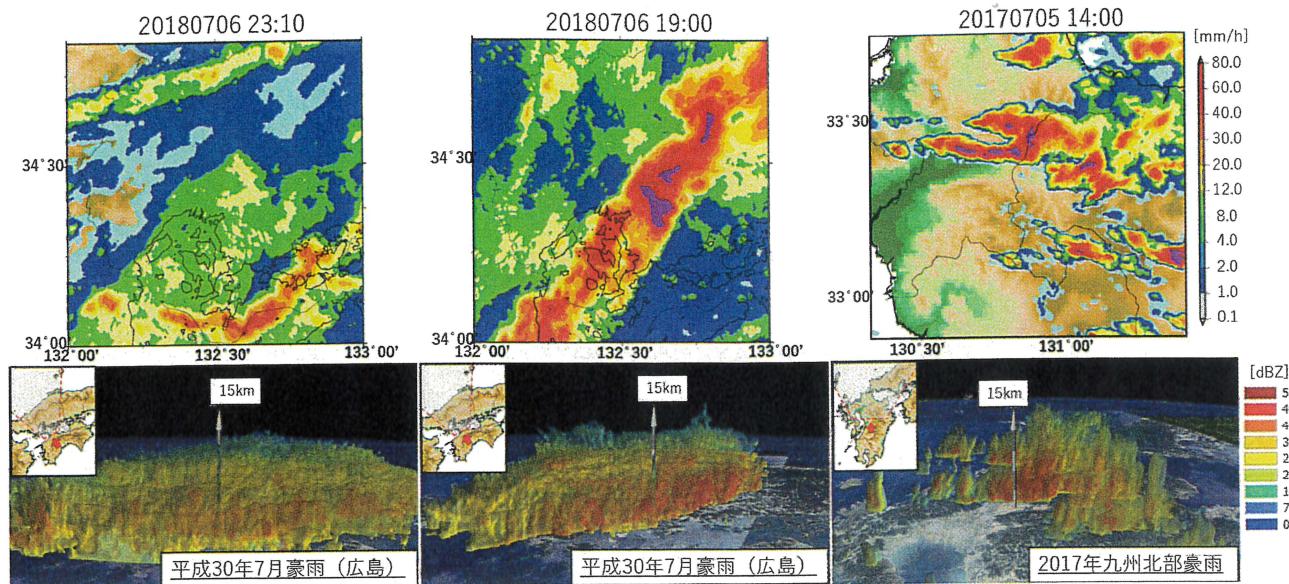


図 11.1 平成 30 年 7 月豪雨と平成 29 年九州北部豪雨における CX 合成雨量から作成した降雨分布（上）と X バンド MP レーダから得たレーダ反射強度の立体図（下）。

解析し、X バンド MP レーダから得た立体雲情報とともにまとめる。また、気候モデル出力を用いて地球温暖化の影響評価について解析を行った。

11.2.2 気象・災害特性および雲情報

平成 30 年 7 月豪雨の大きな特徴は、数日間停滞した梅雨前線によって、広域かつ長時間にわたり雨が降り続いた点である（1.5 節参照）。図 11.1 に、平成 30 年 7 月豪雨時の広島県と、典型的なバックビルディング型局所豪雨であった平成 29 年九州北部豪雨時の福岡県における、CX 合成雨量と X バンド MP レーダによるレーダ反射強度の立体図を示す。立体図はそれぞれ 80km 四方の領域のみを示している。左は弱雨時、中は“比較的”強雨が通過した時の図である。弱雨時は平成 29 年九州北部豪雨と比較して雲の高さが低い一方、“比較的”強い雨域の時は弱雨時より高くまで雲が発達している。すなわち、平成 30 年 7 月豪雨は、基本的には背の低い雲による弱雨で広域が覆われている中で時折、弱雨に埋め込まれたような形で背の高い雲による強い線状の雨域が通過した、という特徴を有していた。これらは Yokoyama *et al.* (2020) の結果と整合的である（3.4 節参照）。こうした豪雨により、岡山県真備町などにおける浸水や広島県安佐北区や呉市など

における土砂災害など、多くの災害が発生した。

7 月 5 日頃から停滞し始めた梅雨前線による長雨によって、山腹斜面や河川流域、ダム貯水池においても水が満杯になっており、それ以上少しでも豪雨があると土石流や斜面崩壊が生じたり、河川流域の山々から既に満杯の川やダム貯水池に雨水が流出したりするような状態であった。すなわち、耐えうる限界にあった。それにも拘わらず、畳みかけるように“比較的”強く局所的な豪雨が何度も押し寄せることにより、これが最後のトリガーとなって各地で同時多発的に災害が発生した。図 11.2 に、実際に土砂災害が発生したおおよその時刻における、広島県での降雨強度と土壤雨量指数、土砂災害発生場所の分布を示す。“比較的”強い局所的な雨域と土砂災害発生が良く対応していることがわかる。

小坂田・中北 (2018) は、高解像度領域気候モデル NHRCM05 から局所的な梅雨豪雨事例を抽出し、50mm/h 以上の強雨継続時間及び積算雨量の将来変化予測を行っている。今回、平成 30 年 7 月豪雨の中で、NHRCM05 からの豪雨抽出基準に当てはまった事例（災害の最後のトリガーとなった事例にほぼ対応）について、同様に強雨継続時間と積算雨量を算出した。結果を図 11.3 に示す。図中、青丸（赤丸）が NHRCM05 にて現在（将来）発生する梅

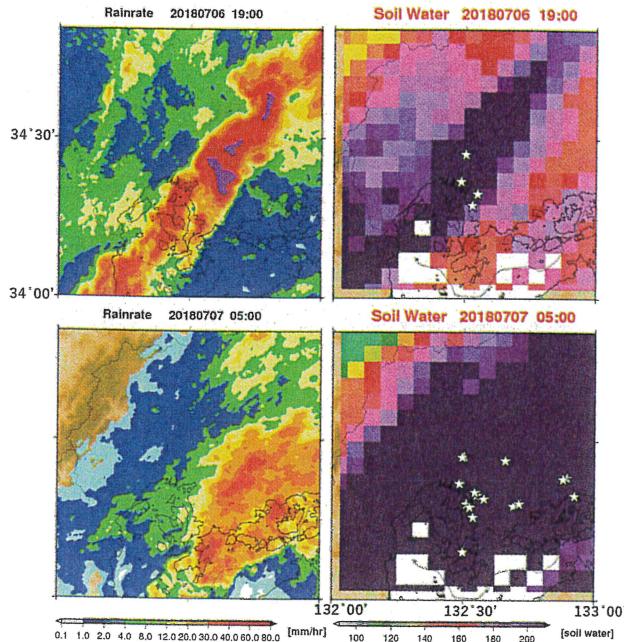


図 11.2 平成 30 年 7 月豪雨時の広島県で土砂災害が発生したおよその時刻である、(上) 7 月 6 日 19 時と(下) 7 月 7 日 5 時における(左) 降雨強度と(右) 土壌雨量指数。土壌雨量指数の白い星印は土砂災害発生場所。

雨豪雨、四角が過去に発生した梅雨豪雨を表す。平成 30 年 7 月豪雨は黒四角で示している。平成 30 年 7 月豪雨で災害をもたらした“比較的”強い局所豪雨は、NHRCM05 の現在気候での事例や過去の事例と比較しても強雨継続時間当たりの積算雨量が少なく、極端な事例ではなかったことがわかる。このことから、それほど極端でない豪雨でさえも各地で大規模な災害をもたらし得たほど、平成 30 年 7 月豪雨における長時間の強雨は特異であったと言える。

11.2.3 地球温暖化の影響評価

地球温暖化の影響評価解析には、気象庁領域気候モデルによる大規模アンサンブル実験データ d4PDF_NHRCM20 (以下、d4PDF20 と記す) を用いた。d4PDF20 の将来気候は全球平均気温 4°C 上昇の定常状態で計算され、現在気候について 50 メンバー、将来予測については 90 メンバーの巨大 SST アンサンブルが出力されている (Mizuta *et al.* 2017)。

平成 30 年 7 月豪雨は停滞した梅雨前線によりもたらされ、大規模な大気場の特徴が支配的な現象であった。そこで、小坂田・中北 (2019) は地球温暖

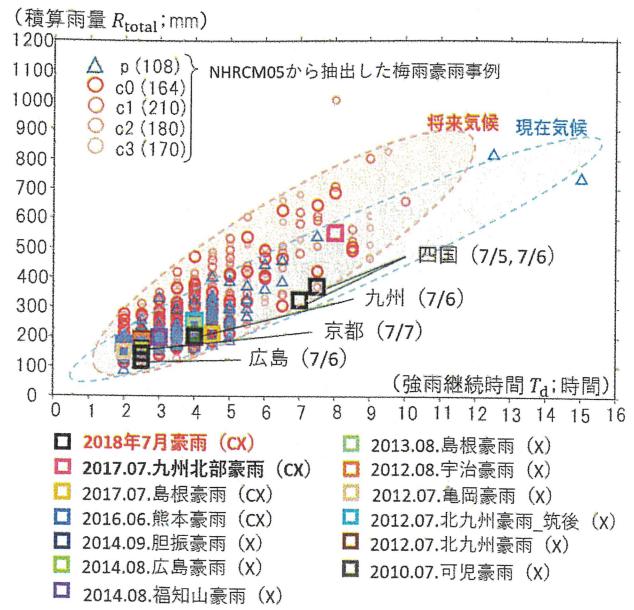


図 11.3 局所的梅雨豪雨の強雨継続時間と積算雨量の将来変化 (小坂田・中北 2019 より引用)。c0～c3 は NHRCM05 の将来気候実験の SST アンサンブルを示す。過去事例の括弧内に示す CX は CX 合成雨量、X は X バンド MP レーダーのみの合成雨量から算出したことを示す。

化の影響を評価するため、3 日間平均の海面更正気圧場を用いて、平成 30 年 7 月豪雨発生時と同様の大気場パターンの発生頻度を、d4PDF20 の将来気候と現在気候で比較を行った。その結果、類似した大気場の発生頻度は将来に向けて増加傾向にはないことが示されている。すなわち、大気の循環場に与える温暖化の影響は大きくないと言える。

一方で、日本域への水蒸気流入量は将来増加するという結果も示されている。図 11.4 は d4PDF20 の 6～8 月のデータから算出した 3 日間合計の水蒸気流入量の相対頻度分布を示している。平成 30 年 7 月豪雨発生時の水蒸気流入量は、現在気候分布の裾野に位置しており、非常に稀な多量の水蒸気が日本域に流入していたことがわかる。将来気候でも極端な水蒸気流入量ではあるものの、将来では同程度の量が流入する頻度が増加することも見て取れる。すなわち地球温暖化の影響として、平成 30 年 7 月豪雨のような長時間・広域豪雨の発生頻度としては現在気候と変わらないが、もし同様の豪雨が発生した場合は水蒸気流入量が将来大きく増加することから、総雨量が増大する危険性が示唆された。

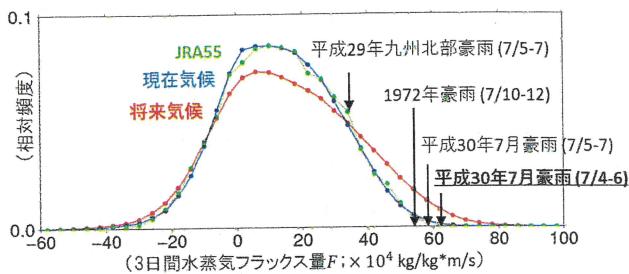


図 11.4 d4PDF20 を用いた日本域への 3 日間の連続水蒸気流入量の将来変化。水蒸気流量は、128~138°E の経度帯で 30°N を横切る水蒸気フラックスの南北成分、及び 30~33°N の緯度帯で 127.8°E の経線を横切る東西成分について、それぞれ北及び東を正として線積分したものとして定義した。緑線は JRA-55、青線は d4PDF20 の現在、赤線は将来気候を表す。平成 30 年 7 月豪雨と平成 29 年九州北部豪雨はメソ客観解析 MSM、1972 年豪雨は JRA-55 より算出した。

11.2.4 地球温暖化への適応に向けて

平成 30 年 7 月豪雨の特徴を大枠でまとめる。

1. 梅雨豪雨としては珍しく、背の低い雲によって、長期間に広範囲で多くの総雨量がもたらされた。
2. 既に満身創痍になっていた多くの山腹斜面・河川流域・ダム貯水池で、土砂崩壊・洪水・ダムの緊急放流などが各地で同時多発的に発生した。
3. それほど極端に強くはない豪雨の第一波、二波でさえ上記のような大災害を引き起こし得たほど、長く降り続いた豪雨の様相は特異であった。
4. そのため、情報伝達、避難に関しても多くの新たな視点をもたらした。

最後に災害をもたらした“比較的”強い豪雨の影響を評価するには、X バンド MP レーダーのような気象レーダーなどを用い、短時間降雨予測の強化とその利用をますます促進していく必要があるだろう。また、地球温暖化との関係を以下にまとめる。

1. 平成 30 年 7 月豪雨発生時のような大気場パターンが、将来増加する兆候は見られない。
2. 一方で、平成 30 年 7 月豪雨発生時の流入水蒸気量は、現在気候では最大レベルの流入量であった。また、将来気候でも珍しく多い範疇であるが、現在気候と比較するとその頻度は増加する。
3. そのため、将来気候において総降雨量が増加することに対する対策が必要になるだろう。

将来、典型的な局所梅雨豪雨はより強力になる。

また、平成 30 年 7 月豪雨のような広域・長時間豪

雨についても、水蒸気量の増加によって総降雨量は増大する危険性がある。こうした変化をもたらす地球温暖化に対して後悔しない適応をするためにも、気候変動将来予測を軸にした適応が必要である。

その中で、治水の基礎体力の増強、危機管理能力や自助・共助としての住民の防災力の増強も喫緊の課題である。上記の対策は多くの時間を要する上に、昨今の豪雨頻発を受け、じわじわとでも地球温暖化の進行の方が速いように感じられる。後悔しないため、早急かつ計画的な対応が求められる。災害からの教訓を蓄積し、将来予測を隅々まで共有し、どういう優先順位をもって適応していくか、考える時に来ているだろう。そして、河道内・外を融合した治水対策を省庁の枠を超えて進めてゆく必要がある。研究においても、水工学・土木工学・気象学の中で、あるいはこれらの融合の中で、“研究”として抜けているものはないかを探し、埋めていくことが適応研究を推進する上で重要である。

謝辞：土壤雨量指数と土砂災害発生場所・時刻の情報は、国土交通省砂防部からご提供いただいた。心より謝意を表する次第である。

11.3 倉敷市真備町を例にとった洪水予測研究⁴⁾

11.3.1 はじめに

2018 年 7 月初め、関東甲信地方の梅雨明け後しばらく北海道にまで北上していた梅雨前線が、日本海に抜けて温帯低気圧となった台風 7 号の通過後に、再度中国地方まで南下し、2018 年 7 月 5 日から 8 日にかけて西日本のほぼ全域に記録的な降水をもたらした。この降水によって、西日本の広範囲に渡って河川の氾濫や土砂崩れが多発し、このうち 10 の国管理河川、23 の府県管理河川で河川氾濫による浸水被害が発生した。中でも岡山県倉敷市真備町での死者数 55 名は、1 つの河川氾濫による死者数としては近年稀に見る多さとなってしまった。

本節では、真備町において、河川災害に関する予警報が気象庁及び市町村からどのように出され、今後二度とこのような多数の河川氾濫による死者が出ないようにするにはどうするべきか私見を述べる。

11.3.2 2018年7月豪雨時に真備町近辺に関して発令された予警報

まず7月5日10:33に気象庁より、岡山県全域に洪水注意報が、倉敷市に洪水注意報・大雨注意報が出された。その後、14:19と15:39に岡山県全域にそれぞれ大雨警報と洪水警報が、続く18:30と19:40に倉敷市に対してそれぞれ大雨警報と洪水警報が出された。対応して、7月5日23:00ごろに倉敷市災害対策本部が設置されたことが発表されている。

7月6日に入り、午後になるまでこの地域での降雨はしばらく小康状態になったが、倉敷市全域において11:30に「避難準備・高齢者等避難開始」が発令されたことは特筆に値する。午後になると、奈義町や美咲町、岡山市、津山市、勝央市といった隣接地域において避難準備・避難勧告が発令され始める。雨脚が強くなったことを受けて、気象庁は19:40に岡山県に大雨特別警報を発令した。そしてついに21:50、指定河川洪水予報より、小田川の矢掛水位観測所が6日22時頃に、避難勧告等の発令の目安となる「氾濫危険水位（レベル4）」に到達する見込みであることが発表された。それを受け22:00、真備町にて全域に対する避難勧告が発令された。22:20には、小田川の矢掛水位観測所が21:50頃に氾濫危険水位（レベル4）に到達したことが発表された。23:45には、真備地区の小田川の南側地域に対して避難指示が出された。このころにはすでに大規模な越水氾濫が起きていたと思われる。そして、日をまたいで7月7日0:30、「小田川にて、倉敷市真備町箭田付近において氾濫が発生した（レベル5）」との発表がなされた。ついで1:30、小田川の北側に対して避難指示が発令された。

この氾濫による被害は、伊藤ら（2019）によると、浸水面積は9.2km²、氾濫水量は1,470万m³と推計されている。うち2.0m以上5.0m未満の浸水が深刻なエリアでは、約7割が1979年以降に建てられた建物であることから、治水安全性とは必ずしも整合しない高度成長期の市街地拡大の影響が指摘されている。また、この氾濫での死者数は55名に上った。その年代別内訳をみてみると、7-8割が70歳以上の高齢者であった。報道によると、屋内の一階

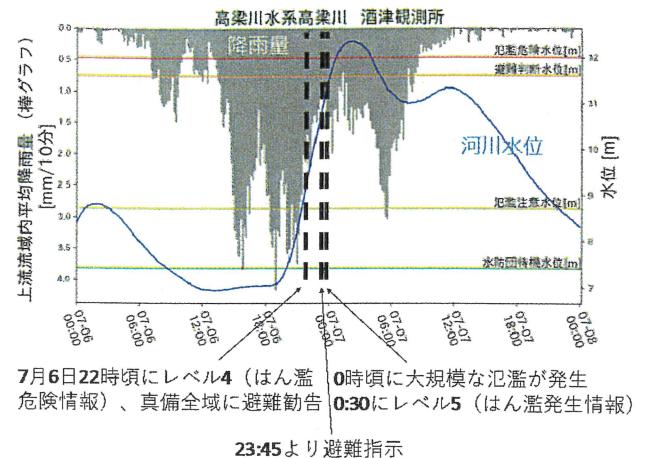


図 11.5 高梁川酒津水位観測所におけるハイドロ・ハイエトグラフ

で被災した方々も多かったそうである。地域の年代別人口分布に比べると遥かに大きい割合で高齢者が被災していることから、いわゆる災害弱者の被災が顕著に現れた災害であったと言えよう。図11.5では、高梁川と小田川の合流後の酒津水位観測所での水位変動と集水域での降雨量を示している。深夜に破堤したことと、指定河川洪水予報による直接的な警告情報がその2時間程度前にしか出されていなかったことが、被害者が多くなった理由の1つであろう。また、降雨が小康状態にあった6日の日中ににおいて、「避難準備・高齢者等避難開始」が発令されていたにも拘わらずこのような事態になったことは、予警報の伝達そのものやそれによる避難行動の喚起に関して課題があることを示している。

11.3.3 高梁川・小田川での洪水予測例

東京大学と宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、データ統合・解析システム（DIAS）や戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）等の支援を受けて、「陸域水循環モニタリングシステム Today's Earth (TE)」を開発しており（芳村ら 2007；Yoshimura et al. 2008；Ma et al. 2021），「日本域 5km 解像度のシステム TE-Japan」（石塚 2018）では研究用として実時間予測を行っている。気象庁が出すメソスケールモデル予測データ MSM-GPV やレーダ合成雨量等を地表面付近の大気情報として用い、陸面モデル MATSIRO 及び河川モデル CaMa-Flood を走ら

せ、土壤水分量や蒸発散量、河川流量等を求める。予測は3時間毎に39時間後までである。

TE-Japanでは、河川からの洪水の危険性を示すため、過去数年について年最大河川水位に対して統計分布への適合度を調べ、そこからの外挿によって求められる200年に一度・100年に一度・50年に一度・10年に一度の水位を予測している。

図11.6は、小田川での破堤地点付近での予測結果を示している。縦軸は予測開始時刻（3時間毎）、横軸が予報時間（最大39時間）を表している。図11.6の赤い部分はシミュレーションの中で200年に一度の水位を上回った時間帯を示し、この地点での氾濫リスクが高まっていることを示している。この図より、初期時刻2018年7月5日9時の予測から破堤が生じた7月6日深夜頃が危険であったことが示されている。ただし、実際に破堤が起こったタイミング以外にも赤くなっていることからわかるように、このシステムによる「200年に一度」の指標は過小評価気味である。

前節で振り返った各種の予警報は、大雨・洪水警報などが広い範囲で7月5日の時点から出されていったが、特に河川氾濫に関する直接的な警告情報が、こういった水文プロセスに則った河川洪水の予測を参考に出させていたとしたら、深夜の破堤に対しても事前の対応が可能だったかもしれない。

11.3.4 終わりに：洪水予測から洪水予報へ

真備町での洪水被害に代表されるように、気候変動により激しさを増している極端降水に対して、既存の社会基盤施設の災害防護レベルでは防げなくなってきた。ハード対策と併せて、予測の部分の精度を高めたソフト対策が強く求められている。そのようなニーズはまさに地球規模であり、世界気象機関（WMO）が、加盟国の水文予測サービスを統合し、政府、国際援助機関、市民らに対し、水管理に関連する意思決定に必要な情報を提供する「HydroSOS」がまもなく開始される。そうした動きに対応するためにも、実時間洪水予測についての研究及び実用化を進めることは必須事項である。

我が国は、世界的に見ても、極めて高いレベルの水位観測網システムを有する国である。国土交通省・

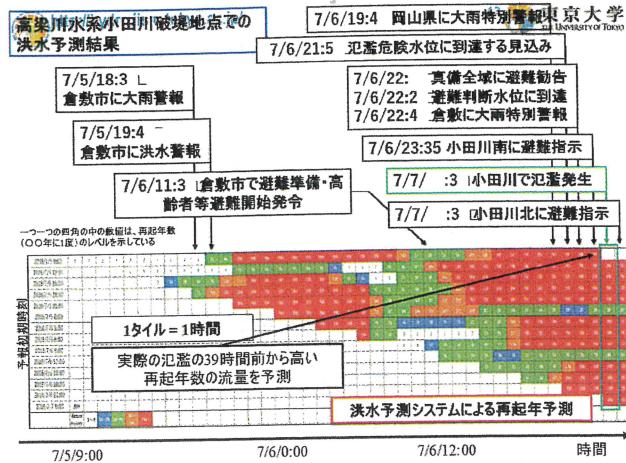


図11.6 小田川破堤地点付近でのTE-Japan予測システムによる洪水アラートと実際に発令された予警報・避難情報の様子。

気象庁の指定河川洪水予報では、現状把握とともに、数時間先の水位を予測して各種の警報を発令しているが、現状として、豪雨のさなかあるいは河川増水のさなかの警報となることが多く、余裕をもつた避難につながっていないことが多い。天気予報のように十数時間、できれば数日先の洪水予報が可能となれば、被害軽減に役立つであろう。

しかしながら、現行の気象業務法では、『気象庁以外の者が気象、地象、津波、高潮、波浪又は洪水の予報の業務を行おうとする場合は、気象庁長官の許可を受けなければならない』（17条1項）とあり、洪水の『予報（予想の発表）』は規制されている。しかし、HydroSOSのような世界情勢や昨今のSNS等による情報流布の量をも鑑みると、そのような規制を緩和することが被害の軽減につながるのかもしれない。

11.4 対応のために求められる政策⁵⁾

11.4.1 激甚水災害への近年の取り組み

近年の激甚水災害に対し、様々な施策が取られてきた。平成25年の伊豆大島豪雨災害に続き、平成26年に発生した広島市土砂災害を受けて、同年11月には土砂災害防止法が改正され、いわゆるレッドゾーン（土砂災害特別警戒区域）、イエローブーン（土砂災害警戒区域）指定のための基礎調査の迅速化と避難情報の発令の整備が規定された。さらに、翌平成27年1月には「新たなステージに対応した

「防災・減災の在り方」の政策が打ち出され（国土交通省 2015a），命を守ることと社会経済の壊滅的な被害を回避することを主眼にして，同年 5 月に水防法が改正された。同改正法では，最大規模の洪水・内水・高潮を想定して命を守る対策を進めることとし，同年 7 月にはそのための「想定最大外力」の算定手法が公表されている（国土交通省 2015b）。

しかし，その 2 カ月後に発生した関東・東北豪雨災害，翌 28 年 8 月の北海道・東北豪雨災害において，国・都道府県双方の管理河川において，避難情報発令や住民避難の遅れの問題が顕在化するとともに，激甚水害による地方経済への壊滅的被害が問題とされた。そこで，「水防災意識社会の再構築」の政策が打ち出され（国土交通省 2015d, 2017），さらに，平成 29 年 5 月には水防法が再度改正された。これにより，圏域や行政界などを考慮して大規模氾濫減災協議会を設置することが法制化されるとともに，要配慮者利用施設の管理者に対して避難確保計画の策定が義務化され，避難訓練の実施が要請された。また，都道府県管理区間の災害復旧事業やダムの再開発の支援のために，都道府県の権限を国が代行する措置なども盛り込まれた。

昭和 57 年 7 月の長崎豪雨災害時に記録された我が国の最大時間降雨 187mm/h に迫る 169mm/h の豪雨に福岡県朝倉市が見舞われたのは，上記改正法施行の 2 週間後のことであった。平成 24 年の九州北部豪雨災害を経験したばかりの朝倉市では，自主防災マップを作り，地元自主避難所も定めて避難訓練を実施しており，当日も避難準備情報・指示・勧告が適宜に発令されてはいたものの，死者行方不明者 35 名という痛ましい被害が生じた。その結果，施行されたばかりの改正水防法で新たに規定された国の権限代行の最初の適用ケースとなったのである。こうして，平成 29 年の九州北部豪雨水害は，伊豆大島，広島の土砂災害以来取り組まれてきた新たな政策や法改正等によるソフト対策の一層の強化とともに，ハード対策まで踏み込んだ対応の必要性を訴えるものとなつた。

11.4.2 河川計画の変革

終戦直後の枕崎台風災害から昭和 34 年の伊勢湾

台風災害までは，毎年のように 4 枝の人的被害が記録された。この中で，降雨観測データの確率的な理解と降雨量から洪水流量を合理的に算出する流出モデルの開発という，当時の最先端の科学・技術が河川計画へ導入され，白川・淀川など実河川への適用を重ねた後，昭和 33 年に方法論が河川砂防技術基準（案）としてまとめられた（中村 2014）。これは既往最大洪水を重視しつつも，治水投資を合理的に進めるための方法論の確立を目指したものであり，以下の 3 点を目的としていた。

- ①技術の発展段階の明確化と現技術レベルの提示
- ②全国の技術レベルの統一
- ③技術と管理との一体化

河川砂防技術基準（案）の作成は，打ち続く大水害に対応するとともに，GHQ の統制下，限られた国家財政のもとで全国的なバランスを考慮して河川整備を進めようとする技術政策の現れであった。

これらの科学・技術基盤の確立と並行して，昭和 28 年に発生した西日本大水害を受け，単年度予算に拠らない長期的な治水投資の必要性が論じられた。修正を繰り返した提案は，当時の大蔵省などの反対を受けて 3 度も却下されたが，昭和 33 年の狩野川台風を受けて閣議了解がなされ，翌年の伊勢湾台風災害を経て，昭和 35 年の治山治水緊急措置法の成立とともに実現した。爾来，財政構造改革の閣議決定（平成 14 年）を受けて平成 15 年に幕を閉じるまで，財政的裏付けのある 9 次に及ぶ治水長期計画が実施されたのである。

気候の変化の影響が一般にも認識されるようになったのは丁度この頃である。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第 4 次評価報告（平成 19 年），第 5 次評価報告（平成 26 年）を受けて，それぞれ，平成 20 年・27 年に水災害分野における気候変動の適応策に関して，社会资本整備審議会より国土交通大臣に答申されている（国土交通省 2008, 2015c）。

平成 27 年の水防法改正に伴う「想定最大外力」の算定方法においては，「現段階においては想定最大外力（洪水・内水）のような低頻度の現象に地球温暖化が及ぼす影響等についての研究等は途上であり，全国統一的な手法として，気候変動予測の結果

を直ちに見込むことは難しい」と判断された（国土交通省 2015b）。そこで、わが国を 15 の気候区に区分し、各気候区内の最大豪雨の観測データから得られた面積と降雨継続時間の関係が用いられている。この手法は対象とする河川流域外であっても、流域を含む気候区内であれば、同じような豪雨が起こりうるという仮定に基づいており、流域内の観測データだけには拠らず、同じ気候条件下で起こりうる極端事象を、命を守る行動に適用しようとする新たな試みであった。これは昭和 33 年の河川砂防基準（案）の確率による計画論から一步踏み出たものと位置付けられる。

気候の変化に適応するハード対策の計画論の基盤は、気候変動のアンサンブル予測や力学的ダウンスケーリング、データ統合システムによって形成された。文部科学省の気候変動リスク情報創生プログラムで開発された「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（d4PDF）」（Mizuta *et al.* 2017）は、同省の地球環境情報プラットフォームであるデータ統合・解析システム（DIAS）を通じ公表されており、北海道大学と海洋研究開発機構によって 20km から 5km ダウンスケーリングされている（文部科学省気候変動リスク情報創生プログラム 2019）。この最先端の科学・技術によって、現在気候に関する再現実験と将来の気候変動後の予測実験との比較から、治水計画の対象とするような極端現象についても確率評価できるようになったのである。

平成 29 年の九州北部豪雨水害を受け、平成 30 年 4 月に国土交通省において「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」が設置され、d4PDF のダウンスケーリングデータを用いた気候変動適応の水災害分野の施設計画手法に関する技術検討が急ピッチで進められた。その結果、全球平均気温の 2℃ 上昇相当を想定した計画降雨量の変化倍率を、暫定的に全国平均で 1.1 倍するという検討結果が、令和元年 7 月に検討結果が提言（案）としてまとめられ、同年 10 月に「気候変動を踏まえた治水計画のあり方－提言」として公表された（国土交通省 2019）。暫定値とされたのは、この検討では RCP8.5（同 4℃ 上昇相当）のデータから RCP2.6（同 2℃ 上昇相当）を換算した値を用いたためで、RCP8.5 における 2℃

上昇相当に対するアンサンブル・ダウンスケーリングデータの出力を待って確定することとされた。

実は、平成 30 年 6 月末にはこの技術検討の中間的な結果が取り纏められており、公表の準備も整えられていた。しかし、平成 30 年 7 月豪雨による西日本一帯の広域激甚水災害の発災により、災害対応に議論を集中させ、同年 12 月に国土交通大臣に対応策が答申された。この対応策の議論も反映して、上記の提言（案）が最終的に令和元年 7 月にまとめられた。これらに対応する河川整備には統合的な取り組みが不可欠であることは言うまでもない。令和元年の台風 19 号による東日本一帯の広域激甚水災害は、その議論の枠組みを準備している最中に発生したのであった。

11.4.3 年々の広域激甚水災害

平成 30 年 7 月豪雨では、活発な梅雨前線が長時間停滞し、西日本一帯の 124 箇所アメダス観測点で 48 時間雨量が過去最大を記録した（以降、西日本水害と呼ぶ；1.5 節参照）。令和元年 10 月の台風 19 号（令和元年東日本台風）は強い勢力を保ったまま日本列島に接近して東日本一帯に豪雨をもたらし、120 箇所で 12 時間雨量が過去最大を記録した（以降、台風 19 号水害とよぶ）。つまり、アメダス全国約 1300 箇所の約 1 割で、西日本・東日本全域にわたって 2 年続きで記録が塗り替えられたことになる。

これらの広域豪雨の結果、西日本水害では広島・岡山・愛媛の 3 県を中心に死者行方不明数は 245 名を記録し、台風 19 号とそれに続く千葉県での低気圧性豪雨では死者行方不明が 107 名に達し、昭和 57・58 年以来、2 年続きの 3 衍の人的被害となつた。両水害を比較すると、西日本水害では土砂災害件数が、台風 19 号水害では河川堤防の決壊件数が、それぞれ破格に多いのが特徴である。ただし、西日本水害での岡山県倉敷市真備町での堤防決壊浸水、台風 19 号水害での宮城県伊具郡丸森町での土砂・洪水氾濫被害など、甚大な被害をもたらした要素も含まれている。両者に共通するのは被害者の多くが高齢者であることである。実際、死亡が確認されている者のうち、西日本水害で 60%，台風第 19 号水害では 65% が 65 歳以上の高齢者となっている。

11.4.4 災害外力の激甚化と社会の脆弱化への対応

計画降雨の変化倍率 1.1 倍は、100 年確率の洪水流量の変化倍率の約 1.2 倍に相当し、同規模の洪水の発生頻度は約 2 倍にもなる。つまり、災害による被害は 2 倍になり、投資効率を考えると 2 倍の治水投資が必要となる。治水予算の倍増は無理でも、戦後打ち続く大水害に対して新たな科学・技術の導入を図り、経済的価値を明示しつつ、高度経済成長の一端を支えた治水政策を超える新たな取り組みが必要である。ここでは、その基本の 3 つの方向性と、突破力となる科学・技術に触れたい。

基本の方向性の第 1 は、災害に対する高韌性（レジリエンス）の向上が必要である。土地利用や住宅設計の工夫や避難訓練なども含めて事前に対策を講じておくと、強いハザードのショックを吸収でき、効果的な減災が可能となる。さらに、まず素早く復旧し、元来持っている様々な問題を合わせて考えた上で、より良く復興するという一連のシステムを予め準備しておくことにより、社会的機能の喪失の程度の時間積分値（災害リスク）を減らす事ができる。

第 2 は、使いながら良くしていくという「持続可能性（サステナビリティ）」の概念の導入である。我が国の場合には持続可能性を「維持・改善」と置き換えることもできよう。例えば、山地から海岸の漂砂域まで、土砂が移動する場全体を一貫して捉える総合的な土砂管理も試みられている。このようにして持続的に利用できる貯留施設を効果的に用いることで、防災力を向上させる取り組みも求められている。

高韌性を高め、持続可能性を担保するためには、第 3 に包摂性が必要となる。台風 19 号水害で決壊した 142 カ所のうち、130 カ所が都道府県管理区間であり、特に国の直轄区間と都道府県管理区間の接合点の都道府県管理側での破堤が多いことは、包摂的な取り組みが急務であることを象徴する事実といえよう。河川政策と都市、住宅、交通などの社会資本整備の諸政策との連携はもとより、農業をはじめ諸産業振興政策や環境政策との連携も効果的である。例えば、人口急増による開発圧力に対応するための土地利用規制が中心であった都市計画は、今や人口減少・少子高齢化でコンパクトな都市構造に誘導して活性化させることに重点が移っている。この

時にとられる居住誘導と浸水想定を組み合わせて高韌性を高めると同時に、氾濫原である低湿地を自然地に戻して、エコロジカルな場として地域の魅力の 1 つに加えることができれば、持続可能な社会の形成につながるであろう。このような公助に加え、国民一人ひとり、あるいは地域の市民組織や産業界との協力による自助・共助の醸成も包摂的な取り組みの事例と考えられる。

この高韌性、持続可能性、包摂性の 3 本柱を支える科学・技術が、現在の第 5 期科学技術基本計画の中心に据えられた Society5.0 である。これは、現実空間とサイバー空間——仮想空間を高度に融合して新たな利益を生み出す科学・技術である。昭和 33 年の河川砂防技術基準（案）では、観測という実験に基づくデータを確率処理することによって河川整備という現実空間の計画を立ててきた。それを全国平均で 1.1 倍するというのは、スーパーコンピューティングによる膨大な計算を実行した結果をデータシステム上で解析して河川整備計画という行動に反映する作業であり、つまりこれはサイバー空間上で作成したデータを使って計画という行動を実現しているという、Society 5.0 の 1 つの典型的な事例と言える。

「こんなことが起こるとは思わなかった」は、被災後よく耳にする言葉である。一方で、科学・技術の発展によって、気候変動を考慮しつつ想定される豪雨による洪水の状況を再現し、仮想空間上で体験することもできるようになっている。「こんなこと」を仮想的に体験し、命を守るにはどのような行動が必要か考えて頂く機会もつくることが今や可能になっている。

高韌性、持続可能性、包摂性の 3 つは、2015 年に改定された日本の開発協力大綱（外務省 2015）に謳われ、それを統合して「質の高い成長（Quality Growth）」という概念が世界に発信されている。高度経済成長を支えた社会資本整備に加えて、激甚化する災害外力と脆弱化する社会に対応するために、我が国自身も質の高い成長の方向に転換する時期にあるのではないかと思われる。そのための科学・技術がまさに Society5.0 であろう。

11.5 学術界からのメッセージ^{6), 7)}

11.5.1 はじめに

地球の長い営みに比べると人間の一生は一瞬であり、生きている間に地球の環境は変動のない定的なものだと多くの人が考えていた。しかしながら、産業革命から300年近くにわたり世界の人々が豊かな生活を求めて化石燃料を消費してきたことを振り返ると、こうした人間活動が地球の包容力を超え、気温、水蒸気、海面水位や海水温に大きな変化を与えてきたことは確かである。特に、近年の気象の変化・変動は、1人の人間の一生の間で起こるレベルではなく、僅か数年の間の変化ですら実感できるほど激しい。

自然災害を極力減じるために防災・減災を進め、災害からのより良い復旧・復興を進めるために、政府、府省庁、研究機関、企業、学会、個人など多くの関係者が努力を重ねている。学術界では、日本学術会議だけでなく、多くの学協会において防災・減災に関わる活発な研究、具体的な対策の提案と行動など多くの活動が行われている。このような活動を続けていたなかで起きた東日本大震災の甚大な災害を目の当たりにして、多くの研究者や技術者が途方にくれた。

11.5.2 防災学術連携体の設立

最も大きな問題は、個々の分野の研究が深まり、論文は次々に発表されていても、その一方で総合的に全体を見る力が失われ、個々の研究は重要課題の中の部分であることを忘れ、他の分野との包括的な連携が無いままに進んでいたことである。このようにして進められた研究に基づく具体的な対策や行動では、自然の猛威を安全に受け止めることはできないことは明らかである。

こうした状況を少しでも打開しようと、東日本大震災半年後の2011年秋に日本学術会議の土木工学・建築学委員会の有志が動き、日本学術会議を要として地震・津波災害に関わる多くの学会の連携活動が始まられた。2016年初頭に、この活動は豪雨災害などを含めて自然災害全般を扱う活動に発展し、ここに「防災学術連携体」が発足した。同時に日本学術会議にも課題別委員会として「防災減災学術連携

委員会」が設けられ、防災減災に関わる学会連携に関する両者の活動は活発になってきている。

11.5.3 近年の甚大な風水害に対応した日本学術会議・防災学術連携体の活動

戦後の復興期に各地で毎年のように起きていた台風災害は、その後の対策で減じられたと感じられていた。しかし、近年の風水害の激しさ、特に2017年九州北部豪雨、2018年西日本豪雨（平成30年7月豪雨）、同年の台風第21号の強風被害、2019年台風第15号の強風災害、及び同年の台風第19号（令和元年東日本台風）の豪雨災害などを経験し、防災減災には多くの課題があることが明確となった。

西日本豪雨に象徴される「平成30年7月豪雨（6月28日～7月8日）」による甚大な被害の発生を受け、防災学術連携体は2018年7月16日に緊急集会を開催し、分野を超えた発表と議論により、この豪雨災害の地球活動的な原因と災害状況を参加者相互に理解を深めた。7月22日にはこれらの情報を基に合同記者会見を行った。

こうした合同記者会見は2016年4月の熊本地震の直後にも行い、関連する分野の学会の代表がそれぞれ専門の立場で災害を説明し、記者の質問に専門別に応じた。上にも述べたが、自然災害は多くの分野が扱うべき多様な課題を有しており、1人の専門家が専門外の質問に浅い知識で答えると社会を混乱させてしまう。合同記者会見はこのような混乱を未然に防ぐ大きな効果がある。

7月22日の合同記者会見の席で、防災学術連携体幹事会から「西日本豪雨・市民への緊急メッセージ」を発表した。参考のために、本節の最後に全文を転載するが、緊急メッセージは「1 地球環境の変化は、自然災害として身近に迫っています」、「2 西日本豪雨の降った地域では二次災害に備えて下さい」、「3 あなたには災害の危険性を知る義務と、自分と家族を守る責任があります」、「4 複合災害に目を向けましょう」の4項目から成り、当日のNHKニュースやその後の防災特集番組で取り上げられ、少しづつ社会に広まっていった。

同年9月10日には日本学術会議講堂にて「西日本豪雨災害の緊急報告会」を開催し、西日本豪雨の

被害拡大を防ぐために、学会間の情報交流を促し、今後の対策を議論した。また、会合直前に発生した台風 21 号、及び北海道胆振東部地震についても緊急の概要報告がなされた。多くの分野から貴重な発表があったため、表 11.1 にそのプログラムの概要を紹介する。なお、発表資料は緊急報告会終了後に防災学術連携ホームページに掲載されている。

2019 年 10 月 12 日に大型で強い勢力で伊豆半島に上陸した台風 19 号は、広い範囲にわたり記録的な大雨をもたらした。10 日からの総雨量は神奈川県箱根で 1000mm に達し、17 地点で 500mm を超えた。そして、静岡県・神奈川県・東京都・埼玉県・群馬県・山梨県・長野県・茨城県・栃木県・新潟県・福島県・宮城県・岩手県の計 13 都県に大雨特別警報が発表された。10 月 16 日時点で、68 河川 125 カ所で堤防が決壊、16 都県の広域にわたり延べ 262 河川で越水等による氾濫が発生、2 万棟以上の住宅が浸水して、77 名の死亡が確認されている。そして、台風後の大霖により被害はさらに拡大した。これを受けて、政府は激甚災害、特定非常災害、大規模災害復興法の非常災害の適用を行った。

防災学術連携体はホームページに台風 19 号のページを開設し、各学会の調査情報や国土交通省・

気象庁などの最新情報を掲載し、関係者間の情報共有に努めた。さらに、日本学術会議と防災学術連携体は、被害の拡大を防ぎ、地球温暖化と共に激化する気象災害の軽減に取り組むため、同年 12 月 24 日に緊急報告会を開催した。台風災害は広域に影響を与えるため関わる人々が多く、東京の学術会議の会場には 420 名、中継した大阪の会場には 300 名もの多くの研究者らが集まった。報告会では 4 つの分野（1. 気象と風水害の概要、2. 被害状況と課題、3. 災害発生時の対応、4. 災害対応と今後の対策）から計 26 件の発表が行われ、分野を超えた議論から、広く全体を俯瞰した防災・減災対策の必要性が浮き彫りにされた。

11.5.4 おわりに

防災・減災に限らず、現代社会の多くの問題の解決に向けては、課題を大きくとらえ、多くの分野の学会活動を連携することによって解決できことが多いと考える。本節の纏めとして、日本学術会議と防災学術連携体の活動を表 11.2 に紹介する。防災学術連携体は、2021 年 12 月現在 59 学会と 2 つの協会の積極的な活動に支えられており（図 11.7），日本だけでなく世界の災害軽減のために努力を続け

安全工学会	日本看護系学会協議会	日本社会学会
横断型基幹科学技術研究団体連合	日本機械学会	日本森林学会
環境システム計測制御学会	日本危機管理防災学会	日本地震学会
空気調和・衛生工学会	日本気象学会	日本地震工学会
計測自動制御学会	日本救急医学会	日本地すべり学会
こども環境学会	日本計画行政学会	日本造園学会
砂防学会	日本建築学会	日本第四紀学会
水文・水資源学会	日本原子力学会	日本地域経済学会
石油学会	日本航空宇宙学会	日本地球惑星科学連合
ダム工学会		日本地形学連合
地盤工学会		日本地質学会
地域安全学会		日本地図学会
地理情報システム学会		日本地理学会
土木学会	日本公衆衛生学会	日本都市計画学会
日本安全教育学会	日本古生物学会	日本水環境学会
日本応用地質学会	日本コンクリート工学会	日本リモートセンシング学会
日本海洋学会	日本災害医学会	日本緑化工学会
日本火灾学会	日本灾害看護学会	日本ロボット学会
日本火山学会	日本灾害情報学会	農業農村工学会
日本風工学会	日本灾害復興学会	農村計画学会
日本活断層学会	日本自然災害学会	廃棄物資源循環学会

図 11.7 「防災学術連携体」と「日本学術会議」。連携体には 59 学会と 2 協会が加盟している。

表 11.1 「日本学術会議公開シンポジウム・防災学術連携体緊急報告会」(2018年9月10日開催)のプログラム。

日本学術会議公開シンポジウム・防災学術連携体緊急報告会 「西日本豪雨災害の緊急報告会・台風第21号の緊急報告および北海道胆振東部地震の緊急報告」		
司 会 日本学術会議防災減災学術連携委員会・防災学術連携体運営幹事	依田照彦	
開会挨拶 防災学術連携体代表幹事・日本建築学会会長	古谷誠章	
趣旨説明 防災減災学術連携委員長・土木工学・建築学委員長	米田雅子	
来賓挨拶 内閣府政策統括官(防災担当)	海堀安喜	
セッション1: 気象の変化、地形・地質等の状況		
「『平成30年7月豪雨』をもたらした大気場の特徴と温暖化の影響」	日本気象学会・日本学術会議 中村 尚	
「崩壊、浸水の地図化と空間分布の特徴」	日本地図学会 大木章一	
「西日本豪雨による斜面崩壊地の地形・地質と記録の意義」	日本地理学会 後藤秀昭	
「リモートセンシングが捉えた西日本豪雨災害の状況」	リモートセンシング学会 伊東明彦	
セッション2: 洪水・土砂災害のメカニズム		
「平成30年7月豪雨によって発生した土砂災害に対する緊急調査報告」	砂防学会 執印康裕	
「広島における土石流による住宅および社会基盤施設の災害」	地盤工学会 土田 孝	
「豪雨に伴う流域斜面災害の予測に対する地形学的アプローチ」	日本地形学連合 松四雄騎	
「小田川における洪水氾濫状況」	土木学会 二瓶泰雄	
「ダムの洪水調節効果と異常洪水時防災操作の課題」	ダム工学会 角 哲也	
セッション3: 情報伝達・避難・救援と復旧・復興		
「平成30年7月豪雨における農業農村工学会の取組」	農業農村工学会 梶原義範	
「災害廃棄物対策の現状と課題」	廃棄物資源循環学会・日本学術会議 森口祐一	
「平成30年7月豪雨による人的被害の特徴」	日本自然災害学会 牛山素行	
「西日本豪雨における災害医療対応」	日本災害医学会 真瀬智彦	
「西日本豪雨における公衆衛生・災害看護」	日本災害看護学会 神原咲子	
セッション4: 西日本豪雨から学ぶ教訓と今後の対策		
「花崗岩の風化特性と砂防・治山のあり方～広島豪雨災害と西日本豪雨災害～」	日本地質学会 越智秀二	
「戸別の避難カード作りと専門家の役割—岡山県美咲町から将来の防災組織を考える」	日本応用地質学会 鈴木茂之	
「浸水を背景とするアルミニウム工場の爆発と周辺地域の被害」	日本火災学会 北後明彦	
「水害に対する地域の備えと避難行動—総社市下原地区の事例より」	日本建築学会 荒木裕子	
セッション5: 近年の豪雨災害から学ぶ教訓と今後の対策		
「近年の豪雨災害の特徴と今後の対策」	日本学術会議 小松利光	
「豪雨時の緊急避難を促進するための斜面リアルタイム監視」	日本学術会議 東畠郁生	
「仙台枠組みの実現に向けた、看護学内ならびに他学問分野との協同」	日本学術会議 山本あい子	
「西日本水害を踏まえた『水防災意識社会』の再構築の在り方」	日本学術会議 小池俊雄	
セッション6: 台風第21号および北海道胆振東部地震		
「台風第21号の緊急報告」	日本風工学会 奥田泰雄	
「北海道胆振東部地震の緊急報告」	日本学術会議 平田 直	
「厚真町の土砂災害」	日本森林学会・森林総合研究所 浅野志穂	
総合討論		
閉会挨拶 防災減災学術連携委員会、防災学術連携体運営幹事	和田 章	

表 11.2 「防災学術連携体」の具体的な活動方針。

防災学術連携体の活動
・災害発生等、緊急事態において必要な活動を行う
・毎年シンポジウムを日本学術会議と連携して開催する
・各学会の取組み等を紹介する防災関連の学術総合ポータルサイトを運営する
・日本学術会議と連携して、学会間の連絡網を構築し、緊急事態において必要な活動を行う
・政府・自治体・関係機関等との交流を促進する
・学会間の交流を進め、より総合的な視点をもつ研究者を育てる
・国際交流を進め、世界の防災に寄与する
・その他、本会の目的を達成するために必要な事業を行う

たい。防災学術連携体のホームページ (<https://janet-dr.com/index.html>) をぜひご覧頂きたい。そして、同じような活動が他の分野で始まる事を期待する。

参考：2018年7月22日の緊急記者発表会で防災学術連携体幹事会から発表された「西日本豪雨・市民への緊急メッセージ」を、体裁の一部を変更した上で、以下に全文転載する。

【趣旨】 防災に関わる56の学会ネットワークである防災学術連携体は、平成30年7月豪雨による西日本を中心とした豪雨災害に関して緊急集会を行い、地球環境の変化は自然災害として身近に迫っており、今後、夏後半から秋にかけては大雨が降りやすいこと、二次災害が危惧されること、複合災害に目を向ける必要があること、市民一人一人が災害の危険性を知る義務があることなど、緊急メッセージを市民に向けて発表することに致しました。

1 地球環境の変化は、自然災害として身近に迫っています

- ・温暖化の進行にともない、長期的に見れば日本近海も温暖化し、大気中の水蒸気量も増えつつある中、豪雨の発生頻度が高まりその規模も大きくなる傾向にあります。
- ・実際、近年は深刻な豪雨災害が毎年起きており、日本中どこでも小さな町でも大きな都市でも、地形や河川の特性、土地利用によって、洪水氾濫や浸水、土砂崩れや土石流などの危険性が高まって

きています。

- ・今夏も「平成30年7月豪雨」による甚大な被害が、西日本を中心に過去に例を見ないほど広域に拡がっています。
- ・今後、夏後半から秋にかけては、台風や秋雨前線に伴う大雨への備えが必要です。
- ・西日本などの豪雨被災地では、特にここしばらくは猛暑に厳重に警戒してください。

2 西日本豪雨の降った地域では二次災害に備えて下さい

- ・西日本周辺では水を含むことで脆弱になりやすい花崗岩類が広く分布しています。豪雨が終了した後でも、しばらくの間は多量の水分が土壤中に残っているため、土砂災害が発生しなかった地域でも、通常降雨で土砂崩れが発生する危険性が極めて高い状態にあります。
- ・山地内には今回の土砂崩れによって土石流になりやすい多量の土砂が残っており、危険な状態にあります。山地内で渓流をせき止めた状態にある土砂は、雨が降ってなくても土石流になることがあります。
- ・これらの状態は人目に触れにくい箇所にあることも多く、引き続き警戒が必要です。
- ・二次災害防止のため、多くの専門家が派遣されていますが、個々人では決して危険な状態にある山地内には立ち入らないで下さい。
- ・土砂災害が発生した箇所での復旧活動に従事されている住民及びボランティアの方は、少雨の場合でも活動を中止して、早めの避難行動をお願いします。

3 あなたには災害の危険性を知る義務と、自分と家族を守る責任があります

- ・日本中いたる所で豪雨災害が発生しています。あなたのまちも例外ではありません。
- ・これまで豪雨があまりなかった地域ほど、経験不足のため豪雨災害が大きくなります。
- ・自分たちの安全は自分たちで守ることが第一の基本です。広域の同時多発災害の場合は、救助や支援の手が届くのが遅れる場合があります。

- あなたのまちのハザードマップと地域防災計画を参考にして、河川が氾濫した場合には何m浸水してしまうのか、土砂災害が起こりやすい場所ではないかを、自ら確認してください。
- 「警報」は危険が身近に迫っていること、「特別警報」はこれ以上ないほどの危険が差し迫っていることを伝えています。
- 市町村からの避難情報にも注意してください。特に「避難準備・高齢者等避難開始」が発令されたら、避難に時間をする人（ご高齢の方、障害のある方、乳幼児等）とその支援者は避難を開始してください。

4 複合災害に目を向けましょう

- 日本列島にはさまざまな災害が多発しています。豪雨災害のあと地震、大地震のあと豪雨、台風のときに地震が重なるなど、被害が拡大しがちな複合的な災害に備える必要があります。
- 最悪の事態を想定しつつ、複合災害が発生したらどう行動すればよいかを日頃から考えておきましょう。

11.6 おわりに¹⁾

本章では、西日本水害などの豪雨災害の軽減に向けた工学分野や水文分野の研究者からの最新の研究に加え、豪雨に伴う水害を防ぐために求められる政策や背景の科学技術、さらには多くの関連分野との連携推進の最新動向を紹介した。豪雨や台風など気象災害に、その発生前から適切に備え、起こり得る災害を軽減するためには、気象学会に閉じた研究を進めるだけでは不十分なことは論を待たない。関連する他の多くの学問分野と包括的に連携しつつ、市民や地方自治体・政府・民間企業など広く社会と連携することも求められる。これは、日本学術会議が推進する「Future Earth」の取り組みの格好の実践例となるはずである。

第10章までに記したように、日本の夏の気温は近年明確な上昇傾向を示し、それとともに最近40年で下層の水蒸気量も約10%増加した(Shimpo *et al.* 2019)。かつ、日本近海は全球平均よりもかなり速いペースで温暖化しつつある(Wu *et al.* 2012)。

それに伴って日本域の豪雨強度も増大傾向にある(Fujibe 2015)。実際、平成30年7月豪雨でも温暖化が約7%の雨量を上積みしたとの推算もある(Kawase *et al.* 2020)。さらに、将来の温暖化に進行により、今世紀末には九州の梅雨末期の豪雨の雨量が2~3割も増加し得るとの推算もある(Manda *et al.* 2014)。加えて、日本近海の温暖化により、我が国に接近する台風の勢力が衰え難くなることも予想される。こうして激甚化する可能性の高い将来の気象関連災害に対し、有効な対策を講ずるためにも、本章で紹介された取り組みは大いに役立つものと考えられる。

参考文献

- Fujibe, F., 2015: Relationship between interannual variations of extreme hourly precipitation and air/sea-surface temperature in Japan. SOLA, 11, 5-9.
- 外務省, 2015: 開発協力大綱. https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/seisaku/taikou_201502.html.
- 石塚悠太, 2018: シームレス洪水予測システムの構築に向けて: 全球及び高解像度領域予測システムの開発と検証, 東京大学大学院工学系研究科修士論文.
- 伊藤悠一郎, 中村晋一郎, 芳村圭, 渡部哲史, 平林由希子, 鼎信次郎, 2019: 建物立地とその変化過程に着目した平成30年7月豪雨による浸水被害の分析. 土木学会論文集B1(水工学), 75(1), 299-307.
- Kawase, H., Y. Imada, H. Tsuguti, T. Nakaegawa, S. Naoko, A. Murata and I. Takayabu, 2020: The heavy rain event of July 2018 in Japan enhanced by historical warming. Bull. Amer. Meteor. Soc. Special Report "Explaining Extreme Events in 2018 from a Climate Perspective", S109-S114.
- 国土交通省, 2008: 水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について. http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/kikouhendou/pdf/toshintext.pdf.
- 国土交通省, 2015a: 新たなステージに対応した防災・減災の在り方. <https://www.mlit.go.jp/saigai/newstage.html>.

- 国土交通省, 2015b : 浸水想定（洪水, 内水）の作成等のための想定最大外力の設定手法. https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/shinsui_soutei_honnbun_1507.pdf.
- 国土交通省, 2015c : 水災害分野における気候変動適応策のあり方について. <https://www.mlit.go.jp/common/001091553.pdf>.
- 国土交通省, 2015d : 大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方について～社会意識の変革による「水防災意識社会」の再構築～. http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shasei_shin/kasenbunkakai/shouinkai/daikibohanran/pdf/1512_02_toushinhonbun.pdf.
- 国土交通省, 2017 : 中小河川等における水防災意識社会の再構築のあり方について. http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/daikibohanran/pdf/1701_02_toushinhonbun.pdf.
- 国土交通省, 2019 : 気候変動を踏まえた治水計画のあり方. http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chisui_kentoukai/pdf/02_honbun.pdf
- Ma, W., Y. Ishitsuka, A. Takeshima, K. Hibino, D. Yamazaki, K. Yamamoto, M. Kachi, R. Oki, T. Oki, K. Yoshimura, 2021: Applicability of a nationwide flood forecasting system for Typhoon Hagibis 2019. *Sci. Rep.*, **11**, 10213.
- Manda, A., H. Nakamura, N. Asano, S. Iizuka, T. Miyama, Q. Moteki, M. K. Yoshioka, K. Nishii and T. Miyasaka, 2014: Impacts of a warming marginal sea on torrential rainfall organized under the Asian summer monsoon. *Sci. Rep.*, **4**, 5741.
- Mizuta, R., et al., 2017: Over 5,000 years of ensemble future climate simulations by 60-km global and 20-km regional atmospheric models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **98**, 1383-1398.
- 文部科学省気候変動リスク情報創生プログラム, 2019 : 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 (d4PDF). <http://www.mrioc-gcm.jp/~pub/d4PDF/>.
- 中北英一, 小坂田ゆかり, 山口弘誠, 2019 : 平成30年7月豪雨の特性と地球温暖化. 京都大学防災研究所年報, **62A**, 1-5.
- 中村晋一郎, 2014 : 基本高水の制度化に関する歴史研究, 東京大学大学院工学系研究科博士論文. <https://doi.org/10.15083/00007532>.
- 小坂田ゆかり, 中北英一, 2018 : 領域気候モデルによる梅雨豪雨継続時間と積算雨量の将来変化予測と過去の事例を用いた検証. 土木学会論文集B1 (水工学), **74**(5), I_25-I_30.
- 小坂田ゆかり, 中北英一, 2019 : 平成30年7月豪雨の特徴及び地球温暖化による影響評価. 土木学会論文集B1 (水工学), **75**(1), 231-238.
- Shimpo, A., K. Takemura, S. Wakamatsu, H. Togawa, Y. Mochizuki, M. Takekawa, S. Tanaka, K. Yamashita, S. Maeda, R. Kurora, Hi. Murai, N. Kitabatake, H. Tsuguti, H. Mukougawa, T. Iwasaki, R. Kawamura, M. Kimoto, I. Takayabu, Y. N. Takayabu, Y. Tanimoto, T. Hirooka, Y. Masumoto, M. Watanabe, K. Tsuboki, and H. Nakamura, 2019: Primary factors behind the heavy rain event of July 2018 and the subsequent heat wave in Japan. *SOLA*, **15A**, 13-18.
- Wu, L., Cai, W., Zhang, L. H. Nakamura, A. Timmermann, T. Joyce, M. J. McPhaden, M. Alexander, B. Qiu, M. Visbeck, P. Chang and B. Giese, 2012: Enhanced warming over the global subtropical western boundary currents. *Nature Clim. Change*, **2**, 161-166.
- Yokoyama, C., H. Tsuji and Y. N. Takayabu, 2020: The effects of an upper-tropospheric trough on the heavy rainfall event in July 2018 over Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **98**, 235-255.
- 芳村圭, 岡澤毅, キムヒュンジュン, 瀬戸心太, 小岩祐樹, 沖大幹, 鼎信次郎, 2007 : 気象庁メソ予報モデルGPVを用いた日本域河川流量予測システムの構築と検証. 水工学論文集, **51**, 403-408.
- Yoshimura, K., T. Sakimura, T. Oki, S. Kanae and S. Seto, 2008: Toward flood risk prediction: a statistical approach using a 29-year river discharge simulation over Japan. *Hydrol. Res. Let.*, **2**, 22-26.