

4. 水災害発生過程と予測の必要性

小池 俊雄*

1. 気候の変化と豪雨災害

我が国で気候の変化と豪雨災害が関連付けて具体的に議論され、対応策の検討が進め始められたのは2008年で、この年の6月に社会資本整備審議会から「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」が国交大臣に答申された。巨大台風の襲来や台風上陸回数が極端に多い年があるのに加え、今までにはないコースを辿る台風も発生している。これらの変化と並行して、紀伊半島大水害（2011年）、九州北部豪雨災害（2012年）、伊豆大島豪雨災害（2013年）、広島市土砂災害（2014年）、関東・東北豪雨災害（2015年）、北海道・東北豪雨災害（2016年）、九州北部豪雨災害（2017年）と、ここ数年毎年豪雨災害が発生し、多くの人命が失われ、甚大な経済被害が頻発している。

2. 近年の豪雨災害の発生過程の特徴

2.1 洪水・土砂災害

1999年の広島市、呉市における集中豪雨土砂災害を受け、2001年より土砂災害防止法が施行され、その後、紀伊半島、伊豆大島、広島と、度重なる甚大な土砂災害を受けて同法は改正を繰り返し、大規模な土砂災害が急迫している地域の緊急基礎調査の実施やその結果の速やかな公表、警戒避難体制の強化・充実などが加えられてきた。

2017年の九州北部豪雨災害は、しかし、豪雨の激化による新たな土砂災害の様相を提示している。12時間に900mm（解析雨量）にも達する豪雨によって、風

化作用によって深層部まで細粒化（マサ化）した花崗閃緑岩で構成される中山間地では至る所で土石流が発生し、生産された粒径2mm程度の大量の土砂と倒木は、洪水流によって谷底平野へ流下した。その結果土砂の堆積によって谷底平野の細い河道は埋め尽くされ、流れの場を失った洪水流は流木とともに谷底平野の幅一杯に波を打って流れ広がった。「氾濫水と土砂堆積による微地形形成が教科書通り進んだ」と地理学者が言い表す通り、長年にわたって人々が生活を営んできた谷底平野という地形が、もともとは今回のような膨大な自然の営力によって形成されたものであることを思い知らされた。これまでの河川計画の在り方の再考を要する新たな次元の河川災害とみることができ

2.2 逃げ遅れ

伊豆大島、広島でも避難に関わる情報の提供が問題視されたが、2015年関東・東北豪雨の鬼怒川決壊時には、住民の避難が遅れ、多くが氾濫流の中に孤立し、ヘリコプターで1300人もの住民が救助され、地上部隊によっても3000人に近い多数の住民が救助された。広い地域にわたって破堤前に避難指示は出されておらず、また溢水は早朝、破堤は正午過ぎであり、洪水流で鬼怒川が満杯となった姿や一部で溢れている映像が実況中継されてはいたが、避難することなく屋内に留まった住民は多く、結果として非常に多くの住民を救助する必要が生じた。

北海道・東北豪雨災害では、要配慮者利用施設が被災し、施設利用者9名が犠牲となるという痛ましい結果となった。2017年の九州北部豪雨災害で被害が最も大きかった朝倉市では、被災前から自主防災マップがつくられ、避難訓練も実施されていた。大雨・洪水警報発表の1時間後には避難準備情報が出され、避難所開設、避難勧告と続き、2時間余りで避難指示が出さ

* 土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター。

koike@icharm.org

© 2019 日本気象学会

れている。しかし、犠牲者の半数以上が避難できずに自宅で被災したという事実（大原 2018）をどのように考えるべきであろうか。

2.3 被災地域の社会経済への影響

関東・東北豪雨災害では、宅地及び公共施設の浸水を解消するまでに10日間を要した。家屋の倒壊・流失に加え、長期間の浸水が地域生活、産業に与えた影響は大きい。また北海道・東北豪雨災害では、道路橋の落橋、鉄道橋の流失が相次いで、物流に甚大な影響を与え、集落の分断等が各地で発生した。また北海道では全国シェアが大きい野菜が被災し、全国の主要市場でも価格が高騰するなどの影響が発生している。しかも浸水による被害だけでなく、農地の土壌そのものが流出し、復旧に長期間を要するなど地域産業に多大な影響を与えている。

このように激甚化する災害外力によって初めて顕在化する被害や、復興に要する時間の長さへの対応が求められている。

3. 政策的対応

関東・東北豪雨災害を期に、孤立者の発生防止、効果的な広域避難の実現、避難時間を確保するための危機管理に資する施設の整備等を取り纏めた『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」の再構築にむけて～』が社会資本整備審議会から2015年12月に答申された。また、北海道・東北豪雨災害では、人口や資産が点在する中山間地において甚大な被害が生じた。国管理河川や、急激な都市化によって水害リスクが高まった都市河川等、これまで国が直接重点的に対処してきた河川とは異なる。一方、気候の変化で、大雨の強度・頻度・総降水量が増えれば、その影響は流域面積が狭く、短時間で洪水が流下する中山間地において大きくなることは、水文学が教える通りである。この北海道・東北豪雨災害は、このような中小河川における災害リスクの増大に対して、国と都道府県とが協力してどのように対処していくべきかが問われた災害となった。そこで、水防災意識社会の再構築の中小河川版ともいうべき、『中小河川等における水防災意識社会の再構築のあり方』が、とりわけ要配慮者利用施設における逃げ遅れゼロと、人口・資産が点在する地域の社会経済被害の最小化を目指して2017年1月に答申された。

これら2つの答申をまとめる形で2017年5月に水防

法が改正され、同年6月に施行された。ここでは「逃げ遅れゼロ」実現のための多様な関係者の連携体制の構築と、「社会経済被害の最小化」実現のための既存資源の最大活用が謳われた。前者に対しては、大規模氾濫減災協議会の設置、要配慮者利用施設における避難確保計画の作成等の義務化、浸水実績等を活用した水害リスク情報の周知等が盛り込まれた。後者に対しては、民間を活用した水防活動の円滑化、浸水拡大を抑制する施設等の保全、国等の技術力を活用した中小河川の治水安全度の向上が取り入れられた。ここで定められた国による工事の代行制度は、法改正直後に生じた九州北部豪雨で被災した赤谷川の復旧に適用された。

4. 科学技術の対応

困難で脅威的な状況にも関わらず、うまく適応する能力をレジリエンスとよぶ。レジリエンスを高めるには、災害外力を吸収・対処する能力、想定を超える事態への適応能力、新たな段階への変容能力を高めなければならない。そのためには、災害外力の予測、災害現象および被害の構造の理解の向上が不可欠となる。

4.1 災害外力の予測

気象庁は2013年の台風18号による京都・福井・滋賀の豪雨以来、大雨の特別警報を出して、河川の氾濫、土砂崩れなどの災害に対する警戒をよびかけ、住民に命を守る行動を促している。これは2011年に発生した紀伊半島大水害で、深層崩壊などによって100名近い人命が失われた反省に立って、気象予測の担当者が抱く危機感が住民と共有されるべきという考えのもとに行われている。しかし、2015年の関東・東北、2017年の九州北部の豪雨災害では、特別警報にも関わらず、逃げ遅れによって多くの人命が失われており、伊豆大島、広島市、北海道・東北の土砂・洪水災害では、豪雨の広がり観点から特別警報は出されていなかった。

「水防災意識社会の再構築」はこれらの情報を効果的に使う行政、住民側の対応を求める政策であるが、豪雨の予測側には、豪雨の強度、豪雨の開始および継続時間に加えて、豪雨の発生位置の予測精度の向上が期待される。気象側から出される〇〇地方での豪雨の予測可能性の情報に対し、洪水・氾濫災害の場合は豪雨域が河川流域の中にあるのか外なのか、土砂災害の場合は豪雨の位置が、それぞれ決定的要因となる。

豪雨の発生位置の予測精度の向上には、全球モデル

からのダウンスケーリングの際に降雨や雲を同化する手法や、データ同化に不確実性を組み込んだアンサンブル予測を用いる方法が開発されている。Seto *et al.* (2016) では、衛星搭載マイクロ波放射計の低周波数データを用いた陸面のデータ同化により、高周波数での上向き放射伝達の境界条件を改善し、そのうえで高周波数データを用いた凝結潜熱による昇温域のデータ同化を行い、領域モデルに対流を創り出すことによって、豪雨域の位置を予測する手法を開発している。

一方、牛山ほか (2017) は、高解像度領域モデル上でデータ同化と摂動生成を行うアンサンブルカルマンフィルターを用いる手法を開発し、その降雨予測結果を降雨流出氾濫モデル (RRI: Rainfall-Runoff Inundation モデル) に入力して、洪水氾濫のアンサンブル予測手法を開発している。その結果、リードタイムに応じて洪水流出ピークを定量的に予測する可能性を示している。これは、アンサンブル予測降雨の中に、雨域が流域の中に現れるケースが含まれる場合があることを示しており、牛山・小池 (2018) では、その結果をダム操作に適用した場合に、洪水安全リスク回避と、豪雨予測の空振りによる水資源の減少リスクの回避を両立させる可能性を予測のリードタイム毎に示している。

4.2 災害現象の理解

これまでの通常の土砂災害と河川洪水氾濫災害への対応では、各々砂防事業と河川事業の考え方にに基づき取り組みがなされてきた。しかし2017年の九州北部豪雨災害はこれまでのアプローチでは立ち行かないことが明確となり、『筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会 報告書』では、河川事業と砂防事業の連携方策が検討されている。実は、同様の兆候は北海道・東北豪雨災害において既に示されていた。『中小河川等における水防災意識社会の再構築のあり方』(答申) には、北海道十勝川水系ペケレベツ川及びパンケ新得川、岩手県小本川の事例を示し、「中小河川等の上流部では、山腹崩壊等により多量の土砂流出が発生し、これにより水位上昇を引き起こす場合がある」と記され、「土砂流出による洪水時の河床変動の状況はこれまで十分に解明されていないことから、これらを把握するための研究を進めるべきである。」と提言している。

これらの答申を基に、土木研究所 ICHARM では小本川での研究を鋭意進めていた (南雲・江頭 2018)。そこに、2017年の九州北部豪雨災害が発生してしまっ

た。研究チームはすぐに最も被害の大きかった赤谷川の現地調査を実施し、現象の理解を目的として開発中であった土砂生産・輸送・堆積と洪水氾濫の統合モデルの完成に必要なデータを収集した。その結果、原田・江頭 (2018) は土砂と流木の流入及びそれらの洪水流に伴う挙動を解析的に取り扱う手法を提案し、その上流の境界条件を算出するために、山崎ほか (2018) は豪雨に伴う崩壊分布および土砂流動の推定法を提案し、さらに江頭ほか (2018) は崩壊・土石流によって荒廃した流域における微細砂の流出予測法を論じている。

災害を減らすために先手を打てなかった無念さを噛み締めつつ、これらの手法を科学的に精査し、技術的適用性を確認して、政策的に利用できるレベルにまで早急に昇華していく努力が不可欠である。

4.3 被害の構造の理解

関東・東北豪雨災害で鬼怒川決壊による被害を受けた常総市では、想定以上に復興が遅れている。大原ほか (2018) は、常総市商工会に所属する事業所の約3分の2が浸水被害にあい、その中60社をランダムに抽出して地域の被害発生度合及び回復力を評価するためのインタビュー調査を行ったところ、国で定める治水経済調査マニュアルよりも長い休業日数を要した事業所が、製造業や生活関連サービス・娯楽業で多く、水害から1年後でも売上が100%に回復した事業所は約半数という結果を得ている。

また、北海道・東北豪雨災害では、人口・資産が点在する地域における治水安全度向上が問題となった。2017年の九州北部豪雨災害でも同様で、洪水予報指定河川や水位周知河川だけでなく簡便な水位計を広域に配置して、情報共有システムを国が支援する体制づくりが始まったことは重要なステップと言え、今後基本的に統合的な指針づくりが求められる。

参考文献

- 江頭進治, 原田大輔, 南雲直子, 山崎祐介, 萬矢敦啓, 2018: 崩壊・土石流による堆積土砂に着目した微細砂の流出予測法—2017年7月九州北部豪雨災害時の赤谷川を対象として—. 土木学会論文集 B1 (水工学), 74, I_925-I_930.
- 原田大輔, 江頭進治, 2018: 流砂・流木を伴う洪水流の解析—2017年7月九州北部豪雨による赤谷川洪水を対象として—. 土木学会論文集 B1 (水工学), 74, I_937-I_942.
- 南雲直子, 江頭進治, 2018: 2016年台風10号による小本川

- の洪水・土砂氾濫に関する地形学的考察. 地形, 39, 47-66.
- 大原美保, 2018: 個人的情報提供
- 大原美保, 南雲直子, 澤野久弥, 2018: 平成27年9月関東・東北豪雨による常総市内の事業所の被災特性に関する調査研究. 土木学会論文集 B1 (水工学), 74, I_1159-I_1164.
- Seto, R., T. Koike and M. Rasmy, 2016: Heavy rainfall prediction applying satellite-based cloud data assimilation over land. J. Geophys. Res. Atmos., 121, 9737-9755.
- 牛山朋來, 小池俊雄, 2018: 大井川・犀川流域の効率的ダム操作支援を目的とした領域アンサンブル降雨予測の開発. 土木学会論文集 B1 (水工学), 74, I_103-I_108.
- 牛山朋來, 佐山敬洋, 岩見洋一, 2017: 領域アンサンブル予報を用いた洪水予測手法の開発—平成27年鬼怒川洪水への適用. 土木学会論文集 B1 (水工学), 73, I_193-I_198.
- 山崎祐介, 江頭進治, 南雲直子, 2018: 豪雨時における土砂流出量の推定法. 土木学会論文集 B1 (水工学), 74, I_931-I_936.
-