2022年度（第57回）
水工学に関する夏期研修会講義集

A コース

Lecture Notes of the

57th Summer Seminar on Hydraulic Engineering, 2022

Course A

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

Committee on Hydroscience and Hydraulic Engineering,

Coastal Engineering Committee,

JSCE

2022年9月

September 2022

2022年度（第57回）

水工学に関する夏期研修会講義集

A コース(河川・水文コース)

総合テーマ：頻発する豪雨災害の現状と複合災害への備え

A-1	流域管理のための数値計算に必要な デジタルトランスフォーメーション	神戸大学 教授	大石　哲 Satoru OISHI
A-2	海岸の将来ビジョンとその技術政策課題	国土技術政策総合研究所 海岸研究室 室長	加藤　史訓 Fuminori KATO
A-3	全世界の水文予測に向けた数値モデルと 衛星観測の融合	東京大学 教授	芳村　圭 Kei YOSHIMURA
A-4	流域治水の今後の展開	国土交通省 水管理・国土保全局 河川計画調整室 室長	石川　博基 Hiroki ISHIKAWA
A-5	豪雨災害に備える「流域治水」から 複合災害に備える「流域防災」へ	東京都立大学 名誉教授／ 明治大学 客員研究員	中林　一樹 Itsuki NAKABAYASHI
A-6	洪水・津波と地震の複合災害に関する 基礎研究	東京理科大学 教授	二瓶　泰雄 Yasuo NIHEI
A-7	土砂災害を発生させる物理現象	京都大学 准教授	竹林　洋史 Hiroshi TAKEBAYASHI
A-8	洪水･土砂災害による人的被害と避難	静岡大学 教授	牛山　素行 Motoyuki USHIYAMA

流域管理のための数値計算に必要なデジタルトランスフォーメーション

Digital Transformation for Numerical Simulation to Manage Basins

大　石　　哲
Satoru　OISHI

1. はじめに

自然現象と社会現象の組み合わせによる数理的推論を行おうとすると，かなり大きな工数が必要になり，それは経験でカバーしてきた．例えば，海の人工島のいくつかは廃棄物を受けいれて埋め立てられた．その処分場について考えると，処分場が埋め立てられて人工島として活用できるようになるまでにかかる年数は，現状の廃棄物搬入量と人口動態などから外挿して決められる．そこでは，産業構造，リサイクル率，他の処分場への流出や他からの流入などを検討することは希である．

一方で水工学に関係した自然現象と社会現象の組み合わせの顕著な例は，災害被害の推定である．水害の被害などのように自然現象と社会現象の組み合わせによる数理的推論にシミュレーションを用いようとすると，かなり大きな工数が必要になる．しかしフェルミ推定的手法も使うことができない．そこで，フラジリティカーブの算出を通して計算がなされてきた．これは経験による外力と被害の関係およびその間が線形に近い関係であることを前提としている．

気候変動を踏まえた国土交通省　水管理・国土保全局　水災害対策検討小委員会（2020）では，提言の中で，気候変動にともない気温が2度上昇するに相当するような気候変動の場合の降雨量変化倍率は1.1程度と試算している．試算にしたがって基本高水が1.1倍になったときの既存河川における計画高水流量発生時の被害量の推定を行う際に，被害を線形外挿的に1.1倍と見積もるわけにはいかない．既存施設の活用，堤防の余裕高と堤内地の資産分布を与えてシミュレーションによって求めることになる．既存施設の種類，堤防の使用，堤内地の資産分布は人為的に形成された社会的データであり，有無を言わせぬ正確な値があるように思えるが，その値を調査し与えることはかなりの困難が伴う．

さらに，気候変動対策で計画高水流量が（1＋α）倍になったときの既存河川における計画高水流量発生時の橋梁橋脚の影響による河床変動とそれが堤防に与える影響を推定しようとすると実験かシミュレーションに頼るほかはなく，いくつかの実験とシミュレーションを比較した上で他地点のシミュレーションを行うのが現実的な手法と考えられる．しかしその計算をしようとした際に，ゼロから橋梁橋脚の位置や形，現況河床や上流からの供給土砂量を入力しようとすると，コンピュータが行う時間積分計算以前にデータの準備に大きな工数がかかる．その工数はデータを用意することと，それを変換して計算への入力情報にすることが大部分である．情報の制約から「仮に〇〇とおく」といったことをせざるを得ないことも多い．

筆者が2022年の理化学研究所の新技術説明会において行ったインタビューでは，大手建設コンサルタントの技師が河川断面の作成にかける工数は1ヶ月程度であるという．また，筆者が東京大学のコンクリート研究室との共同研究を実施した際にはコンクリート床版のFEM解析をする際に計算準備が全体の62.5%の時間をしめ，計算実行にかかった時間は37.5%であった．FEM解析をする際に計算準備はほとんどが人が画面の前で行う作業であり，計算実行では計算開始から終了までは人は関与しない．

一方で，デジタルトランスフォーメーション（DX）が叫ばれ，DXの覇者がビジネスの覇者のような側面もある．

海岸の将来ビジョンとその技術政策課題

Visions and Technical Policy Issues for Coast in the Future

加　藤　史　訓
Fuminori　KATO

１．はじめに

わが国の人口は少子高齢化により 2008 年をピークに減少しており，今後も減少していくことが予想されている．また，産業構造やデジタル化の進展も影響し，人口や資産の分布が長期的に変化するとともに，予算や担い手の不足等により土木施設の維持も難しくなっていくことが危惧されている．

国際的な動きとして，2015 年 9 月の国連サミットで，持続可能な開発目標（SDGs）が全会一致で採択された．これは，誰一人取り残さない多様性と包摂性のある社会の実現のために設定された，2030 年を年限とする 17 の国際目標であり，その中には気候変動の対策や持続可能な都市など，海岸に関わる目標も含まれている．このように社会の持続性に着目した取り組みが広く求められている．

海岸は陸域と海域の境界であるだけでなく，波浪や風等の作用から背後地を守る緩衝帯であり，さまざまな生物の生息場であり，多様な海岸利用の場でもあり，独特な景観を形成している．わが国の海岸は，その背後地に人口，資産，社会資本等が集積するとともに，台風や低気圧による高潮や高波，地震による津波，海岸侵食にさらされてきた．そのような脅威に対し，海岸法に基づく海岸事業（海岸保全施設の設置など）やさまざまなソフト対策が実施されてきた．

海岸への気候変動の影響が言われ始めてから久しい．たとえば，土木学会海岸工学委員会は 1994 年に地球温暖化の沿岸影響についての報告書をまとめており，2000 年に国が定めた「海岸保全区域等に係る海岸の保全に関する基本的な方針（以下，「海岸保全基本方針」という）」においても，海岸にとって深刻な影響が生ずる恐れがあることから潮位，波浪等の監視やそれらの変化に対応する検討を進めることとされた。しかし，海岸保全において気候変動の影響を考慮することが初めて明確に規定されたのは，2020 年に変更された海岸保全基本方針であった．

わが国の海岸を取り巻く自然・社会環境が変わっていく中で，さまざまな課題に直面している海岸を将来どのような姿にするべきなのか議論をすることは，その姿の実現に必要な技術開発を考える上で不可欠である．直面している課題が多いことから，海岸のあるべき姿については現在の制度や課題の延長上で議論されがちであるが，平均海面水位の上昇が来世紀以降も続くという予測などをふまえると，今世紀末のように少し先の状況を現在の制度や課題から少し離れて考え，そのあるべき姿の実現・維持に必要な技術開発について考えてみることも有用である。2100 年は遠い先のようにも思えるが，土木施設の耐用年数が 50 年程度であることを考えると，その状況を既に考えていかなければならない時期に入っているとも考えられる．このようなバックキャスト型の議論は，一般財団法人国土技術研究センターの海岸技術政策研究会や 2021 年の第 68 回海岸工学講演会の企画セッション「海岸の将来ビジョンとその実現に向けた取り組み」で行われている．

本稿では，まずわが国における海岸保全の経緯を振り返り，第 68 回海岸工学講演会の企画セッション等での議論をふまえて海岸保全の現状と課題を整理し，2100 年を見据えた海岸の将来ビジョンとその実現・維持に必要な技術政策課題について私見を述べる．

全世界の水文予測に向けた数値モデルと衛星観測の融合

Fusion of Numerical Simulation and Satellite Observation for Global Hydrological Prediction

芳　村　　圭
Kei YOSHIMURA

１．はじめに

世界の自然災害による経済被害額の年平均値において，洪水は約1040億米ドルと約三分の一を占めるとされ，地震被害額と同程度を占めている[1]．日本においても2018年7月西日本豪雨の被害額が1兆円を超えたとされることからもわかるとおり[2]，例年のように洪水によって大きな被害が出ている．洪水による被害を軽減することが世界中で極めて重要かつ喫緊の課題であることには議論の余地は無い．

洪水被害軽減はいわゆるハード対策（structural measures）とソフト対策（non-structural measures）に分類される．ハード対策とはダムや堤防の建設に代表されるような，洪水時の河川流量をコントロールすることで河川氾濫を防止・軽減するものであり，直接的な被害を未然に防ぐという意味において大きな効果がある．一方ソフト対策とは，洪水自体の発生を前提として，早期警報や避難誘導の効率化等によって被害を軽減するものである．これらの対策をうまく組み合わせ，最大限の効果を目指すことが大変重要である．中でも，十分早期からの洪水の予測は，住民および行政に対し災害に備える時間的猶予を与えるという意味でも大変有効な手段の一つである．

特に近年，数値気象予測（Numerical Weather Prediction; NWP）の全体的な精度向上により，数時間後はもちろん数ヶ月後までの降水予測でさえも，ある程度の信頼性をもって定量的な利用が可能となってきている．加えて，洪水予測に用いられるモデル標高・土地利用等の数値水文地形情報の充実，衛星を含む河川水文観測網の充実，数値モデリングの改良及び計算機資源の増大等により，時空間スケールに様々な洪水現象の予測，すなわち数値洪水予測（Numerical Flood Prediction; NFP）が実用的なレベルになってきている[3), 4)]．近年では，多数のアンサンブルメンバーを用いた確率的予測[5), 6)]，水文地形情報（hydrography）の高度化[7)]，治水ダム操作のモデリング[5), 8)]，堤防のパラメタ化[9)]など，様々な改良が日進月歩で行われている．加えて，現地で観測された水位や流量の情報や衛星から観測された水面高度や水面面積の情報を数値モデルによる推計値と比較・検証し，さらにはそれらをデータ同化する研究は，洪水予測の精度向上に直接的に寄与するものとして期待されている．こうした数値洪水予測を，全球を対象として実時間運用しているシステムは，世界中でまだそれほど多くはなく，スウェーデンのWorldwide HYPE[10)]，EUのGloFAS[11)]，さらに筆者がJAXAと共同開発を行っているToday’s Earth（TE）[12)]が代表的である．

一方，洪水現象の観測情報として現地での水位観測が大変重要なのは言うまでもないが，リモートセンシング技術の向上による人工衛星から観測される情報の重要性が近年飛躍的に大きくなってきている．洪水時には，水位計が破損するなどして現地観測が欠損することも多いことも理由の一つである．衛星観測の特徴を生かした洪水による浸水域の計測には，Landsatの初号機が打ち上げられた1970年代より地球表層観測用の光学衛星が主に利用されてきた．例えばPekel et al.（2016）[13)]は過去三十年間の歴代Landsatの観測データを使って，同一地点での観測頻度は年に数回程度であるものの，約30メートルという空間解像度で水面域の形を明らかにしている．ただし，特に大雨による洪水時は必然的に当該地域が雲に覆われやすく，雲より下が検

流域治水の今後の展開

The Future of River Basin Disaster Resilience and Sustainability by All

石　川　博　基
Hiroki ISHIKAWA

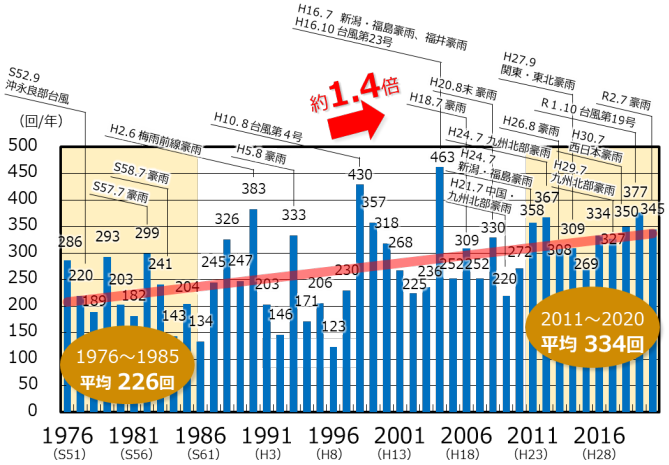
１．はじめに

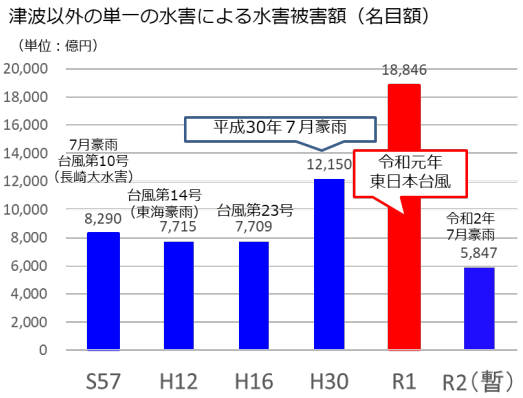
我が国では，近年，気候変動の影響により水災害が頻発化・激甚化しており，このような災害から人命や財産を守るためには，被害が生じる前に事前に対策を講じること（事前防災対策）が不可欠となっている．現在，事前防災対策としての河川整備を加速化させているが，整備には時間を要するため，本川下流のみならず上流や支川など中小河川も含め流域全体で，国・都道府県・市町村，地元企業や住民などが協働して取り組む「流域治水」により治水対策を推進するとともに，これらの治水対策を計画的に進めていくため，将来の気候変動による影響を予め考慮し，順次，治水計画の見直しを行っていくこととしている．本講では，その気候変動を踏まえた治水計画の見直しや，流域治水の取組及び今後の展開を中心に紹介する．

２．気候変動への対応

２－（１）気候変動による水災害の頻発化・激甚化

わが国では，近年，短時間強雨の発生回数の増加（**図-1**参照）や台風の大型化など，既に温暖化の影響が顕在化しており，平成３０年７月豪雨や令和元年東日本台風といった近年洪水の水害被害額が統計開始以来最大を毎年記録している（**図-2**参照）．令和元年東日本台風において，例えば阿武隈川水系では，氾濫による被害額やその復旧等に要する費用が，被害を防ぐための事前の整備費（想定）の５倍以上に及ぶと推定される．（被災前に対策を行った場合の整備費用：約1,300億円　に対し，被災後に要した費用・被害額：約7,000億円（原状回復費：約540億円，被災者・被災地支援，災害廃棄物の処理費等：約940億円，一般被害額：約5,540億円））





※気象庁資料より作成

図-1（左）　１時間降水量50mm以上の年間発生回数（アメダス1,300地点あたり）

図-2（右）　津波以外の単一の水害による水害被害額（名目額）

２－（２）事前防災対策の推進

人命や財産を守るためには，災害復旧等の対症療法的な事後対応でなく，被害が生じる前に事前に対策を講じる

豪雨災害に備える「流域治水」から複合災害に備える「流域防災」へ

From “Flood Control in River Basin” against Heavy Rainfalls to “Multi Disasters Control in River Basin” against Compound Disasters of Earthquake and Meteorological Events

中　林　一　樹
Itsuki NAKABAYASHI

１．はじめに

20 世紀前半の日本は，関東地震(1923)をはじめ南海トラフ地震(東南海 1944，南海 1946)，福井地震(1948)や荒川放水路（現荒川）造営のきっかけとなった東京大水害(1910)をはじめ，大阪を直撃した室戸台風(1934)，枕崎台風(1945)，キャスリン台風((1947)と地震災害と風水害が頻発した．ところが，災害対策基本法のきっかけとなった伊勢湾台風(1959)以降，日本の高度経済成長期は幸運にも大きな災害に見舞われることはなかった．しかし，1980 年代にはＭ７クラスの首都直下地震，Ｍ８クラスの東海地震をはじめ南海トラフ地震の発生が危惧される中，阪神・淡路大震災(1995)が発生して首都直下地震対策，また想定していなかった東日本大震災(2011)の発生は Ｍ９クラスの南海トラフ巨大地震への新たな対応を突き付けた．同時に，21 世紀には，最大震度 7 の地震が各地で頻発すると同時に，その間に全国で風水害が頻発してきて，戦後に整備を継続してきた河川施設整備のみでは水害抑制は困難であると，「流域治水」の取り組みが全国の主要な水系で取り組まれるようになった．21 世紀初頭の 20 年間は，毎年のように地震災害と風水害が繰り返されて，一つの災害から復旧する間もなく次の災害が発生するような複合災害の様相を呈している“荒ぶる 21 世紀”となっている．

本稿は，このような状況下である，荒ぶる 21 世紀にあって，流域治水の取り組みを拡大し，風水害対応としてのみではなく，地震対策にも同時に対応する“流域防災”の発想を提案し，流域単位での自治体間連携に基づく風水害にも地震にも強い地域づくりの提案と可能性を検討することを目的としている．

２．　災害多発時代の日本の 21 世紀

太平洋戦争と大きな風水害・震災が連続した 20 世紀前半を経て戦後復興，とくに奇跡ともいわれてきた高度経済成長期を経て，1980 年代頃から，災害多発時代の到来が危惧されていた．阪神・淡路大震災を経て，21 世紀初頭の 20 年間はまさにその様相を呈している（**表−1**）．

同時に，21 世紀は 1940 年代後半生まれの団塊の世代が高齢化する時代であり，高度経済成長期以降の少子化の傾向も顕著になってきて，21 世紀はまさに世界のトップランナーとして日本は“超高齢社会”に向かっている．その高齢社会の災害における大きな課題となっていく災害犠牲者の高齢化問題は，阪神・淡路大震災で初めて認定された災害関連死の大部分が，高齢者であった．被災を生き延びたにもかかわらず避難生活期，仮住まい期に命を落としてしまう災害関連死の問題は，高齢社会化が進行する 21 世紀になると多発傾向にあり，大きな課題となってきている（**表−1**）．

激化する災害が頻発する事態は，災害被害の増加をもたらす．しかも災害の激化とは，個々の災害の被害を増加させ被災者を増やすとともに，個々の被害程度を激甚化させる．さらに，発生した災害事態に対応して被害の拡大を止め，復旧復興に向かうためのマンパワーと必要物資の需要増大をもたらす．

被災地域での災害対応の第一の担い手は基礎自治体であるが，市町村は平成の大合併によって市町村数を半減させ，その結果，基礎自治体の規模は拡大して財政は充実し職員構成も多様化して平時の行政運営での合理化は進んだといえるが，区域面積が平均 2 倍に拡大した自治体では，災害発生頻度は増大し，対応する人口当たりや区域面

洪水・津波と地震の複合災害に関する基礎研究

Fundamental Study on Compound Disaster due to Flood (Tsunami) and Earthquake

二　瓶　泰　雄
Yasuo　NIHEI

１．はじめに

我が国では，近年，毎年のように豪雨災害が発生しているだけでなく，地震や津波，火山噴火，高波・高潮，竜巻・強風など多岐にわたる災害が発生している．例えば，2018（H30）年では，次々に災害が発生し，年間被害額は2兆円を超えた[1)]．6月18日には，Mw=6.1，最大震度6弱の大阪北部地震が発生し，死者6名の被害が生じた[2)]．続いて，主に7月5～7日に平成30年7月豪雨（西日本豪雨）が発生し，11府県で大雨特別警報が発令され，死者・行方不明者数が245名（2019年1月9日現在）のH30年西日本豪雨が発生した[3)]．これにより，岡山県・広島県・愛媛県で甚大な豪雨災害が発生し，例えば，岡山県倉敷市真備町で高梁川水系小田川の洪水氾濫により，51名の犠牲者が出た[4)]．さらに，9月4日ごろには，非常に強い勢力の台風21号が近畿地方を縦断し，関西空港が浸水するなど大きな高潮災害と共に，最大風速58m/sに伴う甚大な風水害が発生した[5)]．同月6日未明に，Mw=6.7，最大震度7を観測した北海道胆振東部地震が発生し，厚真町を中心に大量の土砂崩れが生じ，死者42名に達した[6)]．このように2018年では，地震と洪水による災害が，場所は違うものの時間的に連続して発生した．このように複数種類の災害が同時もしくは同時期に発生する複合災害が懸念されている．複合災害の種類としては，例えば，「地震と津波」，「地震と土砂災害」，「地震と火山噴火」，「高潮と洪水」，「地震と洪水」などが挙げられる．

これらの様々な災害の組合せの中でも，津波発生の原因の72％が地震であることから分かるように[7)]，地震と津波の複合災害は過去に多く発生している．記憶に新しいところでは，2011年の東日本大震災では，世界観測史上4位のMw=9.0 の大地震直後に，海岸堤防高を大幅に上回る津波が発生した[8)]．このため，岩手県宮古市の海岸堤防は地震で100cm沈下し，その後の津波で決壊した[9)]．また，宮城県仙台南部海岸では，最大で12.9m の津波高を記録し，海岸保全施設の6割で被害を受けた[10)]．さらに，地震と津波の複合災害に関しては，松島ら[11)]が東日本大震災における海岸堤防の被災事例調査及び津波越流時の堤防模型実験を行い，地震で損傷した部分の遮水性が低下したことで，裏のり面コンクリートの流失が生じた可能性が高いことを示した．東日本大震災以降，海岸堤防の設計外力としては，数十年から百数十年に一回の高頻度津波（L1，防災）と最大級津波（L2，減災）が想定されている．特に，堤防を越流する規模の津波でも「粘り強く壊れず，背後地域の被害を最小限に抑える」構造が求められている[12)]．しかしながら，この粘り強い構造に対して，地震と津波が連続して発生する状況は想定されていない．海岸堤防に限らず，多くの社会インフラ施設の計画・設計には複合災害対策は直接的に組み込まれておらず， 1つの災害のみであれば機能する対策も，複合災害の場合，十分に機能しないことも予想される．

一方，地震と洪水は，発生メカニズムが違うため同時期の発生の確率は低く，発生事例も少ない．最も有名なものとしては，1948年の福井県では，6月28日にMw=7.1の地震が発生し，その約1か月後の7月23日に豪雨が発生し，地震により沈下した九頭竜川の堤防が決壊する，という地震・洪水複合災害が発生した[13)]．2018年はそれから70年ということで，災害を風化させないための記念イベントが福井県内で開催された．このような事例や近年の地震・豪雨災害の頻発化を考慮すると，地震と洪水の複合災害もインフラ計画・設計上検

土砂災害を発生させる物理現象

Physical Phenomena Which Cause Sediment Disaster

竹　林　洋　史
Hiroshi TAKEBAYASHI

１．はじめに（竹林・藤田，2019）

2018 年の西日本豪雨時の広島県・愛媛県，2019 年の台風 19 号時の宮城県など，近年，高強度豪雨によって発生する表層崩壊に起因した土石流・泥流による土砂災害が毎年のように発生している．土石流・泥流から市民の生命と財を守るためには，形成される土石流・泥流の流動特性を土砂災害対策施設の設計や住民の避難のために必要な精度で評価することが重要である．

土石流・泥流対策を実施する上で求められる情報としては，土石流・泥流の氾濫域，流動深，流速，土石流・泥流による生産土砂量などであろう．土石流渓流からの土砂流出量を考えると，行政が土砂災害対策を考えるときに用いられる土石流渓流からの土砂流出量は，最も規模の大きい単一の渓流からの土砂流出量を用いる．つまり，支川からの土砂流出は考慮されていない．しかし，2018 年の西日本豪雨に限らず，2017 年の九州北部豪雨，2014 年の広島土砂災害など，支川を有する一つの流域において豪雨時に複数の斜面崩壊が発生し，複数の渓流から土石流として土砂が流出することは非常に多い．本講義ノートで紹介する平面二次元の土石流・泥流数値シミュレーションモデルでは，各支川で発生した土石流・泥流の起点となる斜面崩壊を考慮すれば，複数の支川で発生した土石流・泥流を考慮した土砂流出量の推定が可能となる．また，斜面崩壊の発生から宅地に土石流・泥流が到達するまでの時間や宅地で氾濫時の土石流・泥流の流速や流動深の時空間的な分布も数値シミュレーションによって予測可能であり，宅地内の各家屋に有効で実施しやすい避難方法を個別に提案できる．このように，数値シミュレーションによる土石流・泥流の解析では，効率的で効果的なハード・ソフトの土砂災害対策を検討するための情報を提供することが可能である．

また，河岸・堤防の浸食，局所洗掘，河床上昇による氾濫など，山地域だけでなく河川下流域でも土砂災害が発生する．2021 年の青森県の下北半島北部での豪雨災害では，小赤川下流域で河床低下と河岸浸食によって道路橋が落橋するとともに，大量の流木が橋梁上流域の河道を閉塞し，水及び土砂を氾濫させた．2011 年の紀伊半島南部の豪雨災害では，那智川下流域で河岸浸食とともに JR 橋が落橋した．2013 年の京都・滋賀水害では，渡月橋で堰上げられた流れにより，多くの土砂と流木を含む流れが氾濫するとともに，迂回流によって中ノ島が浸食された．さらに，2015 年は鬼怒川下流で堤防及び堤内地地盤が浸食され，多くの土砂を含む洪水流が氾濫した．このような河川下流域の土砂災害は，河川工学分野における基礎的な研究課題として，古くから研究が実施されており，近年では，数値シミュレーションによる現象の再現により，現象の特性を把握し，土砂災害対策の立案に利用されている．

本講義ノートでは，まず，土石流・泥流を対象とした平面二次元の河床変動解析の基礎方程式を示すとともに，2018 年に広島市安芸区矢野東で発生した土石流災害の現地調査結果を紹介するとともに，平面二次元数値シミュレーションの結果を例にして，土石流・泥流の数値シミュレーションによる解析技術と解析結果の利用方法について紹介する．次に，平面二次元流れの掃流砂・浮遊砂を対象とした河床変動解析の基礎方程式を示すとともに，2021 年の青森県むつ市で発生した橋梁落橋及び河道閉塞による水と土砂の氾濫現象の現地調査結果を紹介するとともに，橋梁周辺で発生する河床変動及び堤防・河岸浸食の平面二次元数値シミュレーションの結果を用いて，河床変動及び堤防・河岸浸食の特長と対策例について紹介する．

洪水･土砂災害による人的被害と避難

Human Damages and Evacuation due to Flood and Sediment Disasters

牛　山　素　行
Motoyuki USHIYAMA

１．はじめに

本稿では，近年の日本における大雨に伴って生じる洪水･土砂災害による人的被害の特徴と，人的被害軽減策の1つである避難や，ハザードマップの意義と利用上の注意事項などについて，筆者の調査研究結果や，国のガイドラインなどを踏まえて論じたい．なお本稿の一部は筆者の既発表論文のデータや文章を利用している．該当箇所は都度注記する．

２．用語の整理

まず本稿で用いる主な用語を簡単に整理しておきたい．

●Hazard，外力，災害

地震，津波，大雨といった激しい自然現象はそれ自体が災害ではなく，英語ではHazardと呼ばれる．Hazardに対応する一般的な日本語が定まっていないが，たとえば外力，現象，加害力などといった言葉が用いられている．本稿では主に「外力」の語を用いることとする．Hazardが人間の社会に作用して被害が生じると災害となる．たとえば災害対策基本法第二条では，「災害」とは「暴風，竜巻，豪雨，豪雪，洪水，崖崩れ，土石流，高潮，地震，津波，噴火，地滑りその他の異常な自然現象又は大規模な火事若しくは爆発その他その及ぼす被害の程度においてこれらに類する政令で定める原因により生ずる被害をいう」とされている．「暴風～異常な自然現象」が自然現象としてのHazardであり，後半の人的な要因と合わせて，これらの「原因により生ずる被害」が災害であることが明記されている．

●大雨，洪水災害，土砂災害，風水害

「大雨」は日常的にも用いられる言葉だが，気象庁では「災害が発生するおそれのある雨」と定義している(気象庁，2021)．大雨によっていわば二次的に生じる自然現象が洪水や土砂移動現象(崖崩れ･地すべり･土石流)であり，これらによって被害が生じると洪水災害，土砂災害となる．洪水災害，土砂災害などを総称する言葉として「風水害」という言葉も用いられる．気象庁の定義によれば「強風と大雨および高潮，波浪により起こる災害の総称」である(気象庁，2021)．このような総称があることが示唆しているように，強風と大雨，そして海岸付近であれば高潮や波浪による災害というのは，それぞれ規模の大小はあるとしても，基本的には同時並行的に発生しうるものである．大雨による洪水災害や土砂災害についても同様で，洪水しか起こらない，土砂移動現象しか起こらないといったことはまず考えられない．これらの災害が同時に起こっても「複合災害」とは言えない．これらの現象は同時に発生するものと捉え，目配りをすることが重要だろう．

●死者･行方不明者，直接死･関連死

本稿での「人的被害」とは，死者および行方不明者を指すものとする．以下では，死者･行方不明者を合わせて「犠牲者」と記述する場合がある．なお，本稿における筆者自身の集計における死者は基本的に直接死を対象としている．近年の自然災害では死者数に関連死(災害関連死者)が含まれることが多い．災害関連死者とは「災害による負傷の悪化，避難生活等における身体的負担による疾病による死者」とされている(復興