

2025年度（第60回） 水工学に関する夏期研修会講義集

A コース

Lecture Notes of the
60th Summer Seminar on Hydraulic Engineering, 2025
Course A

土木学会
水工学委員会・海岸工学委員会
Committee on Hydrosience and Hydraulic Engineering,
Coastal Engineering Committee,
JSCE

2025年8月
August 2025

2025年度（第60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

水工学のパラダイムシフトをもたらす技術・研究

C-1	大規模アンサンブル気候予測情報活用の基礎：pythonによる取得から簡易な解析までの実践	九州大学 准教授	渡部 哲史
C-2	地域防災への地理空間情報の利活用	九州大学 教授	三谷 泰浩
C-3	防災・減災をめざしたAIの利活用	琉球大学 准教授	宮田 龍太
C-4	河川・海岸の治水計画にたずさわる技術者のための多変量と単変量の極値統計理論の基礎	名古屋工業大学 教授	北野 利一
A-1	治水機能確保と環境影響最小化を目指した流水型ダムに関する技術的検討～川辺川ダムと阿蘇立野ダムによるケーススタディ～	九州地方整備局 川辺川ダム砂防事務所長 (執筆時)	齋藤 正徳
A-2	Nature-based solutionsとカーボンニュートラル	神戸大学 教授	中山 恵介
A-3	気候変動適応分野での水工学の実践～影響評価から適応策まで	岐阜大学 教授	原田 守啓
A-4	生物分布モデルの予測値をかわづくり に生かす	九州大学 教授	鬼倉 徳雄

大規模アンサンブル気候予測情報活用の基礎： python による取得から簡易な解析までの実践

Basic training course on utilizing large ensemble climate datasets
Hands-on Practice: From Data Acquisition to Basic Analysis Using Python

渡部 哲史
Watanabe Satoshi

1. 本講義の背景と目的

大規模アンサンブル気候予測情報の活用が進んでいる。我が国においては文部科学省等により整備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 database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF) ¹⁾が広く活用されている。この d4PDF シリーズのデータセットはデータ統合・解析システム(DIAS)により公開されており、ユーザ登録を行うことで公的な研究者のみならず民間企業を含めた多くの人が利用可能である。

大規模アンサンブル気候予測は最大 100 (全球実験、現在期間再現) という多数のアンサンブル実験が行われているところに特徴があり、合計数千年分のデータセットが活用できることが、気候変化による各種の影響やリスクを明らかにする際に非常に有益である。例えば、水害リスクについて分析する際に 100 年に 1 度など低頻度 (稀な) 事象について理解することの重要性は高く、その理解には 100 年に 1 度の事象が何度も含まれるデータセットが大いに役立つ。合計数千年分のデータセットはそのような稀な事象に対する統計的な分析を可能にするという点で気候予測データセットとして高い活用可能性を持っている。

大規模アンサンブル気候予測情報がその大量な情報量ゆえに気候変化リスク評価に有益である反面、データの取得や取り扱いに関するハードルが高くなっている。データサイズが限られる場合はテキストファイルなど直接内容の確認できるファイル形式を用いることができるが、データ量が膨大となる場合はファイルサイズや処理の取り扱いに適したファイル構造および形式とならざるを得ない。それらのファイルの取り扱いには GUI (Graphical User Interface、アイコンやボタン等で直感的に操作できる) ではなく何らかのプログラム言語によるデータ処理が必要となる。

また、水工学や海岸工学分野の場合、世界全体や日本全体を対象とした分析を行うよりも、ある流域やある水域といったような限られた地点を対象とした分析が行われることが一般的である。このこともまた、データの取り扱いを困難としている。気候予測情報はある時点における実験結果の 2 次元もしくは 2 次元の情報が一つのデータ単位として取り扱われている。すなわち、例えば日本のある地点における降水量を知りたい場合に、その対象地点のみならず日本全体を含むファイルを扱う必要がある。つまり、高々数地点のデータを得るためにも数万～数十万地点を含むファイルを扱うなくてはならない。このことが大規模アンサンブル気候予測の取得や利用におけるハードルの一つとなっている。

本稿では、上述の d4PDF を対象として大規模アンサンブル気候予測データを取得し、分析する方法について python を使った事例により紹介する。取得に関しては d4PDF を配布する DIAS の利用方法を踏まえた説明になるが、解析手法に関しては d4PDF に限らず他のデータセットの分析の際にも参考となるものである。取得に関しては上述のファイル構造の問題を踏まえた著者独自のデータセットの紹介について紹介する。これは地点単位の利用が主となる水工学や海岸工学分野の実態を踏まえ、ファイル構造を、ある時間における空間データからある地点における時間データへと変換したものである。このデータの活用により扱う必要のあるデータサイズを大幅に削減することが可能と

なり、場合によってはテキストファイルや csv ファイルなど直接確認することが可能なデータ形式での分析が可能となる。

大規模アンサンブル気候予測データ処理として本稿にて扱う内容は表-1 のとおりである。取得方法に加えてデータ基礎的な処理や図化、さらに気候予測情報の活用の際に広く実施されるバイアス処理の簡易的な方法について解説する。

データ処理の実例を示す python については初歩的な知識（条件式や分岐、繰り返し処理、モジュールと import など）を有していることを想定するが、できるだけそれらに不安がある場合にも理解できるように平易な解説を試みる。これらの基礎については無料で利用可能な WEB サイト等でも多数解説があるので適宜参照頂きたい。

2. データの取得

2.1. データや実験の選択

(略：本番では公開)

2.2. 取得方法

ここでは DIAS からデータを取得するための 2 つの方法を紹介する。一つは WEB サイトで用意されたインターフェースを通じてのデータの取得である。2.1 において解説した、取得したい実験内容（データセット）によりインターフェースが異なり、選択できる範囲が異なる。もう一つは WEB サイトから取得できる python スクリプトを用いたダウンロードである。いずれの場合でもデータセットの全てを取得するかそれとも切り出しを行うかという選択が可能である。切り出しを行う場合 DIAS 上のサーバにおいてユーザが必要とする実験設定、変数、期間、空間領域などに応じたデータのみ取得することが可能である。ファイル全体（複数の変数が一つのファイルに含まれているなど、単に空間領域がすべて含まれるということの意味しているわけではないことに注意）を取得する場合に比べてデータサイズが大幅に小さくなるため、ダウンロードの通信に係る負荷を削減できる。しかしながら、切り出しの作業を DIAS サーバ側で行うため、データの準備（切り出し）に必要となる時間が必要となる点に注意が必要である。条件により異なるが、ダウンロードにかかる通信の負荷よりもデータ切り出し処理にかかる負荷の方が大きい場合も多い。データ処理能力を有している場合（本稿において解説）は、切り出すデータの内容によってはファイル全体を取得してユーザ側で切り出す方が早い時間で処理を完了できる可能性もある。

対象地点を選択してデータ取得する場合に必要なのが取得領域の設定である。図 1 のように取得したい領域を赤枠で設定できるが、本稿読者の場合はこの領域が広すぎであったり、詳細な設定が困難であったりという場合も少なくないと考えられる（気候や気象など、ある程度広い領域を対象とする場合は問題とならない）。かわりに上下左右端を数値で設定することも可能である。ただし、その設定は (in pixels) となっており、対象とする領域がどのピクセルに該当するかという情報が必要となる。各ピクセルの位置情報については固定値に関するファイルを取得することで理解できる。ここでは該当するピクセルを簡易に探索できる方法を紹介する。

表 1 対象範囲

内容	詳細
取得	・ データや実験の選択 ・ 取得方法 ・ 独自データセット紹介
データ処理 (基礎)	・ データの抽出 ・ 基本的な統計量の計算 ・ 図化
データ処理 (応用)	・ 簡易的なバイアス処理

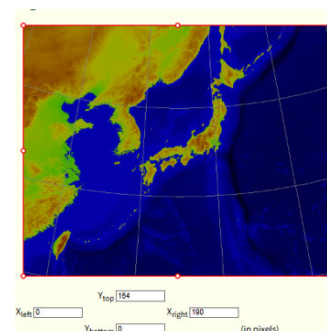


図 1 領域の設定
(DIAS d4PDF 取得サイト
スクリーンショット)

地域防災への地理空間情報の利活用

Application of Geospatial Information for Regional Disaster Prevention

三谷 泰浩
Yasuhiro MITANI

1. はじめに

近年、地理空間情報技術は急速に発展し、行政、産業、生活の各分野において不可欠な基盤技術となってきた。特に災害分野においては、地理空間情報の活用が災害リスクの評価、被害状況の把握、避難誘導、復旧支援などにおいて重要な役割を果たしており、地域防災とのかかわりも深まっている。

簡単に地理空間情報の歴史を振り返ると 1990 年代ごろから、GIS（地理情報システム）の導入が進み、自治体や研究機関において空間データの管理・分析が少しずつ可能となった。これにより、都市計画や環境管理に加え、阪神・淡路大震災では、災害リスクの可視化が実現され、ハザードマップの作成などが本格化してきた。2000 年代には、GPS（全地球測位システム）の民間利用が拡大し、個人レベルでも位置情報を活用できるようになり、さらに、衛星リモートセンシング技術の進化により、広域かつ高精度な地表観測が可能となり、災害発生時の迅速な状況把握に貢献した。

こうした技術の進展を背景に、2007 年には「地理空間情報活用推進基本法（平成 19 年法律第 63 号）」が制定された。この法律は、地理空間情報の高度な活用を通じて、国民が安心して豊かな生活を営むことができる経済社会の実現を目的としている。また、国および地方公共団体の責務を明確にし、情報整備、人材育成、連携体制の構築など、地理空間情報の活用に関する施策を総合的かつ計画的に推進することを定めている。

このような時代の変遷を経て、現在では、地理空間情報は、地域防災の各段階において活用されている。災害予防の段階では、自治体が地域の地形や過去の災害履歴をもとにハザードマップを作成し、住民への情報提供や避難計画の策定に役立てている。これにより、地域住民の防災意識の向上と事前準備の促進が図られている。また、発災後の災害対応段階では、災害発生直後に航空写真や衛星画像を用いて被害状況を迅速に把握することが可能となっており、例えば、2011 年の東日本大震災では、地理空間情報を活用した被災地のマッピングや避難所の位置情報の共有が行われ、救援活動の効率化に寄与した。また、近年では、SNS やスマートフォンから得られる位置情報をもとに、避難者の動向や支援ニーズをリアルタイムで把握する取り組みなども進められている。そして、災害復旧段階では、被害の程度や復旧の優先順位を地理空間情報に基づいて判断することで、インフラの再建や資源の配分が合理的に行われている。近年では、ドローンによる空中撮影や IoT センサーによる地盤変動の監視など、新たな技術の導入が進んでおり、災害対応の精度と速度が向上しているのが実状である。

一方で、災害に目を向けると日本各地で、度々大きな自然災害に見舞われている。2015 年の鬼怒川の堤防決壊、2016 年には北海道・東北地方で、2017 年には線状降水帯が原因の九州北部豪雨、2018 年 7 月の西日本豪雨では、西日本から東海地方を中心に広範囲で洪水氾濫や土砂災害が発生し、死者・行方不明者あわせて 220 名以上もの尊い命が失われた。また、2020 年には熊本県を中心にした豪雨災害が発生するなど、深刻な風水害が発生している。このような最近の災害の激甚化、多発化する自然災害は、地球温暖化に伴って気象が極端化していることにも起因しているとされており、これから先の将来、我々は自然災害を避けて通ることはできないような状況にある。

このような状況の下、災害による犠牲者を無くし、被害を最小限にとどめ、また、早期の復旧・復興を実現するレジリエントな社会の構築に向けた取り組みが数多く実施されている。2011年に発生した東日本大震災以降、防災に対する認識が大きく変化し、自然災害に対して、想定外のことが起こりうるという考えから、防災から減災へという考えが普及し、国土強靱化や水防災意識社会再構築などハード・ソフトの両面から、自然災害へ備える必要があると考えられるようになってきている。

本稿では、改めて、防災・減災の考え方についてハザードとリスクの考え方、情報の重要性の観点から現状の課題について整理する。そして、それらが有する課題を解決すべく地理空間情報を活用した防災への利活用として、地域防災に適用した事例、さらには、地理空間情報を活用し、構築した新たな防災情報システム（市町村災害対応統合システム）の特徴について示し、地理空間情報の災害分野および地域防災における今後の展望について考察する。

2. 防災・減災における情報の役割

防災・減災といった災害の対策において、近年重要となってきたのが、情報の利活用である。情報とは広辞苑によれば「判断を下したり行動を起こしたりするために必要な、種々の媒体を介しての知識」とされている。この情報というものは、以下のような特徴を有する。

- ① 情報そのものに価値はない。
- ② 情報は活用されて初めて価値をもつ。
- ③ 情報の価値は人によって異なる。
- ④ 情報は記号と意味（価値）から構成される。
- ⑤ 情報は記号を使って測ることができるが、価値は測ることができない

この情報の5つの特徴について整理する。例えば、英語で「saury」という単語がある。この単語の意味を知っていなければ、この英語の綴りに対して価値は存在しない（①）。しかしながら、この意味を「サンマ」もしくは「秋刀魚」と日本語で表現した時点で、我々はこの意味を認識でき、この情報は価値を持つことになる（②）。しかし、例えば、米国人にサンマという魚の意味を伝えたとしても、何人の人がこのサンマという魚の価値を理解できるか不明である。つまり、サンマという魚を食べる習慣がない人にその情報を伝えたとしても価値は理解できない（③）。そして、サンマという意味を英語、カタカナ、漢字で表記したが、これはいわゆる記号であり、この記号が理解できれば意味が生まれてくる（④）。最後に、文字（記号）や図を使うことで定量的に表現ができるが、価値は前述した通り、人によって異なることから比較はできても測ることはできない（⑤）。

このようなことを踏まえて、防災・減災と情報の関係性を考えてみる。例えば、1時間に50mmの降雨があったとすると、この50mmというものは一種の情報と考えられる。しかしながら、1時間に50mmという雨の量がどのようなものか、想像がつかなければ、この情報は価値を有していないこととなる。実際には、「バケツをひっくり返したような雨」と言われるのだが、このような価値付けができていなければ、結局、危険な豪雨であることはわからない。そして、この雨量が危険な豪雨であることが分かってもそれが避難行動に結びつくかどうかは、その人の考え方次第となる。この考えをもとに災害の情報とその価値の関係性について図1に示す。

図に示すように、先の雨量の例に沿って考えると時間50mmの雨量は「データ」と呼ばれるものに相当する。このデータは量的には大量に存在するが、人による意味づけ（価値）は、ほとんどなされていないと考え

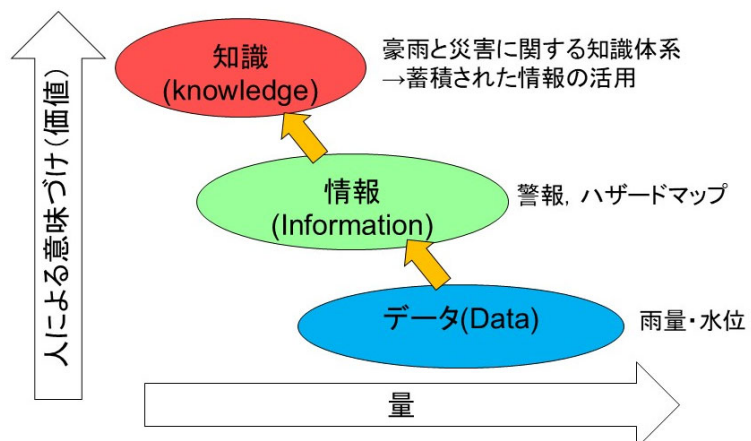


図1 災害の情報とその価値の関係性

水工学に関する夏期研修会 ～防災・減災をめざした AI の利活用～

Summer Training Course on Hydraulic Engineering - Application of AI for disaster prevention and mitigation -

宮田 龍太
Ryota Miyata

1. はじめに

日本は、台風や竜巻、地震、洪水をはじめ多様な自然災害が頻発する国であり、近年の気候変動は各地域での災害リスクを高め、また都市化の進展は被害の規模を拡大させる傾向にある。さらに昨今の少子高齢化の進行は、防災施設の整備限界や災害対応を担う人材の不足という社会構造的な脆弱性を加速させる方向に作用し、災害発生時の対応能力に強い制約をもたらしている。このような複合的な課題に直面する中で国民の生命と財産を守るべく、堤防やダムの整備などハード面に関する対策と、防災気象情報の高度化や避難訓練の改善といったソフト面の対策を両輪で推進し、効果を飛躍的に高めることが喫緊の課題となっている。

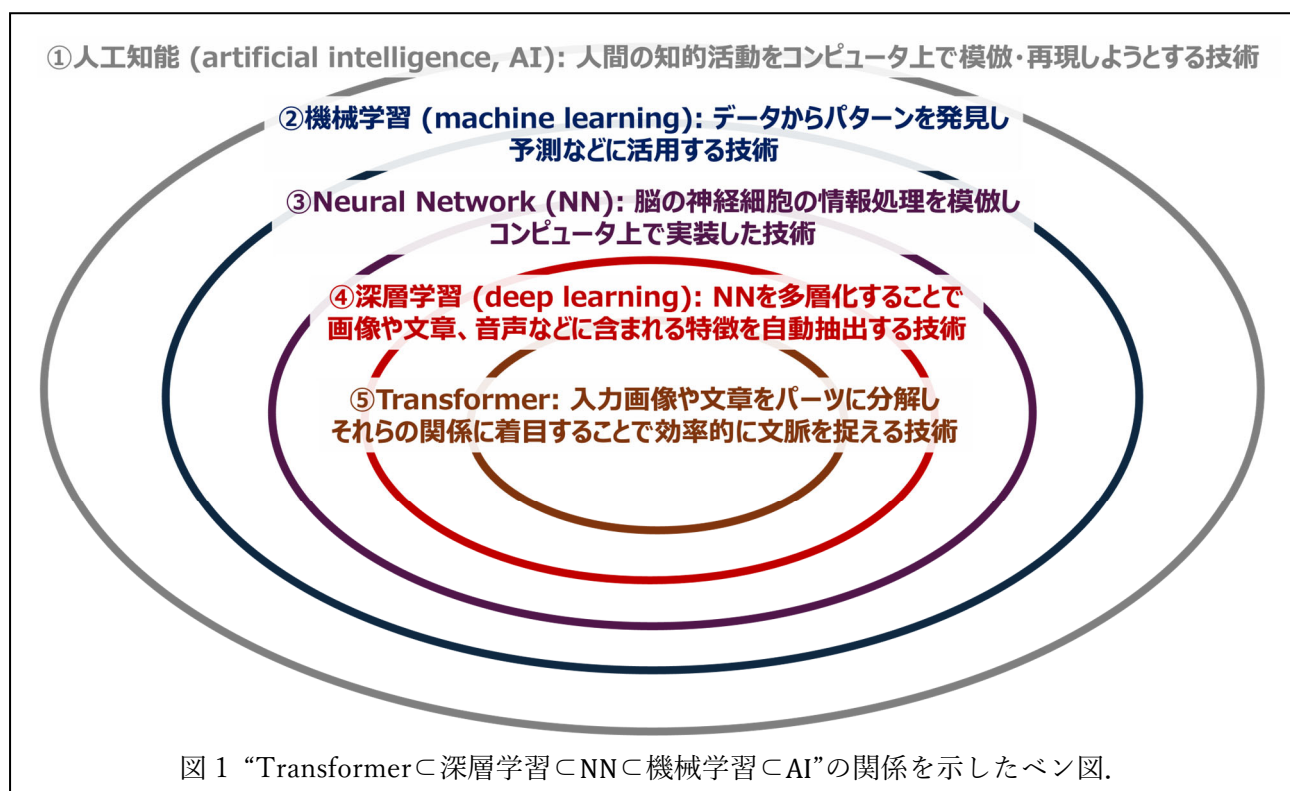
上記の背景から人工知能 (artificial intelligence, AI)、ことに機械学習 (machine learning) の利活用が防災・減災分野における変革をもたらす可能性のある技術として期待を集めている。この 10 年で画像や文章、音声といった我々が普段見聞きするデータから有意な情報を抽出する深層学習 (deep learning) が台頭してから、精度の高い予測やパターンの発見、複雑な組み合わせ最適化ができるようになった。深層学習をうまく使うと、例えばインターネット上に投稿された情報の要約や異常検知などが可能になるため、業務効率化や標準化を通じて災害発生前から復旧・復興に至るまでの多岐に渡るフェーズで貢献できるポテンシャルを秘めている。また、AI の導入によって限られた人的リソースを補完しながら状況の変化をリアルタイムで把握し、迅速かつ柔軟な意思決定を支援できる点もとても魅力的である。したがって AI の導入は単なる技術的進歩に留まらず、社会全体のレジリエンス (回復力) を向上させるための戦略的な取り組みとして位置づけられている。

本稿では表題のテーマのもと、目覚ましい進展を遂げている画像認識 AI や生成 AI、説明可能 AI に注目し、活用事例や現場が直面している課題について解説する。具体的な構成は次の通りである：第 2 章で AI の概要について紹介し、第 3 章では当該研究室で過去実施した防災・減災をめざした AI の利活用研究として「画像認識 AI を用いた気象衛星画像からの台風強度分類および説明可能 AI を用いた判断根拠の可視化^[1]」について簡単に説明する。最後に、第 4 章で統括と今後の展望について言及する。

2. AI の概要

図 1 に本稿のキーワードである AI、機械学習、そして深層学習の包含関係をベン図により示す。機械学習を使った研究がデータ駆動型 (data-driven) と呼ばれる理由は図中②の一言解説の通り、観測データが全ての起点となるからである。計算機科学の原則として “Garbage in, garbage out” という概念があるが、ここでもそれが前提条件として適用されるため、ノイズの少ないデータは重宝

される。



コンピュータにルールを明示的にプログラミングすることなく過去の事例から傾向を自ら発見し未知のデータにも対応できる汎化性能を獲得する方法を考案する分野という趣旨での機械学習が AI 研究の主軸として 1960～1980 年代に確立されていた当初は、コンピュータの性能限界から気温や湿度のようにあらかじめ計測しておいたテーブルデータ（数値）が入力として想定されていたが、2010 年代にいわゆる④の深層学習が提案されて以降、画像や文章、音声といったスマートフォンやタブレットでも手軽に収集もできるデータが主流となっている。これにより、例えばドローンで空撮した橋梁の映像から亀裂が入っている箇所を深層学習で特定が可能になったため、従来なら人間の目視に依存していたインフラ点検作業の効率化、標準化、低コスト化、安全性、および精度の向上が実現されつつある。また近年では、AI による自動解析結果（点検履歴）をクラウドサービスで一元管理するなど、保守計画全体のスマート化をめざす取り組みも進んでいる。次の章で紹介する筆者らの研究においても、深層学習を使って人工衛星で撮影された画像を分析することで、海上という気象観測が十分には行き届いていない地域でも台風の状況把握を可能にしている。この“人間が直接確認に行かなくて済む”ことが、水工学における AI 利活用の意義になり得ると筆者は考えている。このような技術の進展は、労働人口の減少に伴う保守要員不足への対応策としても注目されている。

さらに 2020 年代からは図中⑤の Transformer^[2]の登場を機にコンピュータによる文脈理解が大幅に進んだ。実際この技術は、一般社会にも普及した ChatGPT^[3]や Gemini^[4]に代表される大規模言語モデル (large language model, LLM) の基盤になっている。それまでの機械学習、例えば犬猫分類を行う画像認識 AI として真っ先に思い浮かぶような convolutional neural network (CNN) だと、各ピクセル（説明変数）とラベル（目的変数）との紐付け（適切な入出力関係の獲得）をいかに実装するかに注力がなされていたが、Transformer では self-attention（自己注意）機構によりピクセル間の紐付け（入力データ内の前後関係の把握）を行った上で入力と出力を包括的に対応づけるため、より複雑で柔軟な情報処理を実現すると目されている。ただしこの能力を獲得するには、大量の画像や文章を用いた学習によって膨大なモデル内部パラメータを決定する必要がある。高い精度を実現できる一方で、Transformer は計算負荷が大きく学習や推論に多大な計算資源を要するため、軽量な

1. 超過確率と生起率（極値統計解析をすることで得られるものの主産物）

1) $\exp$ が極大値と期間最大値を結ぶ（ポアソン確率）

「非超過確率」という言い回しは、混乱を招くものとして個人的にはできる限り使わないように心がけて、通常は累積確率とよんでいる。言うまでもないが、1 から累積確率を引いたものが、超過確率である。もちろん、これを非累積確率という人は皆無であろう。ここではあえて、非超過確率を用いる方が、意味が明確になり、適しているかもしれない。ここで、後述に示すとおり、ポアソン確率を考えれば、次式が成り立つ。

$$\exp(-\text{生起率}) = \text{非超過確率} \quad (1)$$

ここに現れている生起率ならびに非超過確率は、いずれも「率」であり、割合を示すものである。左辺における生起率とは、ある期間が与えられた時に、降水量や高波の波高の極大値がある閾値を「超える」生起数の期待値である。時間長に対する極大値をとるイベントの生起数という割合（rate）になっている。これに対して、右辺の非超過確率は、文字どおり「超えない」割合である。時間長を例えば年単位で区切って、 n 年であるとする、年最大値がある閾値を超えなかった年数の全体の年数に対する割合（proportion）である。

$\exp$ （指数関数）が、「超える」と「超えない」を結んでいるように見えるが、年最大値に関して言えば、「超える」と「超えない」の関係は、冒頭の非の話のとおり、単純に次式で表される。

$$\text{非超過確率} (= \text{累積確率}) = 1 - \text{超過確率} \quad (2)$$

$\exp$ が中立ちしているのは、ある値 y を閾値として、極大値が閾値を超えるイベント数の時間に対する割合と期間最大値が閾値を超えない割合である。式 (1) を改めて、キチンと数式で表せば、単変量極値の場合、

$$\exp\left\{-E\left(\sum_{i=1}^m 1\{Y_i > y\}\right)/n\right\} = E\left(\sum_{j=1}^n 1\{Y_j \leq y\}\right)/n \quad (3)$$

となる。ここで、 $1\{\text{condition}\}$ は condition が成立すれば 1 を、成立しなければ 0 をとる計数関数であり、式 (3) の左右において、閾値 y は共通の値であるが、ここでの確率変数 Y_i と Y_j は異種であることに注意する必要がある。さらに言えば、右辺の n は最大値 Y_j の個数、すなわち、データのトータルの観測年数で、当然、定数であるのに対し、左辺の m は n 年間に生起する極大値 Y_i の個数であり、 m は確率変数である（確率・統計分野の慣習に従えば、大文字で記すべきであるがそうしていない）ことに留意する。

以上の議論は、多変量極値への展開に必要な布石になっている。2.3) で式 (3) を多変量に拡張する。

2) $\log$ による数遊び（数字に慣れる）

前節の内容の理解のために、 $n = 40$ 年間のある地点での高波の年最大値波高 Y_j の順序統計量（昇順） $Y_{j:n}$ （ここで、時系列の年順と順序統計量の順位に同じ記号 j を用いているが、一方には $:n$ を付けるため、混乱は無いはずだ）に対して、次式に示すプロットイングポジション（pp）公式で累積確率を割付け、超過確率の逆数を再現期間として、横軸を西暦年、累積確率、再現期間（対数軸）の 3 種で図示したものを図-1 に示す。

$$P(Y_{j:n}) = \frac{j - \alpha}{n + \beta} \quad (4)$$

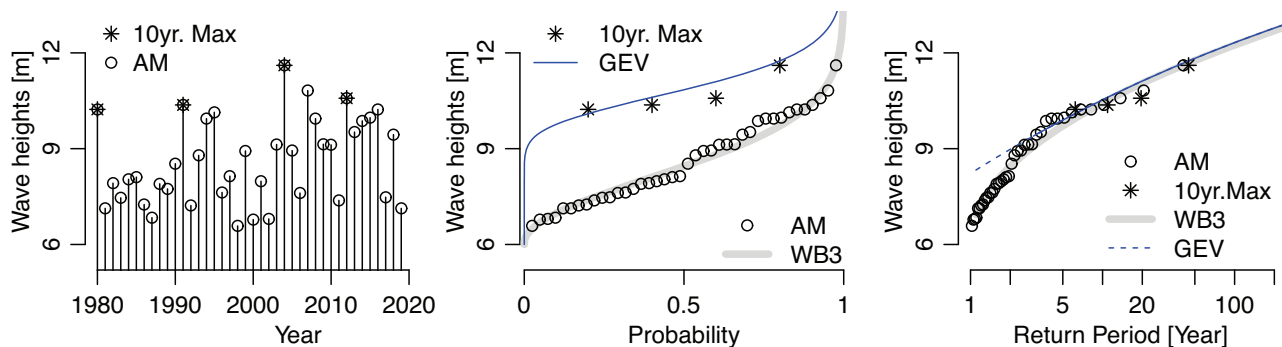


図-1 40年間の年最大値資料の表示

pp 公式の定数 α, β は、さまざまな提案がある¹⁾が、正解は無い。なぜなら、順序統計量は確率変数の実現値であり、定数では無いにもかかわらず、pp 公式により割付けられる確率は、定数であるので、根本的に対応していない。統計的変動性を考慮に入れて、なんらかの代表値（期待値、中央値、最頻値など）で代用しようとする、母分布が必要となる。そうすると、異なる母分布に対してもできるかぎり許容できるユニバーサルなものを考案しなければならないと考えたくなる²⁾が、それが本当に良い考えであろうか？むしろ、検討する状況と何を優先すべきかに応じて、適材適所で選択するのが良いように私は思う。逆に言えば、定数 α, β の取り方で、見た目の印象が大きく変わるような特性に目を向けてはいけないうのが、pp 公式の本来的な使い方であろう。ここでは、単純さの観点を優先させて、ワイブル公式 $\alpha = 0, \beta = 1$ を用いている。

対数スケールでとった再現期間（逆に言えば、再現期間の対数値）に注目しよう。R を立上げれば、

```
> round(log(c(0.3, 1, 3, 10, 20, 50, 100, 200)), 3)
[1] -1.204 0.000 1.099 2.303 2.996 3.912 4.605 5.298
```

を得ることは容易であろう。log 20 $\approx$ 3.0 というキリの良さは特筆に値する。また、log 3 $\approx$ 1 と言いたいところである（もちろん有効数字 1 桁であれば、通用する話である）が、log 3 $\approx$ 1.1 としておくのが良いだろう。また、log 10 $\approx$ log₁₀ 200 $\approx$ 2.3 であるので、log 200 に対して、

```
> 2.3 * 2.3
[1] 5.29
```

を得る³⁾（もちろん、log 200 $\approx$ 2.3 + 3.0 = 5.3 による近似もあろう）。「数字に慣れる」とは、このような数の単純なオモシロさ（数の個性？）に気付くところにある（と私は思う）。このように見れば、残りの値（例えば、log 50 $\approx$ 3 $\times$ 2.3 - 3.0 = 3.9, log 0.3 $\approx$ 1.1 - 2.3 = -1.2）にも親しみを覚えるのではなかろうか？

3) 2種類の再現期間

一般化極値分布（Generalized Extreme Value distribution, GEV）の累積確率 $G_n(y)$ は、生起率 $\lambda_n(y)$ を用いて、

$$G_n(y) = \exp \{-\lambda_n(y)\} \quad (5)$$

と表される。これは、式 (3) の左右を入替えたものに相当し、 $G_n(y)$ は n 年最大値が y を超えない累積確率である。そして、 $\lambda_n(y)$ は n 年間に発生した極大値が y を超える生起率であり、次式で与えられる。

$$\lambda_n(y) = \left(1 + \xi \frac{y - \mu_n}{\sigma_n}\right)^{-1/\xi} \quad (\text{for } \xi \neq 0), \quad \lambda_n(y) = \exp\left(-\frac{y - \mu_n}{\sigma_n}\right) \quad (\text{for } \xi = 0) \quad (6)$$

式 (5) の左右を、 $\lambda^k \exp(-\lambda)/k!$ ($k=0, \lambda=\lambda_n(y)$) で与えられるポアソン確率がつないでいる。なお、式 (6) の導出や特性などについてはここでは展開せず、3. で詳述する。式 (5) から言えることは、期間最大値データに対して、GEV の母数推定を行った場合には、期間最大値に対する累積確率が推定されただけでなく、それと同時に、極大値に対する生起率も推定されていることだ。そこで、生起率の逆数を再現期間と定義することもできる。ここで、 $\lambda_n(\mu_n) = 1$ であり、これは、 n 年間に μ_n を超える極大値のイベント数の平均が 1 回であることを意味するので、GEV の位置母数 μ_n は、再現レベル（再現期間 n 年の確率外力）である。この

治水機能確保と環境影響最小化を目指した流水型ダムに関する技術的検討

～川辺川ダムと阿蘇立野ダムによるケーススタディ～

Technical Study on Flood Retention Aiming to Ensure flood Control

Functions and Minimize Environmental Impact

～ Case Studies of Kawabegawa Dam and Aso-Tateno Dam ～

齋藤正徳, 北嶋清

Masanori SAITOU, Kiyoshi KITAJIMA

1. はじめに

流水型ダムの歴史は古く、16 世紀にイランで、18 世紀にはフランス、その後、アメリカなどでも建設され、多くのダムは現在でも洪水調節機能を発揮されている。日本国内でも昭和 30 年代から 50 年代に土地改良事業で農地防災を目的とした中小規模の自然調節方式のダムが建設されている。また、国土交通省所管の流水型ダムとしては、島根県益田川ダム、鹿児島県西ノ谷ダム、石川県辰巳ダム、長野県浅川ダムが建設されている。国土交通省九州地方整備局が事業主体である川辺川の流水型ダム及び阿蘇立野ダムも含め、国土交通省所管の流水型ダムは全国で 15 事例存在している（2024 年 12 月時点）。

流水型ダムとして建設した、または建設中のダムにおいて、なぜ貯留型ダムでなく流水型ダムとしたのか、その理由として、治水機能の確保や環境上の課題、地元情勢など様々な背景や理由があると考えられる。流水型ダムに係る歴史や背景、流水型ダムの土砂移動や生態環境へのインパクト、並びに、流水型ダムの構造など流水型ダム全般については、池田らの「流水型ダム -防災と環境の調和に向けて-」（技報堂出版）¹⁾で網羅的に整理されている。本稿では、川辺川の流水型ダム及び阿蘇立野ダムの 2 つ事例について、歴史的背景や経緯、流水型ダムの構造や運用、試験湛水に関して、環境保全の取組や地元情勢などについて述べる。特に、川辺川の流水型ダムについては、治水機能の確保と環境影響最小化の両面からダムの構造や運用を検討している。ここでは保全対象を、アユ等の地域資源と人々の生活、動植物の生息・生育・繁殖環境とそれを支えるハビタット、人と自然が触れ合う場等としている。また、保全対策を検討する上では、これらのドライビングフォースとなる水や土砂、栄養塩の時空間変化や流下特性を把握する必要があると考える。川辺川ダムは貯留型から流水型に変更しているが、流水型であれば環境影響が小さいという思考に留まらず、流水型ダムの特長やメリットを最大限活かし、繊細な検討や対策を講じて環境影響最小化が達成されるべきものと認識している。これら九州内の 2 ダムの事例から得られる知見は、今後の治水対策の立案に役に立つと考えている。

2. 歴史的背景及び経緯

2.1 阿蘇立野ダム

阿蘇立野ダムは、熊本県中央部に位置する白川沿川の洪水被害を防止・軽減することを目的として、阿蘇カルデラの流出口である立野火口瀬に建設した洪水調節専用（流水型）ダムである（図1）。白川における戦後最大規模である1953年6月洪水と同程度の洪水を安全に流すことを目指して、白川の基準地点である代継橋地点（熊本市）における基本高水のピーク流量 $3,400\text{m}^3/\text{s}$ を阿蘇立野ダムにより $400\text{m}^3/\text{s}$ を調節し、計画高水流量を $3,000\text{m}^3/\text{s}$ に低減し、洪水被害の防止・軽減を図るものである。白川は、1953年6月洪水を始め、1980年8月、1990年7月、近年では2012年7月洪水により浸水被害が発生しており、県庁所在地である熊本市を氾濫域にもつ白川の治水安全度向上は喫緊の課題であり、抜本的な治水対策として阿蘇立野ダムの完成が流域自治体から求められていた。

阿蘇立野ダムは、直轄において最初に完成した流水型ダムであり、2024年3月に完成し、2024年度から管理運用を行っている。ダムの規模としては堤高87m、堤頂長197m、堤体積約40万 m^3 、貯留容量約1,010万 m^3 の曲線重力式コンクリートダムで自然調節方式を採用している（図2）。白川については、1953年6月水害（推定流量 $3,200\text{m}^3/\text{s}$ ～ $3,400\text{m}^3/\text{s}$ ）を契機に1954年に1/80とした白川改修基本計画が策定され、基準地点子飼橋（熊本市内）における基本高水のピーク流量及び計画高水流量を $2,500\text{m}^3/\text{s}$ とする直轄河川改修が行われてきた。計画策定にあたり、川幅の拡幅等は地元との合意形成の観点から困難と判断され、全国で初めて、計画対象流量を既往実績洪水の流量より下げ、年超過確率を導入し経済性の観点から、計画高水流量が決められている。その際、既往最大洪水への対応も必要と考え、余裕高分を考慮して、1953年6月実績洪水の流量を越流させず流下させることとしている²⁾。その後、1979年4月に阿蘇立野ダムの実施計画調査に着手、1980年には白川沿川の人口・資産の増大を踏まえて白川の治水計画（計画規模：1/150）が見直され、基準地点代継橋における基本高水のピーク流量を $3,400\text{m}^3/\text{s}$ とし、洪水調節施設により $400\text{m}^3/\text{s}$ の調節を行い、計画高水流量を $3,000\text{m}^3/\text{s}$ とすることとされ、1983年4月より阿蘇立野ダムが建設事業に着手した。なお、建設事業に着手した時点から洪水調節のみを目的とした洪水調節専用（流水型）ダムである。

白川沿川の水利用については、安土桃山時代の加藤清正による灌漑工事により、多くの取水堰が建設され、既に豊かな穀倉地帯が形成されていた。また、水道用水についても、熊本地域（約100万人）が100%地下水に依存しており、豊富な地下水の恩恵を受けている地域である。更に、発電についても白川及び支川黒川においてダム予定地前後で4箇所の発電所が既に運用されていた。このような状況もあり、ダムに利水が計画されなかったものと考えられる。また、ダム貯水池内には国の天然記念物である「阿蘇北向谷原始林(1969.8指定)」があることや地質的課題、阿蘇特有の火山灰（ヨナ）の流出が多いことなど、常時貯留するうえでの課題があったことも背景にあると考えられる。



図1 白川流域の概要

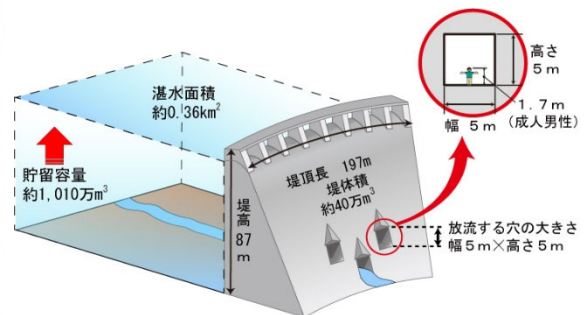


図2 阿蘇立野ダムの概要

Nature-based solutions とカーボンニュートラル

神戸大学 中山恵介

1. はじめに

2013 年において、森林による CO₂ の吸収量は約 5,200 (万 t-CO₂) であり林業が衰退している現状のままであれば老木の割合が増え 2030 年には約 2,800 (万 t-CO₂) にまで減少すると予測されている。実際には、様々な施策によりもう少し減少量は少なくなり、最大で約 4,000 (万 t-CO₂) の吸収量を確保できる可能性がある。一方で、イエローカーボンと呼ばれる農地土壌による CO₂ の吸収量は 2013 年において約 760 (万 t-CO₂) であり、2030 年の予想値では約 790 (万 t-CO₂) となっており減少分を十分に補完できない。つまり、森林と農地土壌による 2013 年の CO₂ の吸収量である約 6,000 (万 t-CO₂) は、2030 年には約 3,600 (万 t-CO₂) から 4,800 (万 t-CO₂) に減少する可能性がある。

そこで、沿岸浅海域において水生生物の作用により CO₂ を吸収する Blue Carbon が世界的に成されている。2020 年の日本における Blue Carbon による CO₂ の吸収量は上限値で約 400 (万 t-CO₂) であり 2030 年には約 520 (万 t-CO₂) に増大すると予測されている。森林による CO₂ の吸収量が予想の最大値を確保できるとすると、2013 年の状態を維持するには、Blue Carbon で約 1,200 (万 t-CO₂) を確保する必要があるが、それには最低でも約 700 (万 t-CO₂) 不足すると考えられる。よって、自然の力を利用したあらたな CO₂ の吸収源を確保する必要がある (Nature Based Solutions : NBS)。

そこで注目すべきは、陸上の水域である。これまで陸上の湖沼などは、NBS としての CO₂ の吸収源であると考えられておらず、逆に CO₂ を放出する場であると思われてきた。なせならば、淡水湖沼は流域から大量に炭素が流入するため、水表面から CO₂ を放出することがあるためである。しかし、その後の研究により、夏季における植物プランクトンの光合成が卓越することで、湖沼が CO₂ の吸収域となる可能性が示された。さらに、淡水域に関する研究成果として淡水湿地 (Teal carbon) における CO₂ の吸収可能性が示された。そして、一部の亜熱帯の山岳地域の淡水湖沼では、植物プランクトンによる炭素の吸収効果が重要であることも示された。その研究では、閉鎖性水域において成層が形成されることにより、底層における炭素の溶出フラックスが水表面まで到達せず、炭素の吸収効果を促進するため、湖沼における炭素吸収フラックスは、沿岸域と同等もしくはそれ以上の効果を有する可能性が示された。その他の研究でも、Blue Carbon の沿岸浅海域に比較して、湖沼や貯水池が同等もしくはそれ以上の CO₂ の吸収可能性を有していることが報告された。世界的にみると、淡水湖沼の全面積は 500 万 km² で、Blue Carbon で対象とする沿岸浅海域の 180 万 km² の約 3 倍であり、二酸化炭素の吸収源としてのポテンシャルは高いことがわか

る。

しかし、長期的な炭素収支に関しては論じられておらず、結果として成層を有する淡水湖沼が炭素を吸収しているかどうかに関しては継続的な研究が必要である。そこで本講義では、湖沼や貯水池を対象とした CO_2 の吸収可能性について、Blue Carbon 生態系と比較しつつ、今後、湖沼や貯水池において CO_2 の吸収を促進するために、どのような課題を解決しなくてはならないかを紹介する。

2. Blue Carbon Ecosystem

湖沼やため池を対象として CO_2 の吸収を考える場合、Blue Carbon Ecosystem における CO_2 の吸収機構を理解する必要がある。著者らは、Blue Carbon Ecosystem が、どこから CO_2 を吸収しているかを解明することを目的とし、北海道のコムケ湖を対象として解析を行った。コムケ湖は、北緯 $44^\circ 15' 30''$,東経 $143^\circ 30' 290''$ に位置し、自然干潟が形成されており、シギやチドリ、冬季にはオジロワシやオオワシなど多くの野鳥が飛来する自然豊かな汽水湖である。年間 170~180 種の野鳥が観察されており、その約 9 割が渡り鳥である。干潟域に鳥類や餌となる海水性の水生生物が多く、春には干潟域に鳥類や餌となる淡水性の水生生物が多い。コムケ湖は、3 つの水域が連結した湖であり、1982 年までは海流の影響により海と面する部分に砂州が広がり、海と隔てられた海跡湖となっていたが、漁場開発事業による掘削により現在の湖口が形成された。その結果、コムケ湖には多くのアマモが生息するようになり、Blue Carbon 研究の代表的な沿岸浅海域の一つとなった。

2.1. アマモによる CO_2 の吸収量の評価

沿岸浅海域における CO_2 の吸収量を定量的に評価するためには、水中 CO_2 分圧を決定づけている溶存無機炭素 (Dissolved Inorganic Carbon : DIC) の吸収量を高精度に評価できる方程式が必要となる。その方程式を DIC 方程式と呼ぶこととする。DIC 方程式とは、水生植物の呼吸による DIC の放出から光合成による DIC の吸収を引いた単位時間あたりの変化量を表す式であり、式 (1) のように定義されている。

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(\text{DIC}) &= \Delta \text{DIC} = R_A \exp\left(-\frac{E_{aR}}{T_w R}\right) - P_\psi \tanh\left(\frac{\alpha_\psi I}{P_\psi}\right) R_P \exp\left(-\frac{E_{aP}}{T_w R}\right) \\ &= -\text{NEP} = \text{NEPR} - \text{NEPP} \end{aligned} \quad (1)$$

気候変動適応分野での水工学の実践 ～影響評価から適応策まで

Expanding Horizons of Hydraulic Engineering for Climate Change Adaptation: Practices from Impact Assessment to Adaptation Measures

原田 守啓
Harada Morihiro

1. はじめに

近年、気候変動の影響により、国内では毎年どこかで記録的豪雨による水害が発生し、その激甚化・頻発化が顕著である。2019年の東日本台風（令和元年台風第19号）では、全国で142箇所の堤防が決壊し、死者84人、行方不明者3人、家屋全壊約3千棟、半壊1万8千棟、床上浸水約2万棟、床下浸水約4万棟、水害被害額約1兆8800億円を記録した。気象庁のデータによれば、もともと降水量がそれほど多くない地域でも豪雨が発生し、大規模な水害となる事例が増加している。

この背景には、海面水温の上昇が水蒸気の蒸発量を増加させ、気温の上昇が空気が運べる水蒸気量を増加させることで、前線や台風が強化され、豪雨・豪雪が増加する現象がある。国土交通省の技術検討会は、「気候変動を踏まえた治水計画のあり方」を提言し、「豪雨災害の激甚化・頻発化」という表現を用いるに至った。

このような背景から、従来の河川改修やダム・遊水地による洪水調節だけでなく、降った雨を「しみこませる・ためる・ゆっくり流す」といった対策や、危険な場所に住まない、氾濫が起こっても被害を最小化するなどの対策を社会全体で行う「流域治水」への転換が急務である。これは、国土交通省が描く「総力戦で挑む防災・減災プロジェクト」の一環であり、集水域、河川区域、氾濫域における多様な対策を統合的に実施することを目指すものである。

本講演では、およそ10年間に講演者が関わってきた地域社会（主に岐阜県）における水災害に関わる気候変動影響のアセスメントから適応策に関わる議論における水工学的手法の活用、水工学講演会・河川技術シンポジウム等で発表される水工学分野の研究開発状況から、気候変動適応分野における水工学的アプローチの深化をテーマに講演し、これからの水工学の役割について受講者とともに考えたい。

2. 水災害リスク評価における気候モデルプロダクトと水工学の貢献

温暖化の進行により、水災害リスクはどの程度変動するのか、また、私たちはそれにどう備えればよいのか、という問いに答えるために、国が主導する大型の研究プロジェクトが展開され、水工学分野からも多くの研究者が参画してきた。その代表例として、文部科学省の気候変動リスク情報創生プログラム SOUSEI（2012年度～2016年度）、文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム SI-CAT（2015年度～2019年度）における気候研究者と水工学研究者の協働とその成果について紹介する。

SOUSEIの成果として生み出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（通称：d4PDF）は、過去気象、温暖化が進んだ将来気象（4℃昇温実験、のちに2℃昇温実験も追加）における全球モデルシミュレーションを数千年分も行った計算結果の巨大なデータベースである。日本周辺については20kmメッシュまでダウンスケーリングされた領域気候モデルプロダクトが整備されたため、これを各分野の専門家が分析することで、水災害リスクを含む様々な影響分析が行われ

た。さらに、SI-CAT では、豪雨事例を対象とした高解像度力学ダウンスケーリングに関する技術的検討が実施されている。

SI-CAT のモデル自治体として岐阜県・岐阜大学の共同でプログラムに参画した講演者らのチームでは、d4PDF 領域気候モデルを用いた数千年分の気候モデルプロダクトを活用した地域スケールでの水害リスク評価技術の開発、中小河川にも適用可能なさらなるダウンスケーリング (5km, 2km, 1km) の検討とその有効性の検証等を行った。これにより、産業革命以前と比較して気温が 2℃上昇する将来には、岐阜県の主要流域で 100 年に一度の洪水流量が最大で 1.49 倍に増加し、頻度としては約 2 倍から 3 倍に増加すると予測されている。また、行政が河川計画に用いるモデルをそのまま用いて、気候変動予測プロダクトを入力して行った評価は実務者に対する説得力に優れ、さらに解析結果を実務者が理解しやすい表現に置き換えて表示することは、円滑なリスクコミュニケーションに資すると考えられている。特に、県が管理する中小河川は、国の管理する大河川に比べて治水安全度がもともと低く、岐阜県内の県管理河川の約半数では洪水到達時間が 0.5 時間以下と短いため、気候変動の影響による安全度の目減りが懸念される。また、低頻度ながら高強度な大河川の氾濫だけでなく、高頻度で低強度な内水氾濫による被害も無視できない。

これらの分析結果は、論文として発表するだけでなく、いち早く河川管理者である国・県と共有し、また地域住民への普及啓発にも展開が進められ、水災害リスクに対する地域の備えを高めるための取り組みがいち早く進められた。岐阜県庁では、関係部局が気候変動影響に関わる影響を情報共有し、適応策を効果的に展開するための県庁内の横断的な会議体が設置されるなど、取り組み体制の整備も進めることができた。

このように、d4PDF とこれを活用した大型研究プロジェクトの展開により、水工学分野の研究者が気候モデルプロダクトを対象にデータ解析を行ったり、降雨流出解析モデル等の入力データとして二次的に利用して分析したりすることにより、温暖化が進んだ将来に水災害リスクや水資源管理上のリスクについての分析が大幅に進展した。また同時に、水工学分野における気候モデルプロダクトの利用、水文流出解析の利用の裾野が大幅に拡大したといえる。気候モデルプロダクトはごく一部の専門家が用いるデータベースではなく、水工学分野の幅広い研究者、建設コンサルタント技術者などがアクセスできる公共性の高い知財に変化したといえる。

これらのプロジェクトが進展する間にも、日本全国では水害が相次ぎ、平成 30 年西日本豪雨、令和元年東日本台風などによる大水害が発生する中で、これらの研究プロジェクトの成果は国全体の政策形成の科学的根拠としても貢献したと考えられる。その一つの帰結として打ち出された「流域治水」は、気候変動による豪雨の激甚化・頻発化に対応するため、従来の河川改修やダム・遊水地による洪水調節のみならず、降った雨を「しみこませる・ためる・ゆっくり流す」といった多様な対策を社会全体で実施することを指す。この取り組みは、過去の都市開発などによって変化した流域の水循環の再生を目指す試みであり、気候変動がもたらす災害リスク増大に対する「緩和」と「適応」の両輪の一つとして位置づけられている。国土交通省が描く流域治水のイメージは、集水域、河川区域、氾濫域という三つの主要な領域において多岐にわたる対策を展開するものであり、それぞれの領域で複数の実施主体が連携して取り組むことが求められている。

3. 水災害分野における気候変動適応策としての流域治水と水工学の貢献

(1) 流域治水における河道の役割と多自然川づくり

国が管理する大河川と比較して、県が管理する中小河川は、その整備目標とする治水安全度がもともと低く設定されている実態がある。加えて、洪水到達時間が短いため、短時間で降り続く強い雨であっても大規模な洪水につながる可能性が高い状況にある。地球温暖化に伴う豪雨の激甚化・頻発化が進む中で、中小河川の治水安全度はさらに目減りしていく可能性が指摘されている。このような状況において、河道の流速を不必要に上げることなく、河道災害を抑制する「ゆっくり流す」という概念が極めて重要となる。この考え方は、単に洪水のピーク流量を低減させるだけでなく、過去の開発行為によって変化した流域全体の水循環を再生させることを目指している。具体的には、集水域での雨水浸透促進やため池利用、河川区域での河道拡幅や貯留機能強化、氾濫域での土地利用規制や

生物分布モデルの予測値を かわづくりにかかす

Utilizing the prediction of species distribution models in river management

鬼倉 徳雄
Onikura Norio

1. はじめに

国土交通省九州地方整備局と九州大学大学院アクフィールド科学研究室（以後、国交省九地整、九大アクアと称す）は、淡水魚類の分布モデルの予測を河川管理に生かすためのツール開発を、2017 年より開始した。最初に開発したのは遠賀川水系で（遠山ほか、2019）、現在までに、筑後川水系（図 1A）、菊池川水系（図 1B）など、九州北西部を中心に、概ね 1 年に 1 水系のペースで開発を進めている。その狙いは、現在、生息している絶滅危惧種への配慮から、現在、生息していない魚種の生息場の再生・創造も含めて川づくりを検討する、新たな河川管理への移行にあった。従来の川づくりでは、事前の調査で生息が確認されている希少魚や水産有用種を主たる対象とした。そのため、それらへの配慮がうまく行っても対象種がそこに残されるにすぎず、現状が維持されるだけであった。そこに生息できていない他の絶滅危惧種の生息場を再生・創造しない限り、さらに良い河川生態系は目指せない。今、生息していないが、将来復活する可能性がある種を、川づくりの検討対象に含めながら策を講じ、それが九州中で実践されるようになれば、絶滅危惧種の分布が拡大し、いずれはその希少魚は普通種扱いに変わるかもしれない。その「今、生息していないが、将来復活する可能性がある種」の選定で、種分布モデルの予測値を活用することをめざしたのが、本ツール開発の始まりである。生物多様性国家戦略 2023-2030 で、2030 年までにネイチャーポジティブ（自然再興）を達成するという目標が掲げられているが（環境省、2023）、国交省九地整はそれに準ずる思想

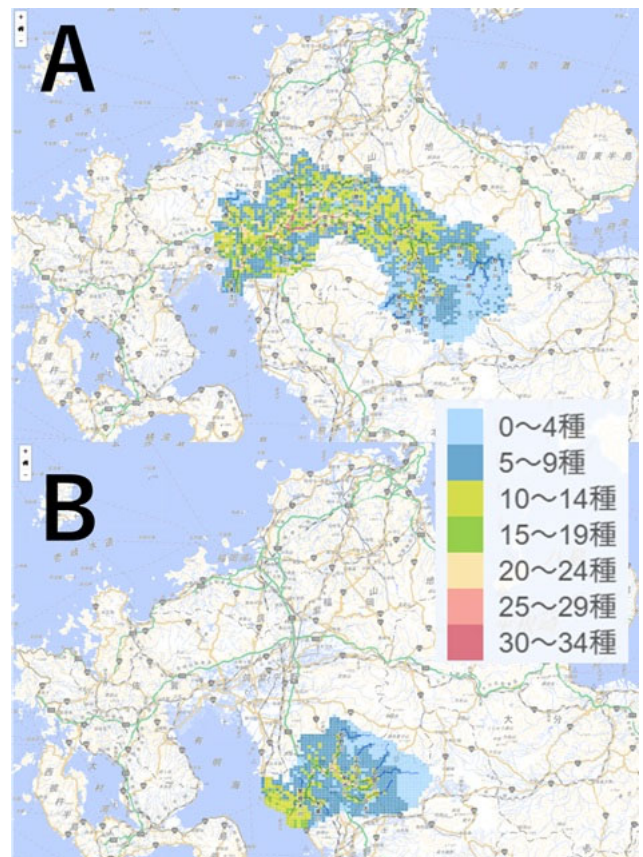


図 1. 筑後川水系(A)と菊池川水系(B)における淡水魚類の潜在種数. モデルの推定値が 50%以上の種についてその数を積算した.

をそれよりも前に掲げ、取り組み始めていたといえる。さて、九大アクアの担当は、そのツール開発のうち、対象水系内で淡水魚類の分布モデルを構築し、その予測値を GIS データとして整備することである。今回、前半部分を種分布モデルの構築に関する解説に、後半部分を実際の現場レベルでの活用について解説する。

2. 種分布モデルの構築

2.1 国土数値情報の活用

種分布モデルを構築するためには、説明変数となる環境情報が必要である。そして、構築されたモデルで広域に予測を拡張するのに、環境情報が必要である。本ツール開発では、説明変数はすべて国土数値情報を使っている。国交省国土数値情報ダウンロードサイトから、標高・傾斜度 3 次メッシュ、土地利用 3 次メッシュ、河川の GIS データを入手し、3 次メッシュの平均標高、平均傾斜度、水田面積、都市用地面積（建物用地、道路、鉄道を合計）、森林面積、河川及び湖沼面積、3 次メッシュ内の河川の総延長などを使用している。標高や傾斜度は魚類の縦断分布を説明する要因として、土地利用は氾濫原を好む魚類の生息場に影響する要因として、河川及び湖沼面積は淡水域の規模に影響される魚種の分布の説明要因として寄与する可能性を考慮した（鬼倉・中島, 2020）。その他、水域の長さや複雑さの指標、河川の平均的な幅をイメージした指標も使っている（鬼倉・中島, 2020）。

モデルを構築する際、これらの変数の中で特に重要視しているのは、標高と傾斜度である。河川生態系における空間スケールの階層性、すなわち水系、セグメント、リーチ、瀬淵、マイクロハビタットといった大から小への階層構造（Allan and Castillo, 2007）に着目したとき、水系規模、セグメントといった上位の階層がその魚種の分布条件に当てはまり、かつ、その条件の中に下位の階層（リーチ、瀬淵、マイクロハビタット）の生息条件が存在したとき、それぞれの分布が成立する（鬼倉・乾, 2011）。そして、河川管理者が自然再生事業などで再生や創造が可能なのは主に生息条件となる下位の階層である（図 2）。上位の階層で

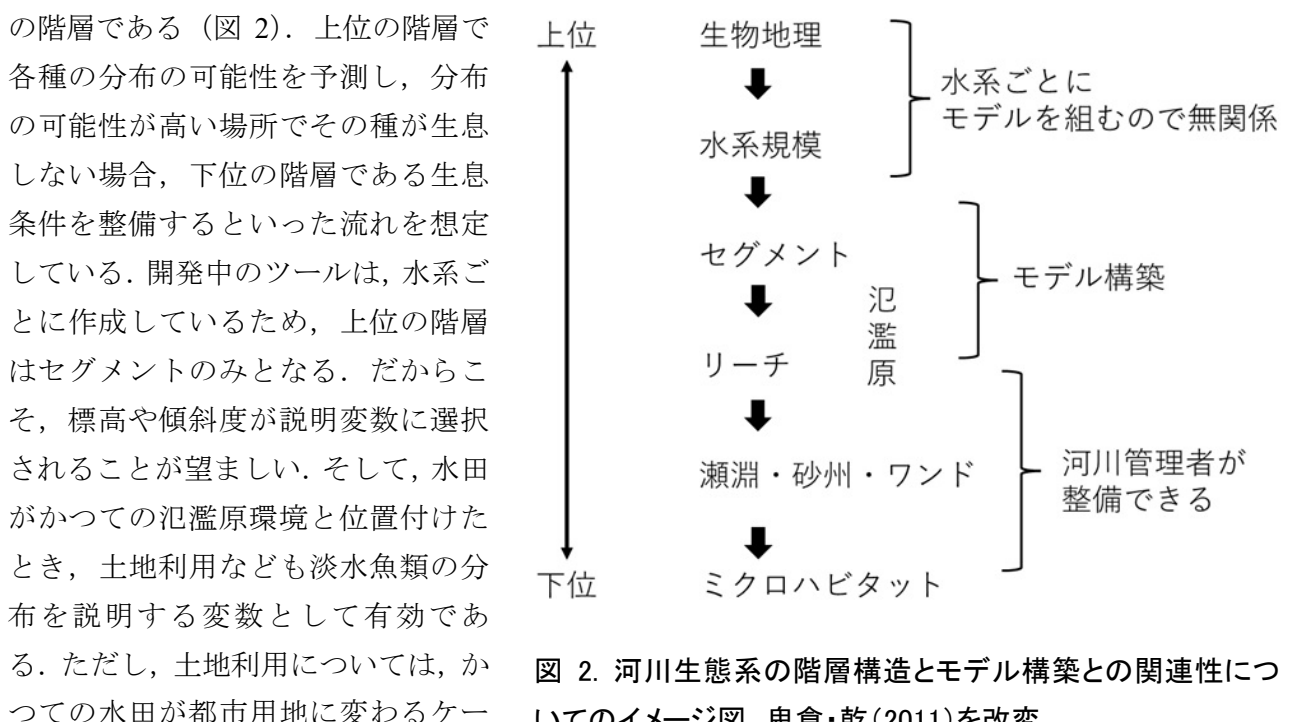


図 2. 河川生態系の階層構造とモデル構築との関連性についてのイメージ図。鬼倉・乾(2011)を改変。