

## 海から始まった私の国土保全

### A Footprint in National Land Management Projects Starting from the Seashore

田中 茂信

Shigenobu TANAKA

#### Synopsis

The author was born in the northwest edge of Hyogo prefecture. His home was located near sea. The bitter and pleasant experience at seashore brought him up to work for national land management projects through Tottori university, Ministry of Construction, JICE, MLIT, ICHARM and finally DPRI, Kyoto university. The field of the work assigned to seacoast conservation, dam planning, river administration, river planning, local work office management, consulting MLIT, conducting training course, extreme analysis and climate change impact analysis. The tangent hyperbolic function appeared three times. The author introduced the function as if he was charmed by the function. This article is not classified into scientific paper but a kind of autobiography. He says to the young people 1) do by yourself when you lost, 2) have wide experience and wide spectrum of approach and 3) have a deep insight.

**キーワード:** 海岸, 国土交通省, ICHARM, 水文頻度解析, 安定浸透強度, tanh関数, 損失雨量

**Keywords:** seashore, MLIT, ICHARM, frequency analysis, steady infiltration rate, hyperbolic tangent function, rainfall loss

#### 1. はじめに

筆者は京都大学防災研究所に2013年8月から2022年3月まで水資源環境研究センターで教授を務めた。京都大学防災研究所での勤務は短い期間であり、読者の皆様に役に立ちそうな話は、大学卒業以来携わってきた海岸事業と治水計画であるので、それらを中心に、筆者と国土保全との関わりを綴る。

#### 2. 幼少期の経験

筆者の生地は兵庫県北西部の新温泉町の海の近くである。花崗岩の玉石の海岸でよく遊びに行った。日本海は風の時には池のような状況であり、波の荒いときは壯観である。多くは少しだけ波がある状況であり、波がないより、少し波がある時に魚がよく釣れた。ある年、1ヶ月ほど毎日のように海に行っ

ていたら、岩場の浅い場所で鰯を素手で取れるようなことがあった。私の経験ではそれが最初で最後であった。普段、こういう経験することがなかったので驚いたが、逆に、たまたま行った時にこれに遭遇していたら、きっと大きな勘違いをしたであろう。

ある時、遊び仲間数人と出かけていて、時々波を被る岩場に取り残されたことがあった。仲間は私よりも背が高く、体力もあってさっさと安全な場所まで帰っていた。私は波の状況を見ながら取り残されていた。言うまでもなく海の波は不規則である。大きい波も小さい波もある。どうしたら波に足を取られることなく仲間のいるところまで帰れるかが問題であった。夕暮れ時で少しづつではあるが波も荒くなってきているように思えた。その時気づいたのは、波は不規則ではあるが規則性も有している。大きい波が2、3波続くと比較的小さい波が数波ある。7波ぐらいで1サイクルである。この小さい波のうち

に渡り切れれば帰れる。結局最後の私を含め皆帰れたので騒ぎにはならなかった。後に、鳥取大学で野田英明教授の海岸工学を学んだときに、群波で規則的に波の大小が繰り返される現象を説明できることを知り、科学が面白いと思った。このことは、後に防災研究所教授に赴任してから学生を海に連れて行った時、彼らが波打ち際でギリギリまで波を追って、そのうち靴を濡らしたが、これも同様に説明できると思った。毎年のように、台風シーズンになると海岸で波にさらわれて命を落としたというニュースを聞くが、波打ち際で小さい波の退くのを深追いすると大きい波の遡上時に足を取られ、転倒しようものなら立ち上がれず沖へ流されてしまう可能性がある。深追いは禁物である。

### 3. 鳥取大学での経験

1975年から学部と大学院修士課程で6年間お世話になった。自宅から大学まで直線距離で30km余であり、通えると思っていたが、浜坂から大学の最寄駅湖山までは1時間半ほどかかったため、毎日往復3時間汽車に揺られるのは耐えられなくて、1週間で下宿生活に切り替えた。

#### 3.1 鳥取大学工学部での生活

学部での最初の2年は教養部であった。地震の研究をされている先生の部屋に入り浸っているうちに電子計算機研究会なる同好会が面白そうな活動をやっていたので引き込まれた。そこにはOKITAC4300Cというコンピュータがあった。コンピュータへの入力は紙テープであった。紙テープに穴を開ける機械があり、キーボードでうちこんでいた。そのキーボードを見て、コンピュータを使いこなすには短時間で間違いなくコードを打ち込めるスキルがあると直感し、イタリアのオリベッティ社製のレッテラブラックDLというタイプライターを購入して滑らかにブラインドタッチができるまで練習した。その当時ブラインドタッチができる学生はあまりいなかったもので、英文論文を書いている教員から清書を頼まれたことがあった。英文の書き方など勉強になることがたくさんあった。傍目には土木工学科の学生がタイピングをやっていることは奇妙に見られていたと思う。

教養部での語学の授業は、進行が速く、準備するのが大変であった。土日は次の週の予習でほぼ潰れていたように記憶している。そのお陰もあって後に英文資料を読むのがそれほど苦にならなかった。楽をする方法もあったが、これが田舎者を育ててくれたと思っている。

3回生から始まった専門の土木関係の授業は構造系と水系に興味を覚えた。中でも海岸工学は難しい数式が出てくるので理解したと言える段階まで到達しないけれども、なぜか面白かった。その海岸工学の最初の方で波長 $L$ の水深 $h$ による変化の部分で出てくる式(1)に出会った。

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi}{L}h\right) = L_0 \tanh\left(\frac{2\pi}{L}h\right) \quad (1)$$

において、繰り返し計算を適当な値から始めても正しい $L$ が求められると教わり、実際に自分のプログラム電卓でやってみて納得したものである。その上、 $h$ が $L$ に比べて十分小さくなると $\tanh\left(\frac{2\pi}{L}h\right)$ が $\frac{2\pi}{L}h$ となるので、長波の波速の式が導けること、さらにこれが限界流速でもあることなど驚くことばかりでいよいよ面白くなった。後に研究室配属が野田英明教授の海岸研究室に決まった時は嬉しかった。

#### 3.2 鳥取大学大学院工学研究科での研究

1979年から2年間海岸工学研究室で底面波動境界層に関する研究をおこなった。波動水槽の底面付近で波の下で消長する境界層中の乱れの特性を把握しようとするものであった。

指導教官の野田英明教授から紹介された論文は梶浦欣次郎先生の摂動法を用いた論文であった。摂動法は微分方程式を解く時に使うものであった。

実験は水素気泡法で流速の鉛直分布をビジュアルに記録した。また、ホットフィルム流速計を用いて流速の変動を測った。それまでは波の実験では、ペン書きレコーダーで波形を記録し、それを読み取って波高を求めた。容量式波高計をキャリブレーションするには、静水中に測ろうとする波のレンジ分だけ波高計を上下させた時の出力と対比させていた。ちょうどその頃AD変換器なるものが研究室に導入され短時間間隔でアナログの電圧を2の8乗の分解能でデジタル化し、初期のパソコン Tandy RadioShack製のTRS-80で見ることができるという状況であった。これにより、実験データの読み取り精度が時と気分によって変わるといことがなくなり、非常に短時間でできるようになった。流速計のキャリブレーションは、静水中で流速計を動かして測定した。台車がなめらかに移動するよう水路上に三角レールを設置し、台車の下に矩形の電気信号を発するスケールを設置し、矩形波をOnからOffにするトリガーの間隔で距離、信号がOffになる時間の間隔から時間を求め、これらによって流速計の出力のキャリブレーションを行なった。AD変換器がなかったらどのようにしてキャリブレーションするのか見当がつかなかった。

実験で得られた流速計のデータから乱れのパワースペクトルを得るには、データをフーリエ変換する必要があった。使っていたパソコンにはBASIC言語が搭載されていて、科学計算をさせることができたが、非常に計算時間がかかるものであった。著者は学部の時、電子計算機研究会に所属し、FORTRANやアセンブラをすこし触っていたので、アセンブラで高速化することにした。パソコンのマイクロプロセッサがザイログ社製のZ80であり、このインストラクションを読んでアセンブラを動かした。フーリエ変換の計算の中で時間がかかる部分の計算のみをアセンブラでコーディングし、BASIC言語で全体をコントロールした。全てBASIC言語で行うより随分短時間で計算を終えることができた。このプログラミングに結構長い時間がかかったが達成感は得られた。実験を通して感じたのは、乱れが勃発、発達するのは底面での流れの加速度が負に転じるタイミングであったと記憶している。

1980年に3回目の挑戦で国家公務員試験上級(甲)土木職に二次試験まで合格することができ、1981年4月より建設省に就職することになった。学部の3回生の時に鳥取大学に赴任されてきていた岡田憲夫現名誉教授に京都大学での試験に向けた取り組みを紹介され、それに取り組んでいたことが非常に役に立った。建設省に採用が決まった時は、鳥取大学の土木で上級(甲)の建設省就職は初めてということもあり、教員からも祝っていただき嬉しかった。

#### 4. 建設省での海岸保全と治水事業

建設省では土木研究所海岸研究室の研究員、河川局海岸課係長、北陸地方建設局羽越工事事務所開発調査課長、北陸地方建設局企画部建設専門官、同企画課課長補佐、河川部河川管理課長、同河川計画課長、河川局海岸課長補佐、土木研究所海岸研究室長を務めた。

##### 4.1 土木研究所での海岸調査と海岸課での海岸事業

建設省での最初の仕事は土木研究所海岸研究室の研究員であった。4月から5月まで新規採用研修があり、連休明けにつくば市にある土木研究所に赴任した。

土木研究所は筑波研究学園都市に移転したばかりであり、新品の実験装置は導入されたばかりで、多くはまだ使われていなかった。移転を機に実験自動化装置なるものが導入されていた。ヒューレットパッカード社製のパソコンでコントロールするような仕様であった。赴任初日にこの自動化装置で実験を

していくことになると聞いたので、分厚い取扱説明書の通読と自動化用に書かれたソフトウェアの理解に取り組んだ。パソコンのオペレーティングシステム(OS)はBASICを基本として拡張させたもので非常に使いやすかった。

海岸保全事業ではコンクリートブロックを用いた構造物が採用されていた。消波工、突堤、離岸堤などであり、特に離岸堤は多くの海岸で使用されていたが、侵食対策の効果とは裏腹に景観が悪くなるということで、地元から潜堤(人工リーフ)にする要望が高まっていた。離岸堤は設置基準があったが、人工リーフの基準は無く、作らねばならなかった。天端を海面ギリギリまで高くすると消波効果は高くなるが、小型船舶の航行に影響を与える。水深を十分確保すると消波効果が小さくなるので、天端幅を広くする必要がある。その効果は海底勾配や対象とする波浪によっても変化する。様々な条件に対して人工リーフが設計できるよう図面を用意することに取り組んだ。

3年後、建設省河川局海岸課へ異動になり、直轄事業の担当となった。我が国の海岸事業は保全対象によって異なる省庁で担当しており、建設省河川局の他に、運輸省港湾局、農林水産省水産庁および農林水産省構造改善局が担当しており、海岸保全施設築造基準はこの4者の連名で発行されていた。その基準の改訂作業も大きな仕事であった。著者は研究所勤務の経験もあったことからこの仕事に向いていたかもしれない。

##### 4.2 初めての治水事業

本省勤務が3年経った時、北陸地方建設局羽越工事事務所開発調査課長へ異動となった。昭和42年8月28日に発生した羽越水害の再度災害を防止するための対策の一環として、荒川の上流に計画されていた横川ダム建設のための調査が主な任務であった。新設の組織であり、前任者はいない。富山から単身赴任されていた副所長と同じ官舎に住んで、治水事業のイロハを叩き込まれた。修士課程以降、海岸関係の仕事一辺倒であったが、ついに海岸から離れることになった。この年は、予算成立が遅れたため、暫定予算が生まれ、しばらく事務所付きという肩書きで活動した。開発調査課の仕事はダム建設予定の水源地域の皆様にダム建設の理解をお願いするため、関係する小国町だけでなく、集落にも何度も足を運んで説明させていただいた。荒川上流の水源地域は豪雪地域であり、玄関が2階にあるような作りになっている。牛を飼っている家が少なくなかった。4月に最初現地を訪れたときはまだ雪が残っており、田植えの苗を育苗する区画だけ雪を融かして、農作業が進

められていた。著者も農家の出身であるとともに家には但馬牛が飼育されていたので、雪の残る中での農作業の準備は、生まれた新温泉町の山間部での生活とよく似ていて、東北弁の言葉は100%理解できなかったにもかかわらず、内容はよく理解できた。経験もない初めての仕事に際し、地域とのコミュニケーションを行う上で大いに助けられた。

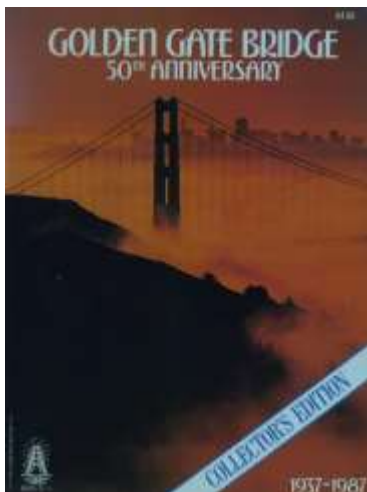


Fig. 1 A magazine celebrating the 50<sup>th</sup> anniversary of Golden Gate Bridge



Photo 1 A sign “Swim on your own Risk no lifeguard on Duty” at the waterfront in Foster city

また、水源地の中に基督教独立学園高校があり、その鈴木弼美校長が河道内に小規模ダムをたくさん作れば効果があるということで、建設省案になかなか理解を示していただけなかった。この鈴木校長は内村鑑三の弟子である。

暫定予算の間に、米国西海岸を視察する機会を得た。Coastal Zone '87という国際会議での発表とシアトルからサンディエゴまでの沿岸域利用調査を行うものであった。[Fig. 1] に示すように、この年はゴールデンゲートブリッジが建設されてから50周年にあたり、記念の冊子が編集されていた。車を止めて人が歩いて渡れるようにして、橋が少し撓んだというニュースが報じられていた。1980年台後半は日本でも沿岸域利用が盛んになってきた時期でもあり、[Photo 1] に示すように、Foster Cityで水際にあった看板“Swim on your own Risk no lifeguard on Duty”は河川局の行政担当者に興味深く受け止められた。

本年8月の新潟県下越地方や山形県での豪雨のニュースを見て、羽越水害が頭をよぎった。大雨にもかかわらず、幸い犠牲者が出なかったのは災害経験や災害対策が功を奏したと思っている。速やかな復興を願うばかりである。

1991年に河川計画課長に異動になり、北陸地方の河川系の直轄事業を担当することになった。中でも北陸地方建設局の代表河川である信濃川の改修は最も重要であった。信濃川は我が国で最も長い河川であり、上流長野県では千曲川と呼ばれ、新潟県に入ってから信濃川と呼ばれている。信濃川の治水の要は大河津分水（国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所）である。これは信濃川が最も日本海に近づく分水町で洪水流を日本海に分派するものであり、信濃川下流域が洪水でない限り270m<sup>3</sup>/s以上の水は大河津分水路を通じて日本海へ流される。[Fig. 2] に示すように、分派点の川幅より河口部の川幅の方が狭い。これに対応するように河床勾配が河口近くで大きくなっている。河口近くで山地を掘削して分水路を建設することと関係があると思われる。



Fig. 2 A plane figure of Ookoudu diversion channel

### 4.3 2度目の海岸事業

1992年に河川局海岸課課長補佐に異動になり、再び海岸事業を担当することになった。次いで、1993年に土木研究所海岸研究室長に異動になった。沖ノ鳥島の保全事業が完了し、その状況を確認する機会を得た。沖ノ鳥島は、我が国の国土全体の面積(約38万平方キロ)を上回る約40万km<sup>2</sup>もの排他的経済水域を有す極めて重要な島であり、[Fig. 3]は沖ノ鳥島がある場合の我が国の排他的経済水域を示したものであり、[Photo 2]は沖ノ鳥島の遠景および保全状況である。



Fig. 3 Map of the EEZ with Okinotorishima



Photo 2 A photo from airplane(left top), protection work of Okinotorisima(left bottom) and a monument with author(right)

1994年9月の大潮に合わせて、中国の上海の南に河口を有する銭塘江の大海嘯を見る機会を得た。[Photo 3]ではなかなか実体を伝えることが難しい。まず、河口の方角から風が吹き始める、次に、砕波が近づく音が聞こえ始める。そして最後に津波のような海嘯が見える。1993年に発生した北海道南西沖地震津波による奥尻島の被害の中で風によるものと推定されるものがあったことを思いだした。10年後に起きた

インド洋大津波や17年後の東北地方太平洋沖地震津波とは規模が異なるが津波の甚大なエネルギーを感じることができた。後程、数値シミュレーション技術が発達してなんでも計算できるようになったと聞くが、風や音までは考えないでシミュレーションした結果の波の大きさが実現象と概ね合致する場合、このシミュレーションの評価はどうなるのであろうかと少し考えさせられた。



Photo 3 Tidal bore at the Qiantang River in China on September 24 in 1994

我が国と米国は古くからUJNR(US/Japan Natural Resource's Panel)を開催し研究協力を進めてきていた。海岸研究室長時代に2度海外で高潮・津波関係のUJNRを開催した。1995年はBerkley, 1996年はハワイであった。Berkleyに向かう飛行機が太平洋上を飛んでいる時に兵庫県南部地震が発生した。原因はよくわからないが、左腕に着けていた腕時計が止まっていたのは不思議であった、ハワイの会議には3.2で触れた底面波動境界層の論文を書かれた梶浦欣二郎先生も参加されており、初めて話を伺うことができ、嬉しかった。帰国後旅の礼状をいただいたときの喜びは倍旧であった。

1995年2月にフランスのボルドーで開催されたCoastal Change '95(BordomeR'95)に建設省の海洋開発官と参加した。著者は”Longterm shoreline change in Japan”と題して[Fig. 4]を用いて[砂礫浜の侵食・堆積の状況(田中・小荒井・深沢, 1993)を報告するとともに”Beach Erosion and Countermeasures in Japan”のポスターを掲示して日本の状況をPRした。会議での現地視察はボルドーから少し離れたところにあるアルカシオン湾の入り口にある高さ100mもある砂丘であった。会議の最後に、British Geological SurveyのPeter Cook 教授のまとめが科学者として謙虚で深く印象に残ったのでここに紹介する。まず、沿岸域で生じる問題への対策に関する論点として以下の7点を挙げ、

- 対策は本質的なものか、望ましいか望ましくないか？



Fig. 4 Long-term shoreline change (Advance/Retreat ratio) in Japan

- 関係者はだれか、失うものは誰で得るものは誰か？
- 原因は制御・抑制できるか？
- 対策は技術的に可能か？
- 対策は局所的なものだけか？
- 対策は広域的なものや国際協力的なものを含むか？
- 対策は予算的に可能か？持続可能か？環境の観点から好ましいか？

次のようにまとめた。

- 沿岸域は変化を加えても自己修復できる性質を有しているが変化があまりにも大きすぎると元に戻らなくなる。適度な利用が肝要である。
- 沿岸域においては自然に対峙するよりはむしろ自然と共に生きる努力をしなければならない。
- 変化は自然の一部であることを認識しなければならない。
- 我々は世界の海岸について多くの科学的知見を有しているが、それは知らなければならないことの本質の一部でしかない。

我が国の河川は大陸河川と比べて勾配が大きい。河口付近の河床まで大礫が見られる河川も少なくない。このような河川から海に供給されるものは大礫だけでなく、砂も運ばれる。海では波と流れによって様々に運ばれる。砕波帯内では波で浮遊する底質は流れに支配されて移動する。汀線付近に留まっている粒径の大きな底質は遡上波と引き波によりジグザグ状に下流方向に移動する。このような環境に長

期間晒され、現在の海岸地形が形成されていると認識する必要がある。石川海岸の波浪や底質の現地調査の結果、[Fig. 5]に示す漂砂が想定された(田中ら, 1996)。砂礫の供給源と考えられる手取川の河口より南西側に位置する海岸では、[Photo 4]に示すように海食崖の前面に礫があり、砂はほとんど見られない。これと似たような状況は、河口付近まで礫が見られる富士川河口や新宮川河口付近でも確認できる。河口の左右岸では、大礫の分布は波向きで説明できるが細砂の分布は波浪だけでは説明できない

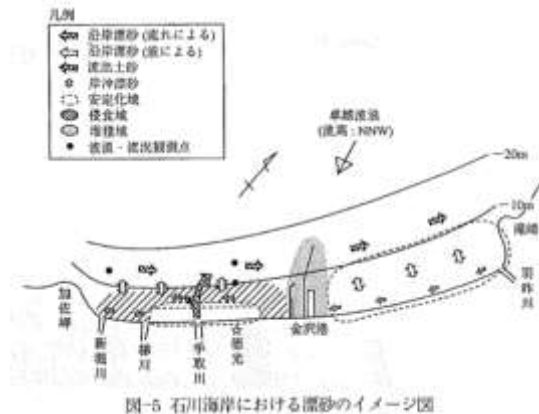


Fig. 5 Patterns of sand drift along the Ishikawa coast



Photo 4 Narrow pebble beach in front of the sea cliff at the southwest part of the Ishikawa coast

## 5. 河川法改正と治水事業

1997年に河川法が改正され、河川法の目的に河川環境の整備と保全が加えられるとともに地域の意見を反映した河川整備の計画制度が導入された。著者は同年4月に国土開発技術研究センター(現一般財団法人国土技術研究センター)に出向し、法改正を踏まえた治水事業の推進に関する業務を担当した。

### 5.1 水文頻度解析プログラムの開発

改正前の河川法では工事実施基本計画が河川審議

会の意見を聴いて作成され、これに基づいて河川工事が実施されていた。改正河川法では河川整備基本方針と河川整備計画の2段階に分かれ、後者については地方公共団体や地域住民の意見を反映して策定されることになった。このような変化を踏まえ、計画案を検討する段階で客観性、科学的合理性が求められた。治水計画は100年～200年に1度の頻度で発生する洪水を対象に基本高水を定めるが、たかだか数十年の記録しかないので、まだ経験していない規模の外力を外挿によって推定することになる。この際に用いる水文頻度解析について検討する必要がある。当時参考に来たものとして、応用水文統計学（岩井・石黒，1970）、水文統計論（角屋，1964）およびHandbook of Hydrology (Stedinger et al., 1993)があり、後に、水文・水資源ハンドブック（星，1997）、水文頻度解析（1998）が加わった。

治水事業の計画業務を担当しているコンサルタントはたくさんあって、それぞれが独自の計算ソフトを有していた。その状況を調べてみると同じデータに対して必ずしも同じ確率水文学量が得られるわけではなかった。このため、いずれかのコンサルタントを選択することはできなかった。また、情報公開制度の関係から、単年で終わることができない治水計画案の検討は、検討段階の成果物が公開の対象になることから発注を躊躇う傾向にあった。このような状況を踏まえ、河川担当事務所の職員自ら検討することが求められた。

著者は河川法改正で新しく増えた業務に対応するために出向したので、これを引き受けることになった。20-30年前に書かれた書籍や論文を片手に事務所の職員が容易に使えるソフトを作成するのは簡単ではなかった。何年も時間をかけてられないので、海岸研究室長時代に触ったことのあるWolfram社のMathematicaを使って検討することにした。計算方法も決まっているわけではなかったもので、色々な方法をやってみて状況を図にして見ることが容易であったことでこれを選んだ。また、Mathematicaは色々なプラットフォームで動作することも採用の理由であった。実際に検討を始めてみるとよくわからない点が次々に見つかった。論文を読んでもわからない部分は著者に直接聞く方が早いと思い、角屋睦先生、星清先生、江藤剛治先生、端野道夫先生、山田正先生、寶馨先生に面会して教えていただいた。

各地方建設局の担当者が担当している河川のデータを持ち寄って、建設省河川局、土木研究所の担当者も加わって頻りに情報共有し議論した。この結果、1998年9月に土木学会の水工論文に「河川流量の頻度解析における適合度と安定性の評価（田中・宝，1999）」と「毎年資料と非毎年資料による確率水文学の評価

（田中・宝，1999）」の2編の論文を投稿することができた。また、この頃から、統計数理研究所の研究集会「極値理論の工学への応用」に参加するようになった。国土開発技術研究センターで使用していた水文頻度解析プログラムは、後に水文統計ユーティリティの元になっている。

## 5.2 東海地方の国土保全事業

国土保全に係る海岸事業と治水事業の大きな相違は利害関係者にあると思う。海岸侵食で国土が削られる時、沿岸の住民は被害者であり、その対策を行うことに基本的に反対する人はほぼいない。しかし治水事業の場合、洪水氾濫が起きた場所での対策が他の部分、例えば、対岸や下流域などで従前より条件が悪くなるのが一般にありうる。このため、治水計画の対象洪水の規模や対策の合意が簡単ではない。関係者が合意するためにも計画の客観性、透明性が求められる。

1999年12月国土開発技術研究センターへの出向が終わり、中部地方建設局豊橋工事事務所（現中部地方整備局豊橋河川事務所）へ異動となった。豊川と矢作川を管理している事務所である。豊川流域は古くから高度に水利用されてきており、上流に計画されていた設楽ダム計画があった。水需要の逼迫している地域であるとともに洪水調節の役目も期待される多目的ダムである。河川法改正を受けて河川整備基本方針への位置付けが事業を前進させるためには必須であり、流域委員会を設置して議論を重ねていた。ダム問題については、豊川流域の下流域には上流域出身の住民が多く、上流域は下流域のために必要な事業には協力すべきだという雰囲気があった。豊川流域に残っている4箇所の霞堤地区の取り扱いが議論になった。河川の改修状況を考慮しながら浸水頻度を下げる可能性を探った。その当時、計画対象以上の洪水時に流域のどこを守るのかというところまで突っ込んだ議論はなかった。現在、全国規模で進められている計画を超える大規模洪水を対象にする流域治水の取り組み次第ではすでに締め切った霞との関係など議論を尽くして、方向性が変わってもいいかもしれない。流域委員会で言われていた言葉に「流域圏の一体化」があった。水を融通してくれる人々への「水札」の気持ちが維持されれば一体化も夢ではないと思う。

2000年9月11日発生した東海豪雨では庄内川だけでなく矢作川上流の槍ヶ入で総雨量600mmの大雨となり、岐阜県恵南地方も大きな被害を受けた（東海豪雨災害土木学会調査団，2000）。上流部では多くの沢が樹木とともに崩壊し、35,000m<sup>3</sup>もの流木が矢作ダムに流れ込んだ。[Photo 5]に示すように、矢作川に

建設されていたアーチ式の矢作ダムのカレストゲートから洪水流が放流される状況になった。ダム下流の河川沿いの集落では低いところの家屋は柱と屋根のみが残るほどの被害を受け、一方、川から離れた住宅は無傷であった。災害後、被災した人は「また今年台風が来たら、どうなるかと心配」し、被災しなかった人は「この災害は100年に1度のものだから、しばらく大丈夫」と、同じ現象を経験し、見ていながらこのように非常に異なる認識であった。これが人間の本質であれば、なかなか防災インフラの必要性をわかりあうのは難しいと感じた。



Photo 5 Outflow from the crest gates of the Yahagi dam

2003年4月三重河川国道事務所へ異動となった。河川系事業については鈴鹿川、雲出川、櫛田川、宮川を管理しているとともに伊勢湾西南海岸保全事業も担当していた。2004年9月29日に三重県中南部を襲った大雨は南部で大被害となった。事務所管内では、津気象台で3時間に270mmの豪雨で、津市内は至る所で一時的に浸水した。特に周りより少し低い部分は浸水を免れることはなかった。事務所管理の4河川のうち宮川が被害大で、洪水時に11m余り水位上昇し、下流沿岸で浸水が発生した。中流部にある発電用の三瀬谷ダムが被災した。避難に関する取り組みとして、非常時に生徒を学校から家に返すのではなく、安全が確認できるまで学校で保護するよう転換が始まった。伊勢市の新興住宅地円座地区においてコミュニティの活動で一時的に不明だった子供が救出された。事務所所管外の南部地域の状況はさらに深刻であった。[Table 1]は三重県中南部地域の降雨量を示したものであり、紀北管内の三戸、中里では24時間雨量が1000mmを超えていた。赤羽川上流で大規模崩壊が発生し、[Photo 6]に示すように崩壊土砂で川沿いの道路が1m余り礫に埋まっている。下流ではJR橋梁が流失している。しばらく災害後被災地を訪れるたびに、経路上の道路の脇に夥しい湧水が見られた。宮川上流の小滝では[Photo 7]のように崩壊土砂が端の上に到達している。写真でわかるように崩壊斜面は谷状の地形ではない。橋が取り付けられていることから周りよりは橋が短くて済む場所、すなわち尾

Table 1 Rainfall record at middle-south area of Mie pref. on September 29<sup>th</sup>, 2004.

雨量データ		前年の年間(平成16年)			今回(台風21号のみ)	
		前年最大	24時間最大	年合計	前年最大	24時間最大
紀南管内	松原観音堂	34	110	1,907	75	313
	吉原	47	496	2,465	193	759
	朝日	40	764	2,277	89	319
	藤井	43	371	2,322	103	409
	文島中屋	42	466	3,326	59	442
	伊勢	73	477	2,871	131	495
伊勢管内	高田	47	380	2,425	109	483
	青川(園)	53	429	3,352	129	747
	伊勢観音堂	44	316	2,525	78	383
	朝日	46	319	2,819	83	512
	大宮	44	280	2,934	84	445
紀北管内	大穴山(園)	130	301	3,081	199	714
	紀北観音堂	42	423	4,127	131	734
	三戸	59	305	3,049	151	1,122
	中里	78	392	3,724	129	743
	徳ノ庄	31	413	4,977	153	773
	分字入所	53	428	4,189	133	394
中里	73	412	4,289	134	1,007	

注: 黄色は観測最大値を更新

過去の主な災害

河川の主な災害	総雨量	24時間最大	被害箇所
昭和34年伊勢湾台風	連続雨量 725mm	日最大 418mm	宮川
昭和40年七夕豪雨	105	424	伊勢市
昭和50年7月豪雨	73	338	紀北中野
昭和57年台風10号	68	583	宮川ダム
	71	519	豊野ダム
	62	514	観音堂
	76	541	飯沼市小舟野



Photo 6 The road was buried with more than 1m debris in Akaba river, Mie pref.



Photo 7 The slope failure flowed to the nearby bridge at Kotaki in Miyagawa river, Mie pref.

根地形であるが斜面が崩壊している。宮川の谷は南側の北向き斜面が急で北側の南向き斜面が緩くなっていて、北側斜面が流れ盤になっていることが原因しているとのことであった。



## 6. ICHARMでの国際的活動

International Centre for Water Hazard and Risk Management under the auspices of UNESCO (ICARM, ユネスコ後援機関 水災害・リスクマネジメント国際センター)は2006年3月6日に正式に設置された。著者は2005年4月より独立行政法人土木研究所に異動しており、発足後、初代国際普及チームの上席研究員となった。2005年8月30日に発生した米国New Orleansを中心としたハリケーン・カトリーナの災害調査はICARMが正式に発足する前のことであるが、研究環境は整っていたので本章に入れて記す。

### 6.1 ハリケーン・カトリーナによる高潮災害

2005年8月30日強大なハリケーンカトリーナはニューオーリンズ(NO)を襲った。この災害の調査は、当初、治安状況から国際的な調査団の活動が制限されたが、大規模高潮災害を経験していた日本とオランダの研究者にそれぞれ1名ずつ参加の打診があり、その時に、著者は日本の代表として派遣された。オランダからはデルフト工科大学のJurjen Battjesが参加した。わが国は昭和28年9月の台風13号による三河湾を中心とする高潮災害を契機に、コンクリート3面張りの海岸堤防を築き始め、伊勢湾台風時にすでに完成していた部分は大いに効能を発揮したことを

踏まえ、その後の高潮対策事業の展開へと進んでいる。オランダは同じ1953年2月の北海での高潮により大被害を受けたことが契機となってデルタプランが進められてきた。両国とも高潮対策の経験年数は同じである。何かの縁かもしれない。

派遣にあたって、国土交通省は防弾チョッキを用意してくれたので持っていったが、調査団のメンバーと行動をともにする限り現地で着用する必要はないと判断し、使用しなかった。

NOの中心部は、[Fig.6]に示す周りの小高い堤防システムによって守られている。この図の中央部に位置する17th street canalの堤防は[Photo 8]の上段中央のように台形の土堤の天端にI型のコンクリート壁を



Fig. 6 Defense levee system of New Orleans



Photo 8 Hurricane Katrina's damages of storm surge protection levee system in New Orleans.

打ち込んだ形となっている。中段右のように水位が高くなった時に、壁面に作用する水圧で壁が傾いている。壁が傾くと土堤は水平方向に押され、壁の字弱点部分から一連の堤防システムが壊れてしまう。中段左のように背後地は非常に低いので、堤防システムが破壊した時には破壊力のある洪水流が駆け降りてくる。下段中央はこのような流れにより移動した平家の家屋と敷地である。下段左のように矢板の上にコンクリート壁を乗せたような構造の部分もあったが、一連のシステムがなぎ倒されている。中段中央は堤防が外側に押されることで変形したフェンスと小屋や小さいプールの堤防側が少し押し上げられているのがわかる。下段右はバージが高潮の際に防護壁を越えそうになったことを示している。筆者が訪れたのは災害後1カ月余り経っていたが、水位が異常に高く感じられたのは、実際は防御システム全体が沈下しており、平常時の水位に対してかなり脆弱なシステムのまま高潮を迎えた可能性がある。土堤の天端まで50cmぐらいのところには水面があるとコンクリート壁のような異物を含んだ土堤を水圧を受けたコンクリート壁が押すことで容易に変形すると想定できる。破壊場所では土中に硬めのソフトクリームのような粘土層が含まれており、水分が高い状況では非常に脆弱になっていたと考えられる。

現地を調査していて奇妙に思えたのは、満潮時や平時の水際を示す痕跡に余り気づかなかったことである。理科年表(国立天文台編, 1996)で世界の無潮点の分布を見るとメキシコ湾の中にもあるので元々潮位変化は高潮時以外小さいのかもしれない。

## 6.2 ICHARMの活動方針と研修

ICHARMは、「世界の水関連災害を防止・軽減するために、各地域の実態をふまえた的確な戦略を提供し、その実践を支援する世界的な拠点としての役割を果たす」ことを使命としており、活動の柱として研究、研修、情報ネットワークを掲げ、Advanced TechnologyとCapacity Developmentの開発と普及を推進し、Local Practices(現地での実践)を目指している。

著者は、国際普及チームの上席研究員として、研修ではUNISDRやJICAの協力を得て津波研修や洪水ハザードマップ研修を実施するとともにJICAの支援を得て政策研究大学院大学と連携した修士課程の防災政策プログラム水災害リスクマネジメントコースを2007年から実施している。この水災害リスクマネジメントコースについては、ICHARMを退職した後も引き続き1科目の講義を担当している。

研修の実施にあたり、その効果を高めるため筆者は二宮尊徳の教えを引用した。即ち、「至誠」、「勤労」、「分度」、「推譲」、「積小為大」および「一

円融合」である。内村鑑三のThe representative men of Japanはインターネットでも見ることができるので、内村の意思が直接伝わるメリットがある。明治の時代ではあるが、社会開発の面から重要な視点が語られていると思っている。最も他人のために努力した人を学生や研修生が投票して選んだ者を表彰する尊徳アワードも設けた。

## 6.3 ADB資金によるプロジェクト

ICHARMはフラットな組織であり、職員が活発に活動している。2009年11月13日アジア開発銀行の本部で“Regional Technical Assistance (RETA) 7276: Supporting Investment in Water-Related Disaster Management”というプロジェクトの調印が行われた。履行期限は2011年であった。この活動はアジアの国々でいろいろなサポートを行うものであり、そのうちの一つに、カンボジアのメコン川下流域(LMB)を対象にしたものがあった。“Methodology for Identifying Physical Components to Compose Flood Vulnerability Index (FVI) Considering Micro-Topographical Effect”と題するもので、LMBにおける微地形を考慮した洪水脆弱性指標を導き出すというものである。LMBでは雨季の始めからの累積雨量が500mmに達した時に田植えが行われていたこと、コルマタージュという独特の水利用システムにより河川水位が高い時にはデルタの水位も同等となることが過去に行われた研究やFlood Management and Mitigation Programme 5でわかっていた。これらの情報を踏まえ、まず、地形情報から雨季に水田として使われる部分を抽出し、次に水文資料を整理することにより、LMBにおけるグリッド毎の米生産の洪水脆弱性を、各地点の標高と水位変化から水深変化に変換し、イネの成長を考慮して収穫量に変換するという方向性が見えてきた。この段階で、東日本大震災が発生し、多くの社会活動が止まったが、幸いICHARMは停電の影響もなかった。外部とのやりとりがない中で、洪水脆弱性検討のための時間的余裕ができ、4月に結果を報告することができた。

## 6.4 現地散水試験による流出・浸透特性

都市化が進むと狭い範囲の流出状況の変化も気になる。比較的狭い流域からの流出を考える際には合理式が用いられるが、対象範囲の流出係数を知る必要がある。降雨強度が十分大きい領域では浸透強度は土の浸透能にほぼ等しくなると考えられるが、そうでない場合は流出強度は降雨強度とともに変化する。したがって流出係数は土の浸透特性だけでなく降雨強度などによって異なる値をとるものと考えられる。そこで、散水試験で降雨強度を変えて土の浸

透特性を調べることにした。最初、土木研究所には均等に水を散水するスプリンクラーを有する実験室があったが、それを用いてみると時間雨量50mmや100mmの雨では、普段体験する強い雨のように顔や手に当たる時の衝撃がなく心地よいものと感じられたので、これでは土の表面での豪雨時の現象を試験することはできないと判断し、[Photo 9]に示す高さ3mの架台からフラットノズルを用いて散水することにした(田中・時岡, 2007)。測定範囲内のみ散水すると土壌内で水平方向の浸透が起こり、適切に区画あたりの流出を把握することができないと考え、1.5m四方に散水し、その中央部1m四方の区画の流出



Photo 9 Field sprinkle equipment for infiltration

を測定した。土壌の条件を揃えるため、前日に十分散水し、1日おいて重力排水が完了した時点で散水試験をおこなった。流出強度は区画からの流出をバケツに受け、30秒または1分間隔で量を測定した。

[Fig. 7]は180mm/hの降雨強度での流出試験の結果である。流出の立ち上がり部分はS字型を呈するが、時間の経過とともにやがて安定する。この状態の浸透強度を降雨強度 $R$ に対する安定浸透強度 $Is$ とする。

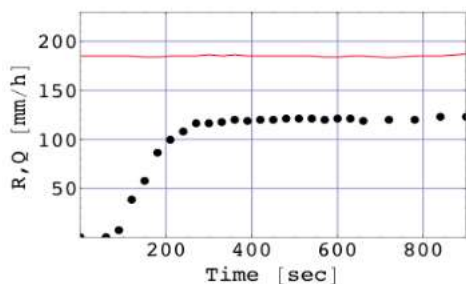


Fig. 7 Runoff experiment against rainfall intensity 180mm/h for infiltration

$R$ と $Is$ の関係は、 $R$ が十分大きい場合の安定浸透強度 $\alpha$ を考えると、式(2)で表されると想定される。

$$Is = \alpha \tanh\left(\frac{R}{\alpha}\right) \quad (2)$$

[Fig. 8] は、6地点の土壌における試験結果に対し

式(2)を最小二乗法により当てはめたものであり、 $R$ を変化させた場合の $Is$ の変化をよく表している。なお、札幌(除根)、町田市および町田市(山)の3カ所については他に比べ安定浸透強度が小さいものが含まれている。これらは3カ所ともにその場所での最後の試験であり、それ迄の散水によるクラスト化等の影響が表れている可能性もある。

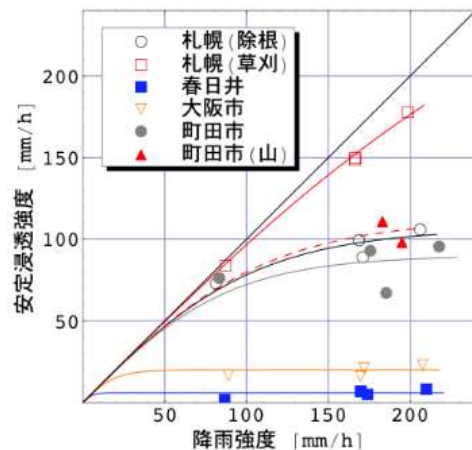


Fig. 8 Steady infiltration against different rainfall intensities for six different soils in Japan

[Fig. 9] は、村井・岩崎(1975)の資料に式(2)を上記と同様の方法で当てはめたものである。村井・岩崎が指摘しているばらつきの多い耕耘裸地を除けば概ね良好な適合性を示している。

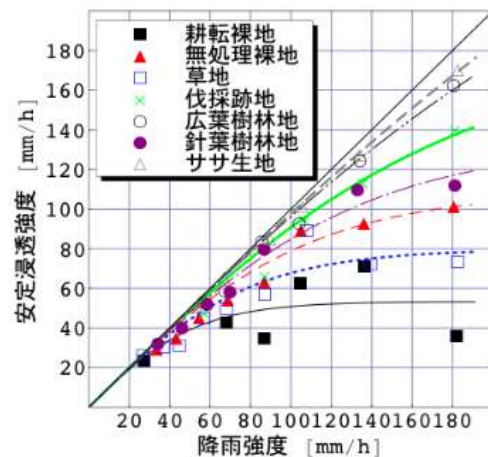


Fig. 9 Application of equation (1) to the field experiments of Murai and Iwasaki(1975)

## 7. 防災研究所での活動

著者は2013年8月1日防災研究所附属水資源環境研究センターの教授として赴任した。また、水資源環

境研究センターのセンター長を2014年から4年務めた。所内や宇治地区の業務として、宇治事業場衛生委員会や情報セキュリティ委員会、広報国際委員会の委員を務めた。豪雨災害については、2013年9月16日の台風18号による桂川の出水、2015年9月の関東・東北豪雨、2017年7月の朝倉をはじめとする九州北部豪雨、2018年のいわゆる西日本豪雨および2019年の東日本台風および2020年球磨川の災害などがある。

宇治事業場衛生委員会で「1件の重大事故の裏には29件の軽微な事故と300件の事故に至らないヒヤリ・ハットがある」というハイネリッヒの法則を学んだ。この感覚は、極値の発生状況にも似ていて興味深い教えだと思った。宇治事業場は一般の職場と違い、始まりや終わりが定時ではない。目に見えない危険物を扱う部屋が点在している。何か起きれば影響は少なくないと心配しながら過ごした。

新型コロナウイルスの影響は波のように変化している。その状況の消長が明確にわかっていたわけではないが、2020年度の公開講座を和歌山市において対面で行えたのはよかった。まるで波の間をすり抜けたようだった。

2015年9月の関東・東北豪雨の災害では、科学研究費補助金・特別研究促進費で研究代表者を務めた(科学研究費補助金特別促進費, 2017)。**①降雨実態の解明と気象情報発信のあり方(気象グループ)**、**②越流・破堤・浸水域の地形・地質特性と堤防の安定性(地質・地盤グループ)**、**③鬼怒川流域の水理水文状況(水文グループ)**、**④河道内状況と洪水流況(河川グループ)**、**⑤破堤氾濫による浸水・一般被害の調査(氾濫グループ)**、**⑥氾濫による農業被害の調査(農業被害グループ)**、**⑦防災・避難情報の伝達に関する調査(防災・避難情報グループ)**の7グループの研究分担者25名、連携研究者31名の総勢56名をまとめて研究を推進した。この研究の一部で降雨の状況と警報などの行政からの情報の発表状況の推移がわかる災害タイムライン閲覧システムを作成している。普段なら問題なくできることが、刻一刻と周囲の状況が変わる中で災害対応を的確に進めることは難しい。このための訓練の道具として使っていただければ幸いである。

防災研究所に在籍していた時に行った災害調査で気になるものをあげたい。まず、赴任した年の8月30日に特別警報の運用が始まったばかりで、9月16日に全国で初めて大雨特別警報が、滋賀県、京都府、福井県に出された。

[Photo 10]はその時の携帯電話の画面である。テレビでは桂川の嵐山付近で急勾配の川を洪水が下る様子が映し出されていた。下流で桂川に左から合流する鴨川の左岸の農地では噴砂が見られた[Photo 11]。



Photo 10 picture of the extraordinary heavy rainfall on the mobile phone.



Photo 11 Sand boiling at the farmland beyond the left embankment.

2004年の宮川で左岸の田圃の中にいくつも見られたのを思い出した。噴砂が起きたからといっていきなり大事に至るわけではないが、それより大きな洪水時には心配である。一般に台風による強風や雨は進行方向の右側で激しくなると思っていたが、認識を新たにした。台風18号のコースは昭和28年(1953)の13号台風と似ていた。

2015年9月関東・東北豪雨の災害では、熱帯低気圧と台風に挟まれた領域に複数の線状降水帯が消長を繰返し、鬼怒川流域をはじめとする広い範囲に大雨をもたらした。この災害の後、国土交通省関東地方整備局(2015)より発表された資料を用いて基準点石井上流の年最大3日流域平均雨量について解析したところ、1950年代から1960年代の比較的年最大値が小さい年から2015年までの時系列は有意な増加トレンドを示すがそれ以外の年から始まる時系列は増加トレンドが有意とは言えない。一方、100mm超過値はこの90年間に164回発生しており、[Fig. 10]に示すように11年移動平均した資料でみると、破線で示す事象あたり降水量はほぼ横ばいであるが、事象数が1970年過ぎから増加傾向にあり、年間の100mm超過事象の合計値も増加傾向にあって豪雨の増加傾向が見てとれる(科学研究費補助金特別促進費, 2017)。

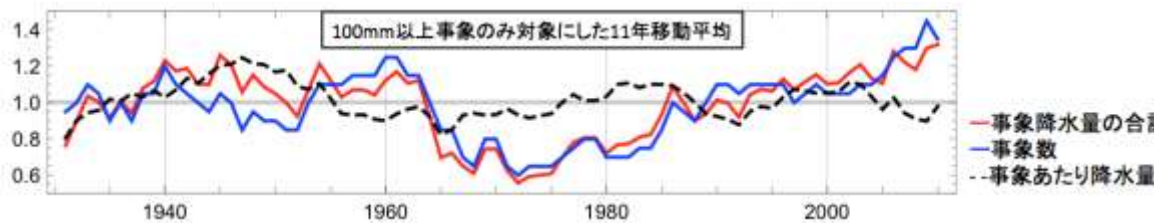


Fig. 10 The 11-year moving average for annual total (red), number of events (blue) and rainfall amount per event (dashed black) for upper basin average 3-day rainfall in the Kinu river.

2018年の西日本豪雨では、長時間にわたる降雨により、至る所で土砂災害や洪水氾濫などが起きたが、1977年以降のAMeDAS降水量を用いて作成されたAphroditeの0.05度グリッドの2日降水量で見ると2017年までは、広島県東部を中心に200mm未満の地域が広がっていたが、2018年の災害後にはこの地域はなくなっており、能登半島の付け根付近と長野県北部が既往最大降水量の小さい地域として残っていた（京都大学防災研究所，2019）。

2019年の東日本台風では既往最大降雨量を更新するところがたくさん見られた。特に2015年に国土交通省が発表した想定最大クラスの雨を超えるものもいくつか見られた。神奈川県で城山ダムでは流域平均雨量でも超えていた（科学研究費補助金特別促進費，2020）。現在では、ハザードマップの対象外力として、治水計画クラスのものと同想定最大外力クラスのものと同2種類用意することになっている。想定最大外力の設定に際し、全国を15に分けた地域で、地域内の既往の最大記録が使われているがこれは新記録が出れば更新されなければ意味が薄まる。西日本豪雨を経験して思うには、これまでの対策の外力としてその地点の記録にこだわりすぎているきらいがあり、周辺にもっと大雨の降っている地域がある場合、少しは斟酌するべきであろう。

## 8. 水文頻度解析に思うこと

筆者は1997年から、水文頻度解析に取り組んできて、四半世紀になる。この間色々な変化があり、その当時のことを振り返って書いてもあまり役に立たないので、今、思うことを少し書きたい。

まず、確率分布についてである。当初の論文を見るとわかるが、幾つもの分布を比較している。専門家の間では極値資料は極値分布を用いて解析するのが一般的であるので、極値分布に絞っていくべきである。

極値資料にはブロック最大値（年最大値は1年をブロックとするブロック最大値である）と閾値を超過する独立なピーク値を用いる閾値超過資料がある。

応用水文統計学にいずれの方法を用いてもほぼ同等の答えが得られるので、資料整理の簡単な年最大値を用いれば十分であると書かれているが、非常に長い記録があればそのようなことになると思われるが、我々が扱う短い観測期間の資料では、年間の第二位の極値が他の年の年最大値より大きくても使われないことや年最大値が極端に小さいものが含まれている場合に外挿極値が影響を受けるなどの課題も有している。この影響は特に観測期間が短い場合顕著である。筆者は防災研究所に赴任してから、両方の方法で整理した確率プロットを比較するようにしている。多くの場合、短い継続時間の雨は上限を持つ確率分布が当てはまえられることが多いが、継続時間が長くなると概ね裾の厚い分布が当てはまられることが多いと感じている。上述の鬼怒川の調査報告書にも見られる。ある継続時間の雨の極値資料が上限を持つ分布で当てはめられ、それより長い継続時間の雨が上側に裾の長い分布となると、ちょっと困惑することになる。

なお、閾値超過資料を抽出する基準となる閾値の選定方法は少々難しい。最初は目視で判断していた。これは指数分布があてはまることを前提とした方法である。年最大値の一般極値分布(GEV)と比較するのであれば一般パレート分布(GP)を基本として閾値を選定する方法を採用しなければならない。標本平均超過関数を用いる場合、指数分布は標本平均超過関数の値が一定値となる範囲の下限、GPはそれが直線となる範囲の下限と判断できるが、まだ、作業する人の判断が必要である。必要な低次のL積率だけでなく一つ高次のL積率を用いて複数の母数の関係を満たすL積率比を条件に用いる選定手法を提案し、計算機のみで作業ができる手法を開発した（田中ら，2021）。

## 9. 興味ある話題

国土保全に関わる仕事に携わる中で気がついたことの中から2点ほど述べたい。

## 9.1 厳しい海岸侵食

海岸侵食については4.3に述べたが、厳しさの分布は地殻変動から想定される状況とは異なる。日本の海岸事業は重要度、規模に比べ、貧弱である。問題が起きている部分の手当てさえ十分でない。海岸侵食をめぐる話題としてもっと厳しいものがある。例えば福島沿岸、北海道の日高胆振沿岸など旧国鉄の軌道が過去に内陸側に付け替えられている。流砂系の議論の中であまりこのような侵食を引き起こす外力について明確な説明がないような気がする。鉄道ファンは少なくないことから、このことに気づかれている方も多いと思われる。

表浜は渥美半島の太平洋側にある。浜名湖の今切れ口から西側は片浜十三里と呼ばれており、海食崖の麓に砂浜がある海岸である。筆者は豊橋河川事務所に勤務していたときに中部地方整備局の職員と共に視察したことがある。豊橋市の太平洋沿岸は海食崖の背後は平坦である。ここに城下という地名がある。海岸侵食により昔、城のあった地点が1 km以上沖合にあると聞いた。渥美半島の南側は3つのコントロールポイントに区切られた階段状の砂浜に分けられる。中ほどの砂浜にある赤羽根漁港はその東側に広い砂浜があるので砂浜の砂は西向き力を受けていると思われるが、恋路ヶ浜の東の堀切あたりでは細礫～極粗粒砂となる。時と場所によっては、[Photo 12]に示すように、それを普通の粒径の砂が覆っていることがある。海の砂の動きは簡単でない。



Photo 12 Beach sediment composed of two layers. the coarse sand layer under surface sand layer at Horikiri coast Atsumi peninsular, Aichi pref. (photo taken on Sep. 6<sup>th</sup>, 2001)

福島沿岸がわかりやすいのは、現地で昔使用していたトンネルが残っているからである。一般にポケットビーチの砂浜は安定的であるが、著者が海岸事業を担当していた時には長大な海岸だけでなくポケットビーチと考えられる砂浜の侵食にまで対策を打たねばならないほどであった。

[Photo 13] は2008年11月に訪れたベトナムのNam

Dinh海岸の様子である。Red riverの河口デルタの南側に位置している。底質は非常に細かく海水の色も泥を含んでいるようであった。シルト質の海岸は一般的に勾配が緩く、我が国ではあまり侵食が著しいところは聞かないが、ベトナムの状況で、認識を新たにした。現地の話では16世紀の教会がすでに海に沈んでいるということであった。[Photo 14]



Photo 13 Nam Dinh coast is very mild slope. Many fishing huts are seen on the horizon (photo taken in Nov. 2008)



Photo 14 Coastal erosion has been severe at Nam Dinh coast, Vietnam (photo taken in Nov. 2008)

## 9.2 tanh関数をもう一つ

著者は、水文頻度解析に携わって、四半世紀になる。この間、直轄河川の資料や気象庁の資料を頻度解析する機会は恵まれた。その中で、最近、奇妙なことに気がついた。治水計画の関連では、降雨は計画降雨継続時間の極値が、流量はピーク流量の極値が用いられることが一般的であった。一般に洪水継続時間内の降雨を用いて流出計算して得られた洪水ハイドログラフのピーク値は、氾濫やダムなどによる貯留がなければ観測値とよく対応すると考えられている。しかしながら、降雨量の確率分布とピーク流量の確率分布が異なる特性を持っていることに気づいた。この話の概要は最終講義でも触れたし、2022

年水工論文にも投稿している(田中ら, 2022). また, 日本自然災害学会誌巻頭言にも紹介している(田中, 2022).

ここでは, 鬼怒川流域について述べる. 2015年9月に鬼怒川流域をはじめとする地域が, 南北につながる線状降水帯の影響を受けて大きな被害を受けている. 災害後, 国土交通省関東地方整備局(2015)から発表された「鬼怒川の流出計算モデルについて」には, 基準点石井(上流流域面積1250km<sup>2</sup>)における地点上流域平均3日雨量とピーク流量の既往の年最大値が掲載されている. 雨量と流量の資料が揃う, 1936~2015年の資料を用いた. 雨量とピーク流量の年最大値資料に一般極値分布(Generalized Extreme Value distribution, GEV)を当てはめた時の形状母数 $k$ について注目する. [Fig. 11] は雨量とピーク流量の確率プロットである. 雨量の確率プロットでは $k = 0.0094$ と0に非常に近く, サンプルに当てはめられたグンベル分布とGEVはほとんど重なっている. ピーク流量の方は $k = -0.2673$ と負で絶対値も大きくなっている.

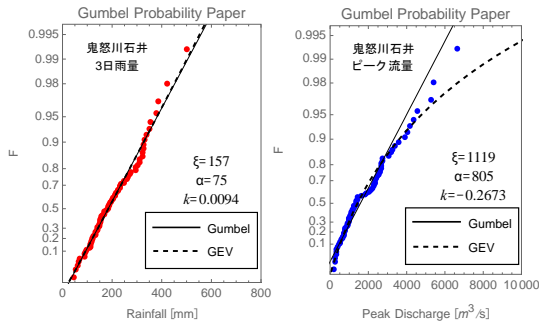


Fig. 11 AMS probability plot with fit of 3-day rainfall (left) and peak discharge (right) at Ishii in the Kinu river

この相違の原因はどこにあるのであろうか, 単に単位を  $m^3/s$  から一定時間あたりの雨量に変換してもこのような結果は得られない. まず, 降雨~流出関係を見してみる. [Fig. 12] は鬼怒川の総雨量と有効雨量の関係である. 縦軸は総直接流出高であり, 有効雨量である. 図の対角線は横軸と同じであるので, 対角線から有効雨量を差し引いた部分が損失雨量となる. 6.4 に示した安定浸透強度は狭い区画の試験であり, 流域レベルの損失雨量とは必ずしも比較できるものではないこと, また, 山田ら(1985)は, 用いるパラメータ数は異なるものの総降雨量と総損失量との関係が  $\tanh$  関数で表されることを示していることから, 総雨量 $r(mm)$ と損失雨量 $r_{loss}(mm)$ の関係を式(3)で表す.

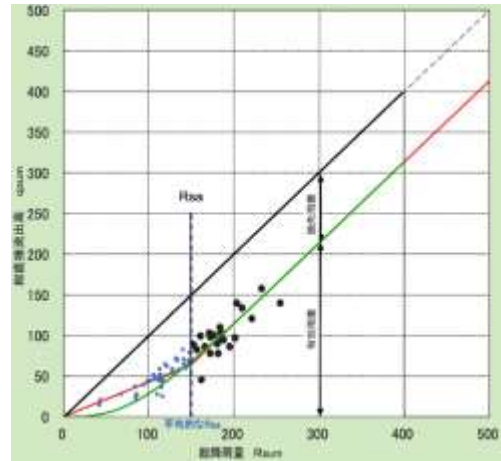


Fig. 12 Relationship among 3-day rainfall amount and effective rainfall at Ishii in the Kinu river. Note that the diagonal line also shows rainfall amount and the difference between the diagonal line and effective rainfall shows rainfall loss. The red line shows original rainfall loss and the green line shows eq. (4) with  $R_{sa} = 150mm$ ,  $f_1 = 0.42$ .

$$r_{loss} = R_{sa}(1 - f_1)\tanh\left(\frac{r}{R_{sa}(1 - f_1)}\right) \quad (3)$$

ここに,  $R_{sa}$ は飽和雨量(mm),  $f_1$ は一次流出率である.  $r - r_{loss}$ は有効雨量 $r_e(mm)$ であり, 式(4)で表される.

$$r_e = r - R_{sa}(1 - f_1)\tanh\left(\frac{r}{R_{sa}(1 - f_1)}\right) \quad (4)$$

損失雨量と有効雨量は簡単のため, 総雨量がグンベル分布で表されるとして, その場合の有効雨量をプロットすると[Fig. 13]のようになる. もし, 有効雨量の年最大値が十分大きく, 図の水色の範囲であるなら, 損失雨量が一定であるので, 総雨量と有効雨量はどちらも直線である. 有効雨量の年最大値が図の黄色の範囲を含む場合は, 一般にこの部分に多く

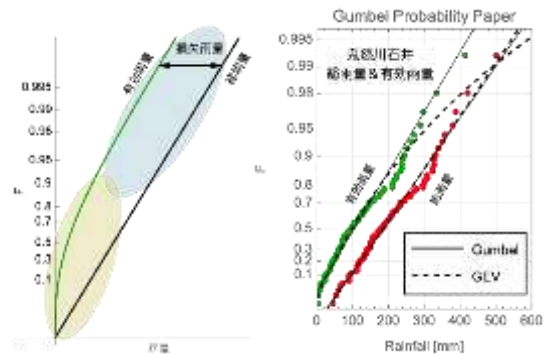


Fig. 13 Probability plot of total rainfall and effective rainfall (left)

Fig. 14 Comparison between probability plot with fit of 3-day rainfall and that of effective rainfall at Ishii in the Kinu river (right)

の年最大値がプロットされているので、当てはめる関数は上に凸のグラフとなる。すなわち、上側に裾の厚い分布となる。[Fig. 14]は総雨量と有効雨量の確率プロットを比較して示したものである。有効雨量の確率プロットは総雨量に比べ上に凸に曲がっているのがわかる。

## 10. おわりに

地球規模の気候変動により影響が我々の生活基盤に影響を与えようとしている。

災害対策施設はこれまでの災害を基本に再度災害を防止するよう計画されることが一般的である。潮位は日本海沿岸と太平洋沿岸では外力の特徴が異なる。日本全体の潮位は9月ごろ最も高く春先に低い。太平洋側の波浪は台風によるものが大きく頻度も高い、日本海側は冬季風浪である。仮に、全国一律の方法でその場所の最も高い天文潮の潮位条件に既往最大潮位偏差と波浪を加えて外力とし、これに耐えられる施設を整備するとしよう。

この問題は、起こりうる最大の外力を求めるには良いが、頻度を含めた判断ではないので、全国の相対的な安全度を議論できない。場所ごとに既往最大事象の発生状況により複雑である。

2022年の気象条件は、著者が水文頻度解析を勉強し始めてから振り返ってみると、かなり特異であるように感じられる。毎年のように大雨の降った後には、「〇〇日からの累積雨量は平年の△月の月雨量を超えています。」などと報道があるが、本年は特に多い気がする。

これまでの浸透強度や損失雨量の検討は、現象の理解としては興味あるところであるが、大雨時の流出を把握するためには不十分である。これまで、渇水ぎみの流域条件において、大雨に際し、異常洪水時防災操作（ただし書き操作）によって下流への被害を免れた事例が多く存在する。今年の条件は、洪水調節施設だけでなく流域にとっても大雨を迎えるには条件が好ましくない。土砂災害危険度情報のように監視対象の湿潤状態を知ることが重要である。

最後に、振り返ってみれば、著者は恵まれた環境に置かれたのかもしれない。土木研究所の実験自動化装置や河川法改正直後の国土開発技術研究センターでの水文頻度解析プログラムの開発そして日本で最初のユネスコカテゴリー2センターであるICHARMでの活動など、誰もやったことがない初めての仕事を任されたことが、色々な経験を積むことにつながった。そして、思い込みがちな自分を広い視野で見ることができるよう導いてくれた。人の

いうことを鵜呑みにしない、疑い深い性格、裏返せばやってみないと納得しない性格が、培ってくれた広いスペクトルとともになぜこうなるのかという疑問に答えを提供してくれたと思っている。読者の参考になれば幸いである。

## 謝 辞

本稿は、著者のこれまでの活動を概観して述べたものであり、大学入学からこれまで47年間にわたってさまざまな面でお世話になった方々に名前を上げて感謝申し上げるべきであるが、叶わない。この場を借りて感謝申し上げる。

## 参考文献

- 岩井重久・石黒政儀（1970）：応用水文統計学，森北出版，p.370.
- 科学研究費補助金特別促進費（2017）：平成27年9月関東・東北豪雨による災害の総合研究報告書，研究代表者：田中茂信，p.302.
- 科学研究費補助金特別促進費（2020）：令和元年台風19号および台風21号による広域災害に関する総合研究所報告書，研究代表者：二瓶泰雄，p. 295.
- 京都大学防災研究所（2019）：2018年平成30年7月豪雨災害調査報告書，p.100.
- 国土交通省関東地方整備局；鬼怒川の流出計算モデルについて，p.322，2015.  
([https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\\_content/content/000638061.pdf](https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000638061.pdf), 2022.5.1 閲覧)
- 国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所：大津分水パンフレット，  
[https://www.hrr.mlit.go.jp/shinano/bunsui/about/pdf/pamph\\_20200302.pdf](https://www.hrr.mlit.go.jp/shinano/bunsui/about/pdf/pamph_20200302.pdf)
- 国立天文台編（1996）：理科年表，丸善株式会社，p.1054.
- 田中茂信（2022）：治水に関わるすべての皆様へ，巻頭言，自然災害科学 J.JSNDS 41-2, pp.91-95.
- 田中茂信，北野利一（2021）；降水量のPOT解析におけるL-momentを用いた閾値選定方法，土木学会論文集B1(水工学) Vol.77, No.2, I\_1165-I\_1170.
- 田中茂信・小荒井衛・深沢 満（1993）：地形図の比較による全国の海岸線変化，海岸工学論文集，第40巻，pp.416-420.
- 田中茂信・小林健一郎・北野利一（2022）：流量および雨量の極値資料の形状母数から見える治水計画上の留意点，土木学会論文集B1(水工学) Vol.78.
- 田中茂信・佐藤慎司・川岸眞一・石川俊之・山本吉道（1996）：石川海岸の沖合における漂砂機構，海岸



- 工学論文集, 第43巻, pp.551-556.
- 田中茂信, 宝 馨 (1999) : 毎年資料と非毎年資料による確率水文量の評価, 水工学論文集, 第43巻, 土木学会水理委員会, pp.145-150.
- 田中茂信, 宝 馨 (1999) : 河川流量の頻度解析における適合度と安定性の評価, 水工学論文集, 第43巻, 土木学会水理委員会, pp.127-132.
- 田中茂信, 時岡利和 (2007) ; 現地散水試験による流出・浸透特性の把握手法に関する検討, 第62回年次学術講演会公演概要集, 土木学会.
- 東海豪雨災害土木学会調査団 (2000) : 第二回合同視察 ( 平 静 12 年 10 月 13 日 ) 報 告 , <https://www.jsce.or.jp/report/08/2/yahagiR1.html>(2022. 7.15閲覧)
- 星 清 (1997) : 水文頻度解析, 水文・水資源ハンドブック, 7.3, 水文・水資源学会編, 朝倉書店, pp.238-248.
- 星 清 (1998) : 水文統計解析, 開発土木研究所月報, No.540, pp.31-63.
- 村井 宏・岩崎勇作 (1975) : 林地の水および土壤保全機能に関する研究(第1報)—森林状態の差異が地表流下、浸透および侵食に及ぼす影響—, 林業試験場研究報告, 第 274 号, pp.23-84.
- 山田正, 石井文雄, 山崎幸二, 岩谷要 (1985) : 小流域における保水能の分布と流出特性の関係について, 第29回水理講演会論文集, pp.25-30.
- Stedinger, J.R., R.M. Vogel, and E. Foufoula-Georgiou (1993) : Frequency Analysis of Extreme Events, Chap. 18, Handbook of Hydrology, (Ed.) D. R. Maidment, McGraw-Hill, New York, pp.18.1-18.66. .

(論文受理日 : 2022年8月31日)