

## 水文・水環境研究の35年

35 Years of Hydrologic and Hydro-environmental Research

久保田 富次郎\*

(KUBOTA Tomijiro)

## I. はじめに

水文・水環境研究部会は、その前身である応用水文研究部会が1988年4月に発足して以来、今年で35年目を迎えた。今回、学会誌企画・編集委員会から頂いた課題に、「20年、30年の科学的な歩みを振り返ることが、新しい技術の習得や普及を図るうえで有用な示唆を提供する」という一文があった。個人的にもこれまで、長らく水文・水環境分野に関わる仕事に携わってきたが、以前の現地観測や解析法を近年のものと比較すると隔世の感がある。それならば、35年間の部会の活動を、時代背景とともに関連分野の変化と併せて振り返ることが、与えられたテーマに応える一歩となろう。浅学を顧みず長期にわたる多様な研究を振り返ることは荷が重い。漏れや誤りなどがあれば遠慮なくご指摘いただきたい。

## II. 研究部会の沿革と部会誌「応用水文」

表-1に本部会の歩みと関連する出来事を示す。冒頭に述べたように、本部会は、1988年に水文学に関する学理と応用についての科学研究を推進し、この分野の飛躍的な発展を期して発足した。その後、2000年に水環境に関わる研究の広がりや水質研究の進展に伴い、これらの研究領域も含めることを目指して部会名を現在のものへと改称している。

活動の中心は、例年、初冬に開催される水文・水環境研究部会シンポジウムである。これは、2日間かけて開催され、発表数は平均すると10~14件程度である。その特徴は、発表と討議に十分な時間が確保されていることである。農業農村工学会大会講演会では、1発表当たりの時間が15分と駆け足であるが、シンポジウムでは30分程度が充てられる。発表内容は、当初は査読なしの論文として部会誌「応用水文」に掲載されたが、2007年度の第20号以降は、著者の意向で査読付きが選択できるようになり、それ以降は、査読論文と部会報告とに分かれている。さらに、2020

年の第32号以降はWeb公開されている。

「応用水文」は2022年3月に第34号が発行され、これまでに掲載された論文数は、大会講演会で実施された関連企画セッションの報告を含めると累計406本を数える。本報では、これらの論文タイトルから分野やキーワードを抽出または類推し、分類することで、研究対象や内容の変化を振り返ることを試みる。論文著者の意図にかかわらず論文タイトルから分類を行っており、客観性が担保された分類でないことをおことわりしておく。

なお、本報の参考文献はすべて「応用水文」であり、主著者の姓と掲載号を記載することで、文末の文献リストは省略した。

## III. 観測・解析技術の進展

応用水文研究の重要なツールの一つは観測技術である。観測機器はこの30年あまりで大きく変わった。個人的な経験と記憶の範囲から記すと、1990年代前半の水文観測機器は、たとえば、転倒式雨量計や温湿度計は記録紙を用いたゼンマイ式の記録計であったし、メモリー記録の自記圧力式水位計は1本当たり40万円強と高価であり、大型の外部資金が一般的ではなかった。当時の複数の水位計を導入することは難しかった。メモリーカードを用いたデータ記録装置も利用可能であったが、手元にあった機種は多数の単一乾電池を毎月確実に交換しないとデータが消えてしまうような代物であった。その頃はまた、米国Cambell Scientific製の高性能プログラム式データロガも私の周囲ではほとんど見かけなかった。

2000年前後になると、各種センサやデータロガの高性能化・品質向上と低価格化が急速に進んだ。たとえば、2000年に登場した小型データロガUIZ3635(ウイジン製、日置電機のOEM品)は、省電力に大きく寄与するプレヒート機能が付き、10分間隔の水位観測で3カ月を超える長期記録が可能で、かつ安価(2.5万円)であった。これにより、水位観測は1点当たり

\* 農研機構農村工学研究部門水文学研究領域



20万円を下回る低価格で可能となり、その後はセンサの低廉化も進んだ。さらに、2010年代からは携帯回線を用いた遠隔観測が普及し、近年の通信コストの低減と相まって、観測値だけでなく画像の送受信を含め驚くほどの低価格で遠隔観測が可能になっている。

また、この間、計算機の性能も格段に向上した。国内のパソコンをみると1988年はようやく普及が進んできた頃であり、16ビットまたは発売されて間もない32ビットのCPUを搭載したNECのPC9801シリーズかその互換機がメインであった。図-1に東京大学の大型計算機センター（現 情報基盤センター）

のスーパーコンピュータの理論演算性能の推移を表す。当時は、半導体回路の集積密度は1年半～2年で2倍になるというムーアの法則が余裕を持って実現されていた時代であったが、計算速度はこの30年強の間に100万倍超と飛躍的に向上した。

このような計算能力の向上を背景として、水文モデルにも著しい変化がみられた。1990年代の水文モデルは、雨量から精度よく流出を表すことができる菅原のタンクモデルを改良、展開したものを含めて集中型モデルが中心であった。たとえば、長短期流出両用モデル（角屋・田中丸2）、複合タンクモデル（中島ら4）、

表-1 水文・水環境研究部会の歩みと社会の出来事

	研究部会の歩みと主な出来事	海外の水害と干ばつ
1988年	・応用水文研究部会の発足：水文学の学理と応用に関する科学研究を推進	
1993年	・「環境基本法」の制定：「公害対策基本法」（1967年）を発展的に継承 ・公共用水域の水質要監視項目に硝酸性窒素が登録（環境庁） ・日本（鋼路）にてラムサール条約第5回締約国会議 ・鹿児島県で平成5年8月豪雨による水害	・米国で大洪水（4～10月）
1994年	・平成6年湯水。北海道～九州地方では小雨による湯水が深刻化。40都道府県で給水制限や断水を実施	
1997年	・「応用水文」第10号発行 累計掲載論文数109本 ・鹿児島県出水市の針原川土石流災害（7月）	・豪州南東部「ミネリウム干ばつ」（1996～2010年）
1999年	・農業環境三法（家畜排せつ物法・持続農業法の制定、肥料取締法の一部改正）が成立 ・硝酸性窒素が環境基準に（環境庁） ・台風9918号により八代海湾奥部（熊本県）で高潮。干拓農地等に甚大な被害（9月）	
2000年	・部会名を水文・水環境研究部会に改称：近年の水環境に関する研究の広がりや水質研究の進展に伴い、学会内での部会としてこれらの研究領域も含めることを目指す	・北米南西部大干ばつ（2000年～現在）
2001年	・IPCC第3次評価報告書「地球の平均地上気温は、20世紀に約0.6℃上昇した」（1月）	
2002年	・新潟県村上地域振興局管内で田んぼダムの取組み	
2003年	・農林水産環境政策の基本方針～環境保全を重視する農林水産業へ～ ・遊覧路「環境こだわり農業推進条例」（環境保全型農業直接支払の先進事例）琵琶湖集水域における農業負荷削減の進展が期待される	
2004年	・家畜排せつ物法により家畜ふん尿の素溜貯留が全廃 ・平成16年7月新潟・福島豪雨で刈谷田川などの堤防が決壊。広範囲で浸水被害	・インド洋大津波（12月）
2005年	・食料・農業・農村基本計画において、農業環境政策を政策の柱に	・ハリケーン「カトリーナ」米国で大水害（8月）
2007年	・「応用水文」第20号発行 累計掲載論文数245本 ・IPCC第4次評価報告書「ほとんどの地域で大雨の頻度が増加している可能性が高い」（11月）	
2010年		・中国干ばつ（2010～2011年） ・東アフリカ大干ばつ（2010～2012年）
2011年	・東日本大震災（3月）	・タイ洪水（7月～翌年1月）
2012年	・兵庫県「総合治水条例」：水田やため池の雨水貯留機能の活用（4月）	
2013年	・島根県と山口県で大雨（7月） ・伊豆大島で記録的な大雨による土砂災害（10月、台風1326号）	・インド北部洪水（6月） ・欧州洪水（5～6月）
2014年	・遊覧路「流域治水の推進に関する条例」の制定：「農地が有する雨水貯留浸透機能が持続的に発揮されるよう務めなければならない（一部）」（3月） ・水循環基本法の制定：「健全な水循環の維持・回復」に向けて総合的に施策を進める（7月） ・IPCC第5次評価報告書「21世紀の間、世界の平均海面水位は上昇を続けるだろう」	
2015年	・平成27年9月関東・東北豪雨で鬼怒川堤防が決壊	
2017年	・「応用水文」第30号発行 累計掲載論文数364本 ・平成29年7月九州北部豪雨、福岡県朝倉市、大分県日田市等で甚大な被害	・中国洪水（6～7月） ・ハリケーン「ハービー」米国等で水害（8月）
2018年	・西日本豪雨（7月）、倉敷市真備町で広範囲の冠水被害	・欧州洪水（10～11月）
2019年	・令和元年東日本台風（10月）、千曲川や阿武隈川の堤防が決壊	・豪州干ばつ（2017～2019年）
2020年	・一級河川水系において農業用ダムの事前放流が始まる（出水期より） ・熊本豪雨（7月）、球磨川水系の人吉などで広範囲の浸水被害 ・関係16省庁による「流域治水の推進に向けた関係省庁実務者会議」が設置される（10月）	・中国洪水（5～7月） ・北米干ばつ（2020～2022年）
2021年	・IPCC第6次評価報告書「人為起源の気候変動は、世界中のすべての地域で、極端現象にすでに影響を及ぼしている」（8月）	・豪州東部洪水（3月） ・欧州洪水（7月） ・トルコ洪水（8月）
2022年	・「応用水文」第34号発行 累計掲載論文数406本	・豪州東部洪水（2～4月） ・欧州干ばつ（7月～）

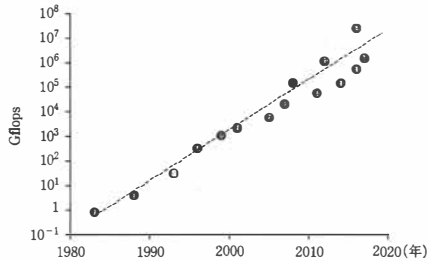


図-1 東京大学のスーパーコンピュータの理論演算性能の推移（東京大学情報基盤センター）

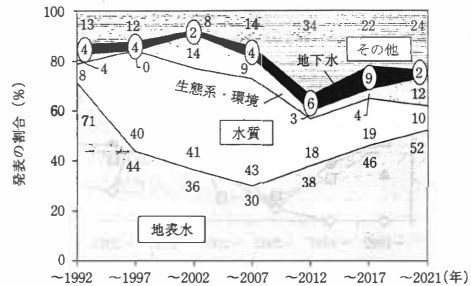


図-2 「応用水文」の発表における分野別割合

タンクモデルとLQ式の組合せによる流出負荷量の推定（黒田7）などである。その後、2000年代以降は分布型モデルへと展開した。流域を対象としたものとしては、流出解析への適用（松本ら19）、水田灌漑地区への適用（吉田（武）ら24）、汚濁負荷流出への適用（井岸ら23）、大規模貯水池灌漑地区を対象とした解析（工藤ら25）などの発表がみられる。また、計算対象は、流域から全国（工藤ら28）へ、そして、全球データを活用し、より広域（針谷ら24）へと広がった。さらに、数万のパラメータの組合せ計算による最適化（高田ら31）や水文モデルを用いた統計的な渇水予測（吉田（武）ら33）など負荷の大きい計算も実施されている。

近年は、第3次人工知能ブームと連動して、機械学習（木村ら33）やAI技術の活用（中村ら34）等の新しい解析手法を取り入れた研究も増えている。しかし、AI手法と関連する研究は以前より取り組まれてきており、ファジィ推論（猿渡ら3）、ファジィ回帰モデル（四ヶ所ら4）、AIの水系統合管理への活用（猿渡ら5）、多層パーセプトロン（平松ら6）、ニューラルネットワーク（平松ら11、齋ら19）、ファジィ化ニューラルネットワークモデル（福田ら18）など多くの報告がある。

#### IV. 水文・水環境研究の変遷

図-2は、掲載論文をそのタイトルから大きく地表水、水質、生態系・環境、地下水、その他に分け、それらの論文数を5年ごとに集計し割合で示したものである。各分野は、オーバーラップし境界は必ずしも明瞭ではないが、ここではどれか一つに分類した。たとえば、水質水文の研究は「水質」に分類した。

図-2でそれぞれの分野の発表の割合をみると、1992年までの5年間は、地表水が71%、水質が8%であったのに対して1997年までの5年間には、地表水が44%に減少し、水質が40%に増えている。これ

は、1990年代に農業に起因する環境負荷削減対策が急務であった社会情勢と同期している。霞ヶ浦や琵琶湖などの閉鎖性湖沼における環境基準の達成率の低さは当時、農業・畜産業が主要な要因の一つとして指摘されていた。しかし、肥料や家畜ふん尿などの流出（志村・田淵10）は、いわゆる面源汚染であり、排出者の特定が難しく対策が遅れていた。そのため、代かき田植期を中心とする水田排水の影響（近藤10）や畑地で顕在化した地下水硝酸態窒素汚染（黒田10）などの問題が山積していた。

このような状況に対して、環境庁（当時）は、1993年、公害対策基本法（1967年制定）を発展的に継承し環境負荷の少ない持続的な発展が可能な社会の構築を基本理念とする環境基本法を制定した。そして、同年に公共用水域の水質汚濁に係る環境基準の要監視項目として硝酸性窒素を登録し、1997年には地下水の環境基準に追加登録した。さらに、1999年には要監視項目から環境基準に格上げされたが、これら一連の動きは、農業・畜産業に環境対策を促す規制強化であったといえよう（表-1）。

一方、1999年に新農業基本法を制定した農林水産省は、食料の安定供給の確保等に加えて、農薬や肥料の適正使用を含めた環境保全等の多面的機能の発揮を政策の柱に掲げた。同年、持続農業法や家畜排せつ物法の制定を含む農業環境三法の整備により農業環境対策に着手した。2003年には環境保全型農業直接支払制度の先駆けとして始まった滋賀県の「環境こだわり農業推進条例」の制定により、琵琶湖集水域の農業環境対策が本格的に進められた。

このようにして、農村地域の水環境汚染の問題は、2000年ごろをピークとして徐々に沈静化に向かった。水質に関する発表の割合は、1993年から2007年までの15年間は40%を超えていたが、2008年以降に20%未満へと減少したのは、このような社会情勢を反映したものと考えられる。

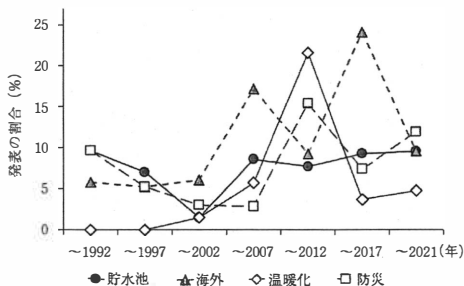


図-3 「応用水文」の発表にみる特定のキーワードの出現

ここで、2008年からの5年間をみると、その他の割合が34%と増えている。これを構成する発表をみると22件中9件が「温暖化」と関連した発表である。図-3に、「応用水文」の発表にみるいくつかのキーワードの出現割合を示すが、温暖化関連は2003年以降に増加した。IPCC(気候変動に関する政府間パネル)は、2001年に「地球の平均地上気温は20世紀に約0.6℃上昇した」とし、2007年に「大雨の頻度が増加した可能性が高い」とする報告書を公表している。さらに2021年には「人為起源の気候変動は、世界中のすべての地域で極端現象にすでに影響を及ぼしている」と報告し、実際に、近年は世界的にも豪雨災害や干ばつなどの極端現象の頻発がみられ(表-1)、水文分野の研究者に突きつけられた大きな課題となっている。

そのような中で、兵庫県は、2012年にため池や水田の持つ雨水貯留機能を治水に組み込んだ「総合治水条例」を制定し、2014年には滋賀県が「流域治水の推進に関する条例」を制定した。関東・東北豪雨(2015年)、九州北部豪雨(2017年)、西日本豪雨(2018年)、東日本台風(2019年)、そして熊本豪雨(2020年)と甚大な水害が続発する中で、国においても2020年に関係16省庁による流域治水の取組みが始まった。田んぼダムの取組みは、2002年に新潟県で始まったが、関連研究として、単位水田の水量と流出量(渡辺3)、落水口の幅による水田の洪水防止機能(加治佐14)、田んぼダム実施流域の評価(吉川ら21)など蓄積も多く、また、ため池の活用では、事前放流による洪水軽減(立林ら31)がある。

ダム流域等を対象とした洪水予測は、本部会の活動初期から現在まで脈々と続く重要なテーマである。角屋・田中丸(2)では、長短期流出両用モデルにより実時間洪水予測が行われ、その後、より簡便なNearest-Neighbor法の適用(田中丸ら12)が試みら

れている。ほかにも、増本(6)、近森・角屋(6, 7, 9)、曹ら(12)など多数の研究があるが、近年は、洪水時のダム操作を考慮した予測(工藤ら33)や分布型水文モデルを用いたリアルタイム予測システム(皆川ら33)へと展開している。気象予報の精度も向上し降雨の分布情報などが得られるようになるとともに水文モデルが複雑化する中で、数値計算と観測値のデータ同化の方法も課題である。いずれにせよ、洪水対策への社会的要請は大きい。

温暖化に関連して、水稲作では、2000年代以降、国内では白未熟粒の発生や粒張りの低下など品質低下が問題視されているが、その要因として、台風害や登熟期の高温などの気象災害であることが指摘されている。水稲作における温暖化の関連研究として、企画セッション報告を含めて、障害発生予測(脇山24)や水管理技術(池上ら24、坂田ら24、吉田(貢)ら24, 32)などが報告されている。

## V. おわりに

これまでみてきたように、応用水文研究は、長い目でみると社会情勢との繋がりが深く、そういった意味で「実学」であることを再認識することができる。限られた誌面の中で触れることができなかった事項も多く、筆者の非力を含めてあらためてお詫び申し上げたい。

なお、本報の執筆に当たっては、当初、発表論文の分類を行うため、本学会の投稿分野表のキーワードの活用を試みたが、よい結果が得られなかった。それは、キーワード群に新しい研究対象や手法が入っておらず、時代の変遷を的確に表すことができなかったためである。継続性を考慮するとあまり変えない方がいいのかもしれないが、「実学」である農業農村工学では、研究対象や手法は時代とともに移り変わるものと考えられる。したがって、関連するキーワード群は適宜、追加更新していく必要があるのではないだろうか。

謝辞 本報の執筆に際して、農研機構の吉田武郎氏、皆川裕樹氏、相原星哉氏ならびに高田亜沙里氏の協力を得た。記して謝意を表す。  
[2022.8.18.受理]

## 紹介

久保田富次郎 (正会員)

1964年 神奈川県に生まれる  
1991年 東京農工大学大学院修了  
九州農業試験場、農業工学研究所、農研機構九州沖縄農業研究センターを経て農研機構農村工学研究部門

