気候および社会条件の変化への適応と河川技術

ADVANCES IN RIVER ENGINEERING AND ADAPTATION TO CLIMATIC AND SOCIAL CHANGES

藤田光一¹, 泉 典洋²
Koh-ichi FUJITA and Norihiro IZUMI

¹正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

²正会員 PhD 北海道大学大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

This paper presents an overview of papers submitted to the special theme “Advances in river engineering and adaptation to climatic and social changes.” There are three papers on the impact assessment of sediment yield, or economical risks due to climatic changes. Two papers study new operations of reservoirs for adaptation to climatic changes. A new scheme of designing cross-sections of rivers taking into account of both flood control and river environment conservation is proposed. Three papers discuss new river management strategies. It is difficult to implement adaptation to climatic and social changes only by river improvement, and it is necessary to establish a new strategy with the perspective of river basin management. Through the overview, we emphasize that the impacts of climatic and social changes on river management policies is a good opportunity to advance river engineering further.

Key Words : *adaptation, climatic change, social change, river management strategy, integrated river basin management*

1. はじめに

2010年度河川技術シンポジウムのオーガナイズドセッション特定課題は、「気候および社会条件の変化への適応と河川技術」と定められた。河川・流域の整備や管理において、気候と社会はまさに前提条件であり、その変化は、これまでの河川技術や河川管理などのあり方を根本的に考え直させるインパクトを持ちうるものである。それら前提条件の変化によって「どのような河川技術および河川管理等が必要となるか?」「今まで培われてきたどのような技術を大切に、新たに伸ばすべきものは何か?」その点について議論を深めたいとの意図からこの特定課題が設定されている。

気候の変化とは、地球温暖化によると言われているゲリラ豪雨(局所的短時間降雨)や巨大台風などの異常気象、洪水や渇水等の極端現象などの増加を指している。IPCCはAR4の中で「温暖化には疑う余地がない」と断定した。大気や海洋の平均温度の上昇、氷河・氷床の減少、平均海面の上昇が観測されており、いまや地球が温暖化していることは明らかであるとしている。異常気象や極端現象の増加の原因が全て温暖化にあるというのは言いすぎかも知れないが、少なくとも近年、異常気象や極端

現象が増加傾向にあるのは事実であり、それらに対する河川工学上の適応策について技術と理念の両面から議論を深めていくことが重要であろう¹⁾。

一方、社会条件の変化とは、日本の社会が直面している人口減少や高齢化、コミュニティの変質といった社会構造の変化であり、これには国土整備や自然環境に対する国民の認識の変化も含まれる。人口減少・高齢化の時代にあつて、低成長成熟社会における河川管理とはどのようなものか、その姿を具体的に描く時に来ている。今後、限られた予算の下で、どのように国土を管理し、安全確保と環境保全・再生を図りながら、活力を保っていくか? これまでの概念だけにとらわれない新たなスキームが必要かも知れない。

気候変動への適応策の検討においては、気候変動予測がまず重要な位置を占め、我が国においても、治水や利水に関わる適応策を意識した極端現象の変化予測に関する研究が精力的に行われている²⁾。その最新の成果を取り入れつつも、[気候変化予測の進展→適応策検討]という流れの研究だけでなく、社会条件変化も含めた気候変動下での河川管理等のあり方の検討を並行して行い、基本条件変化と河川技術のあり方との「関係性」を理解するというスタンスも重要である。

本総説では、このような観点から、今回のシンポジウ

ムに応募され採択された論文等を中心に、オーガナイズドセッションでの議論を進める一助となるよう、それら論文の内容を簡潔に横断的に取りまとめたものである。

2. 気候変化の影響評価

河田ら³⁾は、河床に堆積している不安定土砂量から、降水量が増加した場合のダム湖における堆砂量の変化を、実際に計算された流砂量の収支から導いている。予想されるように降水量の増加によって堆砂量は増加するが、この堆砂量の増加量は降水量に直接依存しており、降水量の予測精度に大きく左右されることになる。一方、川越ら⁴⁾は、水文学的なアプローチにより斜面崩壊に起因する土砂生産量を推定している。それによると、東北地方、北陸・東海地方、中国・四国地方、関東地方で著しい土砂生産量の増加が見られることが判った。これもベースとして用いる気候モデルの予測精度に大きく依存するのは当然であるが、土砂生産量増加量の定性的な地域差がモデルに依存せずほぼ同様な傾向を示しているのは興味深い。

小林ら⁵⁾は、分布型降雨量流出モデルによる流出解析、氾濫原での一次元不定流解析による河道洪水追跡、内外水氾濫解析により中小河川における洪水ハザードを定量的に把握し、構造物・家屋データを用いたGISにより洪水氾濫による経済リスクを評価している。多くの影響評価において、気候条件の変化は治水・利水・環境に対する外力がシビアになる方向に働くという結果が得られているが、定量的にどの程度の信頼性があるかについては未知な部分が多い。降雨増→被害増という結果の提示を超えて、その河川技術的意味合いや施策検討への道筋についてのさらなる考察が望まれる。

3. 気候変化に適応した貯水池運用

気候変化は従来の降雨パターンとは異なる降雨をもたらす。その変化を、貯水池の運用方法を工夫することによって吸収しようという研究がいくつか行われている。これまでとは異なる降雨傾向の下で貯水池を有効に活用するためには、流入量の正確な予測が必要となろう。そのような視点から、津田・石塚⁶⁾は吉野川の池田ダムを例に、分布型流出解析モデルを利水運用に適用した。貯水池運用の成否を決めるのは流入量の正確な予測であり、今後、気候変化に対する有力な適応策の一つとして貯水池運用を位置づけるためには、流出解析モデルの更なる精度向上が必要となろう。

一方、臼谷、中津川⁷⁾は、気候変化による降水量、河川流量の変化に対する適応策として、積雪地域のダムを対象に、積算予測雨量を用いた放流操作を提案している。

彼らによれば積算予測雨量を用いた事前放流と洪水調整を行うことで、ただし書き操作の回避や、洪水後における利水容量の確保が一定程度可能になるとしている。実務適用に向けてはさらに検討が必要であるが、従来の形態とは異なる降雨に対応できる貯水池運用方法の検討は重要なジャンルの1つである。

4. 治水と環境を両立させる河道設計

福岡⁸⁾は、治水と環境を調和させた新たな河幅、断面形の設計方法を提案している。福岡の提案する式によれば、安定な河幅および水深は流量と河床勾配、河床材料の粒径が与えられれば決まることになるが、実際に式を展開すると式の中から粒径は消去されてしまう。安定河幅および水深が粒径に依存しない点については福岡自身も否定的な立場をとりながらも、その原因や解決策を見出すには至っていない。提案式についても、流量の大きな河川では河幅と水深も大きいといった定性的な傾向を示している可能性もあり、また計画規模という低頻度の洪水が河道形成を支配する仕組みや船底形断面形と見なす根拠についての議論もさらに必要となろう。このように提案式自体には検討の余地があるものの、現在全国の河川で問題になっている砂州の樹林化による滯筋の固定化、河床低下とそれに伴う基盤岩の露出といった、河道自体の抱える問題に河道設計がどう答えるべきか？ また計画規模洪水との関係を考慮した河道設計のあり方は如何にあるべきか？ についての議論を真正面から励起するものと言えるだろう。

明治以降の河川の管理方針は、河床の上昇と網状化を防ぎ、土地の有効活用を進めるために、川を狭い領域に閉じ込めることであった。低水路を狭めることで底面せん断力を高め、流送土砂量を増加させることで河床上昇を防ぎ、河幅水深比を小さくすることで砂州の複列化と河道の網状流路化を防ぐことができる。各地で天井川が問題となっていたような高度経済成長期においては合理的な河川の制御手法だったと言ってよいだろう。ところが生産土砂の抑制や、洪水流や流出土砂量を減少させる河川施設の増加、河道からの土砂搬出などが複合して、河道には植生が繁茂し、河床の動きが不活性化し、滯筋の発達と固定化などが目立つようになった。このような現状を改善するためには、良好な環境を維持しつつ治水安全度を確保するための河道設計方針が早急に確立されなければならない。河川工学が喫緊に解決しなければならない技術課題の一つと言える。

5. 流域統合目標の達成に向けた河川整備手法

辻本⁹⁾は、抽象的で難解にも見える論文の中で気候・

社会条件変化に対応するための新たな河川整備手法に関する理念を意欲的に展開している。辻本によれば、河川法改正以降、河川整備・管理の目的と目標は治水・利水・環境を統合したものと明確化されたことを指摘し、その達成のためには目的と効果の評価を時空間的に統合することが必要であることを説いている。彼の言う時空間的な統合とは、20～30年の目標としての整備計画とさらに長期的な目標としての基本方針や施策と効果のレスポンス遅れといった時間的な問題と、これまで施策の集中していた河道と流域といった空間的な問題を統合的に捉える視点が必要であるという意味であろう。特にこれからの河川整備では、河道へ集中していたインフラ整備型の施策を、非インフラ整備型にも展開して流域に分担させる流域連携・流域統合管理が重要と述べているが、これは島谷ら¹⁰⁾の言う流域治水にも通じる。

辻本はさらに続けて、気候が変化した後の外力に対してまで治水インフラによるperfect protectionを期待するのは不可能であるとし、perfect protectionからハザードマップ型減災～超過洪水危機管理（TNT計画型）へのシームレスなリスク管理への移行を提案している。さらに言葉を換えて「河川を中心としたperfect protectionから、ハザード・アラートによる機能享受側の耐性の強化（resilience）、さらには超過外力対応への転換など、シームレスなリスク管理へ移行すること」が重要と述べている。「超過洪水危機管理」や「超過外力対応への転換」が、具体的に、あるいは実務上何を意味するのか詳しい説明は行っておらず、ここが重要な論点の1つとなって行く。

6. 流域治水をいかに進めるか？

島谷ら¹⁰⁾によれば、流域治水は「流域全体で保水・浸透・貯留能力を強化し、水循環系自体を健全化する」ことと定義される。都市化によって治水上、環境上発生した様々な課題を解決するためには流域治水が重要であるが、流域には多様なステークホルダーが存在するため合意形成が困難であり、本格的な流域治水が進展しないという。このような困難を克服する手法を模索するために、島谷らは、樋井川流域治水市民会議を立ち上げ、流域抑制、流域治水を軸にした治水対策を提案している。提案の内容は提言書として福岡県知事に提出された。提言書は次の八つの提言から成る。

提言1 全住民、全関係主体が協働で行う流域治水の推進

提言2 治水と環境・福祉・教育を切り離さない考え方の共有

提言3 2009年7月洪水に対応する緊急対策

提言4 流出抑制による流域対策

提言5 総合的な対策を行うための仕組みの構築・強化

と実行

提言6 啓発・教育

提言7 研究・技術開発

提言8 樋井川流域から他流域へ

また提言では、描いた将来像に向かって現状変革のシナリオを描くバックキャスト型の目標設定を行うことで、新たな技術の開発が促進される仕組みと、自分の家から排出される雨水に対しては自らが費用を負担し処理することで民間資金が治水対策に投入されるという二つの仕組みを導入している。

流域治水の概念や提言の内容自体は従来のものから大きく発展していないという意見もあるが、流域治水を進展させる方法論を提案するだけでなく、細部に工夫をこらし実行に移した点には、流域治水を論で終わらせず、もう一段飛躍させるための実践的議論につなげるという強い意図を感じることができる。

7. 減災型治水システム

(1) 水害リスク評価と施策への展開

中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」が首都圏を対象に行った本格的な水害リスク評価¹¹⁾が1つの重要な契機となって、施策への展開を意識した水害リスク評価の研究が活発化している。瀧ら¹²⁾は、中小河川を対象に整備水準を超えた洪水に対する被害を最小化する治水の実現に向けて、河川・水路群に囲まれる氾濫原の各地点における水害リスクを評価する手法を提案し、それを滋賀県の主要氾濫域に適用することによって被害ポテンシャル（家屋流失や家屋水没、床上浸水等、各レベルの被害が発生する年平均確率）を算出した。桑野・米山¹³⁾は、都市水害の被害想定に人的被害を加え、人的被害に関わる要因の影響度をシミュレーションし、被害推定法の課題を分析している。前出の瀧らは¹²⁾さらに、破堤氾濫を想定した減災型治水システムを実現するための制度設計を提案している。そこでは、現状の法体系の持つ課題として「計画洪水（基本高水）を河道内で処理することが河川管理の責務であり」、氾濫原で霞堤や二線堤等の構造物や、土地利用規制のような「氾濫原対策を河川管理者が実施する場合には、計画洪水の処理を目的とした河川管理の延長線上で実施せざるを得ず、氾濫原の一部を河道とみなし計画洪水の処理に用いる」ことになり、「氾濫原側の対応により減災を行うとの考え方（氾濫原管理）とは基本的な立場が異なる」ことを指摘している。このような分析を踏まえ、瀧らは、従来の河川管理の役割を変えないことを前提に、県条例によって定めるべきこととして次の事項を挙げている。

・氾濫原管理の定義および氾濫原管理者の設置（河川管理との役割分担）

・地先の安全度の調査・公表見直し義務（説明責任）

- ・土地利用・建築規制の範囲・様態（最低限の規制）
 - ・地域住民，市町，関係機関との共同プロセスの義務付プラットフォーム（協議会等）の設置（透明性の確保）
 - ・実施計画の策定・認可・助成の要件（実行性の確保）
- はたして「氾濫原管理者の設置」というものが，従来から有形無形に試みられ，その多くが困難に直面してきた，目的を同じくする取り組みに対して，実行可能性という点で本質的優位性を持つものかどうか，実務的観点から議論していくことが重要であろう。

(2) 流域治水の要素技術

都市近郊農業地域における浸水被害対策としての排水路改修や排水施設の増強等に対する補完として，吉川ら¹⁴⁾は，水田耕区の排水孔の孔径を縮小し，降雨ピーク時の水田から落水量を抑制することによって，水田地帯からの流出波形を平滑化する方法に着目し，未圃場整備地区における水田の落水量を調整する簡易な装置（調整キャップ）を提案した上で，その効果を数値シミュレーションによって評価している。吉川らによれば，彼らの考案した装置によって未圃場整備地区の水田でも田んぼダムとしての一定の機能を発揮する。流域治水の中の要素技術としてどのように位置付けるか，技術的な適用条件の明確化と合わせ，はっきりさせる時期に来ている。

佐藤・磯部¹⁵⁾は，堤防の自主決壊による氾濫水の河道還元プロセスについて利根川を対象に数値シミュレーションを行い，その効果を検討している。彼らが想定した限定的なハイドロの下では果たして相応の排水効果が求められるが，自主決壊を現状の治水計画に組み入れるのには無理がある。計画上は，湛水が予想される地域周辺の適当な箇所に樋門や樋管，排水機場を設置するのが本来あるべき姿であろう。しかし辻本の言う克災のレベルでは検討しておくべき選択肢となり得るかも知れない。議論のあるところだろう。

8. 終わりに

気候と社会条件の変化に適応するための技術には，主として，新たな貯水池運用方法や河道設計手法のように河道内での対策と，流域治水や氾濫原管理のように河道のみにとどまらず流域における流出抑制によって，できる限り氾濫を防いだり，氾濫による被害を最小限にとどめたりする流域全体での対策がある。ともすると，短絡的に前者の限界と後者の重要性ばかりが強調されるが，両者は代替関係にあるわけではないので，それぞれにレベルを上げ，個々の河川の状況に適した施策パッケージを実施できるようにしていくことが肝要である。また流域治水や氾濫原管理の研究や検討は「論」にとどまる傾向がより強いので，実現のための実務的な方策と隘路の克服法までを見通した検討を心がけることが大事である。

気候変化も社会条件の変化も河川施策にとって重荷となるものであるが，重荷の作用は河川技術をもう一段飛躍させるチャンスでもある。これを機に河川技術が，長年の宿題の解決も含め，大いに進展することが期待される。

参考文献（*印は本論文集に掲載されているもの）

- 1) 国土交通省社会資本整備審議会 気候変動に適応した治水対策検討小委員会：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，平成20年6月。
- 2) 文部科学省研究開発局ほか・21世紀気候変動予測革新プログラム：超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究，平成21年度研究成果報告書，平成22年3月。
- 3) *河田暢亮・山元未来・鹿野久米豊・吉野秀樹・藤田正治：地球温暖化の影響を考慮した貯水池堆砂の進行予測に関する研究，河川技術論文集，第16巻，2010。
- 4) *川越清樹・小野桂介・青木春奈：気候変動に伴う斜面崩壊に起因した土砂生産量の推計，河川技術論文集，第16巻，2010。
- 5) *小林健一郎・寶馨・中北英一：全球気候モデル出力と洪水及び経済被害推定モデルを用いた中小河川の水害リスクの将来変動に関する研究，河川技術論文集，第16巻，2010。
- 6) *津田守正・石塚正秀：四国吉野川の池田ダム流域における利水運用のための分布型流出解析モデルの適用，河川技術論文集，第16巻，2010。
- 7) *臼谷友秀・中津川誠：積雪地域にあるダムの放流操作への積算予測雨量の活用について，河川技術論文集，第16巻，2010。
- 8) *福岡捷二：治水と環境の調和した治水適応策としての河幅断面形の検討方法，河川技術論文集，第16巻，2010。
- 9) *辻本哲郎：気候・社会条件変化への対応を含む流域統合目標の達成に向けた河川整備手法について，河川技術論文集，第16巻，2010。
- 10) *島谷幸宏・山下三平・渡辺亮一・山下輝和・角銅久美子：治水・環境のための流域治水をいかに進めるか？，河川技術論文集，第16巻，2010。
- 11) 中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」：大規模水害対策に関する専門調査会報告 首都圏水没～被害軽減のために取るべき対策とは～，平成22年4月。
- 12) *瀧健太郎・松田哲裕・鶴飼絵美・小笠原豊・伊香長保・西島照毅：中小河川群の氾濫域における減災型治水システムの設計，河川技術論文集，第16巻，2010。
- 13) *桑野靖子・米山望：都市水害の被害想定に関する研究，河川技術論文集，第16巻，2010。
- 14) *吉川夏樹・宮津進・小出英幸・三沢真一・安田浩保：未圃場整備地区における「田んぼダム」の洪水緩和機能の評価，河川技術論文集，第16巻，2010。
- 15) *佐藤裕和・磯部雅彦：堤防自主決壊による利根川の洪水氾濫水の河道還元効果，河川技術論文集，第16巻，2010。

(2010. 5. 17受付)