

治水主体の河川管理から包括的流域管理へ

FROM FLOOD CONTROL BASED RIVER MANAGEMENT TO INTEGRATED WATERSHED MANAGEMENT

島谷幸宏
Yukihiro SHIMATANI

¹フェロー会員 工博 九州大学大学院工学研究院 教授 環境都市部門
(〒802-0395 福岡県福岡市西区元岡744)

Increase in rainfall intensity due to global warming, reduction of pressure on land use by the population decline, such as requests for conservation of biological diversity, significant changes of river managements are expected in the future. At first I discussed that the river engineering in early-modern era had redundancy and comprehensiveness and had very useful river planning methods and river works technics for the new era watershed management systems. Then I discussed neediness of watershed management for flood control and environmental solution at the time of global warming and population decline. Next I discussed water management system from the viewpoint of water cycle in urban areas. The sustainable, healthy and fundamental integrated watershed management is required in the future.

Key Words : *global warming, flood control, green infrastructure, early-modern, river works*

1. はじめに

地球温暖化による降雨強度の増加, 人口減少による土地利用への圧力の減少, 生物多様性の保全, エネルギー資源としての河川の寄与など, 今後予測される河川を取り巻く環境の変化は著しい. これからの100年を見通すことは大変困難であるけれど, 筆者はこれらの問題を個別的に解決するのではなく, 持続可能で, より健全性が高い, 根本的で包括的に解決するための流域管理論が必要と考えており, その内容について議論する.

2. 近世河川技術の再評価

(1) 近代河川技術の黎明

今回の河川技術シンポジウムの課題が「これから100年の川づくり」のためにということであるが, 翻って現在から100年前といえば, 昭和初期にあたり, 我が国は太平洋戦争前夜として, 日本全体が国粋主義に陥っていく時代でもあった. そのころに出版された河川関係の書籍としては, 真田秀吉の「日本水制工論」¹⁾, 宮本武之輔の「治水工学」²⁾がある. 特に前者は日本古来の水制

工法に焦点を当てた内容であり, 国粋時代の反映とも考えられるが, 内容は論理的で読みやすく, 当時の河川事業では現在よりも水制を多用していたことがわかる.

「治水工学」は, 内務省の技官として活躍した, 宮本が記した図書であり当時の治水技術を知るうえでは重要である. 現在の河川工学との大きな違いは高水流量の決定に関して過去の水位から推測する流量曲線法, 比流量による方法が紹介されており水文学が未成熟である点である. またダムが洪水調節技術として記載されていない点, 土砂輸送が河道計画に取り入れられていない点, 環境問題が取り扱われていない点などが相違点であり, この100年での学術の進化, 社会の変化との関係が見られる. 一方, 堤防や護岸など基本的な川の技術は現在とよく似た記述がなされている. また海外の事例がふんだんに紹介されているのも特徴で, 戦時下でありながら, 我が国の技術を国際的な技術の中で位置づける視点が貫かれている. 近年の日本の河川工学の教科書は日本の技術が中心であり, 筆者も含めて国際的な視野の重要性が感じられる. 興味深いのは, 計画高水流量に関する記述で利根川6,540m³/s, 淀川5570 m³/s, 筑後川5,000 m³/sと現在よりも随分小さい.

これらの昭和初期の河川技術の源流は明治維新直後に招聘されたオランダ人技術者による河川技術に端を発す

る。江戸時代までの、量的な概念に乏しい河川技術が西洋近代技術を導入することにより大きく変貌する。明治6年に書かれた、ファン・ドールンの『治水総論』を見ると、流量、流速、水深、横断形、縦断形の概念が記述されており、明治維新後急速に物理学を基礎とする近代河川技術が導入されたことがわかる。

(2) 近世河川技術の特徴

近世の河川技術は計画流量の概念がなく、また整備水準も低かったためある意味では氾濫許容型の技術である。地球温暖化の時代を迎え降雨自体が温暖化の影響を受け変化する過程においては、大変参考になる技術である。近代河川技術が失ってしまった考え方や要素技術も多くみられ再評価が必要である。

ここでは、九州の事例を中心に近世河川技術の特徴のうち今後の流域管理に有用であると思われる技術を紹介する。

a) 治水、利水の一体的管理

近世河川技術の何よりの特徴は治水・利水技術が融合した水利技術であるという点である。現在のように治水と利水の管理者が分かれていなかったため治水と利水の両方の機能を最適化させるための努力がなされ、それに対応した技術が発展した。たとえば、治水上の水衝部処理を利水のための取水施設とする技術、霞堤などによる氾濫を治水上の貯留効果とともに農地に栄養分を供給する手段として用いる技術、氾濫の拡大を防ぎ用水を確保する片側堤防の技術、加藤清正が用いた八の字堰の技術などである。

水衝部処理技術としては、甲府盆地の信玄堤や万力林の例がある。信玄堤は治水上の要所であると共に、富士川左岸を灌漑する竜王用水の取水地点でもある。同じく甲府盆地笛吹川の水害防備林と雁行堤防で著名な万力地点も、350haを灌漑する差出用水⁴⁾の取水地点である。水衝部は常に水が取水できる地点でもあり、利水の重要地点として積極的に活用されている。

また、霞堤、横堤（荒川の横堤とは異なり氾濫原内に氾濫領域を限定するために設置された堤防）、片側堤防などにより、氾濫流を農地に導入する手法は各地でしばしば見られるが、洪水防御の側面と同時にかなり積極的に

に土地の肥沃化のために洪水を導入している。化学肥料がない時代にあつては、ゆっくりと氾濫させることは農業生産の向上にとって大きな意味を持っていた。近世技術は氾濫域に犠牲を強いていたという見方もあるが、北部九州の例では、土地の肥沃化のためにかなり積極的に氾濫水を導入している。

なお河川の片側だけに堤防を設けてある場合を片側堤防と呼んでいる。片側堤防は堤防の無い側（一般的には標高の高い川）の内水を受け入れるという機能、堤防のある高い側に氾濫させ、低い側に水を入れない機能を有する。現在、用いられることがほとんどない技術であるが、広い視野から見ると輪中堤も片側堤防の一種である。佐賀の嘉瀬川右岸側の芦刈用水や鯉川右岸堤防にその典型がみられる。芦刈用水は傾斜地の等高線に沿って用水路が設けてあり、傾斜地の下流側だけに堤防が構築してある。小降雨時に上流斜面から流下する水を受け止め用水流量を増加させるという役割と大洪水時には上流川に降った雨を高地側に氾濫させるという機能を有する。また鯉川は住宅がある右岸側のみに堤防を有し、左岸側には堤防がなく洪水時には左岸地帯（傾斜面では上流側にあたる）の農地に氾濫させる。氾濫水は本流水位低下時に速やかに鯉川から排水される。地元にヒアリングをすると、左岸の鯉川からかなり離れたところにある集落の住宅の欄間まで洪水が来た時には鯉川の堤防を切っているという決まりがあるそうである。

加藤清正は緑川や球磨川に八の字状の堰を設けている。八の字状の堰は斜め堰の一種であるが端部の洗掘を抑制する効果、上流側への水位上昇の抑制効果、越流単位幅流量を小さくし構造物に対する負担を低減する効果などを狙ったものと考えられる。堰設置時には、洪水の被害が増大するため水位上昇を抑制したい上流側と利水のため堰高を少しでも高くしたい下流側でのコンフリクトがしばしば生じるが、その両者を満足させるための手法である。いわゆるラビリンス堰である。

以上のように近世の河川技術は治水、利水の両者の機能を満足させようとする複合的な機能を持たせた技術である。今後の流域管理を複合的な機能を持たせながら実施する必要性について次章以降議論するが、近世の考え方は大変参考になる技術である。

b) 氾濫を前提とした河川管理

近世は洪水流量の概念が確立しておらず、既往洪水の水位を基にした計画技術であり、また投入しうる資金や労働力の制限などよりせいぜい10年に1度生じる洪水に対処する河道計画規模であったと考えられている。⁵⁾ そのため、氾濫を前提とした河川管理、流域管理が行われていた。当時の氾濫原においては、住宅地や畑地は自然堤防上に水田は後背湿地上に住み分けており、住み方自体が氾濫に強い土地利用になっていたことも重要である。

このような氾濫を前提とした河川管理、流域管理に伴

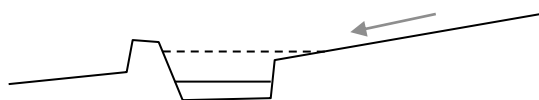


図-1 片側堤防

大雨のときは斜面にまず氾濫させる。利水的な機能も持っており斜面の水を小河川や水路に取り込むことができる。氾濫許容型の技術であるとともに治水利水の融合技術である。

い様々な技術が見られる。

基本的な思想としては、氾濫流はなるべく流速を遅くし、氾濫域に土砂の流入を抑制する手法が用いられた。水害防備林、尻抜け堤防、霞堤、水受堤などが主たる要素技術である。氾濫のエネルギーはなるべく殺し、土砂の大量の流入を防ぐために下流側から水が逆流するように氾濫させる手法が多用された。尻抜け堤防とは輪中堤の前身であり、輪中堤の下流部が解放された形態である。洪水時に下流部は水没するが内水の排除に有利であり、あわせて魚介類の採取や舟運の船着き場としても機能していた。尻抜け堤内の人口が増える過程で下流側に次男三男が居住するようになり下流の堤防を閉じ輪中堤になっていったとされているが、それ以降内水に悩まされるようになる。水受堤^⑧は佐賀県の城原川などにみられ霞堤の一種であるが氾濫流を誘導する役割を担う堤防のことである。増水時、氾濫水は水受堤に誘導され、流速を低減されながら人家の無い農地へと誘導される。

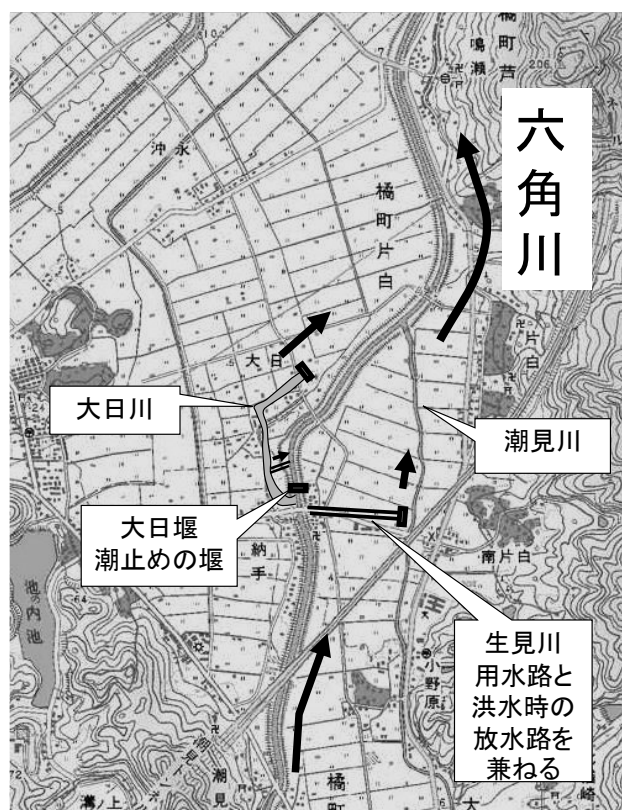
よく知られた技術として水害防備林があるが、これには 2 タイプある。ひとつは河道沿いに線的に設けられる場合でもう一つは霞堤などの開口部、水衝部など点的に設けられる場合があるが、どちらも土砂の抑制と流れの減勢に大きな効果を持つ。

また、河川からの氾濫技術として遊水手法がしばしば用いられている。現在用いられている遊水技術は河道沿いの遊水地にほぼ限られており、また貯留水を元の河川に戻すことが特徴である。近世には現在のタイプのほかに河道から離れた場所まで導水路で誘導し氾濫させる離れ遊水地が見られる。また氾濫させた水を拡散型で流下させる流れ型遊水地や他の河川に排水する手法など現在は用いられない手法も見られる。流れ型の遊水手法は近年のタイのチャオプラヤ川の洪水処理方法として Flood Way として用いられた。

c) 流速低減技術

現在においても河川内の流速を低減させる技術として、落差工、護岸の粗度付け、減勢工などが用いられているが、近世の河川技術では現在あまり用いられない技術がある。合流量の低減手法として用いられた例として、加藤清正による阿蘇盆地の黒川と白川の河川処理が有名である。阿蘇盆地の北部を流下する黒川は氾濫させながらなるべくゆっくり流す処理がなされ、白川はなるべく早く流す河川処理がなされている。これは下流の熊本城下町を守るために両河川で洪水ピークをずらし合流量を低減させる手法である。現在の熊本県の河道計画は清正の手法が踏襲されており、黒川には多数の遊水地が計画されている。

また、エネルギーをそぎ、ゆっくり流す技術も各地でみられる。山梨の信玄堤は南アルプスから流下する急流河川である御勅使川を高岩にぶつけてエネルギーを消失させている。また福岡県朝倉市の小石原川には江戸時代初期に秋月城下の新田開発のために設けられた女男石



図—2 六角川の離れ遊水手法

右岸側に生見川、左岸側に大日川という導水路を用いて、かなり離れた場所に洪水を放流する。平時は用水路として使っている。出口の樋管の大きさに流出量をコントロールしている。遊水方式は発散型である。

(めおといし)^⑦があるが、水衝部処理として河道屈曲地点に河床の巨石による多数の底石と 2 つの大きな石を設置しエネルギーを減勢している。

そのほか各種の水制も減勢のための要素技術として多用されたがコンクリートなどの強固な技術を持たない近世河川技術では流れを遅くし、構造物を守る手法は基本技術であった。

d) 社会システムによる公平化や統制

近世の河川技術のもう一つの側面は、総合行政として、また封建制度の中で河川管理が行われていたことである。そのため、社会システム自体を河川管理と一体的に取り扱うことが出来た。たとえば氾濫頻度が極めて高いところは租税を無税にするなど氾濫の頻度により税負担を変えるなどの手法も用いられていた^⑧。また、地盤石を設置し、土地の高さを変更させないなどの規制も行われていた^⑨。

このような税制、土地利用規制などは現代の河川技術においても議論され、一部実施されているが十分とは言えない。人口減少局面においては、大変参考になる考え方である。

(3) 近世河川技術の再評価

山本⁹⁾は「近世初期の河川計画においては、公平性の原理よりも、計画対象空間を対象とした最適資源配分の原理を重視した計画論となっている。すなわち守るべき土地・開発すべき土地と、土地生産性が低い土地あるいは土地を差異化し、当時の技術力、財政力、差異化された土地関係者間の慣習化（歴史化）された力関係・社会関係を考慮しながら全体的としての最適解をみいだすというものである。」と述べている。北部九州にみられる近世治水の主目的が農業生産性の向上であり、氾濫をも巧みに活用した農業政策である点を考えると山本の考え方を全面的に肯定することはできない。山本の考え方は、広大な未開発の土地を有していた近世初期の東日本を対象とする考え方で、すでに大部分の土地が開発されていた西日本とは事情が異なるのかもしれない、今後研究が必要な課題である。しかしながら、今後人口減少局面に入り、開発圧力は急速に弱まっていく状況を見ると、すべての土地を同じ安全度にするには限界があり、山本が述べたように、近世河川技術の最適な資源配分を考えた流域管理が経済合理性の観点からも必要になってくるものと考えている。

さらに近世の河川技術は、氾濫許容型の技術であること、治水・利水・氾濫による地力の向上を考えた技術であることなど、冗長性、包括性を持った技術である。片側堤防、離れ遊水地、flood way、霞堤など氾濫許容型の技術が多様であり、氾濫頻度別に租税負担を変える、遊水地は洪水防御とともに土地を肥沃にする手段であるなど、我々が失った技術も多くあり、環境などの観点も含めた新たな観点からの再評価が必要である。

3. 流域管理の必要性

(1) 洪水の流域管理

2014年に公表された気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書では、気候システムの温暖化には疑う余地はなく、気温、海水温、海水面水位、雪氷減少などの観測結果から温暖化していることが確認されている¹⁰⁾。気候変動モデルによる予測では、日本全域で現在と比較して21世紀末には1時間降水量50mm以上の発生回数が増加することが指摘されている¹¹⁾。

日本では人口減少・高齢化が進展し2060年の人口の中位推定は8674万人、65歳以上の人口は39.9%となると予測されている¹²⁾。国土審議会政策部会の推計では、2050年に居住地帯の6割以上が現在の半分以下に減少し、2割以上が無居住化するとされている¹³⁾。

洪水外力が常に変化・上昇し、人口減少に伴う土地利用に対する圧力が低下する社会を迎える。このような時代に洪水の管理をどのように行っていくのかは今後の大きな課題である。筆者は洪水外力が増大するなかで、河

道やダムのみでの治水対策には限界があり、土地の余裕が生まれる中で氾濫を許容した治水対策の重要性が増加していくと考えている。

2012年に制定された「中小河川の河道計画に関する技術基準」の基本的な考え方は洪水時の流速を現状より早くせず、川の自然の形状を尊重し、河川の自然の変形を許容するとされている¹⁴⁾。環境と融合した河道計画と同時に流速を早くしない川づくりが定められた点が重要である。「粗度係数は改修前より小さくしない」「流下能力の増大に対しては川幅拡大」を原則とするなどとしている。近代治水になって以来、水を早く集める手法の治水が進んできたが、流速の上昇を抑制する技術基準は一つの画期である。

流域の保水・遊水機能を強化するとともに、農業用水、山地の排水路、都市域の下水道などの流域全体としての流出形態を見直し、川に集まってくる流量自体を抑制する流出現象の健全化が重要である。

また、土地の高度利用に対する圧力が減少した地域では、農地や放棄地と住宅地、都市域などの安全度を同じにする必然性はない。安全度の場所別の差別化の要求は当然の帰結として出てくるであろうし、計画論の変更が求められるようになるであろう。鹿児島県の川内川や北部九州豪雨の九州各地の中小河川の復旧では、輪中堤防など住宅地と農地の安全度を変える復旧が行われており、現実が先行している状況にある。

さらに税制や誘導策などのソフト対策による土地利用規制などの流域対策も進展するであろう。氾濫許容型の技術に関しては、我が国は黎明期であり技術的には未成熟であるが近世技術やドイツやスイスを中心に始まっている自然再生と合体した流域対策なども参考にしながら、多様な手法について検討し、科学的に検証していく必要がある。

(2) 環境も含めた流域管理へ

獣害や過疎化などによる森林の荒廃、土砂流出量の減少、老朽ダムなどによる水質問題、河道の単調化、河口域の改変など流域レベルでの水環境の劣化は深刻である。

たとえば福岡県の糸島市加茂川は流域面積7km²の小さな流域であるが、上流の水を貯水する砂防ダムからの濁水（落葉などの自然由来の堆積物による汚濁）、各支流の砂防施設による土砂供給量の減少、河川改修による河道の単調化、連続する落差工による河道の分断、河口域の道路建設に伴う河口環境の劣化などにより、一連の環境問題が生じている。流域住民はその再生を切望しており、九州大学との共同研究を開始している。小さい川とはいえ学術領域が横断的でありその処方箋を描くのは容易ではない。この流域ではシカ害は発生していないが、シカ害が発生しているところでは斜面崩壊の危険性もあり、特に山地では環境問題と災害問題は密接である。

流域全体を視野に入れた環境保全というテーマは、地

方法活性化という経済との連携も重要であり、持続可能な流域管理が求められる。単に環境の再生だけではなく、持続的に地域を存続させるためのインフラストラクチャーが必要とされている。そのためには持続的で総合的で住民参加のプロセスを経たアプローチが重要である。現在、新たな概念としてグリーンインフラが注目されている。

(3) グリーンインフラと流域管理

生態系サービスや自然資本の価値は古くから着目されており、1997年にRobertらは、全世界における生態系サービスおよび自然資本のストックの経済的価値を試算し、年間約 33×10^{12} ドルと評価している¹⁵⁾。こうした自然資本の価値を踏まえた社会資本整備はグリーンインフラ（Green Infrastructure）とよばれ、欧米で導入が進んでいる。人口減少社会を迎えた日本においても持続可能で維持管理コストや導入コストが安価で付加価値も高く、よりよい環境をもたらすグリーンインフラの導入が期待されている。

グリーンインフラの定義は様々であるが、「自然生態系の価値と機能を保全する空間をネットワークとして連結させ、自然の機能が提供する恩恵を人類が享受するシステム」という考え方は共通の理解である。¹⁶⁾

グリーンインフラは生態系の多面的な生態系サービスを活用するものであるから、本質的に多面的、複合的機能を持っている。従来型のグレーインフラは単機能になりがちであるのに対し、グリーンインフラは本来多機能であるため、これまで横につながることが難しかった横串の機能を持たすことが可能であり、多面的、複合的、横断的な機能を活かすことを考える必要がある。また、自然の機能を活用するため長寿命であることも特徴である。

アメリカ合衆国環境保護庁（EPA：United States Environmental Protection Agency）は、グリーンインフラの効果として、水管理（洪水流出抑制、流水の清潔の保持）に着目し、ガイドライン、技術指針を策定している。2004年に「持続可能な都市圏形成を目指した成長管理政策（smart growth）のための水資源保護」をまとめ、水資源保護のために必要な75の政策を提言している¹⁷⁾。

アメリカにおけるグリーンインフラの事例としてNew York市における雨水管理が著名である。ニューヨーク市は合流式の下水道が多く、公共水域の水質の改善が進まないという大きな問題を抱えている。2010年、雨水による水質汚染対策として、レインガーデンや屋上緑化などのグリーンインフラ手法と既存のシステムを最適化させる手法とを組み合わせた「ニューヨーク市グリーンインフラプラン」を発表した。グリーンインフラを用いた流出抑制手法により河川および海岸に流入する雨天時の未処理下水の量を削減し、水質を改善するためのプロジェクトである。伝統的な手法と比べると経済的には15億ドルほど優れ、導入が早く、長持ちするとされている¹⁸⁾。

なお、グリーンインフラは従来のグレーインフラを否定するものではない。グリーンインフラとグレーインフラは連続的な概念であり、それぞれに特徴がある。グリーンインフラの活用にあたっては、グレーインフラとの複合も考え、それぞれの特徴を活かし、将来にわたって持続的で、よりよい機能を発揮することが必要である。

前節までで議論してきた流域管理の考え方はグリーンインフラの考え方と極めて近い。具体的なグリーンインフラのプロジェクトイメージとして、例えば、河道沿いに水害防備林を整備し、堤内地には自然度が高い遊水池を整備し、環境教育やレクリエーションの場あるいは水源涵養の場として機能させ、あわせて景観向上、二酸化炭素の固定、水質浄化機能などの機能を複合的に機能させるプロジェクトが考えられる¹⁶⁾。

近年唱えられているグリーンインフラの概念や手法と流域の包括的な管理の概念や手法に近いことからこれらは融合していく可能性が考えられる。

4. 都市の水問題をどう取り扱うか？

都市域の水問題として、外水氾濫、内水氾濫、合流式下水道の越流水による公共水域の汚濁、蒸発散量の減少によるヒートアイランド現象、水域の生物多様性の劣化、大災害時の水の不足、大災害時のトイレの不使用などのさまざまな問題がある。これらを問題は根本には、都市化による水循環システムの変化に起因している。

都市の洪水時の流出現象を合理式であらわしてみると、流出係数、到達時間内平均雨量強度、流域面積の積であらわされる。都市化によって影響を受けるのは流出係数と到達時間内平均雨量強度である。流出係数は都市化によって一般に大きくなる。また、到達時間は都市化によって極端に減少することが知られている。角屋は「都市化すると洪水流量が何倍になるのか」という質問がよく聞かれる。・・・取扱には注意しないと物議の種にならないとは限らない。」と述べてはいるが、ピーク流出率が1.5倍になった場合には、全域が都市化された場合、ピーク流量が4～5倍になることがあるとしている¹⁹⁾。

東京都心においても内水氾濫あるいは小河川の氾濫は頻発しているが、それと同時に合流式下水道の雨天時越流水による公共水域の汚濁の問題も解決していない。アメリカではニューヨークなどの都市では合流式下水道の越流水対策として、コストと環境上有利である雨水湿地（バイオスウェイル）、雨水庭（レインガーデン）などの流出抑制技術を用いたグリーンインフラの整備による手法に転換していることは先に述べた通りである。

このように都市化は洪水流を数倍にするなど大きな水循環系の変化をもたらす。また、都市化による大災害時の水道の遮断など水のリスクの問題も存在する。さらに都市内の河川は人工化された都市域では自然的な機能、

緑の景観としての機能を有する貴重な社会資本である。これらの問題を根本的に解決するには、水循環システム自体を操作対象として、降雨時の水を貯留、浸透させ、また貯留した水を活用するなど、治水、利水、緊急時の用水などが統合された新しい水管理システムを構築する必要がある。この水管理手法への転換は行政システムの変更も伴うため、困難を伴うものと予測されるが、水循環法も制定されたことから、重要な課題であると考えている。都市の健全な水循環システムを構築するためには数十年あるいは百年という単位が必要かもしれない。

5. 結論

- ・近世の河川技術は治水利水の複合型の技術、氾濫許容型の技術、水をゆっくり流す技術であり、今日的な課題解決に大変参考になり、再評価が必要である。
- ・流出抑制、安全度の差別化、土地利用の管理などが今後の流域レベルでの洪水防御対策として重要である。
- ・環境も統合した流域管理へと向かうであろうが、流域再生技術に関しては小流域での効果の検証が必要である。
- ・グリーンインフラは流域管理に有効な概念であり、今後、グリーンインフラと流域管理の概念整理が行われ融合化が図られるものと考えられる。
- ・都市の水問題は水循環の健全性を取り戻すことが重要で、治水、利水、環境、危機管理用水などの複合化、包括化が鍵である。
- ・以上、今後治水主体の河川理から包括的な流域管理へと進むことができるかが今後の百年を左右する河川技術の重要な課題と考える。

参考文献

- 1) 真田秀吉, 日本水制工論, 岩波書店, 1922.
- 2) 宮本武之輔, 治水工学, 修教社書院, 1926.
- 3) 般道論 (ファンダーレン), 治水総論, 1873.
- 4) 松浦茂樹, 島谷幸宏, 治水利水施設の環境面からの評価—水害防備林を対象にして, 水理講演会論文集, No.31, pp.253-258, 1987.
- 5) 山本晃一, 河道計画の技術史, 山海堂, 21p, 1999.
- 6) 岸原信義, 岩山博, 泉委佐生, 黒岩政秋, 佐賀平野における流域治水の一環としての城原川治水システムに関する研究,

低平地研究, 佐賀大学低平地防災研究センター, Vol.20 pp.5-12, 2011.

- 7) 島谷幸宏, 女男石 秋月,
<https://sites.google.com/site/shimataniyukihiro/li-shi/nue-nan-shi>
- 8) 田中秀子, 大串 浩一郎, 岸原, 信義, 古瀬, 圓吉, 佐賀平野における河川伝統技術の発掘と復元に関する研究: 佐賀平野に残る河川伝統技術の概要と昭和20年代の水害について, 低平地研究 / 佐賀大学低平地防災研究センター編 Vol.12 pp.15-22, 2003.
- 9) 山本晃一, 河道計画の技術史, 山海堂, 62-3p, 1999.
- 10) WMO, UNEP, 気候変動2013 自然科学的根拠 政策決定者向け要約, 気象庁翻訳, 2013.
- 11) 気象庁, IPCC 温室効果ガス排出シナリオ A1Bを用いた非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測, 地球温暖化予測情報第8巻, 2013.
- 12) 国立社会保障・人口問題研究, HP:
<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/mainmenu.asp>
- 13) 国土審議会政策部会長期展望委員会, 資料:
http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s104_tyoukitembou01.html
- 14) 島谷幸宏, 中小河川の技術基準 解題—多自然川づくりのすすめ, 権歌書房, 2010.
- 15) Robert, C., Ralph, A., Rudolf, G., Stephen, F., Monica, G., Bruce, H., Karin, L., Shahid, N., Robert, V., Jose, P., Robert, R., Paul, S. and Marjan, B. Nature, The Value of the world's ecosystem service and natural capital, vol.387, pp.253-260, 1997.
- 16) 九州大学グリーンインフラ研究拠点形成研究会, グリーンインフラ (案), 2015.
- 17) EPA, Protecting Water Resources with Smart Growth, 2004.
- 18) NYC Environmental Agency, NYC GREEN INFRASTRUCTURE PLAN -A SUSTAINABLE STRATEGY FOR CLEAN WATERWAYS-, 2010.
- 19) 角野睦, 都市化に伴う流出の変化, 土木学会論文集363-II-4, pp.23-34, 1985.

(2015. 4. 3受付)