

長期的な河道変化を見据えた持続可能な河道の保持に関する研究

Study on Sustainable River Channel Maintenance Considering Long-Term Channel Changes

船橋 昇治

Shoji Funabashi

研究背景と目的

自然河川は、降雨に伴い流域から集まる流水とそれらとともに移動する土砂が流下する過程で河床やその周辺に対して侵食あるいは堆積作用を及ぼすことで形成される。侵食作用が卓越する山地域から開けた土地に形成される扇状地を流れる河川は、洪水時に侵食や堆積量が多く変動しやすい。河川は、長い年月をかけて地形を変化させ、形成された自然公物である。

沖積平野だけでなく扇状地を流れる河川に堤防が築造され始めるのは、ほとんどが近代以降である。そして、洪水時にも流されないコンクリート製の堰が構築されるのは、戦後になってからであり、頑強な構造物が築造されはじめてまだ100年経っていない。しかし、その間に河道は様々な変化をしている。河道内に洪水が流れても破壊されず、洪水の流れを強制的に変える構造物が築造されたことで、自然河川状態では起こらなかった河道の変化が見られるようになった。地球の歴史とともに存在する河川は、今後も存在し続けることは明白であるが、堤防整備により河川周辺やその氾濫域に資産の集積や社会経済活動が昼夜を問わず行われる現代において、築造した堤防で兩岸を固定され、強固な横断構造物を河道内に有した河川を公物として未来永劫管理していかなければならない。

構造物が築造されて半世紀以上が経ち、河道の変化が顕在化している河川がある。河道の変化によっては、このままでは未来永劫公物として管理していくことが難しいと思われる河川もある。河道に対して様々な人為的行為がなされ、その影響や変化が確認されている。未来永劫管理していくという視点に立ち、看過することなく現在すべき対応を実行に移さなければならない時期に来ていると考える。そのためにも、持続的に河道管理が行える河道の保持について、これまで発生した事象を分析し、将来に向けた対策方針と対策方法の構築が急がれる。

河道管理が必要とされる河川の最上流部に位置しているのが扇状地を流れる河川である。扇状地を流れる河川で起きた変化はやがて下流河川にその影響が伝搬していく。この変化が上流に位置する河道区間だけの問題の場合もあれば、下流の河道に影響を与え、問題が発生した下流の河道区間だけでは解決できない場合もある。河道の変化が激しく変化しやすいとともに、変化が真っ先に現れ、その後下流にも影響を及ぼしうる扇状地を流れる河川をどのように管理するのかについて整理し、長期にわたり河川全体を適切に管理していくことは極めて重要である。扇状地には、砂礫堆積層が厚く存在すると想像しがちであるが、必ずしもそうとは限らない。河道の変化は地表の変化であり、水のように循環するものとは異なり、ある意味不可逆な変化である。河床砂礫層が失われたところでは、河道の持つ自己修復力が働かず、その変化は想像以上に速い。

本研究では、多摩川を事例に、扇状地を流れる河川に対する構造物の築造や砂利採取などの人為的行為によって、その影響がどのように現れ、その下流の河道がどのように変化したのかを分析した。その上で、自然河川状態では起こらなかったような河道の変化や基盤層をも侵食した流路の固定化について、その発生に至るメカニズムを解析し、明らかにした。また、直轄河川本川において実施された河道を修復するための工事が、どのような観点から行われ、実施した工事がその目標や目的に照らして効果があったのかについて、多摩川で既往最大の洪水等のデータをもとに明らかにした。そして、河道修復が直轄河川本川で実施可能なことを実証的に明らかにした。加えて、新たに認識された課題と対応についても分析・考察した。河道の自己修復力をもつ安定した河道とそうした機能を有さない安定しない河道について概念整理をしたうえで、安定しない河道の将来変容についての懸念・問題点を明らかにして、得られた知見をもとに扇状地の上流部を流れる多摩川の河道の状況について、持

持続可能な河道の保持の観点から診断・分析を行った。日本全国には、基盤の軟岩等が露頭し、河床低下や流路の固定化に苦慮している河川があることから、こうした河川への適用を考慮し、安定しない河道の見極め方及び安定した河道に向けた対応のポイントを考察・整理した。そして、これらの考察に基づき、多摩川以外の河川での適用が可能なように長期的な河道変化を見据えた持続可能な河道の保持の考え方を構築し、『持続可能な河道づくり』としてまとめた。

『持続可能な河道づくり』の実践により、将来的に公物としての管理が難しい状況に陥る河川を安定した河川に誘導することが可能となり、将来にわたり適正な管理ができる河川が増えることとなる。

本論文の内容と成果

本論文は8章で構成され、各章の内容と成果の概要は以下のとおりである。

第1章「序論」では、研究の背景と目的、本論文の構成、並びに既往研究と本研究の位置づけを示した。

第2章「多摩川の河道」では、今後の自然外力の変化と扇状地を流れる河川への影響について分析するとともに、多摩川流域の地形・地質の特徴を明らかにした上で、扇状地を流れる多摩川の河道に対して行われてきた人為的な行為とそれらに伴う河道の変化について、整理・分析した。

本研究の対象である扇状地を流れる河川は、勾配が急であり、洪水時に多くの土砂移動を伴うため、洪水時の侵食や洪水低減期における堆積量が多いことから、河道が変動しやすい。また、扇状地の形成過程とその後の河道の変遷によっては河床の砂礫層厚に大きな違いがある。さらに、扇状地の基盤となる地層に関しても、その形成起源により、侵食を受けづらい硬岩の場合と侵食を受ける軟岩の場合がある。基盤の岩質とその上にある砂礫層厚の程度により、河道の河床部において洪水時の応答や河道の変化には大きな違いが見られる。山地を流れる河川と異なり扇状地を流れる河川は、河道そのものが変化するとともに、その変化の速度が速い。そして、その変化がやがて下流河道に伝播していく。多摩川は、全国の扇状地を流れる河川の中でも砂礫層厚が薄い河川であるとともに、その基盤となる上総層群（土丹）が未固結であり侵食を受けやすい特徴を有している。そして、多摩川の扇状地を流れる区間上流部では、河床低下（下刻）が異常なスピードで進行していること、自然外力の今後の変化と土砂移動の特性を考慮すると下刻がより加速し今後厳しい状況にあることを指摘した。

計画的な低水護岸がなく堤防と部分的な河岸保護工のみの日野橋上流区間において、自然河川状態から堰築造や砂利採取による人為的な行為の影響がどのように現れ、河道が変化したのかを明らかにした。以前の自然河川状態については、測量情報はほとんどないが、航空写真が残る1947年9月洪水を中心として分析を行い、側方侵食や下方侵食の発生傾向や、両岸が整備されていない状態で洪水がどの程度の流路幅を必要としたのかを明らかにした。

コンクリート製の堰が築造されて以降2019年9月までの大規模洪水は1974年9月洪水と2007年9月洪水がある。1974年9月の大洪水を契機に河床部での基盤となる地層の露頭や新しい流路形成など広範囲にわたり大きな変化がみられた。そして、築造後堰直下流での局所的な変化がやがて下流の河道1,000m以上にも及ぶ不可逆的な河道への変化に発展していった。2007年9月洪水では、そうした変化した河道の状態がより明瞭化・固定化していった。河道の変化において、因果関係なく発生する事象はない。堰築造などの人為的な行為の後にどのようなことが起きたのかに関して詳しく調査し、分析した。堰の築造は県管理の時代に実施され、国管理区間となる前の時代であり、測量データ等がないなどの制約がある。そのような中で、人為的なインパクトにより河道がどのように変化していったのかについて、変化過程やその変化のつながりが分かるように節目の情報を漏らさないように留意して検討した。そして、洪水によって、人為的なインパクトを受けた場所だけでなく、河道が一定区間でどのように変化したのかを明らかにした。また、これらの分析の結果、多摩川の日野橋（39.9KP）から羽村取水堰（54.0KP）の間において、約7割の区間で河道の状態が大きく変化してしまったことを明らかにした。

第3章「河道の応答特性の変化」では、第2章で変化の過程を明らかにした横断構造物の築造だけでなく、砂利採取のほか高水敷造成等洪水の流れに大きな制約を与えている行為の影響を受けていると思われる箇所を取り上げて、局所的な変化から広範囲にわたる河道の変化に至るメカニズムについて分析・解明した。

扇状地を流れる多摩川の河床にある堆積砂礫層の下には、『土丹』と呼ばれる第四紀更新世に堆積した海成層である上総層群が基盤を形成している。土丹は、砂礫移動を伴う洪水流下の作用で侵食を受ける。このため、多摩川ではこれまで流路となっていなかった位置に堰築造後、新たな流路が形成され、河床の土丹が2m以上侵食され、河川敷内を斜めに横切る直線的な流路が固定化したところもある。こうした河道の変化には、侵食を受けやすい土丹と受けづらい土丹の存在が大きく影響をしている。河道の変貌とともに、河道の応答特性も変化してしまい、その後の河道が一方的に侵食を受け一方にしか変化しなくなっていることを明らかにし、一方にしか変化しない河道（シフト河道）に至る過程とそのメカニズムを現地データに基づき調べた。これまでも、河道内で発生している事象の報告やそれらの事象を実験室で再現することやシミュレーションする研究や長期的な変化の傾向分析に関する研究はなされて来た。しかしながら、そうした状況に至るまでのプロセスや発生する要因までを解明した研究は十分なされてこなかった。本研究では、今まで明らかにされていなかったこの発生メカニズムを調べ検討した。具体的には、土丹が広範囲に露頭し、流路の固定化が明らかに進行したと認識できる区間が、多摩川の日野橋から羽村取水堰の間で3河道区間（JR 八高線下流河道：44.8～43.6KP、昭和用水堰下流河道：47.9～46.6KP、43KP 流路全体土丹露頭下流河道：43.0～41.4KP）ある。河道特性の分析とシフト河道に至るメカニズムの解明をこれらの3河道区間を含む8河道区間でやった。この結果、河道特性を変化させてしまうような河道の変化が起こり、その状態を維持・継続することができる要素や河道の構造（しくみ）を解明することができた。

第4章「河道修復の取り組み（シフト河道からの脱却）」では、第3章で分析・解明したシフト河道の1つである JR 八高線下流河道において、将来的な河道管理の懸念から河道修復工事を計画立案した理由とその修復工事の内容及びその目的と目標を明確にした。

多摩川では、河道の応答特性変化が著しい河道区間に対して、2013年に河道修復工事が実施された。修復工事には、短期的に改善効果を期待する目的と、中長期的に河道が具備すべき目標があった。当時、工事の計画立案、実施に携わった者として、設定した2つの目的と2つの目標を明らかにした。当時、本川で大規模な修復工事を実施するにあたって、何を目指してどのようなことを実施するのか、一度にすべての工事を実施できないため、自然の力を活用しながらどのように誘導していくのか、想定と異なった河道の変化が見られた場合にも柔軟に対応できる工法はどのようなものなのかを考え、河道修復工事の内容が立案され、段階的に実施された。こうした目的及び目標を達成するために選定した工法、配慮・工夫した事項、期待と期待通りに河道が変化するか懸念された事項についてまとめ示した。

第5章「河道修復の効果と課題」では、第4章で整理した河道修復工事を実施した後の河道の変化について整理・分析し、その実施した工事の効果と課題について明らかにした。施工後毎年のように平均年最大流量を超過する出水が発生しており、工法を整理する際に想定したような変化が出水後に起きたのかを知るために工事施工時に河床砂礫の移動などを追跡調査し、想定された土砂移動が生じているのかを分析・検討した。また、施工後の2019年10月に計画高水流量を超過する既往最大の洪水が襲来し、河道内で様々な応答変化が見られた。このような計画規模を超すような大規模な洪水の襲来により、想定していた修復工事の効果が得られたのか、修復工事の目的や目標が達成できたのかを整理・分析した。2019年10月洪水における河道の9つの応答と7つの現象について、詳細にその発生原因・メカニズムを分析した。直接的な計測データがないところでは、複数の事実を組み合わせることで確度の高い情報とするとともに、準三次元洪水流解析法(Q3DFEBS法)による解析結果を活用して応答や現象の時系列的な関係も確認しながら河道の応答や現象に至るメカニズムを調べ、そうした応答の発生理由を明らかにすることによって、修復した河道が目標を達成できているのかについて判定を行った。判定の

結果、目標Ⅰに関しては概ね達成された。目標Ⅱに関しては、長期間確認をし続けなければならないことであり、短期間では判定できない内容であるが、目標に向かった応答が生じていることが確認された。このことにより、修復工事の有効性が実証された。一方で、修復工事は実施当時の河道の状況を前提に計画・実施がなされており、2019年10月洪水を受け、河道による自律的变化が生まれたことから、この先の変化を見据えた際に改善すべき点も明らかになったことから、それらについての提言を行った。

第6章「安定しない河道とその将来変容」では、第2章から第5章までの多摩川における河道変化の分析内容を踏まえ、長期的に維持管理が困難となっていく河道について、概念整理を行った。そして、計画規模相当の洪水への河道の応答変化をもとに多摩川の河道の状態について判定した。

河道には、河道を自ら修復する機能を具備している『安定した河道』とそうした機能が失われた『安定しない河道』がある。安定しない河道では、修復力が働かないため、河道がある特定の状態に向かってしか変化しない。そして、その変化の先が維持管理困難な河道になってしまう可能性がある。多摩川では、2019年10月に計画規模相当の洪水が発生しており、河道の状態を確認するには非常に有用な洪水であった。日野橋から上流区間の河道の河道について、計画規模相当の洪水を受け、河道がどのような状態にあるのかの判定を行った。この結果、修復工事の効果があつた区間を除いても約6割の区間で『安定しない河道』の状態であることが明らかになった。多摩川以外の河川でも同様な状態に陥っている河川もあると思われることから、多摩川における事象をもとに『安定しない河道』になりやすい要件を明らかにした。

第7章「長期的な河道変化を見据えた持続可能な河道づくり」では、本研究の総括として、第6章で整理した河道の概念をもとに、第2章から第6章で分析・考察した結果を踏まえ、長期的な河道変化を見据えた持続可能な河道の保持の考え方を整理しまとめた。

第5章において、『安定しない河道』に対して、河道修復を行うことが実河川で可能であることが実証された。このことから、長期的な河道の変化を見据え、『安定しない河道』を『安定した河道』へと導く持続可能な河道づくりを提言した。第2章から第6章における研究成果を踏まえ、持続可能な河道を保持するために必要な要件を整理し、3つ掲げた。そして、持続可能な河道づくりを具体的に推進するために、①基本的スタンス②修復工事実施についての見極め方③修復工事を実施する範囲の考え方④安定した河道に修復するための留意点⑤持続可能な河道づくりの実施手順 について整理し、『長期的な河道変化を見据えた持続可能な河道づくり』としてまとめた。

第8章「結論」では、本研究で得られた成果を総括し、今後の展望について示した。多摩川中上流部では、コンクリート製の堰の築造と砂利採取の影響により、それまでの自然河道が大きく変化した。洪水時に河床砂礫の移動がある一方で河床砂礫の厚さが薄く、基盤の土丹が露頭しやすい環境にあったため、河道全体で流れていた洪水が構造物等の影響で集中することにより掃流力が増し、河床低下が進行し、土丹が河床に大規模に露頭した。河床低下の進行は、洪水と砂礫移動を呼び込み、土丹をも侵食して自励的に河床低下が進行した。河床低下の進行は、流路断面を大きくし、大規模な洪水をも狭い流路内で流してしまい、流路の固定化がますます進行した。この状態が進行し始めると、このサイクルから自然の力では抜け出すことができずに、状態の進行（悪化）は止まらなくなる。こうした状況をいち早く認識し、河道修復を図るなど適切な対応を図ることで、河道が持つ自己修復力が回復し『安定した河道』となる。扇頂部で下刻が進行している河川は多い。扇状地の上流区間を流れる河道は放置すれば下刻が進行し、その影響は下流河道へと伝播していく。長期的にみてその変化を受け入れられる河川と難しい河川があると思われる。今後地球温暖化の進行とともに自然外力が大きさ、頻度ともに増大する。流量以上に土砂の移動にその影響は大きく出るとともに、山地域に近い扇状地を流れる河道はその影響が下流より大きい。こうした自然的要因の変化と氾濫が許されない社会的な要請から、長期的な河道変化を見据えた持続可能な河道の保持が求められる。