

河川・湖沼の水環境修復技術

天野邦彦*

1. はじめに

世界の中の我が国の技術という特集の中で、河川・湖沼の水環境修復技術という課題で本稿を執筆することになっている。河川・湖沼の水環境修復のために実施される営為を対象とする技術という文脈で考えた場合、施工技術のような物理的変化のために用いられる技術について論じるよりも、むしろ計画や実施の過程について述べる方が有意であると考えられる。

このため、本稿ではヨーロッパの主要河川であるライン川において計画されている洪水のリスク管理と生物多様性の向上を同時に目指した新しい戦略である周期的な氾濫原の若返り (Cyclic Floodplain Rejuvenation、以下CFR) について紹介し、この考え方を、我が国における河川の水環境修復に対して、どのように活かすことができるかについて述べることにする。

2. ライン川における河川管理の新しい試み

2.1 ライン川

ライン川は西ヨーロッパ最大の水系であり、全長1,320km、流域面積は185,000km²におよび、流域は9カ国にわたっている。ライン川流域は都市化、工業化、農業の集約化による土地利用の変化を受けるとともに、上工農業用水利、舟運、水力発電のために水文状況が大きく変更されている。洪水防御のために築堤が行われた結果、元の氾濫原は川と分離されて生産性の高い農地や都市域に変貌している。また河道は舟運のために均一な幅と深さを持つ水路のような形状に変わり、砂礫州は除去されてしまった。このような変化は、予期しなかった、または過小評価されてきた水文、地形的反応を招き、これに対する新しい管理が必要になっている¹⁾。

上記の様な環境変化は、ライン川やその氾濫原の生物生息域を破壊あるいは分断し、水質汚濁がこれをさらに劣化させている。1987年にはライン

川の典型種の生息環境の復元や創出を行うための「ライン川アクションプログラム」が始まり、川の生態環境の本質的な改善は、①河川周辺の湿地、氾濫原の林、副流路に関係する生息域の復元、②水質改善、③生息域のエコロジカルネットワークへの連結により達成できるとされた。

2.2 洪水問題

ライン川とマース川を1993年と1995年に襲った洪水が、ライン川流域における水と河川管理の変換の契機となったとされている¹⁾。これら2河川の流域は複数の国をまたいでいるため、関連する国と地域が連携した洪水調節計画が欧州連合(以下EU)に提案されたが、これは1997年に承認されてIRMA計画 (INTERREG Rhine-Meuse Activities) と名付けられ、2003年に終了するまでに153のプロジェクトが実施された。この中のIRMA SPONGEプログラムでは、洪水調節に関連した河川復元の適用性を調査し、特にCFRという新たな概念について検討している。



写真-1 ライン川支流での洪水状況¹⁾

オランダにおいては、1990年代に起こった洪水が洪水リスクの取り扱いに大きな影響を及ぼし、既存堤防の強化は選択肢でなくなった。この理由は、費用がかさむことと、自然環境や文化遺産の損失が大きいとされている。このために河川管理者は、流下能力を増大させると共に河川の物理環境、生態系、景観を同時に満たすことを重要視するようになった。この要求に対するオランダにお

ける河川管理の答えが、room for the riverすなわち川を拡げるといふ新しい概念である¹⁾。

2.3 オランダにおける洪水対策¹⁾

近年のオランダの河川洪水防御政策は、上流域で水を貯留する、遊水地で洪水を一時貯留する、特に下流河川では流下能力を増大させるという3段階の政策からなっている。この政策は持続可能な水管理に基づいており、以下に示すいくつかの新しい戦略を生み出している。

- ・スポンジ戦略(The Sponge strategy)：これは、上流域において、農地を森林や湿地に戻したり小河川に沿った冠水域や蛇行を復元することで、流域の上流で水を保持する、すなわちこれらの場所にスポンジのような役割を果たさせて、流出を遅らせるというものである。

- ・流水貯留戦略(The Flowing Storage strategy)：氾濫原における貯留量を氾濫原の粗度を増加させることや堤内地の一部を氾濫原に戻すことで増加させようとするものである。この戦略は上流域で検討される。中流域や下流域では、大規模な堤防位置の変更によってのみ可能である。

- ・遊水地戦略(The Retention Polder strategy)：完全に堤防で囲まれた遊水地に出水のピークの一部を一時的に貯留するというものである。冠水頻度に応じて、自然環境の回復も期待できる。この戦略は中流及び下流域で検討される。

- ・放水路あるいは緑の川戦略(The Spillway or Green River strategy)：市街地が近接しており、水理的な狭窄部となっている場所で、河川のバイパスを建設するというものである。このようなバイパスは、堤防で囲まれており、出水時のみ水が流れる。これは主に下流部において検討される。

- ・洪水との共生戦略(The Living with Floods

strategy)：経済的財産の保護と自然や文化的財産の保全とのバランスをとろうと考えるものである。これは、河川に沿った土地利用を可能な限り柔軟にすることで、河川が自然な水文、地形変動を起こすことを認めることで達成される。これは河川のダイナミクスに応じた土地利用や計画を行うというものであるが、実際に検討されるのは、気候変化により洪水ピークが劇的に増加して、既往の手段よりも過激な手法が必要となりうる将来において検討されるものと考えられている。

- ・川を拡げる戦略(Room for the River strategy)：氾濫原の切り下げ、副流路の再生、水制の撤去などにより氾濫原の流下能力増大を図ることで、洪水リスクを最小化するというものである(図-1)。CFRは、この戦略の特別なタイプのもと考えられる。CFRは、氾濫原における生態系遷移過程の修復のために、氾濫原らしい水文、地形変動状況を生じさせる場を周期的に人工的に創出するもので、結果的に植生や生息場の多様性が増大することで生物多様性も向上することをねらっている。自然河川においては、土砂堆積や樹林化により、流下能力が減少する過程が進行する一方で、河川のダイナミクスにより若返りも生じうる。しかし、ライン川の中下流では、流路が固定化されているために、このような環境のリセットが生じなくなっている。このため、人工的な若返りが必要になっている。

2.4 CFRプロジェクト¹⁾

2.4.1 CFRプロジェクトの課題

CFRプロジェクトの主な目的は、洪水リスク管理と自然復元のための持続可能な周期的氾濫原の若返り戦略の作成である。氾濫原の若返りは、沼沢地、氾濫原植生、ワンドやたまり、自然堤防に関わ

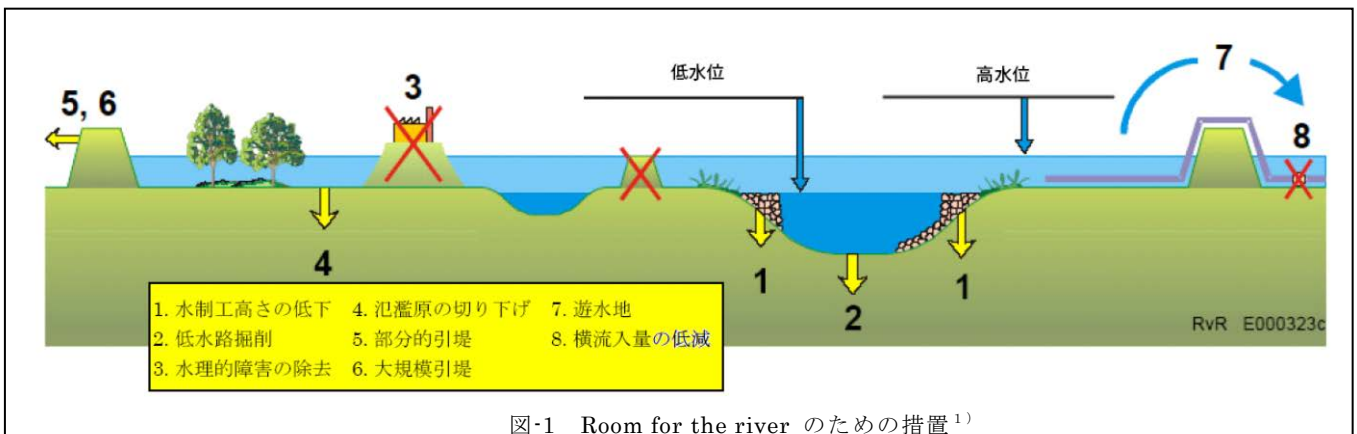


図-1 Room for the river のための措置¹⁾

る数多くの要素や変化過程を対象にしている。さらにこれらの構成要素の若返りについては、洪水管理戦略に関連して、より詳細な研究課題となっている。これらを具体的に示すと、以下のような課題である。

- ・周期的な冠水が氾濫原植生の発達にどのように影響するか？
- ・氾濫原地形の変化はどのようなものか、またこれが氾濫原湿地や植生にどう影響して、さらに粗度をどのように変化させるのか？
- ・異なる初期条件に対して樹林の経時的発達はどのように変化するか、また粗度の変化はどうか？
- ・副流路における土砂堆積および侵食速度はどのようなものか、またこれが生物生息域の利用可能性や持続性にどのように関連するか？

これらの課題について理解するためには、河川および氾濫原における生物的、非生物的变化過程についての理解が必要になる。自然の河川においては、非常に多様な河床材料、水深、流速が存在し、動的でありかつ複雑な種々のスケールの生物生息場を生み出している。このような場は、河川のダイナミクスにより時空間的に変動する。これは水生生物にとって、生息に適した場が形成・消失を繰り返すものの、系のなかには常に存在するという状況であることを意味している。

2.4.2 CFRプロジェクトの戦略と適用概念

氾濫原にとっては、周期的な冠水が最も重要な生態的特徴である。冠水頻度、水深やそれによる地形変化が自然の植生遷移や分布を相当程度規定している。氾濫原への土砂堆積が進行すると、徐々に樹林化が進む。氾濫原の環境状態にとっては、植生遷移が安定化の極相に達した後に、自然の営力によって若返りが起こって、再度遷移が繰り返される力があるかどうかという点が、重要である。

CFRは、自然河川が有していたダイナミクスという環境特性の復元を目指すものであるが、現況の河川を、全く河川改修前の状態に戻すと言うことは、社会的にも経済的にも、さらに今後起こりうる気候変化を考えると、不可能であると共に非現実的である。特に気候変化は、洪水流量を増加させる可能性が予測されており、制約はより厳しいものになると考えられる。

ただし、氾濫原の中である程度まで河川のダイナミクスを復元し、自然の環境遷移を許すことで、

氾濫原の生態系の質は向上すると考えられる。そこで、治水上の制約の中で、生態的により自然であり、地形変化を許す氾濫原管理の可能性について検討するというのが、CFRプロジェクトの目的となっている。

このため、CFR戦略の第一歩は、room for the river(図-1)の措置をとり、河川のダイナミクス(特に侵食と堆積)と生態系変化(植生遷移)に氾濫原の発達を任せることから始まる。当初は少なかった植生は、徐々に安定的な樹林へと遷移するが、これは粗度の増加を招き、また氾濫原標高の上昇を伴い、やがて流下能力に問題が生じる。

このような状況になったら、次の段階として、流下能力と氾濫原の多様性を同時に増加させる管理施策を再度実施することになる。この部分がまさに周期的と名付けられた理由である。これらの管理施策の規模や頻度は環境遷移の速度や必要となる水位低下量により決まるが、小規模なものを頻繁に、大規模なものになるにつれてより長い間隔で実施されると考えられる。CFRにおいては、これらの施策を選択するために、以下の4つの概念が導入されている。

① 生態的参照状態 (Ecological reference condition)

河川のある区間における氾濫原の生態系の状況を評価するために、比較対象とする参照状態が必要になる。これは、潜在的な生態系の状態といったものであり、管理施策の実施が必要になった際に、これと比較して、例えば粗度の低下のために樹林を伐採する必要がある場合に、現況においてこの参照状態よりも多くの樹林面積が存在するかどうかを確認するという具合に利用される。

このような参照状態(リファレンス)は、河川の区間毎に設定される必要があるとともに、自然環境要素(氾濫原の樹林、草地、沼沢地、副流路、三日月湖、自然堤防、砂堆など)の多様性に関する情報も含んでいる必要がある。さらに動的状態を知るために、これらの自然環境要素の遷移状況を示すことも必要になる。

ただし、このような情報を整理するのは非常に困難なことと思われる。現段階では、ライン川の支川について、研究が緒についたところの様である。

② 植生の若返りの頻度

CFRの考え方では、景観や生息場は河川のある

場所に固定されているものではなく、動的に変化するものとして取り扱う。植生の若返りの頻度は、遷移速度と成熟までの時間により決まる。たとえば、氾濫原の樹林が完成するのに30～50年かかる」とすると、管理が必要な場合はこの時間を経た後に若返り(この場合は伐採)をするべきとしている。

③地形の若返り

自然に蛇行する川においては、主流路が近傍の氾濫原を攪乱することで若返らせるが、現状のライン川では、これは起こらない。そこで、氾濫原を異なる種類の地形に区分して、それぞれについて土砂堆積速度を評価して、堆積速度が速い区分については、高頻度の若返り(ここでは掘削)が必要としている。

④氾濫原の部分的若返り

氾濫原の中で出水時においても流速が小さい箇所では、植生が繁茂しても水位上昇は小さい。このような場所は、成熟に時間がかかる植生タイプに適しているとしている。出水時に流速が速くなる場所では、若返りの頻度も高くする必要があるのであるとしている。

3. 我が国との比較

オランダでの治水政策は、基本的に我が国における総合治水とほぼ同じ考え方であると言える。また、種々の戦略についても、治水の要件を満たしつつ、河川が本来有していた動的環境特性を復元しようとする点において、基本的な考え方としては、類似のものと言える。オランダで氾濫原の周期的若返りと呼んでいる内容は、我が国で河原の復元と呼んでいるものに近い。河原の復元事業の多くも、治水と環境の両立を目指しており、また、維持管理を意識して、河原植生の遷移速度を現地データに基づき評価した研究も実施されている²⁾。多摩川や千曲川において実施された基礎的研究²⁾に見られる様に、研究レベルや個々の事業の正確さにおいては、我が国における河川環境修復技術は高いものと評価される。しかし、個別の研究や事例を総括し、河川管理の概念や戦略として提示するという点において、努力の余地があると考えられる。

特に流域レベルで治水と環境を両立させるために、河川のダイナミクスの評価も加味した参照状態(リファレンス)を設定して、それとの比較評価

に基づき実際に河川を維持管理しようというCFRの試みは、現在の技術レベルにおいてどの程度の精度で実現が可能か不明な部分が多いが、維持管理の手順に氾濫原(河原)における諸過程の知見を組み込んで行こうとする点において、我が国における今後の河川管理の参考になる。また、その川らしさを表すことで、それを環境目標とする参照状態(リファレンス)の設定は、非常に重要であるが³⁾、我が国においては、定量的な評価手法が定まっていないのが現状であり、研究の進展、実地への適用が望まれる。

4. まとめ

オランダにおける新しい河川管理に関する政策と概念について概略を紹介した。治水と環境の両立を周期的な維持管理で達成しようとする一貫した概念を成立させたことで、管理の位置づけや方向性が明確になっている点が評価できると思う。

地形や土地利用の相違により単純な比較は出来ないが、我が国における水環境修復についても、諸過程の理解を深めると共に適用事例を増やすことで、強固な枠組みを作成することが望まれる。

参考文献

- 1) Duel, H, M.J. Baptist and W. E. Penning (eds.), Cyclic floodplain rejuvenation : a new strategy based on floodplain measures for both flood risk management and enhancement of the biodiversity of the River Rhine, NCR publication 14-2001, 2001
- 2) 末次忠司、藤田光一、服部敦、瀬崎智之、伊藤政彦、榎本真二：礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答、遷移および群落拡大の特性 一多摩川と千曲川の礫河原を対象として一、国土技術政策総合研究所資料、第161号、2004
- 3) 中村太士、辻本哲郎、天野邦彦(監修)、河川環境目標検討委員会(編集)：川の環境目標を考える一川の健康診断、技報堂出版、2008

天野邦彦*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水環境
研究グループ河川生態
チーム 上席研究員、
博(工)
Dr. Kunihiko AMANO