

2024年 欧州近自然川づくり調査報告



2025年5月
欧洲近自然川づくり調査団

本調査報告は、令和6年8月14日から21日にかけて実施された欧州近自然川づくり調査団(団長:辻本哲郎 名古屋大学名誉教授)によるイギリス、スイスにおける調査結果について、令和7年5月19日に開催された報告会の再録という形でとりまとめたものである。

調査の目的

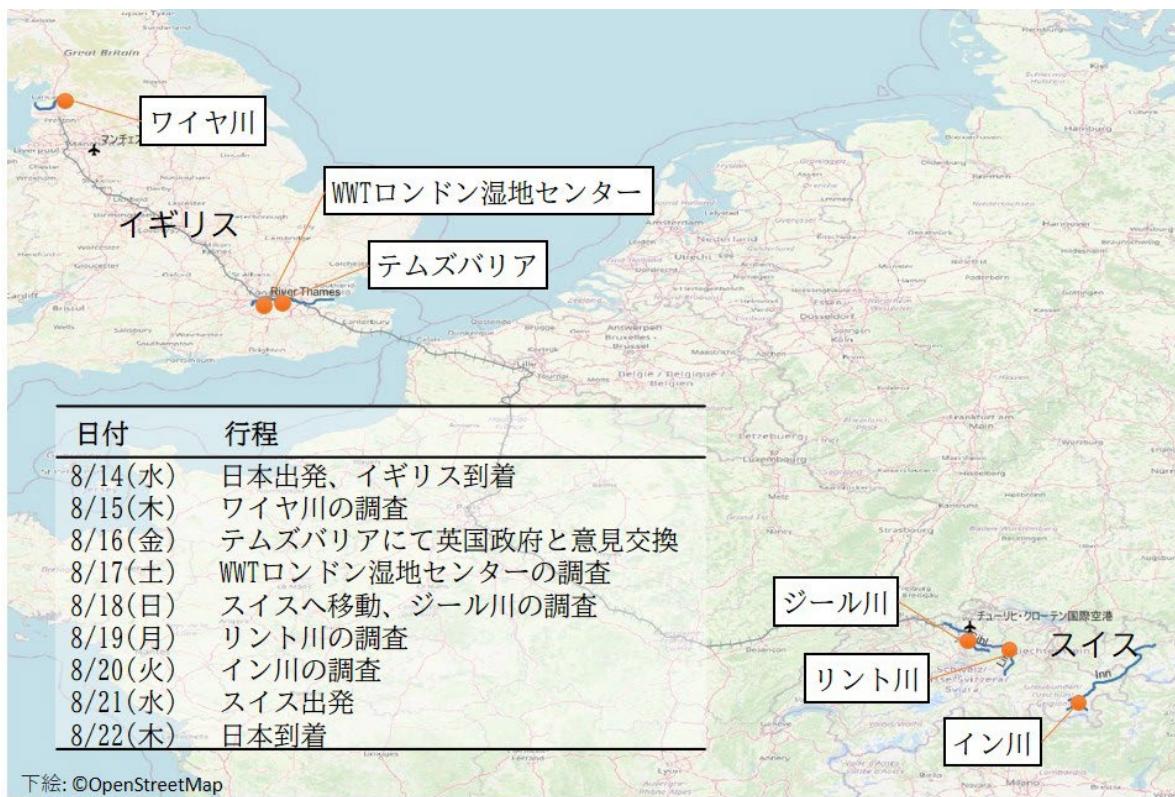
気候変動も踏まえ、主に海外における多様な主体と連携した「ネイチャーポジティブ」や「流域治水」等に関する取組(「流域マネジメント」)の調査・分析を行い、国内での実践や新たな政策立案に活用することを目的とした。

調査団の構成

辻本哲郎(名古屋大学名誉教授)(団長)
中村太士(北海道大学大学院名誉教授)
池内幸司(河川情報センター理事長・東京大学名誉教授)
安田浩保(新潟大学准教授)
中村圭吾(土木研究所グループ長)
(同行)
足立敏之(参議院議員)
竹島 瞳(足立敏之議員秘書)

小浪尊宏(国土交通省河川計画課国際室長)
新屋孝文(国土交通省河川環境課河川環境調整官)
阿河一穂(国土交通省河川環境課課長補佐)
崎谷和貴(リバーフロント研究所主席研究員)
西村雄喬(リバーフロント研究所主席研究員)
大杉奉功(水源地環境センタ一次長)
鶴田 舞(国土技術研究センター副総括)
石川直樹(国土技術研究センター研究員)

調査行程



欧州調査報告会「イギリス、スイスにおける流域総合水管理」

日時 令和7年5月19日(月) 15:00~17:00

挨拶

水管理・国土保全局 局長 藤巻浩之

1. 近自然川づくりに関する欧州調査の概要 河川環境課 企画専門官 鶴田 舞
2. 欧州河川調査について 株式会社ニュージェック 顧問 竹島 瞳
3. グリーンファイナンスを活用した官民連携の流域治水 ~英国・ワイア川の事例~ 土木研究所 グループ長 中村 圭吾
4. 洪水制御と自然共生を両立する自律駆動型河道の創出 新潟大学 准教授 安田 浩保
5. スイス・リント川における流域治水 ~超過洪水時(L1.5)の緊急放流対策~ 河川情報センター 理事長・東京大学 名誉教授 池内 幸司
6. どうしたら、ネイチャーポジティブな河川管理が可能になるか?
~イギリス・スイスの知恵を活かす~ 北海道大学大学院 名誉教授 中村 太士
7. これからの川づくり「近自然工法」から「流域総合水管理」 ~2024欧州河川視察より~
名古屋大学 名誉教授 辻本 哲郎

挨拶

水管理・国土保全局 局長 藤巻浩之

先ほど皆様と御一緒に足立先生への哀悼の誠を捧げさせて頂きましたが、この報告会を一番心待ちにされていたのは足立先生御本人ではなかったかと思います。我が国の河川行政、特に河川環境の分野をリーダーとして引っ張ってきて頂いた先生の御遺志をしっかりと継いで、このような調査をより深めていくことが大事であると思っているところです。

河川行政における治水と環境というのは一体不可分であり、やはり現場あってしかるべき、現場第一であろうと思います。その意味で、諸外国の現場の様子を間近に御覧になった先生方に各地の先進的な取組をこのように御紹介頂く機会というのは大変貴重だと思います。

私自身も二十数年前に河川環境課おりました。当時、辻本先生や中村先生と一緒に釧路川をずっと下ったり、四万十川でゲルディさんと意見交換をさせて頂いたりして多くを学ばせて頂いたことを思い出します。

本日は、先生方のお話を聞いて、我々水管理・国土保全局が今後の河川環境の在り方、ひいては河川行政全体をどうすべきか考えてまいりたいと思いますし、御参加いただいている方も大きな気づきがあることを願っています。



1. 近自然川づくりに関する欧州調査の概要

河川環境課 企画専門官 鶴田舞

要約

- ・イギリスでは、柔軟に計画を見直す仕組み等を学んだ
- ・スイスでは、河川環境の定量評価による順応的管理等を学んだ
- ・川は都市の顔であり風景の軸になっていることに改めて気づかされた



調査の目的と概要

本調査は、我が国の河川管理への知見を得ることを目的として行っており、昨年8月の調査が第3回になります。今回は、生物多様性ネットゲイン施策等の導入が進むイギリス、近自然工法について歴史的に取り組まれてきたスイスを調査対象としました。昨年5月の「生物の生息・生育・繁殖の場としてもふさわしい河川整備及び流域全体としての生態系ネットワークのあり方検討会」提言を踏まえ、今後の取組を推進するに当たって参考となる知見を得ることを目的としました。

調査団は、辻本先生を団長として、中村先生、池内理事長、安田先生、中村グループ長、加えて本省、河川系の財団、さらに足立先生と秘書の竹島さんにもご同行頂き、合計15名で構成されました。



図1 ワイエイ川 Natural Flood Management

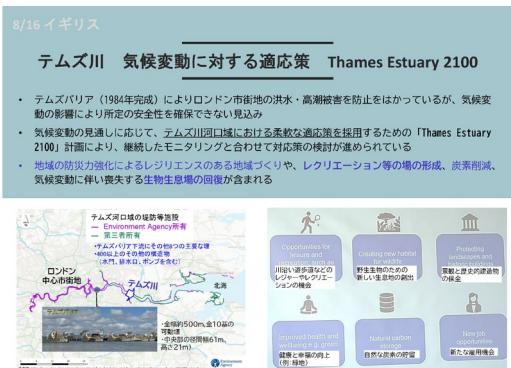


図2 テムズ川 Themes Estuary 2100

イギリスでの調査

イギリスでは3か所を巡りました。

ワイヤ川流域(図1)はイギリス中部に位置しており、生態系サービスを活用して洪水を管理する自然洪水管理(Natural Flood Management)を取り組んでいます。また、洪水管理のみならず、水質汚濁の低減、生物生息環境やハビタットの連続性の向上等を図っています。特徴的なのは、環境問題に関心の高い投資家等から得た資金を基に対策を実施しているという点です。

次に、ロンドンにてイギリスの政府関係者等の方との意見交換を行いました。テムズ川では、気候変動の見通しに応じて、河口域における柔軟な適応策を採用するための「Thames Estuary 2100」計画(図2)によって、継続したモニタリングと合わせて対応策の検討が進められています。レジリエンスのある地域づくりだけでなく、レクリエーション等の場の形成、CO₂削減、気候変動に伴い喪失する生物生息場の回復等の総合的な計画が検討されました。また、チョークストリームという湧水起源の河川が、特にイギリスで特徴的に見られるのですが、流域ベースの水環境再生戦略アプローチということで、流域内の関係者とパートナーシップを形成し、協働しながら事業を実施しているというお話を伺いました。

最後にロンドンから程近いところにあるWWTロンドン湿地センター(図3)に行きました。もともと貯水池だったのですが、所有者が手放し



図3 WWT ロンドン湿地センター

て水質が悪化していたところを、湿地として再生されたということでした。大変いい環境になつていまして、我々が行った際も大変賑わつていて、市民に親しまれていました。

スイスでの調査

スイスも3か所巡りました。

まず、チューリッヒ市街地を流れるジール川ですが、市街地の浸水への懸念から治水計画が検討され、治水対策と自然環境への代替策、再自然化が実施されています。印象深かったのは、工事現場脇の広報施設(図4)です。2階から工事現場が見渡せるようになっています。親しみやすいイラストで工事の概要が描かれています。過去の災害や工事の効果がビジュアルに説明されていました。子供が遊べるようにもなつていて、散歩の合間に立ち寄れるような場所でした。

2か所目のリント川では、超過洪水対策に取り組まれています。河道の拡幅による再自然化、また環境への代償措置も合わせて実施されました。

最後のイン川(図5)ですが、こちらも洪水防御と自然再活性化が行われています。河道を付け替えたり、再活性化として生息場を増加させたり、景観の改善、レクリエーション利用の拡



図4 ジール川の工事見学施設



図5 イン川での取組概要

大などに取り組まれていました。モニタリング指標も設定されていて、順応的な管理が行われているということでした。

調査から得られた示唆

多くのことを学ばせて頂きましたが、3点(図6)挙げますと、1つ目、特にイギリスですが、気候変動という不確実性の中で柔軟に計画を見直していく仕組みが参考になりました。

2つ目は、特にスイスですが、自然再生について定量的に評価し、結果を踏まえて継続的に維持管理する。また、知見の横展開を図っていました。技術者の育成により、次世代につなげていくということも印象深かったです。

3つ目は、ほとんどの事例が、行政だけではなく、企業や環境NPOなど様々なステークホルダーと協働していることです。その鍵が何かを考えると、目的が多角化されて様々な関係者が集っている。利害関係は出てきますが、情報や戦略の共有によって利害調整を図ろうとしているという点が特徴的だと思いました。

最後に、水辺空間が、人が関わる場としてつくられていることのすばらしさを体感しました。また、川は都市の顔であり、風景の軸になっていることに改めて気づかされました(図7)。

現地では大変多くの方にお世話になり、本当にありがとうございました。

調査から得られた示唆

不確実性を前提とした柔軟な政策枠組み	自然再生の定量評価と順応的管理	パートナーシップのカギは目的の多角化と利害調整
<ul style="list-style-type: none"> 気候変動等に関する変化指標を5年毎にレビュー、10年毎に計画を更新(Thames Estuary 2100) NFMによる洪水流量低減効果のみを投資判断に、生物多様性の向上効果は評価指標を検討中(ワイヤ川トラスト) 	<ul style="list-style-type: none"> 「川の健全性」を流れ・形態・生物など複数指標で継続評価 整備後のモニタリングを踏まえ、維持管理や知見の横展開を図る 	<ul style="list-style-type: none"> 洪水リスクの軽減、生物多様性の向上、水質改善、親水性の向上等に総合的に取り組む 政府、地方自治体、企業、環境NPO、住民など様々なステークホルダーと協働(情報・戦略の共有、モニタリング・評価、計画見直し)

図6 調査から得られた示唆

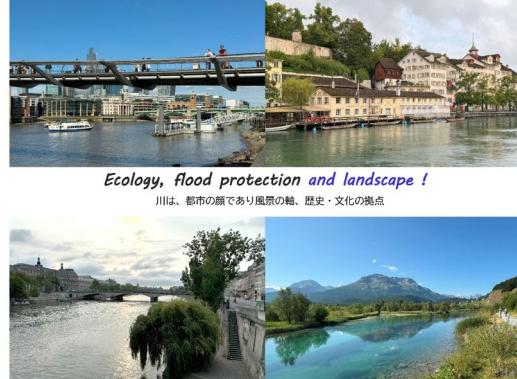


図7 水辺空間

2. 欧州河川調査について

株式会社ニュージェック 顧問 竹島 瞳

要約

- 故足立議員は2019、23、24年の調査に参加された
- これらの調査を通じて、足立議員から思いを込めて様々な発信をしてきたが、欧州の事例も参考に、超過洪水対策、ネイチャーポジティブなどに取り組んでいって頂きたい



はじめに

私は足立敏之参議院議員の秘書をしていました。昨年末に足立議員が急逝し、この報告会も5か月ほど延期になり、大変御心配、御迷惑をおかけしたことをお詫び申し上げます。

足立議員は、2019年、23年、24年とこの調査の3回全てに同行しました。そこで足立議員が何を感じ、何を皆さんにお伝えしたかったのかについて紹介させて頂きます。

2019年の調査

2019年の調査(図1)では、主にドイツ、スイスを回りました。ドイツではアルトミュール川、アルトミュール湖、ミュンヘン近くのイザール川、次にガルミッシュ＝パルテンキルヒエンで



図1 2019年の調査

2023年9月9日～13日 ドイツ、スイスにおける河川調査



図2 2023年の調査

ロイザッハ川を回り、河川の再自然化等を視察しました。次にスイスとドイツの国境付近にあるボーデン湖の再自然化、さらにスイスのチューリッヒに移動して、トゥール川周辺の再自然化、チューリッヒ湖から流れ出るリマト川の再自然化を視察しました。

2023年の調査

2023年の調査(図2)では、ドイツ、スイスを中心に、アーレガウ州のリートハイム村、ライ茵川の合流部トゥール川、タールハイム村、ライ茵川周辺の再自然化、オーベンクシュトリンゲン村でリマト川の再自然化について視察をしました。

次に、ウーリ州のロイス川の治水対策を視察しました。湖のほうに流れ込むロイス川に並行して高速道路が走っていますが、ロイス川が増水したときに、越流部から高速道路に洪水を流し、高速道路を放水路として使う仕組みで、高速道路に沿って洪水防御壁があり、さらにその外側にも洪水防御壁があって、多重防護の形で守っています(図3)。ここは足立議員の印象に強く残ったようで、その後様々な機会に紹介されていました。

2024年の調査

昨年2024年の調査では、チューリッヒ周辺のジール川の治水対策、上流部のリント川、イン川を視察しました。この時は私も同行しました。



図3 ロイス川の治水対策

たが、再自然化が治水対策と一緒に行われているということを大変興味深く拝見させて頂きました。

ジール川では、大きな流木止めを設置したり、チューリッヒ湖まで放水路トンネルを抜いたりしていました(図4)。また、チューリッヒ中央駅の真下の暗渠をジール川が流れしており、治水対策として暗渠をかなり掘り下げるという対策が採られたと聞きました。

足立議員の思い

調査の結果は、足立事務所でとりまとめ、様々な機会に紹介していますが、その中でも特

に足立議員の思いが込められているところを抜粋して紹介します(図5)。

2019年の調査ではモバイル・レビーや耐水型住宅などの多様な選択肢の準備、2023年の調査ではロイス川の高速道路を活用した多重型の防護、これらを日本にも取り入れてはどうかといったことを述べています。

2024年の調査では、リント川とイン川で治水対策と近自然川づくりが一体的に実施されていることや、1/300の超過洪水対策に取り組んでいることから、日本もスイスを見習って、流域治水の考え方を進める中で、超過洪水対策やネイチャーポジティブなど新たな課題にも取り組んでいってほしいといったことを述べています。

足立議員は調査の後、自分がいいなと思ったことが皆様にどうやれば伝わるかということに腐心され、それを政策に取り入れてほしいという強い思いで報告書を作ったり、メルマガなどで発信したりしていました。これまで足立事務所が中心になって5冊の本を出版していますが、次は環境の本を出したいと言われていましたので、このような成果も活かしながら、検討して頂きたいと考えています。



図4 スイスの治水対策

足立議員の主なコメント(足立事務所報告書より)

- ・「川のダイナミズム」(=本来の川の動き)が貫かれており、日本の川づくりにも参考になると思いました。(2019年調査)
- ・新たな取り組みとして、モバイル・レビー、耐水化住宅など、多様な選択肢を準備して、その場の条件に合わせながら取り組んでいることが明らかになった。(2019年調査)
- ・リマト川やトゥール川などで護岸の撤去や高水敷の撤去による再自然化がより効果を發揮しており、再蛇行化が進んでいることがわかりました。我が国でも護岸の撤去や高水敷の撤去が可能な河川をモデル的に抽出し、アダプティブマネジメントの概念により試行的に取り組んでいただきたいと考えています。(2023年調査)
- ・ロイス川の多重防護の考え方は「流域治水」を進めていくためにも大いに参考になるもので、我が国でも高速道路などの他用途施設の活用や土砂流出を遊砂地で捕捉するような考え方を、河川整備上考慮するような施策を取り入れていただきたいと考えます。(2023年調査)
- ・我が国でも河川改修や災害復旧工事と併せて多自然川づくりが行われていますが、その数段上をゆく本格的な治水対策として別川付替えによる河川改修と近自然川づくりが行われている状況に驚きました。(2024年調査)
- ・今回のリント川流域とイン川流域の視察を通じて、治水対策と近自然川づくりが一体的に実施されている状況を確認することができ、我が国の流域治水対策の取り組みと多自然川づくりの一体的推進にも大いに参考となると感じました。(2024年調査)
- ・(スイスの川づくりが)超過洪水対策として1/300で取り組んでいることも分かりました。我が国も、スイスを見習い、流域治水という考え方を進める中で、超過洪水対策やネイチャーポジティブなど新たな課題にも取り組み、河川環境の保全や改善にも取り組んでいただきたいと思います。(2024年調査)

図5 足立議員の主なコメント

3. グリーンファイナンスを活用した官民連携の流域治水 ～英国・ワイア川の事例～

土木研究所 グループ長 中村 圭吾



要約

- グリーンインフラを用いた流域治水は小規模なものをたくさんやる
- 官民ブレンドファイナンス、パートナーシップで治水・環境事業を実施
- 多様な機能の効果把握を定量的なエビデンスに基づいて実施

はじめに

今日は、「グリーンファイナンス」がキーワードです。グリーンファイナンスとは、環境だけではなくて、治水も入っているので、いわゆるアダプテーションファイナンス、適応ファイナンスの意味も含んでいます。また、「官民連携」、「パートナーシップ」もキーワードです。イギリスは、90年代は河川管理者が河川事業をやっていましたが、今はかなりの割合はパートナーシップで河川管理をやっています。そのファイナンスも、公共事業費だけではなくて、公共、民間、投資家からの様々な資金をブレンドして、いわゆるブレンドファイナンスにしています。これは、世界的な傾向だと思うので、ぜひ今後の日本の行政にも活かしてもらえたたらと思って話します。

流域治水は災害時だけではなく、地域経済とか自然環境への寄与も重要です。今日は、グリーンインフラを活用した流域治水(最近の言葉では流域総合水管理になるかもしれません)をメインにお話しします。

イギリスの自然洪水管理(Natural Flood Management)は、日本語で言えばまさにグリーンインフラを活用した流域治水ということかと思います。そして、グリーンファイナンスは、様々なファイナンス手法を活用しているので、官民連携の流域治水にも非常に参考になるのではないかと思います。

ワイア川の概要

ワイア川は、ブリテン島中央西寄り、リバプールやマンチェスターの近くにあります(図1)。流域面積は450km²、下流には都市があり塩性湿地もあります。河口部には、貴重なアトランティック・サーモンやヨーロピアンスマートなどが生息しています。中上流部には高い山はなくほとんど牧草地になっているイメージです。

ここでは1/50規模の洪水を20年間に4度も被り、それを契機にして自然洪水管理が始まり

ました。ワイア川流域は、保全対象もそう多くないので、本格的な治水事業は難しい。なるべく低コストな治水をやろうということで、グリーンインフラの活用、自然洪水管理を実施することになりました。

自然洪水管理は2010年頃からイギリスで始まり、このワイア川では、上流域100km²のうち約70ha(0.7km²)のエリアに浸透や貯留の小規模な対策を1,000以上実施しています。

自然洪水管理

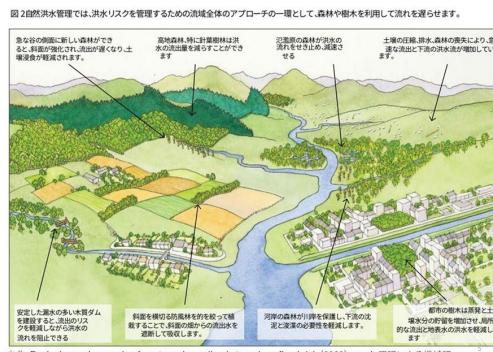
自然洪水管理(図2)の手法には全部で14くらいのメニューがあります。例えば、小さな自然再生のように、木の小さな堰をいっぱい造つて流れを遅くするリーキーダム、また、イギリ

ワイア川流域の概要



図1 ワイア川流域の概要

自然洪水管理(natural flood management)



出典: Designing and managing forests and woodlands to reduce flood risk (2022) google翻訳による機械訳

図2 自然洪水管理

スは草原が多いので、日本と違って木を植えると降雨遮断や流水阻害になります。グリーンインフラ的に都市に緑を増やすとか、生け垣のようなグリーンの帯を造ることで斜面の流れを緩やかにするヘッジローもあります。

ワイヤ川流域では、先ほどの 70ha とは別に 39ha の森林造成も実施しています(図 3)。70ha の内訳は、リーキーダムが 1,700 箇所、窪地・池が 42 箇所、ヘッジローが 10km ほど。他に、泥炭や草地の再生です。目的は洪水対策だけではなくて、浸透を増やすことや脱炭素があるので、これらもメニューに入っています。

リーキーダム(図 4)は手作りですが、技術基準もあります。ミニ砂防堰堤ではないですが、上流からの流れを堰上げて遅くします。

植林(図 5)は、苗を植えるときに筒に入れて植えています。現地は草原が広がっているので、植林の治水効果はあると思われます。

ヘッジロー(図 6)は、イギリス映画の草原にある生垣のようなものです。十勝平野の防風林のイメージでしょうか。動物のすみか・通り道になっていて、エコロジカルネットワークを形成しているそうです。第二次世界大戦直後は 48 万 km もあったのが、現在では大きく減少しています。ヘッジローは、生態系にも効くし、斜面の流れの阻害にもつながるので、いま、積極的に再生されているそうです。

自然洪水管理の技術・内訳	
・ 39ha の森林造成	
・ 70ha の対策内訳 :	
- リーキーダム : 1,710 か所	
- くぼ地・池 : 42 か所	
- 生垣(ヘッジロー) : 10 km	
- 泥炭再生 : 15ha	
- 草地再生 : 10ha	

図 3 自然洪水管理の技術・内訳



図 4 リーキーダム

窪地(図 7)は、英語で *scrape*(削る)と言います。大きなものから小さなものまでありますが、流域でたくさん実施しています。小規模なものをたくさんやる、しかも、小さいものまで効果を定量化し、論文にもなっています。また、多機能性を持たせています。洪水対策にもなる、窒素、リンを除去できる、水質浄化対策にもなる、炭素蓄積にもなる、水源涵養にもなる。湿地になるので生物の生息場にもなります。

対策の効果(図 8)は、ワイヤ川流域では様々な研究が行われていて、最大 10% のピーク流量カットになるとされています。また、炭素蓄



植林（森林造成）



図 5 植林



ヘッジロー（生垣）



図 6 ヘッジロー(AI で生成)

くぼ地（scrape）



Source: <https://heggscastlecluster.org/2023/07/12/marvellous-mud/>

- ・ 流域で多数実施
- ・ 効果を定量化
- ・ 多機能 :
 - ・ 洪水
 - ・ 水質浄化
 - ・ 炭素蓄積
 - ・ 水源涵養
 - ・ 生息場

図 7 窪地

積は、32,000本の植樹によって16,000tCO₂/100年となっています。乾燥した泥炭はCO₂を多く出しますが、湿ると出にくくなるため、泥炭の湿地化は、温室効果ガスの削減に繋がります。

ファイナンス

ファイナンスは複雑で、最終的にお金を払うのは、河川管理者、地方自治体、洪水の再保険会社、上下水道会社ですが、起債、ボンド(債券)を発行していて、ボンドを投資銀行や個人の富裕層が購入します(図9)。ワイヤ川はグリーンファイナンスに関するイギリスの先端的な国家的パイロットプロジェクトと位置づけられています。環境庁(Environment Agency)や上下水道会社、再保険会社、大きな環境財団、NPOなど、様々な連携により進めています。

民間融資は2つあって、1つは個人投資家です。個人投資家も1人1,000万円ぐらいを4人の方が投資しています。これはまだ新しいファイナンスなので一般的な個人は厳しいということで、イギリスにはHNW(High Net Worth)という富裕層があるのですが、その富裕層の方に限定して投資してもらっています。個人投資家は、自然環境のために投資すると減税措置が受けられる仕組みになっています。

投資ファンドも絡んでいます。ただ、日本でも、通常、グリーンボンドを起債するときは、300億円とかのオーダーですが、ワイヤ川では、投資規模が小さ過ぎる。イギリスでも普通の投資ファンドは入ってくれませんが、ここではインパクト投資ファンドが入っています。トリオドス銀行が世界的に有名です。インパクト投資ファンドを簡単に説明すると、普通、リスクとリターンをはかりにかけて投資判断をしますが、インパクト投資ファンドは、社会や環境に対するいいインパクトも指標に加えて投資判断を行います。

ワイヤ川のファイナンスは、いわゆるPFS/SIBで、ここがポイントです。最近日本でも内閣府などが推進していますが、PFSとはPay For Successで、事業がうまくいったらお金を払う公共事業などの仕組みで

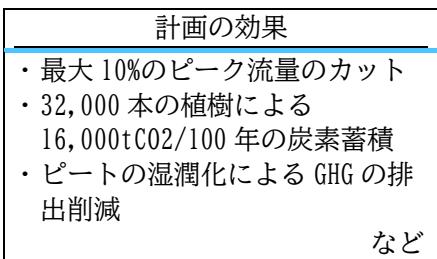


図8 計画の効果

す。SIBはSocial Impact Bondで、社会的によいインパクトのある債券、起債のことです。

ワイヤ川では、最初に寄附や投資家からの投資(債券の購入)で資金を集めます。財団等からの助成金が63万ポンド、民間からの投資が85万ポンドです。85万ポンドの内訳は、65万ポンドが投資銀行から、残り20万ポンドが個人からです。投資して何年後かにリターンがありますが、その金利は6%になっています。

その資金を特別目的会社(SPV)に預け、そこから現場で実施する実施者に渡されます。実施者は河川管理者ではなく、ワイヤ川トラストというパートナーシップ、チャリティー、NPOのような団体です。このトラストの職員は今、15人程度なので、日本の出先事務所のようなイメージです。実施した結果をモニタリングし、成果を報告します。その成果(治水や生態の効果)は運営委員会が審査し、認められれば支払者がお金を払うという仕組みです。支払者は、日本で考えると国交省などの河川管理者になるのでしょうかが、ワイヤ川では、河川管理者と地元自治体に加えて、上下水道会社と公的洪水保険会社が入っているというのが面白いところです。このPFSの仕組みは、日本でも福祉関係などで結構やっていて、最近は、前橋市の馬場川通りなど、まちづくり関係も増えています。

ワイヤ川では、幾つか面白いことをやっています。生物多様性インパクト調整金利(図10)ということがあります。購入者・受益者は初年度から土地リース代などベースになる部分は支払いますが、成果連動の部分は、データを取って、その成果によって支払います。生態系サービスの効果は、治水や炭素なども含まれていますが、6年目から評価します。金利は基本的に6%ですが、生物多様性の改善が確認された場合には1%引き下げて5%になるのが面白いところです。う

英国のワイヤ川・自然洪水管理プロジェクト

官民ブレンドファイナンスによるSIB/PFS的しくみ

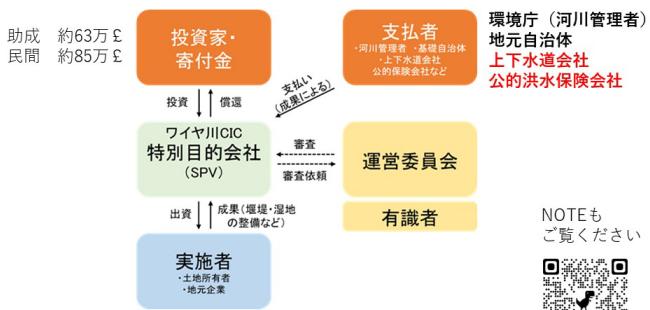


図9 ワイヤ川のファイナンス

まくいくと投資家が損をする仕組みになっていて、通常のPFSでは成功したら例えば金利6%が9%などに増えるのですが、逆の仕組みです。これは投資家達が環境に貢献したいと思っていることで成り立っています。金利が下がって浮いた資金は、実施者に渡りさらに環境改善が進むということになります。

支払者には上下水道会社のUnited Utilityが入っています。その理由を簡単に言うと、公共事業費のみで進めるよりも、自分がお金を出して事業を進捗させた方が得になるからです(図11)。河川周辺の上水や下水の処理場などの施設を保全したいということです。対策によって洪水被害が5~15%減少すると算出されたので、間をとつて被害減少を10%とし、効果が120年間持続するとして試算し、経営陣が投資の判断をしたということです。

日本への示唆

日本でも今、あり方提言を受けて、ネイチャーポジティブな川づくりを進めているところです。流域でもグリーンインフラを活用した治水対策によってネイチャーポジティブを進めていく必要があるのですが、EBPM(Evidence Based Policy Making)を進めるうえで、効果の

生物多様性インパクト調整金利

- この融資は9年間で償還される
- 購入者・受益者は初年度から土地のリース代などベースとなる部分の支払いはあるが、成果連動の支払い分についてはワイヤ川トラストが収集した実績データにより生態系サービスの効果を評価する6年目から
- 金利は基本6%に設定、ただし生物多様性改善が確認された場合、金利1%の引き下げが適用される仕組み
- 引き下げた分は、事業者側に配分(通常のPFSと逆)

図10 生物多様性インパクト調整金利

民間企業の投資判断

- 上下水道会社: United Utilityの場合
- 約30の場所と資産がこの洪水対策によって保全
- この対策によって洪水被害が5~15%減少と予測
- 事業によって10%被害が減少、効果は120年として試算
- これらの費用と便益を考慮して投資が妥当と判断

図11 民間企業の投資判断

定量把握を、治水はもちろん、生態や水質浄化などでも行う必要があります(図12)。イギリスがすばらしいのは、エビデンスの資料集を作っていることです。論文を集めて分かりやすくして、それを見ながら効果を試算しています。また、生物多様性クレジットのような仕組みも検討していく必要だと思います。

最後に、リーキーダムに関して、日本にもそれに似た砂防ダムがあります。新庄河川事務所のwebサイトに掲載されていますが、砂防堰堤をずらして配置しています(図13)。普段の流れは途切れず生物の移動を阻害しません。大出水では土砂を受け止めるのに加えて、おそらく流域治水としても効果があると思います。河川地形学の基本からいうと、急勾配を緩くする方法は、滝か蛇行です。砂防ダムや治山ダムの治水機能はほとんど評価されていませんが、滝を作るということなので流域治水にも効果があると思います。もう一つは蛇行なので、ここで紹介した言わば蛇行砂防ダムは理にかなっていると思います。全くのアイデアですが、こういったことも考えてはどうかということを紹介して終わりたいと思います。

日本への示唆

- あり方提言を受けて、生息場の定量目標を設定し、ネイチャーポジティブな川づくりを進めているところ
- 流域においてもグリーンインフラを活用した治水対策によってネイチャーポジティブを進める必要がある
- 流域での効果把握のために定量評価を進めEBPMを推進
- 環境意識が高まる民間企業と連携した流域治水・環境対策
- 生物多様性クレジットなど nature credits の仕組みの検討

図12 日本への示唆

提案: 蛇行砂防ダム (日本版リーキーダム)



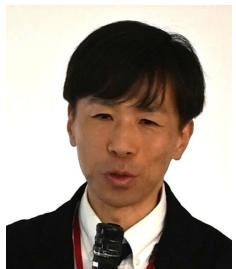
新庄河川事務所サイトより

- 生物の移動を阻害しない
- 大きな出水のみ機能
- 流域治水に効く
- 砂防ダムの流域治水機能はほとんど評価されていない
- 勾配を緩くする方法は滝と蛇行。砂防ダムが滝なら、これは蛇行

図13 蛇行砂防ダム

4. 洪水制御と自然共生を両立する自律駆動型河道の創出

新潟大学 准教授 安田 浩保



要約

- ・イギリス、スイスの調査で、河川工学を進化させる必要性を感じた
- ・自己組織化現象と疑似層流現象の河川工学への応用を提案する
- ・AIの活用などにより、学生にとっても魅力的な分野にしていくべき

はじめに

今回イギリスとスイスに行き、考えたことをお話しします。洪水制御と自然共生を両立するというのは、聞き慣れないと思いますが、今日は、それを可能とする自律駆動型河道の創出という話をします。原動力は、自然法則とその定量化や測定で、その掛け算としてその技術が実現できるのではないかという話です。

今回、イギリスとスイスでは、ネイチャーポジティブの関連事業を見ました。そこに治水が不在なわけではなく、治水と環境保全を両立する技術が作られていました。こういう目的を実現するために、私は、8年ほど前から、北陸地方整備局管轄の河川で「自己組織化現象」という生物学でよく使われているキーワードに着目し、「拡縮工法」という河道の制御の開発に取り組んできました。これが成功しているので、一つ目の話題として、今回の調査で見てきた環境保全の実装法の一つとして話します。

次に、河川の測定についてですが、日本も欧洲も新しい技術は意外と導入が進んでいないと思います。川についての高い分解能での定量評価ができないと、洪水時の振る舞いと年間の99%とも言える普段の振る舞いについて、今以上の理解を深めることができないと思います。洪水時の測定・観測は今後も重要ですが、ネイチャーポジティブや生物多様性の視点では平常時の川の振る舞いも今まで以上の解像度で捉える必要性が増すと考えています。

二つ目の話題は、現在より格段に実河川の洪水時及び平常時の理解ができるようになったとき、河川の制御、制御には抑圧のニュアンス



川幅の7倍の配置規則の物理的な意味は説明できる？

図1 リーキーダム

が含まれていると思いますが、制御の先にある、河川と人間の共生が現実的な視野に入ってくるのではないかという話をしたいと思います。

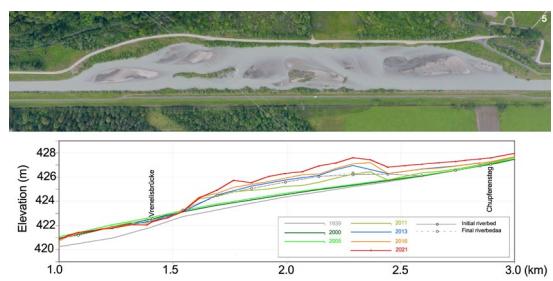
三つ目の話題として、水理学の根本を覆すような最新の研究成果についてお話しします。今の水理学は、乱暴な言い方をすると、等流の呪縛から抜けられていません。その呪縛から抜けないと川の挙動の予測性能が上がり、その結果、治水と自然環境の保全が両立する河道ができるのではないかという話をします。

イギリス、スイスでの所感

イギリスでリーキーダム(図1)を調査した際、リーキーダムの縦断方向の配置間隔をどうしているのか聞いたところ、河川工学の知見に基づいて大体川幅の7倍ぐらいに設置しているということでした。これは、河川の設計の際の砂州の波長に該当するとされているのですが、その一方、なぜ7倍になるのかはっきり説明している人はいなくて、この時代だからこそ川の物理的理解をもう一段階深める必要があるのでないかと現地で考えました。

スイスのリント川(図2)の河道拡幅箇所では、想定を上回る速度で堆積が進んでいるとの話を聞きました。この想定していた川の平衡形状やその到達時期をどう予測できるのかというのも研究対象になりうると現地で考えました。

イン川(図3)では、現地で、治水と環境を両立する河道設計をしているという話を聞きました。これを力学的に説明しろと言っても、誰もはっきりと説明できません。ここも今後の研究対象になるのではないかと考えました。



平衡形状そのものと到達時期は予測できるか？

図2 リント川

自己組織化現象

自己組織化現象とは何かということですが、同一の力が作用したとき、その結果として同じ形（カタチ）ができる、そういう自然現象のことと自己組織化現象と言っています（図4）。化学の分野から言われ始め、生物学や力学の一部で使われ、材料学や建築学にも広がりました。河川工学ではまだ明示的に使われた前例はないと思います。自己組織化現象の特徴は、周期的な形ができ、それが力学的に安定していること、力の作用が最小になるというものです。

材料学の成果を紹介すると、3Dプリンターでダイヤモンドの結晶構造を無数に作って薄板の間に挟んで段ボールの代わりのような板材を作ります。それにより、鉄板に比べて比重が5%で強度が10倍の新素材ができます。建築学では、コンクリート構造物の柱を植物の細胞を模倣して中抜きをすると軽量で高強度の柱ができるというような応用が進んでいます。

川の分野で自己組織化現象の最も典型的なものは、蛇行だと思います。丈夫な形ができ、エネルギーの作用が最小になるという性質から、川に自己組織化現象を適用した場合のメリットとしては、洪水が流下しても壊れにくい、安定した形ができ、同じ流量での水位が下がる可能性があると考えています。私は、2016年頃から、阿賀野川支川の早出川で、捷水路事業で直線化した河道に対して、羽根のようなものをつけ、川幅を増減する仕組みの実証実験をしています（図5）。その結果、2つのメリットが得



図3 イン川



壊れにくい+低水位の河道を設計できるか？

図4 自己組織化現象の特徴と応用例

られました。川幅の増減をさせることで、洪水時は砂州ができずに断面中央に流れが集まる、そして、流速と水深の空間分布が広くなることで、生物の種数も増えました（図6）。もともとは速い流れを好む魚が多く棲んでいましたが、川幅の増減を組み込むことで緩やかな流れを好む魚と植物が帰ってきました。事業開始から3年後の2019年から、鮭の自然産卵が20年ぶりくらいに見されました。治水と環境保全の両立ができる工法であるため、国内の河川にも広がるといいなと思っています。

河川工学の新しい展開

レイノルズ数について、流れの状態を層流か乱流か、秩序だった流れか、乱れが卓越した流れかに分ける指標だと学びます。しかし、実は数学ではもう40年ぐらい前に、レイノルズ数で十分に乱流の領域の中においても、ある加速を与えた場合には乱流にも層流にもなるという特性があることを予言されました。乱流の場合には、よく教科書に出てくる対数型の流れができます。ところが、川幅を下流に向かって狭めると流れが加速し、その度合いによって、対数型の分布から真っすぐに直立した分布まで連続的に変化します（図7）。直立した分布というのは、底面で発生した乱れが自由流の中に介入せずに重力だけで流れる状態になるので、対数型に比べ、15～20%程度の水深の低減効果も分かってきました。

どうやって見つけたかというと、9種類の平面形状の水路において流速を詳しく測定（図8）



図5 自然由来形状に基づく河道の制御



図6 整流と攪乱の柔軟な制御

することで発見しました。一番加速の強い急縮の状態から、水路の平面形のハの字状の度合いを徐々に弱め、最大で水深の50倍ほどの距離で川幅を2割ほど縮めるような、おおむね直線流路に近い流れを作り、合計9つの水路で流速を精密に測定しました。その結果、急縮の流路は、測定範囲のどこでも直立した流速分布になりました。ハの字状の流路だと、対数則に似ていますが、低層で対数則よりも数倍速い流速になる不思議な現象になることが分かりました。これらは「擬似層流」という現象です。

乱流状態か層流状態かを判別する相転移の力学に基づいて乱流、層流の識別をすると、急縮の場合は測定領域全体が乱流状態になります。一方、ハの字状の流路では、平面的に見ると、パッチ状に乱流、層流が入り交じる流れになり、レイノルズ数では簡単に説明できない流れが形成されることが分かりました(図9)。

そしてもう一つ面白いのが、横軸に下流からの距離、縦軸に実測水位とiRICによる計算水位の比較をすると(図10)、今回実験したどの条

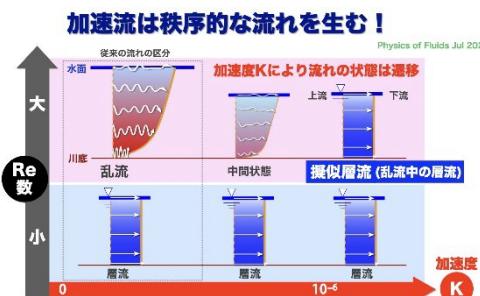
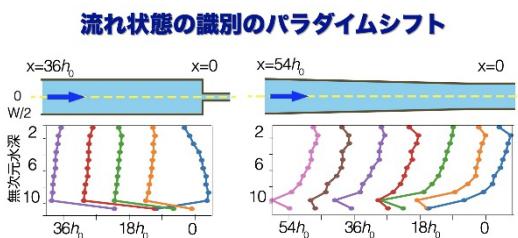
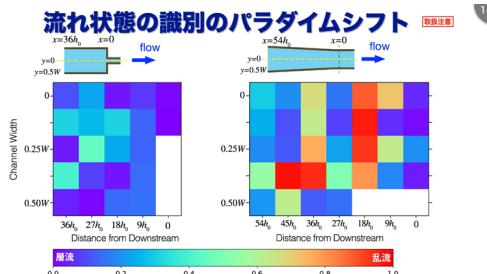


図7 整流と攪乱の柔軟な制御



一定以上の加速の作用時に容易に対数則から逸脱の可能性
図8 加速と流速の関係に関する実験



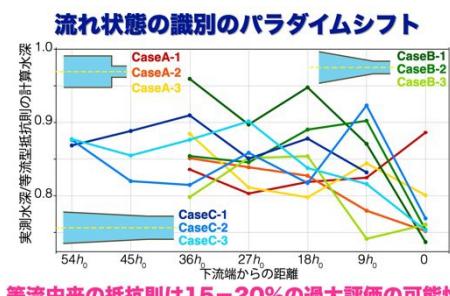
乱流と層流の共存の可能性: Re数では説明できない
図9 乱流と層流の識別

件においても平均して縦断水位がおよそ15~20%下がることです。予想では、ハの字状の流路は等流、今までの常識に近い流れに近づくかと思いましたが、結局のところ、加速状態が一定以上に介入したときには層流状態に近い、乱流の介入が自由流に及ばないような流れになり、等流由来の抵抗則に比べて15~20%水深が浅くなるということが分かりました。

こう見ると、測ることが大事ということが良く分かります。上記の擬似層流の研究と別に、今まで砂州や蛇行のきっかけは川底にあると言わされてきましたが、水面の起伏形状を精密に測定する方法を独自に作り、水面は見えにくい波があって、これがきっかけで河床の変化や蛇行が始まることも最近突き止めました(図11)。

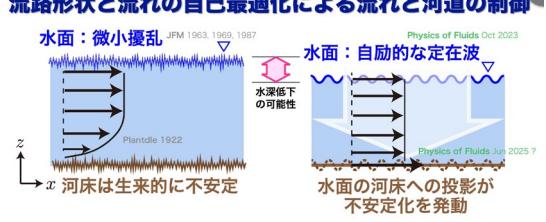
総合すると、これまで川底の不安定性や対数則を重視していましたが、まず、加速が一定以上作用する場合には対数則から逸脱することがあり、また、水面に河川を不安定にするきっかけがあったりということが見えてきました。こういうものを組み合わせると、乱流そのものや河道を制御できるという新しい河川工学が開拓できると考えています。

洪水時の川のことも知らないことが多いですが、平常時も簡単にアプローチできる割に知らないことが多いです。最近、川の実測手法としてマルチバンドレーダーを開発していて、これを用いると、24時間、無人で、天気にも関係なく 1 km^2 ぐらいの範囲を1秒ごとに観測できることがわかつてきました(図12)。この測定結果に対して画像解析のPIVを用いると、平面的



等流由来の抵抗則は15~20%の過大評価の可能性

図10 縦断方向の水位低下



”乱流と河道を制御”する新しい河川工学の概念を拓く

図11 水面の微小攪乱の河床への影響

な流速分布が求められます。先ほど紹介した対数測からの逸脱は模型実験でしたが、実河川でも今まで知らなかった川の流れの状態を把握できる可能性があります。

最近、様々な分野で深層学習が威力を発揮している話を聞きますが、先ほどの方法で水表面の流速の平面分布を測定し、それを教師データとした深層学習（Physics-Informed Neural Networks: PINNs）により、未観測の河床を4~5%程度の精度で推定する方法も開発しました。このように、平常時と洪水時の川の流れを理解する技術は随分出揃ってきました（図13）。

世界的に日本の土木の研究水準を見ると、2000年頃までは国際ランキングトップ5ぐらいでしたが、今はもう20位を下回る状況で、非常に低い順位です（図14）。この状況だと、学生にも選ばれません（図15）。治水と環境保全と一緒にやる新しい時代が来ているのですから、河川業界全体でこれを目玉となるように盛り上げることが大事だと思います。

まとめ

最後に、測ることは大事ということを強調します。それによって、生物多様性の向上や、私は治水の機能を柔軟性という、固めるだけじゃなくて粘りを持つことが、堤防だけではなく河

河川観測で要求される計測要件		
1. 可視光不要の全天候型の24時間連続無人観測		
2. 高い空間分解能: m2 規模		
3. 少数機材での広範囲測定: km 規模		
4. 15m/sの流速測定のための高い頻度の測定: 秒規模		
5. 高い信頼度の測定: 物理法則型の計測、冗長性		
6. 流体内部と土砂輸送の測定		

洪水時と平常時の河川の振る舞いを知るには？		
測定項目 仕様	現在	理想
河道形状	定期測量+レーザー	定期測量+レーザー +深層学習
測定頻度	定期測量+洪水後	平常と洪水時の連続測定
流れ	点測定 水位+浮子流速+ α	面測定 水面+流速+河床変動

図12 電波による観測

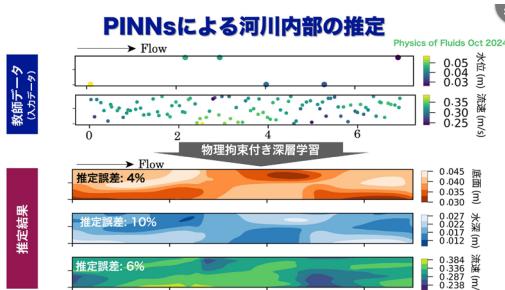


図13 PINNsによる河川内部の推定

道でも大事だと考えています。河道の理解ができれば、技術的には治水と環境保全を両立した河道の設計を達成できると思います。そうすることで、河川技術の上流に位置する計画系の人材を育成でき、技術力や研究力が回復し、流域治水とネイチャーポジティブの実現が高次元にできると思います（図16）。

この5年間ぐらい、スマホもコンピューター、パソコンも全て性能が毎年のように上がっているのはCPUではなくGPUの側です。GPUの計算能力は主に深層学習で使われています。しかし、土木系の論文を見ていると、CPUをより使う数値計算系の研究がまだ多く、深層学習を上手に使ったという研究はほかの分野に比べて少ないです。CPUとGPUの性能差は大体50~100倍です。毎年スマホの計算能力のアップをGPUが担っているということは、インフラとしてGPUが手軽に使える状況になっているということです。皆さんのそれぞれの仕事でGPUを意識的に使うようにする、これにより、河川技術を発展させる努めを分野全体で展開できればと思っています。

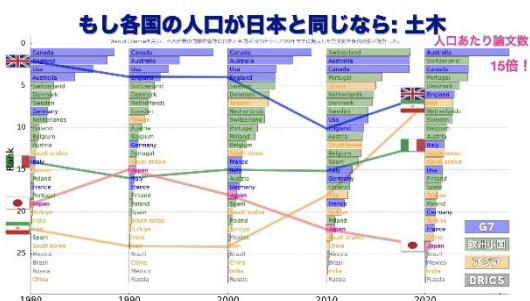


図14 技術輸入国への転落、国力の低下

世界的な土木工学の技術動向と学生人気	
■世界動向	
1. 既存インフラの老朽化・維持管理への投資拡大	
2. 高度な技術と学際性の進展	
3. 環境・持続可能性志向の強化	
■学生人気	
1. 就職の安定性	
2. 最先端技術に触れられる魅力	
3. 多様なキャリアパス	
4. 高所得かつ良好な労働環境	

図15 世界動向と学生人気

治水と環境を両立する河道を創出するため	
1. 実河川と模型実験の実測のルネサンスの推進	・平常時と洪水時の流れと河道の相互作用の細密実測
2. 河川の物理的な理解の解像度の向上	・生物多様性の促進機能と柔軟性を兼備した河道の実現
3. 計画系人材の戦略的な育成	・異分野融合研究体制によるワクワクな研究の推進 ・土木工学の研究力と陣容の回復
流域治水とネイチャーポジティブの高次元での実現へ	

図16 治水と環境を両立する河道のために

5. スイス・リント川における流域治水 ～超過洪水時(L1.5)の緊急放流対策～

河川情報センター 理事長・東京大学 名誉教授 池内 幸司

要約

- スイスでは、土地利用に応じて治水安全度を設定するとともに、超過洪水時には氾濫流を制御して、被害を軽減するとともに壊滅的被害を回避する具体的な対策を講じる方針へ転換
- リント川では、超過洪水時に堤内地側に洪水を安全に放流するための緊急放流施設を整備
- 日本においても、超過洪水時の被害を軽減するとともに壊滅的な被害を回避する具体的なL1.5対策を講ずることが必要



リント川

スイスでは、設計規模を超える洪水(1/300規模等)を対象にして氾濫水を制御し、被害を軽減するとともに壊滅的被害を回避する対策を講じています。

リント川は、チューリッヒ湖とその上流側に位置するヴァーレン湖を結ぶ河川です。

1807年以前のリント川(図1)は、山岳地帯に源を発し、低地を流れチューリッヒ湖に注いでいましたが、大雨や雪解けの際には氾濫が頻繁に発生していました。

特に、リント川下流の平野部では、毎年のように洪水が発生して農地が浸水し、作物が被害を受けるため、農業生産が著しく制限されました。さらに、地域の湿地化が進んだ結果、感染症も発生し、住民にとって極めて厳しい生活環境となっていました。

このため、農業生産の確保と健康被害の防止を目的として、抜本的な治水対策が講じられました。

スイスでは、治水計画を策定する際に、洪水対策と土砂対策を総合的に考え、洪水対策だけでなく土砂対策もきちんと行っていました。具体的には、河道を付け替えて、ヴァーレン湖を活用し、洪水調節を行うとともに、土砂混じり



- 18世紀末から19世紀初頭にかけて、リント川流域では度重なる洪水による被害が深刻化。
- リント川はグラールス州の山岳地帯から発し、低地を流れ、チューリッヒ湖へと注いでいるが、その流路は勾配が急で、大雨や雪解けの際には氾濫が頻繁に発生。
- 農地が浸水して作物が被害を受けるだけでなく、住民の生活も脅かされていた。特に、リント川下流の平野部では、洪水の被害が毎年のように発生し、湿地化。病気や感染症も発生。
- この地域では農作物の生産が著しく制限されており、住民にとって非常に困難な生活条件となっていた。

(リント川河川事務所資料を基に作成)

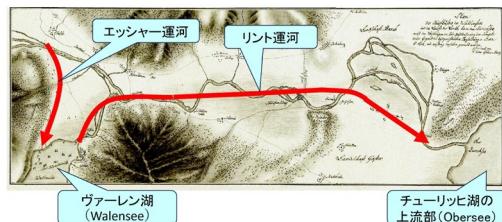
図1 1807年以前のリント平原の状況

の水から土砂を沈殿・分離させていました。すなわち、洪水調節と土砂対策を目的として河道の付け替えを行っていました(図2)。

その結果、現在のリント川はヴァーレン湖からチューリッヒ湖に流れようになりました。その流路は、興味深い構造を有しており、本川、副水路、F水路の3つの水路で構成されています(図3)。

この区間は低平地で地形勾配がほとんどありません。洪水時の流下能力を高めるためには、流速を確保する必要があります。水面勾配の確保が必要でした。そのため、上流側では当初から運河を高く築造していました。周辺が地盤沈下し

ヴァーレン湖からオーバー湖への導水

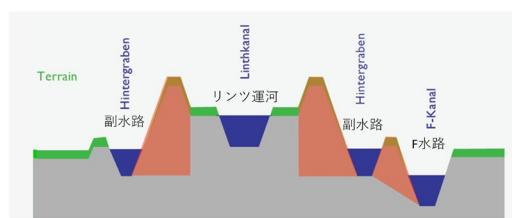


- ヴァーレン湖からは、Linth運河は土砂のない澄んだ水をチューリッヒ湖に運ぶ
- グラールス地方のLinth川の洪水は、約24時間遅れてリント運河を通過。

(リント川河川事務所資料を基に作成)

図2 ヴァーレン湖からオーバー湖への導水

リント平原における3つの独立した水系



- 流速を確保するため、水面勾配が必要となり、もともと運河を高く造っていた。
- それに加えて、リント平野の地盤沈下によりさらに天井川となった。
- 19世紀の水利工学者たちは、直線のリント運河と副水路で設計。
- 後にリント運河、副水路、F水路という3つの独立した水路になった。

(リント川河川事務所資料を基に作成)

図3 リント平原の3つの独立した水系

た結果、河床との高低差が一層大きくなりました。排水に苦慮した結果、副水路、さらにF水路が築造されました。また、農業生産のためには、土地をある程度乾いた状態に保つ必要があります。水路を整備して地下水位を下げ、土地を適度に乾燥した状態に保つことで、農業の生産性を向上させていったということでもあります。

ヴァーレン湖による洪水調節の効果について、2005年の洪水では、湖への流入が $400\text{m}^3/\text{s}$ であったのに対して、流出を $250\text{m}^3/\text{s}$ に低減させることができました(図4)。この間の湖水位

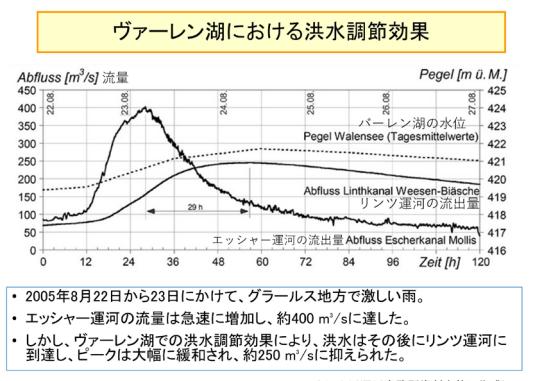


図4 ヴァーレン湖における洪水調節効果



図5 1999年洪水(1/100 規模の洪水)



図6 1999年洪水(堤防亀裂)

の上昇量は、2~3cm程度でした。このように、効果的に洪水調節が行われました。

1999年に1/100規模の大洪水が発生しました。リント川の水位は堤防の天端すれすれまで上がり(図5)、非常に危険な状況になりました。堤防に亀裂が発生しました(図6)。堤防は決壊寸前でした。

2005年の洪水でも、堤防越水が発生し、非常に危険な状況になりました(図7)。副水路では湧水も見られました(図8)。このときは堤体材料の吸い出しはなかったため事なきを得ましたが、堤体内の漏水と基盤漏水という2つの要因により、堤防が決壊する危険にさらされたと考えられます。

リント川の治水対策

リント川の治水上の課題は、上流部に大きな湖があり、洪水調節の機能がある一方で、洪水の継続時間が非常に長くなることです。その結果、洪水時には、堤防が長時間高水位にさらされます。1999年と2005年の洪水では堤防決壊の危険性が高まりましたが、水防活動と幸運が相まって、何とか堤防決壊という最悪の事態を回避できました。



図7 2005年洪水(堤防越水)



図8 2005年洪水(副水路の湧水)

検討の結果、多くの区間で堤防の安全度が低いことが判明したため、堤防の安全性を強化するプロジェクトも含めた総合的な洪水防御事業「リント 2000」が実施されました。このプロジェクトは 2008 年から 2013 年にかけて行われ、事業費は数百億円程度の規模でした。これはスイスとしては大きな治水プロジェクトであり、事業が集中的に実施され、モニタリングも行われました。

プロジェクトの内容(図 9)は、堤防の改修や川幅の拡張に加えて、自然な形状を持つ浅い河岸を整備するとともに、旧流路の復元を行うことにより、自然環境の再生を図るというものでした。また、注目すべき点として、異常洪水時の緊急放流をシステム化したことが挙げられます。

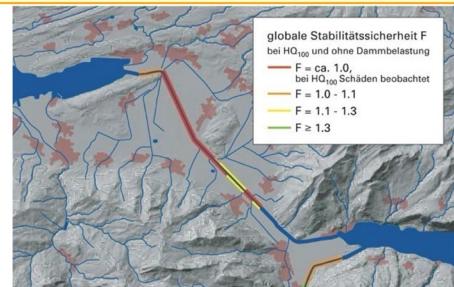
さらに、流域において、自然再生や農業利用のための土地の再整備も併せて実施されました(図 10)。これは真の意味での流域治水の実践と言えます。河川改修だけでなく、複合的な目的で周辺の農地整備も実施されたということです。

加えて、堤防の安定性を評価し、その結果に基づいて戦略的に事業を実施しています。区間ごとの堤防の安全度を数値化し、危険度を 4 つ

のクラスに分けています(図 11)。プロジェクト実施の結果として、全ての区間で 1.3 以上の安全度の評価となっています。堤防補強のための腹付けに併せて、自然環境に配慮した形での河岸整備も行われています(図 12)。

河道拡幅に当たっては、河岸の保護対策として護岸ではなく水制が設置されました。水制工は自然環境保全の機能も備えており、スイスでよく使われています。チューリッヒ工科大学での模型実験(図 13)の結果を踏まえて、河道設計が行われました。

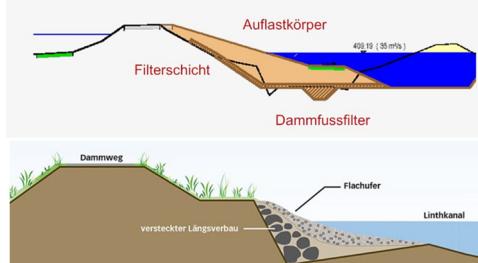
堤防の安定性を評価した図(事業実施前)



• 1/100の洪水に対する堤防の安全度。赤は約1の区間で、1/100の洪水ではダメージが観測される。緑に近づくほど安全度は高い。
(リント川河川事務所資料を基に作成) 20

図 11 堤防の安定性評価(事業実施前)

堤防補強工事の内容



• 表腹付け、表法面および堤脚部のフィルター設置などが行われている。事業の実施により堤防の法面勾配は2:5となった。
(リント川河川事務所資料を基に作成) 22

図 12 堤防補強

河道拡幅



• 河道拡幅部の設計のため、チューリッヒ工科大学で模型実験を実施。水制工の検討を実施。

(リント川河川事務所資料を基に作成) 23

図 13 河道拡幅の模型実験

洪水防御プロジェクト「リント2000」	
1.	堤防の改修(約11km)
2.	川幅拡張(2箇所)
3.	深い川岸: 自然な形状を持つ深い川岸を指し、生態系の多様性を促進。
4.	古い流路の再生: 以前の河川の流路を復元することで、自然環境を再生。
5.	過負荷時の緊急放水: 洪水などで水が増えすぎた場合に備えた緊急排水システム。
6.	生態学的補償および代替措置: 開発などによる環境への影響を軽減または補償するための施策。
7.	再開墾(2箇所 × 12ヘクタール): 自然や農業利用のために土地を再整備すること。
8.	付帯施設(橋梁、リント平野の改良): 橋などのインフラやリント平野地域の土地改良を含む付属的な建設作業。

(リント川河川事務所資料を基に作成) 18

図 9 リント 2000 プロジェクト

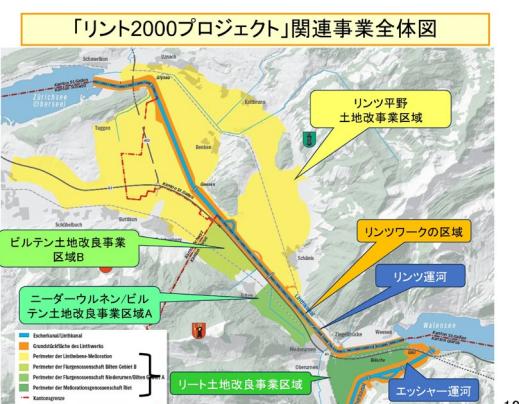


図 10 リント 2000 プロジェクトの全体図

また、旧河道を活用して、自然再生事業が実施されました(図14)。

超過洪水対策

超過洪水時に流量の規模が一定程度を超えた際には、副水路を通じて流域に放流するための施設が設けられています(図15)。

洪水防御の目標(L1)は1/100で、これは日本とほぼ同じです。余裕高は1mで、海外では一般的な値です。超過洪水も定義されています。日本で言うL2ではなく、L1.5です。これをEHQとしています。EHQの洪水が発生した場合には、「損傷が容認される場合もあるが、システム全体が崩壊してはならない」とされており、超過洪水時においても氾濫流を制御することが求められています。要するに、超過洪水に対して具体的な対策を講ずることが求められています(図16)。

EHQの場合には、設計流量を超える水量を、運河から緊急排水区域または排水回廊に導きます。緊急放流を行うことで、「制御不能な堤防越水を防止する」こととしています。つまり、堤防のどこが決壊するか分からぬ状況は絶対に避けるということです。超過洪水のうち

EHQまでは具体的に洪水流を制御することを求められています。

設計流量を超えて、1/300規模までは堤防の天端付近まで水位が上昇した状態で洪水流を河道内で流下させます。これを超える場合には、超過洪水時における緊急放流のために設置された堰のゲートを開けて超過洪水流を副水路に放流します。放流基準は水位で決められています。副水路の流下能力を超えると、緊急放流水の一部は平野に流れ込みます。このように、計画高水流量を超えた数百分の1の規模までの計画を策定し、具体的な対策も講じています。

緊急放流施設は、自然再生のために拡幅された箇所に設けられています(図14)。当該箇所に設置された堰(図17)のゲートを開くことによって、そこから洪水を副水路に流入させ、副水路に流入した水が周辺の低地へあふれ出ることになります。

現地の案内看板(図18)には、自然再生事業の説明とともに、いざというときには当該箇所から緊急放流を行う旨が記載されました。

堰の操作室内部の電源設備及び非常用電源設備について説明します(図19)。堰を稼働させる主な動力源はディーゼルエンジンです。商用電源を用いてディーゼルエンジンを始動しま



図14 緊急放流箇所(図中赤丸の箇所)



図15 超過洪水時の緊急放流対策

- | |
|--------------------|
| 洪水防御の目標と具体的な超過洪水対策 |
|--------------------|
- ・洪水防御の目標: HQ100(1/100年の洪水)。この流量を損害なく排水できること。余裕高は1m程度。
 - ・超過洪水(EHQ)が発生した場合に損傷は容認される場合があるがシステム全体が崩壊してはならない。過負荷の状況を制御することが求められている。
 - ・連邦の指針では、過負荷時には以下のようないくつかの措置を推奨。
 - ・設計流量を超える水量(設計流量と極端洪水の差分)を、運河から緊急排水区域または排水回廊に迂回させる。
 - ・緊急排水を行うことで、堤防の制御不能な越流を防止する。
 - ・設計流量を越えてHQ300(1/300年)の洪水までは、堤防満杯流量で河道内で流す。
 - ・EHQ300(1/300を越える超過洪水時)には、堰からオーバーフローさせて、副水路に放流するための緊急時の放水路を設けている。放流基準は水位で決めている。
 - ・副水路は拡幅されている。放流水の一部は平野に流れ込む。

(linttak River Basin Management Office, based on original materials) 26

図16 具体的な超過洪水対策



図17 緊急放流用の堰

ですが、商用電源を利用できない場合には予備電源を使います。予備電源も使用できない場合には手動ポンプを使用します。手動ポンプを使う場合の作業時間を尋ねると、「相当かかる」とおっしゃっていました。このように、三段階の備えによって動力源が確保されています。緊急放流の実施は、その場で人が判断するのではなく、水位によって基準が明確に決められているとのことでした。

もう一つ重要なのは補償制度です。緊急放流によって、建物、施設、作物に損害が発生した場合には、日本で言えば国土交通省の河川事務所にあたるリントヴェルグという機関が補償することになっています。緊急放流対策については、他の河川において、住民によって訴訟が提起されています。この地域ではありませんが、緊急放流に反対する訴訟が住民によって提起されました。結局、住民側が敗訴し、連邦裁判所が緊急放流対策を承認することになりました。

次に、他の河川の例を示します(図20)。エンゲルベルガー川の2005年の洪水では、流域への緊急放流が実施されました。町は輪中堤で守られ、氾濫水は農地を経て下流へ流れました。

家屋は被害を受けなかった一方で、農地は被害を受けました。

以前は、スイスも日本と同様に1/100規模の洪水を対象とした治水施設の整備にとどまり、超過洪水時の氾濫水の具体的な制御対策はありませんでした。一方、新しい考え方では、土地利用に応じて治水安全度を定め、超過洪水の場合でも、最悪の事態を避ける具体的措置を講じるということです(図21)。土地利用別に安全度が設定されており、HQは1/1、1/10、1/20、1/50、1/100規模の洪水等となっています(図

エンゲルベルガー川の2005年洪水(流域への緊急放水実施)



・スイスにおいては、他の河川においても、堤防の決壊を防ぐために、超過洪水の発生時に、洪水流をオーバーフローさせる箇所がある。上記はエンゲルベルガー川の洪水時の状況。住宅地は輪中堤で守られており、氾濫流は農地を流れる。

(リント川河川事務所資料を基に作成) 32

図20 エンゲルベルガー川の2005年洪水

緊急放流施設の案内看板



(写真提供:池内幸司) 28

図18 緊急放流施設の案内看板

洪水防御方針の大転換

以前の考え方

- 1/100の洪水に対応できるように設計



新しい考え方

- 農地よりも国道や村の保護対象の優先順位は高い
- 個々の建物においては1/50の洪水においては全く被害を受けてはならない(浸水しない。)
- 1/100の洪水に対しては、個々の建物は危険が生じてはならない(そこに滞在する人に対して危険が生じないこと。浸水深は個別に判断する。20cmは大丈夫だが、1mは危険。)
- 深刻な洪水が発生した場合の被害を防ぐ、あるいは意図的に被害を防ぐための対策が必要。

(ウーリ州資料を基に作成) 33

図21 洪水防御方針の大転換(スイス)

堰の操作室内部の電源設備、非常用電源。

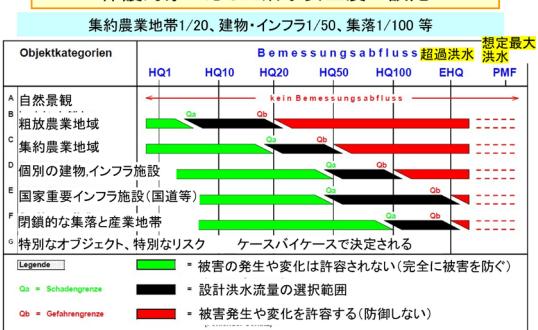


・操作小屋の中には、堰を稼働させる動力として、ディーゼルエンジン、予備電源、手動ポンプが用意されていた。ディーゼルの場合、数分で稼働できる。

(写真提供:池内幸司) 30

図19 緊急放流ゲートの電源設備

保護対象に応じた治水安全度の設定



(ウーリ州資料を基に作成) 34

図22 保護対象に応じた治水安全度の設定

22)。EHQは日本でいうL1.5、PMFは想定最大規模(L2)の洪水に相当します。

スイスの場合はL1とL2の間にEHQ(L1.5相当)を設定するとともに、土地利用に応じて安全度に差を設けることを定めています。これにより、超過洪水が発生した場合でも、農地が先に浸水することで遊水効果が発揮され、その結果市街地の被害が軽減されるようになっています。

日本におけるL1.5対策

2023年に調査したロイス川では、最初は河道内を流し、次に高速道路を放水路として利用し、さらに流域内を通じて超過洪水を下流側へ安全に流下させる計画になっていました。そのため、超過洪水時の緊急放流設備の整備も行っていました(図23、24、25)。スイスでは、このように、超過洪水時に氾濫水を越流させる箇所が多く設けられています。すなわち、治水施設の計画規模を少し超えるL1.5に相当する洪水に対しても、氾濫水を制御するための具体的な対策が講じられていました。

私は水管理・国土保全局長として、2015年の社会資本整備審議会の答申(図26)の取りまと

めを担当しました。河川計画課長時代には、津波防災対策の取りまとめも担当し、L1、L2の概念整理を行った経験があったため、洪水対策についても津波防災対策と同様に、L1とL2という概念で整理しようと考えていました。そのような中で、小委員会の委員から、洪水の場合には計画目標を少し超過するような洪水については、具体的な制御が可能ではないかとのご指摘を受けました。その結果、2015年の社会資本整備審議会の答申では、L1.5に相当する洪水に対する対策が盛り込まれました。これは2020年の答申でも一部が踏襲されています。

しかし、残念ながら、超過洪水時の氾濫水の制御対策については、ほとんど具体的な取組が進んでいません。場所にもよりますが、対応が可能な箇所もあると思います。超過洪水が発生した場合でも、堤防決壊による被害を軽減するとともに壊滅的な被害を回避するためのL1.5対策を進めていく必要があると考えています。超過洪水時に堤防のどこで決壊するか分からないという状況を回避するために、氾濫水を制御するための具体的な対策を講じるべきではないかと考えています。



図23 ロイス川緊急放流設備
(アルトドルフ)



図24 ロイス川の洪水防御対策



図25 ロイス川の緊急放流設備
(エルストフェルト)

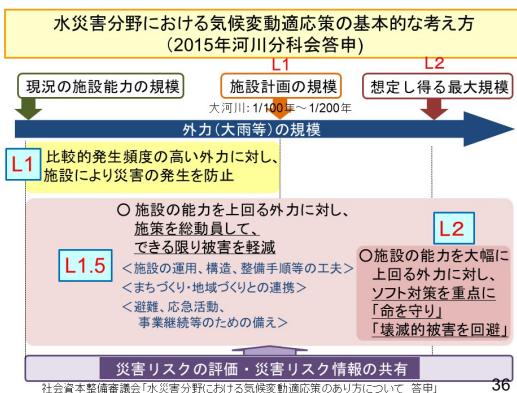


図26 2015年河川分科会答申

6. どうしたら、ネイチャーポジティブな河川管理が可能になるか？ ～イギリス・スイスの知恵を活かす～

北海道大学大学院 名誉教授 中村 太士

要約

- 倒木などのバイオロジカル・レガシーの保全が必要
- 空間をつくることで気候変動適応と自然再生が両立できる
- パートナーシップが重要で、人材確保や地域経済の活性化につながる



はじめに

スイスとイギリスに行って印象が残ったこととして、3つの話をします。まず、Natural Flood Managementですが、おそらくリーキーダムは何らかの形で生物を含めてレガシーを残すということ。これは、私が30代でオレゴンにいたときに、目的は違いますが、既にやっていたので、それも含めて話したいと思います。次に、かつてヨーロッパで言っていた Room for Rivers の考え方ですが、日本の流域治水や北海道の遊水地を見て改めて大事だと思うので、その点の話をします。それから、パートナーシップの話ですが、日本はえてして公共に頼る姿が多かったのですが、徐々に日本の中でも違う芽が出てきたように思っています。

Natural Flood Management

まず、ネイチャーポジティブについても、グリーンインフラについても、国の閣議決定レベルの施策に既に書き込まれているということはすごく大事だと思っています。これは国土交通省だけがやればいいということではなくて、全て国としてやっていくということです。環境省中心ですが生物多様性国家戦略、閣議決定ではないですがグリーンインフラ推進戦略、第三次国土形成計画や国土強靭化基本計画は、防災計画の最上位に当たるものですが、そこにもきちんと書かれている。定量的環境目標の議論も

あります。SIPでもスマートインフラの中にグリーンインフラのサブグループができていて、私もプログラムマネジャーをやっていて、グリーンインフラの実装の議論を始めています。

イングランドでも、かつて日本と同様に洪水を早く海まで流すという戦略だったところ、逆に、支流域においては特に遅らせるということになっています(図1)。

リーキーバリアは多目的ですが、効果は少しでも、たくさんの場所でやることで流出を遅らせるといった方向性を見いだしていると思います。現地では写真も含め様々な倒木・流木ダムを見せていただきましたが、私は1980年代にオレゴンに行ったときに同じようなものを既に見ていきました(図2左上)。北海道でも、1990年代にやっていました(図2右上)。ただ、目的はあくまでも河川のハビタットの改善です。流出を遅らせる目的よりも、単調になってしまった河道に対して、どうやってより質の高いハビタットを造成していくかというイメージです。1980年代当時のオレゴンの話ですが、河川を横断する倒木があるとサケの遡上に支障になるのではないかということで、70年代から撤去されてきました。しかし、取れば取るほど魚がいなくなっていましたので、間違いだということでもとに戻していました、ちょうどそんな時期でした。現在は、ステージ0のレストレーションということが進められています(図2下)。できるかどうかは別にして、最初の自然のステージに

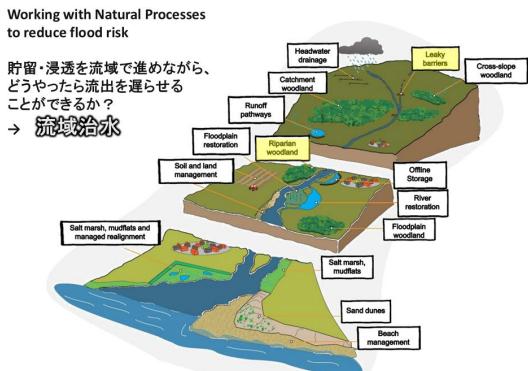


図1 イングランドの洪水防御戦略

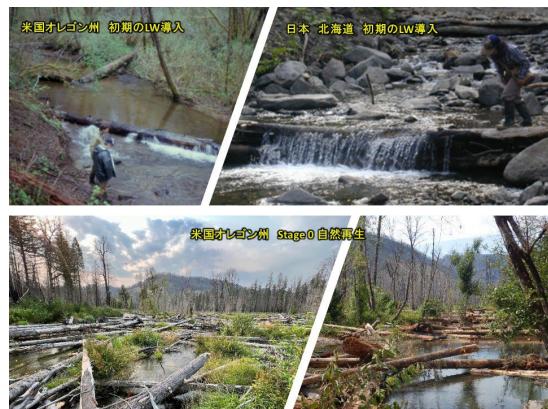


図2 オレゴン州と北海道の事例

戻してしまえという、野心的なプロジェクトです。かつての自然状態はわかりませんが、たくさんの倒木を河道の中に入れて、自然が進化していくのをそのまま任せるというものです。贅否両論あって、科学的に論じるところまでまだ詰められていないと思います。

バイオロジカル・レガシーについてです。レガシーという言葉ですが、さきほどの倒木なども、生物的な遺産であるバイオロジカル・レガシーです。東日本大震災でも震災直後は倒木がたくさん残っていました。しかし、復旧、復興の整備にとっては邪魔になるので、日本の場合、取り除くほうに進みます。河川の洪水後の復旧事業などでも同じことが起こると思います。震災直後の写真(図3)を見ると、一見壊れたように見える松林ですが、よく見ると緑の濃いクロマツの実生など、既にたくさんの実生が生えているのがわかります。レガシーは大事なのですが、実際に現地では、これが埋め、幅200m、深さ2mぐらい、何百kmにわたって防潮林を造りました。埋めたうえで植樹がされました。そのときレガシーへの配慮はほとんどませんでした。その後どうなったか。レガシーを埋めて植樹した場所とそうでない場所を2019年に調査(図4)したところ、後者の成長が早いことが



図3 東日本大震災後の状況



図4 2019年の調査状況

わかりました。2021年に再度調査をすると、その差はさらに開いていました。自然には自然なりのルールがあり、レガシーをうまく利用して回復するというプロセスがありますが、残念ながら人間がやると、そうならない。

風倒木でも、普通は地ごしらえして平らにしますが、うね状にレガシーを残しその上に植林したところと攪乱後のレガシーをそのまま残す場所を2008年に設けてもらいました(図5)。2012年に比較すると、後者の方が豊かになった。もともとたくさんの生存個体がいて、そこから生えてくる、蘇ってくるということです。2023年には両者の差がさらに開きました。植林地でも一見緑が増えていますが、植えたミズナラは枯死し、自然に侵入してきたトドマツの個体が増えしていました。意図したミズナラ林はほぼできなかったという結果です。レガシーという言葉を覚えておいて頂いて、レガシーを残すことを考えてほしいと思います。

森林の分野では、皆伐ではなく島状に残すような、日本の場合は人工林に入ってきた広葉樹を残すような取り組みが進められています(図6)。これをリテンションフォレストリーと言っていて、どうやってレガシーを残すか、残すこと

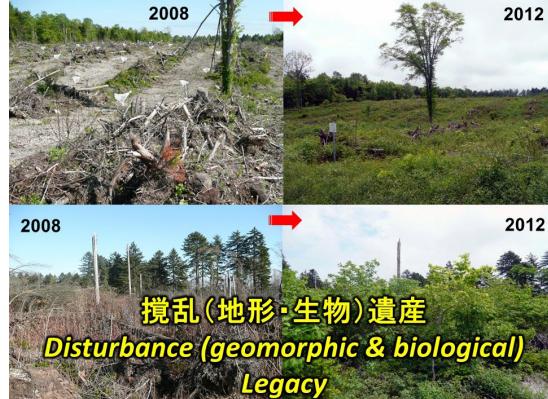


図5 風倒木箇所での比較



図6 Retention forestry

とによって生物多様性の回復や維持を図っていくという考え方です。

災害復旧後に河床が整正され護岸が貼られた川をよく見ます。徹底的にレガシーが取り除かれています。また、地形も大事で、定規断面的に整地し直すと、もともと生物にとって大事な場所が失われてしまうケースもあります。ぜひレガシーを残すことを考えてもらいたいと思います。

釧路川で蛇行を再生したときも、掘削が必要な旧川にたくさん倒木が出てきました(図7)。掘削してもいいけど、出てきた沈木や倒木を元に戻してほしいとお願いし、元に戻して頂きました。その結果、この蛇行が完成し、我々のターゲットであったイトウが、すぐ戻ってこないと思っていましたが、既に復活しています。効果は魚類の生息数や種数のデータにも表れていて、レガシーは大事だということです。

Space for Rivers

続いて、Space for Rivers、部分拡幅の話です。日本では部分拡幅というのを見たことがなくて、越流堤を造って堤内に遊水地として確保する感じが多いのですが、ヨーロッパでは部分拡幅が結構行われていて、一部を拡幅し、その中に砂州ができる多様な環境ができるといったものです。

スイスで湾曲部外岸側の高水敷に流木止めを設置する箇所(図8)を見ました。これは、日本にも導入して頂きたいと思います。日本では流木止めを横断的に造りますが、流木が挟まると除去するのも大変ですし、ダム的な構造物になってしまうので生物にとってあまりよくありません。それに対して、流木は浮いて流れてくるのがほとんどなので、遠心力で外側に集めて流木を貯めるというのが、今回のスイスの流木止めです。実は日本でもやっている箇所があるのですが、特に山地渓流だとスリットダム

的な方法しか考えないので、今回ご紹介した、いなしして貯めるような、河川空間を活かした流木の捕捉のようなものを考えて頂きたいと思いました。

フラーツ川を掘削してイン川とフラーツ旧川に余裕ができると、彼らはそこに自然再生を持ち込むという考え方を持っています(図9)。バイパス水路を造ったら、もちろんバイパス水路の環境も考えますが、新しいスペースができ、環境に対して配慮することができるというので、そこを利用して様々な環境保全がなされました。

日本では、千歳川の例ですが、石狩川のバックウォーターで緩勾配の千歳川の水が入らない。81年洪水で千歳川放水路の議論があり、それはやめて、結局、遊水地が6つできました。ほぼ100年以上、この石狩低地帯でタンチョウが繁殖していなかったのですが、見事に繁殖したのが最初にできた舞鶴遊水地です。それ以外でも、エスコンフィールドの前にある東の里や恵庭の方でも繁殖しており、タンチョウにとっては遊水地が、釧路以外の場所、特に札幌近郊では大事な生育・繁殖の場になっているということです。流域治水に関する法律の附帯決議として、グリーンインフラを活用して生態系ネット

Space (Room) for Rivers in Switzerland (部分拡幅と流木止め)



図8 部分拡幅と流木止め



図7 釧路川の沈木、倒木

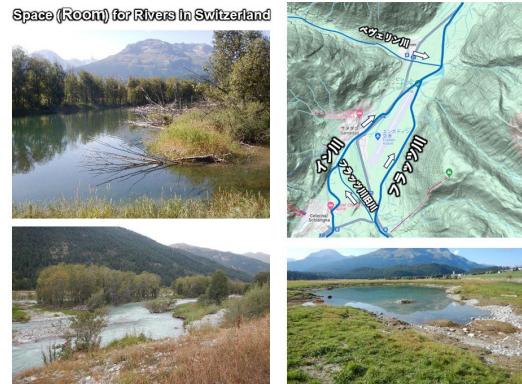


図9 Space for Rivers

トワークの形成に資することが書いてあります、その好事例と言えます。

円山川の事例では、河道拡幅というよりもスペースができることによって、そのスペースをコウノトリが生息、繁殖、採餌の場として使っています。

十勝川でも、氾濫原の中央部を切り下げて洪水時だけ水が流れるようにしています(図10)。これにより、巨大な湿地帯がそこに造成されるわけです。空間を確保することによって気候変動の適応策と自然再生が両立できると思います。

パートナーシップ

イングランドのファイナンスの話がさきほどありました、誰が事業をやるのか聞くと、トラスト側なんです。日本の場合は、河川管理者が工事を実施する主体だと思います。イングランドの場合、河川管理者はお金を使う側であって、中心になるのはトラストであり、他は皆がサポートする。日本では考えづらいし、合意形成が難しいのではないかと思うのですが、パートナーシップが将来的には重要だろうと感じました。

十勝川では、氾濫原の掘削によって湿地再生をした箇所で、企業やNPOとの連携で維持管理を行う取り組みが行われています。環境省、国交省、農水省の3省共管の生物多様性増進活動促進法が、今年成立しました。今まで30by30のOECM、自然共生サイトで、良い地域を認証するやり方でしたが、今はよくなくても活動が良い方向へ向かっているならそれを支援しようという仕組みになりました。十勝川でも、湿地再生箇所の管理に会社が自ら手を挙げてくれました。会社にとっても、TNFDなどで企業の貢献を公開できるメリットがあります。このような企業とNPOの連携、行政とどう繋がるかとい



図10 十勝川の事例

うパートナーシップも、徐々にではありますが、日本でも芽生えてきていると思います。

モニタリングも、パートナーシップとして十勝川でやっています。ここに参加した高校生が、今、帯広の事務所で働いている事例も出てきていて、地元への愛着が湧いてくるということで、一つ大事なプロセスなのかなと思いました。

できれば経済が回ってほしいと思います。舞鶴遊水地にタンチョウが来たときに長沼の人たちがタンチョウをモチーフにした様々な商品を販売しました。そのお金の一部はタンチョウの保護活動に使われました。

おわりに

学生時代にゲルディさんが北大に来てくださいって講演を聞いたことがありましたが、今回、現地でゲルディさんにお会いしました(図11)。90年代後半にヨーロッパへ行った頃は、コンクリートを剥がして石を積むといった要素技術としての近自然河川工法を見てきた印象でした。今回の訪欧では、トータルとして治水も環境もどう管理していくかとか、全体のマネジメントを考えた自然再生とか、そういうフェーズに変わっていると感じました。

Take-home messageですが(図11)、河川の分野においてもレガシーを残していただきたい。スイスで山脇さんに「掘削をうまくやることによって環境を何とか回復させることも考えている」と言ったら、「それは違う。掘削は最後に考えるべき。まずはSpace for Riversだ。掘削でよくなるケースというのはなかなかない」と言われました。確かにあまりにも掘削に頼り過ぎると、過剰な形で、もう環境が復元できないような河道にしてしまう可能性もあります。そういう意味では場を与える、そこにレガシーを活用していく。それから、協働、パートナーシップの仕組みが大事だと思いました。

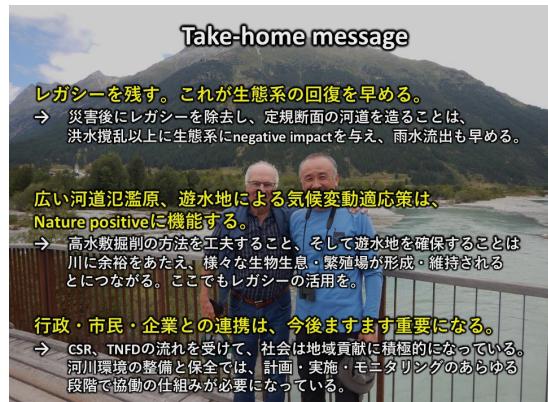
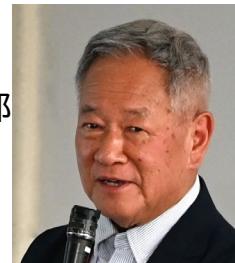


図11 Take-home message

7. これからのか川づくり「近自然工法」から「流域総合水管理」 ～2024 欧州河川視察より～

名古屋大学 名誉教授 辻本 哲郎



要約

- ・流域治水は、河口から上流域までの全体をとらえた水系で考える必要がある
 - ・スイスの3回の調査で、水系全体を概観し、課題を認識できた
 - ・川に沿って治水の問題も環境の問題も考えることが重要

ワイヤ川

まず、イギリスのワイヤ川。訪問したのは示した地図で言えば真ん中あたり(図1)で、河口までは行ったわけではなく「流域治水」がテーマだとしても全体を見ていないので、川の全体像を感じることはできなかった。流域治水となれば少なくとも水系で考える必要がある。上流側から谷口に出て、河口から海に出る。河口部は潮の満ち引きも大きいから塩性湿地ができているといったように、水系には様々な問題がある。水系の問題を議論しないまま流域治水というのも変な感じだという気がしたものだ。

とはいものの我々が「流域治水」として認識しているやり方をここでは上流部で実施している(図2)。地形図を見るとその辺りには湖

が連なり、丘陵地から続いてほとんどが牧草地として利用されている。おそらく、この流域治水を実施している場所で流出抑制すると谷口集落には効果的に影響するだろうと思う。都市と言っても小規模。都市と上流との協力で治水安全度が上がるというのはこういった規模の問題が避けられない。そこからどう脱却していくのかなども感じた。データ取得について現地でも説明があったが、論理性や実験的なデータの積み重ねなどについて地域的であって水系としては考えられていないという印象を受けた。スイスでも、国として考えているということだが、川の問題を国として、あるいは水系として考えるというよりも、断片を切り取って、安全度、あるいは自然保全などを考えているという印象だ。水系あるいは流域をどのように考えるか、日本との比較で考えたとき、水系のイメージは異なり、上流問題と下流問題のようなものを流域でどう考えるかが大事だと感じた。

パートナーシップについては、上流側に拠点を設けて、いろんな人たちが話し合う場所がある（提供できている）ということが重要なことだと感じた。

ワイヤ川のすぐ南にマージー川がある。そのマージー川では、皆さんも聞かれたことがあると思うが、「マージー川流域キャンペーン」(図3)というのが、水質問題を原点としてかなり早くから始まっている。こういう歴史的な取組がお隣のマージー川であったということをワイ

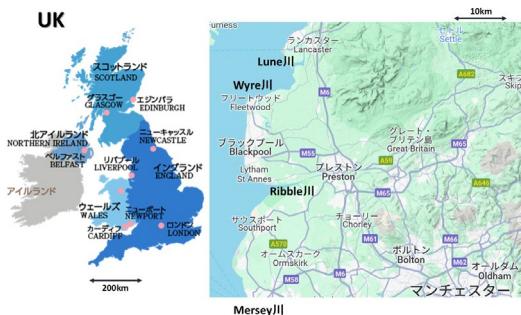


図1 ワイヤ川の位置関係

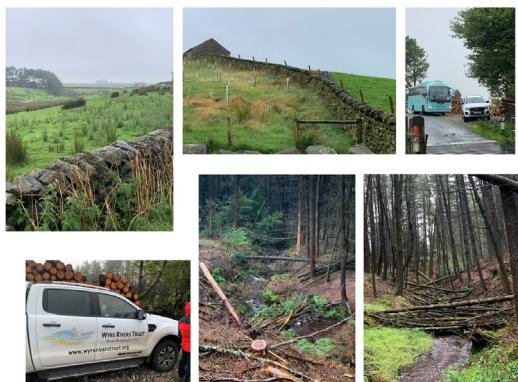


図2 ワイヤ川の流域治水対策

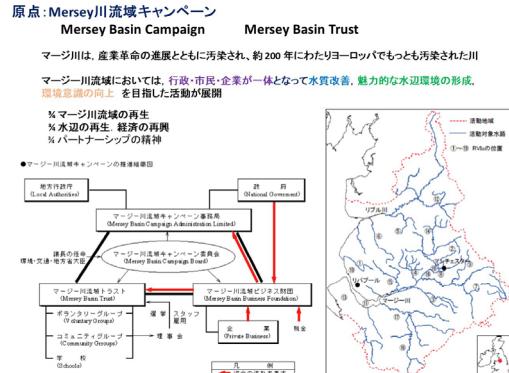


図3 マージー川流域キャンペーン

ヤ川の取り組みに非常に大きな影響を与えたという視点も重要だとそのときに感じた。筆者は1970年台に学生時代を送ったが、その頃さらに80年代に習ったことを思い出すと、流域キャンペーンなどは、古くからイギリスに根づいていたのだ。日本ではそうした行動・活動が繋がらなかつたが、英国ではそのような仕組みが繋がって、現在の治水と気候変動あるいは生物多様性という問題にもそれをうまく使っているのではないかとの印象を受けた。

ワイヤ川を見ると、先ほども述べたが、河口部は塩性湿地、中流部に都市住民がいる。都市住民と放牧地、牧草地の関係、それがさらに中流域の都市と、下流域の沿岸でどう議論が進むのかなということに興味が沸く(図4)。調べてみたい課題だと思いながら、なかなか調べられていない。

筆者としては、ここでの取り組みを、日本のことと比較しながら、上・下流問題、あるいは水系一貫をどうするのかという視点で様々な取り組みを学んだ。

ロンドン

次に行ったロンドン、テムズ川の河口はもっと下流。さらに上流には取水施設や貯水池があるという。ここでは「WWTロンドン湿地センター」(図5下)を訪ねたが、これは不要になった貯水池の跡を人工的な湿地にしたもの。この湿

プロジェクトを進める第三者委員会が、この降雨・流域を占める農家(牧畜)・土地所有者と直下の(洪水が頻発している)渓口集落(都市域)住民との相互理解を醸成してこうした対策(NFM)がとられている
↑
そのインシアティヴは?

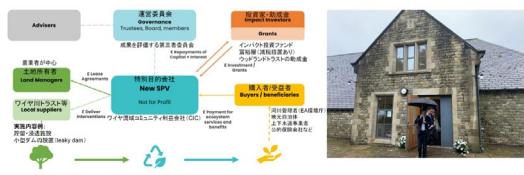


図4 上下流等の問題

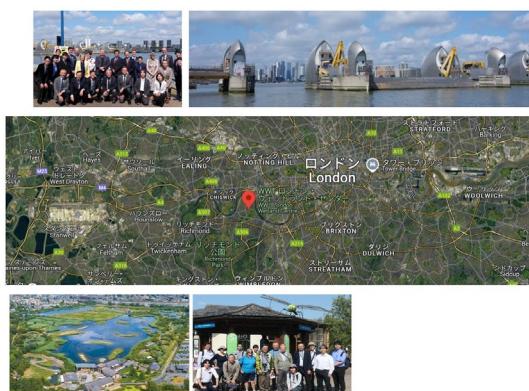


図5 ロンドンでの調査箇所

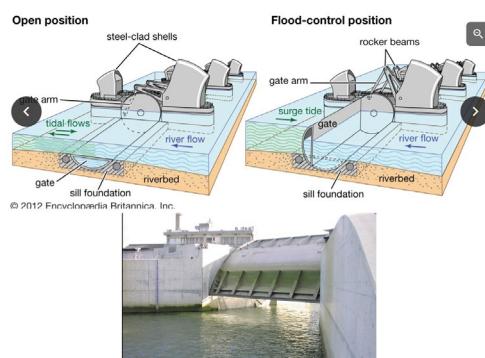
地は感潮河川に接していて、感潮域の湿地の水際をどう処理するのかという点で非常に興味深かったのだが、実際は人工的な作庭で、この水は上流から上水道や工業用水の配水ネットワークによって供給されているという。当初期待して出かけたものにとってはそこが若干残念な点だった。

テムズバリア(図5上)は、我々工学系の人間にとっては非常に興味深い、スマートな高潮水門だ。日本でも大河津分水で昔はベアトラップが造られたが、洪水で倒壊したあと宮本武之輔がローラーゲートに変えそれがうまくいった。しかし地震の多いわが国ではうまい工夫でトップヘビーにならないような水門が欲しいなと思いながら、興味深くこの斬新なゲートを見学した。日本のライジングセクターゲート(図6)は、テムズバリアの改良型だと言われている。堤防技術とともに水門も我々が学ばなければならぬ河川技術であるにもかかわらず、河川工学の講義などではあまり取り上げない分野で、こうした事例だけでも伝えるのは重要だと感じた。気候変動への取り組みなどについても興味深く学んだ。

スイス

スイスは、80年代に1年間滞在した縁もありこの国の川への興味は尽きない。本海外河川調査シリーズでも2019年、23年、24年と、丁寧に見てきたところだ。その調査機会での拠点以外にもスイスの川は視察・調査してきたが、そこでの視点は拠点別ではなくて、水系がどうなっているかだ。

スイス(図7)は、国土のほとんどがライン川の流域。今年の視察対象だったイン川はドナウへ流れるし、レマン湖、アイガー、マッターホルンの南側を回る川はフランスへ流れているが、それ以外はほとんどがボーデン湖から出てくるライン川に合流する。



我が国の「ライジングセクターゲート」はこのThames Barrierの改良型

図6 日本のライジングセクターゲート

ベルンを通って流れてくるアーレ川は東に進んでボーデン湖から出るライン川に合流する。こういった水系を、拠点別に見るのが、あるいは、川単位で水系として見るのが両視点を比較することは私の興味の的だった。

きてリント川はチューリッヒ湖に上流の南側から入ってくる川。チューリッヒ湖直上流の氾濫原を洪水から守るために100年以上も前にエッシャー運河ができた。リント川をチューリッヒ湖の手前で流路変更してヴァーレン湖に流し、そこに土砂をため、また洪水調節してチューリッヒ湖方面に流す試みだ。これによってチューリッヒ湖の下流には非常に重要な都市であるチューリッヒがあり、そのまちを守っている。チューリッヒ湖は非常に大きいので、洪水調節は日本のように水系一貫でなく、その上流と下流では別ものとして閉じているかもしれないという印象を受ける。

2023年の調査では、リマト川下流で自然を整えレクリエーションの場をつくった箇所を視察した(図8)。彼らにとって環境とは人との触れ合いをサポートするような川づくりであり、自然と一体化したレクリエーションの場をどうつくるかという点で、非常にすばらしい空間

をつくっていた。その折、洪水時の安全性が確保されないとレクリエーションは非常に危ないものになるので、出水時のハイドログラフを見せてもらった。そうすると、結構急峻に立ったハイドログラフで、上流側にチューリッヒ湖があるのになぜ急峻なハイドログラフになるのかが一瞬疑問だった。実はチューリッヒ湖の西側を流れるジール川がリマト川に合流していくこの川の急なハイドロが原因している。このレクリエーションの場は、ジール川がどんなハイドログラフを与えるかということに影響を受けているのだ。チューリッヒの治水問題はチューリッヒ湖から流れてくる本川はいいとして、隣のジール川が流木もいっぱい流してくるし、非常に速いハイドログラフであることがある。また、チューリッヒ中央駅の下を暗渠で流れているので、治水問題をしっかり認識しながらの議論が必要なのだ。

これらのポイントが3回の訪欧で繋がった。川に沿って治水の問題も環境の問題も考えることが必要だという標本みたいな例だ。すなわち、リント川のエッシャー水路、チューリッヒ湖、リマト川、それからジール川がアーレ川と合流しライン川に合流する。ボーデン湖から流れてきたライン川との合流点は、洪水の常襲地であり、農業適地でもある。このエリアを洪水からどう守るか、農地の安全度をどう確保するか、水源の利用をどうするかといった問題がある。ということで、やはり水系での議論が気になるところだった。そしてさらにはドイツに、洪水であろうが、水質であろうが、土砂であろうが、全部引渡すわけだ。ヨーロッパという大河川の中で、どういう部分が役割というか、問題なのかを示したことになる。そこをきちんと認識できているかがちょっとまだ分かりにくいところといえるかもしれない。

ジール川には流木止め(図9)が造られている。それはETH(チューリッヒ工科大学)での実験で



図7 スイスの河川



図8 リマト川の自然再生・親水整備と
ミール川の整備



図9 ジール川の流木止め

検討されたもの。外岸側で流木を捕捉するが、通常、外岸側には余裕がない。ここでは、外岸側に洲をある程度造成して、外岸側を流れてきた流木を止めるといった実験をETH(チューリッヒ工科大学)で行っていた。

日本でも、九州北部豪雨の後の赤谷川に流木止めを同じような形式で造っている(図10)。日本ではVCCD工法と言ってVertical Column Cantilever Driftwoodのことだが、どちらかといえば構造が気になっているようだ。そこでは、どれだけの力がかからって、どういう杭を打てばいいのかといった議論になっていた。様々な視点がどのように総合化されるかに興味がわく。

さて、エッシャー水路のエッシャーさんだが、100年ほど前のスイス人。日本にはオランダ人のエッシャーさんが来て、100年前に明治の改修をやっているが、それは別人。

ところで、土砂の問題なのだが、土砂を含む洪水を一旦ヴァーレン湖に入れて土砂を落とし、チューリッヒ湖に向けて流すという形をとっている(図11)。土砂の問題と洪水の問題にうまく対処したという話なのだが、昔は必ずしもうまく事が運ばなかった。2023年に見たロイス川(図12)では、遊砂地を造って洪水のときの川の水を遊砂地に落としていた。ここでは、放流



図10 ジール川と赤谷川の流木止め



図11 リント川の改修

口を岸から離して設け、土砂を湖の中に放り出すようにしたのだが(図13)、その結果、湖岸侵食が非常に深刻になるという課題が生じることになった。一方で、その後、土砂を浚渫して自然再生に利用する土砂源になった。人間の業というのは、いろんな工夫をしながら失敗し、それを元手に工夫する。自然災害のレガシーを残すという話があったが、人間がわざわざレガシーをつくって、それを利用しながら、また次の新しいものを再生しているということに感動した。

おわりに

今日お話しした今回の河川視察の報告としての事柄をどう受け止めて、日本の治水、自然再生や生物多様性などにどう活かしていくのか。参考にして頂けるところがあればと思う。

私からは、河川を考えるとき、流域という空間に一気に飛びずに、水系という意識を持ちたいということと、ヨーロッパでは、スイスの中では水系で議論が閉じるのかもしれないが、スイスからドイツへ入るとには、洪水の受渡しや土砂の受渡しをどう考えるのかということが流域という視点に加わるべき大きな課題だなというのが今回の視察を通しての感想だ。



図12 ロイス川の事例



図13 ロイス川の放流口とロイスクルタ

現地でお世話になった方々

イギリス



ワイア川

(Wyre Rivers trust) Philip Robson 氏
Thomas Myerscough 氏
Sam Hopes 氏
(United Utilities) James Airton 氏
(Environment Agency) Ryan Haevey 氏
内藤暁氏(通訳)
(在英日本大使館) 岩城氏、中澤氏

テムズバリア

(Environment Agency) Richard Handley 氏
Phil Taylor 氏
Damian Crilly 氏
(Natural England) Edel McGurk 氏
Glen Cooper 氏
Dianne Matthews 氏
(University College London) Sam Lew 氏
Jesse Seaward 氏
(Rivers Trust) Rob Collins 氏
(Chalk Stream Restoration Group) Charles Rangeley-Wilson 氏
(Joint Thames Strategy Refresh Programme) Rebecca Kendrick 氏



スイス



ジール川 滝川薰氏

リント川
(Linthverwaltung) Ralph Jud 氏
Jan Rückmar 氏
(MJ Projektmanagement GmbH) Markus Jud 氏



イン川

(Graubünden) Thomas von Wyl 氏
(Auin AG) Pio Pitsch 氏
Christian Göldi 氏

現地でお世話になった方々に、調査団一同深く感謝の意を表します。



編集 公益財団法人リバーフロント研究所

参考

- | | |
|----------------|---|
| ワイヤ川トラスト | https://wyrerivertrust.org/ |
| テムズバリア | https://www.gov.uk/guidance/the-thames-barrier |
| WWT ロンドン湿地センター | https://www.wwt.org.uk/wetland-centres/london |
| ジール川(放水路事業) | https://www.zh.ch/de/planen-bauen/wasserbau/wasserbauprojekte/entlastungsstollen-sihl-zuerichsee.html |
| ジール川(流木捕捉施設) | https://www.zh.ch/de/planen-bauen/wasserbau/wasserbauprojekte/wasserbauprojekte-flexdata/sihl-schwemmholtrechen.html |
| リント川 | https://www.linthwerk.ch/index.php |
| イン川 | https://www.gemeinde-bever.ch/bever-tor-zur-auenwelt |