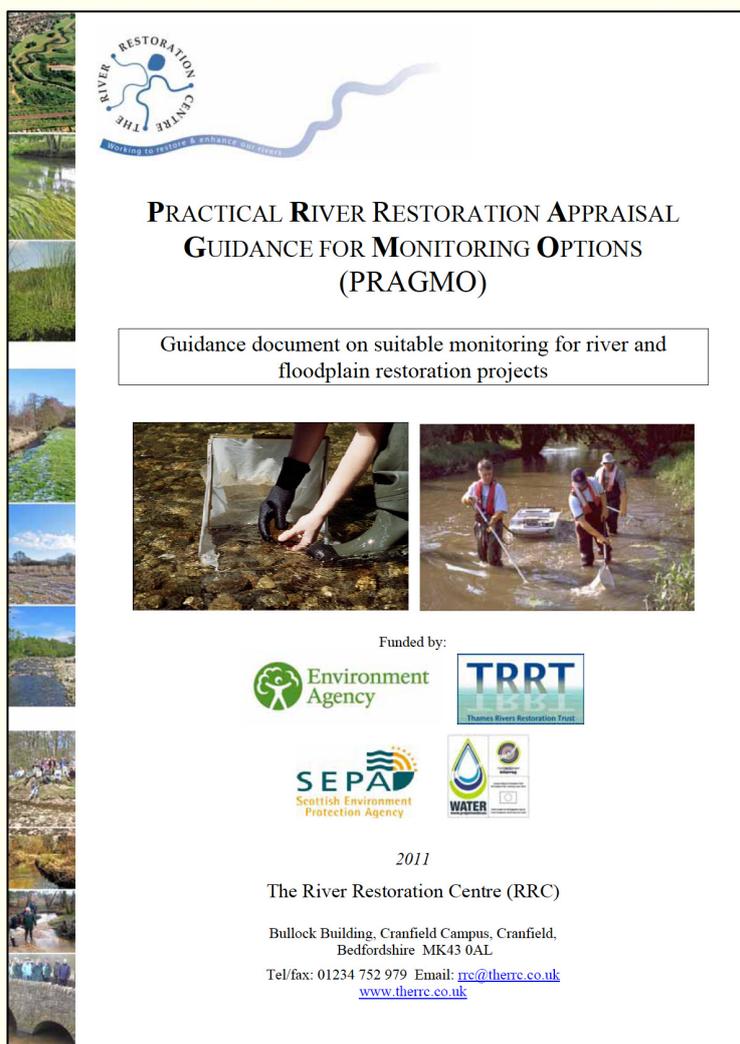


【PRAGMO 日本語版】

河川及び氾濫原再生の 順応的管理に向けたモニタリングの手引き

原著者：英国河川再生センター(RRC: The River Restoration Centre)

～ **できる** ことから始めよう
～ 川の**見**かた・**調**べかた ～



※本書は、（財）河川環境管理財団の河川整備基金の助成を受けて作成されたものです。

手引き更新履歴

No.	内容	年月
1	暫定版完成	2011年8月
2	最終版完成	2011年11月

PRAGMO 製作担当者:

Dr Di Hammond (英国河川再生センター・上席プロジェクトアドバイザー)

Dr Jenny Mant (英国河川再生センター・科学技術マネージャー / PRAGMO 総括責任者)

James Holloway (英国河川再生センター・プロジェクトアドバイザー)

Nick Elbourne (英国河川再生センター・情報発信及び渉外担当)

Martin Janes (英国河川再生センター・事務局長)

謝辞:

本手引きの作成にあたり、**Judy England** 氏 (英国環境庁)、**Andrew Gill** 氏 (クランフィールド大学)、**Nigel Holmes** 氏 (アルコンベリー環境コンサルタンツ)、また **Brian Shields** 氏 (英国環境庁) より多大な知見のご提供を頂き、さらに手引きとして発行する際の彼らの支援に対し、英国河川再生センター(RRC)は心から感謝いたします。

また、**Lucy Shuker** 氏 (ロンドン大学 Queen Mary)、**Bridget Peacock** 氏 (水生昆虫組合)、**Anne Powell** 氏 (淡水生態協会)、**Julie Wozniczka** 氏 (オン・トレント)、そして幾度に及ぶ原稿を精査し献身的なご支援を頂いた **Robert Oates** 氏とテムズ河川再生トラスト各位に感謝します。

さらに、表紙に掲載した本手引き作成事業への資金協力団体に加え、以下の団体からの協力にも感謝申し上げます。



はじめに — PRAGMO 日本語版出版にあたり

PRAGMO [日本語訳「河川及び氾濫原再生の順応的管理に向けたモニタリングの手引き」] は、英国河川再生センターによって取りまとめられたものであり、河川や氾濫原において実施される自然再生事業において、河川的作用と生息場ならびにそこに棲む生き物との相互関係を念頭に置いている。

本書の編集理念は、第1章本書の目的の最初の部分に『自然再生事業が生物にどの程度有効であったのか、川の自然な営みをどの程度回復できたのかを明らかにするためには、事業評価が唯一の手段である』との記述に続いて、『評価が明らかになってくると、次の段階でどのような修正を施していくことが必要なかが分かってくる、すなわち、順応的管理が可能になる』と書かれた文章に明確に示されている。したがって、本書は事業実施計画の中にモニタリングが埋め込まれている必要があることを主張し、モニタリングは計画の発端から契約終了時までではもちろんのこと、それ以降までを考えるべきであることを指摘している。特に重要であるのは、『適切かつ計測可能な事業目的を定義しておく必要がある。』という指摘である。この指摘は、モニタリングに用いる技術を選択するために必要であり、また、分析した結果を意味ある知見として積み重ねていくためにも必要である。そのような知見によってこそ、環境や経済や生態系の改善に事業がどのように寄与するか、さらには、改善効果が表れるタイミングや場所をより明確に示すことが可能になるからである。

目標設定（応用生態工学的仮説を立てる）をし、モニタリングを行い、その結果を順応的管理に生かすことは、応用生態工学会設立（1997年）の中心人物の一人である廣瀬利雄氏が学会設立の前から提唱している（応用生態工学序説、廣瀬利雄監修、信山社、1997年）ところであり、日本においてもこの考えに基づく実践が試みられてきた。しかし、基本概念に根ざした構成、具体的かつ実践的な確認事項やモニタリングを幅広い対象に適用できる内容を持つ手引書は、残念ながらこれまでには出版されてこなかった。

イギリスにおいても同様な事情があったと考えられる。それは第1章に『モニタリングに高い優先度を与えないケースがあまりに多い。』とか、『参考となるような資料が不足していることがあげられる。』という記述があることからもうかがえるところである。本書の目標はこのような状況を打開するために、『政府機関から地域の市民団体までの幅広い層の人々を対象』として、『事業の規模と複雑さに応じて必要となるモニタリングのレベルを決められるような実用的な手引きを提供することを目指している。』と述べられている。

本書は実践的な内容が、経験に裏打ちされて記述されており、『本書の記述に従えば、事業規模、対象の複雑さ、事業に用いる工法の信頼性、河川の性質、そして資金量といった要因に基づいてそれぞれのケースに適切なモニタリングの手法を定められるようになる。』という第1章の記述が実現できることもあながち夢ではない。本書が日本においても、河川、氾濫原の自然再生に携わっている実務者、行政の技術者、市民団体などに幅広く活用されることを希望している。さらに追記すると、本書の内容は単に氾濫原の生態環境の管理のみではなく、治水・利水事業、さらにはその他の社会基盤整備事業においても活用できるものであることを強調したい。

読者の皆さんに1点だけ留意事項を挙げるとすれば、本書における記述や先例を鵜呑みにして実行することなく、それらが日本の自然の特徴、及び、生態系に対する社会の伝統的・文化的要求に対して一致するか否かを考察し、検証してゆく態度が何よりも重要である、という事である。

アジア河川・流域再生ネットワーク会長
東京大学名誉教授 玉井 信行

祝辞 — 英国河川再生センターからのメッセージ

都市化や農業のための改修などにより、歴史的に世界の多くの川の自然環境が悪化しました。しかし、こうした一度は環境が悪化した川を、様々な生き物にとって望ましい健全な環境の創出に向け再生することが、社会共通の基本理念となっています。この川の再生が目指す姿は、川が持つ自然のプロセスが機能するような川の連続的な繋がりを創造することであり、これにより失われた生物の生育・生息環境が再生され、社会幸福に利益をもたらす環境が提供されることになります。

その一方で、ある川における再生事業が上記のような目的を達成することに成功したかどうかについて、断言して答えるにはこれまでしばしば困難が伴いました。こうした理由の一つとして、河川再生を評価する上で、どのレベルの、どんなタイプのモニタリングが必要であるか、またある特定の再生目的を達成するためにどの項目についてモニタリングをすべきかなどに関わる実用的な指南書がほとんどなかったことが挙げられます。

この手引きは、上記の様なギャップを埋めるため、利用者が最も適した評価手法を決定するための情報を手助けするものです。本手引きは、自分達の川をどうにか再生したいと願う政府関係者から地域の市民団体まで様々な利用者を想定しています。本書では、なぜ、またどんなモニタリングを必要としているかをまずは読者に問いかけています。そして、その回答から、それぞれの事業のタイプや規模に応じた明確に定義されるモニタリングの目標へと関連付けていきます。更に本手引きでは、ある特定の事業評価のために、様々なツールや視点、更にはこれらの使用の適応性などについて解説をしています。

この手引きは、英国においては好評を得ております。この PRAGMO 日本語翻訳版が英国と同様に日本の利用者に活用され、そして日本において高く評価されることを、英国河川再生センターは願っております。

最後に、この PRAGMO の翻訳に尽力された日本河川・流域再生ネットワーク(JRRN)の皆様にお祝いと感謝を申し上げます。

Dr Jenny Mant

英国河川再生センター・科学技術マネージャー
PRAGMO 総括責任者



日本語版の説明及び「PRAGMO 英語版原著」入手方法

本書は、英国河川再生センター(RRC: <http://www.therrc.co.uk/>)より2011年11月に無料公開された「**PRACTICAL RIVER RESTORATION APPRAISAL GUIDANCE FOR MONITORING OPTIONS (PRAGMO)**」を、RRC事務局の協力を得ながら、日本河川・流域再生ネットワーク(JRRN)会員及び事務局関係者で共同翻訳して製作したものです。

但し、諸事情から、本編(約120ページ)及び付録資料(約200ページ)で構成される英語版原著(約320ページ)に対し、日本語版では本編(約110ページ)及び一部の付録資料(約20ページ)を含む約130ページのみを紹介しています。

なお、本書のタイトル「河川及び氾濫原再生の順応的管理に向けたモニタリングの手引き」は、原著の随所に「順応的管理」が引用され、またその重要性が強調されていることを踏まえ、英語版原著タイトルを意識したものとなっています。

英語版原著と日本語版との構成比較、及び英語版原著の入手方法は以下をご覧ください。

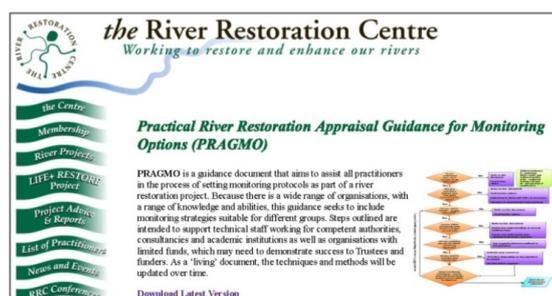
翻訳対象箇所

英語版原著構成	日本語版	英語版原著構成	日本語版
本編1章	○(翻訳)	付録2章	○(翻訳)
本編2章	○(翻訳)	付録3章	○(翻訳)
本編3章	○(翻訳)	付録4章	○(翻訳)
本編4章	○(翻訳)	付録5章	なし
本編5章	○(翻訳)	付録6章	○(翻訳)
本編6章	○(翻訳)	付録7章	なし
本編7章	○(翻訳)	付録8章	なし
本編8章	○(翻訳)	付録9章	なし
本編9章	○(翻訳)	付録10章	なし
本編10章	○(翻訳)	付録11章	なし
本編11章	○(翻訳)	付録12章	なし
本編12章	英語原文を縮小して掲載	付録13章	なし
付録1章	○(翻訳)	付録14章	なし

英語版原著の入手方法

英国河川再生センター(RRC)のホームページより電子版(PDF)を入手することができます。

■ダウンロードURL: http://www.therrc.co.uk/rrc_pragmo.php



英国河川再生センター(RRC)の PRAGMO 紹介ページ

目次

1. 本書の目的.....	1
1.1 本書はどのように役立つか.....	1
1.1.1 本書のねらい.....	2
1.2 本書の対象となる読者.....	2
1.2.1 代表的な団体.....	3
1.3 本書の使い方.....	4
1.4 「生きている」文書として.....	5
2. 本書の概要と利用法.....	6
2.1 なぜ本書を用いるのか.....	6
2.2 対象事業の枠組を知る.....	6
2.3 事業目標を明確にする.....	6
2.4 物理作用と生物的作用の関連を理解する.....	7
2.5 具体的かつ計測可能な目標を設定する.....	7
2.6 適正なモニタリングのレベルを定める.....	7
2.7 どのモニタリング技術を使うか.....	8
2.8 本書の利用法：各段階の概要.....	8
3. 事業の背景.....	14
3.1 文献からわかること.....	14
3.1.1 学術論文以外の資料.....	15
3.1.2 効果的なモニタリングのために必要なこと.....	15
3.2 対象河川の特性把握.....	18
3.2.1 水量、土砂、水質.....	18
3.2.2 SMART な目標の設定.....	19
3.2.3 法制度.....	23
4. 事業目標の設定.....	24
4.1 SMART を意識した事業目標の設定.....	24
4.1.1 第1段階—ねらいの設定.....	24
4.1.2 第2段階—具体的な事業目的.....	25
4.1.3 第3段階—SMART な目標の設定.....	26

5.	物理作用と生物の関係	31
5.1	対象流域の水量、水質および土砂の状況を理解することの重要性	31
5.1.1	水量	31
5.1.2	水質	32
5.1.3	土砂輸送	32
5.2	生物多様性と物理生息場の相互関係	34
5.2.1	魚	35
5.2.2	無脊椎動物	35
5.2.3	植物	37
5.2.4	哺乳類と鳥類	37
5.2.5	河道内地形	38
5.2.6	河岸と水際域	38
5.2.7	氾濫原	39
5.3	相互作用一つながりを理解する	39
6.	事業リスクと規模に合わせたモニタリング目標の決定	41
6.1	事業リスクの推定	42
6.1.1	成功事例の数と不確実性	42
6.1.2	頑健性と力学的損傷の可能性	43
6.1.3	不確実性と損傷可能性の組み合わせ	44
6.2	事業規模	45
6.3	対象事業の位置づけ	45
6.3.1	リスク対規模行列の使用例	47
6.4	SMART なモニタリング目標の設定	50
6.4.1	モニタリングは達成可能で現実的か	50
6.4.2	モニタリングに優先順位をつける	50
7.	適切な技術と手法の選び方	53
7.1	モニタリングから何をすることができるか？	53
7.2	どのレベルの技術を用いるべきか？	53
7.3	複数の機能にまたがる方法（英文原本付録 8 参照…日本語版なし）	58
7.4	生態系の調査方法（英文原本付録 9 参照…日本語版なし）	59
7.5	魚類の調査方法（英文原本付録 10 参照…日本語版なし）	59
7.6	大型水生植物の調査方法（英文原本付録 11 参照…日本語版なし）	60
7.7	地形の調査方法（英文原本付録 12 参照…日本語版なし）	60
7.8	水の調査方法（英文原本付録 13 参照…日本語版なし）	61

8.	モニタリングの時間スケール.....	65
8.1	モニタリング目標への時間スケール概念の加え方.....	65
8.2	モニタリングをいつまで実施するか.....	66
8.3	モニタリングをいつ実施するか.....	67
8.4	モニタリングの時間に関する留意点.....	71
9.	モニタリング費用の算定.....	72
9.1	費用の内訳.....	72
9.1.1	計画.....	72
9.1.2	データ収集.....	72
9.1.3	データの加工と報告.....	72
9.1.4	データ収集と解析にかかる費用の算定.....	72
10.	既存資料の活用と協働.....	76
10.1	既存の情報源とモニタリング手法.....	76
10.2	協働.....	78
10.2.1	協働の可能性がある団体.....	78
10.2.2	協働の便益.....	79
11.	事例紹介.....	80
11.1	メイズブルック川.....	80
11.2	コール川.....	84
11.3	クアギー川.....	89
11.4	セブンハッチス.....	91
11.5	キシミー川再生事業（米国フロリダ州）.....	96
11.6	ショプハムループ.....	100
12.	参考文献.....	106

付録.....	113
付録1 水枠組指令 (Water Framework Directive, WFD)	114
A1.1 WFD のモニタリング	114
A1.2 生態系の劣化を引き起こす外的要因	116
付録2 順応的管理.....	125
付録3 河川の自然再生事業モニタリングに関する既存の文献	127
A3.1 再生事業の効果	127
A3.2 モニタリング事例の比較検討	128
A3.3 目標設定とモニタリング計画	128
A3.4 スケールの問題	129
A3.5 モニタリングの今後	129
A3.6 自然再生の設計と評価の段階	130
A3.7 その他の関連文献	130
付録4 SMART 目標	131
Specific (具体的である)	131
Measurable (計測可能である)	131
Achievable (達成可能である)	132
Realistic (現実的である)	132
Time-bound (時間の特定)	132
A4.1 SMART 目標の例	133
付録6 水質.....	134
原本 (PRAGMO 英語版) 目次.....	137
あとがき — PRAGMO 日本語版監修にあたり	140
監修者・翻訳者・編集者紹介	142
索引.....	144

図表一覧

表 6.1	リスク計算行列 1 = 成功実績の数	42
表 6.2	リスク計算行列 2 河川類型と損傷可能性	44
表 6.3	総合リスク尺度	44
表 6.4	自然再生区間の長さや幅による規模尺度	45
表 6.5	4.1.3 項の例 3 に基づくモニタリング優先づけの例	51
表 6.6	Mayes Brook における河川自然再生事業のモニタリング優先順位づけの一部	52
表 7.1	各手法に関連する機能	62
表 8.1	河川再生事業の成否を判定するモニタリング指標の時間スケール (Woolsey 他、2007)	66
表 8.2	各項目に対応する調査時期	68
表 9.1	予算の目安 (川幅 10 m 未満の河川を対象とし、機材費用は含まない)	74
表 10.1	環境庁 (EA) のデータベース (出典: Bellamy and Rivas-Casado, 2009)	77
図 1.1	リスク対規模行列 (本書の中で、モニタリングの適切なレベルを設定するための道具として用いる)	2
図 2.1	モニタリングを立案していく過程の流れ図	13
図 3.1	河川再生事業のモニタリングおよび分析の手順 (Roni, 2005 を改変)	15
図 3.2	自然再生の手順 (Lydia Bruce-Burgess の学位論文より、2004)	17
図 3.3	農地排水による水質悪化	18
図 3.4	上流の土地利用変化に伴う土砂供給量の増大	19
図 3.5	流れの速いところで見つかるカゲロウの幼虫	19
図 3.6	モニタリングの決定の流れ	21
図 5.1	河川自然再生事業に対する地形と生物の応答に高次の外力 (水量、水質及び土砂動態) が及ぼす影響	31
図 5.2	『応用河川地形学ガイドブック』より (Sear, Newson and Thorne, 2010)	33
図 5.3	ヨーロッパブルヘッド (Cottus gobio) 産卵のため乱流と石を必要とする (James Holloway の好意による)	35
図 5.4	さまざまな生息場条件がいろいろな種を支えている (Judy England の好意による)	36
図 5.5	流速の遅い環境にみられる淡水のカサガイ (Ancylus fluviatilis)	36
図 5.6	細粒土砂に埋められないために流速の速い環境を必要とするトビケラの幼虫 (Sericostoma personatum)	36
図 5.7	河川断面内位置による植物の種類の違い (Judy England より)	37
図 5.8	ヨーロッパカワウソ	38
図 5.9	蛇行と氾濫原の自然再生に影響を受ける相互依存の一部	39
図 5.10	石灰岩河川における背水域や河幅縮小に影響を受ける相互依存関係の一部	40
図 5.11	魚の移動を目的とした堰の撤去に影響を受ける相互依存関係の一部	40
図 6.1	事業規模とリスクからモニタリングレベルを見出すための図	41
図 6.2	技法の新たな組み合わせ	45
図 6.3	モニタリングレベルを決めるためのリスク対規模行列	46
図 7.1	生態系全体の調査方法	54
図 7.2	魚類の調査方法	55
図 7.3	大型水生植物の調査方法	56
図 7.4	地形の調査方法	57
図 7.5	水の調査方法	58
図 10.1	LiDAR データの一例。ノーフォーク州 Nar 川特別学術保護区にある荒廃湿地の状態を詳細に捉えている。(©Environment Agency copyright 2010 and the River Restoration Centre)	76
図 11.1	メイズブルック川の位置	80
図 11.2	キックサンプリングおよびサーバーネットによるサンプリング方法	81
図 11.3	各機能的生息場における分類群構成と個体数	83
図 11.4	自然再生前、施工直後および数年後の状況	87

1. 本書の目的

注意：本書は絶えず更新され続ける文書であり、新しい情報が得られたり新しい手法が開発されたりするごとに記述が改められます。

1.1. 本書はどのように役立つか

河川や氾濫原にて実施されるあらゆる自然再生事業において、事業が生物にどのくらい効果をもたらしたのか、川の自然な作用にどのくらい合っているのか、といった点を明らかにしておくことは重要である。事業評価はそのための唯一の手段といえる。それらの点が明らかになると、次の段階でどのような面に修整を施していくべきかもわかってくる。

事業の成功度をきちんと示したいのであれば、あらかじめ事業実施計画のなかにモニタリングを埋め込んでおく必要がある。モニタリングは計画の発端から契約終了時まではもちろんのこと、さらにそれ以降にまで及ぶものと考えねばならない。まず計画を立てる時点において、適切かつ計測可能な事業目標を定義しておく必要がある。そうでないと、せっかくデータを収集して分析を加えていっても、意味をもった知見として積み重なっていかないからである。目標が適切に設定されれば、それぞれの川の特性或事業の方針に応じてどの技術を使えばよいか選別できるようになる。また政府や費用負担者に対し、環境や経済や生態系の改善に河川の再生事業がどのように寄与するか、またその改善効果がどのタイミングで、どの場所で現れるのかをはっきり示すことができるようになる。

しかしながら現状では、モニタリングは軽視されがちである。モニタリングの優先度が低くみられてしまう現実の理由には、資金面の制約が挙げられることもあるし、どのくらいの詳しさで行えばよいかわからない、どのような手法を使えばよいかわからない、といった参考資料の不足が挙げられることもある。

本書はこのような状況を打開するために、政府機関から地域の市民団体まで幅広い層の人々が、事業の規模と複雑さに応じて（**図 1.1**）必要となるモニタリングのレベルを決められるよう実用的な手引きを提供することを目指している。**図 1.1** について強調しておきたいのは、技術的な複雑さの高い事業には多大な資源を集中して詳細なモニタリングを実施する必要があるが、小規模なあるいは単純な事業に対してはそこまでする必要はなく、しっかりとしたモニタリングの枠組を事業開始段階から定めておくことによってより容易に意味のある情報を豊富に得ることができる、ということである。

本書の記述に従えば、事業規模、対象の複雑さ、事業に用いる工法の信頼性、河川の性質、そして資金量といった要因に基づいてそれぞれのケースに適切なモニタリングの手法を定められるようになる。

第 2 章では本書全体の概要をまとめるとともに、具体的に検討を進めていく手順の中でどの部分が本書のどこに書いているか、詳しく説明する。

英国全土にわたって存在する膨大な情報やデータについては**第 10 章**と**付録 14**で紹介する。

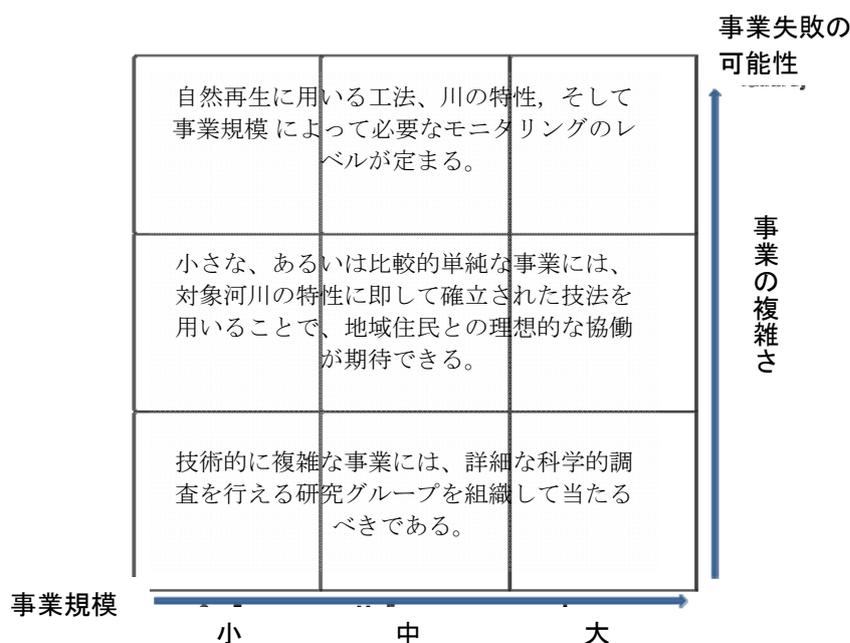


図 1.1 リスク対規模行列（本書の中で、モニタリングの適切なレベルを設定するための道具として用いる）

1.1.1 本書のねらい

本書は、すでに欧州水枠組指令（European Water Framework Directive、WFD）に関連して定められている既存のモニタリングガイドラインの内容を繰り返そうとするものではない。UKTAG、Common Implementation Strategy (2003)、SERCON 報告書（Boonら、1996）などのモニタリングガイドが目的としているのは、水域全体の生態学的・化学的状態の評価である（付録 1 を参照）。本書は WFD 関連の施策についても一部の効果を評価するのに使えるであろうが、本書が主として使われる場面はより広い対象を実践的に評価していくときである。

本書が焦点を当てているのは、河川や氾濫原において実施される自然再生事業の、生態系（野生生物）と水文地形（自然な川の作用と生息場への影響）の相互関係である。社会経済的側面は現在のところ本書に含まれていないが、同等な重要性をもつものであるため補遺的な文書を今後準備していくことを計画している。

1.2. 本書の対象となる読者

本書は、河川の自然再生事業の一部としてモニタリング計画を設定していこうとするすべての人を支援しようとして書かれている。モニタリングに関わりを持つ団体は多岐にわたり、知識や能力もさまざまである。本書を見ればそれぞれの立場に合ったモニタリングの組み立て方がすべてわかるよう、努めている。

本書で記述されている方法は、行政機関やコンサルタントや研究機関に所属する技術者に役立つことはもちろんのこと、もっと小さな組織やボランティアベースの団体、各種トラストや事業費負担者に事業の成果を示す必要のある人たちなどにも有用である。

1.2.1 代表的な団体

- 法定団体
英国環境庁 (Environment Agency、EA)
イングランド自然機構 (Natural England、NE)
スコットランド自然遺産機構 (Scottish Natural Heritage、SNH)
スコットランド環境保護庁 (SEPA)
北アイルランド河川庁 (RA)
ウェールズ自然環境評議会 (Countryside Council for Wales、CCW)
北アイルランド環境庁 (NIEA)
地方当局
水道会社
排水組合 (Internal Drainage Boards)

EU 指令の順守や公的資金投入の正当性を確認するために、河川再生事業の効果を計測する必要がある。

- 非政府団体 (代表的なもののみ例示する)
リバートラスト (Rivers Trusts)
野生マストラスト (The Wild Trout Trust、WTT)
王立愛鳥協会 (RSPB)
野生生物トラスト (WTs)
釣りクラブ
水生昆虫組合 (The Riverfly Partnership) その他の組合
地元の河川愛護団体

地元の熱心な人たちの手で容易に繰り返せるようなコストパフォーマンスに優れたモニタリング手法が渴望されている。より大きな協働事業の一部として実施されることも多い。

- 環境コンサルタント

費用効率性の高い効果計測用モニタリング計画を開発することは言うまでもなく本質的に重要な課題である。

- 研究者

本書で説明する原則は研究対象を絞り込むことにも役立つほか、PRAGMO の手法を実地において検証していくこと自体も研究テーマとなる。

- 事業費の負担者

事業費が効果的に使われたことを示すために、モニタリングを重要部分として事業の中に位置づけることが要請される。また種類の違う事業が生み出す結果を比較することも、投じた金額の価値を保証し、費用対効果を確保するためには必要とされる。

1.3. 本書の使い方

本書は、モニタリングの優先順位をつけるためにどうやって目標を設定すればよいのか、詳しく説明するものである。

本書の最初の部分（第 2 章）は、ガイドライン本体となる詳しい情報を記述した部分（第 3 章から第 11 章まで）の骨格をまとめたものである。この部分を見れば読者は手順の全体像を把握することができ、どの段階ではどの部分を参照すればよいのか簡単にわかるであろう。

それに続く部分は第 3 章から第 11 章と関連する付録から成る。この部分を見れば、次のような点を理解し検討できるようになるだろう。

- 現在の河川自然復元に関する理解に基づいた、ガイダンスの理論的根拠
- 土砂、水質、水量からみた事業の制約条件を理解することの重要性
- 河道内における生息場、地形、作用と生物の相互関係
- 頑健な事業目標とモニタリング目標を作成する理由と方法の大切さ
- 過去の事例を踏まえ、川の特성에 応じた事業規模と技術的困難さに基づいてモニタリングの適切なレベル（どこに資源を集中させるか）を詳細に決めること
- さまざまなモニタリング方法の区別、そして川の自然再生事業をモニタリングする場合にはどの手法がどのように有用か（付録の一部も参照）
- モニタリングに区切りをつけるタイミングに関して陥りやすい誤り（その結果から何を引き出せるか？）
- 事業開始時点からモニタリング目標に優先順位をつける必要性
- 裏付けを与える事例

1.4. 「生きている」文書として

本書は単なる出発点である。新しい方法が開発され、使用され、モニタリングが完了するたびに、改訂されていくべきものである。さらに、最後に載せた事例の部分には、あらゆる種類のモニタリングの成功例を追加していくことになるだろう。

本書の利用者として、ぜひ河川再生センター (RRC) と情報交流を持ち続けてください。新しい手法や事業の情報を追加していくことによって、本書は常に最新のものであり続けることができます。

2. 本書の概要と利用法

2.1 なぜ本書を用いるのか

これまで、河川の自然再生事業のモニタリングはその場しのぎのものになりがちであった。事業計画や実施に合わせたモニタリングを検討したり、分析に必要な時間や投入可能な時間資源などを考慮したりする視点はほとんどなかったといっていよい。

結果として、モニタリングが完了しても事業が成功したのか失敗したのか判然としない場合がとても多い。これは事業の目標が十分に具体化されていなかったり、測定可能な形になっていなかったりしたためである。現場の技術者にとってもその他の関係者にとっても各自の必要性を満たす費用効果の高い最適な方法を選び出せるような改善が求められる。

本書を使うことによって、費用負担者や事業管理者は事業開始時点からモニタリング計画を組み立てられるようになる。そうすると「この事業は目標を達成した、とどのように証明できるのですか？」といった質問にも答えられるようになる。

モニタリング計画を立案する際に考慮すべきポイントを 2.8 節にまとめた。そこには本書のどこに関連情報が書かれているかも合わせて記述している。その全体を単純に描いたフローチャート (図 2.1) を見れば、モニタリングを実行に移すまでに何をすべきかが分かるだろう。

2.2 対象事業の枠組を知る

河川自然再生事業を実施するには、法令で定められた行政組織の同意を得る必要がある。また法的な規制や政策の範囲内で実行することが求められる。3.2.3 項には現行の法的枠組に関する情報源を示した (訳注：英国のもの)。

しかしながらモニタリングにおいてさらに重要なのは、対象河川における水や土砂の質および量について理解を深めることである。それらは事業目標に大きな影響を与える。正確な予測を得るためには対象河川で何を調べるべきか、そしてさらなる助言をどこに求めればよいか、といった情報を後の部分に記す。

2.3 事業目標を明確にする

モニタリングの成否を左右する最初の大事なポイントは、事業の狙いと個別目標について系統的な検討を加えることである。対象河川の性質と矛盾しない事業目標を、明確に、具体的に、そして計測可能な形で設定することができれば、モニタリングに用いる資源を無駄なく必要な部分に集中させやすくなる。(これにより、計画開始段階から事業の中で重要かつ不可欠な部分とみなされてモニタリングに資源が配分されるようになる)

モニタリングが困難に陥る多くのケースは、単純に事業が何を達成しようとしているか不明瞭になってしまっていることが原因である。たとえば堰を撤去することにより産卵場の条件と成魚の移動性を改善しようとする事業があったとする。しかし、撤去の好影響は水域や水際にすむ昆虫たちにも及ぶだろう。どこまでをモニタリングの対象に含むべきか、それは使える資源の量と相談して判断していくことになるだろう。河道内地形の形成や局所的な河床地形の変化といった物理的作用についても重要だと思われるならば対象に含めるかどうか検討しなければならない。

2.4 物理作用と生物的作用の関連を理解する

河川の自然復元を成功させるには、物理的要因（瀬、淵、高水敷などの生息場の区分およびそれらの形成過程）と生物的要因（どのような種が周辺にいて、新しく再生された地区にたどり着けるか、どんな生息場が必要か）の両方を考慮に入れなければならない。対象流域の現在の特徴をよく理解し、自然再生にどのような影響が及ぶのかを考えることも事業を成功させるには不可欠である。この意味で、対象河川の背景を知ることは初期段階においてとても重要なのである。

2.5 具体的かつ計測可能な目標を設定する

自然再生事業で達成したいことは何か、そして知らねばならない点は何なのかということをも明確にしておこう。たとえばある事業の目標が「野生生物の状態を改善し、自然の作用を復活させる」と定義されていたとする。これでは結果を誤解の余地なく直接に計測できる尺度が存在しないから、事業の成功を正当に証明することはできない。目標は具体的かつ計測可能なものでなくてはならないし、達成可能かつ現実的なものである必要があるし、期限が切っており季節が特定されていなければならない（これらの項目の頭文字をとって SMART と覚えるとよい、第 4 章ですべて説明する）。本書の各部分で、どのようにこれを達成するのか概説している。

2.6 適正なモニタリングのレベルを定める

モニタリングは河川の自然再生事業の中で極めて重要な役割を果たすものであり、その先の管理においてどのような面に気をつけていくべきか、理解と問題特定に役立つ。しかしながらいいかげんにモニタリングを計画してしまうと、資源の負担（資金、時間、人）が重くのしかかりがちになる。対象河川の大きさや性質を理解し、評価手法を吟味し、知ろうとしていることを具体化して検討すると、モニタリングに要する資源の量を定められるようになる。事業目的や費用負担者からの要請事項に照らしてモニタリング対象に優先順位をつけるのも計画段階においてやっておくべき重要な作業である。事業予算の面からみてどの程度が妥当なのかを判断するのも役立つし、モニタリング費用の増強を費用負担者に依頼しなければならないときにも役立つだろう。

2.7 どのモニタリング技術を使うか

モニタリングにはさまざまな技法がある。本書では、それぞれの方法によってどんなことがわかるのかを説明する。既に定期的に行われているモニタリングがあれば、それをどのように活用できるかについても述べる。また、データの収集や分析に高度な専門技術を要さずして意味のある結果を引き出せるような、地域住民にも使える技法を紹介する。

2.8 本書の利用法：各段階の概要

以下に続く部分は、本書の主なポイントをまとめたものである。本書のどこを見ればどの情報が書いてあるか対応を示したマップでもある。図 2.1 は、対象河川の性質、使用すべき技法、使える資源に応じて効果的なモニタリング計画をつくり上げる流れをまとめた図である。

河川自然再生のモニタリングおよび評価の計画を立てるために 必要な段階と要素のまとめ（図 2.1 も参照のこと）

1. 対象河川の基本的な特徴を理解していますか？

はい — 2. に進む

いいえ — もっと情報を集めよ。また、専門家の助言を仰ぎなさい。

次の項目について考えなさい：

- **水循環** — 流量はどの程度か（渇水時および洪水時）、どのくらい変動するか
- **水質と堆積物の汚染度** — 良いか、不十分か、悪いか。どんな化学物質が存在するか
- **土砂** — どれくらいあるか、どのようなものか。計画予定地は侵食傾向にあるのか、堆積傾向にあるのか
- **地形** — 対象河川に加えられた人為的改変の経緯

詳細な情報は以下の部分を見よ：

- 3.2.1 項、5.1 節
- 図 5.1
- （付録 5）、付録 6、付録 7

2. 水量、水質、土砂の状況が現状のままだったとしても、事業によって対象河川は望んでいる方向に改善されそうですか？

はい — 3. に進む

いいえ — もっと情報を集めよ。水量、水質、土砂の状況を改善できないか検討せよ。改善策の効果を証明できるように、これらの項目をターゲットとするモニタリング方法を考えなさい（付録1も参照）。

水量、水質、土砂が次のことに役立っているか、あるいは阻害してしまっているかを考えなさい：

- 自然な河川の作用を引き起こしたり、地形を維持したりしているか（河岸侵食、瀬、淵、高水敷植生など）。これにより生息場の多様性を生み出しているか
- 対象河川にいるべき在来の動物相と植物相を幅広く支えているか
- 特定の種が各生活段階において必要とする生息場を作り出せているか
- WFD（水枠組指令）における GES や GEP（付録1参照）を達成するという面からの効果や便益を考えたか

詳細な情報は以下の部分を見よ：

- 第5章
- 付録1

3. SMART¹を意識した事業目標を定義できますか？

はい — 4. に進む

いいえ — もっと情報を集めよ。また、専門家の助言を仰ぎなさい（たとえば選択肢の絞り込み）。

生態系と物理作用の両方を考慮に入れた、統合的で SMART な事業目的を意識することは本質的に重要である

¹ SMART の概念は、第4章(P24)及び付録4(P131)を参照

次の項目について考えなさい：

- 事業の主な狙いは河川の物理的な作用の改善なのか、それとも対象区間内における生物の多様性の増加なのか
- もし焦点が河川の形態と作用の改善にあるなら、生物にとってはどんな利益があるか？（特定の動物相や植物相、生活史の一部）
- もし焦点が動植物の（または生息場の）多様性を増加させることにあるなら、生活史のどの部分を再生させようとしているのか、河川のどの物理的特徴がこれを助けると予想しているのか
- あなたの考えている目的は
 - 明瞭か（具体的か）？
 - 定量化できるか（計測できるか）？
 - 達成可能か、現実的か、時間をきちんと定義しているか？

詳細な情報は以下の部分を見よ：

- 第4章、5.2節
- 図3.6、図5.9から図5.11
- 付録4、（付録8）

4. 事業規模とリスクに基づいて（第6章参照）、必要なモニタリングの量を決定できますか？

はい — 5. に進む

いいえ — 理解できていない点を特定し、さらに情報をあつめ、調査を実行しなさい。必要であれば専門家に意見を求めなさい。

次の項目について考えなさい：

- 用いようとしている自然再生の手法は対象流域でどれくらい使われているか
- 他の流域ではどのくらい使われているか
- 対象流域の特性の理解と分類
- 事業がうまくいかない可能性はどのくらいあるか（明確な証拠に基づいて判断すること）
- 第6章のリスク対規模の図に照らした検討
- 既に実施されているモニタリングにはどんなものがあるか。それらの実施主体は誰か。（例えばリバートラスト、釣りクラブ、水道会社など）

詳細な情報は以下の部分を見よ：

- 第6章
- 表6.1から表6.4、6.3.1項の例
- 図6.1、図6.2

5. 設定した SMART なモニタリング目標は事業に役立つものとなっていますか？

はい — 6. に進む

いいえ — 本書の記述と例を参考にして目的を明確に定めなさい。

次の項目について考えなさい：

- 将来予測に使える既存の情報は何があるか
- 人や予算はどれくらい使えるか
- 事業実施前のデータとしてどのようなものがあるか
- モニタリング結果を出すべき時間的な制約はあるか

詳細な情報は以下の部分を見よ：

- 3.1節、3.2節、6.4節
- 6.4.2項の例
- 付録4

6. モニタリングに優先順位をつける必要はありますか？

はい — 使える資源を考えてモニタリングすべき対象を絞りなさい。

いいえ — 7. に進む

次の項目について考えなさい：

- 理解を深めるべき最も重要な点は何か（目的をよく考えること。「科学的な証拠を増やすためには」なのか、それとも「費用負担者の要望を満足させるためには（あるいは特定の利害関係者の、かもしれない）」なのかによっても違ってくる）
- 人、時間、予算はどれくらい使えるか

詳細な情報は以下の部分を見よ：

- 6.4.2 項
- 表 6.5

7. 適したモニタリング技法を選びなさい。事業目標に照らして、選んだ方法が事業の成功を証明できると確信を持てますか？

次の項目について考えなさい：

- 対象事業にとって、どの点に関する情報を収集するのが最も重要か。（科学的根拠を増やすことを考えるべきかもしれないし、費用負担者や特定の利害関係者の要望を尊重しないとイケないかもしれない）
- 時間に関して—モニタリングにどのくらいの時間を費やすのか（何年かけるのか、調査時期を1年に何回設けるのか）
- 使える資源（予算と人）

はい — モニタリング計画を実行に移しなさい。

いいえ— 事業目的、モニタリング目標、使える資源を見直して再検討しなさい。

詳細な情報は以下の部分を見よ：

- 第7章、第8章
- 表 7.1
- 付録4、（付録8 から付録13）

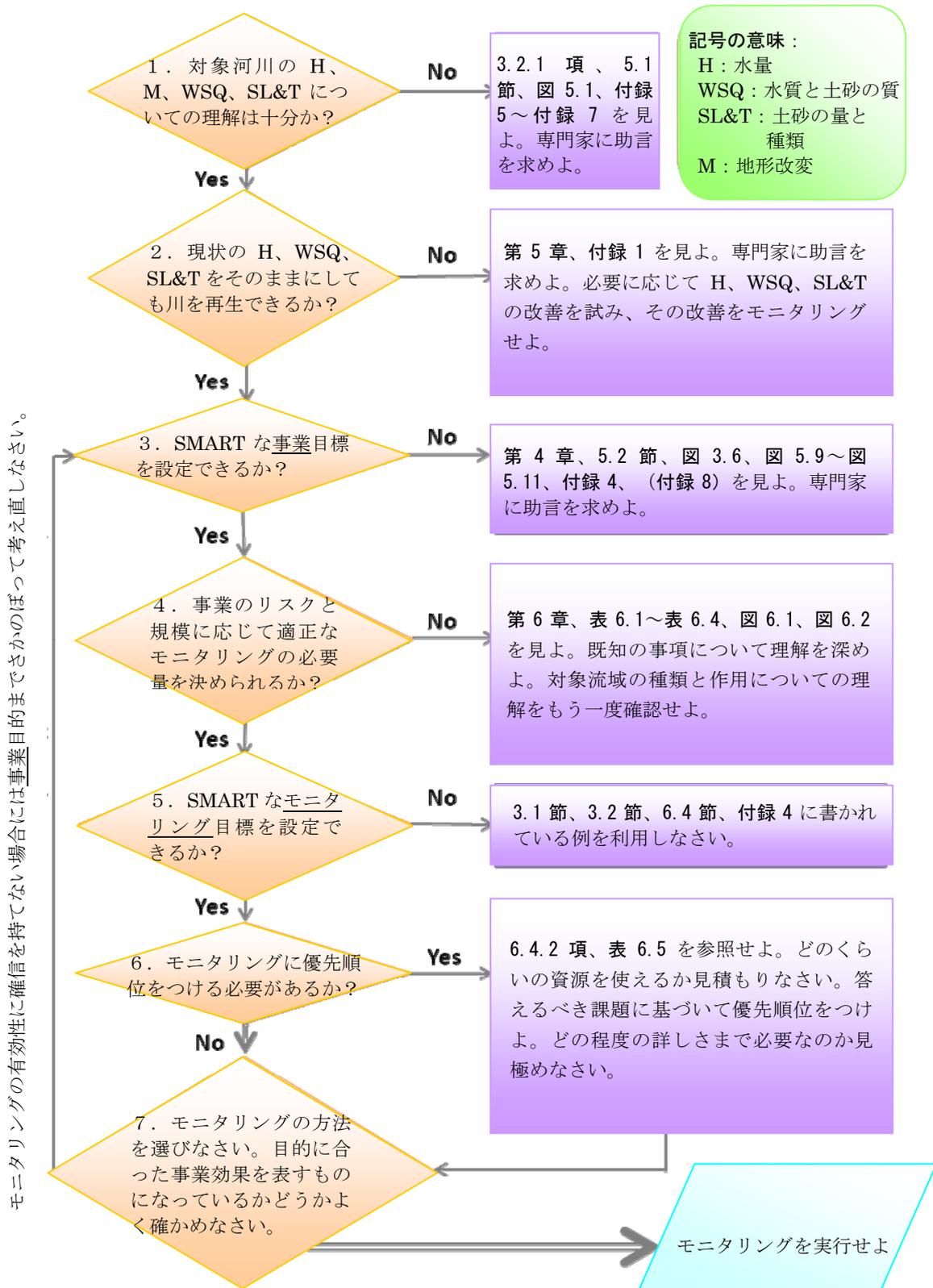


図 2.1 モニタリングを立案していく過程の流れ図
 (上に記したまとめと対応させて読むとよい)

3. 事業の背景

3.1 文献からわかること

学術論文などの科学的な資料を詳しく分析した結果は付録 3 に載せている。要約は次の通りである。

河川の自然再生事業（氾濫原とのつながりを回復させるものを含む）の効果を評価するには、短期と長期の両方からみる視点が必要である。影響区間（事業を実施した場所）と対照区間（事業を実施しなかった場所、そして事業の影響を直接にも間接にも受けていない場所）の両方において、事業実施前と実施後にモニタリングを行うのが理想的である。質的（定性的）なものと定量的なものを組み合わせて評価する必要があるものの、目標が明確に定義されていないと最善の組み合わせ（どこに努力を集中させるべきか）を求めることはできない。

文献から判断されるかぎり、一般的に河川の自然再生事業が生態系と水文地形に与えた効果は明確にされていない。その結果、科学が技術の進展に置いていかれてしまっているような状態にある。効果を主張できる根拠のほとんどは、この種の事業が早くから始まったアメリカの事例に基づいている。そこでのモニタリングは、生物よりも物理的な変化に焦点を当てたものが多い。

一般的な状況としてはモニタリングを伴わない再生事業がまだまだ普通であり、モニタリング結果の蓄積は乏しい。モニタリングが実施されたケースでも、事業目標が十分に練られていないために評価がしづらくなっていることは多い。具体的な目標についていえば、生態系応答の複雑さや各種尺度の変動性を考慮してモニタリングを組み立てる必要がある。対照区間の選び方も重要であり、自然の作用が形作るいろいろな特徴を表現できるようにするのが望ましい。特定の生息場ではなく、こういった特徴や作用の方に注目すべきである。特徴や作用はさまざまな生息場を広く支えるのに対し、特定の生息場が対象区間で効果を発揮するためには何らかの他の条件が同時に満たされることを必要とする場合が多いからである。川の状況は常に動き続けているため、そのような条件はなかなか満たされないものである。

モニタリングの空間的範囲と期間は計測項目に応じてケースバイケースで定めるべきである。変動の激しいものを対象とするからにはさまざまな状況をカバーできるようにデータを集めなくてはならないし、対象区間外からもたらされる影響についても考慮を払う必要がある。

順応的管理（本頁後述）や事業設計へのフィードバックをしなくてはならないという実務的な要請に加えて、資金調達や政策決定のあり方が社会的に変わってきていることで、事業の結果を明確に示す必要性は高まっている。河川再生事業のモニタリングに関する指南書はほとんど存在せず、Phil Roni 編『Monitoring Stream and Watershed Restoration』（2005）がおそらく唯一の書籍である。本書（PRAGMO）は Mant and Janes（2008）と England ら（2008）の枠組にのっとって構成されており、この分野における重要な一步を記すものといえる。河川再生という分野横断的な仕事に携わる実務者にとって、幅広い専門知識に触れられるという意味でも本書の価値は高い。

3.1.1 学術論文以外の資料

学術誌に掲載されている論文ではないものの、河川自然再生のモニタリングの参考となる資料はたくさんある。これらを「灰色な」資料と呼ぶことにし、12.2 節に列挙しておく。

3.1.2 効果的なモニタリングのために必要なこと

河川再生事業のモニタリングは、その事業の目的が達成されたことを示すために行われるものである。であるから、Roni（2005）が論じているように SMART な目標を事業の早い段階のうちに定めておかななくてはならない。そうすることで、モニタリングの結果を分析して自然再生を根拠づけていくことができるし、目的と場所に応じた手法の選択も可能になる。さらにモニタリングを続けていけば、具体的な環境条件のもとで事業のどの部分を修正していったらよいか推測できるようになる。これを「順応的管理（Adaptive Management）」と呼ぶ（付録 2 と図 3.1 を見よ）。

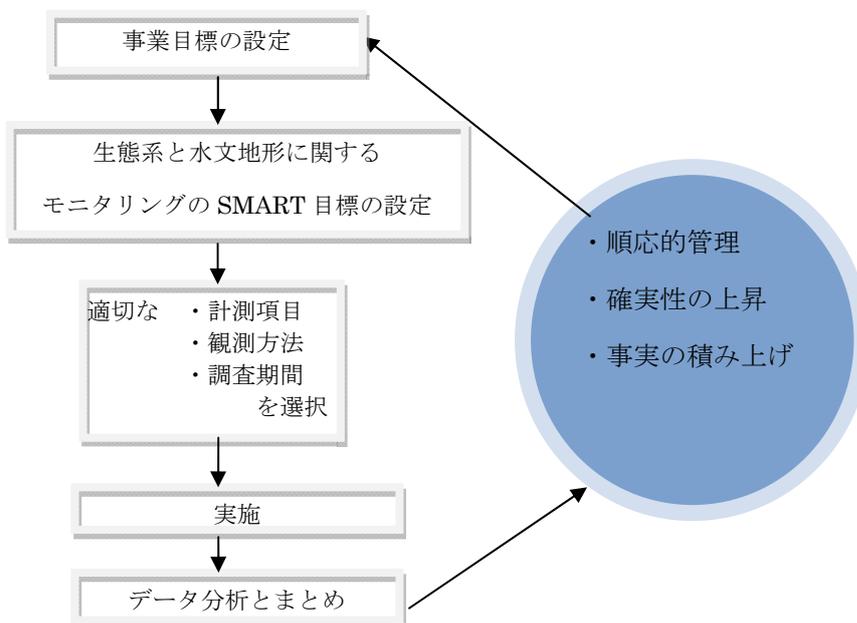


図 3.1 河川再生事業のモニタリングおよび分析の手順（Roni、2005 を改変）

大事なことは：

河川自然再生事業を評価するためには、SMART な目標を準備段階で設定しておく必要がある。その目標は事業方針を正しく表現しているものでなくてはならない。

この段階で目標を設定しておけば、事業成功の判断基準となる閾値を決めることもできるし、予算と人員と時間がどれくらい必要かを明確に計算することもできるのである。

この段階で、事業目的に対応するような既存のデータを収集して整理しておく。

事業の詳細設計段階にあわせてモニタリングの詳細計画を詰める。施工と同時並行してモニタリングを実施できるよう、着工前には計画を完成させておく。

早い段階で事業評価の全体量を確定させておくことにより、事業完了後に成功度を測るモニタリングをもっと効果的に行うことができるようになるし、順応的管理や新技術の導入に伴う技術的な微調整の必要性も把握できるようになる。

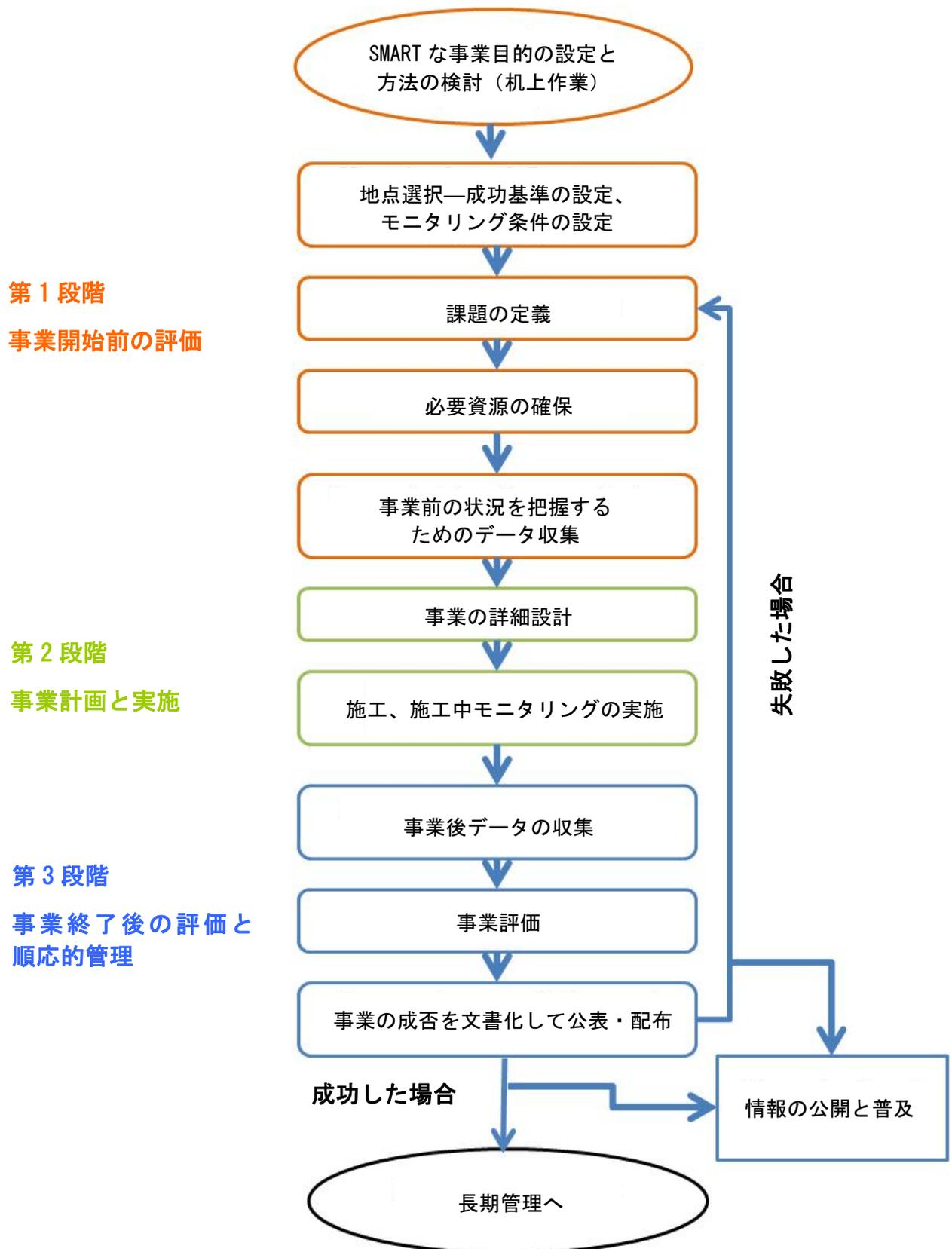


図 3.2 自然再生の手順 (Lydia Bruce-Burgess の学位論文より、2004)

3.2 対象河川の特性把握

3.2.1 水量、土砂、水質

計測項目を決めるには、また自然再生にどんな方法が適しているか検討するには、対象河川の水量と水質と土砂についてよく理解しておかねばならない。なぜなら、それらの要素は生態系にも水文地形にも大きな影響を与えるからである。特に、現実的な目標を定める際（第4章）やモニタリング計画を策定する際（第5章）にはこれらの理解は極めて重要な前提となる。

理解すべきポイントは以下の通りである：

水質と土砂の質は無脊椎動物、魚類、水生植物の成長に大きな影響を与える。多くの種は重金属（道路から雨天時に流れ込んでくることが多い）の汚染に耐える能力は持ち合わせていない。また生物化学的酸素要求量（BOD）、溶存酸素量（DO）、リン（P）、窒素（N）の濃度も生物量や生物多様性に影響を及ぼす。こういった化学物質は河道内を運ばれ、土砂は堆積もする。こういった輸送や堆積のおき方やタイミングは、土砂の種類、流域の特性、流況（流量変動）によって決まる。



図 3.3 農地排水による水質悪化

流送土砂量は河道内で起きる侵食と堆積の作用により影響される。土砂はさまざまな形で河道内へ入ってくる。土砂の種類と量は土地利用（耕地、森林伐採、都市化、採鉱など）によって違い、自然にも人為的にも河道へ供給される（排水路の地質なども影響する）。土砂量とその種類は河川再生事業の成否を左右するほど重要な影響を及ぼしうるため、支流や小流域からの土砂供給も考えに入れなくてはならない。



図 3.4 上流の土地利用変化に伴う土砂供給量の増大

流量変動の変化は無脊椎動物の種多様性に大きな影響を与える。たとえばマツモムシやラムズホーン、扁形動物などは流れの遅い状況を好み、カワゲラ、トビケラ、カゲロウの大部分は流れの速い場所を好む。過度の取水や湛水により流量の変化が生じて自然な河川的作用を損なうことも多い。もともと流れの速かった場所がシルト分の溜まる場所となってしまう、動物相が悪影響を受けてしまう。



図 3.5 流れの速いところで見つかるカゲロウの幼虫

3.2.2 SMART な目標の設定

ときには、水量と水質と土砂の条件を検討した結果として、物理的な技術による河川再生だけでは生態系に良い影響をもたらせないことがわかるかもしれない。そんなときは、まずそれらの要素を改善することから始めた方がよいだろうし、そちらにモニタリングの対象を絞るべきである。そんな特殊な場合を別にしても、水量と水質と土砂の条件からは事業効果の上限を知ることができる。このような情報は関係省庁（イギリスなら環境庁、SEPA、NIEA）に相談すれば得ることができるし、本書の付録にも情報源を載せている。ただし土砂動態に関しては、専用の調査を追加して実施することが必要となるかもしれない。図 3.6 はこれらの基本因子が計測項目に与える影響を図化し、生態系と水文地形の両方について事業目的を定義する助けとしたものである。生態系は生息場の条件で、水文地形は形と作用でさらに分けている。

水量、水質、土砂という3つの要素を理解できれば、具体的で、計測可能で、達成可能で、現実的で、時間を考慮に入れた SMART な目標の検討に移っても大丈夫である。その詳細は本書の第4章に記す。

生態系と水文地形の間に存在する相互作用を知ることは必要不可欠である。ほとんどの自然再生事業は、自然の形や作用を再生するか生物多様性を改善させるかどちらかの文脈で捉えられる。たいていの事業は、特定の生息場を機能させるには自然の作用を変化させなければならないという前提に基づいて行われる。しかし、地形の多様性と変動性を再生させるのが主目的になるところもあれば、喪失された生息場を復活させることを目的とするところもある。そんな場合には特定の物理的特徴を復活させる必要があるかもしれない。

図 3.6 はこういったつながりを示し、自然の作用や生物多様性の視点からみて事業が何をしようとしているのか考える手がかりを与える。この図に従えば、目的設定の際に両方の要素に目を配れる。図 3.6 に付随させた二つの例をみて、生態系と水文地形の要素を一緒につなげた目標設定を理解してほしい。

この段階を踏むことで、事業管理者は河川自然再生事業の重要な要素について理解を深め、何が事業の目的なのか明確に考え、事業の与える影響の複雑さを正しく認識できるようになるだろう。

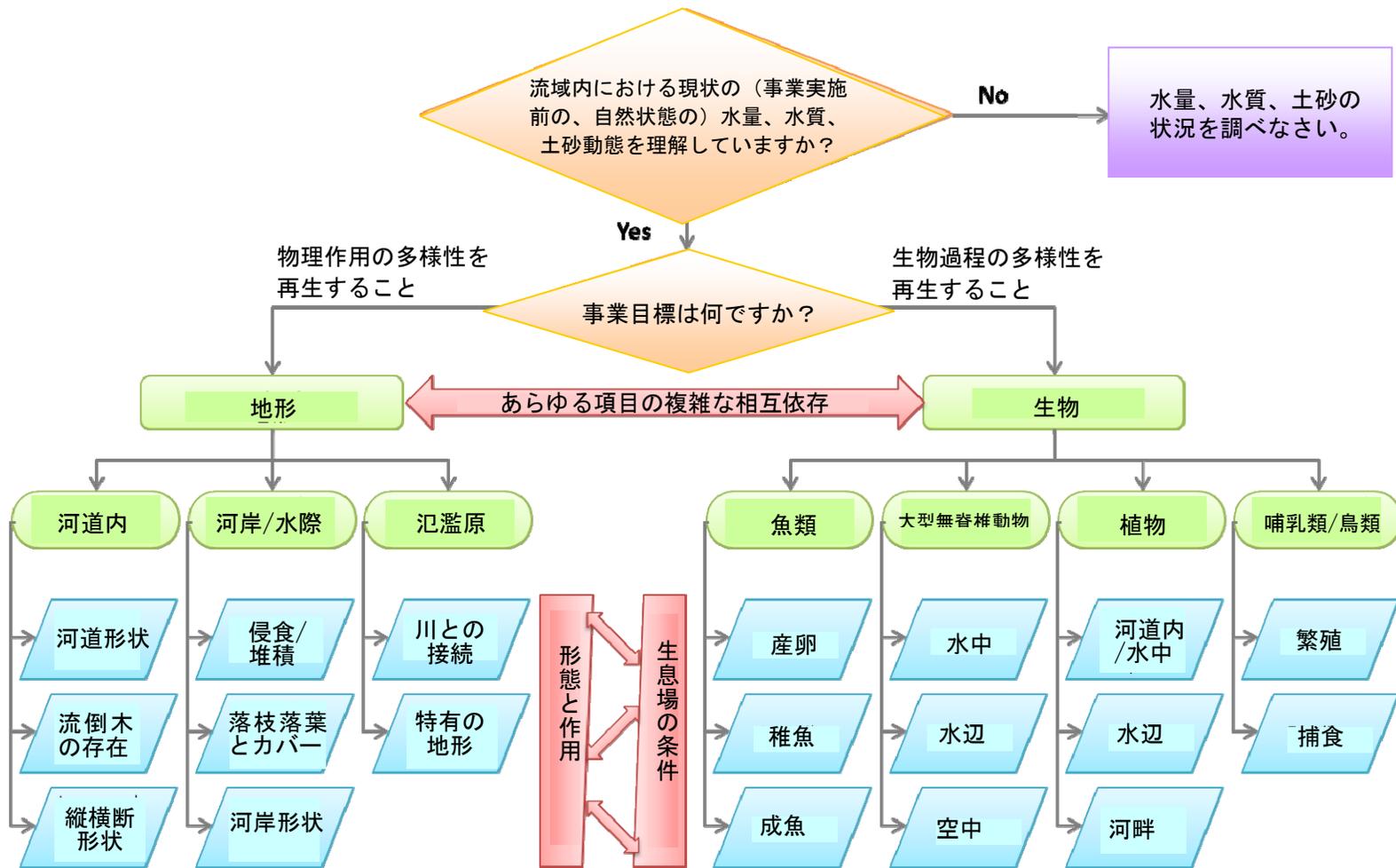
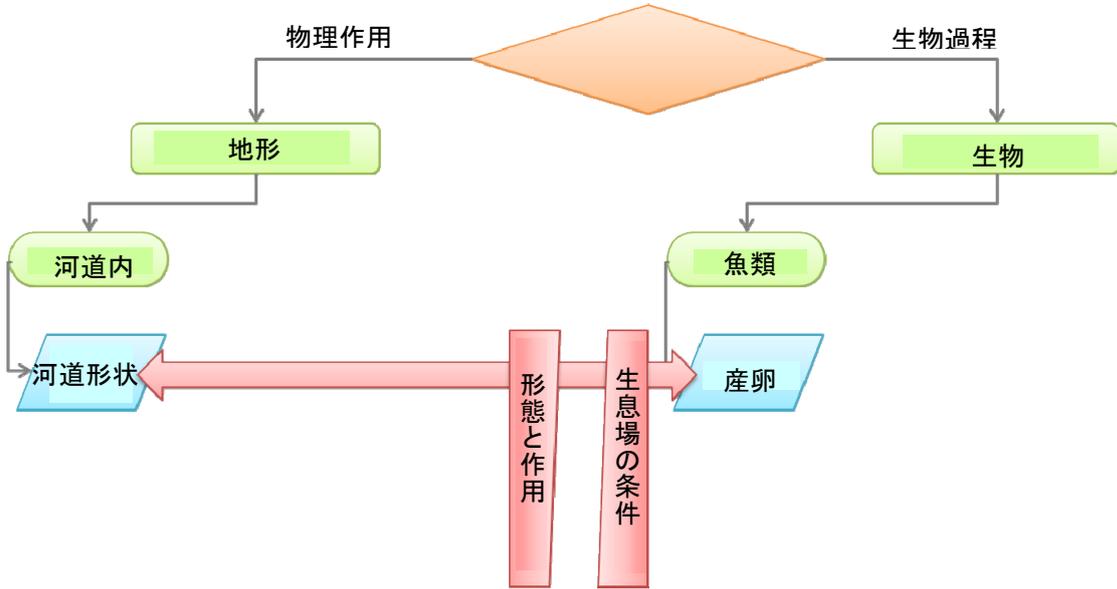


図 3.6 モニタリングの決定の流れ（次の例も参照のこと）

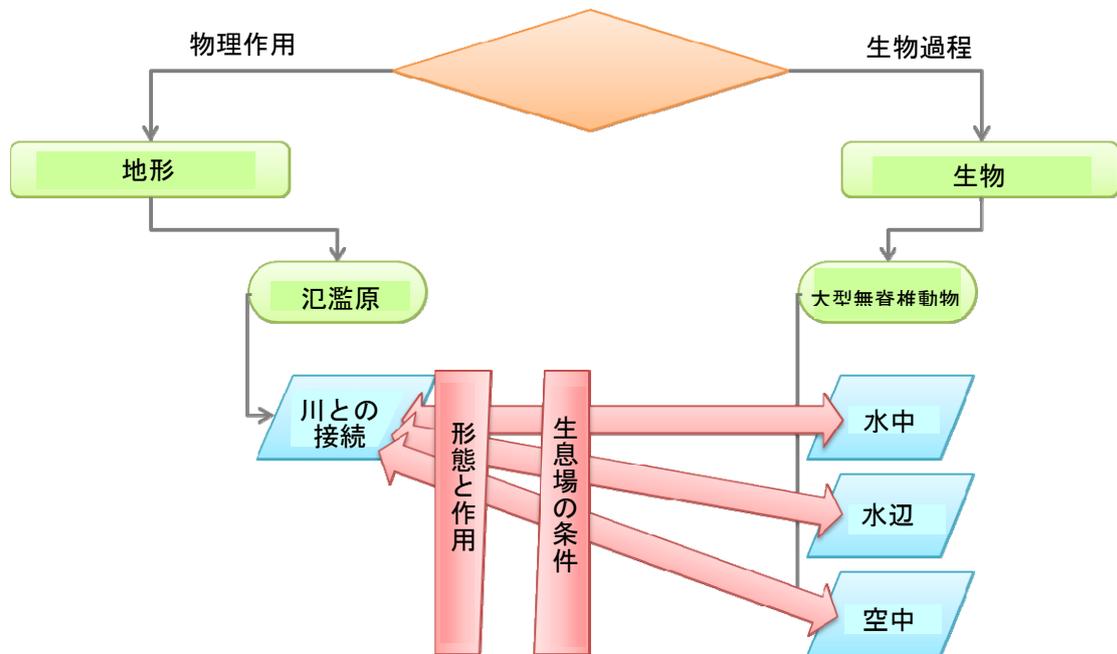
例1：

事業のねらい：サケの産卵条件と卵の生存率を向上させるため、砂利分を供給し川幅を狭めて流速に変化をつける。



例2：

事業のねらい：氾濫原のつながりを回復させ、あらゆる種類の無脊椎動物の全ての成長段階に対応する生息場を増やす。



3.2.3 法制度

国内のそれぞれの地域に、数多くの環境政策や法制度が存在することは知っておくべきである。ヨーロッパでは水枠組指令や生息場指令といった EU の決まりが川の生息場を改善させる動機の一つを占めているが、それに加えて英国内の各国（イングランド・ウェールズ、スコットランド、北アイルランド）がそれぞれ独自の規制を敷いている。以下に情報源となるべきウェブサイト等を記しておくが、河川再生を行おうとする際には初期段階から適切な管理組織に相談して事業をスムーズに進捗させられるよう努めることを勧める。

NETREGS のサイトにはイングランド、スコットランド、アイルランド、ウェールズにおける過去 12 か月の新しい環境規制がまとめられている。

(<http://www.netregs.gov.uk/netregs/legislation/current/default.aspx>)

スコットランドの情報は SEPA のサイト

(http://www.sepa.org.uk/water/water_regulation.aspx)

および、WFD との関係性を記した SNH のサイトを見るとよい。

(<http://www.snh.gov.uk/protecting-scotlands-nature/protecting-nature/water-framework-directive>)

スコットランドにおいて河川の自然再生に関して最も重要な法規制は Water Environment のものであり (Controlled Activities Regulations, 2005)、すべての河川関連事業が従わなくてはならない。この国では漁業に強い関心が払われており、次のような保護法もたくさんある：

- ・海洋甲殻類漁業改正法 (Sea Fisheries (Shellfish) Amendment (Scotland) Act 2000)
- ・サケ及び内水面漁業統合法 (Salmon and Freshwater Fisheries (Consolidation) (Scotland) Act 2003)
- ・養殖漁業法 (Aquaculture and Fisheries (Scotland) Act 2007)

北アイルランドの情報は河川庁のウェブサイトで見ることができる。

(<http://www.dardni.gov.uk/riversagency/index/rivers-conservation/european-water-framework-directive.htm>)

また北アイルランド環境庁のサイトにも情報がある。

(http://www.doeni.gov.uk/index/protect_the_environment/water/water_framework_directive.htm)

しかし水枠組指令は環境改善の達成手段として主に用いられているようである。

イングランドとウェールズの情報は環境食糧農村地域省 (Defra) のサイトから得られる。

(<http://archive.defra.gov.uk/environment/quality/water/wfd/>)

また Natural England のサイトでは WFD との関係や

(<http://www.naturalengland.org.uk/ourwork/position/water/waterdirective.aspx>)

環境保護法についての情報をみることができる。

(http://www.naturalengland.org.uk/regions/south_east/ourwork/standingadvice/protected_species/standingadviceconsultation/casestudies.aspx)

4. 事業目標の設定

図 3-1 に示したように、目標設定には2種類ある。

1. **事業全体の目標**：これにより、事業の成果に関して関係者が明確な共通認識を持てるようになる。また、時間的に最も重要な方法は何か、どの側面に労力を集中すべきか、結論をまとめるためにはどのような詳細調査を行えばよいか、といった点がわかってくる。

2. **モニタリングの目標**：モニタリング目標を設定することで、モニタリングが具体的な要請に応えられるように計画されているか確かめられるようになる。事業目標によってはそれ以上の検討を要さないこともあるし、一つの事業目標に対して複数のモニタリング目標が設定されることもある。

いずれの場合でも、目標設定にあたっては SMART を意識することをすすめる。SMART を意識することで、適切な目標を確実に設定できるようになるだろう。この手法についてのより詳細な解説は付録 4 に示しているが、その要点は次のような目標群を設定することである：

SMART とは

- ・ 具体的である (**S**pecific、具体的な、詳細な、はっきりと定義された)
- ・ 計測可能である (**M**easureable、量、比較)
- ・ 達成可能である (**A**chievable、妥当性がある、実行できる)
- ・ 現実的である (**R**ealistic、使える資源を考慮して)
- ・ 時間を特定している (**T**ime-Bound、期間が示されている)

4.1 SMART を意識した事業目標の設定

4.1.1 第1段階—ねらいの設定

はじめに、事業全体のねらいを設定する。例えば、

- ・ 氾濫原の変動性を再生させるために川とのつながりを復活させる
- ・ 河道内の生息場の不均一性を高める (量と質の両面から)
- ・ 堰の上流側におけるサケの産卵機会を増やす

これで、何を望んでいるかは明確になるが、まだ実際に何をすればよいか、どうやって成果を計るかはこの段階ではわからない。

4.1.2 第2段階—具体的な事業目的

事業のねらいをかみくだいて具体的な目的群に書き換える。例えば次のような感じになる。

注：これらは参考例であり、完全なものではない。



事業全体のねらい：氾濫原の変動性を再生させるために川とのつながりを復活させる

- ・適切な河床高をもつ蛇行河道を新たに掘り、流量変動に応じて氾濫原と河道がより自然に繋がるようにする。
- ・氾濫原の植生を増やす。
- ・周辺の資産に対して少なくとも現状並みの洪水安全度を確保する。

事業全体のねらい：河道内の生息場の不均一性を高める

- ・大型無脊椎動物にとっての生息場を多様化させるため、流量の変動性を改善する。
- ・魚類の避難場を創り出す。
- ・石灰岩質河川の典型的な生息場の形成をうながす。



事業全体のねらい：堰の上流側におけるサケの産卵機会を増やす

- ・堰を撤去して上流の砂利河床まで魚が通っていけるようにする。
- ・川幅を狭め、堰地点周辺の砂利が常に洗われてきれいな状態に保たれるようにする。

こうして核となるねらいが定まり、河川自然再生の技術と対応した具体的な目標を見つけることができるようになる

4.1.3 第3段階—SMARTな目標の設定

ねらいや目的が具体化されたところで、SMART目標を下の例のように設定できるようになる。この時点で次のことがわかるはずである。

- a) 事業の成果をどの程度計測可能か
- b) 事業規模と使用可能な時間および資源に照らして何が現実的か

AとRとT：対象区間では何が達成可能か、何が現実的か、そしていつなのか

この後に示す例では、事業目標の中でも具体的な部分と計測可能な部分の特記している。SMARTのうちA、RおよびTは全ての面に影響し、より包括的に適用される。考慮すべき点をいくつか挙げておく。

A：達成可能かどうかは、類似事例から得られる根拠をもとに判断すべきである。

助言を求め、類似事例を探しなさい。対象項目についての「対照状態」（手本とすべき自然の状態）が存在しないこともあるので、文献をよく読み、できるだけ人間の影響を受けていない川を流域内の近くで探して推測する必要がある。

R：利用可能な資源（資金、人員、時間）をよく検討すること。事業完了後に必要となってくる長期的な維持管理のことも考える必要がある。モニタリングを実施しているうちに、事業完了後に何が必要かは特定できてくるはずである。

利害関係者が深刻に懸念している事項はあるかどうか。それを払拭もできず回避もできない場合には、とりうる手段は大きく制限されるだろう。

T：事業期間の長さが決まらなると資源を振り分けられないが、タイミングもきわめて重要である。

季節によってさまざまな点に違いが出てくる。調査地点への近づきやすさ（地面が柔らかい時期には植物は大きくなれない）、流量（流量が多いと河床や河岸に近寄れない）、生態系の攪乱（例えば産卵期やその直後に河床掘削をしたらサケは完全にいなくなってしまうし、氾濫原での工事と鳥類の営巣にも当然関係がある）、植物の成長、その他である。

注：次に示す例は SMART の過程を理解する一助とはなるが、全ての選択肢を網羅しているわけではない。目標や目的は個々の事例に合わせたものでなければならないからである。

例 1：氾濫原の再生

事例：粘土質の低地流域に広がる農地を流れる 2km 長の河道区間において蛇行を復元させ、氾濫原との連結性の向上を図る。氾濫原には植林を施し、長期的には流路内への落枝や倒木の供給源と化して生物多様性の改善に寄与するものと期待する。周辺の資産は洪水の被害を受けないようにする。

主要目標：

- ・適切な河床高をもつ蛇行河道を新たに掘り、流量変動に応じて氾濫原と河道がより自然に繋がるようにする。
- ・これにより局所的に流速が遅くなり、洪水時のピーク流量を低減できる。
- ・氾濫原の植生を増やす。
- ・あらゆる資産に対して洪水リスクが高まらないようにする。
- ・生息場の多様性を高める。

SMART 目標の設定：

- ・対象区間に新しい蛇行河道を掘り、元の流路に対し適切な割合をもって流路を長くし、蛇行度を増加させる。
- ・河床高を新たに設定して氾濫の頻度を増やす。
- ・一様でないパッチ状に河畔の植生を増やし、木本類の陰になる水面の面積を増やす。
- ・氾濫原に湿潤な林地を作るため元から流域に繁茂する在来種を植え、木本の被覆面積を増やしなが、裸地も残す。
- ・浸水の危険がある資産の周囲には、川からできるだけ離れた位置に堤防を設置して、最低でも現在と同等の安全度を維持する。
- ・大型無脊椎動物の多様性を高めるために、河道と氾濫原の形態を多様化する（瀬、淵、とろ、池、一時的浸水域など）。
- ・越冬する水鳥の種数や生息数を増やす。

具体的

計測可能

例 2: 河道内生息場の増加

事例：石灰岩質の低地流域において河道内生息場の増加を図る。いくつかのわんどを掘る余地はあるものの、ほとんど全区間にわたって両岸に農地が接しているため、河道内にしか手を入れられない。魚類、大型無脊椎動物、水生植物、河畔植生のどれにも偏らずにそれぞれの生息場がモザイク状に組み合わせられた状態をつくりたい。



主要目標：

- ・魚類の避難場所をつくる。
- ・石灰岩質河川の典型的な生息場の形成をうながす。



SMART 目標の設定：

- 最低 2m の水深を持つわんどを 2 箇所掘り、面積の合計は 50m²以上とする。
- 河道の幅や深さの多様性を高めるため、少なくとも 8 箇所です局的に河道の断面積を減らす。これには粗朶沈床などの適切な技術を用いる。
- 梅花藻に覆われた河床の面積を増やす。

具体的

計測可能

例 3: 堰の撤去

事例：流量変動の激しい山地急勾配流域の礫床河川に堤高 2m の堰が設置されている。この堰はサケ類の移動を阻害しているが、老朽化が進んだため撤去を検討することになった。堰の上流側には大量の砂利と細粒土砂が堆積しており、その量と影響を調べておく必要がある。現在の湛水域では河道を狭める工事が必要となると予想される。

主要目標：

- ・ 堰を撤去して上流の砂利河床まで魚が通っていけるようにする。
- ・ 川幅を狭め、堰地点周辺の砂利が常に洗われてきれいな状態に保たれるようにする。



SMART 目標の設定：

- ・ 2 シーズン以内に上流の砂利河床部におけるブラウントラウトの産卵数を増加させる。
- ・ 11 月にこの区間を通る魚類の総個体数を増加させる。
- ・ 現地で手に入る木柵をつなぎ合わせて構造物を作り、堰地点から上流側 60m の長さにあわせて川幅を 30% 狭める。(工事完了時点でこの状態になっているか)

具体的

計測可能

時間の設定

ここまでで、事業が成功する可能性を見積もることができ、用いる技術の選択理由を説明でき、事業に伴うリスク、工期の見通し、制約条件とおおよその工費もわかるはずである。

注：専門性や事業の種類によっては、計画のリスクや用いる技術の妥当性、必要な追加的研究などを見極めるために、専門家の助言を求める必要性が生じることもあるだろう。

5. 物理作用と生物の関係

5.1 対象流域の水量、水質および土砂の状況を理解することの重要性

本章と付録の関連部分（付録 5～7）では、水量、水質および土砂の状況を理解しておくことの重要性について述べる。3.2.1 項でも述べたように、事業の具体的方策を検討し始めるより前にこれらの点について理解しておくことが重要である。

水量と水質と土砂の組み合わせが、その川に現れる生息場を形成し維持する支配的な要因である。だからこれらの3つの要素は重要なのである。

図 5.1（図 3.6 の一部を取り出したもの）を見れば、これらの要素を考慮することがいかに重要か、改めてわかるだろう。

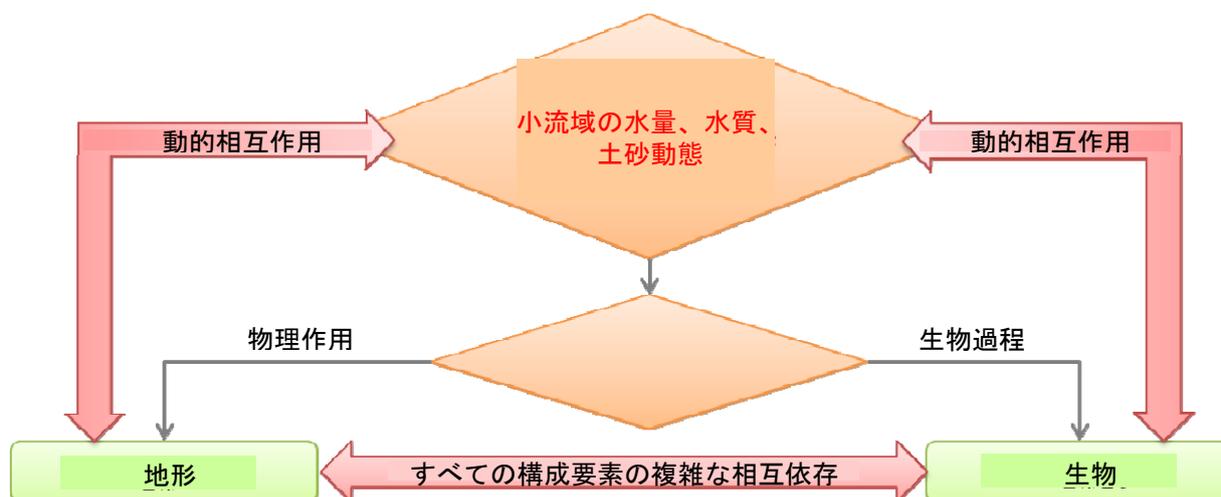


図 5.1: 河川自然再生事業に対する地形と生物の応答に高次の外力（水量、水質及び土砂動態）が及ぼす影響（この後に詳述）

5.1.1 水量

水量に関する詳しい説明と重要な情報源については付録 5 を見てほしい。単純にいうと、川の流量は水の流速と断面積の関数である。流量は体積で計測され、 Q という文字で表される。単位は立方メートル毎秒、あるいは「キューメク」で表される（例えば $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$ が 3.0 キューメクである）。

式で書くと

$$Q = V \times A$$

ただし、 Q を流量、 V を流速、 A を断面積（幅×水深）とする。

これらは水量に関する最も重要な変数であるが、単純に測ることができる。

河川の自然再生という観点からは、以下のようなことが重要である：

洪水時（最大）流量および**渇水時流量**は、河道内で行われた工事に対して自然の作用と生物多様性がどのくらい変化するのか、その限度を決める要因となり得る。これらの限度をよく知っておくと、何が起こりそうかを予測しやすくなるし、何をモニタリングすればよいか決めやすくなるであろう。

集水域の流出特性（地質や土壌のもつ水文学的な性質）を知ると、上に述べた最大および渇水時流量に加え、それらの違いや季節変化を推計できる。例えば、極めて都市化が進んでいる集水域の河川は「瞬間的」であり、雨が降ると水位が急激に上昇しやすく、水位の低下もかなり速い。より浸透性が強い石灰岩の集水域では、水の流出はより穏やかであり（降雨が地下水へ浸透するため）、河川へ水が出てくるまでもっと時間がかかる。

5.1.2 水質

水質汚染もまた、自然再生の効果を左右する大きな要因となりうる。汚染には、拡散によるものと、点源からのものがある。特に生態系の回復に与える影響が大きい。大まかに汚染には以下のようなものがある（詳細は付録6に述べられている）：

有機汚染物質は生物的反応と化学的反応の両方を引き起こす元になる。

富栄養化（水中の硝酸塩やリン酸塩のような無機性栄養塩が増え、藻類が急速に繁茂する。この膨大な生物量は水生植物を圧迫し、食物網を壊してしまう。また分解し始めるときに溶存酸素を劇的に消費して減少させる。）

酸性化は鉱山排水と関連して引き起こされることが多い。

重金属（例えば水銀、カドミニウム、鉛）が重工業から排出されると長期間にわたって滞留し、土砂の中に蓄積される可能性がある。自然再生計画のなかで堆積土砂の移動を見込んでいる場合には特にこのことを考慮する必要がある。

排熱の影響もまた淡水生物の生息を限定する重要な要因となることがあり、生態系における種の構成を変化させる。

5.1.3 土砂輸送

侵食や土砂堆積の作用は、河川における生息場の多様性を生み出すために特に重要である。この変化や物理／生物相互作用を測ることは、河川の自然再生を評価するうえで鍵となることが多い。

集水域の影響（地質、水循環、そして降雨に対する集水域の**流出特性**といった自然の要素）と人間の影響（例えば**土地利用**や堰のような**湛水構造物**など）を理解できれば、事業の成功確率は高まるであろう。図5.2には、集水域内の土砂輸送の頻度、量、種類と距離に影響を及ぼす活動の例が示されている。

対象流域における土砂の影響を推定するのに役立つ情報源
 注：必要に応じて、これらの資料の読み方について地元の環境保全または漁業機関の職員に助言を求めるとよい。

河川流域管理計画（RBMPs）を見ると、個々の集水域における土砂の問題について概観がわかる。EA、SEPA もしくは NIEA を通して入手可能である。土砂を原因とする圧力やリスクを示した地図が含まれており、EA の地域事務所の職員にたずねれば内容を説明してくれる。

土砂に影響を受けやすい無脊椎動物の割合（PSI）の指標は、その無脊椎動物群集が土砂に対する耐性を強く持っているかどうかを判断するのに使える。また過剰な土砂が重大な問題となるかどうかを特定することにも使える。このデータは EA から入手可能である。

『土砂に関する諸問題』は EA が 2011 年前半に公表したハンドブックであり、関連した e-ラーニングパッケージとともに入手可能である（Science Report SC080018/SR）。

『応用河川地形学ガイドブック』は複数の研究開発プロジェクトを総合的に扱っている、e-ラーニングパッケージ付きの英国環境食糧農村地域省報告書 FD1914 であり、土砂の評価方法や、さらなる情報の検索先について詳細を記述している。この e-ラーニングパッケージを使えば、集水域をどう理解すべきか概要を知ることができる。

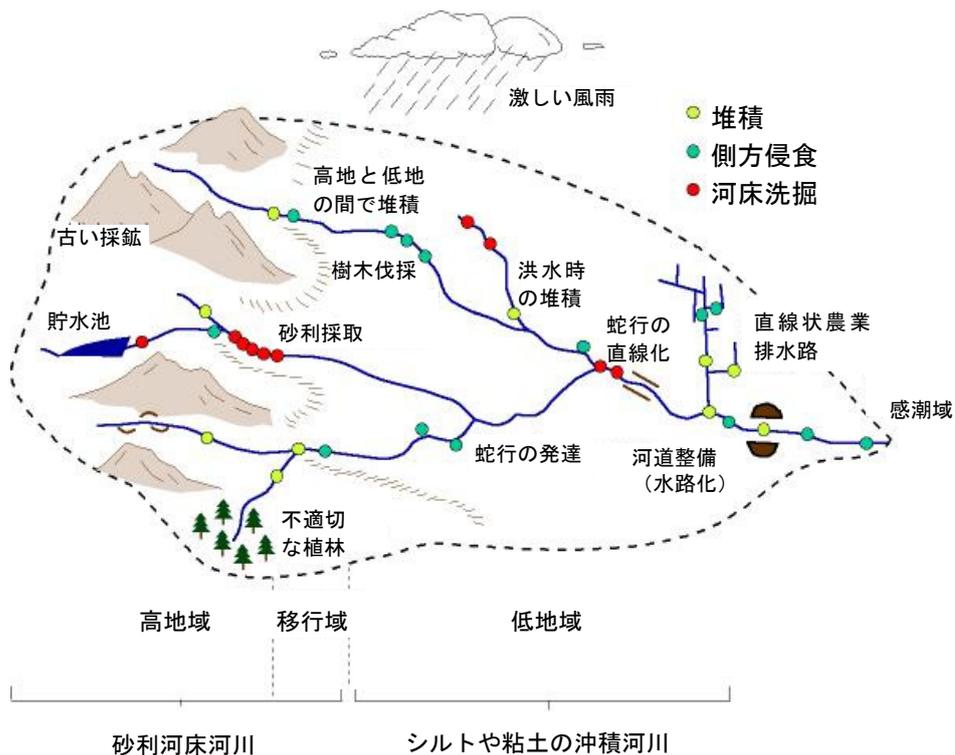


図 5.2 『応用河川地形学ガイドブック』より（Sear, Newson and Thorne, 2010）

土砂の変化と環境への影響

河床材料の種類や位置、移動は、川の形を定め、それによって生息場を決める本質的な要素である。一般的に生息場を損なうのは細かいシルト質堆積物の増加であるが、巨礫や砂利が問題を引き起こすこともありうる。たとえば既存のふ化場やカワシンジュガイがすんでいる場所に、巨礫や砂利が大量に堆積してしまうような場合がそれにあたる（突然の河岸崩落や上流からの砂利流出が起きたようなところ）。以下に、この点からみて重要な要素をいくつか挙げる。

魚

魚の種組成の変化—土砂量の多い条件に適応する種と適応しない種がいる。

産卵場となる砂利が覆い隠される。これは特にサケ類へ影響をおよぼす。

過剰なシルト分によって河床に付着した植生の量に変化がおきる。その結果物理的および生物的な生息場の構造に影響が及ぶ。

濁りが増すことで、視覚を使って捕食する動物から獲物がよく見えなくなる。また、えらを直接損傷する可能性もある。

無脊椎動物

無脊椎動物の群集に変化がおきる。

二枚貝（例えばカワシンジュガイ）のような、ほとんど動かない種が覆い隠されてしまう。

砂利の間隙（石と石の間のすきま）をふさぎ、そこにすむ生物の生息場が失われる。

植物群落が変わることで、食物としても、また物理的生息場としても条件が変化する。

植物

種の変化、および機能型（functional type）の変化。

洪水に対する根の浮遊抵抗性の変化。

基質中の栄養分の利用可能性に関する変化、有毒な汚染物質の影響。

氾濫原の植物を覆い隠してしまうような堆積（これは反対に、新しい種子源や有機物が入り込みやすくなるという観点からはプラスである）。

湿地の鳥

餌の種類の手可能性における変化

5.2 生物多様性と物理生息場の相互関係

図 3.6 は河川生態系において相互に作用する物理および生態要因を考慮するための枠組を示している。以下のセクションでは、河川の自然再生という文脈から主要な相互作用や関係について概説する。何をモニタリングすべきか決めるにあたっては、これらを理解することがきわめて重要である。これらの相互作用は数多く、とても複雑だが、考慮に入れば入れるほどモニタリングは有効なものとなる。端的に言って、物理的な生息場が複雑になるほど種の多様性は増す（図 5.4 参照）。

5.2.1 魚

魚の分布は、河川の流れや地形と関連が深い。流速の速い乱流を好むブルヘッドのような種もいれば、ブリームなどはもっと流れの遅いところにいる。同じことがリーチスケールから微小生息場のスケールまであてはまる。泳ぎの得意な種であっても岸边や背水域、巨礫のかげのように流速が遅い場所を探していたりする。

成長段階に応じて生息場の条件が変わるため、かなりの距離を移動して川を上ったり下ったりする魚も多い。産卵に水生植物や砂利を必要とするものもいる。稚魚には速い流水や捕食者からの避難場所が必要である。成長するにつれてちがう種類の無脊椎動物をエサとしていくものもいる。



図 5.3 ヨーロッパブルヘッド (*Cottus gobio*)

産卵のため乱流と石を必要とする (James Holloway の好意による)

5.2.2 無脊椎動物

無脊椎動物は、シルト質がたまった淵から流速の大きな山地河川の大礫や巨礫域まで、さまざまな場所にすんでいる (図 5.5 および図 5.6 参照)。水路の形態や流量は無脊椎動物の生息場を決定する重要な要素である。成長して空中に出ていくような昆虫にとっては水中から離れる手段として抽水植物が特に重要であり、そのため水際域が鍵となる。

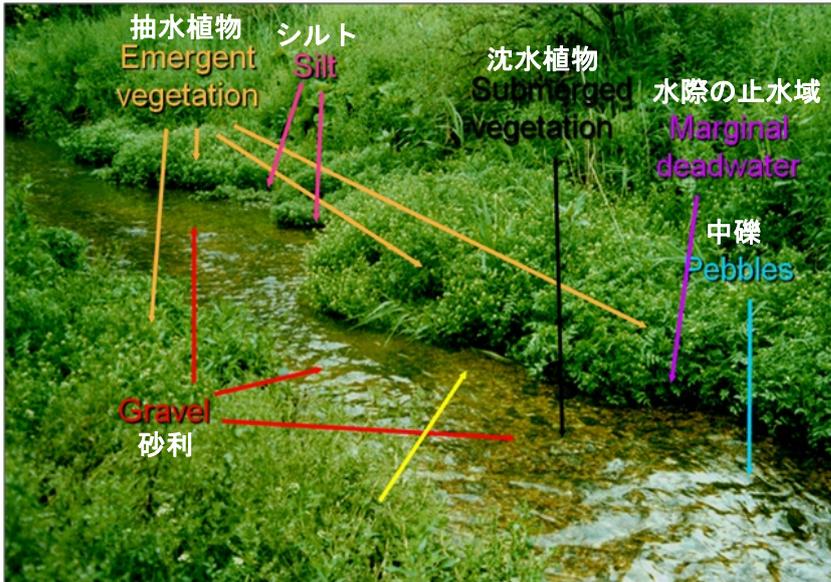


図 5.4 さまざまな生息場条件がいろいろな種を支えている (Judy England の好意による)



図 5.5 流速の遅い環境にみられる淡水のカサガイ (*Ancylus fluviatilis*)



図 5.6 細粒土砂に埋められないために流速の速い環境を必要とするトビケラの幼虫 (*Sericostoma personatum*)

5.2.3 植物

植物は、河道内、水際域、河岸、河畔や氾濫原に存在する。河道の形が決まると、それぞれの場所における水分の得やすさが定まり、植物の生息場が決まる。基質が安定しない場所では植物が生きていくのは難しく、安定した場所の方がはるかに継続的に植物群集が形成される（図 5.7）。

植物の有無と種類は、すべての河川生物にとって生息場の状況を決める第一の要素である。無脊椎動物にとっては特にそれが言える。すみかの物理的な構造を定め、流れに影響を及ぼすことに加え、植物は直接的にも間接的（藻類の基質となって）にも食物源となる。さらに、多くの無脊椎動物は植生帯の中で産卵を行い、若い魚は捕食されないよう植物のつくるカバーへ避難する。

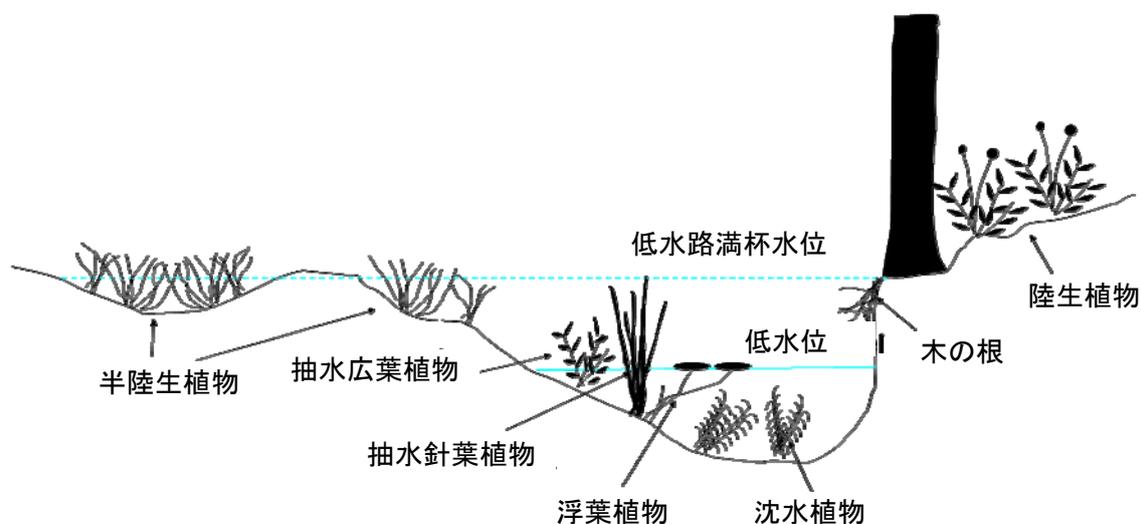


図 5.7 河川断面内位置による植物の種類の違い（Judy England より）

5.2.4 哺乳類と鳥類

イギリスの河川には厳密な定義に従えば水生哺乳類は存在しないが、カワウソ（図 5.8）やミズハタネズミはその生活の大部分を水中や水辺で過ごす。カワウソにとって、河川は食物（魚）を得る場となり、川の土手は隠れ家となったり、川に沿って何十キロも移動するための通路となったりする。同じように、垂直に切り立った河岸はミズハタネズミにとって潜り込む穴を掘るべき場所となり、水際や流速の遅い場所に生える水生植物は巣を作る材料や食物を与えてくれる。現在、アメリカンミンクもまた、イギリスにおける多くの河川生態系で重要な役割を果たしている。

多くの鳥類は、食物や巣作り、隠れ家、生息帯として川を利用している。彼らの生存は河川における生息場の多様性や食物源として不可欠である魚、植物、無脊椎動物の豊富さに左右される。



図 5.8 ヨーロッパカワウソ

5.2.5 河道内地形

これまでの研究によると、種の豊かさを決定する最も重要な要因は生息場の多様性であると考えられる。生息場の分布に影響をおよぼす要素には、流速、河床材料、倒木、有機堆積物、そして植物がある。これらすべての要素が食物網の高次の段階を支える重要な大型無脊椎動物群に影響を与える。

倒木は食物をもたらし、生息場の形態を作り、局所洗掘や侵食に対する抵抗力を高める。倒木が流れを堰き止めると地形作用や生態系に影響が及ぶ。

局所的な流速は、その地点における大型無脊椎動物の生存に直接影響を与える。流速と河床材料の構成にも関係がある。最も流速が大きくなるのは洪水時の「河道形成流量」が流れるときであり、このとき最も激しく地形が動かされる。

川の中にシルトや砂成分が増えると堆積物の不安定性が高まる。これは動物相に悪影響を与えることが多い。

5.2.6 河岸と水際域

河道内の生息場はもちろん重要だが、河岸や水際域が川の生物多様性の大部分を担っていることも多い。水際の植物は大型無脊椎動物の産卵や避難に使われ、多くの動物にとって水中と陸上の環境をむすびつける役割も果たしている。生殖や再生の中心地であり、洪水時の隠れ家でもあるのである。

水辺域はまた落ち葉の供給源であり、その場所の生態系の構造は有機堆積物の現存量に極めて大きな影響を受けていることがわかっている。この植物体は生息場の構造に影響を及ぼすが、さらに言えば河川生態系の重要な要素である破碎食者型の無脊椎動物の食物となる役割としても重要性が高い。

5.2.7 氾濫原

氾濫原は川の自然再生において重要な位置を占める。なぜなら氾濫原は構造上の多様性を高め、さまざまな動物の各成長段階に適した生息場をもたらすからである。川と氾濫原の連続性を強めると、川から氾濫していく流れに乗って土砂や水や栄養塩が運ばれ、短期および長期にわたって氾濫原に蓄えられることになる。川と氾濫原がつながっていると多くの種は避難場所を得ることができ、越冬する鳥は捕食の場所を得ることができる。これらの相互関係の一部を図 5.9 に示す。

5.3 相互作用—つながりを理解する

図 5.9 から図 5.11 は物理作用と生物過程のつながりを理解してもらうためのものである。これら 3 つの例は第 4 章で概説されたものであり、SMART 目標が設定されている。一つめは氾濫原の動態を再生するために氾濫原を川と結びつけるものであり、二つめは河道内生息場の変動性を高めるものであり、三つめは堰の上流側でのサケ類の産卵を増やすものである。ここで重要なのは、すべてのつながりが適切なものであることを確認できるようにすることである。選択肢の全体については図 3.6 を参照してほしい。

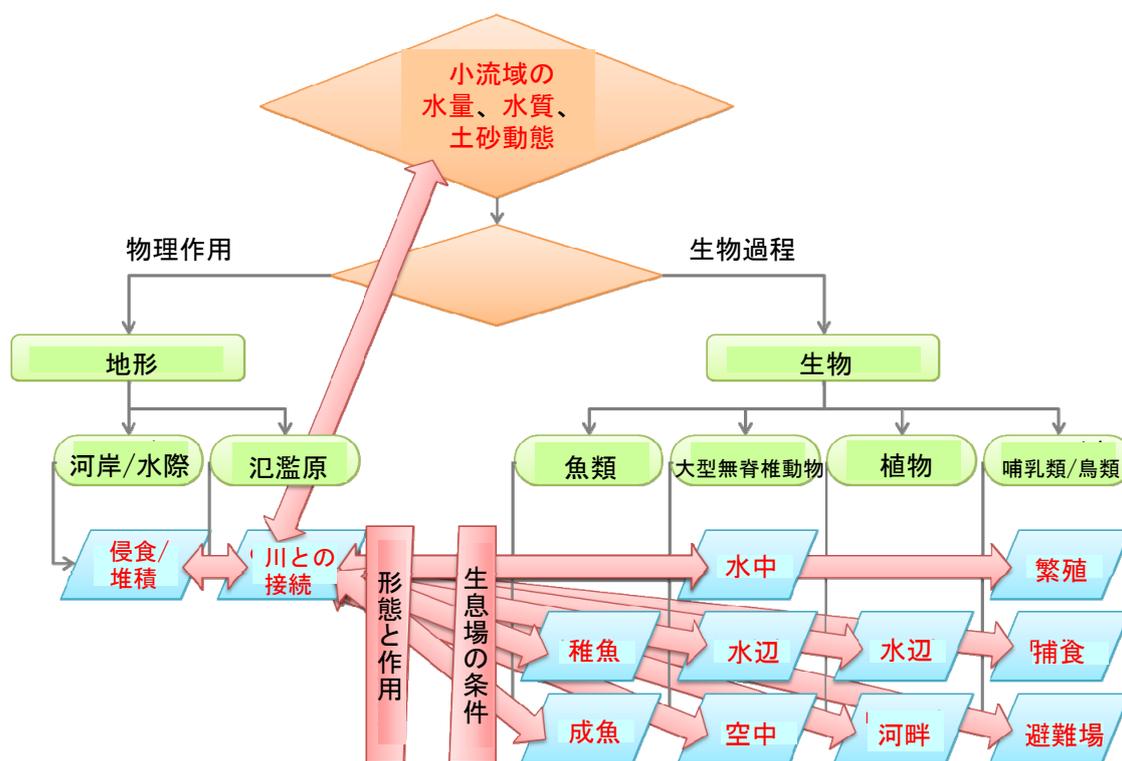


図 5.9 蛇行と氾濫原の自然再生に影響を受ける相互依存の一部

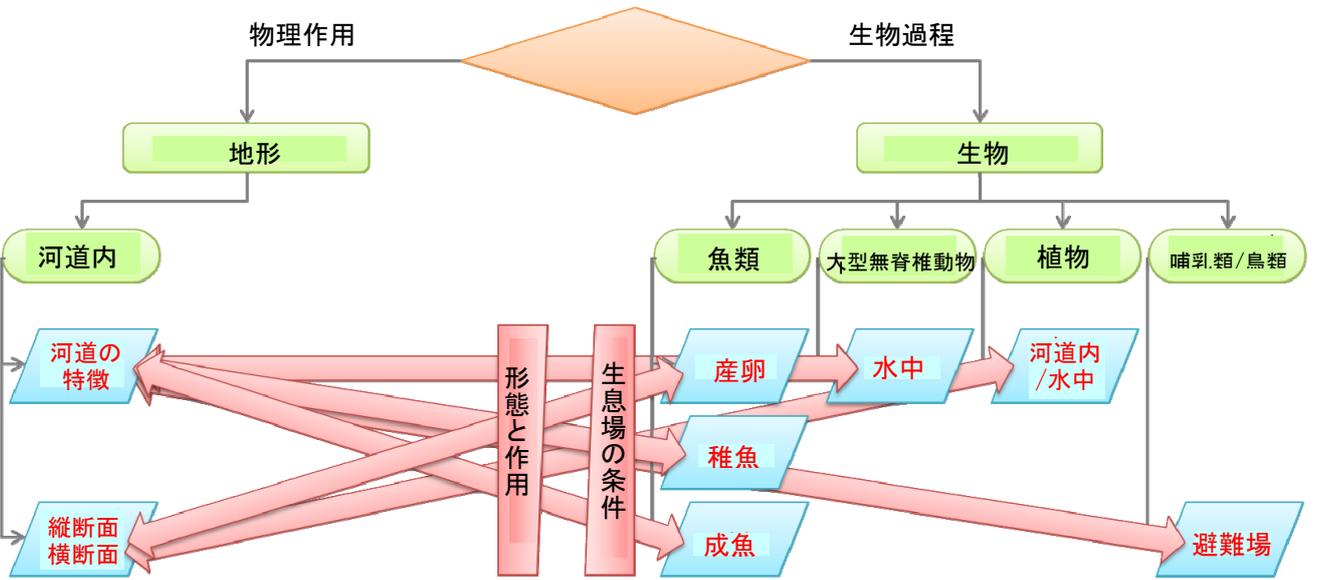


図 5. 10 石灰岩河川における背水域や河幅縮小に影響を受ける相互依存関係の一部

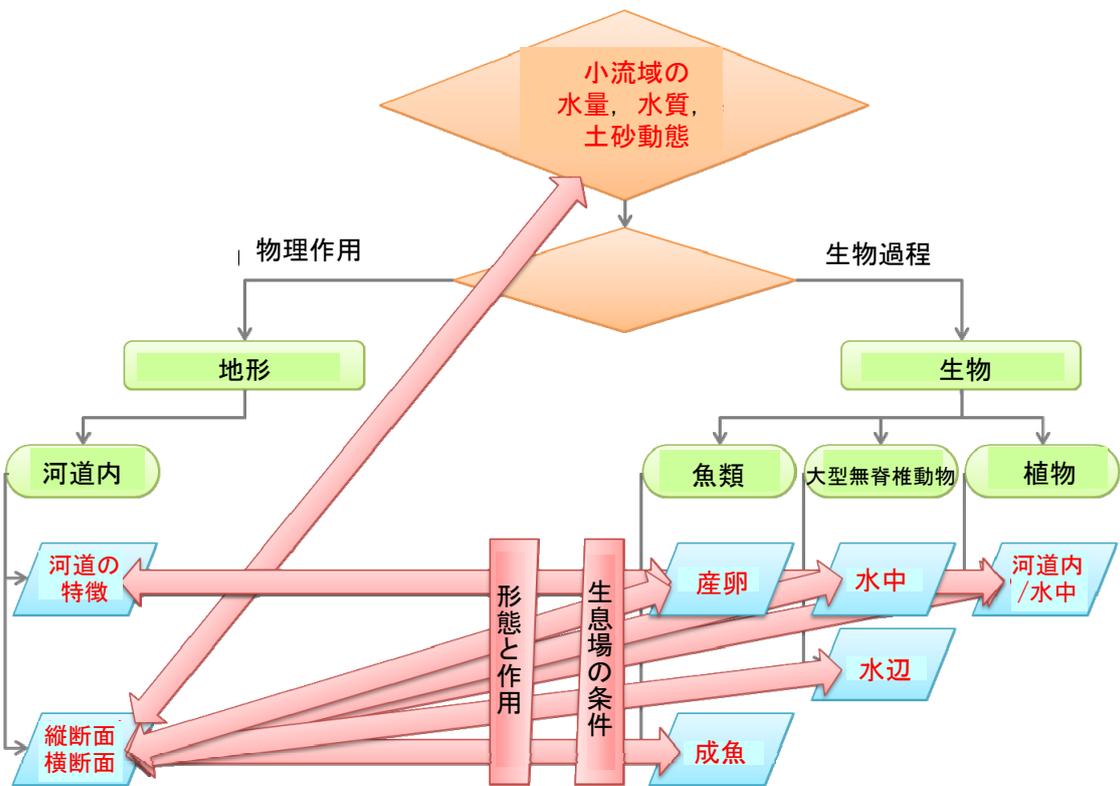


図 5. 11 魚の移動を目的とした堰の撤去に影響を受ける相互依存関係の一部

6.1 事業リスクの推定

考慮すべきリスクの要素は二つある。技法が十分に確立されているかどうか、それに力学的な丈夫さである。どちらも対象流域と河道の状況に依存する。

6.1.1 成功事例の数と不確実性

表 6.1 は対象河川において特定の技術が使用された回数と、(特定の河川に限定せず)一般的にどれくらい信頼できる技術なのかを評価している。例えば、粗朶を用いて水路幅を狭める方法は石灰岩質の小河川ではよく使われ、うまくいくことがわかっている。しかし規模が大きく流れの力が強い川に同じ技術を適用した例は少ない。同じように、水際に植生を導入する方法は広く採用されているが、流量変動の激しい大礫河床の溪流よりは低地の粘土河川で用いられることが圧倒的に多い。池沼や湿地の創出や再接続といった手法は氾濫原で多く使われる。

したがって：

石灰岩質の小河川における粗朶の利用はスコア 1 となる (その流域にて使用実績が多い)

スコットランドの小川における粗朶の利用はスコア 3 となる (他河川では技法の使用例は多いがその流域では少ない)



スコアの数値は自然再生の帰結がどれほど不確実か (予想しにくい) を示すことになる。

表 6.1 リスク計算行列 1 = 成功実績の数

	対象流域内または似た流域におけるその技術の成功事例数			
		とても多い	まあまあ	まれ
場所を限定しない使用実績	とても多い	1	2	3
	まあまあ	2	3	4
	まれ	3	4	5

6.1.2 頑健性と力学的損傷の可能性

次に表 6.2 では、力学的な損傷の起きる可能性について、対象河川の特徴、とくにエネルギーの大きさと関連させて考える。Thorne and Sear (2009, 付録 7) の行ったイギリスの川の類型化を下に示す。それぞれのタイプは表 6.2 の高地、中間地そして低地の分類に対応している。



河川類型の定義

- ・急勾配な源流域の河道＝高地河川
- ・瀬淵のある平滑河床＝中間地河川
- ・曲がりくねった砂利河床＝中間～低地河川
- ・網状河道＝高地の河川
- ・地形変動の激しい蛇行した沖積河道＝中間／低地河川
- ・蛇行の固定した河道＝低地河川
- ・地下水流出に依存している川＝中間／低地河川
- ・人工水路 ($\omega > 30W/m^2$)＝中間／高地河川
- ・人工水路 ($\omega < 10W/m^2$)＝低地河川
- ・水門の影響を受けた水路＝低地河川

粗朶を石灰岩質の小河川で使う例にあてはめると、構造物としては物理的にきわめて強固といえず弾力性も中程度とみなせよう。低地の地下水涵養型河川であれば大したリスクはない。

したがって：低地河川では力学的な損傷の可能性はかなり低い＝2

逆に、同じ技法をエネルギーの大きい砂利河床の河川に使うなら、損傷の可能性はきわめて大きくなり、スコアは4となる。

表 6.2 リスク計算行列 2 河川類型と損傷可能性

	河川類型			
		低地	中間地	高地
科学的 頑健性	高い	1	2	3
	中程度	2	3	4
	低い	3	4	5

6.1.3 不確実性と損傷可能性の組み合わせ

リスクの両要素を組み合わせ、図 6.1 のように A から C までの総合リスク尺度とする。
この尺度が図 6.1 の行列の縦軸となる。

表 6.3 総合リスク尺度

	技法の不確実性 →					
		1	2	3	4	5
損傷可能性 ↓	1	A	A	A	B	B
	2	A	A	B	B	B
	3	A	A	B	B	C
	4	A	B	B	C	C
	5	B	B	C	C	C

6.2 事業規模

事業規模は河道区間長と川幅を用いて表 6.4 のように表す。

表 6.4 自然再生区間の長さによる規模尺度

	長さ					
	<50m	50-100m	100-200m	200-500m	>500m	
川幅	<2m	a	a	b	b	c
	2 -10m	a	a	b	c	c
	>10m	b	b	b	c	c

6.3 対象事業の位置づけ

規模尺度は簡単に決められるだろうが、リスク（技術的な失敗）の評価はやや難しい。

事業リスクは次のような場合に増す。

- ・新しい技術を導入するとき
- ・既存の技術を異なった形で組み合わせて使うとき
- ・既存の技術を異なった条件下で使うとき
- ・複数の場所が互いに影響を及ぼしあっていて、影響が蓄積されていくようなとき

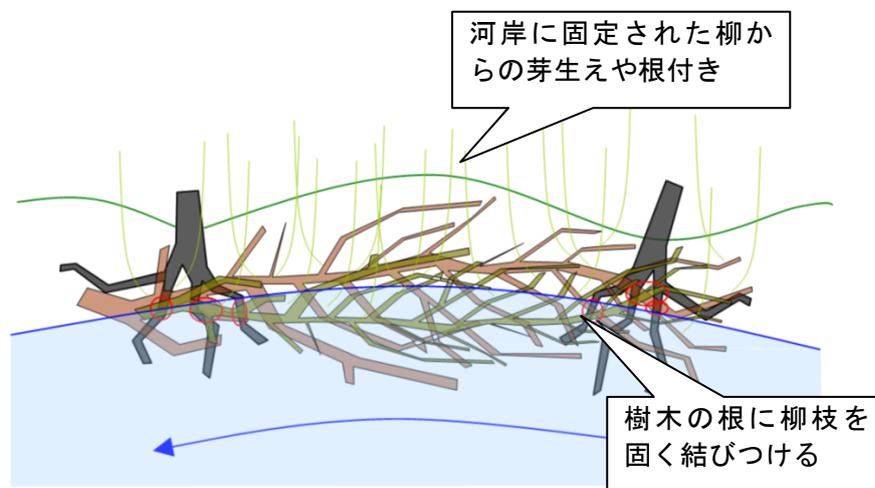


図 6.2 技法の新たな組み合わせ

表 6.3 と表 6.4 の結果を組み合わせ、図 6.1 の総合的な行列における対象事業の位置が定められる。この過程を踏むことで、対象事業に合った理想的なモニタリングのレベルを正当に決めることができる。

図 6.3 とそれに続く例をみて、この手順を理解してほしい。

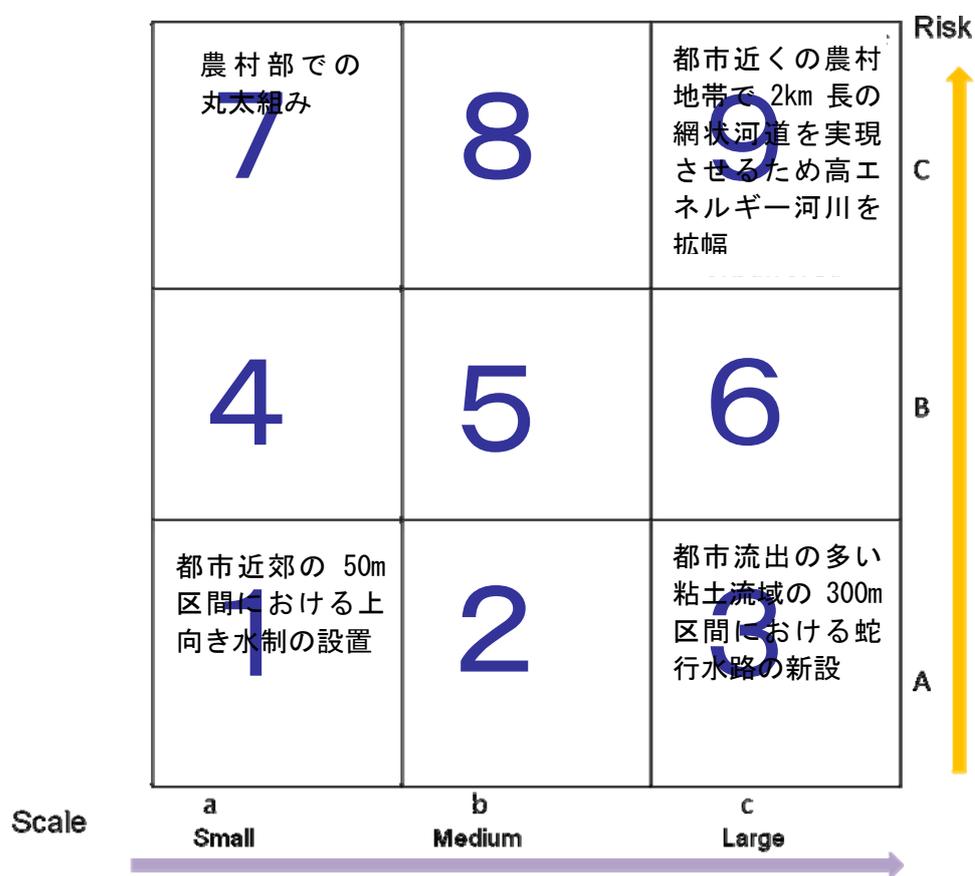


図 6.3 モニタリングレベルを決めるためのリスク対規模行列

6.3.1 リスク対規模行列の使用例

都市近郊の石灰岩質小河川の 50m 区間における上向き水制の設置



・上向き水制は石灰岩質の小河川ではよく用いられている。

表 6.1=1

・地下水涵養型の小河川はエネルギーが小さく力学的な損傷の可能性も低い。

表 6.2=1

・二つの表から表 6.3 を用いて総合リスクを算出する。

総合リスク=A

・事業規模は長さ 50m で川幅は 2m から 10m の範囲に収まる。

表 6.4=a

図 6.3 の行列における位置=1

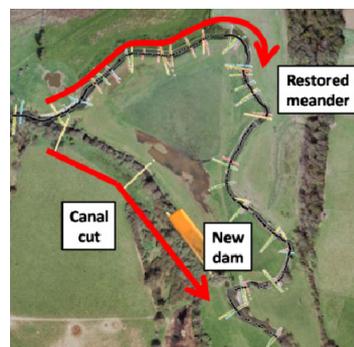
都市流出の多い粘土流域の 300m 区間における蛇行流路の新設

・蛇行流路の新設は確立された技法だが都市流出が自然河川流量を上回ることによってリスクは高まっている。

表 6.1=3

・低地河川なので損傷可能性は低いが、都市の影響と改変の規模からみてリスクはやや上昇している。

表 6.2=2



-
- 二つの表から表 6.3 を用いて総合リスクを算出する。
総合リスク=A

- 事業区間長は 300m で平均川幅は 8m である。
表 6.4=c

図 6.3 の行列における位置=3

農村部の高エネルギー河川における丸太組み



- 丸太組みはアメリカでよく用いられているが、イギリスでの使用例は少ないためイギリスの高エネルギー河川で成功するかどうかは不確かである。

表 6.1=4

- この技法（損傷可能性は中程度）を高エネルギー河川で用いる。

表 6.2=4

- 二つの表から表 6.3 を用いて総合リスクを算出する。
総合リスク=C

- 事業区間長は 50m で平均川幅は 10m 以下である。
表 6.4=a

図 6.3 の行列における位置=7

1. 5km 下流に都市を控えた農村部の 2km 区間において網状流路を実現させるために大きな高エネルギー河川を拡幅



- ・ヨーロッパ本土ではこういった再生事業の実施事例がある。この方法は高エネルギー河川には適しているはずだが、イギリスでの成功を保証する根拠は多いわけではない。

表 6.1=4

- ・都市に近い高エネルギー河川での事業ではあるが、都市が事業のすぐそばというわけではない。あらゆる影響を事業設計の時点で織り込んでおく必要がある。

表 6.2=4

- ・二つの表から表 6.3 を用いて総合リスクを算出する。

総合リスク=C

- ・事業区間長は 2km で平均川幅は 10m 以上である。

表 6.4=c

図 6.3 の行列における位置=9

こうして SMART なモニタリング目標と適切なモニタリングが決定できるようになる。

6.4 SMART なモニタリング目標の設定

事業が定義され（第 3 章）実施に伴うリスクが考慮されたことで、SMART なモニタリングの目標が設定できるようになった。

6.4.1 モニタリングは達成可能で現実的か

モニタリングにおいて何が達成可能で現実的かは次の事項の組み合わせによる：

- ・ **図 6.3** の事業リスクを算出するのに必要な事業に関する**現在の知識量**（使おうとしている河川再生技法の知識）
- ・ **資源**—データ収集および分析に要する資金。情報収集に必要な人数。第三者に頼る必要があるか。
- ・ **時間**—事業完成後どのくらいの期間までモニタリングを実施できるか。
- ・ **事業開始前**のデータ—何が利用可能か。どんな形式か。いつ、どのくらいの期間にわたって測ったデータなのか。

個々のモニタリング目標ごとにこの質問を投げかければ、実際に達成できるものが何なのかははっきりするであろう。

6.4.2 モニタリングに優先順位をつける

それぞれの目標の重要性と利用可能な資源に応じて、使うべき手法とレベルが決まってくる。理想的には事業目標のすべての項目を詳細にモニタリングされることが望ましいが、現実にはそれが許されることはほとんどないだろう。**表 6.5** に示すような優先順位付けが必要となる。

表 6.5 4.1.3 項の例 3 に基づくモニタリング優先づけの例

優先順位	パラメータ	モニタリングの目的	予想される結果
3	産卵 (上流の砂利)	産卵量の変化を把握する	調査期間における産卵床と稚魚の数の増加
2	産卵 (下流の砂利)	産卵量の変化を把握する	堰撤去によって産卵床の数が減らない
1	シルト分の堆積	下流の産卵場の砂利が堰の撤去によって悪影響を被っていないか確かめる	既存の産卵場の砂利にシルト分が堆積することなしに堰上流側に溜まっていた土砂が流送される
2	魚の通過	回遊時期における魚の移動に対する事業効果を示す	ブラウントラウトの遡上数が激増する
4	川幅	河道幅を狭めるために実施された技法がうまくいったかどうか確かめる	人為的介入と自然の作用が合いまって河道特性に合った新しい地形を形成している。事業効果をさらに確実なものとするために必要となる順応的管理の方策が見つかる

この例において最も重要な評価対象とみなされたのは既存の産卵床にシルト分が堆積するかどうかである。この要素に高い優先順位が付されてモニタリング資源が投入されるわけだが、この場合は単純に産卵床の数を歩きながら数えれば済むので、それほど多量の資源投入を必要とするわけではない。定点写真撮影を行えば水路がどれほど狭くなったかだいたいつかむことができるし、次の管理目標を絞っていくことにもつながる。魚の通過を計るためには年に一度の電気ショック漁法が最も効果的かもしれない。モニタリングの技法については第 7 章にてさらに詳しく論じる。

メイズブルック川の事例

メイズブルック川は本書の第 11 章の事例紹介で取り上げるサイトである。この事業はいま計画段階にあり、モニタリングが事業にきっちり組み込まれている。表 6.2 はモニタリングの優先順位をつけるために踏んできた手順を示していて、いまのところこの手法はうまく機能している。

表 6.6 Mayes Brook における河川自然再生事業のモニタリング優先順位づけの一部

目標： なぜ？	計測可能： 何を？	いつ？	手法：	誰がモニタリングを完遂できるのか？	既存のデータは？	費用は？	優先順位
<p>目標：河川地形の改善</p> <p>なぜ：河道内の横断方向の多様性の変化を評価するため</p>	河道平面形の変化	事業前、施工中、完了直後、2年ごとに繰り返す	<p>定点写真撮影を GPS で地図化。</p> <p>注：他の調査とリンクさせることができる。</p>	最初は専門知識を持ったコンサルタント。その後は地元住民をトレーニングする。	写真がいくらかある	初期費用が 2,000 ポンド	1
<p>目標：2013 年までの魚類個体数の増加</p> <p>なぜ：魚の密度と扶養力が増大したか確認し、気候変動に対応できるか調べる</p>	魚の種類と個体数	2012 年 4 月、それ以降 2 年ごと	地点における電気ショッカー調査	EA がデータ収集の責任を負う	2008 年 4 月に調査を行っている	EA 内で 3 日間の仕事量。それ以外に約 3,000 ポンドかかる見込み	3

7. 適切な技術と手法の選び方

7.1 モニタリングから何を求めることができるか？

この章では、明確かつ計測可能な目標を設定した次の段階として、期間と予算の制約に応じたモニタリングレベルの決め方に焦点を当てる。ほぼすべてのモニタリングが役立つことには間違いがないが、あなたのモニタリングの目的に直結する「仕事に合った道具」を用いることが最も重要である。

第6章ではリスク対規模行列（図6.1参照）に対象事業を位置づける方法について解説した。この章では、その行列内に現れる9種類のパターンそれぞれにふさわしいモニタリング技術について解説する。すでに実績豊富で信頼性の高い技術を適用している小規模な再生事業においては、革新的で前例のない技術を適用している複雑で大規模な再生事業と同等のモニタリングを必ずしも必要としない。

モニタリング手法を対象によって図7.1～7.5にある5つの「機能」、すなわち生態系、魚類、大型水生植物、地形、水、に分けた。どの要素を選択するかはSMART目標による。言い換えると、何を達成しようとしているのかによって何を測定すべきかが決まる。

7.2 どのレベルの技術を用いるべきか？

ここで紹介する手法は現在既に用いられているものに基づいている。新たな技術や計算機処理ソフトの出現に伴って、古い手法は改善され、新しい手法が次々に開発されている点には留意する必要がある。しかしながら、これらの高度な革新的技術には特に欧州水枠組指令と深く関連して研究開発されてきたものが多い。そのため資金が限られていて地元住民や市民団体の関心事が主眼である場合などは、これらの適用は必ずしも可能ではない。それゆえ、以下の表、リスト、及び付録には、場面に応じて選択できるような各種の方法を掲載している。

事業失敗の
可能性

<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS) ・ 単位面積無脊椎動物調査 ・ 単位時間無脊椎動物調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS) ・ 単位面積無脊椎動物調査 ・ 単位時間無脊椎動物調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS) ・ 単位面積無脊椎動物調査 ・ 単位時間無脊椎動物調査 ・ RHS（河川生息場調査)
<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS) ・ 住民協働（簡易版水生生物調査) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS) ・ 単位面積無脊椎動物調査 ・ 単位時間無脊椎動物調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS) ・ 単位面積無脊椎動物調査 ・ 単位時間無脊椎動物調査 ・ RHS（河川生息場調査)
<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 住民協働（簡易版水生生物調査) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS) ・ 住民協働（簡易版水生生物調査) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS) ・ 単位面積無脊椎動物調査 ・ 単位時間無脊椎動物調査 ・ RHS（河川生息場調査)



事業
規模

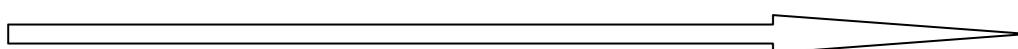


図 7.1 生態系全体の調査方法

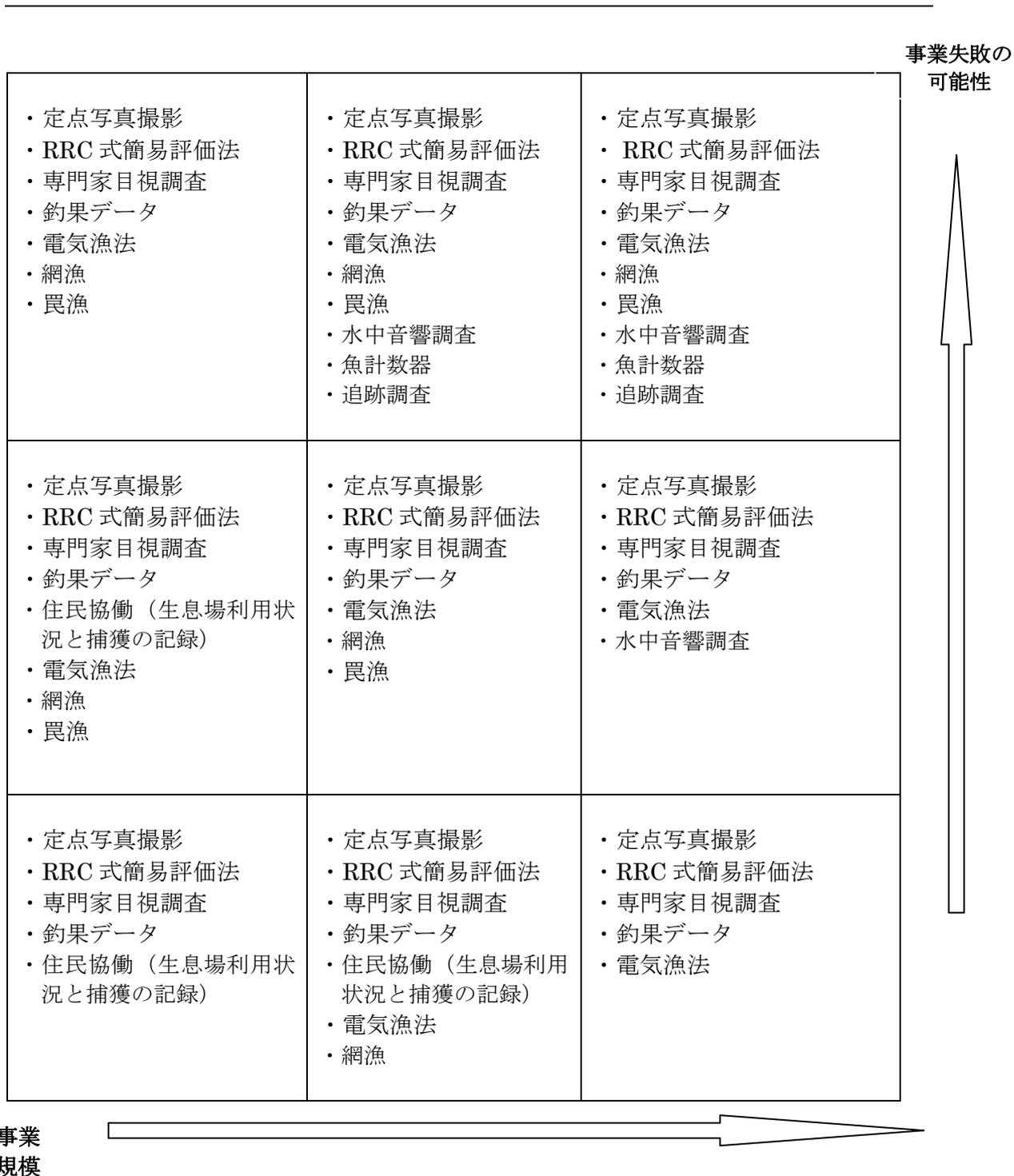


図 7.2 魚類の調査方法

<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ 専門家目視調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ LEAFPACS 法 ・ JNCC 法 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ LEAFPACS 法 ・ JNCC 法 ・ 方形枠／NVC 法
<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 動植物生育生息地図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ 住民協働（簡易版植物調査） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ LEAFPACS 法 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ LEAFPACS 法 ・ JNCC 法
<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 住民協働（簡易版植物調査） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ 住民協働（簡易版植物調査） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ LEAFPACS 法

指定地域では CSM（気候システムモニタリング）を必要とする場合あり。

事業
規模

図 7.3 大型水生植物の調査方法

<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 航空写真 ・ 定期横断測量 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ 土砂移動図 ・ 土砂動態マップ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 地形測量 ・ 航空写真 ・ 定期横断測量 ・ LiDAR ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ 土砂移動図 ・ 土砂動態マップ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 地形測量 ・ 航空写真 ・ 定期横断測量 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ Geo-RHS ・ LiDAR ・ 土砂動態マップ
<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ 土砂移動図 ・ 土砂動態マップ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 地形測量 ・ 航空写真 ・ 定期横断測量 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ 土砂移動図 ・ 土砂動態マップ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 地形測量 ・ 航空写真 ・ 定期横断測量 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ Geo-RHS ・ 土砂動態マップ ・ LiDAR
<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ 土砂移動図 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 地形測量 ・ 定期横断測量 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ 土砂移動図 ・ 土砂動態マップ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定点写真撮影 ・ RRC 式簡易評価法 ・ 地形測量 ・ 航空写真 ・ 定期横断測量 ・ 生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査 RCS） ・ Geo-RHS ・ 土砂動態マップ

事業
規模

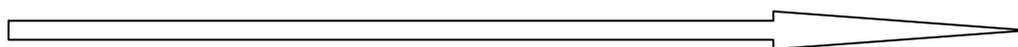


図 7.4 地形の調査方法

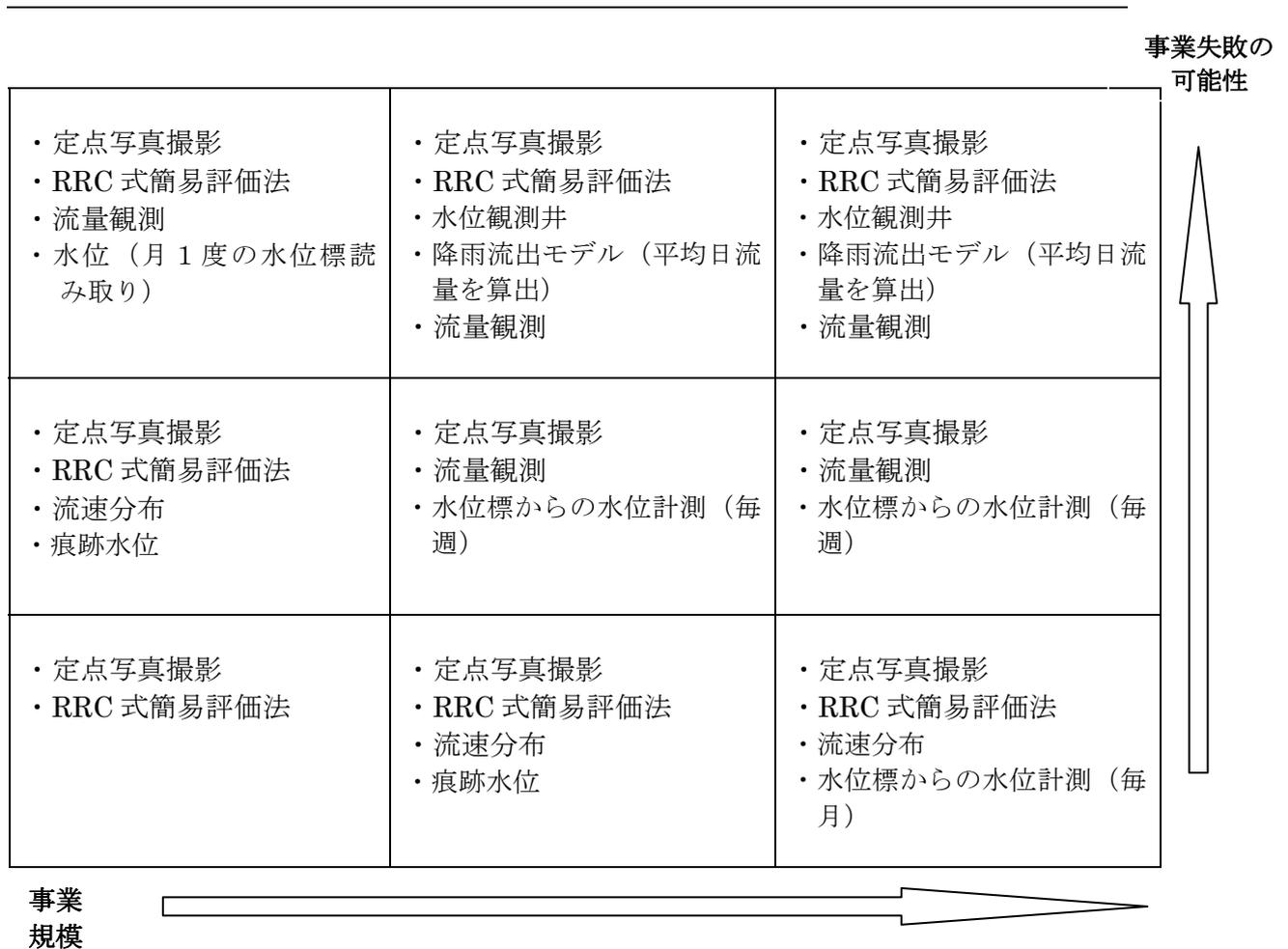


図 7.5 水の調査方法

以下の 7.3 節から 7.8 節では、それぞれの手法でどのようなデータを収集するかを簡単にまとめている。具体例を含む詳細な解説は付録 8-13 に示す。

上の図から、二つ以上の機能の評価できる手法もあることが分かる。表 7.1 は各手法に関連する機能と得られる情報、さらに同じ機能の中でもどのような差があるかを説明している。

7.3 複数の機能にまたがる方法（英文原本付録 8 参照…日本語版なし）

- ・ **定点写真撮影**：同一地点において、再生事業の前、施工中、完成直後、そして完成数年後に撮影した一連の写真。

-
- **RRC 式簡易評価法**：定点写真撮影を伴いながら様式に従って記入していく。専門家の判断に基づく一般的な情報のスナップショットを提供する方法。
 - **生息場分布図（ビオトープ）**：特定の動植物の生息場として機能する環境条件の範囲ごとに区分した地図。
 - **生息場分布図（RCS，河川水辺調査法）**：河川水辺の植生構造、物理生息場と植物分布の地図。

7.4 生態系の調査方法（英文原本付録 9 参照…日本語版なし）

- **AMI（水生昆虫組合式調査法）**など：簡単な研修を経て、無脊椎動物群集のモニタリングが実施可能になる。
- **単位時間調査法**：一定の時間（3 分）をかけて川幅全体にわたり大型無脊椎動物を採取する。種ないしは科ごとの存在量を知ることができる。得られたデータから、多様性、LIFE、ASPT、BMWP などの指標を統計的に計算することによって、無脊椎動物群の変化をより実用的に評価できる。
- **単位面積調査法**：単位時間調査法と同様の方法に従うが、一定の面積を区切ってもうそれ以上生物が見つからない状態までサンプルを採取する。この結果から、対象範囲内の群集組成と生物量（または無脊椎動物の総量）の両方を把握できる。
- **RHS（河川生息場調査法、River Habitat Survey）**：川に沿って歩きながら植生や特徴的な地形などに着目して生息場の分布を地図化する。断面調査やチェックリストも含まれており、収集されたデータから生息場評価点を算出し、全国規模のデータベースを活用すれば他河川との比較が行える。
- **URS（都市河川生息場調査法、Urban River Survey）**：都市河川を対象に限定した RHS の派生版。

7.5 魚類の調査方法（英文原本付録 10 参照…日本語版なし）

- **専門家目視調査**：生息場の適性、魚類の移動や稚魚の利用範囲などを、魚類専門家が踏査して観察する。
- **釣果データ**：体系化された記録方式に基づき収集分析された釣果データ。
- **電気ショック漁法**：電流により気絶して水面に浮いた魚を収集し計測、計量する方法。種の特定から年齢まで様々な分析が可能。

-
- **網漁（引き網及び袋網）**：網で採取した魚類を計測、計量する。
 - **罾漁**：回遊魚（例えばサケやマス類、ウナギ）の調査に用いられる。個体数の定量的な推定につなげることができる。
 - **水中音響魚類調査**：音響測深器を用いて魚類の群れを記録する方法。
 - **魚計数器（フィッシュカウンター）**：回遊性魚類の個体数を数え、魚類の移動状況を把握するために用いられる。
 - **標識調査**：魚類の移動状況を把握するために用いられる方法。

7.6 大型水生植物の調査方法（英文原本付録 11 参照…日本語版なし）

- **住民協働**：（簡易な主要大型水生植物の評価方法）
- **大型水生植物調査**：（LEAFPACS 英環境庁式調査法）100m の区間にわたりデータを収集する。分類群リストに照らして大型水生植物を同定し、それらの被覆率も推定する。これは欧州水枠組指令（WFD）の要求する環境状態に関する情報を提供する重要な方法であるが、かなりの専門知識と研修を要する。詳細資料は以下より入手可能。

http://www.wfduk.org/bio_assessment/rivers_macrophytes_leafpacs

- **JNCC 式調査法**：通常は 0.5km 区間にわたり実施され、また実施区間は互いに約 5km の距離をあける。特に小河川に適している。
- **方形枠/NVC**：通常は 1m 四方の方形枠を設置するが、植生の種類と場所によって異なる。それぞれの種の被覆割合は写真から読み取ることも多い。大型水生植物は英国植物分類法（National Vegetation Classification）を用いて評価される。

7.7 地形の調査方法（英文原本付録 12 参照…日本語版なし）

- **航空写真**：対象河川の概要を把握するのに適している（植生で覆われていない場合）。
- **Geo-RHS（地理的河川生息場調査法）**：RHS に河川横断面の情報を追加して地形の焦点を強化したもの。
- **地形測量**：経年的な河川の平面形や縦断形状の変化を得られる。
- **定期横断測量**：特定の横断面における河川と氾濫原の状態がわかる。水循環や生息場の情報と関連する。
- **土砂移動図**：河床や河岸、氾濫原の特徴を表す地図。

-
- **土砂動態マップ (Fluvial Audit)** : 土砂輸送や侵食・堆積範囲等といった現在の川の物理的過程に関する基本的な情報を取得可能。
 - **ライダー (LiDAR)** : 洪水氾濫原の標高を知るのに特に有用である。

7.8 水の調査方法 (英文原本付録 13 参照…日本語版なし)

- **痕跡水位** : 以前の水位を素早く特定するために非常に優れた手法。
- **水位計測** : 河道満杯流量や堤外氾濫の発生頻度を知るのに適した方法。単純な目盛りの読み取りから、計測器と記録器の組み合わせによる連続的な観測まで可能である。
- **流量観測** : 流量観測所が存在しない流域の流量情報を取得することや、モデルの調整に役立つ。
- **流速分布** : 経験式や数値計算による解析モデルを通じ得ることが可能。また、流速計により直接測定することでも得られる。
- **降雨流出モデル** : 気候変動の影響を見積もったり、未観測の流域における流量を計算したりする際に用いられる。

表 7.1 各手法に関連する機能

手法	機能	得られる情報
定点写真撮影	生態系／ 大型水生 植物／魚 類／地形 ／水	生息場の変化（大型水生植物と堆積物の種類と割合）
RRC 式簡易評価法	生態系／ 大型水生 植物／魚 類／地形 ／水	生息場の有無（地形、大型水生植物、河畔被覆、魚類の有無）
簡易版水生生物調査	生態系	水質良好な自然河川を好む無脊椎動物の有無
単位時間無脊椎動物調査法	生態系	無脊椎動物の密度、特定の種や群の量と均一性
単位面積無脊椎動物調査法	生態系	無脊椎動物の基礎資料。集団の時空間変化、無脊椎動物と流速など他の水理量との関係など。
RHS（河川生息場評価法）／URS（都市河川生息場評価法）	生態系	一般的な生息場の質。また外来種、河道改修、魚の移動を妨げる物理的障害等。
生息場分布図（ビオトープ、河川水辺調査法 RCS）	生態系／ 大型水生 植物／地 形	生息場の現状を記録。参照区間との比較が可能
釣果データ	魚類	魚類個体群の概況（種、数、サイズ等）。恣意的な手法なのでデータの代表性に欠けるものの、大まかな増加や減少の傾向を捉えることが可能。サケ類よりそれ以外の淡水魚に適している。
住民協働（生育場利用状況と捕獲の記録）	魚類	生息場の存在量と魚の存在数の概略。
電気漁法	魚類	局所的な（数十 m から数百 m）魚類個体群の規模の定性的・定量的な推定値。単発もしくは間欠的な通電では定性的な推定ができ、連続通電では定量的な推定が可能（網で囲ってあると理想的）。魚種、数、長さや重量などを記録すれば個体群の変化を正確に評価できる。歩いて渡れる規模の川なら河岸から、歩いて渡れない場合は船から行う。小川なら持ち運び可能な背負い型も使える。
専門家目視調査	魚類	生息場の質、魚類の存在量や個体数変化に関する定性的なデータ。

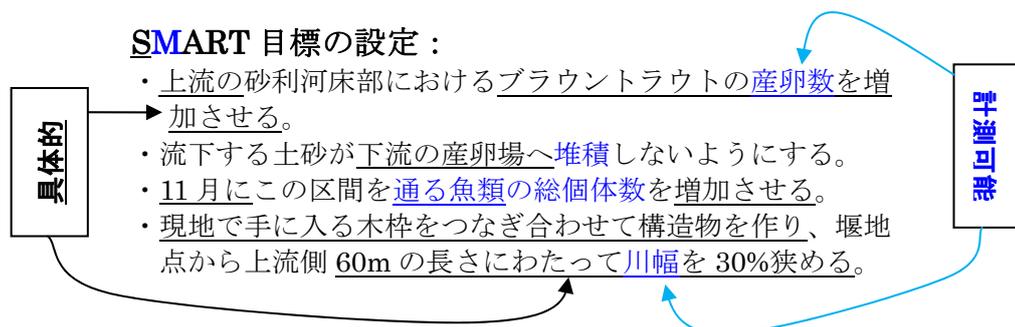
手法	機能	得られる情報
魚計数器	魚類	比較的大きなスケール（数 km、数十 km、数百 km）での魚類数の量的推定値。サケやマスの成魚といった回遊性の魚の数の推定に最も適している（魚道を通過する個体数など）。逆にサケ類以外の淡水魚や短い再生区間（数十 m、数百 m）でのモニタリングには適さない。
水中音響調査	魚類	魚類存在量の量的推定値（魚のおよそのサイズを含む）。ただし種の特定は不可能。水深が深く幅の広い川に適しており、魚が広く分散する夜の使用が最適。大型水生植物、堰付近の流れやボートのプロペラなどから水中に混入する空気干渉が生じる。底生魚には適さない。数百 m から数十 km まで適用できる。
網漁	魚類	引き網は定性的・定量的な魚類存在量が得られる。一般に広く、深く、緩やかで障害物のない流れに適しており、低地河川でサケ類以外の淡水魚を対象とするときによい。一方、袋網は魚類分布や存在量の定性的な推定に適しているが、使える種とサイズが限定される。ウナギの成魚などの回遊魚や底生魚に適する。
追跡調査	魚類	タグを付けた魚類を十分な頻度と空間精度をもって追跡することで、生息場の利用状況がわかる。魚類個体数の量的な推定はできない。数十 m から数百 m 以内の河川再生区間において使用されるのが最も適している。
罟漁	魚類	罟漁は、サケやマスの成魚（通常は固定式の罟）、またウナギ（固定網もしくは袋網）など回遊性魚類のモニタリングに効果的である。広範囲の区間で存在量の量的な推定が可能である。
航空写真	地形	流域規模における生息場の主な特徴（空き地、川の樹木被覆状況等）を特定するには費用対効果のよい手法である。河川規模や樹木被覆度によっては、河川生息場を視認することもできる。樹木に覆われていない場所ではリモートセンシング技術を用いて水深や大型水生植物の分布も把握可能。
土砂動態マップ	地形	河川の特徴、形状、侵食や堆積の現況など川の基礎情報を提供する物理的調査。
地理的河川生息場評価法 Geo-RHS	地形	河川生息場調査法（RHS）に横断面や地形データを加味している。
土砂移動図	地形	地形や堆積物の特性などの情報を提供する河川と水辺、氾濫原の平面図。
LiDAR（高性能リモートセンシング） 備考：垂直方向 0.15m 精度、1～2m 格子	地形	地形測量。河川と氾濫原再生の結果として起こる氾濫原水位の変化をモデル化する際に有用となる。

手法	機能	得られる情報
定期横断測量	地形	河川と氾濫原の幅や深さといった形状の経年変化の詳細を提供。
地形測量	地形	縦断勾配と高さ、そしてそれらの経年変化の詳細を提供。
降雨流出モデル（平均日流量を算出）	水	気候変動下の流量や昔の流量変動の再現が可能。気候変動が流量にどのような影響を与えるか知り、適した河川再生技術を選ぶことが可能になる。
流量観測	水	ある時点での流量がわかる。また未観測流域での降雨流出モデルの調整に用いられる。流量変動を知るとは、適用すべき河川再生技術の決定に不可欠である。
水位観測井	水	洪水モデルで用いる。河川や氾濫原の高水位の記録に用いられる。簡易なものから高価なものまでさまざまな種類がある。
痕跡水位	水	洪水位の物理的な測定。モデルの調整にも利用される。
流速分布	水	横断図と合わせることで流量の算定が可能。無脊椎動物の生息場選好や掃流力の推定などに用いられる。
水位標	水	いつ河川が氾濫原にあふれ出たかを把握できる。
住民協働（簡易版水生植物調査）	大型水生植物	写真撮影や地図化、種の同定を含む。河川及び氾濫原の植物相・動物相の有無に関する高いレベルの情報を提供する。
専門家目視調査	大型水生植物	写真撮影や地図化、種の同定を含む。河川及び氾濫原の植物相・動物相の有無に関する高いレベルの情報を提供する。上より詳細だがデータ取得の頻度は落ちる。
JNCC 式調査法	大型水生植物	大型水生植物の有無、割合、被覆率など。
LEAFPACS 法	大型水生植物	欧州水枠組指令の質評価でカバーされる河道の有無と割合。
方形枠/NVC 法	大型水生植物	一つの格子における種の割合記録。

8. モニタリングの時間スケール

8.1 モニタリング目標への時間スケール概念の加え方

第4章では SMART な事業目標設定の具体的な手法について述べたが、それだけでは適切なモニタリングレベルや期間の設定まではできない。次の例は、4.1.2 項で示したサケ類の遡上と自然の物理過程の再生を目的とした堰撤去の事案である。



(英国では) 現在、河川再生事業のモニタリング実施期間は、費用の都合上、一般的に事業実施後 3 年間とされている。しかし、事業目標、河川の特長、事業に対する各環境要素の反応性はモニタリングの実施期間、実施頻度の 2 つの時間的概念を設定する材料となる。

産卵：

産卵期直後に堰上流側の砂利河床部において、ブラウントラウトの個体増加数を測定する。まずはプロジェクト完了後 3 年間の個体数の変化を確認する。顕著な個体数の増加が見られない場合は、更なる環境の改善、モニタリング期間延長のいずれかもしくは両方を検討する。また、同じ 3 年間の期間において下流側の砂利河床部における産卵場の現在と事業後の個体数を測定・比較する。

土砂堆積：

堰下流側に現存する産卵場において河床堆積物に含まれるシルトの割合を計測し、堰撤去後の細粒分割割合の増加に伴う悪影響の可能性を確認する。河床材料の測定は、堰撤去直後、撤去 3 ヶ月後、出水後に実施する。

魚道：

11 月に、事業前には遡上できなかったリーチ（河道区間）を遡上するブラウントラウトの個体数を 3 年間数える。

河道幅：

川幅を狭めた区間全体で、完成直後、完成1年後と3年後に横断面測量を行う。さらに延長して、5年後、10年後にも評価をする必要があるかもしれない。調査期間の延長の必要性は3年目の調査終了時に検討する。

8.2 モニタリングをいつまで実施するか

効果的なモニタリングを行うためには、いつまで（どの季節に）、何回のデータ収集を行うべきか決める必要がある。各調査項目は、事業目標にきちんと答えられるよう対応していなくてはならない。データ収集の詳細や頻度はある程度まで専門的知識の裏付けをもって判断すべき事項であり、答えるべき問題点に応じて異なる。良いモニタリングには柔軟性が重要であり、全ての調査項目を同時に調べる必要はない。調査項目によっては気象条件によって得られる結果が異なる場合があるためである。しかし、一年の中で特定の季節に行わなければならない方法も多い。

Woolsey らによって考案された表 8.1 をみると、モニタリング全体の期間を考える必要性がわかる。この表によると、事業完成後 15 年たってもまだ変化が検出可能となる場合がある。

表 8.1 河川再生事業の成否を判定するモニタリング指標の時間スケール (Woolsey 他、2007)

指標分類	指標	事業後 の調査 可能期間 (年)
事業の受容性	関連団体の受容性	1～15
	市民全体の受容性	1～15
	事業団体・組織の受容性	1～15
利害関係者の参加	参加の仕組みに対する関連団体の満足感	1～5
	参加機会に対する市民の満足感	1～5
	参加機会に対する関連団体の満足感	1～5
レクリエーション利用状況	来訪者数	1～15
	レクリエーションの種類の多様性	1～15
	レクリエーションの場へのアクセスのし易さ	1～15
景観	生息場の多様性および空間配置	3～15
	景勝地としての価値	1～15
河川縦断方向の連続性	魚類遡上の障害物	1～5
水理量	氾濫状況：期間、頻度、洪水規模	1～15
	水面幅の多様性（実測値）	1～15
	水面幅の多様性（目測値）	1～15
	流速の多様性	1～15
	低水路満杯流量時の水深の多様性	1～15
掃流土砂	土砂動態	1～15
有機物質	短期間のリター供給量	1～15

指標分類	指標	事業後 調査期間 (年)
	流木の量	1～15
	浮遊有機物の量と構成、貝類の量と多様性	1～5
河床	河床の透水性	3～15
	河床地形の多様性	1～15
	河床地形の多様性の時間変化	1～15
	河床間隙域の目詰まり	1～15
	河床材料の粒径分布	1～15
	人為的改変の程度と種類	1～15
	水際域の幅員と自然度（植生、地質組成）	1～15
河岸	地形単位の量と空間的な広がり	1～15
	地形単位の量と空間的な広がりの時間変化	1～15
	水際部の長さ	1～15
	人為的改変の程度と種類	1～15
水際帯	水陸間の食料供給	1～2
	河川水（表層水）と地下水間の栄養塩の移動	3～15
	氾濫原に生息する小型哺乳類の群集構成と密度	1～15
避難場	3種の避難場の利用可能性（河床間隙域、水際部、自然な支川）	1～5
水温	空間的、時間的な水温変化	1～15
魚類	魚齢構成	1～15
	魚種の豊富さと優占種	1～15
	魚類ギルド（同じ要求を持つ種群）の多様性	1～15
魚類生息場	カバー（水面被覆）の有無と河道内の物理構造	1～15
大型無脊椎動物	水際部を利用する陸生節足動物の量と密度	1～5
	河床間隙域における表流水性と地下水性の生物の有無	1～15
	大型無脊椎動物群の分類学的構成	1～15
	地下水内の両生類の有無	1～15
植生	氾濫原に生育する典型種の有無	1～15
	氾濫原における植物種の持続と更新	3～15
	氾濫原における植物分布の時間的変遷	3～15
	氾濫原の植生構成	1～15

8.3 モニタリングをいつ実施するか

表 8.2 は、河川、湿地や氾濫原において調査実施に最適な時期（A）と実施可能な時期（B）を、各機能に分けて生活史の段階ごとに示している。

物理量の調査時期を最適化して生態調査をそれに合わせるか、それともその逆をするかは最初に定めた目的に照らして決める。（つまり、地形の変化量と包括的な生息場の形成を評価する必要があるのか、それともどんな種がいてどのように群落を構成しているのかを知りたいのか？）

表 8.2 各項目に対応する調査時期

		生態系	魚 類 (サケ類)	魚 類 (コイ類)	地形 / 地質	水 理 量	大 型 植 生
1 年目	春	A - 河川	A - 卵 / 仔魚			A	
	夏	A - 湿地帯及び止水域	B - 卵 / 仔魚	A - 仔魚 / 成魚	A	A	A
	秋	A - 河川	A - 稚魚	A - 成魚		A	B
	冬		A - 成魚 / 産卵		B	A	
2 年目	春		A - 卵 / 仔魚		B	A	A
	夏		B - 卵 / 仔魚		A	A	B
	秋		A - 稚魚			A	
	冬		A - 成魚 / 産卵			A	
3 年目	春	A - 河川	A - 卵 / 仔魚			A	
	夏	A - 湿地帯及び止水域	B - 卵 / 仔魚		A	A	A
	秋	A - 河川	A - 稚魚			A	B
	冬		A - 成魚 / 産卵			A	
4 年目	春					A	
	夏					A	
	秋				B	A	
	冬					A	

		生態系	魚 類 (サケ類)	魚 類 (コイ類)	地形／地質	水理量	大型植生
5年目	春	A - 河川	A - 卵／仔魚			A	
	夏	A - 湿地帯及び止水域	B - 卵／仔魚			A	A
	秋	A - 河川	A - 稚魚			A	B
	冬		A - 成魚／産卵			A	
6年目	春		A - 卵／仔魚	B		A	
	夏		B - 卵／仔魚	A		A	
	秋		A - 稚魚	B		A	
	冬		A - 成魚／産卵			A	
7年目	春	A - 河川	A - 卵／仔魚			A	
	夏	A - 湿地帯及び止水域	B - 卵／仔魚			A	A
	秋	A - 河川	A - 稚魚			A	B
	冬		A - 成魚／産卵			A	
8年目	春					A	
	夏					A	
	秋					A	
	冬				B	A	
9年目	春		A - 卵／仔魚		B	A	
	夏		B - 卵／仔魚	B	A	A	A

		生態系	魚 類 (サケ類)	魚 類 (コイ類)	地形／地質	水理量	大型植生
	秋		A - 稚魚	A		A	B
	冬		A - 成魚／産卵			A	
10年目	春	A - 河川				A	
	夏	A - 湿地帯及び止水域				A	
	秋	A - 河川				A	
	冬						

A = 最適な時期、B = 可能な時期

設定した目標に応じて、地形調査には洪水や濁水を考慮した修正を加えることが必要である。

無脊椎動物の調査時期は地形の改変が一段落してほぼ安定した後になるよう調節してもよい。

8.4 モニタリングの時間に関する留意点

モニタリングの時間については、以下の点に注意が必要である。

- ・ 河川の自然再生に関する全ての要素が同時期に良好な結果を見せるわけではない（環境が再生する時期は、種、河川の種類や位置によって異なる）。土砂の動きやすさや生物種の量と多様性は、生態系と物理量の回復速度に大きな影響を及ぼす。
- ・ （河川再生事業後の環境の）回復速度はその地域の気象条件によっても異なる。STREAM の事例（11.4 項を参照）にも示されるように、干ばつの年には無脊椎動物や大型植物の回復が抑制されることがある。逆に、極端に大きな洪水攪乱が発生した場合には、予測よりも早期に平面形と断面形状が回復する。
- ・ モニタリングに最適な時期は、種、捉えるべき生活史の段階、流量変動などに応じて決まる。

モニタリング計画のなかで、細かい調査項目と頻度は臨機応変に修正できるようにしておきなさい。それらは当初の目的、年による季節的要因の違い、川
の特性、流量変動、現存する生物相に応じて決めていくこととなります。

9. モニタリング費用の算定

モニタリング費用を予測することは困難である。しかし、事業予算の範囲内で十分な資源を配分することも求められる。事業計画段階でモニタリングを組み込んでおくことによって、十分な資金を得られる可能性が増大する。

9.1 費用の内訳

9.1.1 計画

モニタリングの計画策定、特に明確な目標を定義することは、最終的に資金や時間や労力を節約するためにきわめて重要である。だから、計画段階にも十分な資源をはっきりと割り当てるべきである。効果的なモニタリングの費用を過小評価してはいけない。事業全体の予算の10~20%が詳細なモニタリングに充てられてしかるべきと認識されることもあるが、この率は地元団体からの支援とその関心の程度によって大きく左右される。

9.1.2 データ収集

大量のデータをリモートで収集できる場合²、リスクと規模の評価により必要なモニタリングの量がきわめて小さく済むと判定された場合を除けば、現地でのデータ収集活動がモニタリング予算の大部分を占めることが多い。

表 9.1 はそれぞれの方法にかかる予算と規模の目安を示している。関連団体と協力することによりデータ収集費用を節減できる可能性もある。これについては、10.2 節で述べる。

9.1.3 データの加工と報告

理想を言えば、モニタリング目標に直接結びつくようなデータ分析方法をあらかじめ決め、それに合わせた形式でデータを収集するのがよい。こうすることで、データの加工に要する費用を節減することができる。

データの加工にかかる費用はたやすく増加する。例えば、

- ・ 最初から明確な定義を設定しておかなかったために、データ収集が首尾一貫しない場合（Shopham Loop の事例を参照のこと）。
- ・ 多くの関係者に対して情報提供が必要で、複数のアウトプット³が必要となる場合。
- ・ 詳細な科学的分析が必要となる場合。

9.1.4 データ収集と解析にかかる費用の算定

表 9.1 は、それぞれのモニタリング技法にかかる予算の概略を示すものである。これらはさまざまな資料に基づいている。これを見て、予算についておおよそのところを考え、初期費用見積を出してほしい。詳細なコスト算定のためにはより多くの調査が必要である。

² 人工衛星を用いたリモートセンシング、既に存在する観測地点のデータ等を含む（訳者注）。

³ 報告書、説明資料等（訳者注）

表 9.1 は、川幅 10 m 未満の河川を念頭においている。それ以上の場合には河川規模がコスト算定に大きく影響する。予算にはデータ分析と報告費用を含むが、機材費用を含まない。

表 9.1 予算の目安（川幅 10 m 未満の河川を対象とし、機材費用は含まない）

方法	河川距離 (km)	費用 (ポンド)	注
定点写真撮影	1	200～1,000	
RRC 式簡易評価法	0.5	200	
生息場分布図(ビオトープ)	0.5	200	
生息場分布図(RCS)	0.5	200	
大型無脊椎動物の群集調査	5	100～300	
単位時間無脊椎動物調査法	1	2,000	
単位面積無脊椎動物調査法	1	2,000	
RHS(河川生息場調査法)	0.5	170	
URS(都市河川調査法)	0.5	150	
専門家目視調査(魚類)	5 以下	500	
釣果データ	2	150	
電気ショック漁法	0.2 以下	750/日	機材経費は約 5,000 ポンド。
網漁	0.05～0.2	750/日	機材経費は約 2,000 ポンド。
罟漁	数十 km 以下	10,000/年	定置罟は長さおよび幅が数メートル程度の範囲を占めるに過ぎないが、その地点より上流側全部の区域へ移動する魚を調査できる。機材の費用は一時的な罟(数百ポンド)から長期間設置する罟(数万ポンド)まで幅広い。 袋罟は安価である(数百ポンド)。
水中音響魚類調査	10 以下	750/調査	機材経費は数万ポンド以上になる。
魚計数器	数十 km 以下	3,000-5,000/年	計数器は長さおよび幅が数メートル程度の範囲を占めるに過ぎないが、その地点より上流側全部の区域へ移動する魚を調査できる。機材経費は含んでいないが、数万ポンドを要する。

方法	河川距離 (km)	費用 (ポンド)	注
標識調査	1 以下 (自然再生に関する生息場利用状況を評価する場合)	200/日	機材経費は数万ポンド以上になる。
大型水生植物調査 (LEAFPACS 法)	1	400	
JNCC 調査	1	400	
方形枠/NVC	0.01	20	
航空写真	0.001~5	2,000	
Geo-RHS	5	130	
地形測量	5~10 ha	2,000~ 4,500	アクセスが容易な氾濫原で実施した場合
定期横断測量	1	2,000~ 4,500	約 20 断面
土砂移動図作成	1	3,000	
土砂動態マップ	5	1,000	調査員 2 名で実施
LiDAR	20	6,000	
痕跡水位	1	250	
水位計測		595	
流量観測		30~50	観測地点 1 か所あたりの値
流速分布		30~50	観測地点 1 か所あたりの値
降雨流出モデル		5,000~ 1,0000	1 サイトあたりの値

注：表中の費用と距離のデータは、主に第 1 回モニタリングワークショップにおけるアンケート調査の結果に基づいている。

10. 既存資料の活用と協働

本書で述べてきたように、信頼できる優れた方法に基づいたモニタリングが実際にたくさん行われている。しかしこれら既存のモニタリングはそれぞれの動機に基づいて実施されており、必ずしも河川の自然再生に直接関係するとは限らない。それらのデータ収集地点が河川自然再生事業の場所と一致することはほとんどないということも重要である。欧州水枠組指令における用語を借りるとそれらは「監視型」モニタリングといえる。事業に必要なのはそれよりも「調査型」「操作型」モニタリングである。

とはいえ、既存情報の活用を建設的に検討することも重要である。本章では、既に入手可能な情報には何があるかを述べる。また協働を進めることでお互いに利益を生むことも述べる。

10.1 既存の情報源とモニタリング手法

対象地点の概略を見るために多くの人々が最初に使うのは Google Earth である。他にも一般に公開されている情報があり（例えば英国政府陸地測量部 Ordnance Survey から見られるもの）、基本調査にはきわめて有用である。実際に Google Earth の過去画像機能は長期変化の追跡に役立つ。アメリカ地質調査所 (USGS) の LANDSAT 画像は、空間解像度は粗いものの撮影頻度が高いため、大河川で有用となろう。これらの情報はすべてきちんとした利用許可条項が定められているので、それらの規定を破らないように注意しなければならない。



図 10.1 LiDAR データの一例。ノーフォーク州 Nar 川特別学術保護区にある荒廃湿地の状態を詳細に捉えている。(© Environment Agency copyright 2010 and the River Restoration Centre)

次に挙げられる情報源は、大型の技術的事業のために大きな公共機関によって集められたデータセットである。特にリモートセンシングや航空写真測量データが該当する。LiDAR (ライダー、Light Detection And Ranging、図 10.1) が代表的で、高解像度な標高図が作成されている。そのようなデータは、ある時点の特定地域のスナップショットを提供するのみではあるが、場合によっては非常に貴重な参考データとなる。LiDAR データ

の一部は英国環境庁（EA）から入手可能である。EA にはリモートセンシング専門家集団の空間情報科学部門（Geomatics Group）がある。

上の例に加えて、さまざまな目的をもって EA や他の団体が実施している監視型モニタリングがある。これらをうまく使えば新たなモニタリングをせずに済むこともあるし、対象地域を絞り込むことができる場合もある。ともかく、モニタリングの計画を立てるときは常に既存の情報について知っておく必要があるということである。付録 14 に関連情報の説明と所在をまとめた。付録 8～13 には既存のモニタリング手法の例を挙げてある。

表 10.1 に、EA の持っているデータベース名と情報のリストを示す。データの細かさ（空間的、時間的）は、データによって異なる。とはいえ、イングランドとウェールズでは河川や氾濫原の情報を継続的に観測しているのに対し、北アイルランドやスコットランドではデータも少なく、主に学術機関が情報を蓄積している。データセットの詳細については Bellamy and Rivas-Casado (2009)（特に第 2 章）を参照のこと。

表 10.1 環境庁（EA）のデータベース（出典：Bellamy and Rivas-Casado, 2009）

データベース名 (略称)	正式名称と簡単な説明
WISKI	水文データ。水位、流速、測水所、自然流量、表流水の取水量と排水量など。
BIOSYS	生物モニタリングデータ。無脊椎動物、大型植物、ケイソウの情報。
BIBER	流量観測とドップラー式流速計（ADCP、Acoustic Doppler Current Profiler）の測定結果。ADCP 測定の責任者の連絡先が含まれている。
RHS	河川生息場調査法（River Habitat Survey）。河川生息場の質と人為的改変の度合いに関する情報。
WIMS	地表水と排水の流量と水質のデータ。表流水の水質データをすべて含む。
NFPDB	全国魚類生息数データベース（National Fish Population Database）。漁業のモニタリングデータ。
NFCD	全国洪水沿岸防御データ（National Flood Coastal Defence Data）。洪水地図データ（GIS 形式）、施設データ（ダム、水路等の洪水防御施設や構造物）。
DRN	細密河道網（Detailed River Network）。イギリス全土の河道網の GIS メタデータベース。

10.2 協働

本書の重要な面のひとつは、より多くの人々が河川と氾濫原のモニタリングに参加できるようにすることである。ボランティアやその他のより広い関連団体と、オープンにかつはっきりと完全に協働してモニタリングを行うことにより、事業者にとっては費用が削減でき、事業外からの参加者にも明確な利益が生まれる。さらに、外からの参加者が持ち込む情熱や地元の知識は、計画成功の可能性を劇的に増加させる。

より多くの人々と協力して働くときには、さらに単純で頑健なモニタリング計画が求められ、間違いようのないほど簡潔にやり方を定義しておくべきである。

10.2.1 協働の可能性がある団体

次の団体は、協働モニタリングを受け入れる可能性がある。協働する場合には、モニタリング期間の全てとまではいかなくとも、ほとんどの期間に参加可能であることを条件とすべきである。

- 釣りクラブ
- 教育機関
 - 地元の学校
 - 大学、研究機関（モニタリング計画や改善にも関心を持つことが多い。）
- 地元の環境保護ボランティア団体
- リバートラスト
- 野生生物トラスト

10.2.2 協働の便益

事業者と外部からの参加者が享受する便益には次のようなものがある。

事業者の便益

- 費用削減（念入りな計画が必要）
- 地元の知識
- 河川の自然再生に対する一般の関心や支援の高まり（地域レベルについても世界レベルについても）
- 情熱と熱意
- 知識の共有

幅広い関係者の便益

- 地元社会の団結力向上
- 知識、教育、研修
- 現地を訪れて新鮮な空気の中で働く機会
- 研究者にとっての研究対象事例
- 知識の共有

11. 事例紹介

11.1 メイズブルック川

11.1.1 事業の概要

北東ロンドンのバーキング地区に位置する面積 45ha のメイズブルック公園（図 11.1）は、自然再生前は環境劣化のため、地域からの評価が低い状況であった。メイズブルック川は北から南へメイズブルック公園の外周に沿って流れているが、水害対策のため暗渠化され、これまで水質調査は実施されてこなかった。この川は金属製の高い柵で囲われているため、一般市民にとって川へのアクセスは不可能であった。メイズブルック川では以前から宅地と排水管の接続不良に起因する水質問題が生じており、現在テムズウォーター社がこの課題に対し2つの段階における対応を行っている。



図 11.1 メイズブルック川の位置

自然再生によりこの川はメイズブルック公園内を流れ、より自然な河岸形状と蛇行流路、背水域や池などの環境が創出された。河川の自然再生を行った公園として市民の関心と利用が高まることにより、地域の活性化にも役立つものと考えられる。

この事業の主なテーマを以下に示す。

- 持続可能な都市の再構築
- レクリエーションのアメニティ（自然へのアクセス）
- 持続可能な洪水リスク管理
- 生物多様性／環境保全
- 気候変動への適応（特にこの点に関する実証地点として）
- 湿地関連種と生息場の BAP（Biodiversity Action Plan）目標
- 陸水の保全と改善を促進する環境庁の責務（1995 年環境法）
- 都市域の現場における WFD の施行

11.1.2 自然再生前モニタリングの計画

メイズブルック川では自然再生を行う前の段階で生態系と水文地形を評価するための基礎調査を実施した。これにより、将来にプロジェクトの成否を評価することを見越した重要な情報が取得できるものと期待された。詳細については環境庁（2008）を参照のこと。この基礎調査は以下の項目を含むものであった。

- **RHS（河川生息場調査法）**：自然環境の特徴を記録する。河道と水際の植生の種類、生息場の質的評価（HQA）、生息場改変度（HMS）。
- **RCS（河川水辺調査法）**：500m 区間の視覚的な概況を作成するため、植物群落、種組成及び河道や河岸および水辺の地形の特徴について、河道満杯水位の位置から50m 以内の区域を調査。また、ビオトープ分布図を重ね合わせて河道内の異なる機能的生息場を把握し自然の作用と関係づける。
- **無脊椎動物調査**：環境庁の標準的方法に従い、上流部、中間地点及び下流部で各3 分間のキックサンプリングを行った。これらの結果は BMWP（Biological Monitoring Working Party）法、ASPT（分類群ごとの平均得点）と環境質指標（EQI）を用いて分析した。また、100m 長の代表区間で、生息場地図と目視を元に決定した各生息場からサーバーネットを用いて5 サンプルを採取した。これは、単位面積（㎡）あたりの密度と個体数を計算するために収集したものである。各サンプルの採取地点で底質、流況や植生などの物理量を記録した。調査の様子を図11.2 に示す。
- **魚類調査**：点計測の方法で実施した。電池式の背負い型電気ショッカーを使用し、各調査地点における生息場の物理量を記録した。調査範囲を狭めて小さな種の調査効率を高めるため、小さな陽極リング（直径 20cm）を使用した。代表区間において、約 5m 間隔で 43 地点のサンプルを採取した。調査は下流端から開始し、各地点で5 秒間の電気ショックにより麻痺した魚をタモ網により採取、個体識別、計測（尾叉長）を行った後、河道内に戻した。



図 11.2 キックサンプリングおよびサーバーネットによるサンプリング方法

11.1.3 自然再生前の調査結果

事前モニタリングの結果、以下の状況が確認された。

1. RHS と RCS から、河道は深掘れを起こし改修による影響が甚大であり、自然な地形や生息場としての機能が完全に欠けていることがわかった。河岸は非常に高く急であり、護岸により氾濫原との接続が失われている箇所も見られた。
2. HMS スコアではメイズブルック川は著しく改変された河川に分類された。HQA スコアでは、類似した 150 河川のうち生息場の質において下位 40%以内にランクされていることが明らかになった。分類群の数により計算された EQI スコアおよび ASPT は、メイズブルック川を一般的な品質水準として D クラス（まずまず）とした。この判定結果は、川の規模、形状、位置から期待される水準とはかけはなれたものである。
3. ビオトープ分布図では抽水植物、平瀬、澁の 3 つの機能的生息場しか確認されなかった。しかしながら、抽水植物帯は河道全体を通してみられ、常識的に考えられるように水際部に限定されているわけではなかった。サーバーネットによるサンプリング結果は、平瀬と澁では無脊椎動物組成が類似していることを示した（図 11.3）。
4. BMWP スコア 1 から 3 までの汚染耐性分類群（巻貝類、ヒル、ミズムシ、ユスリカやワーム）が改修河道の典型的な優占種となっていた。汚染に敏感なナガレトビケラ属（BMWP8）の数が少ないことから生息場の質が無脊椎動物の多様性を損なっていると考えられ、おそらく水質の問題もそれに寄与している。
5. BWMP と ASPT スコアによると、上流の調査地点では水路に流入する有機汚染の悪影響が少なく、より多様な河道内生息場を有することが示された。
6. 魚ではローチ（コイ科、ウグイに似ている）が優占しており、その生物量は総漁獲量の 63%を占めていた。他の種は、イトヨの一種（22%）、チャブ、ウグイ、ヨーロッパウナギやパーチなどで、種はある程度多様だが魚類群集構造が限られている。
7. ローチのサンプリングの結果、大半は 5 齢であることが明らかになった。また、南部の河川におけるローチの平均成長率を上回っており、競争率の低さと良好な食糧資源となる汚染耐性の底生生物の豊富さによるものと考えられる。
8. 若齢のローチは確認されなかったことから、適した産卵場が少ないと考えられる。

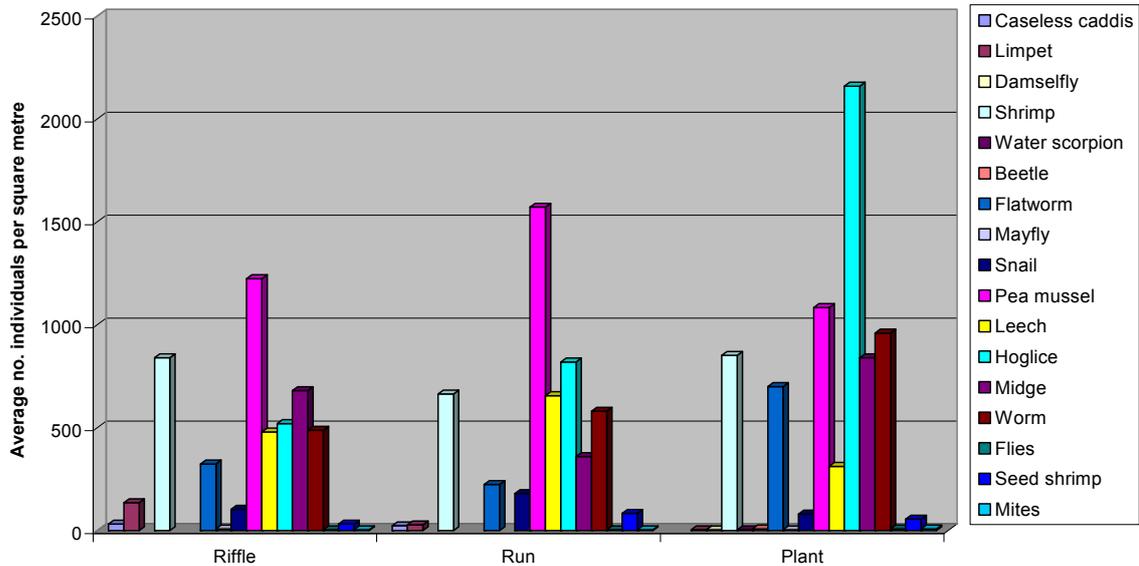


図 11.3 各機能的生息場における分類群構成と個体数

11.1.4 現在の方針と将来の取り組み

メイズブルック公園景観マスタープランが 2010 年 7 月に発表され、英国初の気候変動適応型の公共公園が出現したことを世に知らしめた。そして現在、自然再生の短期的な効果を判定する時期にきている。しかしながら本書で述べてきたように、事業が地域の生態系や人々に貢献しているかどうか評価するための鍵となるのは長期的な視点である。現在、事業の全実施期間をとおして物理化学、地形、生態系および社会の観点からモニタリングするための正式な計画が実行に移されつつある段階にある。

このモニタリング計画は、PRAGMO を使用して詳細な事業目標と SMART モニタリング目標を設定した初めての事例である。水環境、陸域環境、人間社会、気候変動の 4 テーマに分かれたワーキンググループが各分野の専門家を含めて構成され、資料の取りまとめにあっている。ワーキンググループが優先順位を付けながら立てたそれぞれの目標を、運営委員会グループが事業全体の観点から再検討し、類似したものをまとめるなどして整理した。この方法は以下の点に明確なビジョンを与えることになり、これまでのところ非常に成功を収めている。

- 本事業で達成しうる目標
- 本事業で用いるモニタリング計画
- モニタリングの費用と便益

-
- 事業の関係団体に代わりモニタリング計画を調整する担当者
 - いつ、どのような形式で、関係団体や資金提供者や国民に対して事業の効果を示せるようになるか

11.1.5 事業の関係団体

英国環境庁、ナチュラルイングランド、大ロンドン庁（Greater London Authority）、ロンドン野生生物トラスト、ロンドン市地域整備部（Design for London）、テムズ川再生トラスト（TRRT）。事業を主導するのはロンドン市東部のバーキング・アンド・ダゲナム区である。

11.1.6 参考資料

Environment Agency (2008) Mayes Brook Restoration Scheme: baseline ecological survey. 27pp

11.1.7 詳細情報

メイズブルック川プロジェクトに関する詳細情報については、河川自然再生センターのウェブサイトにあるロンドン河川整備計画（London Rivers Action Plan）のインタラクティブマップ（<http://www.therrc.co.uk/lrap.php>）を参照のこと。

11.2 コール川

コールズヒル地区を流れるコール川の自然再生事業は、革新的技術と優良施工のモデルケースとして EU LIFE 資金事業「河川自然再生：統合流域管理への効果」の実証地に選ばれた 3 地点の 1 つである。事業前は流路の直線化と河床掘削（水深増大）が 400 年以上にわたって進められ、ほぼ完全に人工的な状態であった。1997 年の自然再生工事では、2 つの区間の河床や河岸形状を再設計して約 1.3km にわたる新河道を創出し、さらに加えて 1.2km 区間の再生を実施した。さらに 2008 年には砂利の投入と倒木等の固定が行われた。

11.2.1 モニタリングの設計

この事業の便益を評価するモニタリングの目的は、課題の解決が低コストで行われていることの確認である。物理、化学、生物および社会の各側面を詳細に調査した。

事業開始時には以下の項目に便益が生じる可能性があると予測された。

- 洪水貯留と洪水緩和
- 栄養塩の削減または蓄積
- 河川の維持管理費用の削減
- 環境保全
- レクリエーションとアメニティ

地形変化を評価するための測量は、EU LIFE+事業の期間を通して実施された。事業実施前には、土砂移動調査、地形測量、土砂動態マップ作成（fluvial audit）が実施された。施工後には土砂移動調査を 2 年目および 3 年目に実施したほか、フォローアップのため事業の最終年度にも地形測量を実施した。その効果は最終報告書（RRP, 1999）に示されている。また 12 年間の水文地形変化を評価した修士論文（Molloy, 2009）は、2008 年に実施された構造物設置の効果（河床材料を粗粒化させることで州のような恒久的な地形の形成を促進し、流れの多様性をもたらすことを期待したもの）にも触れている。

物理および化学項目	
栄養塩を含む水質調査	詳細調査実施
地形の変化	✓
流量変動／水理量（流量、表流水位および地下水位）	✓
生物項目	
底生生物の生態系	詳細調査実施
水生植物群落	詳細調査実施
氾濫原の植物群落	✓
鳥類	✓
魚類	✓
社会的認識に関わる項目	
景観評価	✓
社会的認識評価	✓
流域管理に関わる項目	
費用便益分析	詳細調査実施

コール川再生事業のモニタリング項目。水質、底生生物、植物、費用便益分析についてはより詳細な調査を実施した。

11.2.2 結果

地形

地形の側面からは以下の2つについて検討した。

- 大規模な河道形態（河道の平面形状と断面形状）
- 小規模地形の存在数（瀬や淵、州、侵食崖など）

自然再生事業の実施後には、河道内地形の発達を表現するために土砂動態マップを作成した。コールズヒル橋の上流側と下流側では以下のとおり異なる地形変化の特徴がみられた。

再生区間の上流に位置する対照区間は河道整備によって人工水路状になり湛水化している。早瀬、平瀬、州や中州は存在しない。調査の結果、この対照区間では事業の実施前後でほとんど変化が認められなかった。一方、コールズヒル橋上流側の再生区間は劇的に変化した。観測の結果、平瀬、淵、州、侵食崖の数が増え、氾濫原への堆積量が増加したことが確認された。

コールズヒル橋下流側の再生区間では、侵食地形が増加し、平瀬、淵、州、中州それに氾濫原堆積物が増えていた。侵食崖は再生事業直後に激増したが、1998年3月までには事業前の水準に戻った。再生区間より下流では大幅に堆積量が増加して河床高が上昇し、複断面化した場所もあった。

モニタリングの結果をみると、1997年の再生工事は総じて河道形態の多様性を増し、生息場の状態を改善したといえる。河道長は10%長くなり、河道幅は平均で60%減少したほか、河床高は最大で約1m上昇した。Molloy (2009)によれば大きめの砂利の投入が区間全域にわたって河床材料の再分配を促し、みお筋を蛇行させる効果をもたらした。また、倒木は流れの多様性を増加させたほか、地形形成作用に変化を与えて砂利床の浅瀬など新たな生息場の形成につながったとみられる。



図 11.4 自然再生前、施工直後および数年後の状況

流量への影響

流域モデルの計算によると、再生事業を流域規模で実施するとピーク流量に大きな影響が現れる。理論的に最も効果が大きくなるのは、断面積を原況の 20%まで削減することであった。その場合流域の下流端において年生起確率 1/100 の洪水ピークが約 10%低減すると予測されたほか、より生起頻度の高い洪水に対してはさらに大幅な減少が見込まれる。例えば 1/2 確率の洪水ピークは 35%低減されると予測している (RRP, 1999)。

生物への影響

植物

自然再生工事による土砂流出などが下流の植物群落に不可逆な悪影響を及ぼした証拠は見つからなかった。新たに創出された河道における湿性種の数（水生植物および抽水植物）はすぐに施工前の水準まで回復し、河岸に堆積した泥質上にはカワヂシャモドキ (*Veronica catenata*) やタガラシ (*Ranunculus sceleratus*) などの湿地性攪乱依存種が群落を形成した。

しかし、興味深いことに既存河道の方では抽水植物と水生植物に応答速度の違いがあった。コールズヒル橋下流側の水生植物の数は再生事業の影響をほとんど受けなかったのに対し、抽水植物種数は急速に回復した (RRP, 1999)。Molloy (2009) は数年後にも水際植生の欠如を確認している。

無脊椎動物

再生河道において実施された再蛇行化は、元の河道のほとんどを除去するものであった（元の河道は新しく作成された河道からの残土で充填された）。したがって、生物の定着は施工後、既存の無脊椎動物群集が一掃された状況から始まった。

大型無脊椎動物の再定着は急速に進行し、再生事業 1 年後には種の豊富さは復元前の値をわずかに下回る程度であった。しかし、再生河道に定着した大型無脊椎動物種の希少性の平均値は、既存河道の値よりも大幅に低かった。事業前には 13 種の地域的または全国的な希少種が生息していた。統計的にみると、時間（施工前と施工後）および場所（対照区と再生区）に有意な相互関係が確認された。上流側の 2 箇所の対照区は事業期間全体を通じて同程度の種の豊富さを示した。

魚類

自然再生の実施後、魚類の密度と生物量は急速に施工前の状態に回復した。特に侵食された砂利河床の場所では最高の値となった。しかしながら、驚くべきことにこの最高値が得られたのは再生が実施された区域内ではなく、それより下流の区間においてであった。この値は再生区間内の生息場改良の効果だけではなく、魚類が産卵のため速くて浅い再生区間へ遡上する直前に下流部で休息していたことを反映している可能性もある。

魚類の種数の豊富さは、再生区間でも対照区間や下流区間でも大きな変化はなかった。事業後 12 年を経て、魚の個体数の変化を判断するためにはまだ時間がかかると結論づけられた（Molloy, 2009）ほか、地形変化以外の要因が魚類の生活史の各段階で生息を制限していると考えられる。

社会的評価

- コールズヒルの住民の 42%がこの再生事業を「良い」または「非常に良い」と評価している一方で、多くが河川環境とりわけ生態系が再確立した後の段階で事業の費用便益を確認することを望んでいる。
- 計画の全体的な印象は一貫して良好であった。53%が再生事業を広く支持した。事業開始当初のコール川の状況はそれほど悪くないように見えたことがこの数値に影響していると考えられる。

11.2.3 教訓

自然再生によって生まれた河道内地形は栄養塩のシンク（貯蔵場）として機能すると期待されていたが、いまのところ河川水の栄養塩濃度は明確には下がっていない（RRP, 1999）。しかしこれは予想されなかった事態というわけではない。中長期的には効果的に栄養塩を一時的に堆積させ除去する手順を踏むことにより水質を改善に導くことができる。しかし流域内のどこかで栄養塩が放流されてしまえば水質は事業前の水準にとどまらざるをえないだろう。

11.2.4 参考資料

- Molloy, H. (2009). Hydromorphological changes to the River Cole over a twelve year period following restoration. Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of MSc Water Management (Environmental option). 65pp.
- RRP (1999). The effects of river restoration on the R. Cole and R. Skerne demonstration sites. Final report. 60pp plus appendices. River Restoration Project, Huntingdon.

11.3 クアギー川

11.3.1 事業の概要

サットクリフ公園を流れるクアギー川は暗渠化により長年地下に閉じ込められた状態であった。地元住民は地域の開発が進むにつれより頻繁に起きるようになった家屋の浸水時に川の存在を意識する程度であった。対策にあたっては、さらなる河道の掘削と拡幅を行うよりも、洪水リスク管理と自然再生を組み合わせることで地域社会に利益をもたらす戦略が採用された。

サットクリフ公園の再生計画は、クアギー川流域の洪水緩和計画の一部であり、過去に深刻な洪水に苦しんだレイシャム市中心部の上流側に遊水地を整備するものであった。再生事業により、サットクリフ公園はリビングウェットランド賞（2007年）および水路ルネッサンス賞の自然環境部門（2007年）を獲得した。

新しく平時時の蛇行河道を以前の流路に基づいて公園内部を通る形で掘削した。従前の暗渠は大洪水時の放水路として残した。流量は、水門（スルースゲート）によって2つの水路間に振り分けられている。更なる洪水調節能力を確保するために、公園自体を掘り下げ、洪水時に最大で85,000m³の水量を貯留できる遊水地とした。木道、遊歩道と展望台が人々を川や池へいざなうように設置された。これらはすべて地域社会と野生生物保全のために欠かすことのできないものとなっている。

11.3.2 モニタリングの設計

モニタリングの目的は以下のとおりとした。

- 再生後の地形変化の確認
- 再生区間の物理的生息場の多様性の確認
- 河床と氾濫原堆積物の質の評価
- 再生区間の水質の評価
- 再生区間の生態系の評価

11.3.3 調査手法

地形

- 河道地形測量（水位、幅、水深、低水時と河岸満杯時）
- マニングの粗度係数、径深および潤辺の計算
- 流速と流量の測定
- RHS（河川生息場調査）の実施

堆積物

- 河床と氾濫原堆積物の粒径分析
- 河床と氾濫原堆積物の有機物含有量の測定
- 河床と氾濫原堆積物中の微量重金属の測定

水質

- 河川水中の重金属の測定
- 溶存酸素と pH の測定
- 硝酸塩、リン酸塩、亜硝酸塩、塩化物の測定

生態系

- 河道内の大型水生植物および水辺植生の調査
- 大型無脊椎動物の種の調査、BMWP、分類群の数および ASPT の計算

11.3.4 結果

2004年の設計図面と2006年の実測形状の比較により、再生区間は、河道満杯水位の平均幅と深さが増加し、より多様な地形形態を有するようになったことが分かった。河道内の大型水生植物の存在が流速に大きな影響を与え、広範なよみ域の形成を促していた。河床と氾濫原堆積物の両方に含まれる微量重金属の量は、多くの底質ガイドラインの値を超えていたものの、他の英国都市河川の値と比べると「通常の」範囲内に収まっている（公表されているサンプルは少ないが）。このことから、英国の都市河川の評価のための総合的な底質ガイドラインの必要性が示唆された。生態系の評価はHolmesらの分類（1998）に基づいて行われ、河道内および水際の植生組成は、平坦な低地河川と低地イングランドの貧弱な水路植生の両方の特性をもつことが確認された。平均栄養階級からは、将来的に硝酸塩とリン酸濃度のモニタリングが必要になると考えられた。大型無脊椎動物調査の結果、この水路は主に汚染耐性分類群によって優占されていることが示された。

11.3.5 教訓

サットクリフ公園クアギー川の事例の評価結果より、都市河川の再生事業をモニタリングする上でいくつかの留意事項が浮かび上がった。

- 施工段階における現場の地形情報を取得できない場合には、河道整直後のできるだけ早い時期に地形調査を実施し、将来の地形評価に使える正確な出発点データを作成しておくべきである。
- 事業後の評価結果は毎年のモニタリング調査によって再検証していく必要がある。たとえばサットクリフ公園の大型無脊椎動物は、高い BMWP 値を持つ種が少なくその多様性も低かった。しかし研究によると再生後に分類群が少なくなるのは珍しいことでなく、特に都市部における大型無脊椎動物群集の変化は、施工後数年間は顕著に現れないこともあるという。
- 都市河川の底質を評価するための標準的なガイドラインの必要性。河床堆積物の比較評価に使用したのはカナダのガイドライン (OPSQG) であり、英国の河川堆積物を評価するのに理想的なものではなかった。さらに、氾濫原堆積物の評価に使用したガイドラインは、河川堆積物ではなく土壤中の微量重金属の評価に使用するためのものであった。

11.4 セブンハッチス

11.4.1 事業内容

この STREAM 事業は、ウィルトシャー州およびハンプシャー州のエイボン川とエイボン渓谷において 4 年間にわたって実施された総額 100 万ポンドの自然再生事業であった。エイボン川とその支川は特別保全区域 (Special Area of Conservation, SAC) に、エイボン渓谷は鳥類のための特別保護区域 (Special Protection Area, SPA) に指定されている。この事業では、キンポウゲ類の生育場やタイセイヨウサケ (Atlantic salmon)、ヤツメウナギ (*Lampetra planeri*)、ウミヤツメ、ナマズ、カタツムリの一種 (*Vertigo moulinsiana*、イギリスでは希少種)、オカヨシガモ、コハクチョウなどの個体数を保全するために、川と渓谷を統合的に管理しながら戦略的な自然再生を行ってきた。

『エイボン川特別保護区における保護戦略』 (A Conservation Strategy for the River Avon Special Area on Conservation, 2003) は、エイボン川特別保護区の生態的健全性に影響を及ぼす項目を明らかにし、課題を解決するためのさまざまな活動を後押ししてきた。またこの川とエイボン渓谷の複雑な関連性も明らかにしている。2002 年 12 月には新たな事業費が確保され以下に示す活動が開始された。

-
- エイボン川特別保全区域および特別学術保護区（SSSI）とエイボン溪谷特別保護区域および SSSI を良好な状態に再生すること
 - 欧州基準で求められる保全レベルを超えて、さらなる保護優先種やそれらの生息場を含む生物多様性の改善
 - エイボン川やエイボン溪谷の自然遺産としての重要性の認知度向上と支援の増加

本事業は、水域生息場の保護を中心とした自然再生事業を通して新たな技術や知見、経験を普及させていく場として、6箇所を対象地区を選定している。

11.4.2 セブンハッチスのワイリー川

ウィルトン町のすぐ上流に位置するセブンハッチスは 6 箇所の対象地区の一つである。長きにわたり過度な拡幅や浚渫が実施されてきた区間であり、水門は上流側で背水問題を起こし、魚類の遡上を阻害している。

本事業は以下を目的としている。

- セブンハッチスのスルースゲートの高さを平均 0.15m 変更し、縦断方向の連続性を増して上流側の生息場を改善する。
- 浚渫されていた区間に掘削した砂利や礫を埋めて昔の河床高まで上昇させて保ち、均質な河床に変化を持たせる。
- 必要な場所では拡幅されすぎた河道幅を狭くし、現在の流量変動に応じた適切な横断面積を有する蛇行河道を再生する。
- 倒木を投入し、この種の生息場を増やすとともに河道地形を多様化させる。
- 小橋梁の基礎を除去し、橋脚のないシングルスパンの橋へ掛け替える。
- 横断構造物上流側に形成された湛水部をなくす
- 特別保護区域（SAC）にみられる生物種の生息場の質と利用度を向上させる

ブルヘッド

（岩盤床の淵の増加、新しく形成された平瀬や急流部への巨石の設置、幼魚のための倒木や遮蔽物の増加）

サケ

（回遊路、産卵床、稚仔魚の生息場改善）

ヤツメウナギ (*Lampetra planeri*)

(アンモシーテス幼生期のためには大きさの揃った細粒分に覆われて倒木のある日陰の岸辺域の増加、産卵する成体のためには水深 40cm 未満の砂利または砂が優占する浅場の増加)

カタツムリの一種 (*Vertigo moulinsiana*)

(水際部の環境改善)

キンボウゲ

(流速と河床地形の多様化)

11.4.3 モニタリング設計

セブンハッチスと類似した物理環境をもつ対照区域を利用して詳細なモニタリングが行われた。両地区において現地調査のデータを GIS データに変換して生息場面積の変化の差を算出できるようにした。現地調査によって得られた物理環境や生態系の特徴、サンプル採取地点や横断測量の場所など、他の空間情報も GIS 化している。

事前調査は事業実施前の生物と物理環境の状況を記録することを目的とし、事後調査は事業実施後の河道の変遷状況を記録した。今回の比較はかなり短い期間の前後比較なので、おのずと限界があることには注意が必要である。物理条件と生物の状況との関連性について、これらに影響を与える要因や作用を考慮しながら評価を行った。

以下の調査を現地で実施した。

	事前 (2006)	事前 (2007)	施工中 (2007)	直後 (2007)	事後 (2008)
物理環境図	+ ¹				+ ¹
RCS	+ ¹				+ ¹
大型水生植物調査	+ ¹	+ ³			+ ¹³
魚類調査	+ ¹				+ ¹
定点写真撮影		+ ¹²	+ ²	+ ²	
簡易評価法*		+ ²	+ ²	+ ²	

¹ Royal Haskoning

² River Restoration Centre

³ Wessex Water

* : 物理環境、植生、魚類、水生無脊椎動物、哺乳類、陸上昆虫類、鳥類、また視覚的なものや社会的な側面を含む。

注：英国の平均的な自然再生事業において必要とされるモニタリングに比べ、これはさらに網羅的なものである。2008年以降にも Royal Haskoning によってデータが収集されている。

11.4.4 結果

水文地形

砂利の投入および平瀬の再生はうまく機能し、流れに多様性を持たせることができた。さらに、河床に設置した倒木は多様な流れを局部的に創出し、倒木の直下には洗掘が確認された。平水時から豊水時に倒木によって創出される渦（乱流）が平瀬の過度の細粒化を防ぐことになると考えられた。

事業の直接的影響が明らかにみられないことから事業の総合的な評価を下すことができないのが現状である。河道幅、水深、流速の多様化は確認されたものの、水位変動などは事業による効果と言うよりは自然な範囲での変化といった評価が妥当であった。河川の自己調整機能による地形の大きな変化はより長い時間スケールの中で起こると予想される（Royal Haskoning, 2010）。

生態系

大型水生植物

高水敷の造成による河道幅の減少は水辺植生の繁茂という意味では成功した。水門上流側の粗朶や丸太の水制はシルトや土砂を捕捉し、水生植物の繁茂する浅場を既存の深場のすぐ隣に出現させて生息場の多様化をに寄与した。より大きな構造物を作ればより高い減幅効果が得られたかもしれないが、洪水時の流水流下に負の影響を与える可能性もある。

もっと大胆に川幅を狭めることも考えられた。丸太水制を河道中央にもっと突き出して設置することもできたし、粗朶沈床の幅をもっと広くとることもできた。しかし、実際に施工した構造物は周辺によくなじんでいる。植栽した植物の多くは冬季と夏季の予想以上の多雨による高水位のため生存できず計画通りにはいかなかった。植生が十分活着し繁茂するまでには何年も必要と考えられる。

事後調査では植物の被覆面積が拡大したうえ、流水を好む植物種の割合が増加し、緩流域を好む植物種の割合が減少したことが確認できたが、対照区域との比較では、事業実施による効果は明白に把握できなかった。植物の種構成は変化しなかった。

無脊椎動物

事業実施区域および対照区域の双方で、事業実施以前から無脊椎動物の種構成は多様であり、事業実施後にも種数の明瞭な変化はみられず、事業実施による明白な効果は把握できなかった。

魚類

施工 1 年後に対照区域では流水を好むサケマス類の数に変化はみられなかったが、事業実施区域では個体数の増加が確認された。カワヒメマスの個体数増にも効果があったようであるが、こちらは集水域規模の解析が必要である。しかしながら、その後サケの個体数は減少した。また、ブルヘッド類は稚魚が増えて年齢構成が変化するという改善がみられたものの、ブルヘッド類とヤツメウナギ類の総個体数は事業実施後に減少した。

11.4.5 教訓

- 事業実施前に、RRC (2009) の方法に従って **SMART 目標**を設定すべきである。そして事業目標と WFD (欧州水枠組指令) の目標に直接結び付くことを確認しつつ、設定した **SMART 目標**に合致した手法でモニタリングを実施する必要がある。
- 詳細な統計解析ができるよう、モニタリングは少なくとも **10 年計画**で実施することが望ましい。例えば、多くの河川は人工的に水深や川幅が過度に大きくされており、土砂堆積と植生繁茂を通じて元の深さや幅に戻るにはある程度の時間を要する可能性があるためである。
- モニタリングはある区間だけでなく、**リーチ全体**で実施する必要がある。これにより事業の効果を全体的に確認することが可能となる。
- 横断面、大型水生植物、無脊椎動物、魚類については詳細にモニタリングされたが、頑健な統計解析を可能とするためには**中長期にわたる**計測が必要である。大型水生植物と無脊椎動物の調査は、事業の直接効果を把握するうえで、最低でも **5 年間**は継続する必要がある。大型水生植物と無脊椎動物は事業目的に挙げられた指標ではないが、魚類のように移動する個体群に比べ、河川の健全性を示すより良い指標となりうる。
- 流速と河床材料のモニタリングは質と分解能に問題があって有効なデータを生まなかった。流速の計測は**さまざまな流況**の時に**行うべきだったし、同じくらいの水位の時期に繰り返し行う**必要があった。河床材料調査はふるいを用いて礫サイズを計測し、粒径分布の解析が可能となるよう調査を行う必要があった。
- 短期的に効果が発現するものと中長期的に効果が発現するものを考慮に入れて、モニタリング手法の設定を行う必要がある。
- 水門が構造物として存在することで再生効果には限界があり、最適な運用もできなかったため変化は小さかった。計画していた水門運用の変更は、ブッチャー川における流量減少とサケ類への影響および下流のウィルトン町における洪水危険度の上昇を懸念する声が強かったため実現することができなかった。本事業では河道内構造物による河川環境への影響を示すことができ、また 4 年間の事業を通じて**水門運用方法**を開発することもできた。

11.4.6 参考資料

Royal Haskoning (2010). Seven Hatches Case Study Draft Report: Appraisal of River Restoration Effectiveness.

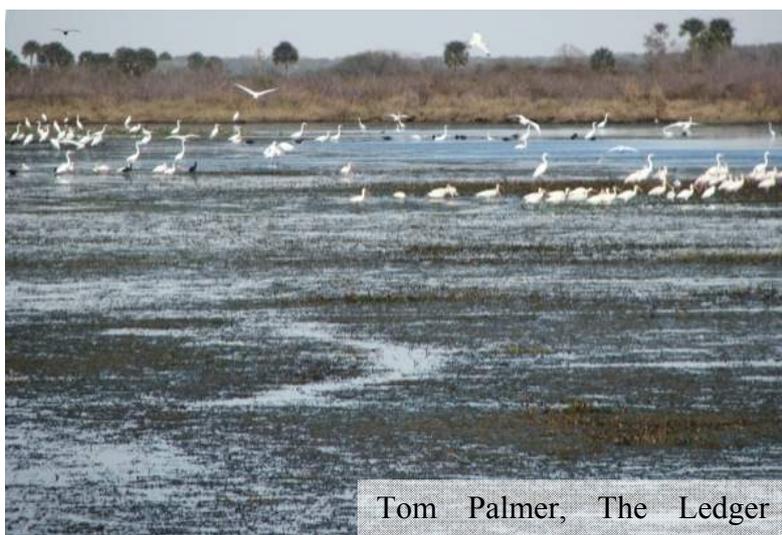
RRC (2009). Post works assessment of the STREAM restoration project sites at Seven Hatches (R. Wyllye).

11.5 キシミー川再生事業（米国フロリダ州）

11.5.1 事業内容

キシミー川は米国フロリダ州オーランド市の南側にあるキシミー湖から生じ、全米で二番目に大きいオキーチョビー湖に向かって南流する河川である。かつてキシミー川は約165kmにわたって中央フロリダを蛇行し、雨季には流域の氾濫原を長期にわたり冠水させ、湿性植物や水鳥、魚類などの生育生息環境を支えてきた河川である。当時の流路幅は2マイル近くあった。しかしながら長期にわたる洪水は人間生活に大きな被害を及ぼすことから、米国陸軍工兵隊は1962年から1971年までの間に水深9mの直線放水路を掘削した。放水路は洪水の減少には大きく寄与したものの、氾濫原の生態系には大きな影響を及ぼした。

再生事業が終了する2015年には、8,000haの湿原、70kmの旧河道を含む100km²の氾濫原が再生される予定である。キシミー川下流域で1999年に着工された「フェーズ1」が2001年に完了し、「フェーズ2」は2009年に完了した。両フェーズで30kmの再蛇行化が実施された。「フェーズ3」では放水路の埋め戻しを行い、13kmの再蛇行化が実施された。事業用地の98%にあたる40,000haはすでに取得済みであり、残すのは洪水排水能力を依然として保っておかねばならない区間のみである。本再生事業のコストは6億2000万ドルに及ぶとされている。



11.5.2 モニタリング設計

広範囲にわたるモニタリングは本再生計画の必要不可欠な構成要素である。本再生事業がキシミー川流域の生態系全体の再生を目的としていることから、モニタリングは河川だけでなく周辺の湿原を含み、水循環、水理量、水質、藻類、植物、大型無脊椎動物などの多様性、生産性および機能を対象としている。モニタリングを実施する原動力は、最終目標点だけでなく自然の営力についても考慮に入れた「61個の予測」にある。過去の数値、専門家による評価、経験的モデルや計算モデルなどによって得られるさまざまなデータに基づいて推論が行われる。

モニタリング計画の重要な構成要素の一つに、再生事業における生態系スケールでの応答を評価することを目的に作られた「キシミー川再生評価計画」(KRREP)が挙げられる。この計画には工事施工前の基礎データ、施工後およびその後の再生状況、そして結果が予測と合致しない場合の対応(順応的管理手法)までが含まれている。「キシミー川再生評価計画」(KRREP)は、

- 生態系の健全性復元といった再生事業の目標が達成されたかを評価する。
- 事業とそれに対する生態系の応答との関連性を明らかにする。
- 工事途中や完了後の順応的管理を助ける。

11.5.3 結果

フェーズ 1

このフェーズでは、構造物の除去、新たな蛇行河道の掘削および 13km に及ぶ放水路の埋め戻しを行った。これら施工後の状況は再生事業開始前の状況と比較がなされてきており、事業後の結果は興味深いものとなった。(SMWFD、2008)

- (直線化され、かつ複数の河川構造物により分断されていた流水は) 2001 年の再蛇行化によって連続した流れとなったが、それは氾濫原や周辺の湿原における生物多様性の向上や生物の群集構造の健全化に寄与した。
- 河床に堆積した有機堆積物は本事業により 71%ほどが減少した。この有機堆積物の減少は砂州の復元を促し、無脊椎動物や水鳥の新たな生息場を創出した。
- 古くからの在来の抽水植物が、望ましくない植物に代わって繁茂するようになった。
- 魚類等水生生物の生存に大きく影響を及ぼす溶存酸素濃度は、南フロリダの比較的良好な水質の河川と同様の程度にまで改善した。
- トビケラやカゲロウなどのような流水を好む水生無脊椎動物が増加した。

フェーズ 2

フェーズ 2 ではフェーズ 1 の実施箇所より上流側のキシミー湖側とエイボン公園の空軍爆撃演習場までの間において、2001 年に実施された内容と同様の事業が実施された。事業はようやく完了したばかりだが、事業による効果はある程度明らかになりつつある。

- 水質が改善し、魚類の生息個体数が増加した。特に在来のオオクチバスおよびサンフィッシュ(ブルーギルの仲間)の個体数は大きく増加した。

-
- 河道は再蛇行化により 21km から 40km に延びた。南フロリダ水管理公社の研究員マイク・チーク氏は直線河道を「高速道路」に、蛇行河道を「対面通行の田舎道」にたとえ、蛇行河道は景観も良好で生物学的にも多様であると結論づけた。(Palmer, 2000)
 - 直線化によって確認されなくなった鳥類の多くが事業後にキシミー川流域に戻ってきており、鳥類の多様度は過去と比較して高いことがわかった。多くは湿原の再生によるもので、300 種以上の鳥類が確認されている。鳥類個体数調査のために実施されている空中探査でも位置を把握することが難しいほど小さな個体の水鳥のうち、少なくとも 6 種は戻ってきたことが確認されている。

11.5.4 教訓

- さまざまな野生生物の調査研究を調整して統合化することには概ね成功したといえる。今後、生態系再生の実像をより正しく把握するため、さらなるデータの取得と共有化を図り続ける必要がある。
- このモニタリングは多方面にわたるデータ収集に加えて水文モデリングや幅広い地域的研究などを含んでおり、本書の中でも「あれもこれも揃った」タイプの再生事業評価の典型例といえる。
- 本事業は対象規模、費用、意欲的な「予測」において例外的なケースであろうが、河川のみならず周辺の氾濫原や湿原における生息場と生物種に対する生態系スケールの事業影響についてはいまだ研究は途上にある。このような大きなスケールでの研究データは非常に稀である。2013 年まで予定されている上流湖群の貯水容量増加に続いて、生態系再生の評価は 2018 年まで継続される。データはおよそ 20 年にわたって蓄積されることになり、**世界最長のモニタリング**と思われる。

11.5.5 参考文献

England, J. (2001) Kissimmee Restoration Project, Florida. River Restoration News, Issue 10, 4-5.

South Florida Water Management District (2008) Below the surface an in-depth look at...Kissimmee River Restoration Phase 1: Environmental Recovery is Under Way.

http://my.sfwmd.gov/portal/page/portal/xrepository/sfwmd_repository_pdf/belowthesurface.krr20081020.pdf accessed on 21st October 2010.

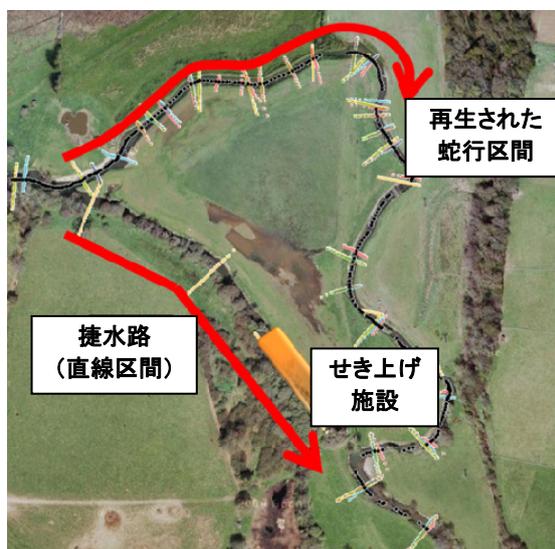
Palmer, T. (2010) "Birds Flock to Restored Wetlands Along Kissimmee River", The Ledger.com. <http://www.theledger.com/article/20100223/NEWS/2235028/1338> accessed on 21st October

11.6 ショプハムループ

11.6.1 事業内容

ウエストサセックス州の西ロザー川では、18世紀に約850mの蛇行区間をショートカットして捷水路区間がつけられていた。2004年に捷水路区間にせき上げ施設が設置され、蛇行区間に流れが戻された。再蛇行前は蛇行区間にほとんど流速がないため著しい土砂堆積が進んでいた。そのためまずはこの土砂を除去することが必要であった。再蛇行化とともに氾濫原の一部を掘削し、堤防をかさ上げして蛇行内岸側の冠水頻度を高めた。また副流路を掘り、直線区間との分流点および合流点付近には河床に大礫と小石を敷きつめた。

右図は、本事業地における再蛇行区間、直線区間および調査測線の位置等を示す空中写真である。



11.6.2 モニタリング設計

本事業のモニタリングは以下の事項を主なねらいとした。

1. 物理環境の変化に伴う地形の応答を把握する。
2. 再蛇行区間と隣接区間における水循環と水量の変化に伴う洪水位への影響を明らかにし河道内水量の解析を行う。
3. 物理環境の変化に対する生態系の応答および生息場適性モデルを通じてその応答機構を明らかにする。
4. 氾濫原の種を中心とした周辺域における生態系の変化を明らかにする。
5. 河道地形、河床材料構成、動植物の定着などの変化要因を明らかにし、再生事業によって生まれた物理生息場を事業目標と比較する。

以下のようなデータを現地で計測した。

	施工前	施工直後	2005	2006	2007	2008	2009
地形測量	+	+	+	+			+
定点写真撮影	+	+	+++	+++	+++	+	
水位観測 (15分ごと)			+	+	+	+	+
無脊椎動物調査	+		+	+	+		+
電気漁法による魚類調査			+	+	+		+
大型水生植物調査			+	+	+		+

注意してほしいのは、本事例はモニタリング項目間の相互作用を理解することによって最善のモニタリング方法を探るための実験を兼ねているということである。英国の平均的な自然再生事業に必要とされるモニタリングに比べ、より網羅的な計画となっている。

11.6.3 結果

モニタリングにより以下の項目が明らかとなった。上述したモニタリングのねらいごとに示す。

1. 河道形状の小さな変化が確認された。中でも大きな形状変化は 1 年以内と非常に早い時期に起こることがわかった。これは再蛇行区間の河道はより複雑な形状を発達させていたことを示すものであった。
2. 下流の横断形状と流量観測値を用いて生息場の水理計算を行ったところ、生息場は横断形状が複雑になるにつれて多様化したことがわかった。
3. 魚類の個体数と多様度は、上流と下流の対照区間と比較すると再蛇行後に増加する傾向を示した。副流路には魚類が密集しており、冠水頻度が増えたことをうかがわせた。植生は着実に増加したが、種数は再蛇行施工後すぐに頭打ちとなった。無脊椎動物は魚類と同様 2006 年に多様度と個体数のピークを迎えた以外には明瞭な傾向がみられなかった。
4. 定点写真撮影により氾濫原植生の大まかな変化が確認できた。
5. 河道形状の最も大きな変化は大礫の設置によって引き起こされたことがわかった。

11.6.4 主な教訓

本事例には**明確な目標**が欠けており、実施方法が**きちんと定められていなかった**。モニタリングのねらいは上述したように存在していたものの、事業目標は SMART の仕様に合致していなかった。実際のところ目標は再蛇行工事の開始後に、モニタリングを実施するうえでの必要性から設定されたのが事実である。明確な目標が設定されていなかったため、結果的に事業成果を評価しうる証拠を得ることが困難となった。また使用すべき手法を詳しく明示しなかったことで、この野心的なモニタリング計画は迷走してしまった。全体を一貫してとりしきる責任者がいなかったこともあり、それぞれのモニタリング従事者が犯した単純ミスや誤解、不統一などによって結果の質は大きく損なわれてしまうこととなった。多くのモニタリングデータは施工前や施工後の値と比較することができないため、その効果を発揮していないのが現状である。

実験的な性格をもっていたためモニタリングの内容は時間の経過とともに発展していき、次々と新しいデータ取得が増えていった。しかしながらこういった事態は避けるべきである。収集したデータが年ごとに異なり、新しいデータには比較対象となるべき対応する（事前）基礎データ（**対照データ**）がないためである。むしろ、最初は必要以上の地点でサンプルをとって総合的な基礎状態を確実に把握し、アクセスしにくい場所や価値が低かったり精度が悪かったりするものを除いていくやりかたの方がずっと望ましい。ショップハムのモニタリングは工事開始前に計画されたものではなく、基礎状態の把握が不完全である。このような状況下では、多くの結論が施工前と比較した環境改善効果ではなく施工後の変化に偏らざるを得ない。事業実施箇所からそれほど遠くない上下流に魚類と無脊椎動物の定期調査地点が既に存在していたことが幸いして、対照データの取得は概ね順調に進んだ。それらを除くと、この川（事業未実施区間）における地形の変化や植生の季節変化、遷移の状況などの情報は非常に少ない。

モニタリング手法がねらいの全てをカバーできていないことも問題の一つといえる。第一のねらいに挙げられていた河岸や砂州、高水敷などの地形の発達については結論を導き出すことができない。氾濫原や周辺域での生態系の応答はほぼ忘れ去られている（ねらいの4）。さらに、河床材料構成や事業目標など5番目のねらいを検証する情報も不十分である。施工前データが欠如しているので洪水氾濫に対する影響も正しく評価できない。

課題を要約すると

- ・第一に、SMART目標の欠如
- ・成否を問うに適したモニタリング手法を選択できていない
- ・施工前（基礎）データの欠如
- ・実施方法が正式に定められていない
- ・これらが間違ったデータ収集を導き、多くのデータが捨てられることになってしまった

11.6.5 見直し後の実施計画

上記の反省を生かし、各データに関する個別の課題も踏まえて、曖昧ながらも定められている前述のねらいに対応すべく以下のように実施計画を見直した。

1. 地形

横断測量は事業区間の直下流、直上流および変化が起きると専門家が予測した箇所のみで実施し、調査断面には色付けした2mの杭を十分に比高の高い所に打つなどして場所を明示する。水平方向に等分した点において施工前、施工直後（流水が再蛇行区間に入る前）および施工1年後、2年後、4年後、10年後に標高を測定することとし、必要に応じて頻度を調整する。測量は植生がそれほど繁茂しておらず、アクセスが制限されない程度の流量流下時に行う。同時に、土砂の堆積する止水域として残存している旧直線河道でも測量を実施する。それぞれの測量は厳密に同一の方法で行われなければならない。後述する5の変化要因も参照のこと。

RCS法（河川水辺調査法）による**物理生息場分布図**の作成は第1のねらいを達成するために最も直接的な方法である。地形測量と同時に作成するのがよい。河道生態系調査をより頻度高く実施しているならばそれらに同期させることにより第5のねらいの一部として相互作用を評価できる可能性がある。分布図は**デジタル化**して他の解析にも活用できるようにする。5の変化要因も参照のこと。

2. 水理量

再蛇行区間に1箇所、その上下流約200m～300m地点に2箇所設置した水位計による**水位記録**は、氾濫原の測量と合わせて洪水位とその生起頻度を把握するには十分だった。しかし、圧力式水位計は洪水時の損傷やいたずらを避けるようしかるべく防護しておく必要があったし、設置高さを正確に測量しておかねばならなかった。より単純に、**氾濫原の内部**に水位計を一つか二つ設置しておくことで、測量抜きでも氾濫の有無と浸水深をより明確に把握することが可能と考えられる。ただし河道内の水位記録は水理計算の検証用にも使える。

水理条件とその変化は主に河道内の地形調査からほぼ導き出されるが、地形測量結果を踏まえた**モデリング**はさらに有効と思われる。計算対象区間や重点観測区間では**流量**（近くの観測所の値をこの地点の水位や流速計測で補正する）、**河床材料**、**河道内植生**をすべて同時に記録しておく必要がある。

3. 河道内生態系

生態系の**調査範囲**は止水域となった放水路部まで**拡大**する必要がある。この区間には新しく出現した生息場など事業の影響を大きく受けた場所がある。

無脊椎動物と魚類の**調査時期**は、上下流における従来の定期調査と可能な限り**合わせる**べきである。これにより事業による影響と関係のない年変化や季節変化を把握することができる。

標準的なキックサンプリング法を用いるが、地点と時期は**モニタリング目標**と手持ちの資源量を十分に考えて定める。蛇行部全域の代表値を得るのが目的で、しかも多数回の生物採集を行える場合は、調査地点をランダムに設定するのがよい。調査回数を少数に抑えなければならない場合は定点調査の方がよい。やはり生物調査は地形調査と同時に実施すべきだが、無脊椎動物群集の変動は激しいので、できればそれ以上の頻度で実施したい。もし従来の定期調査からデータを得られない時期があったなら、それを補う**対照データ**が必要となる。集約的に行う蛇行部内の調査に対し、定期調査のデータが比較可能なほどの質を有するかどうか検討する必要がある。新しく出現した生息場に入り込む生物群集を調べるためには、施工後1年目の調査頻度を高めないとその速い変動をとらえることはできない。5の変化要因も参照のこと。

電気ショック漁法もまた既存の定期調査と時期および手法を揃えて実施すべきである。必ずしも他の調査と同時に行う必要はないが、地形測量のタイミングは参考にするとうよい。魚類の産卵期には実施を避けるべきである。魚類の増加は具体的に定められている数少ない事業目標の一つであったため、魚類の体長もしくは重量を計測し、また幼魚は別扱いできちんと記録に残して個体群動態を把握すべきである。

種と合計被覆率を調べている大型水生植物調査は概ね目的に合致していたといえるが、植物各々の種による被度を把握する方がよかった。また直線区間（できれば旧蛇行区間も）における事業実施前データを収集すべきであった。種のレベルまで自信を持って同定できる調査員のみがこれらの記録をとるべきであるのに、実際には明らかな間違いや不完全な種の記録が問題になってしまった。

4. 景観と氾濫原

定点写真撮影は事業地区全域で行う必要があり、事業の影響があると思われる箇所は必ず撮影すべきである。最初はなるべく多くの撮影定点を設定しておき、調査の進捗に合わせて少しずつ減らしてもよい。撮影地点には横断測量と同様に杭を打つなどして位置を明確にしておき、写真の中央線となる向きもわかるようにしておくとうよい。画像の処理や重ね合わせを容易にするために、毎年同じカメラ、同じレンズ設定で撮影することが望ましい（本モニタリングでは35mmレンズを常に用いた）。焦点距離（ほとんどのデジタルカメラは自動的にファイルのメタデータに記録される）と画角については、後日画像を調整する可能性があるのでメモを取っておくことが望ましい。事業実施前には必ず撮影を実施する必要があり、施工直後もまた同様である。冬季には少なくとも一回、低水路がほとんど見えるよう流量が少ない時に撮影する。夏季には植生が最もよく見える時に一回撮影する。植生遷移の進行にあわせて、事業実施後5年間は毎年、その後は3年～5年に1回の撮影が適当である。他の地点での撮影実施も考慮するとうよい。

氾濫原での方形枠調査によって植物種の有無や被度の変化を把握することが可能となる。1㎡方形枠を10～20箇所ランダムに配置して、施工前に1回、それ以降は毎年晩春に1回の写真撮影をすれば十分である。

鳥類調査は事業実施前に事業区間直上流で行われていた。冠水頻度の上昇とそれに伴う植生変化は鳥類にも影響を及ぼすと予想され、モニタリングは事業実施後1年目、2年目、4年目、7年目、そして10年目に行われるべきである。モニタリングは同じ手法、同じ努力量にそろえて実施する必要がある。事業地域内での実施前データとして、理想的には鳥類の年変動を考慮して複数年にわたる事業実施前調査を行うことが望ましい。地域の住民や地元の愛鳥家団体を交えて調査を実施するのが良い方法である。

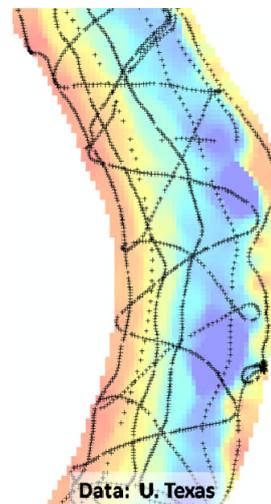
落とし罟は氾濫原の無脊椎動物やモグラ等小型哺乳類の変化を捉えるのに適している。半永久的な落とし穴を20箇所ほど各地に分散させて設置し、非使用時は蓋をしておくとうよい。事業実施前に1回、その後は年1～2回（冬季を除く）、1週間程度の調査を実施すれば種と個体数のデータが収集できる。調査は毎年同じ時期に実施し、調査中は1日1回必ず穴の中を確認することが肝要である。穴に落ちた生き物の食い合いを最小限に抑えるためである。

5. 変化要因

変化要因の調査は容易でない。統計解析が可能となるよう多くのデータが必要であり、そのためのモニタリングを要する。

例えば、**地形測量**の方法を変え、より密なデータを取得する必要があるかもしれない。

事業後に変化すると予測されている箇所や重要な箇所に絞り、等間隔の格子点状かあるいは縦横に適度にランダムな地点で標高または水深を計測する。この方法は右図に示した例をさらに**細かく均等化**したものといえる。これにより統計処理やモデル構築の精度向上が期待できるとともに、クリギングによる信頼性の高い内挿を行えば河道の三次元形状を作り上げられる（右図の色が地形）。ここから任意断面の横断形状を容易に抽出することができる。図に示したまばらで偏ったデータを用いた大規模な例からも、この手法が淵や交互砂州などの地形を判別可能であることがわかるだろう。



生息場分布図を作成する際には**河床材料**の記録方法に留意する必要がある。具体的な目的によっては、粒径加積曲線が作成できるようなデータを収集することが望ましい。

測量断面などにおける**流速の計測**は、2 で述べたごとく水理計算モデルの検証に有効である。加えて、事業実施後の水理条件が物理生息場の創出や植生の遷移、生物の定着にどのように影響し、関連しているかを詳しく解析することにも重要な役割を果たす。

瀬や淵などの**物理的生息場ごとに階層化された無脊椎動物の調査**は、生物の定着要因を考察するうえで重要である。可能であれば、調査地点の何箇所かで水深の計測を行うことが望ましい。実際に階層化された調査は実施したものの、**定義が曖昧**だったため調査員により瀬や淵などの区分がばらばらになり、ほとんど比較の用をなさなかった。

河道植生は事業により生育や拡大といった影響を受けもするが、他の生物の定着に影響を与える要因にもなりうる。よって**大型水生植物の分布図**作成は河道形状変化の過程に関する知見を収集する上で非常に重要である。植生被覆は他のデータと合わせて解析するため、GIS等**デジタル化**しておくことが望ましい。

12. 参考文献

12.1 Formal literature

- Alexander, G. G. and Allan, J. D., 2007, "Ecological success in stream restoration: Case studies from the midwestern United States", *Environmental management*, vol. 40, no. 2, pp. 245-255.
- Baldigo, B. P. and Warren, D. R., 2008, "Detecting the response of fish assemblages to stream restoration: Effects of different sampling designs", *North American Journal of Fisheries Management*, vol. 28, no. 3, pp. 919-934.
- Bash, J. S. and Ryan, C. M., 2002, "Stream restoration and enhancement projects: Is anyone monitoring?", *Environmental management*, vol. 29, no. 6, pp. 877-885.
- Bernhardt, E. S., Sudduth, E. B., Palmer, M. A., Allan, J. D., Meyer, J. L., Alexander, G., Follstad-Shah, J., Hassett, B., Jenkinson, R., Lave, R., Rumps, J. and Pagano, L., 2007, "Restoring Rivers One Reach at a Time: Results from a Survey of U.S. River Restoration Practitioners", *Restoration Ecology*, vol. 15, no. 3, pp. 482-493.
- Boon, P.J., Holmes, N.T.H., Maitland P.S. and Rowell, T.A., 1996 SERCON: System for evaluating rivers for conservation: version 1 manual. Scottish Natural Heritage Research, Survey and Monitoring Report No 61 SNH, Perth, Scotland
- Bryant, M. D., 1995, "Pulsed monitoring for watershed and stream restoration", *Fisheries*, vol. 20, no. 11, pp. 6-13.
- Caruso, B. S., 2006, "Project river recovery: Restoration of braided gravel-bed river habitat in New Zealand's high country", *Environmental management*, vol. 37, no. 6, pp. 840-861.
- Chadd R, Extence C., 2002, The conservation of freshwater invertebrate populations: a community-based classification scheme. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 14: 597-624.
- Chesters, R. K., 1980, Biological monitoring working party. The 1978 National testing exercise. Department of the Environment, Water Data Unit, Technical Memorandum 19, Reading, UK.
- Christian-Smith, J. and Merenlender, A. M., 2008, "The Disconnect Between Restoration Goals and Practices: A Case Study of Watershed Restoration in the Russian River Basin, California", *Restoration Ecology*.
- CIS Guidance on Monitoring, 2003, Water Framework Directive. Common Implementation Strategy,
- Clarke, S. J., Lydia Bruce-Burgess and Wharton, G., 2003, Linking form and function: towards an eco-hydromorphic approach to sustainable river restoration, *Aquatic Conservation*, vol. 13, no. 5, pp. 439-450.
- Darby, S. E. and Sear, D. A., 2008, *River restoration: Managing the uncertainty in restoring physical habitat*, Wiley, Chichester, UK
- Downes, B. J., Barmuta, L. A., Fairweather, P. G., Faith, D. P., Keough, M. J., Lake, P. S., Mapstone, B. D. and Quinn, G. P., 2002, *Monitoring ecological impacts: concepts and practice in flowing waters*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Downs, P. W. and Kondolf, G. M., 2002, "Post-project appraisals in adaptive management of river channel restoration", *Environmental management*, vol. 29, no. 4, pp. 477-496.
- Dytham C., 2003, *Choosing and using statistics: A biologist's guide*. Blackwell publishing.
- Ehlers, R., 1956, An evaluation of stream improvement devices constructed eighteen years ago, *California Department of Fish and Game*, vol. 42, no. 3, pp. 203.
- Elliott, J. M., 1977, Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates., FBS Scientific Publication No.25.
- England, J., Skinner, K. S. and Carter, M. G., 2008, "Monitoring, river restoration and the Water Framework Directive", *Water and Environment Journal*, vol. 22, no. 4, pp. 227-234.
- Ennos A.R. & Bailey S. E. R., 1995, *Problem Solving In Environmental Biology*, Longman Scientific & Technical
- Environment Agency, 2003, *River Habitat Survey in Britain and Ireland: Field Survey Guidance Manual*. River Habitat Survey Manual: 2003 version, Environment Agency, 136 pp.
- Environment Agency, 2008, *Freshwater macro-invertebrate sampling in rivers: Operation Instruction*, Doc No 018_08 Version 1.
- Evaluating River Restoration Procedures: The Case of the UK, 2004, PhD Thesis Queen Mary University of London, Lydia Bruce-Burgess.

-
- Extence C.A., Balbi D.M., Chadd R.P., 1999, River flow indexing using British benthic invertebrates: a framework for setting hydroecological objectives. *Regulated Rivers Research and Management* 15: 543-574.
- Florsheim, J., Mount, J. and Constantine, C., 2006, A geomorphic monitoring and adaptive assessment framework to assess the effect of lowland floodplain river restoration on channel-floodplain sediment continuity, *River Research and Applications*, vol. 22, no. 3, pp. 353-375.
- Follstad Shah, J. J., Dahm, C. N., Gloss, S. P. and Bernhardt, E. S., 2007, River and riparian restoration in the southwest: Results of the National River Restoration Science Synthesis project, *Restoration Ecology*, vol. 15, no. 3, pp. 550-562.
- Giller, P., S., 2005, River restoration: Seeking ecological standards. Editor's introduction, *Journal of Applied Ecology*, vol. 42, no. 2, pp. 201-207.
- Gillilan, S., Boyd, K., Hoitsma, T. and Kauffman, M., 2005, Challenges in developing and implementing ecological standards for geomorphic river restoration projects: A practitioner's response to Palmer et al. (2005), *Journal of Applied Ecology*, vol. 42, no. 2, pp. 223-227.
- Habersack, H. and Nachtnebel, H. P., 1995, Short-term effects of local river restoration on morphology, flow field, substrate and biota, *Regulated Rivers: Research & Management*, vol. 10, no. 2-4, pp. 291-301.
- Habersack, H., Schabuss, M., Liedermann, M., Tritthart, M., Blaschke, A., P. and Schiemer, F., 2009, Integrated monitoring and modelling at the Danube east of Vienna, *OEIAZ Oesterreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift*, vol. 154, no. 1-6, pp. 179; 179-193; 193.
- Harper, D.M. and Smith, C., D., 1995, Habitats in British Rivers: Biological Reality and Practical Value in River Management, Research and Development Note 346, National Rivers Authority, Anglian Region.
- Harris, S., Martin, T. and Cummins, K., 1995, A model for aquatic invertebrate response to Kissimmee River restoration, *Restoration Ecology*, vol. 3, no. 3, pp. 181-194.
- Heino, J., Louhi, P. and Muotka, T., 2004, Identifying the scales of variability in stream macroinvertebrate abundance, functional composition and assemblage structure, *Freshwater Biology*, vol. 49, no. 9, pp. 1230-1239.
- Henderson P. A., 2003, *Practical Methods in Ecology*, Blackwell Publishing
- Henderson, P. and Seaby, R., 2008, *A practical handbook for multivariate methods*. Pisces Conservation Ltd.
- Holl K.D. and Cairns J. Jr, 1996, Restoration ecology: some new perspectives. In: *Preservation of Natural Diversity in Transboundary Protected Areas: Research Needs/Management Options* (Eds A. Breymer & R. Noble), pp. 25-35. National Academy Press, Washington D.C.
- Kail, J., Hering, D., Muhar, S., Gerhard, M. and Preis, S., 2007, The use of large wood in stream restoration: Experiences from 50 projects in Germany and Austria, *Journal of Applied Ecology*, vol. 44, no. 6, pp. 1145-1155.
- Kemp, J.L. Harper, D.M. and Cros G. A., 1999, Use of 'functional habitats' to link ecology with morphology and hydrology in river rehabilitation, *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 9, 159-178
- Klein, L. R., Clayton, S. R., Alldredge, J. R. and Goodwin, P. (2007), Long-term monitoring and evaluation of the lower red river meadow restoration project, Idaho, U.S.A, *Restoration Ecology*, vol. 15, no. 2, pp. 223-239.
- Kondolf, G. M., Anderson, S., Lave, R., Pagano, L., Merenlender, A. and Bernhardt, E. S., 2007, Two decades of river restoration in California: What can we learn?, *Restoration Ecology*, vol. 15, no. 3, pp. 516-523.
- Lepori, F., Palm, D., Brännäs, E. and Malmqvist, B. (2005), Does restoration of structural heterogeneity in streams enhance fish and macroinvertebrate diversity?, *Ecological Applications*, vol. 15, no. 6, pp. 2060-2071.
- Mant, J. and Janes, M., 2008, Appraising river restoration projects: Integrated approaches for project managers, Gumiero, B., Rinaldi, M. and Fokkens, B. (eds.), in: *Proceedings of the IVth International Conference on River Restoration 2008*, 16/19 June 2008, Venice, Italy, Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale, Costabissara, Italy, pp. 559.
- McDonald, L. L., Bilby, R., Bisson, P. A., Coutant, C. C., Epifanio, J. M., Goodman, D., Hanna, S., Huntly, N., Merrill, E., Riddell, B., Liss, W., Loudenslager, E. J., Philipp, D. P., Smoker, W., Whitney, R. R. and Williams, R. N., 2007, Research, monitoring, and evaluation of fish and wildlife restoration projects in the Columbia river basin: Lessons learned and suggestions for large-scale monitoring programs, *Fisheries*, vol. 32, no. 12, pp. 582-590.

-
- Merritt, R. W. and Cummins K. W., 1996, An introduction to the aquatic insects of North America, Kendall/Hunt publishing company.
- Miller, S. W., Budy, P. and Schmidt, J. C., 2010, Quantifying macroinvertebrate responses to in-stream habitat restoration: Applications of meta-analysis to river restoration, *Restoration Ecology*, vol. 18, no. 1, pp. 8-19.
- Murray-Bligh JAD, Furse MT, Jones FH, Gunn RJM, Dines RA, Wright JF., 1997, Procedure for collecting and analysing invertebrate samples for RIVPACS. Environment Agency: Bristol, UK.
- National Rivers Authority, 1992, River Corridor Surveys. Conservation Technical Handbook Number 1.
- Nilsson, C., Lepori, F., Malmqvist, B., Törnlund, E., Hjerdt, N., Helfield, J., M., Palm, D., Östergren, J., Jansson, R., Eva Brännäs, E., and Lundqvist, H., 2005, "Forecasting environmental responses to restoration of rivers used as log floatways: An interdisciplinary challenge", *Ecosystems*, vol. 8, no. 7, pp. 779-800.
- O'Donnell, T. K. and Galat, D. L., 2008, Evaluating success criteria and project monitoring in river enhancement within an adaptive management framework, *Environmental management*, vol. 41, no. 1, pp. 90-105.
- Palmer, M. A., Bernhardt, E. S., Allan, J. D., Lake, P. S., Alexander, G., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C. N., Follstad Shah, J., Galat, D. L., Loss, S. G., Goodwin, P., Hart, D. D., Hassett, B., Jenkinson, R., Kondolf, G. M., Lave, R., Meyer, J. L., O'Donnell, T. K., Pagano, L. and Sudduth, E., 2005, Standards for ecologically successful river restoration, *Journal of Applied Ecology*, vol. 42, no. 2, pp. 208-217.
- Palmer, M., Allan, J. D., Meyer, J. and Bernhardt, E. S. (2007), River restoration in the twenty-first century: Data and experiential knowledge to inform future efforts, *Restoration Ecology*, vol. 15, no. 3, pp. 472-481.
- Pardo, I. and Armitage, P.D. 1997. Species assemblages as descriptors of mesohabitats, *Hydrobiologia*, 344, 111-128.
- Parish, F., 2004, A review of river restoration experience in east Asia, in Parish, F., Mohktar, M., Abdullah, A. R. B., et al (eds.) *River restoration in Asia; proceedings of the east Asia regional seminar on river restoration*, Global Environmental Centre and Department of Irrigation and Drainage, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 14-23.
- Pretty, J. L., Harrison, S. C., Shepherd, D. J., Smith, C., Hildrew, A. G. and Hey, R. D., 2003, River rehabilitation and fish populations: assessing the benefit of instream structures, *Journal of Applied Ecology*, [Online], vol. 40, .
- Pullin, A. S. and Knight, T. M., 2003, Support for decision making in conservation practice: An evidence-based approach, *Journal for Nature Conservation*, vol. 11, no. 2, pp. 83-90.
- Pullin, A. S. and Knight, T. M., 2009, Doing more good than harm - Building an evidence-base for conservation and environmental management, *Biological Conservation*, vol. 142, no. 5, pp. 931-934.
- Resh, V. H. and McElravy E.P., 1993, Contemporary quantitative approaches to biomonitoring using benthic macro-invertebrates. *Freshwater biomonitoring and benthic macro-invertebrates*. D. M. a. R. Rosenberg, V.H. New York, Chapman and Hall: 195-233.
- Roni, P. (ed.) (2005), *Monitoring Stream and Watershed Restoration*, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Roni, P., Beechie, T. J., Bilby, R. E., Leonetti, F. E., Pollock, M. M. and Pess, G. R. (2002), A review of stream restoration techniques and a hierarchical strategy for prioritizing restoration in Pacific Northwest watersheds, *North American Journal of Fisheries Management*, vol. 22, no. 1, pp. 1-20.
- Roni, P., Hanson, K. and Beechie, T., 2008, Global review of the physical and biological effectiveness of stream habitat rehabilitation techniques, *North American Journal of Fisheries Management*, vol. 28, no. 3, pp. 856-890.
- Schiemer, F., Hein, T. and Reckendorfer, W., 2007, Ecohydrology, key-concept for large river restoration, *International Journal of Ecohydrology & Hydrobiology*, vol. 7, no. 2, pp. 101-111.
- Society for Ecological Restoration International www.ser.org
- Science & Policy Working Group (Version 2: October, 2004)
- Shields Jr., F. D., Knight, S. S., Morin, N. and Blank, J., 2003, Response of fishes and aquatic habitats to sand-bed stream restoration using large woody debris, *Hydrobiologia*, vol. 494, pp. 251-257.
- Sokal, R. R. and Rohlf F. J., 1969, *Biometry, The principals and practice of statistics in biological research*. New York, W.H. Freeman and Company.
- Stewart-Oaten, A, W, Murdoch, W. and Parker, K.R., 1986, Environmental Impact Assessment: "Pseudoreplication" in Time?, *Ecology* 67, 929-940.

Sutherland, W. J., Pullin, A. S., Dolman, P. M. and Knight, T. M., 2004, "The need for evidence-based conservation", *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 19, no. 6, pp. 305-308.

Tarzwell, C. M., 1937, Experimental evidence on the value of trout stream improvement in Michigan, *American Fisheries Society*, vol. 66, pp. 177.

Underwood, A., 1994, On beyond BACI: sampling design that might reliably detect environmental disturbances, *Ecological Applications* 4: 3-15.

Van Emden, H., 2008, *Statistics for Terrified Biologists*, Blackwell Publishing

Waite, S., 2000, *Statistical Ecology in Practice*, Prentice Hall

Watt, T.A., 1997, *Introductory Statistics for Biology Students (1997)*, Chapman & Hall

Wohl, E., Angermeier, P. L., Bledsoe, B., Kondolf, G. M., MacDonnell, L., Merritt, D. M., Palmer, M. A., Poff, N. L. and Tarboton, D., 2005, "River restoration", *Water Resources Research*, vol. 41, no. 10.

Woolsey, S., Capelli, F., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Paetzold, A., Roulier, C., Schweizer, S., Tieg, S. D., Tockner, K., Weber, C. and Peter, A., 2007, A strategy to assess river restoration success, *Freshwater Biology*, vol. 52, no. 4, pp. 752-769.

Working Group 2.7, Monitoring. Final Version. 23 January 2003, 164 p.

Web Links

<http://www.waterframeworkdirective.wdd.moa.gov.cy/docs/GuidanceDocuments/PolicySummary/MONITORINGPolicySummary.pdf>

12.2 Indirect or 'grey' literature

12.2.1 General

Bellamy, P and Rivas- Casado, M (2009) Statistical analysis design study to investigate river restoration effectiveness EA, Science Report SC070024 EA Bristol

Boon, P. J., Holmes, N. T. H., Maitland, P. S., Rowell, T. A. (1996) Annex 1: Standard method for river macrophyte survey and for determining River Community Type in SERCON: System for Evaluating Rivers for Conservation: Version 1 manual, 156-167.

Bruce-Burgess, L. (2001) An Evaluation of UK River Restoration Appraisal Procedures – results from a national survey. Interim R & D Report, 24pp

Bruce-Burgess, L., and Skinner, K. (2004) 'Appraisal: River Restoration's Missing Link', 25pp.

Bruce-Burgess, L. (2004) Evaluating river restoration appraisal procedures: the case of the UK. PhD at Queen Mary, University of London, 251pp & Appendix

deSmith, L. (2005) The development of the 'Post River Restoration Assessment' for evaluating river restoration projects, Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science, Cranfield University, 55pp.

Joint Nature Conservation Committee (2005) Common Standards Monitoring Guidance for Rivers, 59pp

Hurford, C., Schneider, M., and Cowx, I. (2009) Conservation Monitoring in Freshwater Habitats: A Practical Guide and Case Studies, 415pp

Matthews, J. (2010) Short term indicators of Rehabilitation Success, Dissertation as part of Masters in Water Management at the University of Nijmegen, the Netherlands, 41pp.

Roni, P. (2005) Monitoring stream and watershed restoration, Northwest fisheries science centre, 350pp

Water and Rivers Commission, Government of Western Australia (2002) Water notes: 'Monitoring and evaluating river restoration works', 12pp

12.2.2 By Sub-discipline

Fishways and fish passes

DVWK (2002) Monitoring of fish passes, in *Fish passes – Design, dimensions and monitoring*, 103-106.

Travade, F., and Larinier, M. (2002) Monitoring techniques for fishways, in *Fishways: biological basis, design criteria and monitoring*, 166-180.

Floodplain

EU Life-Environment Project (1999) *Wise Use of Wetlands*, Task 1: Identification of techniques for appraisal of floodplain wetlands, 15pp.

Specific aquatic species

Cowx, I. G., and Fraser, D. (2003) *Monitoring the Atlantic Salmon. Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Series No. 7*, English Nature, Peterborough.

Cowx, I. G., and Harvey, J. P. (2003) Monitoring the Bullhead, *Cottus gobio*. Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Series No. 4, English Nature, Peterborough.

Harvey, J. P., and Cowx, I. G. (2003) Monitoring the River, Brook and Sea Lamprey, *Lampetra fluviatilis*, *L. planeri* and *Petromyzon marinus*. Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Series No. 5, English Nature, Peterborough.

JNCC, (2003) Monitoring White-clawed Crayfish, *Austropotamobius*. Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Series No. 1, English Nature, Peterborough.

JNCC, (2003) Monitoring Freshwater Pearl Mussell, *Margaritifera margaritifera*. Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Series No. 2, English Nature, Peterborough.

JNCC, (2003) Monitoring Allis and Twaite Shad, *Alosa alosa* and *A. fallax*. Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Series No. 3, English Nature, Peterborough.

JNCC, (2003) Monitoring Southern Damselfly, *Coenagrion mercuriale*. Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Series No. 8, English Nature, Peterborough.

JNCC, (2003) Monitoring European Otter, *Lutra lutra*. Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Series No. 10, English Nature, Peterborough.

Killeen, I. J., Morrkens, E. A. (2003) Monitoring Desmoulin's Whorl Snail, *Vertigo moulinsiana*. Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Series No. 6, English Nature, Peterborough.

Vegetation

JNCC, (2003) Monitoring Floating Water-plantain, *Luronium natans*. Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Series No. 10, English Nature, Peterborough.

Life in UK Rivers (2003) Monitoring *Ranunculion fluitantis* and *Callitriche-Batrachion* Vegetation Communities. Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Series No. 11, English Nature, Peterborough.

Lovett, S., and Price, P. (1999) Riparian Land Management Technical Guidelines, Volume 1: Principles of Sound Management.

Hydromorphology

Central Fisheries Board and Compass Informatics (2005) Hydromorphology of Rivers – a desk study to determine a methodology for the monitoring of hydromorphological conditions in Irish Rivers for the Water Framework Directive (2002-W-DS/9), 125pp.

Downs, P. W., and Brookes, A. (1994) Developing a standard geomorphological approach for the appraisal of projects, in Kirkby, C. and White, W. R. (eds.), *Integrated River Basin Management*, John Wiley and Sons, Chichester, UK, 299-310.

Downs, P. W., and Thorne, C. R. (1996) A geomorphological justification of river channel reconnaissance surveys, *Transactions of the Institute of British Geographers, New Series* 21, 455-468.

Environment Agency (2007) *Geomorphological monitoring guidelines for river restoration schemes*, 73pp

Skinner, K., and Thorne, C. (2005) *Review of Impact Assessment Tools and Post Project Monitoring Guidance*. Report by Haycock Associates for SEPA, 65pp.

Thorne, C. R., Simon, A., and Allen, R. (1996) Geomorphological river channel reconnaissance for river analysis, engineering and management, *Transactions of the Institute of British Geographers, New Series* 21, 469-483.

Thorne, C. R. (1998) *Stream Reconnaissance Guidebook: Geomorphological Investigation and Analysis of River Channels*, J Wiley and Sons, Chichester, UK, 127pp.

Sediment

Hicks, D. M., and Gomez, B. (2003) Sediment Transport, in Kondolf, G. M., and Piegay, H. (eds.), *Tools in fluvial geomorphology*, John Wiley and Sons Ltd., Chichester, UK, 425-461.

Naden, P., Smith, B., Jarvie, H., Llewellyn, N., Matthiessen, P., Dawson, H., Scarlett, S., and Hornby, D. (2003) *Siltation in Rivers. A Review of Monitoring Techniques*. Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Techniques Series No. 6, English Nature, Peterborough.

Water Quality

Northern Ireland Environment Agency (2009) *Water Management: Chemical Monitoring leaflet*, 4pp.

12.2.3 Techniques

Survey Methods

Cooper, R. K. (2003) Design a Survey Method to Monitor & Evaluate the Success of River Restoration using Four Sample Rivers. Msc Environmental Water Management, Cranfield University, 37pp & accompanying Appendix.

Bed Substrate Sampling

Kondolf, G. M., Lisle, T. E., and Wolman, G. M. (2003) Bed sediment measurement, in Kondolf, G. M., and Piegay, H. (eds.), *Tools in fluvial geomorphology*, John Wiley and Sons Ltd., Chichester, UK, 347-395.

Cross Sectional Surveys

Harrelson C. C., Rawlins, C. L., and Potyondy, J. P. (1994) Stream channel reference sites: An illustrated guide to field technique. General Technical report RM-245, Fort Collins, CO: United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 61p. Downloadable for free at <http://www.stream.fs.fed.us/publications/documentsStream.html>

Erosion Pins/PEEPS

Couper, P., Stott, T., and Maddock, I. (2002) Insights into river bank erosion processes derived from analysis of negative erosion-pin recordings: observations from three recent UK studies. *Earth Surface Processes and Landforms* 27, 59-79.

Harrelson C. C., Rawlins, C. L., and Potyondy, J. P. (1994) Stream channel reference sites: An illustrated guide to field technique. General Technical report RM-245, Fort Collins, CO: United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 61p. Downloadable for free at <http://www.stream.fs.fed.us/publications/documentsStream.html>

River Habitat Survey

Environment Agency, SEPA and Environment and Heritage Service (2003) River Habitat Survey in Britain and Ireland: Field Survey Guidance Manual: 2003 version.

Topographic Surveys

Downward, S. R. (1995) Information from topographic survey, in Gurnell, A. M. and Petts, G. E. (eds.), *Changing River Channels*, John Wiley and Sons, 303-323.

12.2.4 Case Studies

Biggs, J. (1994) River restoration: benefits for integrated catchment management - UK monitoring programme, Year 1 Interim Report, River Restoration Project Ltd, Huntingdon

Biggs, J. (1996) River restoration: benefits for integrated catchment management – Monitoring Programme. Year 2 (1995) Interim Report, River Restoration Project Ltd, Huntingdon

Gee, J. H. R., Keirle, I., Wheaton, J. M., and Wootton, R. J. (2007) A Monitoring Strategy for the Afon Teifi Restoration Project. CCW Contract Science Report No 773, 45pp, CCW, Bangor.

Haley, S. (2006) A comparative study of three river restoration post project appraisal methodologies. Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science, Cranfield University, 44pp.

Hall, N. (2007) Assessing the Impact of Flow Deflectors on Macroinvertebrate Communities as part of the STREAM restoration project, Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Water Management, Cranfield University, 54pp.

Hulbert, C. (2004) A Post Project Appraisal of a river restoration scheme – the restoration of the River Quaggy, Dissertation presented for the Honours degree of Bsc Physical Geography, 65pp.

Hulbert, C., Wharton, G., Copas, R. (2009) Integrated Post-Project Appraisal of an Urban River Restoration Scheme, The River Quaggy, Sutcliffe Park, South East London, 68pp.

Keim, D. (2008) Ecological Assessment of the River Thames Fish Enhancement Project. Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science, Cranfield University, 57pp.

Molloy, H. (2009) Hydromorphological changes to the River Cole over a twelve year period and the changes after further restoration works: the addition of woody debris and gravel to change bed profile and create flow diversity, Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Msc Water Management (Environmental option), Cranfield University, 59pp

River Restoration Project (1999) The effects of river restoration on the R. Cole and R. Skerne demonstration sites, Final Report. 57pp.

-
- Sackwild, N. (2004) An appraisal of the restoration of Quaggy Brook, Chinbrook Meadows, Project in Environmental Science, 50pp.
- Stavropulos, X. (2007) Post project appraisal of the environmental and recreational benefits of the River Pinn, restoration project as part of the flood alleviation scheme, Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science, Cranfield University, 80pp.
- Stephens, A. (2006) A comparative investigation into the morphological adjustment of the Sinderland and Rye Brooks following their recent restoration, Dissertation presented for the Honours degree of Bsc, School of Geography, University of Nottingham, 66pp.
- Warren, L. (2002) Post-project appraisal of a river restoration scheme on the River Cole, Unpublished BSc dissertation, 69pp.



Working to restore & enhance our rivers



付録

付録 1

水枠組指令 (Water Framework Directive, WFD)

欧州水枠組指令 (Water Framework Directive, WFD) は、欧州委員会が定めてきた水に関する法律のなかでも最も重要で根幹をなすものであり、今後しばらくの間英国をはじめとする EU 加盟国において水 (資源) の持続可能な管理の実現に向けた主たる駆動力となるものである。

WFD は、対象流域内のすべての内陸および沿岸域の水域に対し、2015 年までに生態系の状態が「良好 (Good Ecological Status, GES)」レベルに達すべきことを求めている。表流水については環境目標と生態系の目標を設定してこれを達成する道筋を定めている。「人為的改変の大きい地域 (Heavily Modified, HMWB)」や「人工水域 (Artificial, AWB)」に指定された水域については、生態系の潜在的状態が「良好 (Good Ecological Potential, GEP)」レベルに到達するよう求められ、いかなる水域も「悪化しないこと (no deterioration)」が求められている。

要するに WFD は対象流域のすべての地表水と地下水が 2015 年までに「良好」状態以上に達することを求めている。そのため各流域において次のことをしなくてはならない。

- (1) 表流水と地下水について、「良好」状態を環境目標値の形で定義する。
- (2) 人間活動の環境影響を含む流域の特徴を詳細に記述する。
- (3) 流域における現在の水質を評価する。
- (4) 重要な水質管理の課題についての分析を行う。
- (5) 環境目標を達成するために必要な汚染制御方法を特定する。
- (6) 汚染制御方法、費用、便益について関係者と協議する。

A1.1 WFD のモニタリング

環境目標を達成するため、同意を得た管理を実施し、水質改善のモニタリング、進捗状況の確認、水管理計画の修正が行われる。

WFD は、流域ごとに統合的なモニタリング計画を定めるよう求めている。この計画は既存のモニタリング計画に修正や拡張を加えたものであることも多く、各流域における地表水と地下水の状態を評価するために必要な化学的、物理的、生物的データの収集と整理が行われる。

WFD には次の 3 種類のモニタリングが定められている。

- (1) **監視型モニタリング (Surveillance monitoring)** : リスク評価や長期的変化の把握を目的とするモニタリング。
- (2) **操作型モニタリング (Operational monitoring)** : 要注意水域の状態と改善策による変化を把握するためのモニタリング。
- (3) **調査型モニタリング (Investigative monitoring)** : 環境悪化の原因を特定するためのモニタリング。

河川自然再生のモニタリングは標準的な WFD モニタリングと異なるかもしれないが、上記の 3 種類の中では調査型に該当すると考えられる。河川自然再生のモニタリングは WFD の枠組みからは独立しているが、それによって得られた成果の多くは、流域およびその運用についてより多くの知識を得られる場合には、流域評価に活用可能である。

WFD のモニタリングを行う主な理由は、次のとおりである。

- (1) 各流域における水環境の状態の概要を把握すること。
- (2) 個々の水域を水環境の状態によって分類すること。

地表水の水域ごとに、担当機関が次の事項を評価する。

- (1) 生物 (プランクトン、底生植物、大型水生植物、無脊椎動物、魚類)
- (2) 水文地形
- (3) 物理化学的性状 (有機汚染物質を含む)
- (4) 特定汚染物質、特定危険物質

地下水については、次のようなモニタリングが要請される。

- (1) 水位分布モニタリングによる地下水資源量。
- (2) 化学的性状の監視型モニタリングと操作型モニタリング (Common Implementation Strategy、2003a)。

さらなる情報は、英国環境庁の WFD に関するウェブサイトなどを参照のこと。

環境庁 : <http://www.environment-agency.gov.uk/research/planning/33106.aspx>

DEFRA : <http://www.legislation.gov.uk/uksi/2003/3242/contents/made>

UKTAG : <http://www.wfduk.org/>

A1.2 生態系の劣化を引き起こす外的要因

以下の情報は 2011 年 10 月に英国環境食糧農村地域省の水関係者フォーラムのメンバーに回覧されたものである。英国環境庁が生態系の劣化を引き起こす外的要因を判断する方法の概要を説明している。使っているのは標準的な方法だが、生態系データの解釈方法が確立されているわけではない。以下に記す手順は規則に定められたものではないが、現在実施されている方法の概要である。

[1] 英国環境庁で実施されている方法

図 A1.1 に現在実施されている方法の概要を示す。

水域における生態系劣化の要因について、我々は通常次の 4 項目を検討する（ボックス 1）。

- ・ 外的要因に対する生態系の反応に関する専門知識。
- ・ 対象水域および流域に現在作用している外的要因。地元のもつ知識も考慮に入れて検討する。
- ・ 原因の診断に用いる手法。
- ・ 既存の生物データ（外部のものを含む）。その傾向と外的要因との統計的關係。

これらの検討により、生態系の劣化の原因を推論することができる場合がある（ボックス 2）。

それらしき原因を推定することができたならば、外的要因と生態系劣化の関連を裏づける根拠が十分に対策を正当化できるレベルかどうか判断する（ボックス 3）。十分な証拠がある場合には、外的要因の出所の調査や対策の実施といった次のステップに進むことができる。しかし、対策の裏づけが足りなければ、すなわち、外的要因と生物影響の関連づけが不完全な場合には、信頼性をもって生態系劣化の原因を推論することはできないと判断する（ボックス 6）。

ここまでの評価（ボックス 2）に基づいて生態系劣化の原因を推論することができなければ、診断手法の適用や専門家の判断に十分なデータが揃っているかを判断する必要がある（ボックス 4）。データが不十分な場合には、より多くの、または異なる種類のデータを収集する（ボックス 5）。データが手法の適用に十分なほど揃っているにもかかわらず劣化原因を推測することができない場合（ボックス 6）、次のステップは劣化原因の確実性に応じて分岐する。

生態系の劣化原因が分からない場合には、より広範なデータの収集と評価により、状況を打開する必要がある（ボックス 7）。これには、水域で収集する生物サンプルの数を増やすこと、外的要因に関してより多くのデータを集めること等が含まれるかもしれない。

生態系の劣化原因にほぼ見当がついている場合には（ボックス 8）、その外的要因に最も影響を受けそうな生物要素に集中してモニタリングを進めるのが普通である（ボックス 9）。例えば流量が怪しい場合には、無脊椎動物の分析を科レベルでなく種レベルで行うことによって関連の有無をより明確に根拠づけることができる。ときには対策を実験的に試行して、外的要因の軽減が生物に正の影響を与えることを証明しようとすることもある（いわゆる順応的管理）（ボックス 10）。

この方法を何度も繰り返して経験を積み、いろいろな水域に適用していくにつれて、外的要因に対する生物応答の知識や診断方法はどんどん向上していくだろう。

[2] 河川生物分析指針の例

この付録は、河川で得られるデータの分析を行っている英国環境庁の生態学者用のガイドダンス（指針）からの抜粋である。いくつかの生物について（無脊椎動物、大型水生植物、ケイソウ類）さまざまな診断手法を示している。調査の補助情報の例として生息場評価手法も含めた。

[2.1] ー生態系全体ー

概要

さまざまな技術を使用して河川からいろいろな生態系データを収集することができる。生物要素の質（biological quality elements, BQEs）に関するデータは、さまざまな外的要因への応答を示し、環境変化や人為ストレスの良い指標となる。

データの見方

生態系データは、次に示すようないくつかの形で見ることができる。

生データ

生態系データは分類群リストにそれぞれの存在量が付記された形をとることが多い。それら現存する分類群の生態的選好に注目することで、大量の情報を得ることができる。これにより、どのような外的要因が生態系群集に作用しているかすぐわかる。

生物指標

ほとんどの生態系データは生物指標を用いてまとめることができる。生物指標は大量の情報を 1 つの数値に集約するものである。生物指標はデータをまとめて分かりやすく提示できるため非常に有用であるが、生データの持つ細かい情報の見落としを導く可能性がある。目標値設定にはこのような指標を使うことが多く、特定の環境要因の影響を説明するのに使われることも多い。

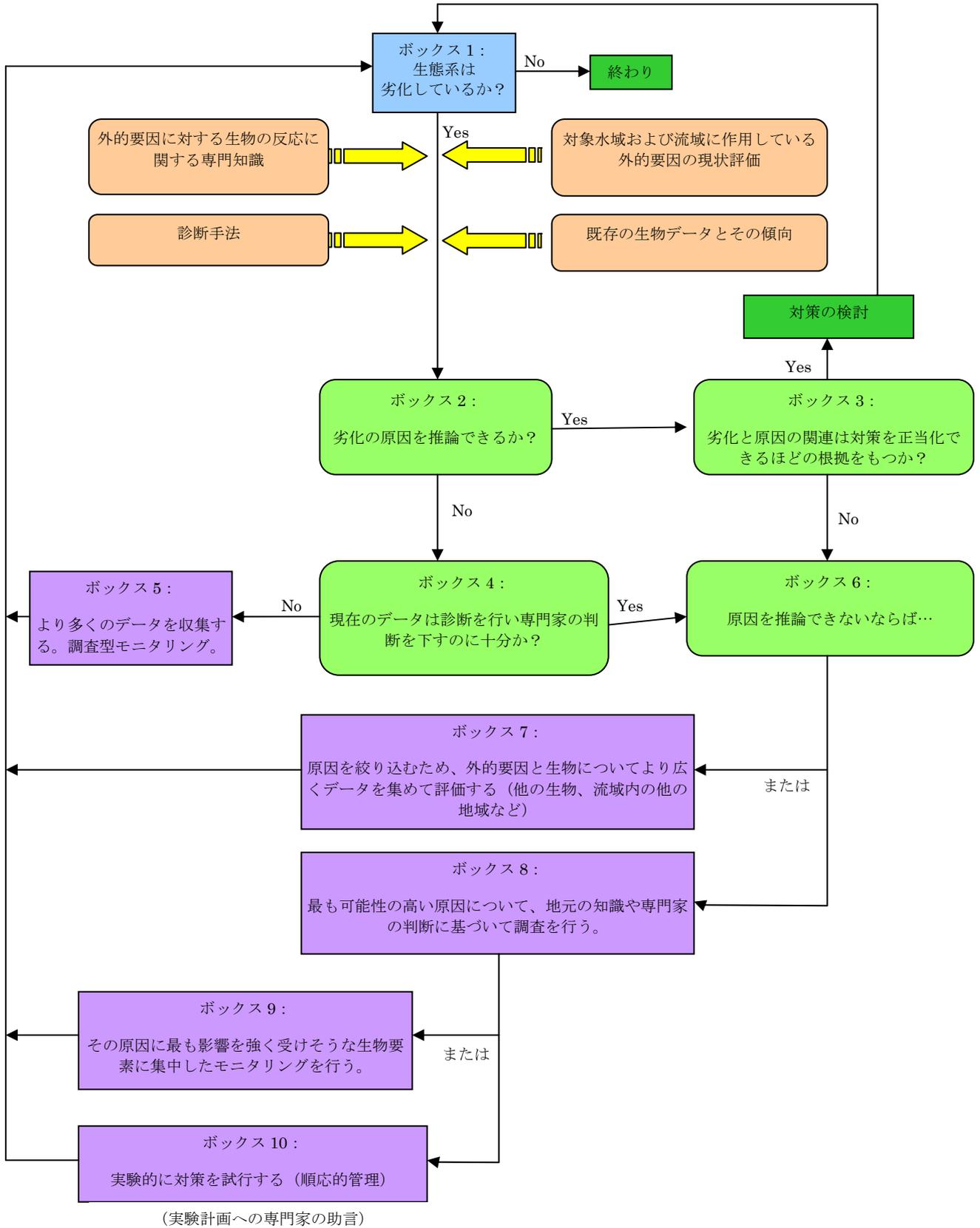


図 A1.1 生態系の劣化の原因となる外的要因の判定法

分類

分類は通常、生物指標を河川の特性や生息場ごとに比較できるように行われる。分類の結果は標準化され、生態学の経験のない人でも理解しやすい形となる。地域や国の規模でデータをまとめて示す目的には特に有用である。対象地の生態系の質を標準化された区分に照らし合わせて示すものである。

WFD 生物分類

本書で言及した分類法は、英国環境庁、スコットランド環境保護庁、北アイルランド環境庁が WFD の報告を行うのに用いられている。

環境質比 (Environmental quality ratios, EQR)

WFD 分類法は、特定の生物要素の質 (biological quality element, BQE) の現状を計算するように設計されている。具体的に計算されるのは環境質比 (EQR) である。EQR は、観測値を WFD の対照状態値と比較し、前者を後者で割った小数値として算出される。

[2.2] ー大型無脊椎動物ー

概要

大型無脊椎動物は有機物汚染の指標として古くから使われている。最近では他のさまざまな人為起源ストレスの影響評価に有用であることが分かってきた。河川、湖沼、水路のサンプル収集に用いられるさまざまな定量技術、半定量技術があり、これらの全ての技術は収集データの比較を目的として標準化されてきた。

生物指標

標準的な 3 分間キック/スweep法またはエアリフト法により収集される大型無脊椎動物サンプルから、次のような生物指標を算出できる。

- ・ **BMWP スコア (Biological Monitoring Working Party score)** : 主に有機物濃度の影響を調べる目的で用いられるが、有毒物質による汚染、シルトの堆積、生息場の縮小、流量減少に対する反応を評価するのにも用いられる。BMWP スコアは、特性の異なる河川間の比較には適さない。

- ・ **分類群ごとの平均スコア (Average score per taxon, ASPT)** : 主に有機物汚染の指標として用いられる。異なる特をもつ河川や異なる季節の値でも直接比較できる。

- ・ **流水性無脊椎動物流量評価 (LIFE)** : 流量変化に対する無脊椎動物群集の影響の受けやすさを求めるときに用いられる。LIFE スコアは、科レベル、種レベルの両方から計算することが可能だが、種データに基づく指標の方が有用な情報を提供することが多い。

・ **分類群数 (N-TAXA)** : 単純な多様性指標。環境要因の汎用的な指標で、ASPT や LIFE のような指標に変化がみられないときに有用である。

・ **堆積物に影響を受けやすい無脊椎動物の割合 (PSI)** : 無脊椎動物群集の堆積物に対する感度を示す生物指標である。

他の生物指標。上記の例の他にも、大型無脊椎動物のデータを要約するために使える多くの生物指標がある。それぞれの指標は、無脊椎動物群集の示す異なった反応をそれぞれ表現するものである。上に挙げたのは、生態学者と WFD が採用した、または今後採用する予定の指標である。特別な目的のために他の生物指標を使用する場合には、それを使って何らかの決定を下す前に、その指標の背景と有効性を確認しておくことが重要である。

生物指標以外の情報

グラブ式サンプラー (grabs)、芯抜き式サンプラー (corers)、サーバーネットのような他の技法で収集された大型無脊椎動物データは、一般に生物指標とともに用いるには適さない。むしろこれらのデータは定量的分析に適している。例えば次のような分析である。

・ **種組成** : 優占種の生態学的な選好、それに各分類群や種の構成割合から、生息場の特性や生態系群集に作用している外的要因がわかる。いろいろな地点で何度もデータを得ていれば、主成分分析のような多変量解析を用いて、類似性や異質性を検討することが可能である。

・ **指標種** : 分類群リスト全部にわたって深い分析は不要なことが多い。主要な指標種をみるだけで、どんな外的要因や環境影響が無脊椎動物群集に作用しているか知ることができる。さまざまな化学物質と科の分布の関係に関する情報を www.cies.staffs.ac.uk で参照することができる。

分類手法

大型無脊椎動物のデータや指標を解釈し分類するいろいろな手法がある。

・ **河川無脊椎動物分類法 (River Invertebrate Classification Tool, RICT)** : 対象地域の物理条件に対して、予想される標準的な無脊椎動物群集の状態を算出する。その予測値を実測値と比較し、地点ごとの環境質比 (EQR) を算定する。この EQR により観測地点を区分し、不確実性ととも生態学的な状態の評価を与える。無脊椎動物を対象とする WFD 分類に主として用いられる手法である。

・ **水文生態検証法 (HydroEcological Validation, HEV)** : LIFE、PSI、ASPT、N-TAXA 指標の計算で使う予測値 (標準状態) の算出に用いられる。実測値からこれら 4 つの生態系質指標 (ecological quality indices, EQIs) を算定する。EQIs は観測値と標準状態の差を示す尺度である。WFD 分類を導く手法ではない。大型無脊椎動物に対して同時にかかっている外的要因やストレスの影響を比較することが可能である。

・河川要因診断システム（**River pressure diagnostic system、RPD**）および河川要因ベ
イジアン信頼性ネットワーク（**RPBBN**）：ともに人工知能（**AI**）として知られている。
生データを基に水質ストレスを算定することができる。

[2.3] ケイソウ類

概要

ケイソウ類は、主に富栄養化をモニタリングするのに用いられる。堆積物、重金属汚染、
酸性化の影響の説明にも用いられることがある。

生物指標

標準的な方法で収集されたケイソウ類、次のような生物指標を計算するのに用いられる。

・ケイソウ栄養指標（**Trophic diatom index、TDI**）：ケイソウ群集の栄養塩に対する選
好を説明する。湖沼の評価においては湖沼用の **TDI (LTDI)** を用いる。

・運動性ケイソウ割合（**Percentage motile taxa、%motile**）：運動性の分類群の割合を示
す。底生ケイソウは光量に大きな影響を受ける。糸状性藻類の過剰成長やシルトの堆積が
光量の制限を引き起こす。運動性ケイソウは堆積物の上面まで光を受けに移動すること
ができるため、生存しやすくなる傾向がある。

・プランクトン割合（**Percentage planktonic taxa、% planktonic**）：プランクトン性分
類群の割合を示す。この値が大きいとケイソウ群集中のプランクトン性の割合が大きいこ
とを示し、河川流量の減少や湛水化を示唆する。

・ケイソウ酸性度基準（**Diatom acidity metric、DAM**）：比較的新しい指標。ケイソウ
群集が存在する環境の酸性度を示す。

生物指標以外の情報

重金属。ある種のケイソウ、特にオビケイソウ属（**Fragilaria**）は重金属汚染の影響を
容易に受けやすく、細胞被殻の成長異常を生じることが知られている。重金属汚染を表す
指標はないが、異常な細胞を記録しておく。

分類手法

ケイソウと生物指標の分類に使える手法は一つしかない。

DARLEQ は、対象地域の物理条件に対して、予想される標準的なケイソウ群集の状態を算出する手法である。その予測値を実測値と比較して EQR を算定する。これにより生態学的な状態の評価が不確実性とともに行われる。ケイソウを用いて WFD 分類を算出するのに主として用いられる手法である。

[2.4] ー大型水生植物ー

概要

水生のコケ類を含む大型水生植物は、伝統的に河川の富栄養化の指標としてモニタリングされてきた。しかし大型水生植物は無脊椎動物と同様にさまざまな外的要因の影響を受けてしまうため、ケイソウ類ほど明確に解釈できない場合もある。

外的要因／ストレス

大型水生植物はさまざまな外的要因に反応する。異なる要因の影響が似た形で現れることも多いので、原因の特定が困難な場合もある。大型水生植物の反応が知られている外的要因には、次のようなものがある。

- ・ **リン酸塩**：淡水環境で、植物は主にリン酸塩の利用可能性により成長を制限される。リン酸塩濃度が増加すると、大型水生植物群集は富栄養状態を選好する植物が優占する状態へ変化してしまうことが多い。
- ・ **流量**：流量は河川の大型水生植物群集に大きな影響を及ぼす。流量の変化により、植物群集はしばしば変化する。低地では、流量の影響が栄養塩の影響に隠されてしまうことも多い。
- ・ **生息場改変**：植物は直接的または間接的に生息場改変の影響を受ける。
- ・ **シルトの堆積**：シルトの堆積は、シルトを選好する植物が優占種となることによって大型水生植物群集の多様性を低下させる傾向がある。
- ・ **水位変動**：水位変動の量あるいは変動速度が大きい湖沼では、大型水生植物群集が顕著な影響を受けることがある。

生物指標

標準的な WFD の大型水生植物調査法に従えば、次の生物指標の算定が可能である。

- ・ **平均栄養ランク (Mean trophic rank、MTR)**：植物群集の栄養塩に対する選好を示す。現在は MTR よりも RMNI が用いられる。
- ・ **平均流量ランク (Mean flow rank、MFR)**：植物群集の流量に対する反応を説明する。現在は MFR よりも RMHI が用いられる。

-
- ・河川大型水生植物栄養塩指標 (River macrophyte nutrient index、RMNI) : 大型水生植物群集の栄養塩レベルに対する選好の区分を示す。
 - ・河川大型水生植物水理指標 (River macrophyte hydraulic index、RMHI) : 流量に対する植物群集の選好を示す。
 - ・水生植物機能集団数 (Number of aquatic plant functional groups、NFG) : 豊かさまたは多様性の指標で、植物群集中の大型水生植物の機能集団数を示す。
 - ・水生植物分類群数 (Number of aquatic taxa、N-TAXA) : 豊かさの指標で、実質的な水生植物の分類群数を示す。

NFG と N-TAXA は、生息場の質を示す有用な指標である。良好な流況、不均一な生息場、上流との連続性、少ない土砂量といった条件を満たす良質な生息場では、両指標の値は大きい。

分類手法

大型水生植物から計算される生物指標を解釈する主要な手法として、LEAFPACS が挙げられる。

- ・LEAFPACS は、対象地域の物理条件に対して、予想される標準的な大型水生植物群集の状態を算出する手法である。その予測値を実測値と比較して EQR を算定する。これにより生態学的な状態の評価が不確実性とともに行われる。大型水生植物を用いて WFD 分類を算出するのに主として用いられる手法である。

[2.5] ー生息場ー

概要

河川生息場調査 (RHS) は河川を 500m 区間に区切って地形の評価を行うものである。自然地形と人為改変の両方を記録し、生息場の質と多様性の情報を提供する。

水文地形は、水域全体の生態系の中で生物を下支えする役を担っている。大部分の水生生物は、水質や水量に加えてそれぞれの物理的生息場に何らかの条件を必要としている。

RHS と WFD

WFD は、水域の水文地形について、全ての生物要素の質を満足するほど高い水準にあることを要求している。水文地形評価の目的は、次のとおりである。

- ・生態系の状態が良好になっていない原因や状態が悪化している原因を調査する。
- ・提案された新しい改変が生態系に及ぼす影響を評価する。
- ・必要に応じて、緩和策または再生方法を立案する。

指標

RHS 調査の結果は、次の 2 つの指標に集約される。

- ・ **生息場改変スコア (habitat modification score, HM)** : 河川改変の評価点。HM スコアは水域の特性に依存しない指標なので、どの場所でも物理構造に対する人為的改変を表現するのに使うことができる。

- ・ **生息場質評価 (habitat quality assessment, HQA)** : 河道内と河畔の両方を対象に、調査地点の物理的生息場構造の多様性と「自然度」を示す。

HM および HQA は、調査区間 500m の生息場の状態を集約した指標である。特定の点について調べたいとき (例えばシルトの堆積を調べる) は、生データを使って検討する方がよい。

付録 2 順応的管理

河川自然再生事業において順応的管理を実行するには、事業の設計と管理とモニタリングを統合し、仮説を体系的に検証しながら順応を進めていかなければならない。

仮説の検証は、望まれる結果を得るためにさまざまな働きかけを体系的に行ってみることでなされる。これは単なる試行錯誤ではない。対象地点の固有な状況を理解したうえで最善な戦略を組み立て、モニタリングの結果を吟味して仮説の当否を判断するのである。

続いてその仮説を、評価から得られた知識とモニタリングデータから読み取れた情報に応じて修正していく。この修正過程と成功／失敗の情報を事業者内と外の関係者の両方に向けて文書化し、公開することが望ましい。将来の自然再生をよりよく設計および管理し、失敗経験を繰り返さないようにするためである。

順応的管理は受動性のものと能動性のものに分けられよう。受動性順応的管理は現在の知識に基づいて予測モデルを用い、管理上の意思決定を支援する。新しい知識が得られればモデルを更新し、管理の方法に適用していく。能動性順応的管理では新しい仮説の正誤を確かめるために管理方針まで変えてしまう。受動性順応的管理の目標は現在の管理方法を改善していくことであり、能動性順応的管理の目標は実験の結果を使って最善の管理方法を探すことである。イギリス国内の現時点での河川再生事業はいろいろな点で実験段階にあるので、現在行われている順応的管理のほとんどは能動性だといえる。

受動性か能動性かを問わず、順応的管理の重要な特徴は次の通りである。

- ・ 評価結果が出るたびに柔軟な判断を行い、わかったことに合わせて行動を変えていくこと
- ・ モニタリングの結果を意思決定にフィードバックすること（すなわち学ぶこと）
- ・ マルチモデル推定（**multi-model inference**）を用いた不確実性の理解
- ・ ベイズ推定。新しく得られた結果を用いて仮説が真である確率を推定しなおしていく。
- ・ リスクと不確実性の考え方をを用いて理解を深めていく。

付録 3 河川の自然再生事業モニタリングに関する既存 の文献

河川の自然再生事業（氾濫原とのつながりを回復させるものを含む）の効果を評価するには、事業直後の短期的なモニタリングと長期にわたるモニタリングの両方が必要である。Roni (2005), Downes ら (2002), Stewart-Oaten (1986) などの議論を踏まえると、理想的なモニタリングは事業の前後 (Before と After)、そして事業の影響を受けなかった区間 (Control) と影響を受けた区間 (Impact) を組み合わせて計画すべきである。この方法は BACI 法と呼ばれている。必要となるモニタリングには質的 (定性的) なものと定量的なもの二種があり、目標を明確に定義すれば両者をうまく組み合わせてどこに努力を集中させるべきか判断できるようになる。

A3.1 再生事業の効果

河川自然再生事業の効果が十分に証明されている事例は少ない、と多くの文献が指摘している (Pullin and Knight (2003)、Sutherland ら (2004)、Pullin and Knight (2009))。その結果、ここ数十年で再生事業の数は激増したものの (Miller ら、2010)、事業を支援すべき科学の深化を置きざりにして、技術だけがどんどん進展してしまっている状況にある。

現在みられる資料の多数をアメリカの事例が占めている。これは、アメリカが河川の生息場を改善しようとする取り組みが最初に広まった国だからでもあり、国の大きさによるものでもあろう。初期の文献では北東部 (Tarzwell, 1937) や太平洋岸 (Ehlers, 1956) の州において工事に用いられた木製構造物の耐久性を評価するような試みがみられる。1990年代以降はヨーロッパ側でも事業が増加し、評価やモニタリングに関する文献の数は増えている (Lepori ら (2005)、Kail ら (2007)、Habersack ら (2009) など)。

注意しておくべき偏りとして、自然復元が生物にもたらす影響よりも物理的な変化を論じたものが多いことが挙げられる (Roni ら (2002)、Alexander and Allan (2007))。さらに生物を扱った中では魚類に関するものがたいへん多い (Pretty ら (2003)、McDonald ら (2007)、Baldigo and Warren (2008))。もっと踏み込んでいえばサケ類が中心的な関心を集めている。こうなっている理由は二つ考えられる。一つはデータの収集と扱いが比較的容易だからであり、もう一つは事業を推し進める動機としてこれらの魚の漁獲量を高めようとする意図が広く存在してきたからである。実際、Roni ら

(2008) に書かれている Parish (2004) の言によれば、途上国では重要な食料生産源の役割を果たしてきた漁業の衰退が今後河川および氾濫原の自然再生事業を活発化していく原動力となるかもしれないとみられている。

A3.2 モニタリング事例の比較検討

現在のところ、モニタリングを備えることが自然再生事業の標準である、という認識は広がっているとはいえない。よって学術的な検討を加えられるようなデータの蓄積も非常に乏しい。アメリカで実施された全米河川再生科学統合研究 (RestoringRivers.org にて結果の閲覧が可能) の中で Bernhardt ら (2007) が調べたところによれば、37,099 の対象事業のうちなんらかの形の評価やモニタリングを備えていたものはわずか 10%にすぎなかった。このような事情に加え、モニタリングの話題は複雑で多面的な性質をもつことから、ほとんどの文献は意見を主張する論説のような形式で書かれている。きちんと計画された実験が数少ないために事例を比較検討する研究は困難をきたしているし (Miller ら、2010)、そこから普遍的で明確な結論を引き出すことは難しい (Roni ら (2002)、Follstad Shah ら (2007)、Kondolf ら (2007)、Palmer ら (2007)、Roni ら (2008))。異なった目的で収集されたデータを比較して使うことには難しい問題もはらまれているが、一般性をもつ知見を得るためには他の手段がないことも事実である。

A3.3 目標設定とモニタリング計画

Alexander and Allan (2007) によると、モニタリングを実施する過程で評価を難しくする原因の一つに、事業の目指す結果がきちんと定義されていないことがしばしば挙げられるという。これは他の論文でも指摘されている点である (Giller (2005)、Christian-Smith and Merenlender (2008)、Mant and Janes (2008)、O'Donnell and Galat (2008))。決まった基準はまだ確立されていないが (Wohl ら、2005)、Palmer ら (2005) は事業の成功をはかる 5つの一般的項目を提案している：

- 再生のゴールとなるべき自然環境の動的な状態がきちんと表現されていること
- 計測可能な指標でみて生態系が改善されていること
- 生態系の自己回復力が事業実施前に比べて増していること
- 工事に伴う不可逆的な悪影響が存在しないこと
- なんらかの形で生態系の評価が実施されていること

モニタリングによって得られる具体的な情報に関しては、生態系の非線形な応答や観測値の高い変動性を議論の的にしているものが多い (Heino ら (2004)、Nilsson ら (2005)、Wohl ら (2005)、Alexander and Allan (2007)、Schiemer ら (2007))。中でもよく取り上げられるのは、魚の応答 (Pretty ら (2003)、Shields Jr. ら (2003)、Baldigo and Warren (2008)) と無脊椎動物の応答 (Harris ら (1995)、Miller ら (2010)) である。これらを扱う際の目標設定法についてはほぼ結論がまとまっている。対象区間と性質が似ていて、事業の影響を受けていない (あるいは影響の小さい) 対照区間を見つけ、そのデータを使うことである。

Wohl ら (2005) は対照区間の選び方に詳しく踏み込むとともに、一定の値を目標に定めるのではなく許容範囲内の変動を保つようにすべきだと提案している。さらに進んで、特定の生息場や種を対象とするのではなく作用を重視すべきだという考え方の原則が広まっている (Roni ら (2002)、Clarke ら (2003)、Schiemer ら (2007)、Habersack ら (2009))。実際に、かなり具体的な構造上の多様性が確保されないかぎり対象生物に益が生まれないという研究結果がしばしばみられている (たとえば Pretty ら (2003) や Lepori ら (2005))。

A3.4 スケールの問題

事業管理者にとってモニタリングの空間的範囲と期間は事業の基本条件として気になるところであるが、学術的にはそれらはケースバイケースで定めるべき事柄であり、何をモニタリング対象にするかによって変わってくるものとされている。地形への影響は非常に素早く顕在化することがある一方で (Habersack and Nachtnebel (1995)、Clarke ら (2003)、Shields Jr.ら (2003)、Caruso (2006))、生態系の反応は何年もかかってようやく起きることがある (Roni ら (2002)、Shields Jr.ら (2003)、Heino ら (2004))。そして自然の変動性に隠れてしまうために、その反応を感知するまでに何十年もかかることさえある (Downs and Kondolf (2002)、Klein ら (2007)、Baldigo and Warren (2008))。Florsheim ら (2006) は流量閾値モデルを使って地形モニタリングのタイミングを定める方法について調べており、Bryant (1995) などは短期間の集中観測を長い期間にわたって実施するパルス的モニタリングを提案している。

モニタリングを行う空間範囲についても、自然状態の変動性が激しいところでは包括的なモニタリングが必要となるし、とくに対照区間の性質をよくわきまえたうえで詳細を定めるべきとされている (Wohl ら、2005)。Roni ら (2002) は物理過程と河道内生態系の関連について我々がいかに無知であるかを地すべりと道路と牧草地を例にとって指摘している。Miller ら (2010) は無脊椎動物の反応が流域規模の条件に深く関連して定まってくることを見出している。自然再生がほとんどの場合空間的多様性を増す方向を目指して行われることを考えあわせると、モニタリングを設計する際にはかなり広い範囲の状況を頭に入れる必要があることがわかるだろう。

A3.5 モニタリングの今後

河川の自然再生は決して安価なものではない。Bernhardt ら (2007) の見積もりによれば、アメリカ全土で毎年 10 億ドル以上の支出が必要とされている。モニタリングの価値に疑いをはさむ余地がないにもかかわらず、予算制約を理由に削られてしまう実情は広く認識されている (たとえば Alexander and Allan (2007) や England ら (2008))。順応的管理や事業設計へのフィードバックが現実に必要なとされていることから、費用負担者や政策担当者が事業の結果を明示することを求める傾向は強まってきている。2002 年の調査で全体の 18% の事業しかモニタリングを明示的に求めてはいなかったことを見出した Bash and Ryan (Bash and Ryan, 2002)、資金提供者は事業評価を必須条件として要求すべきだと主張している Gillilan ら (Gillilan ら、2005)、さらに Wohl ら (2005) を含めた多くの論者がこの傾向を歓迎している。さらに Palmer ら (2007) は、今後実施される事業の成功確率を高めるために、そういった情報を公開して普及することは義務とみなされるべきだと主張している。

学術的文献はいろいろと存在するものの (*Restoration Ecology* 誌の第 15 巻 3 号や *Hydrology and Earth System Sciences* 誌の近刊の特別号などは特筆すべきである)、河川自然再生のモニタリングを指南するような資料はまれである (Woolsey ら、2007)。Phil Roni の編による書籍『Monitoring Stream and Watershed Restoration』 (2005) はおそらく唯一存在する包括的な文書である。Barbara Downes らの手で編まれた『Monitoring ecological impacts: concepts and practice in flowing waters』 (2002) も一見の価値がある。Darby and Sear 編『River Restoration: Managing the Uncertainty in Restoring Physical Habitat』 (2008) は背景がよく記述されていて、河川自然再生の「成功」に関する概念を丁寧に検討しているが、具体的な方法については触れられていない。Mant and Janes (2008) と England ら (2008) により開発された枠組にのって作られた本書 (PRAGMO) はその意味で貴重なものである。また本書は河川の自然再生という分野横断的な仕事に従事する現場の実務者が、常に幅広い専門的知見に接する機会を持つという意味でも画期的な意味をもつといえる。

A3.6 自然再生の設計と評価の段階

図 3.2 (Bruce-Burgess (2004) からの改良) はあらゆる自然再生事業が踏むべき 3 段階を示したものである。他にも、Holl and Cairns (1996) の改良版である Woolsey ら (2007) に示された 5 段階 (戦略的計画、目標設定、事業設計、事業実施、事業評価を含んだ供用) など、河川の自然再生事業を表現しようとする実用的な試みが講じられている。これらの試みには、事業評価が答えるべき疑問に答えられるようきちんと設計されるにはどうしたらよいのかという点についての具体的な説明は総じてまだ欠けている。

A3.7 その他の関連文献

河川自然再生のモニタリングに間接的に関わるような科学論文は数多く存在する。こういった間接的な参考文献 (「灰色文献」と呼ぶことにする) は第 12 章のなかで区別して示している。

付録 4 SMART 目標

Specific（具体的である）

具体的であるとは、目標が簡潔、明瞭、詳細なうえよく絞り込まれていて、かつはっきり定義されているということである。すなわち目標とは、単純明快で、行動に直結し、要求される成果を重視したものであるべきである。目標からは、実現させたいことがはっきり伝わってこなければならない。具体的な目標を設定するにあたっては、次のような問いに答えるつもりになるのが良いだろう。

診断用の質問

何をしようとしているのか、誰と一緒に、誰のためにか。

どういった方法を用いるのか。

目標はよく理解されているか。

目標は、「～する」という形で記述されているか。

誰が事業の関係者になるか明確か。

どこで結果が生じるか明確か。

何が起きるべきか明確か。

成果は明確か。

Measurable（計測可能である）

目標が計測できるものになっていれば、計測対象は明確であり、行動がもたらす結果をたどって行って確かに目標達成へ向かって前進しつつあるのかどうか判別できる。計測は比較のためにもよく用いられ、目標をいつ達成したのかをも教えてくれる。

診断用の質問

変化が起きたことをどうやって知ることができるか。

計測値が得られるかどうか。

何が計測されるのか。

Achievable (達成可能である)

目標は達成できる範囲になくてはならない。目標があまりに遠すぎると、やる気を維持しにくくなり、達成へ向けて努力し続けることは困難になる。目標は、向上心や理想像とは異なり、動機づけを保ち続けるためにも達成できるものでなければならない。到達可能な範囲にある限り目標は少し先に置くのがよいが、ストレスと感じたり意欲を失ったりするほど遠くにあってはならない。

診断用の質問

所定の期間内に完了できる内容か。

限界と制約条件を理解しているか。

手持ちの資源の範囲内で実施可能か。

過去に同様の内容で成功例はあるか。

Realistic (現実的である)

達成可能な目標が必ずしも現実的とは限らない。現実的とは容易という意味ではなく、完了させられる材料が揃っているかということである。目標を達成するには、技術、資金、設備といったさまざまな資源が必要となる。達成可能ではあっても優先順位をつけなおさないといけない場合も多い。

診断用の質問

目標を達成できるだけの資源を使えるか。

優先順位を変更しないと望ましい結果が得られないのではないか。

この目標は達成されうるか。

Time-bound (時間の特定)

時間の特定とは、目標達成の期限を設定することである。期限を設定すると緊急性が生まれる。期限を設定しないと、作業を行うべき動機と緊急性が下がってしまう。期限は必要性和緊急性を生み、行動を促すのである。

診断用の質問

この目標はいつ達成されるのか。

期限は明記されているか。

表 A4.1 SMART 目標の例

	具体的である	計測可能である	達成可能である	現実的である	時間を特定している
再蛇行化	指定地点における定点写真撮影。	新河道の形成を把握できるだけの地点数	事業開始前に1組、施工中に1組、完工直後に1組、完成後3年経過時に1組の写真撮影する	定点写真撮影には最大でも1日かからないので3年間合計でも4日の調査で済む。これに全体の報告書に要する半日が加わる。	現地調査に4日、報告書作成に半日かかる
氾濫原における植生増加	定点写真撮影（再蛇行化用の写真と同時に撮ればよい）	樹木の成長状況を把握でき、植えた数と3年後に生き残った数を定性的にでも比較できうる地点数	上記参照	上記参照	上記参照
	3年後に生残している樹木の本数を評価する	樹木の本数を数える（写真撮影と同時に行える）	3年後まで生き残った樹木の割合を出すのは単純である	時間はそれほどかからない	半日以下で済む
	低湿地創成の1年後と3年後における植生の多様性を評価する	方形枠調査を行う。3年間の低湿地における植物多様性の変化を評価する	低湿地創成1年後と3年後に湿地内3地点で方形枠調査を行う	十分に確立された単純な手法で半日しか要さない	3年間で2日半の調査、報告書作成に半日
洪水からの資産保護	洪水時に資産が浸かるかどうか判断する	洪水時に指定の場所で写真撮影する地元ボランティアを組織する	地元ボランティアを募集する	地元との協働で成り立つ単純で費用対効果の高い方法である	大規模な洪水を記録するためには長期にわたる地元との協働が必要である
河川と氾濫原の再接続	河床を上昇させ、洪水時に堤防を水が超えて氾濫原の一部が浸水するようにする。	水位計を設置する。英国測量基準面からの高さを記録するように調整して設置する必要がある。とともに水位標（同様に基準面に合わせておく）を読んで記録する地元住民を選んでもよい。	水位計の設置に半日かかる。データは4～6週間ごとに回収する。データ回収は現行の水文データ回収業務に組み込むことが可能。	データ収集は現行業務のついでに行えるので楽である。住民の水位標読み取りも簡単ではあるが、夜間の洪水時に水位標を読みに行くほど関心を維持できるかどうか。水位痕跡となる漂着物などを撮影してデータの代用とすることもできる。都市部や接近容易な所では、水位計や水位標が壊されるおそれがある。	大規模な洪水の水位を記録するため、水位計は数年間にわたって設置されていないなければならない。

付録 6 水質

上記の報告には WFD の河川水質基準として、生物化学的酸素要求量（BOD）、溶存酸素（DO）、アンモニア性窒素、pH、リンが含まれる。

生態系の状態は、優れている、良好、中程度、劣っている、悪い、に区分して記録される。「優れている」は影響がほとんどみられない状態を示し、その他の区分は「優れている」状態からのずれの程度を反映する。水域の生態系の状態は、最も悪い要素の値によって決まる。

表 A6.1 基礎となる河川の分類

標高	アルカリ度 (単位 : mg- CaCO ₃ /l)				
	10 未満	10~50	50~100	100~200	200 以上
80 m 未満	類型 1	類型 2	類型 3	類型 5	類型 7
80 m 以上			類型 4	類型 6	

基準が類似している類型を統合し、統合されたデータを再解析して新たな基準を統合類型に対して定めていった。溶存酸素とアンモニア性窒素についてはこうして表 A6.2 に示す 2 種類の類型に簡略化することができた。

表 A6.2 酸素とアンモニア性窒素による河川の分類

高地低アルカリ類型	タイプ (1 + 2), 4, 6
低地高アルカリ類型	タイプ 3, 5, 7

表 A6.3 DO と BOD の水質基準

	優れている	良好	中程度	劣っている
DO (飽和度のパーセント値)				
10 パーセンタイル値 (非超過確率 10%)				
高地低アルカリ	80	75	64	50
低地高アルカリ	70	60	54	45
BOD (mg/l)				
90 パーセンタイル値 (非超過確率 90%)				
高地低アルカリ	3	4	6	7.5
低地高アルカリ	4	5	6.5	9

この他にも、多くの水質基準がある。表 A6.3、A6.4 に EC 淡水魚指令基準 (Freshwater Fisheries Directive Standards) を示す。

表 A6.4 淡水魚指令の必須基準

パラメーター	必須基準			注
	単位	サケ類	コイ類	
水温	°C	1.5	3.0	温水放流により増加する。
	°C	21.5	28.0	計測地点中の最高値。
	°C	10.0	10.0	繁殖期の最高値。
DO	mg/l	50%値が 9 以上	50%値が 7 以上	DO 濃度が 6 mg/l を下回る時には、加盟国は 7(3)項を適用すべきである。
pH		6~9	6~9	
フェノール		無臭	無臭	
炭化水素油		視認できない	視認できない	
イオン化していないアンモニア	mg/l	0.025	0.025	
総アンモニア性窒素	mg/l	1.0	1.0	
総残留塩素	mg/l	0.005	0.005	
総亜鉛 (平均硬度によって基準値が異なる)	mg/l	0.03	0.3	硬度 10 mg-CaCO ₃ /l 以下
	mg/l	0.2	0.7	硬度 10~50 mg-CaCO ₃ /l
	mg/l	0.3	1.0	硬度 50~100 mg-CaCO ₃ /l
	mg/l	0.5	2.0	硬度 100 mg-CaCO ₃ /l 以上

表 A6.5 淡水魚指令の標準値

パラメータ	標準値			注
	単位	サケ科	コイ科	
DO	mg/l	50%値 9 以上	50%値 8 以上	
	<TD> ⁴	100%値 7 以上	100%値 5 以上	
SS	mg/l	25	25	
BOD	mg/l	3	6	
亜硝酸性窒素	mg/l	0.01	0.03	
イオン化していないアンモニア	mg/l	0.005	0.005	
総アンモニア性窒素	mg/l	0.04	0.2	
溶存銅（年平均硬度によって基準値が異なる）	mg/l	0.005	0.005	硬度 10 mg-CaCO ₃ /l 以下
	mg/l	0.022	0.002	硬度 10～50 mg-CaCO ₃ /l
	mg/l	0.04	0.04	硬度 50～100 mg-CaCO ₃ /l
	mg/l	0.112	0.112	硬度 100 mg-CaCO ₃ /l 以上

微細有機汚染物質を考慮する必要がある場合もある。これらの物質は医薬品やホルモン類似物質に由来することが多く、極低濃度でも水生生物に影響を生じることが分ってきている。検出には特殊な分析方法が必要だが、標準的な調査では生態系の状態を制限する水質要因が見つからない場合や、特に脊椎動物に奇妙な病理現象が現れている場合などには、調べてみるべきである。

⁴ Total dissolved

原本 (PRAGMO 英語版) 目次

Contents

1. Purpose	1
1.1 How this document can help you.....	1
1.1.1 What is not covered.....	2
1.2 Who will benefit from the guidance?	2
1.2.1 Key Groups.....	3
1.3 How to use this document	4
1.4 A living document.....	5
2. Document summary and user guide	6
2.1 Why use this guidance?.....	6
2.2 Putting your river restoration project into context.....	6
2.3 What is your project aiming to achieve?.....	6
2.4 Understanding the links between physical and biological processes.....	7
2.5 Determine your 'Specific and Measurable' objectives.....	7
2.6 Appropriate level of monitoring for your project.....	7
2.7 Which monitoring techniques to use.....	8
2.8 How to use this guidance: a step by step outline from objectives to delivery.....	8
3. The context: evidence, your river and policy	14
3.1 What does the literature tell us?.....	14
3.1.1 Non-academic cited information.....	15
3.1.2 Effective monitoring.....	15
3.2 Understanding your Section of river	18
3.2.1 Hydrology, sediment and water quality.....	18
3.2.2 Developing SMART Interrelated Objectives.....	19
3.2.3 Policy and legislation context.....	23
4. Project Objective Setting	24
4.1 Setting SMART Project Objectives.....	24
4.1.1 Stage 1 – Define the Aim.....	24
4.1.2 Stage 2 – Specific Project Targets.....	25
4.1.3 Stage 3 – Set SMART Objectives.....	26
5. Physical and biological process links and limitations	31
5.1 The importance of understanding your catchment's hydrology, water quality and sediment.....	31
5.1.1 Hydrology.....	31
5.1.2 Water Quality.....	32
5.1.3 Sediment movement.....	32
5.2 Inter-Relations between Biodiversity and Physical Habitat	34
5.2.1 Fish.....	36
5.2.2 Invertebrates.....	36
5.2.3 Plants.....	37
5.2.4 Mammals and Birds.....	37
5.2.5 In-channel Morphology.....	38
5.2.6 Banks and Margins.....	38
5.2.7 Floodplains.....	39
5.3 Interacting components – understanding the connections.....	39
6. Determining monitoring objectives appropriate to project risk and scale	41
6.1 Determining Project Risk.....	42
6.1.1 Frequency of successful application and uncertainty in response.....	42
6.1.2 'Robustness' and potential for physical failure.....	43
6.1.3 Combining uncertainty and failure potential.....	44
6.2 Identifying Project Scale.....	45
6.3 Defining you project location in the matrix.....	45
6.3.1 Examples of how to use the matrices to identify where your project sites in the risk/scale matrix.....	47
6.4 Setting SMART Monitoring Objectives.....	50
6.4.1 Is your monitoring achievable and realistic?.....	50
6.4.2 Prioritising your monitoring.....	50
7. Selection of appropriate techniques and methodologies	53
7.1 What will your monitoring tell you?.....	53
7.2 What level of technique should I use.....	53
7.3 Multi-disciplinary Methods (see Appendix 8).....	58
7.4 Ecology Survey Methods (see Appendix 9).....	59
7.5 Fisheries Survey Methods (see Appendix 10).....	59
7.6 Macrophyte Survey Methods (see Appendix 11).....	60
7.7 Geomorphology Survey Methods (see Appendix 12).....	60
7.8 Hydrology Survey Methods (see Appendix 13).....	61

8. Monitoring Timescales	65
8.1 Adding time to monitoring objectives.....	65
8.2 Monitoring – for how long?.....	66
8.3 Monitoring – which season to collect data?.....	67
8.4 Key timescale considerations.....	71
9. Estimating Monitoring Costs	72
9.1 Breaking down the cost elements.....	72
9.1.1 Planning.....	72
9.1.2 Data collection.....	72
9.1.3 Interpretation and reporting.....	72
9.1.4 Estimating costs for data collection and analysis.....	72
10. Above and beyond existing data	76
10.1 Existing data resources and monitoring schemes.....	76
10.2 Who should be involved in monitoring and why.....	78
10.2.1 Types of groups to approach.....	78
10.2.2 Benefits of engaging a wider section of society.....	79
11. Case studies	80
11.1 Maves Brook.....	80
11.2 River Cole.....	84
11.3 River Quaggy.....	89
11.4 Seven Hatches.....	91
11.5 Kissimmee River Restoration Project, Florida.....	96
11.6 Shopham Loop.....	100
12. Bibliography & References	106
12.1 Formal literature.....	106
12.2 Indirect or 'grey' literature.....	111
12.2.1 General.....	111
12.2.2 By Sub-discipline.....	112
12.2.3 Techniques.....	114
12.2.4 Case Studies.....	115

Appendices	118
Appendix 1 Water Framework Directive	119
A1.1 WFD Monitoring.....	119
A1.2 Determining which pressure is causing biological failure.....	121
Appendix 2 Adaptive Management	130
Appendix 3 Literature Review	132
A3.1 Evidence and knowledge base.....	132
A3.2 The big picture.....	133
A3.3 Objective setting and monitoring design.....	133
A3.4 A question of scale.....	134
A3.5 How to proceed?.....	134
A3.6 River Restoration Design and Appraisal Process.....	135
A3.7 Indirect Literature.....	135
Appendix 4 SMART Objectives	136
Specific 136	
Measurable.....	136
Achievable.....	137
Realistic 137	
Time-bound.....	137
A4.1 Examples of SMART objectives.....	138
Appendix 5 Hydrology	140
A5.1 Definition of Common Hydrological Terms.....	140
Gauging Stations.....	140
Spot Gauging.....	141
Mean Daily Flows.....	143
Percentiles and Flow Duration Curves.....	146
Volumetric descriptions of Flow.....	147
Naturalised flows.....	148
A5.2 Available Hydrological data and its uses.....	150
Deriving Flows at Ungauged Sites Using Spot Gaugings.....	160
Appendix 6 Water Quality	152

Appendix 7 Sedimentation.....	155
Appendix 8 Multidisciplinary Monitoring.....	157
A8.1 Fixed point Photography.....	157
A8.2 RRC Rapid Assessment.....	159
A8.3 Habitat Mapping (biotope).....	176
A8.4 Habitat Mapping (RCS).....	178
Appendix 9 Ecology Monitoring.....	181
A9.1 Community Involvement (simple invertebrate assessment).....	181
A9.2 Unit Area Invertebrate Sampling – Surber or Cylinder Samplers:.....	181
A9.3 Unit-Time Invertebrate Survey.....	183
A9.4 River Habitat Survey (RHS).....	191
A9.5 Urban Habitat Survey.....	191
Appendix 10 Fisheries Surveys.....	193
A10.1 Electrofishing.....	193
A10.2 Netting.....	195
Seine Netting Method.....	195
Fyke Netting Method.....	196
A10.3 Trapping.....	197
A10.4 Hydroacoustics.....	199
A10.5 Fish Counters.....	199
A10.6 Tagging.....	200
Appendix 11 Macrophyte Surveys.....	201
A11.1 Environment Agency Macrophyte Survey Methodology (LEAFPACS).....	201
Width Method.....	202
Square Method.....	202
A11.2 JNCC Standard method for river macrophyte survey and for determining River Community Type (Edited extract from SERCON 2 User's Guide).....	251
Field survey.....	251
Determining the River Community Type.....	262
A11.3 Quadrat/NVC methodology.....	263

Appendix 12 Hydromorphology – Geomorphological Surveys.....	264
A12.1 Aerial Photography and Satellite Imagery.....	264
A12.2 Geo-River Habitat Survey (GeoRHS).....	264
A12.3 Topographic Survey.....	264
A12.4 Repeat Cross Sections.....	264
A12.5 Geomorphological Mapping.....	265
A12.6 Fluvial Audit.....	265
A12.7 LiDAR.....	265
Appendix 13 Hydromorphology – Hydrological Surveys.....	267
A13.1 Trash Lines.....	267
A13.2 Water Level.....	267
Gauge Boards.....	267
Stilling Well and Level Logger.....	268
A13.3 Spot Gauging.....	268
A13.4 Velocity.....	314
A13.5 Rainfall-runoff Modelling (to determine mean daily flows).....	314
Appendix 14 Data Sources.....	315

Table of Tables

Table 6.1 Risk Calculation Matrix 1: FREQUENCY OF SUCCESSFUL APPLICATION	42
Table 6.2 Risk Calculation Matrix 2: FAILURE RISK FOR RIVER TYPE	44
Table 6.3 Overall Risk Score	44
Table 6.4 Table of Scale Factors Relating to Length and Width of Restoration Reach	45
Table 6.5 An example of prioritising your monitoring, based on the objectives of Example 3 in Section 4.1.3	51
Table 6.6 A snapshot of the Mays-Brook way of prioritising river restoration monitoring aspirators based on a combination of need and relation to objectives, data availability, cost and other resources	52
Table 7.1 Methods, Associated Functions and Types	62
Table 8.1 Relevant timescales for monitoring indicators of river restoration success, from Wholsey et al., 2007	66
Table 8.2 Timescales for generic sampling types	69
Table 8.3 Timescales for generic sampling types in width and does not include equipment costs	71
Table 10.1 EA databases (Bellamy and Rivas-Casate (2009))	77

あとがき — PRAGMO 日本語版監修にあたり

日本における河川の自然再生事業は、多自然型川づくり以降、急速な普及と発展をみせてきました。当初からスイスやドイツの影響を大きく受けてきたのは確かでしょうが、経験が蓄積されていくにつれて日本の条件に合った方法が生き残り、日本における知見を反映した独特の技術体系が育ちつつあります。川は世界中どこにでもあります、川と人のつきあい方は地域ごと、川ごとに異なるものです。川を見守り、川に見守られるのは地元根を下ろした人々でしかありえません。

本書は英国の文献であり、かの地の条件を基にして、その国内で使用されることを前提に書かれています。イギリスといえど何百年以上にもわたって世界をリードしてきた技術と思想の国であり、明治維新以来日本はさまざまな分野のお手本として見習ってきました。川の環境についても世界で最も研究や取り組みの進んだ国の一つと言って過言ではありません。その英国でいま必要とされているのがこのようなモニタリングの手引書であるというのです。自然環境の悪化がまず認識され、それらを改善する技術や技法は発展した、続いてそれらを評価する（モニタリング）必要性が高まった、しかしその評価をどうしているかわからない、その段階にあるということです。

読んでいただければわかるとおり、このモニタリング書は、単なる調査方法を羅列したものではありません。むしろ個々の調査方法の記述は最小限にとどめられており、原文の付録に押しやられています。それでは優秀なモニタリングには何が大切だということでしょうか。120ページほどにわたる内容をあっさり要約してしまえば、まず目標をはっきりさせること、次になんでもかんでも手当たり次第に入れ込むのではなく、また資金がないから、時間がないから、人手がないからと言い訳するのではなく、分相応のモニタリングをきっちり計画して実行すればよいのだということ、そのときには地域住民の力で行えることもあるということ、そして既存の事例や経験を活かすこと、となるでしょうか。先進国たるイギリスで率直に表明されているこういった認識は、日本においてもこれから必ずや重要性を増すことでしょう。失敗例の反省まで含めて原書をまとめられた英国河川再生センターに敬意を表します。

日本語版をまとめるに当たって、多くの方のご尽力がありました。各章の翻訳は JRRN 会員のボランティアによってなされました。分担して翻訳を終えたのち、監修者の手で全体の用語を揃えたり調子を整えたりと文言を調節しました。元の訳文を改変した部分がありますことをご容赦願います。全編にわたって一字一句まで例外なく吟味して手を入れましたので、誤訳や表現の悪さなどはすべて監修者たる私に責任があります。企画から編集、校正、印刷までの過程では、JRRN 事務局の方々がたいへんご努力を重ねられました。

(財)河川環境管理財団の河川整備基金の助成にも感謝いたします。

本書はモニタリング実施の時間軸に沿って書かれているため、一つの調査対象や考慮事項があちこちに繰り返し出てきます。それらを整理して理解することができるよう、原文にはなかった索引をつけました。ただし本文のみが対象で、付録や一部の図は外してあります。少しでも解釈の助けになれば幸いです。

「イギリスの川は平坦で単純で、研究の立場からはあまり面白くない」といった言葉を耳にしたことがあります。一般にヨーロッパの自然はモンスーンアジアの自然より単純で理解が容易と言われます。本書にも出てくる RHS (River Habitat Survey) という手法を、数年前に日本の川で試してみたことがありました。確かに日本の川を表現しきれない部分や日本の川には必要ない項目などは見受けられました。本書の記述をそのまま日本に適用しようとする際には注意を要すること、巻頭にて玉井先生も注意を喚起されているとおりです。生物種の名前や関係省庁は日本人にとってあまり意味がないかもしれませんが、川の勾配や周辺の土地利用も日本とはかなり違った状況を前提として記述されていることは確かでしょう。

しかし、問題の発端となる意識や成功に導く戦略には洋の東西を問わない共通点がみられます。11章に挙げられた事例は興味深いものです。自然再生事業の効果に洪水リスクの軽減が意識されているのは意外な感も受けます。住民と河川環境の距離感も、日本と英国ではあまり違わないのかもしれませんが。本書はあくまでも事業を実施する際に相伴うモニタリングが対象であり、平常時の調査や環境悪化の原因を調べるモニタリングではありません。そのことから事業者の立場が色濃く出ている面はありますが、事業者と住民が当初から手を携えて川に向き合う姿勢が痛切に求められていることは感じられます。最後の事例で述べられている失敗原因と具体的な改善策は最も役に立つ部分かもしれません。

先にも書いたように、ある段階以上にモニタリングの質を高めるには、どうやら始める前の段取りが大切なようです。目標設定、レベル設定、期間の設定、そして手法の選択。そしていざ実行に移る際には、様子をみながら調整していく順応的管理も当然のごとく採用されます。そしてこれら全てのステップを、専門家や管理者が計画するばかりではなく、部外者や住民でも誰にもできるのだというのが本書のメッセージでもあります。小さなモニタリングでも、目標や手法がきちんと検討されていれば必ず役に立ちます。大きな組織が資金と人を費やしても、構造があいまいならば結局意味のないデータしかとれないというのです。本書の最後の例にもあるように、おそらくイギリスでは（そして世界中の国でも）そうした失敗例をたくさん経験してきたのでしょう。

本書を目にした方々、とくに一般市民の方々が、これならできると自信を持ち、河川管理者や事業者とともに日本の川を良くしていく歩みに力と裏付けを与えることができればなによりです。

監修者
白川直樹
(筑波大学)

■監修者

白川 直樹 (しらかわ なおき)



栃木県出身。利根川支流の鬼怒川のさらに支流の大谷川の支流の近くで生まれ育つ。東京大学工学部土木工学科卒業後、同大学院を経て東京大学助手、筑波大学講師。現在、筑波大学システム情報系准教授として、同社会・国際学群国際総合学類、理工学群工学システム学類、大学院システム情報工学研究科にて教育に従事している。環境流量について、その経済評価、水文統計分析法、グローバルモデル、河道物理特性の調査などを行ってきた。

■翻訳協力者 (ボランティア) ※五十音順

小川 豪司 (おがわ ごうし)



中小企業の原油、石炭の営業マンから一念発起しアメリカオレゴン州で魚類学を勉強したのち、アジア航測で環境系の仕事に携わっています。サーフィン、フィッシング、キャンピングが大好きなので、休日も海、山、川に出没しています。座右の銘は「Life is once」。人生一度しかないので、妻とともに、様々なことにチャレンジしながら人生を楽しんでいます。

金子 拓哉 (かねこ たくや)



筑波大学大学院システム情報工学研究科2年。山地河川での現地観測を研究テーマにしている。最近、友人の影響で川めぐりが趣味になってきた。今年には調査を兼ねて諏訪湖や五ヶ瀬川を訪ねた。旅先でご当地グルメを食べるのも大好き。

鴨志田 穂高 (かもしだ ほだか)



筑波大学国際総合学類3年。茨城県出身。幼少期に夏の八溝川で川遊びの洗礼を受ける。最近、八溝川湧水群が名水百選に選ばれていたことを知り鼻が高い。白川ゼミに入って以降は川の魅力に取り憑かれ、現在はゼミのなんでも屋と化している。高校・大学と放送部で培った映像編集スキルを河川関連のビデオ制作に生かせないかと画策中。

田中 研一 (たなか けんいち)



筑波大学工学システム学類4年。群馬県出身。趣味はバードウォッチングとトライアスロン。河川の流れを定量的に表す方法を研究している。小学生の頃より自然や環境問題に興味を持つ。家の近くには広瀬川が流れ、この川を主な舞台に清掃活動やバードウォッチング、ジョギングをよく行なった。大学進学の際に、環境を学ぶか工学を学ぶか悩む。そして工学の観点から河川を研究する白川研究室と運命の出会いを果たす。

田中 聡大 (たなか そうだい)



筑波大学工学システム学類4年。埼玉県出身。趣味はテニスとランニング。中学高校では陸上部に所属して学校が入間川の河川敷にあったので、毎日のように河川敷のサイクリングロードでトレーニングをしていた。大学では環境流量の全球グローバルモデルの研究をしている。

都筑 良明 (つづき よしあき)



島根大学汽水域研究センター協力研究員。都市・衛生（環境）工学が出发点でした。都川（千葉市の2級河川）で生活排水の環境家計簿を2004年頃に考え出したのが河川との接点です。大和川の社会実験関連の定量的解析を主に行っています。家庭でのソフトな対策は1980年代後半に始まりましたが、英語の情報が少ないので、英語での発表を心掛けてきました。

中谷 哲己 (なかに てつき)



筑波大学大学院システム情報工学研究科1年。兵庫県出身。実家の近くに川がなかったので研究室に入るまではあまり川と触れ合う機会はなかった。学部生のときは那珂川におけるアレチウリの分布特性、現在は間伐が河川の流量増加に与える影響を経済効果として試算する研究を行っている。

能登 江梨香 (のと えりか)



筑波大学国際総合学類3年。名水の里で有名な、富山県下新川郡入善町出身。幼いころから、黒部川扇状地のおいしい水を飲んで育った。実家は黒部川のすぐそばにあり、家族で黒部ダムへもよく出かける。ゼミでもフィールドトリップなどのアウトドアな活動に積極的に参加している。また、世界の環境や貧困問題にも興味を持っており、現在は環境流量のグローバルモデルを改善するための研究を行っている。

本木 正人 (もとき まさと)



建設技研インターナショナルで国内外の環境保全業務に従事した後、2012年より英国インペリアルカレッジロンドンでコンサベーションサイエンスを勉強中。授業の傍ら奥さんと、娘と息子の子育てにも奮闘中。今後も人と自然のかかわりの中で仕事をしていけたらと思いつつ、リスやウサギが飛び跳ねるキャンパスで数年ぶりの学生生活にどっぷり浸かっています。

山下 裕 (やました ゆう)



筑波大学大学院システム情報工学研究科2年。高専にて機械工学を専攻し、流体工学（圧縮性流体）の研究を行う。大学院では山地河川を対象とした調査を行っている。趣味は写真と登山で、写真は風景、鉄道、航空機、F1の撮影を楽しんでいる。また、登山では北アルプスを中心に、南は屋久島（宮之浦岳）から、北は利尻島（利尻富士）まで、日本の山々を登っている。

■ 編集者

筑波大学白川（直）研究室『川と人』ゼミ



筑波大学の国際総合学類、工学システム学類、システム情報工学研究科等に所属する学生たちが、川を通して環境を知り、自然を知り、人間を知ろうと集っています。これまで、川の物理環境、ダムや遊水地の評価、外来植物、環境教育、市民団体、環境経済、国際比較、風土、観光、水道、水力発電、水神様などについて勉強してきました。

日本河川・流域再生ネットワーク(JRRN)



河川再生に関わる事例・経験・活動等を交換・共有することを通じ、各地域に相応しい河川再生の技術や仕組みづくりの発展に寄与することを目的に活動する団体です。また「アジア河川・流域再生ネットワーク（ARRN）」の日本窓口として、日本の優れた知見をアジアに向け発信し、同時に海外の素晴らしい取組みを日本国内に還元する役割を担います。

索引

[アルファベット]

PSI 33
RCS (河川水辺調査法) 59,81,82,103
RHS (河川生息場調査法) 59,81,82,90
RRC 式簡易評価法 59
SMART 目標
-の意義 7
-を定義する 9
-を早い段階で定義する意義 15-16
-の定義にとりかかるタイミング 19-20
-は正しく定義されているか 11
-の例 27-29,65
-を設定した事例 83
-を設定しなかった事例 95,101-102
SMART な事業目標 24
SMART なモニタリング目標 24,50
URS (都市河川生息場調査法) 59

[あ行]

栄養塩 (N、P) 18,32,39,84,88,90
欧州水枠組指令 9,53,76,80,95
-と本書の関係 2
-に関する情報源 23
横断測量 60,102

[か行]

河床高 25,27,86,92
河川流域管理計画 (RBMP) 33
川幅
-を狭めた事例 86,92
-を狭める方法 42
-に関する事業目的の例 22,25
-に関する SMART 目標の例 29
-に関するモニタリングの例 51,66
-による事業規模の判定 45,73
-の増加 90
-の多様化 94
協働
-による大型水生植物の調査 60
-の相手 78
-の便益 79
魚類
-に対する影響 18,35
-に対する影響の事例 88,94,97,101
-に対する流れの影響 35

-に対する土砂の影響 34
-に対する植物の影響 37
-に関する事業目的の例 25,28,92
-のモニタリング目的の例 51
-に関する SMART 目標の例 29
-のモニタリング手法 55,59-60
-のモニタリングの事例 81-82,94,97,
101, 104

洪水

-時流量 32,38,87
-防御に関する事業目的の例 25,80,84,
89
-防御に関する SMART 目標の例 27

[さ行]

サケ類

-に関する事業目的の例 22,24
-に関する SMART 目標の例 29
-を対象とした事例 39,92,94

産卵

-に關係する物理作用 22,34,35,38,39
-に対する影響の事例 82,88
-条件を改善する事業目的の例 24,25
-に関する SMART 目標の例 29,65
-に関するモニタリング目的の例 51
-に関するモニタリング手法 65

社会経済的側面 2

砂利 (粒径 2mm~64mm の成分)

-に関する事業目的の例 25,29,92
-に関するモニタリング目的の例 51
-が引き起こす問題 34
-が何の役に立つか 35,88,93
-の投入 84,94

事業規模の表し方 45

重金属 18,32,90,91

順応的管理

-とは 15
-を取り込んだ事例 97

植物

-に対する影響 18,37
-に対する影響の事例 87,94,97
-に対する土砂の影響 34
-が他の要素に与える影響 37,38
-と無脊椎動物の關係 35
-に関する事業目的の例 25

- ーに関する SMART 目標の例 27,28
- ーのモニタリング手法 56,60
- ーのモニタリングの事例 90,95,101,104,105
- シルト, 細粒土砂
 - ーが引き起こす問題 34,36,38,51
 - ー域にすむ生物 35
 - ーを捕捉する構造物 94
 - ーのモニタリング手法 65
- 水質
 - ーの及ぼす影響 18
 - ーの重要性 31
 - ーに関する項目 32
 - ー問題の事例 80,82
- 水深 31
 - ー増大(河床掘削) 84
 - ーと魚類 93
 - ーのモニタリング 58,90,94
- 水量
 - ーの及ぼす影響 18
 - ーの重要性 31
 - ーに関する項目 31
 - ーの調査法 58
- 生息場分布図 59
- 生態系と水文地形の相互関係 2
 - ーを知ることの重要性 20
 - ーの図示 21-22,31,39-40
 - ーの調査例 93
- 堰の撤去(本書の架空設定例の一つ)
 - ーにおける物理-生物相互関係 40
 - ーにおける事業目的の例 25
 - ーにおけるモニタリング目標の決め方 6
 - ーにおける SMART 目標 29,65
- 瀬や淵
 - ーを考慮する重要性 7
 - ーと水量, 水質, 土砂の関係 9
 - ーを考慮した事例 27,86,92,94
- 総合リスク尺度 44
- 粗朶 28,42,43,94
- [た行]
 - 対照状態の探し方 26,86,88,93,101
 - 蛇行
 - ー河道の新設 25,27,47,89
 - ー河道の復活 88,92,96,98,100
 - 地域住民
 - ーが懸念している事項 26
 - ーによる再生後の状態の認識 88
 - ーによる再生前の川の認識 80,89
 - 地形測量 60,84,105
 - 倒木(流木)
 - ーの供給源 27
 - ーの効果 38,84,86,94
 - ーに関する自然再生技術 84,92
 - 土砂, 河床材料, 堆積物
 - ーの及ぼす影響 18,34,38
 - ーの重要性 31,32
 - ーに関する専用の調査の必要性 19
 - ーを問題に含む例 29
 - ーの流域内移動の図 33
 - ーに関する情報源 33
 - ーに関するモニタリング方法 65
 - ーに関するモニタリングの事例 90-91,95,105
 - 土砂移動図 60
 - 土砂動態マップ 61,84
 - 鳥
 - ーに対する影響 37,39
 - ーに対する土砂の影響 34
 - ーに関する SMART 目標の例 27
 - ーに関するモニタリングの事例 98,104
- [な行]
 - [は行]
 - 氾濫原と川のつながりの意義 39
 - 避難場 35,37,38,39
 - ーに関する事業目的の例 25,28
 - 富栄養化 32
 - 孵化 34
 - 方形枠 60,104
 - 哺乳類 37
 - [ま行]
 - 無脊椎動物(水生昆虫など)
 - ーに対する影響 18,35
 - ーに対する影響の事例 88,94,97,101
 - ーに対する流量変動の影響 19
 - ーに対する土砂の影響 33,34
 - ーに対する植物の影響 37
 - ーに対する地形の影響 38
 - ーに関する事業目的の例 22,25
 - ーに関する SMART 目標の例 27
 - ーのモニタリング手法 59,104
 - ーのモニタリングの事例 81-82,90-91,95,103,105
 - モニタリング
 - ーの優先順位 4,11,50
 - ーの優先順位づけの例 51,52,83

- －が失敗する理由 6,7,101,102,104
- －のレベル設定の重要さ 1,7
- －のレベル設定の方法 7,41,46
- －手法の選び方 8,54-57
- －の時間 12,26,71
- －の期間をどう決めるか 65,66
- －の期間の望ましい設定例 95,98
- －の時期 67,103

〔や行〕

- 有機堆積物 38,97
- 有機物 32,82,90
- 溶存酸素 (DO) 18,32,90

〔ら行〕

- ライダー 61,76
- リスクとは 42,45
- リスク対規模行列 2,41,46
- 流速 31
 - －に関する事業目的の例 27
 - －と魚類 35
 - －と無脊椎動物 36,38
 - －と植物 37,93
 - －と河床材料 38
 - －のモニタリング 58,90,94,95
- 流量変動
 - －の及ぼす影響 19
 - －を改善する 25,27

〔わ行〕

PRAGMO日本語版

河川及び氾濫原再生の順応的管理に向けたモニタリングの手引き

2012年11月

【原著者】

英国河川再生センター(RRC: The River Restoration Centre)

【日本語版 発行】

アジア河川・流域再生ネットワーク (ARRN)

日本河川・流域再生ネットワーク (JRRN)

〒104-0033 東京都中央区新川 1 丁目 17 番 24 号

公益財団法人リバーフロント研究所 内

電話:03-6228-3860 Fax: 03-3523-0640

E-mail:info@a-rr.net

URL: <http://www.a-rr.net/jp/>

【日本語版 監修】

白川直樹 筑波大学システム情報系 准教授 / ARRN 技術委員

【日本語版 翻訳】

JRRN 会員ボランティア (10 名) 及び JRRN 事務局

【日本語版 編集】

筑波大学白川 (直) 研究室『川と人』ゼミ

日本河川・流域再生ネットワーク(JRRN) 事務局



JRRN は、「アジア河川・流域再生ネットワーク構築と活用に関する共同研究」の一環として、公益財団法人リバーフロント研究所と株式会社建設技術研究所国土文化研究所が公益を目的に運営を担っています。



※本書は、(財)河川環境管理財団の河川整備基金の助成を受けて作成されたものです。



アジア河川・流域再生ネットワーク

日本河川・流域再生ネットワーク



筑波大学白川（直）研究室
『川と人』ゼミ