

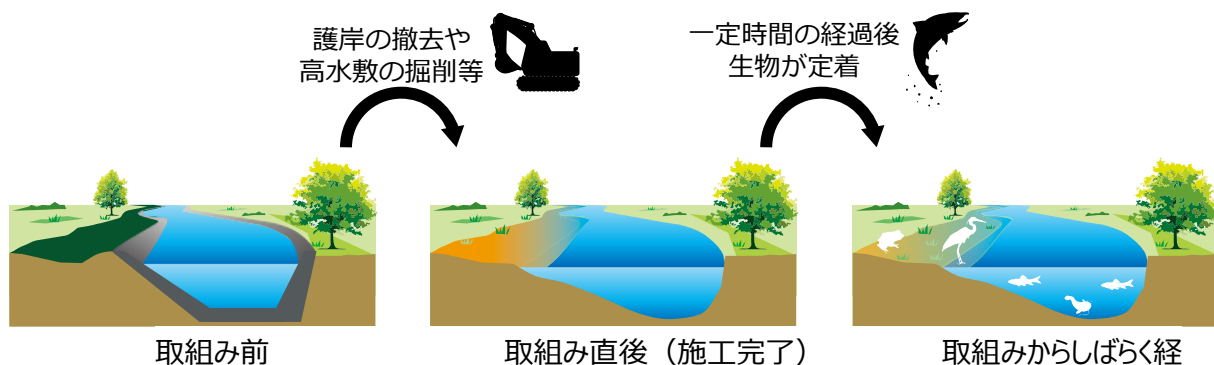
## 9-1 Question

自然再生等の取組みを実施した際、その効果を計るためのモニタリング計画を考えるときのポイントを教えてください。

### ■Question の意味と背景

河川は洪水などの攪乱の影響を強く受けるなど、変動の大きなシステムである。そのため、自然再生等の取組みを行った際、施工の完了が対策の完了とはならない。施工によるインパクトを与えた後、計画通りに河川環境が目標に近づくか否かについて長期的な検証（モニタリング）が必要となる。

取組みの効果を評価しようと、実施直後に該当区間で調査が行われることは多い。この時、多くの生物が観察されるなど環境改善の効果が推定されたとしても、「取組み実施後だけの単一データ」では何も評価することはできない。取組み実施前から多くの生物がいた可能性もあれば、取組みの有無に関わらず、この時はどこでも生物が多かったタイミングかもしれない。効果を評価することができなければ、継続していくべきなのか、さらなる対策が必要なのか、検討することも難しくなる。モニタリングは効果を評価するために必要不可欠であり、その手法については様々な「調査デザイン」が考え出されている。



取組みの「実施前」から、「直後」、「しばらく後」といった時間軸で捉えられる変化を、事業を実施しなかった場所や事業を必要としない良好な場所と比較する

**モニタリング手法**  
BA・CI・BACI・BARCI

### ■関連する Question

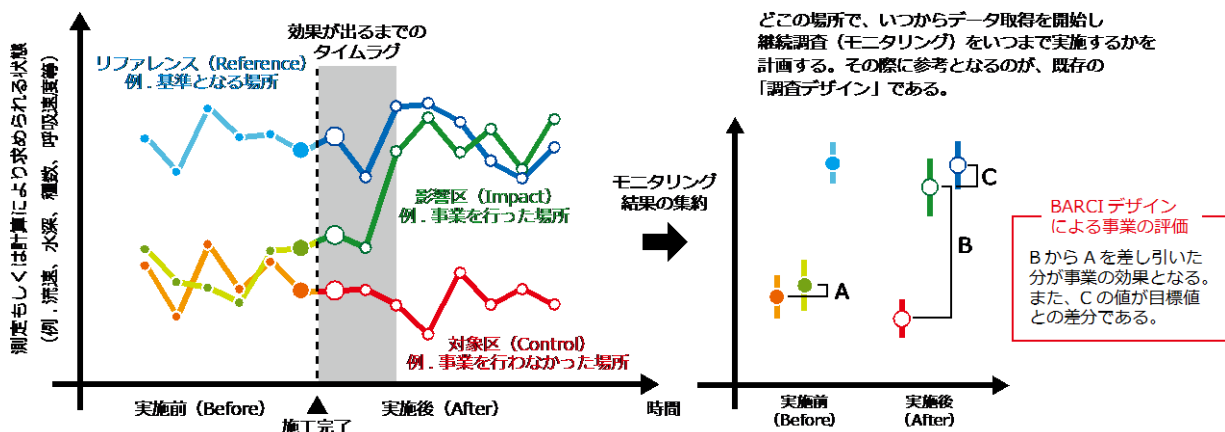
- Q2-1 治水事業において、多自然川づくりで留意すべきポイントを教えてください。
- Q5-2 高水敷掘削や切り下げを行う際に、掘削の効果を長持ちさせながら、河川環境の改善に寄与するための留意点を教えてください。

## Answer

空間的・時間的な変化を利用した BACI や BARCI などの調査デザインを考え、効果の検証ができるモニタリング計画を立てましょう。

### ■ Answer の概要と基本的考え方

河川環境に関して、自然再生等の取組みによる結果を正確に予測することは不可能に近い。そのため、施工を行った後の変化を定期的に把握（モニタリング）することで、予測通りに環境が推移しているかを確認することが望ましい。この時、科学的な手法として考え出された「調査デザイン」に基づくことで、モニタリングの結果を活かし効果を計ることが可能となる。「調査デザイン」が重要視される理由は、取組みの効果を正しく評価するためである。代表的なものとして「Before-After-Control-Impact (BACI) デザイン」が挙げられる。取組みの効果とは「事業によって生じる変化」であり、その変化を捉えるには取組み実施前と比べてどうなったのかを調べる必要がある (Before-After)。また、取組みの効果を調べるには、「取組みを行わなかった」地点と比べることが望ましい (Control-Impact)。そして、目標とする場所や値などが、あらかじめ定まっているような場合には BACI デザインに Reference を加えた「Before-After-Reference-Control-Impact (BARCI) デザイン」も考え出されている。このように、こういった場所と時間でモニタリングを行うことで評価可能となるかを考えることが大切であり、上記の調査デザインは大いに参考となるだろう。なお、モニタリングで対象とする項目・現象の特性（変化する速さなど）に応じて、調査を行う時期、頻度、場所、方法、期間などが決まる。生物や生物現象（行動など）を捉えようとする場合には、生物が定着して繁殖する必要があるなど時間がかかることも多い。移動性の低い生物相の回復には時間がかかると考えられ、取組み実施とのタイムラグを考慮する必要がある。



## ■Answerの詳細

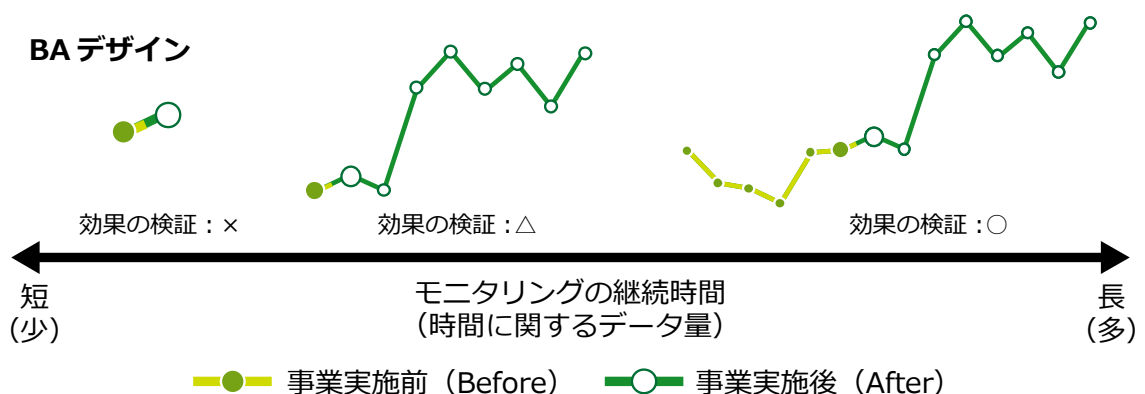
施工後のモニタリングで一般的に用いられている「調査デザイン」の手法について述べる。

### (1) 調査デザイン

事業の影響を適切に捉えるには、事業を実施した後にその場所だけを調査しても、その影響（環境変化に対する応答）を捉えることはできない。モニタリングにより事業を評価しようとするならば「調査デザイン」（研究デザイン）をよく考え、科学的な評価に堪えられる「比較」を合理的に行い、事業の効果を計ることが必要となる。ここで述べる「調査デザイン」とは、どの時期にどの程度、どこを調査すれば良いのかを設定することである。

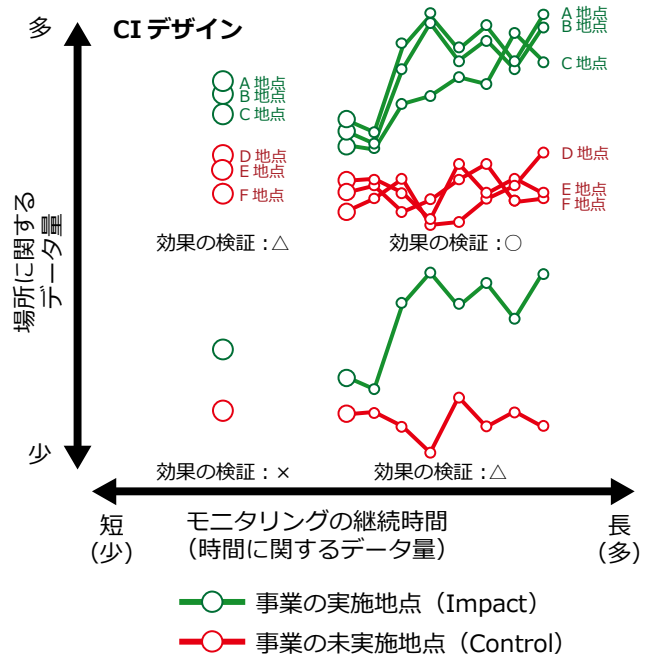
### (2) Before-After (BA) デザイン

事業を実施する前から調査を開始し、事業前と事業後で比較する方法は Before and After (BA) デザインと呼ばれる。この方法に基づけば、変化の検出は可能のように思える。しかし、自然環境の変動は大きいため、環境対策を行ってないにも関わらず河川の物理・化学環境や生物の生息状況が大きく好転することもある。こういった現象が、事業の実施と偶然、重なる可能性もある。そのため、BA デザインでは事業の効果を厳密に計ることができず、特に短期的なデータのみでは検証が困難となる。ただし、Before と After の両者に関して、様々なデータが長年にわたって蓄積されているような場合、自然環境の変動の程度についても評価することが可能となり、BA デザインによって事業の効果について言及することができる場合もある。



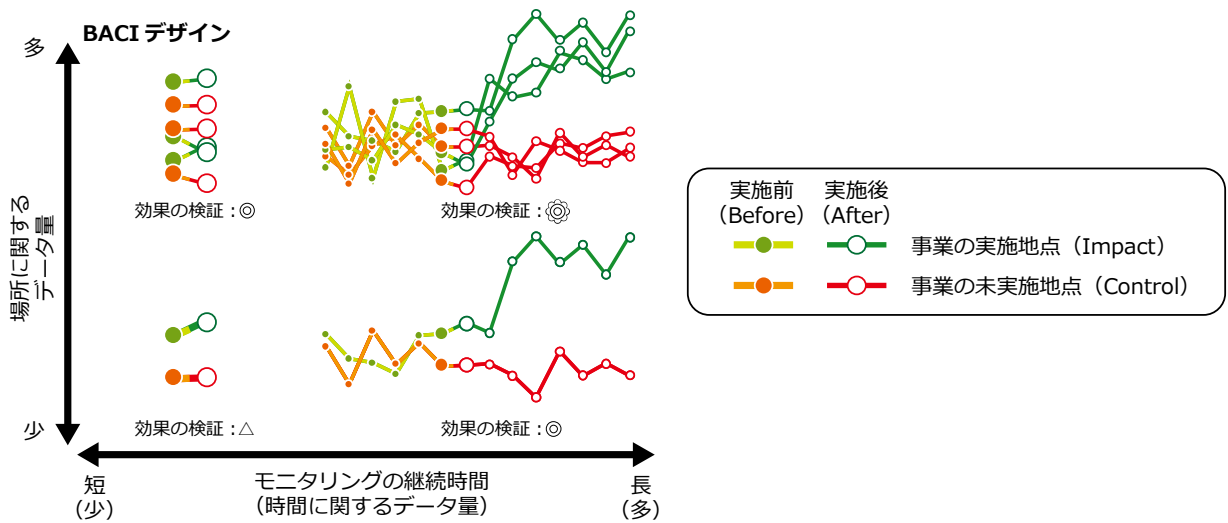
### (3) Control-Impact (CI) デザイン

事業の効果を検証するには、事業を実施した地点 (Impact) とともに事業を行わなかった地点 (Control) での調査を行うことが望ましい。環境要因や生物の生息状況について、両地点にある差を検出することが肝要であり、この方法は Control and Impact (CI) デザインと呼ばれる。ただし、この比較は Impact 地点と Control 地点では同一の環境・生物相を有することを前提にしており、自然界ではこの前提を厳密に満たす状況は極めて限られている。全く同一でないにしても、Impact 区と Control 区を数多く設定することで、場所間の違い(変異)を考慮した比較を行うことも可能であり、事業の効果について検証することも可能である。



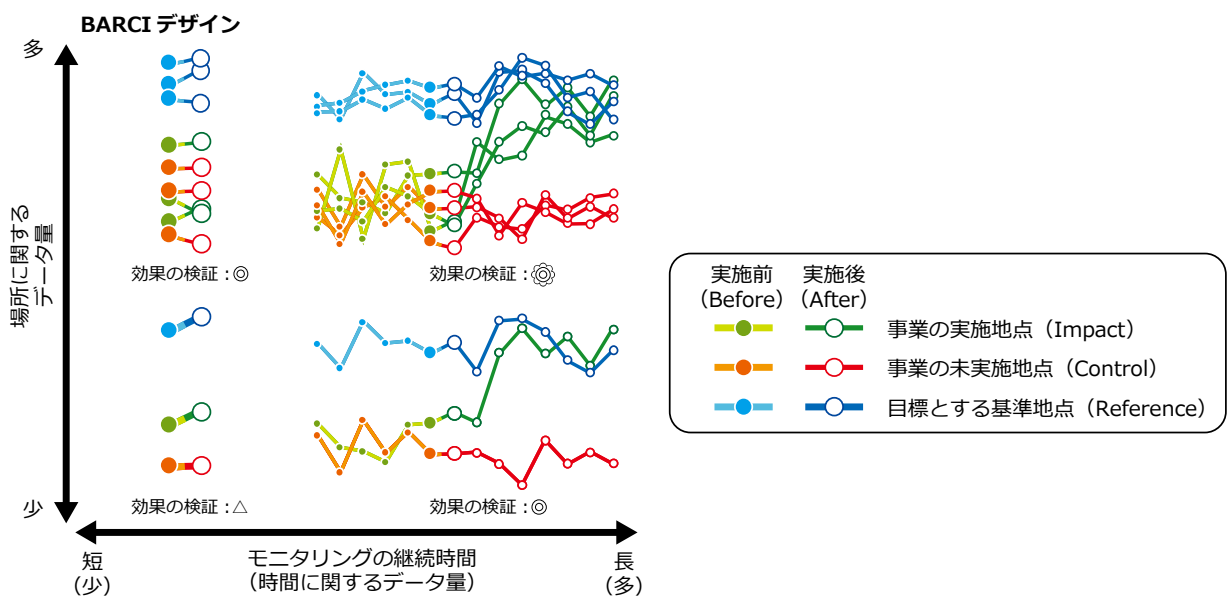
### (4) Before-After-Control-Impact (BACI) デザイン

BA デザインや CI デザインで生じる問題を回避し、より厳密に事業の効果を評価できるモニタリング計画 (調査デザイン) として、「Before-After-Control-Impact (BACI) デザイン」が挙げられる。BACI デザインは環境影響評価などでも利用されており、事前調査 (Before) と事後調査 (After) という時間評価軸と、事業実施区 (Impact) と対照区とも呼ばれる事業未実施区 (Control) という空間評価軸によって、事業の影響を科学的に評しようとするものである<sup>1)</sup>。このとき、できる限り時間的にも空間的にも繰り返し (replication) を持つことが望ましい<sup>2)</sup>。ただし事業の規模が大きくなればなるほど、繰り返しを設定することが難しくなるが、それぞれ 1 地区において複数回の事前事後調を実施し、この時間的な繰り返しを利用することで効果を計る (統計的な有意性を証する) ことも可能となる<sup>2)</sup>。



(5) Before-After-Reference-Control-Impact (BARCI) デザイン

事業を実施する際、目標の設定は重要であり、モニタリングによって、どの程度目標とする基準（値など）に近接したかを評価することも、事業の効果を計る上で大切なことである。しかし、BA、CI、そしてBACI デザインでは目標にどの程度近づいたのかについて評価することが出来ない。そこで、目標が設定されている際には、BACI デザインにReference（目標となる基準）との近接度を組み込んだ Before-After-Reference-Control-Impact (BARCI) デザインでモニタリング計画を立てることが望ましい<sup>2), 3)</sup>。Referenceとして目標となる地点を設定することが多いが、その際はReference地点も変動することから、この地点についてもモニタリングが必要となる。



## (6) 繰り返し

BA、CI、BACI、BARCI デザインと様々な調査デザインを紹介したが、いずれのデザインにしても明確な科学的検証が行えるように、できる限り繰り返し (replication) を多くとることが望ましい<sup>2)</sup>。繰り返しの数は、事業やモニタリングの内容と社会的許容度に依存するが、繰り返しの数が増えるほど、科学的な検証を行いやすく、事業の効果を明確に計ることが可能となる。事業の規模が大きくなるほど、繰り返しを設定することが難しい面があるが、1つの地区において複数回の事前と事後調査を実施する、1つの地区の中でも複数の調査区を設定する、など時間的・空間的な繰り返しを取ることで、より科学的な手法に基づいた効果の検証を行う (統計的な有意性を証する) ことが可能となる<sup>2)</sup>。

## (7) 順応的管理 (アダプティブマネジメント)

モニタリング調査の結果から事業の効果を監視し、必要に応じて具体的な対策を再検討 (フィードバック) し、手直し (維持管理において、または対策の再実施) によって修復をはかる順応的な管理 (アダプティブマネジメント) の考え方を、事業の効果を計る計画に最初から組み込んでおくことが望ましい。また、モニタリングにより、調査対象や指標がどんな状態 (値) になればフィードバック (どのような対処をするか) を検討するかについても、事業を行う段階で決めておくことも望まれる。ただし、このような判断をいつ行うかを一律に決めることは難しく、対象とする河川の変動性、過去からの変化の速さ、特定の生物を指標として考える場合にはその生物の特性など、総合的に考慮して個別に決めることになるであろう。また、順応的管理を考える際、「許容される可逆的な変動幅」の設定も課題である。環境に手を加えた場合、実施当初に大きな変動がみられても、長期的にはあまり問題にならないこともありうる。そこで、モニタリング計画の立案時や、環境変化を予測する際に、このような初期の変動幅なども、ある程度想定しておくことが望ましい。

## ■参考事例

### ①松浦川（アザメの瀬）

松浦川で行われた自然再生事業では、氾濫原湿地の再生を事業の目標の一つとし、施工後の動植物の生息・生育状況や地下水位等のモニタリングが行われた。そして、得られた結果に合わせて、地盤高や地形勾配などを変更する順応的な管理を行っている。第一次施工が完了後、2004～2005年にかけて中間モニタリングが実施されたことで課題点が明らかになり、それを踏まえて2005～2006年にかけて計画変更が行われた。

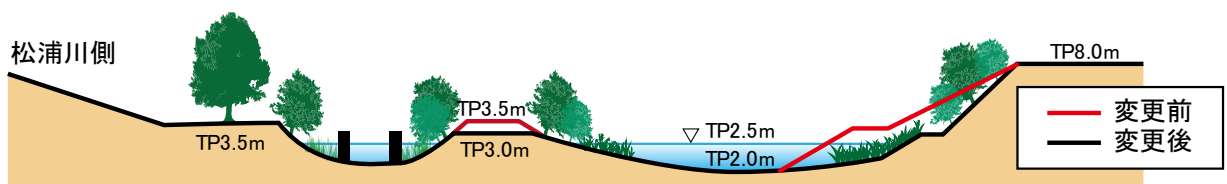


図 モニタリングの結果に基づいた計画の変更前後  
(国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所（2011）：アザメの瀬の記録を参照して作成)

### ②円山川

円山川では、治水対策としての高水敷掘削により、湿地面積が増加しコウノトリによる利用も確認されるようになった。しかし、湿地の再生を行った箇所でモニタリングを行ったところ、湿地性植物が定着していないことが明らかとなった。そこで、河岸湿地の質的な改良を実施するために、土砂堆積の傾向に応じた異なる断面形状とし、水際環境や生物相の多様化を図ることとなった。そして、モニタリングの結果から課題として挙げられた「湿地性植物の定着」や「魚類による再生産の場としての利用」、「生物の生息・生育環境の多様性の向上」を目標に、水際環境を創出する対策が講じられた。



図 土砂堆積傾向に応じた改良方法



### ③淀川

淀川では、天然記念物であるイタセンパラが激減したワンドにおいて、多数の外来魚と外来植物（水草）の繁茂が確認された。これら外来種による影響が、イタセンパラの消失をもたらしたと考え、イタセンパラ野生復帰プロジェクトを開始した（国土交通省淀川河川事務所、淀川水系イタセンパラ保全市民ネットワーク等が連携）。外来種を駆除し、イタセンパラの成魚の放流などを実施した後、イタセンパラ（成魚、稚魚）の個体数と産卵母貝となる二枚貝（イシガイ、ドブガイ）の生息密度についてモニタリングを行い、水制工の補修による生息環境の改善、外来魚・外来植物の駆除を継続実施している。また、モニタリングと合わせて、ヌートリアが二枚貝を餌として利用していることを把握したことで、ヌートリアの捕獲（試行）等が実施された。



写真 モニタリングが実施されているワンド

### ④大和川

大和川ではコンクリート護岸の整備や河道掘削により、昭和40年代と比べて瀬の約5割が消失し、水際植生の約4割が消失するなど、河川環境の単調化が生じていた。そこで、水生生物の生息環境を改善するために、袋詰玉石等を利用した瀬淵構造の再生（ハビタットの再生）と捨石を利用した水際植生の保全・再生が実施された。これらの影響を把握するため、瀬の再生状況、水際植生の成長状況、整備箇所周辺の環境変化、魚類調査による整備前後の生息生物の状況等をモニタリングした結果、施工後は様々な種が安定的に確認され、個体数も施工前に比べて増加していた。しかし、整備箇所によっては袋詰め玉石の施工高さが高かったことから、ゴミや土砂等の堆積がみられた。そこで、施工高さや形状などを工夫することで課題の解決を図り、これにより新たに瀬が形成されるなど、当初計画した内容が順調に進んでいる。



## ■コラムー BACI デザインによる倒木投入の効果検証

自然の河川では、河岸の侵食などで水中に倒伏した倒木や増水時に上流域から運ばれて堆積した流木が観察される。これら倒木と流木を総称して、倒流木と呼ぶことが多い。倒流木は淵の形成や、それ自体が水中におけるカバーとして機能することで、様々な水生生物の生息環境に影響を及ぼす<sup>4)</sup>。これまでに、倒流木が増えることで魚の生息量も増える傾向にあることが示されているが、既存の報告の多くは山地溪流を中心としたものであり、沖積低地の蛇行河川での倒流木の影響については未解明であった<sup>4)</sup>。そこで、標津川で行われた再蛇行化の事業において、蛇行区間において、さらなる水生生物の生息場改善とその効果の検証を行うために、蛇行部への人為的な倒木の投入・固定が行われ、その効果を検証するモニタリングが実施された<sup>5)</sup>。倒木の投入により、平均水深に大きな変化は見られなかったが、流速が減少し、それにより河床に占める砂の割合が多くなった。そして、投入前 (before) には倒木投入区 (Impact) と倒木未投入区 (Control) とで、魚類生息数に違いはほとんどなかったが、倒木を投入した1カ月後 (After) には効果が見られ、個体数で約8倍、種数も約2倍の増加をもたらしていた<sup>5)</sup>。これは、倒木の投入により緩やかな流れが形成され、止水や緩流域を好む魚種や小型の個体が定着したことに加え、水中カバーとしての効果が大型個体の定着をもたらしたものと考えられる。水生昆虫などの底生動物についても、投入前 (Before) には違いがなかった生息密度が、投入後 (After) は常に倒木投入区 (Impact) の方が倒木未投入区 (Control) よりも高くなっていった<sup>5)</sup>。沖積低地を流れる河川では、河床の安定性が底生動物にとって重要な要因であることが示されており、倒木を投入することで安定化した河床が生息密度の増加をもたらしたものと考えられた。

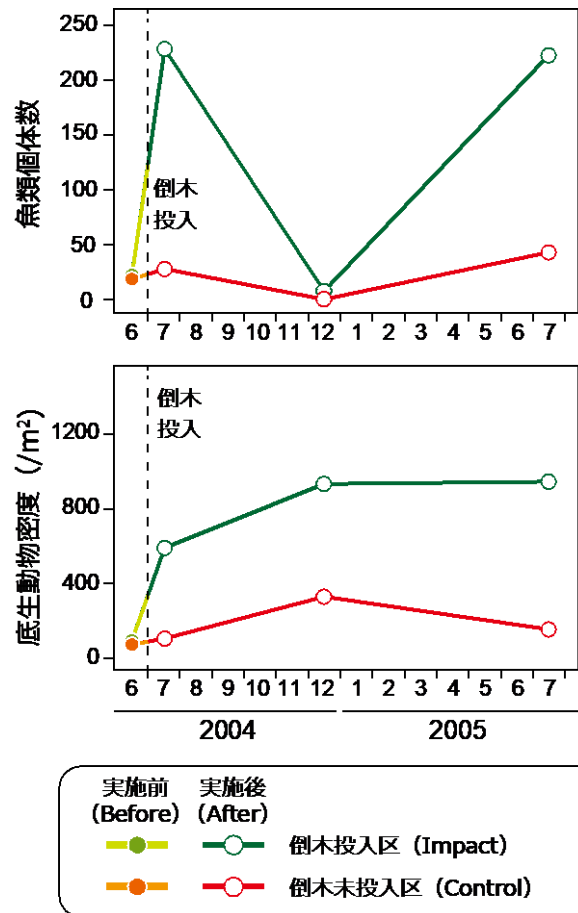


図 倒木投入区と倒木未投入区における魚類個体数と底生動物密度の変化

## ■より深く知りたい技術者のための参考図書等

- 中村太士・辻本哲郎・天野邦彦監修／河川環境目標検討委員会編集／川の環境目標を考える～川の健康診断～，技法堂出版，2008.
- 国土技術政策総合研究所河川研究部，(独) 土木研究所水環境研究グループ自然共生センター：ダム下流河川の物理環境との関係についての捉え方-下流河川の生物・生態系との関係把握に向けて-，国土技術政策総合研究所資料，第521号，土木研究所資料，第4140号，2009.
- 中村太士編集／川の蛇行復元：水理・物質循環・生態系からの評価，技法堂出版，2011
- 矢原徹一・松田裕之・竹門康弘・西廣淳／日本生態学会編／自然再生ハンドブック，地人書院，2010

## ■参考文献

- 1) Underwood A. J.: Spatial and temporal problems with monitoring. The river handbook Volume2. (eds. Calow, P. & Petts G. ) pp.101-123, BlackwellScienceLtd, 1994
- 2) 中村太士:河川・湿地における自然復元の考え方と調査・計画論ー釧路湿原および標津川における湿地、氾濫源、蛇行流路の復元を事例としてー，応用生態工学会，5:217-32, 2003
- 3) Lake P. S.: On the maturing of restoration: Linking ecological research and restoration. Ecological Management & Restoration 2: 110-115, 2001
- 4) 永山滋也，河口洋一，中野大助，中村太士:サケ科魚類の生息に及ぼす倒木の効果. 水利科学 299: 60-77, 2008
- 5) 中村太士編集:川の蛇行復元：水理・物質循環・生態系からの評価，技法堂出版，2011