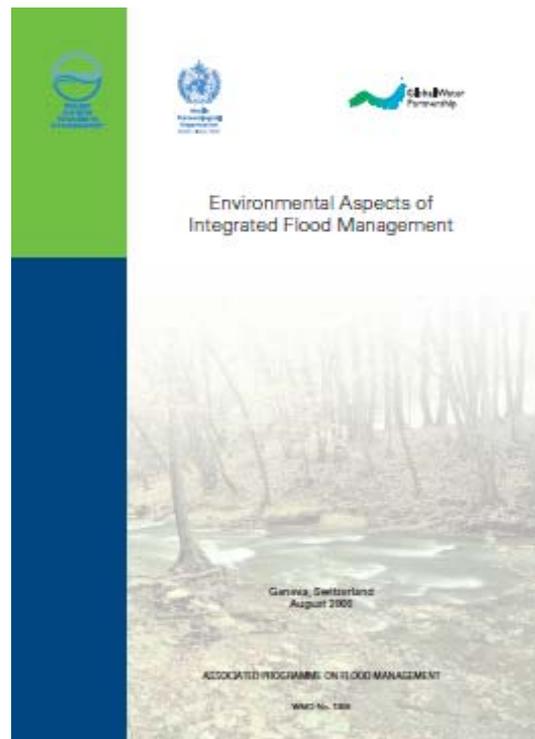
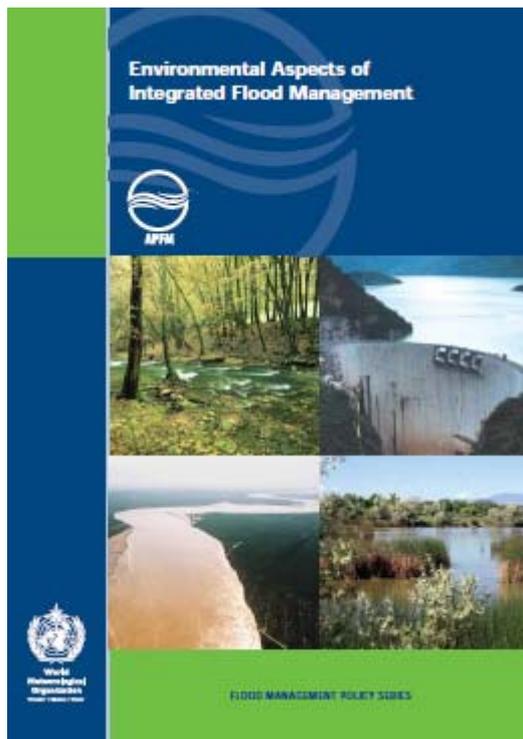


統合洪水管理の環境的側面
洪水管理政策シリーズ

統合洪水管理の環境的側面

スイス、ジュネーブ
2006年8月

洪水管理連携プログラム



WMO 第 1009 号

国土技術研究センター監訳



洪水管理連携プログラム (Associated Programme on Flood Management: APFM) は、世界気象機関と世界水パートナーシップが共同で取り組みを進めているもので、新しい洪水管理手法である統合洪水管理 (Integrated Flood Management: IFM) の概念の普及を図るものである。本プログラムは、日本政府とオランダ政府による財政支援を受けている。



世界気象機関 (World Meteorological Organization: WMO) は国連の専門機関の一つであり、185の国と領土の気象および水文部門の調整機関として、気象、気候、および水に関する知識の中核を担っている。



世界水パートナーシップ (Global Water Partnership: GWP) は、水資源管理に関与するすべての組織に開かれた国際的ネットワークであり、統合水資源管理 (Integrated Water Resources Management: IWRM) の促進を目的として1996年に創設された。

表紙の写真のクレジット:

左上段、右上段、右下段 WMO

左下段 Liang Changsheng

本書は、WMO/GWP 洪水管理連携プログラムの一環として刊行される洪水管理政策シリーズの一部をなす。このシリーズは、洪水管理政策の経済的側面、環境側面、法的・制度的側面、社会的側面を含めたさまざまな側面に関する刊行物から構成される。本シリーズは、各刊行物のために集められた専門家のグループによる指導やアドバイス、そして自然資源管理と開発政策の分野を主導する部門の専門家との会議や直接の意見交換での幅広い評価や協議の過程を踏まえて作成された。本シリーズは、英語、フランス語、スペイン語で出版されている。

APFM 技術文書 No.3、洪水管理ポリシーシリーズ

©世界気象機関、2006

ISBN: 92-63-11009-3

注意

本書で用いる名称や、資料を紹介することは、いかなる国、領域、都市、または区域の法的地位、あるいはそれらの当局の権限、またはそれらの国境または境界に関して、世界気象機関事務局のいかなる意見をも表明するものではない。

(日本語版の作成に当たって)

この出版物の原版は世界気象機関(ジュネーブ)により出版され、許諾に基づき翻訳されています。

Copyright © World Meteorological Organization, 2006.

Translation copyright © Japan Institute of Construction Engineering, 2008.

この出版物に記載されている情報は、国・地域・領土の法的地位もしくはその権限に関して、および、境界線の決定に関して、WMO のいかなる意見をも述べるものではありません。

署名入りの記事、出版物、研究および他の原稿中で表明されている意見の責任はその筆者個人に帰するものであり、それらの出版物で表明されている意見に対するWMOの支持を示すものではありません。

会社名及び商品名あるいはプロセスへの言及は、WMO のそれらへの支持を示すものではありません。また、会社、商品あるいはプロセスを記載しないことは不支持を示すものではありません。

WMO は、英語原文の翻訳の正確性・整合性を保証することはできません。

This work was originally published by the World Meteorological Organization, Geneva, and is translated by permission.

Copyright © World Meteorological Organization, 2006.

Translation copyright © Japan Institute of Construction Engineering, 2008.

The presentation of material therein does not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the WMO concerning the legal status of any country, area or territory or of its authorities, or concerning the delimitation of its borders.

The responsibility for opinions expressed in signed articles, publications, studies and other contributions rests solely with their authors, and their publication does not constitute an endorsement by the WMO of the opinion expressed in them.

Reference to names of firms and commercial products and process does not imply their endorsement by the WMO, and any failure to mention a firm, commercial product or process is

not a sign of disapproval.

WMO cannot guarantee the accuracy and integrity of the translation of the English original.

本書は、国土技術研究センターがWMOとの許諾に基づき翻訳したものです。翻訳の著作権は国土技術研究センターが保有します。

1. はじめに	12
1.1 洪水防御から統合洪水管理へ	12
1.2 本書の目的と対象	13
2. 背景：環境と持続可能な開発	14
2.1 持続可能な開発	14
2.2 環境と生態系	16
2.3 生態系サービス	17
2.4 環境悪化と開発の必要性	19
2.5 まとめ	21
3. 河川およびその氾濫原の形態学と生態学の基本的概念の理解	24
3.1 河川形成プロセスと氾濫原	24
3.2 形態学的体系	27
3.3 生物多様性	28
3.4 形態学的・生態学的連続性	31
3.5 まとめ	33
4. 洪水プロセスと生態系サービス：相互関係	34
4.1 森林	34
4.2 池と湖沼	35
4.3 湿地帯	37
4.4 河川回廊	39
4.5 河口・沿岸生態系	41
4.6 まとめ	44
5. 洪水管理による介入と生態系	47
5.1 ダムと貯水池	47
5.2 堤防	52
5.3 遊水池と溜池	54
5.4 バイパス水路と分水路	55
5.5 河道整備	56
5.6 非構造物対策	57
5.7 まとめ	59
6. 意思決定プロセスにおける環境配慮	64
6.1 意思決定プロセス	64
6.2 科学的理解と解析	66
6.3 環境評価	66
6.4 環境に配慮した経済分析	69
6.5 利害関係者の参加	71
6.6 順応的管理のアプローチ	71
6.7 モニタリング	73
6.8 実施を可能にするメカニズム	74
6.9 まとめ	75
参考文献	77
用語集	81

図		
図 1.	生態系サービスと人間の福利の関係.....	17
図 2.	河川作用のシステム.....	25
図 3.	時空間的階層における氾濫原の構成要素とプロセス.....	26
図 4.	蛇行河川の氾濫原の地形と堆積物.....	27
図 5.	開封付近の「天井川」の略図.....	28
図 6.	生物多様性を構成する多様な要素.....	30
図 7.	ローヌ川上流における多様な魚類による産卵生息域の利用.....	31
図 8.	河川回廊の空間・時間次元.....	32
図 9.	バイパス水路と分水路.....	55
図 10.	環境に配慮した洪水管理の意思決定の枠組み.....	65
図 11.	順応的管理のアプローチ.....	72

表

表 1.	IFM と生態系アプローチの原則.....	22
表 2.	生態系と洪水プロセス.....	45
表 3.	構造物対策が様々な河川回廊のプロセスに及ぼす影響と可能な軽減対策....	61

コラム

コラム 1.	湿地帯と水循環.....	39
コラム 2.	統合沿岸域管理.....	43
コラム 3.	環境流量.....	49
コラム 4.	管理放流に関するガイドライン.....	51
コラム 5.	戦略的環境評価のプロセス.....	69

要約

統合洪水管理(IFM)は、統合水資源管理(IWRM)の枠組みの中で、洪水管理の観点から人間の安全保障と持続可能な開発の問題に取り組むものである。環境悪化に対する懸念の増大を、適切な洪水管理指針に組み込むことを困難にしている根本的な原因のひとつは、持続可能な開発に向けての様々な考え方を理解するにあたって、関係する様々な分野のグループ間での意思疎通が欠如していることにある。本書では、特に環境的側面に関わる IFM での取り組みを示し、この間隙を埋めることを試みたものである。本書は、主に洪水管理者が、洪水管理に関連する一連の環境問題に対して理解できることを目的に作成された。同時に、政策立案者、環境保護団体、NGO、地域社会が、環境問題および持続可能な開発との関連で洪水リスクを評価するのに役立つ有用な情報を提供する。

環境に配慮した洪水管理の実施にあたり、普遍的基準は存在しない。洪水管理で環境問題を扱うときには、与えられた水文・気象、地形、および社会経済環境のもとでの特定の状況に適した方針を採用し、合理的で均衡の取れた取り組みを行うことがきわめて重要である。

背景

歴史的に氾濫原は、人口密度の高さからわかるように、社会・経済活動に適した土地である。洪水管理は、氾濫原の住民および社会経済活動を洪水から保護するために重要な役割を果たしている。しかし、主に構造物対策(たとえば、ダムと貯水池、堤防、バイパス水路など)に依存する戦略は、残念なことに河川の自然環境を改変させ、生息域、生物多様性、および生態系の生産性に損失をもたらした。持続可能な開発のためには、このような洪水調節・防御対策が環境に及ぼす負の影響について取り組むことが重要であり、そのことが洪水防御から洪水管理への根本的な思考方法の変更につながってきた。

環境の悪化は、生命と生活、食糧と健康の安全を含めて、人間の安全保障を脅かす可能性がある。森林、湿地帯、湖沼のような生態系は、われわれに多大なサービスを提供している。これらのサービスには、食糧供給、飲料水供給、水質浄化、流況の調整、および文化遺産の維持がある。自然の生態系は攪乱に対して回復力に富むが、一度破壊された場合には、再生させることは困難である。一般的には持続可能な開発、具体的には水資源管理の主要な問題は、生態系が継続的にサービスを提供できるように、攪乱を吸収できる生態系の能力を確保することである。したがって、洪水管理活動において環境への影響を考慮することは、持続可能な開発および人間の安全保障の双方にとって重要である。

人口増加に起因した天然資源に対する極度の需要増加が、世界中の多くの地域で人々およびその資産を河川付近へ移動させることを余儀なくさせた。さらに、洪水調節・防御対策によって、新たに広範囲の地域が保護されることとなった地域では、人々がその地域を利用することを促進し、洪水リスクおよび洪水がもたらす損失を増大させてきた。同時に、生命、生活、および人間の安全保障の発展と改善のためのほかの様々な活動によって、環境と生態系の悪化がもたらされた。洪水管理の政策

と実施は、このような要因の全体的な背景を踏まえた上で見直さなければならない。したがって、開発の必要性、洪水リスク、社会的・経済的脆弱性、および生態系保全に対する持続可能な開発のバランスを取ることがきわめて重要である。

科学的知識に基づく洪水管理案の評価

自然条件下では、河川は絶え間なく氾濫原を横断し、地形を変化させている。流況や土砂の形態は、河床・河岸材料や河岸植生との相互作用によって河川の特徴を創出・破壊し、様々な生物群集の多様な生息域をもたらしている。河川形態および生息域の多様性と密度は、動的平衡状態にある。季節的に氾濫原が浸水することは、複雑な河川回廊(すなわち、河道とその氾濫原)を維持する上で不可欠である。洪水は、水生生物が河道の内外に移動するのを可能にするだけでなく、河川形態(地形)学的な変化をもたらし、新しい生息域を創出し、シルトや肥沃な有機物を堆積させ、湿地帯を維持し、氾濫原の池を再生し、また、一時的に氾濫原に水を貯留することで下流の洪水を緩和している。縦断方向(上流域と下流域の回廊区間)、横断方向(河道とその氾濫原の間)、および鉛直方向(地表水と地下水)の生態学的・形態学的連続性は、適切な水質と季節変動を有する流況と共に維持されなければならない。

河川の形成プロセスは、河口や三角州の形成プロセスにも大きな影響を及ぼす。河川は河口や三角州にとって、淡水や土砂、栄養塩類をもたらす主要な供給源であるからである。河口州の形態変化は、河口付近の河川および海洋の力の相互作用によって生じている。ダムや分水路は、流況や沿岸域への土砂供給を変化させ、沿岸域の形態学的・生態学的作用に影響を及ぼす。したがって、沿岸生態系の保護は、IWRM およびその一部をなす IFM と、統合沿岸域管理(ICZM)が一体となって取り組まれるべきである。

構造物による洪水調節・防御対策、例えばダムや貯水池、堤防、水路化などは、流況を変化させたり、河川形状を固定したり、河道を氾濫原から分離させる可能性がある。これらの構造物は、自然の生態学的・形態学的プロセスを妨げ、河川回廊を過度に単純化し、生態系を空間的に均質とする傾向があり、それによって多様な種のために必要な複雑な生息環境を提供することができなくなる。河川回廊によって提供される生態系サービスのほとんどは、種や生息環境の多様性に依存しており、これらは河川が単純化されると損失してしまうため、河川生態系の構造と機能を維持することが重要である。

流況や土砂形態の多様性を形成している環境流量は、新たな流況や土砂体系の下で動的平衡が維持される必要があり、そのためには洪水調節・防御対策の設計・運用段階から適切に取り組まなければならない。これは、生態系の健全性の維持にとって有用である。土地利用規制や洪水予警報、洪水管理における自然生態系の利用等の非構造物対策は、環境への負の影響を軽減する上で重要な役割を果たすため、洪水対策として独立した、または、構造物対策の補足的な代替案として積極的に検討されなければならない。

意思決定過程における環境問題の考慮

洪水管理の意思決定には、様々な制約—物理的、技術的、経済的、および政治的—がある。社会的価値、リスクの認識、および開発と環境保全の兼ね合いについては、様々な利害関係者の間で差異があるものの、これらを考慮する必要がある。意思決定における主観性を最小化するためには、環境に配慮した枠組みが、洪水管理目標に関して妥協することなく、環境への負の影響を回避、低減、緩和するという三方面のアプローチによって確立される必要がある。このような枠組みを構築することは、洪水管理のための対策が、自然の生産性、生態系の健全性、およびそれらをもたらすサービスを制限してしまうといった負の影響を最小化するのに役立つであろう。

科学的理解と解析

河川流域の生態学的プロセスや洪水管理対策が生態系に及ぼす影響を理解するためには、河川およびその氾濫原の形態や生態系に関する基本的概念等の科学的な知識が不可欠である。このような科学的概念を理解することによってはじめて、環境に配慮した新規プロジェクトの設計・実施・運用、およびより適切な運用と修復による既設構造物の負の影響を緩和することが可能となる。統合洪水管理では、認識の共有や共通の目標を追求するために、異なる理論・方法論を背景とした様々な分野の専門家間の対話を促進することが重要であり、洪水管理の学際的な取り組みが必要となる。

環境評価

環境評価は、深刻な環境影響をもたらす可能性がある場合に、より重点的な調査によって環境への影響を特定するためのツールである。環境評価は、政策や計画段階からプロジェクトの設計や実施まで、意思決定の様々な段階で適用される。効果的な環境評価のためには、戦略的段階（政策や計画段階）から開始し、環境当局、開発当局、および情報開示された住民の代表間で対話を促進することが重要である。容易に理解できるデータを用いて情報を交換し活用することは、様々な利害関係者および専門家間の意思疎通を促進し、様々な利害関係者間の緊密な協力の確保において重要な役割を果たし、意思決定過程の透明性を維持することを可能ならしめる。

環境に配慮した経済分析

環境に配慮した経済分析は、トレードオフおよび物事が対立した状況において重要な役割を果たす。多基準分析(Multi-Criteria Analysis:MCA)は、代替案の順位付けをおこない、その後の詳細評価(たとえば、費用便益分析(Cost-Benefit Analysis:CBA))のために代替案を絞り込む上で有用である。多基準分析は、利害関係者が代替案の性質を検討し、重要要因を特定し、各自の選好性を見だし、重要な代替案の選定過程を単純化するために利用することができる。経済評価には社会的価値が含まれるため、プロジェクトの影響を受ける住民との緊密な協議およびその参加とともに、環境に配慮した経済分析を実施するのが適切である。

利害関係者の参加

本格的な利害関係者の参加は、洪水管理の様々な段階における意思決定プロセスの中核を担っている。利害関係者の参加の主な目的はIFMの原則の実施を確実なも

のにすること、すわなち利害関係者が計画およびプロジェクトの特定、構築、開発、論理的な妥当性確認、および実施、ならびにその影響のモニタリングや評価に参加することである。協議や住民参加も、環境影響評価や環境に配慮した経済分析を実施するために重要である。住民と交流し、反応・意見を引き出すことで、影響を受ける地域社会は様々な段階で検討すべき問題を提起することができ、意思決定プロセスに影響を及ぼすことができる。

順応的管理のアプローチ

河川の形態と生態系に対する理解は IFM を達成するために重要であるが、生態系の現況に関する科学的知見は断片的で、人間の介入が生態系にもたらす影響は十分に理解されていない。この科学的不確実性を考慮するためには、予防原則が推奨されている。順応的管理は、継続的なモニタリングにより、採用された戦略を評価することで科学的不確実性に取り組み、新たな知識を組み込み、必要に応じてアプローチを修正するものである。

モニタリング

モニタリングの重要性は、様々な段階(政策や計画、プロジェクト段階)で認識されており、計画段階以前(政策段階)から実施されることになる。政策段階では、様々な自然のプロセスのモニタリングから始まり、資源やリスク、開発の選択肢を評価するための基本的な情報を提供することになる。開発計画段階では、政策段階の環境影響評価で示された、これから講じられる対策の影響の評価に重点が置かれる。プロジェクトの実施および実施後のモニタリングでは、洪水管理対策が実際に設定した目標に達成したか否かを評価することになる。モニタリングと評価を通じて得られた教訓・知見に基づいて、将来の計画やプロジェクト設計にその結果を適用し、アプローチを改善することが可能となる。

実施を可能にするメカニズム

多くの国では、統合的アプローチを採用できる組織や、効果的な組織のトレーニングや、組織間の相互交流を支援するための投資が不十分である。様々な領域の専門家間および専門家と住民間の意思疎通の困難さは、全体として、このような枠組みを実行に移す過程をいっそう複雑にしている。法律や制度は、ほかの方法では意思決定に影響を与えないであろう環境の権益を保護し、定着させることができる。法・制度的仕組みの支えのもと、このような枠組みを構築できる体制を開発するためには、多様なレベルにおける能力育成とともに、異なる制度および組織間の取り組み体制の変化が必要である。

謝辞

本書は、洪水管理連携プログラム (APFM) をプラットフォームとして、様々な分野にわたる広範な専門家グループとの議論に基づいて作成された。したがって、本書は多くの方々の協力によって作り上げることができた。

本書の編集者は以下のとおりである。

- Avinash C. Tyagi、世界気象機関 (WMO)
- 兵藤 誠、いであ株式会社 (日本) (出版時点で WMO APFM の技術支援ユニット (TSU))
- Ania Grobicki、独立コンサルタント (フランス)

本書作成にあたり、ガイダンスや情報を提供して頂くために下記のメンバーによって専門家グループを立ち上げた。専門家グループは、2005 年 9 月にジュネーブで会議を開き、その後は電子メール等で議論を重ねた。専門家グループは、本書で取り組まれるべき洪水管理に関する環境問題を議論・特定し、きわめて有益な情報を頂いた。

Claudio Meier (コンセプション大学、チリ; 現在、モンタナ大学、米国)、Colin Creighton (CSIRO、オーストラリア)、Fabrice Renaud (UNU-EHS、ドイツ)、Maria-Franca Norese (トリノ工科大学、イタリア)、Mike Acreman (CEH Wallingford、英国)、Mogens Dyhr-Nielsen (UNEP 水環境協力センター、デンマーク)、Ognjen Bonacci (スプリット大学、クロアチア)、Peter Goodwin (アイダホ大学、米国)、Videh Upadhyay (弁護士、インド最高裁判所)

本書は、2005 年 10 月に中国鄭州で開催された第 2 回国際黄河フォーラムにおいて世界気象機関 (WMO) と黄河保全委員会 (YRCC) によって組織された統合洪水管理に関する特別セッションで提示され、そこでの提案と議論を通じてより充実したものとなった。本書の原案は多くの専門家に配布され、ウェブサイトにも掲載された。そして多くの方々、とりわけ下記の方々によって貴重な意見が寄せられた。

Christopher George (IAHR、スペイン)、Francesca Bernardini (UNECE、スイス)、中村太士 (北海道大学、日本)、Ger Bergkamp (IUCN、スイス)、Jacques Ganoulis (テッサロニキ・アリストテレス大学、ギリシャ)、中村圭吾 (PWRI、日本)、Kevin Coulton (Watershed Concepts 社、米国)、Soontak Lee (嶺南大学校、韓国)、小尻利治 (京都大学、日本)、Rainer Enderlein (UNECE、スイス)、Rajib Shaw (京都大学、日本)、Valerio Vendegna (パピア大学、イタリア)、島谷幸宏 (九州大学、日本)、および国際水文環境学会 (韓国) のメンバー

さらに本書は、水文学的観点から Paolo Burlando (スイス連邦技術研究所、チューリッヒ)、生態学的観点から Klement Tockner (スイス連邦環境科学・技術研究所) によってレビューされている。

本書は、参考文献に示した多くの機関および専門家の業績を活用した。最後に、問題について自由闊達な議論をおこない、さまざまな観点を明確にしてくれた WMO の水文・水資源部のメンバーおよび APFM の TSU のメンバーに感謝の意を表す。

1. はじめに

歴史的に氾濫原は、その開発ポテンシャルから社会経済発展に適した場所として利用されてきた。これは、例えばバングラデシュ²や日本³のように、世界中で¹河川沿いの氾濫原に人口が集中していることから明らかである。近代社会は、このような天然資源に対して極度の需要があるといえる。氾濫原を商業用地および住宅用地として利用し経済的に発展した先進的な経済社会では、洪水管理が改善された故に、住民とその資産を河川沿川へより近づけることになり、その結果、洪水リスクとそれに伴う損失が増大している。また、地球規模では、洪水に起因する経済的損失が増大しているという明確な証拠がある^{4,5}。これは、一つには、急速な人口増加、経済成長と開発の進展(たとえば都市化)、社会基盤施設への投資の増加に加え、気候変動や変化のような不確実性が組み合わされた結果を反映したものと考えられる。しかしながら、氾濫原の占有を制限してリスクを低減させることは、これらの地域の社会経済発展の可能性を制限することになる⁶。

1.1 洪水防御から統合洪水管理へ

洪水と氾濫原の管理は、住民および社会経済発展を保護する上で重要な役割を果たしている。近年まで、洪水調節や防御は技術的な対策が重視され、その対策が及ぼす社会的・文化的・環境的影響や、長期的な経済問題は、ほとんどあるいは全く考慮されなかった。これらの対策は、構造物対策(たとえば、堤防、バイパス水路、ダムや貯水池など)に大いに依存してきたが、その結果、残念ながら、流況を変化させ、河道を固定化し、河道を氾濫原から分離させ、生息域や生物多様性、および生産性の損失をもたらしてきた。過去半世紀にわたり、洪水調節や防御は、構造物対策の重視から、次第に洪水予測や土地利用規制などの補足的な非構造物対策を組み合わせる方向に移行してきた。

構造物対策の一部による負の影響や持続可能な開発への関心の高まりによって、洪水調節・防御対策が環境に与える負の影響に対して取り組む必要性が高まってきた。過去20~30年の間に、持続可能な開発に対する環境的側面の関心が高まり、それが「洪水防御」から「洪水管理」への転換を促進するようになった。現在では、洪水は河相を決定する自然現象であることが認識されている。また、構造物による干渉は、環境への負の影響や生態系が提供するサービスを損なう等、自然環境に影響を及ぼすことが認識されるようになった。

統合洪水管理(IFM)の原理では、洪水防御から洪水管理へのパラダイム・シフトの必要性、すなわち洪水管理の統合的なアプローチを促進するプロセスを示している。なお、統合洪水管理の目的は、氾濫原がもたらす恩恵や便益を最大化しつつ、洪水による被害や損失を最小化することである。IFMの本質的な要素は次の通りである。

- 洪水管理に流域レベルでのアプローチを取り入れる。
- 洪水管理に学際的なアプローチを取り入れる。
- 洪水に起因する脆弱性やリスクを低減する。
- 住民参加型の取り組みを可能にする。
- 生態系を保全する。

統合洪水管理は、統合水資源管理(IWRM)の枠組みの中で、洪水管理の観点から人間の安全保障や持続可能な開発に関する問題に取り組むものである。また、河口や沿岸域のような下流域は、河川流域にとって重要な区間であるため、統合洪水管理は統合沿岸域管理(ICZM)と統合的に実施される必要がある。しかし、水資源管理の統合的なアプローチは、概念として幅広く受け入れられているにもかかわらず、洪水管理における統合的なアプローチを採用するのは、未だに大きな制約がある。実際の問題として、洪水管理は依然として、(学際的な取り組みではなく、)単一の分野や機能に基づいて取り組まれているような状況である。

1.2 本書の目的と対象

持続可能な開発への取り組みは、環境学者や生態学者、洪水管理者、水文学者等、様々な分野のグループが、異なる観点から行っている。環境の悪化に対する懸念が増大しているにも関わらず、それを洪水管理の実施において適切に組み入れることができない根本的な原因のひとつは、意思疎通の困難さ、すなわち持続可能な開発に関する様々な考え方を理解する点にある。専門分野ごとに使用される言語が異なるため、異なるグループによって提起される問題を、他分野のグループがその意味を正しく評価できないのである。したがって、様々な利害関係者および専門家間の効果的な意思疎通と理解が不可欠である。本書は、このギャップを縮めることを目的として作成されたものである。

本書は、主に洪水管理者が、洪水管理に関連する一連の環境問題を理解できるように作成されている。同時に、政策決定者や環境保護団体、NGO、地域社会等が、洪水リスクと環境問題、持続可能な開発との関連性について理解できるような有用な情報も提供している。本書の目的は、様々な専門分野、利害関係者、および専門家間の意志疎通と理解をより促進させることである。したがって、高度で詳細な技術的内容については、踏み込んだ議論はしていない。本書の記載内容は、既存の科学的知見や参考文献に基づいたものである。

環境に配慮した洪水管理の実施にあたり、普遍的な解決策は存在しない。流域の水文気象や地形、社会経済条件を踏まえ、その状況に適した対策を採用することが重要である。したがって、本書は、手順や段階を示す指針やマニュアルとして活用されることを目的としたものではなく、洪水管理において環境問題に取り組む合理的で均衡の取れたアプローチを提示するものである。汚染の問題は、水質や河川生態系の健全性を劣化させる重要な問題であるが、本書では洪水管理に直接関係する環境問題のみに焦点を当て議論する。水質汚染については、IFM がその枠組みの一部である IWRM において議論されている。

本書では、環境配慮をどのように洪水管理の実施の中で適切に組み込むことができるかについて取り上げ、下記について議論する。

- 持続可能な開発の中で、開発の必要性和洪水リスクのバランスを図る。
- 氾濫原の形成プロセスに関する水文学的、形態学的、および生態学的概念を理解する。
- 洪水管理対策の環境への影響を理解する。

- 様々な利害関係者間のトレードオフを通じて、相反する目的や対立する状況を解決する。
- 環境に配慮した洪水管理の実施を採用する。
- 自然と共存する。

第2章では、持続可能な開発の重要性、ならびに経済発展、環境保護、および人間の安全保障の間のバランスを維持することの重要性について示している。また、開発の必要性和環境悪化が、基本的にどのように関連しているかについて示している。水文学／水理学と生態系間の相互関係を研究する生態水文学／生態水理学や河川地形の作用を研究する河川形態学は、IFM に重要なインプットを提供する。したがって、第3章では、河川形態学と生態学の基本的概念、およびこれらが流況によってどのような作用を受けるのかについて示している。これは、洪水管理対策が及ぼす影響を理解し、新規プロジェクトにおいて環境に配慮した設計を行うために重要となる。第4章では、水循環の構築における生態系の役割と、生態系が洪水管理の補足的代替案として適用できる可能性やその限界について述べている。第5章では、洪水管理における構造物対策がもたらす環境影響の一部として、とりわけ流況、土砂輸送、水質、および生物多様性に関して議論する。また、構造物対策による環境への負の影響を回避、低減、または緩和するための可能な代替案について提示する。

第6章では、環境問題を意思決定過程の中心に据え、政策段階や計画段階、および事業の実施(プロジェクトの設計)段階の意思決定において、環境配慮を IFM の中へいかにして環境配慮を適切に組み込むことができるかについて述べている。また、環境問題の科学的不確実性を考慮し、モニタリングやその評価によって取り組むことができる順応的管理のアプローチについて紹介し、最後に、これらの取り組みを実施するために必要な事項について提案している。

2. 背景:環境と持続可能な開発

生態系は、人間に多大な便益をもたらしている。人間の安全保障と福利は、生態系の維持や環境悪化の回避と深い関わりがある。人間の知恵は、開発の必要性和環境悪化の間のジレンマの中で明らかとなる。本章では、持続可能な開発、発展過程における生態系サービス、人間の安全保障および関連する開発の必要性の問題について、洪水管理の観点から議論する。

2.1 持続可能な開発

持続可能な開発に向けて

「持続可能な開発」という概念は、1972年にストックホルムで開催された人間環境会議以降、環境と開発に関する議論の中心を占めてきた⁷。持続可能な開発とは、「将来の世代がそのニーズを満たす能力を損なうことなく、現在のニーズを満たす開発」のことである⁸。同時に、「開発権は譲渡されえない権利であり、基本的な人間の自由にとって不可欠なものである」⁹。天然資源、環境、および開発は相互依存していることが認識されている¹⁰。人間開発は、水や土地、農業、森林のような自然環境および天然資源と密接に関係し、それらに依存している。とりわけ開発途上国では、多くの場

合、経済成長や経済発展のための選択肢が限られており、多くの住民の生活は、これらの天然資源に直接依存している。

過去における多くの開発は、天然資源を犠牲にしておこなわれ、自然の生態系やその生態系の機能に影響を与えてきた。現在と将来の開発ニーズは、環境保護と連動して満たさなければならないことが、次第に認識されるようになってきた。持続可能な開発のための世界サミット(WSSD)で合意された実施計画¹¹では、人間活動が、人間の福利と経済活動にとって不可欠な資源とサービスを提供する生態系の健全性に対して、大きな影響を与えていることを認めている。このようなアプローチが長期的に持続可能でないことは、明らかである。今必要なことは、人間と自然環境との関わりに関する認識や、それらが将来の生活に与える影響に対する認識を変えることである。したがって、天然資源の劣化という現在の傾向をできる限り早期に逆転させるためには、土地や水、生物資源の統合的な管理を通じて、生態系を保護する開発戦略を実施し、地域や国、地方の能力を強化する必要がある。これらの原則は、IWRM へと発想の根本的転換を進める中で、水資源管理に広く受け入れられてきた。

持続可能な開発、人間の安全保障、および環境

人間の安全保障は、個人や地域社会の物理的安全保障だけでなく、経済安全保障や食糧安全保障、健康安全保障、環境安全保障、政治的安全保障等を包括しており、持続可能な開発の概念の中に組み込まれている。環境安全保障は、資源の不適切な管理や劣化といった、環境の脅威とは対照をなす健全な環境を意味している。人間の安全保障と環境の関係は、天然資源の利用に対する人間の依存度が大きい地域において最も顕著となる。環境の変化によってこれらの資源が脅威にさらされる時、人間の安全保障も脅かされることになる。その結果、住民は農村部から辺境の地や都市部への移動を余儀なくされ、持続不可能な開発と不安定という別のサイクルが始まることになる。

環境の悪化は、洪水管理の観点からも、多くの方法で人間の安全保障を脅かす可能性を秘めている。第1に、洪水の危険性の規模や発生頻度を増大させるおそれがある。第2に、経済や食糧の安全保障(例えば、農業生産性に影響する土地の劣化)および健康安全保障(例えば、水質汚染)のような人間の安全保障の他の要素に影響を与えることによって、洪水の危険性がある人々をより脆弱にさせる可能性がある。したがって、洪水管理活動において環境への影響を適切に考慮することは、持続可能な開発および人間の安全保障の両方において重要である。

2.2 環境と生態系

環境とは、「ある存在が機能する周辺や、それを取り巻くすべてのものをいい、大気や水、土地、天然資源、植物相、動物相、人間、これらの相関関係が含まれる¹²⁾」と定義することができる。氾濫原の環境は、様々な生態系の中で、気候や物理的環境、その結果として創出される流況、それに付加される人間活動によって形成される。人間活動は、環境の中の様々な生態系に重大な影響を及ぼしている。

生態系とは、植物や動物、微生物群、それらをとりにくく無生物的な環境が、一つの機能単位として相互に作用する動的システムをいう¹³⁾。森林や湿地、湖沼などの生態系は、物理的、または非生物的¹⁴⁾な環境とその相互作用がある領域に存在するすべての有機体から構成される。生態系は、相互に作用する様々な生物および無生物の要素によって形成された構造または組織を有している。生態系を含むシステム要素や要素間の相互作用の増加に従って、生態系の中で攪乱が生じた場合に、より効果的にシステムのバランスを回復・維持することができるようになる。したがって、生態系は回復力(攪乱後に元の均衡した状態に戻ることができる)に富んでいるといえる。しかしながら、一旦システムのバランスが破壊されてしまうと、その生態系を再生させることは困難となる。

生態学的プロセスは、食糧や空気、医薬品、また、いわゆる多くの「生活の質」を提供することによって、人々の生活に適した地球環境を維持している。地球環境の生物学的、化学的、および物理的多様性が大きいことで、生態系の基本的要素が形成されている¹⁵⁾。したがって、一般的には持続可能な開発、ここでは水資源管理において重要なことは、継続的に生じる攪乱を吸収できるような生態系の受容能力を確保することで、生態系から得られる便益やサービスを、継続的に受けられるようにすることである¹⁶⁾。したがって、森林や湿地帯、河川生態系のような複雑な生態系を、構造だけでなくその機能についても理解し、保護することがきわめて重要である。

管理レベルでは、生態系の機能を保護することの重要性を考慮した「生態系アプローチ」という開発戦略が知られている。このアプローチでは、特定の資源や活動、または一連の環境財やサービスは、他のものと切り離すことはできないとしている。したがって、「生態系アプローチは、平等なやり方で土地や水、生物資源を保全し、持続的な利用を促進する、統合的管理のための戦略である。」¹⁷⁾。生態系アプローチは、地方から地球規模まで、あらゆるレベルで適用することができる。特に貧困削減と社会経済発展を天然資源の利用に大きく依存しているような開発途上国では、氾濫原は生活のための最適な場所である。したがって、持続可能な開発は、開発の必要性に対応すると同時に、河川回廊の自然環境をできる限り維持しなければならない¹⁸⁾。環境の保護を目的の一つとする統合洪水管理は、生態系アプローチの12原則¹⁹⁾を踏襲している。表1は、生態系アプローチの12原則とIFMの原則の関係について、概要を整理したものである。

2.3 生態系サービス

人間に対する生態系サービス

ミレニアム生態系評価は、生態系サービスを「人間が生態系から得られる便益」と説明している²⁰。これらのサービスには、人間に直接影響を与える供給、調整、および文化的サービス、ならびにこれらのサービスを維持するために必要な基盤サービスがある。これらのサービスは相互に密接に関連している(図1を参照)。

供給サービスは、食糧、繊維、燃料、遺伝資源、バイオケミカルズ、自然医学、医薬品、観葉植物資源のような、生態系から得られる生産物である。淡水の供給は、食糧や繊維として利用される様々な淡水生物と同様に、生態系がもたらす最も重要な供給サービスの一つである。

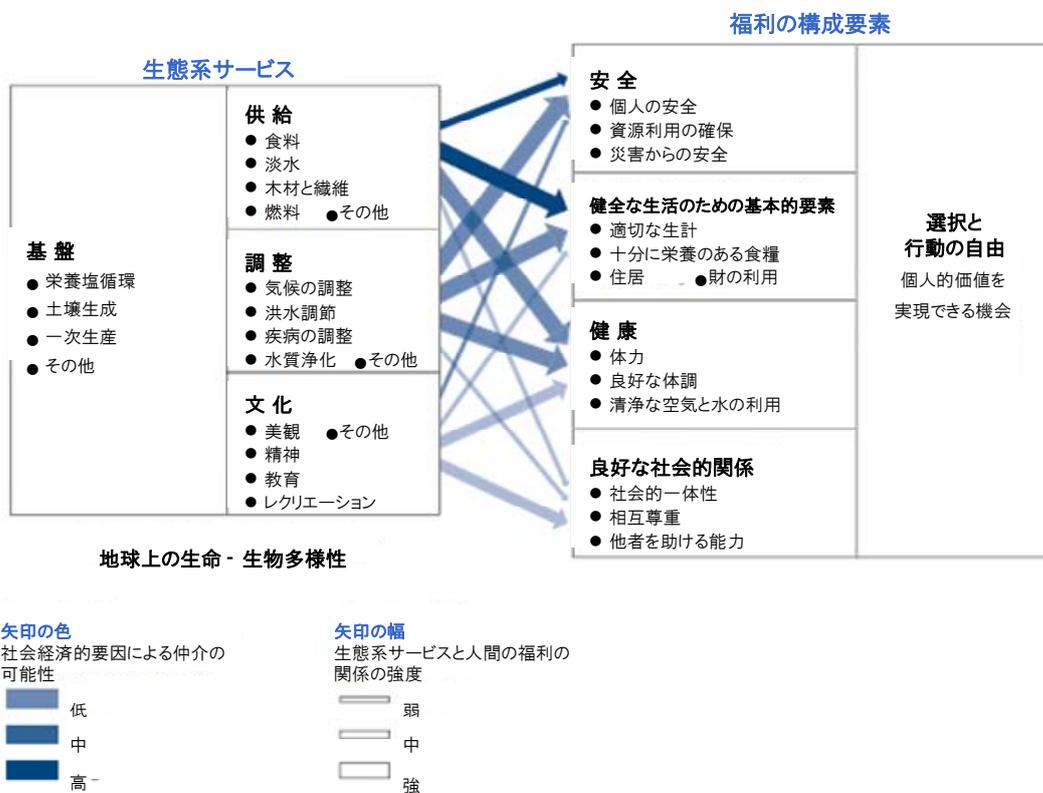


図1. 生態系サービスと人間の福利の関係 (出典:ミレニアム生態系評価、2005年)

調整サービス:生態学的プロセスは、大気質、気候、疾病、ペスト、受粉、侵食などを調整している。生態系は、内陸水および沿岸・海洋生態系に流入した有機性廃棄物の除去と分解を促進し、水質浄化および排水処理サービスを提供することができる。また、表土と下層土の浸透プロセスを通じて化合物を吸収し、解毒することができる。流況は、流出と地下水涵養の時期と規模の両方について、生態系によって調整される。生態系が適切に維持されない場合、その機能が損なわれるため、生態系サービスは低減し、河状への応答も変化する。これらの応答は、特に貯水能力の変化によって大きな影響を受ける。マングローブやサンゴ礁のような沿岸生態系は、自然災害の危険要因の大きさを調整し、ハリケーンや高潮による損害を低減する。

文化サービスは、精神的な豊かさや知識の発展 — 熟考・レクリエーション・インスピレーション・審美的経験、社会的関係、ならびに教育や文化遺産の価値を通じて、人間が生態系から得る非物質的便益である。

基盤サービスは、ほかのすべての生態系サービスの生産にとって必要で、多くの場合、人間への影響が間接的で、きわめて長期にわたって生じるという点で、供給、調整、および文化的サービスと異なる。これらのサービスの一部、たとえば侵食の調整は、人間に影響を与える時間スケールと即時性に応じて、基盤サービスと調整サービスの双方に分類することができる。基盤サービスには、土壌生成、光合成、一次生産、栄養塩再循環などがある。水は、生態系を通じて再循環することによって栄養塩類とエネルギーを運び、すべての生物にとって不可欠な環境要素を提供し、生態学的プロセスの大部分においてきわめて重要な役割を果たす。

生態系サービスと自然環境

歴史を通じて人間は、健全な生態系から多大な便益を受けてきた一方で、厳しい自然環境の条件で身を守る努力も重ねてきた。しかしながら、「自然の」という言葉は、多くの人にとって、特に先進国では、「清潔で安全である」ことを意味するようになってきている。自然環境は、二つの種類に分類することができる。すなわち、人間活動によって改変されていない原生状態にある環境と生活の質や経済的福祉を改善するために人間によって改変された環境である。環境の持続可能性について理解するためには、人間の安全保障の観点から、環境を原生状態に維持できる程度について考えなければならない。そうすることによって、代償を払うことなく生態系サービスを得ることが可能になり、バランスの取れた方法で問題に取り組むことができる。したがって、生態系サービスについて議論する場合、「自然の」という言葉は「育成された(人間によって作られた)」という意味を含み、原生状態における自然ではない。生態系によって提供される健康サービスの一部は、「自然の」と「育成された」の間の古典的な二項対立によって示される両義性を示す好例である²¹。

人間の安全保障の観点から、原生状態の環境における自然災害として下記のもものが考えられる。

- 熱、冷気、降雨、降雪、風などに関わる自然災害
- 十分な食糧、水、住居のあくなき追求
- 昆虫や寄生虫を原因とし、空気、食糧、または水を通じて人から人、動物から人に広がる伝染病
- 粉塵、鉱山ガス、木煙、花粉、およびその他の浮遊災害
- 落下物、火災、動物の攻撃による負傷

原生状態にある環境が自然災害を誘発するとしても、上述のように生態系がわれわれに多大の便益をもたらすことは明白である。したがって、原生状態にあることで誘発される自然災害から人間を保護すると同時に、生態系サービスを最大化できるように、適切に環境を維持することによってバランスを図ることが重要である。このようなバランスは、環境の持続可能性を達成しようとする試みの鍵となる。

2. 4 環境悪化と開発の必要性

IFMの主な目的の一つは環境の保全であるが、洪水管理政策はそれ自体単独で策定されるものではない。洪水管理政策は持続可能な開発全体の一部であるため、開発マトリックスの中に適切に位置付けられなければならない。したがって、開発および環境悪化の様々な要因を明確に理解することが重要である。

環境悪化の要因

環境悪化の要因は、国によって異なり、特定の社会経済的環境によって決まる。しかし、一般的にこれらの要因は、貧困や消費主義、農業開発、工業化、都市化、交通、観光、人口増加等である。歴史を通じて、これらの要因は、皮肉なことに生活や経済的福祉を改善するために計画された活動に示される。

貧困と消費主義: 貧困は最大の汚染者である。自然環境を保全するためには、最初に貧困に取り組まなければならない。貧困と環境の間のフィードバック関係は、きわめて複雑である²²。貧困層は富裕層以上に天然資源に依存し、ほかの種類の資源を利用できる見込みが現実的でないことから、現代社会における格差は持続不可能となる行動を助長する可能性がある。他方、富裕層は、その消費行動によって天然資源を利用する。これらの影響は地球規模で切実なものとなっている。言い換えると、天然資源の枯渇や環境悪化は、貧困層が自然資産を奪うにつれ貧困化の過程を加速化するおそれがある。

農業開発: ほかに生計の手段がない場合、農業は、世界の多くの地域で主要な活動となっている。農業は、その性質上、人間活動が自然の生態系(たとえば、氾濫原、森林、または湿地帯)を人工的な生態系に置き換えるため、自然環境へ侵入し、破壊することである。農業開発が環境に与える直接の影響は農業活動から生じ、土壌侵食、肥沃度の低下、土地の塩類化、アルカリ化、湛水化、農薬汚染の要因となり、その結果、地表と地下の水質低下をもたらす。

工業化: 工業化の黎明期から現在に至るまで、ほとんどの製造技術は、特に資源とエネルギーの集約的利用によって、また有毒廃棄物(汚染)をもたらすことによって、環境に大きな損害を与えてきた。これは、天然資源(化石燃料、鉱物、木材など)の枯渇、水・大気・土地の汚染、健康被害、および自然の生態系の全体的な劣化に反映されている。化学工業によってもたらされる大量の有害産業廃棄物は、環境衛生上、深刻な事態をもたらすことによって、廃棄物管理の問題を悪化させてきた。



都市洪水（バングラデシュ）

都市化：工業化は、都市化の大規模な拡大をもたらしてきた。このような事態は、農村部で十分な収入を得られる雇用が欠如していることから深刻化したため、都市部への貧困層の移動は増加の一途をたどり、新興の百万都市が生じ、広大な都市スラムが形成された。開発途上国における都市の無秩序で急速な拡大は、都市環境の悪化をもたらし、エネルギー、住宅、交通、通信、教育、上下水道、レクリエーション施設のような社会基盤施設サービスの需給ギャップを広げた。その結果は、望ましくない土地利用の変更、大気質と水質の悪化の増大、および廃棄物の発生である。これらすべては都市環境の悪化の原因となる。

交通：交通網を整備するためには、道路と鉄道の盛土、河川の航路、港湾などの造成と維持管理が必要になる。河川の航路を維持するためには、流況も変更しなければならない。河川を横断する道路橋や鉄道橋は、適切に設計されないと、自然の水理プロセスを妨害することになる。さらに交通網は、大気汚染、道路交通の騒音、海運による油汚染など、環境に様々な影響をもたらす。

観光：観光は、経済発展のために多くの国にとって不可欠である。しかしながら、自然の水システム内での汚染や廃棄物の処分によって、動植物相へのストレスは増大している。それらの生息域は、特に沿岸生態系や小規模な島嶼部において、観光事業によって悪化されている。故意であるか否かを問わず、観光客および観光は、基本的に生態系にとって大きな損害をもたらすおそれがある²³。

人口増加：人口増加は、上記のすべての環境悪化を加速化させる可能性がある。限りある資源の消費の加速化、汚染物質の生成、土地への圧力の増大などを引き起こす。氾濫原地域における人口密度の増加によって、住民およびその生活と財産を洪水から守るために、社会基盤整備への莫大な投資が必要となる。これらのニーズを満たすために、ダムや貯水池、堰、堤防のような洪水管理および水資源管理施設が

建設される。しかし、このような対策は、適切に計画されなければ、環境に深刻な影響をもたらす可能性がある。

2.5 まとめ

河川システムの中で洪水は、豪雨によって増水した河川の水を流出させる自然の現象であることを認識しなければならない²⁴。人間がこれらの自然の氾濫原を社会経済活動のために利用することを決定し、氾濫から身を守る必要性を認識するまでは、問題はまったく存在しないのである。これは、氾濫原地域を生活と仕事の場として選択した人間の利益のために、自然災害から身を守るというジレンマを示している²⁵。しかし、氾濫原の占有を制限することによって災害の緩和を図ることは、社会経済発展に適した氾濫原の潜在能力を限定することになる²⁶。工業化、農業、洪水調節・防御対策など、生活と人間の安全保障の発展と改善のための貧困削減対策のほとんどは、環境と生態系の悪化の原因となっている。したがって、洪水管理政策や対策は、環境悪化の要因の全体的なマトリックスの中で検討されなければならない。さらに、開発の必要性、洪水リスク、その社会的・経済的脆弱性との関係、および生態系の保全に対する持続可能な開発といった要素のバランスを図ることがきわめて重要である。

生態系と流況の相互関係については第4章で、洪水管理対策が与える環境への影響については第5章で議論する。

表 1. IFM と生態系アプローチの原則

生態系アプローチ	統合洪水管理	統合洪水管理を採用しない場合に生じ得る結果
資源管理目標は社会的選択の問題である。	<ul style="list-style-type: none"> ● リスク管理原則に基づく。 ● 脆弱な社会における回復力の確立に取り組む ● 経済分析は、社会的価値を考慮する多基準分析に基づく。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 地域社会において洪水リスクに対する脆弱性および曝露が増大するおそれがある。
管理は、適切な最下位レベルまで分権化しなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> ● 参加型アプローチの重要性に基づく。 ● ボトムアップとトップダウンアプローチの適切な組み合わせ ● 組織間協力の統合 	<ul style="list-style-type: none"> ● 洪水・水管理に関する意思決定において主要な合法的利益が除外され、一部の社会・経済部門に悪影響が生じる可能性がある。
生態系の管理者は、その活動が隣接する生態系に及ぼす(実際または潜在的な)影響を考慮しなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> ● 河川流域の全体としての機能の改善を目的とする。 ● 水環境と陸環境の相互作用の変化に起因する損益およびその確実性を考慮する。 ● 開発の必要性、洪水損失、および環境ニーズを調和させる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 不適切な環境配慮は環境悪化をもたらし、経済および社会に悪影響を及ぼす可能性がある。
管理がもたらす潜在的便益を認識すれば、通常、経済的観点から生態系を理解・管理する必要性が生じる。	<ul style="list-style-type: none"> ● 気候、流域特性、および社会経済条件のような要因に沿って最適な組み合わせの戦略を採用する。 ● 洪水に起因する人命の損失を最小化するとともに、氾濫原の有効利用を最大化することを目的とする。 ● 費用便益分析において生態系評価を採用する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 土地利用と生態系の変化は自然の河状を改変し、また、水資源の持続可能な利用の潜在的機会の損失をもたらす可能性がある。
生態系の構造と機能を保護し、生態系サービスを維持することを優先事項とする。	<ul style="list-style-type: none"> ● 環境の持続可能性を目的とし、河川の生態系サービスおよび生物多様性を維持する。 ● 洪水に起因する人間の安全保障の問題および損失に取り組む。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 不適切な洪水管理に起因する環境の持続可能性及び生態系の健全性の損失によって、生態系が社会にもたらす可能性のあるサービスが低減する。
生態系は、その機能の範囲内で管理されなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> ● 流域内で競合する利害のトレードオフに取り組むことによって、便益を最大化するとともに、環境の持続可能性を維持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 生態系の機能が適切に取り扱われない場合、洪水に関わる費用を削減し、生態系がもたらす便益を受ける機会が失われる。

表 1. IFM と生態系アプローチの原則(その 2)

生態系アプローチ	統合洪水管理	統合洪水管理を採用しない場合に生じ得る結果
適切な時間的・空間的尺度で生態系アプローチに着手しなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> ● 河川流域または集水域を、全体として計画単位とする。 ● 水循環は全体として取り扱われる(異常気象を含む)。 ● 短期的および長期的な目標と対策に基づいて取り組む。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 水管理部門の一つの意思決定において、ほかの分野の知識との関連付けや利害関係者の参加が欠如している場合、生態系サービスを含めて氾濫原の持続可能な利用に悪影響が生じる可能性がある。
生態学的プロセスの特徴である時間的尺度の多様性および遅延効果を認識し、生態系管理目標は長期的視野で設定しなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> ● 氾濫原の長期的な利用に基づく。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 短期的な便益を目的としたその場限りのアプローチは将来的な効果が期待できず、経済への悪影響を必要以上に増大させる可能性がある。
変化は回避できないため、管理には順応的アプローチが必要になる。	<ul style="list-style-type: none"> ● 特定の条件に適した代替案の組み合わせからなる多角的アプローチを採用する。 ● 順応的管理のアプローチによって影響を定期的に評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 科学的事実のみを取り扱う限られたアプローチでは不確実性に対処することができず、将来的に深刻な環境悪化をもたらす可能性がある。
生態系アプローチにおいては、生物多様性の保全と利用の適切な均衡および統合を追及しなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> ● 生活手段のために洪水リスクと生態系サービスの保全の均衡を図る。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 不十分な環境配慮は生活に悪影響をもたらす、健康に深刻な影響を与える可能性がある。 ● 洪水リスクを十分に配慮しない場合、経済的・人的損失が生じる可能性がある。
生態系アプローチにおいては、地域固有の科学的知識、改革、慣行を含めて、あらゆる種類の関連情報を考慮しなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> ● 水文学的・技術的知識、社会・法律・経済・環境に関する知識、データと情報、資源・適応性・脆弱性・リスクに関する地域固有の知識 ● 部門間の連携による洪水管理者間の協力のための仕組み 	<ul style="list-style-type: none"> ● 水循環およびその生態系との相互作用に関する知識が不十分なため、水資源利用における脆弱性および洪水リスクが増大する可能性がある。
生態系アプローチにおいては、全ての関連する社会部門および科学的分野を関与させなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> ● 河川流域内の様々な地域社会および利益団体から幅広い参加者を得て、学際的アプローチの実現を追及する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 単一分野に依拠したアプローチでは、特定の活動がもたらす悪影響を予測できないため、最終的にはリスクを低減するのではなく、それらを転嫁することにしかない。

3. 河川およびその氾濫原の形態学と生態学の基本的概念の理解

河川およびそれに関連する氾濫原における形態学(地形)と生態学(生物の分布および生態学的プロセス)の基本的概念や、形態学的・生態学的プロセスと流況との関係に関する知見は、統合洪水管理のアプローチにとって不可欠な要素である。洪水管理対策が環境に与える影響を理解し、新規プロジェクトや既設構造物の負の影響を緩和できるような、環境に配慮した設計を追求する必要がある。本章では、河川動態や洪水と氾濫原に関連する生態学的プロセスを容易に理解できるように、河川とその氾濫原の形態学、及び生態学の基本的な概念について述べる。以下の節では、基本的に、氾濫原で開発が行なわれ、氾濫原の形成プロセスが隣接する山腹斜面から分断される沖積河川の中流・下流域の問題について取り扱う。なお、簡単かつ明確に理解するために、人為的汚染に起因する水質問題は生じていないと仮定する。本章で議論する概念の多くは、他のあまり一般的ではない種類の河道についても適用することができる。

3.1 河川形成プロセスと氾濫原

洪水は、一般的に豪雨や融雪(または両者の組合せ)によって発生する自然のプロセスである。河道は、平均的な流量(容量)を確保できる形状となるように、自然に調節されている。したがって、数年おきに河道の容量を超える高水量が生じる場合は、河岸を越流し、隣接する土地に浸水することが予想される。さらに、洪水は、氾濫原への直接的な降雨や地下水位の上昇によって生じることもある。洪水は、水文学的プロセスの自然変動の一部に過ぎない。洪水は、氾濫原の生物の生産性と生物多様性の程度を決定する上で重要な役割を果たしている。また、土壌の肥沃化や生息域の形成や変化、栄養塩類や有機体の交換などにも寄与している。

河川形成プロセス

水源や高地の溪谷とも言える上流域では、通常、隣接する山腹斜面と強いつながりがある。他方、中流および下流域は、通常、氾濫原が形成されており、山腹斜面から



黄河の蛇行(中国)

分断されている²⁷。これらの区間では、河川地形を決定する形成プロセスは多くの場

合、中流・下流域を流れる水と土砂が生成される上流域によって決定される。

より長い時間スケールでは、特定の河川流域における独立した要素とは、その地質と気候である。局地的な温度と降雨体系が、露出した岩盤を風化させ、土質および流域で生育できる植生タイプを決定する(図 2 を参照)。また、これらすべての変数は、河川ネットワークを通じて作用することで、流域の河口に向かう流量や土砂、倒流木の体系を特徴付けている。

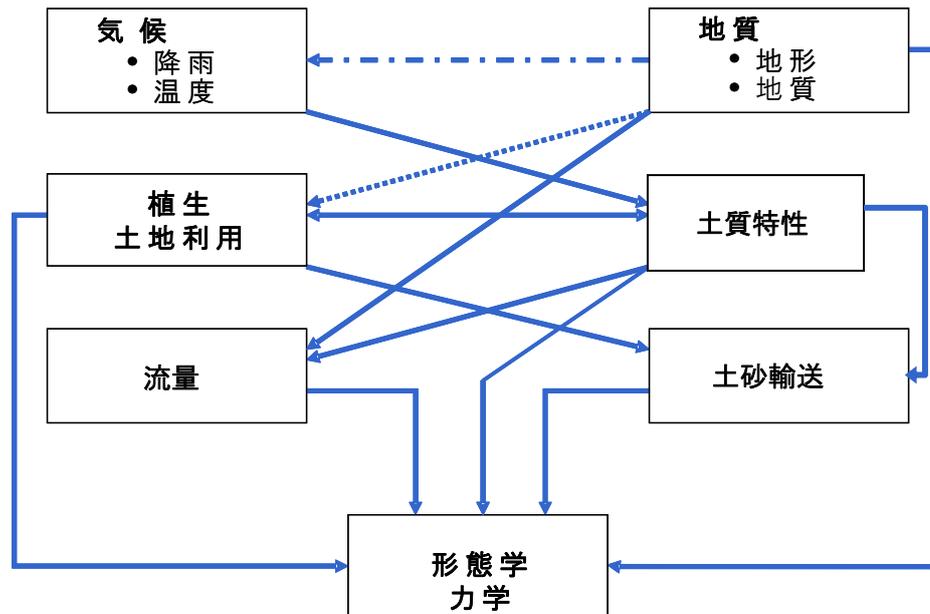


図 2. 河川作用のシステム²⁸

氾濫原

「氾濫原」という用語を理解することは重要であり、図 3—時空間的階層における氾濫原の構成要素とプロセスが参考になる。領域 A は、毎年浸水する氾濫原の範囲を示し、大規模河川では 1km まで及ぶ。固定砂州や新たに形成された蛇行箇所は、その領域の基本的部分となり、一般的に草本植物や初期遷移過程の樹種によって特徴付けられる。河川生態学者は、氾濫原を「河川または湖沼の横断方向の越流、または地下水位の上昇によって定期的に氾濫する(通常、年 1 回)領域²⁹」と定義し、氾濫した結果、生じる物理化学的環境に対する生物相の応答を重視する傾向がある。

領域 B は、主要および副次的な氾濫原を示しており、洪水の発生頻度は中程度で、約 10km の範囲まで広がっている。この領域では、自然堤防や三日月湖を形成し、初期遷移過程の樹林帯により特徴付けられる。しかし、これらの地形単位と植生単位は領域 C および D まで広がっている。領域 C は、大規模/低頻度の洪水と関連付けられ、大規模な河川システムにおいては数万キロにわたる場合もある。工学系の水文学者は、洪水の経済的影響への関心が高いため、水理学に基づく標準的な定義を採用している。すなわち、「洪水確率が 100 年の洪水によって浸水する河川兩岸の地域³⁰」である。

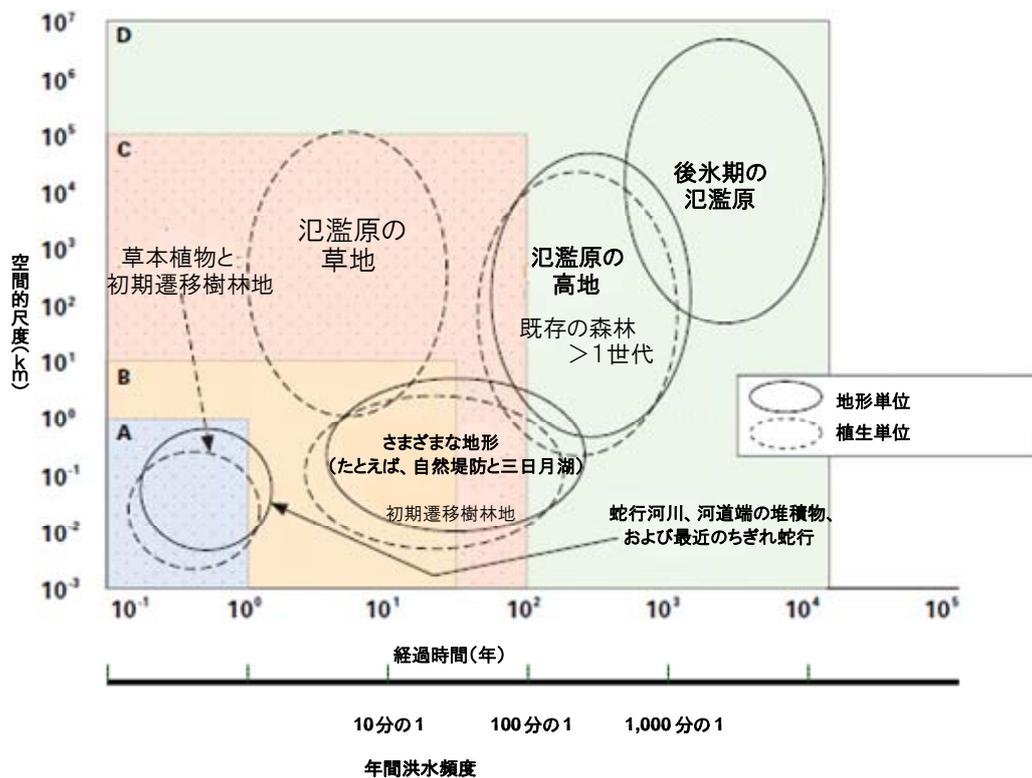


図 3. 時空間的階層における氾濫原の構成要素とプロセス^{33,34}

領域 D は、気候および基準面の変動と関連付けられ、氾濫原への水と土砂の流入において後氷期の緩和の影響を受ける。他方で、河川地形学者は、氾濫原を「河道に隣接し、河岸によって河道から分離されており、現在の気候と流況の中で河川による土砂輸送によって形成され、中規模程度の洪水が越流する大規模な水平方向の沖積地形^{31,32}」と定義している。

氾濫原では、非常に不均質な生態系となっている。ほぼ平坦ではあるが、氾濫原の微地形は、小河道や窪地、背水、小丘陵、尾根等の複雑な組合せにより形成されている。氾濫原内の窪地は、生物多様性と生活（農業、漁業、畜産）の双方にとって特に重要な湿地帯である。これらの窪地の湿地帯は多くの場合、小河道によって河川とつながっている。このような河道は、洪水流およびそれに付随する細粒土砂や栄養塩類を湿地帯にもたらし、また魚類の移動も可能にする。魚類は氾濫原で産卵し、繁殖する。このような湿地帯の中には、水位が低下した後も洪水流を貯留することができるものがある。水位の低下が緩やかなため、洪水跡地を利用した農業が営まれる。窪地の中には、氾濫原の森林のように、鳥類の大規模な個体群の生息域となる特に重要な生態系を支えているものもある。

本書では、河道および隣接する氾濫原から構成される地域を指すために「河川回廊」という用語を使用する。氾濫原の範囲は、(上述の)特定の地形、植生の特性および氾濫原管理の目標によって明らかになる。河川回廊は、地下水系および隣接する陸上生態系との間に、半透水性の横断方向の境界を有している。

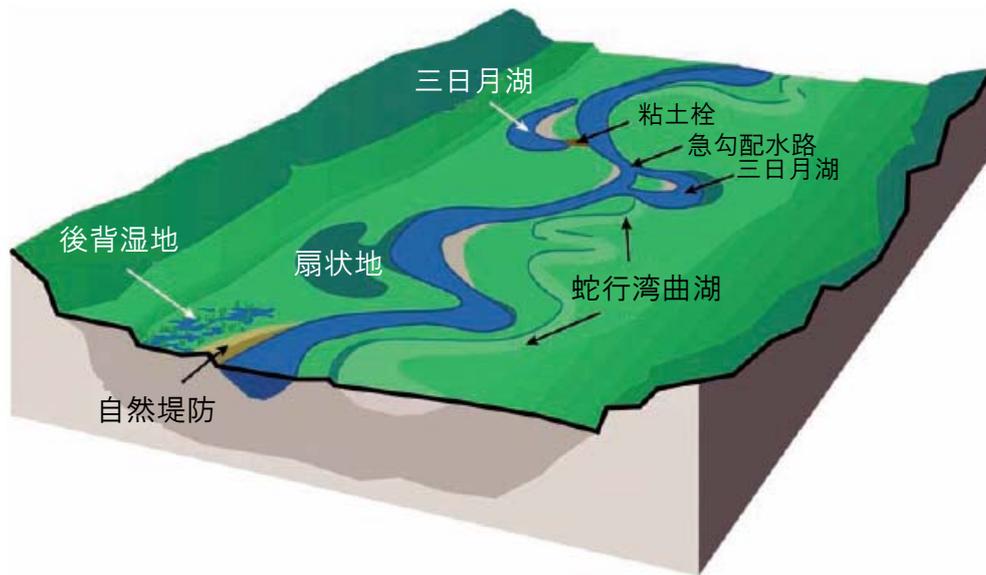


図 4. 蛇行河川の氾濫原の地形と堆積物³⁶

3.2 形態学的体系

ほとんどの河川システムは、非沖積層の地盤や、流路沿いの限定された領域と同様に、水源付近では横断的な移動を制限された区間を有している。渓谷によって横断的な移動を制限されていない場合、すべての沖積河川は砂州を形成し、氾濫原を形成する。渓谷の勾配が与えられると、河川景観は、流況（流量変動のパターン）、輸送土砂の量や質³⁵、粗い流木の体系、河床と河岸の堆積物、および氾濫原の植生の相互作用によって決まる。このように、沖積区間では、そこに流入する水や土砂、粗い流木が相互に作用し、また当該区間の堆積物や植生と相互に作用し、移動可能な土砂の領域を侵食と堆積によって変化させ、一連の河道の形式またはパターンを形成している。流れの力またはエネルギー（流出量、流路幅、および勾配の機能）や土砂の粒径、河岸植生の状況に応じて、沖積河道と氾濫原は、蛇行や合流、単一の湾曲、湾曲、網状等のパターンを形成する。河川の形態やパターンと、生息域の複雑さや生物多様性のような生態系の健全性を示す重要な生態学的指標との間には、明確な関係がある。河川回廊の生態系には、滞筋の湿潤した箇所以上の部分が含まれている。また、すべての支流や、砂州、島、氾濫原自体も含まれている。

異なる形式またはパターンを有する河川は、必然的に異なるメカニズムを通じて長期的に移動し、氾濫原を創出する。しかしながら、氾濫原の形成を特定するメカニズムやそれが生じる速度は、きわめて多様であると考えられる。たとえば、蛇行河川は、湾曲部の外岸側の氾濫原の土砂を侵食すると同時に、内岸側の砂州に土砂が堆積されることによって、横断的に湾曲部が移動する。このプロセスは横断的な堆積として知られている。その一方で、蛇行する礫床河川では、河道の中央に植生が繁茂できるような砂州を形成する。出水時には、植生に細粒土砂が堆積し、縦断的な堆積によって砂州の高さは陸域が形成されるまで上昇する。その後、河道が陸域に隣接する流路の片方を切り離すと、陸域は氾濫原の一部となる。形態学的に、河川は動的平衡状態にあると見なすことができる。地形は常に変化しているが、全体的な構成は

同一のままである(シフトする生息域での定常状態を示す概念)。図 4 に、蛇行を伴う沖積河川の回廊を示す。このように、河川の侵食と堆積のプロセスは、洪水や土砂輸送、流木の堆積、植生の生育によって促進されて、遠目には河川景観が変化していなくても、河川回廊全体を絶えず変化させているのである。

自然条件下、もしくは人間活動による土地利用形態の変化によって、流域での侵食の割合が、河川での下流に土砂を輸送する能力をはるかに超えた量の土砂を河川にもたらしことがある。その結果、これらの河川システムは本質的に不安定になり、堆積として知られるプロセスにより、河床高を継続的に上昇させることになる。その結果、氾濫原は大規模な扇状地を形成し、非常に広大となることがある。頻繁に生じる河道の横断方向の移動は、かなりの距離にわたって広がる可能性がある。極端な場合、そのような河川は「天井川」として知られている。洪水および横断方向の移動を回避するために堤防を築く場合、狭窄した河道内で河床上昇が続き、河床高を周囲の氾濫原よりも高くする(図 5 を参照)。このような種類の河川では、洪水や環境の管理を、明らかに困難なものとしてさせている。

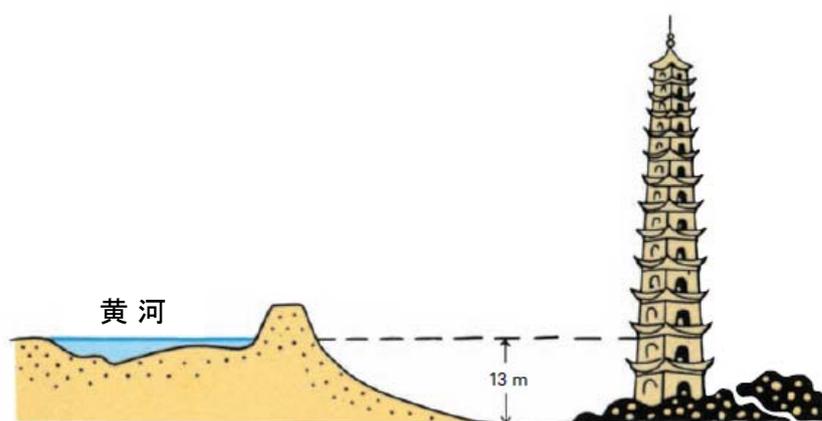


図 5. 開封付近の「天井川」の略図³⁷

その一方で、輸送土砂量を減少させることになるダム建設や土壌汚染対策、植林、洪水流量を増加させるような河川改修も河川の動的平衡状態を改変させるが、上記とは反対に、過剰な輸送能力となって河床を低下させることになる。このプロセスは侵食と呼ばれている。河床を大きく低下させることは、局所的な洪水リスクを低減するが、輸送される土砂によって、下流域で更なる河床上昇をもたらす可能性がある。河床の低下は、地下水位の低下による河岸植生の損失など、河川回廊沿いに深刻な環境の変化をもたらす。

3.3 生物多様性

健全で多様な生態系は、経済的・社会的発展の多くの側面にとって不可欠なものとして、重要な財とサービスを提供している。河川生態系が提供するサービスのほとんどは、生態系内の多様な生物群集の生物的活動に由来する。したがって、生物多様性を維持することの重要性は、絶滅危惧種や美しい湿地帯の単なる保全の域をはるかに超えるものである。水生および陸生生態系が、特に洪水管理対策との関係においてどのように機能し、相互作用しているかを十分に理解する必要がある。

生物が存続するためには、以下の条件を満たさなければならない。

- 適切な水質：溶存酸素、pH、温度等の一連の物理的・化学的変数は、許容範囲内としなければならない、過度な汚染があってはならない。
- 自然の生物学的プロセスを維持するために適切な量と変動のある水量を利用することができる。
- 多様な物理的生息域を利用することができる。

実際に、河川の生物多様性および生産性が、大きくは流況、土砂及び温度により体系付けられる事象に関連する物理変数によって支配されていることは、広く受け入れられている。生物は、存続し、成長し、繁殖するために、自らが生息する物理的環境の中に、食糧と生息するための場所(生息域)を必要としている。これらの要件は、個々の種にとって固有のものであるだけではない。特定の種の様々な生育段階(たとえば、ブラウントラウトの卵、稚魚、成魚)に応じて必要とされる非常に異なった食糧や生息域があり、その種が存続するためには、ある景観においてそのすべての状況が満たされなければならないのである。

自然の河川回廊の生息域はきわめて多様である。ある河川域の多様性は、生息域が空間と時間においてどのように変化するかによって決まる。

空間的不均質性は、生息域がどのような場所であるか、すなわち、深い／浅い水域、日向／日陰の地域、泥／砂／礫、水生植物の有無、高流速／低流速な流れ、綺麗な水／濁水、小規模／大規模な河川、支流／本流などによって決まる。

時間的多様性は、低水流量と高水流量の状態の変化(たとえば、洪水)、温水と冷水の季節変動、縮小したもしくは氾濫原に向かい拡大した単列または複列の河道等によってもたらされる。

このことは、多様で複雑な環境が同一の生物よりも多様な生物を維持することができる理由を示している。一般に、河川回廊における生息域が複雑であればあるほど、生息域で持続できる生物多様性も高まる。図 6 に、生物多様性を維持する様々な構成要素を示す。攪乱によって生じる生息域の変化は、健全な河川生態系にとって不可欠な要素である。

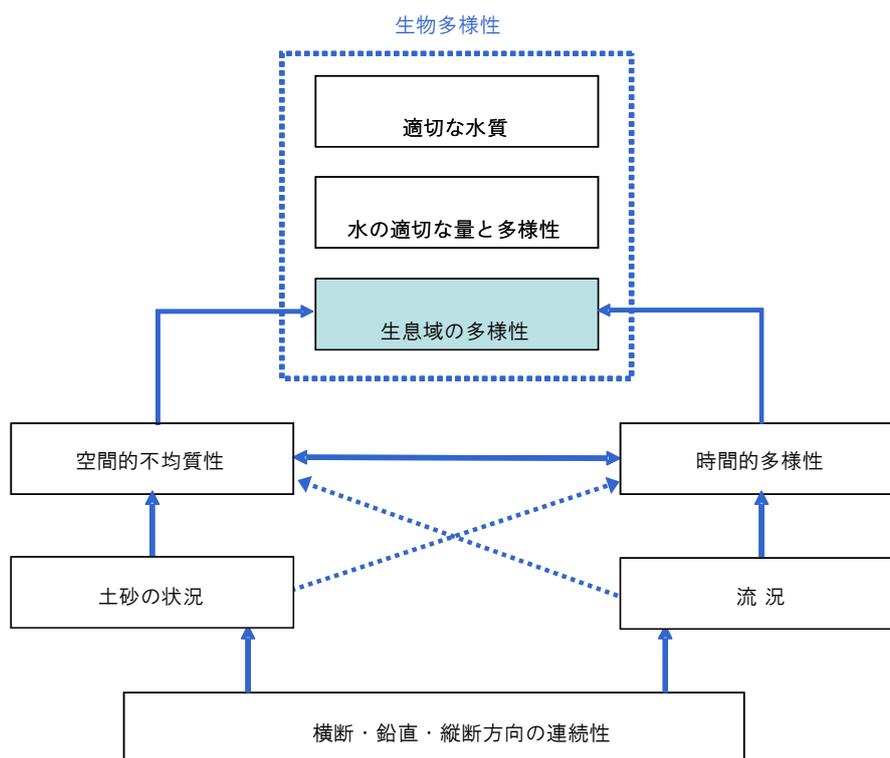


図 6. 生物多様性を構成する多様な要素

高エネルギーを持つ河川システムでは、輸送土砂量や質と比較して、大きな勾配又は洪水の両方あるいはいずれか一方を伴うため、攪乱のパターン、すなわち生息域が創出・破壊される速度があまりに速く、高度な生物多様性を維持することができない可能性がある。典型的なのは、砂礫層の網状河川である。そこでは砂州と島が非常に高い頻度で変化することから、河道内の生息域の多くの部分は比較的新しく構築されたものである。そのような生息域でも初期の段階では、極めて特定の絶滅の可能性が高い動植物が生息する。その一方で、低エネルギーの蛇行河川は、緩慢な速度で横断方向に移動するため、その氾濫原の大部分は成熟した植生に覆われ、新しい部分が利用される可能性は低い。このような生態系も、均質となるため、高度な生物多様性を維持することができない。実際に生物多様性は、中程度の攪乱頻度(変化)を持つ生態系において最大化されることがわかっている³⁸。言い換えれば、攪乱頻度が大きい場合は絶えず生態系を更新し、攪乱頻度が小さい場合は一つのタイプの生態系が支配するため、いずれの場合も多様性を低減させるのである。

ほとんどの種は、その生活環を通じて、さらには1日または1年の異なる時間において、生育するための様々な条件を持っている。このことは、生物は生息域の様々な空間(パッチ間)を移動できる必要があることを示唆している。このような移動には、生涯に1度、海洋から水源までの長距離を遡上するサケのようなケースもあれば、餌場と休息場の間を毎日移動する個体のようなケースもある。魚種が産卵のために河岸生息域を利用した後に本流に戻る場合、その移動は、河川の縦断または横断方向に沿っておこなわれる。多くの種は、空間(パッチ)毎の分布には、個体群あたりわずかな個体しか生息していない。このような種がその生態学的プロセスを維持するために

は、パッチ間の移動において縦横の連続性が維持される必要がある。

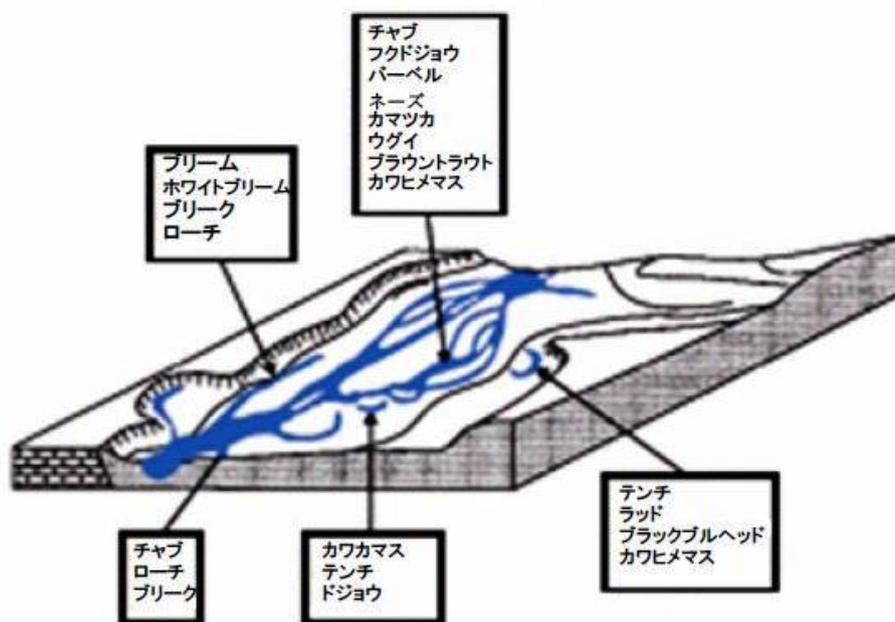


図 7. ローヌ川上流における多様な魚類による産卵生息域の利用³⁹

従来の洪水防御計画は、河川回廊を過度に単純化する傾向があり、空間的に均質な生態系をもたらしてきた。これでは、多様な種に対して多様な生息域を提供することはできない。たとえば、図 7 の沖積域は、様々な魚種の産卵のために利用される、多様な水環境を示している。このような区間が舟運や洪水調整のために河道改修されると、ひとつの河道に流れが集中し、その結果、他の河道を遮断することになる。流れが集中した河道は最終的に、一様に狭くて深い単一の河道になり、不均質性が大幅に低減する。複列していた河道や氾濫原では多くの生息域が消失し、まず局所的に、最終的には地域での生物多様性は急激に減少することになる。

3. 4 形態学的・生態学的連続性

第 3.3 節では、連続性、すなわち河川回廊またはマトリックスがいかに空間的に連続し、それを維持することがどのように重要であるか議論した⁴⁰。多様な生息域の連続性は、景観を移動する生物のニーズを満たすとともに、河川回廊の構造と機能を制御する一連の物理的、生物学的、および化学的プロセスを維持するためにも重要である。

このような概念に基づき、河川回廊は、経時変化する三次元システムとして理解することができる(図 8)。縦断方向では、上流域は下流域と連続している。この連続性は、ほとんどの場合、水や土砂、有機物(たとえば、流木や葉)溶質からなる一方向の勾配の流束として見なされる。しかし、多くの水生および陸生生物は、河川回廊を上流および下流の双方に移動するために利用している。表層流をせき止めることになるダムや堰は、河川の縦断方向の連続性を遮断することによって、移動を妨げ、重要な形態学的・生態学的役割を果たす土砂や粗い流木を貯留する可能性がある。一部の河川には、流れが一時的にしか存在していない河川があり、注意する必要がある。そ

これは、ある区間の流れがなくなり、その結果として連続性が損なわれることは、生態系の構造を支配する自然の攪乱である。

上述のように、氾濫原の季節的な浸水は、河川回廊の特徴を維持するために不可欠である。流量調節や堤防の建設は、横断方向の連続性を弱め、河道と氾濫原の間の生物の移動および食糧、土砂、有機質シルトなどの流束を制限する。たとえば、高水期に氾濫原に流出する地表水、すなわち河道を越流して氾濫原の一部に広がる洪水流を考慮してみる。大規模な洪水事象は比較的まれであるため、河道に隣接する地域は頻繁に浸水するが、離れた地域は数年に1度、一時的にしか浸水しないため、構造の不均質性は少ない。洪水は、水生生物が河道の内外に移動するのを可能にするだけでなく、形態学的変化をもたらし、新しい生息域を創出し、(肥沃な有機質シルトを含む)細粒土砂の一部を堆積させ、湿地帯を維持し、氾濫原の池を回復するとともに、氾濫原に一時的に水を貯留することによって下流の洪水を軽減させる。このような区間で流量が調節されると、河道と氾濫原の連続性は弱まり、これらのプロセスのほとんどが省略されることになる。

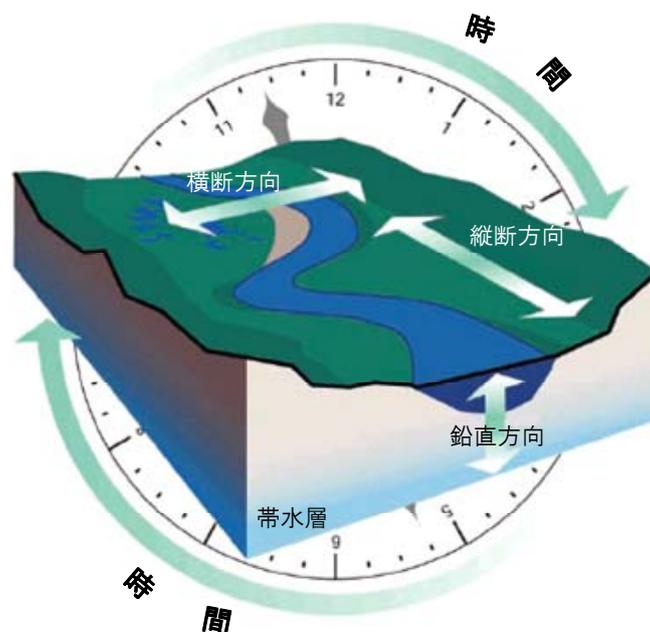


図 8. 河川回廊の空間・時間次元⁴¹

鉛直方向の連続性は、地表水と沖積層の地下水系との連続する箇所、いわゆる間隙水域(ハイポレイックゾーン)に関係している。完全な鉛直方向の連続性、すなわち地表水と地下水の相互作用が重要なのは、地下の微生物プロセスが、河川回廊の生産性および水質を維持するのに役立つからである。また、氾濫原の多くの湿地帯、池、および河岸の樹木も地下水に依存している。さらに、湧水は、多くの種のために重要な冷水の避難所を提供している。

沖積河川回廊内の水域の多様性と流路の複雑さは、本流と支流、あらゆる粒度組

成と形状を持つ土砂の堆積、池、周囲の湿地帯などによって特徴付けられ、日陰で、または太陽光にさらされながら、地表、地下、あるいは帯水層を永久的または一時的に水が流れることによって、きわめて多様な温度体系をもたらしており、これによって物理的に移り変わる生息域のモザイクが形成されている。言い換えれば、河川形態や生息域の利用可能な形態は、概ね体系的・動的平衡状態にあるといえる。そこでは、個々の部分の形状は常に変化しているが、様々な生息域タイプの全体的に利用可能な形態は、ある大きさの区間にわたってほぼ同様である。このような河川回廊の体系の機能を示す概念モデルは、「モザイク状に変化する生息域における定常状態に関する概念(Shifting Habitat Mosaic Steady State Concept)」として知られている。

したがって、生息域の多様性と連続性は、空間と時間に固定されるのではなく、河川力学によって絶えず創出・破壊されることを理解しなければならない。たとえば、洪水の発生を防止し、堤防を設置して氾濫原を河道から分離することによって、きわめて多様な河川回廊の変化が不可能になれば、新たな生息域空間(パッチ)が創出されなくなり、既存の植生群が成熟し、当初は不均質であった河川景観を支配するようになり、生態系は均質的なものとなる。

3.5 まとめ

沖積河川およびその氾濫原の生態学に関する主な原則は、次のように要約することができる。

- 河川は常に変化し、氾濫原領域を移動する。流量、土砂、および粗い流木は、河床と河岸の堆積物および河岸植生と相互作用することによって、河川の特徴を創出し、また破壊する。
- 河道および氾濫原の生息域空間(パッチ)が動的でモザイク状に変化することは、河川システムの基本的な特性であり、河川の多様な動植物種のための空間を提供する。これらの種は、動的で不均質な環境で成長し、進化してきたものである。
- 自然の生態学的プロセスを維持するために、河川生息域は、三つの環境条件、すなわち、適切な水質であること、適切な水量で空間的・時間的な変動性があること、および多様な物理的生息域があることであり、これらを同時に満たすことが必要である。
- 河川回廊における縦断・横断・鉛直方向の連続性は、河川の生物および生態系の機能にとって不可欠である。
- 洪水体系の大幅な改変(すなわち、洪水の規模、発生時期、および頻度の変化)は、生態系に負の影響を及ぼす可能性がある。河川生態系の構造と機能を維持することが重要である。なぜなら、河川回廊によって提供される生態系サービスのほとんどがこれらに依存しており、河川が単純化された場合、失われてしまうからである。

4. 洪水プロセスと生態系サービス: 相互関係

生態系は、河川流域の水文学的なレスポンスを決定する上できわめて重要な役割を果たす。したがって、洪水を生成する多様な水文学的プロセス、およびどのように生態系がこのようなプロセスと相互に作用し、洪水事象の量、規模、および時期に影響を与えるかについて理解することが重要である。本章では、水文学的プロセスおよび水文学的レスポンスにおける多様な生態系(例えば、森林、湖沼と池、湿地帯、河川回廊、河口、及び沿岸の生態系)の役割、およびこれらの生態系がどのように洪水事象と相互に作用するかについて述べる。また、洪水緩和に関する生態系の潜在能力とその限界についても議論する(表 2 ではこれらを要約している)。

4.1 森林

森林は、土壌内のプロセスに関連している陸上生態系である。植生を維持する土壌の能力は、その物理的特性(有機物、保水力、構造、単位体積重量)、化学的特性(存在する無機成分の種類)、生物的特性(存在する微生物の多様性と活動)および局所的な微気候(温度、降水、蒸発要求)によって決まる。

人間と水生生態系にとって不可欠なエネルギー源である森林

河岸の森林は、陸上生態系と水生生態系との間のインターフェースとして機能し⁴²、河岸の在来種のために多様で不可欠な生息域を提供する。連続的な森林は、樹上性動物(樹林の中で生息する動物)の移動経路を提供する。森林資源は、人間の生活に直接寄与し、農業や食糧供給を促進することによって、国富をもたらす主要な資源をなしている⁴³。森林は、地表下や地下水の流れの過程で栄養塩類やその他の汚染物質を濾過し、表面流の土砂を捕捉することによって、水質を維持する役割を果たしている。また、氾濫原の池、湿地、支流、および本流に日陰を提供することによって、温度体系を調節している。更に、葉、小枝、粗い流木などの形で外来性有機物質⁴⁴を水生システムに供給する。これらは、水生生物にとって不可欠な食糧資源となる⁴⁵。熱帯地域では、森林は厳しい高温気候を緩和し、木材、作物、堅果、放牧地など、多くの生産物を提供している。



森林と水文学的プロセス

森林は、その複雑な構造を通じて河川の流況を季節ごとに安定させ、浸透と蒸発散を促進することによって、流域の水文学的プロセスを決定する上で重要な役割を果たしている。森林は浸透によって地下水涵養を促進し、これは長期にわたってゆっくりと放出される。ある特定の水文気象学的条件下では、高い蒸発散量により、森林は流域からの全流出量を減少させる可能性がある。渇水が長期化した場合、河川流量は急激に減少するおそれがある。しかし、このような影響はきわめて複雑なプロセスに起因することから、局所的な領域規模であっても未だに定量化されていない⁴⁶。流域における森林の洪水調節機能には一定の限界があり、多くの場合、構造の複雑さや森林の規模と種類、表土の深さや構造、土壌のその時点における含水状況によって左右される。しかしながら、大規模洪水では、森林の被覆の有無に関わらず、ピーク流量に対して影響を与えることはできない。これは、継続する降水によって土壌は飽和状態になり、森林からの表面流出量を大きくさせる可能性があるためである。

河畔林は、流況の水理特性と相互に作用して河川回廊の形態に影響を及ぼす。また、河岸の洗掘に対する抵抗力が高まるため、河道幅は小さく、また深くなる。広大な氾濫原を有する下流域では、植生の粗度によって水深はさらに大きくなり、その結果として増えた河川の貯留量は、洪水流の速度を低下し、下流域の洪水ピーク流量を減少させる。一方、洪水時の流木は、横断工作物に詰まって洪水流の妨げとなり、上流部の水位上昇を生じさせ、破堤や堤防の越流を引き起こす可能性がある。

森林と河川への土砂供給

樹木の根は、斜面の安定に対して重要な役割を果たしている。根は、張力に対する土壌の抵抗力を高めることにより土壌強度が増加するが、それと同時に、森林の自重は土壌にかかる載荷重を増加させることになる。合法的および非合法的な伐採や、森林や放牧地を耕作地に転換することへの圧力は、絶えず森林の被覆状態に影響を及ぼしている。森林の被覆がなければ、表層斜面崩壊（これによって広大な土地の肥沃な表土が消失する）を引き起こすだけでなく、ガリー侵食、さらに土地の荒廃および流域からの流出土砂量を増大させる。しかし、深層崩壊は、森林の有無による顕著な影響は受けず、多くの場合、地質、地形、および気候因子の影響を受けている⁴⁷。

前述のように、水文学的プロセスと森林動態の相互関係は、主に関連しているプロセスの複雑さ故に、いまだに大規模な流域では調査されていない状況である。したがって、大規模な流域において、森林が渇水期の流量、洪水緩和、および地下水涵養に及ぼす影響について、長期的に生態水文学的なモニタリングを実施する取り組みを強化することがきわめて重要である。

4.2 池と湖沼

池や湖沼は、一般的に静的な水システム⁴⁸、すなわち非流動的な淡水生態系である。水は通常、直接の降水によって、もしくは支流および分散した表面流出あるいは浅部帯水層から、これらの水域に流入する。水は、自由水面からの蒸発や蒸散、送水、流出口からの流出によって失われる。蛇行河川が河道から切り離されて湾曲部

が残されることによって形成される三日月湖は、厳密には静的なシステムではなく、高水時期には流動的なシステムになる。

湖沼と池の生物多様性

湖沼と池の生物多様性は、その物理的特性および栄養塩類または萎縮⁴⁹の状態によって決まる。生物多様性は、水深の浅い湖岸で頂点に達する。栄養塩類と土砂は、面源から湖沼に流入する。これらの水域内の温度変化は、主に太陽と風力エネルギーに左右され、その生態学的特性を決定する上できわめて重要である。水深が浅い小規模な水域(本書では池として取り扱う)では、日光が容易に水底まで達するため、水温は水深全体にわたって一定である。水深の深い水域(本書では湖沼として取り扱う)では、熱エネルギーが十分な深さまで到達せず、湖の底付近の水温は比較的低い。温度の鉛直方向の水温差によって境界層が形成される。湖沼の水面に風が作用するエネルギーは、水深に応じて急激に攪拌され、減衰される。河川システムと繋がっている湖沼では、支流や流出口の位置や特性も、湖沼における攪拌の程度を決定する要素である。湖沼が攪拌状態か成層状態であるかは、その生態学的特性によってきわめて重要である。



ローヌ川に連なるレマン湖

湖沼および池は、飲料水供給、漁業、灌漑、レクリエーション、生活手段(たとえば、農業、漁業、畜産)など、人間の生活に対して様々なサービスを提供している。これらの水域では、植物の栄養分の吸収、土砂の保持、および地下水涵養のような自然環境にとって不可欠なサービスも提供する。これらの水域は多様な植生に富み、渡り鳥を含む多くの動植物種にとって、生命維持のための主要なメカニズムとして機能を果たしている⁵⁰。

湖沼と洪水

池や湖沼は、これらの水域の貯水能力により、洪水時のピーク流量を緩和させる役割も果たしている。池や湖沼は、満水になって溢れ出し再び流出されるまで、洪水の陸地への氾濫を抑制している。洪水が湖沼に流入した場合、それは湖沼の流出口に

直接は流れず、その一部は水位の上昇となって湖沼の貯留に吸収される。したがって、湖沼への流入量が最大になったときに、その流入量の大部分が貯留され、その後、流出口の特性に応じたタイムラグを伴って河川に流出する。その結果、洪水ピークを低減し、洪水流の下流への移動を遅らせるのである。大規模洪水時に池や湖沼が洪水軽減に貢献できる程度は、池や湖沼の種類や位置、湛水面積、水域の形状、先行条件、流出口の水理的特性によって決定される。

4.3 湿地帯

湿地帯とは、自然と人工、永久と一時を問わず、静水または流水を伴う、淡水、汽水、または塩水で干潮時の水深が 6m 未満の海域を含む、沼沢地、泥炭地、または水からなる地域をいう⁵¹。湿地帯は、完全な陸上生態系と水生生態系の遷移地域を形成している。湿地帯は、潮汐があるか否か、静水か動水かは問わない。海洋や沿岸湿地帯と同様に、湖沼や池も湿地帯と定義されるが、本節ではこれらについて言及せず、別途取り扱うものとする。湿地生息域にとって地表水の存在および湿潤土の植生の生育は、不可欠な二つの特徴である。

地形環境

湿地帯はその地形特性により、主要とする水源と水文学的な周期が異なる傾向があり、両者は、そこでの生息に適している有機体に影響を及ぼしている。沖積域の湿地には、河道と密接に結び付いているものと、分離しているものがある。例えば、窪地の湿地帯(すなわち、表面流出がない)は、多くの場合、地下水を介してほかの湿地帯や水生域と強いつながりがある。季節的な乾燥によって潜在的な捕食者である魚類が除去されるため、基本的に両生類の生息域となっている湿地帯もある。そのほかの湿地帯が存在する一般的な地形環境には、沖積氾濫原や河川三角州の一部であり河川と接している河岸湿地帯や、湖岸や貯水池の周辺に見られる湖岸⁵²湿地帯、地形上の分断部に存在し主に地下水湧出によって水供給される傾斜湿地帯がある。これらの地形特性が、乾燥から湿潤にわたる気候の中で、湿地帯を維持しているのである。

湿地帯は、多くの場合、定期的な氾濫と乾燥に適合できる密な植生として特徴付けられる。その水質は、関連する水生生態系、土壌、および生育する植生の種類や量によって大きな影響を受ける。しかし、地形的に平坦な地域を占めるウエットフラット(平らな湿潤地)は、地下水源または地表水源なしに湿地の植生と土壌を維持するのに十分な湿潤気候に限定される。これらは、有機質土壌の平坦地としても知られる泥炭地を形成するのに十分な有機物を蓄積していることもある。湿地帯は徐々に開発の圧力を受けており、他の同様の地形特性を有する湿地帯は、人間による同種の改変にさらされている⁵³。



湿地帯の生物多様性

小さい流路によって河川と密接に結び付いている一部の湿地帯は、洪水流およびそれに付随する細粒土砂や栄養塩類を運搬し、それを保持している。湿地帯は、栄養塩の貯留率が高いため、大量の有機物質を生成することができる。有機物質は、水中および陸上の食物網の基礎を再形成している。湿地帯は、非常に重要な生態系であり、多くの種にとって不可欠な生息域を提供し⁵⁴、生活を支えている。したがって、湿地帯の生物多様性は、維持している種の範囲からも、きわめて豊富であると言える。一時的な洪水は、湿地生態系の機能を維持する上できわめて重要である。

湿地帯は水生種と陸生種の双方を維持し、長期にわたる水の存在は、特に適合した植物(水生植物)にとって好ましい生息条件をもたらしている。湿地帯は浅水域で、緩慢な流れを伴う静水環境である。多数の種にとって好ましい生息域を提供し、特に魚類の繁殖と生育、鳥類の営巣と生育に適している。氾濫原の湿地帯は、数千マイルにわたって拡大し得る生態学的なつながりを持っている(渡り鳥、遡河魚など)。

湿地帯と水循環

湿地帯は、水循環に大きな影響を及ぼしている(コラム 1 を参照)。水文学的プロセスは、貯水能力、湿地から帯水層への移動に伴う浸透損失、または地下水涵養能力によって影響を受ける。洪水の軽減は、湿地の最も重要な機能の一つである。この洪水の軽減機能は、主に河川の下流域の大規模な氾濫原で効果があり、そこでは大規模な窪地に越流水が貯留される。さらに洪水は、湿地の植生粗度による抵抗力によって減速し、低減される。こうして下流の洪水ピークを遅らせ、洪水被害を軽減させることができる。

コラム 1. 湿地帯と水循環

世界中の 169 件の調査において発表された湿地帯の水量の機能に関する 439 の報告書に基づいて、英国の Wallingford の生態学・水文学センターでは、調査を実施し、以下の結論を報告している。

- 湿地帯は、水循環を変化させる上で重要な役割を果たす。
- 氾濫原の湿地帯の多くは洪水を低減または延滞させるが、常にそうであるとは限らない。実際、水源の湿地帯の3分の1以上は洪水ピークを増大させた。
- 湿地帯は、ほかの種類土地よりも多くの水を蒸発させるため、事例の3分の2において年平均河川流量を減少させた。
- 湿地帯の3分の2において、乾期には下流の流量を減少させた。
- 砂質土の氾濫原の湿地帯の一部は、洪水時に地下水を涵養する。しかし、ほとんどの湿地帯は不透水性の土壌または岩盤の上に位置するため、地下水との相互作用はほとんどない。

出典：Bullock, A. and Acreman, M., 2003. The role of wetlands in the hydrological cycle, *Hydrology and Earth System Sciences*, 7 (3): 358-389.

湿地帯には、沼地、湿原、干潟、氾濫原など広範囲にわたる生態系が含まれるため、すべての湿地帯が同様の水準で洪水を軽減するとは限らないことを認識しなければならない。湿地帯が下流の洪水を減少させる効果は、湿地の面積、洪水の規模、上流の湿地との近接性、および上流に他の貯留域がないことにより増加する。洪水がピークに到達した時に貯水能力に余裕がある場合に限り、明確に洪水の影響を軽減することができる。湿地帯が既に飽和状態にある場合は、その後が発生する洪水のために利用できる貯水能力はほとんどないと考えられる。

4. 4 河川回廊

河川は動的なシステムである。河道は、ある場所では侵食され、他では堆積を受けながら移動し、新たな河道を創出している。このように、河川生息域の創出と破壊を常に繰り返している。河川回廊(河道と氾濫原を含む地形)は、動的に平衡な状態や体系の中で、変化し続けるモザイク地形として見なされる。すなわち、地形は絶えず変化しているが、遠目には常に「同じように見える」のである。河川回廊は、流況と土砂体系の連続性が重要である。流況の様々な要素は動き続ける水生生態系における生態学的プロセス、すなわち水文学的条件の規模や頻度、期間、時期、変化する速度を調整している。洪水は、あらゆる河川システムの流況の中で、重要な要素となっている。なぜなら、出水は、侵食やその後を生じる堆積作用にとって重要であるからである。洪水は、1年の適切な時期に発生する必要がある。これは、在来種的生活サイクルが、このような自然の河状に適合しているからである。

それぞれの種(あるいは同種の生育段階)は、生活サイクルの様々な時期において、このように地形がモザイク状に変化することによって創出される一連の生息域を必要

としている。自然の河川生態系が発展するためには、河川は複雑な生息域を創出するための空間が必要である。地形、ひいては生息域の高度な多様性は、自由に移動している河川において観測することができる。発電や洪水防御対策のために流量が調節され、一様な低水量に維持された場合、産卵できる環境が河川から消失し、生態系の健全性の喪失、すなわち生物多様性と河川生態系の生態学的機能の後退をもたらすことになる。

図 4 に示すように、河川回廊は、河道から生態系までの距離に応じて、モザイク状に変化する一部を形成している。堤防を設置する際には、それぞれの河道特性を考慮する必要がある。

洪水の圧力開放バルブとしての氾濫原

河川の流れが堤防間に抑制されている場合、その流れの力はより大きな力を持つことになる。なぜなら、河川が氾濫原に広がることのできる場合よりも流速が高まるからである。このような流れの力は、破壊的な河岸侵食や河道の変化をもたらす可能性がある。これらは、河川が河岸を越流できる場合よりも深刻となる。高水時に河川が氾濫原に越流する能力により、このような破壊的な流れの力が生じるのを妨げることができる。このような場合、氾濫原は一種の「圧力開放バルブ」として機能を果たすのである⁵⁵。氾濫原は、越流水を貯留し、下流における洪水ピークを軽減するとともに、地下水を涵養する。



カフェ川のカフェ干潟（ザンビア）

汚染物拡散

洪水に起因する汚染物質の拡散を最小化するための予防措置が講じられない場合、洪水は環境問題を引き起こし、環境リスクの増大をもたらす可能性がある。洪水時には、汚水が地下に滞留し、氾濫区域に位置する下水処理施設の未処理水が健康上のリスクを生じさせるおそれがある。この問題は、未処理水が開渠の排水システムを流れる、開発途上国の都市部において大きな懸念をもたらしている。さらに、汚水には微生物病原体、懸濁物質、有害物質、栄養塩類、ごみ、およびその他の汚染物質が含まれるため、飲料水源を汚染する可能性がある。

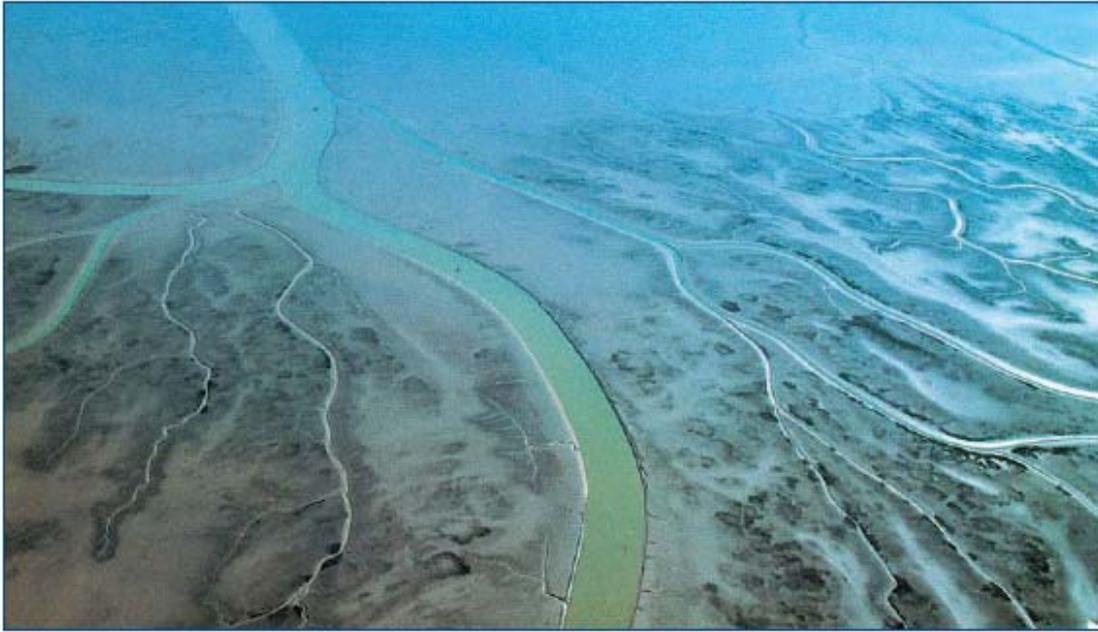
洪水流は、工場や家庭から生じる化学物質を拡散する可能性がある。危険な化学物質の貯蔵場所は、氾濫原および洪水のメカニズムに関する知識に基づいて、慎重に計画されなければならない。氾濫原に位置する化学物質の貯蔵庫や工場で漏れまたは施設の損傷が生じ、洪水流によって化学物質の拡散や油汚染が生じるおそれがある。このような汚染は、氾濫区域の衛生状態や居住性に長期的な影響を及ぼすことがある。このような環境汚染を除去するためには、共同の取組み、時間、および財源の確保が必要である。汚染除去のプロセスでは、化学物質の処理は重要な決定であり、汚染水が排出される生態系に影響を及ぼす可能性があるため、最大限の注意を払って取り組まなければならない。

4.5 河口・沿岸生態系

河口および三角州のプロセス

河川流量は、河口への淡水や土砂、栄養塩類、シリカ(二酸化ケイ素)の主要な供給源である。河川流入量の水準によって、河口に供給される輸送土砂量が決まる。洪水は、平水時と比較して多くの輸送土砂を輸送し、河川の流況を決定する上で重要な役割を果たし、その流況が今度は河口地形の形成に重要な役割を果たすことになる⁵⁶。

河川は土砂を沿岸域に輸送し、河口を越えた地点に堆積させる。潮流や波は、新たに堆積された土砂を再び輸送し、結果として沿岸域の形状や構造に影響を及ぼすこととなる。河川の三角州は、河口付近の河川と海洋の力の相互作用によって形成される⁵⁷。三角州平野の長期的な変化は、河川への土砂流入の速度、土砂再流動の速度とパターン、当初の堆積後の海洋の作用による堆積物の再移動や運搬に対応するようになる。したがって、河川システムの流況は、沿岸域の形態学的プロセスに影響を及ぼしている。ダムや分水路のような洪水調節構造物は、流況や沿岸域への土砂供給量を変化させ、沿岸域の形態学的・生態学的プロセスに大きな影響を及ぼすことになる。



黄河の三角州地帯（中国）

沿岸生態系の特徴

流量は、流域の土壌を通じて、溶存および懸濁栄養塩を下流の河口に運搬する。流域からもたらされた栄養塩に富んだ淡水は、海洋に由来する酸素の豊富な水と混合することにより、河口や三角州地域を海洋環境において生物生産性の最も高い場所とする。したがって、沿岸の淡水および汽水生息域は、生態系への淡水流入の特性（量、質、時期）、および塩分、温度、濁度、エネルギー束の変化をもたらす潮汐の日または季節的影響によって決まる。このような沿岸生態系には、マングローブ、海岸森林、および泥炭湿地（感潮域の氾濫原の森林）が含まれ、豊かな生物多様性を示している。沿岸生態系は、森林の居住者に貴重な資源、居住地、基本的ニーズ、および生活手段を提供することによって、これらの地域社会をともに維持する手段を提供する。これらの地域の社会経済的重要性は、特に開発途上国の比較的乾燥した地域において明白である。季節的な干満は、これらの生態系に依存している地域社会の生活様式や農業の営みを決定する。

洪水に対する緩衝機能としての沿岸生態系

熱帯地方の低地の沿岸域は、潮汐による洪水だけでなく、低気圧性降水、高潮、および津波によって生じる洪水に頻繁に見舞われる。塩水は、三角州の水路に流入し、三角州の低地を浸水することもある。沿岸生態系は、その物理的存在、および水を保持し高潮のエネルギーを吸収する能力によって、河口および沿岸域に沿って内陸への浸水を防御する。例えば、インド洋津波（2004年）において広く報告されているように、大規模なマングローブ林は、最初の波の衝撃を引き受けるとともに、波のエネルギーがマングローブ林を通過する間にそれを消散させることによって、津波による人命の損失と被害を低減できる可能性がある。他方、幅の狭いマングローブがあって、根こそぎあるいは幹が折れて内陸部に流入し、大きな資産および人命被害が発生する可能性もある。津波などの自然災害の影響を緩和する上でマングローブおよびそ

その他の海岸林が積極的な役割を果たした事例は多い。しかし、マングローブなどの海岸林が自然災害を有効に緩和できる範囲や状況を特定するための情報は、依然として不十分である⁵⁸。

コラム2. 統合沿岸域管理

ICZMとは何か

統合沿岸域管理(ICZM)は、開発管理と沿岸資源を取り扱う計画立案・調整プロセスであり、陸域／水域の境界に重点を置く。

目的

ICZMの全体的な目的は、沿岸の天然資源の持続可能な利用および生物多様性の維持である。環境に配慮して計画される開発は、長期的に沿岸の地域社会の経済的・社会的繁栄に資するものと見なされる。漁業の生産性、観光収入の増加、持続的なマングローブ林、および自然災害防止は、ICZMの実質的な便益である。

原則

- 沿岸域は、特定の管理および計画手法を必要とする比類のない資源システムである。
- 水は、沿岸資源システムにおける主要な統合力である。
- 土地と海洋の利用は、共同で計画・管理することが不可欠である。
- 海岸線は、沿岸管理計画の中心である。
- 沿岸管理の境界は、課題に応じたものであり、順応的でなければならない。
- 沿岸資源管理の重要点は、共有資源の保全である。
- ICZM計画においては自然災害防止と天然資源保全を組み合わせなければならない。
- 沿岸の管理と計画策定には国内のすべてのレベルの政府が参加しなければならない。
- 自然と調和した開発手法は特に沿岸域に適している。
- 沿岸管理計画においては、特殊な形式の経済的・社会的便益評価および住民参加が採用される。
- 持続可能な利用を維持することは、沿岸資源管理の主要目標である。
- 多面的利用管理は、ほとんどの沿岸資源システムに適している。
- 多部門の参加は、沿岸資源の持続可能な利用にとって不可欠である。
- 伝統的な資源管理手法は尊重されなければならない。
- 環境影響評価手法は、効果的な沿岸管理にとって不可欠である。

出典: Clark, J.R., 1992. Integrated management of coastal zones, FAO Fisheries Technical Paper No.327, FAO.

沿岸系と河系の相乗効果

上述のように、沿岸の形態力学と生態系は、河川システムにおける流況の影響を受ける。多くの沿岸生態系は、洪水管理プロジェクトを含む水資源開発事業や潜在的

な気候変動に起因する海面上昇の可能性によって深刻な脅威にさらされている。この「沿岸域の圧迫」は、沿岸湿地帯の規模や幅およびその適応能力を著しく制限することになる⁵⁹。三角洲地域では、三角洲や沿岸生態系、マングローブ沼沢地等に必要な形態力学的プロセスを考慮することなく、上流域で利用できる水を過度に配分・貯留することで、その存続は脅威にさらされている。したがって、沿岸生態系の保護は、IWRM およびその一部をなす IFM と、統合沿岸域管理(ICZM) (コラム 2 を参照) の共同によって実施されるべきである。

4.6 まとめ

- 森林は、河川流量を季節的に安定化することによって、流域の水文学的プロセスを決定する上で重要な役割を果たす。しかしながら、大規模洪水では、ピーク流量や総流出量の観点から、森林による被覆の有無による影響は受けない。
- 樹木の根は斜面安定において重要な役割を果たす。表層崩壊は森林の被覆の損失に起因して発生し、大量の土砂が河道へ流入する原因となることがある。
- 池および湖沼は、貯水能力によって洪水ピークを軽減し、その発生を遅らせる上で重要な役割を果たすが、このような機能は、水域の種類や位置、湛水面積、形状、その先行条件、流出口の水理特性によって左右される。
- 湿地は、水の貯留、帯水層への水の移動、または地下水涵養によって水循環プロセスに大きな影響がある。しかし、すべての湿地帯が同程度に洪水を軽減するわけではない。
- 河川回廊に生息する様々な種は、河川の自然の流況および土砂の状況によって形成される、モザイク地形が絶えず変化する中で提供される多様な生態系を必要とする。
- 洪水は、氾濫原に貯蔵されている汚染物質や様々な化学物質を広範囲にわたって拡散し、人の健康や生態系の健全性に影響を及ぼす可能性がある。
- 洪水は、あらゆる河川システムにおける流況の中でも重要な要素であり、河口への淡水や土砂、栄養塩類、シリカの主要な供給源でもある。したがって、河川システムにおける流況は、沿岸域の形態学的・生態学的プロセスに影響を及ぼす。
- 沿岸システムや三角洲、沿岸生態系の形態力学的プロセスは、河川システムの影響を受ける。沿岸生態系は、その物理的存在、水の貯留、高潮エネルギーを吸収する能力によって、河口および沿岸域に沿って内陸への浸水を防御する。

表 2. 生態系と洪水プロセス

	上流区間	中流区間	下流区間	河口・三角州
森林	<ul style="list-style-type: none"> + 浸透と蒸散の増加によって水文学的プロセスを調節する。 + 浸透の増加によって、短期的で低強度の暴風雨による流出を軽減する。 + 土壌の安定化によって、地理、地形、および気候因子に基づく地すべりを軽減する。 + 水域の温度調節をおこなう。 	<ul style="list-style-type: none"> + 河道沿いの森林は、その結合効果によって河岸の抵抗力を強化する。 + 河道を狭めて水深を深くすることによって、初期の流量に対する水位を維持する。 + 表層崩壊およびその結果として増大する河川の土砂濃度を低減する。 	<ul style="list-style-type: none"> + 氾濫原の植生粗度によって洪水波を遅らせる。 	
	<ul style="list-style-type: none"> - 洪水調節効果は、規模、土壌構造、および先行条件によって左右される。 - 異常気象に対しては、洪水調節効果を発揮できない可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> - 河道内の植生は、流れの抵抗力を増大させ、水位を上昇させる可能性がある。 - 狭い水路に詰まった流木によって流下能力がさらに低下し、上流の水位を上昇させる可能性がある。 - 異常洪水の場合、洪水調節効果は低い可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> - 狭い水路に詰まった流木によって流下能力がさらに低下し、上流の水位を上昇させる可能性がある。 	
池・湖沼	<ul style="list-style-type: none"> + 最初に貯留された洪水流を、タイムラグを伴ってゆっくり放流することによって、表面流を低減し、下流の洪水ピークを緩和する。 	<ul style="list-style-type: none"> + 最初に貯留された洪水流を、タイムラグを伴ってゆっくり放流することによって、表面流を低減し、下流の洪水ピークを緩和する。 + 土砂を捕捉する。 + 地下水を涵養する。 	<ul style="list-style-type: none"> + 最初に貯留された洪水流を、タイムラグを伴ってゆっくり放流することによって、表面流を低減し、下流の洪水ピークを緩和する。 + 土砂を捕捉する。 + 地下水を涵養する。 	
	<ul style="list-style-type: none"> - 洪水調節効果は、水域の種類、位置、貯水量、湛水面積、形状、およびその流出口の水理挙動によって決まる。 	<ul style="list-style-type: none"> - 洪水調節効果は、水域の種類、貯水量、湛水面積、形状、およびその流出口の水理挙動によって決まる。 	<ul style="list-style-type: none"> - 洪水調節効果は、水域の種類、貯水量、湛水面積、形状、およびその流出口の水理挙動によって決まる。 	

表 2. 生態系と洪水プロセス(つづき)

	上流区間	中流区間	下流区間	河口・三角州
湿地帯		+ 最初に窪地へ貯留された洪水流を、タイムラグを伴ってゆっくり排出することによって、下流の洪水ピークを緩和する。 + 植生粗度によって洪水波を遅らせる。	+ 最初に窪地へ貯留された洪水流を、タイムラグを伴ってゆっくり排出することによって、下流の洪水ピークを緩和する。 + 植生粗度によって洪水波を遅らせる。	
	- 水源の河岸湿地帯が飽和状態に達すると、流出をもたらして洪水ピークを増大させる。	- 洪水調節効果は、窪地の種類、先行条件、位置、規模、およびその河川流量との関連によって決まる。	- 洪水調節効果は、窪地の種類、先行条件、位置、規模、およびその河川流量との関連によって決まる。	
河川回廊		+ 河川の流下能力に応じて氾濫原に越流する下流区間の河岸侵食を緩和する。 + 貯留及び氾濫原の植生粗度によって洪水波を軽減・減速させる。 + 地下水を涵養する。	+河川の流下能力に応じて氾濫原に越流する下流区間の洪水ピークを緩和する。 + 貯留及び氾濫原の植生粗度によって洪水波を軽減させる。 + 地下水を涵養する。	
		- 河川が変化・蛇行し、洪水が氾濫原に越流する可能性があるため、人間の定住および洪水からの受益が困難になる。	- 河川が変化・蛇行し、洪水が氾濫原に越流する可能性があるため、人間の定住および洪水からの受益が困難になる。	
河口・沿岸生態系				+ 海岸線の安定化を促進することによって、風、波、および水流の作用に対する緩衝装置として機能する。 + 沿岸の暴風による波と高潮のエネルギーを吸収し、内陸部を保護する。
				- 洪水調節効果は、生態系の規模、位置、および種類によって大きく左右される。

必ずしもすべての欄に必ずしもあてはまらないため、記入していないことを示す。

+ 洪水プロセスにおける生態系の正の側面を示す。

- 洪水管理サービスの提供者としての限界および負の側面を示す。

5. 洪水管理のための対策と生態系

洪水管理の統合的アプローチは、構造物対策と非構造物対策の最適な組合せを必要とする。他のことを切り離して洪水管理を選択することは、特定地域の保護のような一定の目標を達成することはできるかもしれないが、河川流域レベルで扱うべき様々な目標に取り組むことはできない。構造物対策に関わる残存リスク、たとえば、各代替案の解析のための入力情報の不確実性や調節・防御構造物の一連の故障に起因するリスクを考慮しなければならない。したがって、本章では、ダム、遊水池と調節池、バイパス水路、堤防、河道整備などの洪水調節・防御がもたらす環境への影響について議論する。また、これらの案が、特に流況、土砂輸送、水質、および生物多様性に関して、どのように環境に影響を及ぼすかを考察する。さらに、負の影響を回避、軽減、または緩和するために実行可能な代替案についても議論する。表3に、構造物による洪水管理対策が様々な河川回廊のプロセスに及ぼす影響、および環境に配慮した洪水管理のための実行可能な緩和対策を示す。また、環境の観点から、非構造物対策の環境への影響に対する効果について想起することは重要である。そのため、非構造物対策による洪水管理、特にそれらがどのように環境の保護に貢献できるかについても議論する。

5.1 ダムと貯水池

資源としての河川の持続可能な管理においては、人間の利用にとって必要なときに水が供給されること、および確実に供給されることが要求される。同時に、水は河川生態系の存続のために利用されなければならない。ダムは、農業生産や水力発電、生活・工業用水、洪水ピークの軽減など様々な目的で水を貯留、調節、分流するために、渓谷や河川を横断して建設されることになる。多くのダムは多目的ダムとして機能している。河川沿いの広大な地域は、ダムの背後に造成される貯水池によって水没する。堰や閘門のように、河道内で水量を調節する施設では、河道内に常に浸水している区域を作ることになり、洪水に伴う正常な生態学的機能が損なわれることになる。

洪水調節ダムと貯水池

洪水調節ダムは、特にピーク洪水時に洪水流の全てまたは一部を貯水池に貯留し、その後、時間をかけて放流するものである。一般的に、この種のダムの主な用途は、下流における洪水ピークを遅延・軽減するために、洪水流の一部を貯留することである。この場合、貯水池内のスペースは、一般に、切迫した洪水を貯留するためのものである。水文学的な流出予測にも基づいて、貯水池は、異なる支川の洪水流が下流域で本流と合流し、ピークが同時となる可能性を最小化できるように調節される。流域から生じる中小規模の洪水は、貯水池によって完全に制御することができる。しかし、大規模洪水については部分的に軽減し、下流への洪水流の移動を遅らせることしかできない。そのため、軽減できる程度は、洪水の規模に対して利用可能な貯水能力によって決まる。したがって、貯水池の洪水調節の便益を評価する主要な性能パラメータは、大規模洪水時のピークをどの程度軽減できるかということになる⁶⁰。

ダムの多くは多目的ダムであり、洪水管理が必要となるのは1年のうち数日または数週間に過ぎない。洪水管理目標(貯水池に貯留できるスペースが必要)と水力発電や灌漑(できる限り満水を維持することが望ましい)との間の競合は、多目的ダム操

作を困難にしている。様々な用途のために水を配分すると同時に、環境流量⁶¹を維持する必要性についても対応しなければならない。環境流量は、総放流量を分配する割合だけでなく、本来の河川流況に近い状態を維持するために、変化に富む多様な水量を貯水地の下流へ放流する必要性にも考慮して、決定される必要がある(コラム3を参照)。

水質

貯水池に貯められる水は、水質を変化させる。大規模な貯水池では層を成す傾向があり、底部の水温はかなり低下する。このような貯水池の底部付近の流出口から放流される水は、下流の水温を大幅に低下させるため、在来魚がその変化に適応しなくなるおそれがある⁶²。これは、水生無脊椎動物に対して、より大きな影響を及ぼす可能性がある。比較的定常な流れでは、水温が均一となり、その繁殖または成熟を温度変化に依存している種に影響を与えることになる。灌漑取水のため、または発電が行なわれない期間では、河川に流入する水量が過度に減少するため、自然でない低水流量によって水温が容易に上昇し、溶存酸素量が減少するおそれがある。他方、冬期には、このような河川の水温は過度に低下し、凍結することもある。

貯水池では、嫌気性(メタン生成)プロセスおよび藻類の個体群は、水や土砂に過剰な栄養塩類(有機物、窒素およびリン)が含まれる場合に支配的となる傾向がある。このような貯水池では富栄養化(藻類の異常繁殖や水の脱酸素をもたらす)が生じる可能性がある。このプロセスは、静水における攪拌および酸素移動の欠如によって助長される。比較的温暖な気候では、富栄養化が進んだ貯水池は、有毒な水の華、ホテイアオイのような水生植物の異常繁殖、およびメタン生成に見舞われる可能性がある。

コラム3. 環境流量

「環境流量」はわかりやすい概念である。十分な水が河川に残されていることを意味する。これは、下流における環境的・社会的・経済的便益を確保するために管理される。

環境流量は、競合する水利用が存在し、流量が調節される場合、生態系とその便益を維持するために河川、湿地帯、または沿岸域にもたらされる流況である。これは、生態系を原生に近い状態に維持するために必要な水量と、環境的・社会的・経済的評価に基づいて最終的に生態系に配分できる水量として、区別することができ、後者が「環境流量」と呼ばれる。これは、生態系が原生状態よりも原生でない状態において維持される流量である。

水需要を明確にするためには、下記について取り組まなければならない。

- 水配分について情報に基づく社会的選択をおこなう。
- 河川流域計画策定の一環として環境流量評価を実施する。
- 積極的または制限的な流量管理を通じて環境流量を提供する。

新設または既設の社会基盤によって環境流量を決定・実現するための唯一の最適な方法、手法、または枠組みというものはないことを認識することが重要である。新しいダムは環境流量を実行する機会を提供する。これには、新たな政策および法的枠組み、奨励策や阻害策を通じた対策費用確保のための適切な手段が必要となる。

出典：Dyson, M., Bergkamp, G. and Scanlon, J., 2003. Flow - The Essentials of Environmental Flows, IUCN The World Conservation Union, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.



フラットヘッド川の Kerr ダム（米国）

土砂と有機物

ダムは、土砂や有機物の自然の流れを阻害する。浮遊砂は有機物を含んでおり、下流の食物網にとって不可欠な栄養塩類を供給しているが、貯水池内の流れが弱まると輸送土砂量は減少し、浮遊砂も停留されるため、下流の生態系に輸送されないことになる。有機質シルトのほとんどは貯水池内に保持されるため、下流の氾濫原、河口、および沿岸の生態系を肥沃にすることができない。洪水を防止または軽減することは、下流の氾濫原の生態系の構造や機能を変化させることになる。河川流が長期にわたって河道内のみを流下するならば、河道と河岸の湿地帯との横断方向の連続性は失われる。

下流域の食物連鎖にとって必要な資源の入手可能性は、様々な形で影響を受けている。貯水池は、放流によってプランクトンや藻類を運ぶ。その一方で、流木や葉のような有機物は貯水池に滞留されるために下流域で不足する。たいていの場合、下流域の水の濁度は、貯水池よりも下流で低下するため、下流域の一次生産量は増加する可能性がある。貯水池の放流による栄養塩類の負荷に起因して、ダム直下流の河道では藻類が繁殖する可能性がある。ダム下流の洪水規模が低減すると、河川の砂州や島に新たに多様な植物が侵入し、洪水時の河川の流下能力を低下させることになる。

ダムから放流される土砂が激減した河川流は、放流を受ける河道の細粒土砂を侵食するおそれがある。これによって下流の河床と河岸に洗掘が生じ、河床の洗掘は、掃流土砂の収支が再び平衡状態になるまで続く可能性がある。また、河床が粗粒化することにより、多くの水生種が生息またはその間隙を利用する生息域の利用可能性が低減されるおそれがある。新たな土砂供給源がなければ、河川沿いおよび河道内の砂礫堆は、それらが維持している生息域および種と共に、最終的に消失することになる。さらに、河床が低下すると、河岸区域の地下水位も低下し、河川回廊の植物群集の構成にも影響を及ぼすことになる。

縦断方向の連続性

河川の生息種には、様々な移動パターンがある。サケなどの遡河魚は、産卵のために川を遡上し、稚魚は川を下って海に移動する。一方、ウナギなどの降河魚は、産卵のために下流に移動し、稚魚は上流に移動する。ダムは、魚類、無脊椎動物、および特定の陸生動物の移動を妨げることによって、河川回廊の縦断方向の連続性を遮断する可能性がある。在来魚の個体群が特に影響を被り、自然の流況に依存して河川に生息している種が、ダムの下流域で姿を消すことになる。

貯水池操作

自然の洪水の時期や頻度、規模の変化は、陸上および水中の生息域に負の影響を及ぼす可能性がある。物理的な生息域や生物多様性に対するこれらの影響は、十分に理解されていない。したがって、ダムの設計や貯水池操作は、河川における多様な自然プロセスを維持する上で特別な役割を果たしている。生態学上の理由から、フラッシュ放流の放流時期は、生物相を流況に適合させるため、理想的には生物学的な必要条件および既往の高水期の両方あるいはいずれか一方と一致させるべきであ

る。管理放流は、これらの自然プロセス、下流の氾濫原の湿地生態系、およびそれに依存している生活の維持に役立つことができる。河川回廊の生態系を維持するための貯水池の水利用は、流域および氾濫原における生産性や生物多様性を支配する、生態学的関係によって決定される。これらの関係を理解し、モデル化することは、間違いなく、貯水池操作のもっとも大きな課題の一つである。コラム 4 に、管理放流プロジェクトの計画、設計、および実施における様々な段階について示す。

コラム 4. 管理放流に関するガイドライン

下記の 10 段階は、プロジェクト・サイクルの計画作成・設計・実施段階の戦略的取組みにおいて策定されたものである。これらの段階が実施される順番は、特定のダム、貯水池、または下流の氾濫原や三角州の状況に応じて異なることがある。

計画作成

第 1 段階: 放流の全体的な目標を明確にする。

第 2 段階: 全体的な実行可能性を評価する。

設計

第 3 段階: 十分な利害関係者の参加と専門的知識を確保する。

第 4 段階: 洪水と生態系の関係を明確にする。

第 5 段階: 管理放流の代替案を明確にする。

第 6 段階: 代替案の影響を評価する。

第 7 段階: 最善の代替案を選定する。

実施

第 8 段階: 工学施設を設計し、建設する。

第 9 段階: 放流を実施する。

第 10 段階: 放流計画のモニタリング、評価、および見直しをおこなう。

出典: Pamphlet on Managed Flood Releases; Reservoir operation to restore and maintain downstream wetland ecosystems and their dependent livelihoods, Department for International Development, Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, UK.

貯水池操作、放流時間の設定、および人工洪水のハイドログラフに関する決定は、プロジェクト設計の一部とし、上述の生態学的な必要条件に基づかなければならない。さらには、1) 複数の、あるいは選択取水施設を利用することで、放流される流量の自然で季節的な温度体系を維持または回復することや 2) ダム下流の河床低下を加速化する貯水池内の土砂堆砂を回避すること、3) 魚類が堰やダムを越えて双(上下流)方向に回遊させるようにすることが重要である。

5.2 堤防

堤防は、土を主要材料として建設され、河川に沿った特定の区域内に流れを閉じ込めるため、または海の波や潮汐に起因する洪水を防御するために利用される。堤防は、洪水時の静水圧や侵食、パイピング破壊、浸透に対して耐えられる構造でなければならない。さらに、水制やスタッド、護岸などの河川の保護工は、堤防の目的を達成するために、堤防と合わせて施工される。堤防は昔から、頻発する洪水から氾濫原の住民を守るうえで不可欠な役割を果たしてきたが、現在でも最も選択される洪水管理オプションである。

横断方向の連続性

堤防によって流れを押し込め、氾濫原の季節的な浸水を妨げることにより、浸水する氾濫原の面積は限定される。これは、河川回廊沿いの横断方向の水文学的な連続性を遮断し、河道と氾濫原の生態系に多くの影響を与えている。さらに、河道に極度に近接した堤防では、氾濫原の自然の不均質性を低下させ、また、支流や湿地帯が新たに形成されるプロセスを妨げている。このような生息域の不均質性が低下することで、洪水時に河道と定期的に繋がっていた多くの背水が季節的な流れを受け取れないため、魚類個体群に劇的な影響を及ぼす可能性がある。これらの背水は、魚類にとって不可欠な繁殖地であり餌場でもある(図6を参照)。

氾濫原への浸水が少ない場合、浸透損失や地下水涵養が低減し、その結果、地下水資源およびそれに関連する生態学的・経済的便益に深刻な影響を与えることになる。これは、河川の流れと地下水の相互作用に影響を与え、河川生息域を劣化させる。氾濫原に広がる洪水流は、シルトの堆積や氾濫原と河道との間で栄養塩類や炭素の交換を促進することにより土壌を肥沃化させ、新しい生息域を創出し、河川に生息する種が利用できる氾濫原の隠れ場や産卵場を回復させることができる。堤防は、土砂や栄養塩類の堆積や交換をなくすため、氾濫原の肥沃度を低下させることになる。



黄河の堤防（中国）

堤防は、完全に洪水を防御することは保証できないため、中程度レベルの防御を提供するように設計される。防御レベルは一般に、経済的要素に基づいて決定される。例えば、農地では 10 年確率の洪水に対して保護し、それよりも規模の大きい洪水時には浸水を許容することが望ましいかもしれない。それによって、洪水の自然の便益（たとえば、栄養塩と有機物に富んだ土砂の供給）を受けられることができるからである。都市部や工業地域を保護するために設計される堤防では、バイパス水路／分水路や遊水池／調節池の両方や一方と組み合わせる等の必要がある。これらの設計を行なう際には、堤防整備の環境への影響を十分に考慮しなければならない。

堤防の空間の確保

新設堤防の線形を設計する際には、予測される環境への負の影響を考慮しなければならない。特に、堤防内に池や湿地帯、三日月湖などの氾濫原の水域を含めることによって、堤防をできる限り河道から離れた位置に設置するように取り組まなければならない。

一般的に堤防は、緩勾配の河岸と平坦な氾濫原を持つ自然の複合的な河道ではなく、急勾配で台形の単一の河道断面を有している。堤防は、浸水する可能性のある面積を減少させ、粗度の小さい河道で流量の大部分を流下させることによって、洪水流の移動時間を減少させ、下流における洪水ピークを増大させる。有堤部の水深と川幅の比が大きいため、高水時には河道は本質的に不安定となることから、常に維持管理を行う必要が生じる。

人間の開発のために集約的利用がなされていない氾濫原の一部では、堤防を撤去または後退させることによって、水位と流速を低下させ、河道内により多くの洪水流を流下させることを可能し、下流の洪水ピークを軽減することができる。氾濫原が、経済活動のために広範囲に利用されているような状況では、これは実行可能なオプションとはなりえない。そのような場合、河川と氾濫原の相互作用を部分的に回復させるた

めの代替案は、堤防を河道からさらに離れた位置に敷設することで、氾濫原の湿地帯や背水との横断方向の連続性や河川が蛇行できる能力を回復させることである。これも、流速や洪水時の水位を低下させ、洪水の一時的な貯留を含めて氾濫原の自然の機能を部分的に回復させることができる。河川回廊はきわめて複雑なシステムであり、作り上げることはできない。したがって、土地利用計画と合わせて堤防撤去を行うためには、包括的で統合的なアプローチが必要となる。いかなる状況においても、洪水の規模や頻度、特性、地域の地理的環境ならびに社会経済的背景を考慮しなければならない。

5.3 遊水池と溜池

遊水池や溜池は、自然の窪地または掘削区域で、洪水流を一時的に貯留し、下流のピーク流量を低減するために利用されている。遊水池と溜池は類似しているが、後者には制御できる吐出部が存在していない。遊水池は、水を一時的に貯留し、その後、自然または人工の排水路を通じてゆっくりと放流するが、溜池に貯留される水は、ゆっくりと地面に浸透するか、あるいは蒸発することになる。遊水池と溜池の種類と大きさは、地形に応じて異なる。これらは洪水波の適切な段階での操作により、下流の洪水ピークを軽減することができる。自然の窪地は、しばしば農業目的でも利用される。

一時的に貯留された洪水流は、池の大きさ、吐出部の排水容量、および次の洪水波のためのスペースを維持する必要性によって、数日のうちに自然の排水路や河川に戻される。しかし、溜池の場合、貯留された水は浸透または蒸発によってしか放流できないため、洪水流は何日も、または数か月にわたって維持されることもある。これらが河川の自然の流況に及ぼす影響は、流入量の特性と操作方針によって決まる。洪水流量が数日しか貯留されない場合、水質には大きな変化は見られない。しかし、長期にわたって貯留される場合、水温の上昇、溶存酸素量(DO)の減少、富栄養化など、池の場合と同様の水質の変化が生じる可能性がある。

これらの地形は、人工の湿地帯または永久的な池として機能するように整備し、水生生物や半水生生物の生息域を創出することも可能となる。氾濫原やその近傍、特に大都市周辺の砂利採取場を湿地帯および池として利用することは、環境上適切な洪水管理にとって選択できる有用なオプションである。これは、野生生物の生息域を提供するとともに、レクリエーション目的にも役立つ。これらの目標を考慮して設計・管理すれば、洪水リスクや生物多様性に対する地域住民の意識向上のためにも重要な役割を果たすことができる。

アジアのモンスーン地域の多くの国では、洪水流を貯留するために、適切に設計された水田を利用することができる。これにより、水田の基本的な生産機能に加えて、外部便益をもたらすことができる。特に、これらの多面的機能には、洪水軽減や他の形の自然の土地保全、水源の回復が含まれる⁶³。

5.4 バイパス水路と分水路

バイパス水路は、保護する必要がある地域の上流のある地点から河川流量を迂回させるものである。迂回されたこれらの流量は、同一の河川に戻す(バイパス水路)か、あるいは近傍の他の自然排水路に流す(分水路)ことができる(図9を参照)。バイパス水路または分水路の流量は、ゲートによって調節される。バイパス水路の機能は、主に位置、長さ、流下能力、および流入口の特性によって決まる。

バイパス水路により、迂回される地域の洪水の規模は小さくなるが、バイパス水路を通じて洪水の流速が加速するため、より下流地点において流量が増加する可能性がある。分水路により迂回した流量が、その流れを受け入れる排水路の流下能力を上回る場合、受け入れ側の排水路下流域で洪水発生の可能性を高めるおそれがある。バイパスシステムとともに遊水池または調節池を整備すれば、このような事態を回避することが可能である。

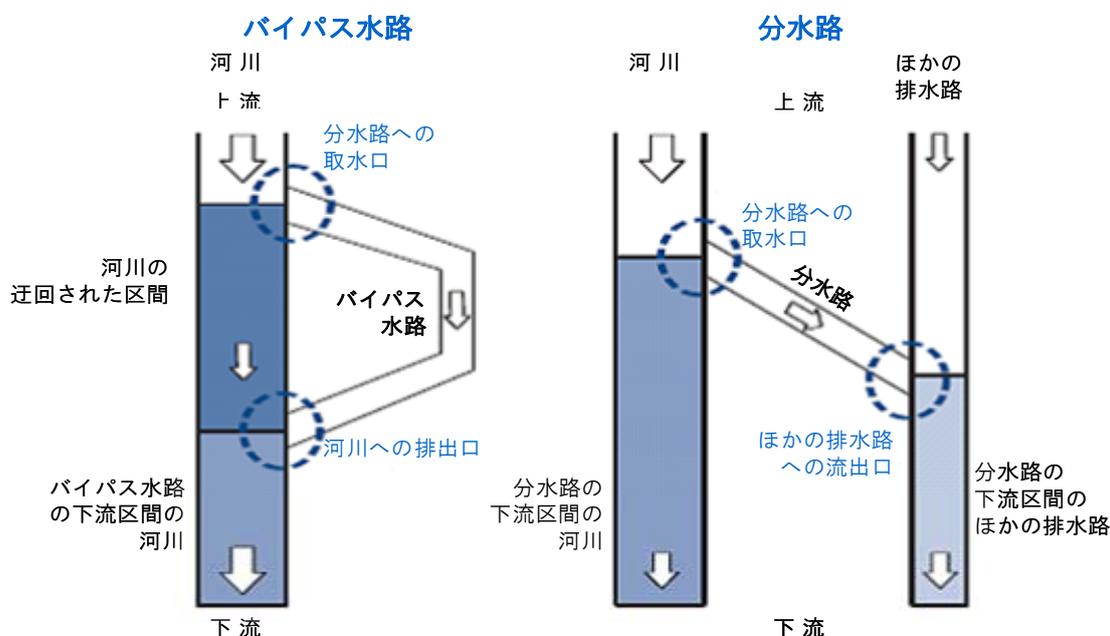


図9. バイパス水路と分水路

バイパス水路および分水路が土砂収支に及ぼす影響は、流れの迂回によって掃流砂が元の河川からバイパス水路に移動するか否かによって決まる。バイパス水路が、河川からの掃流土砂を運ぶことなく洪水流のみを取り入れた場合、河川の迂回された区間の土砂量が増大し、河床上昇をもたらす。これは、その後の河岸植生の侵入と相俟って、迂回された区間の河川の流下能力を低下させる可能性がある。これは、河川から一定の掃流砂を取り入れるようにバイパス水路を適切に設計することによって回避することができる。これによって、迂回された区間では、新たな流況と土砂体系の下で新たな動的平衡状態を創出でき、その生態学的健全性を維持することができる。分水路でも、分水路の流れを受け入れる排水路で新たな動的平衡状態を創出することで、バイパス水路と同様の効果が得られることになる。

しかし、バイパス水路がすべての流況で流れを迂回させ、低水時の流量に影響を与えた場合、迂回された河川区間の生息域や植生に影響を与える可能性がある。河川本流の流量が減少すると、河岸植生が河道内に侵入し、その物理的特性を変化させるおそれがある。このような流況の変化は、外来種をもたらすことも多く、在来種の存続にとって大きな圧力となる。バイパス水路は、河川または迂回された洪水流の水質には特に大きな影響を与えない。

5.5 河道整備

河道整備に関するプロジェクトは、舟運のために水深を確保し、洪水時の流下能力を、摩擦の低減、流量を1本の河道に限定することによって増大させ、洪水を軽減するために実施される。これには、河道の直線化や拡幅、掘削、法線の再設定、護岸（覆工）等がある。河床に滞留した流木は、局所的な背水を創出し、堆積、砂州の形成、およびそれに続く植生の生育をもたらす。このような流木の除去は、流量と堆積のパターンに大きな変化をもたらしており、河道整備工法の一つとして採用されている。

河道整備は、河道を直線に一様化させ、河道を支流から分離させることによって、河道の形状および氾濫原の環境を単調化する。河道整備される河川は、直線化に伴い勾配が大きくなるだけでなく、粗度が低減し流速が増加されるため、洗掘量が増大する。河道整備の全体的な効果は、特定の地域の洪水を軽減するが、それよりも下流に位置する区間に洪水の影響を深刻にさせることである。

河道整備は環境に負の影響をもたらす。洪水時の流下能力を確保させる河道整備がもたらす便益は、多くの場合、流速の増加や生息域の多様性の低減によって生じる生態学的損失によって相殺される。また、河道整備は、特定の水生生物の生活サイクルにおける様々な時期に必要とされる砂州や瀬と淵を消失させる。河道内の改修では、横断形状の単調化や護岸工によって、堆積土砂の中や表面に生息する生物の生息域が減少する。捨石やコンクリートの利用によって河岸を硬化させることは、高水時に洗掘を増大させる可能性がある。このような負の影響を部分的に軽減するためには、ソフトな護岸工法や土壌生物工法、ポーラス性護岸、植生護岸などを利用することが重要である。コンクリートを使用しない護岸（籠、沈床、ジオテキスタイルの利用など）は、河川生態系の機能を部分的に保全することができる。



いたち川の回復した河道（日本）

5.6 非構造物対策

構造物対策では、洪水リスクを完全に除去することはできない。それにもかかわらず、その物理的存在感から、安全に対する誤った認識をもたらし、保護される地域の不適切な土地利用につながる可能性もある。非構造物対策は、残存リスクがもたらず壊滅的な影響だけでなく、環境影響を低減する上でも重要な役割を果たしている。非構造物対策の包括的な検討は本書の範囲外であるため、本節では、環境への負の影響の低減に関わる非構造物対策、およびそれらがどのように環境の保護に役立つかについて議論する。

洪水予警報

すべての非構造物対策のうち、洪水予警報は、20 世紀後半以降、最も広く受け入れられ、利用されてきた。これは、ほぼすべての他の構造物や非構造物対策を補完することができる。洪水予測には、損害または人命の損失を引き起こす可能性のある洪水が発生する時期や規模（通常、特定地点の最高水位）、継続時間の評価が含まれている。洪水予測は、関係機関が予防および緊急対策を講じることができるように、一定のリードタイムを持って策定、発令される。洪水管理者は、ダム操作、様々な洪水管理施設のゲートの開閉、貯水能力を高めるための事前放流等によって適切に対応することができる。洪水予警報システムの有効性は、予測の精度、適時性、対応行動や準備といった予測の到達状況によって決まる。貯水池、遊水池、バイパス水路などの流入量の予測は、洪水ピークの軽減において重要な役割を果たしている。様々な洪水シナリオに対応する貯水池操作指針を作成し、予測に基づいて管理放流をおこなうことが重要である。

土地利用規制

流域管理は、水文学的プロセスに影響を及ぼす活動によって構成され、土壌保全型の適切な植生や作物の導入、可能な土地利用規制、植林、適切な森林管理、焼畑農業の規制等が含まれる。これらは、治山ダムやトレンチ、等高線に沿った土留等の

小規模構造物と合わせて実施される。しかしながら、流域管理対策の効果は小規模な洪水に限定され、大規模な流域に対する効果は少ない。流域管理がもたらす最も重要な貢献は、自然河川の河床上昇の原因となるシルトの負荷を低減することである。

土地利用規制は、流域管理および洪水に起因するリスクの軽減において重要な役割を果たしている。土地利用の変更は、特に都市化の結果、小規模な流域における洪水の規模や時期に大きな影響を与える。これは、浸透の低減によって洪水ピークを増大させ、洪水波到達時間を縮小し、洪水継続時間を短縮する。法令整備に基づく土地利用規制は、流域の水文学的なレスポンスの特性を維持する形で、都市化による負の影響の防止や開発の制限を促進することができる。

氾濫原は、河川回廊の不可欠な部分として、さまざまな経済活動の可能性を提供する。洪水による負の影響は、洪水リスクの高い地域における新規開発を規制、場合によっては禁止することにより軽減することができる⁶⁴。これらは、土地利用規則や区画規制、建築基準、開発政策、税金調整による費用分担などの形をとることができる。有害化学物質の生産や貯蔵をおこなう産業、下水処理施設などの立地は、有害物質が洪水によって拡散する可能性があるため、規制の対象としなければならない。浸水想定区域図は、土地利用規制にとって不可欠な前提条件を形成する。

環境に配慮し、かつ統制のとれた方法による氾濫原の管理は、特に統制を強化しなければならない場合、法的枠組みを必要とする。人口密度が高く、ほとんどの住民が土地を持っていないような氾濫原では、同様の解決策は必ず反対されることになる。このような状況では、政府は住民による不法占拠の防止に苦慮することもある。この場合、生態学的・経済的な必要性の両方に対応する事前予防的な法体制が有用である。もう一つの非構造物対策である洪水保険は、かなりの程度で、氾濫原の地域区分計画により補完される。

耐水化

現在の開発がかなりの範囲に及ぶ場合には、耐水化のような代替戦略を検討することができる。耐水化は、長期的な非構造物対策、小規模な構造物対策、および緊急対策の組合せであり、洪水被害の低減だけでなく、汚染物拡散のような環境への負の影響の防止においても重要な役割を果たす。耐水化には、洪水期が始まる前に実施される、主要排水路および二次排水路や、詰まった横断排水施設の清掃のような応急的な排水施設の準備が含まれる。耐水化対策には、とりわけ、高台や小規模な堤防を築くことによって、財貨、設備、ならびに有害な工業化学薬品、農薬、および家庭用化学薬品を、洪水区域の外部すなわち洪水流と接触しない場所に移動させる対策がある。既存の飲料水供給施設は汚染される可能性がある。また、氾濫原に位置する下水処理場は、公害および病気や汚染の拡散の原因となり、住民の健康に影響を及ぼす可能性がある。このような社会基盤施設を保護するための対策を講じなければならない。

緊急時の準備、対応、および復旧

洪水被害の軽減におけるもっとも重要な要素は、緊急時の準備および対応である。

洪水リスクがあるコミュニティは、コミュニティが果たすべき役割を理解した上で、緊急時に適切な対応がとれるように、リスクに関する意識の向上と維持に努めなければならない。これは、被災地からの計画的な避難を実施し、洪水氾濫区域の保健衛生状態を維持するためにもきわめて重要である。避難経路や特定の緊急避難所、その他の行動に関する情報は、すべての関係者が事前に入手できるようにしなければならない。洪水被害を受けやすい住民には、洪水シーズンには有害化学物質を貯蔵しないように説得し、洪水流の汚染の可能性について説明し、負の影響を回避する方法を助言しなければならない。影響を受けやすい地域から洪水を迂回させるなど、洪水時に被害を防止するために実施される活動は、一般に水防活動として知られている。これらの緊急対策は、洪水調節・防御構造物およびその他の対策が洪水の影響を回避できない、あるいは十分に回避できない場合、社会や環境への洪水の影響を軽減するために有効となる。

洪水後の清掃作業は緊急に実施されるため、ごみや残骸の投棄については軽視される可能性がある。事前に計画されていない場合、ごみは最終的に排水路、池、湿地帯、または河川に到達し、自然の生態系に影響を及ぼす可能性がある。飲料水の供給施設や管井、下水道、保健施設の復旧を優先しなければならない。洪水時の化学物質の拡散が陸上生態系に壊滅的な影響をもたらす可能性もあるため、できるだけ早期の清掃が必要である。これらの清掃作業は、長期にわたる負の影響を回避するために、復旧後の段階において特別の注意を払う必要がある。

洪水との共生

アジアの多くの地域での古くからの慣習である「洪水との共生」とは、洪水を完全になくすことは不可能であるが、洪水リスクを理解し、そのようなリスクをもたらすプロセスを全体的なアプローチで変えていくための取組みを通じ、また、洪水にさらされる地域への定住を最小限に抑えることによって、洪水がもたらす負の影響を軽減することができるという認識に基づくものである。この戦略は、土地利用計画、洪水予警報、緊急計画のような非構造物対策とともに、環境への負の影響を低水準に抑えるために有用である。「洪水との共生」という概念は、洪水との戦いよりもむしろ、生態系保全の最も有効な方法である。

5.7 まとめ

構造物対策による洪水管理が環境に及ぼす負の影響を軽減し、河川生態系の健全性を維持するために、下記の問題に取り組む必要がある。

- 洪水管理対策の多くは、水文、地形、および環境に間接的な影響を及ぼし、社会経済発展に重大な影響をもたらす可能性がある。
- 土地利用規制、洪水予警報、災害防止・準備・対応メカニズムのような非構造物対策は、環境への影響が限定的であり、実行可能な単独または補足的な対策として積極的に検討されるべきである。
- ダムは、主に水力発電、灌漑、飲料水の供給のような様々な経済活動の水需要

を満たすために整備されている。通常、ダム洪水管理機能は、一般に二次的なものである。

- 様々な用途のための水配分とともに、「環境流量」を維持する必要性についても取り組まなければならない。既設または計画中のダムの設計や運用は、環境への影響を最小限に抑えるように適切に調整しなければならない。
- 河川回廊の生態学的な健全性は、水質または総流量の割合だけでなく、年間を通じて流量が変化することとその変化の時期によって決まる。
- 管理放流をとまなう貯水池操作は、原生に近い状態の生態系を維持するのに役立つ。同様に、環境に配慮したバイパス水路や遊水池／調節池の操作も、河川生態系の生態学的な健全性を維持するのに役立つ。
- 堤防を設計する際には、堤防間の空間を適切に広げ、経済的影響および環境への影響を正確に評価し、その均衡を図ることによって、横断方向の連続性の分断がもたらす影響を最小限に抑えなければならない。実行可能であれば、包括的な調査に基づいて、堤防の撤去や堤防設置箇所のセットバックが実施されるべきである。
- 洪水軽減の代替案としては、河道整備はできる限り回避されなければならない。しかし、採用する場合には、洪水管理目標を達成すると同時に、環境への影響を軽減できるように、土壌生物学やソフト護岸工法の利用を検討しなければならない。

表 3. 構造物対策が様々な河川回廊のプロセスに及ぼす影響と可能な軽減対策

		環境影響	可能な軽減対策
ダムと貯水池	流況	<ul style="list-style-type: none"> ● 流量の季節変動を低減する。すなわち、低水量が増加し、高水量が減少する。 ● 1時間および1日の時間スケールで流量変動が増加する。 ● 洪水の頻度と時期が変化する(影響は、貯水容量およびダムの設計と運用によって左右される)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 貯水池操作による管理放流によって、流量の季節変動を引き起こす。 ● ダムの下流区間に放流される水の自然で季節的な温度状況および水質を維持するために、複数及び選択式の両方あるいはいずれか一方の取水施設を利用する。 ● 魚類がせきやダムを越えて双方向に回遊することを可能にする。 ● 適切な土砂バイパス設備を利用する。 ● 大規模な流木を迂回させる。
	土砂／河道の構造	<ul style="list-style-type: none"> ● ウォッシュロードを除くすべての土砂が貯水池内で捕捉される。 ● 下流の土砂の減少によって、ダムの直下流区間で河床低下と河岸浸食が加速化する可能性がある。 ● ダム下流の河床材料の構成および河道のパターンが変化する可能性がある(たとえば、網状河川から単一の河川)。 ● 河岸植生の侵入によって河道の流下能力が低減する。 ● 海岸侵食をもたらすおそれがある。 	
	水質	<ul style="list-style-type: none"> ● 貯水池の底部から常に低温の水が放流されるため、下流の河川水の温度変動が低減する。 ● 貯水池が栄養塩類を取り入れて捕捉するため、富栄養化が加速化するおそれがある。 ● 急激に落下する洪水吐からの放流は、水中の窒素ガスの溶解に起因する魚類の気泡病をもたらす可能性がある。 ● 水の濁度が低減し、一次生産量が増加する可能性がある。 ● 貯水池がプランクトンを下流に運び、食料資源の入手可能性を変化させる(水質への最大の影響は、貯水池の滞留時間によって左右される)。 	
	生息域／生物多様性／天然資源	<ul style="list-style-type: none"> ● 貯水池において河川の生息種が湖沼の生息種に置き換えられる。 ● 自然の流況に依存する河川の在来種がダムの下流で消滅する。 ● 温度状況の変化によって、無脊椎動物など多くの種が影響を被る。 ● 発電用ダムの場合、短期的な流量変動(排水)によって生物が打ち上げられる。 ● シルトや有機物の多くが貯水池に保持されるため、氾濫原が肥沃化されない。これは、河川、河口、および沿岸の生態系にも影響を与える。 ● 洪水が軽減または除去されるため、氾濫原の構造と機能が変化する。このことによって一部の河岸の樹木や動物が移動する。 	

表 3. 構造物対策が様々な河川回廊のプロセスに及ぼす影響と可能な軽減対策(その2)

		環境影響	可能な軽減対策
ダムと貯水池	生息域／ 生物多様性 ／天然資源 (つづき)	<ul style="list-style-type: none"> ● ダムは河川の縦断方向の連続性を遮断し、河道沿いの魚類や無脊椎動物の移動、および河川回廊沿いの一部の陸生動物の移動を妨げる。 ● ダムの運用によって(低水・高水双方の)異常流量及び極端な環境条件(たとえば、高濁度)の両方あるいはいずれか一方が低減するため、外来種が地域に適合した在来種を駆逐する可能性がある。 	
遊水池／溜池	流況	<ul style="list-style-type: none"> ● 池の設計目的が、もっぱら下流の洪水ピークを軽減するために洪水流を貯留することであるなら、自然の流況への影響は少ない。 ● ピーク洪水流量を一時的に軽減する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 軽減対策が洪水管理目標を満足させる場合、人工の湿地帯または永久的な池は、多くの水生・陸生種の新たな生息域の創出を促進することができる。 ● 遊水池は、本流の流況と土砂の状況に影響を与えないように設計しなければならない。
	土砂／ 河道の構造		
	水質	<ul style="list-style-type: none"> ● 水が低水期に貯留されるか、または永久に湿潤する池に貯留される場合、温度の上昇、溶存酸素量の減少、富栄養化などが生じる。 ● 池がもっぱら洪水時に利用される場合、河川の水質への影響は少ない。 	
	生息域／ 生物多様性 ／天然資源	<ul style="list-style-type: none"> ● 池は、人工湿地帯として機能することによって、多くの水生種(植物、魚類、無脊椎動物など)の生息域の創出を促進することができる。 ● 池がもっぱら洪水時に利用される場合、河川の生物多様性への影響は少ない。 	
バイパス水路／ 分水路	流況	<ul style="list-style-type: none"> ● バイパス水路がもっぱら洪水時に迂回のために利用される場合、影響は少ない。 ● 水が迂回されて流量がバイパス水路に常に流入する場合、迂回された区間の流量、水位、および流速が低減する。 ● 水がバイパス水路を急激に通過し、到達時間を加速化するため、下流の洪水を増加させる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 流況および土砂の状況の変化の基で新たな動的平衡を得るために、設計または操作によって流量を管理する。 ● 流量の変化が下流の洪水を大幅に増大させる場合、バイパス水路は、その下流に位置する遊水地とともに計画することができる。
	土砂／河道 の構造	<ul style="list-style-type: none"> ● バイパス水路が洪水流のみを取り入れて、一定の掃流土砂を運ばない場合、迂回された区間に河床上昇が生じる可能性がある。 	
	水質	<ul style="list-style-type: none"> ● 元の河道の水質への影響は少ない。 	
	生息域／ 生物多様性 ／天然資源	<ul style="list-style-type: none"> ● 本流の生物多様性への影響は少ない。 	

表 3. 構造物対策が様々な河川回廊のプロセスに及ぼす影響と可能な軽減対策(その3)

		環境影響	可能な軽減対策
堤防	流況	<ul style="list-style-type: none"> ● 越流時に水位と流速が上昇する。 ● 下流の洪水ピークが増大する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 堤防は、ダムや遊水池などのほかの構造物対策および非構造物対策とともに計画しなければならない。 ● 河川の横断方向の地形的移動を妨げないよう堤防を配置しなければならない。 ● 堤防の設計においては、経済・環境基準に基づいて均衡の取れた保護基準を設けることによって、横断方向の連続性の遮断を最小化しなければならない。 ● 土地利用条件に基づいて、堤防を河道からさらに後退させる。 ● 氾濫原に人間の開発が及んでいない場合、河川と氾濫原を分離している堤防の撤去は、土地利用計画と組み合わせて実施する。
	土砂／河道の構造	<ul style="list-style-type: none"> ● 河川と氾濫原の連続性が消失する。 ● 瀬と淵の形態およびそのほかの河道形状の不均質性が消失する。 ● 侵食の可能性が増大する(局所的な洗掘および全体的な河床低下)。 ● 有堤部で侵食された土砂が下流で堆積する可能性がある。 	
	水質	<ul style="list-style-type: none"> ● 氾濫原との間で栄養塩類と炭素の交換が行われなくなる。 	
	生息域／生物多様性／天然資源	<ul style="list-style-type: none"> ● 河川の生息種の氾濫原の隠れ場や産卵場が消失する。 ● 氾濫原の森林(木材、果実、薬剤)が消失する。 ● 頻繁に氾濫を必要とする全ての氾濫原の構造、プロセス、および種が影響を受ける。 ● 氾濫原にシルトが堆積しなくなる。 ● 氾濫原に生息域が創出されなくなる。 	
河道整備	流況	<ul style="list-style-type: none"> ● 河道勾配の増大、流速の加速化、水位低下、滞留時間の減少をもたらす、下流の洪水を増大させる(到達時間の短縮とピーク減衰の低下)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 自然の透水性材料、たとえば、コンクリート護岸の代わりにソフトな護岸工法を採用する。 ● できる限り粗い流木を維持または再導入する。
	土砂／河道の構造	<ul style="list-style-type: none"> ● 河岸および河床の侵食(洗掘と河床低下)をもたらす。 ● 下流に堆砂の問題を生じさせる。 ● 河道形状の不均質性が完全に消失する。 	
	水質	<ul style="list-style-type: none"> ● 河道の栄養塩類と汚染物質の同化容量を低減させる。 ● 小規模な(幅の狭い)河川では温度が上昇する。 ● 細粒土砂量が増加する。 	
	生息域／生物多様性／天然資源	<ul style="list-style-type: none"> ● 河川生息域の多様性、背水、および隠れ場の消失、河川の在来種の消失をもたらす。 ● 河道内および河岸植生の消失をもたらす。 ● 有機物の投入の消失をもたらす。 ● 氾濫原の水位を低下させ、河岸植生および氾濫原の湿地帯に影響を与える。 	

6. 意思決定プロセスにおける環境配慮

統合洪水管理(IFM)の目的は、持続可能な方法で、氾濫原のもたらす便益を最大化しつつ、洪水リスクを低減し、洪水による人命の損失を最小化することである。洪水防御から洪水管理への根本的な思考方法の変更の必要性は、IFM の概念の背景にあり、いわば触媒である。これは、河川流域における土地資源管理と水資源管理を統合する。統合洪水管理では、洪水管理目標に関して妥協することなく環境への負の影響を i)回避、ii)低減、iii)緩和するという三つのアプローチを採用する。自然の生産性、生態系の健全性、および生態系が提供するサービスを制約するような、洪水管理対策による負の影響を最小化し、洪水軽減プロセスを合理的に現実的な水準に定めることが望ましい。本章では、政策策定、流域計画策定、プロジェクトの設計・実施・運用など、様々な段階の意思決定プロセスに環境配慮を組み込むための枠組みを示す。

6.1 意思決定プロセス

洪水軽減がもたらす便益は基本的に公益であるため、洪水管理は公共政策の枠組みを通じて実施しなければならない。洪水管理案の多角的性質は、公共政策から流域計画策定を経てプロジェクトの実施に至るまで、意思決定プロセスの包括的な参加型アプローチを必要とする。洪水管理の意思決定プロセスには様々な制約があり、それらは大まかに、物理的、財政的、社会的、政治的、法的、および環境的制約に分類することができる。物理的・財政的問題は、多くの場合、社会・環境問題に殆どあるいは全く注意を払うことなく、経済分析を通じて取り組まれてきた。これらの問題は、あらゆる政策立案において、リスクの認識または開発と環境保全の間での折り合いのつけ方(トレードオフ)において、社会的価値と関係している。主観的要因の役割を最小化するためには、意思決定プロセスにおいて環境に配慮した枠組みを確立する必要がある(図 10)。

洪水管理とは直接関係のない公共政策の多く(たとえば土地政策)も、洪水リスクに影響を及ぼすため、洪水管理政策の策定プロセスへの重要な情報となる。これらの関連する公共政策は、戦略的かつ協力的な計画立案の枠組みを通じて、統合洪水管理政策の策定において考慮されなければならない。このような枠組みには、政府機関内外の利害関係者の参加が不可欠である。

流域特性は、人間活動や土地政策の影響によって常に変化する。これは、洪水の規模を変化させる可能性がある。上流域における都市化は、下流の流出量を増加させ、特に小規模な流域では洪水リスクが増大する。洪水リスクやそれに対する社会的認識に加えて、これらの要因によって特定の流域における洪水管理目標が決定される。統合水資源管理計画は、流域の洪水管理計画を策定するための基本的枠組みを提供する。貧困削減および持続可能な開発の両方あるいはいずれか一方の開発目標を達成するために、社会がどれほどのリスクを負う準備ができていないかによって、様々な代替案が導かれる。所与の状況における洪水の正負の影響に基づいて⁶⁵、氾濫原における生活またはその利用に伴うリスクを解析することが重要である。洪水管理機関の主導によって、すべての関係機関がこのプロセスに参加し、洪水管理機関／部局の枠を超えて洪水管理を検討すべきである⁶⁶。戦略段階(洪水管理政策や

計画段階)における環境影響評価は、モニタリングとともに計画立案の枠組みに組み込む必要がある。所定の流域の洪水管理目標の達成度合いによる流域計画の有効性のフィードバックが重要である。

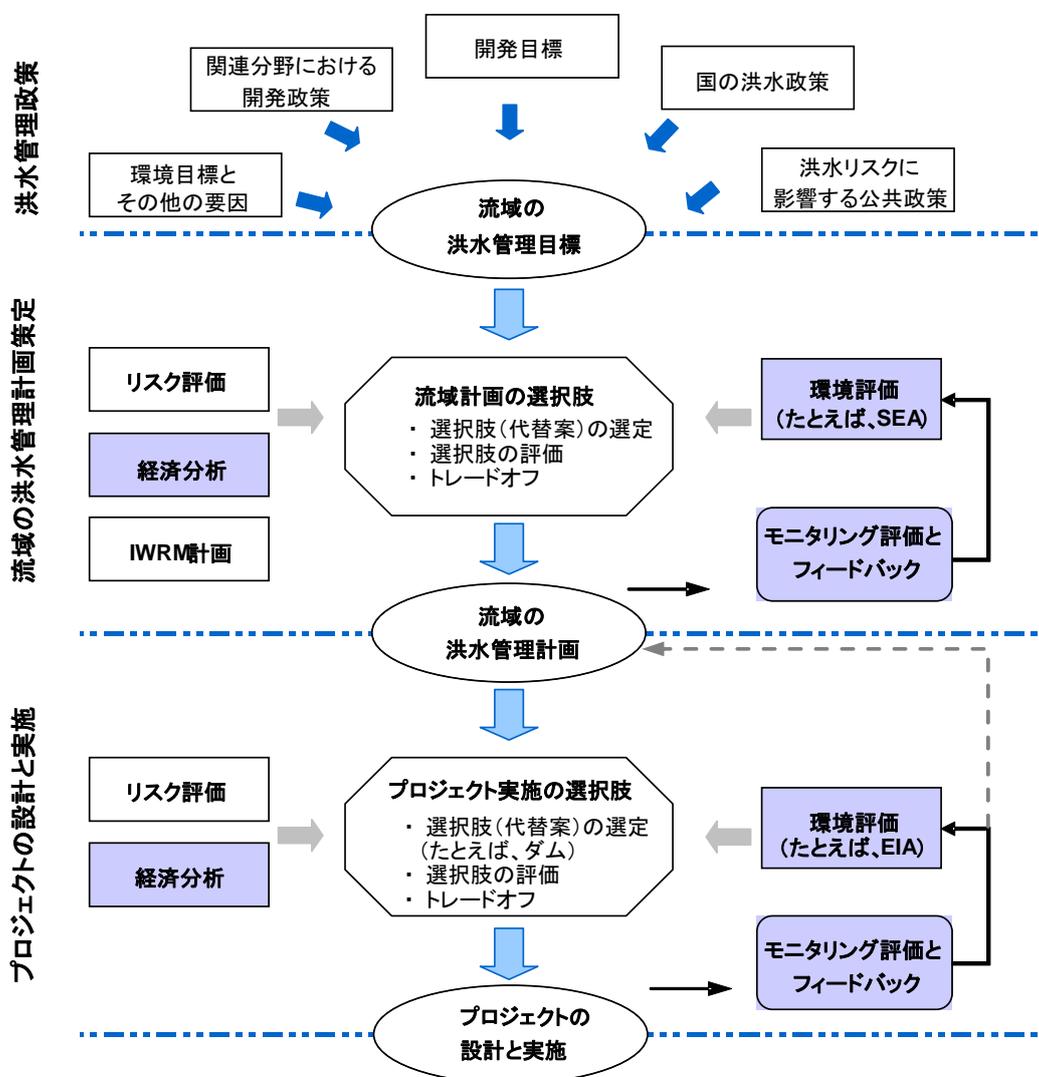


図 10. 環境に配慮した洪水管理の意思決定の枠組み

洪水管理の施策の選択肢は、流域計画に基づいて作成され、様々な経済分析ツールを用いた参加型プロセスを通じて評価されるべきである。このような経済分析は、生態系サービスの評価を組み込まなければならない。環境への負の影響を最小限に抑える方法と手段を特定するために、代替案や設計案、運用原則に対する環境影響評価を実施しなければならない。既存の生態系の健全性に関する基本調査を実施し、定期的な評価と軌道修正をおこない、順応的管理のアプローチを採用するためには、モニタリングメカニズムを導入する必要がある。

このような意思決定プロセスに環境配慮を組み込むには、下記の要素を有する全体的な枠組みの構築が必要である。

- 科学的理解と解析
- 環境評価
- 環境に配慮した経済分析
- 利害関係者の参加
- 順応的管理のアプローチ
- モニタリング
- 実施を可能にするメカニズム

6.2 科学的理解と解析

統合洪水管理には、様々な利害関係者が参加する洪水管理の学際的アプローチが必要である。これは、特に認識を共有し共通の目標を捜し出すために、異なる理論的背景による立場からの様々な学問分野の専門家間の対話を促進する。これらの専門家には、行政、農業、社会学、生態学、水文／水理学、形態学、河川工学など、多くの分野の実務者や研究者が含まれる。このような学際的アプローチは、利用可能な情報、議論のための共通の言語、および透明な意思決定プロセスに基づかなければならない。

河川およびその氾濫原の形態学と生態学の基本的概念、およびそれらが流況によってどのようになるのかに関する科学的知識は、河川流域の生態系プロセスおよび洪水管理対策が生態系に及ぼす影響の理解にとって不可欠である。このような科学的概念を十分に理解してはじめて、環境に配慮した新規プロジェクトの設計・実施・運用、およびより適切な運用と対応によって既設構造物の負の影響の緩和が可能になる。

生態学者や水文学者、河川・水資源工学者が協力し、水循環と人間活動、地表の特性、生態系との相互関係に関する徹底的な調査を実施することが急務である。生態水文学／生態水理学は、水や流域の利用を管理するための多基準評価の取り組みの中で、生態系の保全や回復を含めるための実際的な手法を発展させるために、生態系の構造的・機能的特性を解析するものである。洪水管理の特定のニーズに適用されるこの分野の研究活動や技術は、容易に理解できる言語に置き換えることで、他の分野間と認識を共有する必要がある。洪水対策に関連する機関は、洪水災害および緩和対策が環境に及ぼす影響との関連で、流域の人為的および自然による変化をより適切に理解するよう努めなければならない。

6.3 環境評価

環境評価は、多様で重大な環境影響を及ぼす可能性がある意思決定において必要とされ、重点的な調査を実施するためのツールである⁶⁷。環境評価は、意思決定の様々な段階で適用される。環境影響評価(Environmental Impact Assessment: EIA)はプロジェクトの設計・実施段階で適用されるのに対し、戦略的環境評価(SEA)は政策・計画(戦略)段階で適用される。

戦略段階(政策・計画段階)における環境評価

意思決定において環境の問題が考慮されるためには、戦略段階から着手すること

が重要である⁶⁸。戦略的環境評価(Strategic Environmental Assessment: SEA)は、戦略段階において開発計画、意思決定、および実施のプロセスに影響を与えるために、環境および社会問題を当初から考慮する参加型アプローチとされる⁶⁹。コラム 5 に SEA のプロセスを示す。

SEA の枠組みにおいて開発計画をどの程度詳細に評価すべきであるかは、計画目標によって決まる。計画の範囲があまりに広範囲に及ぶため環境影響を評価できない場合には、予測可能な因果関係のシナリオに関する一般的で定性的な記述で十分である。たいていの場合、戦略段階においては専門家の判断に基づく定性的情報だけで十分であると考えられる。環境への負の影響がすでに閾(いき)値に達している、あるいは累積的影響が予測される場合には、定量的な評価が必要になる可能性がある。このような評価は、実施された解析の種類、解析に利用されたデータ、および採用された仮説の詳細を含めて、明確な証拠とともに文書化しなければならない。

効果的な SEA のためには、環境担当機関と開発担当機関、および情報に通じた住民代表の間の対話を促進することが重要である。わかりやすいデータによる情報の交換と利用は、様々な利害関係者や専門家間の情報伝達を促進し、緊密な協力関係を確立する上で不可欠な役割を果たすとともに、意思決定プロセスの透明性の確保に役立つ。

しかし、戦略的環境評価には、国と地域、政策と計画、開発途上国と先進国など様々なレベルにおける適用範囲、包括性、期間、および状況の相違から、いかなる場合にも適応可能な手法は存在しない。SEA の実施においては政治的意思も重要である⁷⁰。社会政治的な圧力によって、SEA に消極的な開発機関に対して実施を促すこともできる。また、法的な要請は、長期戦略として SEA を実施する政治的意思を形成する上で有効となる可能性がある。例えば、SEA には、EIA や他の法律の下で実施されるもの(たとえば、オランダ⁷¹)、あるいは別々に管理されるが EIA と同様の手続きで実施されるもの(たとえば、カナダ⁷²、デンマーク⁷³)もあれば、それほど正式ではないが類似の政策・計画評価プロセスを通じて実施されるもの(たとえば、英国⁷⁴)もある。

プロジェクトの設計・実施段階における環境評価

環境影響評価は、意思決定に先立ってプロジェクト案が環境および社会にもたらす影響を特定するために利用される。その目的は、プロジェクトの計画と設計の初期段階で環境影響を予測し、負の影響を低減できる方法と手段を見だし、プロジェクトを地域の環境に適合するように方向付けるとともに、意思決定者に対し予測と代替案を提示することである。EIA の主要な要素は、関係当事者の問題や懸念事項の特定(スコーピング)、これらの問題の重要性を評価して EIA の必要性を判断すること(スクリーニング)、実行可能な代替案の特定、不確実性に対処する緩和対策の追求、プロジェクトの潜在的な負の影響を防止または最小化するために提案された対策の再検討、および環境影響評価書を発行して EIA の結果を報告することである⁷⁵。

環境影響評価書には、通常、提案された活動の説明、妥当な代替案(およびなにもしない場合の影響)の検討、ならびに提案された活動およびその代替案によって大き

な影響を受ける可能性のある環境の説明が必要とされる。さらに、潜在的な環境影響をその重大性の観点から説明・評価し、環境への負の影響を低減するための緩和対策を提案するとともに、評価において利用された基本的な仮説、方法論、およびデータを明確にしなければならない。

環境影響評価は、多くの国で法律によって義務付けられている。プロジェクト案の規模および地理的設定は、その環境上の重要性を決定する上で重要である。また、プロジェクトが国境を越えて重大な環境影響をもたらす可能性がある場合、当該国に通知し、協議することも重要である。

住民との協議や住民参加は、EIA や SEA を実施するための鍵となる。意思決定の権限は政府によって維持されるが、住民は、スコーピングやプロジェクトの設計、緩和対策、モニタリング・管理計画、および代替案の解析の中で考慮されるべき問題を提起することによって、住民との対話やフィードバックを引出すことになり、意思決定プロセスに影響を与えることが可能となる。

コラム 5. 戦略的環境評価(SEA)のプロセス

戦略的環境評価には、スクリーニング、スコーピング、影響の特定・予測・評価、緩和、およびモニタリングといった様々な段階がある。これらについて簡単に説明する。

スクリーニング:この活動は、特定の政策や計画について SEA を実施すべきか否かを決定するために実施される。計画案が環境影響をもたらす場合、次の段階に進む。

スコーピング:SEA を実施すべきだという決定に関して、SEA によってどのような影響を評価すべきか、すなわち SEA の作業範囲(「付託事項」)を明確にする。一般的に、SEA の作業範囲は、専門家の全体的な見地からの判断によって決定され、制度によっては、住民もこのスコーピングに招かれる。

影響の特定・予測・評価:SEA における影響の予測と評価のプロセスでは、プロジェクト段階の EIA で利用されるものと同様の手段と手順の一部を利用することができる。EIA 作業と同様に、専門家の判断が主要な役割を果たすことが多い。しかし、EIA 作業とは対照的に、SEA では間接的(または副次的)な環境影響を追跡する必要性が、より重要な役割を果たすことが予想できる。これは、SEA の対象となる多くの政策や計画の策定が、経済的・社会的影響の変化や間接的(場合によっては偶発的)な環境影響をもたらすためである。このような経済、社会、および環境への影響の相互関係は、「統合的評価」において重要な役割を果たす。

緩和:緩和対策の目的は、政策の認可や計画の実施のような活動による負の影響を回避、低減、または相殺することである。

モニタリング:政策がもたらす影響をモニタリングするための計画がしばしば提言されるのは、そのようなモニタリングによって、管轄官庁は想定外の結果に対する警戒態勢を取り、緩和対策によってそれらを抑制できるからである。また、予測された結果と、モニタリングによって観測された結果を比較することによって、専門家は将来の影響を予測する能力を向上させることができる。

出典: World Bank, 2005. Integrating Environmental Considerations in Policy Formulation: Lessons from Policy-Based SEA Experience, Environmental Department, World Bank, Washington, DC.

6. 4 環境に配慮した経済分析

費用便益分析(CBA)および多基準分析(MCA)は、一連の代替案をその経済的側面に関して解析しなければならない場合に意思決定を支援する方法論である⁷⁶。費用便益分析は、費用と便益を貨幣価値で比較することによって、様々な代替案の評価を可能にする上で有用である。現在、多くの生態系サービスの経済的価値の評価

が可能であり、環境への負の影響によって消失する生態系サービスの費用も、特定の代替案の CBA の要素として含めることができる。現在、様々な評価方法を利用することができ、その方法選択は、直接価値または間接価値のどちらを考慮するかによって決まる⁷⁷。しかし、環境的・社会的側面の経済的価値が評価に適さないか、または評価が困難な場合、CBA では、プロジェクトの真の費用と便益、特に生態系サービスの損失に伴う費用が隠れてしまう可能性がある。

多基準分析は、CBA の補完的な手法と考えられる。一連の基準または目標に照らして、各開発案の期待性能を判断する。これらの手法は、多くの利害関係者による好み、不確実さのような、複雑な状況を取り扱うことができる。このことは、問題に対して相反する目標が示され、それらの目標が貨幣価値で容易に示せない時、特に適用される。このように、多基準モデルにおいて認識された社会的重要性に基づいて、様々な目標と基準の重み付けがおこなわれる。これらの重みは、MCA 手法において重要な役割を果たすため、透明性のある方法によって選択し、最終結果にどのように影響したかを明示しなければならない。加重平均は、各代替案の性能の全体的指標をもたらすことができる。多基準分析は、代替案の順位付け、その後の（例えば、CBA による）詳細な評価のために代替案の最終選考リストを絞り込むこと、あるいは単純に、受入れ可能な代替案と不可能な代替案との分別において有用である。代替案の一つがすべての基準に関して有力と見なされる場合、意思決定は容易である。しかし、ほとんどの場合、いくつかの代替案は、一つの基準では他より良い評価であるが、ほかの基準では悪い評価となるようなケースがほとんどである。MCA は、このような状況において明らかに有用である。

この状況では、トレードオフが中心的な問題となる。このようなケースに対処するためには重み付けまたは順位付けが必要となり、その場合、分析の様々な段階において利害関係者の適切な参加が要求される。重み付けには二つの方法がある。一つは、(様々な研究分野の)数名の専門家に対し、技術的判断に基づく重み付けの提案を依頼することである。しかし、専門家による重み付けは、関係住民による重み付けと比較して、主観的バイアスから自由であると思えずことはできない。もう一つは、地域団体や NGO など様々な利害関係者が参加型プロセスを通じて重み付けに関与することである。有意義な利害関係者の参加のためには、経済分析において、生態系の変化に起因する費用と便益を含めて、様々な代替案の費用と便益がどのように分配されるのか、すなわち、誰が便益を受けて誰が費用を負担するのかを示さなければならない。

MCA には、いくつかの不十分な点がある⁷⁸にもかかわらず、意思決定のための分析に基づいた基礎情報を提供するため、意思決定者によっておこなわれることが多い非公式または直観的な判断よりも適切である。この手法は透明性があり、体系的で明確な知識要素に基づいたものである。多基準分析は、利害関係者が各選択オプションの性質を検討し、重要な要素を特定し、自ら好ましいと思うものを発見し、重要な代替案の選定プロセスを単純化するための枠組みを提供する。経済的評価には社会的価値が含まれるため、プロジェクトの影響を受ける住民と緊密に協議して CBA/MCA を実施するのが適切である。

6.5 利害関係者の参加

本格的な利害関係者の参加⁷⁹は、意思決定プロセスの中核をなす。利害関係者の参加の主要な目的は、利害関係者が計画とプロジェクトの特定、策定、開発、論理的な妥当性の確認、および実施について認識し、その影響のモニタリングと評価に参加するという、IFMの原則を確実に実施することである。洪水管理の統合的アプローチは、水資源、土地利用、環境、および洪水の管理戦略の統合を必要とするため、意思決定の様々な段階において、異なる部門の計画策定プロセスの間で調整をおこなうことが不可欠である。

意思決定の様々な段階における利害関係者の参加は、既存の法および政策体制に応じて大きく異なる。意思決定が政府職員に完全に委ねられている場合もあれば、意思決定は基本的には政府の権限の下にあるが、地域社会が介入する余地がある場合もあり、さらには、意思決定が地域社会の積極的な参加のみによって有効に実施できる場合もある。

一般的に、流域の政策レベルの問題では、住民参加に対する関心は低い。流域レベルの洪水問題は抽象的だと見なすためである。また、これらの協議には時間がかかり、長期にわたる参加が必要となるため、差し迫った問題とは見なされない可能性もある。住民の関心は、プロジェクトの設計・実施段階と比較して戦略段階では低い傾向があるが、意思決定プロセスに住民が参加することは重要である。したがって、政策・流域計画策定段階では、一般住民ではなく、利害関係者の代表、地域機関、地域団体、NGO等の参加が必要とされる。このような参加は、政策と計画の条件、レベル、および特性によって決まる。これに関して有用な手段はロール・プレイングである。

他方、プロジェクトが地域住民に直接影響を及ぼすプロジェクトの設計または実施段階では、意思決定プロセスへの参加に対する地域住民の関心は高まる。意思決定プロセスをより透明で正当なものとするためには、住民、関連機関および省庁、地方地自体、NGO、政治家等が参加する必要がある。

参加型の計画立案を成功させるためには、適切な法的・制度的枠組みや、多様な利害関係者の能力育成を通じて参加型アプローチの実施を可能にするメカニズムを構築することが重要である。

6.6 順応的管理のアプローチ

生態系の現状に関する科学的知識は断片的で、人間の介入が生態系にもたらす影響に対する理解は不十分である。このような科学的確実性の欠如に対応するために、国際協定では予防原則が提言されてきた。環境保護との関連で、リオ宣言⁸⁰の原則15は次のように規定している。

「環境を保護するために、各国は、その能力に応じて予防的措置を広く講じるものとする。重大な、あるいは回復不可能な損害の脅威がある場合、十分な科学的確実性

の欠如を、環境悪化を防止するための費用対効果のある対策を先送りする理由として用いてはならない。」

同様の予防的措置は、気候変動問題の考慮に関して、国連気候変動枠組条約⁸¹によっても提言されている。

順応的管理は、科学に基づきながら進められるプロセスによって意思決定が行われる時に、このような科学的不確実性に対処するための適切なアプローチとして広く認識されてきた。このアプローチでは、適用される戦略の立案、実施、モニタリング、および評価に加えて、利用可能になった新たな知見が管理手法に組み込まれる(図11を参照)ことになる。モニタリングと評価の結果は、管理政策、戦略、および指針を修正するために利用される⁸²。これは、従来型の管理手法からの脱却であり、管理活動を学習実験としてとらえているものである。順応的管理は、予測される結果を明確にし、反応の測定方法を策定し、予測と実際の結果を比較するために情報を収集・解析し、その比較から学び、それに応じて活動や計画を変更するものである⁸³。したがって、管理指針の調整は、実験的に取り組み、偶発的な失敗を受け入れる意志を必要とする⁸⁴。

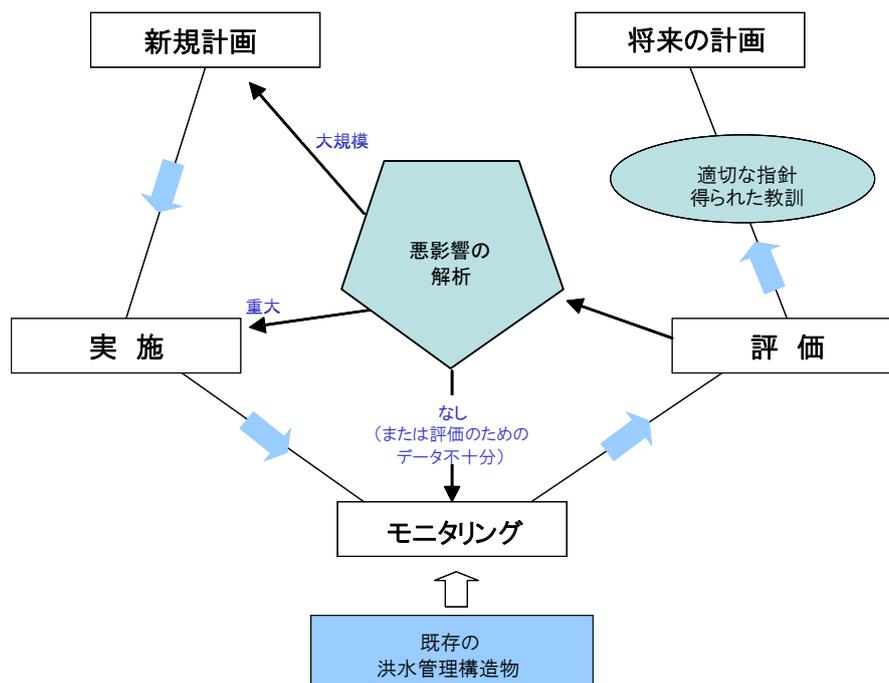


図 11. 順応的管理のアプローチ

順応的管理は計画立案段階から始まる。順応的管理には、新たな知識を取得するための計画的な実験(能動的な順応的管理)と、モニタリングおよび目録情報を利用して管理活動が生態系の健全性に及ぼす影響を評価する進行中のプロセス(受動的な順応的管理)がある。能動的順応的管理では、既存のデータに基づいて一連の代替応答モデル(仮説)を作成し、長期的便益を計算し、費用に照らしてその重み付けをおこなう。特定の科学的研究の予想外あるいは望ましくない結果に対処するために、

出口戦略を策定することも重要である⁸⁵。他方、受動的順応的管理は、予測が依拠するモデルが正しいという仮定のもとに管理案として扱われる⁸⁶。結果のモニタリングは重要なインプットとして、影響、特に負の影響を評価するために利用される。これらの影響が重大な場合、実施手順またはプロジェクトの設計パラメーターなど、実施された活動の見直しが必要になることもある。また、これらの影響が大規模な場合には、政策に及ぼす可能性のある影響を含めて計画は見直される。能動的および受動的双方の順応的管理の構成要素の評価は、プロセスのさらなる理解と将来の計画策定を促進できる知識基盤の健全な基礎を形成する。

洪水管理構造物がすでに設置され、明確な負の影響をもたらしている場合、その撤去は必ずしも現実的とは言えない。このような場合、既存のシステムとその性能を透明な方法で適切に評価する必要がある。順応的管理は、現状のモニタリングまたは（利用可能な場合）既存のデータの評価から始めることによって、このような状況において重要な役割を果たすことができる。環境悪化の進展が特定または予測される場合、流域計画の見直しが必要になる場合もある。

6.7 モニタリング

順応的管理においては、環境の健全性の状態を継続的にモニタリングし、それを定期的に評価する必要がある。モニタリングは、特に有効性と妥当性に関して、統計的に適切で、科学的に信頼できるものでなければならない。

モニタリングの重要性は、様々な観点から認識されてきた。多様な自然プロセスの事前のモニタリングは、資源、リスク、および開発代替案の評価の基本的情報を提供する。開発計画策定段階におけるモニタリングは、選定された計画に基づいて講じられた対策および戦略段階の環境評価で示された環境影響の要因に焦点を置く。モニタリング項目としては、計画目標が達成されているか否か、計画に基づいて対策が適切に講じられているか否か、計画の見直しまたは変更が必要であるか否か、などが挙げられる。しかし、計画を評価するためには時間と継続的な取り組みが必要であることに留意すべきである。戦略段階の計画を評価することは、目標が明らかになるまでに数年間を要する可能性があるため、場合によっては困難なこともある。また、SEAでは考慮されない特定の外部要因が、計画に基づいて実施された対策の影響よりも大きな環境影響をもたらす可能性もある。

プロジェクトの実施中および実施後のモニタリングは、洪水管理対策が実際に所期の目標達成に成功したか否かを評価するため、プロジェクト段階で重要となる。環境の状態をモニタリングすることによって、プロジェクトの設計・実施段階の環境評価で予測された影響の範囲が明確であるか否か、そのような影響を防止するために講じられた対策が有効であるか否か、またそれがどの程度有効であるかを評価することが可能になる。モニタリングと評価を通じて得られた教訓に基づいて、将来のプロジェクトの設計に適用される方法を改善することができる。

環境影響のモニタリングは、環境目標に従って策定された指標を通じて達成することができる。土地利用の変更、生息域の多様性、湿地帯の分布、漁業の状態の指標

など、環境の様々な側面をモニタリングに含めなければならない。モニタリングは、排出量や天然資源利用のような環境の状態への直接的影響と、生産量や消費などの傾向の調査によってモニタリングできる間接的影響の両方に対応できるように計画されなければならない。

6.8 実施を可能にするメカニズム

ほとんどの国では、統合的アプローチを採用できる機関や、効果的な組織学習や機関間の相互交流を支援するための投資が不十分である。様々な領域の専門家間および専門家と住民間のコミュニケーション・ギャップは、全体として、このような枠組みを実行に移すプロセスをいっそう複雑にしている。多様なレベルにおける能力育成、およびこのような枠組みを支援し、法的メカニズムによってそれを助ける制度が必要である。

空間・時間スケールを越えた情報交換は、あらゆるレベルにおいてわれわれの知識の不十分な状態を改善するために不可欠である。環境に配慮した洪水管理を採用するためには、継続的な学習のために知識を生み出し、伝えることができるような、責任を強化させることの出来る組織が必要である。また、様々なレベルにおいて行動変革も必要である。したがって、様々な関連組織間、さらには地域社会間の調和の取れた情報伝達ネットワークを構築することがきわめて重要である。環境の状態のモニタリングは、このような学習プロセスにおいて不可欠な部分である。

洪水管理において影響を及ぼす多くの事項の中の一つに過ぎないが、適切な法的・制度的枠組を有することは、IFM の目標達成において重要な役割を果たす⁸⁷。IWRM の枠組みにおいて洪水管理計画を実施し、順応的管理のアプローチを支援するためには、関連機関が機能するための方向性を改善しなければならない。透明性を高め、責任を分担すると同時に、真の実験を通じて新たに取り組むこと、学習することを可能にする必要がある。また、政府機関、研究機関、および大学間の調整について改善する必要がある。多数の利害関係者の参加を成功させるためには、地域の自然的・文化的・社会的背景に適した技術と制度の発展が必要である。

土地や水利用管理において、法体制が果たす役割は IFM の成功にとって不可欠であり、他の方法では洪水管理計画の実施に直接関与しないであろう多くの機関の行動に影響を与えることができる。環境の観点から、法律は、他の方法では意思決定に影響を与えないであろう環境の権益を保護し、定着させることができる。河川生態系は、正当な水利用者と見なされなければならない。SEA や EIA のような様々な環境評価プロセスは、環境に重大な影響をもたらす可能性のあるプロジェクトや計画の認可を取得するために従う必要のある関連の手続きの詳細とともに、法的枠組を通じて実施しなければならない。これには、環境に関する情報公開を求める権利および意思決定に参加する各利害関係者の役割も含まれる。

流域規模で調整される土地や水管理は、適切な制度的枠組がなければ困難であるが、当事者の数が大幅に増加し、イデオロギー、倫理観、法律、統治、データの取得と品質のシステム、工学的規範と実践に多くの相違がある国際河川の場合は、

さらに複雑になる。国際的領域では、自然環境に関する懸念は、ラムサール条約、有害廃棄物の越境移動を規制するバーゼル条約、および環境に関する情報公開を扱うオーストリア条約を含むが、これらに限定されない多くの国際条約においても具体化されている⁸⁸。流域規模または二国間ではさらに多くの環境協定が存在する。二国間および多国間の環境協定も、国の法的枠組みに望ましい環境規定を組み込むための政治的動機をもたらすことができる。

6.9 まとめ

洪水管理の政策、計画立案、およびプロジェクトの設計と実施の段階において、法的・制度的、社会的、経済的側面などの他の関連する側面とともに、利害関係者の参加を含めて、環境配慮を意思決定プロセスに適切に組み込むためには、以下のことに取り組まなければならない。

- 環境に関するIFMの観点から、洪水管理目標を損なうことなく環境への負の影響を回避、低減、緩和するという三つのアプローチが推奨される。
- 河川およびその氾濫原の形態学と生態学の基本的概念、およびそれらが流況によってどのように影響するかに関する科学的知識は、河川流域の生態学的プロセスおよび洪水管理対策が生態系に及ぼす影響を理解するために不可欠なものである。
- 洪水管理とは直接関係のない公共政策の多くも、洪水リスクに影響を及ぼす。IFMのアプローチにおける意思決定プロセスに環境配慮を組み込むためには、下記の要素を伴う全体的な枠組みが必要である。
 - 科学的理解と解析
 - 環境評価
 - 環境に配慮した経済分析
 - 利害関係者の参加
 - 順応的管理のアプローチ
 - モニタリング
 - 実施を可能にするメカニズム
- 意思決定の様々な段階における環境評価が重要である。戦略的環境評価(SEA)は、戦略段階における事前予防的アプローチである。SEAは、これに続く環境影響評価(EIA)において取り組むべき主要な問題を、事前に特定するのに役立つ。EIAは、プロジェクトの設計・実施段階でおこなわれる。戦略的環境評価は、スクリーニングやスコوپングにおいてEIAを支援することによって、環境配慮が意思決定プロセスに組み込まれることになる。
- 費用便益分析(CBA)および多基準分析(MCA)は、一連の代替案を経済的側面に照らして分析しなければならない場合、意思決定を支援する有用な方法である。生態系が提供するサービスの評価は、必ずこれらの分析に含まなければならない。

- 容認できるトレードオフが達成可能な場合、利害関係者の参加は SEA/EIA および CBA/MCA にとって不可欠である。効果的な利害関係者の参加のために、それを可能にするメカニズムが必要である。多基準分析は、利害関係者が代替案の性質を検討し、重要な要素を特定し、独自の優先順位を決定するための枠組みとして利用することができる。
- 科学的不確実性に取り組むためには、途中で軌道修正を行うことができるように、順応的管理のアプローチを採用すべきである。採用された計画およびプロジェクトの有効性のモニタリングは、計画および実施の軌道修正をおこなう上で重要である。
- 土地利用の変更、生息域の多様性、湿地帯の分布、漁業の状態の指標、大型無脊椎動物群の種の感受性や多様性など、環境に関連するあらゆる側面は、モニタリングに適切に含まなければならない。
- 法体制が果たす役割は、他の方法では洪水管理計画の実施に直接関与しないであろう多くの機関の行動に影響を与えることができる。法律は、他の方法では意思決定に影響を与えないであろう環境の権益を保護し、定着させることができる。

参考文献

脚注

- 1 The World Bank Hazard Management Unit, 2005. Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis, Disaster Risk Management Series No. 5, World Bank, Washington, DC.
- 2 Ahmad, Q.K., Biswas, A.K., Rangachari, R. and Sainju, M.M., 2001. Ganges–Brahmaputra–Meghna Region: A Framework for Sustainable Development, University Press Limited, Dhaka.
- 3 Nakamura, K., Tockner, K. and Amano, K., 2006. River and Wetland Restoration: Lessons from Japan, *BioScience* Vol. 56 No. 5: 419–429.
- 4 Munich Re, 2006. Topics Geo – Annual Review: Natural Catastrophes 2005, Knowledge Series, Munich.
- 5 Source data: Guha–Sapir et al., 2004. Thirty Years of Natural Disasters, 1974–2003: The Numbers, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters.
- 6 APFM, 2004. Integrated Flood Management Concept Paper, APFM Technical Document No. 1, second edition, Associated Programme on Flood Management, World Meteorological Organization, Geneva.
- 7 Report of the United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm, 5–16 June 1972 (United Nations publication, Sales No. E.73.II.A.14 and corrigendum), chap. 1.
- 8 Report of the World Commission on Environment and Development, 11 December 1987, (United Nations General Assembly, A/RES/42/187).
- 9 Report of the World Conference on Human Rights, Vienna, 14–25 June 1993 (United Nations General Assembly, A/CONF.157/24 (Part I)).
- 10 Agenda 21, Vol. I: Resolutions adopted by the United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 3–14 June 1992, (A/CONF.151/26 (Vol. I), United Nations publication, Sales No. E.93.I.8 and corrigenda).
- 11 Plan of implementation adopted by the World Summit on Sustainable Development, Johannesburg, 26 August to 4 September 2002, (A/CONF.199/20, United Nations publication, Sales No. E.03. II.A.1).
- 12 Glossary of the Public Entity Environmental Management System Resource (PEER) Center, USA, available at the PEER website: <http://www.peercenter.net/glossary/>
- 13 Article 2 of the Convention on Biological Diversity, United Nations Treaty Series, Vol. 1760, I–30619, concluded at Rio de Janeiro on 5 June 1992.
- 14 Refers to the non-living components of the environment.
- 15 Acreman, M.C., 1998. Principles of water management for people and the environment. In: de Shirbinin, A. and Dompka, V., *Water and Population Dynamics*, American Association for the Advancement of Science, 321 pp.
- 16 Falkenmark, M., 2003. Water Management and Ecosystems: Living with Change, TEC Background Papers No. 9, Global Water Partnership, Stockholm.
- 17 Decisions adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity (CBD) at its fifth meeting, Nairobi, 15–26 May 2000 (UNEP/CBD/COP/5/23, Decision V/6).
- 18 Refers to an area that includes both the flood plain and the river channels (see section 3.1).
- 19 Report of the Workshop on the Ecosystem Approach, Lilongwe, Malawi, 26–28 January 1998, presented at the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity (CBD) at its fourth meeting, Bratislava, Slovakia, 4–15 May 1998 (UNEP/CBD/ COP/4/Inf.9).
- 20 Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Washington, DC.
- 21 Smith, K.R., Corvalán, C.F., Kjellström, T., 1999. How Much Global Ill Health is Attributable to Environmental Factors?, *Epidemiology*, September 1999, Vol. 10 No. 5, available at: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/methods/en/
- 22 Ministry of Finance, The Underlying Causes of Environmental Degradation, Economic Survey 1998–99, Ministry of Finance, Government of India, available at: <http://indiabudget.nic.in/es98-99/chap1104.pdf>
- 23 Aragón, L.E. and Clüsener–Godt, M., 2004. Issues of Local and Global Use of Water from the Amazon, UNESCO and Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará.
- 24 Nienhuis, P.H. and Leuven, R.S.E.W., 2001. River restoration and flood protection: controversy or synergism?, *Hydrobiologia*, 444: 85–99.
- 25 Institution of Civil Engineers’ Presidential Commission, 2001. *Learning to Live with Rivers*, Institution of Civil Engineers, London.
- 26 APFM, 2004. Integrated Flood Management Concept Paper, APFM Technical Document No. 1, second edition, Associated Programme on Flood Management, World Meteorological Organization, Geneva.
- 27 Church, M., 2002. Geomorphic thresholds in riverine landscapes, *Freshwater Biology*, 47: 541–557.
- 28 Morisawa, M.E. and Vemuri, R., 1975. Multi-Objective Planning and Environmental Evaluation of Water Resources Systems, final report, Project C–6065, Office of Water Research, US Department of the Interior, Washington, DC.

- Junk, W.J., Bayley, P.B. and Sparks, R.E., 1989. The Flood Pulse Concept in River Flood Plain Systems, Proceedings of the International Large River Symposium (LARS), Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Science, 106: 110–127.
- 29 Bhowmik, N.G. and Stal, J.B., 1979. Hydraulic Geometry and Carrying Capacity of Flood Plains, Water Research Center, Research Report No. 145, University of Illinois, Urbana, Ill.
- 30 Nanson, G.C. and Croke, J.C., 1992. A genetic classification of flood plains, *Geomorphology*, 4: 459–486.
- 31 Leopold, L.B., 1994. *A View of the River*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 281 pp.
- 32 Tockner, K. and Stanford, J.A., 2002. Riverine flood plains: present state and future trends, *Environmental Conservation*, 29 (3): 208–330.
- 33 Hughes, F.M.R., 1997. Flood plain biogeomorphology, *Progress in Physical Geography*, 21: 501–529.
- 34 Refers to an interior diameter or an exterior diameter.
- 35 Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998 (revised 2001). *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices*, adopted as Part 652 of the National Engineering Handbook, USDA–National Resources Conservation Service.
- 36 Li, G., 2003. *Ponderation and Practice of the Yellow River Control*, Yellow River Conservancy Press.
- 37 Richards, K., Brasington, J. and Hughes, F., 2002. Geomorphic dynamics of flood plains: ecological implications and a potential modelling strategy, *Freshwater Biology*, 47: 559–579.
- 38 Roux, A.L. and Copp, G.H., 1996. Fish populations in rivers. Chapter 8 in: *Fluvial Hydrosystems*, edited by G.E. Petts and C. Amoros, Chapman and Hall, London.
- 39 Forman, R.T.T. and Godron, M., 1986. *Landscape Ecology*, John Wiley & Sons, New York.
- 40 Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998 (revised 2001). *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices*, adopted as Part 652 of the National Engineering Handbook, USDA–National Resources Conservation Service.
- 41 Hughes, F. et al., 2003. *The Flooded Forest: Guidance for Policy Makers and River Managers in Europe on the Restoration of Floodplain Forests*, The FLOBAR2 Project, Department of Geography, University of Cambridge, Cambridge.
- 42 *Sustaining Forests, A World Bank Strategy*, available at: <http://www.worldbank.org/forests>
- 43 Refers to the organic matter in the stream that is produced outside of the stream, such as leaves of terrestrial plants that fall into a stream.
- 44 Nakamura, F. and Yamada, H., 2005. Effects of pasture development on the ecological functions of riparian forests in Hokkaido in northern Japan, *Ecological Engineering*, 24: 539–550.
- 45 FAO and CIFOR, 2005. *Forests and Floods – Drowning in Fiction or Thriving on Facts?*, FAO and Centre for International Forestry Research (CIFOR).
- 46 FAO and CIFOR, 2005. *Forests and Floods – Drowning in Fiction or Thriving on Facts?*, FAO and Centre for International Forestry Research (CIFOR).
- 47 Lentic systems refer to still water systems such as lakes and ponds. Lotic systems refer to moving water systems such as streams and rivers. (Idaho Department of Fish and Game, USA.)
- 48 Altered by or characterized by progressive degeneration.
- 49 World Bank, 2003. *Water Resources and Environment, Technical Note G.2, Lake Management*, World Bank, Washington, DC.
- 50 *The Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat*, 1971, Ramsar, Islamic Republic of Iran.
- 51 Refers to the environment of a lake. Lacustrine is derived from the Latin word lacus (lake).
- 52 Brinson, M.M. and Malvárez, A.I., 2002. Temperate freshwater wetlands: types, status, and threats, *Environmental Conservation*, 29 (2): 115–113.
- 53 Keddy P.A., 2000. *Wetland Ecology: Principles and Conservation*, Cambridge University Press, UK.
- 54 Philip Williams & Associates, Ltd., Clearwater BioStudies, Inc., Michel P. Williams Consulting, GeoEngineers and Green Point Consulting, 2002. *Development of an Integrated River Management Strategy*, final report, 21 September 2002, Prepared for US Fish and Wildlife Service, US Environmental Protection Agency and US Army Corps of Engineers.
- 55 Pierson, W.L. et al., 2002. *Environmental Flows Initiative Technical Report, Report No. 3, Environmental Water Requirements to Maintain Estuarine Processes*, Environmental Australia, Canberra.
- 56 US Army Corps of Engineering, 1995. *Engineering and Design Coastal Geology: Manual No. 1110–2–1810*, Department of the Army, US Army Corps of Engineering, Washington, DC.
- 57 *Summary Report of the Regional Coordination Workshop on Rehabilitation of Tsunami-Affected Forest Ecosystems: Strategies and New Directions*, Bangkok, Thailand, 7–8 March 2005, FAO.
- 58 *Resolution VIII.4 on Integrated Coastal Zone Management (ICZM) of the 8th meeting of the Conference of the Contracting Parties to the Convention on Wetlands (Ramsar, Islamic Republic of Iran, 1971)*, Valencia, Spain, 18–26 November 2002.

- 59 World Commission on Dams, 2000. Dams and Development – A New Framework for Decision-making, the Report of the World Commission on Dams, Earthscan, London.
- 60 Dyson, M., Bergkamp, G. and Scanlon, J., 2003. Flow – The Essentials of Environmental Flows, IUCN The World Convention Union, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- 61 Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998 (revised 2001). Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices, adopted as Part 652 of the National Engineering Handbook, USDA–National Resources Conservation Service.
- 62 Sato, H., 2001. The Current State of Paddy Agriculture in Japan, *Irrigation and Drainage*, 50: 91–99, DOI: 10.1002/ird.10.
- 63 Federal Office for Water and Geology, 2001. Flood Control at Rivers and Streams: Guidelines of the FOWG, Biel, Switzerland.
- 64 WMO, 2006. Social Aspects and Stakeholder Involvement in Integrated Flood Management, APFM Technical Document No. 4, Flood Management Policy Series, Associated Programme on Flood Management, World Meteorological Organization, Geneva.
- 65 UN-ESCAP, 2004. Guidelines on Strategic Planning and Management of Water Resources, United Nations, New York.
- 66 World Bank, 1991. Environmental Assessment Sourcebook, Environmental Department, World Bank, Washington, DC.
- 67 Emerton, L. and Bos, E., 2004. Value – Counting Ecosystems as Water Infrastructure, IUCN The World Convention Union, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- 68 World Bank, 2005. Integrating Environmental Considerations in Policy Formulation: Lessons from Policy-Based SEA Experience, Environmental Department, World Bank, Washington, DC.
- 69 Ministry of the Environment, Government of Japan, 2003. Effective SEA System and Case Studies, Ministry of the Environment, Government of Japan.
- 70 Environmental Impact Assessment Decree, 1987, amended 1994, The Netherlands.
- 71 Cabinet Directive, 1990, amended 1999. Canada.
- 72 Prime Minister’s Office circular, 1993, amended 1995 and 1998, Denmark.
- 73 Guidance on policy appraisal and the environment, 1991, amended 1997, UK.
- 74 Website of the Division of Technology, Industry and Economics, United Nations Environmental Programme, <http://www.uneptie.org/pc/tools/eia.htm>
- 75 WMO, 2006. Economic Aspects of Integrated Flood Management, APFM Technical Document No. 5, Flood Management Policy Series, Associated Programme on Flood Management, World Meteorological Organization, Geneva (to be published).
- 76 UN ECE, 2006. Nature for Water: Innovative Financing for Environment, UN ECE, Geneva.
- 77 Dodgson, J., Spackman, M., Pearman, A. and Phillips, L., 2000. Multi-Criteria Analysis: A Manual, Department of the Environment, London.
- 78 WMO, 2006. Social Aspects and Stakeholder Involvement in Integrated Flood Management, APFM Technical Document No. 4, Flood Management Policy Series, Associated Programme on Flood Management, World Meteorological Organization, Geneva.
- 79 Rio Declaration on Environment and Development, Report of the United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 3–14 June 1992 (A/CONF.151/26 (Vol. I), United Nations publication, Sales No. E.93.1.8 and corrigenda).
- 80 Report of the Intergovernmental Negotiating Committee for a Framework Convention on Climate Change on the Work of the Second Part of its Fifth Session, held at New York, 30 April to 9 May 1992 (Art. 3 (3), May 1992, UN Document A/AC.237/18).
- 81 The Departments of Agriculture, Commerce, Defense, Energy and the Interior, the Environmental Protection Agency, the Tennessee Valley Authority and the Army Corps of Engineers, 2000. Unified Federal Policy for a Watershed Approach to Federal Land and Resource Management (Federal Register, Vol. 65, No. 202, Wednesday 18 October 2000, Notices).
- 82 Carr, D.S., 1995. Human Dimensions in Ecosystem Management: a USDA Forest Service Perspective, in: Chavez, D.J., tech. coord., Proceedings 2nd Symposium on Social Aspects and Recreation Research, 1994, 23–25 February, San Diego, CA. General Technical Report PSW–156. Albany, CA, US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station.
- 83 Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998 (revised 2001). Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices, adopted as Part 652 of the National Engineering Handbook, USDA–National Resources Conservation Service.
- 84 The 21st Century COE Programme of the University of Tokyo, “Biodiversity and Ecosystem Restoration Research Project”, available at http://ber.es.a.u-tokyo.ac.jp/ber_hpe/index_e.htm
- 85 BC Forest Service, 1999. An Introductory Guide to Adaptive Management, British Columbia.
- 86 WMO, 2006. Legal and Institutional Aspects of Integrated Flood Management, APFM Technical Document No. 2, Flood Management Policy Series, Associated Programme on Flood Management, World Meteorological Organization, Geneva.
- 87 For more detail about environmental agreements and instruments, see: WMO, 2006. Legal and Institutional Aspects of Integrated Flood Management, APFM Technical Document No. 2, Flood Management Policy Series, Associated Programme on Flood Management, World Meteorological Organization, Geneva.

関連文献

- Bullock, A. and Acreman, M., 2003. The role of wetlands in the hydrological cycle, *Hydrology and Earth System Sciences*, 7 (3): 358–389.

- Clark, J.R., 1992 (reprinted 1994). *Integrated Management of Coastal Zones*, FAO Fisheries Technical Paper No. 327, FAO, Rome.
- FAO, 1998. *Integrated Coastal Area Management and Agriculture, Forestry and Fisheries*, FAO Guidelines, FAO, <http://www.fao.org/documents/>
- Global Water Partnership Technical Advisory Committee (TAC), 2000. *Integrated Water Resources Management*, TAC Background Papers No. 4, Global Water Partnership, Stockholm.
- Holling, C.S., 1978. *Adaptive Environmental Assessment and Management*, John Wiley & Sons, New York.
- International Law Association (ILA), 1966. The Helsinki Rules on the Uses of the Waters of International Rivers, adopted by the ILA at the 52 conference, held at Helsinki in August 1966, Report of the Committee on the Uses of the Waters of International Rivers, ILA, London.
- King, J., Brown, C. and Sabet, H., 2003. A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers, *River Research and Applications* 19: 619–639.
- Knighton, D., 1998. *Fluvial Forms and Processes – A New Perspective*, Edward Arnold, London and Oxford University Press Inc., New York.
- Kondolf, G.M., Piégay, H. and Landon, N., 2002. Channel response to increased and decreased bed load supply from land use change: contrasts between two catchments, *Geomorphology*, 45: 35–51.
- Lee, K.N., 1999. Appraising adaptive management, *Conservation Ecology* 3 (2): 3. Online: <http://www.consecol.org/vol3/iss2/art3/>
- Macarthur, R.H. and Wilson, A.M., 1967. *The Theory of Island Biogeography*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- National Research Council (NRC), 1992. *Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy*, National Academy Press, Washington, DC.
- Poff, N.L., et al., 1997. The natural flow regime – a paradigm for river conservation and restoration, *BioScience*, Vol. 47: 769–784.
- Tockner, K., Malard, F. and Ward, J.V., 2000. An extension of the flood pulse concept, *Hydrological Processes*, 14: 2891–2883.
- UNEP, 2004. *Environmental Impact Assessment and Strategic Environmental Assessment: Towards an Integrated Approach*, Economics and Trade Branch of the Division of Technology, Industry and Economics (DTIE-ETB), UNEP, Geneva.
- Vannote, R.L., et al., 1980. The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 37: 130–137.
- Walters, C., 1986. *Adaptive Management of Renewable Resources*, Macmillan, New York.
- Ward, J.V. and Stanford, J.A., 1983. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. In: *Dynamic of Lotic Ecosystems*, Fontaine, T.D., and Bartell, S.M. (eds), Ann Arbor Science: Ann Arbor, MI, 347–356.
- Ward, J.V. and Stanford, J.A., 1995. The serial discontinuity concept: extending the model to flood plain rivers, *Regulated Rivers*, 10: 159–168.
- World Bank, 1996. *Guidelines for Integrated Coastal Zone Management*, Environmentally Sustainable Development Studies and Monographs Series No. 9, World Bank, Washington, DC.
- World Bank, 2003. *Water Resources and Environmental Technical Note C.1*, Environmental Flows: Concept and Methods, World Bank, Washington, DC.
- World Bank, 2003. *Water Resources and Environmental Technical Note C.3*, Environmental Flows: Flood Flows, World Bank, Washington, DC.
- World Bank, 2003. *Water Resources and Environmental Technical Note G.3*, Wetlands Management, World Bank, Washington, DC.
- World Bank, 2003. *Water Resources and Environmental Technical Note G.2*, Lake Management, World Bank, Washington, DC.

用語集

能動的な順応的管理: 学習を目的とする計画的な実験。既存のデータに基づいて一連の代替応答モデル(仮説)を作成し、長期的な管理の価値を計算した後、正確なモデルの特定において発生した短期的な費用に照らしてその重み付けをおこなう。

順応的管理: 計画立案の初期段階で仮説を立て、その検証をおこなう試みとして回復プロセスを取り扱う方法

河床上昇: 土砂の堆積によって地表が上昇するプロセス

沖積の: 流水によって堆積した沖積土に関するか、またはこれに属する、もしくはそのような堆積物に属すること

帯水層: 開発可能な水量をもたらすことができる透水性の含水層

海岸林: 砂質土に形成された満潮位を上回る場所に見られる森林

生物多様性: 生物間の多様性と変動性および生物が存在する生態学的複合体。これには、様々な生態系、種、遺伝子、およびその相対的な豊富さも含まれる。

バイパス水路: ある地域の上流の地点から下流の地点に流れを迂回させるために設置される水路

流域: 雨水が河川や貯水池などに流入する地域

河道整備: 舟運目的のために水深を深くしたり、摩擦の低減および流れの一本化による全体的な通水能の強化を通じて洪水ピークを低減したりするために、河道を掘削または開削するプロセス

沿岸生態系: 海まで延びている内陸の森林。これは、生態系への淡水の流入(量、質、時期)および塩分、水温、濁度、エネルギー束の変化をもたらす潮汐の日・季節的影響によって決まる。このような群落には、マングローブ、海岸林、および泥炭林が含まれる。

連続性: 河川回廊またはマトリックスがいかに空間的に連続しているかの尺度。縦断方向の連続性: 上流域と下流域の回廊区間。横断方向の連続性: 河川とその氾濫原。鉛直方向の連続性: 地下の河川回廊を含む地表およびハイポレイックゾーン

費用便益分析(CBA): 投資に関わる様々な費用と投資がもたらす便益を比較するための手法。有形・無形双方の要素が扱われ、分析されなければならない。

低気圧性降水: 低気圧の活動に起因する降水

ダム: 湛水または貯水池の形成を目的として谷を横断して建設される構造物

侵食: 大気、水、生物などの作用による岩石、崖、地層、河床などの表面の風化および摩耗

遊水池と溜池: 様々な設計の、洪水流を貯留するための池。遊水池は、ピーク流量を低減するために一時的に流出水を保持し、その後、流路に放流する。一般に、本流の河道に放流する下流流出口を有する。溜池は、雨水流出水および越流した洪水流を長期にわたって保持し、水路に直接放流するのではなく、浸透、透水、蒸発散を通じて水循環に戻す。

溶存酸素(DO): 水、排水、またはそのほかの液体中に溶解している遊離(化合していない)酸素の量。魚類など水生生物の生存および悪臭防止のためには、適切な濃度の溶存酸素が必要である。

生態水文学/生態水理学: 生態系および生態系と水文学/水理学の相互作用を研究する科学

生態系の健全性: 地域の自然生息域において予測されるすべての要素(遺伝子、種、群集)とプロセスを有し、均衡の取れた、統合され、適応性のある生態系を維持する能力

生態学: (人間を含む)動植物とその環境の関係の研究

生態系: 一つの機能単位として相互に作用している動植物、微生物群、およびそれらの無生物環境の動的複合体

生態系アプローチ: 保全と持続可能な利用を衡平に促進する土地、水、および生物資源の統合管理のための戦略

生態系サービス: 人間が生態系から得ることができる便益。これらのサービスは相互に密接に関連し、供給、調整、および文化的サービスを含む。さらに、これらのサービスを維持するために必要な基盤サービスがあり、これが人間にもたらす影響は比較的に間接的で短期的なものである。

堤防: 水を保持する土構造物。河川流量を河川沿いの特定区域に閉じ込めたり、波や潮汐に起因する洪水を防止したりするために利用される。

環境: ある実体が機能する周辺または近傍のすべてのもの。空気、水、土地、天然資源、動植物相、人間、およびこれらの相互関係が含まれる。

環境流量: 競合する水利用が存在し、流量が調節される場合、生態系とその便益を維持するために河川、湿地帯、または沿岸域にもたらされる流況

環境影響評価(EIA)：意思決定に先立ってプロジェクトの環境影響と社会的影響を特定するために利用される手段。その目的は、プロジェクトの計画策定と設計の初期段階で環境影響を予測し、負の影響を低減する方法と手段を見だし、プロジェクトを地域の環境に適合するように方向付けるとともに、意思決定者に対し予測と代替案を提示することである。

富栄養化：栄養塩類、特に窒素とリンの化合物によって水の栄養分が濃縮すること。藻類および高等植物の生育を加速化する。

蒸発：沸点未満の水温で自由表面から水蒸気が排出されること

洪水：(1)通常は短期的な河川水位の上昇で、ピークに達した後、徐々に低下する。(2)水位または流出量で測定される比較的大きい流量、(3)上げ潮

洪水調節：陸域の越流からの防御または洪水被害の最小化

洪水調節ダム：特にピーク洪水時に洪水流の全部または一部を貯水池に貯留し、その後、徐々に放流することによって洪水を調節するために利用されるダム

氾濫：(1)自然または人工水路の満水位の越流、(2)通常は冠水しない低地の表面流出による水の蓄積

氾濫原(名詞)／氾濫原の(形容詞)：水文学者は、100年に1回の再現期間で氾濫する地域と定義する(Bhowmik および Stall、1979年)。地形学者は、河道に隣接し、河岸によって河道から分離され、現在の気候と流況において河川による輸送土砂によって形成され、中程度の流量事象の際に越流される大規模な水平方向の沖積地形と定義する(Nanson および Croke、1992年；Leopold、1994年)。生態学者は、河川または湖沼の横断方向の越流によって、あるいは直接降水や地下水位によって定期的に氾濫する(通常、年1回)地域と定義する。氾濫の結果として生じる物理化学的環境に対して、生物相は、解剖学的、生理学的、生物気候学的、および民俗学的に適応し、特徴的な群集構造を生成する(Junk ほか、1989年)。

洪水パルス仮説：河川流量の瞬間的変動すなわち洪水パルスは、河川・氾濫原システムの生物相の制御に大きな影響を及ぼすという考え方(Junk ほか、1989年)。氾濫原と河道の間の横断方向の交換および氾濫原内の栄養塩循環は、河道の上流から下流への栄養塩循環よりも生物相に直接影響を及ぼすものと仮定される。このようなシステムにおける動物バイオマスの大部分は、流域のほかの場所で生成された有機物の下流への運搬ではなく、氾濫原の生成物に由来するものと考えられる。

流況：水流の量、頻度、および季節的変動特性

森林：高さ5m以上の樹木または竹の最低10%の樹冠投影面を有するすべての植物

群系で、通常、野生生物相、植物相、自然地盤条件を伴う。

地形学：地殻の配置と形状、およびそれらの物理的特性とその下の地質構造の関係の研究

水文学：(1)地球の地表水域と地下水域、それらの時間と空間における存在・循環・分布、生物学的・化学的・物理的特性、および生物との関係を含めて環境に対する応答を取り扱う科学、(2)地球の陸域の水資源の枯渇と涵養を左右するプロセスを取り扱い、水循環の様々な段階を研究する科学

浸透：表土から多孔質媒体への水の流れ

統合沿岸域管理(ICZM)：開発管理および沿岸資源を取り扱う計画と調整のプロセスで、陸域と水域の境界に重点を置く。

統合洪水管理(IFM)：統合水資源管理の枠組みにおいて、洪水管理の断片的なアプローチではなく、統合的アプローチを推進し、河川流域における土地資源と水資源の開発を統合するプロセス。その目的は、氾濫原がもたらす便益を最大化しつつ、洪水による人命の損失を最小化することである。

統合水資源管理(IWRM)：きわめて重要な生態系の持続可能性を損なうことなく、もたらされた経済的・社会的繁栄を公正な方法で最大化するために、水、土地、および関連する資源の系統的な開発と管理を促進するプロセス

湖沼と池：一般的に静水性の水域

静水：湖沼と池のような流れのない水システム

動水：河川のような流れのある水システム

管理放流：生態学的プロセスおよび天然資源に依存した生活のために、それらを回復・維持することを目的として、貯水池から制御された放流をおこない、下流の氾濫原または三角州の特定地域を浸水させること

マングローブ：熱帯および亜熱帯の保護された海岸線で見られるもっとも一般的な森林群系。大潮の高水位よりも下で生育する樹木および灌木からなる。

蛇行：曲がりくねった河道の湾曲部分で、右回りと左回りの二つの連続した曲線からなる。

形態学：雲や氷晶のような気象の構造、形態、または形状の研究。このような気象の分類も含まれる。

多基準分析(MCA):どの意思決定案を評価するか、同一の尺度で計れない矛盾した基準を含む複雑な問題を分析するための一連の手順

栄養塩類:動植物の生育や成長に必要な物質、元素、または化合物

流出口:貯水池や河川から排水または取水をおこなうための開口部

三日月湖:河川が切り離されて新たに短い河道が形成されたときに残される蛇行部分

受動的な順応的管理:予測が依拠するモデルが正しいと仮定する管理案。受動的順応的管理は、プロジェクト活動のモニタリングと評価に加えて、ある種の管理実験の側面を必要とする。

水質浄化:有害または望ましくない物理的特性を変化させ、有害または望ましくない化学物質や生物を除去するための水(または下水)の処理

貯水池:水資源の貯蔵、調節、および制御のために利用される自然または人工の水域

復元:生態系を、攪乱前に近い状態に復元すること

河川連続体仮説(RCC):連続的に傾斜した物理的条件が水源から河口まで存在し、生物群集の構造的・機能的特性は、物理的システムの最確位置または平均状態に適合するという考え方(Vannote ほか、1980 年)。生産者および消費者の集団は、特定区間の動的な物理的条件と調和して定着し、下流の集団は、非効率な上流の一連の有機物を利用するように形成される。上流の非効率(漏れ)および下流の調節が予測可能であると思われる。

河川回廊:氾濫原と河道の両方を含む。

河岸の:法律用語では、国際法協会(ILA)ヘルシンキ規則に従って、地域が流域の表面を流れる河川に接している状態をいう(ILA、1966 年)(オックスフォード辞典によれば、特定の分野で使用されているように、「河岸の(Riparian)」は「河川の(Riverine)」の同義語である)。

河川の:河道および河川に直接つながる隣接した陸域を含む地域

流出水:水と土壌、および陸域に存在する可能性があるそのほかの有機物または無機質の混合物で、降水、融雪、過剰なかんがい、あるいは地表に接触し、河川や湖沼などの地表水域に物質を運ぶ水によって生じる。

土砂:供給源から堆積する場所まで水によって運搬される物質。水路では、浮遊砂ま

たは掃流砂として運ばれる沖積物である。

堆積:水中の浮遊物質が重力によって沈殿し、集積するプロセス

連続不連続仮説:ダムによって、河川の物理的・生物学的特性が、河川連続体仮説に基づく予測とは異なるパターンに変化するという考え方(Ward および Stanford、1983 年)。ダムは、河川の状態を水源に類似した状態にしたり(上流シフト)、下流に類似した状態にしたりすることもあるが、ごくわずかな影響しか与えないこともある。複数のダムは、河川の予測パターンまたは自然パターンに多くの不連続性をもたらす。

下水:様々な用途によって汚染された後に地域社会から排出される水。これは、液体または水によって運ばれる生活・都市・工業排水の組合せで、存在する場合には、地下水、地表水、および雨水とともに運ばれる。

高潮:低気圧の中心の通過によって生じる海面または河口の水位の上昇

戦略的環境評価(SEA):経済的・社会的配慮と同等に、環境影響を意思決定のできるだけ早い段階で完全にに取り込み適切に対処することを保証するために、提案された政策や計画のイニシアチブの環境影響を評価する体系的なプロセス

津波:海底地震、火山噴火、または地すべりによって生じる大規模な海洋波

攪乱/攪乱頻度:(たとえば島嶼部における)特定の種の局地的な絶滅およびほかの種による置換えのプロセス。攪乱頻度とは、単位時間あたりの絶滅し、置き換えられた種の数を用いる(MacArthur および Wilson、1967 年:191)。

水質:水の物理的・化学的・生物学的・官能的特性

湿地帯:沼沢地、湿原、泥炭地。これらは、自然または人工、永久的または一時的なもので、淡水、汽水、または塩水の静水または流水を伴い、干潮時の水深が 6m 未満の海域を含む。