

研究概要書：健全な水循環系・流砂系の構築に関する研究

プロジェクトリーダー名：危機管理技術研究センター長 杉浦信男

技術政策課題：（４）美しく良好な環境の保全と創造

関係研究部：危機管理技術研究センター、河川研究部、環境研究部、
下水道研究部、沿岸海洋研究部

研究期間：平成13年度～平成17年度

総研究費（予定）：約996百万円

1. 研究の概要

当プロジェクト研究は、水循環の現状を把握するとともに、その健全性を表す総合的な評価指標を作成した上で、治水・利水・環境のバランスがとれた評価手法を確立する。一方、流砂系の総合的な土砂管理についても、まず土砂移動の現状を把握するとともに、流砂の量と粒径を連続的かつ継続的に観測するシステムの構築を行う。さらに、将来にわたる流砂系全体における土砂移動に起因した問題に適切に対処するため、流砂系一貫として土砂移動が追跡できる土砂移動予測技術（地形変化推定モデル）と河川・海岸部の詳細な地形変化予測技術、生態系への影響予測技術の開発を行う。これらの結果をもとに、治水・利水・環境に関わる水・土砂管理の総合化を図る。また、我が国や類似の自然・社会条件を有するアジア地域の渇水・災害対策等の水管理技術の発展に貢献する。

2. 研究の背景

河川審議会答申「新たな水循環・国土管理に向けた総合行政のあり方について（平成11年3月）」において、水循環系については、河川、地下水、下水道等に係わる水質、水量は重要であり、実態を十分把握するとともに、国土マネジメントに水循環の概念を入れ、流域全体での視野と社会全体での取り組みの必要性、また、流砂系については、流域の源頭部から海岸の漂砂域までの一貫した土砂の運動領域を「流砂系」という概念で捉え、一貫した土砂移動の実態把握とともに、適切な土砂流出の抑制及び下流への土砂供給などの取り組みを一体的に行うことの必要性が指摘されている。

さらに、国際総合水管理については、総合科学技術会議「分野別推進戦略（平成13年9月）」において、総合水管理の研究開発は我が国だけでなく、世界水危機の回避に貢献できるとして、世界水管理の面での我が国の主体的協力を資する研究開発が必要とされている。

表 2-1 健全な水循環系構築に向けて

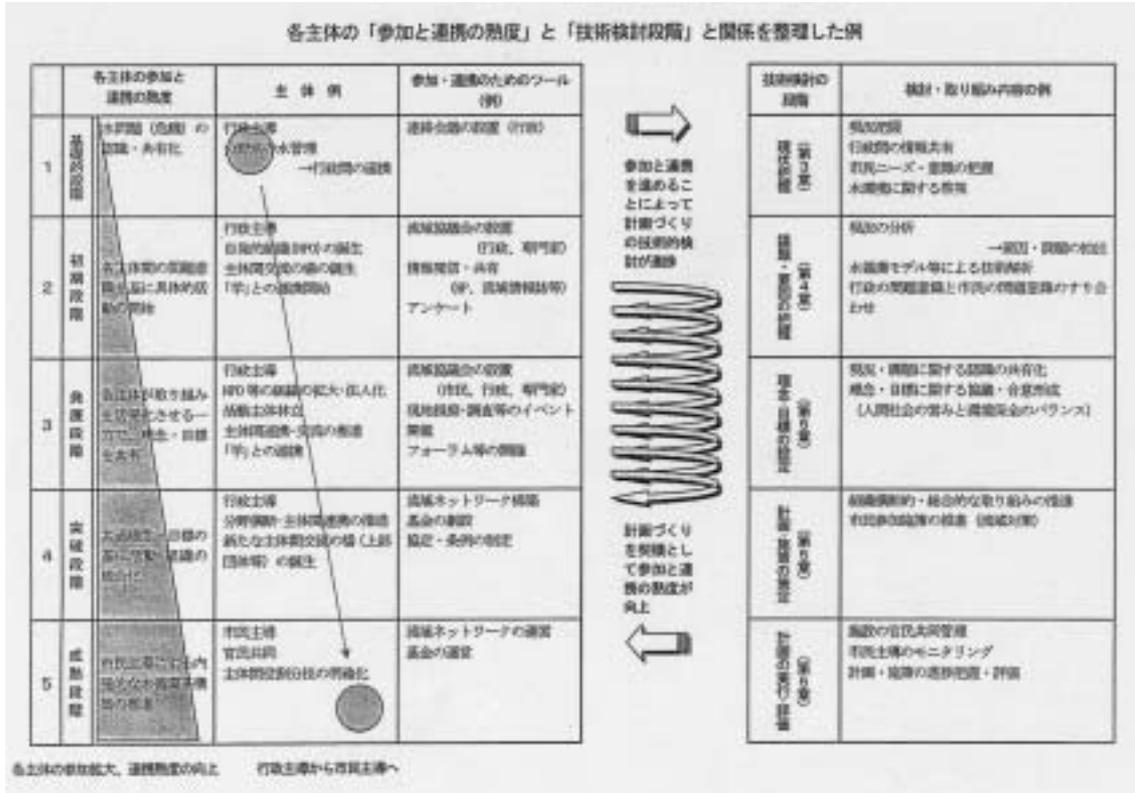


表 2-1 は、健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議が平成 15 年 10 月に取りまとめた「健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて(平成 15 年 10 月)」第三編第 6 章に示されたもので、健全な水循環系構築のための取組みについて、各主体の参加と連携の熟度と技術検討段階の 2 つの視点から、5 つの段階に区分して捉え、双方の関係性から取組の考え方を整理することを試みている。各流域は、それぞれどの段階に位置付けられるのかを自覚し、「参加と連携」と「技術検討」の双方の取組を推進する必要があるとしている。

図 2-1 は、研究フェーズ別にまとめた健全な水循環系構築の研究マップであるが、「基礎理論の研究」は大学、土木研究所などが各方面で取り組みを進めており、「技術検討」の段階のうち「課題・要因の把握」以降の段階で「事業の導入のための手法の開発」から「政策的検討・制度化」までの課題が、本省と連携しつつ国総研が取り組んでいく課題として整理できる。特に、水循環に係わる問題解決のため、関係者間の合意形成の前提となる水循環の現状を把握し、健全性を表わす評価指標の提示と、水循環系で発生している問題に対して個別に対応するのではなく、流域全体の視点から解決のためのツールを提示することが、国総研において取り組むべき課題と判断し本プロジェクト研究の対象とした。

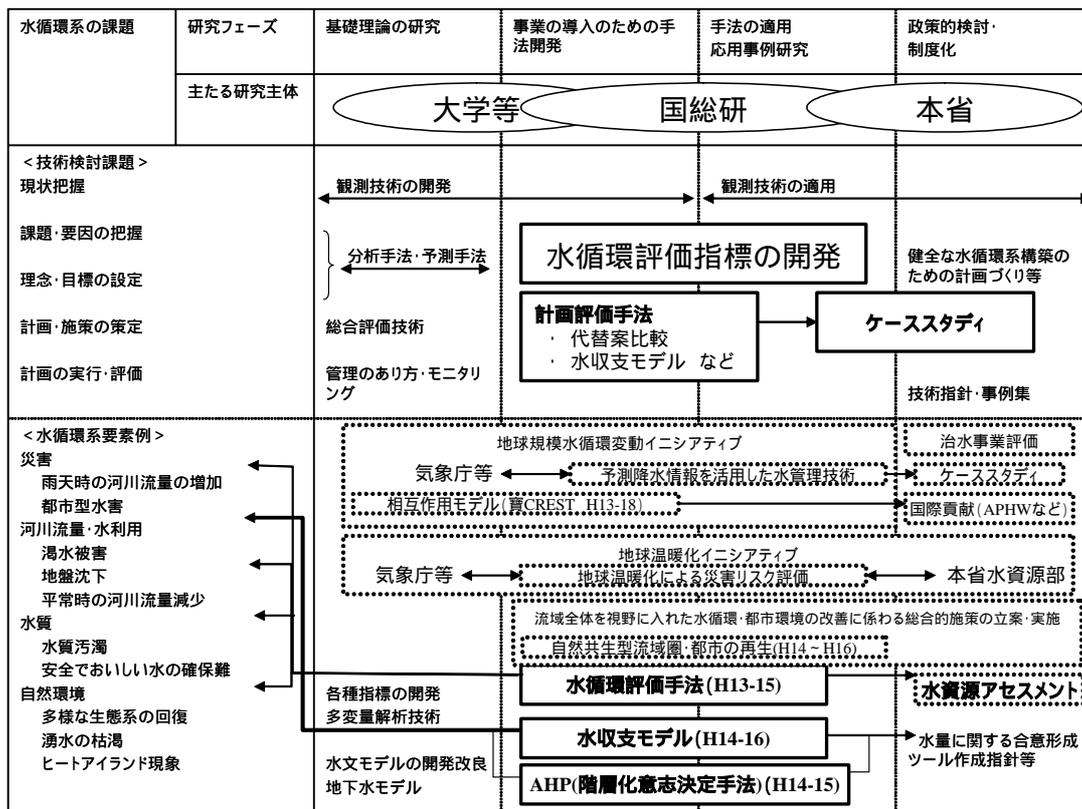


図 2-1 健全な水循環系構築の研究マップ

健全な流砂系の構築に向けた研究についても、流砂量式や漂砂量式の開発・改良・河床変動計算や海浜変形モデルの開発・改良など基礎的な研究は大学や国土技術政策総合研究所・土木研究所において研究が進んでいる。また、ダムからの供給土砂の挙動やダムからの土砂フラッシング、土砂バイパス等の研究は土木研究所において進められている。しかしながら、流砂系一貫した土砂移動実態を把握し、流砂系における総合的な土砂管理を計画する上で、砂防、ダム、河川、海岸の各領域の施策を流砂系一貫として評価するために必要となる、流砂系を一貫して取り扱えることのできる数値計算モデル（地形変化推定モデル）は開発されていない。また、流砂系に係わる問題の解決のためには、関係者間での問題点の共有が重要であり、流砂系全体の視点に立った流砂系の健全性を評価する手法を開発し、望ましい土砂移動を達成するために必要な対策を評価・選定する土砂動態管理手法を提案することが求められている。

上記課題を国総研において取組むべきものと判断し、本プロジェクト研究の対象とした。

さらに、土砂が流水により移動することから、健全な水循環系の構築には流砂系への影響に配慮する必要もあり、水循環系・流砂系それぞれの視点で健全性を評価していくことが重要であることから、水・土砂管理の総合化についても本プロジェクト研究の対象とした。

流砂系の課題	研究フェーズ	基礎理論の研究	事業導入のための 手法開発	手法の適用 応用事例研究	政策的検討・制度化
	主たる研究主体	大学等		国総研	本省
土砂移動モニタリング技術の開発		観測機器の開発			
		土砂移動モニタリング・ガイドラインの開発			
土砂移動の予知・予測技術 の開発と精度向上		流砂量式・漂砂量式の開発・改良			
		河床変動計算・海浜変形モデルの開発・改良			
		流砂系一貫した地形変化 推定モデルの開発			
土砂移動と防災・環境・利用上の問題 との関係の推定技術の開発		推定手法の開発			
流砂系一貫した土砂管理技術 の開発		流砂系の健全性の評価手法・指標の開発			
				計画論の開発	
				対策論の開発	

図 2-2 流砂系研究の役割分担

3. 研究の成果目標（アウトプット目標）

(1) 健全な水循環系の構築

- 1) 水循環に係わる問題解決のためには、関係者間の合意形成が必要となる。その前提となる水循環の現状を把握し、健全性を表わす分かりやすい総合的な評価指標を開発する。
- 2) 発生している問題に対して個別に対応するのではなく、流域全体の視点から、健全な水循環系構築に向けて問題解決のためのツールとして水収支モデルの開発など、有効な合意形成手法を提案する。

(2) 健全な流砂系の構築

- 1) 土砂移動に係わる問題の解決のためには、流砂系一貫した土砂移動実態の把握と問題点の共有化が重要である。急流区間から感潮区間までの掃流砂・浮遊砂の観測機器の開発を行うとともに、流砂系全体の問題解決の「鍵」となるターゲット粒径に相当する土砂に着目した土砂モニタリングを行い、土砂移動実態を把握して土砂動態マップおよび土砂収支図を作成し、流砂系一貫した流砂の量と粒径を連続的且つ継続的に観測するシステムを提案する。
- 2) 総合的な土砂管理を行うためには、流砂系全体における将来の土砂移動とその影響を予測する技術が必要であるため、流砂系一貫として土砂移動が追跡できる土砂移動予測技術（地形変化推定モデル）と河川・海岸部の詳細な地形変化予測技術、生態系への影響予測技術の開発を行う。
- 3) 個別分野の対応とともに、生態系の保全を含む流砂系の土砂移動に係わる問題を解決するため、流砂系全体の視点に立った流砂系の健全性を評価する手法を開発し、望ま

しい土砂移動を達成するために必要な対策を評価・選定する土砂動態管理手法を提案する。

(3) 水・土砂管理の総合化

(1)、(2)の成果をもとに、モデル流域において、水循環系・流砂系それぞれの視点で健全性を評価し、総合化手法を提案する。

4. 研究の成果の活用方針（アウトカム目標）

流域全体の視点にたった水循環系の評価指標の構築によって流域間比較や時間的変遷の確認、情報の共有が可能になり、行政だけではなく流域住民を含めた主体的な取組みに寄与することが期待できる。また、流砂系一貫とした総合的な土砂管理手法が提示され、従来の個別対処的な対策ではなく、流域全体で取り組むべき問題点を明確にすることが可能となる。

治水・利水・環境のバランスがとれた評価手法を確立することによって、社会全体として取り組める国土マネジメントとしての適正な水管理の実施が支援され、健全な水循環系、流砂系が構築される。

さらに、我が国における水管理手法の成果は、特に自然・社会条件が類似するアジア地域への適用可能性が高く、当該分野における国際貢献の促進が期待できる。

5. 研究内容、年度計画

(1) 健全な水循環系の構築

健全な水循環系の構築は発生している問題に対して個別に対応するだけではなく、流域の視点から治水・利水・環境のバランスを考慮して健全な水循環系の構築をめざす総合的な取組みであると考えられる。国総研では、水循環系の健全性を確保するための取組みを支援するために、流域全体の治水・利水・環境のバランスを考えた総合的な評価手法を提示することとしている。

水循環系の評価は、流域管理の各段階に応じて流域の状態を評価していくものであり、人間の健康診断と比較して考えるとわかりやすい。健康診断では、一般に健康と考えられる状態と比較して自分がどのように位置付けられるのかという観点（他者との比較）と過去の状態からどのように変化し、将来どのような状態になるかという観点（時間的変遷）が重要である（図 5-1）。水循環評価でも流域間比較を行い、それぞれの流域の時間的変遷を確認することが必要であり、さらに健全化の取組みを行う主体が多岐にわたることから、このような情報を流域で共有化することによってし、各主体のそれぞれが主体的な取組みを促進することが水循環評価には期待される。

水循環評価は図 5-1①にある流域総合評価と②③にある個別評価の両方を総称している。本研究では①として、流域間の比較、流域全体の経年変化の観察、情報の共有化や流域における取組みの達成状況を確認するといった流域総合評価のため指標の作成、②③として、

問題解決策の比較評価のツールの作成を実施し、流域の特性、経年的変化の把握を通じた問題発見及び問題解決のための関係者間の幅広い取組みを可能にする手法を検討する。

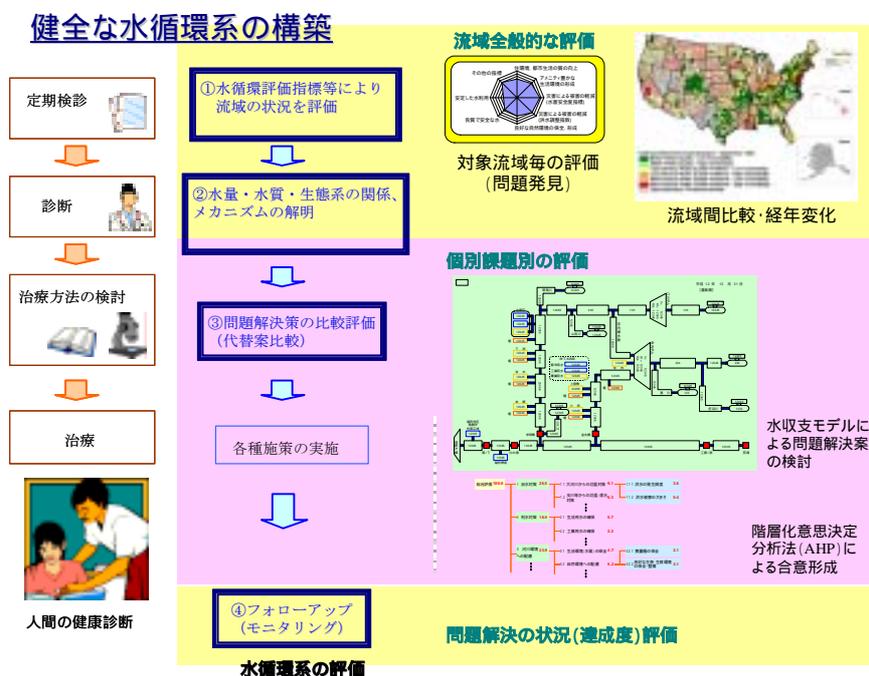


図 5-1 水循環評価と健康診断の比較

1) 水循環系評価指標等により流域の状況を評価 (H13~H15)

水循環評価指標の構築にあたって、国内外の幅広い事例を収集して分析した。その上で、指標構築の考え方を明らかにして日本全国を網羅する指標作成を試みた。指標構築にあたっては、水質のみではなく、洪水等の災害に対する安全度、水利用、生態系といった水循環に関連するものを幅広く対象にし、データの入手可能性等を勘案して全国一級河川 109 水系を 235 に区分した流域単位で日本全国を表示した。

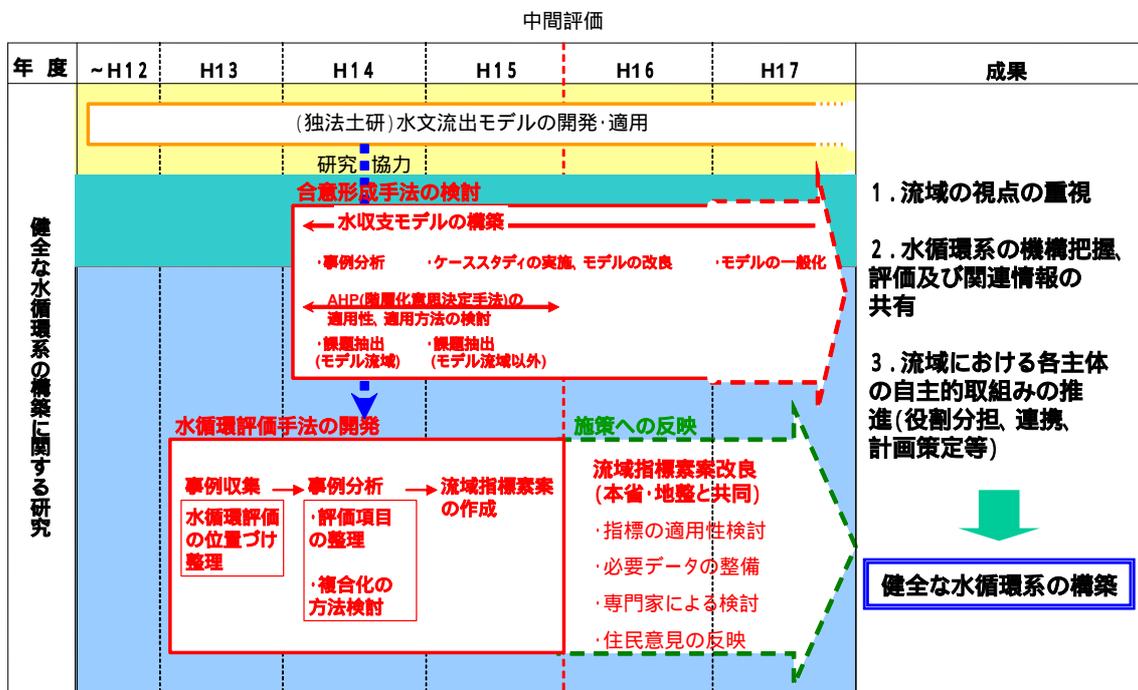
水循環に関する指標としては多くの事例がある。例えば米国環境保護庁 (EPA) による流域指標 (Index of Watershed Indicators, IWI) は水質の脆弱性に関する情報を全米各流域について指標で表したもので、評価にあたっての計算根拠、データベースの整備状況を明示した上で水質汚濁や流域の人口動態等を現状 (condition) と水質汚濁に対する脆弱性 (vulnerability) の 2 つの側面から総合評価している。また、環境指標として環境への負荷 (Pressures)・自然の状態 (State)・人間活動による対応 (Response) を PSR の枠組みとして整理した OECD による事例がある。

このような事例を分析した結果、水循環系を洪水等の災害に対する安全度、水利用、水質、生態系に分類して、人間活動が水循環に及ぼす影響を P (Pressures)、自然が有する状態を S (State)、水循環改善の取組みを R (Response) として、それぞれの構成要素を指標として抽出した。また、洪水等の災害に対する安全度、水利用、水質、生態系といった分類である程度、指標を総合化して指数を作成した。

2) 問題解決策の比較評価（代替案比較）(H13~H17)

健全な水循環系を構築するための問題解決策は、トレードオフ関係にある水量、質といった各要素間の最適な解決策を見出していく評価比較が必要である。水量についての水利用関係者間の調整に資するツールの一つとして水収支モデルを開発する。

また、関係者間で合意形成を進めていく代替案比較のツールとして関係者の意思を数量化する手法について国内外の事例調査、各種手法を比較評価した。関係者の意思を数量化する有力な手法として非貨幣的価値もあわせて評価するAHP（階層化意思決定法）等の多基準分析の治水・利水・環境を含めて河川事業への適用性を検証し、適用方法を検討した。



:他機関で実施されるものあるいは別途実施するもの

「成果」は水循環健全化関係省庁連絡会議報告書(H13)による

図 5-2 全体計画（健全な水循環系の構築）

表 5-1 モニタリング計画

モデル流砂系	観測地点	ターゲット粒径	観測回数	採取のタイミング
阿武隈川	河口 平地 山地	0.1~1.0mm	出水時：2回/年 平常時：1回/年	出水時：1回/時 平常時：1回/日
信濃川	新潟海岸、 寺泊海岸 平地 山地	0.1~0.5mm	1回/年程度	1回/時
富士川	富士海岸、 蒲原海岸 山地	30~100mm	出水後：1回/年	出水後：1回/時
安倍川	静岡・清水海岸 平地 山地	1~10mm	出水時：2回/年 平常時：1回/年	出水時：5回/出水 1回/時 平常時：3回~1回/日
日野川	皆生海岸 平地 山地	0.6~5mm	出水時： (警戒水位の都度)	ピーク前、ピーク時 、ピーク後
黒部川	平地 山地	0.8~80mm	出水時：2,3回/年	出水時：1回/1時~2時間

2) 土砂移動の予知予測技術の開発、土砂移動と防災・環境・利用上の問題との関係の推定技術の開発、流砂系の健全性を評価する技術の開発 (H13~H17)

流砂系全体における将来の土砂移動とその影響を予測する手法として、流砂系一貫として土砂移動を追跡できる土砂移動予測技術（地形変化推定モデル）の開発を行う。

土砂移動予測計算の精度向上を図るため、山腹斜面からの土砂生産・流出の力学的モデルを検討する。

河川から供給される各粒径集団の海浜地形形成等に対する効果・役割を明確にし、波浪条件による土砂動態を解明する。底質の粗度形成を考慮した海浜安定化手法に関する調査、河口域における底質の移動及びそれに伴う地形形成の予測手法の開発を行う。

土砂移動の環境への影響については、流砂環境の干潟生態系への影響に関する調査、ハビタットを含めた礫河原の形成機構を解明し河道地形とハビタットの修復手法の有効性を検討する調査、水系土砂動態に伴う河川の自然形成システムの変質とその再生手法に関する調査を実施する。

比較的データの収集が容易な、全国の主要一級水系において、流砂系の問題が発生している箇所と程度（頻度）を調査し、健全性を評価可能な指標を提案する。

3) 流砂系一貫とした土砂移動管理技術の開発 (H13~H17)

透過型砂防えん堤の土砂調節効果等流砂系一貫とした土砂移動の管理技術を研究し、望ましい土砂移動を達成するために必要となる対策を評価して、対策の選定手法を提案する。

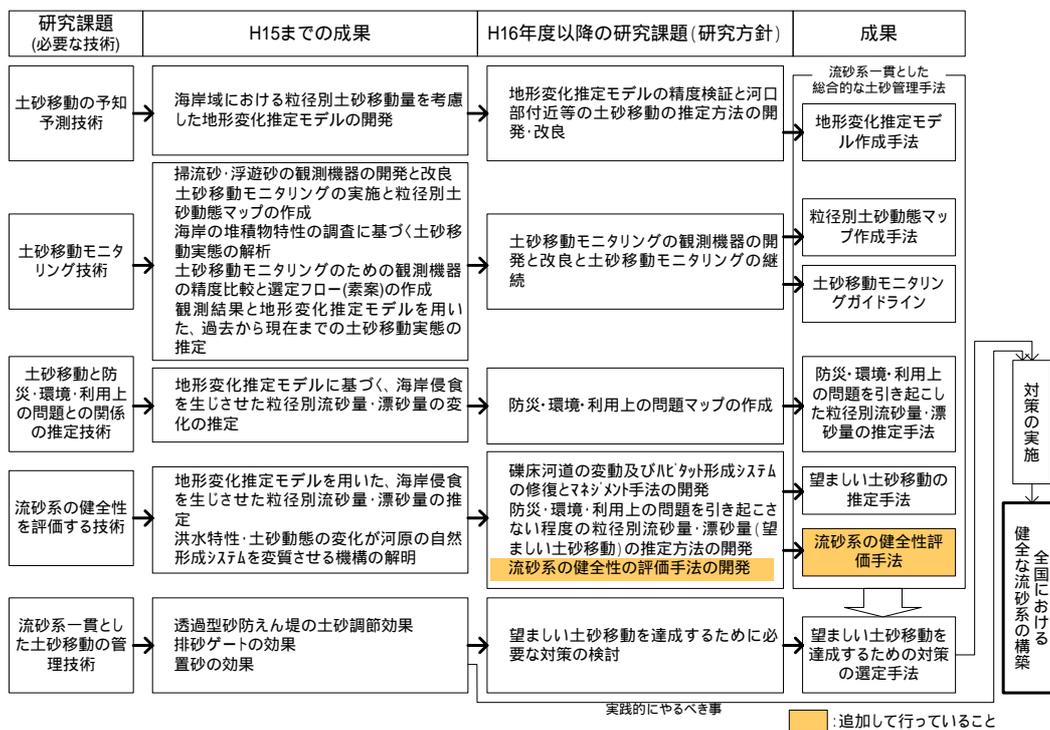


図 5-4 全体計画 (健全な流砂系の構築)

(3) 水・土砂管理の総合化 (H17)

(1)、(2)の成果をもとに、治水・利水・環境に関わる水・土砂管理の総合化を検討する。

モデル流域において、水循環系・流砂系それぞれの視点で健全性を評価し、課題を抽出し、全国の流域管理に資する。

さらに、本プロジェクト研究の成果は、アジア各国の経済力、技術レベル、河川流域の相違等に配慮しつつ、戦略的基礎研究推進事業 CREST「社会変動と水循環の相互評価モデルの構築」、及び「人口急増地域の持続的な水政策シナリオームスーン・アジア地域等における地球規模水循環変動への対応戦略」の研究に反映していく。

6. 研究実施体制

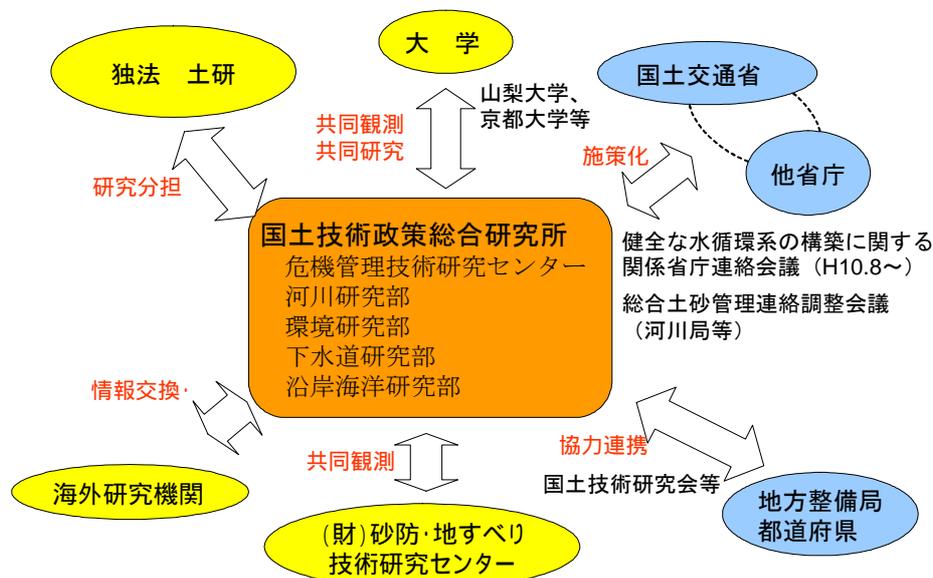


図 6-1 研究実施体制と連携機関

7. 平成 15 年度までの研究成果

(1) 健全な水循環系の構築

1) 水循環系評価指標等により流域の状況を評価

① 指標構築の考え方

OECD では環境指標として、環境への負荷 (pressures)・自然の状態 (state)・人間活動による対応 (response) の組み合わせを PSR の枠組みとして紹介している。これに似たものとして原因 (driving force)・状態・影響 (impact)・対応を組み合わせた DPSIR の枠組みなど、指標作成に必要な構成要素について多くの提案が行われている。水循環指標としては構成要素に加えて、洪水等の災害に対する安全度、水利用、水質、生態系といった分類である程度、指標を総合化する必要がある。

指標の総合化して指数を作成するには、ある定性的な要素を構成する複数の要因データを重み付けによって組み合わせる手法があるが、この手法では重み算出を適正に行うことが難しく、算定された指標の意味を解釈して具体的な行動に結び付けることが困難である。そのため総合化にあたっては、できるだけ総合化した指標自体の意味がわかりやすくなるよう努めた。

水循環指標の総合化にあたっては、P を人間活動が水循環に及ぼす影響、S を自然が有する状態、R を水循環改善の取組みであるとして、P、S、R を例えば、「指標 $I=R \times S / P$ 」のように組み合わせることを考えた。これにより求められた指標 I が自然の有する状態 1 単位あたりの人間活動の影響度合い (P / S) に対する改善の取組み R の割合という形で、指標自体に意味を付加することができる。数値化できるかどうかは別にして、災害に対する安全度、水利用、水質、生態系のそれぞれのイメージとしては表-1 のよ

うなものが考えられる。P、S、Rについては、利用可能なデータを試行錯誤する形で組み合わせていくことになるが、このプロセス自体に多くの人に参加して知見を集積することが望ましいと考えた。

表 7-1 指標の要素

分類	PSR	考えられる要素例
災害に対する安全度	P	人口・資産の集中度、災害に対する無知
	S	降雨の少なさ、地形の堅固さ、浸透
	R	治水対策、災害情報システム、水防団
水利用(河川水量)	P	人口、水利用原単位からの水の需要量
	S	水資源賦存量
	R	貯水量、節水率
環境－水質	P	汚濁負荷、経済活動
	S	水量、水域閉鎖性の緩和度
	R	排水規制、下水道の整備
環境－生態系	P	開発面積、開発圧力
	S	種の環境への適用度、種の多様性
	R	生態保護規制、有効なミティゲーション

② 指標の作成例

指標作成の第一歩としてデータの入手可能性等を勘案して全国一級河川 109 水系を対象にする。ただし、利根川のように大河川では流域を1つの指標で表示してしまうと、指標から具体的な取組みに結び付けることが難しいため、流域を適宜、250程度に分割した。

図 7-1 は災害に対する安全度、水利用、環境（水質、生態系）について、PとSの組み合わせを試みたものである。具体的には災害に対する安全度として流域人口密度あたりの年間降水量の逆数、水利用として年間の水使用量あたりの水資源賦存量、環境（水質）として年間の COD 汚濁負荷量 1 トンあたりの年間河川水量、環境（生態系）として流域人口密度あたりの生物種数を表示した例である。これにより、例えば水利用の図からは都市部の水資源が周辺山地域に依存している実態とも一致することがわかる。ここでは P と S のみを示したが、水循環系を改善する要素として対策（R）を考慮した上で、P、S、R を総合化する必要がある。

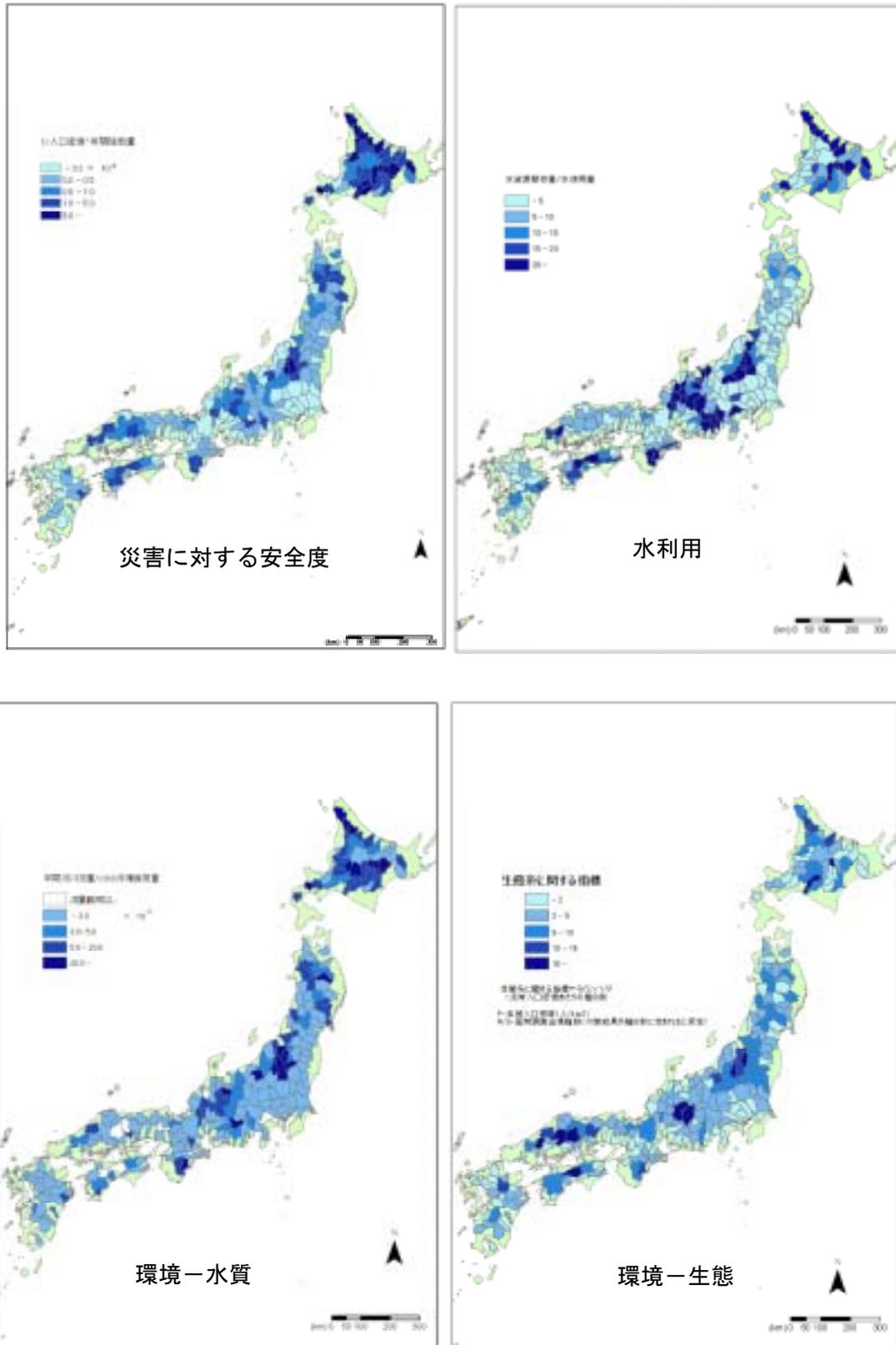


図 7-1 P と S を組み合わせた指標作成例

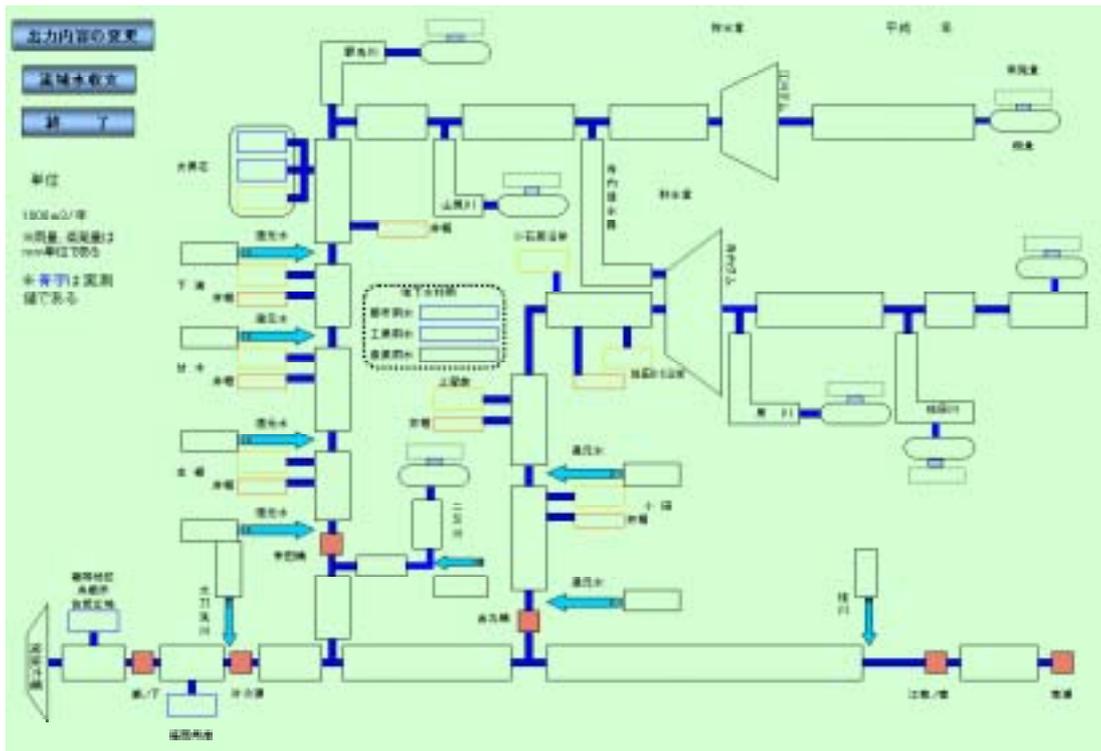
2) 問題解決策の比較評価（代替案比較）

① 水収支モデル

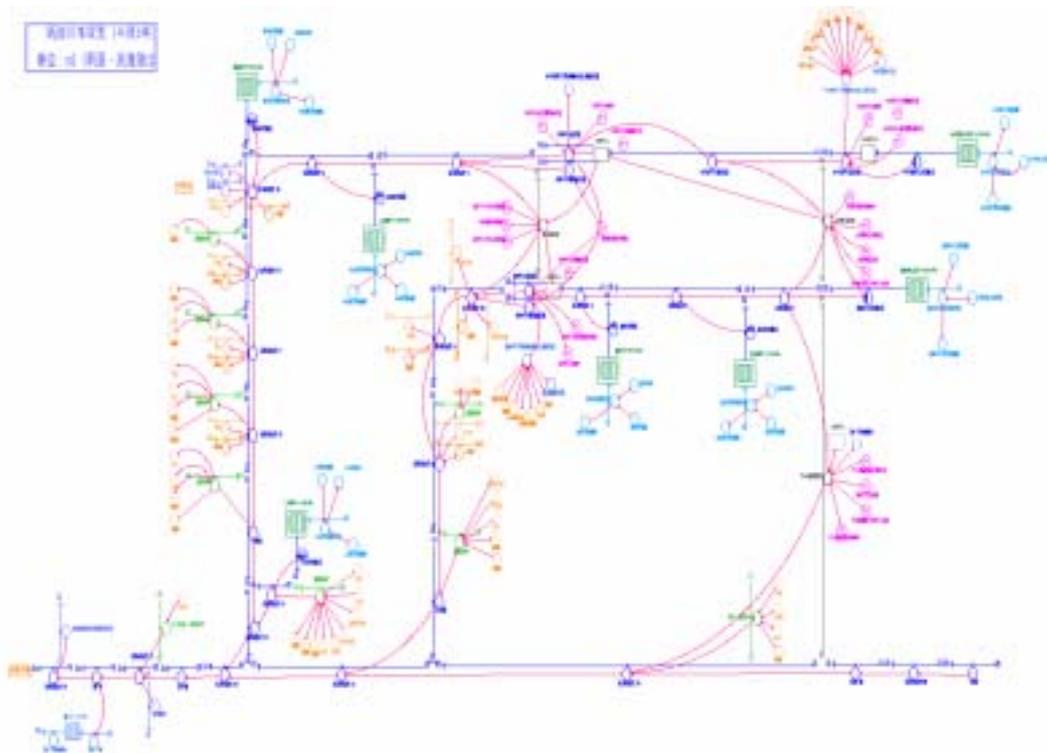
水を適切に配分して健全な水循環系を構築するためにツールとして、水収支モデルの作成を行った。環境意識の高まり等を背景に水資源に対する人々の価値基準は多様化する一方で新たな水資源開発は難しいことが多く、関係者の合意を得つつ、既存施設を有効に活用することが求められている。多様な価値を伴う水資源の配分は単一の方法で各種開発計画を評価し合意を得ることは困難になっており、こうした多様性に対処する意味で計画策定時の関係者間の議論、住民参加が重視されるようになってきている。そのため、健全な水循環系を構築するため、参加型意思決定を支援するツールとして水収支モデルの開発を行った。

参加型合意形成を現実に行うには、どのようにして全ての関係者が納得する解決方法を見つけるか、その意思決定プロセスを工夫する必要がある。とりわけ水利用が複雑化した流域では参加型合意形成は容易ではなく、関係者が意思決定に参加することを支援するツールが必要になるものと考えられる。意見調整プロセスにおいて流域の将来の予測あるいは各関係者の取組みによって想定される結果を考慮しながら議論を行うことを手助けするため、行政、専門家、その他関係者が集まってシミュレーションを行うモデルを作成する事例が米国にあるが、国総研では、このモデルを参考にして、わが国の背景に適合した参加型合意形成を支援するツールの作成を試みるケーススタディを筑後川水系小石原川・佐田川流域で行った。

当該流域の主な水利用は農業用水、工業用水、水道用水であるが、近年、湧水・地下水枯渇が懸念され、その保全・復活が期待されている。しかし、当該流域では水利用が高度に進み、複雑化しており、関係するデータがどの程度、整備されているかということも含めて、現状把握そのものが困難になっている。そのため、まず現状をどこまで把握できるかを明らかにするため、関係者でデータを持ち寄ってデータベースを構築し、その上で各種施設の影響、関係者の取組み等をシミュレーションするモデルの作成を試みた。平成 15 年度までに、入手できる範囲でデータベース、シミュレーションモデルを構築し、ある時点での取水量を変化させたときの流況の変化、既設の施設がなかったと仮定した時、あるいは逆に計画中の施設があった場合等のシミュレーションが可能な水収支モデルを作成したが、図 7-5 は Excel®によるモデルと STELLA®を組み合わせたモデルの流域の状況を示したものである。



(1) EXCEL®による表示例



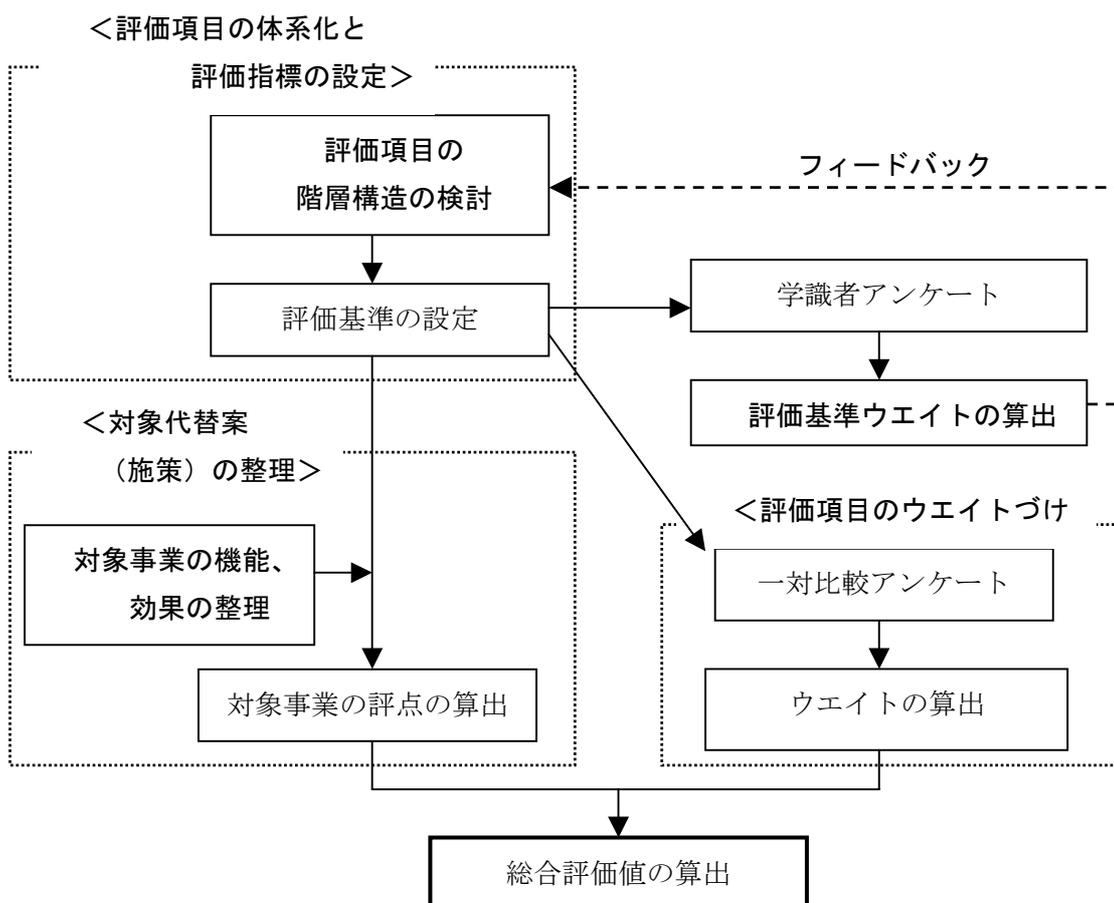
(2) STELLA®によるモデル表示例

図 7-2 水収支モデル

② 合意形成を目指した代替案比較のツールの開発（ケーススタディー AHP）

AHP（階層化意思決定法：analytic hierarchy process）は、問題の要素を最終目標→評価基準→代替案の関係で捉えて段階構造を作り、最終目標からの観点によって評価基準を設定し、各代替案（施策）の重要度を評価する手法である。そして、最終的には最終目標からみた代替案の評価換算が可能となる方法である。AHPは代替案を客観性を担保しながら定量的に評価可能である点が他の手法より優れており、またわかりやすさ・手軽さ・説明性等の観点から意思決定問題において多くの実績を有しているといわれている。このため、関係者間での合意形成時の代替案比較のツールとして、河川分野における活用手法を研究した。

AHPの手順は、多種多様な評価項目を網羅的に樹形図（ツリー）形式に整理し、その項目間の重要度（ウエイト）を計測する。次に、ウエイトは評価基準設定者を被験者として評価項目間の一対比較アンケートにより数量化する。整理した評価体系の細項目を評価基準として、評価対象の事業について評点を付ける。最後に項目間のウエイトと評点から総合評価値を算出する。したがって、必要に応じてフィードバックを繰り返して修正を行ない、同時に全体の整合性を見直すことが必要である。



平成14年度には、河川整備の目的を最終目標とし、河川整備の目的を実現するための方策（実現方策）、事業実施による実施効果や影響等に細分して評価基準項目の段階構

造を作った。以下はAHPによる河川事業の階層化と評価項目に対する被験者の数値化の結果である。

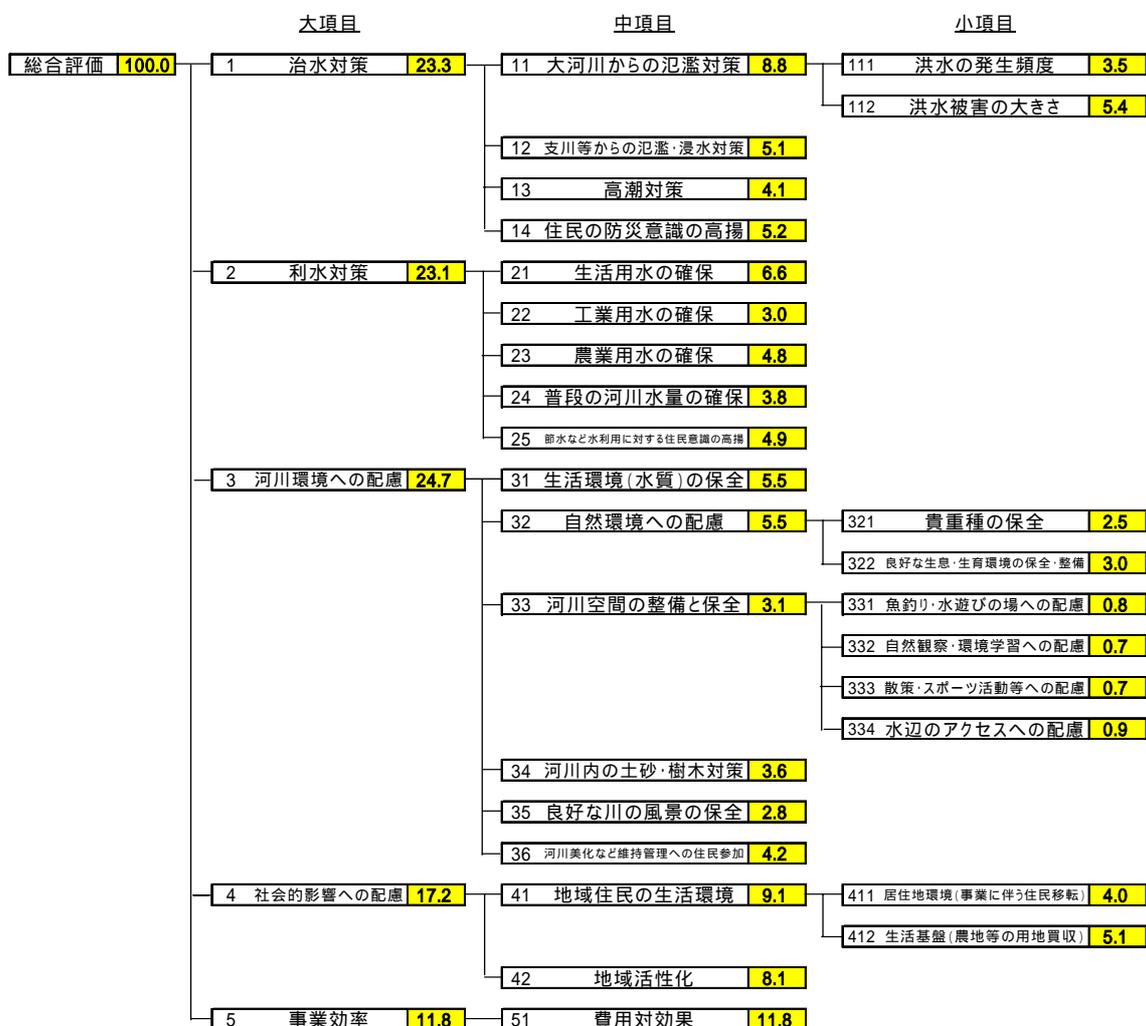


図 7-3 河川事業のAHP階層区分とウエイト付けの一例

AHP手法実施上の課題として、以下の問題点が挙げられる。

- ・ アンケート調査の被験者は、評価項目の体系化の意図や用語の解釈を十分に理解していることが必要
- ・ 被験者の考え方の勘違い、評価項目の用語解釈の相違などを可能な限り取り除くことが必要
- ・ 河川の評価項目は専門用語が多い上、内容が多様でかつ都市部、農村部など地域による差異が大きいため、必要に応じて評価項目への追加検討が必要

以上を踏まえ、平成15年度は、河川に関する用語の分かりやすい説明方法や、一般住民が理解を深めるために必要な説明用素材などを含む河川用語等の手引きの作成を行った。

(2) 健全な流砂系の構築

- ① 急流区間から感潮区間まで観測可能な掃流砂・浮遊砂の観測機器の開発及び改良を実施した（H15以降も継続）。



図 7-4 流砂量観測機器の比較表

- ② 水路実験により搬入型の流砂量観測機器の精度と適用範囲を検証し、土砂移動モニタリングのための観測機器の精度比較と選定フロー（素案）を作成した。

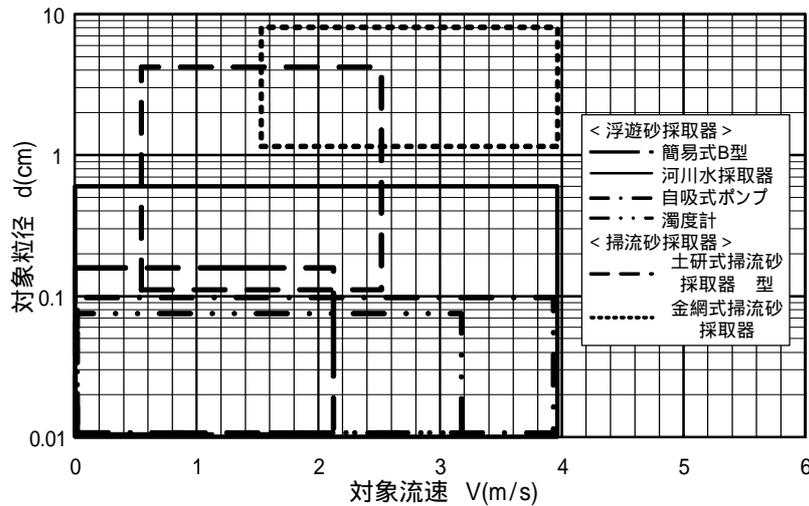


図 7-5 流砂量観測機器の適用範囲

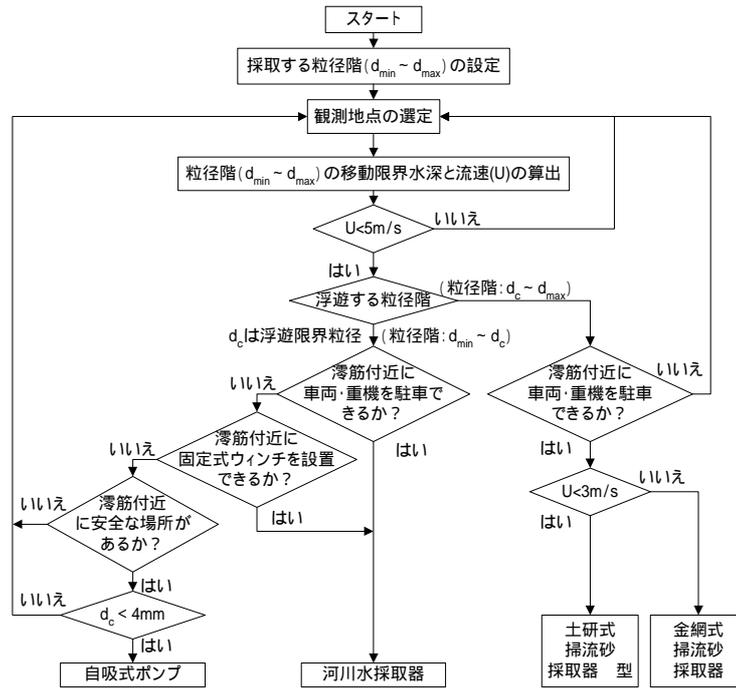


図 7-6 流砂量観測機器の選定フロー

③ モデル流砂系等における土砂移動の実態の把握（粒径別土砂動態マップの作成）

平成 14 年度までに石狩川流砂系、姫川流砂系、安倍川流砂系等に適用し、粒径別の土砂動態マップを作成した。平成 15 年度には安倍川流砂系等において粒径別土砂動態マップを作成した。

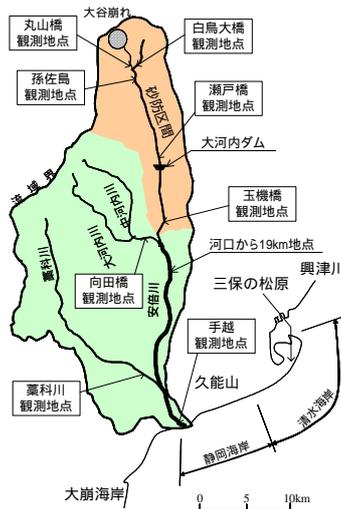


図 7-7 安倍川流域図

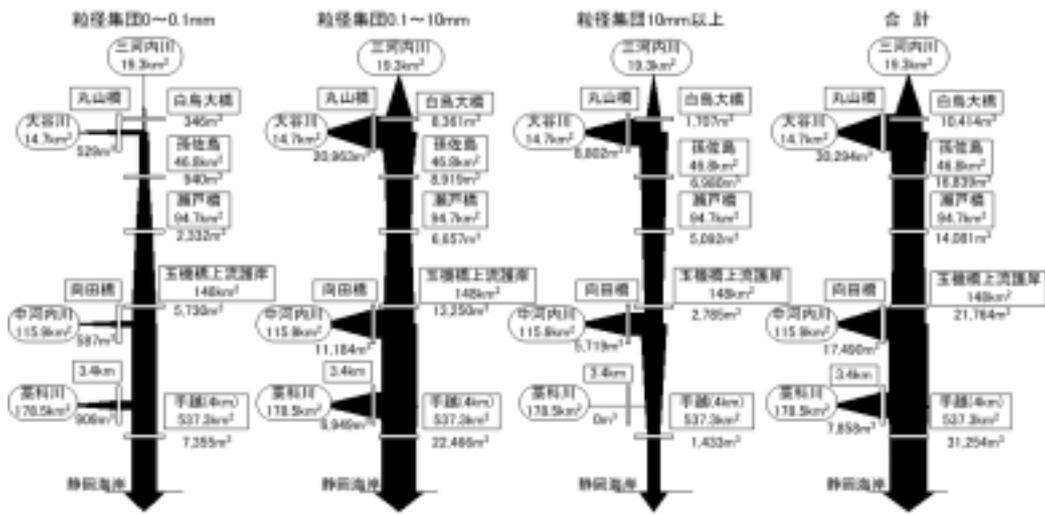


図 7-8 安倍川流砂系土砂動態マップの例（平成 14 年 10 月 1 日～3 日）

④ 平成 15 年度までに流砂系一貫として土砂移動を追跡し、地形の変化を推定できる数値計算モデル（地形変化推定モデル）を開発し、安倍川流砂系に適用して、精度を検証した。その結果、河床位といった地形の変化傾向や河口から海岸域へ流出した土砂量を概ね再現できた。

地形変化推定モデルは河床変動計算モデルと海浜変形モデルからなる。河床変動計算モデルは山地流域から平野部、河口部までの地形の変化を推定するもので、山地流域から平野部までは土砂流出モデル、平野部から河口部までに河床変動モデルを適用した。海浜変形モデルは海岸部の等深線の位置の変化を推定するもので、等深線変化モデルを適用した。

土砂流出モデルは、斜面部から河道部への降雨の流出を計算するモデルと河道部における土砂移動を計算するモデルからなる。斜面部における降雨の流出は地表部を流れる表面流と地中部を流れる中間流により計算した。河道部における土砂移動は、河道部内での流水の運動と流砂の運動から計算した。

流砂は掃流砂、浮遊砂、ウォッシュロードとし、河道部から供給されるものとした。

平野部の河道部における土砂移動は、河道部内での流水の運動と流砂の運動から計算した。

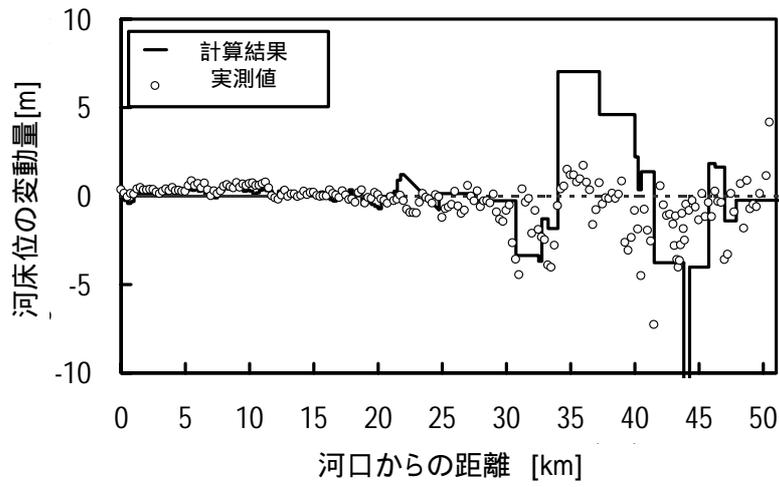


図 7-9 河床変動の再現計算結果 (S57 年~H13 年)

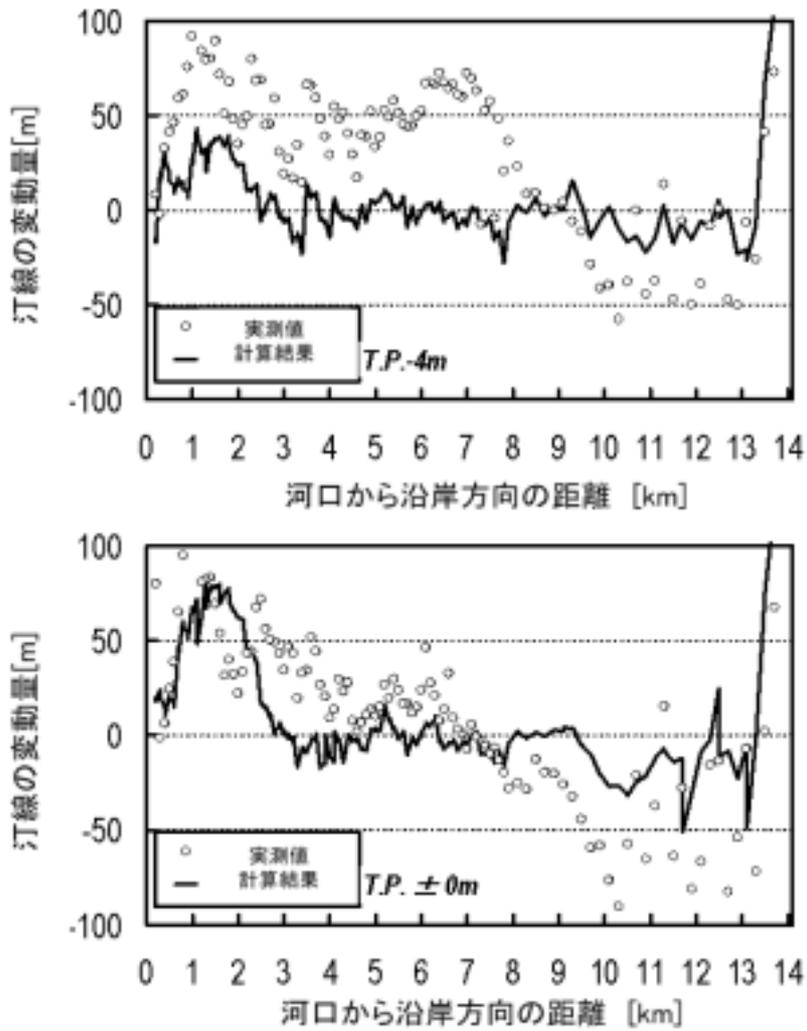


図 7-10 汀線の再現計算結果 (S57 年~H13 年)

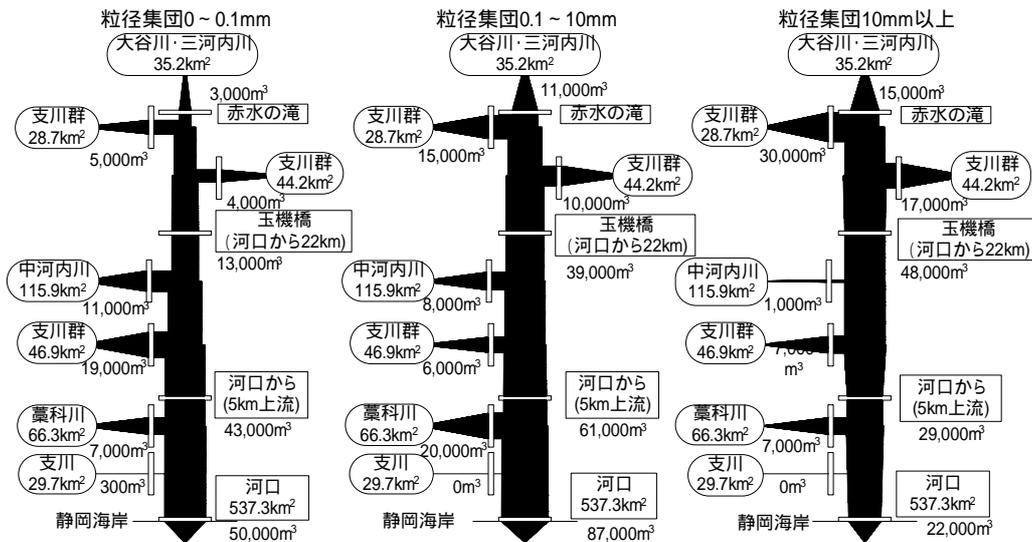


図 7-11 安倍川流砂系土砂動態マップ(S57 年～H13 年の 20 年間の平均値)

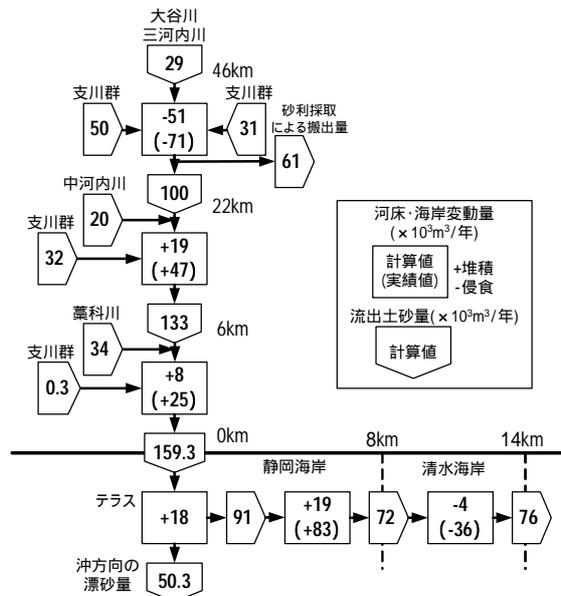


図 7-12 安倍川流砂系土砂収支図(S57 年～H13 年の 20 年間の平均値)

⑤ 洪水特性・土砂動態の変化が河原の自然形成システムを変質させる機構を解明した。
(多摩川)

平成 14 年度までに土砂移動と環境との関係を推定する技術として、河原の樹林化が進行した多摩川の永田地区で洪水特性と土砂動態の変化が河原の自然形成システムを変質させた機構を解明し、その変質したシステムを再生させるための基本構想を提案した。平成 15 年度は、洪水特性・土砂動態の変化が河原の自然形成システムを変質させる機構を解明した。(多摩川)

8. 研究の成果目標に対する達成状況

(1) 健全な水循環系の構築

水循環系評価指標等による流域の状況評価については、流域の視点から、水循環系の健全性を確保するために、治水・利水・環境のバランスがとれた総合的な評価指標についての素案が作成できたことから、概ね目標を達成した。

問題解決の比較評価については、関係者間で合意形成を進めていくツールとして、関係者の意思を数量化してみる有力な手法としてAHP（階層化意思決定法）を検証し、平成14年度までにAHPによって河川事業を階層化・数値化できたことで一定の成果が得られた。また、水収支モデルについては、ケーススタディとして、モデル流域の利水の中でその使い方を水利用関係者間で調整していくツールとしての検討ができ、モデルの一般化に向けて着実に成果が得られている。

(2) 健全な流砂系の構築

土砂モニタリング技術については、流砂系における土砂移動の実態について、モデル流砂系などで土砂動態マップを作成できたことや、観測機器の開発、観測精度の比較、選定フロー（素案）ができたことなどから、概ね目標を達成した。

土砂移動の予知・予測技術の開発・土砂移動と防災・環境・利用上の問題との関係の推定技術の開発・流砂系の健全性を評価する技術については、流砂系一貫とした地形変化推定モデルを開発し、安倍川流砂系において海岸侵食を生じさせた粒径別流砂量、漂砂量の変化が推定できたことや、洪水特性・土砂動態の変化が河原の自然形成システムを変化させる機構を解明できたことなどから、一定の成果が得られた。

流砂系一貫とした土砂移動の管理技術の開発については、平成15年に透過型砂防えん堤の土砂調節効果について本プロジェクト研究の成果を基に本省より全国に指針が通知されたことなどから、一定の成果が得られた。

(3) 水・土砂管理の総合化

(1)、(2)の成果をもとに、平成17年度末までにモデル流域において、水循環系・流砂系それぞれの視点で健全性を評価し、課題を抽出し、全国の流域管理に資する考えである。

さらに、アジア各国の貢献については、戦略的基礎研究推進事業CREST「社会変動と水循環の相互評価モデルの構築」、及び「人口急増地域の持続的な水政策シナリオ・アジア地域等における地球規模水循環変動への対応戦略」の研究の場で成果を反映していく考えである。

9. 現在の研究成果の公表・活用状況（予定含む）

① 政策への反映

水に関係する5省で構成する「健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会」における健全な水循環系構築のための計画づくりへの支援を行う。

透過型砂防えん堤の計画・設計上の留意点について（H15.5.7 事務連絡）の技術支援を行った。

② 国土技術研究会において成果発表。

「流砂系一貫の土砂管理による海岸保全計画に関する調査」、「水系一貫土砂管理にむけた河川における土砂観測、土砂動態マップ作成及びモニター体制構築に関する研究」の成果として平成 14 年度に取りまとめ、公表した。

「河床変動の特性把握と予測に関する研究」、「流砂系における土砂移動実態に関する研究」は継続して、その都度成果を公表した。

「漂砂系における流砂量モニタリングに関する調査」を平成 15 年度から新たに開始した。

③ 学会誌関係への発表

- ・ 安倍川流砂系における海岸侵食に影響を及ぼした土砂移動の推定 福嶋彩、水野秀明、原禎利幸、寺田秀樹、境道男、長嶋佳孝、加藤善明、西本直史 平成 16 年度砂防研究発表会概要集 p.330～331 2004.5
- ・ 搬入式流砂量観測機器の選定手法に関する考察および安倍川における流砂量観測への適用 原禎利幸、水野秀明、福嶋彩、寺田秀樹、境道男、長嶋佳孝、加藤善明、村上正人 平成 16 年度砂防研究発表会概要集 p.18～19 2004.5
- ・ 安倍川流砂系における数値計算モデルによる土砂動態の再現について 福嶋彩、水野秀明、寺田秀樹、中野泰雄、長嶋佳孝、大石康正、西本直史 平成 15 年度砂防研究発表会概要集 p.264～265 2003.5
- ・ 流砂量観測機器の適用範囲に関する実験的研究 宮尾保道、中野泰雄、寺田秀樹、水野秀明、江島敬三 平成 15 年度砂防研究発表会概要集 p.266～267 2003.5
- ・ 安倍川での平成 13 年 8 月 22 日出水における土砂移動実態 寺田秀樹、水野秀明、福嶋彩、宮尾保道、飯野光則、栢木敏仁 平成 14 年度砂防研究発表会概要集 p.28～29 2002.5
- ・ 浮遊砂量現地観測結果と既往浮遊砂量式との比較 寺田秀樹、水野秀明、福嶋彩、宮尾保道、飯野光則、栢木敏仁、村上正人 平成 14 年度砂防研究発表会概要集 p.368～369 2002.5
- ・ 砂防溪流における流砂量現地観測 笹原克夫、竹崎伸司、中野公章、海原荘一、長井斎、村上正人、飯田弘和 平成 13 年度砂防研究発表会概要集 p.314～315 2001.5
- ・ 流砂系を一貫として扱う地形変化推定モデルの開発と安倍川流砂系への適用 福嶋彩、水野秀明、寺田秀樹 土木技術資料 Vol.45 No.2 P.50～53 2004.2
- ・ 総合的な土砂管理に向けた土砂移動の観測 国総研アニュアルレポート 2003、p28～31、2003.3
- ・ 荒地からの細粒土砂流出量について 二村貴幸、山本浩一、坂野章、日下部隆昭、小

川和彦 土木学会平成15年年次学術講演会 2003.9

- ・流砂及び河床変動の実態把握に基づく河床変動計算の精度向上に関する研究 谷口丞、日下部隆昭、末次忠司 土木学会河川技術論文集第9巻 p.67~72
- ・荷重計を用いた新しい掃流砂量観測手法の開発 二村貴幸、山本浩一、坂野章、小川和彦、日下部隆昭、末次忠司 土木学会河川技術論文集第10巻 p.291~296
2004.6
- ・河床変動観測へのヘッド回転型サイドスキャンソナーの適用に関する研究 山本浩一、二村貴幸、小川和彦、坂野章、日下部隆昭、末次忠司 河川技術論文集第10巻 p.297~302 2004.6
- ・「健全な水循環系の構築-水循環評価指標の作成-」、村瀬勝彦、国総研アニュアルレポート 2004、pp50-53、2004
- ・「ダムによる洪水被害軽減を中心とした水循環の評価指標作成の試み」、村瀬勝彦・中村昭・川崎秀明、河川技術論文集 Vol.10、2004
- ・重鉱物分析と放射年代測定との組み合わせによる住吉海岸の堆積環境の推定 三浦一浩、川元壊二、鳥居謙一、山本幸次 海岸工学論文集, vol.50, pp.566-570.

④ その他

戦略的基礎研究推進事業 CREST「社会変動と水循環の相互評価モデルの構築」、及び「人口急増地域の持続的な水政策シナリオーモンsoon・アジア地域等における地球規模水循環変動への対応戦略」の研究の場で成果を反映していく考えである。

10. 今後の研究実施に当たっての方針

(1) 健全な水循環系の構築

水循環系評価指標の構築にあたっては、多様な水循環スケールから具体的に指標を算定するという、技術的な課題から、算定された指標の理解度や具体の施策への適用性の検討という、実施にあたっての課題まで、多くの課題が山積しているといえる。しかしながら、このような課題や限界を十分理解しつつ、たたき台として指標を提示していくことが具体的な取組みの第一歩として意義があると考えられる。その上で、データ収集や指標の選定、あるいは指標の総合化に至るまで、あらゆる段階でより多くの方が参加して知見を集積するような工夫が不可欠であると考えられる。

平成15年10月に「健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて」という将来的な考え方を取りまとめ公表した、「健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会」の事務局を本省水資源部が担当している。指標作成に用いた元データなど、さらに詳細に参照できるよう指標の表示方法も工夫しつつ、今後は本省と一緒に、指標づくりの動きの中で行政を支援していく。

有効な合意形成手法に関する研究については、平成15年度に研究した分かりやすい河川用語をウェブ上で公開するなどし、一般住民や報道関係者等の意見の反映、河川管理者・

行政担当者が説明用に利用するといったニーズに対応できるようにする。また、合意形成過程の事例をより深く分析するとともに、水収支モデルのような参加型の取り組みが重要であることから、モデルの改良・一般化を行い、合意形成を目指した代替案比較のツールとして取りまとめ、健全な水循環系の構築に向けた流域協議会等の施策実施の場で活用されるよう本省と連携し内容を深めていく。

(2) 健全な流砂系の構築

引き続き、土砂移動モニタリングを実施し、観測機器の改良に努めるとともに、観測マニュアルを基に、多くの流砂系において観測が効果的に実施されるよう本省・現場と連携していく。

安倍川流砂系で開発した、流砂系一貫として土砂移動を追跡できる地形変化推定モデルの精度検証と山間部から河道への土砂の流入や河口部付近等の土砂移動の推定方法をより精度向上されるようモデルの改良に努める。

礫床河道の変動及びハビタット形成システムの修復とマネジメント手法の開発を行うなど、土砂移動の環境への影響について事例や対応手法等をまとめる。

漂砂域においては、土砂動態のさらなる解明に努めるとともに、底質の粗度形成を考慮した海浜安定化手法に関する調査、河口域における底質の移動及びそれに伴う地形形成の予測手法の開発を行う。海岸（漂砂系）における必要計画流砂量である沿岸漂砂量に関する推定手法（沿岸漂砂量公式及び漂砂量係数の評価）と河口域における土砂動態の解明に努める。

比較的データの収集が容易な、全国の主要一級水系において、流砂系の土砂移動に係わる問題が発生している箇所と程度（頻度）を調査し、マップとしてまとめるとともに、課題を整理し、流砂系内外で比較可能な健全性評価指標を提案する。

また、問題を引き起こさない程度の粒径別流砂量・漂砂量（望ましい土砂移動）の推定方法を開発し、望ましい土砂移動を達成するために必要な対策（土砂管理手法）を提案する。

(3) 水・土砂管理の総合化

モデル流域を選定し、水循環系・流砂系それぞれの視点で健全性を評価し、課題を抽出する。成果は、本省を通じ、全国の主要水系の流域管理に資する。

さらに、本プロジェクト研究の成果は、戦略的基礎研究推進事業 CREST「社会変動と水循環の相互評価モデルの構築」、及び「人口急増地域の持続的な水政策シナリオ・モンズーン・アジア地域等における地球規模水循環変動への対応戦略」の研究を通じて、セミナー等の場を活用し、関係国水行政関係者等に広報していく。

健全な水循環系・流砂系の構築に関する研究 研究マップ(調査課題名と評価軸との関係)

予算計上課題名

総合的な水循環モデルと水循環評価手法に関する研究
 河川整備における合意形成手法に関する調査
 社会変動と水循環の相互評価モデルの構築
 流砂系における土砂モニタリング手法の開発に関する調査
 河口部の土砂移動に関する調査
 河口域土砂動態調査
 流砂環境の干潟生態系への影響に関する調査
 粒径集団別供給土砂量のマクロ予測手法に関する研究
 土砂動態特性調査
 礫床河道の変動およびハビタット形成システムの修復・マネジメントに関する調査
 水系土砂動態に伴う河川の自然形成システムの変質とその再生手法に関する調査

河口湿地の環境形成速度および物質動態に関する基礎的研究
 海岸域における粒径集団別土砂動態に関する研究
 流砂系一貫とした土砂移動予測モデルの作成に関する調査
 流砂系における生産・流出土砂の予測に関する調査
 流砂系の総合的な土砂管理に関する調査
 流域総合土砂管理のもとでの海岸保全計画に関する調査
 底質の粗度形成を考慮した海浜安定化手法に関する調査
 連続する透過型砂防ダムの機能評価に関する調査
 河口域における土砂・環境管理手法の開発
 ①河口干潟の維持管理技術の開発
 ②河川における現地観測手法と計測機器の開発

他機関と連携した調査課題

23.流域水循環モデルの評価及び開発(独法土研との連携)
 24.水循環の健全性評価指標に関する研究(本省・地方整備局との連携)
 25.水系一貫土砂管理に向けた河川における土砂観測、土砂動態マップの作成およびモニター体制構築に関する研究(国土技術研究会 指定課題)
 26.流砂系一貫の土砂管理による海岸保全計画に関する調査(国土技術研究会 指定課題)
 27.流砂系における土砂移動実態に関する研究(国土技術研究会 指定課題)
 28.河床変動の特性把握と予測に関する研究(国土技術研究会 指定課題)
 29.漂砂系における流砂量モニタリングに関する調査(国土技術研究会 指定課題)

目標	目標達成に必要なアプローチ	現状の分析・現象の把握			対策技術開発			政策化	
		観測	現象分析	将来予測	基礎原理の開発	実用化	改良	経済的分析	普及戦略の分析
健全な水循環の構築	流域一貫としたモデリング手法	■	■	■					
	健全な水循環系の構築				■	■	■		
健全な流砂系の構築	土砂移動モニタリング技術	■							
	土砂移動の予知・予測技術		■	■					
	土砂移動と防災・環境・利用上の問題との関係の推定技術				■	■			
	流砂系の健全性を評価する技術				■	■			
	流砂系一貫とした土砂移動管理技術(計画)					■	■		
	流砂系一貫とした土砂移動管理技術(対策)					■	■	②、23	
水の総合的な土砂管理	総合的な水管理手法の体系化(水循環系)								■
	総合的な水管理手法の体系化(流砂系)								■

かなり研究が進んでいる研究領域
 いくらか研究が進んでいる研究領域
 ほとんど研究が進んでいない研究領域
 国総研で過去に取り組んできた研究領域