

# 社会変動と水循環の相互作用評価モデルの構築

京都大学防災研究所 寶 馨

## 1. 全体構想

本研究では、急激な人口増と社会の変動が予測されるアジア域を対象に、我が国との関係を水循環の観点から考究する。すなわち、(1) 我が国およびアジア諸国の社会変動が河川流域の水循環、国際的な水資源循環・収支に及ぼす影響を予測するモデルを構築するとともに、(2) アジアの淡水資源の利用可能性とリスクを科学的定量的に評価・予測し、(3) 我が国の水（食料、産業）政策、国際貢献戦略の持続可能な将来像を明らかにしようとする。

## 2. 研究手法・体制

当研究チームでは、次の3つのグループを構成して研究を推進している。すなわち、

(A) アジアモンスーン地域を対象とした水循環モデルの構築（水循環モデルグループ）

参加機関：京都大学、山梨大学、国連大学、(独) 土木研究所

(B) 自然の水文循環と社会変動の相互作用を考慮した水循環モデルの構築（相互作用グループ）

参加機関：京都大学、国土交通省国土技術政策総合研究所（国総研）

(C) 国際的水循環・水収支の自然・社会・経済シナリオ分析と貢献戦略（国際水連関グループ）

参加機関：国総研、東京大学、法政大学、埼玉大学、国際基督教大学、京都大学ほか

これらのグループごとに、研究を推進するとともに、ミニワークショップを行ったり、シンポジウムを開催したりして、内部における研究情報や観測データの交換を図るとともに、外部へ研究内容・成果を報告して批評を得る機会を設けた。以下に各グループのねらいと方法を記述する。

(A) アジアモンスーン地域を対象とした水循環モデルの構築（水循環モデルG）

①研究のねらい： アジアモンスーン地域を対象とした水循環モデルの構築、特に、人間活動の影響を考慮できるようなモデル構成手法とパラメタライゼーション手法を開発する。

②研究実施方法： 水循環の科学的・定量的評価を達成することができる気象・水文ダイナミクスモデルをいくつかの特徴的な気候・水文条件のもとで開発しその検証を行う。流域サイズ、社会発達段階、水利用・管理形態の異なる流域（淀川流域、中国淮河流域、インドネシア・レスティ川流域、タイ国・チャオプラヤ川流域、メコン川流域）を選び、考慮すべきモデルの構成要素・パラメタライゼーション・時間空間スケールと分解能などの差異を明らかにし、流域での水循環を把握し予測する精度の向上を図る。

(B) 自然の水文循環と社会変動の相互作用を考慮した水循環モデルの構築（相互作用G）

①研究のねらい： 自然の水文循環と社会変動の相互作用を考慮した水循環モデルに基づく水資源ダイナミクスおよび洪水リスクマネジメントの定量的評価法を提案する。

②研究実施方法： 自然現象としての水文循環と社会変動の相互作用を考慮した流域水循環影響評価モデルを構築するため、(1) 洪水リスクマネジメントとして社会変化シナリオの考察に基づく日本を含めたアジア諸国における水害軽減のための総合的手法を検討するとともに、(2) 水資源システムダイナミクスモデルを構築し土地利用変化、各種水利用形態、水質浄化、地下水などの連関を分析し、人為的影響の現状把握・将来予測を行う。

(C) 国際的水循環・水収支の自然・社会・経済シナリオ分析と貢献戦略（国際水連関G）

①研究のねらい： 国際的水循環・水収支の自然・社会・経済シナリオ分析を実施し、我が国の国際貢献戦略を示す。

②研究実施方法： 成長期から安定期・成熟期にさしかかる日本のこれまでの水資源計画・水管理システムを再評価し、自然・社会条件の類似した日本での成功事例、失敗事例を取りまとめて、それぞれの原因を水資源の収支・水環境の観点から解明することにより、途上国に対するガイドラインを提示する。

また、海外の水資源事情を現地調査し、自然環境および社会経済と水循環・水収支を含む水資源との相互の連関の国内的・国際的ダイナミズムについてのモデルを構築する。

### 3. 研究成果

#### 3.1 アジアモンスーン地域を対象とした水循環モデルの構築（水循環モデル G）

##### (1) 淀川流域を対象としてダム群流況制御を考慮した広域分布型流出予測システムの実現

水循環が高度に制御されている淀川流域を対象として、ダム群流況制御を考慮した広域分布型流出予測システムを実現した<sup>1)</sup>。このシステムでは、ダムによる流水制御の効果を用に考慮して水循環の動態をシミュレーションすることが可能である。社会の変動・進展に伴い治水・利水のみならず、環境を含めた総合的な視点から流域の水循環をデザインする能力が、現在、真に求められている。ここで開発した淀川モデルはこうした要望に十分応えることが可能なモデルとなっている。

開発した分布型流出予測システムは、数値河道データ・250m分解能の数値標高データを基本とした流域場モデルから構成される。河道からの流出をキネマティックウェーブモデル、流域からの降雨流出を不飽和・飽和中間流・表面流モデルで追跡し、それらに加えて琵琶湖の水位変動とそのコントロール堰の操作を担当する湖沼要素モデル、8箇所（Seya, Amagase, Takayama, Nunome, Hinachi, Shorenji, Muro）のダム要素モデルを付け加えることで、人間活動による流水制御を陽に考慮した水循環を再現することを可能としている。

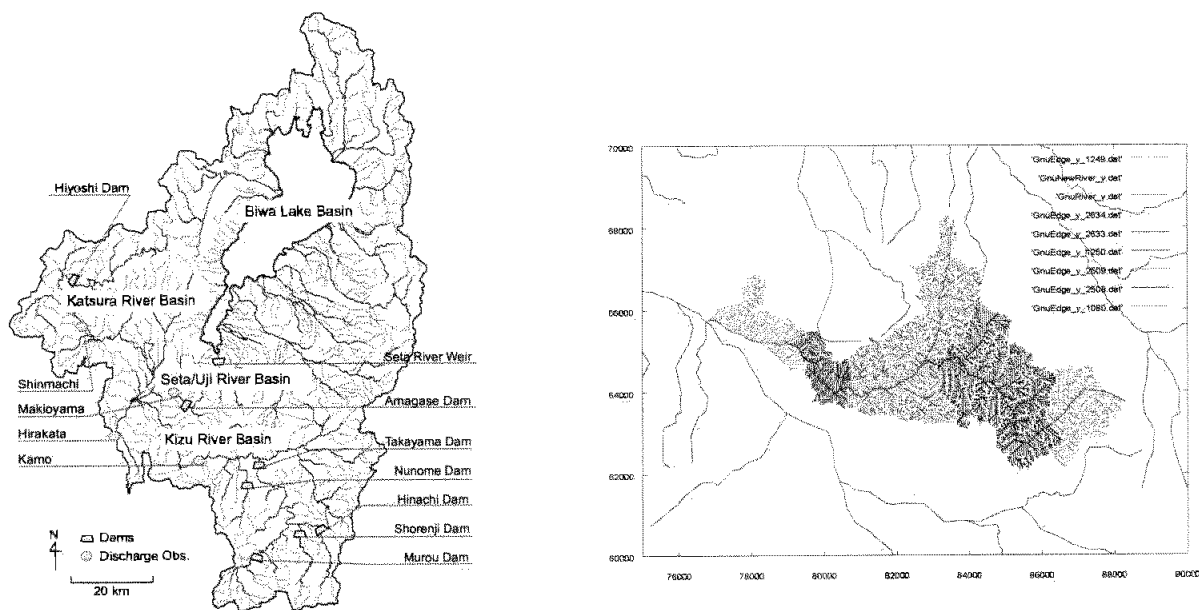


図 1: 淀川流域(8,240 km<sup>2</sup>)(左) と流域モデルの構成例(右)

ダム要素モデルは流入量、ダム上流域の平均降雨量、および、連携操作の対象ダムの操作状況を入力情報とし、ダムからの放流量と水位を予測するモデルである。多目的ダムの洪水時の操作過程を以下の6段階に区分し、それぞれの過程での操作方法と、操作過程の移行条件を if-then 形式でモデル化している。

1982年の台風10号を対象として実行したシミュレーション結果を図2に示す。図2左は木津川流域内の青蓮寺ダムにおける計算および観測の流入量と放流量を示しており、ダム要素モデルが予備放流の過程とピークカットの過程をよく再現していることがわかる。図2右は同じく木津川流域内の加茂の地点における計算と観測の流量を示している。この地点の上流には、1982年当時、高山ダム、青蓮寺ダム、比奈知ダムが存在し、流況制御を行っている。ダム群による流況制御の効果を考慮した計算流量は観測流量をよく再現している。また、全てのダムを除いて計算した結果から、上流のダム群はこの出水時における加茂の地点のピーク流量を約 1000 m<sup>3</sup>/s 低減させる効果があったことがわかる。

次に、このモデルを基本として治水事業の進展に伴う治水リスクの変遷を分析した<sup>2)</sup>。設定降雨はモデル検証で用いた1982年の降雨とし、それを引き伸ばして枚方上流の2日間流域平均総雨量の年超過確率が1/15, 1/30, 1/50, 1/100, 1/150, 1/200, 1/300となるように計画降雨を作成した。

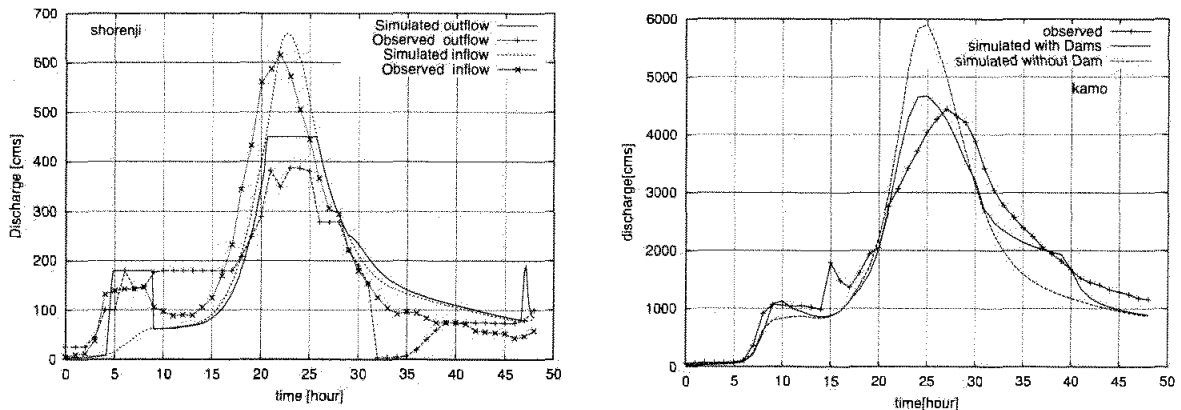


図2: 淀川流域(8,240 km<sup>2</sup>)(左) と流域モデルの構成例(右)

図3の横軸は降雨の再現期間であり、縦軸はその再現期間に対応する枚方地点の計算ピーク流量を示す。年を経るにつれて枚方のピーク流量に対する治水効果が現れており、現在、再現確率1/100の降雨にまで枚方地点は安全性が向上したことがわかる。今後、治水・利水事業の進展など社会の変動に伴う治水リスクのこれまでの変遷を明らかにするとともに、今後あるべき流域の姿を利水・環境面を含めて議論する。なお、淀川モデルでは、様々な水文構成要素を容易に結合して全体モデルを構成することを可能とする OHyMoS(= Object oriented Hydrological Modeling System) を用いて実現されている。OHyMoS で規格化されている仕様を忠実に再現しつつ、分散オブジェクト環境を容易に実現する機能を搭載したプログラミング言語 Java を用いて、構造的モデリングシステム OHyMoSJ<sup>3)</sup> (Java 言語で開発された OHyMoS) も新たに開発した。

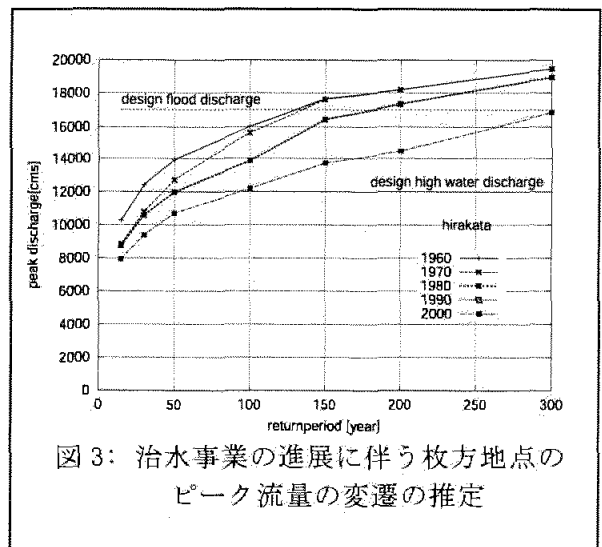


図3: 治水事業の進展に伴う枚方地点のピーク流量の変遷の推定

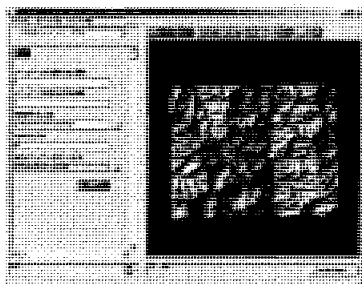


図4 基本画面 (地形モデル生成画面)

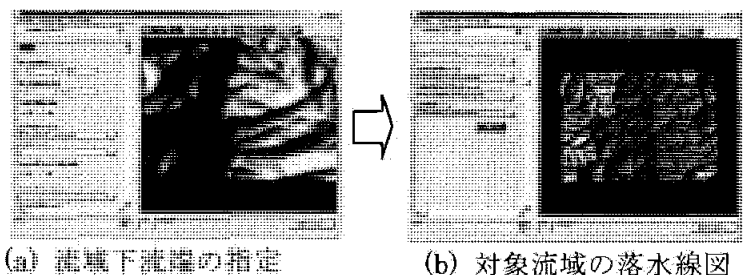


図5 対象流域のモデル化

## (2) 流域水循環アプリケーション GUI ソフトウェアの開発

上記で展開したような水循環解析モデルソフトウェアを誰もが容易に利用できることを目的とし、地形情報の処理から流出計算実行までの一連の操作を GUI(Graphical User Interface)を用いて実現する

モデル構築・実行支援システムを開発した。さらに、解析した結果を効果的かつ動的に表現するために AVS を用いた水循環シミュレーション 3 次元表示システムを開発した<sup>4)</sup>。

図 4 に流域モデル構築システムの基本画面を示す。流域モデル構築システムは、i) 国土地理院発行の数値地図 50m メッシュ (標高) から対象地域の地形モデルを任意のセルサイズで生成するモジュール、ii) 地形モデルから流下方向図を生成するモジュール、iii) 流域最下端を GUI 上で指定し、各セルの上流側セルを自動的に探索した後、計算順序を設定するモジュール (図 5)、iv) モデルパラメータを設定して流出計算を実行するモジュールの 4 つの主要なモジュールからなる。i) ~ iii) のモジュールにより簡便に対象流域のモデルを構築し、iv) のモジュールにより実際の流出計算を行う。図 6 に解析結果表示システムの表示例を示す。セル分布型流出モデルでは、各セルにおける表面流、表層内に貯留されている雨水の量を毎ステップ出力する事ができる。図 6 左の最下図は、流域平均累積雨量、下流端での累積流出量、土層内の流域平均貯留量の時間変化を示した図であり、図 6 右は、土層内の貯留量分布図を示している。

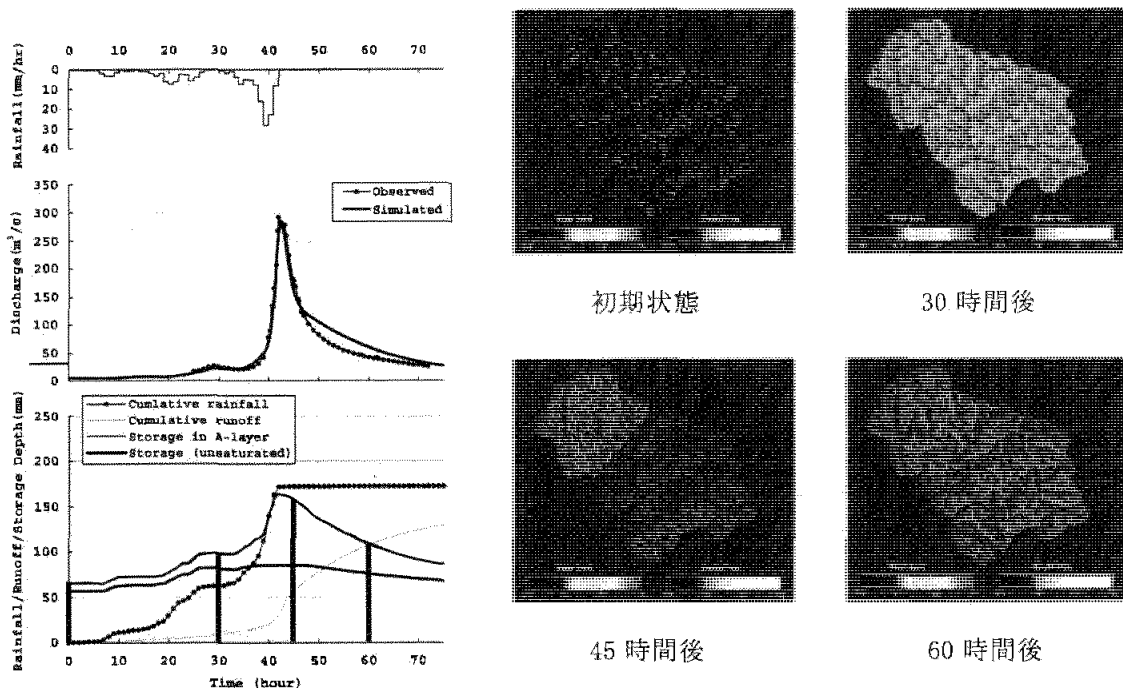


図 6 結果表示システム (土層内の水位分布の移り変わり)

### (3) 淮河流域における農業活動を考慮した水循環モデルの開発

淮河は黄河と長江にはさまれた 27,000km<sup>2</sup> の流域であり、農業生産活動により土地利用は著しく自然状態から改変されている。この流域での水循環を支配する重要な要素は灌漑による河川取水である。これを適切にモデルに反映させることがここでの水循環モデル開発の主要な要素であり、またその計算スキームが完成することが他地域の水循環モデルの開発に大きく貢献する。基本的な計算手法はすでに構築しており<sup>5)</sup>、その精度向上のためには土地被覆状態、特に農耕地を適切に把握することがキーポイントとなる。そこで、中国淮河流域において衛星搭載センサー SPOT-VEGETATION と地上気象データから土地被覆分類の推定方法を構築し、県別の農業統計データを用いて推定結果の精度を検証した<sup>6)</sup>。

NDVI 時系列により淮河流域の全メッシュを水体、森林、一期作地帯、二期作地帯に分類した。また NDVI 時系列により作物の生育期間 (播種から成熟までの期間) を決定し、生育期間内有効積算気温 (10℃以上積算気温) が栽培作物ごとに異なることを用いて各メッシュにおける栽培作物 (5 種類) を決定した。NDVI 時系列と積算気温法により決定した土地被覆分類を図 7 に示す。得られた土地被覆分類での耕地面積推定値を、農業統計データによって検証したところ全体として過大評価の傾向にあり、特に南西部の山岳地帯において顕著であることがわかった。今後、衛星データと農業統計データとから、より信頼性のある土地被覆分類図を作成し、それを陸面過程モデル SiBUC に適用し、農業灌漑を考慮した地表面水文過程

モデルの完成に結びつける。

これらの他、タイのチャオプラヤ川、インドネシアのプランタス川、インドシナ半島のメコン川、山林試験地の水循環<sup>18)</sup>などを対象にモデルの構築を行っている。紙数の都合で、ポスター発表に詳細を譲る。

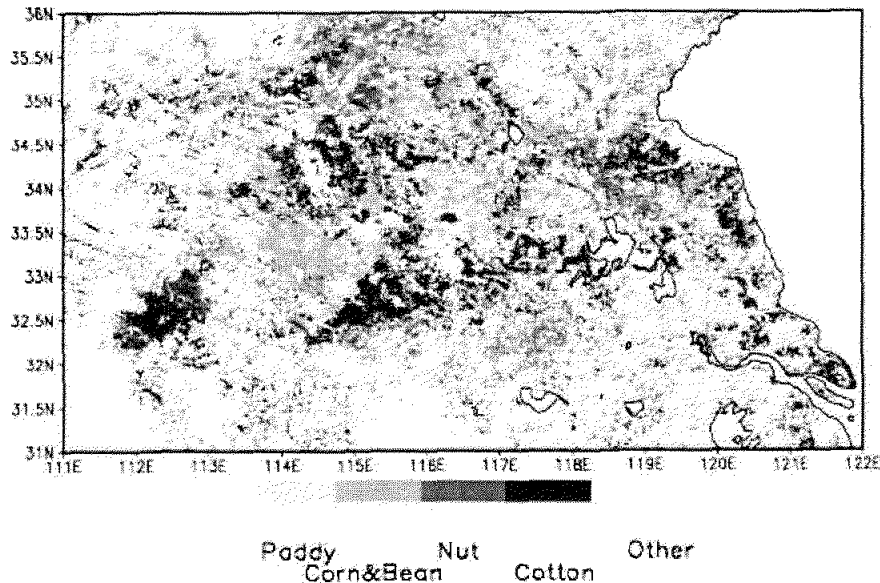


図 7: NDVI 時系列と積算気温法により決定した土地被覆分類図

### 3.2 自然の水文循環と社会変動の相互作用を考慮した水循環モデルの構築（相互作用 G）

#### (1) 洪水リスクマネジメント

日本における治水の歴史的背景、治水対策技術及びそれらに係わる制度等について整理を行うとともに、アジア諸外国での治水対策の現状、社会背景を踏まえた洪水被害の現状の整理を行った（表 1）。今後、各国の経済力、技術レベル、河川流域の相違などを考慮した各国で適用可能な、汎用性のある様々なレベルの治水対策技術の具体的なメニューを検討する。また、アジアにおける都市への人口集中、土地利用変化等の社会変化シナリオを取り込んだ形で洪水リスクの社会的評価の手法を検討する。こうして、アジアにおける洪水リスクマネジメント手法についてその方向性を提案していく予定である。

さらに、本グループでは、住民参加型水害リスクマネジメントのための性能設計型アプローチに関して検討を行ってきた。このような水害リスクマネジメントを実施するためには、水害の危険性を住民に的確に伝達するためのリスクコミュニケーションツールが重要である。時空間 GIS を基盤とした洪水リスク表示システムの開発を実施した。対象流域を新川流域（愛知県）とし、既存の破堤・溢水氾濫の様子を GIS 上に保存し、個々の家屋の洪水危険度（地先の安全度）の評価結果をリスクカーブとして表示するシステムの開発を行った。その上で、洪水シミュレーションの結果を 3D 表示し、被害状況の想像力を高めるためのサブシステム（イマジミュレーション）や、個々の住民が行う被害軽減行動や保険加入などのリスク移転行動が及ぼす影響をリスクカーブとして表示するためのサブシステム、避難可能性を住民が検討することのできる避難検討サブシステムの開発を行っている<sup>7), 8), 9)</sup>。

#### (2) 水資源ダイナミクス

世界の淡水資源の利用可能性とリスクを定量的に評価・予測するという観点から、流域水循環モデルに基づく水資源の利用・供給可能性を把握する水資源ダイナミクスの解析手法を構築した<sup>10)</sup>。本手法により、社会活動（農業生産、経済活動、人口移動等）と水資源分布がどのように影響しあっているかを

シミュレーションすることが可能となる。各大陸に一つの社会活動のセクターを構築し、それらのセクターを人口・資源・生産物等の物質移動という形でつなぎ合わせるにより、世界モデルを設定した。また、将来の気候データとして、GCMを用い、将来の水資源量予測を行った。いくつかの仮定の下での2100年の状況は、アジアと北米は増大する人口による深刻な水不足があり、アフリカは水不足ではないが、資源の枯渇による食料・産業への支障が発生し、オーストラリアは資源による産業展開が起これ、欧州は人口増加が少なく水問題も重要ではなく、南米はアフリカと同じく資源の枯渇による産業の停滞する、などが予想された。

一方、大陸規模での水循環モデル・システムの構築を目的として、モデル統合と物理過程のモデリングの精緻化により、水循環予測の高度化を図った。陸域については大気、陸面水文モデルと陸面過程モデルの結合を進め、海域については大気、海洋、波浪モデルと海面過程モデルを結合した。また、水循環で重要な物理過程である、海面過程、陸面過程、拡散過程を理論的、実験的に再検討し、定式化を精緻化した。また、現地観測、衛星データ、水循環モデルに基づく数値計算結果のデータセットを整備した。衛星データとして、アラビア半島全域を対象に、Landsat ETM、NOAA、TRMM、TOVS データを収集、編集した。計算対象期間を西暦2000年1月からの1年間とし、計算領域を西アジアと中央アジアを含む広領域（空間分解能89 km）、アラビア半島全域（分解能27 km）及びアラビア半島南西域（分解能9 km）の3つの領域としてネスティング計算した。

さらに、World Water モデルを原型とした水・社会システムダイナミクスモデルの日本への適用の検討<sup>11)</sup>、長良川河口堰を対象として水資源開発計画における開発と環境の集団コンフリクトについてモデル分析を行っている<sup>12)</sup>。

表1 アジア各国の水問題（治水関連分、CREST経費による国総研の調査）

国	流域／水問題	概要または流域条件	社会変動との関わり、対策など
中国	長江／洪水	1998年6月～8月の洪水は百年に1回の規模。死者3,656、負傷者123,000、倒壊家屋500万軒、水没面積2000万ha。	人口増加・経済発展に伴う湖沼の大規模な干拓による、湖沼の洪水調節能力を低下させた。
	淮河／洪水	2003年6月下旬からの豪雨で1991年以来の洪水。	淮河下流にある重要な工業都市の安全を守るため安徽省の湖の下流堤防を延長1500mにわたり爆破し、水を堤防の外に流出させた。
マレーシア	クアラルンプール周辺／Flash flood	排水不良に起因する都市型洪水が頻発。	急激な都市化。河川、道路、都市計画の不整合性。
タイ	チャオプラヤ川／洪水	主要な穀倉地帯と河口付近に位置するバンコク首都圏の洪水調整を、上流域のシリキット及びプミポンの2大ダムで行っている。解消されない洪水・湛水被害。	急速な都市化の進行、地理的・地形的要因、既存洪水防御・排水施設的能力不足等による。
ラオス	各地／河岸侵食	河岸の侵食が頻発。安価かつ効果的な護岸手法が望まれている。	JICAが中心となり、安価かつ効果的な手法として粗朶沈床を実施。
フィリピン	カガヤン川／洪水	ルソン島北東部の総延長520km、27,300平方kmの最大級河川。	国内有数の穀倉地帯。洪水の頻発による大きな被害。
韓国	各地／洪水被害	1990年以降、ほぼ毎年のように集中豪雨や台風の被害。2002年250人、2003年150人の死者。	気候変動の影響、洪水脆弱地の拡大、都市化による流出率の増大。

表2 アジア各国の水問題（水資源関連分、CREST 経費による国総研の調査）

国	流域／水問題	概要または流域条件	社会変動との関わり、対策など
中国	黄河／断流現象	1980年代～90年代に断流が顕著になった。1997年には断流が226日に及んだ。降水量の減少、農業用灌漑の発展、無秩序な取水による水資源の浪費。	黄河水利委員会は、水量を統一的にコントロールする「調水令」を1999年に公布し、各年、各月、各時期ごとのコントロールを実施。2001年には小浪底ダム完成。断流は解消。年8%の経済成長目標のため、水需要増は必至、さらなる断流もあり得る。
マレーシア	シンガポールへの水供給問題	マレーシアはシンガポール国内の水消費量の半分以上を供給。価格は1961-62の契約で1000ガロン（約4.55トン）当たり0.03リンギット（約90銭）。	マレーシア側から6.25リンギット（約187.5円）への引き上げを要求。シンガポールは、法外な引き上げと反発。交渉は2002年末に決裂。
	水質汚濁	20世紀初頭からスズ鉱山の開発による河川汚濁。天然ゴムとパーム油生産の活発化に伴う工場排水の増加による河川汚濁。	急激な鉱業、農業、工業の発展。
タイ	チャオプラヤ川／水質汚濁	下流域の水質汚濁対策として、条例により一定規模以上の建物は浄化槽を設置することを義務づけ。	1995年には、経済的・効率的な排水処理施設の建設・運営を担う排水処理公社を国が組織。まだ十分に機能していない。
	コク・イン・ナン導水計画に関する問題	チャオプラヤ川流域では、近年、農業用水、生活用水等の需要が急速に増加、需給バランスが崩れている。	その水需要をまかなうため、100km以上のトンネルでメコン川支流から導水を計画している。メコン川支流の流量減少による問題が懸念される。
ラオス	メコン川／上流浚渫による社会環境問題	大型商船の航行確保を目的とした浚渫事業を、4カ国（中国・ラオス・ビルマ・タイ）により実施。浚渫で魚が生息する早瀬・浅瀬が消滅。	この4カ国が作成した環境アセスメントは、メコン川委員会（MRC）より不十分との指摘。漁業・環境への影響が懸念されている。
インドネシア	ジャカルタ／水供給問題	水供給システムの維持管理が十分でなく、水供給が不足している。ジャカルタで深刻な水不足。	肥大化する首都。工業用水・生活用水の需要増により、地下水が無計画に汲み上げられている。
	水供給事業の民営化	1998年政府が所有する水供給会社（PAM ジャヤ）が外国企業スエズ・リヨネーズ、デゾーとテムズ・ウォーターによって運営されることになった。	水料金が1998年、2001年にそれぞれ35%上昇。インドネシア政府は、1998年だけで2340億ルピア（約33億円）の補助金を両者に支払っている。民営化の意味が問われている。
フィリピン	マニラ首都圏／水供給問題	1990年代に水需要が急増。水資源開発の遅れが顕在化。水源の97%をアンガットダムに一元的に依存。	増加する水需要に対応するため新規の水資源開発計画の策定が急務。
	マニラ首都圏／水質汚濁	パッシング・マリキナ川は、工場・生活排水、農業排水による農薬、重金属、有害物質などにより汚濁進展。	肥大化する首都。進まぬ水政策。首都圏南方のラグナ湖も周辺の工場の排水による汚濁により危機的状態。
韓国	各地／水不足問題	中小規模の都市開発、農村地域の都市化、生活水準の向上、地域的な水需給の不均衡。	問題解消のための上水道施設の拡充によりさらに用水需要が増加。龍潭ダム等の多目的ダムの建設が予定。

メコン川	上流部水力発電ダム建設問題	雲南省では電力需要に対して、主に瀾滄江（メコン河上流部）の水力ポテンシャルの開発によって対応している。中国は14のダムを瀾滄江に建設する計画を進めている。	既に漫湾・大朝山ダムが建設され、小湾ダムが2012年に操業を始める予定。上流のダムにより、中下流域に対して流量不足・水質悪化等、各種の問題が発生することが懸念されている。
	上流開発によるデルタへの環境問題	メコン河上流での開発が、デルタに流れつく流量を変動させ、洪水と塩水遡上の規模に影響を与えることが懸念。上流開発によるデルタの環境への影響が大きな課題。	上流開発は、上流国のニーズに基づくもので、デルタ地域のニーズに基づいて上流の水量調節が行われるわけではない。

### 3.3 国際的水循環・水収支の自然・社会・経済シナリオ分析と貢献戦略（国際水連関 G）

#### (1) アジアモンスーン地域における将来展望に向けた日本の水政策レビュー

アジアモンスーン地域における将来展望に向けて、日本のこれまでの水資源計画、水管理システムを再評価するため、その成功事例、失敗事例を取りまとめて、それぞれの原因を水資源の収支、水循環の観点から検討している。2003年京都のAPHW2003では、国総研（NILIM）セッションを設けて、中国、ラオス、スリランカ、ベトナム、インドネシア（2件）、韓国、マレーシア、ネパール、タイ、フィリピン、日本から合計12件の論文発表の場を設け、各国の水問題に関して情報交換・討議を行った。当チームからは、我が国の水利用を、特に水利権制度を中心にレビューした<sup>15)</sup>。また、2004年7月シンガポールのAPHW2004でもNILIMセッションを開き、中国（2件）、ラオス、マレーシア、フィリピン（2件）、インドネシア、日本（2件）の9件の発表を行い、昨年度の議論をさらに深めた。当チームからは、都市域の水害防止に水防法などの新しい法体系を紹介する<sup>14)</sup>とともに、渇水時の水管理を系統的にレビューした<sup>15)</sup>。

#### (2) 国際的水循環・水収支と自然環境および社会経済との連関---アジア諸国の実態調査

アジア諸国の水資源政策・制度の調査を行い、開発の影響<sup>16)</sup>や上下流問題、各国の水利権の有無や関連する法制度、水量、水質のデータベースの整備状況とそのメンテナンス方法、その際のモデル利用の有無、上水、工水、発電、農業の各利用と治水対策の歴史的経緯、水配分の決定方法・プロセス、水源地域の保全、流域単位の政策決定の有無、及び緊急時（渇水、洪水）の対策の責任分担、意見調整方法等について調査し、アジア諸国の水資源計画、水管理システムについて整理した（表2）。今後、特に、ラオス（メコン川）及びフィリピンについて、水管理の課題とその改善に関わる法律・制度の内容及びその適用実態を調査する予定である。

#### (3) 国際的水循環・水収支と自然環境および社会経済との連関---アラル海の事例

アラル海の流域国は、通常は旧ソ連の5共和国、即ち、ウズベキスタン、カザフスタン、キルギスタン、タジキスタン、トルクメニスタン、の5か国と認識されている。現在の（実質的には機能していないが書類上は存在する）流域協議機構も、この5か国によって構成されている。しかし、実際には、これらの5か国に加えてアフガニスタンとイランもアラル海の流域国であり、特にアフガニスタンは、その山岳地方からの融雪水がアラル海に流入する2河川の一つであるアムダリヤ川の水源地であるという意味で、流域全体にとって重要な存在である。

アフガニスタンがアラル海の流域国として認識されていないのは、アラル海における環境問題が広く認識されるようになった1990年代初めの時点で、アフガニスタンが「国」として機能していなかったことにある、即ち、当時のアフガニスタンは、一流域国として、他の流域国との協議を行うような状態にはなく、国連環境計画（UNEP）が1989-1992年にアラル海に関する管理計画を策定すべく全流域国に呼びかけた際にも、参加の意志を表明しなかった。

アフガニスタンの復興が進みつつある現在において懸念されるのは、同国の食糧自給率向上を目的と



して計画されている、同国北部における灌漑農業の拡大が他のアラル海流域国の与える影響である。何故ならば、当該地域で灌漑のために使い得るのはアムダリヤ川の水資源であり、アフガニスタンによる消費は下流国（この場合はウズベキスタンとトルクメニスタン）への流下水量の低下を意味するからである。即ち、アフガニスタン復興の一環として計画されている食料増産計画は、アラル海流域国間の係争を引き起こす可能性を秘めている。

このような観点からは、アフガニスタン一国のみを見据えて同国の「食料安全保障」を考えることは不適切であり、それは当該地域の安全保障を脅かしかねない。現在アフガニスタンに供与されている他国からの食料援助は、実は同国への「バーチャル・ウォーター」への提供であり、アラル海下流国との係争を防ぐ役割を果たしていることが認識されねばならない<sup>17)</sup>。更には、同国が食糧の自給率を高めるための方策として同国北部での灌漑農業が拡大される場合には、下流国における（旧ソ連時代からの『負の遺産』として問題が指摘されている）農業生産での水資源使用効率の悪さを改善するための援助が「パッケージ」として供与される必要がある。平成15年（2003年）8月のストックホルム水シンポジウムでCREST後援のワークショップを主催し、この研究成果を発表した。

### (3) 国際的水循環・水収支と自然環境および社会経済との連関---中米の事例

国際機関が国際流域の管理に関わり、「現状診断書」と「行動計画」を策定した事例としては、1980年代後半においてUNEPが主導したザンベジ川流域が知られている。その後、国連環境計画（UNEP）は中央アフリカのチャド湖や中央アジアのアラル海などで「現状診断書」の策定に関与した。

これらの事例では、流域全体の法律的な枠組みの整合性を保つことや、流域全体の開発あるいは保全方針を打ち出すことが主眼とされていた。従って、「市民参加」の概念は、これらの「現状診断書」や「行動計画」では希薄であった。また、時代的な背景としても、国際流域における管理計画への「市民参加」が定式化はしていなかった。

中米のサンファン川とシクスアオラ川は、流域の各地における、保護区の設定や森林伐採の制限など、具体的な環境保全対策が「現状診断書」と「行動計画」の主眼となっている。即ち、前述のザンベジ川等の例では、流域国の中央政府が主要なステークホルダーであったのに対して、サンファン川とシクスアオラ川では流域の住民や（中央政府ではなく）地方政府やその末端組織がステークホルダーである。これらの人々の積極的な参加を得るためには、行動計画の策定から実施に至る諸プロセスで、ステークホルダーの意向を十分に反映する必要がある。サンファン川とシクスアオラ川では有意な市民参加が実現することが、行動計画が成功裡に実施されるための重要な要件となっていることから、国際流域における市民参加に関する事例研究を、策定に関与した国際機関に関して行った。

両河川は、共に流域国が2か国のみであり、位置的にも近接しており、共に一方の流域国がコスタリカであるという近似性を有しながらも、関与している国際機関は異なるという観点から、事例として選択した。これらの河川において、管理計画の策定に関与した機関は、米州開発銀行（IDB）と米州機構（OAS）であり、両機関の性格や任務（mandate）が異なることから、比較分析に好適と判断した。

いずれの流域でも、国際機関が主導した市民参加手法には問題が散見された。方法論の範疇としては、ターゲットの選択、情報チャンネル、市民参加プロセスを開始する時期などの局面で改善の余地があると判断された。これらは、モニタリング体制の強化、援助機関と実施機関相互のコミュニケーションの改善、情報チャンネルの環境改善による実現できるとの知見を得た。

プロジェクトを実施する観点からは、例えばプロジェクトを円滑に実施するための人材の所在に関するインベントリが不十分であり、その結果、「人材育成」を目的として実施されたワークショップのターゲット・グループの選択が不適切であったことが判明した。また、国際機関が流域内におけるNGOの能力や影響度について正確な情報を把握していなかったことから、その参加を得ることがプロジェクトの実施には不可欠と思われるNGOに情報が提供されず、結果としてそのNGOの参加を得られなかったなどの問題も判明した。流域国において、所定の目的を達成するために必要とされる人材の質・量に関する（国際機関による）見積もりがなされて居らず、国内実施機関は人材的に不十分であることを承知しながらもプロジェクトの実施を余儀なくされるという構図が生まれてしまったことが、市民参加が有意に機能しなかった原因と考えられる。

## 引用文献

1. 佐山敬洋・立川康人・寶 馨：ダム群流況制御を考慮した広域分布型流出予測システムの開発，京都大学防災研究所年報，47B，2004，投稿中。
2. 佐山敬洋・立川康人・寶 馨：分布型流出予測システムを用いたダム群治水効果の分析，水文・水資源学会 2004 年研究発表会要旨集 258-259，2004。
3. 佐藤芳洋・椎葉充晴・堀 智晴：流出系の構造的モデリングシステム OHyMoSJ の開発とその応用，水文・水資源学会 2004 年研究発表会要旨集 164-165，2004。
4. 児島利治・宝 馨・立川康人：GUI を用いたセル分布型流出シミュレーションシステムの開発，水文・水資源学会 2004 年研究発表会要旨集 262-263，2004。
5. 甲山治・田中賢治・池淵周一：中国淮河流域における農業形態の推定と陸面過程モデルへの適用，水工学論文集，土木学会，Vol. 48，pp. 211-216，2004。
6. 山田賢治・甲山治・田中賢治・池淵周一：衛星による植生状態量及び地上気象データを用いた土地利用判別手法の構築，水文・水資源学会 2004 年研究発表会要旨集 256-257，2004。
7. Okada, N., Hori, T., Zhang, J.Q. and Tatano, H. and Ikebuchi, S.: Micro-zonation-based Flood Risk Assessment in Urbanized Floodplain, *Proceedings of Second Annual IIASA-DPRI Meeting on INTEGRATED DISASTER RISK MANEGEMENT (CD-ROM): Megacity Vulnerability and Resilience*, IIASA, A-2361 Lazenburg, Austria, 29-31 July 2002.
8. Tatano, H. and Okada, N.: A Simulation-Based Optimization Approach for Integrated Flood Risk Management, *JSPS-VCC Seminar on Water Environmental Planning*, International Islamic university, 2002, 2002/7/29-31
9. 松本卓也・多々納裕一・岡田憲夫・川島健一：時空間GISを利用した参加型洪水リスクマネジメントのためのシステム設計及び実装，第 23 回日本自然災害学会年次学術講演会，2004 年 9 月。
10. Kojiri, T. and Tamura, N.: System Dynamics of Regional Water Resources Considering Distributed Runoff Model, HW04, IUGG2003, Sapporo, 2003.7.9
11. 杉本高之・堀智晴・椎葉充晴：日本における水・社会システムダイナミクスモデルに関する研究，土木学会第 59 回年次学術講演会，II-72，pp. 143-144，2004。
12. 坂本麻衣子・萩原良己：水資源開発計画における開発と環境の集団コンフリクトに関するモデル分析，土木計画学研究・論文集，Vol. 20, No. 2, pp. 295-304, 2003.
13. Murase, M.: A Review of Water Rights in Japan, *Proceedings of the First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region (APHW2003)*, Kyoto, March 13-15, 2003, Vol. 2, pp. 1127-1132, 2003.
14. Wada, K. and Hattori, A.: Recent Flood Control Issues in Japan and Legislation for Preventing Flood Damages in Urban Areas, *Proceedings of the Second Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources Conference (APHW2004)*, Singapore, 5-8 July 2004, pp. 835-842, 2004.
15. Murase, M., Nakamura, A., Inomata, J. and Kawasaki, H.: Systematic Review of Water Management During Drought in Japan, *Proceedings of the Second Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources Conference (APHW2004)*, Singapore, 5-8 July 2004, pp. 835-842, 2004.
16. 手計太一, 吉谷純一, Virat Khao-Uppatum, Chanchai Suvanpimol: Chao Phraya川流域における土地利用の変化が河川流量に与えた影響の実態，水工学論文集，土木学会，Vol. 47, pp. 205-210, 2003.
17. Nakayama, M.: International Water Systems from Virtual Water Viewpoint -Cases of Aral Sea and Mekong River -, The 13th Stockholm Water Symposium, Stockholm, Sweden, pp. 358-361, 2003.
18. Tani, M. and Kosugi, K.: On a method for evaluating effects of soil-physical and slope-topographic properties on storm runoff responses in mountainous catchments, *Forests and water in Warm, Humid Asia*, *Proceedings of a Workshop of IUFRO Forest Hydrology Working Group (8.03.00)*, pp. 267-270, 2004.