

「水の循環系モデリングと利用システム」

平成13年度採択研究代表者

寶 馨

(京都大学防災研究所 教授)

「社会変動と水循環の相互作用評価モデルの構築」

1. 研究実施の概要

気候変動や異常気象、社会の変動によって21世紀にもたらされ得る水に関する危機的状況の回避に資するため、本研究では、従来個別に開発されてきた水循環解析モデルの共通化と精度向上を行い、持続可能な水政策の立案に資するような成果を導出することを目的としている。特に、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、異なるスケールの流域における水循環とその管理、我が国を含むアジア諸国の間における水の連関を考究する。

まず、アジアモンスーン域における5つの流域を対象に、流域水循環モデルを構築、その精度向上を鋭意図っている。数値地形情報から比較的容易に水循環モデルを構築するための一連の作業をGUI上で用いて容易に実行するソフトウェアを開発するとともに、そのシミュレーション結果を効果的に表示する汎用シミュレーション結果表示ソフトウェアを開発した。また、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。このシステムを用いて平成16年度は、治水事業の進展に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し、今後あるべき流域の姿を利水・環境面を含めて議論する。

また、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・供給可能量を把握する水資源ダイナミクス解析手法の構築を図り、全世界を対象とした水資源ダイナミクスモデルを開発した。洪水リスクマネジメントの観点からは、住民参加型水害リスクコミュニケーション技法のプロトタイプモデルを構築した。

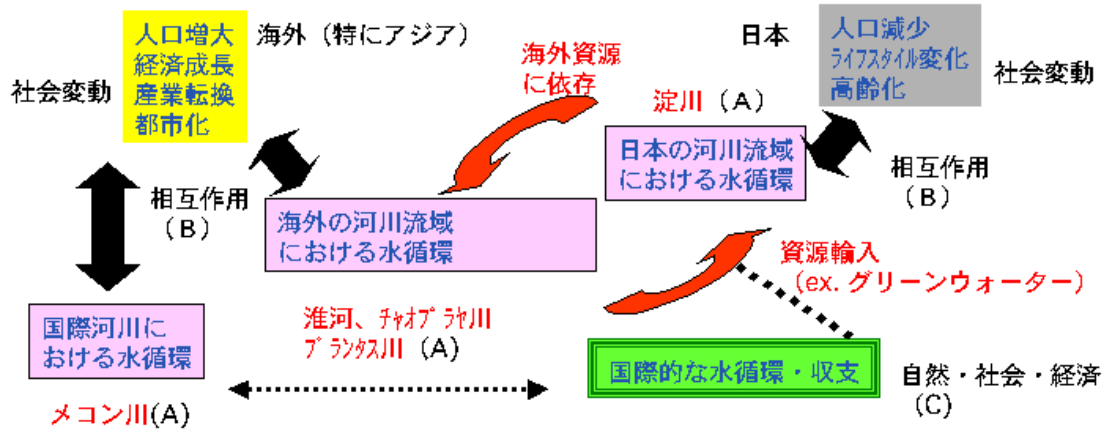
さらに、自然環境・社会経済と水循環・水資源の連関を分析し国際的な水資源事業における諸問題とその解決の方策を調査研究するという観点から、トルコ、中国などを対象として、国際河川における堰の設置や取水・洪水予報に関わる国際紛争、ダム事業・広域灌漑事業の地域への影響評価などについて現地調査を行っている。

これらの基礎的調査研究の成果を本研究チームにおいてとりまとめ、日本・アジア発の新しい学術的リーダーシップ、長期的視点に立った持続可能な水政策のあり方の提言、危機に瀕する水問題の解決への貢献を目指す。

2. 研究実施内容

- 当研究チームでは、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）：わ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・収支に及ぼす影響の予測モデルを構築する。
 - (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（相互作用グループ）：アジア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。
 - (C) 国際的な水循環・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）我が国の水（食糧、産業）政策、国際貢献戦略の将来像を明らかにする。
- 本研究全体の枠組みを示す概念図を下に示す。

社会変動と水循環の相互作用評価モデル



- (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
- (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
- (C) 国際的な水循環・水収支の自然・社会・経済シナリオ分析と貢献戦略



- ☆日本・アジア発の新しい学術的リーダーシップ
- ☆長期的視点に立った国際水管理戦略の提言
- ☆危機に瀕する水問題への日本の貢献

(A) 水循環モデルグループでは、アジアモンスーン地域における異なるスケール、異なる開発段階の河川流域を対象とした水循環モデルを構築し、その精度向上を図っている。ケーススタディとして淀川、ブランタス川（インドネシア）、淮河（中国）、チャオブラヤ川（タイ）、メコン川（インドシナ半島諸国）を選定し、いずれの流域においても、降水流出のシミュレーションは可能になっており、一部の流域では土砂流出まで考慮できる。

平成15年度は、昨年度まで開発を進めてきた「流域水循環アプリケーション実行GUIソフトウェア」の改良を図るとともに、そのシミュレーション結果を効果的に表示する汎用シミュレーション結果表示ソフトウェアを開発した。また、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。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。平成15年度に開発した淀川モデルにより、この要望に十分応えることが可能となった。平成16年度は、治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。平成15年度は、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 (= OHyMoS coded in Java) を新たに開発した。

インドネシア国のブランタス川支川レスティ川流域においては、雨量計をポンチョクスモ（上流域の果樹園、樹林地帯）、ゲドゲダン（中流域の畑作地帯）、タワングレジェニ（中下流域の畑作地帯）の3地点に設置し、雨季の雨量観測を実施するとともに、レスティ川の上流から中下流にかけて、ポンチョクスモ、ワジャック、ゲドゲダン、タワングレジェニの各地点で、濁度、流速、河道地形等を計測した。さらに、表面侵食による土地利用毎の土壌の侵食・堆積を計測し、レスティ川流域における降雨・土砂流出の特性を解明するためのデータを取得した。また、マイクロレインレーダーによる雨滴観測、雨量観測、土砂観測を実施し、観測データを用いて、雨が裸地斜面に与える衝撃エネルギーを算出することを可能とした。さらに、衝撃エネルギーを用いた土砂剥離量式を適用することによって、1地点の降雨データからではあるが、流域の細粒土砂生産量の第1次近似値を算出することに成功した。一方、植生による土地の被覆状態と土砂流出との関係を明らかにするため、衛星画像による植生の活性度と濁度データとを比較して土砂流出の季節変化を検討した。収集したデータの分析中であるが、降雨については空間的な変動が大きく、熱帯地方の降雨特性が顕著であり、降雨流出・土砂流出の高精度な予測には更なる雨量観測点の増設が必要であることがわかった。濁度計測結果から、土砂採取による擾乱の影響が顕著であること、支川毎の土砂流出に大きな違いがあること等が認められ、この結果と降雨・土地利用等との関係を分析していく予定である。なお、乾季から雨季に入った直後の

降雨により、植生による土地被覆が低いために土砂生産が著しいこともわかってきた。

淮河においては、農業活動と灌漑による水利用の実態を把握するための現地調査を実施した。これは、現在開発中の灌漑効果を考慮した陸面過程モデル SiBUC の検証データとなる。平成16年度も農業による水利用把握のための現地調査を実施する。

チャオプラヤ川流域では、平成15年度、チャオプラヤ川流域とその周辺におけるパン蒸発量の時空間分布特性の解明に努め、1950年代から最近にかけてパン蒸発量の値が低下していることを明らかにした。また、雨期と乾期では、パン蒸発量にその差はほとんどないことが明らかになった。これは、パン蒸発量が気温や日射に依存していることが影響しているものと考えられる。また現地にも3ヶ月半滞在し、ダムへの運用、灌漑施設、洪水防御施設などの水工施設に関する詳細な情報やデータを収集した。これらの情報やデータを基に、大ダムの建設や運用によって、下流の流況に与えた影響を明らかにした。

メコン川の研究に関連して、ヘーラト教授は、中国・雲南省を平成15年11月9～15日に訪問、流域調査を行うとともに、雲南省のアジア国際河川センター（AIRC）と国連大学の間で流域間導水に関する国際シンポジウムを開催することを決定した。CRESTがこのシンポジウムの後援者の一つになることについても合意された。平成16年3月28日～4月4日には、ベトナムおよびラオス両国のメコン川流域国内委員会およびプノンペン（カンボジア）のメコン川流域委員会事務局を訪問、流域内の研究者の連携協力が必要であることを確認した。メコン川のいくつかの観測点での流況を実地検分したところ通常よりも流量が少ないことが確認された。

メコン川流域の水循環モデルに関しては、米国NCARの領域大気モデルMM5をメコン川流域対象に設定した。メコン川流域の形状を考慮して、緯度経度2.5度（300～400km）の空間分解能で12～6時間の時間分解能のGCMの予測値を、10km程度の空間分解能にダウンスケーリングするため、3段階のネスティングを行うこととした。モデル入力となる降水量については、3hrの時間ステップでどの程度精度が上げられるかについて検討を始めた。ベトナム水文気象局とメコン川流域委員会と協力しながら進展させていく予定である。

一方、森林と水循環との関連において、地形・土壌と斜面応答に関するパラメタリゼーションの基礎的な検討を行い、土層深を基準として土壌の間隙代表径と間隙分布の偏差、降雨強度、斜面勾配、斜面長を表す5つの無次元パラメータで降雨流出過程が支配されることを明らかにした。また、山地流域と平地流域の結合部に存在する小規模のため池の、流域物質循環・水循環に果たす役割を分析した。その結果、ため池は集水域の土地利用の変化に対してきわめて顕著な洪水流出緩和作用を発揮するとともに、山地から流出される懸濁物質に対して比重の大小により異なるトラップ・貯留効果を持つことがわかり、森林管理の粗放化や土地利用の変化などの人為的作用に対して、ため池の存在が重要な効果をもつことを明らかにした。

(B) 相互作用モデルグループでは、水資源ダイナミクスと洪水リスクマネジメントについて研究を進めている。

まず、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・供給可能量を把握する水資源ダイナミクスの解析手法を構築した。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ことで、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り、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89km）、アラビア半島全域（分解能27km）及びアラビア半島南西域（分解能9km）の3つの領域としてネスティング計算した。

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ている。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。平成15年度には、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（イメージレーション）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。

(C) 国際水連関グループでは、まず、水利権などの歴史的背景、河川法に基づく河川管理、特定多目的ダム法等に基づく河川総合開発、水源地対策特別措置法、水源地域対策基金を水循環の観点から再評価し、社会の変化にどのように対応していくべきか検討した。

サグリン・ダム、チラタ・ダムおよびコタパンジャン・ダム（インドネシア）に関して比較分析を行うことで、開発途上国でダムが建設される場合に、移転住民の生活再建に適用されるべき良い方法論を探索した。

コスタリカとニカラグアが共有するサン・ファン川流域に関して、現地調査および関連機関での聞き取り調査に基づき、持続可能な流域開発が同流域で実現するための要件、特に市民参加と国際機関の関与について考察した。

世界ダム委員会報告書による勧告への各国と援助機関の反応に関して、関係者からの聞き取り調査と文献調査より、世界的な行動規範として実効性を有するための条件を探求した。

水資源の間接貿易（Virtual Water）の影響に関して、この概念が食料安全保障や一般論としての安全保障に与える影響を考察した。また、アラル海流域とメコン川流域を事例とした研究を実施し、国際流域管理に関して斯様な概念が与え得る影響について考察した。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するとともに、関連研究者とともに研究討議、資料収集を行った。

また、中国水利部及び黄河水利委員会を訪問し、黄河の断流の現状、その対策としての水法についての情報交換を行うとともに、我が国の水政策レビューとして我が国の水資源政策を水利権及び渇水調整を中心に分析した。中国への訪問により、黄河断流の発生状況、原因、これまでの対処状況、水法改正までの経緯、今後の断流対策への対処方針などについて多くの情報を得た。黄河の断流は中国において大きな問題の一つとなっており、1972年から1999年まで22回断流が起こっている。近年、中国の経済発展がすさまじく、断流による下流地域での水不足が注目され、水資源の問題の重要性を国民が認識するようになっている。黄河の断流問題は土砂移動量が多い等、他の河川と異なった特徴を持っていることに起因する部分もあるが、2002年に「中華人民共和国水法」が改正され、黄河断流に対処するため水資源の統一管理を強化し、流域機構の法的位置づけが明確化されている。

他方、我が国の水資源政策については、これまで特に水利権制度に着目して研究を進めてきたが、平成15年度は1994年渇水を対象に分析し、各流域の水利権の状況が渇水調整に影響していることを明らかにした。これについては2004年7月APHWにおいて発表する予定である。

3. 研究実施体制

流域水循環モデルグループ

- ① 研究分担グループ長：寶 馨（京都大学防災研究所・教授）
- ② 研究項目：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

相互作用モデルグループ

① 研究分担グループ長：小尻 利治（京都大学防災研究所・教授）

② 研究項目：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
国際シナリオ分析グループ

① 研究分担グループ長：中村 昭

（国土交通省国土技術政策総合研究所・河川研究部長）

② 研究項目：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

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

(1) 論文発表

- 立川康人・太田裕司・寶 馨：立地均衡モデルを用いた淀川下流域における治水事業評価に関する考察，河川技術論文集，第9巻，pp. 317-322，2003.
- Nakayama, M.: International Water Systems from Virtual Water Viewpoint - Cases of Aral Sea and Mekong River -, The 13th Stockholm Water Symposium, Stockholm, Sweden, 2003.
- Kimaro, T. A., Tachikawa, Y. and Takara, K.: Evaluating land-use change effects on flood peaks using a distributed rainfall-runoff model in Yasu River, Japan, IAHS Publication, no. 282, pp. 241-248, 2003/2003.7
- Tachikawa, Y., Komatsu, Y., Takara, K. and Shiiba, M.: Stochastic modeling of error structure of real-time predicted rainfall and rainfall field generation, *Weather Radar Information and Distributed Hydrological Modelling*, (ed.) Y. Tachikawa et al., IAHS, Publication no. 282, pp. 66-73, 2003.
- Shrestha, R. K., Tachikawa, Y. and Takara, K.: Model behavior of distributed hydrological modeling with different forcing data resolutions, *Weather Radar Information and Distributed Hydrological Modelling*, (ed.) Y. Tachikawa et al., IAHS, Publication no. 282, pp. 169-176, 2003.
- Kojima, T. and Takara, K.: A grid-cell based distributed flood runoff model and its performance, *Weather Radar Information and Distributed Hydrological Modelling*, (ed.) Y. Tachikawa et al., IAHS, Publication no. 282, pp. 234-240, 2003.
- 毛利勝彦：Global Water Governance: Johannesburg to Kyoto, Osaka, and Shiga, XI World Water Congress, 2003.
- Kimaro, T.A., Tachikawa, Y. and Takara, K.: Land use changes and sustainable river basin management., *Managing Water Resources under Climatic Extremes and Natural Disasters*, Edited by K. Takara and T. Kojima, IHP-VI Technical Documents in Hydrology No.2 , Regional Steering Committee

- for Southeast Asia and the Pacific, UNESCO Jakarta Office, pp.151-162, 2003.
- Shrestha, R. K., Tachikawa, Y. and Takara, K.: Catchments Response of Up-Scaled Forcing Data for Distributed Hydrologic Modeling Input, Managing Water Resources under Climatic Extremes and Natural Disasters, Edited by K. Takara and T. Kojima, IHP-VI Technical Documents in Hydrology No.2 , Regional Steering Committee for Southeast Asia and the Pacific, UNESCO Jakarta Office, pp. 65 - 71, 2003.
 - Sayama, T., Takara, K. and Tachikawa, Y.: Application of Remotely Sensed Data to Sediment Load Estimation by a Distributed Rainfall-Sediment-Runoff Catchment Model, Monitoring, Prediction and Mitigation of Disasters by Satellite Remote Sensing (MPMD-2004), pp. 39-45, 2004.
 - Kimaro, T. A., Tachikawa, Y. and Takara, K.: Application of Remote Sensing for Describing Spatial-temporal Changes in Flood Characteristics, Monitoring, Prediction and Mitigation of Disasters by Satellite Remote Sensing (MPMD-2004), pp. 61-69, 2004.
 - Shrestha, R., Kojima, T., Tachikawa, Y. and Takara, K.: Analysis of Temporal Vegetation Activity Using MODIS/TERRA Vegetation Indexes in Asian Mountainous Region, Monitoring, Prediction and Mitigation of Disasters by Satellite Remote Sensing (MPMD-2004), pp. 85-92, 2004.
 - Takara, K.: Current Situation and Problems in Application of Remote Sensing to Disaster Monitoring, Monitoring, Prediction and Mitigation of Disasters by Satellite Remote Sensing (MPMD-2004), pp. 185-199, 2004.
 - 立川康人・小松良光・椎葉充晴・寶 馨: 移流モデルによる予測降雨場の誤差構造のモデル化 と降雨場の模擬発生, 土木学会論文集, No. 754/II-66, pp. 9-18, 2004.
 - 手計太一・吉谷純一・Chanchai Suvanpimol: Chao Phraya川流域における大ダム建設が下流の流況に与えた影響, 水工学論文集, Vol. 48, pp. 481-486, 2004.
 - 立川康人・永谷 言・寶 馨: 飽和不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発, 水工学論文集, vol. 48, pp. 7-12, 2004.
 - Shrestha, R., Tachikawa, Y. and Takara, K.: Spectral analysis of spatial rainfall field to investigate uncertainty in Hydrological modeling, Annual Journal of Hydraulic Engineering (水工学論文集), JSCE, vol. 48, pp. 121-126, 2004.
 - Pradhan, N. R., Tachikawa, Y. and Takara, K.: Scale invariance model for spatial downscaling on topographic index in TOPMODEL, Annual Journal of Hydraulic Engineering (水工学論文集), JSCE, vol. 48, pp. 109-114, 2004.

(2) 特許出願

H15年度特許出願件数：0件（CREST研究期間累積件数：0件）