

「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

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、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、水循環と社会変動との相互作用を定量化することにより、持続可能な水政策の立案に資することを目的としている。

アジアモンスーン域における5つの流域のうち、淀川では、ダムによる流水制御を考慮した広域高分解能分布型流出モデルを開発し、将来の社会変動を捉えつつ治水・利水・環境を考慮したダム操作や流域管理の効果を定量化することが可能となった。淮河流域では、灌漑の効果を導入した地表面過程モデルを開発し、灌漑による水循環の変動を推定することが可能となった。ブランタス川上流域においては、土砂流出の現地観測結果を基にした流域土砂移動モデルにより人為的インパクトが降雨・土砂流出特性に与える影響を検討している。チャオプラヤ川、メコン川においても現地機関の水文観測データの収集が進み、これによるダム開発の水循環に及ぼす効果が明らかになるとともに、予測モデルの開発を進めている。

また、水 - 社会・経済モデルの検討を進め、経済活動の大陸間の連関と地域性を考慮した水資源ダイナミクスモデルにより、特に価格を通じた生産・消費の関係をとり込み、応用一般均衡モデルを用いた検討を行うとともに、水資源コンフリクトの分析モデルの構築とマネジメントのためのシステムを提案した。洪水リスクマネジメントの観点からは、参加型洪水リスク評価技法を開発し、名古屋都市圏を対象にその利用可能性を確認するための実験を行った。またそれを用いた住民とのリスクコミュニケーション技法についても検討した。

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、フィリピンにおける水問題と法制度、メコン川上流の航路開削問題について現地調査を行い、フィリピン政府、ラオス政府、メコン委員会等からヒアリングを行った。インドネシア、スリランカの6つのダム建設影響について比較分析を行い、移転住民の生活再建について提言をした。市民参加と国際機関による主導の観点から、中米の2つの流域で環境に留意した開発に向けての要

件、世界ダム委員会勧告に対する各国及び国際援助機関が世界的行動規範として備えるべき要件を提言した。さらに、アラル海流域においてアフガニスタンが灌漑農業を拡大する場合の水資源の間接貿易の影響に関して考察を深めた。

2. 研究実施内容

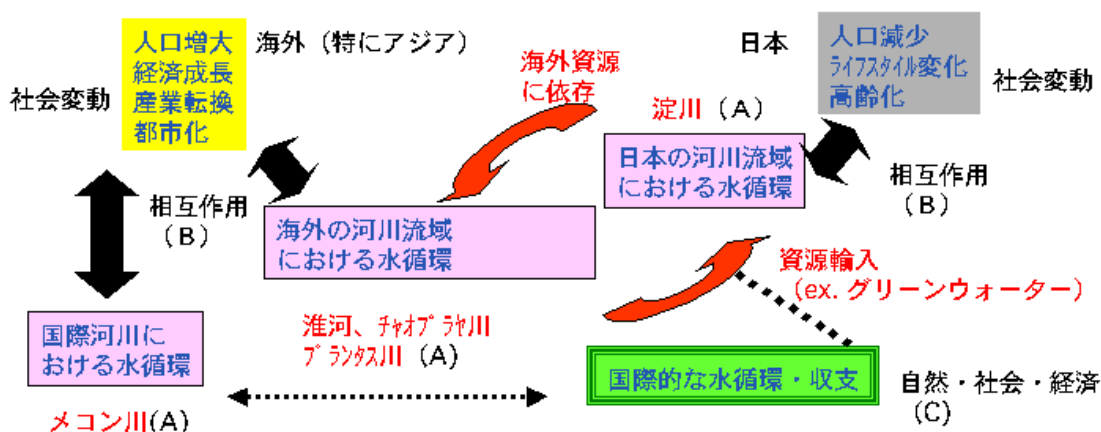
(A) アジामonsoon地域を対象とした水循環モデルの構築（水循環モデルグループ）：わが国およびアジア諸国の社会変動が河川流域の水循環、国際的な水資源循環・収支に及ぼす影響の予測モデルを構築する。

(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) アジामonsoon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) アジामonsoon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）
 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ことを研究のねらいとしている。特に、流域サイズ、社会発達段階、水利用・管理形態の異なる流域を選び、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制度の向上を図ることを目的としている。

(1) 淀川を対象とした広域高分解能分布モデルの開発（京都大学防災研究所、地球環境学堂、農学研究科）

淀川を対象として、ダムやその他の河川構造物を考慮した淀川流域全体の広域高分解能水循環モデルを開発し、将来の社会変動や流域環境の変化に対応して治水・利水・環境を考慮した流域水循環システムの評価や将来の流域像に対する提言を行う基礎的枠組みを整えた。これまでにダム制御の効果を陽に考慮した広域高分解能分布型流出モデルを開発してきており、このモデルを用いて、流域の治水安全度評価の時系列変化を明らかにした。斜面における流出過程において、二次元斜面を対象に無次元化手法を適用すると、結局、土層深を基準にして、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が明らかになった。これにより、地質やパイプ流の存在で大きく異なる山地河川の流出応答実態に対して飽和不飽和浸透流による解釈を初めて可能にした。また、寝屋川流域を対象として土地利用規制政策の妥当性について検討した。水災害危険度に基づいて土地利用を規制した場合に生じる正の便益（水災害被害軽減額）と負の便益（利便性・快適性の低下）を定量的に評価すると後者が極めて大きく、都市化の進んだ流域においては、土地利用規制による治水対策は有利ではないということが明らかとなった。

(2) 中国淮河流域を対象とした水循環モデルの構築（京都大学防災研究所）

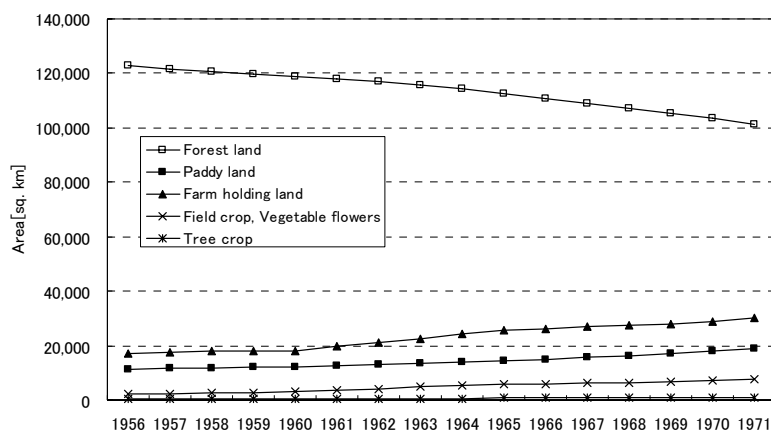
流域水循環を適切にモデル化する上で農業灌漑の効果は、極めて大きいと考えられる。この灌漑の効果を考慮し、また灌漑水量を推定するために、水田や畑作地における水循環プロセスを人為的な灌漑作業を導入した形で表現する地表面過程モデルを開発している。このモデルを用いることにより、淮河における灌漑水量、および灌漑の水循環に及ぼす影響を評価するとともに、このモデルを用いた全球の灌漑水量推定を開始している。

(3) チャオプラヤ流域を対象とした水循環モデルの構築（土木研究所）

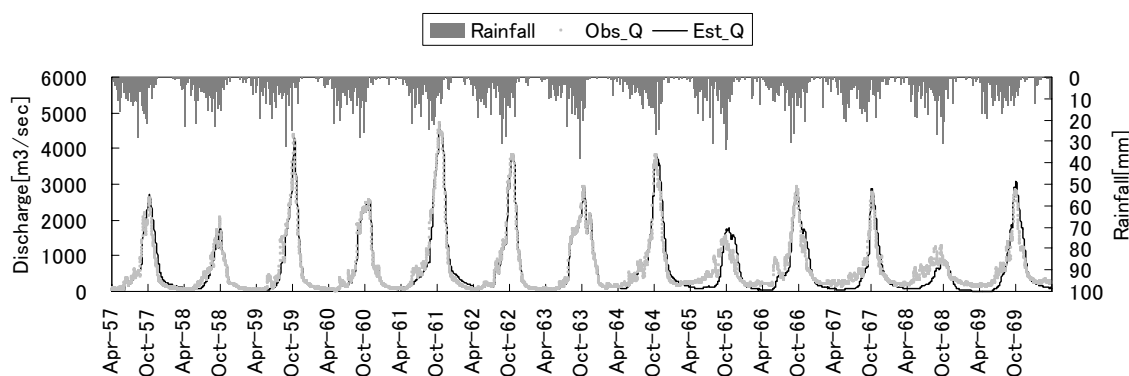
タイ王国にとって社会・経済的に極めて重要であるチャオプラヤ川流域を対象として、社会変動が水循環へ及ぼす影響の実態の解明と将来における水資源の有効な利活用を提言するためのモデル作りを行った。大ダムの建設が下流の流況を大きく変容させたこと、そして、その運用によって下流数百キロにも影響を及ぼしていることを指摘した。ダム建設後も雨水が自然流下するとどのような流況を示すのかを、チャオプラヤ川全流域を73のサブ流域に分割したモデルによる数値計算で明らかにし、観測データと比較して、ダムの持つ利水・治水効果を検討するため、ダム操作は考慮せずに降雨一流出過程の再現を行った。

図-1に示す土地利用変化が微小であることから、降雨流出モデルのパラメータは一定としてNakhon Sawanにおける1956年4月1日から1970年3月31日までの降水量と流量の観測値と流量の再現計算結果を比べた（図-2）。ダム建設前である1963年以前の実測値と計算値を比較すると、再現性が高いことがわかる。1964年以降の実測値を計算値のハイドロ

グラフを比較すると、特に低水部分において計算値の方が下回っている。すなわち、利水については極めて顕著にその効果があることがわかった。一方、治水効果については、解析期間中に大規模洪水が発生していなかったため、厳密な評価をすることはできなかった。



図一 タイ北部地域における土地利用の経年変化



図二 Nakhon Sawanにおける1956年4月1日から1970年3月31日までの降水量と流量の観測値と流量の再現計算の結果

(4) ブランタス流域を対象とした水循環モデルの構築（京都大学防災研究所、山梨大学）

耕地拡大のための森林伐採、違法な土砂採取、不適切な耕作、土地利用変化などの人為的インパクトが降雨・土砂流出特性に与える影響を、インドネシア国ブランタス川の支川レスティ川を対象にして明らかにする。降雨特性を明らかにするために地上雨量計を2004年度までに7基（内ブランタス川本川上流域1基）設置するとともに、土地利用別の土壌侵食特性を把握するために土壌侵食量計測地点を各雨量計周辺に設置した。また、マイクロレーンレーダを用いた雨滴径計測を行い、表層土壌の侵食力を評価するために、雨滴粒径分布を考慮した雨滴の地面衝突時のエネルギーを計測した。一方、衛星画像を用いた植

生指数により、耕作地や森林の植生の活性度と降雨・土砂流出特性（土壌侵食特性）との関係を検討した。その結果、乾季末期には無降雨期間が続くため耕作地での植生指数が激減し、地表面は裸地に近い状態となる中で、雨期に入った直後の降雨強度の強い雨で一気に侵食が始まることがわかった。さらに、雨季の終盤には作物の収穫が始まり、表土を攪乱するとともに、次の耕作の準備のために植生を一気に剥がし取り表土を露出させるために、雨季末期の降雨でも多量の土砂流出が生じることが現地調査で明らかにされた。

(5) メコン川における水循環モデルの構築（国連大学）

メコン川流域の降雨をダウンスケールし予測する手法を準備し現地に展開することを目標とした。米国NCARのMM5モデルに基礎をおく大気モデルが、地表面条件を考慮して高空間分解能の降雨をシミュレートすることができるがどうか局所的な地域モデルと理想化したシナリオを用いて評価するとともに、GCM出力によって与えられる初期・境界条件に基づく3日ごとの地球規模の降雨予報値をダウンスケールしてメコン川流域の降雨にモデル化するためのネスティング手法を設定した。

(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）

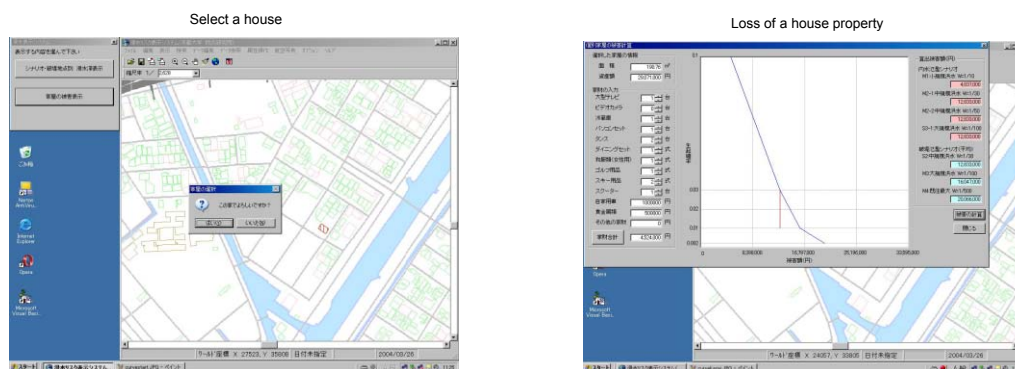
(1) 水資源システムダイナミクスに関する研究（京都大学防災研究所・京都大学工学研究科）

システムダイナミクス手法を用いて水 - 社会・経済モデルの検討を進め、経済活動の大陸間の結合と地域性を考慮した水資源ダイナミクスモデルを構築し、特に価格を通じた生産・消費の関係をモデル内に取り組むことを意図し、応用一般均衡モデルを用いた検討を行った。水 - 社会・経済ダイナミクスモデルは、世界を大陸レベルに分割し、地域性と相互結合を表現しようとするものであったが、経済活動の表現が基本的には重回帰式の積み重ねによるシステムダイナミクスモデルであったため、経済セクターに、生産量や需要が価格の影響を受けて決定されていくという原則が組み込まれていないという大きな問題があった。そこで、本研究では、経済セクターに応用一般均衡モデルを導入することを目指し、その第一段階として、日本を対象としたモデリングを試みた。具体的には、生産部門を第1次産業、第2次産業、第3次産業、水部門の4種類とし、生産要素は資本と労働の2種類、家計には代表的なものが1つ、ほかに政府と投資主体および外国からなるモデル構造を考え、1995年を基準年としたモデルキャリブレーションを行った。ついで、同定されたモデルを用いて、第一次産業の輸入財の関税率を変化させた場合と、労働力人口が変化した場合のシミュレーションを行い、特に第一次産業輸入財の関税率変化が水部門に影響を与える常識的な結果が得られることを確認した。

(2) 洪水リスクマネジメントに関する研究（京都大学防災研究所・国土技術政策研究所）

洪水リスクマネジメントは、行政が専ら担う（公助）だけではなく、地域コミュニティが担う（共助）部分や、個人や家族単位で責任を持つもの（自助）も含めた複主体の当事者が参加する形で災害リスクの分担を図ることが不可欠となってきた。このような観点から、参加型洪水リスク評価技法を開発することをねらいとしている。平成15年度まで

に既に支援技法のプロトタイプモデルを開発し終え、16年度は、名古屋都市圏を対象に実際に利用可能性を確認するための実験を行った。またそれを用いた住民とのリスクコミュニケーション技法についても検討した。下図は、家庭単位で洪水が引き起こしうる資産被害とその発生確率との関係をリスクカーブの形でGIS上に示すことが出来るシミュレーション事例を示している。



(3) 水資源コンフリクトに関する研究（京都大学防災研究所）

水資源をとりまくコンフリクトへの取り組みが急務であるという認識はすでに広く世界で共有されている。ここでは、Third Partyが介入しなければならない厳しい水資源コンフリクトに着目し、そのマネジメントプロセスをシステムモデルとして提案し、そのプロセスから生じるThird Partyの役割を分類し、数学的に厳密に定義した。すなわち、既往の（特に交渉学）研究が記述的であるのに対し、Third Partyを既往の研究で提示されている概念を包含する形で、Arbitrator、Donor、Coordinatorとして分析した。コンフリクトを分析する上で時間軸を考慮するかしないかにより、グラフ理論に基づくGMCRと進化ゲームの2種類のコンフリクト分析モデルを提案し、これらの理論が基礎とする数学理論の安定性の関連を提示し、社会的安定性との関連を明らかにした。国際河川ガンジス川のインドとバングラデシュによる深刻なコンフリクトにおいて、提案するコンフリクトマネジメントシステムを適用し、着目するコンフリクトが解決され得る可能性と、このためにCoordinatorが満たすべき要件を示した。30年に及ぶ長良川河口堰建設のコンフリクトの歴史過程を提案するシステムを用い、複合的なThird Partyの介入という解釈で、数学モデルで再現した。そして、どのようなThird Partyを構成し介入させれば、現実のコンフリクトの解決に役立つかを分析し、システムの有効性を検証した。また、吉野川第十堰問題を対象として、社会経済統計データと浸水に関するハザードマップを用い、流域市町村からプレイヤーを抽出する方法に関して研究を行った。以上のモデル構築とシステムの体系化に加え、平成16年8～9月に2週間、黄河中流域の調査を行い、実際のコンフリクトの現地調査も行った。

(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）：

(1) アジアモンスーンの将来展望に関する研究（国土技術政策研究所）

フィリピンにおける水問題と法制度、メコン川上流の航路開削問題について現地調査を行うとともに、フィリピン政府、ラオス政府、メコン委員会等からヒアリングを行った。フィリピンでは、頻発する水害、都市部に見られる渇水や水質汚濁とそれに関連する河川不法占拠が問題となっている。しかし、水管理を総合的・一元的に取り扱う機関がなく、水行政に関わる機関は大統領府以下13省庁に35機関と多岐に及んでおり、予算・人材の不足から海外依存度が高く、観測・モニタリングも継続的に行われていない。このことが問題を実証的に解明して適切な法制度を構築することを難しくしている。また、欧米型の法制度を努力目標に規定しているが罰則等が不十分で必ずしも実効性が伴っていないと考えられる。こうした問題は、マニラ首都圏の治水、アグノ川の治水、オルモックの災害防御等の治水対策、マニラ首都圏の水資源管理などの具体事例にも映し出されていた。メコン川では、複雑な国際関係の中で実施されるプロジェクトが抱える問題について、メコン川上流の航路改修問題に焦点を当て、調査を行った。メコン委員会は2003年に舟運に関する戦略を発表し、今後のメコン川の舟運のあり方や戦略を実行に移す方法を示したが、これとは別に、2000年に中国が中心となって中国・ラオス・ミャンマー・タイによるメコン川の商業航行に関する政府間協定が結ばれ、現在この枠組みでメコン川の航路改修が進められている。この4カ国が合同で行った環境影響評価を巡るメコン河委員会の動きやラオスにおける河岸侵食と国境線の問題など、国際河川であるがゆえのプロジェクトが抱える問題をうかがい知る内容であった。

(2) 国際的水循環・水収支に関する研究（東京大学・京都大学防災研究所・法政大学・国際基督教大学・埼玉大学）

開発途上国でダムが建設される場合の移転住民による生活再建について、サグリン・ダム（インドネシア）、チラタ・ダム（インドネシア）、コタパンジャン・ダム（インドネシア）、ビリビリ・ダム（インドネシア）、コトマレ・ダム（スリランカ）、ヴィクトリア・ダム（スリランカ）に関して比較分析を行うことで、実証的な提言を構築した。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、特に日本の国際援助機関に焦点をあてて関係者からの聞き取り調査と文献調査を行い、世界的な行動規範として備えるべき要件を提言した。中米のサン・ファン川流域およびシクス・アオーラ川流域に関して、現地調査と聞き取り調査を行い、環境に留意した流域開発に向けての要件を、特に市民参加と国際機関による主導の観点から提言した。アラル海流域に於ける水資源の間接貿易（Virtual Water）の影響に関して、流域国であるアフガニスタンが灌漑農業を拡大する場合の食料安全保障や一般論としての安全保障へのインパクトについて考察を深めた。

3. 研究実施体制

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

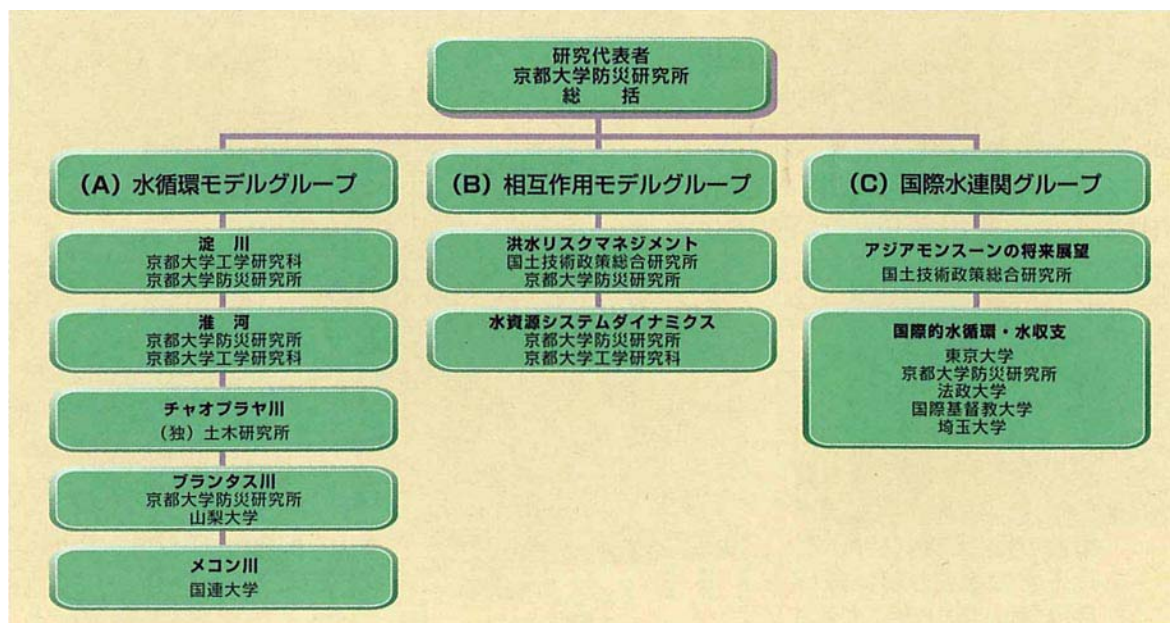
相互作用モデルグループ

- 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

国際水連関グループ

- ① 研究分担グループ長：猪股 純（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

各グループの構成を以下に図示する。



4. 主な研究成果の発表

(1) 論文発表

- Mori, K., Fujikura, R. and Nakayama, M.: Japan's ODA and the WCD Recommendations: Applicability of Comprehensive Options Assessment in JICA Development Studies, *Water International*, Vol. 29, No.3, International Water Resources Association, pp. 352-361. 2004.
- 寶 馨: 世界の水問題の動向と研究展望, 土木学会論文集, No. 761/II-67, pp. 1-

18, 2004.

- 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*, (Sidle et al., eds.), 267-270, 2004.
- 大石哲・佐山敬洋・中川一・里深好文・武藤裕則・Dian Sisanggih・砂田憲吾：雨滴粒径分布を考慮した雨滴衝撃エネルギー算出方法の開発と局所的土砂生産量との関係に関する研究，土木学会水工学論文集，第49巻，pp.1087-1092，2005.
- 手計太一，深見和彦，Chanchai Suvanpimol，宮本守，山田正，大ダム建設の持つ利水・治水効果に関する基礎的検討－タイ王国・Chao Phraya川上流域を対象として－，土木学会水工学論文集，第49巻，pp.457-462，2005.
- 和田一範・上野山智也：黄河断流問題とその対策としての水法の改正，水利科学，No.279， pp. 60-82，2004.
- 手計太一，吉谷純一，Chanchai Suvanpimol：タイ王国・Chao Phraya川流域そその周辺におけるパン蒸発量の時空間分布に関する研究，水文・水資源学会誌，Vol.17，No.5，pp.468-481，2004.
- 手計太一，吉谷純一，Chanchai Suvanpimo：2002年のタイ王国・Chao Phraya川流域における洪水，自然災害科学，Vol.23， No.2， pp.215-228，2004.
- Pathirana, A., S. Herath, and T. Yamada: Simulating orographic rainfall with a limited-area, nonhydrostatic atmospheric model under idealized forcing. *Atmospheric Chemistry and Physics* 5, 215-226. EuropeanGeosciences Union, 2005.
- Sakamoto, M., Hagihara, Y. and Sugiman, T., 'A Dynamic System Model of Social Conflict that Combines Attitude Change Model and Game Theory', *Asian Journal of Social Psychology*, Vol.7, pp.263-284, 2004.
- 坂本麻衣子・萩原良巳：水資源計画における社会的コンフリクトのマネジメントに関する研究－インド・バングラデシュのガンジス河利用に関するコンフリクトを対象として－，水文・水資源学会誌 Vol.18，No.1，pp.11-21，2005.
- 坂本麻衣子・萩原良巳：長良川河口堰問題を対象とした開発と環境のコンフリクトに関する分析，水文・水資源学会誌，Vol.18，No.1，pp.44-54，2005.
- Salewicz, K. A. and Nakayama, M.: Development of a Web-based Decision Support System (DSS) for Managing Large International Rivers, *Global Environmental Change*, 14 (1), 25-38, 2004. ¥
- Yamaguchi, H., Futamura, H. and Nakayama, M.: Issues concerning a diagnostic study of an action plan for the San Juan river basin, *Hydrological Processes*, 18 (16), 2977-2989, 2004.
- Pathirana A. and T. Yamada (2004) Idealized simulation of orographic

rainfall with a mesoscale atmospheric model," *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 48, pp. 295-300, Japan Society of Civil Engineers.