

人口急増地域の持続的な流域水政策シナリオ —モンスーン・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—

研究代表者
砂田 憲吾

人口急増地域の持続的な流域水政策シナリオ

—モンスーン・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—

山梨大学大学院 医学工学総合研究部 砂田憲吾

1. 全体構想

流域における適切な水循環の確保や環境保全をめざして持続可能な方策を選択していくためには、自然的な制約条件のみならず、時代性を踏まえた社会的な条件の考慮が必要である。これらの条件は懸案地域に固有な課題を提起し、各国・地域は複雑な制約条件のもとにそれらの問題解決への取組みがなされてきている。特に、モンスーン・アジア地域等では多様な地理的条件のもと、急激な人口増加と開発に伴う深刻な水問題が顕在化している。各地域のさまざまな水問題を適切に認識し、課題克服への努力や経験を理解することは、より適切な流域水管理の方策を構築するために不可欠である。

本研究では、アジア地域等の水問題解決への貢献をめざし、湿潤地帯から乾燥地帯にわたるアジア地域において条件の異なる典型的な水問題を抱える河川流域を選び、気候変動の影響を考慮しながら、それぞれの流域での水問題の実態を構造的に把握・分析して、問題解決のための水政策シナリオの提言を目的の一つとしている。加えて、これら各国地域の水管理の問題や対策を参照して、新たな水政策シナリオ作成を支援するために、さまざまな経験や知識情報を集約するために、ナレッジマイニング（知識・経験の発見的掘り起こし）システム開発をめざす。

2. 研究手法・体制

水問題の理解のためには、個別の「地域」の視点が重要で、平均値ではなく当初から地域固有の事情や特性を考慮するところから出発する。湿潤地帯から乾燥地帯にわたる多様なモンスーン・アジア地域を対象に異なる典型的な水問題を抱える8河川流域を選び、それぞれの流域での水問題の実態を明らかにして、問題解決のための政策シナリオを提言する。その上で、統合的流域水管理を支援するためのナレッジマイニングシステムを開発する。このための主要な研究項目と対象河川を以下に示し、研究体制を図1に示す。

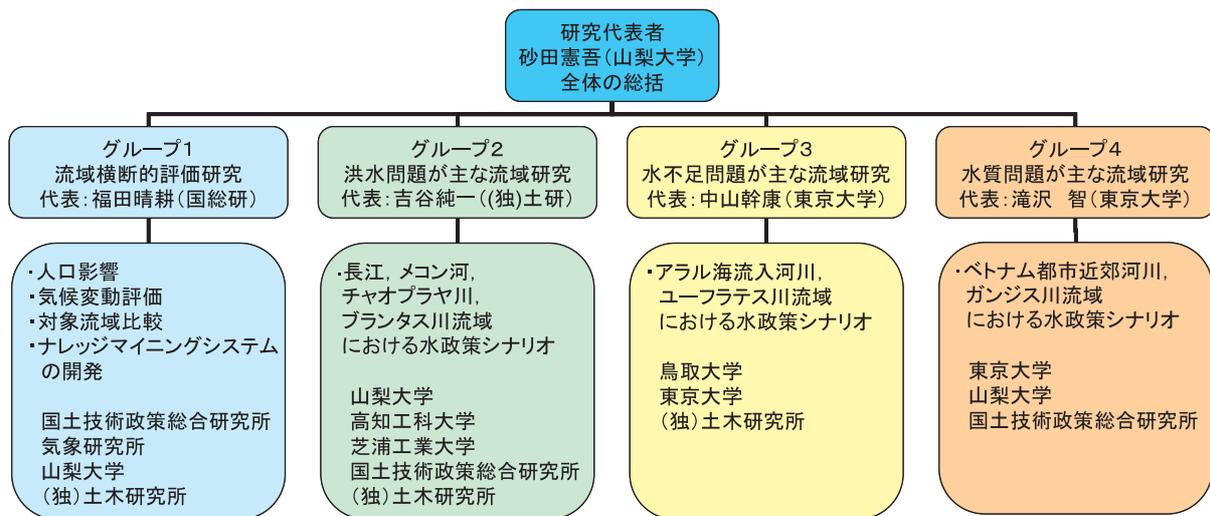


図1 研究体制

A. 外力変動の評価（グループ1）

(A-1) 急激な人口変動や都市開発、産業発展に起因する変動外力の評価

(A-2) 気候モデルによる気候変動外力の評価

B. 水政策シナリオの作成（グループ2, 3, 4）

(B-1) 洪水問題が中心となる河川流域における水政策シナリオの作成

対象流域： 長江, メコン河, チャオプラヤ川, ブラントス川

(B-2) 水不足問題が中心となる河川流域における水政策シナリオの作成

対象流域： アラル海流入河川（シルダリア川, アムダリア川）, ユーフラテス川

(B-3) 水質問題が中心となる河川流域における水政策シナリオの作成

対象河川： ベトナムの河川, ガンジス川

C. アジア地域における水管理のためのナレッジマイニングシステムの開発（グループ1）

(C-1) わが国首都圏河川流域の水政策の歴史的経緯およびその評価と対比

(C-2) ナレッジマイニングシステムの開発と水管理の支援手法

3. 研究成果

研究体制としては前節、図1のように、大きく4つのグループに分けられるが、研究手法が流域の個性を重視していることから、個々の流域の水問題の構造解明と水政策シナリオ素案とに関わる研究成果を順次採りあげることにする。先に、各流域での成果を示し、そののち横断的な研究とその成果を示す。

【洪水が主なテーマとなる地域の水問題（B-1）】

3.1 長江洞庭湖地区における退田還湖政策と農地利用

流域面積180万8,500km²、流路延長6,300kmをもつ長江流域では、治水対策として遊水地の建設が古くから行われてきた。近年は遊水地をより効率的に運用するために水害補償と組み合わせた新たな土地利用管理施策を実施している。この施策の課題などを他国への適用性の観点から分析した。

主な研究対象地は湖南省洞庭湖地区である。中国では遊水地は通常は農地および居住地として使用し、大洪水時に洪水を貯留する施設という認識が一般的である。この認識は1930年代に出された「蓄洪壅殖」政策に起因する。長江全流域を対象とした最初の治水計画（1959年）で、三峡ダムの建設、堤防の嵩上げ、遊水地の建設が計画された。一方で、「蓄洪壅殖」政策を背景に、1950年代～70年代にかけて食糧増産を目的とした干拓により湖面面積が大幅に低下し（1825年の約6,000km²が、1980年に3,000km²以下）、これに伴って洪水調節機能も低下した。洞庭湖地区には24ヶ所の遊水地が指定されており160万人が居住している。各遊水地では1954年大洪水の水位を基準として分洪水位と分洪地点が定められており、この水位を超過した場合には、分洪地点の爆破により遊水地が利用されることになっている。1998年に発生した長江全流域の大洪水時には、洞庭湖地区の遊水地の多くの地点において分洪水位を超えていたが、遊水地内の予想される被害の大きさのために、分洪されなかった。しかし、同年1月に制定された防洪法においては、遊水地の適切な利用を目的とした条項が定められ、法的な整備がなされつつある。さらに、1998年大洪水を契機として、中国政府は治水政策の転換をはかり、「平垸行洪、退田還湖、移民建鎮」政策が実施されるようになった。これは、「垸を取り壊して洪水を円滑に流す；垸田を湖に戻す；垸内の農家を垸外へ移住させ新しい町を建設する」というものである。実際には、住居のみ移転する「単退」と住居・農地ともに移転する「双退」の両方式が採用されているが、洞庭湖地区の場合には、大部分が「単退」である。これに加えて、2000年に制定された洪水抑制強化区域の補償運用に関する暫定規定（国発第286号）にしたがって、水害補償制度が施行されている。現在までに得られた結論をまとめると以下のようになる。

(1) 中国においては、遊水地とは洪水の貯留に特化した治水施設としての機能だけでなく、平常時は農地・居住地としての機能も果たすものである。

(2) 同じ土地を農地として利用しながら遊水地としても利用することは農業政策と治水政策とのコンフリ

クトの可能性を内在するものである。しかし1998年洪水を契機に、中国政府は退田還湖、水害補償制度を通して遊水地利用を進めていく方針をとる中で解決をはかっている。

(3) 洞庭湖地区の遊水地には、三峡ダム運用後にも一定の役割が期待されている。当該地区の遊水地が適切に利用されるようになるためには、洪水に対応した作付け体系の導入、3市にわたって分布する遊水地を効果的に利用する方法の決定、持続的な水害補償制度の確立などが、課題となっている。

3.2 メコン河流域の水問題

メコン河は標高5,200m以上のチベット高原に源を発し、中国、ミャンマー、ラオス、タイ、カンボジア、ベトナムを経て、南シナ海に注ぐ。総延長4,900km、流域面積795,500km²の国際河川である。メコン河流域については本CRESTプロジェクトでも丹治チームによりシナリオ研究が採り上げられ、農業と水利用、森林、漁業、経済発展、各国の対立と協調などについて幅広く精力的な研究が進められている。本研究では研究の効率化と重複を避けるために、これらのフォローを行うと共に、丹治CRESTでは深く検討されていない重要な課題として河道の問題に重点をおき、調査研究を行っている。また、国際河川として不可欠な総合的な流域管理の視点から、基本的かつ客観的な知識・情報の共有の方向について具体的な提案に向けて検討してきた。メコン河委員会は表1のような主な水関連問題（ここでは項目のみ提示）があるとしている。

表1 メコン河流域の主な水関連問題（メコン委員会³⁾）

1. 水位（または流量）変動
2. 漁業生産性と生態系機能
3. 水質悪化
4. 河岸侵食と河床変動
5. 航行障害
6. 森林破壊
7. 政策目標、評価手法、利益分配の不調和

このうち、河道の管理は同表の項目1, 2, 4, 5にかかわる流域全体に関わる重要な課題である。本研究ではこの点について、不十分であるが現存する観測資料を用いて、メコン河下流域の土砂および栄養塩の動態の推定を試みた。解析に用いるデータには、メコン河委員会のhydrological database (HYMOS)の流量データと浮遊砂濃度データおよびWater Quality Monitoring Network (WQMN) databaseの水質濃度データを使用した。メコン河本川Chiang Saenより下流区間約2000kmを5区間に分け、支川からの土砂流入を考慮して土砂収支を把握する。既知の観測データから浮遊砂量および栄養塩負荷量と流量との間にそれぞれ経験的な関係式を仮定し、浮遊砂量および栄養塩負荷量を推定した。その結果、上流からの土砂生産・輸送がメコン河下流域における土砂量に大きく寄与していること、一方、栄養塩は土砂の場合と異なり、支川または河道から大量に流入していることなどの結果が得られた。

一方、表1に示される課題の7は、流域の開発や環境整備の計画や将来の方向の合意についての共通基盤を支える、「知識・情報」の共有に関わる課題である。この点に関して、現存するメコン河本川情報収集に関わる国際機関のうちの主な機関として、MRC (Mekong River Commission: メコン河委員会)、GMS (Greater Mekong Sub region: 拡大メコン圏)、Upper Mekong Navigation について、データ収集努力と収集範囲、人員・知識の結集、意思決定への反映、他の学術研究機関との連携の状況について検討した。実際の検討ではこれらの項目をさらに細分化して評価しているが、最も活発・積極的な場合をランク5として比較すると、図2のようになる。Navigationでは目的が限定されているため、知識情報の利

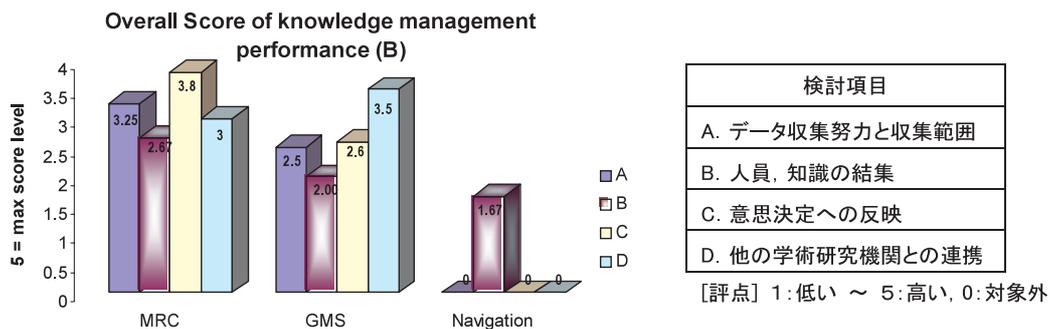


図2 メコン河関係国際調査機関における知識情報の管理の（総括的）比較

用は限られているが、MRCでもGMSの場合でもデータ収集や人員の投入において、十分とは言い難い。研究では、さらにどのようなデータ内容が必要か、さらに重要かつ効率的な知識情報の項目について政策シナリオとしての提案をめざしている。

3.3 タイ国チャオプラヤ川流域における総合治水対策と水需要

アジアを代表する氾濫原であるタイ国・チャオプラヤ川流域（バンコク首都圏域を含む）において策定された総合治水対策の効果について、わが国の場合と比較しながら分析している。研究対象とした河川は近年都市化の進展が著しい低平地緩流河川であり、その流域の大半が氾濫平野である。このようにもともと洪水の危険のある土地での市街化により被害ポテンシャルが増大したことが洪水被害を増大させてきた。バンコク首都圏域に関してはこれに加え、都市化に伴う地下水の汲み上げにより進行した地盤沈下が被害ポテンシャルを増大させている。バンコク首都圏域およびチャオプラヤ川流域での構造物対策、非構造物対策について、

表2 チャオプラヤ川における総合治水方式での対策内容

	バンコク首都圏域	チャオプラヤ川全流域
対策内容 (総合治水対策)	非構造物対策 ・外周堤防外側のグリーンベルト保全 ・外周堤防・小規模堤防間のバッファゾーン保全 ・市街地内での保水地域（保水容量約1200万m ³ ）の指定、開発の抑制。 ・浸水予報・警報 ・広報・教育	非構造物対策 ・ダム の 運 転 規 則 の 改 善 ・市街化抑制などの氾濫原管理 ・森林などの流域管理 ・洪水対策関連の制度・組織の整備
	構造物対策 ・外周堤防による北東部からの流入阻止 ・市街化地域外側の小規模堤防 ・チャオプラヤ川への雨水排水ポンプ増強 ・チャオプラヤ川の堤防の嵩上 ・輪中堤防	構造物対策 3つの代替案 1. 部分的防御 2. チャオプラヤ川の堤防嵩上げ 3. チャオプラヤ川の放水路 治水計画については代替案をもとにタイ国政府により検討中。

その計画内容を整理すると表2の通りである。構造物対策では、1983年の大洪水の後、緊急対策として外周堤防の設置、チャオプラヤ川への排水施設の増強がなされた。これにより以前は数ヶ月間続いた浸水期間が、緊急対策後は数日にまで減少した。また1983年以降のチャオプラヤ川での洪水の際にはバンコク域への浸水はみられない。これより構造物対策の効果は大きかったことがわかる。非構造物対策では、表2に示すように市街化地域の中に20の保水地が登録されている。またバッファゾーンでの開発を完全に抑えることはできなかったが、開発に際し一定の流出量確保を義務付けることが行われている。構造物対策と非構造物対策を組み合わせた総合治水対策は有効であり、モンスーン・アジア地域の他の同様な流域においても有効であると考えられる。

人口の急増する都市域（バンコク周辺）の水需要予測は今後の水管理政策のもう一つの重要な課題である。この課題について、タイ政府各機関の協力により得られている産業、生活用水に関わる各種統計をもとに、チャオプラヤ川下流域の7県における産業用水、生活用水の需要構造を分析するため、アンケート調査を実施した。水需要分析の対象とするタイ国7県の産業連関表を作成するとともに、工業用水需要のGDP産業連関表とのリンクモデルを作成した。結果をもとに、戦後の日本における水需要動向を参照しながら、タイ国が将来取り得る政策的手段の効果について分析し、タイ国の将来水需要予測を試みている。

3.4 ブランタス川流域における水・土砂管理

インドネシア・東部ジャワ州に位置するブランタス川流域（図3に上流域を示す）は、流域面積は11,800km²で、流路延長は320kmである。ブランタス川流域では火山活動などの激しい自然現象に加え、人間活動も拡大している点に注目し調査研究を行ってきた。流域では、第2次世界大戦後現在まで、第1次から4次のマスタープランに沿った形で流域管理が行われてきている。1962年にまとめられた第1次マスター

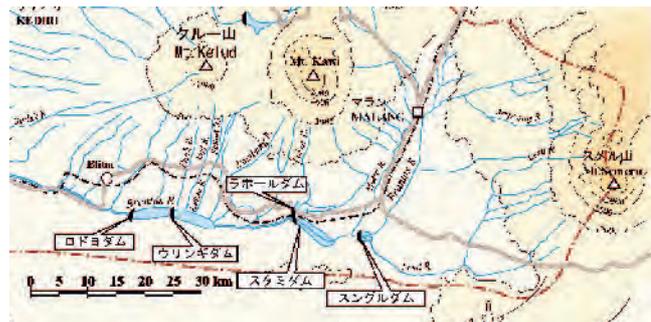


図3 ブランタス川上流域

プランは主として洪水対策が目的とされ、中流域ではダム建設、下流域で河道掘削などの河川改修が実施された。第2次（1972年策定）、第3次（1986年策定）のマスタープランはそれぞれ農業用水確保、工業・生活用水確保を目的としたものであり、灌漑施設の強化等が実施された。

図4にGDP、米の生産量、人口の変遷を流域内のダムの総貯水量と併記した。同図に示されるように、ブランタス流域内の人口は単調に増加してきており、2000年の人口は1960年の人口に比べてほぼ倍である。流域のGDPはさらに急激に増大し、1970年から1993年にかけておよそ75倍になった。また、第2次マスタープランに沿った流域管理が行われた時期（1970年代）に、米の生産量は、水田面積がほとんど増大しないにもかかわらず、ほぼ2倍になった。この時期は、スタミダムなどのダムが建設され、流域のダムの総貯水量が急激に増加した時期と一致していた。このことから米の生産量の増大は、ダム整備の結果、乾季にも米作が出来るようになったことに起因すると考えられる。さらに、第3次マスタープランの策定後、工業のGDPが急増し、農業と逆転した。以上のように、過去40年間、人口、GDPとも増加し続け、各マスタープランの主目的は達成されてきたとみなすことができる。

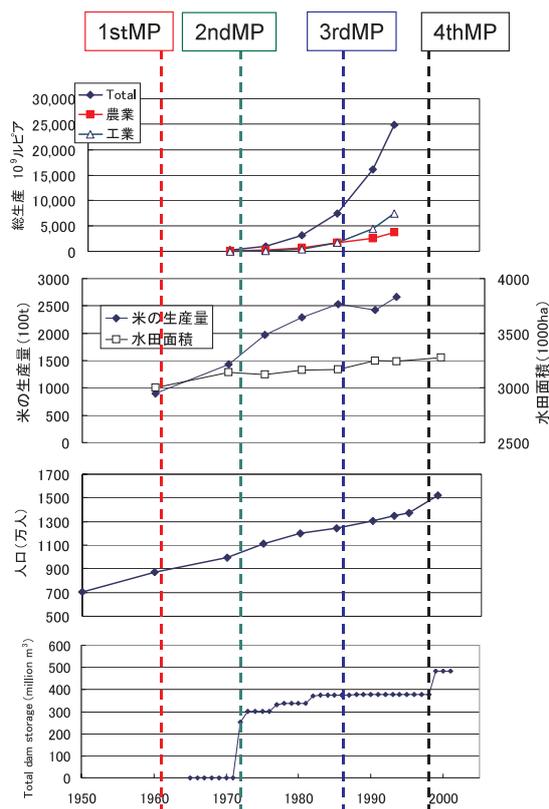


図4 ブランタス川流域における GDP, 米の生産量, 人口, ダムの総貯水量の変遷

一方、ブランタス川流域では流域管理の問題として、中流域のダムでの堆砂による有効貯水量の減少が最重要課題の1つであることが指摘されている。土砂の問題として、①中流域のダム群の堆砂及び②下流域の河床低下の2問題が重要な問題であることが知られている。この問題を解決すべく政策提言を行うためには流域の詳細な土砂動態の把握が必要である。中流域のダムへの主な土砂生産源は活火山であるクルー火山とシングルダム上流域である（図3）。クルー火山の影響に関しては多くの調査がなされているが、シングルダム上流域における土砂動態に関しては十分に把握されていないため、シングルダム上流域において放射性同位体を用いて土砂動態の把握を試みた。

シングルダム上流域のブランタス川源流域、レスティ川・アンポロン川流域において試料採取を行い、放射性同位体 Pb210-ex 濃度を測定した。森林土壌、耕作地における土壌侵食量それぞれにモデルを適用した結果、森林からの土砂流出はほとんどなく、耕作地からの土砂流出が卓越していることが推測された。この結果から特にブランタス川源流域では耕作地での土砂生産源対策が有効であることが示唆される。

【水不足が主なテーマとなる地域の水問題 (B-2)】

3.5 シルダリア川流域における上下流間の利水競合と土壌の劣化

水不足および上下流間の利水競合と下流域の深刻な水環境・生態系の劣化に直面している国際流域小アラル・シルダリア川流域を対象として、水需給の実態、流域関係国の水政策、水環境の現状掌握・将来動向の評価を行い、水・環境問題解決のための将来像と改善対策を明らかにし、同流域の水政策シナリオを提案することを目的に研究を進めている。ソ連の統合計画経済の下で構築されたこの流域の水利システムは、独立後、各共和国におけるその運用・管理方針の大幅な変更に伴い上下流間に大きな水問題、環境問題を生じた。キルギスタンは、自国の水資源を自国の利益のために活用する方針を選択し、流域最大の規模を誇る Toktogul ダム（貯水量 195 億 m³）を冬期の発電のために運転するようになった。夏期の同ダムへの貯留は下流域の灌漑水の不足を生じ、冬期の発電のための放流は下流域の洪水の原因となった。シル

ダリア川は冬期に凍結するため、河川の通水能力は減少し、このことが被害を一層大きくした。カザフスタンは Chardara ダム（貯水量 57 億 m³）を運用して洪水調節を試みたが、すぐに満水になってしまい、越流した水はウズベキスタンの Arnasai 低地を経て Aidar 湖（塩湖）に流入し続けている。Aidar 湖は拡大の一途をたどり、巨大な湖となっている。この低地へ流入した水は小アラルへ流入することはなく、塩水と混合するため、水資源としての価値は消滅してしまう。このような状況のもとで、流域関係国は 1992 年以來、事態の收拾に向けた調停作業を進めている。基本的には、旧ソ連時代に形成された上流国と下流国の間で、水資源とエネルギー資源のバーター取引を踏襲する方向で、進められてきた（図 5）。しかしながら、何度か協議が繰り返され合意に至っても、各国とも自国の利益を最優先し、相互の義務を軽視する傾向が強いため、結局は不調に終わっている。交渉の継続が望まれる。

下流域地域では深刻な圃場での塩類集積問題が生じている。これに対処するため、代表的な灌漑ブロックの水稲作付圃場を対象として現地実験を行い、上層土中水の灌漑期間中における塩類濃度の変動特性の分析を行い、本流域の土壌・気象条件下における水ストレス、塩ストレスの発生が農地の土壌水分変動に及ぼす影響について検討した。その結果、シルダリア川下流域の農地では塩ストレスが消費水量に与える影響は大きく、塩ストレスの影響を受けた農地において、除塩なしに作物蒸発散量を灌漑水量として採用した場合、余剰水が土壌に残存し、二次的塩類集積の危険性が高くなることを明らかにした。

3.6 ユーフラテス・チグリス河流域における流域国間の協調と援助国の役割

ユーフラテス川とチグリス川は一つの河川流域として捉えられることが多い。両河川を比較すると、ユーフラテス川において水資源はより逼迫している。ユーフラテス川の主要な流域国であるトルコ、シリア、イラクの間で「水争い」が 1960 年代より顕在化しており、現在に至るまで協調の為の体制（たとえば流域機関設立）は確立されておらず、流域国間での確執が解決する目処は立っていない。河川を流下する水量が乾期と雨期では大幅に異なり、雨期の水を利用することで資源としての水の総量を増加することが可能なモンスーン・アジアとは異なり、ユーフラテス川流域では一定量の水を流域国が争奪するというゼロサム的な状況にある。このように水資源の付属が顕在化している国際河川流域であるユーフラテス川流域において、どのような水資源管理が為されるべきかについて、関係国専門家と協議しながら検討している。

ユーフラテス川流域の水資源管理への寄与として、本研究の枠組みの中で流域国から各 1 名の専門家（大学の研究者）が参加する「専門家会合」を年に 2 回の割合で日本において開催している。参加する専門家は固定されており、同じメンバーが定期的に顔を合わせることで、相互の理解と信頼が深まることを期待している。「専門家会合」では流域横断的な研究と各流域国内での研究を含む研究計画を作り、それを流域国内の研究者による参加を得て実施する。そのことで流域の現状について共通の認識を形成すること、および学術的な知見を得ることを目的としている。「専門家会合」は個人の資格での参加であり、かつ専門家間での信頼と共通認識の育成を目的としている。

「専門家会合」には以下のような効用があることが実感される。①他の流域の研究者と「接触」する機会は、過去に珍しくはないが、第三国（日本）で定期的な同じ顔ぶれでの会合を重ねることにより「交流」

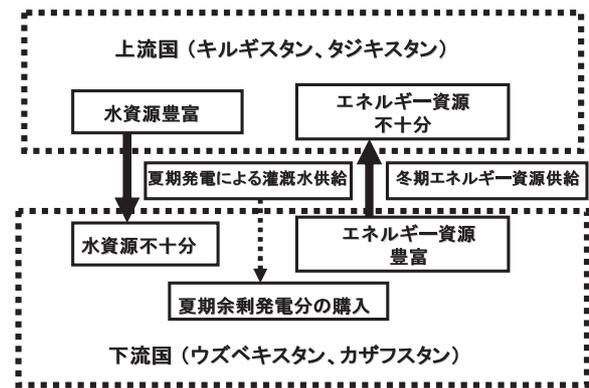


図 5 上流国～下流国間の水とエネルギーの融通交換のイメージ



写真 1 専門家会合による検討

を深める機会は、これまでに存在しなかった。②流域内での地名の英語（アルファベット）表記が、流域国によって異なるなど、簡単な技巧的事項のレベルで、相互の理解を妨げていた要素が多々あることが実感された。③先進国の研究者が研究計画を「押しつける」のではなく、流域国の研究者による研究計画の策定を先進国の研究者が側面支援するという形態で共同研究が策定されることは、専門家間での信頼と共通認識を育成する上では有用である。以上の専門家会議を通じ、現時点で確定している共同計画案として、

(1) 「イラク国内に於ける農業用水使用の最適化」

(2) 「ユーフラテス・チグリス川流域におけるイベント・データベースの構築」

が掲げられ、現在実施段階にある。

【水質・環境が主なテーマとなる流域の水問題 (B-3)】

3.7 ガンジス川流域における現地調査

ガンジス川流域を対象とし、水質問題に重点をおいた水政策シナリオを提示するための調査を行っている。調査に際して、ガンジス川流域は広大であること、焦点が都市化に伴う水環境におかれているため、代表的な都市であるインド国ニューデリーについて詳細な調査を行い、その結果と他の地域の基礎的な情報を元に、流域の水政策シナリオを提示することを目標としている。

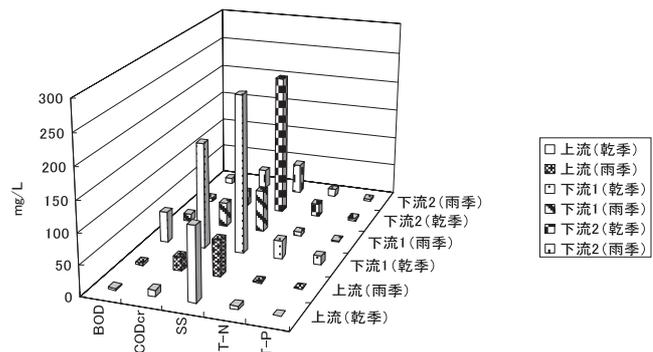


図6 ヤムナ川の水質調査結果

・河川の水質汚濁状況： 河川の現状把握のため、ニューデリー近郊のヤムナ川（ガンジス川支流）の河川水質調査を実施した。調査場所は、ニューデリー上流のパラ付近と下流のマジョーリ（下流40km付近）、プリンダヴァン（下流106km付近）である。調査は、雨季9月、乾季2月の2回実施した。

図6に水質分析結果を示す。上流がパラ、下流1がマジョーリ、下流2がプリンダヴァンである。

乾季に関して、すべての水質項目で下流に比べ上流の値の方が低い傾向にあった。雨季には、若干、BOD、T-Nの値が下流で高いものの、上流、下流でほとんど変化がない傾向であった。これは、雨季には降雨による水量の増加および多数の洪水があるため、河川における滞留時間が短くなるとともに、河川の汚濁が押し流されたものと考えられる。調査を行った河川においては、乾季において汚濁負荷が蓄積され、雨季に押し流される工程を1年周期でくりかえしていることになる。

・汚濁負荷量原単位調査の結果： 生活排水系排水の調査結果からは、都市部に関しては、スラムの値が全体的に低い傾向にある以外、高、中、低所得者間での傾向の違いが見られなかったこと、一方、スラムは、すべての項目において値が低く、高、中、低所得者の傾向とはまったく違う傾向にあったことなどが得られた。家を借りることができない収入であるため、食生活や生活様式が大きく異なったものと考えられる。農村部に関しては、ほとんどの負荷量原単位が小さく、使用水量も少ない傾向にあった。牛舎排水の調査結果からは、都市部排水が河川へ与える影響が大きいこと、都市部では所得による負荷量原単位の大きな違いはないが、スラム、農村部では生活様式の違いにより都市部の原単位とは大きく違う傾向にあることが分かった。

3.8 サイゴン・ドンナイ川流域における水質問題と水マネジメント

サイゴン・ドンナイ川流域は、流域面積40,683 km²、流域人口は約1,600万人であり、年率2%以上で人口が増加している。同流域にはベトナム最大の都市ホーチミン市があり、ベトナムのGNPの3分の1を生産する重要地域である。過去20年近く、ホーチミン市の人口は年率6%で増加しており、1980年代の終わりの200万人程度の人口から、今日では600万人近くの人口になっている。人口の増加に伴い、農業用水、都市用水、工業用水の需要が急速に伸びているが、ダムなどによる水資源開発は1980年代に行われたものの、近年は様々な制約により困難となっている。本流域においては、海水の遡上による淡水資源の塩水化、都市排水や工業排水などによる汚染、農業や養殖漁業、砂の採掘による汚染などの水質問題

を抱えており、これらの問題は水利用に対する大きなストレスとなっている。本研究では、サイゴン・ドンナイ川流域における水需要の変化と、水利用における制約因子を調べ、将来の水需給の問題を解明するとともに、水をめぐる利害対立を解消するために必要なマネジメントツールの確立を目的としている。

サイゴン川上流にはヨーティン貯水池があり(図7下部)、サイゴン川右岸流域に農業用水を供給するとともに、ホーチミン市の水道水源となっている。この貯水池は、雨季と乾季で面積が大きく変わり、乾季の湖岸では、家鴨などの養殖や、牛の放牧が行われるほか、水面には1200程度の養殖生簀が浮かんでいる。また、貯水池の一部では砂の採取が行われており、高い濁度となっている。養殖生簀の所有者45世帯にインタビューを行ったところ、ここ数年で水質が悪化したと答えた回答者が多かったが、生簀が貯水池の水質に影響を与えていると考えている養殖業者は少なかった。そこで、同貯水池の水質(BOD)を毎月測定した結果、貯水池流入部のBODは2mg/L以下であるが、養殖生簀などの多い流出部ではBODが5mg/L程度に上昇していた。インタビューの結果では、魚の市場価格の変動が生簀の数に最も大きな影響を与えることがわかった。環境規制への実効性が経済的側面も考慮される必要があることが知れた。

貯水池での水質調査を行い、養殖生簀が集中している地域(Site 6と7)とそれ以外の地域でのBODの違いを図8に示す。季節による変動はあるものの、Site 6と7は他の地域に比べて有意に高いBODを示しており、特に乾季に貯水池の水量が減少すると高いBODを示した。

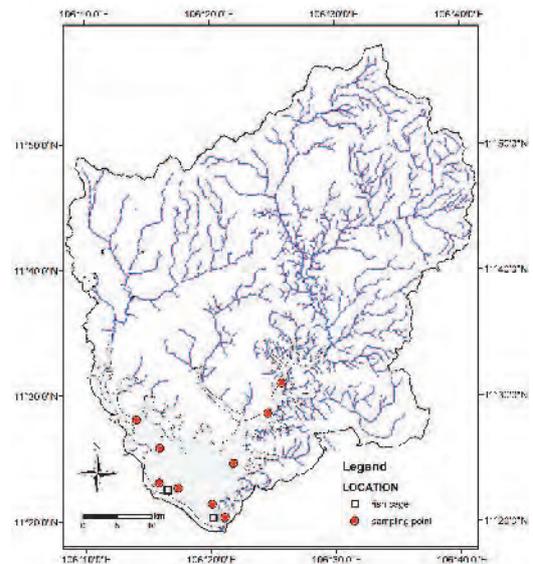


図7 ドウティン貯水池(図下部)とその流域とサンプリング地点

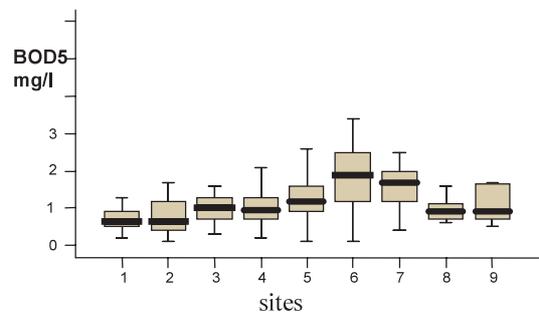


図8 ドウティン貯水池サンプリング地点でのBOD値

【横断的評価とその視点1 (A)】

3.9 沖積平野における地下水に関する認識

アジアのモンスーン地域における沖積平野の地下水保全政策について比較研究を試みている。代表的なハノイ平野、メコンデルタ、ホーチミン平野、チャオプラヤ平野、バングラデシュ平野においては、いずれもユーラシア大陸の縁辺に位置し、人口が集中する平野である。これらの平野には人口が稠密で、農業や商工業の生産活動が活発に行なわれている。そのため地下水が多量に利用されて社会の発展に寄与してきている。その反面、近年地下水の過度の汲み上げにより各種の地下水障害が発生している。これまで経てきた日本の経験と施策を一つの基本的視点として、対象地域を比較検討し、モンスーン・アジアの地下水資源の現況と問題点の整理をめざしている。

3.10 わが国の首都圏における水資源政策 (A-1: 比較研究)

日本の首都圏河川流域での「人口増加外力～応答(施策群展開)」の関係を、水資源確保の側面から分析し、それが持つ一般性、今日性の度合いを考察することにより、モンスーン・アジア地域における水政策を検討するための比較対照流域としての位置づけを明確にしたいと考えている。

人口急増への応答にかかわる諸事象・施策の展開と相互作用： 首都圏の人口急増への対応は、大きく、1) 新規の都市用水の開発、2) 工業用水の回収率向上による需要急増の吸収、3) 水利用の転用(農業用水から都市用水へ)、4) 生活用水の節水、に分けられるが、問題解決への実質的寄与度は前二者が大

きかったと言える。これらの対応策にいたる流れを整理した。1950年代後半から顕著になった首都圏への人口・経済活動の集中に対応できた理由を考える上でのポイントは以下のようなものである。

1964年の危機的状況での利根導水路緊急活用（建設着手後わずか1年）など、直接的には1960年代前半を乗り切ったことが大きいと考えられる。しかし、利根導水路は単独ではあり得ず、利根川水系水資源開発基本計画という枠組みが直前（1962年）にできて、利根川取水を許す基本条件（ダムによる都市用水新規開発の計画）が整備されていたこと、さらに、それに先立つ10年ほど前から、戦後復興と治山治水を軸とする国土開発計画が立てられ、多目的ダムを主役とする河川総合開発が実質上始められていたことも、外力への応答を早める上で重要だったと考えられる。

一方、工業用水については、地盤沈下の要因となった地下水汲み上げ規制や水質汚濁防止の取り組みが、回収水率向上に寄与していたと考えられる。このように並行して生じた他の問題への取り組みが施策推進に同期的に作用したことも重要なポイントと考えられる。

これまでの考察を踏まえ、首都圏人口急増に応答した施策群展開に関わる構造、および一般性という意味で課題になりうる項目の抽出と検討を進めている。

3. 11 気候変動に伴う将来の河川流量の予測（A-2）

地球規模の水循環変動の程度を直接考慮するために、2005年度には様々な機関で開発された大気海洋結合モデルを用いて、将来（2081-2100年）のモンスーン・アジア地域の気候及び河川流量の予測を行っている。用いたモデルは、気象研究所で開発された大気海洋結合モデルを含む世界の様々な気候研究機関で開発された19個のモデルによる予測結果を統合するアンサンブル平均が用いられた。

今回は水平解像度60kmメッシュの気象庁・気象研究所統一全球大気モデルを用いて、20世紀末（1990年頃、以下、現在）と21世紀半ば（2050年頃、将来）のシミュレーションを行った。積分期間は各30年である。また河川モデルを用いて、大気モデルで得られた流出量から河川流量を求め、アジアの主な河川における将来の変化を予測した。

結果は図9にアジア6河川の流量月変化として示され、特徴は以下のように要約される。

- ・観測と比べると、現在ランはユーフラテスとメコンを除いて概ね観測の標準偏差内に収まっている。
- ・月変化について見てみると、観測に見られる長江の9月頃のピークがモデルで再現されていないが、他の河川では概ね月変化の傾向も良く再現されている。
- ・将来変化について見てみると、長江+8.7%、メコン川+6.8%、チャオプラヤ川+4.2%、ガンジス川+6.6%、ユーフラテス川-3.9%、シルダリア川+3.3%となった。
- ・長江では7月～10月にかけて流量が増大しており、洪水などが増える可能性が示唆される。
- ・ユーフラテスやアマダリア川では冬から夏にかけての降水が増える一方、夏から冬にかけては減少する傾向がうかがえる。

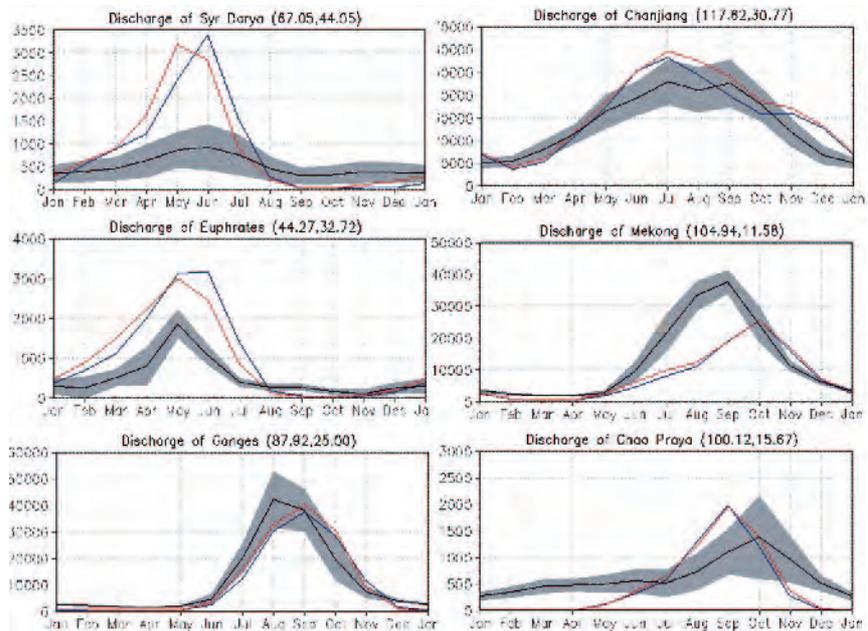


図9 黒の実線は観測データ（Global River Discharge Center:GRDC）で、影のついた領域は年々変動の標準偏差を表している。また青線は現在ラン、赤線は将来ランである。

【横断的評価とその視点2 (C)】

本研究では、研究期間中前半に主に水問題の構造解明に重点が置かれ、その解析の過程で課題克服のための政策シナリオ素案が考察されてきている。今後の研究後半では、課題のさらに十分な見極めと流域固有のシナリオ提案をめざしていく。その過程で、各流域で得られた知識や経験を集約して、他の地域での今後の水管理政策樹立のために生かしていくことを考えている。

この横断的な知識・経験の集約の方法について検討を開始している。この種の集約は単純なものではなく、当面3種のアプローチが考えられた。それらは、次のようなものである。

- ①対象とする9流域での主要な特徴をセットで分析し、総体的な経験として理解する。たとえば、ブランドス川流域では「火山活動や地形などの自然条件の激しさとともに、人間活動の大きな影響のもとでの流域と管理の変遷がどのような経過をたどったか」を総括する。
- ②自然・社会的な条件のもと、適当な課題・政策のリストアップと比較参照、集約を行う。
- ③水管理政策立案に必要な検討項目を系統的に整理し、それらに関する項目がすでに検討された事例を直接引用できるようなシステムを開発する。また、項目立てはせず、本研究で収集された資料・情報をクロスリレーショナルなデータベースとして順次参照・引用する情報を活用する。

これらの3種のアプローチは互いに特徴を有しており、当面、並行して検討を進めることになっている。ここでは、特に③の前半のシステムについての検討状況を示す。これは、研究当初に政策提案を支援するために仮称していた「ツールボックス」に代替するものであり、手法に期待する意義をより適切に呼称するために、「ナレッジマイニングシステム（知識・経験の発見的掘り起こし）」と呼ぶことにした。

3. 12 アジア地域における水管理のためのナレッジマイニングシステム (C)

本研究では、洪水、渇水、水質といった水関連の課題を抱える9流域を選択し、課題解決のための政策シナリオ策定を目標とした事例的研究を進めている。これらの流域から得られた個別の知見を、他の流域での水管理政策の立案に役立つものとして整理するシステムを開発している。政策立案に関わる人が、多くの事例から水問題解決のための参考事例や知恵を発掘することができるようなシステムという意味を込めて、このシステムをKnowledge Mining System（以下KMS）と名づけている。Knowledge Mining System (KMS) の基本構造： KMSは、政策立案者等が流域における水関連の政策シナリオを立案する際の支援となる事例集と位置づけられる。そのためには、様々な地域に適応できること、多様な課題に対応すること、特定の課題の解決に役立つこと、などが必要である。そこで、アジア地域を対象として水管理政策を立案するためにあたって、図10に示す基本構造に基づいて、一般的に考慮しなければならない項目として45項目を設定した。全体を、政策実施環境、組織の機能・活動・情報の共有、水問題に関する現状・課題・評価という3大カテゴリーから構成され、各カテゴリー内に、さらに別途設定されるような仔細な項目が含まれる。これらの項目が、流域ごとの事例研究で得られた知見をつなぐ横系になる。

KMSの具体的な構造の例としては、図11に示すような構造を考えている。流域事例ごとに主要課題（洪水対策、渇水対策、水質対策等）が異なるため、政策立案者が適切な項目を選択することにより、自分が直面している課題に

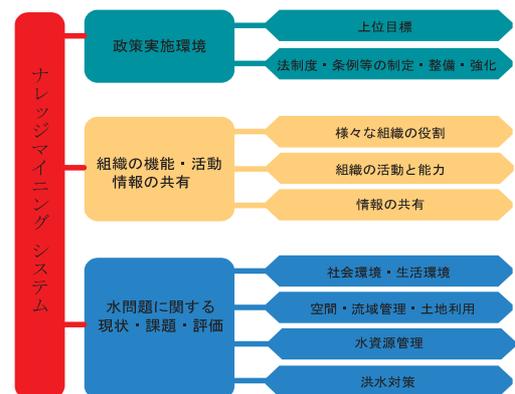


図10 ナレッジマイニングシステム (KMS) の基本構造

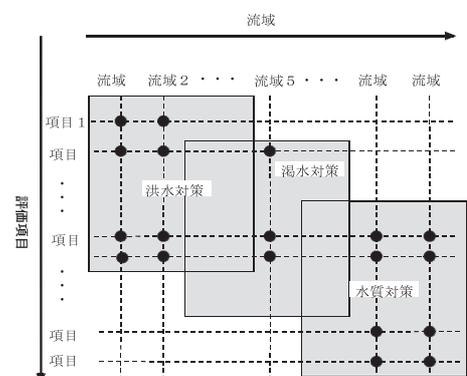


図11 ナレッジマイニングシステムのマトリクス構造

類似したいくつかの事例を即座に選択でき、それらを参考に政策シナリオを立案できるようにする。また、テキスト形式のデータベース内で、キーワードに関して Wiki の技術を用いて、データベース間がリンクする仕組みについても検討している。

4. まとめ

アジア地域の河川流域での水問題について、統計的的平均的に議論するのではなく、地域の実情を踏まえた固有な課題の構造分析をめざして典型的な流域について考察した。長江では治水対策と農業・社会政策との葛藤がこれからも主要な課題となること、国際河川の本川では開発への期待とともに環境への配慮や流域国間の協調が不可欠なこと、チャオプラヤ川では都市河川の管理に継続的な努力が待たれること、ブラントス川流域では人間活動と自然（土砂）の激しいインパクトへの適切な対処が求められていること、シルダリア川流域での総合管理に逆行的な水管理の実状があること、ユーフラテス川では専門家の努力に期待されること、ニューデリー市やベトナム河川などの都市域での効率的な環境整備・環境負荷の軽減策が待たれること、などが認識された。さまざまな流域の水問題の現実と課題をあらためて理解し、それらへの対応と経験を相互に交換し、誤りのない水管理施策樹立の支援を進めていきたい。

5. 今後の展開

人口急増の影響の考慮については各流域でのシナリオ検討に委ねられているが、地球規模の水循環変動については、流出変動予測結果が得られつつある。それらの結果を反映させた形で流域水政策シナリオの提示に向けて研究を進める予定である。水政策シナリオは、流域の規模や事情により多様なものとなり、一面的な比較は適切ではない。加えて、シナリオは現地の事情や要請に沿ったものをめざしながらも、地域の「現状」を追認するだけに止まらない場合もあると考えている。むしろ、めざすべき水政策シナリオは多様で「誤りのない」方向が提示できればと考えている。

各流域での固有の事情の理解に立って水政策シナリオがめざされ、その過程において各流域で得られた知識や経験を集約する、ナレッジマイニングシステムの開発が今後の主な検討の一つとなる。この場合は、対象流域以外の情報も適宜取り入れて、議論する必要もあると考えている。

6. 参考文献

- 1) 人口急増地域の持続的な流域水政策シナリオ研究チーム：人口急増地域の持続的な流域水政策シナリオ 2005 年研究成果概要集, P. 49, 2005. 11
- 2) 栗城稔, 江原竜二：中国における洪水の最近の状況について, 国際建設防災, 第 14 号, pp. 68-78, 2004
- 3) メコン河委員会 Mekong River Commission (MRC): Water Utilization project Component A: Hydro-Ecological Report, Mekong River Commission, Phnom Penh, 2003.

7. 主要な成果報告

(1) 論文投稿件数 (国内 27, 海外 26)

うち主要な論文

- 1) Salewicz, K. A., Nakayama, M: Development of a Web-based Decision Support System (DSS) for Managing Large International Rivers, Global Environmental Change, Vol. 14, No. 1, pp. 25-38, 2004
- 2) 吉川勝秀, 本永良樹：日本における川と国土の変遷および今後モンスーン・アジア地域で予想される河川環境に関する問題とその対策について, 建設マネジメント論文集, Vol. 11, pp. 293-300, 2004
- 3) 鈴鹿淳一, 安田裕, 猪迫耕二, 田熊勝利, 大野香織：塩類集積時に生じる塩結晶のデジタル解析, 日本砂丘学会誌, Vol. 51, No. 1, pp. 27-32, 2004
- 4) 藤田光一, 伊藤弘之, 小路剛志, 安間智之：GIS, 流域水物質循環モデルを活用した水政策検討, 土木技術資料, Vol. 46, No. 7, pp. 20-25, 2004. 7

- 5) Irshad, M., S. Yamamoto and T. Honna: Trace Elements Solubilization in Waste Amended Saline-Sodic Conditions. *J. Food, Agriculture & Environment*, Vol. 2 (3 & 4), pp. 254-258, 2004. 12
- 6) Taro Uchida, Yuko Asano, Yuichi Onda, Shuusuke Miyata: Are headwater just sum of hillslopes?, *Hydrological Processes*, 19, pp. 3251-3261, 2005. 1
- 7) 大石哲, 佐山敬洋, 中川一, 里深好文, 武藤裕則, Dian Sisinggih, 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, *水工学論文集*, 第49巻, pp. 1087-1092, 2005. 2
- 8) D. Sisinggih, K. Sunada and S. Oishi: Prediction of Reservoir's Lifetime Basement on the Erosion and Sedimentation on Sengguruh and Sutami Reservoirs, Indonesia, *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol. 49, 2005. 2
- 9) Asano Y. and T. Uchida: Quantifying the role of forest soil and bedrock in the acid neutralization of surface water in steep hillslopes, *Environmental Pollution*, 133, pp. 467-480, 2005. 4
- 10) 宮沢直季, 砂田憲吾, ペチ ソクヘム, 大石 哲, ディアン シシング: メコン河下流域の基本的河道特性量の分析, *水文・水資源学会誌*, Vol. 18, No. 5, pp. 584-581, 2005. 9
- 11) 中山幹康, 大西香世: 国際河川流域国家としての中国の虚像と実像, *アジア研 ワールド・トレンド* 2005年11月号, Vol. 122, pp. 22-25, 2005. 11
- 12) Nguyen, T. V. Ha, Takizawa, S.: Impacts of Policy Changes on Fish Cage Culture and Water Quality in Dau Tieng Reservoir, Vietnam, *WSEAS Transactions on Environment and Development*, Issue 6, Vol. 2, pp. 800-807, 2006
- 13) Nguyen, T. Thuong, Takizawa, S., Nguyen, P. Dan., Bui, D. Truong: Water pollution in inner-city canals in Ho Chi Minh City, Viet Nam, *Southeast Asian Water Environment*, Vol. 2, IWA Publishing, 2006. (in press)
- 14) 藤田光一, 伊藤弘之, 小路剛志, 安間智之: GISを活用したシミュレーションモデルによる流域圏再生シナリオの検討, *土木技術資料*, Vol. 48, No. 1, pp. 34-39, 2006. 1
- 15) Dian Sisinggih, Kengo Sunada, Satoru Oishi: Qualitative Methods for Detecting the Sediment Sources by Grain Size Distribution and X-Ray Diffraction, *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol. 50, pp. 27, 2006. 2
- 16) Koji Inosako, Fasong Yuan and S. Miyamoto: Simple methods for estimating outflow salinity from inflow and reservoir storage, *Agricultural Water Management*, Vol. 82, pp. 411-420, 2006. 3
- 17) 吉川勝秀, 本永良樹: 低平地緩流河川流域の治水に関する事後評価的考察, *水文・水資源学会誌*, Vol. 19, No. 4, pp. 267-279, 2006
- 18) Pech Sokhem, Kengo Sunada: The Governance of the Tonle Sap Lake, Cambodia -Integration of Local, National and International Levels-, *International Journal of WATER RESOURCES DEVELOPMENT*, Vol. 22, No. 3, pp. 399-416, 2006. 9
- 19) Kitamura, Y., Yano, T., Honna, T., Yamamoto, S. and InosaKo, K.: Causes of farmland salinization and remedial measures in the Aral Sea basin - Research on water management to prevent secondary salinization in rice-based cropping system in arid land, *Agricultural Water Management*, Vol. 85, Issues 1-2, pp. 1-14, 2006. 9
- 20) D. Nohara, A. Kitoh, M. Hosaka and T. Oki: Impact of climate change on river runoff using multi-model ensembles, *J. Hydrometeorol.* (in press), 2006

(2) 口頭発表件数 (国内 70, 海外 58)

(3) 取材

新聞報道: 気象研究所研究グループは, 21世紀末の予測降水量をもとに各対象河川流量の予測結果を発表, 朝日新聞東京本社紙1面に掲載. (42781号, 2005年5月13日(金))