

# 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も必要である。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とした。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」の開発をめざした。

## 2. 研究手法・体制

研究では、まず、急激な人口増加（都市集中）や気候変動がもたらす水循環への影響を外力の変動と位置付け、まずその評価（A）を進めた。人口増加や産業の発展（A-1）は各国・流域ごとに考慮されるが、気候変動の影響や評価（A-2）は共通的な方法として、気候モデルなどにより代表的な流域での降雨の変化、流量の変化を考察した。これにはグループ1が研究にあたった。

以上の成果を考慮しつつ、代表的な流域として9流域を抽出し（当初の8河川流域に、水資源事情の厳しいヨルダン川流域追加している）、各流域での水問題の構造を明らかにしたのち、持続的な開発と流域保全のための水政策シナリオの提示を行った（B）。

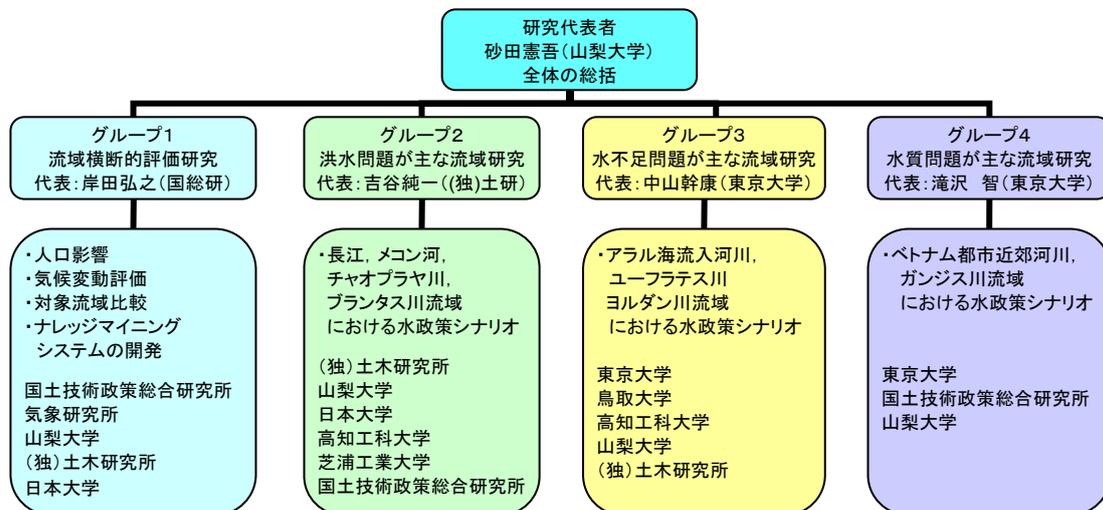


図1 研究体制

- ・洪水問題が中心となる河川流域として、長江、メコン河、チャオプラヤ川、ブランタス川の各流域を選び、グループ2が研究を進めた(B-1)。
- ・水不足問題が中心となる河川流域として、アラル海流入河川(シルダリア川、アムダリア川)、チグリスユーフラテス川、ヨルダン川の各流域を選び、グループ3が担当した(B-2)。
- ・水質問題が中心となる河川流域として、ベトナムの河川(サイゴン・ドンナイ川)、ガンジス川(支川ヤムナ川)流域を選び、グループ4が研究を実施した。(B-3)

以上の水課題の構造や水政策シナリオを横断的に評価集約をめざし(C)、わが国首都圏河川流域の水政策の歴史的経緯と評価を進めながら(C-1)、2種類のナレッジマイニングシステム(Knowledge Mining System: KMS、(知識と経験情報の発見的掘り起こし))の開発と水管理の支援手法の開発を行った(C-2)。これにはグループ1が担当した。図1に全体の研究体制を示す。

### 3. 研究成果

#### 3. 1 気候変動による外力の評価(A-2:グループ1)

全球気候モデルを用いたシミュレーションにより、地球温暖化に伴う河川流量の将来変化予測を行った。まず、複数の気候モデル(大気海洋結合モデル)の結果を用いるマルチモデルアンサンブル手法により、河川流量の将来変化予測を行った。ここでは世界気候研究計画(WCRP)気候モデル相互比較実験(CMIP3)として行われた世界各国の研究機関の気候モデル結果を用いた。ただし、これらの気候モデルの水平分解能は100-300km程度と粗く、細かい分布を表現することはできない。河川流量の予測では降水分布の予測はきわめて重要であり、人間生活や産業に大きな影響を及ぼす極端現象(たとえば洪水と渇水)の変化の将来予測が問題となっており、それらは時間・空間的に解像度の高いデータでないと表現できない。そこで、本サブテーマでは気象研究所で開発した高解像度(約60km格子)全球モデルによる温暖化実験を行い、河川流量の将来変化を調べ、極端現象に主に焦点を当てた解析を行い将来流量の推定とその特徴について考察すると共に、結果を必要な流域に提供した。成果の一例は図2に示すようなもので、分解能の粗いマルチモデルアンサンブル手法による場合と、気象研究所高解像度(約60km格子)全球モデルに

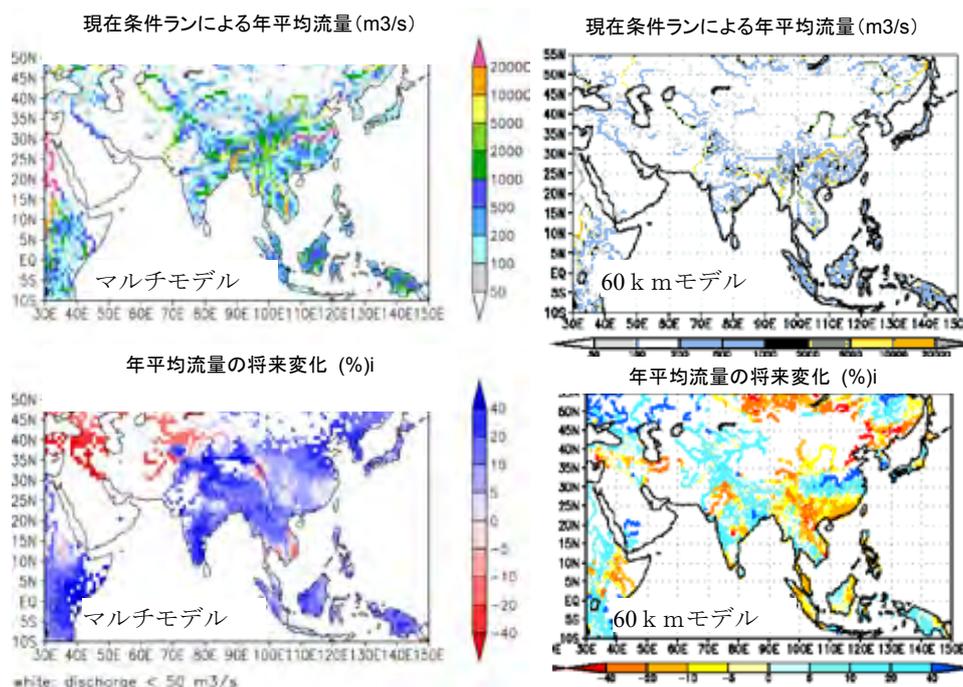


図2 現在ランによる河川流量 ( $m^3/s$ ; 上段) と将来変化 (%; 下段)  
左はマルチモデルで右は60kmモデル(河川モデルの解像度はそれぞれ1度と0.5度)

よる場合の河川流量の将来変化の傾向であり、両者に同様な傾向と若干の差異とが示されている。

### 3. 2 洪水が主なテーマとなる地域の水問題と水政策 (B-1: グループ 2)

#### 1) 長江における遊水地土地利用政策

長江の治水計画の歴史的レビューを行い、1998 年洪水後の治水政策転換（「退田還湖平垸洪行」等の 3 2 文字の方針と各種実行プログラム）を歴史的に評価した上で、長江遊水地の一つである洞庭湖の貯水容量の低下と部分的復元の実態を調査した。その結果、遊水地内の居住者増加のため遊水機能が減少を続けていたが、長江流域全体で遊水地に指定されている区域内の 1461 の輪中から総数約 242 万人(62 万世帯)の移転が計画され、この計画の一部が実行されたことにより、洞庭湖において水面面積 778km<sup>2</sup> 相当の容量が回復したことが判明した。

さらに、タイチャオプラヤ川流域や日本の治水との比較をとおした他国への技術の適応シナリオに関して検討した。チャオプラヤ下流での氾濫被害の危険性が高まると中流域の農地利用者は自主的に氾濫させる慣習があったが、近年の輪中堤の建設により遊水機能が失われつつあること、利根川流域の様々な形式の遊水地は地形・水文等の物理的要因ではなく、その時々々の社会的背景の影響と、法的位置づけの有無の影響がはるかに大きいこと、などから長江で見られた遊水機能の部分的回復の方策は簡単にタイやその他の国に適応はできないこと、それは他政策との整合性が他国では担保されないからであることを考察した。ある技術（遊水地建設など）の促進のためには、このような関連性分析結果で得られた促進要因を増やすとともに、可能なら阻害要因を除去または影響度を小さくすることが必要となる。

以上の技術の他国への適用性分析の方法論を以下のようにまとめた。①ある国の技術事例を評価可能な要素にまで分解する。評価は便宜的に成功あるいは失敗に分類する。例えば、長江の遊水地なら、遊水地内の人口増加（失敗）、住民移転（成功）等の要素に分解する。②それぞれの要素について同国内の KMS 項目に示すような関連政策との関連性を促進・阻害及びその程度で評価する。③適用先の国での関連施策との関連性を分析し、当該技術を適用したときに促進の程を判断する。④大きな阻害要因がある場合、それを変化させるプログラムをパッケージにして技術移転を行う。

#### 2) メコン河流域の全域的な水問題と改善策

国際河川メコン河流域の水関連の問題は多岐に及ぶ。公文書のレビューに基づいて、アジア開発銀行、拡大メコン地域委員会、メコン河委員会によれば、以下のような主な水問題が特定されている。①水位（または流量）変動、②漁業生産性と生態系機能、③河岸浸食と河床変動、④政策目標、評価手法、利益分配の不調和 などである。これらの水問題に対して、CREST 丹治チームは「国際河川メコン川の水利利用・管理システム」として、詳細な検討を進めている。

本研究では丹治チームでも深く考察されていない以下の問題について、新たな技術開発と提言を行った。

##### (a) 本川河道変化の評価と監視手法

**土砂動態：** メコン河本川上流部中国、雲南省の 2 つのダムがすでに建設され、2 つのダムが建設中で、4 つのダムが計画段階にある。漫湾ダム（1993 年完成）等による下流の流量、浮遊土砂量への影響について、不十分ながらメコン河委員会による観測データを用いて推定された。メコン河下流域の水文観測所でのダム完成前後各 10 年間の平均浮遊土砂量解析結果によると、この間の浮遊土砂量は減少し、その

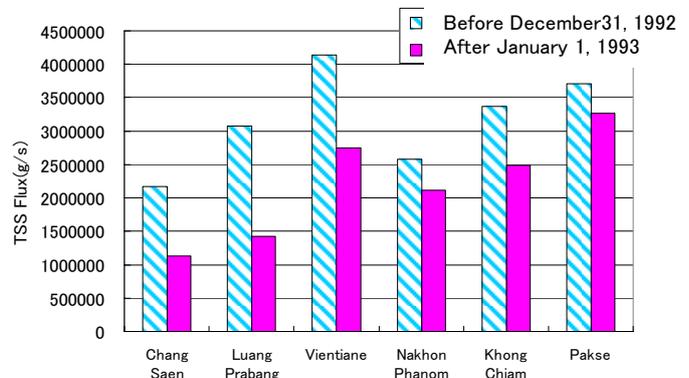


図 3 ダム完成前後の下流観測所での 10 年平均浮遊土砂フラックス推定値の比較

減少割合はダムに近いほど大きい（図3）。

**河岸浸食：** メコン河沿川では河岸浸食により居住地、農地、インフラの流失が起っており、重大な検討課題である。メコン河本川河岸中下流区間を対象に、衛星リモートセンシングを用いて河岸変化の抽出方法を開発し、1kmピッチで河岸の浸食速度を求めて河岸変遷の激しい4地域を特定した。

(b) トンレサップ湖における持続的な水産資源管理のための水文・生態環境監視手法の開発

トンレサップ湖の生態系は東南アジア最大の生物多様性を保持しているが、流入水や周辺流域環境、漁獲努力など条件が魚の量と質に影響を与えている。研究では、この特徴的な大規模水域の生物多様性の保全と持続的な漁業生産基盤の確保のために、統計的手法、多変量解析手法を用いて、マクロな水質指標と水文生態系指標の開発を行った。

(c) メコン河流域の持続的発展のための新調査機構の提案

中国雲南地域のダム貯水池による土砂捕捉は、やがては下流部河床の低下、デルタ地帯の後退、塩水遡上の拡大を容易に推測させるが、本節での解析例は十分な観測データに基づくものではないので、今後の充実した資料の収集と解析が待たれる。広範囲での水文・水質条件の把握や河川施設の影響評価が客観的になされ、事実に基づく河川環境認識のもとでの持続的な流域の開発が望まれる。国際的な河川情報収集公開システムの充実もしくは機関の創設を提案したい。

**3) チャオプラヤ下流域の急激な都市化のもとでの流域管理政策**

(a) タイ国チャオプラヤ川流域における総合治水対策の都市計画的考察

稲作農耕から都市が発展したモンスーン・アジアの多くの都市は河川の氾濫原に位置している。対象としたタイ国チャオプラヤ川流域は、洪水問題をもつ代表的な河川流域である。研究では、土地利用面での対策を含む総合的な治水対策について、それが講じられた実際の流域での実践を踏まえた検討を行った。これらの検討を踏まえ、被害の視点から分析を行い総合的な治水対策を行うことが人口急増地域の治水対策として有効であることを実践的に検証した。

バンコク首都圏庁（BMA）は東郊外部流域（流域面積約 500km<sup>2</sup>）の長期間にわたる浸水原因と被害額増加の原因を、①上流北東部から流入水量、②下流部の急激な地盤沈下からチャオプラヤ川への排水困難、③浸水を考慮しない都市化による被害ポテンシャルの増加とした。それに対する流域対策として、キングス・ダイク等の構造物対策に加え、治水面からの土地利用の誘導・規制を行い、その構想・計画は、現在はバンコク首都圏庁の総合的な都市計画図（図4、1999年制定）に示される位置づけとなっている。さらに、チャオプラヤ川流域の洪水氾濫地域とその原因等が分析的に示された（図5）。

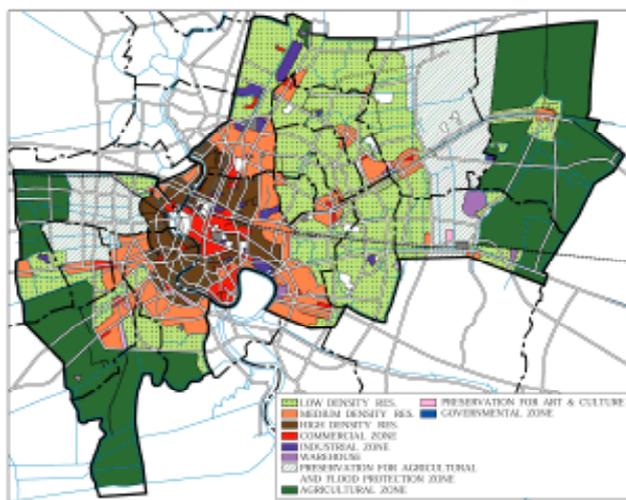


図4 バンコク首都圏庁の総合的な都市計画（土地利用の規制）

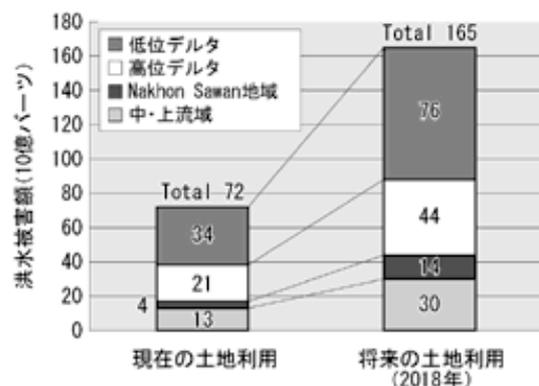


図5 将来の被害予測（土地利用の誘導規制がない場合の将来に1995年と同規模の洪水が起きた場合）

#### (b) 水質・地下水・水需要とその管理

バンコク首都圏庁は、日本の ODA を通じて総合治水対策の計画手法を適用し、市街地雨水を貯留調整池でカットする流域対策を進めている。水質汚染の対策としては合併浄化槽により有機汚濁物負荷を半量ほどにカットし、水質汚染レベルを一定水準以下に収めていることが明らかになった。一方、過剰な地下水揚水が続き、地盤沈下を引き起こしたため、地下水規制措置が 1983 年にとられ、地下水料金と環境保全協力金、揚水規制域の設定、揚水量に応じた課金制度を段階的に導入して問題に対処した。しかし、政策的に需要側の節水努力の要請や、供給側には量・質共に安定した供給努力が優先課題となっている。また、発展期にある下流域の水需要管理において、農業・産業クラスター政策や水価格政策などに基づき、農業、産業、生活の各分野の水需要と水資源が均衡する状態での総便益量を算出し、最適水配分・需要管理の政策立案システムも構築した。

#### 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は、流域面積は 11,800km<sup>2</sup> で、流域内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。この点に注目し調査研究を行った。

土地利用の変遷や衛星データ解析から、人間活動が大都市を中心として周辺地域に広がり、山腹へ及んでいること、山腹においても人間活動が活発になっており、森林伐採が進んでいることなどが分かった。上中下流域の流況、農業水需要、下流にあるニューレンコン取水堰における流量と実質水需要の季節変動解析によると、渇水年では総水需要を満たすだけの流量は確保できていないことがわかる。これは、本地域の人口が急増していることと、乾季における渇水の頻度が増大すると推定されていることとを考慮すると、今後の開発のためには、水資源確保が重要な課題となってくることを示唆される。

一方、本流域では、土砂移動が激しいため、流域水管理の最重要課題として、中流域のダムの堆砂による有効貯水量の減少が指摘されている。本流域の土壤侵食量把握を目的として、地球観測衛星のデータによって作成された土地条件図や地形などを利用して推定された土壤侵食量マップ(図6)からは、山腹において土壤侵食量が大きいことがわかる。中流域のダム堆砂は、上流域の山地における耕作地や河床からの土砂流出が原因と考えられている。USLE による推定と前年度実施した放射性同位体による土砂生産源の推定では、最大侵食地域が異なる場所もあるが、ダム堆砂進行を遅らせるためには、山腹の土砂生産対策が重要であることと考えられる。

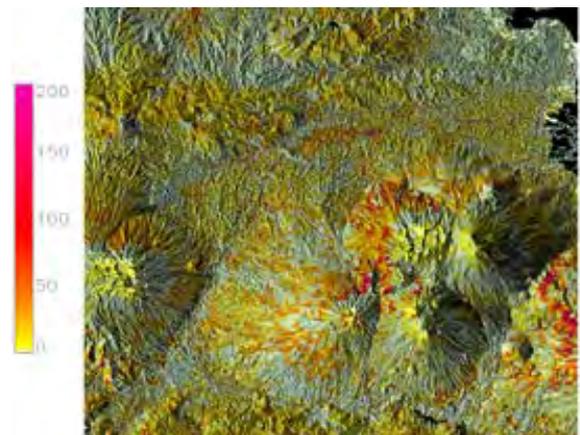


図6 USLE による土壌侵食推定マップ  
(単位 : ton/ha/year)

### 3. 3 水不足が主なテーマとなる地域の水問題 (B-2 : グループ 3)

#### 1) シルダリア川流域における上下流間の利水競合と水・環境問題解決に向けた将来シナリオ

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、水環境の現状把握・将来動向の評価を行い、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た。

小アラルの保全とデルタ地域の環境・生態系保全については、IFAS (アラル救済国際基金) の活動の成果が見え始め、比較的よい方向へ展開していくことが期待される。しかしながら、そのためには、上下流間の利水競合と中下流域における灌漑農地の水不足・塩類化の流域全体に関わる問題の解決が前提となり、中・長期的に取り組んでいく必要がある。

中下流域における灌漑農地の水不足・塩類化とその対策については、同流域の灌漑農地の塩類化の実態解明と塩類集積土壌の特徴分析、二次的塩類集積形成機構の解明、二次的塩類集積防止のための水管理の提案、水ストレス・塩ストレスによる主要作物の生育障害の危険性分析と回避対策の提案等を行った。

上下流間の利水競合と調整については、ソ連崩壊後の上下流間の利水競合の経緯と問題解決に向けた取組みについての分析に加え、今後関係国が取り得る水政策シナリオを3つに整理した(図7)。経済面および水環境の保全の観点から、シルダリア協定(1998年)を遵守して、水資源とエネルギーの相互補完を機軸とした流域協調路線の再構築が行われることを強く強調したい。

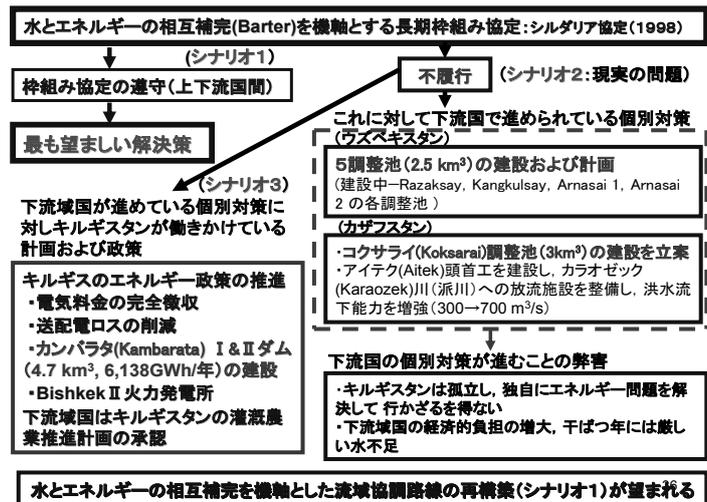


図7 上下流問題解決に向けての3つのシナリオ

## 2) チグリス・ユーフラテス・川流域における流域国間の協調と援助国の役割

(a) 専門家会合を通じた「トラック2」による流域国間での相互理解の推進

国際河川に関する流域国間の交渉は、「トラック1」と呼ばれる従来の国家間政府関係者の交渉に加えて、近年では政府関係者や非政府関係者(技術者や研究者)が行う非公式な会議や実務的な交流「トラック2」の役割が重視されている。本研究では、イラク、シリア、トルコの研究者(主に大学教員)と流域外の国に在住する研究者が一堂に会する「専門家会合」を開催し、「トラック2」として流域国相互の理解と交流に寄与することを志向した。ほぼ定期的な専門家会合を重ねて、用語や表記などの基本的な確認、共同研究テーマの策定、国際シンポジウムの開催を行い、認識の共有と相互理解の促進に寄与した。

(b) イラク国内に於ける水資源利用の最適化

「専門家会合」では、流域国間の合意が形成されない原因としての「各流域国の合意に基づく客観的・科学的データの欠如」を改善することが推奨された。具体的には、イラクの対象流域の水収支解析を行い、その結果が実際の流域国間交渉にどのような影響を及ぼし得るか評価することを目的とし、研究ではイラクに関する限られたデータから水需要量を推定することを試みた。結論として、利用可能な水量が増加しても、ある点を超えると農業生産が有意に増加する訳ではないということが知れて、流域国が流域内での水資源の最適配分を議論する上で非常に有用な知見となり、「トラック2」活動の意義が高められた。

(c) メコン川流域との比較研究

中国もトルコ同様、下流国への影響を重視しない開発計画を進めた面があったが、メコン川の場合には、中国を含む流域国間の関係改善に向けた動きが見られる。拡大メコン地域計画(Greater Mekong Subregion program: GMS)の枠で、ラオス、ビルマ、中国からタイへの「電力輸出促進に向けた送電線ネットワーク」、中国、ラオス、ミャンマー、タイのメコン上流国間で「上流メコン舟運条約」などを通じて、メコン川流域での国際協調の背景として「イシューのパッケージ化」を挙げることが出来る。チグリス・ユーフラテス川流域とは異なりメコン川流域において、より多くの国家間協調がみられる。その理由として、メコン川流域では必ずしも水そのものが唯一の議題になっていないということが考えられる。水を唯一の争点(イシュー)として議論するのではなく、水をめぐる問題を他の様々な争点と同時に議論の遡上に載せているということである。チグリス・ユーフラテス川流域では、これまで流域国間の摩擦あるいは係争の要因として「水」のみに着目した解析が行われてきた。チグリス・ユーフラテス川流域でも、「イシューのパッケージ化」が流域国を協調に向かわせ得るか否かを検証することが今後の課題である。

### 3) ヨルダン川流域の水政策シナリオ

ヨルダン川はアジア国際河川流域で最も人口増加率が高く 2050 年には 2.4 倍に、そして半乾燥地帯に位置するため構造的な渇水問題を抱える上に地球規模の気候変動の影響を強く受け、GCM 予測によれば 2050 年にはヨルダン川の流量は変動しながら激減することが同時に予測されている。日本政府開発援助 (ODA) の開発調査 (JICA:1999-2002) によって政策目標のターゲットを 20 年後の 2020 年に設定して実施したヨルダンの水資源管理マスタープランがある。これをベースに、60-km-grid MRI-AGCM の超長期 (50 年) 降雨・流量変動予測の結果を組み入れて、伝統的水資源 (河川・地下水) が開発しつくされる 2020 年以降に非伝統的水資源開発オプションを加えて持続的な政策シナリオと開発戦略モデルを示す。具体的には、紅海-死海運河計画 (図 8) : ① 死海の実蒸発量 16-19 億 m<sup>3</sup>/年に相当する紅海の深層水を海抜 200m まで揚水し、② 自然地形落差 400m と合わせて海水の逆浸透プロセスに必要な水圧 60kg/cm<sup>2</sup> をつくり、③ 600m の自然落差を利用して、④ 年間 12 億 kWh の水力発電と 1-8 億 m<sup>3</sup> の飲料用の海水淡水化を 3 国間 (ヨルダン、イスラエル、パレスチナ) の需要にフレキシブルに合わせて同時に行う、紛争予防型和平構築プロジェクトを国際流域の水資源会開発管理政策シナリオの骨子として提案している。

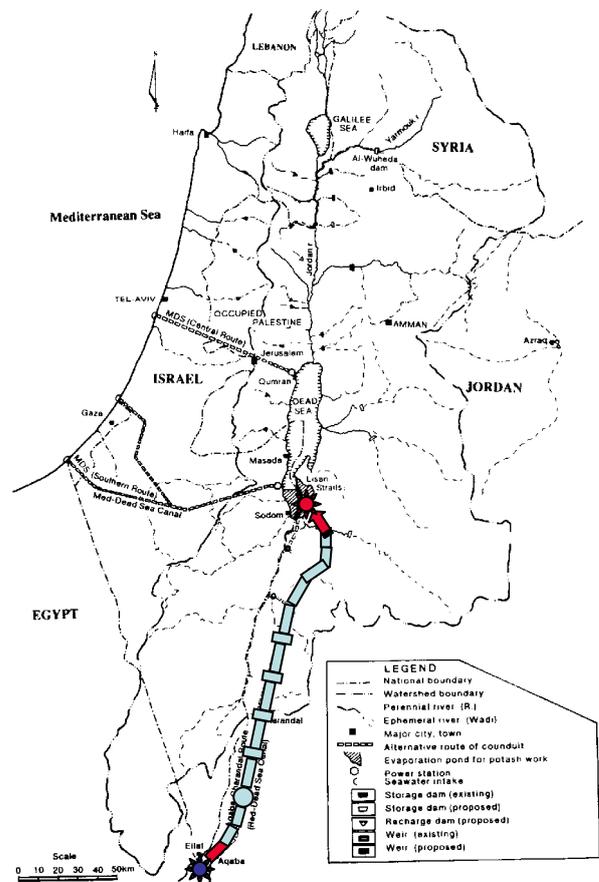


図 8 紅海-死海運河計画

### 3. 4 水質問題が主なテーマとなる流域の水問題 (B-3 : グループ 4)

#### 1) ガンジス川流域における水質保全対策の評価

流域の急激な人口増加により、ガンジス川では汚水・廃棄物の排出が増加し河川の水質汚濁が問題化している。これらの問題を解決する水政策シナリオ提案のため、デリー市を流れるガンジス川の支川ヤムナ川を対象として、下水道計画に必要な負荷量原単位と汚濁流達率の調査を実施した。

負荷量原単位の調査は、デリー市内の所得層の異なる 3 種類の住居地域、生活様式が異なる都市部のスラム街の地域、郊外の農村集落地域、及び牛舎排水について実施した。その結果、家庭からの排出原単位は所得層間のばらつきが小さく、その要因として、食事や生活様式に大きな違いがなかったことが想定される。

排水量原単位は水道普及率により地域差がみられた。汚濁流達率の調査は下水道未整備の農村で実施し、BOD 流達負荷率で 34.3% との結果を得た。これまでの他の調査結果も含めると、下水道が整備されていないインドの農村部や都市のスラム街に

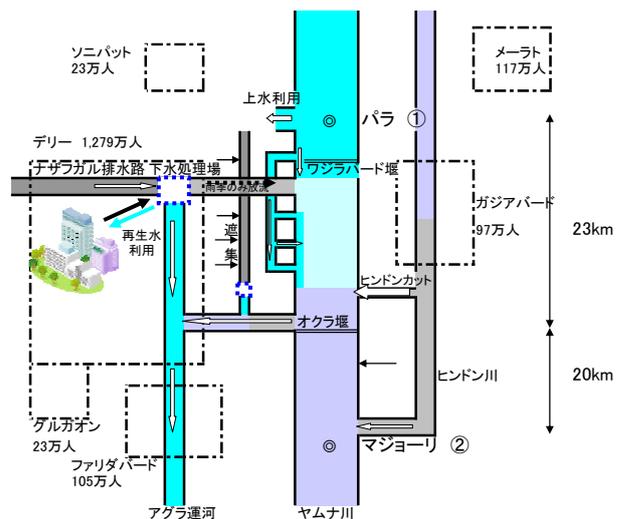


図 9 デリー首都圏における水政策シナリオ

については、排出量原単位から、おおよその BOD 流達率を推定することができると考えられた。

これらの調査結果と JICA によるヤムナアクションプランの結果も踏まえ、デリー市付近におけるヤムナ川の水環境改善のシナリオを模式的に描いたものが図 9 である。下水再生水を都市用水として供給することで、節約される水消費量の一部をワジラバード堰からの放流にあて、都市域の河岸近辺に沐浴等の場を確保するというシナリオが考えられる。このようなプロジェクトの実現のためには、下水道の整備、堰の運用、都市における再生水利用の促進など様々な行政分野の協調が不可欠であり、統一的に水行政を行う仕組み、或いは関係行政機関の連携・協力の充実を図る工夫が求められる。

## 2) 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

### (a) 流域の水課題

サイゴン・ドンナイ川の流域では、2010-2015 年の人口増加率が 2.00%と推定され、ベトナム全体の 2 倍以上の増加率となる。その結果、2015 年時点での流域内人口は 1930 万人へと増加し、ベトナム人口の 18%がこの流域に居住すると予測されている。ドンナイ川流域内では、多くの土地が農地として使われている (52%) ため、灌漑用水の需要は高く、今後の水需要は急激に拡大すると予測されているが、利用可能な水は水質汚濁により減少しつつある。ドンナイ川上流は一般的に水質が良いが、水質に影響を与える問題としては、食品加工工場などからの排水が直接放流されるなどの問題がある。これに対して、サイゴン川上流にあるヨウティン貯水池では、養殖漁業が盛んとなり、汚濁物質の流入量が増えている。このため、2005 年から 2006 年にかけて行った水質調査では、乾期に貯水池の底部で溶存酸素がほぼゼロとなることがあった。サイゴン川中流域は、硫酸酸性土壌の支流を抱え、pH4 以下の水が流れ込む。下流域では、ホーチミン市からの汚水の大半が未処理のままサイゴン川に流されており、深刻な水質汚濁を引き起こしている。サイゴン川は感潮河川であるため、これらの汚濁水は満潮時にはサイゴン川を遡上し、汚濁水が中流域まで達することがあり、健康リスクが高まっている。

### (b) サイゴン・ドンナイ川流域における今後の水管理政策

ホーチミン市とその近郊の人口密集地帯では、生活排水や産業排水による水質汚濁が著しく、水使用の障害となっている。地下水の利用も拡大しており、ホーチミン市では地下水水位が著しく低下を続けている。このような状況のなかで、都市用水と産業用水需要は今後も伸び続けると予測され、水供給が経済成長の制約因子となることが懸念されている。この流域において開発可能な水資源は限られており、水質汚濁の進行とともに利用可能な水量が減少する恐れも出てきている。この流域における最大の問題は、都市住民と農村住民との経済格差が拡大を続けていることであり、今後は、農村振興を灌漑のみに頼る政策を転換し、農業用水の他用途への転換の含めた水資源の有効利用を目指す必要がある。

## 3. 5 流域横断的な外力評価と水政策シナリオ集約 (C: グループ 1)

地域・流域の横断的な水課題および各流域個別の水政策シナリオを包括的に把握するために、1) 流域地下水の課題と持続的保全シナリオの提示、2) アジア等における流域の水課題・水政策の比較参照、3) 水政策・流域情報に関するナレッジマイニングシステム (KMS) ((1) マスタープラン参照型 (Excel 型) の KMS-1 の構築、(2) クロスリレーショナルデータベース型 (Wiki 型) の KMS-2 の実装) を行った。以下に成果の概要を示す。

### 1) 流域地下水の課題と持続的保全政策シナリオ

地下水は急増する人口と発展する産業を支える貴重な水資源として、アジアモンスーン地域の沖積平野に位置する大都市を中心に盛んに利用されている。本研究ではその地域の地下水の利用と過度の取水によって必然的に生じた障害および復興に向けた保全政策について総覧し、比較研究を試みた。まず日本が経験した多くの障害、その対策で得た技術的なノウハウや方策と共に事業の基盤となった政策や法律を年代を追って体系的に整理した。そのうえで、地域の地下水の賦存状況という自然側面を踏まえ、その利用と

障害、その防止のための地下水保全政策と歴史的な経緯から社会経済的側面を明らかにした。最終的に、各国の自然や社会経済的な地域性を考慮し、持続可能な発展に向けての総合的施策シナリオを考察した。加えて、各地で発生した地下水の水質劣化に関し、安全な水の確保の問題を取り上げた。インドとバングラデシュにまたがるガンジス平野ではヒ素汚染が深刻である。この複雑な問題を包含する国境をまたいだ帯水層についても現状を調べ、対策について類似例をもつ国々と議論を交えた。

## 2) アジア等における流域での主な水課題・水政策

研究で得られた各流域の水問題とその構造に関しては「アジアの流域水問題」(技報堂出版)として、書籍の形で成果を公表している。ここでは、それぞれの流域での水問題を横断的に整理し、それを克服する

表1 中東からアジアの検討対象流域の概要

流域	流域国	流域面積 (万 km <sup>2</sup> )	検討重点対象域	主課題・焦点	特記事項
長江	中国	180.9	中・下流域	治水政策・他政策との競合	
メコン	中国, ミャンマー, ラオス, タイ, カンボジア, ベトナム	79.6	流域全体	上下流・協調, 本川河道, 将来	国際河川
チャオプラヤ	タイ	16.0	バンコク都市域	治水政策, 都市化	
ブランタス	インドネシア	1.2	流域全体	人口増加, 土地利用, 火山	
シルダリア	キルギス, カザフ, ウズベク	40.3	流域全体	施設機能, 農地変貌	国際河川
ユーフラテス	トルコ, シリア, イラク	57.9	流域全体	協調模索, 専門家の役割	国際河川
ヨルダン	ヨルダン, イスラエル・パレスチナ	4.2	流域全体	人口増加, 水欠乏	国際河川
ガンジス	インド	(108.6)	支川ヤムナ川	人口増, 都市化, 水質	
サイゴン	ベトナム	4.1	サイゴン川	人口増, 都市化, 環境	

ための水政策シナリオを流域ごとに検討する。まず、表1には対象とした流域の規模などの基本的な情報と共に、本報告で象徴的に取り上げている水課題について示されている。課題項目の多様さはそのまま水循環・水利用システムの複雑さを反映しているが、同表からは重要問題が端的に理解される。

一方、水政策シナリオの変遷の把握は、政策の成否や時代状況の変化を反映する重要な経験をもたらす。

その複雑な経緯をより客観的に参照する試みも行った。重要かつ得難い実例として、わが国の首都圏人口急増に対応した施策群展開に関わる構造の整理を行い、水政策の実行可能性を判断する一般的枠組みの構築を試みた。図10は、外力の作用から施策群適用に伴う出力(成果出現)までの展開を、問題認知、施策検討・実行の駆動力(各playerの応答性)、施策遂行のための道具立ての状況、施策駆動にかかわる外部要因に分け、これらがそれぞれ、ある施策の推進に関して、力になるか(右向きの矢印)、隘路になるか(左向きの矢印)、中立的か(縦棒)を

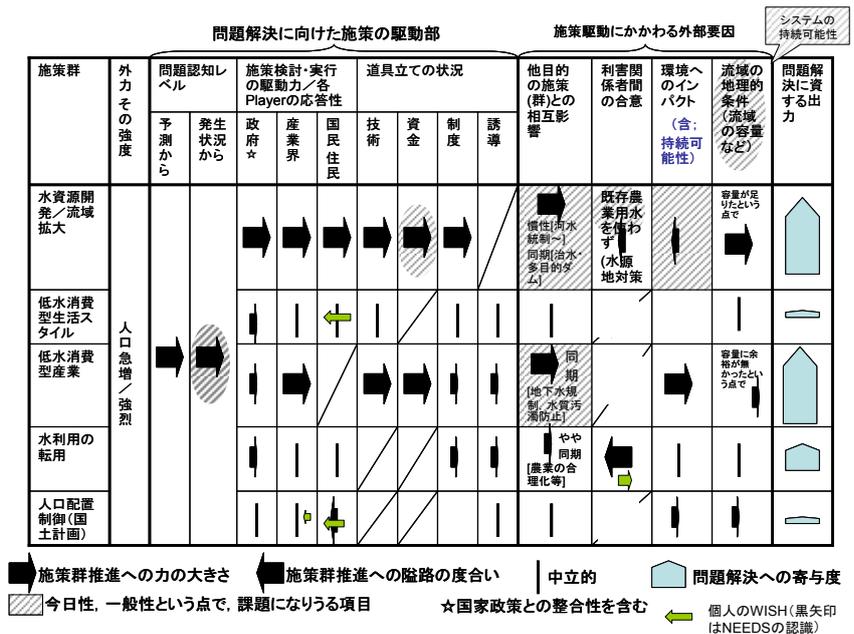


図10 水政策実行可能性分析図および本ケーススタディ適用例

定性的に表現したものである。さらに、各 player の応答性については、一般論のレベルでの政策実行への態度と、個人として実行するレベルでの態度を分けて表示するようにした（後者は緑色の小矢印）。これにより、“総論賛成・各論反対”的な態度も表現することができる。右向き矢印が支配的で、決定的な左向き矢印がない政策が高い実現可能性を持つと判断される。抽出された項目をさらに掘り下げて分析することにより、過去の経験を今日の水問題に適用する際の留意点や新たに検討すべき点が具体化され、水政策適用の可否や改善点を判断することに役立つ。この成果は、次項に述べる KMS の活用段階において、既往の施策を実行可能性の観点から掘り下げて吟味する際の支援的ツールとして有効と考えられる。

### 3) 水政策・流域情報に関するナレッジマイニングシステム (KMS) の開発

#### (a) マスタープラン参照型 (Excel 型) の KMS-1 の構築

KMS は「知識検索システム (Knowledge Mining System: KMS)」を指し、水問題解決の参考事例を過去の経験から体系的に抽出・分析する情報基盤である。KMS は、アジア向け流域水問題解決に資することをねらい、その構築に際しては、流域ごとに作成されている種々の既往マスタープラン報告書に着目し、必要な情報が目的に応じて体系的かつ容易に引き出せるようにデザインした。図 1 1 は KMS で参照すべき項目のマトリックス構造であり、図 1 2 は項目に対応する参照事例が自動的に提示される様子を示している。本研究で開発した KMS のうち既存報告書に基づくタイプであることから、KMS-1 と種別した。

KMS-1 の構築は (独) 土木研究所と共同で行い、また JICA 及び JBIC からの協力を得た。この成果の普及は以下の形、すなわち、世界の水関連災害を防止・軽減するため、各地域の実態をふまえた戦略を提供していくことを使命とする同研究所の「水災害・リスクマネジメント国際水災害センター (ICHARM)」が海外向けに英語で運営しているホームページに掲載する形で行った。これにより、利便性が高まり、効率的・効果的な水政策の立案の検討が行えるようになる。また、ICHARM の活動や関係機関等により情報が更新され、重要な情報・知見が継続的に得られる状況になる。

こうして、KMS により各地域で適用された水政策に関する分析が行われるようになると、分析者が解決を図ろうとしている流域および問題に対する既往施策の適用性をさらに掘り下げる必要が出てくる。その際には、我が国の首都圏河川流域において、人口急増への対応策として実施された種々の水資源確保方策を総合分析した結果から導き出された水政策実行可能性分析図が支援的ツールになると期待できる。本分析図は、政策の実行可能性について、その要件を客観的に吟味する一般的視座を与えるものであり、今後、KMS の活用段階において、この分析図を用いた事例分析を蓄積し、さらに定量的な分析に踏み込むことで、政策適用の経験を知恵の体系化に変換する一つの有力な枠組みになると期待される。

#### (b) クロスリレーショナルデータベース型 (Wiki 型) の KMS-2 の実装

流域管理手法のナレッジマイニングシステム(KMS)に類するもののうち、主として情報工学的手法を用いるものを設計・実装してその機能や有効性について考察した。その際に wiki (詳細は後述) を利用した

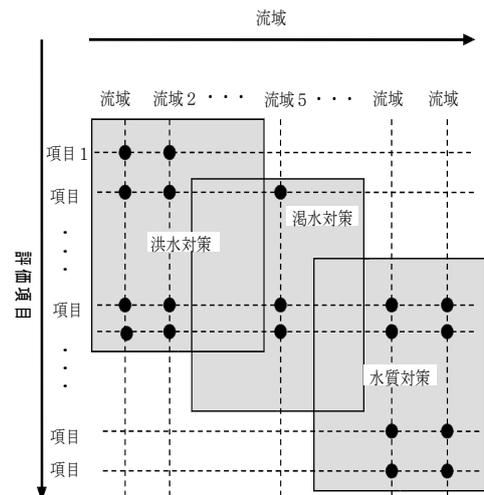


図 1 1 KMS のマトリックスの構造

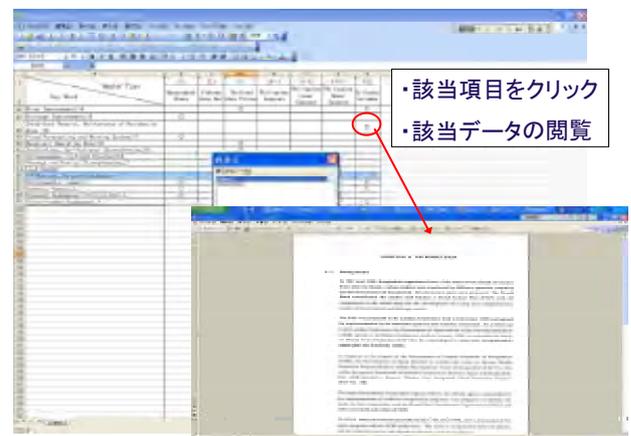


図 1 2 当該流域での課題検討の参照事例となる過去の計画例が自動的に提示される

KMS の簡易設計を行い、その機能や有効性について検討した。その上で、wiki を用いた KMS を実装した。

本研究では独自に wikipedia と同様のシステムを構築し、その上に「アジアの流域水問題」（砂田憲吾編著、2008）をコンテンツとして載せた。具体的には MediaWiki を Mac OS X server 上に設定して、表紙をつけ、内容を展開した。独自に立ち上げたシステム全体を sunada crest wiki と呼ぶ。実装方法としてはコンテンツを章に切り分け、それらの見出し語をキーワードとして、章の内容を記載した。また、内容の中のキーワードを「リンク」として指定することによって、キーワード間のリレーショナルを形成した。図 1 3 に sunada crest wiki の例を示す。さらに流域対象点を特定するために Google Earth を利用して、sunada crest wiki から Google Earth を呼び出して位置を確認することができるようにした。

また、キーワードのネットワークが明示的に表される機能を追加した。これによって文章を読むまでもなく、キーワードをたどることができる。このようにして、wiki ベースの KMS では文章が膨大になっても一人の人間が読むことができる範囲を超えたとしても、そのネットワークを図として表示することが可能になった。図 1 4 に sunada crest wiki のネットワーク表示の例を示す。

#### 4. まとめ

人口増加と経済発展の進むアジア地域の河川流域での水問題について、自然的、社会的な条件の分析と改善のための水政策案を議論した。明白になったことは、「水政策」や「改善のためのアプローチ」そのものの多様性である。当初から共通の規範に準じたものを抽出しようとしたわけでないが、ある流域での管理が懸案対象となった場合、最善策に向けての客観的な「必須項目」のようなものが得られそうとの淡い期待もあった。残念ながら、そうした安直な果実の獲得は容易ではないことが判明した。地理的条件、歴史的・社会的な条件や対象が極めて様々だからである。例えば、長江では治水対策と農業・社会政策との競合と調整、国際河川のメコン河では開発への期待と共に大規模開発の長期的影響、他の流域では特性の変化と低平地河川の管理、圧倒的な自然と旺盛な開発、独立後の国際河川の分断管理、上下流水問題の典型、ゼロサム水争奪、経済・社会の格差が生む環境問題 ほかが詳細に考察された。表面的には収拾困難のようにも見える。しかし、冷静に眺めると、これらの問題の要素と解決のヒントは懸案の流域の規模にかかわらず、有用でもあることが分かる。提示された課題と水政策シナリオは、一面、どこにでも起こり得る課題と対処の例示でもあるからである。ナレッジマイニングシステム（KMS）によれば、こうした技術や経験をより系統的に吸収可能なはずである。仮に、KMS による支援に依らなくても、研究成果の包括的な理解だけからも、誤りのない判断を着実に支援することになると考えられる。

#### 5. 今後の展開

構築・開発されたナレッジマイニングシステム（KMS）は、初期段階のものに過ぎない。「知識・経験の発見的掘り起こし」を追求するには、さらに多様なシナリオ素材と、系統的なキー項目の抽出が望まれる。同時に、情報の引用・参照についての最新の情報処理理論やデータ加工技術の導入にも期待される。



図 1 3 sunada crest wiki の内部ページ例



図 1 4 sunada crest wiki 内部コンテンツのネットワーク

加えて、本研究で進められた視点の先には、「水利用・水管理政策決定への科学的支援」の実現がある。KMS手法の展開と共に、「知の実践」を確かなものとするために、これまで以上の議論が重ねられることを願っている。

## 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 2007年研究成果概要集，P. 52, 2007.10
- 2) 砂田憲吾編著・CREST アジア流域水政策シナリオ研究チーム著：アジアの流域水問題，技法堂出版，p.301，(2008)
- 3) 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
- 4) 柿澤一弘,宮沢直季, 砂田憲吾: メコン河下流域における土砂・栄養塩動態の推定について，水工学論文集，第51巻, 2007.2
- 5) 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 63, 海外 33)

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) 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, 2004.4
- 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) 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
- 7) Taro Uchida, Yuko Asano, Yuichi Onda, Shuusuke Miyata: Are headwater just sum of hillslopes ?, Hydrological Processes, 19, pp.3251-3261, 2005.1
- 8) 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
- 9) 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
- 10) Nakayama, M; China as Basin Country of International Rivers, IDE Spot Survey 2005 IDE Spot Survey, No.28, pp.63-71, 2005.3
- 11) 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
- 12) Karimi, S., Nakayama, M., Fujikura, R., Katsurai, K., Iwata, M., Mori, T., Mizutani, K; A Post-Project Review on Resettlement Program of Kotapanjang Dam Project in Indonesia, International Journal of Water Resources Development, Vol.21, No.2, pp.371-384, 2005.6

- 13) 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
- 14) 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, アジ研 ワールド・トレンド 2005 年 11 月号, Vol.122, pp.22-25, 2005.11
- 15) 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
- 16) 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
- 17) Dian Sisingsih, 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, 2006.3
- 18) 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, 2006.7
- 19) 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
- 20) 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
- 21) D.Nohara, A.Kitoh, M.Hosaka and T.Oki: Impact of climate change on river runoff using multi-model ensembles, J. Hydrometeorol., Vol.7, No.5, pp.1076-1089, 2006.10
- 22) 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, pp.1048, IWA Publishing, 2007.1
- 23) 柿澤一弘, 宮沢直季, 砂田憲吾: メコン河下流域における土砂・栄養塩動態の推定について, 水工学論文集, 第 51 巻, 2007.2
- 24) Carl Bruch, Mikiyasu Nakayama, Jessica Troell, Lisa Goldman & Elizabeth Maruma Mrema; Assessing the Assessments: Improving Methodologies for Impact Assessment in Transboundary Watercourses, International Journal of WATER RESOURCES DEVELOPMENT Vol.23, No.3, pp.391-410, 2007.9

(2) 口頭発表件数 (国内 92, 海外 140)

(3) 取材

新聞報道: 気象研究所研究グループ, 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,

掲載紙: 朝日新聞東京本社紙 1 面 42781 号, 2005.5.13

新聞報道: 大石 哲, 雨量計 中央アジアで再利用 国交省富士川砂防事務所、山梨大学の研究に提供, 掲

載紙: 山梨日日新聞, 2007.5.5

新聞報道: 吉谷 純一; 国際協調で水害防止, 掲載紙: 読売新聞 13 面, 2007.12.6

新聞報道: 鬼頭 昭雄; 地球異変 島が動く, 掲載紙: 朝日新聞 1, 2 面, 2007.12.17

テレビ報道: 村上雅博; 地球と生きる～ガイアネティクスの時代～ (1)川を創る! -四万十川水質浄化システム-, JST サイエンスチャンネル 2008.1.29 放映 <29 分番組>