

戦略的創造研究推進事業

－CRESTタイプ－

研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」

研究領域事後評価用資料

平成21年01月26日

1. 戦略目標

「水の循環予測及び利用システムの構築」(平成13年度設定)

世界の人口のうち、約8%の人々が居住している地域では、現在も深刻な水不足が発生しており、最近取りまとめられた「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」第3次評価報告書に示されるように、今後もその悪化が懸念されている。特に、農耕地の急速な拡大や都市化による水不足の問題は、一つの国だけの問題にとどまるものではなく、国家間の問題を引き起こす要因となる可能性がある。

また、安全な飲料水を確保すると共に、穀倉地帯への安定した水の供給に貢献することは、我が国を含め、世界の食糧問題の解決にも資する重要な課題である。

このため、戦略目標として「水の循環予測及び利用システムの構築」を設定し、地圏・水圏・気圏における水循環の解明・予測に向けた研究を行うと共に、土壌や生態系を含めた適切な水の利用・保全を行うためのシステムの構築を目指す。

なお、本戦略目標の下で行われる事が想定される研究としては、例えば、水循環と環境の相互作用の解明、水の機能を踏まえた水の利用・保全システムの構築等が考えられる。

2. 研究領域

「水の循環系モデリングと利用システム」(平成13年度発足)

ー水資源と気候、人間活動との関連を踏まえた水資源の循環予測・維持・利用のシステム技術の創製を目指してー

<領域の概要>

この研究領域は、グローバルスケールあるいはリージョナルスケールにおいて、大気・陸域・海域における水の循環の諸過程を明らかにし、水循環モデルの構築を目指すとともに、社会における持続可能で効率的な水利用システムに関する研究を対象とする。具体的には、気候変動に伴う水資源分布の変化、人間活動が水循環に及ぼす影響に関する研究に加え、水資源の維持・利用、水循環の変化が社会システムに及ぼす影響の予測、生態系環境を維持・保全・回復する機能等に関する研究等が含まれる。

3. 研究総括

氏名 虫明 功臣 (福島大学 理工学群 共生システム理工学類 教授)

4. 採択課題・研究費

採択年度	研究代表者	研究終了時の 所属・役職	研究課題	研究費 (百万円)
平成 13年度	沖 大幹	東京大学生産技術研究所 教授	人間活動を考慮した世界水循環・水資源モデル	468
	木本 昌秀	東京大学気候システム研究センター 教授	階層的モデリングによる広域水循環予測	219
	楠田 哲也	九州大学大学院工学研究院 特任教授	黄河流域の水利用・管理の高持続化	468
	杉田 倫明	筑波大学大学院生命環境科学研究科 教授	北東アジア植生変遷域の水循環と生物・大気圏の相互作用の解明	296
	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	242
	中村 健治	名古屋大学地球水循環研究センター 教授	湿潤・乾燥大気境界層の降水システムに与える影響の解明 と降水予測精度の向上	455
平成 14年度	太田 岳史	名古屋大学大学院生命農学研究科 教授	北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化	321
	岡本 謙一	大阪府立大学大学院工学研究科 教授	衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成	242
	神田 学	東京工業大学大学院理工学研究科 准教授	都市生態圏—大気圏—水圏における水・エネルギー交換過程 の解明	365
	丹治 肇	(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 農業 工学研究所 チーム長	国際河川メコン川の水利用・管理システム	271
	船水 尚行	北海道大学大学院工学研究科 教授	持続可能なサニテーションシステムの開発と水循環系へ の導入に関する研究	463
	古米 弘明	東京大学大学院工学系研究科 教授	リスク管理型都市水循環系の構造と機能の定量化	245
平成 15年度	恩田 裕一	筑波大学大学院生命環境科学研究科 准教授	森林荒廃が洪水・河川環境に及ぼす影響の解明とモデル化	259
	小池 俊雄	東京大学大学院工学系研究科 教授	水循環系の物理的ダウンスケーリング手法の開発	238
	鈴木 雅一	東京大学大学院農学生命科学研究科 教授	熱帯モンスーンアジアにおける降水変動が熱帯林の水循 環・生態系に与える影響	261
	砂田 憲吾	山梨大学大学院医学工学総合研究部 教授	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—	337
	永田 俊	東京大学 海洋研究所 教授	各種安定同位体比に基づく流域生態系の健全性/持続可能 性指標の構築	283
総研究費				5,433

岡本チームでは、中間評価の段階で GSMaP のプロトタイプの一部が完成していた。降水の世界分布は関連研究者にとっては利用したい貴重な資料であり、いっぽう、そうした利用からのフィードバックが GSMaP の改良に繋がると考えて、それを関係研究者の間で試行的に実利用できるようにすることをチームに要請し同意を得たので、そのための予算を上乗せ配分した。

5. 研究総括のねらい

水は、一部の化石水を除き、時間的・空間的に偏在かつ変動しながら絶えず循環している。その循環の仕方は、自然現象として変動すると同時に、人間活動によって変化するのが重要な点である。特に 20 世紀後半から始まった人口の急激な増加と人間活動の拡大は、グローバルからリージョナル、ローカルにわたる様々なスケールで水循環系を変化させ、多様な水問題を提起してきた。具体的には、CO₂ 等温暖化ガスの増加に伴う気候変動と水資源の季節的・地域的分布の地球規模での変化、森林伐採や農地ならびに都市の拡大による水域汚染と水災害の激化、安全な飲料水へのアクセスの不足、食糧生産のための水需要の増大と水不足、地下水の枯渇、水域生態系の保全・回復、などの問題である。「21 世紀は、水の時代」という表現に象徴されるように、これらの問題は、今世紀に入ってさらに深刻さが増すと懸念されている。

こうした背景のもとに、国は、“世界的な広がりをもつ水問題は、国家間の紛争を引き起こす要因となる可能性を秘めており、上水の供給や食糧生産などのための安定した水資源の確保は、我が国を含め、世界の安定と福祉の向上に資する重要な課題である”という認識の上に、平成 13 年度に戦略目標「水の循環予測及び利用システムの構築」を設定し、これを受けて、この研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」が科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業として発足した。

この趣旨を受けて、この研究領域では、多様な専門分野を含むきわめて広い範囲を研究の対象としている。すなわち、地球規模から地域規模まで様々なスケールにおける水循環とそれにとまなう物質循環の諸過程に関する科学技術的解明と予測ならびに持続可能な水の利用システムを考究する研究を含めている。言い換えれば、前世紀に提起された水問題に対する様々な懸念を科学的に解明する“水循環系に関するデータの集積・解析とモデリング：現象解明型研究”とともに、問題解決に向けて水循環系と人間との好ましい関係を築く“利用システムの構築：問題解決型研究”を公募の対象とした。

研究テーマの例として、各種スケールにおける自然的ならびに人工的水循環・物質循環プロセスの解明とモデリング、農業用水、都市用水等の効率的かつ持続可能な利用システム、水文生態系環境の維持・保全・回復、水循環系の変化への社会システムの対応、などを挙げ、広い分野からの応募を期待した。また、“水循環－利用システム”は、社会経済学的側面を強く持っているので、自然科学的アプローチと人文社会科学的アプローチが融合した研究を推奨するとともに、世界とりわけアジア地域の水問題の解決に資す

る研究の公募を期待した。

6. 選考について

上述のように、研究領域におけるテーマ設定が、きわめて広範であるため、提案内容は、気象学、気候学、水文・水資源工学、農業工学、森林水文学、生態学、環境工学、衛生工学、リモートセンシングなど多様な専門分野を含み、提案課題は、多岐にわたるものであった。提案の中には、水・物質循環に係わる計測技術の開発や砒素など特定の汚染物質を対象とした水処理技術の開発に関する意欲的な研究提案が含まれていた。しかし、こうしたテーマは、この研究領域の趣旨“水の循環系モデリングと利用システム”とは少し距離があるものと考え、選考の対象としたが、優先度を下げざるを得なかった。別途、計測技術や処理技術に特化した研究領域が成立すると考えられる。選考に当たっては次の諸点を重視した。

- ① 新規性：テーマと方法論の新規性
- ② 有効性：水循環・水資源問題の理解の向上あるいは問題の解決に資するところが大きい。
- ③ 研究体制：－研究代表者が提案課題を総括するリーダーシップを持っているか。
－適切なサブ課題が設定され、それを実施するに有効なチームが構成されているか。
－研究目標達成のためにこれまで実績があり、年次計画が適切に組まれているか。
- ④ 予算計画：なぜ大型予算が必要か。予算計画は適切か。

採択候補課題の決定は次の手順で行った：①研究代表者と同じ研究機関に属するか、きわめて緊密な関係にある者を除いたすべてのアドバイザーが、個々の提案書を審査し、4段階評価する。②その集計結果をもとに書類審査会を開催し、研究総括と領域アドバイザーの合議によって採択予定数の約倍の面接候補課題を決める。③面接審査会において、総括とアドバイザーの4段階評価の集計をもとに合議して採択候補課題を決める。

この領域の趣旨に合致し採択されてもよい創造的かつ意欲的な提案が、少なくとも現在の採択件数の1.5倍程度はあったが、予算の制約上採択できなかったのは残念である。また、提案内容はこの領域にきわめて合致し優れたものであるが、実質的研究経費がCRESTで対象とする大型予算よりかなり低い額（たとえば、3,000万円程度）で実施可能な提案は採択の対象にできなかった。こうした中規模予算でできる優れた提案もCREST研究領域で採択対象にできるようにすることが望まれる。

結果として、定められた予算の枠内で、各専門分野を横断する形で現象解明型研究と問題解決型研究をバランスよく選考できたと考えている。

7. 領域アドバイザーについて

領域アドバイザー名	終了時の所属	役職・専門	任期
池淵 周一	(財) 河川環境 管理財団 大阪 研究所	研究顧問 水文循環工学	平成13年9月～平成21年3月
石井 弓夫	(株) 建設技術 研究所	代表取締役会長 水文・水資源学	平成13年8月～平成21年3月
大賀 圭治	日本大学 生物 資源科学部	教授 食料・環境経済学	平成13年8月～平成21年3月
住 明正	東京大学 サス テイナビリティ 学連携研究機構 地球持続戦略研 究イニシアティ ブ兼気候システ ム研究センター	総括ディレク ター、教授 気候力学	平成13年8月～平成21年3月
眞柄 泰基	学校法人 トキ ワ松学園	理事長 環境工学	平成14年9月～平成21年3月
安成 哲三	名古屋大学 地球水循環研究 センター	教授 気象学	平成13年9月～平成21年3月
米本 昌平	東京大学 先端 科学技術研究セ ンター	特任教授 科学技術政策	平成13年8月～平成21年3月
和田 英太郎	(独) 海洋研究 開発機構 地球 環境フロンティ ア研究センター	プログラムディ レクター 生物地球化学	平成13年8月～平成21年3月

この広範な研究領域を適切に運営するためには、各専門分野において指導的な役割を果たし、学際的な知見を持ち、さらに国際的、特にアジアにおける科学技術協力に対する経験や見識を有するアドバイザーが不可欠である。また、社会科学系あるいは民間からの視点も重要であると考えた。こうした観点から、気象学、気候学、水文・水資源工学、生態学、環境工学（衛生工学）、食料・環境経済学、科学技術政策、国際技術協力の分野から8名のアドバイザーを依頼した。アドバイザーの方々には、採択候補課題の選考後は、次項で述べる横断的研究会、セミオープンワークショップ、領域シンポジウムおよび中間評価会において各研究チームに適切で建設的な評価と助言をいただき、研究領域の運営に多大な協力と貢献をいただいた。

8. 研究領域の運営について

○「水循環」研究領域における共通課題に関する横断的議論を狙いとした横断的研究会とセミオープンワークショップの開催

添付資料4-1に領域として開催したシンポジウムやワークショップなどを示す。多様な専門分野による多様な採択課題で構成される水循環研究領域をどのように束ねるかが、研究総括としての最大の課題であった。そのためには、まず、各採択課題の意義、方法論、水循環研究領域における位置づけなどについて、総括・領域アドバイザーと研究担当者が相互に共通の問題意識を醸成することが必要と考えて、年度に跨る採択課題が出てきた平成15年度に“モデリング”と“水利用”に分けて2回の横断的研究会を実施した。これは、研究を2つのグループに分けるというのではなく、採択課題の研究者はいずれにも参加を促した。そこでは、水循環研究分野全体の研究推進上の論点（観測者とモデラーの交流・連携、データや研究成果の交換、社会科学との連携のあり方、政策提言のあり方、あるいは研究課題間にまたがる類似の手法など＜熱・水フラックスの観測、システムダイナミックスの適用、安定同位体の利用など＞）が整理された。観測者とモデラーの関係、社会科学との連携、政策提言のあり方などの議論は、必ずしも収斂するものではなかったが、お互いの問題意識を高めるには有効であった。整理された論点は、その後のセミオープンワークショップや領域会議において引き続き共通議論のテーマとされた。

平成15年から18年にかけて毎年1月初・中旬に丸2日間かけてセミオープンワークショップを開催した。“セミオープン”と呼ぶのは、この研究領域の研究チームに加えて、総合科学技術会議・重点分野「環境」の中の“地球規模水循環変動研究イニシアティブ”（これとの関係については後述）への登録メンバーと関連省庁にも参加を促したからである。ワークショップの狙いは2つある。1つの狙いは、次年度の計画を作成するというこの時期に開催することによって、各研究チームのこれまでの成果と今後の計画に対する研究者間の討議と研究統括・領域アドバイザーの助言が、JSTに提出する計画に反映されることであった。もう1つの大きな狙いは、横断的研究会と同様に、異分野間での交流により相互理解を深め、領域として共通の問題意識を醸成すること、そして前述の研究推進上の論点について横断的な議論をすることである。このワークショップは、研究成果を誇示する公開の領域シンポジウムとは違って、研究担当者だけでなく研究統括とアドバイザーを含めてそれぞれが、研究上の課題や悩みを出し合い、自由に率直な議論を交わすという雰囲気で行われた。研究者同士の議論が、チームの研究の方向に大きな影響を与えた例も多い。また、若手研究者からも活発な討議があり、彼らにとってそうした場が少ないこともあって大変好評であった。

平成18年3月の領域中間評価の指摘を受けて、平成19年1月中旬3日間合宿で第2回領域会議を開催した。この会議では、大きく2つのテーマを設定した。1つは、領域中間評価の指摘、すなわち「領域としての共通の目標と筋書き・戦略を見えるようにすること」への対応を目指して、各チームの研究成果の発表とともに次

の3つの視点、すなわち“学術貢献”、“社会貢献”および“国際貢献”から各研究の位置づけを行うこと、そして研究課題間の関連性や連携を再度議論することであった。もう1つは、CREST 水循環研究の成果を受け、また、第3期科学技術基本計画における重点推進分野「環境」の考え方、GEOS 地球観測推進プラン、国家基幹技術「海洋地球観測探査システム」、関連する文科省科学技術振興調整費と環境省地球環境研究総合推進費の募集テーマ、文科省RR2002後継「21世紀気候変動予測革新プログラム」等の動向を踏まえて、今後は発展させるべき水循環関連の重点研究分野は何かについて議論することであった。これらの議論の内容は、9-2の記述に反映されている。

○各チームの研究方向に対する助言と支援

ー研究総括と領域アドバイザーは、セミオープンワークショップ、領域シンポジウムおよび中間評価会、あるいは研究代表者との個別面談において、採択した課題が当初の計画目標を達成できるように各研究チームに対して建設的な評価と助言を与えるよう努めた（例えば、添付資料7-2. 研究課題の中間評価結果の4-3項、参照）。そうした助言の多くは後半の研究推進に生かされ最終成果につながっている場合が多いが、研究の構成や組織など基本的な点で生かされなかった例も1, 2ある。基本的な点で助言が適切に機能した例として、丹治チームの場合が挙げられる。このチームは、中間評価の段階で経済分析の分野が遅れていることは代表者自身が認めるところであったが、中間評価において研究体制の再編を含めてその分野の強化を指摘した。代表者は、その指摘を受け入れ、当初目標にある成果を達成することができた。

また、研究チーム間で共通の課題に対しては、協同あるいは連携して当ることを促したが、その例として次のようなことがあげられる。

- ・中村チームと岡本チームの沖縄におけるレーダー観測は連携して行われ、データの共有化が図られた。
- ・船水チームと古米チームの水質に関する評価は、知見を交換しながら進められた。
- ・太田チーム、神田チーム、鈴木チームの水・熱フラックス観測についても知見を交換しながら進められた。

ー各研究チームが独自に開く研究会やワークショップには、研究総括と技術参事ができるだけ参加し、各チームの研究の進捗状況を把握するとともに、積極的に質問やコメントをするよう努めた。

ー採択課題17件中、11件が国外のアジア地域（シベリアを含む）に観測、調査あるいは実証実験のフィールドを置き、現地に共同研究者を持っており。各チームが、現地で多くのワークショップやシンポジウムを開いた（添付資料4-2. 参照）。研究総括と技術参事は、フィールドの視察も兼ねてできるだけこれらに参加するよう心掛けた。

ー研究総括は、領域アドバイザーの各研究課題に対する評価と助言を参考にしながら

ら、研究の進捗度や新たな事項の追加などが年度当初予算の配分に適切に反映されるよう配慮した。具体例としては、

- ・「4. 採択課題・研究費」に述べた岡本チームへの GSMaP の試行利用のための予算配分
- ・古米チームでは、最終年度に東南アジアへ研究を拡大することを計画していたが、研究の進捗度から見てそれが有効な成果にはならないと判断し、計画変更を求め、了解を得た。

また、予備費として留置いた予算や追加予算については、各研究代表者からの要求を聞いた上で、その必要性や研究の進捗状況から判断して、ウエイト付けを考慮した適正な配分を心掛けた。

○総合科学技術会議・地球規模水循環変動研究イニシアティブとの連携

第2期科学技術基本計画の重点分野「環境分野」の中の“地球規模水循環変動研究イニシアティブ”が平成14年度から発足した。このイニシアティブの目的とテーマ設定は、この研究領域のそれときわめて類似している。文部科学省は、イニシアティブの重要な役割である「水循環分野における大型研究の調整と連携を図る」ために、CREST 水循環研究領域の全研究課題をイニシアティブに登録した。因みに、イニシアティブ登録課題37件(平成16年)のうち17件がCRESTの課題となった。研究代表者は、イニシアティブの会合においてより広く研究交流と連携を図る機会が得られようになった。また、平成16年8月には、内閣府とJST・CREST 水循環研究領域が共催でシンポジウム「21世紀の水循環変動研究の展望」を開催した。

○研究領域活動の公開と広報

セミオープンワークショップでは、イニシアティブ登録課題メンバーと関係省庁に対して、領域シンポジウムでは、これらに加えて大学、研究機関、民間企業、マスコミなどに対して、それぞれの趣旨に沿って広く案内を出すよう努めた。また、この分野の専門家だけでなく一般の人にも領域の研究活動を広く知ってもらうために、研究の概要をまとめた冊子「水の循環系モデリングと利用システム」を隔年で改訂し発行した。また、水循環研究領域のホームページには、前記冊子の内容に加えて、研究事務所で開催した第1回～第5回までの領域シンポジウム要旨集及び報告時資料、さらに第2回～第4回までのセミオープンワークショップ要旨集及び報告時資料を全て掲載し、関係者の閲覧に供した。

9. 研究を実施した結果と所見

9-1. 個々の研究チームの研究成果

もともと具体的テーマを設定して研究を公募したものではないので、研究課題をグループ化することは難しいが、研究対象とされた空間スケールと研究目的を勘案して便宜的に、採択17課題を次の四つのカテゴリーに分類する。

I. グローバルな水循環系の把握と予測

- ・ 沖チーム：人間活動を考慮した世界水循環・水資源モデル（平成 13 年度採択）
- ・ 木本チーム：階層的モデリングによる広域水循環予測（平成 13 年度）
- ・ 中村チーム：湿潤・乾燥大気境界層の降水システムに与える影響の解明と降水予測精度の向上（平成 13 年度）

- ・ 岡本チーム：衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成（平成 14 年度）
- ・ 小池チーム：水循環系の物理的ダウンスケーリング手法の開発（平成 15 年度）

Ⅱ．特定地域における水・エネルギー循環系と生態系のモニタリングとモデリング

- ・ 杉田チーム：北東アジア植生遷移域の水循環と生物・大気圏の相互作用の解明（平成 13 年度）
- ・ 太田チーム：北方林地帯における水循環特性と植物生理のパラメータ化（平成 14 年度）
- ・ 神田チーム：都市生態圏・大気圏・水圏における水・エネルギー交換過程の解明（平成 14 年度）
- ・ 鈴木チーム：熱帯モンスーンアジアにおける降水変動が熱帯林の水循環・生態系に与える影響（平成 15 年度）
- ・ 恩田チーム：森林荒廃が洪水・河川環境に及ぼす影響の解明とモデル化（平成 15 年度）

Ⅲ．新しい技術や手法の開発

- ・ 船水チーム：持続可能なサニテーションシステムの開発と水循環系への導入に関する研究（平成 14 年度）
- ・ 古米チーム：リスク管理型都市水循環系の構造と機能の定量化（平成 14 年度）
- ・ 永田チーム：各種安定同位体比に基づく流域生態系の健全性／持続可能性指標の構築（平成 15 年度）

Ⅳ．アジアの河川流域における水循環－利用システムと水管理

- ・ 楠田チーム：黄河流域の水利用・管理の高持続化（平成 13 年度）
- ・ 寶チーム：社会変動と水循環の相互作用評価モデルの構築（平成 13 年度）
- ・ 丹治チーム：国際河川メコン川の水利用・管理システム（平成 14 年度）
- ・ 砂田チーム：人口急増地域の流域水シナリオ－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－（平成 15 年度）

まず、この四つのカテゴリーに沿って、個々のチームの研究成果の要点について整理し、その後で、水循環領域全体として見た成果と課題についてまとめる。個々のチームの研究成果の概要、中間評価と事後評価の詳細については、添付資料 7－2、および 8 を参照していただきたい。特に、添付資料 8 の「4－1 および 4－2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献」の項に水循環領域としての研究成果の意義と課題をまとめているので、ご参照願いたい。

1) グローバルな水循環系の把握と予測

沖チームは、水供給についてはダム操作など人為的影響を組み込んだ全球河川モデルに陸面モデルから算定される全球河川流出データを入力とし、水需要については各種用水のグローバルな視点からの推定法と予測法を提示して、全球統合水資源モデルを構築した。このモデルは供給量、需要量の評価とも世界最先端のモデルであり、これを用いて推定された世界の水循環と水資源の現状と将来見通しは IPCC 第四次評価報告書にも引用されるなど、世界的に高い評価を受けている。

木本チームは、現在世界最高レベルの高解像度・高精度の大気大循環モデルならびに大気海洋結合モデルの開発に成功し、これまで十分に表現されなかった梅雨前線帯の強雨やモンスーン域の季節内変動の再現性を大幅に改善させた。また、これら気候モデルと本研究で開発された湿潤線形化モデルを用いた数値実験によって、東アジアの気候の季節から年々変動の予測に繋がるいくつかの予兆現象を見出し、“現象のメカニズムに基づく広域水循環の長期予測の可能性を検討する”という本研究のアプローチが有用であることを示した点が高く評価される。

中村チームは、中国の淮河流域水田地帯と東シナ海の島嶼における最新の観測機器を配置した継続観測と集中観測により、他に類例を見ない体系的な大気境界層過程に関する詳細な観測データを取得し、データ解析とモデルによる数値実験やシミュレーションを通して境界層が降水システムに与える影響に関する多くの知見を得た。現段階では、東アジアの降水予測の精度向上に直接繋がるものではないが、今後それに資する観測成果が得られたと評価される。

岡本チームは、これまで衛星搭載マイクロ波放射計による降水量推定の分野をリードしてきた NASA/GPROF とは異なるアプローチで我が国独自のアルゴリズムを開発し、世界の他の全球降水マップを凌駕する高時間・高空間分解能の全球降水マップ、“GSMaP”の作成に成功した。この成果は、土木研究所と宇宙航空研究開発機構(JAXA)との共同研究「発展途上国向け洪水予警報システムに衛星推定降水量を利用」、あるいは JAXA による準リアルタイム(観測後約 4 時間)での“世界の雨分布速報”の世界発信など、実利用に供されている。

小池チームは、衛星マイクロ波放射計観測データを効果的に用いたデータ同化手法の開発を中核として全球規模―地域規模―流域規模を一貫して記述できる物理的ダウンスケーリングシステムの構築を実現するという明確なターゲットのもとに、それに必要な要素研究であるマイクロ波放射モデルの開発と改良、陸面同化システムの開発、雲微物理データ同化システムの開発とダウンスケーリング、それぞれを着実に成功させた。そして、それらを総合化して大気―陸面結合データ同化手法と物理的ダウンスケーリングシステムの構築を見事に達成させた。これは、広域気候モデルのダウンスケール問題にブレークスルーを与えるとともに、降水短期予報の精度向上にも資する点で高く評価される。さらに、この手法と分布型流出モデルを結合して流域規模の流出予測、およびそれを使った洪水時ダム貯水池操作へと発展させている。

2) 特定地域における水・エネルギー循環系と生態系のモニタリングとモデリング

杉田チームは、気候面では湿潤域から乾燥域へ、植生面では森林－草原－砂漠へと遷移し、草原での過放牧の問題を抱えるモンゴルを対象として、系統的な地上フラックス観測と領域フラックス計測／推定により、アジア半乾燥気候帯の河川流域において初めて精度の高い水・熱・炭素の地表面収支を明らかにしたこと、同位体をトレーサーとした解析とモデルによって、この地域の水蒸気と降水の起源について新たな知見を得たことなど、アジア半乾燥地帯の先導的研究として高く評価される。また、耕作や放牧が土壌特性の変化および水循環と炭素循環に及ぼす影響を調べることによって、草地の適正な土地利用・水利用への提言に繋がる成果を出している。

太田チームは、シベリア寒冷圏森林と参照のために日本の温帯林を含む5つの観測サイトを設置するという系統的な観測研究を展開し、北方林の水・熱・炭素循環に対する植生生態生理学的な影響について多くの新たな知見を見出した。北方林研究としては世界をリードするものといえる。特に、本研究で新たに提示された“潜在的”応答特性の概念は、森林生態生理学上の新たな仮説というだけでなく、気候モデル中の陸面モデルにおいて従来植生ごとに決められてきた気孔応答特性パラメータを共通の概念に基づいて決定できる点で、気候モデルに対しても有用かつインパクトのある仮説であり、鈴木チームの熱帯林研究とのクロスカッティングな検討も含めて、今後更なる仮説の検証が期待される。

神田チームは、都市域の水と熱の循環系を一体的に捉え、人工的影響が大きい都市域の陸面過程を物理的に明らかにすることを目標として、東京市街地等と東京湾とその周辺水域に様々な計測手法を駆使した系統的な観測体制を敷くとともにユニークな発想に基づく都市の準実スケールモデル実験を行い、世界的にも稀な都市のフラックス観測データ基盤を構築した。それらのデータ解析を基に大都市特有の水・熱循環に関する多くの知見を得るとともに、新たな3つの大気圏モデルと分布型水・エネルギー輸送モデルを開発し、都市気象・気候学分野で世界をリードする成果を出した。

恩田チームは、従来日本の森林では森林土壌が発達しているために降雨時に地表流は発生しないと言われていたのに対して、林床が裸地化したヒノキ人工林に着目し他の樹種の林地における現象と比較対照する、従来の森林水文観測研究にはない系統的な観測・実験を実施することにより、荒廃人工林での地表流の発生を含む水流出プロセスと土砂流出プロセスの詳細を明らかにしたもので、森林水文学に新たな一ページを加えた点で評価される。

鈴木チームは、“GEWEX アジアモンスーン・エネルギー水循環観測研究(通称 GAME)”における熱帯地域研究を深化・拡大させることを目的として企画され、気象・気候グループと森林生態系グループの2つで構成された。気象・気候グループは、インドシナ半島を横断する新たな雨量計網の設置などにより、熱帯モンスーンアジアにおける降水現象の季節変動と年々変動ならびにその地域的特徴について新たな知見を加えた。森林生態系グループは、熱帯林研究で空白域となっていたアジア熱帯林において、本プロジェクト前段としてのCREST「地球変動メカニズム」やGAMEからの継続観測の上に新たな観測を加えて、アマゾン熱帯林観測研究に比肩する水・熱・炭素循環に関する貴重なデータを蓄積し、アジア

の熱帯林研究を格段と進歩させ、世界の熱帯林研究の進展に大きく貢献した。

3) 新しい技術や手法の開発

船水チームは、オンサイト分離分散型・資源循環型のサニテーションシステムを開発し、その実用化に当たっての課題を明らかにすることを目的として、要素技術の基礎的研究から実用化に向けての実証実験まで広範な課題を設定して研究を展開した。具体的には、糞便や尿をコンポスト化するトイレの設計と維持管理法、コンポストの利用法、雑排水の処理法、病原微生物のリスク評価と安全対策、医薬品中微量汚染物質のモニタリング法の開発と安全性の確認、生物への影響評価、このシステムの流域水循環系への影響評価、国内と海外における実証実験、などについて系統的な研究を行い、「まぜない」、「集めない」衛生施設の科学技術的課題をほぼ解決した。バイオトイレについては、ヨーロッパのグループによる先進的な研究はあるが、気候、利用できる担体、生活習慣など地域的な条件が深く係わるので、アジアへの導入を図るにはアジア域での研究が不可欠である。本研究は、アジア発の技術開発という所期の目標を達成した点で高く評価される。

古米チームは、持続可能な水資源確保や健全な水循環系の構築に向けて、都市域の自己水源となり得る雨水、地下水そして下水処理水を用途に応じて効果的に利用することを目的として、特にそれらの水質の実態把握とリスク評価に重点を置いて検討した。具体的には、都市のノンポイント汚染物質(多環芳香族炭化水素類や重金属類など)を特定するためのフィールド調査と浸透過程での汚染物質の変化を調べる土壌カラム実験、下水処理水の地下水涵養を念頭に置いて土壌の浄化機能を調べる土壌コラム実験、下水処理水、河川水、地下水それぞれの多数の現地サンプリング資料の分析による水溶性微量汚染物質(医薬品、抗生物質、陰イオン系界面活性剤、フッ素系界面活性剤など)の実態把握、河川水の水質をレファレンスとした都市自己水源の相対的水質評価法の開発、使用用途を考慮した水質リスク法の開発などを行った。水質面から都市自己水源の利用可能性に関するわが国で初めての系統的な研究として高く評価される。

永田チームは、環境中に存在する元素の安定同位体比に水や物質の起源や生態系の状態に関する情報が記録されていることに着目して、生態系の中にある各種安定同位体比を流域の環境評価の新たな手段とすることを目標とした。初期の段階で、硝酸イオンの窒素・酸素および有機物の炭素・窒素の安定同位体比を高速かつ高精度で分析できる装置の開発に成功し、また、アミノ酸の分子別窒素同位体比を測定する新たな手法を開発し、流域環境評価に必要な多量サンプルの測定を可能にする研究基盤が確立された。この研究基盤を活用して、琵琶湖流域を研究の中心としながら、そこでの成果を国内外の湖沼や河川に応用して、水域生態系における窒素・炭素・酸素循環の起源や動態を追跡するのに各安定同位体比が極めて有用な指標であることを広範に提示した。このように、窒素、炭素、酸素循環の起源や動態を追跡できるという特長を備えていることから、安定同位体比指標を用いた水環境診断は、今後ますます発展し、普及するものと期待される。

4) アジアの河川流域における水循環－利用システムと水管理

楠田チームは、断流問題で世界の注目を浴びる黄河流域を対象に、持続性の高い水利利用・水管理システムを提示することを目的として、中流乾燥地帯における農地灌漑の節水と塩害防止対策、西安を含む支川渭河流域での水量と水質の統合モデルの構築と効率的な水配分の検討、黄土の流出・輸送・堆積機構と河床変動のモデル化、黄河流域全体の分布型水文モデルの構築による水循環変動特性の把握、応用一般均衡モデルの適用による水需給の実態把握と人口・社会経済フレーム・シナリオに基づく水需給ギャップの分析など、広範な調査研究を展開し、黄河流域の水資源管理に関する研究に格段の進歩をもたらした。特に、黄河の断流の原因は従来、農業による過剰取水とされていたが、分布型モデルの適用によって、気候変動も重要な要因であることが見出された点は、世界的にもインパクトのある成果である。

寶チームは、今後も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として“社会変動と水循環の相互作用評価モデルの構築”なる全体テーマのもとに、3つのサブテーマ、1) 流域の変化を取り入れた水循環モデルの構築（日本1河川とアジア4河川流域）、2) 社会変動と水循環との相互作用モデルの構築（日本を対象とした水資源システムダイナミックス、名古屋都市圏を対象とした洪水リスクマネジメント）、および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、によって構成された。個々のサブテーマの中には、例えば、洪水時ダム操作に適用できる淀川流域の分布型流出予測システムの開発、複雑な水田灌漑が水・熱フラックスに及ぼす影響の算定を可能にした淮河流域の水循環モデルの開発、水害リスクコミュニケーション支援システムの構築など、新規性があり有用な優れた成果が含まれている。しかし、当初計画に掲げた“日本・アジア発の新しい学術リーダーシップ”、“長期的視点に立った国際水管理戦略の提言”など、プロジェクトの全体目標の観点からの成果の取りまとめが見え難い結果となった。

丹治チームの研究は、国際河川として世界的な注目を浴びているメコン川流域についてはこれまでに様々な立場から多くの研究がある中で、自然科学と社会科学を融合して政策シナリオの提示を行おうとしたところに、ユニークさと挑戦的意義があった。データの制約などにより、研究の完成度という点では十分とはいえないが、中間評価における指摘に対応して、経済分析分野の分担者を補強し、水循環に係わる実態把握やモデル化を経済モデル分析と結び付ける方向での成果をかなり得た点で目標の半ばは達成されたと評価できる。特に、国際一般均衡モデルの構築と適用による経済分析は、メコン川流域では初めての試みであり、メコン川委員会など流域関連機関にインパクトを与えるとともに、この分野の今後の発展に資する成果といえる。

砂田チームは、湿潤地帯から乾燥地帯にわたる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（洪水が問題になる長江、メコン川、チャオプラヤ川、ブランタス川、水不足が問題のアラル海流入河川とユーフラテス川、水質が問題のベトナム都市河川とガンジス川）を選定し、それぞれの流域の水問題の実態を構造的に把握・分析することを基礎として、問題解決へ向けての政策シナリオを提示す

ることを目指した。選定河川流域について視点やアプローチは異なるが、各国の研究者や実務者と連携しながら実態の構造的把握と課題の適切な抽出がなされ、科学技術の立場から政策立案に繋がる有用な情報が提供されている。また、これまでの水政策立案事例を今後の政策策定に活かすための政策立案支援ツールとして、2つのタイプのナレッジマイニングシステムが構築され、その1つは実務機関に実装されつつある。

いずれのチームの代表者も最終報告書のあとがきで言及しているように、各チームは CREST という大型予算ならではの成果を上げたといえる。

採択した課題は、研究総括と領域アドバイザーが多くの公募課題の中から優れた研究プロジェクトとして選定したものであるから、研究総括の最大の任務は、それぞれのチームが当初計画の目標を達成できるようサポートすることにある、と考えている。そうした観点から、各チームの目標の達成度で評価すると、所期の目標を超えて世界最先端の成果を上げたと判断されるのが4チーム、所期の目標を達成したのが8チーム、課題は残したがほぼ所期の目標の重要な部分を達成できたのが4チーム、貴重な成果を含むが所期目標としてのまとめができなかったのが1チーム、ということになる。世界最先端の成果を挙げたのは、世界水循環・水資源モデル、高精度・高分解能全球降水マップ、水循環系の物理的ダウンスケーリング手法、および各種安定同位体比に関する研究である。その他の研究課題についても、少なくとも6課題がそれぞれの分野において世界最高レベルの研究であり、他のほとんども国内最高レベルの研究としてよい。

課題を残したチームには個々に事情はあるが、総じて言えば、研究課題の設定に対して必ずしも適切な分担者が配置されていなかったことが挙げられる。課題があるチームに対しては、中間評価などにおいて研究体制についての見直しを求めたが、それが必ずしも有効に機能しなかったのは領域運営側の反省材料である。

9-2. 水循環研究領域全体としての成果の取りまとめ

水循環研究領域の共通の目標は、文科省から示された戦略目標と同調して抽象的にならざるをえないが、「5. 研究総括のねらい」で述べたように、“水循環系に関するデータの集積・解析とモデリングを通じての現象解明型研究とともに、水問題解決に向けて水循環系と人間との好ましい関係を築く利用システムの構築を通じての問題解決型研究を進展させること”である。この目標に照らして、ここでは、次の3つの項目を立て、それぞれチームの研究と成果の位置づけを領域横断的に整理することにする。

- 1) 観測研究としての成果と課題
- 2) モデリング研究としての成果と課題
- 3) 対策・管理技術および流域水管理研究の成果と課題

1) 観測研究としての成果と課題

本本チームを除いたすべてのチームが、それぞれの研究目標に沿って観測や現地計測を行っているが、ここでは、まず、異なる気候条件と土地被覆条件の下で観測を中心として水・熱あるいは物質循環を明らかにしようとした研究を取り上げる。次に、人工衛星観測を基盤とする研究に触れる。観測とモデリングは対をなすものであり、いずれのチームも、観測だけに終わるのではなく、それぞれの研究目的に応じてモデリングを重要な構成要素としている。モデリングについては、次項で述べる。

中村チームは、中国の湿潤地帯と東シナ海を対象として梅雨前線などの降水システムと大気境界層の消長との関係を調べ、今後の雲微物理モデルの開発ひいては降水予測精度の向上につながる多くの知見を得た。岡本チームは、降雨の3次元構造を調べるために、沖縄で高機能・高精度な地上降雨レーダー群を用いた定常観測と集中観測を実施し、観測データと解析データを CD-ROM にデータベース化して研究者に公開した。

杉田チームは、半乾燥地帯モンゴルの草原を、大田チームは、シベリアの北方林から日本の温帯林を、鈴木チームは、東南アジア熱帯林を対象として、水・熱および炭素循環についてそれぞれの分野の研究の世界的発展に貢献する貴重なデータセットと多くの新たな知見を提供した。杉田チームの成果は、過放牧が問題になっているモンゴル草原の土地利用・管理に有用な情報を提供するものである。北方林と熱帯林については、“潜在的”応答特性の仮説を軸としたクロスカッティングな検討による森林生理生態学研究の総合化と陸面モデルへの発展が期待される。神田チームは、人工的要素が支配する大都市域の水・熱循環系に着目して、東京首都圏の陸域と海域で準実スケール都市モデル実験を含む系統的な観測データを取得し、世界の都市陸面モデルの相互比較実験において検証データにされるなど、世界的にも貴重な都市気象・気候に関するデータセットを提供した。また、データ解析とモデル化を通して都市の水・熱循環に関する多くの新たな知見を得ており、応用面では都市の熱環境の改善対策につながる成果である。恩田チームは、日本の荒廃ヒノキ林における洪水と土砂流出の発生機構に着目して、異なる空間スケールの試験区域を入れ子状に設定した観測流域を全国 5 箇所を展開して、地表流の発生過程と土壌の浸食・輸送過程の詳細を明らかにし、ヒノキ林の施業に対して有用な情報を提供した。

観測が中心の研究ではないが、沖チームはタイの都市部と非都市部における生活用水を調べるための水道使用量計測を、小池チームはチベット高原におけるモデル構築と検証のための春季・夏季集中観測を、楠田チームは中国・内モンゴルにおける農地の塩害発生のメカニズムを調べるための継続観測を、實チームはインドネシア・ブランタス川流域における土砂流出を調べるための水文観測を、丹治チームはカンボジア・バライ地区における灌漑水量を調べるための現地観測を行い、それ

ぞれの研究目的に対して必須で貴重な資料を得ている。

観測研究には多大の費用と労力を要する。ここでの観測研究は CREST のような大型予算によって初めて可能になったものであり、観測を中心とする各チームは、それぞれの分野で研究の発展に資する世界的にも貴重なデータセットを提供した、と総括できる。

以上のチームとは趣を異にするが、岡本チームと小池チームの衛星観測を基礎とする研究もこの項に入れておくべきであろう。岡本チームは、複数の衛星のマイクロ波放射センサーによる準リアルタイムの高精度・高解像度（10km メッシュ）全球降水マップの作成に成功し、世界に配信して実利用の段階に入っている。小池チームは、岡本チームより長い波長のマイクロ波放射計データを用いたデータ同化手法を開発し、広域気候モデルを河川流域スケールまで物理則に基づいてダウンスケーリングするシステムの開発に成功した。このシステムは、利根川の洪水管理などに応用が図られつつある。いずれも、それぞれの分野で世界の最先端を行く成果である。JAXA では、近い将来、全球水循環観測衛星 GCOM-W や全球降水観測衛星 GPM の打ち上げを予定している。2つの研究は、今後ますます時空間分解能が高度化する衛星地球観測データの水循環分野での活用に直接つながるものであり、今後とも日本がこの分野をリードする基盤を築いている点でも高く評価される。

2) モデリング研究としての成果と課題

すべてのチームが、それぞれの研究目標に沿って何らかの形のモデリングを行っているが、ここでは、中間評価主査のコメントを参考にしながら、水循環から見た気候モデルと陸面モデル、水文モデルおよび水資源評価モデルを取り上げる。

岡本チームは、世界最高レベルの高解像度・高精度全球気候モデルを用いて、日本を含む東アジア域における気象の長期（季節から年）予測向上の可能性につながるいくつかの新たな知見を見出した。温暖化の影響の再現・予測の場合には、この研究で行われたような地域の詳細な現象にわたる検討は行われないが、水循環領域の研究だからこそ、高解像度の特性を生かした研究ができた（研究代表者の言）と言われる。この研究は、気象庁など現業機関と連携して異常気象の予測研究へと発展している。

大気・地表面間の水と熱の交換過程を表現するのが、陸面モデルである。もともとは気候モデルの一部として陸面過程を表現するために開発されてきたが、地域の水・熱フラックスの特性を表す目的以外にも使用される。本研究領域での使用は後者である。竇チームは、中国・淮河流域での水田灌漑が水・熱フラックスに及ぼす影響を調べるために、灌漑モデルと組み合わせた陸面モデル SiBUC を構築した。太田チームは、北方林に対して陸面モデル（森林 2 層モデル）のパラメータ決定に“潜在的”応答特性の仮説を適用し、水・熱循環特性の再現性から仮説の検証に使っている。神田チームは、大都市域を対象として、陸面パラメータの汎用モデル化、都市の熱収支の一般的

特徴の抽出、乱流相似則と乱流構造の普遍性の抽出などのプロセス研究において得られた新たな知見をもとに都市陸面モデルを開発した。このモデルは、理論的構成が明確であり、都市気象・気候分野の進展に大いに貢献している。

水文モデルでは、約4半世紀前から分布型水文モデル(土壌、植生、土地利用など地表から地下にわたってその特性が空間的に分布する3次元流域で水循環過程を追跡するモデル)の開発や利用が盛んになっている。この研究領域でも、各チームの研究目標に応じて多様な分布型モデルの構築と使用が行われた。流域規模の大きなものでは、沖チームの世界の大陸河川を対象とした河道網モデルと流下モデル(これも広義には分布型水文モデルと言える)、太田チームの凍土の影響を組み込んだレナ川流域(243km²)、丹治チームのメコン川流域、楠田チームの黄河流域(これは水質を組み込んだ水量水質統合分布型モデルへと発展)、寶チームのタイ・チャオプラヤ川流域、が上げられる。レナ川以外の河川は、農業取水やダム操作など人為的影響を受ける川であり、水資源の評価や水資源管理の目的で使用されているので、人為的要素の組み入れ方がモデル構築の重要なキーポイントとなる。杉田チームは、半乾燥地帯の流域で土壌水分と地下水および蒸発散を重視したモデル化である。神田チームは、東京の中小河川流域を対象として既存の分布型モデルに都市の人工的排熱などの要素を組み込んだ分布型水・エネルギー輸送モデルを開発した。古米チームは、都市小流域において雨水浸透施設の効果を組み込んだモデル化、恩田チームは、山地小流域における裸地化した森林斜面からの流出過程のモデル化である。

これまで、気象学では陸面と大気との水・熱の交換から大気側の水循環を扱い、水文学では大気側の条件を入力として地表と地下での水循環を扱ってきた。つまり、気象学と水文学で水循環を分断して扱ってきたが、サイエンスとしてはこれらを融合させるのが1つの方向性である。こうした観点から見ると、沖チームは、世界の河川流域の水資源賦存量(最大の水供給量、つまり降水量から蒸発散量を減じたもの)を算定するために、全球の陸面モデルの出力を分布型水文モデルの入力として使用している。杉田チームと太田チームは、領域モデルの出力を分布型水文モデルの入力として温暖化の影響を調べている。小池チームは、衛星観測データの同化を用いた物理的ダウンスケーリング手法の開発と一環をなす陸面スキームと分布型流出モデルを組み合わせて、洪水流出などの予測精度の向上を図ろうとしている。

個々のチームの陸面モデルと分布型水文モデルの開発・利用に関する評価と課題については添付資料8の課題別事後評価結果の4-1と4-2に譲るが、総じて言えば、研究目的と場の特性に応じて様々なモデル構築が展開されており、新規性のあるモデル開発も多く、水循環モデルの研究に厚みを加えたと言える。

水資源評価モデル、すなわち水供給と水需要の関係の評価のモデル化については、沖チームの地球規模でのモデル化、楠田チームの黄河流域における応用一般均衡モデルと産業政策シナリオに基づく水需給モデル、丹治チームのメコン川流域における経済発展や米価などをパラメータとする水需給分析モデル、がある。沖チームは、上述のように陸面モデルと水文モデルから算定した水供給量と、農業用水、生活用水、工業用水および環境用水の需要推定量とから、水需給の季節変化とダムによる貯留調整効果等を考慮した全球統合水資源モデル

を構築した。水需要の推定は、世界全体で共通に使うことができる情報が限られている中で、かなり単純化した仮説のもとに行われているが、仮説が明解でマクロな観点からは妥当性を持つと考えられるので、説得力のあるモデルとなっている。いっぽう、個別流域での水需要の推定では、より詳細な水文・気象条件、各種用水の取排水実態、産業構造、水利用に係わる慣習、社会・経済・政治条件などのデータ分析から水需要の構造を明らかにする必要があるが、黄河やメコン川のような途上国では、必要なデータがないかあるいはあっても入手が難しいという問題がある。しかし、必要なデータがないからできないというのでは研究ではない。途上国でのこの種の研究では、データ不足の中でも必要な情報を抽出して説得力のある形にするところに、挑戦的意義がある。応用一般均衡モデルなどの経済学的手法を適用して水需給分析に漕ぎ着けた楠田チームと丹治チームの成果は、そうした意味で評価したい。経済学分野の領域アドバイザーは、挑戦的意義を認めた上で、説得力を高めるためにはさらに工夫と改善が必要だと指摘している。

3) 対策・管理技術および流域水管理研究の成果と課題

i. 対策・管理技術の研究

「6. 選考について」で述べたように、計測技術や水処理技術から多くの応募があった。これらは、この研究領域の趣旨に照らして選考の優先度を下げざるを得なかったが、技術や手法の開発が研究の中心であっても、それに特化するのではなく、水循環系の現象解明や水利用システムの視点が研究構成の中に含まれている優れた課題として、船水チーム、古米チーム、永田チームが採択された。

船水チームが開発したオンサイト分散型・資源循環型サニテーションシステムは、先進国においては次世代の持続可能な自然共生型生活排水処理法として、途上国においては直面している安全な水へのアクセスと水域汚染問題を改善する有効な手段として、それぞれ社会的意義が極めて大きい研究課題である。特に、途上国での衛生施設の普及は、2002年にヨハネスブルクで開かれた「持続可能な開発のための世界サミット」において、数値目標が掲げられ、国際的協力によって解決されるべき重点課題とされている。こうした世界的な要請の中で、アジア発の有力なサニテーション技術として実用化され、社会貢献・国際貢献へと発展することが期待される。

古米チームの研究は、都市自己水源の利用についてわが国で初めて正面から取り組んだ研究である。特に、都市域水源の多種多様な水溶性物質による汚染の程度の実態把握、地下浸透過程での各種汚染物質の除去に関する実験的知見、各種の水質評価法の開発と適用などは、わが国の水資源政策が水量と水質とを一体化した水資源マネジメントへと移行する中で、水質面から基礎的な知見を与える先駆的研究成果として評価される。都市自己水源の活用の実現に向けて、土壌層や地下水帯水層の特性を踏まえた地下水涵養の可能性の検討、洪水流出抑制効果や非常時水源確保からの評価、農業用水など用途の拡大、コスト面での検討など、広汎な研究へと発展することを期待する。

永田チームの研究は、各種の安定同位体比が流域における水・物質循環系と生態系の新た

な診断指標として有用なことを世界で初めて広範な事例を通して示したパイオニア的研究として、大きな意義がある。ここで“パイオニア的”とは、水環境に関する新たな科学的知見が得られているいっぽう、安定同位体比の水環境診断への利用可能性を示めず段階の成果も多いことと同時に、この CREST 研究を通じて一躍世界をリードする立場になったことを意味する。窒素、炭素、酸素循環の起源と動態を追跡できるという、他の手法にない特長を備えていることから、安定同位体比指標を用いた水環境診断に対する需要は、国内的にも国際的にも極めて高いと考えられる。この手法の普及、実用化へ向けては、 $\delta^{17}\text{O}$ の測定精度の向上、特性が異なる水域への事例研究の拡充、水・物質循環モデルや生態系モデルとの結合など、今後の研究の更なる継続・深化・発展が期待される。

ii. 流域水管理に関する研究

水循環研究の応用的な最終目標は、地域の水問題の解決に資することである。地域の水問題は、それぞれの地域に特有の問題、つまり個性がある。特定の地域・流域の水問題の把握や解決を志向するときには、その個別的な性格を的確に捉えて解決策を探る姿勢が重要である。これは、臨床医あるいは臨床医学に似ている。難病を治療するには、個々の患者の病状を的確に診断し、それぞれの患部の治療だけを考えるのではなく、1 つの生命体として捉えた適切な処方を考えることが必要である。これには、種々の医学分野の診断技術と治療技術を総合した知見が必要である。特定の事例を対象とした問題解決型研究では、その中から普遍性や一般性を求める視点はもちろん必要であるが、その事例に特有な地域的・個別的な事項を理解するアプローチに重要な価値を置くこと、そして必要な関連研究分野を総合して当てることが肝要である。この考え方は、水循環研究領域で共有できたと考えている。

この研究領域では、一部に日本を含むアジアの河川流域の水管理に係わる研究課題 4 件、すなわち、楠田チームの黄河流域、丹治チームのメコン川流域、寶チームの日本の 1 流域と東南アジアの 4 流域、砂田チームの湿潤地帯から乾燥地帯にわたるアジアの 8 流域が、採択された。各チームの成果と課題については 9-1 および添付資料 8 に述べているので、ここでは水管理に係わる研究全体の問題点についてまとめる。

研究対象は途上国であり、日本や先進国のように各研究課題に必要なデータが整備されているわけではないし、資料はあってもその所在が定かでない場合や入手が困難な場合が多い。どのチームも研究の初期の段階で資料入手に大変苦労している。それを多少でも補うために、相手国で関連分野の事情に精通した有力な研究者や実務家を含めておく必要がある。いずれのチームも相手国の多くの共同研究者を入れているが、データ・情報収集に係わる彼らの協力は、研究の成否の鍵になる重要事である。相手国のデータへの依存度が高い研究提案の審査においては、これを 1 つの審査ポイントにすべきであろう。

「5. 研究総括のねらい」に、“自然科学的アプローチと社会科学的アプローチが融合した研究を推奨する”と書いた（これは公募要領に入っている）。採択 4 課題に

はいずれも、社会科学的視点は入っているが、両者の融合とは、社会学者から見て納得が行く成果になっているかどうかであろう。工学系、特に土木工学系では、自らが必要な社会科学分野へ専門を拡大している。今回の4チームのうち丹治チームを除く3チームは、工学系で社会科学的アプローチを試みた。しかし、経済学分野の領域アドバイザーからは、システムダイナミックスや応用一般均衡モデルなどの使い方について助言や批判を受けた。やはり、経済学者が納得する成果には達していないと判断される。いっぽう、丹治チームは、中間評価での指摘を受けて経済分析の専門家を強化し、データの制約の中で次の発展につながる成果を出した。丹治チームのように共同できる社会学者がいればよいが、これはむしろ例外的であろう。水マネジメント分野では、筆者が知る限り、共同研究ができるような社会学者は現状ではほとんどいない。水マネジメントは、正に社会科学系との融合がもっとも必要な分野なので、社会学者を巻き込む努力を引き続きしなければならない。幸いに、この研究領域の周辺にも水分野の学際領域を埋める若手研究者が育っていると聞くので期待したい。

日本が水マネジメント分野でアジアの途上国に貢献できる理由の1つは、モンスーンアジア変動帯という類似の自然条件下にあって、他国に先駆けて急激な人口増加と経済発展を遂げ、その間に水災害、水不足、水質汚染など深刻な水問題に遭遇して様々な技術的対応と政策的対応をとってきた経験を持つからである。日本の経験は、成功と失敗を含めて、途上国、とりわけアジア途上国の今後の技術政策と社会政策に活かすことができるし、活かす努力をするべきである。砂田チームの研究は、日本の経験と対比しながら対象とした個別流域研究のとりまとめを行っており、そうした視点の萌芽が見られる。今後、この方向のアプローチをさらに発展・深化させなければならないと考える。

ここでの研究はいずれも、対象国への科学技術協力を意識して行われた。広い意味では、科学技術外交、ODAの一部といってよいであろう。水分野のODAは日本が世界で1番と言われる。しかし、これまでの海外技術協力の知識や経験は、個別プロジェクトの当事者に蓄積されるにとどまり、それらが比較・検証されたり、集約されることは皆無に近い。知識と経験の蓄積を海外援助のために編集し活用されるべき知の体系が極めて希薄であるといえる。いっぽう、アカデミズムの立場からは、文科省の国際学術研究などで海外の水分野の研究はあるが、技術協力を志向した研究は少ないと思われる。これからは、アカデミズムの研究の積み重ねとODAが連携して、水分野の海外技術協力における知の体系の構築へ向けて進展することを期待する。この意味でも、この領域で行われたような水マネジメント分野の研究は増強されるべきである。

4件の採択課題の成果を総じて評すると、アジア各国の流域水管理に関する理解を一段と深め、次の発展につながる成果を出したと言える。

10. 総合所見

○水循環研究領域におけるテーマ設定がきわめて広範なために、気象学、気候学、水文・水資源工学、農業工学、森林水文学、生態学、環境工学、衛生工学、リモートセンシングなど多様な専門分野を含む多岐にわたる課題で構成されているのが、この領域の特徴である。そのため、領域全体として専門分野の成果を示すことは極めて困難である。そこで、各チームの目標の達成度で評価すると、所期の目標を超えて世界最先端の成果を上げたと判断されるのが4チーム、所期の目標を達成したのが8チーム、課題は残したがほぼ所期の目標の重要な部分を達成できたのが4チーム、貴重な成果を含むが所期目標としてのまとめができなかったのが1チーム、ということになる。世界最先端の成果を挙げたのは、世界水循環・水資源モデル、高精度・高分解能全球降水マップ、水循環系の物理的ダウンスケーリング手法、および各種安定同位体比に関する研究である。その他の研究課題についても、少なくとも6課題がそれぞれの分野において世界最高レベルの研究であり、他のほとんども国内最高レベルの研究としてよい。

観測研究では、各チームがそれぞれの分野に対して貴重なデータセットを提供した。特に、北方林と熱帯林、および都市気象のデータセットは、世界の各分野の研究の発展に大いに資する貴重なものである。

気候モデル、陸面モデル、水文モデルの開発と利用については、研究目的と場の特性に応じて様々なモデル構築が展開されて、新規性のあるモデル開発も多く、水循環モデルの研究に厚みを加えたと言える。

アジア途上国を対象とした流域水管理に関する研究は、データと情報の制約の中で挑戦的な面が強いが、各国の水政策／水施策にこれまでにない有用な情報を与えた。総じて評すると、アジア各国の流域水管理に関する理解を一段と深め、次の発展につながる成果を出したと言える。

○提案の中には、計測技術の開発や水処理技術の開発など技術開発に特化した意欲的な研究提案が含まれていた。しかし、こうしたテーマは、この研究領域の趣旨 “水の循環系モデリングと利用システム” とは少し距離があるものと考え、選考の対象としたが、優先度を下げざるを得なかった。多くの提案の中から、「6. 選考方針」に示す諸点に留意して採択候補課題を決めたが、結果として各専門分野を横断する形で独創的かつ意欲的な現象解明型研究と問題解決型研究をバランスよく選考できたと考えている。優れた研究提案であるが、経費的にはCRESTで定めて大型予算の必要がないと判断されたために採択されなかったものがいくつかあったが、領域の趣旨に合致する中型予算（例えば、3,000万円程度）にも採択の途を開くのが、水循環分野の研究の発展にとって望ましい。

○この項の冒頭で述べた研究領域の特徴から、テーマがかなり特定された領域のように研究統括が旗を掲げてトップダウン的に指揮する形の運営は、とても無理である。この広範な領域を適切に運営するために、各専門分野において指導的な役割を

果たし、学際的な知見を持ち、さらに国際的、とりわけアジアにおける科学技術協力に対する経験や見識を有するアドバイザーを招聘し、協働指導体制で運営した。また、採択した課題は、研究総括と領域アドバイザーが多くの公募課題の中から優れた研究プロジェクトとして選定したものであるから、研究総括と領域アドバイザーの役割は、それぞれのチームが当初計画の目標を達成できるようサポートすることにある、と言う考えで運営した。

多様な専門分野による多様な採択課題で構成される水循環研究領域をどのように束ねるかが、研究総括としての大きな課題であった。そのためには、まず、各採択課題の意義、方法論、水循環研究領域における位置づけなどについて、総括・領域アドバイザーと研究担当者が相互に共通の問題意識を醸成することが必要と考えて、領域全体の研究推進上の論点（観測者とモデラーの交流・連携、データや研究成果の交換、社会科学との連携のあり方、政策提言のあり方、あるいは研究課題間にまたがる類似の手法など＜熱・水フラックスの観測、システムダイナミックスの適用、安定同位体の利用など＞）を整理して、横断的研究会、セミオープンワークショップ、領域会議など場で議論した。これは、チーム間の連携が促すこと、領域内で共通の問題意識を高めることに有効に機能したと考えている。

研究総括と技術参事は、各研究チームが独自に開く国内外の研究会やワークショップにはできるだけ参加し、各チームの研究の進捗状況を把握するとともに、積極的に質問やコメントをするよう努めた。

研究総括は、領域アドバイザーの各研究課題に対する評価と助言を参考にしながら、研究の進捗度や新たな事項の追加などが年度当初予算と追加予算の配分に適切に反映されるよう配慮した。

○水循環という広範なテーマでこの領域を設定した意義は、世界的な水問題の解決という社会的要請に応える意義のほかに、細分化した水分野の一部を「水循環」というキーワードで融合、あるいは総合化に向けるという意味合いがあったと考えられる。前者の意味では、水問題の解決に資する多くの成果を出せたといえる。後者の意味では、領域での密な意見交換を通して水循環分野で何のために何をやっているかについての相互理解が深まった、言い換えれば、共通の問題意識が高まったことという段階である。この共通意識の高まりが、新しい共同研究へとつながり、異なる専門分野間の連携・協働がさらに進むことを期待する。

○CREST 水循環研究領域の期間中に、水循環分野が含まれる大型研究として、GEOS S 地球観測推進プラン傘下の国家基幹技術「海洋地球観測探査システム」、文科省 R R 2 0 0 2 後継「21 世紀気候変動予測革新プログラム」などが開始され、本年度には JST / JICA の地球規模課題対応国際科学技術協力事業が発足した。革新プログラムには、CREST 採択課題を推進した多くの研究者が参加している。また、JST/JICA 事業では、すでに CREST で研究者がその発展形として提案した課題が採択され、今後も CREST 発展形の課題の応募が期待される。これらの大型研究プ

プロジェクトは、CREST の研究成果を継続的に発展できる場が時宜を得てできたという点で大変意義深い。

いっぽう、一昨年の第四次 IPCC 報告以来、温暖化に対する適応策の重要性が指摘され、水循環関連分野でも様々な課題が提起されている。この方面の組織的研究体制の強化が早急に進められなければならない。

○外部からの評価を待たなければならないが、水循環研究領域は、学術貢献の意味でも、社会貢献・国際貢献の意味でも大きな成果を上げたと考えている。その要因は、第 1 にももちろん、研究代表者と研究分担者の能力と尽力、第 2 に、領域アドバイザー群の適切な助言と誘導である。筆者は、研究統括というより研究者個人の立場で、それぞれの研究から多くを学び、若手研究者の成長と研究の進展を見るのを楽しめたことに充実した満足感を覚えている。

最後に、JST 本部や領域事務所のスタッフの方々を含めて、皆様に心から感謝します。