

**戦略的創造研究推進事業  
－チーム型研究(CREST)－**

**研究領域「持続可能な水利用を実現する  
革新的な技術とシステム」**

**研究領域事後評価用資料**

**研究総括：大垣 眞一郎**

**2017年2月**



## 目次

1. 研究領域の概要 .....	1
(1) 戦略目標 .....	1
(2) 研究領域 .....	4
(3) 研究総括 .....	5
(4) 副研究総括 .....	5
(5) 採択研究課題・研究費.....	6
2. 研究領域および研究総括の設定について.....	8
3. 研究総括のねらい.....	9
4. 研究課題の選考について.....	12
5. 領域アドバイザーについて.....	15
6. 研究領域の運営について.....	17
7. 研究を実施した結果と所見.....	25
8. 総合所見 .....	47



## 1. 研究領域の概要

### (1) 戦略目標

「気候変動等により深刻化する水問題を緩和し持続可能な水利用を実現する革新的技術の創出」(平成 21 年度設定)

#### ①具体的内容

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は2007年に発表した第4次評価報告書において、地球温暖化はもはや疑う余地がなく、その原因のほとんどは人為起源の温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性がかなり高いとの評価を科学的根拠とともに示した。

気温の上昇は、水を取り巻く環境に対しても影響を与えている。多くの地域において、1900年から2005年にかけての降水量には長期変化傾向が観測され、降水量がかなり増加した地域や厳しい干ばつに見舞われる地域が拡大している。また、湖沼や河川等では、水温上昇が原因となる水温分布の変化や水質の悪化が生じている。地球温暖化による将来の影響に関する現在の知見としては、干ばつの影響を受ける地域の面積が増加する可能性が高いこと、強い降雨現象の頻度が増す可能性が非常に高く、洪水リスクが増加すること、海面上昇によって沿岸地下水が塩水化すること等、今後全地球的に地域ごとの水資源の存在形態が大きく変わることが予測される。

水は、農業・食糧、生態系・生物多様性、資源・エネルギー、保健衛生とも密接に関連していることから、地球温暖化に伴う水循環の変化は、直接的にも間接的にも地球規模の全人類的な問題の原因となる。人口の増減や都市への人口集中、ライフスタイルの変化等に起因する世界的な水問題の激化を地球温暖化がさらに加速させ、先進国・途上国を問わず経済成長の鈍化、食糧危機、水を巡る紛争等人類の安全保障とも直結する問題を引き起こす可能性にも繋がる。

地球温暖化の原因物質とされる温室効果ガス排出に対して最も厳しい緩和努力を行っても、今後数十年間は気候変動のさらなる影響を回避することは難しく、IPCC 第4次評価報告書でも警告されているように、短期的な影響に対して何らかの適応策を講じることが特に必要不可欠である。例えば、我が国においても気候変動によって極端な少雨や多雨の現象等が多発し、洪水・渇水リスクの増大が見込まれたり、河川・湖沼の水質悪化が危惧されるなど、水の量・質の両面にわたって将来の国民生活の安全・安心を脅かす問題が生じることが予測されている。このような気候変動に伴う水環境の変化により生じる水問題に対しては、精度の高い水循環予測に基づく中長期の水の需給バランスを考慮した利用・管理計画を地域レベルで立てることが重要であるとともに、水問題の緩和や適応に資する技術の開発とそれら技術の社会への効果的な適応が必要である。

本戦略目標は、気候変動などによって激化する水問題事例を具体的に設定し、実社会への適用性を十分に考慮した上で、水に関わる新たな技術の開発や成熟度の高い複数の技術を統合化する技術の開発等を行うものである。なお、本戦略目標では、我が国における個

別の地域問題の解決を目指す取組も対象となるが、その様な研究であっても、得られるであろう普遍的な知見によって、広く世界の水問題解決に展開が期待できる取組を重視する。

## ②政策上の位置付け

平成20年7月のG8北海道洞爺湖サミット首脳文書においては、水に関する知見と技術について、開発途上国との共有や気候変動への適応等の必要な行動等によって統合水資源管理及び「水の良いガバナンス」を推進することとされており、平成20年6月沖縄で開催されたG8科学技術大臣会合の議長サマリーにおいては、「今後重点的に科学技術協力を進めていく研究分野として、開発途上国にとって特に重要な水等の持続的供給の発展がある」と指摘されている。

また、「科学技術外交の強化に向けて」（平成20年5月総合科学技術会議）においては、科学技術外交を推進するために取り組むべき課題として、我が国の優れた科学技術を活用したアフリカ等の開発途上国における水に対する取組の実施が挙げられている。

これらに向けた取組は、第3期科学技術基本計画の個別政策目標「③-11 健全な水循環と持続可能な水利用を実現する」に対応し、分野別推進戦略における環境分野の「水・物質循環と流域圏研究領域」及び社会基盤分野の重要な研究開発課題「水循環・物質循環の総合的なマネジメント」に位置づけられるものである。

「地球環境科学技術に関する研究開発の推進方策について」（平成20年8月 科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会）において、地球規模水循環変動により水資源供給に過不足が生じて人間社会が被る悪影響を回避、あるいは最小化する等のための基礎的・基盤的研究開発として、流域規模から地球規模の水循環変動の先進的な観測技術の開発や水資源管理に係わる研究開発等の推進が必要であるとされている。

## ③本研究事業の位置付け、他の関連施策との切り分け、政策効果の違い

環境科学技術は、単に真理の探究や高度な技術開発のみにとどまるものではなく、実際に環境問題の解決に繋がる、社会環境を変えるようなものでなければならない。そのためには、基礎・基盤的研究であっても環境改善に導くものを含んでいなければならない。問題の解明や解決に資する科学的知見の集積、要素技術の開発、技術の社会への適用方策、社会システム設計等の様々な分野を考慮し、総合的な視点で戦略的に取り組む必要がある。

環境分野に関連した戦略的創造研究推進事業としては、平成7年度開始の「環境低負荷型の社会システム」、平成9年度開始の「地球変動のメカニズム」、平成10年度開始の「資源循環・エネルギーミニマム型社会システム技術」、平成13年度開始の「水の循環系モデリングと利用システム」がある。それらの中で水分野に関連した「水の循環系モデリングと利用システム」では、気候変動・水循環等のメカニズム解明のための研究や、社会における持続可能で効率的な水利用システムのための技術開発等が行われてきた。

水問題に対処する新たな社会を実現するための基礎を築くためには、関係省庁・研究機

関が取り組む対策技術開発や個別分野で行われている影響評価研究等の枠を超えて、自然科学や技術開発の分野から人文・社会科学の分野まで、分野横断的で総合的な視野に立った研究・技術開発を推進することが求められる。このためこれまでの戦略的創造研究推進事業において取り組んできた水循環の諸過程の解明に向けた取組と効率的な水利用システムに関する研究・技術の開発をさらに発展させるとともに、IPCC 第4次評価報告書等で指摘された地球温暖化に関する科学的知見や社会情勢を踏まえ、予測される深刻な水問題を克服できる社会を実現するための研究・技術開発を推進する。

#### ④将来実現しうる成果等のイメージ

社会が抱える水問題の解決には、その問題の多様な背景を的確に把握した上で問題解決に資することが期待できる革新的な技術や既存の複数の技術の最適な組み合わせ、さらにそれら技術を社会の中に効果的に適用させることが求められる。

本戦略目標では、

- ・利用に適さない水や排水を安全・安心な水として利用するため、膜や生物処理による造水・水浄化技術、サニテーション技術等の水の質の問題を解決する技術、
- ・気候変動に伴う水循環の変化によって生じる水の偏在によって引き起こされる諸問題を緩和するため、これまでにない水貯留技術、水再循環利用技術、緑化等による保水能力強化、節水型農業・栽培技術等の水の量の問題を解決する技術など、

水の質や量に係わる問題の解決に資する革新的技術の開発を進める。また、社会への効果的な適用を念頭に置いた要素技術の統合化のための研究・技術開発を進めることによって、気候変動などで今後より激化する水問題を克服できる社会を実現するためのイノベーションを創出することを成果として想定する。これにより、我が国において世界に先駆ける革新的な水資源管理を実現するとともに、日本の高度な科学技術を活用して深刻な水問題に直面する開発途上国を初めとする世界へ貢献することによる国際的なリーダーシップの発揮、日本発の水ビジネスの国内外への展開を支援することも可能となる。

#### ⑤科学的裏付け

かつて我が国は深刻な水質汚染の問題に直面し、汚染問題の解決を図るため様々な水質の改善や処理に係わる技術の開発を行ってきた。これら水質改善・処理技術に関する我が国の現状と国際比較については、「科学技術・研究開発の国際比較 2008年版（環境技術分野）」（平成20年2月 科学技術振興機構研究開発戦略センター）に詳しくまとめられている。その報告によれば、我が国では、産業排水に対して条例や地域協定等でより厳しい放流水質を求められるケースが多いことから、水処理企業での技術開発水準や産業技術力は高い。大学や国立研究機関における研究では、生物学的排水処理における微生物叢解析等の特定分野の研究は活発であり、下水や生活排水の処理を対象とした研究が多い。特に、水処理に関連した膜ろ過材料分野においては、ナノテクノロジー技術による逆浸透膜の製

造シェアは日本が先導している。

また、我が国は降水や水賦存量等水循環に関する観測・予測や生活に利用する水の検査等については高い技術を持つが、それら技術をより高精度化し標準化することによって、気候変動に伴う水問題の克服に活用することが可能である。一方、水循環において重要な役割を果たすとともに、貴重な水資源として活用されている地下水に関しては、その実態の把握は不十分であり今後のさらなる研究が必要とされている。

我が国には水問題の解決に資する技術については優れたものが多い。それら技術をさらに高めるとともに、水問題の解決に取り組む様々な科学技術、人文・社会科学等の分野横断的連携を促進して、対象とする水問題に適合した技術体系やシステムを構築し普及するための研究・技術開発を展開することによって、気候変動や社会活動形態の変化に伴いさらに激化する水問題の克服が可能となる。

## ⑥留意点

本戦略目標では、様々な水問題のうち、社会的重要性・緊急性が高く、かつ問題解決のために革新的な技術開発が要求される水問題に焦点を絞って実施する。また、水問題を克服できる社会を実現するためのイノベーションの創出のためには革新的技術の開発が不可欠であるが、単なる技術開発に留まることなく、それぞれの技術をどのような形で社会へ実装させていくのか、その形を見極めつつ進めることが必要である。したがって、本戦略目標に基づく研究事業においては、個別課題の技術的深化のみに留まらない運営に十分留意するものとする。

## (2) 研究領域

「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」（平成 21 年度発足）

本研究領域は、現在抱えている、あるいは気候変動などによって将来さらに深刻化すると予想される国内外の様々な水問題への適応策となる、物理的・社会的な水利用システムの創出を目指します。革新的な水処理技術や水資源管理システムによって、水供給、排出、再利用、資源回収における、水の質と量の統合的な最適化を行い、エネルギー、コスト、環境負荷、健康・環境への安全性、地域社会の状況などの観点からもっとも合理的で持続可能な水資源の利用システムを提起する研究で、かつ、実社会への適用性を十分に配慮した研究を対象とします。

具体的には、膜、オゾン、セラミックスなどによる高度処理および海水淡水化に関する基盤要素技術開発とそれらの利用システム技術、水質評価手法、成熟度の高い技術と革新的技術との統合化による上水、下水、工業用水、農業用水、工場排水などの造水・処理・循環・資源回収システム、地下水の利用も含めた水圏の総合的水資源・水環境管理、水質管理システム、また、新しい原理による革新的な浄水・造水・水利用技術の開発などに関



する研究が含まれます。

**(3) 研究総括**

大垣 眞一郎 (公益財団法人 水道技術研究センター 理事長)

**(4) 副研究総括**

依田 幹雄 (株式会社 日立製作所 サービス&プラットフォームビジネスユニット  
技術主管)

## (5) 採択研究課題・研究費

(百万円)

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*
2009年度	岡部 聡	北海道大学 教授	水循環の基盤となる革新的な水処理システムの創出	362
	恩田 裕一	筑波大学 教授	荒廃人工林の管理により流量増加と河川環境の改善を図る革新的な技術の開発	237
	鼎 信次郎	東京工業大学 教授	世界の持続可能な水利用の長期ビジョン作成	219
	田中 宏明	京都大学 教授	21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価	518
	中尾 真一	工学院大学 教授	地域水資源利用システムを構築するためのIntegrated Intelligent Satellite System (IISS)の適用	469
	藤原 拓	高知大学 教授	気候変動を考慮した農業地域の面的水管理・カスケード型資源循環システムの構築	252
2010年度	古米 弘明	東京大学 教授	気候変動に適応した調和型都市圏水利用システムの開発	437
	池田 宰	宇都宮大学 教授	ナノテクノロジーとバイオテクノロジーの融合による革新的な水処理微生物制御技術の開発	278
	伊藤 禎彦	京都大学 教授	都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築	245

	小松 登 志子	埼玉大学 教授	地圏熱エネルギー利用を 考慮した地下水管理手法 の開発	316
	澁澤 栄	東京農工大学 教授	超節水精密農業技術の開 発	197
	嶋田 純	熊本大学 教授	地域水循環機構を踏まえ た地下水持続利用システ ムの構築	249
	三宅 亮	東京大学 教授	モデルベースによる水循 環系スマート水質モニタ リング網構築技術の開発	213
2011年 度	大村 達 夫	東北大学 教授	迅速・高精度・網羅的な病 原微生物検出による水監 視システムの開発	403
	沖 大幹	東京大学 教授	安全で持続可能な水利用 のための放射性物質移流 拡散シミュレータの開発	246
	小杉 賢 一朗	京都大学 教授	良質で安全な水の持続的 な供給を実現するための 山体地下水資源開発技術 の構築	252
	都留 稔 了	広島大学 教授	多様な水源に対応できる ロバスト RO/NF 膜の開発	348
			<b>総研究費</b>	<b>5,241</b>

\*各研究課題とも5年間の見込み総額

## 2. 研究領域および研究総括の設定について

本研究領域は、現在抱えている、あるいは気候変動などによって将来さらに深刻化すると予想される国内外の様々な水問題への適応策となる、物理的・社会的な水利用システムの創出を目指す。革新的な水処理技術や水資源管理システムによって、水供給、排出、再利用、資源回収における、水の質と量の統合的な最適化を行い、エネルギー、コスト、環境負荷、健康・環境への安全性、地域社会の状況などの観点からもっとも合理的で持続可能な水資源の利用システムを提起する研究で、かつ、実社会への適用性を十分に配慮した研究を対象とする。そのため、衛生工学、水文学、化学工学、農業工学など水に関連する科学研究分野、また実社会への適用性を考えた場合に必要となる経済学などの人文社会科学分野、さらには産業界などとも連携する分野横断型研究が実施できる CREST での運営が適当である。

戦略目標では留意点として「水問題を克服できる社会を実現するためのイノベーションの創出のためには革新的技術の開発が不可欠であるが、単なる技術開発に留まることなく、それぞれに技術をどのような形で社会に実装させていくのか、その形を見極めつつ進めることが必要である。」とある。本研究領域は、学術的な知、産業界の知識、行政が持つシステム管理運営の経験など、我が国が持つ世界的にも秀でた水利用に関する技術、経験を生かし、統合的に研究開発を進めることが考慮されており、戦略目標の達成に向けて、適切に設定されている。以上から、個別課題の技術的深化に留まることなく、水問題への適応策であり、かつ社会への実装を十分に意識した優れた研究が数多く提案されることが期待できる。

大垣眞一郎氏は、都市環境工学、水処理工学、水環境工学の分野で浄水処理法など個別基礎研究から流域水資源管理まで幅広い研究を着実に展開しており、本研究領域を推進するに必要な知見・先見性・洞察力を十分に有していると考えられる。優れた研究業績に加え、同氏はこれまで水環境学会会長、産業競争力懇談会のプロジェクトリーダー、国際水学会副会長を歴任しており、国内外の関連アカデミア、行政、産業界から非常に高い尊敬、信頼を受けている。

また、地球環境戦略研究機関（IGES）淡水資源管理プロジェクトリーダー、東京大学 21 世紀 COE プロジェクト「都市空間の持続再生学の創出」拠点リーダー等の経験から、大型プロジェクトに対する高いマネジメント能力を有していると考えられる。

同氏は、2002 年から 2004 年に東京大学工学部長および大学院工学系研究科長を務め、また 2008 年からは日本学術会議の副会長に就任していることから、特定の分野に偏らないバランスの取れた視点で調整力および指導力を発揮し得る人物であると考えられる。

これらを総合すると、本研究領域について、先見性および洞察力を有すると同時に、適切なマネジメントを行う経験・能力を有し、あわせて関連分野の研究者から信頼され、公平な評価を行いうる人物と考えられる。

依田幹雄氏は、これまで（株）日立製作所にてエンジニアとして上下水道施設の導入・運営管理、あるいは河川など流域環境モニタリングなど、水問題に関する実務的な研究開発を幅広く行った経歴を持つ。本領域に必要な、研究課題に対して社会実装への可能性・有効性を判断し、適切な助言を与える知見・洞察力を十分に有していると考えられる。

エンジニアとしての同氏は技術士（総合技術管理部門、水道部門）など数多くの資格を有していることから分かるように、非常に幅広く、かつ深い専門性を有していると考えられる。また、200以上の特許・意匠・商標に主執筆・連名として関与しており、研究課題から創出される技術、研究成果を実用化・産業化へ導く知見を有している。現在技術主管として民間企業にて水関連の研究開発プロジェクトを推進していることから高いプロジェクトマネジメント能力を有すると考えられる。また、公共設備技術士フォーラムの事務局長を務めるなど水産業を代表する視野で、本領域において取り扱う研究課題に適切な評価・助言を与える能力を有していると考えられる。

さらに、同氏は産業界にありながら学会活動も精力的に行っており、数多くの学術論文の発表、受賞歴を持ち、アカデミアからも高い認識、評価を受けている。また、水環境学会では大垣眞一郎氏が会長であった任期に同じく理事職を務めており、学会運営上において大垣眞一郎氏を支援、補佐した経験があることから、本研究領域の運営においても副総括という立場で総括を補佐する十分な能力を有していると考えられる。

本研究領域は、様々な水問題に対し、社会実装を十分に考慮した適応技術、システムの提起を取り扱うことから、学・官の研究者と産業界との情報交換や実際の協働といった連携を図ることが重要であると考えられる。そのため、学を代表する大垣眞一郎氏と、産業界での経験が豊富な依田幹雄氏をともに共同の研究総括とすることが適切である。なお、研究領域の運営上、本領域がカバーする広範な水利用に関する学術的知識を有し、かつ行政からの認知度・信頼の厚い大垣眞一郎氏を「研究総括」と位置づけ、依田幹雄氏を大垣眞一郎氏を補佐する「副研究総括」と位置づけ、共同して研究総括の役割を担うことにより、適切な運営が図られる。

### 3. 研究総括のねらい

戦略目標「気候変動等により深刻化する水問題を緩和し持続可能な水利用を実現する革新的技術の創出」を達成するためには、世界と日本の水利用に関するこれからの課題を把握し、その課題解決のための革新的技術とシステムを、普遍的な科学技術として提案する必要がある。

水は人類が必要とする資源の一つであるが、他の資源とは異なる特性を持つ。箇条書きに示せば、

- ①人の生命と健康に直結する
- ②自然と生態系を構成する必須の要素である
- ③地球規模の気候と密接に関連する
- ④生活と生産のためには上下水道、灌漑などのインフラが必須である
- ⑤循環している資源である
- ⑥多くの利害関係者との対話が必要な資源である

などである。

この多様な特異性を持つ「水利用」に関わる科学技術の開発を、CREST 領域として与えられる期間と予算の中で、最適の公募研究を採択し、成果を生み出す研究領域として組み上げることが必要である。この領域からの研究成果は、生活と生産のあらゆる場所と状況（平常時も災害時も）において水利用が確保される社会、そして、その技術とシステムが自然と調和している社会を作り上げることに貢献するはずである。

本研究領域では、実用確度の高い研究と挑戦的・革新的課題をバランス良く採択し、革新的な科学技術、あるいは、実社会や産業への貢献が明確である研究、あるいは、社会の政策に科学的根拠を与える知見に関する研究を採択することを狙った。

また、本研究領域は、科学技術イノベーションとして、これまでの多くの CREST 研究領域と比べ新しい概念に基づく分野である。図1に示すように、社会的課題から新技術・システムと新サービスを想定し、その研究の中で科学的な知見の発見と発明が生まれ、その成果が社会のイノベーションを起こすというような構造になることを目指している。これは発明、発見がまずあり、その社会への応用を研究するという従来のイノベーションの概念とは異なる挑戦である。

この図1の下段の「科学技術イノベーション過程」を、本「水利用領域」について対象とする研究の過程と目指す成果との関係を取り出してまとめたものが図-2である。水利用の課題を解決するために、まず必要となる新しい社会システム、新しいサービス、新しい政策の研究開発が求められることになる。水利用に関するこの新しいシステム・サービス・政策を研究開発する過程で、必要となる新知見の獲得、必要となる新技術の開発が求められることになる。それがこの科学技術イノベーション過程に連関する発見と発明である。水利用の科学技術イノベーション過程では、システム・サービス・政策と発見・発明は相

互に刺激しながら展開されるものである。さらに社会の革新のためには、政策のための科学的根拠、将来の科学的予測、あるいは、新しい技術・政策に関する社会的合意などの手法が確立されなければならない。

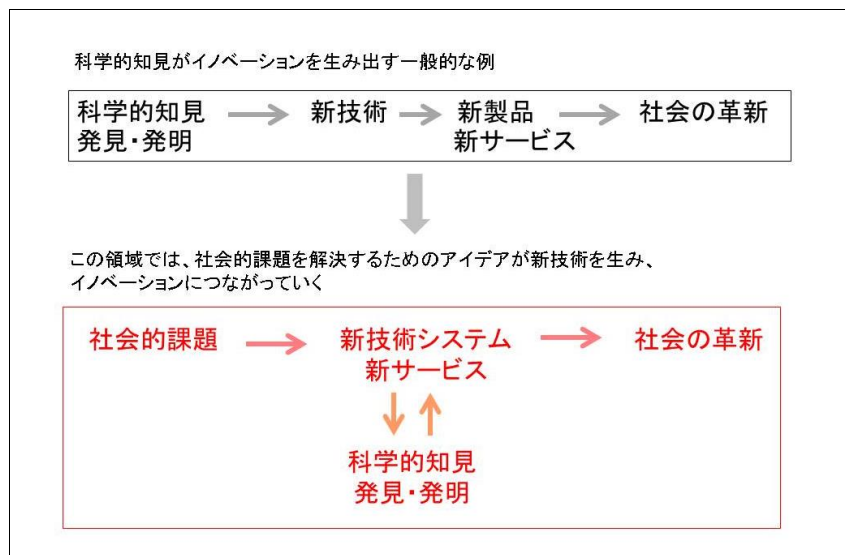


図1 イノベーションを生み出す過程の比較

すなわち、知識体系の確立、新技術・システムの開発、および、社会への適用手法開発を目指した研究が相互に関連しながら推進される体系である。このような科学技術イノベーション過程の構造の中、本「水利用領域」が扱う研究対象とその期待される成果は、図2の中で点線で囲われた部分になる。

社会的課題としての水問題を広く解決するには、分野を超えた研究体制と連携が必要であるため、水利用全体の中でその位置づけが明解な研究チームを採択することを狙った。

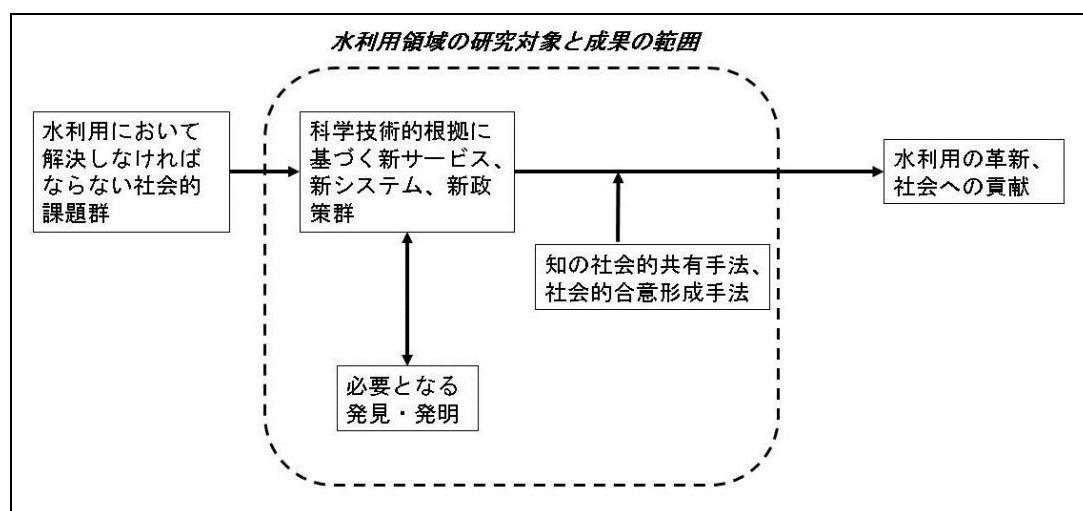


図2 水利用領域の研究対象と成果の範囲

## 4. 研究課題の選考について

### (1) 募集・選考の方針

「3. 研究総括のねらい」でも述べた通り、実用確度の高い研究と挑戦的・革新的課題をバランス良く採択すること、また、革新的な科学技術、実社会や産業への貢献が明確である研究、水利用全体の中でその位置づけが明解な研究を採択することを目指した。その上で、年度毎に具体的な採択方針を策定し、研究提案募集のホームページや要項冊子を通じて研究提案者に周知した。

#### ①2009年度（初回）の採択方針

初年度の選考では、研究テーマを取って絞ることはせず、持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステムに関する研究提案を広く募った。

#### ②2010年度（2回目）の採択方針

2年目の選考では、従来の方法論などにとらわれない革新的な理論、技術、システムについて、焦点を絞った研究課題の提案を募った。

具体的な例としては、大都市・人口集積地域の水管理に関する研究、地下水の新しい利用・管理システムに関する研究、水利用とエネルギー利用の融合による省資源・省エネルギーシステムに関する研究、水利用に伴い発生する無機・有機汚泥の資源有効利用に関する研究、人の健康の安全性に関する水質評価に関する研究、農業における高度水管理に関する研究、社会の水利用と自然生態系保全との共生に関する研究、産業における水利用の高度化の研究などである。

多様な要素のうち既存のプロジェクトでは欠けている分野、あるいは連携の強化のために必要な分野、さらには新しい視点を領域に持ち込むような分野を加えていく方針とした。

#### ③2011（3回目）の採択方針

3年目かつ最終となる選考では、2年目に引き続き、従来の方法論などにとらわれない革新的な理論、技術、システムについて、焦点を絞った研究課題の提案を募った。

具体的な例としては、人の健康の安全性に関する水質評価に関する研究（特に、下水処理水の直接飲料などの安全性評価と社会的受容に関する科学技術など）、都市人口集積地域の水管理に関する研究（特に、環境配慮型都市の設計における水システムのあり方に関する科学技術など）、水利用に伴い発生する無機・有機汚泥の資源有効利用に関する研究、水利用とエネルギー利用の融合による省資源・省エネルギーシステムに関する研究、社会の水利用と自然生態系保全との共生に関する研究、などである。



## (2) 募集・選考のプロセス

研究総括と領域アドバイザーが研究領域の方針を共有し、研究課題の選考に当たった。また、選考においては、提案者と利害関係を有する評価者が応募提案の審査へ関与することを避けること、提案者が他の大型研究助成と重複することを避けることとし、そのための調査、調整を JST 事務局が行った。

2009 年度から 2011 年度にわたり合計 3 回の採択活動を行った。審査は書類審査（一次選考）、面接審査（二次選考）の 2 段階で実施した。まず、書類審査では、提案された書類を評価者が事前に査読した上で書類審査会を開催し、10 件前後の面接審査対象に絞り込んだ。次に、面接審査では、これら 10 件前後の研究提案について、研究提案者による口頭発表と質疑応答からなる面接審査会を実施した。書類審査、面接審査ともにアドバイザーが評価コメントとともに評価点数を付与し、評価点の上位から採択候補にすることを原則とした。ただし、評価点が僅差の研究提案については、アドバイザーによる評価コメントを参考にして十分な議論を経た上で、採択候補リストを作成した。このような評価プロセスを経て、候補リストから最終的には研究総括の責任において採択課題を決定した。

## (3) 選考過程と結果

本研究領域への募集に対して、2009 年度は 43 件、2010 年度は 27 件、2011 年度は 20 件の応募があった。世界の水利用長期ビジョンに関する提案、都市の水利用の革新的なシステムに関する提案、農業用水と都市用水の総合管理を目指す提案、森林管理と水資源に関する提案、地下水の有効利用に関する提案など、幅広い分野からの提案が多数寄せられた。これらの提案を研究総括と副総括およびアドバイザーが共に書類審査（一次選考）を行い、2009 年度は 14 件、2010 年度は 11 件、2011 年度は 7 件の面接対象者を選出した。最終的に 2009 年度は 7 件、2010 年度は 6 件、2011 年度は 4 件の研究課題を研究総括の責任において採択した。応募総数は 90 件、採択課題数 17 件であり、平均採択率は 19%であった。

以上 3 回の募集によって本領域で採択された研究課題を分類すると、図 3 の通りである。本研究領域の核となる水処理システム系の提案、それを取り巻く農林系の水管理に関する提案、加えてスケールの異なる全球規模の水問題を考える提案など、本研究領域全体を網羅する研究課題を揃えることができた。地下水に関する研究についても、様々な角度からとらえた研究を採択することができた。空間的な統合型の研究については、都市流域で統合するものや地球規模で統合する研究を採択することができた。また、水分野で研究実績のある研究代表者のみならず、准教授クラスの若手の研究代表者の挑戦的な課題も採択することができた。産・学・官が連携して研究を推進するものも多く、実社会へ適用可能な革新的な技術とシステムを提起するために相応しい研究領域の体制を整えることができたと言える。

水循環のシステム全体の中での、各研究チームの機能的な位置づけをまとめて示した図が、図 4 である。水循環と水利用のシステムのすべての要素を、この 17 のチームで対象と

しているわけではなく、革新的要素課題に関してそれぞれが重点的に研究し、相互に関連する体制にしてある。

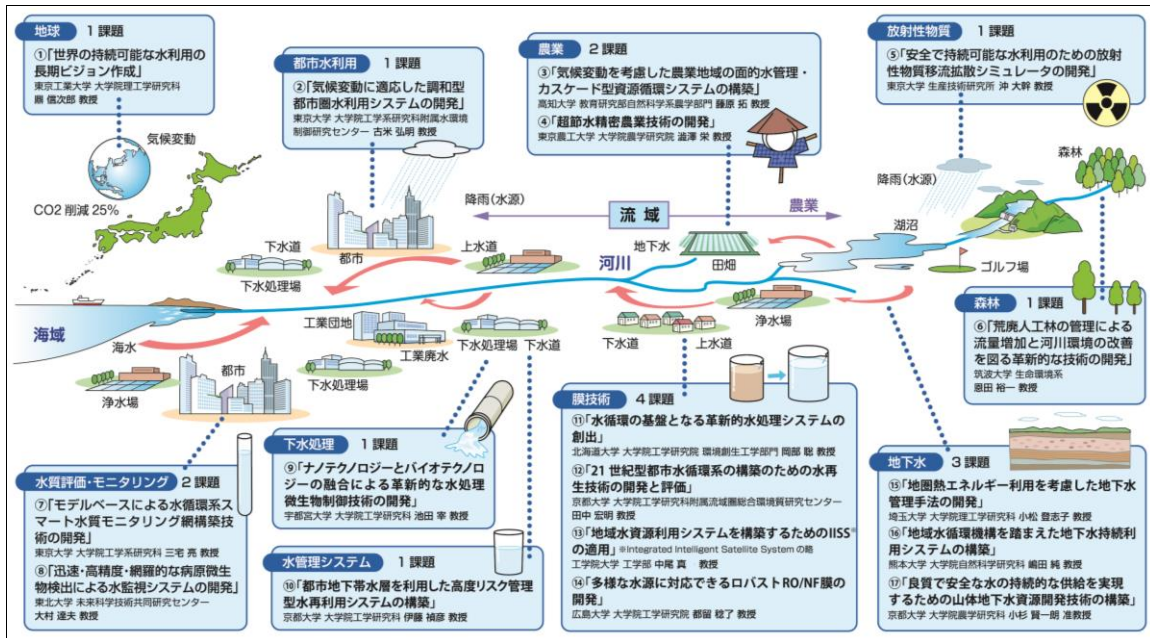


図3 採択研究課題の領域内での相互関係

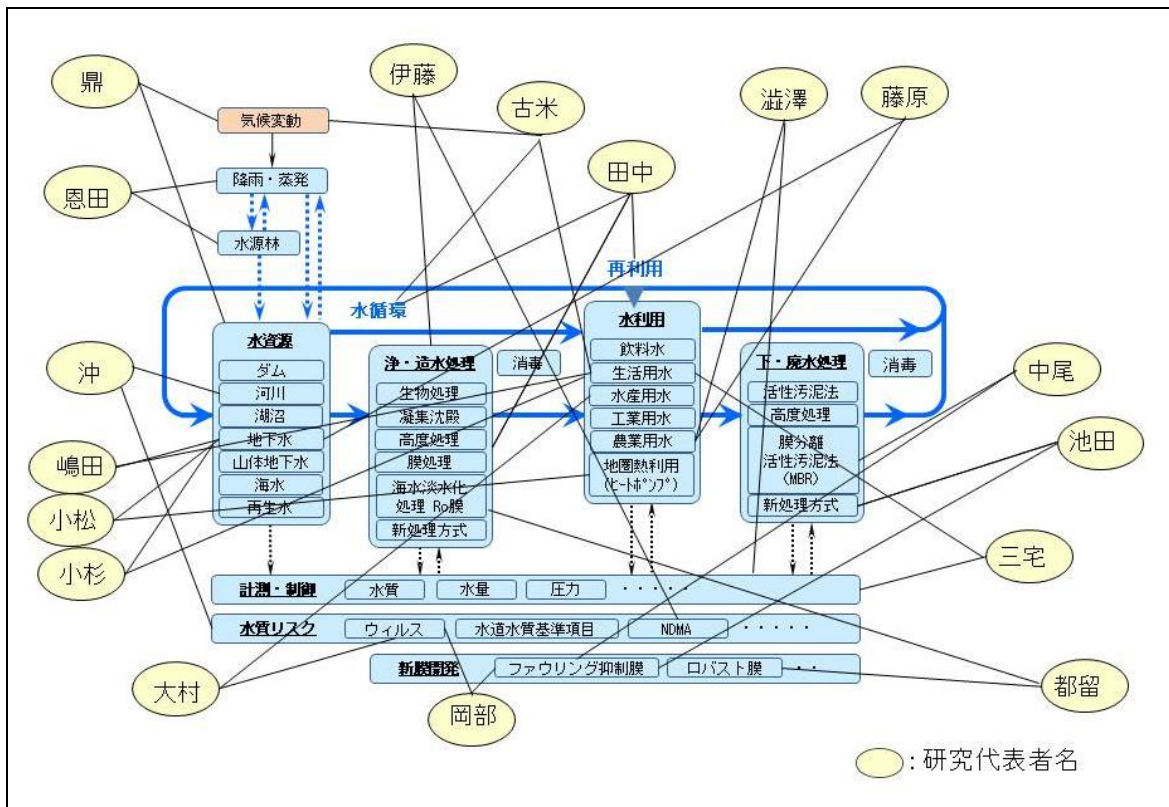


図4 水循環の中での各研究チームの革新的な技術とシステムの相互関係図

## 5. 領域アドバイザーについて

本研究領域は、膜処理技術、都市水利用、地下水利用、農業用水利用など幅広い分野が関連している。よって、それぞれの分野において高い先見性と優れた研究実績を有し、各学会において先導的な立場で活躍されている研究者の中から、領域アドバイザーを選定した。また、本研究領域は社会との接点が大きいため、産業界からの視点を重視し、民間企業出身者を積極的に選定した。また、国際的視点の重要性から、米国カリフォルニア州在住の浅野孝カリフォルニア大学名誉教授を選定した。

表1 領域アドバイザー一覧

領域アドバイザー名 (専門分野)	終了時の所属	役職	任期
浅野 孝 (環境工学、水資源工学、水再利用工学)	カリフォルニア大学デービス校	名誉教授	2009年6月～ 2017年3月
国包 章一 (環境工学、水道工学)	元静岡県立大学 (※2013年3月まで)	元教授	2009年6月～ 2017年3月
清水 慧 (水道コンサルティング)	(株) 日水コン	名誉顧問	2009年6月～ 2017年3月
砂田 憲吾 (水文学、河川工学、流域管理工学)	山梨大学	名誉教授	2009年6月～ 2017年3月
津野 洋 (土木工学、土木環境システム)	大阪産業大学 (※2012年3月までは京都大学大学院工学研究科 教授)	教授	2009年6月～ 2017年3月
宮 晶子 (環境工学、生物工学)	水ing (株)	執行役員	2009年6月～ 2017年3月
宮崎 毅 (環境地水学)	東京大学 (※2014年6月までは一般財団法人日本水土総合研究所 理事長)	名誉教授	2009年6月～ 2017年3月
渡辺 正孝 (エコシステムモデル、環境資源管理政策)	中央大学 研究開発機構 (※2015年3月までは慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 特別研究教授)	教授	2009年6月～ 2017年3月
渡辺 義公 (環境工学、衛生工学、水処理工学)	中央大学 研究開発機構 (※2013年3月までは北海道大学環境ナノ・バイオ工学研究センター 特任教授)	教授	2009年6月～ 2017年3月

アドバイザーの専門分野を考慮し、各研究課題について、表2の通りアドバイザー担当課題を設定することにより、各研究チームがより具体的・効果的なアドバイスを受けられる体制とした。

表2 アドバイザー担当表

分野	対象チーム	浅野	国包	清水	砂田	津野	宮	宮崎	渡邊 (正)	渡辺 (義)
国際	全チーム	◎								
地球	鼎チーム								◎	
	沖チーム								◎	
都市／水質管理	古米チーム			○		◎				
	池田チーム			○		◎				
	伊藤チーム			○		◎				
	三宅チーム			○		◎				
	大村チーム			○		◎				
循環	岡部チーム		○				○			◎
	田中チーム		○				○			◎
	中尾チーム		○				○			◎
	都留チーム		○				○			◎
農業	藤原チーム							◎		
	渋澤チーム							◎		
森林	恩田チーム				◎					
地下水	小松チーム		◎	○	○					
	嶋田チーム		◎	○	○					
	小杉チーム				◎			○		

(◎は主担当、○は副担当)

## 6. 研究領域の運営について

### (1) 研究総括の研究領域運営方針

水利用にかかわる科学技術は、他の科学技術に比べて非常に多様な要素から構成されている。このため、研究領域内の個々のプロジェクトが、研究領域全体として有機的に連携していることが重要である。そこで、本研究領域では、17 チーム、600 名を超える研究参加者で構成される「バーチャル・ネットワーク型研究所」としての領域運営を強く意識し、個々のチームが抱えている課題を他のチームと協力して解決していくチーム横断的な連携体制の構築を目指し、チーム合同のワークショップやシンポジウムなどチーム間の連携を促進するための取り組みを積極的に推進した。

なお、各研究チームが挑戦した社会的課題と科学技術研究の性格の関係を領域全体についてまとめて俯瞰的に示すと図 5 のようになる。社会的課題群の詳細説明は 7. (1) に示してある。

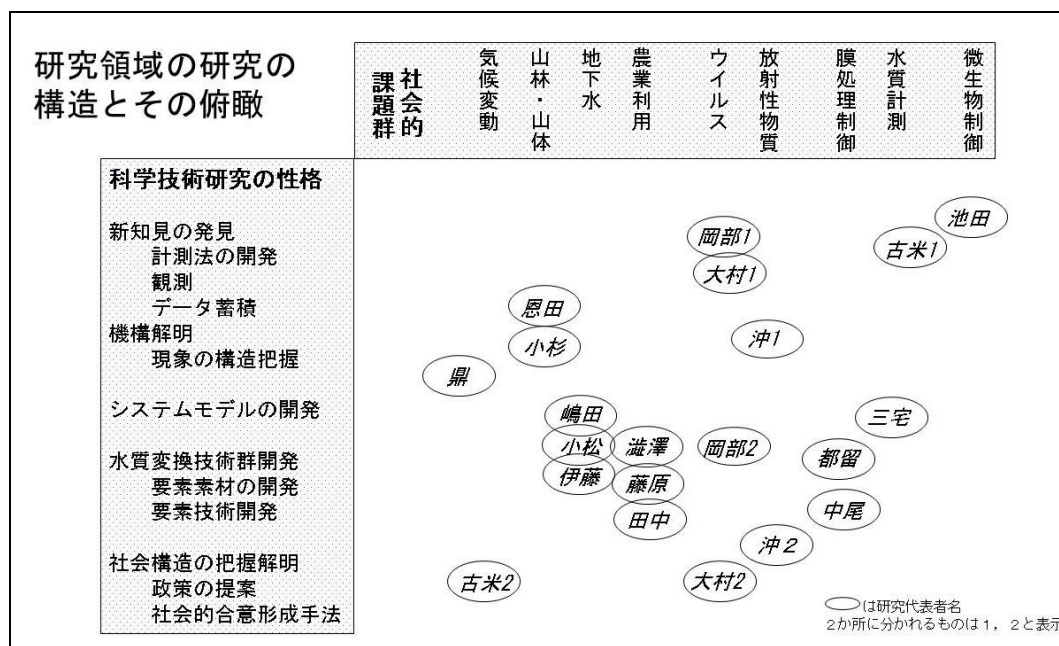


図 5 研究領域の研究の構造とその俯瞰

### (2) 「バーチャル・ネットワーク型研究所」としての研究領域のマネジメントについて

#### ① チーム合同シンポジウムの促進

チーム間の連携を促進するため、チーム合同シンポジウムの開催を積極的に推奨した。特に、2013 年度以降は総括裁量経費によるチーム合同シンポジウムの開催経費を支援した。合同シンポジウムの開催実績は下記のとおりである。

表3 合同シンポジウムの開催実績

開催日	主催したチーム	タイトル
2011年12月22日	藤原チーム・渋澤チーム	第1回農業分野合同勉強会
2012年11月17日	小松チーム・嶋田チーム	合同ワークショップ「地下水帯水層中での脱窒菌の振る舞い」
2012年12月14日	藤原チーム・渋澤チーム	第2回農学分野合同ワークショップ「農学から発信する水問題最前線」
2013年3月15日	田中チーム・伊藤チーム	水再生利用とそのシステムに関する合同シンポジウム
2013年7月25日	田中チーム・藤原チーム・伊藤チーム	京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム特別セッション「循環型社会の構築を目指した水の再利用と農業システム」
2013年12月14日	藤原チーム・渋澤チーム	第3回農学分野合同ワークショップ「農学から発信する水問題最前線」
2014年1月24日	中尾チーム・都留チーム	水再生利用とそのシステムに関する CREST 合同シンポジウム
2014年3月10日～11日	沖チーム・鼎チーム・古米チーム	CREST 水循環モデリング合同国際シンポジウム「持続可能な水利用の実現に資する水循環モデリング」
2014年3月30日	恩田チーム・小杉チーム・嶋田チーム	森林水文ワークショップ 2014
2014年12月19日	藤原チーム・渋澤チーム（第4回）	第4回農学分野合同ワークショップ「農学から発信する水問題最前線」
2015年3月9日	中尾チーム・池田チーム・都留チーム	CREST シンポジウム「新たな水処理システムを目指した技術開発：バイオフィルムと膜ファウリングへの挑戦」
2017年1月13日	古米チーム・沖チーム	CREST シンポジウム：将来と緊急時における強靱な水管理システム

## ②膜処理関連チームの連携

2010年度より、膜処理関連チームが連携して、膜ファウリング物質等の特性評価を実施した。田中チームが中心となって、岡部チーム・中尾チームで稼働中の水処理プラントの膜ろ過前後の水試料を収集しそれぞれの特性を評価した。具体的には、有機物分画による膜ファウリング物質等特性評価および3次元蛍光分析（3D-EEM）や高速サイズ排除クロマ

トグラフィー（HPSEC-TC）による分子量分布評価も併せて解析することで膜ファウリング原因物質の究明を行った。この連携研究の結果、UF 膜+UV 処理、UF 膜+UV 処理+RO、低 pH 凝集沈殿処理との組合せおよび MBR 処理プロセスのそれぞれについて、膜ファウリング物質の特性や除去物質などを明らかにすることができた。また、処理プロセスによる違いを比較検討することができた。

#### ③ウイルス関連研究チーム横断的ワークショップと総説論文の刊行

病原微生物に関わる各研究チームの成果をもとに持続可能な水利用の実現を議論することを目的とし、大村チーム主導で、岡部チーム、田中チーム、中尾チーム、古米チームが合同で、2013 年 6 月 12 日（於：東北大学）及び 10 月 22 日（於：京都大学）に横断的ワークショップを開催した。これらの会議を経て、チーム合同で総説論文を出すという動きが始まり、チームの若手研究者が合同で執筆した論文「Risk management of viral infectious diseases in wastewater reclamation and reuse」が雑誌 Environmental International 91(2016) 220-229 に掲載された。

#### ④国内外への情報発信について

##### i) 国内への情報発信

水事業に関わる地方自治体（水道事業体、下水道事業体）や産業界を対象とした業界紙である「日本水道新聞」、「日本下水道新聞」及び「水道産業新聞」において、全 17 研究課題を紹介する企画を実施した。（日本水道新聞：2011 年 7 月 28 日～12 月 3 日及び 2012 年 11 月 15 日～12 月 3 日の期間に連載、水道産業新聞：2011 年 9 月 29 日及び 2013 年 1 月 3 日に特集記事として掲載。）また、研究拠点の地元の地方紙（高知、沖縄、栃木など）を通じて対象地域への情報発信を行った。

公開シンポジウムを「InterAqua 国際水ソリューション総合展」（於：東京ビッグサイト）に合わせて開催した（第 1 回：2013 年 1 月 30 日、第 2 回：2014 年 1 月 29 日、第 3 回：2015 年 1 月 28 日）。合計 3 回でのべ約 940 名の参加者があった。また、各チームの CREST 研究成果の集大成を報告する終了シンポジウムを合計 3 回開催した（第 4 回：2015 年 6 月 12 日、第 5 回：2016 年 6 月 18 日、第 6 回：2017 年 1 月 28 日）。

各研究課題の成果を一般向けにわかりやすくまとめた成果パンフレット（A4 サイズ 8 ページ）を研究課題ごとに 1 冊ずつ作成し、公開シンポジウム等の機会に配布した。

##### ii) 海外への情報発信

専門ライターを起用し、一般読者にも分かり易い内容で、領域紹介及び 17 研究課題の紹介記事作成を行った。本記事は情報ウェブサイト「Maxims News Network」（<http://www.maximsnews.com/>）や領域ホームページに掲載した。

IWA（International Water Association）のアジア太平洋会議（ASPIRE）が 2011 年 10 月に東京で開催されたのを機会に、本領域の内容を紹介するセッションを企画し発信した。

また、2015年12月には、京都で国際シンポジウムを開催し、海外（オーストリア、オーストラリア）より招聘した2名の専門家とともに、CREST研究者が講演を行い、CREST成果の海外への情報発信を行った。その他、研究総括が国際学会での招待講演などの機会（台湾、中国、タイ）に本領域の成果を紹介した。

さらに、IWAが発行する機関雑誌「Water21」（2014年4月）あるいは国際業界雑誌「Asian Water」（2010年5月、2015年7-8月、9-10月）に、領域紹介記事や研究代表者インタビュー記事を掲載した。

### **(3) 研究課題の進捗状況の把握と評価、それに基づく指導**

#### **①チェックアップミーティングの開催**

研究開始直後に、個別の研究チームごとに研究計画の充実のためのチェックアップミーティングを実施した。総括・副総括、領域アドバイザー、研究代表者が成果を見据えた活発で深い議論を行い、研究の進め方についての方針を確認した。（2009年度採択チームは実施せず。2010年度採択チームについては2010年11月18日・2011年1月18日・26日に、2011年度採択チームについては2012年1月25日に実施。）

#### **②キックオフミーティング及び成果報告会の開催**

各年度の研究開始直後にキックオフミーティングを開催し、各研究チームの研究計画発表を行い、総括・副総括、領域アドバイザーからのコメントを研究計画に反映した。また、研究進捗状況報告としての成果報告会も年1回開催した。

#### **③サイトビジットの実施**

原則として研究開始2年目及び4年目にサイトビジットとして、総括・副総括・領域アドバイザーが各研究代表者の研究実施場所もしくは研究フィールドを訪問し、特に研究を実施している若手の研究者とも意見交換を行い、指導を実施した。

#### **④アドバイザー主導の勉強会の開催**

成果報告会など、全体会議では質疑応答の時間も限られており、十分な議論ができないことから、アドバイザーが主体的に各研究チームを訪問し、個別に議論する機会を設定した。本勉強会は、アドバイザーが研究に対する理解を深め、また、研究代表者にとっても具体的なアドバイスを受けられる機会として有意義であった。



表4 アドバイザー主導の勉強会開催実績

開催日	研究チーム	訪問アドバイザー
2012年10月24日	田中チーム	浅野、国包、清水
2012年10月29日	古米チーム	浅野、国包、清水
2012年11月2日	岡部チーム	浅野、清水、宮、渡辺（義）
2013年2月5日	小松チーム	浅野、国包、清水、砂田
2013年2月7日	伊藤チーム	浅野、国包、清水、砂田
2013年10月7日	小松チーム	国包、清水
2014年12月1日	小松チーム	国包、清水、砂田

⑤特許出願の啓蒙と積極的な出願要請

発明の保護及び社会へ成果の還元を図るためにも特許は知的財産として非常に重要なものであることの啓蒙と積極的な特許出願要請を全チームに行った（2012年7月に研究代表者宛て研究総括通達を発行）。特許権の取得により、研究者や企業が安心して今後の応用研究に取り組めるとともに日本の産業競争力強化につながることを重視した運営方針とした。

⑥地方自治体等との交流の場の設定

地方自治体等との協力関係が重要となる研究プロジェクトについては、研究代表者・研究分担者と水道局担当者等とのネットワーク構築のため、積極的に交流の機会を設定した。

表5 地方自治体等との交流実績

開催日	研究チーム	訪問先
2010年11月22日	恩田チーム	横浜市水道局水源林管理事務所
2010年12月9日	恩田チーム	東京都庁（東京都水道局長）
2011年2月3日	恩田チーム	東京都水道局水源林管理事務所
2012年4月18日	三宅チーム	東京都水道局
2012年10月2日	三宅チーム	岡山市水道局
2012年10月3日	三宅チーム	広島市水道局
2012年10月5日	都留チーム	福岡地区海水淡水化センター
2016年2月17日	三宅チーム	東京都水道局 研修・開発センター

⑦個別の研究課題の指導について

本研究領域では、共同研究グループが2つという研究チームから、大きいところでは9つという研究チームまで規模が幅広い。また、研究分野が幅広く、研究成果の評価はその指標が多様なものとなる。研究論文数や特許数など単純な指標で一律には評価できない。

よって、これらの研究チームの特性を十分理解したうえで、それぞれの成果が最大になるように鋭意対応を進めた。

#### (4) 研究費配分上の工夫

(2)でも述べたとおり、チーム間連携を促進するために総括裁量経費を活用している。また、田中チームについては、糸満市への実証設備の移転費および移転後の装置運転費のための予算追加を行った。古米チームについては、水利用シナリオ作成ツールの改良・検証のため、研究期間を一年延長して予算追加を行った。三宅チームについては、水質項目を追加して新たな水質計を開発・試作するための予算追加を行った。

表6 増額の一部例

対象チーム	内容	配分額 (千円)
複数のチーム	チーム合同シンポジウム (12 回分)	5,767
複数のチーム	膜関連チーム連携 (2010 年度～2014 年度)	17,800
田中チーム	糸満市への実証試験設備移転費および運転費等	37,000
古米チーム	水利用シナリオツール開発・改良経費	13,000
三宅チーム	水質計の追加開発・試作	22,000
都留チーム	多様な水源に対応するためのロバスト膜実証試験設備	21,000

この他にも、研究項目の追加や、研究進捗に伴う必要性に応じて、総括裁量経費から研究費の増額を行っている。

#### (5) 研究領域中間評価結果への対応

研究領域中間評価において受けた指摘については、次のように対応している。

①指摘事項:「個別の研究課題がそれぞれに成果を出しているという印象も強く、研究領域全体としての統一感が弱いという印象を受ける。研究チームの空間的、機能的位置付けが俯瞰的に示されており、各チームがそれぞれの位置付けを意識しながら研究を進めることで総合的な成果に結び付けていくことが重要である。」

対応:本研究領域の研究課題の分野は多岐にわたるため、一見すると統一感が弱いとの印象を持たれてしまうおそれがあるが、本研究領域は、様々な科学分野を動員しなければ社会的課題を解決できない性質のものである。したがって、一つの目的に絞って資金と人を集中するよりは幅広い個別研究の相互の知見を認識しながら、社会的課題の解決に挑戦する形となる。研究総括のマネジメントにおいて、個別研究の相互関係を強め、研究領域内における位置づけを俯瞰的に示すことで、領域全体としての総合的な成果を出すことができた。

②指摘事項：「水問題は、地球規模から、地域、都市農村圏、地区、さらにはそれぞれの家庭の飲料水に至るまで様ざまのスケールが存在し、提案するシステム、技術も異なる。現在、個別に行われている研究を「地球・圏域・地域ヴィジョンマップ」のような観点から、それぞれの研究の位置付けの認識を共有することが望まれる。」

対応：指摘事項の通り、水利用のこの研究領域においては、様々なスケールの研究課題が存在する。各研究チームは研究推進上、十分このスケールの観点を認識しているが、この領域全体の中でよりその認識を深め共有するべく、サイトビジット、シンポジウムの機会などに領域全体の研究目的を再確認するなどの工夫をした。その認識を、各研究チームの研究対象による空間的なスケールの拡がりとして図化すれば、図6のようになる。特にこのスケールの相違は、研究対象の物理的相違に加えて、水利用では、それぞれの研究課題が関わるステークホルダーの違いとして現れる。10,000 kmの世界スケールでは IPCC あるいは国際機関など、100-1,000 kmでは我が国の国・県行政機関が、10-100 kmでは 市町村、地域住民、流域管理者、地元農業団体、林業団体、漁業団体、より小さいスケールでは、個人の家庭への給水などの課題となる。このような認識は十分共有された。

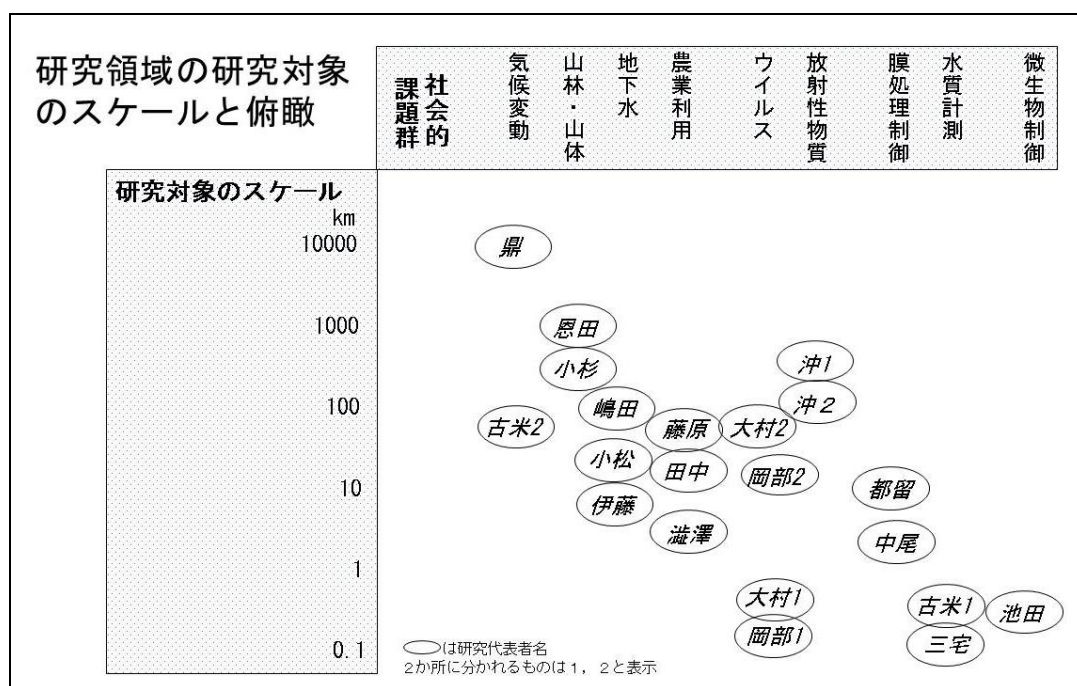


図6 研究領域の研究対象のスケールと俯瞰

③指摘事項：「科学技術的な課題だけでなく、リスク・ベネフィットの課題、それに関わる利害関係者との調整の課題など、本領域に特徴的な課題にどう取り組んでいくかをマネジメントのなかに取り込んでいくことについて、検討を望みたい。」

対応：古米チームや大村チームをはじめ、地方自治体との協働が重要となる研究課題が多い中で、サイトビジット等の機会において、研究総括・副総括あるいは領域アドバイザー

一から適切なアドバイスを行った。具体的にはたとえば、濁水リスクや水質汚染リスクに関係する古米チームでは、地域住民のさまざまな選好を水利用シナリオに生成するツールの開発に成功している。また、大村チームは、ウイルス感染の大きなリスクであるノロウイルス感染の流行を市町村レベルで警告する手法を開発し、自治体と漁業関係者にその意義を啓発した。沖チームは、放射性物質を含む飲食物由来の摂取リスクの実態をデータに基づき評価できることを社会に示した。

④指摘事項：「17 研究チームを分野横断的な視点で成果をまとめていくような幾つかの分野横断領域として運営するのか、研究チームの成果をポートフォリオのような形で整理しつつ、目的と時間に合わせた形で必要な成果を適用するのか、どちらのやり方をとるのがイノベーションに効果的に結びつくのかという点については今後の検討に期待したい。」

対応：分野横断領域としての運営、および研究チームの成果をポートフォリオのような形で整理する方法のいずれもイノベーションに結びつけるためには重要であると考えられる。分野横断的対応とポートフォリオ的対応の両方の観点からの指導を、サイトビジット、シンポジウム、個別相談などにより行い、領域全体の研究展開を図った。

#### (6) その他（人材育成等）

CREST 研究期間を通じて、雇用した研究員が大学の定年制の職を得た事例は多く、表 7 に示すとおりである。その他にも、助教から准教授に昇進するなど、多数の人材育成の実績が研究代表者より報告されている。

表 7 雇用研究員等の進路一覧

	岡 部	恩 田	鼎	田 中	中 尾	藤 原	古 米	池 田	伊 藤	小 松	澁 澤	嶋 田	三 宅	大 村	沖	小 杉	都 留	合 計
助教に着任	2	2	1	1	1	2	-	-	2	3	1	1	-	3	-	-	2	21
講師に着任	-	1	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	4
准教授に着任	-	2	-	-	-	-	1	-	-	-	1		2	-	2	-	-	8
研究機関等に 着任	1	1	4	2	-	-	3	-	1	5	-	1	1	-	-	1	1	21
企業等に就職	1	-	-	-	-	1	-	-	-	4	-	-	1	-	3	-	-	10
JSPS 特別研究 員に着任	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	3
特定助教/テニ ュアトラック 助教に着任	-	-	1	1	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	5

## 7. 研究を実施した結果と所見

### (1) 研究総括のねらいに対する研究成果の達成度

2017年1月において、全17チームの事後評価を終え、全体として概ね計画通りに達成したと評価した。

採択した17チームと研究総括のねらいとの関係をまとめて示すと図5(再掲)のようになる。図中の横方向の欄に示した解決すべき社会の課題あるいは社会の要求を取りまとめて書き下すと次の通りとなる。

- ① 気候変動に水利用を適応させたい。
- ② 山林を水利用の観点から合理的に管理したい。山間地域に安全な水源を確保したい。
- ③ 地下水と地下をよりよく利用したい。
- ④ 農業用水利用と環境を調和させたい。下水処理水を農業用水に活用したい。
- ⑤ 水中のウイルスの挙動を把握し、感染を制御したい。
- ⑥ 放射性物質から飲料水を守りたい。
- ⑦ 膜による水処理における膜のファウリングを抑制し制御したい。
- ⑧ 水質情報を的確に計測し把握したい。
- ⑨ 生物化学的水処理における微生物を選択し制御したい。

これらの社会的に解決すべき課題に向けて、それぞれの研究チームにおいて、図5(再掲)の縦の欄に示したような、科学的知見の深化、新技術の開発、社会への適用の手法の開発が実施され、研究チーム間の連携を図りながら専門分野を超えて展開された。

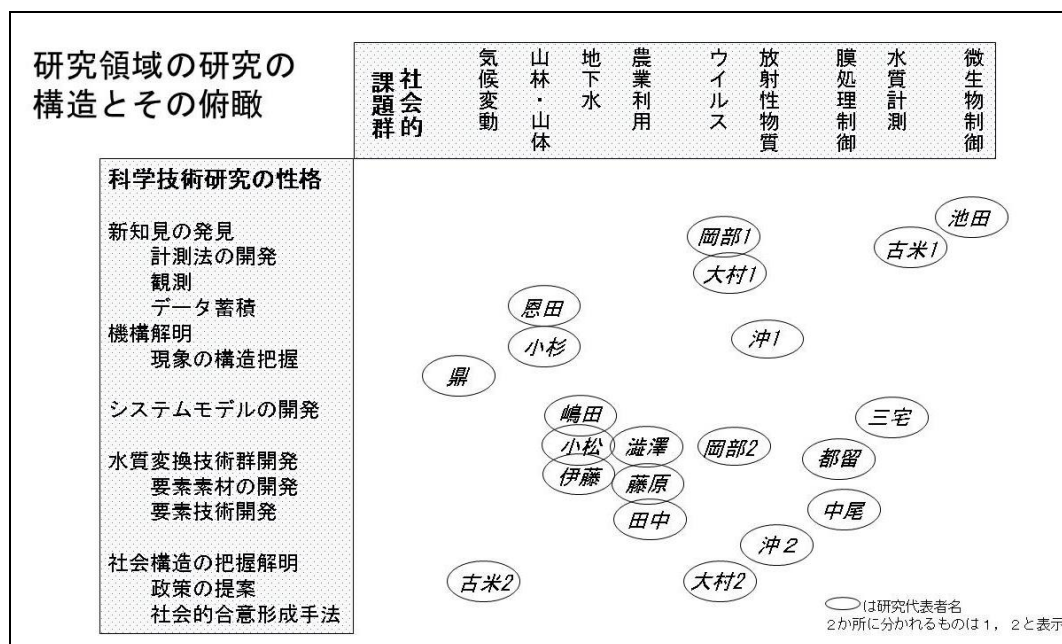


図5 (再掲) : 研究領域の研究の構造とその俯瞰

学術面への貢献として論文などの発表状況を示すと、研究領域全体として、2016年12月末現在で、論文発表件数は919編（国際誌654編、国内誌265編）、特許出願件数は41件（内、外国出願は3件）である。掲載された国際誌もこの分野ではImpact Factorが高いものが多い。多様な分野にわたる研究チーム群であり、それぞれ学術的研究成果の発信方法が異なるが、実社会の課題解決への貢献の面で優れた研究者も多く、全体として学術面から社会貢献まで優れた成果を挙げている。

## (2) 研究領域全体として見た場合の特筆すべき研究成果

上記(1)で述べたとおり、社会的に解決すべき課題に向けて、それぞれの研究チームにおいて、科学的知見の深化、新技術の開発、社会への適用の手法の開発が、研究チーム間の連携を図りながら専門分野を超えて進められた。それぞれの特筆すべき研究成果の意義をわかりやすくするために、チームごとに以下に示す（採択年度の順で各年度の中は研究代表者の五十音順である）。

### ①岡部チーム

岡部チームは、膜分離技術とバイオテクノロジーを融合し、多様な水資源を有効活用する自律・分散型の水循環システムの構築を目指した。

日本発の最先端のノロウイルスに関する新知見として、ノロウイルスを特異的に補足する腸内細菌の存在を世界で初めて証明した。また、現行の糞便汚染指標菌による水系モニタリング法の代替手法として、環境水サンプル中から複数種の病原微生物を直接検出・定量する新たな手法を開発した。

MBRの省エネルギー化に関しては、膜ファウリング原因多糖の構造解析や仕切板挿入型MBRの開発により、大幅なエネルギー消費量削減（約50%）を可能にした。

膜ろ過による浄水技術では、水道事業者と協力し、生物高速ろ過、凝集、膜分離という技術要素を組み合わせ、従来の高度浄水処理と同等の処理水質が得られることを実証した。

主な研究成果：

- ・再生水の安全性評価のための生物応答を用いた多指標型バイオアッセイの開発
- ・ノロウイルスの検出に活用可能な腸内細菌由来血液型決定抗原様物質を発見
- ・複数の病原微生物を同時一斉に検出・定量する手法を開発
- ・複雑な前処理なしで水中の重金属を検出・定量できる蛍光色素の開発

研究の具体的な成果の一つについて、図7に示す。

## ノロウイルス吸着性腸内細菌の発見

(北海道大学・岡部チーム)

- ・ノロウイルスは世界中で感染症被害をもたらしている病原体である。
- ・ノロウイルスが特異的に認識する血液型決定抗原様物質を分泌するノロウイルス吸着性腸内細菌を世界で初めて発見した(左下写真)。
- ・発見された腸内細菌は、A型様物質を菌体外に分泌し、ノロウイルス粒子を捕捉可能であることが確認された(左下写真)。
- ・この腸内細菌を活用することで、膜分離活性汚泥法などの下水処理において、効率的に下水中からノロウイルスを除去することが可能であると考えられる(右下図)。

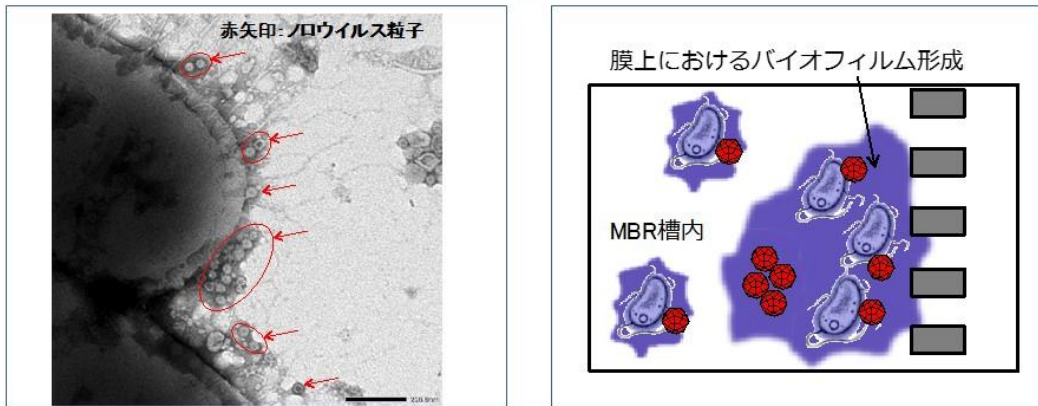


図7 ノロウイルス吸着性腸内細菌の発見

### ②恩田チーム

恩田チームは、荒廃した人工林を管理し、渇水流量の増加による水供給量の平準化と最大化、及び水質を改善する水資源管理技術の開発を目指した。

これまでにない大規模で系統的な研究として、全国5箇所の観測流域において人工林の強度間伐(50%)を実施、間伐前後の基礎的な水文データを収集し、強度間伐が水文素過程と河川流量に及ぼす効果を検証した。系統的な現地観測・解析結果は、国内外の高い評価を得ることができた。また、制度・費用面からも検討と解析を加え、実現可能性を示した。

精密な調査・観測を行わなくても間伐の効果を検証でき、森林管理に利用価値の高い、間伐前後の各水文素過程をLiDARデータから推定可能なモデルを開発した。

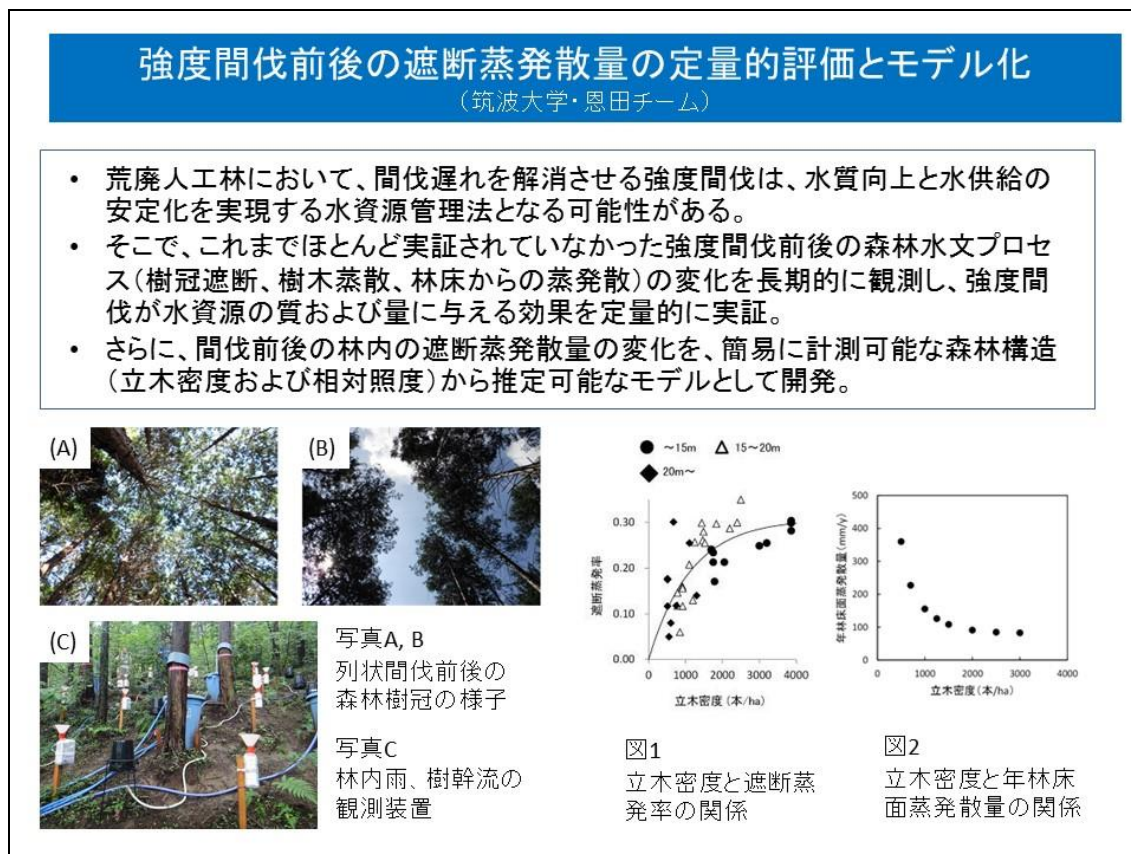
追加研究として、福島第一原子力発電所事故により大気中に放出された放射性セシウムの森林環境への蓄積状況と移行状況に関する観測と解析を実施し、従来取り得なかった貴重なデータと新たな知見を得た。

主な研究成果：

- ・強度間伐前後の遮断蒸発散量を定量的に評価
- ・森林構造から遮断蒸発散量を推定するモデルを開発
- ・強度間伐による河川流出の量的・質的評価

- ・ 間伐後の河川流出の変化を推定するモデルの開発
- ・ 水資源対策としての森林管理法の提案

研究の具体的な成果の一つについて、図8に示す。





- ・ 世界灌漑農業アトラス (WAIASS) による水と農業の見える化
- ・ 水域生態系の種多様性を維持するための物理環境の明確化
- ・ 山岳氷河・雪氷および地下水涵養 (ストック型水資源) の全球モデル化
- ・ 持続可能な水利用へ向けた利水政策の適用可能性

研究の具体的な成果の一つについて、図9に示す。

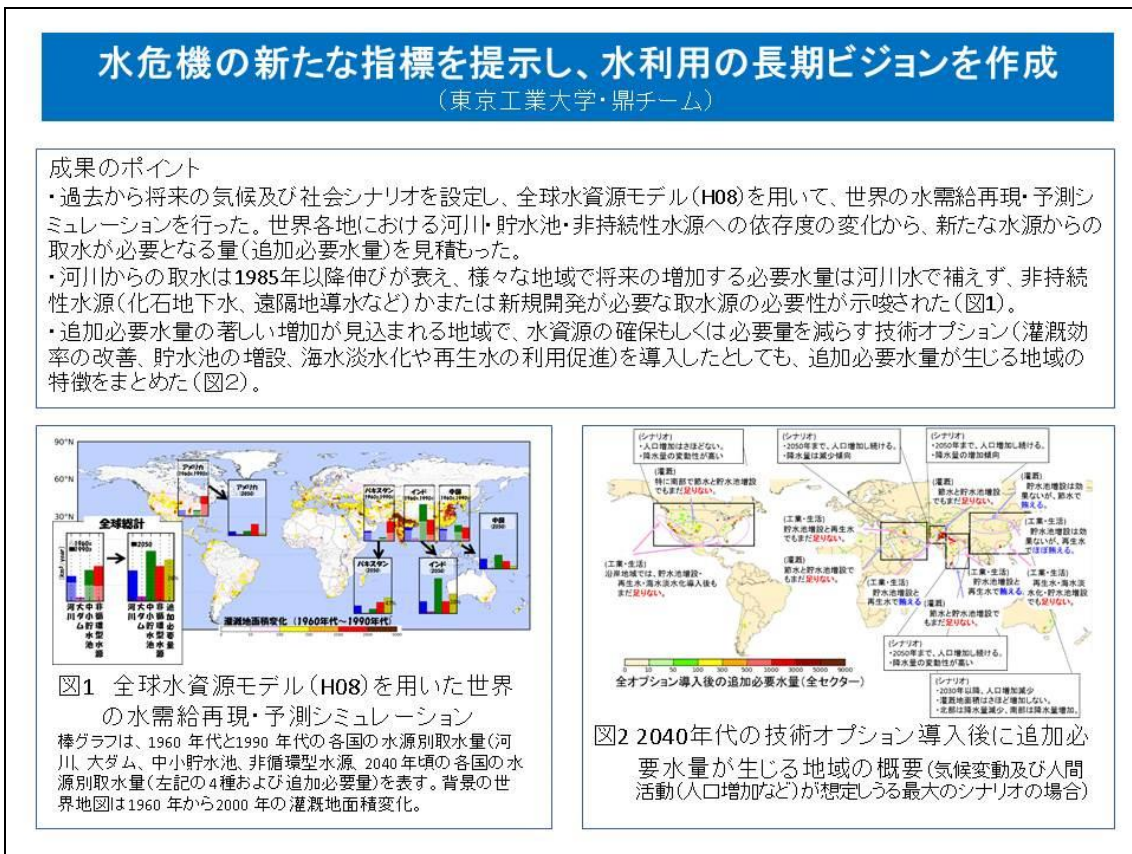


図9 水危機の新たな指標を提示し、水利用の長期ビジョンを作成

#### ④田中チーム

田中チームは、従来の一過型水利用システムから、新しい水再生プロセスの開発、エネルギー・環境負荷の評価と、再生水の水質リスク評価を通じて、21世紀型都市水循環利用システム構築の可能性を明らかにすることを目指した。

膜技術、UV技術、凝集技術、オゾン処理などを組み合わせて省エネルギーで安全性の高い水再生技術を提示、国内3箇所及び中国で実証試験を実施し、実用化の見通しを得た。また、再生水利用時における安全性や省エネルギー性などから各処理方式の評価を行い、その評価法も確立した。

本研究の成果は、再生水を安全に利用するための処理方法等に関する国際規格(ISO/TC282)SC3「リスクと性能評価」に反映される見込みである。また、CREST研究成果

に基づき、沖縄県糸満市南部において、農業用水（畑地灌漑）としての再生水利用の実用化に向けて実証試験を実施中である（国土交通省下水道新技術実証事業 B-DASH）。

主な研究成果：

- ・ UF 膜（限外ろ過膜）+UV（紫外線）処理により、目標とするウイルス除去率および省エネが達成可能であることを、世界で初めて見いだす
- ・ 無機膜+オゾン処理において、省エネおよびウイルス・化学物質の処理性能の観点から、運転条件の最適化に成功
- ・ 凝集+膜処理により、最初沈殿池越流水に対しても、連続運転および高いウイルス除去率が達成可能であることを、世界で初めて見いだす
- ・ 衛生学的リスク評価とバイオアッセイにより、開発した水処理システムに対して、利用可能な用途を提案
- ・ モデル地域のケーススタディによるエネルギー評価により、現在よりもエネルギー的に有利な都市水循環システムを提案

研究の具体的な成果の一つについて、図 10 に示す。

**CREST 成果の再生水のリスク評価法および機能評価法などを標準化するため、国際規格 ISOTC282 の原案として提案 (京都大学・田中チーム)**

**成果のポイント**

- ・ 東アジアでの再生水利用の普及拡大のため、北東アジア規格標準フォーラムにおいて「都市の再生水の安全性評価方法」を提案
- ・ 世界的な再生水利用の普及拡大のため、リスクベースの「再生水の安全性評価方法」とエネルギー使用の環境評価などの「再生水処理機能評価方法」を ISOTC282「水の再利用」での SC3 で原案作成に反映



ISO/TC 282/SCs Water Reuse Meeting @Kyoto  
June 13-17, 2016

日本は、CREST の成果などをもとに再生水利用システムにおけるリスクと性能の評価に関する SC の幹事国として活動

2016年6月19日  
日本経済産業新聞

水処理国際規格  
日本が幹事国に  
ISOに原案を  
下水処理など水の再利用  
用に関する国際規格づく

日本が主導する「国際規格標準化機構（ISO）」の中核に水の再利用がテーマの専門委員会を年内にも立ち上げ、日本が提案する再生水処理機能評価方法の国際規格化を目指す。再生水利用の普及拡大を目指す。再生水利用の普及拡大を目指す。再生水利用の普及拡大を目指す。

図 10 CREST 成果の再生水のリスク評価法および機能評価法などを標準化するため、国際規格 ISOTC282 の原案として提案

#### ⑤中尾チーム

中尾チームは、水資源の逼迫した発展途上地域における小規模・分散型の地域水資源利用システム IISS (Integrated Intelligent Satellite System) の構築を目指した。

NF/RO 膜ファウリング防止技術、担体投入型 MBR の開発、ファウリングしない素材ポリマーの開発、膜差圧の急上昇予測モデルを核とした膜運転支援モデルなどの基本技術、システムおよび運用技術を開発した。また、分離膜素材の耐ファウリング性を評価するための新たな分子シミュレーション手法を提案し、膜素材とタンパク質の相互作用を評価できることを明らかにした。

膜-電極複合体や膜差圧予測モデルの有効性を確認する基礎的データの取得やオゾンマイクロバブルによる汚泥削減 (75%) 技術を開発した。

MBR の省エネルギー化に関しては、膜ファウリング原因多糖の構造解析や仕切板挿入型 MBR の開発により、大幅なエネルギー消費量削減 (約 50%) を可能にした。

主な研究成果：

- ・ ファウリング抑制膜の設計開発手法を確立
- ・ 担体の投入によるファウリング抑制により MBR の省エネルギー化に成功
- ・ 「オゾンマイクロバブル」により下水再生処理を高度化
- ・ 長期的かつ安定的な MBR 運転のためのプロセス管理手法の確立
- ・ IISS システムの実証および構築に成功

研究の具体的な成果の一つについて、図 11 に示す。

## ファウリング抑制膜の設計手法の開発

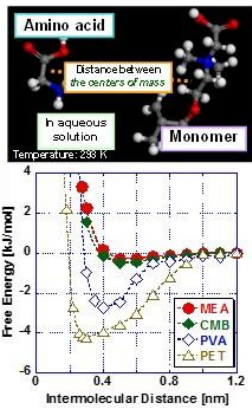
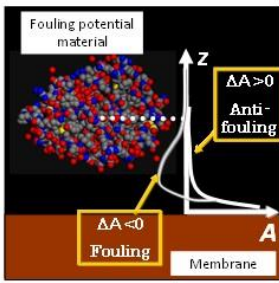
(工学院大学・中尾チーム)

### 成果のポイント

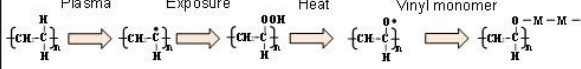
・膜面水和構造に着目し、有機物(とくにタンパク)のファウリングを抑制可能な膜の開発に成功.

- 計算化学手法により膜面と有機物の相互作用を熱力学的に計算.
- ファウリング抑制に適した膜表面修飾ポリマーが予測可能.
- 開発した膜は、ろ過条件によっては全くファウリングしない.

MD simulations for calculating free energy profiles ( $\Delta A$ )



<プラズマグラフト重合法のメカニズム>



<BSAに対するファウリング抑制能の評価>

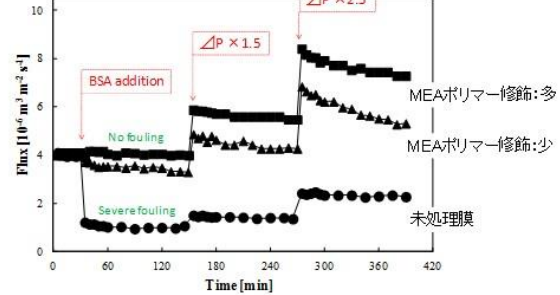


図 11 ファウリング抑制膜の設計手法の開発

### ⑥藤原チーム

藤原チームは、農業地域の面的水管理・カスケード型資源循環システムを構築し、水質汚染と温室効果ガス排出抑制などの環境負荷低減と廃棄物からの価値創造を同時に実現することを目指した。

クリーニングクロープを活用したハウス園芸土壌の窒素汚染浄化機構の解明とシステム開発により、地下水への硝酸態窒素流出負荷 80%削減を達成した。また、ゼオライト複合材料による吸着と光触媒反応による尿中からの医薬品除去機構の解明と回転円板型促進酸化装置の開発による医薬品除去技術など、科学技術上新しい成果を得た。

ブリ養殖への柚子残渣活用、クリーニングクロープからの乳酸カルシウムの製造、畜産糞尿焼却灰からの肥料回収など、価値創造の新規要素技術の開発は、コストや便益など、さらに詳細な検討を必要とするが、新産業創出の可能性を示した。ブリ養殖では、成果を反映した「土佐ゆずぶり」の飼育に成功し商品として販売に至った。

主な研究成果：

- ・ 地下水汚染を防ぎ価値を産み出す植物浄化技術を開発
- ・ 尿からの医薬品有効成分の除去と遅効性肥料合成・リン回収を実現
- ・ 牛糞焼却灰からリン肥料を回収する技術を開発

- ・ 廃棄ユズ果皮を養魚飼料に添加した「土佐ゆずぶり」を開発
- ・ 面的水管理・カスケード型資源循環システムの評価モデルを開発

研究の具体的な成果の一つについて、図 12 に示す。

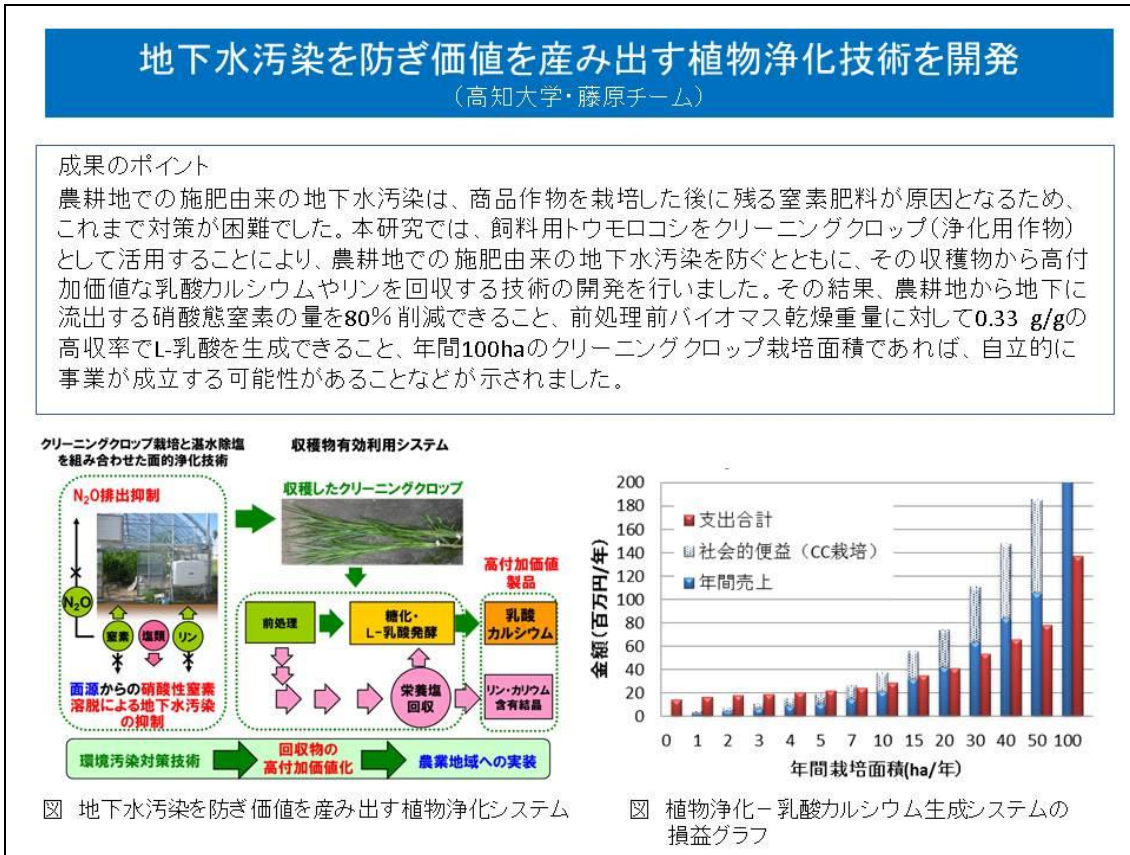


図 12 地下水汚染を防ぎ価値を産み出す植物浄化技術を開発

### ⑦古米チーム

古米チームは、都市圏流域において気候変動に伴う流域水資源の質と量の予測手法を開発し、都市に潜在する複数の水資源を考慮した水利用システムのデザイン手法を開発することを目指した。

水質評価手法に関して、トウガラシ微斑ウイルス (PMMoV)はノロウイルス等の腸管系ウイルスに比べ水環境中で安定かつ高濃度で存在すること、下水中の PMMoV はヒト由来であることを明らかにし、流域の水質変化の把握・予測精度向上を可能にした。都市雨水・地下水管理に関しては、量・質両面から綿密な計測と解析を行い、利用・管理に必要な新たな知見を得た。

調和型水利用システム実現に向けた政策決定を客観的に進めるための方法論の提示と水利用シナリオ作成ツールのソフトウェア化を図り、国内外地域への適用可能性を高めた。また、研究開始当初より、国や地方の行政担当者、住民との個別協議・連携の場を設ける

とともに、多くの利害関係者参加による荒川ワークショップの2回開催や住民参加型の市民討議会を開催するなど社会実装に向けて積極的な活動を実施した。

主な研究成果：

- ・ 都市水資源の利活用のための新たな水質評価方法の開発
- ・ 気候変動に伴う流域水資源の変化の評価
- ・ 都市水資源としての雨水の利用可能性の検証
- ・ 地下水の汚染の「見える化」と適正利用の提案
- ・ 関係者の選好を反映した水利用システムデザイン

研究の具体的な成果の一つについて、図13に示す。

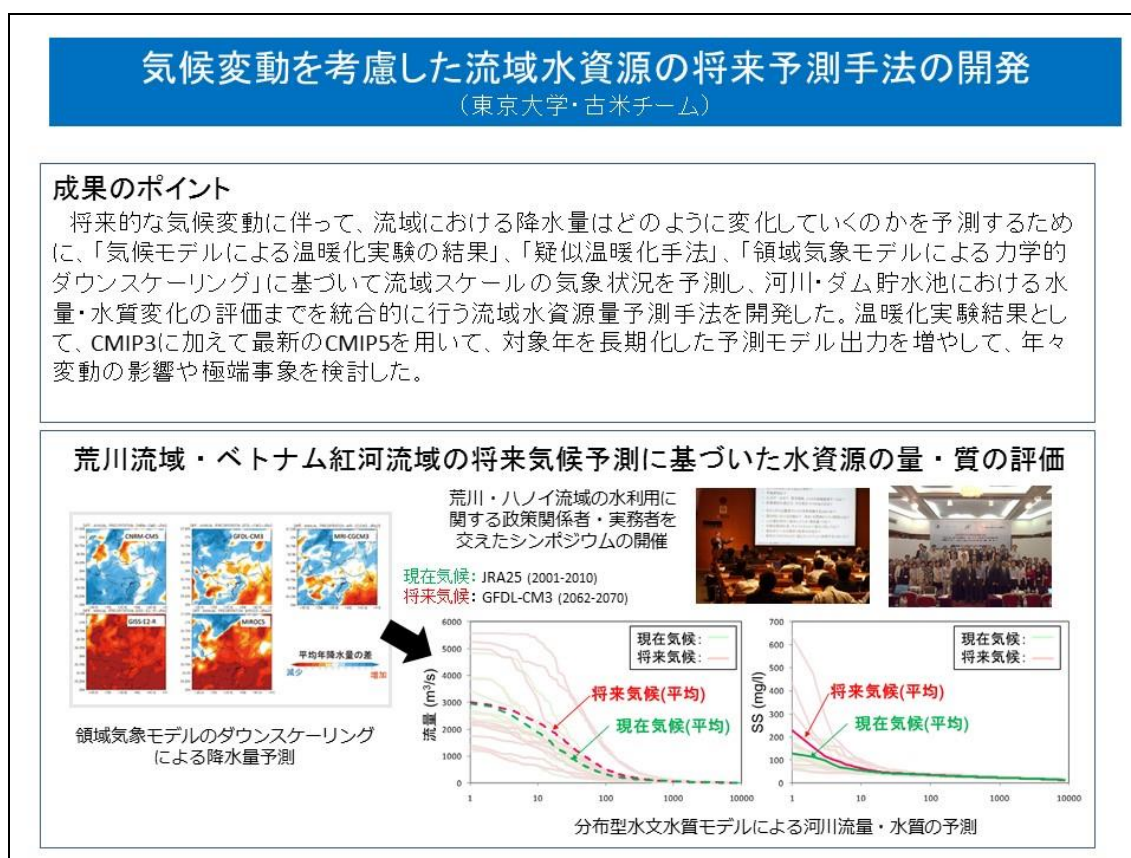


図13 気候変動を考慮した流域水資源の将来予測手法の開発

⑧池田チーム

池田チームは、微生物間のコミュニケーション (Quorum Sensing ; QS) を司るシグナル物質に着目し、活性汚泥の活性やバイオフィーム形成の制御といった水処理技術の革新を目指した。

水処理関連微生物間のコミュニケーションシグナル物質については世界的に研究が始まったところであるが、栃木県7ヶ所の下水処理場における実活性汚泥から AHL (アシル化

ホモセリンラクトン：化学物質）分解活性を有する Acinetobacter 属細菌を初めて単離、また、RO 膜のファウリング物質から AHL を世界で初めて検出するなどこれまでにない新たな科学的成果を得た。

また、シグナル物質トラップ素材による膜のバイオフィーム形成阻害やすでに形成されたバイオフィームの低減剤の開発など、新規なバイオフィーム制御手法につながる基本的な成果を得た。

主な研究成果：

- ・ 活性汚泥中から新たな AHL 分解細菌と AHL 分解酵素の取得に成功
- ・ バイオフィーム物質中に AHL の存在を確認
- ・ 新たな微生物コミュニケーション制御素材の開発に成功
- ・ 新たなバイオフィーム形成抑制素材の開発に成功
- ・ 微生物コミュニケーションとバイオフィーム形成の革新的解析技術を開発

研究の具体的な成果の一つについて、図 14 に示す。

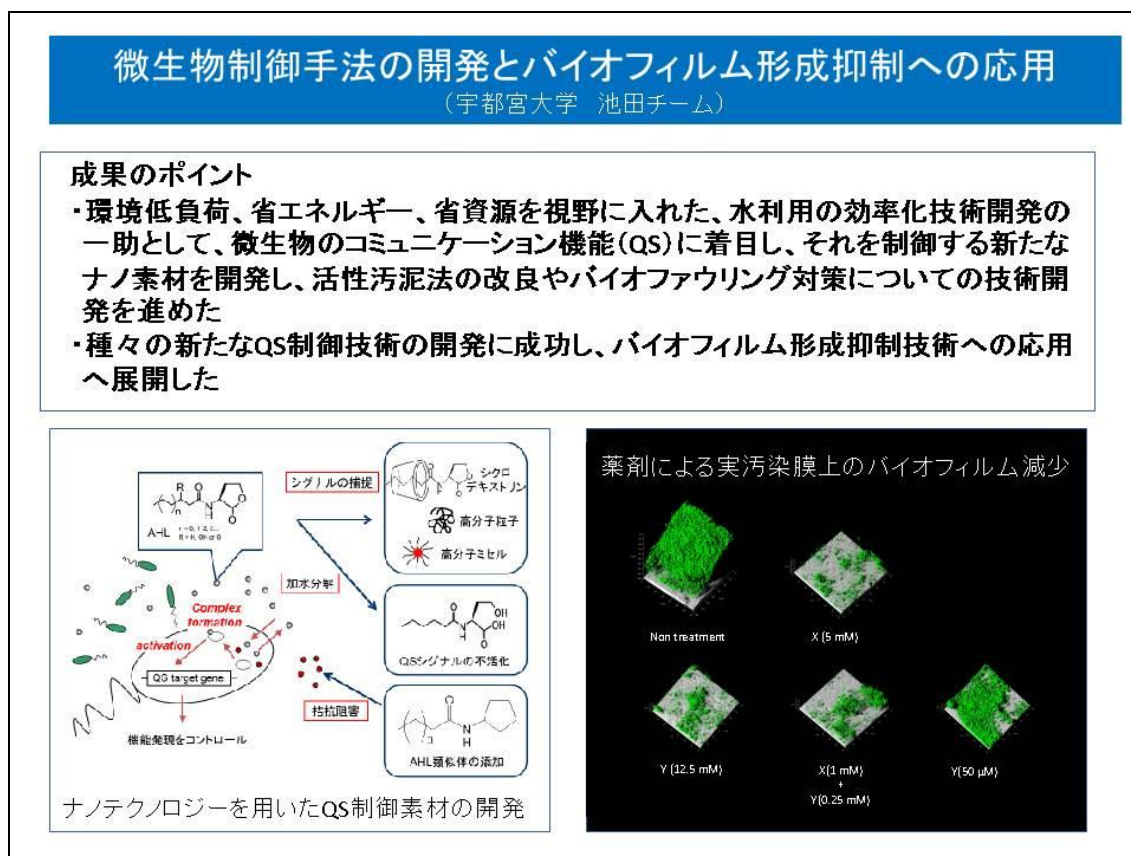


図 14 微生物制御手法の開発とバイオフィーム形成抑制への応用

#### ⑨伊藤チーム

伊藤チームは、下水処理水の間接的飲用再利用システムの構築を目標として、土壤浸透

処理 (SAT : Soil Aquifer Treatment) の技術的成立要件を提示することを目指した。

大型の土壌カラムで実下水処理水を対象とした土壌浸透処理では、化学物質、微生物、ウイルスを対象とした水質リスクの観点から体系的に長期にわたりデータを取得し、社会実装を見据えた知見を得た。また、土壌浸透処理を介して下水処理水を飲料水として再利用する際の化学的及び微生物学的健康リスクについて、新たな視点でその評価及び管理のための枠組みと手法を明らかにした。

膜ろ過による浄水技術では、水道事業者と協力し、生物高速ろ過、凝集、膜分離という技術要素を組み合わせ、従来の高度浄水処理と同等の性能が得られることを実証し、繰り返し使用された河川表流水を原水とする次世代大規模水道実現の基礎を築いた。

主な研究成果：

- ・ 土壌浸透処理の安定性評価と化学物質に対する除去性能評価
- ・ 病原微生物に対する土壌浸透処理の除去・不活化能評価
- ・ 土壌浸透プロセスを組み込んだ統合的都市内水循環システム数値モデルの構築
- ・ 淀川流域の水処理における有害物質の原因物質発生源の探索と同定
- ・ 生物高速ろ過+凝集+ MF 膜ろ過 (セラミック膜および PTFE 膜) システムの開発  
研究の具体的な成果の一つについて、図 15 に示す。

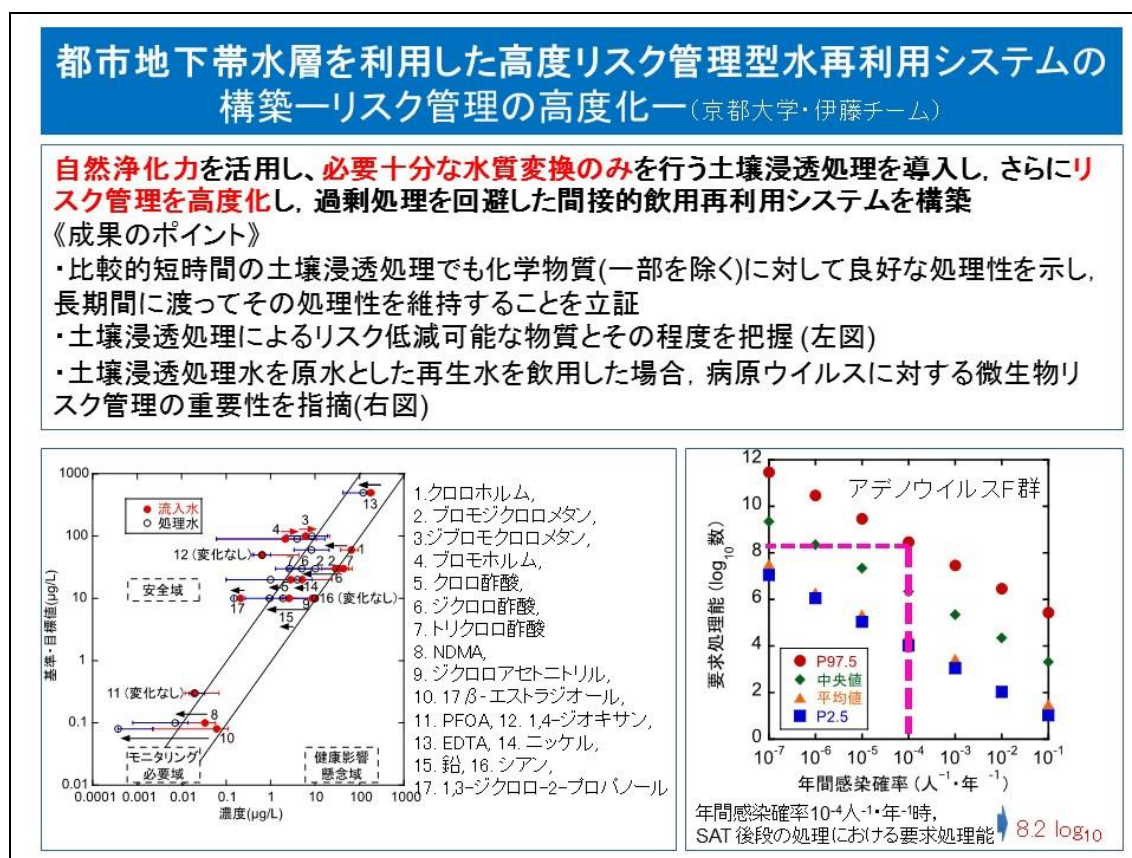


図 15 都市地下帯水層を利用した高度リスク管理型水再利用システムの構築—リスク管理の高度化—



⑩小松チーム

小松チームは、地中熱利用のヒートポンプ設置による地盤や地下水の温度変化や微生物叢、水質など環境への影響やリスクを明らかにし、アセスメントツール構築、地下水管理手法などを提示することを目指した。

関東地区3地点で地中に熱負荷を与えて長期モニタリング試験を実施し、温度変化や微生物叢、水質などのデータ収集・分析とこれらのデータを用いた三次元地質構造モデルの開発、物質・熱移動解析を行い、これまでなかった科学的な基礎データを取得するとともに新たな知見を得た。

当初計画していた地中熱ヒートポンプシステム利用の独自のガイドラインの作成までには至らなかったが、環境省「地中熱利用にあたってのガイドライン(平成27年3月改訂版)」に本研究成果の一部が採用された。

主な研究成果：

- ・地中熱利用を考えた3次元地質構造モデルとインベントリ作成
  - ・熱負荷試験と地下水水質・微生物叢モニタリング
  - ・温度変化による地下水水質変化の予測技術の構築
  - ・環境影響評価と地下水利用・管理手法決定のための提案
- 研究の具体的な成果の一つについて、図16に示す。

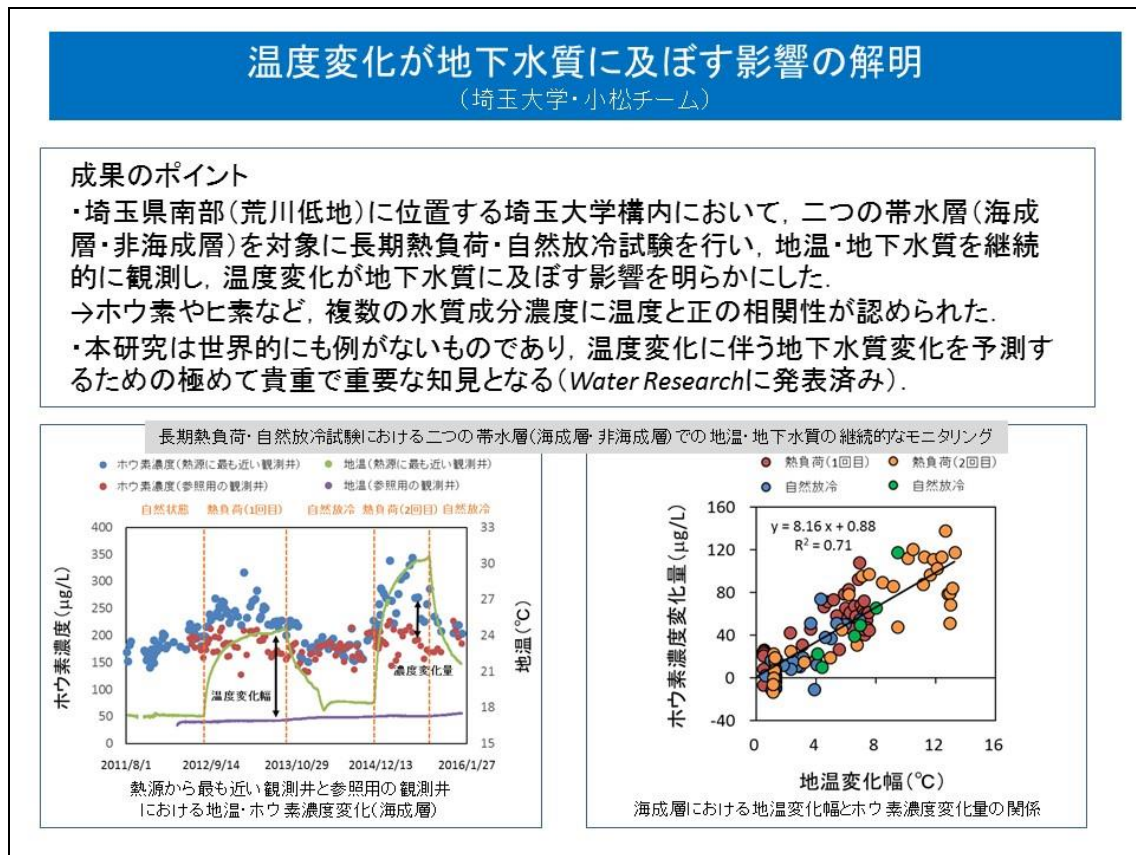


図16 温度変化が地下水質に及ぼす影響の解明

## ⑪ 澁澤チーム

澁澤チームは、気候変動により世界の多くの地域で、将来的に農業用水の不足が予測されることを背景として、日本の高い計測・制御技術を活用した超節水精密農業技術の開発を目指した。

不織布と防根透水布を用いた負圧差に基づく毛管灌水法の考案とトマト栽培での検証、葉の固有振動数計測による萎れ（水ストレス）計測技術、音速による作物根圏部含水率の推定技術、光合成管理法による生産性向上、冷凍法による塩分除去技術など、新規性があり農業分野へのインパクトの高い技術を開発した。

水位管理毛管灌水システムや水ストレス計測システムなどの成果は、企業との共同研究・技術移転により十分に実用化可能なレベルに達することができた。

主な研究成果：

- ・ 空中放射音波による茎葉振動計測と植物水ストレスの評価
  - ・ 音波振動の伝搬音速計測による地中水分の分布の可視化
  - ・ 省エネ環境制御モデルによる高湿度・高生産性栽培の成功
  - ・ バイオ資源を利用した水浄化技術と資源リサイクルの実現
  - ・ 作物吸水ニーズに対応した地中毛管灌水システムの構築
- 研究の具体的な成果の一つについて、図 17 に示す。

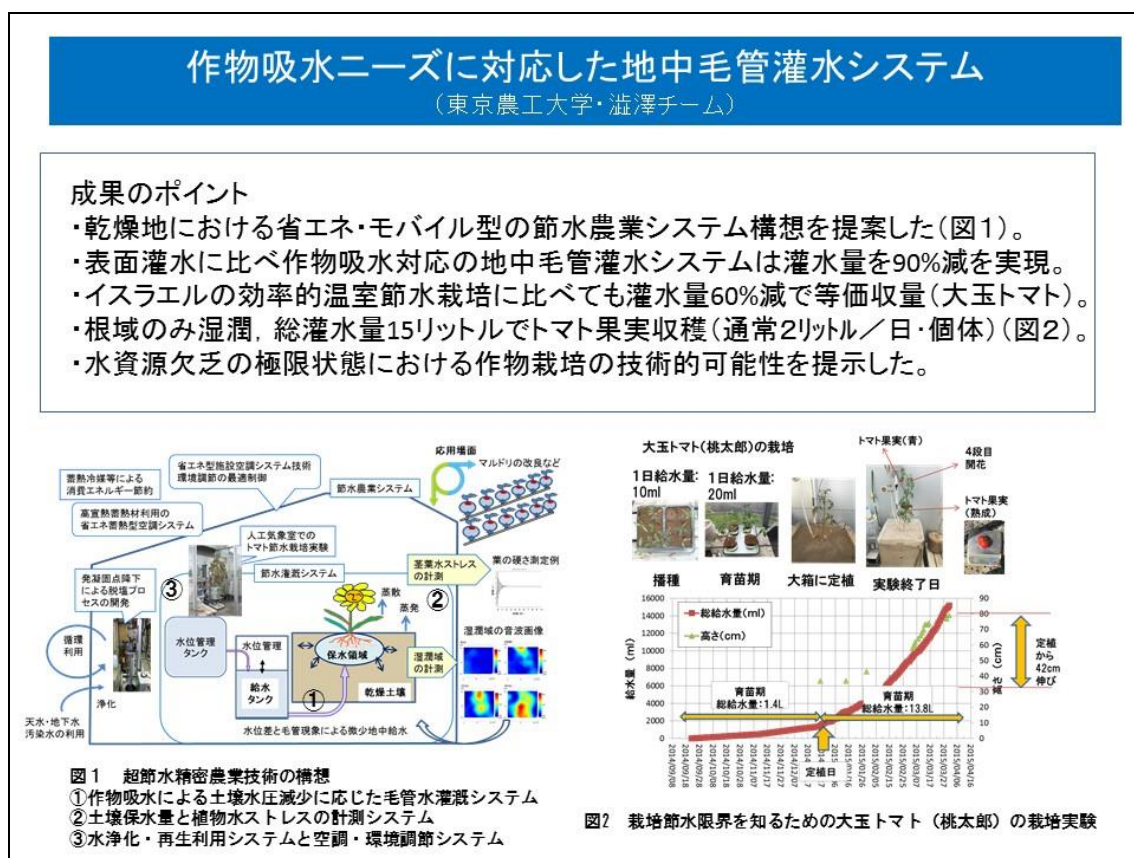


図 17 作物吸水ニーズに対応した地中毛管灌水システム

## ⑫嶋田チーム

嶋田チームは、熊本地域を対象として地下水涵養・流動機構の解明を行い、水量・水質の両面から地下水の持続的利用システム構築を目指した。

高分解能周波数可変型電気探査装置や地下水年代トレーサーとしての<sup>85</sup>Kr法などを開発し、これらを用いて3次元地下水流動モデルの構築を行うとともに、地表面からの窒素負荷に応答した帯水層内での硝酸イオン濃度分布の再現モデルを構築した。また、熊本地域の詳細な地下水流れを3次元モデル化・解明し、さらに歴史的な変遷をも明らかにした。開発したマルチ同位体法により硝酸汚染の起源解明に成功、さらに地下水流中での希釈・脱窒が生じていることを明らかにした。

本研究成果は、熊本市が受賞した2013年国連 Best Water Practices Award 受賞に大きく貢献した。

主な研究成果：

- ・ 地下水中の硝酸イオンの振る舞いを解明
- ・ 若い地下水の年齢測定法開発
- ・ 3次元地下水流動シミュレーションを用いた硝酸イオンの動きの再現
- ・ 硝酸イオン選択性イオン交換繊維の開発
- ・ 炭酸塩岩大洋島における地下水賦存特性とその持続的利用

研究の具体的な成果の一つについて、図 18 に示す。

## 地下水中の硝酸イオンの挙動を把握する技術の構築

(熊本大学・嶋田チーム)

### 成果のポイント

- 地下水流動解析, 各種同位体分析, 微生物菌叢解析を駆使することで, 地下水硝酸性窒素汚染の実態と自然浄化機構を解明した。
- 地域水循環機構の特徴を踏まえたうえで, 汚染の程度, その起源原因, 自然浄化の有無, その程度や種別, 場の浄化能力を推定できることが明らかになった。
- 本方法論の有効性は九州・沖縄地域における他地域においても実証され, 地下水問題実態把握にも応用可能であると期待できる。

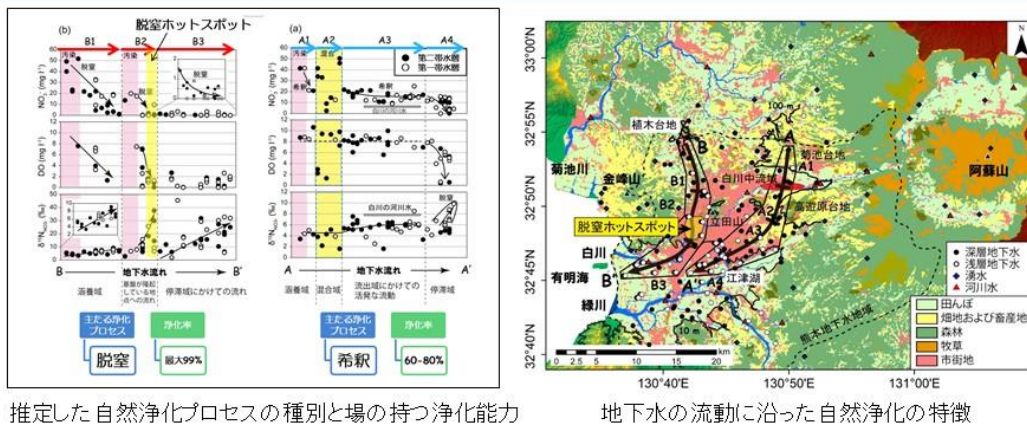


図 18 地下水中の硝酸イオンの挙動を把握する技術の構築

### ⑬三宅チーム

三宅チームは、水循環系に適用する水質モニタレベルからモニタリング網まで統合したマイクロ流体デバイス向けモデルベース型開発環境基盤の開発とこの基盤を用いた実際の水質モニタの試作を目指した。

多点小型水質モニタと監視網構築に向けて、これまでにない超小型・低コスト水質モニタの開発と、モニタリングシステムおよびそのネットワーク構築技術を開発した。また、マイクロ流体デバイス向けモデルベース型開発環境基盤を構築し水質モニタの開発期間の大幅短縮と低コスト化を実現した。

本研究で開発した開発環境基盤とさまざまな要素技術は、小型・高速化が進む医療、バイオなどの分野での検査・分析用マイクロデバイスへ展開が可能である。

#### 主な研究成果：

- 地域ニーズに即したオーダーメイドの水質計システムを開発・提供
- 様々な前処理に対応して柔軟に組み換え可能な前処理ユニットを開発
- 試薬を交換するだけで多項目の計測が可能な水質計ユニットを開発
- 滴下不要の滴定デバイスと培養不要の微生物カウンタを実現する水質計ユニットを開発
- インターネットと無線を経由した遠隔での水質モニタリングに成功

研究の具体的な成果の一つについて、図 19 に示す。



図 19 地域ニーズに即したオーダーメイドの水質計システムの開発

#### ⑭大村チーム

大村チームは、下水処理場流入水の病原性微生物をモニタリングすることにより、感染性胃腸炎の流行の兆候を早期に検知し地域社会に警報を発信することにより水系伝染病を予防するシステムの構築を目指した。

下水中のノロウイルスの網羅的な遺伝子解析手法、低濃度腸管系ウイルスを網羅的に一斉定量検出するメタゲノム解析手法などを開発するとともに従来法では検出できないノロウイルスの遺伝子型を同定する新たな手法を開発した。また、これらの手法を用いて、宮城県松島町において、下水処理場流入水の病原性微生物の長期モニタリングを実施し、医療機関での感染性胃腸炎患者数との関係から感染性胃腸炎流行の兆候を早期に検知できることを示した。

水環境工学分野と医療分野の協働により、安全・安心社会の構築に寄与するために下水処理場流入水のモニタリング情報を活用した水系伝染病予防システムを確立した。

主な研究成果：

- ・ 流入下水監視でノロウイルスの流行を早期検知
- ・ ノロウイルスの網羅的検出手法を確立

- ・ 流入下水中のヒトウイルスを効率的に検出するメタゲノム解析手法を開発
- ・ 流入下水中の複数ヒト腸管系ウイルスの同時モニタリング
- ・ 安全・安心な牡蠣養殖のために一牡蠣のノロウイルス汚染のモニタリング
- ・ 迅速な病原微生物スクリーニング技術開発
- ・ ワクチン導入後のロタウイルス感染動向調査

研究の具体的な成果の一つについて、図 20 に示す。

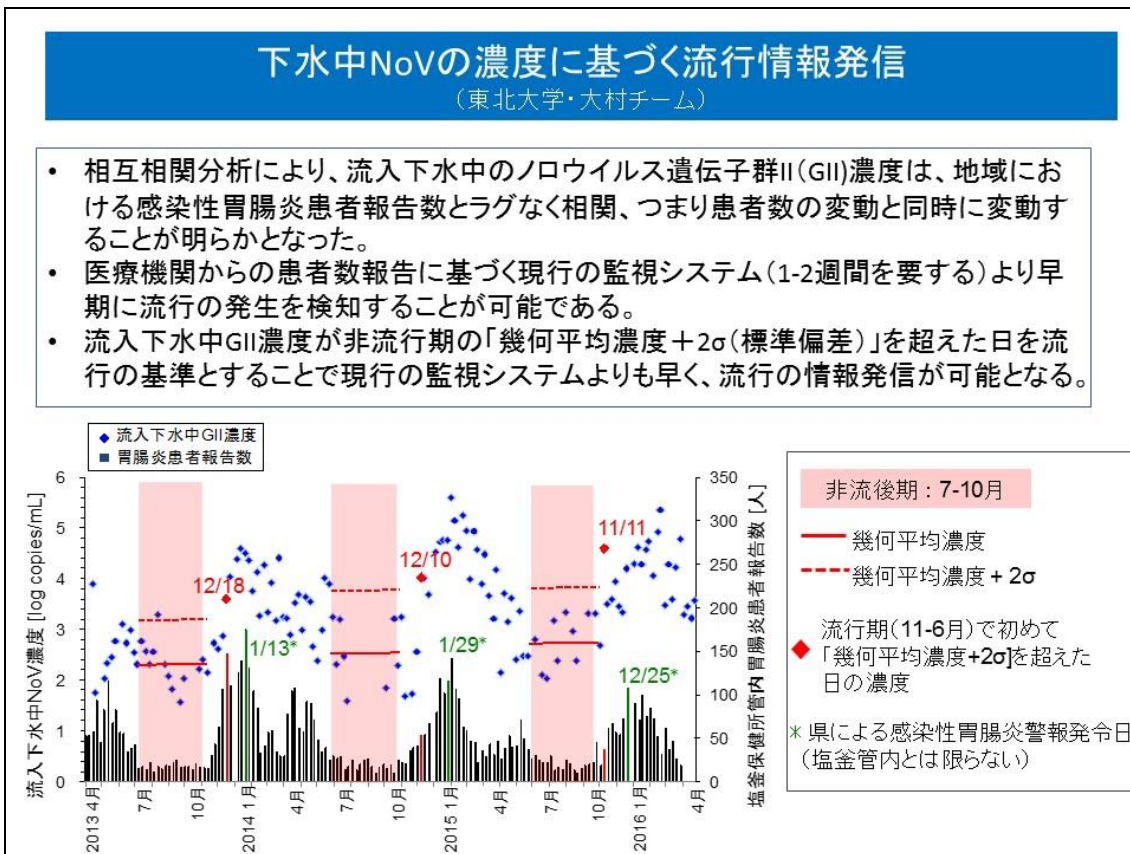


図 20 下水中ノロウイルス遺伝子群の濃度に基づく流行情報発信

#### ⑮沖チーム

沖チームは、福島原子力発電所の事故を受けて、水道行政・関係者のリスクマネジメントに利用可能な水循環に特化した放射性物質移流拡散シミュレータの開発を目指した。

手賀沼ほか2ヶ所を対象に大気・水循環と放射性物質動態を解明するとともに、領域大気モデルに非反復次元分割セミラグランジュ法を適用して大気中の物質輸送過程の精度を大幅に改善した。原発事故は水循環にとって極めて異常な事態であるが、科学的モニタリングデータを基に飲食物由来の被ばく量推定も含め影響を評価できることを示した。

また、水道行政・関係者のリスクマネジメントに活用するため、開発したシミュレータを用いて福島原子力発電所およびそれ以外の原子力発電所についても季節ごとの影響を予

測できることを明らかにした。

主な研究成果：

- ・ 原発事故からの放射性物質の汚染状況の把握
- ・ 河川水中の放射性物質の移流変動
- ・ 都市河川における放射性セシウムの動態および起源解析
- ・ 大気中での放射性物質移流・拡散モデルの開発と検証
- ・ 大気中での放射性物質移流・拡散シミュレーション
- ・ 飲食物由来の放射性セシウムの被ばく量および発がんリスク評価

研究の具体的な成果の一つについて、図 21 に示す。

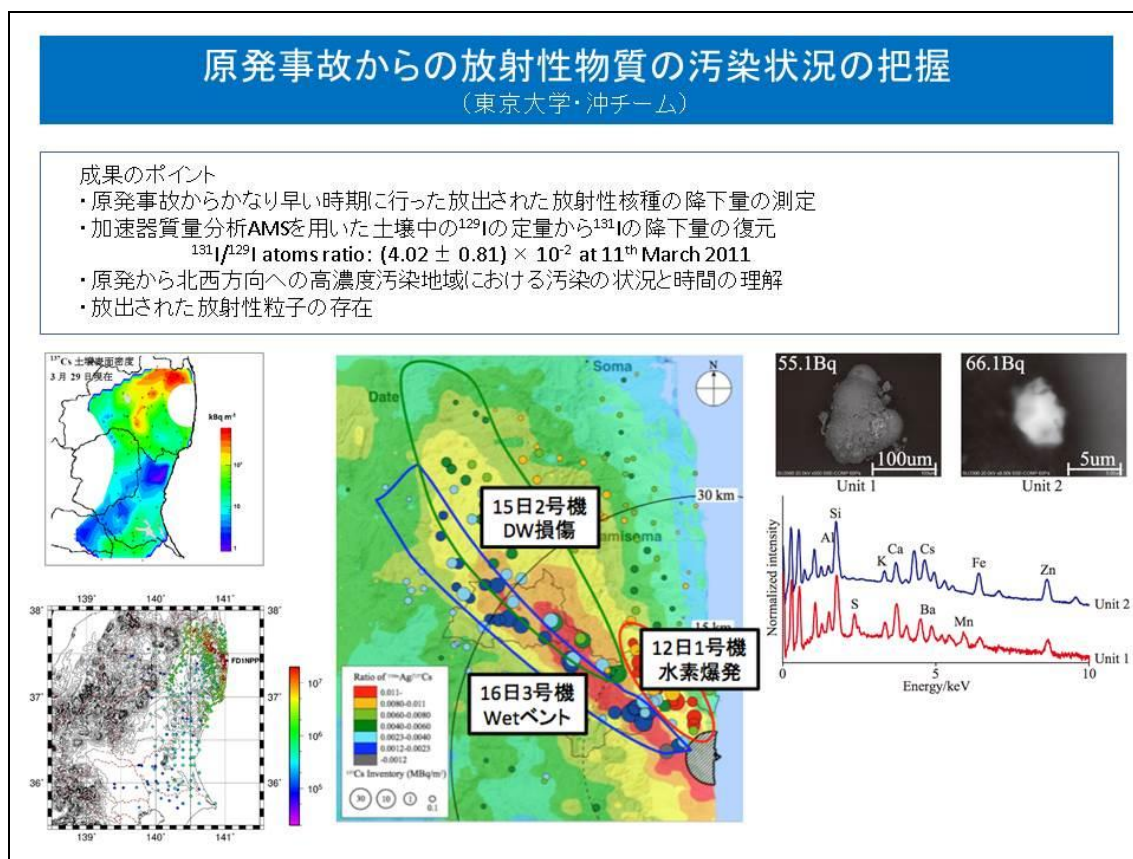


図 21 原発事故からの放射性物質の汚染状況の把握

#### ⑩小杉チーム

小杉チームは、これまでほとんど注目されてこなかった山体地下水の構造解明を行い、良質の地下水資源の持続的な活用を実現するための技術開発を目指した。

地質と地形の異なる 4 地域を対象にボーリング調査、高密度電気探査、空中電磁探査、改良型分布型雨水流出モデルなどを用いて、山体地下水の存在量と形態を明らかにするとともに斜面崩壊の危険度予測技術を開発した。

これまで地表面層は雨水を一時的に貯留する「緑のダム」と説明されてきたが、本研究により多量の雨水が基岩に浸透し山体地下水として貯留されていることを水文学の基礎研究として初めて解明した。また、降雨浸透と地下水流動に関する新たな分布型雨水流出モデルを開発し、大スケールの流域において山体地下水を考慮した雨水流出の数値シミュレーションを可能にした。一方で、山体地下水が斜面崩壊の重要な因子であることを初めて明らかにし、その予測手法と予測装置を開発し企業に特許実施許諾をした。

主な研究成果：

- ・ 山地河川流出水の量や質を用いた優良地下水帯分布域の推定
- ・ 大起伏堆積岩山地における山体地下水資源探査・開発手法の検討
- ・ 土砂災害に対する警戒・避難をサポートする情報提供システムの提案
- ・ 山体地下水の水質と汚染リスクの検討
- ・ 実例に基づく山体地下水開発技術の有効性の検討

研究の具体的な成果の一つについて、図 22 に示す。

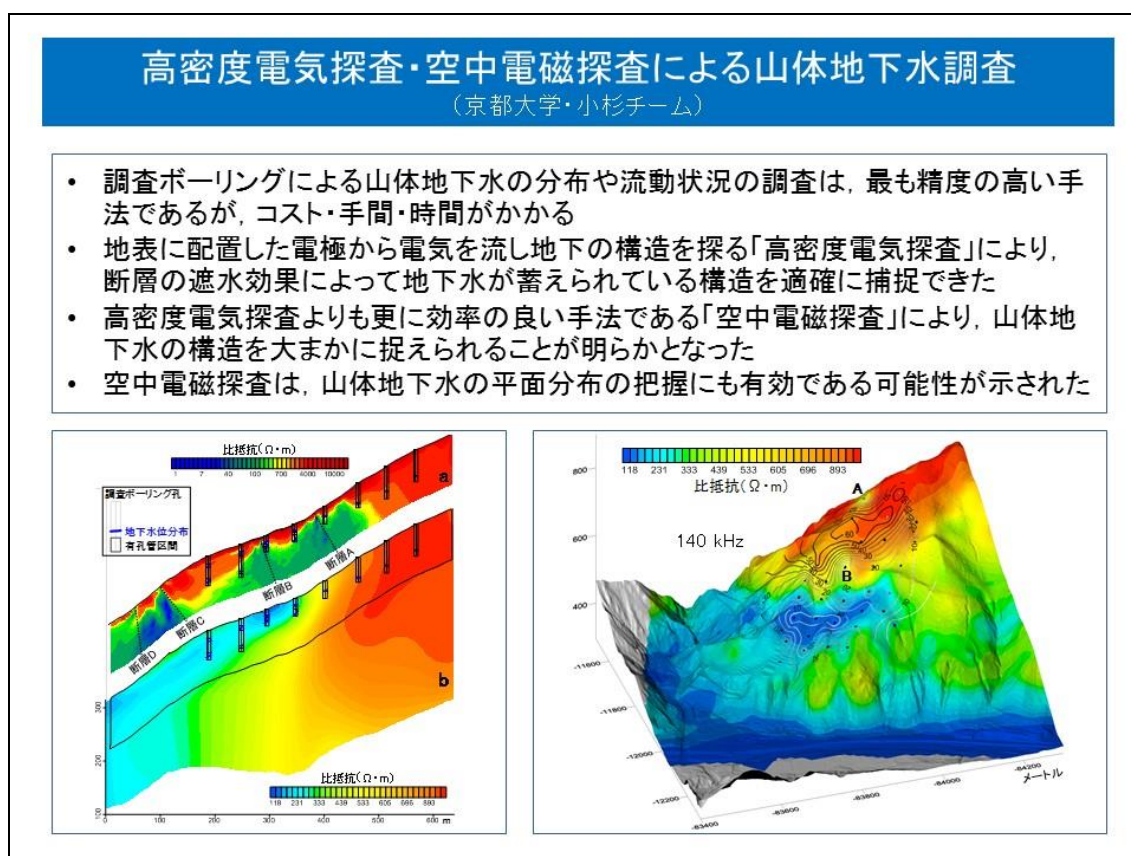


図 22 高密度電気探査・空中電磁探査による山体地下水調査

#### ⑰都留チーム

都留チームは、多様な水源に適用可能な耐塩素性、広い pH 耐性、耐熱性を高めた、より



低コストでファウリング抑制ができる RO/NF 膜の創製を目指した。

水の再生・再利用において重要な役割を果たす RO/NF 膜はファウリングの低減が課題であるが、本研究では耐塩素性を高めた膜の開発により低コストでファウリング抑制ができる可能性を示した。特に、従来の汎用ポリアミド膜は耐塩素性が課題であったが、本研究により耐塩素性に優れた炭化水素系ポリアミド膜を開発しモジュール化に成功、塩素阻止率 95%を実現した。また、耐塩素性と耐熱性に優れたシリコン系有機無機ハイブリッドシリカによる耐塩素性 RO 膜を世界に先駆けて創製するとともに、高分子基材に製膜する layered hybrid という新たな製膜手法を開発し大面積製膜化の可能性を見出した。

主な研究成果：

- ・ 有機無機ハイブリッドシリカロバスト RO 膜の創製
- ・ ロバスト膜のための新規アルコキシシランの設計と合成
- ・ Layered hybrid 膜の開発と大面積化
- ・ 耐塩素性ロバスト膜の開発、およびその性能、耐塩素性の確認
- ・ 多様な水源に対応したファウリング制御技術の提案
- ・ ロバスト RO 膜を用いたフィールド実証

研究の具体的な成果の一つについて、図 23 に示す。

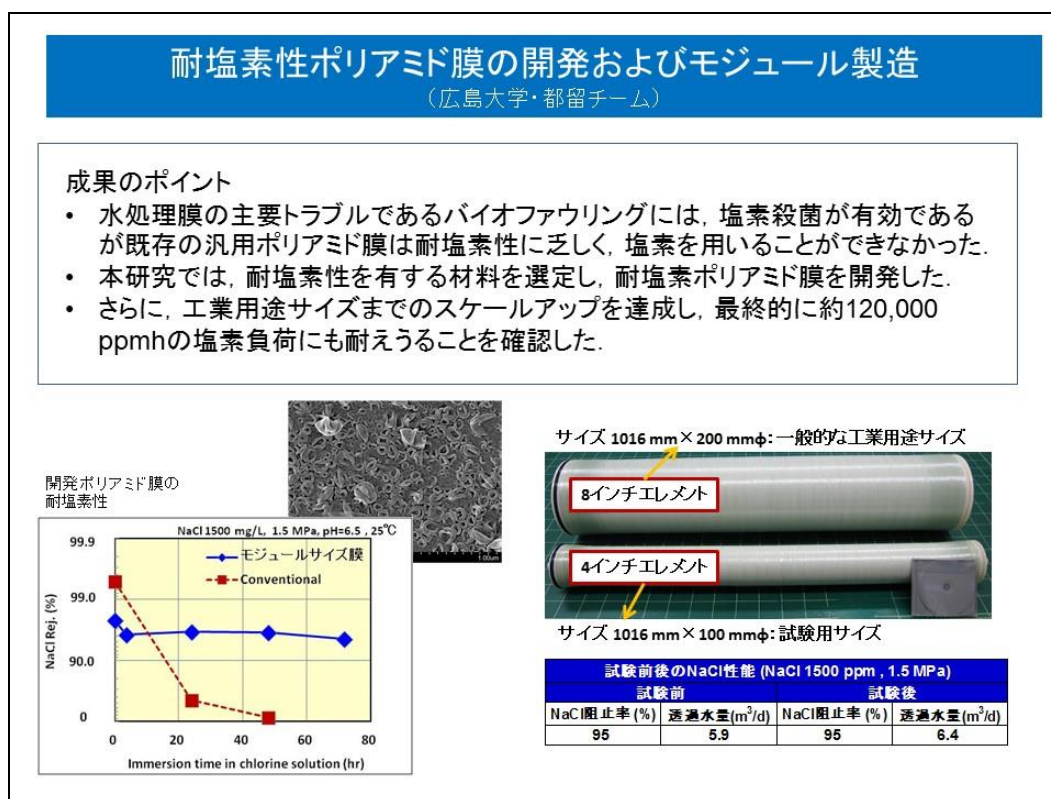


図 23 耐塩素性ポリアミド膜の開発およびモジュール製造

### (3) 本研究領域に続く研究資金の獲得状況

ほとんどのチームが、CREST 研究終了後（一部終了前も含む）に、新たな研究資金を獲得し、CREST 研究で得られた成果を展開させている。具体例として、京都大学の田中宏明教授は、2015 年度より国土交通省 B-DASH プログラムにおいて、CREST で開発した水処理技術を用いて、沖縄県糸満市における再生水の農業利用を進めている。東京農工大学の澁澤栄教授は、2013 年度より NEDO バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業において、精密節水農業技術を用いて、「技術移転ゲノム育種及び高効率林業によるバイオマス増産に関する研究開発」のための精密林分施行管理手法の開発を進めている。東京大学の三宅亮教授は、2015 年度より CREST 「環境変動に対する植物の頑健性の解明と応用に向けた基盤技術の創出」研究領域において、水利用 CREST で開発した水質モニタを核に植物の生育環境観測技術を開発している。また、池田チームの主たる共同研究者である筑波大学の野村暢彦教授は、2015 年度より ERATO 「野村集団微生物制御プロジェクト」の研究総括に採択され、微生物間相互作用についてさらに研究を進めている。

表 8：チーム別研究資金獲得状況

	岡部	恩田	鼎	田中	中尾	藤原	古米	池田	伊藤	小松	澁澤	嶋田	三宅	大村	沖	小杉	都留	合計
日本学術振興会の資金	5	7	2	3	1	2	1	3	-	2	2	4	-	-	2	1	1	36
JST の資金	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	1	-	-	-	-	4
他省庁の資金	1	-	-	1	-	1	1	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	7
民間・財団等の資金	1	1	-	1	-	-	4	-	-	4	-	1	-	-	-	-	-	12

## 8. 総合所見

### (1) 本研究領域を設定したことの意義、研究総括の果たした役割

2001年度開始のCREST「水の循環系モデリングと利用システム」領域では、気候変動・水循環等のメカニズム解明のための研究や、社会における持続可能で効率的な水利用システムのための技術開発等が行われてきた。これらの研究・開発等をさらに発展させるとともに、地球規模気候変動に関する科学的知見や社会情勢を踏まえ、予測される深刻な水問題を克服できる社会を実現するための研究・技術開発を推進する本研究領域を設定した意義は大きい。

水分野の研究は、「すべてが繋がったまとまり」として見渡していくことが重要であり、研究が個別の細分化された成果で終わってしまうなら、社会への貢献につなげることはできない。本研究領域を設定することにより、多岐に渡る水分野の研究が地方自治体（水道事業体、下水道事業体など）や産業界と連携して社会的課題を解決していくための重要な機会を提供することができたと言える。今後の社会インフラの整備と制度設計を行う上で必要となる科学的な根拠を提供することにもつながると言える。

また、研究総括および副研究総括は、本研究領域について、先見性および洞察力を有すると同時に、適切なマネジメントを行う経験・能力を有していた。本研究領域の研究者からも、サイトビジット等での研究総括や副研究総括からの助言や指導が、その後の研究推進のために非常に有効であったとのコメントが多数寄せられた。

本研究領域は、様々な水問題に対し、社会実装を十分に考慮した適応技術、システムの提起を取り扱うことから、学・官の研究者と産業界との情報交換や実際の協働といった連携を図ることが重要である。そのため、学を代表する大垣眞一郎氏を研究総括とし、産業界での経験が豊富な依田幹雄氏を副研究総括と設定したことは非常に有効であった。

以上より、本研究領域の設定、および研究総括の設定は適切であったと言える。

### (2) 研究領域のマネジメント（研究課題選考、研究領域運営）

研究課題の選考に当たっては、水利用分野の特性を配慮した。すなわち、水利用の科学技術イノベーション分野は、学術的なひとつの分野に収まるものではなく、多様で広い専門分野が連関した形で専門領域が構成されている。したがって選考に当たっては、世界と日本の水利用において対象とする解決すべき課題が明確であるか、その研究戦略と研究手法がその分野で先端的で革新的か、社会と産業界への連携と展開が明確に意図されているか、限られた期限と予算の下で合理的な研究計画が提案されているか、などを重視した。多数の良い応募案件にも恵まれ、良い選考結果を得ることができた。

本研究領域では、「バーチャル・ネットワーク型研究所」としての領域運営を強く意識し、チーム間の連携を促進するための取り組みを積極的に推進した。その結果、チーム間の共同研究や、合同シンポジウム・合同ワークショップなどが多数開催され、領域としての一

体感が強いものとなった。

成果報告会や公開シンポジウムなどの領域内全チームが集まる機会のみならず、サイトビジットや個別勉強会等の機会に合わせ、総括や領域アドバイザーから研究代表者にアドバイスをを行うことで、順調な研究進捗に貢献することができたと言える。また、領域アドバイザーの参加率も高く（延べ224人・日、延べ54日間）、アドバイザーの知見を研究に十分に反映することができた。

個別の研究者は十分、論文などで国際発信を行なっているが、領域全体としても、カリフォルニア大学デービス校の名誉教授である浅野孝領域アドバイザーのアドバイス等を有効に生かし、国際的俯瞰の中にこの領域を位置づけマネジメントを進めることができた。特許については、革新的な新技術の基本特許を優先するとともに膜の製造・水処理特許など産業競争力強化のための特許については企業が中心となって出願するよう要請した。その結果、膜の製造方法5件、水処理14件、水質計測9件など、合計で国内38件、海外3件の特許を出願することができた。

なお、本研究領域では、共同研究グループが2つという研究チームから、大きいところでは9つという研究チームまで規模が幅広い。また、研究分野が幅広く、研究成果の評価の指標は多様なものとなる。研究論文数や特許数などで一律に評価できない。よって、これらの事情を十分理解したうえで、それぞれの研究チームが大きな成果を上げられるように対応した。

### (3) 研究領域としての成果

本研究領域の学術分野は広い。都市環境工学、水文学、農学、林学、土壌学、地質学、微生物学、ウイルス学、分析化学、水処理学、化学工学、情報工学、地下水学、など多様である。水利用に関わる社会的課題を解決し、水利用の次の科学技術イノベーションを起こす多くの研究成果を得ることができた。それぞれの研究成果は他の研究成果と関連しており、単純に範疇に分けることは難しいが、次の4つの分類に従い、それぞれの代表的な研究事例を示す。

#### ① 科学技術の進歩に資する成果：

「岡部チームのノロウイルス吸着性細菌の発見」、あるいは、「池田チームの微生物増殖制御手法の開発」は水に関連する微生物学の進歩に貢献している。「嶋田チームの地下水中の硝酸イオンの挙動を把握する技術の構築」、および、「小松チームの温度変化が地下水水質に及ぼす影響の解明」は地下水学への貢献に、「鼎チームの水危機の新たな指標の提示」は地球規模の水文学に貢献するものである。「沖チームの都市河川における放射性セシウムの動態および起源解析」は、東日本大震災に端を発した研究であるが流域でのセシウムの動態を精確に把握しており学術に資するものである。

#### ② 具体的応用につながった成果：

「田中チームの下水再利用の農業への応用にあたっての水質の安全性と処理手法の開発」、

「藤原チームの地下水汚染を防ぎ価値を生み出す植物による浄化技術の開発」、「古米チームの気候変動を考慮した流域水資源の将来予測手法の開発」、「澁澤チームの作物吸収ニーズに対応した地中毛管灌水システムの開発」は、その科学的知見と新しい開発技術が農業から都市用水まで、各種水利用の応用につながった成果である。新しい膜処理技術への貢献として、「都留チームの耐塩素性ポリアミド膜の開発によるロバスト RO 膜の開発」、および、「中尾チームの担体投入による MBR のファウリング抑制と省エネ運転手法の開発」がある。

③科学技術イノベーション創出に寄与する成果：

「三宅チームの地域ニーズに即したオーダーメイドの小型水質計システムの開発」は、上下水道の水量・水質情報の新しいシステム構築に貢献する。「恩田チームの強間伐後の河川流出量の評価とモデル化」、ならびに、「小杉チームの集水ボーリングによる山体地下水開発手法」は、山間部と山林地域での水資源の厳密な解析により、水利用の新しい管理手法のイノベーションにつながる成果である。

④将来的に大きな成果につながる可能性のある研究成果：

「大村チームの下水中ノロウイルスの濃度に基づく流行情報発信」は、将来の社会感染症予防システムとして革新的なシステムとなる可能性がある。「伊藤チームの地下水帯を利用した高度リスク管理型水再生利用システムの構築」は都市における従来の人工的な水循環に新しい考え方を導入しようとするものである。

#### (4) 科学技術イノベーション創出への展望

第5期科学技術基本計画によると、科学技術イノベーションとは、「科学的な発見や発明等による新たな知識を基にした知的・文化的価値の創造と、それらの知識を発展させて経済的、社会的・公共的価値の創造に結びつける革新」のことである。

水利用分野においては、研究課題のすべての成果が、直接的に経済的、社会的、公共的価値を創造することにつながっている。これはすでに「3. 研究総括のねらい」の図-2で述べたことであるが、社会的課題が先にあり、その解決のために研究が企画されているわけであるから、研究チームのすべての活動が科学技術イノベーションの創出へつながっているとすることができる。社会的課題の具体的例示は「7. 研究を実施した結果と所見」の(1)に示した通りである。

もちろん、前節の「8. (3)研究領域の成果」に示したように、それぞれの研究対象によって、イノベーション創出への貢献の度合いと距離は異なる。あるものは科学的に新しい知見の発見であり、あるものはすぐにも社会システムに応用できる段階のものもあり、さらに別のものは、将来的に社会の公共的なシステムの変革につながる可能性のものもある。しかし、すべてが水利用の科学技術イノベーションを目指している。

具体的例を一つ示すと、古米チームと沖チームは、「将来と緊急時における強靱な水管理システム」と題するシンポジウムを合同で開催した。気候変動や災害への対応の必要性が

増している中で、水道事業者が今後も水利用における安全性と安定性を担保するためには、「将来的な水管理」と「緊急時の水管理」の両側面からシステムの強靱性をさらに高めていく必要があるためである。古米チームの「気候変動に適応した調和型都市圏水利用システムの開発」では、社会に直接働きかけ、将来的な平時の水管理について市民を含む様々なステークホルダー間での対話を進めてきた。また、沖チームの「安全で持続可能な水利用のための放射性物質移流拡散シミュレータの開発」では、原子力発電所事故に伴う放射性物質への対応など緊急時における水管理とリスク情報管理のあり方に向けて、モデルシミュレータを開発してきた。どちらも社会との対話を研究対象に含めている。イノベーションそのものを目指している取り組みである。

要するに、その他研究チームの研究成果も含めて、本研究領域の場合、領域全体が科学技術イノベーションの創出となっている。

#### **(5) 本研究領域を設定したことの意義、科学技術に対する貢献、問題点等**

「3. 研究総括のねらい」および、「7. 研究を実施した結果と所見、(1)」で述べた通り、本研究領域のように解決すべき社会的課題から研究テーマが設定され、研究成果が社会の科学技術イノベーションに直結するような研究領域が設定されたことは、社会の中の科学技術、社会のための科学技術を推進する上で画期的なことである。様々な科学技術分野があり、その中では独創性が重視されることが多い。もちろん、独創的な発見・発明は科学技術の核心である。しかし同時に、本研究領域のような社会への貢献を第一とする科学技術の振興も重要である。社会的課題の解決のための研究の中から新しい科学技術が生まれ出てくることは確かであり、本研究領域の設定は、科学技術そのものの振興に対する大きな貢献となった。

#### **(6) 今後への期待や展望**

大きな資金助成により、多岐にわたる成果を生み出した。CREST は、特定分野の総合的な科学技術イノベーションの発展を支える優れた資金助成システムといえる。プロジェクトの運営の支援面でも、海外からの領域アドバイザーの活動への支援、研究総括・副総括・国内領域アドバイザーの領域運営への資金面、事務支援面など、すべてで、JST 事務局より優れた支援を受けた。

CREST のような大型の研究資金に関する今後への期待を述べる。研究総括のねらいのところでも述べたように、本研究領域のような社会に深くかかわっている科学技術領域の場合、限られた年限と資金の中で、いわゆる工業製品のような市場に出るまでの意味での社会的実装は実質的に難しい。行政機関（本研究領域の場合、市町村、水道・下水道の事業者など）や住民など様々な利害関係者が多数かかわる中で、例えば、得られた科学技術的知見などを、行政の政策に直接反映させるに至るには多くの時間が必要である。すなわち、科学技術イノベーションの定義に示される、「知識を発展させて経済的・社会的・公共的価値

の創造に結びつける革新」の「結びつける」段階には時間が必要であるということである。科学技術イノベーション政策の中で、このような分野の振興にあたって、学術分野ごとの特性が配慮されることを期待する。

#### (7) 所感、その他

上の(6)にも述べたように、事務局の支援体制は大変優れたものであった。研究総括がかかわる作業、あるいは、各種研究代表者との情報交換、サイトビジットなど運営のすべてにわたり適切な対応であった。水利用のCREST研究領域が8年にわたり順調に成果を生み出したのもこの優れた支援のおかげである。研究代表者諸氏も同様の感想を持っていると考えている。ここに御礼を申し上げたい。