CRDS-FY2012-SP-03

戦略プロポーザル 将来水問題の解決に向けた 統合モデリングシステムの研究

~システム構築戦略研究の具体化~

STRATEGIC PROGRAM

Research on integrated modeling system toward solving future water problems

- Implementation of strategic research on building systems -





独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

エグゼクティブサマリー

本戦略プロポーザルでは、将来水問題の解決に向け、「<u>持続的な水循環システムの構築に資</u> **する統合モデリングシステムの研究」**を、わが国として戦略的に推進することを提案する。

人間の生命維持と文化的生活のためには、水の安定供給が不可欠である。しかし、現在にお いても全世界の約10億人が安全な水へのアクセスが困難な状況にある。さらなる人口の増加 と生活レベルの向上が進めば水需要は急増し、水不足の深刻化は避けられない。加えて、環境 悪化や温暖化に伴う水質の低下や渇水地域の拡大、豪雨による洪水・氾濫の頻発など、水に由 来する社会・経済への被害の規模や範囲は拡大の一途をたどっている。今後も増加を続ける世 界人口を考えれば、従来の水資源の利用形態では人類の生存維持は困難になると予想される。

まさに世界の緊急の課題である水問題の本質的な解決を図るには、自然、風土、社会・経済 環境などを把握し考慮した上で、水資源をいかに有効かつ持続可能に活用するかという、大局 的かつ総合的な戦略が必須である。特に社会インフラが未熟で水問題が露呈している新興経済 国においては、このような水の総合的マネジメント戦略を、基本計画から設計、実装、そして 運用・保守までのプロセスに明示的に取り込んだ、新しい社会インフラの形を早急に提示して いかなければならない。

一方、上下水道の高い普及率や優れた水質、および安定供給を誇っているわが国においても、 少子高齢化などに伴う需要や税収の減少が予想されている。その中で、老朽化が進む水インフ ラをどのように維持・保全・管理していくか、さらには現在のエネルギー大量消費型の上下水 道システムをどう見直していくかなど、百年単位の長期間にわたる持続可能性や大規模災害や 事故への耐性強化をも考慮した上での、水サービスの根本的な変革が求められている。

持続的な水利用環境を実現するには、これまで以上に水資源の有効活用、環境負荷の抑制、 省エネ・省資源化を推進しなければならない。歴史的経緯などから、従来は個別に進められて きた、治水、利水、環境という水に関する3つの視点を統合した上で、人々が住む地域それぞ れの水循環をシステムとして総合的にとらえ、課題解決のための全体的な最適化、および管理・ 運用を行う必要がある。しかし現状では、技術、コスト、人材、制度などの制約から、その実 現は容易ではない。重大な技術的制約の一つは、空間的/時間的に入り組んだ複雑で大規模な 水循環システム全体を表現し、様々なシミュレーションなどに適用できるモデリングシステム が存在しない点にある。ここで言うモデリングシステムとは、個々のモデル自体ではなく、複 数の異なるモデルを接続・連携させるためのシステムを意味する。

水循環システムに関係するモデルには、ダムや水処理施設、管路などの人工物モデル、河川・ 湖沼・地下水などの自然環境モデル、各種用水などの水利用モデル、社会・経済モデルなどが あり、これらは個々の分野の専門家によって独自に研究され、発展してきた。水循環に関する 複雑な問題は、このような単独のモデルだけでは解くことは容易ではないため、複数の異なる モデルを連携させる必要があるが、その連携や統合の基礎となるべき研究は十分には行われて こなかった。限られたコストや人材を再配分し、時には既存の制度を乗り越えるような合意を 得るには、すべての関係者が納得でき、客観的に検証できる情報を共有することが大前提とな る。しかし、多種多様なモデルの連携を可能とする統合的なモデリングシステムがない状況で は、地域水循環システムの目指す姿の全体を精密に可視化することは容易ではない。 本戦略プロポーザルで提案する「持続的な水循環システムの構築に資する統合モデリングシ ステムの研究」は、地域水循環システムを総合的に理解するための基礎の確立を目指すもので ある。統合モデリングシステムをソフトウェアとして実装した統合プラットフォームを介して、 多様なモデル群を取りこみ、目的に応じて相互に連携させることで、地域水循環システム全体 の表現と分析、そして長期的に持続的可能となるべく設計していくことが可能となる。

なお、統合モデリングシステムは、現実のターゲットを伴って研究開発されなければ、学術 的な興味の範囲に止まり、成果の社会への実装も困難である。そのため、国内外の幾つかの地 域と、そこでの実装を目指す目標システムとを選定し、それぞれの地域ごとに水問題解決のた めの研究グループを組織することを提案する。

さらに高次な技術的制約は、地域の水循環システムを経済や社会までをも含めたより大きな システムの一部として捉える視点の欠如と、研究開発成果の社会への実装を支援するシステム 科学技術の未成熟とにある。この「システム構築の壁」は、水以外の社会インフラ全般を始め、 技術を大規模に社会に実装するほとんどのシステムに、同じく立ちはだかっている。

現在の開発の場においては、プラントのような比較的閉鎖的な系として扱える対象であって も、設計と開発のほとんどのプロセスが企業のマニュアルなどの工学的な方法論、技術者の経 験やノウハウなどの暗黙知に多く頼って行われている。これらは十分に体系化されているとは 言いがたく、ここで取り上げようとしている地域水循環システムのレベルにまで対象の規模や 複雑さ、さらには見通す時間の範囲が拡大した場合には、従来のアプローチでは課題解決のた めの最適な方法を見出すことは困難であろう。

本戦略プロポーザルでは、水循環システムの構築を単なる人工的な水処理プラントの設計・ 開発のレベルではなく、自然や社会・経済環境までを含んだ一段高いシステム構築の問題とし て取り組むことを提案する。これにより、従来は水問題固有の視点から行われてきた本領域に おける研究開発の限界を超え、システムの社会実装へ向けた新しい成果が得られると考える。

具体的にはシステム構築戦略研究の手順にもとづき、統合モデリングシステムと統合プラットフォームを用いながら複数の水問題解決型プロジェクトを実施することを提案する。様々な 地域の水循環システムモデルを構築し、問題解決方式を探る過程を通じて知見を蓄えることで、 現状では多くの暗黙知から成りたっているシステム構築方法論の深化を図る。さらには、方法 論の一部を新たな学問領域(ディシプリン)として切り出し、体系化することも期待される。

また、水インフラの海外展開は、新興経済圏の支援と国際ビジネス推進の両面から官民をあ げて取り組まれているところである。本戦略プロポーザルの研究領域の成果を活用することで、 様々な地域の状況に対応した、持続可能な水循環システムのビジョンを描くことが可能になる。 これにより、従来は困難だった、水インフラの全体計画から水処理施設の維持管理までを包括 した、より総合的で踏み込んだ計画の立案力と国際競争力の強化が期待される。

プロジェクト全体の体制としては、システム科学に基づいて研究全体を主導する統括チーム、 統合プラットフォームを構築する基盤チーム、多様な地域の水循環システムのモデル開発を担 当する水問題解決チームの3種のチームで推進することを提案する。三者の合理的な分担と、 同時に相互の活発な交流とが水循環システムの社会実装への筋道をつけると考える。

iii

Executive Summary

This document proposes Japan's strategic promotion of research on the integrated modeling system to establish a method to design and build a water utilization system sustainable for nature, people, and society to solve water issues in the future.

The stable supply of water is indispensable for maintaining human life and cultural living. However, even until now, around 1 billion people worldwide still have difficulties in getting access to safe water. Further growth of the population and enhancement of living standards will rapidly increase water demand, and inevitably cause more serious shortages of water. In addition, the scale and range of water-related damage to societies and economies, such as the deterioration of water quality and the expansion of drought areas due to worsening environment and global warming, or frequent floods by heavy rain, have been continuously expanding. If the human population increases further, it will be difficult to ensure our lives only by continuing to rely on the nature unilaterally.

To find an essential solution for water issues as a worldwide emergent task, it is necessary to have a big-picture strategy to utilize nature such as water resources effectively and sustainably, while fully understanding and considering the differences in nature, climate, and social and economic environments of the respective regions where people live. Especially for emerging economies, we should urgently propose a new form of social infrastructure that visually incorporates an integrated water management strategy into the design, construction, and operating processes.

Boasting high coverage for water supply and sewerage, high water quality level as well as stable water supply, Japan is thought to have no nationwide essential water issue. However, with expected drops in tax revenue and demand due to declining birth rate and aging population, the serious issue has become how to maintain, secure, and manage the aging water infrastructure. Taking all these factors into consideration, including how to evolve the current energy-intensive water supply and sewerage systems, long-term sustainability on the scale of centuries, and enhancement of durability against massive disasters and accidents, the fundamental review of water services is required.

To build a sustainable water circulation system, we should promote effective use of water resources, restraint of environmental burden, and conservation of energy and resources more than ever. After integrating three concepts related to water—flood control, irrigation, and environment—which had been developed separately for historical and other reasons, we need to understand the water circulation system comprehensively, and optimize, manage, and operate it to solve the issues. Under the present circumstances, however, we cannot easily achieve this, due to restrictions on technology, cost, human resources, and systems.

One of the crucial technical barriers is the lack of an integrated modeling system, which represents the entire complex and large-scale regional water circulation system intertwined spatially and temporally and is used for various simulations.

Models related to the water circulation system consist of artifact models such as dams, water treatment facilities, and conduits; natural environment models such as rivers, lakes, and groundwater; water utilization models such as water for various purposes; social and economic models, and so on. These models have been studied and developed independently by specialists in respective fields. Because complex problems related to water circulation cannot be easily solved by a single model, collaboration among multiple different models is required. However, the research to serve as the foundation of the collaboration and integration has almost never been conducted. Without the integrated modeling system that enables collaboration among various models, it is difficult to precisely visualize the entire image of the regional water circulation system we are aiming to build. Without quantitative and qualitative evaluation data, a proper judgment cannot be made when presenting the vision of a new smart city in developing countries or when optimizing water supply and sewerage facilities in a certain river basin in Japan by integrating the existing water infrastructure.

Without being researched and developed based on the actual targets, the integrated modeling system cannot go beyond the scope of academic interest to be implemented in society. It cannot be deepened without active contact with actual technology. Therefore, we propose selecting some regions at home and abroad and target systems to be implemented, and organizing a research team in each region. We will promote research and development aiming to solve specific issues by working in a team optimized for the different situations of the respective regions.

More advanced technical barriers include the lack of the viewpoint to see the regional water circulation system as a part of the comprehensive system including social and economic environment, and the immaturity of the systems science and technology to support system building. Also, more advanced "barriers to system building" do not apply only to a water circulation system. We face similar issues in most attempts to implement technology extensively in society, such as social infrastructure for energy or other resources. Unfortunately, a scientific method to overcome these issues is yet to be established, and engineers' skill has not been developed sufficiently to solve them. Moreover, in the actual development stage, even for an artificial system that can be handled as a relatively closed one, most of the designing and building process relies on engineering methodologies such as enterprises' manuals or engineers' expertise, and has not yet been systematized scientifically. If the scale, complexity, and time range of

the system expand to the level of the regional water circulation system we are attempting to handle here, it will be impossible to cope with it only by the conventional engineering approach.

To work on building the regional water circulation system, we should not see it at the same level as designing and development of an artificial water treatment plant. Instead, we should see it as system building at a higher level, including nature and social and economic environment. With this perspective, we think that we can exceed the limit of the research and development conducted from the viewpoint specific to water issues, thus achieving new results for social implementation of the system.

The strategic research for building systems, which has been proposed by the CRDS up to now, is a procedure on what to consider and how to proceed with building in the planning, executing, and implementing stages in the research and development project of the target system. With the knowledge accumulated by conducting the project according to the procedure, we also aim to deepen the system building methodology, which is still based on an engineering approach and not systematized scientifically, and develop a part of it as a new academic field.

Furthermore, this document also proposes a new research system structure and promotion measure, which is to divide the research team into a group leading the strategic research for building systems, a platform group for implementing the integrated modeling system as software and a water specialist group in charge of the development of water-related models. The three groups will organize heterogeneous research teams, and active interaction between the groups will lead to the social implementation of water systems. 目 次

エグゼクティブサマリー

Exe	cutive Summary	
1.	研究開発の内容	1
2.	研究開発を実施する意義	5
2	-1.現状認識および問題点	5
2	-2. 社会・経済的効果	9
2	-3.科学技術上の効果1	0
3.	具体的な研究開発課題1	1
4.	研究開発の推進方法および時間軸1	5

1.研究開発の内容

本戦略プロポーザルでは、持続的な地域水循環システムを構築するための統合モデリングシ ステム技術、および人工的な水循環・水処理・水利用システムを設計・実装する過程を通じて のシステム科学技術の研究開発を、国として戦略的に推進することを提案するものである。

水需要が増加し、気候変動の悪影響が懸念される中で、地域水循環システムを持続的に発展 させるには、これまで以上に水資源の有効活用、環境負荷の抑制、省エネ・省資源が不可欠で ある。そのために、歴史的経緯などから従来は個別に進められてきた、治水、利水、環境の3 つの視点を統合し、水循環システムの総合的な理解と管理を行う必要がある。

ところが、現在の水分野の研究者や技術者が用いているモデルでは、複雑で階層的な水循環 システム全体を総合的かつ詳細に記述し、最適化し、予測するには、表現力や機能が十分では ない。水循環システムの構成要素やサブシステム、あるいは境界条件となる、人工物、自然環 境、社会・経済環境などについては、これまではそれぞれの研究分野の専門家によって独立に モデル化され発達してきた。十分に精密な観測や分析が行われて成熟しているモデルも少なく ないが、異分野のモデル間の連携はごく限定的にしか考えられてこなかった。

なお、本プロポーザルでは、水循環システムの持続可能性を検討する際の対象範囲を、地域 (≒流域)に設定した。これは自然の水循環の一部分を人間が利用する場合、想定する範囲は 河川の流域のエリアとほぼ一致していることによる(図1、コラム1参照)。



図1 流域圏を中心とした地域水循環システムのイメージ

● 統合モデリングシステムの研究開発と具体的地域課題への適用

本戦略プロポーザルで、まず提案するのは、共通フレームワークの概念に基づく「統合モデ リングシステム」とそれを用いた地域水循環システムモデルの研究開発である。

ここで言う統合モデリングシステムとは、個々のモデルやその集合体ではなく、複数の異な るモデルを接続・連携させるためのシステムであり、それを実装したソフトウェア基盤を統合 プラットフォームと呼ぶ。共通フレームワークとは、統合プラットフォームを介して異なるモ デル間を接続するための約束事、すなわち連携のためのモデルの共通仕様である。具体的には、 統合プラットフォームとの接続方法やデータの入出力の手順、入出力データの構造、モデル自 体の機能や属性の表記方法などを含む。ここで重要なのは、統合プラットフォームに接続する ために、モデル本体の標準化を強要するのではないという点である。それぞれの分野のモデル を用いて研究してきた研究者は、現在のモデルの方式やソースプログラムを大幅に修正するこ となく、最小限の作業でプラットフォームに接続し、他の研究者らのモデルやそのシミュレー ションデータなどを利用することができる。対象とする地域や解こうとする課題に応じて、必 要なモデルを選択し、それらを組み合わせたモデルセットの全体構造を精密に設計することで、 多数のモデル群を相互に連携させ、高度で複雑なシミュレーションの実施が可能となる。

コラム1:地域水循環システム

人類は自然の水循環システムを利用し、また人為的に作用することで文明を築いてきた。 水循環システムは、言うまでもなく地球規模の物質循環系の一部であるが、自然の水循環の 一部分を人間が利用する場合には、その範囲は河川の流域のレベルとほぼ一致する。それは、 水が重量あたりの価格が非常に安い商品であるために、人工的な水利用システムが他の流域 との間で水資源をやり取りすることは、エネルギーやコストの理由から一般的には割に合わ ないからである。また、開放型の自然の水循環システムにおいても、流域の特性によって異 なる水循環の現象を観察できるので、流域は一つの半閉鎖的な単位として扱うことができる。 これらのことから、本戦略プロポーザルでは、課題解決型の水循環システムを検討するにあ たり、その対象範囲を「地域」(≒流域)とした。

以下では、地域水循環システムを構成する要素やその階層、および課題について概説する。 我々の生活にもっとも関係の深い水利用システムは上下水道であり、その基盤となってい るのは、膜、浄水、汚水・廃水処理などの要素技術である。これらの要素技術は水質の確保 や水処理の効率化のために、素材、部材、各種の装置や処理プロセスに実装される。様々な 特性をもつ装置や処理プロセスを、配管やポンプなどの技術・製品を用いて組合せてサブシ ステムが構成され、それらをさらに相互に連結することで、所要の機能をもつ浄水処理や海 水淡水化の施設が構築される。施設全体では、プラントとしての最適な構成の維持や制御を 行うことが重要な課題となる。

さらに上位の地域のスケールでは、複数の水処理施設と都市や町が利用する生活用水に加 えて、農業用水や工業用水といった別系統の水利用システムが、人工的な管路や用水路、あ るいは河川や湖沼などの表流水と地下水などの自然環境を利用して接続され、水ネットワー クを構成する。そこでは、流域内の複数の施設や水利用システム間の情報共有や広域連携の ための調整・調和のデザインをする必要がある。

加えて、社会に実装された水処理システムを中長期的に持続可能とするには、社会・経済 的課題を明確化・モデル化し、様々な将来シナリオや時間軸に沿った予測を行い、その結果 に基づいた、更新・構築計画を立案することも求められる。 ● システム構築戦略研究の適用

ここで取り扱おうとしている地域水循環システムは、これまで企業や研究者が対象としてき た人工物、あるいは自然のシステムよりも遥かに複雑になることが予想され、従来の工学的手 法や暗黙知、すなわち企業のマニュアルや個人の能力や経験に頼ったシステム構築の方法論が 扱える範囲を凌駕し、設計や実装の際に非常な困難に直面することが予想される。

このような大規模なシステムの構築における課題に対応するため、科学技術振興機構研究開 発戦略センター(CRDS)では「システム構築戦略研究」とよぶ新しい研究のカテゴリー、お よび研究の実施を通じて、システム構築方法論を科学的に体系立てることを提案してきた(コ ラム2参照)。システム構築戦略研究が示すのは、システム構築を目標とするプロジェクトの分 析、設計、実装のそれぞれの段階において、どのような要因を考慮し、どのように設計や構築 を進めるべきかという手順である。

しかし、システム構築戦略研究が示すものは、それ単独ではただの開発手順に過ぎない。そ の手順に沿って具体的なシステム構築プロジェクトを実施し、知見を蓄積することで、手順へ のフィードバックとブラッシュアップが期待できる。また、現状では設計・開発マニュアルや 暗黙知のレベルに止まり、十分には体系化されてないシステム構築の方法論の一部を、新たな 学問領域(ディシプリン)として切り出すことも目的である。新たな学問領域はシステム科学 の一翼を担い、大規模で複雑なシステムの設計・構築の際の大きな助けになることが期待され る。

そのため、本戦略プロポーザルでは、「持続的な水循環システムの構築に資する統合モデリン グシステム」の研究にシステム構築戦略研究の手順を適用し、例えば水処理プラントを設計・ 開発する際にも、自然や社会・経済環境までを含んだより高次の社会システムの問題として取 り組むことを提案する。

● 推進の方策、体制、時間軸

本研究プログラムの研究体制は、統括チーム、水問題解決チーム、基盤チームの3種類のチ ームによって構成することを提案する。研究プログラムには準備期間を設定し、統括チームが 解決すべき流域圏水問題の例を複数抽出し、それぞれについて構築すべき社会システムの素案 とともに提示する。統括チームから提示された流域圏水問題について研究プロジェクトの公募 が行われ、国内外の幾つかの地域と実装する目標システムとを選定し、地域ごとに流域圏水問 題解決型の研究プロジェクトを推進する水問題解決チームが組織される。地域の現実の水処理 システムの構築や運営には、多くの場合地方自治体が大きく関与することになるので、このチ ームには地域の公的組織や研究機関の参画が望まれる。異なる地域の状況に応じて、最適なチ ーム体制による具体的な課題の解決を目指した研究開発を推進する。対象地域は国内も外国も 含まれる。多様な地域の、様々な問題に取り組むことで、成果の共通化、抽象化、汎用化が可 能となる。

これら具体課題に対する研究プロジェクトと連携しつつ、基盤チームが統合モデリングシス テムと統合プラットフォームの研究開発を並行して進める。複数の専門分野の要素モデルから 選択・統合を可能とする標準インターフェースの研究、モデル自体の拡充を行うとともに、統 合プラットフォームの高度化を数理科学やシステム科学に基づいて行う。

統括チームがプロジェクト開始後にどのような組織として存続するかは検討の余地があるが、 主に流域圏水問題解決型の研究チームに対して、システム構築戦略研究方法論の適用の推進、

各チームからの知見の収集と蓄積およびフィードバックなどを担い、そのプロセスを通じて、 システム構築方法論の深化が期待される。

コラム2:システム構築戦略研究

CRDS ではこれまで、大規模で複雑なオープン型システムを構築し、社会に実装していく 際の困難さについて議論を重ねてきた。平成23年3月には、戦略提言「システム構築によ る重要課題の解決にむけて ~システム科学技術の推進方策に関する戦略提言~」 (CRDS-FY2010-SP-04)で、システム科学技術として解決可能な重要課題を取りまとめ た。この戦略提言では、システム構築戦略研究とよぶ新しい研究のカテゴリーと、システム 構築を目標とするプロジェクトの基本計画から実装までの段階にこの範疇の研究を実施し、 システム構築の方法論を深化することを提案した。

従来アプローチと比べた際の、システム構築戦略研究の大きな特徴は、構築しようとする 目標システムが組み込まれる社会までもモデル化し、分析、設計、実装というシステム構築 の3つのフェーズで活用する点にある。分析フェーズにおいては、これまでは重要課題を定 性的・網羅的に分解し、それらを解決するために必要なサブシステムや要素技術を対応づけ ていた。しかし、システム構築戦略研究では、構築すべき目標システムと他のシステムとの 相互作用、さらにはその社会的、経済的、技術的条件などを包含した社会のシステムモデル を用いて、常に解決すべき社会的課題との関係を明確にしながら、要素へと分析することを 提案した。このプロセスによって、モデルを介したより広いスコープでの共通認識や定量的 議論が可能となり、加えて、課題解決に重要な役割を果たす要素技術(=ファンディングの 対象となる)の抽出も容易になる。

設計フェーズでも、分析フェーズの社会システムモデルを基盤として、構築対象の目標シ ステムモデルを内包した社会システムモデルを用いる。従来型の目標システムモデルは、課 題解決のために要素技術やサブシステムをどう統合していくか、また制御対象となるシステ ムをどう監視・運用するかを目的として設計していた。しかし、この目標システムモデルを より広範な自然環境や社会・経済システムの中に取り込むことで、様々な環境の時間変化を 反映することができ、長期的に持続可能な目標システムの構築と運用を図ることも可能とな る。

2.研究開発を実施する意義

2-1.現状認識および問題点

● 水問題の深刻化

人間が生命を維持し、文化的生活をおくるためには、水の安定供給が必要不可欠である。現 代においてさえ、世界人口のうち10億人以上が安全な水へのアクセスが困難な状況にある。 さらに人口の急増と社会発展に伴う生活レベルの全体的な向上が進めば、飲料水、農業用水、 工業用水の不足がより深刻となることは避けられない。加えて、渇水地域の拡大、豪雨による 洪水・氾濫の頻発などにより、水が原因となる社会・経済への被害の範囲や規模も拡大の一途 をたどっている。2012年3月の経済協力開発機構(OECD)のレポートでは、世界の水需要 は2050年までに55%増加し、世界人口の40%は深刻な水ストレスに直面している可能性 が高いと予測している。また、14億人が衛生的な設備を利用できない状況におかれ、地下水、 河川、海は農薬や廃水処理の未整備により汚染が進むとしている。

我が国は高い上下水道の普及率と水質レベル、水サービスの安定供給を誇っているが、人口 減少に伴う税収や需要の減少が予想される中で、水インフラ設備の老朽化対策は重要な課題で ある。また、近年は豪雨による洪水災害や降水不足による渇水被害が頻発しており、「日本のほ とんどの地域は水問題とは無縁」という一般的な認識は改められる必要がある。これらの状況 を踏まえた上で、現在のエネルギー多消費型の上下水道システムが、百年以上の長期間にわた って今後も持続可能であるかを含め、国内の水サービスを根本的に見直すことが求められてい る。具体的には、上質な飲用水をトイレや清掃に用いていることや、洗濯や風呂などの雑排水 と水洗トイレの排水とを混ぜてしまって下水処理場で一括して処理している状況にまで踏み込 み、さらに現在はほとんど活用されていない中水(排水をリサイクルして再び用水として供給 される水)の利用の可能性なども含めて、見直しを図る必要があろう。

我が国には水処理に関する多くの優れた研究成果や技術が蓄積されており、これらをシステムとして統合して適用することによって、国内のみならず世界の各地域の様々な水問題の解決が期待できる。また、水処理施設や上下水道をはじめとする水インフラシステムの海外展開は、新興経済圏の支援と国際ビジネス推進の両面から官民をあげて取り組まれているところである。現状ではわが国の強みとして、高機能・高性能な素材や部材、先端的な処理技術などをアピールしているが、海外の有力な水ビジネス企業と競合していくには、視野を流域レベルまで広げ、持続可能な地域水循環システムのビジョンを描いた上で、水インフラの全体計画から水処理施設の維持管理までを包括した、より総合的で踏み込んだ提案を行うことが求められている。

● 大規模で複雑なシステムのモデリング

課題解決型の地域水循環システムを構築するには、対象の地域の地形、気候を始めとする地 理的条件はもちろんのこと、その地域固有の社会環境や経済環境などを含む複雑なステークホ ルダ間の相互影響と合意形成までを考慮する必要がある。そして治水、利水、環境の3つの視 点から「水循環システム全体の最適化」を達成できるように、人工的な水インフラを設計、構 築、運用していくことが重要である。しかし現状では、技術、コスト、人材、制度などの制約 から、その実現は容易ではない。システム全体の最適化を図る際の最大の技術的障壁の一つは、 2

空間的、時間的に複雑に入り組んだ大規模な地域水循環システムを総合的に表現でき、様々な シミュレーションを行えるようなモデリングシステムがそもそも存在しないことである。

地域水循環システムに関係するモデルには、ダムや浄水場、上下水道路などの人工物モデル、 大気・河川・湖沼・地下水などの自然環境モデル、生活用水・農業用水・工業用水などの水利 用モデル、そして境界条件を与える社会・経済モデルなどがある。しかしこれらのモデルは、 従来は個別の研究分野の専門家によって独自に発展し、異分野のモデル間の連携が限定的であ った。無論、これまでも水に関する異なる研究領域の専門家が共同し、研究してきた事例は多 く見られ、近年では表流水モデルと地下水モデルとを連携(連成)させた水循環解析モデルの 研究も活発になりつつある。また、ある地域の複雑な問題や高度なシミュレーションなどを実 行しようとした際に、一つのモデルでは対応し切れなかった場合に、他のモデルと組み合わせ て解決を図ることは少なくない。ただ、このようなアプローチの問題点は、モデルを相互に接 続するために得られたせっかくの知見やノウハウが研究開発に関与した研究グループ内にのみ 留まり、他の地域や分野での問題解決に向けて有効に展開・活用されづらいことにある。また 現状のモデル連携に関しては、ほとんどの場合が2種類のモデルの相互接続であり、これを3 種類以上のモデルで実施しようとすると、連携は飛躍的に複雑で困難になることも問題である。

国内の水問題は、長い期間をかけて水利権の調整やインフラ整備が行われてきたという歴史 的な経緯もあり、関係者や所轄省庁などが複雑に入り組んでおり、特に政治的、制度的な側面 が強い。このような数多くのステークホルダの間でビジョンを共有し、時として相反する利害 関係の中で、新しい行動を起こすための合意に至るには、議論のベースとして皆が正当だと納 得できる、地域水循環システムの統合モデルが必須になる。モデルの正当性を判断するために は様々な条件があるが、例えば、接続されている要素モデル群が必要十分であること、信頼に 足る精度を持つこと、必要に応じて第三者がモデルの構造を検証できること、などが挙げられ る。現状のモデル連携の方式では、モデル間の連携やシミュレーションが高度で複雑であれば あるほど、外部の人間にはモデル全体の構造やアルゴリズムの理解が困難で、アウトプットの 評価や検証は容易ではない。

なお、都市や地方の持続的発展のためには、流域圏を統合的なモデルによって管理すること が重要との認識に立ち、実施されたプロジェクトは過去にも存在する。包括的かつ代表的なも のは、第2期科学技術基本計画(2001-2005 年)のもと、2002 年4月から3年半にわた って実施された総合科学技術会議の「自然共生型流域圏・都市再生技術イニシャティブ」(座長: 丹保憲仁放送大学長(当時))である。同イニシャティブの中の「都市・流域圏管理モデル開発 プログラム」では、自然環境、社会経済、政策評価の3つのタイプのモデル群を統合する「都 市流域圏モデル」の概要を示した。ただし、プロジェクト活動の中では既存モデルの調査やモ デル開発の課題の整理などを行い、実際の開発は行われていない。

総合科学技術会議「自然共生型流域圏・都市再生技術イニシャティブ」(平成17年11月) http://www8.cao.go.jp/cstp/project/envpt/pub/h17eco_report/h17eco_top.html

● 大規模で複雑なシステム構築の方法論

地域水循環システム全体の最適化を図ろうとした場合、大規模で複雑なシステムの分析・設 計・実装のための科学的手法が未整備であることが問題となる。 現状では、企業が例えば浄水場や海水淡水化施設などの人工的なシステムを設計・実装する 工程は、一般的には工学的なシステム構築の方法論に頼って進められている。システムの要件 を明確にするために、様々な制約条件の下での課題を分解していく「分析フェーズ」において も、構成要素を組み上げることで、要件を満たす機能や性能が実現されるかを検証する「設計 フェーズ」、そしてハードウェアとソフトウェアを組み合わせて実際にシステムを作っていく 「実装フェーズ」においても、技術者が頼るのは、社内のマニュアルや過去の事例、個人のノ ウハウなどが中心である。制御理論や最適化理論などはシステム科学の古典的な研究領域とし て確立しており、それらを応用したツールは、おもに「設計フェーズ」において部分的なシミ ュレーションや設計の評価などに最大限に活用されているが、その適用可能な範囲は限定的で ある。

浄水場、下水処理場、海水淡水化プラントなどの人工的な水インフラ設備は、構成要素とそれらの間の相関、また外部との境界条件を比較的厳密に定義できるクローズ型システムとして 取り扱うことが可能である。しかし、人間が関与する社会・経済システム、そして自然環境な どはオープン型システムであり、クローズ型システムよりも構造が複雑で、さらに構成要素数 も飛躍的に多い。そのため、システムどうしの接合は容易ではない。

水循環システムをとりまく社会・経済環境は常に変化し、中長期的には地球規模の温暖化な どの環境変化の影響がこれまで以上に大きくなることが予想される。したがって、様々な前提 条件や境界条件、そして目標とする形が変わっても、それらに対応・追随できるような柔軟性 がなければ、持続可能なシステムとは言えない。しかし、地域水循環システムのレベルにまで 取り扱う範囲や要素が大規模化・複雑化し、さらには見通す時間の範囲が拡大した場合には、 従来の開発マニュアルや過去の事例、あるいは記述不可能な暗黙知、即ちメーカー内に蓄えら れたノウハウや技術者や研究者の属人的なスキルで対処可能な範囲を、はるかに超えることは 明らかである。

● 国際貢献と国際水ビジネスへの対応

戦後わが国はODAなどを通して、発展途上国での水道システムなどの整備を行ってきた。 しかし、より広域化・複雑化する水問題の本質的な解決を目指すには、単に水処理施設を建設 するだけでは十分でない。検討対象範囲を流域レベルまで広げ、持続可能な地域水循環システ ムのビジョンに基づく水インフラの全体像を描いた上で、建設する水処理施設の基本計画から 維持管理計画までを包括した、より総合的かつ踏み込んだ提案と国際貢献が求められている。

経済産業省産業構造審議会「産業構造ビジョン 2010」(2010年6月)では、水ビジネス 市場は、2007年の約36兆円規模から、2025年には約87兆円に成長すると予想してい る。我が国の水ビジネス関連産業の海外での売上は、千数百億円程度と試算されており、今後、 官民一体となって取り組むことにより、2025年の民営化された海外の水ビジネス市場のうち、 我が国の水関連産業が1.8兆円(民営化された海外水ビジネス市場の約6%)を獲得すること を目標としている。

一方、海外水ビジネスの現場では、日本企業の売り上げは世界市場の1%にも届いておらず、 総じて存在感が乏しいという状況が、産業界へのヒアリングからも浮かびあがっている。水処 理膜やポンプなどの一部の素材や部材、あるいは高度処理や海水淡水化などの先進技術は、そ の機能や性能を高く評価されている。しかし、基本計画から顧客管理までを含む総合的な水サ ービス事業としての取組みは遅れており、顧客への提案力も高くない。その結果、ODAなど 2

によらない一般案件では、顧客からの要求仕様に対する入札価格のみの勝負となってしまい、 価格競争力に劣る日本企業は苦戦している。

海外のスマートシティにおける水処理プラントの提案でも、海外の水メジャーなどの有力企 業は、スマートシティ全体や周辺環境までを視野に入れた総合ビジョンの中で水処理プラント を位置づけ、その意義や有効性をアピールしてくる。それに対して、日本企業のほとんどは水 処理プラント単体での高機能・高性能を提案の軸にするために、訴求力が十分でない。日本で は自治体が水サービスの基本計画や運営、顧客管理などを行ってきたという歴史的経緯がある ため、企業にはそれらの業務に関するノウハウや実績がないことも、提案や入札の際の大きな 制約となっている。

さらに水循環システムの統合モデル、あるいは統合プラットフォームについても、欧州のM IKEシリーズやOpenMIなどがデファクトスタンダードとなっているのに対し、日本に 同等の知名度や普及率、実績を持つ統合モデルや統合プラットフォームが存在しない点も、国 際競争における障壁である。現在のMIKEシリーズやOpenMIは、本戦略プロポーザル のスコープである地域水循環システムのモデリングまではカバーできていないが、限定的な範 囲や用途については十分に顧客の期待に応えている(付録2.参照)。

なお、政府内での水ビジネスの検討の最近の流れは、以下の通りであり、このうち、水ビジ ネス国際展開研究会のレポートがもっとも詳しい。

経産省 水ビジネス国際展開研究会「水ビジネスの国際展開に向けた課題と具体的方策」(平 成 22 年 4 月) http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g100426b01j.pdf ⇒産構審「産業構造ビジョン 2010」(平成22年6月) p 45

http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004660/vision2010b.pdf

⇒「新成長戦略」(平成22年6月)p41

http://www.kantei.go.jp/jp/sinseichousenryaku/sinseichou01.pdf

⇒「日本再生戦略」(平成24年7月31日)p47~48 http://www.npu.go.jp/policy/pdf/20120731/20120731.pdf

2-2. 社会·経済的効果

水循環システムに係る社会・経済的な視点には、大きく「国内適用」「海外貢献」「海外水ビ スネス」の3つがある。

本戦略プロポーザルの実施によって、統合モデリングシステムに基づく統合プラットフォームを実装し、地域水循環システムを社会モデルとして記述し、分析・設計・実装の各フェーズに適用することで、将来、以下の社会・経済的効果が得られることが期待される。

(1) 国内適用

日本全体では、人口減少に伴う税収や水需要の減少、水インフラ設備の老朽化などが問題と なるが、都市圏と地方、特に農村地区とではその前提条件に大きな違いがある。また気候変動 の影響も、洪水災害が増加する地域、渇水被害として現れる地域など、地理的条件によって多 様である。

例えば上下水道に関しても、現在のような集中処理を続けるか、あるいは分散連携に移行す るべきかは、上述の前提条件に大きく依存するので、一概にどちらの戦略が優れているかは判 断できない。したがって、国内の様々な地域の特性に合わせ、数十年から百年スケールでの持 続可能な地域水循環システムを実現するための将来ビジョンと長期戦略を確立し、それぞれの 地域の政策決定者と住民、関連企業など流域関係者すべての間で共有し、合意することを目指 す。その戦略に基づいて、老朽化していく設備のリプレースや、住民への水サービスの質や対 価の見直しなどを順次行っていくことで、水インフラの保全費用を削減しつつ、将来ビジョン に沿った省エネ・省資源で安全・安心な水サービスへの移行と維持が可能となる。

(2) 海外貢献

新興経済圏を中心に、世界の各地域の自然、社会・経済の特性とニーズに合った地域水循環 システムの最適なビジョンを提案する。これまでのような水インフラ設備の建設を中心とした 貢献のみならず、維持運営まで含めてコスト的、技術的に持続可能であることを検証した上で、 水処理プラントの整備を行う。その結果、安全安心な水の供給や水害や渇水の抑制、ひいては 対象地域の安全保障の確保と発展を支援する。結果的に、ODA資金などの有効活用も図れる。

(3) 海外水ビジネス

国産の統合プラットフォームを用いた水処理システム構築の実績を国内外で積み上げること で、日本企業の提案力が向上する。具体的には、統合プラットフォーム自体の機能や個別の要 素モデル、連携方式などがブラッシュアップされ、より詳細な状況やニーズに踏み込み、運用 保守までをスコープに入れた計画が可能となる。その結果、水処理プラント単独の性能や建設 コストの優劣だけではなく、中長期的に持続可能な水ビジョンに基づいた「地域水循環システ ム」全体としての提案が可能となることで、海外の競合企業にも十分に対抗しうる。

2-3.科学技術上の効果

・大規模・複雑システム構築に資するモデリング技術の高度化

表流水と地下水のモデルの連成や、水インフラに関する4次元空間情報をモデル上に統合 する手法自体は、すでに開発されている。しかし、人工物に加えて、河川や湖沼、地下水な どの自然環境、さらには社会・経済環境までを取り込み、より長期間にわたっての持続性の 評価に基づくシステムの設計・構築には十分ではない。

これら社会・経済システムや自然環境システムのモデルと人工的システムモデルとを連携 させ、実環境・実データにより分析、設計、構築を実証することで、その過程で得られる知 見は、さらに複雑、多様化していく社会問題解決の糸ロを与えるものであり、水循環システ ムに限らず、大規模かつ複雑なシステム構築の課題を解決する、統合モデリングのための基 盤技術となりうる。

・統合プラットフォームとモデル連携技術の相乗的発展

水文、水理などの水分野、大気循環などの自然環境分野、ダム、上下水道、水処理プラン トなどの土木・工学分野など、様々な水に関係する研究コミュニティでは、これまで他分野 との横断的な連携を十分に行わず、研究開発を進めてきた。解決すべき問題に応じて、必要 な個別モデルを選択的かつ容易に組み合わせ連携させることのできる統合プラットフォーム を研究開発することで、モデル連携によるシミュレーションの範囲拡大と精度の大幅な向上 が期待できる。その結果、個々のモデルの付加価値を飛躍的に高め、さらにはモデル自体の 改善や境界条件へのより深い理解などの、個別研究領域へのフィードバックも期待できる。

・システム科学技術の発展

システム構築戦略研究が提案する手順に沿って、地域水循環システムのような大規模で複雑 なシステムの分析、目標システムの設計・実装から運用・保守・改善の過程を実施し、知見を 蓄積することで、現在はまだ科学的に体系化されていないシステム構築方法論の一部を新たな 学問領域(ディシプリン)として切り出しうる。新たな学問領域はシステム科学の一翼を担い、 大規模で複雑なシステムの設計・構築を支援する際の大きな助けになることが期待される。新 しい学問領域としては、①システムの全体最適化理論、②システムを適切に進化させるための 理論、③システムアーキテクチャ論、などが想定される。

また、本提案では水問題の解決を目指しているが、社会システムや環境システムのモデルを 用いたアプローチは、広い対象への適用が可能と考える。特に水問題で得られた知見は、他の 社会インフラに関する課題解決にも大きな変換なしに活用できると期待できる。

さらに、システム構築戦略研究の手順に基づく研究開発を進める中で、どの要素研究がシス テム全体の性能向上に寄与するかという感度解析が実現できれば、より適切な研究領域の策定、 研究開発のファンディングの効率化・高精度化にもつながる。

3. 具体的な研究開発課題

課題解決型の地域水循環システムを構築する上での研究開発課題は、大きく以下の2点に集 約できる。

① 持続的な水循環システムの構築に資する統合モデリングシステムの研究

② <u>システム科学技術の研究開発</u>

①と②との関係を明確にするため、先ず「システム科学技術の研究開発」について概説する。 CRDSが提案してきた「システム構築戦略研究」の手順は、以下の分析・設計・実装の3つのフェーズに整理することが出来る。

分析フェーズ:取り上げた重要課題について対象をモデル化し課題に対する共通認識を得る 設計フェーズ:課題解決のための新システムの構想とモデルの修正とを繰り返し行う

実装フェーズ:設計した新構想システムを実際に目標システムとして開発し、社会に実装す る手順や運用の手法をプロジェクトマネジメントの視点まで含めて検討する

この3フェーズを、地域水循環システムの構築に適用した場合の具体的な手順を説明する。

- 分析フェーズ:先ず地域水循環システムを概念的に把握し、シミュレーションによる予測を 行うための「社会システムモデル」を作成する。システム構築戦略研究が定義している 社会システムモデルには、自然環境、人間社会、人工物のいずれもが視野に入っている。 (図2)
- 設計フェーズ:社会システムモデルに課題解決のための新構想システム(例:水処理プラント)のモデルを組み込み、建設位置や設備の能力などを検討する。加えて中長期的な社会・経済、自然などの環境変化の可能性もさまざまなシナリオとして設定し、施設の保守や更新の計画を立てる際に活用する。(図3)
- 実装フェーズ:設計された新構想システムは、実装すべき目的システムとして扱われる。目 的システムのEPC&M(注:プラントの基本設計(FEED)から、設計(E)、機材調 達(P)、建設(C)及びメンテナンス(M)までのフロー)を実施するために、構築や 制御を主眼とした目標システム(例:水処理プラント)のモデルを組み込んだ社会シス テムモデルを用いて、施設の設計・建設と実運用支援などを行う。(図4)

ここに示す手順では、社会システムモデルが重要な役割を果たす。しかし、統合モデリング システムとそれを実装した統合プラットフォームなしには、水循環システムを包含する社会シ ステムのモデリングは困難である。そのため、研究開発課題①を達成するには、上記の手順に 従って個別の地域の水循環システムモデルの構築を通じて課題解決を図る「水問題解決チーム」 と、統合モデリングシステムを研究開発する「基盤チーム」とが常に協調し、情報交換を密に 行いながらそれぞれのプロジェクトを推進させる必要がある。

なお、本戦略プロポーザルが提案する研究プログラムにおいて、時間的/コスト的制約から 実装フェーズを実施することは困難と思われるが、実証実験あるいは目的システムの構築計画 までを範囲とすることは、十分に可能と考える。



図2 対象システムの統合的理解、重要課題の分析(分析フェーズ)



図3 新システム構想、要素技術の抽出(設計フェーズ)



図4 目標システムの設計と、構築・運用時の課題の解決(実装フェーズ)

以下に、個々の研究課題に関して、より詳細に説明する。

①将来水問題の解決に向けた統合モデリングシステムの研究

本研究課題は、先に述べた通り、2つのチームの連携と成果の統合とによって達成される。 ・基盤チームの研究課題

地域水循環システムをモデル化することを前提に、既存の水関係モデル群を連携させること のできる統合モデリングシステムの仕様を設計する。具体的には、統合プラットフォームとの 接続方法、モデルとのデータの入出力の手順、入出力データの構造やモデル自体の機能や表記 方法などである。そして、その仕様に基づき統合プラットフォームをソフトウェアとして実装 する。その際には、統合プラットフォームと接続するために必要な、既存のモデルのソースプ ログラムの修正が最小限になるように、実装の方式(言語やデータ交換方式などを含む)を注 意して選択する必要がある。

なお、本研究プログラムの初期段階では、複数の水問題解決チームからの要求をすべて充足 できる統合モデリングシステムの設計、ならびに統合プラットフォームの実装は困難と予想さ れる。個々の水問題解決チームは、担当地域の課題を洗い出しつつ、要件定義を試行錯誤的に 進めていくと考えられるからである。そのため、個々の水問題解決チームが出す要望には、先 すは既存のプラットフォーム(例:OHyMosやCommonMPなど、付録2参照)の拡張、あ るいはプロトタイプで対応しつつ、その作業の中から最終的な統合モデリングシステムの仕様 や統合プラットフォームの機能の共通化、汎用化を行う手順になるであろう。

・水問題解決チームの研究課題

統合モデリングシステムを用いなければ解決できないであろう地域と流域圏水問題を選択し、

社会システムモデル(図5に例)として地域水循環システムを記述し、最適な新構想システム (本件の場合は、人工的な水インフラ設備など)の構築を通じて課題解決を図る。



※「異種モデル連携のための統合プラットフォーム」は図中には明示されてないが、 社会システムモデルの中で、データ交換やモデル間の連携などの役割を担っている 図5 地域水循環システムを記述した社会システムモデルの構造例

統合モデリングシステムの適用が有効と考えられる流域圏水問題や実装が望まれる人工的シ ステムやサービスなどの具体例を、以下に示す。

(世界共通)

- ・水・エネルギー・食料を視野にいれた最適な都市設計・水施設設計
- ・災害(地震、渇水、洪水など)への対応力が強い都市設計・水施設設計
- ・配水のスマート化:
 - 計測・制御機能の追加と、それによって実現されるメリットの評価
- ・消費の社会的コントロール(料金制度等)
- ・都市の水資源・水循環の一体管理:
 - 現状では統合できていない、表流水、地下水、再生水を統一的なモデルで把握
 - 都市サービスとしての上下水や地下水利用の適正管理
- 水施設群の効率や環境性能の客観的評価
- (国内)
 - ・社会変化にも対応した数十年先までのインフラ設計:
 - -人口減に対応し、サービスを確保しながら設備縮小を含む戦略的アセット管理

②システム科学技術の研究開発

統括チーム(研究開発課題②担当)は、水問題解決チームと基盤チームとが研究開発課題① に取り組む際に、それぞれのフェーズの作業内容やアウトプットの評価を行い、システム構築 戦略研究の手順の改善を行う。同時に、システム構築の過程から得られた知見を収集・蓄積す ることで、システム構築方法論の深化と、現在はまだ科学的に体系化されていない新たな学問 領域(ディシプリン)としての切り出しを図る。

4.研究開発の推進方法および時間軸

① 研究開発の推進方策

この研究プログラムは、統括チーム、計画研究(A)、公募研究(B)によって構成される。計 画研究(A)は統合プラットフォームを構築する基盤チーム、公募研究(B)は水問題解決チーム により遂行される。研究の進行によって公募研究の一部が計画研究に組みこまれることもあ りうる。計画研究(A)には、統合モデリングシステムの仕様ならびに統合プラットフォーム を開発するとともに維持管理し、公募研究を含む多くの研究者の共同利用に供する機能を持 たせる。

計画研究(A) 統合プラットフォーム構築

流域の水処理を含む水循環の多様な問題を扱うために、必要に応じて異なるモジュール構成 をとれるような統合モデリングのフレームワークとその実行環境を構築する。

システム工学の研究者で、広い視野をもち、そのエフォートの数割を水循環の課題解決に向 けられる人をリーダーとする。システム工学の方法論の研究者と、水循環や水処理のモデル構 築や解析・予測・制御にかかわる研究者を主要メンバーとする。専任者のうち研究者は、シス テムと水の両方の分野から募り、研究プログラムに従事する過程で両方の分野にわたる専門家 として成長することを期待する。システム運用、知識の整理・体系化、データの共有、利用者 サポートにあたる専門技術職員も必要である。なお、専任者には研究プログラム終了後の進路 についても配慮して職務を割り当てる必要がある。専任者が既存分野の専門家として評価され ると適切な評価が受けられないおそれがあるからである。また、専任者がこの研究プログラム に従事する過程で幅広い技能を習得できるよう配慮する必要もある。

統合プラットフォームは基本的にはソフトウェアであり、計算機資源を必要とするが、それ は計算機として特殊なものではなく、将来的にはクラウド環境によってまかなえる可能性もあ る。ただし、実例として扱う課題によっては、特定用途の計測・制御・通信用の機器を持ち、 運用する必要は生じうる。

なお、統合プラットフォームは公募研究のすべてに用いることのできる汎用的なソフトウェ アを目指すが、プログラム初期段階では個別の公募研究ごとに対応を始めるべきであろう。最 初から統合プラットフォームの仕様や機能を固定することが、個々の公募研究の推進の障害に なる可能性があるからである。統合プラットフォームのソフトウェアは、研究プログラム終了 後は多数のサイトでそれぞれ独立に運用されることが期待されるが、開発途上では特定のサイ トで運用し、研究プログラムのメンバーに加え、他の研究者や関心のある人々がそのサイト上 で利用する形が適切であろう。したがってその計算機資源をもつサイトが共同作業の場となる。 場を共有することは参加する研究者間の知見の共有にとっても有効である。

ここで構築されるソフトウェアのうち、汎用性の高い共通基盤は、研究プログラム終了時に はオープンソースソフトウェアとして公開され自律的な発展をたどることが想定される。特定 のモデル間の連携にのみ使われる機能や応用プログラムについては、オープンソース化される 場合と知的私有財産とされる場合との両方がありうる。収集されたデータの終了後の引き継ぎ 方も事前に決めておく必要がある。

公募研究(B) 流域圏水問題解決型研究プロジェクト

この研究プログラムでは、流域圏の水問題の解決をめざす研究プロジェクトを複数公募する。 対象とする流域圏は国内、海外を問わない。

採択されたそれぞれの研究プロジェクトは、具体的な流域の水の統合的マネジメントを志向 する主体(ステークホルダー)の課題認識をふまえて、モデルを構築し、数値実験を行なう。 モデルの入力や検証に使われるデータをとるために、流域の自然環境および水処理施設・管路・ 制御施設等について物理・化学量の計測や生物調査を行うこと、地域の住民・産業について社 会調査を行うことも含まれる。この研究プログラムの期間内に実際の流域の施設群を統合的に 制御する実験を行うこと(実装フェーズに相当)は、時間的/コスト的制約から困難と思われ るが、いくつかの施設を制御する実験を含めることはありうる。

水マネジメントを志向する主体については、国内と海外の場合を分けて考える。国内の場合 は、地方自治体に研究プロジェクトへの参画を求めることが適切であろう。上水道、下水道、 河川管理、水環境保全などを担当する行政部署は現在は別々であることが多いが、それらがと もに参加するように自治体全体としての合意が得られていることが望ましい。

海外の場合も、現地の国または地方の行政機関の協力が必要である。国内の場合と同様に行 政機関に参画してもらう形もありうる。新規の都市建設計画提案を想定した企画の場合は、研 究者が主体となり必要に応じて民間企業を含めたチームを構成して、行政機関との間で継続的 にコミュニケーションをとることによって課題を把握する形もありうる。

この研究プログラム終了後は、産学公連携や国際科学協力・政府開発援助などの制度を利用 して、水マネジメントへの実装に向かうことを想定する。特に海外をフィールドとする場合、 日本の研究事業では多くの場合海外で執行できる費目が限定されるため、この研究プログラム の実施期間中に並行して国際科学協力などの制度を利用した別のプロジェクトを開始すること が望ましい。このような仕組みの先行的なプログラムとして、JST と(独)国際協力機構(JICA) が共同で実施している、SATREPS(Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development:地球規模課題対応国際科学技術協力)がある。

なお、国際科学協力には、二国間・多国間の共同研究についてそれぞれの国の研究推進機関 が自国の研究者の費用を負担するスキームと、政府開発援助と組み合わせて日本の費用は研究 推進機関が、現地国の費用は日本の国際協力機関が負担するスキームがあり、相手国によって 使いわける必要がある。

② 時間軸に関する考察

流域圏水問題に関しては、多くの水処理、水循環に関する研究がこれまで積み上げられてき たが、今後は社会システムの構築普及を通して国内外の水問題を解決しようとする視点を加え、 実装を目指した課題達成型研究を推進することが重要となる。構築を構想するシステムが社会 にとって有用であるかどうかなどを、持続可能性や経済性も含めて事前評価するためには、異 種モデルを統合利用することが必須であり、プラットフォーム化も含め、早急に整備する必要 がある。

これまで述べた、「将来水問題の解決に向けた統合モデリングの研究」の推進について、時間 軸上の位置づけを図6に示す。



図6 研究開発推進のための時間軸に関する考察

図6に示すように、研究開発課題については、統括チームが準備期間中に解決すべき流域圏 水問題を複数抽出し、それぞれについて構築すべき社会システムの素案とともに提示する。水 問題の抽出には、住民、自治体、海外コンサル、水インフラ事業者などからのニーズも反映す るものとする。構築すべき社会システムの検討には、既存の水理モデル、水質モデルなどを、 社会経済モデルなどと統合して用いる。

統括チームから提示された具体的な流域圏水問題について、研究プロジェクトの公募が行われ、経過年にしたがって複数の研究プロジェクトが推進される。また、これら具体課題に対する研究プロジェクトとは別に、流域水循環統合モデル/プラットフォームの研究開発を進める。ここでは、先ずは既存の統合モデルなどを活用してプロトタイプのプラットフォームを開発し、公募研究チームからの要望に対応しつつ、複数の専門分野モデルから選択統合を可能とする標準インターフェースの研究、モデル自体の拡充を行うとともに、統合プラットフォームの高度 化を数理科学やシステム科学に基づいて行う。これら拡充、高度化されたプロトタイプは具体研究プロジェクトに適用されるとともに、そこでの知見はさらに最終的な統合モデリングシステム/プラットフォームの研究開発にフィードバックされる。

複数の研究プロジェクトは、それぞれ国内自治体の課題あるいは海外具体流域の課題をケーススタディとして推進するものとする。また、研究プロジェクト終了にあわせ、統合プラットフォーム運用センターを設置し、研究成果のデータ、モデル群、統合プラットフォームを恒常的に更新・運用することにより、将来にわたって社会、産業への成果の適用を図ることが望ましい。

付録1.検討の経緯

① これまでの主な活動

JST 研究開発戦略センター(CRDS)では、社会が直面する重要課題を解決するための研究 振興策として、「システム構築戦略研究」とよばれる新しい研究カテゴリーを提案してきた(戦 略提言「システム構築による重要課題の解決に向けて」(CRDS-FY2010-SP-04,2011/3))。 そこでは、システム構築により解決しなければならない我が国が直面している重要課題として、 1)分散再生エネルギー源を含む安定かつ持続可能なエネルギー供給を可能とする社会システ ムの構築、2)高齢化社会に対応した生活支援ロボットの構成とその実用化、3)地域社会に 適合した水循環システム、を例としてあげた。1)については、2012 年スタートの JST/CREST 研究領域「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の 創出と融合展開」に考え方が盛り込まれている。

また 2011 年には、上記3)に関して、「海水淡水化システムの国際競争力向上」に課題を 絞り込んだ CRDS 内部の事例検討会として進め、システム構築戦略研究の手順を確認した。

これら経緯のもと、2011年度末に戦略立案を検討すべき次年度のテーマとして「水処理 システムを含めた水循環システムの構築を目指して」が取り上げられ、2012年4月より水 循環システムチームが構成された。チームでは定期的な会合を開いて継続的な議論を行うとと もに、文献調査、有識者調査、ワークショップなどを通じて、提案内容を具体化していった。

豊田哲朗	(株)産業革新機構投資事業グループ	執行役員	6月18日				
岡部聡	北海道大学大学院工学研究院環境創生工学部門	教授	8月 7日				
加納学	京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻	教授	8月29日				
沖大幹	東京大学生産技術研究所	教授	10月12日				
中島俊明	埼玉県企業局水道企画課	主幹	10月17日				
古米弘明	東京大学大学院工学系研究科附属水環境制御研究センタ	- 教授	10月24日				
大垣眞一郎	(独)国立環境研究所	理事長	10月30日				
中村茂	日本工営(株)中央研究所総合技術開発部	部長	11月 6日				
椎葉充晴	京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻	教授	11月12日				
三平満司	東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム専攻	教授	11月12日				
依田幹雄	(株)日立製作所インフラシステム社	技術主管	11月14日				
安岡善文	JST 研究開発戦略センターシステム科学ユニット	フェロー	11月21日				
滝沢智	東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻	教授	12月 5日				
樋口知之	統計数理研究所	所長	12月14日				

有識者調査では、以下の方々にご意見を伺った。

本提案に至るまでチーム内でなされた議論、有識者調査などにより定めた視点を以下に示す。

- ■流域(≒地域)の水循環システムを検討の対象とし、これまで実現されていなかった、地域 水循環システムの総合的な理解と管理を行うことで、様々な社会的課題の解決を図る。
- これまで水循環システムの総合的な理解と管理が出来なかった最大の技術的な原因は、モデ

ル統合のための共通仕様を示すモデリングシステムがなかったからである。既存の水関係の モデルを統合・連携できる統合プラットフォームを実装し、地域水循環システムモデルを構 築することを、本戦略プロポーザルの提案の骨子とする。

 実際の地域を複数選択し、その流域での課題解決を図るプロジェクトを公募する。その研究 開発のプロセスに、システム構築戦略研究が提案する分析・設計・構築の手順を適用する。
そして、課題解決型プロジェクトの実施を通じて、システム構築方法論の改善を図る。

② ワークショップの概要

- 1. 開催概要
- 1-1.背景と目的

水循環システムチームは、国内、海外の水に関する諸問題の解決を目指し、システム構築戦略に基づいた持続的な水循環システムを実現するための科学技術戦略立案を目的として、平成24年度に発足した。文献調査や有識者インタビューを通じて、流域圏水循環システムの多面的な分析・評価を可能とする本格研究に必要な科学技術の抽出を行った。調査の結果、都市や水処理設備等の人工システムと流域圏の自然環境、さらには社会・経済環境までを取り扱うことができるシステム、より具体的には解くべき課題に応じて異なるモデル群を連携可能であり、様々なシミュレーションを実施できる「統合プラットフォーム」の構築がこれからの重要な課題となりうること、また、モデルの実現に必要なデータの取得、様々な入出力情報の粒度や精度などの整合性確保、プラットフォームと接続するためのインターフェースの定義、新しい数理的手法の適用などが大きな問題であることが整理された。

本ワークショップでは、有識者との議論を通じ、公的資金を投入する意義の明確化、水循環 システム構築に関する研究開発における技術的ボトルネックの把握と今後の課題抽出、研究推 進にあたって必要な方策などをより具体化することを目的とした。

1-2.日時・場所・参加者

日時:平成24年12月22日(土)13時~17時45分

場 所: (独) 科学技術振興機構 研究開発戦略センター 東京本部別館 2 階セミナー室 参加者:

講演者(敬称略、五十音順)

大垣眞一郎 (独)国立環境研究所 理事長

小川田大吉 日本工営(株)中央研究所 総合技術開発部 応用水理グループ 課長

- 沖大幹 東京大学生産技術研究所 教授
- 椎葉充晴 京都大学大学院工学研究科 社会基盤工学専攻 教授
- 樋口知之 統計数理研究所 所長
- 古米弘明 東京大学大学院工学系研究科 附属水環境制御研究センター 教授
- オブザーバー
- 岩崎一弘 内閣府政策統括官(科学技術政策・イノベーション担当)付 参事官 事務局

CRDS 水循環システムチーム

1-3. プログラム

オープニング

13:00~13:05 開催挨拶 木村英紀 上席フェロー(CRDS)

13:05~13:20 趣旨説明 豊内順一 フェロー(CRDS)

セッション1「水循環システム関連テーマの研究動向と展望、CRDS 提案への意見・要望、他」 司会:豊内順ーフェロー(CRDS)

13:20~13:40 大垣理事長 「戦略プロポーザル案に対するコメント」

13:40~14:00 古米教授 「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」

14:00~14:20 沖教授 「水循環 in 地球システムモデル」

14:20~14:40 椎葉教授 「水循環システムモデル構成のためのフレームワーク開発 について」

14:40~15:00 小川田課長 「水文・水理分野の解析プログラムの開発状況と JST 統合プラットフォームへ期待すること」

15:00~15:15 (休 憩)

15:15~15:35 樋口所長 「ベイジアンモデリング」

15:35~15:55 木村上席フェロー 「システム構築戦略研究」

セッション2「全体討論」

司会: 増田耕一 フェロー (CRDS)

- 16:00~16:10 「国の研究プログラムのテーマ設計、運用の課題」
- 16:10~16:20 司会からの論点

16:20~17:30 全体討論

おわりに

- 17:30 今後の方向性等 豊内フェロー
 - 閉会挨拶 木村上席フェロー

2. 講演概要

各参加研究者から水に関する研究動向の紹介とプロポーザル案へのご意見をいただいた。

研究動向では、様々な参考事例の紹介(東京水道経営プラン2010、海水淡水化施設「まみ すピア」、香川県多度津町の農業用水への下水再利用、荒川流域における持続的水利用の事例、 水の安定同位体を組み込んだモデル、全球水資源モデル、全球水動態モデル、下水道推進機構 では内水氾濫の評価等など)をいただいた。

プロポーザルへの主な意見を、以下に列挙する。これらの課題を克服できる研究推進の方策 が必要など様々な助言をいただいた。

- ・「システム」、「課題」、「水循環システム」などの用語の定義が必要。
- ・複数の異分野の研究者が協力するための枠組みを作る必要がある。
- ・プラットフォームを作ること自体は目的ではなく手段であり、現場に必要とされる技術を作らなくてはいけない。
- ・大渇水などの災害・事故に強い水循環システムを日本から世界へ発信することが可能なシステムを実現すべき。
- ・地下水を含めた水収支、農業も含めた水利用実態把握、水資源量と水質情報の一元表示、多

様な水利害関係者の調和、国際水ビジネス戦略との関係性など多角的な検討のできるプラットフォームでなくてはならない。

- ・地域特性や水利用意識を考慮して、地域住民の意識と協働すべき。
- ・都市の水利用、涵養されていない地下水、水温、水質、土砂輸送等も組み込んだモデルが必要。汎用化の際にフォーマットが問題となる。
- ・枯れたモデルならば統一は容易だが、発展しつつあるモデルは更新が続くため難しい。
- ・計算機科学の支援がほしい。モデリングシステムの課題として、共通仕様の要請に対してモデル作成者に書きかえ意欲が湧かないことのほか、技術的には、並列化計算への対応、粒子法適用のための改造、Fortran プログラムを組み込み可能にすること、OpenMIと結合可能にすること等が挙げられる。

3. 全体討論概要

以下に、全体討論での主な意見を列挙する。

- ・具体的な地域で問題を考えるべき。
- ・都市の場合、水道・下水・雨水をまとめて扱えるシステムが必要。
- ・社会実装の難しさは、技術の進歩、人々の価値観の変化の予測が難しいところにある。む しろ、世の中をどうしたいという能動的意識があるべき。
- ・行政縦割り、横割りの不満を言っても仕方がなく、それは変えられない。その中でどう革 新していくかが重要。
- ・システムの定義は「開いたシステム」とすべき。難しいからこそ対象にする。
- ・流域・都市で、水、食料、エネルギーをトータルに考える。
- ・受け身だけでなく世の中を変えていかなければと思う。
- ・エージェントモデルの、ミクロの行動者に立ち返って研究しようという考え方が有効では ないか。マクロとミクロの両方を結びつけて考える。
- ・科学技術については各省庁の上に立つ組織が必要。
- ・統合プラットフォームは汎用を目指す。しかし、具体的な例から始めるべき。
- ・社会変化にも対応した数十年先までのインフラ設計を目指すべき。
- ・日本の課題例:人口減に対応して、サービスを確保しながら設備縮小。
- ・世界の課題例:水・エネルギー・食料をすべて視野に入れた最適な都市設計・水施設設計 を目指す。
- ・災害対応(渇水、地震など)を取り込んだ水システムも考えるべき。

付録

付録2. 国内外の状況

水循環システムに関する統合モデル/統合プラットフォームの動向

水循環システムに関するモデルは、水の様々な分野を研究対象とする研究者によって個々 別々に開発されてきたという経緯をもつ。そのため、各モデルは独自の仕様に基づくとともに、 その研究者が対象とする問題に特化したツールであることが多い。しかし、それでは適用可能 な問題が限られるため、個々に開発されたモデルを結合する、あるいはモデル結合のための基 盤を構築する、といった取り組みが行われるようになった。前者の取り組みの成果が統合モデ ルであり、後者の取り組みの成果が統合プラットフォームである。なお、統合プラットフォー ム上で動く統合モデルについてはまだ十分な開発が行われていないのが現状である。ここでは、 国内外で一定の評価を得たモデルとプラットフォームについて紹介する。

・国内で開発された統合プラットフォーム

国内の定評ある統合プラットフォームとしては、OHyMos と CommonMP があげられる。 前者は、Object-oriented Hydrological Modeling System の略称であり、オブジェクト指向 の考え方に基づく仕組みである。要素モデルのつくり方を規定し、それにしたがって個別の要 素モデルをつくると他の要素モデルとともに全体として機能するように設計されている。京都 大学の椎葉教授の研究室において開発された。後者は、Common Modeling Platform for water-material circulation analysis の略称であり、国土技術政策総合研究所が中心になり OHyMos の基本的な考え方を継承しつつ新たにつくられた統合プラットフォームである。 CommonMP コンソーシアムという組織を設立して運営にあたっている。

OHyMos の特徴は、各要素モデルにデータを授受する「端子」をもたせ、それを通じて要素 モデル間のデータの授受を行うことである。1 つ 1 つの要素モデルは端子からデータを受け取 り、計算を実行後、結果を端子に書き出す。また、要素の結合関係は全体モデルが把握すると いう構成になっている。要素モデル外の事象については全体モデルがすべてを受け持つため、 要素モデルの作成者はデータ授受の仕様に基づいた要素モデルの作成に集中することができる。 要素の結合関係は「構造定義ファイル」というテキストファイルから指定する。そのため、全 体モデルの稼働後は、構造定義ファイルで要素がどのようにつながっているかを確認できるよ うになっている。

CommonMP の特徴は、Windows プログラムであり、GUI 環境が組み込まれており、GUI ベースで要素の結合を行うことができる、という点にある。OHyMos がテキストファイルに要 素モデル間の結合状況を示すのに対し、CommonMP ではそれを図により示しているため、視 覚的に理解しやすい。パラメータの設定や初期状態の設定などにも GUI が利用できるため、画 面の上でデータを入力することができる。さらに、非常にすぐれた GIS システムが組み込まれ ていて、国内利用の制限はあるものの GIS も利用できるようになっている。様々な空間的シミ ュレーションをした結果を GIS で見ることができ、三次元的なビューにも対応している。

OHyMos、CommonMPともに仕様が公開されており、多くの参加者がその仕様に合ったモデルを構築することができる。

以上の状況を図示すると下の図7のようになる。各要素モデルの共通部分(データ IO 等) を抽出した部分がプラットフォームとなり、要素モデルの核となる部分がそのプラットフォー ム上に展開される。これらの要素モデル同士がコミュニケーションを行うことによりモデルの 統合が図られるわけであるが、その際の方式は「端子」等を用いて標準化されている。



図7 統合モデル/プラットフォームのイメージ図

・国外で開発された統合モデル/プラットフォーム

国外で開発された統合モデルとしては、アメリカ陸軍工兵隊の HEC(Hydrogic Engineering Center) にて開発された HEC シリーズ、コロラド大学において開発された MMS (Modular Modeling System)、デンマーク水理・環境研究所(DHI) により開発された MIKE シリーズ に定評がある。いずれも GUI をベースとし、洪水影響評価などの目的に特化した統合モデル群 を開発しているという特徴をもつ。アジアでは特に DHI の MIKE シリーズがデファクトスタン ダードになっている。このシリーズには、Mike 11 (河川のモデリングソフトウェア)、Mike Basin (流域モデリング)、Mike SHE (統合貯水池モデル) など、目的に応じて多様なソフト ウェアのラインナップがある。さらに、Mike Zero というカップラーを用いて、これらのモデ ルを統合することも可能になっている。

統合プラットフォームとしては、OpenMI アソシエーションによる OpenMI (Open Modelling Interface)がある。モデルとモデルを結合するためのインターフェース仕様(Open MI Standard)をアソシエーションにおいて決めるという特徴があり、CommonMP の運営方 法に類似する。オープンソースであるため、多くの参加者がその仕様に合ったモデルを構築す ることができる。また、GUI を備えるとともに、データベースや GIS など様々なデータ形式に 対応するという特長をもつ。

・統合モデル/プラットフォームが抱える課題

現状の課題としては、以下の三点を挙げることができる。

- 1. 要素モデルの開発者にとって共通仕様の要請を満たすインセンティブが湧きにくい
- 2. 複雑な計算を行う必要がある
- 3. しばしばモデルやプラットフォームの仕様が公開されておらず共同作業の障壁となる

1 については、要素モデルが本来研究者の設定した問題に対する専用ツールであるという点 に起因する。自らの作成したモデルは自らの目的に照らして正常に動いているため、さらに改 変する意欲は湧きにくいのである。また、仮に共通システムに自らのシステムを組み込むため に働いたとしても、その貢献を評価する仕組みも確立しておらず、この点でもインセンティブ を減じてしまう。

2については、たとえば要素モデル内部の計算の並列化と、全体系の並列化ということが求 められる。洪水予測に用いられる流域全体システムにおいて、幾つかの地点で実際に流量を観 測しアンサンブル予測を行うような場合である。アンサンブル予測においてはわずかなパラメ ータ数から莫大な計算量が発生するため、そこに知恵と計算機上の工夫がなくてはうまく処理 することができない。そのような処理ができなくては、洪水予測などのリスクが高い状況に応 じたモデルの精度を高めることはできない。

3 については、MIKE シリーズのように、優れていても営利企業が運営するという制約から 仕様の公開ができないといった課題がある。したがって、自らの開発した要素モデルを既存の モデルに統合するといったことはできない。一方、営利企業の運営するシステムにおいては、 ユーザの問い合わせに対し迅速に対応する体制が整っているといったメリットもある。

以上は既存のモデルをプラットフォーム上に統合しようとした場合に挙げられる課題である が、それ以外に社会・経済的な要素を統合モデルに組み込むことが困難である、という点も課 題だといえる。この点は、はたして社会・経済的なモデルを構築し他のモデルと統合するとい うアプローチが正しいのか否かも含めて検討する必要がある。

参照先:

- ·OHyMos: 京都大学椎葉研究室(http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/ohymos/index.html)
- ・CommonMP:CommonMP コンソーシアム(http://framework.nilim.go.jp/)
- ・HEC シリーズ:アメリカ陸軍工兵司令部水文工学センター

(http://www.hec.usace.army.mil/)

- ・MMS:アメリカ地質調査所(http://www.usgs.gov/)
- ・MIKE シリーズ:デンマーク水理・環境研究所(http://www.dhisoftware.com/)
- ・OpenMI: OpenMIアソシエーション(http://www.openmi.org/)

付録3. 専門用語説明

流域

地表に降った雨や雪どけ水は地表面の高低に従って流れ、その多くは河川水となり、河川は 合流を重ねていく。この構造のもとで、地表水がある河川に流れるような地理的領域がその 河川の「流域」である。河川が存在しうる限りの陸地は、地形の稜線である分水界によって、 各河川の流域に分割される。 そのため、水の循環を扱う際には、流域ごとに考えることが有 用である。ただし、水の循環は流域で完全に閉じるわけではなく、平坦な地形では自然の河 川が分流することや、地下水の流れは地表水の分水界を横断することがある点は留意が必要 である。

統合モデリングシステム

個々のモデル自体ではなく、複数の異なるモデルを接続・連携させるためのシステム。

モデルセット

対象や解くべき課題に応じて選択された複数のモデルの組み合わせ。

共通フレームワーク

統合プラットフォームを介して異なるモデルを接続するための約束事、すなわちモデルの共 通仕様。具体的には、統合プラットフォームとの接続方法、モデルとのデータの入出力の手 順、入出力データの構造やモデル自体の機能や表記方法などを含む。

統合プラットフォーム

統合モデリングシステムをソフトウェアとして実装した基盤。

■戦略プロポーザル作成メンバー■

木村	英紀	上席フェロー	(システム科学ユニット)
豊内	順一	フェロー	(システム科学ユニット)
金子	健司	フェロー	(システム科学ユニット)
福田	佳也及	主査	(戦略推進室)
本間	弘一	特任フェロー	(システム科学ユニット)
増田	耕一	フェロー	(環境・エネルギーユニット)
山下	泉	フェロー	(海外動向ユニット)

※お問い合せ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2012-SP-03

戦略プロポーザル

将来水問題の解決に向けた統合モデリングシステムの研究 ~システム構築戦略研究の具体化~

STRATEGIC PROGRAM

Research on integrated modeling system toward solving future water problems

- Implementation of strategic research on building systems -

quotations must be appropriately acknowledged.

平成 25 年 3 月 March 2013

独立行政法人 科学技術振興機構研究開発戦略センター システム科学ユニット Systems Science Unit, Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

〒102-0076 東京都千代田区五番町7番地 電話 03-5214-7481 ファックス 03-5214-7385 http://crds.jst.go.jp/ © 2013 JST/CRDS 許可無<複写/複製することを禁じます。 引用を行う際は、必ず出典を記述願います。 No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission. Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any

