CRDS-FY2012-WR-11

科学技術未来戦略ワークショップ報告書

# 水循環システム構築の研究開発戦略

平成 24 年 12 月 22 日（土）開催

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

科学技術振興機構（JST）／研究開発戦略センター（CRDS）は、JST の研究開発戦略を立案するとともに、我が国の研究開発の推進に資する基礎データおよび知見の収集とそれに基づく戦略的研究分野の提言を行っている。平成 24 年度に検討すべき研究分野として「水処理システムを含めた持続的な地域水処理システムの構築」が取り上げられ、水循環システムチームが構成された。

2012 年 3 月の経済協力開発機構（OECD）のレポートでは、2050 年までに世界の水需要は 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、人々が住む地域それぞれの自然、風土、社会・経済環境などの違いを十分に把握し考慮した上で、水資源に代表される自然をいかに有効かつ持続可能に活用するかという、大局的な戦略が必須であろう。

わが国の第 4 期科学技術基本計画においても、水循環システムの総合力及び持続性の強化は、グリーンイノベーションの推進の重要課題として掲げられており、その達成のため、「高度水処理技術を含む総合水資源開発」および「総合システムの海外展開推進」に取り組むこととされている。水問題や水循環システムに関しては、既に大学や研究開発機関において数多くの研究が行われ、各省庁の事業として組み込まれ実施されているものも多い。しかしながら現状では、多様な水資源管理関係者の間でビジョンが共有されていない、総合的な水管理技術の研究基盤となりうる体制や共通モデルが未整備、また海外展開も一部の要素技術や製品は好調だが初期計画から保守運用までも含めたインフラシステムとしての提案は苦戦している、等の問題点がある。

このような問題意識に基づき、チーム発足後は主に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・評価を可能とする研究開発課題の抽出を行ってきた。その結果、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、より具体的には異なるモデル群を統合可能で、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得るとの仮説を得た。持続的な地域水循環システムを構築するためには、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。統合プラットフォームの適用により、水循環システム全体のモデル化が可能となり、それによって総合的な理解と、課題解決のための全体的な最適化、および管理・運用が容易になると期待できる。さらに、研究開発プロジェクトの推進を通じて、必要なシステムの社会への実装によって社会的課題の解決を図る「システム構築戦略研究」の深化とシステム科学の新しい成果が得られると考える。

検討の一環として、平成 24 年 12 月 22 日（土）に「水循環システム構築の研究開発戦略」ワークショップを開催し、有識者の意見を伺うこととした。ワークショップでは、当該研究分野の立ち上げについて、これまでの研究の紹介や考えられる研究課題の検討を行った。水循環システム構築に関する研究開発の必要性及び可能性、また研究開発推進の課題を探ることも目的とした。水循環システム構築やモデル統合の効用と困難性、新規性かつ持続性のある研究開発課題、システム構築方法論の深化に向けた研究のあり方等を議論し、研

究開発における技術的ボトルネックの把握と課題抽出に努めた。

その結果、地域水循環システムモデルを実現するための統合プラットフォームの研究を国が主導することは、概ね有効であるとの意見をいただいた。そして、

a. 複数の異分野の研究者が協力するための枠組みが必要
b. 水分野の研究者はプログラミングが専門ではないので、モデル連携のために現状のモデルを書き換えるコストは最小限にすべき
c. 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。そのため、モデルの接続作業を支援し、プラットフォームの管理・運用をする情報科学の研究チームが別に必要
d. プラットフォームは汎用を目指すべき。しかし、具体的な問題を具体的な地域で考えることから始めるべき
e. 統合プラットフォームや地域水循環システムモデルがなければ解決が困難な課題の提示が必須

などの統合プラットフォームの研究開発や水循環システムの構築を推進する際の課題やポイントが明らかとなった。

さらに、公的資金を投入する意義をより明確にするために、水循環システムモデルの構築によって解決が期待できる社会課題は何かについて、関連する既存の研究プロジェクトや国際投資案件などを参考に討議した。

その結果、以下のような研究プロジェクトのテーマ事例が提案された。

**（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、渇水など）への対応力が強い都市・水施設設計
- 水利用のスマート化：
  - 計測・制御機能の追加によるメリットの評価
- 消費の社会的コントロール（動的料金制度等）
- 都市の水資源・水循環の一体管理：
  - 現状は統合できていない、表流・地下・再生水を統一モデルで把握
  - 都市サービスとしての上下水や地下水利用の適正管理
- 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：
  - サービスを確保しながら人口減に対応し、設備縮小を含む戦略的なアセットマネジメント
  - 分散型水処理システムのパフォーマンス評価と移行へのフィージビリティ・スタディ

本報告書では、ワークショップにおける講演および議論をまとめるとともに、今後更に検討を要する事項について整理した。

# 目　　次

エグゼクティブサマリー

１．開催概要 …… 1

２．講演概要 …… 4

３．全体討論概要 …… 9

４．発表資料 …… 11

# 1．開催概要

## 1－1．背景と目的

科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）は、わが国の研究開発戦略、並びに研究開発活動の推進に資する提案の作成を主たるミッションとして活動している。

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。水循環システムの総合力及び持続性の強化は、第 4 期科学技術基本計画におけるグリーンイノベーションの推進の重要課題として掲げられており、その達成のため、高度水処理技術を含む総合水資源管理および統合システムの海外展開推進に取り組むこととされている。しかし、多様な水資源管理関係者の間でビジョンが共有されていない、総合的な水管理技術の研究基盤となりうる体制や共通モデルが未整備である、海外展開も一部の要素技術や製品は好調だが初期計画から保守運用までも含めたインフラシステムとしての提案は苦戦している、等の問題点がある。このような問題意識に基づき、チーム発足後は主に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・評価を可能とする研究開発課題の抽出を行ってきた。

その結果、地球上には水不足や水質汚濁、洪水等の様々な水問題が存在するほか、途上国では都市・流域システムの設計、先進国では水道施設の老朽化対策等、地域特有の課題に直面しており、安全で効率的な水利用の実現が求められている現状が明らかになった。これらを打破するためには、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、より具体的には異なるモデル群を統合可能で、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得ること、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。さらに、研究開発の推進によって、社会が期待する重要課題の解決のために必要なシステムを社会に構築する「システム構築戦略研究」として範疇化できると期待された。

本ワークショップでは、有識者との議論を通じ、水循環システム統合モデル構築に関する研究開発の必要性及び可能性、また研究開発推進の課題を探ることを目的とした。公的資金を投入する意義を明確にするため、水循環システム構築によって解決が期待できる社会課題は何か、モデル統合や統合プラットフォームの構築は適切な手段か、日本の研究開発やビジネスにどのような貢献ができるか等を論点とした。また、水循環システム統合モデル構築の効用と困難性、新規性かつ持続性のある研究開発課題、システム構築方法論の深化に向けた研究のあり方等を議論し、研究開発における技術的ボトルネックの把握と課題抽出に努めた。さらに、関連する既存の研究プロジェクトや国際投資案件等を参考に、適切な研究プロジェクトのテーマ設計や運用手法についても討議した。

## １－２．日時・場所

日　時：平成 24 年 12 月 22 日（土）13 時～ 17 時 45 分
場　所：JST 東京本部別館 2 階セミナー室

## １－３．参加者

**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

| | | |
|---|---|---|
| 木村　英紀 | システム科学ユニット | 上席フェロー |
| 豊内　順一 | システム科学ユニット | フェロー |
| 金子　健司 | システム科学ユニット | フェロー |
| 福田佳也乃 | イノベーションユニット | フェロー／戦略推進室　主査 |
| 本間　弘一 | システム科学ユニット | 特任フェロー |
| 増田　耕一 | 環境・エネルギーユニット | フェロー |
| 山下　泉 | 海外動向ユニット | フェロー |

## １－４．プログラム

**オープニング**

13：00 ～ 13：05　開催挨拶　木村上席フェロー
13：05 ～ 13：20　趣旨説明　豊内フェロー

**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：豊内順一フェロー（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　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

## ２－１．戦略プロポーザル案に対するコメント（大垣理事長）

- CREST「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」研究領域について、JST ニュース 2012 年 12 月号で紹介。17 の研究チームで実社会への適用を念頭に置いた持続可能な水利用の提案を目指している。
- さらに、参考となる事例として、東京都水道局の東京水道経営プラン 2010、北九州の渇水対策のための海水淡水化施設「まみずピア」、東京の水洗便所等への下水再利用、香川県多度津町の農業用水への下水再利用、メキシコシティーや天津、香港での下水処理問題への対応、バンコクと大阪の地下水と地盤沈下問題等がある。
- 科学・技術・イノベーションの観点から、水問題はリニア型ではなく、社会的課題が先にある課題対応型。
- 「システム」、「課題」、「水循環システム」という用語にはそれぞれ複数の意味があり、明確に定義して使用することが必要。
- 「水循環システムモデルと統合化」の目的が、システム構築戦略の方法論なのか、水循環における解決すべき課題の発見と解決なのかによって、取り組む研究が違う。また、「水不足」にも様々な要因があり、明確に定義すべき。

＜議論＞

- プラットフォームをつくること自体は目的ではなく手段。課題解決にその手段が有効だという仮説で考えている。（豊内）
- コンピュータ上のモデルを考えるのか？（大垣）
- ミドルウェアなのか、概念なのか、まだ解をもっていない。（豊内）
- 水に関する課題解決だとすれば、「大渇水はどんなときに起きるか、そのときに水はどう供給するか」という問題に対して、どんな道具だてがよいか考えることがありうる。災害・事故に強い水循環システムを日本から世界へ発信できる。（大垣）
- それでないと解けない課題を正面に立てるべきと考えている。（豊内）

## ２－２．水循環や水利用に関連する研究紹介（古米教授）

- CREST では「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」との課題を掲げ、都市水利用の戦略構築のための流域水資源の質と量の予測、潜在的な水資源を考慮した水利用デザインに取り組んでいる。
- 荒川における持続的水利用に向けて、水文、水質、都市雨水、地下水、都市水利用デザインの 5 グループで研究。今後、河川管理者・地下水管理者・上下水道事業者との合意形成のための議論を予定。
- 流域水資源の将来予測手法の開発、農業利用が多い荒川流域の地下水取水可能量の推定、再生水等の都市自己水源の水質評価、路面排水を対象とした貯留浸透施設の水質モニタリング等に取り組んでいる。また、グーグルマップを利用した都市雨水利用データベースを作成し、利害関係者への情報提供を行っている。

- 水利用システムのデザインには、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ることが必要。また、渇水や汚染のリスクを想定して、様々な評価指標を示し、シナリオを多数作ることが重要。多様な利害関係者が情報を持ち寄り、それに基づいた最適化シナリオ群と評価を提示することで、合意形成を図るべき。
- 水循環･水利用の研究戦略に求められるものは、モデル共有のプラットフォームの形成、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、と考える。



**＜議論＞**

- 研究課題にある「気候変動に適応した」とは？（木村）
- 将来の気候変動も考慮して、どこまで再生水・雨水・表層地下水を利用し得るかを検討するとの意図。（古米）
- 温暖化への mitigation（緩和）ではなく adaptation（対応）を志向している。（大垣）

## ２－３．水循環 in 地球システムモデル（沖教授）

- 地球システムモデルで水循環をどう扱うか。水資源・水災害は世界各国の経済社会に影響し、途上国の水資源開発や水マネジメント支援も必要。水を媒介とする気候と社会をつなぐ地球システムモデルの構築が重要。
- 水の安定同位体を組み込んだモデル、全球水資源モデル、全球水動態モデル等の構築を推進。古気候再現や将来予測の精度向上のため、各国でモデル開発競争が激化。
- 世界的には、水需給の計算ができる水資源モデルが必要。都市の水利用、涵養されていない地下水、水温、水質、土砂輸送等の検討も今後の課題。
- モデルを隠すのでなく多くの人に使ってもらうべき。ユーザーが増えると意見交換、マニュアル整備が進む。モデル構築の公開プラットフォームを構築し、自習テキストも用意する等の取り組みも行っている。
- 水循環・水資源モデルは、計算負荷よりも I/O 負荷がボトルネックであり、環境情報、人間社会情報の入手・整備が常に鍵。また、予測可能性・精度は気象予測に依存。水マネジメント計画立案にも利用できるが、被害関数が世界的に未整備。
- モデルには不確実性が伴う。共通プラットフォームには、フォーシング、植生・人口等の情報も含めることが必要。また、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。
- 日本のモデルは世界で活躍している。モデル開発は長期継続、人材育成が鍵。

**＜議論＞**

- 分散したデータベースからデータを収集することがボトルネックか？（豊内）
- バスで直結されたハードディスクでも遅いくらい。計算負荷はそれほど高くない。（沖）
- 「水資源モデル」「水文モデル」等の用語ごとに違いはあるのか。（古米）
- 水収支に特化したモデルや陸面過程モデルのように気候との関係、エネルギー収支を考慮するタイプなど様々。（沖）

- 被害関数とは？（大垣）
- 洪水による経済的被害、渇水による疾病率等、気候変動対策への投資と利益や損失の関係を算出するために必要な関係式。社会経済環境の影響も受ける。（沖）

## ２－４．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（椎葉教授）

- フレームワークは、モデリングシステムと呼ばれることもある。。モデリングシステムはモデルを統合する基盤となる。アプリケーションフレームワークも似た概念。
- フレームワークが必要である理由としては、原理の異なる多くの要素からなる、異なる組織の人によって開発される、現象は多様であり変化するため統一標準モデルでは不十分等が挙げられる。モデルの構成方法を共通にし、モデル相互接続を可能にするモデリングシステムをつくることが、社会的要請や政策課題に短期間で対応するために必要であり、国際貢献も容易になる。
- モデリングシステム開発の事例には、米国工兵隊の HEC、コロラド大学の MMS、デンマーク水理・環境研究所（DHI）の MIKE、欧州共同体の OpenMI、京都大学の OHyMos、国土交通省国土技術政策総合研究所を主体とするコンソーシアムで運営する CommonMP 等がある。
- 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わかないことのほか、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。これらの課題を克服できる研究推進の方策が必要。

**＜議論＞**

- particle filter やモンテカルロに近い方法との印象を受けた。計算手法をさらに工夫できる点があるのではないか。（樋口）
- 技術的な課題も多く、その解決に苦労している。（椎葉）
- 計算機アーキテクチャーを考慮することが必要。（樋口）

## ２－５．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（小川田課長）

- 建設コンサルタントとして、水理水文解析プログラムを開発。先進的要求は国内業務で発注されることが多いが、海外では単純なモデルが有用である。ただし、物理的な水文過程が考慮されていることが重要。
- 水問題は流域ごとに多様であり、汎用性のあるモデルの構築は難しい。研究所を活用して極力自社開発し、状況に適応できる改良を可能としている。
- 氾濫解析モデル、流域管理モデル、水文モデル等を開発。モデルごとに必要に応じて、次元や格子の変更等を行っているほか、水理と植生消長の関係、土砂輸送及び堆積過程、内水氾濫と構造物との相互作用、津波及び高潮の河川遡上等の解析も実施。
- 統合モデルを研究に留まることなく実務で適用するためには、基礎式から把握していることが必要。ソースが共有されていなければ利用できない。また、建設コンサルタント

各社が自社開発している様々な解析ツールについて、性能評価、認証する仕組みがあるとよい。

- CommonMP は一般的な技術者にとって精通すれば通常業務を効率化できるツールとして期待している。統合プラットフォームとのコラボレーションによって、業務に使える解析エンジンが公開されることが望ましい。また、問い合わせに対して即時に対応する体制を期待する。

**＜議論＞**

- アンサンブル予測のような機能はあるか？（樋口）
- アンサンブルは手作業。（小川田）
- アンサンブルを効率的に処理すべき。また、災害対応にはリスク解析が必要。（樋口）
- 業務では危険度評価を行っている。（小川田）
- パラメータが複数あると、アンサンブル予測に莫大な労力がかかることが問題。（樋口）
- CommonMP でもまだ十分な対応できておらず、今後の課題。（椎葉）



## ２－６．ベイジアンモデリング：データ同化と階層ベイズモデル（樋口所長）

- 日本全体の社会構造の変化への水資源管理システムの対応が必要。人口の減少や節水技術の向上による水需要の変化、水道インフラの維持と保守のあり方等、検討すべき課題がある。
- モデル統合技術は、マクロモデルとミクロモデルとの統合、空間次元の統合等、様々な取り組みが進められているとの印象。モデル記述言語やモジュール化等の技術的な知識も蓄積されつつある。
- データ同化は、シミュレーションとデータを統合するために必須の計算技術。気象・海洋学では、時間・経費を節約する効率的な観測システムを構築する目的でも活用されている。局地高精度予測のためにはアンサンブルダウンスケーリング予測手法も重要な課題。
- 有限要素法による地盤シミュレーションのデータ同化では、アンサンブルカルマンフィルターが使えず､粒子フィルタを適用｡逐次フィルタリングをにより土壌の性質パラメータを推定。
- 人間の行動による影響は、減災をはじめ様々なシステムで重要な要素となる。サイバー世界と実世界にヒューマンファクターを結合させた Cyber-Physical-Human System の検討が重要。

**＜議論＞**

- 人口減少による水需要の変化は重要課題。水道事業の経営統合が国策として議論されている。物理的分散処理場をどう扱うか、検討されつつある。（大垣）
- 2011 年に台風で氾濫した熊野川上流域の電力ダムは､洪水調節のためのコンジットゲートを持っておらず、構造的に放流できない。台風がくる前に事前放流ができなかったのではない。（椎葉）
- 電力ダムとしては台風の影響によく対応した事例。（小川田）

- 多目的ダムならば事前放流が通例。（大垣）

## ２－７．システム構築戦略研究（木村上席フェロー）

- システム科学ユニットでは発足以来、システム構築戦略研究について検討してきた。水循環システムはこの応用研究という位置づけであり、システム構築がもっとも生きるテーマと考えている。
- システム構築の重要性は既に認識されており、「システム」の意味に違いが見られるものの、官民から様々な提言が公表されている。
- しかし、システム構築は難しい。日本は製品としてのシステムを構築してきた事例があるが、今は要求が多様化し、異種の技術の統合、利害関係者の相克、状況の時間変動、縦割り行政による分断等、社会実装の難しさが増している。また、ファンディング制度にも、必要な要素技術開発や実用化研究に対する支援の不足等の問題がある。
- システム構築戦略研究とは、研究者自身による社会実装を含むフィージビリティ・スタディであり、利害関係者の調整までを含めて確認した上で実行すべき。未知の課題はシステム科学技術の課題として対応し、システム構築後も評価を続けることが必要。
- 水問題に対応するためには、まず重要課題を分析し、バーチャルな世界を活用して必要な要素技術を結合したシステムを構築し、問題解決の有効性を実証することが重要。丹保憲仁先生が提案されている「自律分散型の水システム」は示唆に富む提案。

# 3．全体討論概要

## （1）自由討論

自由討論における、主な意見は以下の通り。

- 丹保先生の言う「システム」は日常用語であり、国全体でなく地域別に設計するとの思想。（大垣）
- 提案内容において、システム構築方法論の新しい展開を探ることも重要な側面と位置付けられているが、実際には様々な水システムが存在する。具体的な地域で問題を考えることが重要。（大垣）
- 社会実装の難しさを克服するには、世の中をどのように変革したいか能動的意識が必要。縦割り行政の弊害がある中でどう革新するのか、検討すべきではないか。（大垣）
- 流域とその周辺の都市、さらに食料やエネルギー問題も視野に入れた、開いたシステムを考えたい。そのためにはさらなるモデル研究が必須。このようなプロジェクトを進めるには、科学技術行政による重点投資が必要。（木村）
- 総合科学技術会議でも「システム改革」について検討してきたが、議論が思うようには進まなかった。各省の理解や協力を得ずに施策を進めることは難しい。（岩崎）
- 水循環システムの汎用性は重要だが、まずは具体的な事例を取り上げて、どのようなシステムが必要なのか検討することから始めるべき。また、汎用システムであっても、事例に応じて部分の取捨選択が必要。治水や水資源評価等の目的によって、必要な部分が異なる。（全員）
- 日本においては、人口減少に伴いサービスを確保しながら設備を縮小する等、数十年先まで社会変化に対応できるインフラの設計が必要。（全員）
- 世界においては、水・エネルギー・食料問題を視野に入れた最適な都市・インフラ設計が求められる。また、渇水や地震等の災害対応も重要な視点。（全員）
- 水利用のスマート化のため、計測・制御機能を追加してそのメリットを評価できるシステムが必要。また、料金制度等の水の消費に対する社会的なコントロールも考慮すべき。（全員）
- 都市の水資源管理に関しては、表流水、地下水、再生水を統一的に扱うことが重要。また、インフラ群の効率や環境性能の客観的評価も必要。（全員）

## （2）統合プラットフォームの適用事例案

さらに、公的資金を投入する意義をより明確にするために、統合プラットフォームを用いた水循環システムモデルで分析・設計を行い、その結果に基づいてシステムを構築することによって解決が期待できる社会課題は何か、関連する既存の研究プロジェクトや国際投資案件などを参考に討議した。

その結果、以下のような研究プロジェクトのテーマ事例が提案された。

**（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、渇水など）への対応力が強い都市・水施設設計

- 水利用のスマート化：
  - 計測・制御機能の追加によるメリットの評価
- 消費の社会的コントロール（動的料金制度等）
- 都市の水資源・水循環の一体管理：
  - 現状は統合できていない、表流・地下・再生水を統一モデルで把握
  - 都市サービスとしての上下水や地下水利用の適正管理
- 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：
- サービスを確保しながら人口減に対応し、設備縮小を含む戦略的なアセット・マネジメント
- 分散型水処理システムのパフォーマンス評価と移行へのフィージビリティスタディ

ここで提案されたテーマ事例は多岐にわたる。それぞれを水循環システムチームにてさらに精査し、地域水循環システムモデルや統合プラットフォーム、ならびにシステム構築戦略研究の有用性が発揮できる形で、整理していくことを確認した。

## （3）まとめ

本ワークショップは、有識者との議論を通じ、水循環システム構築のための統合プラットフォームおよび地域水循環システムモデルの研究分野に関する研究開発の必要性及び可能性、また研究開発推進の課題を探ることを目的とした。

その結果、当該分野の研究を国が主導することは有効であり、推進にあたっての重要な課題は、①複数の研究チームが連携できる、時間軸を考慮した「研究開発体制」および、②本研究分野の有用性を示すための、「研究テーマ（具体的な地域、及びその地域で解決を目指す水問題）」であることが指摘された。

この２点は、JST/CRDS のこれまでの検討においても認識されていた課題であったが、本ワークショップでの討議を通じて、よりその重要性が確認され、さらには具体的な研究テーマの提案も多数いただくことができた。

これらの意見や提案を整理、統合し、水循環システムチームが作成する提案書（戦略プロポーザル：CRDS-FY2012-SP-03）へと反映する。

# 4．発表資料

## 4－1．ワークショップ開催趣旨説明（CRDS）

### 「水循環システム構築の研究開発戦略」ワークショップ　開催趣旨説明

持続的な水循環システムを実現するための
科学技術研究戦略
「水循環システムモデルと統合化」

科学技術振興機構（JST）
研究戦略開発センター（CRDS）
水循環システムチーム　2012/12/22

### 内容

- JST研究開発戦略センター(CRDS)について
- ワークショップの狙い
- 検討途中の研究領域「水循環システムモデルと統合化」の戦略プロポーザル案の概要

2

### CRDSの組織

平成15年7月設立

センター長 吉川 弘之

平成23年度予算　1,195 百万円
CRDS　671 百万円
CRC　524 百万円

人員63名（常勤44、非常勤19）

アドバイザリー委員会

首席フェロー 野依 良治 独立行政法人理化学研究所 理事長

副センター長 有本 建男　植田 秀史

中国総合研究センター センター長 吉川 弘之

企画運営室　戦略推進室　システム科学U　電子情報通信U　ナノテク・材料U　環境エネルギーU　ライフサイエンス・臨床医学U　政策U　イノベーションU　海外・融合U

U：ユニット

戦略プロポーザルの作成はチームを編成して実施。

3

### CRDSの業務の概要

例）・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
・太陽光エネルギーの利用拡大基盤技術

- 国が今後研究投資を行うべき、研究領域、研究課題、その推進方策を提言。
  （大学等で行われる目的基礎研究が主対象）
- 政策的課題についても、適宜、提言。
  （新興・融合分野の推進方策、臨床医学等）
- JSTの事業に限定せずオールジャパンで
- 中立、衡平、公正、エビデンスベースで

4

### CRDSにおける研究開発戦略の立案プロセス

研究・開発投資、戦略目標の設定、研究システム改革・制度設計などへの展開

戦略プロポーザル

年度後半にセンター全体で議論しテーマを決定。翌年度、ユニット横断でチームを編成し戦略プロポーザルを作成。

研究者コミュニティ、政策立案者、産業界等
人的ネットワーク
"戦略スコープ"

科学・技術の領域
研究開発領域ごとの俯瞰
重要な研究開発領域・課題群を抽出

社会的期待と科学技術の「邂逅」
領域統合・役割連携を含むイノベーションにつながる研究課題の構成

重要な社会的期待を抽出
社会的期待の俯瞰
社会的期待

海外の研究開発状況との比較
・俯瞰的な国際比較調査
・定常的な海外動向調査
・G-TeC（Global Technology Comparison）

5

### 研究開発戦略センターの提言の位置付け

内閣府（総合科学技術会議）

文部科学省
戦略目標設定
科学技術振興調整費

経産省　厚労省　農水省
関　連　府　省

提案

科学技術振興機構
戦略的創造研究推進事業（CREST、さきがけ）
戦略的国際科学技術協力推進事業

研究開発戦略センター
戦略プロポーザル（提言）
国際比較調査報告書
WS報告書
G-TeC報告書
海外調査報告書 等

6

## 持続的な水循環システムを実現するための科学技術研究戦略
## 「水循環システムモデルと統合化」

JST/CRDS
水循環システムチーム

## 目次

1. ワークショップの狙い
2. 問題意識
   - □ なぜ今か、なぜ水か？
   - □ 提案の背景と課題
3. 水循環システムに関するこれまでの検討概要
   - □ 戦略プロポーザル案の要点
   - □ 関連する動き
   - □ システム構築戦略研究
   - □ 新しい研究ファンドのスキームとプロジェクト管理体制

8

## ワークショップの狙い

1. 当該分野における研究開発の必要性を探る

**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よって解決が期待できる社会的課題
・課題解決における、モデル統合や統合プラットフォームの必要性
・わが国が取り組む意義（例：次世代水循環システム研究立上げ、水循環システム分野の国際競争力の向上）

2. 当該分野における研究開発の可能性を探る

**技術的ボトルネックの把握と課題抽出**

・水循環システム構築、及びモデル統合の効用と困難性
・当該分野の研究の新規性、持続性と具体的な研究開発課題
・システム構築戦略研究を通じた、システム構築方法論の深化

3. 当該分野の研究開発推進の課題を探る

・研究推進に資する研究プロジェクトのテーマ設計/運用手法

9

## 研究投資する意義
### （なぜ今か、なぜ水か？）1/2

**第4期科学技術基本計画（平成23年～27年）**

II 将来にわたる持続的な成長と社会の発展の実現

3. グリーンイノベーションの推進

地域水循環システムの総合力及び持続性の強化

重要課題達成施策

・高度水処理技術を含む総合水資源管理システムの構築
・上記の普及拡大に向けた、統合システムの海外展開推進

（参考：第3期科学技術基本計画の課題）
・個々の成果が社会的課題の達成に必ずしも結びついていない。
→ 近年の財政的な制約に伴い、設備や研究開発への投資の有効性がますます求められている（※）

10

## 研究投資する意義 2/2

「重要課題達成施策」の実現には様々な問題がある

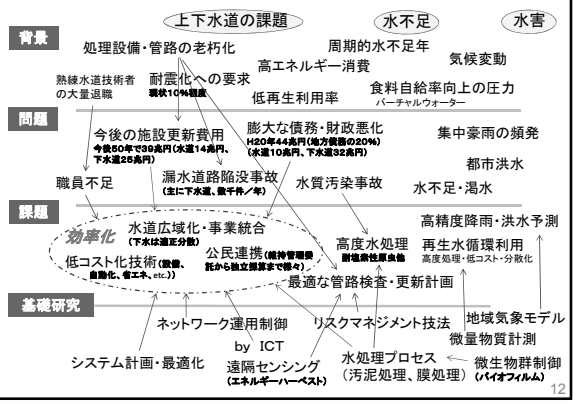
・「総合水資源管理システム」のビジョンが共有されていない
  - 従来水サービス（上下水、農業用水、工業用水等）や流域環境は、所轄省庁間の壁もあり「統合的な監視と管理」が実施されてない
  - 将来にわたって持続可能な次世代流域水循環システム（≒ 地域上中下水道システム）に関する検討と議論が十分になされていない
・現状では「総合水資源管理技術」の研究の基盤となりうる体制や共通モデルが未整備（部分的な着手済）

（但し「総合＝汎用」ではない。汎用は「帯に短し襷に長し」の場合も）

・海外展開も一部の要素技術や製品は好調だが、保守運用まで含めたインフラシステムの提案は苦戦

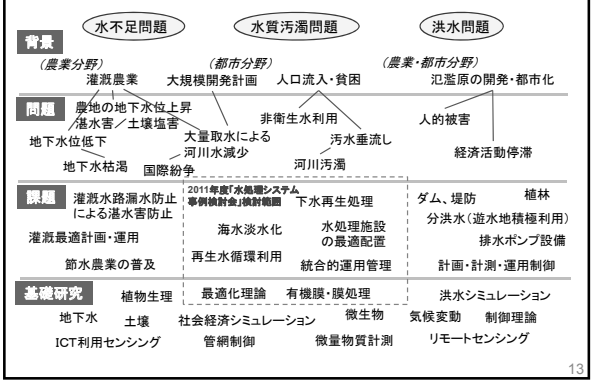
11

## 提案の背景1　国内の主な水問題と課題



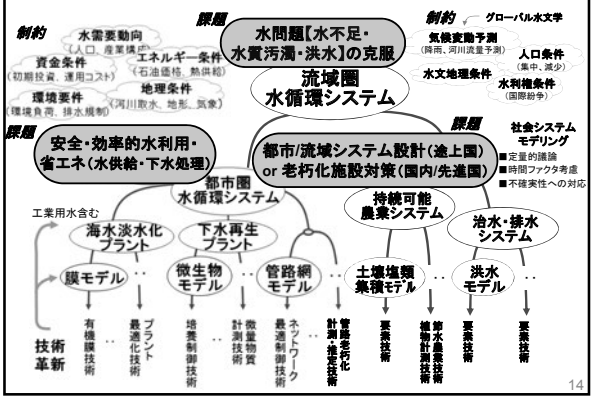

12

## 提案の背景2　海外の主な水問題と課題




13

## 社会的課題の整理と基礎研究への分解




14

## 戦略プロポーザル案の要点（1/2）

### 「水循環システムモデルと統合化」（仮題）

**研究のポイント（案）**

**持続可能な地域水循環システム実現に向け、複雑で階層的な問題を解くための、統合的な基盤（プラットフォーム）を構築する**

- 流域圏の自然環境、都市や水処理設備等の人工システムと、社会・経済環境までを扱いたい
- 異なるモデルが統合可能なように、入出力情報の粒度や精度などを揃え、プラットフォームと接続するためのインタフェースを定義すること、新しい数理的手法の適用の容易化も含む
- 「統合プラットフォーム」を用いることで、
  - (1) 多種多様な地域の流域圏水循環のシステム的理解
  - (2) 様々な側面からのシミュレーションや最適化等が可能となる
  - → 現状把握と予測の高精度情報を意思決定者へ提供できる
  - → 次世代流域圏水循環システム研究の共通基盤となり得る

15

## 戦略プロポーザル案の要点（2/2）

### 「水循環システムモデルと統合化」（仮題）

**研究のポイント（案）　つづき**

- **システム構築方法論**の体系化
  - (1) 多様なステークホルダの設定、複雑な相互影響の考慮、様々な要件の優先順位付け
  - (2) **有望な研究開発領域の明確化**、および成果を社会実装する方策の検討・試行
- **新しい研究ファンドのスキームの設計、それに対応したプロジェクト管理体制**の構築

16

## 関連する動き (1/3)

### 水関係研究プログラム

- **FIRST「Mega-ton Water System」**（中心研究者：栗原優（東レ））

**目的**：世界最大の処理能力を有する省エネ海水淡水化水処理システム・下水処理システムの確立 → 日本発水メジャーの基幹技術として海外展開

- **CREST「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」**（研究総括：大垣眞一郎（国立環境研究所））

**目的**：革新的な水処理技術や水資源管理システムによって、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

**研究課題**：膜技術、森林の水資源、世界規模での水危機、水質管理・モニタリング、農業／都市における水利用、下水処理技術、水管理システム、地下水利用、水循環における放射性物質

17

## 関連する動き (2/3)

### 実証実験／実証事業

- **NEDO委託事業**（海外水循環ソリューション技術研究組合：東レ、日立プラント）
  - **「中東等の海外新興地域における小規模分散型水循環事業実証研究」**
    目的：UAE の工業団地にて、下水から工業用水を生産し、地域で循環させる事業を通じて、事業運営・管理手法の確立とノウハウの蓄積を図る
  - **「海淡・下水等再利用統合システム事業実証研究」**
    目的：北九州市日明で、省エネ型海水淡水化システムと、生活排水処理を組合せた事業を通じ、工業用水の効率的な製造技術の開発を図る

### 国際投資案件

- **産業革新機構**：オープンイノベーションの考えに基づき、新たな付加価値を創出する革新性を有する事業に対して「中長期の産業資本」を提供
  - **「チリ水事業 アグアス・ヌエバス社」**（丸紅）
  - **「豪州水道事業 UUA社」**（三菱商事、日揮）

18

## 関連する動き (3/3)

**統合モデル／プラットフォーム**

・**CommonMP**：CommonMP開発・運営コンソーシアム開発の統合インタフェイス
データの取り込み、GISとの連動、解析モデルの構築・登録、計算機能などを有する。要素モデル開発時には、C, C++, C#, Fortran, Javaなどが利用可

・**OHyMoS**：京大椎葉研究室開発の統合インターフェイス
各水文モデルの共通構造を抽出・モデル化しておき、それを継承した水文要素モデル作成を行う「構造的モデル化法」を採用。要素モデル同士が直接データの交換可能。C++, Java, C#バージョンがある

・**OpenMI**：ヨーロッパ各国の組織とEU開発の統合インターフェイス
データ交換を目的とし、数値解析を行うソフトウェアは含まれない。仕様はオープンで、C, C++, C#, Fortran, Javaなどに対応

・**MIKEシリーズ**：デンマーク DHI Water & Environment社開発のソフトウェア群
商用で仕様は非公開。共通プラットフォーム　MIKE Zeroによるカップリング可

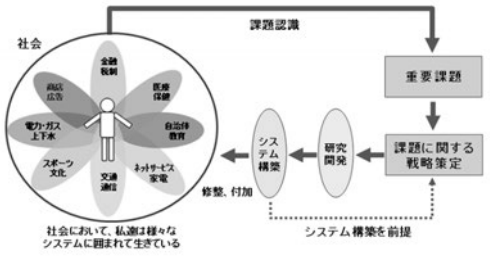
・その他、DELFT, Wallingford, IFAS といったモデルに定評がある

19

## 「システム構築」をなぜ研究対象とするか？

**システム構築によるイノベーションの実現**

→ 社会が期待する重要課題の解決は、適切な
*システムを社会に構築すること*で達成される




20

## 複雑なシステム構築にどう取り組むか？

◎ 多様な関連因子を検出し、重要性を格づけする
◎ 異種の知を組み合わせ統合する
◎ 意思決定を体系化し、合理的な基盤を与える
◎ 起こり得る環境変動に対する合目的性を担保する
◎ ステークホルダー間の合意を形成する
◎ 他のシステムとの共存、整合性を確保する

**プロジェクト・リーダーのマネージメント力や視野の広狭を遥かに超える課題　→　システム科学技術の支援が期待される**

現状では**システム構築の手順や手法**は企業のノウハウやマニュアルのレベルで、学問として体系化されていない

**「システム構築戦略研究」として戦略提言で範疇化**

21

## 新しい研究ファンドのスキームや プロジェクト管理体制の構築について

・以下のような項目を織り込んだスキームや体制が必要

1. システム全体の絵を描けるリーダーによる推進
   ・学際的・分野横断的なテーマ設定自体が研究の一部
   ・段階的（概念設計＋個別研究＋社会実装）
2. 自治体の巻き込み／拠点形成スキーム
   ・過去の知的クラスター、地域COEプログラム等を参照
3. 社会への実装方式
   ・地域への実装（水インフラ設備の再統合も検討）
   ・法律や条例の縛りと制約の回避方法
   ・産官学の協働

22

## 【参考】2011年度 水処理システム構築事例検討

**目的**：「システム構築戦略研究」を具体的な事例で試行し
研究の課題抽出、推進の具体的な枠組みを検討

**事例**：海水淡水化システムの基本設計ケーススタディ
→ 社会インフラとして重要であり、システムとしての目標も明確

メンバ：**主査**：武田晴夫（日立製作所）　**委員**：岩橋良雄（日鉄日立システムエンジニアリング）、加納学（京都大学）、栗原優（東レ）、坂井秀之（協和機電）、三平満司（東京工業大学）、船橋誠壽（横幹連合）、安岡善文（JST）
**アドバイザ**：桑原洋（日立製作所）、木村英紀（JST）

検討結果：1. 海水淡水化システムの基本設計を実施
(1) 福岡実案件をベースに、3レイヤ全体最適化方式の仮定と実施
(2) 海外既存研究の精査と上記へのembed
2. 不連続な技術革新／イノベーションの探索
・感度解析による膜技術への期待を確認
3. システム科学への貢献
・海水淡水化システムの設計プロセスと検討結果から
「システム構築戦略研究」の有効を確認

**→ 検討対象領域の拡大（プラントから流域へ）とケーススタディの深化が必要**

23

## 【参考】 流域圏水循環システムの概念図

「水処理システムを含めた水循環システム構築のための基盤研究」が対象とする範囲

自然環境：都市を含む流域＋水源＋河口近接海域
社会・経済環境：水処理施設＋人間の生活・経済活動

【流域圏水循環システム統合モデル】
流域圏の水循環システムの構成要素と相互作用を明らかにし、観測などから得られた各種データを関連付け、水に関る意思決定者が課題解決向けた施策を行う判断に資する、精度の高い現状把握と将来予測情報を提供可能とする

【注】本図に追加すべき項目
・水力発電
・海水淡水化プラント

**「効率的な水資源活用を実現する自律・分散型水循環システムの概念図」を流用**
CREST「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」
研究テーマ「水循環の基盤となる革新的水処理システムの創出（研究代表者　岡部聡教授（北大））」

24

# ４－２．戦略プロポーザル案に対するコメント（大垣理事長）

「水循環システム構築の研究開発戦略」ワークショップ：コメント（大垣眞一郎）
2012年12月22日
科学技術振興機構（JST）

用語の意味合い：

「システム」 ＝
1. 目的のある秩序だった仕組み ＞＞＞ 人為的仕掛け
2. 目的のない仕組み ＞＞＞ 自然（人智の及ばない場合もある仕組み）

「課題」 ＝
1. 仕組み自体が持つ目的
2. 仕組みにある解決すべき問題点

「水循環システム」 ＝
1. 自然と人為的（社会的）仕掛けが混在
2. 公と私が混在
3. 普遍性と地域固有性が混在

1

「水循環システムモデルと統合化」の目的は？

1. システム構築戦略の方法論の確立ならば：
複雑なシステム（水循環はその例）の場合、無数のサブシステムの同定、構造化、優先順位付け、の方法の研究になる。統合プラットホーム（？）の構築。

2. 水循環における解決すべき課題の発見と解決ならば：
その課題は、
a.【自然的】 水環境のメカニズム解明。地球規模環境変動の解明。地下水の解明。・・・・・
b.【人為的】 日本と世界の現在の水供給と排出の仕掛けの解決すべき工学的、社会学的、政治学的課題。
c.【人為的】 政策課題としての国際ビジネス展開。
d.【人為的】 水循環の仕掛けへのICTの広範な導入。

2

「水循環」の特性 ＝ 多様性

本ワークショップの開催趣旨には、多くの課題が挙げられているが、水不足ひとつにしてもさまざまである。
慢性的渇水、一時的渇水、人口集中による水不足、乾燥地帯ゆえの広域的水欠乏、人為汚染による水使用不可、自然汚染（ヒ素、塩分など）による水使用制限、水道などの社会インフラの未整備による水供給不足、自然生態系維持のための水不足、景観のための水不足、「おいしい水」の不足、・・・・・・

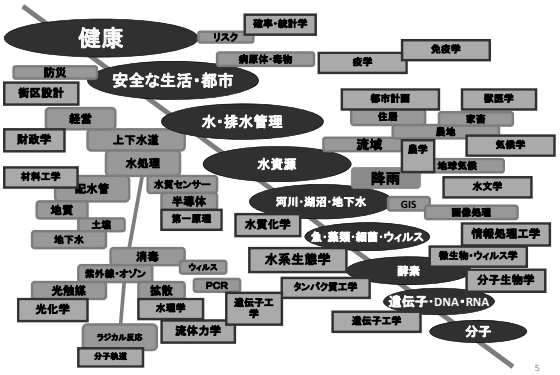
普遍的な課題もあるものの、基本的に、水問題は、空間的にまた時間的に、多様である。日本の太平洋側と日本海側では異なる、沖縄と北海道では異なる、メキシコとバンコクでは異なる、台風の時期と冬の乾燥期では異なる、経済発展地域と発展途上地域では異なる、社会インフラの整備水準で異なる、・・・・・・・・

3

いくつかの参考情報と事例：
1. CREST水領域： JSTニュース2012－12月号
2. 東京都水道局：東京水道経営プラン2010
・安全でおいしい水のお客様ニーズ
・保有する水源開発に渇水に対する利水安全度向上
・首都圏直下型地震などへの震災対応強化
・環境負荷低減
3. 北九州海水淡水化施設
4. 東京の下水再利用
5. 香川県多度津町下水再利用
6. メキシコシティー下水道
7. バンコクと大阪の地下水と地盤沈下
8. 香港水洗便所用水は海水

4

## 水環境問題の複雑性と、技術と制度の多様な連関




5

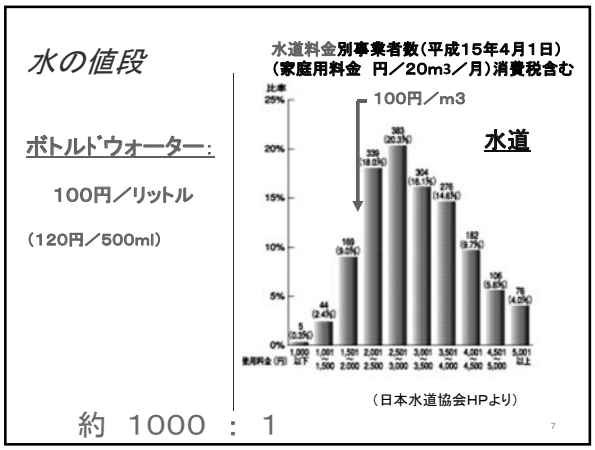
*科学・技術・イノベーション*
*(Science, Technology and Innovation)*

科学的知見 発見・発明 → 新技術 → 新製品 新サービス → 社会の革新

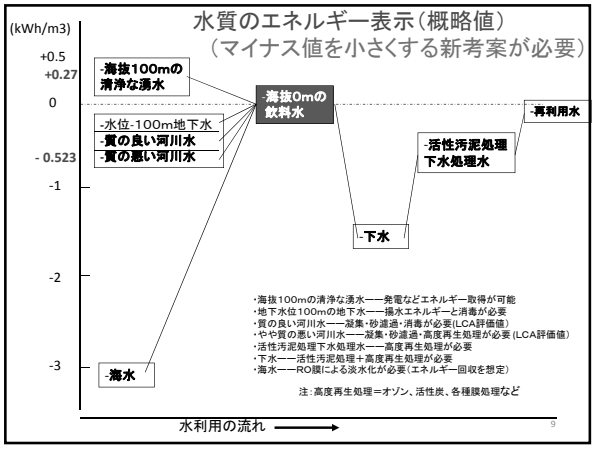
↓

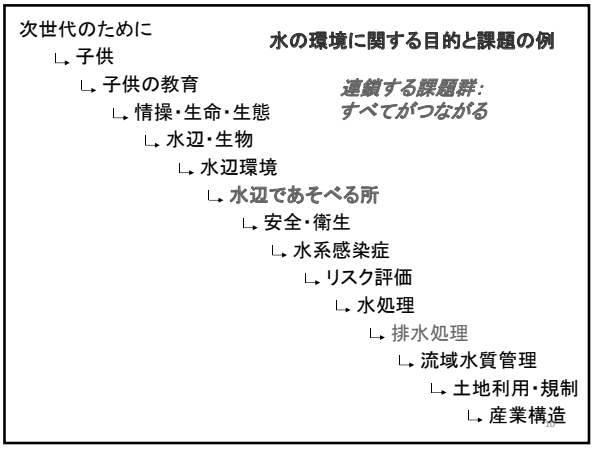
社会的課題 → 新技術システム 新サービス → 社会の革新
↓ ↑
科学的知見 発見・発明

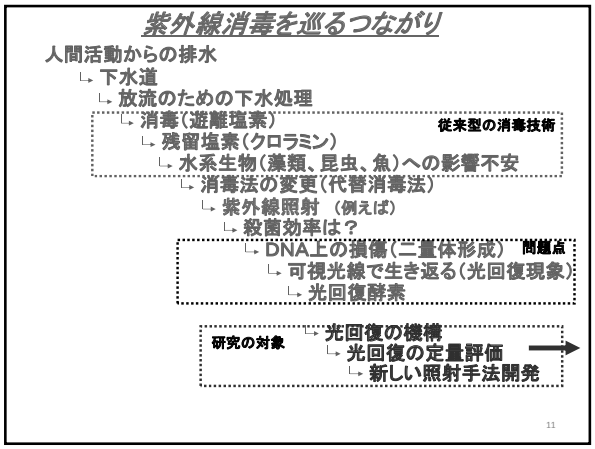
6

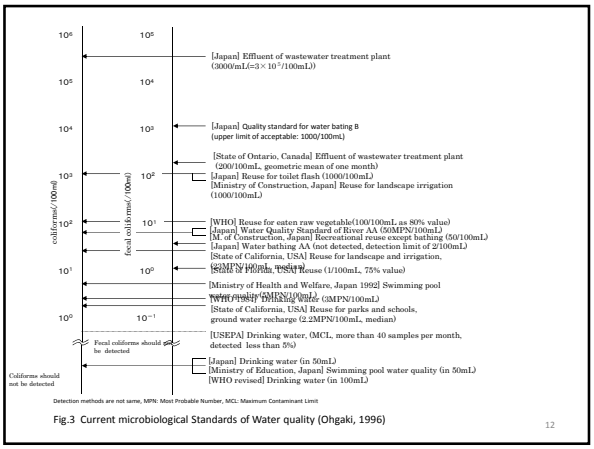

水の値段
ボトルドウォーター:
100円／リットル
（120円／500ml）
水道料金別事業者数（平成15年4月1日）
（家庭用料金 円／20m3／月）消費税含む
100円／m3
水道
（日本水道協会HPより）
約 1000 ： 1
7

1990年 unthinkable
集団下痢、園児2人死亡
浦和の私立幼稚園
病原性大腸菌を検出
35人が発病、20人
この6年後、1996年に
病原性大腸菌O157流行
自慢


水質のエネルギー表示（概略値）
（マイナス値を小さくする新考案が必要）
(kWh/m3)
+0.5
+0.27
0
- 0.523
-1
-2
-3
-海抜100mの清浄な湧水
-水位-100m地下水
-質の良い河川水
-質の悪い河川水
-海抜0mの飲料水
-再利用水
-活性汚泥処理下水処理水
-下水
-海水
・海抜100mの清浄な湧水――発電などエネルギー取得が可能
・地下水位100mの地下水――揚水エネルギーと消毒が必要
・質の良い河川水――凝集・砂濾過・消毒が必要(LCA評価値)
・やや質の悪い河川水――凝集・砂濾過・高度再生処理が必要 (LCA評価値)
・活性汚泥処理下水処理水――高度再生処理が必要
・下水――活性汚泥処理＋高度再生処理が必要
・海水――RO膜による淡水化が必要（エネルギー回収を想定）
注：高度再生処理＝オゾン、活性炭、各種膜処理など
水利用の流れ
9


次世代のために
水の環境に関する目的と課題の例
↳ 子供
↳ 子供の教育
↳ 情操・生命・生態
↳ 水辺・生物
↳ 水辺環境
↳ 水辺であそべる所
↳ 安全・衛生
↳ 水系感染症
↳ リスク評価
↳ 水処理
↳ 排水処理
↳ 流域水質管理
↳ 土地利用・規制
↳ 産業構造
連鎖する課題群:
すべてがつながる
10


紫外線消毒を巡るつながり
人間活動からの排水
↳ 下水道
↳ 放流のための下水処理
↳ 消毒（遊離塩素）
↳ 残留塩素（クロラミン）
↳ 水系生物（藻類、昆虫、魚）への影響不安
従来型の消毒技術
↳ 消毒法の変更（代替消毒法）
↳ 紫外線照射 （例えば）
↳ 殺菌効率は？
↳ DNA上の損傷（二量体形成）
↳ 可視光線で生き返る（光回復現象）
↳ 光回復酵素
問題点
研究の対象
↳ 光回復の機構
↳ 光回復の定量評価
↳ 新しい照射手法開発
11


[Japan] Effluent of wastewater treatment plant (3000/mL(=3×10³/100mL))
[Japan] Quality standard for water bating B (upper limit of acceptable: 1000/100mL)
[State of Ontario, Canada] Effluent of wastewater treatment plant (200/100mL, geometric mean of one month)
[Japan] Reuse for toilet flash (1000/100mL)
[Ministry of Construction, Japan] Reuse for landscape irrigation (1000/100mL)
[WHO] Reuse for eaten raw vegetable(100/100mL as 80% value)
[Japan] Water Quality Stapdard of River AA (50MPN/100mL)
[M. of Construction, Japan] Recreational reuse except bathing (50/100mL)
[Japan] Water bathing AA (not detected, detection limit of 2/100mL)
[State of California, USA] Reuse for landscape and irrigation, (23MPN/100mL, median)
[State of Florida, USA] Reuse (1/100mL, 75% value)
[Ministry of Health and Welfare, Japan 1992] Swimming pool water quality (3MPN/100mL)
[WHO 1993] Drinking water (3MPN/100mL)
[State of California, USA] Reuse for parks and schools, ground water recharge (2.2MPN/100mL, median)
[USEPA] Drinking water, (MCL, more than 40 samples per month, detected less than 5%)
[Japan] Drinking water (in 50mL)
[Ministry of Education, Japan] Swimming pool water quality (in 50mL)
[WHO revised] Drinking water (in 100mL)
coliforms(/100ml)
fecal coliforms(/100ml)
Fecal coliforms should be detected
Coliforms should not be detected
Detection methods are not same, MPN: Most Probable Number, MCL: Maximum Contaminant Limit
Fig.3 Current microbiological Standards of Water quality (Ohgaki, 1996)
12

# ４－３．水循環や水利用に関連する研究紹介（古米教授）

*水循環や水利用に関連する研究紹介*

CREST研究課題　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

Development of Well-Balanced Urban Water Use System Adapted for Climate Change

研究代表：古米弘明（東京大学）

研究期間：平成21-26年度

1）都市圏における水利用戦略の構築を意識した、流域水資源の質と量の予測手法を開発すること
2）都市に存在する潜在的な水資源を考慮した水利用デザイン手法を開発すること

*対象都市圏：荒川流域圏、ハノイ都市圏*

2012年12月22日　JST水循環システムワークショップ

## 流域水資源と都市自己水源の分類・整理

流域水資源　・・・・遠隔（リモート）型水資源
表流水（河川水とダム湖水）の評価
流れる水・・・フロー型、流下に伴う質変化
貯める水・・・ストック型、滞留に伴う質変化
都市自己水源　・・・・ユビキタス型水資源
雨水・・・間欠型、変動性大、貯留に伴う質変化
地下水・・・・ストック型、安定性大、汚染への脆弱性（浅層）、地盤沈下（深層）
再生水・・・フロー型、安定性大、水質改善コストとエネルギー

2012年12月22日　JST水循環システムワークショップ　2

## 荒川における持続的水利用に向けて

流域水資源G
水道水源からみた流域圏の水資源の質と量を予測する手法開発
温暖化実験結果の力学的ダウンスケーリング
分布型水文・水質モデルの開発
湖沼・貯水池における水量・水質の将来予測
汚水排出源データの収集・解析

*5つのグループによる連携研究*

水質評価G
病原微生物の総合リスク評価
上中流域における糞便汚染の起源調査
表流水の水質変容ポテンシャル評価

地下水G
気候変動に対応した地下水管理戦略の創出
地下水における臭化物イオンの分布
都市域の地下水人為汚染（NDMA, PPCP等）

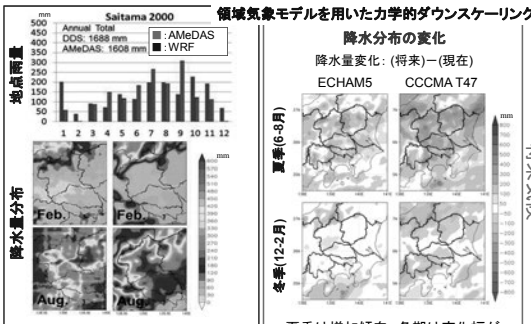
都市雨水G
都市雨水利用データベースの構築
雨水利用事例の情報プラットフォーム

都市水利用デザインG
水利用デザイン手法の開発と水利用シナリオの構築
水利用シナリオの環境パフォーマンス評価
地域住民参加と選好を考慮したシナリオ評価

*荒川流域を事例として、河川管理者、地下水管理者、上下水道事業者を意識した水利用や水資源管理のあり方の提案へ*

2012年12月22日　JST水循環システムワークショップ　3

## 気象変動を考慮した流域水資源の将来予測手法

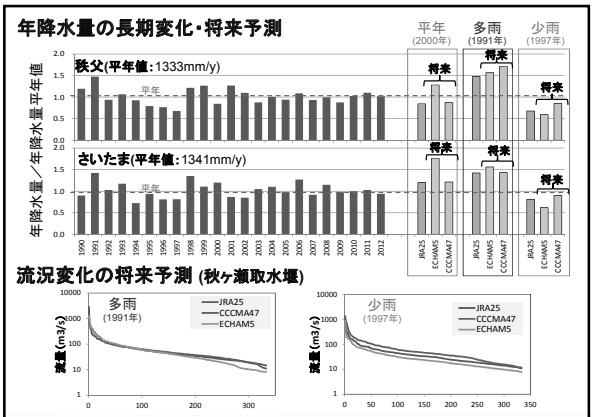



•季節，年々変動とも概ね再現
•夏季に過小の月あり(大雨イベントの影響)
•平野：夏季過少,冬季過大，山岳：過大

•夏季は増加傾向，冬期は変化幅が小さい or 減少
⇒ 気候変化の影響の季節ごとの違い

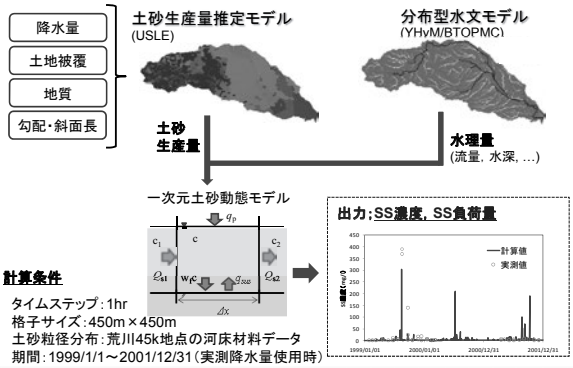
2012年12月22日　JST水循環システムワークショップ　流域水資源G　4

## 年降水量の長期変化・将来予測




2012年12月22日　JST水循環システムワークショップ　流域水資源G　5

## 分布型モデルによるSS動態の解析




計算条件
タイムステップ：1hr
格子サイズ：450m×450m
土砂粒径分布：荒川45k地点の河床材料データ
期間：1999/1/1～2001/12/31（実測降水量使用時）

2012年12月22日　JST水循環システムワークショップ　流域水資源G　6

## 荒川流域の地下水取水可能量の推定

- 荒川流域では，平成6年及び平成8年の渇水時に地盤沈下
- 近年の実績揚水量は横ばいで，地盤沈下もおおよそ鎮静化
- 今後は農業用水，水道水，工業用水ともに大幅な需要増加があるとは考えづらく，地下水揚水量が増大するとは考えられない
- そこで，近年で最大である平成8年の揚水量（農業用水，水道水，建築物用水，工業用水）を取水可能量とした（農業用水データは平成7年）

荒川流域，平成8年の地下水揚水量： 計625千m³/日
農業用： 218 千m³/日
水道用： 297
建築物用: 12
工業用： 98

2012年12月22日 JST水循環システムワークショップ 地下水G 7

## 再生水などの都市自己水源の水質評価

**多様な水資源の利用・用途拡大を適切に進めるために**

- 利用用途に応じた安全性の担保
  - 化学物質
  - 病原微生物 ①微生物リスクの総合的評価
- 水質の時間的安定性の把握
  - 細菌再増殖→利用者心理にも影響

②水質変容ポテンシャル指標の開発

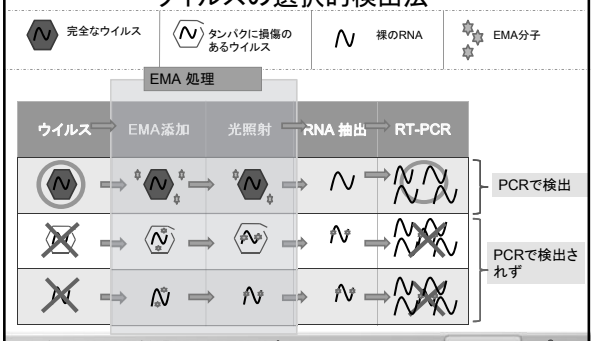
**ユビキタスな水資源としての都市雨水の利用促進のために**

- 屋根雨水と貯留雨水の水質変化の把握
- 雨天時道路流出水の流出機構と負荷量

③都市雨水管理・利用

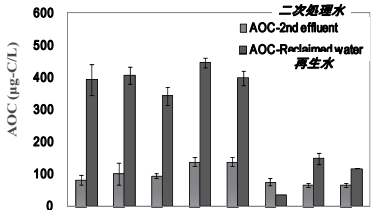
2012年12月22日 JST水循環システムワークショップ 水質評価G 8

## EMA(エチジウムモノアザイド）処理による ウイルスの選択的検出法




2012年12月22日 JST水循環システムワークショップ 水質評価G 9

## 再生水処理プロセス前後のAOC




| Process | A | B | C | D1 | D2 | E1 | F1 | F2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coagulation | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | ✓ |
| Sand filtration | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Biofiltration | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | |
| **Ozonation** | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | |
| Microfiltration | | | | ✓ | ✓ | | | |
| **Reverse osmosis** | | | | | | ✓ | | |
| **Activated carbon** | | | | | | | ✓ | ✓ |
| **Ultraviolet** | | | | | | | ✓ | ✓ |
| Post chlorination | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |

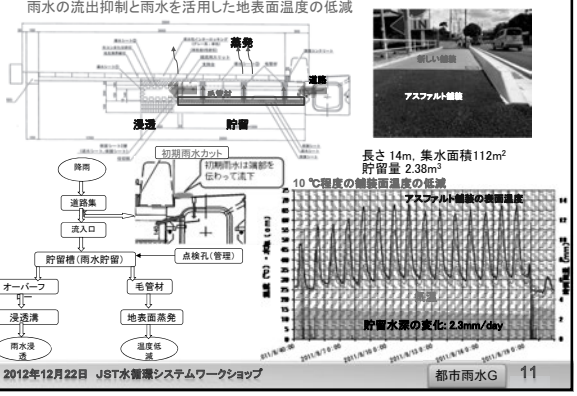
AOC:同化性有機炭素
再増殖指標
微生物的安定性

- **オゾン処理のある再生水のAOCが高い**
- **UV（紫外線）処理のあるF処理場も再生水のほうがAOCが若干高い**
- **RO（逆浸透膜）**処理のあるEでは再生水の **AOC** は低い

2012年12月22日 JST水循環システムワークショップ 水質評価G 10

## 路面排水を対象とした貯留浸透施設の水質モニタリング

雨水の流出抑制と雨水を活用した地表面温度の低減




2012年12月22日 JST水循環システムワークショップ 都市雨水G 11

## 都市雨水利用データベースの構築

※グーグルマップを利用したデータベース基盤は(社)雨水貯留浸透技術協会にて作成

2012年12月22日 JST水循環システムワークショップ 都市雨水G 12

## 流域の多様な水資源情報に基づいた水利用システム再構築のためのデザイン手法

流域水資源G
気象・水文解析

地下水G
地下水利用
地下水汚染
地下水涵養
取水可能量

雨水G
雨水利用
再生水利用
利用可能量

水質G
再生水水質
水源汚染

背景
・健全な水循環と水利用システムの再構築の必要性
・下水再生水、雨水、地下水などの有効活用
・住民を含めた利害関係者による総合的な評価の必要性

地域住民の意識と協働
・親水利用（水辺空間）に関する意識
・下水再生水等の水源利用に関する意識
・水管理と地域との関わり

*地域特性と水利用意識*

水利用デザインG

渇水・水質リスクや環境影響を考慮したシナリオ生成
・多様な水源の積極的な利用を考慮した多目的最適化

利害関係者間の合意形成手法
・コンジョイント分析などによる住民の選好の配慮
・合意形成に向けた様々な情報付シナリオの提示

*多様な水源と多様な利害関係者*

水利用システムの再構築に向けた情報の提供

2012年12月22日 JST水循環システムワークショップ 13

## 環境パフォーマンス評価とシナリオ設計

設計変数

浄水処理 の方式・割合は？
- 凝集沈殿・濾過
- 膜濾過 / 活性炭吸着
- オゾン処理 / UV処理

下水処理 の方式・割合は？
- 標準活性汚泥
- $A_2O$ / 膜浸透
- オゾン処理（再生水利用）

再生水利用 の導入地域は？
- 埼玉県の市町村 / 都区部
- 導入しない

どの施設からどの市町村へ？
- △市の上水需要量の□%は◇浄水場から輸送

水利用システムのモデル化による環境パフォーマンス等の評価

表流水 → 浄水処理 → 上水 → 水需要 → 下水
地下水
雨水
地下水
親水利用
再生水
下水処理
処理水

地域的な環境影響
域外への環境影響
域外での資源消費
事業コスト（初期・運用）
サービス質（高度浄水）

制約条件
水需要量 を供給できること
- 市町村ごとの需要量
- 飲用 / 風呂 / 洗濯 / トイレ

下水発生量 を処理できること
- 市町村ごとの発生量

評価軸
地域内・外の環境影響
事業コスト　サービスの質
渇水リスク　水質リスク など

多数のシナリオから多目的最適化により最適シナリオ群（パレート最適解）の導出

2012年12月22日 JST水循環システムワークショップ　水利用デザインG 14

目的関数
- 環境パフォーマンス評価
  - 地球温暖化
  - 酸性化
  - 富栄養化
  - 化石資源消費量
  - 鉱物資源消費量
  - 間接水資源消費
- 事業コスト
- 地域影響
  - 取水量
  - 水系汚濁物質（地域）
- 水道サービス
  - 高度浄水量

*水質リスク、渇水リスクの追加*

| | 飲用用水 | 風呂用水 | 洗濯用水 | 雑用水 | トイレ用水 |
|---|---|---|---|---|---|
| 紫外線 | × | × | × | ○ | ○ |
| オゾン | × | × | × | ○ | ○ |
| 膜処理 | × | × | × | ○ | ○ |
| RO膜 | × | ○ | ○ | ○ | ○ |

制約条件
- 下水量（市町村ごと）
- 水需要（市町村ごと）
  - 用途別上水需要（飲用/風呂/洗濯/雑用/トイレ）
  - 用途別農業用水需要（食品農作物/非食品農作物）
- 地理的条件による輸送制限

設計変数
- 処理方法
  - 下水処理施設
    - 再生水利用
    - 再生水なし
  - 浄水処理施設
- 各市町村で生じる下水量をどの下水処理施設で処理を行うか
- 各市町村の上水需要をどの浄水施設から送水するか
- 各下水処理施設で造水される再生水をどの市町村に送水するか

2012年12月22日 JST水循環システムワークショップ　水利用デザインG 15

## 環境パフォーマンス評価とシナリオ設計

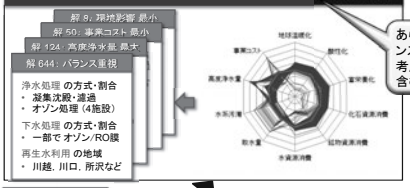
多目的最適化により最適シナリオ群（パレート最適解）の導出

解 8：環境影響 最小
解 50：事業コスト 最小
解 124：高度浄水量 最大
解 644：バランス重視

浄水処理 の方式・割合
- 凝集沈殿・濾過
- オゾン処理（4施設）

下水処理 の方式・割合
- 一部でオゾン/RO膜

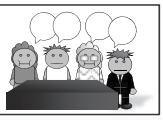
再生水利用 の地域
- 川越，川口，所沢など




あらゆる評価軸のバランス（様々な価値観）を考慮したシナリオ群を含む最適化の解析結果

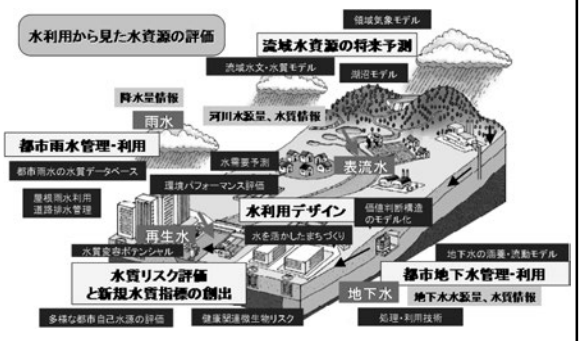
選好・意識評価

- シナリオ群の絞り込みによる合意形成の支援
- 各利害関係者への効果的な働きかけや情報提供のあり方



2012年12月22日 JST水循環システムワークショップ　水利用デザインG 16

## 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




2012年12月22日 JST水循環システムワークショップ 17

## 水循環・水利用の研究戦略に求められるもの

- モデルの統合と共有：気象モデル、水文・水質モデル、都市水システムモデル、社会・経済モデル等の統合、地形・標高など衛星・センサ情報の活用、プラットフォーム上でのモデル共有
- 地下水を含めた水収支：流域水資源を理解する上で、地下水と表流水の相互関係の考慮による水収支定量化の高度化
- 高精度の水利用実態把握：農業用水量の定量的な把握、そして、雨水・再生水利用も含めた各水利用実態の統合把握
- 水資源量と水質情報の一元的な表示：水質情報を含めた、流域の水収支の定量把握、様々な水源の特性の一元表示
- 多様な水利害関係者の調和：持続的で調和の取れた水利用システム・都市水管理には、関係者の目標共有・共通認識が必要、そのための基礎的な知見共有ツール、意見交換の場
- 国際水ビジネス戦略との関係：水循環システムと水処理・再生技術のパッケージ、地域流域特性を把握した水活用デザイン

2012年12月22日 JST水循環システムワークショップ 18

# ４－４．水循環 in 地球システムモデル（沖教授）

http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/ 1 東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

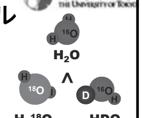
## 地球システムモデル志向水循環モデル

- 2100年の世界の水、食料、エネルギー展望の提供
  - “water is the delivering mechanism of climate change impacts”
  - 90億人の水と食料とエネルギーは足りるのか?
  - グローバル化した世界の水資源・水災害の把握が不可欠
- 途上国の水資源開発、水マネジメント支援
  - 詳細なデータが入手困難な場合にもそれなりに適用可能
- 人間活動の組み込み、水の同位体比グローバルモデリング、マクロスケール動的河川モデルなどに日本の強み
  - “現実”の水循環はもはや“自然”ではない (Anthropocene)
  - 経験的な気候再現のための同位体比情報利用からの脱却
  - 全球河川流下モデル(TRIP)のde facto standardのheritage

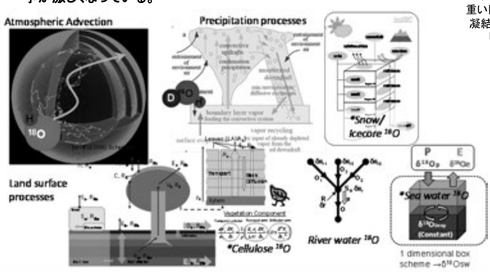
http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/ 2 東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

## 水同位体を含んだ地球システムモデル構築に向けた取り組み

- ✓ 水安定同位体（$H_2{}^{18}O$, HDO）：
  地球上の水輸送過程における、相変化を伴う挙動を積分情報として記憶しているもの。気候の代替指標として使用されることが多い。
- ✓ 古気候再現及び将来予測の精度向上に向け、各国でモデル開発競争が激しくなっている。




重い同位体の方が凝結しやすく蒸発しにくい。

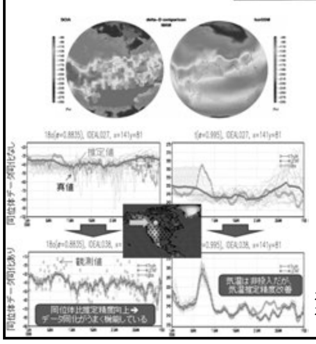


芳村圭
東京大学
大気海洋
研究所

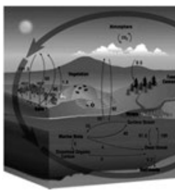
3

## 先進的な応用例

人工衛星Envisatに搭載された近赤外分光計SCIAMACHYを用いた全球地表面付近水蒸気同位体比の観測 (Frankenberg, Yoshimura et al., 2009, Science)




水同位体データ同化による大気水循環場精度向上
（Yoshimura et al., in prep）




$CO_2$の$^{18}O$（水の$^{18}O$に依存した値を持つ）を用いた陸域炭素収支解析（Welp et al., 2011, Nature）

http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/ 4 東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

## 他機関での利用状況

- リモートセンシング/データ同化
  - TES/Aura, OCO2 (NASA/JPL)
  - SCHIAMACHY/Envisat (ESA, オランダ宇宙局)
  - GOSAT (JAXA)
  - Ground-based FTIR (カールスルーエ工科大)
- 古気候復元
  - 石筍（カリフォルニア大、琉球大など）
  - 樹木セルロース（南カリフォルニア大、地球研など）
  - 氷床・山岳アイスコア（LSCE、名大など）
- 広域・領域水循環解析
  - 現地観測との融合（コロラド大、サンディエゴ州立大、熊本大、JAMSTEC、北大、等）
  - 領域モデリング（ETH, ストックホルム大）
- その他
  - 陸域蒸発散過程（農環研、フランス農学研）
  - 炭素循環（スクリプス海洋研）

http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/ 5 東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

## 海外の動向、競合状況

- HadCM3 (UK Met office) HadAM3
  - Sime et al., 2009 *Nature*; Tindall et al., 2009
- GISS-E (NASA)
  - Schmidt et al., 2005; LeGrande et al., 2009
- UVic (Canada) *EMIC
  - Brennan et al., 2012
- IPSL (France) LMDZ
  - Risi et al., 2009; Bony et al., 2009
- COSMOS (German) ECHAM5
  - Haese et al., 2012; Werner et al., 2011
- CESM (NCAR) CAM5
  - Noone et al., 2011, Riley et al., 2011
- MIROC (Japan)
  - Kurita et al., 2011, Ishizaki et al., 2012, Yoshimura et al., 2006
- G-RSM (Japan/US)
  - Yoshimura et al., 2008
- Speedy-IER (U Colorado)
  - S. Dee in prep.
- NICAM (Japan)
  - Yoshimura in prep.

青字：大気海洋結合で動き始めている（陸面は今のところ簡素）

緑字：大気陸面結合で動き始めている

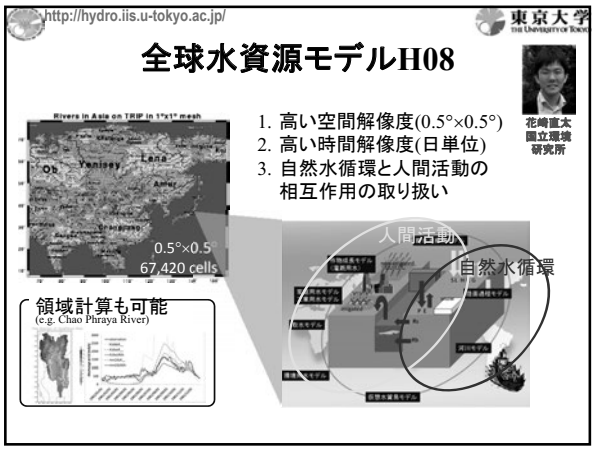
黒字：大気のみ

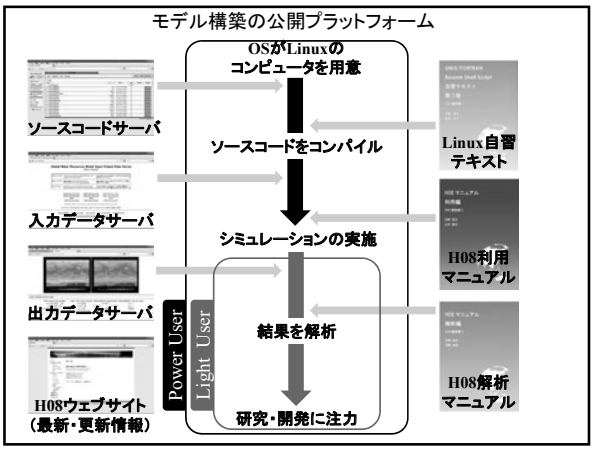
**最新の大気海洋結合版MIROCへの同位体導入は喫緊の課題！**

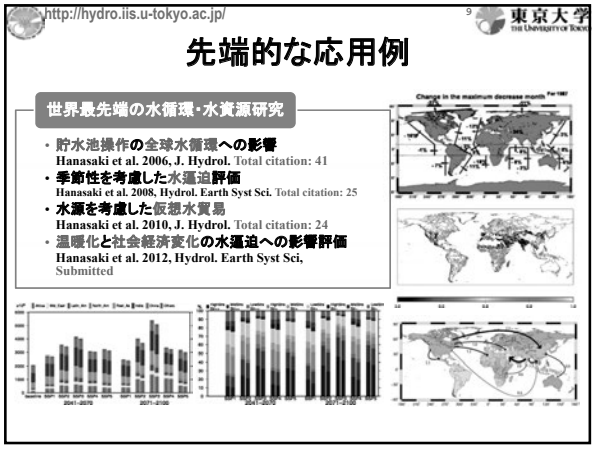
http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/ 6 東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

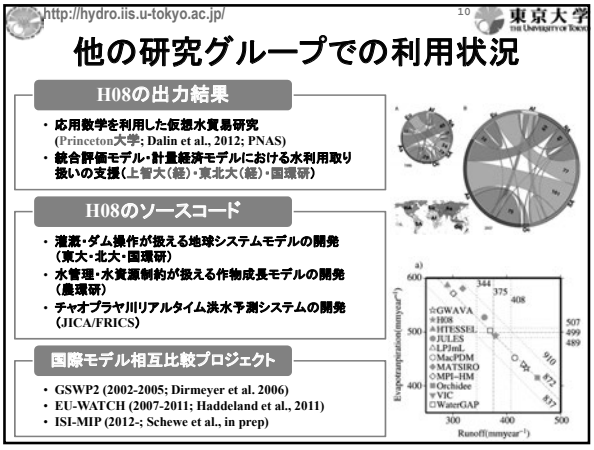
## 気候/気象モデルに学ぶ

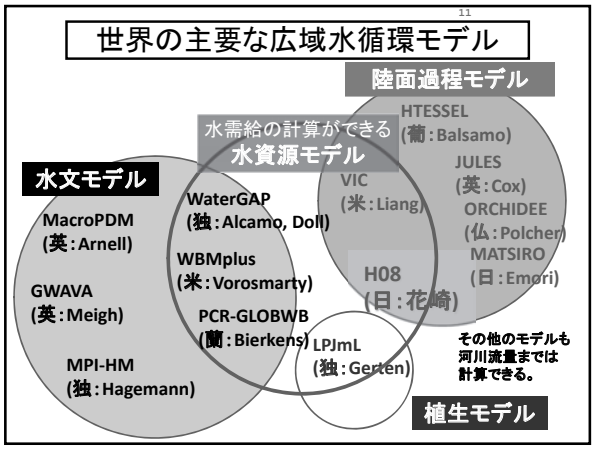
- Global Changeの把握と将来推計のための地球システムモデル＝気候＋社会 ← 水が媒介
- 気候モデルもカップラーで要素間をつなぐ
  - 湖は海か、広がった河か? 何層に分割?
  - 氾濫原からの蒸発や浸透の扱いは?
- メソモデル（WRF）は幅広く利用されるツール
  - 全球気候モデル(CCM)はそうでもない?
- 商用パッケージもフリーソフトと共存
  - カスタマイゼーションとメインテナンスで利益
- ユーザーグループ、マニュアルが重要

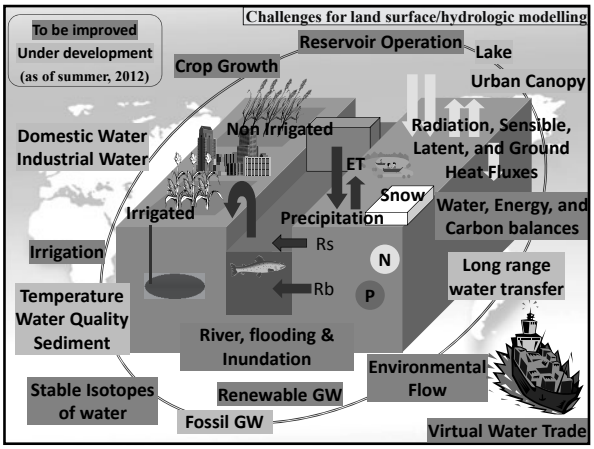

http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/
東京大学
全球水資源モデルH08
1. 高い空間解像度(0.5°×0.5°)
2. 高い時間解像度(日単位)
3. 自然水循環と人間活動の相互作用の取り扱い
花崎直太
国立環境研究所
0.5°×0.5°
67,420 cells
人間活動
自然水循環
領域計算も可能
(e.g. Chao Phraya River)

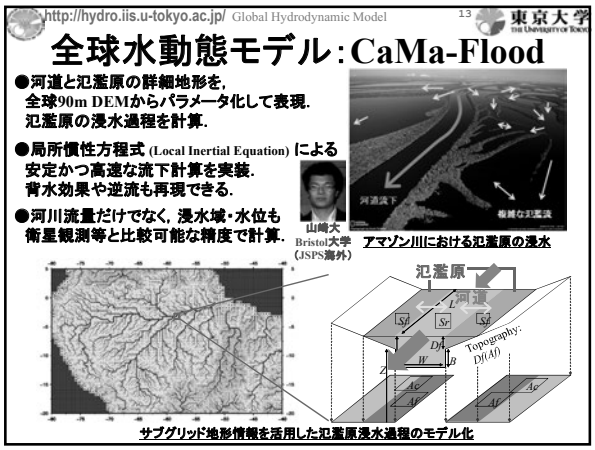

モデル構築の公開プラットフォーム
OSがLinuxのコンピュータを用意
ソースコードサーバ
ソースコードをコンパイル
Linux自習テキスト
入力データサーバ
シミュレーションの実施
H08利用マニュアル
出力データサーバ
結果を解析
H08ウェブサイト
(最新・更新情報)
研究・開発に注力
H08解析マニュアル
Power User
Light User

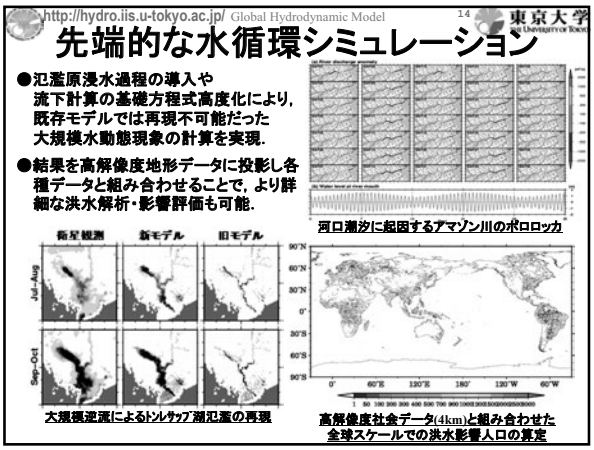

http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/
9
東京大学
先端的な応用例
世界最先端の水循環・水資源研究
貯水池操作の全球水循環への影響
Hanasaki et al. 2006, J. Hydrol. Total citation: 41
季節性を考慮した水逼迫評価
Hanasaki et al. 2008, Hydrol. Earth Syst Sci. Total citation: 25
水源を考慮した仮想水貿易
Hanasaki et al. 2010, J. Hydrol. Total citation: 24
温暖化と社会経済変化の水逼迫への影響評価
Hanasaki et al. 2012, Hydrol. Earth Syst Sci, Submitted


http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/
10
東京大学
他の研究グループでの利用状況
H08の出力結果
応用数学を利用した仮想水貿易研究
(Princeton大学; Dalin et al., 2012; PNAS)
統合評価モデル・計量経済モデルにおける水利用取り扱いの支援(上智大(経)・東北大(経)・国環研)
H08のソースコード
灌漑・ダム操作が扱える地球システムモデルの開発(東大・北大・国環研)
水管理・水資源制約が扱える作物成長モデルの開発(農環研)
チャオプラヤ川リアルタイム洪水予測システムの開発(JICA/FRICS)
国際モデル相互比較プロジェクト
GSWP2 (2002-2005; Dirmeyer et al. 2006)
EU-WATCH (2007-2011; Haddeland et al., 2011)
ISI-MIP (2012-; Schewe et al., in prep)

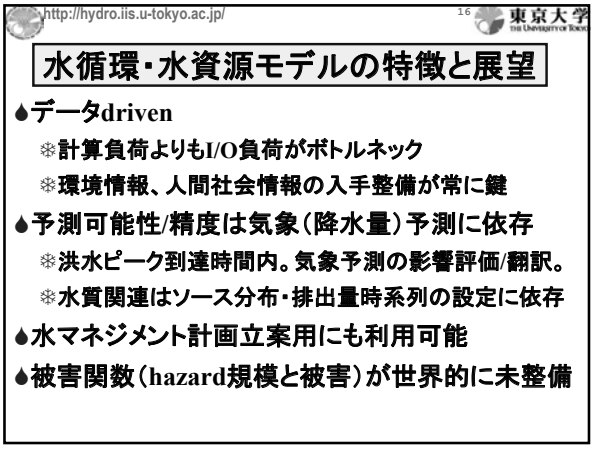

11
世界の主要な広域水循環モデル
陸面過程モデル
水需給の計算ができる
水資源モデル
水文モデル
HTESSEL
(葡:Balsamo)
JULES
(英:Cox)
ORCHIDEE
(仏:Polcher)
MATSIRO
(日:Emori)
VIC
(米:Liang)
WaterGAP
(独:Alcamo, Doll)
MacroPDM
(英:Arnell)
WBMplus
(米:Vorosmarty)
GWAVA
(英:Meigh)
PCR-GLOBWB
(蘭:Bierkens)
H08
(日:花崎)
LPJmL
(独:Gerten)
MPI-HM
(独:Hagemann)
その他のモデルも河川流量までは計算できる。
植生モデル

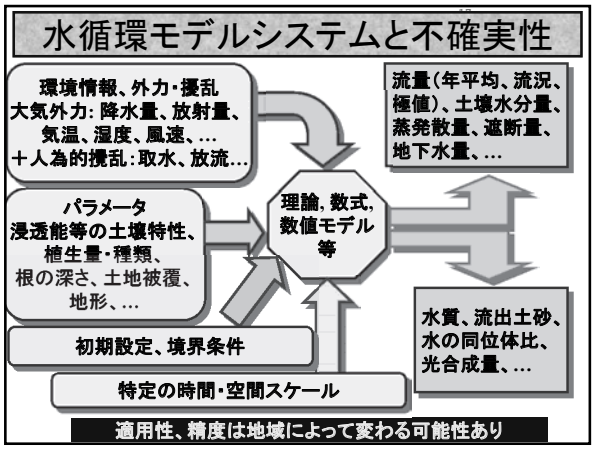

Challenges for land surface/hydrologic modelling
To be improved
Under development
(as of summer, 2012)
Reservoir Operation
Lake
Crop Growth
Urban Canopy
Domestic Water
Industrial Water
Non Irrigated
Radiation, Sensible, Latent, and Ground Heat Fluxes
ET
Snow
Irrigated
Precipitation
Water, Energy, and Carbon balances
Irrigation
Rs
N
Rb
P
Long range water transfer
Temperature
Water Quality
Sediment
River, flooding & Inundation
Environmental Flow
Stable Isotopes of water
Renewable GW
Fossil GW
Virtual Water Trade

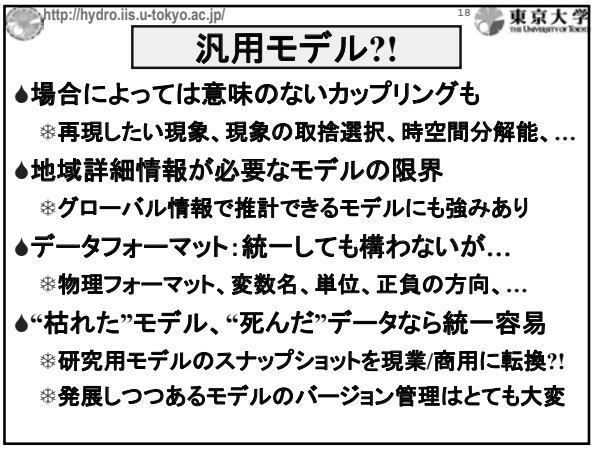

http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/ Global Hydrodynamic Model
13
東京大学
全球水動態モデル：CaMa-Flood
●河道と氾濫原の詳細地形を，全球90m DEMからパラメータ化して表現．氾濫原の浸水過程を計算．
●局所慣性方程式 (Local Inertial Equation) による安定かつ高速な流下計算を実装．背水効果や逆流も再現できる．
●河川流量だけでなく，浸水域・水位も衛星観測等と比較可能な精度で計算．
山崎大
Bristol大学
(JSPS海外)
アマゾン川における氾濫原の浸水
氾濫原
河道
Topography: D(A)
サブグリッド地形情報を活用した氾濫原浸水過程のモデル化


http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/ Global Hydrodynamic Model
14
東京大学
先端的な水循環シミュレーション
●氾濫原浸水過程の導入や流下計算の基礎方程式高度化により，既存モデルでは再現不可能だった大規模水動態現象の計算を実現．
●結果を高解像度地形データに投影し各種データと組み合わせることで，より詳細な洪水解析・影響評価も可能．
河口潮汐に起因するアマゾン川のポロロッカ
衛星観測
新モデル
旧モデル
大規模逆流によるトンレサップ湖氾濫の再現
高解像度社会データ(4km)と組み合わせた全球スケールでの洪水影響人口の算定

http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/ Global Hydrodynamic Model
15
東京大学
他の研究グループでの利用状況
アメリカ航空宇宙局(NASA)
/フランス国立宇宙研究センター
●次世代衛星高度計ミッションSWOTの事前解析にCaMa-Floodの計算シミュレーションを活用
[Biancamaria et al., CNES SWOT white paper]
●衛星高度計を用いた全球河川モデルのパラメータ同定
[Getirana et al., 2012, J.Hydromet; Getirana et al., under review, WRR]
ヨーロッパ中期気象予報センター
●全球中期予報システム内の河川ルーチンとして採用
リアルタイム中期洪水予報システムの開発
[Pappenberger et al., 2012, HESS]
カリフォルニア大学
水資源モデリングセンター
●CaMa-Flood出力による領域氾濫モデルでの洪水計算
●衛星重力系GRACEによる陸水貯留量観測値との比較研究
コロラド大学 / アラバマ州立大学
Community Surface Dynamics Modeling System
●全球水動態モデルを用いた土砂輸送量の推定
[Cohen et al., under review, Global Planetary Change]
ラトガース大学
●北米河川環境モデリング研究にCaMa-Floodの河道網を提供
CaMa-Floodの計算結果を用いた水収支シミュレーションの結果例
ECMWFにおける洪水予報システム(開発段階)


http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/
16
東京大学
水循環・水資源モデルの特徴と展望
♦データdriven
❈計算負荷よりもI/O負荷がボトルネック
❈環境情報、人間社会情報の入手整備が常に鍵
♦予測可能性/精度は気象（降水量）予測に依存
❈洪水ピーク到達時間内。気象予測の影響評価/翻訳。
❈水質関連はソース分布・排出量時系列の設定に依存
♦水マネジメント計画立案用にも利用可能
♦被害関数（hazard規模と被害）が世界的に未整備


水循環モデルシステムと不確実性
環境情報、外力・擾乱
大気外力: 降水量、放射量、気温、湿度、風速、…
＋人為的攪乱：取水、放流…
流量（年平均、流況、極値）、土壌水分量、蒸発散量、遮断量、地下水量、…
パラメータ
浸透能等の土壌特性、植生量・種類、根の深さ、土地被覆、地形、…
理論，数式，数値モデル等
水質、流出土砂、水の同位体比、光合成量、…
初期設定、境界条件
特定の時間・空間スケール
適用性、精度は地域によって変わる可能性あり

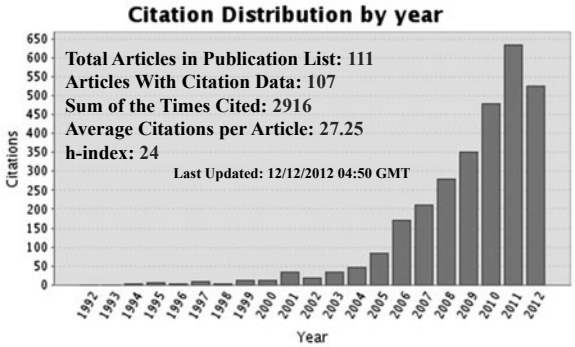

http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/
18
東京大学
汎用モデル?!
♦場合によっては意味のないカップリングも
❈再現したい現象、現象の取捨選択、時空間分解能、…
♦地域詳細情報が必要なモデルの限界
❈グローバル情報で推計できるモデルにも強みあり
♦データフォーマット：統一しても構わないが…
❈物理フォーマット、変数名、単位、正負の方向、…
♦“枯れた”モデル、“死んだ”データなら統一容易
❈研究用モデルのスナップショットを現業/商用に転換?!
❈発展しつつあるモデルのバージョン管理はとても大変

http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/ 19 東京大学

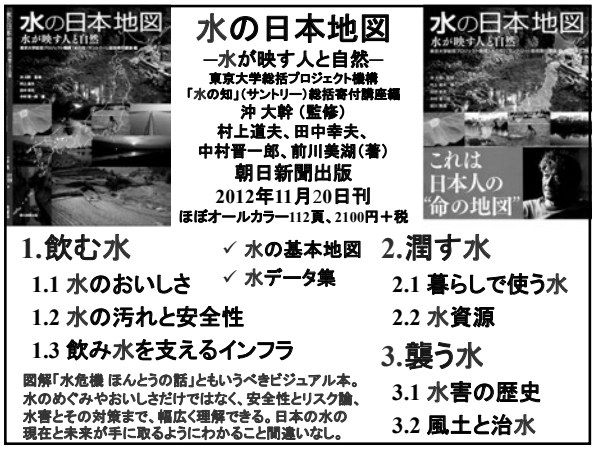
## おわりに

- 日本のモデルやモジュール、出力が世界で活躍
  - 全球/日本域での準実時間水循環推計も実施中
  - 洪水実時間予測の現業利用への応用も進行中
  - モジュール化、パッケージ化も進行
- 数値モデル本体に加えて
  - 外力（気象）、パラメータ（環境）、検証データが需要
  - マニュアル、GUI、可視化、ユーザーグループも重要
- モデル開発は職人技＋人海戦術
  - 誰にでもできるわけではないが、1人ではできない
  - 時間がかかる ➔ 研究の長期継続、人財育成が鍵

http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/ 20 東京大学
http://www.researcherid.com/rid/E-5778-2010




今年も年間500件以上、平均すると毎週約10編ずつ、沖の研究を引用した論文が発表されている。




http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/ 24 東京大学

## 水危機 ほんとうの話

沖 大幹 著
新潮選書、新潮社、336頁、1575円
2012年6月22日発売
ISBN-13: 978-4106037115

1. 水惑星の文明
2. 水、食料、エネルギー
3. 日本の水と文化
4. 水循環の理
5. 水危機の虚実
6. 水問題の解決へ向けて

地球規模の水循環、世界の水資源と気候変動、ウォーターフットプリントや人工降雨から水ビジネスまで

## ４－５．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（椎葉教授）

深堀ワークショップ
「水循環システム構築の研究開発戦略」

### 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

京都大学大学院工学研究科
椎葉　充晴

### 本発表の概要

- 水循環システムモデル構成のためフレームワーク（水循環フレームワーク）開発の意義
- 水循環フレームワーク開発の現状
- 水循環フレームワーク開発・利用で直面している課題
- 具体的な研究課題
- 研究推進のために何が必要か

### 水循環システムモデル構成のためのフレームワークとは何か

- モデルとモデリングシステム。モデリングシステムとは、個々の現象のモデル化を対象とするのではなく、要素となるモデル同士を結合して、全体系のモデルを構成するための基盤となるソフトウエア。
- アプリケーションとアプリケーションフレームワーク。Ruby on Rails など。アプリケーションフレームワークが全体を動かす。アプリケーションがフレームワークから呼び出される。

### 水循環システムモデル構成のためのフレームワークがなぜ必要か

- 水循環システムは原理の異なった多くの要素から成り立っているシステムであり、ある個人や特定の組織が構成したモデルで一括して扱うのは困難である。
- 水循環システムには人工的な量や質を制御するための人口的な部分系もある。人工的な部分系を含めたモデル化を考える必要があり、その観点からも、特定の一個のモデルで扱うのは困難である。

### 水循環システムモデル構成のためのフレームワークがなぜ必要か

- 個々の部分系についてのモデルやプログラムは通常、異なる組織に属する研究者・技術者によって独立に開発される。それらを組み合わせるのは容易ではない。
- 計算機プログラムの構成の仕方も異なることが多く、それらを組み合わせて使おうとすると、ソースコードを読んで入出力の形式や操作方式を理解して、自分のシステムにあうように書き直さねばならないことも多い。

### 水循環システムモデル構成のためのフレームワークがなぜ必要か

- 複雑で高度なシミュレーションモデルになるほど、それを開発した個人か研究グループしかそのソースコードを理解できず、第3者によるシミュレーションモデルの評価や検証が容易でない。
- 本来ならば、シミュレーションモデルの最終的なアウトプットである適用結果だけでなく、モデル構造や計算アルゴリズムも評価されるべきであり、モデルの一部分を取り出して分析的な検討をしたり、

### 水循環システムモデル構成のための フレームワークがなぜ必要か

- 他の研究グループのモデルを取り入れるなどして、開発された資産を有効に利用するなどしてよりよいモデルを構築することがのぞましい。そうできないのは、客観的かつ科学的なシミュレーションモデルの評価という観点から大きな問題である。
- では、共同して、標準モデルを構築すればいいのか。そうではない。実現象は多様であるし、モデルも現実も変化する。

### 水循環システムモデル構成のための フレームワークがなぜ必要か

- モデルを標準化するのではなく、モデルの構成方法を共通にし、シミュレーションモデルの基盤となるモデリングシステムを作ることが、科学的な客観性を確保するために必要である。

### 水循環システムモデル構成のための モデリングシステムとは

- モデリングシステムは、個々の現象をモデル化することを対象とするのではなく、共通の仕様によって構築された要素モデルを自由に接続し、要素モデル同士のデータの授受を受け持って、全体のシミュレーションモデルを構成する役割を持つ。
- すべての要素モデルが共通の仕様にしたがって作られ、そのモデリングシステム上で動作すれば、要素モデル相互を比較することや交換することが容易となる。他のグループの優れた成果を取り入れて、オリジナルのモデルと結合することができる。

### 水循環システムモデル構成のための フレームワークがなぜ必要か

- モデルとモデリングシステムを別にすれば、モデリングシステムの改善、たとえば、GUI環境を整備するなどすると、そのモデリングシステムを利用するものが共通にその恩恵をうけることができるようになる。

### 水循環システムモデル構成のための フレームワークがなぜ必要か

- 社会から要請される高度で複雑なシミュレーションモデルを特定の流域に対して短期間のうちに構成し、政策決定に寄与するということもできるようになる。
- 我が国の水関係のすぐれた知見も、ばらばらでは水問題に直面している諸外国の役に立ちにくい。モデリングシステムと特定の知見、現場で直面している問題に対応したモデルの構成という考え方をとれば、もっと、貢献しやすいであろう。

### 水循環システムモデル構成のための フレームワークがなぜ必要か

- モデリングシステム込みで提供されれば、提供を受ける側は、時間がたって、また別の要素モデルの提供を受けたり、改善された要素モデルの提供を受けたりすることのメリットもまた強くなり、我が国の貢献も強固なものとなっていくと期待できる。

## モデリングシステム開発の現状

- 米国工兵隊のHEC(Hydrological Engineering Center)によるモデリングシステム。メニュー方式。
- MMS(Modular Modeling System、コロラド大学)
- デンマーク水理・環境研究所(DHI)によるMIKE
- 欧州共同体による OpenMI (Modeling Interface)
- OHyMoS(Object-oriented Hydrological Modeling system、京都大学)
- CommonMP（国総研、CommonMPコンソーシアム)

## OHyMoS

- データを授受する「端子」モデルを導入。
- 要素モデルは端子からデータを貰い、端子に書き出す。
- 要素の結合関係は全体モデルが把握する。
- 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。
- パラメタファイル、初期状態ファイルからの読み込みは全体モデルが把握。要素モデルはパラメタ、初期状態の読み込み関数を用意する。
- モデルの最終状態をファイルに書き出せ、再開できる。

## CommonMP

- 国総研が OHyMoS の考え方を参考にして作成
- Visual C# で作成された Windows プログラム
- GUI環境が組み込まれていて、プログラム上で要素の結合をくみ上げることができる。
- パラメータの設定や初期状態量の設定などのGUIが用意されている。
- 国内利用の制限があるが、GISシステムが利用できる。

## モデリングシステムの課題

- モデリングシステム共通仕様の要請を満たすための作業が退屈。なんのためにやっているのかよく分からない。
- 自分のモデルは自己完結して動いているので、人のために書きかえたりしたくない。使いたいのなら、必要な作業は使いたい人がやって。
- クレジットはどうなるの? 歯車になるのなら、貢献が分かりにくいよね。

## モデリングシステムの技術的な課題

- 並列化計算に対応する。要素モデル内部の計算の並列化と全体系の並列化。
- 粒子法適用のための改造。時間進行の途中で粒子を複写するための仕様を追加する。
- Fortran プログラムを組み込めるようにする。従来の資産のほとんどがFortran で書かれている。
- OpenMI との結合を可能にする。他の多くのアプリケーションプログラムが OpenMI の仕様を満たすように作られようとしている。

## 研究推進の方策

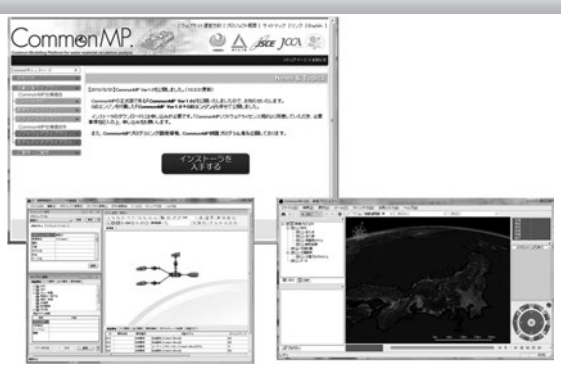
- 技術的にも高度なシステムにする。（並列化、粒子法対応）
- 各システムの専門家がフレームワーク対応の重要性を認識して、各分野でその作業をリードする。
- フレームワーク利用のためのユーティリティプログラムを豊富にする。構造定義ファイルの自動作成、パラメータの最適化プログラム、etc.
- …

水・物質循環解析共通プラットフォーム

# CommonMP

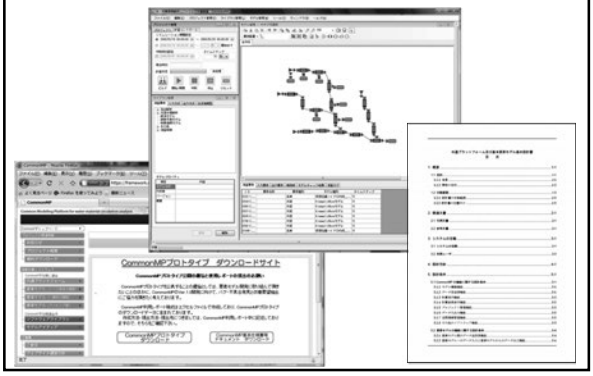
とは何か

CommonMP Ver1.0のリリース（H22.3.31）



CommonMP　　CommonMP-GIS

CommonMPプロタイプ・リリース（H21.3.30）



## 目的に応じた使い方ができるツール

■ 他の人が作成し公開された要素モデルのライブラリを組み合わせて、自分の水工シミュレーションモデルを作ることができる。

■ 自身で独自の要素モデルを開発して、それをライブラリにして公開することができる。

## 水工学に関する教育ツール

■ 既存の要素モデルを用いて、画面上の簡単な操作で、水工シミュレーションモデルを組むことができる。
＜＝プログラミングの知識がなくても、自ら簡単に流出シミュレーションモデルを作成し、たとえば降雨と流出の関係を学ぶことができる。

■ もっとやりたい学生は自身で独自の要素モデルを開発して、ライブラリを公開することができる。

## 水工学に関する研究ツール

自身で独自の要素モデルを開発して、ライブラリを公開することができる。

＜＝ 論文だけでなく、新しく開発したモデルを他の研究者・技術者に使ってもらえる。
＜＝ 新しく開発した技術をテストする場となる。

## 水工学に関する社会技術ツール

■ 検討に用いられる水工シミュレーションモデルを誰もが動作させることができるような環境を提供する。

＜＝誰もが数値を確かめることができ、技術的な透明性が確保される。
＜＝河川に関する計画の「検討主体」や「関係住民」だれもが共通に利用できる社会技術ツールとなる。
＜＝要素モデルが動作する共通の仕様を定めており、民間活力を引き出す源泉となり得る。
＜＝水に関するインフラ整備を海外展開していくときの基本ツールとなり得る。

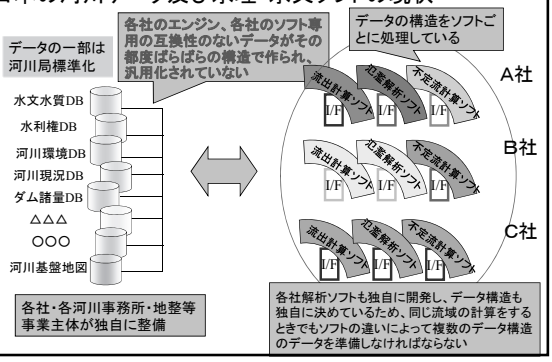
## 水・物質循環解析共通プラットフォーム

# CommonMP

の開発経緯

## 水理・水文ソフトウェアを取り巻く状況（1）

①日本の河川データ及び水理・水文ソフトの現状




## 水理・水文ソフトウェアを取り巻く状況（2）

②研究・開発の現状

- 他の人の開発したソフトウェアを試す機会がない。
- 他のモデルと組み合わせることができない。
- データフォーマットが統一されていないので、データの再利用ができない。
- 河川・流域データが利用しにくい。

→ 水理・水文モデルの研究開発成果の分散
共通に利用できるデータ整備の遅れ

③河川技術者の現状

- ユーザービリティのよい水理・水文ソフトウェアが存在しない

→ 自ら水理・水文解析を行う機会の減少

→ 自ら水理・水文解析を行う機会の減少

④治水計画等の透明性の現状

- 計画検討に用いた解析ソフトの計算手法が明らかになっていない。

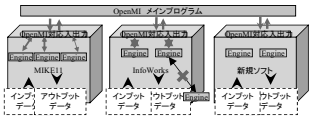
→ 治水計画等に対する信用の確保

## 海外の水理・水文解析ソフトの状況

欧州：Open MI(Open Modeling Interface and Environment)

米国：OMS(Object-oriented Modeling System)

OpenMIの概念想像図




1. 既存ソフトの内部構造も公表されたOpenMIのI/F仕様に改造が必要
2. 新規ソフトウェアであれば、初めからOpenMI仕様に従って作成する
3. 既存統合ソフトの融合を目指したものであるため、統合ソフトの改造要望には直ちには対応できない可能性が高い
4. 公表されたOpenMIのI/Fを実装しただけでは、稼働させることができない可能性があるが、未確認
5. 入力データは各ソフト毎のフォーマットで、それぞれ別個に供給

ソフトの選択、データやパラメータの入れ替えが可能で操作は視覚化

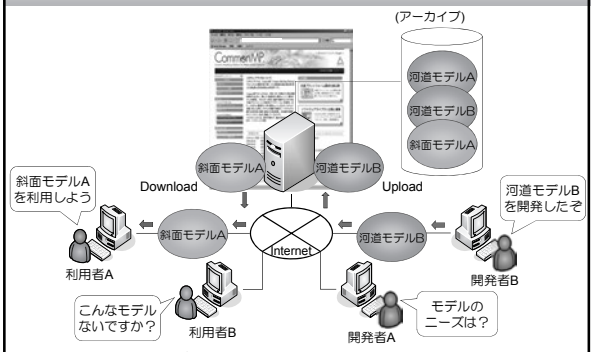
米国OMS画面

欧州では、OpenMI Association、米国では農政省が中心となり、水理・水文ソフトウェアの共通プラットフォームを開発。

## 水・物質循環解析共通プラットフォーム構築のコンセプト

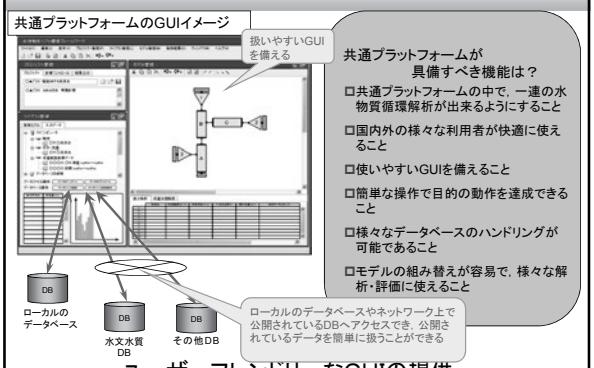
- モデル開発の効率化・省力化
- 操作性のよいソフトウェア
- 透明性の確保
- 海外展開
- 自立発展的なプロジェクト運営

## CommonMPの特徴①



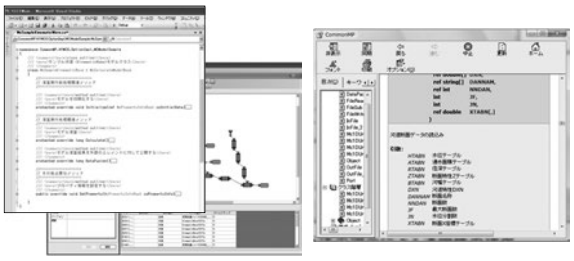

要素モデルの利活用・開発環境の提供

## CommonMPの特徴②




ユーザーフレンドリーなGUIの提供

## CommonMPの特徴③



ソースコードの開示※　　ドキュメントの整備

計算手法等の明示による透明性の確保

※ソースコードの公開・非公開はモデル開発者が決めることができる。

## 水・物質循環解析共通プラットフォーム

# CommonMP

を用いた要素モデルの開発とその公開

## 平成22年度に開発したCommonMP仕様の要素モデル

- テキストデータ入力用の要素モデル
- テキストデータ出力用の要素モデル
- 入力データ模擬発生モデル
- 合流点モデル
- 分流点モデル
- 入力データ比較モデル
- 線形貯水池モデル
- キネマティックウェーブモデル

## 要素モデル一覧（1）

＜国総研＞

| モジュール | | 内容 |
|---|---|---|
| 流出計算 | 土研分布型流出計算 | 土研分布型モデルCommonMP化 |
| 河道水理計算 | 河道1次元不定流計算 | 土研分布型モデル付属の不定流モデルをCommonMP化 |
| | 河道準2次元不等流計算 | JICEの河道計算シミュレータ（エンジン部分）をCommonMP化 |
| 氾濫計算 | 氾濫域平面2次元計算 | 水害研NILIMのCommonMP化 |
| その他 | ラッピング用要素モデル | Fortranプログラムをラッピングを実施するための補助ツール |

＜京都大学－その1＞

| モジュール | | 内容 |
|---|---|---|
| 入出力用要素モデル | 水文・データ読み込みに関する要素モデル<br>・テキストデータ入力モデル<br>・テキストデータ出力モデル<br>・合流点モデル<br>・分流モデル<br>・2次元テキストデータ入力モデル<br>・入力データ発生モデル<br>・入力データ比較モデル | データ入出力に関する要素モデル |
| | データ読み取り要素モデル | KyotoUnivHydrology形式で表現された入力データを読み取り、送信する入力モデル。 |
| | 2次元データ読み取り要素モデル | KyotoUnivHydrologyの二次元データ形式で表現された入力データを読み取り、送信する入力モデル。 |

## 要素モデル一覧（2）

＜京都大学－その2＞

| モジュール | | 内容 |
|---|---|---|
| 入出力用要素モデル | ﾃﾞｰﾀ書き出し要素ﾓﾃﾞﾙ | 受信したﾃﾞｰﾀをKyotoUnivHydrology形式のﾌｧｲﾙとして出力するモデル。 |
| | 合流点モデル | 受信したデータをタイムステップごとに結合し、その合計及び平均を送信する合流点モデル。 |
| | 分流点モデル | 受信したデータをタイムステップごとに分割する分割点モデル。 |
| | 疑似流量発生モデル | 模擬的な流量を生成する流量発生モデル。 |
| | データ比較モデル | 接続された二つの受信データをタイムステップごとに比較し、それらの差、および比を送信するモデル。 |
| 演算用要素モデル | 線形貯水池モデル1 | 上流から流量を受け取り、下流に流量を送信。 |
| | 線形貯水池モデル2 | 上流から流量を受け取り、下流に流量を送信する。<br>雨量による入力も受け付ける。 |
| | ｷﾈﾏﾃｨｯｸｳｪｰﾌﾞﾓﾃﾞﾙ1 | キネマティックウェーブ法によるシンプルな河道流追跡モデル。 |
| | ｷﾈﾏﾃｨｯｸｳｪｰﾌﾞﾓﾃﾞﾙ2 | キネマティックウェーブ法による河道流追跡モデル。<br>河道区分点ごとの形状を表す係数及び初期流量を指定できる。 |
| | 分布型流出要素モデル | 不飽和・飽和中間流モデル・表面流を考慮するキネマティックウェーブモデルを適用した斜面流出モデル 。 |
| | 簡単なダムモデル | 渋水流量と単位時間あたりの最大増加流量のみを指定する簡単なダムモデル。 |
| | ダムモデル | 予備放流、水位と貯留量の換算などの複雑なダム操作に対応したダムモデル。 |

## 水・物質循環解析共通プラットフォーム

# CommonMP

## の普及活動

## 平成22年度の委員会等の活動状況

| 月日 | 名称 | 開催場所 | 備考 |
|---|---|---|---|
| 3/1（月） | CommonMPコンソーシアム推進委員会・幹事会合同会議 | 東京<br>土木学会講堂 | 規約の承認、委員長、幹事長の選任 |
| 6/9（金） | CommonMPコンソーシアム幹事会 | 東京<br>弘済会館 | 部会の設置 |
| 11/15 | CommonMPコンソーシアム幹事会 | 東京<br>土木学会 | 部会の中間活動報告 |
| 12/20 | CommonMPコンソーシアム幹事会 | 東京<br>中央大学 | 部会の中間活動報告 |
| 3/16 | CommonMPコンソーシアム推進委員会・幹事会合同会議 | 東京<br>河川情報センター | 平成22年度のプロジェクト報告 |

40

## 平成22年度の講習会等の実施状況

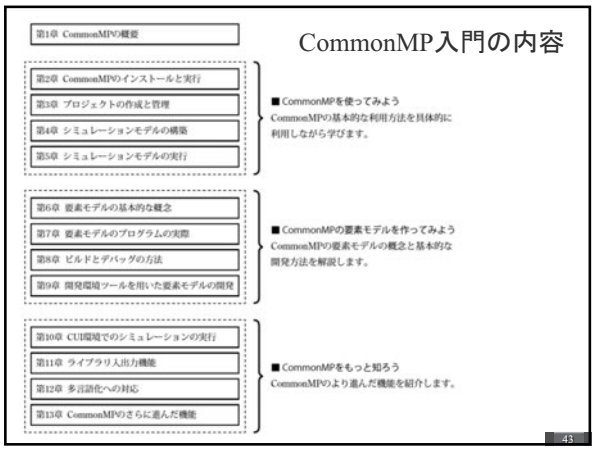
| 月日 | 名称 | 開催場所 | 主催者 |
|---|---|---|---|
| 3/25（木） | CommonMP説明会<br>（第1回） | 東京<br>土木学会講堂 | 土木学会水理・水文解析ソフトウェア共通基盤小委員会 |
| 4/24（水） | CommonMP説明会<br>（第2回） | 東京<br>主婦会館 | 土木学会水理・水文解析ソフトウェア共通基盤小委員会 |
| 5/14（金） | CommonMPの利用と応用（実践水文システム研究会平成21年度第2回研究会） | 京都<br>京都大学 | 実践水文システム研究会 |
| 7/27（火） | CommonMP演習セミナー | 大阪<br>中央建設C | 建コン協、水コン協、土木学会 |
| 7/30（金） | CommonMP演習セミナー | 東京<br>土木学会講堂 | 建コン協、水コン協、土木学会 |
| 9/3（金） | 土木学会研究討論会 | 札幌<br>北海道大学 | 土木学会水工学委員会 |
| 11/15（月） | CommonMP講習会 | 東京<br>土木学会講堂 | 建コン協、水コン協、土木学会 |
| 3/7（月） | CommonMP講習会 | 東京<br>中央大学 | 建コン協、水コン協、土木学会 |

41

## より広範な普及のためのテキストの作成

- CommonMPを使ってみよう
- CommonMPの要素モデルを作ってみよう
- CommonMPをもっと知ろう

42



## 平成23年度土木学会全国大会での討論会の提案

水理・水文解析ソフトウェア統合型共通基盤の活用と普及に向けて

主催：水工学委員会

討論会メンバー（予定）：

座長：
山田正（中央大学・教授、CommonMPコンソーシアム・幹事長）

話題提供者：
椎葉充晴（京都大学、教授・CommonMPコンソーシアム・技術部会長）
大平一典（中央大学・・CommonMPコンソーシアム・普及部会長）
山本聡（国土技術政策総合研究所・河川研究部長）
五道仁実（河川局・河川情報企画室長

## ４－６．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（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

日本工営株式会社　中央研究所
小川田　大吉

NIPPON KOEI 1

### 弊社の水理水文解析プログラム開発の取組み

- 弊社では、建設コンサルタントとして、実務での各種課題を解決するために解析プログラムを開発してきている。
- 国内部門と海外部門を有しており、主に先進的な要求は国内業務で発注されることが多い。国内では良質かつ密度の高いデータを得られるケースが多く、それらを余すことなく活用できる解析エンジンを開発する。
- 一方、海外では、リモートセンシングデータなどで以前より多くのデータの入手が可能となったとはいえ、精度やデータの密度に問題のあることが多く、流域スケールでの分析では、かえって単純なモデルが有用である。単純とはいえ、物理的な水文仮定が考慮されているモデルということがケース比較のロジック展開上、重要である。

NIPPON KOEI 2

### 弊社の水理水文解析プログラム開発の取組み

- 水に関わる問題は、流域ごとに様々であり、流域の特徴もバラエティにあふれている。
- 自社開発したプログラムであれば、必要に応じて状況に適応できるような改良が可能である。
- 建設コンサルタントとしては、研究所という組織を持っていることは例が少なく、水分野では極力、自社開発するようにしている。

NIPPON KOEI 3

### Rapid Enhancement of Computer Power

① The power of the computers we could use in R&D Center has been increased rapidly. One concrete thing that we could say is that the hydro-modelers here extensively utilized those powerful computers and really enjoyed the performance of their models. Consequently, many of them build parallel computing programs by themselves. Those reduces the computer time significantly and thus works became more efficient.

② One of the good example is urban inundation analysis. Use to be, it was almost impossible to setup the inundation model including urban drainage pipes but now it became popular. Here, we have the NK-FAM.

③ Moreover, the power allowed modelers to handle other parameters/variables. For example, the NK-Hydro2D was only capable of reservoir sedimentation analysis before and now it can handle vegetation analysis of the river riparian area too.

NIPPON KOEI 4

### Available Data Became Densely and Various

① Tremendous amount of data that is available in public access or collected by field surveys using sophisticated equipments like Laser-Profiler(LP) on the airplane, introduced new ways to hydro-modelers for making so robust models. LP data is widely available in Japan and management of such a huge data sets are performed daily.

② New winds from the meteorology bring some lovely confusion to hydro-modelers. That is bias collection of the outputs from climate models.

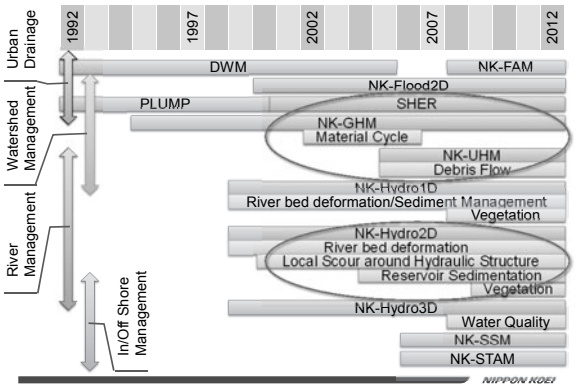
NIPPON KOEI 5

### Requirements for the Modelers

- Replacement of relatively simple and conceptual models is the trend of this decade.
- The environmental issues are now commonly concerned among the society in addition to disaster prevention and utilizing the available water. In such issues, as the problem is affected by many parameters, it is difficult to apply scaled physical modeling approach. Instead, the numerical modeling approach is becoming widely adopted.
- To reduce the study cost, in some cases, the numerical model is adopted instead of the scaled physical models.

NIPPON KOEI 6

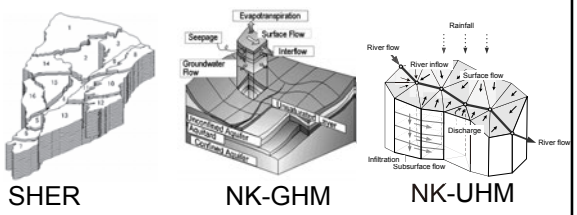
## Timeline of our models in R&D center.




NIPPON KOEI 7

## Story 1: Enhancement of Hydrological Cycle Model.

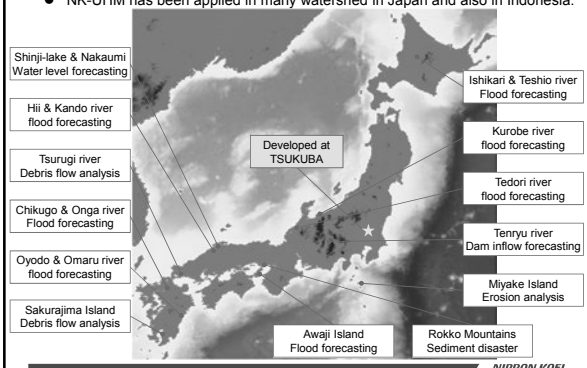
- Over two decades NK has developed several Hydrological Cycle Models. In the first stage, SHER model was developed by Dr.Herath and it was 23 years ago. In the second stage, as the computer power became strong, a grid based distributed model NK-GHM was developed and applied.
- At present, latest numerical modeling scheme, non-structured grid system, have been used for developing new model and that is NK-UHM.




NIPPON KOEI 8

## Story 1: Enhancement of Hydrological Cycle Model.

- NK-UHM has been applied in many watershed in Japan and also in Indonesia.

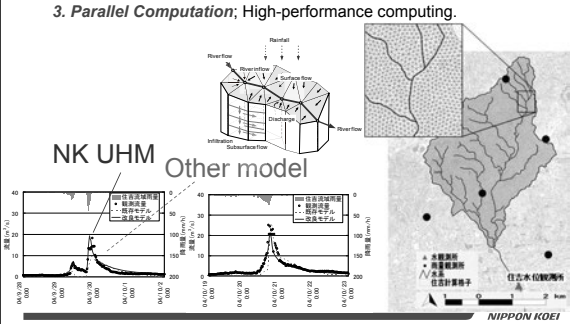



NIPPON KOEI 9

Bawakaraeng mountain, Indonesia debris flow analysis

## Story 1: Enhancement of Hydrological Cycle Model.

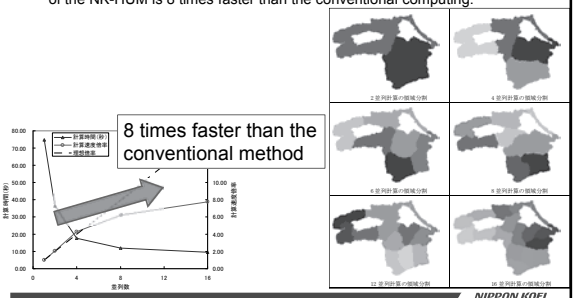
1. ***Unstructured Mesh***; Excellent mesh geometry.
2. ***Physically Based***; Express 3D soil water movement.
3. ***Parallel Computation***; High-performance computing.




NIPPON KOEI 10

## Story 1: Enhancement of Hydrological Cycle Model.

- With the help of parallel computing technology, a complicated model became applicable efficiently.
- NK-UHM divide the watershed into several sub-watershed and assign CPU cores to each of them. When 8 cores are available, the performance of the NK-HUM is 8 times faster than the conventional computing.

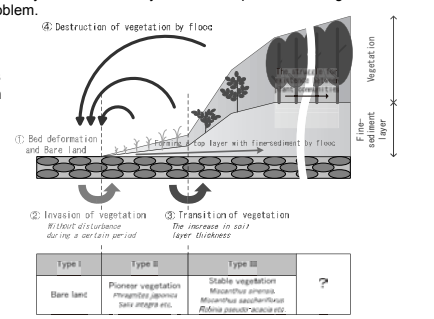



NIPPON KOEI 11

## Story 2: Flood plain Vegetation

- Twenty years ago, who can imagine that the unsteady flow models can solve the complex phenomena like vegetation growth/flush in riparian area.
- At present, NK-Hydro1D and NK-Hydro2D are capable of solving such complex problem.

The concept of the vegetation analysis model coupled with NK-Hydro1D.

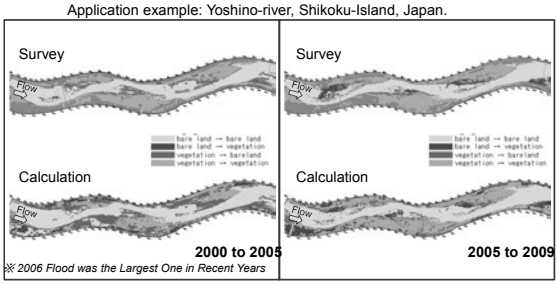



NIPPON KOEI 12

## Achievement: Flood plain Vegetation

- The models has been applied in major rivers in Japan.
- The result form the model was compared with the field survey and found that the model shows promising future perspective.

Application example: Yoshino-river, Shikoku-Island, Japan.




*The vegetation in the water front was flashed out The vegetation in the water front was recovered*

NIPPON KOEI 13

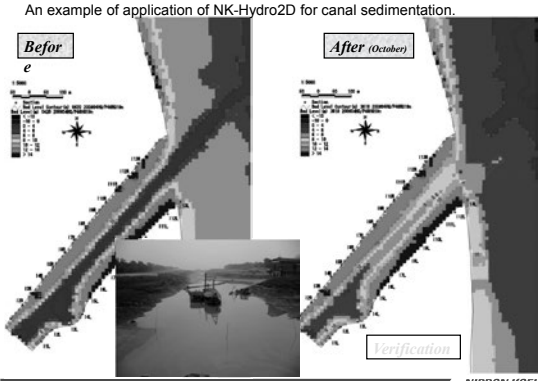
## Future Perspective

- There is no doubt that the technology we have will be enhanced individually along its vectors. One of the promising enhancement might be accomplished is coupling technique of flora and fauna dynamic models and NK-Hydro2D. Another one is to develop new hydrological cycle analysis model by adding groundwater model to NK-UHM.
- On the other hand, those models should be delivered to the engineers inside the group. Through those activities, the model should be automatically enhanced because of the unavoidable engineers' suggestions. Beyond such situation, it is clearly seen the models become quite rigid.
- However, as we all know, some public organizations already commenced the same scheme and there are many uncertainty that we had experienced. The first thing we should do is to share the same model and experience among the alliance of the MOU group.

NIPPON KOEI 14

## Achievement: Sedimentation in Canal

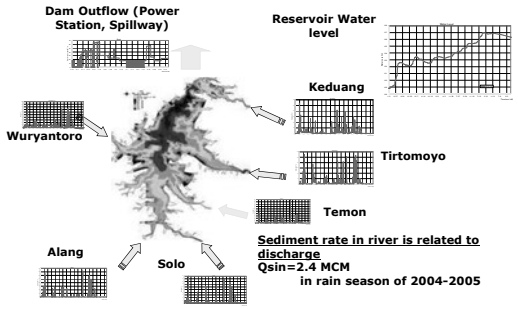
An example of application of NK-Hydro2D for canal sedimentation.




NIPPON KOEI 15

## Achievement: Sedimentation in Reservoirs

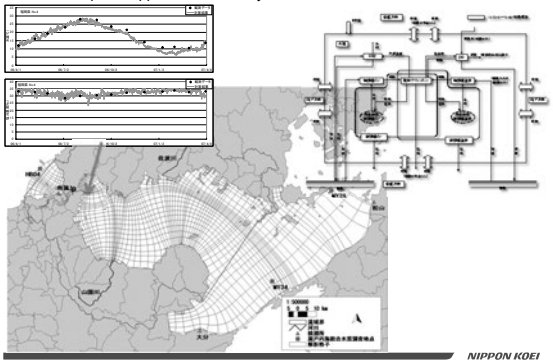
An example of application of NK-Hydro2D for reservoir sedimentation.




NIPPON KOEI 16

## Achievement: Water Quality in Off Shore

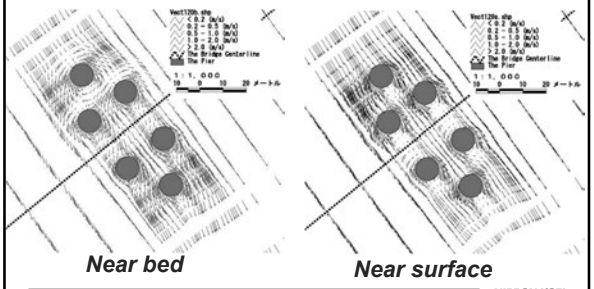
An example of application of NK-Hydro2D.



NIPPON KOEI 17

## Achievement: Scouring around Piers

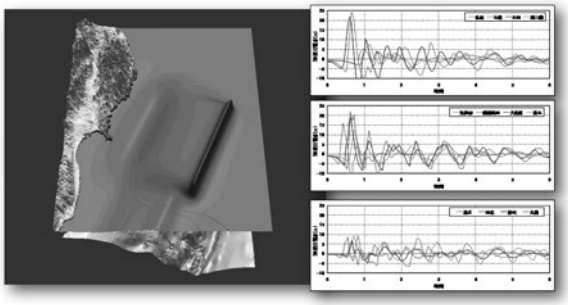
An example of application of NK-Hydro3D combined with NK-Hydro2D for scouring problem of piers of a bridge.




NIPPON KOEI 18

## Achievement: Tsunami and Storm Surge

An example of application of NK-STAM.

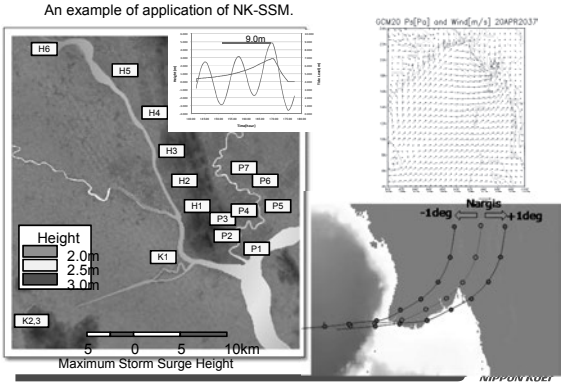


Tsunami height　　Tsunami height (time series)

NIPPON KOEI
19

## Achievement: Tsunami and Storm Surge

An example of application of NK-SSM.

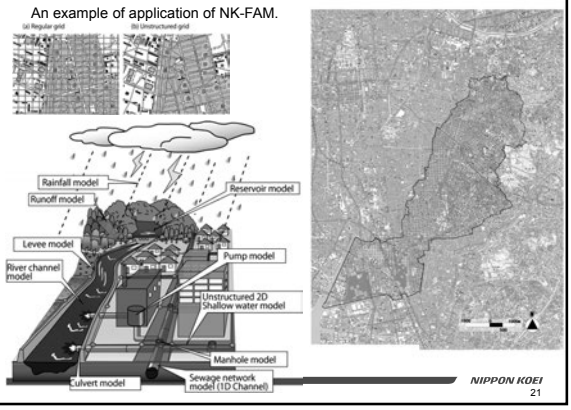



Maximum Storm Surge Height

NIPPON KOEI
20

## Achievement: Urban Flood

An example of application of NK-FAM.




NIPPON KOEI
21

## JST統合プラットフォームへ期待すること

- 実務で適用するためには、社内の一部でも基礎式から把握しているモデルであることが必要。
- 中身の見える、ソースが共有されたモデルであることが重要。
- 建設コンサルタント各社が様々な解析ツールを自社開発している。これらの性能評価、認証する仕組みがあるとよい。
- 一方、CommonMPのような標準的に使える取り組みが進められており、一般的な技術者はCommonMPに精通することで通常の業務は効率良くこなせるようになると期待されている。
- CommonMPには、業務に使える解析エンジンが、現状では公開されていない。CommonMPとのコラボレーションがなされることが望ましい。

NIPPON KOEI
22

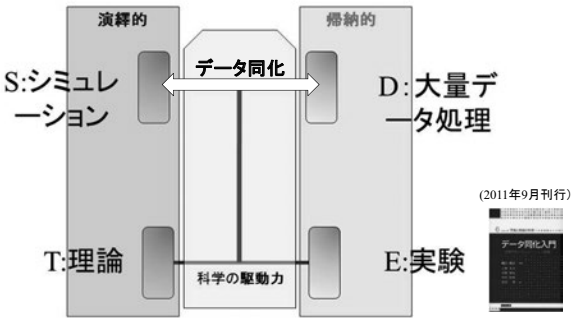
## ４－７．ベイジアンモデリング：データ同化と階層ベイズモデル（樋口所長）

### ベイジアンモデリング
データ同化と階層ベイズモデル

樋口知之 （統計数理研究所）

統計数理研究所

### つなぐ：データ同化




(2011年9月刊行)



統計数理研究所

### データ同化の目的：気象・海洋学の観点から

[1] 予報を行うための最適な初期条件を求める。これは既に、現業の天気予報で実用化されていることである。

[2] シミュレーションモデルを構成する際の最適な境界条件を求める。連成現象を取り扱う際の適応的な境界条件設定もこの作業に含まれる。

[3] スケールが異なるシミュレーションモデル間の橋渡しを行うスキーム内に含まれる諸パラメータの最適な値を求める。経験的に与えられるモデル内のパラメータ値の検証も一つの具体例である。

[4] シミュレーション（物理）モデルにもとづいた、観測されていない時間・空間点における観測値の補間を行う。この作業は再解析データセットの生成とも呼ばれる。このデータセットから新しい科学的発見をもくろむ。 ダウンスケーリング

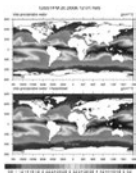
[5] 時間・経費を節約できる効率的な観測システムを構築するための仮想観測ネットワークシミュレーション実験や感度解析を行う。

（参考文献： 蒲地 他、「統計数理」、54(2), 223-245, 2006.）

統計数理研究所

### Scientific Discovery using Re-analysis dataset
Observation Stations

Suzuki



http://www.pmel.noaa.gov/people/cronin/EPIC/cf_from_others.html

Showa (Japan)

Data assimilation could make up an output the **uniformed grid data** from the observations at the about 30 stations which are **sparsely** distributed.
Using ERA-Interim meteorological reanalysis data set and trajectory analysis, we gained this reproduced blocking event which occurred over Antarctica at 18 JUN 1997.

統計数理研究所

### Scientific Discovery by Data Assimilation
ダウンスケーリング

Suzuki

We put **air parcels** at 2.5 grids and the point of 8,000m altitudes from the surface over Antarctica and calculated the trajectories of air parcels using **3D wind fields forward 5days**.
The blocking High was brought from the mid-latitudes with warm atmosphere and was put into the polar vortex.
Trajectories over these area (around the eddy) are **warmer** than other and there should be a **huge snowfall** as well as observed.

統計数理研究所

### “個”にマッチしたシミュレーション：
境界条件の設定機能をパーソナライズする

**“個”によって異なる形状，形態情報をシミュレーションモデルに取り込む 『メタシミュレーションモデル』**

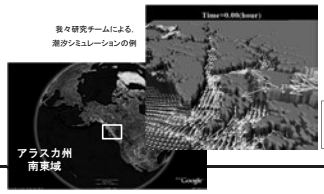
海底摩擦項

運動方程式：v $$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t}+(\mathbf{v}\cdot\nabla)\mathbf{v}+\mathbf{f}\times\mathbf{v}=-g\nabla\eta-\gamma_b\frac{\mathbf{v}|\mathbf{v}|}{H}+A_H\nabla^2\mathbf{v}$$

海底摩擦係数（地域依存性）　水深

連続式： $$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\nabla\cdot(\mathbf{v}H)=0$$

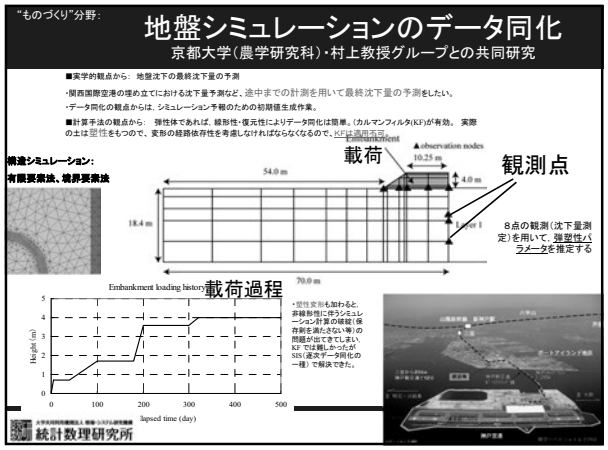
我々研究チームによる、潮汐シミュレーションの例

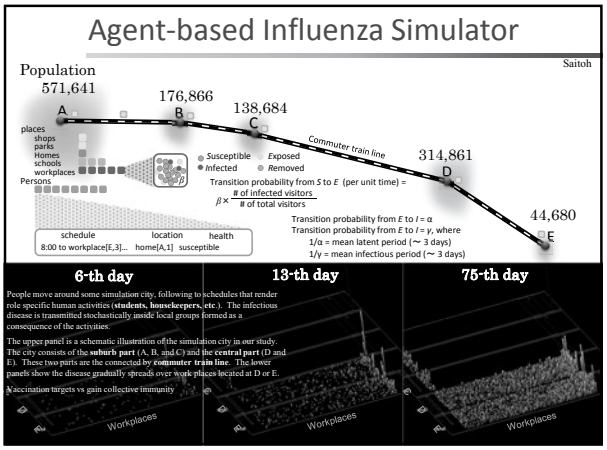


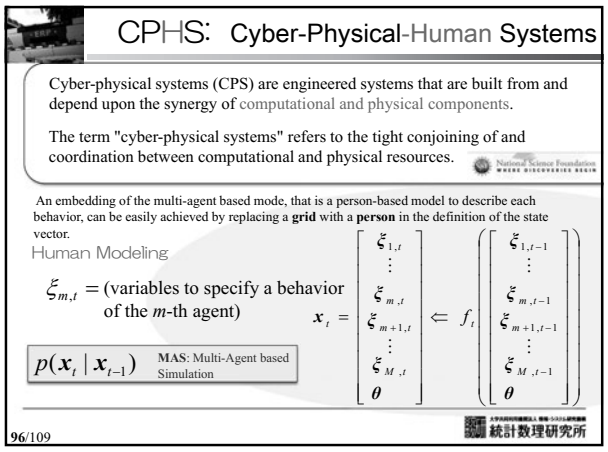

v：水平（2次元）流速ベクトル
$\eta$：海面水位
$H$：水深，f：コリオリパラメータ

多品種少量生産を基本とする製品開発現場でのステップの簡略化や、患者一人一人に合った治療サービスの提供と期間の短縮化

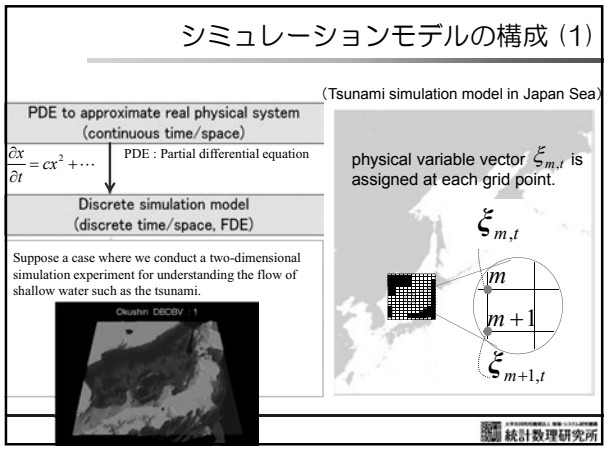
統計数理研究所

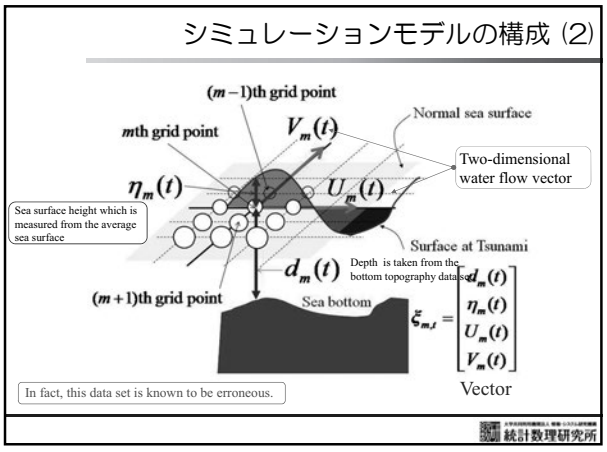

"ものづくり"分野:
地盤シミュレーションのデータ同化
京都大学(農学研究科)・村上教授グループとの共同研究
■実学的観点から: 地盤沈下の最終沈下量の予測
・関西国際空港の埋め立てにおける沈下量予測など、途中までの計測を用いて最終沈下量の予測をしたい。
・データ同化の観点からは、シミュレーション予報のための初期値生成作業。
■計算手法の観点から: 弾性体であれば、線形性・復元性によりデータ同化は簡単。(カルマンフィルタ(KF)が有効。 実際の土は塑性をもつので、変形の経路依存性を考慮しなければならなくなるので、KFは適用不可
構造シミュレーション:
有限要素法、境界要素法
載荷
観測点
8点の観測(沈下量測定)を用いて、弾塑性パラメータを推定する
Embankment loading history
載荷過程
・塑性変形も加わると、非線形性に伴うシミュレーション計算の煩雑(保存則を満たさない等)の問題が出てきてしまい、KFでは難しかったが、SIS(逐次データ同化の一種)で解決できた。
統計数理研究所


Agent-based Influenza Simulator
Saitoh
Population
571,641
176,866
138,684
314,861
44,680
Commuter train line
Susceptible
Exposed
Infected
Removed
Transition probability from S to E (per unit time) = β × # of infected visitors / # of total visitors
Transition probability from E to I = α
Transition probability from E to I = γ, where
1/α = mean latent period (~ 3 days)
1/γ = mean infectious period (~ 3 days)
schedule
location
health
6-th day
13-th day
75-th day
Workplaces


CPHS: Cyber-Physical-Human Systems
Cyber-physical systems (CPS) are engineered systems that are built from and depend upon the synergy of computational and physical components.
The term "cyber-physical systems" refers to the tight conjoining of and coordination between computational and physical resources.
National Science Foundation
An embedding of the multi-agent based mode, that is a person-based model to describe each behavior, can be easily achieved by replacing a grid with a person in the definition of the state vector.
Human Modeling
ξm,t = (variables to specify a behavior of the m-th agent)
MAS: Multi-Agent based Simulation
96/109
統計数理研究所

シンガポールの交通システム
統計数理研究所
東京大学


シミュレーションモデルの構成 (1)
(Tsunami simulation model in Japan Sea)
PDE to approximate real physical system (continuous time/space)
PDE : Partial differential equation
Discrete simulation model (discrete time/space, FDE)
Suppose a case where we conduct a two-dimensional simulation experiment for understanding the flow of shallow water such as the tsunami.
physical variable vector ξm,t is assigned at each grid point.
統計数理研究所


シミュレーションモデルの構成 (2)
(m−1)th grid point
mth grid point
Normal sea surface
Two-dimensional water flow vector
Sea surface height which is measured from the average sea surface
Surface at Tsunami
Depth is taken from the bottom topography data
(m+1)th grid point
Sea bottom
Vector
In fact, this data set is known to be erroneous.
統計数理研究所

## システムモデルとしてのシミュレーションモデル

（simplified meteorological model around Japan）

PDE to approximate real physical system
(continuous time/space)

$\frac{\partial x}{\partial t} = cx^2 + \cdots$ PDE : Partial differential equation

Discrete simulation model
(discrete time/space, FDE)

$x_t = f_t(x_{t-1})$
代入計算

(time varying)
Boundary conditions $v_t$

Nonlinear state space model
(discrete time/space, stochastic(SDE))

$x_t = f_t(x_{t-1}, v_t)$

State Vector

$$x_t = \begin{bmatrix} \xi_{1,t} \\ \vdots \\ \xi_{m,t} \\ \xi_{m+1,t} \\ \vdots \\ \xi_{M,t} \\ \theta \end{bmatrix}$$

統計数理研究所

## データ同化と一般状態空間モデル

State Vector（Simulation variables）

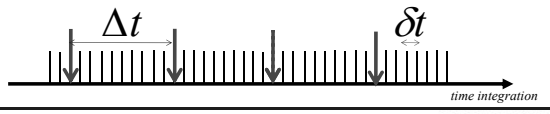
システムモデル
Stochastic simulation model

$$x_t = f_t(x_{t-1}, v_t), \quad v_t \sim p(v \mid \theta_{\mathrm{sys}})$$

$$y_t = h_t(x_t, w_t), \quad w_t \sim p(w \mid \theta_{\mathrm{obs}})$$

気象・海洋のデータ同化の枠組み $y_t = H_t x_t + w_t, w_t \sim N(0, R_{\mathrm{obs}})$

Observation model
Measurement model
観測モデル




統計数理研究所

## Our interest in a statistical inference by DA

■ State Estimation and forecasting

$$p(x_t \mid y_{1:t}) \quad or \quad p(x_t \mid y_{1:T})$$

■ Parameter Estimation in a simulation model

$$p(\theta \mid y_{1:T}) \propto p(y_{1:T} \mid \theta) \cdot p(\theta)$$

統計数理研究所

## ご静聴ありがとうございました。

バーチャルにリアルを埋め込むデータ同化：
ベイズ、アンサンブル予測
ヒューマンモデリング、個人化情報サービス

(2014年4月刊行)検討　(2011年9月刊行)　(2011年11月刊行)

**ビッグデータ時代のマーケティング**—ベイジアンモデリングの活用—
（佐藤@筑波大ビジネス科学、樋口）、講談社、2013年1月末　発売

統計数理研究所

## ４－８．システム構築戦略研究（木村上席フェロー）

### システム構築戦略研究

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

水処理システムWS
2012年12月22日
JST

### 内　容

- システム構築の重要性の認識
- システム構築の難しさとFunding の問題点
- システム構築戦略研究の提案
- システム構築戦略研究と水問題

### 「システム化」の必要性を述べた政策文書

- 新成長戦略
- 第4期科学技術基本計画
- 平成24年科学技術白書
- 経済産業省産業構造ビジョン2010
- 経団連「イノベーション立国・日本」構築を目指して」
- 「動け日本」緊急提言

システム設計、システム輸出、システム化の重要性、システム化の日本における遅れなどが強調されている。

### 『新成長戦略』具体的なシステム記述例

グリーンイノベーション
- 都市のエネルギーマネジメントシステムの構築、都市の全体を輸出パッケージ（p39）

ライフ
- 医療機関ネットワークを構築（p40）

アジア展開
- パッケージ型インフラ海外展開（p41）

新成長戦略

### 第4期科学技術基本計画　平成23年8月19日

震災からの復興、再生の実現
- 被災地の産業の復興、再生
- 社会インフラの復旧、再生（民間も含めたネットワークの強化）
- 震災からの復興、再生に関わるシステム改革

グリーンイノベーション
- 安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現（分散エネルギーシステムの革新）
- エネルギー利用の高効率化及びスマート化（ネットワークシステム全体の最適制御）
- 社会インフラのグリーン化（会インフラと一体となった巨大ネットワークシステム）
- グリーンイノベーション推進のためのシステム改革（人材育成等をパッケージ化した総合システム）

ライフイノベーション
- 新しい早期診断法の開発
- 安全で有効性の高い治療の実現（生命動態システム科学研究）
- 高齢者、障害者、患者の生活の質（QOL）の向上
- ライフイノベーション推進のためのシステム改革

科学技術イノベーションの推進に向けたシステム改革

科学技術基本計画

### 具体的なシステム記述例

グリーンイノベーション
- 分散エネルギーシステムの構築(p11)、電力、ガス、水道、交通等の社会インフラと一体となった、巨大ネットワークシステム、高度水処理技術を含む総合水資源管理システム(p12)
- 社会インフラの整備に関連して、官民が有する先進技術、管理運営ノウハウ、人材育成等をパッケージ化した総合システムとしてその海外展開を促進する。(p13)

ライフ
- 医薬品及び医療機器の臨床研究と治験を一体化した制度（p15）

科学技術基本計画

## 科学技術イノベーションの推進に向けたシステム改革(p16～)

- 科学技術の複雑化、研究開発活動の大規模化、経済社会のグローバル化の進展に伴い、これまでの垂直統合型の研究開発モデルの問題が顕在化し、これを反映する形でオープンイノベーションの取組が急速に進んでいる。
- 国は、科学技術によるイノベーションの隘路となる規制や制度を特定するとともに、その改善方策について関係府省間で議論し、解決を図る仕組みを整備する。

科学技術基本計画

## 科学技術白書(*2012年6月19日*)

第1章　これまでの東日本大震災への対応を省みて
第1節　東日本大震災の影響と対応
1　東日本大震災の影響
2　東日本大震災への対応と諸問題（巨大地震モデル、適切なモニタリング、効用とリスク）
第2節　科学技術政策に問われているもの
1　科学技術に対する意識の変化（事前のシビアアクシデント対応）
2　震災が提起した科学技術政策上の課題（巨大システムの災害対策、実際の運用までを考慮したシステム化）
第2章　強くたくましい社会の構築に向けた科学技術イノベーション政策の改革
第1節　震災後の我が国が目指すべき社会像と科学技術の在り方（社会システム、人間系の協調動作）
第2節　震災が提起した社会的課題へ対応した科学技術イノベーションの取組事例
1　課題克服に向けた先進事例
2　被災地の産業の復興、再生に資する研究開発の取組事例
第3節　今後の科学技術イノベーション政策の在り方、アジアそして世界へと発信（運用までを考慮したシステム化）

科学技術白書

## 経産省産構審産業競争力部会**中間取りまとめ**
平成23年6月19日

大震災後の我が国の産業競争力に関する課題と対応
～かつてない空洞化の危機を乗り越えるために～
**産業空洞化の防止**
（ア）産業競争力の観点からのエネルギー改革の推進（シビアアクシデント）
（イ）サプライチェーンの強靭化（コスト競争力とのバランスを維持、分散化）
（ウ）我が国の立地競争力の強化（国際的なイコールフッティング、総合的な取組）
**成長力の創出・強化**
（ア）海外市場の開拓（インフラ・システム輸出）
（イ）新たなビジネスの育成（産業横断的な競争力あるシステムの設計・制御、インテグレーターを育成）
（ウ）人材力・技術力の強化（産学官集中連携の枠組や国際標準マネジメント）

「産業構造ビジョン2010」が提起した、「官民の連携による戦略の共有」と「世界の中で日本を見る」視座が今こそ求められている

構審産業競争力部会中間取りまとめ

## 産業構造ビジョン2010
平成22年6月3日

～国を挙げて産業のグローバル競争力強化に乗り出す～

- 戦略五分野
  - インフラ関連／システム輸出
  - 環境・エネルギー課題解決産業
  - 文化産業（ﾌｧｯｼｮﾝ、ｺﾝﾃﾝﾂ等）
  - 医療・介護・健康・子育てｻｰﾋﾞｽ
  - 先端分野（ロボット、宇宙等）

産業構造ビジョン

## 具体的なシステム記述例

Ⅳ. 日本の産業を支える横断的施策
1.日本のアジア拠点化総合戦略
- 電子タグ等の自動認識技術やEDIを活用し、貨物の動静情報を社内情報システムの異なる企業間でリアルタイムに共有するネットワークを構築し、発荷主から受荷主までの国際物流トレーサビリティを抜本的に向上させる。

5. 付加価値獲得に資する国際戦略
- 「システム思考」、個々の要素技術によって構成されるシステム全体がどのようなものか、を見据えた視点をもって標準化を進めていかなければ、事業の収益性に貢献する成果は覚束ない。

産業構造ビジョン

## 日本経済団体連合会
「イノベーション立国・日本」構築を目指して

「ものづくり力」を維持・強化しながら、サービス産業、文化産業、ICT等との融合を図ることで、優れた技術や斬新な発想を基盤とする新たな製品、サービス、ビジネスモデルを生み出し、国際競争力を高め、経済や社会に従来にない新たな価値を創造していく

1.資源・環境・エネルギー制約の克服
2.高齢化に対応した健康長寿社会の実現
3.安全・安心な経済社会の構築
4.フロンティア戦略の推進

経団連

資源・環境・エネルギー
①次世代高効率空調・冷凍システム
②炭素繊維による材料の軽量化
③次世代自動車の高性能化（ITSの推進による効率的な交通システム）
④グリーンパワーエレクトロニクス
⑤モーターからのレアアース回収及び省・脱レアアース
⑥有機系基幹原料のソースの多様化
⑦アンモニアを利用した発電システム
⑧次世代エネルギーマネジメントシステム

健康長寿社会
①予防医療（先制医療）
②テーラーメイド治療
③医療ニーズの高い疾患に対する革新的医薬品・医療機器
④次世代医療・健康システム

安全・安心な経済社会
①災害予測及びモニタリングシステム
②災害時でもつながる情報通信ネットワーク
③クラウドの活用等を通じた個人の行政情報等の管理システム

フロンティア戦略の推進
①準天頂衛星システムの構築
②海洋エネルギー・資源の開発

経団連

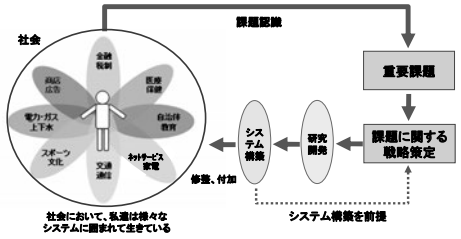
## 「動け！日本」緊急提言

- 健康・医療サービス分野の挑戦
  - 生活者メディシンの実現（在宅、職場など生活圏で、高度予防医療）
    3年以内に、20の診療サービスを実現。
- 環境分野の挑戦
  - グリーン経済・社会システムの確立
    10年で、高度循環型経済社会を実現。環境劣化による潜在的GDPの掘り起し。
- エネルギー分野の挑戦
  - 燃料電池を応用した新エネルギーシステムの実現
    3年以内に、"1か月無充電ケータイ"、"30時間無充電PC"を実現化。
    10年以内に、燃料電池複合による効率65%の発電。
- 安全・安心分野の挑戦
  - ナノコードによる製造責任の完全トレーシングシステムの実現
    3年以内に要素技術を開発。5年以内に特定分野の全製品のトレーシングシステムを構築。
- 生活高度化の挑戦
  - 快適ユビキタス生活の実現
    3年以内に、完全なユビキタス通信サービスが実現。
- 教育サービス分野の挑戦
  - 大学教育システムの革新
    3年で、大学カリキュラムを可視化・構造化し、セルフオリエンテーションを可能に。
    5年で、テーラーメード教育を実現し、初等中等教育・生涯教育へ波及させ、米国を凌ぐ教育システムを完成する。

動け！日本(Innovation Japan)　※上記は、実現可能性の高い技術革新と考えられる一部

## 内　容

- システム構築の重要性の認識
- システム構築の難しさとFunding の問題点
- システム構築戦略研究の提案
- システム構築戦略研究と水問題




## システムの社会実装の難しさ

- 異種の技術の統合
  例　ITS：交通・情報通信・エネルギー
- 利害関係者の間の相克
  システム機能の発達による利害関係者の多様化
- 状況の時間変動
  技術の進歩、人々の価値観の変化を予測することは至難である。
- 縦割り行政による分断

## これまでのFunding の問題点

- 要素技術を確立しておけばいつか役に立つという「彼岸主義」
- システム構築のために必要な要素技術（者）の不足
- 困難な課題を後回しにして出来るところから手をつける便宜主義
- システム実装を目指しつつも、論文執筆を重視してしまう「論文中心文化」
- 「お金をもらったらこっちのもの、何に使おうとこちら勝手だ」と考える自律型研究文化
- 地道な実用化研究を支える組織も資金もない現状

## 内　容

- システム構築の重要性の認識
- システム構築の難しさとFunding の問題点
- システム構築戦略研究の提案
- システム構築戦略研究と水問題

IEEE Systems Conference にて発表
2012 March　Vancouver

*Proposal of Strategic Research on Building Systems*

Hidenori Kimura, Junichi Toyouchi, Rika Takeuchi, Koichi Homma, Yoshifumi Yasuoka, Takeshi Mori
Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency
Chiyoda-ku, Tokyo, JAPAN

Haruo Takeda
Research & Development Group, Hitachi, Ltd.
Chiyoda-ku, Tokyo, JAPAN

## システム構築戦略研究の目的

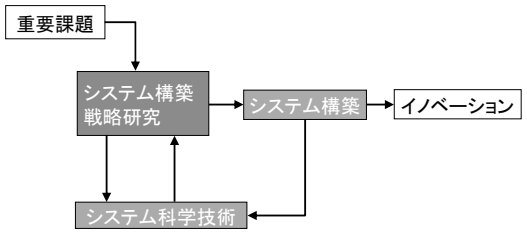
- システムの社会実装まで確実にやることを前提とした研究者自身による詳細なFeasibility Study である。実証研究を含む。
- 望ましい機能をもつシステムが本当に出来ることを、利害関係者の調整までを含めて確認する。
- 不確かさの算定、コストの上限を含めて徹底したシナリオ分析を行う。十分な成算がなければ計画は行わない。
- 未知の課題が生まれれば、システム科学技術の新しい課題として提起する。
- システムが実際に構築された後も評価を続ける

## システム構築戦略研究の手順

- Target Determination
- Boundary Condition Determination
- Structural Design
- Recruiting Necessary and Sufficient　Technologies
- Modeling --- Integration of Different Disciplines
- Simulations and Scenario Analysis
- Evaluation Mode

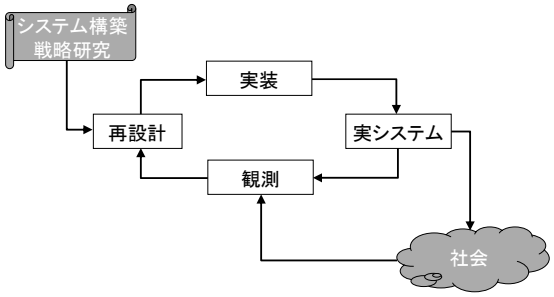
## システム構築戦略研究の位置づけ

- システム構築戦略研究は研究の分野ではなく研究の「範疇」である。あるいは「スタイル」と言ってもよい。
- 社会と接点の強いシステム構築を目指す、すべてのプロジェクトにこの研究を義務つける。
- システム構築戦略研究は具体的なシステム構築の中で行うのが原則。
- システム構築戦略研究を通して、システム構築にかかわるさまざまな暗黙知が見つけ出され、形式知に転換されるきっかけを得る。
- システム構築戦略研究は、システム科学技術がさらに発展し豊かになるための先端部分を担う。



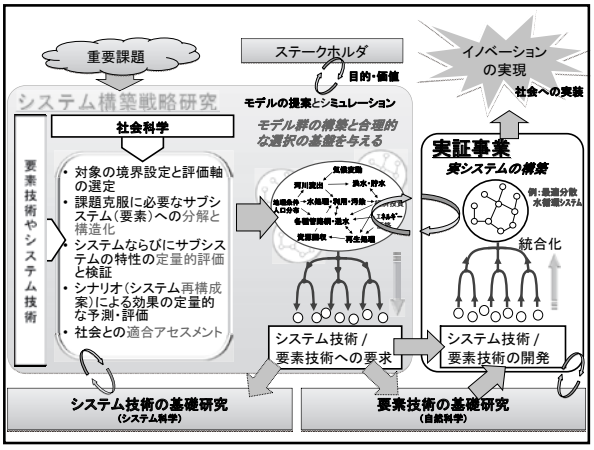

**システム構築戦略研究の位置づけ**

システム構築後のシステム進化も射程に入れる




## 内　容

- システム構築の重要性の認識
- システム構築の難しさとFunding の問題点
- システム構築戦略研究の提案
- システム構築戦略研究と水問題



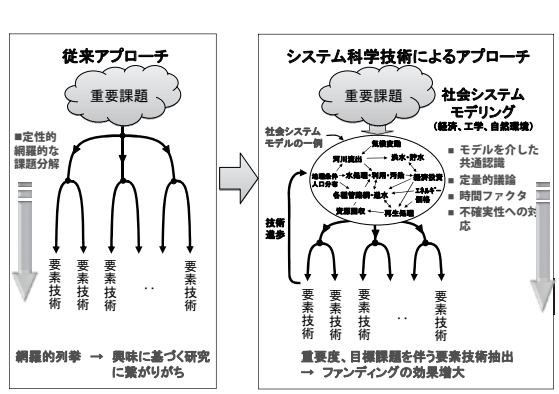
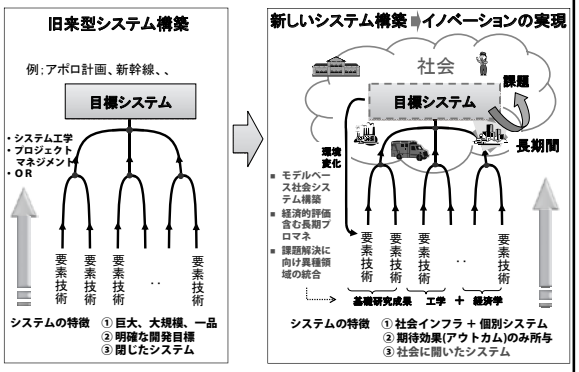




図　システム構築戦略研究における重要課題の分析

従来型アプローチとの比較（Ⅱ）




丹保憲任：「水の危機をどう救うか」 2012.12

- 複雑な機能分担を持った水利用を考えつつ、しかも信頼性・災害対抗性の高い水代謝系を作ることは一見したところ二律背反的な要求のように思われます。
- しかし、システムの並列による互換性・相互支援性の確保、システムのブロック化による被害の極限化等から始まって、自律性の高い水・食糧・エネルギー代謝システムの地域総合化を図ることが出来れば、自立性の高められた地域代謝システムが相互に網状に組み合って、新国土システムとして展開することが可能になって来ます。

■報告書作成メンバー■


| | | |
|---|---|---|
| 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） |
| 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） |
| 福田佳也乃 | 主査／フェロー | （戦略推進室／イノベーションユニット） |

※お問い合せ等は下記ユニットまでお願いします。



CRDS-FY2012-WR-11

科学技術未来戦略ワークショップ報告書


# 水循環システム構築の研究開発戦略

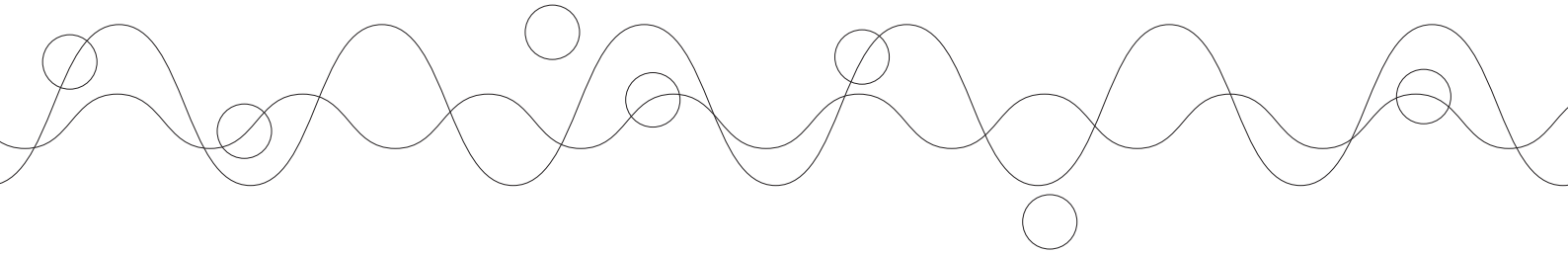

平成 25 年 3 月　March 2013



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
System 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

許可無く複写／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 quotations must be appropriately acknowledged.