

水資源循環シミュレーションシステム

Water Resource Cycle Simulation System

川戸 渉 水野 基裕
Kawato Wataru Mizuno Motohiro
青木 純一 西岡 哲
Aoki Junichi Nishioka Tetsu

日立グループは、株式会社地圏環境テクノロジーと連携し、水資源管理・水災害対策に貢献する水資源循環シミュレーションシステムの構築に取り組んでいる。このシミュレーションシステムでは、地表水と地下水を完全に一体化させた解析が可能であり、多様な表現を高速にかつ分かりやすく表示できる可視化機能を併せ持っている。これらの機能により、水資源や水災害の精度のよい現状把握や将来予測が可能である。日立グループは、このシミュレーションシステムを用いることにより、地球規模での課題となっている水資源確保、水災害に関する諸問題の解決に貢献していく。

1. はじめに

近年、地球規模の温暖化や急激な人口増加、社会の発展などにより、工業用水や飲料水の不足、渇水地域の広範囲化による農作物の不作、豪雨による洪水・氾濫などが頻発し、その被害規模も次第に甚大となる傾向にある。これら諸問題に対処するには、多様で複雑な施策が要求される。

国内においても、水資源の無秩序な取得の脅威、ゲリラ豪雨の多発などの問題があり、水資源の利活用や水災害への対策が求められている。これらの問題に対応するために、水資源保護を目的とした「地下水の利用の規制に関する緊急措置法案」が、議員立法で国会に提出された（2012年1月）。また、局所的な雨量をほぼリアルタイムに観測可能なXバンドマルチパラメータレーダの整備など、水施策の動きが活発化してきている。

このような背景から、国内外の水資源分布の変化や水災害の予測を適切に捉え、施策の意思決定を迅速かつ円滑に行う支援機能が求められている。これに対し、日立グループは、株式会社地圏環境テクノロジーと協力し、水資源循環シミュレーションシステムの普及拡大に取り組んでいる。

ここでは、水資源管理・水災害対策に貢献する水資源循環シミュレーションシステムと、それを構成する要素技術

を中心に述べる。

2. ニーズと技術的課題

2.1 ニーズ

水資源や水災害に関する諸問題を解決するための意思決定の支援機能には、次の二つのニーズがある。

(1) 精度のよい現状把握と将来予測

実際には見ることでできない地下水の水資源の量と質の現状把握、および気候変動および人間活動を考慮した将来予測は、水資源計画を策定するうえで極めて重要な要素である。また、水災害への対策についても精度のよい将来予測が重要である。これらのニーズに対応するシミュレーション技術が求められている。

(2) 膨大なデータの意味づけと可視化機能

観測データやシミュレーション結果など膨大なデータを体系的に整理し、容易にデータと事象を意味づけできる機能が重要である。すなわち、水施策に関する意思決定者や地域住民が容易に理解可能とするため、GIS (Geospatial Information System：地理空間情報システム) を活用した描画機能が重要である。

2.2 技術的課題

2.2.1 シミュレーションの課題

(1) 地表水と地下水の相互作用のモデル化

従来の水循環に関するシミュレーションでは、地下水解析や流出解析など、目的を限定した解析のみが行われている。そのため、地表水と地下水の相互作用（河川の伏没や湧水など）を考慮していないものが多く、精度の高い解析が困難であった。

(2) 物質移動を含めた解析

水施策の決定や災害時に迅速・安全な意思決定を行うに

は、例えば栄養塩類や放射性核種といった物質移動過程の解析が必要である。

(3) 高速計算

(1) と (2) に挙げた地表水と地下水の考慮、物質移動過程の解析を実現するためには、膨大な計算を実施する必要がある。迅速な意思決定に貢献するためには、膨大な計算を高速に実施するアルゴリズムが求められる。

2.2.2 水資源循環可視化の課題

(1) 地下水流の時系列表示

地表水・地下水およびその時間変化を扱う水資源循環シミュレーション結果を分かりやすく表現するには、地表および地下内部の水流の様子を時系列で表示する必要がある。従来のGISでは、地下の状況や時系列データを表示できないものが多い。

(2) 三次元空間に分布した情報の統計処理

シミュレーション結果を意思決定者が理解できるように、三次元空間に分布した情報の統計処理が必要である。

(3) 高速な応答

大容量データの高速処理や高速描画など、迅速な意思決定を支援する情報処理技術が必要である。

3. シミュレーション技術と可視化技術

3.1 新たな視点でのシミュレーション技術

水の流れを計算するには、流路、すなわち河道、排水路、管路網などをモデルに定義して実行するのが一般的である。一方、東京大学大学院の登坂博行教授（地圏環境テクノロジー代表取締役会長）により開発された「GETFLOWS[※]（General Purpose Terrestrial Fluid-flow Simulator）¹⁾」は、地形、地層形状、水理物性、降水条件などを与えることにより、自然の河川網、湖沼、地下水流動系のモデルを自動的に作成するという特徴を備えている²⁾。

(1) 地表水と地下水の一体解析

河川や湖沼などの地表水、地盤中の地下水、空気などの圧縮性流体から成る運動方程式を包括的に解析することで、従来のシミュレーションでは不十分であった地表水と地下水を一体化させた水循環解析を可能とした。これにより、地表水と地下水の相互作用を考慮することができる。

地下水の流動解析の事例を図1に示す。地表水と地下水を一体的に解析することにより、山地に浸透した雨水が河川や海へ湧出する経路を捉えることができる。この解析事例は、地下水の過剰な取水による地盤沈下の対策、農工業用水の水資源の確保・制限などの水施策の意思決定に貢献できる。

※) GETFLOWSは、株式会社地圏環境テクノロジーの登録商標である。

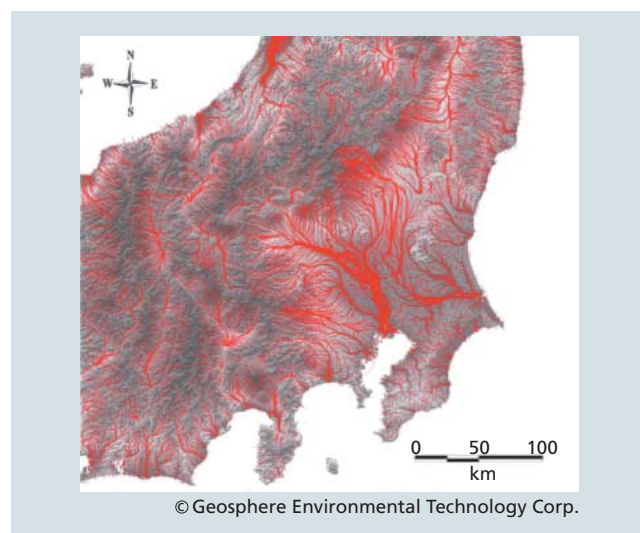


図1 地下水流動解析

山にしみこんだ雨が、川や海へ湧出する経路を捉えることができる。

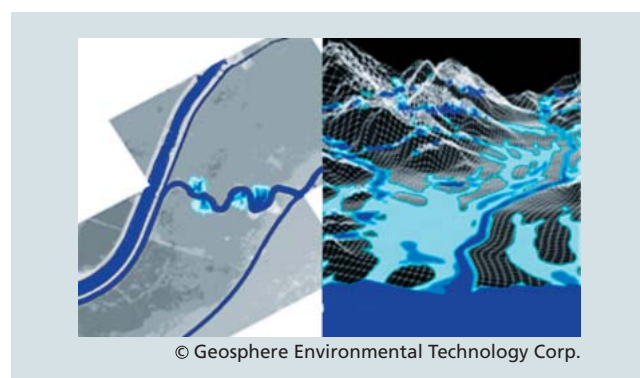


図2 洪水予測

破堤点を考慮した洪水氾濫計算（左）や、土壌の湿潤状態を考慮した氾濫計算（右）が可能である。

洪水予測の事例を図2に示す。同図左は破堤点を考慮した洪水氾濫計算であり、同図右は土壌の湿潤状態を考慮した氾濫計算の例である。地表水と地下水を一体化した解析により、豪雨時の急激な地下水位上昇と内水氾濫を合わせて表現し、その発生地点や浸水域・浸水量を高精度に予測することができる。

(2) 物質移動過程の解析

分解・化学反応による物質の動態変化を考慮できる点がもう一つの特徴である。河川輸送、地盤内侵入、収着・脱離、移流分散などの物質移動過程を取り込むことにより、例えば放射性核種の挙動を解析することも可能となる。

津波発生3時間後の浸水シミュレーションの事例を図3に示す。時々刻々と変化する津波波形をインプットすることにより、沿岸域の河川遡上、氾濫流の動的挙動を解析している。この解析では、土地利用区分ごとの土壌特性を基に、津波によって浸水した領域の降雨などによる塩分濃度が低下する様子をシミュレーションすることも可能である。これにより、復興事業における除塩計画を含むさまざまな環境修復効果の検討に活用できる。

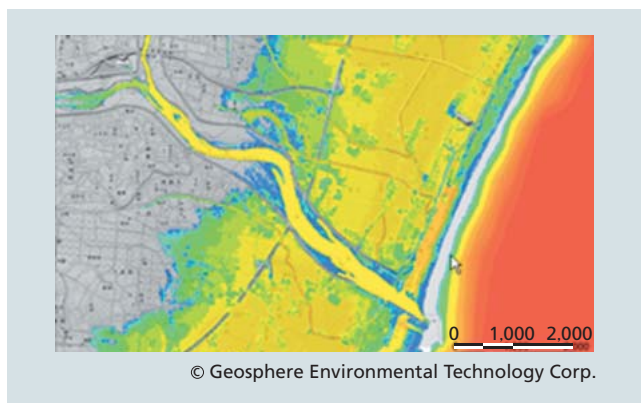


図3 | 津波浸水シミュレーション
津波発生3時間後の水の深さ分布を示す。

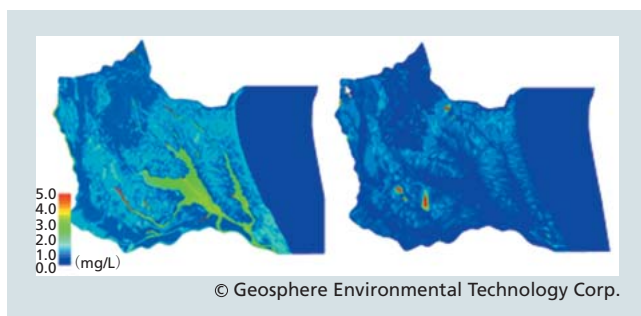


図4 | 経済活動による地表水と地下水の窒素汚染状況のシミュレーション
地表水（左）および地下水（右）中の全窒素濃度を示す。

経済活動による地表水と地下水の窒素汚染の状況のシミュレーションを図4に示す。同図左は地表水中、同図右は地下水の全窒素濃度の解析結果である³⁾。このように、物質の輸送過程・分布の解析により、物質の移動過程を詳細に追うことができ、また、地表水や地下水中に広がる汚染物質をトレースすることにより、汚染物質が流出した場合の除染方針の検討に活用できる。

(3) PC (Personal Computer) クラスタを用いた高速計算
シミュレーション結果のデータ量はそのモデル規模に依存するが、一般的に2000万格子程度のシミュレーション結果は1テラバイト程度の出力となる。そのため、PCクラスタを用いた並列計算によって大容量かつ高速の演算を実現することで、迅速な意思決定支援を可能とした。

3.2 可視化技術の特徴

通常は直接見ることができない地下水の可視化を行う手段として、日立グループは、GISを用いた可視化技術の開発に取り組んでいる。その特徴は以下の3点である。

(1) 高精度な地表・地下および時系列データの表示

全世界の地図を世界測地系で一元管理し、三次元表示を可能とする球体モデルを採用することにより、地表と地下を含め、高精度で質感のある表示を可能とした。さらに、通常では見えない地下構造を表現する機能を追加している。また、三次元の地理空間情報に時間軸を加えることに

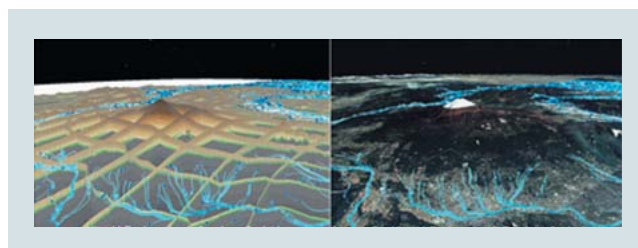


図5 | 地下グリッド断面表示および衛星画像の透過表示
地下グリッド断面図や透過表示した衛星画像と地下水の流れを重ね合わせ、分かりやすく表現する。

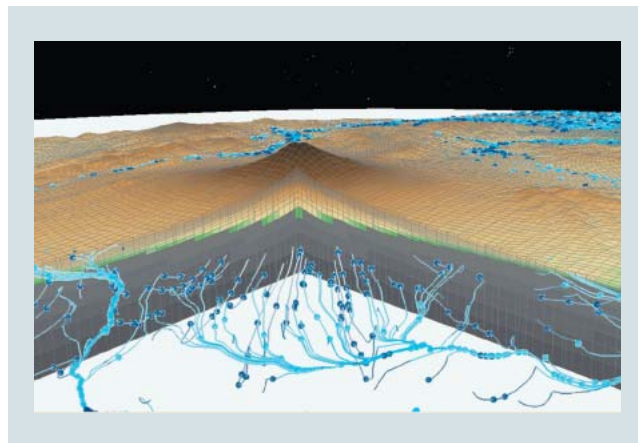


図6 | アニメーション表示
地表水と地下水の流れを、アニメーションによって「見える化」できる。

より、災害状況などの時間変化するシミュレーション結果を表示できるようにしている。

神奈川県相模川流域などを対象とした解析結果⁴⁾について、地下グリッド断面表示をした例、および衛星画像の透過表示をした例を図5に示す。地下グリッド断面表示により、地表と地下の両方の表現が可能となる。また、衛星画像の透過表示にシミュレーション結果を重ね合わせることで、地表水・地下水の流れを直感的に理解することができる。

アニメーション表示の例を図6に示す。地表水・地下水の流動経路をアニメーションとして表現できる。これを三次元地理空間情報と重ね合わせることで、時々刻々と空間的に変化する動的な挙動を可視化することができる。

(2) 空間解析機能

空間解析機能は、行政界や流域界などのシミュレーション結果を空間的に集計することにより、水資源賦(ふ)存量(利用可能な水資源の量)などのシミュレーション結果を分かりやすく表現する。

空間解析による地下水資源賦存量分布を集計し、色分け表示した例を図7に示す⁵⁾。利用可能な地下水資源の分布を把握することで、水資源利用計画策定に寄与することが可能となる。

(3) 高速な応答

従来のGISでは、ズームインなどの描画処理の際に応答

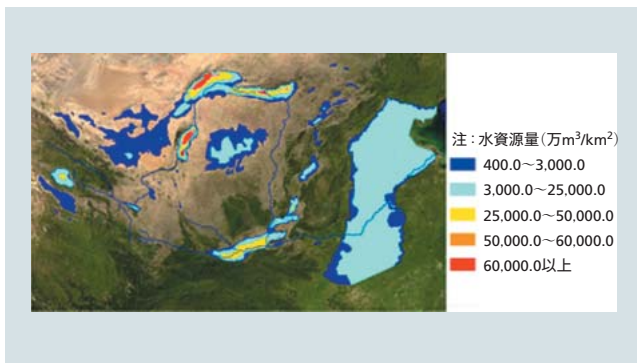


図7 | 空間解析による地下水資源賦(ふ) 存量分布の色分け表示
地下水資源の賦存量を集計し、量に応じて色分け表示する。

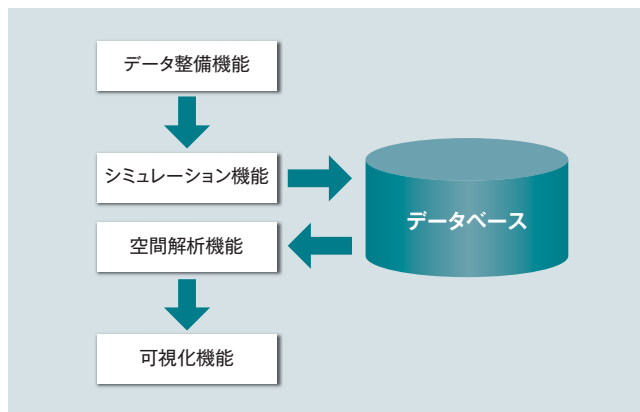


図8 | システムの機能とフロー

システムの各機能とそのフローを示す。データ整備機能とシミュレーション機能には水資源循環のシミュレーション技術が、空間解析機能と可視化機能にはGIS (Geospatial Information System: 地理空間情報システム) による可視化技術がそれぞれ生かされている。

が遅れることがあったが、表示縮尺に応じてデータを間引くことなどにより、描画速度の向上を実現した。

4. 水資源循環シミュレーションシステムへの期待

日立グループと地圏環境テクノロジーは、多様なユーザーが利活用可能なクラウドサービスとして、データ整備機能、シミュレーション機能、空間解析機能、可視化機能を融合した水資源循環シミュレーションシステムの製品開発を推進している(図8参照)。シミュレーション精度のさらなる向上と、可視化された情報を意思決定者へより迅速に分かりやすく提供することは、「21世紀の油」と呼ばれる水を的確に管理・予測し、持続可能な社会インフラを支え、安全・安心な社会の実現に貢献するものである。

5. おわりに

ここでは、水資源管理・水災害対策に貢献する水資源循環シミュレーションシステムと、それを構成する要素技術を中心に述べた。

水資源循環シミュレーションの特徴を要約すると、地表水と地下水を一体的に解析する水資源循環シミュレーション技術とGISによる可視化技術を融合し、地表水や地下水

の現状や将来予測を迅速に分かりやすく表現するツールである。

世界的な水資源の不足や水災害に対応するには、水資源循環シミュレーションシステムは極めて重要なシステムと考えられる。日立グループは、地球規模の課題である水資源、水災害に関する諸問題の解決に貢献していく。

参考文献など

- 1) H. Tosaka, et al.: Fully Coupled Formulation of Surface flow with 2-Phase Subsurface Flow for Hydrological Simulation, Hydrological Processes, 14, 449-464 (2000)
- 2) 特徴(地圏環境テクノロジー), <http://www.getc.co.jp/software/aboutgetf/feature/>
- 3) K. Mori, et al.: A High Performance Full-3D Nutrient Transport Modeling based on the Surface water and Groundwater Coupling Technique for the Water Quality Assessment : An Application to the Lake Kasumigaura, Japan : International Symposium on Hydro Change 2008 in Kyoto
- 4) 田原, 外: 神奈川拡大流域圏における自然水循環挙動の復元可能性の検討, 日本地下水学会秋季大会(2008.11)
- 5) 人・自然・地球共生プロジェクト: アジアモンスーン地域における人工・自然改変に伴う水資源変化予測モデルの開発, 平成17年度研究成果報告書, RR2002

執筆者紹介



川戸 渉

2006年日立製作所入社, ディフェンスシステム社 情報システム本部 危機管理事業推進室 所属
現在, 水資源循環シミュレーション関連案件に従事



水野 基裕

2012年日立製作所入社, ディフェンスシステム社 情報システム本部 ICT基盤設計部 所属
現在, 水資源循環シミュレーション関連案件に従事



青木 純一

2004年日立製作所入社, ディフェンスシステム社 情報システム本部 所属
現在, 危機管理案件の事業の推進に従事



西岡 哲

2000年株式会社地圏環境テクノロジー設立, 同社代表取締役社長
現在, 水循環モデリング解析の事業化に従事