論 説

フィールド情報を総合化した陸水挙動解析への試み

登坂 博行*

Numerical Modeling and Simulation of Surface/Subsurface Water Behavior with Integrated Field Information

Hiroyuki TOSAKA*

Abstract : Recent large-scale, surface/subsurface utilizations has introduced complicated and significant effects on local natural water environment. To make reliable assessment of the behavior of the water system with the aid of numerical simulation, the author describes the comprehensive technology for treating surface/subsurface, multiple fluids flow, while emphasizing the importance of full inclusion of available field information into the numerical model. Results of a case study are presented, in which a 3-D model including large underground rock caverns is constructed to reproduce and predict the surface/subsurface water behavior through history matching of calculated performances with those got from various field information.

Key Words : Field information, Integration, Numerical simulation, Environmental assessment

1. はじめに

様々な人間活動が展開されるにつれ、自然界を対象とした水理解析への要求も複雑化、巨大化しつつあるようで、著者も以下に挙げたような問題の解析可能性を打診される度に、解析手法の検討や実データによる計算を行ってきた。

- (1)山間地のトンネルなど埋設構造物の建設に際しての周辺水理環境の変化予測。
- (2)ダム建設に伴う下流側の河川・地下水環境（水位、水量、水温）の変化予測。
- (3)大規模地下利用施設（石油、圧縮空気、液化ガス等の貯蔵）周辺の地表・地下水流れの把握・制御・予測、および貯蔵物質の漏洩安全性の評価。
- (4)農薬、有機塩素系溶剤、石油などによる地下水汚染域の評価・対策立案、また、海岸部の揚水に伴う地下水塩水化の問題。
- (5)地層処分の際に非常長期の地下水環境、物質移行の予測、海水準変動構造運動に伴う長期的流体環境の変化予測。

上記を含めた諸水理現象を断面模式図に示したものが第1図である（伊藤，1998）。これらの問題は全て、いわゆる水

理解析（流体解析）の範疇を超えるものではない。しかし、大きな特徴は、従来型の水理解析の枠組みでは取り扱えないものばかりということであろう。従来型とは、地下水解析、地下物質移行解析、河川流出・洪水解析など個々の水理分野の枠組みの中で行われてきたものである。例えば、従来から2次元断面モデルによる地下水定常解析が構造物設計段階での安全性評価などに使われてきているが、それではもはや間に合わないし、地下状態を十分に考えない河川流出解析でも対応できない。更には、水のみではなくより複雑な流体系を相手としなければならない。対象領域の水理現象全体をできるだけ丸ごとモデル化し、目に見える形で提示することが要請されているように思われる。

自然水理のシミュレーションは、常に観測情報不足、表現力不足、計算機能力不足、その帰結としての信頼性不足との戦いを余儀なくされる。最近では、観測密度や量も増え、計算機能力がついてくる場合も少しずつ出てきた。このような状況で今後必要となるのは、観測情報の総合化＋解析技術の高度化であり、どちらが欠けても解析結果の信頼性が大きく低下することになるだろう。

本論文では、冒頭のような諸問題、ひいては将来の陸水系挙動解析の総合化・精緻化に向けて、特に観測情報の総合

1998年6月15日受付，1998年7月31日受理

1997年10月30日 日本情報地質学会シンポジウム「地球情報の特性と処理」にて講演

* 東京大学工学系研究科 地球システム工学 Department of Geosystem Engineering, School of Engineering, University of Tokyo.
e-mail:tosaka@hongo.ecc.u-tokyo.ac.jp

第1図 陸水系の流体・熱移動概念図（伊藤，1998）

化と解析技術高度化の観点から議論を行い、実際の応用例を示す。なお、本文中では“陸水系”と言う言葉を所々で使うが、扱う問題は水のみではないので“陸域流体系”とした方が適切かもしれない。ここでは、取り敢えず統一的に前者を使うことにする。

2. 観測情報の総合化

従来、各分野毎の水理解析というのは、自然の1断面を切り取ったような形でモデルを設定し、それに伴って、様々な自然情報・観測情報を切り捨てたり無視することで簡素化してきた。例えば、地下水挙動を解析しようとする場合、2次元であれ3次元であれ地表面の情報（地形や地表の流れ）をきっちり考えることはなかったし、洪水流出解析では地下地質情報を詳しく考えることもなかったと思われる。もちろん、目的次第では切り捨て無視できる情報があることは当然で、余計な計算負荷は望ましくない。しかし、冒頭の諸問題を含めた将来的問題に対処するためには、利用できる情報を”なるべくそのまま”取り入れることが望ましい。元来、自然水理シミュレーションには相当の曖昧さ（いい加減さ）が避け難い。その上、情報の切り捨てが多すぎると、結果がうさん臭くなりとても自然水理の模倣にはならない。

多種・多量の情報をシミュレーションに反映するためには、情報の保持・加工が迅速にできるハードウェア・ソフトウェアが必要で、かつ数値シミュレータ自体がそれを受け入れられるようにコーディングされている必要がある。その辺が今後の課題である。ここでは、第1表のように、総合的水理モデリングに必要な観測情報をその性格から便宜的に4分類して説明することにしたい。

2.1 地表情報

前述のように、地下水解析では降雨以外の地表条件というのは多くの場合対象外であった。しかし、地表は地下と

第1表 総合的な陸水挙動解析に必要なとなる情報

情報	情報の種類	情報源
地表情報	地形、湖沼・河川、人工物（道路、各種地表施設等） 植生	衛星画像、空中写真、地形図、地表踏査
気象情報	降水量、蒸発散量 気温、湿度、日照時間、風の情報	測候所記録、対象地域における定点観測
地質・水理情報	河川流量、河川水温、河川水質 地下水位、地下水温、地下水質 地質構成（岩相、空間分布）、 土壌・岩石物性（粗度係数、浸透率、間隙率等、毛管圧力等）	定点観測 井戸観測 地表踏査、地質図、ボーリング調査（検層、ポアホールTV） 井戸試験、コア試験、物理検層
人工物情報	構造物形状（トンネル、ダム、空洞） 構造物境界物性（壁面の水理物性） 構造物周辺の地質状況 構造物施工工程 施工時水理記録（湧水量、注水量等）	構造物設計図 施工管理図等 施工時詳細地質図、地質展開図 施工管理図・工程図 施工管理図・工程図

密接に連動した場として、陸水系挙動解析上非常に重要な意味を持っている。

地表情報の内、地形、植生分布、地表人工物は水などの流れを支配する大きな要素でありモデルの中に適切に反映される必要がある。これらは地形図（あるいはデジタル情報）、空中写真、衛星写真などにより取得できる。また、道路などの地表人工物は、アスファルト・家屋などの被覆の割合が多い都会域を含む解析では、地表流出・地下浸透の配分上重要なファクターとなろう。

2.2 気象情報

気象情報として第1表に挙げたものは、降水量（実降雨量）、気温といった測候所などの記録による情報である。一般的な地下水解析では、地下浸透量を外系からの入力とすることが多いが、これは本来見積りの難しい量である。

本来は、実降雨量を入力とし、地表付近の気象条件（温度、湿度、日射、風速等）から蒸発散量を求め、地下浸透量と地表流出量は計算結果として出てくる量と考えた方がよい。しかし、領域各点の蒸発散量は見積もりが極めて難しく、かつ領域全体の平均的な観測は不可能なものである。蒸発散については観測方法とモデル化方法の検討が今後の課題である。また、河川流出挙動などを主目的とする解析では実降雨データの適切さが非常に重要となるが、対象領域が狭いと局地性降雨の影響が強く現れる可能性もあり、測候所記録だけでは対応できないことにもなり、独自の観測の必要性が生じる。

2.3 地質・水理情報

地質情報として挙げたものは、多くの場合局地的で疎な観測値を内挿・外挿して使うものである。従来から、地下水解析では地下の地質情報をなるべく反映することが命題であり、流出解析では地下地質はともかく河川流量が合うことが必要であった。地表と地下が連動して動くことを前提とする陸水系解析では、地下地質情報も地表水理情報もなるべく取り込まない限り解析モデルの信頼性を高めることは難しくなる。地質・岩石物性の情報はボーリング孔でのコアリング、透水試験、物理検層などにより得られるが、空間的には非常に疎であるため、空間全体としての信頼性は著しく悪いのが普通である。しかし、継時的な水理情報（地下水位、河川流量など）を十分活用したパフォーマンスマッチングを行えば、不明の地質・物性分布が少しづつ逆推定できる可能性がある。この意味でも、時間軸に沿う水理情報は重要なものである。

2.4 人工物情報

人工物情報として挙げたのは主に大規模な構造物（トンネル、ダム、地下空洞）に関するものである。従来から、構造物設計時にその完成時の定常状態を予測計算する場合が多いが、大規模な構造物は地表・地下に連動した水理的影響を引き起こし、まさに両者を連結した解析を必要とする。この種の情報は、特に規模の大きな構造物ではその調査・設計段階から計画的かつ綿密に収集されることが多い。非定常解析を前提とすれば、系の内部状況を変えるトンネル・空洞開削などでは、地下工事進展の様子（切り羽位置、壁面湧水状況、止水措置）がすべて時間に沿った情報として取り込まれる必要がある。それらは、系内部からの既知刺激であり、解析の中で水理情報（地下水位や河川流量の継時情報）とのマッチングをする上で重要な基本入力となる。

2.5 情報の統合化と課題

様々な情報をシミュレータに入力するためには、ある程度の標準化、標準化されたファイリングシステム、読み出し・加工処理が簡易なソフトなどが必要である。この部分の標準化のような作業が今後必要であろう。GISなどの普

及はあるものの、使い慣れていない人の方が多く、個別の案件については個別の形式でデータベースを作る方が早い。また、そうしないと個別のシミュレータが使えないということもある。これは、仕方の無い面もあり、また、ある程度両面を総合的に検討した上で標準化すべき点もあろう。

以上の多種類の情報を解析に供するときには、各々の情報が取られたスケールと解析スケール（離散化の粗さ）とに十分注意する必要がある。例えば、透水試験としてのコア試験と井戸試験などではスケールが違う地質を見ており、さらに解析ではずっと粗くスケールアップされた領域代表値を考える必要がある。我々にとって、点と線と面と空間の情報の差異と特性を確実に認識しておくことが肝心であろう。

3. 解析技術の統合化

3.1 必要とされる解析技術

解析技術として第1図中の全現象を取り扱えるようにするためには以下の点を考慮した物理的・数学的表現が必要である。

- ・降水、蒸発散、地表流、地下浸透、地下水流動の統合
- ・複雑な流体系（水のみではなく多成分の2相、3相流れ）の包含
- ・熱移動現象、化学反応系などの包含
- ・3次元地形、地質、水理物性の表現
- ・ダイナミックな境界条件や状態量の変更
- ・大規模な3次元非定常解析の高速処理

著者は上記のような段階に少しでも近づくべく解析システムの開発に携わってきた。この中では、上に挙げた要件を表現可能とするため、数式やプログラミングに工夫を加えているが、まだまだ満足の行く所までは行かない。現状の概略を以下に説明する。

3.2 地下多相流れ、および地表流れの結合方程式

一般的な流体系として、水のみ系ではなく3成分3相系を考える。これは地下水のみの流れ（飽和地下水流れ）、不飽和帯での2相流れ、地下水汚染などの物質移行を含み、多くの問題をカバーする形と考えられる。以下には、その概要を示す。詳しくは登坂ら（1996a）を参照されたい。

地下多孔質媒体中の3成分3相状態での流動は、ダルシーの法則と流体成分毎（水、空気、非水溶性の物質）の質量保存則から次のように導かれる。

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \frac{Kk_{cw}}{\mu_{cw}B_{cw}} \nabla \psi_{cw} + \nabla \cdot \frac{Kk_{cc}}{\mu_{cc}B_{cc}} \nabla \psi_{cc} - q_{ws}^{cw} - q_{ws}^{cc} &= \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\phi S_{cw}}{B_{cw}} + \frac{\phi S_{cc}}{B_{cc}} \right) \\ \nabla \cdot \frac{Kk_g}{\mu_g B_g} \nabla \psi_g - q_{gs}^g &= \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\phi S_g}{B_g} \right) \\ \nabla \cdot \frac{Kk_{cc}R_{cc}}{\mu_{cc}B_{cc}} \nabla \psi_{cc} - f_{cs}^{cc-cw} - f_{cs}^{cc-r} - q_{cs}^{cc} &= \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\phi S_{cc}R_{cc}}{B_{cc}} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\nabla \left(\frac{K k_{cw} R_{cw}}{\mu_{cw} B_{cw}} \nabla \psi_{cw} + \nabla D_c \nabla \left(\frac{R_{cw}}{\alpha_{cw}} \right) + f_{cs}^{cc-cw} - f_{cs}^{cw-r} - q_{cs}^{cw} \right) = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\phi S_{cw} R_{cw}}{B_{cw}} \right)$$

第1式は水の質量保存則，第2式は空気の状態保存則，第3式は汚染物質の汚染相内の質量保存，第4式は汚染物質の水相内の質量保存則となっている。なお，上式中で，添え字 cw ， g ， cc は水相，気相，非水溶性の汚染物質相（液相）を表し，添え字 S は標準状態を表す。また， K は多孔質媒体の絶対浸透率， k_p （添え字 p は cw ， g ， cc のいずれか）は相対浸透率， μ_p は粘性係数， B_p は容積係数， ψ_p はポテンシャル， q_{ps} は生産圧入項， ϕ は有効孔隙率， S_p は各相飽和率， R_{cw} は水中の物質溶存比， f_{cs}^{cc-cw} は水相と物質相間の物質移動量， f_{cs}^{cw-r} は岩石相表面と物質相間の物質移動量， D_c は濃度拡散係数， α_{cw} は体積換算係数である。また，次の関係式が陰に含まれる。

$$\psi_p = P_p - \rho_p g z, \quad P_p = P_g - P_{cp}, \quad \sum_p S_p = 1 \quad (2)$$

ここで， P_p は各相の圧力， ρ_p は密度， P_{cp} は p 相の毛管圧力であり飽和率の非線形関数である。

地表流・河川流は，マニング型の摩擦法則に従う開水路流れとして近似的に考えられる。この流れは，斜面勾配と表面粗度が大きな支配要因であり，流れの速さは，多孔質媒体内に比べ遥かに大きい。著者らは，この流れを地下の流れと同時に扱うため，2相ダルシー型流動と同じ形式まで近似変形して取り扱っている（登坂ら，1996b）。この方法では，次のように地表面の物性を地下と同じように計算する。

$$K^* = \frac{\mu_{ws} B_{ws}}{\rho_{ws} g n / a^{1/2}} \left(\frac{WH}{2H+W} \right)^{2/3}$$

$$k_{cw}^* = S_w^{5/3} \left(\frac{2H+W}{2S_w H+W} \right)^{2/3} \quad (3)$$

$$P_{cw}^* = \rho_{ws} g H (0.5 - S_w)$$

ここで， K^* ， k_{cw}^* ， P_{cw}^* はそれぞれ地表面の浸透率，相対浸透率，毛管圧力に相当するものであり， W ， H は地表に取られた格子の代表幅と高さ， a は斜面勾配（河床勾配）， n はマニングの粗度係数， ρ_{ws} は水の密度， g は重力加速度である。実際の河川流は生き物であり，流量変化による流路位置や幅の変動，河床粗度の見積りなどの難しさなどがあり，将来のモデルはもっと複雑にする必要があろうが，上式は当面の地表・河川流モデル化の基礎を与えるものと考えている。

以上の支配方程式系を解く手法，数値シミュレータの様子の概要は以下の通りである。

- (a) 流体物性（密度，粘性）は圧力の関数（線形，非線形）とし，地下水汚染問題では圧力および汚染物質濃度の関数として扱う。岩石の毛管圧力，相対浸透率は各相飽和率の非線形関数として扱う。

- (b) 陸水系2相問題では水と空気の方程式を気相圧力と水飽和率について解く。より複雑な汚染流体を含む場合には，気相圧力，水飽和率，空気飽和率，汚染物質溶存比を未知量として解く。

- (c) 空間離散化は不規則6面体を使い格子間トランスミッシビティの幾何学的補正を行う。格子各面個々に媒体物性を定義することで，浸透率の方向性，断層などの不均質性を表現する。

- (d) 完全陰的風上差分法およびニュートン法により非線形性を有する方程式系の3次元非定常解を安定かつ実用的速度で求める。

- (e) 水位観測，生産，圧入などの様々な井戸問題の取り扱い，自然の境界条件（閉境界，定値境界，流出境界），地下施設などの掘削による人工境界のダイナミックな追跡（構造物建設時の開削工程，境界条件や状態量自体の人工的攪乱），地表条件設定（流域降雨，局所降雨，汚染物質を含む降雨，地表面粗度分布，気圧変動など）が可能である。

- (f) データ入力形式の選択，データチェック，リスタート，連続ジョブ，ジョブ監視，任意時間ステップ指定等の機能があり。出力としては，地表・河川流量，観測孔水位，湧水量，生産・注水量，圧力，飽和率，汚染物質濃度などが書き出される。また，グラフィックユーティリティにより，各種計算結果のプロット，三次元画像表示が可能である。

4. 情報の総合化による陸水挙動解析例

ここでは，一つの例として，地下備蓄空洞周辺の水理解析について紹介する（岡本ら，1996，登坂ら，1996b，山石ら，1998）。

解析は，地下備蓄空洞周辺で10年以上にわたり継続的かつ綿密に取られた大量の観測データを説明できるような3次元地質・水理モデルを確立し，現在・将来における基地周辺の水文環境変化（渇水・多雨）や機器異常時の安全性評価，および適切な維持管理を行うことを目的として行われた。

第2図は地形図とその上に重ねた地下石油備蓄基地を示している。備蓄空洞は花崗岩体中（土被り200m程度）に建設されており，大体の大きさは断面20m×20m，長さ540mという巨大なものである。第2図中央には空洞が10本並んでいる様子が見える。空洞には，海岸部よりアクセス用の坑道が3本伸びており，その中央のものは空洞上部に達し水封トンネルにつながっている。西側からは非常用のトンネルが延びている。この施設を囲む分水嶺および平地境界をとり，東西2キロメートル弱，南北1キロメートル弱の大きさの解析モデルを作ったものが第3図(a)，(b)である。このような複雑な人工物を含む地域の格子システムを作る場合，地形と人工物の双方に添って適切な形にしようとするとは非常に厄介である。第3図は坑道などの線状構造物および岩盤空洞のような大きな構造物をほぼその大き

第2図 地形図上に重ねた地下空洞施設全景図 (山石ら, 1998)

第3図 地下空洞施設を含む領域の格子システム (山石ら, 1998)

第4図 小流域の詳細分割格子システム (登坂ら, 1996b)

第5図 小流域の降雨・流出応答マッチングの様子（登坂ら，1996b）

第6図 小流域の地表を不浸透性としたときの河川模様（登坂ら，1996b）

さの格子として分割して作成した格子システムである。平面的には 65×28 、深度方向は17層に分割されており、格子総数は31500程である。なお、この格子システムには、地表直上に河川流れを表現する格子、および更にその上に、大気層を表わす格子が付加されている。3次元的にはかなり大規模な解析となるが、全体としてはどうしても粗いことは否めない。河道も表現できているとはいえず、かなり大胆に不規則な格子を使っているため、ある程度の数値的な誤差を避けられない。しかし、曖昧な部分を含む自然スケールのシミュレーションとしてここでは特に問題とはしない。

以上の3次元モデルを実行するのとは別に、地表と地下の連動系の検討を行うため、第2図の領域の一部の流域（空洞西側）を更に細かく読み取り、小河川の降雨・流出応答解析を通じて、シミュレータの適用性を検討した。第4図はその格子システムと地形を表している。このモデルに一日毎の降雨データを与え、河川流量の観測値と計算値のマッチングを試みたものが第5図である。パラメータを工夫すれば、おおよそ似たような挙動が計算できるようである。第6図には地表を浸透性のないものとした極端な条件でできる河川・地表流の模様を示した（これは、計算ルーチンの検証のためのものである）。第7図には、領域中央

部地下に空洞が開削された時に河川流量が低減する様子、すなわち、地表と地下の連動モデルの挙動を示した。

大規模3次元モデルによる総合的な水理解析は次のように行った。

(1)この領域で取られている調査段階から備蓄操業段階にかけての情報は、まず水文情報・水理情報・人工物情報

(坑道や空洞の掘削の進展、湧水量など)として全て時間軸に沿って整理され、シミュレータの入力、あるいは計算結果と比較できる形に用意した。

(2)解析モデルには、調査により得られた風化帯の厚さ分布、断層破碎帯の大きさなどの地質情報、及び水理試験の情報から初期物性分布を与えた。境界条件は分水嶺で

第7図 小流域の地下に空洞を開削したときの河川流量の変化（登坂ら、1996b）

第8図 降雨の多い時期における地表面上の流れの一例

第9図 河川流量の観測値と計算値のマッチング結果 (山石ら,1998)

は閉境界, 平野部では開放境界とした。

(3)次に, 多数の観測井の初期地下水位記録から地下水位コンターを描き, 各格子点の圧力, 水飽和率を初期化した。

(4)このモデルはそのままでは建設着工直前の状態となっていない。そこで, 地表格子に領域の平均的降水量を与えながら数年間の計算を行い, 地下水位観測値 (領域内の約10地点以上), および河川流量観測値 (領域内で6点) と対応する計算値がおおよそ合致する状態を作り出し, これを初期状態 (建設直前状態) とした。

(5)調査坑道の掘削から始まる建設工事に沿い, ほとんどすべての作業行程をデータファイル化し, シミュレータは連続的にそれを読み取りながら計算が進むようにした。計算結果は得られているすべての水理情報 (坑道や空洞への湧出量, 注水量, 地下水位, 河川流量) と比較された。このマッチング作業は, 岩盤の浸透率, 断層の連続性・透水性などを変更しながら試行錯誤により行われ, 図の結果を得るまでに1年程度を要した。作業行程により計算の安定性・時間分割は変化するが, 10年 (3650日) 程度の計算が約1200ステップ (およそ3日/ステップ) で実行され, 1ステップ当たりCPU時間は約120秒程度 (Hewlett Packard, Model 735/125MHZ) であった。

以上の作業から得られた結果の一部を第8図以降に示す。

第10図 地下空洞の湧水量観測値と計算値とのマッチング結果 (山石ら, 1998)

第11図 地下水位の観測値と計算値のマッチングの一例（山石ら，1998）

第12図 計算された飽和率分布鳥瞰図の一例（地表は空気飽和，白っぽいほど不飽和，黒色は水飽和）

第8図は建設初期の段階で降雨の多い時期に地表に表れる河川の模様であるが、格子が粗いため形はぼやけている。第9図は河川流量観測値と計算値とのマッチングの様子であり、河川個々の挙動はそれ程良く合っていないことは明らかである。これは、1) 現地の小河川を表現するには格子分割が粗すぎるため、マッチングができたとしても物理的意味が薄いこと、2) 地下空洞湧水量などのマッチングがより重要であると考えたこと、によりマッチング自体に力を入れなかったためである。実際には、地表付近のパラメータの設定次第ではかなり良く再現できることがわかっている。第10図は空洞への湧水量のマッチング結果であり、TK101は東側の空洞2本分、TK102はそれより西の4本分、TK103は更に西側の4本分の湧水量である。観測湧水量には工事に伴う細かな変動が見られるが、そのような変動を除いてかなり良く観測値が再現されている。第11図は観測孔地下水位のマッチング結果である。全18本の内70%程度は大体満足のゆく程度に合っている。大きくずれるものは尾根部など標高の高い位置にあるものが多く、格子分割などモデル設定の問題点、地下水位計算法自体の問題点、観測方法の問題点、地質的な複数水位の存在などが検討されたが、その理由は十分には明らかではない。第12図は北側作業トンネルに沿うように切った断面の1時点の飽和率分布を示している。坑道や空洞が大気開放されている部分は白っぽく表示されており、また、完全に水飽和された部分は黒色となっている。図12から明らかなように、地下水の低下の様子が尾根部で大きいことが示されている。

湧水量、地下水位のマッチングは、大体納得の行くまで達成されたが、マッチングが難しいものもあった。これは、格子システムの粗さと観測値の局地性、様々な特定できぬエラー、モデル自体（初期条件、境界条件、物性分布）の良し悪しなどによるものであろう。なお、この基地における3次元水理モデルは現在でも引き続き改良が行われている。

5. おわりに

本論文では、総合的自然水理モデリングの試みについて紹介した。しかし、試みるにつれ、自然界の動きを模倣し予測することは実に難しいものだと感じているこの頃である。我々の利用する情報や認識と自然スケールとのずれがあったり、関与するパラメータが多すぎてどうにも納まりがつかなくなる場合が多い。計算機能力も未だ満足できるものではない。ともあれ、少しずつ模倣が模倣でなくなるように、予測信頼性が向上するように実績を積み上げて行きたいものである。

なお、本論文中に示した図面の一部の使用については、日本石油地下備蓄(株) 岡本明夫氏、日鉱探開(株) 谷藤吉郎氏、山石毅氏、CCS(株) 小林仁氏に深く感謝する次第である。

文 献

伊藤 彰（1998）陸水系の流体・熱移動シミュレーションに関する研究．東京大学修士論文，平成10年2月

岡本明夫・登坂博行・小島圭二・山石毅・谷藤吉郎・小林仁（1995）：建設全期間にわたる地下石油備蓄基地周辺の水文・水理挙動再現シミュレーション．日本応用地質学会平成7年度研究発表会講演論文集，pp. 91-94.

山石 毅・小林 仁・谷藤吉郎・岡本明夫・登坂博行・小島圭二（1998）：地下石油備蓄基地建設に伴う水文・水理挙動の数値シミュレーション．地下水学会誌，vol. 40, no. 2, pp. 167-183.

登坂博行・伊藤一誠・蝦原雅之・稲葉 薫・伊藤 彰・小島圭二（1996a）多成分多相型移流拡散モデルによる包括的な地下水汚染解析．地下水学会誌，vol. 38, no. 3, pp. 167-180.

登坂博行・小島圭二・三木章生・千野剛司（1996b）地表流と地下水流を結合した3次元陸水シミュレーション手法の開発．地下水学会誌，vol. 38, no. 4, pp. 253-267.

要 旨

フィールド情報を総合化した陸水挙動解析への試み

：登坂 博行

人間活動が拡大し、大規模な地表・地下利用や多様な汚染物質の排出などが増大した結果、それらのインパクトによる陸水環境変化を的確に再現・予測する水理解析技術が求められている状況である。以上に鑑み、本報告では、フィールド情報を総合的に考慮した広域かつ長期の陸水挙動モデリングの必要性を指摘すると共に、総合化の具体的な試みを紹介した。まず、総合化のために必要となるフィールド観測情報を地表、気象、地質・水理、人工物に分類し、その特性やモデル化上の問題点について述べ、それらの情報を反映するための数値解析技術の要件と開発状況につき説明した。さらに、総合解析の一例として、大規模地下空洞周辺の地表・地下水環境3次元モデルの構築スタディに関し、設定および結果を示した。

キーワード：フィールド情報，総合化，数値解析，環境影響評価