

土中水分・塩分移動予測汎用プログラム HYDRUS を用いた教育・研究 と応用 Education, research, and application with a simulation program for water flow and solute transport in soils, “HYDRUS”

取出 伸夫*, 長 裕幸**
Nobuo Toride, Hiroyuki Cho

1. はじめに

HYDRUS-2D は, George E. Brown, Jr. Salinity Laboratory (米国農務省塩類研究所, Riverside, CA, <http://www.ussl.ars.usda.gov/>)において, Dr. Šimůnek らによって開発された 2 次元土中水分・塩分移動予測汎用プログラムである。HYDRUS-2D は, 有限要素法における要素のメッシュを自動的に作成できること, 入力画面上で様々な境界条件, 初期条件等の設定が容易に行えること, 2次元水分・溶質移動の結果をアニメーションとして視覚的に理解できること, 逆解析によるパラメータ推定が行えること, さらに地温と植物根による吸水を加味できること等が特徴である。計算の信頼性や汎用性の高さから, 欧米を中心に, 広く研究, 教育, 応用面で用いられている。我が国においても, こうした汎用プログラムを用いた土中の物質移動予測の重要性は増している。そこで本セッションでは, 土壌物理研究会 HYDRUS グループのメンバーが中心に行っている HYDRUS を用いた教育・研究事例を紹介し, 今後のさらなる普及についての議論を行う。

2. HYDRUS-2D の概要と特徴

HYDRUS-2D は, 水分流れは Richards 式, 溶質移動は移流分散式(CDE)に基づき, 2 次元の土中水分及び溶質移動を有限要素法により計算する。計算条件の設定は 1)計算条件, 各種パラメータ値の入力, 2)計算領域の設定と有限要素メッシュの作成 (Fig.1), 3)境界条件の設定(Fig. 2), 4)初期条件の設定(Fig. 3)の手順で行い, 計算を実行する。計算においては, 離散化, 反復計算, 有限要素メッシュの条件を適切に設定することが重要であるが, 画面上で容易に条件を変更できる。とりわけ有限要素メッシュ自動作成プログラム MeshGen2D により, メッシュ密度の変更等が容易に行えること(Fig.1), 境界条件(Fig.2)や初期条件

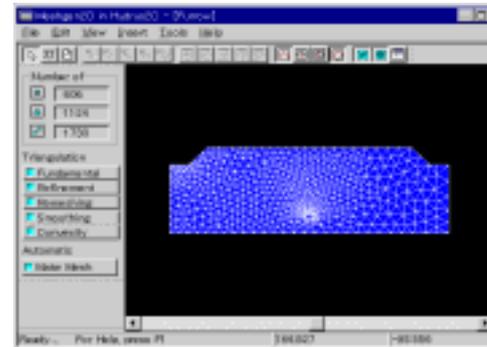


Fig.1 計算領域と有限要素メッシュの作成



Fig. 2 境界条件の設定

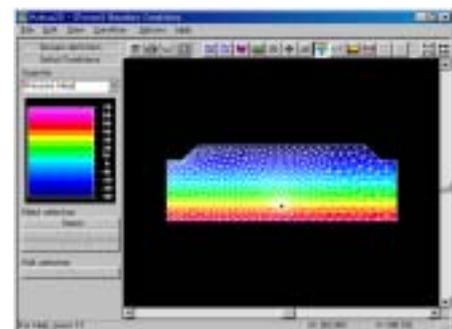


Fig. 3 初期条件の設定

*三重大学生物資源学部(Mie University), **佐賀大学農学部 (Saga University)

(Fig.3)の計算結果に及ぼす影響が容易に調べられる点が特徴である。計算結果は、2次元の等高線図(Fig.4)、流速ベクトル、アニメーション表示、任意断面の分布図、境界フラックス、マスバランス情報等が図示される。また詳細な計算結果は、出力ファイルから利用できる。

3. ユーザーの条件

学部レベルの「土壌物理」講義における不飽和土中の水分流れの基礎的知識は必要である。数値計算の基礎知識も必要ではあるが、むしろ多くの初級者には、まず計算に慣れてから、必要事項を学んでいく方が効率的と思われる。

4. HYDRUS-2D を用いた大学院講義

筆者らは、佐賀大学農学部における大学院講義として、HYDRUS-2D を利用した土壌物理の講義を行った。受講者は、土壌物理を専攻する、あるいは土壌物理に関心の高い修士、博士の5名の学生である。各自のコンピュータにHYDRUS-2Dをインストールし、週1回の講義には宿題のファイルを持ち寄り、液晶プロジェクターの画面を利用して議論を行った。教材には、HYDRUS グループで翻訳した演習マニュアルを用いた (Fig.5)。

初めて HYDRUS-2D を利用する受講者のために、まず演習マニュアル中の例題(入門例題, 1章)を指示に従いながら作成し、HYDRUS-2D の環境に慣れることを目指した。この段階では、数値計算が困難な条件は対象とせず、また数値解法に関する設定はデフォルト設定を変更しないほうが良い。例題の計算結果が図示できるようになった段階で、水分移動特性モデルの van Genuchten モデル(付録 I)、各種境界条件(1.1.10 節)、蒸発モデル(付録 II)等の解説を行った。その上で、作成した例題プロジェクトを変更する課題を与え、様々な例題に対する理解が深まるように心がけた。10 回程度の講義の後、それぞれが自由課題のプロジェクトを作成して発表を行った。自由課題のテーマは、1)異なる灌がい方法(連続灌がいや間断灌がい)による浸潤過程の違い、2)暗渠の間隔と深さについて、3)自由排水条件の適用条件、4)地下ダムにおける水分流れ等である。

今回の講義は初めての試みであったこともあり、初級者にとって動作環境に慣れるまで時間を要したことなど反省点も多い。しかし、不飽和水分流れに関する最低限の知識を持つ受講者が、まずプログラムに慣れてから、計算結果を見ながら境界条件や支配方程式について考えるという、通常とは異なる学習法を試みることができた。なお、こうした汎用プログラムは、あくまで支配方程式の解を与えるツールであるので、モデルの限界についても、ある程度慣れた段階で議論することも重要である。

5. おわりに

今後は、HYDRUS グループのメンバーを中心に、大学院講義、講習会等を継続していく予定である。大学院講義ノート、その他追加例題、応用事例等を、ホームページに公開する準備を進めている。またユーザー相互の情報交換の場として、メイリングリスト(hydrus-grp@bio.mie-u.ac.jp)を開設している。出来る限り情報を公開してユーザーの増加を図ることが重要と考える。

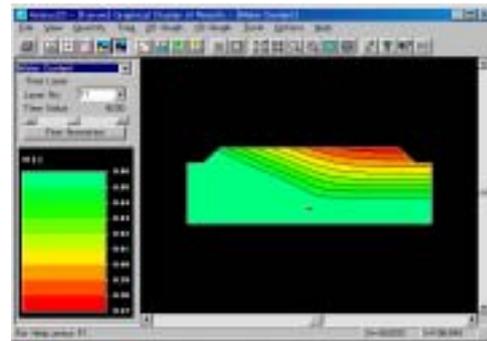


Fig. 4 2次元等値線図による結果表示

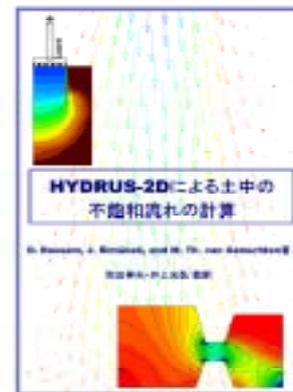


Fig.5 HYDRUS-2D 演習マニュアル