

統合型地圏水循環シミュレーションシステム GETFLOWS (General-purpose Terrestrial Fluid fLOW Simulator)

地圏と水問題

我々の生活圏である陸域と沿岸部（合わせて“地圏”と呼ぶ）は、図-1.の様に、大きく大気圏の下層（接地境界層）、地表面、地下固体圏、沿岸水圏に区分されます。地表にもたらされる降水は、地表面や地下を流れ最終的に沿岸水圏に回帰し、水の大循環構造の一部を担っています。

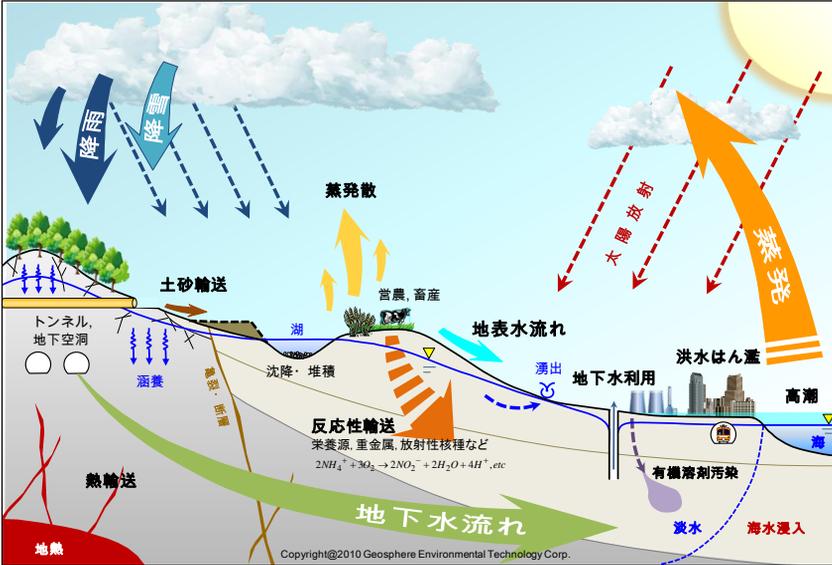


図-1 陸域・沿岸域（地圏）における水の流動の概念図

地圏に起こる水問題には以下のようなものがあります。

- ①水資源問題
 - ・流域水資源確保（表流水、地下水賦存量、貯水対策、水質保全対策、適正利用計画、湯水対策など）
 - ・途上国地下水開発など
- ②水災害問題
 - ・河川氾濫被害対策（ダム、河川改修、遊水池などの対策の設計・設置）
 - ・斜面災害（地滑り、崩壊）、土石流対策
 - ・都市型洪水・氾濫対策
 - ・地盤沈下、液状化対策など
- ③水環境問題
 - ・硝酸態窒素等による広域の湖沼・地下水汚染、重金属、無機塩類による汚染、放射性廃棄物処分、坑廃水対策等
 - ・NAPL汚染対策（VOC、石油など）

統合型地圏水循環シミュレータGETFLOWSは前記の様々な水問題を扱うために開発されたもので、以下のような一般化が行われています。

(図-2)

場の状態量：圧力、水飽和率、温度、濃度など

相：気相、2つの液相（水相、非水相）、固相

成分：気相中に空気以外に液相からの蒸気成分、水相中には水以外に溶解気体成分、溶解汚染成分、非水相にはNAPL以外に溶解気体成分、などを考慮できます。

流体物性：密度、粘性は圧力、温度の関数

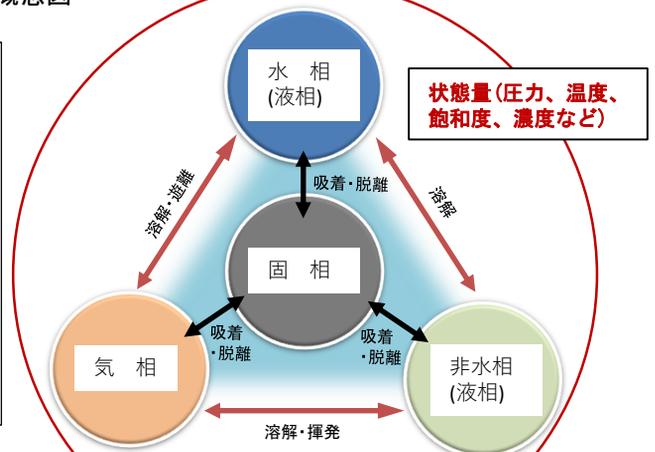


図-2 GETFLOWSの対象とする場

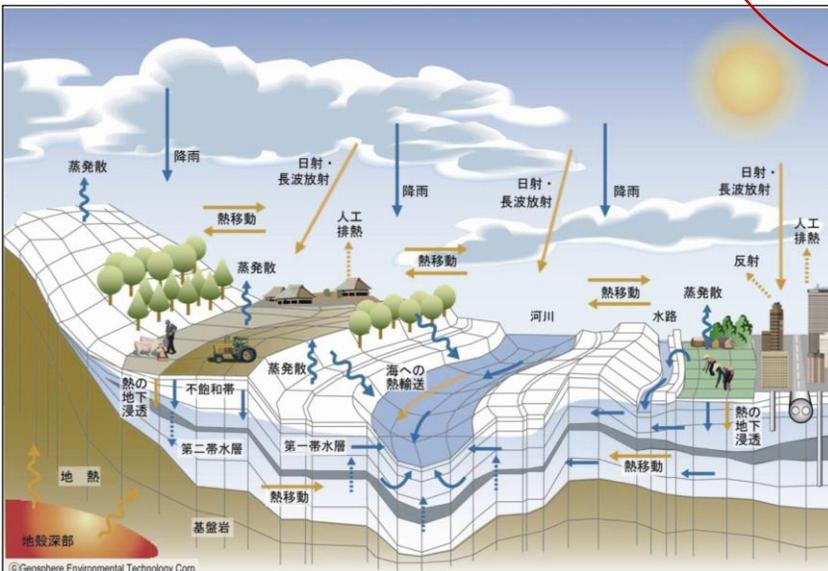


図-3 場を離散化した3次元モデル

場の離散化と基本特性パラメータ

大気層、地表、地下多孔質媒体を以下のようにレイヤリングします(図-3)。

- ・大気層：空気飽和した空間
- ・地表層：河川の流れる層
- ・地下地層：地質状況に応じて多数の層分けを行う。

各格子に以下のような基本パラメータセットを与えます。

- ・間隙率、間隙圧縮率
- ・浸透率（地表面は粗度）
- ・毛管圧力、相対浸透率
- ・拡張物性パラメータ（熱的パラメータ、吸着・脱離など化学的パラメータ、土砂移動等関連パラメータ）

GETFLOWSの取り扱う現象とモデル化手法

GETFLOWSは大気接地境界層（地上100mほど）から地下深部までを含めた領域における水・空気などの流体流れ、熱、汚染物質の輸送、河川による土砂の輸送、蒸発散など大気圏との相互作用などを表現します。表-1のような地圏の水に関わる現象を、様々な時間・空間スケールで扱います。

表-1 GETFLOWSの扱う現象とモデル化手法

分類	現象	GETFLOWSにおけるモデル化手法
基本表現	接地境界層中の空気流れ	空気のダルシー型ポテンシャル流れ
	降水	降水量の空間・時間変化を地表層に入力
	蒸発散	気象・植生・土壌水分量の影響を考慮した実蒸発散量評価
	地表・河川流れ	開水路流れの拡散波近似、あるいは線形化拡散波近似
	地下流体流動	気液2相流れにより不飽和帯・飽和帯中の流れを表現
	流れの連成	地表・地下相互流体交換の完全連成
拡張表現	熱の輸送	地表・地下の水相・気相・固相の温度の追跡
	溶質輸送	多種の希薄溶質の移流拡散および吸着・脱離
	密度流	塩水侵入など高濃度溶質による密度変化を伴う流れ
	NAPL流れ	石油・有機溶剤を含む気・液・液3相流れ、揮発・溶解を考慮
	溶存・揮発ガス流れ	多成分ガス輸送、溶解・遊離を考慮
	固相の流動	浮遊砂・掃流砂の運搬、浸食・堆積による地形変化
	核種の移動	放射壊変、吸着・脱離、を伴う移流分散
	反応性物質輸送	物質間の化学反応過程を含む輸送
境界変動の表現	年代解析	降雨の浸透開始からの年代の追跡
	潮位変動	潮位時間変動、長期海水準変動
その他	人工施設	地表・地下人工施設、井戸などの表現
	圧密・変形	水圧変化に伴う多孔質媒体の微小線形収縮・膨張までを考慮。
	地すべり・土塊運動・土石流	運動開始直前までの安定解析

GETFLOWSの数値解析的特徴

- 完全質量保存（およびエネルギー保存）型の有限差分法により複数の非線形流動方程式を完全に連成して解くことを基本としている。このため、FEM型の弱点（保存性が保証されない、非線形問題に弱い）がなく、高速で安定した解析が可能となっている。
- 大気圏、地表・地下岩石圏、水圏の主たる流体である水と空気の両方を2相流体系としてモデル化している。従来の河川流出解析や地下水解析では水の動きのみが扱われることが多いが、双方を考慮することでプロセス表現が大きく拡張されている。
- 地表流解析に拡散波近似を取り入れることで、平地氾濫流までを包含している。一般的なキネマティックウェーブ型の河川流出解析では、氾濫流は考慮できない。
- 地表水と地下水の相互交換を完全に連成して扱うため、浸透も湧出も自然に表現される。従来、地下水解析では涵養量は外部から与える必要があったが、本モデルでは地表と地下の状態量に応じて物理的整合性をもって振り分けが行われる。一般的な河川流出解析では地下浸透は鉛直不飽和浸透として扱われるが、本モデルは地下の浸透は3次的に扱われ、河床からの浸透や河床への湧出が自然に表現される。
- NAPLを含む3成分3相解析まで拡張されており、揮発・溶解・吸着、汚染浄化などが取り扱える。
- 地表・地下の連成、塩水密度流の包含により、陸域から沿岸海洋部まで含めたモデル化が可能となっている。このため、モデルに設定する必要のある人為的な境界条件が最小化され、極めて自然な境界条件のみ（分水界、モデル底部を閉境界とするのみ）で再現解析や予測解析が可能である。
- 様々な地表・地下人工施設の設定、様々な水文変動境界条件が任意の点で設定可能である。
- 構造型変形格子システムにより地形、河川、地層などの表現を柔軟化し、さまざまな行列解法の高速度・安定化がなされており、短期から超長期にわたる解析が可能である。
- モデルの大きさに応じて並列計算環境を利用することができる。