

MA/CA 法による土石流シミュレーション・ツールの拡張（その1）

株式会社ユニック 正会員 ○阿部 峻大、西村 聡
 東電設計株式会社 正会員 北爪 貴史、佐藤 恭兵、遠藤 秀祐
 山梨大学大学院 正会員 後藤 聡

1. はじめに

2018年7月の西日本豪雨では、非常に広範囲で土石流災害が発生した。今後もこのような大規模災害が発生することが予想されるため、災害規模の予測計算が急がれる。

しかし、現在多く用いられる微分方程式を解く手法では解析領域を大きくとることが難しく、また土質物性や降雨条件に関するパラメトリック・スタディを行うにも多くの時間が必要になる。

そこで、本研究ではセルラオートマトン (Cellular Automaton : CA)法及びマルチエージェント(Multi Agent : MA)法を用いたより軽量のシミュレーション・ツールを開発し、流出区域や土砂堆積量などの予測解析に関して多数回のパラメトリック・スタディを行うことで、確率的なリスク評価や危険度評価を行うことを目指す。これらの評価は、より高精度な計算を行う際の対策範囲の絞り込みや対策の優先順位付けなどに有益な情報・知見となると考える。

今回発表する内容は、以前に発表したシミュレーション・ツール^{1),2)}に運動エネルギーの概念を追加したものである。

2. MA/CA 法の概要

(1) CA (Cellular Automaton) 法

解析領域を規則的に配置した空間格子（セル）に分割し、セルの一つがステップ s において任意の環境や状態を有している。隣接するセルの状態量との相互作用（ローカル・ルールとも称される）を考慮してステップ $s+1$ の状態量を順次求め、すべてのセルが同期して変化することにより、解析領域全体の環境や状態の変化を表現する手法である。

(2) MA (Multi Agent) 法

エージェントと称される環境や状態との相互作用を通して行動する要素を複数配置することで、複雑な現象を表現する手法である。

3. 土石流シミュレーション・ツールの概要

本シミュレーション・ツールでは、環境や状態をセル内に表現し、水・土をエージェントとしている。概要を以下に記す。

- ① 解析領域は正方形格子（セル）で構成する。
- ② 注目セル(i,j)の状態変化は、当該セルとそれに隣接する8セルの状態の関係から決定される（図-1）。
- ③ エージェントは、水と土の2種類である。
- ④ 各エージェントに、流動し始める最小の勾配（以下、流動最小勾配と呼ぶ）をパラメータとして与え、注目セルと隣接セルの間の勾配が流動最小勾配よりも大きい隣接セルに、エージェントが移動する。
- ⑤ 流動先の各隣接セルへの配分量は、それぞれのセル間勾配の比によって決定する。
- ⑥ 土エージェントの流動最小勾配は、同一セル内の水エー

ジェントの量が多いほど緩くなる。

4. 運動エネルギーの導入

土石流には直進性があり、その流れの勢いで尾根を越えることもある。これは慣性によるものであり、土石流を表現するには運動エネルギーに相当する量を用いて流れの勢いを表現することが必要であると考えられる。

(1) 運動エネルギーの表現

- ① 流下の過程で流れの勢いは増していくため、ステップごとに蓄積される量である。
- ② より急勾配を流下する場合により大きな勢いを得るので、セル間勾配または高低差に依存する量である。
- ③ エージェントの流下によって失われた位置エネルギーが、運動エネルギーに変換される。すなわち、流下により隣接セルが獲得する運動エネルギーは、（流下するセル間の高低差）×（流下量）によって計算する。
- ④ 摩擦等による損失を考慮して、③の獲得運動エネルギーから（損失係数）×（流下量）×（流下距離）だけ差し引く。損失係数は、各エージェントにパラメータとして与える。
- ⑤ 流れの方向を表現するために、運動エネルギーは x, y 方向射影成分に分けて取り扱う。

(2) セル間高低差の補正

運動エネルギーやエージェントの量を基盤面の標高に加算しセル間高低差を補正したものから、配分計算の際に使用する勾配を計算する。セル間高低差補正の概念図を図-2に示す。補正は、以下の条件に合致する隣接セルに対して行う。

① 運動エネルギーによる補正（その1）

注目セルの運動エネルギー方向に位置する隣接セルとの高低差は大きくし、逆方向に位置する隣接セルとの高低差は小さくする（図-3）。

② 運動エネルギーによる補正（その2）

補正量は、（注目セルの運動エネルギー）/（注目セルのエージェント量）を基本とし、注目セルの運動エネルギーの向きと隣接セルの位置との関係から、各隣接セルに対応する高低差の補正量を決定する。

③ エージェントの量による補正

注目セルの運動エネルギー方向（図-3）以外の隣接セルのエージェントの量を標高に加算する。

5. 解析事例

図-4に示す富士山周辺モデル（40m×40m 格子、セル数：442×572 個）に対して解析を行った。初期の表層地盤厚は富士山山頂を中心とした半径 5000m の円形領域（図-4中 赤枠内）に様に 1m を設定した。水エージェントは、同じ領域に 1 ステップ 1 セル当たり 100mm/m² を入力した。解析結果を図-5に示す。図-5より、以下のことが確認できる。

- ① 150 ステップにおける土エージェントは、運動エネルギー

キーワード 土石流シミュレーション、セルラオートマトン法、マルチエージェント法

連絡先 〒153-0041 東京都目黒区駒場 3 丁目 5 番 18 号 株式会社ユニック TEL (03)3468-6711

ありの場合の方が山肌の凹凸を乗り越え、より広範囲に広がっている。

- ② 350 ステップ及び最終ステップにおける土エージェントは、運動エネルギーありの場合の方が、斜面勾配が緩い場合でも流れの勢いが維持されて、より遠方まで到達する。

6. 課題と今後の予定

今後は、模型実験や実斜面における土石流などの再現によってシミュレーション・ツールの適用性を確認し、ローカル・ルールの再検討や、各パラメータの土質試験値との対応付けを行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP17H03303 により実施した。

参考文献

- 1) 北爪貴史, 西村聡, 阿部峻大, 佐藤恭平, 後藤聡: 土石流シミュレーション・ツールの開発 (その 1), 第 57 回日本地すべり学会研究発表会 講演集, pp.69-70, 2018.
- 2) 西村聡, 阿部峻大, 北爪貴史, 佐藤恭平, 後藤聡: 土石流シミュレーション・ツールの開発 (その 2) —ツールを用いた危険度評価方法について—, 第 57 回日本地すべり学会研究発表会 講演集, pp.71-72, 2018.

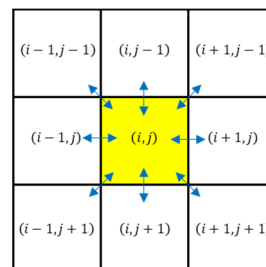


図-1 注目セル(i, j)と隣接セル

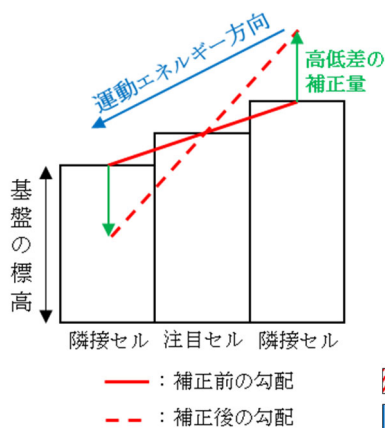
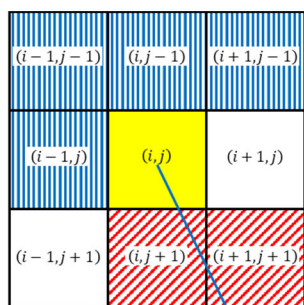


図-2 セル間高低差補正の概念図



運動エネルギー

- 斜線 : 運動エネルギー方向の隣接セル
縦線 : 運動エネルギー逆方向の隣接セル

図-3 運動エネルギーと隣接セルの位置関係

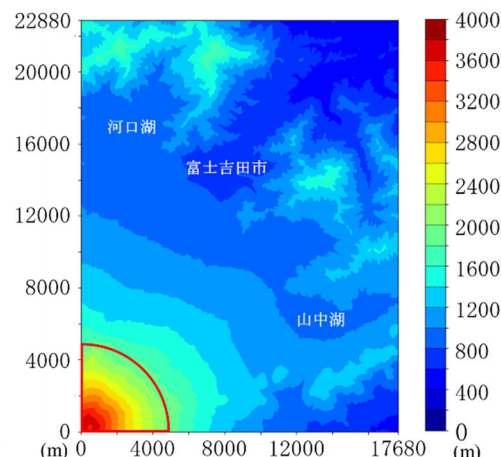


図-4 富士山周辺モデル(標高コンター図)

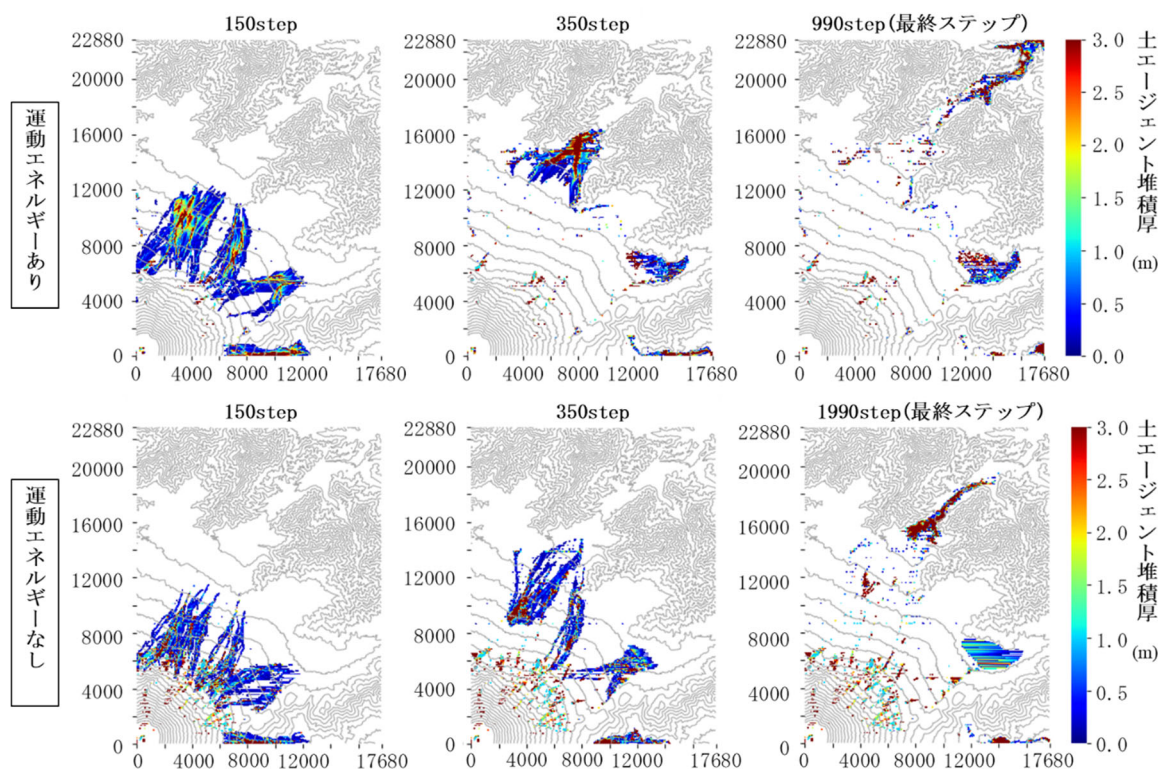


図-5 土エージェントについての解析結果