CS-82　思考実験ツールとしてのセルラオートマトンの利用

（財）電力中央研究所　正会員 中島正人・山本広祐

1. まえがき

著者らは，複雑システムの解析ツールとして，ニューラルネットワークや遺伝的アルゴリズムに着目し，工学システム論あるいはシステム設計論の中でその位置付けや役割を検討してきた [1],[2]。その延長線上で，局所ルールの組み合わせからシステム全体の挙動を再現できるセルラオートマトン（以下，CA）あるいは自律分散システムを新たな手法として取り上げ，思考実験ツールとしての応用を進めている。本報告では土木工学分野で適用事例が未だ少ない CA の概要と適用方法を略述し，空間情報の状態変化を対象とした解析例を示すことで，その有効性を明らかにする。

2. セルラオートマトンの概要

(1) 基本概念　CA は，時間領域における状態変化を局所ルールのみを用いて再現する方法である [3]。このことは，セル間の局所的な相互作用がシステム全体の様相を決め，時間の進行と共に相互作用の反復が予測不可能と思われるような複雑な結果を創発することを意味する。

(2) 構成要素　以下の 3 つの要素が基本となる。(i) セルの状態：有限な数の集合に属する変数で，応用先に依存した解釈が与えられるセルの性質。(ii) 近傍セル：着目するセルの周辺にあるセルの集合。(iii) 局所ルール：着目するセルと近傍セル集合の現在の状態を基に，着目セルの次の時間における状態を規定するための規則。

2 次元問題への適用としては，**図-1** に示す von Neumann 近傍がよく知られている。ここで，黒色で示した着目セルの次の状態は，自身と近傍セルの現在状態から決定される。

3. 空間情報状態変化に関する解析例

関東地方を対象に**図-2** 示すようなセルの領域分割を与え，ある期間内の地震発生個数に基づいて活発領域（黒色），不活発領域（白色）を定義する。ここで，思考実験の実施（問題解決シナリオの構築）にあたり，以下の判断材料が内在する。(1) 地球物理学観点から地震活動の領域特性をふまえたセル分割を行う (2) 活発領域と不活発領域を選別決定する発生密度を定める（必ずしも二値化する必要はない）(3) 取り扱う問題を分析するに必用十分な解析時間間隔を定める。次に既存のデータから時間ステップ毎の状態変化を一般的特性として以下のように求める [4]。

$$P_{i,j}^{t_n+1} = Cell(m, n_{i,j}^{t_n}) \tag{1}$$

ここで，$P_{i,j}^{t_n+1}$ は注目セル (i,j) が次のステップで活性となる確率，$Cell(m, n_{i,j}^{t_n})$ は注目セルおよび近傍セルの現時点 t_n での状態を定めるもので，注目セルが活発の場合には m=1，不活発の場合には m=0，また $\mathrm{n}_{i,j}^{t_n}$ は近傍セル中，活発なセルの個数を表す。例えば，対象領域における 1986~1993 年 (8 年間) の平均的傾向は**表-1** のようにまとめることができる。この段階でも，例えば以下のような判断材料が内在する。(4) 活性セルの個数がステップ毎に増減するため，どの程度のステップ間隔で平均的挙動を評価するか。(5) 地震活動の地域特性等を考慮してセル集合の領域分けを行い，$P_{i,j}^{t_n+1}$ の算定に直接活用するか。以上の問題整理を経て，初めてステップバイステップのシミュレーション解析が可能となる。なお，条件付き確率 $P_{i,j}^{t_n+1}$ を局所ルールとする解析では，乱数発生による活発・不活発の判定が必要となる。1 ステップ単位のシミュレーション結果から，計算結果 2 例を**図-3,4** に示す。地震発生データとしては，国立大学観測網地震カタログ震源ファイルを利用した。本解析では，時間ステップが 1 年単位，$P_{i,j}^{t_n+1}$ の算定は領域分けなしで 8 年間での平均をとっている。従って，この例では地震活動の地域的，時間的特性を十分反映したものではない。しかしながら，この問題の究極的な目標は，地震活動性の領域的広がりと時間的推移の把握であり，今後これらの特性の分析評価がより妥当な問題解決シナリオを生むものと考えている。なお，シミュレーションでは少なからず $P_{i,j}^{t_n+1}$ を再現するための乱数に解の依存性が認められるが，解析メッシュを細かくした上で，解析結果としては領域的広がりを持った評価を持ち込むことで全体的な特性は把握できるものと考えている。

4. まとめ

セルラオートマトンは，格子空間を取り扱う問題に対して極めて親和性が高い。手法は単純明快であり，隣接するセル間で規定した局所ルールをシステム全体に展開し，時間展開させた時得られる結果を実際問題と比較して，局所ルールの見直しに反映すればよい。比較対象を保有していない場合には，何らかの工学的評価基準を導入したり，異なるルールの適用による結果の相対比較から，手法の優劣を決めることも可能である。例題で示したように人為的に局所ルールを決めることが可能であるため，容易に複数の問題解決シナリオを設定することができ，最適性を評価するツールとして柔軟性がある。

キーワード：思考実験ツール，シナリオ，セルラオートマトン，地震活動パターン

連絡先：〒 270-1194　千葉県我孫子市我孫子 1646　TEL:0471-82-1181

参考文献 [1] 山本広祐・朱牟田善治：工学的システムにおけるニューラルネットワーク利用の位置付け，土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集（共通セッション），CS-73，1998. 10. [2] 朱牟田善治・山本広祐：ライフラインのネットワーク最適化問題における GA 固有の役割，土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集（共通セッション），CS-72，1998.10. [3] 加藤恭義・光成友孝・築山　洋：セルオートマトン法，森北出版，1998.10. [4] 平田隆幸・井元政二郎：確率セルオートマタモデルによる時空間地震活動パターン，地震，第 49 巻，pp.441-449, 1997.

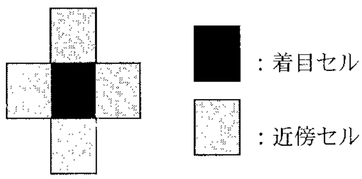


図-1 von Neumann 近傍

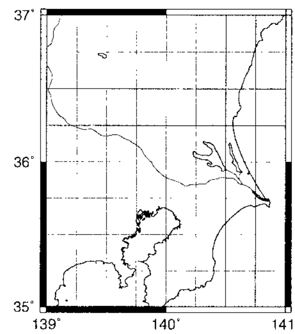
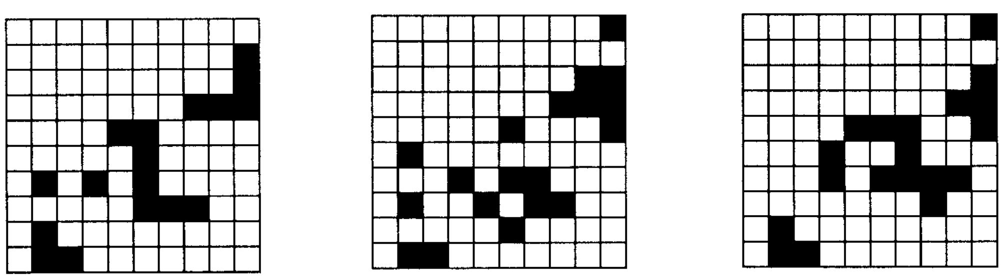


図-1 計算対象エリア

表-1 局所ルール

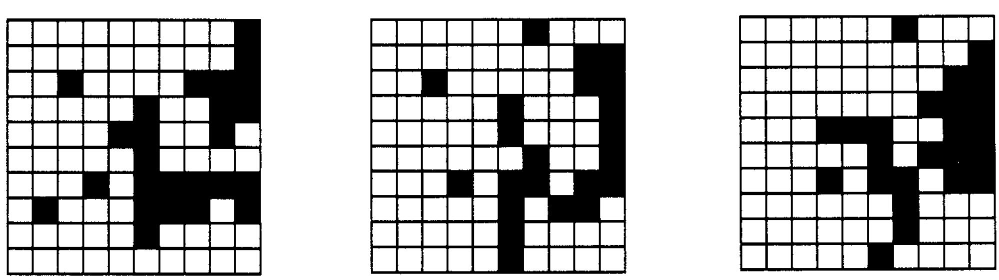
$(s_{i,j}^{t_n}=0)$-$n_{i,j}^{t_n}$	$P_{i,j}^{t_n+1}$	$(s_{i,j}^{t_n}=1)$-$n_{i,j}^{t_n}$	$P_{i,j}^{t_n+1}$
0-0	0.039	1-0	0.400
0-1	0.157	1-1	0.581
0-2	0.255	1-2	0.667
0-3	0.250	1-3	0.667
0-4	0.000	1-4	0.831

$s_{i,j}^{t_n}$:時間 t_n における注目セルの状態 (=0 or 1), $n_{i,j}^{t_n}$:時間 t_n における活発な近傍セル数 (0∼4)



(a) 地震活動パターン (1988 年) (b) CA より求めた地震活動パターン (1989 年) (c) 地震活動パターン (1989 年)

図-3 CA による地震活動パターン計算例-1



(a) 地震活動パターン (1992 年) (b) CA より求めた地震活動パターン (1993 年) (c) 地震活動パターン (1993 年)

図-4 CA による地震活動パターン計算例-2