

共同利用・共同研究拠点
MIMS 現象数理学拠点 共同研究集会 2014 年度

セルオートマトンが拓く現象数理学 アブストラクト集

2014年12月4日(木)～5日(金)

(明治大学中野キャンパス6階 603研究セミナー室)



セルオートマトンが拓く現象数学

2014年12月4日(木), 5日(金)
明治大学中野キャンパス6階603研究セミナー室

■ 12月4日(木)

13:00-13:50

友枝明保(武蔵野大学, 環境学部)
「渋滞とセルオートマトンモデル」

13:50-14:40

梅尾博司(大阪電気通信大学, 情報通信工学部)
「Synchronization in Cellular Automata」

15:00-15:50

松木平淳太(龍谷大学, 理工学部)
「保存量を持つ1次元セルオートマトンの Max-Min-Plus 解析」

15:50-16:40

川原田茜(静岡県立大学, 経営情報学部)
「セル・オートマトンによる偏微分方程式の解の模倣」

■ 12月5日(金)

10:00-10:50

高橋大輔(早稲田大学, 基幹理工学部)
「可解なセルオートマトンの探索」

10:50-11:40

有田隆也(名古屋大学大学院 情報科学研究科)
「セルオートマトンの創発性に対する進化的計算に基づくアプローチ」

13:00-13:50

平沢岳人(千葉大学大学院 工学研究科)
「建築デザインとセルオートマトン(仮)」

13:50-14:40

浅井哲也(北海道大学大学院 情報科学研究科)
「セルオートマトンの集積回路化とその技術動向」

15:00-15:50

今井克暢(広島大学大学院 工学研究院情報部門)
「保存的なセルオートマトンの計算能力について」



参加自由です。皆様のお越しをお待ちしております。

組織委員：友枝 明保, 松木平 淳太, 高橋 大輔, 上山 大信

明治大学中野キャンパスへのアクセス：

JR, メトロ「中野駅」北口から徒歩約8分

詳しくは、<http://www.meiji.ac.jp/nakano/access/>をご覧ください。

問い合わせ先：明治大学先端数理科学インスティテュート

共同利用・共同研究拠点 明治大学「現象数学拠点」事務室

Email: mims@mics.meiji.ac.jp

はじめに

このアブストラクト集は2014年12月4日、5日に明治大学で開催された MIMS 現象数理学拠点共同研究集会「セルオートマトンが拓く現象数理学」の講演アブストラクト集です。

セルオートマトンは、単純化された局所ルールで記述される時間発展則ですが、その大域的な振る舞いは驚くほど豊かであることから、複雑な現象をシミュレーションする強力な武器として様々な研究シーンで登場します。特に近年では、コンピュータの高性能化や、微分方程式とセルオートマトンをつなぐ超離散化法が数学分野において構築され、セルオートマトンの数学解析を行う体系も整備されつつあることから、セルオートマトンを用いた数理研究のさらなる成長・発展が期待されます。

そこで本研究集会では、「セルオートマトン」をキーワードとし、数学分野からは max-plus 代数で表現される粒子セルオートマトンや偏微分方程式の解をセルオートマトンで模倣するといったセルオートマトンの解析に関するご講演、応用分野からはセルオートマトンを利用した集積回路や建築デザインに関するご講演をお願いいたしました。

本研究集会での情報共有を通じて、セルオートマトンの数学的手法が、上のトピックに限らず、応用分野における発展的な課題に対するブレイクスルーとなること、さらには、新しい数学的手法の発見へとつながることを願っています。

2014年12月

組織委員を代表して
友枝 明保（武蔵野大学）

講演プログラム

■ 12/4(木)

12:55-13:00 opening

13:00-13:50

友枝明保(武蔵野大学, 環境学部)

「渋滞とセルオートマトンモデル」

13:50-14:40

梅尾博司(大阪電気通信大学, 情報通信工学部)

「Synchronization in Cellular Automata」

(休憩)

15:00-15:50

松木平淳太(龍谷大学, 理工学部)

「保存量を持つ1次元セルオートマトンのMax-Min-Plus解析」

15:50-16:40

川原田茜(静岡県立大学, 経営情報学部)

「セル・オートマトンによる偏微分方程式の解の模倣」

■ 12/5(金)

10:00-10:50

高橋大輔(早稲田大学, 基幹理工学部)

「可解なセルオートマトンの探索」

10:50-11:40

有田隆也(名古屋大学大学院 情報科学研究科)

「セルオートマトンの創発性に対する進化的計算に基づくアプローチ」

(昼休み)

13:00-13:50

平沢岳人(千葉大学大学院 工学研究科)

「建築デザインとセルオートマトン(仮)」

13:50-14:40

浅井哲也(北海道大学大学院 情報科学研究科)
「セルオートマトンの集積回路化とその技術動向」

(休憩)

15:00-15:50

今井克暢(広島大学大学院 工学研究院情報部門)
「保存的なセルオートマトンの計算能力について」

15:50-15:55 closing

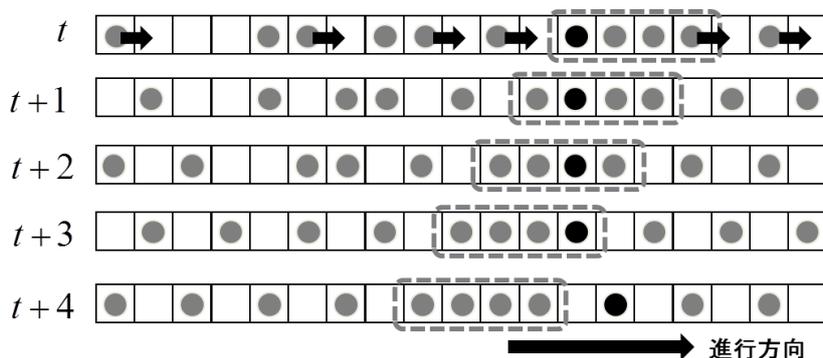
渋滞とセルオートマトンモデル

友枝 明保

「渋滞」と聞くと、多くの人は大型連休のときの高速道路での車の渋滞を思い浮かべるであろうが、人も渋滞するし、インターネットがつながりにくくなることもパケットの渋滞として考えることができる。このように、モノの流れが滞る現象を「渋滞」ととらえれば、身の回りの様々なモノの流れで渋滞が観察される。渋滞現象に共通する特徴は、その流れを構成しているモノにあり、排除体積という性質を持つ点である。排除体積とは、モノが占有する空間を意味し、この性質によりモノの運動範囲が限定され、流れが悪くなるのである。

一方、図に示すように、箱を左右一列に並べ、初期状態として任意に選んだ各箱に球を最大一つ入れる。この一次元に並んだ箱に対して、「右隣が空いていれば前に一つ進む」というルールで全ての球を一斉に動かしていけば、これは排除体積効果を含んだダイナミクスを記述する数理モデルと言える。例えば、箱の並びを1車線高速道路と考え、球を車と考えると、車の流れを表す数理モデルとなるし、箱の並びを通路と考え、球を人と考えると、一列にゾロゾロと歩く人を表す数理モデルと考えることができる。ここで、球がいる箱を1と表し、いない箱を0と表すと、この時間発展形は、独立変数が離散であり、従属変数が $\{0, 1\}$ で閉じたセルオートマトンとなる。このことから、セルオートマトンは渋滞現象を記述する数理モデルとして極めて有効なのである。

本講演では、車の流れである交通流を取り上げ、セルオートマトンを用いた交通流の数理モデルを紹介し、数理モデルから得られる自然渋滞を解消する運転術について解説する。





友枝 明保 (ともえだ あきやす)
武蔵野大学 環境学部 准教授

専門分野：渋滞学, 計算錯覚学

略歴：

2003年3月 大阪大学理学部数学科卒業
2003年4月 兵庫県芦屋市立芦屋高等学校数学非常勤講師 (～2004年3月)
2006年3月 大阪大学大学院情報科学研究科情報基礎数学専攻博士前期課程修了
2009年3月 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻博士後期課程修了
2009年4月 東京大学工学系研究科航空中工学専攻特任研究員 (～2010年3月)
2009年4月 明治大学研究・知財戦略機構 ポスト・ドクター (～2011年3月)
2011年4月 明治大学研究・知財戦略機構 特任講師 (～2014年3月)
2014年4月から現職

Synchronization in Cellular Automata

Hiroshi Umeo

Abstract The synchronization in cellular automata has been known as a firing squad synchronization problem (FSSP) since its development. The firing squad synchronization problem on cellular automata has been studied extensively for more than fifty years, and a rich variety of synchronization algorithms has been proposed not only for one-dimensional (1D) but also for two-dimensional (2D) arrays. In the present talk, we construct a survey on recent developments in designs and implementations of optimum-time and non-optimum-time FSSP algorithms for cellular arrays, focusing our attention on the 2D array synchronizers that can synchronize any square/rectangle arrays. The algorithms proposed can be extended to any multi-dimensional arrays without any loss of communication time complexity.

References

H. Umeo: Firing squad synchronization problem in cellular automata. **Encyclopedia of Complexity and System Science**, R. A. Meyers (Ed.), Springer, Vol.4(2009), pp.3537-3574.



梅尾博司 (うめお ひろし)

大阪電気通信大学 教授

略歴

大阪大学 基礎工学部 生物工学科 卒業

大阪大学 大学院基礎工学研究科 修了 工学博士

現在 大阪電気通信大学 情報通信工学部 情報工学科 教授

Univ. of Paris, Univ. of Karlsruhe, Tech. Univ. of Braunschweig 客員教授

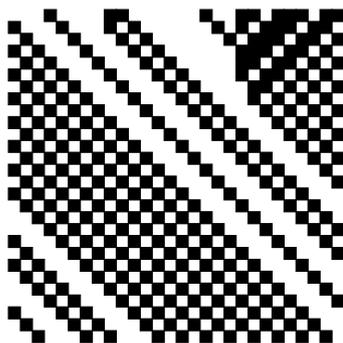
「超並列計算機アーキテクチャとそのアルゴリズム」(著,共立出版),「セルオートマトン」(共訳, 共立出版),「アルゴリズム・イントロダクション」(共訳, 近代科学社) など

保存量を持つ 1 次元セルオートマトンの Max-Min-Plus 解析

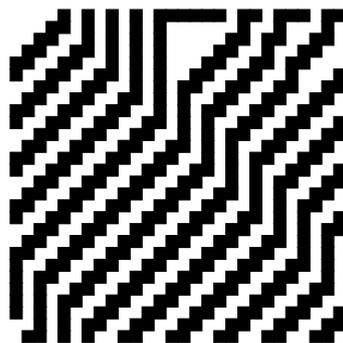
松木平 淳太

セルオートマトンは独立変数のみならず、状態変数も離散的である数理モデルである。セルオートマトンの数理構造を明らかにする試みとして、Wolfram による 1 次元セルオートマトンのクラス分類など、数多くの研究が行われてきている。我々のグループは超離散化の手法によって 1 次元ソリトンセルオートマトンが偏微分方程式と対応づけ可能であることを示してきた。その際に大きな役割りを果たすのは Max-Plus 代数であり、1 次元ソリトンセルオートマトンの方程式、解とも Max-Plus 代数を用いて表すことができる。1 次元ソリトンセルオートマトンは無限個の保存量の存在という特徴を持つが、一般の 1 次元セルオートマトンは少数の保存量しか持たない。

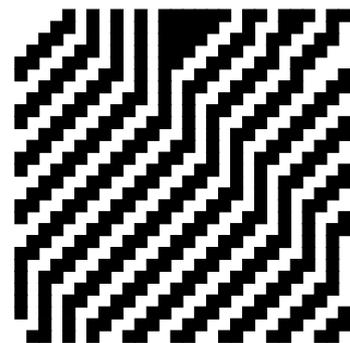
近年我々は、粒子数を保存量として持つ 1 次元セルオートマトンにおいて、Max-Min-Plus 表現が重要な役割りを果たすことを発見した。さらに粒子数以外の高次の保存量を持つ 1 次元セルオートマトンにおいても Max-Min-Plus 表現が有用であることもわかってきた。講演では、2 次の保存量を持つ (クラスターの数が保存する) 1 次元セルオートマトンを例として取り上げ、その確率化も含めて、研究の現状について報告する。



ルール 184



ルール 14



ルール 142



松木平 淳太 (まつきだいら じゅんた)

龍谷大学 理工学部 教授

専門分野：離散可積分系、セルオートマトン

略歴：

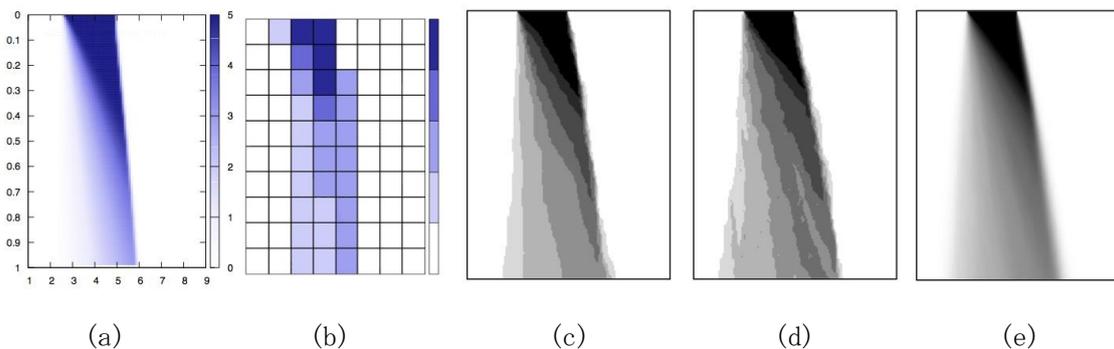
1987年3月	東京大学工学部物理工学科卒業
1989年3月	東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻修士課程修了
1990年10月	東京大学工学部助手
1992年4月	龍谷大学理工学部助手
1995年4月	龍谷大学理工学部講師
1999年4月	龍谷大学理工学部助教授
2004年4月	龍谷大学理工学部教授
2004年4月から現職	

セル・オートマトンによる偏微分方程式の解の模倣

川原田 茜

セル・オートマトンは時間、空間、状態、全ての変数が離散値をとる数理モデルであり、偏微分方程式は全ての変数が連続値をとる数理モデルである。これら2種の数理モデルは共に同じ現象に対して同じような模倣結果を示すことがよく起こるにも関わらず、数学的にそれらの等価性や類似性を示すことは難しい。可積分系については、超離散化法及び逆超離散化法によって超離散モデルと連続モデルの等価性を示された例がいくつか存在している（箱玉系と Lotka-Volterra 方程式、Burgers 方程式と Rule184 など）。非可積分系のモデルに関しては一般的な手法はまだ確立されていない。

そこで本講演では偏微分方程式の数値解のデータに統計処理を施すことによってセル・オートマトンを構成する手法と、その応用例をいくつか紹介する。本手法はデータさえあればセル・オートマトンを構成することが容易にでき、方程式自体を離散化する手順が不要となるため、偏微分方程式の性質によらずに適応できる点が利点である。尚、本講演は広島大学の飯間信氏との共同研究に基づくものである。



上図(a)は Burgers 方程式の衝撃波解、(b)は(a)を時間・空間方向に離散化した模式データ、(c)は本手法で構成した確率セル・オートマトンの時間発展パターン、(d)はノイズ付きデータから本手法により構成した結果、(e)は(d)のアンサンブル平均である。



川原田 茜 (かわはらだ あかね)
静岡県立大学 経営情報学部 助教

専門分野：力学系, セル・オートマトン

略歴：

2008年3月 北海道大学理学部数学科卒業
2010年3月 北海道大学大学院理学院数学専攻修士課程修了
2013年3月 北海道大学大学院理学院数学専攻博士課程修了
2013年4月 広島大学大学院理学研究科数理分子生命理学専攻 研究員 (～2014年3月)
2014年4月 広島大学大学院理学研究科数学専攻 特任助教 (～2014年9月)
2014年10月から現職

可解なセルオートマトンの探索

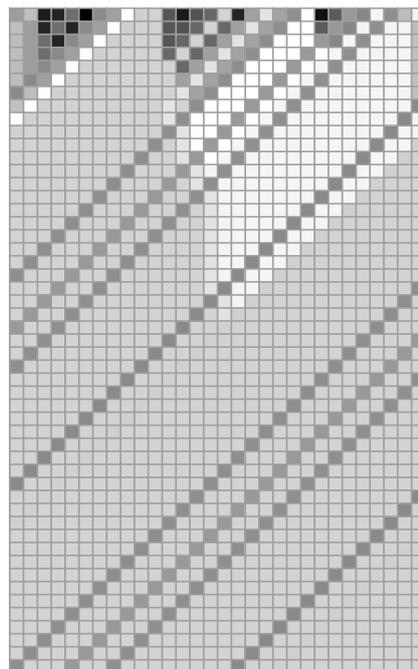
高橋 大輔

セルオートマトン (Cellular Automaton, CA) は空間、時間などの座標が離散で、さらに取りうる状態値の範囲 (値域) が有限集合になっているようなものをいい、完全デジタル系となっている。CA に対する理論的研究は、そのデジタル性により、パターン解析、離散統計力学、グラフ理論など、離散数学の道具を用いてなされることが多い。しかしながら、Wolfram のクラス分けに代表される CA の分類についての研究は、連続系における微分方程式の分類と相通ずるところもある。たとえば十分時間が経過した後の、解の漸近挙動による CA の分類は、微分方程式を双曲型、放物型、楕円型に分類することと類似している。

微分方程式では解や特徴量を求めてその性質を解析することがしばしば可能である。時間発展方程式の場合なら初期値問題が解けてしまうと、得られた解の表現を詳しく調べることで方程式にまつわるすべての情報が原理的には得られたことになる。もちろん非線形微分方程式で一般解が得られることは少ないが、特解ですら重要な情報をもたらしてくれる。

CA のようなデジタル系についても、初期値に対する解の挙動を調べることはたいへん重要であるが、微分方程式の解で用いられる特殊関数、級数といった表現や微分積分などの操作に比べて、デジタル系の道具立ては表現力や汎用性に劣るように思う。その理由は明らかで、連続性や微分可能性といった局所的な性質が領域全体の解の成り立ちにまで影響を及ぼす連続系に比べて、デジタル系では解の接続の大域性に乏しい。(しかしその一方で、その局所性が逆に系の構成に高い自由度をもたらしている。)

本研究では、このようなデジタル系の初期値問題を考えるため、まずはそれぞれのデジタル系を max-min-plus 方程式と我々が呼ぶもっと連続性の高い系に埋め込むことを試みる。そして、それら max-min-plus 方程式の初期値問題に対する一般解を求め、解の複雑度によって系の分類を行う。そのことは、同時に元のデジタル系の分類も行ったことになるが、元のデジタル系では見えない「0 と 1 の間をつなぐ」情報が max-min-plus 方程式によってもたらされる。低次元の方程式を高次元に埋め込んで議論することと同様のことが可能となるのである。



ECA168 に対応する max-min-plus 系



高橋 大輔 (たかはし だいすけ)
早稲田大学理工学術院 教授

専門分野：離散可積分系, セルオートマトン

略歴：

- 1983 年 東京大学工学部物理工学科卒業
- 1985 年 東京大学大学院工学系研究科物理工学専門課程修士課程修了
- 1986 年 東京大学工学部助手
- 1990 年 龍谷大学理工学部講師・助教授
- 1998 年 早稲田大学理工学部助教授
- 2001 年 早稲田大学理工学部教授

- 2013 年 日本応用数理学会業績賞受賞

セルオートマトンの創発性に対する進化的計算に基づくアプローチ

有田 隆也

セルオートマトン (CA) は抽象的・普遍的ダイナミクスに興味をもつ研究者に対して、具体的・可視的挙動によって検討する手段を与える魅力的な計算モデルである。本講演では、興味深い挙動を示すCAを、その外部または内部で進化的計算を実行して探索する試みについて述べる。具体的には、以下のようなCAである。

- 1) あらかじめ設定された遷移規則に基づくセルの状態遷移に加え、確率的な状態遷移を外乱として加えることにより、サイクリックな大域的状态遷移を行うCA。

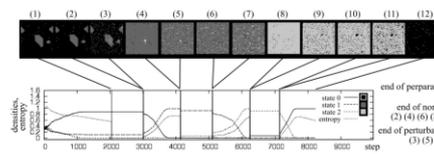


Fig. 5. The behavior of cellular automata (ascending cycle).

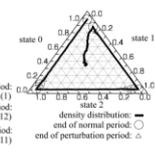


Fig. 6. The trajectory of density distribution (ascending cycle).

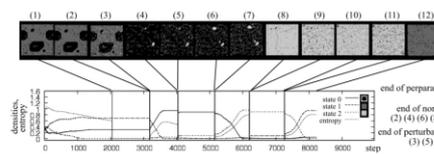


Fig. 7. The behavior of cellular automata (descending cycle).

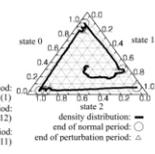


Fig. 8. The trajectory of density distribution (descending cycle).

- 2) 1)の発展形として、外乱をきっかけにして複数のセル状態からなる大域的な混合状態を任意順で出現させることができるCA。「普遍部品」を組み合わせて構成する。

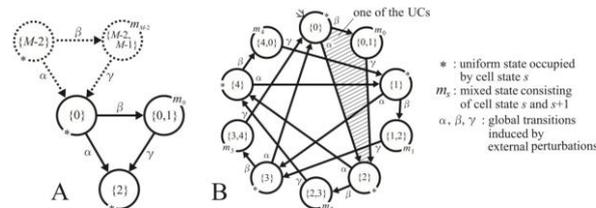


図 1 (A) 普遍部品と (B) 構成回路 ($M = 5$)
Fig. 1 (A) Universal component (UC) and (B) constructed circuit (CC, $M = 5$).

- 3) 各セルが近傍セルの状態遷移パターンの複雑性を計算して、そのセルの規則の適応度とし、高適応度の規則が近傍セルに伝搬し続ける非均一型CA。アート作品として展示した。

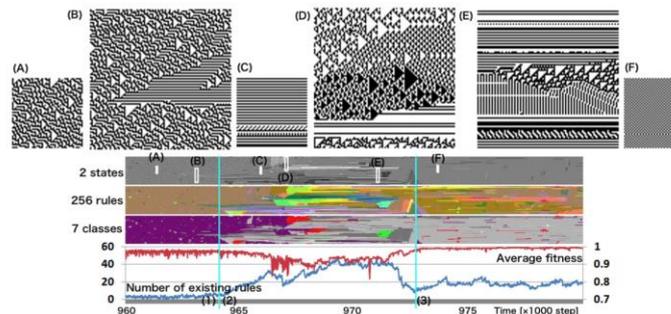
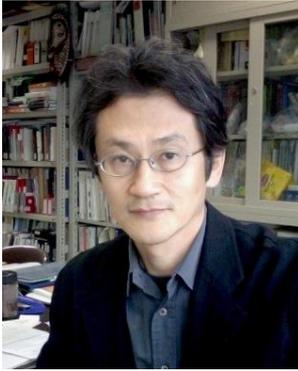


Fig. 6. The number of the existing rules and the average fitness (lower); the distribution of that the 7 classes, the 256 rules and the 2 states (middle); the images of the distinctive patterns (upper) from Phase III to Phase II.



有田 隆也 (ありた たかや)

名古屋大学 大学院情報科学研究科 教授

専門分野：人工生命，複雑系科学，進化的計算

略歴：

1983年3月 東京大学工学部計数工学科卒業

1985年3月 東京大学大学院工学系研究科計数工学専攻修士課程修了

1988年6月 東京大学大学院工学系研究科計数工学専攻博士課程修了

1988年7月 名古屋工業大学電気情報工学科助手

1993年5月 名古屋工業大学電気情報工学科講師

1994年4月 名古屋大学情報文化学部助教授

(1995年10月-1996年7月 California 大学 Los Angeles 校客員研究員)

1998年7月 名古屋大学大学院人間情報学研究科助教授

2003年4月から現職

建築デザインと数理モデル（セルオートマトン含む）

平沢 岳人

近頃の建築設計界では、アルゴリズムックデザインあるいはコンピューショナルデザインと呼ばれるデザイン手法が話題になっている。建築デザインでのコンピュータの活用は長らく 3DCG を制作する程度で留まっていたが、この手法は、従来のマウスやキーボードといった入力デバイスを駆使するだけでは到達できそうにない形状を、プログラムを作成し実行することで実現しようとするものである。

数理的なモデルをデザインに取り入れて誰が見ても成功しているといえるものはほとんどないが、一風変わった表情を持たせることには十分に効果があって、最近ではこの手法をプログラムの作成なしで直感的に実行できるプラグインが 3D モデリングソフト用に提供(*)されて若者を中心に人気を得ている。

この手法の目的が変わった形状を生成することであり、なにかの現象を説明しようとする意図はまったくなさそうな点が、他の応用分野での数理モデルの用いられ方とは根本的に異なっているように思う。再帰アルゴリズムによるフラクタル図形や Lindenmayer system(L-System)、Diffusion-Limited Aggregation(DLA)など、印象的な形の生成に使えそうな数理モデルは、かつて一度は適用が試みられているようである。

この手法の限界は、使うための建築として具体のものに設計を落とし込んでいく過程で顕在化する。床は平らでなければならないし、壁も極端に傾いていたり湾曲していたりすると、実用性が著しく損なわれる。たとえば、外壁（ファサード）一面に特徴的な意匠を施そうと思うと、各階の床（フロア）との相関部分での取りあいで苦勞することになる。人間的なスケールでは物と人が直接触れあう空間内にあるので、デザインのみを突き進めることは不可能に近い。これが都市的スケールになってくると、人間スケールとは大きく乖離しているので、数理モデルとして抽象化した状態のままでもそのアウトプットをデザインに忠実に落とし込める可能性があり、おそらく実際にそうされているであろう。

今後の発展を考えれば、上述のような具体の物（建築部品・部材）への展開まで考慮してモデル化したうえで、建築デザインに適用する必要があるだろう。幸いなことに、現代の建築業界では Building Information Modeling (通称 BIM) と呼ばれる運動が盛んである。BIM では、3DCAD を用いた実際の建築物にできるだけ忠実なモデリングがその基盤となる。この建築 3D モデルと、数理モデルを使った建築デザイン手法の混合により、アルゴリズムックデザインの適用可能性が増すと思われる。技術の進歩をもう少し待たねばならないようにも思えるが、2020 年東京オリンピック開催が後押しとなって、新しい設計手法が一気に試される雰囲気はある。アルゴリズムックデザインがどこまで突き抜けられるのか、興味を持って見届けたいと思う。

(*)Rinoceros の Grasshopper



平沢 岳人 (ひらさわ がくひと)
千葉大学大学院 工学研究科 建築・都市科学専攻 准教授

専門分野：建築構法、建築学におけるオートメーション

略歴：

1988年 3月 東京大学工学部建築学科卒業

1993年 3月 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻博士課程修了、博士（工学）

この間、建設省建築研究所主任研究員

CSTB（フランス建築科学技術研究所）客員研究員

ERCIM（欧州情報数学研究コンソーシアム）招聘研究員（INRIA）、を経て

2004年 10月 千葉大学工学部助教授

2007年 4月 千葉大学大学院工学研究科准教授、現職

研究室ホームページ <http://www.hlab-arch.jp/>

メールアドレス hirasawa@faculty.chiba-u.jp

セルオートマトンの集積回路化とその技術動向

浅井 哲也

セルオートマトンの電子回路化・集積回路化に関するこれまでの代表的な研究、および現在の技術動向について解説する。

セルオートマトンのハードウェア化に関する研究は、微細集積デバイスを用いた電子回路を顧客が設計し外部機関に製造を依頼する「LSI 試作サービス」（日本では東大 VDEC など）の広がりとともに、小規模ではあったが 90 年代頃からブームとなった。セルの機能・構造が比較的簡単だったこと、それらをチップ上に二次元配置することで容易に機能を生み出せること、および光センサをセルに組み込むことで画像処理応用ができることなどが、集積回路のコミュニティに実装対象アーキテクチャとして広く受け入れられた理由である。しかし、デジタル LSI 上のセルオートマトンに関する研究はすぐに行き詰まることとなる。その理由は、セル(チップ)面積に対して得られる対価の少なさである。ある特定の演算は劇的に速くなるかもしれないが、システム全体から見た利用頻度・待機電力、実際に想定する I/O システムなどから判断すると、総合的には逐次プロセッサで実行したほうが得だと考えられたからだ。チップ製作は高価であるため、彼等の言いぶんもよく理解できる。

一方、アナログ LSI 上のセルオートマトンに関する研究はその後も続くこととなる。デジタルと比較して、セル面積を大幅に削減できることや、アナログ値・多値を扱えること、CNN と融合したハイブリッド LSI の有用性が様々な研究グループにより示されたこと、非線形研究分野との連携により非線形の面白さと抱き合わせで研究ができたことなどが、その主要因であろう。近年は、回路やデバイスではなく、材料の観点からより物理的なセルオートマトンを構築する試みがなされており、数年前に Nature 誌に掲載された「分子セルオートマトンとその情報処理」に関する論文はまだ記憶に新しい読者も多いだろう。

セルオートマトンアーキテクチャが優位となるのは、入力から最終出力までが全て並列に処理されるような場面・環境においてである。しかしその具体的なものはまだ見えていない。ここで例えば、画像処理を行うセルオートマトンのシステムを考えてみよう。イメージャーとセルオートマトンのモノリシック集積は解像度の観点からあまり現実的ではないため、セルオートマトンには入力データを時分割せざるを得ない。さらに演算結果を取り出すときにも、ピン数制限のため時分割出力が必須となる。つまり、ここではセルオートマトンの並列性はまったく活かされない。苦勞してセルオートマトンを並列回路化しても、一個のセル演算器のみを時分割で使い回したときにかかる時間と同じオーダの時間でしか読み書きができないのである。これは一見非常に残念なことに思えるかもしれないが、少しポジティブに考えてみよう。このことは、一個のセル演算器だけで高速・時分割計算するようなチップであれば安価に設計でき、かつそれらはその他のデジタル機器・デバイスと高い親和性を持つことを言っている。よって、セルオートマトン研究者らの間で作られ

た(集積回路化の価値のある一流の)モデルを集積回路またはFPGA上に実装して、ノイマン型しか頭にない研究者達の鼻をあかすことができるかもしれない。しかしより重要な点は、セルの演算段数が深いルールであればあるほど、パイプライン並列化によるスループットの向上が見込めることである。読み書き I/O の制限によりセルオートマトン本来の並列性が失われても、セル内部の演算は複数ステージにわけて並列化できる。実際、画像を対象とするデジタルフィルタ LSI の内部はそのような時分割セルオートマトン構造となっているものが多く、例えば二次元の最近傍セル同士の演算であれば、二行のラインバッファと一つのセル回路のみで、画像を読み込みながら約二行分のレイテンシでシリアル出力(の先頭値)が得られる。このような処理を行う回路をカスケード接続することで、より深いパイプライン並列処理ができるようになる。集積回路の中でセルオートマトンが生き延びる・存在をアピールできる集積アーキテクチャはこのような様式のものではないだろうか。

本講演では、かつてセルオートマトン LSI に関する研究に長期にわたり携わっていた一研究者として、上記のような様相をなるべく解り易く説明させて頂きたい。ご反論・ご批判を歓迎いたします。

浅井 哲也 (あさい てつや)



北海道大学 大学院情報科学研究科 准教授

専門分野：集積回路工学， 計算機アーキテクチャ， ニューラルネット， 非線形工学

略歴：

- 1999年3月 豊橋技術科学大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士後期課程修了
- 1999年4月 北海道大学大学院工学研究科 助手 (～2001年6月)
- 2001年7月 北海道大学大学院工学研究科 助教授 (～2004年3月)
- 2004年9月 International Center of Unconventional Computing, University of the West of England, Visiting Professor (～2009年8月) (兼任)
- 2004年4月から現職

保存的なセルオートマトンの計算能力について

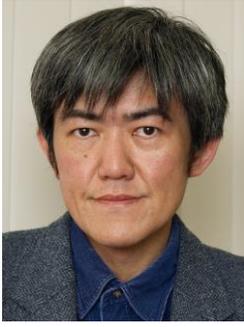
今井 克暢

セルオートマトンは並列計算機のモデルのひとつであるが、その単純で均質な構造から、物理、化学、生物や社会現象等のシミュレーションのためのフレームワークとして広く用いられている。中でも各セルの状態が整数値をとり、遷移においてすべてのセルの状態の総和が一定であるようなセルオートマトンを(数-)保存的なセルオートマトン(number-conserving cellular automata)と呼ぶ。各セルの保持している粒子の数がその状態で表現されていると考えれば質量保存的な性質を表現するのに適しているため、流体や交通流のような現象のシミュレーションに用いられている。

保存的セルオートマトンは、標準的なセルオートマトンのサブクラスであり、同じ形式の遷移規則で記述される。ある遷移規則を持つセルオートマトンが保存的か否かはセルオートマトンの次元に関わらず比較的容易に判定できることが知られている。特に1次元かつ小状態数の場合には、それらの遷移規則が非常に詳しく調べられている。しかし、保存的な性質を持つ種々のセルオートマトン規則を従来のセルオートマトンの場合のように設計し、状態数や近傍数の削減等の簡約化を行うのはそれほど単純ではなく、2次元の場合にはマーゴラス近傍に代表されるブロックセルオートマトンという特殊な場合の実現例が知られているだけであった。

一方で、保存的セルオートマトンは、各セルが保持している粒子のセル間での移動で表現できるはずである。1次元の場合には一般にセルオートマトンとしての遷移規則と、「モーション表現」または「粒子オートマトン」等と呼ばれる粒子の移動による表現との間の関係が明らかにされているが、2次元以上の場合には一般にはその対応関係はわかっていない。

わたしたちは、これまでに2次元のいくつかの単純な近傍形の場合の粒子の移動による表現を示してきた。その結果は、保存的な自己増殖セルオートマトンや計算万能セルオートマトンのような複雑な遷移規則の設計に利用できるだけでなく、小状態数の場合の計算能力を明らかにするためのツールとしても使えることを解説する。



今井 克暢 (いまい かつのぶ)
広島大学 大学院工学研究院 助教

専門分野：セルオートマトン，可逆計算

略歴：

1990年3月 大阪大学基礎工学部生物工学科卒業
1992年3月 同大学院博士前期課程基礎工学研究科物理系専攻修了
1993年5月 同大学院基礎工学研究科博士後期課程中途退学
1993年6月 広島大学工学部助手
1999年2月 大阪大学大学院基礎工学研究科博士（工学）取得
2006年9月～12月 英国、西イングランド大学客員研究員
2007年4月 広島大学大学院工学研究科助教
2008年6月～9月 フランス、CNRS 短期研究員
2010年4月- 広島大学大学院工学研究院助教(改組による名称変更)
2010年4月から現職

謝辞

お忙しい中アブストラクトをご執筆いただきました8名の先生方，研究集会の準備にあたり多くのご協力をいただきました MIMS 事務室の皆さま，当日の運営にあたりアドバイス・サポートをしていただきました宮路智行特任講師，物部治徳研究員，須志田隆道研究員，廖于靖研究員，近藤信太郎研究員に感謝申し上げます。また，このような貴重な機会を与えてくださいました拠点リーダーの三村先生，拠点運営委員長の杉原先生をはじめとした拠点運営委員の先生方に感謝申し上げます。

「セルオートマトンが拓く現象数学」 アブストラクト集

■ 主催

共同利用・共同研究拠点
明治大学先端数理科学インスティテュート(MIMS)「現象数学拠点」

■ 組織委員

友枝明保(武蔵野大学), 松木平淳太(龍谷大学), 高橋大輔(早稲田大学),
上山大信(明治大学)

■ 問い合わせ先

友枝明保 (武蔵野大学) a_tomo@musashino-u.ac.jp