E.F.Codd : Cellular Automata

Academic Press（1968）

von Neumann の自己増殖モデルは，同一な素子を縦横に配列し，より高度な有機体を実現する技を示唆したといえるが，それなしでもその後の超並列計算機は出現したであろう．一方自己増殖をより単純かつ優美に実現できぬかと試みる人が出てくるのもごく自然な成り行きである．IBM サンノゼ研究所の E. F. Codd もその 1 人で，1965 年頃ミシガン大学に滞在中にこの研究を行った．

von Neumann の場合もそうだが，これらの自己増殖モデルはほとんど基礎知識なしに取り組める真に新しい分野である．Codd はもちろん von Neumann の 29 状態モデルを熟知しており，それをより単純で少ない状態数の素子による実現可能性を追求した．

これはちょうど一斉射撃の問題に対する途方もない状態数の後藤英一の解に対し，Robert Balzer の 8 状態の解[1]が現れたのと同様な経過である．

Codd のモデルはまるでクイズを解いているようで楽しい．仮定するのは 5 近傍（von Neumann 近傍）で 8 状態，遷移関数は回転対称（rotation symmetric），つまり von Neumann モデルでは感光状態が方向性を持つのに対し，これは自分と時計回りの 4 隣の状態の組合せのみで次の状態が決まる．

Codd は 0 から 7 の整数で表す 8 状態オートマトンを考えた．0 ～ 3 は構造用状態，4 ～ 7（s で代表）は信号用状態だ．von Neumann モデルの素子は方向性があり，信号はその方向へ進むが，Codd の信号線は 2 のセルの壁で両側を挟まれた 1 のセルの並びである．その中を s を先，0 を後にする信号が進む．右左折，T 字路分岐などが可能なように遷移表を工夫する．壁に直角につき当たる制御信号は壁の 2 のセルを 3 に変えることで，壁内を流れる信号を消すことができる．また信号線を延ばす，横に延ばす，縮める，横から縮めるための信号列などを考案した．

この遷移は状態数が少なく，シミュレータを書くのは容易だ．シミュレータを使って本書を読むと巧妙に設計できていることが分かり面白い．

こういうセルを利用し，ゲート，信号弁別器，交差路，セルの状態の検出法などを設計する．

最終レベルでは記憶制御，プログラム実行，計算，構成制御をマイクロプログラムで設計してみせた．記憶部には D, K, M, P のテープ（0, 1 のセルの列）があり，D は Turing マシンをシミュレートする時のテープになる．P はプログラムを記憶する．プログラムの命令は 16 種，制御下にある腕を伸ばす，縮めるなどのほか，センスしたセルが 1 なら k 番目の目印の命令へ飛ぶのがある．k は 1 を k 個並べる．M はその目印用テープ，K は飛ぶ時の作業用である．

マイクロプログラムは各種ゲートの制御の列，マイクロプログラムの他の場所へ飛ぶなどで，すべての命令の解釈実行が記述してある．

自己増殖モデルで効率を話題にするのは場違いかも知れぬが，状態数が少ないだけ von Neumann のに比べ，Codd モデルは非効率であるように見える（3 状態の芹沢モデル[2]や 2 状態のライフゲームの自己増殖[3]はもっとひどい）．

ニューロンはこういう性質でこれがたくさん集まると脳ができるという解説が目につく．それは単に Codd のセルをたくさん持ってくると自己増殖ができるといっているのと同じように思う．Codd の自己増殖の如く，いくつかのレベルにわけ，機能の組合せで説明せぬと，脳の説明になるまい．

Codd の素子は Burks の最後の学生，Chris Langton が別の方式（Langton ループ）の自己増殖モデルに利用した[4]．E. F. Codd は 1981 年，関係データベースの研究で ACM チューリング賞を受賞する．

参考文献

1）Balzer, R.: An 8-state Minimal Time Solution to the Firing Squad Synchronization Problem, Information and Control 10（1）, pp.22-42（1967）.
2）芹沢照生：7 自己増殖機械 7.1 フォン・ノイマンタイプの自己増殖機械，情報処理，Vol.26, No.2, pp.158-165（Feb. 1985）.
3）バウンドストーン , W.（有沢　誠 訳）: ライフゲイムの宇宙，日本評論社（1990）.
4）Langton, C.G.: Self-Reproduction in Cellular Automata, Physica 10D. pp.135-144（1984）, 和田英一 : 7 自己増殖機械 7.2 最近の自己増殖のモデル , 情報処理 , Vol.26, No.2, pp.166-170（Feb. 1985）.

（平成 15 年 1 月 6 日受付）

和田英一／ IIJ 技術研究所
wada@u-tokyo.ac.jp