

## John von Neumann: Theory of Self-Reproducing Automata

University of Illinois Press, 1966

「von Neumann が自己増殖機械のことを考えているらしい。その動物は2次元で遺伝子を持つ尻尾がついている」高橋秀俊先生から聞いたのは私が学生の頃だ。その後 Scientific American 誌（1955年4月）に簡単な紹介が載ったが、それだけでは自己増殖の仕掛けは皆目分からなかった。高橋研では「von Neumann の自己増殖の素子で作った Turing 機械」というベル研の文献を入手し、それにより素子、つまり29状態を持つ有限オートマトンの全貌が判明した。

自己増殖機械そのものの詳細が見えたのは、本書を編集した A. Burks 先生がその原稿を高橋研に送ってきたからである（本書は von Neumann の1957年の死後に出版された）。当時はコピーが今ほど容易ではなかったので、我々が夢中で読んだのは、本書が刊行されてからであった。

von Neumann の自己増殖機械は2種類ある。その1つは紙テープ制御の万能工作機械で、工作機械はテープの制御情報により、周囲にある素子から何かを組み立てる。実はテープの指令はその工作機械自身を組み立てるものであり、指令の最後は新しい紙テープに制御指令のテープの内容をコピーして新しい工作機械に挿入し、その起動ボタンを押すことであった。

次に von Neumann はより抽象的なモデルとして2次元の動物とその細胞にあたる素子を創出した。その詳細を記述したのが本書である。

その動物の住む世界は、素子が格子状に2次元で無限に並ぶ。素子は正方形で29状態の有限オートマトンである。世界にはただ1つの時計が時を刻み、すべてのオートマトンの内部状態は時計に同期して変化する。あるオートマトンの時刻  $t+1$  での状態は時刻  $t$  での自分とその4隣の状態で決まる（von Neumann 近傍）。

29状態には興奮状態と非興奮状態があり、時刻0に興奮不能状態の海の中に非興奮状態の分布（それを動物と考える）を与え、その中の特定の細胞を興奮状態にすると、動物は自己増殖して自分の近くに自分の初期状態と同じ状態の分布を作り出す。

von Neumann はできるだけ少ない状態数で万能の素子

を提案し、それを使って伝送路、伝送路に信号を送り出すパルスや、信号を取り込むデコーダ、信号を交差させるコーデッド・チャネルなどの基本器官を設計した。一方世界を満たしている興奮不能状態の素子を、動物の分布を構成している素子状態に作り変える工作腕を工夫する。また2状態の素子が1列に並んだ遺伝子のテープとその読出し法も考えた。

これらを組み合わせて、遺伝情報を読み出すテープ制御装置、テープ制御装置と工作腕を駆動する工作機械を具体的に設計した。なにしろテープ制御装置は縦547、横337の素子でできるというほど具体的である。

本書には von Neumann 没後に考案された効率のよい回路、器官も載っている。その1つに伝送路を交差させる器官がある。これは道路の交差点の信号機と同様、同期をとる回路を使う。だがこれは von Neumann の哲学には合わなかったらしい。von Neumann は動物には同期は似合わないと考えていたとは高橋先生の意見であった。1996年、奈良での人工生命の会議に来られた Burks 先生に、このことを伺ったら「その通りだ」といわれた。

von Neumann は計算機と自然の有機体の間の類似点の発見、異なるが関係あるシステム間の比較に意義を感じていた。その研究の1つが「Automata Studies」に載った「確率的論理、低信頼素子による信頼性有機体の合成」である。また自己増殖機械の具体的な設計を示すことで、こういう簡単な素子による論理的万能性、組立て万能性、自己増殖可能性を証明した。

高橋先生によると本書は「大思想家 von Neumann の情報科学における不朽の労作」であり、多くの人に読んで貰いたいと、高橋研で翻訳することにした。それが高橋秀俊監訳：「自己増殖オートマトンの理論」（岩波書店、1975）である。ただし数学者の記法だけのことはある。本書を耽読した頃に比べ、計算機の速度が格段に向上しているの、シミュレータもかなり使えるのではないかと思う。

（平成14年6月19日受付）

和田英一 / IJ 技術研究所  
wada@u-tokyo.ac.jp

