

ノイマンタンクにおける立体ブロック形状の進化

2AG-6

木下 誠 山口 明宏 三上 貞芳 和田 充雄

北海道大学大学院工学研究科

1. はじめに

我々は、複雑系研究の一環として、相互作用するユニットからなる系の挙動を研究している。これまでに、3次元形状による”ブロックモデル”を提案し、相互作用規則を適切に定めることによって、ブロックの結晶状成長や、雛形ブロックの生成などの現象が起こることを示した[1]。この論文では、相互作用規則を統計的に定め、ブロックモデルの挙動の変遷を報告する。

2. ブロックモデル

図2-1に示すような、立方体を斜めに切断したものを、ユニットの基本構成要素として用い、これをアトムと呼ぶ。アトムには結合面、接触面と呼ぶ2種類の面がありこの面同士で他のアトムとつながることができる。アトム同士をつなげるものをポンドと呼ぶ。ポンドにはアトムのそれぞれの面に応じて、結合ポンドと接触ポンドの2種類がある。ポンドには向きがあり、結合ポンドには4種類、接触ポンドには2種類の向きがある。ポンドによってつながれたアトムの集合をブロックと呼び、アトムの数をそのブロックの大きさと呼ぶ。

ブロックは他のブロックと相互作用を行う。相互作用は、局所的な規則にしたがって行われ、作用の結果ポンドの組み替えが起こり、ブロックを構成するアトムが入れ替わる。即ち、相互作用の規則はポンドの集合を2つ引数にとり、別のポンドの集合への写像と捉えることができる。規則は範囲 r を持ち任意のアトムからつながっている順に r のアトムまで辿っていったポンドの集合が対象になる。

2つのブロック $B_x = \{a_{x0}, a_{x1}, \dots, a_{xm}\}$, $B_y = \{a_{y0}, a_{y1}, \dots, a_{ym}\}$ に対して、規則 R は次のように適用される(図2-2)。

- i) B_x, B_y からそれぞれ対象となるアトム a_x, a_y を決める。このとき、 a_x と a_y には接触しているアトムは無いものとする。
- ii) a_x と a_y が互いに接触できるか確認する。このと

き、 B_x, B_y が重なりあってはいけない。

iii) a_x, a_y から、 R の範囲だけのポンドを取得し、ポンドの集合 b_x, b_y をつくる。

iv) b_x, b_y に R を適用し、ポンドを組み替える。

v) 組み替わったポンドにより、ブロック群を再構成する。



図2-1 アトムとその結合面、接触面

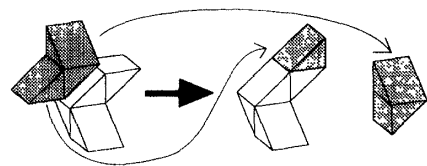


図2-2 規則の適用

3. 規則の決定方法

規則の範囲が定まると、参照可能なポンドの集合が定まり、それらの組み合わせに対してルールを定義しなくてはならない。ポンドの集合の数は、範囲が1である場合でも、93通りにもなる。それらの組み合わせとなると、ブロックが衝突するため存在しえない規則を除いても、膨大な数になる。

そこで、全規則適用後の新たに生成されたポンドの総数 g と、消滅したポンドの総数 d とを定める。それに従ってランダムにポンドの組み合わせを選び、組み替え後のポンドを決めた。それぞれの数が小さければ、静寂な反応が、数が大きければ活発な反応が予想される。

4. ノイマンタンク

ブロックの反応の場として、仮想的なタンクを考え、これをノイマンタンクと呼ぶ。この名前は、Von Neumann が自己増殖オートマトンの理論を展開する際に、オートマトンが反応するためのタンクを提案したことに由来する[2]。ノイマンタンクの中では、ブロックが多数浮遊しており、相互作用が起きる。またタンクには、ブロックが通る注入管と流出管があり、タンクに入るブロックの数はタンクのサ

Evolution of Three-dimensional Block Structures in Neumann Tank

Makoto Kinoshita, Akihiro Yamaguchi, Sadayoshi Miakmi, Mitsuo Wada

Faculty of Engineering, Hokkaido University
N13W8, Sapporo 060, Japan

イズで決まる。

反応の初期状態では、ある大きさ以下のランダムなブロックで満たされている。反応が始まり、ブロックの数がタンクのサイズよりも小さくなると、注入管よりランダムなブロックが流れ込み、ブロックの数がサイズよりも大きくなると、流出管よりブロックが流れ出る。

5. 実験

実験は、ノイマンタンクのサイズ 100、規則の範囲 1、初期状態のランダムなブロックの大きさ 3、という条件を用い、1 タイムステップごとにタンク内からランダムにブロックを 2 つ選び、相互作用を行った。

i) g と d がともに小さいときは、反応はあまり起こらない。ブロックが成長しても材料となるブロックがすぐ無くなるため、大きさ 4~5 で止まってしまう。 d が大きくなると、ブロックは成長してもすぐ分解される。

ii) g が少し大きくなり、 d が小さいときは、ブロックは大きく成長する。はじめ大きさ 5~10 程度のブロックが多数でき、次にそれらがつながりあい少数の大きなブロックができる。数種類のつながる規則が繰り返し適用されるため、ブロックは線状に成長しやすい (図 5-1)。

iii) g がさらに大きくなると、ブロックの成長はさらに速くなる。ブロックがつながるための規則が多数あるため、形状に規則的な構成は見られなくなる。

ここでは、ブロックの成長の特徴として、枝状と団子状との構造が見られる。枝状の構造は、つながるための規則の中に、単一のアトムからなるブロックが接触する規則があるとき見られる。これは、そのブロックが接触すると規則を適用するための接触面がなくなり、それ以上ブロックをつなげることができなくなるからである (図 5-2)。この規則がな

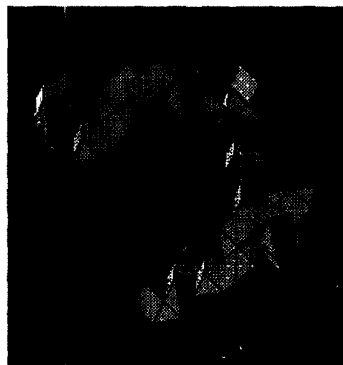


図 5-1 タンク内のブロック
 $g = 30$, $d = 50$ で、1000 タイムステップ後



図 5-2 タンク内のブロック
 $g = 150$, $d = 100$ で 2000 タイムステップ後。結合面で覆われた枝状の構造が特徴。

いときは、ブロックはあらゆる方向に成長し団子状になる。

iv) g と d がともに大きいときは、ブロックはつながってもすぐに分解される。大きく成長したブロックは現われないが、タンク内では激しく反応が起こっている。

v) g と d がともにある程度の大きさのときは、上述の通りあまり成長は起こらないが、反応を続けていくと、分解されない形状が現われることがある (図 5-3)。

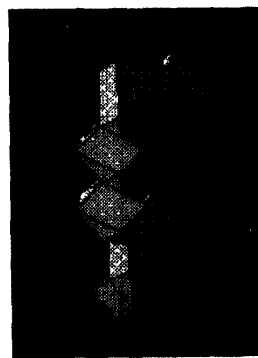


図 5-3 保存されるブロック

この形状は生成されてから後の反応のあいだ残り続ける。この保存性には二つの理由がある。一つは、ランダムなつながりあいの結果、分解する規則が適用できない並びができたこと。もう一つは、分解される並びの周りを取り囲み、反応の対象となるブロックが入り込めない形状ができたことである。

6. おわりに

ブロックモデルの規則を統計的に扱い、生成されるブロックの変遷する様子を示した。また、ランダムな相互作用の中から分解する作用から保存される形状が生じることを示した。

参考文献

- [1] 木下誠, 三上貞芳, 和田充雄, 自己複製系における立体形状の進化, 情報処理北海道シンポジウム '97, (pp.175-177, 1997)
- [2] Von Neumann, J., Theory of Self-Reproducing Automata (ed. A.W.Burks, Univ. of Illinois Press, 1966)