

熱力学に基づく群ロボットのマクロ制御

—熱力学パラメータと群ロボットの行動—

旭川高専 ○村田賢太, 北大 木下正博, 旭川高専 渡辺美知子, 旭川高専 古川正志

要 旨

既に木下等によって熱力学パラメータと2台の群ロボットの行動が密接な関係を持つことが報告されている。しかしながら、熱力学における分子のマイクロ行動は、非常に多くの分子数を前提としている。本研究では、より多数の群ロボットを前提とし、シミュレーション実験に基づいて群ロボットの行動が熱力学のマクロパラメータとどのような条件の下でアナロジーが成立するかを検証する。

1 はじめに

多数の構成要素から成り、構成要素同士の相互作用や環境との相互作用を通じて、全体としての秩序を形成し維持しているシステムを総称して群システムと呼ぶ。そのうち、構成要素としての対象をロボットに限定したものを群ロボットシステムと呼び、このシステムの形成に関する様々な研究が存在する。しかしこれら研究の多くは、各構成要素の機能や行動パターン等から、全体の振舞いを導く事を前提にして議論されており、群システムとしてのダイナミクスを定量的に観測している研究は少ない。

本研究では、木下等によって報告された熱力学パラメータと2台の群ロボットの行動との関係を前提として、より多数の構成要素を含んだシステムのシミュレーション実験を行なうことで、群ロボットの行動パターンが熱力学のマクロパラメータとどのようにアナロジーをとれるかを検証する。

2 群ロボットシステムと熱力学の対応

2.1 群ロボットシステム

群ロボットシステムは、多数のロボットが相互作用し、同時に環境とも相互作用することで、動的に秩序を形成、維持しているシステムである。本研究が対象とする群ロボットシステムのモデルを図1に示す。このモデルは、空間を2次元に限定し、一定の面積内でロボットを自律行動させる。

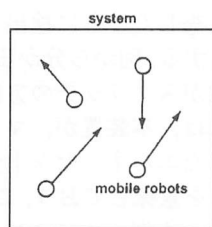


図1: The model of grouping robot system

2.2 気体分子運動論と群ロボットシステム

気体分子運動論を用いると、気体を構成する各分子の運動の法則から熱力学のパラメータを求めることができる。以下では図1に従い空間を2次元に限定した場合におけ

る気体分子運動論について述べる。

2.2.1 内部エネルギーと温度

内部エネルギー U は、気体を構成する各分子の運動エネルギーの総和である：

$$U = \sum_k \frac{1}{2} m_k v_k^2 \quad (1)$$

また平面内の気体分子運動における温度 T と内部エネルギーとの間には

$$U = kT \quad (2)$$

なる関係がある。ここで k はボルツマン定数である。

群ロボットシステムにおける内部エネルギーは、ロボットの速度と質量から求められる運動エネルギーの総和として定義する。また、温度は比例定数を1とおいて、内部エネルギーをそのまま使用する。

2.2.2 圧力

気体が及ぼす圧力 P は、その圧力を支えられる力 F と圧力が加わる壁の長さ L を用いて

$$P = \frac{F}{L} \quad (3)$$

と表される。

ロボットが壁に衝突した場合、壁はロボットからある運動量 p を貰う。衝突の際の撃力を F とおけば

$$F = \frac{dp}{dt}$$

という関係が成立する。ここで、微小時間 Δt をとって上式を近似すると

$$F(t) = \frac{p(t) - p(t - \Delta t)}{\Delta t}$$

となるが、衝突前は壁は運動量を持っていないため $p(t - \Delta t) = 0$ である。従って衝突によって壁に及ぼされる力は

$$F = \frac{p}{\Delta t}$$

となる。

よって、ロボットが壁に衝突した場合に発生する圧力は

$$P = \frac{|F|}{L} = \frac{|p|}{L\Delta t} = \frac{m|v|}{L\Delta t}$$

となる。ここで m はロボットの質量、 v は衝突直前のロボットの速度である。

2.2.3 エントロピー

本研究におけるエントロピーを次のように定義する。まず、図1のモデルに示した平面を縦横に(セルに同時に含まれるロボットがひとつだけになるように)等間隔に区切り、セルの集りとして考える(図2)。

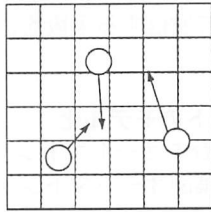


図2: The spanned surface

ある時間間隔 $[t, t+\Delta t]$ の間にシステム内の i 番目のセルをロボットが通過する確率を Q_i とすればエントロピー S は

$$S = -\sum_i Q_i \ln Q_i \quad (4)$$

で与えられる。すなわち

$$S = -\sum_i n_i \ln n_i \quad (5)$$

となる。ここで n_i はセルに入る回数である。

3 数値計算実験

3.1 実験条件

図1に示した群ロボットシステムのシミュレータ(図3)を作成し、上述した熱力学パラメータの観測を行った。ここで、ロボットは円形とし、その直径はセルの1辺の長さとした。空間は 50×50 個のセルに分割し、その周囲に質量 ∞ の壁を置き、その中に12個のロボットを入れて運動させた。ロボット同士およびロボットと壁の衝突は完全弾性衝突とする。

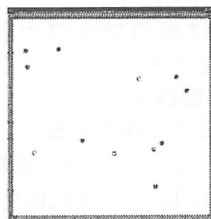


図3: The screen shot of simulator

3.2 実験結果

上述の条件の下でロボットの初速度を乱数で決定し、2000ステップの間で等速度運動を行わせる実験の結果を次に示す。

4 おわりに

本研究ではロボットの運動法則としてNewton力学を用いたが、気体分子運動論において気体分子の運動法則には量子力学を用いなければならない。また、現実には群ロボッ

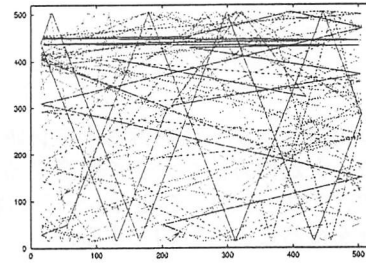


図4: An orbit of robots

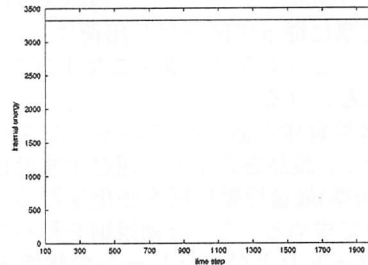


図5: Internal energy of system

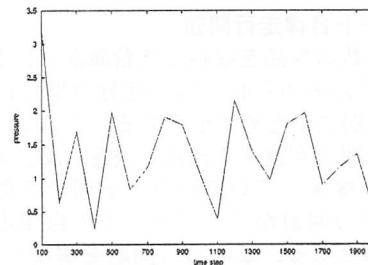


図6: Pressure of system

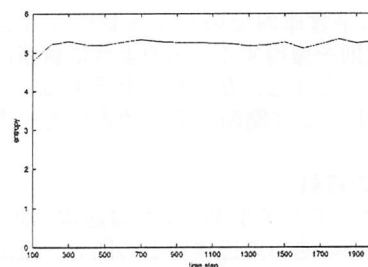


図7: Entropy of system

トシステムを構築する場合は、ロボットを自律行動させるために本研究では想定していない制御が必要になってくる。今後は、そのような制御も視野に含めたシミュレーションを行う必要がある。

参考文献

- 1) ファインマン, レイトン, サンズ(富山小太郎訳): ファインマン物理学II 光熱波動, 岩波書店(1968).