

# 私には人の動きが見えるっ! (中2病風)

芝浦工業大学 数理科学研究会

～人の動きのモデル構築とシミュレーション～

2013年4月4日

※何か不明な点や計算ミス等がありましたら加筆修正しますので指摘をお願いします

制作: 比嘉 廉

# はじめに

この研究では主に人の動きを数式化することによってモデルを構築することに取り組んだ。人の動きをモデル化することによって、時間が経過したときの人の動きや位置を予測できるのではないかと考えた。

人の動きの決定には様々な要因が考えられるが、その要因が数えきれないほどたくさんあり、実際に動きを精密に解析するのは不可能である。しかし、適切に現象の要因を結果に反映させることのできるモデルを構築することで、実際の現象に近づけていける。ここでは人の動きの要因を考えて、数理モデルを構築し、実際の現象を再現することに取り組んだ。

## 目次

1	観察による要因の仮説	2
2	人の動きのモデル構築	4
2.1	進行方向決定モデル	4
2.2	位置の決定	5
2.3	方向を変える確率	5
2.4	モデルのアルゴリズム	7
3	シミュレーションとその結果	8
4	考察	9
5	今後の課題	10

## 1 観察による要因の仮説

人の動きを決定する要因を探るために、人の流れがある場所へ出向き、人の動きを観察した。観察した場所、日時は以下の表1に示す。

表1 観察場所とその詳細

場所	日にち	観察時間	周辺の人が集まる場所
横浜駅きた西口前	7/29	11:00～19:00	駅改札, ゲームセンター, 大型ショッピングセンター
西武ドーム	8/5	10:40～17:20	駅改札, コンビニ, 会場入り口



図1 西武ドームのライブ開催時の様子

観察を行った結果、人の動きを決定する要因として次のことが挙げられた。

1. 人は最短方向へ動こうとする
2. 他の人と同じ方向に進みやすい
3. 他の人との競争関係
4. 障害物の存在
5. 対向方向からの人を避けようとする動き
6. 動く方向を維持する

1 は人は目的地が与えられたとき、なるべく労費を少なく、時間をかけずに進む。このことを考慮すると人はなるべく最短方向へ進みやすい。

2 は人は動くとき、他の人と同じ方向に動くことが多いという傾向である。例えば、大きな建物の中で停電が起こって外へ脱出したいが、脱出する出口がわからず途方に暮れていたとする。このとき、人の流れがあるのを発見したら、恐らくこの流れは出口へ、もしくは安全な避難場所へ向かっているものと多くの人は思うだ



図2 新宿駅ホームの混雑の様子

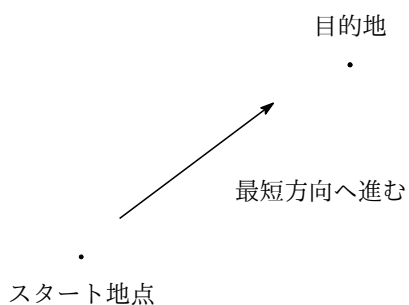


図3 最短方向へ進む傾向

ろう。そして自分もこの流れに乗ることを試みることになる。このように他者の動きは人の動きを取り決める要因となり、似たような動きを形成しやすい。

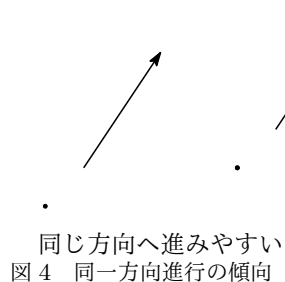


図4 同一方向進行の傾向

3は人が目的地に早く到着することが、どれだけその人に影響を及ぼすかを考慮している。例えば、先着何名に何かをプレゼントするという前提があったら、なるべく誰よりも早く目的地に到着したくなるだろう。これも当然人の動きに影響を与える。

また人は方向転換するとき、最も影響を与える要因は周りの動きを妨げるものの存在、つまり障害物の存在が大きく影響する。これらは当然ものが人の動きを妨げることもあれば、他人が動きを妨げることもある。これを説明したのが4,5である。

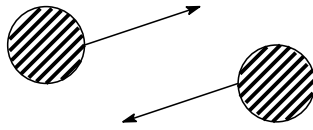


図5 他人を避ける傾向

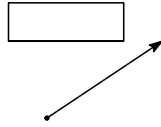


図6 障害物を避ける様子

6は人は一歩ごとに歩くたび方向を変えることができるが、頻繁に変えているわけではなく、基本は一定の方向を保つように動いている。これも人の動きを取り決める要因の1つである。

## 2 人の動きのモデル構築

第1章で得られた要因から数理モデルを構築する。今回は確率論を使い、複雑でかつ一意的に定まらない人の動きを表現していく。

### 2.1 進行方向決定モデル

第1章で人の動きを取り決める要因1,2と確率論を用いて、進行方向を決定する。

要因1 (人は最短方向へ動こうとする) ことはどういうことかを考える。すべての人は目的地があったとき進行方向として必ず最短方向を選択するわけではない。ただ、最短方向からなるべく離れないように方向を選択するのは確かである。これは、人が進む方向は最短方向を中心に選択されやすいということである。さらに最短方向に集まりやすい傾向 (要因2) を分散として与えると、これは正規分布を用いて、方向が選ばれる確率を表現することができる。

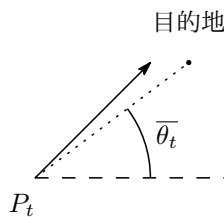


図7 最短方向から離れずに目的地へ向かう様子

よって時刻  $t$  において、人が方向  $\theta_t$  を選ぶ確率  $p(X = \theta_t)$  を以下のように定義する。

定義

時刻  $t$  において、人が方向  $\theta_t$  を選ぶ確率  $p(X = \theta_t)$  は

$$p(X = \theta_t) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(\theta_t - \bar{\theta}_t)^2}{2\sigma^2}\right) \dots\dots\dots ①$$

$\theta_t$  : 時刻  $t$  の進む方向

$\bar{\theta}_t$  : 時刻  $t$  の進む方向の平均 → 時刻  $t$  の目的地への最短方向

$\sigma$  : 方向の分散 → 時刻  $t$  の方向の散らばり具合

また、このシミュレーションではコンピューター上で乱数を発生させて、 $p(X = \theta_t)$  を設定し、 $\theta_t$  を決めるので式①を  $\theta_t$  について整理すると以下ようになる。

$$\theta_t = \bar{\theta}_t \pm \sqrt{-2\sigma^2 \log\{p(X = \theta_t)\sqrt{2\pi\sigma^2}\}} \dots\dots\dots ②$$

式②から  $\theta_t$  を決定する。ただし、 $\theta_t$  を 1 つに決定しなければいけないので、人が動く環境に応じて適当に定める。<sup>\*1</sup>

## 2.2 位置の決定

次に時刻  $t$  おける人がいる座標を導出する。

2.1 で人が進む方向  $\theta_t$  を決定したのでこれを利用し、座標を導出する。いま、時刻  $t$  から人が 1 歩進んだときの時刻を  $t+1$  とする。ここでの単位時間は秒ではなく、一歩あたりの時間である。一歩あたりの歩幅を  $w$  とすると  $t$  における位置  $P_t(x_t, y_t)$  から  $P_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})$  への移動は以下の差分方程式で表現できる。

時刻  $t+1$  における人がいる座標  $P_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})$  は

$$\begin{cases} x_{t+1} = x_t + w \cos \theta_t \\ y_{t+1} = y_t + w \sin \theta_t \end{cases} \quad (w : 1 \text{ 歩あたりの歩幅})$$

この差分方程式を考えることによって、人間 1 歩あたりの動きを記述できるようになる。

また今回のシミュレーションでは 1 歩あたりの歩幅  $w$  を 0.6 (m) とした。これは日本人平均の歩幅である。

## 2.3 方向を変える確率

ここでは、方向を変える確率について考える。

簡単に考えてみると、人が方向を変えるきっかけは主に自分を妨げる物の存在である。例えば、物が散らかった部屋というのは一定の進行方向を保って進むのが難しい。障害物をかわしながら進むことになるからである。人で混雑している場合も同じように考えることができる。混雑している中では、人にぶつからないようにかわしながら進むことになるだろう。

<sup>\*1</sup> 今回私が行ったシミュレーションでは  $\theta_t = \bar{\theta}_t + \sqrt{-2\sigma^2 \log\{p(X = \theta_t)\sqrt{2\pi\sigma^2}\}}$ ,

$\theta_t = \bar{\theta}_t - \sqrt{-2\sigma^2 \log\{p(X = \theta_t)\sqrt{2\pi\sigma^2}\}}$  がそれぞれ  $\frac{1}{2}$  の確率で選ばれるように設定した。

そこで、人が方向転換する確率は障害物が多いほど高くなると考えることができるので、自分の周りの適当なスペースの面積（近傍面積と定義する）をとり、その中の障害物が占める面積との割合で方向を変える確率を定義する。

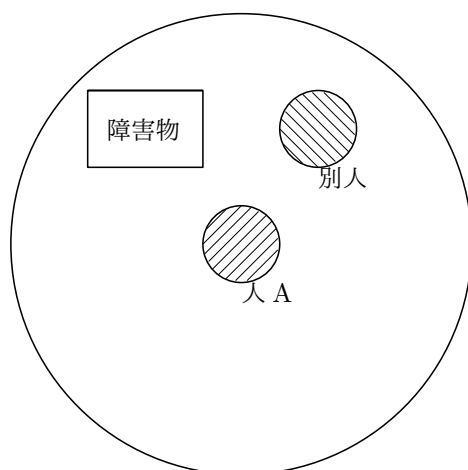


図8 個人の周辺の障害物

定義

時刻  $t$  における人が方向転換する確率を  $c_t$  とすると

$$c_t = \frac{B_t}{S_t}$$

$S_t$ : 近傍面積,  $B_t$ : 近傍面積中の障害物が占める面積 (他人も含む)

近傍面積のとり方は様々なとり方があるが、今回の研究では想像しやすく、直感的な自分の周りの円の面積を近傍面積として設定する。

近傍面積のとり方として円を採用することにしたが、半径の長さにより変わってくるので適切な半径のとり方を考えたい。そこで心理学的に人が障害物の影響を受ける半径を考えたパーソナルスペースというものがあるのでこれを採用する。

まずパーソナルスペースとはなにかを説明する。

パーソナルスペース: 心理的な縄張りのこと (エドワード・ホール)

パーソナルスペースとはアメリカの文化人類学者であるエドワード・ホールが提唱した他人に近づかれると不快に感じる距離のことである \*2。エドワード・ホールは他物との距離の範囲を下記のレベルごとに分類した。

1. 密接距離: 0~45cm, 家族や恋人以外は不快に感じる
2. 個体距離: 45~120cm, 友人や知人以外は不快に感じる
3. 社会距離: 120~350cm, 上司などの関係
4. 公衆距離: 350cm~, 講義における教授と学生

このように他者との関係でパーソナルスペースを定義したが、このシミュレーションでは人だけでなく物

\*2 パーソナルスペースの定義では対象は他人だけで物は含まれていないが、この研究では考えやすくするように物も対象に含めた。

の存在も考慮するので半径を 3.5 (m) としてシミュレーションすることにする.

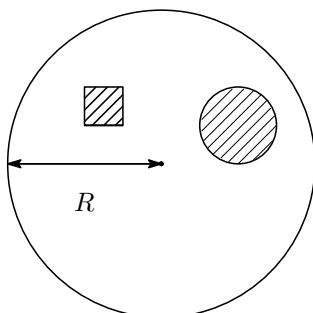


図9 パーソナルスペースにおける方向転換の確率のモデル

以上のことから人が方向転換する確率は

$$(\text{方向転換の確率}) = \frac{(\text{障害物が占める面積})}{(\text{パーソナルスペースの面積})} \text{ であるから}$$

$$c = \frac{\sum b_i}{\pi R^2} \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

$b_i$ ; 障害物の面積,  $R$ ; パーソナルスペースの半径

## 2.4 モデルのアルゴリズム

様々な式を立ててきたが, それらを合わせた数理モデルを以下の流れで構成する.

1. 場の情報の入力 (障害物の配置, 大きさなど)
2. 初期値入力 (最初にいる場所)
3. 目的地を入力 (目的地の場所)
4. 分散 (動く方向のばらけ具合) を入力
5. 最短方向 (平均) を計算
6. 平均, 分散から進行方向を決定
7. 一歩進んだ場所の座標を決定
8. 方向転換の判定 (確率を使う)
9. 方向を変えるなら 5 に戻り, 変えないなら 7 に戻る

人が動く領域に障害物の場所, 大きさなどの情報を入力する. それから人が最初にいる座標 (初期値) と, 目的地を入力する. さらに, 分散 (動く方向のばらけ具合) を入れることで, 先ほどの座標と合わせて式①から進行方向を計算する. そして進行方向の情報を定義していた差分方程式に代入し次の座標を計算する. 基本はこれを繰り返すが, 方向転換の確率も計算して, 最短方向の計算に戻ることもある.

ところでアルゴリズムを終了させる条件であるが, これは目的地までの距離が設定しておいたある数 $\varepsilon$ よりも小さいことが成り立てば終了とすればよい. つまり目的地を  $P_d(x_d, y_d)$  とすると以下のようなになる.

$$\sqrt{(x_d - x_t)^2 + (y_d - y_t)^2} < \varepsilon \Rightarrow \text{計算終了}$$

このとき  $\sqrt{(x_d - x_t)^2 + (y_d - y_t)^2} < \varepsilon$  が成立する目的地を中心とした半径 $\varepsilon$ の円を目的地に対する $\varepsilon$ 近傍と定義する. つまり  $P_t$  が目的地に対する $\varepsilon$ 近傍に含まれていれば,  $P_t$  は目的地に到達したと判定する.

コンピューターシミュレーションでは後述するが,  $\varepsilon = 1, 5$  の場合で試してみた.



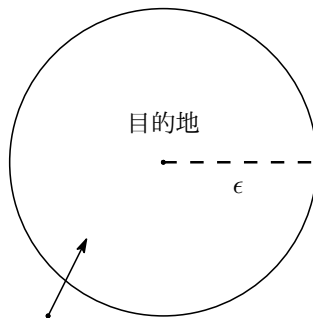


図 10 目的地に対する $\epsilon$ 近傍

### 3 シミュレーションとその結果

場の情報として、自分の周囲 3.2 (m) 大きさ 0.5 (m<sup>2</sup>) の障害物があるように設定し、座標の初期値に (0, 0) を、目的地に (100, 100) を設定した。

まずは標準偏差 $\sigma = 0.5$ ,  $\epsilon = 5$  (m) としてシミュレーションした計算結果の一部を以下に示す。

結果

```
(80.5441685039895,76.3284756242293) 進行方向は 51.33227667383592 t=1000
5
(80.83392882723459,76.85386971924075) 進行方向は 51.33227667383592 t=1001
5
(108.09289827408311,88.2017951833601) 進行方向は 142.99905579667194 t=1600
0
14.307083538235256
(98.59035287879374,97.56818059885506) 進行方向は 51.0054906716106 t=1707
0
2.810845176474509
```

目的地 (100, 100) に対して、 $t = 1707$  のとき  $P_t(98.6, 97.5)$  は  $\epsilon = 5$  (m) より距離が小さいのでアルゴリズムを終了する。この場合  $P_t$  に収束したと判定する。

次に標準偏差 $\sigma = 5$ ,  $\epsilon = 5$  (m) としてシミュレーションした計算結果の一部を以下に示す。シミュレーションをプログラミング言語 java を用いて行った。

結果

```
(-1902.7502722598701,3046.5763702424406) 進行方向は 60.06863082975321 t=206945
3
```

(-1903.3078329698471, 3046.354726260591) 進行方向は 60.06863082975321 t=206946  
5

(-1903.8653936798241, 3046.1330822787418) 進行方向は 60.06863082975321 t=206947  
0  
3563.029140280056

目的地 (100, 100) に対して,  $t = 206947$  のとき  $P_t(-1903, 3046)$  は  $\varepsilon = 5$  (m) より距離が大きいためアルゴリズムを終了するできない. この場合は発散する.

次に標準偏差  $\sigma = 0.5$ ,  $\varepsilon = 10$  (m) としてシミュレーションした計算結果の一部を以下に示す.

結果

(70.91989972190855, 64.37919392635474) 進行方向は 51.163359157619304 t=400  
3

(105.53367577804, 67.44142738070471) 進行方向は 93.86519718114297 t=500  
1

(117.3223794924652, 95.92804053601586) 進行方向は 167.13108159369955 t=1000  
3

(102.80874461370054, 86.05663097722513) 進行方向は 93.91446679010488 t=1300  
5

(99.83702314875812, 89.88494693256563) 進行方向は 90.11212793393901 t=1438  
4

(99.50984800660365, 90.38789466976722) 進行方向は 90.11212793393901 t=1439  
0  
9.624594425539179

目的地 (100, 100) に対して,  $t = 1439$  のとき  $P_t(98.6, 97.5)$  は  $\varepsilon = 10$  (m) より距離が小さいのでアルゴリズムを終了する.  $P_t$  に収束した.

## 4 考察

シミュレーションの分散と終了条件より, 分散が小さいほど目的地へ収束しやすく,  $\varepsilon$  が大きいほど目的地への収束しやすい. また分散や, 終了条件が厳しいと目的地に収束しない場合もある. 収束, 発散条件に関しては導けなかった.

## 5 今後の課題

今回、モデルを構築することを主としたので、目的地への収束性や目的地到達までの歩数が多いことなどから、現実の人の動きを再現できているとはとても思えない。特に、かかった歩数はとても大きな値がでてきたので、目的地へある程度近づくことを念頭において、アルゴリズムを改良させる必要がある。また目的地への収束性については分散、アルゴリズムの終了条件がどれほど影響するかの議論も足りないので今後も続けていきたい。また、モデル構築をする際に生じた誤差は収束判定に用いた距離や、進行方向の分布によって変わる。この議論に関しても十分考察ができていないので今後取り組んでいきたい。

## 参考文献

- [1] 西成 活裕, 渋滞学, 新潮社, 2006 年.
- [2] 西成 活裕, 図解雑学 よくわかる渋滞学, ナツメ社, 2009 年.
- [3] 小国 力, 三井 栄慶, 理工系の Java, 朝倉書店, 2004 年.
- [4] 鈴木 晶夫, 竹内 美香, 心理学入門: 快体心書, 川島書店, 2005 年.