

向かい合った歩行者のとまどい運動

高橋七地歩 (指導教員：郡宏)

1 はじめに

歩行者や自転車が道で対面すると、それぞれがどちら側に避けるかとまどい、ジグザグと運動することがある。このような運動を「とまどい運動」と呼ぶことにする。とまどい運動は知覚などの遅れが原因によるもので、反射神経が極めてすぐれていれば、このような動きが起こらないことが想像できるように、普通、相手の動きをすぐには気づけず、コンマ数秒くらい後に相手の状態に気づき行動に移すためこのようなとまどい運動が起こると考えられる。実際、時間遅れを伴う微分方程式では振動現象がよく現れる [1]。本研究では、この現象を微分方程式を用いてモデル化し現象の再現と理解を目指す。

2 モデル化

とまどい運動を以下のようにモデル化する (図 1 参照)。二人の歩行者 (A さんと B さん) が狭い道で対面している状況を考える。道の幅は二人がぎりぎりすれ違うことのできる程度である。そのため二人はぶつからないように、それぞれ相手のいないサイドに動くとする。簡単のため二人は前に進まず左右にだけ動くとする。A さんと B さんの位置をそれぞれ X_a と X_b とする。

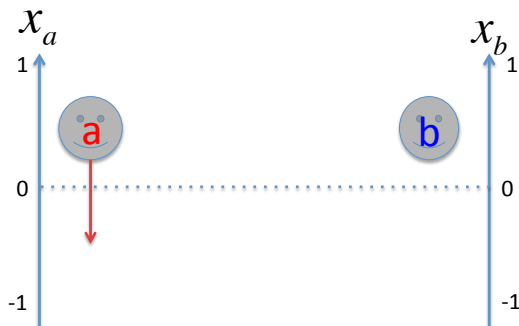


図 1: モデルの説明

この 2 つの変数は、以下の微分方程式に従って時間変化する。

$$\frac{dX_a}{dt} = \alpha - X_a, \quad (1)$$

$$\frac{dX_b}{dt} = \beta - X_b. \quad (2)$$

ここで t は時間であり単位を秒とする。道の上側が正の位置で下側が負の位置である。 α と β はそれぞれ A さんと B さんの向かう位置であり、以下のようなルールで決める。まず A さんのダイナミクスを説明する。パターンを 4 つに分けて考える。知覚の遅れのため、A さんは、B さんの τ_a 時間前の位置を認識するとする。A さんの現在の位置と B さんの τ_a 時間前の位置が両方とも正の位置、つまり $X_a(t) > 0$ かつ $X_b(t - \tau_a) > 0$

であれば $\alpha = -1$ とする。この結果、A さんは -1 にむかって運動する。これが (1) によって表されている。つまり左辺は A さんの速度で右辺は -1 の位置に向かって運動する状況が表されている。

次に二人ともマイナスの位置にいるとき、つまり $X_a(t) < 0$ かつ $X_b(t - \tau_a) < 0$ であれば $\alpha = 1$ とする。つまり A さんは $+1$ に向かって運動する。

A さんがプラス、B さんがマイナスの位置にいるとき、つまり $X_a(t) > 0$ かつ $X_b(t - \tau_a) < 0$ であれば $\alpha = 1$ とし、A さんは $+1$ に向かって運動し B さんとの距離を広げようとする。B さんがプラス、A さんがマイナスの位置にいるとき、つまり $X_a(t) < 0$ かつ $X_b(t - \tau_a) > 0$ であれば、 $\alpha = -1$ とし、A さんは -1 に向かって運動し、上の例と同様に B との距離を広げようとする。

以上を B さんについても同様に考えた。このとき、 τ_b を B さんの知覚の遅れの値とする。

3 シミュレーション結果

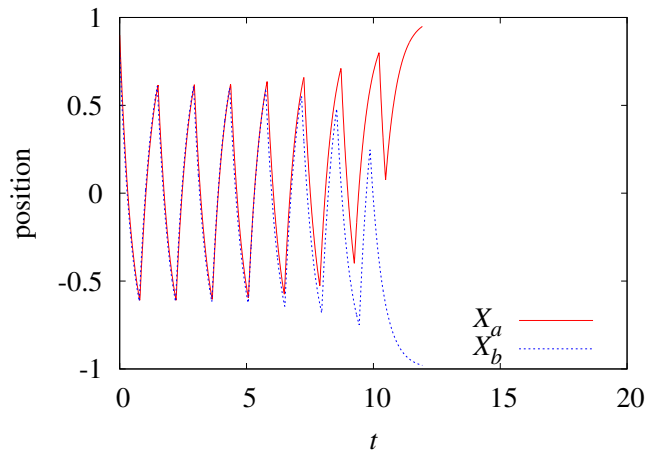


図 2: 歩行者の位置の時系列 ($\tau_b = 0.45$)

数値シミュレーションをオイラー法 (時間ステップ 0.001) で行った。初期条件を $X_a(0) = 0.9, X_b(0) = 0.8$ 、つまり、両者とも道の上側から始まるとした。 τ_a は常に 0.5 に固定する。図 2 は二人の歩行者の位置の時系列を表示したもので、縦軸が位置 $X_a(t), X_b(t)$ で横軸が時間 t である。最初の方はとまどい運動をして振動していても、時間が経つにつれずれていき、やがて振動から解放されることが分かる。

次に、B さんの遅れである τ_b の値を変化させることによって脱出にかかるまでの時間 T_{ESC} の τ_b 依存性を調べた (図 3)。 T_{ESC} は、一方の位置が 0.95 を、もう一方の位置が -0.95 をともを越えたときの時間で定義する。

縦軸は脱出までの時間 T_{ESC} で、横軸は τ_b の値である。 τ_a は 0.5 に固定している。この図から脱出時間 T_{ESC} の τ_b 依存性はたいへん複雑であることが分かる。それぞれの知覚の時間遅れが近いとき、脱出までの時

間が極めて長くなることが分かる。また、 τ_b を変化させたときに、 T_{ESC} や T_{ESC} の変化率 $(d/d\tau_b)T_{\text{ESC}}$ が不連続に変化することがある。

この不連続性の理由を明らかにするため、時系列を注意深く観察した。図4, 5, 6は τ_b の値が0.77, 1.5, 2.0の場合のグラフである。図3より $\tau_b \approx 0.9$ 付近に $(d/d\tau_b)T_{\text{ESC}}$ が不連続な点があることがわかる。図4と図5を比較すると、 $\tau_b < 0.9$ のときも $\tau_b > 0.9$ のときも、Aさんの振動回数は6回である。ここで振動回数は X_a が方向転換する回数に1を足したものを言う。一方、Bさんの振動回数に着目すると、図4と図5ではそれぞれ7回と5回である。さらに細かく調べると、不連続点を境にBさんの振動回数に変化していることが確認できた。したがってこれが $(d/d\tau_b)T_{\text{ESC}}$ の不連続性の原因だと考えられる。

次に、図3の $\tau_b \approx 1.9$ 付近にある T_{ESC} の不連続性に着目する。 $\tau_b = 1.5$ のとき、AさんとBさんの振動回数はそれぞれ6回と5回である。一方、 $\tau_b = 2.0$ のときAさんとBさんの振動回数はそれぞれ4回と3回であることが分かる。さらに細かく調べ、振動回数の変化が不連続点で起きていることを確認した。したがって、AさんとBさんの振動回数がともに変化するとき、 T_{ESC} が不連続に変化すると考えられる。

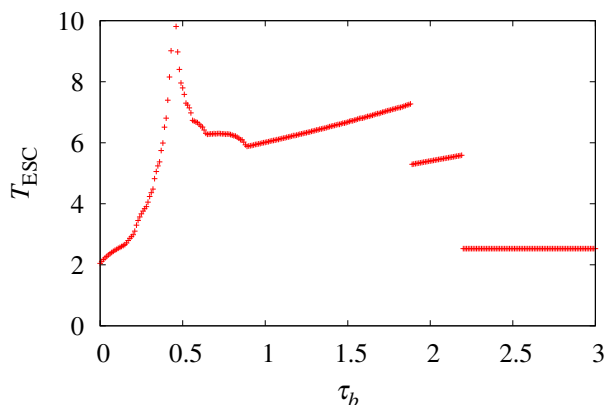


図3: 脱出までの時間 T_{ESC} の τ_b 依存性

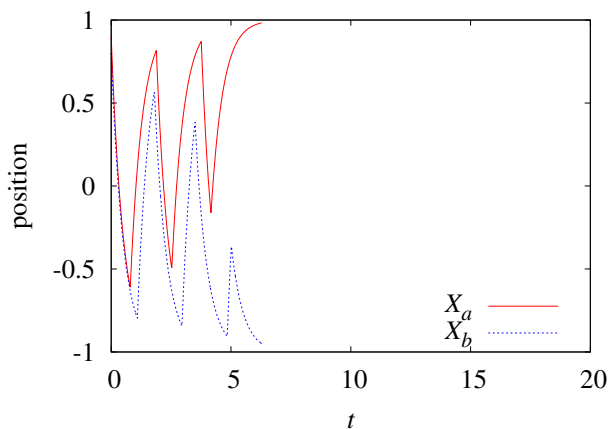


図4: 歩行者の位置の時系列 ($\tau_b = 0.77$)

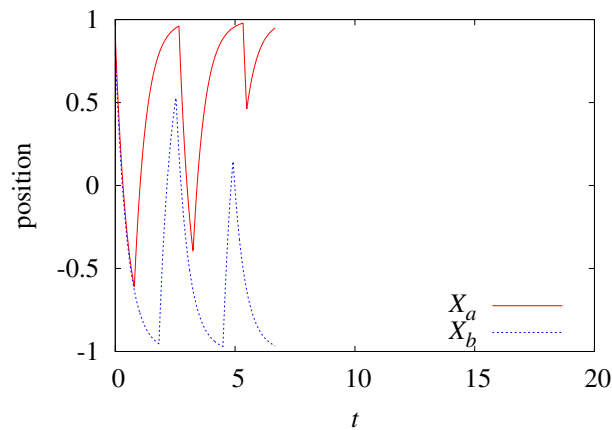


図5: 歩行者の位置の時系列 ($\tau_b = 1.5$)

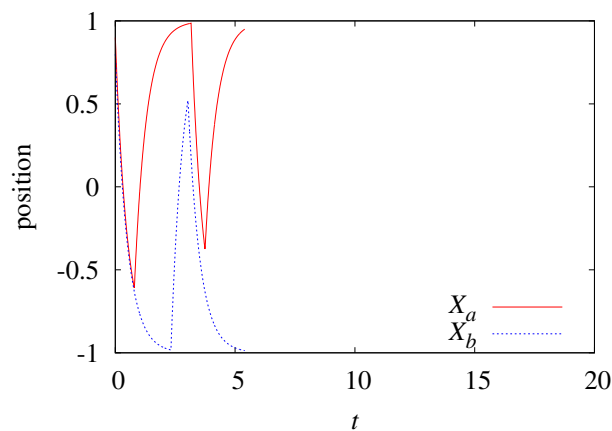


図6: 歩行者の位置の時系列 ($\tau_b = 2.0$)

4 まとめ

二人の対面する歩行者のモデルを作り、数値シミュレーションによる解析を行った。それぞれの知覚の時間遅れが近いとき、脱出までの時間 T_{ESC} が極めて長くなることが分かった。また、Bさんの知覚の遅れを変化させたときに、 T_{ESC} や $(d/d\tau_b)T_{\text{ESC}}$ に不連続な点が現れた。この不連続性は、脱出までに行われるAさんとBさんの振動運動の回数の変化と関係していることがわかった。

この研究では簡単のため二人が近寄らないとしたが、現実では接近する。その場合二人はこのモデルとは異なるルールに従うと考えられる。今後は発展としてこの効果を取り入れた研究も興味深い。

参考文献

- [1] 三井斌友, 齊藤善弘, 小藤俊幸. 微分方程式による計算科学入門. 共立出版 (2004)