

# 2017 年度新入生課題 -猟犬と狐-

奈木野 一希

水橋 知寛

梅 杰

2017 年 6 月 14 日

## 1 はじめに

猟犬が狐などの獲物を狩るときや、人が他人を追いかけるときなど、生物が他の動くものの後を追ってそれを捕まえるとき、追う側の描く経路は、追われる側の経路や、追う側から見た相対位置や相対速度などの影響を受けていると考えられる。本研究では、猟犬が狐を追って捕まえる様子を例として取り上げ、その振る舞いはどのようなモデルで表せるかという仮説を立てた。また、その仮説を裏付けるために被験者実験を行った。

## 2 猟犬と狐のモデルにおける猟犬の経路決定方法

まず初めに、猟犬が狐を追うときのアルゴリズムを三種類考え、実際の生物の振る舞いがどれに近いものであるかを考えた。それぞれのアルゴリズムに従って動く猟犬を猟犬 O、猟犬 A、猟犬 B とした。それぞれの猟犬は、2.1 節～2.3 節に示す経路決定法に基づいて狐を追う。

### 2.1 猟犬 O

最初に狐の位置などを認識し、直線的に走って狐を捕まえる。その後は、計算した方向に向かって走り、経路角を変更しない。狐が経路角を変化させないとすると、猟犬 O が狐を捕まえるためには狐の経路角  $u_{fox}$ 、猟犬に対する狐の相対位置ベクトルの角度  $\alpha$ 、および猟犬と狐の速度比  $k$  の 4 つの情報が必要となる。

これらの情報がわかっている場合、次の条件式を満たすようにに猟犬の経路角  $u_{hound}$  を指定することで、狐を捕まえることが出来る。

$$k \sin(u_{hound} - \alpha) = \sin(u_{fox} - \alpha) \quad (1)$$

猟犬 O の追跡方法は「狐がどのように逃げても直線状に追いかける」というものである。この追跡方法は  $t = 0$  の時点で未来の狐の動きが完全に予測可能である時は成立する。しかしながら、例えば狐が突如方向変換をするなどして  $t = 0$  の時点での予測から外れてしまうと、猟犬 O は狐を追跡できなくなってしまう。つまり猟犬 O の追跡方法は所要時間は最も短い、現実的ではない。そのため今回は以降に紹介する猟犬 A、猟犬 B の比較対象として、猟犬 O のシミュレーションを行った。

## 2.2 猟犬 A

常に狐の位置を確認し，狐のいる方向に向かって走る．すなわち，経路角が常に狐のいる方向と一致するように走る．このため，猟犬 A が狐を追いかけるのは自明といえる．

## 2.3 猟犬 B

常に狐を確認し，狐に向けた視線の変化する角速度に比例するように経路角を変化させる．すなわち，図 1 のように視線角  $\lambda$  を定義すると，

$$\frac{d\gamma}{dt}(t) = n \frac{d\lambda}{dt}(t) \quad (2)$$

に従って経路角を変えながら走る．

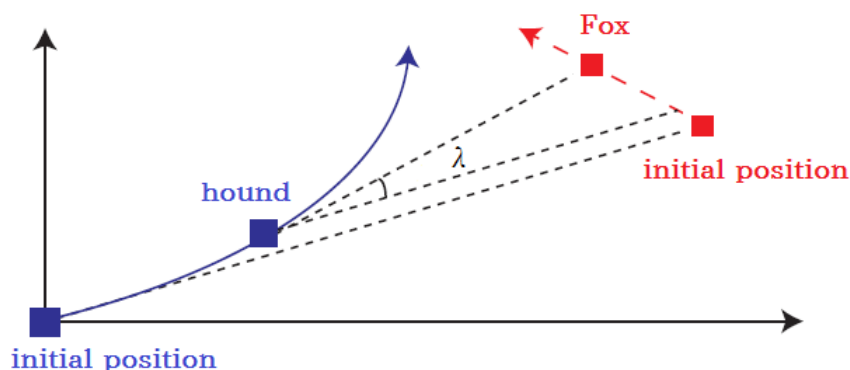


図 1 視線角  $\lambda$  の定義

式 (2) において  $n = 1$  のとき，猟犬 B は狐に向けた視線角と同じ向き，すなわち猟犬 A と同じアルゴリズムで走る． $n$  を大きくすればするほど，猟犬 B は視線角の変化に敏感になり，狐の位置よりも先に向かおうとする．言い換えれば，猟犬 B は狐の進路を予測して先回りを行うように走る振る舞いをシミュレーションしたものとなっている．

## 3 数値シミュレーション

これらの猟犬がどのような経路で狐を捕獲するかを調べるため，コンピュータ上でシミュレーションを行ってその挙動を調べた．

シミュレーションのプログラムは python3 でコーディングされている．狐は原点 (0,0) から一定の速さ 1.0 [m/s] で運動し，猟犬は点 (30,0) から一定の速さ 3.0 [m/s] で運動するものとした．また猟犬 B に関しては，式 (2) 中のパラメータ  $n$  を  $n = 10$  として計算した．ただし，離散時間のシミュレーションでは猟犬と狐の相対距離は完全に 0 にはならないので，相対距離が 0.06[m] 以下になった時に捕獲したとみなすことにした．

### 3.1 狐が直線状に移動する場合

まず，狐が直線状に移動する場合での猟犬の挙動についてシミュレーションを行った．経路角を常に 40 度 ( $u = 40[\text{deg}]$ ) にして逃げる狐を追いかけた場合のそれぞれの猟犬の軌跡を図 2 に示す．

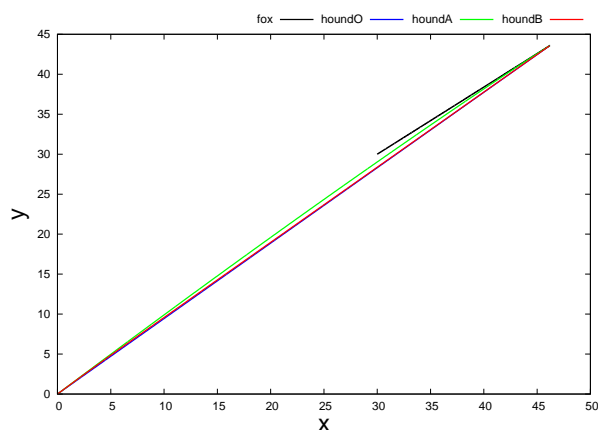


図 2  $u = 40[\text{deg}]$ (一定) の時の各猟犬の軌跡

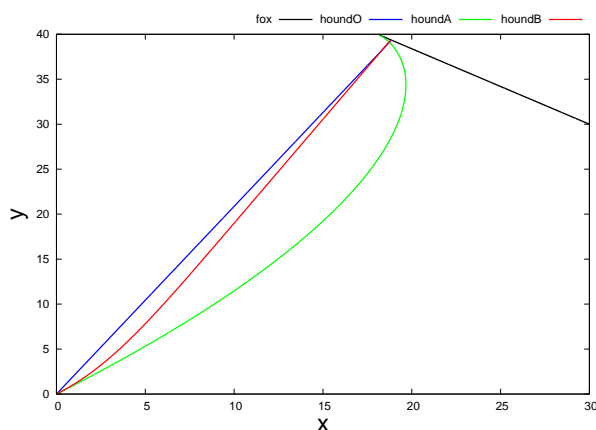


図 3  $u = 140[\text{deg}]$ (一定) の時の各猟犬の軌跡

上左図から分かる通り，猟犬 A はやや弓なりの軌跡を描きながら狐を捕獲した．それに対して，猟犬 B は猟犬 O とほぼ同じ経路を取った．今回の場合では経路の短い順に並べると，猟犬 O，猟犬 B，猟犬 A となり，この順に効率よく追跡できていると言える．

次に経路角を常に 140 度 ( $u = 140[\text{deg}]$ ) にして逃げる狐を追いかけた場合のそれぞれの猟犬の軌跡を図 3 に示す．上右図から，猟犬 O は直線の軌跡を描きながら，猟犬 A と猟犬 B は弓なりの軌跡を描きながら狐を捕獲した．猟犬 A と猟犬 B を比較すると，猟犬 B の方がより短い軌跡で狐を追跡できている．今回の場合でも経路の短い順に並べると，猟犬 O，猟犬 B，猟犬 A となり，この順に効率よく追跡できていると言える．

以上のシミュレーションから得られた，それぞれの場合での猟犬 O，猟犬 A，猟犬 B の捕獲までの所要時間を表 1 に示す．いずれの場合でも，所要時間の短い順に並べると猟犬 O，猟犬 B，猟犬 A となった．また  $u = 140[\text{deg}]$  の場合のほうが，猟犬 A と猟犬 B の所要時間の差は顕著になった．式 (2) から読み取れる通り，猟犬 B は視線角の変化から次の狐の移動を予測している．このシミュレーションから，狐の経路角と猟犬の経路角の差が大きいほど，進路予測の効果は大きく現れることが分かった．

狐の経路角	猟犬 O	猟犬 A	猟犬 B
$u = 40$	21.16	21.17	21.16
$u = 140$	14.53	15.42	14.58

表 1 猟犬 O，猟犬 A，猟犬 B の追跡所要時間

### 3.2 狐が経路角を変更しながら移動する場合

次に狐が経路角を変更しながら移動する場合での猟犬の挙動についてシミュレーションを行った。狐が経路角を変更しながら移動する場合、猟犬 O の追跡方法では狐を追うことは困難、または不可能となる。従ってシミュレーションは猟犬 A、猟犬 B に対し行った。狐の初期経路角を  $u_0$  として、狐の経路角を次式のように増加させる。

$$u = u_0 + \omega t \quad (3)$$

今回は  $\omega = -\frac{\pi}{60}$  としてシミュレーションを行った。

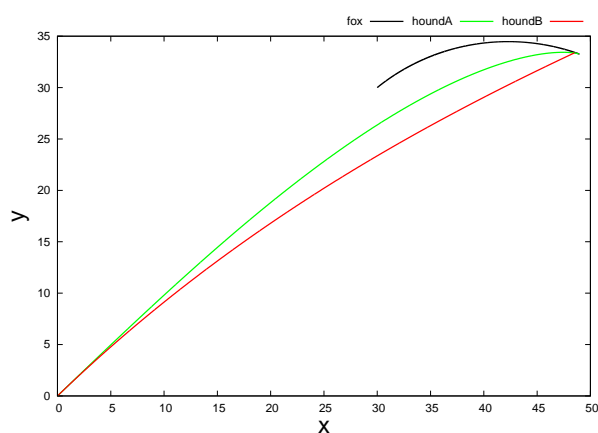


図 4  $u_0 = 40[\text{deg}]$  の時の各猟犬の軌跡

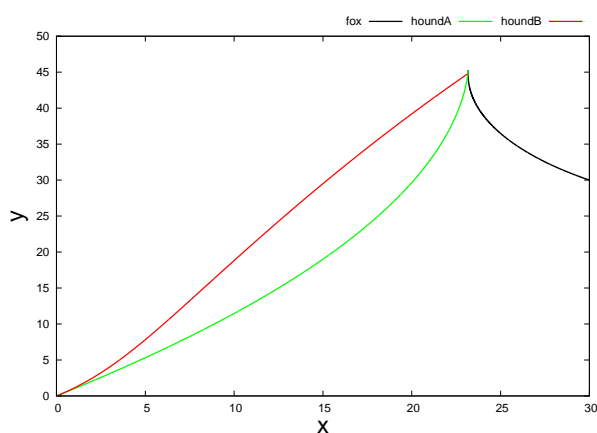


図 5  $u_0 = 140[\text{deg}]$  の時の各猟犬の軌跡

経路角を常に 40 度 ( $u_0 = 40[\text{deg}]$ ) にして逃げる狐を追いかけた場合のそれぞれの猟犬の軌跡を図 4 に示す。上左図から見て取れるように経路角が一定の場合と同じく、猟犬 B のほうが猟犬 A よりも短い経路をとった。

次に経路角を常に 140 度 ( $u_0 = 140[\text{deg}]$ ) にして逃げる狐を追いかけた場合のそれぞれの猟犬の軌跡を図 5 に示す。上右図から猟犬 A は狐の方向に向かい単純に追跡しており、それに対して猟犬 B は狐の進む先に先回りするように進んでいる様子を見ることが出来る。

以上のシミュレーションから得られた、それぞれの場合での猟犬 A、猟犬 B の捕獲までの所要時間を表 2 に示す。狐の経路角が一定の場合と同様に、いずれの場合でも所要時間の短い順に並べると猟犬 B、猟犬 A となった。また同じく  $u = 140$  の場合のほうが、猟犬 A と猟犬 B の所要時間の差は顕著になった。

狐の初期経路角	猟犬 A	猟犬 B
$u = 40$	20.18	19.72
$u = 140$	17.35	16.83

表 2 猟犬 A、猟犬 B の追跡所要時間

## 4 被験者実験

本論文 3 章の結果から、常に直線の経路をとる非現実的な動きをする猟犬 O を除けば、猟犬 B は最短の経路で狐に到達した。この事に加えて、普段何かを追いかけるとき、私たちは目標の方向へ向かい追跡するより、目標の動きを予測して先回りをしながら追跡する傾向にある。従って私達は「現実世界において生物が他の動くものを追う時、猟犬 B に近いアルゴリズムで追っている」と考えた。

現実世界において生物が他の動くものを追う時の軌跡を調べるため、被験者実験を行った。本実験では被験者は狐役 1 名と猟犬役 1 名に分かれてもらい、狐役には私達から逃げ方の経路を指示し、猟犬役には自由に狐を追いかけてもらい、猟犬役が狐役に触れるまでの経路をレーザーレンジファインダーで計測した。

猟犬の位置を原点とし、そこから  $(x, y) = (2.0, 2.0)$  [m] の地点を狐の初期位置とした。逃げ方の経路は直線状パターンが 4 種類、経路角を変更しながら動くパターンが 4 種類、計 8 種類でデータを計測した。速度比は現実の猟犬と狐のものに合わせるため、代表的な猟犬であるグレイハウンドの 75 [km/h]、代表的な狐であるアカギツネの 50 [km/h] から算出し、 $k = 1.5$  に設定した。この速度比で被験者が移動出来るように、各被験者の両足を紐でくくることで歩幅が 50 [cm] で一定になるようにした。そして狐役と猟犬役の両者にメトロノームを配布し、猟犬役のメトロノームのテンポを 90BPM、狐役のメトロノームのテンポを 60BPM に設定して、メトロノームに合わせて歩行してもらうことで速度比を実現した。

#### 4.1 狐が直線状に移動する場合

まず狐が直線状に移動する場合について実験を行った．狐の経路角が 0 度，45 度，90 度，135 度のときの計測データを図 6 から図 9 に示す．図中で計測データは青色の線，猟犬 A のシミュレーションの軌跡は緑色の線，猟犬 B のシミュレーションの軌跡は赤色の線で示してある．

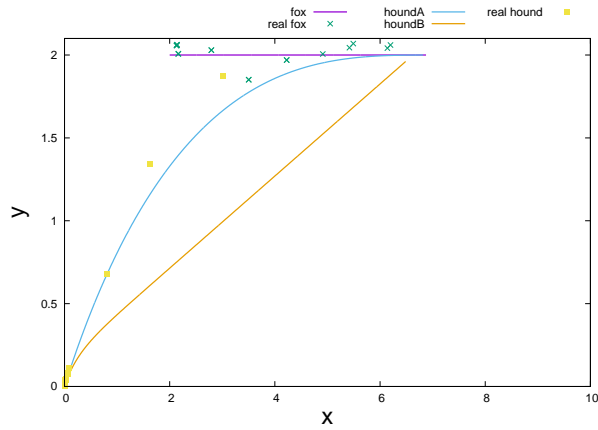


図 6  $u_0 = 0[\text{deg}]$  の時の各猟犬の軌跡

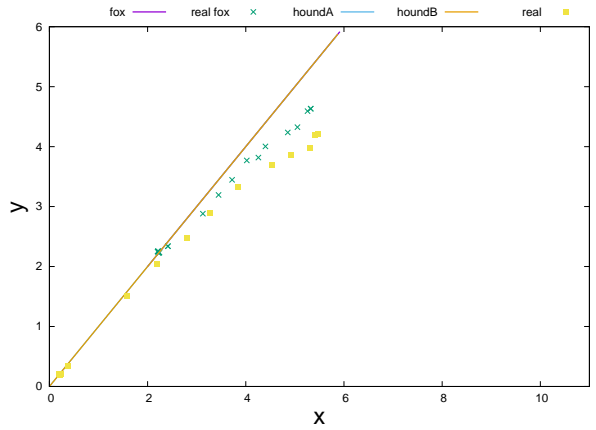


図 7  $u_0 = 45[\text{deg}]$  の時の各猟犬の軌跡

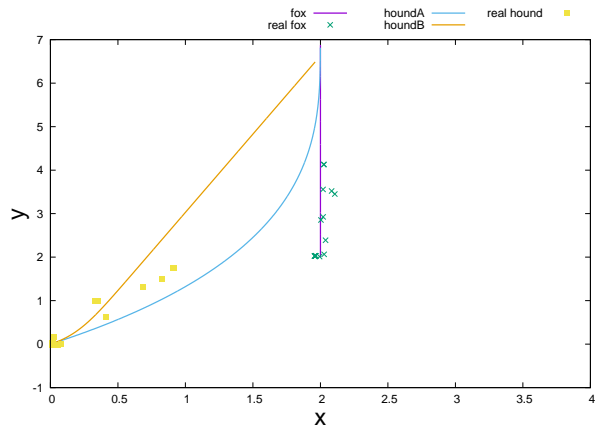


図 8  $u_0 = 90[\text{deg}]$  の時の各猟犬の軌跡

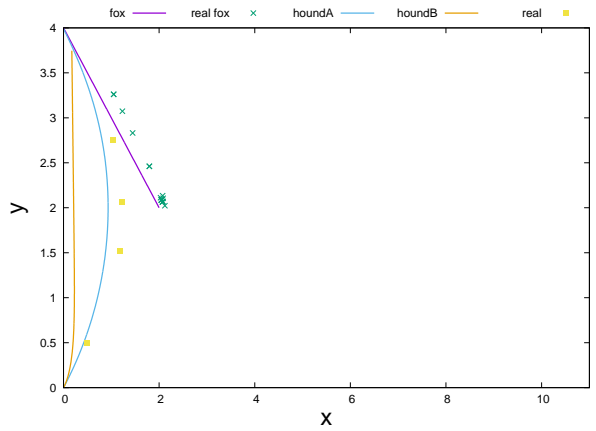


図 9  $u_0 = 135[\text{deg}]$  の時の各猟犬の軌跡

## 4.2 狐が経路角を変更しながら移動する場合

次に狐が直線状に移動する場合について実験を行った．狐の経路角が 0 度，45 度，90 度，135 度のときの計測データを図 10 から図 13 に示す．図中で計測データは青色の線，猟犬 A のシミュレーションの軌跡は緑色の線，猟犬 B のシミュレーションの軌跡は赤色の線で示してある．

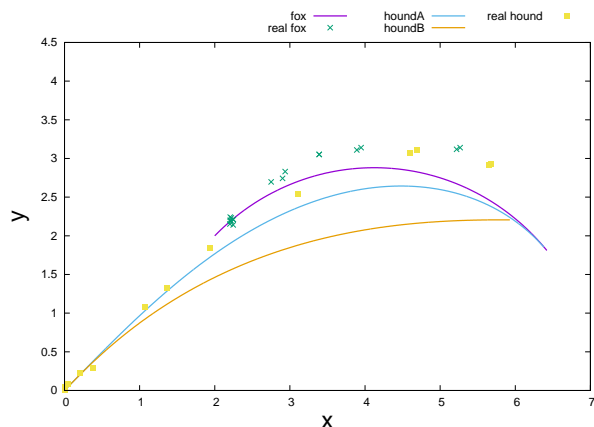


図 10  $u_0 = 0[deg]$  の時の各猟犬の軌跡

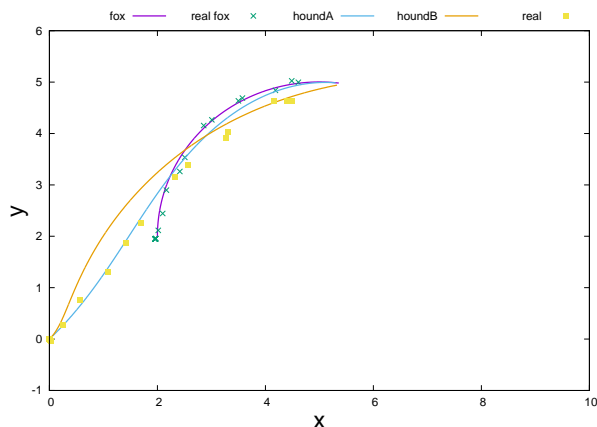


図 11  $u_0 = 45[deg]$  の時の各猟犬の軌跡

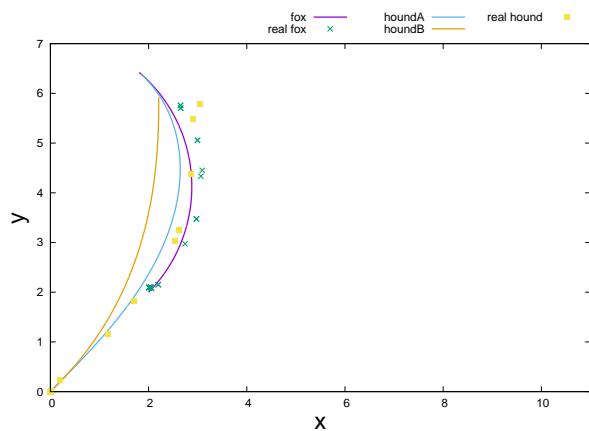


図 12  $u_0 = 90[deg]$  の時の各猟犬の軌跡

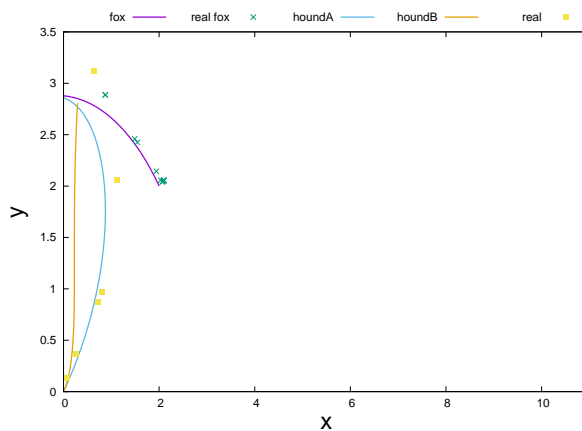


図 13  $u_0 = 135[deg]$  の時の各猟犬の軌跡

## 5 結論

以上のシミュレーションおよび実験から、生物が他の動くものの後を追ってそれを捕まえるときの様子は、式 (2) でモデリングすることが出来るということが分かった。またその時のパラメータ  $n$  は、狐の動きによって異なる値をとっていることが分かった。今回のシミュレーションでは  $n$  の値は人間の手で適当な値を入力したが、 $n$  のパラメータを自動で決定するアルゴリズムを開発出来れば、自律的に最適な経路を決めて目標物を追尾するロボットを制作することが出来る。

実際にこのアルゴリズムをロボットに組み込む際には、狐との相対位置を計測できるようなセンサが必要となる。生物においては視覚や聴覚がこのセンサの役割を担っている。ロボットにおいては、視覚の代わりにパッシブな赤外線センサーを使用すると暗闇でも熱源を追尾できたり、聴覚の代わりにソナーを使用することで暗闇でも壁などの障害物を回避できるなど、使用状況に適したセンサーの選定をすることで機能を付与することが出来る。

以上のようにアルゴリズムとセンサーを実装すれば、生物の振る舞いに極めて近いロボットを制作することが出来ると示唆される。今回のシミュレーションでは慣性を考慮していないので、実際のロボットの制作にあたっては慣性の効果も含めた新しいアルゴリズムの決定が必要となるので注意しなければならない。