

逃走・捕獲ゲームによる欺き行動のモデル化

小鮫 幸洋 橋本 敬

北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科

概要 欺き行動は社会で他個体より有利に立つことで利益を得る方策として、ヒトの社会的知能の進化を説明するマキャベリの知性仮説で着目されている。また、欺きの能力は他者の内部状態を推定する能力と関連していることが実験などで示されている。本論文では、欺き能力と内部状態推定能力の進化との関係を研究する基礎として、欺き行動を形式的にモデル化することを試みる。ここでは、欺き行動を、ランナーがキャッチャーから逃れようとする「逃走・捕獲ゲーム」における、ランナーによるフェイント行動としてモデル化する。ここでは、ランナーはキャッチャーの次の行動が読めるとし、その情報を利用してフェイントの仕方を決める。また、キャッチャーはランナーの過去の行動から次の行動を予測する。このモデルの振るまいをエージェントシミュレーションで調べたところ、キャッチャーが予測能力を持つ場合にのみ、フェイントが十分有効であることがわかった。この結果から、相手に誤った情報をわざと与えて誤導することで利益を得るという、欺き行動の本質的部分がモデル化できたと考えられる。

キーワード 欺き, 逃走・捕獲ゲーム, エージェントモデル, マキャベリの知性仮説

Modeling Deception Behavior with “Running-Catching” Game

Yukihiro Kobuna and Takashi Hashimoto

School of knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

Abstract Deception is a remarkable human behavior in order to get an advantage over other people in a society. It is paid attention in the Machiavellian intelligence hypothesis as to explain the evolution of social intelligence of humans. Some experimental results show that deception behavior is relevant to the ability to recursively infer others' internal states. In this paper, we try to model deception behavior as a basis of studying the evolution of deception ability and the recursive inference ability of others' internal states. In this model, deception is modeled by feint behavior in “Running-Catching” game, in which a runner tries to escape from a catcher. The runner is thought to be able to “read” the catcher's next behavior, which is catcher's internal state, and decide the way to feint using the information. The catcher can predict runner's next behavior using past behavior of the runner. It is shown by agent simulations that the feint behavior is useful to escape from the catcher only when the catcher has the prediction ability. It is considered that the essence of deception, namely, getting advantage by giving erroneous information to others and misleading them, is modeled by this game and the feint behavior.

Keywords Deception, “Running-Catching” Game, Agent Model, Machiavellian Intelligence Hypothesis

1 はじめに

ヒトの特徴的な能力のひとつに、他者の内部状態を再帰的に推定する能力がある。とくにヒトはこの再帰性が他の動物に比べて深いことが多くの実験で確認されている (Tomassello, 2000)。推定の再帰性とは、「Aさんが、Bさんが X と考えている、と知っていることを、私は推測できる」といった場合のように、他者が別の他者のことを考えていることを推定するような埋め込みの深さである。

ヒトが深い内部状態推定能力を獲得した事実を説明す

る一つの仮説としてマキャベリの知性仮説がある。マキャベリの知性仮説とは、社会的な動物は他の個体がどう反応するかも考慮して行動しなければならないので、その結果、他者の行動を推定する能力が、社会性を持たない動物とは異なるものになったとする仮説である (Byrne&Whiten, 1988)。

社会的な動物が、自分が所属する社会の中で他個体よりも優位に立つにはどうしたらよいのだろうか。マキャベリの知性仮説によって想定される社会では、社会に属する個体はそれぞれ他個体の影響を受ける。ならば、自己の行動

で他個体の行動を操作する、すなわち、他個体を利用することで、集団内で他個体よりも優位に立つことが考えられる。他個体を利用する方法として、従来から欺きが注目されてきた。

欺き行動は、心理学的には次のように定義される(Gärdenfors, 2000)¹。

1. 他者の知識や信念を利用し
2. 意図的に誤った情報を流し
3. 他者の行動・意図を誤導し
4. 利益を得ようとする

現在まで、ヒトとヒト以外の動物双方に対する実験および観察から、欺く能力と他者の内部状態を再帰的に推定する能力の関係を示す幾つかの結果が報告されている(Jolly, 1988)。しかし、これらの二つの能力がどういった関係にあるのか、マキャベリの知性仮説で言われているように欺きが他者の内部状態推定能力の進化を促進するかどうかを説明するには、まだ十分な証拠が得られているとは言えない。

他者の内部状態を推定する能力、および、その再帰性の深さの進化に欺き与えた影響をより詳しく考察するには理論的な側面からの研究が不可欠である。そのためには欺き行動を形式化して扱う必要がある。そこで本研究では欺き行動を形式化し、数理・計算モデルで扱えるようモデル化する事を目的とする。

2 欺き行動のモデル化

我々は欺き行動を、逃走する手を捕獲するという単純なゲームで扱えると考えた。このゲームには、2種のプレイヤー、ランナーとキャッチャーがいる。ランナーは与えられたゴールに向い、キャッチャーはランナーを捕まえようとする。このとき、両プレイヤーが互いに相手の進む方向を読み、それを誤らせるようフェイントができるなら、このフェイントが欺き行動にあたると思われる。ここではこのゲームを「逃走・捕獲ゲーム」と呼ぶ。

それぞれのプレイヤーについて説明する。ランナーは現在の自分自身の位置、キャッチャーの位置、ゴールの位置に基づいて、ゴールへ向かうよう行動を決定する。ランナーはキャッチャーが次に進もうとする位置(キャッチャーの内部状態)がわかるとする。その情報を用いてゴールとは異なる方向に移動することで、キャッチャーの進行方向を誤らせ捕まらぬように試みる。これがフェイント行動であり、本モデルで欺き行動に対応する。

キャッチャーは簡単な予測能力を持つとし、過去と現在のランナーの位置から今後の進む方向を計算し、その方向へ向かおうとする。したがって、ランナーのフェイントにより、ゴールとは異なる進行方向を予測してしまう場合もある。

前節で述べた欺きの定義とフェイントの対応関係は次の通りである。

1. キャッチャーの内部状態を参照し
2. ゴールとは異なる方向に移動し
3. キャッチャーの進行方向を誤らせ、
4. 捕まらぬようにすること

本研究では本当の「推定」ではなく他者から内部状態が見えるという形で「内部状態推定能力」を実現する。これは、本研究では欺きと推定の再帰性の深さが進化の過程でいかに相互作用するかに着目するからであり、いかに推定できるかに興味のある中心があるわけではないためである。

3 シミュレーション結果

本論では、モデルの重要な部分であるランナーのフェイントについてだけ述べる²。ランナーはキャッチャーとの距離がある範囲以内にあるとき、次式で次時刻の加速度を決める。

$$a_x^R(t+1) = a_x^R(t) + \text{sign}(x^C(t+1) - x^R(t))a_F$$

ここで、 $a_x^R(t)$ は現在のランナーのx方向の加速度、 a_F はフェイント用加速度、 $\text{sign}(z)$ はzの符号、 $x^C(t+1)$ はキャッチャーの次のx座標、 $x^R(t)$ は現在のランナーのx座標である。ランナーはキャッチャーの内部状態である次に行く位置が読めるとしているので、 $x^C(t+1)$ を自分の意志決定に使うことができる。本論で述べるシミュレーションでは、 a_F を負の値に取り、ランナーはキャッチャーから逃れる方向にフェイントを入れるとする。

以下で示すシミュレーションでは、ランナーの初期位置は $(x, y)=(0, 0)$ 、ゴール位置は $(0, 20)$ 、キャッチャーはランナーの1.25倍の速度で走ると設定している。

まず、ランナーのフェイントがある場合とない場合、キャッチャーの予測がある場合とない場合に、両プレイヤーがどのように動くのかを図1に示す。この図ではキャッチャーが右斜め前方で、ある程度離れた位置から来る場合を示している。

フェイント、予測がともにない場合(図1(a))は、ランナーはゴールへ直進する。キャッチャーはランナーの現在位置に向かうためにキャッチャーの後方に回り込むが、キャッチャーの動きの方が速いため、ランナーがゴールに到達する

¹ 1を欺きの要件としない立場もある(Gärdenfors, 2000)。

² スペースの関係上モデルの他の部分は省略する。

までに追いつけている。キャッチャーがランナーの動きを予測する場合(図 1(b)), キャッチャーはランナーの行き先へ向かおうとするので、前方からランナーを捕獲できている。

ランナーがフェイントを入れキャッチャーが予測をする場合を図 1(d)に示す。キャッチャーが近づいたとき、ランナーは軌道を少し変えている(図1(d)の内部のグラフ参照、この場合はまず左に少し動いている)。ランナーの行き先を予測するキャッチャーは、この動きに合わせて軌道を変える。この軌道変更によりランナーはキャッチャーをかかわすことができ、ゴールへとたどり着いている。一方、キャッチャーが予測をしない場合(図1(c))は、フェイントをしてもキャッチャーの軌道にほとんど影響を与えることができず、最終的にランナーは捕獲されている。

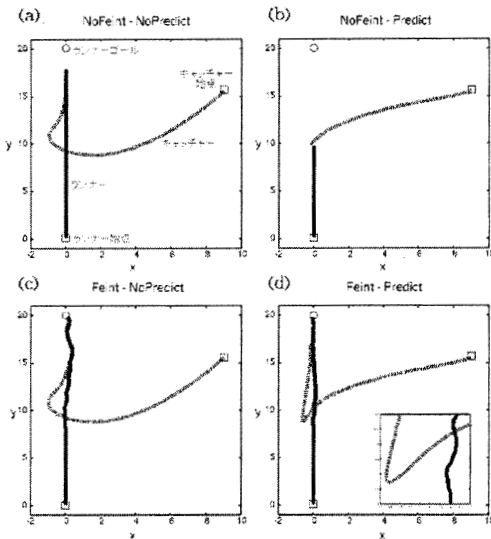


図 1 ランナーとキャッチャーの代表的な軌道:実線、点線は、それぞれ、ランナー、キャッチャーの軌道を表す。[ランナーによるフェイント、キャッチャーによる予測]の条件は以下の通りである。(a)[なし、なし]、(b)[なし、あり]、(c)[あり、なし]、(d)[あり、あり]。

ランナーのフェイントの有無とキャッチャーの予測の有無を変えて、キャッチャーの初期位置に対し、ランナーがゴールに到達できるかどうかを示したものが図2である

フェイント、予測がともにない場合(図2(a))は、ある程度角度が深い位置から出発するキャッチャーは、図1(a)に示したとおり後方からランナーに迫るが、初期の距離が遠いと追いつけず、ランナーはゴールへたどり着いている(図の右上部分)。角度が浅い場合は、キャッチャーは前方からランナーに迫るが、ランナーの軌道を越えて行き過ぎる場合

(オーバーシュート)があり、 $\theta=10\sim30$ のあたりから出発した場合はランナーを捕獲できていない³。

キャッチャーが予測をする場合(図2(b))は、右上のグレイ部分が縮小している。これは、キャッチャーが前方、あるいは、側方からランナーに迫れるためである。一方、角度が浅い部分でランナーが逃げられる領域が図2(a)とは変化している。角度が浅くある程度距離がある部分($l > 10$, $\theta < 30$)では前方からランナーに迫れるために捕獲できるが、角度がある程度深くなる($\theta=30\sim50$)と、オーバーシュートしてしまう。

ランナーによるフェイントが入ると(図2(d)), 角度が浅く距離が遠い部分(図の右下部分)でランナーがゴールに到達できる領域が増えている。この部分では、キャッチャーは前方からランナーに向かう。距離が近くなったところでフェイントを入れることで、図1(d)で示したように、ランナーはキャッチャーを避けることができる。しかし、右上部分の領域にはフェイントがない場合(図2(b))とほとんど変化はみられない。この白い領域のまわりの部分では、キャッチャーは後方か側方から迫る。今のフェイントの入れ方は、キャッチャーが近づいてくる方向とは逆の x 方向に少し加速するという方法なので、後方・側方からの接近に対してはキャッチャーの軌道をあまり変えられない。したがって、フェイントの効果あまり出ないのである。

ランナーがフェイントをするが、キャッチャーは予測をしない場合(図2(c))では、ランナーがフェイントをしない場合(図2(a))とほとんど変わっていない。これは、図1(c)で見たように、フェイントによってキャッチャーの軌道に影響を与えることがほとんどできないためである。

4 議論

前節の結果より、フェイントが有効に働くのは、キャッチャーがランナーの次の動作を予測し、ランナーに対して前方から近づいてくる場合であることが分かった。ランナーはフェイントにより進む方向を短時間だけ変える。しかしこれは短時間なので、位置はあまり変わらない。したがって、ランナーの進行方向から行き先を予測して、その先へ向かうとする予測ありキャッチャーの軌道に影響を与えることができるが、ランナーの現在位置に向ってくる予測なしキャッチャーの軌道はあまり変わらない。

本研究で構築したモデルは欺き行動をモデル化できて

³ 初期角度が10度以下で黒とグレイの縞が見て取れる。これは計算精度によるもので、実際にはこの領域ではランナーはキャッチャーに捕獲される。他の図でも、浅い角度部分でこのような縞が出ているところは、同様の計算上のアーティファクトである。

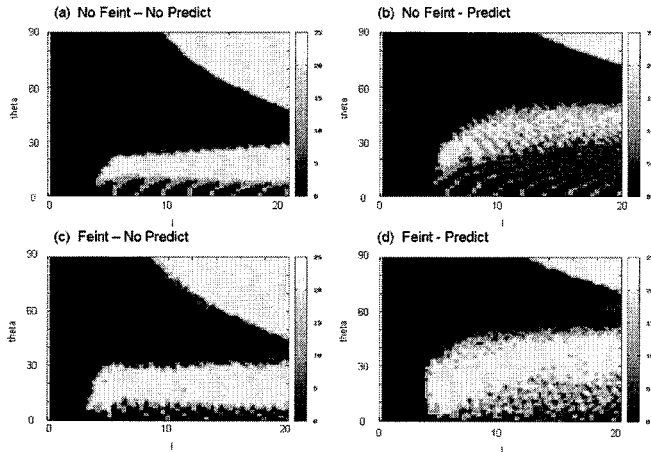


図2 ランナーがゴールにたどり着くキャッチャーの初期位置: 黒はキャッチャーに捕獲されている場合、グレー、白はゴールへ到達している場合。色の明るさはゴールまで走った距離を表す(図の右のカラースケール)。横軸はランナーからの距離(l)、縦軸はランナーとゴールを結ぶ直線からの角度(θ)。[ランナーによるフェイント、キャッチャーによる予測]の条件は以下の通りである。(a)[なし、なし]、(b)[なし、あり]、(c)[あり、なし]、(d)[あり、あり]。

いるだろうか。まず、1章で欺きの定義として挙げた4点のうち最初の「他者の知識や信念を利用する」という点は、ランナーがキャッチャーの向かう位置を知りえるという形で実現できている。

次に、「意図的に誤った情報を流す」という点も、本来ゴールに向かうが少しだけゴールとは異なる方向へ移動するフェイント行動を、キャッチャーの次の位置という知り得た他者の内部状態に基づく形で入れていることで実現できている。

3つめの「他者の行動・意図を誤導する」という点については、フェイントによりキャッチャーの軌道を変えることができていて実現されている。これが「誤導」であることは、図2(c)は図2(d)とは異なるが図2(a)とは差がないことからわかるように、キャッチャーによる予測のあるなしでランナーが逃げられるかどうかが大きく変わっていることから支持される。すなわち、相手が自分の行動を読んでこないのであれば、自分のちょっとした行動で相手を導くことはできず、誤導もできないということである。

最後の「利益を得ようとする」という点については、図2(d)が図2(b)に比べて、フェイント行動によりランナーがゴールに到達できる領域が増えていることから、実現できていると言える。

以上より、本研究で構築した逃走・捕獲ゲームにおけるフェイント行動で、欺き行動がモデル化できていると考えられる。

他者の内部状態推定能力とその再帰性が欺きとともにどう進化するかをこのモデルを用いて調べることができるだろうか。このモデルでは、ランナーはキャッチャーの次の位置がわかるという形で他者の内部状態推定能力を実現している。このモデルに再帰性を入れる場合、キャッチャーの内部状態を参照して決めたランナーの次の行動をキャッチャーが参照できるとすればよい。このような入れ子構造は無限に繰り返す事が出来るので、本研究のモデルを拡張し他者の内部状態を推定する能力の再帰性の進化を扱う事は可能であると考えられる。

5 結論

我々は、社会的知能の進化に重要と考えられる欺き行動の形式化とモデル化を

行った。本論では、ゴールへ向かおうとするランナーをキャッチャーが捕獲しようとする「逃走・捕獲ゲーム」を想定した。ランナーはキャッチャーの次の行動が「読み取れる」とし、その情報を用いてフェイントを行う。このフェイントが欺き行動のモデルとなる。

このモデルを用いて、再帰性を取り込むように拡張し、フェイントや予測に関する変数を進化パラメータとすることで、欺きと内部状態推定能力の進化的な相互作用を調べることができるだろう。

謝辞

本研究には北陸先端学術大学院大学の畠山剛臣氏に多大なるご協力を頂きました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- Tomasello, M., *The Cultural Origins of Human Cognition*, Harvard Univ. Press, Harvard, MA, 2000.
- Byrne, R.W. and Whiten, R. (Eds.), *Machiavellian Intelligence*, Oxford Univ. Press, Oxford, 1988.
- Gärdenfors, P., *How Homo Became Sapiens*, Oxford Univ. Press, Oxford, 2000
- Jolly, A. The evolution of purpose, in *Machiavellian Intelligence*, R. W. Byrne and R. Whiten (Eds.), Oxford Univ. Press, Oxford, 1988.