

行動予測から意図推定そして意図共有への進化シナリオの試論

Possible Evolutionary Scenario from Action Prediction to Intention Estimation and to Intention Sharing

橋本 敬
Takashi Hashimoto

認知科学大学北陸先端科学技術大学院大学知識科学系
School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology
hash@jaist.ac.jp

概要

他者の意図はいかにして推測でき、また共有できるのか。本稿では、意図推定の起源は他者の反射的な行動の予測であり、自分と他者の内部状態が豊かになった結果、他者の意図（実現したい状態への態度）の存在とそれを実現する行動ルールを推定するアブダクション（仮説形成）として進化したというシナリオを検討する。そして、この他者の意図と行動の仮説は、自身が持つ「状態→行動→状態」の単純なルールの再帰的結合により生成できることを主張する。

キーワード：意図共有，進化，アブダクション，再帰的結合

1. はじめに

意図とは心的な状態の一種であり、一般には外部から観察して分かりやすいものではないため、内部状態である。なぜ他者の意図（を含む心的状態）を推定するかを生物進化の観点から考えるなら、他者の将来の行動を予測できたり、自分が発する刺激により他者の行動を誘導できたりすることで、自身の適応度を上げることにつながるためであると考えられる。本稿は、このような他者行動の予測・誘導の観点からの、意図の推定と共有の進化シナリオについて考察を試みる。

2. 他者の行動の予測・誘導

2.1 他者の反射的行動の予測・誘導

個体 A が別の個体 B の行動を予測する状況を考える。最も単純な状況は、個体 B が反射的な行動を行う場合である。B が次のような行動を経験したとする。

個体 B の行動(1)：

環境状態 Y → 行動 a → 環境状態 Z

もし個体 B が帰納的学習の能力を持つ、あるいは、この経験が個体 B の適応度を高める場合、それぞれ学習と進化によって、

個体 B の行動ルール(1)：

環境状態 Y → それに反応して行動 a をとる → (自身に好ましい) 環境状態 Z にする

という行動ルールを持つに至る。なお、ここで環境状態は外部からある程度客観的に観察可能とする。

個体 A が環境状態と個体 B の行動を観測できる場合、上記の個体 B の行動(1)を何度も観測した結果、もし個体 A が帰納的学習の能力を持つならば、個体 B の行動ルール(1)を学習できる。そうすると、個体 A は個体 B の環境状態 Y における行動を

個体 A による個体 B の行動予測(1)：

環境状態 Y → 個体 B が行動 a → 環境状態 Z

と予測できることになる。

さらに、もし個体 B にとって環境状態 Y に擬せられるような（個体 A 自身も含む）環境の操作を個体 A ができるならば、個体 A はその環境操作により、個体 B の行動 a を誘発できる。

個体 A による個体 B の行動誘導(1)：

環境状態 Y にする → 個体 B が行動 a → 環境状態 Z

個体 B による行動 a の帰結である環境状態 Z が個体 A の適応度を高めるものであれば、個体 A は個体 B の行動を誘導する行動を進化的に獲得する。たとえば、ある種の化学物質や音が個体 B の接近を誘引し、個体 A は個体 B を捕食したり交配したりする場合である。逆に、個体 B が個体 A を捕食するような場合は、個体 B を接近させない環境状態の変化を個体 A は獲得することになるだろう。これらは、個体 A と B の間の信号伝達[1]であり、コミュニケーションの一種である。この帰結 Z が個体 B にとって完全に非適応的であるならば（一方的に捕食されるだけなど）、行動 a をとる個体 B は減少していくので、この行動の結びつきは安定ではない。したがって、平均的には（すなわち、すべてのケースにおいてではなく）両者に利得がある場合にのみ、この種のコミュニケーション（異なる個体間での行動の結びつき）が進化し得る[2]。

2.2 内部状態を持つ他者の行動の予測・誘導

次に、個体 B が反射的な行動をするのではなく、外

からは観測できない内部状態を持っており、それが個体Bの行動に影響する場合を考える。内部状態は観測不可能なので、個体Aから見た個体Bは

個体Bの行動(2) :

環境状態 Y → 行動 a → 環境状態 Z

環境状態 Y → 行動 b → 環境状態 Z'

環境状態 Y → 行動 c → 環境状態 Z''

...

のように、同じ環境状態で様々な異なる行動をとっているように見える。このような状況では観測のみから個体Aが個体Bの行動を帰納的に学習することはできない。個体Bの行動を予測するには、個体Bの隠れ状態をおく必要がある。たとえば、

個体Aによる個体Bの行動予測(2) :

環境状態 Y、個体Bの内部状態 r → 個体Bが行動 a → 環境状態 Z

では、「環境状態 Y、個体Bの内部状態 r → 個体Bが行動 a」という演繹的なルールはどこから来るだろうか。内部状態 r は観測できないので、行動予測(1)のように「環境状態 → 個体Bの行動」を経験することからの帰納では得られない。個体Bの内部状態について何の知識もないならば、「環境状態 Y で行動 a をとったということは、恐らく内部状態は r なのだろう」という推定も難しい。とするならば、個体Bの内部状態を推定し、

個体Aによる個体Bの行動仮説(1) :

環境状態 Y のとき、個体Bの内部状態を r とする
→ 個体Bが行動 a → 環境状態 Z

という仮説を立て、その蓋然性を上げていくしかない。すなわち、他者の内部状態に関して仮説形成=アブダクションをし、仮説検証することになる。

この場合、個体Bの行動を a に誘導することは、環境状態を Y にするだけでは達成できず、個体の内部状態を r に導かなくてはならない。個体Aのある行動により、個体Bの内部状態を r へと導けたとすると

個体Aによる個体Bの行動誘導(2) :

環境状態 Y、個体Bの内部状態を r にする → 個体Bが行動 a → 環境状態 Z

とできる。個体Aの行動が個体Bの内部状態を変化させているので、前節のような2者の行動の反射的な結びつきよりも、人間的な意味でのコミュニケーションに近づいている。

とはいえ、個体Aの様々な行動が試され得る進化的時間スケールを考えるならば、環境状態 Z が個体Aの適応度を高める場合に、個体Aは個体Bの行動を誘導

する行動を進化的に獲得することができる。すなわち、個体Aは個体Bの内部状態を変更する意図を持たなくても、個体Bの内部状態がどのようになっているかの理解を持たなくても、この種のコミュニケーションは成立し得る。

たとえば、サバンナモンキーが捕食者がいる状態でアラームコールを出すことで他のサバンナモンキーの個体が適切な捕食者の回避行動をとるというケース[3]では、アラームコールを出す個体は捕食者が来たことにより感情(恐怖心)が高まってアラームコールを出しているだけかもしれないし、それを聞いた他個体も感情を喚起されて回避行動をとっているだけかもしれない。すなわち、アラームコールを出す個体が他個体を逃がす意図を持つ必要も、そのコールにより他個体の感情がどのようになるかを理解する必要もない。また、回避行動をとる個体もアラームコールによって捕食者が近づいていることを理解して回避行動をとっている必要はない。実際は、サバンナモンキーが意図を持っていたり他者の内部状態(心)を理解していたりしてこのような行動をするかもしれないが、「意図」や「理解」という概念を持ち出すことなくこの同種他個体間の協力的なコミュニケーション行動を最節約的に説明できる。

動物でも、アラームコールに対して捕食者のイメージを持って回避行動をとる場合がある。たとえば、シジュウカラは、ヘビに似た木の棒がある状況でアラームコールを聞いた個体は、その棒に近づくというヘビを探す行動をとるが、他の鳴き声を聞いたときや棒がヘビの動きと似ていない時は近づかない[4]。すなわち、シジュウカラにとってこのアラームコールはヘビの内的表象を喚起する(ヘビを表す)記号になっており、記号を用い他者の内部状態を変更することで行動を誘導するコミュニケーションをしていると言える。しかしこの場合でも、どちらの個体も他者の内部状態を変更する、あるいは、天敵から逃げる意図を持つと言う必要はない。

3. 内部状態を「意図」と言うためには

では、内部状態を「意図」と言うためにはなにが必要だろうか。これは当然ながら意図の定義によるが、ここでは意図を「実現したい状態への態度」と考える。たとえば、私がビールを手にしようとしてビールに向けて手を伸ばしているとき、私は「ビールを掴んでい

る状態」を実現したいという態度という内部状態を持っており、これを「私はビールを掴みたい（手にしたい）」という意図を持つ」と表現する。

この考えを他者の行動（個体 B）を観察する場合に当てはめてみよう。個体 B の行動 a を観測したとき、個体 B はそれによってある状態（環境状態 Z）を実現しようとしている、と個体 A が解釈する。すなわち、個体 B は「環境状態 Z を実現したい」という意図を持つ、と個体 A が考える。このように考えると、外部から観察できる個体 B の行動は状態 Z（目的）を実現する手段であるという、目的・手段の連関を想定することになる。このように（他者の）行動を目的・手段連関の中の手段と捉えることができれば、その目的を想定している内部状態を、意図を持っている状態と言って良いのではないだろうか。

個体 A が他者を意図を持つ存在だと見るためには、個体 A は「ある状態は別の状態へ行く途中段階であり、他者のある行動は別の状態へ行く手段と見る」という、目的・手段連関を想定・認識する能力を持つ必要がある。だがここでも、必ずしも個体 B が本当に状態 Z を実現することを目的として持っている（Z を意図している）必要はない。個体 A が個体 B について、

個体 B の内部状態 r :

状態 Z を実現したい

個体 B の行動ルール(3) :

環境状態 Y、内部状態 r → 行動 a をする → 状態 Z になる

と措定する（仮説を立てる）ことで、個体 B の行動をより良く予測できる（仮説が反証されない）のであれば、「個体 B が状態 Z の実現を意図し行動 a をとっている」と考える（個体 B のことを理解する）ことがとりあえずは正当化される。すなわち、（少なくとも他者の）意図は幻想であっても実効的であれば良いのである。

ここで、状態 Z は個体 B から見て他者の状態・行動でも良い。この場合は、個体 B は他者の行動を導こうという意図を持っていると（個体 A からは）認識される。

また、目的・手段連関は一つで終わる必要はない。上記のビールの例で言うなら、ビールを手にしようという私の目的（実現したい状態）は、ビールを飲むという目的を実現しようとする手段である。また、ビールがある位置を見て確認する行動は、ビールに手を伸ばすという目的の手段になる。このように、目的・手

段連関は連鎖する。

目的・手段連関の連鎖が十分長い時は、その連鎖の多様性も大きくなるので、生物進化で目的・手段連関の連鎖に対応する多くの行動を獲得することが難しくなる。長い目的・手段連関の連鎖を持つとは、世界の状態や他個体の状態を変えるための計画を持てるほどに豊かな心的キャパシティと行動レパートリーを持っているということである。たとえば、何段階かの手順を踏んで完成に至る道具を作ることや、獲物を長い間追い続けたり罠を作ったりして仕留めるような行動ができる場合である。そのような個体は

行動ルール(4) :

状態 Y0 → 行動連鎖 a0a1a2... → 状態 Z

という複雑な（目的・手段連鎖が長い）行動ルールを持てるので、他者に対してもそれを措定することができる。ここで、

個体 B の内部状態 r :

状態 Z を実現したい（という意図）

という行為（外部から観察できる行動）の目的・理由を想定することで、個体 B の行動 a0 を観測するだけで、個体 B は「状態 Y0 で行動連鎖 a0a1a2... をすれば状態 Z になる」というルールを発動しているからだと推測し、「B が次に取る行動は a1 だ」と予測できる。

4. 意図共有へ

「個体 B が次に取る行動は a1 だ」と予測できるということは、「個体 B が次に取る行動は a1 であり、それは Y2 というサブゴールを実現するための」と想定できることを意味する。ここで、「個体 B が実現したい状態 Y2 を自分が実現してあげれば個体 B は a2 という行動を取る労力がいらなくなる」と考えることもできる。すなわち、

個体 A の内部状態 :

状態 Y2 を実現したい（意図）

状態 Y2 は個体 B が実現したい状態、あるいは、実現したい状態 Z へ向かうサブゴールであることを（意識的・無意識的にかかわらず）知っている（知識）

という内部状態（意図と知識）を持つということである。「意図共有」を「他者がもつ実現したい状態を理解し、自分もそれを実現する態度を持つこと」と定義す

¹ もう少しちゃんと書くと、「状態 Y0、行動 a0 → 状態 Y1、状態 Y1、行動 a1 → 状態 Y2、... → 状態 Z」という行動ルール

ると[5]、これは意図共有が達成できていることになる（実際に実現したい状態にまで現実を持って行けることまでは意味しない）。

では、他者の意図と行動連鎖による状態遷移のルールはどこから来るのだろうか？ひとつの可能性は、自分がそうした経験を何度もしている場合である。すなわち、

自身の内部状態 r :

状態 Z を実現したい

のときに

自身の行動ルール :

状態 Y_0 → 行動連鎖 $a_0a_1a_2 \dots$ → 状態 Z

により状態 Z をうまく実現できた経験を持つから

個体 B の内部状態 r :

状態 Z を実現したい

個体 B の行動ルール(4) :

状態 Y_0 → 行動連鎖 $a_0a_1a_2 \dots$ → 状態 Z

を想定する。これは他者意図推定のシミュレーション仮説[6]に相当する。しかし、この方法では自分が実現したことがある目的・手段連鎖と同じものしか、他者の意図・行動を理解・予測することができない。

一方、環境状態 Y で個体 B の行動 a を観測したとき、「状態 Z を実現しようとしており、「状態 Y → 行動 a → 状態 Z 」というルールを発動している」と推定するアブダクションは、どちらかという他者意図推定の理論仮説[7]に相当する。ここで、行動 a の観測だけから推定される状態 Y 、 Z は原理的には無限にあり得るので、様々な行動状態遷移ルールを生み出すことができ、自分が経験したことがある目的・手段連鎖以外の他者の意図・行動も理解・予測できるようになるだろう。ここでその様々な行動状態遷移ルールを生成する可能性があるのが、単純な状態・行動のルールあるいは目的・手段連鎖のルールを再帰的に結合することである。再帰的結合とは、なにかとなにかを結合したものをさらに他のなにかに結合することであり、多様な生成物を生み出す効果がある[8]。「状態 Y_0 → 行動 a_1 → 状態 Y_1 」「状態 Y_1 → 行動 a_2 → 状態 Y_2 」…というルール群を要素として、これらを再帰的に結合することで、多様な「状態 → 行動 → 状態」の連鎖、すなわち、サブゴールの連鎖を生み出すことができる。自分が持っている（経験がある）のは、個々の要素ルール群だけでなく、全ての連鎖を経験として持つ必要はない。

すなわち、他者意図を想定できることは、まず、自分が意図（実現したい状態への態度）を持ち、その意

図を実現するサブゴール連鎖（目的・手段連鎖）、すなわち、行為による状態遷移の連鎖を考えられることが必要である。そして、この行為による状態遷移の再帰的結合を内行的に行えることが要請される。

5. おわりに

本稿では、他者の反射的な行動の予測から意図共有へ至る進化シナリオについて考察した。まず、単純な反射から内部状態がある他者行動の予測・誘導の進化が動物のコミュニケーションの進化に相当することを見た。そして、内部状態を「意図」と言えるためには、他者の行動について、目的をアブダクションし行動はその目的達成の手段と考える、目的・手段連鎖を想定・認識することが必要であることを論じた。そのような想定が他者行動の予測に有効になるには、世界の変化についての目的・手段連鎖の連鎖を想定できる、すなわち、計画を建てられるくらいに豊かな内部状態を持つ行動主体と相互作用する場合である。そして、意図共有とは、他者の目的・手段連鎖の連鎖の中で、ある行動の観察からその他者が実現したい状態へ至るサブゴールを自身の意図とすることと考えた。最後に、複雑で多様な目的・手段連鎖の連鎖ルールは、「状態 → 行動 → 状態」の単純なルールを再帰的に結合することで生み出すことができ、それが他者の目的・手段連鎖についてのアブダクション（仮説生成）になることを主張した。

なお、本稿では、「もし○が生じれば（できれば）△がおきる（できる）」という推測を連ねており、実証的な検討が可能で論を進めているわけではない。従って、「ありえる進化シナリオ」についての思考実験を行っている。現状では実証的にテストできるほどこの思考実験は洗練されていないが、構成論的シミュレーションによる検討・精緻化が次のステップとして考えられる。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP17H06383, JP20H04256 の助成を受けたものである。

文献

- [1] Maynard Smith, J., & Harper, D., (2003). *Animal Signals*, Oxford: Oxford University Press.
- [2] Dawkins, R., & Krebs, J. R., (1978). Animal signals: information or manipulation. In J. R. Krebs, & N. B. Davies

- (Eds.), *Behavioural Ecology: An Evolutionary Approach*, Oxford: Blackwell, pp. 282–309.
- [3] Cheney, D. L., & Seyfarth, R. M., (1990). *How Monkeys See the World*, Chicago, IL: Chicago University Press.
- [4] Suzuki, T. N., (2018). Alarm calls evoke a visual search image of a predator in birds. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 115, No. 7, Article 201718884.
- [5] Hashimoto, T., (2020). The emergent constructive approach to evolinguistics: considering hierarchy and intention sharing in linguistic communication, *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, Vol. 29, pp. 675–696. doi:10.1007/s11518-020-5469-x.
- [6] Gallese V, & Goldman A., (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 2, No. 12, pp. 493-501. doi: 10.1016/s1364-6613(98)01262-5. PMID: 21227300.
- [7] Gopnik, A., (1993). How we know our minds: The illusion of first-person knowledge of intentionality. *Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 16, No. 1, pp. 1–14. doi:10.1017/S0140525X00028636.
- [8] Toya, G. & Hashimoto, T., (2018). Recursive combination has adaptability in diversifiability of production and material culture. *Frontiers in Psychology*, Vol. 9, Article 1512, pp.1-17. doi:10.3389/fpsyg.2018.01512.