

身体と知能：スポーツや自閉症スペクトラムの脳科学からの視点

かしのまきお

柏野 牧夫

NTTコミュニケーション科学基礎研究所 上席特別研究員

現在のAIは統計学習によって大きな成功を収めていますが、人間のよう
に多様な状況で臨機応変に行動することはできません。スポーツや自閉症
スペクトラム障がいに関する脳科学的な研究から、人間の示す柔軟性の鍵
は、本人も自覚できない、身体に根ざした「潜在脳機能」にあることが分かっ
てきました。統計学習と潜在脳機能の融合により、AIと人間の垣根を低く
したり、人間の能力を高めたりすることが可能になると期待されます。



人工知能 (AI) が人間を超える？

未来学者のレイ・カーツワイルは、「2020年代の終わりまでにはAIの知性が人間を超える」と予想しています⁽¹⁾。近年の深層学習をはじめとするAIのめざましい発展ぶりを目の当たりにすると、それもあながち絵空事ではないと感じている人も多いかもしれません。コンピュータの性能向上やコスト低下によって産業や社会が大きく変革する時点（シンギュラリティ＝技術的特異点）を迎えれば、多くの職業がAIに奪われる、さらにはハリウッド映画のようにAIが人間に敵対するなどという悲観論を展開する識者もいます。

しかし今日求められているのは、いたずらに悲観論をあおることではなく、いかにAIと人間とが共生していくか、AIが人間の幸福を高められるか、といった生産的なシナリオを提案することでしょう。そもそも、人間の知性は、現在のAIの単純な延長線上にあるのでしょうか？ もし両者に

本質的な違いがあるとすれば、カーツワイルの予測はむしろ楽観的すぎるかもしれません。人間と共生するために必要であるにもかかわらず、現在のAIに欠けている要素は何か。現在NTTコミュニケーション科学基礎研究所で研究を進めているスポーツや自閉症スペクトラムの脳科学という切り口から考えてみましょう。

スポーツにおける知性

現在最先端のAIといえども、運動能力に関してはまだまだ人間には及びません。二足あるいは四足歩行のロボットでは、Google傘下に入ったボストン・ダイナミクス社の一連のロボット（不整地を踏破できるBigDog, 45 km/hで走れるCheeter, 蹴られても倒れないSpotなど）が現在トップクラスの運動能力を持ちます。それでも野球やサッカーのような球技では、選手として活躍するどころか、単に試合に参加することすら困難でしょう。

球技のように、刻々と変化する状況

の中で相手と相互作用するようなスポーツでは、どのような情報処理が必要でしょうか。一流野球選手を思い浮かべてみましょう。打席では、球速や球種、コースの異なるさまざまな投球を広角に打ち分ける。塁に出れば相手の一瞬の隙をついて盗塁し、キャッチャーのブロックをかいくぐって生還する。守れば外野の塀によじ登ってホームラン性の打球をキャッチし、レーザービームのように正確で速い送球でランナーをアウトにする。これらのそれぞれにおいて、ボールや相手の状況を正確に把握・予測し、適切な動きを瞬時に決定・計画し、強い情動的・時間的プレッシャーの中で身体各部を巧みに制御することが求められます。これらはどれをとっても、選手自身も自覚していないかもしれませんが、極めて高度な情報処理であって、その原理も神経基盤もほとんど解明されていません。

例えば、一口に身体の制御といっても、全身には約200の骨と約500の筋

があり、これらの形や力の入れ具合の組み合わせとなると天文学的な数になります。その中から試合の状況とプレイの目的に応じて適切なものを選択して実行するというのは、囲碁で先を読むのと同様の極めて複雑な探索問題になります。しかも状況のバリエーションは無数にあり、どこまでが関連する情報かも分からないので、問題領域や状況、評価関数をいかに設定するかという問題もさらなる困難をもたらします。

もう1つ忘れてはならないのは、選手は前述の多種多様な情報処理課題をバランス良くこなさなければならないということです。単に速く走るだけとか、速い球を投げるだけといった単一機能なら、人型という制約を外して最適化すればロボットにも人間を超えるパフォーマンスが可能です。しかしいうまでもなく、それでは試合では役立ちません。

もちろん、一流野球選手のようなパフォーマンスは人間なら誰でもできるというわけではありません。しかし、本質的に同型のことは、普通の人も日常生活の中で行っています。時々刻々

と変化する環境の中で、身体（眼球も含む）を動かして能動的に環境から情報を取得する。それを処理し、目的に応じて身体の動作を計画・実行し、環境に働きかける。このような一連の情報処理のループが脳内で絶え間なく回っているのですが、多くの場合、当人もその自覚はありません。自覚がないだけに軽視されがちですが、人間の知性の重要な特徴の1つである「多様な状況に応じた柔軟な行動」を可能にしているのは、実はその無自覚的な脳内情報処理にほかなりません。私たちの研究グループでは、このような無自覚的な脳内情報処理のことを「潜在脳機能 (implicit brain function)」(図1)と呼んで、その神経メカニズムや、生体計測に基づく解読手法などを精力的に研究しています⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。

自閉症スペクトラム障がいからみた知性

自閉症スペクトラム障がい (ASD: Autism Spectrum Disorder) は発達障がい (脳の一部の先天的な機能不全により、発達の仕方が通常と異なる障がい) の一種です。その中核症状とし

ては、相互的な対人関係の障がい、意思伝達の障がい、狭く偏った興味や反復的な行動が挙げられます。ただし個人差は極めて大きく、同じASDと診断された人どうしても、見かけ上の性質が全く異なる場合も珍しくありません。一方で、通常の発達 (定型発達) とASDの間の線引きも簡単ではありません。「自閉症スペクトラム」という名称はそのような多様性と連続性を表しています。ASDのうち、知的障がいのないものを「高機能 (high-functioning) ASD」と呼ぶことがあります。高機能 ASDの実例を紹介しましょう (プライバシー保護の観点から、経歴などには多少事実と異なる部分がありますが、症状は本人の報告のままです)。

■高機能ASDの例

A氏は図書館の司書で、理系大学院を修了した40代男性です。常人離れした記憶能力、検索能力を持っており、利用者に本の在処を尋ねられると、数万冊の蔵書について、何番目の棚の何列目というように即答できます。しかし、利用者に「貸し出し期限が切れているけれども、もう1週間借りた

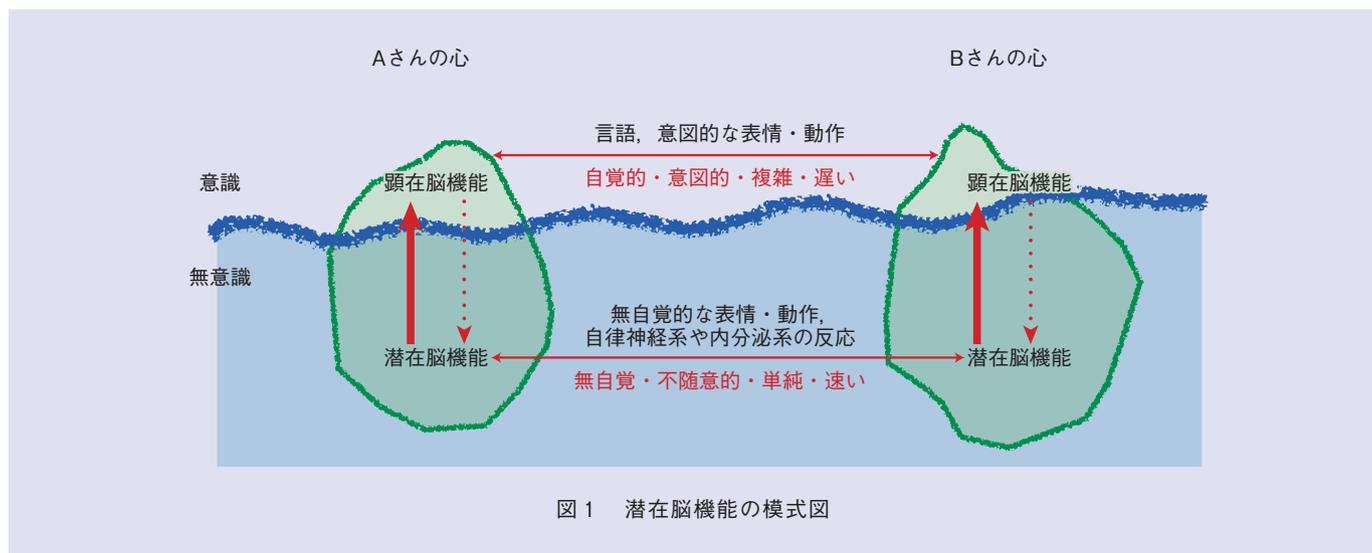


図1 潜在脳機能の模式図

い」などと言われるとパニックになります。ルールにない、臨機応変の応対ができないのです。このように、限定的な領域で、明示的・記号的な情報を処理することに長けている反面、領域が特定されていなかったり、一般常識のように関連情報が明示されていなかったり、かすかな表情変化のように情報が非記号的であったりすると、とたんにうまく処理できなくなってしまうというのは、ASD当事者に典型的にみられることです。語弊をおそれずにいえば、どこか現在のAIを彷彿とさせるところがあります。

ASDといえどもっぱら社会性、対人関係の側面が取り上げられることが多いのですが、当事者の「困りごと」をよく聞いてみると、感覚系や運動系の問題がしばしば出てきます。例えば、①自転車に乗れない、ボールを投げたり取ったりできないなど、極端に不器用である、②コンピュータのディスプレイがまぶしすぎる、ある種の音をひどく不快に感じるといった感覚過敏がある、③カフェのようにいろいろな音が鳴っている状況では相手の会話が聞き取れない、④相手の表情が変化するとき、顔の形が変わったことは認識できてもどういった感情かは分からない、といった具合です。

■特異性の分析

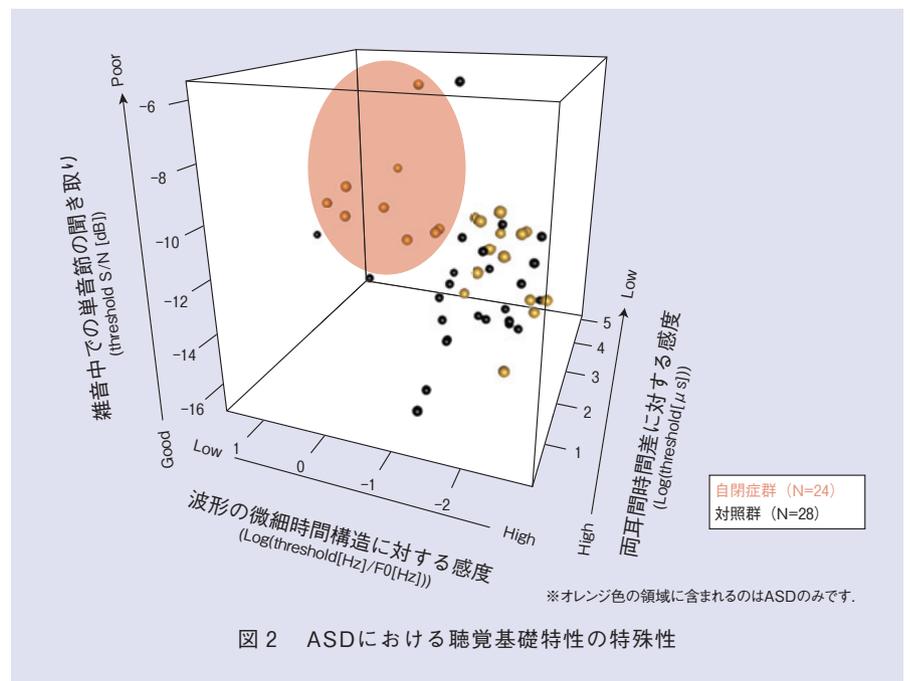
私たちの研究グループでは、ASDの感覚系・運動系の特異性を詳細に分析しています。一例を挙げると、ASDのサブグループでは、聴覚の基礎的機能のうち特定のもの（音波形の細かい時間構造に対する感度、左右の耳に到達する音波形の時間差に対する感度、雑音中での単音節の聞き取り）に顕著な成績低下が見られることが明らかになりました⁽⁵⁾ (図2)。また、音の周波

数成分を自動的にまとめ上げる機能が働きにくいことも分かりました⁽⁶⁾。これらのことから、ASD当事者がしばしば訴える「難聴でないにもかかわらず日常環境の中で所望の音を聞き取りにくい」という症状の原因の一端が解明されました。

ここで問題となるのは、このような感覚系・運動系の問題と、社会性・対人関係の問題とは、ASDにおいてたまたま併発することが多いだけなのか、それとも両者に本質的な因果関係があるのかということです。これについては、現時点で明確な結論が出てるとはいえません（そもそも、このような問題を指摘している研究者自体あまり多くありません）。私たちは、作業仮説としては、「感覚系・運動系の機能が、社会性・対人関係の基盤となる」と考えています。コミュニケーションのためには、相手の心理状態を推定することが必要ですが、それは必ずしも明示的な情報（言語や明白な表情など）から意識的に推論することで達成

されるとは限りません。それどころか、明示的な情報は嘘であるおそれすらあります。

例えば、相手が「ありがとう」と言って微笑んでいても、内心は「余計なお世話」と思っているのかもしれない。一方で、本人も自覚していないような身体反応（自律神経系や内分泌系の活動を反映した生理的変化）や動作、すなわち私たちの言葉でいうところの「潜在的対人情報」は、本人も随意的に制御できない分「正直」です。このような潜在的対人情報が、受け手も無自覚のうちにさまざまな感覚を通じてとらえられ、それによって受け手の脳や身体の状態が変化し、それがまた相手に影響するという連鎖が、いわゆる「以心伝心」「空気を読む」といった円滑なコミュニケーションを支えている可能性は十分あります。また、感覚系の感度に加え、情報を取りに行くための運動系（頭部運動、眼球運動など）の特性も、受容される情報の質や量を左右します。したがって、発達の過程



で社会性の学習に用いられる情報も感覚系・運動系の不全がある人とならない人ではかなり異なっているはずで、このように考えると、感覚系・運動系の特性と社会性・対人関係との間には因果関係があるという仮説はそれなりに妥当性がありそうで、今後の実証が待たれます。

人間とAIの共生：Heart-Touching-AIに向けて

スポーツ選手とASD当事者という、ある意味対照的な研究対象から見てきた共通のメッセージは、「多様な状況に適応した柔軟な行動やコミュニケーションには、無自覚的で身体に根ざした潜在脳機能が重要な役割を果たす」ということです。

翻って現在のAIは、深層学習をはじめとする統計的手法によってある種の問題では大きな成功を収めていますが、決して万能ではありません。問題領域が明確でないと動作しませんし、一見無関係にみえる問題領域を自発的に結びつけて新しいものを生み出すこと（いわゆる「ひらめき」）もできません。これに人間のような臨機応変の行動や高度な意思決定、美しさなどの評価といった機能を持たせるには、全く別のアプローチが必要でしょう。

その鍵を握るのが潜在脳機能です。潜在脳機能の根幹は、外界データを取り込み統計学習を行う感覚系、行為のための計画や予測を行う運動系、そして生命維持の観点から感覚情報や行為の価値を評価し脳や身体の状態を調整する情動系の三者間の緊密な連携です。現在のAIは、このうち感覚系の部分だけが肥大したものといえるかもしれません。これに運動系と情動系の要素をうまく連携させれば、AIがよ

り人間に近づく可能性があります。そしてそれが、NTTのめざす4つのAIのうちの1つであるHeart-Touching-AI（人間の心と身体を理解しサポートするAI）の根幹となるでしょう。

一方、潜在脳機能のメカニズムを解明することは、AIの能力だけでなく、人間の能力を高めることにも大いに役立ちます。スポーツを例にとれば、パフォーマンスを向上させるには、筋力や心肺機能のような、いわゆる身体能力を鍛えるだけでは不十分で、先述したような種々の情報処理能力を高めることが不可欠です。しかしそれは大部分が潜在的なものなので、選手本人が自覚することも、意識的に制御することも困難です。従来のスポーツ科学、運動生理学からはこぼれ落ちた分野であり、体系的な知見や方法論は確立されていません。

そこで私たちは、情報通信技術と脳科学によってスポーツの上達を支援することをめざす「スポーツ脳科学プロジェクト」を立ち上げました。これには3つの柱があります。

1番目は、実際のスポーツの現場で、パフォーマンスに極力干渉することなく、選手の脳と身体で起きていること（眼球や身体の動き、心拍、筋電、呼吸など）を包括的にとらえることです。これには、東レ株式会社とNTTが開発したウェアラブル電極hitoeをはじめとする各種のウェアラブルセンサが役立ちます。

2番目は、そのようにして計測されたデータから、勝つためのエッセンス（動作のコツ、最適な精神状態、選手の特徴など）を抽出することです。これには深層学習をはじめとする機械学習の技術が役立ちます。

そして3番目は、試合に勝てる、あ

るいは自己ベストを破れるように、潜在脳機能を調整することです。これには、自身の動きや筋活動などの状態を視覚や聴覚を通じて選手にフィードバックする手法が有望です。私たちは、研究成果を選手強化や若手育成に役立てることをめざしています^{(7),(8)}。

今後の展開

誰もが、どのような状況でも自分の心身を意のままに操り、持てる能力を最大限発揮できるようになるにはどうすれば良いか。脳科学の基礎研究と、AIをはじめとする技術開発の両面から追求していきます。

参考文献

- (1) R. Kurzweil: "The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology," New York: Viking Books, 2005.
- (2) 柏野・米家・Liao・古川: "身体から潜在的な心を解読するマインドリーディング技術," NTT技術ジャーナル, Vol.26, No.9, pp.32-36, 2014.
- (3) 古川・山岸・LIAO・米家・大塚・柏野: "身体反応に現れる「聞こえ」とそのメカニズム," NTT技術ジャーナル, Vol.27, No.9, pp.13-16, 2015.
- (4) 古川・米家・LIAO・柏野: "眼から読み取る心の動き——Heart-Touching-AIのキー技術," NTT技術ジャーナル, Vol.28, No.2, pp.22-25, 2016.
- (5) 柏野: "高機能自閉症スペクトラムにおける聴覚の特異性," 情報処理, Vol.56, No.6, pp.558-560, 2015.
- (6) I. F. Lin, T. Yamada, Y. Komine, N. Kato, M. Kashino: "Enhanced segregation of concurrent sounds with similar spectral uncertainties in individuals with autism spectrum disorder," Scientific Reports, 5:10524. doi: 10.1038/srep10524, May 2015.
- (7) 柏野・持田・井尻・木村: "ウェアラブルセンサを用いたスポーツ中の心身状態の解読と調整—潜在脳機能に基づくスポーツ上達支援を目指して—," バイオメカニクス研究, Vol.19, No.4, pp.230-239, 2016.
- (8) <http://sports-brain.ilab.ntt.co.jp>

◆問い合わせ先

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
人間情報研究部
TEL 046-240-5220
FAX 046-240-5225
E-mail kashino.makio@lab.ntt.co.jp