



まなざしに宿る運動の巧みさ

～運動スキルを支える視線と腕の結びつき～

Looking more, acting better – New concept of eye-hand coordination for skilled action –



人間情報研究部 感覚運動研究グループ

安部川 直稔

Naotoshi Abekawa

●プロフィール

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部 特別研究員。2005年 東京工業大学大学院修士課程修了。同年、NTTに入社。2014年 京都大学大学院博士課程修了。2015年 University College London客員研究員。博士(情報学)。入社以来、人の視覚運動制御に係る研究に従事し、特に近年は運動学習メカニズムに興味を持つ。日本神経回路学会奨励賞、IEEE Computational Intelligence Society Japan Chapter Young Research Awards、次世代脳冬のWS優秀賞など受賞。電子情報通信学会、日本神経科学会、日本神経回路学会、北米神経科学会、各会員。

歩行や車の運転といった日常生活から、テニスや野球などのスポーツに至るまで、私たちの動きは巧みで滑らかです。昨今のAIは、囲碁や将棋で人を打ち負けし、画像認識も人と同等か、それ以上の精度を誇るようになりました。しかし、実環境で人と同等の運動機能を実現するロボットは存在しません*。そのようなロボットの実現には、ロボットを構成・制御する技術の向上に加えて、人が巧みな運動を実現するメカニズム自体の解明が大きく貢献すると考えられます。さらに、実環境では状況に応じて、適応的に運動を修正していく必要がありますが、人がスポーツなどで新しいスキルを獲得する能力、つまり運動学習の仕組みの解明も待たれるところです。

人の運動機能を考える際、腕や足に加えて、目の動かし方が重要な要素になります。例えばテニスのレッスン時、「ボールを良く見て」と言われた経験はないでしょうか？また、一流のアスリートが、自身の目に関わる話をしていることを耳にしたことはないでしょうか？これらの例に代表されるように、脳は目と腕を協調させて動かす仕組みを持っています。本講演では、これらの仕組みについて従来の考え方を概説した後、私達の最近の取り組みによって明らかになってきた「目・

腕協調関係」の新たな重要性について紹介します。

*自律移動型ロボットの発展を目指すロボカップ (RoboCup) では、サッカー競技において、人型ロボットが人の世界チャンピオンチームに勝つことを、2050年の目標として設定している。

<https://www.robocup.or.jp/>

目と腕が協調して動く仕組み

運動の一例として、「コップに手を伸ばす」ことを考えてみます。まず、位置を確認するためにコップに目を向けますが、同時に、コップの大きさ、水の量、掴みやすきなど、必要な情報を視覚的に取得します。人を含めた霊長類の視解像度は、目の中心で最も高く、周辺に向かうほど低くなることが知られています。脳は、これから行う腕運動にとって必要な情報をより正確に得るために目を先行的に動かし、適切な腕運動出力へとつなげています(図1A)。

このような目と腕の協調機構を探る研究が、人やサルの手動実験、脳活動計測など様々な手法を通じて数多く行われて

きました。例えば、腕に先行して目が動くことは上述の通りですが、その時間関係は常に一定の範囲内で保たれることが知られています。また、腕と目(視線)の最終到達地点も、相互に関連します。このような関係から、脳内の目と腕の運動生成システムは相互に情報をやり取りし、時空間的に協調した運動出力を行うメカニズムが存在すると考えられています。また、そのような協調関係は固定的なものではなく、達成すべき運動課題の種類によって柔軟に調節されます。協調機構を実現する脳メカニズムの全容はまだ明らかになっていませんが、大脳、小脳、脳幹を含む様々なネットワークの関与が示唆されています。

「目と腕の協調関係」に関する新たな考え方

先行研究では主に「静止目標への腕運動」が実験課題として用いられてきましたが、実環境では、目標物は複雑かつ予測できない動きをする可能性があります。テニスや野球を例にとれば、数百ミリ秒以内の厳しい時間制約の中で、即座に判断し、複雑な運動(運動スキル)を生成する必要があります。これらの環境においても、「目標物を常に目の中心で捉え、その目の動きに協調して腕運動が生成される」という従来研究の考え方は成り立つのでしょうか？さらには、新規の運動スキルを獲得・発揮する過程では、目と腕の協調関係はどのような重要性があるのでしょうか？これらの疑問点が、我々が研究を始めた出発点となっています。

NTTコミュニケーション科学基礎研究所では、突然動く目標物を追いかける腕運動課題[1]や、プロ野球選手のバッティング計測[2]など一連の研究を推し進め、その結果、複雑な運動スキルが求められる課題下でも、目・腕の間に一定の協調関係が成り立つことが分かってきました。一方、その時間関係や、目の向かう先など詳細な解析結果は、「目標を目の中心で捉える」という従来の考え方とは必ずしも一致しません。

そこで私たちは、目と腕の協調関係は運動実行時に視覚情報を得る際に重要であるのみならず、腕運動のスキルを獲得する過程においても、その位置関係自体が重要な要素になっていると考えました(図1)。実際、腕運動学習のパラダイムを用いた実験から、目と腕の位置関係は、それらが一致している

状態であっても(図1A)、離れた状態であっても(図1B)、学習によって獲得される腕運動スキルと密接に関連していることが明らかになりました。具体的には、学習時とは異なる目と腕の位置関係で腕運動を行おうとすると、学習効果が発揮できなくなります[3]。このことは、運動スキルの獲得と生成には、「運動目標を常に見ること」以上に、「目と腕の位置関係を一定に保つ」ことが重要であることを示しています。

我々のこれまでの知見は、目の重要性に着目した新たなトレーニング法やリハビリテーションプログラムに応用できる可能性を示しています。また、目と腕の関係性は、脳が常に計算・処理・制御していることから、腕運動学習のみならず、人の様々な動き・ふるまいと関連していると考えられます。私達は今後も、目と腕の関係性を足掛かりとして、人の運動メカニズムを本質的に理解し、人の自然なふるまいを引き出すインタフェースの設計や、人とロボットの効果的なコミュニケーション設計など、ICTに新しい価値を幅広く提案していきます。

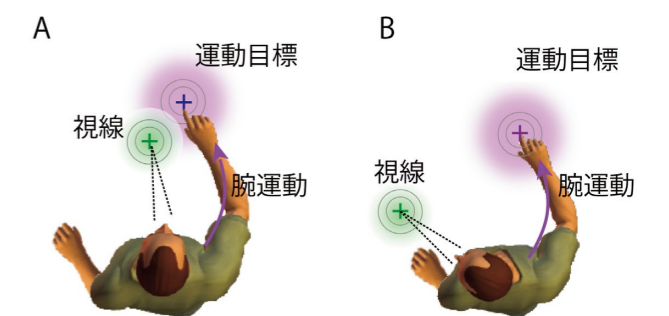


図1 目と腕の協調関係 A. 感度の高い視野中心で運動目標を捉え、腕運動を行う例。目・腕協調関係に関する従来の考え方は、正確な視覚情報を得て腕運動を行うという機能面に着眼点が置かれ、視線を運動目標に向けることの優位性が主に議論されてきた。B. 視線と運動目標が離れた状態で腕運動を行う例。私達の研究成果により、視線と運動目標が「一致している・離れている」という位置関係自体が、腕運動・腕運動学習で利用される重要な要素になっていることが明らかになってきた。例えば、視線が運動目標とは異なる場所に向けられた状況(図B)であっても、その状況で獲得した新たな運動スキルを効果的に発揮するためには、目と腕運動が離れた状況を保つ必要がある。

●関連文献

- [1] N. Abekawa, T. Inui, and H. Gomi, "Eye-hand coordination in on-line visuomotor adjustments," *Neuroreport*, vol. 25, no. 7, pp. 441-445, May 2014
- [2] Y. Kishita, H. Ueda, and M. Kashino, "Eye and head movements of elite baseball players in real batting," *Front. Sports Act. Living*, vol. 2, p. 3, 2020.
- [3] N. Abekawa, S. Ito, and H. Gomi, "Different learning and generalization for reaching movements in foveal and peripheral vision," in *Proc. Adv. Mot. Learn. Mot. Control*, 2019.