



林 拓志 助教  
Takuji HAYASHI

研究分野：身体運動制御・学習、数理モデリング、神経活動刺激・計測

研究内容：ヒトを支える重要な機能である身体運動が、どのように学習・獲得され、どのように制御・実行されているのか研究しています。特に、心理物理実験、数理モデリング、神経活動刺激・計測を用いた融合的アプローチにより、身体運動がどのような機序に基づいているのか明らかにすることを目的としています。

2012年 早稲田大学 スポーツ科学部 卒業  
2017年 東京大学 教育学研究科 総合教育科学専攻 身体教育学コース 博士課程卒業  
2017年 東京農工大学 工学系研究院 博士研究員

2018年 ハーバード大学 工学・応用科学研究科 博士研究員  
2022年 東京大学 教育学研究科 総合教育科学専攻 身体教育学コース 助教

# ヒト身体運動の冗長性と適応戦略

## 身体運動の冗長性

身体運動を実行することは簡単なことではありません。ヒトの筋骨格系は600以上の筋肉と100以上の多自由度な関節を有しています。これらの筋肉と関節は相互作用があり、その物理的特性は非常に複雑です。このような制約がある中でも、なお、ヒトは日常的に話す、歌う、座る、立つ、走る、跳ぶなどの身体運動を安定して実行することができます。さらには、練習を繰り返すことによって、スキーをしたり、口笛を吹いたり、バスケットボールのドリブルをしたり、自転車を運転したりするなど、より特異な運動技能を獲得することができます。このように、我々が当たり前のように実行している身体運動には避けることができない困難な問題が多々含まれていますが、脳神経系によってあたかも簡単に実現されていることは驚くべきことだと感じます。私たちは「身体運動はいかに実行されているのか」、「いかに獲得されているのか」ということを解明するために研究しています。

例えば、コップに手を伸ばすなど、身体運動には求められる目標状態に身体を動かすという役割を持っています。この問題を単純化し、とある力の大きさ ( $y$ ) を2つの筋発揮 ( $x_1, x_2$ ) の合計 ( $y=x_1+x_2$ ) で達成するという状況を考えましょう。この時  $x_1$  のみで達成しても良いし ( $x_1=y$ )、 $x_2$  のみで達成しても良いし ( $x_2=y$ )、半分に分け合っても良い ( $x_1=x_2=y/2$ ) といったように、 $x_1$  と  $x_2$  の組み合わせは無限にあります。このような求められる状態数 ( $y$ ) に対して、制御対象が複数ある性質 ( $x_1, x_2$ ) を冗長性と呼びます。一般に、目標状態数が筋肉数や関節数を超えることはほとんどないことから、冗長性は我々の身体運動に共通する性質で、どのような組み合わせで課題を達成するかは脳神経系が解かなければならない問題です。面白いことに、身体運動は誰であっても非常に似通っていることから、脳は何らかの規範に基づいていると予想されています。

## 適応戦略

身体や環境が時時刻々と変化するような状況では、脳は身体運動を積極的に変化させ、安定化させていく必要があります。上記の例と同様に、冗長な身体運動では、どの制御対象でも変化させられるため、そのパターンも無限に存在しています。しかし、この場合でも、身体運動の変化は誰であっても非常に似通っており、脳は何らかの規範に基づいて適応していると考えられています。我々が行った研究では、このような規範は過去の経験によって構築されていることを示し、身体運動の適応戦略は多様に変化することを明らかにしました。

スポーツ選手や音楽家といった身体運動のエキスパートでなくても、私たちは日頃から非常に巧みで正確な身体運動を実現しています。しかし、その背景にどのようなメカニズムがあるのかは十分解明されているわけではありません。このような身近で不思議な身体運動の面白さをお伝えできればと考えています。

図1 脳身体運動システムにおける冗長性問題。

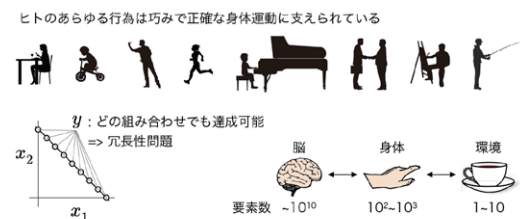
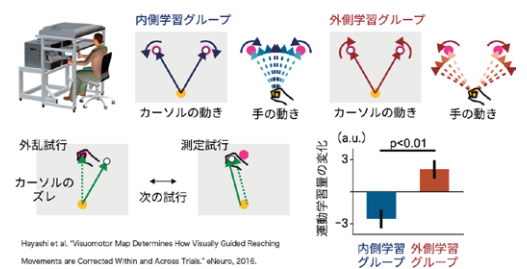


図2 経験が運動学習量を変化させる。



腕到達運動課題を対象に、腕運動が内側に化するグループと外側に化するグループに分け、異なる経験をさせた。その後、外乱試行と測定試行を組み合わせると運動学習量を測定すると、前者は運動学習量が低下するのに対し、後者は増加することが明らかとなった。