

令和2年11月21日

東京都千代田区四番町5番地3  
科学技術振興機構（JST）  
Tel：03-5214-8404（広報課）  
URL <https://www.jst.go.jp>

## ピアニストの繊細なタッチをさらに高める手法を発見 ～技能の限界を突破するトレーニング理論の解明へ～

### ポイント

- 膨大なトレーニングを経た熟練者の運動技能をさらに高める方法は未解明だった。
- 鍵盤重量を変えられるピアノを用いた研究から、運動中の力触覚を高めるトレーニングがピアニストの打鍵力の正確性を高めることを明らかにした。
- 熟練者の技能の限界を突破するトレーニング法の開発や脳神経系の原理解明に役立つと期待される。

JST 戦略的創造研究推進事業において、株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所の平野 雅人 博士と古屋 晋一 博士らは、ピアニストの繊細なタッチをさらに高めるトレーニング法を発見しました。

ピアニストやアスリート、外科医などの熟練者は、膨大な練習を経て高度な技能を獲得しています。これをさらに向上することは難しく、限界を突破する方法は未解明でした。

研究グループは、力の強さや方向を任意に操作できる「ハプティックデバイス」を用いてピアノの鍵盤の重さを自在に操作するシステムを開発し、鍵盤の重さの違いを弁別する課題と回答の正誤の提示を繰り返すことで、指先の力触覚が向上し、繊細に力を制御する能力が向上することを明らかにしました。このような能力向上は、通常の反復練習では見られず、ピアノ経験のない一般人にも認められませんでした。

この発見は熟練者の技能の向上の限界を突破する新しいトレーニング理論の解明や、熟練者の特異的な脳の柔らかさ（可塑性）の仕組みの解明、過剰な訓練によって手指の機能が低下する脳神経疾患のリハビリテーション法の開発などに役立つことが期待されます。

本研究成果は、2020年11月20日（米国東部時間）に国際科学誌「Science Advances」のオンライン版で公開されます。

本成果は、以下の事業・研究領域・研究課題によって得られました。

戦略的創造研究推進事業 チーム型研究（CREST）

研究領域：「人間と情報環境の共生インタラクション基盤技術の創出と展開」

（研究総括：間瀬 健二 名古屋大学 大学院情報学研究科 教授）

研究課題名：「技能獲得メカニズムの原理解明および獲得支援システムへの展開」

研究代表者：小池 英樹（東京工業大学 情報理工学院 教授）

研究期間：平成29年10月～令和5年3月

JSTはこの領域で、人間、機械、情報環境が共生する社会での相互作用に関する理解を深め、人間同士から環境全体まで多様なインタラクションを高度に支援する情報基盤技術の創出と展開を目指します。上記研究課題では、手指の巧みな動きを生み出す仕組みの解明と熟達支援に取り組んでいます。

## ＜研究の背景と経緯＞

アスリートや音楽家、外科医、工場や伝統工芸の職人など、さまざまな分野でエキスパートと呼ばれる熟練者の運動技能は、長年にわたる膨大な運動トレーニングを経て獲得されます。しかし、トレーニングによる技能の向上はやがて頭打ちになります。この「天井効果」は、技能をさらに高めたい熟練者にとって大きな問題です。

従来、天井効果を突破するために多くの熟練者はトレーニングの量を増やしていましたが、それは怪我や障害のリスクを高めるだけでなく、近年、天井効果を突破する十分な効果が得られないという研究報告が相次いでいました。

研究グループは以前、体性感覚機能（皮膚や筋肉の受容器から得られる感覚に関連する脳神経機能）がピアニストの熟練した運動技能と関連することを発見しました。体性感覚機能を増強することによりピアニストの運動技能をさらに高められる可能性が示されましたが、その真偽は不明でした。

## ＜研究の内容＞

研究グループはまず、力の強さや3次元の方向を任意に操作できる「ハプティックデバイス」を用いてピアノの鍵盤の重さを自在に操作するシステムを開発し、鍵盤の重さの違いを弁別する課題とその回答の正誤を提示して、運動中の力触覚を高める「アクティブハプティックトレーニング（AHT）」を考案しました（図1）。AHTを用いてピアニスト64人と専門的な音楽訓練を受けていない一般人25人を対象に、3つの実験をしました。

まず実験1は、ピアニストの打鍵に関する運動技能が本当に天井に達しているかを明らかにすることを目的としました。①12人のピアニストに打鍵力の正確性を向上するための反復練習をさせ、②12人の一般人にも同様の運動トレーニングをさせました。この運動トレーニング中、被験者は実験前に測定しておいた最大の力の30パーセントの力を狙って打鍵しました。20打鍵ごとに狙った力との誤差がフィードバックされ、できるだけ誤差を小さくするように教示されました。

その結果、運動トレーニングを実施することで②の一般人が30パーセントの力を狙って打鍵する際の正確性は向上しました。これは、用いた運動トレーニングが打鍵力の正確性を十分に向上できることを示しています。一方、同様の運動トレーニングを行っても①のピアニストの打鍵力の正確性は向上しませんでした。これはピアニストの打鍵力の正確性がすでに天井に達しており、単なる運動トレーニングでは向上しないことを示しています（図2）。

次の実験2は、AHTがピアニストの体性感覚機能と運動技能を向上するかどうかを明らかにすることを目的としました。新たに募集した36人のピアニストを、①AHTを行う群、②何もしない群、③単に鍵盤を打つ群に分け、その前後で体性感覚機能（鍵盤重量を弁別できる閾値）と最大の30パーセントの力を狙って打鍵する際の正確性を測定しました。

興味深いことに、①のAHTを行ったピアニストは体性感覚機能と打鍵力の正確性のどちらも向上していました。一方、他の群ではそのような変化は見られませんでした。この結果は、AHTがピアニストの運動技能向上に有用であることを示していますが、その効果がAHTに伴う体性感覚機能の向上によってもたらされたのか、それとも体性感覚機能が向上せずとも鍵盤の重さを弁別する行為を繰り返し行うだけで生じるものかは明らかで

はありません。

そこで最後の実験3は、体性感覚機能の向上が打鍵力の正確性向上に必要なかどうかを明らかにすることを目的としました。これを検証するには、打鍵して鍵盤重量を弁別する同様のトレーニングをしても体性感覚機能が向上しないという条件が必要です。研究グループは予備実験において、被験者へ回答の正誤を提示しないと体性感覚機能が向上しないことを発見しました。そこで実験3では、実験1と2に参加した10人と新たに募集した16人を加えた計26人のピアニストを、①AHTを実施する群と、②体性感覚機能が向上しないよう回答の正誤が提示されない群に分けました。さらに、AHTが専門的な音楽訓練を受けていない一般の人にも効果があるか調べるため、③新たに募集した13人の一般人にAHTを実施させました。

その結果、①のAHTを実施する群は実験2と同様に体性感覚機能と打鍵力の正確性が向上しましたが、②の回答の正誤が提示されない群では体性感覚機能も打鍵力の正確性も向上しませんでした(図3)。また、③の一般人にも効果は認められませんでした。これらの結果は、AHTに伴う体性感覚機能の増強が打鍵力の正確性の向上に必要なだということ、AHTは熟練者に特異的に効果的であることを示しています。

まとめると、AHTで指先の体性感覚機能を増強すると、運動技能の天井効果を突破してピアニストの打鍵力の正確性を向上できることが明らかになりました(図4)。

#### <今後の展開>

今回の研究によって、熟練者の運動技能の限界を突破するためには、トレーニングの量を増やすのではなく方法を最適化することが重要であることが示されました。この発見は、運動技能の限界を規定する脳神経系の原理や、熟練者の技能の向上の限界を突破する新しいトレーニング理論、熟練者の特異的な脳の柔らかさ(可塑性)の仕組みの解明、過剰な訓練によって手指の機能が低下する脳神経疾患のリハビリテーション法の開発などに役立つことが期待されます。

<参考図>

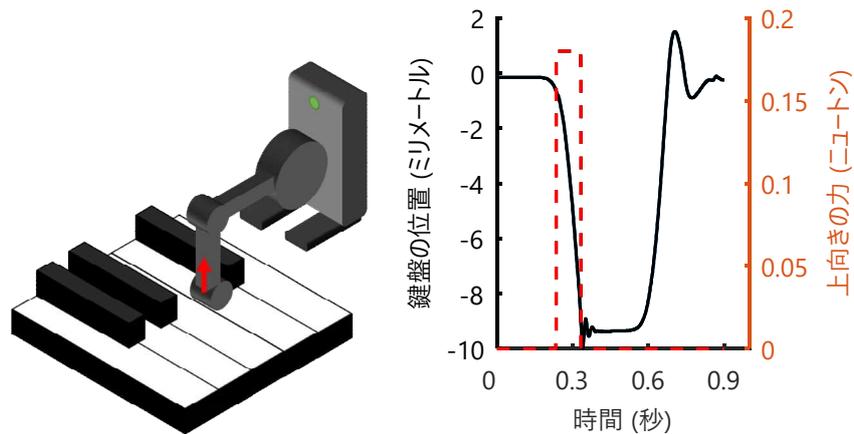


図1 ハプティックデバイスを用いた鍵盤重量操作システム

- (左) ハプティックデバイスが鍵盤を上方向に引っ張ることで鍵盤の重量を自在に操作できる。被験者は鍵盤を2回打鍵する。いずれかの打鍵の際に鍵盤重量が増加し、被験者は1回目と2回目のどちらの鍵盤が重いと感じたか回答する。回答後、正否がフィードバックされる。
- (右) 打鍵した時の鍵盤の動き（黒実線）とハプティックデバイスが発揮した力（赤点線）の時系列変化。鍵盤が下降する間だけハプティックデバイスが鍵盤を上向きに引っ張っていることが分かる。

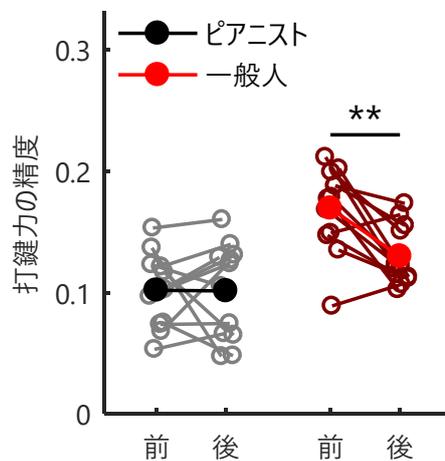


図2 熟練者の打鍵力の正確性が本当に天井に達しているかを調べる実験

運動トレーニングの前後における打鍵力の正確性。黒はピアニスト、赤は一般人の群を示す。運動トレーニングを行うことで一般人の打鍵力の正確性は向上した一方、ピアニストは向上せず天井効果が見られた。

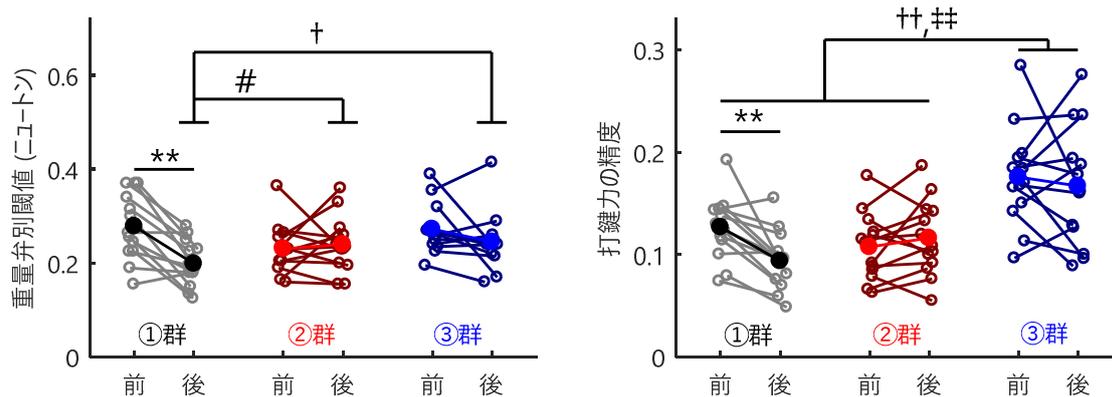


図3 AHTが熟練者に必要かを調べる実験

トレーニングの前後における重量の弁別閾値（左）と打鍵力の正確性（右）。①群（黒）はAHTを実施したピアニスト群、②群（赤）はAHTの際に回答が提示されないピアニスト群、③群（青）はAHTを実施した一般人の群を示す。各群の細い線は個人データを表す。AHTを実施したピアニスト群のみ、トレーニング後で両方の成績が向上した。

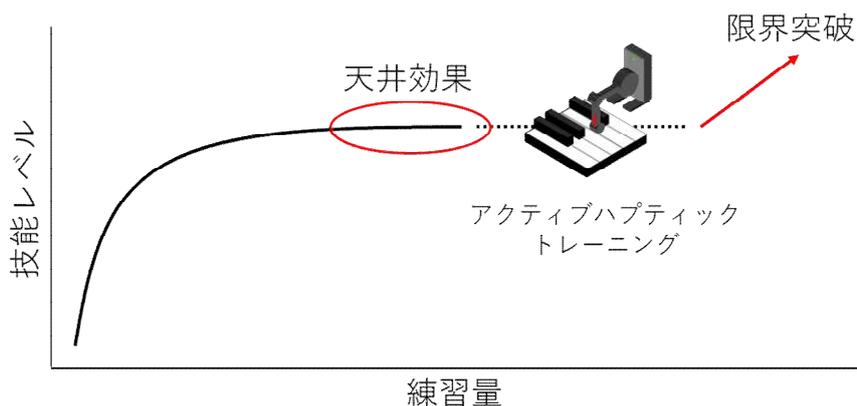


図4 AHTによる運動技能の限界突破

熟練者特有の問題として、練習しても運動技能がほとんど向上しない天井効果と呼ばれる現象がある。本研究では熟練ピアニストを対象に、打鍵運動中の体性感覚機能を増強するAHTを実施することで、運動技能の天井効果の打破を実現することができた。

<論文タイトル>

“Overcoming the ceiling effects of experts’ motor expertise through active haptic training”

(エキスパートの運動技能の天井効果を突破するアクティブハプティックトレーニング)

DOI : 10.1126/sciadv. abd2558

<お問い合わせ先>

<研究に関すること>

平野 雅人 (ヒラノ マサト)

株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所 ポストドクトラルフェロー

〒141-0022 東京都品川区東五反田 3-14-13

E-mail : hirano[at]nws.csl.sony.co.jp

<JSTの事業に関すること>

舘澤 博子 (タテサワ ヒロコ)

科学技術振興機構 戦略研究推進部 ICTグループ

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町

Tel : 03-3512-3524 Fax : 03-3222-2064

E-mail : crest[at]jst.go.jp

<報道担当>

科学技術振興機構 広報課

〒102-8666 東京都千代田区四番町 5 番地 3

Tel : 03-5214-8404 Fax : 03-5214-8432

E-mail : jstkoho[at]jst.go.jp