



東北大学



平成 22 年 8 月 20 日

報道機関 各位

東北大学 電気通信研究所・大学院文学研究科
立教大学現代心理学部
独立行政法人 産業技術総合研究所

音色で覚える物体の動き

脳は音と物体の動きの関係を超短時間で学習する

— 高臨場感マルチメディア技術・感覚代行技術の開発につながる成果 —

■ポイント■

日常生活の中で、ある人の顔と声、楽器とその音色など、見え（視覚情報）と聞こえ（聴覚情報）の関係性がいつのまにか学習され、それが日々の生活に役立っていることに気がつきます。これまで、見えと聞こえがどのように脳の中で結びつくのか、またそれがどのくらい早く学習されるのかについては、あまり知られていませんでした。本研究では、物体の動きを見る際、動きに応じて音色が変化する音を聴いているだけで、動きのパターンと音色の組み合わせがたったの3分間で学習され、音を提示すると音色に応じて静止した光点があたかも動いて見えるようになり、しかも少なくとも数日にわたって持続することを世界に先駆けて見いだしました。この研究成果は、各感覚器官からの情報を脳が統合するメカニズム（いわゆる異種感覚間統合メカニズム）の学習プロセスに関する新しい発見であり、今後、脳における異種感覚間統合メカニズムの研究や異種感覚間統合を利用した高臨場感マルチメディア技術や感覚代行技術の開発を大幅に加速することができると考えられます。

■概要■

東北大学電気通信研究所【所長 中沢 正隆】・大学院文学研究科【研究科長 花登 正宏】の寺本 渉研究員、立教大学現代心理学部【学部長 神田 久夫】の日高 聡太助教、および産業技術総合研究所【理事長 野間口 有】の杉田 陽一主任研究員らは、左右に動く光に合わせて高い音と低い音が交互に聞こえる場面を3分間呈示し、その後、一定の位置で点滅するだけの光と音を同時に呈示した場合、事前に聴いた音色と動きのパターンの組み合わせを再現する形で、静止した光点があたかも動いて見えるようになることを発見しました。しかも、この効果は、観察した際に光が出た時と同じ視野位置にのみ選択的に生じ、驚くべきことに、少なくとも3日間は持続することを明らかにしました（実験を行った著者たちにおいては、半年経過しても明瞭な効果が残っていました）。本研究成果は、米国の自然科学系オンライン学術誌 Public Library of Science (PLoS) ONE (2010年8月20日 <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0012255>) に掲載されます。

本研究は、文部科学省の科学研究費補助金（特別推進研究）として、平成19～23年度の期間で進めている研究課題「マルチモーダル感覚情報の時空間統合」（研究代表者 鈴木 陽一 東北大学電気通信研究所）の成果の一部です。この研究では、高い臨場感と迫真性を持つコミュニケーションシステムの実現を目指して、マルチモーダル感覚情報の時空間統合メカニズムの解明を行っています。

■研究の背景■

ヒトは、物体を認識する際、映像（顔、車のかたち、楽器）だけでなく、耳に入る音（音声、エンジン音、音色）など、複数の感覚から得られる情報を無自覚に利用している。たとえば、音源の位置が、実際に音が出ている場所ではなく、映像に写っている物体の位置であるかのように聞こえる現象（腹話術効果）は古くから知られている。また、映像が動いていると、実際には動いていない音にも動きが感じられることが知られてきた。逆に、音が動いていると、実際には動いていない映像にも我々は動きを感じる事ができる。これらは、映像と音の対応関係をいつのまにか学習し、それを利用して世界を認識していることを示している。しかし、こうした映像と音の基本的対応関係の学習に関して、成人でも生起するのか、一見すると無関係な映像と音との間でも生じるのか、またどのくらい早く学習が成立するかなど、学習が生起する特性にはほとんど知られていなかった。

■研究内容の要約■

本研究グループは、高い音と低い音に合わせて左右に動く光を3分間観察すると、その後高い音と低い音を聞いただけで、事前に聴いた音色と動きのパターンの組み合わせを再現する形で、点滅するだけで静止している光点が、あたかも動いて見えるようになることを発見した。しかも、この効果は、3分間観察した視野位置に選択的に生じ、驚くべきことに、少なくとも3日間は持続することが明らかとなった。さらに、この学習の効果が現れるには、3分間の観察をする際に、光にきちんと動きが感じられる必要があった。

■研究の意義■

今回の成果は、見たものと聞いたもののように異なった感覚器官からの情報を脳が統合するメカニズム（いわゆる異種感覚間統合メカニズム）、その統合の仕方を学習するメカニズムに関する重要な発見である。この現象の発見によって、今後、脳における異種感覚間の統合メカニズムに関する研究が大幅に加速されると考えられる。すなわち、これまでは、視覚と聴覚との間で知覚的な学習が成立するには、静止したものと、あるいは動くもの同士など、時空間的な特性がある程度一致する必要があるとされてきた。しかし、今回の発見によって、視覚と聴覚の間で、一方は動いているがもう一方は動いていないというように、両方で時空間的な特性が一致していない場面でも、たった3分間で学習が成立することが初めて明らかとなった。しかも、学習が行われた場所ではしか効果が見られず、かなり長い時間持続するという事は、その場所の情報を選択的に処理する特定の脳細胞にだけ、すなわち、脳の中でかなり初期の段階の処理系が、長い間にわたって変容しうることを示している。

この現象の発見は、新たな映像コンテンツの提供に貢献すると考えられる。これまで、水平方向の動きを映像として表現する際、映像そのものまたはそれに付随する音に空間的な位置の変化（横方向に動く）の情報が含まれている必要があった。そのため、映画コンテンツを、モノラルや2chのステレオ音声提示設備を備えている自宅のテレビのようなメディアで表現する際には、映画の情報をそのまま実現するのは不可能であると考えられていた。しかし、コマーシャルの時間などわずかな時間に、ただ単に音のピッチの情報（高い・低い）と一定の横方向の動きの情報を持つ視覚刺激の組み合わせを学習用に呈示することで、実際に映像コンテンツを眺める際によりリアルで迫力のある動きを知覚するようにすることが可能となる。さらに、この技術を洗練することで、ワンセグやiPadなど比較的小さい画面や、モノラルなどや少ないチャンネル数のステレオ設備で音を呈示するデバイスで映像を流す際にも、臨場感や迫力のある映像を再現することができる。このような、汎用性のある動画コンテンツ提供に貢献することができると考えられる。さらに、大抵の音情報提示デバイスでは、多くても5.1chが一般的には限界であったため、映像コンテンツに含まれる特定の対象に対して、選択的に動きの情報を増強するには制限があった。しかし、今回、学習効果には画面内の位置依存性があることがわかったので、あらかじめ増強する可能性のある画面位置で学習を行っておけば、雑踏の中にある車のスピード感だけを際立たせるといった、ある特定の対象のみ動きの印象を高めることができる。このように、多数の物体を含む映像コンテンツにおいて、効果的に音の情報を活用する技術の開発に貢献する。また、高齢者では、緑内障や白内障によって、視野の一部の情報が感じにくくなり、視認性が落ちてしまうことが生じうる。それに対するリハビリテーションについてはこれまであまり考えられてこなかった。本研究の知見は、ほんの短期間、対象者に対して負荷が少ない学習を行うことで、驚くべき効果が生じることを示しており、福祉分野への応用可能な技術として

利用されることも期待される。

■研究の詳細■

実験は、学習前テスト、学習、学習後テストの3つのセッションから構成され、6名の実験参加者が参加した。3分間の学習セッションでは、光を右視野の視角7.5度（左）と12.5度（右）の位置に交互に繰り返し呈示し、その2つの光の間に左右往復の動きを知覚させた【図1左】。それぞれの光の呈示時間は400msであり、光と光の間には100msの何も呈示しない時間を設けた。また、左右それぞれの光の呈示に合わせて、高い音（2000Hz, 50ms）または低い音（500Hz, 50ms）をヘッドフォンによって呈示した【図1左】。実験参加者の半分には、光が左に呈示された場合には高い音、光が右に呈示された場合には低い音を呈示した。残りの半分には、逆の組み合わせを呈示した。

学習前テストおよび学習後テストの各セッションでは、光の動きを右から左または左から右の方向で呈示し、実験参加者には光が動いて見えた方向を判断させた【図1右】。光の移動する距離（視角度）は、0.12, 0.24, 0.48, 0.96度に設定した。光が移動する距離が大きくなるにしたがって、判断は容易になるが、光の移動する距離が小さい場合には判断が困難になり、右に動いたと判断される割合と左に動いたと判断される割合が半々になる。この、動きの方向判断が50%になる点を、主観的に「止まっている」と感じる光の移動量（主観的静止点）とした。また、光の動きに合わせて、学習セッションの際に呈示した音を、高い音から低い音、または低い音から高い音の順番で呈示した。光の位置（左右）と音の高さ（高低）の組み合わせは、学習セッションの時と一致する場合と一致しない場合があり、それぞれ同数設定した。また、比較のため、音を全く呈示しない条件も行った。

学習前テストセッションでは、音が呈示された条件と音が呈示されない条件の間に差は認められなかったが、学習後テストセッションにおいては、音が呈示されない場合に比べ、音が呈示された場合には、主観的静止点は大きく変化した。すなわち、例えば、高い音-左の光/低い音-右の光に学習した場合には、高い音・低い音の順で音が呈示されたときに、左から右への光の動きを知覚しやすく、低い音・高い音の順に音が呈示されたときには、右から左への光の動きを知覚しやすくなることがわかった。逆に、高い音-右の光/低い音-左の光に学習した場合には、高い音・低い音の順で音が呈示されたときに、右から左への光の運動を知覚しやすく、低い音・高い音の順に音が呈示されたときには、左から右への光の運動を知覚しやすいということがわかった【図2】。さらに驚くべきことに、この効果は3日後に再びテストセッションだけを行った際にも認められた【図2右】。

次に、この効果が、学習セッションで光が呈示された視野の位置以外でも生じるかどうかを調べるため、学習時に光の動きを呈示した位置（視角10度を中心として7.5度と12.5度の間の往復運動）とは、異なる位置（5度を中心として2.5度と7.5度または20度を中心として17.5度と22.5度）でテストを行った。その結果、学習が行われた視角10度の光に対してのみ、音の効果が生じるということがわかった。また、コントロール実験として、学習位置が視角5度近傍でテスト位置が5度近傍または10度近傍、学習位置が視角20度近傍でテスト位置が10度または20度近傍の状況で実験を行ったところ、いずれの状況でも、学習時とテスト時で光の呈示位置が一致していた場合のみ、学習効果が得られることが分かった【図3】。当初、我々は、得られた学習効果は、視聴覚の各感覚における情報処理を終えた後の、比較的高次の情報処理段階で生じると考えていた。この処理段階では、視野のある程度広い範囲が対象になっていると考えられるため、学習とテストで光の呈示位置が異なった場合でも、効果が生じると考えていた。しかし、実験で得られた結果から、視野の狭い範囲の情報が扱われる、比較的初期の視覚情報処理段階において、すでに光と音の学習が成立していると考えられた。

最後に、学習効果を生じさせるためには、学習時にきちんと光の動きが知覚されることが必要であるかを検討した。これまでの実験では、学習セッションにおいて光と光の間に100msの何も呈示しない時間を設けていた。これによって1つの物体が左右交互に動くという知覚が生じる。そこで、ここでは、2つの光の呈示時間間隔を10倍の1000msに設定した。これにより、2つの物体が左と右の位置で独立して点滅しているという知覚が主に生じ、動きの知覚は生じなかった。それ以外は、最初の実験と同じ設定を用いた。テストセッションでは、光の呈示時間間隔が100msと1000msの場面を測定した。その結果、1000msの呈示間隔で学習した場合には、テスト時に動きが感じられるかどうかにかかわらず、学習効果は認められなかった【図4】。このことから、音によって光の動きに学習効果を引き起こすためには、学習時にきちんと光の動きが知覚されることが不可欠であることが示された。

注) 下線の単語については、この後の「用語の説明」欄を参照

■ 今後の予定 ■

音と光の動きの結びつきが、非常に短時間で成立することが心理学的に明らかになった。しかし、これがどのように脳内で実現されるかは明らかになっていない。今後は、神経生理学および神経解剖学的研究によって、脳内メカニズムを明らかにする。

【用語の説明】(五十音順)

◆視角度

光が、実際に眼の中に映る大きさ(角度)。57.3 cmの距離から観察された1 cmの光は、1度となる。

◆主観的静止点

物理的にも物が動いていても、主観的には止まっていると感じられる値

◆腹話術効果

実際に音が出ている場所(聴覚情報)ではなく、映像によって与えられる情報(視覚情報)に基づいて音源の位置を判断する現象。腹話術において、実際には腹話術師がしゃべっているにもかかわらず、腹話術師が操作する人形の口の動きにより、実際に声が出ている場所は違うにも関わらず、脳が、声は口から出ていると錯覚することに由来する。テレビの横にあるスピーカーから音が出ている、画面の中の話者の位置から声が出てくるように感じられることが多いが、これも腹話術効果によるものである。

類似の現象として、映像に動きがあると、音源は動いていないにもかかわらず、動いているように聞こえることが少なくないことが報告されている。

このように、これまで、聴覚(聞こえ)が視覚情報の影響を強く受ける現象は様々なものが報告されている。それに対し、視覚(見え)が聴覚情報の影響を強く受けるという研究はたいそう少ない。

◆臨場感

そもそも「あたかもその場にいる感じ」を表す言葉であるが、それが転じて「迫力がある」、「リアリティがある」、「本物っぽい」といった印象などを表現する言葉として使用されている。

■ 論文名と著者の英文表記 ■

Sounds move a static visual object

Wataru Teramoto, Souta Hidaka, Yoichi Sugita

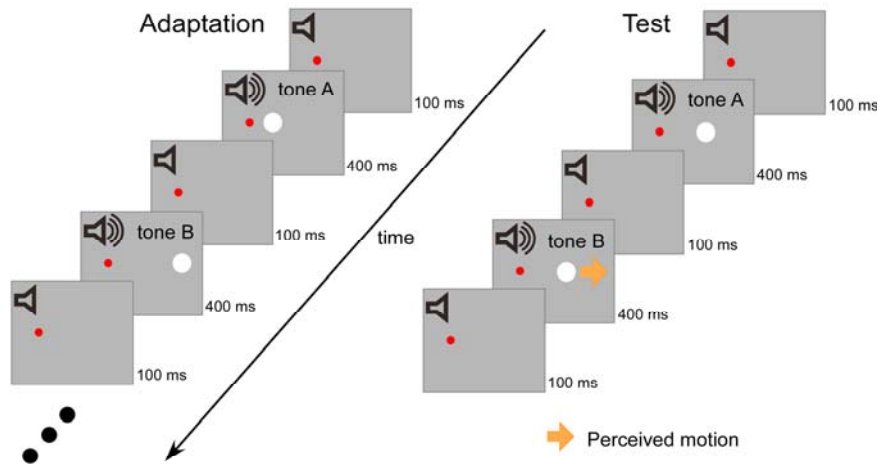


図1 学習セッション（左）とテストセッション（右）の刺激呈示方法。

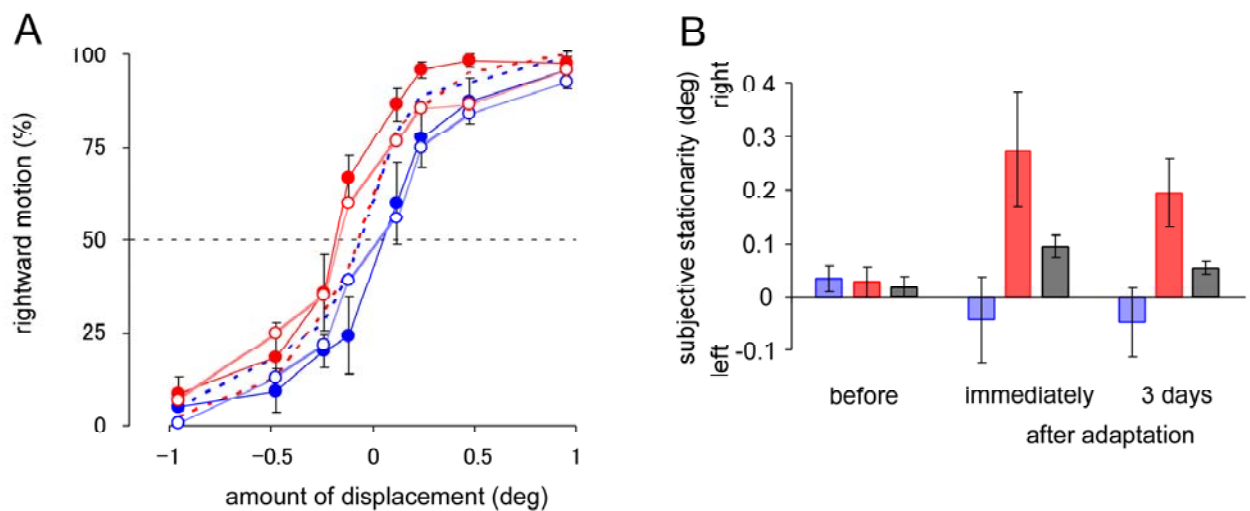


図2 学習による主観的静止点の変化。横軸は光が移動した量，縦軸は右方向の動きが知覚された割合。横軸に沿って描かれている点線が，動きの方向判断が50%になる点(主観的静止点)。図Aの赤・青実線（マーク塗りつぶし）の図が学習直後のテストセッションの結果であり，赤・青実線（マーク白抜き）の図が学習3日後のテストセッションの結果，点線は学習前のテストセッションの結果を表す。赤実線：高→低または低→高と変化する音と右方向への運動を組み合わせる学習した場合。青実線：高→低または低→高と変化する音と左方向への運動を組み合わせる学習した場合。図Bは主観的静止点の変化を棒グラフにまとめたもの。黒棒はテストセッションに音を呈示しなかった場合。

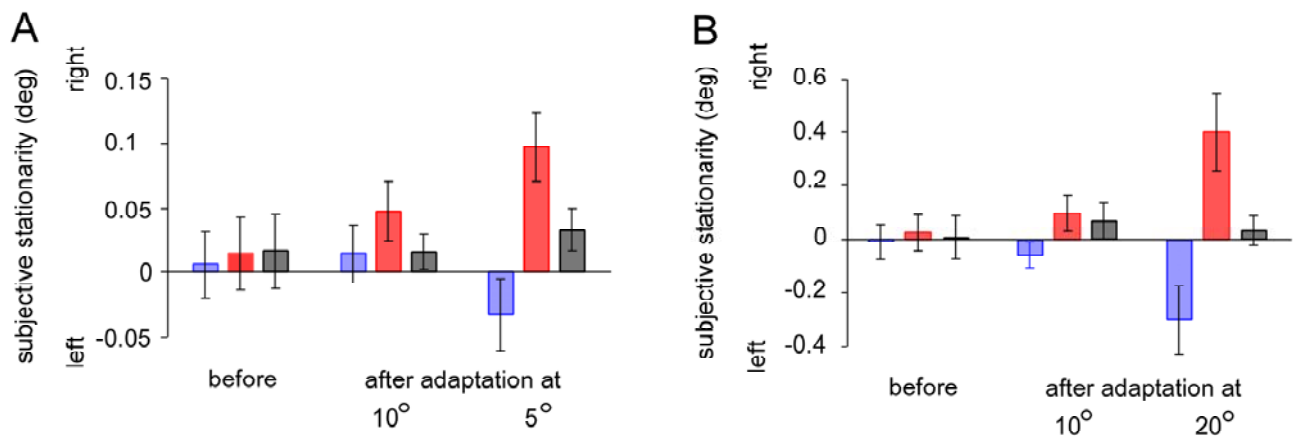


図3 学習した視野内の位置の違いによる主観的静止点の変化。図Aは、5度で視聴覚の結びつきを学習した場合、図Bは20度で学習した場合を示す。赤：高→低または低→高と変化する音と右方向への運動を組み合わせ学習した場合。青：高→低または低→高と変化する音と左方向への運動を組み合わせ学習した場合。黒：テストセッションに音を呈示しなかった場合。

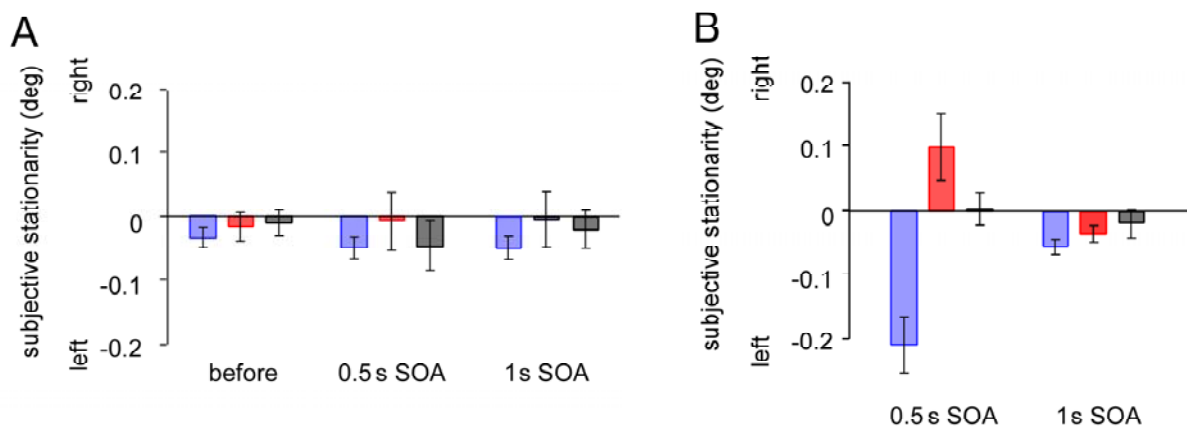


図4 学習時の映像の見えの違いの影響。

○本件問い合わせ先

東北大学電気通信研究所・大学院文学研究科

研究員 寺本 渉

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

TEL : 022-217-5461

〒980-8576 宮城県仙台市青葉区川内 27-1

TEL : 022-795-6048

E-mail : teraw@ais.riec.tohoku.ac.jp

立教大学現代心理学部心理学科

助教 日高聡太 〒352-8558 埼玉県新座市北野 1-2-26

TEL : 048-471-7041

E-mail : hidaka@rikkyo.ac.jp

独立行政法人 産業技術総合研究所

ヒューマンライフテクノロジー研究部門 システム脳科学研究グループ

主任研究員 杉田陽一 〒300-4201 茨城県つくば市大字寺具字柏山 1497-1

TEL : 029-869-1921 FAX : 029-869-1904

E-mail : y.sugita@aist.go.jp