

忘れられていた超能力：脳は音が進んでくる速さを正確に知っている

高次臨場感視聴覚情報提示技術の開発に向けて期待

光が1秒間に地球を7周半するのにに対し、音は340メートルしか進まないということを知らない人はいないだろう。ところが、「秒速340メートルって、どのくらいの速さなのか実感できますか？」と聞かれると、答えに窮する人が多いに違いない。しかし、実は多くの人の脳は鳴った音が大気中を進んでくる速さを正確に知っていたのである。

産総研脳神経情報研究部門では、脳が視覚情報と聴覚情報を統合する際に、音の時間遅れを補正していることを音と光の時間順序判断実験により明らかにした。この補正時間は、音が大気中を進むのに要する時間と一致している。この事実の発見によって、見たものと聞いたものを統合する（いわゆる異種感覚間統合）脳内メカニズムの研究が大幅に加速すると考えられる。また、現在開発が進んでいる立体テレビや映画などにおいて、情景（画像・音）の奥行き情報を鮮明に再現するための高次臨場感視聴覚情報提示技術の開発を行う上で極めて大きく貢献できるだろうと期待される。

視覚と聴覚

人間は、五感を通じて得た情報を適切に処理し、身の廻りの事物を認識している。これら五感の情報は、それぞれ独立した神経経路で処理されているが、なかでも視覚系と聴覚系は、自分から遠く離れた場所にある事物の情報を与えてくれるので、日常生活をする上で極めて重要である。また、遠方の情報を処理するために高次な情報処理機構を必要としている。と言うのも、情報源が離れば離れるほど不必要な雑音の混入が避けられないからである。

情報の抽出と補完

我々の最近の研究では、見たい物の一部が手前の障害物で隠されているとき、あるいは聞きたい音の一部が雑音で聞こえないとき、脳は情報抽出の精度を上げてかすかな情報を取得するのではなく、欠損情報を新たに作り上げて補完していることが判ってきた。もちろん、いいかげんな補完であれば、人間は誤認と誤謬の世界で生きることになり生命の危険さえ脅かされかねない。このような事態を避けるために、脳は「自然界の決まりごと」を情報処理機構のなかに組み込んでいたのである。

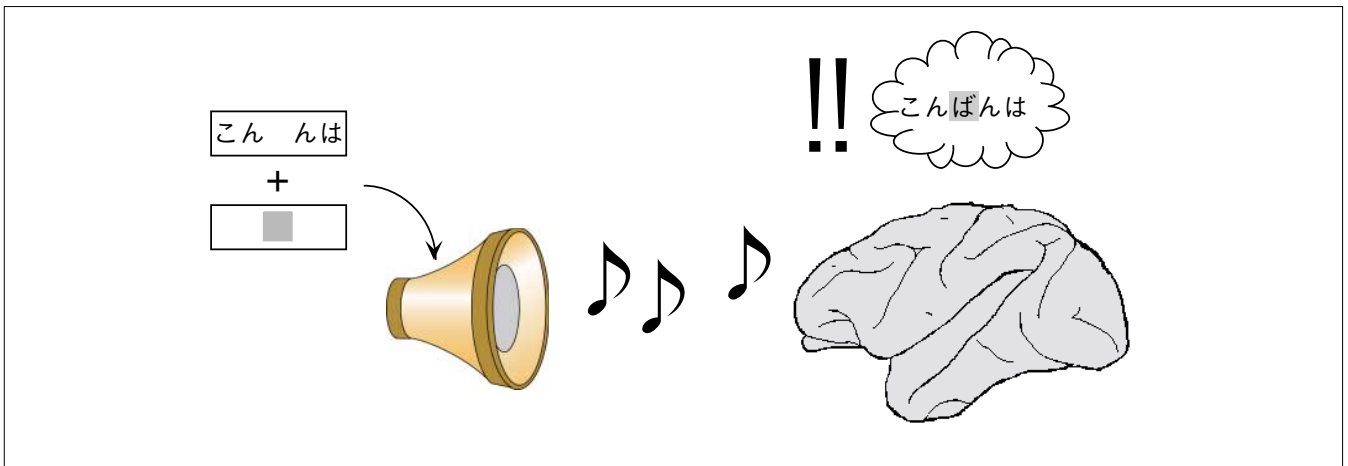
視覚系の補完

たとえば、図1 Aを見て、多くの人は何が書いてあるか一瞬にして理解することができるだろう。これは、脳が「シミ」で隠された部分を適切に推測し補完しているからであ

る。一方、図1 Bを見て、何が書いてあるか理解できる人は極めて少ないに違いない。ところが、図1 AとBとを良く比べてみると、理解に必要な情報はどちらの図にも等しく含まれているのである。図1 Aでは部分を覆い隠す「シミ」が明瞭に見て取れるのに対して、図1 Bでは不明瞭である。以上の事実は、脳がやみくもに欠損部分を補完しているのではなく、欠損部分が障害物の背後に潜んでいるときに限って補完機能を働かせていることを示している。このような補完は視覚情報処理が相当に進んだ段階で行われるのだらうと長い間考えられてきたが、視覚情報が脳皮質に到達した段階（逐次処理の最初の段階）で行われていることが、我々の研究で明らかになった。



●図1 視覚系の補完の例



●図2 聴覚系の補完機能

聴覚系の補完

聴覚系も同じような補完機能を持っている。たとえば、「こんばんは」の「バ」の音を完全に消し去ると「こん□んは」と聞こえるが、空領部分に雑音を挿入すると雑音の陰で「バ」という音をはっきりと鳴っているように聞こえる(図2)。これも脳が雑音の背後にある欠損部分に限って補完機能を働かせていることを示している。我々は、この聴覚系の補完も聴覚情報処理の最初の段階で既に行われていることも明らかにした。

視聴覚間情報統合

近年の映画と昔の無声映画を比べれば明らかのように、映像と音の双方があって初めて現実感を伴った描写が可能になる。映像と音は、現実感や臨場感を増すだけでなく、相互に不明瞭な部分を補い合っている。現実世界において多くの場合、眼に見える動きによって音が発生するため、とりわけ物体の動きの映像と音の間には、強い相互作用が認められる。たとえば、「バ」と発音する口の動きに合わせて、「ガ」という音声を聞かせると、ほとんどの人には「ダ」と発音しているように聞こえる。これは、音声をはっきりと聞き取れないときに、聴覚系の補完機能だけでなく視覚情報をも利用して意味ある言語を聞き取っていることを示している。

視聴覚間相互作用の時間的制限

脳は聞こえた音と見えた映像を統合し、実世界の出来事を理解している。しかし、稲妻と雷鳴、打ち上げ花火の光と音あるいは空を飛ぶジェット機と爆音のような遠い距離での出来事では、視聴覚間の統合が不可能になることは経験上よく知られている。これは、光は発生と同時に眼に到達するが、音は1メートル進むのに約3ミリ秒(0.003秒)を

要するため、距離が長くなるにつれて光と音を受容する時間差が増大するためである。このように映像と音が別々に感じられることは良く知られていたものの、今まで、どの位の距離まで視聴覚間の情報統合が可能であるかは正確には知られていなかった。

我々の研究グループは、7名の男性被験者に音と光に時間差をつけて呈示し、“どちらが先に呈示されたか”時間順序を判断させた(写真)。頭部伝達関数を畳み込んだ白色雑音(90dB SPL、持続時間10ミリ秒、立ち上がり・立下り時間はそれぞれ4ミリ秒)は、ヘッドホンを通して呈示した。光刺激は、超高輝度発光ダイオードを点灯(持続時間10ミリ秒)した。発光ダイオードと被験者との間の観察距離は、1、5、10、20、30、40、50メートルとした。光強度は、観察距離が1メートルの時に14.5cd/m²、それより長い距離の時には距離の2乗に比例して強度を上げた。



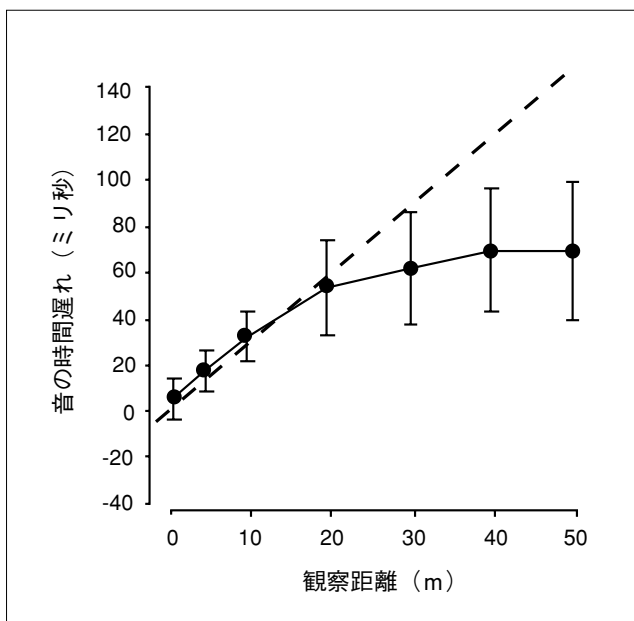
●写真 音と光の時間順序判断実験の様子

音と光の時間差が十分に大きい時には、被験者は正確な時間順序判断が可能である。ところが、時間差が小さくなるにつれて正確な判断が困難になり、「音が先」という判断と「光が先」という判断が半々になってくる。この「音が先」という判断と「光が先」という判断がそれぞれ50%になる点を、主観的に同時と感じる時間差(主観的等価点)とした。

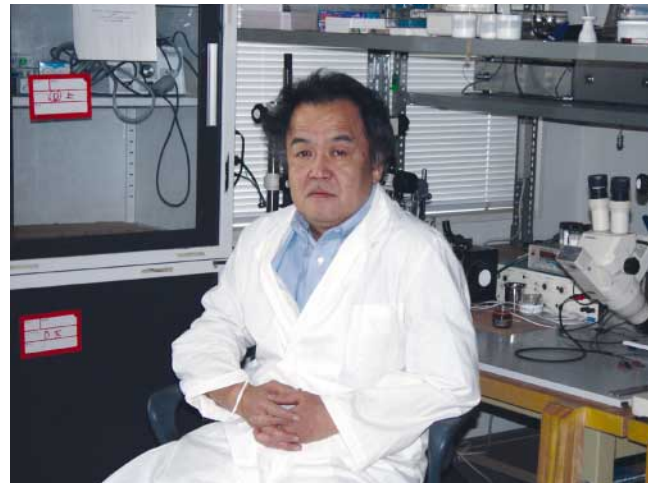
観察距離が1メートルの時、音が3ミリ秒程度光より遅れて呈示されると、被験者は音と光が同時に呈示されたと感じた。ところが、観察距離を長くするにつれて、音がより遅れて呈示された時に同時と判断するようになった(図3)。興味深いことに、観察距離を1メートル長くするたびに音を3ミリ秒だけ遅らせて呈示すると、被験者は同時に呈示されたと判断した。これは、音が大気中で1メートル進むのに約3ミリ秒かかることと極めて良く対応している。少なくとも観察距離が20メートル以内であれば、この関係が成立していた。これらの結果は、視聴覚情報を統合する時に、脳が音の時間遅れを観察距離に応じて補正していることを示している。また、この視聴覚情報統合における補完の限界が約40メートル近辺であることも同時に明らかになった。

情報統合のメカニズム

聴覚情報が最初に到達する大脳皮質の部位(第一次聴覚野)の細胞活動を調べると、腹側部の細胞は音が鳴ってから応答するまでの時間(潜時)が極めて短いのにに対して背



●図3 観察距離に応じた時間遅れの補正
黒丸(●)は主観的等価点。点線は音が実際に到達するまでの時間を表している。



●脳が視覚情報と聴覚情報を統合する際に音の時間遅れを補正していることを発見した脳神経情報研究部門 杉田研究グループ長

側部になるほど潜時が長くなる。一方、第一次視覚野では、このような場所的な潜時の相違は確認されていない。おそらく、映像と音が近い距離で発生した時には、聴覚系は遅い回路を使って視覚系の処理時間と同期させ、逆に遠い所で発生したため音の到達が遅れた時には、速い回路を使って視覚系の処理時間に追いつくようにしていると考えられる。そして、高速な回路を使っても処理時間が視覚系に追いつかない時に、視聴覚間の統合が不可能になるのであろう。現在、この統合の回路の同定を試みているところである。

今後の予定

視覚情報と聴覚情報を統合する際に、脳は音の時間遅れを補正していることが明らかになった。しかし、この補正を実現している神経回路は未だ同定されていない。今後は、神経生理学および神経解剖学的研究で、この回路を明らかにする。また、奥行き情報を含む3次元視覚情報(画像)と3次元聴覚情報(音)を同時に提示する際の、空間に関する感性情報を最適化する高次臨場感マルチモーダル情報提示技術への応用を図りたい。

●問い合わせ

独立行政法人 産業技術総合研究所
脳神経情報研究部門
認知行動科学研究グループ 杉田 陽一
E-mail : y.sugita@aist.go.jp
〒300-4201

茨城県つくば市大字寺具字柏山 1497-1 つくば北