

## 脳は音がどのくらいの早さで進んで来るか正確に知っている

--- 脳型情報処理と高次臨場感提示技術に関する研究が加速 ---

平成 15 年 2 月 25 日  
東北大学電気通信研究所

### 《 ポイント 》

- 1) 世界において多くの場合、音は眼に見える動きによって生み出される。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。
- 2) 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 ミリ秒を要する。
- 3) 脳は、音の時間遅れを計算に入れて、聞こえた音と見えた映像を統合していることが明らかになった
- 4) 距離の情報までも正確に提示する、高次臨場感マルチモーダル情報提示技術の開発につながる成果であると考えられる。

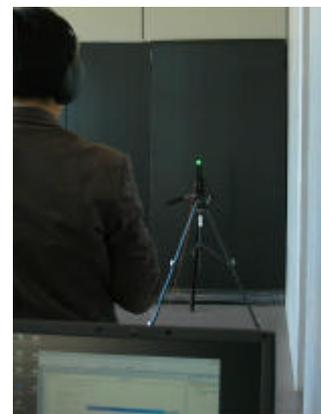
### 《 概 要 》

東北大学電気通信研究所【所長 中村 慶久】(以下「通研」)ブレインコンピューティング研究部門の鈴木陽一【すずき よういち】教授は、独立行政法人 産業技術総合研究所【理事長 吉川 弘之】(以下「産総研」) 脳神経情報研究部門の杉田 陽一【すぎた よういち】研究グループ長と共同で、音と光を様々な時間間隔で呈示して、音が鳴った時間と光が点灯した時間が同じであると感じられる時間間隔を測定した。この結果、光源と観察者との間の距離が長くなるにつれて、光より遅れて音が鳴っても同時と感じられることが明らかになった。この発見によって、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を大幅に加速することができると考えられる。また、本研究の成果は、3次元空間情報を提示する際、奥行き情報をピピッドに再現する高臨場感マルチモーダル情報提示技術の開発を行ううえで大きな貢献をなし得ると期待される。

本成果は、平成 15(2003)年 2 月 27 日に発行される『Nature(ネイチャー)誌』に掲載される。

東北大学電気通信研究所と共同研究先の産総研では、頭部伝達関数を畳み込んだ白色雑音と距離の 2 乗に比例して明るくなる光を、時間差をつけて呈示し、同時と感じられる時間差を測定した。この結果、距離が 1 m 長くなるのに伴って、音が約 3 ミリ秒遅れて呈示されても、主観的には同時に呈示されたと感じられることが明らかになった。この時間は、音が大気中を進む速度と一致している。また、この視聴覚統合における距離の補完の限界が約 40 メートル近辺であることも同時に明らかにされた。

今回の知見は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)の奥行き情報をピピッドに伝えるために、極めて大きな貢献を為しうる。また、超高速デジタルネットワークで接続された高度情報化社会構築において、高臨場感通信の臨場感を更に大きく高めるための重要な技術として大きく貢献できる。さらに、ロボットが、自分を取りまく実世界を正しく認識するための基礎技術として極めて重要である。つまり、自分(ロボット)に話しかけている話者の同定や、警報を発している機械の同定など、映像と音の結びつけを行うのは、環境認識に必須である。



写真：実験風景

## 〈 研究の背景 〉

実世界において多くの場合、音は眼に見える動きによって生み出される。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、あるいは空を飛ぶジェット機と爆音のように、遠い距離になると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ミリ秒を要するため、距離が長くなるにつれて、音と光を受容する時間差が増大するためである。今まで、どの位の距離まで視聴覚間統合が可能であるか正確には知られていなかった

## 〈 研究の内容 〉

7名の男子被験者に、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。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, 立ち上がり時間と立下り時間は、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した(持続時間 10 ミリ秒)。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, もしくは50メートルとした。光強度は、観察距離が1メートルのときに 14.5 cd/m<sup>2</sup>, 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。

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(図1)。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。また、「音が先」あるいは「光が先」という判断が75%になった点を、「音が先」あるいは「光が先」であると認識できる時間差(閾値)とした。

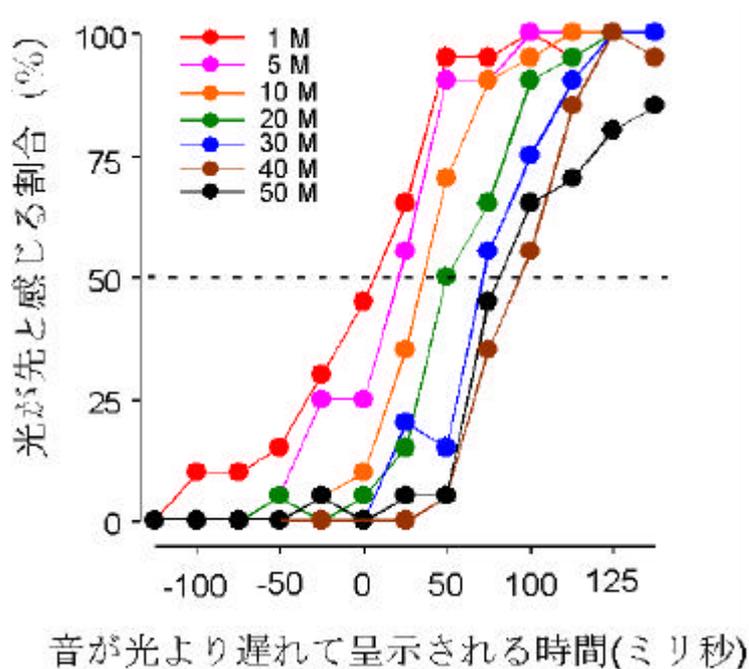


図1 被験者 KK の実験結果。横軸：音の時間遅れ。縦軸：光が先に呈示されたと判断した割合。

観察距離が 1 メートルのとき、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ときに同時と判断するようになった(図 2)。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感じた。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 10 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ときに、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。

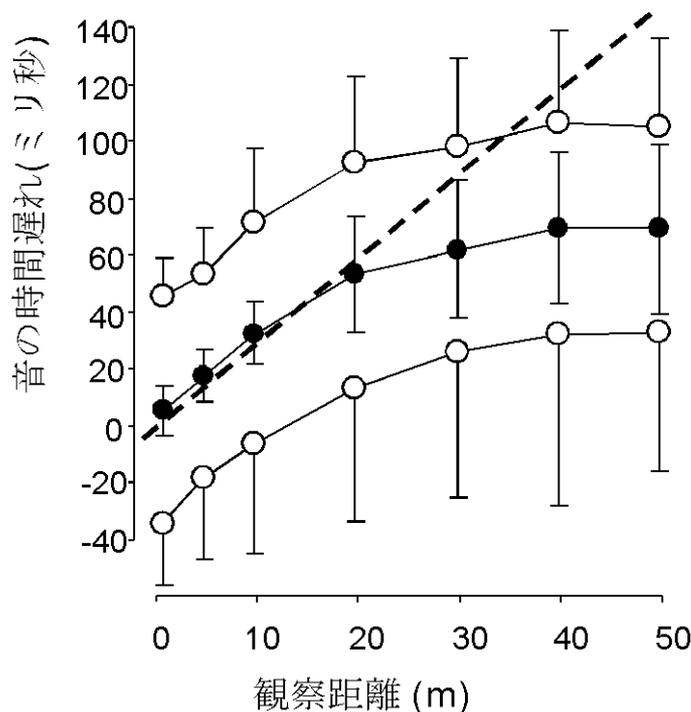


図 2. 観察距離に応じた時間遅れの補正。主観的等価点(黒丸)と、音が先あるいは光が先であることを判断できる閾値(白丸)。縦軸：音の時間遅れ。横軸：観察距離。破線は、音が実際に到達するまでの時間を表している。

一方、音が 40 メートル進むのに約 120 ミリ秒かかるが、観察距離が 40 メートルのときに「光が先」と知覚できる閾値は 106 ミリ秒であった。この結果は、視聴覚情報統合における距離補正が約 40 メートルを限界としていることを示している。

### 〈 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心理学的に明らかになった。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で、この回路を明らかにしたい。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、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。

## 用語の説明

**頭部伝達関数** 音源から耳までの音の伝達特性．頭や外耳，体による共振，反射，回折などを総合的に含む特性である．したがって，頭，外耳，体の形状などによって決まり個人性がある．音の到来方向や距離感などは，この頭部伝達関数と，その両耳間差によって認識されていると考えられる．たとえば，水平面の方向認識では左右両耳の頭部伝達関数の差が重要であり，仰角の認識では，頭部伝達関数が強くなっている周波数が角度によって変化することが認識の基本的な手がかりになっていると考えられている．逆に，ある方向からの頭部伝達関数を合成することにより，実際の音源がどこにあるとも，仮想的にその方向への音源定位を実現することができる．そのため，聴覚ディスプレイ（デジタル信号処理を施した信号を両耳に加えることにより，3次元音空間を提示する装置）を作るために重要である．

(参考: <http://www.ais.riec.tohoku.ac.jp/Lab2/localization>)

**主観的等価点** 物理的に異なっても主観的には等しいと感じられる値

### 閾値（「いきち」あるいは「しきいち」とも）

音や光などを，ある物理量を変化させて提示した場合（これを刺激という），その物理量が異なる2種類の刺激が違ふものであると判定できたとき，違ふと判断する最小限の物理量の違ひ．JIS等では，域値とも書く．

---

## 本件問い合わせ先

東北大学電気通信研究所

教授 鈴木 陽一

〒980 8577 仙台市青葉区片平 2-1-1  
東北大学電気通信研究所  
tel: 022-217-5460 fax: 022-217-5535  
E-mail: suzuki@ais.riec.tohoku.ac.jp

独立行政法人 産業技術総合研究所

つくばセンター

脳神経情報研究部門 認知行動科学研究グループ

研究グループ長 杉田 陽一

〒300-4201 つくば市寺具柏山 1497-1  
産総研つくば北センター  
tel: 0298-69-1921 fax: 0298-69-1904  
E-mail: y.sugita@aist.go.jp