



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	盲人の聴覚による障害物知覚機構の仮説
Author(s)	伊福部, 達; 関, 喜一; 梶井, 健 他
Citation	電子科学研究, 1, 20-25
Issue Date	1993
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/24271">https://hdl.handle.net/2115/24271</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	1_P20-25.pdf



# 盲人の聴覚による 障害物知覚機構の仮説

感覚情報研究分野 伊 福 部 達, 関 喜 一, 梶 井 健  
田 中 良 広 (札幌高等盲学校)

18世に出版された「盲人書簡」に、盲人の多くはその周囲の環境の様子や障害物を何らかの感覚で知ることができるという「障害物知覚」の能力について記されている<sup>[1]</sup>。幾人かの心理学者によりこのメカニズムの解明に関する研究がなされ、聴覚的な手がかりが必要十分条件であることが判明していた。しかし、多くの未解決の問題を残したまま30年間にわたり障害物知覚は研究の対象にならないままであった。我々は、盲人の環境認識補助のために障害物知覚の能力を有効に活用することを目的として、札幌高等盲学校と約5年間にわたり共同研究を行ない、そのメカニズムの解明に取り組んできた。その結果、障害物へ向かって歩行して行くに従い、「エコーロケーション」、「先行音効果」さらに「両耳相関係数」を手がかりにして障害物を知覚するようになるという仮説が得られた。また、盲人が静止している場合には、環境雑音の「カラーレーション」と2kHz以上の「スペクトル成分の増減」が障害物の大きさ、方向、距離の知覚に関与しているという仮説を立て、その一部を実証する実験を行なった。

## 1. 従来仮説

障害物知覚に優れた盲人は、障害物までの距離の弁別については正眼者の片眼による能力を上回り、材質の弁別では、木材、金属、布だけではなく、同じ布でもベルベットとデニムの違いまでも聞き分けができるのである(Kellog<sup>[2]</sup>およびRice<sup>[3]</sup>)。

障害物知覚の要因については幾つかの仮説があり、Supa<sup>[4]</sup>らはそれらを大きく3つに分類している。第1は、障害物知覚は、ある感覚器官が鋭敏になった結果得られた能力であるという「感覚説」である。第2は、色々な感覚からの情報を統合して知覚する能力が向上したとする「知覚説」である。第3は、磁気や電気などを感じる第6感によって得られる能力だとする「オカルト説」である。

このような仮説は盲人の内観報告から、「皮膚感覚説」と「聴覚説」の2つに整理された。何人かの盲人は障害物があることを顔面、額、頭頂部で知覚すると主張し、ある盲人は障害物の存在が聞こえるという言うことが仮説の根拠となっている。しかし、耳栓で盲

人の聴覚を遮断した状態と、フランネルの布で皮膚感覚を遮断した状態で障害物知覚能力の比較実験を行なった結果から、聴覚的な手がかりが重要であることが明らかにされている。このことはCotzin<sup>[5]</sup>らの厳密な実験によって裏付けられた。彼らは、盲人のかわりにマイクロホンを障害物に近づけて行き、マイクロホンから得られた音をヘッドホンを通じて盲人に聞かせても障害物知覚ができることを見だし、障害物からの反射音はその手がかりになっていることを導いている。しかし、反射音のどの成分が重要なのか、あるいは近距離の障害物の知覚のメカニズム、さらに盲人が静止した状態でも障害物知覚ができるという事実など説明がつかない問題は残されたままであった。

## 2. 数m先の障害物の知覚に関する仮説

障害物知覚の従来仮説の多くは、障害物からの反射音が要因であるということが前提であった。実際、被験者(先天全盲3名、19-20歳)に協力してもらい、盲学校の体育館の壁に向かって歩かせると、2~3mのところ「何かがあるような感じがする」といって

おり、さらに、数十 cm のところで「何かにつかりそうになる」といって立ち止まった。

確かに足音の反射音を手がかりにしているようにみえる。実際、比較的遠方にある障害物については「足音などの反射音が聞こえる」との内観報告があり、反射音が障害物知覚の要因となり、いわゆる「エコーロケーション」の機能が働いていることが推論される。

ただし、2～3 m のところで、「何かがあるような感じがする」というのは別の要因も働いている可能性がある。そこで、まず、足音を想定して直接音源が足元にあるとしたときに、被験者は障害物からの反射音の方向をどのくらい正確に定位しているのかを調べた<sup>[6,7]</sup>。

人が日常障害物に遭遇する状況は複雑な場合が多い。ここでは問題を単純にするため、十分大きな平面をもつ障壁が地面から垂直に立っているようなものを障害物と想定した。また、被験者は障害物に対して顔の前面が直立して静止しているものとした。このとき足音とその障害物からの反射音の方向は、足元のつま

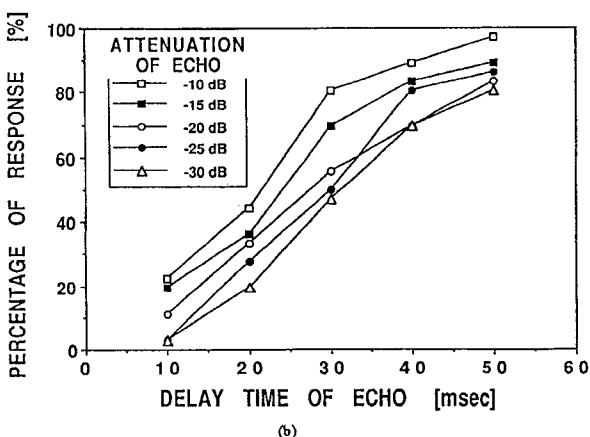
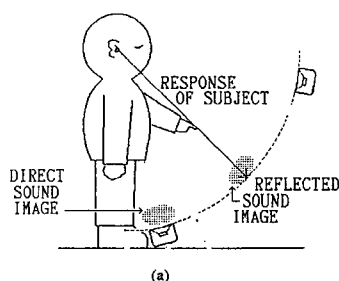


図1 (a)被験者が指示する反射音像の方向  
(b)縦軸：知覚される反射音の方向(100%が反射音源の方向, 0%が足元の方向)  
横軸：直接音と反射音の時間差, パラメータは反射音の減衰量

先に置いた音源と障害物によって反射する方向から提示される音源でシミュレートすることができる。反射音の直接音に対する遅延時間や減衰量を変えて、どの方向から反射音が聞こえるかを、図1(a)に示したように、「指さし」によって指示させてみた。被験者(先天全盲人2名, 19-20歳)に協力してもらい、どのくらいの精度で反射音の方向を捉えるのかを調べた。

指先が反射音源の方に向いているのを100%とし、足元の方に向いているのを0%として集計すると、図1(b)のようになる。図は減衰量をパラメータとし遅延時間と指さしの方向との関係が示されている。図から、反射音の遅延時間が40 msec以内になってくると反射音の方向から足元の方向に音源の位置がずれて知覚されるようになり、それが反射音の減衰量が大きいほど顕著になっているのが分かる。この現象は「先行音効果」と呼ばれており、この効果があるために、例えば遅延時間が10 msecすなわち障害物までの距離が2 mのときに反射音は足元の方向に移動して定位するようになる。

このとき「何かがあるような感じがする」という盲人の内観報告に対応している。先行音効果は正確に障害物の位置を知覚するには役に立っていないが、その効果による音像の移動が盲人にとって障害物知覚の重要な手がかりになっていると推論される。ただし、「何かにつかりそうになる」というときの近距離にある障害物の知覚には他の物理的要因も考慮しなければならない。

### 3. 数十 cm 先にある障害物の知覚に関する仮説

近距離にある障害物については「障害物方向が静かになる」などの内観報告もあり、障害物知覚の要因が単に障害物からの反射音にあるのではないことが想像される。障害物の遮音効果も障害物知覚の要因であると示唆している研究者(Welch<sup>[8]</sup>およびKohler<sup>[9]</sup>)もいたが、この可能性は立証されていない。

そこで、反射音の手がかりにならないように、被験者(先天性全盲人3名, 17-19歳)に約3 mの距離から障害物に向かってゆっくり歩かせ、障害物の存在を感じた場所で立ち止まってもらうという実験を行った。この実験では、障害物として90 cm × 90 cm(厚さ24 mm)の木の板を用い、障害物からの反射音が生じないように板の前面に25 mmのガラスウールを貼

り、さらに足音が立たないように床に絨毯を敷いた。グラスウールボードで作った簡易な無響室内に、障害物を配置し、その後方2 mのところに環境雑音を模擬して雑音を出すスピーカを置いた。

障害物から足の爪先までの距離を求めると、図2(a)のように、障害物に接近した距離に間違いなく立ち止まり、その距離の平均は約38 cmに集中している。被験者が音場以外からの情報を手がかりにしていないことを確かめるために、雑音を止めると3名の被験者は障害物に衝突した。また、障害物を取り除くと、3名ともスピーカの位置まで歩いていった。これらのこと

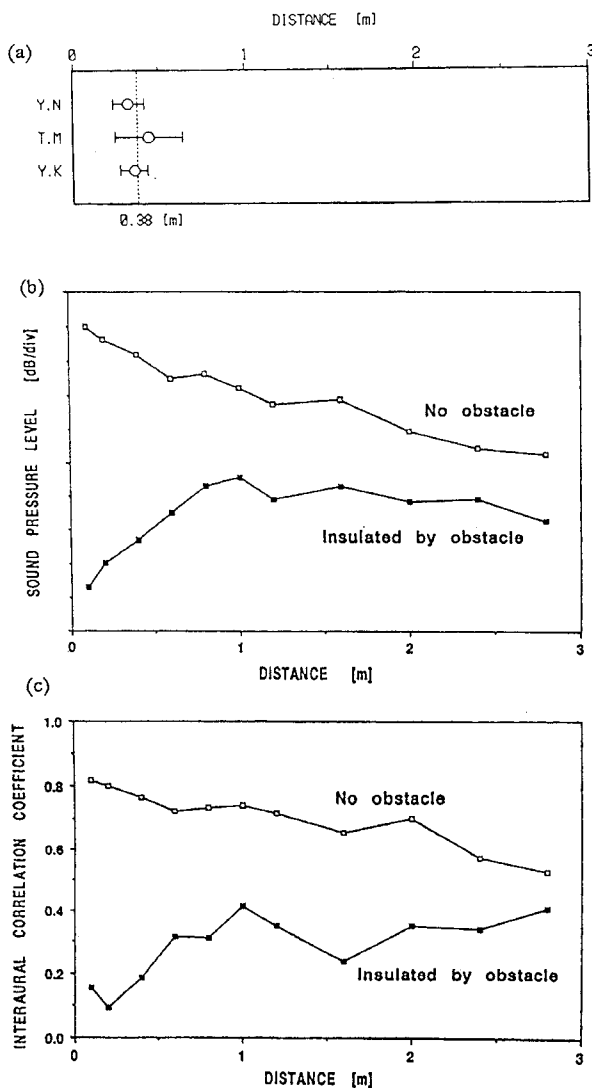


図2 (a)被験者が立ち止まったときの障害物から足の爪先までの距離  
(b)障害物までの距離と音圧の関係  
(c)障害物までの距離と両耳間相関係数の関係

から、被験者は障害物の遮音効果による音場の微妙な変化を手がかりにして障害物知覚を行っていることは明かである。

障害物に近づくとどのような音場の変化が生じて、どのような変化を手がかりにしているのかを調べるため、被験者の代わりに両耳のところにマイクロホンが内蔵されているダミーヘッドを用いて、それをゆっくりと障害物の方へ近づけて行き、物理量の測定を行った<sup>[10]</sup>。測定項目は、音圧の強度と、両耳に入ってくる音波の相関係数すなわち「**両耳間相関係数**」である。両耳間相関係数は知覚される音像の広がり感と関連し、その値が1に近いと音像の広がりがシャープな感じになり、逆に小さいと広がった感じになることが知られている。

図2(b)と(c)に、音圧と両耳間相関係数が障害物に近づくとしたがいどのように変化したかを示した。参考のために、障害物の無い場合のデータもプロットした。音圧、両耳相関係数ともに障害物が無いと単調に増加しているが、障害物の存在によりある距離から減衰が始まる。音圧は約1 mから徐々に減衰し、遮音効果が明瞭に観測される。これは「障害物方向が静かになる」という盲人の内観報告を裏付けている。さらに、障害物から60 cm～20 cmにかけて両耳相関係数が急に小さくなっている。このことは、この範囲で音像が広がって知覚されるようになることを意味している。したがって、障害物の直前では弱い音が盲人の前面に広がってくるように感じている可能性がある。このことは、障害物の数十 cmのところで「何かにぶつかりそうになる」という盲人の内観報告と何らかの関係があるのであろう。

#### 4. 静止した状態における障害物知覚の仮説

盲人の多くは静止していても近距離に障害物を置くと、その存在の有無が分かる。この場合、「顔や額に圧迫感を感じる」「気配がする」「音が静かになる」など遠距離の障害物とは異なる曖昧な内観報告が得られる。ただし、「圧迫感」や「気配」は耳を塞ぐと無くなることから、近距離の障害物においても、何らかの音場の違いが障害物知覚の要因となっているのであろう。

そこで、盲人に体や頭を静止させたままで障害物の有無を答えさせるという簡単な実験を行った<sup>[11]</sup>。実験

は、周囲に大きな構造物がない平坦なところで、通常の屋外の環境騒音下で行った。障害物としては50 cm × 50 cm(厚さ 24 mm)の木の板を用い、頭部の中心から前に 50 cm の位置あるいは横に 50 cm の位置に置いた。被験者は、障害物知覚の経験を有する盲人(先天性全盲、20 歳)である。実験では、両耳を用いたときと片耳の場合だけのときの2通りで行った。まず、耳栓をしてもらい障害物の 50 cm のところ、あるいは十分離れたところまで被験者を移動させて静止させ、そののち耳栓をはずして障害物の有無を答えさせた。被験者には、足音を出したり頭を動かさないよう

にあらかじめ指示を与えておいた。

その結果、両耳を用いた場合、障害物が横にある時には 100%の正当率でその有無を答えており、前にあるときでも 95%の正当率であった。被験者からは「両耳とも耳栓をしている間は障害物の気配は感じとれない。両耳のときは、障害物が横にある場合の方が、正面にあるときよりも分かりやすい。また、片耳のときは両耳のときよりも分かりにくい。」という内観報告が得られている。障害物の存在によって被験者の耳元で音場がどのように変化するかを調べるために、ダミーヘッドを利用し、その耳元での音響測定を行なった。

無響室内にダミーヘッドを中心として 3 m のところに色々な方向にスピーカを置き、引き伸ばしパルスを放射させた。このパルスのパワースペクトルとダミーヘッドのマイクロホンで検出した信号のパワースペクトルの差を求めると、スピーカからダミーヘッドまでにスペクトルがどのように変化したかという情報のみが求められる。いうまでもなく、音響的变化が何も無ければパワースペクトルの差は 0 dB のところでフラットになる。

盲人による実験で用いたものと同じ障害物をダミーヘッドの前面 50 cm および横面 50 cm のところに置き、8 方向から音を放射したときのスペクトルの変化を調べた。図 3(a)は障害物が前面にあるときの、また、図 3(b)は障害物が横面にあるときの右耳におけるスペクトルの変化を示している。これらのスペクトル変化の特徴を詳しく観察すると図中の  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  の領域に示されるように 3 つに分類される。

まず、図(a)と(b)の  $\alpha$  領域は 2 kHz あたりから音圧が 10 dB ~ 20 dB 減少している。すなわち障害物と同方向に音源がある場合には、遮音効果により高音部の音圧が減少していることが観測される。この減少が盲人の一般的な内観報告である「音が静かになる」という心理的印象の原因の一つになっているのであろう。さらに、 $\alpha$  の大きさは障害物の大きさにも依存したことから、障害物の大きさの知覚に  $\alpha$  領域が手がかりになっている可能性がある。

次に、 $\beta$  の領域をみるとディップが多数ありスペクトルが波打っていることが分かる。これは音源が障害物の反対方向にあるときに現れている。この原因は、障害物と反対方向から到来する直接音と障害物からの

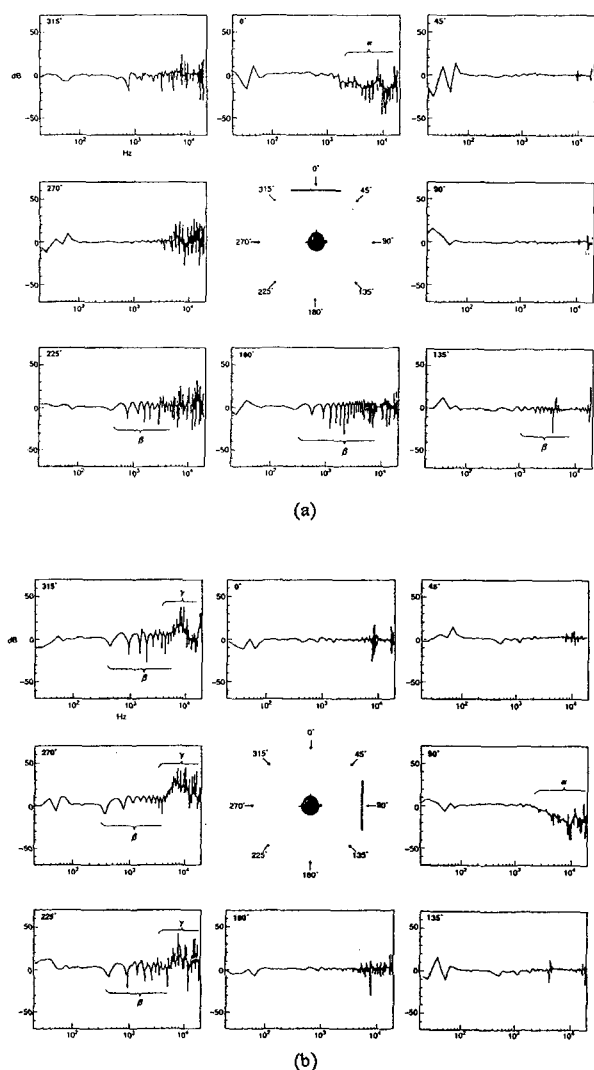


図 3 雑音源(8 方向)からダミーヘッドまでのパワー  
スペクトルの変化  
(a)障害物が前面にあるとき  
(b)障害物が横にあるとき

反射音とが位相干渉を起こすためである。このように、位相干渉によりスペクトルが変化すると一般に「カラーレーション」と呼ばれる音色の変化が生じる。近距離の障害物の知覚においては音色の変化も手がかりにしている可能性がある。障害物の距離によって  $\alpha$  だけでなくカラーレーションも大きく変化したことから、カラーレーションは距離の識別の手がかりの一つになっている可能性がある。

さらに、図(b)にだけ現れた  $\gamma$  の領域では 3 kHz あたりから 20 dB くらいの音圧の増加が見られる。これも障害物と反対方向からくる直接音と障害物からの反射音が加算されたためである。ただし、高音部では波長が短いため頭部による回り込みが少なく、ダミーヘッドの右耳に入る音の強度は小さい。一方、反射音はあまり減衰せずに右耳に入る。そのため、 $\beta$  領域と異なり、二つの音の音圧差が非常に大きいためカラーレーションが生じなくなり、高音部が増加したのである。一方、前面に障害物があるときには  $\gamma$  領域が現れなかったことから、高音部の増加は障害物の方向の知覚と何か関連があることが想像される。実際、障害物を色々な方向に呈示すると、スペクトルと、 $\alpha$  や  $\beta$  の起こる方向も変化した。が、 $\gamma$  領域の大きさも変化した。 $\gamma$  領域は障害物方向の識別の一つの手がかりになっているのであろう。

## 5. 障害物までの距離の識別に関する実証実験

最後に、障害物までの距離は、環境雑音の障害物からの反射音と直接音との干渉によって知覚される「カラーレーション」が手がかりになっているという仮説を実証する実験を試みた<sup>[11]</sup>。そのため図 4(a)のような実験システムを作り、左右に置いたスピーカから時間差を付けてピンクノイズを放射した。このとき左右の時間差を 1, 2, 3, および 4 ms ずらしたものを作り、それらをランダムに選び 2 秒間放射したのち、2 秒後にまたランダムに選んだ音を 2 秒間放射した。被験者(先天性全盲 2 名, 20-21 歳)にどちらが遠くに障害物があるように知覚されたかを応答させた。

その結果、図 4(b)に示したように、仮想障害物までの心理的距離(縦軸)は左右の時間差(横軸)に大きく依存し、時間差が小さいほど心理的距離も小さくなることが実証された。1, 2, 3, 4 ms はそれぞれ 17, 34, 51, 63 cm に対応し、障害物からの反射音と直接音の時

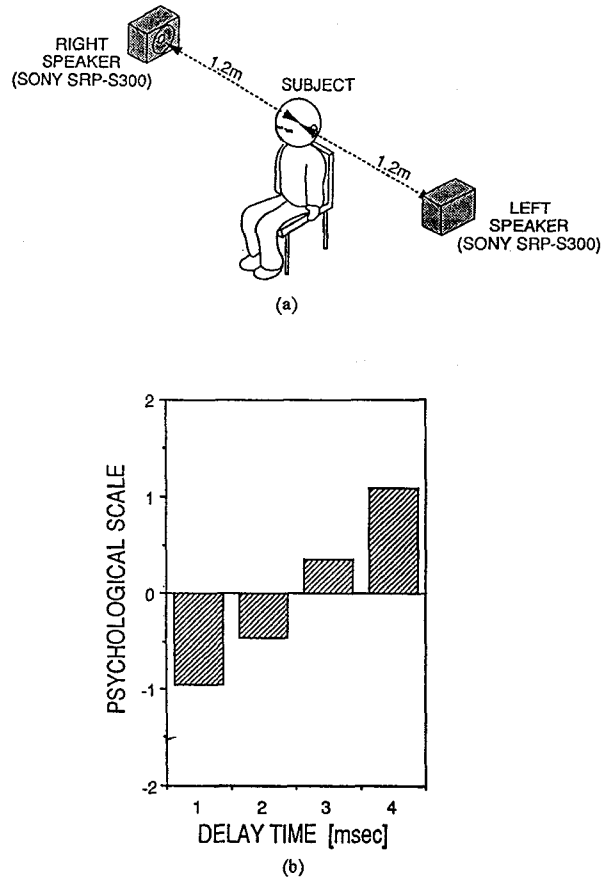


図 4 障害物までの距離の識別に関する仮説の実証実験  
(a)実験システムと配置図  
(b)心理的距離と左右音源の時間差

間差で被験者はこれらの障害物までの距離の違いを識別できることを示している。

## 6. おわりに

以上、障害物へ向かって歩行したときのその知覚の手がかり、障害物が近距離にあるときの知覚の手がかり、さらに、盲人が静止しているときの障害物知覚の手がかりについて幾つかの仮説を立てた。これらを一つ一つ実証していくには、仮説に基づいて音場を制御し、実際の障害物知覚と同様な結果が得られるかを調べていかなければならない。最後の節ではその実証の一例として障害物からの反射音と直接音の時間差が障害物までの距離の知覚に関連していることを示した。

このことは、障害物までの距離判断をさせる学習方法として音場制御が有効であることを示している。将

来は、他の仮説についても実証する研究を行い、障害物知覚を有効に利用する環境認識補助方式を構築していきたい。

---

#### 【参考文献】

- [1] 佐藤泰正：視覚障害心理学(学芸図書，東京,)pp.41-45, pp.68-74(1987)
- [2] Kellogg W.K.:“Sonar system of the blind” The Research Bulletin No.4 of the American Foundation for the Blind, pp.55-69 (1964)
- [3] Rise C.E:“Human echo perception” Science 155, pp.656-664 (1967)
- [4] Supa M, Cotzin M, and Dallenbach K.M.:“Facial vision: The perception of obstacle by the blind, “ Amer.J. Psychol. 57, pp.133-183 (1944)
- [5] Cotzin M. and Dallenbach K.M.:“Facial vision: The role of pitch and loudness in the perception of obstacle by the blind” Amer.J.Psychol. 63, pp.485-515 (1950)
- [6] 伊福部達： “気配のもとを聴覚から探る” 日経サイエンス 10 pp. 39-46 (1993)
- [7] 関喜一，伊福部達，田中良広： “盲人の障害物知覚と反射音定位の関係” 日本音響学会誌(印刷中)
- [8] Welch J.R.:“A psychoacoustic study of factors affecting human echo-location” The Research Bulletin No.4 of the American Foundation for the Blind, pp.1-13 (1964)
- [9] Kohler I.:“Orientation by aural clues” The Research Bulletin No.4 of the American Foundation for the Blind, pp.14-53 (1964)
- [10] 関喜一，伊福部達，田中良広： “盲人の障害物知覚における遮音効果の影響” 日本音響学会誌(印刷中)
- [11] Seki K., Ifukube T., Tanaka Y.:“Analytic study of obstacle sense for rehabilitation of the blind”, IEEE. Trans., RE. (submitted)