

特集 ■ VRの源流としての錯視・錯覚

多感覚錯覚からみる身体の実在性



北川智利

金沢工業大学

KITAGAWA NORIMICHI

1. はじめに

「目で見て、耳で聞き、手で触れる」と言うように、一般的には視覚や聴覚、触覚などの感覚モダリティは分離したもので、それぞれ独立に機能し、それぞれがその感覚に特有の情報を与えてくれると考えられている。確かに私たちの主観的な経験からはそのように感じられる。目で音を感じることはできないし、皮膚で光を検出することもできない。しかし、近年急激に増加した多感覚相互作用・統合に関する研究によって、私たちの知覚経験が広範囲に及ぶ複雑な感覚モダリティ間の相互作用を通して形成されることが明らかになってきている。

このような感覚間の相互作用を私たちがほとんど意識しないのは、各感覚から得られる情報が通常の状態では相補的で相互に矛盾しないからであろう。ある物体が近づいてきて体に触れるような状況では、目で見るその物体とその物体が出す音、触れられた時の感触の間には、時間的にも空間的にも大きな矛盾はない。これに対し、感覚間に矛盾のある状況を人工的に作りだしたときには特有の錯覚が生じる。その錯覚から感覚間の相互作用や統合が知覚経験の形成に果たしている役割を知ることができる。

近年、体性感覚と視覚や聴覚との間で観察される錯覚が数多く報告されている。それらの現象は、私たちがどのようにして実在性を感じるかという問題について多くの示唆を与えているように思われる。なぜなら、自身の身体がどこにあり、空間の中でどのような範囲を占め、どのような姿勢なのかといった身体的な経験は実在性が形成される際に重要だと考えられるからである。本稿では、体性感覚(具体的には触覚と自己受容感覚)と視覚や聴覚の間の相互作用・統合を経て経験される身体の実在性について紹介したい。

2. ゴム製擬手の錯覚

前節で通常の状態では複数の感覚から得られた情報が矛盾することはほとんどないと述べたが、実は現在では私たちは矛盾する状況をよく経験している。私たちは自分の身体から物理的に離れた対象を操作することも可能である。例えば、コンピュータをマウスで操作したり、テレビゲームで遊んだりする際には、体性感覚的なフィードバックは手元、視覚的なフィードバックは画面から受けるため、両者の空間的位置は異なる。しかし、いったん操作に慣れてしまえば、その矛盾を気にすることは全くない。このように、私たちはたとえ視覚情報と体性感覚情報に空間的なずれがあっても、両者を協調させることができる。

そのような状況はときにおもしろい錯覚を生じさせる。自分の体以外の物体に触覚が投射され、その物体があたかも自分の体の一部であるように感じてしまうことがあるのだ。Botvinick & Cohen[1]は図1に示すような実験を行った。テーブルの上に置いた被験者の右手を見えない

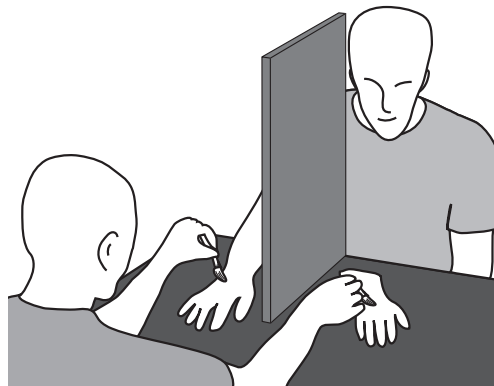


図1 ゴム製擬手の錯覚

ように隠し、ゴム製の擬手を被験者の正面に置く。実験者がゴム製の擬手と被験者の手を筆で同時に繰り返したたく。被験者は自分の手に叩かれる感触を感じながら、ゴム製の擬手が同じように叩かれるのを見ることになる。しばらくこの様子を見ていると、被験者は叩かれている感触がゴム製の擬手からやってくるように感じる。さらに、ゴム製の擬手が自分の体の一部であると感じる。ゴム製の擬手が身体の一部でないことは分かりきった上でそのような感覚が生じてしまうのである。

この錯覚が生じている時にゴム製の擬手の指を強くそり返させると、自分の手に痛みを加えられた時と同じように皮膚伝導反応が生じる [2] という報告もあり、ゴム製の擬手が実際に自分の体の一部だと知覚されることを示している。自分の手に感じる触覚情報とゴム製の擬手を叩く視覚情報が一致しているため、知覚系はゴム製の擬手が自分の体の一部であると解釈してしまうのである。ゴム製の擬手を取り除いた後に見えない右手の位置を推定させると、右手の位置がゴム製の擬手の位置にずれて知覚されるため、自己受容感覚的にも錯覚が生じる [1] が、自分の手にとって不可能な方向(自分の手と直角)に向けてゴム製の擬手を置いた場合にはこの錯覚は生じない [3]。

このような自己受容感覚による制限がある一方で、ゴム製の擬手の代わりに、机と手を一緒に叩いた場合には、机に触覚を感じ、机が体の一部になったように感じることも報告されている [2](ただし、その際の錯覚はゴム製の擬手を用いた場合よりも弱い)。この錯覚は、触覚が身体以外の対象に投射されることが可能であり、その対象がボディ・イメージに取り込まれることを示している。私たちが自分の身体だと認識しているものは、視覚、触覚、自己受容感覚の相互作用・統合を通して常に更新されているのである。では、このような視覚と体性感覚の相互作用を規定する要因はどのようなものなのであろうか。

3. 視覚、触覚、自己受容感覚の相互作用

身体近傍の空間 (Peripersonal space) において選択的に生じる視覚と触覚の相互作用が報告されている [4,5]。心理物理学的な実験では、モダリティ間干渉課題と呼ばれる方法 [6] が用いられることが多い。典型的なこの課題では、図 2a に示すように、両手の親指と人差し指の4ヵ所にランダムに触覚刺激が提示され、同時に妨害光も対応する4ヵ所からランダムに提示される。妨害光をできるだけ無視しながら、触覚刺激が上下どちら

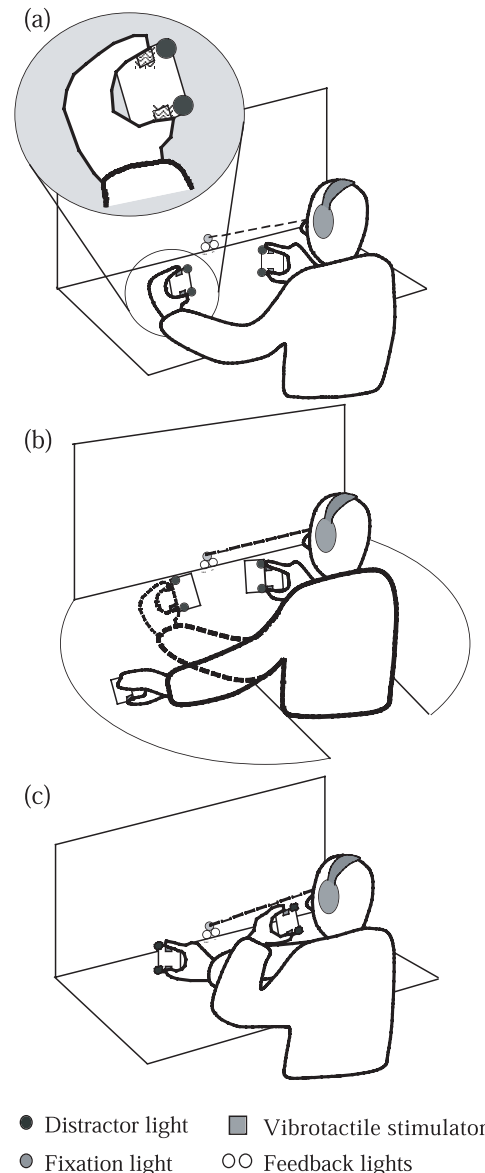


図2 モダリティ間干渉課題 . Spence,Pavani,& Driver(2004) から改変

から提示されたかを弁別させると、触覚刺激と妨害光の提示位置(上下)が一致しないときには弁別の成績が悪くなる(反応時間が長くなりエラーが増加する)。この妨害光の触覚弁別に及ぼす干渉効果(モダリティ間干渉効果)は、妨害光と手とが離れると弱くなり(図 2b)、手を交差させた場合には、右(左)側の妨害光が左(右)手での触覚弁別により強く影響する(図 2c)。つまり、妨害光と触覚刺激の提示位置が近いほどモダリティ間干渉効果が強くなるのである。このような視覚と触覚の相互作用の現象は頑健であり、視覚対象が触覚経験を生じさせないことが分かっているにもかかわらず触覚に影響を与える。

著者らが行った実験では、視覚刺激と触覚刺激の間にガラスのような透明なバリアを置いて、透明なバリアがない時と同じようにモダリティ間干渉効果が生じた[7]。これらの結果は、神経心理学的[8,9]および電気生理学的[10]にも確認されている。

本稿での関心はこのような身体近傍で生じる視覚と触覚の相互作用の生起がどのような場面にまで拡張され得るのかということである。モダリティ間干渉効果は視覚刺激が身体に近いほど強くなることから、この効果は視覚対象がどの程度身体と同じように知覚されているかを表す指標として用いることができる。例えば、私たちは日常的に自分自身を鏡に映して見ているし、鏡に映った自分を間違いなく自分自身として認識している。では、鏡に映った身体の近くに提示された視覚刺激は触覚課題に影響するのだろうか。モダリティ間干渉課題を用いた実験では、鏡に映った手の近くに提示された妨害光が自身の手における触覚弁別課題を干渉することが報告されている[11,12]。同様に、手の影の近くに提示された妨害光も手における触覚弁別課題を干渉する[13]。したがって、身体の鏡映像や身体の影は身体と同じように知覚されていることが示唆される。さらに、触覚刺激の検出課題を用いた研究では、触覚刺激が与えられた身体部位の映像を観察する(妨害光ではなく、ただその部位が映し出されている映像を見る)だけで、触覚課題の成績が良くなることが報告されている[14,15]。また、ニホンザルを用いた電気生理実験では、手に触覚受容野を持つ多感覚ニューロンがビデオモニタに映し出された被験体の手の近くに提示された視覚刺激にも反応することが示されている[16]。これらの結果は、視覚と触覚の相互作用が身体そのものの近傍で生じるだけでなく、身体から離れた場所に投影された身体像に対しても生じることを示している。

ここまでで紹介してきた例は、自身の身体が投影された視覚的な像が、それに対応する身体部位での触覚課題に影響を与えるというものであった。では、身体以外の対象についてはどうだろうか。この問題は道具使用の観点から検討されてきた[17]。私たちは道具を使うことで、手では触れられない対象に触れたり操作したりすることができるようになる(例えば箸を使うとき)。そして、道具を通して触覚的なフィードバックを手にすることができる。したがって、道具使用は道具の分だけ身体が拡張したような状態を生み出す。そのような状況では、道具の先端付近に提示された視覚刺激が自身の手における触覚に影響を与えることが報告されている。モダリティ

間干渉課題を用いた実験では、両手に持ったゴルフクラブ状の道具を交差させたり平行に戻したりしながら、手において触覚弁別課題を行わせた[18]。すると道具の先端付近に提示された妨害光が、触覚弁別課題に影響を与えた。また、影響を与えるのは道具の先端付近の視覚刺激で、道具の中間付近に提示された視覚刺激はモダリティ間干渉効果を生じさせない[19]。このような効果は道具を使用した後にしか生じないことから、道具は使用することによってボディ・イメージに取り込まれ、身体の一部に近いものとして知覚されるのであろう。道具を使用することで、道具の先端に関する視覚情報と、それに伴って手にフィードバックされる触覚情報の協調関係を元にボディ・イメージが再構成されると考えられる。この点に関してはまさにゴム製擬手錯覚と同様である。

私たちがコンピュータを操作したり、テレビゲームをしたりするときには、いわば画面に映し出された視覚対象を道具として使用していることになる。手に直接持った道具との違いは、操作によって発生する触覚的なフィードバックはあるが、操作の結果として生じるであろう触覚的なフィードバックがないという点である(最近のテレビゲームでは触覚的なフィードバックを与えるものもあるが、実際の道具と比較するとやはり貧弱である)そのような視覚対象に対しては視覚と触覚の相互作用は生じるのであろうか。著者らは画面上に提示した手の線画が自身の手における触覚弁別課題に影響するかどうかを検討した[20]。実験では図3に示すように、一方

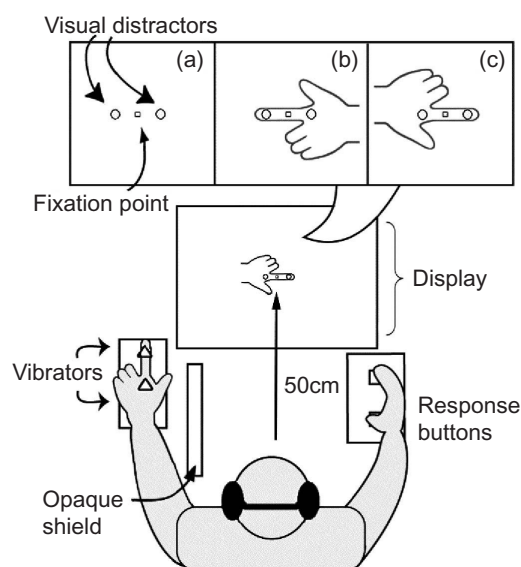


図3 触覚弁別課題に及ぼす手の線画の効果を検討した実験。Igarashi, Kitagawa, & Ichihara (2004) から引用

の手の人差し指の指先と付け根に触覚刺激をランダムに提示し、同時に画面上の左右に並んだ円から妨害光をランダムに提示した。被験者は、妨害光をできるだけ無視しながら、触覚刺激が指先と付け根のどちらに提示されたかを弁別した。妨害光に加えて、手の線画を重ねて提示した。妨害光は手における触覚刺激と同じように手の線画の人差し指の指先と付け根の位置に提示した。その結果、右向きの手の絵を提示した場合には、指先での触覚課題には左側の妨害光が干渉効果を持ち、指の付け根での触覚課題には右側の妨害光がより強い干渉を示した。左向きの手の絵を提示した場合には、干渉効果を与える妨害光の位置が反転し、左の妨害光が指の付け根での触覚課題に、右の妨害光が指先での触覚課題により強く影響した。つまり、画面上に提示された手の線画が、自身の手と対応する形で触覚弁別課題に干渉効果を及ぼしたのである。この現象には自己受容感覚も影響を与えた。手の線画の向きが自身の手其自然な向き(内向き)の時には、モダリティ間干渉効果が大きく、不自然な向き(外向き)の場合には小さかったのである。また、手の線画を提示しなかった条件では、手の内向きの方向と合う形で妨害光が触覚課題に影響を与えた。この実験では、単に手の線画を提示しただけで、それを操作したわけではないが、画面上に提示した単純な線画が視覚と触覚の相互作用に影響を与えたという結果は、テレビゲームや遠隔操作などの場面で、操作対象が身体の一部のように知覚される可能性を示しており興味深い。

4. 聴覚と触覚の相互作用

視覚と触覚、視覚と自己受容感覚の間の相互作用に関する研究が多くあるのに対して、聴覚の手がかりが体性感覚に対してどのような効果を持っているのかに関する検討は少ない。しかし、物体が近づいてきたときにはその音が聞こえるし、自身の行動によっても音が発生することから、聴覚と触覚の間にも身体を介した相互作用がありそうである。例えば、手の感触が音によって変化することが報告されている [21]。両手をこすり合わせている時に、その音を変化させて被験者に提示する実験の結果、高音域 (2 kHz 以上) を増幅した場合には手の感触が滑らかで乾いた感じになり、高音域を減衰させた場合には粗く湿った感触がする。音の提示レベルも手の感触に影響し、音圧レベルが高いほど滑らかで乾いた感触になる。同様の効果は紙やすりの手ざわり [22] や電動歯ブラシの使い心地 [23] に関しても報告されている。

視覚と触覚の相互作用と同じように、聴覚と触覚の相

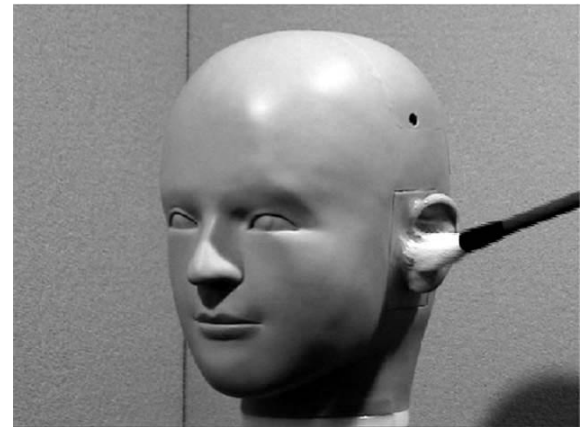


図4 ダミーヘッドの耳を筆でくすぐりその音を耳に挿入したマイクロホンで録音している状況

互作用も身体近傍の空間で選択的に生じることを示す研究もいくつかある。著者ら [24] は図4に示すようにダミーヘッドの左耳に挿入したマイクロホンで、耳を筆でくすぐった時の音を録音した。この音を近くから(ヘッドホンで)提示すると耳にくすぐったさを感じたが、80 cmの距離から提示した場合には触覚的印象はほとんど感じなかった。音だけを提示した場合には、被験者は何の音かは全く分からなかったことから、くすぐられていることを想像してくすぐったさを感じたわけではない。さらに、モダリティ間干渉課題を用いた検討も行われている [25]。実験では、左右の耳たぶのいずれかに電気刺激をランダムに提示し、同時に左右の後ろ45度の方向から妨害音を提示した(図5)。妨害音は近く(20 cm)から提示する場合と遠く(70 cm)から提示する場合があった。実験の結果、触覚刺激と妨害音の左右が一致しない場合には一致したときよりも反応時間が長くなりエラーが増加した。この妨害音の干渉効果は、妨害音が近

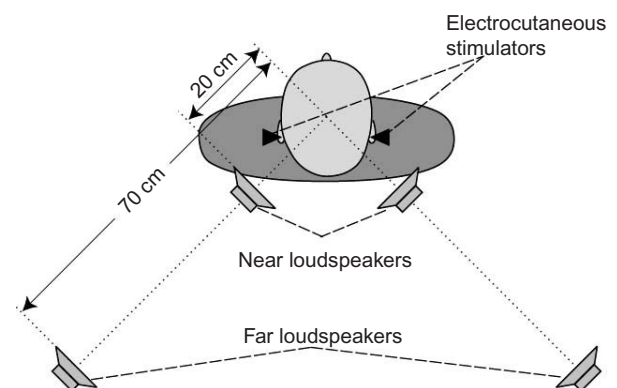


図5 耳たぶでの触覚弁別課題に及ぼす妨害音の効果を検討した実験。Kitagawa, Zampini, & Spence(submitted) から引用

くから提示された時の方が遠くから提示されたときよりも強かった。同様の結果は、神経心理学的な研究 [26,27] および電気生理学的な研究 [28] でも示されている。これらの結果は、聴覚と触覚の間でも身体近傍の空間で選択的に相互作用が生じ、視覚だけでなく聴覚も身体の知覚に貢献していることを示している。興味深いのは聴覚と触覚の相互作用が頭部の後方の空間でより強く生じるという点である。後方の空間では視覚的な手がかりを利用することができないため聴覚の役割がより重要になるのであろう。実際に前方の空間では空間に選択的な聴覚と触覚の相互作用が生じないという報告もある [29]。

5. おわりに

以上のように、身体の知覚は視覚、聴覚、触覚、自己受容感覚の相互作用・統合を通して実現されている。また、私たちが自分の身体だと認識しているもの(ボディ・イメージ)はかなり柔軟であり、感覚間の相互作用・統合を通して常に更新されていることが明らかになってきている。特に自分の身体以外の対象に触覚を感じたり、それが身体の一部であると感じる錯覚は、あり得ないことだと分かっているにもかかわらず(個人差はあるが)リアルに体験できる錯覚であり、リアリティとは何かという問題を考える上でも興味深い。本稿で紹介してきた現象から、私たちの「身体」は自分の身体のみに制限されたものではないことが分かる。視覚、聴覚、触覚などの感覚情報をうまく提供することで遠く離れた場所にさえ身体を感じることが可能なのではないかと考えている。

参考文献

[1] Botvinick, M., & Cohen, J.: Rubber hands "feel" touch that eyes see, *Nature*, 391, 756 (1998)

[2] Armel, K. C., & Ramachandran, V. S.: Projecting sensations to external objects: evidence from skin conductance response, *Proc R Soc Lond B Biol Sci*, 270, 1499-1506 (2003)

[3] Pavani, F., Spence, C., & Driver, J.: Visual capture of touch: out-of-the-body experiences with rubber gloves, *Psychol Sci*, 11, 353-359 (2000)

[4] Maravita, A., Spence, C., & Driver, J.: Multisensory integration and the body schema: close to hand and within reach, *Curr Biol*, 13, R531-R539 (2003)

[5] Spence, C., Pavani, F., Maravita, A., & Holmes, N.: Multisensory contributions to the 3-D representation of

visuotactile peripersonal space in humans: evidence from the crossmodal congruency task, *J Physiol*, 98, 171-189 (2004)

[6] Spence, C., Pavani, F., & Driver, J.: Spatial constraints on visual-tactile cross-modal distractor congruency effects, *Cogn Affect Behav Neurosci*, 4, 148-169 (2004)

[7] Kitagawa, N., & Spence, C.: Investigating the effect of a transparent barrier on the crossmodal congruency effect, *Exp Brain Res*, 161, 62-71 (2005)

[8] Ladavas, E., & Farnè, A.: Neuropsychological evidence for multimodal representations of space near specific body parts. In Spence, C., & Driver, J. (Eds.), *Crossmodal space and crossmodal attention* (pp. 69-98). Oxford: Oxford University Press (2004)

[9] Farnè, A., Demattè, M. L., Ladavas, E.: Beyond the window: multisensory representation of peripersonal space across a transparent barrier, *Int J Psychophysiol*, 50, 51-61 (2003)

[10] Graziano, M. S. A., Gross, C. G., Taylor, C. S. R., & Moore, T.: A system of multimodal areas in the primate brain. In Spence, C., & Driver, J. (Eds.), *Crossmodal space and crossmodal attention* (pp. 51-67). Oxford: Oxford University Press (2004)

[11] Maravita, A., Spence, C., Sergent, C., & Driver, J.: Seeing your own touched hands in a mirror modulates cross-modal interactions, *Psychol Sci*, 13, 350-355 (2002)

[12] Soto-Faraco, S., Ronald, A., & Spence, C.: Tactile selective attention and body posture: assessing the multisensory contributions of vision and proprioception, *Percept Psychophys* (in press)

[13] Pavani, F., & Castiello, U.: Binding personal and extrapersonal space through body shadows, *Nat Neurosci*, 7, 14-16 (2004)

[14] Tipper, S.P., Lloyd, D., Shorland, B., Dancer, C., Howard, L. A., & McGlone, F.: Vision influences tactile perception without proprioceptive orienting, *Neuroreport*, 9, 1741-1744 (1998)

[15] Tipper, S.P., Phillips, N., Dancer, C., Lloyd, D., Howard, L. A., McGlone, F.: Vision influences tactile perception at body sites that cannot be viewed directly, *Exp Brain Res*, 139, 160-167 (2001)

[16] Iriki, A., Tanaka, M., Obayashi, S., & Iwamura, Y.: Self-images in the video monitor coded by monkey intraparietal neurons, *Neurosci Res*, 40, 163-173 (2001)

[17] Maravita, A., & Iriki, A.: Tools for the body (schema), *Trends Cogn Sci*, 8, 79-86 (2004)

- [18] Maravita, A., Spence, C., Kennett, S., & Driver, J.: Tool-use changes multimodal spatial interactions between vision and touch in normal humans, *Cognition*, 83, B25-B34 (2002)
- [19] Holmes, N. P., Calvert, G. A., & Spence, C.: Extending or projecting peripersonal space with tools? Multisensory interactions highlight only the distal and proximal ends of tools, *Neurosci Lett*, 372, 62-67 (2004)
- [20] Igarashi, Y., Kitagawa, N., & Ichihara, S.: Vision of a pictorial hand modulates visual-tactile interactions, *Cogn Affect Behav Neurosci*, 4, 182-192 (2004)
- [21] Jousmäki, V., & Hari, R.: Parchment-skin illusion: sound-biased touch, *Curr Biol*, 8, R190 (1998)
- [22] Guest, S., Catmur, C., Lloyd, D., & Spence, C.: Audiotactile interactions in roughness perception, *Exp Brain Res*, 146, 161-171 (2002)
- [23] Zampini, M., Guest, S., & Spence, C.: The role of auditory cues in modulating the perception of electric toothbrushes, *J Dent Res*, 82, 929-932 (2003)
- [24] Kitagawa, N., & Igarashi, Y.: Subjective experience of touch induced by hearing a sound, Poster presented at the meeting of the 4th International Multisensory Research Forum, Hamilton, Canada, <http://www.science.mcmaster.ca/~IMRF/2003/viewabstract.php?id=102> (2003)
- [25] Kitagawa, N., Zampini, M., & Spence, C.: Audiotactile Interactions in Near and Far Space (submitted)
- [26] Làdavas, E., Pavani, F., & Farnè, A.: Auditory peripersonal space in humans: a case of auditory-tactile extinction, *Neurocase*, 7, 97-103 (2001)
- [27] Farnè, A., & Làdavas, E.: Auditory peripersonal space in humans, *J Cogn Neurosci*, 14, 1030-1043 (2002)
- [28] Graziano, M. S. A., Reiss, L. A. J., & Gross, C. G.: A neuronal representation of the location of nearby sounds, *Nature*, 297, 428-430 (1999)
- [29] Zampini, M., Brown, T., Shore, D. I., Maravita, A., Röder, B., & Spence, C.: Audiotactile temporal order judgments, *Acta Psychologica*, 118, 277-291 (2005)

【略歴】

北川智利 (KITAGAWA Norimichi)

金沢工業大学 情報フロンティア学部 講師

1995年東京都立大学人文学部心理学専攻卒業。1997年同大学大学院人文科学研究科修士課程修了。2000年東京都立大学大学院人文科学研究科博士課程単位取得退学。2001年東京都立大学人文学部助手。2003年日本学術振興会特別研究員 (SPD)。University of Oxford, Academic visitor。2004年より現職。博士 (心理学)。