



白杖による探索対象の重さ判断における杖先接触位置の影響

布川 清彦^{*1} 土井 幸輝^{*2} 近井 学^{*3} 井野 秀一^{*3}

Effect of Pushing Position of an Object on Judging Weight by a White Cane

Kiyohiko Nunokawa^{*1}, Kouki Doi^{*2}, Manabu Chikai^{*3} and Shuichi Ino^{*3}

Abstract - To understand a weight perception using white canes, we compared using a hand pushing and using a white cane without accompanying auditory information. And to examine the influence of pushing position of an object on estimate weight, we compared two positions of an object. Participants were 5 sighted university students (3 female and 2 male). They gave magnitude estimates for six weights that changed by 100g from 500g to 1,000g. Results indicated that there is no difference between two positions using a white cane. And pushing position using a hand caused the difference of sensitivity for weight sense.

Keywords: a white cane, people with blind, tactile perception, weight, indirectly touch

1. はじめに

白杖は視覚障害者の単独歩行を支援する道具として、最も広く使われている物の一つである。白杖の基本的な機能は、石突きと物体との接触による反響音や接触情報を利用して路面の状況や障害物の存在等を認識することである。そして、白杖ユーザは白杖を利用しながら路面情報や障害物の有無を検知し、移動のための手がかりとなるランドマーク情報を収集・確認する。白杖ユーザに行った白杖の利用方法に関するヒアリングでは、歩行時のランドマーク情報収集と障害物探索に利用するだけでなく、白杖に触れた対象の硬さやテクスチャー（肌理の粗さ）といった特性を探ったり、対象の形や白杖が接触した対象が何であるのかといった対象認知を行ったりといった、自分なりの利用方法を用いて環境情報の取得を行っている者と報告する者もいた。これらの報告は、ユーザの白杖利用の方法の中で、白杖の直接接触による対象認知も大きな位置を占めることを意味している。

白杖を用いて対象を探るという行為は、白杖を当てて探索する対象の種類によっては対象を傷つけたり、変形させたりといった結果をもたらす可能性もある。しかしながら、いつも移動していてよく分かっている場所で決まった手がかりを確認したり、災害時において直接手で触ることが危険な状況で対象を確認したりする時などには、そのような利用が考えられる。そして、白杖を利用した対象の特性情報の感度がどれ位であるのか、そして学習（経験）の効果があるのかどうかを確認しておくこ

とも必要であろう。

白杖はその利用においていくつかの問題があることが指摘されている。例えば、知覚できる範囲が狭く、白杖が物体に接触しなければ障害物があることを認識できない点や、歩行時に前方の障害物情報を取得するために左右に振り続けなければならない事で疲れてしまうといった点である。そのため、素材の改良^[1]や電子白杖に代表されるような問題解決のための開発も進んできている。白杖に関する様々な開発をよりユーザの使用方法に沿う方向に発展させるためにも、現状の白杖でどのような情報が取得されているのかを明らかにする必要がある。また、この点を明らかにすることで、白杖を使いながら移動する視覚障害者の、その白杖利用の特性を組み込んだ移動支援の要素を設計に取り入れることも期待される。

そこで著者らは、白杖を用いた対象認知の精度を高める操作方法、あるいは、そのための素材や構造の改良について検討するために、白杖を利用して間接的に対象を触りその特性を探索する場合に関する基礎的な知見を得ることを目的として研究を進めてきている。手による直接的で能動的な触的探索によって得ることができる対象の特性については、テクスチャー、温度、硬さ、重さ、大きさ、全体の形、部分の形などを対象として研究が進んできている^{[2] [3]}。白杖においても、テクスチャー、硬さ、重さや、対象の全体的な大きさに応じて大きさや全体の形、局所的（部分的）な形などを取得できると考えられ、これまでに硬さとテクスチャーの知覚に関する一連の実験を行ってきた^{[4] - [11]}。白杖ユーザが移動時に利用する事がある握り方には、次の3種類がある（図1）。1) 白杖のグリップの平らな面に人差し指を伸ばした状態で合わせ、親指と他の三指で軽く握る方法（標準握り）。2) 鉛筆を持つようにしてグリップ部分を握る方法（ペン握り）。3) 親指をグリップの平らな部分に当て四指で握りこむ方法（包丁握り）。先行研究の結果から、硬さの違いに対する感度に対して、握り方の違いや聴覚情報が影

*1: 東京国際大学 人間社会学部

*2: (独)国立特別支援教育総合研究所 教育情報部

*3: (国研)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

*1: School of Human and Social Sciences, Tokyo International University

*2: Department of Education Information, National Institute of Special Needs Education

*3: Human Technology Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

響する事が明らかになった^{[4]-[7][9][10]}.

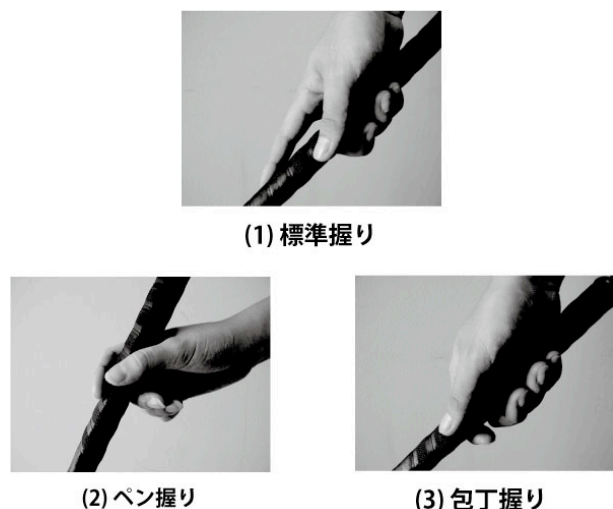


図1 白杖を握る際に用いられる3種類の方法
Fig.1 The three methods for holding a white cane

さらに、白杖を用いた対象の重さの違いと重さ感覚との関係を検討するために、アイマスクとイヤーマフにより視聴覚情報を制限した晴眼大学生を参加者として、マグニチュード推定法によりその感度を測定した。また、3種類の握り方の影響についても検討した^[11]。その結果、対象の重さを推定する場合には、手で押して確認するよりも、白杖を用いた方が分かりやすいことが示唆された。つまり、白杖が重さ情報を強調する働きをしていることが考えられる。また、白杖を用いて得られる重さ知覚は、白杖の握り方に影響を受けることも示された。これは、握りと腕の動作に関与する筋腱関節の違いによると考えられる。白杖を箱に当てて重さを知覚する場合、箱の重さに応じて反力が異なり、白杖を通してその情報を得ることになる。箱の重さは、白杖のたわみと手の握り部分や腕が受けた力の大きさの関係から推定されており、そのため握り方によって違いが生じていると考えられる。しかし、この測定では、白杖の先端が対象のどの部分に当たっているのかについて制限をしていなかった。もし、手や白杖が机や床を擦るようにしていた場合には、その摩擦の影響することが考えられる。また、押す面のどの部分を押すのかその押す位置の高さが異なる場合には重心位置の高さ、横方向の位置が異なる場合には、重心位置が影響する事も考えられる。そこで本研究では、白杖の先端が対象に接触する位置が重さの認知に影響するかどうか、特に白杖が床に擦るようにして接触するのか、それもと白杖が浮いたまま接触するのかという点が影響するのかどうかについて検討する。

2. 実験

実験は椅子に座り机の上に置いた対象の重さを手で確認する方法（実験1）と立位で標準握りを用いて握った白杖で確認する方法（実験2）に分かれる。

2.1 共通の方法

2.1.1 刺激材料

重さを推定する対象として、アルミニウム製の箱を用いた。箱の外観寸法は 150（幅）×150（奥行き）×120（高さ）mm であり、総重量はおもり固定用のナット等も含めて 500g であった。箱の底面にサラビス (M3×L30) で高さ 64mm の高さの柱を作り、おもりを固定できるようにした(図2)。おもりはアルミニウム製で厚みが3mm、一边が 110.2mm の正方形で、重さは 100g であった。正方形の隣り合う 2 辺からそれぞれ 32.1mm の距離で直交する 4 カ所の位置に直径 4mm の穴を開けた (図3)。箱の底面からの柱（サラビス）をこの穴に通して、箱内に固定した。固定には M3 ナットを用いた。これにより、重心位置を変えずに重さだけを変えることができるようにした。おもりは 5 枚用意した。刺激となる重さの段階は、おもりを付けない箱だけの 500g から 100g 刻みで 1000 g までの 6 段階であった。

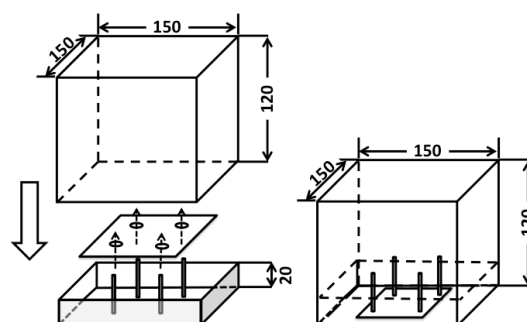


図2 重さ刺激（アルミニウム製の箱）（単位 mm）
Fig.2 An aluminum box for estimating weight.

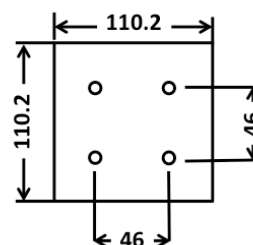


図3 おもり（アルミニウム製）（単位 mm）
Fig.3 Size of a weight.

2.1.2 実験参加者

これまでに白杖を握った経験がほとんど無く、また本実験のような心理物理実験には参加したことがない大学生5名（男子2名女子3名）が参加した。参加者は、実験に入る前に木製の円盤（直径を変数とする）を用いて、マグニチュード推定の手続きについて練習を行った。実験に際しては、アイマスクと、耳栓をした上にイヤーマフを装着した。

2.2 実験 1

2.2.1 目的

視聴覚情報を制限した条件下で椅子に座り、机の上に置かれた箱を利き手で直接押して確認した場合の箱の重さと重さ知覚との関係を、マグニチュード推定法を用いて明らかにする。押す際に、机に手を擦らせるように押す方法と机から浮かせて押す方法を用意して、その違いについても検討する。

2.2.2 手続き

参加者は椅子に座り、その前に机を配置した。机の上にはタイルカーペット（縦 500×横 500×厚さ 6.2mm；CZ6882,ダークグレー, 株式会社カインズ）を敷き、カーペット上の参加者正面の位置にアルミ製の箱を置いた（図4）。実験に入る前に、楽な姿勢で推定ができるように位置関係を調整した。実験者が参加者の利き手側の肩を叩くことを合図に、参加者は利き手を広げ、親指が天井に向くよう利き手を机の上に出した。実験者が、再度参加者の肩を叩いて合図をしたら、参加者自身が利き手を浮かしながら利き手側から非利き手側に向かって用意されたストッパーに当たって止まるまでアルミ製の箱を横に動かした。箱が止まったら、参加者は利き手を膝の上に戻し、重さの推定値を報告した。教示では箱の重さに対して感じた重さを、それに相当する数字を割り当てて報告するように指示した。

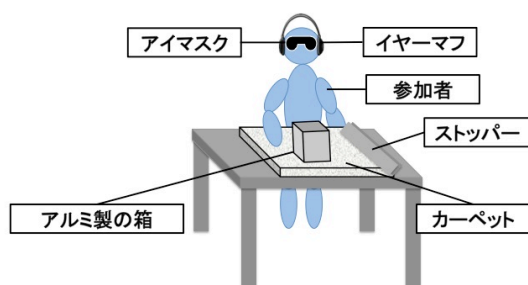


図4 実験1（素手による推定）の実験場面
Fig.4 Exp.1: An experiment setting for weight estimation by a hand.

6段階の重さのそれぞれについて1回のマグニチュード推定を行った。提示された重さの順番は、ランダムであった。また、箱を押す際に、机に手を擦らせるように押す方法と机から浮かせて押す方法を条件とした。擦る条件では、スタートから押すことを止めるまでの間中、机から手が離れない様に押し続けた。浮かす条件では、スタート時に実験者が押す面の中心に参加者の手を誘導し、スタートから押すことを止めるまでの間、押す位置が変わらないようにした。6つの重さの全てを推定し終えてから、次の条件に移った。擦る条件と浮かす条件の順序は、参加者ごとにランダムであった。浮かす条件では、箱の側面中央を押すように実験者が白杖の先端を誘導した。

2.2.3 結果

得られたマグニチュード推定値の幾何平均を算出し、両対数グラフの横軸に箱の重さ（g）、縦軸に重さの推定値をとってプロットし、冪関数で近似した（図5）。結果として得られた冪指数は、刺激として用意されたアルミニウム製の箱の重さ（物理量）とそれに対する重さの推定値（心理量）との関係を示している。冪指数が1の場合、箱の重さと箱の重さの推定値は1対1対応の関係にある。つまり物理的な箱の重さの違いをそのまま捉えることができている。1よりも小さい場合には、箱の重さが軽いときにはその重さの違いに対する感覚が良い（重さの違いが分かる）が、箱の重さが重くなるにつれて感覚が悪くなる（重さの違いが分かりにくくなる）ことを意味する。1よりも大きい場合は、箱の重さが軽いときには感覚が悪く（重さの違いが分かりにくい）、重くなるにつれて感覚が良くなる（重さの違いが分かる）ことを意味する。

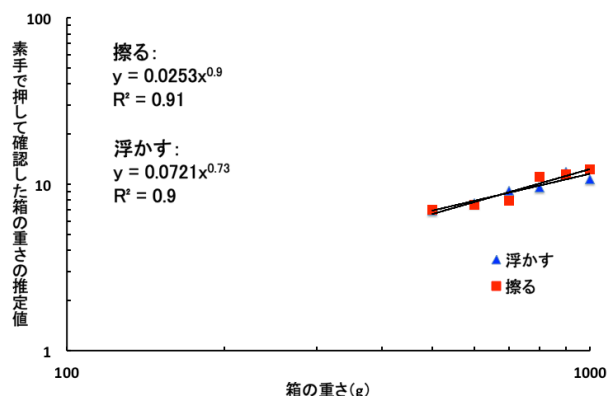


図5 実験1の結果：素手で箱を押した場合の箱の重さと重さ知覚の関係
Fig.5 The result of Exp.1: The relationship between the weight of the box and weight sense by a hand.

図 5 より、素手で机を擦るようにしながら箱を押して推定して得られた条件の冪指数は 0.9 であった。冪指数が 1 に近く、箱の重さの違いをそのまま捉えることができていた。一方、浮かす条件の冪指数は 0.73 であった。1 よりも小さかったため、箱の重さがかなり増加しても重さの感じはそれほど増加しない、つまり、重さの違いに対する感度が低いと言える。また、700g と 800g の間は推定値の大きさがほぼ同じ値になっており、重さの違いができていないと考えられる。900g と 1000g の間では、900g の推定値の方が大きく、1000g よりも 900g の方が重く感じられていたことになる。

2.3 実験 2

2.3.1 目的

視聴覚情報を制限した条件下で床に立ち、標準握りを用いて利き手で握った白杖で箱を押して確認した場合の箱の重さと重さ知覚との関係を、マグニチュード推定法を用いて明らかにする。押す際に、床に白杖を擦らせるように押す方法と床から浮かせて押す方法を用意して、その違いについても検討する。

2.3.2 白杖

白杖（ジオム社）は、主体がアルミニウム合金シャフトで、長さは 1200mm であった。そのうち、ゴムのグリップ部は 260mm で、ナイロン製石突部が 75mm であった（図 6）。また、重さは約 200g であった。

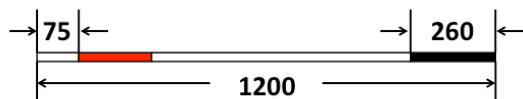


図 6 使用した白杖（単位 mm）

Fig.6 Size of a white cane.

2.3.3 手続き

床全面に実験 1 で用いたものと同じタイルカーペットを隙間無く敷いた。参加者はカーペットの上に立ち、参加者の正面にアルミ製の箱を置いた（図 7）。参加者は標準握りを用いて利き手で白杖を持った。白杖を動かす時は、白杖を持った腕のひじが脇腹か腰の辺りに軽く触れるようにして、腕を動かした。動かす時には、腕以外の部位が動かないようにした。事前に、この状態で楽に箱を動かすことができる位置を確認し、実験中に箱までの距離が変わらないように、ふくらはぎに軽くイスを当て、実験中は常にふくらはぎがイスに当たるように指示して、立ち位置がズレないようにした。参加者が立ち位置を変えなくなった場合には、申告してもらい、それに応じて立ち位置を変えて、再度、推定を行った。実験者は、白杖の先をアルミ製の箱の横の位置まで誘導した。その後、参加者の利き手側の肩を軽く叩いた。その合図で、参加

者は利き手側から非利き手側まで水平方向にアルミ製の箱を白杖の先で横に押した。最初に決めた姿勢を保持したまま、非利き手側に動かすことができる所まで腕を動かした。その後、箱の重さの推定値を報告した。重くて白杖が動かなかった場合にも、重さを推定して報告した。指示では第 1 実験と同様に、感じた重さをそれに相当する数字を割り当てて報告するように指示した。各重さについてそれぞれ 1 回のマグニチュード推定を行った。提示された重さの順番は、ランダムであった。また、箱を押す際に、床に白杖を擦らせるように押す方法と白杖を床から浮かせて押す方法を条件とした。6 つの重さの全てを推定し終えてから、次の条件に移った。擦る条件と浮かす条件の順序は、参加者ごとにランダムであった。浮かす条件では、箱の側面中央を押すように誘導した。押している間に白杖が床についてしまった場合には、やり直した。

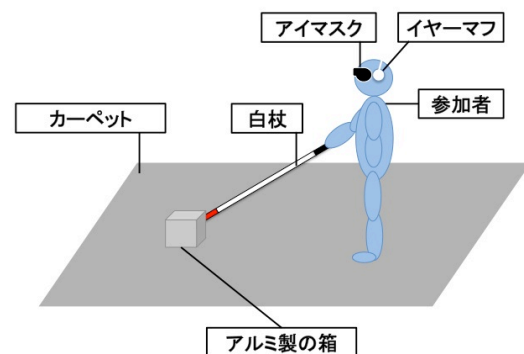


図 7 実験 2（白杖を用いた推定）の実験場面
Fig.7 Exp.2: An experiment setting for weight estimation by a white cane.

2.3.4 結果

得られたマグニチュード推定値の幾何平均を算出し、両対数グラフの横軸に箱の重さ（g）、縦軸に重さの推定値をとってプロットし、冪関数で近似した（図 8）。

その結果、擦る条件の冪指数は 0.67、浮かす条件の冪指数は 0.73 であった。どちらの条件でも 1 よりも小さかったため、箱の重さがかなり増加しても重さの感じはそれほど増加しない、つまり、重さの違いに対する感度が低く、1000g に近づくと違いが分かりにくい。擦る条件では、700g と 800g の間、そして 900g と 1000g の間で推定値が同じくらいであり、ほとんど重さの区別が付かなかった。また、浮かす条件では、500g と 600g 間、そして 700g と 800g の間でほとんど区別が付かなかった。

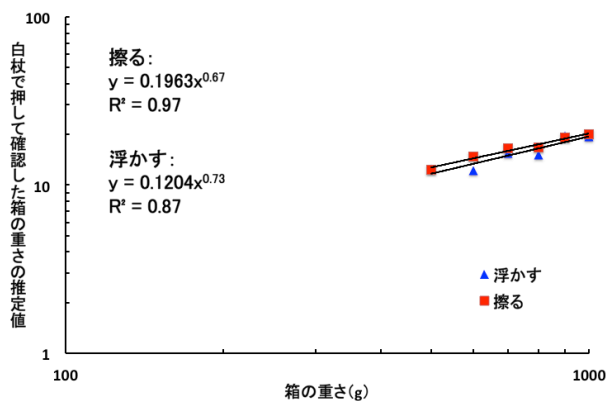


図8 実験2の結果:標準握りで握った白杖で箱を押した場合の箱の重さと重さ知覚の関係

Fig.8 The results of Exp.2: The relationship between the weight of the box and weight sense by a white cane

3. 総合考察

本研究では、白杖の先端が対象に接触する位置が重さの認知に影響するかどうか、特に白杖が床に擦るようにして接触するのか、それもと白杖が浮いたまま接触するのかという点が影響するのかどうかについて検討するために、手と白杖のそれぞれで机または床に擦るように箱を押し、マグニチュード推定法を用いてその感度を測定した。

その結果、手で直接押す条件では、擦る条件の冪指数が0.9、浮かす条件では0.73であり、押す位置によって違いがあった(第1実験)。一方、白杖で押す条件では、擦る条件の冪指数が0.67、浮かす条件では0.73であり、押す位置による大きな違いがみられなかった(第2実験)。そのため、白杖で対象を押してその重さを確認する場合には、どの位置で押しても重さの違いに対する感度に影響が無いことが考えられる。

しかしながら、本実験とは異なる大学生男子5名が参加した先行研究^[11]では、ほぼ同様の手続きで行った標準握りでの結果が1.61であり(図9)、本実験で得られた結果とは異なる傾向であった。この先行研究では、3種類の握り方を条件としており、このうちペン握りの冪指数が0.71で、本実験の結果に近い値となっており、本実験の傾向と同様に、1よりも小さかった。先行研究では、押す位置に制限を設けなかったため、参加者が箱の押す面のどの位置を押したのかが不明である。しかし、押す位置を特定している本実験では、擦る条件でも浮かす条件でも冪指数が1よりも小さかったため、先行研究との違いが押す位置によるものとは考えにくい。それぞれの参加者数が5名しかおらず、参加者が少ないことが影響している可能性がある。従って、結果の一般化を進めて検討するために、参加者を増やす必要がある。参加者の特性としては、先行研究は5名全員が男子であり、本実験

では同じ5名ではあるが内訳は男子2名女子3名であった。これにより、筋力の違いが影響していることも考えられる。これ以外の理由の存在についても考察を進める必要がある。

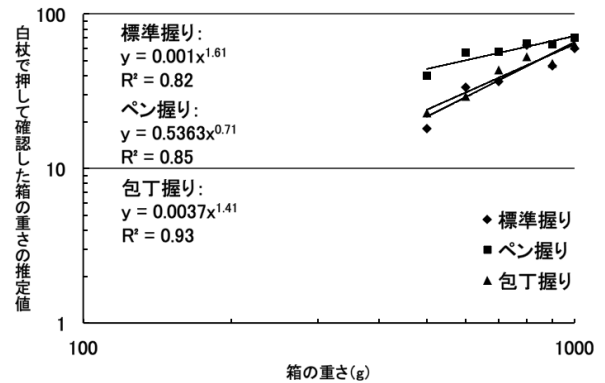


図9 白杖(3種類の握り方)で箱を押した場合の箱の重さと重さ知覚の関係(布川他, ヒューマンインタフェースシンポジウム2014論文集p.520より転載)

Fig.9 The relationship between the weight of the box and weight sense by a white cane.

また、次の様な点についても検討を進める必要がある。

- 1) 本実験で得られた傾向が、重さ全体について言えるのかどうかを検討するために、本実験で用いられた重さの範囲である500gから1000gより軽いかまたはより重い条件について測定する。
- 2) 握り方の影響について検討するために、標準握り以外の握り方を用いる。
- 3) 学習(使用経験)の効果を検証するために、日常生活で白杖を利用している視覚障害ユーザを参加者として測定し、白杖の利用経験が無い晴眼大学生の結果と比較する。
- 4) 本実験ではカーペットを敷き、その上に箱を置いた。カーペットの摩擦係数により、箱の重さが同じであってもその動きやすさが変化することが考えられる。この箱の動きやすさが、箱の重さの違いに対する感度に影響しているかどうかを確認する。
- 5) さらに、箱が動くかどうかについては、白杖ユーザの腕の筋力などの特性による影響についても筋電計測などを用いて確認する。
- 6) 箱の動きについては、箱の押す面に対する接触位置だけではなく、動作解析と杖先の当たる位置の反力測定などを利用して、白杖を動かす動作とそれに伴う杖先のベクトルについても検討する必要がある。

以上のような検討事項を踏まえて研究を進め、先行研究の結果と合わせて、対象の属性に対して感度が良く、かつ軽くて使用時の疲労が少ない素材やデザイン、操作方法の開発を進める。

謝辞

本研究は平成 27 年度東京国際大学特別研究助成, および JSPS 科研費 15K12090, 16H03753 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] K. Doi, A. Sugama, T. Nishimura, S. Ino, K. Nunokawa, M. Sugiyama, K. Kosuge, and A. Miyazaki : Influence of the Weight of White Canes on Muscle Load of the Upper Limbs. *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, IFMBE Proceedings*, 2019–2022(2011).
- [2] Lederman, S. J. & Klatzky, R. L. Hand movements : A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, 19, 342-368(1987).
- [3] Lederman, S.J. & Klatzky, R. L. The hand as a perceptual system. In K. J. Connolly (Ed.), *The psychobiology of the hand*. (pp.16-35). Cambridge University Press(1998).
- [4] 布川, 井野, 伊福部 : 白杖を用いた対象の知覚に関する基礎的研究; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008 論文集, pp.527-530 (2008).
- [5] 布川, 井野, 井手口 : 白杖を利用した対象認知の方法に関する実験的考察; 人間工学第 45 巻特別号 (日本人間工学会第 50 回記念大会講演集), pp.202-203 (2009).
- [6] 布川, 井野, 伊福部 : 視覚障害者の白杖の有無による硬さ知覚特性に関する実験的検討; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009 論文集, pp.517-520 (2009).
- [7] 布川, 井野 : 白杖を用いた間接的な触覚特性に関する実験的検討; 第 10 回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, pp.147-148 (2009).
- [8] 布川, 井野, 伊福部 : 白杖を用いた対象のテクスチャ知覚に関する実験的研究; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2010 論文集, pp.685-688 (2010).
- [9] Nunokawa, Kiyohiko & Ino, Shuichi. : An Experimental Study on Target Recognition Using White Canes. *Proceedings of the 32nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society "Merging Medical Humanism and Technology"*, 6583-6586(2010).
- [10] 布川, 井野, 伊福部 : 白杖を用いた硬さ知覚における握り方の違いに関する実験的検討; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011 論文集, pp.853-854 (2011).
- [11] 布川清彦, 土井幸輝, 近井学, 井野秀一 : 白杖による探索対象の重さ判断; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2014 論文集, pp.517-520 (2014).