

白杖は路面にどれくらい引っかかるのか？

— 滑り出し角と静止摩擦係数、長さで構えの角度 —

田邊 正明（日本ライトハウス養成部）

1. 緒言

高齢者が用いる杖は体重を支えるため、杖は滑らないように静止摩擦係数が高いゴム製のカバーが装着されている。それに対して、視覚障害者用の白杖は路面に一定の角度を保持し滑らせ、前方の障害物に衝突させることにより生じる振動を腕で知覚する、動物の髭のような触角に当たる道具である。路面を滑らせる行為は、路面に対し一定の角度で路面に接する白杖の先端に装着された石突と路面との間に生じる摩擦に抗する力を加えることにより滑り出す。白杖はグリップ、シャフト、石突の3つの部品から構成され、それぞれの部品にはさまざまな種類が存在する。グリップはゴムグリップ、カーボングリップかそれ以外の材質、シャフトはグラスファイバー、ブラックカーボン、アルミニウムなどで作られた1本の棒であるが、折り畳むために複数部分に分割されたものもある。石突の材質はナイロン、アラミド繊維強化熱可塑性樹脂などで、形状はスタンダード（棒状）タイプ、ティアドロップ（滴）タイプ、マッシュマロタイプ、ローラータイプ、クッションが入ったパームチップなどがある。それぞれはさまざまな路面を滑らせることによる触覚の感度を上げるために工夫されており、利用者は感覚的に選択をしている。そこで、数種類の白杖を抽出し、アスファルト及び室内での滑り方を数値化し、どれくらい路面に引っかかるのかを明確にすることを検討した。つまり利用者が白杖を使用しない状態での白杖固有が持つ滑り具合を静的な観点から調べた。

しかし、実際に白杖を利用者が使う場合は白杖を自分の力で動かして滑らせている。そこ

で、通常の使用でどのように滑っているかを動的な観点から調べることが必要であろう。白杖の構えかたは腕を前方にのばし、手首を身体を中心になるように構える。腕は腰の高さに位置する¹⁾。そして手首を中心にして肩幅の範囲で弧を描くように左右に振って歩くのが白杖歩行の基本となるタッチテクニック、スライド法である。地面に接する角度は腕を腰の高さとすると、白杖が長くなればより鋭角になって小さくなり、短くなれば大きくなり、白杖の長さによっては白杖の地面に対する角度が変化すると考えられる。一方白杖を振るという継続的な運動は自然な姿勢で無理なく白杖を滑らせるために路面に対し一定の角度に落ち着くとも考えられる。日本ライトハウスでは白杖の長さは剣状突起+10cmの長さを基準に作製しているが、実際に作製された白杖の長さは基準値を中心にばらつきがあるため、白杖の構えの角度に影響するのかを調査し、動きながら使えば路面に対しどれくらいの角度で歩いているのかを明らかにすることを考えた。

2. 対象及び方法

比較するために抽出した白杖は、日本ライトハウスで自作している直杖（ゴムグリップ、グラスファイバー製シャフト、石突はナイロン製のスタンダードタイプ）、アドバンテージ（石突はナイロン製のスタンダードタイプ、マッシュマロチップ、パームチップ）²⁾、マイケーン（グリップはカーボン、石突はアラミド繊維強化熱可塑性樹脂製のティアドロップ）³⁾の6種類である。白杖の路面に対する滑り方の比較は壁に白杖を立てかけ、自重によって滑り出すときのシャフトと路面の角度（本稿では“滑り出し角”

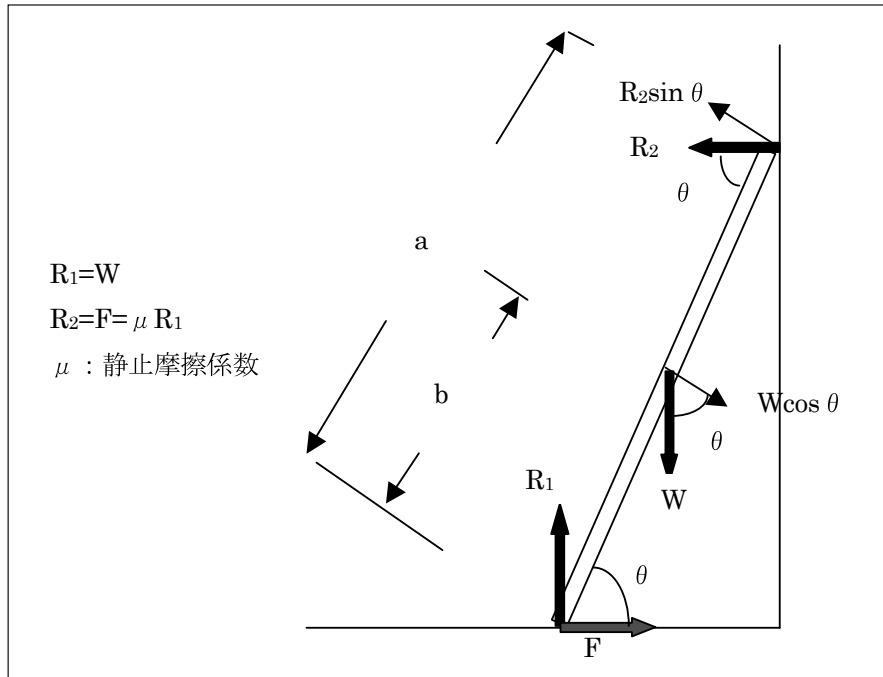


図1 白杖をグリップを上にして壁に立てかけた状態

と定義する) を計測した。計測にあたっては壁とグリップの摩擦は考慮せず壁の抗力のみを考えた。滑り落ちる角度は白杖の重心が関与するため、石突の路面に対する滑り方を比較するためには石突と路面の静止摩擦係数を求めた。静止摩擦係数の求め方は次のとおりである⁴⁾。

図1のように白杖をグリップを上にして壁に立てかけ、滑り始めたときの角度を θ 、壁から受ける抗力を R_2 、白杖の重さを W 、床からの垂直抗力を R_1 、床と石突の間の摩擦力を F 、静止摩擦係数を μ とし、壁は滑らかで白杖と壁の間に摩擦はないと仮定すると、

$$R_1 = W \quad \dots (1)$$

$$R_2 = F = \mu R_1 \quad \dots (2)$$

の関係がある。そして、点Aを回転中心とした力のモーメントのつりあいの式をたてると、

$$R_2 \sin \theta \cdot a = W \cos \theta \cdot b \quad \dots (3)$$

(1) (2) (3) より、

$$\frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{Wb}{aR_2}$$

$$\tan \theta = \frac{R_1 b}{a\mu R_1}$$

$$\tan \theta = \frac{b}{a\mu}$$

$$\therefore \mu = \frac{b}{a \tan \theta}$$

白杖を利用している調査対象者は平成25年度および平成26年度の日本ライトハウス視覚障害生活訓練等指導者養成課程基礎Iの修了者25名。使用した日本ライトハウス製白杖は、シャフトがグラスファイバー製、グリップはゴルフグリップ、石突はノーマルチップで構成されている。シャフトの長さは剣状突起+10cmを基準として切断し、グリップ、石突を取り付けた。講習会ではアスファルトの一般道でタッチテクニック、スライド法の練習を行った。グリップの握り方は平らな面を上方にして親指を置くことで、左手右手両方で使用しても白杖の接地面が固定されるようにした。白杖の構えの評価は石突の削れ方を参照した。つまり、石突の摩耗の角度が白杖の構えの角度と同値であるとした。4月から9月までの講習会を通して使用された白杖の石突の摩耗の角度を分度器で測定し、白杖の長さの基準値からのずれとの関係を調べた。

3. 結果

表1に示したように、アスファルトの路面で白杖が自重で滑り始めるときの滑り出し角はアドバンテージのスタンダードタイプの石突が

表1 白杖のアスファルト、日本ライトハウス屋内廊下における滑り出し角、静止摩擦係数

アスファルト					
	角度	杖の長さ (a)	グリップから 重心までの 長さ (a - b)	重心の比 (a - b) / a	静止摩擦係数
スタンダード (アドバンテージ)	45	127.0	47.5	0.4	0.63
スタンダード (日本ライトハウス)	44	127.0	51.0	0.4	0.62
マシュマロチップ (アドバンテージ)	42	116.0	47.0	0.4	0.66
パームチップ (アドバンテージ)	40	120.6	47.5	0.4	0.72
ローラーチップ (アドバンテージ)	38	138.0	59.0	0.4	0.73
マイケーン (KOSUGE)	35	140.5	73.5	0.5	0.68
平均					0.67
標準偏差					0.04
日本ライトハウス屋内廊下					
	角度	杖の長さ (a)	グリップから 重心までの 長さ (a - b)	重心の比 (a - b) / a	静止摩擦係数
スタンダード (アドバンテージ)	64	127.0	47.5	0.4	0.31
スタンダード (日本ライトハウス)	64	127.0	51.0	0.4	0.29
マシュマロチップ (アドバンテージ)	60	116.0	47.0	0.4	0.34
パームチップ (アドバンテージ)	60	120.6	47.5	0.4	0.35
ローラーチップ (アドバンテージ)	57	138.0	59.0	0.4	0.37
マイケーン (KOSUGE)	58	140.5	73.5	0.5	0.30
平均					0.33
標準偏差					0.03

表2 白杖の長さの基準値からのずれと構えの角度

利用者	角度 (°)	身長 (cm)	剣状突起+ 10cm	白杖の長さ (cm)	白杖の長さ- (剣状突起+10cm)	誤差 (%)
A	41	171.8	130.0	134.2	4.2	3.2%
B	48	181.6	140.0	141.3	1.3	0.9%
C	45	175.9	136.0	133.7	-2.3	-1.7%
D	45	179.7	136.0	135.8	-0.2	-0.1%
E	42	138.5	106.0	111.7	5.7	5.4%
F	43	170.3	126.0	133.2	7.2	5.7%
G	42	172.0	129.0	132.7	3.7	2.9%
H	44	172.8	135.0	136.2	1.2	0.9%
I	45	156.6	117.0	123.0	6.0	5.1%
J	45	166.5	131.0	127.0	-4.0	-3.1%
K	45	154.0	116.0	116.0	0.0	0.0%
L	44	159.4	125.0	122.0	-3.0	-2.4%
M	45	165.2	129.0	125.0	-4.0	-3.1%
N	43	169.0	130.0	131.0	1.0	0.8%
O	46	170.7	128.0	129.2	1.2	0.9%
P	44	168.8	131.0	125.0	-6.0	-4.6%
Q	45	157.5	125.0	127.0	2.0	1.6%
R	42	160.0	126.0	122.8	-3.2	-2.5%
S	47	151.9	116.0	117.0	1.0	0.9%
T	51	175.5	134.0	133.5	-0.5	-0.4%
U	45	177.8	136.0	130.5	-5.5	-4.0%
H	42	166.0	131.0	128.3	-2.7	-2.1%
I	43	178.6	138.0	134.0	-4.0	-2.9%
J	43	174.0	135.0	127.3	-7.7	-5.7%
K	43	152.6	119.0	123.0	4.0	3.4%
平均	44.3	166.7	128.2	128.0	1.2	-0.04%
標準偏差	2.13	10.32	8.01	6.85	3.48	0.03
不偏標準偏差	2.17	10.53	8.17	6.99	3.61	

表3 構えの角度の度数分布

構えの角度	人数
41	1
42	4
43	5
44	3
45	8
46	1
47	1
48	1
49	0
50	0
51	1
合計	25

一番早く45度で、同じスタンダードタイプの石突を装着した日本ライトハウス製白杖も44度とほぼ同値であった。マシュマロチップ42度、パームチップ40度、ローラーチップ38度と続き、マイケーンは35度と滑り出し角は40度に満たなかった。静止摩擦係数はスタンダードタイプはアドバンテージ0.63、日本ライトハウス製0.62とほぼ同値であった。また、マシュマロチップ0.66、パームチップ0.72、ローラーチップ0.73であり、これらはスタンダードタイプよりやや滑りにくくなっていた。

日本ライトハウス屋内廊下における滑り出し角はアドバンテージ、日本ライトハウス共に64度、マシュマロチップ、パームチップは60度と同値で、マイケーンが58度、ローラーチップ57度とアスファルトの路面と同様に低い数値となった。静止摩擦係数はスタンダードタイプのアドバンテージが0.31、日本ライトハウス製0.29。マシュマロチップ0.34、パームチップ0.35、ローラーチップ0.37であった。マイケーンは0.30とスタンダードタイプと変わらなかった。

白杖の長さの基準値からのずれと構えの角度の関係は表2に示した。剣状突起+10cmの基準値からのずれの正の最大値は7.2cm、負の最小値は-7.7cmで、平均は1.2±3.48cmであり、誤差は±5.7%以内であった。石突の摩擦の角度の最大値は51°、最小値は41°、平均は44.3±2.13°であった。表3の度数分布表から最頻値は45°であった。図2に示した分散図から、摩擦の角度と杖の長さの基準値からのずれの長さは5%水準で有意な直線的関係は

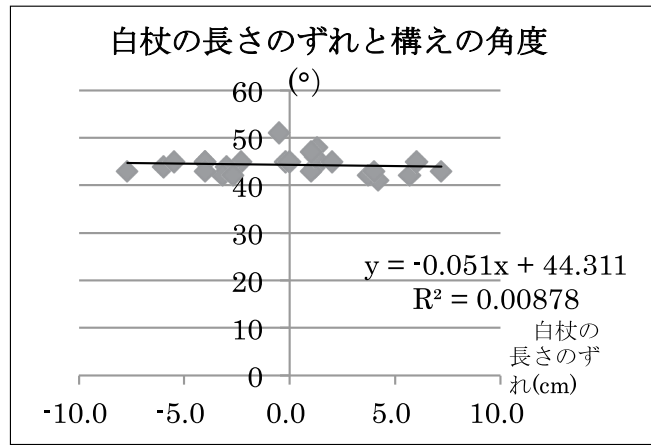


図2 白杖の長さの基準値からのずれと構えの角度の分散図

なかった。

4. 考察

マイケーンの滑り出し角が小さい原因は、アスファルトに対する静止摩擦係数は0.68でアドバンテージのマシュマロチップの0.66とほとんど変わらないことから、石突が原因とは考えられなかった。他の白杖がグリップから0.4の位置に重心があるのに対し、マイケーンの白杖の重心の比が0.5であり、重心が中心部に位置することが原因と考えられた。マシュマロチップ、パームチップ、ローラーチップがスタンダードタイプよりも滑り出し角が小さいのは静止摩擦係数がスタンダードタイプよりも高いことが原因と考えられたが、材質の違いは確認できなかった。

石突のアスファルトに対する静止摩擦係数の平均値は0.67±0.04となり、乾いたアスファルトとタイヤの静止摩擦係数の0.7にほぼ近いものとなった。つまり、石突による進行方向への路面の滑りには大きな違いはないと考えられた。日本ライトハウス屋内廊下における静止摩擦係数の平均値は0.33±0.03で、床材の材質は不明であるがナイロンとナイロンの静止摩擦係数が0.15～0.25、ゴムとゴムの静止摩擦係数が0.5であることからビニール系の資材が使われていると思われた⁵⁾。

ローラーチップは、横方向の摩擦に関しては左右に振る時には回転するため静止摩擦係数はゼロに近くなると考えられる。しかし、アスファルト面に対する滑り出し角が38度、進行方

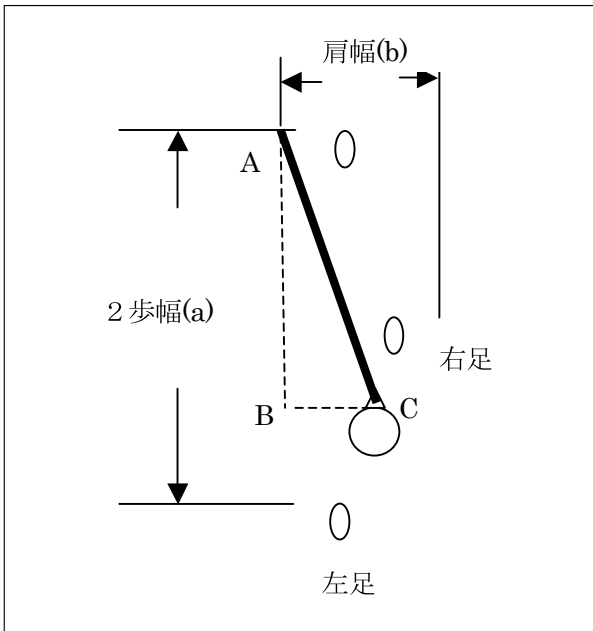


図3 歩行の様子を上から見たところ

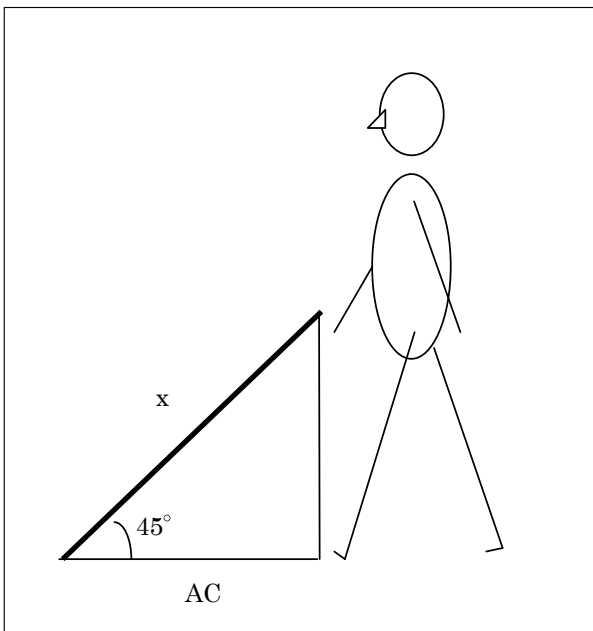


図4 歩行の様子を横から見たところ

向の静止摩擦係数が 0.73 であることから、白杖に加える進行方向の力はスタンダードタイプよりも大きくなると考えられた。パームチップの滑り出し角は 40 度、静止摩擦係数は 0.72 とスタンダードタイプよりも滑りにくい、力を受けた方向に石突が可動するため衝撃が弱まり、自動車などに使われているショックアブソーバーのように、引っかけた衝撃を吸収し引っかけりの感覚をなくしていると考えられた。

杖の長さの $\pm 5.7\%$ 程度の誤差は、白杖の構えの角度に影響しているとは考えられなかった。一方ずれの値に関係なく、タッチテクニッ

クおよびスライド法による石突の摩耗の角度の平均が $44.3 \pm 2.13^\circ$ であったことは、日本ライトハウス製白杖のアスファルトにおける滑り出し角が 44° であることと比較すると、歩行場面では無理なく白杖をアスファルトの路面に滑らせているのではないかと思われた。

白杖の構えの角度を 45 度と仮定すると、2歩先に白杖がくるようにインステップで歩行するのであれば、白杖の長さは次のようになる。

図3より白杖を地面に投影した長さ (AC) を求める。まず、石突 (A)、左肩 (B)、白杖の回旋中心 (C) を頂点とする直角三角形を考える。白杖の回旋中心を一步幅の半分のところと位置すると仮定すると、肩から白杖の石突までの長さ (AB) は $3a/4$ 、肩幅 (b) の半分の長さ (BC) は $b/2$ となる。

$$AC = \sqrt{\left(\frac{3a}{4}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} \quad \dots \textcircled{1}$$

図4より白杖の長さ (x) は

$$x = \frac{AC}{\cos \theta}$$

$$\theta = 45^\circ, \quad \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} \quad \text{より}$$

$$x = \sqrt{2} AC \quad \dots \textcircled{2}$$

①②より、

$$\begin{aligned} x &= \sqrt{2} \times \sqrt{\left(\frac{3a}{4}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} \\ &= \sqrt{\frac{(3a)^2 + (2b)^2}{8}} \end{aligned}$$

例えば、Jさんを例にとると、2歩幅 (a) が 110 ~ 120cm、肩幅 (b) が 40cm であった。つまり、白杖の長さは上式より、

$$\sqrt{\frac{(3 \times 110)^2 + (2 \times 40)^2}{8}} = 120$$

$$\sqrt{\frac{(3 \times 120)^2 + (2 \times 40)^2}{8}} = 130$$

となり、インステップで 120 ~ 130cm の白

杖を使用することにより、おおよそつま先が位置するところの障害物を石突で感知できることが予想される。

文献

- 1) 芝田裕一 (2010) 視覚障害児・者の歩行指導. 北大路書房. 101-102.
- 2) ジオム社 : <http://www.gandom-aids.co.jp>, 参照日 2013/12/23
- 3) 株式会社 KOSUGE : <http://www.kosuge.co/technical.html>, 参照日 2013/12/23
- 4) 堀口剛 (2011) 力学の基礎. 技術評論社.
- 5) Labnotes co.ltd : <http://www.labnotes.jp/pdf2/friction.pdf>, 参照日 2013/12/23