

障がい者アスリートの個性に適合した円盤投用円盤の最適化

瀬尾和哉¹、高橋直貴²、川端浩一³、三井利仁⁴

要旨

本研究の目的は、立位の F30 クラスと座位の F50 クラスの障がい者アスリート数名を対象として、その投出し条件（個性）を明らかにし、個性にあった円盤を提案することである。フィールドワークの結果、健常者アスリートに比較して、障がい者アスリートの投出し速度ベクトルの仰角（飛行経路角）が小さいこと、当然ながらスピードも小さいことが明らかになった。また、飛距離は主に初速度に依存することも明らかになった。さらに、立位選手の投げ出し初速度は、高所から投げ出す選手ほど、初速が小さいことが明らかになった。高所から投げ出す選手群と低所から投げ出す選手群の 2 群に分かれた。座位選手の投出し初速度には高さ依存はなかった。それらの個性（投出し条件）にあう円盤寸法等、用具を最適化により求めた結果、1.5m 以上の飛距離伸長の可能性が示唆された。

キーワード：円盤、形状、投出し条件、最適化

【目的】

スポーツ用具とスポーツスキルは、競技力向上の両輪である。オリンピックであれ、パラリンピアンであれ、これに変わりはない。アスリートは、購入した円盤を使って、日々のトレーニングに励んでいる。一方、用具に関しては、限られた選択肢から選択せざるを得ない現状がある。用具も積極的に勝ちとるべきである。本研究では、これを実行する。

障がい者アスリートの動きは、様々なバリエーションがある。本研究では、これを障がい者アスリートの個性と言う。障がい者アスリートの個性は、健常者アスリートのそれに比較して、千差万別である。障がい者アスリートが健常者アスリートと同じ用具を使用してパフォーマンスを最大に発揮できれば良いが、果たして可能だろうか？障がい者アスリートの個性にあった用具開発は、健常者以上に重要である。そこで、本研究では、障がい者アスリートの個性にあった円盤を明らかにする。

本研究の目的は、障がい者アスリートの個性に適合した円盤投用円盤の形状を明らかにすることである。複数人の被験者数に対して、これを実行した後、低速から高速の投げ出し速度に対応する最適寸法を明らかにした。

【対象】

被験者は F30 クラスと F50 クラスの障がい者アスリート数名である。参考のため、健常者アスリートの投出し条件と飛翔軌跡も測定した。

【方法】

研究目的を達成するためには、以下の 4 工程が必要である。

- イ) フィールド実験による投出し条件（個性）の把握
- ロ) CFD（数値流体力学）による円盤の空力係数の計算(Seo, 2014)
- ハ) 飛翔軌跡シミュレーション(Seo, 2015)
- ニ) 最適化(Seo, 2006)

この内、ロ)～ニ)に関しては、参考文献を参照して頂きたい。

フィールド実験は、2015 年 8 月末に順天堂大学陸上競技場と福知山市立六人部地域公民館グラウンド、11 月初旬に和歌山県立医科大学グラウンドで行った。福知山での実験は雨で行った。実験では、女子用円盤を使用した。円盤上にマーカーとして、3 つの正方形（10mm×10mm）を描いた（図 1）。円盤の最大直径の中心（フラットセンターエリアの中心）を Center、円周上の任意のマーカーを P1、円周上で円盤 2 に直交するマーカーを P2 とした。

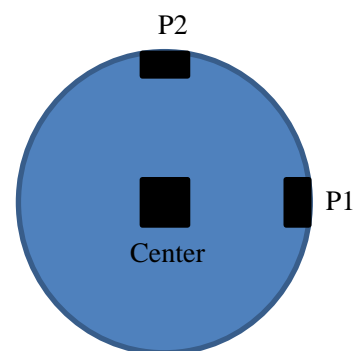


図 1 円盤上に描いた 3 つのマーカー位置

投出し条件の撮影には Phantom Miro eX4、飛翔軌跡の撮影には VRI-MR0-1024MC を使用した。撮影速度は 200fps に設定した。投出し条件撮影用のカメラ映像を図 2、飛翔軌跡撮影用のカメラ映像を図 3 にしめた。3次元座標取得のため、2台のカメラを使用した。対象は健常者アスリートであり、対象とした試技の飛距離は約 30m であった。30m 全体を撮影するため、カメラは対象から数十メートル離れた。そのため、円盤は、1 ピクセル程度の大きさしかない(図 3)。それにもかかわらず、フライト全体を撮影することは不可能であった。

撮影した画像を実際の座標に変換するためには、ピクセル値と既知の実座標[m]を関連付ける校正実験が必要である。校正実験では、投出し方向に約 30m、それに直交する横方向に約 6m の扇形範囲に 12 の既知点を設定した。ピクセル値を 3次元実座標に変換する際には、DLT 法を使用した。DLT 法によって得られた計算値の正確さを評価するため、既知の校正点の実座標と DLT 法を介した校正点の計算値の比較をした。既知の実座標と DLT 法による計算値の差は、0.17m 以下であった。

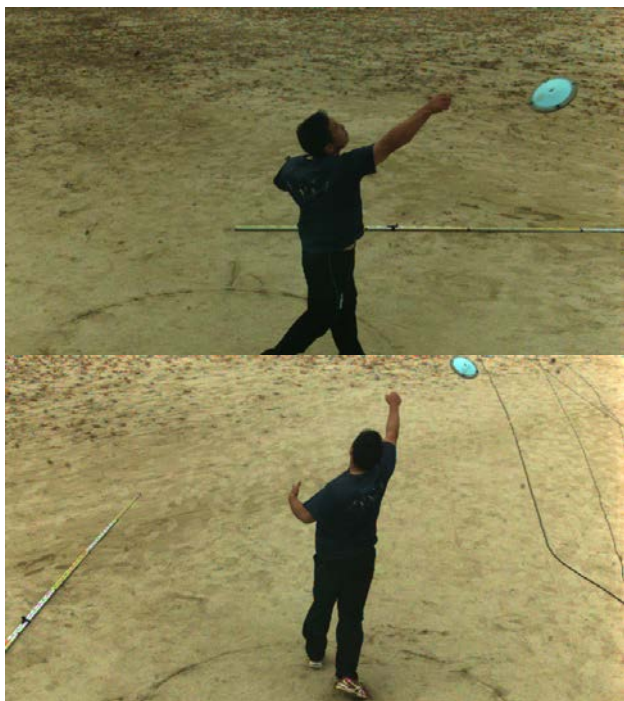


図 2 投出し条件の撮影例



←円盤



図 3 飛翔軌跡の撮影例

【投出し条件、重心位置】

実座標を得た後は、各アスリートの投出し条件、つまり個性を把握した。慣性座標系は図 4 のように定義した。原点は投出しサークルの中心とし、水平前進方向を X_E 、それに直交で横方向を Y_E 、鉛直下方を Z_E と定義した。

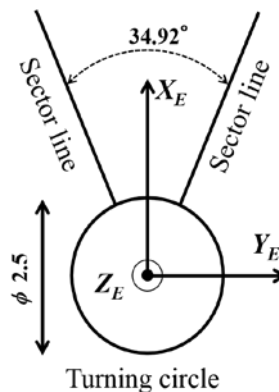


図 4 慣性座標系

一方、図 1 に示した Center の座標を (X_C, Y_C, Z_C) 、P1 の座標を (X_{P1}, Y_{P1}, Z_{P1}) 、P2 の座標を (X_{P2}, Y_{P2}, Z_{P2}) と書くこととする。重心座標を (X_g, Y_g, Z_g) を求めるためには、内積を取ればよい。すなわち、ベクトル：重心→Center $(X_c - X_g, Y_c - Y_g, Z_c - Z_g)$ とベクトル：重心→P1 $(X_{P1} - X_g, Y_{P1} - Y_g, Z_{P1} - Z_g)$ 、ベクトル：重心→P2 $(X_{P2} - X_g, Y_{P2} - Y_g, Z_{P2} - Z_g)$ の 3 者はそれぞれ直交する。よって、これら 2 者間の内積は 0 になる(式(1)~(3))。

$$\begin{aligned} &(X_c - X_g)(X_{P1} - X_g) \\ &+(Y_c - Y_g)(Y_{P1} - Y_g) \\ &+(Z_c - Z_g)(Z_{P1} - Z_g)=0 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} &(X_c - X_g)(X_{P2} - X_g) \\ &+(Y_c - Y_g)(Y_{P2} - Y_g) \\ &+(Z_c - Z_g)(Z_{P2} - Z_g)=0 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} &(X_{P1} - X_g)(X_{P2} - X_g) \\ &+(Y_{P1} - Y_g)(Y_{P2} - Y_g) \end{aligned}$$

$$+(Z_{P1} - Z_g)(Z_{P2} - Z_g) = 0 \quad (3)$$

式(1)~(3)を変形すると、式(4)~(6)になる。

$$X_C X_{P1} - (X_C + X_{P1})X_g + X_g^2 + Y_C Y_{P1} - (Y_C + Y_{P1})Y_g + Y_g^2$$

$$+ Z_C Z_{P1} - (Z_C + Z_{P1})Z_g + Z_g^2 = 0 \quad (4)$$

$$X_C X_{P2} - (X_C + X_{P2})X_g + X_g^2 + Y_C Y_{P2} - (Y_C + Y_{P2})Y_g + Y_g^2$$

$$+ Z_C Z_{P2} - (Z_C + Z_{P2})Z_g + Z_g^2 = 0 \quad (5)$$

$$X_C X_{P2} - (X_C + X_{P2})X_g + X_g^2 + Y_C Y_{P2} - (Y_C + Y_{P2})Y_g + Y_g^2$$

$$+ Z_C Z_{P2} - (Z_C + Z_{P2})Z_g + Z_g^2 = 0 \quad (6)$$

連立2次方程式(4)~(6)はエクセルのソルバー機能を使って解き、 (X_g, Y_g, Z_g) を求めた。

【投出し条件、速度ベクトル】

図5の通り速度ベクトルを V 、その方位角を β 、仰角を γ と定義した。

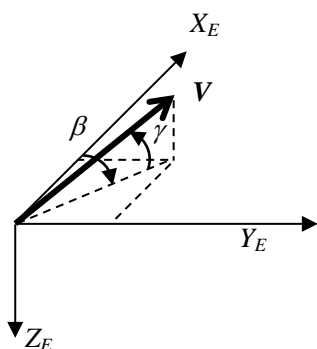


図5 初速度ベクトル

初速度ベクトルは、差分近似で求めた。例えば、 X_E 軸方向の速度は、2次精度の差分で式(7)により求めた。式(7)右辺の X_E は、重心座標を用いた。他の速度成分も式(7)と同様に求めた。

$$\dot{X}_E \cong \frac{-3X_E(t_n) + 4X_E(t_{n+1}) - X_E(t_{n+2})}{2\Delta t} \quad (7)$$

水平面からの仰角（飛行経路角） γ は式(8)により求めた。

$$\gamma = \sin^{-1} \left(\frac{\dot{Z}_E}{|V|} \right) \quad (8)$$

方向を示す方位角も個性として求めることは可能

だが、今回、方位角は求めなかった。理由は、円盤フィールドを使用していない（普通の運動場でフィールド試験）ため、選手が方向を意識していないからである。

【投出し条件、姿勢（オイラー角）】

投出し時の円盤の姿勢をオイラー角により定義した。機体固定座標系を $x_b-y_b-z_b$ （図6-3）とする。原点は円盤重心（=幾何中心）とした。一方、慣性座標系 $X_E-Y_E-Z_E$ は、図4に示した通りで、原点は投出しサークルの中心とした。オイラー角 Ψ 、 θ 、 Φ は、次の4手順により、定義される。

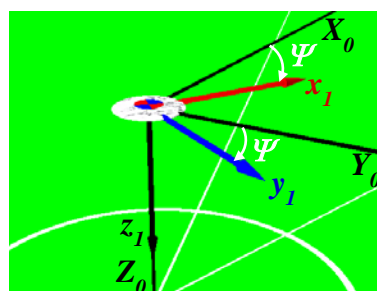


図6-1 ヨー角

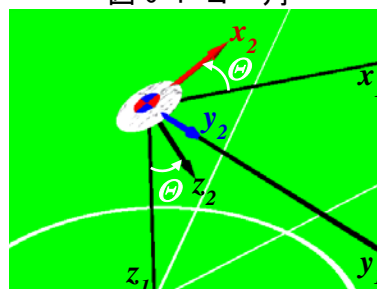


図6-2 ピッチ角

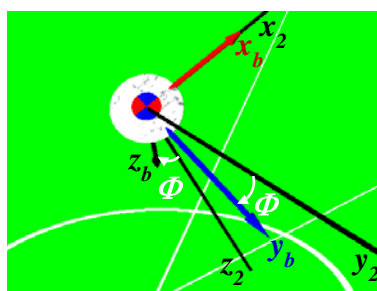


図6-3 ロール角

図6 円盤の姿勢を表現するオイラー角の定義

- イ) 慣性座標系を無回転で、円盤重心に移動した新座標を図6-1の (X_0, Y_0, Z_0) とする。
 - ロ) 座標系 (X_0, Y_0, Z_0) を Z_0 軸周りに右回転 (positive yaw Ψ , 図6-1),
 - ハ) y_1 軸周りに頭あげ回転 (positive pitch θ , 図6-2),
 - ニ) x_b 軸周りに右ネジ回転 (positive roll Φ , 図6-3)
- 以上により、円盤の姿勢を任意に設定できる。

オイラー角による回転行列¹⁾は、式(9)の通りである。

$$[m_{ij}] = \begin{pmatrix} \cos \Theta \cos \Psi & (\sin \Phi \sin \Theta \cos \Psi - \cos \Phi \sin \Psi) & (\cos \Phi \sin \Theta \cos \Psi + \sin \Phi \sin \Psi) \\ \cos \Theta \sin \Psi & (\sin \Phi \sin \Theta \sin \Psi + \cos \Phi \cos \Psi) & (\cos \Phi \sin \Theta \sin \Psi - \sin \Phi \cos \Psi) \\ -\sin \Theta & \sin \Phi \cos \Theta & \cos \Phi \cos \Theta \end{pmatrix} \quad (9)$$

回転前の P1 座標は、 $(0, 0.0905, 0)^T$ である (図 7)。回転後の P1 座標は、 $(X_{P1}-X_g, Y_{P1}-Y_g, Z_{P1}-Z_g)^T$ である。この座標を回転行列 $[m_{ij}]$ により変換する (式 10)。

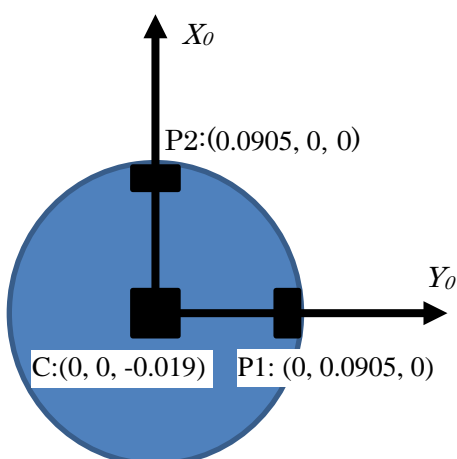


図 7 円盤状のマーカー

$$\begin{pmatrix} X_{P1} - X_g \\ Y_{P1} - Y_g \\ Z_{P1} - Z_g \end{pmatrix} = [m_{ij}] \begin{pmatrix} 0 \\ 0.0905 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

である。式 (10) を変形すると、

$$X_{P1} - X_g = 0.0905(\sin \Phi \sin \Theta \cos \Psi - \cos \Phi \sin \Psi) \quad (11)$$

$$Y_{P1} - Y_g = 0.0905(\sin \Phi \sin \Theta \sin \Psi + \cos \Phi \cos \Psi) \quad (12)$$

$$Z_{P1} - Z_g = 0.0905 \sin \Phi \cos \Theta \quad (13)$$

である。この 3 式をエクセルのソルバーで解くとオイラー角 Ψ 、 Θ 、 Φ を求めることができる。

【投出し条件、回転速度】

投出し時の円盤平面の角速度、つまり円盤短軸周りの角速度 R は、 P_1-P_2 ベクトルの回転角の差分を取るにより、求められる。

P_1-P_2 ベクトルは、

$$\vec{P}_{12} = (X_{P2} - X_{P1}, Y_{P2} - Y_{P1}, Z_{P2} - Z_{P1})^T \quad (14)$$

である。時間 t_{n+1} における回転角度 $\Psi(t_{n+1})$ は、

$$\Psi(t_{n+1}) = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{P}_{12}(t_{n+1}) \cdot \vec{P}_{12}(t_0)}{\|\vec{P}_{12}(t_{n+1})\| \|\vec{P}_{12}(t_0)\|} \right) \quad (15)$$

である。式 (15) により、回転角度 Ψ を求めた後、式 (7) と同様に差分を取って、回転速度 R_0 を求める。

【結果】

健常者アスリートの投出し条件を表 1 に示した。この個性は、図 2 より求めた。

表 1 健常者アスリートの投出し条件

X_E [m]	1.07
Y_E [m]	0.84
Z_E [m]	-1.09
V_0 [m/s]	21.7
γ_0 [°]	39.0
Ψ_0 [°]	37.1
Θ_0 [°]	22.3
Φ_0 [°]	30.0
R_0 [rev/s]	4.53

初速度 V_0 と投出し仰角 γ_0 は、後述する表 2 と 3 の障がい者アスリートのそれらと比較すると、大きい。また、投出し高さ Z_E が高いにもかかわらず、 V_0 が大きい特徴がある。

【障がい者アスリートの個性：投出し条件】

表 2 と 3 には、障がい者アスリートの個性である投出し条件を示した。福知山での雨天での実験結果は斜体で書いた。

アスリートの個性は、投げ出し位置 (図 4 の慣性座標で表現)、初速度ベクトル (図 5)、円盤姿勢を表すオイラー角 (図 6)、回転速度である。

表 2 より、座位アスリートの初速度 V_0 を見ると、F53 が 12.2m/s と小さい。他の選手は、15m/s 以上である。F53 は障害のために指が曲がらず、円盤をグリップし難いこと、が理由として考えられる。

投出し高さ と初速度の関係を図 8 と 11 に示した。座位選手が図 8、立位選手が図 11 である。横軸は、右ほど (絶対値が大きいほど) 高所から投げている状態である。座位選手の場合、投出し高さ と初速度に相関はほとんどない。この理由は、投出し

高さは、選手の腕の高さと選手が座っている架台の高さに依存するためである。座位選手は各自、架台を投出しサークル内に設置し、その上に座って投げる。架台高さは、選手のスキルとは別で、ルール範囲内で任意に設定できる。一方、図 11 で示した立位選手は、2 群に分かれた。理想的には、なるべく高い位置で投出し、かつ、初速度が大きい投擲が良い。しかし、図 11 より、投げ出し位置が高い選手は初速が小さく、投出し位置が低い選手は初速が大きい。高所から投げる選手は、円盤にパワーを伝えにくい様子が見て取れる。

投出し高さと同飛行経路角（速度ベクトルの仰角）の関係を図 9 と 12 に示した。座位選手が図 9、立位選手が図 12 である。横軸は、右ほど（絶対値が大きいほど）高所から投げている状態である。座位選手の場合、F53 を除いて、高所から投げる選手ほど仰角が小さい。逆に言うと、低所から投げるほど仰角が大きい、つまり上に投げ上げている。一方、図 12 で示した立位選手は、投出し高さと同飛行経路角にはほとんど相関が無い。

初速度と同飛行経路角（速度ベクトルの仰角）の関係を図 10 と 13 に示した。座位選手が図 10、立位選手が図 13 である。座位選手の場合、両者には相関がある。初速度の小さい選手は仰角が小さい。つまり、前に投げ出そうとしている。前進方向に円盤を進めようとしている。一方、図 13 で示した立位選手の場合、初速度と同飛行経路角に相関はみられない。

表 2 座位競技者の投出し条件

	F53	F54	F54	F56	F54
	Oi	K	O	Ha	M
X_E [m]	1.42	1.22	1.22	1.59	1.17
Y_E [m]	0.65	0.52	-0.64	0.50	0.62
Z_E [m]	-0.70	-0.59	-1.03	-0.72	-0.89
V_0 [m/s]	12.2	16.5	16.4	17.1	15.4
γ_0 [°]	22.7	35.7	31.1	33.0	27.7
Ψ_0 [°]	43.4	156.8	48.4	0	0.07
Θ_0 [°]	24.8	16.0	9.89	34.9	15.4
Φ_0 [°]	15.7	62.8	20.0	55.1	17.4
R_0 [r/s]	2.71	6.04	5.69	6.04	4.40

表 3 立位競技者の投出し条件

	F44	F36	F36	F36	F37
	T	F	A	Hi	W
X_E [m]	0.93	0.79	0.56	0.68	0.90
Y_E [m]	-0.15	0.32	0.25	-0.70	-0.17
Z_E [m]	-0.74	-1.02	-0.74	-0.94	-0.73
V_0 [m/s]	15.1	13.6	20.5	13.7	15.9

γ_0 [°]	29.9	24.3	30.9	33.8	24.6
Ψ_0 [°]	3.23	25.5	70.0	34.1	95.7
Θ_0 [°]	30.3	35.6	29.5	32.4	0
Φ_0 [°]	0.0	11.5	16.7	4.46	27.2
R_0 [r/s]	4.45	1.73	4.98	3.68	7.01

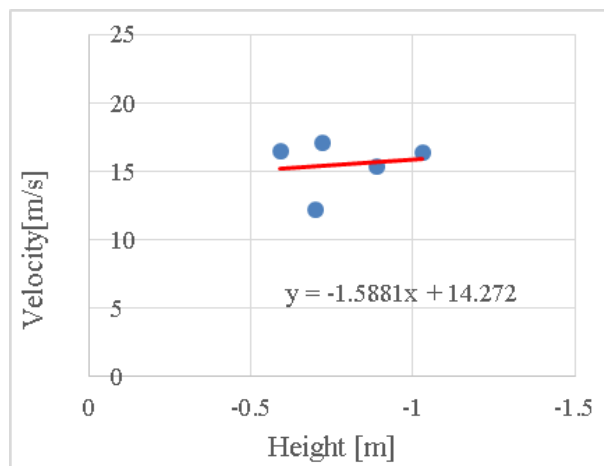


図 8 座位競技者の投出し高さと同初速度

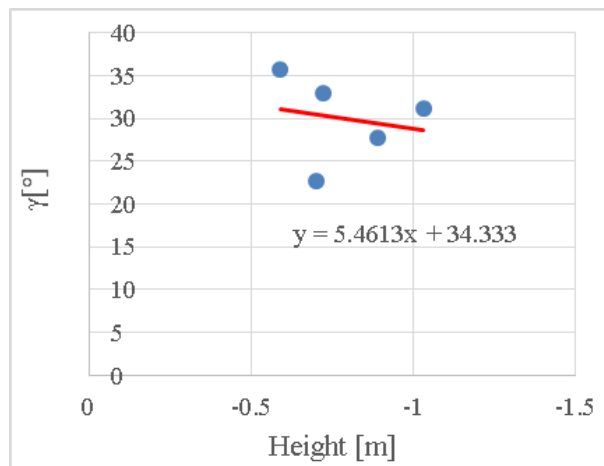


図 9 座位競技者の投出し高さと同飛行経路角(仰角)

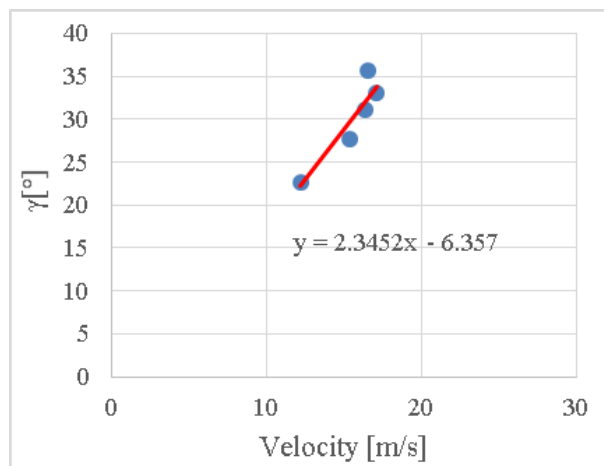


図 10 座位競技者の初速度と同飛行経路角(仰角)

初速度：大⇒仰角：大

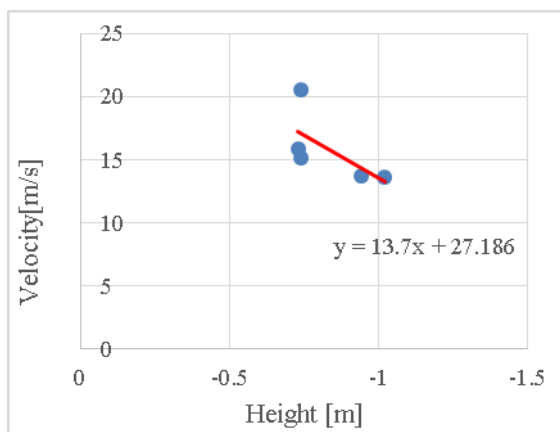


図 11 立位競技者の投出し高さと同初速度。2 群に分かれた。高所から投げる⇒初速：小、低所から投げる⇒初速：大

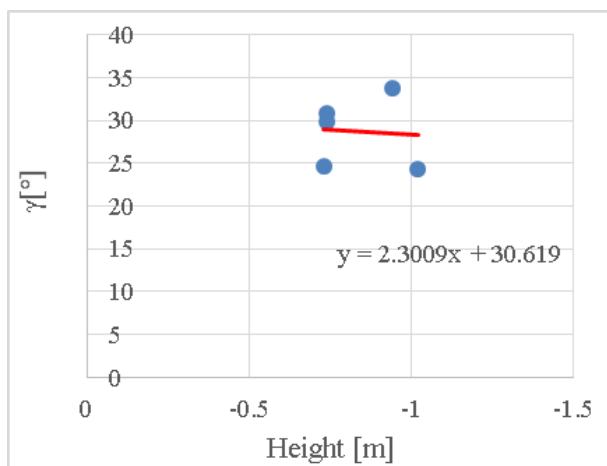


図 12 立位競技者の投出し高さと同飛行経路角(仰角)

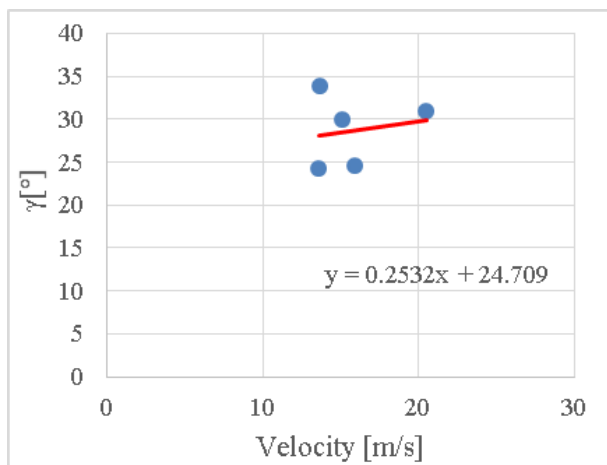


図 13 立位競技者の初速度と同飛行経路角(仰角)

実測による飛距離と同シミュレーションによって求めた飛距離(計算)を表 4 と 5 に示した。福知山の実験では、雨天のため、飛距離を実測しなかった。

表 4 座位競技者の飛距離

	F53 Oi	F54 K	F54 O	F56 Ha	F54 M
実測 [m]	13.7	25.5	/	/	/
計算 [m]	12.9	26.9	27.2	29.7	21.8

表 5 立位競技者の飛距離

	F44 T	F36 F	F36 A	F36 Hi	F37 W
実測 [m]	21.8	/	/	/	/
計算 [m]	22.1	16.3	41.2	18.9	22.5

実測による飛距離と同シミュレーションによって求めた飛距離(計算)の関係を図 14 に示した。横軸が実測値、縦軸が計算値である。仮に両者が等しければ、近似直線の勾配は 1 になるが、図中に示した通り、1.03 であった。計算値は実測値よりも 3% 程度長く飛距離を見積もっているが、ほぼ一致している。よって、計算(シミュレーション)で求めた飛距離は妥当であると判断した。

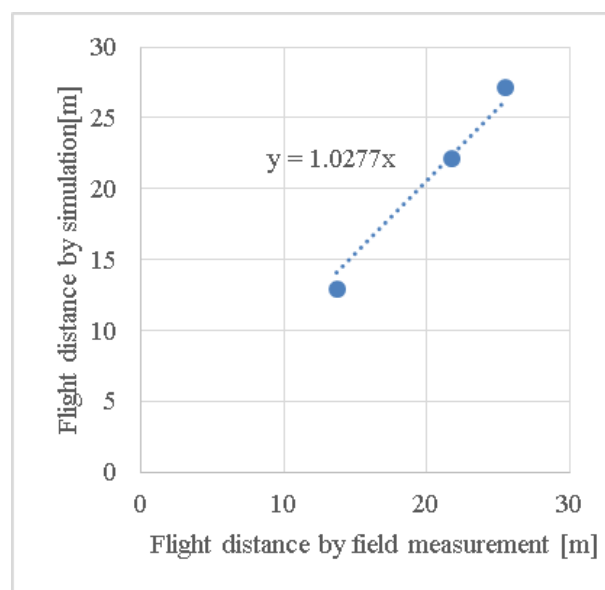


図 14 実測(フィールドワーク)による飛距離と同シミュレーション(計算)による飛距離の比較

【障がい者アスリートの個性に適合した円盤寸法】

最適化の円盤寸法探索範囲は、レギュレーションに従い、表 6 の通りとした。

表 6 最適化した設計変数の探索範囲

	記号	範囲
慣性モーメント	I_T	0.0055 ~ 0.0060 kgm^2

質量	m_D	1.005 ~ 1.025 kg
幅	W	180~182 mm
厚さ	THK	37~39 mm
メタルリム半径	R_{MR}	5.85~6.45 mm
フラットセンタ エリア直径	D_{FCA}	50~57 mm

表 7 最適寸法と飛距離

	F53 Oi	F54 K	F44 T
I_T [kgm ²]	0.0059	0.0060	0.0060
m_D [kg]	1.011	1.005	1.005
w [mm]	181.5	180.6	181.5
THK [mm]	38.0	37.0	38.0
R_{MR} [mm]	6.30	6.26	6.30
D_{FCA} [mm]	55.0	56.7	55.0
飛距離 [m]	14.6	28.7	23.8

表 7 は、表 2 の F530i&F54K (左 2 列) と表 3 の F44T (左列) の個性を入力として、最適寸法を求めた結果である。円盤の空力に影響を与える RMR は 3 者間でほぼ等しい。現在通りの投げ出し条件であったとしても、個性にあった最適寸法の円盤を使用することにより、それぞれのシミュレーション飛距離は、12.9→14.6m (F530i)、26.9→28.7m (F54K)、22.1→23.8m (F44) と 1.5m 以上改善されることが明らかになった。

【速度を変数としたパラメトリックスタディ】

初速度を上げることは、障がい者アスリートにとって、特に難しい。しかし、円盤の初期姿勢 (オイラー角) や投げ出し方向 (初速度ベクトル) は、比較的容易に調整できるはずである。

ここでは、10m/s から 1m/s 刻みで初速度を上げながら、それぞれの速度に適合した最適な初期姿勢、投げ出し方向、回転速度、寸法、そして、それらの条件に対する飛距離を最適化計算により求めた。投げ出し位置は座位選手を参考にして、 $(X_E, Y_E, Z_E) = (1.2, 0.5, -0.6)$ とした。

図 15 には、横軸に初速度、縦軸に最適化した場合の飛距離を示した。初速度が増大するほど飛距離は 2 次関数的に増加し、仮に 26m/s で投げられるならば、世界記録の 78m にもなる。初速度を上げられるならば、それに越したことはないが、(繰り返しだが) それは困難であるため、速度が大きい場合、小さい場合、それぞれに適合する投げ方や円盤寸法の特徴をみている。

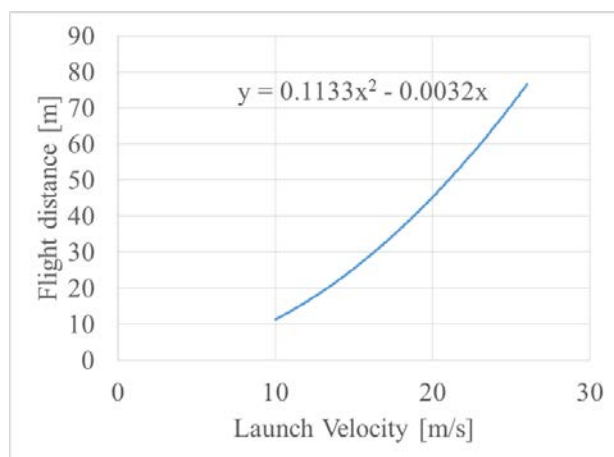


図 15 初速度と飛距離の関係

図 16 は自己組織化マップである。青が最低値、赤が最大値を示している。図 16-1 は変数として与えた初速度、図 16-2 はシミュレーションの結果出力された飛距離、図 16-3 から 16-14 は最適化計算の結果出力された最適投げ出し条件や最適寸法である。

初速度：図 16-1 は、横方向のグラデーションである。すなわち、マップの左端中央部が初速度：26m/s、右端中央部が初速度：10m/s である。飛距離：図 16-2 も初速度と同様に横方向のグラデーションである。これは、図 15 で見た通りで、初速度が大きいほど飛距離が長くなることを示している。

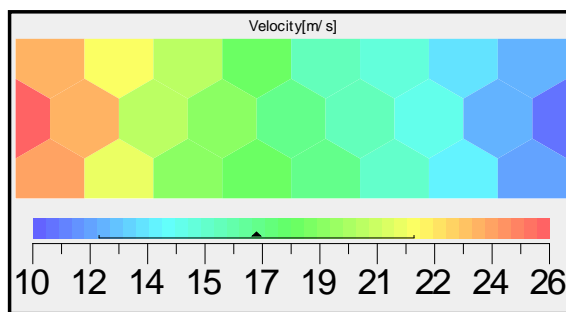


図 16-1 初速度

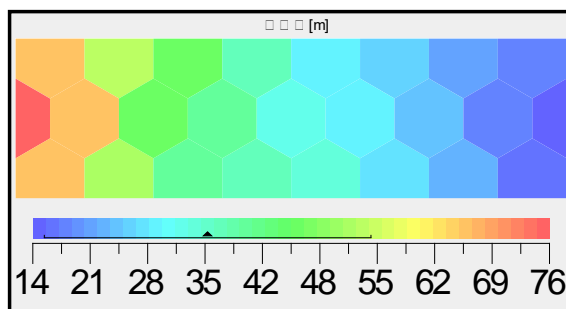


図 16-2 飛距離

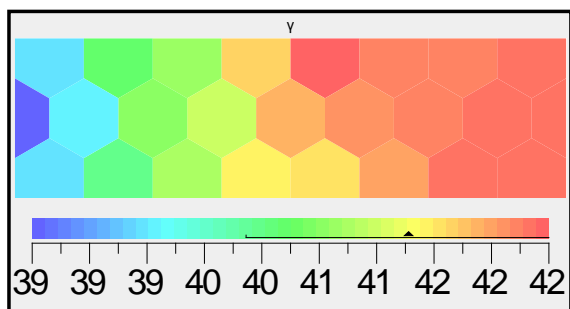


図 16-3 初期仰角

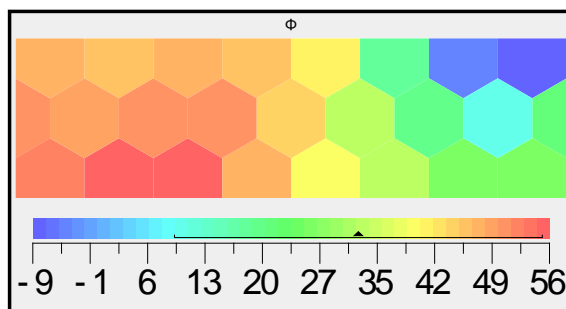


図 16-7 初期ロール角

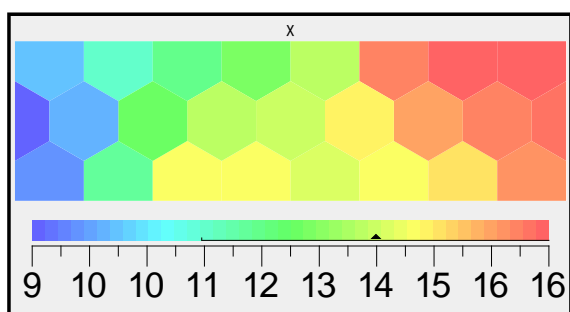


図 16-4 初期方位角

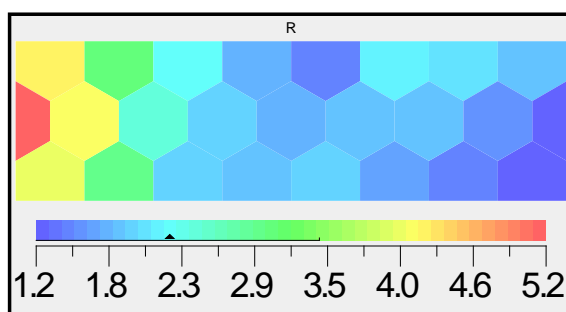


図 16-8 初期回転速度

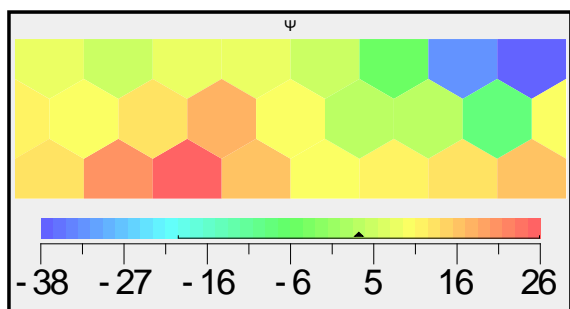


図 16-5 初期ヨー角

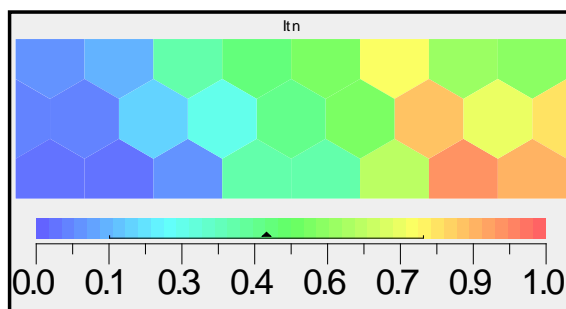


図 16-9 短軸周りの慣性モーメント

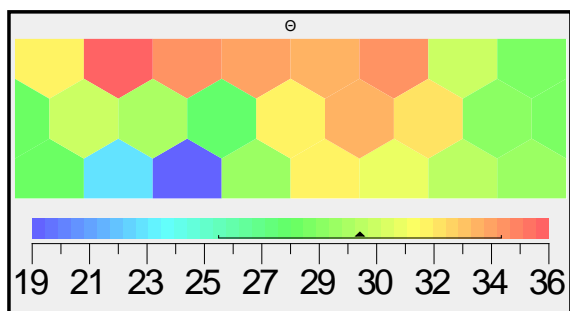


図 16-6 初期ピッチ角

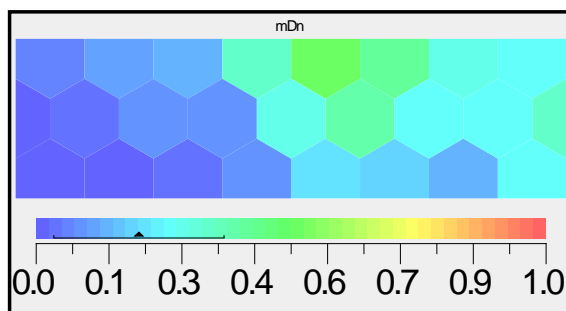


図 16-10 円盤質量の

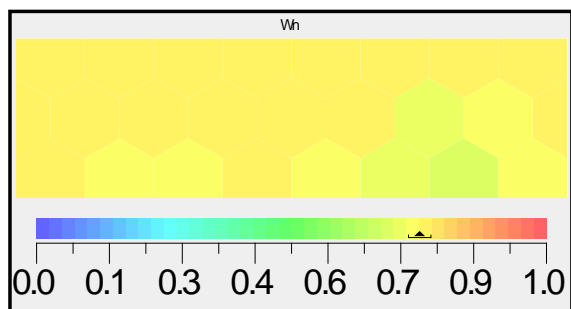


図 16-11 円盤幅

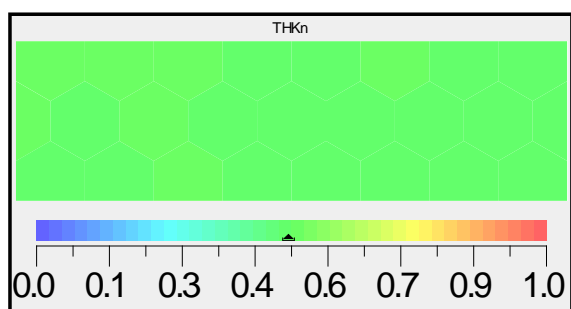


図 16-12 円盤厚さ

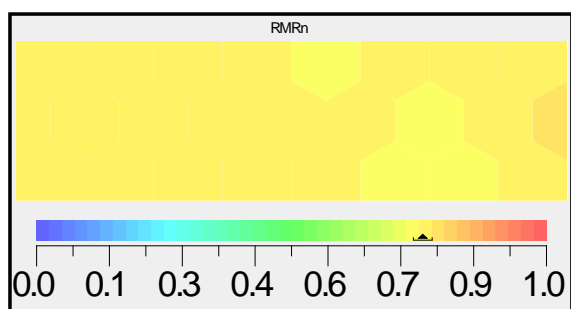


図 16-13 メタルリム半径

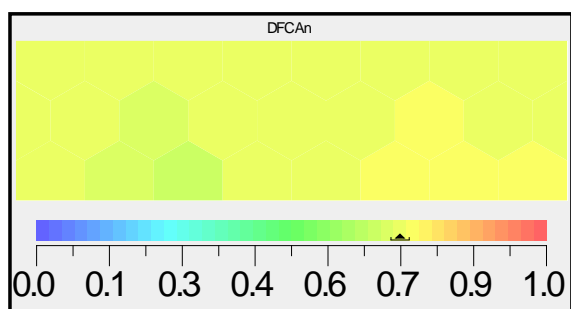


図 16-14 フラットセンターエリアの直径

図 16 自己組織化マップ

図 16-3 から 16-8 は、選手の投げ出し条件に関係する自己組織化マップである。

初速度が小さい場合（マップの右端）、初期仰角（図 16-3）は大きめの約 42° 、初期方位角（図 16-4）も大きめの約 16° （右投げ選手が右サイドラインに沿って投げる）、初期ロール角（図 16-7）は小さめの約 10° （円盤は右にバンク（右肩が下がる）姿勢）、短軸周りの回転速度（図 16-8）も小さめの 1 回転強/秒である。一方、用具に関する変数は、レギュレーション寸法に従って正規化（最大値を 1、最小値を 0）した。初速度が小さい場合（マップの右端）、短軸周りの慣性モーメント（図 16-9）は大きくすべきである。他の寸法にかかわる変数（図 16-11~13、）は、マップ全領域にわたって、ほぼ一色である。つまり、これらの最適寸法は風速によらず、以下の値：に設定すべきである。

円盤幅 $w=181.5$ [mm]

円盤厚さ $THK=38$ [mm]

メタルリム半径 $R_{MR}=6.3$ [mm]

フラットセンターエリア直径 $D_{FCA}=55$ [mm]

【まとめ】

複数の障がい者アスリートの投げ出し条件を測定し、彼ら/彼女らの投げ方：個性を明らかにした。その結果、投げ方がそのままであっても円盤寸法等、用具の改善により、1.5m 以上の飛距離伸長の可能性が示唆された。

謝辞

本研究の一部は、和歌山県立医科大学みらい医療推進センター障害者スポーツ医科学研究拠点事業の助成を受けた（承認番号 2015-01）。感謝の意を表する。

また、本研究の成果を国際スポーツ工学会（ISEA）にて、2016 年 7 月 12 日に口頭発表する予定である。同様に可視化情報学会にて、2016 年 7 月 21 日に口頭発表する予定である。

参考文献

Seo, K., Shimoyama, Kimura Y., K., Ohta, K. and Ohgi, Y. (2014) Optimization of the size and launch conditions of a discus, *Procedia Engineering*, 72, 756-761.

Seo, K., Shimoyama, K., Ohta, K., Ohgi, Y. and Kimura Y. (2015) Optimization of flight distance and robustness in discus, *Sports Engineering*, 18(1), 55-65. 5.

Seo K., Kobayashi O. and Murakami M. (2006) Multi-optimisation of the screw kick in rugby by using a genetic algorithm, *Sports Engineering*, 9, 87-96.

【2015-01】共同研究

¹ 山形大学・地域教育文化学部, ISEA(Int. Sports Eng. Association) Fellow

² 山形大学・地域教育文化学部, ISEA(Int. Sports Eng. Association) Fellow

³ 和歌山県立医科大学・げんき開発研究所

⁴ 和歌山県立医科大学・げんき開発研究所(現、日本福祉大学)