

U-20 世界選手権（ビドゴシチ）における投てき種目のパフォーマンス分析報告

高松潤二
流通経済大学

1. はじめに

ポーランドのビドゴシチで開催された U-20 世界陸上競技選手権大会の投てき種目に出場した選手のうち、日本選手と決勝に進出した上位入賞の選手を対象にして、投てき物のリリースパラメータ（初速度、投射角度、投射高）を算出したので、以下に報告する。なお、今回の大会のレギュレーションとして、一部の種目では一般用の公認重量よりも軽いものを使用していることや（男子の砲丸・円盤・ハンマー）、決勝の上位 6 名のみ 4 投目に進み、かつ 5 投目以降は試技を行わないというものであったこと、さらには以下に述べるようにデータの取得にさまざまな制約があったため若干精度に欠ける等、本報告以外のデータと比較する場合には注意を要することを予め申し添えておく。

2. 方法

今回の分析データは、投てき種目において重要と考えられるリリースパラメータを 2 次元画像分析法により算出した結果である。本来であれば投てき種目は 3 次元画像分析法でデータを算出すべきであるが、機材や人員、競技運営側との調整等の関係で不可能であったことから、ビデオカメラ 1 台を用いた 2 次元画像分析法を用いた。いずれの種目についても投てき物の 2 次元座標値を算出した（砲丸、円盤、およびハンマーはそれぞれ投射体の中心で、やり投げについてはグリップ部分の座標とやりの先端および後端）。

図 1 は、競技場内における各カメラの配置場所を示したもので、図 2 は投てきピットとビデオカメラの関係および投てきピット内の座標系について示したものである。サークル種目（砲丸投げ、円盤投げ、ハンマー投げ）はサークルの真横の延長線上にカメラを配置して固定撮影し、やり投げはファウルライ

ンから 4m 程度付近の真横にカメラを配置してパニング撮影した。座標系に関しては、サークル種目はビデオ画面上に映っているサークルの左右端点を結んだ線分（図 2 の太線）を X 軸とし、これに直交する鉛直軸を Y 軸とした。やり投げについては、図中の太線を X 軸とし、これに直交する鉛直軸を Y 軸とした。

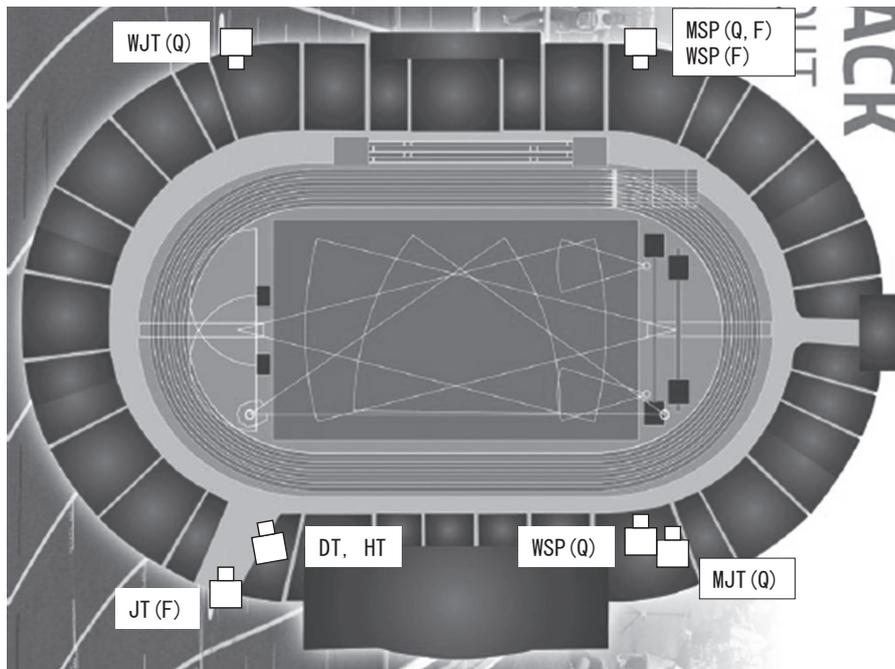
サークル種目における投てき物の 2 次元座標は、300fps の高速度カメラで撮影した映像を用いて、いずれもリリースの瞬間とその前後 0.01 秒時点における 2 次元座標の計 3 つの座標データから中央差分法により投てき物の速度（初速度）を算出し、その速度ベクトルの向きが X 軸となす角度を投射角、リリース瞬間の投てき物の地面からの高さを投射高としてそれぞれ算出した。やり投げについては、60fps で最後の左足接地からリリースまでのやりの 2 次元座標を算出し、バタワースデジタルフィルタにより遮断周波数約 8Hz で平滑化した（分析対象者毎に Wells and Winter (1980) の方法で最適遮断周波数を算出）。

3. 結果と考察

(1) 砲丸投げ

表 1 は、女子砲丸投げのリリースパラメータを示したものである。予選に出場した郡選手と決勝上位 6 名のデータである。これを見ると、もっとも大きなリリース速度は 2 位の SONG 選手であったが、投射角が低く記録上は 1 位の KENZEL 選手に 1m 以上の差をつけられていた。投法については決勝進出者 12 名のうちグライド投法が 9 名、回転投法が 3 名で、上位 6 名については従来報告されている傾向通り、グライド投法は投射角がやや大きく、回転投法は初速度がやや大きいというものであった。

表 2 は、男子砲丸投げのリリースパラメータを示したものである。予選に出場した幸長選手と決



【記号の意味】
 M: 男子, W: 女子
 SP: 砲丸投げ, DT: 円盤投げ, HT: ハンマー投げ, JT: やり投げ
 Q: 予選, F: 決勝

図1 競技場内のカメラ配置図

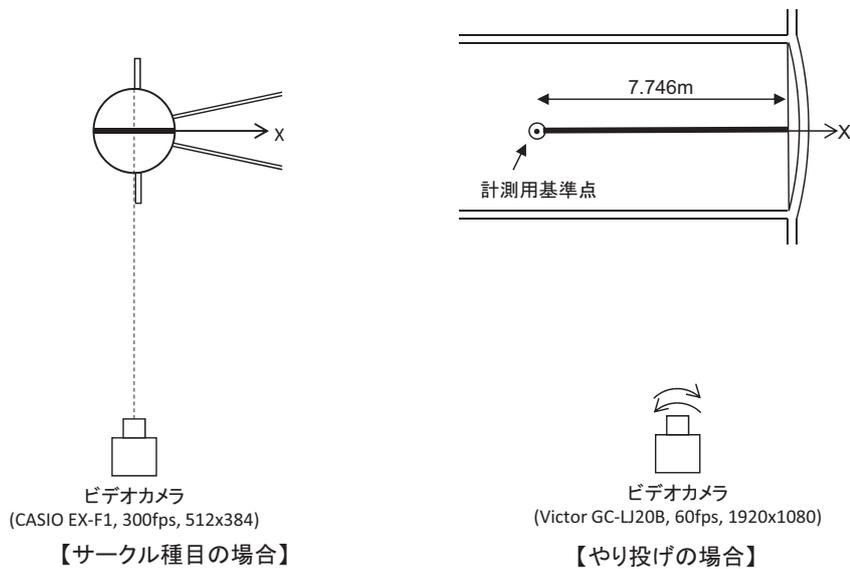


図2 投てきピットとビデオカメラの位置関係

勝上位6名のデータである。これを見ると、1位のBUKOWIECKI選手が圧倒的な強さを示し、初速度は14.75m/sを達成していた。この選手はシニアの大会においても上位進出できる実力を有しており、7.26kgの砲丸でも既に世界クラスの選手である。男子に関しては、初速度の値がそのまま順位の差となって現れていた。また、決勝進出12名の投法の別についてみると、グライド投法が3名、回転投法が9名で、女子の比率と逆の傾向にあった。

以上の結果から、女子については初速度のみでなく投射角度にも配慮が必要で、特に回転投法は習得が難しく（時間が掛かる）、かつ角度が低くなる傾向があるため、短期的なパフォーマンス向上を図る上で無視できないポイントであろう。男子については、回転投法を身に着けなければ勝負にならない印象をこの大会から与えられたが、砲丸が一般のそれよりも軽いので、そのことが投射角度を比較的高く保たせている要因かもしれないことを考え合わせる

表1 女子砲丸投げのリリースパラメータ

	記録 (m)	初速度 (m/s)	投射角 (deg)	投射高 (m)	投法
予選					
郡	14.63	10.91	35.7	1.92	グライド
決勝					
1 KENZEL	17.58	12.23	39.4	2.08	グライド
2 SONG	16.36	12.48	27.6	1.96	回転
3 WILSON	16.33	12.06	33.7	2.04	回転
4 SCHMIDT	16.18	11.85	37.2	2.04	グライド
5 OROZCO	15.94	12.23	32.4	2.06	回転
6 SLEPOWRONSKA	15.75	12.15	34.3	1.98	グライド
上位6名平均:	16.36	12.17	34.1	2.03	
グライド平均:	16.50	12.08	36.97	2.03	
回転平均:	16.21	12.26	31.24	2.02	

※決勝進出12名のうち、グライド9名、回転3名

表2 男子砲丸投げのリリースパラメータ

	記録 (m)	初速度 (m/s)	投射角 (deg)	投射高 (m)	投法
予選					
幸長	17.72	12.40	34.4	2.20	グライド
決勝					
1 BUKOWIECKI	23.34	14.75	33.2	2.13	回転
2 TOADER	22.30	14.12	37.9	2.14	回転
3 OSBORN	21.27	14.17	40.0	2.20	回転
4 PETERSSON	20.65	13.64	36.3	2.17	回転
5 PIPERI III	20.62	14.06	40.4	2.08	回転
6 MAZUR	20.40	13.54	39.8	2.25	グライド
上位6名平均:	21.43	14.05	37.9	2.16	

※決勝進出12名のうち、グライド3名、回転9名

必要があろう。いずれにしても、男女ともに初速度を高めることは砲丸投げに関しては最重要課題であり、日本選手と世界のトップとの差を見てもそのことは明らかである。

(2) 円盤投げ

表3は、女子円盤投げのリリースパラメータを示したものである。決勝上位6名と予選の郡選手のデータを示した。これを見ると、初速度の最高値は4位のBROWN選手で、次いで3位のEMILIANOV選手であった。1位のRAKOCEVIC選手は3番目の初速度であった。EMILIANOV選手は投射角が高く(41.0 deg)、BROWN選手は低かった(30.8 deg)ことが投てき記録に影響したと考えられる。

表4は、男子円盤投げのリリースパラメータを示したものである。決勝上位6名に8位だった幸長選手のデータ、さらには予選における日本選手(安藤選手、幸長選手)のデータを示した。上位6名のデータをみると、投射角の平均(34.9 deg)は女子の平均(35.9 deg)と概ね一致していたが、初速度は男子のほうがやや大きく(男子22.54m/s、女子21.16m/s)、U-20における男子円盤が一般用円盤の重量より250g軽いことが影響しているようである。

上位6名と日本選手を比較すると、男子については投射角がやや低いものの初速度についてはほとんど差が無く、女子についても決定的に大きな差は無

表3 女子円盤投げのリリースパラメータ

	記録 (m)	初速度 (m/s)	投射角 (deg)	投射高 (m)
予選				
郡	45.46	20.14	37.9	1.26
決勝				
1 RAKOCEVIC	56.36	21.32	35.2	1.49
2 WILLIAMS	53.91	20.78	35.9	1.55
3 EMILIANOV	53.08	21.61	41.0	1.52
4 BROWN	52.73	21.71	30.8	1.51
5 PHELPS	52.60	20.94	36.2	1.52
6 ARMADA	52.53	20.60	36.6	1.32
上位6名平均:	53.54	21.16	35.9	1.49

表4 男子円盤投げのリリースパラメータ

	記録 (m)	初速度 (m/s)	投射角 (deg)	投射高 (m)
予選				
安藤	55.93	21.96	34.5	1.54
幸長	57.98	22.21	33.4	1.53
決勝				
1 MOAAZ	63.63	22.51	33.5	1.23
2 STACHNIK	62.83	22.81	34.9	1.67
3 ZHUK	61.70	22.19	35.0	1.56
4 PETERSSON	61.23	23.04	33.3	1.78
5 BUKOWIECKI	59.71	21.76	44.4	1.65
6 PRÜFER	59.10	23.53	28.2	1.70
8 幸長	58.50	22.54	33.6	1.48
上位6名平均:	61.37	22.64	34.9	1.60

かった。最高記録を示した試技における円盤の飛行状態が他の上位選手と比較して安定していなかったことが原因と考えられるが(きれいな回転をせず、やや「ヒラヒラ」と飛行していた)、リリース技術を高められれば十分勝負できる位置にいるように思われる。ただし、世界レベルでは(男子について言えば)、一般の重量の円盤で6位のPRÜFER選手と同程度の初速度を達成する選手がいることを付記しておく。

(3) ハンマー投げ

表5は、女子ハンマー投げのリリースパラメータを示したもので、決勝上位6名とその平均を示している。これを見ると、1位のLLANO選手がほぼ26m/sの初速度を達成していた以外は、概ね同程度の初速度であった。

表6は、男子ハンマー投げのリリースパラメータを示したものである。これを見ると、上位4名の初速度は比較的拮抗していた。1位のHALÁSZ選手は唯一の80mオーバーを記録していた。

男女ともに共通していたことは、投射角がほぼ同じであったこと(40.3 degと40.4 deg)、および試技の回転数がそれぞれ1名を除いて4回転であったことであった(ただし、女子の1位であったLLANO選手は例外的である)。現代のハンマー投げにおいては、主流が4回転であることに変わりはないが、特に女子の決勝進出者の試技を一つ一つ確認すると(ここでは映像を示すことができないので文章での

表5 女子ハンマー投げのリリースパラメータ

	記録 (m)	初速度 (m/s)	投射角 (deg)	投射高 (m)	回転数
決勝					
1 LLANO	64.33	25.99	43.9	1.05	1stのみ3
2 HULLEY	63.47	25.14	44.6	1.26	4
3 KOSKINEN	62.49	25.19	35.4	0.65	4
4 TERVO	62.25	25.14	42.2	1.13	3
5 GAVIRIA	62.18	25.34	38.4	0.96	4
6 LEPKOWSKA	60.86	24.19	37.5	0.74	4
上位6名平均:	62.60	25.16	40.3	0.96	

※ 1位のLLANO選手は1投目のみ3回転で他の試技は4回転であった。

表6 男子ハンマー投げのリリースパラメータ

	記録 (m)	初速度 (m/s)	投射角 (deg)	投射高 (m)	回転数
決勝					
1 HALÁSZ	80.93	28.68	41.0	1.23	4
2 PISKUNOV	79.58	28.59	41.2	1.14	4
3 JAAKKOLA	77.88	28.21	36.9	0.97	3
4 RÁBA	76.71	28.35	39.3	1.00	4
5 GONZÁLEZ	75.52	27.64	44.8	1.41	4
6 ISMAIL	74.42	27.32	39.3	1.07	4
上位6名平均:	77.51	28.13	40.4	1.14	

※ 決勝進出12名のうち、3回転は3位のJAAKKOLA選手のみであった。

説明に止まる)、4回転投法の技術が未熟で最後の1回転が投てきになっていない選手も少なからず存在したことを考えると、ユース段階では4回転にこだわる必要も無いのでは無いかと考えられる。上位6名の中にも3回転投法の選手が存在していることや、先行研究において3回転目から4回転目の速度増加がさほど顕著でないことが知られていることなどを考えれば、この時期の選手には3回転を行わせ、段階的に(必要に応じて)4回転へ移行するという強化計画もあり得るのではなかろうか。特に女子で優勝したLLANO選手は、1回目の試技で3回転、それ以降を4回転で行っており、1回目に安定性を重視して記録を残そうとしていたと思われる。いずれにしても、世界大会の決勝ではあっても、ユース期のハンマー投げ選手は総じて技術的に未熟な印象を受けたのは事実であるし、そうであればなおさら日本の選手が出場に至らない現実を直視せざるを得ないであろう。

(4) やり投げ

表7は、女子やり投げのリリースパラメータを示したものである。決勝の上位8名(2名の日本選手を含む)と予選での2名の日本選手のデータを示した。ここで、姿勢角とはリリース瞬間における水平面に対するやり自体の角度のことで、迎え角は投射角と姿勢角の差分である(プラスの値は投射方向に対してやり先が上を向いた状態であったことを示す)。これを見ると、初速度が最も大きかったのは北口選手であった(23.00m/s)。また、迎え角が最

表7 女子やり投げのリリースパラメータ

	記録 (m)	初速度 (m/s)	投射角 (deg)	姿勢角 (deg)	迎え角 (deg)
予選					
北口	56.16	22.07	35.2	32.8	-2.4
山下	53.47	22.73	27.7	36.7	9.0
決勝					
1 MARUSZEWSKA	57.59	21.85	33.4	34.2	0.8
2 VAN DYK	57.32	22.66	35.6	44.3	8.7
3 TUGSUZ	56.71	21.27	40.5	32.4	-8.1
4 TABACKOVÁ	56.19	22.37	37.2	42.4	5.2
5 CHANG	55.35	22.14	33.0	41.6	8.6
6 山下	54.89	22.26	28.8	37.7	8.9
7 RUCKSTUHL	53.38	21.40	32.2	41.6	9.4
8 北口	52.15	23.00	32.9	36.2	3.3
上位8名平均:	55.45	22.12	34.2	38.8	6.6

表8 男子やり投げのリリースパラメータ

	記録 (m)	初速度 (m/s)	投射角 (deg)	姿勢角 (deg)	迎え角 (deg)
予選					
池川	66.01	24.79	33.0	42.0	9.0
佐道	72.65	23.67	41.1	38.2	-2.9
決勝					
1 CHOPRA	86.48	28.33	31.8	35.3	3.4
2 GROBLER	80.59	26.81	34.9	30.5	-4.4
3 PETERS	79.65	26.30	34.5	41.8	7.3
4 ÖNCEL	75.20	26.02	35.6	39.1	3.6
5 NOVAC	72.91	26.04	38.5	39.2	0.8
6 SCHMÖLCZ	72.66	25.39	38.7	33.1	-5.6
14 佐道	64.04	24.57	34.4	35.5	1.1
上位6名平均:	77.92	26.48	35.7	36.5	4.2

も小さい(リリース時の空気抵抗が最も小さいと考えられる)値を示したのは1位のMATUSZEWSKA選手であった。特にMATUSZEWSKA選手は上位8名の初速度の平均値(22.12m/s)よりも低い初速度(21.85m/s)であったにもかかわらず、好記録を投てきしていた。

表8は、男子やり投げのリリースパラメータを示したものである。決勝上位6名と決勝に進出した日本選手1名、予選に出場した日本選手2名のデータを示している。これを見ると、女子の場合とは異なり上位6名の初速度の差がかなり大きかった。特に1位のCHOPRA選手は28m/sを超えており、世界のトップレベルと言える速度と投てき記録を示していた。

やり投げは男女ともに投射角や姿勢角、迎え角の平均値はほぼ同程度の値を示しており、トップパフォーマンスを出すためには概ねこれらの値に収斂するものと思われる(実際には競技中の気象条件にも左右される)。また、この年代では、女子の日本選手2名(北口選手、山下選手)が示した初速度等を勘案しても、コンディションと戦術(風の読み等)が整えば世界レベルで十分戦える資質を備えていると考えられる。男子については、今回の大会はトップ3名の記録が高く、もはやU-20のレベルではなかったため、勝負という点では難しかったであろう。しかし、シニア大会ではこれが標準であるという認識で今後の強化が進められる必要があるだろう。

4. おわりに

以上、投てき種目の結果について示した。大会期間中は日本の気候と比べてかなり気温が低かったことから、日本選手の皆さんはコンディションの調整に相当気をつかったと思われる。そのような中で、日本選手が出場していない種目があり（男女ハンマー投げ）、筆者としては残念であったが、全体を通しての印象は、他の世界大会と比較して上位6名のデータの間の開きがかなりあるということであった。つまり、トップを狙うには日本の選手の現状では難しいかと思われるが、決勝進出や入賞は十分可能であるということである。当然のことながら、このU-20の世界選手権が最終目標ではないので、ことさら戦略・戦術について検討を加えることに大きな意義があるとは思えないものの、日本の若手投てき競技者がこの大会で入賞し、それを飛躍のきっかけとすることができるのであれば、ジュニア期の強化をさらに重点化しても良いように思われる。本報告で示したデータが、投てき競技者の育成・強化に何らかの役に立てば幸いである。

5. 文献

Wells RP and Winter DA (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. In: Human Locomotion I (Proceedings of the first biannual conference of the Canadian Society of Biomechanics) 1 : pp. 92-93.