

## スナッチ種目における日本人男子選手のバーベルのキネマティクス分析 Kinematic analysis of the barbell during the snatch movement of Japanese weight lifters

池田 祐介<sup>1</sup>, 松尾 彰文<sup>1</sup>, 立 正伸<sup>2</sup>, 船渡 和男<sup>3</sup>, 淵本隆文<sup>4</sup>, 菊田 三代治<sup>5</sup>

### 要 旨

本研究の目的は、スナッチ種目のバーベル軌跡を分析することで、日本人男子ウエイトリフターの技術的特徴を明らかにすることであった。優勝選手群と最下位選手群の比較では、力の発揮角度およびバーベルの水平方向の変位に違いがみられた。しかしながら、上位群と下位群の比較では明らかな違いがみられず、優勝選手群、最下位選手群の特徴は上位群、下位群の特徴と必ずしも一致するものではなかった。一方、優勝選手群と先行研究にみられるアジア、世界一流選手との比較では、バーベルの軌跡、挙上高、移行期における鉛直方向の加速度において違いがみられたことから、パワー発揮能力だけでなく、挙上技術においても違いがあることが示唆された。

**Key words:** ウエイトリフティング, バーベル軌跡, 加速度

<sup>1</sup> 国立スポーツ科学センター, <sup>2</sup> 奈良教育大学教育学部, <sup>3</sup> 日本体育大学, <sup>4</sup> 大阪体育大学, <sup>5</sup> 日本ウエイトリフティング協会

国立スポーツ科学センター

東京都北区西が丘3丁目15番1号

TEL 03-5963-0231

FAX 03-5963-0232

E-mail ikeda.yusuke.trsc@gmail.com

受付日：2009年12月4日

受理日：2010年4月30日

## 1. 諸言

ウエイトリフティング競技のスナッチ種目では、高重量を挙上するための爆発的な筋力発揮とともに、バーベルを効率よく挙上するための技術的要素が非常に重要となる。そのため、バーベルの変位、速度、加速度、力の発揮方向といったリフターの挙上技術を評価するための指標<sup>1,2,5,8,10,12,15)</sup>と挙上記録との関係を明らかにすることはスナッチ種目の競技力向上において有益な情報になると考えられる。バーベルの水平方向の変位に関しては、Stone et al.<sup>13)</sup>が成功試技と失敗試技におけるスタートポジションからキャッチまでの変位について比較を行い、失敗試技では水平方向の変位が大きいことを報告し、Baumann et al.<sup>11)</sup>は1985年に行われた世界選手権の上位選手と下位選手との比較において、下位選手の水平変位が大きかったことを報告している。また、一流競技者を対象としたバーベルに関するキネマティクス分析<sup>1,8)</sup>では、世界一流、アジアの一流選手はバーベルを後方へ引く技術を用いていたことが示されているが、大学生を対象とした研究では、バーベルの軌跡と試技の成功率との間に因果関係はなかったとの報告もあり<sup>12)</sup>、バーベルの軌跡と挙上記録との関係は明らかになっていない。

鉛直方向のバーベルの速度に関しては、挙上中にバーベルが減速することによって速度曲線に2つのピークが現れるタイプと1つのピークしかみられないタイプが報告されているが<sup>1,3)</sup>、一流選手においては、挙上中に速度の低下がみられない後者の速度曲線であったことが報告されている<sup>1,5,8)</sup>。鉛直方向の最大速度は、階級が上がるにつれて増加するが、同じ階級における上位群と下位群の比較では上位群の最大速度が小さいことが報告されている<sup>1)</sup>。またアジアの一流競技者を対象に分析を行った研究では、鉛直方向の最大速度が平均 1.86 m/s であり、プル局面における前後移動距離（本研究における Dx3）との間に有意な正の相関関係がみられたことが報告されている<sup>8)</sup>。

挙上時における鉛直方向のバーベルの加速度

に関しては、アジアの一流選手においてファーストプル、移行期、セカンドプルそれぞれの局面にピークがみられたが、初心者の選手においては移行期における加速度のピークがみられないことから、移行期における加速度のピークの出現が挙上技術の基準となりうることが示唆されている<sup>8)</sup>。また、Isaka et al.<sup>8)</sup>はアジア一流選手のファーストプル、移行期、セカンドプルにおける力の発揮方向について調べ、ファーストプルと移行期においては、バーベルを引き付ける方向に力を発揮していたのに対して、セカンドプルにおいては前方向への力を発揮することでバーベルの後方向への動きをコントロールしていたと報告している。

これらのことから、アジア、世界一流競技者の特徴として、バーベルを後方に引いて、挙上からキャッチまでの水平方向の変位が小さいこと、ファーストプル、移行期、セカンドプルの3つの局面でバーベルを鉛直方向に加速させていることが挙げられる。しかしながら、日本の競技者を対象としたバーベル、挙上動作に関する研究は少なく、現在の日本人選手の技術的な特徴は明らかになっていない。そこで本研究では、2007年に国内で行われた大会を対象に、上位選手と下位選手のバーベルの変位、速度および加速度を比較し、競技パフォーマンスとの関係を明確にするとともに、先行研究において報告されている世界一流選手のバーベルのキネマティクスとの比較により、日本人男子ウエイトリフターの技術的特徴を明らかにすることを目的とした。

## 2. 方法

### A. 被験者

分析の対象とした試技は、2007年に国内で行われた競技会のスナッチ種目男子 56kg 級から +105kg 級の上位3名（2007年世界選手権代表8名を含む）、下位3名のベスト記録（n=48）とした。分析対象となった選手の階級、体重、身長、大会

での記録を Table 1 に示した. 本研究では 56kg, 62kg 級を軽量級 (LW), 69kg 級, 77kg を中量級 (MW), 85kg, 94 級を重量級 (HW), 105kg 級, +105kg 級を超重量級 (SHW) とした.

Table 1 Weight category and physical characteristics of lifters.

Upper Group (n = 24)	Class	Body Mass (kg)	Height (cm)	Snatch (kg)	Jerk (kg)	Total (kg)
Light Weight (n=6)	56kg (n=3)	55.7 ± 0.1	156.2 ± 1.3	109.7 ± 1.2	140.0 ± 9.1	249.7 ± 7.8
	62kg (n=3)	61.7 ± 0.1	160.5 ± 3.4	119.0 ± 0.8	146.0 ± 4.2	265.0 ± 5.0
Middle Weight (n=6)	69kg (n=3)	68.4 ± 0.2	167.4 ± 2.5	124.3 ± 3.3	153.5 ± 8.5	277.5 ± 12.5
	77kg (n=3)	75.4 ± 1.1	169.7 ± 1.8	132.0 ± 5.7	166.0 ± 14.2	298.0 ± 19.8
Heavy Weight (n=6)	85kg (n=3)	84.5 ± 0.1	167.1 ± 4.6	141.3 ± 7.4	180.0 ± 4.1	321.3 ± 11.3
	94kg (n=3)	92.7 ± 0.5	168.7 ± 3.9	149.7 ± 3.7	183.0 ± 5.7	332.7 ± 9.2
Super Heavy Weight (n=6)	105kg (n=3)	104.0 ± 0.2	179.1 ± 3.6	147.7 ± 2.1	181.0 ± 6.5	328.7 ± 5.6
	+105kg (n=3)	132.0 ± 6.4	178.1 ± 3.7	155.0 ± 7.1	195.7 ± 9.0	350.7 ± 15.6

Lower Group (n = 24)	Class	Body Mass (kg)	Height (cm)	Snatch (kg)	Jerk (kg)	Total (kg)
Light Weight (n=6)	56kg (n=3)	55.6 ± 0.4	162.0 ± 2.1	96.0 ± 5.2	118.3 ± 4.7	214.3 ± 4.0
	62kg (n=3)	61.7 ± 0.3	162.8 ± 2.0	104.3 ± 4.0	133.3 ± 5.8	237.7 ± 9.3
Middle Weight (n=6)	69kg (n=3)	68.2 ± 0.6	163.3 ± 0.6	112.3 ± 2.5	145.7 ± 6.7	258.0 ± 6.1
	77kg (n=3)	74.9 ± 3.2	169.3 ± 3.2	113.3 ± 11.5	145.0 ± 13.2	258.3 ± 24.7
Heavy Weight (n=6)	85kg (n=3)	84.6 ± 0.0	172.0 ± 6.9	126.7 ± 2.9	158.3 ± 2.9	285.0 ± 5.0
	94kg (n=3)	92.4 ± 0.7	172.5 ± 4.3	132.3 ± 6.4	170.0 ± 0.0	301.0 ± 8.5
Super Heavy Weight (n=6)	105kg (n=3)	101.6 ± 4.0	171.8 ± 7.3	132.7 ± 4.0	170.0 ± 10.0	302.7 ± 13.7
	+105kg (n=3)	116.6 ± 9.6	174.2 ± 2.7	132.0 ± 2.0	168.3 ± 7.6	300.3 ± 9.1

Mean ± SD.

B. 撮影および座標の算出

試技の撮影は選手の右側方からデジタルビデオカメラ (SONY DCR-VX1000, Fig.1 : Camera1) を用いて行った (撮影速度: 60fps, 露光時間: 1/1000 秒). 撮影したビデオ映像をもとに Frame-DIAS (DKH 社製) を用いてバーベル先端部をデジタル化し, 実長換算によって 2 次元座標を求め, 4 次の Butterworth 型フィルター (遮断周波数 4Hz) にて平滑化した<sup>4)</sup>. なお, 競技会においては毎回の試技

でバーベルの位置が異なるため, Fig. 1 に示した長方形となる 4 点のコントロールポイント (C1~C4) およびプレートの y 座標 (図中 y<sub>2</sub>) を用い, 画面上での奥行きを考慮してカメラ側プレート位置における x 軸に平行な鉛直面上の X<sub>3</sub> の値を算出し (Fig.1, 算出式), キャリブレーションに用いた. バーベルが膝, 腰 (大転子), 胸 (胸骨下端) を通過したフレームはカメラ 2 の映像から確認した.

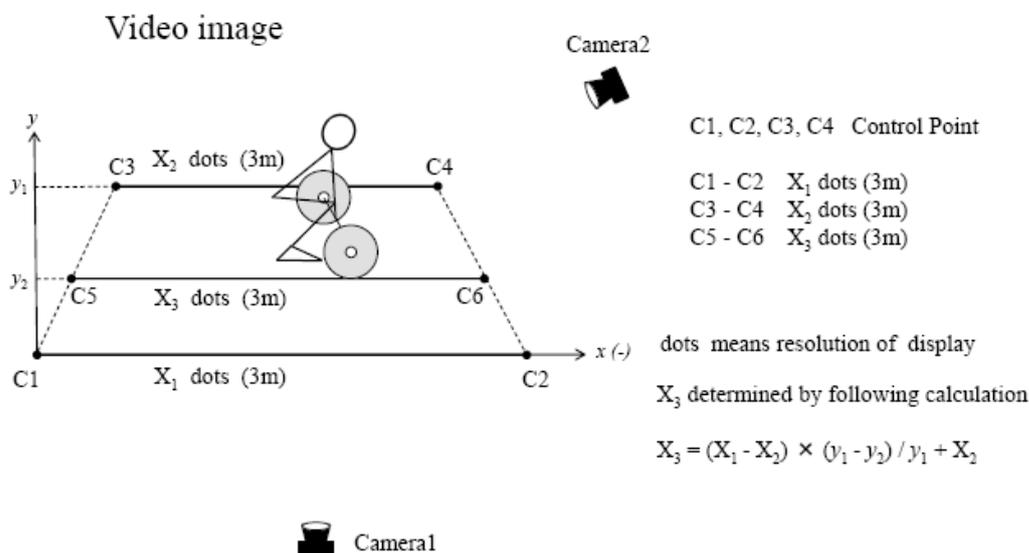


Fig. 1 Control point and calculation for coordinate value with respect to the barbell.

## C. 分析内容

Fig. 2 にバーベルの離地からキャッチまでの挙上動作とバーベルの軌跡を示し（各局面の定義は Table 2）、Fig. 3 に水平方向と鉛直方向のバーベルの変位に関するパラメータを示した。Fig.3 に示したそれぞれの変位は水平および鉛直方向の速度

曲線（Fig. 4）より区間を決定した。バーベルの速度、加速度は、平滑化したバーベルの軌跡を時間微分することで求めた。選手がバーベルに加えた力の方向は、Isaka et al.<sup>8)</sup>らと同様の方法を用いて算出した（Fig. 5）。本研究で分析を行ったパラメータについての説明を Table 2 に示した。

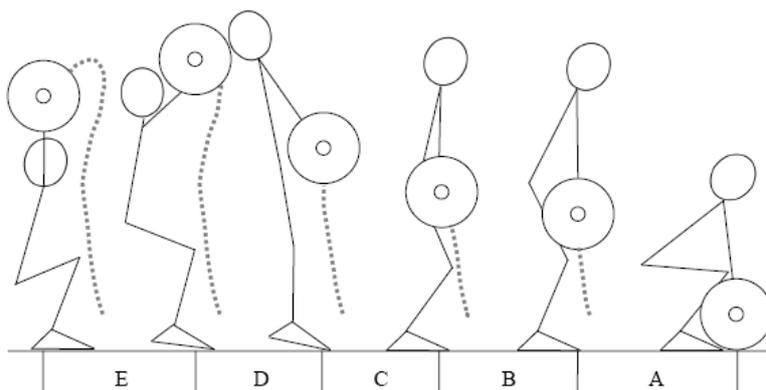


Fig. 2 The phases of the snatch and barbell trajectory.

A: the first pull, B: transition, C: the second pull, D: turnover, E: the catch phase.

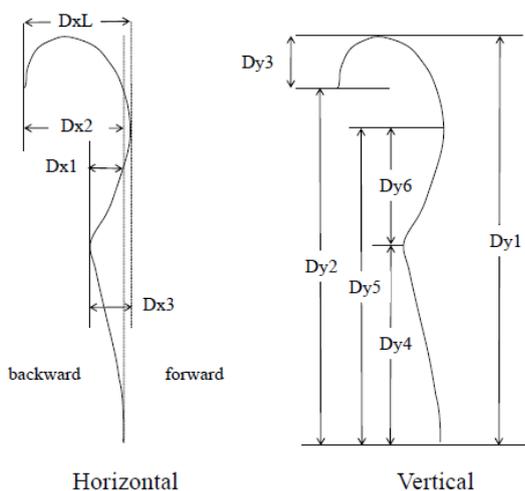


Fig. 3 Bar displacement parameters.

Table 2 Experimental Variables.

Symbol	Unit	Definition
BH	m	body height
DxL	m	most forward position to catch position (amount of loop)
Dx1	m	start position to beginning of 2nd pull (horizontal displacement during the pull phase)
Dx2	m	start position to catch position
Dx3	m	2nd pull position to most forward position
Dy1	m	start position to maximum height
Dy2	m	start position to catch position (vertical displacement)
Dy3	m	maximum height to catch position (vertical displacement)
Dy4	m	start position to beginning of 2nd pull (vertical displacement during the pull phase)
Dy5	m	start position to most forward position (vertical displacement)
Dy6	m	2nd pull position to most forward position (vertical displacement)
hV <sub>k</sub>	m/s	barbell horizontal velocity at knee
hV <sub>h</sub>	m/s	barbell horizontal velocity at hip
hV <sub>c</sub>	m/s	barbell horizontal velocity at chest
vV <sub>k</sub>	m/s	barbell vertical velocity at knee
vV <sub>h</sub>	m/s	barbell vertical velocity at hip
vV <sub>c</sub>	m/s	barbell vertical velocity at chest
phV <sub>f</sub>	m/s	barbell peak horizontal velocity to forward
phV <sub>b</sub>	m/s	barbell peak horizontal velocity to backward
pvV	m/s	barbell peak vertical velocity
First pull		from the barbell lift-off until the first maximum knee extension
Transition		from the first pull to the second pull
Second pull		from the first maximum knee flexion until the second maximum knee extension
Turnover		from the second maximum knee extension until the achievement of the maximum height of the barbell
Catch phase		from achievement of the maximum height of the barbell until the stabilization in the catch position with the barbell overhead

D. 統計処理

2 変量間の相関関係はピアソンの相関係数を用いて分析し、上位群と下位群の比較には、対応のない t 検定を用いた。危険率の有意水準は 5% とした。

3. 結果

A. バーベルの軌跡

Fig. 6 にスナッチ種目における各階級 1 位の選手（以下；優勝選手）と最下位選手のバーベル離地からキャッチまでのバーベルの軌跡を示した。優勝選手のバーベルの軌跡は 8 階級中、6 階級で鉛直線と交わっており、62kg 級、77kg 級、85kg の選手は移行期まで挙上開始位置の真上にバーベルを挙上する傾向がみられた。

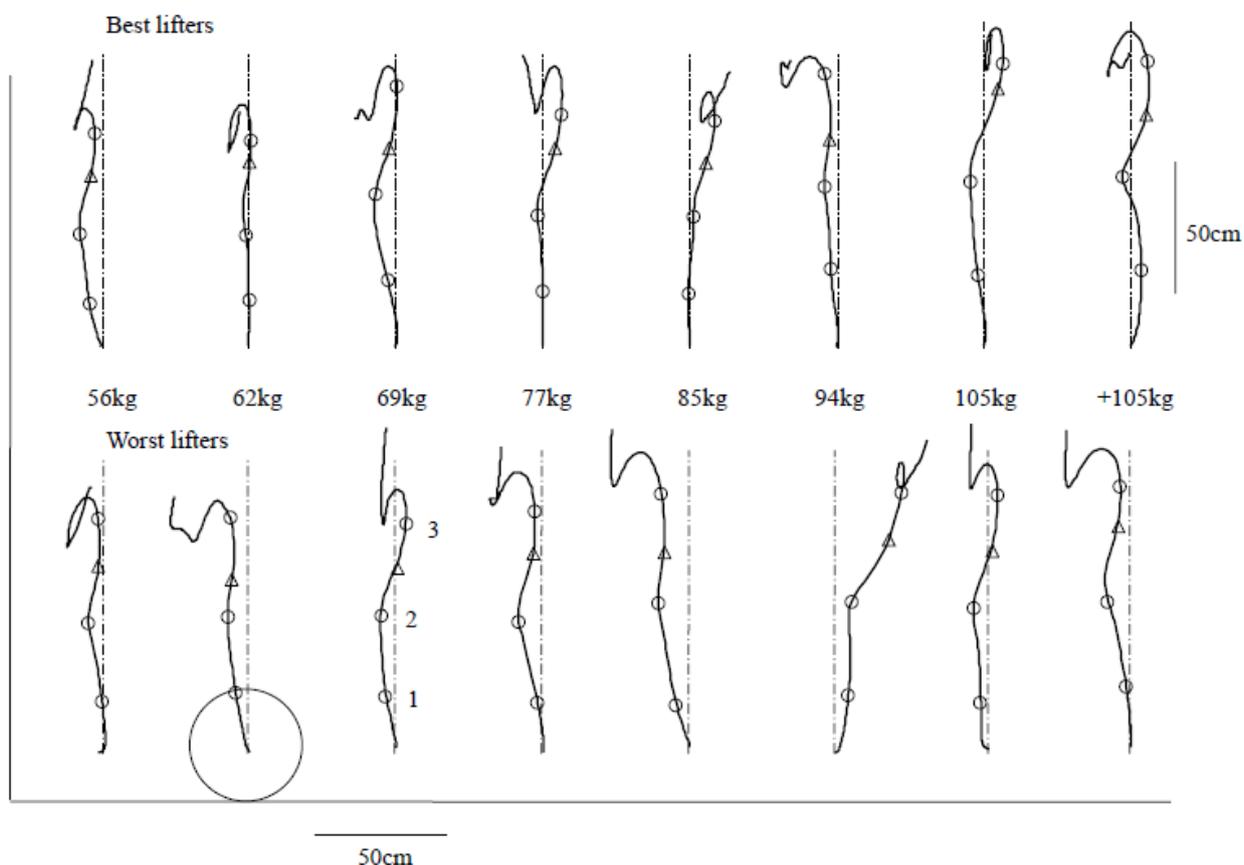


Fig. 6 The barbell trajectories of heaviest attempts for best lifters (upper trajectories) and worst lifters (lower trajectories) in each class. 1=knee, 2=hip (greater trochanter), 3=chest (mid-sternum), Δ= the point of maximum vertical velocity

B. バーベルの変位

Table 3 に各グループにおけるバーベルの水平方向と鉛直方向の変位を示した。上位群における DxL は、階級が上がるにつれて増加する傾向がみられた。上位群と下位群の比較では、MW において上位群が下位群よりも有意に (P < 0.05) 小さい

値を示した。Dx1, Dx2, Dx3 においては、上位群、下位群で有意な差はみられなかった。それぞれの水平変位については、Dx1 は DxL (r=0.580, P<0.001), Dx2 (r=0.790, P<0.001), Dx3 (r=-0.520, P<0.001) との間に、また、Dx2 は Dx3 (r=-0.838, P<0.001), DxL (r=0.924, P<0.001) との間に、Dx3 は DxL

( $r=-0.685$ ,  $P<0.001$ ) との間に有意な相関関係がみられた。鉛直方向の変位に関しては、Dy1 において、HW の上位群が下位群よりも有意に ( $P<0.05$ ) 小さい値を示した。また、Dy1 を身長で除した相対値 (Dy1/BH) においても有意な ( $P<0.05$ ) 差がみられた。Dy3 においては、MW の上位群が下位群よりも有意に ( $P<0.05$ ) 大きい値を示した。Dy2/BH は、いずれの階級においても上位群と下位群で有意な差はみられなかった。各階級の優勝選

手と最下位選手の水平方向の変位については、DxL において 8 階級中 6 階級で優勝選手 ( $0.100 \pm 0.04m$ ) が最下位選手 ( $0.127 \pm 0.06m$ ) よりも小さい値を示し、Dx2 においても 8 階級中 7 階級で優勝選手 ( $0.080 \pm 0.06m$ ) が最下位選手 ( $0.167 \pm 0.09m$ ) よりも小さい値を示した。Dx3 では 8 階級のうち 6 階級の優勝選手が最下位選手よりも大きい値を示したように、水平変位においては優勝選手と最下位選手で異なる傾向がみられた。

Table 3 The kinematic characteristics of the barbell for relative body mass groups.

	Upper Groups				Lower Groups			
	LW (n=6)	MW (n=6)	HW (n=6)	SHW (n=6)	LW (n=6)	MW (n=6)	HW (n=6)	SHW (n=6)
DxL (m)	0.109 ± 0.03	0.108 ± 0.03	0.169 ± 0.07	0.168 ± 0.08	0.117 ± 0.08	0.162 ± 0.04	0.107 ± 0.07	0.160 ± 0.07
Dx1 (m)	0.050 ± 0.03	0.058 ± 0.03	0.065 ± 0.04	0.083 ± 0.04	0.077 ± 0.04	0.078 ± 0.03	0.064 ± 0.06	0.048 ± 0.05
Dx2 (m)	0.115 ± 0.05	0.094 ± 0.05	0.193 ± 0.13	0.176 ± 0.13	0.140 ± 0.13	0.184 ± 0.09	0.081 ± 0.19	0.124 ± 0.15
Dx3 (m)	0.044 ± 0.02	0.072 ± 0.02	0.040 ± 0.03	0.075 ± 0.03	0.054 ± 0.04	0.056 ± 0.02	0.090 ± 0.07	0.085 ± 0.03
Dy1 / BH	0.610 ± 0.02	0.639 ± 0.02	0.621 ± 0.02*	0.674 ± 0.02	0.616 ± 0.02	0.638 ± 0.02	0.641 ± 0.01	0.694 ± 0.02
Dy2 / BH	0.519 ± 0.02	0.534 ± 0.02	0.536 ± 0.03	0.575 ± 0.04	0.513 ± 0.03	0.559 ± 0.03	0.554 ± 0.04	0.615 ± 0.03
Dy3 (m)	0.144 ± 0.04	0.177 ± 0.03*	0.142 ± 0.03	0.176 ± 0.09	0.166 ± 0.04	0.130 ± 0.02	0.149 ± 0.06	0.138 ± 0.04
Dy4 / BH	0.335 ± 0.02	0.333 ± 0.02	0.336 ± 0.03	0.369 ± 0.02	0.306 ± 0.08	0.329 ± 0.02	0.331 ± 0.04	0.356 ± 0.04
Dy5 / BH	0.522 ± 0.03	0.571 ± 0.03*	0.498 ± 0.042*	0.566 ± 0.04	0.523 ± 0.05	0.522 ± 0.04	0.561 ± 0.05	0.600 ± 0.05
Dy6 / BH	0.187 ± 0.02	0.237 ± 0.05	0.162 ± 0.06	0.197 ± 0.05	0.217 ± 0.12	0.193 ± 0.05	0.229 ± 0.07	0.243 ± 0.07

Mean ± SD. LW; Light Weight, MW; Middle Weight, HW; Heavy Weigh, SHW; Super Heavy Weight

\*  $P < 0.05$ , as compared with Lower Group in same class

### C. バーベルの速度

Fig. 4 にバーベルの速度曲線の典型例を示し、Fig.7 には各階級のスナッチ優勝選手と最下位選手の速度曲線を示した。鉛直方向のプラスは上向きの速度を示し、水平方向のプラスは後方への速度を示している。Table 4 に膝、腰 (大転子)、胸 (胸骨下端) を通過した時の水平方向と鉛直方向のバーベル速度、および前後方向、鉛直方向のバーベル速度のピーク値を示した。膝、腰、胸を通過したときの水平方向の速度は、いずれの階級においても上位群、下位群で有意な差はみられなかった。膝、腰を通過した時の鉛直方向のバーベル速度の平均値は、SHW の vVk を除いて下位群が上位群よりも大きい値を示し、HW においては、上位群が下位群よりも有意に ( $P<0.05$ ) 小さい値を示した。

phVf は、上位群と下位群の間に有意な差はみられなかった。phVb は、MW において上位群が下位群よりも有意に ( $P<0.05$ ) 小さい値を示した。鉛直方向へのバーベルの最大速度と変位の関係では、pvV と Dx1 ( $r=0.113$ ,  $p<0.445$ )、Dx3 ( $r=0.229$ ,  $p<0.117$ ) との間に有意な相関関係はみられなかった。セカンドプルでみられた phVf は、Dx2 ( $r=-0.709$ )、DxL ( $r=-0.539$ ) と有意な ( $p<0.001$ ) 負の相関がみられ、phVb と Dx2 ( $r=0.885$ )、DxL ( $r=0.940$ ) との間にも有意な ( $p<0.001$ ) 正の相関がみられた (Fig.8)。

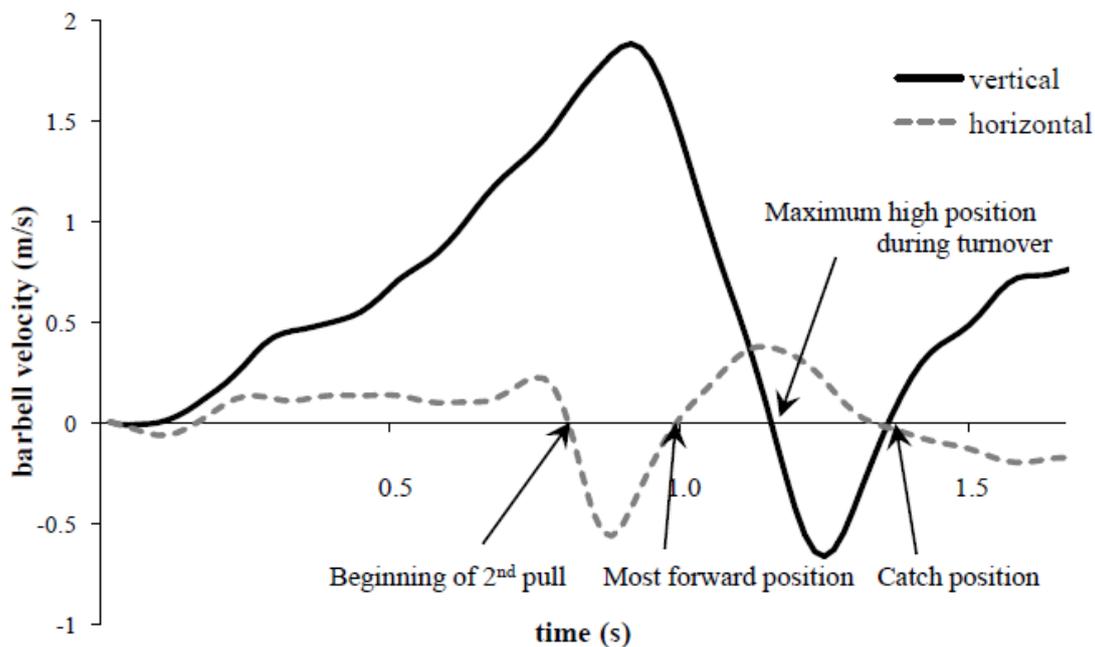


Fig. 4 Typical curves of barbell velocity during the snatch.  
Regarding horizontal velocity, negative value is forward direction.

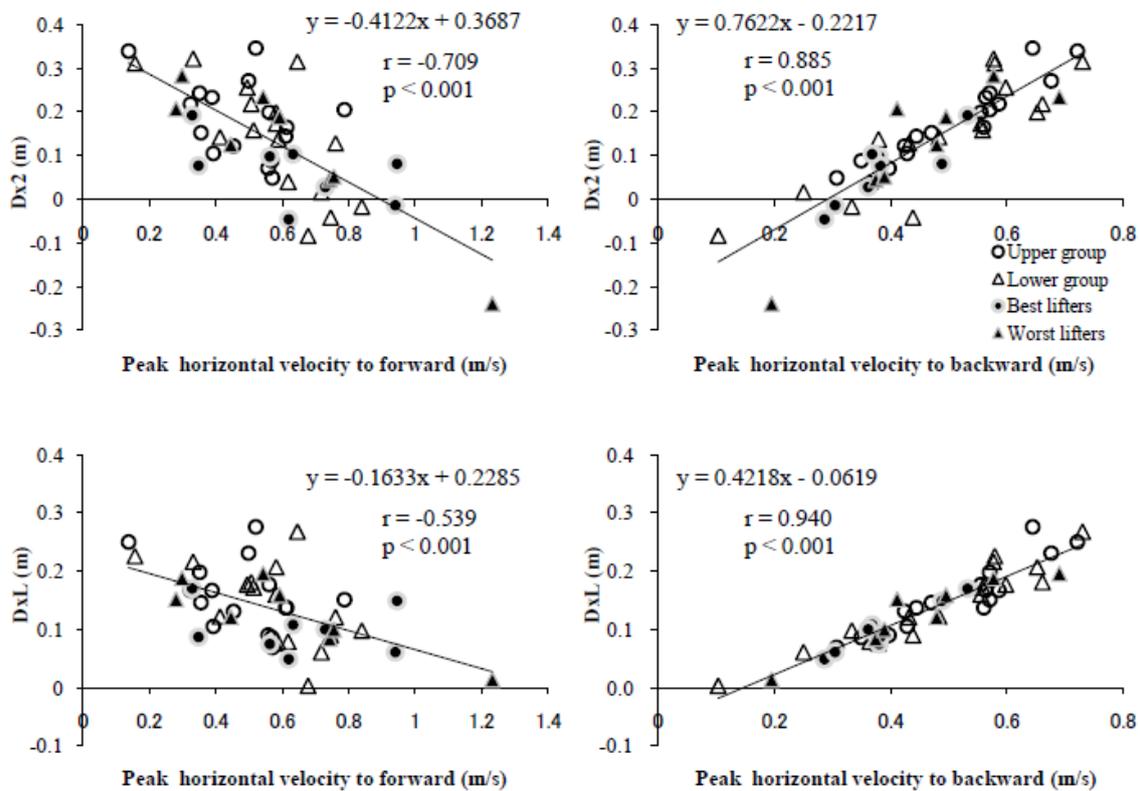


Fig. 8 Relationship between horizontal velocity of barbell and barbell's horizontal displacement.

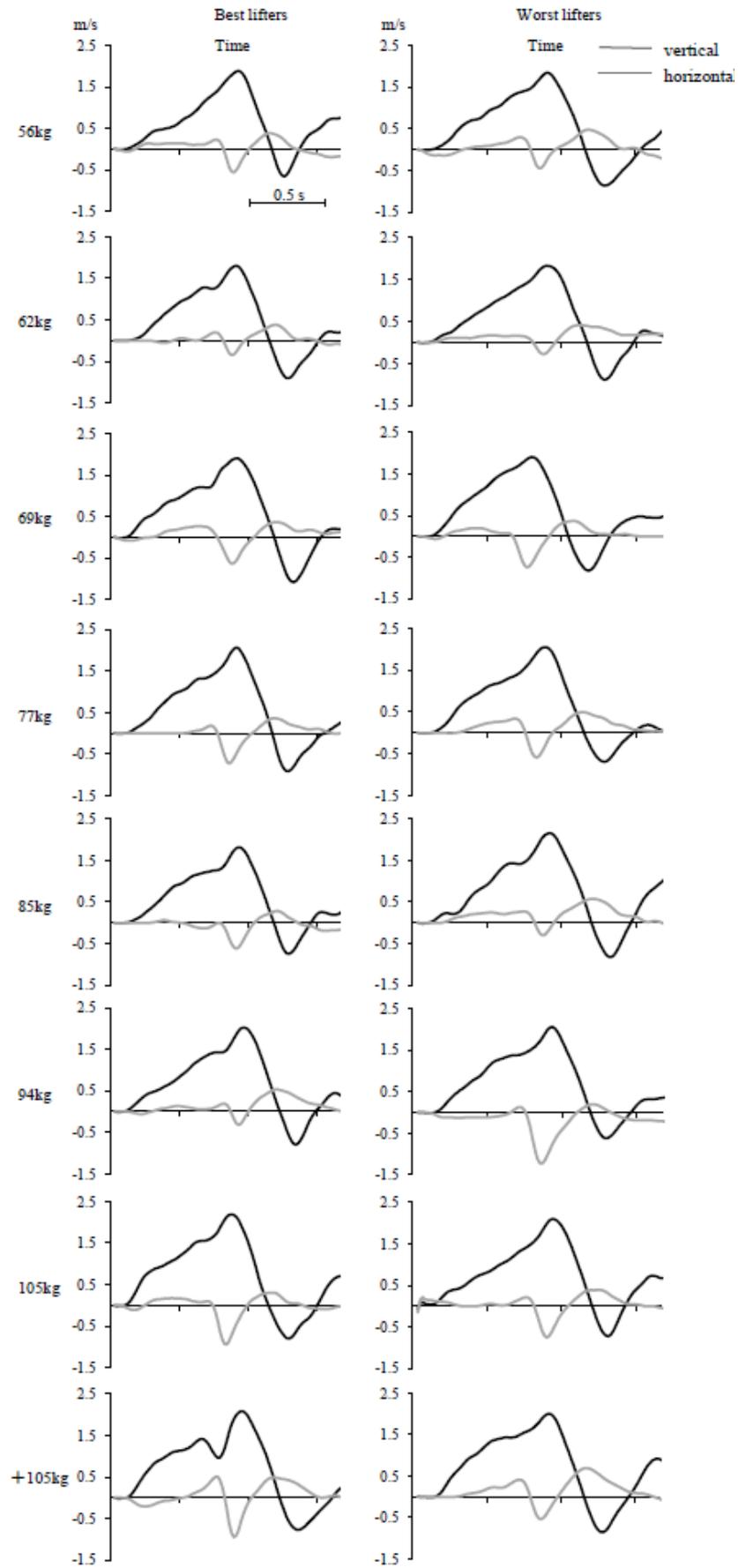


Fig.7 Comparison of vertical and horizontal velocities of barbell between best lifters and worst lifters.

Table 4 The velocities of barbell for relative body mass groups.

	Upper Groups				Lower Groups			
	LW (n=6)	MW (n=6)	HW (n=6)	SHW (n=6)	LW (n=6)	MW (n=6)	HW (n=6)	SHW (n=6)
hV <sub>k</sub> (m/s)	0.09 ± 0.05	0.14 ± 0.10	0.13 ± 0.11	0.14 ± 0.07	0.18 ± 0.11	0.16 ± 0.08	0.10 ± 0.12	0.10 ± 0.09
hV <sub>h</sub> (m/s)	0.15 ± 0.07	-0.01 ± 0.20	0.17 ± 0.19	0.25 ± 0.17	0.06 ± 0.19	0.07 ± 0.27	-0.14 ± 0.31	0.13 ± 0.27
hV <sub>c</sub> (m/s)	0.05 ± 0.15	0.03 ± 0.11	0.24 ± 0.18	0.15 ± 0.27	0.11 ± 0.18	0.15 ± 0.12	0.11 ± 0.26	0.11 ± 0.19
vV <sub>k</sub> (m/s)	0.93 ± 0.18	1.01 ± 0.09	1.06 ± 0.12*	1.18 ± 0.09	0.99 ± 0.11	1.05 ± 0.12	1.27 ± 0.10	1.17 ± 0.15
vV <sub>h</sub> (m/s)	1.40 ± 0.09	1.45 ± 0.15	1.30 ± 0.18*	1.43 ± 0.14	1.48 ± 0.15	1.60 ± 0.16	1.56 ± 0.11	1.45 ± 0.31
vV <sub>c</sub> (m/s)	1.40 ± 0.23	1.37 ± 0.23	1.32 ± 0.15	1.56 ± 0.31	1.28 ± 0.20	1.52 ± 0.19	1.34 ± 0.20	1.53 ± 0.18
phV <sub>f</sub> (m/s)	-0.44 ± 0.10	-0.58 ± 0.12	-0.40 ± 0.17	-0.72 ± 0.20	-0.43 ± 0.19	-0.54 ± 0.14	-0.69 ± 0.32	-0.69 ± 0.11
phV <sub>b</sub> (m/s)	0.43 ± 0.08	0.38 ± 0.06**	0.54 ± 0.14	0.54 ± 0.13	0.41 ± 0.16	0.54 ± 0.10	0.40 ± 0.17	0.54 ± 0.17
pvV (m/s)	1.85 ± 0.07	1.94 ± 0.10	1.92 ± 0.09	2.07 ± 0.09	1.89 ± 0.09	2.03 ± 0.07	1.99 ± 0.12	2.14 ± 0.11

Mean ± SD. LW; Light Weight, MW; Middle Weight, HW; Heavy Weigh, SHW; Super Heavy Weight

\*, \*\* P < 0.05, 0.01 as compared with Lower Group in same class

D. バーベルの加速度と合成加速度の角度

Fig.9に各階級における優勝選手と最下位選手のバーベルの加速度曲線を示した。鉛直方向の加速度に関しては、優勝選手群（以下；BL群）と最下位選手群（以下；WL群）のファーストプル、セカンドプルにおいてピーク値がみられたが、移行期においては両群で明確なピーク値がみられない試技があった。また、両群において、移行期（Fig.5aの(b)）後半の後ろ方向の加速度の増加とともに鉛直方向の加速度が低下する傾向がみられた。Fig.10にファーストプル、セカンドプルにおける合成加

速度の角度をグループ別に示した。AP1とAP2における上位群と下位群の合成加速度の角度には有意な差はみられなかった。BL群とWL群の比較では（Fig. 11）、ファーストプルの平均値がBL群で91.9 ± 12.1 deg, WL群で85.4 ± 12.1 deg, セカンドプルではBL群で136.9 ± 19.4 deg, WL群で117.2 ± 36.6 degであった。これらのことから、BL群はWL群よりもファーストプルにおいて、真上方向にバーベルを引いており、セカンドプルにおいてはWL群よりもより前方向に力発揮をしていたといえる。

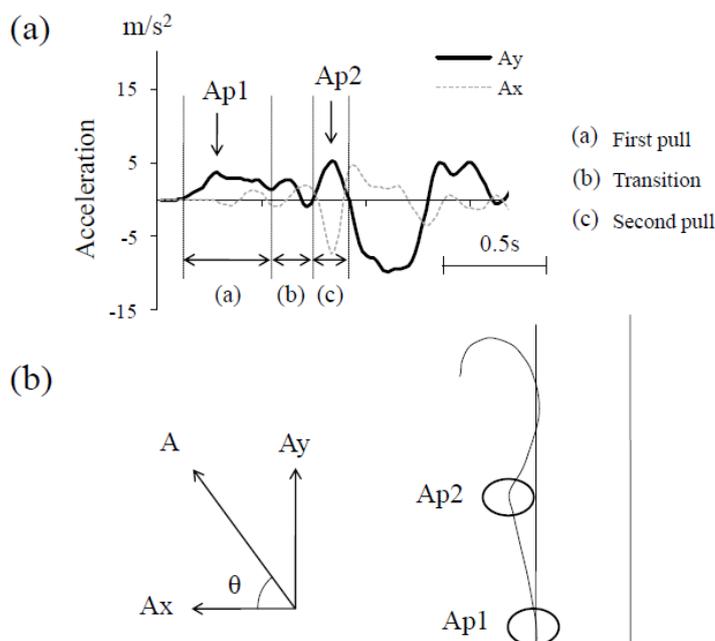


Fig. 5 (a) Typical sample of vertical and horizontal acceleration of the barbell and (b) calculation of the angle of resultant acceleration at peak vertical acceleration Ap1 and Ap2 (The peak vertical accelerations Ap1 and Ap2 corresponded to the first pull and second pull, respectively.<sup>7)</sup>). Ax and Ay are horizontal and vertical direction, respectively.

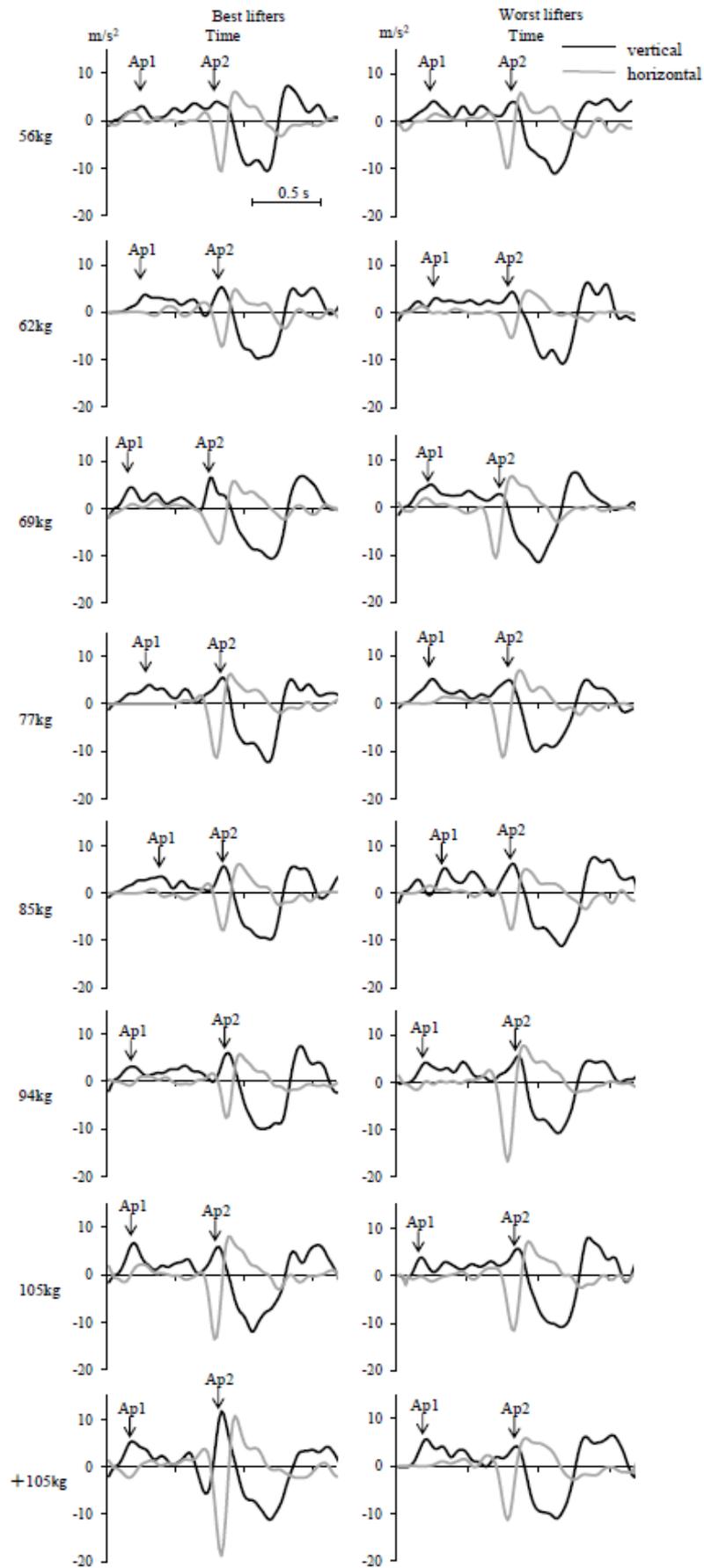


Fig.9 Comparison of vertical and horizontal acceleration of barbell between best lifters and worst lifters.

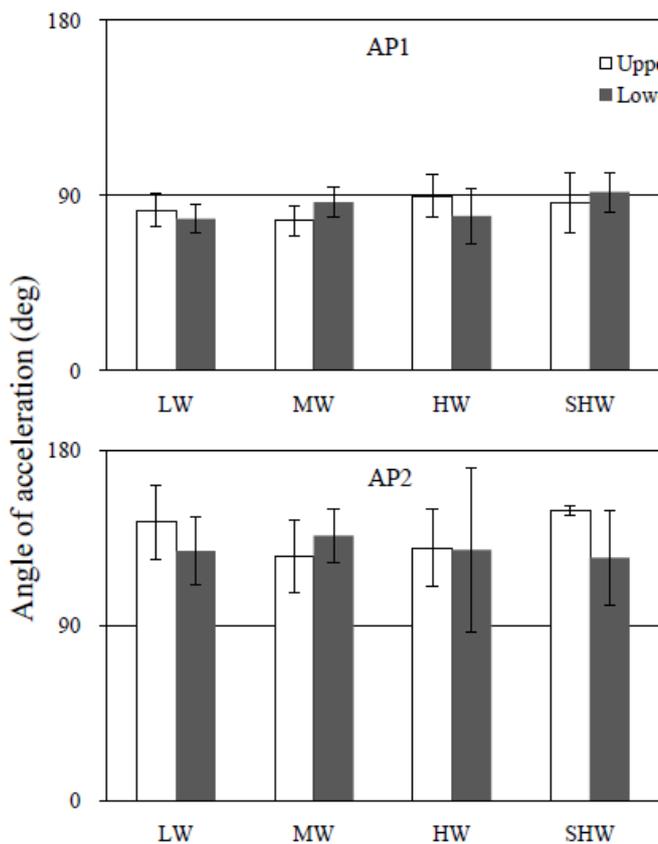


Fig. 10 The angle of resultant acceleration at peak vertical acceleration AP1 and AP2 for Upper group and Lower group.

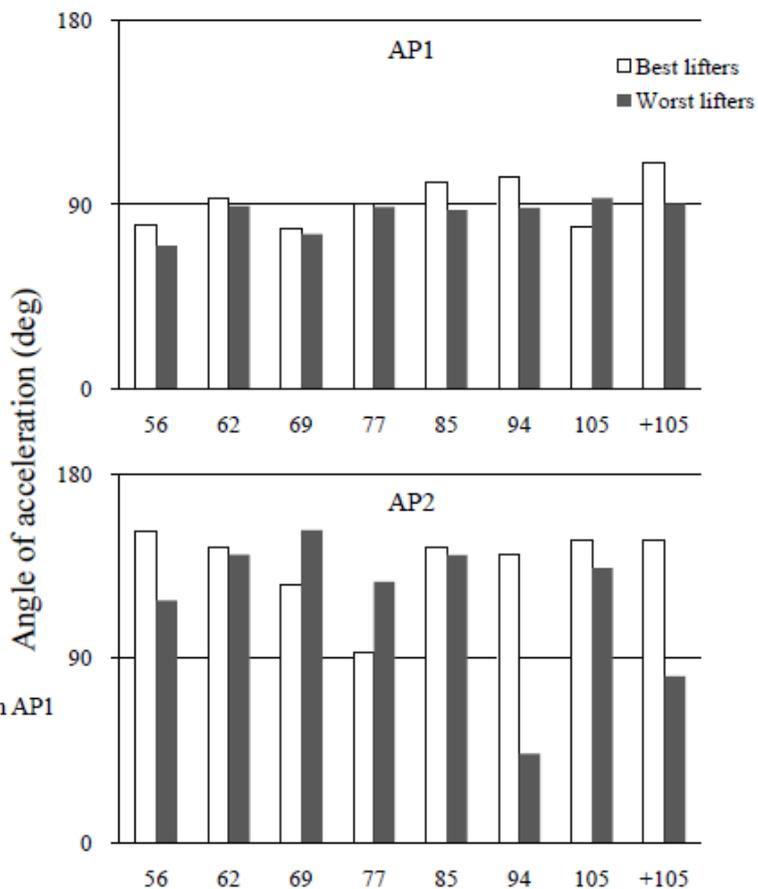


Fig. 11 The angle of resultant acceleration at peak vertical acceleration AP1 and AP2 for best lifters and worst lifters.

## 4. 考察

## A. バーベルの軌跡

各階級の優勝選手のバーベルの軌跡は、8階級中6階級で鉛直線と交差しており、日本人一流選手はバーベルを真上方向に挙上している傾向がみられた (Fig. 6). Reiser and Cioroslan<sup>11)</sup>は、本研究の優勝選手にみられるような水平変位が小さく、バーベルを真上に挙上する軌跡が理想的であると報告しているが、世界選手権<sup>1)</sup>、アジア選手権<sup>8)</sup>を対象とした研究では、バーベルを後方に引いて‘バックステップ’する新しい技術が多くの選手によって用いられていたと報告されている (Fig.12). バーベルの軌跡と挙上記録との関係<sup>12)</sup>は明らかになっていないが、Stone et al.<sup>13)</sup>は、身体重心を後方に移動させるとともにバーベルを後方に引く利点として、バーベルの挙上において身体質量を利用することができること、セカンドプルでより大きな力をバーベルに加えることができることを挙げている。また伊坂ら<sup>9)</sup>はリフティング動作につ

いて、最大速度を発揮する股関節が、最初に伸展方向へ加速されることにより、大きい質量分布をもつ体幹が垂直方向へ加速され、これらの分節が得た慣性を利用しながら膝、足関節の最大伸展が順次行われると指摘している。Fig. 6で示した日本人一流選手のバーベルの軌跡は、‘バーベルを真上に高く挙上すること’が強調された日本の指導方法の結果であると考えられるが、先行研究の報告を考慮するとセカンドプルにおける股関節の伸展パワーが極めて重要になることから、セカンドプルにおいてはバーベルの挙上方向を意識するよりも、より大きなパワー発揮が可能な‘力発揮の方向’を意識することが重要になると考えられる。また、近年のオリンピックにおいても後方にバーベルを引く技術が用いられていること<sup>9)</sup>を考慮すると、バーベルの挙上方向と挙上動作の関係について動作学的、力学的観点から明らかにする必要があると考えられる。

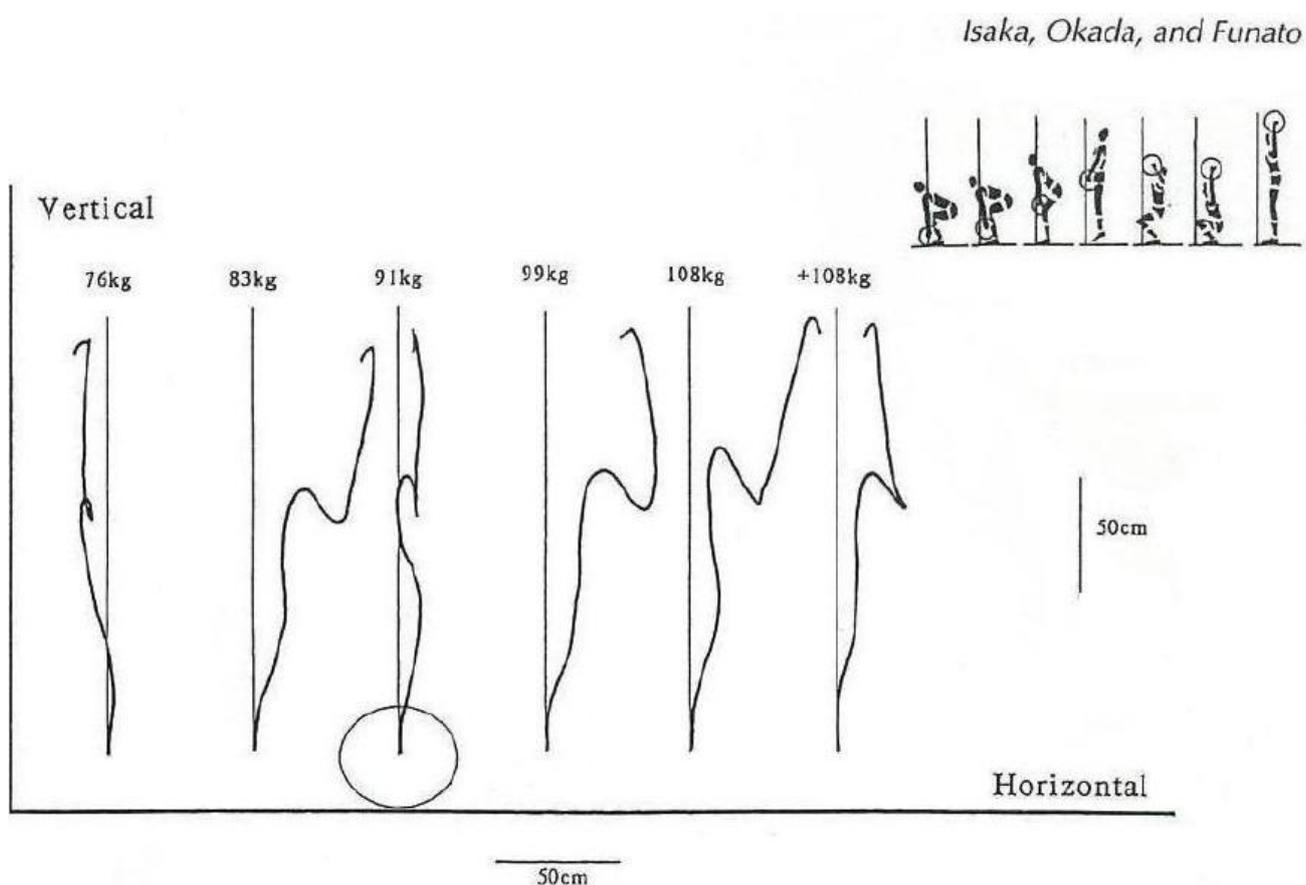


Fig.12 The barbell trajectories of top-level male Asian weight lifters<sup>8)</sup>

## B. バーベルの変位

バーベルの変位に関して、Baumann et al.<sup>1)</sup>は、世界選手権に出場した上位選手の水平変位は下位選手よりも小さいことを示し、Stone et al.<sup>13)</sup>は、86 試技を対象とした研究において、失敗試技の水平変位 (Dx2) の平均値は 20cm であったのに対し、成功試技では 10.8cm であったことを報告している。本研究においても、軽量級 (11.5cm)、中量級 (9.4cm) の上位群の値は Stone et al.<sup>13)</sup>の報告とほぼ同じであり、各階級の優勝者と最下位選手との比較では 8 階級中 7 階級で優勝者 (8.0cm) が最下位選手 (16.7cm) よりも小さい値を示したことから、挙上からキャッチまでの水平変位はスナッチにおける技術水準を示す指標の一つになると考えられる。また、Dx2 と同様に試技の成功、失敗に影響を与えると考えられているのが DxL である<sup>13)</sup>。Stone et al.<sup>13)</sup>は DxL が Dx2 よりも大きい場合、65%の試技が失敗であり、DxL が 15cm 以上であった試技の 86%が失敗試技であったことを報告している。本研究における上位群の DxL の値は、重量級、超重量級を除いて下位群よりも小さい傾向がみられ (Table 3)、優勝者と最下位選手との比較においても 8 階級中 6 階級で優勝者 (10.0cm) が最下位選手 (12.7cm) よりも小さい値を示したことから、Dx2 と同様に挙上技術を評価する指標になることが示唆された。さらに本研究においては、Dx2 と Dx1 との間に有意な正の相関関係 ( $r=0.790$ ) がみられ、Dx3 は Dx2 ( $r=-0.838$ )、DxL ( $r=-0.685$ ) との間に有意な負の相関関係がみられたことから、挙上後の後ろ方向の変位 (Dx1) が大きくなるとキャッチのポジションがより後方になり、Dx2 および DxL が小さく、スタートポジションの鉛直線上でキャッチしている試技はセカンドプルでの前方向の変位 (Dx3) が大きい傾向が明らかになった。

鉛直方向の変位については、Dy1/BH において下位選手ほど相対的にバーベルを高く挙上している傾向がみられた (Table 3)。バーベルの挙上高に関して Baumann et al.<sup>1)</sup>は、世界一流選手の手 Dy1/BH の値が、60kg 級は 0.56、75kg 級は 0.59、90kg 級、+110kg 級は 0.61 であったことを報告して

いる。本研究における各階級の優勝選手の平均値は 0.64 であり、SHW の上位群で 0.67、下位群で 0.69 であることから、日本人選手は世界一流選手と比較するとバーベルを高く挙上していることが明らかになった。挙上高 5%の違い (日本人選手の平均身長 168.4cm) は約 8.4cm に相当するが、日本人選手のパフォーマンス改善のためには、低い挙上高からの素早いキャッチ動作が重要な課題になると考えられる。池田<sup>7)</sup>は女子選手を対象にアジア一流選手と日本人選手のスナッチ動作の比較を行い、アジア一流選手は股関節最大伸展位において、バーベルの鉛直方向の加速度が負を示しているのに対して、日本人選手の加速度は正の値を示し、股関節、膝関節の角度はいずれもアジア一流選手が大きい値を示したことを報告している。また Okada et al.<sup>10)</sup>は、世界ジュニア選手権における日本人女子選手と世界一流女子選手を対象に股関節伸展のピーク角速度と鉛直方向におけるバーベルのピーク速度が出現する間隔を比較し、世界一流女子選手は日本人女子選手よりもピーク値とピーク値の間隔が短い、すなわち股関節伸展の角速度がピークに達してからバーベルがピーク速度に達するまでの時間が短いことを報告している。これらのことを考慮すると、日本人選手はバーベルを真上に高く挙上することを意識することによって、膝関節、股関節の伸展のタイミングが遅れ、キャッチ動作への移行が世界一流選手と比較して遅れている可能性がある。

## C. バーベルの速度

膝、腰、胸を通過した時の鉛直方向のバーベルの速度は、下位群が上位群よりも大きい傾向を示し、HW においては膝、腰通過時の速度に有意な差がみられた。また、鉛直方向の最大速度においても超重量級を除いて下位群が大きい値を示した。鉛直方向の最大速度に関しては、アジア一流選手の各階級の平均値が 1.86m/s であり<sup>8)</sup>、世界選手権に出場した上位選手の値が、60kg 級; 1.65±0.08m/s、75kg 級; 1.74±0.06m/s、90kg 級; 1.86±0.09m/s、110kg 級; 1.80±0.12m/s であったことが報告<sup>1)</sup>されてい

る。これらの値と本研究の値を比較すると、上位群、下位群いずれのグループも報告の値より高い値であった。Baumann et al.<sup>1)</sup>の報告では、大きな重量を挙上することができる上位選手の鉛直方向のバーベル速度は、下位選手よりも低くなることが示唆されていることから、本研究で対象とした日本人選手の挙上重量は、アジア一流、世界一流選手と比較すると筋力に対して相対的に低い可能性が考えられる。すなわち、上位選手と比較して、下位選手（世界一流選手と比較して日本人選手）は低い挙上高からのキャッチ動作に技術的課題があるために、バーベルを高く挙上できる（鉛直方向の速度が大きい）、筋力に対して相対的に軽い重量であったことが推察される。

水平方向の速度と変位に関しては、前後方向のピーク速度と Dx2, DxL との間に有意な相関がみられた (Fig. 8)。特に後ろ方向への速度と変位の間には強い正の相関がみられたことから、挙上における水平変位は、セカンドプルにおいて発揮される後ろ方向の速度に強い影響を受けていることが明らかになった。

鉛直方向の速度と水平変位については、Isaka et al.<sup>8)</sup>が、鉛直方向のピーク速度と水平変位との間に有意な相関 ( $r=0.916$ ,  $p<0.05$ ) がみられ、アジアの一流選手は、股関節、膝関節、足関節回りの伸展筋力を瞬時に発揮することで、リフターの体とバーベルを後ろ方向に移動させていたことを報告している。また、バーベルを後ろ方向に引くとともにバックステップする技術は、股関節の伸展筋力を挙上動作に生かすための合理的な技術であることを示唆している。本研究において、56kg 級、94kg 級を除いた各階級の優勝選手のバーベルの軌跡は鉛直線と交わっており、水平変位 (Dx3) と鉛直方向のピーク速度との間に相関はみられなかったことから、アジア、世界の一流選手とは力発揮のタイミング、方向が異なっていたと考えられる。

#### D. バーベルの加速度と合成加速度の角度

Isaka et al.<sup>8)</sup>はスナッチ種目におけるバーベルの加速度について分析を行い、アジア一流選手の

鉛直方向の加速度曲線ではファーストプル、移行期、セカンドプルにピーク値がみられたことを報告し、移行期にピーク値がみられることが挙上技術の基準になることを示唆している。本研究においては、ファーストプル、セカンドプルのピーク値はみられたものの、移行期における明確なピーク値は優勝選手においても観察できない試技があった (Fig. 9)。水平方向の加速度曲線については、優勝選手と最下位選手との間に大きな違いはみられず、挙上後、多くの試技で正の加速度（後ろ方向への加速度）がみられ、セカンドプルにおいて鉛直方向の加速度とともに前方向への加速度がみられた。各局面でバーベルを減速させることなく、鉛直方向の速度を高めることがスナッチにおける重要な技術的要素であると考えられるが<sup>1)</sup>、BL 群と WL 群の移行期においてバーベルを後方に引く正の加速度とともに、鉛直方向の加速度が低下する傾向がみられた。本研究から鉛直方向のバーベルの加速度が低下した原因を明らかにすることはできないが、移行期においてバーベルの鉛直速度を低下させることなく挙上することが日本人選手の技術的課題の一つであることが示唆された。また、日本人選手と世界一流選手の移行期における力発揮、動作的特徴を明らかにすることが今後の研究課題である。

合成加速度の角度 (Fig. 10) については、ファーストプルにおける上位群と下位群の平均値が  $84^\circ$  であり、セカンドプルにおける合成角度は下位群の平均値が  $129^\circ$ 、上位群の値が  $137^\circ$  と差がみられたが、有意ではなかった。Fig. 11 に示した各階級の優勝選手のファーストプル、セカンドプルにおける合成角度の平均値はそれぞれ  $91.9 \pm 12.1 \text{ deg}$ ,  $136.9 \pm 19.4 \text{ deg}$  であり、この値と Isaka et al.<sup>8)</sup>の報告の値（ファーストプル； $85 \text{ deg}$ 、セカンドプル； $140 \text{ deg}$ ）を比較すると、ファーストプルにおいて、アジア一流選手は日本人選手よりもバーベルを後方に引いていることがわかる。本研究においては、移行期における合成角度を算出していないが、アジア一流選手とバーベルの軌跡が異なる要因は、ファーストプル、移行期における力

の発揮方向であることが推察される。

本研究では、上位群と下位群のバーベルのキネマティクスに関する変数に明らかな違いはみられなかった。また BL 群, WL 群の特徴は上位群, 下位群それぞれの特徴と必ずしも一致するものではなかった。しかしながら、日本人一流選手のバーベルの軌跡は先行研究にみられるアジア一流, 世界一流選手とは異なり、バーベルの挙上高、移行期における鉛直方向の加速度および力の発揮角度にも違いがみられたことから、今後の研究において、これらのパラメータが異なる要因を挙上動作の分析によって明らかにする必要があると考えられる。

## 5. まとめ

本研究の目的は、2007 年に国内で行われたウエイトリフティング競技会におけるスナッチ種目のバーベル軌跡を分析することで、日本人男子ウエイトリフターの技術的特徴を明らかにし、技術指導に役立つ基礎的知見を得ることであった。挙上記録を元に上位群と下位群、および各階級のスナッチ種目優勝選手と最下位選手を比較した結果をまとめると、以下のようになる。

- ① 優勝選手のバーベルの軌跡に関しては、8 階級中 6 階級で鉛直線と交差しており、ファーストプル、移行期においてバーベルを真上に引き上げていることが示された。
- ② 水平方向、鉛直方向のバーベルの変位に関しては、上位群、下位群で有意な差はみられなかった。
- ③ 水平変位に関して、前方向の変位  $Dx3$  は  $DxL$ ,  $Dx2$  との間に有意な負の相関関係がみられた。
- ④ 鉛直方向のピーク速度は上位群と下位群で有意な差はみられなかった。
- ⑤ 水平方向の速度と変位の関係については、セカンドプルにおける前方向のピーク速度と  $Dx2$ ,  $DxL$  との間に有意な負の相関がみられ、

後ろ方向のピーク速度との間にも有意な正の相関関係がみられた。

- ⑥ 先行研究における世界一流選手のバーベルの挙上高と本研究における日本人選手のバーベルの挙上高を比較すると、日本人選手は相対的にバーベルを高く挙上していることから、挙上局面だけでなく、キャッチ動作においても技術的課題があると考えられる。
- ⑦ セカンドプルにおける合成加速度の角度は下位群の平均値が  $129^\circ$ 、上位群の値が  $137^\circ$  と差がみられたが、有意ではなかった。

以上のことから、日本人選手は、セカンドプルにおいて爆発的な筋力発揮を行うために、ファーストプル、移行期の力発揮方向を改善する必要がある。また、世界一流選手と比較して、バーベルの挙上高が高いことから、股関節、膝関節の伸展動作のタイミングを早めることが重要になると考えられる。

## 6. 参考文献

1. Baumann, W., Gross, V., Quade, K. and Galbierz, P. A. The snatch technique of world class weightlifters at the 1985 world championships. *Int. J. Sport Biomech.*, 4: 68-89, 1988.
2. Campos, J., Poletaev, P., Cuesta, A., Pablos, C. and Carratala, V. Kinematical analysis of the snatch in elite male junior weightlifters of different weight categories. *Strength Cond. Res.*, 20 (4): 843-850, 2006.
3. Garhammer, J. Biomechanical profiles of Olympic weightlifters. *Int. J. Sport Biomech.*, 1 : 122-130, 1985.
4. Garhammer, J. Weightlifting and training. In C.L. Vaughan (ed.) *Biomechanics of Sport* (pp. 169-211). Boca Raton, FL: CRC Publishers, 1989.
5. Gourgoulis, V., Aggelousis, N., Mavroamitis, G. and Garas, A. Three-dimensional kinematic analysis of the snatch of elite Greek weightlifters. *J. Sport Sci.*, 18: 643-652, 2000.
6. Hiskia, G. Biomechanical analysis of world and Olympic champion weightlifters. In: *Proceedings of the Weightlifting Symposium*. A. Lukacsfalvi and F. Takacs, eds. IWF, Budapest, pp.137-158, 1997.
7. 池田祐介. ウエイトリフティングースナッチ種目におけるアジア一流選手の挙上動作の特徴一. *体育の科学*. 59 (6): 374-381, 2009.
8. Isaka, T., Okada, J. and Funato, K. Kinematic analysis of the barbell during the snatch movement of elite Asian weight lifters. *J. Appl.Biomech.*, 12: 508-516, 1996.
9. 伊坂忠夫, 光島良生, 船渡和男. スナッチ種目における日中女子ウエイトリフターの技術差. *身体運動のバイオメカニクス*. 417-422, 1997.
10. Okada, J., Iijima, K., Fukunaga, T., Kikuchi, T., Kato, K. Kinematic analysis of the snatch technique used by Japanese and international female weightlifters at the 2006 junior world championship. *Int. J. Sport Health Sci.*,6: 194-202, 2008.
11. Reiser, F.R., and Cioroslan, D. Comparative biomechanical analysis of snatch technique in competition. *Weightlifting USA*, 13(3): 4-7, 1995.
12. Schilling, B. K., Stone, M. H., O'Bryant, H. S., Fry, A. C., Coglianesi, R. H. and K. C. Pierce Snatch technique of collegiate national level weightlifters. *J. Strength Cond. Res.*, 16 (4): 551-555, 2002.
13. Stone, M. H., O'Bryant, H. S., Williams, F. E., Johnson, R. L. and Pierce, K. C. Analysis of bar paths during the snatch in elite male weightlifters. *Strength Cond. J.*, 20(5): 30-38, 1998.

Abstract

**Kinematic analysis of the barbell  
during the snatch movement of Japanese weight lifters**

This study investigated the kinematic characteristics of the snatch technique by analyzing Japanese weightlifter's trajectories of the barbell. Subjects were male Japanese weightlifters (n=48) with different lifting abilities who participated in weightlifting competition. Among these subjects, 8 lifters participated in the 2007 world championships. Trajectories of the barbell during snatch lifts in 8 weight categories were videotaped. For comparison of the lifting technique, 8 weight categories were integrated into four weight categories; Light weight, Middle weight, Heavy weight and Super heavy weight which were then divided into an upper group and lower group based on the lifting record in each category.

Concerning the results of the barbell kinematics, there was no apparent difference between the upper groups and lower groups. In addition, kinematic characteristics of the best and worst lifters did not necessarily equate with those in the upper and lower groups. As the best lifter's primary feature, barbell trajectories, except for two lifters in the 56kg and 94kg class, crossed the vertical reference line projected upward from the start position. They demonstrated small horizontal displacement of barbell compared with that of the worst lifters. In comparison with world-class weightlifters, there were differences in the barbell's trajectory, vertical acceleration during transition and the angle of resultant acceleration at the first pull and second pull. These findings indicate that the difference in performance between world-class lifters and Japanese lifters was derived not only from strength and power production but also from lifting technique.

Key words: Weightlifting, Barbell trajectory, Acceleration