

両足支持期におけるハンマー頭部の移動距離の内訳

水谷好孝*, 梅垣浩二**

Resolution Traveling Length of Hammer Head into the Motion-Dependent Length during Each Double-Support Phase in the Hammer Thrower

Yoshitaka MIZUTANI and Koji UMEGAKI

Abstract

Two hammer throwers were studied using three-dimensional motion analysis procedures. One was a top national athlete with the best record 72.32 m, another was an university athlete with the best record 56.84 m. Hammer speed increased gradually during each double-support phase. Since the distal end velocity consists of the velocities which are the each cross product of the proximal angular velocity vector and the position vector from the proximal to the distal, hammer velocity was resolved into the velocities which were relative to the lower limbs, the body, the upper limbs and the hammer. During each double-support phase, the traveling length of the hammer head was calculated by integrating hammer velocity, and the motion-dependent traveling lengths of the hammer head were calculated by integrating the resolved velocities. In each turn, the motion-dependent length relative to the lower limbs was long, but in delivery the sum of the motion-dependent length relative to the body and the upper limbs was long. It seemed that in delivery the hammer head had better be accelerated by twisting the body, driving backward the upper body and extending the shoulder joint.

1. 目的

ハンマーの飛距離は、リリース時のハンマー頭部の位置、速さ、投射方向によってほぼ決まる。特にリリース時のハンマー頭部の速さは、記録を左右する大きな要因である。投擲者はリリースの前に3～4回のターンを行い、各ターン毎にハンマー頭部の速さを増減させながら、次第にその速さを増大させていく。Dapena^{1), 2)}や Dapena and Feltner⁴⁾は、各ターンにお

いてハンマー頭部の速度が増加する時期は両足支持期とほぼ一致することを確認し、速度増減の原因として重力の影響、ハンマーと身体の合成重心の前方（投射方向）への移動の影響、ワイヤーの張力の方向の影響、回転半径の変化の影響を考慮した。ダイソン⁵⁾は、水平方向のハンマー頭部の加速は回転軸の移動と「からだのねじりモーメント」によって行われると述べている。この時投擲者の足と地面の摩擦がなければこの様な加速は不可能であり、両足が地面に

*助手, **研究生

接しておりハンマー頭部が肩の高さより下であれば摩擦は大きくなる。小野¹⁰⁾は、ターン中の加速は投擲者が身体をハンマーよりいくらか先行させて回転すること、その遠心力に耐えて速く身体を回転することによって行われると述べている。池上⁷⁾は、ローポイントの通過前後でハンマー頭部の移動方向と垂直な方向、すなわち回転の中心方向へハンマー頭部を引き付けることによって加速がなされていると述べている。また梅垣と水谷¹¹⁾は、投擲者はローポイントの前後で非常に大きな求心力を発揮し、ターン中に身体重心とハンマー頭部の距離(回転半径)を変化させながら、ターンを重ねるにつれて回転の速度を次第に大きくして、ハンマー頭部のスピードを大きくして投射していると報告している。さらに室伏⁹⁾も、加速を促す条件としてハンマー頭部にできるだけ長い距離全身の力を作用させることと、ハンマー頭部にできるだけ長い時間全身の力を作用させることをあげている。

このようにハンマー頭部の加速が主として行われる両足支持期における身体の使い方を明らかにすることは重要である。そこで本研究では、ハンマー頭部の速度を身体各部の角速度の項の和で表すとともに、両足支持期におけるハンマー頭部の移動距離に対する身体各部の動きによる移動距離を算出し、両足支持期における身体各部の重要性を評価することを目的とした⁸⁾。

2. 方法

被験者は実験実施時において72.32mと56.84mの最高記録をもつ大学陸上選手2名(表1)であった。

表1 被験者の特徴

被験者			A	B
身 長	cm		187	181
	kg		85	109.5
体 重	m		72.32	56.84
ベ ス ト	m		66.57	52.68
分析試技の記録	%		92.0	92.7
達 成 率				

試合期終了後に大学陸上競技場において、被験者にそれぞれ6投の試技を行わせた。すべての試技を3台の高速ビデオカメラ(ナック社製: HSV-400, HSV-500)を用いて、投擲方向に対して右方、後方、左方の3方向から撮影した(図1)。200Hzと250Hzで撮影したビデオ画面を1画面とばしてデジタイズした。デジタイズした点は左右手先、左右手首関節中心、左右肘関節中心、左右肩関節中心、左右股関節中心、左右膝関節中心、左右足関節中心、左右踵、左右足先、頭頂点、左右耳珠中点、把手の中央点、ハンマー頭部の中心の22点であった。これらの点をDLT法により実空間座標に変換した。その際カメラ間の同期を行うとともに、それぞれのカメラのデジタイズ値を100Hzのデータに補間した。分析は被験者本人の内省報告で最も良いと判断された試技(66.57mと52.68m)について行った¹¹⁾。

本研究では、ハンマーと身体からなる系を4つの部位(下肢、胴体、上肢、ハンマー)に分け、各部位に運動座標系を設けた。そして下肢の座標系の絶対角度と隣接する運動座標系の間の相対角度をオイラー角として求めた。さらに各オイラー角より角速度ベクトル(ω)を求めた。(APPENDIXを参照)また両腰中点や両肩中点や把手からハンマー頭部への位置ベクトル(r_1, r_2, r_3)を求め、ハンマー頭部の速度ベクトル V を以下のように算出した。ただし V_H は両腰中点の速度ベクトル、 V_L は下肢の運動に

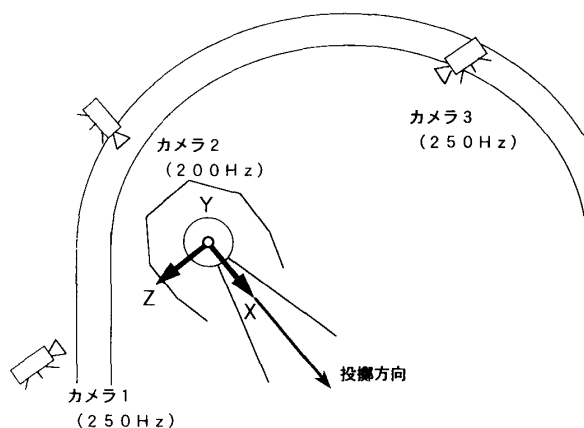


図1 実験場面の模式図

よる速度ベクトル, V_B は胴体の運動による速度ベクトル, V_U は上肢の運動による速度ベクトル, V_h はハンマーの運動による速度ベクトルである⁶⁾。

$$V = V_L + V_B + V_U + V_h$$

$$V_L = \omega_{\psi'} \times r_1 + \omega_{\theta'} \times r_1 + \omega_{\phi'} \times r_1 + V_H$$

$$V_B = \omega_{\psi} \times r_1 + \omega_{\theta} \times r_1 + \omega_{\phi} \times r_1$$

$$V_U = \omega_{\psi} \times r_2 + \omega_{\theta} \times r_2 + \omega_{\phi} \times r_2$$

$$V_h = \omega_{\alpha} \times r_3 + \omega_{\beta} \times r_3 + \omega_{\gamma} \times r_3$$

各ターン毎の両足支持期や片足支持期におけるハンマー頭部の移動距離は、ハンマー頭部の速度の x 方向（ハンマーの運動座標系のハンマー頭部の速度ベクトルの方向を示す）の成分をそれぞれの区間において積分することにより計算される。

$$D = \int V_x dt$$

また両足支持期における身体各部位の運動によるハンマー頭部の移動距離は、身体各部位の運動によるハンマー頭部の速度の x 方向の成分をそれぞれの区間において積分することにより計算される⁸⁾。

$$D_L = \int V_{Lx} dt$$

$$D_B = \int V_{Bx} dt$$

$$D_U = \int V_{Ux} dt$$

$$D_h = \int V_{hx} dt$$

3. 結果と考察

それぞれの被験者のリリース時におけるハンマー頭部の初期条件は表 2 に示すとおりであった。ハンマー頭部の速度の大きさは記録を反映しているが、投射角にはほとんど差はみられなかった。また図 2 はハンマー頭部の速度の大きさの経時的变化を示している。二人の被験者とも、従来の報告どおり両足支持期にハンマー頭部の速度が増大する特徴を示していた。

図 3 はそれぞれの被験者について、各ターンの両足支持期と片脚支持期におけるハンマー頭部の移動距離を示している。被験者 A は 4 ターンの後、被験者 B は 3 ターンの後、投射する。

表 2 リリース時の初期条件

被験者			A	B
記	録	m	66.57	52.68
絶	対	m/s	26.3	23.29
X	方	m/s	19.53	17.05
Y	方	m/s	17.4	15.84
Z	方	m/s	2.7	1.0
投	射	deg	41.4	42.8
投	射	m	1.311	1.41

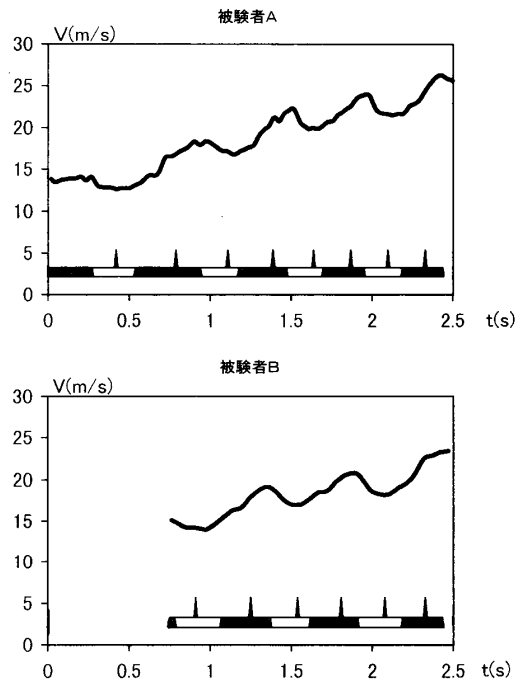


図 2 ハンマー頭部の速度の絶対値
 図中の横棒の黒い部分は両足支持期を、白い部分は片足支持期を示している。
 各支持期における縦線はハンマー頭部のローポイントとハイポイントを示している。
 両被験者とも、2.43 秒がリリース直後である。

二人の被験者とも、両足支持期の移動距離の方が片足支持期に比べて長かった。また被験者 A ではターンを重ねるにつれて、両足支持期の移動距離は短く（2～4 ターンについて 6.55m, 6.04m, 5.74m）、片足支持期の移動距離は長く（4.02m, 4.33m, 5.04m）なっていった。一方被験者 B ではターンを重ねるにつれて、両足支持期の移動距離は長く（2～3 ターンについて 5.36m, 5.83m）、片足支持期の距離も長く（4.22m, 5.29m）なっていった。

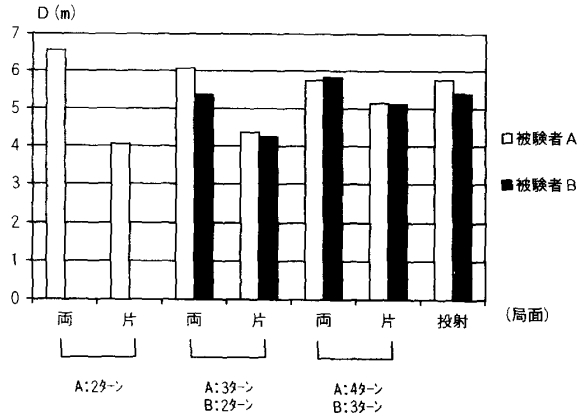


図3 両足支持期や片足支持期でのハンマー頭部の移動距離の比較

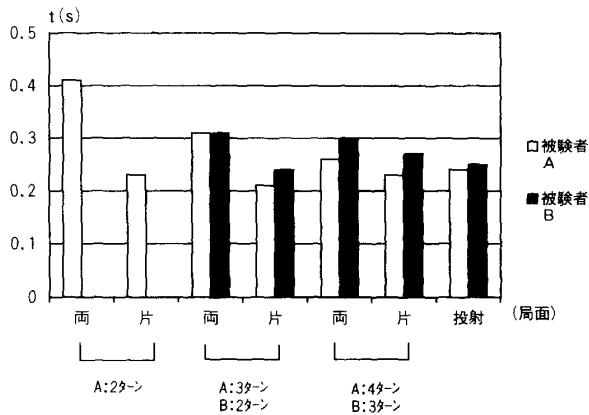


図4 両足支持期や、片足支持期に要した時間の比較

図4はそれぞれの被験者の各ターンの両足支持期と片足支持期の時間を示している。二人の被験者とも、両足支持期の時間の方が片足支持期に比べて長く、両足支持期の時間はターンを重ねるにつれて短くなっていった(被験者Aは2~4ターンについて0.41s, 0.31s, 0.26s, 被験者Bは2~3ターンについて0.31s, 0.3s)。しかし片足支持期の時間はターンを重ねるにつれて短くはならなかった(被験者Aは2~4ターンについて0.23s, 0.21s, 0.23s, 被験者Bは2~3ターンについて0.24s, 0.27s)。もし片足支持期の時間がかわらなければ、ターンを重ねるにつれて両足支持期におけるハンマー頭部の速度が大きくなり身体の回転のスピードが高まるほど、片足支持期の移動距離は長くなるであろう。実際には二人の被験者ともに片足支持期の移動距離は長くなっていった。

図5は、被験者Aの2~4ターンと投射の両足支持期におけるスティックピクチャーを示している。図6は各ターンの両足支持期における上肢・胴体・下肢の運動によるハンマー頭部の移動距離を示している。各ターンにおいては下

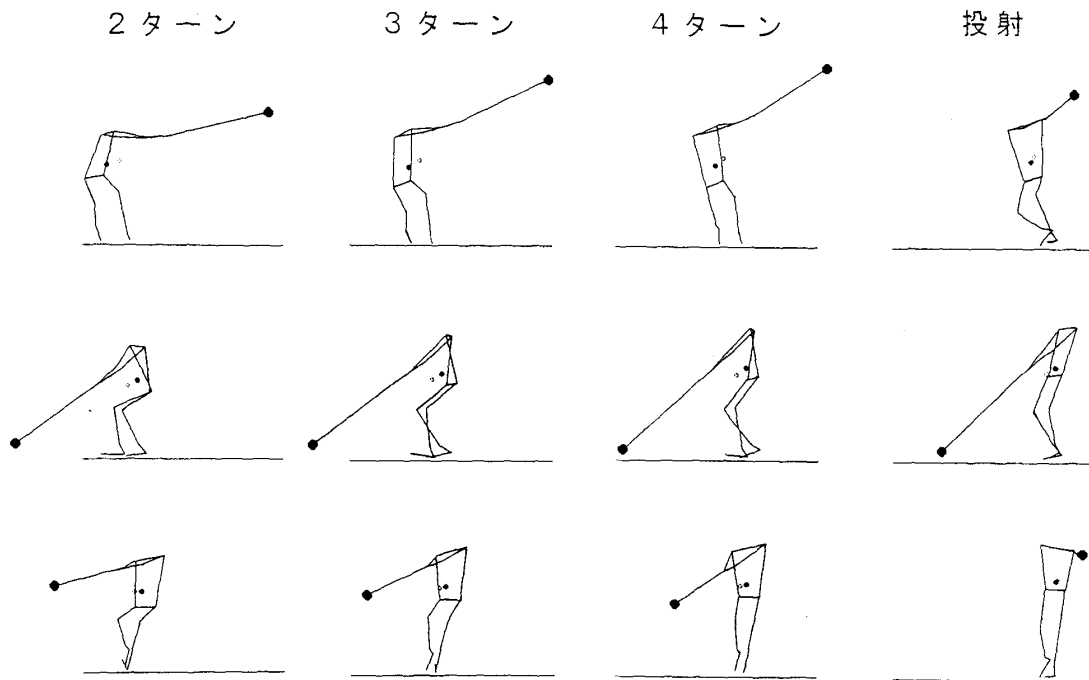


図5 被験者Aの2~4ターンと投射の両足支持期におけるz方向からみたスティックピクチャー

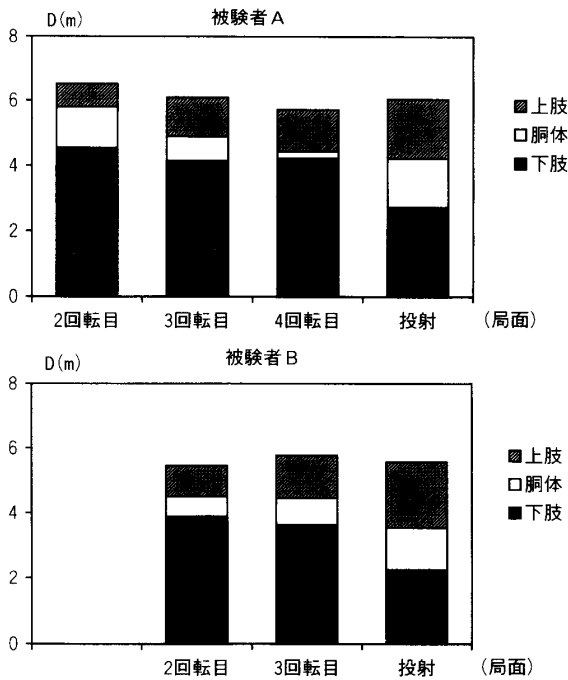


図6 両足支持期のハンマー頭部の移動距離の内訳

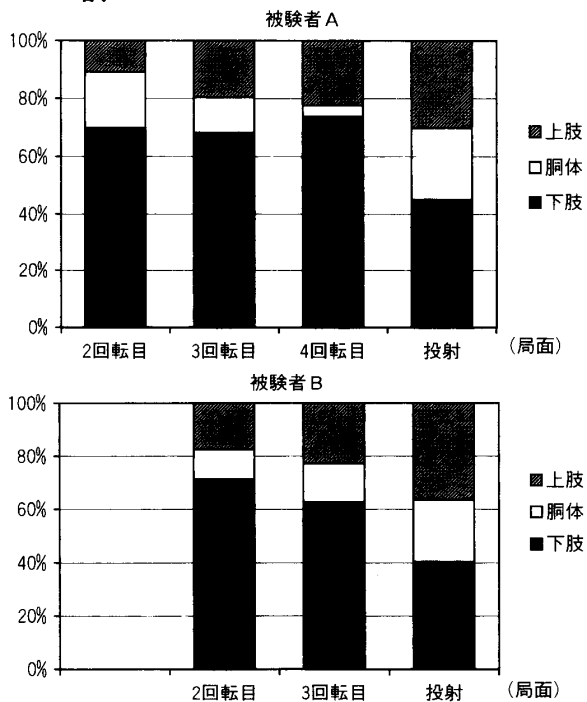


図7 両足支持期のハンマー頭部の移動距離の内訳 (%)

肢の運動によるハンマー頭部の移動距離が大きく、投射においては胴体や上肢の運動による移動距離が大きくなっていった。上肢の運動によるハンマー頭部の移動距離はターンを重ねるにつれて長くなり、投射ではさらに長くなる。また胴体の運動によるハンマー頭部の移動距離は、

被験者Aの場合ターンを重ねるにつれて短くなり、投射では長くなるが、被験者Bの場合ターンを重ねるにつれて長くなる。図7は両足支持期における上肢・胴体・下肢の運動によるハンマー頭部の移動距離を百分率で示している。これからも投射では被験者A、Bともに胴体(25.9%, 23.9%)や上肢(32.7%, 37.6%)による移動距離の割合が大きくなってきていることがわかる。つまり投射では胴体のひねり戻しや後屈、あるいは上肢の肩関節の伸展による加速が行われていると考えられる。

4. まとめ

2人の大学ハンマー投げ選手の動作分析を行った。ひとりの被験者は72.32mのベスト記録をもつ国内トップの選手であり、もうひとりの被験者は56.84mのベスト記録をもつ一般的な選手であった。

ハンマー頭部の加速は両足支持期に行われていた。ハンマー頭部の速度は身体各部分の角速度ベクトルとハンマー頭部への位置ベクトルのベクトル積の和で表されるので、それらを積分したハンマー頭部の移動距離も身体各部分の動きによる移動距離の和として表すことができる。ターンにともなうハンマー頭部の移動距離や身体各部の動きによる移動距離の変化について以下のことが考察された。

(1) ターン中の両足支持期においては下肢の運動による移動距離が長くなっていた。このことはターン中の両足支持期においては胴体の捻りや上肢による動きの割合が少ないことを意味しており、できるだけある姿勢⁹⁾を保ったまま身体を回転させることが重要であると思われる。

(2) しかし投射においては胴体や上肢の運動によるハンマー頭部の移動距離は長くなっていた。これは胴体の捻り戻しや後屈、あるいは肩関節の伸展によるものと考えられ、これらの動作によってハンマー頭部の加速を行うことが重要であると思われる。

本論文は、日本体育学会第47回大会で発表

した内容を一部修正加筆したものである。

論叢, 38-2, 53-63, 1997.

参考文献

- 1) Dapena, J.: The pattern of hammer speed during a hammer throw and influence of gravity on its fluctuations. *Journal of biomechanics*, 17, 553-559, 1984.
- 2) Dapena, J.: Factors affecting the fluctuations of hammer speed in a throw. *Biomechanics IX-B* (Edited by Winter, D. A., Norman, R. W., Wells, R. P., Hayes, K. C. and Patla, A. E.), 499-503, Human Kinetics, Champaign, IL, 1985.
- 3) Dapena, J.: A kinematic study of center of mass motions in the hammer throw. *Journal of biomechanics*, 19, 147-158, 1986.
- 4) Dapena, J. and Feltner, M.: Influence of the direction of the cable force and of the radius of the hummer path on speed fluctuations during hummer throwing. *Journal of biomechanics*, 22, 565-575, 1989.
- 5) G. ダイソン著, 金原勇, 渋川侃二, 古藤高良訳: 陸上競技の力学, 231-237, 大修館書店, 1972.
- 6) 広瀬茂男: ロボット工学, 172-176, 裳華房, 1987.
- 7) 池上康男, 桜井伸二, 岡本敦, 植屋清見, 中村和彦: ハンマー投げのバイオメカニクスの分析, 世界一流陸上競技選手の技術 (陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編), 240-256, ベースボール・マガジン社, 1994.
- 8) 水谷好孝, 梅垣浩二: 両足支持期におけるハンマー頭部の移動距離の内訳, *日本体育学会第47回大会号*, 374, 1996.
- 9) 室伏重信: ハンマー投げ, 30-52, ベースボール・マガジン社, 1994.
- 10) 小野勝次: 陸上競技の力学, 同文書院, 166-174.
- 11) 梅垣浩二, 水谷好孝: 投擲者からみたハンマー頭部の加速度について, 中京大学体育学

APPENDIX

ハンマーに設定した運動座標系は, ハンマー頭部の中心を原点とし, ハンマー頭部の速度ベクトルの方向に x 軸, x 軸に平行なベクトルと把手とハンマー頭部を結ぶベクトルのなす平面に垂直上方の方向に y 軸, 右手系をなす方向に z 軸をとった。

上肢に設定した運動座標系は, 両肩中点を原点とし, 両肩中点から把手の方向に ξ 軸, 上肢の3点 (把手の中央点と左右肩関節中心) のなす平面に垂直上方の方向に η 軸, 右手系をなす方向に ζ 軸をとった。

胴体に設定した運動座標系は, 両腰中点を原点とし, 両腰中点から両肩中点の方向に η' 軸, η' 軸に平行なベクトルと左右肩関節中心を結ぶベクトルのなす平面に垂直前方 (投擲者にとって) の方向に ζ' 軸, 右手系をなす方向に ξ' 軸をとった。

下肢に設定した運動座標系は, 両腰中点を原点とし, 下肢の重心から両腰中点の方向に η'' 軸, η'' 軸に平行なベクトルと左右股関節中心を結ぶベクトルのなす平面に垂直前方 (投擲者にとって) の方向に ζ'' 軸, 右手系をなす方向に ξ'' 軸をとった。

空間固定の座標系 (サークル中心を原点として, 投てき方向に X 軸, 鉛直上方に Y 軸, 右手系をなす方向に Z 軸をとった) の各座標軸方向の単位ベクトルを i_x, j_y, k_z , 各運動座標系の各座標軸方向の単位ベクトルを i_ξ, j_η, k_ζ などとする。たとえば ξ'' , η'' , ζ'' 座標系の各座標軸方向の単位ベクトル $i_{\xi''}, j_{\eta''}, k_{\zeta''}$ は以下のように表される。

$$\begin{aligned} i_{\xi''} &= \xi'' i_x + \zeta'' j_y + \xi'' k_z \\ j_{\eta''} &= \eta'' i_x + \eta'' j_y + \eta'' k_z \\ k_{\zeta''} &= \zeta'' i_x + \zeta'' j_y + \zeta'' k_z \end{aligned}$$

他の座標軸方向の単位ベクトルも同様に表すことができる。各単位ベクトルの空間固定の座標系における成分は, 各座標軸の空間固定の座標

系における方向余弦でもある。

空間固定の座標系 (X Y Z) と下肢の運動座標系 ($\xi'' \eta'' \zeta''$) の間のオイラー角を以下のように定義する。仮に両座標系の原点が一致するように空間固定の座標系を並行移動させ (X Y Z), Y 軸まわりの回転角を ψ'' (ψ'' 回転後の座標系を X' Y Z' とする), X' 軸まわりの回転角を θ'' (θ'' 回転後の座標系を X' Y' ζ'' とする), ζ'' 軸まわりの回転角を ϕ'' (ϕ'' 回転後の座標系は $\xi'' \eta'' \zeta''$ となる) とした。同様の定義を, 下肢の運動座標系と胴体の運動座標系の間 (ψ', θ', ϕ'), 胴体の運動座標系と上肢の運動座標系の間 (ψ, θ, ϕ), 上肢の

運動座標系とハンマーの運動座標系の間 (α, β, γ) についても行った。

各オイラー角を数値微分することによって相対角速度ベクトルの大きさを求めることができる。またその向きは, オイラー角を定義したときの回転軸の向きである。たとえば角速度ベクトル $\omega_{\phi''}$ は以下のように求められる。

$$\begin{aligned} \omega_{\phi''} &= \dot{\phi}''_x i_X + \dot{\phi}''_y j_Y + \dot{\phi}''_z k_Z \\ \dot{\phi}''_x &= \dot{\phi}'' \zeta''_1 \\ \dot{\phi}''_y &= \dot{\phi}'' \zeta''_2 \\ \dot{\phi}''_z &= \dot{\phi}'' \zeta''_3 \end{aligned}$$