

日本一流男子走高跳競技者における踏切動作のキネマティクス的特徴

杉浦 澄美¹⁾ 柴田 篤志²⁾ 荊山 靖³⁾ 廣田 元輝⁴⁾ 小山 宏之⁵⁾

1) 筑波大学 2) 新潟医療福祉大学 3) 山梨学院大学 4) 筑波大学大学院 5) 京都教育大学

1. はじめに

2025年の国内男子走高跳では、瀬古優斗氏が2m33を記録するなど、東京2025世界陸上競技選手権大会への出場枠をめぐる複数の競技者が高い記録水準で競い合った。また、世界選手権には3名が出場し、赤松諒一氏が8位に入賞するなど、日本の男子走高跳競技者は国際大会においても一定の成績を残している。本報告では、2025年日本陸上競技選手権大会の男子走高跳において上位に入賞した競技者およびセイコーゴールデングランプリ陸上2025東京に出場した競技者の跳躍について基礎的なキネマティクス変数を報告する。

2. 方法

2-1 対象者および分析対象試技

対象者は、2025年日本陸上競技選手権大会（以下、日本選手権とする）の男子走高跳で1～3位に入賞した3名、およびセイコーゴールデングランプリ陸上2025東京（以下、GGPとする）に出場した選手3名の計6名であった。分析対象試技は、各競技会における対象者の最も記録が高い試技とした。

2-2 データ収集およびデータ処理

跳躍の様子をマットの右後方および左後方の観客席上段に設置した2台のハイスピードカメラ(LUMIX GH5s, Panasonic社製; フレームレート240 fps, 露光時間1/1600-1/800 s)を用いて固定撮影した。撮影範囲は踏切3歩前からバークリアまでとし、キャリブレーション範囲はバーの midpoint を原点として左右5 m, 助走路方向に5 mとした。試技の撮影前にキャリブレーション範囲内の計測点にキャリブレーションポールを立てて撮影した。この撮影は日本陸上競技連盟科学委員会の活動として行われた。

撮影したVTR画像から、踏切2歩前接地の10コ

マ前から踏切足離地の10コマ後までの身体分析点23点をビデオ動作分析システム(Frame DIAS V, Q's fix社製)を用いてデジタイズを行った。2台のカメラの同期は、足の接地あるいは離地のコマを用いて行った。2台のカメラから得られた身体分析点とコントロールポイントの2次元座標値から、3次元DLT法を用いて身体分析点の3次元座標を算出した。3次元座標はバーの midpoint を原点とし、地面と平行かつバーと水平の軸をX軸、地面と水平かつバーと垂直に交わる軸をY軸、鉛直軸をZ軸とする右手座標系を静止座標系と定義した。Y軸は原点からマットへ向かう向きを正とした。コントロールポイントの3次元座標値と計算値との標準誤差は、日本選手権でX軸が0.007 m, Y軸が0.006 m, Z軸が0.003 m, GGPでX軸が0.006 m, Y軸が0.006 m, Z軸が0.004 mであった。身体分析点の座標はWells and Winter (1980)の方法を用いて分析点ごとに最適遮断数周波数(7.2-12.0 Hz)を決定し、4次のButterworth low-pass digital filterを用いて平滑化した。

2-3 移動座標系の定義

踏切動作に関する項目を算出するために、身体重心速度ベクトルの水平成分（静止座標系のXおよびY成分の合成ベクトル）をY'軸、地面に水平かつY'軸に直行する軸をX'軸、鉛直軸をZ軸とする右手系の移動座標系X'-Y'-Zを定義した。

2-4 算出項目

身体分析点の3次元座標値から、日本選手については阿江(1996)、Yual REATH選手についてはDe Leva(1996)の身体部分慣性係数を用いて部分および全身の重心座標値を算出した。身体重心の座標値と、身体分析点の座標値を用いて、以下の項目を算出した。

① 身体重心の位置および変位

H0: 踏切足接地時における身体重心のZ軸座標

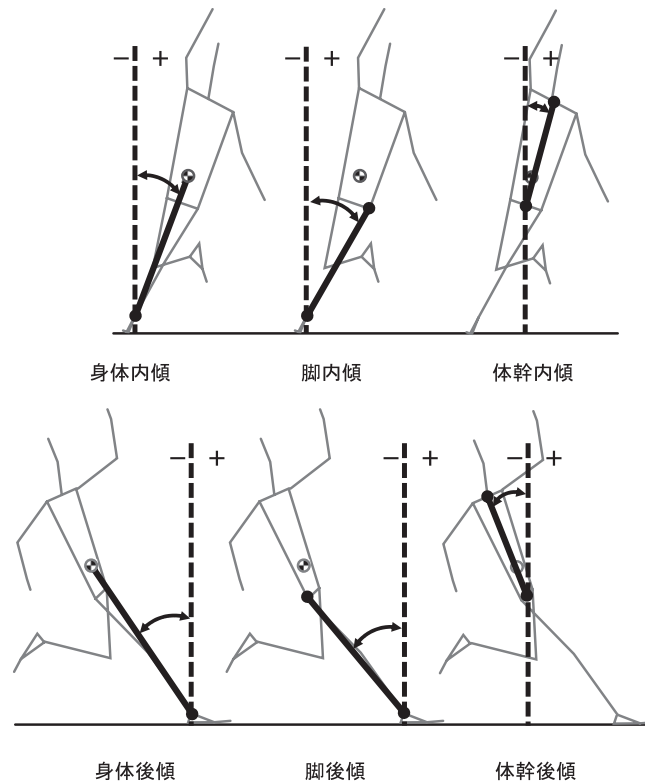


図1 後傾角度と内傾角度の定義

値と定義した。

最下点：踏切足接地時から踏切足離地時の間における身体重心のZ軸座標値の最小値と定義した。

H1：踏切足離地時における身体重心のZ軸座標値と定義した。

上昇高：最下点とH1との差と定義した。

H2：踏切足離地後に身体重心がZ軸方向に移動する距離で、次の式より算出した。

$$H2 = \frac{VCGV_{to}^2}{2g}$$

ここで、VCGV_{to}は踏切足離地時における身体重心の鉛直速度を示し、gは重力加速度9.81 m/s²を示す。

最大重心高：H1とH2との和と定義した。

H3：最大重心高とバーの高さとの差と定義した。

- ② 身体重心の速度：身体重心の変位を時間微分することで身体重心速度を算出し、身体重心速度のZ軸成分を鉛直速度、X軸成分とY軸成分を合成した成分を水平速度とした。
- ③ 踏込角度および踏切角度：踏切足接地時点における身体重心速度ベクトルが水平面となす角度を踏込角度、踏切足離地時点における身体重心速度ベクトルが水平面となす角度を踏切角度と定義した。

- ④ 踏切位置：踏切足接地時の踏切足つま先とバーとのY軸方向の距離と定義した。

- ⑤ 踏切脚の関節角度

踏切脚の関節角度は、Y'-Z平面に投影した身体分析点の座標値を用いて矢状面上の角度として算出した。なお、両股関節の midpoint から両肩関節の midpoint へ向かうベクトルを体幹ベクトル、踏切脚股関節から踏切脚膝関節へ向かうベクトルを大腿ベクトル、踏切脚膝関節から踏切脚足関節へ向かうベクトルを下腿ベクトル、踵からつま先に向かうベクトルを足部ベクトル定義とした。

膝関節角度：大腿ベクトルと下腿ベクトルのなす角度と定義した。

股関節角度：体幹ベクトルと大腿ベクトルのなす角度と定義した。

足関節角度：下腿ベクトルと足部ベクトルのなす角度と定義した。

なお、伸展および底屈を正、屈曲および背屈を負とした。

- ⑥ 踏切脚膝関節平均角速度：踏切脚膝関節の屈曲量および伸展量を前半時間および後半時間（前半と後半の定義は後述）で除すことで算出した。

- ⑦ 身体、脚、体幹の内傾角度および後傾角度

身体重心と踏切脚足関節を結んだ線分、踏切脚股関節と踏切脚足関節を結んだ線分、両肩 midpoint と両股

表 1 身体重心高と踏切位置

	記録	身体重心高 (m)							踏切位置 (m)
		接地	最下点	上昇高	離地 (H1)	H2 *	H3 *	最大 *	
真野	2.29	0.86	0.86	0.36	1.22	1.22	-0.15	2.44	-1.15
赤松	2.25	0.88	0.88	0.44	1.32	1.09	-0.15	2.40	-1.10
長谷川	2.20	0.84	0.84	0.42	1.26	1.06	-0.12	2.32	-1.35
瀬古	2.24	0.83	0.83	0.45	1.28	1.11	-0.15	2.39	-1.31
原口	2.24	0.88	0.88	0.40	1.28	1.11	-0.15	2.39	-1.23
REATH	2.20	0.88	0.87	0.45	1.32	1.04	-0.16	2.36	-1.06
mean	2.24	0.86	0.86	0.42	1.28	1.10	-0.15	2.39	-1.20
SD	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.01	0.04	0.11

*: 離地時の身体重心鉛直速度から推定.

表 2 身体重心速度

	身体重心水平速度 (m/s)			身体重心水平速度変化量 (m/s)			身体重心鉛直速度 (m/s)			身体重心鉛直速度変化量 (m/s)			踏込角度 (deg)	踏切角度 (deg)
	接地	中間	離地	前半	後半	全体	接地	中間	離地	前半	後半	全体		
真野	7.46	5.22	4.05	-2.24	-1.17	-3.41	0.25	3.23	4.90	2.97	1.68	4.65	1.9	50.4
赤松	7.44	5.21	4.33	-2.23	-0.88	-3.11	-0.10	2.95	4.62	3.05	1.67	4.72	-0.8	46.8
長谷川	7.09	4.78	4.14	-2.30	-0.64	-2.95	0.04	3.19	4.57	3.14	1.38	4.53	0.4	47.8
瀬古	7.71	5.04	4.20	-2.67	-0.84	-3.51	-0.07	3.32	4.66	3.38	1.34	4.73	-0.5	47.9
原口	7.34	5.15	4.21	-2.19	-0.94	-3.13	0.10	3.40	4.67	3.30	1.26	4.56	0.8	47.9
REATH	7.71	4.84	4.22	-2.87	-0.62	-3.49	-0.67	3.60	4.51	4.27	0.91	5.18	-5.0	46.9
mean	7.46	5.04	4.19	-2.42	-0.85	-3.27	-0.07	3.28	4.65	3.35	1.37	4.73	-0.5	48.0
SD	0.22	0.17	0.08	0.26	0.19	0.21	0.29	0.20	0.12	0.43	0.26	0.22	2.18	1.19

表 3 踏切時間

	踏切時間 (sec)			
	全体	上昇	前半	後半
真野	0.125	0.125	0.067	0.058
赤松	0.158	0.154	0.079	0.079
長谷川	0.146	0.146	0.071	0.075
瀬古	0.158	0.150	0.079	0.079
原口	0.138	0.138	0.071	0.067
REATH	0.167	0.142	0.096	0.071
mean	0.149	0.143	0.077	0.072
SD	0.014	0.009	0.009	0.007

関節中点を結んだ線分を $Y' - Z$ 平面に投影し、鉛直軸となす角度をそれぞれ全身、踏切脚、体幹の後傾角とし、正を後傾、負を前傾とした。また、これらの線分を $X' - Z$ 平面に投影し、鉛直軸となす角度をそれぞれ全身、踏切脚、体幹の内傾角とし、正を内傾、負を外傾とした。(図 1)

2-5 局面定義

踏切における身体重心の最下点から踏切足離地時点までを上昇局面と定義した。踏切脚膝関節角度が最小となった時点を踏切の中間とし、それ以前を踏切前半、以降を踏切後半と定義した。

表 4 踏切脚の関節角度

	膝関節角度 (deg)					膝関節平均角速度 (deg/s)		股関節角度			足関節角度		
	接地	最小	離地	屈曲量	伸展量	屈曲	伸展	接地	最小	離地	接地	最小	離地
真野	170.5	146.5	173.6	24.0	27.1	358.2	467.2	147.6	147.6	171.1	128.1	97.3	129.9
赤松	168.6	142.2	174.2	26.4	32.0	334.2	405.1	148.2	145.8	179.9	124.2	90.4	128.2
長谷川	175.4	145.0	179.2	30.4	34.2	428.2	456.0	151.4	146.0	178.1	125.9	97.8	142.9
瀬古	172.7	157.1	179.8	15.6	22.7	197.5	287.3	141.5	141.5	177.9	110.2	106.0	142.2
原口	177.1	158.4	178.6	18.7	20.2	263.4	301.5	149.4	148.2	176.1	115.8	101.3	144.4
REATH	177.3	144.5	177.3	32.8	32.8	341.7	462.0	150.5	147.8	177.5	111.0	91.5	123.0
mean	173.6	149.0	177.1	24.7	28.2	320.5	396.5	148.1	146.2	176.8	119.2	97.4	135.1
SD	3.3	6.4	2.4	6.1	5.3	73.1	75.1	3.2	2.3	2.8	7.2	5.4	8.4

表 5 後傾角度と内傾角度

	接地時の後傾角度 (deg)			離地時の後傾角度 (deg)			接地時の内傾角度 (deg)			離地時の内傾角度 (deg)		
	身体	脚	体幹	身体	脚	体幹	身体	脚	体幹	身体	脚	体幹
真野	38.5	44.5	16.6	-0.3	8.7	2.9	1.1	7.6	11.7	1.4	0.8	0.7
赤松	41.8	45.1	18.8	-4.1	2.0	4.6	-0.4	5.9	10.3	2.0	4.8	-5.0
長谷川	37.8	45.3	19.1	-2.5	4.9	3.4	1.2	5.0	12.1	1.0	0.1	0.1
瀬古	43.1	48.8	13.7	-0.6	6.4	4.2	-1.7	3.8	9.8	2.3	2.1	-5.0
原口	38.5	44.0	14.9	-0.8	7.6	3.0	0.1	3.6	11.1	1.9	0.2	0.0
REATH	44.3	47.3	19.0	-2.4	3.4	7.0	-0.3	6.7	6.9	2.7	4.9	-9.0
mean	40.7	45.8	17.0	-1.8	5.5	4.2	0.0	5.4	10.3	1.9	2.2	-3.0
SD	2.5	1.7	2.1	1.3	2.3	1.4	1.0	1.5	1.7	0.6	2.0	3.6

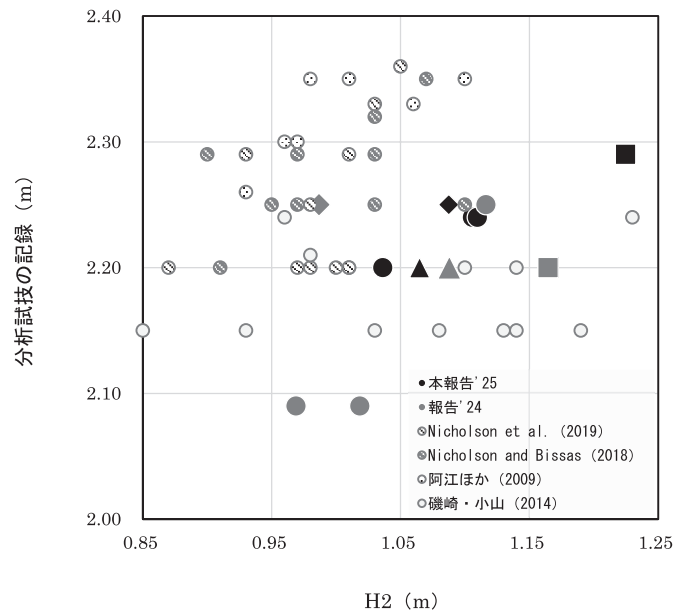


図 2 記録と H2 との関係

図中のマークの形はそれぞれ、四角形は真野選手、菱形は赤松選手、三角形は長谷川選手を示している。

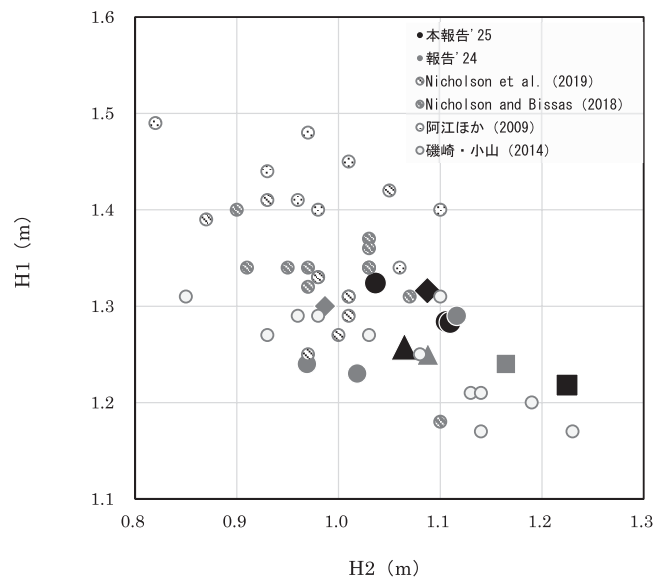


図3 H1 と H2 との関係

図中のマークの形はそれぞれ，四角形は真野選手，菱形は赤松選手，三角形は長谷川選手を示している。

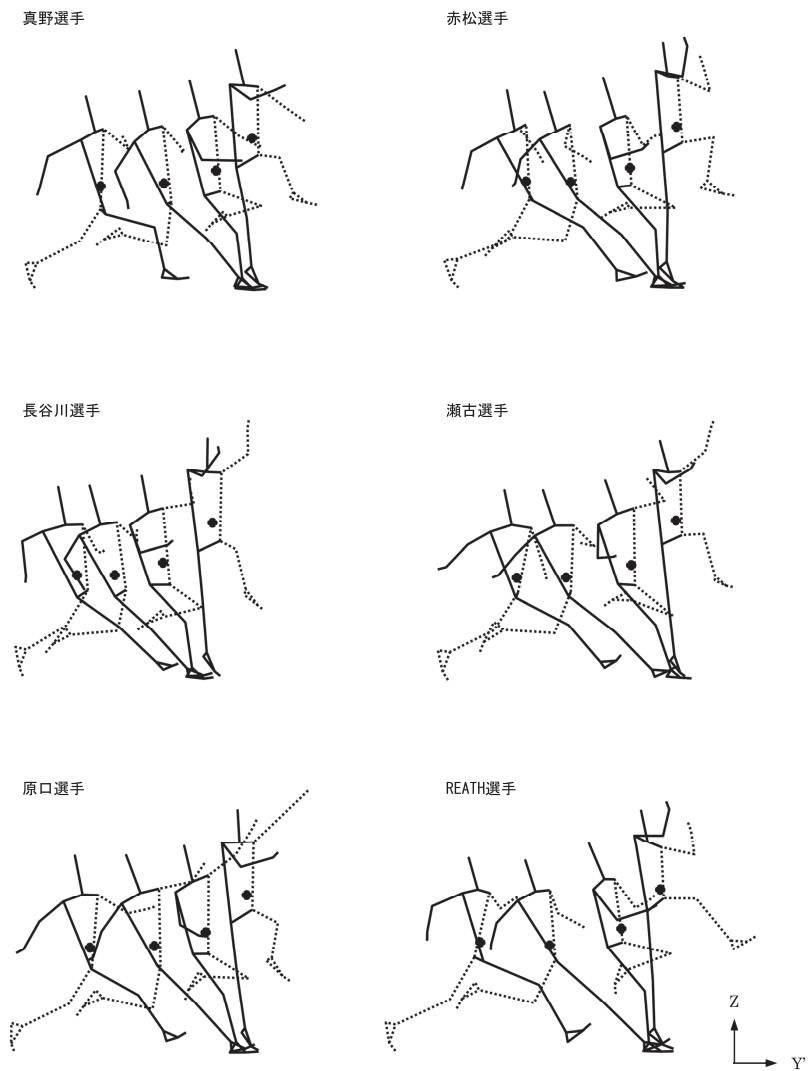


図4 対象者の跳躍動作

(右踏切の選手は左踏切に変換した。左から，踏切1歩前離地時点，接地時点，中間時点，離地時点の姿勢を示す。黒丸は，身体重心位置を示す。)

3. 結果

表1には、対象者の分析試技の記録および身体重心高に関する変数と踏切位置を示した。H1, H2, H3 および最大重心高の平均値はそれぞれ、 1.28 ± 0.04 m, 1.10 ± 0.06 m, -0.15 ± 0.01 m および 2.39 m であった。図2には記録とH2との関係を、図3にはH1とH2との関係をそれぞれ先行研究(阿江ほか, 2009; 磯崎・小山, 2014; Nicholson and Bissas, 2018; Nicholson et al., 2019)で報告されているデータを含めて示した。

表2には、身体重心の水平速度と鉛直速度に関する変数を示した。踏切足接地時における身体重心の水平速度の平均値は 7.46 ± 0.22 m/s で、対象者の中では瀬古選手とREATH選手で大きな値(いずれも 7.71 m/s)を示した。踏切足接地時における身体重心の鉛直速度の平均値は -0.07 ± 0.29 m/s で、真野, 長谷川, 原口の3選手で正の値, 赤松, 瀬古, REATHの3選手で負の値を示した。

表3には、踏切時間を示した。踏切全体時間の平均値 0.149 ± 0.014 s であった。真野選手の踏切全体時間は 0.125 s と対象者の中では特に短かった。上昇局面の時間の平均値は 0.143 ± 0.009 s, 前半時間の平均値は 0.077 ± 0.009 s, 後半時間の平均値は 0.072 ± 0.007 s であった。真野, 原口, REATHの3選手では、前半時間が後半時間よりも長かった。一方、長谷川選手では、前半時間が後半時間よりも長く、赤松, 瀬古の2選手では前半時間と後半時間が同じであった。

表4には、踏切脚の下肢関節角度に関する変数を示した。踏切脚膝関節角度の最小値, 屈曲量, 伸展量の平均値はそれぞれ 149.0 ± 6.4 deg, 24.7 ± 6.1 deg, 28.2 ± 5.3 deg であった。対象者の中では、瀬古選手と原口選手で踏切脚膝関節の屈曲伸展動作が小さく、踏切脚膝関節角度の最小値はそれぞれ 157.1 deg と 158.4 deg であった。

表5には、踏切足接地時および踏切足離地時の内傾角度と後傾角度に関する変数を示した。踏切足接地時の身体の後傾角度の平均値は 40.7 ± 2.5 deg で後傾しており、踏切足離地時の身体の後傾角度は -1.8 ± 1.3 deg で前傾していた。

4. 所見

本報告の目的は、2025年日本選手権の男子走高跳で上位に入賞した競技者およびGGPに出場した競技者の跳躍について、基礎的なキネマティクス変数

を報告することであった。

走高跳の記録を構成する3つの高さ(H1, H2 および H3)に着目すると、H1とH2の値に選手間での差がみられた。H1の値は、赤松選手とREATH選手(1.32 m)で最も大きく、真野選手(1.22 m)で最も小さかった。H1は踏切足離地時の身体重心高で、身長や下肢長に加えて踏切足離地時の姿勢が影響する。踏切足離地時の姿勢を比較すると、ダブルアームアクションを用いる赤松選手とREATH選手は両腕が肩から引き上げられているのに対し、ランニングアームアクションを用いる真野選手は両腕の位置が他の選手と比較して低いことが確認できる(図4)。これらの事例からは、踏切動作の終着点である踏切足離地時の姿勢がH1の違いに影響していることが推察される。一方、H2の値は、真野選手(1.22 m)で最も大きく、REATH選手(1.04 m)で最も小さかった。記録とH2との関係(図2)からは、真野選手のH2の値が他の競技者による同程度の記録の試技と比較して大きいことも読み取れる。また、阿江ほか(2008)は、「走高跳に関するこれまでの分析データや経験則から推測すると、離地時の重心高と鉛直速度の大きさは相反する傾向にある」と述べており、H1とH2との関係を先行研究で報告されているデータを含めて示した図3からはその傾向が読み取れる。この傾向は、H1を小さくしたらH2が大きくなる、あるいはH1を大きくしたらH2が小さくなる、という変化を予測するものでは当然ない。ただし、H1に対する踏切足離地時の姿勢の影響を踏まえると、真野選手のようにH2を大きくするために選択した踏切動作の結果として、H1が相対的に小さくなる可能性はある。

個人内の跳躍を比較すると、H1よりもH2における値の変化が大きかった。真野選手では、2024年の跳躍と比較して、H1の値が2 cm 小さく、H2の値が6 cm 大きく、最大重心高は4 cm 大きかった。また、赤松選手では、2024年の跳躍と比較して、H1の値が2 cm 小さく、H2の値が10 cm 大きく、最大重心高は11 cm 大きかった。これらの事例は、個人内での最大重心高の向上、ひいては記録の向上のためにはH2の向上が必要であることを示しているといえるだろう。

参考文献:

阿江通良(1996)日本人幼少年およびアスリートの身体部分係数. Japanese Journal of Sports Science, 15 (3) : 155-162.

- 阿江道良・永原隆・大島雄治・小山宏之・高本恵美・柴山一仁 (2009) 第11回世界陸上男子走高跳上位入賞者の跳躍動作のバイオメカニクスの分析. 陸上競技研究紀要, 4 : 115-119.
- 阿江道良・武田理・小山宏之 (2008) 醍醐選手 (走高跳) の日本新記録跳躍フォームの分析. 陸上競技研究紀要, 3 : 98-103.
- De Leva, P. (1996) Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics* 29, 1223-1230.
- Hay, J.G. (1985) *The Biomechanics of Sports Techniques* (4th Edition). Benjamin Cummings : San Francisco, : 440-441.
- 磯崎大二郎・小山宏之 (2014) 近年の走り高跳び日本一流選手の踏切動作と高校一流選手の特徴—キネマティクスに着目して—. 陸上競技研究紀要, 9 : 99-103.
- Nicholson, G. and Bennett, T. D. (2018). Biomechanical Report for the IAAF World Championships LONDON 2017 High Jump Men's.
- Nicholson, G., Bennett, T. D., Bissas, A. and Merlino, S. (2019). Biomechanical Report for the IAAF World Indoor Championships 2018: High Jump Men. Birmingham, UK: International Association of Athletics Federations.
- 杉浦澄美, 柴田篤志, 景行崇文, 小山宏之 (2025) 日本一流男子走高跳競技者における踏切動作のキネマティクスの特徴. 陸上競技研究紀要, 20 : 129-136.
- Wells, R. P. and Winter, D. A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics normal, pathological and sporting gaits. In: *Human Locomotion 1* (Proceedings of the first biannual conference of the Canadian Society of Biomechanics). pp. 92-93.