

七種競技選手の走幅跳パフォーマンス分析

松林武生¹⁾ 持田 尚²⁾ 本田 陽³⁾ 松田克彦⁴⁾

1) 国立スポーツ科学センター 2) 横浜市体育協会 3) 中京大学 4) 名古屋学院大学

I. はじめに

本報告は、日本トップレベルの七種競技選手が2011年主要大会で発揮したパフォーマンスを測定し、競技力の現状、課題等について分析したものである。総合得点を見るかぎり、日本選手は世界トップレベルの選手たちと大きく差をあげられている。近年の世界大会（世界選手権や五輪）で優勝するためには6800-7000点、3位では6500点、8位では6300点ほどが必要とされるが、日本選手は参加標準記録（ロンドン五輪B標準は5950点）への到達も果たしていない。世界レベルの舞台で戦うためには、日本記録（5962点、中田有紀選手、2004年）を更新し、世界大会への参加標準記録を突破することが、当面の目標となるだろう。

図1は、世界トップレベル選手の得点構成について分析したものである。ほとんどの選手が100mハードル（以下、100mH）で最も多くの得点を獲得しており、次いで跳躍種目（走高跳と走幅跳）、走種目（200mと800m）の得点比率が高い。投擲種目（砲丸投とやり投）の得点は、ほとんどの選手で低い傾向にある。ただし、総合得点との関係が最も強いのは100mHではなく走幅跳であり、次に走高跳である（表1）。跳躍種目ではわずかな記録差が大きな得点差として転換されてしまうため、点数の差がつきやすいのだと考えられる。100mHでは、多少の記録差では大きな得点差とならないため、総合成績への影響はすこし小さくなる。

2011年日本選手権の優勝、準優勝者である桐山智衣選手、竹原史恵選手の得点構成について、世界レベルの選手と比較すると、走高跳、砲丸投、やり投で大きな得点差が生じているように思われる。中田有紀選手が日本記録を樹立した際には、砲丸投において世界レベル選手との差がやはり認められたが、走高跳とやり投における差は小さい。また、走幅跳では世界でも上位レベルの得点を獲得してお

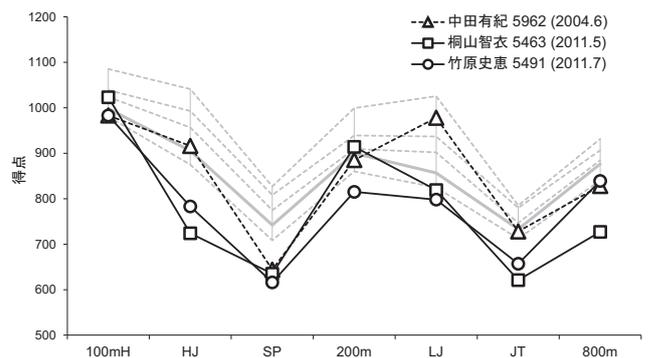


図1 世界トップレベル七種競技選手と日本人選手との得点構成の比較

灰色線、世界トップレベル選手（2000年から2011年までに開催された五輪および世界選手権に出場した選手のうち5700点以上の総合得点をマークした202名）のデータを5700-5900点、5900-6100点、6100-6300点、6300-6500点、6500-6700点、6700点以上の群に分類し平均したもの、実線が国際大会参加標準記録に近い5900-6100点の選手の平均を示す。100mH, 100mハードル; HJ, 走高跳; SP, 砲丸投; LJ, 走幅跳; JT, やり投。

り、砲丸投での得点差を補うかたちとなっている。以上のことから考えると、日本選手が七種競技で世界レベルの成績を収めるためには、得点を大幅に伸ばしやすい跳躍種目で記録を向上させ、投擲種目の得点の低さを補う、という戦略が理に適うのかもしれない。

日本陸上競技連盟・科学委員会混成班では、走幅跳を中心として七種競技選手のパフォーマンス分析を行った。この成果について、桐山選手と竹原選手を中心に報告する。なお、測定を実施したのは以下の3競技会であり、日本陸上競技連盟・混成強化部と各競技会開催県の陸上競技協会の協力のもとに活動を実施した。

1: 日本選抜陸上和歌山大会（和歌山GP、2011

年 4 月 23-24 日)

2 : 日本選手権大会 (日本選手権、2011 年 6 月 4-5 日)

3 : アジア選手権大会 (アジア選手権、2011 年 7 月 8-9 日)

II. 測定方法

助走速度ピーク、踏切後の跳躍速度水平成分 (水平初速度)、踏切の接地時間、滞空時間について測定を行なった。助走速度の測定には、レーザー方式の位置・速度測定装置 (LAVEG、100Hz) を用いた。助走路後方より選手の腰背部に不可視レーザーを照射し、得られた位置データを時間微分することで、助走速度を算出した。このときのデータ平滑化には、遮断周波数 0.5 Hz のバターワースローパスフィルタを適用した (小山ら、2005 ; 松林ら、2010)。水平初速度に関しては、踏切離地から砂場接地まで (滞空期) の水平速度が理想的には一定になるという仮定に基づき、LAVEG データから滞空期の平均速度を算出した。ただしこのときには LAVEG データの平滑化は行わず、時間 - 位置情報を回帰した直線の傾きを平均速度とした。このように処理を行った理由は、滞空期前後の踏切動作、着地動作には急激な速度変化をとともなうため、平滑処理をおこなうとこれらがデータに大きく影響し、本来の速度を反映しない可能性があると考えたためである。踏切離地と砂場接地の時間については、ハイスピードカメラ (EXILIM EX-F1、300fps) を用いて踏切板側方から撮影した映像より判断した。なお、映像と LAVEG データの同期は、選手腰背部が踏切位置を通過する時間を各データ上で読み取り、これを基準として合わせた。

表 1 世界トップレベル七種競技選手の総合得点と各種目での得点との相関分析

	Total	100mH	HJ	SP	200m	LJ	JT	800m
Total	-	0.60**	0.66**	0.45**	0.61**	0.76**	0.29**	0.41**
100mH		-	0.29**	-0.02	0.60**	0.49**	-0.02	0.20
HJ			-	0.16	0.23	0.49**	0.02	0.26*
SP				-	-0.01	0.20	0.23	-0.05
200m					-	0.50**	-0.14	0.36**
LJ						-	-0.02	0.25
JT							-	-0.25
800m								-

2000年から2011年までに開催された五輪および世界選手権に出場した選手のうち、5700点以上の総合得点をマークした202名のデータを基に作成。Total: 総合得点、100mH: 100mハードル、HJ: 走高跳、SP: 砲丸投、LJ: 走幅跳、JT: やり投、

* Bonferroni's corrected $p < 0.01$ 、** Bonferroni's corrected $p < 0.001$ 。

踏切の接地時間、および滞空時間についても、同じ映像を用いて算出した。

III. 結果と考察

表 2-4 に、各大会での総合得点上位 3 名についての測定結果を示した。どの大会においても、総合上位 3 選手が、走幅跳の記録でも上位 3 名となった。図 2 は、助走速度ピークと跳躍距離との関係である。走幅跳の跳躍距離は助走速度と強く関連することが既に報告されている (Hey と Miller、1985; Hey ら、1986)。七種競技選手のデータも、女子走幅跳専門選手のデータの延長上にプロットされた。専門選手と比較して七種競技選手の跳躍記録が劣る理由は、基本的には助走速度の低さにあると考えられる。助走速度が低い理由としては、疾走能力自体が低い可能性と、疾走能力は高いが助走でこれを十分に発揮できていない可能性の 2 つが考えられる。十種競技選手を対象とした過去の報告 (松林ら、2010 ; Matsubayashi ら、2011; 松林ら、2012) においては、十種競技の種目のひとつとなっている 100m の成績から最大疾走能力を推定し (もしくは 100m レースで走速度ピークを測定し)、これと助走速度ピークとを比較することができた。しかしながら、七種競技では疾走能力を推定する方法を今のところ確立できていない。100mH や 200m の成績を用いた疾走能力の推定法を確立させ、走幅跳助走での疾走能力の活用程度について検討することを、今後の課題としたい。

桐山選手と竹原選手は、日本の七種競技選手のなかでは助走速度が高いほうであった。両選手ともに、跳躍記録が良いときには助走速度が高いという傾向もやはり認められた。ただし、回帰分析によれば 9.20m/s の助走速度ピークから 6m30 程度の跳躍記録が期待されるのに対して、両選手は 5m80 から 6m00 の記録にとどまっている。このことから、踏切動作にも課題があることが推察される。

踏切動作の特徴をあらわす指標には、踏切動作での水平速度の低下 (減速) や跳躍角度などが挙げられる (小山ら、2010b)。本報告で測定した指標を用いて、これらに類似した項目について検討したい。踏切時の減速については、助走速度ピークと水平初速度とを比較することで、ある程度検討することができる。助走速度ピークは踏切の 3 歩から 2 歩前に出現することから (小山ら、2010b)、厳密に考えれば、これが踏切動作のみでの減速を表すとは言い難い。ただし、踏切準備局面 (踏切の 3 歩程度

表2 日本選抜陸上和歌山大会におけるパフォーマンス分析結果

選手	試技		1跳目	2跳目	3跳目	ポイント
桐山 智衣	記録	m	5m38 (-0.2)	5m65 (+0.7)	5m57 (+1.8)	5m65 744
	助走速度ピーク	m/s	8.60	8.68	8.68	
	踏切水平初速度	m/s	7.51	7.26	7.49	
	(減速)	m/s	(-1.09)	(-1.42)	(-1.19)	
	接地時間	ms	137	137	133	
	滞空時間	ms	610	643	620	
	竹原 史恵	記録	m	5m46 (0.0)	5m67 (+0.2)	
助走速度ピーク		m/s	8.75	8.79	8.78	
踏切水平初速度		m/s	7.05	6.90	6.66	
(減速)		m/s	(-1.70)	(-1.89)	(-2.12)	
接地時間		ms	127	127	130	
滞空時間		ms	663	687	680	
本多 綾		記録	m	5m66 (+1.3)	5m87 (+0.5)	5m51 (+1.1)
	助走速度ピーク	m/s	8.32	8.33	8.25	
	踏切水平初速度	m/s	6.52	6.77	7.27	
	(減速)	m/s	(-1.80)	(-1.56)	(-0.98)	
	接地時間	ms	137	130	137	
	滞空時間	ms	743	753	647	

表3 日本選手権大会におけるパフォーマンス分析結果

選手	試技		1跳目	2跳目	3跳目	ポイント
桐山 智衣	記録	m	5m88 (+0.2)	5m81 (-0.1)	F	5m88 813
	助走速度ピーク	m/s	8.71	8.81	8.70	
	踏切水平初速度	m/s	7.48	7.42	7.62	
	(減速)	m/s	(-1.23)	(-1.39)	(-1.08)	
	接地時間	ms	127	130	127	
	滞空時間	ms	643	637	653	
	竹原 史恵	記録	m	5m48 (+1.4)	5m61 (-1.0)	
助走速度ピーク		m/s	8.86	8.73	8.71	
踏切水平初速度		m/s	7.29	7.07	7.01	
(減速)		m/s	(-1.57)	(-1.66)	(-1.70)	
接地時間		ms	113	120	127	
滞空時間		ms	640	687	697	
中田 有紀		記録	m	F	5m80 (+1.0)	5m61 (-0.7)
	助走速度ピーク	m/s	8.32	8.33	8.25	
	踏切水平初速度	m/s	6.67	7.14	6.88	
	(減速)	m/s	(-1.65)	(-1.19)	(-1.37)	
	接地時間	ms	120	123	117	
	滞空時間	ms	710	687	703	

表4 アジア選手権大会におけるパフォーマンス分析結果

選手	試技		1跳目	2跳目	3跳目	ポイント
WINATO, Wassana (タイ)	記録	m	5m80 (+1.5)	F	6m08 (+1.8)	6m08 874
	助走速度ピーク	m/s	9.02	9.13	9.14	
	踏切水平初速度	m/s	6.69	6.76	7.07	
	(減速)	m/s	(-2.33)	(-2.37)	(-2.07)	
	接地時間	ms	140	140	140	
	滞空時間	ms	773	783	767	
	竹原 史恵	記録	m	5m80 (0.0)	5m77 (+2.4)	
助走速度ピーク		m/s	9.07	9.32	9.04	
踏切水平初速度		m/s	7.01	8.01	7.1	
(減速)		m/s	(-2.06)	(-1.31)	(-1.94)	
接地時間		ms	130	117	120	
滞空時間		ms	723	650	717	
桐山 智衣		記録	m	6m03 (+2.0)	5m82 (+1.3)	5m99 (+2.4)
	助走速度ピーク	m/s	9.13	9.21	9.2	
	踏切水平初速度	m/s	7.79	7.58	7.69	
	(減速)	m/s	(-1.34)	(-1.63)	(-1.51)	
	接地時間	ms	130	133	133	
	滞空時間	ms	653	657	647	

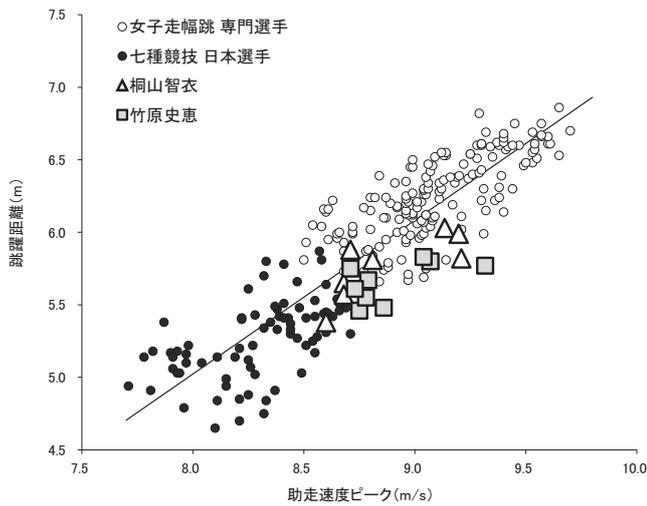


図2 走幅跳での助走速度ピークと跳躍記録との関係

専門選手の情報は、小山ら (2005, 2006, 2007, 2010a) の報告を基に作成。実線は専門選手と七種競技選手のデータをあわせて回帰した直線。

前から踏切直前まで)での減速は踏切動作での減速に比べて小さく(5分の1程度; 小山ら, 2010b)、助走速度ピークと水平初速度との差には踏切動作での減速が主に反映されると考えられる。跳躍角度に関しては、踏切離地時に重心が投げ出される角度と定義できるが、これは水平初速度と鉛直初速度との関係性と捉えることもできる。本報告では鉛直初速度の算出を行っていないが、これに代わる指標として踏切後の滞空時間を測定した。滞空時間には着地姿勢等の影響が含まれてしまうが、鉛直初速度を大まかに推察する、また個人内での鉛直初速度の変動を把握することには、十分に利用可能であると考えている。以上のことから、水平初速度と滞空時間の関係を基に、跳躍角度の大小について検討することができるだろう。

図3に、助走速度ピーク、水平初速度、(助走速度ピークから水平初速度までの)減速、滞空時間の関係を示した。桐山選手の減速は 1.32 ± 0.18 m/s (平均 \pm 標準偏差、以下同じ) と比較的小さく、高い助走速度(水平速度)を保ったまま跳躍をおこなっていた。助走速度が高いと減速も大きくなる傾向にあったが、それでも水平初速度は助走速度とともにわずかに高くなっていた。滞空時間についてはあまり長くなく、助走速度によらずほぼ一定であることが特徴的であった。竹原選手に関しては、助走速度ピークは桐山選手と同程度であるものの、減速が 1.87 ± 0.17 m/s と比較的大きく、水平初速度

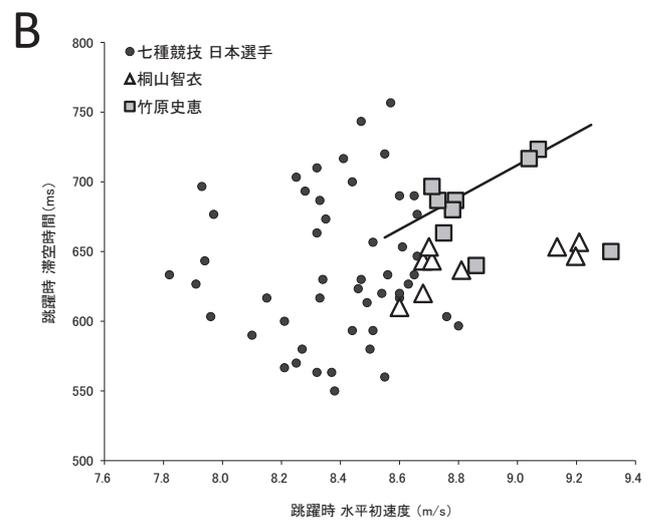
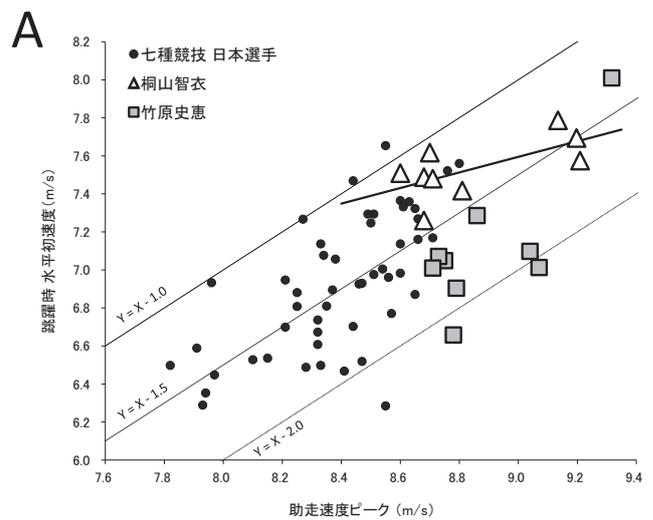


図3 走幅跳での助走速度ピークと水平初速度、滞空時間との関係

Aの補助線(破線)、助走速度ピークと水平初速度との差(減速)が1.0, 1.5, 2.0 m/sとなる箇所; Aの実線、桐山選手のプロットの回帰線; Bの実線、竹原選手のプロットの回帰線(日本選手権1跳目とアジア選手権2跳目を除く)。

が低い跳躍となっていた(日本選手権1跳目とアジア選手権2跳目は、データの傾向が大きく異なるため考察から除外、以下同じ)。助走速度が高いときに減速が大きくなる傾向があり、結果的に水平初速度は助走速度によらずほぼ一定となっていた。滞空時間は比較的長いほうであり、さらには助走速度が高いときほど長くなる傾向がみられた。

図4は、水平初速度と滞空時間との関係である。右下にプロットされるほど跳躍角度が小さいタイプ(桐山選手)、左上ほど跳躍角度が大きいタイプ(竹原選手)の跳躍であったと考えることができる。桐

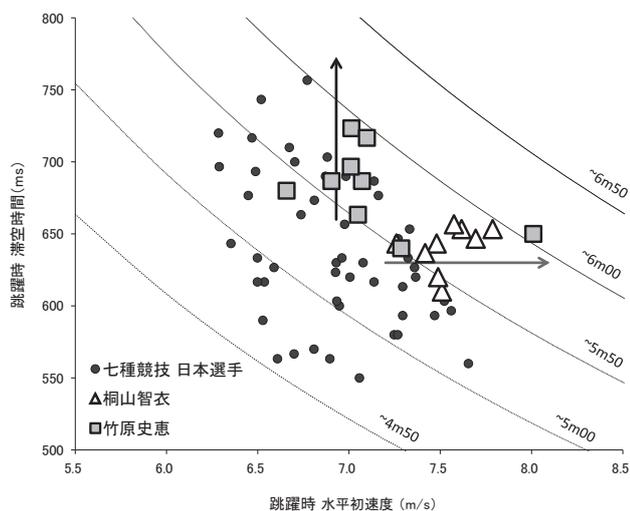


図4 水平初速度と滞空時間との関係
補助線は、跳躍距離の期待値を表している：
期待値＝滞空距離＋離地距離＋着地距離、滞空距離＝水平初速度×滞空時間、離地距離と着地距離は合計して0.85mと仮定。矢印は、桐山選手と竹原選手の跳躍記録が良いときのプロットの移動。

山選手は水平初速度が高かったときほど、竹原選手は滞空時間が長かったときほど、跳躍距離の期待値が大きくなっていった。このことは、助走速度が高まった際に水平初速度と滞空時間のどちらが大きくなるか、両選手で異なる傾向を示していたこととも合致する。今後、跳躍距離を向上させていくために、水平初速度を高めるのがよいか、滞空時間を長くするのがよいかは、難しい問題である。助走速度を高めることがどちらの場合にも有益に働くことは、おそらく間違いないだろう。減速が少なく滞空時間が長いことが理想となるが、これを実現させる方策を議論するには、本報告のデータでは不十分であろう。減速と滞空時間とは正の相関関係にあることを以前報告したが（Matsubayashiら、2011；松林ら、2012；踏切足を中心とした身体の前方向回転動作により水平方向から鉛直方向への運動の転換が行われていることを反映していると考えられる）、桐山選手と竹原選手のプロットはほぼ同じ回帰直線上に位置した（図5）。測定を実施した3大会において走幅跳の記録がよかった他選手（桐山選手や竹原選手と比較して、助走速度ピークは低いが跳躍記録に差はない；跳躍種目を得意としている選手）についてみると、両選手と同程度の減速で滞空時間を長く得ていたことがわかる。どのような理由によりこのような跳躍を行うことができるのか、今後検討していく必要があるだろう。

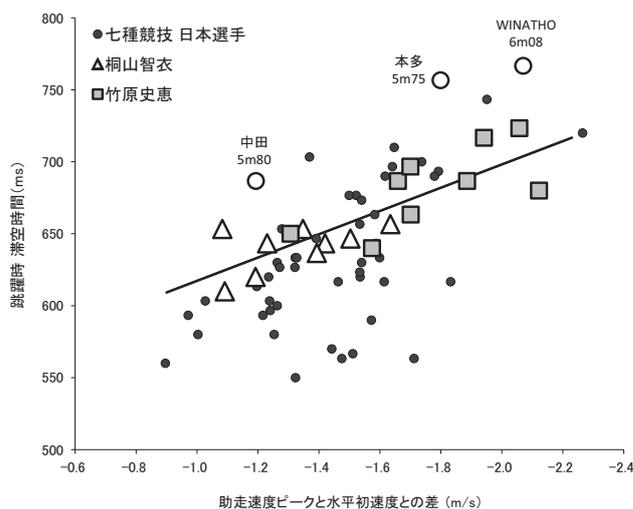


図5 水平速度の低下（助走速度ピークと水平初速度との差）と滞空時間との関係
実線は、桐山選手と竹原選手のプロットをあわせて回帰したもの。

IV. まとめ

2011年の3大会（和歌山GP、日本選手権、アジア選手権）に出場した七種競技選手を対象に、走幅跳のパフォーマンスを測定し、助走速度と踏切動作に関連する指標に焦点をあてて分析した。結果は以下ようになった。

1. 七種競技選手の走幅跳は、専門選手と比較して助走速度が低い傾向にあった。助走速度の向上に課題があると考えられた。
2. 桐山選手と竹原選手に関しては、助走速度は比較的高いほうであった。しかしながら専門選手と比較すると、助走速度から期待されるだけの跳躍距離を得ることはできていなかった。踏切動作にも課題があると考えられた。
3. 桐山選手は、踏切での水平速度の低下が少なく、跳躍角度が小さいタイプであった。一方で竹原選手は、水平速度の低下は大きい滞空時間が長く、跳躍角度が大きいタイプであった。ただし両選手ともに、水平速度の低下に対する滞空時間の獲得が、跳躍種目を得意とする他選手より小さかった。

参考文献

Hay, J.G. and J.A. Miller Jr. (1985) Techniques used in the transition from approach to takeoff in the long jump, International Journal of Sport Biomechanics, 1: 174-184.

- Hay, J.G., J.A. Miller, and R.W. Canterna(1986)
The techniques of elite male long jumpers,
Journal of Biomechanics, 19: 855-866.
- 小山宏之、村木有也、仲谷政剛、阿江通良、伊藤信之、山下訓史 (2005) 競技会における一流男女走幅跳、三段跳、および棒高跳選手の助走速度分析. 陸上競技研究紀要, 1:128-136.
- 小山宏之、村木有也、武田理、阿江通良、伊藤信之 (2006) 競技会における一流男女走幅跳、三段跳、および棒高跳選手の助走速度分析. 日本陸連科学委員会研究報告, 5 : 129-143.
- 小山宏之、村木有也、武田理、大島雄治、阿江通良 (2007) 競技会における一流男女棒高跳、走幅跳、および三段跳選手の助走速度分析. 日本陸連科学委員会研究報告, 6 : 104-122.
- 小山宏之、村木有也、柴山一仁、阿江通良 (2010a) 競技会における一流男女走幅跳および三段跳選手の助走スピード分析. 陸上競技研究紀要, 6:108-117.
- 小山宏之、村木有也、吉原礼、永原隆、柴山一仁、大島雄治、高本恵美、阿江通良 (2010b) 走幅跳のバイオメカニクスの分析. 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術、日本陸上競技連盟編、154-164.
- 松林武生、持田尚、松尾彰文、松田克彦、本田陽、阿江通良 (2010) 十種競技選手の走幅跳、棒高跳での跳躍パフォーマンス分析. 陸上競技研究紀要、3 : 104-112.
- Matsubayashi, T., T. Mochida, Y. Honda, K. Matsuda (2011) Statistical and biomechanical assessments of the performances of decathletes, Asian Conference on Sports Science 2011, Tokyo.
- 松林武生、持田尚、本田陽、松田克彦 (2012) 陸上競技・混成選手のパフォーマンス分析. トレーニング科学、24:27-35.