

博士論文

水平跳躍型 Ballistic Stretch-Shortening Cycle 運動の遂行能力
に関する測定評価法とその評価指数を決定する技術的要因

平成 25 年度

筑波大学大学院 人間総合科学研究科 コーチング学専攻

藤林献明

目次

略語	i
表のタイトル一覧	iii
図のタイトル一覧	iv
博士論文に関する業績一覧	viii
第1章 緒言	1
第2章 文献研究	4
I. 伸張-短縮サイクル運動に関する研究	4
II. 跳躍運動の分類と相違に関する研究	4
III. バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力のための測定評価方法に関する研究	6
IV. 高速条件で行われる水平跳躍種目に関する研究	10
V. 文献研究から得られた知見のまとめ	14
第3章 研究目的および研究課題	15
I. 研究目的	15
II. 研究課題	15
第4章 研究の意義, 仮説および限界	18
I. 研究の意義	18
II. 研究の仮説	18
III. 研究の限界	19
第5章 水平片脚跳躍を用いたバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力と各種跳躍パフォーマンスとの関係 (研究課題 I)	22
I. 目的	22

II. 方法.....	24
III. 結果.....	30
IV. 考察.....	40
V. 要約.....	47
第 6 章 リバウンドロングジャンプテストを用いて評価した加速型跳躍と減速型跳躍の相違点（研究課題Ⅱ - 1）	49
I. 目的.....	49
II. 方法.....	50
III. 結果.....	57
IV. 考察.....	66
V. 要約.....	75
第 7 章 リバウンドロングジャンプテストにおいて踏切接地時の水平速度の増加に対応するための踏切技術（研究課題Ⅱ - 2）	77
I. 目的.....	77
II. 方法.....	77
III. 結果.....	79
IV. 考察.....	91
V. 要約.....	96
第 8 章 リバウンドロングジャンプ指数の優劣を決定する踏切局面の技術的要因（研究課題Ⅱ - 3）	98
I. 目的.....	98
II. 方法.....	98
III. 結果.....	100
IV. 考察.....	110
V. 要約.....	116

第 9 章 討 論	118
I. リバウンドロングジャンプテストおよびリバウンドロングジャンプ指数の考案とその 妥当性	118
II. リバウンドロングジャンプ指数を決定するための踏切動作の技術的要因	122
第 10 章 結 論	130
謝 辞	133
文 献	134

略 語

本研究で用いる略語は以下の通りである。

- **SSC** : Stretch-shortening cycle

伸張—短縮サイクル。

- **BSSC 能力** : Ballistic stretch-shortening cycle ability

バリスティックに遂行される伸張—短縮サイクル運動の遂行能力。

- **RDJ** : Rebound drop jump

リバウンドドロップジャンプ。台上から落下した後、即座にかつ可能な限り高く跳び上がる跳躍。

- **RDJ index** : Rebound drop jump index,

リバウンドドロップジャンプ指数。RDJ を用いたテストの評価指標。RDJ における跳躍高を接地時間で除すことで算出する。

- **RJ** : Rebound jump

リバウンドジャンプ。その場での5～6回の連続両脚鉛直跳躍。各跳躍では、可能な限り短時間で高く跳び上がる。

- **RJ index** : Rebound jump index

リバウンドジャンプ指数。RJ を用いたテストの評価指標。RJ における各跳躍の跳躍高を接地時間で除すことで算出する。通常、5～6回の跳躍中の最大値を代表として用いる。

- **RLJ** : Rebound long jump

リバウンドロングジャンプ。台上を助走した後に前方へと跳び下り、逆脚で接地した後に即座にかつ可能な限り前方へ遠く跳び出す連続跳躍。

- **FJ** : Falling jump

RLJ の1回目の跳躍。台上を助走した後に地上へと跳び下りる。

- **PJ** : Propulsive jump

RLJ テストの主運動となる2回目の跳躍。FJ の着地から即座に前方へと可能な限り遠く跳躍する。

▪ **RLJ index : Rebound long jump index**

リバウンドロングジャンプ指数. RLJ を用いたテストの評価指標. PJ における跳躍距離を接地時間で除すことで算出する.

▪ **5SJ : Five steps of bounding**

両脚を揃えた立位姿勢から前方への跳躍を開始した後, 4 回の水平連続片脚跳躍を行う. 合計 5 回の跳躍の合計距離をテストの評価指標とする.

▪ **高速水平跳躍 : Jump events like Long jump or Triple jump**

陸上競技の走幅跳や三段跳のように, 接地時の水平速度が高い条件において片脚跳躍を用いて可能な限り遠くまで跳躍することを目的とする跳躍.

▪ **IAAF score : Score of International Association of Athletics Federations Scoring Tables of Athletics (2011 年度版)**

国際陸上競技連盟が提示する陸上競技各種目の記録を点数換算できる一覧表を用いて, 自己最高記録を点数化した値.

▪ **モデル : Inverted-pendulum model**

逆振り子型の回転モデル. 身体の挙動を, 身体重心と足部接地点を結んだ直線が, 短縮と伸張をともないながら前方へと回転する単純な挙動とみなす.

▪ **加速型跳躍 : Acceleration jump**

踏切動作中に水平速度の加速が可能な跳躍.

▪ **減速型跳躍 : Deceleration jump**

踏切動作中に水平速度の減速が生じる跳躍.

表のタイトル一覧

Table 1	The characteristics of subjects of research project I	25
Table 2	Touchdown velocity of the center of gravity of Rebound Long Jump test by the three Falling Jump distances.....	31
Table 3	The comparison of ground reaction force during takeoff phase of Rebound Long Jump by the three Falling Jump distances.....	34
Table 4	The characteristics of subjects of research project II	52
Table 5	Means and standard deviations of measured values of RLJ test and velocity of center of gravity of acceleration jump and deceleration jump of Rebound Long Jump Test.....	58
Table 6	The comparison of touchdown or takeoff velocity of horizontal or vertical direction of Rebound Long Jump test by the three speed conditions.	80
Table 7	The comparison of physical characteristics and measured values of Rebound Long Jump test of high speed condition between increase and decrease groups.....	85
Table 8	The comparison of ground reaction force during takeoff phase of Rebound Long Jump test of high speed condition between increase and decrease groups.....	86
Table 9	The comparison of physical characteristic and measured value of Rebound Long Jump test with the use of 3m Falling Jump distance between upper level and lower level groups.....	102
Table 10	Variations in model length and angle of hip, Knee or ankle during former or later phase of takeoff phase in Rebound Long Jump test with the use of 3m Falling Jump distance between upper level and lower level groups.....	109

図のタイトル一覧

Fig. 1	The trial method of Rebound Long Jump.	16
Fig. 2	Jumping distance, contact time and RLJ index in Rebound Long Jump by the three Falling Jump distances.	32
Fig. 3	Ground reaction force of horizontal and vertical direction of Rebound Long Jump by the three Falling Jump distances.....	33
Fig. 4	Joint torque of ankle, knee and hip of supporting leg during takeoff phase of Rebound Long Jump by the three Falling Jump distances.....	36
Fig. 5	Joint torque of ankle, knee and hip of idling leg during takeoff phase of Rebound Long Jump by the three Falling Jump distances.....	37
Fig. 6	Relationships between IAAF Score and RLJ index by the three Falling Jump distances.	38
Fig. 7	Relationships between RLJ index, contact time, jumping distance of Rebound Long Jump and RJ index, contact time, jumping height of Rebound Jump.	39
Fig. 8	Relationships between IAAF Score and RJ index or distance of Five Steps of Bounding.	41
Fig. 9	The definition of Inverted-pendulum model.	51
Fig. 10	The definition of segment angle of the takeoff leg.	54
Fig. 11	The definition of movement of the center of gravity of the swing leg.....	56
Fig. 12	Relationships of each RLJ index between acceleration and deceleration jump of Rebound Long Jump.	59

Fig. 13	The comparison of movement of inverted-pendulum model of length, shortening-extension velocity, angle or angular velocity between acceleration and deceleration jump of Rebound Long Jump.	60
Fig. 14	The comparison of the ratio of former or latter phase during takeoff phase of contact time or model angle between acceleration and deceleration jump of Rebound Long Jump.	61
Fig. 15	The comparison of joint angle and Joint angular velocity of hip, knee or ankle angle between acceleration and deceleration jump of Rebound Long Jump.	63
Fig. 16	The comparison of segment angle and segment angular velocity of thigh, shank or foot segment between acceleration and deceleration jump of Rebound Long Jump.	64
Fig. 17	The comparison of swing length, swing height and velocity of the center of gravity of swing leg on the horizontal or vertical direction between acceleration and deceleration jump of Rebound Long Jump.	65
Fig. 18	The typical examples of stick picture and inverted-pendulum model of Rebound Long Jump test about acceleration or deceleration jump.	67
Fig. 19	The typical examples of stick picture instance of touchdown phase of Rebound Long Jump test with the use of 3m Falling Jump distance of acceleration and deceleration jump.	71
Fig. 20	The comparison of extension model by lower segment between acceleration and deceleration jump.	73
Fig. 21	Relationships between measured jumping distance and estimated jumping distance from the center of gravity.	81

Fig. 22	The changes of Rebound Long Jump index by low, middle and high speed conditions.	82
Fig. 23	The comparison of change of jumping distance and contact time of Rebound Long Jump test set at three conditions between increase and decrease groups.	83
Fig. 24	The comparisons of length, angle, shortening-extension velocity and angular velocity of inverted -pendulum model during takeoff phase of Rebound Long Jump test by the three speed condition.	87
Fig. 25	Joint torque of hip, knee or ankle joints on the former or latter phase during takeoff phase of Rebound Long Jump test of high speed condition.	88
Fig. 26	Joint work about negative or positive component of hip, knee or ankle joints during takeoff phase of Rebound Long Jump test of high speed condition.	89
Fig. 27	Change of velocity of the center of mass by model shortening-extension and rotation during takeoff phase of Rebound Long Jump test on high speed condition.	90
Fig. 28	The definition of relative distance on the means displacement of delta of the center of gravity and point on the ground in the flight phase.	101
Fig. 29	The comparison of length, angle, shortening-extension velocity and angular velocity of inverted-pendulum model during takeoff phase of Rebound Long Jump test with the use of 3m Falling Jump distance between upper level and lower level groups.	103
Fig. 30	The comparison of relative distance of the center of gravity and point on the ground right before takeoff phase of Rebound Long Jump test with the use of 3m Falling Jump distance between upper level group and lower level group.	105

Fig. 31	The comparison of segment angle of thigh, shank or foot segment during takeoff phase of Rebound Long Jump test with the use of 3m Falling Jump distance between upper level and lower level groups.	106
Fig. 32	The comparison of swing length, swing height and velocity of the center of gravity of swing leg on the horizontal or vertical direction during takeoff phase of Rebound Long Jump test with the use of 3m Falling Jump distance between upper level and lower level group.	107
Fig. 33	The comparison of joint angle and angular velocity of thigh, shank or foot segment of Rebound Long Jump test between upper level and lower level groups.	108
Fig. 34	The typical examples of stick picture, inverted-pendulum model, the center of gravity of swing leg of Rebound Long Jump test with the use of 3m Falling Jump distance of upper level and lower level groups.	111
Fig. 35	Relationships between Jumping distance or IAAF Score of Long Jump and RLJ index with the use of 3m.	120
Fig. 36	Structural model of training assessment and jumping technique of ability to perform the ballistic stretch-shortening cycle movement for unilateral horizontal jump event.	128

博士論文に関する業績一覧

本論文は、以下に示した投稿論文、学会発表および未公開資料をまとめたものである。

【原著論文】

- 藤林 献明・苅山 靖・木野村 嘉則・関子 浩二 (2013) 水平片脚跳躍を用いたバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力と各種跳躍パフォーマンスとの関係. 体育学研究, 58 : 61-76.
- 藤林 献明・坂口 将太・木野村 嘉則・関子 浩二 (2014) リバウンドロングジャンプテストにおける加速型跳躍と減速型跳躍の相違点. 体育学研究, under review.
- 藤林 献明・関子 浩二 (2014) リバウンドロングジャンプテストの遂行能力からみた水平片脚跳躍において高い接地速度に対応するための踏切動作. 陸上競技学会誌, 12 : in press.
- 藤林 献明・坂口 将太・苅山 靖・関子 浩二 (2014) リバウンドロングジャンプ指数の優劣を決定する踏切局面の技術的要因. 体育学研究, 59 : in press.

【学会発表】

- 藤林 献明・関子 浩二 : 水平跳躍による Stretch-shortening cycle 運動の遂行能力に関する測定評価法. 第 21 回トレーニング科学学会大会 (大東文化大学東松山キャンパス) : 2008 年 12 月.
- 藤林 献明・木野村 嘉則・関子 浩二 : ボックスジャンプを用いた水平方向への Stretch-shortening cycle 運動の遂行能力の評価. 日本コーチング学会第 22 回大会 (長岡技術科学大学) : 2011 年 3 月.
- 藤林 献明・苅山 靖・木野村 嘉則・関子 浩二 : 身体の屈曲挙動と回転挙動からみた水平加速型跳躍と水平減速型跳躍の特性. 第 25 回日本トレーニング科学学会大会 (立命館大学びわこ・くさつキャンパス) : 2012 年 12 月.
- 藤林 献明・苅山 靖・木野村 嘉則・関子 浩二 : Rebound Long Jump index を高めるために効果的な踏切動作 : 身体の回転挙動に着目して. 第 26 回日本トレーニング科学学会大会 (山形蔵王) : 2013 年 11 月.

第1章 緒言

各種スポーツ動作における疾走動作や踏切動作などは、極めて短時間にバリスティックに遂行される伸張－短縮サイクル運動（Ballistic Stretch-shortening cycle movement, BSSC）である（図子・高松, 1995a）。このことは、各種スポーツにおいて優れたパフォーマンスを発揮するためには、BSSCの遂行能力（以下、BSSC能力）を高い水準に向上させることが必要不可欠となることを示すものである（図子ほか, 1993）。一方、トレーニング効果を最大限に高めるためには、適切なトレーニング処方をもとにしてトレーニングを実践するとともに、実践したトレーニングの成果を適切に評価・診断する必要がある（稲岡ほか, 1993；戸田ほか, 1991；図子, 2004）。実践したトレーニングの成果を直接的に評価・診断する方法として、試合や競技会の成績を用いる方法が挙げられる（図子, 2004）。しかし、身体的要素や運動の技術的要素に加えて、気候、気象条件、体調、心理面など様々な要素が複雑に影響を与える試合や大会時の成績では、競技成績の良否に影響を与えた要因を明確に特定することが困難となる。そこで、トレーニング成果の評価・診断のために最も一般的かつ容易な手段として、コントロールテストと呼ばれるフィールドテストを用いた測定評価法が実施されている（森, 2011；植田・広川, 2001；植田, 2007；図子, 2002；図子, 2004）。このテストは、主要なトレーニング手段として用いられる運動動作の中から、実際の競技パフォーマンスと関連性が高いものをテスト種目として抽出し、そのテスト種目の成績をトレーニング課題に対する達成度として数値化することで、トレーニング成果の評価・診断がなされる（稲岡ほか, 1993；森, 2011）。これらのことは、適切な種目選択や配置が行われたコントロールテストが、トレーニング成果が競技パフォーマンスに及ぼした影響や、目標とする競技パフォーマンスを達成するためのトレーニング課題を、より明確に把握するための手段となり得ることを示唆している。

コントロールテストにおいて適切な種目選択や配置を行うためには、目的とするスポーツ運動の構造モデルや実施されるテスト種目の運動特性などに配慮する必要がある（岩

竹・図子, 2011 ; Young,2006 ; Zatsiorsky and Kramer,2006 ; 図子, 2002 ; 図子, 2004). BSSC 能力に関するコントロールテスト種目として, 一般的にはリバウンドドロップジャンプテスト (Rebound drop jump test ; 以下, RDJ test) やリバウンドジャンプテスト (Rebound jump test ; 以下, RJ test) が用いられている (遠藤ほか, 2007 ; 木越ほか, 2004 ; 木越ほか, 2005 ; 図子ほか, 1993). これらのテストでは, その場で垂直方向に, できるだけ短い接地時間で高く跳ぶことを目的としたジャンプを実施して, その際の接地時間と滞空時間を用いて算出した指数 (Rebound drop jump index もしくは Rebound Jump index ; 以下 RJ index) によって BSSC 能力の評価・診断がなされる. この RJ index については, 各種スポーツのパフォーマンスとの関係について検討がなされており, BSSC 能力が要求されるスポーツ種目の選手は高い RJ index を示すこと, 競技水準が高いほど RJ index も高いことなどから, プライオメトリックトレーニングの効果に関する評価・診断やタレントの発掘の手段として用いられている (遠藤ほか, 2007 ; 木越ほか, 2005 ; 大宮ほか, 2009 ; 図子ほか, 1993).

ここで, 実際の競技動作に目を移すと, 走幅跳や三段跳で用いられる踏切運動などは, 助走によって獲得した高い水平速度を利用して, 片脚踏切によってできるだけ遠くまで跳ぶことを目的とする. しかし, 上記した RJ test では, その場で鉛直方向への高さを目指した両脚跳躍運動によって BSSC 能力の評価・診断がなされる. 跳躍運動では, 跳躍方向が異なると下肢関節の力発揮形態や貢献率が異なることが報告されている (荊山, 2012 ; 木越ほか, 2004 ; 志賀・尾縣, 2004). また, リバウンドジャンプの運動特性であるその場での両足跳躍は, 主に下肢関節の屈曲伸展動作によってなされる. これに対して, 片脚跳躍では下肢関節の屈曲一伸展運動に加えて, 踏切時の地面反力によって生じる身体の前方向への起こし回転運動や自由脚の振込運動が, 非常に大きな役割を演じていることが示されている (荊山, 2013 ; 村木, 1996 ; Zushi et al., 2005). これらのことは, リバウンドジャンプと RJ index を用いた測定評価法は, 基本的な BSSC 能力を評価・診断するために有効な手段であるが, 走幅跳や三段跳などの水平片脚跳躍に内在する BSSC 能力を, 専門的な観点から評価・診断できない可能性のあることを示唆するものである.

水平片脚跳躍の能力に関するコントロール種目として、一般的には立三段跳や立五段跳などの跳躍運動を用いたテストが実施されてきた（木越ほか，2001；村木，1996；植田・広川，2001；植田，2007）。これらのテストでは、静止立位の状態から両脚で跳び出し、その後交互に片脚跳躍を連続して行い、獲得した跳躍距離の優劣をもとにした評価・診断が行われる。しかし、このテストは踏切動作によって獲得された仕事量の大きさを意味する跳躍距離の評価・診断のみに留まったものであることから、BSSC能力を評価・診断する際の原則となる運動遂行時間の要素を加味した測定評価法とはなっていない。これらのことから、BSSC能力に関して、陸上競技の走幅跳や三段跳のように片脚跳躍によって前方へ遠くまで跳ぶことを目的とした運動（以下、高速水平跳躍）の専門性を配慮した測定評価を行うためには、運動特性を類似させた手段を用いるとともに、仕事量の大きさと運動遂行時間の2要因を含めた指数による測定評価方法を考案することが必要であると思われる。

そこで本研究の目的は、高速水平跳躍に要求されるBSSC能力に関して、水平方向への大きな跳躍距離を短時間で獲得する能力に着目した測定評価方法を考案するとともに、評価に関する指標に影響を与える要因について、踏切動作の技術的側面から明らかにすることとした。この目的を達成するために、第1の課題として、考案した測定評価方法の妥当性に関して、評価指標の値と実際の競技成績や既存の各種ジャンプテストの成績との関係性から検証することを設定した。また、新たな測定評価方法を確立するためには、考案されたテストの運動特性とそのパフォーマンスを決定する要因についても明確に把握しておく必要がある（Young，2006；Zatsiorsky and Kramer，2006；岩竹・凶子，2011；凶子，2008）。そこで、第2の課題として、考案した測定評価法の成績を決定要因に関して、技術的側面から検討を行うことを設定した。

これらの課題を達成することは、バリスティックに遂行される水平跳躍種目に関するトレーニング手段や、その導入方法に関するトレーニング理論の構築に役立つ知見を提供するものであると考えられる。

第2章 文献研究

I. 伸張－短縮サイクル運動に関する研究

重力環境下における歩、走、跳、投などの運動動作の大部分は、エキセントリックな筋収縮がコンセントリックな筋収縮に先んじて生じる伸張－短縮サイクル運動 (stretch-shortening cycle movement, SSC) によって遂行されている (Komi and Buskirk, 1972 ; Komi and Bosco, 1978). また、この SSC は反動動作としての役割を有しており (金原ほか, 1964), 予備緊張による筋収縮力の活性化 (Kawakami et al., 2002 ; 高松ほか, 1991 ; van Ingen Schenau, 1984), 伸張反射による筋の張力増大 (西平ほか, 2005), シナプス受容体の作用による筋の増強効果 (Bosco et al., 1981 ; 深代, 2000 ; 真島, 1987), 筋－腱複合体に貯蔵された弾性エネルギーの再利用などの作用によって (Fukunaga et al., 2002 ; 伊藤, 1987 ; Kawakami et al., 2002), 通常のコネセントリックな筋収縮時よりも大きな収縮力の発揮を可能にすることが明らかにされている (Asmussen and Bonde, 1974 ; Enoka, 1996 ; Komi and Bosco, 1978). これらの先行研究の結果を受けて、日常生活から高度に遂行されるスポーツ競技まで、より良い身体運動を行うためには SSC の遂行能力を向上させることが重要であるとの提唱がなされている (荻山, 2012 ; 三井・凶子, 2006 ; 凶子・高松, 1995a). また、SSC が筋収縮力を高める作用は、短時間で運動動作が遂行される種目の動作において顕著な傾向が認められることが報告されている (Bosco and Komi, 1979 ; 飯田・中澤, 2010 ; 島, 2012). したがって、高速水平跳躍において高いパフォーマンスを発揮するための要因として、SSC の遂行能力を高めることは非常に重要な要因となると考えられる.

II. 跳躍運動の分類と相違に関する研究

1. 跳躍方向による分類と相違

跳躍方向を列挙すると、鉛直方向、水平前方向、水平後方向、水平左右方向への跳躍動作が考えられる。ここでは、本研究の目的に合わせて、水平前方向（以下、水平方向）と

既存のジャンプテストにおいて広く用いられている鉛直方向の跳躍動作の相違に関する報告に焦点を当てる。水平方向と鉛直方向の跳躍動作では、筋が短縮される時間や幅に違いがあること (Meylan et al., 2010), 股関節や膝関節の屈曲角度が異なること (Nagano and Fukashiro, 2007 ; Fukashiro et al., 2005), 発揮される地面反力の大きさや筋の活動パターン, 下肢関節の貢献率が異なることなどが報告されている (木越ほか, 2004 ; Stefanyshyn and Nigg, 1998 ; Stephanie and Graham, 2003 ; 鳥海ほか, 2002 ; 鳥海ほか, 2004 ; 斉藤ほか, 1993 ; Smith et al., 2010)。以上の報告は、跳躍方向が異なると運動動作に関与する筋群やその活動パターンが大きく異なることを示しており、SSC の遂行能力をより専門的に測定評価するためには、用いる動作の運動方向を目的とする運動種目のものと一致させることが不可欠な要因となり得ることを示唆するものである。

2. 運動遂行時間に関する相違

運動遂行時間が跳躍動作に与える影響は、0.5~0.9 秒程度の比較的長い運動時間を用いて跳躍が遂行される垂直跳と、0.2 秒未満で行われるリバウンドドロップジャンプ (Rebound drop jump ; 以下, RDJ) もしくはリバウンドジャンプ (Rebound jump ; 以下, RJ) を比較した検討が多数存在する。これらは同様の方向への跳躍であるにも関わらず、跳躍動作に関与する下肢関節角度の変位パターンが異なることや (森長ほか, 2007), 下肢関節の貢献率が異なることが報告されている (Bobbert et al., 1987 ; Fukashiro and Komi, 1987 ; 関子・高松, 1995b)。RJ や RDJ のような 0.2 秒未満の短時間で行われる動作はバリスティック運動と呼ばれ、運動時間が比較的長い運動とは神経制御機構や力発揮に関する調整機序が大きく異なる (Brooks and Thach, 1981 ; 米田, 1989)。すなわち、SSC の遂行能力をより専門的に測定評価するためには、目的とする運動種目による運動遂行時間に配慮することが不可欠な要因となり得る。一方、水平方向の跳躍運動に対して、運動時間の相違が与える影響について検討した報告は見当たらない。このことは、SSC の遂行能力の専門的な測定評価

方法を考案するための前提条件として、運動形態が類似した水平跳躍を用いて、運動遂行時間の相違が跳躍に与える影響を検討することの必要性を示唆するものである。

3. 片脚跳躍と両脚跳躍による相違

ここでは、本研究の目的に合わせて、バリストティックに遂行される跳躍動作にのみ焦点を当てる。RJにおける両脚跳躍と片脚跳躍の相違を検証した報告では、片脚当たりに加わる力学的パワー、発揮される地面反力や関節トルク、関節トルクパワーが、片脚跳躍では両脚跳躍よりも増大することが報告されている（荻山ほか, 2012 ; Stephens et al., 2007 ; McNeely and Sandler, 2009 ; 渡邊ほか, 2009）。また、片脚跳躍の踏切中には姿勢保持や大きな筋出力を発揮するための作用として、踏切脚の股関節外転筋群が動員されること（荻山ほか, 2013）、踏切脚の作用に加えて自由振込脚の振上作用や振込脚側の体幹の側屈曲、同側の骨盤の挙上動作などが加わることなどが報告されている（荻山ほか, 2013 ; 村木, 1996 ; Zushi et al., 2005）。これらのことから、踏切動作が両脚か片脚かについての相違は、運動動作に関与する筋群やその活動パターン、身体各部位の振る舞いを大きく変化させることが示唆されている。したがって、SSCの遂行能力をより専門的に測定評価するためには、目的とする運動種目と運動形態（片脚踏切もしくは両足踏切）を一致させることが不可欠な要因となり得る。

以上のことから、走幅跳や三段跳などの水平片脚跳躍に内在する遂行能力を専門的な観点から測定評価するためには、目的とする運動の特性を明確に理解した上で、運動形態を一致させた条件、すなわち極めて短時間に（0.2秒未満）バリストティックに遂行される片脚踏切での水平跳躍運動を用いることが不可欠となることが示唆できる。

III. バリストティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力のための測定評価方法に関する研究

1. リバウンドジャンプテスト

BSSC能力を測定評価するために有効な方法として、RJ test が用いられている。RJ test 出

現までは、跳躍能力の測定評価方法はその場での両脚跳躍における最大跳躍高を指標とする垂直跳、あるいは同様の方法を用いて水平方向への最大跳躍距離を指標とする立幅跳など、0.5~0.9秒程度の比較的長い運動時間をかけて獲得した運動量を成績として評価・診断する方法が用いられてきた（高松ほか，1989；図子，1995）。しかし，前述の運動遂行時間に関する先行研究で示されているように，このような運動動作では陸上競技の走幅跳や三段跳のような極めて短時間にバリスティックに遂行される運動動作に要求される能力を必ずしも適切に評価・診断することができない。そこで，プライオメトリクスとして用いられている典型的なバリスティックな伸張-短縮サイクル運動であるドロップジャンプテストを行わせ，その際の接地時間と跳躍高の2変数を用いてBSSC能力を評価・診断するRDJ testが考案された（図子ほか，1993）。RDJ testは，台から跳び下りた後に両足で即座に可能な限り高く跳び上がる跳躍運動である。また，跳躍高を接地時間で除すことによって，踏切中に発揮された平均力および平均パワーを反映するリバウンドドロップジャンプ指数（Rebound drop jump index；以下，RDJ index）を算出して，その値を成績として評価・診断がなされる。RDJ testに関する報告は，測定条件としての至適台高および跳躍方法としての膝曲動作の検討へと進展した。しかし，台高および膝曲動作は，目的とする運動動作に応じて要求される要因が異なることから，目的とする運動種目に合わせて選択する必要があると結論付けられている（図子，1995）。本研究の対象となる陸上競技の走幅跳や三段跳のような極めて短時間でバリスティックに行われる運動を考慮した際には，浅い膝曲げ動作による踏切動作が不可欠な要因となること，台高は0.3mを用いることが専門性および安全性の面から有効であることが示されており（図子ほか，1993），同条件を用いたRDJ testに関する研究が推進されてきた。その後RDJ testは，選択する台高の課題を解決することに加えて，台の準備の必要を無くし，より簡便に遂行できる手段として，その場での5~6回の連続跳躍を用いたRJ test，並びにRJ indexを用いた手法へと進歩した（岩竹ほか，2002b；遠藤ほか，2007；図子，2002）。

RDJ testを考案した研究ではさらに，優れたRDJ indexを獲得するための要因に関する検

討が行われた。同様に、RJ test 並びに RJ index に関する検討も追隨して行われた。それらの報告では、RDJ index もしくは RJ index を高めるための要因は、股関節の屈曲範囲を最小限に抑えるとともに、足関節の貢献を大きくすること(図子・高松, 1995b; 図子ほか, 1998)。踏切前半局面の股関節伸展トルクパワーが踏切後半局面での足関節伸展速度へと変換されること(木越ほか, 2004)、接地前に接地を予測して予め膝関節を屈曲させて、接地時に最も大きな力発揮が可能な関節角度で接地することなどが明らかにされてきた(図子・高松; 1996)。

RDJ test 並びに RJ test の有用性に関する報告では、疾走能力や陸上競技の跳躍種目における競技パフォーマンスと正の相関関係が報告されている(Mero et al., 1981; Bosco et al., 1983; 岩竹ほか, 2002b; 岩竹ほか, 2008; 大宮ほか, 2009; 図子, 2006)。一方、前述の先行研究によって示された運動形態の相違などの影響を受けて、この2つの関係性がないとする報告や(串間ほか, 2000)、鉛直方向への跳躍種目との間のみに関係性が認められたとする報告も存在する(岩竹ほか, 2002a)。

以上のことから、極めて短時間でバリスティックに遂行される運動動作に要求される BSSC 能力を評価・診断するためには、跳躍によって獲得した運動量だけではなく、短時間で運動を遂行する要因を加えた指標を用いた測定評価法が有効となることが明らかになった。一方では、跳躍動作の分類に関する先行研究と同様に、走幅跳や三段跳などの水平片脚跳躍に内在する BSSC 能力を専門的な観点から測定評価するためには、目的とする運動動作と運動形態を一致させることが有効な手段となる可能性が示唆された。

これらのことから、水平跳躍のための BSSC 能力を専門的に評価・診断するためには、片脚踏切による水平跳躍運動を測定種目として、大きな運動量を獲得する要因と短時間で運動を遂行する要因の2指標を用いた手法を、水平方向の跳躍運動へと当てはめることが有効である可能性が示唆された。さらに、新たなテスト方法を考案した際には、テストの成績と実際の競技パフォーマンスとの関係性や力発揮特性の類似性を明らかにした上で、その決定要因を明らかにすることが重要となることが示唆された。

2. バウンディングテスト

水平方向への跳躍動作を用いた跳躍能力の測定評価法として、バウンディングテストと称される片脚での連続水平跳躍を用いた種々の手法が用いられている。そして、バウンディングテストの成績と水平方向への移動を伴うスプリント能力、あるいは陸上競技跳躍種目の記録や記録向上率との間に関係があることが報告されている（稲岡ほか, 1993；岩竹ほか, 2008；有川・太田, 2005；青木ほか, 2007；植田, 2007；Holm et al., 2008；凶子 2006）。また、運動方向の類似性から、水平方向への移動を伴う運動種目との関係性は、鉛直跳躍を用いた各種ジャンプテストよりも高いことが報告されている（稲岡ほか, 1993；串間ほか, 2000；Peter and John, 2005；凶子, 2004；凶子, 1997）。しかし、これらの報告とは対照的に、バウンディングテストとスプリント能力との間に関係性がないとする報告（Misjuk and Viru, 2007；Kale et al., 2009）なども存在する。この要因の1つとして、バウンディングテストでは水平方向への大きな運動を遂行する能力の評価が行われているが、運動遂行時間に関する評価を行っていないことが挙げられる。スプリント動作や陸上競技跳躍種目の踏切動作は、0.2秒未満に行われるバリスティック運動である。一方、バウンディングテストでは実施者の個人特性に応じて、長い運動時間をかけて大きな運動量を獲得する方法と短時間で大きな運動量を獲得する方法が選択できる可能性がある。すなわち、バウンディングテストを用いて、走幅跳や三段跳などのBSSC能力が要求される水平片脚跳躍に内在する遂行能力を専門的な観点から測定評価するためには、バウンディングテストと同様の運動形態を用いた上で、運動遂行時間の観点を加えた測定評価方法を用いることが有効な手段となり得ることが考えられる。また、バウンディングテストでは、立五段跳や助走の後に連続跳躍を行う助走付五段跳、30～50mの距離を連続して跳躍する方法など、複数跳躍における合計値を成績として測定評価がなされることがある。これらのテストの問題点について立五段跳を例に挙げて記述すると、1回目の跳躍は静止姿勢からの加速が要求される跳躍であり、2回目以降の跳躍は1回目の跳躍によって獲得した速度を利用しながら跳躍動作が行われる。また、立五段跳の跳躍動作は1～3回目と、4～5回目の跳躍動作や接地時

間、地面反力の発揮パターンが大きく異なり（石塚・関岡，1980），3回目の跳躍が跳躍距離への貢献度が高いことから（小林ほか，1999），同跳躍において動作を大きく変更させることが重要となる．すなわち，立五段跳などのバウンディングテストにおいて測定評価されている能力は，加速能力や速度を受け止めて跳躍する能力，これらの2種類の動作を交換する能力など，相互に影響しあう複数の要素が混在したものである．そのために，トレーニング成果を明確に評価・診断するためには，跳躍開始時の条件を統一することが不可欠となることが示唆できた．

以上のことから，走幅跳や三段跳のような水平跳躍種目に対するBSSC能力を専門的な観点から評価・診断するためには，水平片脚跳躍運動を対象として，大きな運動量を獲得する要因と短時間で運動を遂行する要因を，同時に測定評価することが不可欠となる．しかし，このような方法は現在用いられていないことから，新たな測定評価法を考案することは上記した種目のトレーニング成果の評価・診断やトレーニング理論の構築および実践のために重要な課題となり得る．

IV. 高速条件で行われる水平跳躍種目に関する研究

ここまで示した文献研究から，バリスティックに遂行される片足水平跳躍を測定評価するための要件が明らかになった．次に，最終目的となる実際の跳躍種目のパフォーマンスとして高速条件で行われる水平跳躍の典型例である走幅跳，あるいは目的とする運動形態が類似する水平連続跳躍テスト（バウンディングおよび三段跳のステップ，ジャンプ）の決定要因に関する研究について検討した．

1. 走幅跳のパフォーマンスを決定する要因に関する研究

走幅跳の運動動作は，助走局面，踏切準備局面，踏切局面，空中局面，着地局面の連続した5つの局面に大分することができる（関岡，1990；志賀・尾縣，2004）．そして，競技におけるパフォーマンスは助走速度によって決定される割合が高い（Hay and Miler，1985；

Hay, 1986 ; 志賀ほか, 2002 ; Lisa and Nicholas, 2006 ; 太田ほか, 2010 ; 小山ほか, 2011 ; 村木, 1996). 一方, 同程度の助走速度であっても, 場合によっては跳躍記録に 1m 程度の差が認められることが報告されている (深代, 1990). 跳躍距離は, 離地時の水平速度と鉛直速度の合成速度によって決定されることから, 踏切動作では, 助走で獲得した水平速度を鉛直速度へと変換することが要求される. 水平速度の増加は助走速度の増加によって容易に得られることに対して, 踏切によって鉛直速度を獲得することが困難な要因となることを考慮すると (深代, 1990), 跳躍距離の獲得には効果的に鉛直速度を獲得するための踏切動作が重要であることが理解できる (木野村ほか, 2012). また, 踏切中の鉛直速度は水平速度の減速と高い負の相関関係があることや (Bosco et al., 1986), 水平速度の減速が生じる踏切前半局面において踏切局面全体の 60~66% が獲得されることから (Bosco et al., 1986 ; 志賀・尾懸, 2004 ; 斉藤・阿江, 1991), 走幅跳では水平速度の減速を効果的に利用する必要のあることが示されている (Graham and Lees, 2005 ; Lee et al., 1994 ; 太田ほか, 2010 ; 木野村ほか, 2012). これらのことから, 高速条件で行われる水平跳躍種目においては, “必要悪” として生じる水平速度の減少を最小限に抑えたとともに, 最大限の鉛直速度を獲得するための踏切動作が要求されることが示唆できる.

上述の踏切動作を可能にする身体の動作は, 踏切脚の伸展作用, 自由振込脚 (以下, 振込脚) および腕の振込作用, 身体が接地点を支点として前方へと回転する起こし回転作用の3つに大別されている (村木, 1996). 踏切脚の作用に関する報告では, 接地時の身体重心高を低く保ちながらも膝関節は伸展状態を維持すること (Graham and Lees, 2005), 踏切中の膝関節屈曲を抑えること (Graham and Lees, 2005 ; 深代ほか, 1994 ; 志賀・尾懸 ; 2004), 接地後の下腿の後方回転と大腿部の後方スイングが水平速度の減速を抑えたとともに大きな鉛直速度を獲得することに貢献し, 踏切接地後に膝関節の屈曲と屈曲から伸展への素早い移行が可能とすることなどが報告されている (青山ほか, 2009).

一方, 振込脚および腕の振込動作に関する報告は少ない. その要因としては, 振込脚や振込腕の振込動作は, 選手の個人特性や跳躍タイプに応じて多種多様に存在することから (村木, 1982 ; 渡邊ほか, 2009), 統一した見解が得られないことが挙げられる. 振込脚に

関するいくつかの報告では、振込速度と跳躍記録に有意な正の相関関係が認められること（志賀ほか，2002），世界一流選手と日本一流選手の比較や成功試技と失敗試技の比較を行った報告では（阿江ほか，2002；青山ほか，2009），世界一流選手もしくは成功試技の振上動作が日本一流選手もしくは失敗試技のものよりも早いタイミングで生じており，減速を開始するタイミングも早いことが示されている．腕の振込動作に関する報告では，身体重心位置を移動させる直接的な作用，踏切前半局面では接地時の運動エネルギーを受け止める緩衝作用，踏切後半局面では身体の伸展作用を助長する間接的な作用を担うことが示されているもの（青山，1994；Depena and Chung，1998；三浦ほか，1996），跳躍記録を獲得するための要因に関する報告は見当たらない．このことは，腕の振込動作は跳躍動作を決定する重要な要因ではあるが，パフォーマンスを決定する種々の身体動作の中ではパフォーマンス獲得への貢献度が小さく，主に身体各部位の動作に対する協調作用に影響を与えるものであることが考えられる（阿江，1991）．以上のことから，本研究において新たな測定評価法を考案し，パフォーマンスを向上させるための踏切技術を検討するためには，踏切脚と振込脚の作用に着目することが有効であることが考えられる．

次に，身体の起こし回転に関する報告では，踏切前半局面に生じた鉛直速度の獲得が身体の起こし回転によって獲得されていたこと（阿江ほか，1989；Bosco et al.，1986；Lee et al.，1994；志賀・尾懸，2004），水平ブレーキ成分の地面反力および踏切脚の膝関節伸展トルクが起こし回転を助長することなどが示されている（Muraki et al.，2008；永松・図子，1999；志賀・尾懸，2004）．また，踏切前に身体を後傾させる速度と跳躍記録に有意な正の相関関係が認められたこと（志賀ほか；2002），走幅跳における成功試技と失敗試技を比較した結果，成功試技における上体の角度が失敗試技よりも後傾していたことなどが示されており（青山ほか，2009；森長ほか，2003；飯干ほか，2005），身体を後傾させた状態で起こし回転を誘発する動作が，走幅跳において不可欠な要因であることが考えられる．しかし，大きな起こし回転角度は，大きな水平速度の減少を発生させることから（Sayfarth et al.，1999），起こし回転は適切な範囲内において遂行される必要がある．起こし回転角度や回転範囲に関する報告は，身体よりも前方の接地を行うことで比較的大きな起こし回転角度や回転範

圏を獲得することができるようになり、このことが跳躍距離の獲得のために有効であるとする報告や (Coe, 1997 ; Lisa and Nicholas, 2006 ; Mackenzie, 2008), 可能な限り身体の近くに接地することで, 起こし回転角度や回転範囲を最小限にすることが跳躍距離の獲得のために有効であるとする報告などが存在し (木野村ほか, 2012 ; Muraki et al., 2008), 統一した見解は得られていない。これらのことから, 本研究において新たな測定評価法を考案した際には, 起こし回転角度や回転範囲に関する検討を行う必要性が示唆できた。

2. 連続水平跳躍 (バウンディング) のパフォーマンスを決定する要因に関する研究

連続水平跳躍に関する跳躍動作と走幅跳の踏切動作は, 水平方向への BSSC 運動であるという共通点があるが, 接地条件が助走後の接地あるいは空中からの落下運動後の接地であるかによっていくつかの相違点も存在する (村木, 1982)。しかしながら, バウンディングや三段跳におけるステップやジャンプ動作に関する報告は, 跳躍動作の特徴を検討した報告や (石塚・関岡, 1980 ; 小林ほか, 1999 ; 森長, 2010), 最適な跳躍比率に関する報告 (Fukashiro et al., 1983 ; 植田ほか, 1989 ; 植田, 1992), 計算式を用いた推定などに留まった内容に限られており (Fukashiro et al., 1983), パフォーマンスを向上させるために直接役立つ報告は少ない。

台から跳び下りた後に, 即座に前方へ設置した台へ跳び上がるボックスロングジャンプを用いた踏切動作に関する研究では, 身体を身体重心と足部接地点を結ぶ線分で構成した逆振り子型の回転モデルを用いた検討がなされている。それらの報告では, 身体の回転挙動が水平速度獲得のために重要な役割を担うこと (Zushi et al., 2005), 最も高いパフォーマンスを発揮した1名の対象者は, 踏切前半局面の回転範囲を最小限にして, 後半の回転範囲を大きく獲得していたことなどが報告されている (永松・凶子, 1999)。三段跳を対象にした報告では, 世界一流競技者と日本一流競技者を比較した結果, 世界一流競技者は接地前において踏切脚では股関節伸展トルク, 振込脚では股関節屈曲トルクが大きく, しかも速いタイミングで出現していたこと, または接地中の踏切脚の膝関節屈曲変位が小さい傾向が示されている (村木ほか, 2002 ; 築野ほか, 2011)。一方, 世界一流女子選手と同程

度の記録水準を有した日本ジュニア男子選手との比較を行った研究では、世界一流女子選手の振込脚における大腿部の回転による加速が速いタイミングで生じており、加えて膝関節の屈曲が小さいことが報告されている（築野ほか，2012）。以上の報告においては、連続水平跳躍に要求される効果的な踏切動作が提示されているが、1名の競技者同士の比較や標準動作を用いての比較、あるいは同程度の記録水準による選手の比較を用いたものであることから、一般的な見解を導くためには不十分である可能性が考えられる。バウンディングや三段跳などの連続跳躍に関する報告が少ない要因の一つとして、連続跳躍であるために測定範囲が広く測定自体が困難であることも予測される。そこで、試合時や大会時における踏切動作と類似した専門性を有する測定評価法や測定のための条件を考案することは、BSSC能力の専門的な測定評価を可能とするのみならず、これまで困難であった水平連続跳躍を対象とした各種検討を行うためには必要なことであると考えられる。

V. 文献研究から得られた知見のまとめ

以上の文献研究によって得られた知見から、片脚水平跳躍種目に内在する BSSC 能力を専門的に測定評価することに関して、以下の課題が認められた。

- 1) 片脚水平跳躍に内在する BSSC 能力を専門的に測定評価するためには、運動方向、運動時間、運動形態、力発揮特性に配慮した上で、獲得した運動量を意味する跳躍距離と運動遂行時間を意味する接地時間の 2 つの指標を用いた方法が有効となる。しかし、現在までにこれらの要因を満たした BSSC 能力の測定評価法は存在しないことから、新たな測定評価法を考案するとともに、評価のための指標の妥当性に関して、実際の競技におけるパフォーマンスとの関係性や、スポーツ運動における動作とトレーニング手段としての運動動作との間の類似性を明らかにする必要がある。
- 2) 片脚水平跳躍種目では、身体の回転挙動、踏切脚の挙動、振込脚の振込動作が踏切動作の良否を決定する重要な技術的要因となる。そのために、これらの要因に着目して、踏切動作に要求される技術的要因を明らかにするとともに、実際の競技におけるパフォーマンスとの関係性を示す必要がある。

第3章 研究目的および研究課題

I. 研究目的

本研究の目的は、高速水平跳躍に要求される BSSC 能力を評価・診断するために、獲得する仕事量の大きさと運動遂行時間の2要因を測定評価できる指数とともに、典型的な高速水平跳躍による BSSC 運動テストを考案し、その有効性について明らかにした。また、この指数を決定する跳躍技術に関する諸要因についても明らかにした。

II. 研究課題

上記の研究目的を達成するために、以下の2つの研究課題を設定した。

【研究課題 I】

研究目的に示した要件を持たした、水平跳躍のための BSSC 能力の測定評価法として、リバウンドロングジャンプテスト (Rebound Long Jump test ; 以下, RLJ test ; Fig. 1) を考案した。テスト運動は、0.1m の高さの台上を走って助走した後、片脚踏切で地上へ向けて跳び下るとともに、跳び下りた脚とは逆脚で踏切を遂行し、可能な限り短時間で前方への大きな跳躍距離を獲得させるように指示するものであった。評価のための指標としては、跳躍距離を接地時間で除すことで算出し、踏切中に発揮した平均パワーを意味するリバウンドロングジャンプ指数 (Rebound Long Jump index ; 以下, RLJ index) を用いた。さらに、RLJ test の運動動作および RLJ index と、既存の各種跳躍テストおよび実際の跳躍種目のパフォーマンスとの間の関係について検討し、テストの有効性と妥当性について検証した (第5章)。

【研究課題 II】

本研究において考案した RLJ index を決定する踏切技術を明らかにし、RLJ index を高めるためのトレーニング法に役立つ知見を得ることを目的とした。研究課題IIでは、次に示した3つの小課題を設定した。

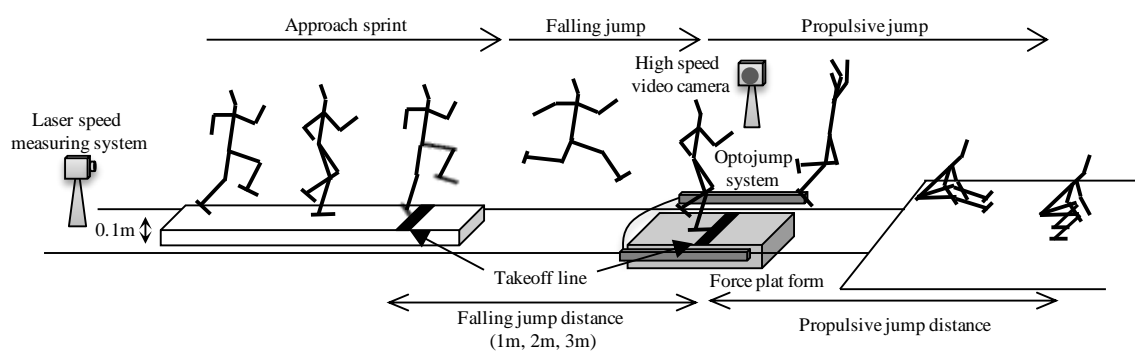


Fig. 1 The trial method of Rebound Long Jump.

1) 踏切動作に要求される運動特性

陸上競技の走幅跳や三段跳の踏切動作は、バリストティック（0.2秒未満）に遂行されるとともに、踏切中に必然的に水平速度の減速が生じる特徴を有している。したがって、**研究課題 I**の結果から、上記を満たす条件に設定した RLJ test の有効性を明らかにすることができると考えられる。また、対照的に踏切時間が長く（0.3秒程度）、踏切中に水平速度の加速が可能となる跳躍の技術的要因との比較を通して、減速型の跳躍に要求される技術的要因を明らかにした（**第6章**）。

2) 接地時の水平速度に対応するための踏切技術

助走によって高められた水平速度に対応して踏切動作を遂行することが、陸上競技の走幅跳や三段跳において高いパフォーマンスを発揮するための条件となることが考えられる。そこで、RLJ test における接地速度の変化と RLJ index の変化の関係から、接地時の高い水平速度に対応することができ、優れた RLJ index を獲得するための踏切技術を明らかにした（**第7章**）。

3) RLJ index の優劣からみた踏切技術

RLJ test において高い RLJ index を獲得するために有効となる踏切技術を、RLJ index の優劣から明らかにした（**第8章**）。

第4章 研究の意義，仮説および限界

I. 研究の意義

本研究では、水平片脚跳躍に内在する BSSC 能力を専門的に評価・診断するために、水平方向への大きな運動量を獲得する能力と運動時間を短縮する能力の2要因から跳躍能力を測定評価するテストである RLJ test と、その評価指標である RLJ index を考案した。そして、各種の跳躍パフォーマンスに関する成績と RLJ index，それぞれの踏切動作および力発揮特性との関係性を検討することで、RLJ test 並びに RLJ index の妥当性について明らかにした。RLJ test の妥当性を検証し、測定評価法として確立できれば、競技パフォーマンスに直結する専門的なトレーニング効果の評価・診断が、日常的に、容易に、かつ安全に実施可能となることが考えられる。さらに、RLJ test による踏切動作の特性や RLJ index を決定する踏切技術を明らかにすることで、RLJ index を高めるトレーニングを効果的に行うことができるようになるものと考えられる。

これらの知見は、高速水平跳躍に関するトレーニング理論の構築およびトレーニング経過の評価・診断、トレーニング課題の設定やタレント発掘のために有益な知見を提供する。

II. 研究の仮説

本研究の課題を究明するために、以下の研究仮説を設定した。

- 1) RLJ test は FJ 距離を変化させることで、主運動となる PJ の接地速度を変化させることが可能となる。したがって、FJ 距離の増加は接地速度を増加させ、接地時間を短縮させる。水平方向への片足連続跳躍を用いることで、踏切動作の運動特性に関する専門性は、比較的接地速度が低い状態においても、陸上競技の走幅跳や三段跳の踏切動作と類似し、その類似性は FJ 距離が増大するとともに増加する。
- 2) 本研究で考案した RLJ test と従来型の SSC 能力の測定評価法である RJ test は、運動方向や運動形態（片脚跳躍もしくは両脚跳躍）が異なることから、各テストの評価指標で

ある RLJ index と RJ index には有意な相関関係が認められない。また、RLJ test と水平跳躍の跳躍距離のみを指標とする立五段跳は、運動方向や運動形態が一致していることから、RLJ index と立五段跳の跳躍距離には有意な相関関係が認められるが、陸上競技跳躍種目のパフォーマンスとの相関関係は運動時間の要因を加味した RLJ index が、立五段跳の跳躍距よりも高い値を示す。したがって、高速水平跳躍に要求される BSSC 能力の測定評価法としての専門性は、RJ test, 立五段跳, RLJ test の順に高くなる。

- 3) 高速水平跳躍に要求される BSSC 能力の 1 つとして、踏切時の接地速度の増加に対応して効果的な踏切動作を遂行することが挙げられる。接地速度の増加は、踏切動作を遂行する接地時間を短縮させることから、短時間で大きな運動量を獲得する能力が必要不可欠となる。獲得した運動量としての跳躍距離と短時間での運動遂行能力としての接地時間の 2 要因を考慮して BSSC 能力を測定評価する RLJ index は、上述の観点から BSSC 能力を評価・診断することが可能となる。このような条件下で優れた RLJ index を獲得可能な対象者は、身体の屈曲挙動が小さく、伸展挙動や足部接地点を支点とした身体の回転挙動を高速で遂行している。踏切中の下肢に関する力発揮特性は、股関節伸展筋群に大きな貢献が認められる。具体的な踏切動作は、接地前の空中局面において、足部接地点に対して身体重心が乗り込むような挙動が認められる。接地中には、下肢関節角度が維持された状態で下肢セグメントが高速で回転するとともに、振込脚が高速で振込まれる挙動が認められる。

III. 研究の限界

1. 対象者による限界

- 1) 本研究では、大学の陸上競技部に所属して、跳躍種目を専門とする男子競技者を対象としたために、本研究で得られた知見を、他の年齢層（ジュニア選手、高齢者）や女子選手、他の競技種目を専門とする競技者、さらに本研究の対象者とは異なる競技水準の対象者にそのままあてはめることには限界がある。

- 2) 本研究の参加者は日常的に、RLJ test と類似した運動を用いたトレーニングを行っていたために着地技術に精通していた。そのために、本研究では着地技術による成績の誤差は認められなかったが、着地技術に劣る対象者にそのまま当てはめることには限界がある。

2. 方法による限界

- 1) 本研究では、台から跳び下りる跳躍を用いており、落下運動からの連続跳躍であった。そのために、本研究で得られた知見を他の運動課題による跳躍運動にそのまま適応するには限界がある。
- 2) 本研究では、競技パフォーマンスの専門性を反映したより実践的な BSSC 能力を測定評価するために、踏切動作に関する指示は行わなかった。その結果、踏切動作の大きな違いとして腕の振込動作に、両腕を同時に後方から前方へ移動させるダブルアームアクションと、助走動作の延長として前後の腕を入れ替えるシングルアームアクションを行う参加者が存在した。しかし、文献研究の結果から、腕が踏切動作に与える影響は身体各部位の運動に対する協調作用が大きいことが示されたことから、腕の振込スタイルによる踏切動作の相違が、テストの成績に与える影響は少ないと考えられる。しかし、このことに関する事実や程度を見積もることはできない。
- 3) PJ の接地速度は、台上での助走歩数および FJ 距離を用いて設定した。助走の後の跳躍であることから、FJ 距離を精密に設定することが困難であり、対象者ならびに試技間において 0.2~0.3m 程度の誤差が認められた。しかし、予備実験を通して試技の成功率と正確性を高めるための条件を調査した結果、FJ と PJ の踏切地点に 0.2m の踏切ラインを設置するとともに、2回の跳躍において確実に2本のライン踏むように指示することで、FJ 距離の誤差が踏切動作の特性に影響を与えない範囲に留める方法を設定することが可能であった。

3. 作業の仮定

本研究で用いた RLJ test の設定条件, 並びに踏切動作のバイオメカニクスの分析の際に, 以下の設定を設けた.

- 1) RLJ test で用いる台の高さは予備実験の結果を考慮して 0.1m で固定することにした.
予備実験では, 実践現場において RLJ test に類似した, 台を用いた水平方向へのジャンプトレーニングを行う際には, 台の高さを 0.1m 単位で調整が行われることが多いことなどから, 0.1m を最小値として 0.1m 刻みで台の高さを増加させた. その結果, 0.3m の台を用いた際には高度の専門的体力や技術が要求され, 専門的なトレーニングを高い水準で行っていない対象者が遂行した際には, 試技の成立が困難となるとともに, 怪我などの危険性が急激に高まることが認められた. 一方, 0.3m 以下の台高では測定結果に有意差が認められないことが明らかになったことから, テスト実施や普及の際の安全性を考慮して判断した.
- 2) PJ の接地速度は FJ 距離に加えて, 助走歩数を固定することで, 助走で用いる運動リズムを統一することにより, 一定に調節可能である.
- 3) RLJ test の跳躍動作の特徴は, 矢状面の 2 次元動作分析によって把握することができる.
- 4) 身体各セグメントは剛体であり, 各関節は摩擦が無いピンジョイントとみなすことができる. また, 身体各部位の質量や慣性特性は阿江 (1996) の推定式を用いて算出できる.
- 5) 対象者に作用する外力は重力と地面反力のみであり, 空気抵抗は無視できる.

第5章 水平片脚跳躍を用いたバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力と各種跳躍パフォーマンスとの関係（研究課題 I）

I. 目的

本研究の最初の課題は、高速水平跳躍に要求される専門的な BSSC 能力を測定評価するために考案した、RLJ test の妥当性を検証することであった。BSSC 能力の測定評価法には、一般的には RDJ test や RJ test (以下, RJ test) と、RDJ index もしくは RJ index (以下, RJ index) が用いられている (遠藤ほか, 2007 ; 木越ほか, 2004 ; 木越ほか, 2005 ; 図子ほか, 1993 ; 図子・高松, 1993)。これらのテストでは、その場で垂直方向に、できるだけ短い接地時間で高く跳ぶことを指示したジャンプを実施し、その際の接地時間と滞空時間をもとにして、踏切中の平均パワーを意味する RJ index を算出し、その値を成績として評価・診断がなされる。この RJ index については、踏切中の力学的パワーを簡易的に算出する Simplified power (Fukashiro, 1992) とも高い相関関係が認められており (Tauchi et al., 2008)、高度な機器を用いることなくトレーニング現場において、即座にフィードバックが可能となる指数である。また、各種スポーツのパフォーマンスとの関係についての検討もなされており、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力が要求されるスポーツ種目の選手は高い RJ index を示すこと、競技水準が高いほど RJ index も高いことなどが認められており、トレーニングの効果に関する評価・診断やタレントの発掘に RJ index を用いることの有効性が明らかにされている (遠藤ほか, 2007 ; 木越ほか, 2005 ; 大宮ほか, 2009 ; 図子ほか, 1993)。実践現場におけるこのテストの利用について概観すると、リバウンドジャンプテストは日本陸上競技連盟の跳躍部門における選手強化のための体力・運動能力テストの中に導入されているとともに、多くの球技スポーツ種目においても利用されるようになりつつあるのが現状である。

このリバウンドジャンプは、その場で垂直方向への高さを目指した両脚跳躍運動であり、股関節や膝関節に対して足関節の仕事の貢献度が高いエクササイズであることが示されている（木越ほか，2004；図子・高松，1995b），これに対して，陸上競技における跳躍運動は，助走によって獲得した速度を利用して，片脚踏切によってできるだけ遠くもしくは高くまで跳ぶことを目指す片脚跳躍運動であることから，下肢関節の屈曲－伸展運動に加えて，踏切時の地面反力によって生じる身体の前方向への起こし回転運動や，自由振込脚（以下，振込脚）の振込運動が，非常に大きな役割を演じていることが示されている（村木，1996）．さらに，下肢各関節の貢献度からみても，膝関節や股関節の仕事の貢献度が高い運動であることが示されており（志賀・尾縣，2004），足関節の仕事の貢献度が高いリバウンドジャンプとは異なる運動特性を持っていることが推察できる．これらのことから，リバウンドジャンプと RJ index を用いた測定評価法は，基本的な BSSC 能力を評価・診断するためには有効であるものの，助走を用いた片脚跳躍に内在する遂行能力を，専門的な観点から評価できない可能性が考えられる．

身体の前方向への起こし回転運動や，振込脚の振込運動を考慮した片脚跳躍の遂行能力を測定評価するためには，一般的には立三段跳や立五段跳などの跳躍運動を用いたテストが実施されてきた（木越ほか，2001；村木，1996；植田・広川，2001；植田，2007）．これらのテストでは，静止立位の状態から両脚で跳び出し，その後交互に片脚跳躍を連続して行い，その跳躍距離の優劣をもとにした評価・診断が行われる．しかし，この測定評価法は，実施した仕事量の大きさを意味する跳躍距離の評価・診断のみに留まったものであることから，BSSC 能力を評価・診断する際の原則となる運動遂行時間の要素を加味した測定評価法ではないことが考えられる．また，実際の競技動作に対して，安全かつ簡便に遂行可能に設定したテストでは，実際の競技よりも速度が低い状態で行われるために，長い時間をかけて高いパフォーマンスを獲得することが可能となる．そのために，テストの成績に運動時間の要素を加味することは，高い速度で短時間に運動が遂行される競技においては，専門性を維持するために非常に重要な要素となり得る．したがって，陸上競技の跳躍種目

における踏切動作に類似した運動，すなわち助走からの片脚跳躍を用いて前方へ跳躍する運動形態を有したバリスティックな伸張－短縮サイクル運動をテスト運動として用いた上で，仕事量の大きさと運動遂行時間の 2 要因を含めた指数による評価・診断法を考案することが必要である。

そこで本章では，考案した RLJ index と，一般的な BSSC 能力の指標であるリバウンドジャンプテストによる RJ index，これまで一般的に跳躍能力の指標として利用されてきた立五段跳テストによる跳躍距離，そして最終目的である実際の跳躍種目のパフォーマンスとの相互関係について検討することを目的とした。RLJ test では時間当たりに獲得した運動量は水平方向への跳躍距離を用いて評価したことから，実際の競技時の動作の比較対象として先行研究から各種測定地を抜き出す種目には，走幅跳と三段跳を用いることにした。

II. 方法

1. 対象者

対象者は体育大学の陸上競技部に所属しており，跳躍種目を専攻とする選手男子 10 名であった (Table 1)。対象者は少なくとも専門種目の経験を 5 年以上有しており，1 週間に 12 時間程度の専門的トレーニングを行っていた。対象者のうち 1 名は全日本選手権で上位の成績を有しており，2 名は全日本学生選手権入賞，4 名は全日本学生選手権出場レベルの成績を有していた。残りの 3 名は地域大会出場レベルの成績であった。本研究は鹿屋体育大学研究倫理指針（人に関する研究）に基づいて行われた。対象者には事前に本研究の目的や危険性を十分に説明し，危険を感じた場合や身体に違和感を覚えた場合には，いつでも測定を中止できることを説明するとともに，実験参加に対する同意を書面で得た上で実施した。

Table 1 The characteristics of subjects of research project I

Subject	Age (yrs)	Height (m)	Weight (kg)	Specialized	Personal record (m)
A	23	1.78	74.1	Triple jump	16.13
B	21	1.78	72.4	Longjump	7.42
C	21	1.77	67.7	Longjump	7.01
D	22	1.72	67.7	Pole Vault	4.90
E	21	1.70	62.3	High jump	2.05
F	19	1.81	68.8	High jump	2.01
G	21	1.81	68.2	Triple jump	14.32
H	19	1.77	73.6	Longjump	6.13
I	23	1.72	71.4	Longjump	6.63
J	20	1.79	70.7	Longjump	5.82
Mean	21.0	1.77	69.7	—	7.24
S.D.	1.4	0.04	3.5	—	4.63

2. 実験試技

テスト試技に用いた RLJ test は、跳躍選手が現場でトレーニング手段として利用しているボックスジャンプエクササイズを応用して作成したものであった (Fig. 1)。この RLJ は身体の水平速度とともに、落下に関する鉛直速度が踏切時には下肢の負荷となるような運動である。予備実験の結果、台の高さは 0.3 m の時点、FJ 距離は 3 m の時点で跳躍の遂行が困難になる参加者が存在した。また、台の高さは 0.3 m より低い高さでは台の高さがテストの成績に大きな影響を与えないことが明らかになった。台の高さには、実際のトレーニング現場で用いられている台の高さの中で最も低いものは 0.1 m であることが多いために、安全性を配慮して 0.1 m に設定することが適切であると判断した。また、PJ における接地瞬間の水平速度を一定にするために、FJ 距離は 1m, 2 m, 3 m の 3 種類に設定し、台上の助走距離と歩数を固定した。1 m では助走を用いないその場からの FJ, 2 m では 3 歩の助走歩数による FJ, 3 m では 5 歩の助走歩数による FJ に設定した。FJ 距離の増加は PJ の速度や負荷、難易度を高めるため、安全性や専門性を考慮し、測定はより容易に実行できる 1 m から開始し、2 m, 3 m の順で行った。なお、FJ および PJ の踏切位置には 0.2 m のラインを引き目印にさせた。いずれもラインを超えた場合、あるいはラインから大きく後方で踏切った場合には無効試技とした。PJ を行う脚は走幅跳の踏切脚とし、FJ はその逆の脚で行わせた。実施の際には、FJ では試技条件をしっかりと実施すること、PJ では可能な限り短い時間で弾むように踏切って、できるだけ遠くへ跳躍すること、着地は両足をそろえた状態で行うことを指示した。対象者には事前に数日間に渡って試技を正確に行えるように練習を行わせ、動作が正確に安定してできるようになったことを確認した上で試技を実施するようになった。

パフォーマンスとしての跳躍距離は、PJ の接地足のつま先から、砂場に着地した際に着いた最も近い部分の痕跡までの距離を計測した。跳躍距離には着地技術が大きく影響を及ぼし、跳躍距離の約 5% を占めることが認められている (深代, 1990 ; Hay et al., 1986 ; 尾縣・中野, 1992 ; 尾縣ほか, 1993)。しかし、本研究の対象者が日常的に立五段跳や走幅跳

などのトレーニングを実践していることや、事前に行った数日間の練習では、着地技術についても配慮し、個人差がなくなるように練習をさせた。したがって、着地技術の良否が対象者の跳躍距離に及ぼす影響は小さかったと仮定した。なお、一般的なコントロールテストにおけるジャンプテストや、実際の走幅跳や三段跳についても全て着地動作を含めた評価であることも（木越ほか，2001；村木，1996；植田・広川，2001；植田，2007）考慮して判断した。

一般的にジャンプテストとして用いられている RJ test と立五段跳についても、RLJ と同時に計測した。RJ は 6 回のその場による連続両脚跳躍であり、全ての跳躍を出来るだけ短い時間で高く跳ぶように行わせた。最大のパフォーマンスを測定するために、腕の振り込み動作などの他の動作には制限を設けなかった。立五段跳は静止立位の状態から両脚で跳び出し、その後 4 回の交互片脚跳躍を連続で行い、最大の跳躍距離を獲得するように行わせた。全ての測定については、十分なウォーミングアップを行わせた後に実施し、成功試技を 2 回計測した上でその中の最高記録を代表値として採用した。なお、対象者には事前に数日間に渡って試技を正確に行えるように練習を行わせ、動作が正確に安定してできるようになったことを確認した上で試技を実施するようにした。

3. 測定項目および算出項目

RLJ における測定項目としては、主運動である PJ の跳躍動作を高速度ビデオカメラ (NAC 社製, HSV-500C³VCR, 300fps) を用いて撮影するとともに、接地速度、跳躍距離、接地時間、地面反力を測定した。接地速度はレーザー式速度測定装置 (JENOPTIK 社製, LDM301S, 1000Hz) を用いて、試技中の水平速度を測定した。跳躍距離はスチールメジャー (NISHI 社製) を用いて測定した。PJ における接地時間の測定には、Optojump System (Microgate 社製, 1000Hz) を用いた。PJ における踏切中の地面反力 (垂直方向と水平前後方向の成分) は、PJ の踏切地点に埋設した Force Platform (Kistler 社製, 15907, 1000Hz) によって計測した。

測定した跳躍距離 (Jumping Distance) と踏切による接地時間 (Contact Time) を用いて、以下の式によって Rebound Long Jump index (以下, RLJ index) を算出した。

$$\text{RLJ index (m/s)} = \text{Jumping Distance (m)} / \text{Contact Time (s)}$$

撮影されたビデオ画像はパーソナルコンピューター (DELL 社製, DM061) に取り込み、ビデオ動作解析システム (DKH 社製, Frame-DIAS II for windows ver.3) を用いて、画像上の身体部分点 23 点 (左右の手先, 手首, 肘, 肩峰, つま先, 母指球, 踵, 外果, 腓骨頭, 大転子, 耳珠点と頭頂, 胸骨上縁) および 4 点の較正マークを、毎秒 150 フレームで踏切接地 10 コマ前から踏切離地後 10 コマにわたってデジタイズした。得られた身体部分点の二次元座標は、較正マークをもとに実長換算した後、最適遮断周波数を Wells and Winter (1980) の方法にもとづいて決定し、Butterworth Low-Pass Digital Filter を用いて 3.0–10.5 Hz の範囲で平滑化した。

Force Platform から獲得した地面反力データは、1000Hz のサンプリング周波数で A/D 変換した後、パーソナルコンピューター (DELL 社製, DXP061) に取り込んだ。また、水平方向の地面反力の値が負の値を示した局面を踏切前半局面、正の値を示した局面を踏切後半局面として定義した。踏切中における身体重心の水平速度を評価するために、前半局面の力積と後半局面の力積を算出し、踏切局面全体の総力積を算出することによって、踏切中に身体重心が加速したのか、あるいは減速したのかについて評価した。水平方向および垂直方向の地面反力ともに、踏切接地直後の立ち上がりの最大値を第 1 ピーク値、第 1 ピークから一度低下した後、再度立ち上がった際の最大値を第 2 ピーク値とした。踏切前半局面における水平方向のピーク値は、負の方向に最も大きかった値とした。

PJ の踏切における下肢の関節トルクを算出するために、下肢を股関節、膝関節および足関節で分割した 2 次元リンクセグメントモデルを構築した。さらに、Free Body Diagram に基づき、各部位の近位端に作用するトルクを運動方程式で求め、それを関節トルクとした。

伸展（足関節は底屈）を正，屈曲（足関節は背屈）を負として正負の変換を行った．なお，各セグメントの重心や慣性モーメントの算出には，阿江（1996）の日本人アスリートにおける身体部分慣性係数を用いた．

地面反力および全ての関節トルクは，体重あたりの相対値として算出した．また，踏切による接地時間の異なる試技を比較するために，PJの接地時間を100%として規格化して比較することとした．

RJにおける測定項目としては，マットスイッチ（DKH社製，マルチジャンプテスター）を用いて，滞空時間（Air Time）と踏切による接地時間（Contact Time）を測定した．これらの時間を用いて，以下の式によってRJ indexを算出した（遠藤ほか，2007；木越ほか，2004；木越ほか，2005；関子ほか，1993）．なお，6回の跳躍の中でRJ indexが最も高い値を代表値とした．

$$\text{RJ index (m/s)} = 1/8 \cdot g \cdot \text{Air Time (s)}^2 / \text{Contact Time (s)}$$

gは重力加速度 9.81 m/s²

立五段跳における測定項目としては，スチールメジャーを用いて，両脚によるスタート時の接地足つま先から，砂場に着地した際に着いた最も近い部分の痕跡までの最短距離を測定した．

本研究の実験参加者の競技パフォーマンスの評価は，専門種目の記録を得点に換算できるIAAF Scoring Tables of Athletics 2011（International Association of Athletics Federations, 2011）を用いて点数化したもの（以下，IAAF Score）として実施した．

4. 統計処理

設定した測定条件による差を検定するために，一元配置分散分析を行った．その結果，F値が有意であると認められた項目については，TurkeyのHSD検定によって多重比較を行っ

た。また、相関関係の検定には Pearson の積率相関係数を用いた。なお、すべての検定には、統計ソフト SPSS ver15.0 J for windows (SPSS 社製) を使用し、有意水準は 5%未満とした。

III. 結 果

RLJ における 1 m, 2 m, 3 m の試技に関する接地速度については、1 m では 3.37 ± 0.61 m/s, 2 m では 6.56 ± 0.43 m/s, 3 m では 7.36 ± 0.31 m/s と有意に高くなることが認められた。また、対象者と同レベルの選手が行った三段跳中の接地速度は、 9.64 ± 0.21 m/s であることが報告されている (筑野ほか, 2011)。この値を基準にして、上述の接地速度を相対的にみると、1 m では 34.91 ± 6.29 %, 2 m では 68.23 ± 4.23 %, 3 m では 76.37 ± 3.22 %となった (Table 2)。

Fig. 2 は 1 m, 2 m, 3 m の試技に関する跳躍距離、接地時間、RLJ index の平均値を示したものである。3つの項目のいずれにおいても、1m と 2 m, 1m と 3 m の間には有意な差があったが、2 m と 3 m の間には有意な差は認められなかった。なお、接地時間の平均値は、1m では 0.30 ± 0.05 s であったのに対して、2 m では 0.19 ± 0.02 s, 3 m では 0.18 ± 0.02 s となり、2 m 以降では 0.2 秒より短く非常に短時間の接地になることが認められた。

Fig. 3 は 1 m, 2 m, 3 m の試技に関する地面反力の波形を示したものである。垂直方向の地面反力については、1m の試技では第 1 ピーク値よりも第 2 ピーク値の方が大きいですが、2 m では同程度の大きさになり、3 m では第 1 ピーク値が第 2 ピーク値よりもはるかに大きい波形パターンに変化することが認められた。一方、水平方向の地面反力については、1m では全局面が正の値となる傾向が認められたが、2 m と 3 m になると前半局面は負の値を示し、その後、後半局面では正の値となる波形パターンを示すことが認められた。

Table 3 は 1 m, 2 m, 3 m の試技に関する地面反力の各項目による値に注目した、一元配置分散分析の結果を示したものである。垂直方向の第 1 ピーク値に関しては、1m, 2 m, 3 m の順に有意に高くなることが認められた。第 2 ピーク値と前半局面の力積および後半局面

Table 2 Touchdown velocity of the center of gravity of Rebound Long Jump test by the three Falling Jump distances.

Falling jump distance	1m	2m	3m	Difference
Touchdown velocity (m/s)	3.37 ± 0.61	6.56 ± 0.43	7.36 ± 0.31	1m<2m<3m
%touchdown velocity (%)	34.91 ± 6.29	68.20 ± 4.23	76.37 ± 3.22	1m<2m<3m

Values show mean ± SD.

%Touchdown velocity mean relative values of the touchdown velocity of Triple Jump during a competition.

Differences show results of ANOVA.

< ; p<0.05

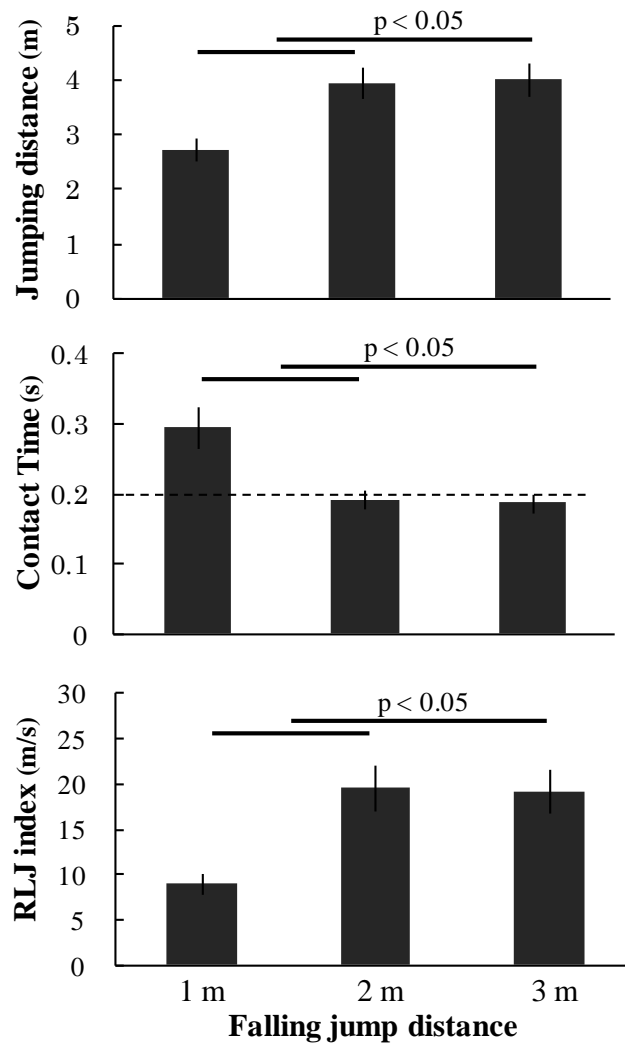


Fig. 2 Jumping distance, contact time and RLJ index in Rebound Long Jump by the three Falling Jump distances.

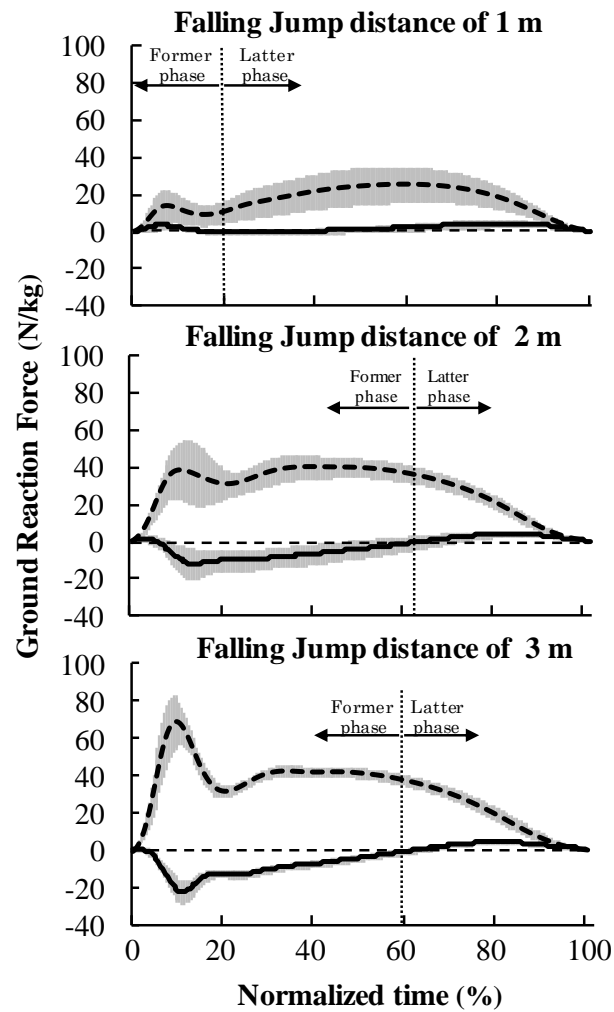


Fig. 3 Ground reaction force of horizontal and vertical direction of Rebound Long Jump by the three Falling Jump distances.

Table 3 The comparison of ground reaction force during takeoff phase of Rebound Long Jump by the three Falling Jump distances.

Falling jump distance	1m	2m	3m	Difference
Vertical direction (N/kg)				
1st Peak value	13.98 ± 8.58	38.3 ± 16.25	68.16 ± 10.13	1m<2m<3m
2nd Peak value	25.53 ± 9	40.08 ± 6.34	41.87 ± 5.65	1m<2m=3m
Impulse of former phase	1.56 ± 72	4.11 ± 0.51	4.16 ± 0.53	1m<2m=3m
Impulse of latter phase	3.73 ± 1.17	0.9 ± 0.38	1.5 ± 0.37	1m<2m=3m
Horizontal direction (N/kg)				
1st Peak value	-0.69 ± 1.61	-11.87 ± 8.37	-22.37 ± 6.63	1m>2m>3m
2nd Peak value	4.45 ± 2.03	4.21 ± 1.29	4.26 ± 1.2	n.s
Impulse of former phase	0.06 ± 1.07	-0.81 ± 0.22	-0.7 ± 0.19	1m>2m=3m
Impulse of latter phase	0.46 ± 1.46	0.15 ± 0.02	0.26 ± 0.06	1m<2m=3m
Total impulse	0.52 ± 0.16	-0.66 ± 0.25	-0.44 ± 0.25	1m>2m=3m

Difference show results of ANOVA.

<, > : $p < 0.05$, = : $p \geq 0.05$

の力積値に関しては、1 m と 2 m, 1 m と 3 m の間では有意に高くなったが、2 m と 3 m の間には有意な差は認められなかった。一方、水平方向の第 1 ピーク値に関しては、1 m, 2 m, 3 m の順に有意に負の方向に大きくなることが認められた。これに対して、第 2 ピーク値では差は認められなかった。前半局面の力積値に関しては、1 m と 2 m, 1 m と 3 m の間では有意に負の方向に大きくなることが認められたが、2 m と 3 m の間には有意な差は認められなかった。後半局面の力積値に関しては 1 m, 2 m, 3 m の順に有意に低くなることが認められた。総力積の値に関しては、1 m では正の値を示し（踏切中に身体重心は水平前方向に加速している）、2 m と 3 m では負の値を示すとともに（踏切中に身体重心は水平後方向に減速している）、1 m と 2 m, 1 m と 3 m の間では有意に小さくなることが認められた。

Fig. 4 は 1 m, 2 m, 3 m の試技に関する関節トルクの発揮パターンを示したものである。全ての項目において、関節トルクのパターンは類似する傾向を示した。しかし、その大きさについて見てみると、膝関節では伸展トルクが 1 m から 2 m へと増大し、3 m では同様の値を示した。それぞれのピーク値は、1 m では 1.98 ± 0.81 Nm/kg, 2 m では 4.02 ± 0.87 Nm/kg, 3 m では 4.09 ± 0.96 Nm/kg であった。股関節でも同様に、伸展トルクが 1 m から 2 m, 3 m へと漸増的に増加する傾向を示した。それぞれのピーク値は、1 m では 7.33 ± 4.65 Nm/kg, 2 m では 9.13 ± 7.80 Nm/kg, 3 m では 10.38 ± 8.36 Nm/kg であった。

Fig. 5 は 1 m, 2 m, 3 m の試技に関する振込脚の股、膝、足関節が発揮した関節トルクのパターンを示したものである。振込脚の関節トルクのパターンや大きさは、FJ 距離に関わらず類似した傾向を示した。

Fig. 6 は 1 m, 2 m, 3 m の試技に関する RLJ index と競技パフォーマンスの指標である IAAF Score の間の相関関係を示したものである。1 m と 2 m の距離に関する RLJ index と IAAF Score の間には、有意な相関関係はなかったが、3 m の距離に関しては有意に高い相関関係が認められた ($r = 0.859$)。

Fig. 7 は 1 m, 2 m, 3 m の試技に関する RLJ の跳躍距離と RJ の跳躍高、RLJ の踏切における接地時間と RJ の踏切における接地時間、RLJ index と RJ index の相関関係を示したものである。いずれの項目間にも有意な相関関係は認められなかった。

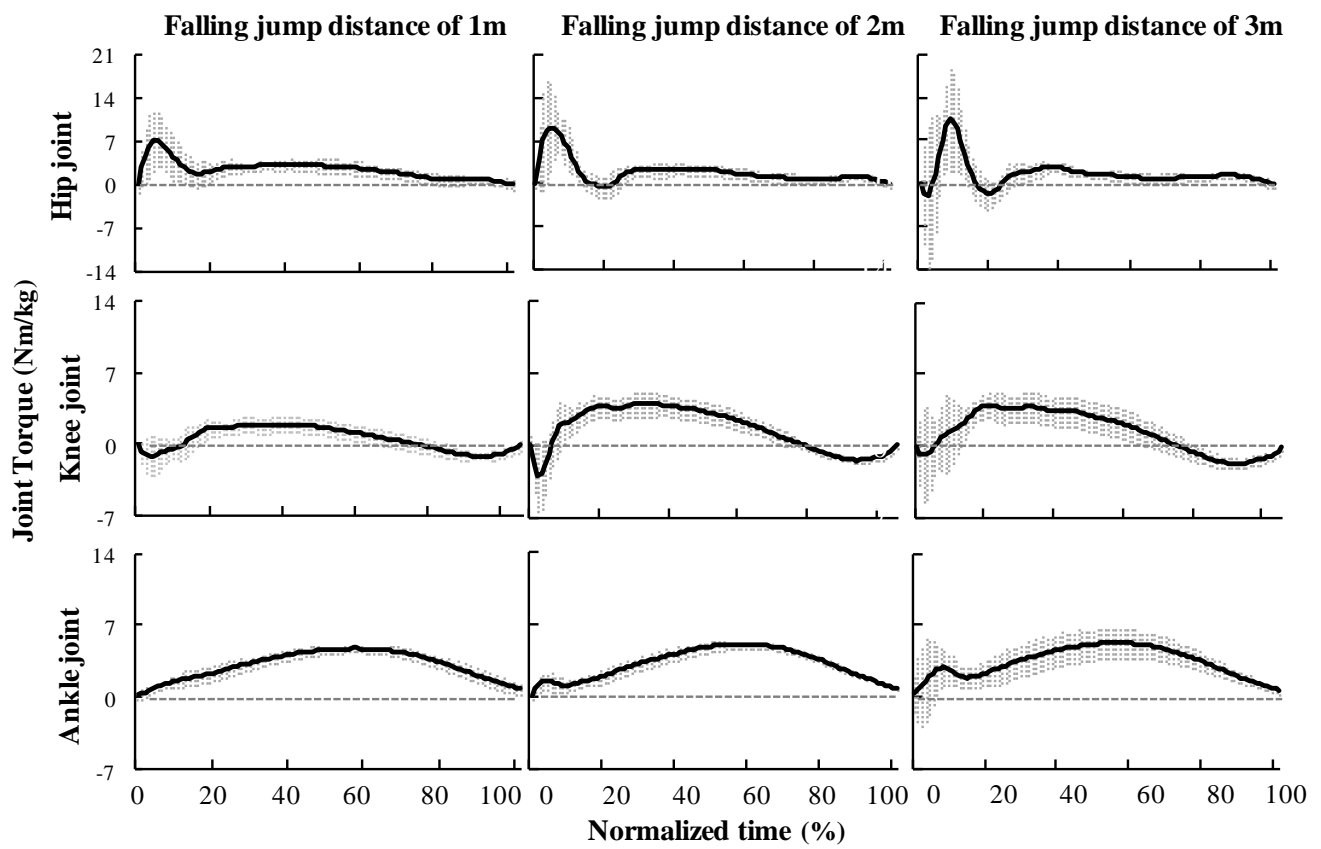


Fig. 4 Joint torque of ankle, knee and hip of supporting leg during takeoff phase of Rebound Long Jump by the three Falling Jump distances.

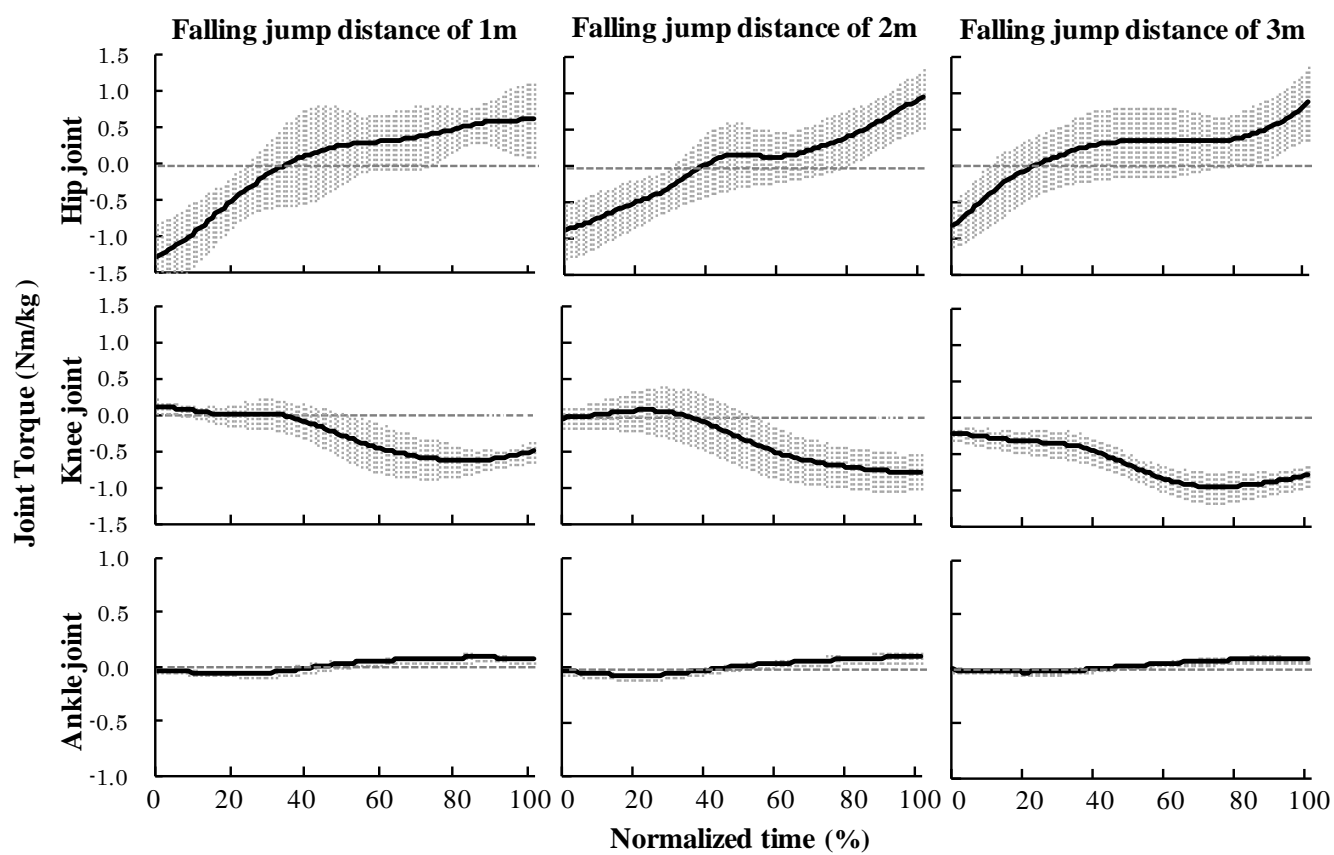


Fig. 5 Joint torque of ankle, knee and hip of idling leg during takeoff phase of Rebound Long Jump by the three Falling Jump distances.

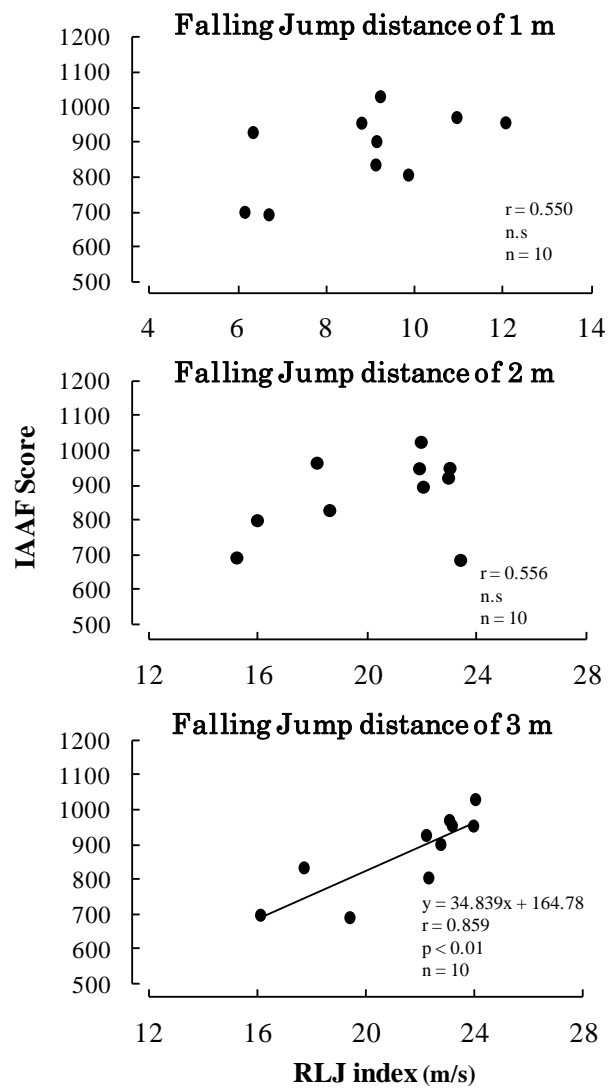


Fig. 6 Relationships between IAAF Score and RLJ index by the three Falling Jump distances.

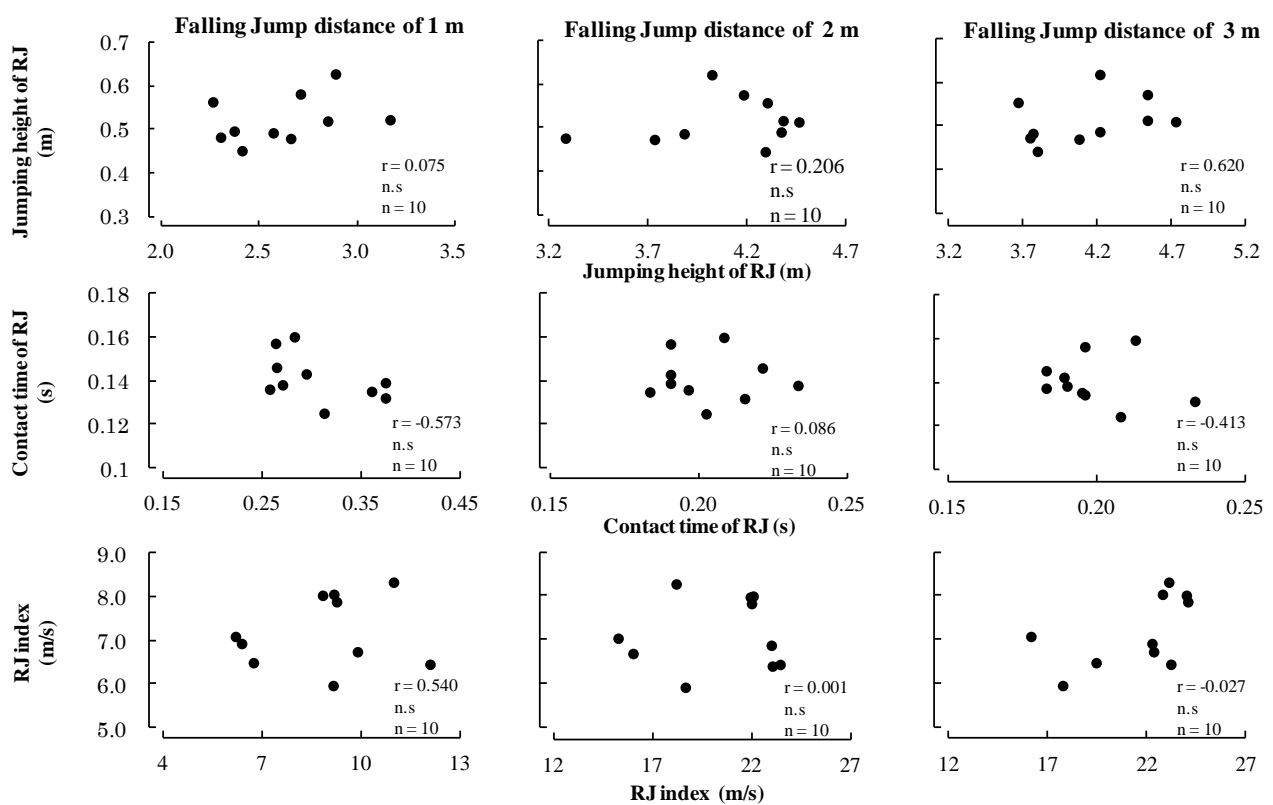


Fig. 7 Relationships between RLJ index, contact time, jumping distance of Rebound Long Jump and RJ index, contact time, jumping height of Rebound Jump.

Fig. 8 は、RJ index および立五段跳と IAAF Score の間の相関関係を示したものである。RJ index との間には有意な相関関係はなかったが、立五段跳との間には有意な相関関係が認められた ($r = 0.790$)。

IV. 考 察

本研究では台から跳び下りる FJ 距離を 1 m, 2 m, 3 m にすることによって、主運動である PJ での接地速度を 3 種類に設定した。その結果、1m の試技では 3.37 ± 0.61 m/s, 2 m の試技では 6.56 ± 0.43 m/s, 3 m の試技では 7.36 ± 0.31 m/s の水平速度になることが認められた (Table 2)。この値を実際の走幅跳による踏切時の接地速度と比較すると、 $34.91 \pm 6.29\%$, $68.23 \pm 4.23\%$, $76.37 \pm 3.22\%$ となり、約 35 % から約 75 % までの水平速度を網羅したテスト試技であったことが理解できた。これらの結果は、RLJ と類似したトレーニング手段であるドロップロングジャンプを用いた先行研究 (永松・凶子, 1999 ; 大宮・合屋 2003) の報告ともよく一致するものであった。また、1 m の試技から 2 m の試技では、接地速度が約 33 % もの向上を示したが、2 m の試技から 3 m では約 8 % の向上しか示さなかった。これは 1 m から 2 m では水平速度を増大させて FJ 距離の増大に対応しているが、2 m から 3 m では踏切角度を高めて、跳躍の高さによって FJ 距離の増大に対応していることを示唆するものであると思われる。なお、3 m の試技では、実際の跳躍種目における踏切時の速度に対して約 75 % もの速度に達しており、実際に近い運動エネルギーを持った RLJ であることが明らかになった。

上記のような接地速度に設定されていることを考慮しながら、1 m, 2 m, 3 m の試技における跳躍距離、接地時間、RLJ index について検討した。その結果、1 m と 2 m の試技の間では、跳躍距離と RLJ index は有意に増大するとともに、接地時間も有意に短縮し、0.2 秒未満の極めて短時間の運動に変化することが認められた。しかし、2 m と 3 m の試技の間で

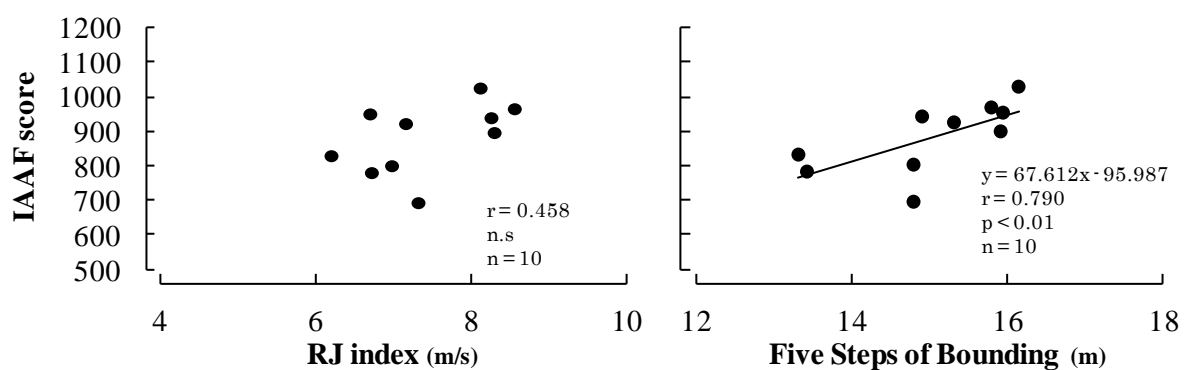


Fig. 8 Relationships between IAAF Score and RJ index or distance of Five Steps of Bounding.

は、いずれにも有意差は認められなかった (Fig. 1). 運動時間が 0.2 秒未満であり、素早くかつフィードフォワード制御系の運動はバリスティック運動として分類されており、運動時間が長く、力の大きさや微妙な調整が運動中に実施できるフィードバック制御系の運動とは、神経制御機構や力発揮に関する調節機構がかなり異なることが示されている (Brooks and Thach, 1981 ; Desmedt and Godaux, 1977 ; 米田, 1989). また、実際のスポーツにおける接地時間をみると、スプリント種目の接地時間は 0.09~0.19 秒 (有川・大田, 2005 ; 遠藤ほか, 2008 ; 尾縣ほか, 1988 ; 谷川ほか, 2008), 走幅跳や三段跳の踏切時間は 0.12~0.20 秒 (大宮ほか, 2009 ; 志賀・尾縣, 2004 ; 植田ほか, 1989 ; 植田, 1992 ; 尾縣ほか, 1993) であった. これらのことから、本研究の対象者である体育大学の陸上競技部男子選手という水準であれば、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動であり、実際のスポーツ運動による接地時間に類似させるためには、RLJ における FJ 距離を 2 m 以上にすることが、テストのための必要条件になることが明らかになった.

次いで、1 m, 2 m, 3 m の試技における PJ の踏切中における地面反力について検討した. 1 m, 2 m, 3 m のすべての試技間で、地面反力における各種の測定値に有意差が認められた. また、PJ の踏切中における総力積の値は、1m の試技では正の値 (0.40 ± 0.11 Ns/kg) を示し、2 m, 3 m では負の値 (-0.70 ± 0.25 Ns/kg, -0.44 ± 0.25 Ns/kg) を示した (Table 3). これらのことから、FJ 距離が 1m の試技では、PJ の踏切によって身体速度は前方へと加速しているが、2 m, 3 m の試技では逆に減速していることが認められた. 実際の走幅跳や三段跳の踏切では、高い助走速度に対して踏切中にブレーキがかかり (水平速度の減速)、その地面反力のブレーキ成分によって身体に起こし回転が発生し、垂直方向の速度への変換が生じることによって、踏切角度が高まるという仕組みが存在している. しかし、その条件の中でも、水平速度の減速を最小限にしながら、最大限の鉛直速度を獲得することが大きなパフォーマンスを発揮するための条件であることが示されている (Hay, 1986 ; 村木, 1996). これらのことから、踏切中に加速を伴う FJ 距離が 1m の試技は、実際の走幅跳や三段跳の踏切とは大きく異なる運動特性となることから、実際の走幅跳や三段跳の踏切に類似したテス

ト運動にするためには、RLJにおけるFJ距離を2 m以上にすることが、テストのための必要条件になることが明らかになった。

一方、地面反力における力の大きさをみると、2 mと3 mの試技の間にも、鉛直方向と水平方向の第1ピーク値には有意差が認められた加速型 vs 減速型, 股関節; 425.4 ± 80.4 deg/s vs 464.6 ± 55.5 deg/s, (2 m vs 3m, 鉛直方向; 38.3 ± 16.25 N/kg vs 68.16 ± 10.13 N/kg, 水平方向; -11.87 ± 8.37 N/kg vs -22.37 ± 6.63 N/kg, Table 3). この接地直後に現れる鉛直方向の第1ピーク値は、踏切瞬間に身体に加わる衝撃力であり、また水平方向の第1ピーク値は水平速度の減速を生じさせるブレーキの大きさを意味するものである(浅川ほか, 1969, 永松・図子, 1999). 一方、走幅跳や三段跳における踏切中の第1ピーク値は、鉛直方向が $77.56 \sim 108.84$ N/kg, 水平方向が $-29.00 \sim -44.77$ N/kg であるという報告がなされている(Luhtanen and Komi, 1979; Ramey and Williams, 1985). したがって、2 mの試技における地面反力の第1ピーク値は、鉛直、水平方向ともに実際の走幅跳や三段跳と比較して小さい値ではあるものの、3 mの試技では実際に近い大きさの地面反力になることが認められた。また、地面反力の大きさとともに、その波形パターンについてもみると、1 m, 2 mとは異なり、3 mの試技では第1ピーク値が全体の中で最も高くなり、少し低下し再び上昇、その後緩やかに低下するパターンを示した(Fig. 3). この波形パターンは、走幅跳や三段跳の踏切のものに極めて類似していた(志賀・尾懸, 2004; 図子, 2005). また、走幅跳における踏切では、鉛直速度の獲得率は、起こし回転の作用によって踏切前半に60~65%にも達することから、鉛直速度の獲得に対する踏切前半の重要性が指摘されている(志賀・尾懸, 2004). 踏切前半の大きな地面反力に適切に抗することができない場合には、下肢の各関節が瞬間的に屈曲する(いわゆるつぶれ動作)ことに繋がり、踏切後半における推進力を低下させることになってしまう。優れた跳躍選手は、この踏切前半の大きな地面反力に抗しながらも、それをうまく利用して、踏切後半における推進力を獲得できることが報告されている(永松・図子, 1999). これらのことを考慮すると、実際の走幅跳や三段跳に類似した運動にするためには、FJ距離を3 mにすることが、テストのための必要条件になることが明らかになった。

さらに、踏切脚並びに振込脚の下肢関節が発揮した関節トルクについて検討した。各関節のトルク発揮パターンは、全ての FJ 距離で類似していた (Fig. 4)。しかし、その大きさについて見てみると、1 m から 2 m では膝関節と股関節の伸展トルクが大きくなり、2 m から 3 m では股関節の伸展トルクがさらに大きな値を示した。これらの結果から、FJ 距離の増大に伴い膝関節や股関節が担う役割が増大していることが推察できる。走幅跳や三段跳の踏切動作は、膝関節や股関節の仕事の貢献度が高い運動であり、それぞれの伸展トルクのピーク値は膝関節で約 3~7 Nm/kg、股関節で約 10~18 Nm/kg と報告されている (Muraki et al., 2008 ; 志賀・尾懸, 2004)。RLJ test における膝関節と股関節の伸展トルクのピーク値は、1 m では 1.98 ± 0.81 Nm/kg と 7.33 ± 4.65 Nm/kg、2 m では 4.02 ± 0.87 Nm/kg と 9.13 ± 7.80 Nm/kg、3 m では 4.09 ± 0.96 Nm/kg と 10.38 ± 8.36 Nm/kg であったことから、3 m の試技が実際に最も類似したトルク発揮パターンを示すことが明らかになった。一方、振込脚では各項目の最大値にも大きな変化が認められず、全ての FJ 距離において同様のトルク発揮パターンを示すことが明らかになった (Fig. 5)。

ここまでの結果を統合すると、FJ 距離 3 m の試技は他の 2 条件とは異なる傾向を示すとともに、走幅跳や三段跳の踏切と極めて類似する傾向を示した。さらに、運動時間、踏切前半の地面反力の大きさや波形パターン、下肢関節のトルク発揮パターンを示した本研究の結果から判断すると、FJ 距離を 3 m にすることが、実際の走幅跳や三段跳に内在するバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を反映するためのテストの必要条件となることが明らかになった。

本研究における対象者は専門種目の異なる選手の集団であった。したがって、競技パフォーマンスと RLJ index との関係を検討するためには、各種目の成績を同一の値へと変換する必要があったことから、各選手のパフォーマンスを得点化できるスコアである IAAF Score (世界陸上競技連盟が提示) を用いることにした。1 m、2 m、3 m の距離における各選手の RLJ index と IAAF Score の関係をみると、1m、2 m の距離では有意な相関関係は認められなかったが、3 m の距離では有意な相関関係 ($r = 0.859$) が認められた (Fig. 6)。した

がって、各選手のパフォーマンスと RLJ index との関係から判断すると、大学レベルの陸上競技跳躍選手を対象とした際には、FJ 距離を 3 m に設定した RLJ テストによる RLJ index を評価指数にすることが、陸上競技の跳躍種目の踏切動作に内在するバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を専門的に評価・診断するために有効であることが示唆された。

RLJ test の評価指数としている RLJ index は、仕事量の大きさを意味する跳躍距離と短時間の踏切能力を意味する接地時間の 2 要因によって構成されている。一方、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力の評価には、一般的にはその場での両足鉛直跳躍による RJ test が用いられてきた。指数としている RJ index についても、仕事量の大きさを意味する跳躍高と短時間の踏切能力を意味する接地時間の 2 要因によって構成されている。そこで、RLJ index と RJ index の関係について検討すると、跳躍距離と跳躍高、接地時間相互、RLJ index と RJ index の間には、いずれも有意な相関関係は認められなかった (Fig. 7)。垂直跳に類似した運動時間の長い跳躍運動を対象にした研究では、跳躍方向や踏切脚の違いなどの運動特性が異なると、そのメカニズムや必要とされる能力が異なることが明らかにされている (Meylan et al., 2010 ; Stephanie and Graham, 2003)。本研究結果はこれらの知見を支持するものであり、RLJ テストと RJ テストの両テストには、いずれもバリスティックな伸張-短縮サイクル運動を用いているが、助走の有無、踏切動作が片脚と両脚、跳躍方向が前方向 (跳躍距離) と上方向 (跳躍高) などの違いがあり、これらのことを反映した異なる専門性のテストであることが明らかになった。なお、RJ index と IAAF Score の間には有意な相関関係は認められなかった (Fig. 8)。これまでに RJ index は、疾走動作やジャンプ動作などの各種パフォーマンスとの関係が認められてきた (木越ほか, 2005 ; 大宮ほか, 2009 ; 凶子ほか, 1993)。しかし、本研究では跳躍種目のパフォーマンスとの関係には有意な相関関係のないことが認められた。なぜ、本研究では先行研究と異なる結果が得られたのかについて明確に答えることは難しいが、その一つとして、対象者の競技水準が体育大学の男子跳躍選手であり、専門性の高い上級レベルの集団を取り扱っていることが原因に

なっていることが推察できる。つまり、RJ index はパフォーマンスの重要な構成要素ではあるものの、記録水準の高い跳躍種目の選手に対してはより下位に位置する基礎的な構成要因となることが推察できる。このために、パフォーマンスの直接的な関係性は低く、相関関係が認められなかったと考えられる。一方、助走の有無や踏切動作が片足であるか両足であるかなどの運動動作が類似している RLJ index は、跳躍種目のパフォーマンスの構成要素の中では上位に位置していることから、跳躍種目のパフォーマンスとの間に直接的な関係が認められたのではないかと考えられる。

一方、片足での連続水平跳躍能力のを用いた測定評価法である立五段跳と IAAF Score には、有意な相関関係 ($r = 0.790$) が認められた (Fig. 8)。これらの結果は、これまでに片脚跳躍の遂行能力を測定評価するために、立五段跳を用いたテストが積極的に実施されてきた理由でもある。さらに、RLJ index と IAAF Score の間にも有意に高い相関関係 ($r = 0.859$) が認められた (Fig. 6)。RLJ テストは、実施した仕事量の大きさを意味する跳躍距離の評価・診断に加えて、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を評価・診断する際の原則となる運動遂行時間の要素を加えた測定評価である。したがって、極めて短時間においてバリスティックに遂行される陸上競技の跳躍種目に内在する構成要素を専門的・多面的に取り出し、評価・診断することが可能なテストであると考えられる。これらのことから、FJ 距離を 3 m に設定した RLJ テストとその指数である RLJ index は、大学・シニアレベルの比較的競技水準の高い陸上競技者に要求される BSSC 能力を、より専門的に評価・診断するための有効な方法となり得ることが明らかになった。

RLJ テストによる試技条件は、選手の競技レベル、年齢、性別などに応じてかなり異なる可能性がある。本研究の対象者は、大学陸上競技部に所属するシニアレベルの男子選手であり、FJ 距離が 3 m の試技の踏切接地時における身体の併進速度は、実際の大会時における三段跳の値に対して約 75% の助走速度に相当するものであった (Table 1)。しかし、この、FJ 距離が 3 m の試技による接地速度は、日本の女子三段跳の一流選手の踏切接地時における身体の併進速度である 8.61 ± 0.21 m/s (小山ほか, 2010) に対する 85.5% の値になって

しまうことが認められた。そこで、考え方を逆にしてみると、この選手の試合における助走速度の約 75%の接地速度になるような FJ 距離を設定することを仮定すると、6.46~6.89 m/s の接地速度にする FJ 距離にすることが妥当であり、それは本研究における FJ 距離が 2 m の試技 (6.56 ± 0.43 m/s) に相当することが認められた。これらのことを考慮すると、一流の女子選手、またはそれと同程度のパフォーマンスを持つジュニア男子選手の場合には、FJ 距離を 2 m に設定した RLJ テストが有効になることが考えられる。また、ジュニア女子選手やさらに競技レベルの低い選手では、FJ 距離が 1 m の試技に設定することも必要になると思われる。一方では、極めて高い競技レベルの超一流男子選手では、FJ 距離を 4m に設定することも必要になる可能性も十分に考えられる。このようにテストを行う対象者の競技レベルに応じて、FJ 距離を設定することが必要であるが、FJ 距離の設定方法は、今後さらに検討する必要がある課題となり得るものである。

V. 要 約

本研究の目的は、水平方向への跳躍運動に共通して内在するバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力の測定評価法とその評価指標を考案して、各種ジャンプパフォーマンスとの関係を検討することであった。体育大学に所属する陸上競技を専門とした男子選手 10 名を対象にして、0.1 m の高さの台上を走って跳び下り、片脚で踏切動作を行なうとともにできるだけ遠くまで跳躍するリバウンドロングジャンプを実施させた。跳び下りて着地するまでの距離は、1 m, 2 m, 3 m の 3 種類（距離が長くなるほど、接地時の水平速度は高くなる）を用いた。各試技における踏切動作、身体速度、踏切時間、踏切中の地面反力、跳躍距離を計測した。また、跳躍距離を踏切時間で除すことによって、リバウンドロングジャンプ指数 (RLJ index) を算出した。

その結果、従来型のリバウンドジャンプ指数 (RJ index) と 3 種の RLJ index との間には

いずれも有意な相関関係はなく、両能力が独立していることが認められた。一方、3 m の距離を用いた RLJ index に限って、各選手のパフォーマンスを種目間で比較できるスコア（国際陸連の提唱している IAAF Score）との間に、有意に高い相関関係が認められた ($r = 0.859$)。また、3 m の試技における地面反力および下肢関節トルクの大きさや発揮パターン、実際の走幅跳や三段跳のものに類似したものであった。なお、従来のバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力のための指数である RJ index と、IAAF Score の間には有意な相関関係は認められなかった。

本研究の結果から、0.1 m の台上から跳び下り、着地までの距離を 3 m に設定したリバウンドロングジャンプテストは、高い水平速度を用いて片脚で行われる跳躍パフォーマンスを強く反映しており、その指数である RLJ index が、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力に関する測定評価法として有効であることが示唆された。なお、テストに用いる着地までの距離は、テストを行う対象者の競技レベルに応じて設定することが必要不可欠であることを認識する必要性についても示唆された。

第 6 章 リバウンドロングジャンプテストを用いて評価した加速型跳躍と減速型跳躍の相違点 (研究課題Ⅱ-1)

I. 目的

陸上競技の走幅跳や三段跳の踏切動作は、助走によって最大に高められた水平速度を、片脚踏切を用いて大きな跳躍距離に変換する運動である。この時の水平速度の変化に着目すると、踏切中には必然的に減速が発生する。そのために走幅跳や三段跳のパフォーマンスを決定する大きな要因の 1 つとして、踏切中に関する水平速度の減速を最小限に抑えながら最大限の鉛直速度を獲得する能力が挙げられている (村木, 1996 ; Lees et al., 1994)。これに対して、比較的低い接地速度によって踏切動作が行われた際には、踏切中に身体の持つ水平速度を加速させることが可能となる。研究課題Ⅰの結果から、これらの 2 つのタイプの跳躍では、運動形態が類似していたとしても、運動時間の観点からパフォーマンスを決定する要因に相違点が出現することが明らかになった。しかし、加速型もしくは減速型のように、踏切中の速度変化から見て対照的な踏切動作に内在する相違点に関して検討した報告はこれまでにない。

RLJ test では 1 回目の FJ の距離を変化させることで、続く 2 回目の PJ の際の接地速度を調整することができる。これによって、運動形態が類似した踏切動作を、加速型もしくは減速型へと目的に合わせて変化させることが可能となる。そこで本章では、RLJ test を用いることによって、踏切中に水平速度の加速が生じる加速型跳躍と、減速が生じる減速型跳躍に関する踏切動作を比較検討することで、2 つのタイプの踏切動作の特性やその相違点を明らかにすることを目的とした。踏切動作は身体各部位が複雑に関係し合う 1 つのシステムになっていることから、個々の関節や身体各部位の動きに着目すると、非常に複雑な運動構成を有していることが理解できる。そこで本研究では、身体重心と足部接地点を結ん

だ仮想の線分が、短縮と伸張を伴いながら前方へと回転する逆振り子型の回転モデル（以下、モデル；Fig. 9）に身体を置き換えて検討した（Jacobs and van Ingen Schenau, 1992；木野村ほか, 2012；三井・図子, 2006；Zushi et al., 2003；Zushi et al., 2005）. このモデルの挙動は、主に短縮した後に伸張する作用と、地面反力を受け止めたことによって、足部接地点を支点として身体が前方へと回転する作用によって構成されていることが認められている（三井・図子, 2006；Zushi et al., 2005）. したがって、踏切動作をこのモデルに置き換えることによって、踏切中の身体挙動を、踏切脚が自ら屈伸する作用と地面反力を受け止めて前方へと身体および下肢が回転する作用の 2 つに単純化することが可能となる. そこで本章では、一旦このモデルを用いて単純化の作業を行いうことで、2 つのタイプの相違点を概括的に把握し、その上でモデル挙動の相違点を生じさせる身体各部位の動きを明確にしていくために、下肢関節およびセグメントの動きへと注目する手順を取って検討を行った.

II. 方法

1. 対象者

対象者は、大学の陸上競技部に所属しており、跳躍種目を専攻する男子選手 11 名であった（Table 4）. 対象者は専門種目の経験を少なくとも 5 年以上有しており、1 週間に 12 時間程度の専門的トレーニングを行っていた. 対象者のうち 1 名は全日本選手権による優勝経験を有しており、1 名は全日本選手権入賞、1 名は全日本学生選手権入賞、4 名は全日本学生選手権出場レベル、4 名は地域大会出場レベルの成績を有していた. 研究の実施時には、ヘルシンキ宣言を順守し、事前に実験の目的や方法、危険性などの説明を十分に行った. また、個人の意思で中止や中断が可能であること、実験設備の設置には細心の注意を払うこと、天候などの危険性が考慮された場合は即座に中断することを伝え、書面による同意を得た.

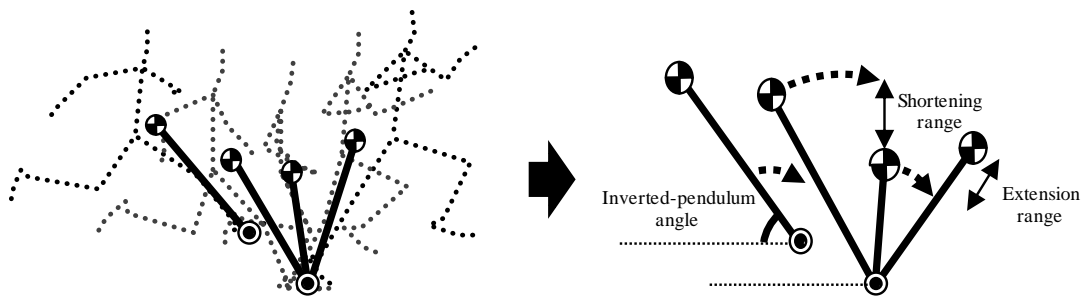


Fig. 9 The definition of Inverted-pendulum model.

- ⊕; Center of gravity
- ⊙; Point on the ground

Table 4 The characteristics of subjects of research project II

Subject	Age (yrs)	Height (m)	Weight (kg)	Specialized	Personal record (m)
A	24	1.75	67.6	Triple jump	14.86
B	23	1.78	69.9	Triple jump	16.08
C	21	1.65	68.1	Pole vault	5.10
D	20	1.80	73.7	Long jump	7.63
E	19	1.82	69.7	Triple jump	14.11
F	22	1.74	67.6	Pole vault	4.50
G	22	1.72	55.1	High jump	2.12
H	20	1.78	60.2	Long jump	7.46
I	19	1.68	65.1	Long jump	7.13
J	20	1.92	71.0	High jump	2.24
K	19	1.73	75.0	Triple jump	15.70
Mean	20.8	1.76	67.5	—	8.81
S.D.	1.7	0.07	5.8	—	5.40

2. 実験試技

テスト試技には、0.1mの台を用いたRLJ testを用いた (Fig. 1)。研究課題Ⅰの結果に基づき、1mのFJを用いた跳躍を加速型跳躍、3mのFJ距離を用いた跳躍を減速型跳躍とした。RLJ testに関する実施条件は、研究課題Ⅰと同様の方法を用いた。

3. 測定項目および算出項目

研究課題Ⅰと同様の方法を用いてRLJの主運動であるPJの跳躍距離、接地時間、地面反力、踏切動作を測定した。

Propulsive jumpによる踏切位置の側方、踏切脚側に設置した高速度ビデオカメラ (CASIO社製, EX-F1) を用いて、踏切動作を毎秒300コマで撮影した。研究課題Ⅰと同様の方法を用いて撮影されたビデオ画像上の身体部分点23点および4点の較正マークをデジタイズした。得られた身体部分点の二次元座標は、較正マークをもとに実長換算したのち、最適遮断周波数をWells and Winter (1980)の方法にもとづいて決定し、Butterworth Low-Pass Digital Filterを用いて3.0 – 10.5 Hzの範囲で平滑化した。踏切による接地時間の異なる試技を比較するために、PJの接地時間を100%として規格化した。

デジタイズデータをもとにして、阿江 (1996) の日本人アスリートの身体部分慣性係数を用いて、身体重心並びに身体重心速度を算出した。また、母指球と外踝を結んだ線分を足部セグメント、外踝と腓骨頭を結んだ線分を下腿部セグメント、腓骨頭と大転子を結んだ線分を大腿部セグメント、大転子と肩峰を結んだ線分を体幹部セグメントとして定義した。そして、各セグメントと地面に対する垂線のなす角度に対して進行逆方向を0度として時計回りに計算し、各セグメント角度とした (Fig. 10)。また、足部と下腿部のなす角度を足関節角度、下腿部と大腿部のなす角度を膝関節角度、大腿部と胴体部のなす角度を股関節と定義した。セグメント角度および関節角度の変位は変位時間で除すことによって、セグメント角速度もしくは関節角速度として算出した。

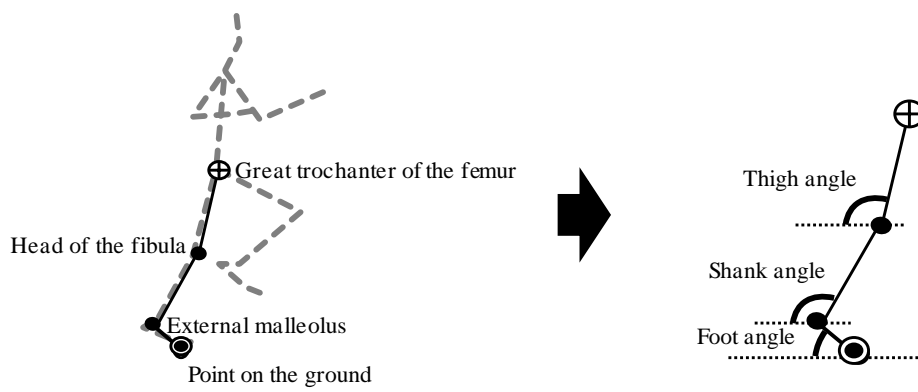


Fig. 10 The definition of segment angle of the takeoff leg.

踏切動作は、身体を身体重心と足部接地点の 2 点を結ぶ仮想の線分によって構成される逆振り子としてモデル化した (Jacobs and van Ingen Schenau, 1992 ; 三井・図子, 2006 ; Zushi et al., 2003 ; Zushi et al., 2005 ; Fig. 9). 足部接地点は踏切脚の母子球, モデルの仮想の線分の長さをモデル長と定義した. また, 足部接地点の接地からモデル長が最短の値を示した時点を踏切前半局面, モデルが伸張を開始した後, 足部が離地するまでを踏切後半局面として局面分けを行った. なお, 踏切前半局面と後半局面が切り替わった時点の規格化された時間に関する平均値は 34.64 ± 5.52 % であった. 局面分けに対応して, 接地時間に占める前半時間および後半時間, その割合を前半率および後半率として算出した. さらに, モデルと水平面の成す角度を逆振り子モデル角度と定義して, 進行逆方向を 0 度として時計回りに計算した. 踏切接地から離地までの角度変位をモデル回転範囲, 踏切前半局面並びに後半局面における角度変位を, それぞれ前半回転範囲および後半回転範囲とした. モデル長および逆振り子モデル角度は, 変位時間で除すことによってモデルの短縮-伸張速度および回転速度として算出した. なお, 短縮-伸張速度は伸張を正, 回転速度は進行方向を正, 逆方向を負とした.

振込脚の挙動は, 振込脚の下肢 3 セグメントの合成重心から算出した振込脚重心の挙動とした (Fig. 11). 振込脚の付着部である大転子と振込脚重心の水平方向の距離を振込距離, 鉛直方向の距離を振込高として算出した. 同時に, 水平方向および鉛直方向への振込脚重心速度を各方向への振込速度として算出した. 振込距離および振込高は, 振込脚重心が大転子よりも前方もしくは上方に位置している状態, 振込速度は, 進行方向もしくは上方への速度を正として算出した.

4. 統計処理

加速型跳躍と減速型跳躍に関するパラメータの差を検定するために, 対応のある T - test を行った. また, 相関関係の検定には Pearson の積率相関係数を用いた. なお, すべての検定には, 統計ソフト SPSS Statistics ver.17.0 (SPSS 社製) を使用し, 有意水準は 5% 未満とした.

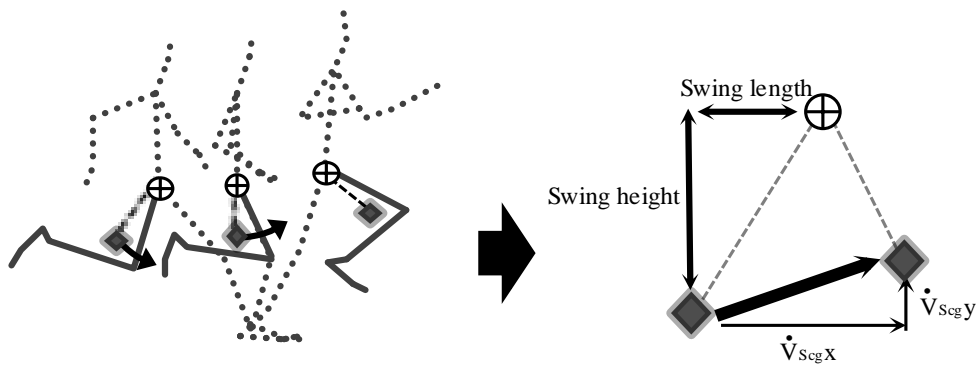


Fig. 11 The definition of movement of the center of gravity of the swing leg.

- ◆; Center of gravity of swing leg
- ⊕; Great trochanter of femur of swing leg

III. 結果

Table 5 には、加速型跳躍と減速型跳躍における RLJ index, 跳躍距離, 接地時間, PJ における接地時と離地時に関する身体重心の水平速度と鉛直速度, 水平速度の減速値を示した。離地時の鉛直速度を除く全ての項目において, 2つの跳躍間に有意差が認められ, 減速型跳躍が有意に高い値(接地時間は短い値)を示すことが認められた。踏切中の減速値については, 加速型跳躍では正の値(踏切中の身体重心は水平方向で加速している), 減速型跳躍では負の値を示した(踏切中の身体重心は水平方向で減速している)。

Fig. 12 には、加速型跳躍と減速型跳躍における RLJ index, 跳躍距離, 接地時間に関する相互の相関関係を示した。RLJ index, 跳躍距離には有意な相関関係が認められたが, 接地時間には有意な相関関係は認められなかった。

Fig. 13 には、加速型跳躍と減速型跳躍における踏切中のモデル挙動を比較して示した。モデル長では接地から 30%までの時点に有意差が認められ, 減速型跳躍が長い状態で接地し, その後, 大きく短縮する傾向が認められた。また, 2 跳躍間の有意差は 80%以降離地までの時点で再度出現し, 減速型跳躍ではモデルが十分に伸張されない(伸びない)まま離地していることが認められた。一方, モデルの短縮-伸張に関する速度については, 接地から 40%までの時点において減速型跳躍による短縮速度が有意に高い(負に大きい)値を示し, 40%以降から離地までは類似した波形を示した。また, モデル角度では, 接地から 70%までの時点に有意差が認められ, 減速型跳躍が小さい値を示した。さらに, 減速型跳躍によるモデル回転に関する速度は全局面において有意に高い値を示した。

Fig. 14 には、速型跳躍と減速型跳躍における接地時間およびモデル回転角度に関する前半率と後半率を示した。接地時間に関しては, 前半時間は同程度であったが, 減速型跳躍における後半時間が有意に短い値を示したことから, 前半率においても減速型跳躍が有意に高い値を示した。モデル角度に関しては, 後半角度は同程度であったが, 前半角度については減速型跳躍が有意に大きい値を示し, 前半率については減速型跳躍が有意に高い値を示した。

Table 5 Means and standard deviations of measured values of RLJ test and velocity of center of gravity of acceleration and deceleration jump of Rebound Long Jump Test.

	Acc. jump	Dec. jump	Difference
RLJ index (m/s)	15.50 ± 1.86	24.91 ± 3.82	Acc. < Dec.
Jumping distance (m)	3.17 ± 0.23	4.11 ± 0.33	Acc. < Dec.
Contact time (s)	0.206 ± 0.022	0.174 ± 0.018	Acc. > Dec.
.....			
Touchdown velocity			
Horizontal direction (m/s)	3.96 ± 0.24	6.59 ± 0.41	Acc. < Dec.
Vertical direction (m/s)	-0.95 ± 0.32	-2.30 ± 0.35	Acc. < Dec.
Takeoff velocity			
Horizontal direction (m/s)	4.18 ± 0.24	5.83 ± 0.41	Acc. < Dec.
Vertical direction (m/s)	2.93 ± 0.37	2.86 ± 0.46	n.s
.....			
Horizontal deceleration (m/s)	0.22 ± 0.07	-0.76 ± 0.06	-

Difference show results of ANOVA.

<, > : p < 0.05

Acc. ; acceleration, Dec. ; deceleration

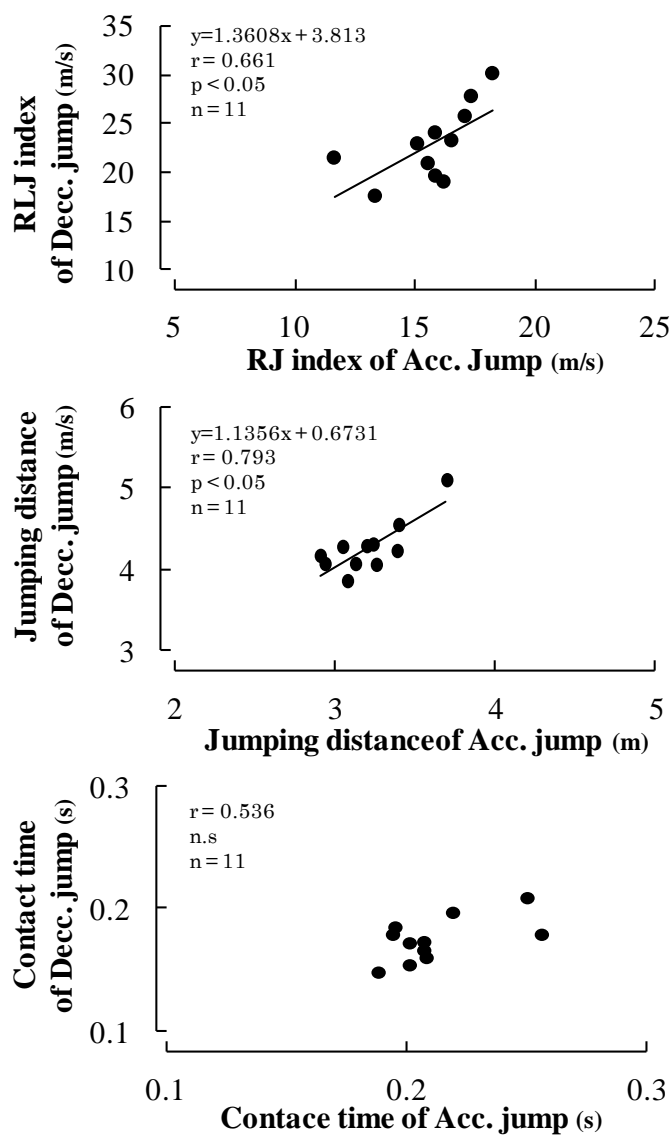


Fig. 12 Relationships of each RLJ index between acceleration and deceleration jump of Rebound Long Jump.

Acc. ; acceleration, Dec. ; deceleration

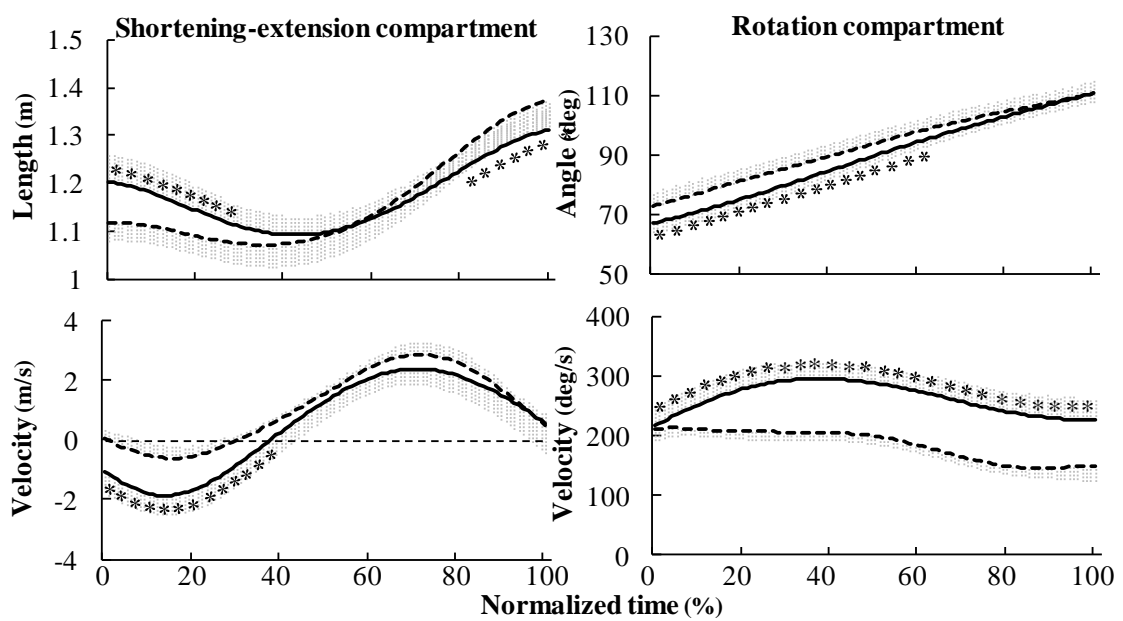


Fig. 13 The comparison of movement of inverted-pendulum model of length, shortening-extension velocity, angle or angular velocity between acceleration and deceleration jump of Rebound Long Jump.

---; Acceleration jump
 —; Deceleration jump

* ; Statistically significant difference between acceleration and deceleration jump ($p < 0.05$).

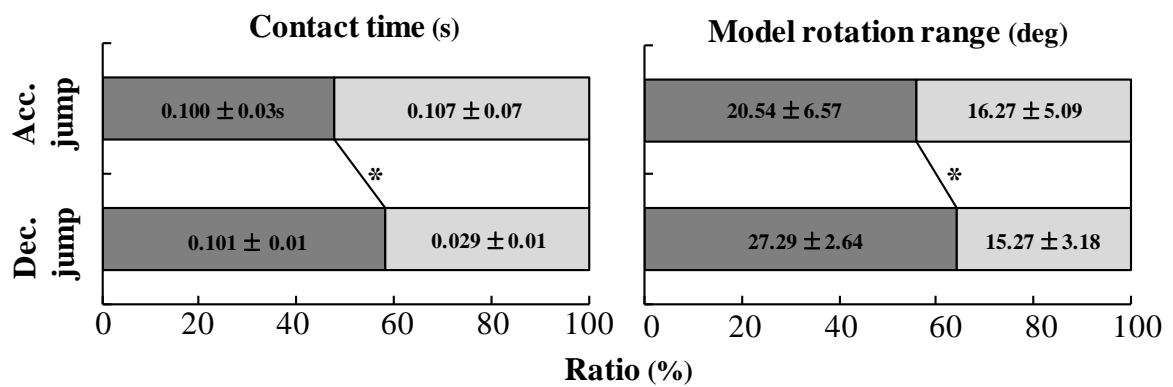


Fig. 14 The comparison of the ratio of former or latter phase during takeoff phase of contact time or model angle between acceleration and deceleration jump of Rebound Long Jump.

Values in the bar graph means contact time or model angle of former or latter phase.

■ ; former phase of takeoff phase, □ ; latter phase of takeoff phase.

* ; statistically-significant difference between acceleration and deceleration jump ($p < 0.05$).

Acc. ; acceleration, Dec. ; deceleration

Fig. 15 には、加速型跳躍と減速型跳躍における踏切中の下肢関節角度と角速度を比較して示した。関節角度については、股関節では踏切中の全局面、膝関節では接地から 40%、足関節では接地から 20%までの時点において減速型跳躍が有意に高い値を示した。関節各速度については下肢 3 関節の全てに共通して、接地から 40%までの時点において減速型跳躍が負の方向に有意に高い値を示した。2 タイプの跳躍間の有意差は、70~80%の時点で再度出現し、減速型跳躍の値が有意に高い値を示した。なお、下肢 3 関節の伸展速度に関する最大値には有意差は認められなかった（加速型 vs 減速型、股関節； 425.4 ± 80.4 deg/s vs 464.6 ± 55.5 deg/s, 膝関節； 506.7 ± 57.0 deg/s vs 555.2 ± 57.0 deg/s, 足関節； 808.4 ± 103.7 deg/s vs 854.1 ± 101.0 deg/s）。

Fig. 16 には、加速型跳躍と減速型跳躍の下肢セグメント角度と回転速度を比較して示した。セグメント角度については、接地から 15%までの時点における大腿部セグメントでは加速型跳躍、接地から 40%までの時点における下腿部セグメントでは減速型跳躍が有意に小さい値を示した。セグメント回転速度については、大腿部では減速型跳躍が接地から 10%時点まで有意に小さく、40~80%時点まで有意に高い値を示した。下腿部では接地から 60%、また 80%から離地直前までの時点において、減速型跳躍が有意に高い値を示した。一方、足部では接地から 50%時点以降離地までの時点において、減速型跳躍が有意に高い値を示した。

Fig. 17 には、上位群と下位群の振込脚に関する合成重心挙動を示した。振込距離については踏切の全局面に渡って有意差は認めなかったが、水平方向への振込速度については、踏切の全局面に渡って減速型跳躍が有意に高い値を示した。振込高については、振込脚では接地から 40%時点、腕では接地から 60%時点から離地までに渡って、減速型跳躍が有意に小さい値（低い位置）を示した。鉛直方向への振込速度については、振込脚では接地から 60%までの時点において減速型跳躍が有意に小さい値を示した。腕では、接地から 20%までの時点において減速型跳躍が有意に小さい値を示したのち、一旦有意差が認められなくなったが、50~80%時点において再度有意差が出現した。

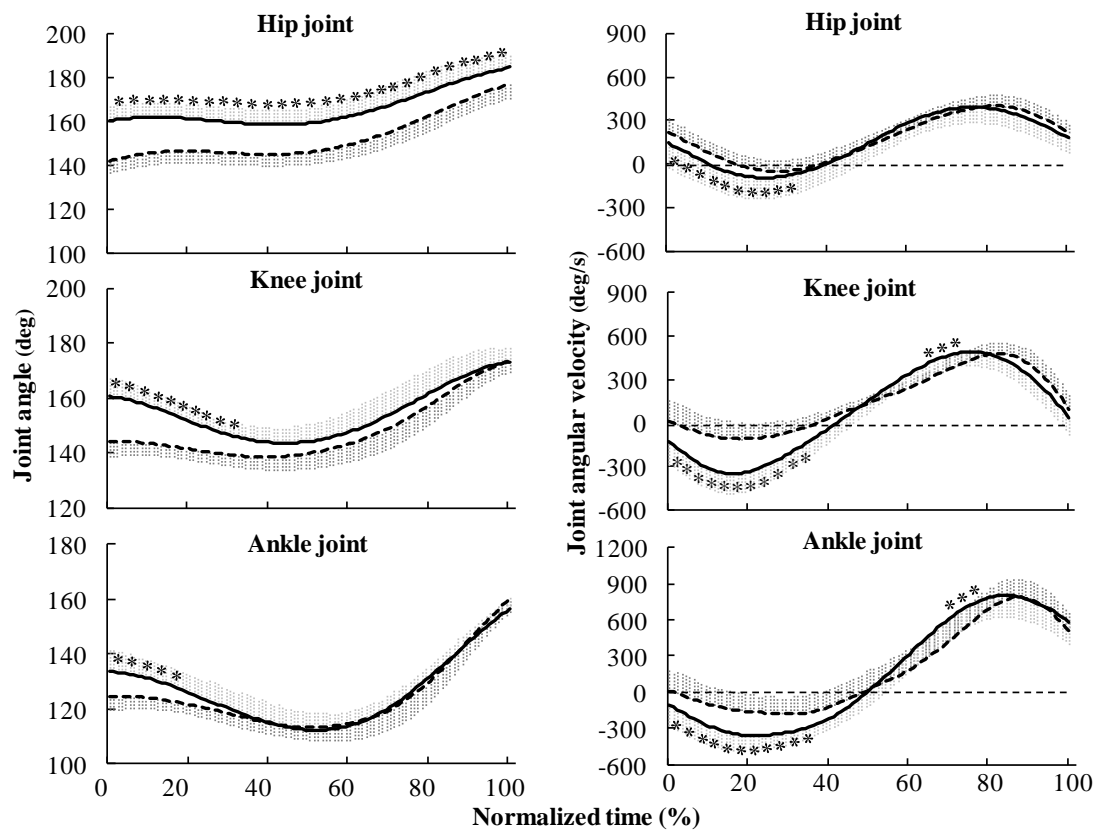


Fig. 15 The comparison of joint angle and Joint angular velocity of hip, knee or ankle angle between acceleration and deceleration jump of Rebound Long Jump.

---; Acceleration jump

—; Deceleration jump

* ; Statistically significant difference between acceleration and deceleration jump ($p < 0.05$).

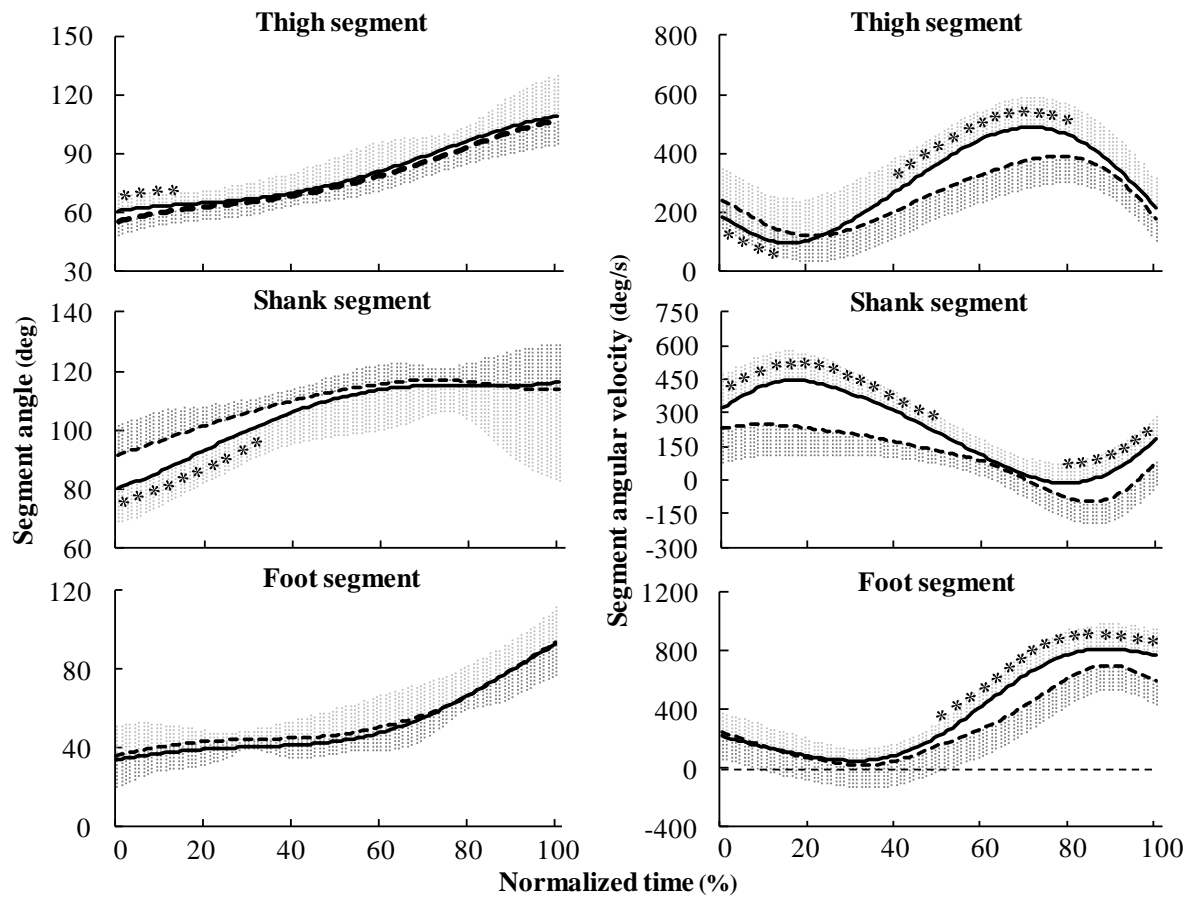


Fig. 16 The comparison of segment angle and segment angular velocity of thigh, shank or foot segment between acceleration and deceleration jump of Rebound Long Jump.
 - - - ; Acceleration jump
 — ; Deceleration jump
 * ; Statistically significant difference between acceleration and deceleration jump ($p < 0.05$).

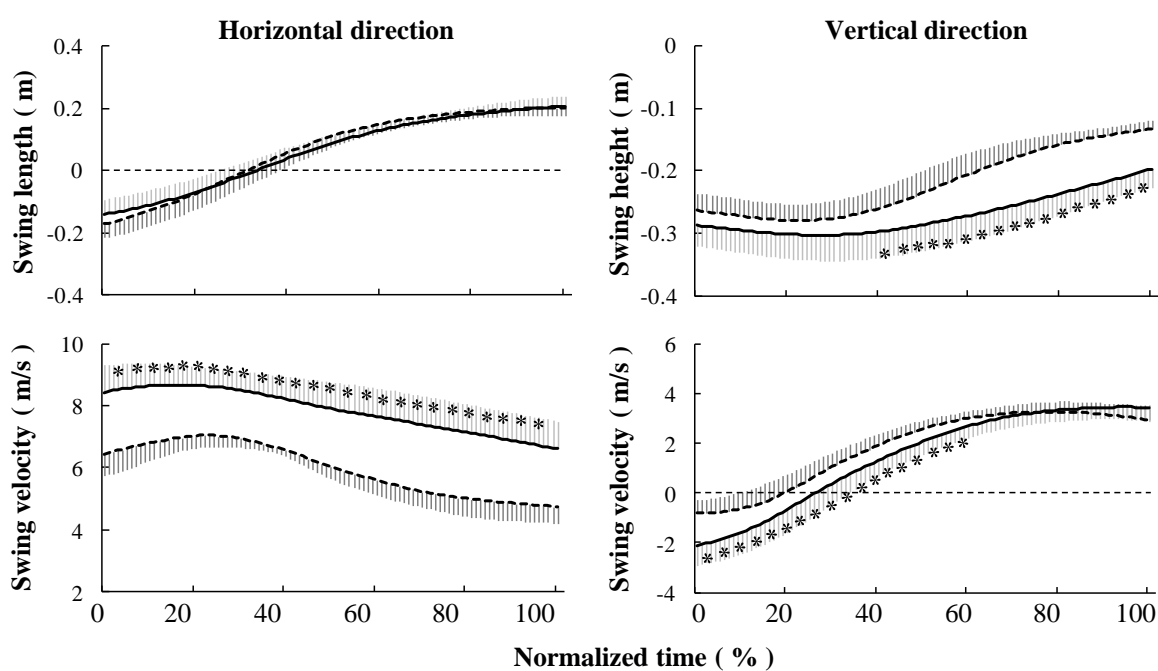


Fig. 17 The comparison of swing length, swing height and velocity of the center of gravity of swing leg on the horizontal or vertical direction between acceleration and deceleration jump of Rebound Long Jump.

---; Acceleration jump

—; Deceleration jump

* ; Statistically significant difference between acceleration and deceleration jump ($p < 0.05$).

IV. 考 察

本研究の目的は、RLJ test における加速型跳躍と減速型跳躍に内在する踏切動作の特徴とその相違点について明らかにすることであった。加速型跳躍と減速型跳躍における踏切中の水平速度の変化に関する結果をみると、加速型跳躍では踏切離地時の水平速度が踏切接地時の水平速度を上回っており、減速型跳躍では踏切離地時の水平速度が踏切接地時の水平速度を下回っていた (Table 5)。これらのことは、本研究における RLJ test が加速型と減速型という 2 つのタイプの設定条件を満足させるものであったことを示している。また、減速型跳躍では水平方向の踏切接地速度に加えて、鉛直方向の踏切接地速度も加速型跳躍を大きく上回る (より高い位置から落下している) 条件で実施されている跳躍であることが認められた。

一方、加速型跳躍と減速型跳躍における RLJ index および跳躍距離の相互間には有意な相関関係が認められたが、接地時間の相互間には有意な相関関係が認められなかった (Fig. 12)。研究課題 I の結果から、高速水平跳躍に要求される BSSC 能力を対象とした際には、加速型跳躍は水平方向への大きな運動量を獲得して加速する基礎的な能力、減速型跳躍は大きな運動量を短時間で受け止めて減速はするものの、それを利用して鉛直方向の速度を獲得するためのより専門的な能力を反映することが明らかになった。これらのことを考慮すると、加速型跳躍と減速型跳躍の間には水平方向への大きな跳躍距離を獲得する要因に関して相互に関係性のあることを示唆できる。

Fig. 18 には加速型跳躍並びに減速型跳躍の踏切動作を、典型的な選手 1 名のスティックピクチャーを用いて示した。本研究ではこれら 2 つのタイプの跳躍に関する踏切動作の比較を行い、統計的有意差が認められた項目についてを、2 つのタイプの跳躍における踏切動作の相違点として取り扱うことにした。

踏切動作は、身体各部位の作用が相互に連携し合って出現する、非常に複雑な運動構造を有している。そこで、加速型跳躍と減速型跳躍の踏切動作を、身体重心と足部接地点に

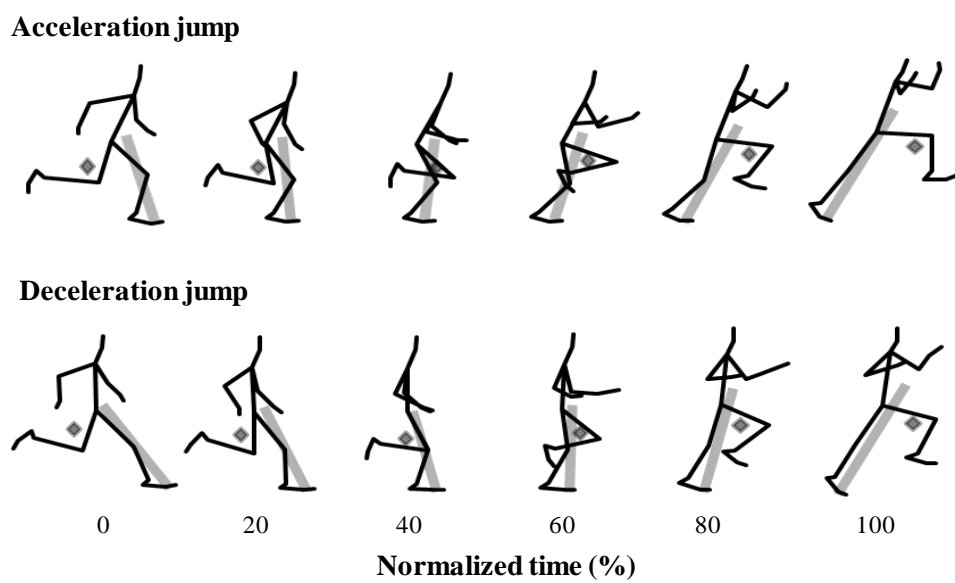


Fig. 18 The typical examples of stick picture and inverted-pendulum model of Rebound Long Jump test about acceleration or deceleration jump.
 — ; inverted-pendulum model
 ◆ ; center of gravity of swing leg

よって作られる仮想の線分の逆振り子型回転モデルに置き換えた (Jacobs and van Ingen Schenau, 1992 ; 木野村ほか, 2012 ; 三井・図子, 2006 ; Zushi et al.,2003 ; Fig. 9). このモデルを用いると, 加速型跳躍と減速型跳躍に内在する踏切中の身体挙動を, モデルが短縮して伸張する作用と, 足部接地点を支点として前方へと回転する作用の 2 要因に単純化して把握し, その上で, より詳細に身体各部の動きについて究明していくことが可能となる. 踏切の後半局面におけるモデルの短縮挙動について着目すると, 踏切接地時には減速型跳躍のモデル長が有意に長い状態であったが, 引き続くモデルの短縮は, 大きな範囲に渡って, 高い速度で遂行されるために, 最大屈曲時の長さはほぼ類似した値なることが示された (Fig. 13). 一方, 踏切後半局面におけるモデルの伸張挙動については, 2つのタイプの跳躍では類似した値であったが, 伸張された大きさは加速型跳躍で有意に大きく, モデルが有意に長くなった状態で離地を迎えていた. 次に, モデル角度に着目すると, 踏切接地時には減速型跳躍が有意に小さい値を示したが (後傾した状態), 踏切の全局面に渡って高速で回転したことから, 2跳躍に関する相違は徐々に小さくなり, 70%時点において有意差が認められなくなった. これまでの結果をもとにすると, 2つのタイプの跳躍に内在するモデル挙動の相違点について, 加速型跳躍は踏切接地時に短縮させたモデルを踏切後半局面において大きく伸張させて跳ぶような踏切動作が遂行されていることに対して, 減速型跳躍では踏切前半局面において大きく短縮されたモデルが踏切後半局面では十分に伸張されないが, モデルを高速で前方へと回転させる, 回転系の踏切動作が遂行されていることが示唆できた.

モデル挙動に相違点が生じた要因について考えると, 加速型跳躍では水平および鉛直方向の速度が低い状態での踏切接地が行われる条件となることから (Table 5), 大きな跳躍距離を獲得するために, 能動的な下肢の伸展が遂行される踏切動作が可能となることが推察できる. 接地時の水平速度とモデルの回転速度に正の相関関係が認められていることを考慮すると (永松・図子, 1999), 接地時の水平速度が低い加速型跳躍では, 回転速度も高い状態にはない. さらに, 後半局面の時間も長く, その割合も有意に大きい条件となること

から (Fig. 14), 踏切中に十分な時間をかけて下肢を伸展させた踏切動作が可能となる。したがって, 加速型跳躍ではモデルを短縮させた状態で接地を迎えることによって大きな伸展を行うための動作範囲が確保でき, 大きな運動量を獲得できることが推察できる。これに対して, 水平および鉛直方向の速度が非常に高い状態での踏切接地が行われる減速型跳躍では (Table 5), 必然的に踏切接地の際に身体が保持する運動エネルギーは大きく, それを受け止めるために踏切中のモデルの回転速度はかなり増大することから, 接地時間は極めて短くならざるを得ない (木野村ほか, 2012; 永松・図子, 1999)。このような高速度の状態に対応するためには, 踏切前半局面における身体の回転範囲 (受け止める範囲) を大きくして, 十分な運動時間を獲得する必要がある (永松・図子, 1999)。これがなければ, 身体は前方へと回転して転倒することになってしまう。これらの作用は, 必然的に踏切後半局面の時間や角度が占める割合を短縮させる。したがって, 減速型跳躍では踏切の後半局面におけるモデルの伸張作用による速度の獲得が困難となり, 必然的にモデルの回転挙動に頼った速度獲得とならざるを得ないことを示唆するものである。そのために, 踏切中には絶対に加速することができない跳躍となっていることが十分に理解する必要がある。

これまでの結果から, 逆振り子モデルを用いた場合の加速型跳躍と減速型跳躍に関する踏切動作の相違点を明らかにすることができた。そこで, 次の段階として, 相違点が出現する場合の下肢関節やセグメントの動きについて検討した。

加速型跳躍と減速型跳躍の下肢各関節に着目すると, 踏切接地時には下肢 3 関節の角度全てで減速型跳躍が有意に伸展位を示した (Fig. 15)。一方, 関節角速度については, 接地から 40%時点まで下肢 3 関節全てにおいて減速型跳躍が負の方向へ有意に高い値を示したことから, 膝関節角度では接地から 40%時点, 足関節角度では接地から 20%時点において 2 タイプの跳躍間に有意差が認められなくなった。これらの傾向は, モデルが短縮する挙動に認められた結果を裏付けるものであり (Fig. 13), モデルが短縮する挙動は主に膝関節および足関節の屈曲挙動を反映していたことが明らかになった。次に, 膝関節および足関節の挙動を作り出す下肢セグメントに着目すると, 接地時には減速型跳躍における大腿部セ

グメントの角度は有意に大きく、下腿部セグメントの角度は有意に小さい値を示したことから、膝関節の伸展状態はこれら2つのセグメントの作用によって作られていたことが理解できる (Fig. , 17). 一方、足部の角度には有意差が認められなかったことから、足関節の伸展状態は下腿部セグメントの作用によって作られていたことが示唆された. セグメント角速度に着目すると、減速型跳躍では接地から20%までの時点において大腿部セグメントが有意に低い角速度、接地から40%までの時点において下腿部セグメントが有意に高い角速度で前方へ回転したことから、大腿部セグメントでは接地から20%時点、下腿部セグメントでは接地から40%時点において、2タイプの跳躍間に有意差が認められなくなった. 下腿部の大きな範囲に渡る高い速度での前方への回転に対して、大腿部の前方への回転範囲や速度が小さいことは、膝関節に屈曲を生じさせる. したがって、モデルが短縮する挙動に認められた相違点は、主に大腿部と下腿部の回転挙動の相違によって生じていたことが認められた.

モデルの回転挙動については、疾走動作を対象とした研究において、下腿部セグメントの回転挙動がモデルの回転挙動と極めて類似しているとの報告がなされている (Zushi et al., 2003). 水平跳躍動作を対象とした本研究の結果からは、モデルの回転挙動と類似したパラメータを得ることはできなかった. しかし、踏切前半局面では足部セグメントがほぼ固定されていたことを考慮すると (Fig. 16), 同局面において下腿部セグメントはその上部に搭載される身体各部位の支柱のような役割を担うことには共通点が存在することが推察できる. 具体例として加速型跳躍と減速型跳躍の接地時におけるスティックピクチャーと身体重心の位置座標を示したものを Fig. 19 に示した. 2タイプの跳躍における接地時の下肢に関する大きな相違点は下腿部の角度に内在していることが理解できる. すなわち、下腿部の後傾がその上部に搭載される身体各部位を後方へと推移させ、身体重心を接地点の後方へと配置することによって、モデル角度が小さい (後傾した) 状態を作っていたことが推察できる. 下腿部セグメントの角度がモデル角度を決定する大きな要因であることは、踏切前半局面において減速型跳躍の下腿部が有意に高い速度で前方へと回転したことが、そ

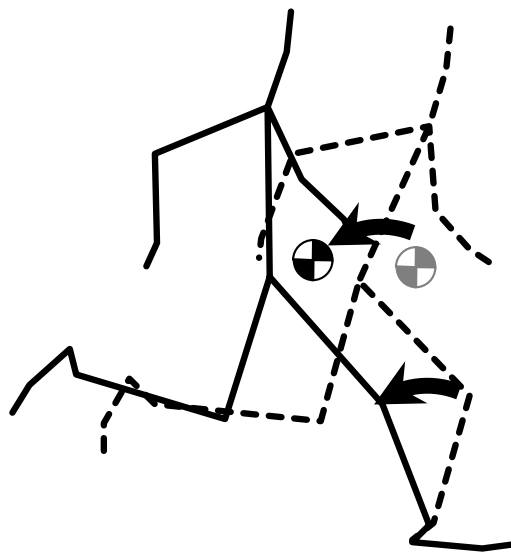


Fig. 19 The typical examples of stick picture instance of touchdown phase of Rebound Long Jump test with the use of 3m Falling Jump distance of acceleration and deceleration jump.

- ; Acceleration jump
- ; Deceleration jump
- ⊕ ; Center of gravity

の上部に搭載される身体各部位を高速で前方へと推進させ、踏切前半局面におけるモデル回転速度を高めた要因であると考えられる。これらのことから、下腿部セグメントの挙動が踏切前半局面におけるモデルの角度と回転角速度を作り出す重要な要因の1つとなること示唆された。一方、減速型跳躍に認められた下腿部の高い前方への回転速度は、接地から20%時点を境に減速を開始した (Fig. 16)。この下腿部の減速に対応するように大腿部の加速が開始され、少し遅れて足部の加速が開始されることが認められた。このことは、踏切中に下肢セグメントが連動するよう作用して速度を獲得していたことを示唆している。したがって、減速型跳躍では踏切前半局面における下腿部の高い回転速度が大腿部、足部へと連鎖的に伝達されたことによって、踏切の全局面に渡ってモデルの回転速度が高まっていたことが明らかになった。また、踏切後半局面に着目すると、減速型跳躍では踏切の全局面を通して全てのセグメントが前方回転を続けたことに対して、加速型跳躍では下腿部が80%時点以降において負の値を示す、すなわちセグメントを後方へと引き起こすような回転挙動が認められた。これらのことを考慮すると、加速型跳躍では40%以降において大腿部と足部を前方、体幹部と下腿部を後方へと回転させることによって、膝関節を後方へと引き戻すように下肢を伸展する踏切動作 (Fig. 20)。これに対して、減速型跳躍では接地以降、足部接地点の後方から膝関節、股関節、股関節の順に足部接地点の前方へと回転することによって、下肢が伸展する踏切動作が遂行されていることが認められた。これらのことは、関節角度の変化パターンでは類似している踏切後半局面における下肢の伸展挙動は、異なるセグメント挙動によって作られていたことを示唆している。

ここまでの結果から、モデル挙動に認められた相違点に関して、接地時におけるモデルの長さや角度、踏切前半局面においてモデルが短縮する挙動、踏切の全局面における回転挙動を作り出していた下肢の挙動が明らかになった。しかし、2タイプの跳躍における離地時のモデル長に相違が認められた要因について検討することができなかった。そこで、踏切脚と協調して遂行される逆脚である振込脚および腕の振込動作に着目した検討を行った (青山ほか, 2009 ; 村木, 1996 ; Zushi et al., 2005)。振込動作は振込脚に存在する3つの

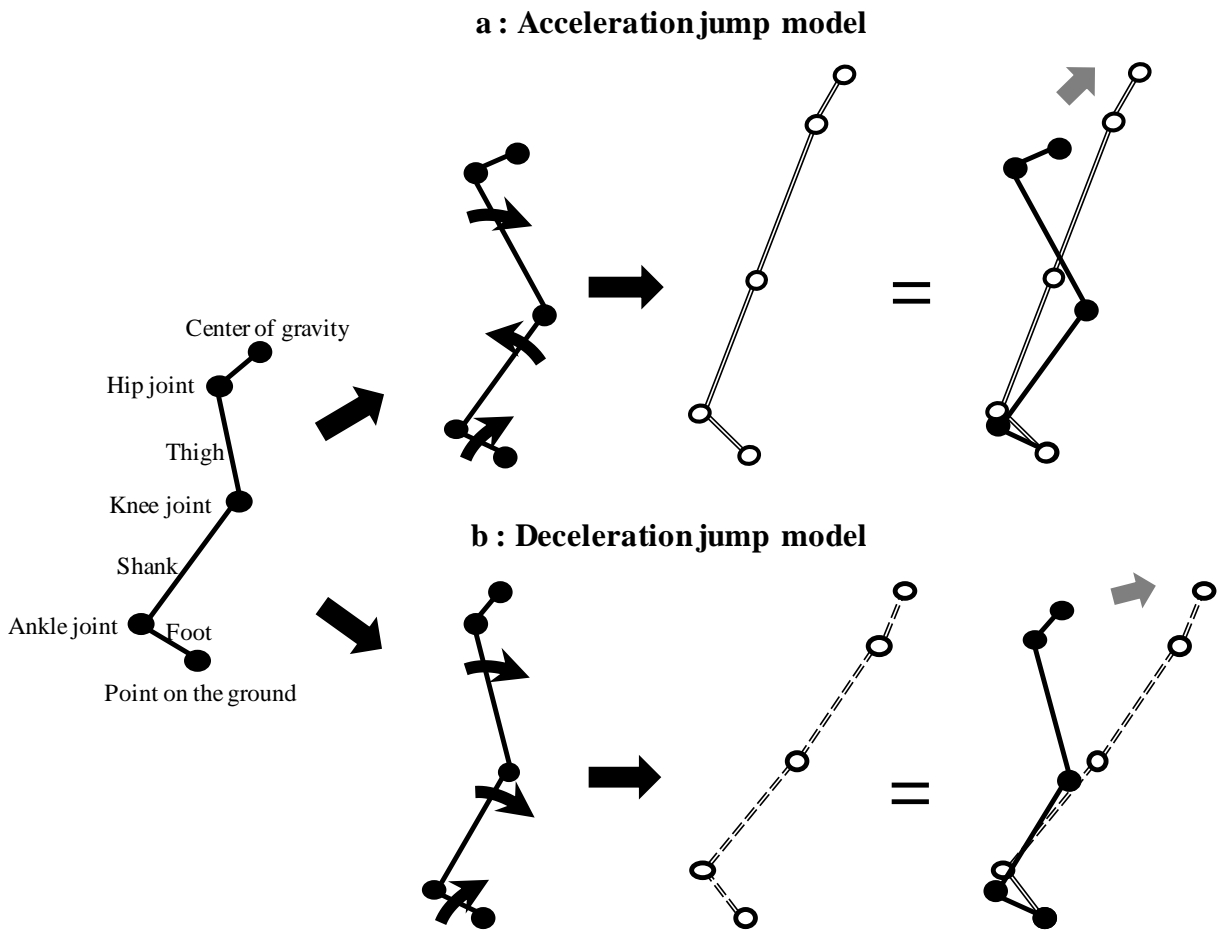


Fig. 20 The comparison of extension model by lower segment between acceleration and deceleration jump.

関節とセグメントが連鎖的に作用することによって遂行される。さらに、振込動作の運動パターンは実施者によって無数に存在することから（村木, 1982 ; 渡邊, 2009), 振込脚や腕の振込動作を一律に比較することには困難が伴う。一方、身体重心の挙動は身体各セグメント重心の合成値から算出されることを考慮すると、振込脚の挙動を振込脚重心の挙動へと置き換えることによって、振込脚が身体重心挙動に対して与えた影響について言及できると判断した。2群間の振込脚重心の挙動に着目すると、加速型跳躍では上方へ大きな範囲に渡り、高い速度で振込動作が遂行されていることが認められた (Fig. 17)。これに対して、減速型跳躍では踏切の全局面に渡って前方への振込速度が高いことに加えて、踏切前半局面において振込脚重心を高い速度で下方へと振り下ろす挙動が認められた。踏切前半局面における振込脚を下方と振り下ろす動作は、接地時の衝撃力を干渉するための役割を担うことが報告されている（青山ほか, 1994 ; Depena and Chung, 1998 ; 三浦ほか, 1996)。減速型跳躍については、踏切前半局面において踏切接地時の大きな運動エネルギーを効果的に干渉するために、振込脚の下方への振込動作が遂行されていたことが明らかになった。一方加速型跳躍については、踏切接地時に大きな運動エネルギーを受け止める必要性は低いことから、振込脚の大きな振り下ろしによる緩衝動作は要求されないが、踏切中に能動的に下肢を伸展させることが要求される。振込脚の上方への振込動作は、下肢の伸展作用を助長することから（青山ほか, 1994 ; Depena and Chung, 1998 ; 三浦ほか, 1996), より早いタイミングで上方への振込動作を開始し、より高い位置まで振込脚および腕を拳上することによって、身体を大きな範囲に渡って伸展していたことが明らかになった。これらの結果は、加速型跳躍におけるモデルが有意に長くなった状態での離地は、主に振込脚の挙動によって作られていたことを示唆している。一方、振込脚の合成重心による前方へ速い速度は、直接的に身体重心の並進速度を速めると考えられる。したがって、減速型跳躍における高いモデルの回転速度は、踏切足の下肢セグメントが速い速度で回転することに加えて、振込脚を速い速度で前方へと振込む動作によって作られていたことが明らかになった。

以上の結果から、加速型跳躍については逆振り子モデルを大きな範囲に渡り伸展する踏切動作が遂行されており、このことは下腿部を前傾した状態での接地姿勢、踏切後半局面における大腿部および足部セグメントを前方、下腿部セグメントを後方へと回転させて膝関節を後方へと引き戻すような伸展動作、振込脚を大きく上方へと引き上げる動作によって作られていることが明らかになった。一方、減速型跳躍については逆振り子モデルを大きな範囲に渡って速い速度で前方へと回転する踏切動作が遂行されており、このことは踏切の全局面に渡って下腿部、大腿部、足部の順にセグメントを遠位端を支点として高い速度で連動するように、回転する踏切動作と、振込脚を前方へと高い速度で振り込む動作によって作られていることが明らかになった。これらのことは、水平跳躍種目の踏切動作では踏切中に水平速度の加速が可能な跳躍であるか、もしくは踏切中には絶対に加速することができない跳躍となっているかによって、踏切動作に要求される能力や技術的要因が異なることを示唆している。したがって、トレーニング計画の立案やその評価・診断を行う際には、目的とする運動動作の特性について十分に配慮した上で実施種目を選択していく必要がある。

V. 要約

本章の目的は、走幅跳や三段跳などの踏切中に必然的に水平速度の減速が生じ、絶対に加速ができない減速型跳躍と、踏切中に水平速度の加速が可能となる加速型跳躍の踏切動作の運動特性とその相違点について、逆振り子型回転モデル、下肢関節、下肢セグメント、自由振込脚の挙動に着目した比較を通して明らかにすることであった。大学の陸上競技部に所属する男子選手11名を対象として、走幅跳や三段跳などの水平跳躍種目に関与する遂行能力を専門的に測定評価するリバウンドロングジャンプテストを実施させた。リバウンドロングジャンプテストは、2回の連続する水平跳躍で構成される。そして、1回目に行わ

れる跳躍の距離を変化させることで、2回目の跳躍を加速型跳躍もしくは減速型跳躍へと変化させることができる。

逆振り子型回転モデルを比較した結果、加速型跳躍はモデルを大きな範囲に渡り伸展させることが重要となる伸展型の踏切動作が遂行されることが明らかになった。一方、減速型跳躍では接地速度の増大や、それに伴い接地時間が短縮する影響を受けて、身体の伸展挙動による速度獲得が困難となり、身体の回転挙動に依存した回転型の踏切動作が遂行されることが明らかになった。次なる手順として、2つのタイプの跳躍間の逆振り子型回転モデルに相違点が生じた要因に関して、下肢関節およびセグメント、振込脚の挙動に着目した検討を行った。その結果、加速型跳躍のモデル挙動の特徴については、踏切後半局面において大腿部および足部セグメントを前方、下腿部セグメントを後方へと回転させて膝関節を後方へと引き戻すような伸展動作と、振込脚を大きく上方へと振り込む動作によって作られていることが明らかになった。一方、減速型跳躍のモデル挙動の特徴については、踏切の全局面に渡って下腿部、大腿部、足部の順にセグメントを高い速度で連動するように回転する踏切動作と、振込脚を前方へと速い速度で振り込む動作によって作られていることが明らかになった。これらのことは、水平跳躍種目の踏切動作では踏切中に水平速度の加速が可能な跳躍であるか、もしくは踏切中には絶対に加速することができない跳躍となっているかによって、踏切動作に要求される能力や技術的要因が異なることを示唆している。したがって、トレーニング計画の立案やその評価・診断を行う際には、目的とする運動動作の特性について十分に配慮した上で実施種目を選択していく必要がある。

第7章 リバウンドロングジャンプテストにおいて踏切接地時の水平速度の増加に対応するための踏切技術（研究課題Ⅱ-2）

I. 目的

陸上競技の走幅跳や三段跳において高いパフォーマンスを獲得するために重要な要因の1つとして、高い助走速度を獲得することが挙げられる (Hay and Miler, 1985 ; 志賀・尾縣, 2002 ; Lisa and Nicholas, 2006 ; 太田ほか, 2010 ; 松井, 1973). しかし、接地時の高い速度は運動時間を短縮させて、接地時に身体が受け止める運動エネルギーを増加させるために、踏切動作の専門性や難易度を増加させる (深代, 1983). このことは、高い接地速度に対応して踏切動作を遂行する能力が、走幅跳や三段跳の踏切動作において重要な要因となることを示唆している. 以上のことを RLJ test に置き換えると、FJ 距離の増加は PJ の踏切接地速度を増大させて、大きな RLJ index の獲得を可能とする. しかし、ある時点において接地速度の増大と RLJ index の獲得が釣り合わなくなることが予測される.

そこで、本章では接地速度が RLJ index の獲得を困難にする FJ 距離条件を明らかにするとともに、同条件においても高い RLJ index を獲得出来ていた選手とそれ以外の選手に群分けを行い、2 群間の踏切動作および下肢の力発揮特性を比較することで、踏切接地時の水平速度の増加に対応するための踏切技術について明らかにすることを目的とした. 本章ではモデル化した踏切動作の比較を行った後 (Fig. 9), モデル挙動に相違が生じた要因に関して、下肢関節の力発揮特性から明らかにする.

II. 方法

1. 対象者

対象者は研究課題Ⅱ-1 と同様であった.

2. 実験試技

テスト試技は、**研究課題Ⅰ** および **研究課題Ⅱ-1** と同様の方法を用いた RLJ test とした (Fig. 1).

3. 測定項目および算出項目

研究課題Ⅰ および **研究課題Ⅱ-1** と同様の方法を用いて、RLJ の主運動である PJ の跳躍距離、接地時間、地面反力、踏切動作を測定した。そして、RLJ index を算出するとともに踏切動作のデジタイズを行い、身体重心および身体重心速度、下肢セグメントおよび下肢関節の角度および角速度を算出した。

踏切動作は、**研究課題Ⅱ-1** と同様の方法を用いてモデル化した。また、水平方向 (\dot{X}_{cg}) および鉛直方向 (\dot{Y}_{cg}) の身体重心速度を、以下の式を用いてモデルの回転挙動によるものとモデルの短縮-伸張挙動によるものに分類した (Jacobs and van Ingen Schenau, 1992 ; 三井・図子, 2006, Zushi et al., 2003)。

$$\dot{X}_{cg} \text{ (m/s)} = -\dot{L}\cos\theta + L\dot{\theta}\sin\theta + \dot{X}_{\text{foot}}$$

$$\dot{Y}_{cg} \text{ (m/s)} = \dot{L}\sin\theta + L\dot{\theta}\cos\theta + \dot{Y}_{\text{foot}}$$

なお、 θ および $\dot{\theta}$ はモデル角度およびモデル回転速度、そして、 L および \dot{L} はモデル長およびモデルの短縮-伸張速度、 \dot{X}_{foot} および \dot{Y}_{foot} は足部接地点の速度を示しており、右辺は左から回転による速度変化、短縮-伸張による速度変化、足部接地点の速度変化によって構成されている。本章では、水平もしくは鉛直方向の重心速度を、足部接地点の速度を除いたモデルの短縮-伸張によるもの (水平方向 : $\dot{L}\cos\theta$, 鉛直方向 : $\dot{L}\sin\theta$) と回転によるもの (水平方向 : $L\dot{\theta}\sin\theta$, 鉛直方向 : $L\dot{\theta}\cos\theta$) と定義した。

4. 統計処理

接地速度条件による差を検定するために、一元配置分散分析を行った。その結果、F値が有意であると認められた項目については、Bonferroniの方法を用いて多重比較を行った。また、群間の差を検定するために、対応のないT-testを行った。なお、統計処理にはSPSS Statistics ver.17.0 (SPSS社製)を使用して、有意水準は5%未満とした。

III. 結果

には低速、中速、高速条件におけるRLJ indexの変化を示した。各条件におけるPJ接地時の身体重心の水平速度（並進速度）および鉛直速度（鉛直落下速度）は、低速、中速、高速の順に有意に増加する傾向が認められた。踏切離地時の水平速度は接地速度に対応して有意に増加したが、踏切離地時の鉛直速度には有意差が認められなかった。

Fig. 21には、PJの跳躍距離に関して、RLJ indexの算出に用いたメジャーを用いて実測した跳躍距離と、身体重心の初速と角度から算出した推定飛距離の相関関係を示した。全ての対象者が身体重心の水平飛距離よりも計測された跳躍距離が小さな値（低速： -0.53 ± 0.23 m, 中速： -0.66 ± 0.30 m, 高速： -0.74 ± 0.48 m）を示した。また、全ての条件における跳躍距離と推定飛距離には有意な相関関係が認められた。

Fig. 22には全対象者の低速、中速、高速条件におけるRLJ indexの変化を示した。低速から中速条件では全対象者がRLJ indexを増加させたが、高速条件ではRLJ indexが減少する対象者（4名）と、RLJ indexをさらに増加させる対象者（7名）が存在した。

Fig. 23には、増加群と減少群の低速、中速、高速条件における跳躍距離もしくは接地時間の変化を示した。増加群では速度の増加にともない、跳躍距離および接地時間は有意に増加もしくは短縮する傾向が認められた。一方、減少群では跳躍距離は低速から中速にかけて有意に増加するが、中速から高速では有意な増加が認められず、接地時間は全ての条件において有意差が認められなかった。

Table 6 The comparison of touchdown or takeoff velocity of horizontal or vertical direction of Rebound Long Jump test by the three speed conditions.

Speed condition	Low speed	Middle speed	High speed	Difference
Touchdown velocity				
Horizontal direction (m/s)	3.96 ± 0.24	5.69 ± 0.38	6.59 ± 0.41	1m<2m<3m
Vertical direction (m/s)	-0.95 ± 0.32	-1.58 ± 0.56	-2.30 ± 0.35	1m<2m<3m
Takeoff velocity				
Horizontal direction (m/s)	4.18 ± 0.24	5.11 ± 0.38	5.83 ± 0.41	1m<2m<3m
Vertical direction (m/s)	2.93 ± 0.37	3.20 ± 0.50	2.86 ± 0.46	n.s.

Differences show results of ANOVA.

<, > ; p < 0.05

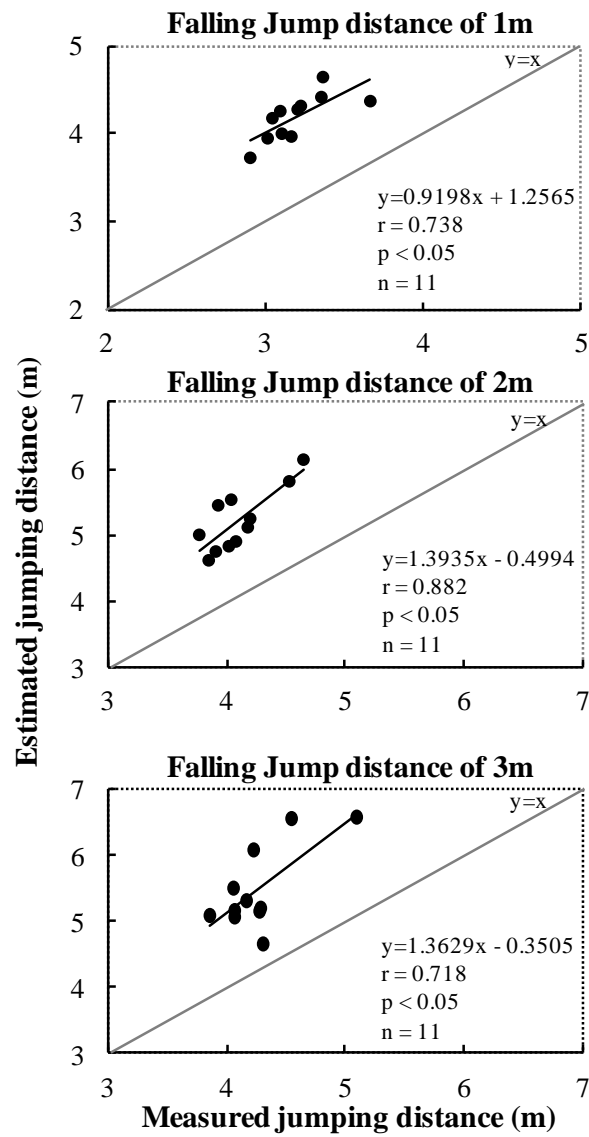


Fig. 21 Relationships between measured jumping distance and estimated jumping distance from the center of gravity.

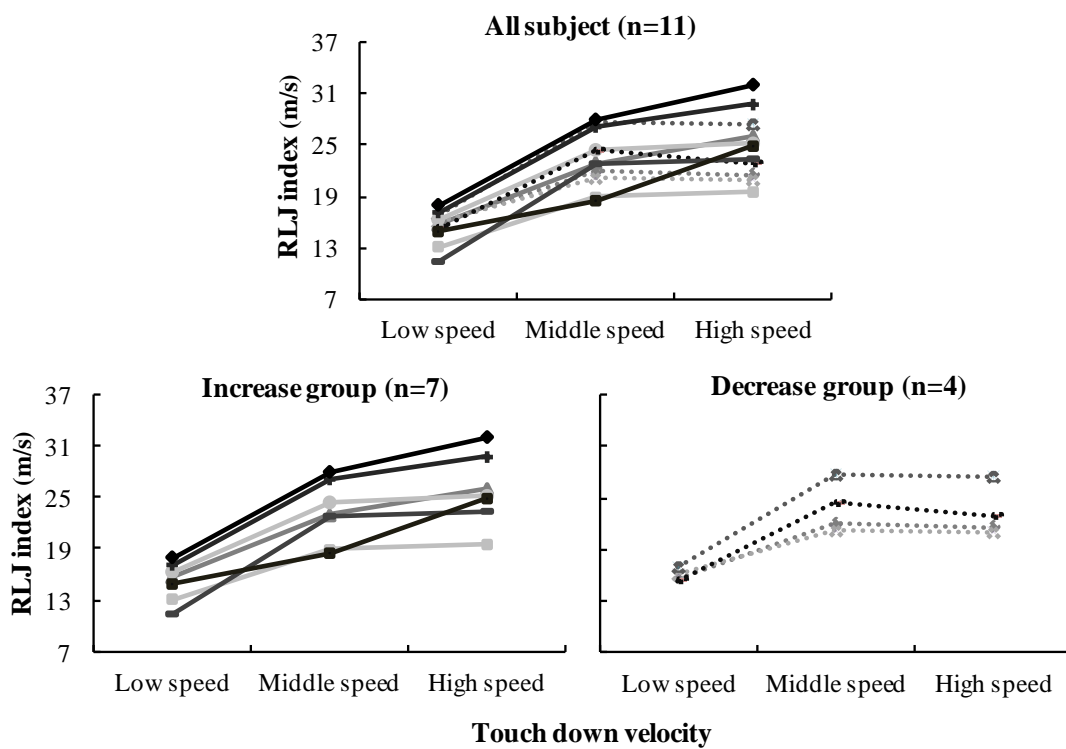


Fig. 22 The changes of Rebound Long Jump index by low, middle and high speed conditions. Upper figure show all subjects. Mid figure show only Increase group that Rebound Long Jump index by high speed condition increased than Rebound Long Jump index by middle speed condition. Lower figure shows only decrease group that opposite group of increase group.

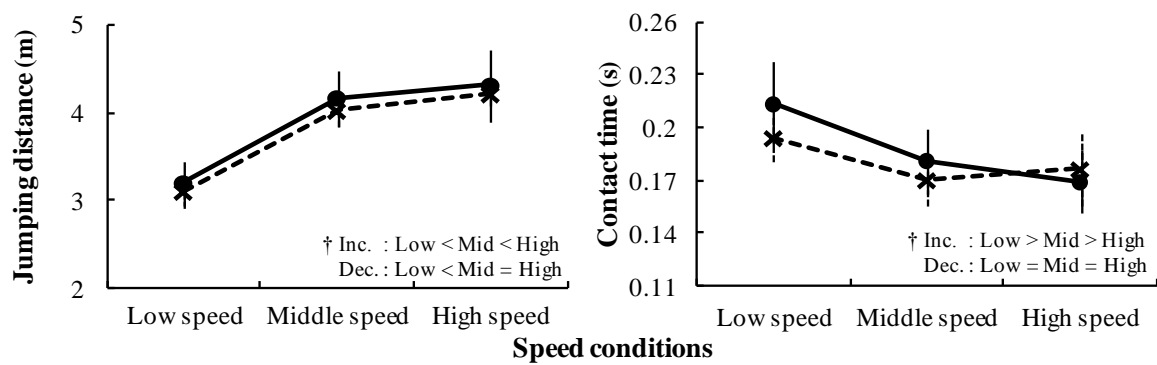


Fig. 23 The comparison of change of jumping distance and contact time of Rebound Long Jump test set at three conditions between increase and decrease groups.

— ; Increase group (Inc.)

- - - ; Decrease group (Dec.)

† ; Result of ANOVA among low, middle and high speed.

<, > ; $p < 0.05$, = ; $p \geq 0.05$

Table 7 には増加群と減少群の身体特性と、高速条件での RLJ test に関する RLJ index, 跳躍距離, 接地時間, 接地時および離地時の水平および鉛直速度, 接地から離地までの間の水平速度の減速率を示した。増加群と減少群の身長, 体重, 接地速度には有意差は認められなかった。また, 増加群は, 減少群よりも有意に大きな RLJ index および跳躍距離を示した。さらに, 離地時の水平速度および水平速度の減速率には有意差は認められなかったが, 離地時の鉛直速度は増加群が有意に高い値を示した。

Table 8 には増加群と減少群の高速条件における踏切中の地面反力に関して, 水平および鉛直方向の最大値 (水平方向は負の最大値) と, 踏切前半もしくは後半局面の平均力積を示した。全ての項目において, 増加群と減少群には有意差が認められなかった。

Fig. 24 には増加群と減少群の踏切中の低速, 中速, 高速条件におけるモデル挙動を示した。増加群と減少群には, 高速条件におけるモデルの短縮-伸張作用に関する要因にのみ有意差が認められた。モデル長では, 40~60%時点において, 増加群が有意に長い状態を維持していた。短縮-伸張速度では, 踏切時間の 10~20%および 65~80%時点において減少群では急激なモデル変位が生じていたことに対して, 増加群では踏切中のモデル変位が緩やかであることが明らかになった。

Fig. 25 には増加群と減少群の高速条件における踏切中の股関節, 膝関節, 足関節が, 踏切前半もしくは後半局面に発揮した関節トルクおよび関節トルクパワーの平均値を示した。増加群と減少群には, 後半局面における股関節の関節トルクにのみ有意差が認められ, 増加群よりも減少群が大きな値を示した。

Fig. 26 には増加群と減少群の高速条件における踏切中の股関節, 膝関節, 足関節の正および負の関節仕事を示した。負の仕事では, 増加群は膝関節による仕事が最も大きいことに対し, 減少群は足関節による仕事が最も大きい傾向が認められた。正の仕事では, 下肢3関節全てにおいて減少群が大きな値を示し, 股関節および膝関節では有意差が認められた。

Fig. 27 には増加群と減少群の高速条件における踏切中の水平もしくは鉛直方向の身体重心速度の変化を, モデルの伸張-短縮挙動によって獲得されたものと回転挙動によって獲

Table 7 The comparison of physical characteristics and measured values of Rebound Long Jump test of high speed condition between increase and decrease groups.

	Increase group	Decrease group	Difference
Body height (m)	175.14 ± 5.63	177.98 ± 10.39	n.s
Body Weight (kg)	67.39 ± 5.84	67.82 ± 6.50	n.s
RLJ index (m/s)	25.84 ± 4.11	23.28 ± 3.04	Increase>Decrease
Jumping distance (m)	4.39 ± 0.35	4.06 ± 0.15	Increase>Decrease
Contact time (s)	0.172 ± 0.018	0.176 ± 0.021	n.s
Touchdown velocity (m/s)			
Horizontal direction	6.62 ± 0.43	6.56 ± 0.43	n.s
Vertical direction	-2.28 ± 0.30	-2.34 ± 0.47	n.s
Takeoff velocity (m/s)			
Horizontal direction	5.96 ± 0.50	5.61 ± 0.49	n.s
Vertical direction	3.05 ± 0.26	2.54 ± 0.59	Increase>Decrease
Horizontal deceleration (%)	90.26 ± 11.75	86.03 ± 12.01	n.s

Differences show results of T-test.

<, > ; p < 0.05, = ; p ≥ 0.05, n.s ; no signification

Table 8 The comparison of ground reaction force during takeoff phase of Rebound Long Jump test of high speed condition between increase and decrease groups.

	Increase group	Decrease group	Difference
Horizontal direction (N/kg)			
Peak value	-28.62 ± 3.42	-25.80 ± 8.73	n.s
Impulse of former phase	1.12 ± 0.17	1.19 ± 0.15	n.s
Impulse of latter phase	0.23 ± 0.07	0.19 ± 0.03	n.s
Vertical direction (N/kg)			n.s
Peak value	107.08 ± 20.83	113.15 ± 18.09	n.s
Impulse of former phase	2.87 ± 0.75	2.84 ± 0.64	n.s
Impulse of latter phase	2.77 ± 0.36	3.33 ± 0.16	n.s

Differences show results of T-test.

<, > ; p < 0.05, = ; p ≥ 0.05, n.s ; no signification

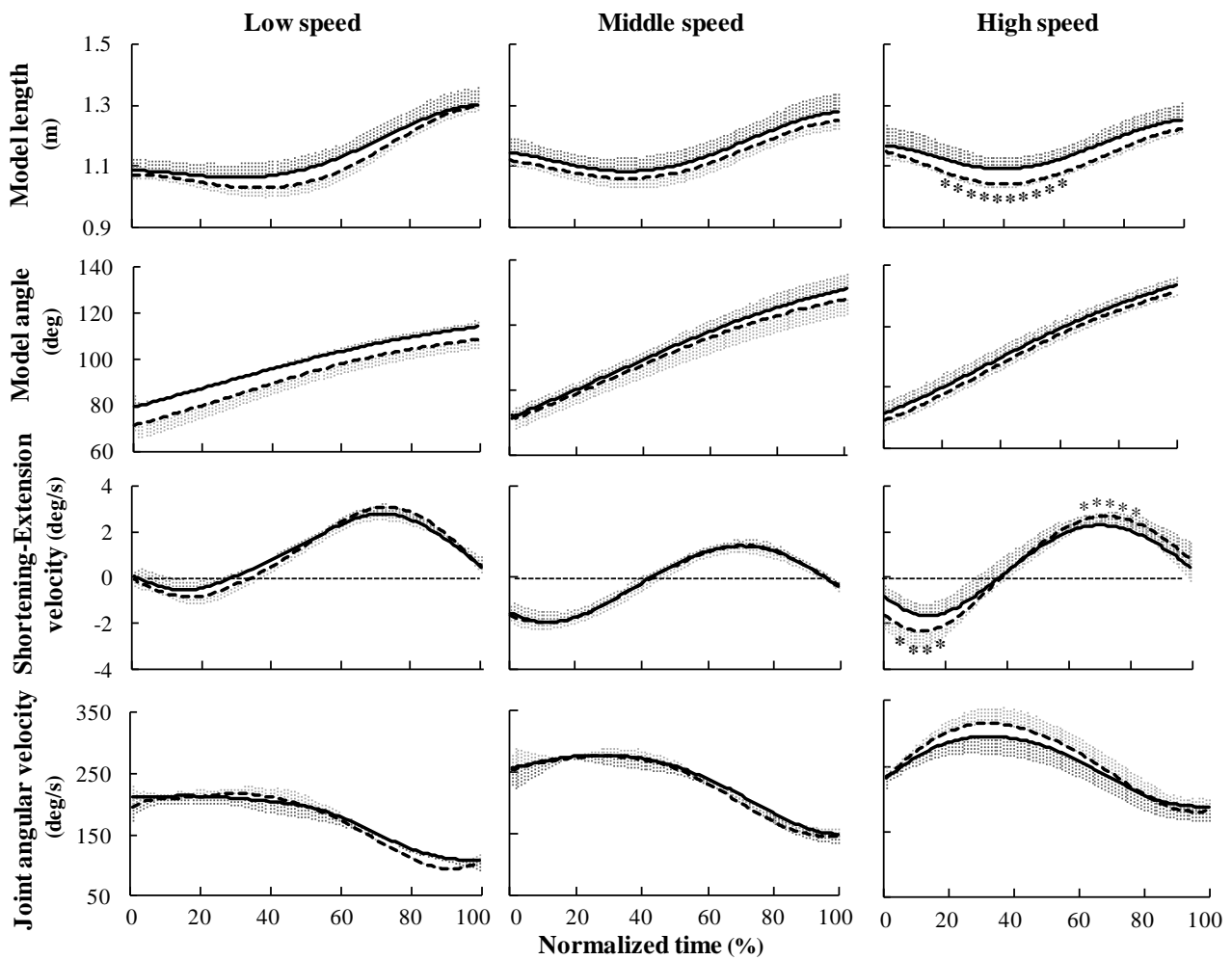


Fig. 24 The comparisons of length, angle, shortening-extension velocity and angular velocity of inverted -pendulum model during takeoff phase of Rebound Long Jump test by the three speed condition.
 —; Increase group
 - - -; Decrease group
 * ; statistically-significant difference between increase and decrease groups ($p < 0.05$).

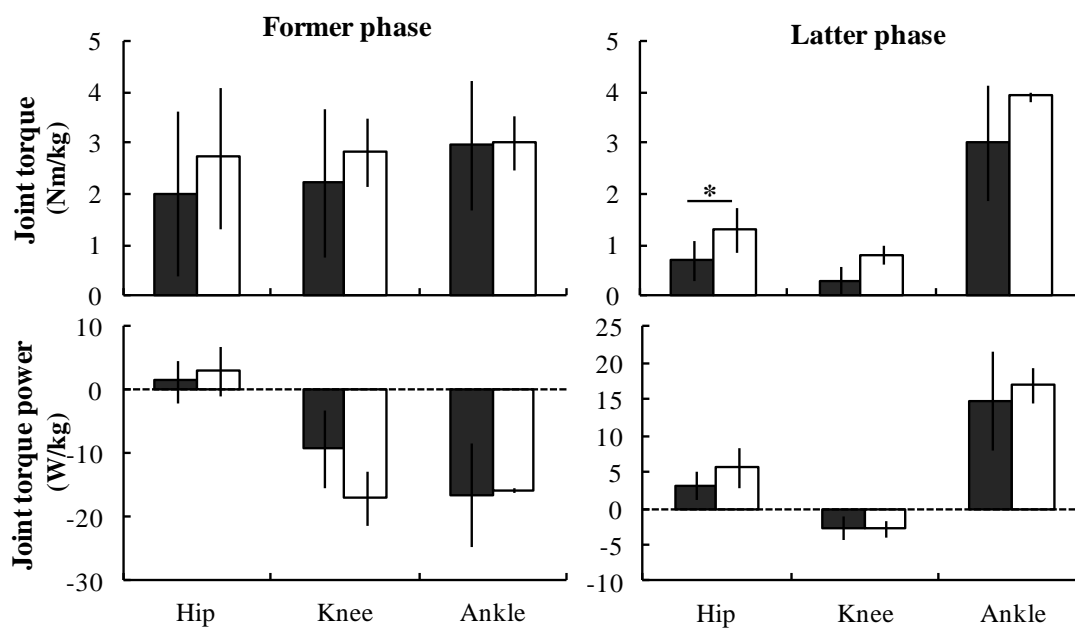


Fig. 25 Joint torque of hip, knee or ankle joints on the former or latter phase during takeoff phase of Rebound Long Jump test of high speed condition.

■ ; Increase group

□ ; Decrease group

* ; statistically-significant difference between increase and decrease groups ($p < 0.05$).

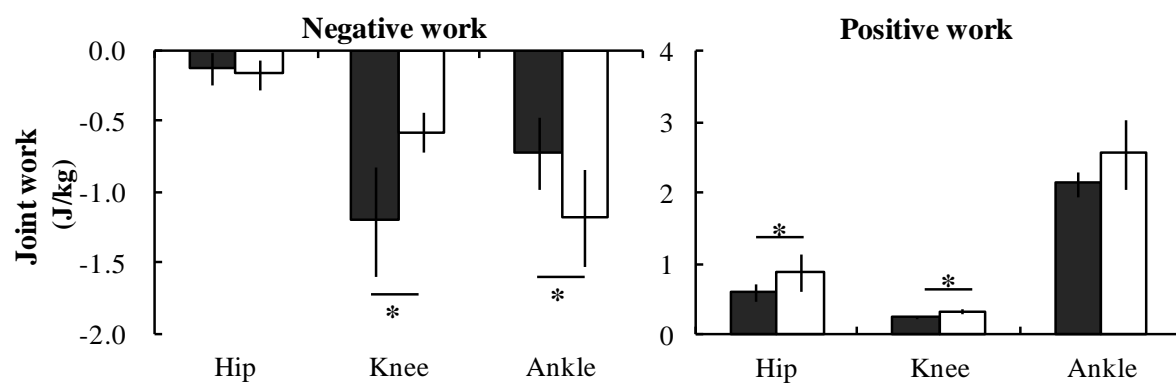


Fig. 26 Joint work about negative or positive component of hip, knee or ankle joints during takeoff phase of Rebound Long Jump test of high speed condition.

■ ; Increase group

□ ; Decrease group

* ; statistically-significant difference between increase and decrease groups ($p < 0.05$).

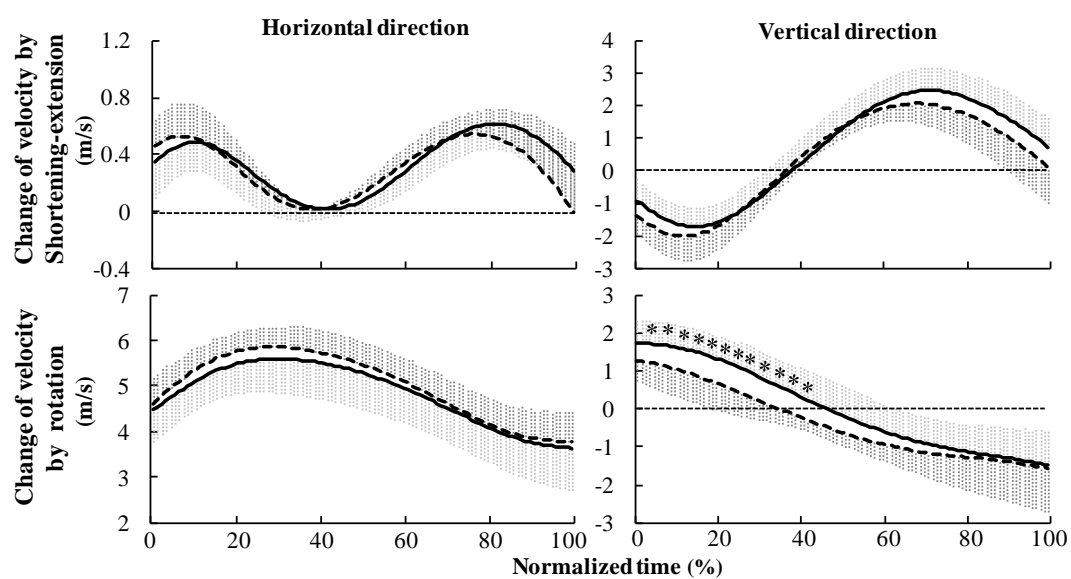


Fig. 27 Change of velocity of the center of mass by model shortening-extension and rotation during takeoff phase of Rebound Long Jump test on high speed condition.

— ; Increase group

- - - ; Decrease group

* ; statistically-significant difference between increase and decrease groups ($p < 0.05$).

得されたものに分類して示した。増加群と減少群の間には、回転による鉛直速度の獲得様式において接地から50%前後の時点に有意差が認められ、増加群が回転作用によって大きな鉛直速度を獲得していたことが明らかになった。

IV. 考 察

本章の目的は、高速条件でのRLJ testにおいて高い接地速度に対応してRLJ indexを獲得する踏切動作の技術的要因を明らかにすることであった。高い接地速度は水平跳躍種目において高いパフォーマンスを獲得するために不可欠となる(Hay and Miler, 1985; Lisa and Nicholas, 2006; 太田ほか, 2010; 志賀・尾縣, 2002)。しかし同時に、運動時間は短縮して、接地時に身体が受け止める運動エネルギーが増加することから、踏切動作の専門性や難易度が増加する(深代, 1983)。RLJ testでは、FJ距離を調節することで接地速度を一定に調節できることから、FJ距離を漸増的に増加させたRLJ indexを比較することで、接地速度に対応した跳躍動作が遂行されたか否かの評価が可能となる。そこで、接地速度を低速(FJ距離1m条件)・中速(FJ距離2m条件)・高速(FJ距離3m条件)の3条件に設定したRLJ testを行い、個人ごとのRLJ indexの変化に着目した。

1. FJ距離の変化および着地技術が跳躍に与える影響

各条件におけるPJ接地時の身体重心の水平速度(並進速度)および鉛直速度(鉛直落下速度)は、低速、中速、高速の順に有意に増加する傾向が認められた(Table 7)。これらのことは、FJ距離の獲得には水平速度の増加と、踏切角度を増加させて跳躍の高さを獲得することによって対応していたことを示唆している。踏切離地時の水平速度は、接地速度の増加に対応して有意に増加したが、踏切離地時の鉛直速度には有意差が認められなかった。走幅跳の踏切動作では、助走速度の増加が離地時の水平速度に影響を与えるが、鉛直速度

には大きな影響を与えないことが報告されている (Lisa and Nicholas, 2006). このことは, RLJ testにおける踏切中の速度獲得様式が走幅跳の踏切動作によるものと類似していることを示唆している. 3条件における RLJ index の変化に着目すると, 低速から中速では全ての対象者が RLJ index を増加させたが, 中速から高速では RLJ index を減少させる対象者が出現した (Fig. 22). このことから, 高速の試技が接地速度に対応することが困難となる条件となることが明らかになった. 一方, 高速条件においても高い接地速度に対応して, 中速条件よりも高い RLJ index を獲得できる対象者も存在した. 言い換えると, 高速条件に対応して RLJ index を高めた対象者は, 高速条件での RLJ index 獲得能力に優れており, 高速条件において RLJ index が中速条件よりも低下した対象者は, 高速条件での RLJ index 獲得能力に劣ることが理解できる. そこで, 3条件の中で高速条件での RLJ index が最も高かった対象者を増加群, 高速条件での RLJ index が中速条件よりも減少した対象者を減少群として分類した. なお, 増加群と減少群の間には, 身長, 体重, 接地速度には有意差は認められなかったことから, 身体特性や試技の条件は同一であった (Table 7). また, 増加群は減少群よりも有意に大きな跳躍距離と有意に短い接地時間を示したことから RLJ index は有意に高く, 高速条件での RLJ test の遂行能力に優れていた.

増加群と減少群の RLJ index を構成する跳躍距離および接地時間の変化に着目すると, 増加群では速度の増加するに伴い, 跳躍距離は有意に増加し, 接地時間は有意に短縮する傾向が認められた (Fig. 23). 一方, 減少群では跳躍距離は低速から中速にかけては有意に増加するが, 中速から高速へは増加傾向を示すが有意差は認められず, 接地時間は全ての条件において有意差が認められなかった. 本来, 接地速度の増大は踏切中の速度を増加させるために, 跳躍距離は増加して接地時間は短縮されると考えられる. しかし, 減少群に認められた傾向は異なるものであった. 典型的な高速条件での水平跳躍である走幅跳では, 接地速度の増大に対応して接地時間の短縮率を高めた選手が効果的に跳躍距離を獲得できることが報告されている (木野村ほか, 2012). これらのことを考慮すると, 減少群では大きな接地速度やそれにとまなう大きな運動エネルギーに対応できなくなり, 限られた時間

での力発揮が困難になっていたことが推察された。

なお、RLJ test の評価指標となる RLJ index を構成する跳躍距離は、PJ の踏切地点から、砂場に両脚で着地した痕跡までの最短距離を測定した。着地を用いた水平跳躍における跳躍距離は着地技術の影響を受け、その値は走幅跳のもので約 5% を占めることが報告されている (Hay et al., 1986 ; 尾縣・中野, 1992 ; 尾縣ほか, 1993)。そのために、跳躍距離に認められた差異が BSSC 能力だけではなく、着地技術によって生じていた可能性が否定できない。そこで、踏切離地時の身体重心の初速と角度から推定飛距離を算出して、跳躍距離との相関関係を明らかにすることで、着地技術が跳躍距離による与えた影響を検討した。その結果、全ての対象者が身体重心の水平飛距離よりも計測された跳躍距離が小さな値 (低速 : -0.53 ± 0.23 m, 中速 : -0.66 ± 0.30 m, 高速 : -0.74 ± 0.48 m) を示した。しかし、跳躍距離と推定飛距離には有意な正の相関関係が認められたことから (Fig. 21), 本研究の対象者における跳躍距離もしくは RLJ index に称した差異は着地技術による影響が少なく、踏切時の BSSC 能力によってもたらされていたことが示唆できる。

2. 減少群との比較から見た増加群の踏切動作および力発揮特性

引き続き課題として、増加群が短時間で大きな力発揮を可能としていた要因に関して、踏切動作および下肢関節の力発揮特性に着目した。踏切動作は、身体重心と足部接地点が仮定の線分で結ばれているとみなす、逆振り子型の回転運動モデルに置き換えた (Jacobs and van Ingen Schenau, 1992 ; 木野村ほか, 2012 ; 三井・凶子, 2006 ; Zushi et al., 2003, Fig. 9)。踏切動作をモデルとして捉えることで、身体各部位の動作が高度に連携する複雑な運動構造を有す踏切動作を、モデルが短縮したのちに伸張する挙動と、足部接地点を支点として前方へと回転する挙動の 2 要因に単純化して把握することができる。増加群と減少群モデル挙動に関して、FJ 距離の増加に伴う変化を比較した結果、高速条件における増加群と減少群のモデル挙動に有意差が認められた (Fig. 24)。このことは、高速条件では増加群もしくは減少群のいずれかの踏切動作に、何らかの変化が生じていることを示唆している。減

少群と比較した増加群のモデル挙動は、モデルを長い状態に維持して踏切が遂行されるとともに、モデルの短縮-伸張が緩やかに生じていた (Fig. 24). 接地速度の増加は、接地時に身体が受け止める運動エネルギーを増大させることから、モデルを短縮させる大きな力が加わる (すなわち、下肢が屈曲させられる). 増加群と減少群の水平および鉛直方向の地面反力のピーク値および力積には有意差が認められなかったことから (Table 8), 接地時には同程度の運動エネルギーを受け止めていたことが理解できる. このような状況にも関わらず、増加群のモデルの短縮範囲や速度が小さい値に留まっていた要因について、下肢関節トルクに着目した検討を行った. 踏切前半局面において接地速度を受け止めるために発揮された関節トルク及び関節トルクパワーの大きさは、下肢 3 関節全てにおいて増加群と減少群の間に有意差が認められなかった (Fig. 25). 一方、関節仕事に着目すると、負の関節仕事において増加群は膝関節が最も大きな値を示したことに對して、減少群では足関節が最も大きな値を示した (Fig. 26). このことは、増加群と減少群におけるモデル挙動の違いは、下肢が発揮したトルクやトルクパワーの総量ではなく、各関節の貢献度による影響であったことを示唆している. 膝関節は下肢の直列多関節の中間に位置することから、モデル長に大きな影響を与える. また、介在する筋の数や面積の大きさを考慮すると、足関節よりも大きな力発揮が可能な機能的・形態的特性を有している (岡子ほか, 1998). すなわち、増加群では膝関節伸展筋群が大きな貢献をなせる踏切動作を遂行した結果、モデルの短縮を小さい値に留めることを可能としていたことが推察できる. 一方、踏切後半局面での関節トルク、関節トルクパワー、踏切中の正の関節仕事は、下肢 3 関節全てにおいて減少群が大きく、股関節の関節トルクと関節仕事、膝関節の正の関節仕事には有意差が認められた (Fig. 25, 26). これらの作用が、減少群の伸張速度が増加群よりも有意に高い値を示した要因であると考えられる (Fig. 24).

以上のことを考慮すると、高速条件において増加群は、身体の屈曲-伸展動作を最小限に抑えた踏切動作、減少群は身体の屈曲-伸展動作を大きく利用した踏切動作を用いていたことが理解できる. 両脚鉛直跳躍を用いた BSSC 能力の測定評価方法として広く用いられ

ているリバウンドドロップジャンプでは、踏切中の関節角度の浅いものはリバウンド型、深いものはプレス型の跳躍として分類されている（高松ほか，1989，図子，2005）。また、走幅跳や三段跳の踏切動作は、ピストン型跳躍もしくはスイング型に分類されており、前者は下肢関節の大きな屈曲－伸展をとめない踏切中に大きな水平速度の減速と大きな速度獲得が行われる動作、後者は下肢関節の屈曲－伸展を小さくして小さな減速で水平速度が維持されることで大きな合成速度が獲得される動作との理解ができる（村木，1970；村木，1996）。なお、短時間もしくは高い速度での運動遂行が求められるような動作に対しては、リバウンド型（図子・高松，1996）もしくはスイング型（村木，1996）の跳躍が有効であることが報告されている。これらの報告を考慮すると、増加群の跳躍はリバウンド・スイング型、減少群の跳躍はプレス・ピストン型の踏切動作を遂行していたことを示唆しており、増加群の踏切動作は、高速条件での跳躍に対応可能なタイプであったことが明らかになった。

RLJ index を構成する要因の1つである跳躍距離は、主に踏切離地時の水平および鉛直速度の合成速度によって決定される。増加群と減少群の離地時における水平速度には有意差が認められず、踏切中の水平速度の減速率も同様であった（Table 7）。また、水平速度の減速は踏切中に鉛直速度へと変換されるが（Bosco et al., 1986；Hay et al., 1986；Kho and Hay., 1990），踏切離地時の鉛直速度は増加群が有意に高い値を示した。このことは、増加群が減少群と同程度の水平速度の減速で、高い鉛直速度を獲得していたことを意味している。一方、減少群はモデルを高い速度で大きな範囲を伸張させたにも関わらず、水平方向の離地速度は増加群と同様であり、鉛直方向の離地速度は有意に低い値に留まった。このことは、高速条件の水平跳躍では、後半局面における伸張作用が踏切離地時の速度獲得に対して与える影響が小さい可能性を示唆している。そこで、踏切中の速度変化をモデルの伸張－短縮によるものと回転によるものに分類して比較を行った。その結果、増加群と減少群の速度獲得様式には、回転による鉛直速度の獲得に有意差が認められ、増加群では踏切前半局面においてモデルの回転挙動を促進する踏切動作を行っていたことが明らかになった（Fig.

27). 水平跳躍では、踏切前半局面において接地点が急激に停止することで、接地点の上部に搭載されている身体が前方および上方へと回転するように推進する「起こし回転」が生じる。高速条件で行われる走幅跳の踏切動作では、水平速度の減速は起こし回転によって鉛直方向へと変換され、その値は全体の60~65%に達することから、大きな跳躍距離を獲得するために不可欠な要因となることが示されている(阿江ほか, 1989; Bosco et al., 1979; Lee et al., 1993; 志賀・尾縣, 2004)。そして起こし回転の作用は、踏切前半局面での膝関節伸展力を高めることによって助長されるとの報告がなされている(Muraki et al., 2008; 志賀・尾縣, 2004)。増加群における膝関節の負の関節仕事が有意に大きい値を示したことを考慮すると、増加群では踏切中に起こし回転の作用を利用して、踏切中に効果的に鉛直速度を獲得した結果、大きな跳躍距離を獲得していたことが明らかになった。

以上の結果から、踏切接地時の水平速度の増加に対応するための踏切技術は、踏切前半局面において、膝関節伸展筋群を大きく動員させることで、身体の屈曲-伸展挙動を最小限に抑制すると同時に、身体の回転挙動を促進する。促進された回転挙動によって、水平速度の減速を効果的に鉛直速度へと変換ことが重要な課題となる。したがって、RLJ testでは走幅跳や三段跳のパフォーマンスの構成要因の中で、踏切局面中の前半局面において効率よく水平速度の減少を鉛直速度へと変換する能力に関する測定評価が可能となることが示唆された。

V. 要約

本章の目的は、RLJ testにおいて踏切接地時の水平速度の増加に対応して高いRLJ indexを獲得するための踏切技術を明らかにすることであった。そのために、踏切接地時の水平速度を漸増的に増加させたRLJ testを行いRLJ indexの変化に着目した。RLJ indexは、FJ距離を1m(以下, 低速条件)から2m(以下, 中速条件)へと変化させた際には、全ての対象者が増加する傾向が認められたが、中速条件から3m(以下, 高速条件)への変化では、

RLJ index をさらに増加させる対象者と RLJ index を低下させる対象者が存在することが明らかになった。そこで、高速条件において高い RLJ index を獲得した対象者を増加群、高速条件においては RLJ index が低下した対象者を減少群として、2 群の踏切動作の比較を行った。踏切動作の比較には、身体を身体重心と足部接地点を結んだ仮想の線分が短縮と伸張を伴いながら回転する逆振り子とみなすモデルを用いた。

本研究の結果から、踏切接地時の高い水平速度に対応して RLJ index を獲得するためには、接地時間を短縮するとともに、短縮された接地時間内に大きな推進力を獲得することが重要となることが明らかになった。なお、接地時間の短縮は踏切後半局面が占める割合の減少によって生じていた。また、跳躍距離は主に離地時の合成速度によって決定されるが、増加群の踏切中の水平速度の減速は減少群と同程度であったが、大きな鉛直速度を獲得していた。このことは、モデルの短縮－伸張挙動を最小限に抑えて、回転挙動を促進する踏切動作によってなされていた。短縮－伸張は踏切前半局面において膝関節伸張筋群を大きく動員させることで、促進された回転挙動が水平速度の減速を効果的に鉛直速度へと変換することで抑制することが可能となる。そして、促進された回転挙動が、踏切前半局において水平速度の減速を効果的に鉛直速度へと変換した結果、離地時の大きな合成速度が獲得され、大きな跳躍距離の獲得が可能となる。なお、踏切後半局面における伸張作用は、高速条件で行われる水平跳躍においては、身体重心速度の獲得に対する貢献が小さいことも明らかになった。

以上のことから、高速条件において高い RLJ index を獲得するためには、踏切中に下肢を大きく屈曲－伸展させて大きな推進力を「生産」するのではなく、下肢を強く支持することで接地時の速度を受け止め、身体を前方へと回転させることで、接地速度を効果的に離地速度へと「変換」する能力が重要であることが明らかになった。このことを、走幅跳や三段跳などに置き換えると、踏切中には身体を加速させることを目指すのではなく、踏切中の減速を最小限に抑える要因に焦点を当てることが有効となる可能性が示唆された。

第 8 章 リバウンドロングジャンプ指数の優劣を決定する踏切局面の技術的要因（研究課題 II-3）

I. 目的

ここまでの結果から、本研究の対象者である大学・シニアレベルの競技者を対象として、走幅跳や三段跳の踏切動作に要求される BSSC 能力を測定評価する際には、FJ 距離を 3m に設定した RLJ test が有効となること、同条件において優れた RLJ index を獲得するためには、身体の回転挙動が重要な役割を担うことが明らかになった。RLJ test を用いた測定評価は高度な機器を必要としないことから、トレーニング現場で即座にフィードバックができるという利点も存在している。したがって、RLJ index の成績を決定する技術的評価を行うことができれば、RLJ index を用いた跳躍技術の評価法が確立できることに加えて、実際の競技における踏切動作を改善するためのトレーニングを簡便に行うことが可能になると考えられる。

そこで本章では、RLJ index を決定する踏切技術について、RLJ index が優れる対象者と劣る対象者のモデル挙動を比較するとともに、モデル挙動の相違が生じる原因となる身体各関節及び各セグメントの動きの詳細について明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 対象者

対象者は、研究課題 II-1、研究課題 II-2 と同様であった。

2. 実験試技

テスト試技は、**研究課題 I**、**研究課題 II - 1**、**研究課題 II - 2** と同様の方法を用いた RLJ test を行った (Fig. 1).

3. 測定項目および算出項目

研究課題 I、**研究課題 II - 1**、**研究課題 II - 2** と同様の方法を用いて踏切動作、跳躍距離、接地時間を測定して、RLJ index を算出した。

RLJ index の平均値 (24.91 ± 4.02 m/s) を基準として、対象者を平均値よりも高い RLJ index を示した対象者を上位群 ($25.20 \sim 31.08$ m/s)、平均値よりも低い RLJ index を示した対象者を下位群 ($23.43 \sim 19.52$ m/s) として、各 5 名ずつに分類した。なお、中央値 (24.88 m/s) の対象者は上位群と下位群の人数を等しくするために対象から除外することとした。

踏切動作は、**研究課題 II - 1** および **研究課題 II - 2** と同様の方法を用いてデジタイズした後、各セグメントの重心、身体重心、振込脚重心、下肢セグメントの角度および角速度を算出した。なお、**研究課題 II - 3** では、接地前の空中局面も分析対象としたために、接地前 10 コマを空中局面と定義して、その 10 コマ前からの分析を加えた。

PJ の踏切動作のモデル化には **研究課題 II - 1** および **研究課題 II - 2** と同様の方法を用いたが、空中局面での挙動を加えたために、身体重心と母子球を結ぶ仮想の線分が、踏切前の空中では短縮と伸張を伴い前方回転をしながら地上へと落下し接地した後、地上では母子球を支点として前方へ回転するモデル挙動になる (Fig. 9)。踏切局面は、上記した空中局面に加えて、接地からモデル長が最短の値を示した時点を踏切前半局面、モデルが伸張を開始した後、足部が離地するまでを踏切後半局面の 3 局面に分類した。なお、踏切前半局面と後半局面の切り替わった時点の全対象者の規格化された時間に関する平均値は $39.80 \pm 3.16\%$ であった。

空中局面でのモデル挙動に関して、モデルの回転が主に身体重心を回転中心としたもの

なのか、あるいは足部接地点を回転中心としたものかを判別するために、身体重心の水平方向への移動距離から足部接地点の水平方向への移動距離を減算することで、足部接地点の変位に対する身体重心の相対変位を算出した。この値が正方向へ大きければ、主に身体重心が前方へと回転していたことを示し、負方向に大きければ、主に足部接地点が後方に回転していたことを示している (Fig. 28)。研究課題Ⅱ-1と同様の方法を用いて、振込脚の挙動を算出した。

4. 統計処理

RLJ index 上位群と下位群の差を検定するために、SPSS Statistics ver.17.0 (SPSS 社製) を使用し、対応のない T-test を行った。なお、統計処理の有意水準は 5%未満とした。

III. 結果

Table 9 には、上位群と下位群の身体特性および RLJ index, 跳躍距離, 接地時間, 水平方向の接地速度およびモデル回転範囲の平均値を示した。上位群と下位群の身長, 体重, 接地速度には有意差は認められなかった。また, 上位群は下位群と比較して, 有意に大きな跳躍距離と有意に短い接地時間を示すとともに, RLJ index も有意に高い値を示した。モデル回転範囲は, 上位群は下位群と比較して有意に小さい値を示した。

Fig. 29 には, 上位群と下位群のモデル挙動を示した。2 群間には回転に関する要因にのみ有意差が認められた。モデル角度では空中局面における-100%時点から-20%時点までは上位群が有意に小さい値を示し, 2 群間の相違は時間の経過とともに小さくなる傾向を示した。一方, 接地の後半になるに伴って, 2 群間の相違は時間の経過とともに大きくなり, 30%時点では再度有意差が認められた。これとは対照的に, モデル回転速度は空中局面における

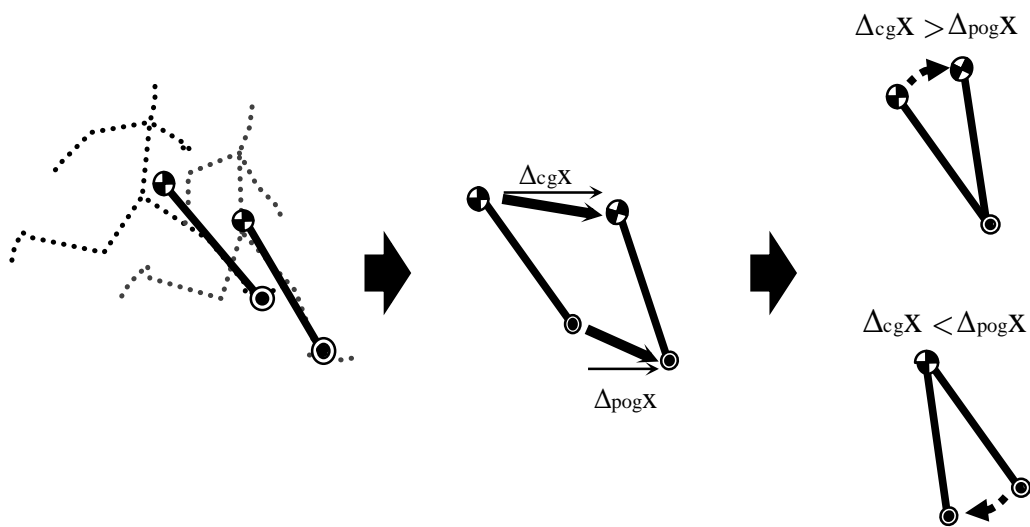


Fig. 28 The definition of relative distance on the means displacement of delta of the center of gravity and point on the ground in the flight phase.

- ; Center of gravity
- ◎; Point on the ground

Table 9 The comparison of physical characteristic and measured value of Rebound Long Jump test with the use of 3m Falling Jump distance between upper level and lower level groups.

	Upper level group	Lower level group
Body height (m)	176.1 ± 9.4	175.0 ± 5.8
Body weight (kg)	66.7 ± 7.5	67.9 ± 4.9
Touchdown velocity (m/s)	6.49 ± 0.55	6.35 ± 0.46
RLJ index (m/s)	28.14 ± 2.80 *	21.67 ± 1.55
Jumping distance (m)	4.46 ± 0.39 *	4.08 ± 0.14
Contact time (s)	0.159 ± 0.01 *	0.189 ± 0.01
Model rotation range (deg)	40.49 ± 3.04 *	43.06 ± 3.13

* ; significant difference between upper level and lower level groups(p < 0.05).

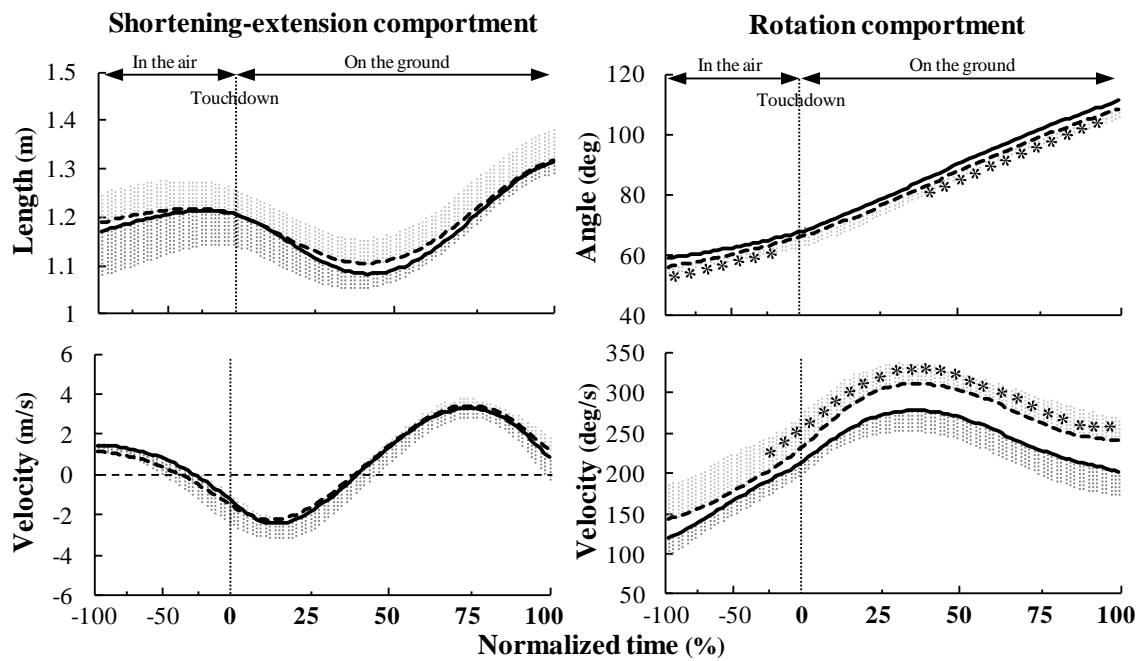


Fig. 29 The comparison of length, angle, shortening-extension velocity and angular velocity of inverted-pendulum model during takeoff phase of Rebound Long Jump test with the use of 3m Falling Jump distance between upper level and lower level groups.

--- ; Upper level group

— ; Lower level group

* ; statistically-significant difference between upper level group and lower level groups($p < 0.05$).

-100%時点では有意差が認められなかったが、2群間の相違は時間の経過とともに大きくなり、-20%時点以降離地まで上位群が有意に高い値を示した。

Fig. 30 には、上位群と下位群の空中局面における身体重心の足部接地点に対する水平方向への相対変位を比較した結果を示した。相対変位は上位群、下位群ともに正の値を示し、-70%時点以降では上位群が有意に高い値を示した。

Fig. 31 には、上位群と下位群の踏切脚における下肢セグメント挙動を示した。空中局面では、全ての項目において2群間に有意差は認められなかった。接地以降、下腿部では20%時点、足部では10%時点以降離地までにおいて上位群の値が有意に小さい値を示した。セグメント回転速度では、大腿部では15~30%時点と60~80%時点、下腿部では35~55%時点において上位群が有意に高い値を示した。

Fig. 32 には、上位群と下位群の振込脚重心挙動を示した。振込距離では、空中局面における-100%時点では有意差は認められなかったが、2群間の相違は時間の経過とともに大きくなり、-20%時点以降上位群が正方向に大きな値（すなわち、身体に近い場所に位置する）を示した。上位群の振込距離は、接地後30%時点まで有意差が維持されるとともに、その後認められなくなった。振込速度では、水平方向では全局面、鉛直方向では75%時点以降離地まで上位群が有意に高い値を示した。

Fig. 33 には、RLJ index 上位群と下位群の接地中の踏切脚における下肢関節角度を比較した結果を示した。股関節、膝関節、足関節に共通して全ての局面において有意差は認められなかった。

Table 10 には、RLJ index 上位群と下位群のモデル長、踏切脚における下肢関節角度について踏切前半もしくは後半局面の変化量を示した。モデル長と膝関節角度における踏切前半局面にのみ有意差が認められ、上位群が下位群よりも小さい値を示した。

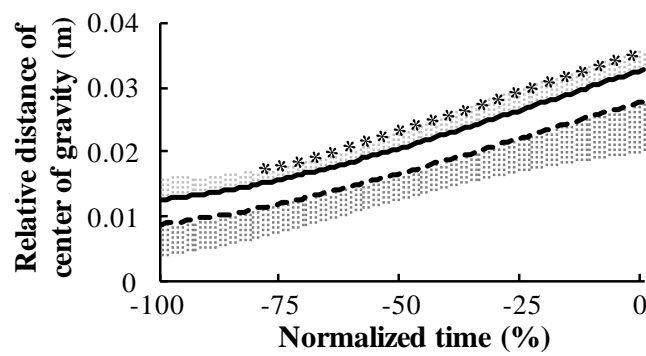


Fig. 30 The comparison of relative distance of the center of gravity and point on the ground right before takeoff phase of Rebound Long Jump test with the use of 3m Falling Jump distance between upper level group and lower level group.
 ---; Upper level group
 —; Lower level group
 * ; statistically-significant difference between upper level group and lower level groups($p < 0.05$).

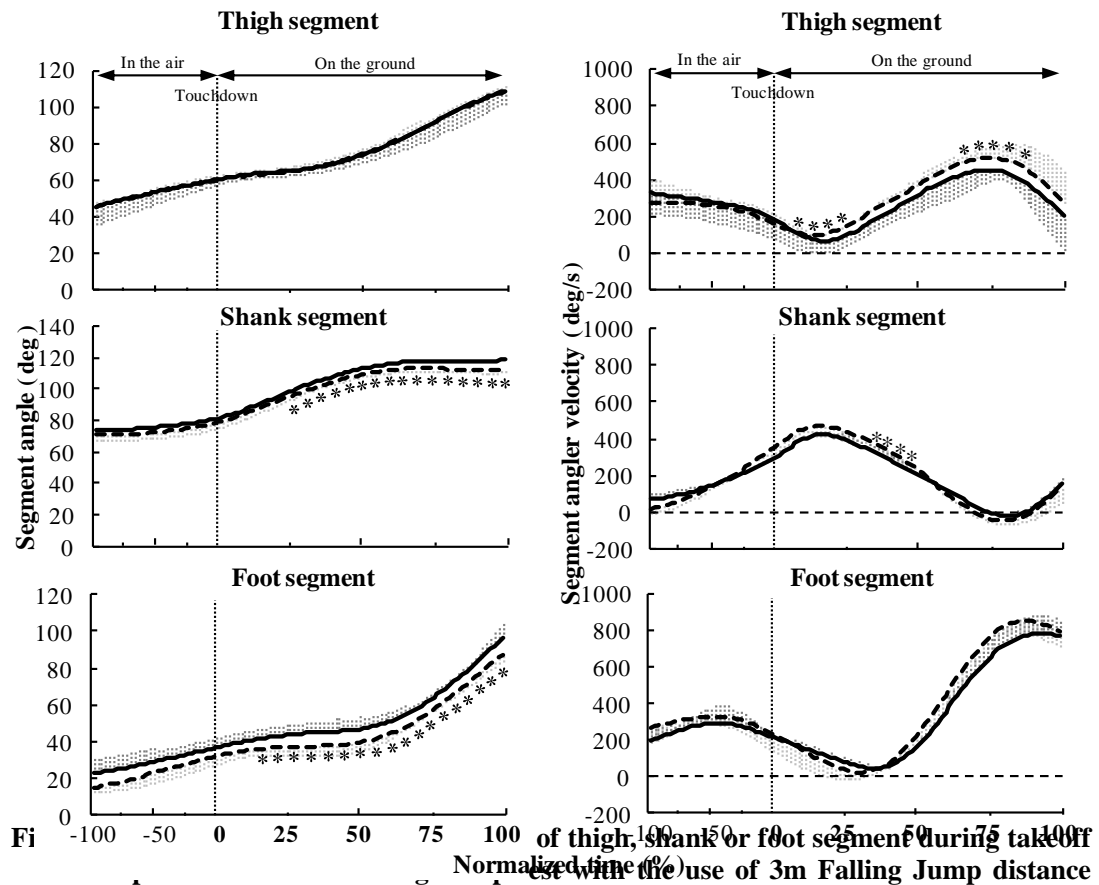


Figure 8.1: Segment angles and angular velocities of thigh, shank or foot segment during takeoff of use of 3m Falling Jump distance between upper level and lower level groups.

---; Upper level group
 —; Lower level group
 * ; statistically-significant difference between upper level group and lower level groups(p < 0.05).

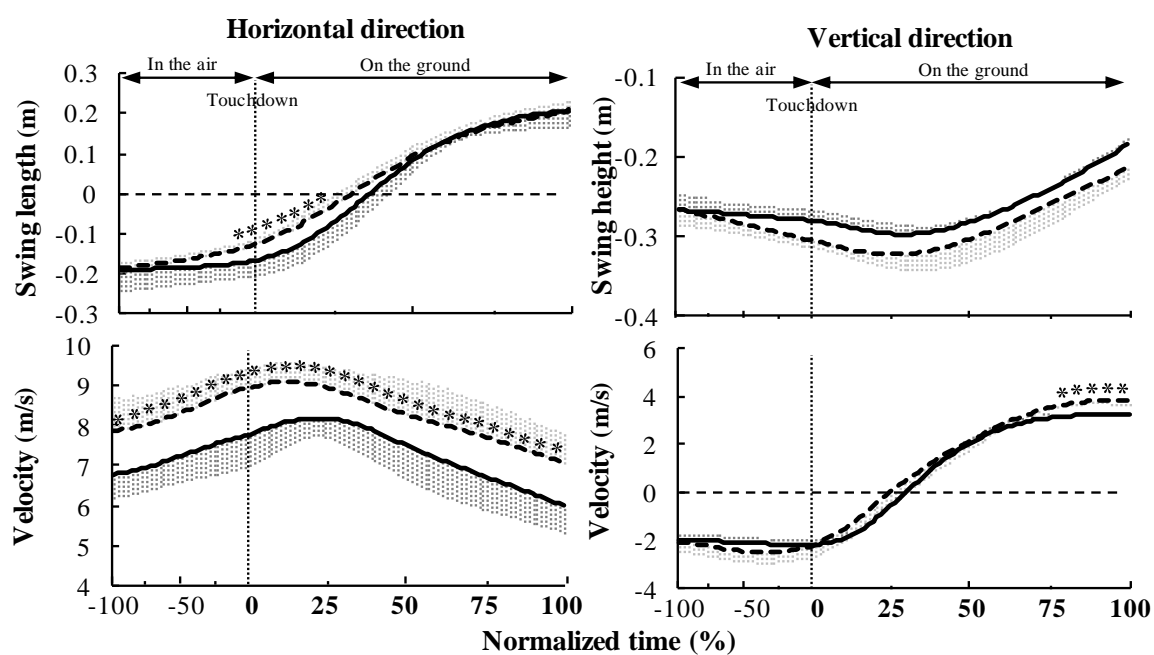


Fig. 32 The comparison of swing length, swing height and velocity of the center of gravity of swing leg on the horizontal or vertical direction during takeoff phase of Rebound Long Jump test with the use of 3m Falling Jump distance between upper level and lower level group.

---; Upper level group

—; Lower level group

* ; statistically-significant difference between upper level group and lower level groups($p < 0.05$).

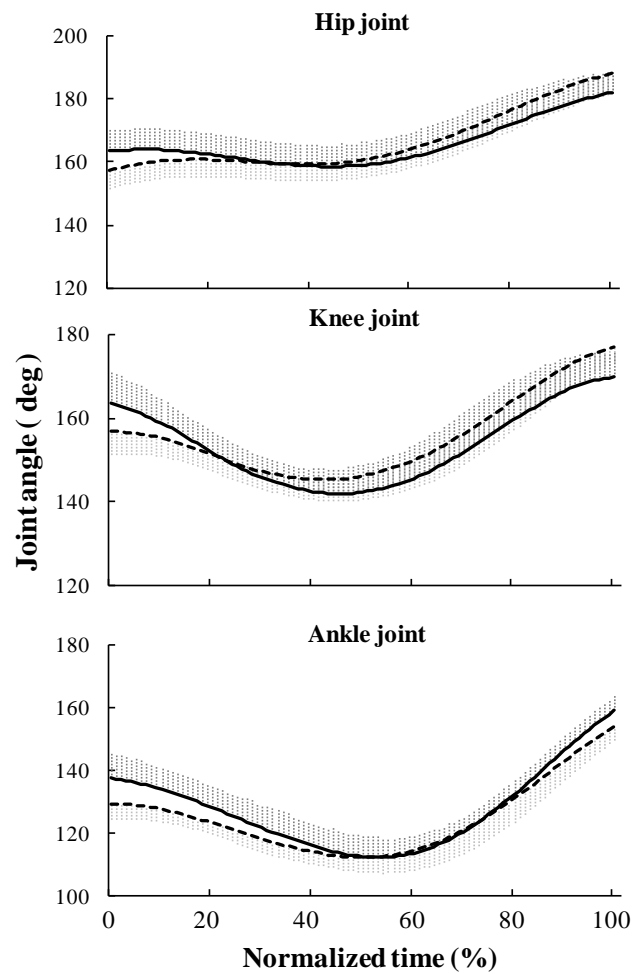


Fig. 33 The comparison of joint angle and angular velocity of thigh, shank or foot segment of Rebound Long Jump test between upper level and lower level groups.
---; Upper level group
—; Lower level group

Table 10 Variations in model length and angle of hip, Knee or ankle angle during former or later phase of takeoff phase in Rebound Long Jump test with the use of 3m Falling Jump distance between upper level and lower level groups.

	Upper level group	Lower level group
Change of Model length		
Former phase (m)	-0.06 ± 0.03*	-0.12 ± 0.04
Later phase (m)	0.16 ± 0.06	0.17 ± 0.02
Change of Hip joint angle		
Former phase (deg.)	2.20 ± 1.56	-5.27 ± 4.12
Later phase (deg.)	28.70 ± 5.47	24.12 ± 6.00
Change of Knee joint angle		
Former phase (deg.)	-11.38 ± 5.80*	-21.21 ± 7.98
Later phase (deg.)	31.59 ± 5.25	27.40 ± 3.75
Change of Ankle joint angle		
Former phase (deg.)	-14.25 ± 8.38	-21.14 ± 6.47
Later phase (deg.)	39.00 ± 4.06	42.53 ± 10.79

* ; significant difference between upper level and lower level groups($p < 0.05$).

IV. 考 察

1. 上位群と下位群の分類

本章の目的は、高い RLJ index を獲得するための踏切局面の技術的要因を明らかにすることであった。このために対象者を RLJ index の平均値 (24.91 ± 4.02 m/s) を基準として、上位群 (25.20~31.08 m/s) と下位群 (23.43~19.52 m/s) に各 5 名を分類した。上位群と下位群の RLJ index には有意差が認められたが、身長、体重、接地速度には有意差は認められなかったことから、RLJ index の優劣による群分けは適切であることが理解できる (Table 9)。また、上位群では有意に大きな跳躍距離と有意に短い接地時間を示し、有意に高い RLJ index を示した。これらのことは、先行研究で示されているように、上位群は RLJ の接地時間を短縮するとともに、その短縮された接地時間の条件の中で大きな運動量を獲得し、遠くまで跳ぶことのできる踏切技術を身に付けていることを示唆するものである (木野村ほか, 2012)。

Fig. 34 に、上位群と下位群の中の典型的な選手 1 名、すなわち Subject A は最も高い RLJ index を示した対象者、Subject B は最も低い RLJ index を示した対象者のスティックピクチャーを示した。本研究では上位群の行う踏切動作を、高い RLJ index を獲得するための踏切技術として位置付け、上位群と下位群の比較を行った。

2. 踏切局面における技術的要因の比較

本研究の第 1 の課題は、上位群と下位群の踏切動作をモデル化し、それぞれの比較を行うことによって、RLJ index を高めるための技術的要因を明らかにすることであった。上位群と下位群の踏切中のモデル挙動では、回転に関する項目のみに有意差が認められた (Fig. 29)。また、モデル角度では、上位群と下位群では同程度の角度で接地していたが、離地時には有意に小さく、このためにモデルの回転範囲も小さい値に留まっていた (Table 9)。また、上位群は下位群と比較して、踏切中に有意に高い回転速度を有していることが明らかにな

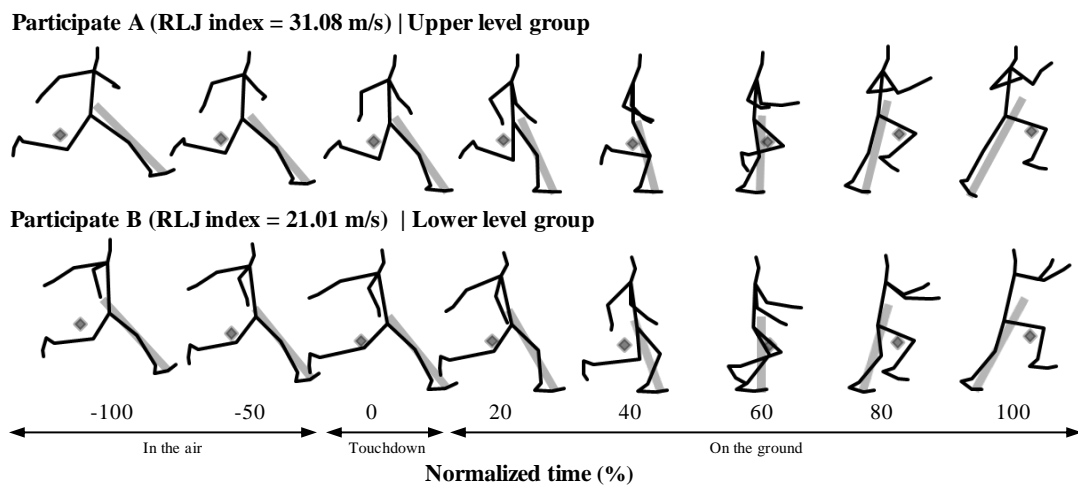


Fig. 34 The typical examples of stick picture, inverted-pendulum model, the center of gravity of swing leg of Rebound Long Jump test with the use of 3m Falling Jump distance of upper level and lower level groups.

- ; inverted-pendulum model
- ◆ ; center of gravity of swing leg

った。モデルの幾何学的特徴を考慮すると、小さな回転範囲と高い回転速度はともに踏切における接地時間を短縮するために作用する。水平跳躍種目において短時間で大きな跳躍距離を獲得するためには、踏切中にモデルを高速で伸展させることと、高速で回転させることの2要因が存在する（三井・凶子，2006）。本研究結果を考慮すると、上位群は踏切中に身体を高速で回転させるという後者の方法によって接地時間を短縮しながら、大きな跳躍距離も獲得していることが示唆された。なお、両群の踏切瞬間における身体重心の接地速度には有意差が認められなかったことから（Table 9）、上位群は踏切中に何らかの技術的要因によって高い回転速度を獲得していることが推察できる。このことが可能になる原因としては、2つの可能性が考えられる。第1の可能性は、踏切中に足部接地点を回転中心にして、下肢を高速で前方へと回転させるための力が加わっていることである。一方、接地時および接地直前においてモデルの回転速度に既に有意差が生じていることを考慮すると、第2の可能性として、身体重心の並進速度は変わらなくても、接地前の空中局面の時点ですでに身体が回転の速度を持ちながら踏切に向かっていることである。そこで次には、上位群と下位群の空中局面におけるモデルの挙動と下肢セグメントの挙動に着目して検討した。

3. 踏切接地前の空中局面における技術的要因の比較

上述の結果をもとにして、次に上位群と下位群の空中局面におけるモデル挙動の比較を行った（Fig. 29）。その結果、上位群のモデル角度は-100%時点では下位群よりも有意に小さい値であったが、-20%時点においては有意差が認められなくなった。一方、回転速度では、-100%時点では有意差が認められなかったが、2群間の差は時間の経過とともに増大し、-20%時点以降において有意差が認められるようになった。これらのことから、上位群は空中局面においてモデルの回転範囲を大きくすることによって、踏切接地前の空中局面において、踏切後の回転を促す先取りのための回転速度を獲得していたことが示唆された。なお、空中局面での回転挙動については、足部を中心に身体重心が相対的に上方で並進する

ことにより回転が生じていることと、身体重心を中心にして足部が相対的に下方に引き戻される挙動により回転が生じていることが考えられる (Fig. 30). 前者は身体重心が前方へと推進する動作、後者は足部接地点を後方へと引き戻される動作であり、後者の場合には身体各部分重心の推進力に対する影響が少ないか、負の影響を与える動作であることが推察できる。しかし、モデル挙動の角度変位のみに着目した検討だけでは、この2つのどちらの回転挙動が生じていたのかを判断することは困難となる。そこで、身体重心の水平方向への位置変位から足部接地点の水平方向への位置変位を減算することで、足部接地点に対する身体重心の相対変位を算出した (Fig. 28, 30)。この値が正方向に大きければ、身体重心が足部の上方へ乗り込むように推進したこと、負方向に大きければ、足部が身体重心の下方へと引き戻されたように推移したことを意味している。その結果、両群ともに身体重心が足部の上方へと乗り込むように推進した回転動作が行われており、-70%時点以降では上位群の値が有意に高い値を示した。以上のことから、上位群では、踏切接地前の空中局面において、身体重心が足部の上方へ乗り込むような先取り動作が遂行されており、これが接地時および踏切中のモデルの回転速度を高めていることが明らかになった。

4. 上位群と下位群の技術的要因に違いを生じさせた要因

上位群と下位群のモデル挙動に認められた相違を発生させた要因を究明するために、モデルの挙動を下肢セグメントの動きへと細分化して比較検討を行った。空中局面については、上位群と下位群の下肢セグメント挙動には有意差が認められなかった (Fig. 31)。これらの結果は、空中局面で認められたモデル挙動の相違は、踏切脚によって生じたものではないことを意味している。そこで、**研究課題Ⅱ-1**と同様に、踏切脚と協調して遂行される逆脚である振込脚の挙動 (青山ほか, 2009 ; 村木, 1996 ; Zushi et al., 2005) に着目した。2群間の振込脚重心の挙動を比較すると、-100%時点ではほぼ同様の位置から振込動作が開始されていたが、上位群の水平方向への振込速度が有意に高い値を示しており、2群間の距離の差は時間の経過とともに大きくなり、-20%時点以降において有意差が認められるように

なった (Fig. 32). これらの結果は、空中局面におけるモデルの回速挙動に認められた傾向と一致していた。振込脚重心の移動範囲や速度は、直接的に身体重心の移動範囲や速度に影響を与える。すなわち、上位群は踏切接地前の空中局面において、振込脚を大きな範囲（身体の近くまで）に渡り高い速度で前方へと移動させることによって、身体重心の前方への推進に貢献した結果、空中局面におけるモデルの回転が大きな範囲を高い速度で回転していた可能性が示唆された。

次に、接地局面について着目すると、上位群の方が空中局面においてより身体の近くに移動させていた振込脚重心は、接地後 30%時点まで有意に前方に位置していた。しかし、振込脚の前方への移動距離には制約があることから、2 群間の相違は時間の経過とともに小さくなり、30%時点以降では同様の値を示すに至った (Fig. 32)。また、振込速度については、空中局面から継続して離地まで上位群が有意に高い値を維持した。一方、接地から 10%時点までにおける踏切脚の下肢セグメント挙動には 2 群間に有意差が認められる項目は存在しなかった。このことは、踏切接地直後のモデル回転速度が空中局面における接地の先取り動作によって高められていた可能性を示唆している。したがって、接地前の先取りから踏切接地全般に渡って振込脚を素早く振込むことが、RLJ index を高めるための踏切に関する技術的要因の 1 つであることが明らかになった。

一方、踏切脚の下肢セグメントは、接地後 10%時点以降において 2 群間に有意差が認められたことから、接地後の回転挙動に影響を与えていたことが考えられる。セグメント角度については、下腿部では 20%時点以降、足部では 10%時点以降から離地まで、上位群が下位群よりも有意に小さな値に留まっていることが明らかになった (Fig. 31)。これらのことを、上位群のモデル挙動についての結果を考慮しながら考えると、上位群では下腿部および足部の回転範囲を小さくすることによってモデルの回転範囲を小さくし、短時間での踏切動作を遂行していることが推察できる。また、大腿部のセグメント角度に有意差が認められないことに対して、下腿部のセグメント角度が小さな値を示したことは、膝関節の伸展状態を作ることとなる。このことを逆の視線で捉えると、下位群の接地中の膝関節に

は、上位群よりも大きな屈曲が生じていたことが予測できる。上位群と下位群の踏切中の下肢 3 関節における関節角度の変化に着目すると、関節角度の変化パターンには有意差が認められないが (Fig. 33), 膝関節の屈曲範囲は下位群が上位群よりも有意に大きいことが明らかになった (Table 10)。同様の傾向はモデル長にも認められ (Fig. 29), モデル長は下腿部と大腿部による相互の挙動によって決定される膝関節の動態を反映している可能性がある。踏切前半局面に生じる膝関節のエキセントリックな伸展力を高めることは、同局面における身体の回転挙動を促進させる (Muraki et al., 2008)。したがって、接地中のモデルの回転速度を高めた第 2 の要因として、膝関節の伸展状態を維持してモデルの短縮変位を抑制すること、すなわち膝関節角度を決定する下腿部と大腿部のセグメント相互の位置関係や回転様態が挙げられる。セグメントの回転速度に着目すると、両群に共通して接地直後には下腿部が加速し、その後の下腿部の減速に対応して大腿部が加速し、次いで大腿部の減速に対応して足部の加速がもたらされていることが認められた。これらのことは、下肢 3 セグメントは時相差を持って連動しながら身体重心速度を獲得していることを意味している。各セグメントの回転速度を比較すると、15-30%並びに 60-80%時点では大腿部、35-55%時点では下腿部において上位群が有意に高い値を示した。踏切接地直後に生じる下腿部の急激な加速に対して大腿部の回転速度が低いことは、膝関節の屈曲を誘発させる。したがって、上位群は踏切前半局面における大腿部の回転速度を高く維持して膝関節の屈曲を抑制することで、下腿部の回転がその上部に搭載された大腿部の回転へと連動させる序列が生じ、引き続く局面における下腿部並びに大腿部の回転速度が高く維持されたと考えられる。ここまでの結果をスティックピクチャーで確認すると、上位群では接地以降の足部ならびに下腿部の回転範囲が抑制されることに加えて、大腿部が高速で前方へと回転したことにより、下肢全体が足部の上方へと推進しており、身体重心が前方へと大きく推進する動作が認められた。一方、下位群では接地以降、下腿部が先行して大きく回転したことに対して大腿部の回転速度が小さかったことから、膝関節が大きく屈曲されるように前方へと推進したことから、身体重心の前方への移動は小さい範囲に留まっていることが

理解できる (Fig. 34, 0~40%)。このことは、下腿部と大腿部の回転に関する連動が効果的に遂行されていなかったことを示唆するものである。すなわち、優れた RLJ index を獲得するための接地中の踏切技術について下肢セグメント挙動の観点から言及すると、接地直後の下腿部の過度な回転を抑制するとともに、大腿部の回転速度を高めることで、下肢セグメントの回転を効果的に連動させることが重要な要因となることが示唆された。なお、75% 時点以降離地までにおいては、鉛直方向への振込速度が有意に高い値を示した (Fig. 32)。振込脚を上方へと引き上げる速度は、身体重心を直接的に上方へと推進させることから、下肢関節の伸展作用を助長する作用を持っている (青山ほか, 1994)。これらのことから、振込脚の作用は離地直前の踏切局面においても重要な役割を担っていることが明らかになった。

以上のことから、高い RLJ index を獲得するためには、空中局面から先取りを推進し踏切局面を通して行われる逆脚の振込動作と、踏切局面における踏切脚の下肢各セグメントが、遠位端を回転中心にして下腿部、大腿部、足部の順に回転する序列を伴った踏切技術が要求されることが明らかになった。本研究の対象者は、大学・シニアレベルの比較的高い競技力水準を有した集団であったことから、このことをその他競技力水準、性別、年齢の競技者に当てはめることには限界がある。しかし、トレーニング手段としての特性には大きな相違が無いと考えられることから、本研究から得られた知見は、走幅跳や三段跳に要求される専門的な BSSC 運動の遂行能力を向上させるためのトレーニング手段並びに踏切技術の測定評価のために有効な手がかりとなり得る。

V. 要 約

本研究の目的は、水平方向へのバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を専門的に測定評価する RLJ index を決定する跳躍技術について明らかにすることであった。

この目的を達成するために、RLJ index が優れる対象者（上位群）と劣る対象者（下位群）の接地直前から離地に至るまでの踏切動作をモデル化し、2 群間の相違について検討した。さらに、その後明らかになった相違点を発生させた要因に対して、下肢セグメント挙動に着目して検討を加えた。踏切動作のモデル化には、身体を身体重心と足部接地点を結んだ仮定の線分が短縮－伸張しながら回転する逆振り子型の回転モデルを用いた。

本研究の結果から、高速条件で行われる RLJ index を高める技術的要因として、接地中の身体の回転範囲を小さく、高速に回転させることが有効となることが明らかになった。また、これらを可能にするためには、接地前の空中局面において、振込脚を大きな範囲（身体の近くまで）に渡り高い速度で前方へと移動させること、接地中には、下肢各セグメントが独立して回転せずに、各セグメントの遠位端を回転中心にして下腿部、大腿部、足部の順に序列を伴いながら回転させる踏切技術が要求されることが明らかになった。

以上のことから、RLJ index は空中での踏切動作の先取りや振込動作、接地中の下肢セグメントの効果的な配列や回転機序に関する観点から踏切技術の評価が可能となることが明らかになった。RLJ index は実際の走幅跳や三段跳の成績との関係性が高く運動特性も類似していることから、本研究で得られた知見は実際の走幅跳や三段跳の踏切技術の評価やトレーニングに応用できると考えられる。

第9章 討論

I. リバウンドロングジャンプテストおよびリバウンドロングジャンプ指数の考案とその妥当性

本研究における第1の目的は、陸上競技の走幅跳や三段跳のような高速条件で行われる水平跳躍（以下、高速水平跳躍）に関する踏切能力を測定評価するための専門的な方法を考案することであった。目的とする種目はバリスティックに遂行される伸張-短縮サイクル運動（Ballistic Stretch Shortening cycle movement；以下、BSSC運動）であることから、高速移動中に短時間で踏切を遂行し、大きな推進力を獲得する能力が必要不可欠となる。本研究では短時間という時間的要因と、高速移動中という条件の中で大きな運動量を獲得し推進する要因の2つの視点からBSSCの遂行能力（以下、BSSC能力）を測定評価するための方法が必要になった。そのための方法としてリバウンドロングジャンプテスト（Rebound Long Jump test；以下、RLJ test）、およびその評価指標としてリバウンドロングジャンプ指数（Rebound Long Jump index；以下、RLJ index）をそれぞれ考案した。このテスト試技は、0.1mの高さの台上を助走して来るとともに、片脚で踏切って跳び出すFalling jump（以下、FJ）と、その逆脚で接地して、できるだけ短時間に弾むように踏切って可能な限り遠くまで跳ぶPropulsive jump（以下、PJ）によって構成される連続跳躍運動である。

研究課題Iでは、PJ接地時の水平速度を変化させるために設定した3種類のFJ距離（1 m, 2 m, 3m）が、RLJ indexやPJの踏切特性および力発揮特性に与える影響について検討する。そして、各FJ距離条件から得られたデータを既存の各種ジャンプテストの成績や実際の競技における踏切動作と比較することによって、高速水平跳躍の専門性を反映した測定条件を設定するとともに、RLJ testを用いたBSSC能力の測定評価法の妥当性について検討することを目的と。FJ距離を変化させることは、テストの主運動となるPJ接地への水平速度に影響を与え、FJ距離を増加させるとPJの接地速度が有意に向上することが明らかになった。FJ距離の変化がPJの運動動作に与える影響について、踏切中の速度変化を考慮しながら検

討すると、1 m では接地時よりも高い水平速度で離地する加速型跳躍となり、2 m 以上では接地から離地にかけて水平速度の減速が生じる減速型跳躍になることが認められた。また、バリスティック運動の基準の1つとされている0.2秒以内という条件を考慮しながら接地時間を検討すると (Brooks and Thach, 1981 ; Desmedt and Godaux, 1977 ; 米田, 1989 ; 因子, 1995), 1 m は0.3秒程度の比較的長い時間をかけて踏切動作が遂行されており、2 m 以上では0.2秒以内という短時間に踏切動作が遂行されることが明らかになった。一方、3 m についても2 m と同様に0.2秒以内の短時間において踏切動作が遂行されるとともに、減速型跳躍となることに加えて、接地速度がさらに増加した影響を受けて地面反力の大きさや関節トルクが増大する跳躍になることが明らかになった。

これらの結果をもとにして、大学・シニアレベルの陸上競技跳躍選手に対して、RLJ test を実施した。参加者の専門種目が多くの種目に渡ったことから、各種目のパフォーマンスを得点化できるスコアである IAAF Score (世界陸上競技連盟が提示) を用いて、RLJ index と競技成績の間の相関関係について検討した。その結果、3 m 条件を用いて測定した RLJ index と IAAF Score との間に有意な相関関係 ($r = 0.859$) が認められた。しかし、**研究課題 I** は陸上競技の跳躍種目全般を対象種目としたことから、対象者には走高跳や棒高跳を専攻する競技者が含まれていた。したがって、これらの知見を走幅跳や三段跳のような高速水平跳躍に応用することには疑問が残る。一方、全ての参加者に共通して走幅跳の記録 (実験測定を行ったシーズン中の大会における記録) を有していたことから、走幅跳の記録および走幅跳の記録を IAAF Score に換算したものと3 m 条件の RLJ index の相関関係を検討した。その結果、3 m 条件を用いて測定した RLJ index と走幅跳の記録 ($r = 0.799$) もしくは IAAF score との間に有意な相関関係 ($r = 0.798$) が認められ、**研究課題 I** の結果は走幅跳や三段跳のような高速水平跳躍に応用することが可能な知見であることが認められた。この FJ 距離 3 m 条件の RLJ test の特徴を改めて整理すると、運動時間が極めて短いリスティック運動であり、踏切中に必然的に水平速度の減速が生じる減速型跳躍である。このことに

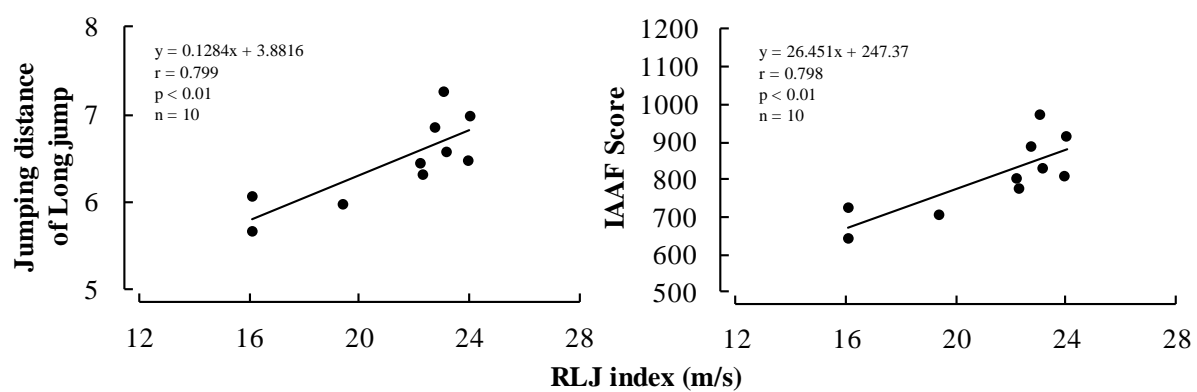


Fig. 35 Relationships between Jumping distance or IAAF Score of Long Jump and RLJ index with the use of 3m.

加えて、地面反力や関節トルクの大きさや発揮パターンを比較すると、FJ 距離 3 m 条件のものが陸上競技の跳躍種目のものと極めて類似していた。したがって、大学・シニアレベルの比較的競技水準の高い陸上競技者に対して、水平方向への跳躍距離獲得を目的とする走幅跳や三段跳に要求される BSSC 能力を専門的に測定評価するためには、FJ 距離 3 m 条件に設定した RLJ test と RLJ index を用いることが必要条件であることが示唆された。これらの結果は、大学陸上競技部に所属して専門的なトレーニングを行っているシニアレベルの男子選手を対象として明らかになったものである。そのために、女子選手やジュニア選手、もしくは日本や世界のトップレベルの選手に対して RLJ test を用いる際には、対象とする選手の競技レベルに応じて、FJ 距離を調整する必要があることも示唆された。

次に、RLJ index と既存の跳躍テストとの間の関係性について検討した。RLJ test と従来の鉛直跳躍を用いた BSSC 能力の測定評価法である RJ test では、テストの評価指標やその基準となる跳躍距離と跳躍高、接地時間、RLJ index と RJ index の間にいずれも有意な相関関係は認められなかった。このことは、バリスティックな跳躍運動においても、跳躍方向や踏切脚の違いなどが異なると、そのメカニズムや要求される能力が異なることを示唆するものである。すなわち、BSSC 能力をより専門的な観点から測定評価するためには、目的とする運動に関する専門性を配慮した方法を用いる必要性が明らかになった。なお、これまでの研究において、RJ index は疾走動作やジャンプ動作などの各種パフォーマンスとの関係が認められている（木越ほか，2005；大宮ほか，2009；図子ほか，1993）。しかし、競技水準の高い選手を対象にした本研究では、RJ index と IAAF Score の間には有意な相関関係は認められなかった。これらのことは、陸上競技の走幅跳や三段跳に要求される能力の観点から RJ index を評価すると、パフォーマンスの重要な構成要素であるが、より下位構造に位置する基礎的な要因となることが示唆された。一方、水平跳躍能力の測定評価法として用いられている立五段跳と IAAF Score には有意な相関関係 ($r = 0.790$) が認められた。立五段跳と IAAF Score の間の相関係数は、FJ 距離 3 m 条件における RLJ index ($r = 0.859$) における相関係数よりも低い値であったが、2つの相関係数に有意差は認められなかった。こ

これらの結果は、水平片脚跳躍の測定評価法として立五段跳が積極的に実施されてきた理由でもある。しかし、立五段跳には時間の要素の評価がないことから、長い時間をかけて大きな運動量の獲得が可能な選手の成績が高値を示すことになりかねない。一方、RLJ test では、大きな運動量としての跳躍距離に加えて、運動遂行時間としての接地時間も測定でき評価することが可能になる。すなわち、この RLJ test を用いると、選手のトレーニング課題が、短時間で運動を遂行する能力であるのか、あるいは大きな運動量を獲得する能力であるのかを判断することが可能となる。以上のことから、RLJ test を用いることで、陸上競技の走幅跳や三段跳のような高速水平跳躍における BSSC 能力を専門的に測定評価することができることが明らかになった。

II. リバウンドロングジャンプ指数を決定するための踏切動作の技術的要因

本研究の結果から、FJ 距離 3m 条件を用いた RLJ test が陸上競技の走幅跳や三段跳のような高速水平跳躍に要求される BSSC 能力の測定評価法として妥当であることが明らかになった。RLJ test を用いた測定評価には高度な機器を必要としないことから、トレーニング現場で即座にフィードバックができるという利点が存在している。したがって、RLJ index の成績を決定する技術的評価を行うことができれば、RLJ index を用いた跳躍技術の評価法が確立できるとともに、実際の競技における踏切動作を改善するためのトレーニングを効果的かつ簡便に行うことも可能になる。

研究課題 II では FJ 距離 3 m 条件の RLJ test において、RLJ index を獲得するための踏切動作の技術的要因を明らかにすることを目的とした。一方、高い RLJ index を獲得するための要因として筋力や瞬発力、神経・筋・腱系の調整機構や体組成などの身体的要因が挙げられる（凶子，1995）。研究課題 I の結果から陸上競技の走幅跳や三段跳のような水平跳躍種目のパフォーマンス構造を考慮した結果、実際の競技動作に近い運動特性をもつ RLJ test が、各種跳躍テスト種目の構成の中でもより上位の構成要因であることが明らかになった。したがって、RLJ test を決定する身体的要因は、より下位構造に位置づけられる各種ジャン

テストに必要とされる能力が複合されたものであることが考えられる。そのために、既存の各種ジャンプテストを実際の競技成績に反映させるためのより実践的な技術トレーニングを実施することが重要な課題となり得る。この課題を解決するための手法として、身体各部位の動作が複雑に連動する RLJ test の踏切動作を単純なモデルとみなすことにより、踏切動作の特徴を単純化して把握した上で、モデルを用いたパラメータの比較から明らかになった相違に対して、より詳細に下肢関節や下肢セグメントに着目した検討を行った。なお、身体の単純なモデル化には、身体重心と足部接地点を結んだ仮想の線分が、短縮と伸張をとめないながら前方へと回転するとみなす逆振り子型の回転モデルを用いた (Jacobs and van Ingen Schenau, 1992; 木野村ほか, 2012; 三井・図子, 2006; Zushi et al., 2003; Zushi et al., 2005)。

1. 加速型跳躍との違いから評価した減速型跳躍の踏切技術

本研究の結果から、極めて短時間 (0.2 秒未満) にバリスティックに遂行される減速型跳躍である FJ 距離 3 m 条件 (以下、減速型跳躍) が、陸上競技の跳躍選手に対する専門的な BSSC 能力の測定評価法になり得ることが明らかになった。しかし、助走を用いた片脚踏切において、最大の水平跳躍距離を獲得する動作を対象として、比較的運動時間の長い (0.3 秒程度) 踏切動作とバリスティックな踏切動作の相違は明らかにされていない。さらに、加速型もしくは減速型のように、踏切中の速度変化の観点から踏切動作に内在するパフォーマンスの決定要因、踏切技術に関する相違も明らかにされていない。このことを明らかにすることができれば、走幅跳や三段跳のような減速型跳躍に要求される踏切動作の専門性を明確に把握できると考えられる。そこで、減速型跳躍とは対照的に、比較的長い時間 (0.3 秒程度) での踏切動作を遂行して、踏切中の水平加速が可能となる FJ 距離 1 m 条件 (以下、加速型跳躍) との比較を通して、減速型跳躍の踏切動作の専門性について検討した。その結果、加速型跳躍では踏切後半局面においてモデルを大きな範囲に渡り伸張させることで推進力を獲得しており、減速型跳躍ではモデルを大きく高速で回転させることによって推

進力を獲得していたことが明らかになった。加速型跳躍のモデル挙動のは、下肢3関節を屈曲した状態での接地をし、その後、大腿部および足部セグメントを前方、下腿部セグメントを後方へと回転させて膝関節を後方へと引き戻すような伸展動作と、振込脚を大きく上方へと振り込む動作によって作られていることが明らかになった。一方、減速型跳躍のモデル挙動は、下腿部を後傾、大腿部を前傾させることで下肢3関節が伸展、身体が後傾した状態での接地をした後、踏切の全局面に渡って下腿部、大腿部、足部の順にセグメントを高い速度で連動するように回転する踏切動作と、振込脚を前方へと速い速度で振り込む動作によって作られていることが明らかになった。以上のことから、加速型跳躍と減速型跳躍では踏切動作の遂行に関与する下肢の運動メカニズムに大きな相違があることが明らかになった。陸上競技の走幅跳や三段跳は、踏切中に必然的に減速が生じる典型的な減速型跳躍となる。本研究の結果を考慮すると、これらの種目の踏切動作では、下肢セグメントを連続して前方へと回転させて、振込脚を前方へと振り込む挙動によってモデルの回転速度を高める要因に配慮した踏切技術に関してトレーニングを実施し、評価・診断を行うことが重要な課題となり得る。

2. 高速の接地に対応しながら優れた RLJ index を獲得するための踏切技術

陸上競技の走幅跳や三段跳などの高速条件で行われる跳躍において高いパフォーマンスを獲得するためには、高い助走速度を獲得すると同時に (Hay and Miler, 1985 ; 志賀・尾縣, 2002 ; Lisa and Nicholas, 2006 ; 太田ほか, 2010), 高い接地速度に対応して踏切動作を遂行することが要求される。ここでは、FJ 距離 1m 条件を低速条件、2m 条件を中速条件、3m 条件を高速条件として、PJ の踏切接地時の速度の変化に伴う RLJ index の変化に着目した。その結果、速度の増加に対応して漸増的に RLJ index を増加させる増加群と、高速条件では RLJ index を低下させる減少群に対象者を分類することが可能となった。研究課題 I の結果から、高速条件は走幅跳や三段跳に要求される BSSC 能力を測定評価する条件としての有効性が明らかになった。これらのことは、FJ 距離 3m 条件の RLJ test から獲得した RLJ index

は、高い接地速度に対応して踏切動作を遂行する能力を反映していたことを示唆している。また、増加群と減少群の跳躍距離および接地時間を比較すると、増加群では速度の増加とともに跳躍距離を増大させて、接地時間を短縮させていた。一方、減少群では低速から中速条件では跳躍距離は増加するが、中速から高速条件では有意な変化が認められず、接地時間は全ての条件において有意差が認められなかった。このことは、増加群は接地速度の増大に対応して接地時間を短縮するとともに、短時間で大きな力発揮を遂行していたが、減少群では大きな接地速度に対応できずに、限られた短い時間での力発揮が困難となっていたことを示唆している。これらの傾向は、走幅跳において助走速度の増大に対応するための要因と一致していた（木野村ほか，2012）。

これらの結果を受けて**研課課題Ⅱ-2**では、高速条件において高い接地速度に対応していた増加群の踏切動作と減少群の踏切動作を比較して、踏切接地時の高い水平速度に対応しながら効果的に **RLJ index** を獲得するための踏切技術を明らかにした。低速、中速、高速への接地速度条件の変化に対応した、2群の踏切動作を比較すると、高速条件において、減少群ではモデルの短縮—伸長挙動が増大したことに對して、増加群では短縮—伸長挙動を抑制していたことが明らかになった。さらに、身体重心速度の変化を、モデル挙動の短縮—伸張による変化と回転による変化に分類した結果、増加群では踏切前半局面において回転による鉛直速度の獲得が有意に大きいことが明らかになった。これらのことは、増加群ではモデルの短縮—挙動を抑制して回転挙動を促進する踏切動作、減少群ではモデルを大きく短縮—伸張させる跳躍動作を遂行していたことを示唆している。**研究課題Ⅱ-1**から、接地速度が低い加速型跳躍ではモデルの伸張挙動による速度獲得、接地速度が高い減速型跳躍ではモデルの回転挙動による速度獲得が重要となることが明らかになった。このことは、高速条件の試技に対して、増加群では典型的な減速型跳躍の踏切動作、減少群では加速型跳躍の踏切動作を用いていたことを示唆している。減少群では踏切後半局面においてモデルを伸展させるための関節トルクパワーや関節仕事が大きく、モデルの伸長速度が高かったにも関わらず、離地時の水平速度は増加群と同程度、鉛直速度は増加群よりも低い値に

なった。このことは、高速条件では後半局面の作用が踏切中の速度獲得に与える影響は小さいことを示唆している。すなわち、高い接地速度に対応して大きな RLJ index を獲得するためには、減速型跳躍における典型的な踏切動作へと、踏切動作を変化させて適応することが不可欠になることが明らかになった。なお、増加群と減少群の間には踏切中の関節仕事に相違が認められ、接地速度を受け止める踏切前半局面において、増加群では膝関節、減少群では足関節が大きな貢献をしていた。膝関節は足関節と比較して大きな力発揮が可能な機能的・形態的特性を有している（図子ほか，1998）。さらに、踏切接地時に膝関節の高い伸展力を発揮することは、接地中の水平速度の減速を鉛直速度に変換する起こし回転の作用を助長することが報告されている（Bosco et al., 1986; Hay et al., 1986; Kho and Hay., 1990; Muraki et al., 2008; 志賀・尾懸，2004）。このことは、走幅跳の踏切動作において膝関節の伸展を維持する踏切動作が跳躍距離獲得のために有効であるとする報告とも一致する（青山ほか，2009; Graham and Lees, 2005; 深代ほか，1994; 志賀・尾懸，2004）。

これらのことから、接地時の高い水平速度に対応するための要因として、接地時の膝関節のエキセントリックな伸展力を高めることが可能となる踏切動作を遂行することにより、身体の屈曲－伸展挙動を最小限にして、身体全体がより前方へと回転する挙動を作り出すことが重要な要因となることが示唆された。

3. バリスティックな伸張－短縮サイクル運動による減速型跳躍において高い RLJ index を獲得するための踏切技術

研究課題Ⅱ－1 および研究課題Ⅱ－2 の結果から、陸上競技の走幅跳や三段跳などの片脚踏切で行われる高速水平跳躍において高いパフォーマンスを獲得するためには、身体の回転挙動が重要な役割を担うことが明らかになった。同様の結果は、本研究の対象者を FJ 距離 3m 条件における RLJ index を用いて上位群および下位群に分類した際にも認められた。そこで、研究課題Ⅱ－3 では下位群と比較した上位群のモデル挙動および下肢セグメントの挙動に着目することで、回転挙動を高めて RLJ index を高めるための踏切技術について検討

した。下位群と比較した上位群のモデル挙動は、上記した高い回転速度に加えて、回転範囲が小さいことが明らかになった。さらに、2群のモデル挙動に関する相違は、接地前の空中局面にも認められ、上位群では身体重心が足部接地点上に乗り込むように大きくかつ速く回転する挙動が認められた。この動きは、空中局面において振込脚が大きな範囲に渡り、高い速度で前方へと振込まれることによって作られていた。空中局面における身体の挙動は、接地直後の身体の挙動に大きな影響を与えること（伊藤ほか，1998；村木，1996）、上位群では接地中の全局面に渡って振込脚の前方への振込速度が高い値を示したことを加味すると、モデルの回転速度を高めて **RLJ index** を獲得するための踏切技術として、接地前の先取りから踏切接地局面全般に渡って振込脚を素早く振込むことが重要な要因であることが明らかになった。さらに、接地中の動作では、踏切脚の下肢各セグメントが、遠位端を回転中心にして下腿部、大腿部、足部の序列を持ちながら連動して回転することによって、各セグメントの上部に搭載される身体部位が効果的に前方へと推移して、モデルの回転速度が高まっていたことが明らかになった。一方、下位群では下腿部のみが独立して大きく回転した結果、下腿部から大腿部への回転の連動が効果的に遂行されなかったことから、各セグメントの上部に搭載される身体部位が前方へと効果的に移動しなくなり、モデルの回転速度が低くなっていることが明らかになった。これらのことから、減速型の **RLJ test** において高い **RLJ index** を獲得するためには、空中での先取り動作や振込動作、接地中の下肢セグメントの効果的な回転様態や序列から明らかにした踏切技術が必要不可欠になることが明らかになった。

4. **RLJ test** を用いた水平跳躍型 BSSC 能力に関する測定評価法の評価指数を決定する技術的要因に関する構造モデル

本研究は高速水平跳躍に要求される BSSC 能力を測定評価するための新たなテスト法である **RLJ test** とその評価指数である **RLJ index** を考案するとともに、その有効性について明らかにしたものであり、新しいトレーニングアセスメントの方法について提案したものである。Fig. 36 には、**RLJ test** を用いた水平跳躍型 BSSC 能力に関する測定評価法とその評価指数

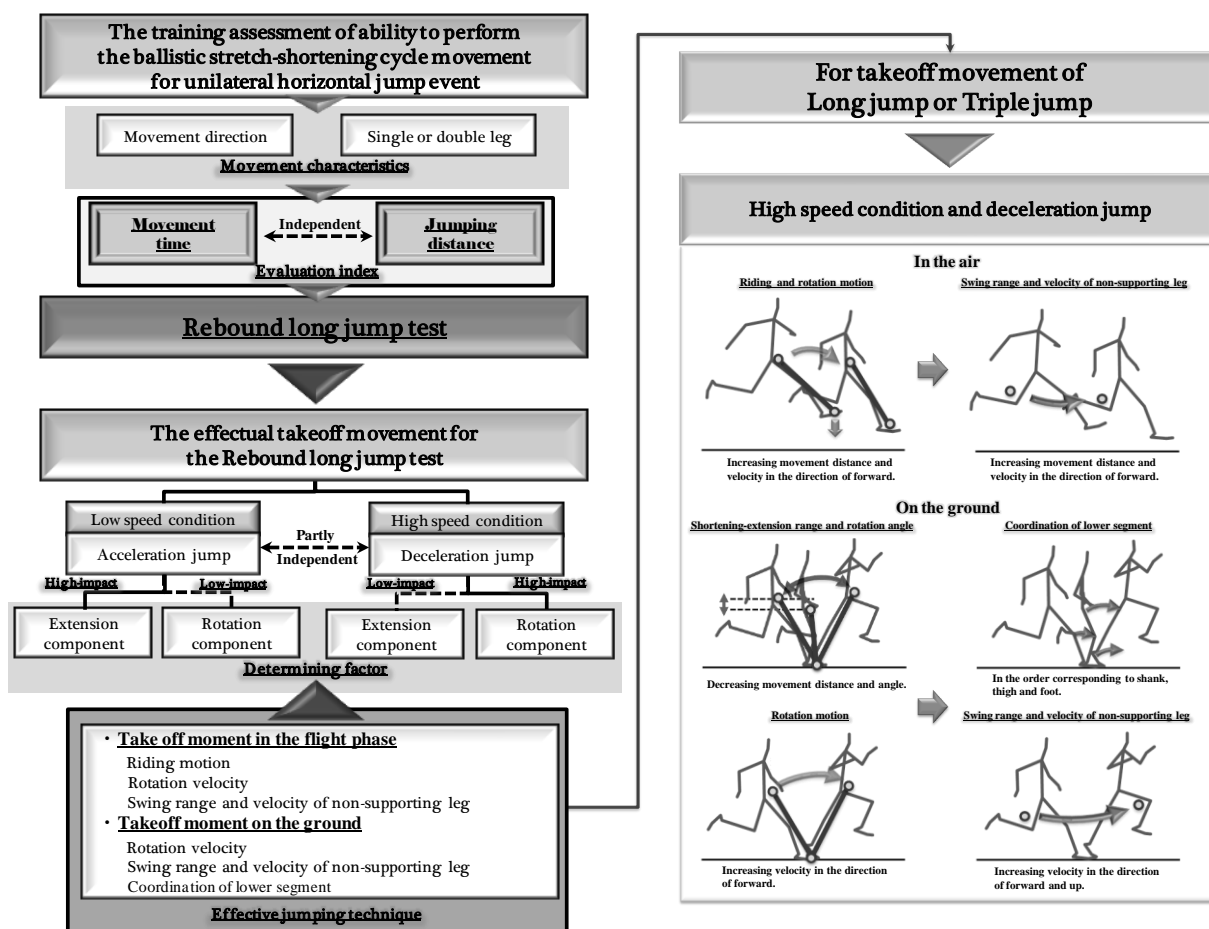


Fig. 36 Structural model of training assessment and jumping technique of ability to perform the ballistic stretch-shortening cycle movement for unilateral horizontal jump event.

を決定する技術的要因に関する構造モデルを示した。高速水平跳躍における専門性を配慮した BSSC 能力を評価・診断するためには、テスト運動の特性（片脚か両脚か、高さか距離か）が実際の跳躍種目に類似しており、仕事量と運動遂行時間の 2 要因を評価指標とした RLJ test が有効な手段となる。また、RLJ test では FJ 距離を調節することで、テストの運動特性を大きく加速型か減速型かに変化させることができることから、目的に応じた BSSC 能力のトレーニング及び測定評価が可能となる。なお、加速型と減速型の RLJ test では共通して身体の回転挙動と伸展挙動によって踏切動作が作られるが、加速型では身体の伸展挙動、減速型では身体の回転挙動による影響を強く受けることが認められた。これらの身体挙動は接地前の回転挙動や振込動作の先取り、接地中の下肢セグメントの効果的な連動によって作られていることが明らかになった。本研究ではさらに、評価指数である RLJ index を決定する要因について、RLJ におけるキネマティクスとキネティクスを手がかりにして明らかにするとともに、それをトレーニングへと利用できるように提示した。具体的には、踏切接地前の空中局面における身体の回転挙動や振込脚の挙動としての先取り動作と予備動作、それに引き続く踏切接地中のセグメントに効果的な回転序列を生み出すことが重要であることが明らかになった。これらの知見は、高速水平跳躍種目に関するトレーニング理論の構築や測定評価、トレーニング実践に役立つものである。

第 10 章 結 論

本研究の目的は、陸上競技の走幅跳や三段跳のように、高速条件で行われる水平片脚跳躍（高速水平跳躍）に要求されるバリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力（Performance of Ballistic Stretch-Shortening Cycle movement, BSSC 能力）に関して、運動動作の専門性に配慮するとともに、獲得する仕事量の大きさと運動遂行時間の 2 要因を含めた指数による測定評価法を考案するとともに、評価に関する指標を決定する踏切動作の技術的要因を明らかにすることであった。この目的を達成するための第 1 の課題として、考案した測定評価法の妥当性について、実際の競技動作や既存の各種ジャンプテストの成績および力発揮特性との関係性から検証することを設定した。また、本研究において考案した RLJ test の指数となる RLJ index を獲得するために有効となる踏切技術を明らかにすることで、実際の競技動作における踏切技術を改善するためのトレーニング方法に関する知見を得ることができると考えられる。そこで、第 2 課題として、考案した測定評価法の成績を決定する踏切動作の技術的要因について、①踏切中の速度変化、②踏切接地速度の変化、③RLJ index の優劣の 3 つの観点から検討することを設定した。

上記したテストの設定条件を満たした上で、高速水平跳躍に要求される BSSC 能力を専門的に測定評価する方法として、リバウンドロングジャンプテスト（Rebound long jump test, RLJ test）とその評価指標であるリバウンドロングジャンプ指数（Rebound long jump index, RLJ index）を考案した。RLJ test は、0.1m の高さの台上を助走した後に片脚で踏切って跳び下りる Falling jump (FJ) と、その逆脚で接地して、できるだけ短時間に弾むように踏切って可能な限り遠くまで跳ぶ Propulsive jump (PJ) の連続した 2 跳躍で構成される。テスト評価指標となる RLJ index は、踏切中に発揮した平均パワーを意味しており、テストの主運動となる PJ の跳躍距離（Jumping distance）と接地時間（Contact time）をもとにして算出することとした（ $RLJ\ index\ (m/s) = \text{Jumping distance}\ (m) / \text{Contact time}\ (s)$ ）。また、1 回目の FJ の距離（FJ 距離）を変化させることで、続く 2 回目の PJ の接地速度を任意に調整す

ることが出来ることも RLJ test の特徴である。

走幅跳や三段跳のような高速水平跳躍の踏切動作は、非常に短時間でバリスティックに遂行されるとともに、踏切中には必然的に減速が生じる。このような条件を参照しながら、PJ 接地時の水平速度を変化させるために設定した FJ 距離 (1m・2m・3m) が RLJ index や PJ 踏切時の踏切特性、力発揮特性に与える影響について検討した。その結果、大学・シニアレベルの陸上競技跳躍選手を対象とした際には、FJ 距離を 3m に設定することで、PJ の踏切動作や力発揮特性が実際の競技時のものと類似することが明らかになった。さらに、同条件から算出した RLJ index と陸上競技の跳躍種目の成績間には、有意に高い相関関係が認められた。一方、BSSC 能力の測定評価法として従来用いられてきた、リバウンドジャンプテスト (両足での鉛直跳躍を用いて行われるテスト) の成績であるリバウンドジャンプ指数は、RLJ index および陸上競技の跳躍種目の成績間との間には有意な相関関係が認められなかった。これらのことから、大学・シニアレベルの陸上競技跳躍選手を対象にして、高速水平跳躍型の BSSC 能力を測定評価するためには、FJ 距離 3m 条件による RLJ test と RLJ index が有益になることが示唆された。

RLJ test をトレーニングアセスメントに用いるためには、RLJ index を決定する要因を明らかにすることが必要であると考えられる。この決定要因には、体力的な視点と技術的な視点が存在する。本研究では、下肢各関節のキネティクスからみた筋力・パワー発揮に関する要因とキネマティクスからみた技術的な要因に注目し、RLJ index を決定する諸要因を明らかにすることを目的とした。そのために、本研究では身体各部によって遂行される複雑な踏切動作を、身体重心と足部接地点を結んだ線分の挙動としたモデルを用いて検討し、次いでより詳細に下肢関節および下肢関節セグメントのキネマティクスとキネティクスについて検討した。FJ 距離 3m 条件を用いた RLJ test において優れた RLJ index を獲得するためには、高い接地速度に対応して効果的に踏切動作を遂行するために、水平速度の減少を最小限に抑えながらも、最大限の鉛直速度を獲得する踏切動作を極めて短時間で遂行する技術が要求される。このような条件下で行われる踏切動作では、踏切中の身体の屈曲一伸

展挙動によって推進力を獲得することが困難となり、足部接地点を支点として身体を前方に回転させる挙動によって推進力を獲得することが必要不可欠となる。このことは、身体の屈曲挙動を最小限に抑えるとともに、身体の回転範囲を小さくしながら高速で回転させることによって遂行可能となることが明らかになった。そして、身体の屈曲挙動を抑制するためには、踏切接地時において膝関節のエキセントリックな伸展力を高めることが可能となる踏切動作の遂行が重要となる。小さく速い身体の回転挙動を作り出すには、踏切接地前の空中局面において身体を大きな範囲に渡って回転させる挙動を伴った先取り動作、空中局面から先取りを推進し踏切局面全体を通して行われる振込脚の大きく速い振込動作、踏切接地中のセグメントの回転序列からみた下肢の筋力・パワーと踏切技術が重要となることが明らかになった。

本研究は高速水平跳躍に要求される BSSC 能力を測定評価するための新たなテスト法である RLJ test とその評価指数である RLJ index を考案するとともに、その有効性について明らかにしたものであり、新しいトレーニングアセスメントの方法について提案したものである。また、評価指数である RLJ index を決定する要因について、RLJ におけるキネマティクスとキネティクスを手がかりにして明らかにするとともに、それをトレーニングへと利用できるように提示したものである。得られた知見は、高速水平跳躍種目に関するトレーニング理論の構築や測定評価、トレーニング実践に役立つものである。

謝 辞

本論文を執筆するにあたり、コーチング学専攻教授・岡子浩二先生には、終始懇切丁寧なご指導およびご校閲を賜りました。岡子浩二先生には11年間に渡り、研究指導に加えて陸上競技の指導、スポーツトレーニングやコーチングに関する指導を頂きました。これらを通して、スポーツや研究に関わることのみならず、全ての事象に共通する、物事を捉える視点や考え方について深くご教示いただきました。厚く御礼申し上げます、ここに、感謝の意を表します。

コーチング学専攻教授・尾縣貢先生には、博士課程入学時には主査をお引き受け頂き、論文執筆にあたり精到なご助言・ご校閲を賜りました。また、論文指導のみならず、陸上競技に関するアドバイスや怪我に関するご心配を頂き、誠にありがとうございました。ここに、感謝の意を表します。

コーチング学専攻教授・浅井武先生、同教授・會田宏先生、体育科学専攻教授・木塚朝博先生には副査を快くお引き受け頂き、様々な視点からのご指導を賜りました。特に、浅井武先生には研究内容の伝え方について、會田宏先生には研究の妥当性や表記の仕方について、木塚朝博先生にはデータに関する着眼点や表現の方法についてのご助言を頂きました。これらのご指導に対して、深く御礼申し上げます。

コーチング原論・トレーニング論領域 岡子研究室の皆様には、博士論文に関するデータの測定、解析、解釈に渡る様々なご助力・ご助言を頂きました。ここに、感謝の意を表します。

また、群馬総合ガードシステム株式会社および同社代表取締役社長・川崎弘様には、陸上競技選手と博士号習得のディアル・キャリアにご理解を頂くとともに、怪我からの復帰を温かく見守り、厚いご支援を頂きました。本論文の執筆は、群馬総合ガードシステム株式会社および川崎弘様の存在が無ければ成しえなかったことです。ここに、感謝の意を表します。

最後に、自由な道を選択する私を信じ、陰ながら多大な支援を続けてくれた両親に対して、心より感謝の意を示します。

2014年3月 藤林 献明

文献

- 阿江通良 (1991) 跳躍における腕の役割. 体育の科学, 41: 693-697.
- 阿江通良 (1996) 日本人幼少およびアスリートの身体部分係数. Japanese Journal of Sports Sciences, 15: 155-162.
- 阿江通良 (2002) バイオメカニクスデータのコーチングへの活用. 陸上競技研究, 48: 8-18.
- 阿江通良・村木征人・石川宣治・金高宏文・伊藤信之 (1989) トルク及びパワーからみた走幅跳における踏切脚筋群の機能. 陸上競技研究紀要, 2: 2-9.
- 青木和浩・河村剛光・越川一紀・吉儀宏 (2007) 大学跳躍選手におけるバウンディング能力と体力の関係および性差. 陸上競技研究, 71: 10-15.
- 青山清英・濱松亜紀・小木曾一之・小山裕三・関岡康雄 (1994) 走り幅跳びの踏切動作における身体各部位の役割. 陸上競技研究, 17: 2-9.
- 青山清英・越川一紀・青木和浩・森長正樹・吉田孝久・尾縣貢 (2009) 上級走幅跳選手におけるパフォーマンスに影響を与えるバイオメカニクスの要因とコーチの他社観察内容の関係. スポーツ方法学研究, 22: 87-100.
- 浅川正一・武政喜代次・古藤高良・小佐文雄・関岡康雄・山西哲郎・田村征男 (1969) 跳躍力の分析的研究. 東京教育大学体育学部紀要, 8: 61-70.
- 有川秀之・太田涼 (2005) 疾走動作とバウンディング動作との関係. 埼玉大学紀要教育学部, 54: 259-267.
- Asumssen, E. and Bonde, P. F. (1974) Storage of elastic energy in skeletal muscle in man. Acta Physiologica Scandinavica, 91: 385-392.
- Bobbert, M. F., Huijing, P. A. and van Ingan Schnau, G. J. (1987) Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. Medicine & Science in Sports & Exercise, 19: 332-338.
- Bosco, C. and Komi, P. V. (1979) Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. Acta Physiologica Scandinavica, 106: 467-472.

- Bosco, C., Komi, P. V. and Ito, A. (1981) Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiologica Scandinavica*, 111 : 135-140.
- Bosco, C., Luhtanen, P. and Komi, P. V. (1986) Kinetics and kinematics of the take-off in the long jump. In Komi, P. V. (ed.). *Biomechanics V-B*. Baltimore, MD : University park press : 174-180.
- Bosco, C., Luhtanen, P. and Komi, P. V. (1983) A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology*, 50 : 273-282.
- Brooks, V. B. and Thach, W. T. (1981) Cerebellar control of posture and movement. In : Brooks, V. B. *Handbook of physiology, The nervous system* : American Physiological Society : Bethesda, pp. 889-891.
- Coe, M (1997) Kinematic-dynamic analysis of the takeoff action of the long jump. *Track Coach*, 139: 4443-4445. 4453.
- Depena, J. and Chung. C. S. (1998) Vertical and radical motions of the body during the takeoff phase of high jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20, 290-302.
- Desmedt, J. E. and Godaux, E. (1977) Ballistic control in man : Characteristic recruitment pattern of single motor unit of tibialis anterior muscles. *The Journal of Physiology*, 264: 673-639.
- 遠藤俊典・田内健二・木越清信・尾縣貢 (2007) リバウンドジャンプと垂直跳の遂行能力の発達に関する横断的研究. *体育学研究*, 52: 149-159.
- 遠藤俊典・宮下憲・尾縣貢 (2008) 100m 走後半の速度低下に対する下肢関節のキネティック的要因の影響. *体育学研究*, 53: 477-490.
- Enoka, R. M. (1996) Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *Journal of Applied Physiology*, 81: 2339-2346.
- 深代千之 (1983) 走幅跳と三段跳のバイオメカニクス. *Japanese Journal of Sports Sciences*. 2: 600-613.
- 深代千之 (1990) 跳ぶ科学. 大修館書店: 東京, pp. 34-67.
- 深代千之 (2000) 反動動作のバイオメカニクス: 伸張-短縮サイクルにおける筋-腱複合体の動態. *体育学研究*, 45: 457-471.

- Fukashiro, S. (1992) Evaluation of mechanical power by simplified method in vertical jump. *Journal of Sports Medicine & Science*, 6: 5-9.
- Fukashiro, S., Besier, T. F., Barrett, R., Cochrane, J., Nagano, A. and Lloyd, D. G. (2005) Direction control in standing horizontal and vertical jumps. *International Journal of Sport and Health Science*, 3: 272-279.
- Fukunaga, T., Kawakami, Y., Kubo, K. and Kanehisa, H. (2002) Muscle and tendon interaction during human movements. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30: 106-110.
- Fukashiro, S. and Komi, P. V. (1987) Joint moment and mechanical power flow of the lower limb during vertical jump. *International Journal of Sports Medicine*, 8: 15-21.
- Fukashiro, S. and Miyashita, M. (1983) An estimation of the velocity of three takeoff phase in 18 - m triple jump. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 13: 233-237.
- 深代千之・若山章信・小嶋俊久・伊藤清之・新井健之・飯干明・淵本隆文・湯海鵬 (1994) 走幅跳のバイオメカニクス. 世界一流競技者の技術, ベースボールマガジン社, 東京: pp. 135-151.
- Graham, S. G. and Lees, A. (2005) A three-dimensional kinematic analysis of the long jump take-off. *Journal of Sports Sciences*, 23: 891-903.
- Hay, J. G. (1986) The biomechanics of the long jump. *Exercise Sport Science Review*, 14: 401-446.
- Hay, J. G. and Miller, J. A. (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., Miller, J. A. and Canterna, R. W. (1986) The technique of elite male long jumpers. *Journal of Biomechanics*, 19: 855-866.
- Holm, J., Stalboom, M., Keogh, J. W. and Cronin, J. (2008) Relationship between the kinetics and kinematics of a unilateral horizontal drop jump to sprint performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 : 1589-1596.
- 飯田洋明・中澤公孝 (2010) 反動動作と伸張反射: 伸張反射出力は跳躍高増大に貢献するか (特集 スポーツ競技における反動動作). *体育の科学*, 62: 24-30.

- 稲岡純史・村木征人・国土将平（1993）コントロールテストからみた跳躍競技の種目特性および競技パフォーマンスとの関係. スポーツ方法学研究, 6:41-48.
- International Association of Athletics Federations（2011）IAAF Scoring Tables of Athletics - Outdoor - 2011 Edition.
http://www.iaaf.org/mm/Document/Competitions/TechnicalArea/04/33/41/20110124082825_http_postedfile_IAAF_Scoring_Tables_of_Athletics_2011_23299.pdf,（accessed 2012-2-11）
- 飯干明・大村一光・小山宏之・村木有也・阿江通良（2005）日本一流走幅跳選手の踏切準備と踏切動作のバイオメカニクス的分析. 陸上競技研究紀要, 1: 137-141.
- 石塚浩・関岡康雄（1980）練習手段としてのバウンディング・ストライドに関する分析的研究（I）-立位姿勢からのバウンディング・ストライドの力学的側面に関して-. 日本体育学会大会号, 31, 604.
- 伊藤章（1987）跳躍運動における反動効果 - 下腿三頭筋の筋放電量と弾性エネルギーの利用. Japanese Journal of Sports Sciences, 6: 232-238.
- 伊藤章・市川博啓・斉藤昌久・佐川和則・伊藤道朗・小林寛道（1998）100m 中間疾局面における疾走動作と速度の関係. 体育学研究, 43: 260-273.
- 伊藤章・富樫勝（1997）ハードル走のバイオメカニクス的研究：スプリントとの比較. 体育学研究, 42: 246-260.
- 岩竹淳・北田耕司・小田宏行（2002a）陸上競技跳躍選手を対象としたドロップジャンプテストの有効性. 体力科学, 51: 707.
- 岩竹淳・鈴木朋美・中村夏実・小田宏行・永澤健・岩壁達男（2002b）陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係. 体育学研究, 47: 235-261.
- 岩竹淳・北田耕司・川原繁樹・関子浩二（2008）ジャンプトレーニングが思春期後期にある男子生徒の疾走能力に与える影響. 体育学研究, 53: 353-362.
- Jacobs, R. and van Ingen Schenau G. J.（1992）Intramuscular coordination in a sprint push-off.

- Journal of Biomechanics, 25: 953-965.
- Kale, M., Asci, A., Bayrak, C. and Acikada, C. (2009) Relationships among jumping performance and sprint performance during Maximum speed phase in sprinters. The Journal of Strength and Conditioning Research, 23: 2274-2279.
- 金原勇・春山国広・三浦望慶 (1964) 跳躍力を大きくする基礎的技術の研究 (その 1) -反動動作と振込動作について-. 東京教育大学体育学部スポーツ研究所報, 2: 21-31.
- 荏山靖・遠藤俊典・藤井宏明・森健一・尾縣貢・図子浩二 (2012) 片脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプの動作および力発揮特性：両脚踏切を用いたリバウンドジャンプと比較して. 体育学研究, 57: 143-158.
- 荏山靖・藤井宏明・森健一・図子浩二 (2013) 片脚および両脚リバウンドジャンプにおける 3 次元的な力発揮特性. 体育学研究. 58: 91-109.
- 荏山靖 (2012) プライオメトリックトレーニング手段としての各種リバウンドジャンプの用い方に関する減速-両脚型と片脚型および鉛直型と水平型の相違に着目して-平成 24 年度筑波大学大学院博士論文.
- Kawakami, Y., Muraoka, T., Ito, S., Kanehisa, H. and Fukunaga, T. (2002) In vivo muscle fiber behavior during counter-movement exercise in human reveals a significant role for tendon elasticity. The Japanese Journal of Physiology, 540: 635-646.
- 木越清信・田内健二・尾縣貢 (2001) 特異的な筋力および筋パワートレーニング手段としての立ち五段跳および立ち十段跳の有効性. 陸上競技研究, 4: 13-18.
- 木越清信・岩井浩一・島田一志・尾縣貢 (2004) ドロップジャンプにおける姿勢が下肢関節 Kinetics およびジャンプパフォーマンスに及ぼす影響. 体育学研究, 49: 435-445.
- 木越清信・小坂真貴子・佐々木博 (2005) 小学校における走幅跳の跳躍距離とバリスティックな跳躍能力との関係. 愛知教育大学研究紀要, 30: 21-26.
- 木野村嘉則・村木征人・図子浩二 (2012) 走幅跳における助走歩数を増やして踏切するための踏切動作：短助走から長助走に至る踏切動作等の変化率に着目して. 体育学研究, 57:

71-82.

小林修・金高宏文・平田文夫（1999）立五段跳における跳躍パフォーマンスの分析. 陸上競技研究, 39: 34-40.

Koh, T. J. and Hay, J. G. (1990) Landing leg motion and performance in the horizontal jumps I : the long jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6: 343-360.

Komi, P. V. and Buskirk, E. R. (1972) Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. *Ergonomics*, 15: 427-434.

Komi, P. V. and Bosco, C. (1978) Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscle by men and women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 10: 261-265.

小山宏之・阿江通良・藤井範久・宮下憲（2011）競技レベル別に見た走幅跳の助走スピードの定量化 - トレーニングで簡便に利用できる指標の考案 - . 筑波大学体育科学系紀要, 34: 169-173.

小山宏之・村木有也・芝山一仁・阿江通良（2010）競技会における一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.

串間敦郎・稲田夏希・松迫睦美（2000）疾走速度に関する体力要素の検討. 宮崎県立看護大学研究紀要, 1: 26-32.

Lee, A., Philip, G, S. and N. Flower. (1994) A biomechanical Analysis of the Last Stride, Touchdown, and Takeoff characteristics of the Men's Long Jump. *Journal of Applied Biomechanics*, 10: 561-78.

Lisa, A. B. and Nicholas, P. L. (2006) Changes in long jump take-off technique with increasing run-up speed. *Journal of Applied Biomechanics*, 10: 61-78.

Luhtanen, P and Komi, P. V. (1979) Mechanical Power and Segmental Contribution to Force Impulses in Long Jump Take-off. *European Journal of Applied Physiology*, 41: 267-274.

- Mackenzie, R. J. (2008) Why the long jump takeoff foot must be planted far in front of the body. *Track Coach*, 184: 5877-5884.
- 真島英信 (1987) 生理学. 文光堂: 東京. pp. 85-120.
- McNeely, E. and Sandler, D. (2009) *Power Plyometrics: The Complete Program* (2nd edition). Meyer & Meyer sport (UK) Ltd., p. 44.
- Mero A., Komi, P. V. and Gregor, R. J. (1992) Biomechanics of sprint running. *Sports Medicine*, 13, 376-392.
- Mero A., Luhtanen, P., Viitasalo, J. T. and Komi, P. V. (1981) Relationship between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand. Journal of Sports Sciences*, 3: 16-22
- Meylan, C. M. P., Nosaka, K., Jonathan, P. G. and John, B. C. (2010) Variability and influence of eccentric kinematics on unilateral vertical, horizontal, and lateral countermovement jump performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24: 840-845.
- Misjuk, M. and Viry, M. (2007) The relationships between jumping tests and speed abilities among Estonian sprinters. *Acta Academiae Olympicae Estoniae*, 15: 9-16.
- 三井孝・凶子浩二 (2006) はずみ運動を用いて評価した高齢者における身長-短縮サイクル運動の遂行能力. *体育学研究*, 51: 773-782.
- 三浦望慶・金原勇・渋川侃二 (1996) 跳躍力を大きくする基礎的技術の研究 (その3) - 助走を利用して高くとぶ場合 -. *体育学研究*, 10, 204.
- 森健一 (2011) 陸上競技者における全力ペダリング運動を用いた体力評価の意義. 平成 23 年度筑波大学大学院博士論文.
- 森長正樹・青山亜紀・澤野大地 (2010) 片脚ドロップジャンプの踏切動作の相違が跳躍高, 踏切時間, 遂行能力に与える影響に関するトレーニング学的考察. *陸上競技研究*, 71: 29-36.
- 森長正樹・安井年文・重城哲・加藤浩一・岡野裕司・小山裕三・澤村博 (2003) 走幅跳の成功試技と失敗試技における踏切および踏切準備動作の相違. *陸上競技研究*, 52: 12-21.
- 森長正樹・鬼澤範子・澤野大地・本道慎吾 (2010) バウンディングとスピードバウンディ

- ングの跳躍動作の相違に関する研究. 陸上競技研究, 82: 20-25.
- 村木征人 (1970) Triple Jump における効果的 Limb Action : Swing Type の運動に着目して.
東京女子体育大学紀要, 5; 96-106.
- 村木征人 (1982) 現在スポーツコーチ実践講座 2 陸上競技 (フィールド). ぎょうせい: 東京, pp. 326-350.
- 村木征人 (1996) 陸上競技指導教本一種目別実技編一. 日本陸上競技連盟編. 大修館書店: 東京, pp. 169-186.
- Muraki Y., Ae M., Koyama H. and Yokozawa T. (2008) Joint Kinetics in the Long Jump Takeoff :
International Journal of Sport and Health Science, 6: 21-32.
- 村木有也・小山宏之・阿江通良 (2002) 世界一流三段跳選手の踏切動作のバイオメカニク
ス的分析. 日本体育学会大会号, 53: 360.
- 永松幸一・岡子浩二 (1999) 踏切中の地面反力と身体の逆振り子運動からみたバウンディ
ングの特性. バイオメカニクス研究概論: 356-360.
- Nagano, A. and Fukashiro, S. (2000) Biomechanical comparison of the role of bi-articular rectus
femoris in standing broad jump and vertical jump. Japanese Journal of Biomechanics in Sports &
Exercise, 4: 8-15.
- 西平賀昭 (2005) 運動と高次神経機能. 杏林書院, 東京, pp.126-127.
- 大宮真一・合屋十四秋 (2003) 陸上短距離選手のバウンディング動作: 助走速度の変化に
伴う地面反力と踏切脚動作の検討. 愛知教育大学保健体育講座研究紀要, 28: 37-43.
- 大宮真一・木越清信・尾縣貢 (2009) リバウンドジャンプ能力が走り幅跳び能力に及ぼす
影響: 小学 6 年生を対象として. 体育学研究, 54: 55-65.
- 太田洋一・中村力・浦田達也・伊藤章 (2010) 簡易な方法方を用いた走幅跳におけるパフ
ォーマンスと助走・踏切速度の関係. コーチング学研究. 24: 27-34.
- 尾縣貢・生田香明・猪熊真・関岡康雄・大山良徳・近藤潤 (1988) スキッピングトレー
ニングが体力, 疾走能力, 疾走動作に与える影響, 体育学研究, 49: 435-445.
- 尾縣貢・中野正英 (1992) 小学生における走幅跳びの合理的技術. 奈良教育大学紀要, 41:
23-29.
- 尾縣貢・中野正英・岡沢祥訓 (1993) 脚伸展パワーが走幅跳びに及ぼす影響: 小学 5 年生

- の場合. 体育学研究, 41: 35-45.
- Peter, M. and Jhon, C. (2005) Horizontal and vertical jump assessment: reliability, symmetry, discriminative and predictive ability. *Physical Therapy in Sport*, 6: 74-82.
- Ramey, M, R. and K, R. Williams. (1985) Ground reaction force in the triple jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1: 233-239.
- 斉藤望・阿江通良 (1991) 走幅跳の踏切動作の類型化に関する研究. 陸上競技研究, 7: 67-71.
- 斉藤望・阿江通良・高松薫・宮西智久・岡田英孝 (1993) デプスジャンプにおける跳躍方向の相違が下肢の筋群のパワー出力に及ぼす影響. 第13回バイオメカニズムシンポジウム: 13-23.
- Sayfarth, A., Friedrichs, A., Wank, R. and Blickhan, R. (1999) Dynamics of long jump. *The Journal of Biomechanics*, 32: 1259-1267.
- 関岡康雄 (1990) 陸上競技の方法, 道和書院: 東京, pp. 131-138.
- 志賀充・永井 純・尾縣貢 (2002) 走幅跳における踏切準備及び踏切局面の身体動作と記録の関係. 陸上競技研究, 4, 9-17.
- 志賀充・尾縣貢 (2004) 走幅跳競技者の下肢筋力と踏切中のキネマティクスおよびキネティクスの関係: 膝関節と股関節に着目して. 体力科学, 53: 157-166.
- 島典宏 (2012) 反動動作と筋の増強効果. 杏林堂書院: 東京, pp. 20-23.
- Smith, J. P., Kernozek, T. W., Kline, D. E. and Wright, G. A. (2010) Kinematic and kinetic variations among three depth jump condition in male NCAA division III athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25: 94-102.
- Stefanyshyn, D, J. and Nigg, B. M. (1998) Contribution of the lower extremity joints to ,mechanical energy in running vertical jump and running long jump. *Journal of Sports Sciences*, 16: 177-186.
- Stephanie, L. J. and Graham, E. C. (2003) Mono-and Biarticular Muscle Activity During Jumping in Different Directions. *Journal of Applied Biomechanics*, 19: 205-222.
- Stephens, T. M. 2nd. Lawson, B. R., DeVoe, D. E. and Reiser, R. F. 2nd. (2007) Gender and bilateral differences in single-leg countermovement jump performances with comparison to a double-leg

- jump. *Journal of Applied Biomechanics*, 23: 190-202.
- 高松薫・會田宏・岡子浩二 (1991) Isometric および eccentric な予備緊張が肘関節屈曲速度に及ぼす影響 - Concentric な収縮中の負荷重量および動作範囲に着目して - . *体育学研究*, 36: 127-139.
- 高松薫・岡子浩二・會田宏・吉田寮・石島繁 (1989) デプスジャンプにおける台高と踏切中の膝曲げ動作相違が跳躍高および下肢筋にかかる負荷特性に及ぼす影響. 昭和 62 年度日本体育協会スポーツ科学報告 No's. プライオメトリック・リアクティブ筋力トレーニングに関する研究-第 2 報-, 東京: pp. 46-55.
- 谷川聡・島田一志・岩井浩一・尾縣貢 (2008) 競技者と一般人の走および歩動作の特徴. *体育学研究*, 53: 75-85.
- Tauchi, K., Endo, T., Ogata, M., Matsuo, A. and Iso, S. (2008) The Characteristics of Jump Ability in Elite Adolescent Athletes and Healthy Males: The Development of Countermovement and Rebound Jump Ability. *International Journal of Sport and Health Science*, 6: 78-84.
- 戸田次郎・蒲田貴・植田恭史 (1991) 三段跳のコントロールテストに関する研究: コントロールテスト点検基準とトレーニング指標について. *東海大学紀要*, 体育学部 22: 33-44.
- 鳥海清司・天野義裕・寺澤健次 (2004) 立幅跳び踏切時における各関節でのパワー発揮の特徴: 垂直跳びとの比較から. *中京大学体育学論叢*, 30: 23-33.
- 鳥海清司・大島徹・熊本水頼 (2002) 関節トルクからみたヒトの跳躍方向の調整. *バイオメカニズム*, 16: 243-252.
- 築野愛・阿江通良・小山宏之・村木有也・高本恵美 (2011). 世界一流女子三段跳選手の踏切動作に関するバイオメカニクスの研究 - 同程度の競技記録を持つ男子選手との比較 - . *陸上競技研究*, 84: 23-31.
- 築野愛・阿江通良・小山 宏之・村木有也・高本恵美 (2012) 記録水準の異なる女子三段跳

- の跳躍動作に関するバイオメカニクス的研究. 陸上競技研究, 3: 17-26.
- 植田恭史・鎌田貴・古谷嘉邦 (1989) 三段跳における世界一流選手と日本の 15~16m, 13~14m 選手との比較 - 跳躍距離, 跳躍比, 接地時間と滞空時間について. 東海大学紀要, 体育学部 19: 49-56.
- 植田恭史 (1992) 記録更新に伴う技術的变化・要因に関する一考察: 15m10 から 16m66 に成長した三段跳び選手より. 東海大学紀要, 体育学部 21: 23-28.
- 植田恭史・広川龍太郎 (2001) 跳躍競技のパフォーマンス及びコントロールテストとスクワット動作の等速性筋力の関係. 東海大学紀要, 体育学部 30: 95-101.
- 植田恭史 (2007) コーチング研究 [VII] : 跳躍種目のコントロールテスト. 東海大学紀要, 体育学部 37: 75-83.
- van Ingen Schenau, G. J (1984) An alternative view of concept of utilization of elastic energy in human movement. *Human Movement Science*, 3: 30-336.
- 渡辺輝也・朝岡正雄・宮下憲・佐野淳 (2009) 走高跳におけるスピードフロップの類型化に関する運動学的考察. 体育学研究, 54: 327-42.
- 渡邊將司・河合郁儀・北川亘・加藤満 (2009) 片脚で行うボックスドロップジャンプトレーニングの有効性. 陸上競技研究, 76: 45-51.
- Wells, R.P. and Winter, D. A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion*, 1: 92-93.
- Wiemann, K. and Tidow, G. (1995) Relative activity of hip and knee extensors in sprinting- Implications for training. *New Studies in Athletics*, 10, 29-49.
- 米田継武 (1989) すばやい力発揮の制御. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 10: 657-662.
- 関子浩二 (1995) バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因. 平成 6 年度筑波大学大学院博士論文.
- 関子浩二 (1997) “ばね”を高めるためのトレーニング理論. *トレーニング科学*, 8: 7-16.
- 関子浩二・西菌秀嗣・平田文夫 (1998) 筋収縮の違いからみた下肢三関節のトルク発揮特

性. 体力科学, 47: 593-600.

- 関子浩二 (2002) 体力測定 I: 競技スポーツの場合. 臨床スポーツ医学, 19: 1461-1472.
- 関子浩二 (2004) スポーツ選手と指導者のための体力・運動能力測定法-トレーニング科学の活用テクニック. 鹿屋体育大学スポーツトレーニング教育研究センター編. 大修館書店: 東京. pp, 143-153.
- 関子浩二 (2005) スポーツアスリートにおけるばねに関する理論とその可能性. 陸上競技研究, 60: 2-17.
- 関子浩二 (2006) 跳躍動作とその指導・トレーニング-プライオメトリックトレーニングに注目して. トレーニング科学, 18: 297-305.
- Zushi, K., Ishii, Y. and Elliott, B. (2005) Changes on Spring-Like Behavior According to different Touchdown Velocities Drop long Jump. Proceedings of the XIXth Congress of the International Society of Biomechanics, Cleveland, USA: 932.
- Zushi, K., Mitsui, T. and Elliott, B. (2003) CHANGES IN MOVEMENT CONTROL DURING ACCELERATION IN HUMAN SPRINTING, International Society of Biomechanics XIXth Congress: 442-445.
- 関子浩二・高松薫 (1995a) バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因: 筋力および瞬発力に着目して. 体力科学, 44: 147-154.
- 関子浩二・高松薫 (1995b) リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮する要因: 下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して. 体育学研究, 40: 29-39.
- 関子浩二・高松薫 (1996) リバウンドドロップジャンプにおける着地動作の違いが踏切中のパワー発揮に及ぼす影響-膝関節角度に着目して-. 体力科学, 45: 209-218.
- 関子浩二・高松薫・古藤高良 (1993) 各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性. 体育学研究, 38: 265-278