

2009 年度 修士論文

体操競技の跳馬におけるカサマツとび系技のキネマティクス

Kinematic Analysis of "Kasamatsu Group " on vault
In Artistic Gymnastics

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 コーチング科学研究領域

5008A026-5

齋藤 雅史

Masashi , Saito

研究指導教員：土屋 純 准教授

目次

I. 緒言.....	p.1
I-1. 体操競技の採点の仕組み.....	p.1
I-2. 跳馬とカサマツとび系技の説明.....	p.1
I-3. 跳馬におけるこれまでの研究.....	p.3
I-4. 本研究の目的.....	p.4
II. 方法.....	p.5
II-1. 被験者.....	p.5
II-2. 撮影方法.....	p.5
II-3. データ処理.....	p.5
II-4. 分析項目と分析方法.....	p.6
II-4-1. 各局面に要した動作時間.....	p.8
II-4-2. 各時点の身体重心速度（水平速度と鉛直速度）.....	p.8
II-4-3. 両手着手局面中における身体重心水平方向と鉛直方向の速度変化分.....	p.8
II-4-4. 踏み切り局面および両手着手局面中における身体の傾斜角度.....	p.8
II-4-5. 各時点の身体セグメント角度と角速度.....	p.8
II-4-6. 両手着手局面中における鉛直方向の速度変化分と体幹セグメント角度の変化 分.....	p.12
II-5. データの規格化.....	p.12
II-6. 統計処理.....	p.12
III. 結果.....	p.13

III-1. 動作時間.....	p.13
III-2. 身体重心速度の変化（水平速度および鉛直速度）.....	p.13
III-2-1. 身体重心の水平速度の変化.....	p.13
III-2-2. 身体重心の鉛直速度の変化.....	p.13
III-3. 両手着手局面中における水平速度の変化分と鉛直速度の変化分との相関関係...	p.18
III-4. 身体の傾斜角度.....	p.20
III-4-1. 踏み切り局面中における身体の傾斜角度の変化.....	p.20
III-4-2. 両手着手局面中における身体の傾斜角度の変化.....	p.20
III-5. セグメント角度およびセグメント角速度の変化.....	p.24
III-5-1. セグメント角度の変化.....	p.24
III-5-1-i. 上肢セグメント角度.....	p.24
III-5-1-ii. 体幹セグメント角度.....	p.24
III-5-1-iii. 下肢セグメント角度.....	p.25
III-5-2. セグメント角速度の変化.....	p.29
III-5-2-i. 上肢セグメント角速度.....	p.29
III-5-2-ii. 体幹セグメント角速度.....	p.29
III-5-2-iii. 下肢セグメント角速度.....	p.29
III-6. 両手着手局面中における鉛直方向の速度変化分と体幹セグメント角度の変化 分.....	p.34
IV. 考察.....	p.36
V. コーチングの視点から.....	p.45
VI. まとめ.....	p.48
VII. 参考文献.....	p.49
謝辞.....	p.50

I 緒言

H. 体操競技の採点の仕組み

体操競技の採点では、演技に難度点である D スコアが与えられ、実施点を評価する E スコアとの合計得点で勝敗が決められる。跳馬以外の 5 種目は、技と呼ばれるひとまとまりの運動を十数個連続して行うことで演技が構成される。高い D スコアを得るためには高難度の技を多く取り入れることが必要であり、さらに 1 つ 1 つの技で減点されない実施が望まれる。一方、跳馬の演技は 1 つの跳躍技のみで構成され、1 つの跳躍技ごとに D スコアが与えられている。したがって、他の種目よりも比較的高い D スコアを獲得しやすく、また、実施において減点される箇所も少ないので、結果的に高い合計得点を獲得することが期待できる。

I2. 跳馬とカサマツとび系技の説明

現在、跳馬の演技では、カサマツとび系といわれる技が多く選手において実施されている。カサマツとび系の技とは、跳躍板からの踏み切り後、跳馬への着手までに身体を 1/4 ひねり、離手後 1 回半宙返りを行う中で 3/4 以上のひねりを行うことで成立し、ひねりの度数に応じた D スコアが与えられている。例えば、離手後 1 回半宙返り中に 3/4 ひねりを加えた技（カサマツ）は 5.4(図 1 上段)、5/4 ひねりを加えた技（カサマツハーフ）は 5.8、7/4 ひねりを加えた技（アカピアン）は 6.2(図 1 中段)、9/4 ひねりを加えた技（ドリックス）は 6.6(図 1 下段)、11/4 ひねりを加えた技（ロペス）は 7.0 の D スコアが、それぞれの技に与えられている(体操競技男子採点規則,2009 年版)。近年、高い D スコアのドリックスやロペスを実施する選手が増えてきている。

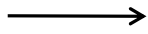


図 1. 上段:カサマツとび. 中段:アカピアン. 下段:ドリックス.
(左右反転)

B. 跳馬におけるこれまでの研究

これまでに跳馬の様々な跳躍技について、そのキネマティカル、キネティカルな特徴がいくつか報告されている。Takei (1988, 1992) は、前転とび前方かかえ込み宙返りの着手時における「ブロック動作」の技術に関して、身体重心の水平速度をより高く獲得して跳躍板から踏み切ることが、ブロック動作を成功させるために必要であるとしている。また、獲得したそれを着手局面において、腕の押し返し動作を利用して鉛直速度に変換させることが離手後の鉛直速度を高く獲得する上で重要になると報告している。さらに、この離手時点の大きな鉛直速度の獲得には、着手中の大きな角運動量の減少、鉛直速度の変化分、馬体に対する鉛直下向きへの大きな力発揮などが、高い相関関係にあると報告している。Dillman ら (1985) は、前転とび前方かかえ込み宙返りは、着手中に身体重心の鉛直速度を増加させて離手しているが、それとは対照的に、カサマツとびにひねりが加えられないツカハラとびでは、着手中に身体重心の鉛直速度の低下がみられたと報告している。Prassas ら (1999, 2006) は、跳躍技は特定していないが、助走速度と踏み切り時に身体がもつ速度や身体角度は、着手中のそれより重要であるとし、踏み切り時の失敗を着手時に補うことは難しいと述べている。また、踏み切り時に獲得した角運動量は着手中に減少するが、一部は身体重心の鉛直速度の増加に利用され、成功する跳躍においては、着手中の角運動量の減少は最も少ないと報告している。佐野 (2007) は、着手中の腕による力発揮よりも踏み切り時の脚による力発揮の方が、身体重心の速度の大きさや方向、身体の角度、宙返りの角速度などの大幅な調整が可能であると述べている。また、跳馬の前転とびにおける踏み切り時の下肢動作を、逆振り子のバネにモデル化して分析した結果、踏み切り前半のバネの長さに変化はみられず、バネというよりも棒のような振る舞いを行っていると報告している。しかし、これまでカサマツとび系の技におけるキネマティカルな特徴の相違点をカサマツ、アカピアン、ドリックスの跳躍技に分類して比較した研究やその相違点からより難度点の高い跳躍技を実施するために必要とされる合理的な動作を明らかにした研究は見

当たらない。カサマツとび系の技における身体動作の仕組みや合理的な動作を明らかにすることは、その運動技術を明らかにすることにつながり、効果的な指導を行う上で有効な情報の1つになると考えられる。

Ⅳ. 本研究の目的

本研究では、体操競技の跳馬におけるカサマツとび系の技、すなわちカサマツ、アカピアン、ドリックスを分析対象として、各跳躍技の身体動作のキネマティカルな特徴の相違点を比較し、より難度点の高い跳躍技を実施するために必要とされる合理的な動作を明らかにすることを目的とした。

II 研究方法

III. 被験者

本研究の被験者は、2007 年に行われた全日本体操競技選手権大会に出場した高校 2 年生から大学卒業 7 年目の選手で、カサマツとび系の技を実施した 47 名であった。このうち、カサマツとび、もしくはカサマツとびハーフ（以下カサマツ）を実施したのは 8 名（身長 164.4 ± 6.2 cm、体重 58.4 ± 5.0 kg）、アカピアンを実施したのは 21 名（身長 165.1 ± 4.5 cm、体重 58.8 ± 4.7 kg）、ドリックスを実施したのは 18 名（身長 165.1 ± 4.6 cm、体重 60.4 ± 3.5 kg）であった。被験者には、競技会前にビデオ撮影の許可と本研究の被験者となることの承諾を得た。

IV. 撮影方法

演技は、跳馬の側方 10m、高さ 1.35m に設置したデジタルビデオカメラ（Sony 社製、HDV1080i）により、毎秒 240 コマで撮影した。また、競技会の前に撮影された映像の縦横比を補正するためのキャリブレーションバーを、縦と横それぞれに設置し撮影した。

V. データ処理

撮影したビデオから、ビデオ動作解析システム（DKH 社製、Frame-DIAS version3）を用いて、着足の数十コマ前から離手の数十コマ後まで、身体の 17 点の計測点を 1 コマごとにディジタイズした。ディジタイズによって得られた 2 次元身体座標値を 4 点の較正点と縦横比から実長換算し、残差分析法（Winter,1990）により最適遮断周波数（X 座標 9.6~24Hz、Y 座標 9.6~26.4Hz）を求め、Butterworth digital filter (Winter,1990) を用いて平滑化した。

Ⅳ. 分析項目と分析方法

本研究では、跳躍板に足が触れた瞬間を着足、跳躍板から足が離れた瞬間を離足、左右どちらかの先手が着手した瞬間を第 1 着手、第 1 着手と反対側の手が着手した瞬間を第 2 着手、跳馬から両手が離れた瞬間を離手と定義し、また、着足から離足までの間を踏み切り局面、離足から第 1 着手までの間を第 1 空中局面、第 1 着手から第 2 着手までの間を片手着手局面、第 2 着手から離手までの間を両手着手局面とした(図 2)。

身体重心の水平方向への変位を X 軸、鉛直方向への変位を Y 軸とした静止座標系を設定し、1) 各局面に要した動作時間、2) 各時点の身体重心速度（水平速度と鉛直速度）、3) 両手着手局面における身体重心水平方向と鉛直方向の速度変化分、4) 踏み切り局面と両手着手局面における身体の傾斜角度、5) 各時点の身体セグメント角度および角速度、6) 両手着手局面における鉛直方向の速度変化分と体幹セグメント角度の変化分を、それぞれ算出した。

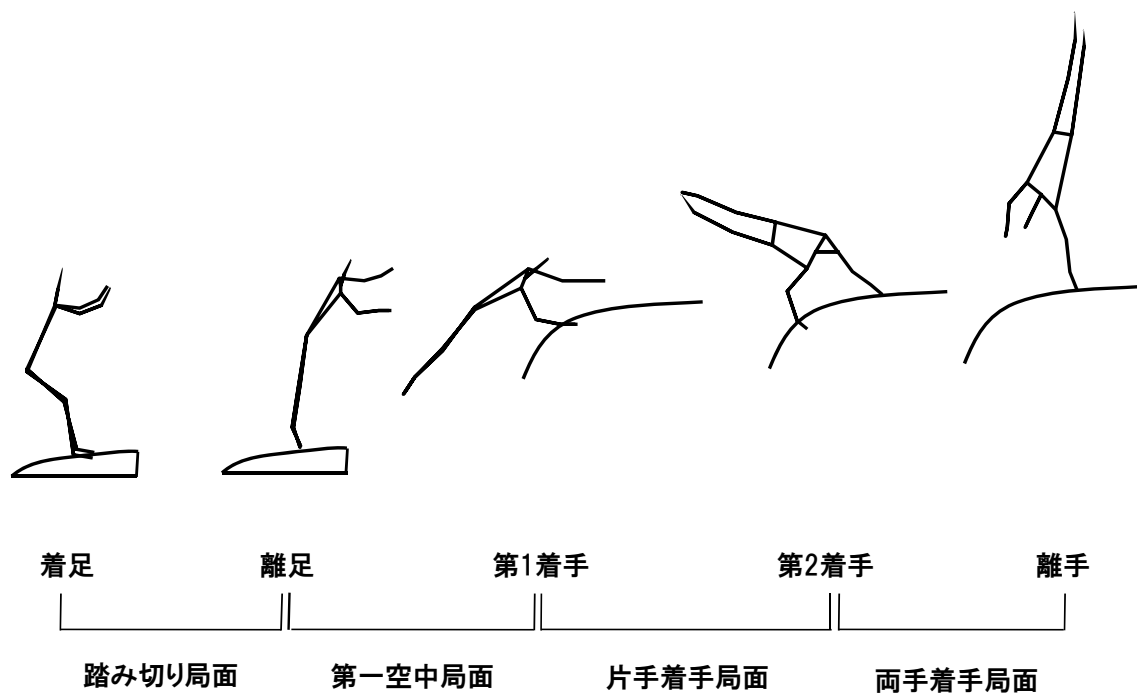
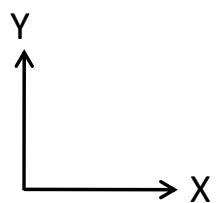


図2. 局面定義



Ⅳ-1. 各局面に要した動作時間

踏み切り局面は、着足から離足の 1 コマ前までに要した時間、第 1 空中局面は、離足から第 1 着手の 1 コマ前までに要した時間、片手着局面は、第 1 着手から第 2 着手の 1 コマ前までに要した時間、両手着局面は、第 2 着手から離手の 1 コマ前までに要した時間とした。

Ⅳ-2. 各時点の身体重心速度（水平速度と鉛直速度）

身体重心の算出には、阿江ら(1996)の身体部分係数を用い、得られた身体重心の $X \cdot Y$ 座標の変位をそれぞれ時間微分することで、その水平速度と鉛直速度を算出した。

Ⅳ-3. 両手着局面における身体重心水平方向と鉛直方向の速度変化分

速度変化分の算出には、水平方向と鉛直方向ともに、離手時点の速度から第 2 着時点の速度を減じて求めた。

Ⅳ-4. 身体の傾斜角度

踏み切り局面と両手着局面について、各局面中の身体の傾斜角度を算出した。身体の傾斜角度は、踏み切り局面については身体重心と両外果の中点を結ぶ線分が両外果の中点を通る水平線となす角度、両手着局面については身体重心と第 2 着手の手関節を結んだ線分が第 2 着手の手関節を通る水平線となす角と定義した(図 3)。角度は、時計回りの値を正とした。

Ⅳ-5. セグメント角度およびセグメント角速度

上肢セグメント角度は、第 2 着手の手関節と肩峰を結んだ線分が手関節を通る水平線となす角度、体幹セグメント角度は、両肩峰の中点と両大転子の中点を結んだ線分が両肩峰

の中点を通る水平線となす角度、下肢セグメント角度は、両大転子の中点との両外果の中点を結んだ線分が両大転子の中点を通る水平線となす角度と定義した(図 4)。角度は、時計回りの値を正とした。セグメント角速度は、角度の変位をそれぞれ時間微分することで算出した。

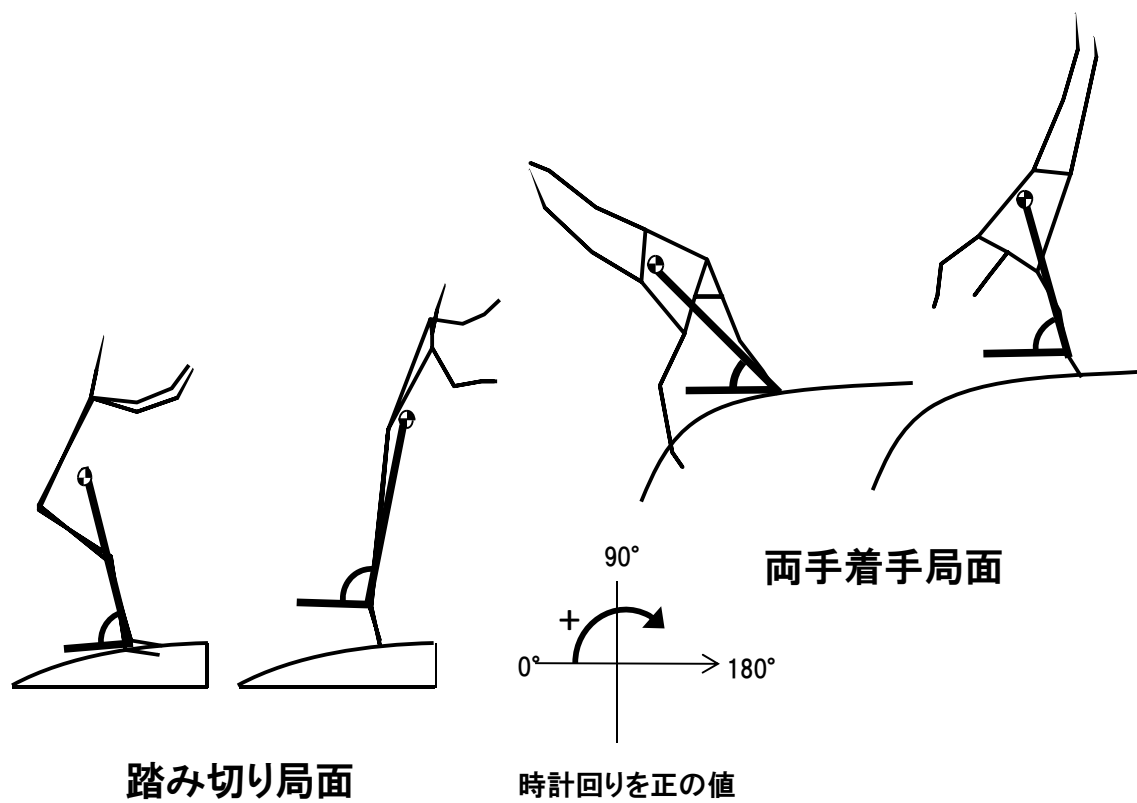


図3. 身体の傾斜角度

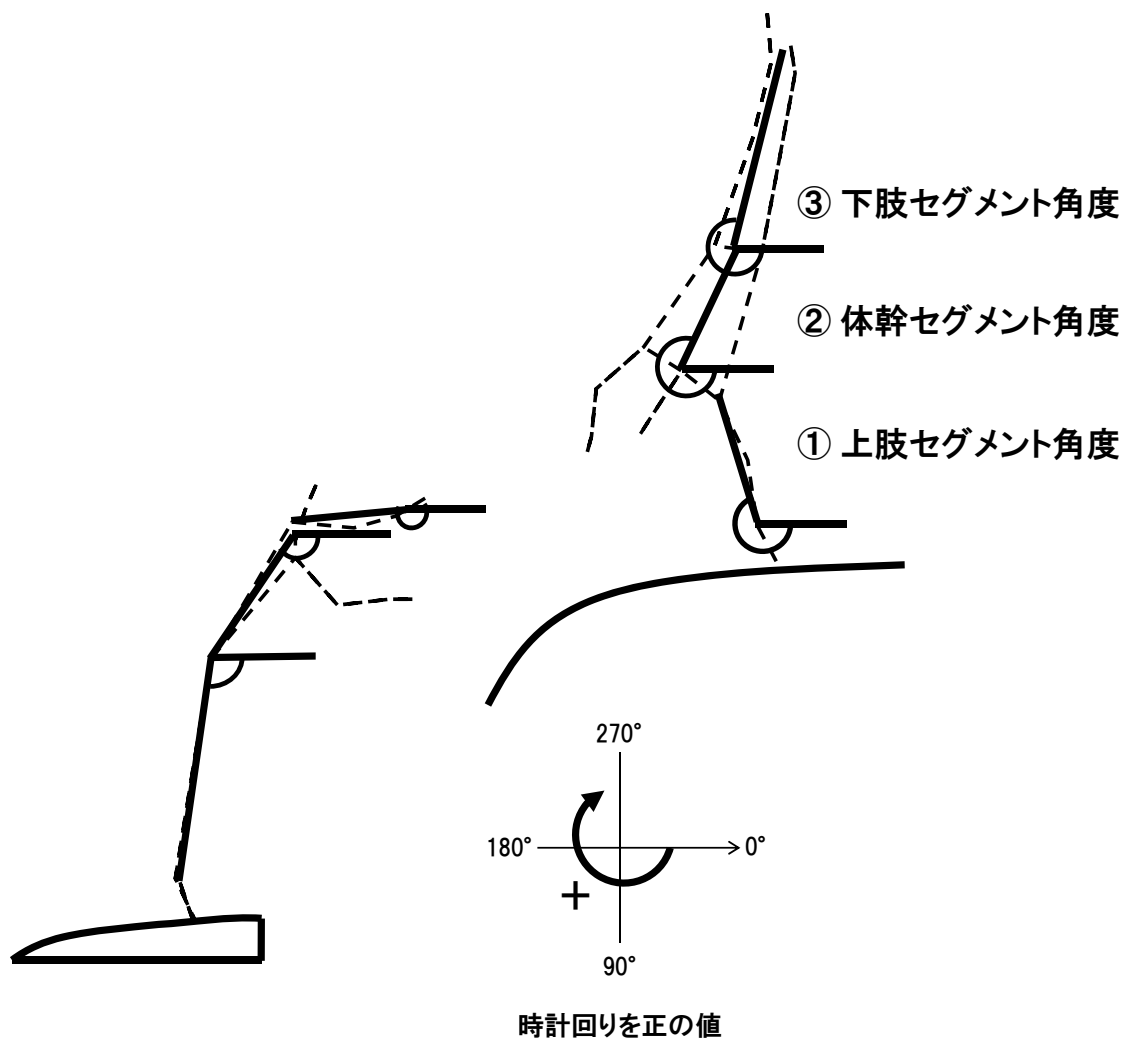


図4. セグメント角度

Ⅳ-6. 両手着手局面における鉛直方向の速度変化分と体幹セグメント角度の変化分

体幹セグメント角度の変化分についても、鉛直方向の速度変化分と同様に、離手時点の角度から第 2 着手時点の角度を減じて求めた。

Ⅴ. データの規格化

身体の傾斜角度においては、踏み切り局面および両手着手局面中のみ算出した。また、被験者によって各局面に要する動作時間には差異があるので、比較を容易にするためにスプライン関数を用いてデータを 101 個に補間した。

Ⅵ. 統計処理

全ての値は、平均値±標準偏差で示した。身体重心の水平速度と鉛直速度、踏み切り局面および両手着手局面中における身体の傾斜角度、セグメント角度（上肢、体幹、下肢）とそれらのセグメント角速度の比較は、すべて 2 要因(局面[時間変化]×跳躍技)の分散分析を用いて行い、交互作用が認められた場合は、単純主効果の検定を行った。単純主効果の検定結果に有意な差が認められた場合は、Bonferroni 法を用いて多重比較検定を行った。踏み切り局面および両手着手局面中における身体の傾斜角度の比較に関しては、10%ごとの値を比較した。両手着手局面中における身体重心の水平速度の変化分と鉛直速度の変化分、両手着手局面中における鉛直速度の変化分と体幹セグメント角度の変化分の相関関係は、ピアソンの積率相関分析を行って求めた。有意水準は 5%以下とした。

Ⅲ結果

Ⅲ. 動作時間

表 1 は、各局面に要した動作時間を跳躍技間で比較したものである。各局面に要した動作時間は、どの局面にも跳躍技間に有意な差が認められなかった。

Ⅲ. 身体重心速度の変化（水平速度および鉛直速度）

Ⅲ-1. 身体重心の水平速度の変化

図 5-1 は、身体重心の水平速度の変化を跳躍技ごとに示したものである。いずれの技においても身体重心の水平速度は、踏み切り局面中に大きく低下し、さらに、第 1 着手から離手にかけて低下する変化パターンを示した。局面内（自由度 3.205、 $F = 1015.882$ 、 $p < 0.05$ ）と跳躍技間（自由度 2、 $F = 4.806$ 、 $p < 0.05$ ）には、それぞれ有意な主効果が認められた。局面内主効果は、離足から第 1 着手にかけて有意な変化は認められなかったが、着足から離足（着足： 8.13 ± 0.05 m/s、離足： 4.95 ± 0.22 m/s）、第 1 着手から第 2 着手（第 1 着手： 4.97 ± 0.18 m/s、第 2 着手： 4.37 ± 0.14 m/s）、第 2 着手から離手（離手： 3.58 ± 0.09 m/s）でそれぞれ有意な低下が認められた。跳躍技間主効果では、ドリックス（ 5.35 ± 1.70 m/s）はアカピアン（ 5.15 ± 1.77 m/s）とカサマツ（ 5.11 ± 1.73 m/s）よりも有意に高い値を示した。

Ⅲ-2. 身体重心の鉛直速度の変化

図 5-2 は、身体重心の鉛直速度の変化を跳躍技ごとに示したものである。いずれの技においても身体重心の鉛直速度は、踏み切り局面中に大きく増加されたが、離足から離手にかけては跳躍技ごとに違った速度変化パターンを示した。身体重心の鉛直速度は、速度変化パターンに交互作用（自由度 8、 F 値 = 3.411、 $p < 0.05$ ）が認められ、離手時点の跳躍技間に単純主効果（自由度 2、 F 値 = 13.841、 $p < 0.05$ ）が認められた。多重比較の

結果、ドリックス ($3.44 \pm 0.33 \text{ m/s}$) はアカピアン ($3.16 \pm 0.43 \text{ m/s}$) およびカサマツ ($2.67 \pm 0.42 \text{ m/s}$) と比較して、またアカピアンはカサマツと比較して有意に高い値を示した。また、跳躍技ごと (ドリックス：自由度 4、 F 値 = 830.306、 $p < 0.05$ 、アカピアン：自由度 4、 F 値 = 898.517、 $p < 0.05$ 、カサマツ：自由度 4、 F 値 = 307.757、 $p < 0.05$) の局面内における単純主効果では、着足から離足にかけて全ての跳躍技 (ドリックス (着足： $-1.26 \pm 0.32 \text{ m/s}$ 、離足： $4.41 \pm 0.31 \text{ m/s}$)、アカピアン (着足： $-1.03 \pm 0.33 \text{ m/s}$ 、離足： $4.34 \pm 0.42 \text{ m/s}$)、カサマツ (着足： $-1.03 \pm 0.29 \text{ m/s}$ 、離足： $4.24 \pm 0.28 \text{ m/s}$))、に有意な増加が認められた。離足から第 1 着手にかけては、ドリックス (第 1 着手： $4.04 \pm 0.37 \text{ m/s}$) に有意な低下が認められたが、アカピアンとカサマツには有意な変化は認められなかった。また、第 1 着手から第 2 着手にかけて、ドリックス (第 2 着手： $3.68 \pm 0.30 \text{ m/s}$) とアカピアン (第 1 着手： $4.11 \pm 0.33 \text{ m/s}$ 、第 2 着手： $3.49 \pm 0.30 \text{ m/s}$) には有意な低下が認められたが、カサマツには有意な変化は認められなかった。さらに、第 2 着手から離手にかけて、アカピアン (離手： $3.16 \pm 0.43 \text{ m/s}$) とカサマツ (第 2 着手： $3.49 \pm 0.35 \text{ m/s}$ 、離手： $2.67 \pm 0.42 \text{ m/s}$) には有意な低下が認められたが、ドリックスには有意な変化は認められなかった。

表1. 各局面に要した動作時間

動作時間 (s)				
	踏み切り局面	第一空中局面	片手着手局面	両手着手局面
ドリックス	0.111±0.005	0.056±0.021	0.094±0.021	0.159±0.011
アカピアン	0.113±0.005	0.053±0.019	0.109±0.022	0.155±0.020
カサマツ	0.114±0.004	0.060±0.018	0.102±0.025	0.176±0.025

値は平均値±標準偏差.

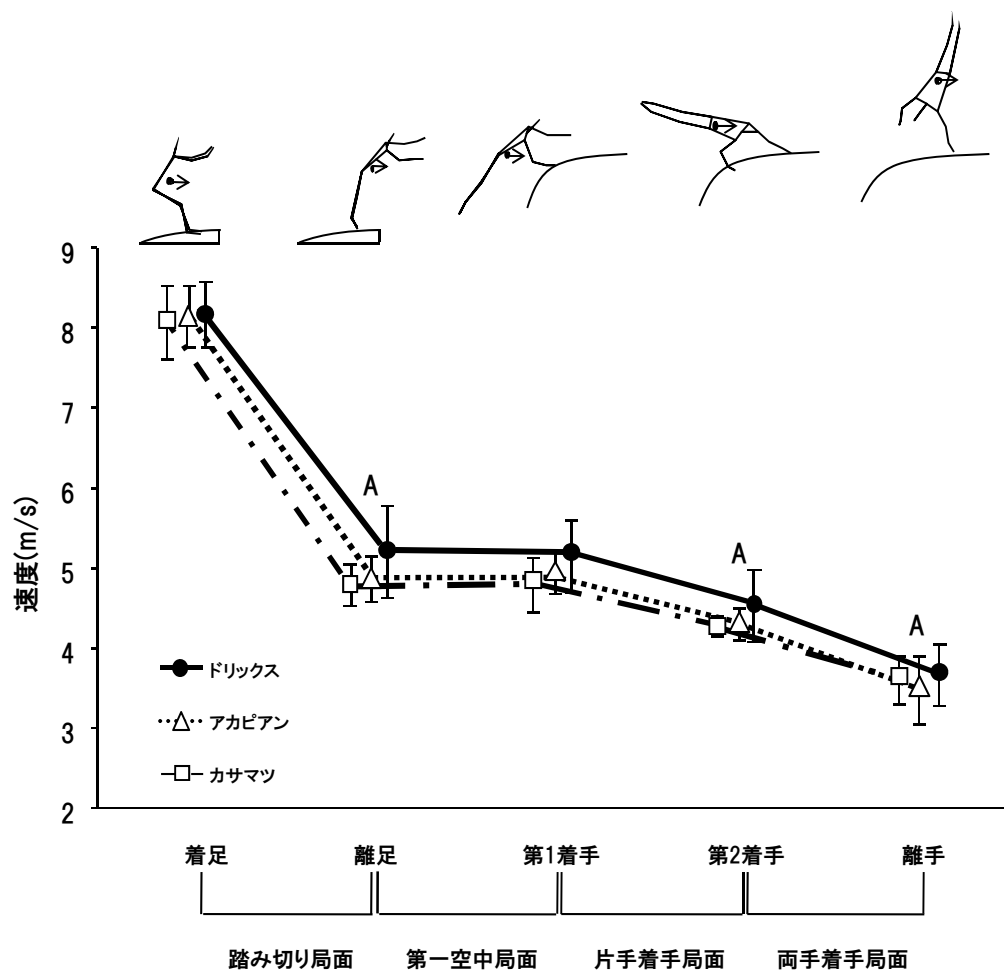


図5-1. 身体重心の水平速度変化

A : 前の時点と有意差あり.($P < 0.05$)

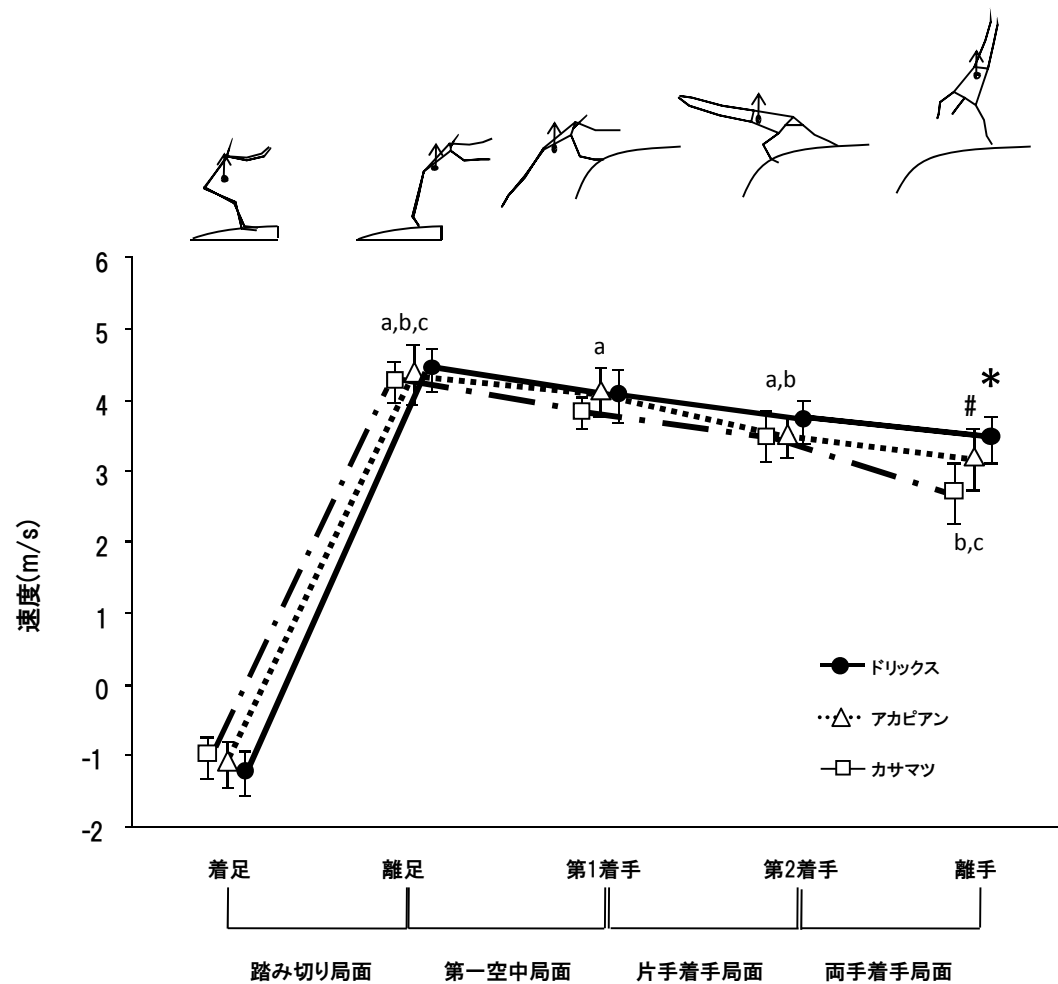


図5-2. 身体重心の鉛直速度変化

aはドリックス,bはアカピアン,cはカサマツにおいて前の時点と有意差あり.($p < 0.05$)

*:ドリックス > アカピアン, カサマツ. ($p < 0.05$)

#: アカピアン > カサマツ.($p < 0.05$)

III. 両手着手局面中における水平速度の変化分と鉛直速度の変化分との相関関係

図 6 は、両手着手局面中における身体重心の水平速度の変化分と鉛直速度の変化分との相関関係を示したものである。両速度の変化分の間には有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.35$, $p < 0.05$)。

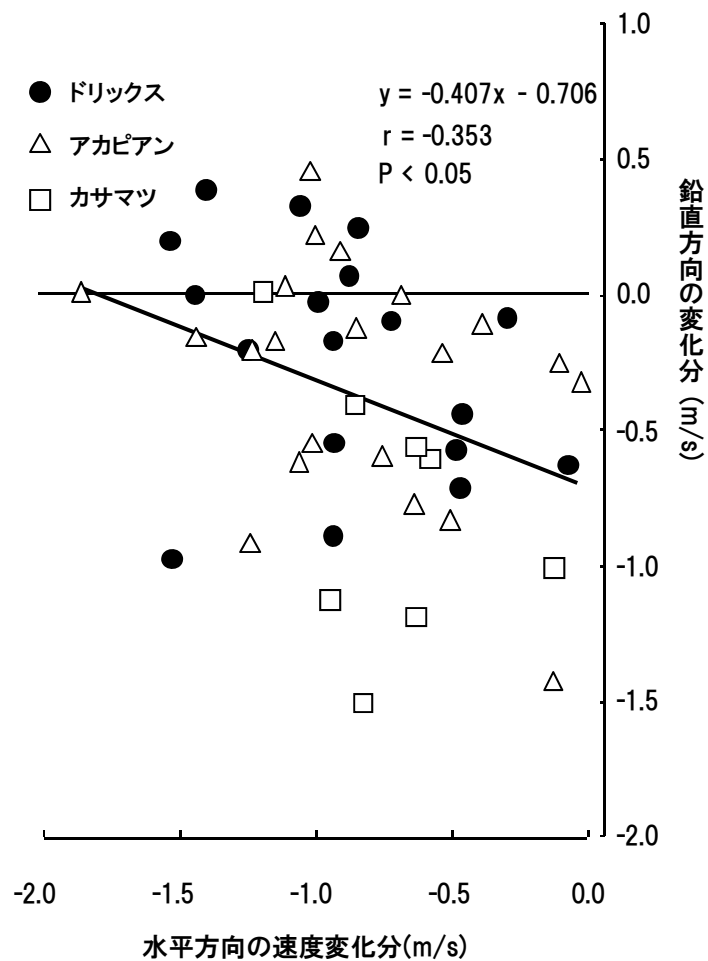


図6. 両手着手局面中における身体重心の水平速度の変化分と鉛直速度の変化分との関係

III. 身体の傾斜角度

III-1. 踏み切り局面中における身体の傾斜角度の変化

図 7-1 は、踏み切り局面中における身体の傾斜角度の変化を 0%から 100%まで跳躍技ごとに示したものである。いずれの技においても身体の傾斜角度は、0%から 100%に向かって増加する変化パターンを示した。局面内（自由度 2.034, $F = 8264.946$, $p < 0.05$ ）に有意な主効果が認められた。0%から 100%（0%： $68.57 \pm 0.93^\circ$, 10%： $72.29 \pm 0.91^\circ$, 20%： $76.99 \pm 0.97^\circ$, 30%： $82.06 \pm 1.06^\circ$, 40%： $87.00 \pm 1.06^\circ$, 50%： $91.59 \pm 0.94^\circ$, 60%： $95.85 \pm 0.82^\circ$, 70%： $99.76 \pm 0.86^\circ$, 80%： $103.44 \pm 1.04^\circ$, 90%： $107.46 \pm 1.27^\circ$, 100%： $112.53 \pm 1.51^\circ$ ）において、それぞれ前の時点との間に有意な増加が認められた。

III-2. 両手着手局面中における身体の傾斜角度の変化

図 7-2 は、両手着手局面中における身体の傾斜角度の変化を 0%から 100%まで跳躍技ごとに示したものである。身体の傾斜角度は、カサマツにおいては前の時点との間に有意な変化はみられなかったが、ドリックスおよびアカピアンには、0%から 100%にかけて増加する変化パターンを示した。両手着手局面中における身体の傾斜角度の角度変化パターンには交互作用（自由度 2.481, $F = 3.415$, $p < 0.05$ ）が認められ、90%時点（自由度 2, $F = 4.629$, $p < 0.05$ ）および 100%時点（自由度 2, $F = 5.577$, $p < 0.05$ ）の跳躍技間に単純主効果が認められた。多重比較の結果、90%時点においては、カサマツ（ $74.91 \pm 4.46^\circ$ ）はアカピアン（ $70.54 \pm 3.37^\circ$ ）と比較して有意に高い値を示し、100%時点においては、カサマツ（ $79.43 \pm 5.60^\circ$ ）およびドリックス（ $78.27 \pm 6.45^\circ$ ）はアカピアン（ $74.97 \pm 5.00^\circ$ ）と比較して有意に高い値を示した。また、跳躍技ごと（ドリックス：自由度 10, $F = 373.915$, $p < 0.05$ 、アカピアン：自由度 10, $F = 359.563$, $p < 0.05$ 、カサマツ：自由度 10, $F = 181.632$, $p < 0.05$ ）の局面内における単純主効果では、着足から離足にかけて、

カサマツ (0% : 24.84 $\pm$ 4.82 $^{\circ}$, 10% : 30.96 $\pm$ 4.11 $^{\circ}$, 20% : 36.87 $\pm$ 3.94 $^{\circ}$, 30% :
42.64 $\pm$ 3.20 $^{\circ}$, 40% : 48.30 $\pm$ 2.32 $^{\circ}$, 50% : 53.97 $\pm$ 1.94 $^{\circ}$, 60% : 59.69 $\pm$ 2.23 $^{\circ}$,
70% : 64.96 $\pm$ 2.69 $^{\circ}$, 80% : 69.86 $\pm$ 3.27 $^{\circ}$, 90% : 74.91 $\pm$ 4.46 $^{\circ}$, 100% : 79.43
 $\pm$ 5.60 $^{\circ}$) には前の時点との間に有意な変化は認められなかったが、ドリックス (0% :
25.52 $\pm$ 4.20 $^{\circ}$, 10% : 31.55 $\pm$ 4.24 $^{\circ}$, 20% : 37.25 $\pm$ 4.22 $^{\circ}$, 30% : 43.02 $\pm$ 4.16 $^{\circ}$,
40% : 48.71 $\pm$ 4.10 $^{\circ}$, 50% : 54.04 $\pm$ 4.06 $^{\circ}$, 60% : 59.12 $\pm$ 4.00 $^{\circ}$, 70% : 64.01 $\pm$
4.22 $^{\circ}$, 80% : 68.74 $\pm$ 4.53 $^{\circ}$, 90% : 73.25 $\pm$ 5.23 $^{\circ}$, 100% : 78.27 $\pm$ 6.45 $^{\circ}$) および
アカピアン (0% : 27.22 $\pm$ 3.87 $^{\circ}$, 10% : 32.71 $\pm$ 3.62 $^{\circ}$, 20% : 37.85 $\pm$ 3.35 $^{\circ}$, 30% :
42.97 $\pm$ 2.86 $^{\circ}$, 40% : 48.00 $\pm$ 2.44 $^{\circ}$, 50% : 52.87 $\pm$ 2.09 $^{\circ}$, 60% : 57.58 $\pm$ 1.99 $^{\circ}$,
70% : 62.25 $\pm$ 2.10 $^{\circ}$, 80% : 66.52 $\pm$ 2.42 $^{\circ}$, 90% : 70.54 $\pm$ 3.37 $^{\circ}$, 100% : 74.97
 $\pm$ 5.00 $^{\circ}$) においては前の時点との間に有意な増加が認められた。

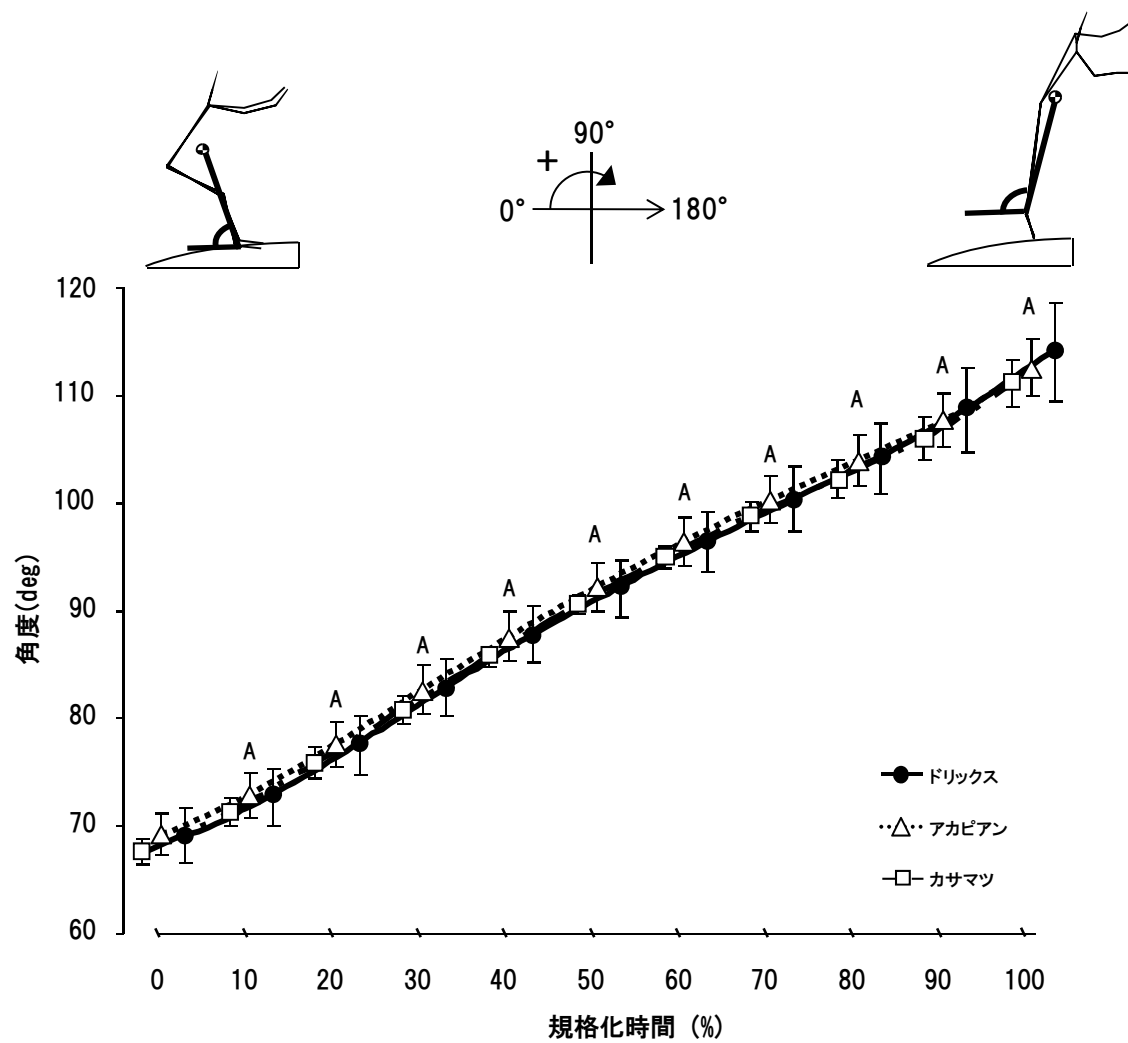


図7-1. 踏み切り局面における身体の傾斜角度の変化

A: 前の時点と有意差あり

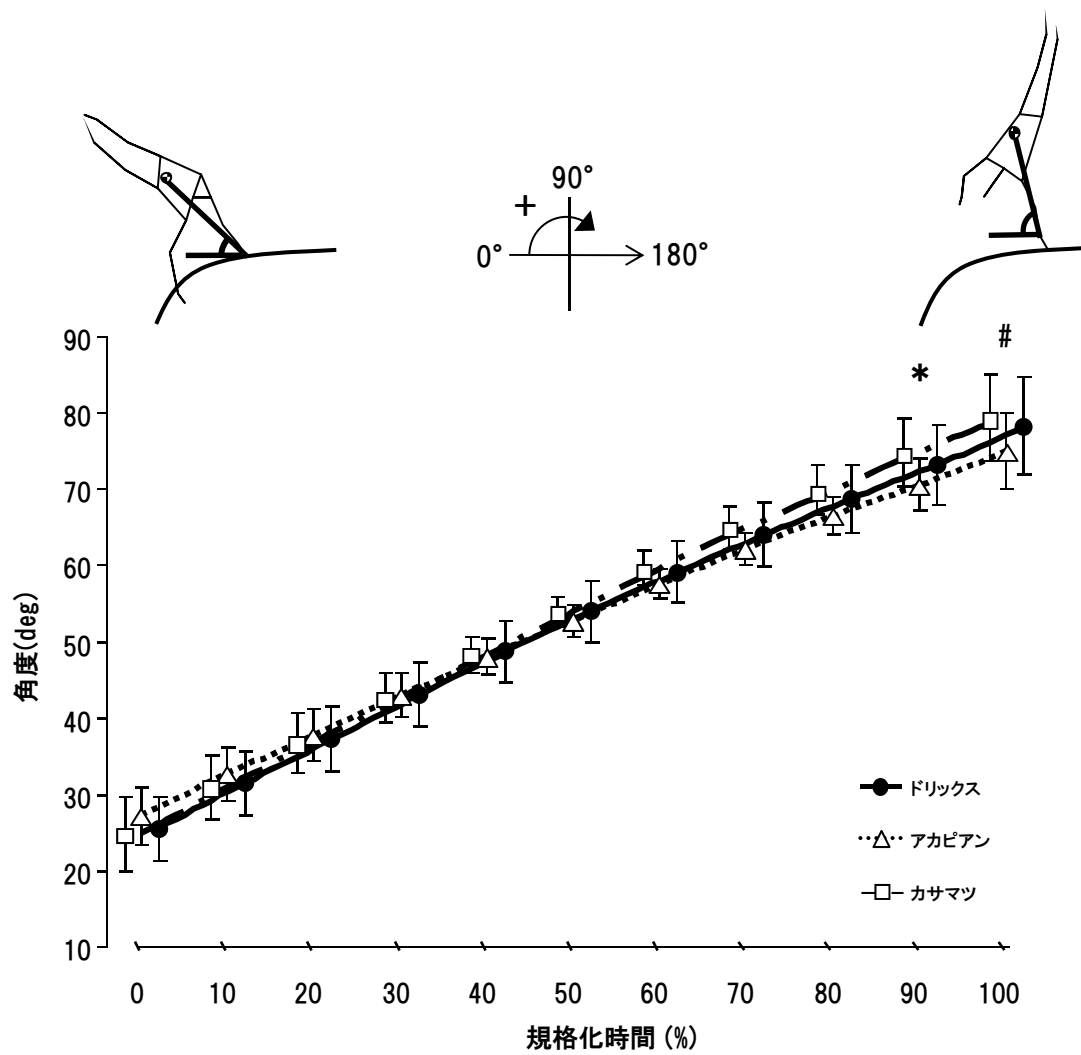


図7-2. 両手着手局面における身体の傾斜角度の変化

*: 90%時点において、カサマツ > アカピアン ($p < 0.05$)

#: 100%時点において、カサマツおよびドリックス > アカピアン ($p < 0.05$)

ⅡB. セグメント角度および角速度の変化

ⅡB-1. セグメント角度の変化

ⅡB-1-i. 上肢セグメント角度

図 8-1 は、上肢セグメント角度の変化を跳躍技ごとに示したものである。いずれの技においても上肢セグメント角度は、踏み切り局面において角度に変化が認められなかったものの、離足から離手にかけて増加する変化パターンを示した。局面内（自由度 1.785, $F = 356.547$, $p < 0.05$ ）に有意な主効果が認められ、着足から離足（着足： $172.15 \pm 5.00^\circ$, 離足： $180.73 \pm 1.23^\circ$ ）にかけては有意な変化は認められなかったが、離足から第 1 着手（第 1 着手： $196.72 \pm 2.06^\circ$ ）、第 1 着手から第 2 着手（第 2 着手： $223.29 \pm 0.97^\circ$ ）、第 2 着手から離手（離足： $249.63 \pm 1.17^\circ$ ）においてそれぞれ有意な増加が認められた。

ⅡB-1-ii. 体幹セグメント角度

図 8-2 は、体幹セグメント角度の変化を跳躍技ごとの示したものである。いずれの技においても体幹セグメント角度は、着足から離手にかけて増加する変化パターンを示した。体幹セグメント角度は、角度変化パターンに交互作用（自由度 7.497, $F = 2.130$, $p < 0.05$ ）が認められ、離手時点の跳躍技間に単純主効果（自由度 2, $F = 4.779$, $p < 0.05$ ）が認められた。多重比較の結果、カサマツ（ $289.72 \pm 7.93^\circ$ ）はドリックス（ $282.22 \pm 7.28^\circ$ ）およびアカピアン（ $280.59 \pm 9.94^\circ$ ）と比較して有意に高い値を示した。また、跳躍技ごと（ドリックス：自由度 4, $F = 1496.341$, $p < 0.05$ 、アカピアン：自由度 4, $F = 1757.548$, $p < 0.001$ 、カサマツ：自由度 4, $F = 739.411$, $p < 0.05$ ）の局面内における単純主効果では、着足から離手にかけて、全ての跳躍技において前の時点との間に有意な角度の増加が認められた。ドリックス（着足： $114.90 \pm 6.73^\circ$, 離足： $141.68 \pm 5.90^\circ$, 第 1 着手： $162.93 \pm 7.52^\circ$, 第 2 着手： $205.48 \pm 7.39^\circ$, 離手： $282.22 \pm 7.28^\circ$ ）、ア

カピアン（着足：114.82 ± 5.69°，離足：139.86 ± 4.49°，第1着手：159.84 ± 6.87°，第2着手：208.64 ± 8.72°，離手：280.59 ± 9.94°）、カサマツ（着足：115.01 ± 7.15°，離足：137.76 ± 5.51°，第1着手：161.69 ± 6.12°，第2着手：205.19 ± 7.47°，離手：289.72 ± 7.93°）であった。

Ⅱ-1iii 下肢セグメント角度

図 8-3 は、下肢セグメント角度の変化を跳躍技ごとに示したものである。いずれの技においても下肢セグメント角度は、着足から離手にかけて増加する変化パターンを示した。局面内（自由度 2.788, $F = 4659.195$, $p < 0.005$ ）に有意な主効果が認められ、着足から離足（着足：51.29 ± 0.77°，離足：100.55 ± 0.97°）、離足から第1着手（第1着手：139.46 ± 1.92°）、第1着手から第2着手（第2着手：201.29 ± 1.91°）、第2着手から離手（離足：283.71 ± 4.06°）においてそれぞれ有意な増加が認められた。

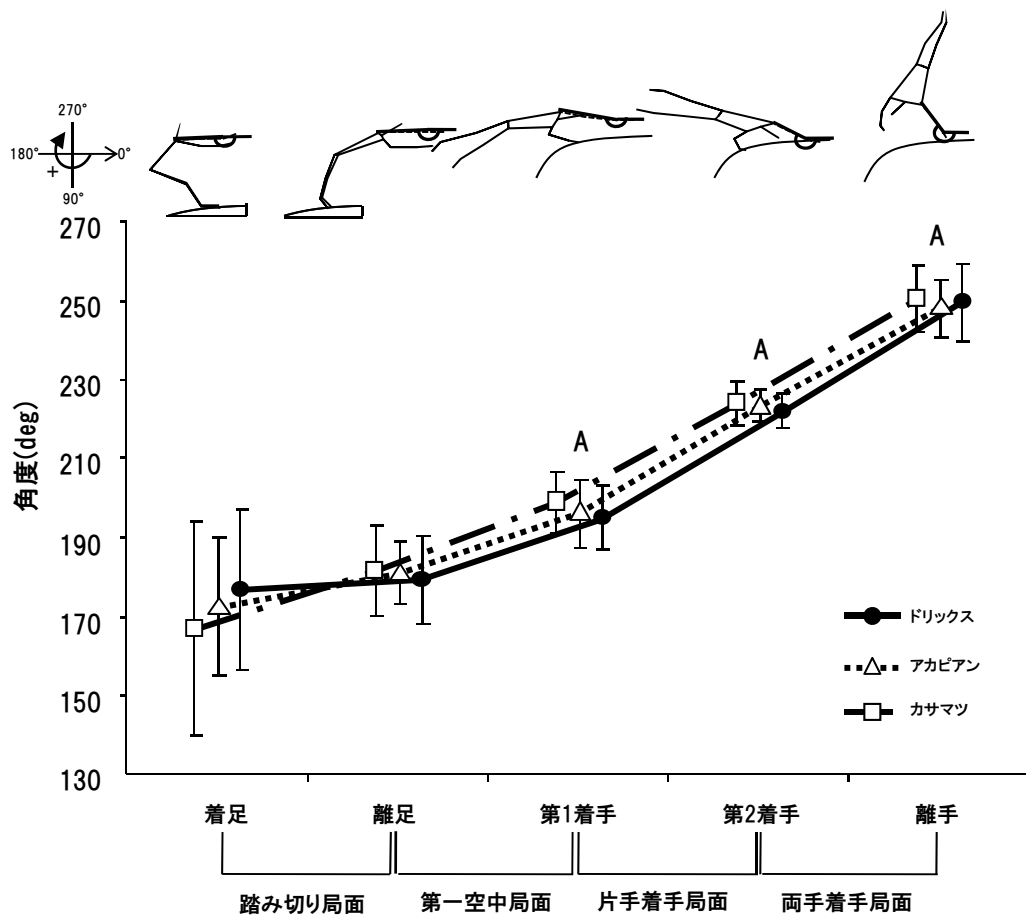


図8-1. 上肢セグメント角度の変化

A : 前の時点と有意差あり

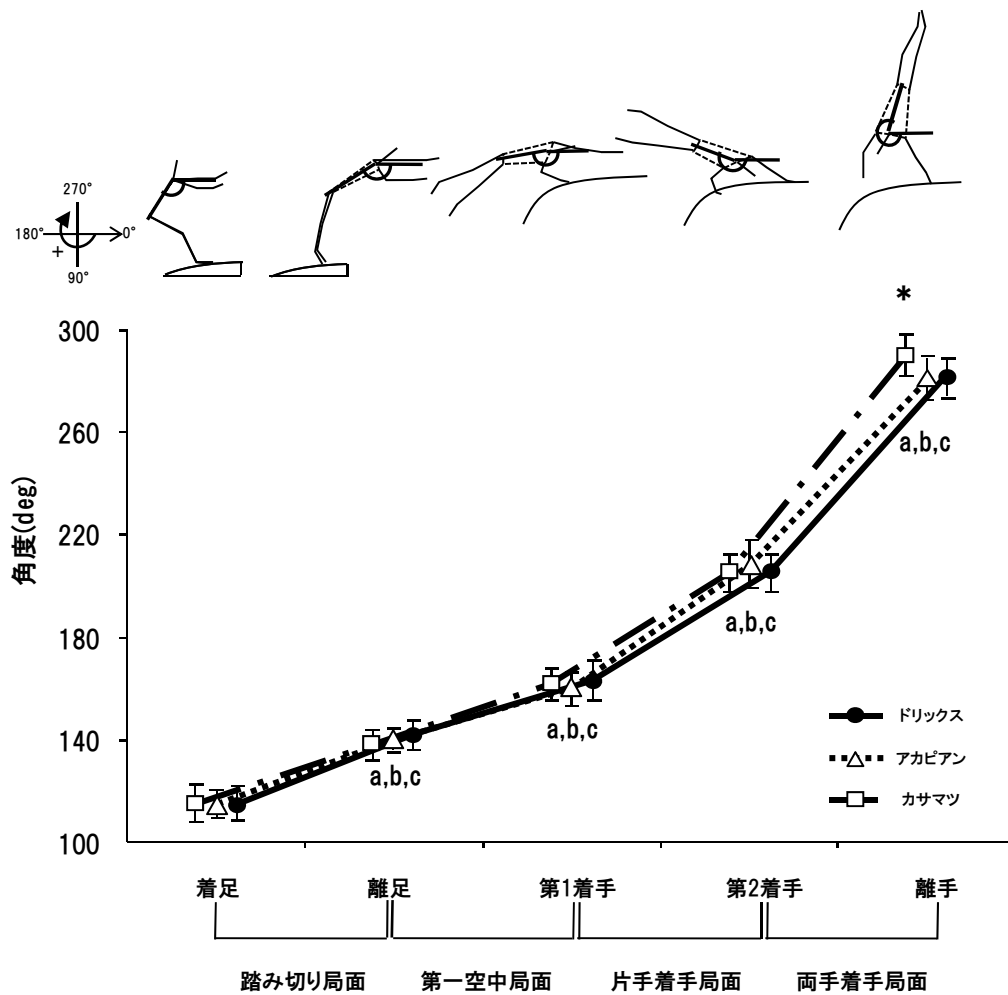


図8-2. 体幹セグメント角度の変化

aはドリックス,bはアカピアン,cはカサマツにおいて前の時点と有意差あり ($p < 0.05$)

* : カサマツ > ドリックス,アカピアン ($p < 0.05$)

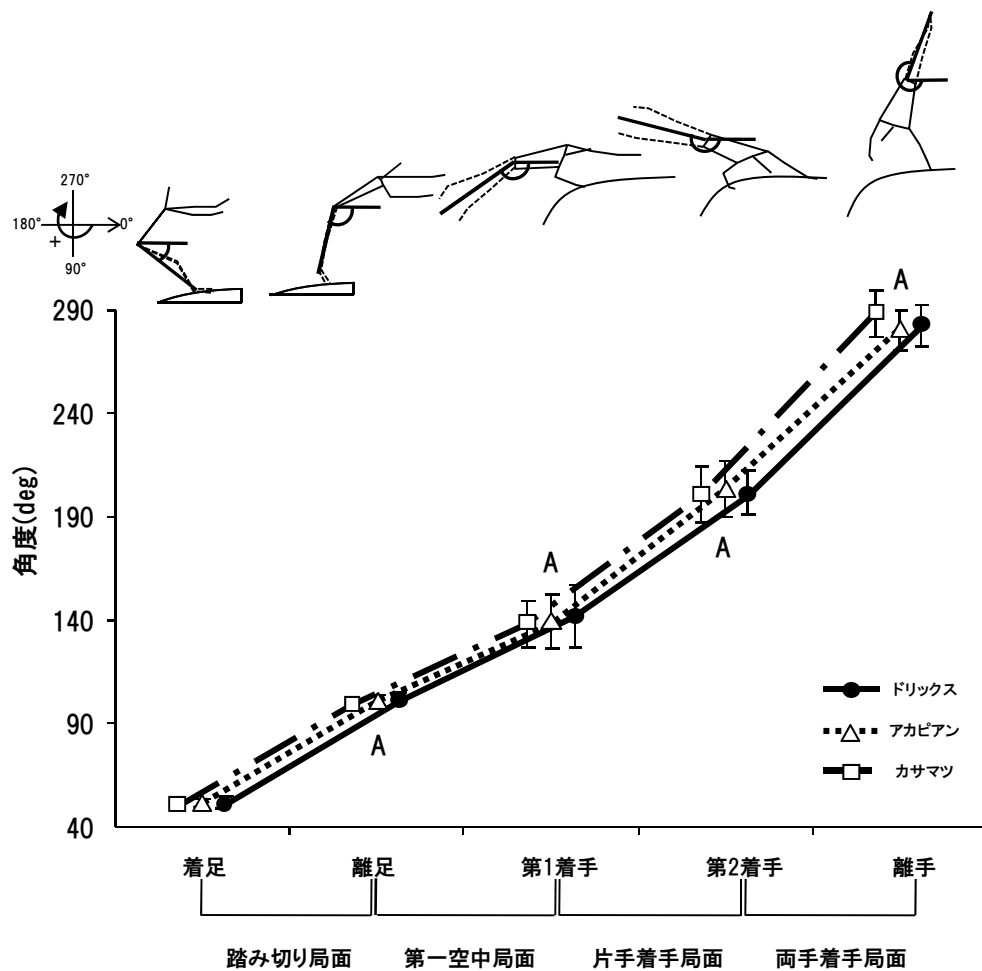


図8-3. 下肢セグメント角度の変化

A : 前の時点と有意差あり

ⅡB-2. セグメント角速度の変化

ⅡB-2-i. 上肢セグメント角速度

図 9-1 は、上肢セグメント角速度の変化を跳躍技ごとに示したものである。いずれの技においても上肢セグメント角速度は、踏み切り局面中に大きく増加し、それ以降は低下する変化パターンを示した。局面内（自由度 2.618, $F = 143.992$, $p < 0.05$ ）に有意な主効果が認められた。局面内主効果は、第 1 着手から第 2 着手にかけて有意な変化は認められなかったが、着足から離足（着足： $-489.28 \pm 64.68 \text{ deg/s}$ 、離足： $351.40 \pm 36.65 \text{ deg/s}$ ）にかけて有意な増加が認められ、離足から第 1 着手（第 1 着手： $247.39 \pm 51.81 \text{ deg/s}$ ）、第 2 着手から離手（第 2 着手： $250.42 \pm 50.93 \text{ deg/s}$ 、離手： $128.52 \pm 88.03 \text{ deg/s}$ ）において、有意な低下が認められた。

ⅡB-2-ii. 体幹セグメント角速度

図 9-2 は、体幹セグメント角速度の変化を跳躍技ごとに示したものである。いずれの技においても体幹セグメント角速度は、踏み切り局面中に増加し、空中局面において一度低下をみせるが、片手着手局面において再び増加し、両手着手局面では低下する変化パターンを示した。局面内（自由度 4, $F = 320.688$, $p < 0.05$ ）に有意な主効果が認められた。着足から離足（着足： $-154.81 \pm 11.95 \text{ deg/s}$ 、離足： $428.46 \pm 3.05 \text{ deg/s}$ ）にかけて有意な増加が認められ、離足から第 1 着手（第 1 着手： $333.45 \pm 5.62 \text{ deg/s}$ ）にかけては有意な低下が認められた。また、第 1 着手から第 2 着手（第 2 着手： $517.29 \pm 27.53 \text{ deg/s}$ ）にかけて有意な増加が認められ、第 2 着手から離手（離手： $454.03 \pm 28.44 \text{ deg/s}$ ）にかけては有意な低下が認められた。

ⅡB-2-iii. 下肢セグメント角速度

図 9-3 は、下肢セグメント角速度の変化を跳躍技ごとに示したものである。いずれの技

においても下肢セグメント角速度は、着足から第1着手にかけて増加し、それ以降は低下する変なパターンを示した。局面内（自由度 4, $F = 51.594$, $p < 0.05$ ）と跳躍技間（自由度 2, $F = 3.360$, $p < 0.05$ ）に有意な主効果が認められた。局面内主効果は、着足から離足（着足： $342.29 \pm 13.05\text{deg/s}$ 、離足： $516.74 \pm 50.71\text{deg/s}$ ）、離足から第1着手（第1着手： $651.64 \pm 16.34\text{deg/s}$ ）でそれぞれ有意な増加が認められ、第1着手から第2着手（第2着手： $545.41 \pm 14.00\text{deg/s}$ ）、第2着手から離手（離手： $430.79 \pm 47.14\text{deg/s}$ ）においては、それぞれ有意な低下が認められた。跳躍技間主効果では、ドリックス（ $512.65 \pm 129.68\text{deg/s}$ ）がアカピアン（ $482.92 \pm 126.21\text{deg/s}$ ）よりも有意に高い値を示した。

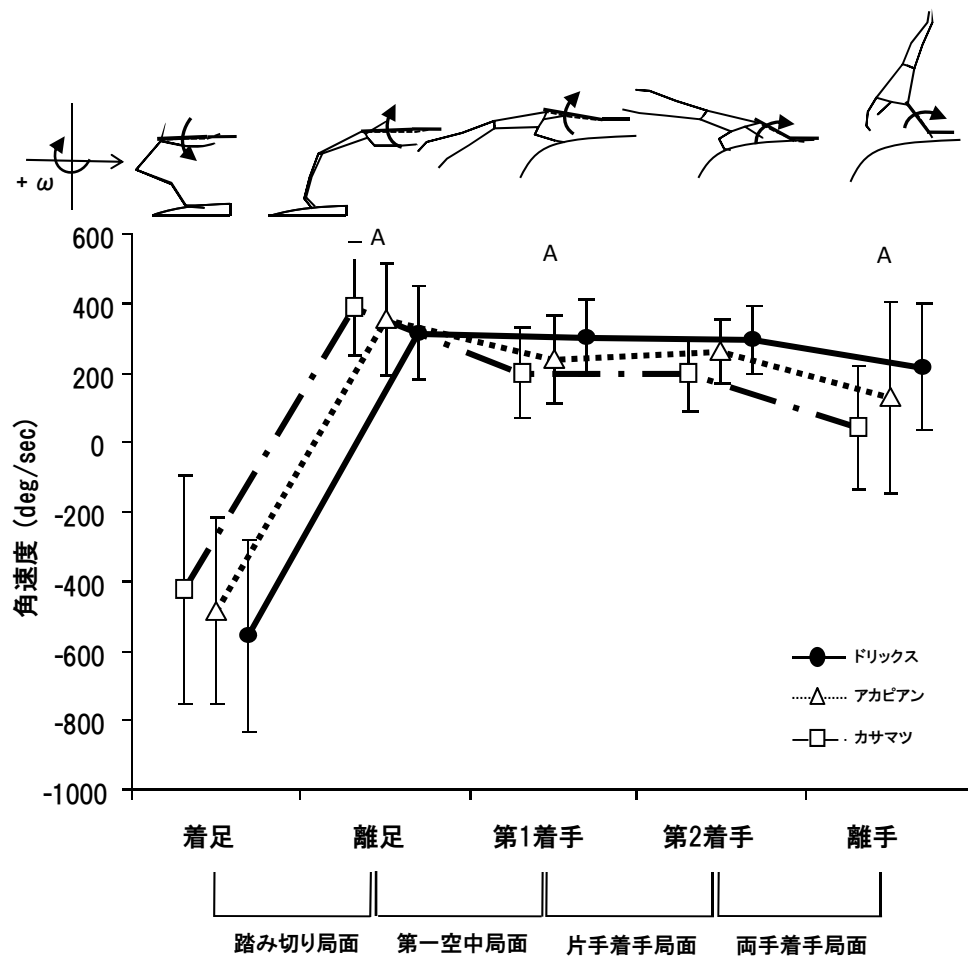


図9-1. 上肢セグメント角速度の変化

A: 前の時点と有意差あり (p < 0.05)

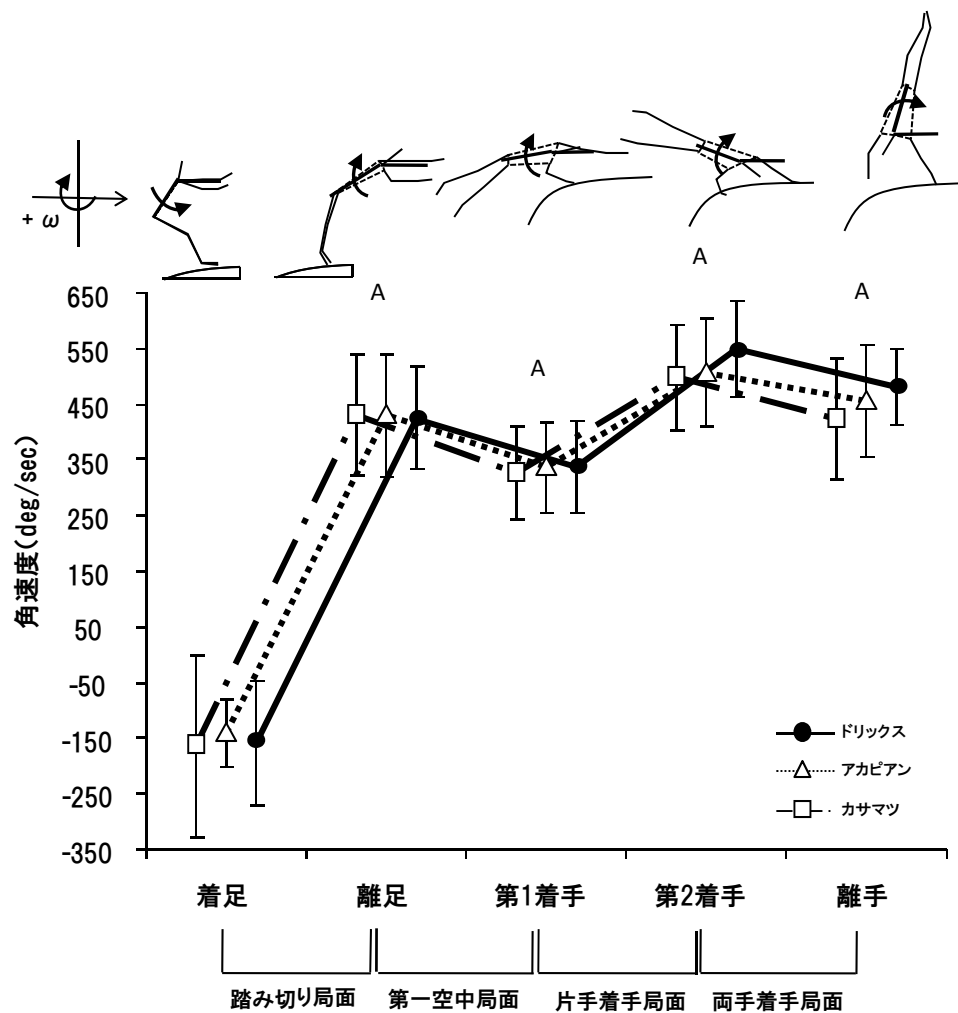


図9-2. 体幹セグメント角速度の変化

A: 前の時点と有意差あり (p < 0.05)

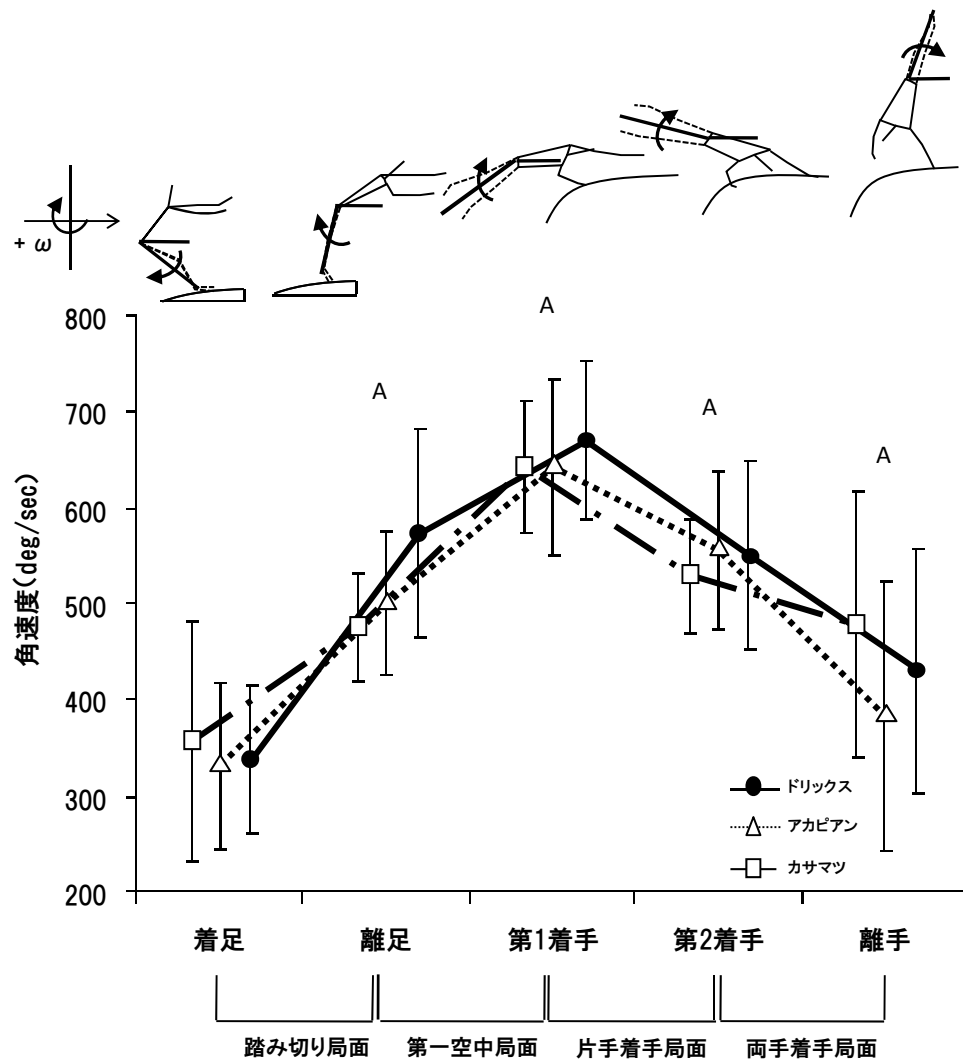


図9-3. 下肢セグメント角速度の変化

A: 前の時点と有意差あり ($p < 0.05$)

Ⅱ. 両手着手局面における鉛直方向の速度変化分と体幹セグメント角度の変化分

図 10 は、両手着手局面における鉛直方向の速度変化分と体幹セグメント角度の変化分との相関関係を示したものである。両変化分の間には有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.31$, $p < 0.05$)。

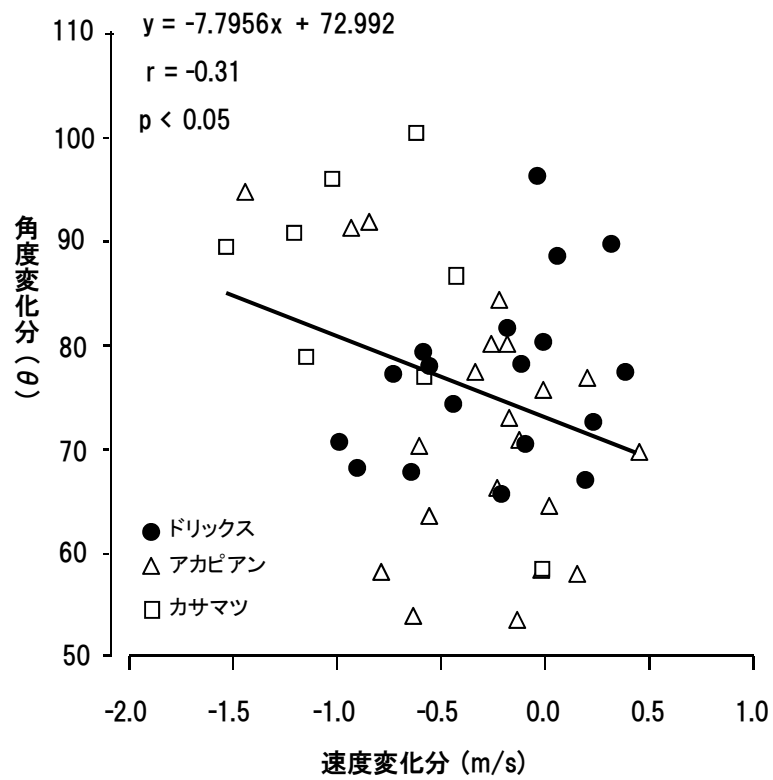


図10. 両手着手局面中における鉛直速度の変化分と体幹セグメント角度の変化分との関係

IV考察

跳馬では、バネで構成された跳躍板を利用して両足で踏み切られる。さらに踏み切り後は、跳馬へ着手することで再び運動を大きく変化させて離手にいたる。この着手動作は、跳馬特有の上肢による第二の踏み切り動作として捉えることができ、体操競技では「突き返し」と呼ばれる。この「突き返し」は、下肢での踏み切りと同様に離手後の身体の放物線運動の軌跡を決定づける重要な動作となることが考えられる。本研究では、より難度点の高い跳躍技を実施するために必要とされる合理的な動作を明らかにするために、下肢の踏み切り動作から上肢の突き返し動作までのキネマティカルな特徴の相違点を難度点の異なるカサマツ、アカピアンおよびドリックスの跳躍技間で比較した。その結果、踏み切り局面では、いずれの跳躍技においても身体重心の水平速度は低下し、同じタイミングで鉛直速度が増加していた(図 5-1,5-2)。これは、助走で獲得された身体重心の水平速度を、踏み切り動作によって急激にブレーキをかけ、跳躍板を利用して鉛直速度を増加させていたと解釈できる。本研究ではこのような水平速度の低下と同期して起こる鉛直速度の増加を、水平方向から鉛直方向への速度変換が行われたと表現することにする。先に述べたブレーキとは、下肢によるブロック動作のことであり、効果的な速度変換を可能にするための踏み切り動作であることが考えられる。この時、着足時点における身体の傾斜角度がおよそ 70° であることから(図 7-1)、身体重心の位置が足の着地位置よりも後方にある後傾姿勢をとっていることがわかる。この後傾姿勢をとることによって、跳躍の進行方向である前方と同じ向きをもつ水平分力が跳躍板に対してより加えることができ、踏み切り局面中はその反力を受けることで水平速度が大きく低下する。それと同時期に鉛直下向きに加えていた分力も、跳躍板のバネを利用しながら鉛直上向きの分力として獲得され、鉛直速度が大幅に増加する。もし着足時点において、十分な後傾姿勢がとれず、身体重心の位置が足の着地位置よりも前方にある前傾姿勢をとってブロック動作を行ってしまうと、跳躍板に対して加える水平分力が十分に発揮できないまま離足を向かえてしまうことが考えられる。

このため、必要とされる鉛直速度の獲得よりも回転運動を優先してしまう可能性が高く、踏み切り局面中に効果的な速度変換が行えない。その結果、その後の第1空中局面の空間が極端に失われ、跳躍自体が失敗に終わってしまうことが考えられる。また、この局面における着足および離足時点の上肢、体幹および下肢セグメント角度には、それぞれ跳躍技間に有意な差は認められていない(図 8-1,2,3)。しかし、この局面におけるそれぞれの角度変化分をみると、上肢セグメント角度の変化分はおよそ 9° 、体幹セグメント角度の変化分はおよそ 25° であるのに対し、下肢セグメント角度の変化分は 50° であった。このことから、踏み切り局面では上肢および体幹よりも、下肢を大きく動かしている局面であることがうかがえる。さらに、上肢、体幹および下肢セグメント角速度は、セグメント角度と同様に、それぞれ跳躍技間に有意な差は認められなかったが、特徴的な変化がみられた。それは、着足時点の上肢および体幹セグメント角速度において、負の角速度がみられたことである(図 9-1,2)。これらの特徴は、上肢および体幹は、踏み切り局面以前の空中準備局面において、前方への回転運動を抑えるような動作、すなわち、前方への回転方向とは逆に上肢と体幹を動かし、上体を立ち上がらせた姿勢をつくりながら着足に向かったためであると考えられる。この動作は、着足時における過度な前傾姿勢を防ぐためのものであり、身体を後傾姿勢に促す大きな役割を果たしていると示唆される。着足後の身体は跳躍方向である前方に回転を始め、身体の傾斜角度を 110° 付近まで回転させて離足していた。このことから、踏み切り動作は前傾姿勢をとって完了していることがわかる(図 7-1)。また、離足時点では全ての跳躍技に共通して、上肢および体幹セグメント角速度よりも、下肢セグメント角速度のほうが高値であることがみてとれる(図 9-3)。その中でもドリックスはアカピアンおよびカサマツよりも、下肢セグメント角速度を高く獲得している傾向にある。よって、前傾姿勢での離足によって発生される回転運動は下肢のセグメント角速度、つまり、下肢による素早い振り上げ動作をもって踏み切り動作を完了することが重要になると考えられる。以上のことから、踏み切り局面においては、それ以前の空中準備局

面において、まず上肢および体幹を前方への回転方向とは逆に動かし、身体を後傾姿勢に促しながら着足に向かうことが、効果的な速度変換を行う上で必要とされる身体動作になると示唆される。また、離足に向かう中で上肢および体幹の動作は、下肢のそれ以上に強調されぬよう、むしろ前方への回転を意識的に抑えることが必要になると思われる。踏み切り局面ではいずれの跳躍技間においても同じような速度変換がみられたが、その中でも身体動作においては、下肢の素早い振り上げ動作をもって第 1 空中局面に飛び出すことが望まれるだろう。

踏み切り局面以降の局面では、身体重心の水平および鉛直速度の増加は認められなかった。Dillman (1985) および Takei (1988, 1992) は、前方とび前方宙返り系技のキネマティックな特徴として、着手局面中において身体重心の鉛直速度が増加していることを報告している。Takei は、着手中における鉛直速度の増加は、効果的なブロック動作が速度変換に大きな影響を与えると述べており、踏み切り局面と同様、その後の跳躍を決定づける重要な技術であるとしている。このことは、本研究で対象としたカサマツとび系の技においても共通していえる重要な技術である。しかし、カサマツとび系の技には、両手着手局面中において鉛直速度の増加がみられなかった。このことから、カサマツとび系の技は、前方とび前方宙返り系技とは異なり両手着手局面中に鉛直速度を増加させることが困難であることを示唆している。この理由として、前方宙返り系の技では両手を同時に着手して離手を行うため、着手中に大きな力を発揮でき鉛直速度の増大が期待できるのに対し、カサマツとび系の技はその技の特性上、片手ずつ着手を行い片手に大きく依存された離手によって「突き返し」が行われるため、両手による着手よりも大きな力発揮が困難になることが考えられる。したがって、カサマツとび系の技は、他の跳躍技グループと比較して踏み切り動作によって、より大きな鉛直速度を獲得しておくことが特に重要になると示唆される。

上述のようにカサマツとび系の技においては下肢の踏み切り動作による鉛直速度の獲得

が重要であると指摘したが、難度点の異なる跳躍技間の着足および離足時点における身体重心の鉛直速度には有意な差は認められなかった。これは、踏み切り局面においてはすべての跳躍技で効果的な速度変換が行われており、高さのある跳躍に必要とされる鉛直速度の獲得はなされていることを示唆するものである。よって、難度点の高い跳躍技を実施するには、踏み切り局面ではなく、離手時点においてより高い鉛直速度が獲得できるように、両手着手局面中での効果的な速度変換がより重要になることが考えられる。そこで、跳躍技ごとにおける踏み切り局面以降の身体重心の水平および鉛直速度変化をみると、水平速度はいずれもほぼ同様の変化を示したが、鉛直速度には異なる速度変化がみられた。すなわち、ドリックスでは、第1空中局面および片手着手局面中に有意な速度の低下がみられたが、両手着手局面中には有意な変化はみられず速度が維持されていた(図 5-2)。一方、アカピアンでは、第1空中局面中において有意な変化はみられなかったものの、片手着手局面および両手着手局面中において有意な速度の低下がみられた(図 5-2)。カサマツでは第1空中局面および片手着手局面中に有意な速度の低下はみられなかったが、両手着手局面中において有意な速度の低下がみられた(図 5-2)。また、離手時点における鉛直速度においては、ドリックスがアカピアン、カサマツと比較して、アカピアンがカサマツと比較して有意に高値を示した(図 5-2)。このことから、難度点の高いドリックスは難度点の低いアカピアンおよびカサマツと比較して、両手着手局面中において効果的な速度変換を行い、鉛直速度の低下を抑え、より高い鉛直速度を維持した状態で離手を行っていたと考えられる。実際に、両手着手局面中における身体重心の水平速度の変化分と鉛直速度の変化分との間には有意な負の相関関係が認められ、分布をみてもドリックス実施者はより左上に位置していたことからもうかがえる(図 6)。なお、踏み切り局面中には身体重心の水平速度の変化分と鉛直速度の変化分との間には有意な相関関係は認められていない。この原因の一つには、踏み切り局面中では身体の踏み切り動作だけではなく、「バネ」としての跳躍板の作用が関係しており、水平速度の変化分が必ずしも鉛直速度に変換されないことが考えら

れる。

これらの相違点を踏まえた上で、両手着手局面中における効果的な速度変換のための突き返し動作を考えると、その開始となる第2着手時点の身体の傾斜角度には跳躍技間に有意な差は認められず、すべての跳躍技でおよそ 26° であった。このことから、身体重心の位置が第2着手位置よりも後方にある後傾姿勢をとっており、跳躍の進行方向である前方と同じ向きをもつ水平分力が馬体に対して加えられていたことは共通していたと考えられる(図 7-2)。しかし、興味深いのは、その後離手に向かうまでの身体の傾斜角度およびセグメント角度において、跳躍技間に特徴的な変化がみられたことである。身体の傾斜角度は、0%から 80%までは同じような変化を示すものの、離手完了付近の 90%時点においてカサマツが、また 100%時点においてはドリックスおよびカサマツが、アカピアンよりも鉛直倒立位に近い姿勢で離手を行っていた(図 7-2)。上肢セグメント角度と下肢セグメント角度においては、第2着手および離手時点に跳躍技間で有意な差は認められず、両手着手局面中におけるその変化分も、上肢ではおよそ 26° 、下肢ではおよそ 82° であり、いずれの跳躍技においても同じような変化を示した(図 8-1,3)。しかし、体幹セグメント角度においては、第2着手時点に跳躍技間で有意な差が認められなかったにも関わらず、離手時点において跳躍技間に有意な差が認められた(図 8-2)。また、変化分においてもドリックスではおよそ 77° 、アカピアンではおよそ 72° であったのに対し、カサマツではさらに高い変化分を示しおよそ 85° であった(図 8-2)。これらの変化分から、突き返し動作が行われる両手着手局面中においては、上肢の動作よりも体幹および下肢の動作が大きい局面であることがうかがえる。これらのような角度変化分の中でもカサマツは、ドリックスおよびアカピアンと比較して体幹セグメント角度の変化分が大きく、体幹だけが前方により回転した姿勢で離手にいたっているということになる。さらに、セグメント角速度においては、いずれの角速度にも跳躍技間に有意な差は認められなかったものの、上肢の角速度は、第1空中局面中において有意な低下が認められ、片手着手局面中では有意な低下が

認められず速度を維持しており、その後両手着手局面中で有意な低下を示した(図 9-1)。体幹の角速度は、第 1 空中局面中において一度有意な低下を示すが、片手着手局面中においては再び有意な増加が認められ、両手着手局面中において再度、速度を有意に低下させている(図 9-2)。下肢の角速度は、踏み切り局面中の増加に続き、第 1 空中局面中においても有意な増加を示し、それ以降は有意な低下が認められた(図 9-3)。そのような変化の中でも、ドリックスおよびアカピアンは両手着手局面中において下肢の角速度を大幅に低下させている傾向にあった(図 9-3)。一方、カサマツのそれは低下こそしているが、ドリックスおよびアカピアンと比べると大幅な低下にはいたっていない。また、カサマツは離手時点における下肢の角速度が、同じ時点における体幹の角速度よりも高値である傾向にあった(図 9-2,3)。

以上のことから、ドリックスに認められた両手着手局面中における身体重心の鉛直速度の維持および離手時点の最も高値な鉛直速度の獲得は、両手着手局面中により強い水平分力を馬体に対して加え水平速度を低下させたこと、また、離手時点において第 2 着手側の手の真上に身体重心を位置させ、さらに体幹を回転させない姿勢で離手することによって鉛直上向きの分力を効果的に獲得したためと示唆される。アカピアンに認められた両手着手局面中における身体重心の鉛直速度の低下および離手時点の鉛直速度がドリックスよりも低値であったのは、わずかではあるが離手時点において第 2 着手側の手の真上に身体重心を位置づけることができなかったためであると考えられる。また、カサマツにおける両手着手局面中の鉛直速度の低下および離手時点の鉛直速度が最も低値であったのは、両手着手局面中に馬体への水平分力を十分に加えられず、下肢の振り上げ動作を急激に低下させることができなかったこと、また、この動作は結果的に体幹がより前方へと回転してしまい姿勢を誘発してしまい、突き返し動作がいわゆる「突き抜けた」動作になってしまい、馬体からの鉛直上向きの分力を効果的に獲得して離手することができなかったためであると考えられる。これは、両手着手局面中における鉛直速度の変化分と体幹セグメント角度

の変化分の中に負の相関関係が認められたことから明らかであり、分布をみてもカサマツ実施者がより左上に位置していたことからうかがえる(図 10)。これらの結果を基にして、離手時点における跳躍技間の身体の傾斜角度およびセグメント角度の位置を比較したものを図 11 に示した。

より難度点の高い跳躍技の実施を可能にする速度変換は、本研究においては踏み切り局面中ではなく両手着手局面中において行われていたことが明らかになった。カサマツとび系の技は、両手着手局面中で鉛直速度を増加させることが困難であることを先に指摘した。しかし、ドリックスはその中でも他の跳躍技と比較して、ひねりの回数が多く、より長い滞空時間が要求されるために、両手着手局面中に鉛直速度をより高く維持していたといえる。言い換えると、両手着手局面中において突き返し動作を効果的に行い、鉛直速度を維持できなければ、ドリックスのような難度点の高い跳躍技は実施できないということであろう。このことは、両手着手局面中における突き返し動作によって、水平方向から鉛直方向へ速度変換が行われたこと、およびドリックス実施者ほどより効果的な突き返し動作を行っていたことを示唆するものである。いずれにしても、両手着手局面中における突き返し動作の善し悪しが、カサマツとび系の技の出来栄に影響していることがうかがえよう。

本研究の結果から、カサマツとび系の技においてより難度点の高い跳躍技を実施するために必要とされる合理的な動作は、両手着手局面中に水平方向から鉛直方向への速度変換をより効果的に行えるような姿勢、つまり、離手時点において第 2 着手側の手の真上に身体重心を位置させ、さらに体幹を回転させない姿勢で離手することであると示唆された。

カサマツとび系の技は跳躍板からの踏み切り後、跳馬への着手までに 1/4 ひねりを行う特徴をもっているため、左右の手の着手に時間差が生まれる跳躍技である。近年、着手までに 1/4 (90°) ひねる身体動作や、踏み切りおよび両手着手中における身体角度の大きさなどに選手間で違いが見受けられる。これは、身体重心を通るたて軸まわりとよこ軸まわりの回転の大きさや身体重心速度の変化に大きく影響を与えると思われる。両手着手まで

のひねり角度の大小が、その後の身体重心速度や身体重心まわりの角運動量に与える影響についても、3次元的に分析する必要があるだろう。

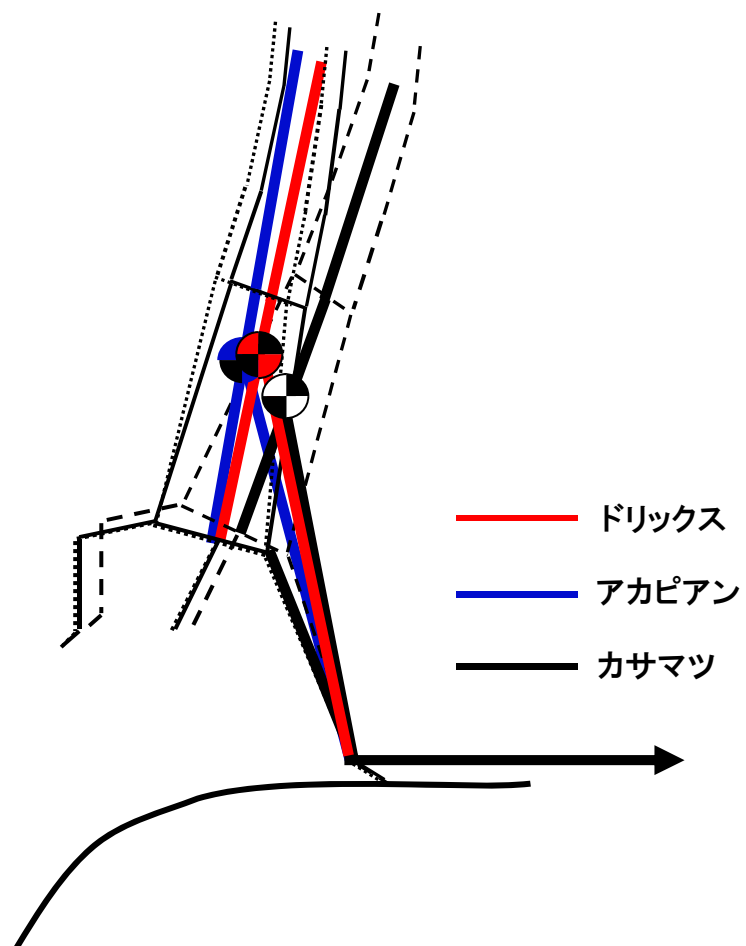


図11. 離手時点における跳躍技ごとの身体姿勢の比較

V コーチングの視点から

体操競技に限らず、あらゆるスポーツ種目におけるバイオメカニカルな研究の成果は、トレーニング現場に還元されるような情報であるべきことはいうまでもない。身体動作を量的に分析することで、合理的な動作およびそれを可能にする運動技術を明らかにし、より望まれる身体動作の在り方などが提唱されてきている。本研究においても、キネマティカルな変数からカサマツとび系の技における特徴的な相違点を比較し、効果的な速度変換のために有効になるであろう踏み切り動作および突き返し動作中の身体姿勢角度などが明らかとなった。しかし、カサマツとび系の技における相違点やより望まれる身体動作だけが明らかにされただけでは、トレーニング現場への還元という意味では不十分であると考ええる。コーチングの視点から考えると、明らかにされたその相違点や身体動作を基に、トレーニング方法の考案、すなわち、その身体動作を習得するための練習方法を検討することがより重要になると考える。もちろん、身体動作の解明に先立って効果的なトレーニング方法が提唱されることはなしえないので、対象とされた身体動作の仕組みを明らかにすることが最優先になるであろう。しかしながら、指導者側はさらに教える対象である選手に、どのようにしてその身体動作を習得させるかに関心が置かれる。よって、身体動作を量的に扱う研究で終わらせるのではなく、さらに、身体動作を質的に扱う研究にも時間が割かれるべきであろう。残念ながら、本研究においては質的な研究にまで発展させて論ずることはできなかったが、本研究で明らかにされた両手着手局面中における効果的な速度変換のための、「突き返し」動作を習得するトレーニング方法がいくつか考案されているので紹介したいと思う。以下に述べるトレーニング方法は、技術的なトレーニングではなく、体力、すなわち筋力等に焦点を当てたトレーニングである。本研究の結果から、両手着手局面における効果的な速度変換のためには、馬体へのより強い水平分力および鉛直下向きの分力を加え、その反力を効果的に獲得しながら離手することが必要になると示唆された。このことから、上肢におけるより力強い突き返し動作が重要になることがうかがえ

る。よって、絶対的な上肢の筋力の向上を図り、また、より実践的な動きの中で上肢のそれを向上させることが望まれると考える。体操競技では一般的に「倒立」と呼ばれる上肢だけで身体を支持した技が存在しており、全ての種目において基本的な技として位置付けられている。この倒立を基本として、倒立をしたまま前方に歩く「倒立歩行」と呼ばれる運動があるが、それを発展させ、なるべく素早く倒立歩行を行ったり、前方以外の左右に素早く倒立歩行を行うトレーニングがある(図 12)。このトレーニングの狙いは、素早く行うこと、つまり、跳ぶようにして倒立歩行を行い、ゆかとの接地時間をできるだけ短くすることにある。跳ぶように倒立歩行を行うためには、選手自らがゆかに対してより強い力発揮を瞬時に加えなければ達成できない。これにより、三角筋、僧帽筋、広背筋など肩周りの筋肉の瞬発的な力発揮の向上が期待できると思われる。他にも、跳躍板上で倒立を行い、補助者が意図的に選手に対して鉛直下向きに負荷を加え、選手は倒立姿勢が崩れないよう、それに反発するために肩周りの筋肉に力を入れ、下に沈まされた状態から跳躍板のバネを利用し、上方に跳ぶようにして戻ってくるトレーニングがある(図 12)。この上下運動を連続して続けることで鉛直下向きへの強い負荷に耐え、それに十分反発できるような筋力の向上が期待できる。これらのトレーニングは、両手着手局面中における瞬時的な突き返し動作に、大きな役割を果たすと考えられる。実際、研究にまでは至っていないが、カサマツしか実施することのできなかった選手が、これらのトレーニングを継続的行った結果、アカピアンまで実施することが可能になった事例が存在している。今後は、本研究で明らかにされた相違点や身体動作を基に、どのようなトレーニングを行うことで望まれる身体動作が習得されるのか、事例研究を通して考案していきたいと考える。



図 12. 上段:倒立歩行(左右). 下段:倒立ジャンプ.
(口は、空中局面)

VIまとめ

本研究の目的は、体操競技の跳馬におけるカサマツとび系の技、すなわち、カサマツ、アカピアン、ドリックスを分析対象とし、各跳躍技の身体動作のキネマティカルな特徴の相違点を比較し、より難度点の高い跳躍技を実施するために必要とされる合理的な動作を明らかにすることであった。動作分析の結果から、以上のことが明らかとなった。

- 1) 踏み切り局面中においては、全ての跳躍技で効果的な速度変換が行われており、高さのある跳躍に必要とされる鉛直速度の獲得がなされていた。
- 2) 踏み切り局面中における効果的な速度変換のためには、踏み切り局面以前の空中準備局面において、前方への回転方向とは逆に上体を動かし、身体を後傾姿勢に促しながら着足することが重要になると考えられた。
- 3) 踏み切り局面後は、下肢の素早い振り上げ動作をもって第1空中局面に飛び出すことが望まれると示唆された。
- 4) 両手着手局面中においては、ドリックスにのみ鉛直速度の維持がみられた。また、離手時点における鉛直速度はドリックスが最も高値であった。この結果から、より難度点の高い跳躍技を実施するには、両手着手局面中においても効果的な速度変換を行う必要があると示唆された。
- 5) 難度点の高い跳躍技を実施するために必要とされる合理的な動作は、離手時点において第2着手側の手の真上に身体重心を位置させ、さらに体幹を回転させない姿勢で離手することであると示唆された。

VII参考文献

- 阿江通良ほか (1996) : 日本幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Jpn.J.Sports Sci.* , 15(3): 155-162.
- Dillman, C.J, et al. (1985) : A kinematic analysis of men's olympic long horse vaulting. *Int. J Sport Biomech.* , 1: 96-110.
- Prassas, S. (1999) : Biomechanical research in gymnastics: What is done, what is needed. *Applied Proceedings of the XVII International Symposium on Biomechanics in Sports: ACROBATICS*, 1-10.
- Prassas, S. ,et al. (2006) : Biomechanical research in artistic gymnastics : a review. *Sports Biomech.* , 5(2), 273.
- 佐野真也 (2007) : 体操跳馬の踏切動作. *体育の科学*, 57(7), 511-515.
- Takei, Y. (1988) : Techniques used in performing handspring and salto forward tucked in gymnastic vaulting. *Int. J. Sport Biomech.* , 4: 260-281.
- Takei, Y. (1992) : Blocking and postflight techniques of male gymnast performing the compulsory vault at the 1988 olympics. *Int. J. Sport Biomech.* ,8: 87-110.
- Winter, D.A. (1990) : *Biomechanics and motor control of human movement* 2nd.ed.. John Wiley & Sons Inc, New York, 1990.
- 財団法人日本体操協会 (2009) : 体操競技採点規則男子 2009 年版. 財団法人日本体操協会, 東京.

謝辞

修士論文を作成するにあたり、2年間ご指導してくださいました主査の土屋純先生に、心から御礼申し上げます。また、副査を担当してくださいました礒繁雄先生、矢内利政先生にも心から御礼申し上げます。

他研究室であるにも関わらず、研究当初から厳しく熱心にご指導してくださいました礒研究室助教の田内先生、本当にありがとうございました。田内先生のご指導のおかげで、研究する上での視野が広がりました。そして、土屋研究室助教の衣笠先生には、論文の構成から結果・考察の書き方まで親切にご指導していただきました。深く感謝いたします。同研究室の藤田さん、九鬼さん、菅田研究室の大金さん、いつも私のくだらない質問に家庭教師のような接し方で丁寧にご返答してくださり、本当にありがとうございました。みなさまのお力添えがなければ、修士論文は完成できなかったと思います。感謝の気持ちでいっぱいです。

最後になりましたが、早稲田大学に来て4年間、私の好きなように大学院生活が送れたのも、両親の温かいサポートがあったからだと思います。この場を借りて、深く御礼申し上げます。