

昭和48年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. VI 跳能力の向上  
—第1次研究報告—

財団法人 日本体育協会  
スポーツ科学委員会



# 日本体育協会スポーツ科学委員会

## 跳能力向上に関する研究班

### —第一次研究報告—

## 目 次

第一報の研究報告をするにあたって ..... 1

班長 松井秀治（名古屋大学）

垂直跳にみられる跳動作の基本 ..... 2

東京大学 宮下充正, 足立長彦  
大築立志, 小島武次

走り幅とびの踏み切りにおける速度変化 ..... 7

名古屋大学 松井秀治, 三浦望慶  
金城学院大学 袖山紘  
豊田高専 小栗達也

走り高跳の踏み切りにおける身体各部位の使い方に関する基礎的研究 ..... 12

東京教育大学 金原勇, 高松薰  
阿部通良  
順天堂大学 大西暁士



# 第一報の研究報告をするにあたって

研究班長 松 井 秀 治 名古屋大学

かつて三段跳のオリンピック三連勝を中心に跳躍日本と呼ばれた時代があったが、最近のこの方面的記録や日本選手の活動は世界のレベルからみればかなり遠い存在にあるといえる。

かつての日本人の活躍は、日本人と“跳”とを結びつけるものではなく、陸上競技々術の未発達時代のプロローグの1コマにすぎないものなのだろうか。

しかし、田島氏の樹立した、16m（三段跳）、南部氏が跳んだ7m98（走幅跳）の記録は、今日でも日本選手が常に飛び得る距離ではない。反面、日本のアスリート達の形態的条件は、跳躍日本といわれた時代とは段違いに優れたものである。どの範囲で比較するかが問題であるが、身長のみについていえば7～8cmも高くなっている。このことは跳躍競技々術を含めて、明らかに日本選手の跳能力の開発指導に何らかの矛盾または、思考錯誤があるように思われる。

日本体育協会スポーツ科学委員会では、かかる問題についての矛盾や思考錯誤の要因を明らかにするとともに、併せてこの方面的競技力向上の基礎的条件の解明を目的として、昭和48年から2カ年計画で跳能力向上に関する研究プロジェクトチームをつくり、その研究を手がけた。本報告は、この研究プロジェクトチームの初年度における研究報告である。

研究プロジェクトチームは、問題の性質から、従来の研究チームとは異なり、現場での直接コーチをも加えて次のように組織した。

○研究班長 松井秀治（名古屋大学）

○研究グループ

(1) 松井グループ

松井 秀治（名古屋大学）

三浦 望慶（名古屋大学）  
袖山 紘（金城学院大学）  
小掛 照二（大昭和製紙）  
丸山吉五郎（法政大学）  
小栗 達也（豊田高専）

(2) 金原グループ

金原 勇（東京教育大学）  
大西 克志（順天堂大学）  
高松 薫（東京教育大学）  
阿江 通良（ “ ” ）

(3) 宮下グループ

宮下 充正（東京大学）  
足立 長彦（ “ ” ）  
大築 立志（ “ ” ）  
小島 武次（ “ ” ）

研究の初年度である、昭和48年度においては、松井グループでは、走り幅跳びを、金原グループでは走り高跳びを、宮下グループでは垂直跳びを素材に高くとぶ、遠くとぶ、という跳動作の基本について、松井グループでは踏切における速度変化から、金原グループは身体各部分の動きの対応から、宮下グループは動作における跳躍高と跳躍感覚並びにその際の機序とから、それぞれ究明するとともに、総合的跳能力向上研究としての研究方向を各研究グループの立場から究明してみた。

したがって、初年度の研究報告である本報告では、各グループの研究報告を個別に併記することとし、研究内容について、研究プロジェクトとしてのまとまった考察を加えた報告は、第二年次（昭和49年度）の研究結果をもって、全研究成果の上に立ってすすめることとした。

## 垂直跳にみられる跳動作の基本

宮下充正 東京大学 · 足立長彦 東京大学

大築立志 東京大学 · 小島武次 東京大学

跳能力は、現在一般に行なわれているスポーツのほとんどの種目において要求される重要な能力でしかも基本的な能力の一つであると言える。

跳んだ距離、すなわち高さとか幅とかが競技成績に直接決め手となるスポーツは陸上競技の走幅跳、走高跳、三段跳、スキーの純ジャンプ等であるが、高く跳べる方が有利なものとしては、水泳競技の飛び込み、バレーボール、バスケットボール、サッカー、体操、フィギュアスケート等々数えあげることができる。

また水平方向により遠く跳べる方が有利なものとしては、競泳のスタート、サッカーのキーパー等もある。

しかし、それぞれのスポーツ種目での跳躍は、その目的や場面の違いによって、かなり異なった形式や困難さをもっている。

例えば、

- 水泳競技のように、跳躍前に一瞬静止の状態でバランスをとるもの。
- 陸上競技のように、助走してきてあるところで踏み切るもの。
- スキーの純ジャンプのように、時速80kmという高速で移動中に跳躍するもの。
- サッカーのヘッディングのように、ボールの進行方向を予測して適正な位置にタイミングを合わせて飛び上るもの。
- 体操やフィギュアスケートのように、次に複雑な動作を考えて跳躍するもの。

等々である。

そこで、跳能力向上という問題の出発点として、各スポーツに共通となるように、跳躍動作のうち最も基本となり資料のそろっている垂直跳を選び、まず高く跳ぶという面から分析していくことにする。

垂直跳という動作の基本を考えると、自分の身

体を一動作でどのくらいの高さまで持ち上げることができるかという問題になる。これは力学的にいえば、自分の身体に位置のエネルギーを与えることになる。その量は、(体重) × (身体重心の垂直移動距離) で表わされる。また一動作ということは、ある限られた時間内にということになり、時間の要素も加味されなければならない。すなわち、ある時間内にどれだけのエネルギーを発揮したかということを表わすことになる。これは、一般にパワー(仕事率)と呼ばれるものである。したがって、垂直跳は、その人をパワーの面からも測定していることになる<sup>③)</sup>。

ここで、現在の日本のトップレベルの選手の垂直跳の成績<sup>④), ⑤)</sup>を調べてみよう。

Asmussen 達<sup>①)</sup>の次元分析の考え方によれば、相似形の体形の場合、垂直跳の高さは身長の高低と関係せずに一定である。つまり、力は筋の横断面積に比例する故に身長の二乗に比例し、仕事は力に距離を乗じたもの故、身長の三乗に比例する。一方、身体重心の上方への移動により獲得された位置エネルギーは、(体重) × (重心の垂直移動距離) で表わせる。体重は身長の三乗に比例する故、重心の垂直移動距離は身長の高低にかかわらず一定となる。しかし、次元分析の方法の内には、運動の巧みさについての考慮がなされておらず、理論的には身長の高低にかかわらず跳躍高が一定であるので、実際に差が生じた場合、それを巧みさについての差と見做している。

ところで、スポーツ選手はそれぞれの種目の特徴をもった体型であるので、脚の長さ(身長)、体重、脚の力(大腿の太さ)という要素が考慮されなければならない。

まず、大腿の太さと体重という要素を含んだ指標を使って比較してみよう(図1)。この指標は、体重の割に大腿が太いか細いかということを意味

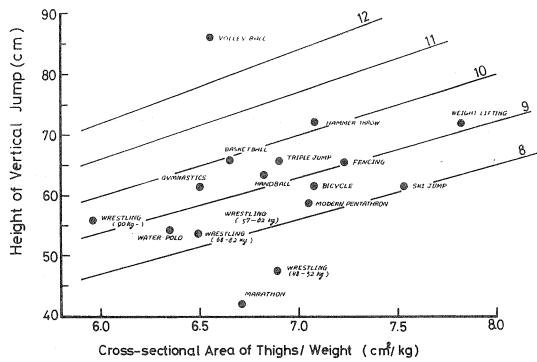


図 1 運動種目別垂直跳成績（種目別平均）  
横軸：大腿横断面積／体重  
縦軸：垂直跳成績

している。図2には個人別に示してある。斜線は（縦軸値）/（横軸値）であり、同一線上のものは、この測度（大腿横断面積／体重）を基準にとったとすれば、跳躍の巧みさが同一であるということになる。

次に、この指標に身長という要素を加えると図3のようになる。いずれの場合も、バレー ボールの選手が明らかに垂直跳びの成績に秀れていることがわかる。

ここで、バレー ボールの選手のうち、他のスキー

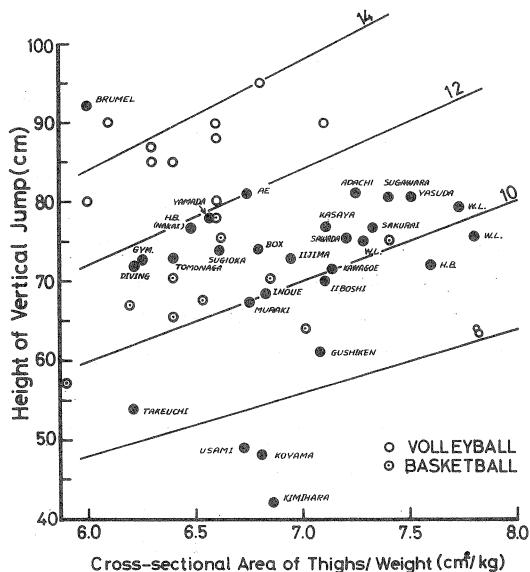


図 2 運動選手別垂直跳成績（各種目の高成績者）  
横軸：大腿横断面積／体重  
縦軸：垂直跳成績

ツ種目の選手と成績が変わらない選手（NEKODA）がいることが興味深い。この選手は名トッサーと呼ばれているが、これは垂直跳びがあまり跳べないからトッサーの役目を果しているのか、それとも、トッサーを専門にやっているので垂直跳びが跳べないのかという問題である。もし前者だとすれば、垂直跳びの秀れた素質を持つ選手がバレー ボールには多いということになり、トレーニングはそれほど問題とはならない。ところが、もし後者だとすれば、それは、トレーニングが垂直跳びに及ぼす効果を示しているわけであり、また、跳躍能力一般のトレーニング効果についての示唆でもある。

（日本体育協会のコーチ会議において、バレー ボール協会の方からの説明があり、バレー ボールでは、垂直跳びにしてもある目標をもってトレーニングするということであった。このことは、垂直跳びはあくまでも補助的なもので、脚を鍛える手段として取り上げる場合と、垂直跳びは何cm跳べなければならないという目標をもってトレーニングするとの差が、結果的には重要な意味を持つように思われる。すなわち、トレーニングは形式ではなく、実施者が目的意識を強く抱かなければならぬということであろう。）

次に、脚の長さ、体重、脚の力等の割合が同じような選手の間で、なぜ垂直跳びの成績に差が現われるかという問題について、少し触れてみたい。

図3に関していえば、次元分析の理論からみ

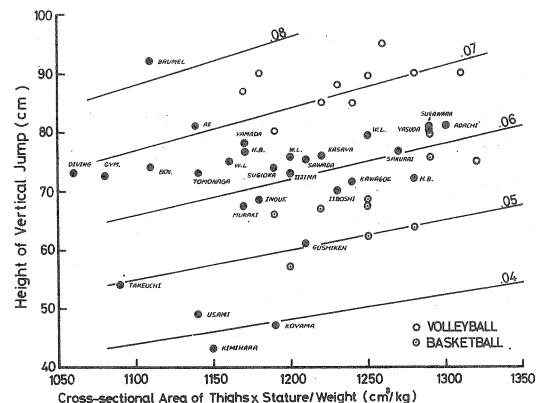


図 3 運動選手別垂直跳成績（各種目の高成績者）  
横軸：大腿横断面積×身長／体重  
縦軸：垂直跳成績

ば、プロットは一本の直線上にこなくてはならないが、実際にはかなりのばらつきを示している。

人間の単一筋群の力の発揮の際、その力は筋の横断面積に比例すると同時に、同じ面積ならば、それを支配する神経の興奮が強ければ大きくなる。

神経の興奮の強度については、次のような実験結果が明らかにされている。すなわち、最大の努力で力を発揮したり、速く収縮したりする値と、神経を適当且つ十分な頻度・電圧で刺激した場合の値とでは、いずれについても電気刺激による方が大きな値となる。これは一つの筋群の関与する動作の場合であるが、垂直跳びは多数の筋群の同時的な働きによって成り立っている故、単にある一つの筋群の収縮が速くとも、全体の動きと調和がとれなくてはよい結果が得られない。

垂直跳びの高さを規定する離地時点での上方への初速度は、最も深くしゃがみ込んだ時点から離地までの下方向への力を時間で積分することで得られる。つまり、一動作の内でいかに長く強い力を発揮できるかが問題となる。しかし、重力による下方向への力が重心に作用する故、積分値が同じならば、いかに短時間でその値を発揮できるかによって跳躍の高低は決まってくる。

短時間での力発揮については、筋の横断面積と神経の興奮強度の問題に多くが帰せられるが、一動作内でいかに長く強い力を発揮できるかは、神経の興奮の時系列パターンの問題になるとを考えられる。

ウェイト・トレーニングを行なって、幾つかの筋群の筋力や収縮速度が増大しても、競技成績は向上しなかったという話をよく耳にする。身体運動において、身体各部の筋はその運動目的に沿った時間的空間的配列をとりながら様々な強度で収縮をする。各競技者は、練習を積むことにより各自に適した配列パターンを身につけている。しかし、ウェイト・トレーニングによって、それぞれの筋の力のバランスが変化するため、以前の配列パターンは、トレーニング後の各筋の新たな筋力に対しては最適ではなくなっている。つまり、その競技の目的にかなった神経興奮の配列パターンについては、再練習による獲得が必要となってくる。このように、垂直跳びについても、その目的

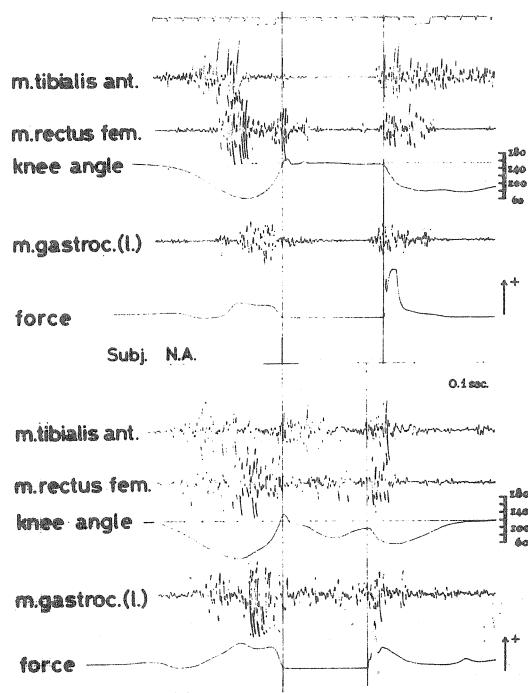


図4 下肢筋群筋電図、膝関節角度変化、足底圧  
SubjN. A. 走高跳選手  
SubjI. A. 一般成人

にかなった神経興奮の時系列パターンが問題となる。

いま、よく跳ぶ練習を積んだ人とそうでない人の垂直跳びの際の神経支配の様式を筋電図で比較してみると(図4)。兩人とも、まず反動のため沈み込みを始める。膝が深く屈げられるにしたがってまた、前脛骨筋(すねの筋肉)は収縮し、大腿直筋(ももの筋肉)はそれを受けとめ、再び膝を伸ばすために働く。それと協同して下腿二頭筋(ふくにらはぎの筋肉)が働く。そして跳び上って空中いる間は働きが止んだり弱くなったりし、着地のときに再び強く働いている。ここで練習した人とそうでない人を比較すれば、それぞれの筋の働きに違いがあることがわかる。そして、結果的に大きな差が垂直跳びに現われるわけである。

次に、正確に跳ぶという面から話しをすすめる。

始めに述べたように、それぞれのスポーツ種目での跳躍は、その目的や場面の違いによって異なった形式や困難さを持っている。そして、それらの跳躍に要求される事柄を大きく二つに分けると、

エネルギー面で出力が大であることが必要とされる場合と跳躍動作の正確性が必要とされる場合とが考えられる。この二面の持つ重要度はスポーツ種目によって、またそのスポーツの場面によって様々に異なってくるであろう。あるスポーツのある場面では、より高く跳ぶことが第一に重要であり、また他の場面では、それほど高く跳ぶ必要はないが、正確な跳躍動作を行なったり、その動作と同時に他の動作を正確に行なうことが重要である。

それ故、動作の正確性の面から跳躍を研究する場合、最大下努力で行なわれる跳躍について研究することも興味深い一方法であると思われる。

次に行なった実験研究は、上述のような意味合いで、最大下努力の跳躍を跳躍者がどのように感じているのかという基礎的な資料を得るための実験である。

被検者は、健康な成人男子12名であり、内3名は現役の走高跳びの選手である。

被検者は、最大努力での跳躍の20, 40, 60, 80, 100パーセントの強度と思われる垂直跳びを、検者の指示により30秒毎に行なった。各強度6回ずつ計30回の跳躍を行なうが、その順序はat randomである。試行の跳躍強度は各試行の約10秒前に知らされた。

感覚強度と跳躍高の関係は、直線的なものと曲線的なものに分けられるように見える(図5-1・2)。跳躍選手についても同様の結果が得られた(図6-1・2)。図5, 6の4名の被検者を除き、

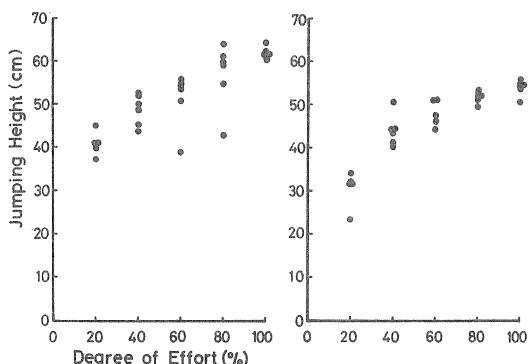


図5-1

感覚強度—垂直跳の高さ(一般成人)  
直線関係

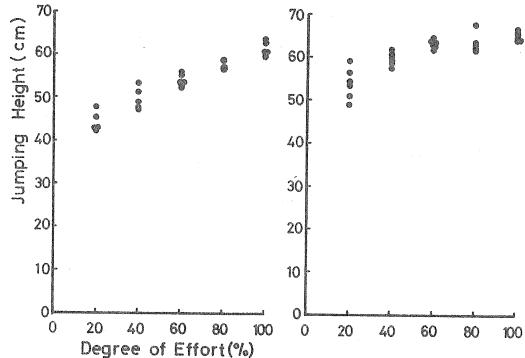


図6-1

感覚強度—垂直跳の高さ(走高跳選手)  
直線関係

図6-2

曲線関係

各感覚強度毎に平均をし、プロットしたもの(図7-1)についてみても同様に二つのパターンが見られる。しかし、跳躍能力が異なっているために、直接の比較ができない。比較のため、[各跳躍高/最高跳躍高(平均)]を示した(図7-2)。感

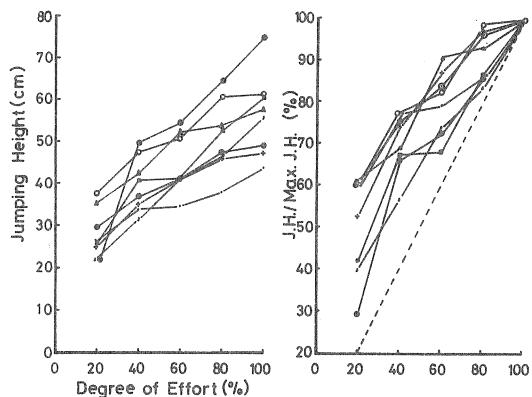


図7-1

感覚強度—垂直跳  
の高さ(平均)

図7-2

感覚強度—垂直跳の高  
さ/最大の高さ(平均)

覚強度とこの(跳躍高/最高跳躍高)が等しい場合、そのプロットは破線上になされるが、実際には全ての被検者の結果が破線の上方にプロットされている。図6の跳躍選手2名については、図7にプロットすると更に上方にプロットされることになる。もう一名の跳躍選手(●印)は過去に同様の実験を行なっており、高く飛び過ぎる傾向を知っている。もう一名の跳躍選手(○印)は過去に同様の実験を行なっており、抑制をかけたということが実験後わかった。それ故、跳躍選手の跳躍感覚と一般人のそれ

との比較は興味あることと思われる。Stevens<sup>6)</sup>は刺激の物理量と感覚量の間にべき関数の方則を見出しており、Borgは大筋運動にその方法を用いている。本実験は目標とされる感覚強度に合わせた筋力発揮を行なうのであり、Borg<sup>2)</sup>達のものとは異なっているが、比較は興味のあることと思える。

次に跳躍高のばらつき具合についてみると、感覚強度が低い程ばらつきの程度が大きいのが一般的な傾向であった。この結果によれば、目標とする高さを正確に跳ぶということは、最大下努力では最大努力での跳躍よりも困難であると考えられる。しかしながら、この実験は練習（学習）というふことを考慮せず、また、それ故結果も知らせずに行なったものであり、高度な学習の結果であるスポーツの限定された特殊な各場面に直接当てはめ得るものではない。

このように、いかにも単純で誰でもできる垂直跳びといった運動においても、明らかな個人差、

特に練習による差やそれとおぼしきものがみられることは、スポーツのあらゆる種目において、その基本となる単純な動作の練習にも注目すべき点があるということを示しているであろう。

### 参考文献

- 1) Asmussen, E. and K. Heeböll-Nielsen : A Dimensional Analysis of Physical Performance and Growth in Boys, *J. Appl. Physiol.*, 7, 593, 1955.
- 2) Borg, G. : The Basic "Noise Constant" in the Psychophysical Function of Perceived Exertion, Reports from the Institute of Applied Psychology. The Univ. Stockholm, No. 33, 1972.
- 3) Gray, R. K. et al. : A Test of Leg Power, *Res. Quart.*, 33, 44-50, 1960.
- 4) 日本体育協会資料 昭和48年度・競技別・体形・体力測定資料
- 5) 日本体育協会、札幌オリンピック・スポーツ科学報告、1973。
- 6) Stevens, S. S. : On the Psychophysical Law, *Psychol. Rev.*, 64, 153-181, 1957.

# 走り幅とびの踏み切りにおける速度変化

松井秀治 名古屋大学  
袖山 紘 金城学院大学  
三浦望慶 名古屋大学  
小栗達也 豊田高専

走り幅とびの記録は主として踏み切り足が地面から離れる瞬間の重心の速度とその方向によって決まる。これは踏み切り足が離れたのちに、空中を移動する身体重心は投射体の運動として力学的にとらえられるためである。このことから、これまでいくつかの仮定を含めて、走り幅とびにおける初速と方向および跳躍距離の関係について理論的検討がなされている<sup>1), 3), 5), 9)</sup>。

走り幅とびの記録を決定する初速度の大きさと方向は、助走によって生み出される水平速度と踏み切りによってその水平速度の一部を垂直方向に方向を変えることによって生み出される。したがって、走り幅とびでは、踏み切りが中心問題であり、助走で生み出された水平速度が、踏み切りでどのように垂直速度に変換されているかについて、まず明らかにしておく必要があろう。

本研究は助走によって生み出される水平速度が、踏み切りによってどの程度の垂直速度に変換され、その結果どれくらいの大きさの初速度が生み出されているかについて、跳躍距離との関係で明らかにしようとした。

また、走り幅とびにおける初心者から熟練者への練習の過程、あるいは熟練者においてはシーズン初めから試合期への移行の過程で、練習の一方として短助走から全助走へと助走距離を長くし、段階的に全助走へ移行する方法が用いられている<sup>6), 7)</sup>。そこで、短助走から助走距離を次第に長くした場合の助走速度と踏み切りについてもあわせて検討した。

## 研究経過

助走および踏み切り中の速度変化を明らかにするには、被験者である走り幅とび選手が最も高いPerformanceを発揮できる状態で試技をする必要がある。そこで、全助走跳躍については試合中

における走り幅とびの試技を16mm高速度映画撮影によってとらえた。

試技を撮影した試合は1973年ユニバーシアード出場選手の合宿における跳躍記録会ならびに愛知県選手権などである。

被験者は走り幅とび選手で跳躍記録が異なる男子9名、女子3名の選手たちである。

撮影は図1に示すように踏み切り板の真横30mの位置に16mm高速度映画撮影機をセットし、被験者の動作を側面より撮影した。使用した撮影機はD.B.ミリケン55 16mm高速度撮影機である。撮影は、70mmの望遠レンズにより被験者を追い写しをした。撮影コマ数は100コマ/秒でシャッタースピードは1/250秒である。

動作時間はフィルムのコマ数から求めたが、コマ数の較正はカメラに内蔵されているパルスジェネレータ(A, C)によって1/120秒のタイミングマークをフィルムの端に写し込むことによって行った。また、撮影したフィルムの画面上から被験者の移動距離を知るために助走路の両側に1mづつの目印を置いた(図1)。

フィルムの解析はNACフィルムモーションアナライザによって行なった。計測した項目は助

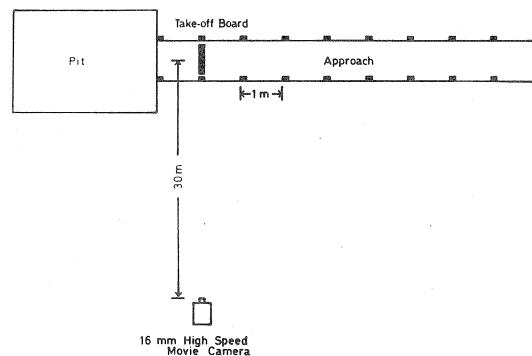


図1 撮影条件

走速度、初速度、水平方向初速度、垂直方向初速度、踏み切り時間などであり、跳躍角は計算によって求めた。

試合中の各被験者の試技は3回以上の撮影を行ない、そのうち最も良い記録を示した試技について解析した。跳躍距離は踏み切り足の爪先から着地足のかかとまでの実測距離とした。

短助走から助走距離を長くする跳躍では4名の男子選手に7歩助走、12歩助走を行なわせ、全助走跳躍と同様に映画撮影しそのフィルムを分析した。

### 結果及び考察

表1は試合中に行なった試技と、短助走跳躍についての分析結果を記録順に並べて示したものである。跳躍の記録は最高7m53から最低5m19までの範囲の20例である。これらの記録が得られた跳躍についてそれぞれの測定項目の検討を行なっ

た。

助走速度：表1にみられるように、助走速度の最も大きい値はN.Yの10.07m/secであった。助走速度は跳躍距離が低くなるにしたがって減少する傾向がみられ、最低はO.Sの7.92m/secである。

図2に記録(Y)と助走速度(X)の関係を示した。この図から、両者の間には高い相関があることがわかるが、その相関係数は $\gamma=0.96$ という極めて高い値であった。また、この両者には、 $Y=1.0597X-2.9966$ という回帰方程式が得られた。これまで走り巾跳びで良い記録を出すためには、速い助走速度が必要であるとされているが、このことは5m～7m50の記録の範囲において記録と助走速度の関係を量的に示し得ることになる。

記録と助走距離の関係については、Flynn. J. E<sup>2c</sup>は、32名の大学選手が室内競技会の走り巾跳びを行なった際の映画撮影から、跳躍距離を助走

表1 走り幅とび測定結果

被験者	記録 m	助走 距離 m	助走 速度 m/s	初速度 m/s	水 平 初速度 m/s	垂 直 初速度 m/s	跳躍 角度 degree	踏切 時間 sec	踏 切 一歩前 歩巾 m	踏 切 二歩前 歩巾 m	助走速度 -初速度 m/s	助走速度 -水平 初速度 m/s	Efficiency Index
1. N. Y	7.53	41.80	10.07	9.04	8.60	2.80	18.02	0.09	2.16	1.97	1.03	1.47	1.904
◎ 2. M. O	7.52	38.20	10.00	9.11	8.60	3.00	19.14	0.10	2.05	2.00	0.89	1.40	2.142
◎ 3. M. A	7.08	41.40	9.78	8.98	8.60	2.60	16.50	0.11	2.53	2.28	0.80	1.18	2.203
4. Y. Y	7.05	36.30	9.42	8.85	8.40	2.80	18.25	0.10	2.17	2.02	0.57	1.02	2.745
5. S. Y	6.97	38.20	9.25	8.36	8.20	2.40	16.19	0.11	2.34	2.27	0.89	1.05	2.285
※ 6. M. O	6.95	21.0	9.13	8.54	8.00	3.00	20.30	0.10	2.05	2.00	0.59	1.13	2.654
◎ 7. S. M	6.90	35.5	9.13	8.29	7.80	2.80	18.43	0.10	2.09	2.12	0.85	1.33	2.105
8. T. Y	6.84	39.30	9.50	8.79	8.40	2.40	16.00	0.11	2.29	1.98	0.71	1.10	2.181
※ 9. M. A	6.83	35.5	8.88	8.16	7.80	2.40	17.06	0.11	2.05	1.95	0.72	1.08	2.222
◎ 10. M. Y	6.63	36.2	8.92	8.35	8.00	2.40	16.42	0.11	2.07	1.91	0.57	0.92	2.608
※ 11. M. O	6.63	15.0	8.86	7.86	7.60	3.40	24.06	0.10	1.84	1.89	1.00	1.26	2.698
12. M. U	6.53	33.20	9.13	7.99	7.46	2.86	21.00	0.11	2.40	1.98	1.14	1.67	1.712
※ 13. S. M	6.32	23.0	8.86	8.03	7.60	2.60	19.00	0.11	1.96	1.98	0.83	1.26	2.063
※ 14. M. Y	6.22	21.0	8.88	7.88	7.20	3.20	24.00	0.12	2.14	2.13	1.00	1.68	1.904
※ 15. M. A	6.10	13.5	8.50	7.60	6.80	3.40	26.36	0.11	1.92	1.98	0.90	1.70	2.000
※ 16. S. M	5.68	12.8	8.28	7.20	6.80	2.40	19.25	0.12	1.99	2.05	1.08	1.48	1.621
※ 17. M. Y	5.66	11.8	8.13	7.16	6.40	3.20	26.36	0.12	1.99	2.05	0.97	1.73	1.849
♀ 18. S. I	5.55	31.50	8.29	7.62	7.00	3.00	23.12	0.10	1.96	1.89	0.67	1.29	2.325
♀ 19. Y. M	5.40	33.50	8.00	7.59	7.20	2.40	18.25	0.12	2.32	1.95	0.41	0.80	3.000
♀ 20. O. S	5.19	32.50	7.92	7.21	6.80	2.40	19.26	0.11	2.00	1.86	0.71	1.12	2.142

◎ 短助走跳躍を行なった被験者の全助走跳躍

※ 短助走による跳躍

♀ 女子選手

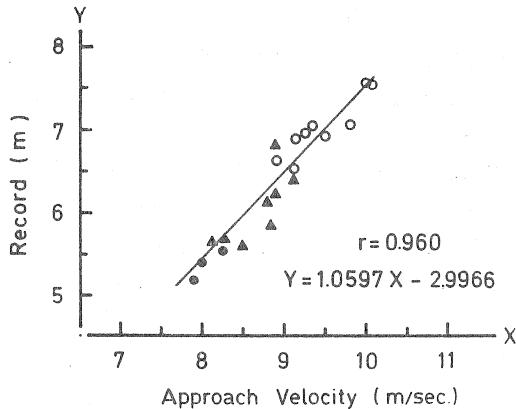


図2 記録と助走速度の関係

- 全助走跳躍
- ▲短助走跳躍
- 女子

スピードには  $\gamma=0.365$  で有意な相関があることを認めている。これらの選手の記録は最高7m57, 平均 6m48 であった。

また Nigg, B. M.<sup>4)</sup> は走り巾とびの記録が 7m98 ~7m68, 平均 7m60 を跳躍した際の欧州の一流選手の20例について助走速度を測定し、最も速い値は 7m98 を踏んだ Schwarz の 10.7m/sec であり、最も小さい値は 9.7m/sec, 平均 10.3m/sec であったと報告している。そして、記録と助走速度の間には本実験と同様直線関係があることを認めている。

これらの点から、鍛練した走り巾跳び選手では、助走速度の大きさが走り巾跳びの記録を決定する重要な要因であるといえる。

初速度：助走によって生み出された水平速度は踏み切りによって方向変換されて初速度となる。初速度の大きさは表1に示すように、N. Y が 9.04m/sec, M. O が 9.11m/sec と大きな値を示しているが、初速度も助走速度と同様に記録が低くなると減少する傾向である。

図3は記録と初速度の関係を示したものである。両者の間には、 $\gamma=0.928$  という高い相関がみられた。Flynn, J. E.<sup>2)</sup>は、記録と初速度の間には  $\gamma=0.450$  の相関を認めている。この相関係数の値は、本実験の結果よりも小さいが、初速度が跳躍距離を決定することが力学的に確められていることから、両者の間にはかなり高い相関関係が存

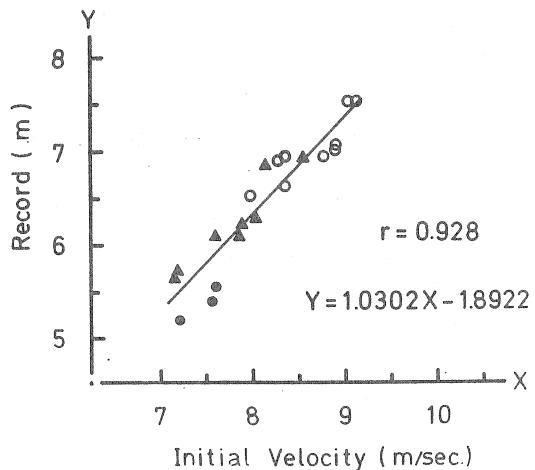


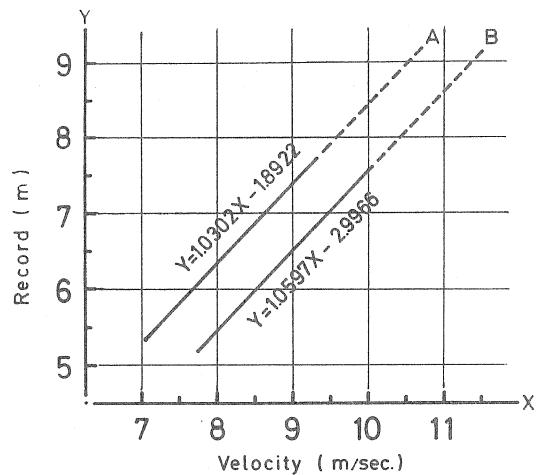
図3 記録と初速度の関係

- 全助走跳躍
- ▲短助走跳躍
- 女子

在することは推察できよう。

助走速度と初速度、および記録：図4は記録と助走速度、および初速度の関係を示したものである。この図から助走速度の回帰直線と初速度のそれはほぼ平行であることがわかる。すなわち、助走速度に対して初速度はいく分減少しているが、その減少の程度は助走速度（記録）の大きさに関係なくほぼ一定である。

表1に示すように、助走速度から初速度が減少する程度は 1.14m/sec~0.4m/sec の範囲である。



A:Initial Velocity B:Approach Velocity

図4 記録と初速度助走速度の関係

この点について Nigg<sup>4)</sup> も同様な結果を得ており。初速度は助走速度より 1.0~1.5m/sec, 平均 1.2 m/sec の減少がみられたと報告している。

跳躍記録と助走速度、および初速度の関係が明らかにされたが、8m以上を跳躍する場合に必要な助走速度を知るために、図4の A, B に示す実線と同じ関係が成立すると仮定すると、破線の部分を描くことができる。

ポポフ、V.<sup>8)</sup>によると、R.ボストンが8m28を跳躍したときの助走速度は 10.5m/sec, 初速度は 9.54m/sec, テル・オバネシアンが8m37を跳躍したときはそれぞれ 10.4m/sec, 9.34m/sec であったとしている。これらの値は図4の A, B の破線部分にはほぼ位置することになる。これらのことから、破線で示した部分の助走速度、および初速度も、実線部分と同様ある記録を出すために必要な助走速度および初速度を推定する一応の目安とすることができよう。これらの事柄は、走り巾跳びにおけるトレーニングの目標を与えることになる。

水平方向の初速度と垂直方向の初速度：表1にみられるように、跳躍記録が7m53, 7m52の場合に水平初速度 8.60m/sec が得られ、記録が低くなるにつれて水平初速度は減少する傾向を示している。一方、垂直初速度は記録との関連はみられず、2.4m/sec~3.4m/sec の範囲である。

図5はこの結果を図示したものであり、水平初速度と記録の間には  $\gamma=0.910$  という高い相関があり、 $Y=0.9162X-0.5368$  という回帰方程式が得られた。

一方、垂直初速度は跳躍距離が大きくなっても

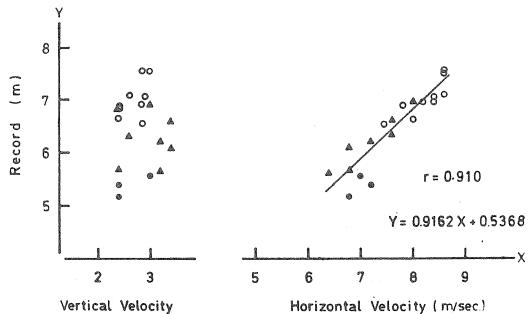


図5 記録と垂直、水平方向の初速度の関係

- 全助走跳躍
- ▲短助走跳躍
- 女子

ほとんど変化がみられない。これは、小野<sup>5)</sup>が、助走速度が速くなると垂直方向の初速度を生み出すことが困難になると指摘していることによるものとみられる。

すなわち、記録に直接結びつくのは水平初速度の大きさであるが、垂直初速度は直接記録との関係はみられないけれども跳躍角を生み出すために重要な役割を果していると考えられる。

跳躍角と短助走跳躍の特徴：図6は助走速度と跳躍角の関係を示したものである。全助走跳躍の場合、1名を除いて 16°~21° の範囲にある。ポポフ<sup>8)</sup>によると、テル・オバネシアンが8m37を跳躍したときが 22°, オーエンスが8m13を跳躍したときが 22°, R.ボストンが8m28を跳躍したときでは 19°50' とかなり高い値を示している。これらの値と比較すると今回の測定では跳躍角がやや低いことが指摘できる。

図6では、短助走跳躍から全助走跳躍を行なった4人の選手の値を線で結んだ。この図にみられ

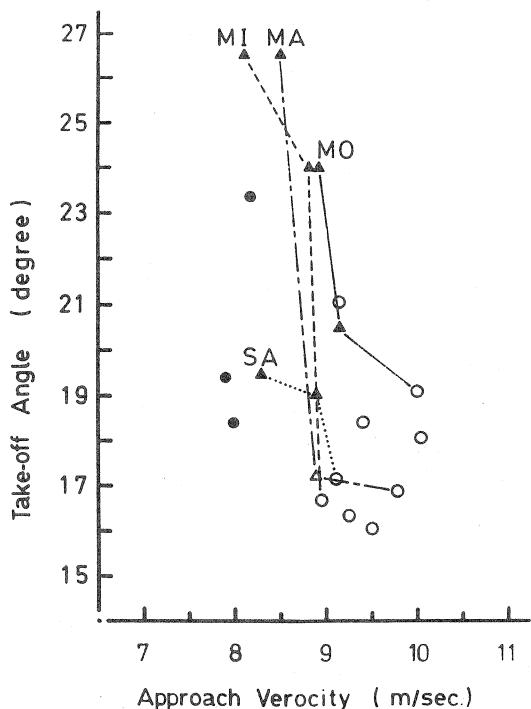


図6 跳躍角と助走速度の関係

- 全助走跳躍
- ▲短助走跳躍
- 女子

るようすに、短助走跳躍の場合はかなり大きな跳躍角を生み出していることがわかる。したがって、短助走での跳躍練習の特徴は跳躍角を大きくするのに役立つものとみられる。

Efficiency indexについて：ポポフ V.<sup>8)</sup>は、最良の踏み切り技術の特徴は、水平速度の減少を最少限(0.8~1.0m/sec)にして、しかも3.2~3.5m/secの垂直速度を生み出すことにあり、この際の重心の跳躍角は20度前後であると述べている。そこで、次式によって踏み切り技術の Efficiency-index を算出した。

$$\text{Efficiency index} = \frac{\text{垂直初速度}}{\text{助走速度} - \text{水平初速度}}$$

この式から得られた結果は表1に示してある。Efficiency index の高い値は3.000, 2.745, 2.694, 2.658 であった。また、表1より、一般に短助走におけるこの値は1.621~2.063で全助走より低いことがわかる。これは踏み切りでのブレーキが短助走の場合にはかなり大きいためであろうとみられる。

助走速度、および踏み切りにおける水平、垂直方向の初速度の三者の関係を表わすこの Efficiency index は、今後踏み切り技術の診断のための一指標として役立つものと考えられる。

### ま と め

試合中の走り幅とび、および短助走から助走距離を長くした場合の走り幅とびについて16mm映画撮影し、踏み切りでの速度変化を中心に検討を加えた。

記録と助走速度の間には高い相関みられ ( $\gamma=0.960$ )、両者の間に  $Y=1.0597X-2.9966$  という回帰方程式が得られた。記録と初速度の間にも同様に高い相関がみられ、( $\gamma=0.928$ )、その回帰方程式は  $Y=1.0302X-1.8922$  であった。

これら二つの結果をもとに、5m~7m50 の記録を出すために必要な助走速度と初速度の大きさの関係が明らかにされた。さらに、8m以上の跳躍をする場合に必要な助走速度、初速度についてもこの結果から推察が可能であろうと考えられる。

また、踏み切りにおける初速度を、水平方向、垂直方向に分けて検討した結果、直接跳躍記録に

結びつくのは水平方向の初速度の大きさであることがわかった。しかし、跳躍角を大きくする点から考えると、大きな垂直方向の初速度を生み出すことも重要であることとみられる。このことは、今回の測定での跳躍角が、全助走では16~21°の範囲であり、8m ジャンパーに比べて小さかったことからも推察されよう。また、短助走による跳躍では、大きな跳躍角が生み出されることから、跳躍角を大きくするための練習方法として短助走から助走距離を長くしてゆく跳躍が有効な手段であることが示唆される。

踏み切りでは水平方向の初速度の損失をできるだけおさえ、かつ大きな垂直方向の初速度を生み出すことが良い技術と考えられるので、踏み切りにおける Efficiency index を算出することを試みた。その結果、高い値を示したもののは、3.000~2.745 であった。また、短助走ではその値は低く、1.621~2.063 の範囲であった。この Efficiency index は、今後踏み切り技術診断のための一指標となるものと考えられる。

本研究を行なうにあたり愛知陸協理事長、高橋公一氏および1973年ユニバーシアード陸上競技監督竹内伸也氏の御協力を得ましたことを感謝します。

### 参 考 文 献

- 1) Dyson, G. : The Mechanics of Athletics. University London Press Ltd 1970.
- 2) Flynn, J. E. : Cinematographic Study of the Kinetic and Temporal Analysis of the Take-off in the Running Long Jump. Track and Field Quarterly Review. Vol. 3 No. 4, 1973.
- 3) 松井秀治：身体運動学入門 I, 体育の科学社. 1967
- 4) Nigg, B. M. : Measurements of top athletes in long jump. Proceeding of First International Symposium on Problems of Biomechanics in Track and Field, 1973.
- 5) 小野勝次：陸上競技の力学, 同文書院. 1963.
- 6) オゾーリン, N.G. 岡本正己訳：コーチのための陸上競技, 講談社. 1969.
- 7) ベイトン・ジョーダン, バッド・スペンサー：アメリカ陸上競技の技術, 講談社. 1970.
- 8) ポポフ, ウラジミール, 岡本正己訳：走幅跳のトレーニング, ベースボールマガジン社. 1965.
- 9) 渋川侃二：運動力学, 大修館. 1970.

# 走高跳の踏み切りにおける身体各部位の使い方に 関する基礎的研究

金 原 勇 東京教育大学 · 大 西 曜 士 順天堂大学  
阿 江 通 良 東京教育大学 · 高 松 薫 東京教育大学

## I. 緒 言

走高跳の技術は、一般に、大きく助走、踏み切り準備と踏み切り、空間フォームと着地の三つの局面に分けてとらえられている<sup>④,⑤</sup>。これらの中で、越し得るバーの高さに最も大きく影響するのは、一般に、踏み切り準備と踏み切りであると言つてよい。

走高跳で出し得る記録は、主に、①踏み切り足が地面から離れる瞬間ににおける身体重心の高さ、②踏み切り足が地面から離れる瞬間ににおける身体重心の垂直方向の速度（飛躍中に身体重心の上方に移動する距離）、③越し得るバーの高さと身体重心の最高点との差、などの要因によって決まつてくる。踏み切り準備と踏み切りの技術は、直接的には、これらの①と②の要因を主なねらいとしているが、③の要因を効果的にするための準備動作としての役割も果している。この研究の目的は、①と②の要因を効果的にすることのできる合理的な技術を、③の要因を考慮して、確立していくに役だつ基礎的な資料を得ることにある。

本研究では、第1に、走高跳の踏み切りにおける踏み切り脚のおかれた限定条件を明らかにしようとした。

走高跳の踏み切りでは、助走によって生み出された水平方向の運動量を効果的に垂直方向の運動量に変換することが主な課題になる。世界的なジャンパーの場合でも<sup>⑥</sup>、走高跳では、約7m/secの水平速度しか利用できない<sup>①</sup>のは、踏み切り中に踏み切り脚によって出し得る力（体重割でとらえて）には、トレーニングによって高め得るレベルに限度のあることが原因しているとみてよい。この研究では、踏み切り脚の膝伸展力（膝を伸ばす

力、Knee extension）、足底屈曲力（足首を伸ばす力、Plantar flexion）の最大値はどれくらいになるか、出し得る力は関節角度の変化にともなってどのように変化していくかなどを明らかにして、踏み切り中に踏み切り脚をどのように使うことが合理的かを探ろうとした。

本研究では、第2に、踏み切り脚のおかれた、第1の研究によって明らかにされた限定条件のもとでは、先にあげた①および②の要因に着目すると、両腕（肩を含む）、振上脚などはどういう使い方をすると有効か、どのような使い方ができるかなどを明らかにしようとした。

V. M. ジャチコフ<sup>⑦</sup>は、一流ハイジャンパーの踏み切りにおける振上脚の動きを分析し、振上脚の役割は身体重心の垂直方向の変位を増大させ、踏み切りにおける圧力を強くすることによってキック力を増大させることであると述べている。しかし、振上脚と同じような役割を両腕も果すことができるはずである。

ここでは、第1に、両腕や振上脚などは、踏み切り足が地面から離れる瞬間の身体重心を高くするのにどれくらい役だつか、踏み切り足が地面から離れる瞬間ににおける身体重心の垂直方向の速度をできるだけ大きくするのに、どのような使い方をするのが有効か、などを明らかにしようとした。

第2に、踏み切り足が地面を離れる瞬間の身体重心の高さは、踏み切りの最終局面の振上脚や両腕の型などの他に、写真などによっては外からとらえにくい肩や胸の筋群の運動によってもちがいが生じてくると思われる。したがって、ここでは、踏み切り足が地面を離れる瞬間の身体重心を高くするためには、両腕（肩をも含む）や振上脚や上体などはどういう使い方をすると有効であるか

を明らかにしようとした。

第3に、踏み切り脚によって出し得る力に限度があるとすると、大きな衝撃力がかかる、踏み切りに移った直後の局面や踏み切りのはじめの局面では、両腕と振上脚は、踏み切り脚の負担を減少させるような使い方をする必要が生じてくる。したがって、ここでは、両腕や振上脚は踏み切り脚への負担を少なくしたり、キック力を大きくしたりなどして、身体重心の垂直方向の初速度（垂直方向の有効力積）を大きくするためにどのような使い方をすると有効であるかを明らかにしようとした。

これまで、走高跳の踏み切り技術に関する研究は、実際の試技を映画によってとらえたり、踏み切り中のキック力を力量計（ストレインゲージをセットした台）によってとらえたり、などして行なわれてきた。われわれの研究では、走高跳の踏み切りで使い得ると考えられるいくつかの姿勢および動きをモデル的に設定して試みさせ、それらの結果をもとに、身体各部位の踏み切りでの効果的な使い方への合理的な示唆を引き出そうとした。また、これらの部位が効果的に使えるようになるために、どのような動きを用い、どのような負荷をかけてトレーニングしたらよいかについての基礎的示唆をも引き出そうとした。

## II. 実験

### 実験1 膝伸展力と膝関節角度との関係、および足底屈曲力と足関節角度との関係

#### (1) 被験者

表1は、被験者の特性を示したものである。いずれも走高跳を専門とする男子競技者である。

#### (2) 実験試技

図1は、実験試技を示したものである。静的筋力トレーニングに用いるラックの基底に力量計をおき、支柱に2本のシャフトを束ねて取り付けた。被験者は力量計の上に片脚で立ち、肩を支点にして、全力で数秒間シャフトを真上に押し上げる。

膝伸展力の測定では、肩・大転子・外果を結ぶ線が測定台に垂直になる姿勢をとり、いくつかの膝関節角度にわたって実施した。

足底屈曲力の測定では、膝を伸して、肩・内側

表1 被験者の特性

被験者	年令 (才)	身長 (cm)	体重 (kg)	走高跳 (m)
A. I. *	20	173	60	1.95
M. A. *	23	170	65	2.00
T. U.	21	181	70	2.10
H. I.	20	179	64	1.95
K. N.	20	171	63	1.90

顆・第1中足骨頭を結ぶ線が測定台に垂直になる姿勢をとり、いくつかの足関節角度（足底・水平面角度）にわたって実施した。

いずれの場合にも、上体をまっすぐに伸して、決められた姿勢を正しく保つように注意させた。

#### (3) 測定項目と測定法

膝伸展力、足底屈曲力の両者とも、各関節角度で出し得るアイソメトリックな力の最大値を測定した。

力の測定には、力量計を用いた。ここでは各試技姿勢でシャフトを押し上げたとき、下に加わる力を膝伸展力、足底屈曲力とした。

関節角度の測定のために、35mm カメラを用い、側方3mの位置から撮影した。膝関節角度については、大転子・外側上顆・外果のなす角度（図1,  $\theta_1$ ）を、足関節角度については、内側顆・内果・第1中足骨頭のなす角度（図1,  $\theta_2$ ）を、かかとの上がった高さの指標とみなせる足底・水平面角度については内果・第1中足骨頭と第1中足骨頭を通る水平面のなす角度（図1,  $\theta_3$ ）を測定した。各実験試技における足底・水平面角度は、実際にには、上述の方法で求めた角度から、直立姿勢における角度を減じた値を用いた。

このほか、膝または足を外転（10°, 20°, 30°, 40°）、内転（20°）した状態での膝伸展力、足底屈曲力を、2名の被験者（表1, \*印）について測定した。

これらの実験は、1974年2月25日から4月24日にわたって行なった。

### 実験2 踏み切り足が地面から離れる瞬間の姿勢と身体重心高との関係

#### (1) 被験者

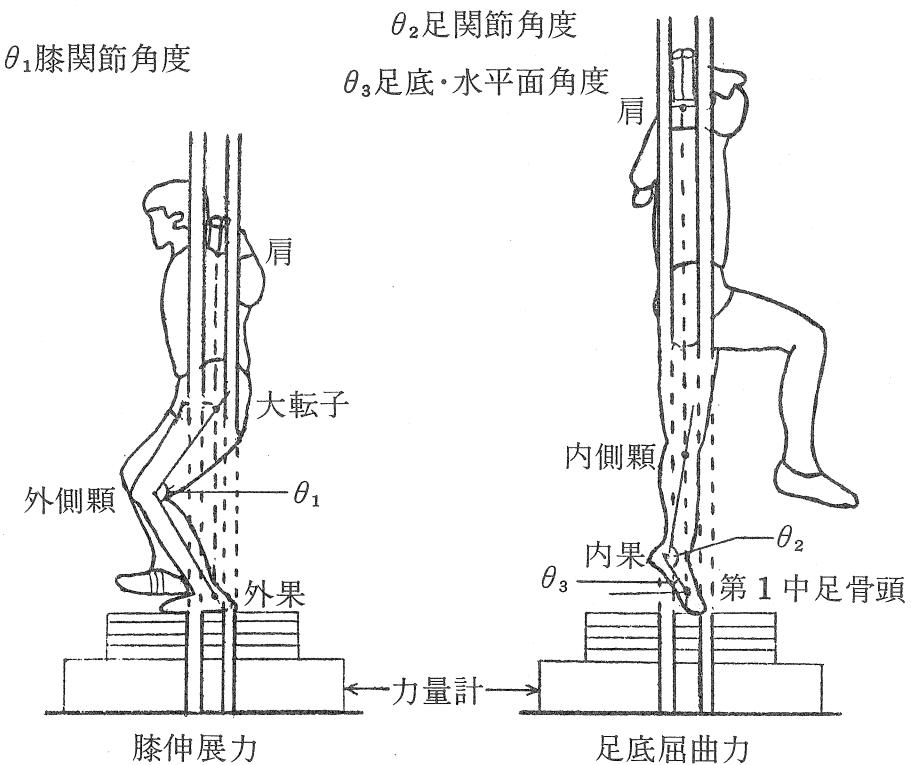


図1 膝伸展力、足底屈曲力の測定方法

表1に示す2名の被験者（＊印）を用いた。

### (2) 実験試技

表2に示すように、実験試技を大きく、基本姿勢、腕のみ、振上脚のみ、走高跳の踏み切りと関連づけた両腕と振上脚のまとまりのある使い方の四つの類型に分けて、16種を設定した。

図2の右図は、試技姿勢の1例を示したものである。被験者には重心位置測定板上で側臥位で、実験試技条件に即した静止姿勢をとらせた。頭部には重さが零とみなせる発泡スチロールをあてた。

### (3) 測定項目と測定法

各実験試技姿勢の身体重心高を測定した。図2の左図は、体重計をセットした一辺が180cmの等質の正方形板を用いた、身体重心高の測定装置を示したものである。四隅の体重計で、各実験試技時の重量と測定板のみの重量との差（ $f_0, f_1, f_2, f_3$ ）を測定し、身体重心（ $x, y$ ）を次式によって求めた。

$$x = \frac{f_1 + f_3}{w} \ell \quad y = \frac{f_2 + f_3}{w} \ell$$

$f_0, f_1, f_2, f_3$  (kg) : (実験試技時の体重計指度) - (測定板のみの体重計指度)

w (kg) : 体重

$\ell$  (cm) : 120

このようにして求めた各実験試技姿勢の身体重心位置と、直立姿勢における身体重心線が足底と直角に交わる点との距離を求め、それぞれの身体重心高とした。

つま先立ち姿勢（表2、試技2）の身体重心高の測定は、側臥位では正確にできないとみられるので、ここでは、直立姿勢での身体重心高に、つま先立ち姿勢での身長から直立姿勢での身長を引いた値を加えたものを用いることにした。つま先立ち姿勢および直立姿勢での身長の測定には、身長計を用い、5回測定してその平均値を用いた。

なお、各実験試技姿勢の良否を、測定板の真上4mの位置から確認し、ポラロイドカメラを用い

表2 踏切足が地面から離れる瞬間の各種姿勢の身体重心高に関する実験試技

	試技番号	実験試技
基本姿勢	1	直立姿勢
	2	つま先立ち直立姿勢
	3	直立姿勢で肩のみ上げている
腕	4	直立姿勢で両腕を最大限に上げている
	5	直立姿勢で両腕を理想的な型で上げている
振上	6	下腿を垂直に保ち、大腿を水平に上げている
	7	膝を伸して、脚を水平に上げている
	8	下腿を垂直に保ち、大腿を45°に上げている
	9	下腿を水平に保ち、大腿を45°に上げている
	10	膝を伸して、脚を45°に上げている
	11	下腿を垂直に保ち、大腿をできるだけ高く上げている
	12	下腿を水平に保ち、大腿をできるだけ高く上げている
轟	13	膝を伸して、脚をできるだけ高く上げている
	14	下腿を垂直に保った脚、理想的な型に保った腕をできるだけ高く上げている
	15	下腿を水平に保った脚、理想的な型に保った腕をできるだけ高く上げている
腕および脚	16	膝を伸した脚、理想的な型に保った腕をできるだけ高く上げている

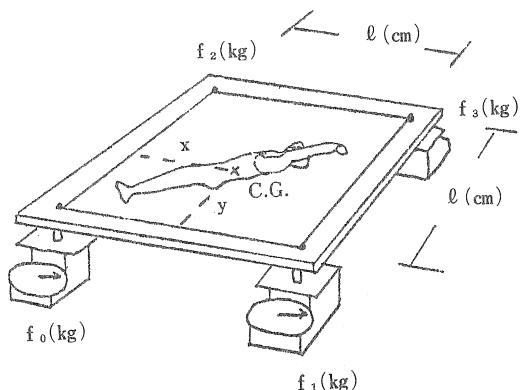
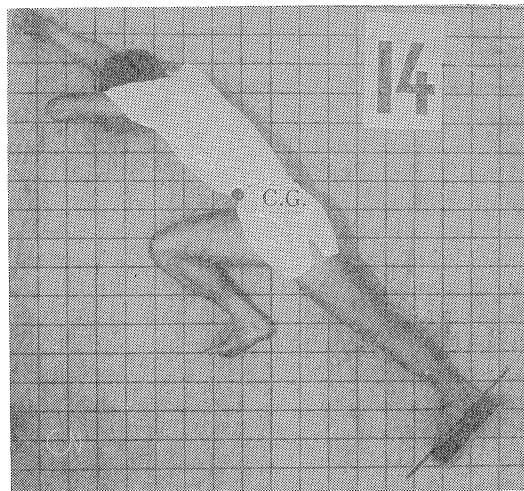


図2 正方形板を用いた身体重心位置測定装置

て撮影した。

これらの実験は、1974年4月26日に行なった。

### 実験3 腕および振上脚の各種振込動作の効果

#### (1) 被験者

表1に示す2名の被験者(\*印)を用いた。

#### (2) 実験試技

表3 腕および振上脚の各種振込動作に関する実験試技

部位	実験試技	略記
腕	両腕型—肘を伸してできるだけ大きく振り込む	両一大
	両腕型—肘を少し曲げて中間的な動きで振り込む	両一中
	ランニング型—肘を伸してできるだけ大きく振り込む	ラ一大
	ランニング型—肘を少し曲げて中間的な動きで振り込む	ラ一中
振上部	膝を曲げたまま振り上げる	膝一曲
	前半は膝を伸して、後半は膝を曲げて振り上げる	膝一伸・曲1
	水平まで膝を伸して、水平から膝を曲げて振り上げる	膝一伸・曲2
	膝を伸したまま振り上げる	膝一伸

表3に示すように、これまで、走高跳で用いられてきた腕および振上脚の使い方を、それぞれ典型的な4種類の実験試技として用いた。

腕の振込動作の試技では、直立姿勢で両脚の膝や足の曲げ伸しを使わないように、また、振上脚の振込動作の試技では、直立姿勢で両腕を胸に軽くおき、支持脚の膝や足の曲げ伸しを使わないように注意させた。

### (3) 測定項目と測定法

各種振込動作による振込部位の動きのパターンと重心の変位、地面反力などを測定した。

振込部位の動きのパターンと重心の変位の測定には、ミリケン社製16mm超高速度カメラ、NAC社製 Film Motion Analyser を用いた。側方8mより、毎秒128コマのフィルム速度でパルスジェネレーター信号(100cps)を同記するようにして撮影した。

地面反力の測定には、実験1で使用した力量計を用いた。得られた力・時間曲線から垂直方向の有効力積、身体重心の垂直方向の初速度、跳躍に役立つ高さなどを求めた。

なお、動きと地面反力の測定を同記させるために、16mm filmにはフラッシュ光を、力・時間曲線にはフラッシュのスイッチ作動時を記録した。

これらの実験は、1974年4月12日より5月15日にわたって行なった。

## III. 結果と考察

### 1. 膝伸展力と膝関節角度との関係、および足

#### 底屈曲力と足関節角度との関係

図3-(1)・(2)は、膝関節角度と出し得る力との関係を、(1)では、体重割でとらえた値で、(2)では、最大値に対する割合で、それぞれ被験者別にプロットして示したものである。

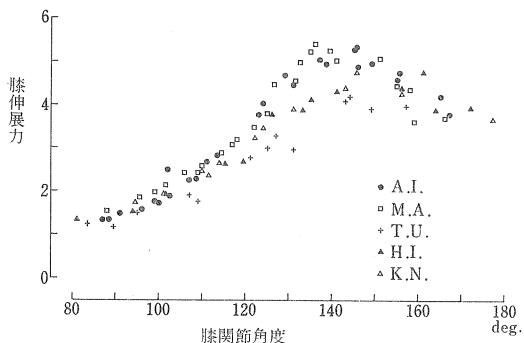


図3-1 膝関節角度と膝伸展力との関係、その1

これらの資料から得られた次の①にあげた結果を走高跳の踏み切りと関連づけると、つづいてあげる②と③の示唆を引き出すことが許されよう。

① 膝伸展力の最大値は体重の約5倍で、膝関節角度が約140°～150°で出現し、約130°より小さくなると出し得る力は著しく低下していく。

エクセントリックな筋収縮では、一般に、アイソメトリックな筋収縮よりも約30%大きな力を出すことができる<sup>7)</sup>。このことは、膝を伸す筋がエクセントリックな収縮をしている踏み切り前半では、膝伸展力は、体重割でとらえた膝伸展力に含めるべきでないとみられる支持脚の膝から下の部

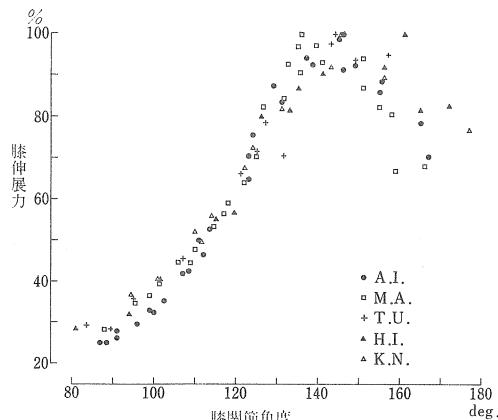


図3-2 膝関節角度と膝伸展力との関係、その2

分の重量（体重の約7.3%<sup>9)</sup>）を除いても、体重の約6倍強になることを示すものである。この推定が正しいことは、踏み切りにおけるキック力の測定に関するこれまでの研究資料によっても裏づけできよう<sup>2), 5), 8)</sup>。

膝伸展力は、膝関節角度が約140°～150°で最大になり、160°以上になると低下しているが、この低下は膝が実際にほとんど伸び切っていて、膝を力強く伸せないためとみられる。走高跳の踏み切りに移った直後の膝が伸びている段階では、膝を伸すのに働く主働筋はエクセントリックな収縮をしているし、骨によっても衝撃力を受けとめているとみられるので、実際にはより大きな力を出し得ることは、これまでの研究からも明らかである<sup>2), 5), 8)</sup>。

② 走高跳の踏み切りでは、膝関節角度が約130°以下になるまで膝を曲げることは不利になる。

走高跳の踏み切りでは、踏み切り脚によって出し得る力が大きいほど、助走によって生み出される水平方向の運動量（助走スピード）をより多く利用できる。したがって、技術的に、大きな助走スピードを利用しようとする場合には、膝曲げの程度は最大に近い力を出し得る範囲にとどめなければならないことになる。

助走スピードを最大限に利用しようとする走高跳の踏み切り技術と助走を最大限に利用しない場合や助走を使わないその場からの垂直跳における踏み切り技術との決定的なちがいの一つは、膝の

曲げ伸しの範囲の大小にあると言つてよい。

③ 跳能力を高めるには、体重割でとらえた膝伸展力を増大させなければならない。

走高跳競技者が助走スピードを十分に利用して踏み切れるかどうかは、体力的には、何より体重割でとらえた膝伸展力によって決つくると考えられる。踏み切り前半では膝を伸すのに働く主働筋はエクセントリックな収縮をしているので、筋力トレーニングでは、エクセントリックな収縮の中で大きな力を出すようにする運動（たとえば、反動的に行なうスクワット、など）をも取り入れる必要があろう。

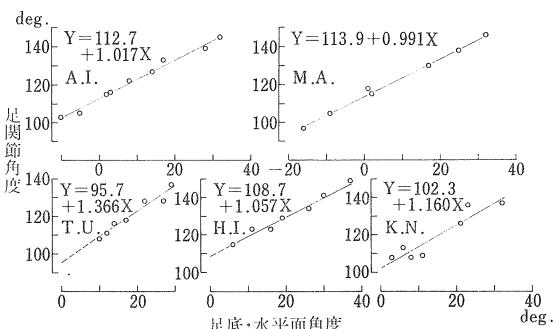


図4 足底屈曲力測定時における足底・水平面角度と足関節角度との関係

図4は、足底屈曲時の足底面と水平面のなす角度（測定姿勢の内果・第1中足骨頭・水平面のなす角度から直立姿勢の角度を減じた値）と足関節角度との関係を示したものである。この図から、足底面と水平面のなす角度と足関節角度との間に直線的関係のあることがわかる。走高跳では、かかとが地面から離れるときから足首を伸す力（足底屈曲力）が要求されることになるので、本研究では、主に、足底屈曲力を足底面と水平面とのなす角度と関連づけて考察していくことにする。

図5-(1)・(2)は、足底屈曲力を、(1)では、足底面と水平面のなす角度と、(2)では、足関節角度と関連づけて示したものである。

図6-(1)・(2)は、足底屈曲力が足関節角度の変化とともにどう変化するかを、膝伸展力の最大値に対する割合でとらえて示したものである。(1)では、足底面と水平面のなす角度と、(2)では、足関節角度と関連づけて示した。

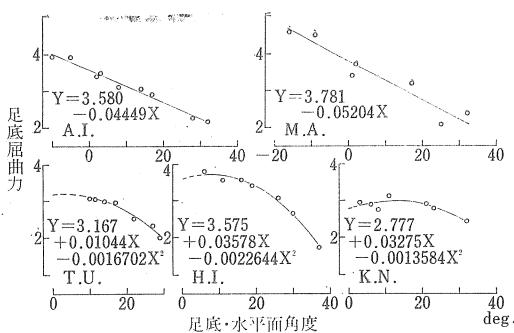


図5-1 足底・水平面角度と足屈曲力との関係、その1

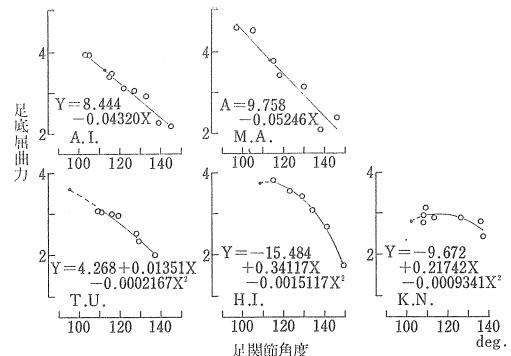


図5-2 足関節角度と足底屈曲力との関係、その1

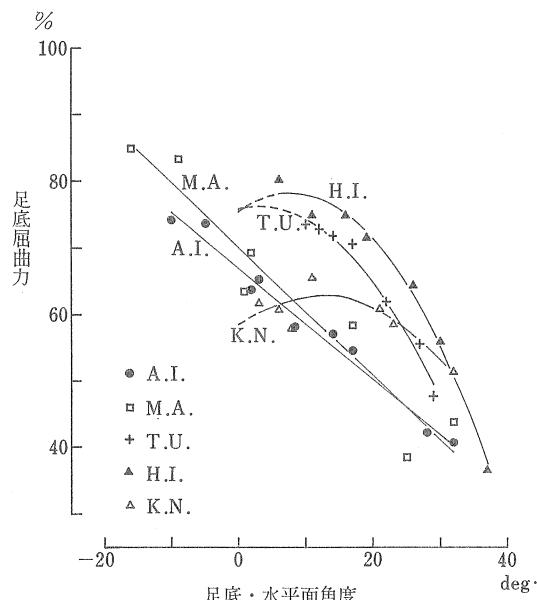


図6-1 足底・水平面角度と足屈曲力との関係、その2

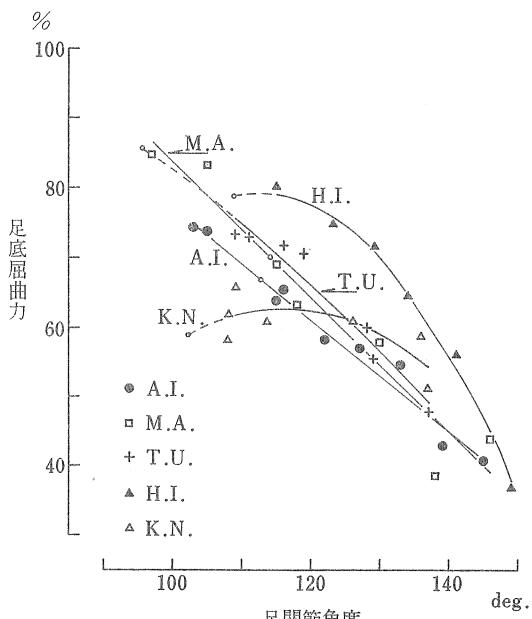


図6-2 足関節角度と足底屈曲力との関係、その2

図5-(2)に示す●印、図6-(2)に示す○印は足底・水平面角度が0°の場合を示す。これらの資料から得られた次の①にあげた結果を、走高跳の踏み切りと関連づけると、つづいてあげる②と③の示唆を引き出すことが許されよう。

① 足底屈曲力の最大値は、体重の約3～4倍で、膝伸展力の最大値の約70～80%である。

足底屈曲力は足底面と水平面とのなす角度が約20°(足関節角度約125°)以上になると著しく低下していく。

足底屈曲力は、足底・水平面角度(足関節角度)

が変わるにつれてどのように変わっていくかには、被験者A.I.とM.A.の場合と被験者T.U., H.I., K.N.の場合ではかなり異なった傾向が見られる。その主な原因が足関節を中心とする形態差や筋の付着部位のちがい、などから生じたものか、後者の被験者たちは力の出し方のこつがつかめないでいたことにあるのか、などは明らかでない。

なお、足底屈曲力と膝伸展力を比較する場合には、踏み切り時に足首を伸す動きには、エクセントリックな筋収縮による局面がみられないことに

注意しておく必要がある。

- ② 膝を伸すタイミングよりも足首を伸すタイミングをおくらせなければならない。

足首を伸しはじめる（かかとを上げる）タイミングが膝を伸しはじめるタイミングと同時に、地面への圧力は、より小さいほうの足首を伸すようにして出し得る力にとどまってしまう。したがって、足首を伸すタイミングは、より大きな力の出せる膝を伸すタイミングよりもおくれなければ踏み切り脚は効果的に使えないことになる。

- ③ 跳能力を高めるには、体重割でとらえた足底屈曲力を増大させなければならない。

この示唆は、走高跳競技者が助走スピードを十分に利用して踏み切れるかどうかは、膝伸展力とともに、足底屈曲力が大きく影響してくることから得られたものである。

図7は、アメリカのマツドルフ選手（最高記録2m29）の、踏み切りにおける膝および足関節角度などの変化を示したものである。分析には、1974年3月に行なわれた室内陸上競技会で2m16をクリアーした試技を踏み切り地点の側方30mからフォートソニック社製の16mm超高速度カメラを

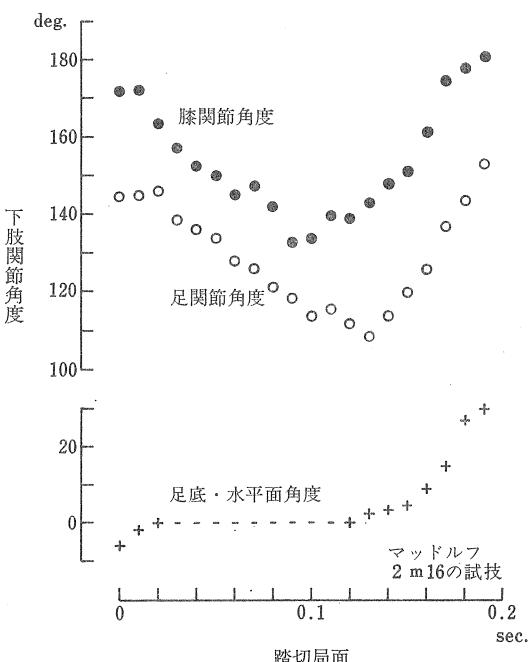


図7 走高跳の踏切における下肢関節角度の変化

用いて毎秒 100 コマで撮影したフィルムを用いた。

マツドルフ選手の踏み切り中の膝および足関節角度などの変化についてみると、エクセントリックな筋収縮からコンセントリックな筋収縮に変わって膝を伸すようにして大きな力を出していると見られる踏み切り開始後0.09秒の時点では、かかとは完全に地面に接触している。また、最も深く膝の曲がったこの時点での膝関節角度は約135°である。このことは、図3からもわかるように、0.09秒までの時点までは、マツドルフ選手の踏み切り脚は、ほぼ最大に近い力を出し得る範囲にあることを示している。

かかとが地面との接触をたつ、踏み切り開始後0.13秒の時点では、膝関節の角度はまだ約140°である。したがって、足底屈曲力が膝伸展力より弱いことを考えると、かかとを上げるタイミングが少し早すぎると言えるかも知れない。しかし、マツドルフ選手のかかとは、0.13秒～0.15秒までの間はわずかしか上がっていない。このことは、足首は最大に近い力を出し得る状態にあることを示すもので、かかとを上げるタイミングは必ずしも早くないことを示しているとも考えられる。これらの点についての詳細な検討は、今後の研究に待つほかはない。

図8は、膝伸展力および足底屈曲力が、膝および足を外転あるいは内転した(ひねった)状態のもとでは、ひねりの角度の変化にともなってどのように変化していくかを、上図では、膝伸展力および足底屈曲力の実測値を体重で除した値で、下図では、それぞれを内転・外転角度0°に対する割合で示したものである。

この資料から得られた次の①にあげる結果を、走高跳の踏み切りと関連づけると、つづいてあげる②の示唆を引き出すことが許されよう。

- ① 膝伸展力あるいは足底屈曲力は、膝および足をそれぞれ約 20° 外転あるいは内転させる範囲内ではほぼ同じである。
  - ② 現在、一流選手の踏み切りに見られる膝および足のひねりの角度の範囲内では、どの種のフォームの場合でも、膝および足の出し得る力には影響はない。

しかし、膝や足首がひねられた状態で踏み切る

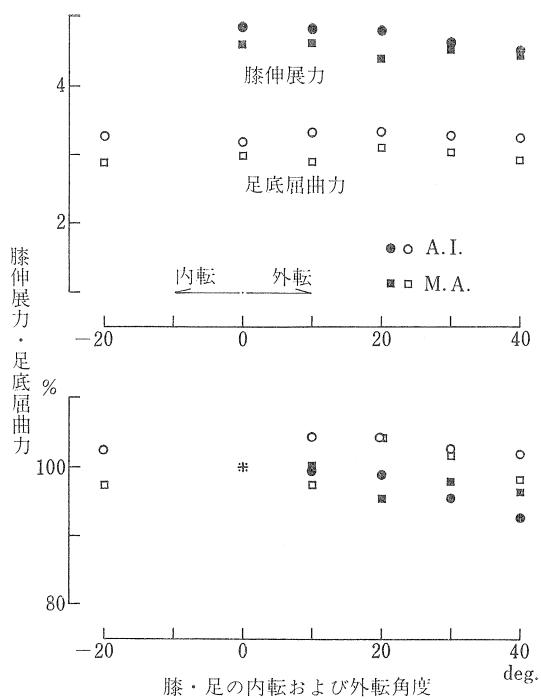


図8 膝・足の内転・外転(ひねり)角度と膝伸展力、足底屈曲力との関係

ことは少なくとも、不利になんて有利にはならないことを知っておく必要があろう。

## 2. 踏み切り足が地面から離れる瞬間の姿勢と身体重心高との関係

図9は、16種の実験試技姿勢での身体重心高を、上図では、実数値で、下図では、直立姿勢の身体重心高に対する割合で示したものである。

図10は、直立姿勢の身体重心高と各姿勢の身体重心高の差を、上図では、実数値で、下図では、それらを身長に対する割合で示したものである。

これらの資料から得られた次の①、②、③にあげた結果を、走高跳の踏み切り足が地面から離れる瞬間の姿勢と関連づけると、つづいてあげる④、⑤の示唆を引き出すことが許されよう。

① 両腕を肩や胸の筋群をも含めて最大限に上げた場合(図9、10、試技4、5)の重心高は、直立姿勢の場合よりも8cm高くなる。

上記の値は、振上脚の膝を曲げた状態でできるだけ高く上げた場合(図9、10、試技11)とほぼ同じである。このことは、両腕の質量による影響

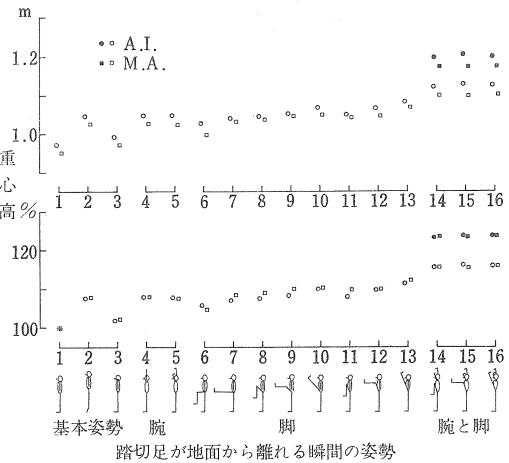


図9 踏切足が地面から離れる瞬間の各種姿勢の身体重心高

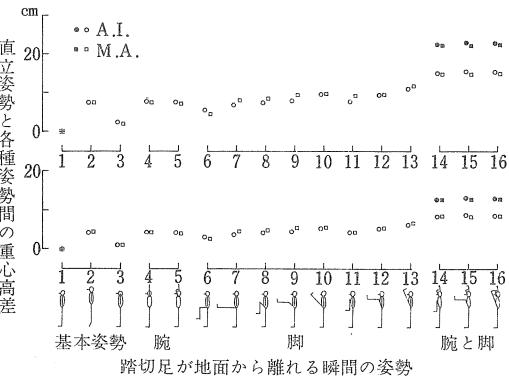


図10 踏切足が地面から離れる瞬間の各種姿勢と直立姿勢の身体重心高差

のみでなく、両腕とともに肩や胸の筋群も上にあがってくるためと考えられる。したがって、この結果は、両腕は、踏み切り足が地面を離れる瞬間の身体重心を高くするために、振上脚に匹敵する効果が引き出せることを示す基礎的資料と見ることが許されよう。

② 振上脚の膝を曲げた場合(図9、10、試技11)と膝を伸した場合(図9、10、試技13)では、身体重心高には約3cmの差がある。

この結果は、踏み切り時間に制約のある走高跳の踏み切りでは、最後までできるだけ膝を伸して振り上げるほうが有利か不利かについては、一流選手の場合にさえも、問題があることを示唆している。

③ 踏み切り足が地面から離れる瞬間のタイプのちがう3種類の姿勢(図9, 10, 試技14, 15, 16)についてみると、いずれも利得の高さは23cmで差がない。利得の高さは、被験者の直立姿勢の身体重心高に対する割合でとらえると約23%, 身長に対する割合でみると約13%に相当している。

3種類の姿勢の中でも試技14と16の身体重心高には、試技11と13の比較からわかるように、理論的に約3cmの差があるべきはずであるのに、その差が認められなかった。このことは試技16の姿勢のとり方が悪かったことに原因があったと見られるが、両腕と振上脚を同時に上げる場合には、振上脚の膝を曲げたほうが、からだ全体をまっすぐ上方に伸しやすいうことも影響しているとも考えられる。

④ 踏み切りの最終局面では、両腕を胸・肩の筋群をも含めて十分に上にあげるようにすることがきわめて重要である。

⑤ 高度にトレーニングされた男子一流選手では、振上脚の膝を振り上げの最終局面において、深く曲げることは不利になるが、女子ではかなり深く曲げるほうが有利になろう。

それは、女子選手では、振上脚を、膝を伸した状態で、踏み切り中にスピーディに高くまで振り上げるのに要求される筋力・パワーに劣るからである。

### 3. 腕および振上脚の各種振込動作の効果

図11は、立位姿勢で行なった両腕および振上脚による各種の振込動作とそれらによって生み出された垂直方向の有効力積、身体重心の初速度、跳躍に役だつ高さなどとの関係を示したものである。

図12-(1)-(2)は、両腕および振上脚による各種振込動作のパターン、振込動作を行なっている部位の重心の変位、振込動作による垂直方向の地面反力、などを示したものである。それぞれの振込部位の振込動作のパターン、重心の変位などは、実際の走高跳で踏み切りに移った瞬間から踏み切り足が地面から離れる瞬間にあたるとみなすことのできる時点までを実験試技のフィルムより判断して決め、その間の動きの変化を5コマ毎にとらえて示したものである。スティックダイアグラム中

の数字はフィルムのコマ数を表わし、○印はそれぞれに対応する重心位置を、●印は地面反力からとらえた重心変位の最下点にあたる重心位置を示したものであり、力・時間曲線中のS, ○, ●, ●印はスティックダイアグラム中のそれらに対応している。また、地面反力の基線は体重を、横線部は垂直方向の有効力積となる部分を示している。

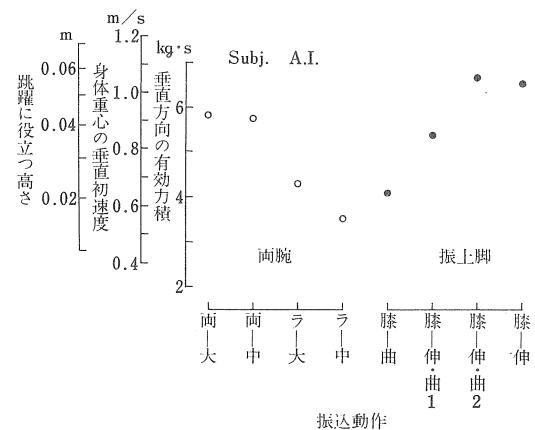


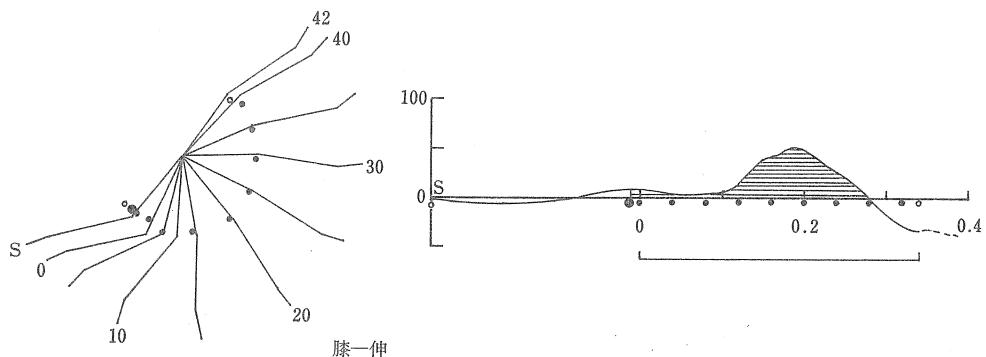
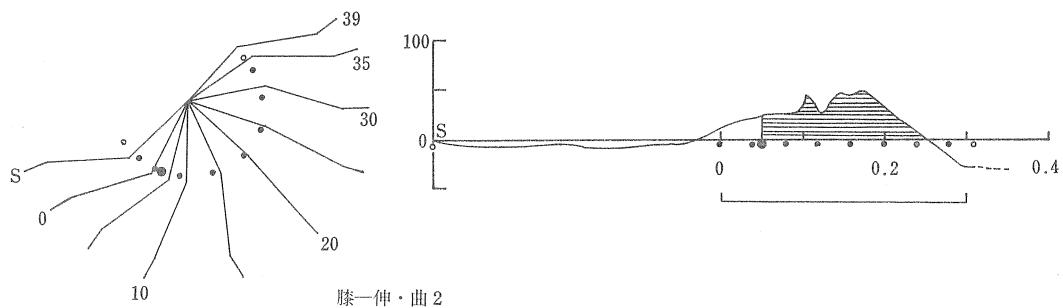
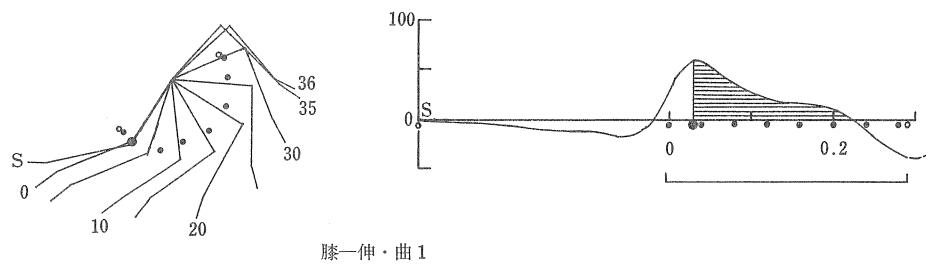
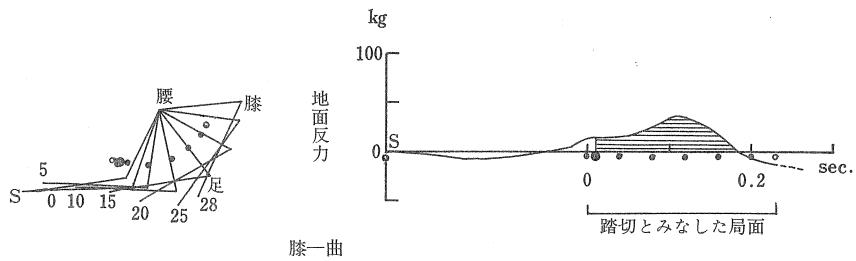
図11 両腕・脚の各種振込動作の効果

#### (1) 腕の振込動作について

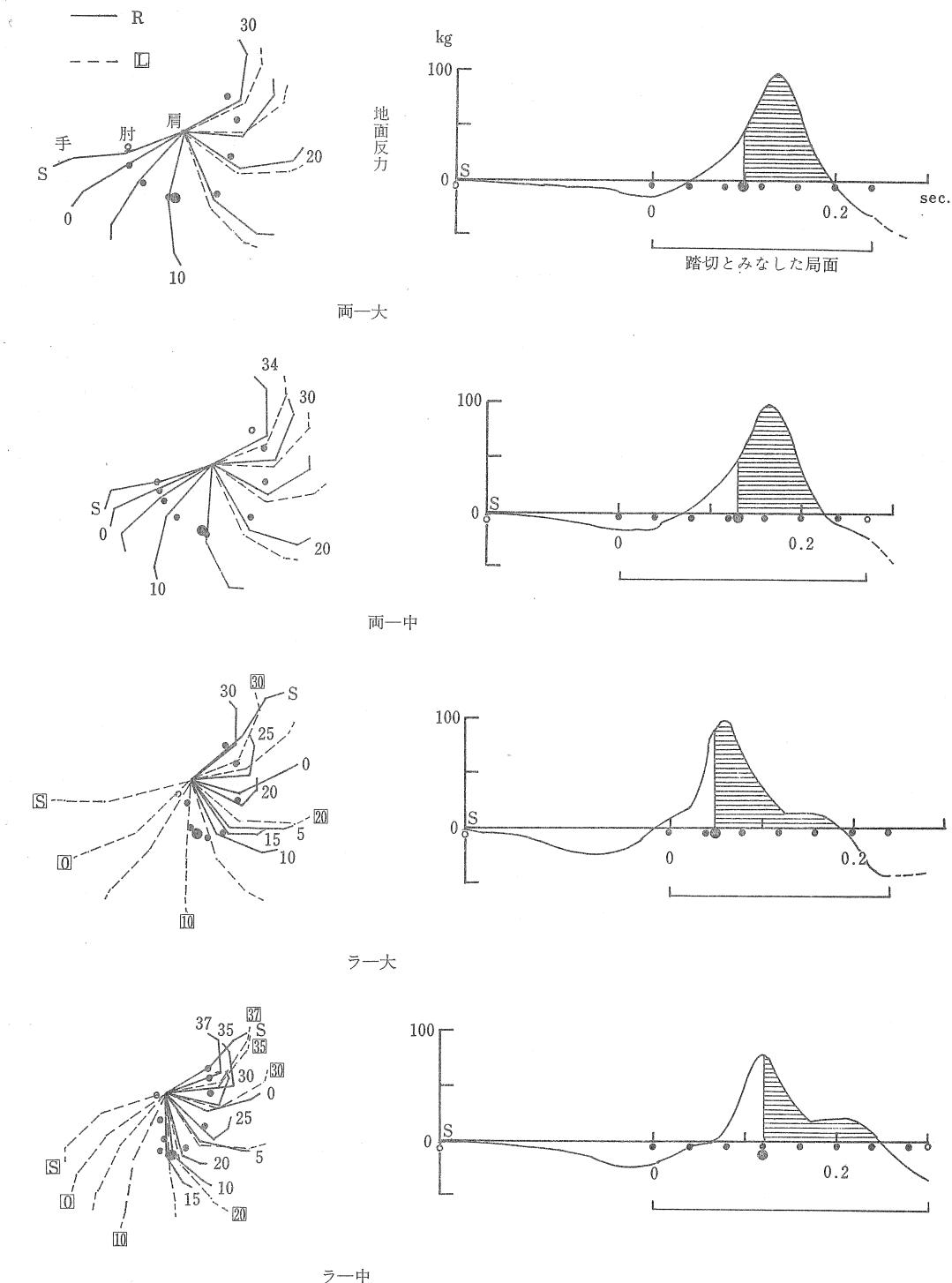
図11, 12-(1)から、得られた次の①, ②の結果を走高跳の踏み切りと関連づけると、つづいてあげる③の示唆を引き出すことが許されよう。

① いずれの試技の場合にも、両腕を下に振り下げる局面で、地面反力は体重以下になる(図12)。

このことは、踏み切りに移った直後の衝撃力を小さくするのに両腕が使えることを示すものである。この実験試技条件のもとでは、両腕型よりも、上から下への動きの大きいランニング型が、垂直方向の衝撃力を柔げるのに有効であるとの傾向が見られた。しかし、実際の走高跳の踏み切りでは、水平方向の衝撃力の緩衝効果についても考慮する必要がある。このような効果は、この実験試技ではとらえられないが、振込部位の重心の軌跡から見て両腕型がより有効であるとみられる。また、踏み切りで水平方向の運動量を垂直方向に変えるためのブレーキ(踏み切りにおける水平方向の力積)が小さくてすむという点でも両腕型がすぐれているとみられる。



振上脚の各種振込動作  
図12-2 振上脚の各種振込動作と力・時間の曲線



両腕の各種振込動作  
図12-1 両腕の各種振込動作と力・時間曲線

② 垂直方向の有効力積、身体重心の初速度、跳躍に役立つ高さなどは、両一大、両一中、ラ一大、ラ一中の順に大きくなっている。両腕型の有効力積、などがランニング型より大きいことには、図12-(1)の両一大、両一中とラ一大、ラ一中を比較するとわかるように、両腕型ではランニング型の場合よりも、振りの前半・中半で得られる振りの角運動量のより大きいことが、振りの後半での腕の上方への動きをより速くするのに役立っていると考えられる。

③ 踏み切り足が地面から離れる瞬間における身体重心の垂直速度を大きくするには、一般に、両腕型はランニング型よりも有効である。

#### (2) 脚の振込動作について

図11、12-(2)から得られた次の①、②の結果を走高跳の踏み切りと関連づけると、つづいてあげる③の示唆を引き出すことが許されよう。

① 振上脚の振り上げでは、この脚が前下に下がる局面で、地面反力は体重以下になってしまる。

このことは、振上脚を、踏み切りに移った直後に生ずる衝撃力を小さくするのに使えることを示すものである。この実験試技条件のもとでは、膝を曲げたままで前に振り出すよりも、膝を伸して前に振り出すほうが、衝撃力を小さくするのに有効であることがわかる。膝を伸して頭上まで振り込んだ場合に、振込のはじめの局面で、地面反力が体重以下になる現象のあらわれ方が少なかったのは、資料として用いた実験試技の場合には、この局面での動きの速度が特に小さかったことが原因していたとみられる。

② 垂直方向の有効力積、身体重心の初速度、跳躍に役立つ高さなどは、膝一伸、曲2、膝一伸、膝一伸、曲1、膝一曲の順にすぐれている。膝一伸曲2の場合には、跳躍に役立つ高さは6cm弱である。

踏み切り前半および中半までは膝を伸して振り上げると、有効力積が大きくなることには、振りのモーションがより大きく、速くなり、ここで生み出すことのできる角運動量の大きくなることが原因している。また、膝一伸の場合よりも膝一伸・曲2の場合の有効力積がいくらか大きいことに

は、踏み切りの終りの局面で膝を曲げることは、振上脚の重心の垂直方向での速度を増すのにプラスになることが原因しているとみられる。

踏み切りの前半・中半で、膝を伸すこととは、踏み切り中に身体重心の通るコースが円弧をえがくようによることである。このことは、踏み切りで助走によって生み出された水平方向の運動量を垂直方向に変えるためのブレーキ（踏み切りにおける水平方向の力積）が膝を曲げている場合よりも小さくてすみ、したがってより大きな助走スピードの利用できる動きであることをも意味している。

③ 踏み切り足が離れる瞬間における垂直速度を大きくするには、振上脚は、振り上げの前半や中半では膝を伸すようにし、後半で膝を曲げるようによることが有効である。

振上脚の振り上げの速度が小さい初心者や女子の選手では、いくらかより早く、いくらかより深く膝を曲げる必要があろう。

## IV. 結論

### 1 実験結果について

実験結果に関連して次のいくつかを結論として引き出すことが許されよう。

① 踏み切り中に出し得る膝伸展力は、一流競技者の場合でも、体重の約6倍にとどまると推測される。膝伸展力は膝関節角度が約140°～150°で最大になり、約130°より小さくなると著しく低下する。

② 踏み切り中に出し得る足底屈曲力の最大値は、一流競技者の場合でも、体重の約4倍にとどまると推測される。足底屈曲力は、かかとが上がるにつれて小さくなる。

③ 膝伸展力および足底屈曲力は、膝および足が外転あるいは内転した状態にあっても、これまで一流ジャンパーのフォームに見られる範囲内であれば、出し得る力にほとんど影響がない。

④ 両腕は、踏み切り足が離れる瞬間における身体重心を高くするために、振上脚とほぼ同じ効果をあげることができる。両腕と振上脚およびかかとを上げることによって得られる効果は、身長の約13%に相当する。

- ⑤ 踏み切り足が離れる瞬間における身体重心を高くするためには、振上脚の膝を伸したほうがわずかに有利であるが、膝を曲げたほうがからだをよく伸しやすいという長所が伴うとみられる。
- ⑥ 両腕をそろえて後上方から前下に、ついで前上、上へと振り上げる両腕型の振込動作は、ランニング型の振込動作よりも踏み切り足が地面から離れる瞬間における垂直方向の速度を大きくするのに、また踏み切りに移った直後の衝撃力を小さくするのに有効である。
- ⑦ 振上脚の膝は、踏み切りの前半・中半では、曲げるようとするよりも伸すようとするほうが踏み切り足が地面から離れる瞬間における垂直方向の速度を大きくするのに、また踏み切りに移った直後の衝撃力を小さくするのに有効である。踏み切りの最終局面では、振上脚の膝を曲げるほうが、一般に有利であるとみられる。
- ⑧ 両腕および振上脚の振込による跳躍に役立つと見られる高さは、振上脚が両腕よりわずかに大きい。

## 2 技術とトレーニングについて

結果と考察をもとにすると、走高跳におけるあるべき踏み切り技術やトレーニングに関連して、次のいくつかの示唆を引き出すことが許されよう。

- ① 踏み切りでは、かかとをあげて足首を伸していくタイミングは、膝を伸しあじめるタイミングよりもおくらせるべきである。
- ② 両腕振込型がすすめられる。踏み切りに移る前に、両腕を後上方に十分にあげておき、前下へ大きなモーションで振り下げながら踏み切りに移り、踏み切り後半では前上から上への動きを強調して十分に高くまで振り上げるべきである。
- ③ 振上脚の膝は、踏み切り前半と中半、とくに前半では十分に伸すようにして振り上げるべきである。踏み切りの最終局面では、一般に、膝を曲げることがすすめられる。初心者や女子の競技者ではいくらか早目に、いくらかより深く曲げることがすすめられよう。

- ④ 上にあげた②、③の動きを可能にするためにも、踏み切り準備では十分に腰を沈め、十分にからだを後に倒して踏み切りに移るようしなければならない。
- ⑤ ②・③・④の動きは、中学や高校の初心者の段階において、補助運動などによって計画的に徹底して身につけておくようにすべきである。
- ⑥ 踏み切り準備で十分に腰を沈めた走り方ができるようになるには、たとえば、リラックスした短距離疾走中に極端に腰を下げて数歩走るというような特別の練習手段を工夫する必要がある。
- ⑦ 跳能力を高めるには、体重割でとらえた膝を伸す力、足首を伸す力を大きくしなければならない。膝を伸すのに使われる筋はエクセントリックな収縮による筋力トレーニングによっも強化していく必要があろう。

## 参考文献

- 1) Dyatchkov, V. M. (J. Dobroth により英訳) ; High Jumping, Track Technique, No. 36, P. 1123～1157, 1969.
- 2) Dyatchkov, V. M. (J. Hay により英訳) ; The High Jump, Track Technique, No. 34, P. 1059～1075, 1968.
- 3) Dyson, G. H. G. ; The Mechanics of Athletics, P. 139～156, University of London Press Lt. T. D., 1970.
- 4) Hay, J. G. ; The Hay Technique-Ultimate in High Jump Style ?, The Athletic Journal, Vol. 53 (7), P. 46～48, P. 113～115, 1973.
- 5) Hay, J. G. ; An investigation of take-off impulses in two styles of high jumping, Res. Quart., Vol. 39, P. 983～992, 1968.
- 6) 金原 勇他；図説 陸上競技事典（上巻），P. 52～54，講談社，1971。
- 7) 金原 勇，高松 薫，渋川侃二；筋の力の出し方に關する基礎的研究（その2）—技術やトレーニングから見た Eccentric な筋力の特性について—，東京教育大学体育学部スポーツ研究所報，第8巻，P. 26～52, 1970.
- 8) 金原 勇，渋川侃二，大西曉士，三浦望慶；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跳躍について—，東京教育大学体育学部スポーツ研究所報，第4巻，P. 32～50, 1966.
- 9) 松井秀治；運動と身体の重心，P. 33，体育の科学社，1958.

