

# 走り幅跳びにおける最適踏切角の検証

Validation of the optimum takeoff-angle in long jump

飯田 良 (発表者)

坪井一洋 (指導教官)

## 1. はじめに

走り幅跳びは、「より遠くへ跳ぶ」ことを競い合う競技であり、その動作局面は、助走、踏切、空中、着地の4局面からなる。このとき、その跳躍距離  $L$  は踏切距離  $L_1$ 、空中距離  $L_2$ 、着地距離  $L_3$  に分けられる。このうち  $L_1$  と  $L_3$  は体長と姿勢によって決まる変数で跳躍距離にあまり影響を及ぼさない。一方、 $L_2$  は重心の空中移動距離であり、 $L$  において 90% の割合を占める [1]。

ジャンパーの踏み切り後の身体重心は決まった一定の放物線を描き不変であるため、跳躍距離を最大にする最適踏切角が存在するはずである [2][3]。助走を考慮しなくても良い立ち幅跳びの場合は一般に最大投射角（真空中）である 45 度を最適踏切角の目安にしてよいが走り幅跳びのように助走を伴う場合このような角度で跳躍距離をのばすことは不可能である [4]。

本研究では、実測値と最適踏切角の理論値とを比較することで走り幅跳びの踏み切りについて検証することにより、将来の記録向上のための指針を得ることを目的とする。

## 2. 走り幅跳びの力学

走り幅跳びの跳躍は、空中初速と離陸時の身体重心の角度および高度によって決まる。空中においては、もはや助走と踏切によって得られた跳躍軌道に作用を及ぼすことはできない。空中動作は、バランスの維持と、できるだけ遠方に足跡をつけられるように着地前にもっとも有利な姿勢をとるのを助けるだけである。そのためにジャンパーは足裏を高くかつ前方へ突き出す [5]。

今回、走り幅跳びの跳躍軌道を考えるにあたって、対象であるジャンパーを一つの物体と

見立てることにより質点の運動方程式を適用することにする。これは、跳躍距離の善し悪しはほとんど踏み切り時の角度で決まってしまうといわれており [2][6][7]、厳密に空中動作や着地時の足の位置など考慮に入れてしまうとジャンパーの関節などの角運動量なども関係し、計算が複雑になるためである。したがって、空中動作をそれほど重要視する必要はないと考えることができるので考えからはずすこととする。よって、動作の点においてジャンパーはほぼ理想的な跳躍を行うものとする。

空気中を運動する物体に働く抵抗の大きさは、一般に速度の自乗に比例することが知られている。したがって、空気抵抗と重力が働く質点の運動方程式は次式であらわされる [3]。

$$\begin{cases} M \frac{du}{dt} = -k(u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} u \\ M \frac{dv}{dt} = -k(u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} v - Mg \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $(u, v)$  は質点の速度ベクトルであり、 $u$  は水平方向、 $v$  は鉛直方向速度をあらわす。 $M, g, k$  はそれぞれ質点の質量、重力加速度、空気抵抗の比例係数をあらわす。なお、空気抵抗に関しては、これを考慮せずに踏切初速度から空中の移動距離を推定する場合、0.09~0.11 m 程度の過大評価が生じることが指摘されている [1]。

踏切時において踏切角は、助走を阻止する踏み切りによって生じる垂直速度と関係する。踏み切りによる水平速度の阻止の度合いによって踏切角は変化し跳躍距離に影響を及ぼす [2]。

ここでは、Fig. 1 に示すようにジャンパーが速度  $V$  で助走し速度  $w$ 、角度  $\theta$  で踏み切ると考える。このとき、初速  $u_i$  および  $v_i$  は次式で

あらわされる .

$$\begin{cases} u_i = w \cos \psi + V \\ v_i = w \sin \psi \end{cases} \quad (2)$$

そして、この場合の最適踏切角  $\psi$  は次式であらわされる[3] .

$$\psi = \cos^{-1} \left[ \frac{V}{4w} \left\{ -1 + \left( 1 + 8 \left( \frac{w}{V} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \right] \quad (3)$$

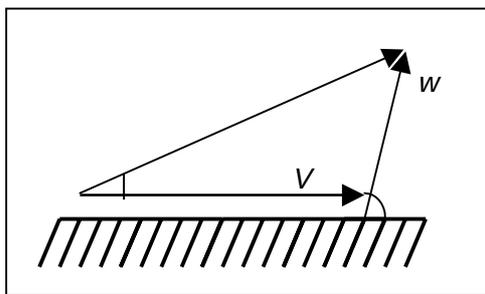


Fig. 1 踏み切りモデル

### 3 . 軌道計算

前述の質点の運動方程式 ( 1 ) をもとに実際の跳躍軌道を計算するプログラムをC言語で作成した . ここでの数値積分には Runge-Kutta-Gill 法を用いた .1968 年のメキシコ・オリンピックで記録された , ビーモン選手 (アメリカ) の実測値である . 初期値として , 水平初速度が 8.8 [ m ] , 鉛直初速度は 3.9 [ m ] とした[1] . 計算された跳躍軌道を Fig. 2 に示す .

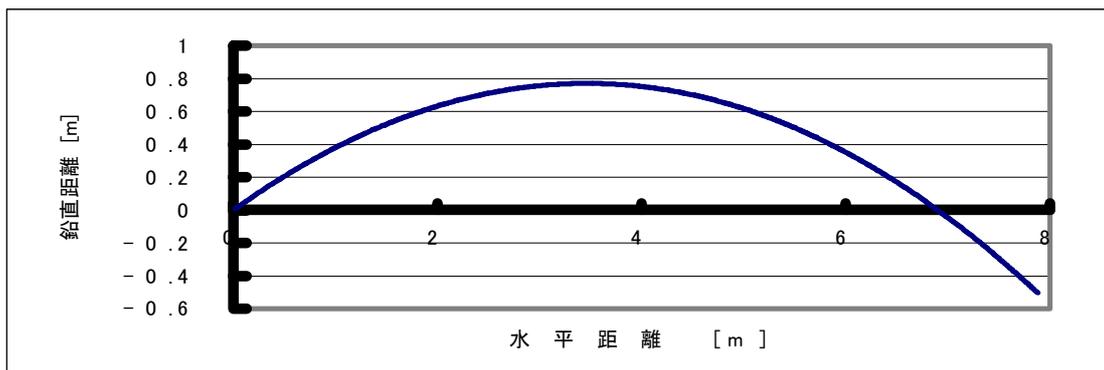


Fig. 2

### 4 . まとめと今後の課題

今回は、各文献から走り幅跳びに関する様々な実測値を探した . その値と質点の運動方程式をもとにしてC言語のプログラムを作成し、跳躍の軌道計算を行った .

今回、文献として示したいいくつかの資料に基づいて走り幅跳びの力学に関する知見を得ること同時に多くの実測値を得た .

今後は、これらの実測値を最適踏切角の理論値を比較することで、各々のジャンパーが最適な踏み切りを行ったかどうかを検証し、走り幅跳びの踏み切りについて力学的考察を与える .

### 参考文献

- [1] 深代千之：跳ぶ科学，大修館書店，(1990) .
- [2] 岡野進：走幅跳・三段跳，バーズ・マガジン社，(1989)，pp.22 25 .
- [3] 坪井一洋：走り幅跳びの踏切における最適角について，日本応用数学会論文誌 Vol.6,No.4，(1996) .
- [4] 金原勇ほか：陸上競技の力学，大修館書店，(1975)，pp.174 184 .
- [5] 小野耕三 訳：陸上競技トレーナー用教科書，バーズ・マガジン社，(1978)，pp.315 330 .
- [6] 深代千之：走幅跳と三段跳の Biomechanics, J.J.Sports Sci., 2-8,(1983),pp.600 613.
- [7] 浅川正一，古藤高良：写真と図解による陸上競技，大修館書店，(1983) pp.112 113 .