

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)

We present mechanical investigation of the takeoff-angle in long jump based on several measured data and the optimum value. The effect of air resistance to the jump distance and the optimum angle of takeoff for some famous jumpers are clarified. The development of world records in the next decade is also predicted.

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、その跳躍距離は踏切距離、空中距離、着地距離に分けられる。このうち踏切距離と着地距離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、空中距離は重心の空中移動距離であり、跳躍距離において約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である45度(真空中)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 [4,5,8]。

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いるためである [2,6,7]。そのため、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。

空気中を運動する質点に空気抵抗と重力が働く場合の運動方程式は次式で表される [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 は鉛直方向速度を表す。 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表す。

また、踏み切りは Fig.1 に示すようにジャンパーは速度 V で助走し速度 w 、角度 θ で踏み切ると考える。

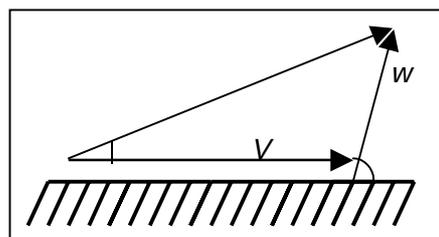


Fig.1 踏み切りモデル

3. 空気抵抗による影響

ビーモン選手の実測値 [5,9] をもとに質点の運動方程式を用いて平地、高地、空気抵抗なしの各条件下での跳躍距離を Table 1 にまとめる。その際、重心の低下による影響も考慮した [10]。

Table 1 空気抵抗と重心低下による跳躍距離の影響

	平地条件	高地条件	抵抗なし
重心低下 0.5	8.74	8.78	8.89
重心低下 0.6	8.92	8.97	9.07

(単位: m)

表から、空気抵抗の有無で見ると跳躍距離に約10cm程度の差が出てくる。しかし、平地、高地条件で比較するとその差は約3cm程となる。この差は世界記録となると大きく感じられるが、実際問題として空気抵抗はさほど影響がないものと考えられる。それよりも着地時に重心低下が10cm大きくなると跳躍距離が約20cm伸びることがわかる。このことは重心低下が跳躍距離により大きな影響を及ぼすものと思えることができ、各ジャンパーの技量に左右されると思われる。

4. 最適踏切角について

踏切角は以下の式によって求めることができる。

$$\Psi = \Psi_0 + \alpha \frac{V^2}{g} \Psi_1 \quad (2)$$

ここで、 α は単位質量あたりの抵抗係数、 g は重力加速度である。

$$\Psi_0 = \cos^{-1} \left[\frac{V}{4w} \left\{ -1 + \left(1 + 8 \left(\frac{w}{V} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \right] \quad (3)$$

$$\Psi_1 = \frac{1 - 2 \left(\frac{w}{V} \right)^2}{15} - \frac{1 + 2 \left(\frac{w}{V} \right)^2}{15 \left\{ 1 + 8 \left(\frac{w}{V} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

また、文献[3]より着地時に重心が50cm下がる最適踏切角が5度程度小さくなると述べられている。そこで、Fig. 2にビーモン選手の実測値[5,9]を例にして踏切角による空中距離をまとめる。

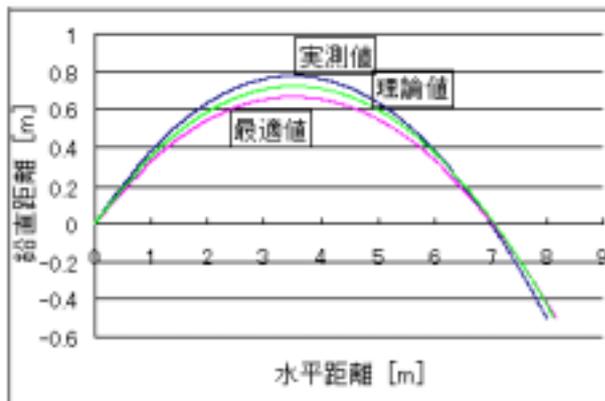


Fig. 2 ビーモン選手の空中距離

この結果を見ると実測値(7.99m)、理論値(8.12m)、最適値(8.16m)の順に空中距離が伸びている。このことから、実際のビーモン選手は最適角よりも高くジャンプしていたと考えることができる。今回実測値を集めた他の選手においてもこれと同様の結果となった。

5. 踏切速度と助走速度の推移

踏み切りモデルより求めた各ジャンパーの踏切速度 w と助走速度 V を Fig. 3 にまとめる。

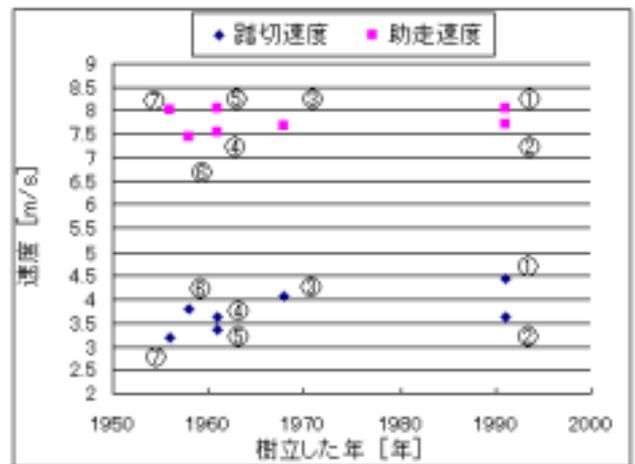


Fig. 3 踏切速度と助走速度の推移 [5,8,11,12] (M.バウル, C.ルイ, B.ド・エ, ティ・バ・セヤン R.ボスト, G.ベル A.バウヤス)

この Fig. 3 によると、助走速度はほとんど変化していないのに対し、踏切速度は少しずつ大きくなっていることがわかる。つまり、踏切速度を伸ばすことが記録向上につながっているといえる。発表時に今後10年の記録の推移を予測した結果を示す。

6. まとめ

文献より探し出した様々な実測値をもとに走り幅跳びの踏み切りに関して力学的に考察し、踏切角の最適値を求めた。それに基づいて跳躍距離と空気抵抗の関係、各ジャンパーの最適踏切角を明らかにすると同時に、今後10年の記録の推移を予測した。

今回の研究をまとめるにあたって思うことは、各パラメータにおける実測値の値が少なかったことである。多くの文献を調査したにもかかわらず、十分なデータを揃えることが出来なかった。しかし、走り幅跳びの研究に新たな力学的観点を導入することが出来たと考える。

参考文献

- [1] 深代千之; 飛ぶ科学, 大修館書店, (1990).
- [2] 岡野進; 走幅跳・三段跳, ベースボールガジン社, (1989), pp.22 - 25.
- [3] 坪井一洋; 走り幅跳びの踏切りにおける最適角について, 日本応用数学会論文誌 Vol.6, No4, (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, ベースボールガジン社, (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 .
- [8] 岡本正己 訳; 走幅跳のトレーニング, ペースポーツマガジン社, (1977),
- [9] PRENTICE-HALL PRESS; ENCYCLOPEDIA of TRACK&FIELD, (1985), pp.143 - 144 .
- [10] A.J.Ward-Smith; Calculation of Long Jump Performance by Numerical Integration of the Equations of Motion, Journal of Biomechanical Engineering, Vol.106, (1984), pp.244 - 248 .
- [11] Andrei Vorobiev, Igor Ter-Ovanessian, Gideon Ariel; Two World's Best Long Jumps: Comparative Biomechanical Analysis, TRACK &FIELD Quarterly Review, Volume92, Number4, (1992), pp.6 - 10 .
- [12] A.Guskov, A.Vorobiev, G.Ariel; Body Aerodynamics: Contribution to Long Jump Performance, TRACK &FIELD Quarterly Review, Volume92, Number4, (1992), pp.11 - 13 .