

走り幅跳びにおける踏切の力学的考察

Mechanical consideration on take-off in long jump

発表者： 高橋 良弦

指導教員： 坪井 一洋

1 はじめに

走り幅跳びは、助走によって得た運動エネルギーを利用してより遠くに飛ぶ能力を競う陸上競技における跳躍競技の種目の1つである[1].

走り幅跳びの跳躍距離の向上にあたって、助走速度を増加させて低い跳躍をするべきなのか、それとも助走速度を減少させて高い跳躍をするべきなのかは各選手によって異なると考えられる[2].

著者は走り幅跳び選手としての経験があるが、経験上助走速度がある値を過ぎると、力強い踏切りが出来なくなり、跳躍距離は急激に減少すると考えられる.

したがって本研究では、一般的に跳躍距離の向上のためには助走速度と踏切速度のどちらが主な要因になるかを、簡単な力学モデルによる計算と実測データを用いて検証し、走り幅跳びの選手の記録向上に役立てることを目的とする. また、助走速度、踏切速度、そして踏切角は直接計測することが出来ず、それらに対する条件式より変数の数が多いため、一意的な解を求められずにいた. そこで直接計測できないパラメータを、最適化によって推測した.

2 踏切モデルによる検証

選手の助走速度を V [m/s]、踏切速度を w [m/s]、初速度を q [m/s]、離陸角を θ [°]、踏切角を Ψ [°]、また初速度の水平成分を u_i [m/s]、鉛直成分を v_i [m/s]とすると、踏切モデルは図1ようになる.

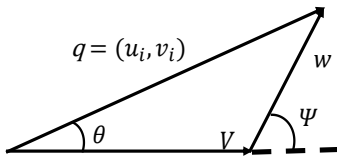


図1 踏切モデル

このモデルより、以下の関係式が導かれる.

$$\begin{cases} u_i = q \cos \theta = w \cos \Psi + V \\ v_i = q \sin \theta = w \sin \Psi \end{cases} \quad (1)$$

$$w^2 = (u_i - V)^2 + v_i^2 \quad (2)$$

式(1)を用いて、跳躍距離を表す式は(3)で表される. また、走り幅跳びの跳躍には重心低下の効果(以下重心低下量 h [m])も含まれるので、以下では $h = 0.55$ mとして計算を行う[3].

$$L(\Psi) = \frac{(w \cos \Psi + V)}{g} \left\{ w \sin \Psi + \sqrt{w^2 \sin^2 \Psi + 2gh} \right\} \quad (3)$$

V と w が与えられたとき、跳躍距離を最大にする最適踏切角 Ψ_{opt} は、式(4)で与えられる[1]. 式(4)より、最適踏切角 Ψ_{opt} は V と w の比で表すことができる.

$$\Psi_{opt} = \cos^{-1} \left[\frac{1}{3} \left(\frac{V}{w} \right) \left\{ \left(\frac{w}{V} \right)^2 + \frac{gh}{V^2} + \frac{1}{2} \right\} (2 \cos \frac{\varphi}{3} - 1) \right] \quad (4)$$

ただし、式中の φ は次式で定義される.

$$\cos \varphi = -1 + \frac{27}{2} \cdot \frac{\left(\frac{w}{V} \right)^2 \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{w}{V} \right)^2 + \frac{gh}{V^2} \right\}}{\left\{ \left(\frac{w}{V} \right)^2 + \frac{gh}{V^2} + \frac{1}{2} \right\}^3} \quad (5)$$

次に、踏切モデルを用いて V と w の関係を検証する. 今回、アメリカのM.パウエル選手の実測値($u_i = 9.27$ m/s, $v_i = 4.26$ m/s[4])を用いることによって、 V が与えられた時、式(2)の関係より w が求まる. $V \leq 9.0$ m/sの範囲における V と w の関係を図2で示した. 図2より、 V の増加に伴い w は減少することがわかる.

さらに、図2の関係をを用いて跳躍距離を求めた結果を図3で示した. 図3より、跳躍距離は $V = 6.5$ m/s付近で最小値をとるような形となった.

また、走り高跳び選手の跳躍の初速度の鉛直成分が 4.87 m/sより小さくなるというデータがある[5]ため、ここでは w は 5 m/s以下と考えられる. よって図2と図3の 6.5 m/s $\leq V$ の範囲のみを考慮する. この時、図3より、 V を増加させると跳躍距離も増加することから、跳躍距離には V が大きく影響していることがわかる.

しかし、式(2)は双曲線を表すため、 V を増加させ続けると、次第に w も増加し始め、跳躍距離も増加し続けてしまう. しかしこれは現実的にはあり得ない. したがって、より現実的な検証を行うために、実測データを用いる必要があると考えた.

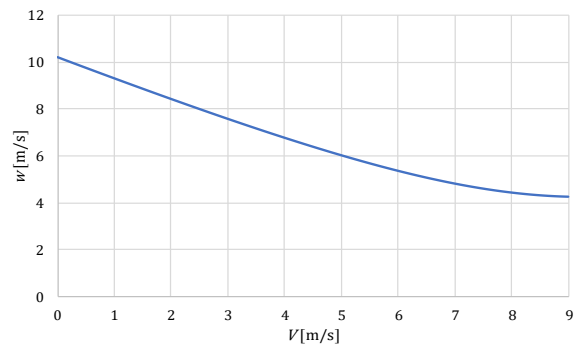


図2 助走速度と踏切速度の関係

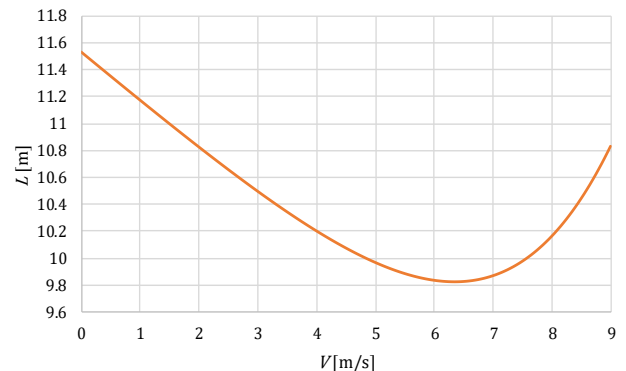


図3 助走速度と跳躍距離の関係

3 実測データによる検証

今回、初速度 q 、離陸角 θ 、また跳躍距離 L の実測データから、式(1)と式(3)を用いて、最適化を行って得られた V と w の関係を図4で示した。図4を見ると、 w は $4\text{m/s} \leq V \leq 8\text{m/s}$ の範囲にかけて増加し、矢印をピークとすると、ピーク以降、 w は減少していることがわかる。最長跳躍距離(赤いプロット)は、 w がピークより少し減少している位置に存在していることがわかる。また、 V がさらに増加していくと w はどのような変化を示すのかを推測するために、初速度の水平成分と鉛直成分の関係を図5で示した。

図5では初速度の水平成分がある値を超えると、鉛直成分が急激に減少している。つまり、強い踏切が出来なくなっているのである。したがって、図4においても V を増加させると w は急激に減少すると考えられる。

また、走り幅跳びの跳躍距離を決定づけるのは、助走、踏切、そして踏切角である。そこで、 V と Ψ 、また w と Ψ の関係をそれぞれ図6と図7で示し、 Ψ について今回求めた推定値と、式(4)から得られた理論値を比較した。図6と図7はともに、速度の増加に対して Ψ の変化は見られない。また、 Ψ_{opt} よりも大きな角度で跳躍していることがわかる。

したがって、選手は V や w の値に関係なく、同じ角度で跳躍しようとする特徴があると推測できる。つまり、踏切には改善の余地があるということである。選手は個々で跳躍するときの踏切角がほぼ一定であるため、最適踏切角に近い踏切角で跳躍するように意識的に練習をすれば、選手の跳躍距離は向上する可能性があると考えられる。

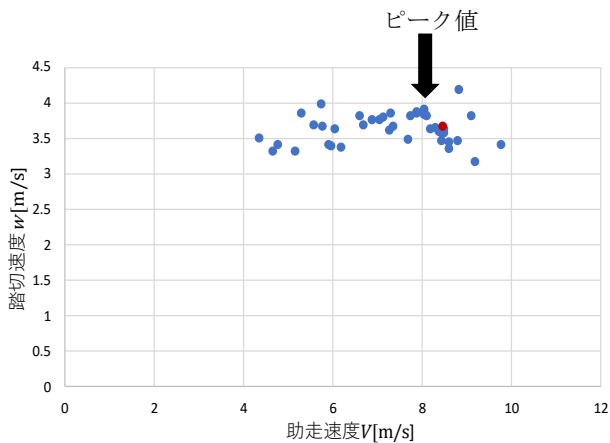


図4 助走速度と踏切速度の関係

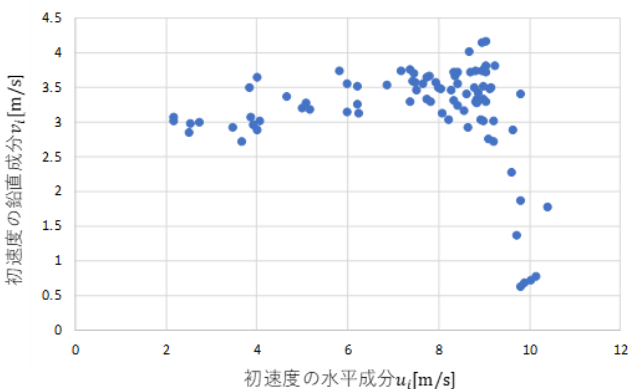


図5 初速度の水平成分と鉛直成分の関係

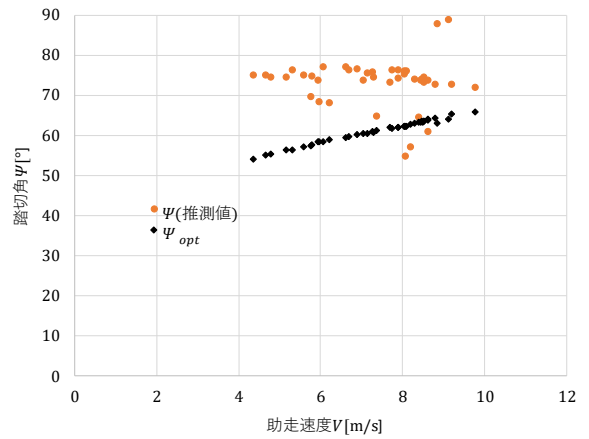


図6 助走速度と踏切角の関係

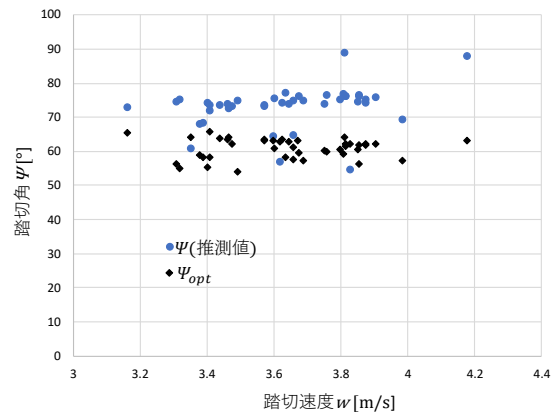


図7 踏切速度と踏切角の関係

4 まとめ

走り幅跳びの跳躍距離を向上させるために助走速度と踏切速度の関係を、簡単な力学モデルと実測データを用いて考察した。その結果、助走速度を増加させることによって跳躍距離が増加することがわかった。

さらに、実測データと最適化によって選手の跳躍における計測できないパラメータの関係を明らかにした。その結果、選手は助走速度と踏切速度に関係なく、ほぼ一定の角度で跳躍をしようとしているという特徴が明らかになった。さらに、踏切速度は助走速度に対して、はじめは増加し、次第に減少した。最長跳躍距離は踏切速度が減少している位置に存在した。

また、今回は選手1名のみの実測データを利用したが、さらに多くの選手の実測データから、走り幅跳びにおける新たな特徴を見出すことで、今後の記録向上につながると思われる。

最後に、貴重なデータを提供して頂いたブルネイ大学の N. P. Linthorne 博士に深く感謝します。

参考文献

- [1] 坪井一洋：着地時の重心低下量を考慮した走り幅跳の最適踏切角，日本機械学会論文集，Vol. 74，No743(2008)pp. 161-165.
- [2] 山崎健：陸上競技のサイエンス，(大修館書店，2007) pp.2
- [3] N. P. Linthorne et al. : Optimum take-off angle in the Long jump, J. of Sports Sci., Vol. 23, Num. 7(2005) pp.703-712.
- [4] United States Track Coaches Association: TRACK&FIELD Quarterly Review, Vol. 92, Num. 4 (1992)pp. 6-10.
- [5] G. ガイダン：陸上競技の力学，(大修館書店，1972) pp.174-175.