

# 走り幅跳びの踏切モデルの検証

## Verification of take-off model in long jump

発表者：小長谷 康明

指導教員：坪井 一洋

### 1 はじめに

走り幅跳びは陸上競技の跳躍競技に属する種目の1つで、より遠くへ跳ぶことを競う競技である。走り幅跳びの動作は助走・踏切・空中・着地の4局面で構成され、跳躍距離は助走を除いた3局面で構成される[1]。

踏切足が地面を離れた後に身体が受ける外力は重力と空気抵抗だけなので、身体重心の軌跡は質点の運動方程式で表すことができる。したがって、その軌跡は放物線となる。そして、跳躍距離を最大にする最適踏切角が理論的に導出される[2]。

その際に用いた踏切モデルでは最適踏切角を決定するには助走速度と踏切速度を指定する必要がある。しかし、助走速度と踏切速度の関係が十分に分かっていない。本研究では、この関係を明らかにすることが目的である。

### 2 踏切モデル

選手が助走速度  $V$  [m/s] で助走し、踏切速度  $w$  [m/s]、角度  $\psi$  [rad.] で踏み切るとすると踏切モデルは図1のようになる。

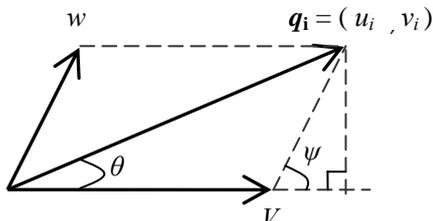


図1 踏切モデル

このモデルより以下の関係式が導かれる。ここで、 $q_i$  [m/s] を初速度、 $\theta$  [rad.] を離陸角、 $\psi$  [rad.] を踏切角と呼ぶ。

$$\begin{cases} u_i = w \cos \psi + V, \\ v_i = w \sin \psi. \end{cases} \quad (1)$$

$$\tan \psi = \frac{v_i}{u_i - V}. \quad (2)$$

$$\tan \theta = \frac{v_i}{u_i} = \frac{w \sin \psi}{w \cos \psi + V}. \quad (3)$$

$$q_i^2 = u_i^2 + v_i^2. \quad (4)$$

さて、 $V$  と  $w$  の関係として以下の2つの式を考え

る。(5)式は文献[2]で用いられた関係であり、(6)式は重心低下がない場合の最適踏切角を用いて今回導き出した関係である。

$$w^2 = (u_i - V)^2 + v_i^2. \quad (5)$$

$$V = \frac{(q_i - w)(q_i + w)}{\sqrt{q_i^2 + w^2}}. \quad (6)$$

(5)式より  $V$  を  $w$  の関数として求め、(6)式と比較した結果を図2に示す。ここで、初速度に関する実測値を表1に示す。(5)、(6)式ともに  $V$  の増加に伴い、 $w$  が減少する。

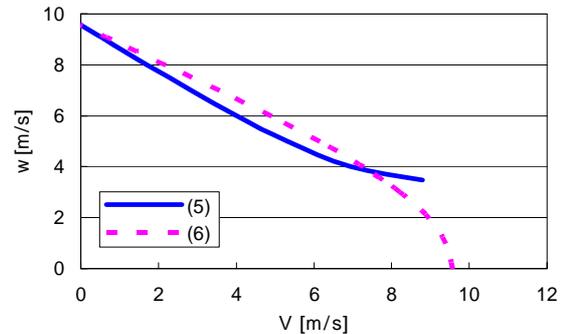


図2 踏切速度と助走速度の関係

表1 初速度の実測値[3]

$u_i$ [m/s]	$v_i$ [m/s]	$q_i$ [m/s]	$\theta$ [deg.]
8.90	3.49	9.56	21.4

### 3 踏切モデルの検証

#### 3.1 離陸角と初速度の関係

$V$  と  $w$  に(5)、(6)式の関係を変形したときの  $q_i$  を  $\theta$  の関数として求め、(7)式で与えられる実測値[3]と比較した結果を図3に示す。ここで、(7)式中のパラメータを表2に示す。

図3から  $\theta$  が増加したときの  $q_i$  の変化を見ると、実測値の場合は最初はほぼ一定で、 $\theta = 20 \sim 40^\circ$  で緩やかに減少する。一方、(5)式の場合は  $\theta = 30^\circ$  程度まで減少した後、緩やかに増加する。(6)式の場合は  $\theta$  によらず一定になる。また、 $\theta = 20^\circ$  付近でそれぞれの関数の  $q_i$  の値はほぼ一致する。

$$q_i(\theta) = \frac{q_{i\_max} - q_{i\_min}}{1 + (\theta/\theta_{inf})^a} + q_{i\_min}. \quad (7)$$

表 2 実測データのパラメータ((7)式中)[3]

$q_{i\_max}$ [m/s]	$q_{i\_min}$ [m/s]	$a$	$\theta_{inf}$ [deg.]
9.9	3.9	6.8	30.2

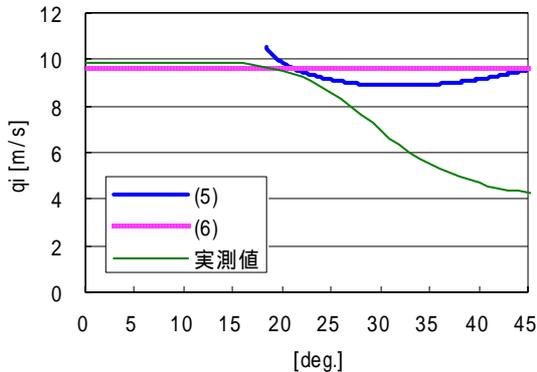


図 3 離陸角と初速度の関係

### 3.2 助走速度と踏切速度，跳躍距離の関係

$V$  と  $w$  に(7)式の関係を保定したときの  $X$  を  $V, w$  の関数として求めた結果を図 4 に示す。

図 4 を見ると，跳躍距離  $X$  が等しくなるような  $V$  と  $w$  の組  $(V, w)$  が無数に存在する。(4.2, 7.1)と(3.2, 7.4)の 2 点(図 4 中，)を例に挙げ，その 2 点の  $X$  と  $\theta$  の値を Carl Lewis (C.L.)と Mike Powell (M.P.)の実測値と比較した結果を表 3 に示す。踏切には踏切角が小さい Lewis 型と踏切角が大きい Powell 型が知られている[4]。表 3 の結果はこの踏切の型の違いを示していると考えられる。

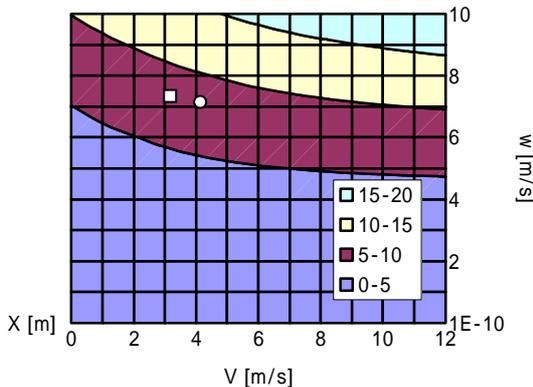


図 4 助走速度と踏切速度，跳躍距離の関係

表 3 実測値との比較[2]

$(V$ [m/s], $w$ [m/s])	(4.2, 7.1)	(3.2, 7.4)
$X$ [m]	8.00	8.00
$\theta$ [deg.]	20.8	24.5
$\theta$ [deg.] (実測)	20.3 (C.L.)	24.6 (M.P.)
$X$ [m] (実測)	8.02 (C.L.)	8.06 (M.P.)

### 3.3 助走速度と踏切速度，踏切角の関係

図 1 の踏切モデルの  $q_i$  を(7)式の  $q_i(\theta)$  とし，(5)式より  $w, \psi$  をそれぞれ  $V$  の関数として求めた結果を図 5 に示す。このとき  $\theta$  を適当に与えた。また， $\theta = 21^\circ$  は実測値から求められた最適離陸角である。

図 6 を見ると，踏切角  $\psi = 90^\circ$  では助走速度の方向と逆方向に踏み切ることを示している。 $\theta = 21^\circ$  の場合を例にすると， $V = 9.0$  m/s 以上で助走すると，その勢いそのままでは上方に飛び上がるのが困難となるため，勢いを打ち消すために後ろに跳躍しなければならない。

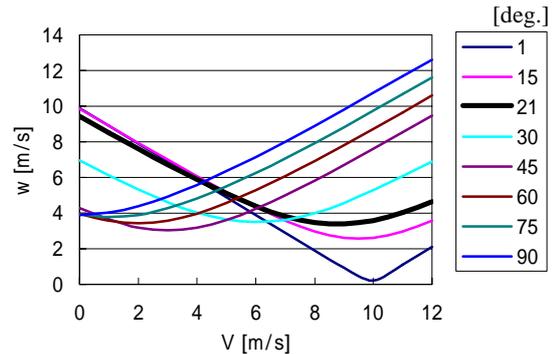


図 5 助走速度と踏切速度の関係

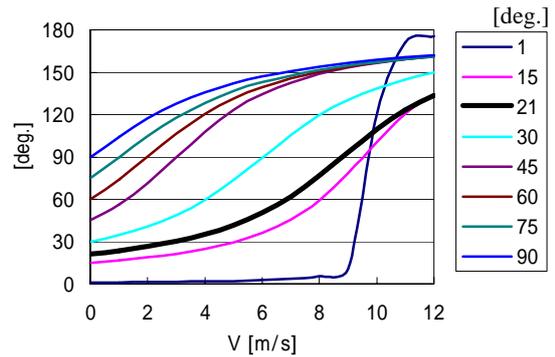


図 6 助走速度と踏切角の関係

## 6. まとめ

踏切モデルの助走速度と踏切速度の関係について検証した。2 つの関係式と実測データを比較したところ，離陸角が  $20^\circ$  付近で初速度はほぼ一致することが分かった。また，Lewis 型と Powell 型の踏切について説明を試みた。

### 文献

- [1] 深代千之：走幅跳と三段跳の Biomechanics, J.J.SPORTS SCI., 2-8 (1983)
- [2] 坪井一洋：着地時の重心低下を考慮した走り幅跳びの最適踏切角, 日本機械学会論文集, C 編(2008)
- [3] N.P.Linthorne *et al.* : Optimum take-off angle in the long jump, Journal of Sports Sciences, 23(7) (2005)
- [4] 山崎健：陸上競技のサイエンス, 体育科教育 2007 年 6 月号 (2007)