

硬式野球ボールの打球軌道シミュレーション

Simulation of trajectory of a baseball

発表者: 杉山剛史 指導教員: 坪井一洋

1 はじめに

日本プロ野球は、WBC(ワールド・ベースボール・クラシック)2 連覇など、世界大会での輝かしい成績を残してきた。しかし、これまで日本で使っていたボールは国際球と規格が異なり、比較的飛びやすいと言われていた。野球ではボールの些細な違いが試合に大きな影響を与えており、世界大会で使用するボールへ順応できるかどうか勝利の鍵になっている。また、日本プロ野球界でも試合を主催する球団ごとに違うボールを使用しておりその不公平さが問題になっていた。

そこで 2011 年より規格を統一して全球団が同じ低反発球を導入することになった。その結果、2011 年のホームラン数は前年と比べて 40%減少した。このようにボールが飛ばなくなったことで、ボールを遠くまで飛ばす手段をあらためて考える必要が出てきた。

この問題を解決するためには、飛翔中のボールの軌道をシミュレーションで再現し、軌道に影響を与える要因を調べる方法が考えられる。シミュレーションを行うためには、飛翔中のボールに働く力を知る必要がある。しかし、飛翔中のボールに働く力を直接測定することは困難であり、次善策としてボールを固定した状態で力を測定する風洞実験が使われている。そこで、ここでは風洞実験で得られた空気力の測定結果を拡張することで、飛翔中のボールに働く力を求める方法を用いる。

本研究では、飛翔中のボールの軌道を再現するためのシミュレーションを行う。その際に必要な飛翔中のボールに働く力は、風洞実験の結果から決定する。そして投射角、回転数、回転軸の傾きおよび環境などの変化がボールの軌道に与える影響を検証する。

2 運動方程式

ボールは速度ベクトル V で進んでおり、重力 g 、空気抵抗 D 、横力 S および揚力 L が働く。各方向の単位ベクトルを e_D 、 e_S 、 e_L およびボールの質量を m とすると、運動方程式は式(1)のように表される。

$$m \frac{dV}{dt} = D + S + L + mg$$
$$= |V|^2 \{ k e_D + (l H + s G) e_S + (l G - s H) e_L \} + mg$$
(1)

ここで、 ω を回転軸ベクトル、 ρ を空気密度、 d をボールの直径、 C_D を抵抗係数、 C_L を揚力係数、 C_S を横力係数とすると k 、 l 、 s 、 H および G は以下のように表される。

$$\begin{cases} k = \frac{1}{2} \rho \frac{\pi}{4} d^2 C_D \\ l = \frac{1}{2} \rho \frac{\pi}{4} d^2 C_L \\ s = \frac{1}{2} \rho \frac{\pi}{4} d^2 C_S \end{cases}$$
(2)

$$H = \frac{|V|}{|e_D \times \omega| |e_z \times V|} \{ (\omega \cdot e_D) e_D - \omega \} \cdot e_z$$
(3)

$$G = \frac{|V|}{|e_D \times \omega| |e_z \times V|} [e_D \omega e_z]$$
(4)

風洞実験によるとバックスピン時の C_D 、 C_L および C_S は、式(5)のように表される[1]。ここで α はボールの並進速度と周速度の比で表されるスピンパラメータで回転数を n としたとき、式(6)で与えられる。

$$\begin{cases} C_D = -0.0348\alpha^2 + 0.2881\alpha + 0.3365 \\ C_L = -0.5554\alpha^2 + 0.8010\alpha + 0.1184 \\ C_S = 0 \end{cases}$$
(5)

$$\alpha = \frac{\pi n d}{|V|}$$
(6)

3 シミュレーション

3.1 投射角と回転数の影響

最初に、投射角と回転数が飛距離に与える影響を検証する。シミュレーション条件は、投射角 0 - 60 deg、回転数 0 - 50 rps としボールの回転状態はバックスピンとした。初速度によって、飛距離が最大になる投射角と回転数を Fig. 3.1 に示す。この結果より、飛距離が最大になる条件は一定ではなく、初速度によって大きく変化することが確認できる。

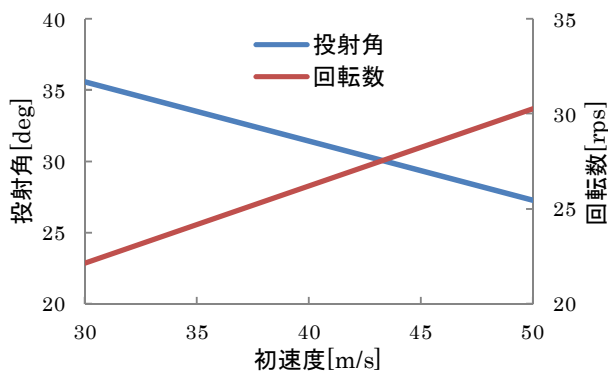


Fig. 3.1 飛距離が最大になる投射角と回転数

3.2 空気密度の影響

次に空気密度の異なる環境でのシミュレーションを行う。ここでは、標高 1600 m のクアーズ・フィールド球場を例に検証した。空気密度は地上を 1.205 kg/m^3 、標高 1600 m 地点を 1.049 kg/m^3 とし、空気密度が飛距離に与える影響を検証した。標高 1600 m 地点での飛距離が最大になる投射角と回転数を Fig. 3.2 に示す。この結果より、標高 1600 m 地点では地上に比べて投射角、回転数共に大きくなっていることが分かる。

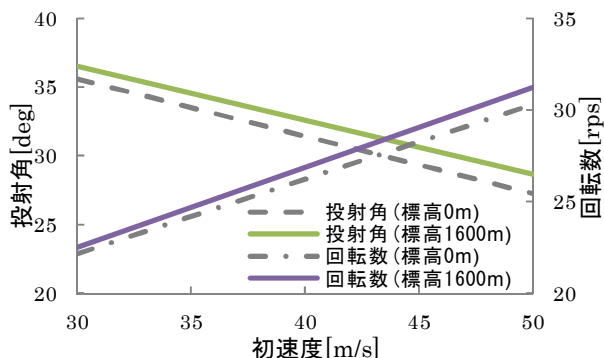


Fig. 3.2 飛距離が最大になる条件（標高による影響）

3.3 ホームランの条件

実際の野球の試合では外野のフェンスを越えればホームランとなるので、フェンスまでの距離以上は飛ばす必要がない。そこで、ホームランとなる条件を検証する。実例を Table 3.1 に示すように、野球場ごとにフェンスまでの距離や高さが異なっている。

Table 3.1 球場ごとのフェンスまでの距離と高さ

	距離[m]	高さ[m]
札幌ドーム	122	5.75
西武ドーム	122	3.2
横浜スタジアム	118	5

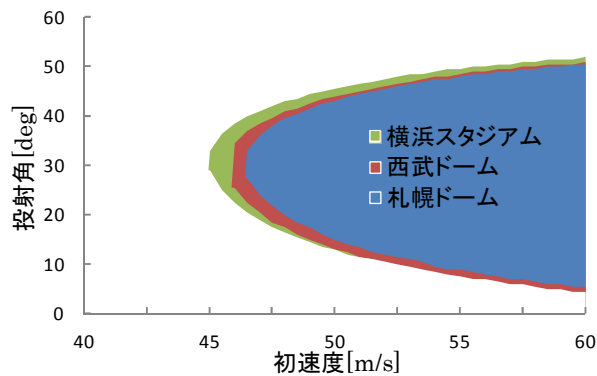


Fig. 3.3 ホームランの条件（投射角と初速度）

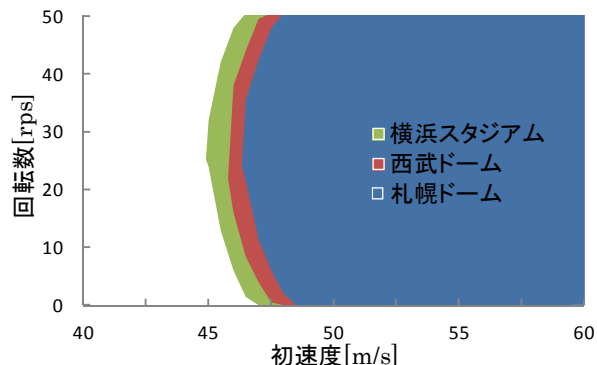


Fig. 3.4 ホームランの条件（回転数と初速度）

Table 3.1 にあげた球場のデータに基づくシミュレーション結果を Fig. 3.3 と Fig. 3.4 に示す。初速度が大きくなるほどホームランになりやすい投射角の範囲も大きくなった。しかし、回転数は一定の初速度からすべての条件が範囲となった。これは、回転数が飛距離には大きく影響しないことを示唆している。

4 まとめ

本研究では、野球ボールの飛距離が最大になる条件を明らかにするため、軌道シミュレーションを行った。その際にボールに働く力は風洞実験の結果から決定した。

シミュレーション結果より、投射角と回転数の組み合わせが飛距離に影響を与えていることが分かり、その組み合わせは初速度によって変化することが確認できた。

しかし、ホームラン条件の結果より、回転数は飛距離に大きく影響しないことが確認できた。これにより、飛距離を最大にする条件としては回転数よりも投射角が重要であると考えられる。

参考文献

- [1] 坂本誠馬, 長谷川淳哉 *et al.*: 統一球と日米硬式野球ボールの空力特性, 日本機械学会シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集 pp.532-535(2011)