

変化球の軌道シミュレーション Simulation of Trajectories for a Breaking Ball

関口 直人 (発表者)

坪井 一洋 (指導教官)

We attempt to predict trajectories for a breaking ball based on some measured data of aerodynamic forces acting on the ball. The present study clarifies the effect of spin and seam of the ball to the variation of trajectory. In order to understand the characteristic of a breaking ball more intuitively, we demonstrate the trajectory in 3-D vision.

1. はじめに

野球の投手が投げるボールは、初速度、ボールの回転数、回転軸、空気から受ける力によって変化する方向や変化量が決まる。投手はボールの握り方や投げ方を変えることでさまざまな軌道特性を持つ球種を投げ分けている。このような変化球の例として、カーブやスライダーのような回転球とフォークやナックルのような非回転球が知られている。しかし、変化球のメカニズムについて科学的に研究された例は少なく、その力学的な特性は、十分に解明されていない。

最近、野球ボールのシーム（縫い目）がボールに働く空気力に微妙な変化をもたらすことが明らかになっており、飛翔中の野球ボールに働く空気力の測定や計算機実験が行われている^{[1]~[3]}。

本研究では、野球ボールに働く空気力の測定データに基づいてボールの軌道予測を行う。特に、ボールの回転による軌道の変化を明らかにすることによって、投手の技術向上に役立てることを目的とする。

2. ボール軌道の力学

空気中を運動する野球ボールに働く力として空気抵抗と揚力、横力、重力がある。このうち、抵抗と揚力、横力はボールの速さの二乗に比例する。また、回転球の場合、揚力はボールが回転することにより発生し、その方向は回転軸によって決まる。横力は非常に小さくなり無視できる。非回転球の場合、揚力と横力ともにシームの影響により発生する。

投手が捕手に対してボールを投げるとき、座標系を Fig. 1 のようにとると、ボールの運動方程式は式(1)のように表される。

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = -k \cdot V \cdot u + \frac{l}{H} \cdot V^2 \cdot (vA_z - wA_y) \\ \quad + \frac{s}{F} \cdot V^2 \cdot \{(A_z u - A_x w)w - (A_x v - A_y u)v\} \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = -k \cdot V \cdot v + \frac{l}{H} \cdot V^2 \cdot (A_x w - uA_z) \\ \quad + \frac{s}{F} \cdot V^2 \cdot \{(A_x v - A_y u)u - (A_y w - A_z v)w\} \\ m \frac{d^2z}{dt^2} = -k \cdot V \cdot w + \frac{l}{H} \cdot V^2 \cdot (uA_y - vA_x) \\ \quad + \frac{s}{F} \cdot V^2 \cdot \{(A_y w - A_z v)v - (A_z u - A_x w)u\} - mg \end{cases} \quad (1)$$

ただし、

$$\begin{aligned} F &= [\{(A_z u - A_x w)w - (A_x v - A_y u)v\}^2 \\ &\quad + \{(A_x v - A_y u)u - (A_y w - A_z v)w\}^2 \\ &\quad + \{(A_y w - A_z v)v - (A_z u - A_x w)u\}^2]^{1/2} \\ H &= \{(A_z v - A_y w)^2 + (A_x w - A_z u)^2 + (A_y u - A_x v)^2\}^{1/2} \\ V &= (u^2 + v^2 + w^2)^{1/2} \end{aligned}$$

ここで、 $V = (u, v, w)$ と $A = (A_x, A_y, A_z)$ はボールの速度ベクトルと回転軸ベクトルである。また、 m および g はそれぞれボールの質量と重力加速度とする。抵抗と揚力、横力の大きさ k と l, s はそれぞれ次式で表される^[3]。

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

ここで、 ρ は空気密度、 d はボールの直径、 C_D は抵抗係数、 C_L は揚力係数、 C_S は横力係数(ただし、回転球の場合 $C_S = 0$)である。また、各係数は回転球の測定結果^[1]と非回転球の計算結果^[2]および測定結果^[3]に基づいて近似式を導出した。

さて、投手がボールを投げるときの初速度を V_0 とし、Fig. 2 に示す角度を用いると、初速度の各座標成分 (u_0, v_0, w_0) は次式で表される。

$$\begin{cases} u_0 = V_0 \cos \alpha \cos \beta \\ v_0 = V_0 \cos \alpha \sin \beta \\ w_0 = V_0 \sin \alpha \end{cases} \quad (3)$$

3. 軌道計算の例

運動方程式(1)をもとに実際のボール軌道を計算するプログラムを C 言語で作成した。ここで、数値積分には Runge-Kutta-Gill 法を用いた。

球種を非回転球(ナックル)、4 シーム回転で、初期位置 $h=1.954$ (m)、初速度 76(km/h)、鉛直方向の角度 $\alpha=8^\circ$ 、水平方向の角度 $\beta=0^\circ$ 、回転数 0.286(rps)、回転軸ベクトルを $(0, 1, 0)$ とし、初期のシーム位置を $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ で比較した結果を Fig. 3 に示す。初期シーム位置が変わるだけで、変化する方向やその大きさに違いが生じ

ているのが分かる .

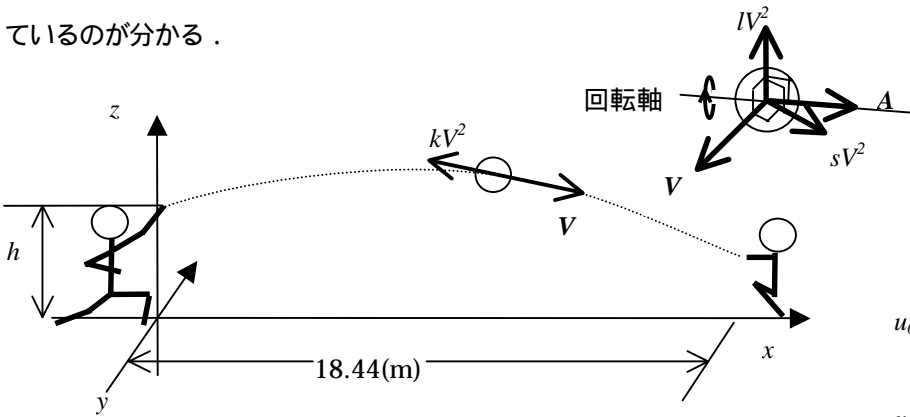


Fig. 1 ボールに働く力とその方向

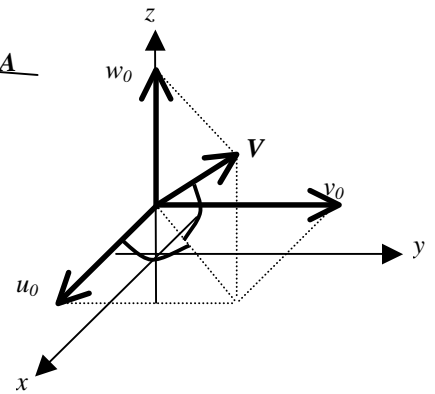


Fig. 2 各成分の初速度

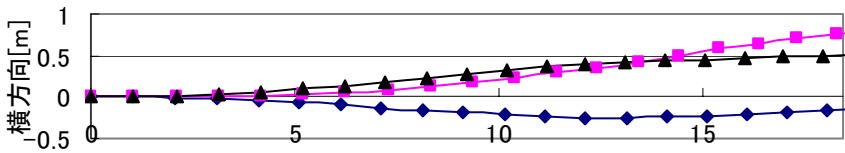
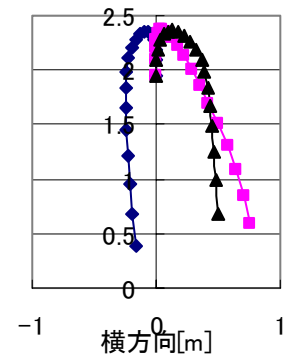
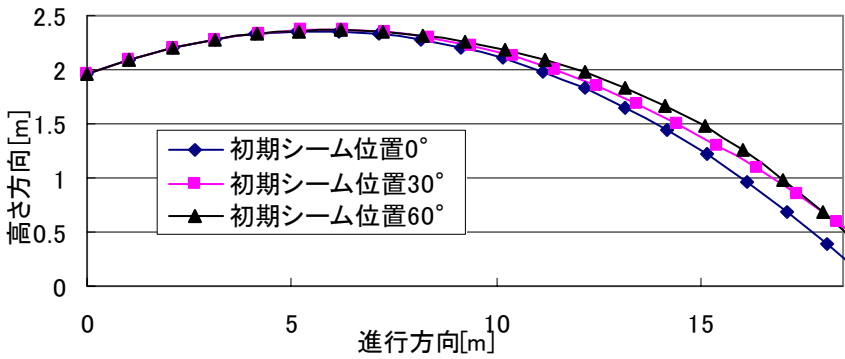


Fig. 3 非回転球(ナックル)の軌道計算

4 . ボール軌道の3-D 表示

計算したボール軌道の様子を3次元で可視化するプログラムをJava3Dで作成した。その実行結果をFig. 4に示す。このプログラムでは、0.05(s)ごとのボール位置を表示する機能と、実際にボールが軌道上を動く機能を実装している。マウスで視点を変えることであらゆる角度



Fig. 4 ボール軌道の可視化 (捕手目線)

からその軌道を観察することができ、回転速度や 2 シーム, 4 シーム回転を再現したことによって、回転による軌道の違いを知ることができる。

5. まとめと今後の課題

今回、回転球と非回転球の軌道計算を行い、ボールの回転数やシームの影響による軌道の違いを確認できた。また、ボール軌道を 3 次元で再現することによって、より直感的にその軌道を知ることが出来るようにした。

今後の課題としては、決められたコースに投げるための初期条件を逆問題として求める方法の検討や、打者が

ボールを見送ったときの軌道の様子を再現することが挙げられる。

参考文献

- [1] 青木克己: ゴルフボールと野球ボールの飛翔特性に対する流れの可視化, シミュレーション, 第 22 巻, 第 1 号, (2003) .
- [2] 姫野龍太郎: 野球の変化球とながれ, ながれ, 第 20 巻, 第 6 号, (2001) .
- [3] 溝田武人: ナックルボールの不思議?, 日本風工学会誌, 第 62 号, (1995) .