

[総合講座ながれより]

## 野球の変化球とながれ

Curved baseball and Flows around it

\*理化学研究所・情報環境室 姫野龍太郎<sup>†</sup>  
Ryutaro HIMENO

### 1 はじめに

投手の手を離れたボールには、周りの気流から受ける流体力と重力以外の力は働かないため、流体力学の恰好の題材である。しかも、試合の勝敗は投手の出来不出来で決まることが多い。その投手の出来には直球とともに変化球のきれが大きいに関係している。しかし、残念なことに野球の変化球の流体力学的な研究は、それほど多くない。変化球はマグナス力によって全てが説明でき、まだ明らかになっていないことはないのだろうか。ここでは著者が行っている野球ボールの作る流れのCFDによる解析を中心に、福岡工業大学の溝田らの行っている実験的な研究も紹介し、変化球にはまだ未解明な要素があることや、新たな変化球を生み出す余地があることを示したい。

### 2 フォークボールは落ちているか

野球のカーブが目の錯覚なんて、今では誰も言わないであろう。しかし、1940年代まで、カーブが本当に曲がっているのかどうかということは、大きな論争を呼んでいた。最終的に1940年代後半、写真でカーブの軌道が曲がっていることが証明されるまで、まじめに論議されていたのである。

では、フォークボールはどうであろうか。フォークボールが落ちて見えることは疑いようがない。しかし、本当に落ちているのだろうか。実際に高

速度ビデオなどでフォークボールの軌道を解析した福岡工業大学の溝田らは、野茂投手と佐々木投手のフォークボールには鉛直方向に重力以外働いていないことを明らかにした<sup>1)</sup>。同様の結果は名古屋大学の桜井らによっても報告されている<sup>2)</sup>。重力と空気抵抗以外の空気力が働き、軌道が放物線からずれる場合を変化球と定義すると、野茂や佐々木のフォークボールは変化球ではない(正確に言えばシュート回転をしているため、左右方向には変化している)。むしろ、直球が変化球となる。直球はバックスピンするためにマグナス力によって揚力を受け、重力を部分的に打ち消しながら飛んでいるため、まっすぐ進んでいる訳である。

### 3 変化球の変化の原理

野球で使われる変化球は直球を含めて、ほとんどが回転によるマグナス力によって変化する空気力を得ている。球種の違いは回転軸の向きで決まる。図1は代表的な球種それぞれの回転の様子を表したものである。これらの図は全て右投手が投げた場合の回転とそのとき働く力の向きを、投手側から見て示している。確かに多様な球種も単に回転の仕方の違いに過ぎないことが分かる。しかしながら、意図的に回転を落とすことで変化球を作っている場合もある。現在よく使われるこの代表的なものはフォークボールとスプリット・フィンガード・ファーストボール(SFFB)である。フォークボールは中指と人差し指の間に球を挟んで投げる。これによって直球と同じように腕を振っていながら、バックスピんがかからな

\* 〒351-0198 和光市広沢 2-1

<sup>†</sup> E-mail: himeno@postman.riken.go.jp

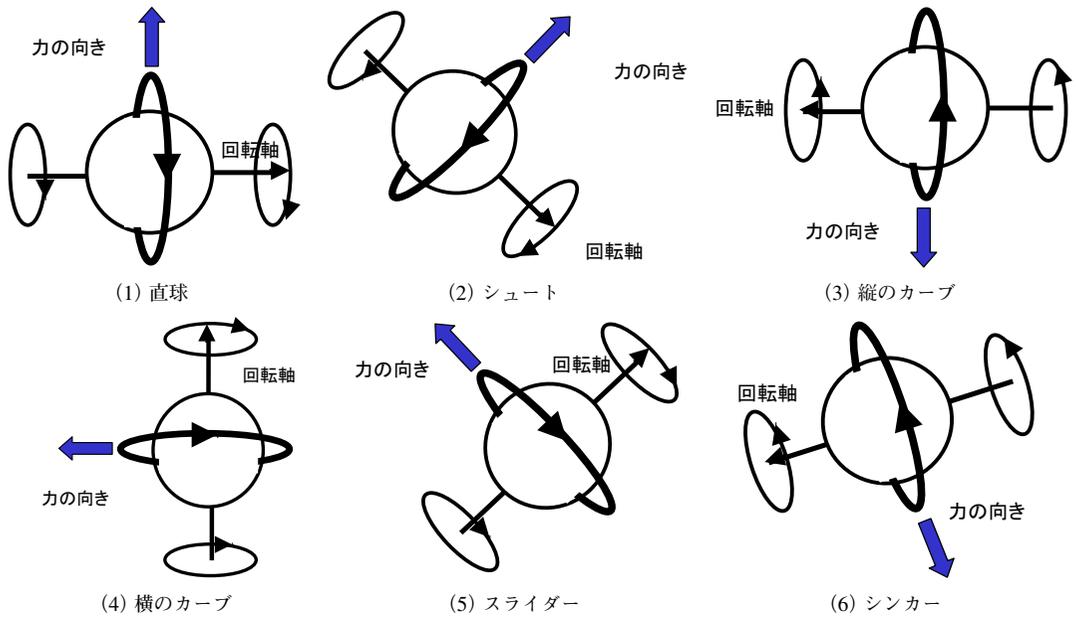


図1 球種と回転の関係

いために揚力が働かず、落ちる球になる。一方のSFFBは球を指の間に挟むほどは広く指の間を開けないが、直球に比べれば大きく間を開いて投げる。これによって、バックスピンの回転数が直球に比べて少なく、マグナス力による揚力が小さくなり、直球に比べると落ちる球になる。

4 回転数が徐々に速くなる?!

溝田らは、佐々木投手のフォークボールが投手の手を離れた後、その回転数が徐々に上がることを報告している。野茂投手の場合もその傾向があるが、それほど顕著ではないとも報告されている。ちょっとありえない物理現象のように感じるが、風を受けて回転する風車のような、そんな機構を野球ボールが持っていると言える。この自動回転性は、おそらく縫い目の形の影響で起こり、球の握り方の違いから、その強さが変わるのであろう。

このことをCFDでもう少し詳細に検討してみよう。図2は野球ボールの周りの流れをCFDで解析するために作った格子のようすで、計算点数は約600万点で、ボール表面の縫目による起伏

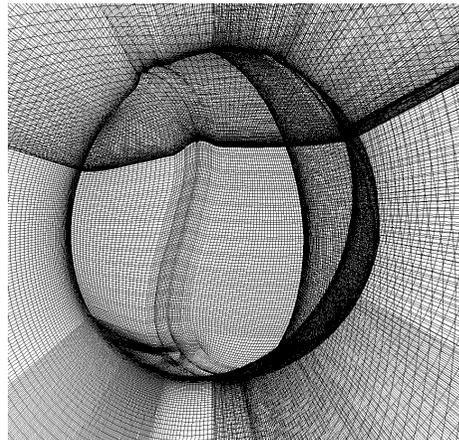
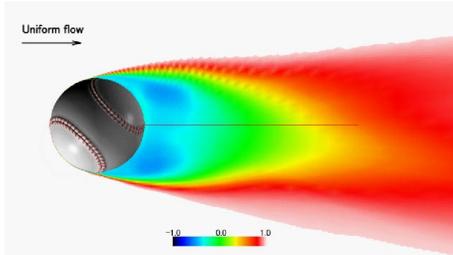


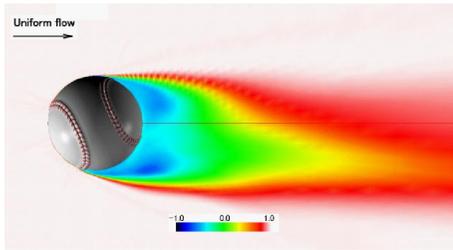
図2 計算格子のようす

も表現している。計算はボール表面に沿う格子を使った差分法によるもので、三次精度の上流差分を対流項に使っている。図3は計算結果で時速75 km、レイノルズ数約10,000の場合である<sup>3)</sup>。この計算の場合、ボールは回転しておらず、2つのケースの違いはボールを15度回転させ、流れと縫い目関係を動かしたものである。この縫い目位置の変化によって、(1)では後流は上下対称なのに対し、(2)では下方向に偏っている。この剥

離位置の違いによって、図4に示すようにボール表面の摩擦抵抗によるモーメントに差が生じる。これが回転モーメントの生まれる原因であろう。静的な観察では、たとえ特定の位置で回転モーメントが発生しても、一周すると互いに打ち消し

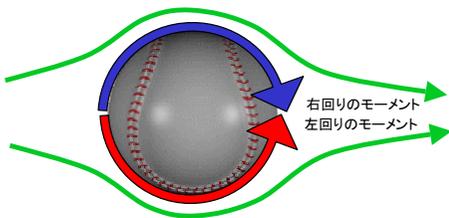


(1) ほぼ対称な後流となる場合

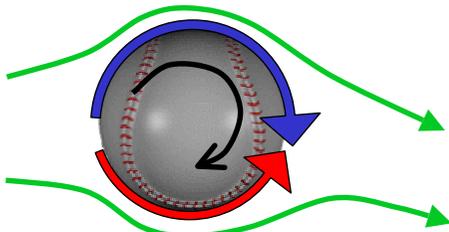


(2) 後流が下に偏る場合

図3 縫い目位置の違いによる総圧の違い



(1) 上下の流れが対称なら右回りと左回りのモーメントは同じ



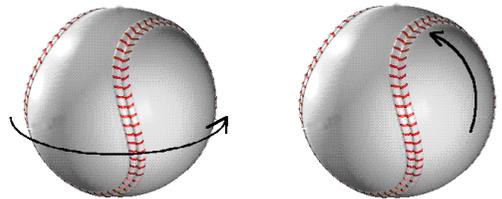
(2) 回転のために流れが下に偏り、右回りのモーメントが左回りよりも大きくなると

図4 回転する球の回転が更に速くなる理由

あって積分値は0となる。しかし、このような流れの偏りはヒステリシスを持つことが多い。このため、回転モーメントの積分値が0にならないのではないかと推測できる。

### 5 マグナス力によらない変化球

野球ボールは縫い目の模様から、一回転で四回縫い目が現れる4シームと呼ばれる回転と、一回転で二回しか縫い目が現れない2シーム回転がある(図5)。そのそれぞれの回転方向に少しずつ角度を変化させ、空力係数を計算したのが図6、7である<sup>3)</sup>。このように空力係数は縫い目の形に



(1) 4シーム回転 (2) 2シーム回転

図5 4シーム回転と2シーム回転の回転方向

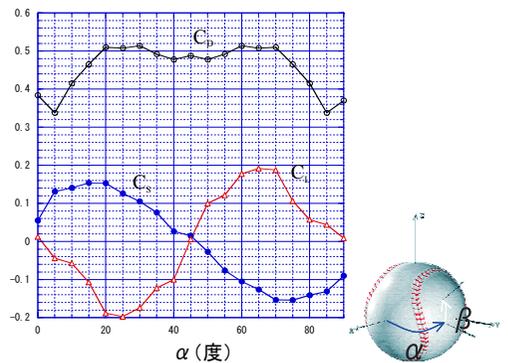


図6 4シームでの空気力の変化

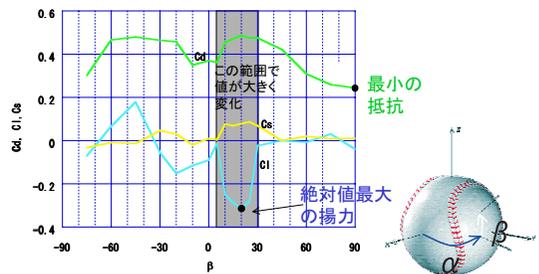


図7 2シームでの空気力の変化

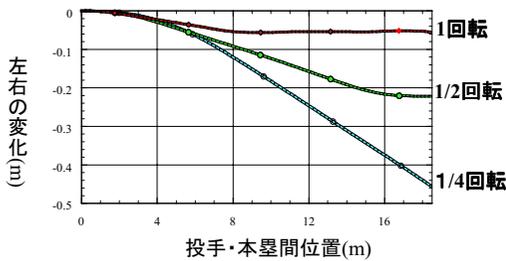


図8 2シームで1/4~1回転したときの軌道

よって大きく変化している。たった1mmの縫い目による盛り上がりによって、空気抵抗の最大値と最小値は倍以上違っているし、後流が偏ることによって非対称な左右あるいは上下方向の力が最大で0.3にもなる。もし、投手と本塁間で1/2とか1/4回転という、非常にゆっくりした回転でボールを投げることができれば、図8のような奇妙な変化をするボールを投げることができる。特に2シーム回転で1/2回転するように投げると、最初シュートしていた球が、途中から急にカーブする軌道を描く。対戦する打者はきっと自分にぶつかってくると思って避けようとした球が、なぜか急に元に戻ってストライクになったように感じるだろう。

このような変化球は空想の産物ではなく、ナックルボールと呼ばれ、実在する。同じようにほとんど回転させないで投げる変化球にパームボールがある。これらの変化球はマグナス力による変化球ではなく、縫い目位置によって後流が変化して働く非対称な力を利用している<sup>4,5)</sup>。

最初全く回転しないように投げると、ボールは前述のように回転モーメントを受け、自分で回転を始める。ナックルボールはこのように全く回転しないように投げれば十分であることを、前述の溝田らは最近示している<sup>6)</sup>。CFDで求めたトルクは実際に観察されるボールの回転を起すほど大きくはない。計算精度がまだ十分ではようだ。

## 6 回転軸が進行方向を向いた変化球

従来の変化球の回転を図1に整理したが、これらの中には回転軸が進行方向を向いた球はない。ジャイロボールと呼ばれる回転軸が正面を向いた

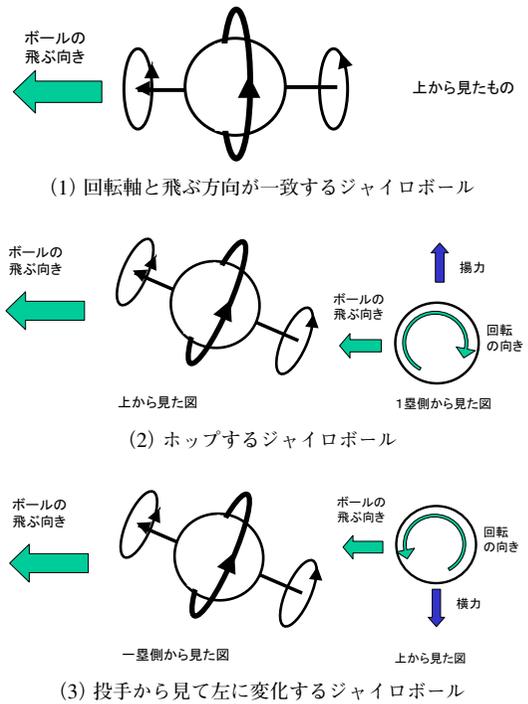


図9 回転軸が傾いたジャイロボール

球は、常に同じ面を正面に持つ(図9(1))<sup>7)</sup>。このことから、図6, 7から容易に推測できるように、空気抵抗の違う球を同じ投げ方で投げられる可能性がある。従来変化球と言うと、左右や上下の変化ばかりに着目されてきた。しかし、打者のタイミングをはずすチェンジアップが効果的なことから、抵抗を変えることでタイミングを変える変化球も効果的であろう。

このような変化球は理論的な可能性から検討してきたことであるが、ここ数年の研究でスライダーと呼ばれる変化球には、この回転軸が進行方向、あるいは進行方向に傾いた回転軸を持つ回転が使われていることがわかってきた。たとえば、西部球団の松坂投手の落ちるスライダーがこの例である。例が少なく特殊だと思われるかもしれないが、これまでスライダーについての解析はほとんど行われていない。電気通信大学野球部の協力で行った東京メトロポリタンテレビの実験では(製作ワック株式会社)、同大学野球部の谷口投手の投げるスライダーも、このジャイロボール

系のものであることが分かった。

ジャイロボールの場合、回転軸が完全に進行方向と一致する場合、上下左右に変化する力は発生しない。しかし、回転軸が傾いていれば、サイドスピンやバックスピンなど、さまざまな回転成分を含む<sup>8)</sup>。単純にその効果を見積もりことは出来ないが、新しい可能性が見えてきた。

## 7 おわりに

多くの流体力学に携わる方たちにとって、野球の変化球はとくに解明された、新しいことのない世界のように感じられていたことだろう。しかしながら、ここで示したように、ボールの回転がだんだん速く場合があることや、投手によってその様子が違うなど、まだはっきりと分かっていないこともある。また、ジャイロボールと言う新たな変化球や、その更なる可能性、従来のスライダーとの関係など、まだまだ未解明な部分が多くある。この拙文がなんらかの刺激になり、スポーツの世界に目を向ける流体力学の研究者が増える

ことを祈っている。そこまでいかななくても、野球観戦にちょっとした新しい魅力を付け加えることが出来れば幸いである。

## 引用文献

- 1) 溝田武人他：フォークボールの不思議，日本風工学会誌 **70** (1997) 27-38.
- 2) 桜井伸二：ニュートン **17-11** (1997) 92-93.
- 3) 姫野龍太郎他：第12回数値流体力学シンポジウム講演論文集 (1998).
- 4) 溝田武人他：ナックルボールの不思議第一報，日本風工学会誌 **62** (1995) 3-13.
- 5) 溝田武人他：ナックルボールの不思議第二報，日本風工学会誌 **62** (1995) 15-21.
- 6) 小西弘明他：ナックルボールの振動飛翔実験，日本流体力学会年会講演論文集 2001.
- 7) 姫野龍太郎：魔球をつくる，岩波科学ライブラリー 75 (岩波書店，2000).
- 8) 手塚一志，姫野龍太郎：魔球の正体 (ベースボールマガジン社，2001).