アメフトボールまわりの流れ

駒崎真以美　(指導教員：河村哲也)

1　はじめに

球を扱うスポーツでは，その球を扱う技術が試合の勝敗を大きく分ける．球の大きさ，形，利用方法などは各スポーツにより様々であるが、野球やサッカーなどのメジャースポーツに関しては多くの研究がすでに行われている．そのどちらも球を投げる，もしくは蹴る際の細かな技術も重要であるが，屋外で行われるスポーツであれば周囲の状況も左右してくる．その中でも主に影響を及ぼすのは風である．

日本ではあまりメジャーではないがアメリカンフットボールは屋外スポーツでありながらパスのコントロールが重要な競技である．4 回のプレーで 10 ヤード（約 10m）以上距離を稼がなければならないため，長距離を稼ぐことのできるパスを成功させれば得点に繋がりやすい．投手はプレーが始まり数秒で状況判断をしてパスをする必要がある．そのためパスのコントロールが非常に重要になる．[2, 3]

本研究では，屋外スポーツであり，かつ楕円型のボールを遠方へパスすることでゴールラインへと近づけていく，アメリカンフットボール周りの風の流れについてシミュレーションし，パスの際のコントロールに役立てることを目的とする．

2　格子生成

格子数　31 × 82 × 61 とした球座標（r,θ,ϕ) をベースとし，それを原点からの距離方向に適正に伸縮させることにより計算格子とした．(Fig.1,Fig.2)

r:原点からの距離，θ:経度，ϕ:緯度

このときボールの表面上から外の空間へ広がる形で格子をとっている．また経度は 4.5 度，緯度は 3 度間隔になっている．

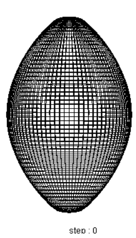

Fig 1　ボール表面格子

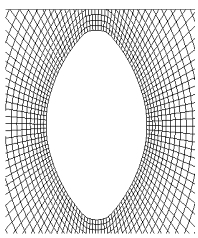

Fig 2　空間格子

3　計算方法

3.1　基礎方程式

無次元化した連続の式と Navier-Stokes 方程式を使用する．

連続の式

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0$$

Navier-Stokes 方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}$$
$$=-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}$$
$$=-\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t}+u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}$$
$$=-\frac{\partial p}{\partial z}+\frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right)$$

p: 圧力，Re: レイノルズ数

3.2　解法

上記の方程式をフラクショナル･ステップ法を用いて解く．[1] この際，これらの式は球座標を用いず，一般座標を用いて変換し計算を行った。Re=2000，20000，400000 の 3 種類でシミュレーションした．

また，ボール表面上に周（経度）方向の速度を与えることでボールに回転を加えることと同等とみなせる．この際長軸を回転軸とする．回転数を 1 秒間に 3 回とするため角速度 $\omega=6\pi$ とした．

4　結果と考察

今研究ではボールの投げ方は 3 種類に分けてシミュレーションした．図の黒線は風の流れを示し，ボール部分は圧力分布を示し，青から赤に色が近づくにつれて圧力の値が大きくなる．

Fig.3～Fig.7 ではボールは左側から右側へ底辺に平行に一定の速さで投げられている.（以後この投げ方を一般的な投げ方と呼ぶ.）Fig.3 のボール風下部分に対称に渦が出来ていることが確認できる．このまま時間を進めるとこの渦は崩壊していく．

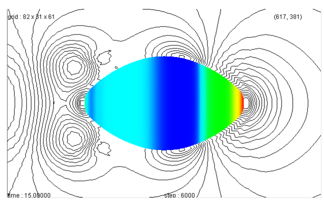

Fig 3　長軸と底辺平行に投げた場合の渦発生時

Fig.4，Fig.5 ではその渦が崩壊した直後を示している．Fig.4，Fig.5 には回転の有無の違いがあるが回転のある Fig.5 の方がボールにかかる圧力が長軸に関してより対称であることが表面上の圧力分布（シェーディング）から分かる．かかる圧力が対称であればボールの軌道は安定すると考えられるので回転がある方が良いと考えられる．また Fig.6，Fig.7 は Fig.4，Fig.5 の

別時刻の結果を示しているが，比較すると回転無しのボール中央右の圧力分布の青色部分は Fig.4 では下側が太いのに対し Fig.6 では上側の方が太くなっている。一方 5，Fig.7 では大きな変化は見られない。これより，やはり回転が無い方がボールは不安定な動きを見せると考えられる．

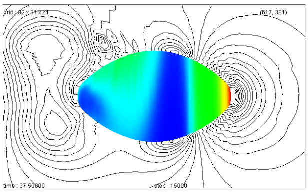

Fig 4　回転無し

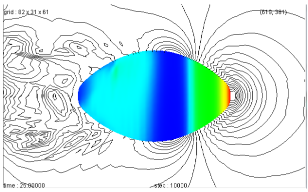

Fig 5　回転有り

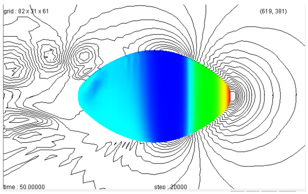

Fig 6　回転無し

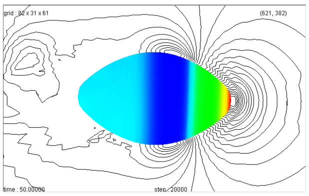

Fig 7　回転有り

次に斜め上に向けて長軸平行のままボールを投げた．Fig.8，Fig.9 はともに渦が発生する直前を示している．Fig.9 の回転の有る方が風の当たる部分とその反対部分の圧力差が Fig.8 の回転が無い場合と比べて小さくなっていることがわかる．これより回転がある方がボールの速度を落としづらく飛距離がの伸ばせるのではないかと考えられる．

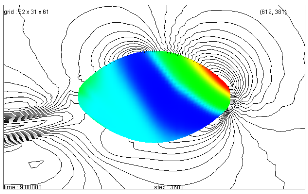

Fig 8　回転無し

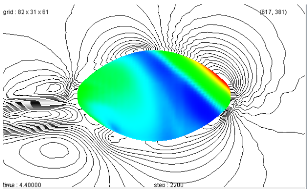

Fig 9　回転有り

最後にボールを横向きにして投げた．これは Fig.3 などの一般的な投げ方の際に横から風が吹いてきたときと近い状態と考えられる。Fig.10，Fig.11 はともに時刻ｔ=30 の時を示している．この際，回転無しの Fig.10 ではボール下部分の圧力が小さいのに対し、Fig.11 の回転有りの場合ではその圧力が大きくなっていることが分かる．つまりボールの長軸対称の圧力差が小さくなるため，横風に対して安定した軌道で飛ぶと考えられる．

また Fig.11 の場合でレイノルズ数を変えてシミュレーションしたものを Fig.12，Fig.13 に示した．それぞれレイノルズ数は Re=20000，400000 とした．レイノルズ数が大きくなるほど風の流れは乱れやすくなっていくためボールにかかる圧力も不安定になっていき，Fig.12，Fig.13 と長軸対称の圧力差が大きくなっている．これよりレイノルズ数が小さい方がボールの軌道は安定すると考えられる．

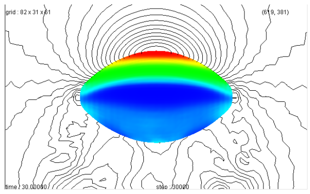

Fig 10　回転無し

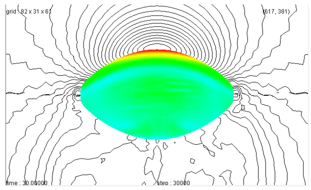

Fig 11　回　転　有　り (Re=2000)

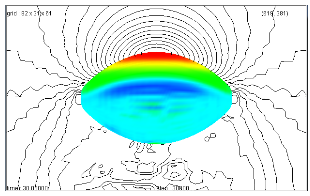

Fig 12　Re=20000

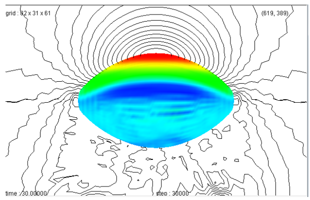

Fig 13　Re=400000

5　まとめと今後の課題

ボールの投げる向きと回転の有無，レイノルズ数の違いによるボールに働く圧力の差に着目した．今研究で行った 3 種類の投げ方の全ての場合では回転が有る方が長軸対称でのボールの圧力差が小さくなり，ボールの飛行軌道を安定させると考えられる結果が示された．特に一般的な投げ方に対しては他 2 種に比べて結果が大きく異なり，圧力差を大きな範囲で小さくするため回転は垂直な風に対して有効であると考えられる．また，レイノルズ数が小さい方が軌道が安定するという結果を得られた．

今後の課題としては，このボールの速度は今回一定なものであり，回転に関しても長軸を軸としたかなり理想的な動きをしている．今後これを様々なボールの速度にし，また回転に関しても実際の長軸とは少しズレた回転軸もシミュレーションしていきたい。またレイノルズ数に関しては，実際屋外でボールを投げた際は今回設定した最大の Re=400000 が一番近い値となる．今回はレイノルズ数での違いを見るため適当な値を与えたが，こちらも実際の値に近づけてシミュレーションしていきたい．

そしてこれらの結果をふまえてボールが実際に風の影響を受けどのような軌道を描いて飛ぶのか，ということをシミュレーションしていきたい．

参考文献

[1] 河村哲也．数値シミュレーション入門．サイエンス社，2006．

[2] 大橋誠 「よくわかるアメリカンフットボール」実業之日本社，2011．

[3] 池田哲雄 「2006 年度版　ＮＦＬアメリカンフットボールを知りつくす！」(株) ベースボール・マガジン，2006．