

気象2 風1 転向力について

気象に関しての第二回目として、風についての話です。風の話で欠かせないのが転向力という“みかけの力”の存在です。高校で地学の授業を受けられた方は学習されていると思いますが、物理の得意な方以外は“よくわからない”話だったと思います（私もわかったような気分になっているだけです?）。できるだけ数式を使わずにうまく説明できるかわかりませんがお読みください。

(1) どんな力か

地球上で動くものすべてが受ける力です。北半球と南半球で力の働く向きは逆になりますが、赤道上以外では必ず働きます。投げたボール、打ち出された弾丸、風などは他から力を受けない限り北半球では最初に向けた方向より右の方へずれます。このずらしたように見える力が転向力（発見者の名からコリオリの力ともいいます）です。

(2) 原因は?

地球が自転しているからです。地球は自転していますが、地表の地点（人）が動く（地球と一緒に回転する）速さは緯度によって違います。赤道が最大の速度で、極に向かうほど速度は小さくなります。

地球はどの地点でも1日に1回転（1自転）します。

右図で赤道の人（Q地点）は半径 r で回転しますので、

動いた距離は $2\pi r$ です。一方、緯度 ϕ の人は、回転半径

R で1回転（1自転）します。動いた距離は半径 R の円周

$2\pi r \cos \phi$ です。見てすぐわかるように、半径 r の円周より半径 R の円周は小さいので、赤道の人（Q点）の方が、同じ一日（1自転）でも大きく動いたことになります。動いた速さでいえば、赤道の人の方が速く動いたことになります。

例えば赤道の地点Aから同一経線上の緯度 ϕ の地点Bにボールを投げたとします（北極点方向に向かって真北に投げた）。このボールは他から力が加わらない限り同じ向きに進みます。AがA'点にきた時、B点はA点より回転する速さ（自転速度：自転の角速度）が遅いので、ボールはB点より右のほうにずれて（B'点：ピンクの点）到達します。A'点にきた時はB''に到達します。最初に狙ったのは緑の点です。そのため、A点にいる人はボールが右にそれて到達したと感ずります。もちろん、宇宙空間から見ていれば、ボールは最初に投げられた方向にまっすぐ飛んでいくのがわかります。目的の地点からそれたように働く力を転向力といいます。字の通り向きをそらす力という意味です。気象学や海洋学では、「コリ

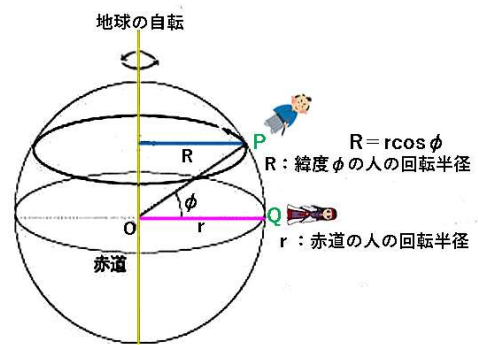


図1 地球の回転半径

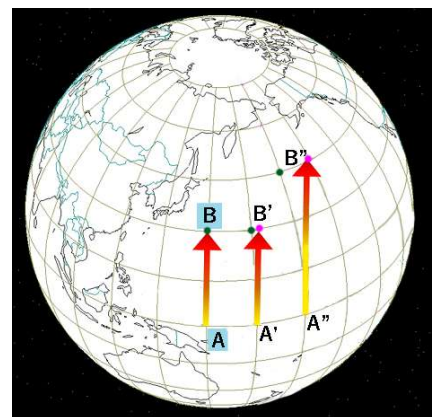


図2 転向力の影響

オリの^{ちから}という方が多いようです。自転速度の違いが原因で、転向力（コリオリの力）が生じるともいえるでしょう。

これは東へ並走する電車があるとき、遅い電車 P（A さん）から速い電車 Q（B さん）にボールを投げた時も同

じです。A さんからのボールは B さんに届かず、B さんよりも電車 Q の後ろの方に届きます。A さんはボールが右へそれたように感じます。もちろん、電車の外から見ると、ボールはまっすぐ進んでいます。

転向力は実際に何か力が働いたわけではないので「見かけの力」とも表現されます。空気抵抗は考えないものとします。

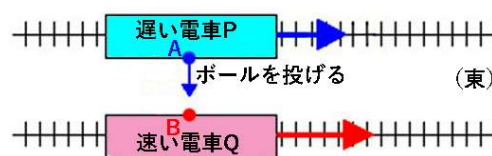


図3 東へ並走する電車

(3) 転向力（コリオリの力）の特徴

このわかりにくい転向力を式で表すと、 $f = 2m v \omega \sin \phi$ となります。

f = 転向力, m = 物体の質量, v = 物体の速度, ω = 地球の自転角速度, ϕ = 緯度 です。 m は単位質量 (=1) とし、地球上でのみ考えると ω は省力でき、上式は $f \propto 2 v \sin \phi$ となります。これを“日本語に翻訳する”と次のようになります（図4も参照してください）。

- ・ 運動している物体のみに働き、静止している物体 ($v=0$) には働きません。
- ・ 緯度 ϕ が高い地域ほど大きくなります。北極や南極で最も大きく、赤道では働きません（極で $\sin 90^\circ = 1$, 赤道で $\sin 0^\circ = 0$ ）。→極付近では大きくそれます。
- ・ 物体が受ける転向力は、物体の速度 (v) に比例します。→速いものほど大きくそれます。

地球は反時計回りに自転していますので、北半球では、どの地点でも反時計回りに地球が回転していることになり、北半球では進行方向に対して直角右向きに、南半球では進行方向に対して左向きに働きます。

この現象は、風の動きをはじめ、地球上のいろいろな現象に影響を与えています。

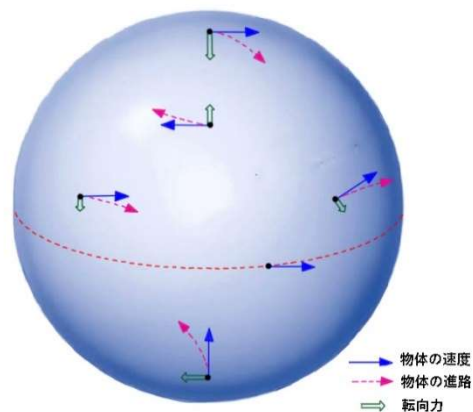


図4 地球上のいろいろな場所での転向力

※回転の方向：回転の方向は見る方向によって異なります。時計回りや反時計回り、右回りや左回りという表現は、北極上空から見るとか、北から見ての回り方を示すのが普通です。南極上空から見ると、地球は時計回りに回転しています。地球の自転の場合、東回りという表現もされます。

地球が、ジュース缶のように円筒なら、コリオリの力は起こりません。転向力は水平方向だけでなく鉛直方向にも働きますが、小さいので無視して考えることが多いようです。

(4) 要点

日本を含めた北半球では、動く物体は右の方へそれて動いていきます。南半球では左にそれ、赤道ではそれません。(=北半球では進行方向の直角右向きに転向力が働きます)

前述したように、放出された物体は、転向力を受けて右（北半球）へそれますので、目的のところに飛ばしたい時はあらかじめ転向力を計算して、左寄り（北半球）へ打ち出さなければなりません。確認はしていませんが、かつての戦艦大和級になると大砲の弾はかなり遠くまで飛ぶため、敵艦に弾を命中させるためには転向力を計算する必要があったそうです。“決闘”で撃ち合う時も厳密には目標の少し左を狙わなければいけません(もちろんこの場合は2人の距離は短いので、ずらさなくても命中するでしょう)。

地球の自転を証明した実験に、フーコーの振り子の実験があります。フーコーは実験をした人の名前です。東京上野の国立科学博物館や名古屋市科学館などにもありますので、見られたことのある方は多いでしょう。ある程度長い時間見ていないとわかりません

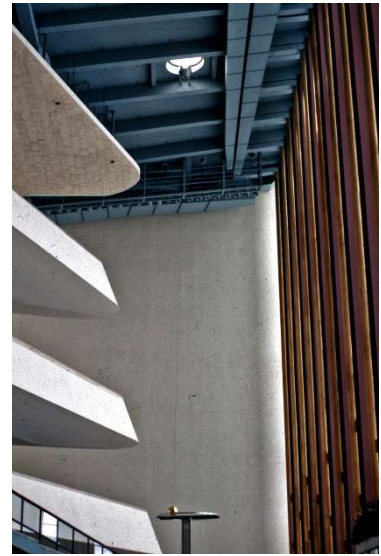


図5 フーコーの振り子

が、地球の自転のため振り子の振動面は時計回りに回転していきます。振り子の振動方向が変化したのではなく、その場所の床（地球：見ている人）が反時計回りに回転したのです。

図5はニューヨークの国連ビルを訪れたときに見たフーコーの振り子を撮ったものです。

(5) 自転速度と時刻

地球の自転速度は、簡単な計算で求められます。名古屋付近（北緯35度とします）では、地球の赤道半径（ r ）を6378kmとすると、自転に伴う移動距離（図1の半径 R が描く円周）は、

$2\pi \times 6378 \times \cos 35^\circ = 32812\text{km}$ になります。1日を24時間とすれば、 $32812\text{km} \div 24 = 1367\text{km}$ となり、結果は、1367km/h（時速1367km）となります。

地球上のもの（人も）がよく振り飛ばされないものだなあと感心しています。動いていると感じないのは周りの大気も一緒に動いているからですが、私がこの速さを実感するのは夕日が沈む速さです。月日が経つのが早く感じられるのも当たり前ですね。

自転周期を使って私たちは時間を決めています。目印になるものを使って地球が1回転したと判断するわけですが、星（恒星）を使うと、自転周期は23時間56分4秒となり（1恒星日^{じつ}といいます）、太陽を使うとほぼ24時間になります。人類にとって太陽の存在は大きいので、私たちは太陽を基準とした1日24時間を使っています（1太陽日^{じつ}といいます）。恒星と太陽とでずれが生じるのは、地球が太陽の周りをまわって（公転して）いるからです。近年、潮汐（月や太陽の引力で海水が移動する現象、満潮や干潮など）などの影響で、地球の自転速度が遅くなり、時計とのずれをなくす（地球の自転の遅れを取り戻す）ために、時々、1秒を加え（ある一日を24時間1秒とする）ていきます（この1秒をうるう秒^{うるうじょう}といいます）。ただし、2020年前後より自転速度が加速し始めているという報告もあり、ときには年に1秒減らす（ある一日を、23時間59分59秒とする）必要が出るのかもしれない。