

スリップストリームによる雨滴への影響
How Slipstreams Affect Raindrops
高松第一高等学校 普通科3年
植田 英椰 宮本 竣也 柳父 英俊
Ueta Hideya Miyamoto Shunya Yanabu Hidetoshi

1. 概要

雨の日により濡れないのは走るときか歩くときかに興味を持ち、スリップストリームに着目することでそれを考察してみようと思った。物体をモデル化して考えると、物体が動いているときにスリップストリームが起これ雨滴が巻き込まれ、後面が濡れる可能性があることが分かった。だが、実験データを用いた計算により雨滴は物体後面に当たらないことが分かった。すなわち、走るほうが濡れないと推測できる。

2. 研究目的

本研究の目的は、「物体が動く際に物体後方で起こる空気の巻き込み」によって背中が濡れる可能性を考慮したうえで、雨の日により濡れないのは走るときか歩くときかを解明することである。なお、本研究ではこの空気の巻き込みをスリップストリームと呼ぶ。

研究当初の目的は、雨の日に傘がないとき、より濡れないのは歩くときか走るときかを解明することだった。しかし、先行研究を調べていくうちに体の上面と前面のみが濡れる場合については既に解明されていると分かった。また先行研究の中には、スリップストリームによって背中が濡れることについて述べられているものもあったが、本研究の目的とは結び付けられてはいなかった。そこで、スリップストリームが起これ背中が濡れる可能性を考慮したうえで、雨の日により濡れないのは、走るときか歩くときかを解明することを目的とした。

3. 先行研究について

参考文献 I より、次のことが分かっている。

① 上からの雨で濡れる量と物体の速度の関係

上からの雨の量は、物体が雨の中にいる時間が短いほど小さい値になる。すなわち、物体の速度が大きいほど上からの雨で濡れる量は少ないと言える。

② 前方からの雨で濡れる量と物体の速度の関係

前からの雨の量は、物体の速度に関係なく一定の値を示す。

③ 傘を差しているのに背中が濡れるのはなぜか

物体が動いているときに、その後ろに空気のみだれが生じる。車や自転車のレースで前方の車両が後続車両を吸い込むようなスリップストリームが発生しているから。

*スリップストリームについて

物体が風を受ける面積が大きいほどスリップストリームによる効果は大きくなる。また、物体の速度が大きくなるほどスリップストリームの効果は大きくなる。

4. 実験について

物体が止まっているときについての実験を実験(I)、物体が動いているときの実験を実験(II)として、2つに分けて実験を行った。

また、これらの実験では一般的な走る速度を1.7m/s、歩く速度を1.3m/sとしている。ただし、物体は縦10cm、横14cm、高さ23cmの箱とした。

4.1. 実験(I)

<目的>

物体が静止している状態でのスリップストリームの起こる様子を調べる

(i)物体後方の空気の流れを可視化し、空気の乱れを観察する

(ii)物体が前方から受ける風の風速を変数としてスリップストリームによって巻き込まれる風速を調べる

4.1. i

<準備物>

ストローとアクリル板で作った風洞、ドライアイス、扇風機、カメラ
物体(縦10cm、横14cm、高さ23cmの箱)

<方法>

- (1) ストローを 2cm 程度に切り、重ね合わせて整流器を作成する。この整流器をアクリル板に貼り付け風洞を作る。(図 4.1 のように設置)
- (2) 整流器の手前のスペースにドライアイスの煙を溜める。
- (3) 扇風機を回し、煙を整流器に通す。この時に、物体後方の空気の流れを観察する。
- (4) (3)の様子をカメラで撮影する。

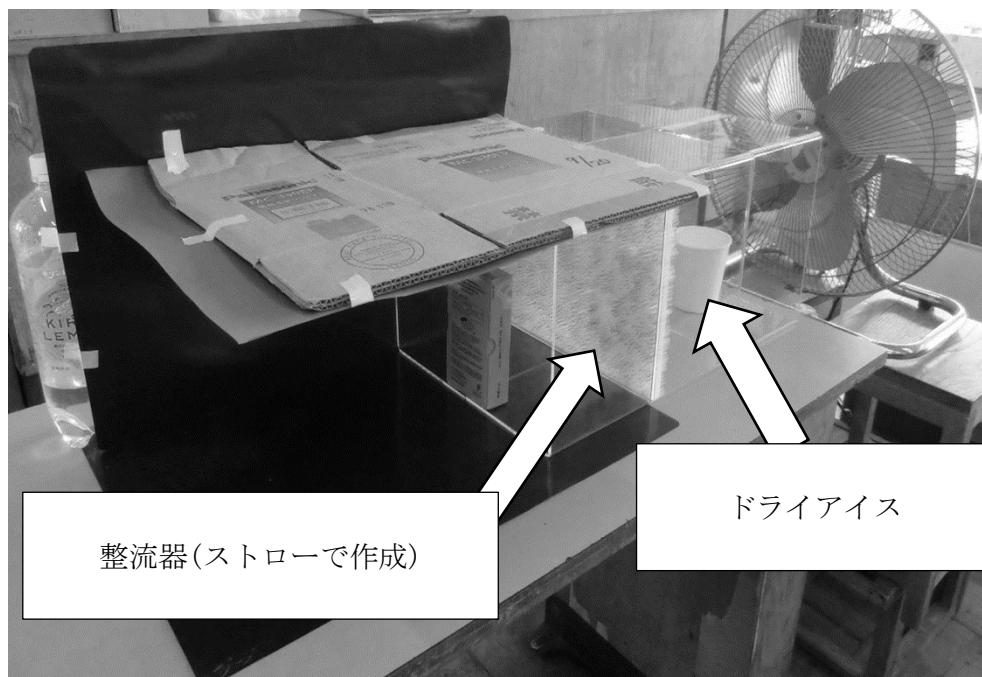


図 4.1 実験装置の様子

<結果>

物体の端から後ろの面の中心部分に向かって吸い込むような空気の流れを観察することができた。つまり、物体の後面でスリップストリームが発生した。

4.1. ii

<準備物>

風洞、物体、風速センサー、扇風機

<方法>

- (1) (i)で用いた風洞の、物体を置いた位置と物体後方 10cm の 2 ヶ所の位置に風速センサーを設置する。(図 4.2 のように設置)
- (2) 扇風機を回し、物体の位置における扇風機から直接うける風速 $X(m/s)$ と、物体後方で巻き込まれる風速 $Y(m/s)$ を測定する。
- (3) 物体の位置を変えることで、入力変数 X の値を変えて Y を測定する。

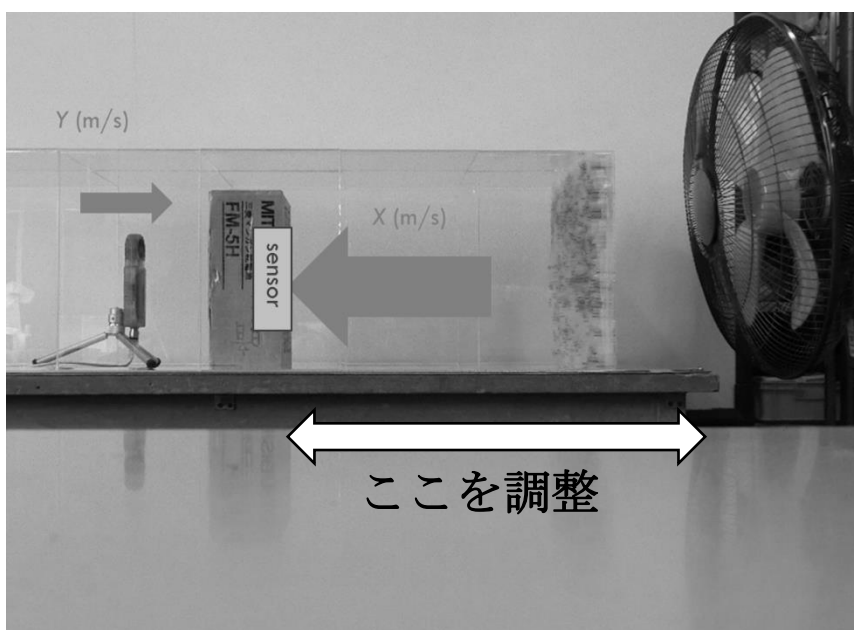


図 4.2 装置を横から見た図



図 4.3 風速センサー (正面)

<結果>

図 4.4 に X と Y の測定結果を散布図で表す。

X と Y には比例の関係が見られた。

<考察>

物体後面でのスリップストリームにより雨滴が動くと考え。ここで、雨滴の速度は実験(I)での風速 $Y(\text{m/s})$ である。実験結果より $X > Y$ ということが分かっているので、物体が $X(\text{m/s})$ で動くと考えれば、物体後面の雨滴は物体には追いつけない。すなわち、スリップストリームによって物体後面が濡れることはない。(図 4.5)

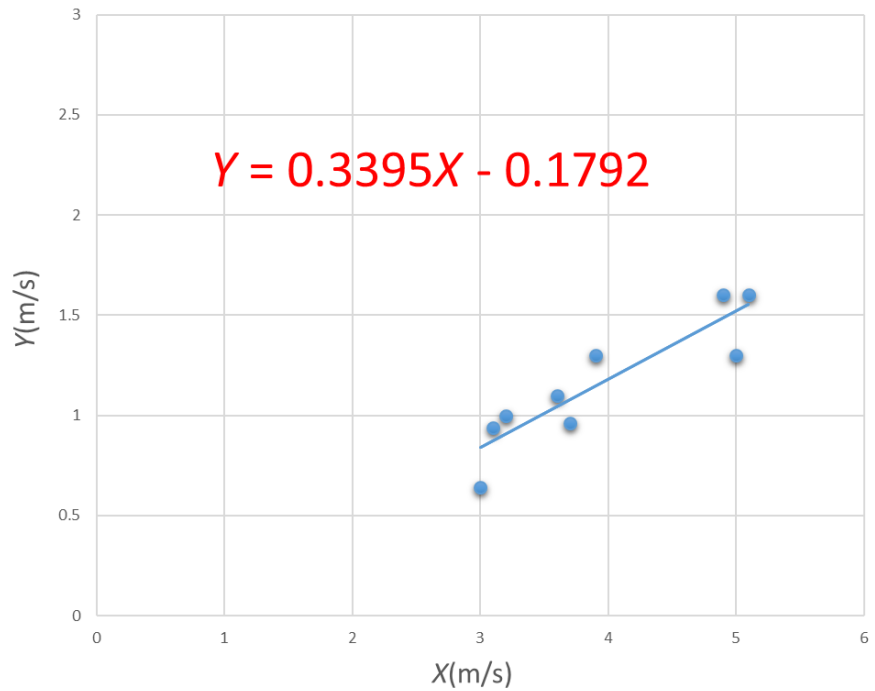


図 4.4 実験(I)の結果

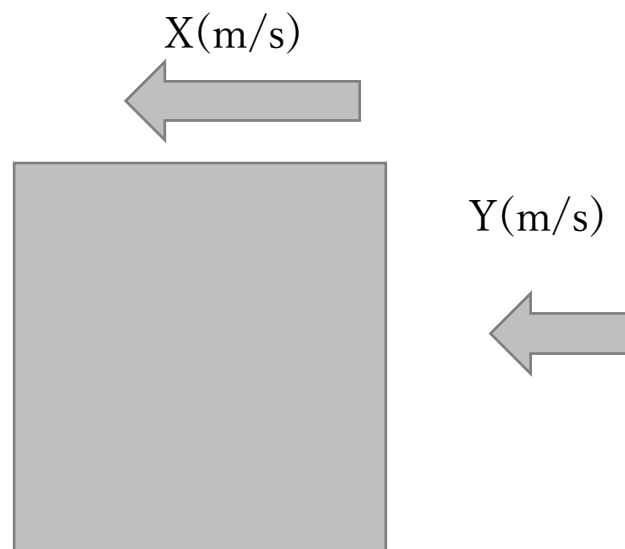


図 4.5 考察に用いた図

実験(I)では静止している物体に前方から $X(\text{m/s})$ の風を当て、物体が $X(\text{m/s})$ で前方に進んでいると考えて実験を行った。

しかし、物体が動いているときは物体後方の圧力の変化が違い、 X と Y の大小関係が変わる可能性があると考え、物体を動かして実験をすることにした。

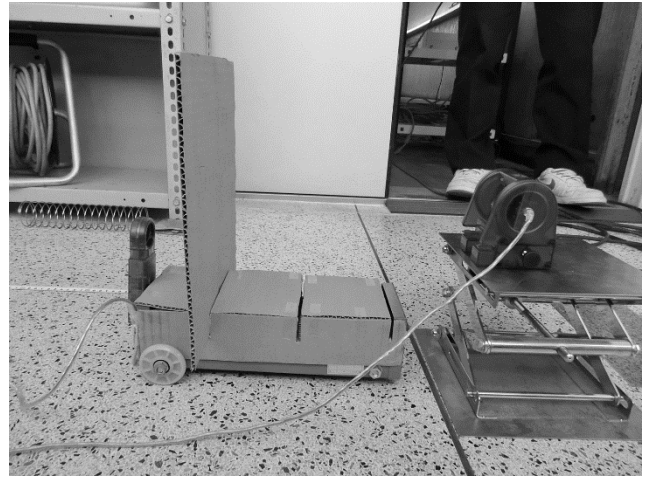
4.2. 実験(II)

<目的>

- ・物体が動いている状態で物体後面においてスリップストリームが起こる範囲を調べる。
- ・ X より Y の方が大きくなるかどうかを調べる。

<方法>

- (1) 図 4.6 のように、力学台車に風速センサーと物体に見立てたダンボールの板を装着する。また、物体を動かす方向に超音波距離センサーを設置することで、物体の速度 X を測定した。この時、風速センサーとダンボールとの距離 L を 1cm とする。
- (2) 力学台車を走らせ、風速センサーのプロペラが風を吸い込む方向に回るかどうかを目視で調べる。
- (3) L を 1cm ずつ大きくし、(2)を行う。風速センサーのプロペラが回り始めた L をスリップストリームが起こる範囲の最小値とする。
- (4) 力学台車に、風速センサーと板の距離がスリップストリームが起こる範囲の最小値になるように取り付け、台車を押して X と Y の関係を調べる。この際、 X が様々な値となるよう実験を繰り返す。(最小値における Y を計算で用いるため)



<結果>

板と風速センサーの距離 L が 8cm になったときに、風速センサーが回りだした。また、この実験では風速センサーも台車と一緒に移動している。そのため、風速センサーで出る値 Y は台車に対する相対速度となる。図 4.4 より、 $Y > 0$ で、 Y が台車に対する相対速度であることを考慮すると、 X より Y の方が大きいとわかった。

また、 1.7m/s 周辺の 7 つの点における Y の値の平均は 0.48m/s だった。この値は 5.2 の計算で用いる。

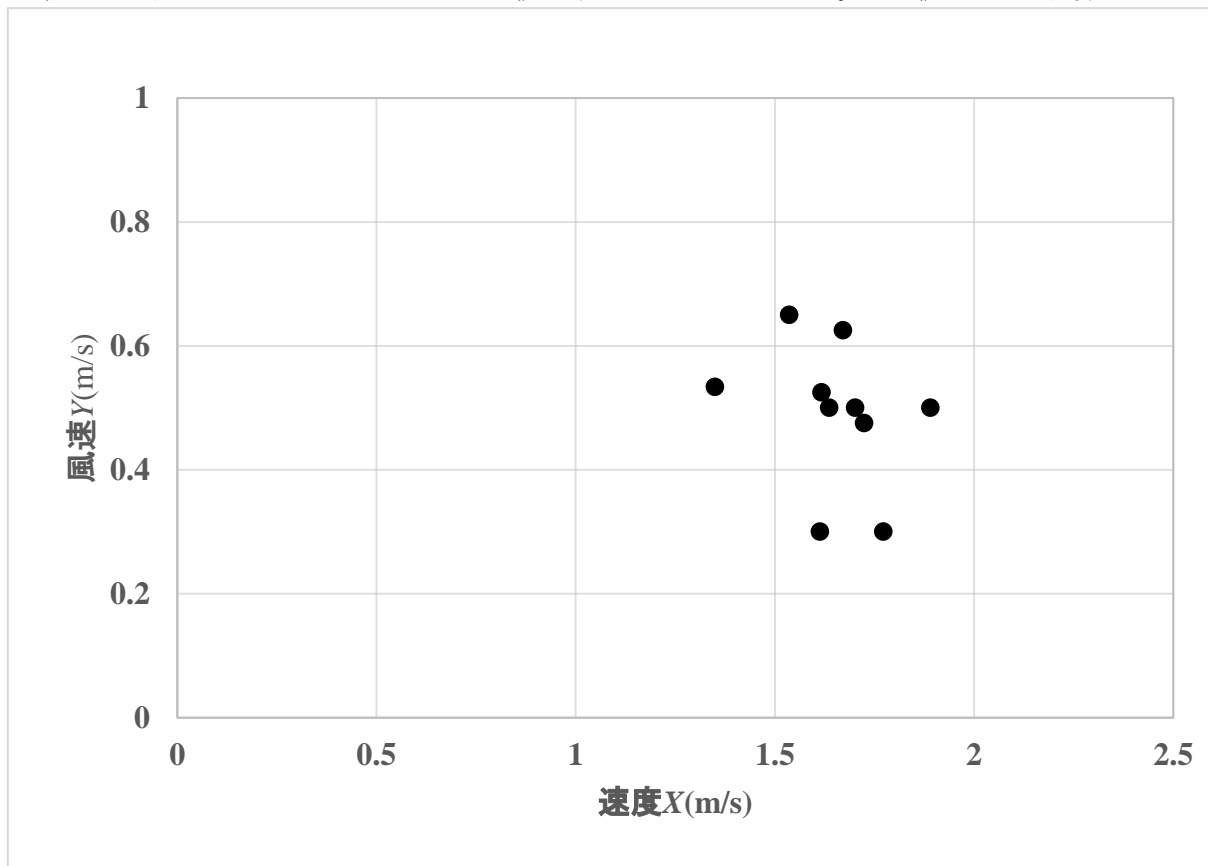


図 4.7 実験(II)の結果

<考察>

$Y > 0$ ということは、上で述べたように $Y > X$ である。つまり、物体よりもスリップストリームによる物体後面の風速のほうが大きく、物体が動いているときに、雨滴が背中に当たる可能性があることが分かった。

計算について

5.1 先行研究のデータ

参考文献Ⅱより、雨滴の直径とその終端速度との関係が分かっている。

計算には、雨滴の直径が 1mm、2mm、3mm のときのそれぞれの終端速度 4m/s、6m/s、8m/s を用いる。

5.2 計算過程

<条件>

- (1) 板に水平方向に向かう速度：0.48m/s(実験Ⅱより)
- (2) 板から 8cm の距離における空間は水平方向の空気抵抗が無視できると仮定する。(図 5.2.a)この空間において雨滴は水平、鉛直のどちらの方向においても等速度運動をする。
- (3) 図 5.2.b のように θ をとり、雨滴の直径が 1mm、2mm、3mm のとき、それぞれ θ_1 、 θ_2 、 θ_3 とする。板の上端から板に到達すると考えられる点までの距離をそれぞれ h_1 、 h_2 、 h_3 とする。

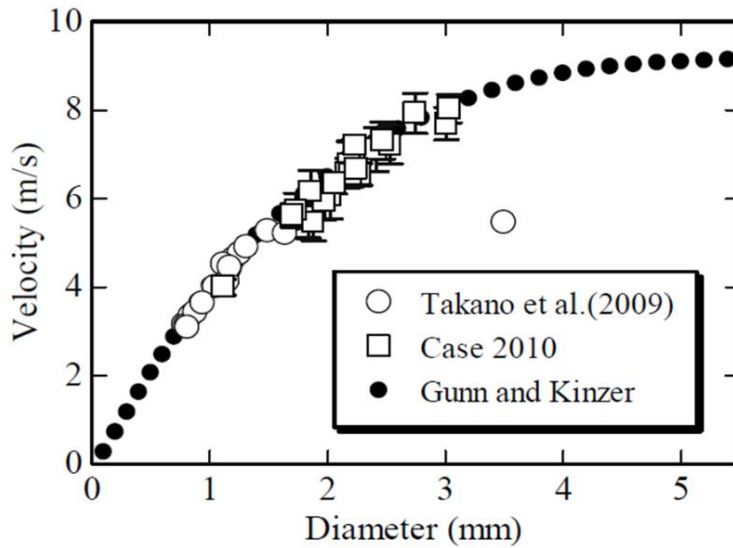


図 5.1 雨滴粒径と落下速度の関係(参考文献Ⅱより)

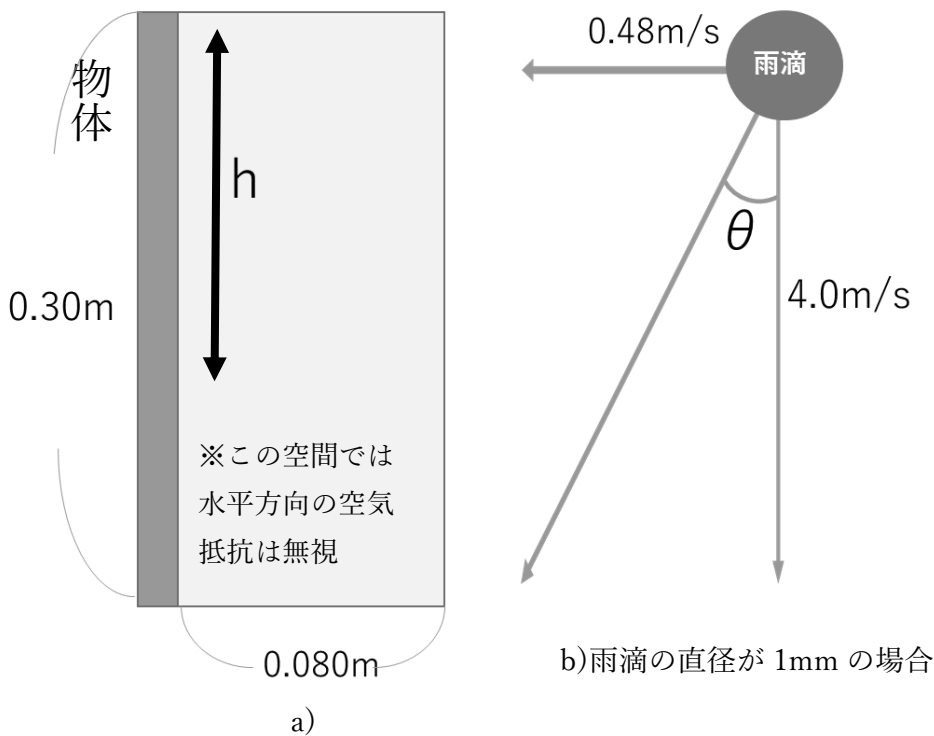


図 5.2 条件について

<計算>

(a) 雨滴の直径 1mm のとき

その終端速度は 4m/s であるから、 $\tan\theta_1 = \frac{0.48}{4}$ となる。

よって、 $h_1 = \frac{0.08}{\tan\theta_1} = 0.666 \cdot \cdot \doteq 0.67\text{m} > 0.30\text{m}$

(b) 雨滴の直径 2mm のとき

その終端速度は 6m/s であるから、 $\tan\theta_2 = \frac{0.48}{6}$ となる。

よって、 $h_2 = \frac{0.08}{\tan\theta_2} = 1.000\text{m} > 0.30\text{m}$

(c) 雨滴の直径 3mm のとき

その終端速度は 8m/s であるから、 $\tan\theta_3 = \frac{0.48}{8}$ となる。

よって、 $h_3 = \frac{0.08}{\tan\theta_3} = 1.333 \cdot \cdot \doteq 1.33\text{m} > 0.30\text{m}$

ここで、物体の高さを 0.30m で測定していたので、(a)、(b)、(c)のいずれの場合においても、雨滴は物体後面にたどり着かず地面におちていくことがわかった。

5. 結論

雨の中ではスリップストリームによって背中濡れないので急いで走り抜けるべきである。ただし、地面や靴からの跳ね返りによって濡れることは考慮しない。

6. 参考文献

● 参考文献 I

To be, or not to be 雨の中を「走るべきか、走らざるべきか」それが問題だ
第 48 回自然科学観察コンクール入賞作品 河合千晶

● 参考文献 II

超高速度撮影による落下雨滴の速度・粒径および形状の計測
土木学会論文集 B1(水工学) 近畿大学 理工学部社会環境工学科
講師 高野保英 教授 竹原幸生