〈第 32 回　山崎賞〉

７．自転車のタイヤの空気圧と加速度の関係

静岡県立吉原高等学校
渡辺勇磨　千葉拓磨　一杉直樹　斉藤祥真　緒方大和　海野嵩史

１　目的

自転車のタイヤの空気圧を変化させて、設置面積の変化による加速度の変化を調べる

２　背景

日常生活で自転車をよく使うが、その際に空気圧が減っているとペダルを漕ぐ力が多く必要になることがある。この現象を科学的に解明したいと思った。調べてみると、現在、さまざまな点で車の燃費の向上が考えられているが、タイヤでもそれは可能であることがわかった。同じタイヤでも空気圧を変え、地面との接地面積の変化により少ないエネルギーでより長く進めるようになるかを研究することが、今後の社会に役立つと考える。

３　実験

実験①　坂道を使った加速度の測定

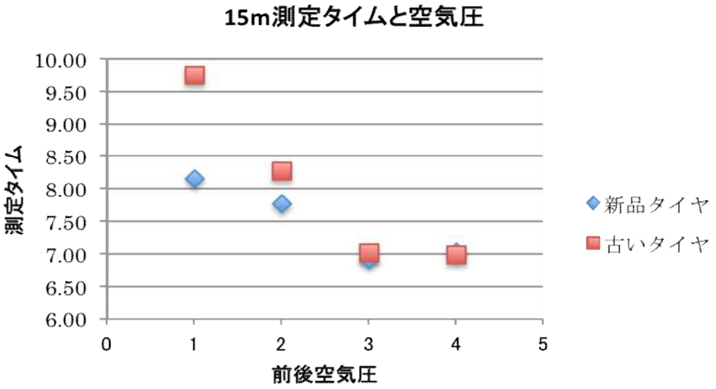
(1)方法

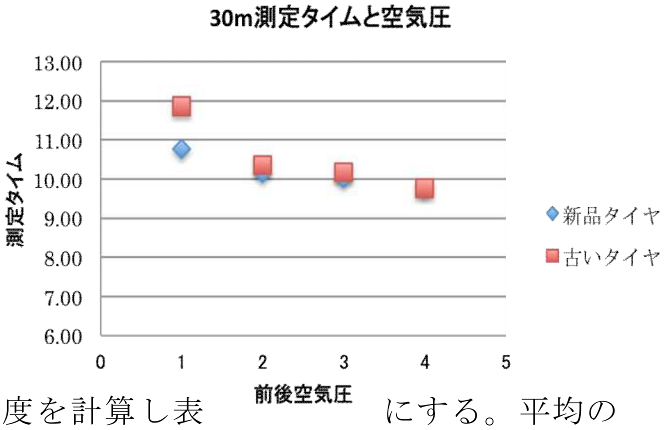
走行時の姿勢

① 斜面の角度が一定の坂をメジャーで１５メートル測定し印をつける。
② 空気圧を計ることができる空気入れを使い、自転車の前輪と後輪の空気圧を計測する。(新しい自転車)
③ タイヤの温度を、空気圧を変えるごとに前輪と後輪を３ヶ所ずつ測定する。計測前に坂の路面の温度を５メートル間隔で４箇所測定する。
④ タイヤの前輪と後輪の空気圧を１気圧に揃えて１５メートルのタイムを３回計る。タイムの計測はストップウォッチを１人１つ使い、２人で計測する。このとき、スタートは、ブレーキをかけた状態から蹴りださずブレーキを解き発進する。なお、走行時の空気抵抗を考慮し、同一人物が同じ姿勢で走行することに注意した。(図３)
⑤ 前後輪の空気圧を共に１気圧ずつあげて 4 と同様の実験を行う。
⑥ ⑤の作業を前輪と後輪の空気圧が４気圧になるまで行う。
⑦ 違う自転車(古い自転車)を用いて３から６の作業を行う。
⑧ 距離を３０メートルに変更し、同じ方法で計測する。

(2)結果

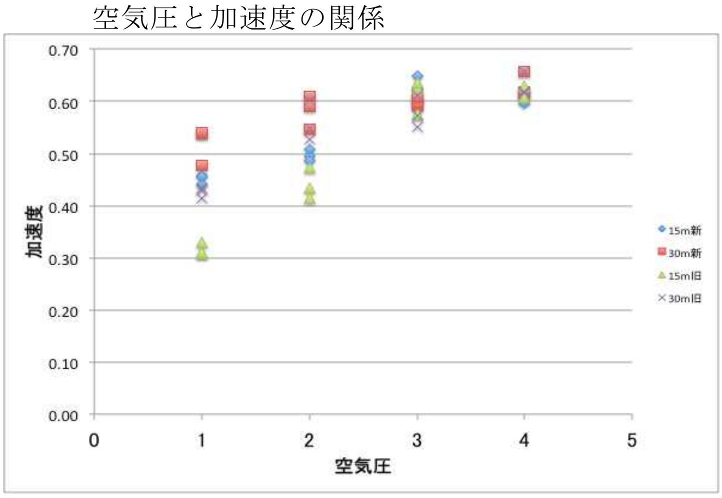
気圧]のグラフを作成する。ただし、前後輪がともに１気圧の時は 1、２気圧の時は 2 と表している。





また、それぞれのタイムについて平均の加速度を計算し表　　　　　にする。平均の加速度は、等加速度運動の式より以下を用いる。

(3)考察

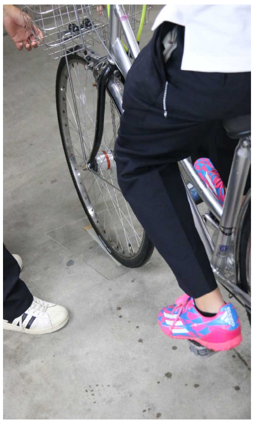


　タイヤの空気圧が高いほど、走行のタイムが速くなっている。また古いタイヤの方が、空気圧の違いによるタイムの差が大きく出ていることがわかる。空気圧が違うと、地面との接触面積が変化する。このことが今回の測定タイムに影響を与えているのではないかと思い以下の実験を行う。

4 実験②　感圧紙とプラニメータを用いた接地面積の測定

(1)方法

感圧紙による測定



感圧紙

① 感圧紙を縦２７センチ横５センチに切り取る。
② ガムテープでアクリル板に感圧紙を固定する。
③ タイヤの前後輪の空気圧を１気圧にする。
④ ブレーキをかけた状態で前輪を２人で支えながら感圧紙の上にのせる。
⑤ ④から⑧の実験の時に乗っていた人が乗り２０秒計測する。
⑥ タイヤの位置がずれないように自転車を移動する。
⑦ 後輪の空気圧は変えず、前輪の空気圧を１気圧上げる。
⑧ アクリル板から感圧紙をはがし、新しい感圧紙をガムテープで固定する。
⑨ ①から⑦の作業を前輪の気圧が４気圧になるまで行う。
⑩ 自転車を変え、①から⑨までの作業を行う。

プラニメータ

① 感圧紙を白黒コピーして、縁をペンでなぞる。囲まれた部分をそれぞれアルファベットでおく。
② プラニメータで計測する単位を mm に設定する。
③ トレースレンズをなぞった線に合わせ、CONTINUOUS ボタンを押し、START ボタンを押す。
④ ￥￥線に沿ってプラニメータを動かす。その際、接地面がつながっていない所はアルファベット別に別々に計測する。
⑤ 別々に計測した数値を足して、タイヤの接地面積を計測する。
⑥ 各気圧でのタイヤの接地面積を写した感圧紙で、１から５までと同じ作業を行う。

プラニメータ

古い自転車のタイヤ

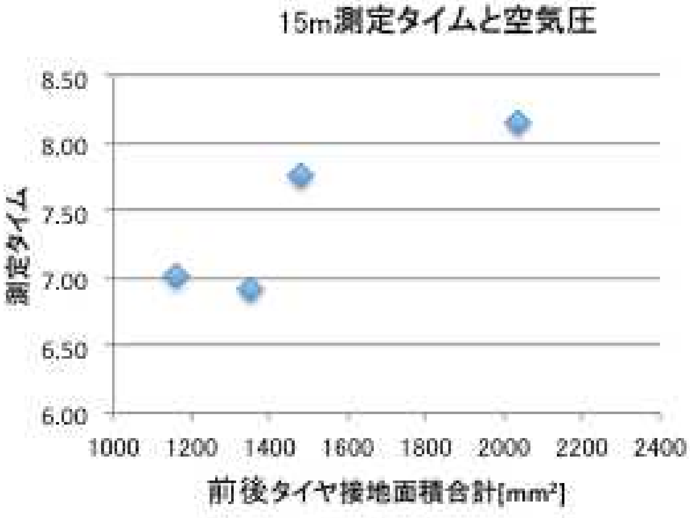
新しい自転車のタイヤ

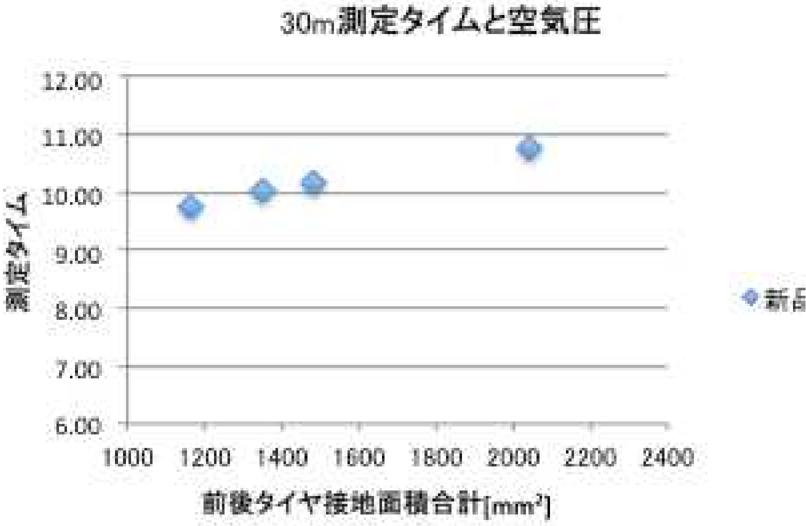
(2) 結果

新しい自転車は、感圧紙で測定することができたが、古い自転車はタイヤの溝がほとんどなくなっていたために、測定することができなかった。よって新しい自転車の空気圧が 1~４気圧の結果を以下に示す。

タイヤの気圧とプラニメータによる面積 [mm²]

	1気圧	2気圧	3気圧	4気圧
合計	1019.362	740.496	675.972	580.305
A	679.237	549.055	5.458	431.949
B	13.117	12.722	2.376	17.802
C	14.193	16.55	6.626	34.489
D	21.389		5.937	17.035
E	21.346		5.163	9.959
F	25.183	19.25	28.411	15.004
G	29.546	13.2	36.594	18.594
H	24.095	20.565	29.879	15.862
I		38.298	16.618	19.611
J	25.61	23.521	15.696	
K	20.24	24.28	20.371	
L	20.582	14.993	18.785	
M	10.193	8.062	484.058	
N	11.707			
O	15.996			
P	16.304			
Q	19.401			
R	21.482			
S	17.564			
T	12.177			





(3)考察

古い自転車のタイヤは溝がなくなっており、感圧紙での測定ができなかった。感圧紙はその圧力に応じて様々な種類が用意されているので、最適なものを選択する必要があると考えられる。

5　考察

タイヤの気圧を大きくするにつれて、自転車の加速度が大きくなった。しかし３気圧のときには、４気圧のときよりも加速度が大きくなった。原因として、タイム測定時の測定誤差や風などの気候条件などが影響を与えたと考えられる。このため気象条件を統一したり、測定誤差を減らしたりして同様の実験を行う必要があると考えられる。

また、15m と 30m を比較した時、15m の測定時の誤差の方が大きくなってしまっている。この原因として、スタート時の速度不足による自転車の不安定が考えられる。自転車が出発する時には、速度が遅いため、車体が安定せず、ハンドルを微調節しなければならない場面があった。このことは、走行コースを長くしたり、無駄な摩擦力を生み出したりと誤差の原因になってしまったと考えられる。この対策として、坂を急にしてスタート時の速度不足を解消する方法や、坂の途中で車体が安定してから計測を開始する方法、また４輪の車両を使い走行を安定させる方法などが考えられる。

また、接地面積の大きいタイヤ（古い自転車のタイヤ）の加速度は、接地面積の小さいタイヤ（新しいタイヤ）の加速度より小さくなった。古いタイヤは、凹凸が新しいタイヤに比べて磨り減っており接地面積がより大きくなっていた。摩擦力は高校物理では、

F動摩擦力　μ動摩擦係数　N垂直抗力　として

$$F = \mu N \quad ・・・(3)$$

という公式で学習したが、今回の実験を通して接地面積も関係する可能性があることがわかった。

特に、図　を見ると、加速度と接地面積が比例していることがわかる。つまり、運動方程式より摩擦力と接地面積は比例する可能性があることが分かった。

6　展望

本研究は、実際の自動車でも同じことが言えると考えられる。タイヤの接地面積を小さくすればその分、加速度が大きくなり燃費は向上すると考えられる。また、タイヤを長期間使用してしまうと凹凸が磨り減ることによって、接地面積が大きくなり燃費が低下してしまうと考えられる。しかしながら、タイヤの元々の接地面積が小さくしすぎると、タイヤによる摩擦が減少し、停止時やカーブの際にグリップ力が無くなり走行が困難になることも考えられる。また、雪道や山道を進む際にも接地面積を大きくするなどの工夫が必要となり自動車の使用場所や燃費などを考慮してタイヤを使い分けることも大切であると分かった。

本研究では扱いきれなかったが、気温によるタイヤの熱膨張や、乗者の重さの変化などによる接地面積の変化などで、実験結果にどのような影響があるのかも調査してみたい。

7　参考文献

物理基礎　数研出版

輪荷重と接地圧,接地半径の関係　秋山政敬　土木学会