

## 二輪車の操縦性・安定性

長江啓泰\*

二輪車は走行中つねに直立安定の確保が要求され、操縦操作の中でも最優先されることが四輪車と基本的に異なる点である。二輪車ではまた、乗員の主観的評価は操だ角ではなく、操だ力と良く対応することもわかった。ここでは二輪車の操縦性・安定性の問題を明確にする手初めとして、排気量の異なる二輪車について、その運動特性と操作量を数量的に把握することを試み、その結果について報告する。

### Control and Stability of Single-Track Vehicles

Hiroyasu NAGAE\*

Motorcycles and/or any other single-track vehicles have the inherent instability, for which the standing stability has to be maintain even in the straight running. This is the predominant operation for controlling the vehicle motion and is the idiosyncrasy in contrast with four-wheeled vehicles. Another different feature is that the rider feels more sensitively to the steering force rather than the steering angle. This paper presents the results of running test of the vehicles with different engine displacements, concerning with the behaviour of the vehicles as well as the steering efforts of riders.

#### 1. まえがき

二輪車は前後に車輪を配した乗りものであることから、生来の不安定性を背負い四輪車と異なる運動特性をもっている。従って、二輪車の操縦性・安定性を論ずる場合も、必ずしも四輪車と同一の枠組の中で行えないことになる。二輪車の特異点の最も顕著な現象は、走行中、常に直立安定を確保することが要求されることである。このことから、二輪車の操縦にあたり、乗員には繊細かつ予測的な操作が課せられ、操縦性・安定性に対して主観的評価が優先し、同時に評価者の技能、経験によって評価が違ってくることは、周知の事実である。二輪車は、多入力・フィードバック系であり、人間-機械系の中でも人間の占める割合が大きい。

四輪車の操縦性・安定性試験法は着実にまとめあげられつつあり、操縦性・安定性の評価方法も制度化に進んでいる<sup>1)</sup>。一方、二輪車の部門でも数々の試みや解析が行われているが、不確定要素である人間が大きな影響力を持つために、操縦性・安定性の試

験法の制定ができにくい現状であり、現在は用語 (Terminology) のまとめが行われていると聞いている。このような状況のもとで、二輪車の操縦性・安定性を真正面からとらえることは不可能といえる。二輪車の運動は複雑であるだけでなく、二輪車の挙動を計測し、記録することすら困難な問題であることから、数量的な把握が明らかにされていないようである。筆者は、小排気量から大排気量までの二輪自動車について、操縦性・安定性と関連する項目について調べた<sup>2)</sup>ので、その結果についてここに報告する。

#### 2. 基礎特性値

二輪車の運動を論ずる場合、まず車両の基礎特性値を明らかにする必要がある、その測定法と結果については詳しく報告されている<sup>3)</sup>。

##### 2-1 空車重量

Fig. 1 は排気量別二輪車の空車、燃料満タンでの測定結果を示す。排気量の増加に伴い車両重量は大きくなるが、増加の割合は排気量が大きくなると急激に少なくなる。取りまわし等を考え、実用性からも当然の結果といえるが、乗員の体重の1.4~5倍となっている。これに対してホイールベースは排気量

\* 日本大学教授 (車両力学)  
Professor, Nihon University  
原稿受理 昭和57年3月23日

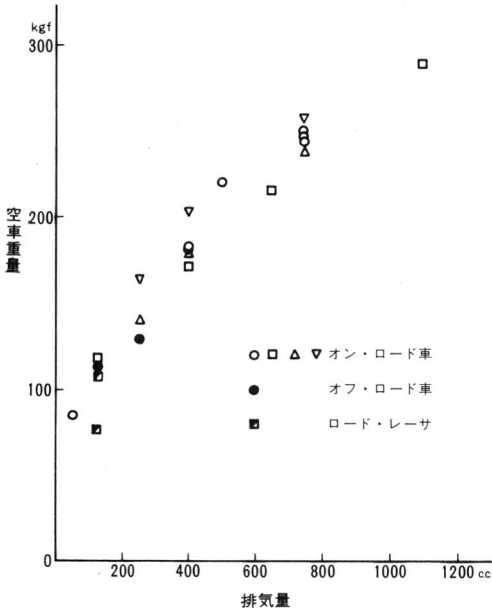


Fig. 1 排気量別二輪車の空車重量  
Unladen weights of motorcycles

の増加に伴い長くなるが、1,200~1,600mmとその増加率はあまり大きくない。

2-2 重心位置

重心の前後位置は、重心点より前車軸までの水平距離をホイールベースで割ったものが Fig. 2 であり、後軸の静止時に受けもつ重量をパーセントで示してある。空車時の値はほぼ55%程度で、排気量の増加によりやや減少している。乗車時は乗員の乗車位置が空車時の重心点の後方にあるため、重心は後退して、その影響度は小排気量車ほど大きい。

重心高さは、Fig. 3に示すように、空車では480~580mmの間にあり、大排気量車ほど低めとなっている。また、2サイクル機関搭載車は重心が低い。乗車時には重心が高くなるが、シート高との関係が強く、小排気量の車は増加率が大きい。

2-3 回転慣性相当重量

二輪車は、旋回時に車輪や機関の回転質量によって、ジャイロ効果の影響を受ける。Fig. 4は変速比1.00における車輪、機関、駆動系の慣性相当重量と空車重量との比を示す。値は空車重量の20~7%であり、空車重量の大きい車ほどパーセントは低くなる。

加減速時の慣性相当重量は、さらに大きくなるが、旋回時の値を四輪車と比較すると排気量750ccクラスの二輪車は普通乗用車に匹敵し約7%、排気量400ccでは貨物自動車と対応して10%となっている。

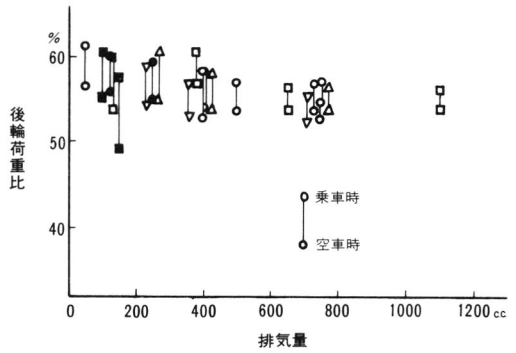


Fig. 2 重心の前後位置  
Longitudinal position of gravitational center vs. wheelbase

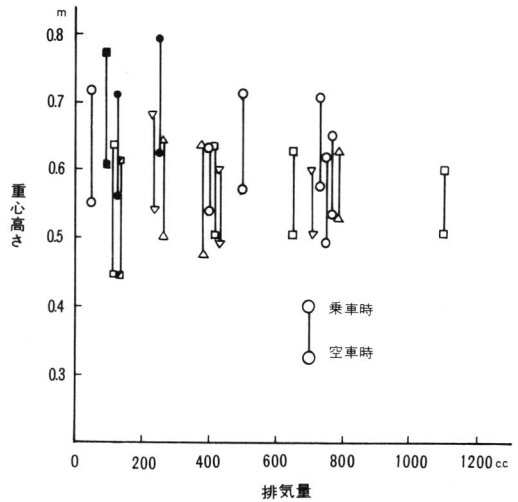


Fig. 3 重心高さ  
Height of gravitational center

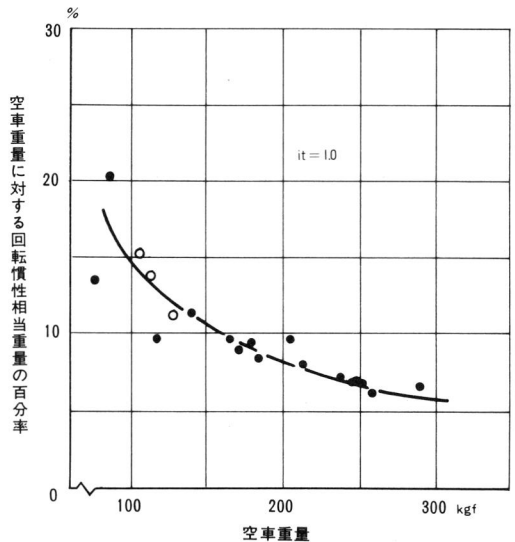


Fig. 4 旋回時の慣性相当重量  
Equivalent weight of rotational masses

3. 直進走行と手放し走行

3-1 直進時の操だ力

二輪車では、直進走行において完全な直進はありえず、直立安定を保つ上からも蛇行の繰り返しを行っている。Fig. 5は車速50km/hで直進中の操だ力の振れ幅と平均値を示す。かなり多くの車両は、直進時に左右の操だ力を加えなければならないが、この原因は重心点の片寄りと前後車輪配列の不整によるものである<sup>5)</sup>。

3-2 手放し走行

直進時に左右いずれかに操だ力を加える必要がある車両では、手放し後の車の進路角が規定される<sup>6)</sup>。Fig. 6は、車速が30km/h、60km/hで、手放し後40m地点での元の進路からの横移動距離を示す。手放し後、二輪車は、左右のいずれかの方向へそれて行くが、その軌跡は、中速以上では、指数関数的な増加を示す。高速になるほど横移動量は少なく、大排気量車ほど少ない。

低速での手放し後の運動は発散型の動揺運動となり、同時に倒れ込んでいく非周期的発散運動が印加され、計算結果<sup>7)</sup>と良い対応を示している。

4. 定常円旋回

定常円旋回は、二輪、四輪を問わず、曲線運動の基本であり、定常円旋回時の特性は、運動解析における基礎データである。

定常円旋回運動とは定められた半径一定の円周上を、一定の速度で旋回する運動である。従って、旋回する車両に外乱が作用しない限り、旋回中のだ角とハンドルを支える力は一定であることから、これらを特に保だ角、保だ力と呼称し、転だにおける操だ角、操だ力と区別して用いることが慣例である。

二輪車の場合は直進走行時で述べたように、直立安定を保つ上で、旋回時でも左右に転だしているので、必ずしも保だ角、保だ力と呼べない面があるが、ここでは慣例に従った用語で表現する。

4-1 保だ角

旋回半径20mの円周上を一定速で旋回したときの保だ角を Fig.7に示す。乗車姿勢は人車一体で傾くりーン・ウィズであり、保だ角は求心加速度の増加に伴い減少する。このことは、高速度の旋回において、低速での保だ角と同じ角度を保つとハンドルが切れすぎ、半径20mの円周の内側へ切れ込むことになる。四輪車では、保だ角を一定に保ち、速度を上げ

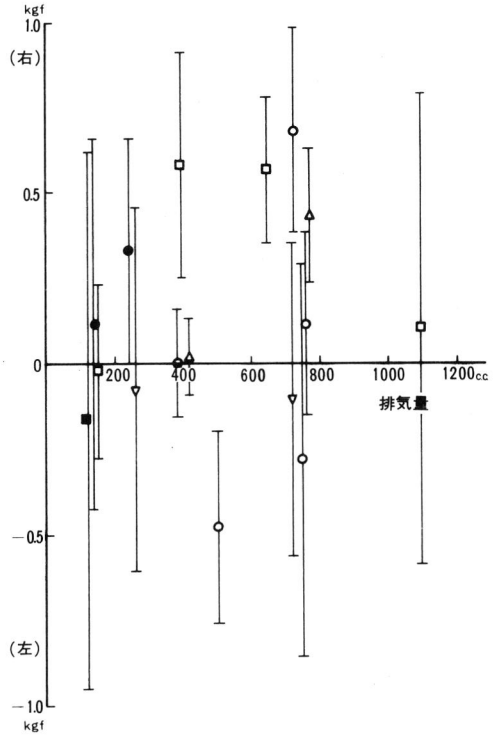


Fig. 5 直進時の操だ力(50km/h)  
Required steering efforts in straight running

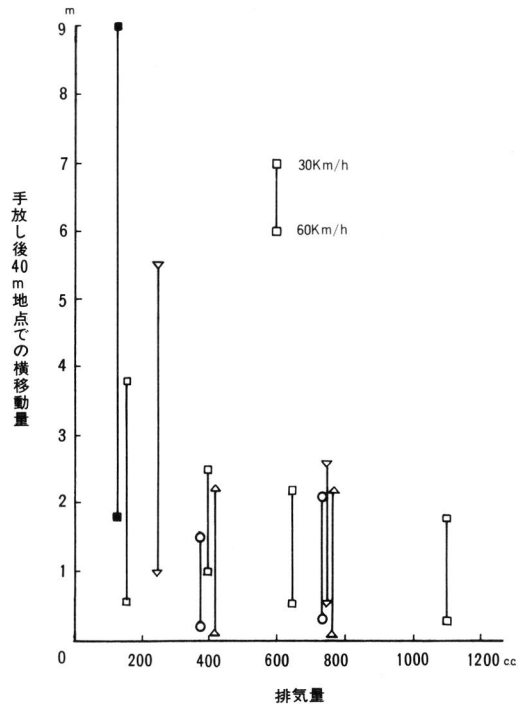


Fig. 6 手放し後のコースずれ  
Lateral deviation after releasing the steering control

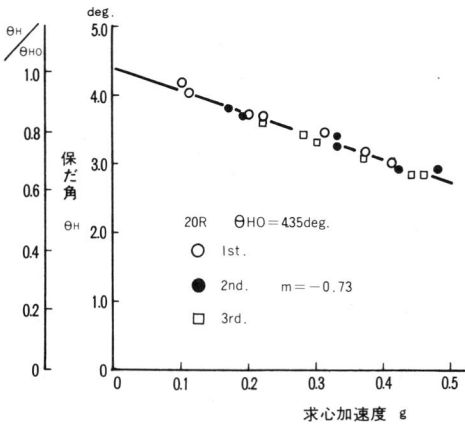


Fig. 7 定常円旋回時の保だ角  
Steering angles in steady state cornering

ることによって変化する旋回半径を調べる試験法が多く採用されている。

速度が上がることによって旋回半径が大きくなる車両はかじの効きが足りないことから、アンダー・ステア (U・S)、すなわち旋回半径が短くなる。従って、切れ込む車両はオーバー・ステア (O・S) 特性をもつと評価される。四輪車では、方向安定とのからみより、U・S 特性を持たせるような設計となっている。

Fig. 7 に示すように、二輪車の特性は四輪車での O・S に相当し、速度 0 での保だ角  $\theta_{H0}$  を計算し<sup>8)</sup>、各求心加速度での保だ角を割り無次元化する。この直線の勾配を係数  $m$  で示し、O・S 特性の指数とする。二輪車は、操だ系に大きなキャスト角を有し、幾何学的な関係から車体の横傾斜角 (車体バンク角) が増加すると、保だ角は一定であっても、前車輪の路面に対する切れ角、すなわち操向角は大きくなる関係があり、O・S 特性を単に係数  $m$  で示すことは問題であるが、車両間の比較をする上で便宜上  $m$  をもって行う。

二輪車のほとんどが O・S 特性を示すが、排気量、メーカー別に係数  $m$  を調べると Fig. 8 のようになる。調べた車両台数も少なく断定し難いが、メーカーによる設計のねらいの違いがあるように思える。

4-2 保だ力

定常円旋回時の保だ力は、四輪車と比べて大きく異なる特性値のひとつである。Fig. 9 は、前後輪のタイヤ内圧を変化させた場合の保だ力の変化を示す。

求心加速度の低い範囲では二輪車のハンドルは旋

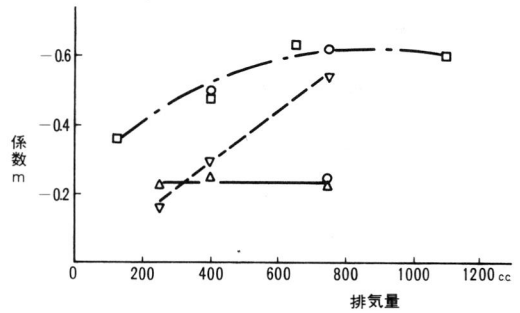


Fig. 8 メーカー別二輪車の O・S 特性  
Over steering properties with different manufacturers' vehicles

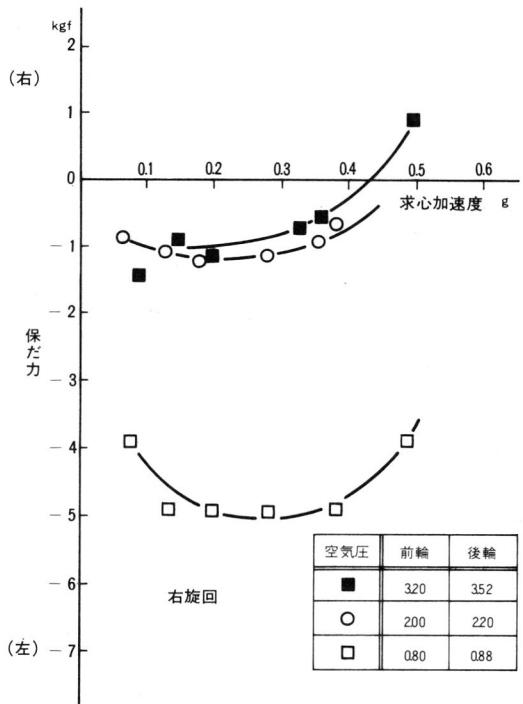


Fig. 9 定常円旋回時の保だ力  
Steering forces in steady state cornering

回する内側へ切れ込もうとする。従って、乗員は定められた円周上を走行するために、切ったかじを戻す方向へ力を加えることになり、これをあてかじと呼んでいる。旋回速度が上がり、求心加速度が大きくなると、切ったかじが戻ろうとするので、保だ力は旋回の内側へ向ける方向に加えることになる。これを引きかじと称するが、Fig. 9 の正の方向へと転ずる特性をもっている。

オフ・ロード車では低速から引きかじ側の保だ力となり、オン・ロード車で大排気量の車ほどあてか

じが強い。このあてかじとなる主要因は車輪荷重反力とタイヤのキャンパ・トルクによるもので、四輪車と二輪車の操だ系の幾何学的関係の違いに起因する<sup>9)</sup>

Fig. 10は定常円旋回時の保だ角、保だ力特性と乗員の主観的評価とを対照させた結果である。乗員の保だ力に対するフィーリング評価の精度が高いことは報告されているが<sup>10)</sup>ここでも0.5g以下の求心加速度範囲内で、保だ力の最大・最小値と乗員の評価を整理すると、非常に良い対応が得られた。乗員は、保だ力があてかじで1kgf以上の場合にはあてかじを感じ、3kgf以上では強いあてかじと感じとっている。しかし、あてかじの強い二輪車でもスラローム走行などでは軽快に走ることができる車もあり、保だ力と操縦性とを一義的に結びつけることはできない。

保だ力とフィーリング評価とは良い対応が得られるが、O・S特性を示す係数mとフィーリング評価とは必ずしも対応せず、乗員は、二輪車の保だ角特性よりは保だ力特性を重視しているように思える。

#### 4-3 車体バンク角

リーン・ウィズの乗車姿勢であっても、車体バンク角の違いによる保だ力の変化は大きい。同一求心加速度での旋回であっても、低重心、太いタイヤ、さらには車輪・機関等の回転質量が大きくジャイロ効果の強い車では、車体を大きく倒し込み、深い車体バンク角を維持する必要がある。

Fig. 11は求心加速度0.577gでの排気量別変速段最低・最高速段での車体バンク角の違いを示す。トップギヤでは、排気量の大きい車ほど太いタイヤを装着し、重心高が低くなるため、車体バンク角は増加する。ローギヤでは、回転慣性の影響を受けるが、特に小排気量車は変速比を大きくとっているため、車体バンク角の増加が著しい。

#### 4-4 限界性能

定常円旋回における二輪車の限界性能は、車両、路面の特性に左右されるが、同時に乗員の技量とも深くかかわり合うものである。

Fig.12は、求心加速度と車体バンク角を示したもので、良好なアスファルト舗装路では求心加速度(0.7~0.8g)が限界であり、オフ・ロード車はやや低くなっている。車体バンク角は乗員のとる乗車姿勢によって異なるが、市販車仕様で乗員の体を内側に倒し込むリーン・インの乗車姿勢で40~44deg.が限界である。

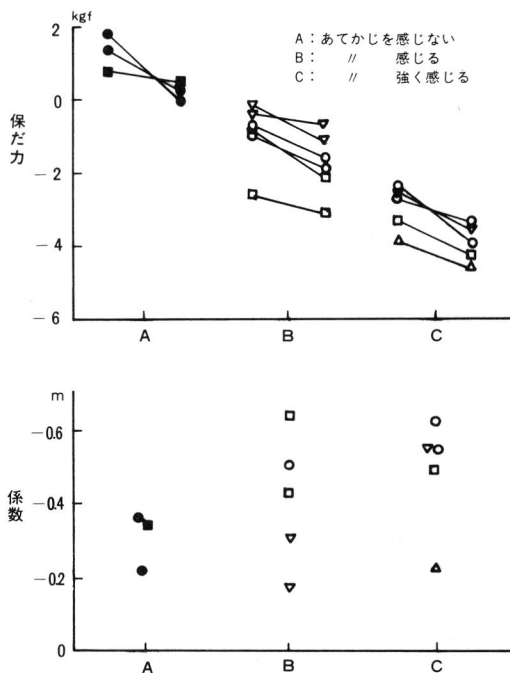


Fig.10 特性値とフィーリング評価  
Steering efforts related to riders' feeling evaluation

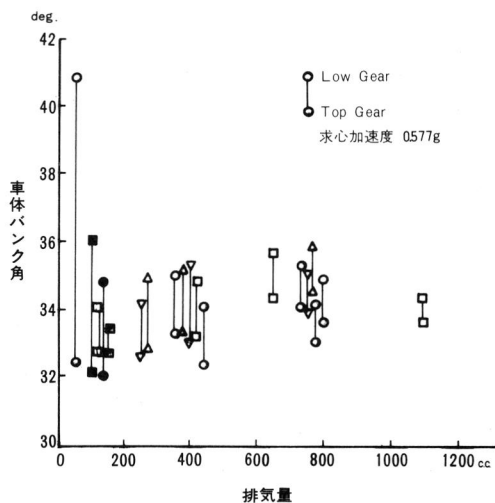


Fig.11 変速段の違いによる車体バンク用  
Effects of transmission gear ratio to the angle of lean

### 5. スラローム走行

定常円旋回は乗員のボディ・コントロールを封じた人車一体の静特性である。二輪車の走行では、乗員は体を使った操縦を頻繁に行う。ここではパイロン間隔9.42mの直線スラロームと、半径30mの円周

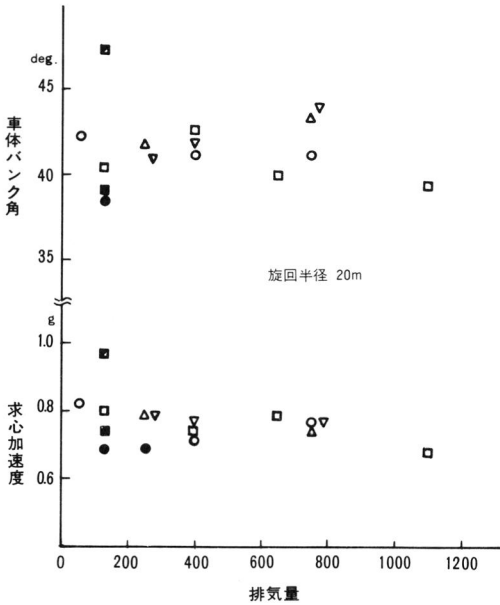


Fig.12 排気量別限界特性値  
Maximum lateral acceleration and angle of lean in steady state cornering

を20等分するようにパイロンを配置した円周スラロームを行った。

5-1 操だ角

Fig. 13は直線スラローム走行時の操だ角で、車速 5 m/s (18km/h) と10m/s (36km/h) での値を示す。排気量が大きいほどホイール・ベースも長く、操だ角は大きくなるが、速度が上がると操だ角は減少する。

5-2 操だ力

直線スラローム走行での操だ力は低速であてかじ、高速で引きかじとなるが、左右の操だ力を車速に対して示すとFig. 14のようになる。低高速で操だ力は大きくなり、中速で最少となる。排気量が大きくなると車速に対する変化が変わるが、Fig. 15は車速18.36km/h時の操だ力を示す。乗員が乗り易いと評価する速度は操だ力が最小になる速度とほぼ一致するが、この速度は、当然のことながらパイロン間隔の違いによって異なり、その整理方法についての検討を行っている。

5-3 限界性能

スラローム走行における最高速度をFig.16に示す。直線スラロームと円周スラロームの限界速度は低下している。乗員のフィーリング評価と測定した物理量との相関性は未だ明らかではないが、前輪接地荷重とヨー・ロール・ピッチ角速度の連成が深い

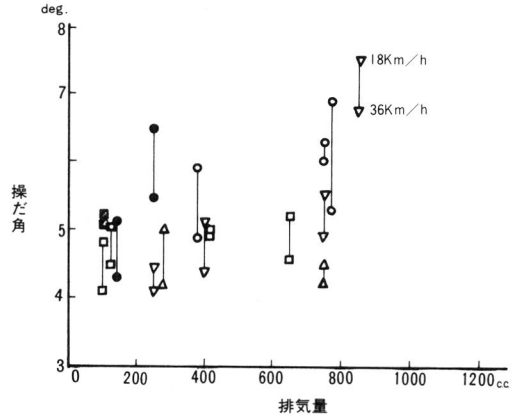


Fig.13 直線スラロームでの操だ角  
Steering angles in pylon course running

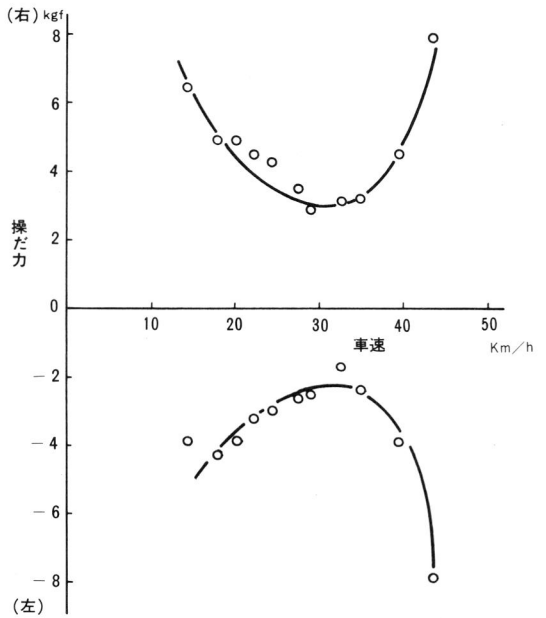


Fig.14 直線スラロームでの操だ力  
Steering forces in respect to running speed change on pylon course

かかわり合いをもっているようである。Fig. 17は直線および円周スラローム、車速28.8km/hでの前輪サスペンション最大沈み量を示す。乗心地改善のために近年サスペンション・ストロークが増大しているが、前後のバネ定数、減衰係数の組合せは、過渡運動、あるいは上記スラローム走行における乗員のフィーリング評価と密接な関係にあることは確かである。

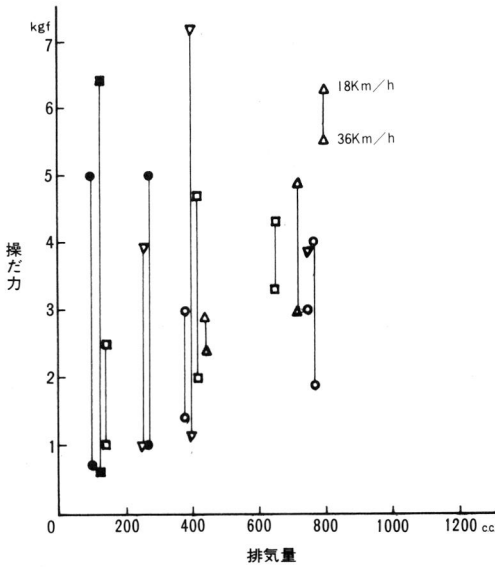


Fig. 15 排気量別、車速別操り力  
Steering forces in pylon course running at 18 and 36km/h

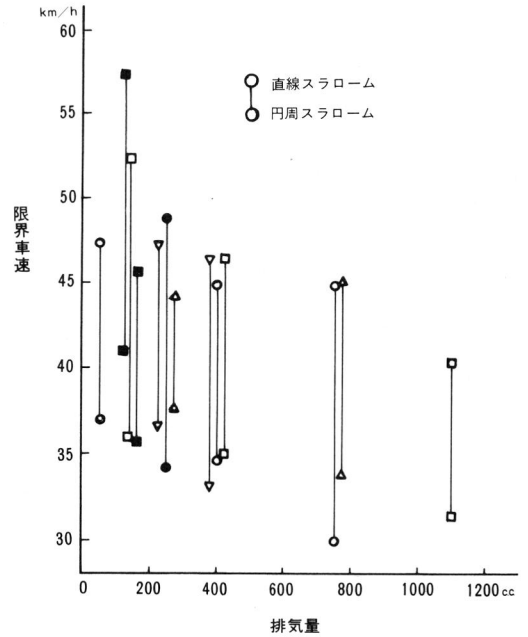


Fig. 16 スラローム走行での限界車速  
Maximum running speeds on pylon courses with straight and concyclic center line

6. あとがき

二輪車の操縦性・安定性についての明確な定義づけはなく、その解明にはかなりの時間を要すると思われる。二輪車の普及は目覚しく、同時に事故件数の増加は放置し得ない問題でもある。

ハード面での車両の開発は、乗り易い二輪車という形で格段の改善が行われたが、事故回避のための運動にも物理的な限界がある。要は二輪車という機械を利用する乗員側の二輪車に対する理解と扱いのソフト面の充実を図ることが、現今で最優先すべきことである。ここに報告した操作量の限界、旋回時の限界特性は内容をそしゃくし、実際面に導入できる物理的な事実である。

二輪車は難解な乗り物であり、操縦操作を言葉や文字で表現し難い面を持ち合せていることが、乗員のフィーリングによる主観的評価と車両の挙動記録である客観的評価の相関を困難にしている主要因である。これらを解決するためには、二輪車に関する数多くの情報の公開が必要であり、さらに客観的評価方法として最適な方法をさぐる組織的な活動を行わなければならないように思う。また、二輪車の基礎特性値、タイヤ特性などは単にハード面に有用である類のものではなく、ソフト面でも大いに役立つものであり、この面での研究の発展を願っている。

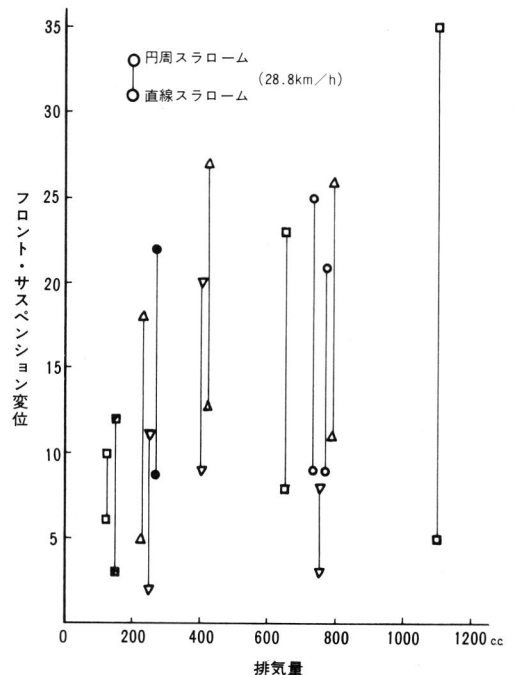


Fig. 17 スラローム走行時のフロント・サスペンション変位  
Front suspension travels on pylon courses with straight and concyclic center line

## 参考文献

- 1) 保田：ISOを中心とした操安性評価技術について，自技会誌，Vol. 35, No. 1, 1981
- 2) モトライダー，三栄書房，1978年11月～1980年8月
- 3) 二輪車の構成要素の力学的特性測定結果報告書，自工会二輪操安分科会，日本自動車研究所第3部，昭和52年10月
- 4) 傅他：二輪車の機関・駆動系の慣性相当量，自技会論文集，No.22, 1981
- 5) 榎本他：二輪車の直進時の操だ特性，日大理工学術講演会論文集，昭和54年11月
- 6) 傅：重心の片寄りをもつ二輪車の直進と手放し運動，機械学会講演論文集，No.790-4
- 7) 傅他：二輪車の手放し運動の解析，自技会論文集，No.15, 1978
- 8) 傅：定常旋回における二輪車の基本特性，機械学会論文集Vol.31, No.229(昭40-9)
- 9) 傅：定常旋回における二輪車の保だモーメント，機械学会論文集，No.760-3(昭51-4)
- 10) 吉田，神谷：二輪車の操縦性・安定性，自技会誌，Vol.26, No. 7, 1972