

# 子どもの自転車運転走行中の衝突事故の削減の 為の基礎情報整備

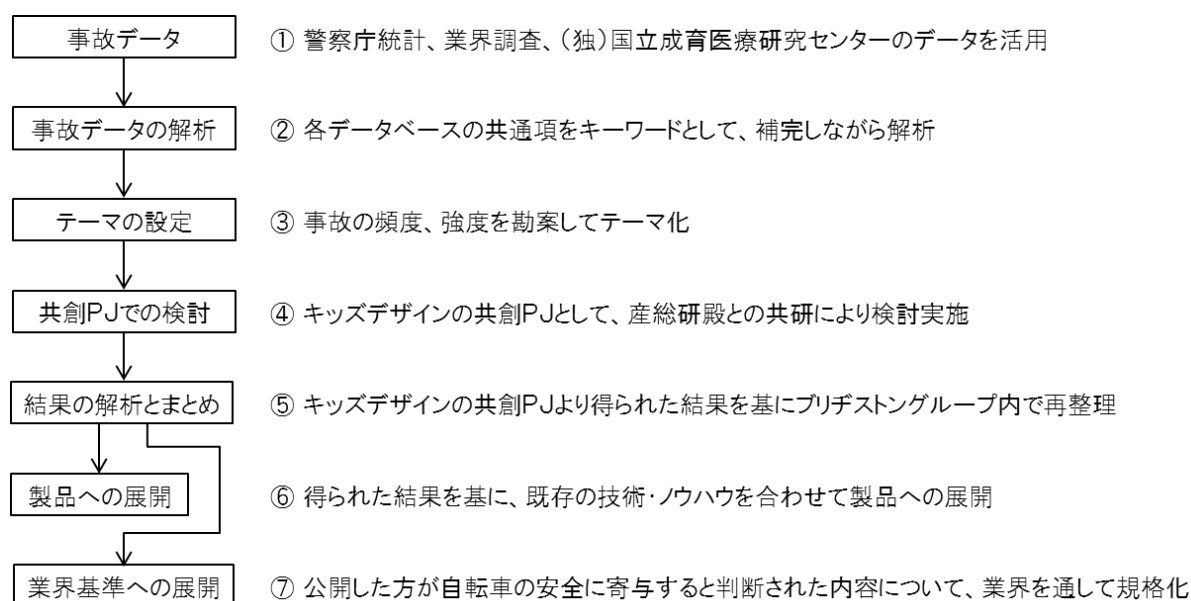
## ～幼児、子供の自転車制動行動の明確化～

株式会社ブリヂストン

### 1. プロジェクトの背景と目的

#### (1) 検討のプロセスについて

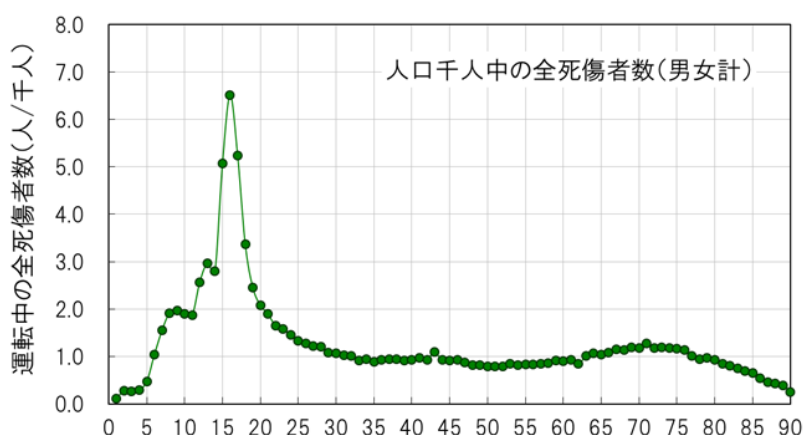
検討は、子供用自転車の利用上の安全性高める上で、キッズデザインの基本的な考え方<sup>1)</sup>を尊重し、(図1)に示した基本的な情報を明確にした上で商品に結びつけるプロセスで検討を実施した。



(図1)の全体の検討プロセスにおいて2012年度のプロジェクトは③～⑤であるが、本報告ではテーマ設定の根拠となった事故解析結果①～②についても背景として言及する。

#### (2) 子供の自転車運転中の事故における衝突事故の意味とその原因

(図2)は警察庁の統計<sup>2)</sup>より作成した、自転車事故の死傷者の年齢別の分布である。この図で分かる様に、自転車事故の死傷者は未成年に多く、特に小学校に入ってから急激に増加し、高校生にピークを持ち、未成年の自転車事故は社会的な課題でもある。



(図3)は自転車事故中の衝突事故の比率を図示したものである。左図は警察庁の統計<sup>2)</sup>より作成したが、警察に届けられた自転車事故の95.0%が衝突事故である。一方、右図は(独)成育医療研究センターのトリアージデータでの自転車事故中の衝突事故の比率であるが衝突事故は47.5%で警察庁の結果の半分程度である。

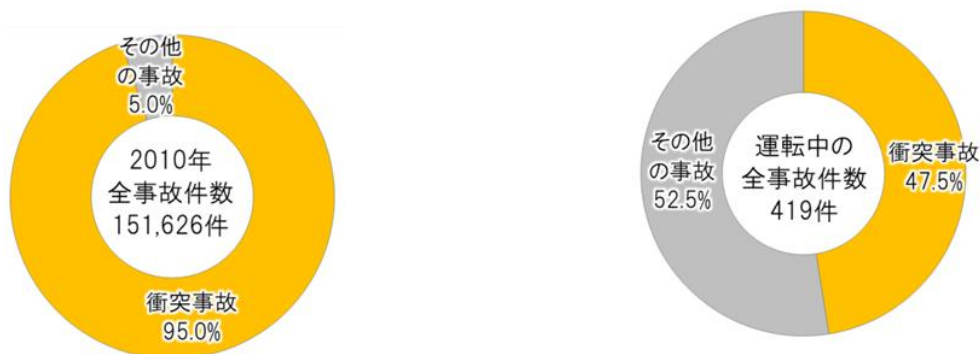


図3

(図4)は全日本交通安全協会が平成17年に公表した調査報告書の結果<sup>3)</sup>であるが、子供同乗時の事故の結果ではあるが、警察に届出があったのは事故全体の2.5%に過ぎないことがわかる。また、届出をしなかった理由の約60%が大した怪我でなかったとの回答より、衝突事故は他の事故に比べて重大な事故が多いことが推測される。



図4

(図5)は自転車事故を相手別に分類した図であるが、警察庁の統計<sup>2)</sup>では圧倒的に自動車との衝突が多いが、成育医療研究センターのデータでは、衝突事故の中では自動車との衝突が多いものの、単純転倒事故が自動車との衝突事故以上の比率を占めており、また自転車や工作物との衝突等の事故としては相対的に軽度なものの多い結果となっており、前述の届出の状況と一致する。

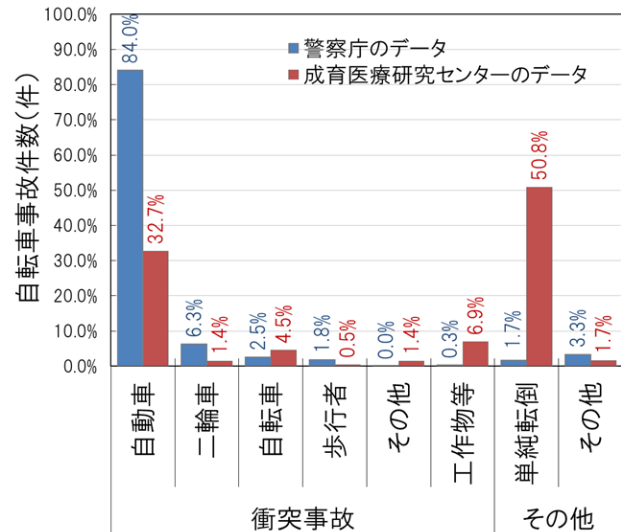


図5

また、(図6)で図示した様に、届出された衝突事故の56.5%が出会い頭事故である。これは(図7)で示した、事故の原因で、安全不確認、一時不停止、交差点安全進行、動静不注意、等の注意力、集中力の不足による原因が大勢を占めていることと、密接な関係があると推定される。

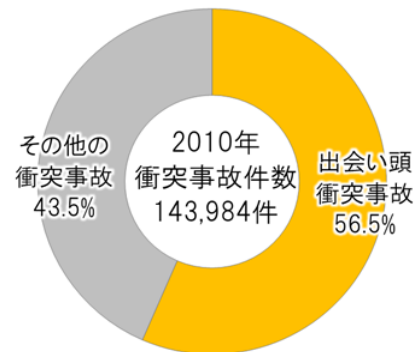


図6

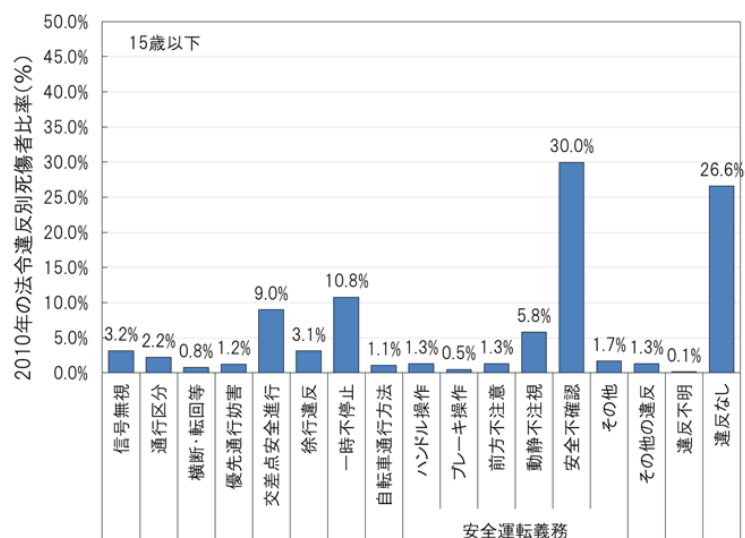


図7

これらの結果より、子供の自転車事故において、衝突事故は頻度、強度ともに大きい事故であり、その多くが 交差点付近の出会い頭事故での不注意的な要因で発生していることがわかる。衝突事故を防止又は回避するには、

- ① 運転時の注意力を上げて、危険をいち早く認識する事
- ② 危険を認識したら、いち早く事故回避行動（停止又は方向変更）をとること

の2つ方向での検討が必要であるが、本報告では自転車の改善のより密接に関わる、自転車のブレーキの急制動においての危険認知からの停止までの行動に着目し検討を行った。

### （3） 自転車の停止行動と空走時間

（図8）は自転車に対する危険（交差点で乗用車が出現等の事象等）が発生してから、運転者がブレーキをかけて自転車が停止するまでのプロセスを定義した図である。

この一連のプロセスは大きく4つのステップに分類できる。

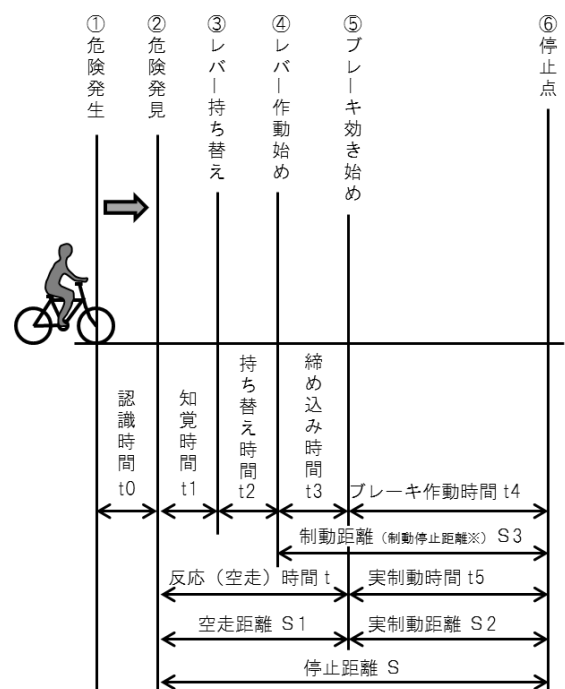
- ステップ1： 危険が発生してから、認識するまで( $t_0$ )
- ステップ2： 危険を認識してから動作を始めるまで( $t_1$ )
- ステップ3： 動作開始からブレーキが効き始めるまで( $t_2+t_3$ )
- ステップ4： ブレーキが効き始めてから停止するまで( $t_4$ )

ここで、ステップ1は運転者の注意力、集中力の問題であり、安全不確認や漫然運転を如何に防止するかがポイントとなる。

ステップ2は目から危険を発見（目から情報を入力）してから、情報が脳で処理、判断され、筋肉に信号が出された後、筋肉が収縮し、実際の動作が始まるまでであり、このステップでは、脳の中核での情報処理に要する時間は、年齢やトレーニングで変化するが、その他の要素は殆ど先天的・解剖学的・生理学的なもので、変化の余地は少ないとされている。

ステップ3は動作が開始され、ブレーキの持ち替えとレバーの作動でブレーキを締め込む為の時間で、ブレーキの持ち易さや、ブレーキの固さによって変化する可能性がある。

ステップ4はブレーキが効き始めてから停止するまでで、ブレーキの制動性能がポイントとなる。



※ JIS-D9301 の呼び名

ブレーキによる制動で、衝突事故を防止・回避することとは危険発見から停止点までの停止距離（S）を短くするかということであり、本報告は反応（空走）時間（ステップ2及びステップ3）に着目して検討を行った。

本年度の検討では自転車の反応（空走）時間の評価方法の確立と反応（空走）時間と関係する身体的な要因の特徴、傾向を明確にすることを目的として実施した。

## 2. 本検討における実験の概要

実験は（独）産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センターと㈱ブリヂストンの共同研究として行い、検討にあたって自転車の製造者であるブリヂストンサイクル㈱が参加する形で実施した。

本検討では実験として、下記の2項目を実施した。

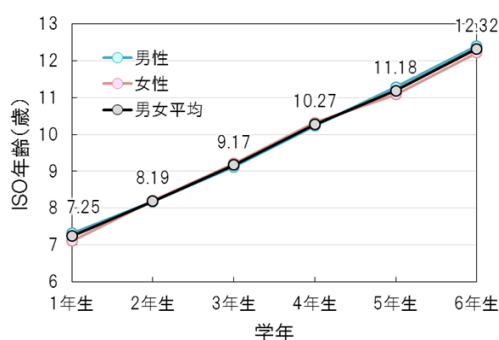
- ① 制動における反応時間の測定（ブレーキ、足の着地）
- ② 手及び脚足の寸法測定



### 2. 1. 被験児の設定

今回の検討は小学生を対象に実施した。その理由は、前述した様に子供の運転中の事故が小学生になって急増すること、急激な成長の過程にあり大人の挙動とは異なると思われることと、小学生のデータが一般に少ないことの3つ観点による。

実験は、厚木市立清水小学校の協力の下に行い、被験児は各学年、男女各10名、合計120名の子供の測定を実施した。また、計測は2011年12月14日に実施し、(図9)にはその時点の被験児の平均年齢を図示した。



### 2. 2. 手及び脚足の寸法の測定

今回の検討では、反応時間とともに、ブレーキの反応時間に関係しそうな手指の長さやフットスイッチの反応時間に関係しそうな脚足の寸法を測定した。測定にあたっては測定器として、脚の長さ（股下高）にアントロポメータ、足の長さにフットゲージ、手指の測定に滑動計を用いた。



## 2. 3. 制動における反応時間の測定の条件、手順

反応時間はボードのランプが点灯してから被験児がブレーキ又はフットスイッチを作動するまでの時間を測定した。

1) 使用した装置： 反応時間測定装置（産総研作製）

2) 供試自転車： 子供用自転車

3) 供試制動装置： ブレーキ2条件（55mm、45mm）、フットスイッチ

4) サドルの設定： 各被験児の足の長さに合わせて設定。（ベタ足で着地できる高さ）

5) 測定の手順：

- ① 測定手順の説明
- ② サドルを調整し、被験児に合わせる
- ③ 被験児が乗車する
- ④ 被験児が自転車を勢いよく漕ぐ
- ⑤ ボードのランプを点灯する
- ⑥ ブレーキを締める

（又はフットスイッチを踏む）

- ⑦ 反応時間の表示、確認



| ID | 学年(性別) | 身長(男・女) |
|----|--------|---------|
| 1  | 1年(男)  | 125     |
| 2  | 1年(女)  | 120     |
| 3  | 2年(男)  | 130     |
| 4  | 2年(女)  | 125     |
| 5  | 3年(男)  | 135     |
| 6  | 3年(女)  | 130     |
| 7  | 4年(男)  | 140     |
| 8  | 4年(女)  | 135     |
| 9  | 5年(男)  | 145     |
| 10 | 5年(女)  | 140     |
| 11 | 6年(男)  | 150     |
| 12 | 6年(女)  | 145     |
| 13 | 7年(男)  | 155     |
| 14 | 7年(女)  | 150     |
| 15 | 8年(男)  | 160     |
| 16 | 8年(女)  | 155     |
| 17 | 9年(男)  | 165     |
| 18 | 9年(女)  | 160     |
| 19 | 10年(男) | 170     |
| 20 | 10年(女) | 165     |
| 21 | 11年(男) | 175     |
| 22 | 11年(女) | 170     |
| 23 | 12年(男) | 180     |
| 24 | 12年(女) | 175     |
| 25 | 13年(男) | 185     |
| 26 | 13年(女) | 180     |



日時：2011年12月14日

| ID | 学年(性別) | 身長(男・女) |
|----|--------|---------|
| 1  | 1年(男)  | 125     |
| 2  | 1年(女)  | 120     |
| 3  | 2年(男)  | 130     |
| 4  | 2年(女)  | 125     |
| 5  | 3年(男)  | 135     |
| 6  | 3年(女)  | 130     |
| 7  | 4年(男)  | 140     |
| 8  | 4年(女)  | 135     |
| 9  | 5年(男)  | 145     |
| 10 | 5年(女)  | 140     |
| 11 | 6年(男)  | 150     |
| 12 | 6年(女)  | 145     |
| 13 | 7年(男)  | 155     |
| 14 | 7年(女)  | 150     |
| 15 | 8年(男)  | 160     |
| 16 | 8年(女)  | 155     |
| 17 | 9年(男)  | 165     |
| 18 | 9年(女)  | 160     |
| 19 | 10年(男) | 170     |
| 20 | 10年(女) | 165     |
| 21 | 11年(男) | 175     |
| 22 | 11年(女) | 170     |
| 23 | 12年(男) | 180     |
| 24 | 12年(女) | 175     |
| 25 | 13年(男) | 185     |
| 26 | 13年(女) | 180     |

### 3. 結果のまとめと解析、考察

今回の結果は(株)ブリヂストンでデータの再整理、解析及び今回の実験に対する課題の抽出をした。

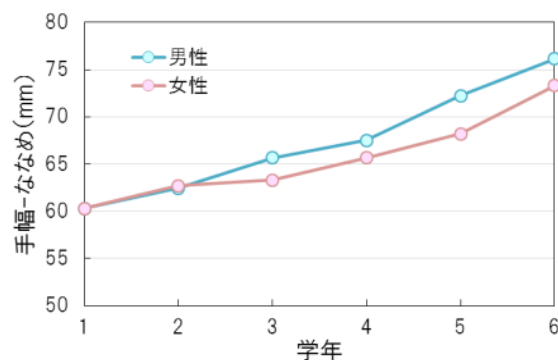
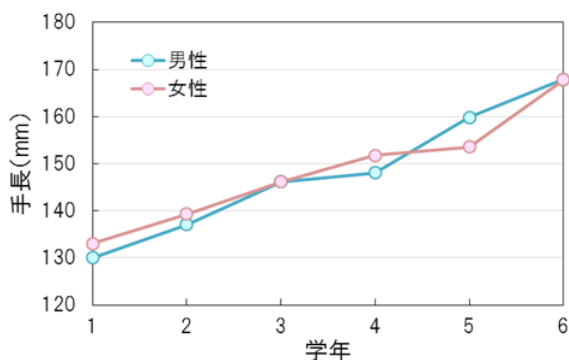
#### 3. 1. 手指及び脚足の寸法測定結果

##### 3. 1. 1. 手指に関する項目の成長による変化と男女差

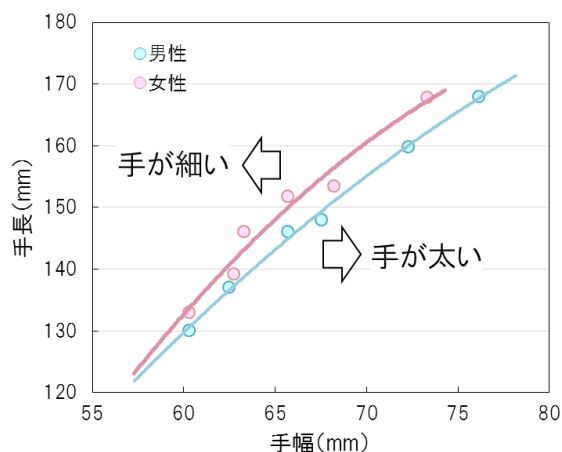
##### (1) 手長と手幅の関係

手長及び手幅は手の寸法の基本的な寸法であり、手長はブレーキ幅（ブレーキレバーとグリップの距離）、手幅はブレーキレバーやグリップの握り幅と関係する。

(図 11) には手長、(図 12) には手幅の男女別の学齢による変化を、(図 13) には手長と手幅の関係を図示した。

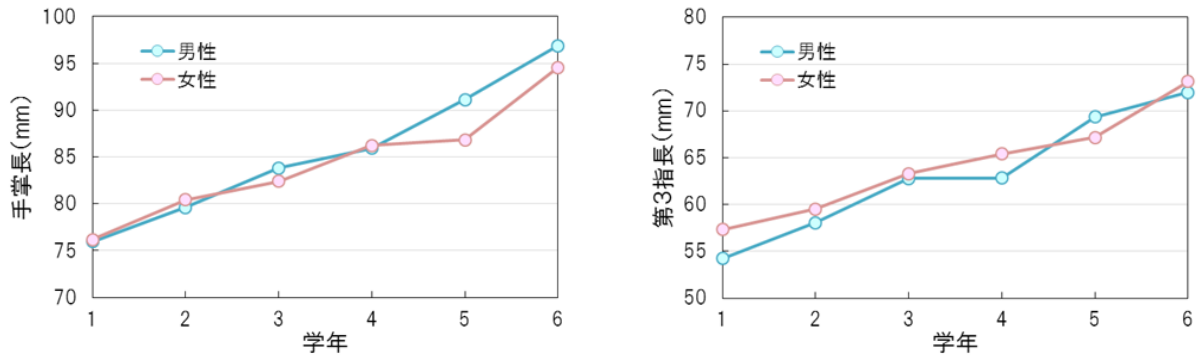


測定結果を見ると、手長は小学生の6年間で約4 cm成長し、若干低学年で女の手長が男より大きいですが、その成長の男女差は殆どないことがわかる。一方、手幅の小学生6年間の成長は男が約1.6 cm、女が約1.4 cmと、男女で若干の成長の差があり、男女差は3～4年生（9歳頃）より現れる。



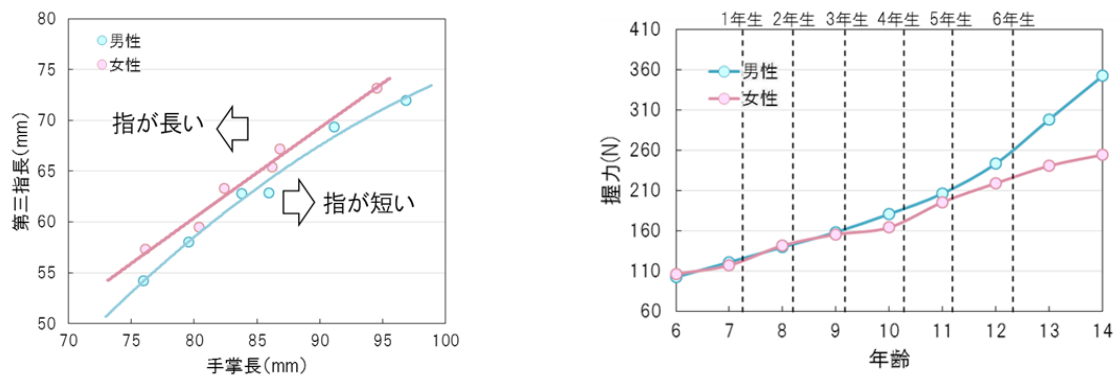
## (2) 手掌と指の関係

手掌長及び指長及びその比率はブレーキレバーの把持姿勢に関係する。



(図 14) には手掌長、(図 15) には第三指長の男女別の学年による変化を、(図 16) には手掌長と第三指長の関係を図示した。

測定結果を見ると、前述の様に手長の男女差は無いが、手掌と指の比率には男女差があり、男の方が女より指の比率が高いことがわかる。成長による変化について見ると、手掌は高学年になって女の成長が鈍化し、指の成長は小学生の期間では男が継続して大きいことがわかる。



## (3) 小学生の手の形状の変化と握力

以上の事をまとめると、小学生の手について以下のことが言える。

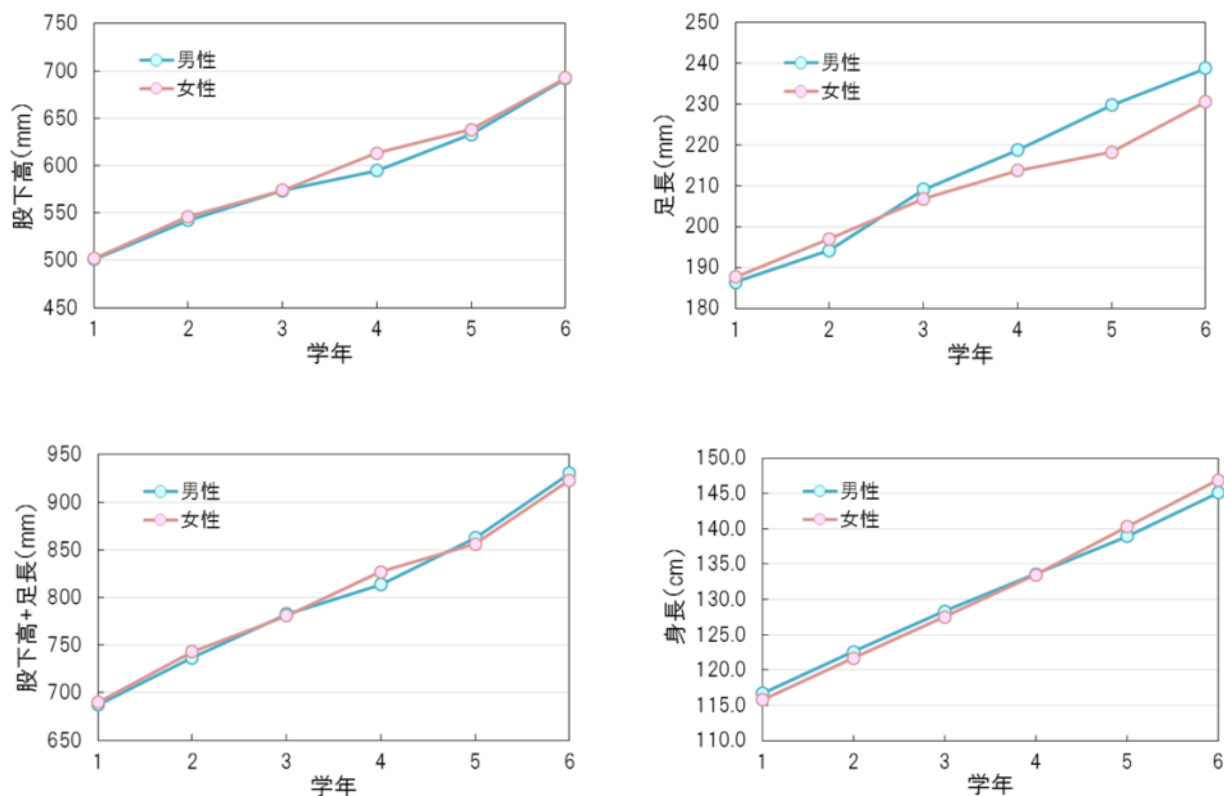
- ① 手の大きさについては同じ学年での手長も手長の成長度にも男女間差は殆どないが、形状については大きく変化する。
- ② 男の手の形状は手が太く、指が短い。女の手の形状は手が細く、指が長い。
- ③ 形状の差は3～4年生位から顕著になっている。

(関係性は定かではないが、(図 17) の様に握力も3～4年生位から男女差が現れる。)

## 3. 1. 2. 脚足に関する項目の成長による変化と男女差

股下高及び足長は脚足の寸法の基本的な寸法であり、自転車乗車時の足の着地と関係する。

(図 18) には股下高、(図 19) には足長、(図 20) には股下高+足長の男女別の学齢による変化を図示した。

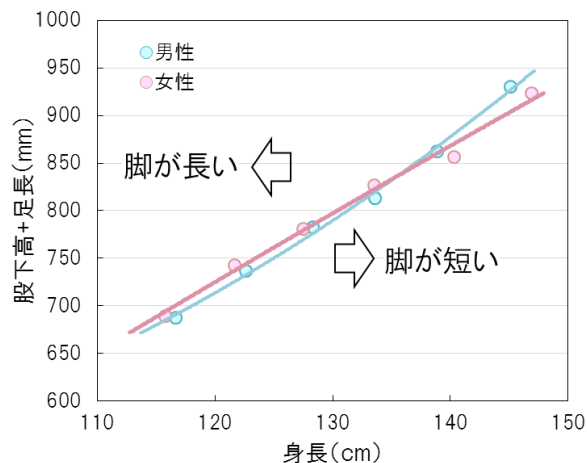
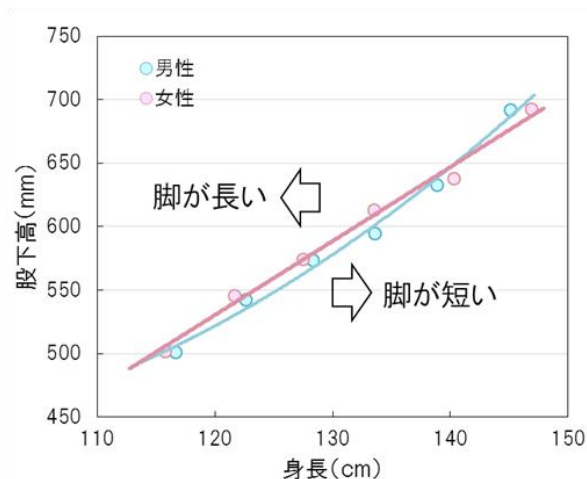


ここで、股下高+足長の傾向に言及したのは、ベタ足での着地は股下高が指標となるのに対し、爪先立ちの指標は足の大きさ（足長）に影響されると考えたためである。

測定結果を見ると、股下高の男女差は殆どない。一方、足長は低学年ではほぼ同じであるが、3～4年生以降は男の足長が大きくなる。この影響で、股下高+足長は微妙ではあるが、低学年では女の値が大きく、5～6年生では男の値が大きくなる。また、(図 20) で図示した様に、文部科学省統計のデータによると、低学年では男の身長が高く、5～6年では、女の身長が高く、3～4年生（9歳頃）ころ逆転する。

自転車は身長を参考にサイズを決めるので、身長対比の脚の長さが足の着地に大きく関わることになる。

(図 22)、(図 23) は身長と股下高、股下高+足長を対比させた図であるが、足の着地に対しては、ともに低学年は女が有利で、5～6年生は男が有利になっている。



### 3. 2. 急制動におけるブレーキと足の着地の反応（空走）時間

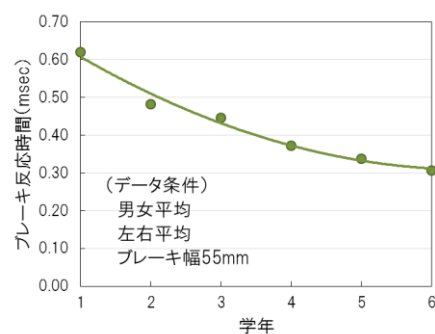
前述した様に、今回の実験は自転車の急制動を前提とした反応（空走）時間の明確化を目的として行い、測定方法の確立と、反応（空走）時間を下記のポイントで「見える化」することを実施した。

- ① ブレーキの反応（空走）時間の学齢による変化
- ② ブレーキと足の着地の反応（空走）時間の比較
- ③ ブレーキの反応（空走）時間の要因別解析
  - ・左手、右手での反応の違い
  - ・反応（空走）時間の男女差
  - ・反応（空走）時間のブレーキ幅の違いによる差

#### 3. 2. 1. 反応（空走）時間の学齢による変化

運転者が走行中に急制動をかけて自転車を停止させるまでには一定の距離が必要になり、運転者が急制動をかけようとした地点から自転車が停止した地点までの距離を「停止距離」というが、「停止距離」は判断してからブレーキを握り始めるまでの「空走距離」とブレーキが効き始めてから停止するまでの「実制動距離」に分割され、「空走距離」に要する時間が反応（空走）時間である。

（図 24）はブレーキ幅が 55mm の時の小学生の自転車ブレーキの反応（空走）時間の学齢による変化である。小学生の自転車ブレーキの反応（空走）時間は成長に伴い約 0.6 秒から約 0.3 秒と半分近くまで短くなる。ちなみにこの反応（空走）時間は子供が 15km/時で運転している時の「空走距離」は 0.6 秒で 2.5m、0.3 秒で 1.25m となり、小学生 6 年間で約 1.25m 短くなる。

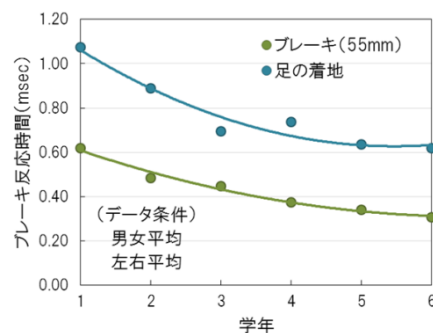


## 3. 2. 2. 足の着地の反応（空走）時間とブレーキとの比較

本検討ではブレーキの反応（空走）時間と同時に足の着地の反応（空走）時間を測定した。（図 25）では足の着地の反応（空走）時間をブレーキ（55mm）の反応（空走）時間と比較した。

今回、足の着地の反応時間を測定した目的は、ブレーキで急制動をかけた時、転倒しないように足の着地する為の時間の推定する為である。

足の着地の反応（空走）時間は成長に伴い約 1.1 秒から約 0.6 秒になる。この値はブレーキ（55mm）対比で 1.7 倍～2.0 倍にあたる。また、足の着地とブレーキ（55mm）の反応（空走）時間の差は 0.3 秒～0.5 秒程度になる。



一方、停止時間（急制動をかけると判断してから停止するまでの時間）は一般に次の算式で与えられるので、

$$\begin{aligned} \text{停止時間(秒)} &= \text{反応(空走)時間(秒)} + \text{制動時間(秒)} \\ &= \text{反応(空走)時間(秒)} + \text{車速(秒速)} \div (\text{重力加速度(9.8)} \times \text{摩擦係数}) \end{aligned}$$

自転車の車速を 15km/時、タイヤの摩擦係数<sup>8)</sup>を 0.7 として、今回計測したブレーキ（55mm）の反応（空走）時間の範囲 0.3 秒～0.6 秒に対応する停止時間を計算すると、反応（空走）時間 0.3 秒で約 0.9 秒、0.6 秒では 1.2 秒となり、足の着地の反応（空走）時間より大きな値になるので、転倒の前に足は着地できることが推定できた。

しかし、今回はベタ足での着地の条件での反応（空走）時間の測定なので、爪先立ちや乗車姿勢におけるバランス崩れで転倒速度が速くなる等で足の着地に対し不利な条件になった場合では、急制動時の転倒のリスクは否定できない。

また、自動車での反応（空走）時間は 0.65 秒～0.75 秒程度<sup>8)</sup>と言われているが、自動車の反応（空走）時間は、急制動をかけると判断してから、ブレーキペダルに足を乗せるまでの反応に対する時間である。

今回の測定で、6 年生の反応（空走）時間は、ブレーキ（手の反応）が 0.3 秒、足の着地（脚足の反応）が 0.6 秒なので、自転車、自動車に限らず、一般に脚足の反応は約 0.6 秒程度と考えるられる。

## 3. 2. 3. ブレーキの反応（空走）時間の要因別の解析

## (1) 供試自転車のブレーキの遊びについて

一般にブレーキには若干の遊び幅が存在するが、今回の実験で使用した自転車のブレーキは残念ながら調整が十分でなかった為にブレーキの遊びが統一されていなかった（表1）。従って、今回の反応（空走）時間には遊び幅分の引き時間のバラツキが存在する。特に、ブレーキ幅が45mmの時に遊び幅のバラツキが大きい結果であった。

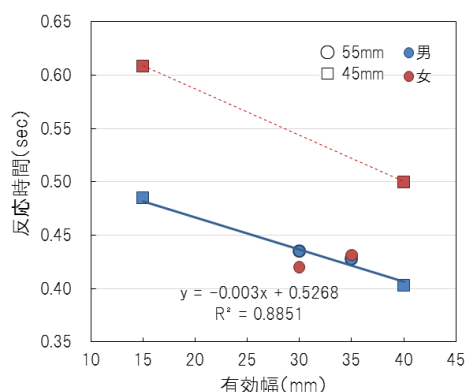
| 幅    | 位置 | 遊び幅  | 有効幅  |
|------|----|------|------|
| 55mm | 右  | 25mm | 30mm |
|      | 左  | 20mm | 35mm |
| 45mm | 右  | 5mm  | 40mm |
|      | 左  | 30mm | 15mm |

現段階では反応時間と遊びに対する影響がどの程度あるのかが判断できない為、本報告では影響があると仮定して、前述の、3. 2. 1. 及び3. 2. 2. の解析は左右で遊びのバラツキが少なかった55mmの結果をのみを用いて行い、以下行う要因別解析は遊びのバラツキを意識して、有効幅（ブレーキ幅と遊び幅の差）を用い解析した。

## (2) ブレーキ反応（空走）時間と有効幅の関係

（図26）には反応（空走）時間と有効幅の関係であるが、ブレーキ45mmの女の値を除き、有効幅と良い関係を示し、この結果でブレーキ幅が反応（空走）時間に影響することと、左手と右手では反応時間に大きな差が無い事が示唆された。

前述した様に、反応（空走）時間は知覚時間、持ち替え時間、締込み時間の三段階で構成される。



手の反応における知覚時間を単純反応時間測定法<sup>6)</sup>での値に近いと仮定すると、小学生の平均の知覚時間は約0.25秒と推定できる。一方、55mmの反応（空走）時間は約0.43秒なので、その差をとると、持ち替え時間と締込み時間の合計は約0.18秒ということになる。この0.18秒に対して、締込み時間と対応すると思われる有効幅の15mmと45mmの反応時間の差は約0.09秒であり、この条件下では持ち替え時間と締込み時間の約半分以上がブレーキ幅で影響されていると推定できる。

また、45mmにおける反応（空走）時間の男女間差は約0.1秒と大きな差があるが、その差を生む要因については更なる検討が必要と考える。

## 4. 今回の検討のまとめ、課題、今後の展開

今回の検討では、自転車の急制動に関わる反応（空走）時間と関係する身体寸法の測定を行った。

反応（空走）時間の測定については、課題がまだあるものの、既存データと比較し妥当と思われる測定結果を得ることができた。また、子供の身体寸法測定では、従来あまりデータが無かった小学生の手指、脚足のデータが得られ、成長期にある小学生の手指や脚足の特徴を明確化することができた。

しかし、課題としては反応（空走）時間の測定において、ブレーキレバーの遊び幅の存在など、精度に関わる問題は残った。また、反応（空走）時間に関わる要因の洗い出しと関係性も不十分なまま残ったと考える。

今後の展開としては、反応（空走）時間の測定精度を上げることと、反応（空走）時間の支配因子を明確にし、その関係性を明確にすることである。その上で、小学生だけでなく、他の年代の測定を行い、年代毎の課題を「見える化」することが必要と考える。

衝突事故は、頻度では中高生が圧倒的に高く、死亡事故を含む事故の強度は高齢者が多い状況にある。<sup>2)</sup> もちろん自転車の改善は今後も進める必要があるが、事故を防止するには自転車の改善だけでは限界があるのは衆目の一致するところと考える。今回の結果が多方面で生かされ、少しでも事故が減少することを祈念する。

## 5. 参考文献

- 1) キッズデザインの輪の WEB サイト キッズデザインの輪について  
(<http://www.kd-wa-meti.com/about.html>)
- 2) 交通事故統計年報 平成21年度版 財団法人 交通事故総合分析センター
- 3) 自転車に同乗する幼児の安全対策及び乗車定員に関する調査研究報告書  
(平成18年 (財) 日本交通管理技術協会)
- 4) 鳥山新一、自転車産業振興協会編 『自転車実用便覧:第4版』 自転車産業振興協会、1982年
- 5) 厚木市立清水小学校の WEB サイト (<http://www.edu.city.atsugi.kanagawa.jp/shimizu-es/>)
- 6) 新・日本人の体力標準値 2000、東京都立大学体力標準値研究会編、平成12年
- 7) 文部科学省統計 平成21年
- 8) ① 江守一郎「新版自動車事故工学」(技術書院平成5年5月発行) 45頁  
② 清水勇男・岡本弘共著「新訂交通事故捜査の基礎と要点」(令文社・平成15年3月初版) 84頁  
③ 交通警察実務研究会編「交通捜査実務パーフェクトガイド」(東京法令出版・平成12年10月初版) 104頁