

高速領域における回避行動測定装置の試作とデータ解析

宮本 邦彦¹⁾, 東根 祐子¹⁾, 名村 靖子¹⁾, 笠間 基寛¹⁾,
辰口 和保¹⁾, 中島 英洋¹⁾, 団野 源一¹⁾,
森岡 郁晴²⁾, 宮井 信行²⁾, 宮下 和久³⁾, 久保田憲司⁴⁾

大阪青山大学健康科学部健康栄養学科¹⁾、和歌山県立医科大学保健看護学部²⁾、
和歌山県立医科大学医学部³⁾、産業技術短期大学⁴⁾

Development and data analysis of an apparatus for observation and measurement of collision avoidance behaviors against dangers approaching at high speed

Kunihiko MIYAMOTO¹⁾, Yuko HIGASINE¹⁾, Yasuko NAMURA¹⁾, Motohiro KASAMA¹⁾,
Kazuyasu TATSUGUCHI¹⁾, Hidehiro NAKAJIMA¹⁾, Geniti DANNO¹⁾,
Ikuharu MORIOKA²⁾, Nobuyuki MIYAI²⁾, Kazuhisa MIYASHITA³⁾,
Kennji KUBOTA⁴⁾

Department of Health and Nutrition, Faculty of Health Science, Osaka Aoyama University¹⁾
School of Health and Nursing, Wakayama Medical University²⁾
Department of Hygiene, School of Medicine, Wakayama Medical University³⁾
College of Industrial Technology⁴⁾

Summary We attempted to improve our apparatus for measurement of collision avoidance behaviors against a rolling ball and succeeded in measuring various parameters of the avoidance behaviors in a higher speed range of the rolling ball.

Using this new apparatus, we were able to raise stepwise the ball speed up to the maximal speed limit (6.6 m/sec) calculated from the whole body reaction time of an average Japanese. The individual avoidable speed limit was defined as the maximal ball speed at which the subject was able to avoid collision before two successive failures.

The avoidance behaviors of 38 primary school children and two adults were measured with this new apparatus. It has been shown that this new apparatus enables us to measure the maximal avoidable speed limit of the ball in addition to the collision occurrence rate and both shortest and mean reaction times of each subject, and that the measurement in the higher speed range of the ball is also applicable to adult subjects as well as to school children.

These results indicated that this new apparatus could be applied to subjects of all age groups and would be able to perform more multifaceted functions in comparison to our original type because the new apparatus enables us to measure a new parameter, the maximal avoidable speed limit, by measurement in a higher speed range of the approaching object.

Keywords: collision avoidance, evasion behaviors, school children, observation and measurement apparatus, the highest evasion speed limit

はじめに

われわれは子どもの衝突事故を防止するために衝突事故に類似した状況を作ることができる衝突回避行動観察測定装置を製作し、それを用いて基礎的な実験¹⁾と保育児および幼稚園児を中心にフィールド調査²⁾を行ってきた。この測定装置は実際に衝突に近い状況を再現できるようにするために、ボールによる衝突をモデルとして考案された。ボールが被験者に近づくと対象者が装着した液晶シャッターゴーグル（以下ゴーグル）のブラインドが解放されてボールが見えるようになる。この時点から、被験者がボールを回避するために感圧マットから垂直に足を離すまでの様子とその時間を観測測定する。ボール速度が速いと被験者は素早く回避する必要があるし、回避までに時間がかかるとボールに接触することになる。この測定装置を用いて衝突回避行動の指標である平均反応時間（ボールを確認してから回避までに要する時間で、回避に成功した時の反応時間の平均値）、最短反応時間（回避に成功した試行の内、最も短い反応時間）と接触生起率（2回の連続失敗した後は全て失敗するものとし、連続2回失敗するまでに失敗した回数と合せて失敗回数とする。例えば5回目に連続2回失敗したとすると $5+1=11$ 、これに5回までに失敗した回数1回であれば1を加え12回の失敗回数となる。従って接触生起率は $12/15=0.8$ となる）を求めることができる。これまでの研究結果^{1), 2)}から、本測定装置を用いて行われる測定は安全であること、回避行動の各指標は年齢や性あるいは活動的保育の影響を受けることが明らかになっている。

この測定装置（以下旧測定装置）では、ボール速度の制御はボールを落下させるガイドレールの傾斜角度を変えることによって行われた。このためボールの最高速度は3.3m/秒が限界であり、被験者の年齢が上がり回避能力が高くなるとボールに接触しないものが増えることが、この測定装置の問題点であった。そこでボールの発射装置を動力式に変更して、コンピュータでボール速度を制御し、ボール速度をヒトの回避限界速度にまで段階的に上昇させることができるようにした。これにより、これまでの回避行動指標である平均反応時間、最高反応時間、接触生起率がより正確に測定できるとともに、被験者の回避限界まで測定できることにより測定可能な被験者の年齢が広がることが期待される。本報告では製作した高速対応型観察測定装置の概要と性能に焦点をあて記述した。

方法と結果

1 ボールの発射装置の製作

ボールの発射はモーター（MY1016, V:24VDC, R.C.:14A. R.S.:2780rpm, JX motor Co., Ltd）を発射機の上部に取りつけて巾6cm×長さ80cmのベルトを回転させた。ベルトの回転速度はコンピュータで電圧1～5Vの範囲で前もって設定された電圧値（各段階の電圧でボール速度を実測値したもの）を呼び出して実行する。また、初速から任意の段階でボールの速度をコントロールできるようになっている。基本設定は2.2～6.6m/秒の範囲において1段階約0.44m/秒で15段階に区切られ1段階ずつ上昇させる。（図1 観測測定装置のコンピュータ画面）

発射速度はベルトの回転速度に依存するがフィットネスボールは弾力性があるためにボールに注入された圧力が変わると速度に影響する。このため直径55cm（メーカー表示）の市販の青色フィットネスボール（IGNIO55cmタイプ：株式会社ジャパーナ）を用い、空気圧を一定にするために外周が172cmになるように空気注入量を調整した。また電圧とボール速度の実測データを使うことでボール速度の再現性を高めた。

ボールはベルト位置にくるとベルトと下部のガイドに挟まれて、ベルトの回転に合わせて回転しながら飛び出すようになっている。停止したボールをベルトに挟むとモーターの負荷が大きくなるため高さ35cmから約100cmの助走部を設け、モーターが受ける抵抗を小さくした。（図2 ボール発射装置）

2 ボール速度の制御

1) ボール速度の下限值

旧測定装置を用いて、2歳児（19名）について測定している。初回のボール速度は2.0～2.2m/秒で行われ、回避に失敗したものは8名（42%）であった。また、3歳児についても初回のボール速度は同じであったが、ボールの回避に失敗したものは144名中12名（8%）であった。これらのことからボール速度の下限値は2歳児の半数以上が回避に成功し、3歳児では90%以上のものが回避に成功していた。このボール速度で測定を始めるならば2歳児の約50%、3歳児の約90%が測定可能であると考えられることから、初回のボール速度を変更する必要性がないと考え、引き続き2.0～2.2m/秒をボール速度の下限速度とした。

2) ボール速度の上限値

被験者がボールを初めて認知できるのは2m先である。2m先に見えたボールを光刺激と置き換えると、被

検査者は全身反応時間の測定と同様に足を垂直にフォースプレートから離す動作をするので、回避のための反応時間は全身反応時間に相当する。日本人の性別年齢別全身反応時間³⁾は男の場合4歳児の平均値は600msecで、加齢とともに短くなるが、15歳頃から短縮傾向は緩やかになり、20歳では359msecで15歳～20歳頃に最短時間となる。この20歳の標準偏差は45msecである。これらの値から全身反応時間の上側(速い分)10%の値を求めてみると301msecになる。この値は $359 - 1.285 \times 45$ (平均値 - z値 × 標準偏差) から算出される。この時間内でボールが被験者に達する時の速度を計算すると6.6m/秒 = 2m/0.301秒になるのでこの値をボールの発射速度の上限に設定した。このボール速度に段階的に速度が上昇するとほとんど(90%)の者がいずれかのボール速度においてボールと接触すると考えられる。

3) ボール速度の上昇巾について

速度の上昇巾は小さい方が精密なデータが得られるが測定時間の制約や被験者の負担を勘案し、装置の試行最大回数は15回とした。各段階の上昇巾は平均0.44m/秒で上昇すると最終回は6.6m/秒の速度となる。学童などでは5m/秒付近が限界速度と見られるので一人の実測回数は10回程度と考えられる。

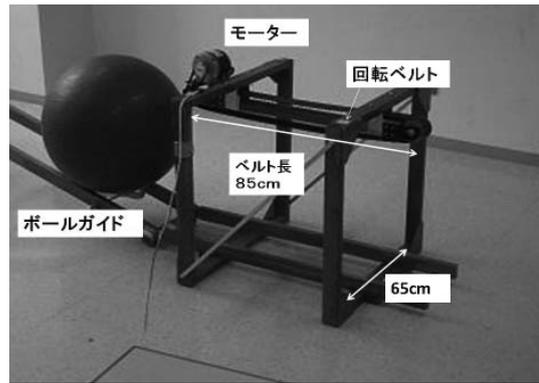


図2 高速対応型観察測定装置のボール発射機

3 再現性試験

高速対応型観察測定装置では2対の赤外センサーの間をボールが通過する時間を計測することでボール速度が測定できるようになっている。そこで同電圧による繰り返し実験によってボール速度を比較した。フィットネスボール (IGNIO55cmタイプ: 株式会社ジャパーナ (直径55cm メーカー表示)) を外周172cmまで空気を入れたボールを用いた。各電圧で5回繰り返した時のボール速度を表1に示した。標準偏差は平均値に対し1.0~3.9%の変動中であった。また、この実験でボール速度が速くなくても旧測定装置で見られたボールが弾んでしまう現象が起きないことが確認できた。

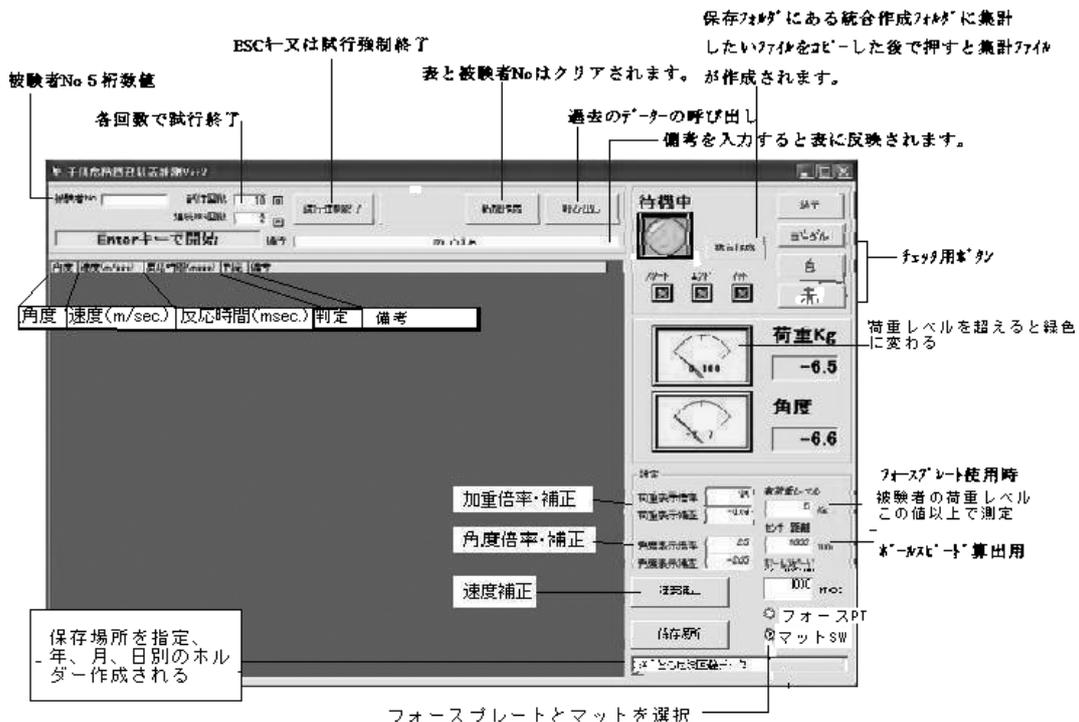


図1 観測測定装置のコンピュータ画面

1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均値	標準偏差	標準偏差の平均値に対する割合(%)
2.19	2.28	2.25	2.30	2.33	2.27	0.052	2.3
2.70	2.49	2.55	2.54	2.66	2.59	0.088	3.4
3.00	3.02	2.95	2.89	2.97	2.97	0.050	1.7
3.21	3.33	3.44	3.39	3.40	3.35	0.089	2.7
3.45	3.62	3.70	3.48	3.65	3.58	0.107	3.0
3.63	3.90	3.90	3.75	3.80	3.80	0.112	3.0
4.22	4.00	4.30	3.90	4.10	4.10	0.161	3.9
4.45	4.32	4.50	4.50	4.40	4.43	0.076	1.7
4.70	4.50	4.70	4.70	4.80	4.68	0.110	2.3
4.90	4.90	5.10	5.00	5.20	5.02	0.130	2.6
5.30	5.50	5.20	5.60	5.60	5.44	0.182	3.3
5.70	5.70	5.80	5.60	5.75	5.71	0.074	1.3
6.10	6.20	6.11	6.40	6.25	6.21	0.122	2.0
6.40	6.50	6.40	6.60	6.70	6.52	0.130	2.0
6.89	6.78	6.84	6.80	6.70	6.80	0.071	1.0

1.3~3.9

表1 ボール速度の再現性

4 その他

1) 液晶シャッターゴーグルについて

これまでのゴーグルは室内が明るいとわずかにボールの影が感じられていたので、ゴーグルに淡緑のフィルタを付けて完全に見えないようにした。

2) 感圧マットについて

被験者が立つ位置には従来感圧マットを使用してきた。これはマット上の荷重の有無を感知するものであった。回避行動の開始時に床に加わる力は回避行動の違いに現れる可能性があり、本測定装置では荷重量が測定できるフォースプレート(45×45×3cm ステンレス製:竹井機器工業)と交換することができるようにした。感圧マットは25×25×1cmであったのに比べフォースプレートでは3cmの段差があることから周囲を弾力マットで囲み安全性を高めた。

3) 画像解析ソフトについて

DVD映像には被検者の回避行動とともに画像マーカー(白ランプはゴーグル開放時から足がフォースプレートから離れるまでを、また赤ランプはフォースプレートの荷重がなくなった時点で点灯する)が収録される。この間が回避行動の始まりと終りを示している。この間が回避行動の始まりと終りを示している。この間が回避行動の始まりと終りを示している。この装置のブロックダイアグラムを図3に示した。

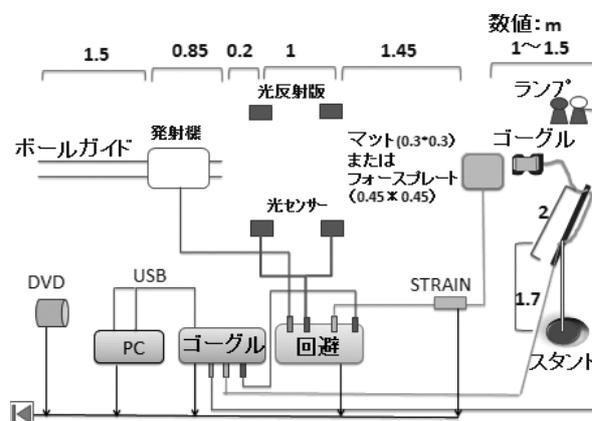


図3 高速対応型回避行動観察測定装置のブロックダイアグラム

5 高速対応型観察測定装置の実測例

本観察測定装置をもちいて小学1年生(6~7歳)38名を対象に測定を行った。旧測定装置による測定と同様に外傷等は1例もなかった。またこれまで測定できなかった3.3m/秒を超えるボール速度においても測定することができ、接触生起率、平均反応時間、最短反応時間を算出することができた。接触生起率が0のものはいなかった。この測定によって得られたデータのうち回避に成功した場合のボール速度とその反応時間の分布を図4に示した。

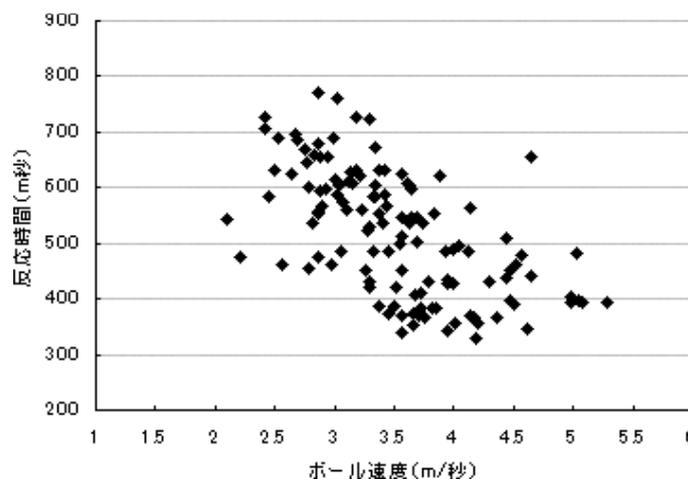


図4 高速対応型観察測定装置の実測例
小学生 (38名)

成人 (22 歳男女) 2 名の接触生起率、平均反応時間、最短反応時間の各平均値を表 2 に示した。成人の場合、最高速度の 6.6m/ 秒までに接触が起きることが示唆され、個人の回避可能なボール速度の最高値を求めることができた。また、いずれの測定においても 1 人当たりにより要する時間は 3~4 分であり、これまでの測定時間より 1~2 分程度測定時間が短縮された。

	接触率 (%)	最短反応時間	平均反応時間	回避限界速度
男	27	473	906	5.0
女	17	569	812	6.1
平均値	22.0	521	859	6.0

時間:m 秒. 速度:m/秒

表 2 回避行動指標の平均値 (成人男女 2 名)

考 察

新しい装置では、ボール速度の上限値を 6.6m/sec に設定し、2.0 ~ 2.2m/sec から平均 0.44m/sec で速度を段階的に上昇させた。ボール速度の上限値 (6.6m/sec) は 20 歳の男性の約 90% が回避できないと予想される速度である。このような高速対応型測定装置を製作して、実際に小学校 1 年生 38 名の測定を実施した結果から本装置の安全性が確認できた。また、これまでと同様に接触生起率、平均反応時間、最短反応時間が算出できるとともに、高速領域での回避限界速度と回避行動が測定できた。また測定時間が短縮されたことにより効率的に測定できることも明らかとなった。接触生起率は 0 になる者はなくなり、旧装置による測定結果

に見られた 0 や 0 に近い値の被験者の多くはより高い接触生起率に分布することが明らかになった。

回避行動の測定ではボール速度を毎回実測し、評価しているのでボール速度に 4% 程度の変動があっても大きな支障はない。個々人の被験者の回避可能なボール速度の最高値が示せることで、新たな回避行動指標を加えることができ、より多面的測定が可能になった。

これまでの測定装置では、高速になるとボールが弾んでしまうことがあったが、高速対応型測定装置では高速になってもそのようなことは見られなかった。これは発射装置が上からボールを押さえつけ、ボールの底面が接地しているためと考えられた。また、ゴーグルの改良によりボールの影を感じなくなりより厳密に反応時間を測定できるようになった。また、画像解析のためのソフトとフォースプレートを使用することによって床を蹴る力と回避能力との関係や画像から効率的に必要なデータを検索し、回避の様子が観察できるようになったが、画像解析については今後の検討課題である。

まとめ

我々はより中広い年齢層と高速領域における衝突回避行動を観察測定するために、ボール速度の上限値を 6.6m/sec に上げた観察測定装置を製作した。この観察測定装置はほぼ全年齢層が測定できると考えられた。この観察測定装置によって 38 人の小学生と 2 人の成人の回避行動を測定したところ、これまでの装置に比べ、より広範囲の年齢層の観察測定とより高い高速領域の

衝突回避行動が測定できるようになったことから、より高い回避限界速度が測定できることによって、本装置がより多面的な観察測定装置であることが明らかとなった。一人当たりの観察測定に要する時間は3～4分程度とこれまでに比べ1～2分程度短くなったこと等も明らかとなった。

なおこの調査研究は文部科学省研究補助事業（No 235908260001）により行われた。

文 献

- 1) 宮本邦彦, 東根祐子, 名村靖子, 中島英洋, 団野源一, 森岡育晴, 宮井信行. 衝突回避行動観察測定装置の開発とそれを用いた基礎研究. 大阪青山大学紀要. 2009, 2, 1-8.
- 2) 宮本邦彦, 東根祐子, 名村靖子, 笠間基寛, 中島英洋, 団野源一, 森岡育晴, 宮井信行, 宮下和久. 活動的な保育が衝突回避行と生活活動に及ぼす影響. 大阪青山大学紀要. 2010, 3, 27-35.
- 3) 首都大学東京体力標準値研究会編. 新・日本人の体力標準値Ⅱ. (株) 不味堂出版. 2007.9

謝辞

本報の作成にあたり、貴重な御教示を賜りました本学の生田香明教授に深謝いたします。