

衝突回避行動観察測定機の開発とそれを用いた基礎研究

宮本邦彦^{1)*}, 東根裕子¹⁾, 名村靖子¹⁾, 中島英洋¹⁾,
団野源一¹⁾, 森岡郁晴²⁾, 宮井信行³⁾

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科²⁾, 大阪教育大学³⁾

Development of an analyzing system for collision avoidance behaviors and
the preliminary evaluation using the new system.

Kunihiko MIYAMOTO¹⁾, Yuko HIGASHINE¹⁾, Yasuko NAMURA¹⁾, Hidehiro NAKAJIMA¹⁾,
Genichi DANNO¹⁾, Ikuharu MORIOKA²⁾, Nobuyuki MIYAI³⁾
Osaka Aoyama University¹⁾, Wakayama Medical University²⁾, Osaka Kyoiku University³⁾

Summary To clarify causes of collisions in preschool- and school- aged children, we developed a prototype system which reproduced situations of collision with a ball. In order to examine the safety of the system, we first evaluated collision avoidance behaviors in 11 four-year-old and 10 five-year-old kindergarteners and 2 eight-year-old elementary schoolchildren.

No accident such as falling occurred during the measurement indicating the safety of the system. There were no age differences in reaction time at low speed although age and individual differences in the frequency of contact with the ball were detected. The reaction time shortened as the ball speed increased. The minimum reaction time correlated with the whole body and hand reaction times.

These results suggested that our system was highly safe and would enable us to analyze collision avoidance behaviors. (accepted. Nov. 30, 2009)

Keywords: schoolchild, kindergartener, injury, collision, avoidance behavior
学童、園児、傷害、衝突、回避行動

はじめに

日本スポーツセンターによる学校災害共済制度の給付件数で見た小学校 6 年生までの損傷などの事故推計値(平成 13 年)は 41.2%に達し、学校管理下での事故発生件数は平成 3 年を 100 とすると平成 13 年には小学校 130%、中学生、高校生は 140%~145%に増加している¹⁾。事故の主な原因は、衝突や転倒による打撲・捻挫(31.8%)、骨折(20.1%)、捻挫(20.0%)、挫創(10.3%)、切創(5.0%)である¹⁾。また、最近の国民消費生活センターの調査報告(平成 21 年 3 月)によると、事故件数は 12800 件で、2006 年度の 9800 件から 30.2%の増加となり、事故形態では転倒(29.5%)、衝突・接触(24.2%)、転落(14.6%)等で、小学 1 年生が 37.0%、2 年生が 29.6%、3 年生が 19.3%であった²⁾。我々が行った大阪府下の小学 6 年生の調査

(平成 19 年 3 月)でも、骨折やけが等の傷害経験者は 30.2%に達し、多くの子どもが何らかの事故に遭遇していることをうかがわせている³⁾。このような状況を改善する対策として、潜在的あるいは顕在化した危険箇所の発見と除去や様々な危険と見なされる行動の規制などが行われている。これらの対策は緊急に実施可能なもので必要なことである。しかし、あらゆる危険箇所を除去することは不可能であり、過度な行動規制は本来の人間活動を制限し発育過程にある子どもにとって問題でもある。ここで取り上げる視点はヒト自身の危険回避能力が今日の児童生徒に不足しているのではないか。またそうであればその能力を阻害している原因が何であるかを解明することである。衝突回避行動の研究としては交通工学、ロボット工学、生物学、生理学など様々な分野で研究

* E-mail: k-miyamoto@osaka-aoyama.ac.jp

1) 〒562-8580 箕面市新稲 2-11-1

2) 和歌山市三葛 580

3) 大阪府柏原市旭ヶ丘 4-698-1

がなされているが^{4,5,6}、子どもの傷害事故増加の要因に着目した研究はみあたらない。我々はこの点に着目し、身体基礎機能、体位、運動能力、生活環境、栄養摂取量などについて実測やアンケート調査を行った。しかしながら、まだ十分な背景要因を見いだせていない³。

ところで、行動科学の分野では、3歳児から7歳児にかけての障害物の認知や対処行動の変容に関する要因として、まわりの環境を静的なものとして捉える「身体の図式」以外に、まわりの環境に積極的に対応して行くという環境対処の能動性、衝動性やリスクに好んで立ち向かっていくといったリスク志向性のあることが指摘され、「行為の図式」といわれている⁷。これまでの身体機能、体位、運動能力、生活習慣など実測やアンケートを中心とした背景要因からの手法では「身体の図式」を捉えられても「行為の図式」を捉えることに限界があった。

そこで本研究では、「身体の図式」以外に「行為の図式」にも焦点を当てるため、事故発生状態に類似した環境を人為的に造り、そのような状況における回避行動を観察測定することにした。実際の衝突事故に近い状況を擬似的に再現し、状況を認知し、回避行動を開始するまでの時間（反応時間）や方向、衝突や接触の頻度などが判る観察測定機を試作した。ここでは、この装置の概要とこの試作機による回避行動測定の安全性、適切な回避行動等の観察測定の可能性について検討することを目的とした。

方 法

1. 衝突回避行動観察測定機の試作

1) 衝突回避行動観察測定機の試作に向けて

障害物の回避行動の観察については、根ヶ山らの障害物回避行動の発達に関する報告⁷があるのみで、障害事故発生防止のための観察測定に関する報告例はない。根ヶ山らは、障害物として水平棒を用い「くぐり」と「またぎ」による観察を試みている⁷。この観察測定機は児童の発育発達における環境認知を観察研究するもので、児童の発達研究には非常に有用なものである。しかし、衝突事故を解析し、要因を探るには「またぎ」と「くぐり」では不十分で、実際の回避行動としては、移動停止、後退、左右への移動等により障害物との接触を避けることが多い。実際の事故発生状況をみると、児童生徒の骨折、捻挫、挫傷等の原因の大半が移動やその他の行為（遊びや運動）の際の転倒、衝突、接触等により発生している。そこで、衝突事故の状況を擬似的に再現するため、様々な観察測定条件下でも安全性が高いと考えられる

ボールによる衝突回避行動観察測定機(以下観察測定機)を試作し、検討することにした。

2) 観察測定機の概要

(1) 観測測定機

この観察測定機は、ボールの速度や方向、大きさを変えて被験者に近づけ、被験者が接近するボールを認知してから回避するまでの時間と回避行動を観察測定できる。図1に観察測定機の概要を示した。ボールは、発射台(支持柱60~180cm間に20cm毎に受け具を付けてある)から勾配を付けた二本のレール上を回転降下させる。ボールには、直径55cm、65cmのバランスボールを用いた。発射台のレール長は280cm、上部レール幅20cm、下部レール幅10cmで固定した。ボール速度は、発射台の高さによって1.9m/秒から3.9m/秒の変更が可能である。また発射角度を左右に10度程度の変更を可能にするため、1.5mの横棒がついており、発射台を左右に動かすことで、被験者の右又は左前方からボールを接近させることもできる。レールの接地点から20cmに赤外センサー①を、120cmに赤外センサー②を設置し、正確なボール速度を測定できるようにした。測定補助者はボールをボール受けにセットし、測定者が準備完了の合図とともにボール受けをはずして、ボールを降下させる。

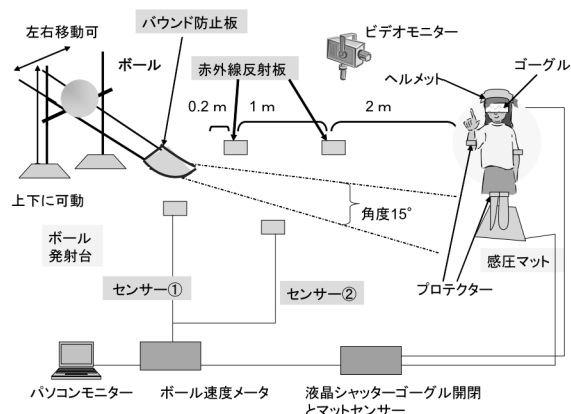


図1 衝突回避行動観察測定機の概要

(2) 被験者と測定装置

被験者が回避行動を開始する時間を測定するため、感圧マット(30cm四角)を赤外センサー②から1mまたは2mの地点に設置した。被験者はこの上に発射台に向かって立つ。この時、被験者は液晶シャッターゴーグル(竹井機器k.k.製液晶シャッターゴーグル)を着用する。このゴーグルは目隠し状態と解放(前方が見え

る状態)状態が設定できる。目隠し状態はボールが地点①を通過したとき解放され、被験者はボールが向かってくる速度と角度、大きさ等を認識し、回避行動を取る。赤外センサー①から回避位置までの距離を短くすることで、ボールとの距離を関連条件に加えることもできる。また、回避行動はビデオカメラでモニターされる。

(3) 測定項目

測定項目は、ボール速度、回避幅(ボールの大きさにより異なった回避距離が必要)、回避方向であり、それぞれについて観察測定できる。

コンピュータは赤外センサー①と②及び感圧マットに接続され、また被験者が感圧マット上に立った後、ゴーグルを目隠し状態や解放状態にコントロールする。ボールが赤外センサー①と②を通過した時刻からボール速度が計測される。ボールが赤外センサー①を通過した時刻とほぼ同時(透過光に比し5ミリ秒の遅れ)に目隠し状態のゴーグルが解放される。またボールが赤外センサー①を通過した時刻から被験者が感圧マット上より移動した時刻(反応時間)が計測される。

3) 観察測定方法

被験者は「ヘルメット」と肘、膝に「プロテクター」を付けて、発射台方向を向き感圧マット上に立つ。解放状態のゴーグルを装着した後、目隠し状態と解放状態を経験する。つづいてボールが近づいたら接触しないよう行動するように説明された後、ゴーグルは目隠し状態にされる。

被験者の年齢に合わせてボール速度を変えるため、発射台の高さが調節される。また、必要に応じ、感圧マット位置を前後に移動し、反応までの時間を短縮または延長することが可能であるので前もって調整しておく(通常は2mとする)。検者の合図で、測定補助者は、ボール受けをはずし、ボールの降下を開始される。発射方向の調整は、レール受棒を左右に移動して行われる。この時、被験者は目隠し状態であるのでボール発射台の高さや角度は判らない。目隠し状態から解放されボールが見えるようになると、被験者はそれぞれの方法で回避行動を行う。この時の回避行動の状況がDVDに記録される。検者はボールが感圧マットを直進(S)、右側(R)、左側(L)のいずれかを通過したか、また回避が成功か失敗か、使用したボールの大きさ、回避した方向を記録用紙に記録する。パソコンには、ボール速度と反応時間が記録されるので、後でDVD映像とデータを統合して確認する。

2 基礎実験と予備実験

観察測定機を使って観察測定が安全に行えること、回避行動が観察測定できること、さらに回避の失敗頻度や回避時間などが観察できることを確認するために基礎実験と予備実験を行った。

1) 被験者

基礎実験では、被験者は傷害事故の発生が多い年齢の3名であり、5歳11か月の幼稚園女児1名(園児)、8歳3か月の小学2年生男児1名(小2男子)、8歳8か月の小学3年生男児1名(小3男子)であった。また、予備実験では、4歳児11名(男6名、女5名)と5歳児9名(男5名、女4名)の幼稚園児を対象とした。基礎実験及び予備実験は、いずれも保護者に研究主旨や目的、方法、予測される危険性を文書で説明し、保護者の同意を得て実施した。

2) 方法

(1) 安全性について

安全性を確認するために、2種類のボールを以下に示す方法で被験者に近づけることにした。

- ① 直径55cm(青色)のボールを正面から速度1.9m/秒から3.8m/秒で近づけた(ボール速度の認識と必要な回避行動の判断力を見る)。
- ② 直径55cm(青色)のボールを左右から速度3.6m/秒で近づけた(回避方向の判断力と運動能力を見る)。
- ③ 直径65cm(オレンジ色)のボールを正面から速度3.5m/秒から3.8m/秒で近づけた(回避に必要な距離の判断力と運動能力を見る)。

測定場所は横5m×縦9m×高さ2.5mの小部屋で、適度な照度、静寂な環境であった。

被験者の(年齢、性)を記載して、同じボール(径55cm)・ボール速度で6回連続で繰り返し試行した。6回の試行所要時間は約5分であった。実験の間、別の被験者の計測中は休憩を取らせた。

(2) 回避行動について

基礎実験では、同じボール(径55cm)・ボール速度による試行を6回繰り返し、接触の有無と接触生起数(試行回数中の接触数)、反応時間を測定した。予備実験では被験者を4歳児と5歳児に分け、安全性を高めるためボール速度を4歳児は1.9~3.4m/秒、5歳児は

2.6~3.8m/秒で測定した。この速度内で被験者の状況に応じて低速から段階的に速度を上げて6~10回計測した。また、被験者により可能な場合は斜め左側または右側からの接近や大ボール(径65cm)の試行を含めた。

(3) 身体基礎機能

身体基礎機能は、全身反応時間(竹井機器社製TKK5408)、手反応時間(竹井機器社製TKK126b)、重心動揺計(竹井機器社製グラビユーグGS7)を用いて測定した。全身反応時間は、光刺激に応じて被験者がマットを離れるまでの時間を測定、手反応時間は光の色によって手で3つのボタンを押し分け、その所用時間を測定した。どちらの測定も測定結果は5回の測定値の平均値で表わした。重心動揺は被験者が開眼状態で測定機の上に1分間安静立位姿勢を保持した状態で測定された。

(4) 分析方法

本観察測定機を用いた測定項目は、ボール速度、反応時間、回避幅、回避方向、回避が成功したか失敗したかの記録、ボールの通過位置の記録であった。回避の成功か失敗かの指標には接触生起率(試行数に占める接触割合)を用いた。

結 果

1 安全性について

安全性について測定した結果を表1に示した。基礎実験の全試行96回(正面42回、斜め左側と右側12回、大ボール6回)の試行中の転倒者はいなかった。また、ボールとの接触や衝突などによる傷害なども発生しなかった。

この結果を基にして、予備実験が行われ、各被験者についての観察測定ではボール速度を段階的に低速から高速に5回変える方法で実施した。斜め前方や大型ボールの観察は可能な被験者にのみ実施することとした。この予備実験の全測定回数134回(被験者4歳:ボール速度1.94~3.37m/秒の範囲で63回、5歳:ボール速度2.37~3.37m/秒の範囲で71回)中では転倒者はなく、衝突、接触による傷害の発生もなかった。

2 回避行動

基礎実験における全試行数に対する接触生起率は、園児では16.6%、小2男児では4.2%、小3男児45.8%であった。小2男児と園児ではボールの速度が速くなると、接触数は多くなる傾向が見られたが、小3男児はボール速度に関係なく接触生起率は33~50%であった。また、各ボール速度での平均反応時間は、ボール速度3.0~3.2m/秒の時の小2男児と小3男児を除き、有意差はなかった。

表1 試作機の安全性

	年齢 (歳)	人数	観察 回数	ボール速度 (m/秒)	接触 回数	転倒 など
基礎実験	8	2	54	2.89~3.79	12	なし
	5	1	42	2.31~3.79	5	なし
計		3	96		17	
予備実験	5	9	71	2.37~3.37	8	なし
	4	11	63	1.94~3.37	20	なし
計		20	134		28	

表2 年齢別接触生起率と平均反応時間

	接触生起率(%)				平均反応時間(ミリ秒)	平均反応時間(ミリ秒)
	0	1~24	25~49	50以上	(平均値±標準偏差)	(平均値±標準偏差)
4歳児(n=11)	3	4	1	3	936±175	746±131
5歳児(n=9)	5	3	1	0	708±148***	526±83***

*** : p<0.001

しかし、表2に示したように予備試験における4歳児と5歳児の年齢別接触生起率は4回に1回(25%)以上のボール接触者が4歳児では4名、5歳児では1名であった。また、4歳児と5歳児の平均反応時間と平均最短反応時間に有意差が見られた。

3 ボール速度と反応時間

基礎実験と予備実験の結果を合わせて、ボール速度と反応時間との関係を図2に示した。ボールの速度が遅い

と反応時間が長く、回避行動は緩やかに行われていた。一方、ボールの速度が速くなると反応時間は短くなった。年齢毎に見ると4歳児では反応時間幅が広がっていた。また、5歳児の方が反応時間は短くなっていた。さらに、接触例は5歳児より4歳児に多く、ボール速度に関係なく見られた。

4 身体基礎機能との関係

対象者のうち11名を、ボール速度1.9~3.2m/秒の範囲

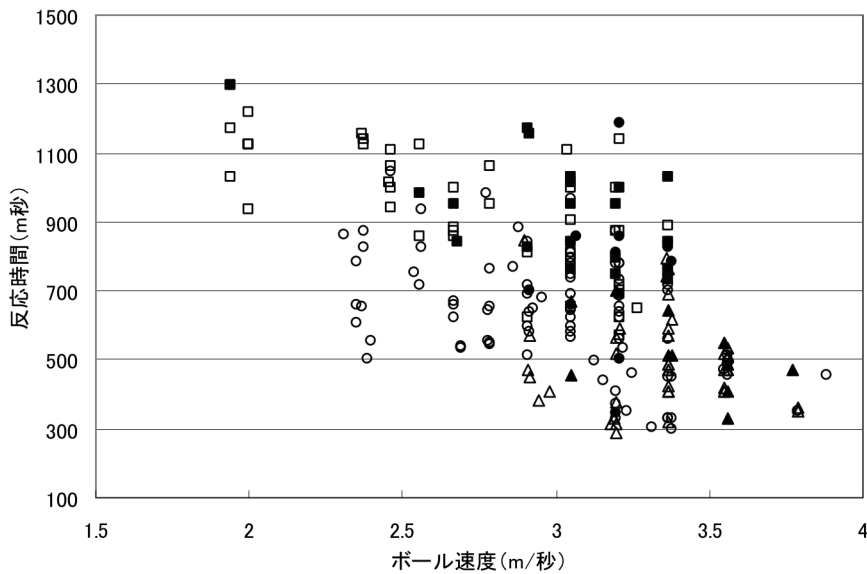


図2 ボール速度と反応時間の関係

基礎実験対象者 成功 △, 失敗 ▲ (n=96)
 予備実験対象者 4歳児成功 □, 失敗 ■, 5歳児成功 ○, 失敗 ● (n=134)

表3 接触の有無別と全身反応時間, 重心動揺 (n=11名)

接触有無	全身 反応 時間	手反 応時間	重心動揺 (開眼)						
			外周 面積	単位 軌跡長	単位面積 軌跡長	総軌 跡長	矩形 面積	実行 面積	
なし 8名	最大値	1.06	0.47	4.13	2.14	21.03	42.81	29.30	5.34
	最小値	0.50	0.28	1.36	1.29	9.39	14.99	4.07	1.18
	平均	0.70	0.37	2.56	1.62	13.98	30.75	10.75	2.91
あり 3名	STDEV	0.17	0.08	1.08	0.31	4.37	8.82	8.42	1.50
	最大値	0.78	0.59	4.40	2.41	19.89	48.25	13.39	4.45
	最小値	0.53	0.49	1.34	1.41	10.96	28.20	3.97	1.20
	平均	0.65	0.53	2.47	1.80	16.57	36.00	7.69	2.56
	STDEV	0.12	0.05	1.68	0.54	4.89	10.74	5.01	1.69

全身反応時間, 手反応時間は5回試行平均値(秒) STDEV: 標準偏差
 接触有無: 5回試行中の接触回数, 「あり」が3回以上, 「なし」は2回以下

表4 最短反応時間と身体基礎機能との相関係数 (Pearson解析)

	全身反応 時間 5回平均	手反応 時間 5回平均	重心動揺 (開眼)					
			外周 面積	単位 軌跡長	単位面積 軌跡長	総軌 跡長	矩形 面積	実行 面積
最大値	0.719*	0.827*	-0.386	-0.048	-0.460	-0.623	-0.248	-0.071

*: <0.05

(n=11)

で接触回数2回以上の者とそれ以下の者との2群に分類し、全身反応時間、手反応時間、重心動揺の6項目との関連を比較した(表3)が、いずれの項目にも有意差は見られなかった。

そこで、反応時間の最も速かった時間(最短反応時間)と全身反応時間、手反応時間、重心動揺の6項目の相関(Pearsonの相関係数)を見たところ(表4)、全身反応時間や手反応時間との間に相関が見られたが、他の項目については相関は見られなかった。

考 察

1 安全性について

観察測定装置による観察測定は、ボールを対象者に近づけることで、接触する場合があること、対象者に傷害発生を起す可能性の高い者がいること等を考慮すると、この測定法は安全性の高いものでなければならない。基礎実験の全試行96回と予備実験の測定回数134回中で転倒者はなく、衝突、接触による傷害の発生もなかった。このことから、全体として速度の変化や左右の発射角の変化、ボールの大きさの変化等があっても、この条件では安全に測定できるとことが判明した。

2 回避行動

ボールの速度が速くなると接触生起率は高くなる傾向が見られた。しかし、同速度での接触生起率は若い者ほど高く、年齢が高くなると低くなった。このことは、若い年齢ほど回避行動に時間がかかり、ボールに接触しやすくなっていることを示唆している。また接触生起率の幅は低年齢で広く、個人差も大きいことが判明した。基礎実験で見られた小3男児の場合はこの結果から見ると回避能力は3歳児同程度と見られる。しかし、この結果は当日の体調などで影響した可能性も考えられるので、日常生活で見られる特徴などを聞き取る必要もある。今後の調査では回避能力の低い子どもへの対応について検討しておく必要がある。このような接触数の差が個人固

有のものか偶然のものかはさらに被験者数を増やし検討する必要がある。また、一人の被験者の回避に成功した試行の中で最も短い時間で反応した時間(最短反応時間)をどのように活用するか検討すべきである。

3 ボール速度と反応時間

ボール速度と反応時間との関係を見ると、ボール速度が低速であると動作が緩慢であること、低年齢では反応時間の幅が大きいこと、また年齢が高いと反応時間は短いことが判った。ボール速度が速くなると素早い判断と反応が必要で、状況判断も回避行動も難しくなる。このような状況では、何回かの試行は成功したとしても当然接触頻度は多くなると考えられる。このため状況判断がまだ未熟な4歳児に接触回数が多くなったと考えられる。しかし、接触が生起する時は必ずしも高速の時に起きていないことに着目する必要がある。最短反応時間を考えると、図2に示したプロットの下限を結ぶ線が示唆を与える。この時間はボール速度が速くなると短くなるが、限界もある。このような限界を超えると、失敗が多くなり回避行動ができない状況になる。そのような年齢別の最短反応時間を示すことができれば、年齢差を表す回避行動の有効な指標となることも考えられる。

4 身体基礎機能との関係

全身反応時間などの身体基礎機能は接触回数で分けた2群間の関連は見られなかった。しかし、最短反応時間で見ると全身反応時間や手反応時間との間には相関が見られたが、他の項目については相関は見られなかった。このことから個人の最短反応時間は、全身反応時間や手反応時間に関係する筋収縮時間と相関することが示唆された。

要 約

今回、試作した観察測定機による調査によって、被験者の回避行動を観察測定できることが明らかになった。今後、さらに広い範囲の年齢層の回避行動を調査するた

め、また特に各年齢別最短反応時間や筋収縮時間を測定するために、より速いボール速度による回避行動の観察測定が必要である。しかし、本観察測定機はボール速度に限界があり、小学生高学年では測定が難しい面がある。また、ボール発射方向を無作為に変化させた方がより衝突事故の状況に近いと考えられるが、現状の手動では恣意的になり観察に偏りがでる可能性があることなどから、本観察測定機の問題点も明らかになった。

今後は、これらの問題点を克服した新しい型の観察測定機を試作し、この観察測定機により回避行動を観察測定するとともに、運動能力、生活習慣、発育発達との関連を明らかにして行きたい。また、その結果から転倒や接触事故の増加原因解明の糸口を探っていく予定である。

謝 辞

調査にあたり関係者への説明や測定場所の確保など、積極的な協力を頂いた青山幼稚園 垂井幸雄主事と人員や資材の搬送、設定に協力頂いた大阪青山大学 森下活二課長に感謝致します。

文 献

- 1) 内山有子,田中哲朗.学校における事故防止. J. Natl. Inst. Public Health. 2004, 53, 90-96.
- 2) 国民生活センター.学童保育の安全性に関する調査研究調査報告書. 2009, 3.
- 3) 宮本邦彦, 東根裕子, 名村靖子, 山口静枝, 中島英洋, 団野源一, 森岡郁晴, 宮井信行, 垂井幸雄. 大阪青山大学紀要. 2008, 1, 17-21.
- 4) Lobjois Regis,Benguigui Nicolas,Bertsch Jean,Broderick Micheal P.Collision avoidance behavior as a function of aging and tennis playing. Exp Brain Res. 2008, 184, 457-468.
- 5) Hancock P A ,de Ridder S N. Behavioural accident avoidance science : understanding response in collision incipient conditions. Ergonomics. 2003, 46, 1111-1135.
- 6) Yamamoto Keisuke, Nakata Maki, Nakagawa Hideki. Input and output characterisutics of collision avoidansce behavior in the frog Rana catesbeiana. Brain Behav Evol. 2003, 62, 201-211.
- 7) 根ヶ山光一.子どもにおける障害物回避行動の発達に関する実験的研究.発達心理学研究. 2009, 11, 122-131.