

視線と体の協調について効果的な発達を促す指導法の提案へ 向けた幼児の眼球運動測定

北濱幹士^{*1}・知念嘉史^{*2}・宮川幹平^{*3}・石橋宏之^{*4}・山田光穂^{*5}

To propose a teaching method to promote the effective development of Eye-Body coordination,
eye movement measurement for preschooler

by

Kanji Kitahama, Yoshifumi Chinen, Kanpei Miyakawa, Hiroyuki Ishibashi, Mitsuho Yamada

Abstract

Although the function of visual movement and exercise are naturally incorporated through daily "play, exercise, and sports, due to changes in the social environment, such as, Space, Time, and Friends to Play, have decreased significantly. In other words, through "play, exercise, and sports (slides, swings, jungle gyms, tag, ball games and so on)" they naturally acquired cooperative behavior and promoted the development of the central and peripheral nervous systems. Research on children's eye movements has been conducted across various fields, and interesting research is being conducted. However, most of the studies on eye movements in children are cases of measurements with fixed objects or targets. In this study we aimed to clarify preschoolers' eye movement while freely playing, exercising, or playing sports.

I. はじめに
視運動機能と運動機能は幼少期にほぼ大人と同じレベルに達し、これらの協応動作は日常的な「遊びや運動・スポーツ（滑り台、ブランコ、ジ

* 1 東海大学スポーツプロモーションセンター

* 2 東海大学体育学部生涯スポーツ学科

* 3 東海大学理系教育センター

* 4 東海大学附属本田記念幼稚園

* 5 東海大学情報通信学部

ヤングルジム、鬼ごっこ、ボール遊びなど)」を通して自然と学習される。

一方、幼少期におけるメディア利用（テレビ、ビデオ、動画配信サービス、ゲームなど）の時間は、近年のコロナ禍もあって拡大傾向にある。メディア利用時に身体を動かすことは殆どなく、視線の先にある画面は目まぐるしく動くものの周囲の景色は連動して動かない。このような状況に長く置かれることは、子どもの運動不足を招くだけでなく、視運動機能と運動機能との協応動作の発達にも影響を与えると考える。筆者らは、子ども達の視線と体の協調についての現状を把握し、その効果的な発達を促す指導法を提案することを目指しており、その研究の入り口として、子どもが自由に遊びや運動・スポーツをしながら、何をどのように注視しているのかを明らかにすることが必要と考えた。

子どもの眼球運動を対象とした研究は学際的に行われており、興味深い研究は多々見受けられる。

三根らの研究¹⁾では、子どもは絵本を読む際に絵と文字への停留割合は等しいが最初の停留は圧倒的に絵が多いと報告している。小池らの研究²⁾では、大人が活用している道路上の構造物（カーブミラー、交通標識、電柱）を子どもは注視していないとの報告がされている。つまり、子どもは絵を注視しているのかと考えられるが、見る対象物の位置が重要であると考えられる。

子どもの追跡眼球運動能力の研究によると、7歳頃より大人同様に滑らかな眼球運動が可能であると報告されている³⁾。重松らの研究⁴⁾では、小・中学生の瞬間視で有意差があり、運動能力と視覚機能能力には関連があると述べており、石垣ら⁵⁾は、日常的な運動習慣によりスポーツビジョンの能力が発達すると述べている。

伊藤らによる歩行時の下方視覚情報への依存における加齢効果の研究⁶⁾では、高齢者は床や足元に視線をより長く向け、床上での変化点を注視する。その結果、視線の上下運動が減り、前方への視線停留が著しく低くなる。反対に若齢者は前方方向を中心に視線が移動するとの報告がある。その他、子どもや大学生を対象とした速読と眼球

運動やそのトレーニングの研究は幅広く行われている^{7) - 12)}。

これらの先行研究の多くは、被験者が或いは目的・対象物が固定された測定事例である。

遊びや運動・スポーツ中の眼球運動と体の動きの協応動作についての研究は非常に少なく、特に子ども用の眼球運動測定装置が存在していなかったため、幼児についての研究はほとんどない。そこで本稿では、遊びや運動・スポーツ中にも利用できる、子ども用の眼球運動測定装置とその改良について述べたのち、実際に子どもを対象として実施した測定の内容と結果を示し、最後に今後の研究発展に向けた課題を述べる。

Ⅱ. 子ども用ワイヤレス眼球運動測定装置

眼球運動測定には Talk Eye Lite（竹井機器工業（株））¹³⁾を使用した。被験者は子どもであるため、子ども用眼球運動測定ゴーグルを使用すると共に、子どもが制約を受けず自由に動けるよう、ワイヤレス眼球運動測定機器を用いた^{14) 15)}。

1. 子ども用ゴーグルからヘッドバンド

2020年度に開発した子ども用ゴーグルは、子どもの頭の大きさに合わせて、顔の横幅、目と目の間隔に合わせて作成した。これまでの眼球運動測定装置は、大人用ゴーグルを使用しているため被験者の成長具合にもよるが中学生以上に使用が限定されてしまう。

一般的な子どもと成人の眼鏡を比較すると、玉幅（両眼のレンズ間隔）に約 12 mm、鼻幅に約 4 mm、テンプル（つる）には約 15 mm の差が存在している¹⁶⁾。これらを考慮して眼球運動センサを取り付ける子ども用ゴーグルを設計した。しかし、これまでのゴーグルでは（テンプルがプラスチック製）試装段階においてゴーグルの位置がずれる事が浮き彫りになっていたため、ヨロイ（智）の部分から水泳用ゴーグル等で使用されているゴム紐を採用し、下記の改良を加えた。

- 1) プラスチック製のテンプルを取り外す。
- 2) ヨロイから後頭部にかけて上部と下部の 2 点で固定可能にする。

この改良により被験者の側頭部及び耳への負担（違和感）を軽減する事ができた（図1参照）。しかし、被験者が動くことによりゴーグルがずれる事案が多発した。その理由は以下の通りである。

- 1) 子どもの鼻（軟骨）は非常に柔らかい。
- 2) ゴム紐を強くすると鼻が押し潰される（痛み発生）。
- 3) 耳がゴーグル（測定装置）の重さに耐えきれず折れ曲がってしまう。

そこで新たにヘッドバンド方式を採用した。ゴーグルの様に前後で固定するのではなく、ヘッドバンドは頭部全体に固定する事を前提として開発した。マジックテープを採用する事で調節が可能となり、大人に至るまでヘッドバンドでの測定が可能となった。マジックテープは側頭部から後頭部、前頭部から後頭部に固定ができ、左右のズレを防止する事ができた。また、上下のズレは顎紐を付ける事で対応した。なお、ヘッドバンドタイプは子ども用ゴーグルタイプより約30g重いが、頭部全体で測定装置を支持するため、機器の重量が局所（耳・鼻）から頭部全体に分散する事が可能となった（図2、表1参照）。

上記したように改良を重ねる事で子どもの眼球運動測定が可能になった本装置であるが、大人用を転用している事もあり幾つかの問題も生じている。例えば、大人の被験者と比較するとキャリブレーションが難しく、較正に時間が取られてしまう。また、頭部に固定しているとは言え、激しく動くとズレが生じてしまうなど、更なる改良の余地は十分ある。



図1. 眼球運動測定用ゴーグル
(左：大人用ゴーグル、右：子ども用ゴーグル)



図2. 子ども用ゴーグル（左）とヘッドバンド（右）

表1. 子ども用ゴーグルとヘッドバンドの重量比較

名 称	重 量
子ども用ゴーグル型	180g
ヘッドバンド型	209g

Ⅲ. 幼児の眼球運動測定

幼児の視線と体の協応動作に関する眼球運動測定のため、以下の3点の「運動遊び」に分類し、被験者の眼球運動と体の動きをデータとして収集した。なお、2021年度は縦断的研究として同一の測定方法を用い、年4回（6月、8月、11月、1月）の測定を実施した。

1. 被験者

認定こども園東海大学付属本田記念幼稚園の園児3名を対象とした。被験者らは、年長男児（5～6歳）、年中男児（5歳）、年中女児（4～5歳）、各1名ずつである。年間を通じての測定であったため、被験者らの年齢は4～6歳である（年中男児は1回目の測定前に誕生日を迎えている）。

2021年5月に幼稚園で実施された身体検査の結果によると、年長男児の身長（110.9 cm）は5歳11ヵ月の平均身長（112.7 cm）より1.8 cm低い、年中男児は（108.5 cm）は5歳0ヵ月の平均身長（106.7 cm）より1.8 cm高く、年中女児は（108.6 cm）、4歳6ヵ月の平均身長（102.8 cm）より5.8 cm高い。また、年長男児の体重（19.8 kg）は5歳11ヵ月の平均体重（20.1 kg）より0.3 kg軽く、年中男児（17.1 kg）も同様に5歳0ヵ月の平均体重（17.7 kg）より0.6 kg軽い。しかし、年中女児の体重（18 kg）は、4歳6ヵ月の平均体重（16.3 kg）より1.7 kg重い（表2参照）。

4～6歳では1年間に約6 cmの身長が伸びると言われており、年長男児と年中男児はほぼ平均、年中女児は同年代平均と比較すると若干大き目とも言えるが、決して突出している数値ではない。

なお、年間を通じて実施した4回の測定は、上記の3名の被験者であるが、4回目の測定時のみ大人との比較データを収集するため、男子大学生（24歳）の測定を行った。被験者となった男子大学生は、1997年4月25日生まれ、身長163 cm、体重61 kg、視力は1.2（矯正）である。

表2. 被験者の身体的特徴

学年	年長	年中	年中
性別	男児	男児	女児
生年月日	2015/6/16 5～6歳	2016/5/20 5歳	2016/11/5 4～5歳
身長	110.9cm	108.5cm	108.6cm
平均身長	112.7 cm	106.7 cm	102.8 cm
体重	19.8kg	17.1kg	18.0kg
平均体重	20.1 kg	17.7 kg	16.3 kg
視力（右）	1.0	1.0	1.0
視力（左）	1.0	1.0	1.0

検査日：2021年5月現在

2. 測定場所

測定場所は被験者らが日頃より通園している幼稚園のホールを使用した。ホール内には、目印として赤と黄のミニコーンを100 cm間隔で×状に配置した。床には、白のラインテープ（直線）、緑

のラインテープ（クランク状）に貼付した（図3参照）。なお、クランク歩行時には、100cm間隔に11個のミニコーン（スタートとゴールを含む）を設置した。

3. 測定内容

中村（2011）が分類した人間の基本的な36の動きから更に以下の3つに分類した（分類詳細は表3参照）¹⁷⁾。(1) 自由な「遊び」：日常的な遊びにおける眼球運動と体の動きとの協応動作（自身の動きを含めた動向系動作を対象とした眼球運動の収集）。(2) 器具を使用した「遊び」：運動器具操縦に注目した眼球運動と体の動きの協応動作（幼児教育の現場にて多用されている器具を使用し、自由に器具を使用する中での眼球運動収集）。

(3) 対象・対物を持った「遊び」：操作に注目した眼球運動と体の動きとの協応動作（対象・目標・目的・対物を持った操作系動作を対象とした眼球運動の収集）。

被験者の保護者には測定日前に、そして被験者の子どもたちには測定実施前に本研究内容について説明を行った（図4参照）。なお、1、2回目の測定では、測定実施場所（幼稚園ホール）に保護者の立ち合いをお願いした。

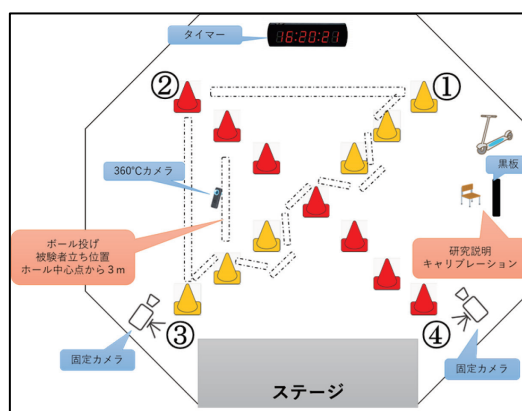


図3. 測定を実施した幼稚園ホールのレイアウト

表 3. 3つの測定内容に関する分類詳細

(1) 自由な「遊び」 <体のバランスをとる平衡系動作> たつ、おきる、まわる、わたる、ぶらさがる、うく、さかだちする、のる、くむ <体を移動する移動系動作> あるく、はしる、はねる、すべる、とぶ、のぼる、はう、くぐる、およぐ
(2) 器具を使用した「遊び」 <キックスケーター> 手足の力、腹筋、背筋をバランスよく使用して前進、スピード、バランス感覚の汎用
(3) 対象・対物を持った「遊び」 <用具を操作する動き・力試しの操作系動作> もつ、ささえる、はこぶ、おす、おさえる、こぐ、つかむ、あてる、とる、わたす、つむ、ほる、ふる、なげる、うつ、ける、ひく、たおす

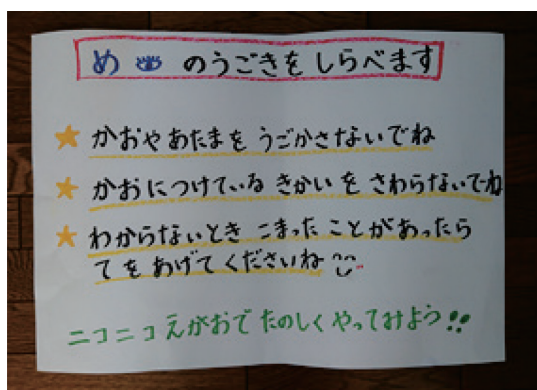


図 4. 子ども用の注意書き

4. 測定方法

測定 (1) は、自由な「遊び」(日常的な動作)より移動系動作である<あるく・はしる・はねる>、測定 (2) は、器具を使用した「遊び」(器具操縦動作)より眼と体の協応動作が必要なキックスケーター、最後に、測定 (3) は対象・対物を持った「遊び」(対象・対物における動作)より用具を操作する動き・力試しの操作系動作である<もつ・つかむ・あてる・とる・わたす・なげる>を行った(東海大学「人を対象とする研究」に関する

倫理委員会承認番号【21028】)。

IV. 測定結果と考察

直線歩行時の測定結果は、2 回目の測定より報告する。図 5-8 は、年中男児が直線歩行時に注視している箇所である。図 5 では、指示されている方向を注視しており、指先の移動と共に視線も動いている。図 6 は歩き始めであり、足元から白いラインテープを追いながら視線は前方に動いている。図 7 は、1 つ目の角を曲がった所であり、視線は手前から奥へとラインテープに沿って移動している。図 8 では、2 つの角以降はラインテープが貼付されていないため、視線は前方の 3 つ目の角を注視している事が分かる。つまり、ラインテープやミニコーンが設置・貼付されている場合にはそれらを注視し、何も設置・貼付されていないオープンスペースでは視線が前方を注視している。この結果は、歩行時の下方視覚情報への依存における研究⁶⁾における若齢者の結果と同様となった。



図 5. 直線歩行時の様子 (年中男児)

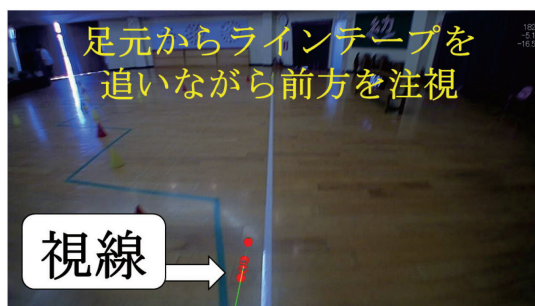


図 6. 直線歩行時の様子 (年中男児)

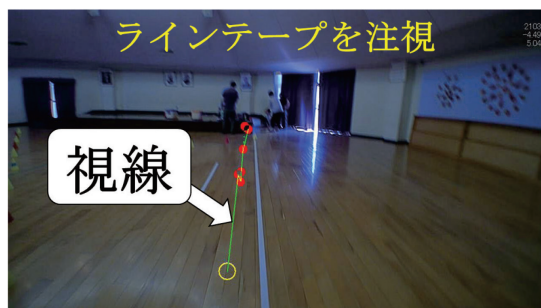


図 7. 直線歩行時の様子（年中男児）

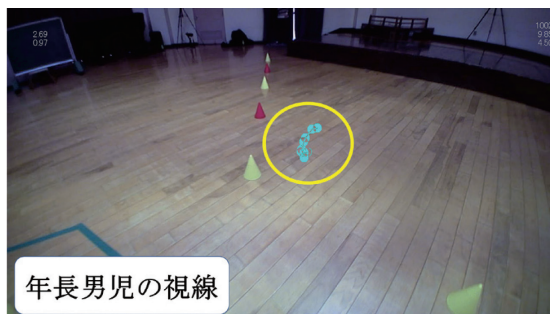


図 10. クランク歩行時の様子（年長男児）

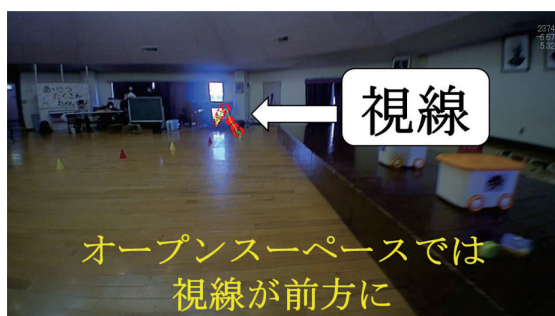


図 8. 直線歩行時の様子（年中男児）



図 11. クランク歩行時の様子（年中男児）

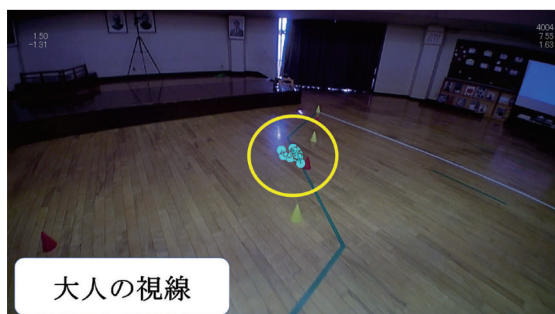


図 9. クランク歩行時の様子（大人）



図 12. クランク歩行時の様子（年中女児）

次にクランク歩行（ジグザグ歩行）時の眼球移動速度測定結果を、大人を加えた4回目の測定より報告する。クランク歩行は、直線と異なりジグザグに歩行するため、常に足元のミニコーンを注視する必要があると共に、次のミニコーンへ視線を移動させる必要がある。

クランク歩行における4名の被験者の視線を図9-12に、そして眼球移動速度について表3に示す。なお、ここで定義した眼球運動速度は、個別に跳

躍運動を抽出したわけでは無く 30Hz のサンプリング期間ごとの両眼平均速度である。

図 9-12 は、被験者が装着している視野カメラの映像を静止画にしたものである。図 9 は、大人が①から③（ライン有り）に向かってのクランク歩行している際の視線、図 10-12 は、園児が②から④（ライン無し）にかけてクランク歩行している時の視線である（①～④の位置関係については図 3 参照）。これらの静止画は、6 番目のミニコーン（中央）が映像から消えた瞬間とした。これらの静止画から被験者の頭部の向きを推察できる。年中男女児の視線は、手前の黄色のミニコーン周辺にあるが、年長男児は奥の赤色のミニコーンへ到達、そして大人は赤色のミニコーンを越えた位置にある。つまり、年齢と共に頭部が上を向き、視線が遠くなっている事が確認できる。

表 4 はクランク歩行時の眼球移動速度の詳細である。大人の最大値は 185 deg/sec であるが、年長男児は 392 deg/sec、年中男児は 497 deg/sec、年中女児は 399 deg/sec と大人の約倍の移動速度である。

次に中央値は、大人が 41 deg/sec に対して、年長男児（46 deg/sec）と年中女児（42 deg/sec）は比較的大人に近いが、年中男児は 62 deg/sec と高速度である。平均値と中央値を比較すると、大人は 7 deg/sec の差であるが、年長男児（15 deg/sec）、年中男児（12 deg/sec）、年中女児（16 deg/sec）とその差は大きく、園児被験者は全体的に大人より高速度で眼球が移動していることが明らかになった。

これらの結果を踏まえると、本クランク歩行の測定では、非常に高速度の眼球運動である跳躍運動（300～600 deg/sec）の速さに違いが見られた。大人被験者に比べ、園児被験者ではより速い跳躍運動を確認する事ができた。大きな視線移動には頭部運動も重要である。幼児の頭部と眼球運動の協調動作は発達過程にあり、幼児は眼球運動中心と言われており¹⁸⁾、園児被験者の跳躍運動速度が大人の被験者より速くなった理由と推察される。また、図 9-12 から分かるように、園児被験者は大人に比べて下の方、すなわち近くを見ており、眼球運動が大きくなったのもその要因の一つと考

えられる。今後は頭部運動の同時取得、また、注視（視線滞留）との関係性及び解析を進める必要があると考えている。

今回の測定結果では、年長男児と年中男児では数字上の大きな差異が認められたが、年長男児と年中女児では大きな差異は見られない。これは男女差・年齢差、個々の生活スタイルを含めた背景、或いは「遊びや運動・スポーツ」による差など、多角的な観点で関係性の調査が必要であると思われる。その一端として本研究で収集した「幼児の家庭生活に関する調査」を基に調査を開始する。また、同様の測定項目を用いて統計的な検証ができるように他幼稚園（地域性等）を含め、より多くの園児の測定を行う必要がある。

表 4. 被験者 4 名による眼球移動速度の詳細

	大人	年長男児	年中男児	年中女児
最大値	185	392	497	399
75%	63	73	89	70
中央値	41	46	62	42
25%	27	31	38	25
最小値	0	6	1	1
平均値	48	61	74	58

V. おわりに

本稿では、子どもの眼球運動測定のための眼球運動センサ取り付け部の改良（ゴーグルからヘッドバンド）、その幼児を対象とした測定内容、及び結果について述べた。

被験者全員は、測定内容を理解するとともに全ての測定を実施する事ができた。つまり、被験者の発達による個人差があるものの 5 歳児（年中園児）は測定遂行能力を有していると考えられる。

幼児が実際に運動しているときの眼球運動の取得例は少なく、幼児の運動機能、視運動機能の発達を調べていく上で、重要な測定装置となり得ることを示すことができた。

測定内容（あるく・はしる・はねるスピード、キックスケーターの操作、ボール投げの距離）には個人差はあるが、床に貼付や設置した注意すべき印や物体（ラインテープやミニコーン）は注視

し、オープンスペースでは前方を注視していた事が認められた。また、測定中には保護者（母親）や先生、或いは測定補助者への「よそ見」も確認できた。この「よそ見」は、測定に無関係な場所や機器を注視している訳ではなく、視線の先には必ず保護者、研究代表者、測定補助者、或いは撮影機器等があった。また、保護者、研究代表者や測定補助者への「よそ見」は子どもに多く見られる承認欲求の一環であると考えられる。この事を考慮し、3・4回目の測定では、付き添いの保護者には別の場所での待機をお願いした所、測定中の「よそ見」は各段に減った。

今後の測定では、サンプル数を増やすと共に視線と体の協調についての測定等も検討したい。また、「幼児の家庭生活に関する調査」の既存の結果との相違相関などを視野に入れて研究を進めて行く予定である。

謝辞

本研究を進めるに辺り全面的に協力・支援して頂いた認定こども園東海大学付属本田記念幼稚園の庄司園長を始めとする園教職員の皆様、測定に協力して頂いた園児及び保護者の皆様、眼球運動測定装置の改良にご協力頂いた竹井機器工業株式会社の皆様に深く感謝致します。年間を通じての測定に協力して頂いた本学情報通信学科の星野祐子講師ならびに同研究室の篠原未歩さん、野坂祐介君（2021年度大学院卒業）、森大河君（2022年度大学院卒業予定）に感謝します。

本研究は「公益財団法人 放送文化基金」の助成を受けて実施したものである。

文献

- 1) 三根慎二, 汐崎順子, 國本千裕, 石田栄美, 倉田敬子, 上田修一: 眼球運動から見た子どもの絵本の読み方, *Library and Information science*, No. 58, pp. 69-90(2007).
- 2) 小池洋平, 浜岡秀勝, 清水浩志郎: 子どもの視点を考慮した安全な歩行者空間に関する研究, 土木計画研究・講演集 (2003) (オンライン), 入手先 (http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00039/200306_no27/pdf/134.pdf) (参照 2022-12-6).
- 3) Valldeflors Vinuela-Navarro, Jonathan T. Erichsen, Cathy Williams, and J. Margaret Woodhouse, *Quantitative Characterization of Smooth Pursuit Eye Movements in School-Age Children Using a Child-Friendly Setup*, *translation vision science & technology (TVST)*, Vol.8, No.5, 2019
- 4) 重松雄大, 福井直亮, 佐田正二郎, 小・中学生における運動能力と視覚機能能力の関係, 九州理学療法士・作業療法士合同学会誌/第32回九州理学療法士・作業療法士合同学会, 2010 巻, 2010.
- 5) 石垣尚男, 吉井泉, 年少児のスポーツビジョンの個人差は生得的か, 運動経験に起因するか, デザントスポーツ科学, Vol. 22, pp. 157-164(2001).
- 6) 伊藤納奈, 福田忠彦, 歩行時の下方視覚情報への依存における加齢効果: 眼球運動の時系列的变化, *人間工学*, 40, 5, p.239-247, 2004, <https://doi.org/10.5100/jje.40.239> (参照 2022-12-6)
- 7) 西康隆, 小学生用速読トレーニングプログラムの開発とその効果, *日本教育工学会論文誌*, 28, p.25-28, 2004
- 8) 斎田真也, 速読と眼球運動, *The Japanese Journal of Psychonomic Science*, Vol.23, No.1, pp.64-69 (2004).
- 9) 森田愛子, 大学生における速読トレーニングの効果の検証, *広島大学心理学研究*, 第9号, (2009).
- 10) 石垣尚男, 眼球運動トレーニングの読書への効果, *愛知工業大学研究報告*, 第48号, (2013).
- 11) 北濱幹士, 藤川駿, 猿楽拓也, 山田光穂, フリースローの視線分析を元にした新しいスポーツ解析手法の提案, *パーソナルコンピュータ利用技術学会論文誌*, Vol. 15, No. 1, pp. 41-53(2021).
- 12) 猿楽拓也, 北濱幹士, 山田光穂: 眼球運動測定装置を用いたスポーツ選手のスキル分析, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 23, No. 1, pp. 29-42(2021).
- 13) 竹井機器工業(株). *Talk Eye Lite Wireless*; <https://www.takei-si.co.jp/productinfo/detail/305.html> (参照 2022-12-6).
- 14) 北濱幹士, 藤田亮, 猿楽拓也, 野坂祐介, 篠原

未歩, 森大河, 石橋宏之, 山田光穂, 幼児の眼球運動取得のためのゴーグル開発と実験例, 第15回パーソナルコンピュータ利用技術学会全国大会講演論文集, A3-3, 2020.

- 15) Sarugaku, T., Kitahama, K. and Yamada, M. Proposal of New Sports Video Expression using 8K Video by Simultaneous Analysis of Four Players. In Proceedings of the 8th International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS2020), pp.53-63.
- 16) 眼鏡サイズの平均とは？年齢や性別ごとの眼鏡サイズの平均は？：メガネスタイルマガジン（オンライン），入手先
(<https://www.ohmyglasses.jp/blog/megane-size/>)
(参照 2022-12-6).
- 17) 中村和彦：運動神経がよくなる本，マキノ出版（2011）.
- 18) Yamada, M.: The Analysis of Head and Eye Coordination According to Age: Progress in Human Interface Society, Vol. 2, pp. 27-34(1993).