

| | |
|------------------|---|
| Title | 目的指向運動における乳幼児の視線制御と微細運動：11ヶ月児と18ヶ月児の比較 |
| Sub Title | Gaze control and dexterous manipulation of infants' goal-directed actions : a comparison between 11 month olds and 18 month olds |
| Author | 阿部, 和夫(Abe, Kazuhiro) 大塚, 恭平(Otsuka, Kyohei) 青木, 義満(Aoki, Yoshimitsu) 皆川, 泰代(Minagawa, Yasuyo) |
| Publisher | 慶應義塾大学大学院社会学研究科 |
| Publication year | 2016 |
| Jtitle | 慶應義塾大学大学院社会学研究科紀要：社会学心理学教育学：人間と社会の探究 (Studies in sociology, psychology and education : inquiries into humans and societies). No.82 (2016.) ,p.17- 35 |
| JaLC DOI | |
| Abstract | <p>Visual sense has a great role for the hand movement. Particularly, infants control their gaze shift and fixations proactively to use their visual sense for guiding movements in goal-directed actions. However, few studies have examined precise spatial and temporal relationships between infants' gaze fixations and actions. This study investigated the gaze control and dexterous manipulation of goal-directed action in infants. The participants consisted of two groups : the younger group of 9 to 12 month-olds and the older group of 17 to 19 month-olds. While infants' eye gaze was measured during the motion observation task in Experiment 1, the infant's hand movement was video recorded during the performance of the block task in Experiment 2. Experiment 1 examined whether the older group would gaze at the GOAL area proactively, while they watched the PATH area for less time than the younger group. Experiment 2 investigated whether the older group would move their hand with a longer deceleration phase in the motion unit and if their hand trajectory would be more uniform than in the younger group.</p> <p>The results indicated that the younger group attended more to the moving object (i.e., the PATH area) while the older group shifted their eye-gaze earlier to the goal area. On the other hand, in Experiment 2, the younger group hardly accomplished the block task. The results of Experiment 2, however, revealed significant differences between groups in a series of grasping behaviors as well as some significant relationships between speed or stability and quality of hand movement. Finally, the results revealed the relationship between eye-gaze and hand movement. The fixation % in the PATH area had a significant positive correlation with the speed index of the hand movement. This suggests that the dexterous actors in the manipulation task could control their gaze more effectively. The present study successfully quantified eye movements and dexterous hand movement in infants thereby showing a significant relationship between them and their development.</p> |
| Notes | 論文 |
| Genre | Departmental Bulletin Paper |
| URL | https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN0006957X-00000082-0017 |

societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

目的指向運動における乳幼児の視線制御と微細運動

—11ヶ月児と18ヶ月児の比較—

Gaze Control and Dexterous Manipulation of Infants' Goal-Directed Actions

—A Comparison between 11 month olds and 18 month olds—

阿部和大*・大塚恭平**・青木義満***・皆川泰代****

Kazuhiro Abe, Kyohei Otsuka, Yoshimitsu Aoki and Yasuyo Minagawa

Visual sense has a great role for the hand movement. Particularly, infants control their gaze shift and fixations proactively to use their visual sense for guiding movements in goal-directed actions. However, few studies have examined precise spatial and temporal relationships between infants' gaze fixations and actions. This study investigated the gaze control and dexterous manipulation of goal-directed action in infants. The participants consisted of two groups: the younger group of 9 to 12 month-olds and the older group of 17 to 19 month-olds. While infants' eye gaze was measured during the motion observation task in Experiment 1, the infant's hand movement was video recorded during the performance of the block task in Experiment 2. Experiment 1 examined whether the older group would gaze at the GOAL area proactively, while they watched the PATH area for less time than the younger group. Experiment 2 investigated whether the older group would move their hand with a longer deceleration phase in the motion unit and if their hand trajectory would be more uniform than in the younger group.

The results indicated that the younger group attended more to the moving object (i.e., the PATH area) while the older group shifted their eye-gaze earlier to the goal area. On the other hand, in Experiment 2, the younger group hardly accomplished the block task. The results of Experiment 2, however, revealed significant differences between groups in a series of grasping behaviors as well as some significant relationships between speed or stability and quality of hand movement. Finally, the results revealed the relationship between eye-gaze and hand movement. The fixation % in the PATH area had a significant positive correlation with the speed index of the hand movement. This suggests that the dexterous actors in the manipulation task could control their gaze more effectively. The present study successfully quan-

* 慶應義塾大学大学院社会学研究科心理学専攻

** 慶應義塾大学大学院理工学研究科総合デザイン工学専攻

*** 慶應義塾大学理工学部・JST/CREST

**** 慶應義塾大学文学部・JST/CREST

tified eye movements and dexterous hand movement in infants thereby showing a significant relationship between them and their development.

Key words: grasp-release motion, proactive eye movements, dexterous manipulation, infants, real objects

1. 序論

1-1. 背景

視覚は手指操作において重要な役割を果たす。乳幼児は見た物体に対して手を伸ばしリーチングする一方で (Bower, 1970), ものの探索においても, 視覚がその行動を動機づけし, サポートする。この点は視覚に障害がある児童は定型発達児に比べ, ものの探索に有意な発達の遅れがあることから示される。Fraiberg (1968) は定型発達児が自身の両手指を触れ合わせるために身体の正中線上で自発的に手を動かすのに対し, 4歳の全盲児はそれができないことを実証している。正常な視覚機能を持つ乳幼児にとって, 視覚は手の運動を促し, 把持行動と操作を促進させる機能をもっている。以下に乳幼児の目的指向運動に關与する視覚機能と運動機能について先行研究の知見をまとめる。

1-2. 目的指向運動時の視線制御

成人の注視行動は様々な日常の活動場面において研究されてきた (Johansson, Westling, Bäckström, & Flanagan, 2001)。目的指向運動において共通する視線パターンとして, 物を掴む場面と置く場面では手元を注視するのに対し, 物の移動時は手元をあまり見ず, 手の動きに先行してゴールを予期的に追視するという視線運動がみられる (Johansson et al, 2001)。この視線パターンは行動課題のみならず行動観察課題でも生起する。Flanagan & Johansson (2003) は実験参加者が実験者の目的指向運動を単に観察している条件下で, 参加者の視線と実験者の手との協調が予期的であり, かつ実際に参加者自身がその行動をする際に生起する手と目の協調と極めて類似していたことを示している。これは行動観察においても手の運動表象によって方向づけられた目の運動プログラムを実行していることを示している。

一方で乳幼児の発達段階でも上記の目的指向運動において共通する視線パターンが生起することが分かっている。Falck-Ytterら (2006) は目的指向な予期的追視が12ヶ月児では見られるが, 6ヶ月児では見られないことを報告している。さらに新版K式発達検査2001 (生澤ら, 2002) は予期的追視の項目は15ヶ月児の50%が通過できると定めている。

器用な微細運動を実行する上で視線制御は重要である。それにも関わらず, 実際の物体を使った自然な微細運動場面における乳幼児の視線制御を調べた研究はほとんどなく (Johansson et al, 2001), 乳幼児の視線制御と目的指向運動との時間的・空間的関連は定量的に明らかにはされていない。

1-3. 乳幼児の微細運動

到達運動 (以下リーチ) は4ヶ月で機能的になり, 正中線上にあるものを両手で触ることができる。これにより, ものへの行為は広がる。加えて4~6ヶ月の間に乳幼児は把持運動 (以下グラスプ) の制御を発達させる。触覚と視覚情報の両方を用いて, ものに手を調整することを熟練化していく。この時, ものの大きさや形に応じて握る前に手を開いて形をつくり, グラスプの準備のために視覚刺激を用い始める (Corbetta & Mounoud, 1990)。9~10ヶ月までに橈側の手指と親指の間にものを精細に挟めるよ

うになる。これにより手指表面へものを動かす能力の発達、精細な握りの発達、個々の手指の分化の開始を促す。これらは熟練した手指操作の発達にとって重要である (Gesell, Halverson, Thompson, Castner, Ames, & Amatruda, 1940)。12ヶ月から2歳までの間に、子どものリーチとグラスプの自発的な制御能力は増していく。これにより、効率的により小さいものをやりとりすることができるようになり、格段に手指操作能力が拡大する。14ヶ月くらいまでにグラスプは器用で正確になり、基本的には、指尖つまみが用いられる。手の橈側と尺側の動きを独立して制御できる。18ヶ月になると乳幼児はものの重さと形に合わせてグラスプを調節することができる (Gordon & Forssberg, 1997)。しかし Gesell ら (1940) は18ヶ月児のグラスプはまだ手指操作というよりもむしろ包み込んでいる、と述べている。この年齢は母指の対立は良好だが、手は主に手指操作器というよりはむしろ把持器である。一方で、制御されたリリースを達成するために、手や腕の一部を面の上で安定させようとする発達は18ヶ月まで続く。リリースは、ものを置くタイミングと握力の調節との両方を必要とするため (Eliasson & Gordon, 2000)、効率的かつ正確なもののリリースの発達は3歳以降も続くと言われている (Gesell et al, 1940)。

1-3-1. 加速と減速の運動ユニット

積木を移動させるような微細運動はリーチ、グラスプ、リフト、リリースの一連の運動フェーズによって構成されている。こうした運動をグラスプ-リリース運動と呼ぶ。この運動は手の加速と減速の運動ユニットの繰り返しで構成される。物を掴む場面と置く場面においてははじめ、手を対象に向けて加速させ、その後微細な調整が要求されることに伴い、減速させる。そのためリーチ動作を加速と減速の観点から分析することができる。生後4ヶ月といったグラスプ-リリース運動発達の初期段階では、事前に運動を企画する能力は乏しい。そのため運動経路はぎこちなく、軌跡は多くの運動単位から構成される。Konczak & Dichgans (1997) はマーカーを使った運動測定装置による定量的な計測から、1歳頃には運動単位の数が減少し、運動経路もより直線的になると報告している。加えてこの事実は運動の熟達とともに、同じ運動を繰り返し行う場合、その運動の多様性は削がれていき、より一様性の高い運動を行うようになることを示唆している。一方で、発達に伴う効率的な運動遂行は、最適な加速と減速のプロファイルに反映される。器用な微細運動には加速時間よりも長い減速時間が必要であるという Claxton, Keen & McCarty (2003) の成人の研究報告を考慮すると、グラスプ-リリース運動における最適な加速と減速は「高い減速時間割合」に反映されると考えられる。しかし、これまでに乳幼児のグラスプ-リリース運動を、マーカーをつけない運動測定装置で定量的に評価した研究はほとんどない。

1-3-2. 運動企画時の予期

効率的な運動の遂行には、すでに起こっていることに対して反応するだけでなく、事前に動作を企画する能力も同時に重要である。von Hofsten & Ronnquist (1988) は乳幼児がグラスプ対象にリーチする際、手をどのように適応させるのか、実験的に示している。彼らによると5~6ヶ月児はものに接触する前に手を閉じ始めたものの、9ヶ月児が示したようなものの大きさに合うようにグリッパの開き具合を調節することはなかった。13ヶ月児ではより年少の子どもと比較して、リーチの間、早くから手を閉じ始めた。よって5~6ヶ月児でも何らかの予測能力を持っていて、13ヶ月児は大人に匹敵する予測能力を保持していることが示唆された。Pieraut-Le & Bonniec (1990) も10ヶ月児は接触前に様々なものの形にフィットするように手を構えることを示し、乳幼児が活動を企画する際、いくつかのステップを考慮に入れる能力があることを示している (Claxton et al, 2003)。

1-3-3. 従来の乳幼児の運動研究の問題点

これまでの発達心理学における運動研究は、質的評価によるものが主流であり、量的評価を行ったものでも実験者の観察に基づいた得点評価に終始し、連続的な定量データはあまり用いられていない。こうした従来の運動評価における大きな問題は2つあり、第一に評価基準が主観的、あるいは統一的でないため、評価にばらつきが生じる点が挙げられる (Butler, Ladd, Louie, LaMont, Wong, & Rose, 2010)。また手の運動は複雑かつ連続的なので、これらの手法では連続的な運動の量的特性を過度に簡潔にしている可能性が高く、データの信頼性と妥当性に限界があった。もうひとつに乳幼児の運動測定装置の問題がある。運動計測には大きく分けて2つの方法がある。特殊なマーカーを身体の関節に取り付けてカメラで撮影する方法とマーカーをつけずに赤外線照射によって身体情報を抽出し記録するマーカーレスと呼ばれる方法である。前者の方法で得られる位置情報は正確ではあるものの、特に2歳以下の乳幼児にとってマーカーの装着は身体拘束感が強い上に誤飲の危険性もあり、困難な場合も多い。一方、後者の方法では乳幼児の身体拘束が少なく、より自然な場面で乳幼児本来の運動能力を発揮しやすい。しかしそのようなマーカーレスの計測装置 (e.g. Kinect v2, Leap motion) は成人の身体モデルを基に身体およびその運動の推定が行われており、乳幼児に対して適用可能なマーカーレスの運動推定装置がなかった。

1-4. 本研究の目的

視覚機能と運動機能は相互に密接に関連していて、それらはまた、言語や学習といった認知能力の発達に大きく貢献していると考えられる。しかし以上にまとめた通り子どもの視覚機能や運動機能は個別には検討されているものの、それらを統合して多面的に検討した研究はほとんどない。また、モニター呈示ではなく、実物の積木を用いた自然なグラスプ-リリース運動場面における乳幼児の視線制御を定量的に調べた研究はほとんどない (Johansson et al, 2001)。加えて子どもの定量的な上肢運動の測定は21世紀に入るまでほとんど行われておらず (Butler et al, 2010)、乳幼児の目的指向性のある微細運動をマーカーレスの運動推定によって定量的に評価した研究はない。定量的に測定することで評価者に依存しない再現性の高い運動評価を実現できる。

そこで本研究では子どもの視線制御と微細運動の発達様相を子供が高いモチベーションを保ち、自身の能力を最大限に発揮できる自然な遊び場面において、定量的に分析し、2つの機能を関連付けて検討することを目的とした。このために本研究では実験者がコップの中に積木を入れるという目的指向運動を子どもに観察させる視覚課題 (実験1) と、同様の行為を子どもが行う運動課題 (実験2) を設け、それぞれ視線運動と手指運動の時間データ、空間データを取得し、これらの関係を検討した。運動課題では上述した運動の加速と減速、運動の一様性などを定量的に評価した。実験参加児は9~12ヶ月児の低月齢群 (平均10.60ヶ月) と17~19ヶ月児の高月齢群 (平均18.13ヶ月) とし、全対象児が両課題を行った。視覚課題の成績、運動課題の成績および両者の関係を月齢別に評価することで発達による変化を検討した。

本実験では積木のグラスプ-リリース運動の視覚課題である実験1、運動課題の実験2において次の点を検証する。実験1ではFalck-Ytterら (2006) と生澤ら (2002) が報告している「月齢とともにゴールを予期的に注視するという視線運動が発達する (高月齢群は低月齢群より早いタイミングでGOALエリアを予期的に追視し、PATHエリアの注視率がより短くなる)」という点を実際の積木を用いて定量

的に検証する。一方、実験2においては、乳幼児と成人の研究から知られている、月齢とともに一様性の高い運動軌跡を生起させ、より減速時間割合の高い運動ユニットが観察されるようになるという点をマーカーレスで定量的に検証する。さらに2つの実験結果を総合的に解析し、乳幼児の視線制御と目的指向運動との時間的・空間的関連は定量的に明らかにする。

2. 実験1：視覚課題

2-1. 方法

2-1-1. 実験参加者

本実験に参加した乳幼児34名（内男児16名）を以下の2つのグループに分類した。9～12ヶ月児14名（内男児5名、平均10.36ヶ月）を低月齢群、17～19ヶ月児20名（内男児11名、平均18.00ヶ月）を高月齢群とした。ただし新版K式発達検査2001（生澤・松下・中瀬、2002）で発達に大きな遅れがあると考えられる参加児、泣きやぐずりなどにより十分なデータ取得が行えなかった参加児、あるいは実験時の不手際が認められた参加児を除いたため、最終的な解析対象児は21名で低月齢群8名（内男児4名、平均10.88ヶ月）、高月齢群13名（内男児7名、平均18.08ヶ月）であった。本研究は慶應義塾大学文学部倫理審査委員会の承認を得ている（承認番号15032）。参加児の母親にインフォームドコンセントを得た後、実験を行った。

2-1-2. 装置と刺激

実験者によるグラスプ-リリース運動を観察している際の参加児の眼球運動はアイトラッカー（Tobii X2-60 compact, DC3217IYE/Tobii）を用いて60Hzで記録した。参加児はキャリブレーションボード（57cm×32cm）を正面にしてアイトラッカーから参加児の眼までの距離を50～60cmに保つように母親に抱かれて座った。実験者は図1のように参加児と対面して座り、図2のような3つの積木（2.4×2.4×2.4cm）をケース（7×7×4cm）に一つずつおよそ3秒間で運んだ。

2-1-3. 手続き

母親は参加児を膝抱っこし、母親の視線をアイトラッカーが計測しないように参加児の後頭部辺りを見るように指示された。本実験では一般的な5点キャリブレーション法を採用した。実験者は3つの積木の一つずつ約3秒かけてケースに運んだ。積木が入るごとに「いったね!」「上手に見えるね!」と

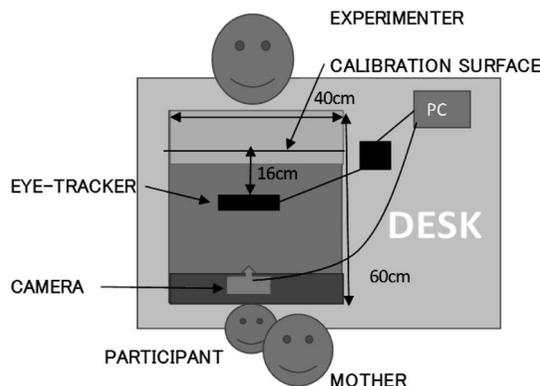


図1. 実験1の装置配置図

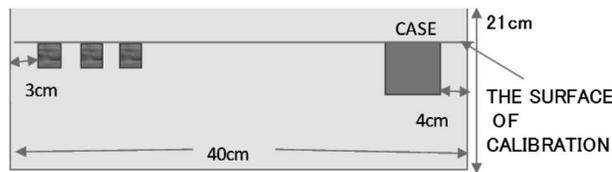


図2. 作業面を真上から見た配置図

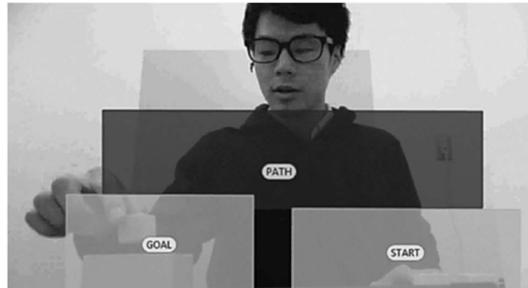


図3. 3つの関心領域(START AoI, PATH AoI, GOAL AoI)設定

いった声かけを行い、参加児の注意とモチベーションを維持した。3つの積木全てをケースに入れると、実験者は「全部入ったね！もう一回やるよ！」と声かけをし、同様の行動を3回実施した。ただし参加児の注意が散漫な場合やあまりに動きが大きい場合は、もう1度同じ行動を繰り返した。

2-1-4. データの処理法

本実験では一つの積木をケースに運ぶという1回のグラスプ-リリース運動を1試行とみなし、積木が作業面から完全に持ち上がる直前（オンセット）からケース上で手と積木が完全に離れる瞬間（オフセット）までの時間を該当試行時間として解析した。有効な最初と最後の3試行ずつ合計6試行を解析対象として採用した。有効な試行とは、参加児が十分に刺激対象を見ていなかったり、身体の動きが大きすぎたりしたことにより分析する上で必要なデータが取れていなかった試行を除いたものとした。各試行に対して図3のように3つのAoI（関心領域）を設定した。積木をグラスプする領域を含むのがSTART AoI, 積木の移動経路を含むのがPATH AoI, そして積木をケースにリリースする領域を含むのがGOAL AoIとした。このAoI設定方法はFalck-Ytter, Gredebäck, & von Hofsten (2006) に倣った。

まず試行ごとに合計注視時間を算出し、各エリアの注視時間割合（以下エリア注視率）を求めた。STARTエリア注視率は[STARTエリア合計注視時間/該当試行時間]とした。PATHエリアとGOALエリアについても同様に算出した。参加児ごとのエリア注視率は6試行のその平均とした。本実験では低月齢群と高月齢群の有意差検定として被験者間の2要因（月齢×エリア）分散分析を用いた。そのため、得られたエリア注視率を逆正弦変換して扱った。必要な場合、下位検定としてライアン法による多重比較と単純主効果検定を行った。

次にGOALへの先読み率を算出した。GOAL先読み率とはオンセットからどれだけ早く参加児がGOALエリアへ予期的追視を向けたかを示す指標とし、0%をオンセット、100%をオフセットとした。GOAL先読み率は[GOALエリアを初めて注視した時間/該当試行時間]と定義し、参加者ごとの

GOAL先読み率は全6試行の平均値とした。本実験では低月齢群と高月齢群の有意差検定として対応のないt検定を行った。

2-2. 結果

2-2-1. エリア注視率

図4に両月齢群の各エリア注視率の平均値を示した。低月齢群はPATHエリア注視率が52.11%、と高いのに対し、高月齢群はGOALエリア（37.61%）やSTARTエリア（26.78%）の注視率が高かった。逆正弦変換を行った各エリア注視率のデータに対して分散分析を行った。その結果、AoIの有意な主効果（ $F(1, 38)=11.79, p<.01$ ）と月齢×AoIの有意な交互作用があった（ $F(2, 38)=5.00, p=.01$ ）。下位検定の結果、PATH AoIにおける月齢（ $F(1, 57)=9.77, p<.01$ ）と低月齢群におけるAoI（ $F(2, 38)=14.25, p<.01$ ）の有意な単純主効果があつた。さらに低月齢群におけるAoI要因に関してライアン法を用いて多重比較を行ったところ、PATHとSTART（ $t(38)=4.59, p<.01$ ）、PATHとGOAL（ $t(38)=3.51, p<.01$ ）において有意差があつた。

これらの結果より、低月齢群はSTARTエリアとGOALエリアに比べてより長い時間PATHエリアを見ていたこと、低月齢群が高月齢群より、長くPATHエリアを注視していることが示された。

2-2-2. GOAL先読み率

図5に示すとおり両群のGOAL先読み率の平均値は、低月齢群は68.53%、高月齢群は55.82%であつた。t検定の結果、高月齢群の方が低月齢群よりも有意に早いタイミングでGOALエリアに対して予期的追視を向けていることが示された（ $t(124)=-2.31, p=.02$ ）。

2-3. 考察

本実験では、参加児が目的指向のグラスプ-リリース運動を観察した時に生起させた視線を計測し、その視線パターンに関して低月齢群（以下11ヶ月児とする）と高月齢群（以下18ヶ月児とする）の2群を設けて比較することで、目的指向場面における視線制御能力の発達の違いを検証した。その結果、エリア注視率とGOAL先読み率の2指標について以下のことが示された。エリア注視率について、群間比較の結果、低月齢群はSTARTエリアとGOALエリアに比べてより長くPATHエリアを見ていたこと、低月齢群が高月齢群より長くPATHエリアを注視していたことが示された。これより、低月齢群が高月齢群に比べて動いている物体を追いかける視線を長く生起させていたと言える。一方で、GOAL先読み率について、群間比較の結果、高月齢群の方が低月齢群よりも早いタイミングでGOALエリアに対して予期的追視を向けていることが示された。本実験1のような目的指向運動では、ある特有の視線パターンが生起することが先行研究から知られている。それは、物を掴む場面と置く場面では手元を注視

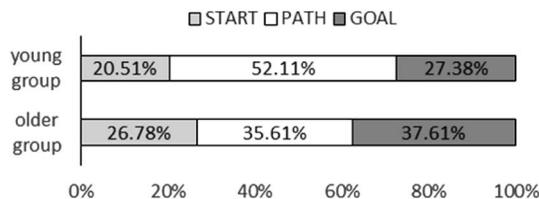


図4. 各エリアの平均注視率

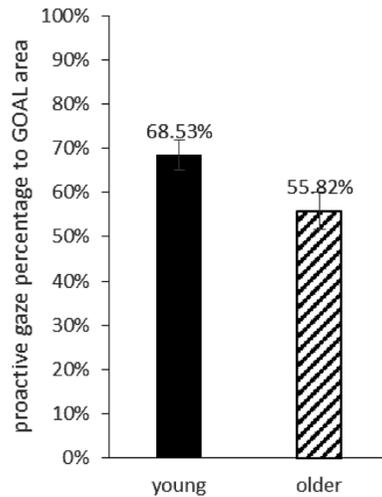


図5. 両群のGOAL先読み率

するのに対し、物の移動時は手元をあまり見ず、手の動きに先行してゴールを予期的に追視するという視線パターンである (Johansson et al, 2001)。Falck-Ytterら (2006) はこうした目的指向な予期的追視が12ヶ月児では見られるが、6ヶ月児では見られないことを報告している。実験1では、低月齢群は高月齢群より長い時間PATHエリアを注視し、高月齢群は低月齢群より早いタイミングでGOALエリアを予期的に追視した。よって実験1では上記の先行研究に矛盾しない結果が得られた。加えて、こうした予期的追視の発達過程を本研究で初めて、従来のモニター呈示での視線計測ではなく実際の積木を用いた自然な環境下で得た定量データに基づき示すことができた。また、従来のような予期的追視が観察されるか否か、という点のみならず、どのタイミングで予期的追視が見られるのかという点も定量的に示すことができた。

Land & Rusted (1999) は操作課題時における次の4つの注視機能を考案している。「物を置く」、「対象に接触させるために手や手中の物を方向づける」、「2つの物を近づけて接触させる」、そして「課題と関連して変化していく状態をチェックする」の4つである。実験1では、Landら (1999) が考える2つの機能（「物を置く」と「対象に接触させるために手や手中の物を方向づける」）が課題場面として含まれていた。物を置く機能は積木をグラスプし、リリースする上で重要であり、手や物を方向づける機能は積木を運ぶ際に観察される。グラスプ時とリリース時において、注視位置は前者の機能により手の位置に対応する。つまり、この機能によって実行者にSTARTエリアとGOALエリアをより長く注視させ、それに伴いPATHエリアの注視時間が短くなると考えられる。一方で、積木を運ぶ場面では、課題特有な目的を達成するために、GOALエリアに予期的追視を向けることが必要不可欠である。予期的追視の機能が手の動きを効率的にしているといえる。この事実は予期的な視線制御の発達を反映している。実験1の高月齢群 (18ヶ月児) の結果より、多くの先行研究に支持されたこれらの注視機能を確認した。加えて低月齢群 (11ヶ月児) に属した全参加児が新版K式発達検査2001 (生澤ら, 2002) で予期的追視の項目を通過しなかったこと、実験1で動くものを追視する視線を生起させやすかったこと、Falck-Ytterら (2006) は目的指向な予期的追視が12ヶ月児では見られると報告していること、以上3

点より、予期的追視を伴う目的指向場面における効率的な視線制御が特に生後12～15ヶ月で発達することが示唆された。特に本研究はこれまでの研究と異なり、ライブ場面での視線運動を定量的に計測し予測的視線制御を評価できた点において意義がある。

3. 実験2：運動課題

3-1. 方法

3-1-1. 実験参加者

参加者は基本的に実験1と同じである。実験2は実験1終了後、34名（内男児16名）が参加した。このうち新版K式発達検査2001（生澤ら、2002）で定型発達児として認められない参加児、左利きと見られる参加児、泣きやぐずりなどによって十分なデータが得られなかった参加児を除いた。その結果、データ分析対象者は21名（内男児9名）で、低月齢群8名（内男児4名、平均10.50ヶ月）、高月齢群13名（内男児5名、平均18.08ヶ月）であった。ただし解析によって解析可能な対象者数が異なるため詳細は結果に示す。

3-1-2. 装置と刺激

参加児間での課題の統制のために、実験者はまず参加児に、アクリル製ブロック（2.4×2.4×2.4cm）を移動させて、実験事態を例示した。実験2における装置は図6の通りで行い、実験装置である作業ボックス（幅×奥行×高さ：37.0×22.5×30.5cm）は実験者が自作した。図7は作業面の詳細な配置図を示している。この作業ボックスは参加児のモチベーションを維持させ、おもちゃで遊ぶ感覚で実験を遂行するのに重要な役目を果たすため、積木を穴の中に落とすと、ブロックが転がり、ベルが鳴る仕組みにした。一連のグラスプ-リリース運動を定量的に記録するため、ビデオカメラ（HDC-TM90/Panasonic/30fps、640×480ピクセル）を作業ボックスの後ろに設置した。

3-1-3. 手続き

実験者や母親が参加児を作業ボックスの正面に誘導した。参加児が自立して課題を遂行することが難しい場合、母親が自立の補助をした。課題は図7のように配置されたブロックに対して、参加児がリーチし、グラスプし、ブロックを穴まで運び、リリースするというものであった。実験者はこの課題を参加児に約2分間行わせた。ただし参加児が作業ボックスの前になかった時や明らかに課題に対して注意が向いていなかった時間は除外した。参加児が課題遂行に成功した場合、「すごいねー！」、「上手だ

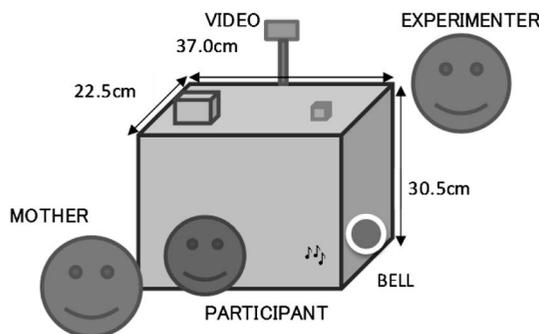


図6. 実験2における装置配置図

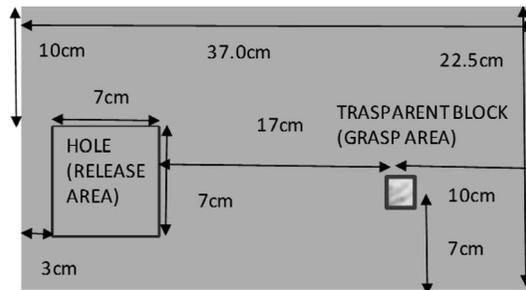


図7. 真上から見た作業面における配置図

ね！」といった声かけを実験者は行ったり、拍手をしたりして参加児のモチベーションを維持した。

3-1-4. データの処理法

1試行を1回の完結したグラスプ-リリース運動と定義した。データ分析対象とした試行は全6試行であった。2分間の中で参加児の把握パターンが変化していくことも考えられたため、約2分間の課題遂行場面を時間的に3分割し、各フェーズから2試行ずつ採用した。またデータとして採用した有効な試行は中断のない連続的なグラスプ-リリース運動が観察され、その際に生じた手の運動軌跡を算出するのに十分なデータを保持した試行とした。

グラスプ-リリース運動はビデオカメラ（HDC-TM90/Panasonic/30fps, 640×480ピクセル）で記録した。運動軌跡の算出のために、動画の1秒間を30枚の静止画に再構成し、画像番号（フレーム）を付与し、時間の単位として採用した。

表1にグラスプ-リリース運動評価項目一覧を、表2に一連の運動課題における運動フェーズの定義を示した。実験2では、表1のように定量データを時間データと軌跡データに分類した。時間データにはさらに、参加児がブロックに触れた瞬間から、ブロックを完全に作業面から持ち上げた瞬間までの時間（以下DTL; Duration from touching to lifting）と、ゴールとなる穴に参加児の右手が到達した瞬間からブロックを完全に離すまでの時間（以下DAR; Duration from arriving to releasing）の2つの指標があった。軌跡データは、肌色領域の質量重心情報を用いて、手を追跡することで手の軌跡を算出した。軌跡データはグラスプ-リリース運動内での最高速度MAX, 全6試行において記録した6回の最高速度値のSDをとったMSP, そして1試行の時間における相対的な加速時間を示したAccel-Dを採用した（表1）。

実験2では表3に示した観察評価基準によって得られた質的データも分析した。表3のように課題となった一連のグラスプ-リリース運動を6つの運動フェーズに分けて各々評価した。表1に示した全指標において、ある参加児のデータは全6試行の平均値としてみなした。高月齢群と低月齢群の群間の差を検討するために、t検定や分散分析、ライアン法による多重比較を行うとともに、全ての評価指標間の相関分析、重回帰分析も行った。

3-2. 実験2の結果

低月齢群のほとんどの参加児が穴にブロックをリリースすることはなく、グラスプ-リリース運動の課題としては成立していなかった。そのため低月齢群はReaching, Touching, Grasping, Liftingの各フェーズとDTLのデータのみを解析対象とした。一方で、高月齢群の参加児は一連のグラスプ-リリー

表1. 運動評価項目一覧

| | | |
|------|---------|-------------------------|
| 定量評価 | 時間データ*1 | DTL(Touching~Lifting) |
| | | DAR(Arriving~Releasing) |
| | 軌跡データ | 最高速度(MAX)*2 |
| | | 最高速度のSD(MSP) |
| | | 加速時間割合(Accel-D)*3 |
| 定性評価 | 観察データ | Reaching |
| | | Touching |
| | | Grasping |
| | | Lifting |
| | | Arriving |
| | | Releasing |

*1: 単位は画像番号数（フレーム数）

*2: 単位は mm/sec

*3: (MAX 時までのフレーム数/1 試行のフレーム数)-0.5

表2. 各運動フェーズの定義

| | |
|-----------|-----------------------|
| Reaching | Touchingの直前までの期間 |
| Touching | ブロックに触れた瞬間 |
| Grasping | ブロックを掴んだ瞬間 |
| Lifting | 作業面からブロックが完全に持ち上がった瞬間 |
| Arriving | 穴の端に右手が少しでも到達した瞬間 |
| Releasing | ブロックを完全に手から離れた瞬間 |

ス運動を達成することが出来たため、表1に示した全評価項目で評価し、その得点について検討を行った。

3-2-1. 一連のグラスプ運動における群間比較

DTLについて対応のないt検定を行った。その結果、図8のように、高月齢群は低月齢群より、DTLが有意に短かった ($t(19) = -4.26, p < .01$)。各運動フェーズの得点は、実験1と同様に得点を逆正弦変換した後、月齢群とフェーズ (Reaching, Touching, Grasping, Lifting) について2要因の分散分析を行った。その結果、月齢×フェーズの有意な交互作用 ($F(3, 57) = 80.4, p < .05$) と月齢の有意な主効果 ($F(1, 19) = 31.65, p < .01$) が見られた (図9)。下位検定として月齢×フェーズの交互作用の単純主効果検定を行った結果、全ての組み合わせにおいて有意な単純主効果が認められた。すなわち、どのフェーズにおいても高月齢群の得点が高かったが、特にReachingにおいてその効果が強かった (Reaching: $F(1, 76) = 31.73, p < .0001$, Touching: $F(1, 76) = 5.59, p < .03$, Grasping: $F(1, 76) = 5.06, p < .04$, Lifting: $F(1, 76) = 5.59, p < .03$, 図9)。各月齢群におけるフェーズ要因にも単純主効果がみられた (低月齢群: $F(3, 57) = 8.15, p < .01$, 高月齢群: $F(3, 57) = 10.68, p < .01$)。このため各月齢群でライアン法による多重比較を行った。その結果、月齢群によりフェーズの各項目組み合わせで得点の差が異なっていた。低月齢群ではReachingがTouchingとLiftingより、GraspingがTouchingとLiftingより、有意に得点が高かった ($p < .01$)。一方で、高月齢群ではGraspingがReaching, TouchingとLiftingより有意に得点が高かった ($p < .01$)。これにより、Reaching, Touching, GraspingそしてLiftingの4フェーズにおいて、低

表3. 質的データとしての運動評価得点の基準

| Phase | | Score | |
|----------------|-------------------|---------------------|---|
| i . Reaching | *手を開きすぎている | 1 | |
| | *手を閉じすぎている | 2 | |
| | *手が適切な開きで準備されている | 3 | |
| ii . Touching | ii -1 | *最初に作業面に触れる | 1 |
| | | *直接積み木に触れる | 2 |
| | ii -2 | *掌から積み木に触れる | 1 |
| | | *親指から積み木に触れる | 2 |
| | | *人差し指か中指から積み木に触れる | 3 |
| | | *親指と他の指が同時に積み木に触れる | 4 |
| | ii -3 | *作業面で積み木をファンブルする | 1 |
| | | *スムーズに積み木をつかむ | 2 |
| | iii . Grasping | *掌把握 | 1 |
| *深い尺骨側把握 | | 2 | |
| *深い橈骨側把握 | | 3 | |
| *浅い尺骨側把握 | | 4 | |
| *浅い橈骨側把握 | | 5 | |
| *鉗状把握 | | 6 | |
| *ピンチ状把握 | | 7 | |
| iv . Lifting | *手首の外旋を使って持ち上げる | 1 | |
| | *真上に持ち上げる | 2 | |
| v . Arriving | v -1 | *穴へ到達時に積み木が見える位置にない | 1 |
| | | *穴へ到達時に積み木が見える位置にある | 2 |
| | v -2 | *穴に対して不適切な位置に積み木を運ぶ | 1 |
| | | *穴に対して適切な位置に積み木を運ぶ | 2 |
| vi . Releasing | vi -1 | *手を必要以上に開く | 1 |
| | | *手が最適な開き方をする | 2 |
| | vi -2 | *手が穴の淵に乗っている | 1 |
| | | *手が穴の淵に乗っていない | 2 |
| | vi -3 | *リリース位置が高すぎる | 1 |
| | | *穴の中でリリースする | 2 |
| | *穴の上の最適な位置でリリースする | 3 | |

月齢群は高月齢群に比べReachingの得点のみ大きな差があることが分かった。すなわち月齢により各運動フェーズにおける困難性が異なることが示された。

3-2-2. DTL, Reaching, Touching, Grasping, Liftingにおける生活日数(CA)との相関分析

両群の参加児の各運動評価項目の得点とCAの相関分析を行った。その結果、CAは以下の指標と有意な相関がみられた：vs DTL: $r = -.64$, $t(20) = -3.77$, $p < .01$, vs Reaching: $r = .77$, $t(20) = 5.44$, $p < .01$, vs Touching: $r = .69$, $t(20) = 4.32$, $p < .01$, vs Lifting: $r = .58$, $t(20) = 3.18$, $p < .01$ 。しかしGraspingとは有意な相関が認められなかった： $r = .39$, $t(20) = 1.92$, $p > .05$ 。

3-2-3. 両群の運動データにおける重回帰分析と相関分析

両群の運動データ (DTL, Reaching, Touching, Grasping, Lifting) に関して重回帰分析を行った結

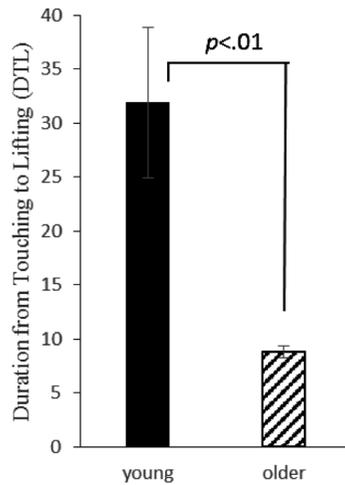


図8. DTLの群間比較

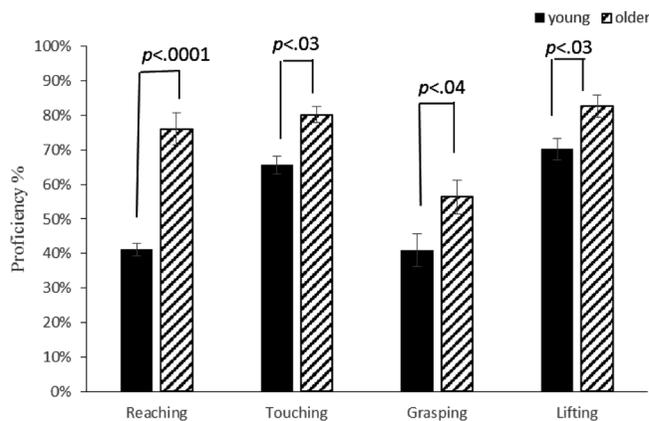


図9. 各運動フェーズの得点における群間比較

果, DTLを従属変数とし, 他の4つの指標を独立変数とした回帰式が採用された ($R^2=0.43$: $DTL = -0.24reach + 0.02touch - 0.56grasp - 0.61 lift + 93.03$, $F(4, 16) = 3.02$, $p < .05$)。これより Reaching, Touching, Grasping, Liftingの熟達度がDTLを説明すると言えた。

3-2-4. 高月齢群の運動データにおける重回帰分析と相関分析

高月齢群は表1に示したすべての運動評価項目をデータ分析対象とした。本実験では, ある量的データが観察に基づく質的データを説明するか, あるいは全運動評価項目間で相関を持つのかを調べるために, 探索的なデータ分析の手法をとった。

その結果, 手の最高速度 (MAX) と Graspingの熟達度 ($r = -.79$, $t(12) = -4.42$, $p < .01$) (図10), 6試行分の最高速度の標準偏差 (MSP) と Arrivingの熟達度 ($r = -.62$, $t(12) = -2.71$, $p < .03$), MSPと Releasing ($r = -.55$, $t(12) = -2.29$, $p < .05$) (図11) に有意な負の相関がそれぞれ認められた。これらは手のスピードが遅いほど Graspingの質は高いことを示し (図10), 各6試行で記録した手の最高速度

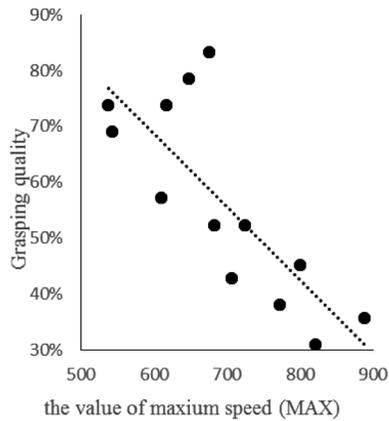


図10. MAXとGraspingの相関

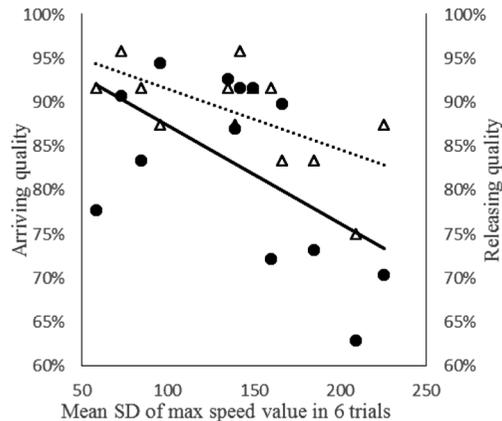


図11. MSPとArriving, MSPとReleasingの相関

にばらつきが小さいほどArrivingとReleasingの質が高いことを示す（図11）。

3-3. 視覚課題（実験1）と運動課題（実験2）の相関分析結果

分析対象は16名（内男児7名）で、低月齢群6名（内男児3名）、高月齢群10名（内男児4名）であった。この16名は実験1と2ともに分析が充分可能なデータを有していた。このセクションでは視覚課題と運動課題で得られたデータに対して探索的な分析を行った。

3-3-1. 両群における視覚データと運動データを用いた相関分析

実験1で得られたエリア注視率とGOAL先読み率と、低月齢と高月齢のどちらでも分析対象とすることが出来た実験2のDTL, Reaching, Touching, Grasping, Liftingの5つの運動の指標の相関について分析した。その結果、PATHエリア注視率がDTLと有意な正の相関を示した（ $r=.49$, $t(15)=2.19$, $p<.05$ ）。これは視覚課題においてPATHエリアをあまり注視しない参加児は運動課題におけるDTLが短いことを示された。

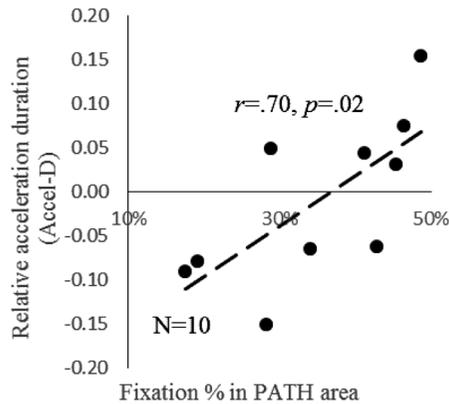


図12. PATH注視率と Accel-Dの相関

3-3-2. 高月齢群における視覚データと運動データを用いた相関分析

視覚データの2指標と表1に示した運動データの全指標に対して相関分析を行った。その結果、図12のようにPATHエリア注視率と加速時間割合（Accel-D）において有意な正の相関が見られた（ $r = .70$, $t(9) = 2.92$, $p < .03$ ）。これは視覚課題においてPATHエリアをあまり注視しない参加児は運動課題においてAccel-Dが短いことを示した。

3-4. 考察

3-4-1. 月齢にともなう微細運動の熟達：低月齢群と高月齢群の比較

群間比較の分析は一連のグラスブ運動に含まれるDTL, Reaching, Touching, Grasping, Liftingの5つの運動の指標において行った。上記の全5つの指標において群間に統計学的有意差があることが示された。加えて、生活日数（CA）と、DTLとの有意な負の相関、Reaching, Touching, Liftingとそれぞれ有意な正の相関が示された。これらの結果は生活日数が増すほどDTLが短くなり、Reaching, Touching, Liftingの質も高いことを示した。基本的に月齢にともなって一連のグラスブ運動は熟達するといえる。一方で、Reaching, Touching, GraspingそしてLiftingの4フェーズにおいて、低月齢群は高月齢群に比べReachingの得点のみ大きな差があることが分かった。von Hofsten & Ronnquist (1988) は「リーチ時にものに対して手の開きを適応させるという予測能力は生後13ヶ月時点で大人に匹敵する」と実験的に報告している。よってReachingの熟達はTouching, Grasping, Liftingと比べて12～18ヶ月により成長し、特に12～13ヶ月に急成長が見られると考えられる。

本研究においてDTLの値を予測するReaching, Touching, Grasping, Liftingを独立変数とした回帰式が統計的に採用された。これは質の高いReaching, Touching, Grasping, Liftingによって、参加児はブロックに触れてから持ち上げるまで、より短い時間で達成できることを示唆している。つまりDTLの短さが一連のグラスブ行動の効率の良さを反映しているといえよう。

一方で、低月齢群が運動課題として一貫した穴へのリリース行動をとらなかった点を考慮すると、グラスブ-リリース運動において発達面で大きな群間差があると考えられる。すなわちグラスブ-リリース運動、特にリリース運動において生後12ヶ月から17ヶ月の間に大きな発達の変化があるといえる。

この点はGesellら（1940）にも支持されていて、彼らは乳幼児のリリース運動制御能力が生後12ヶ月から2歳にかけて発達すると述べている。

Gesellら（1940）によると1歳まではリリース運動の制御能力の発達におけるプレステージである可能性が非常に高い。そのため本実験で低月齢群とした1歳以下の生後9～12ヶ月児は穴に対してリリース行動をほとんど生起させなかったといえる。一方で低月齢群があまりブロックを穴にリリースしなかった理由の1つとして、低月齢群が与えられた課題を理解せず、モチベーションが維持されなかったことも考えられる。

3-4-2. 高月齢群における運動の質、速度、ばらつき、軌跡の関係

Fitts（1954）はスピード-正確さトレードオフの関係を示している。この関係性はあらゆる場面に偏在しているといわれている（Heitz, 2014）。本実験では高月齢群のみの運動データにおいて図11に示した通り、MAXとGraspingに有意な負の相関が見られた。これは手のスピードが遅いとGraspingの質は高く、手のスピードが速いとGraspingの質は低いことを示している。この実験結果はスピード-正確さトレードオフの関性に矛盾しないといえる。

人が同じ目的指向運動を繰り返す際、視線も手の動きも、なめらかかつ体系的で効率的なものとなり、その運動軌跡は極めて画一的になる（Morasso, 1981; Collewijn, Erkelens, & Steinman, 1988）。本実験では図12に示した通り、MSP（最高速度の標準偏差）とArriving, MSPとReleasingにおいて有意な負の相関が見られた。これらの結果は各試行での手の最高速度にばらつきが小さいとArrivingとReleasingの質が高いことを示している。この実験結果の妥当性は先行研究からも支持される。本実験で、MSPは運動の一様性を示す指標として採用したので、同じグラスプ-リリース運動を繰り返し実行する場合、MSPの値が大きいということは手の運動軌跡の多様性を反映しているとみなすことができる。Konczakら（1997）は器用な微細運動の発達によって手の動きの多様性は削減されると述べている。よってMSPの値が小さいほどArrivingとReleasingの質が向上しているという本実験の結果はKonczakら（1997）の結果と矛盾しない。さらには、MSPの値が小さい、一様性の高い運動のおかげでArrivingとReleasingの質が向上しているとも解釈することができる。これは到達運動の目的を終点での位置の分散を小さくすることとして位置付けているHarris & Wolpert（1998）の最小変動理論とも矛盾しない。

3-4-3. 視線制御と微細運動の関係

目的指向場面における乳幼児の視線制御と微細運動との関係について実験1と実験2の結果から考察する。PATHエリア注視率はDTLと有意な正の相関を示した。これは視覚課題においてPATHエリアをあまり注視しない参加児は運動課題におけるDTLが短いことを意味している。言い換えると一連のグラスプ運動を短時間で実行できる参加児は行動観察課題においてPATHエリアの注視時間が短い効率的な視線パターンを生起させるということである。Johanssonら（2001）は視線制御が微細運動における予測的な運動の制御において支持的な役割を果たすと主張している。この実験結果はJohanssonら（2001）の主張とも一貫するものである。

高月齢群については図12のように、PATHエリア注視率とAccel-Dに有意な正の相関が見られた。これは視覚課題においてPATHエリアをあまり注視しない参加児は運動課題においてAccel-Dが短いことを示している。Accel-Dの値が小さいことは、加速と減速の運動ユニットで構成されているグラスプ-リリース運動において、減速の時間が相対的に長いといえる。Claxton（2003）は器用な微細運動には加速時間よりも長い減速時間が必要であると述べている。よって、他者の目的指向運動を観察する際

に、動いている物体（例、PATHエリア）を見ない効率的な視線パターンを生起させる参加児は、微細運動場面においても減速時間の長い効率的な運動パターンを示すといえる。

4. 総合考察

視覚課題において、高月齢群（18ヶ月児）は低月齢群（11ヶ月児）と比較して、PATHエリア注視率はより低く、またより早いタイミングでGOALエリアに予期的追視を向けていた。この結果はJohanssonら（2001）や生澤ら（2002）といった先行研究を支持するが、本研究ではライブ場面でも1歳半前後の乳幼児が目的指向の予期的追視を生起させることを示した。運動課題においては、低月齢群が課題として一貫したりリース行動をほとんど生起させなかった点から、一連のグラスプ-リリース運動における群間比較はできなかった。一方で、一連のグラスプ運動を構成するReaching, Touching, Grasping, Liftingフェーズにおいては、本実験より、高月齢群の方が質の高いReaching, Touching, Grasping, Liftingを行い、それに伴いDTLの短い効率的な一連のグラスプ運動が可能になったことが示唆された。さらに本実験では、高月齢群において、より器用な参加児は減速時間の長い運動パターンを示した。Claxtonら（2003）は精確さを要する手指操作課題の際、大人は減速時間を長くするのに対し、10ヶ月児はまだ減速時間を長くする運動パターンを示さないことを報告している。よってグラスプ-リリース運動における効率的な運動方略は特に生後12~17ヶ月に発達する可能性が高いことが示唆された。

Flanaganら（2003）は、人は他者動作観察課題においても自己動作課題と同様にモータープログラムを実行させると述べている。ここで特筆すべき点は観察課題における目と手の協調が動作課題時と非常に類似している点である。この点を踏まえ、彼らは目と手の協調において観察課題が動作課題と本質的に同義であると主張している。つまり、視線制御が手の動きと密接な時間的、空間的関連を持っているということである。本研究では、実験1と2の結果を総合的に解析し、乳幼児の視線制御と目的指向運動との時間的・空間的関連は定量的に明らかにすることを目的のひとつとしていた。結果として、視線制御、微細運動、両側面で群間での発達様相が異なること、また両者の関連を確認することができた。しかし、低月齢群の運動データ取得ができなかったこともあり視線制御が微細運動の発達を促す明確な結果は得られなかった。よって今後、中月齢群（14, 15ヶ月児）を設定し、より細かい時間軸で視線制御と微細運動の発達様相を検討する必要がある。

視覚機能や運動機能、認知機能について多面的に発達研究を行うことで不器用さや機能不全についての特徴を明らかにすることができる。これらの機能は各々の機能と密接に相互作用しながら発達すると考えられる。例えば、乳幼児は身体のバランスを維持することで、周辺環境の情報を正確かつ十分に獲得することができるようになる。外的な情報を正確に獲得することで、乳幼児は自身の活動範囲内にある物体に対し、リーチやグラスプを正確に実行することができる。さらには養育者とのアイコンタクトにおいても非常に重要であり、これによりコミュニケーションや言語の能力の発達につながる可能性が高いと考えられる。

本研究は低月齢群（11ヶ月児）と高月齢群（18ヶ月児）において視線制御と微細運動の発達様相を横断的に検討した。月齢にともない微細運動が発達し、視線制御と微細運動との間、そしてグラスプ時の微細運動の質と移動時の手の運動特性の間にも一定の関係があることを示した。これまでの多くの乳幼児運動研究と異なり、これらの点を身体拘束の少ない、より日常場面に近い環境下で定量的に示したこと、視線と運動の関係を示した点に意義があると考えられる。

一方で、本研究の限界として、次の3点がある。第一に運動時の視線計測が出来なかった点が挙げられる。視線と運動の協調を検討するには視線と運動の同時計測が必要である。よって、今後、本実験1と2に加え、実験3として乳幼児を動作主とした、目的指向運動時の視線運動を計測し、視線と手の動きの協調を検討する必要がある。ただし現時点では乳幼児の動作時の視線計測は乳幼児に適用可能な計測装置がないため、今後開発する必要がある。第二に、本実験ではグラスプーリリース運動において手元の微細運動のみに注目し、体幹や肩、肘といったより大局的な運動、つまり粗大運動については考慮しなかった点が挙げられる。実験2において、18ヶ月児はほとんど失敗なくブロックを穴に入れることが出来ていた。しかし、首や肩の安定性は乳幼児の腕のコントロールの精度を上げ、姿勢の安定性が微細運動の基礎を担っていると考えられる (Case-Smith, 2006) ため、微細運動の発達メカニズムの解明には手元の運動のみならず、体幹や肩、肘も含めた多面的な検討が今後必要である。第三の点として、本研究は11ヶ月児と18ヶ月児の視線制御、微細運動の発達メカニズムについて横断的な比較に終始した点が挙げられる。目的指向場面での視線制御と微細運動の協調に関する発達メカニズムを解明するには、個人内の視線制御と微細運動の発達の変化を縦断的研究から明らかにすることが必要であろう。今後、体幹や肩、肘の動きも考慮した粗大運動の分析も併せ、目的指向場面での視線制御と微細運動の発達を縦断的に研究していく。

5. 謝辞

本研究を進めるにあたり、技術的な面やデータ解析等のアドバイスを頂いた慶應義塾大学大学院社会学研究科の直井望研究員、実験遂行に協力いただいた社会学研究科、白野陽子さん、安井愛可さん、乳幼児のリクルートにご尽力いただいた石井清香さんに感謝致します。また、日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた慶應義塾大学文学部の皆川研究室・山本研究室・慶應義塾大学理工学部の青木研究室の皆様に感謝します。

6. 引用

- Bower, T. G. R. (1970). Demonstration of intention in the reaching behaviour of neonate humans. *Nature*, **228**, 679-681.
- Butler, E. E., Ladd, A. L., Louie, S. A., LaMont, L. E., Wong, W., & Rose, J. (2010). Three-dimensional kinematics of the upper limb during a Reach and Grasp Cycle for children. *Gait & posture*, **32**(1), 72-77.
- Case-Smith, J. (2006). Hand function in the child. Foundations for remediation second edition. Henderson, A., & Pehoski, C. (editors). 乳幼児の遊びの中での手のスキルの発達: 出生から2年園田徹・岩城哲 (監訳) (2010). 子どもの手の機能と発達: 治療的介入の基礎 (p. 120). 原著第2版東京: 医歯薬出版
- Claxton, L. J., Keen, R., & McCarty, M. E. (2003). Evidence of motor planning in infant reaching behavior. *Psychological Science*, **14**(4), 354-356.
- Collewijn, H., Erkelens, C. J., & Steinman, R. M. (1988). Binocular co-ordination of human horizontal saccadic eye movements. *The Journal of Physiology*, **404**(1), 157-182.
- Corbetta, Dm, & Mounound, P. (1990). Early development of grasping and manipulation. In C Bard, M Fleury, & L Hay. (editors): Development of eye-hand coordination across the life span. Columbia, SC, University of South Carolina Press.
- Eliasson, A. C., & Gordon, A. M. (2000). Impaired force coordination during object release in children with hemiplegic cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, **42**, 228-234.
- Falk-Ytter, T., Gredebäck, G., & von Hofsten, C. (2006). Infants predict other people's action goals. *Nature neuroscience*, **9**(7), 878-879.

- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of experimental psychology*, **47**(6), 381–391.
- Flanagan, J. R., & Johansson, R. S. (2003). Action plans used in action observation. *Nature*, **424**(6950), 769–771.
- Fraiberg, S. (1968). Parallel and divergent patterns in blind and sighted infants. The Psychoanalytic study of the child, **23**, 264–300.
- Gesell, A., Halverson, H. M., Thompson, H., Ilg, P. L., Castner, B. M., Ames, L. B., & Amatruda, C. S. (1940). The first five years of life. New York, Harper & Row.
- Gordon, A. M., & Forssberg, H. (1997). Development of neural mechanisms underlying grasping in children. In KJ Connolly, H Forssberg (editors): Neurophysiology and neuropsychology of motor development, 214–231. London, MacKeith Press.
- Harris, C. M., & Wolpert, D. M. (1998). Signal-dependent noise determines motor planning. *Nature*, **394**(6695), 780–784.
- Heitz, R. P. (2014). The speed-accuracy tradeoff: history, physiology, methodology, and behavior. *Front. Neurosci*, **8**(150), 10–3389.
- 生澤雅夫・松下裕・中瀬惇(編)(2002). 新版K式発達検査2001実施手引書. 京都: 京都国際社会福祉センター.
- Johansson, R. S., Westling, G., Bäckström, A., & Flanagan, J. R. (2001). Eye-hand coordination in object manipulation. *the Journal of Neuroscience*, **21**(17), 6917–6932.
- Konczak, J., & Dichgans, J. (1997). The development toward stereotypic arm kinematics during reaching in first 3 years of life. *Experimental Brain Research*, **117**, 346–354.
- Land, M., Mennie, N., & Rusted, J. (1999). The roles of vision and eye movements in the control of activities of daily living. *Perception-London*, **28**(11), 1311–1328.
- Morasso, P. (1981). Spatial control of arm movements. *Experimental brain research*, **42**(2), 223–227.
- Pieraut-Le, & Bonniec, G. (1990). Reaching and hand adjusting to target properties. In H Holch, & HI Hertenthal (editors): Sensory-motor organization and development in infancy and early childhood, Netherlands, Kluwer.
- von Hofsten, C., & Ronnqvist, L. (1988). Preparation for grasping an object: A developmental study. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **14**, 610–621.