

# 空間的制限が幼児のターゲットに対する 捕捉行為方略に与える影響

杉山 真人      宮辻 和貴      椿      武

Effects of spatial restriction for the different interceptive strategy of  
children' timing task

Masato SUGIYAMA      Kazuki MIYATSUJI      Takeshi TSUBAKI

## 要 旨

本研究は、移動可能な空間の制限の有無及び移動開始地点の違いが、幼児の捕捉行為の方略に与える影響を明らかにすることを目的とする。被験者は保育園に通う3歳から5歳までの幼児10名であった。被験者はターゲットの移動開始とともに移動開始地点から到達地点へ移動し、ターゲットの到達と自身の移動完了をできるだけ一致させることを求められた。被験者は課題遂行中の移動の範囲に制限が与えられていない条件（以後、制限なし条件とする）と移動の範囲に制限が設けられている条件（以後、制限あり条件とする）に5名ずつ割り当てられた。制限あり条件の被験者が行った課題では、被験者の移動開始地点から到達地点までの通路（全長3.9m）の左右の端（幅40cm）にビニール製のロープが設置された。制限あり条件の被験者はこのビニール製のロープで固定された通路の内側のみに移動空間が制限された。制限なし条件ではこのような制限は設けられず、課題遂行中は自由に移動することが可能であった。次に、ターゲットが提示されるスクリーンに対して5つの角度（ $0^\circ$ 、 $22.5^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $67.5^\circ$ 、 $90^\circ$ ）を設定した。制限あり条件及び制限なし条件のそれぞれの被験者の試行数は5種類の移動開始位置から各3回ずつランダムな順序で課題を行った。すなわち1被験者につき15試行を行った。被験者とターゲットの到達の誤差について恒常誤差を算出した。また、移動開始地点から被験者の移動完了までの被験者の頭頂の移動距離を算出した。反応の恒常誤差について、制限の有無に関しては制限なし条件の方が制限あり条件よりも尚早な反応をする傾向がみられた。角度に関しては $0^\circ$ 条件、 $22.5^\circ$ 条件よりも $90^\circ$ 条件で有意に尚早な反応が見出された。移動距離に関しては、制限あり条件の方が制限なし条件よりも移動距離が短くなる傾向を示した。また、角度については、 $0^\circ$ 条件および $45^\circ$ 条件よりも $90^\circ$ 条件で有意に距離が短くなった。これらの結果については、考察において討議する。

キーワード：捕捉行為、幼児、空間的制限

## 1. はじめに

幼児の運動の発達には様々な行為を通して身体活動のレパトリーを増やしていくことが不可欠である。この経験を十分に経ないことによって近年、身体活動に関する怪我等の諸問題が報告されている（例えば、独立行政法人日本スポーツ振興センター, 2022）。他方で、身体活動のレパトリーの数のみを多く取り入れたからといって必ずしも幼児にとって有益な身体活動にはならないであろう。そう考えられる理由の一つは、幼児は発育時期にあり、その成長の度合いは同一月齢においても様ではないからであると考えられる。実際には、幼児教育や保育の現場では同一学年、同一月齢での身体活動が求められることが一般的である。初等教育のような厳密な評価基準を設けそれを達成させるためのカリキュラムが厳格に整備されているわけではないものの、社会福祉、教育機関としての役目としては一定基準の活動実績とそれに対応した評価が求められるのは必然である。

そのような中において幼児の身体活動を理解し実践場面で促進していくことは大変重要であると思われる。特に移動する対象物に対して自身の動作を一致させる行為はスポーツ活動にとどまらず日常場面でも大変な重要であると思われる。知覚-運動制御の側面から考えた場合、このような行為を捕捉行為と呼んでいる。

捕捉行為とは移動するターゲットと運動実行者がともに移動している時、ターゲットの到達に合わせて運動実行者自身も到達地点にて移動を完了させることである。バスケットボールにおけるディフェンダーのパスカットやバレーボールのレシーブなどがその例であり、捕捉行為は多くのスポーツ場面で要求される。捕捉行為は移動するターゲットと到達地点の位置関係を考慮する必要があるため、知覚と行為の連動を円滑にするための複雑な行為であるとみなすことができる。先行研究において、野球の外野手のフライキャッチの場面などでは Constant Bearing Angle 方略（方位各方略；以後、CBA 方略とする）を機能させ

ることによって優れた捕捉行為を行っていることが報告されている（例えば、McLeod & Dienes, 1996；Lenoir et al, 1999）。CBA 方略を説明する前にまず Bearing Angle（以下 BA とする）方略とは、捕捉する運動実行者は時々刻々と変化する対象物（例えば野球のボール）を捉えるために視野角から得られる連続的な情報に基づいて加減速を行っている。このような情報に基づいてターゲットを捕捉していると考えられており、これを BA 方略と位置付け積極的な研究が行われている（Lenoir et al, 2002）。以上をまとめると、運動実行者は捕捉行為を成立させるために課題遂行中も BA を一定に保っているといわれており、CBA を知覚することによって優れた捕捉行為を実現させている。このように BA を一定に保って捕捉を行う方略のことを CBA 方略と呼ぶ。

幼児を対象に、移動するターゲットを決められた場所で捕捉しなければならぬ課題を行った場合、ターゲットの速度が低速の条件ほど、被験者はターゲットに近接しながら移動する傾向がある（杉山, 2018）。他方、成人被験者が同様の捕捉課題を行う場合、課題遂行中に移動できる空間を制限しても反応の正確性が著しく低下することはない（杉山ら, 2018）。これらの知見は、移動中の空間的な制約が幼児の捕捉行為の成否に影響を与えていることを示唆している。また、幼児が実際に転がってくるボールを捕球する際の対応については、フィードバック制御からフィードフォワード制御への変化が観察されている（森ら, 1993）。これらの先行研究を踏まえると、対象物を捕捉しなければならぬ事態では幼児は成人と比較すると時間的、あるいは空間的な見積りに大きな機能的差異が生じていると考えられる。つまり、時空間的な見積りの発達が大きく影響しているものと推察される。しかし、幼児の捕捉行為において移動できる空間の制限とタイミング調節については十分に検討されていない。

そこで本研究は移動可能な空間の制限の有無及び移動開始地点の違いが、幼児の捕捉行為の方略に与える影響を明らかにすることを目的とする。

その際、反応（偏向）及び移動距離に焦点を当てて検討する。

仮説として、空間的制限を設けなかった場合、移動開始地点にかかわらず移動距離が大きくなるが正確な反応を示すと考えられる。他方、空間的制限を設けた場合、制限を設けなかった場合よりも直線的に移動し尚早な反応を示すであろう。しかし、ターゲットと到達地点を視野内に十分に捉えることができる場合は尚早な反応ではなくより優れた反応を示すことが考えられる。

## 2. 方法

### 2.1. 被験者

保育園に通う3歳から5歳までの幼児10名であった（3歳児：4名，4歳児：3名，5歳児：4名）。所属園の園長及び園児の保護者には実験実施の前に実験の手順及び個人情報の保護について説明し、十分に理解を得た上で書面にて保護者から参加の同意を得た。なお、実験実施に当たって神戸親和女子大学研究倫理委員会の承認を得た。

### 2.2. 実験装置

被験者正面前方に透過型スクリーン（縦1.5m×横4m）を設置し、スクリーンを挟んで被験者の反対方向にプロジェクターを設置した。そしてプロジェクターからターゲットとなる光刺激を投射する仕組みであった（図1参照）。ターゲットは被験者から見て右から左に3m水平移動した。被験者の移動開始地点 - 到達地点間の距離は3.9mであった。

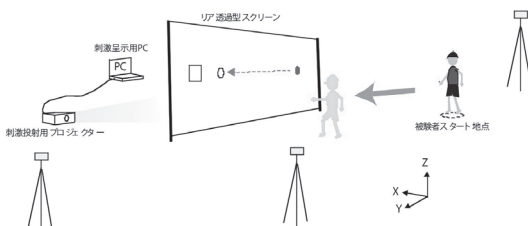


図1 実験装置の概略

### 2.3. 実験課題

被験者は等速で移動するターゲットの移動開始とともに移動開始地点から到達地点へ自身も移動し、ターゲットの到達と自身の移動完了をできるだけ正確に一致させることを求められた（移動開始地点については後述する）。ターゲットの速度は0.375m/sであり、杉山（2018）から、非常に低速で移動する課題であると位置づけることができる。

### 2.4. 手続き

被験者はまず、課題遂行中の移動の範囲に制限が与えられていない条件（以後、制限なし条件とする）と移動の範囲に制限が設けられている条件（以後、制限あり条件とする）に5名ずつ割り当てられた。その際、両条件で月齢の平均が可能な限り等しくなるように調整を行った（制限なし条件：63.4カ月，制限あり条件：62.6カ月）。本研究では移動の制限の有無及び角度の違いが捕捉行為に与える影響を明らかにするために、制限の有無要因と角度要因を設けた。これらの要因について以下で説明する。

まず、制限の有無要因について説明すると、制限あり条件の被験者が行った課題では、被験者の移動開始地点から到達地点までの通路（全長3.9m）の左右の端（幅40cm）にビニール製のロープ（以後、ロープとする）が設置された（図2左）。制限あり条件の被験者はこのロープで固定された通路の内側のみに移動空間が制限された。制限なし条件ではこのような制限は設けられず、課題遂行中は自由に移動することが可能であった。なお、図2左の四角は5カ所の各移動開始地点であり、各点線は制限あり条件で用いたロープを示している。

次に、角度要因に関して図2右に示した通り、スクリーンに対して5つの角度（ $0^\circ$ ， $22.5^\circ$ ， $45^\circ$ ， $67.5^\circ$ ， $90^\circ$ ）を設定した。 $0^\circ$ の位置からはスクリーンに呈示されるターゲットを視認することができないため、 $0^\circ$ の条件については実際には $10^\circ$ の角度を設け課題を遂行させた。ちなみに、上記の5つの角度条件を以後それぞれ $0^\circ$

条件、22.5° 条件、45° 条件、67.5° 条件、90° 条件とする。ちなみに、本研究での角度とは被験者 - 到達地点 - ターゲットから成る角度である。この角度が小さければ被験者とターゲットの間の距離は短くなり角度が大きければその距離は長くなる。したがって、0° 条件で最も両者の距離が短く、90° 条件で最も長くなることを意味する。

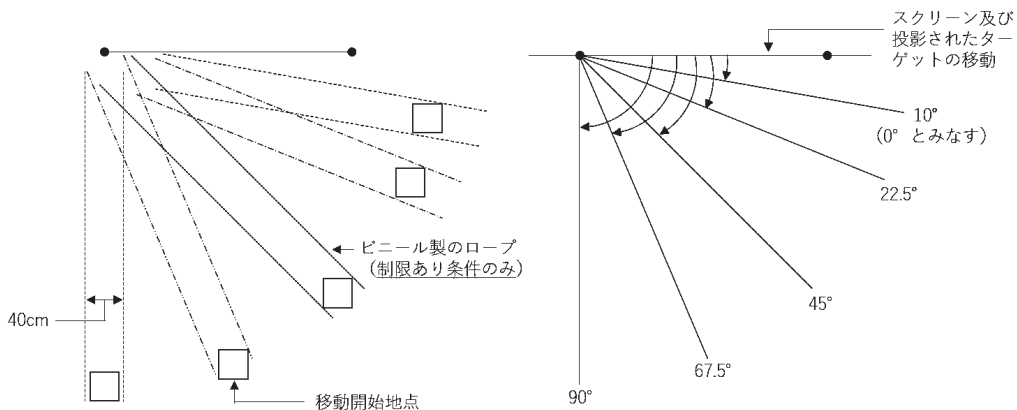


図2 制限あり条件における移動範囲（左）と実験で設定した角度（右）

## 2.5. データの収集と分析

被験者の頭頂、右手にカラーマーカーを装着した。被験者側方3カ所からハイスピードカメラ（Lumix FZ-200, Panasonic 社製）にて試技を撮影した（60Hz）。撮影された映像を元に動作解析ソフト（Frame-DIAS V, DKH 社製）を用いて頭頂と右手の座標位置をデジタル化した。これにより得られた2次元座標値からDLT法によって3次元座標値を算出し、3点加重移動平均法（6 Hz）を用いて平滑処理を行った。分析に先立ち、記録された実験参加者の動作のデータを4次のバターワースローパスフィルタにかけた。カットオフ周波数は6 Hzであった。

## 2.6. 従属変数

### 2.6.1. 恒常誤差

被験者の反応の偏りを明らかにするために到達地点へのターゲットの到達と被験者の移動完了との間の差を算出した。これは被験者の頭頂の合成

すなわち、角度条件では距離の違いが課題の困難度に影響するかを検討していると捉えることもできる。

制限あり条件及び制限なし条件のそれぞれの被験者の試行数は5種類の移動開始位置から各3回ずつランダムな順序で課題を行った。すなわち1被験者につき15試行を行った。

速度が減少し、かつ合成加速度0になった時点と定義した。

### 2.6.2. 移動距離

水平面上の座標について、移動開始地点から被験者の移動完了までの被験者の頭頂の移動距離を算出した。

## 2.7. 統計的検定

被験者は各角度条件で3試行を行ったわけであるが、この3試行の平均値に基づいて次の統計的検討を行った。恒常誤差（反応の偏り）、移動距離について、制限の有無（2）×角度（5）の2要因分散分析（第2要因のみ繰り返し）を行った。

## 3. 結果

### 3.1. 反応の恒常誤差

恒常誤差について、制限の有無（2）×角度（5）

の2要因分散分析(第2要因のみ繰り返し)を行ったところ、制限の有無要因及び角度要因の主効果に有意傾向が見出された(制限の有無要因:  $F(1,8) = 3.54, p < 0.10$ , 角度要因:  $F(4,32) = 2.20, p < 0.10$ )。制限の有無要因に関しては制限あり条件の方が制限なし条件よりも尚早になる傾向を示した。角度条件に関しては $0^\circ$ 条件,  $22.5^\circ$ 条件よりも $90^\circ$ 条件で有意に尚早な反応が見出された(図3)。

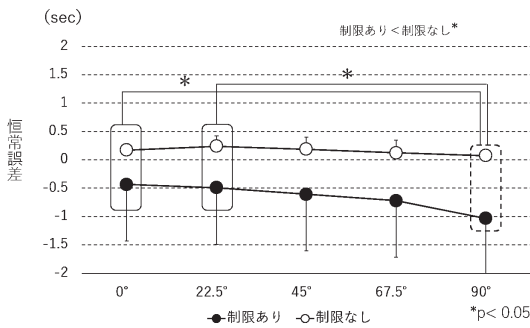


図3 制限の有無及び角度条件別にみた恒常誤差

### 3.2. 移動開始地点から到達地点までの移動距離

移動距離について、制限の有無(2)×角度(5)の2要因分散分析(第2要因のみ繰り返し)を行った(図4)ところ、制限の有無要因の主効果に有意傾向が見られ、制限あり条件の方が制限なし条件よりも移動距離が短くなる傾向を示した( $F(1,8) = 4.77, p < 0.10$ )。また、角度要因に有

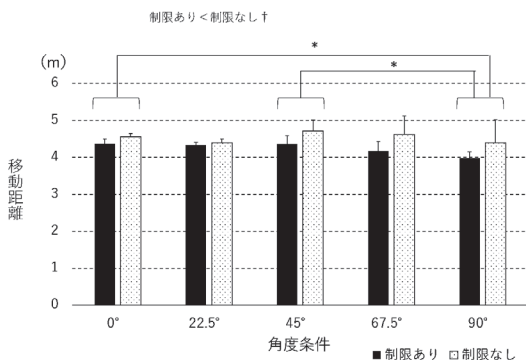


図4 制限の有無及び角度条件別にみた移動距離

意な主効果が見出された。このため、多重比較を行ったところ $0^\circ$ 条件および $45^\circ$ 条件よりも $90^\circ$ 条件で有意に距離が短くなることが明らかとなった( $F(4,32) = 3.03, p < 0.05$ )。

## 4. 考察

本研究は、幼児を対象に移動可能な空間の制限の有無及び移動開始地点の違いが、捕捉行為の方略に与える影響を明らかにすることを目的として実験的検討を試みた。各結果に言及する前に角度条件について確認しておく、本研究における角度とは被験者-到達地点-ターゲットから成る角度であることは先述した。 $0^\circ$ 条件で最も両者の距離が短く、 $90^\circ$ 条件で最も長くなる。したがって、本研究の角度要因では距離の違いが課題の困難度に影響するかを検討していると捉えることもできる点を念頭に各項目について言及していくこととする。

まず、本研究では反応の正確性として恒常誤差を用いた。この恒常誤差は被験者の到達が早い場合及び遅い場合の両方の反応誤差が含まれるため反応の偏向と解釈することができる。結果として、反応の正確性については制限なし条件よりも制限あり条件で反応の誤差が増大し、しかも接触のタイミングは尚早になる傾向を示した。さらに、 $0^\circ$ ,  $22.5^\circ$ の両条件よりも $90^\circ$ 条件で尚早になる傾向を示した。前者については部分的ではあるものの、空間的制限を設けた場合の方が設けなかった場合よりも尚早な反応が現れるという仮説を支持する結果が導かれたといえる。しかし、後者に対しては移動距離にかかわらず正確な反応が生じるという仮説が支持されたとはいいがたい。ターゲットと到達地点を同時に視野内に捉えながら課題を行うことが有益であると考えたが、実際にはそうではないことが明らかとなった。ボールの捕球は近い距離の方が遠い距離よりも成功する可能性が高いという事実は経験的にも自明であると思われる上、実験的検討によってもその事実が見出されている(Belka, 1985; McOonell & Wade,

1990)。すなわち、被験者は課題遂行中にターゲットと到達地点を同時に視野に入れることよりも、ターゲットと被験者との距離が重要になるものと推察される。

次に、移動距離に関してまとめると次の通りである。制限あり条件よりも制限なし条件の方が、有意に移動距離が長くなった。このことから空間的制限を設けなかった場合は移動距離が増大するという仮説を支持する結果となった。これに対し90°条件よりも0°条件、45°条件で移動距離が有意に長くなる結果となった。当初、角度要因の影響はないと考えたが、ターゲットと被験者の距離が大きく影響していると考えられる。今回の実験では有意差はなかったものの、0°条件と45°条件により角度が近いという意味で22.5°条件においても移動距離が長くなる可能性を秘めているのかもしれない。これに関連して、図5は課題遂行中の代表的な被験者における水平面上の頭頂部の軌跡を示したものである。各角度条件における移動中の二次元座標値を算出し、水平面上に0.2s間隔でプロットした。図Aは制限あり条件の被験者を示している。図中の各軌跡の左右にある直線は制限あり条件におけるロープを示している。当然ながら被験者はこのロープ内を移動しているのうかがえる。これに対し、制限なし条件では制限は設けず自由に移動することが可能であったが、これらの軌跡上にロープの直線を描くと図Bの通りとなる。ロープを逸脱し課題を遂行していることが見受けられる。特に、0°条件、45°条件を見ると、スクリーンに接近しかつ到達地点付近でスクリーンから離れ、いわゆるふくらんだ移動の様相がうかがえる。この点に関して、5歳児から7歳児くらいまではターゲットに同調することができない（Chohan et al, 2008）ことが明らかとなっており、それを反映した軌跡であると考えられる。一方、90°条件はターゲットとの位置関係が遠すぎるため、接近することができない上、フィードバック制御的な移動方略ができないため直線的な移動を行い到達地点付近で速度を落としていたと考えられる。

以上、反応の正確性及び移動距離の観点から幼児の捕捉行為について検討してきた。これらに関連付けると、ターゲットの移動と被験者の移動が制限の有無及び角度にどのような影響を与えるのかを総合的に考察する必要がある。図6及び図7は代表的な被験者における水平面上の頭頂部とターゲットの軌跡を示したものである。図5同様、各角度条件における移動中の二次元座標値を算出し、水平面上に0.2s間隔でプロットした。ここから被験者がターゲットとどのように同調しながら課題を遂行していたかを視覚的に明示するため、各時点での頭頂部とターゲットを実線で結んである。図6が制限あり条件の被験者（月齢72カ月女児）、図7は制限なし条件の被験者（月齢75カ月女児）の各条件の課題遂行中の様子である。ここでは発達の影響を極力最小にするため、同様の月齢の被験者のデータを取り上げた。ターゲットは等速で移動しているため、速度変化が可能なのは被験者のみである。そのため、被験者がターゲットに同調していれば実線の間隔は比較的等しくなり、反対に同調できていなければ実線の間隔の密度に変化が生じることとなる。これを前提にすると、制限あり条件の被験者は到達地点付近で密度が高くなっている。これはターゲットの移動開始後、自身も移動を開始し、ターゲットよりも早く移動し到達地点付近で減速している、あるいは到達し待機していることを表している。この現象はどの角度条件においても確認できる。他方、制限なし条件の被験者はそのような密度の高さは生じない代わりに軌跡に大きな変化が生じている。特に0°条件、22.5°条件、45°条件ではスクリーンにできるだけ接近し、同調しているような軌跡が観察できる。つまり、これらの違いから、移動の制限が加えられるとターゲットとの同調が大変困難になり、反応の正確性に影響するといえる。制限なし条件の被験者はターゲットの移動の特徴を手掛かりに自分自身の移動の時空間的調整を行っていたものと思われる。すなわちフィードバック制御的な課題遂行を行っていたと考えられる。なぜならば、制限あり条件の被験者は少なく

とも空間的な自由度を使ってタイミング調整を行うことができない。つまり幼児はいつ到達地点にターゲットが到達するのかを見積もることができないため、空間的自由度を活用する必要があるこ

とを示唆している。上記の統計的な差異が生じた要因にはこのような時空間の見積もりの発達が大きく影響しているものと考えられる。

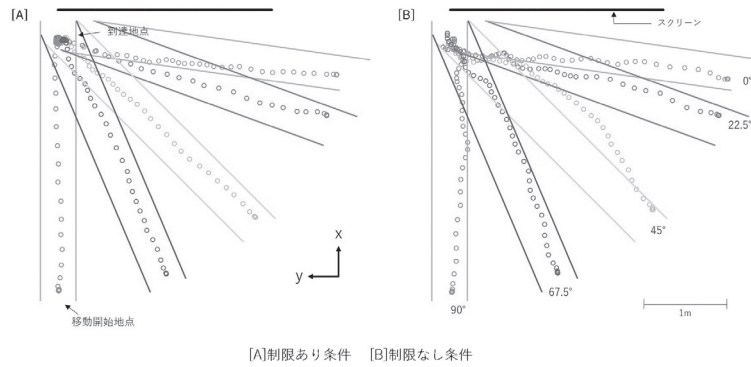


図5 各角度条件における課題遂行中の代表的な被験者の頭頂の軌跡

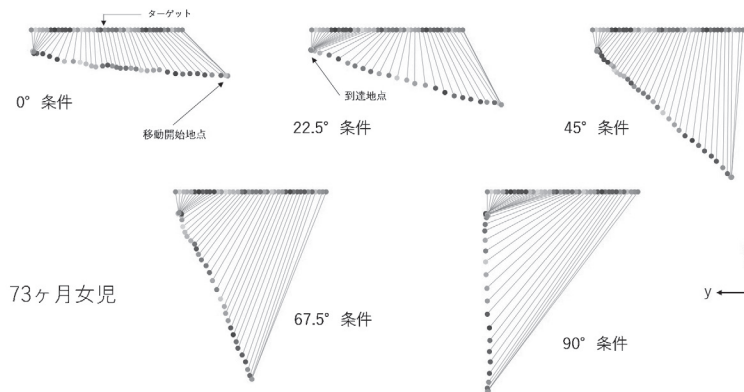


図6 制限あり条件における代表的な被験者の頭頂の軌跡（角度条件別）

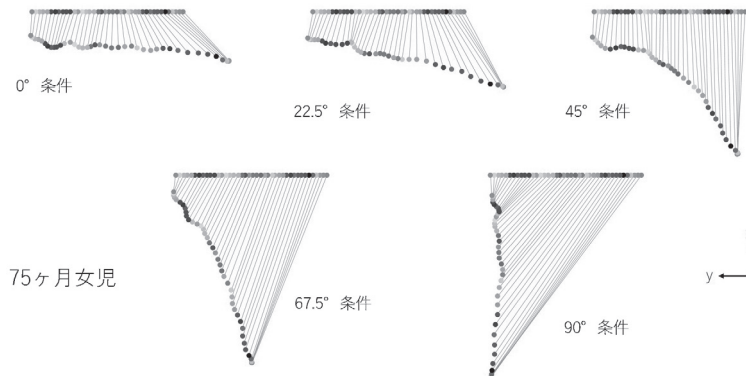


図7 制限なし条件における代表的な被験者の頭頂の軌跡（角度条件別）

## 5. まとめと今後の課題

幼児においてはターゲットの到達地点の視認よりもフィードバックによるターゲットの追従の方が重要であることが考えられる。その際に、移動するための空間を有効に利用して到達のタイミングを調節していると思われる。そのため、ひとたび移動中の空間的制限が設けられると上述の方略は無効となると考えられる。これらのことから、実際の運動場面において環境設定を適切に行うことは、幼児の捕捉行為やタイミング発揮を要求されるような事態に有益に働くと考えられる。すなわち、幼児の運動、例えばスポーツやその他遊戯において適切な環境設定を行うことが大変重要な意味を有することが示唆される。

制限あり条件は幼児にとっては非常に制約のある課題であることが示されたが、このような事態はスポーツのみならず日常生活中にも生じる。例えば、横断歩道を渡る際に車道を通る車の存在に気を付けつつ他の歩行者との位置関係を適切に測ったり、荷物を持ちながら障害物を回避した移動を求められる、といった場面である。そのため今後の課題として、幼児を対象に制限あり条件の被験者の捕捉行為方略の機序について検討する必要がある。一点目は、成人が行っている捕捉行為方略との関連性について比較検討することが有益となると考えられる。もう一点は幼児におけるフィードバック制御のメカニズムとの関連について検討する必要がある。具体的には、歩行中の予測的な方略（Anticipatory Orienting Strategy）は幼児の後期で発現するとされており（Belmonti et al, 2013）、このような制御方略と関連させた実験を行うことで幼児の捕捉行為の理解や訓練手法の開発等が進むものと考えられる。

## 引用文献

Belka, D. E. (1985) Effects of selected sequencing factors on the catching process of elementary school children. *Journal of Teaching in Physical*

*Education*, 5, 42-51.

Belmonti, V., Cioni, G., and Berthoz, A. (2013) Development of anticipatory orienting strategies and trajectory formation in goal-oriented locomotion. *Experimental Brain Research*, 227, 131-147.

Chohan, A., Verheul, M. H. G., Van Kampen, P. M., Wind, M., and Savelsbergh, G. J. P. (2008) Children's use of the bearing angle in interceptive action. *Journal of Motor Behavior*, 40, 18-28.

独立行政法人日本スポーツ振興センター（2022）学校の管理下の災害—令和4年版—

Lenoir, M., Much, E., Janssens, M., Thiery, E., and Uyttenhove, J. (1999) Intercepting moving objects during self-motion. *Journal of Motor Behavior*, 31, 55-67.

Lenoir, M., Musch, E., Thiery, E., and Savelsbergh, G. J. (2002) Rate of change of angular bearing as the relevant property in a horizontal interception task during locomotion. *Journal of Motor Behavior*, 34, 385-404.

McLeod, P. and Dienes, Z. (1996) Do fielders know where to go to catch the ball of only how to get there? *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 22 531-543.

森司朗・杉原隆・近藤充実（1993）転がってくるボールに対する幼児の対応動作に関する研究。スポーツ心理学研究, 35, 20-29.

杉山真人・椿武・宮辻和貴・荒木雅信（2018）課題中に呈示される誘導刺激がターゲットとの協調に与える影響—幼児の捕捉行為課題を対象として—。日本体育学会予稿集, 96.

杉山真人（2018）幼児の捕捉を成立させるための移動過程の特徴。日本スポーツ心理学会第45回大会研究発表抄録集, 104-105.

## 付記

本研究は、JSPS 科学研究費補助金基盤研究(C) (課題番号：18K10948) の助成を受けて行われたものである。