

修士学位論文

先を見越した動作プランニングの 発達的变化

2017 年 1 月 5 日 提出

首都大学東京大学院

人間健康科学研究科 博士前期課程 人間健康科学専攻

ヘルスプロモーションサイエンス学域

学修番号：13899611

氏 名：美野 裕佳

(指導教員名：樋口 貴広 教授)

要旨

先を見越して、初期動作を窮屈にしても最終動作を快適にすることを意図して行動することを、「End-state 効果に基づく行動」という。本研究では、End-state 効果に基づく行動がいつ頃の年齢で獲得されるのかについて検討するため、3つの実験を行った。一般に、多くの先行知見では、End-state 効果に基づく行動は6～8歳までに獲得されることが示されている。ところが、ナイフ形玩具を用いた課題（つかんでからナイフを差すまでに机と並行した面での回転を伴う課題）によれば

（Jongbloed-Perebroom et al., 2013）、End-state 効果に基づく行動（親指を前方に向けてナイフを差し込む方法；順手反応）が、6.7歳で20～50%、10歳であっても60%であった。この結果は、表面的に見れば、ナイフ形玩具課題に含まれる動作に、事前の計画が困難な要素があることを示唆する。しかしながら、先行知見では成人のデータを測定していないため、成人であっても順手反応が60%程度である可能性もある。

そこで実験1では、先行知見と同様のナイフ形玩具課題を採用し、6～8歳児・9～10歳児・成人（若年者・高齢者）を対象に検討した。参加者グループ間でEnd-state 効果に基づく行動の割合（順手反応）を比較した結果、いずれのグループでも60～70%の生起率であり、グループ間で有意差は見られなかった。すなわち、成人であっても順手反応の生起率は100%ではなく、その生起率をもって発達的变化を見ることができないことが明らかになった。

そこで、実験2および実験3では、ナイフ形玩具課題で先を見越した行動の発達的变化を検証するにあたり、どのような課題設定にすべきかを検討する実験を行うこととした。発達の度合いを評価する項目を検討するにあたり、これまでに「End-state 効果に基づく行動の阻害要因」として報告されている変数（非利き手の使用、履歴効果による干渉）に着目した。これら2つの阻害要因による影響が成人と子供で違いが見

られた場合、これらの阻害要因の抵抗性が発達の度合いをみる新たな指標となることが考えられる。

そこで、実験 2 では成人、実験 3 では 6～8 歳児・9～10 歳児を対象とし「非利き手の使用」「履歴効果による干渉」の影響を検証した。先行知見および実験 1 では、ナイフの初期位置を 6 方向 (45° に分割) で検討していたものを、24 方向 (15° に分割) に増やして検討した。その結果、いずれのグループでも、「非利き手の使用」「履歴効果による干渉」に関して動作選択の切り替わりが起こる位置に違いがみられたが、これらの違いに統計的に有意な差は認められなかった。しかしながら、グラフを概観すると、ナイフの初期位置が、ナイフを差す方向から時計回りに 15° ～ 135° 回転する位置において、成人とそれ以外の対象グループでは動作選択にパターンの違いがみられた。そこで、ナイフ形玩具課題で発達的变化の検討を行う場合、 15° ～ 135° をターゲットに検討を行うことが有用であることが示された。

さらに、実験 2 および実験 3 では 24 方向のうち 4 方向において、参加者が“動作全体として快適度が高い”と思うナイフの操作方法を、主観的に評価してもらった。その操作方法をもとに、快適性に基づく行動の割合を算出した結果、成人および 9～10 歳児は動作全体として快適度が高いと感じる動作を選ぶ傾向があった。これに対して、6～8 歳児は、動作全体として快適度が高いと感じる動作を選ぶ傾向が他の 2 グループに比べて低かった。この結果から、6～8 歳児は、動作全体として快適度が高い行動を選択することが出来ていないことを示しており、行動計画が発達の途上にあることを示唆している。

実験 2 および実験 3 で得られた 2 つの成果を総括して、9～10 歳児では成人の行動選択パターンと違いが見られるものの、成人と同等の行動計画能力が備わっていることが示された。そこで、今後の検討を行う上では、参加対象を 6～8 歳児に重点をおき、ナイフの初期位置が、差す方向からの回転角度が 15° ～ 135° となる位置にターゲットを絞り検討するのが有用であることが考えられる。

目次

第1章	緒言	1
第2章	本研究の理論的および方法論的背景	4
第1節	End-state 効果の学術的背景	4
1.1	コップを用いた課題に関する研究	7
1.2	棒を用いた課題に関する研究	9
1.3	目標物の移動に回転動作を含む課題に関する研究	12
第2節	ナイフ形玩具を用いた End-state 効果に基づく行動の研究	16
第3章	問題の所在と研究方法	18
第1節	先行研究の問題の所在	18
第2節	実験1	22
2.1	方法	22
2.1.1	実験参加者	22
2.1.2	実験装置	22
2.1.3	実験課題	23
2.1.4	実験手続き	23
2.1.5	分析方法	24
2.2	結果	25
2.2.1	i) 順手反応の割合	25
2.2.2	ii) critical position における反応方法の違い	26
2.3	考察	27
第3節	実験2	29
3.1	方法	30
3.1.1	実験参加者	30

3.1.2	実験装置	30
3.1.3	実験課題	32
3.1.4	実験手続き	32
3.1.5	分析方法	35
3.2	結果	35
3.2.1	利き手・非利き手の比較	35
3.2.2	履歴効果による干渉に関する比較	37
3.2.3	主観評価課題の結果	39
3.2.4	快適性に基づいた行動の割合	41
3.3	考察	42
第4節	実験3	44
4.1	方法	44
4.1.1	実験参加者	44
4.1.2	実験装置	44
4.1.3	実験課題と実験手続き	44
4.1.4	分析方法	46
4.2	結果	46
4.2.1	利き手・非利き手の比較	46
4.2.2	履歴効果による干渉に関する比較	47
4.2.3	快適性に基づいた行動の割合	50
4.2.4	回転動作課題における成人との比較	52
4.2.5	主観評価課題における成人との比較	54
4.2.6	「快適性に基づいた行動」における成人との比較	56
4.3	考察	58

第4章 総合考察	61
引用文献	67
謝辞	70

第1章 緒言

日常生活を送る上で、ゴールを見越して行動することは重要なことである。例えば、“逆さにして置いてあるコップ”を手にとって飲み物を注ぐ際は、手首をひねり(撓屈),親指を下にするという窮屈な姿勢でコップをとる。こうすることで、飲み物を注ぐ際には自然な姿勢で(親指を上にした姿勢で)コップをつかむことができるからである。このように私たちは、先を見越すことで(動作のゴールを予期することで)、初期動作を窮屈にしても、最終動作を快適にすることを意図して行動を行う。こうした行動は、End-state comfort effect (以下、End-state 効果)に基づく行動と呼ばれ、先を見越して運動計画をしていることを示す行動学的指標として注目されている。End-state 効果に基づく行動は、経験を通して獲得される側面があることから、何歳ごろに獲得されるのかを知るための発達研究が数多く行われている。

Wunch et al. (2013) は、End-state 効果に関する数多くの発達研究をレビューし、用いられる課題が3種類に大別されることを示した。第1に、前述のコップの場面を使う課題 (Overturned Glass 課題)、第2に、棒をある位置から別の場所に移動させる際のつかみ方を評価する課題 (Bar Transport 課題)、第3に、目標物の移動に回転を伴う動作を含む課題 (Handle Rotation 課題)である(課題の概要は15ページ、図7を参照)。これらの研究を概観すると、3種類のうちの2つの課題、すなわち Overturned Glass 課題および Bar Transport 課題では、End-state 効果に基づく行動の生起率は6~8歳までに80%と、早い時期で獲得した。これらの報告は、8歳頃になれば、先の行動を見越した運動計画が可能であることを示唆している。

ところが、もう一つの課題である Handle Rotation 課題では、これまでの2つの課題に基づく報告と異なり、End-state 効果に基づく行動の生起率が著しく低い値

となることが指摘されている．たとえば，ある研究では，ナイフ形玩具を目の前に置かれた箱の穴に差さず課題を通して，机の上に置かれたナイフの向きに応じてナイフの把持方法を柔軟に調整し，**End-state** 効果に基づく行動（すなわち，親指を前方に向けた形でナイフを穴に差す行動）を生起できるかを検討した

(Jongbloed-Perebroom et al., 2013)．その結果，**End-state** 効果に基づく行動の出現割合は，6.7 歳で 40～50%，10 歳で 60%程度と，**End-state** 効果に基づく行動の生起率が著しく低い値となることが指摘された．

一見したところ，Jongbloed-Perebroom et al. (2013) が報告した結果は，**Handle Rotation** 課題で求められる動作（ナイフを把持した後，机と並行な面で回転させる動作）を，行動の開始に先んじて計画をするには，より長い成熟期間が必要であることを示唆しているように見える．しかしこの研究では，成人を対象として研究を行っていなかったため，現状では，「10 歳で 60%」という出現割合が，「10 歳児で既に成人と同程度の出現割合であり，何らかの理由で，成人であっても 100%の出現割合とならない」ことを示唆する可能性を否定できない．そこで，実験 1 では，Jongbloed-Perebroom et al.(2013) に基づき，成人を参加対象に加え子供と比較し，**Handle Rotation** 課題で **End-state** 効果に基づく行動の割合が低い理由を明らかにすることとした．

実験 2 および実験 3 では，実験 1 の結果に基づき，**Handle Rotation** 課題を **End-state** 効果に基づく行動の生起の評価に利用するためにどのような課題設定にすべきかを検討するための実験を行った．実験 1 の結果から，**End-state** 効果に基づく行動の割合は，6～10 歳の子供も成人も 70%程度であり，両者の違いに統計的な有意差は認められないことが示された．この結果から，親指を前方に向けた形でナイフを穴に差す行動だけが，**End-state** 効果に基づく行動なのではなく，快適だと感じる行動に個人差がある可能性が示唆された．そこで，実験 2 では成人を対象として，そして実験 3 では 6～10 歳の子供を対象として，以下の 2 点を検討する実

験を行った．第 1 に，たとえナイフを差す行動のパターンに違いがあっても，それらは参加者個人にとっての“快適な行動”として選択されているかどうかを検討した．第 2 に，これまで「End-state 効果に基づく行動を阻害する要因」として報告されている変数（非利き手の使用，履歴効果による干渉）を **Handle Rotation** 課題に導入することで，阻害要因による抵抗性の観点から，発達の度合いを測定できないかを検証した．もしも成人がこうした阻害要因の影響が小さく，子供の年齢に応じて阻害要因の影響が高いことが示されれば，阻害要因への抵抗性に基づく発達評価という新たな視点を提供することができる．

第2章 本研究の理論的および学術的背景

第1節 End-state 効果の学術的背景

日常生活のさまざまな場面において、先に起こる状況を見越して動作をすることは重要なことである。われわれは、当たり前のようにゴールを見越して始めの行動を設定することができる。例えば、“逆さにして置いてあるコップ”を手にとって飲み物を注ぐ際、手首をひねり（橈屈）、親指を下にするという窮屈な姿勢でコップをつかんだ後、ひっくり返す（図1）。こうすることで、飲み物を注ぐ際には自然な姿勢で（親指を上にした姿勢で）コップを置くことができるからである。このようにわれわれは、先を見越すことで（動作のゴールを予想することで）、初期動作を窮屈にしても、最終動作を快適にすることを意図して行動を行う。こうした行動は、End-state comfort effect（本論文では、「End-state 効果」と記す）に基づく行動という。



図1 コップをつかむときの End-state 効果の例

逆さにしてあるコップに飲み物を注ぐ際、大人は親指をした姿勢で（手首の橈屈により）コップをつかみ、ひっくり返す。

End-state 効果に基づく行動は、大人にとっては自然な行動であるが、子供の場合には必ずしも全員がこうした行動をとれるわけではない。こうした背景から、

End-state 効果に関する研究の多くは、End-state 効果に基づく行動が子供の発達過程のどの段階で獲得されるかを中心に検討している。実験にあたり、対象者が幼い子供である場合、理解が難しい課題や、長時間の集中が必要な課題を課すことは困難である。そのため、実験課題としては、比較的単純な動作課題が使用されている。

Wunch et al.(2013) は、End-state 効果に関する数多くの発達研究をレビューし、用いられる課題が3種類に大別されることを示した(表1)。第1に、前述のコップを使う課題(Overtured Glass 課題)、第2に、棒をある位置から別の場所に移動させる際のつかみ方を評価する課題(Bar Transport 課題)、第3に、目標物の移動に回転を伴う動作を含む課題(Handle Rotation 課題)である。これらの研究を概観すると、最初の2つの課題、すなわち Overtured Glass 課題および Bar Transport 課題では、End-state 効果に基づく行動の生起率は6〜8歳までに80%と、早い時期で獲得した。これに対して、Handle Rotation 課題では、6.7歳で20〜50%、10歳で60%程度と、著しく低い値となることが指摘された。

そこで本章では、第1に Wunch et al. (2013) の分類に基づき、3種類の課題の概要や、どのような成果が得られているのかについて説明する。第2に、Wunch et al. (2013) の分類における第3の課題(Handle Rotation 課題)に分類され、本実験の実験課題として用いるナイフ形玩具を用いた研究について紹介する。

Task	Author(s)	Dev. Disorders / Condition	Age												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11-12	13-14	
BTT	Hughes (1996)	Normally developing			14	71									
		MLD					42		70						
		Autism					28					6			
	Jovanovic and Schwarzer (2011)	Normally developing	8	0	60										
	Knudsen et al. (2012)	Normally developing			0	38	75	75	86	88					
		AE No-AE			25	38	88	75	89	100					
	Manoel and Moreira (2005)	Normally developing	40	50	50	50	50	50							
		LC HC	25	38	29	50	29	50	49						
	Smyth and Mason (1997)	Normally developing				60	65	70	65						
DCD					60	65	65	60							
HRT	Stöckel et al. (2011)	Normally developing							50	67	92				
					45		65		50		80				
	Thibaut and Toussaint (2010)	Normally developing													
					20	45	70								
	Weigelt and Schack (2010)	Normally developing			10	30	65	75							
					10	30	35	24							
	Craje et al. (2010)	Normally developing			21	35	41	50	42	55	50	62			
		CP				20	35	40	35						
	Jongbloed-Pereboom et al. (2013)	Normally developing													
Normally developing					20	35	40	35							
Smyth and Mason (1997)	DCD				20	35	45	40							
	Normally developing						20				35				
	DCD							10		25					
Van Swieten et al. (2010)	Autism											35			
OGT	Adalbjornsson et al. (2008)	Normally developing		20			35								
	Knudsen et al. (2012)	Normally developing			75	69	88	88	86	100					
		AE No-AE			57	69	94	75	93	94					
	Sharoun and Bryden (2013)	Normally developing			10		35		50		90	95			
unimanual bimanual				30		62		81		90	95				

表1 End-state 効果に関する発達研究の概要

Task は 3 種類の課題を示す (BTT : Bar Transport 課題, HRT : Handle Rotation 課題, OGT : Overturned Glass 課題)。

各分類に属する論文について、著者・対象者・各年齢における End-state 効果に基づく行動の割合を示している。

対象者は、Normally developping : 健常児, MLD : 中程度の学習欠損児, Autism: 自閉症児, DCD : 強調運動障害児, CP : 脳性まひ児を示す。

(Wunch et al. (2013)より引用)

1.1 コップを用いた課題に関する研究 (Overturned Glass 課題)

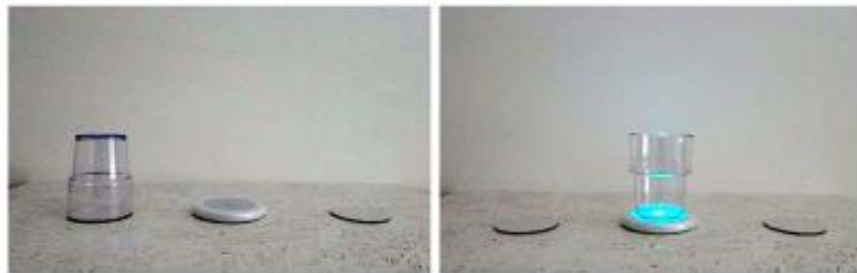
End-state 効果を研究する上で、一番単純な例として扱われるのは、コップを用いた課題である。Wunch らはレビュー論文において、この課題を Overturned Glass 課題と分類した。コップを用いて行われる課題は、逆さにして置かれたコップを、片手または両手で元に戻すというものである。コップをひっくり返すという動作は、子供であっても日常になじみのある行為であるため、この課題が用いられる。

Adalbjornsson et al. (2008) は、End-state 効果に基づく行動が、そもそも生得的に備わっているものなのか、それとも発達過程で獲得されるものなのか、ということのコップを用いた課題で検証した。著者らは、2～3 歳の子供および 5～6 歳の子供を対象に、逆さにして置かれたコップを取り、そのコップの中に水差しの中の水を注ぐという課題を行った。この課題では、始めに手を橈屈して（親指を下にして）コップをつかんだ後に、手を 180° 回転させて（コップをひっくり返して）元に戻す操作が End-state 効果に基づく行動となる（図 1 参照）。結果、全対象者 40 人のうち、End-state 効果に基づく行動を示したのはたったの 11 人（2～3 歳：4 人、5～6 歳：7 人）であった。この結果から、End-state 効果に基づく行動が生得的なものではないと言える。

Kudsen et al. (2012) は、利き手と非利き手で条件を分け、両方で End-state 効果に基づく行動の出現に違いがあるのかということ、コップを用いた課題で検証した。対象者は 3～8 歳と大人（コントロール）とし、大人と子供の End-state 効果に基づく行動の出現割合を比較した（図 2a）。課題は、Adalbjornsson et al. (2008) と同様に、逆さにして置かれたコップを取り、元に戻すという課題である。その結果、利き手と非利き手で End-state 効果に基づく行動の出現割合に差は見られなかった。両者の違いがないということは、経験によって向上すると言っても、利き手で経験しているからと言って、利き手だけが End-state 効果に基づく行動を獲得するのではない。つまり、両手に共通のルールとして獲得しているという重要な示唆がある。

また、大人が 100%の割合で End-state 効果に基づく行動を示すのに対し、子供では 3 歳で 63%・4 歳で 69%という低い値を示した。これらの結果により、幼い子供は先を見越して行動する能力が備わっておらず、年齢を重ねるにつれて End-state 効果に基づく行動が獲得されることが示唆された(図 2b)。

(a)



(b)

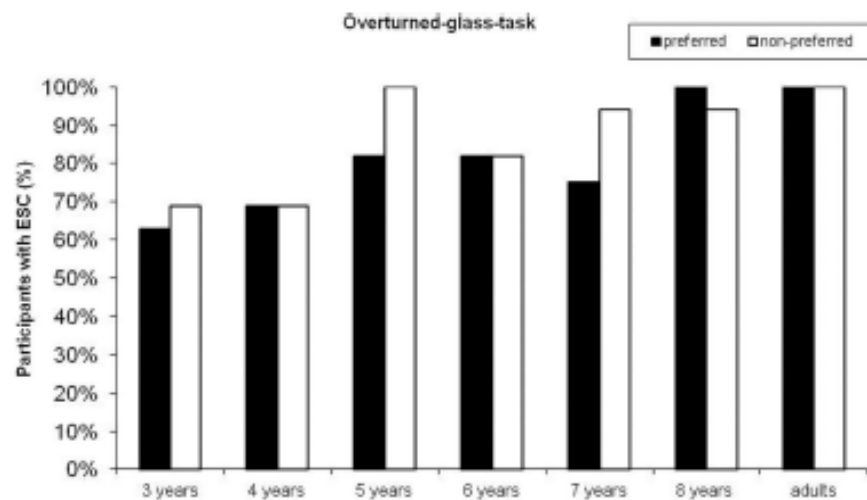


図 2 コップを用いた End-state 効果に関する研究

- (a) 利き手・非利き手で End-state 効果に基づく行動の出現割合を検証した。最終位置を真ん中のコースターとし、初期位置は操作する手と反対側のコースターとする。(右手で操作する場合は、始めにコップは左のコースターに置いてある)
- (b) 結果、年齢が上がるにつれて End-state 効果に基づく行動の出現割合が上がることを示された。
(Kudsen et al. (2012)より引用)

以上 2 つの研究から示唆されるように、コップを用いた課題を行うことには、子供にとってなじみがあり、課題を容易に理解できるため、スムーズに実験ができるというメリットがある。一方で、コップを用いた課題の場合、End-state 効果に基づく動作は常に手首の撓屈を要求する動作だけになる。動作のバリエーションが少ないと、比較的低年齢のうちに全員が End-state 効果に基づく行動を実現してしまい（天井効果となってしまう）、発達に伴う継時的変化を追いくいというデメリットがある。このため、多くの研究ではコップ課題よりもより複雑な動作パターンを要求する課題が用いられている。

1.2 棒を用いた課題に関する研究 (Bar Transport 課題)

コップを用いた課題よりも、End-state 効果に基づく行動のバリエーションが多い課題として、棒を用いた課題がある。Wunch らはレビュー論文において、この課題を Bar Transport 課題と分類した。この棒を用いた課題の場合、文脈によって、End-state 効果に基づく行動が、棒を上手 (overhand) でつかむか、下手 (underhand) でつかむかが入れ替わる（つまり、End-state 効果に基づく行動が 2 パターン存在する）。

このように、上手・下手を評価する棒のトランスポート課題は、大別して 2 種類ある。1 つ目は、一定の高さ上に水平に置かれた棒を、垂直に着地させるという課題である (Stöckel et al., 2010 ; Weigelt et al., 2010 ; Manoel & Moreira, 2005 ; Thibaut et al., 2010)。Weigelt et al. (2010) は図 3 のような装置を用いて棒のトランスポート課題を行った。両端が白と黒に色分けされた棒がホルダー上に水平に置かれている。この棒を、着地する色を指定し、ホルダー前の差し込み穴に垂直に差し込むという課題である。この課題では、初期位置の色で 2 条件（白が右の場合・黒が右の場合）、最終位置の色で 2 条件（白で着地・黒で着地）の計 4 条件を行うことになる。End-state 効果に基づく行動の有無については、最終動作に合わ

せて始めのつかみ方が快適にできているかで判断する．例えば，図 3a のように「初期位置：白が右・最終位置：黒」である場合，棒を快適に着地（着地する際に，親指が上になるようにつかんでいる状態）させるためには上手でつかむ必要がある．図 3b のように「初期位置：白が右・最終位置：白」の場合は下手でつかむのが End-state 効果に基づく行動である．このように，棒をつかむ際の手の形が上手か下手の 2 種類に分類することができることが棒を用いることのメリットである．Weigelt et al. (2010) は 3 歳・4 歳・5 歳を対象にこの実験を行った．その結果，上手でつかむのが End-state 効果に基づく行動にあたる時は，すべてのグループが 100% の割合で上手で棒をつかんだ．一方で下手でつかむのが End-state 効果に基づく行動にあたる時に下手で棒をつかむ割合は，3 歳で 18%，4 歳で 47% となり，幼い子供では著しく低い値を示すことを証明した．

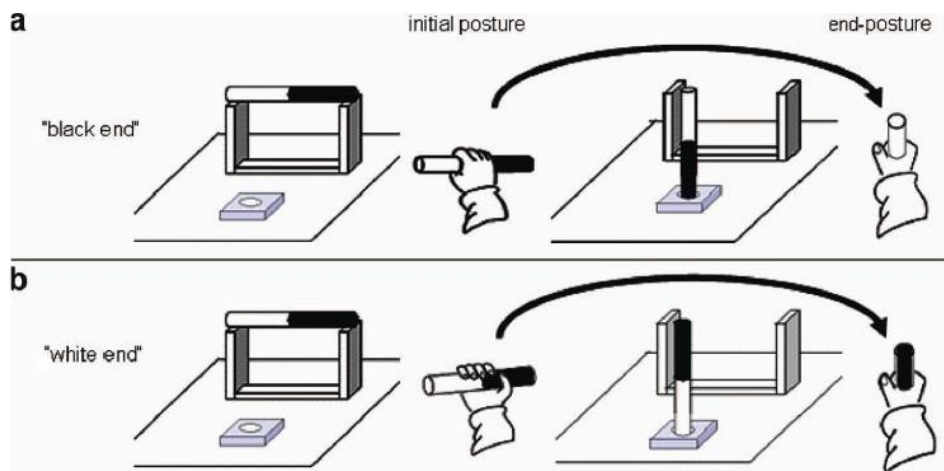


図 3 水平の棒を垂直にトランスポートする課題

ホルダー上に，両端が 2 色に色分けされた棒が水平に置いてある．この棒を，着地する色を指定し，差し込み穴（最終位置）に垂直に差し込む．(Weigelt et al. (2010)より引用)

棒をトランスポートする課題の2つ目は、上下の区別のある垂直の棒を、垂直のホルダーに差し込む課題である (Knudsen et al., 2012; Jovanovic et al., 2011). Jovanovic et al. (2010) は図4のような装置を用いて棒のトランスポート実験を行った。垂直に置かれた棒は、上部に金属のリングがつけられている。初期位置として、リングが上にあるものと、リングが下にあるものの2条件を設定した。リングが上にある棒 (図4a) をホルダーに差し込む際は、親指が上になるようにつかむのが End-state 効果に基づく行動になる (図4c-右)。一方で、初期位置でリングが下に置かれている棒 (図4b) を、指定のホルダーに差し込む場合は、180°の手の回転が必要になる。そのため手首を撓屈し、親指が下になるようにつかむのが End-state 効果に基づく行動になる (図4c-左)。このように、垂直に置かれた棒を垂直に差し込む棒のトランスポート課題も、つかむ際の手の形により End-state 効果に基づく行動の有無を評価できるという点で、水平から垂直に棒をトランスポートする課題と同様のメリットが得られる。ただし18か月・24か月・42か月児を対象とした Jovanovic et al. (2010) では、すべてのグループにおいて End-state 効果に基づく行動を示す者はほとんどいなかった。そのため、幼児がこの課題に対して End-state 効果に基づく行動を行うことは困難であることが実証された。

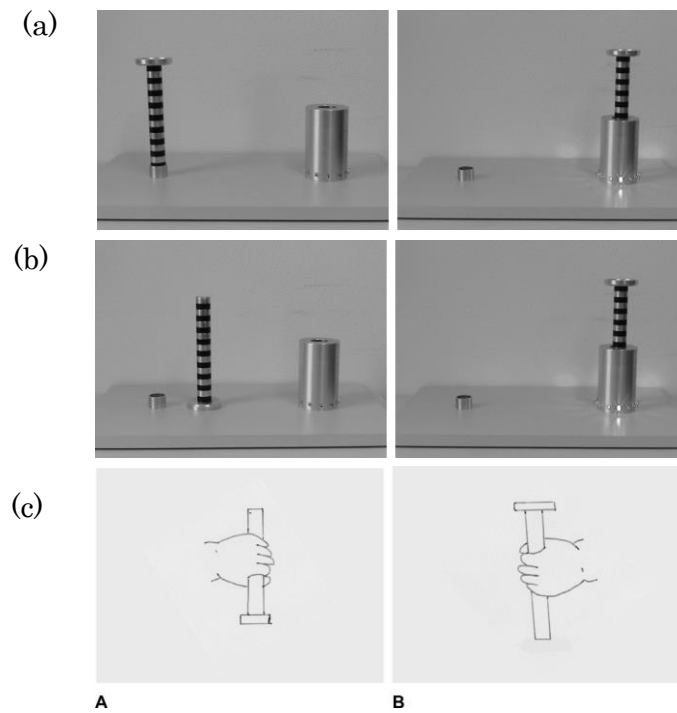


図4 垂直の棒を垂直にトランスポートする課題

(a) リングが上にある棒をホルダーに差し込む場合.

End-state 効果に基づく行動は(c-右)になる.

(b) リングが下にある棒を 180 度回転させてホルダーに差し込む場合.

End-state 効果に基づく行動は(c-左)になる.

(Kudsen et al. (2012)より引用)

1.3 目標物の移動に回転動作を含む課題 (Handle Rotation 課題)

前節で述べたように、棒を用いた課題では、End-state 効果に基づく行動のバリエーションが2種類となり、コップを用いた課題に比べてバリエーションが増えた。棒を用いた課題では、上手で持つ行動と下手で持つ行動のどちらが End-state 効果に基づく行動になるのかは、文脈によって切り替わった。ここで、End-state 効果に基づく行動を決定づける文脈のバリエーションをより多岐に増やした課題として、目標物の移動に回転を伴う動作を含む課題がある。Wunch らはレビュー論文において、この課題を Handle Rotation 課題と分類した。この Handle Rotation 課題を代表するものとして、ナイフ形玩具を用いた実験がある (Craje et al., 2010 ;

Jongbloed-Perebroom et al., 2013). この課題では、図 5a のように、ナイフを 6 方向のいずれかに置くことで、End-state 効果に基づく行動がどこで切り替わるのかが、より複雑でわかりにくい課題となっている。こうした設定をすることにより、単に「End-state 効果に基づく行動をしたか」というパーセンテージのデータだけでなく、具体的にどのような取り方をしたのか、といった動作の質的な側面にまでアプローチすることができるようになる。本研究においてナイフ形玩具を用いて実験を行う理由は、こうした課題の特性を生かすためである。以下では、ナイフ形玩具を用いて脳性まひ児のリハビリ効果を検証した Craje et al. (2010) の研究を説明する。この研究は、2 つの有意義な結果を導いた。

Craje et al. (2010) は脳性まひ児の動作プランニングを改善することを目的とし、図 5a のような木製のナイフ形玩具と箱を用いて実験を試みた。実験課題は、図 5a のように 6 方向のいずれかの向きに置かれたナイフ形玩具の柄の部分を取り、箱の差し込み穴に差し込むというものである。実験対象者はさまざまな角度に置かれたナイフ形玩具を箱に差し込むことが求められるが、その内の 2 方向はナイフ形玩具の柄の部分が利き手の反対側に置かれるため、操作が窮屈な位置となっている。この 2 方向の位置において、差し込む際に快適な姿勢となるように、ナイフ形玩具をつかむ姿勢を窮屈なものに変えられるかに基づき、End-state 効果に基づく行動がとれるのかを検証した (図 5b)。対象者は 3～6 歳の脳性まひ児と健常児とし、脳性まひ児は障害の少ない側の手で、健常児は利き手でナイフ形玩具の操作をした。また、脳性まひ児に対しては、リハビリ効果を見るため、1 回目の実験後、8 週間、まひのある手を動かす介入課題を行った。その後再度ナイフ形玩具を用いた実験課題を行い、介入前後の動作プランニングの違いについて検証した。

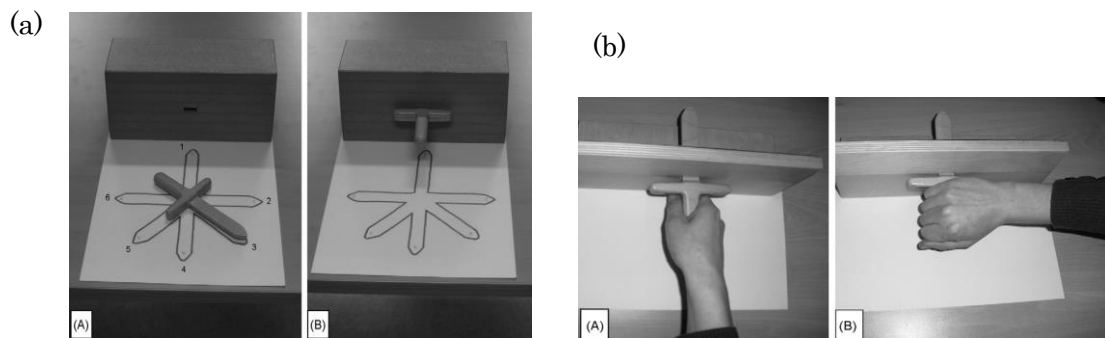


図5 ナイフ形玩具を用いた End-state 効果に関する研究

- (a) 実験で用いた木製のナイフ形玩具と箱（左）．ナイフを置く位置は6方向に設定された（右）．
- (b) 左：End-state 効果に基づく行動が認められる姿勢（最終動作が快適な状態）
 右：End-state 効果に基づく行動が認められない姿勢（最終動作が窮屈である状態）
 （Craje et al. (2010)より引用）

その結果、脳性まひ児の行動について、介入前後で比較したものは図 6a である．このグラフは、縦軸に End-state 効果に基づく行動の割合を示している．このグラフが示すように、窮屈な姿勢を必要とする critical conditions における End-state 効果に基づく行動の出現割合を比較したところ、介入後（post）は介入前（post）に比べ、先を見越して行動する割合が有意に上がっていることがわかった．この結果より、ナイフ形玩具を用いた課題が脳性まひ児のリハビリに应用できる可能性が示された．

次に、脳性まひ児と健常児の End-state 効果に基づく行動の出現割合を比較したものが図 6b である．その結果、健常児のグループは、脳性まひ児のグループに比べて End-state 効果に基づく行動の出現割合が有意に高かった．また、健常児のグループにおいては、年齢が上がるにつれて End-state 効果に基づく行動の出現割合も高くなることが示された．

以上より、①ナイフ形玩具を用いた実験系が、臨床現場でリハビリ効果の指標として応用できること、②子供の **End-state** 効果に基づく行動を検証する新たな装置として有用であること、という 2 つのことが示唆された。

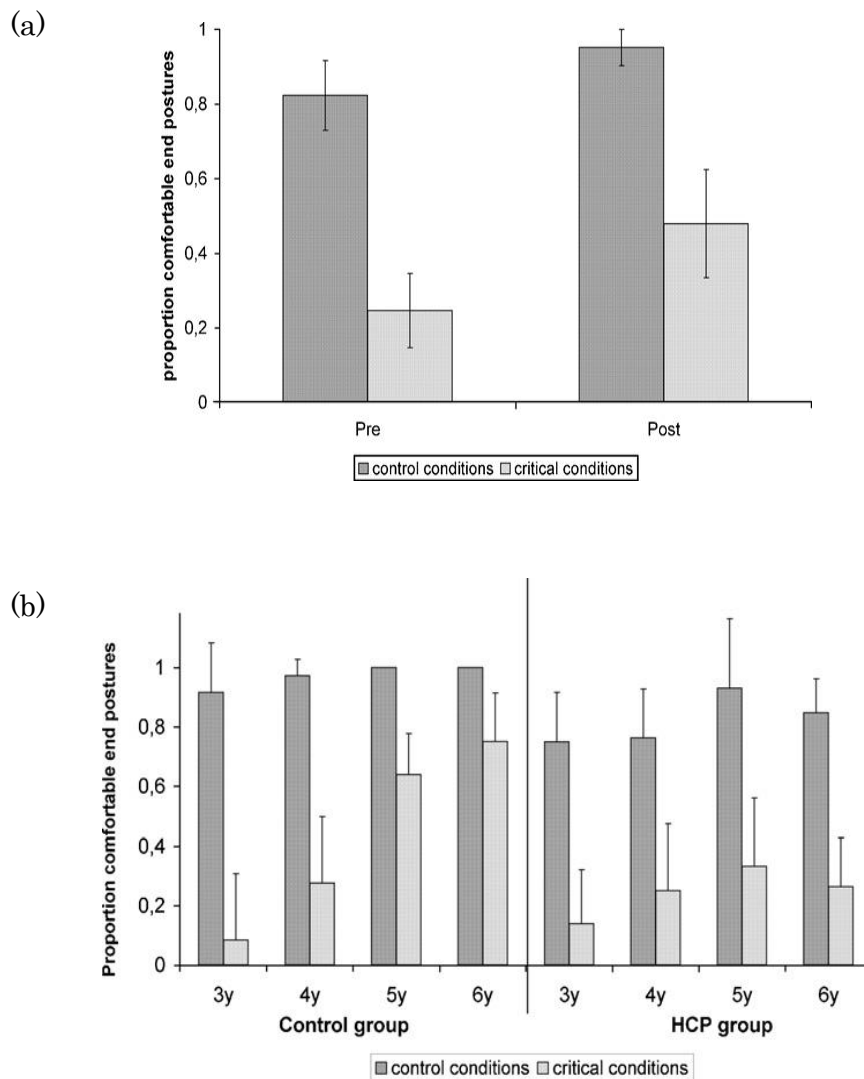


図 6 Craje et al. (2010)の研究結果

- (a) 脳性まひ児のグループにおける介入前後の **End-state** 効果に基づく行動の割合
 (b) 脳性まひ児グループ (HCP group) と健常児グループ (Control group) における、年齢ごとの **End-state** 効果に基づく行動の割合

第2節 ナイフ形玩具を用いた End-state 効果に基づく行動の研究

第1節において、End-state 効果に基づく行動に関する知見と、研究概要について説明した。本実験では Craje et al. (2010) により実際に臨床現場で役立てられツールであることが証明された、ナイフ形玩具を用いて End-state 効果に基づく行動を検証したいと考える。本節ではナイフ形玩具を用いて健常児を対象に End-state 効果を検証した Jongloed-prebroom et al. (2013) についてレビューし、本研究における研究背景を説明する。

End-state 効果に基づく行動の獲得時期を検証するため、Jongloed-Prebroom らは独自の装置を用いて実験を行った。装置は Craje et al. (2010)と同様に、図 7a のような木製のナイフ形玩具と箱を用いた。課題は、机上に置かれたナイフ形玩具の柄の部分をつかみ、それを箱の差込み口に差し込むというものである。机上有ナイフ型玩具の初期位置（6 方向）が描かれた配置シートが設置されており、ナイフ形玩具は、刃が番号に向くように置かれるものとした（図 7b）。この実験では、6 方向あるうちの 2 方向（position2, 3）は右利きの対象者にとって取りにくい位置（柄の部分が左側に置かれるため）となっているため、critical position とし、それ以外の位置（position1. 4. 5. 6）を control position とした。実験手順は、ナイフ形玩具の回転を必要としない位置である position1 で練習試行を 1 試行行い、その後、6 方向についてそれぞれ 3 試行ずつランダムに行った。

Critical position では、つかみやすさと差し込みやすさが一致しないため、初期動作または最終動作で窮屈な動作が必要となる。本実験では、差し込む際の姿勢（最終動作）を快適にするために、つかむ際の姿勢（初期動作）を窮屈に設定できるかで End-state 効果に基づく行動であるかを判断し、子供を対象に実験検討した。対象者は 3 歳から 10 歳の子供とし、計 351 人に対し実験を行った。

End-state 効果に基づく行動の有無は、ナイフ形玩具を箱に差し込むときの手の形で判断した。解析においては差し込んだ時に順手（親指を前方にナイフ形玩具

を差し込む姿勢) になっているものを **End-state** 効果に基づく反応, 逆手 (手の小指側側面が前方にナイフ形玩具をつかんでいる姿勢) になっているものを先読みのできない反応とした (図 5b).

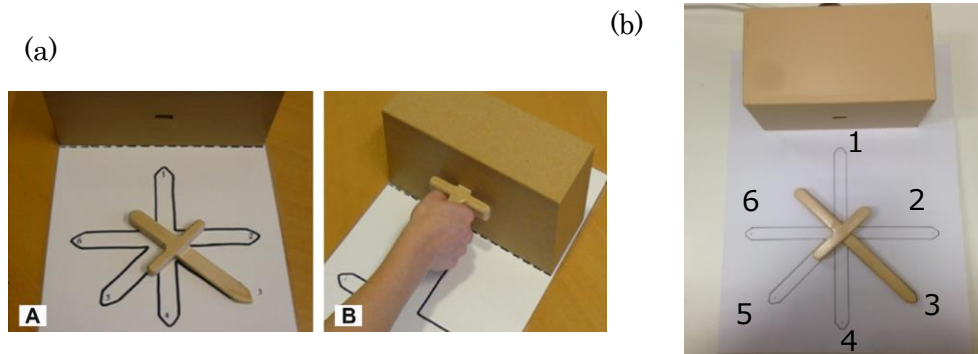


図 7 Jongloed-prebroom et al. (2013)の研究

(a)使用した実験装置

(b)ナイフ形玩具を置く位置が記された配置シート(6方向に設定されている)
(Jongloed-prebroom et al. (2013)より引用)

その結果, 各年齢における **End-state** 効果に基づく行動の出現割合は図 8 のようになった. **Control position** ではほぼ 100%が最終動作で順手を示すのに対し, **critical position** ではその値が低くなった. これはすべての年齢で, **critical position** が **control position** に比べて窮屈な姿勢であったことを証明した. また, 最年少である 3 歳児は, 初期動作を窮屈にしても最終動作を快適にすることができたのは 20%程度であり, 70%以上の 3 歳児は先を見越して行動することができなかった. しかし, 年齢が上がるにつれて **End-state** 効果に基づく行動の出現割合が高くなり, 10 歳では 60%もの子供が **End-state** 効果に基づく行動を示した.

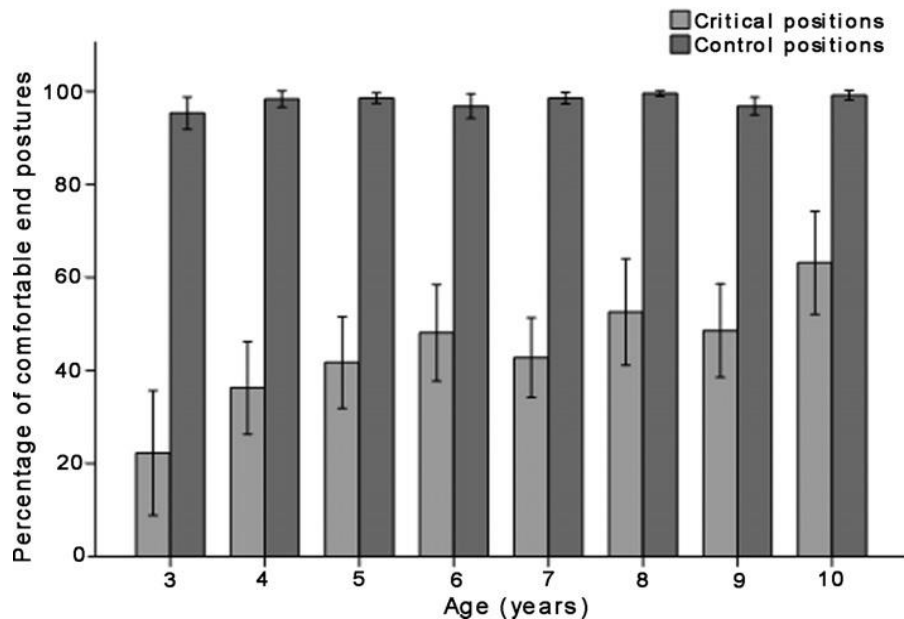


図8 Jongbloed-prebroom et al. (2013)の結果

横軸に年齢，縦軸に End-state 効果の割合を示す．

(3 歳児：21%，4 歳児：35%，5 歳児：41%，6 歳児：50%，
7 歳児：42%，8 歳児：55%，9 歳児：50%，10 歳児：62%)

第3章 問題の所在と研究方法

第2章にて本研究のひな形となる Jongbloed-Perebroom et al. (2013) について説明した．本章では先行研究における問題の所在と、それらを踏まえて行った実験1の結果を述べる．

第1節 先行研究の問題の所在

Jongbloed-Perebroom et al. (2013) により 3～10 歳では、年齢が上がるにつれて先を見越して動作する能力が向上することが示された．しかし、ナイフ形玩具を用いて人間の先読み能力の議論を発展させていくためには、2 点の検討点があると考えられる．

1 点目は、10 歳以降の先読み能力の推移についてである。先行研究では 10 歳で 60% が End-state 効果に基づく行動を取ることが示されたが、10 歳以降ではどのような推移をたどるのであろうか。Jongbloed-Perebroom et al. (2013) では成人を対象として研究が行われていない。このため、「10 歳で 60%」という出現割合が、「成人に比べれば未だ成長の過程にある」ことを示唆するのか、それとも「10 歳児ですでに成人と同程度の出現割合であり、なんらかの理由で、成人であっても 100% の出現割合とならない」ことを示唆するのが明確ではない。そこで子供に加えて健常成人も対象として実験を行い、子供と成人を比較する必要がある。

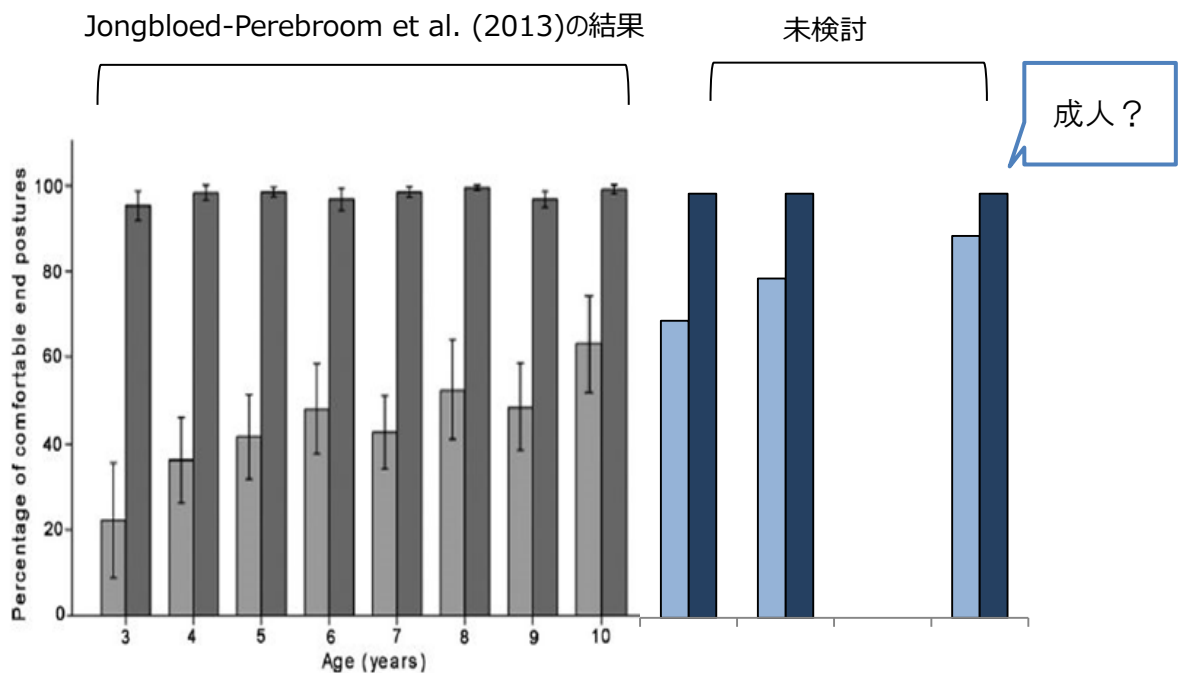


図 9 Jongbloed-Perebroom et al. (2013)から推測される年齢と

End-state 効果に基づく行動の出現割合の関係

図 8 のグラフからは 10 歳以降における End-state 効果に基づく行動の出現割合を推測することができない。

2 点目は，“生涯発達の側面”に着目する意義である．これまで，End-state 効果に基づく行動に関する研究は子供の発達の側面を中心に検討されてきた．こうした研究の背景には，「子供時代に End-state 効果に基づく行動を身につけると，その能力は生涯にわたって保持される」という前提があるように思われる．しかしながら，一般に加齢に伴って様々な認知行動能力が低下することを考えても，高齢者が若年者と同じように End-state 効果に基づく行動をとれるかどうかについては，検討の余地がある．

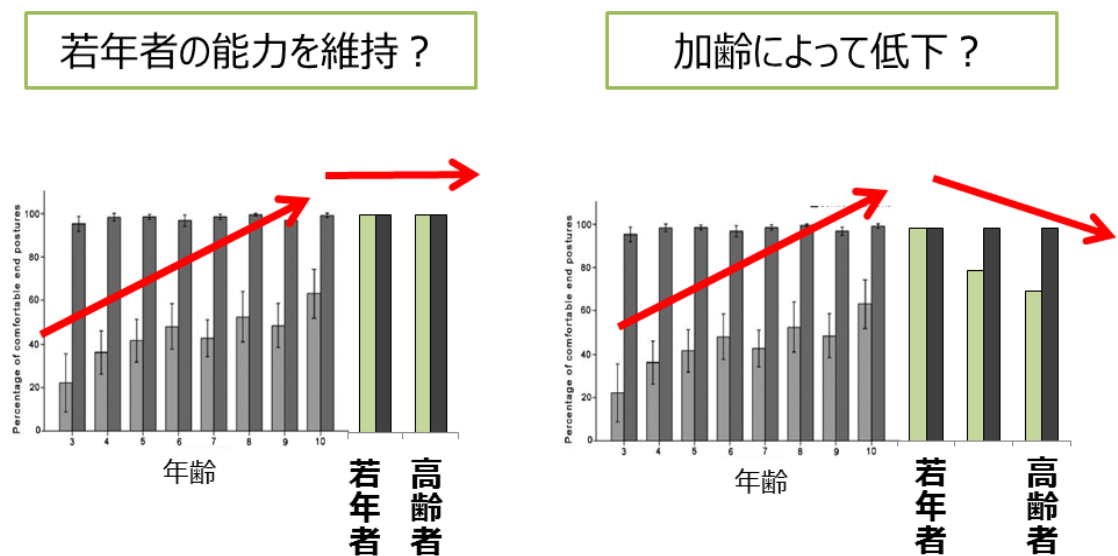


図 10 一度獲得された先読み能力がどのように推移するかを予測したグラフ
先読み能力を獲得後、若年者の能力を維持するか（左），加齢に伴い低下していくのか（右）を予測したグラフ

実際，歩行研究においては，高齢者の先読み能力が若年者に比べて低下しているという指摘がある（Yamada et al., 2012）．Yamada et al は，高齢者と健常若年者を対象に歩行中の視線行動を計測することで，歩行中の先読み能力について検討

した。歩行中に何歩先を見ているのかを評価するため、マルチ・ターゲット・ステッピング課題を用いた。マルチ・ターゲット・ステッピング課題では、10mの直線歩行路に3色の色ターゲット（白，黄，赤，10cm四方の正方形）を幅1mの通路内に均等に配置し、これを15列配置したマットを使用した（図11）。実験対象者は、マット上で、指定された色（たとえば白）をたどって歩くことが求められる。その結果、健常若年者はおよそ3個先のターゲットに視線を向けて歩くのに対して、転倒リスクの高い高齢者は1個先(足元)のターゲットに視線を落とし歩くことがわかった。この結果は、若年者は先を見越して予期的に行動することができるが、高齢者は目先の情報を優先して行動しており先読み能力が低下している可能性を示唆した。

このような知見を考慮すると、End-state 効果に関しても、高齢者を対象として実験を行うことで、高齢者が若年者と同程度に End-state 効果に基づく行動をとるのか、それとも加齢に伴って End-state 効果に基づく行動がとれなくなるのかについて、検証する価値があると考えた。

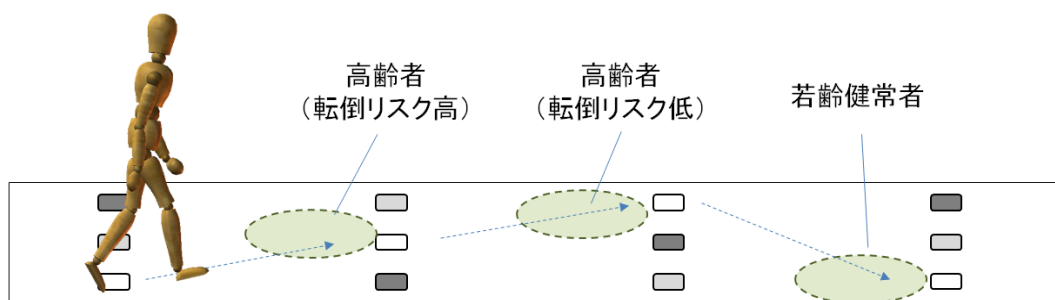


図11 マルチ・ターゲット・ステッピング課題を用いた高齢者歩行の研究

3色のターゲットが描かれたマット上で、指定された色のターゲット上を歩く課題を高齢者（転倒リスクの高いグループ，転倒リスクの低いグループ）と若年者を対象に行い、歩行中の視線行動を測定した。

第2節 実験1

実験1では前章で解説した Jongbloed-Perebroom et al. (2013) に基づき、子供・若年者・高齢者を対象に実験を行い、各参加者グループの End-state 効果に基づく行動の出現割合を測定・比較した。子供は発達段階に応じて、6～8 歳児および 9～10 歳児の 2 グループに分けた。

すべての対象者には文書及び口頭により実験概要・実験手順等を説明し、インフォームドコンセントを得た。子供の対象者については、保護者に対して実験の説明を行い、保護者の同意を得た上で、対象者本人にも口頭で同意を得た。実験の様子は参加者の同意の元で、市販のビデオカメラで撮影した。

2.1 方法

2.1.1 実験参加者

6～8 歳児 19 名（男性 8 名，女性 11 名，平均年齢 6.95 ± 0.91 歳），9～10 歳児（男性 8 名，女性 11 名，平均年齢 9.32 ± 0.48 歳），若年者 25 名（男性 12 名，女性 13 名，平均年齢 32.6 ± 8.28 歳），高齢者 21 名（男性 12 名，女性 9 名，平均年齢 73.5 ± 3.8 歳）であった。

2.1.2 実験装置

Jongbloed-Perebroom et al. (2013) の実験装置を再現した，木製のナイフ形玩具と箱を用いた。ナイフ形玩具は，長さ 26cm（うち 刃 15cm，柄 10cm）・幅 12cm・高さ 2cm（刃の部分は 0.5cm）であった。箱は，縦 15.5cm・横 16.3cm・高さ 15.5cm のものを用い，側面の中心にナイフを差し込む穴として，2.2cm×1cm の穴を設定した（図 12a）。また，図 12b の配置シートを使用し，6 方向の初期位置を統制した。

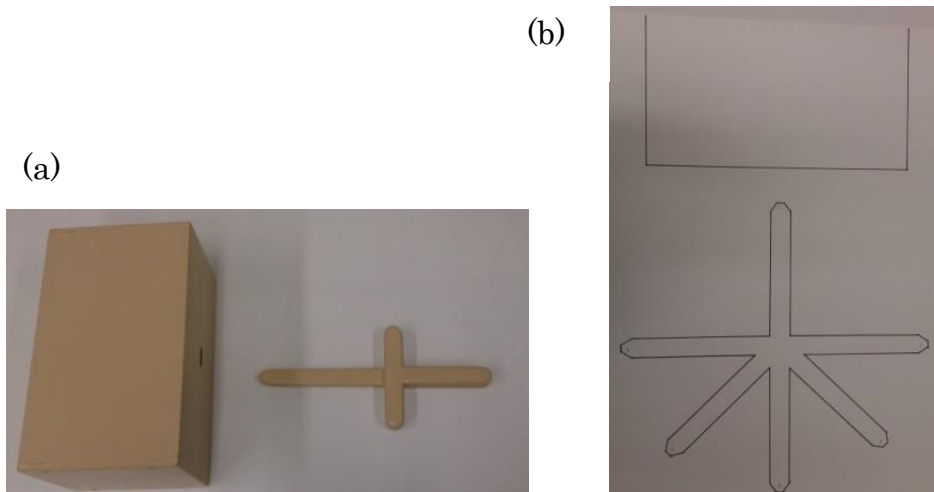


図 12 実験 1 で使用した実験装置

- (a) Jongbloed-Perebroom et al. (2013)の実験装置を再現した木製のナイフ形玩具と箱
 (b) ナイフ形玩具の初期位置が記された配置シート（6 方向に設定されている）

2.1.3 実験課題

ナイフ形玩具および箱は机の上に置かれ、参加者は机前に用意された椅子に座り、座位姿勢で実験を行った。課題として、対象者は 6 方向のいずれかの向きに置かれたナイフ形玩具の柄の部分をつかみ、それを箱の差し込み口に差し込むという極めて単純な課題である。課題を遂行するにあたり、参加者は①利き手で操作すること、②ナイフ形玩具を持ち替えたり裏返したりしないこと、の 2 点が求められた。

2.1.4 実験手続き

Jongbloed-Perebroom et al. (2013) に基づき、最初の 1 試行を、ナイフ形玩具の回転を必要としない位置である position1 で行い、練習試行とした。練習後、配置シートに設定された 6 方向を 3 試行ずつランダムに行った。試行の順番については参加者間でカウンターバランスをとった。途中で持ち替えや裏返しが見られた試

行については、注意後、再度同じ試行を行った。

2.1.5 分析方法

実験中に撮影したビデオカメラにおいて、各試行の最終動作における手の形を評価した。Jongbloed-Perebroom et al. (2013), Craje et al. (2010)と同様に、差し込む際に順手となっているもの（順手反応）を“End-state 効果に基づく行動”とし、逆手になっているもの（逆手反応）を“先読みのできない反応”とした。また、ナイフ形玩具の初期位置についても先行研究と同様に、position2, 3 を critical position, position1 ,4, 5, 6 を control position とした（図 13a）。以上を踏まえ、以下 i , ii について End-state 効果に基づく行動の出現割合を検証した。

- i) Critical position と control position での順手反応の割合を比較した。先行研究と同様に、独立変数を参加者グループ（6～8 歳児、9～10 歳児、若年者、高齢者）、ナイフ形玩具の初期位置（critical position / control position）とし、従属変数は順手反応の割合とした。
- ii) ビデオ解析において、critical position (position2, 3)で順手反応を示す場合に、2 種類の反応方法が取られることがわかった。1 つ目はナイフ形玩具をつかむ際、手首を親指側にひねってナイフ形玩具をつかみ、順手で差し込む方略（【橈屈反応】とする、図 13b-左）であり、2 つ目は手首を小指側にひねってナイフ形玩具をつかみ、順手で差し込む方略（【尺屈反応】とする、図 13b-右）である。この 2 つの初期動作の違いと位置に関連があるのかを検証するため、2 要因の分散分析を行った。独立変数を初期位置（position2, 3）、反応方法の違いとし、従属変数を順手反応の割合とした。

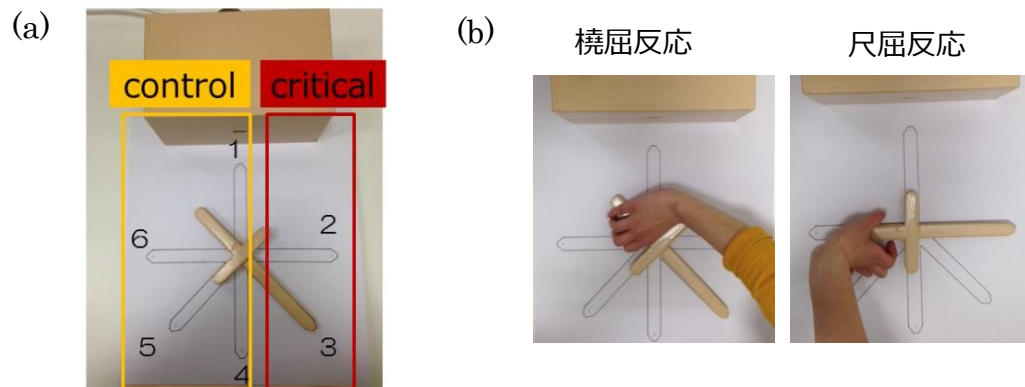


図 13 実験 1 の分析方法の説明

- (a) position 2, 3 を critical position, position 1, 4, 5, 6 を control position とした.
 (b) critical position で順手反応を示す場合の反応方法の違い

2.2 結果

2.2.1 i) 順手反応の割合

Critical position と control position における順手反応の割合は図 14 の通りである. 2 要因分散分析の結果, すべての参加者グループで初期位置 (critical position / control position) の主効果がみられた ($F(3, 44)=57.11, p<.001$). その他, 有意な主効果及び交互作用はみられなかった.

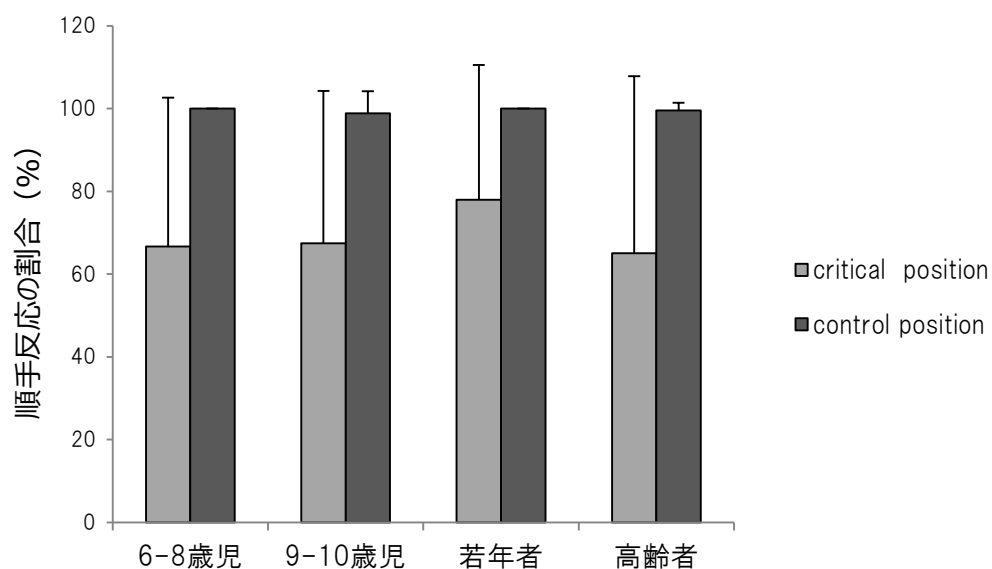


図 14 critical position と control position における順手反応の割合

2.2.2 ii) Critical position における反応方法の違い

Position2・position3 の 2 つの位置と初期動作の反応方法（機屈反応・尺屈反応）の関係は図 15 のようになった。すべての参加者グループにおいて position2 では尺屈反応をとり，position3 では機屈反応を取ることが統計的に有意であった。

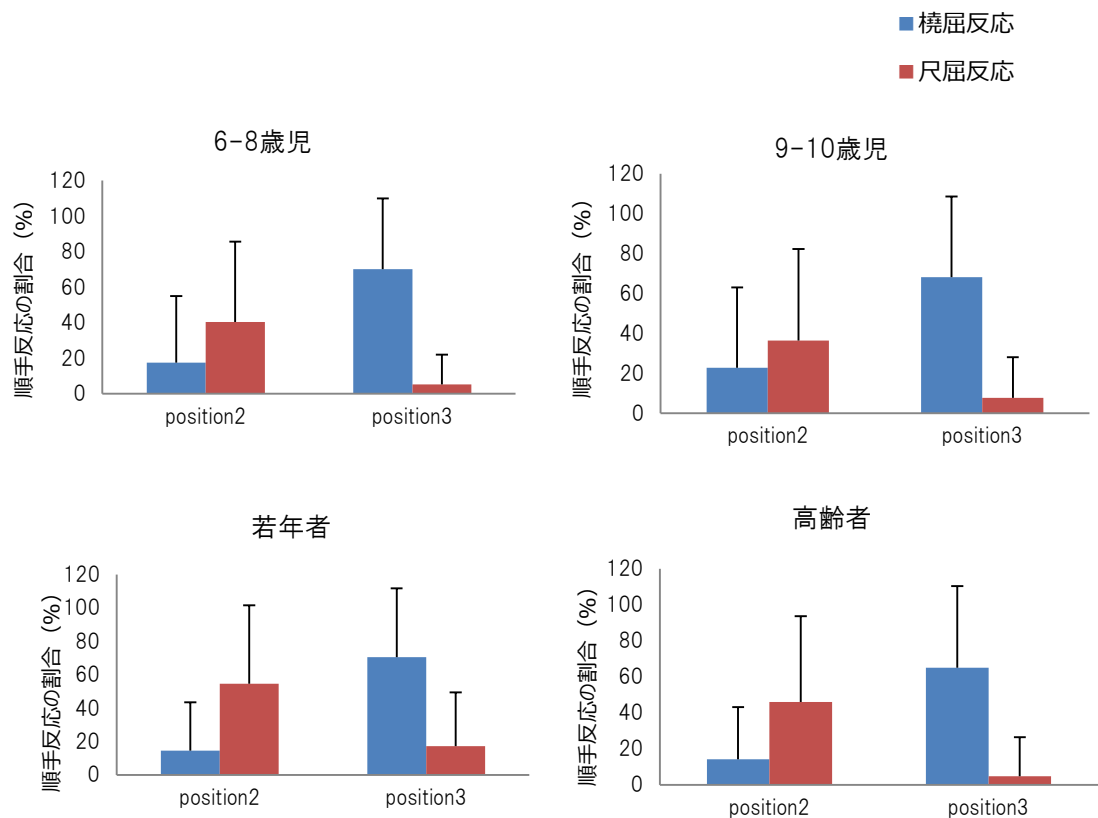


図 15 Critical position における反応方法の違いの結果

2.3 考察

順手反応の割合（図 14）によると，critical position における順手反応の出現割合は，参加者グループ間で有意差が見られなかった ($F(3, 83)=0.59$ n.s.). これにより，成人であっても子供と同等に逆手反応を示すことがわかり，先行知見における 10 歳児の値は「成人と比べた未成熟度」を示すのではなく，成人であっても積極的に逆手反応を選択する可能性が示唆された。

また，第 2 の結果として，critical position において順手で差し込む場合であっても 45° という回転角度の違いが初期動作の設定に明確な影響を及ぼすことが明らかになった。この初期動作の設定行動を参加者グループ間で比較したところ，有

意差は見られなかった。この結果より、子供であっても成人と同じ初期動作の調整能力を備えることが明らかになった。

以上より、実験 1 を通して、ナイフ形玩具を用いた **Handle Rotation** 課題において、子供と成人は同じ行動を示し、10 歳児は **End-state** 効果に基づく行動をとるに十分に成長を遂げていることが示唆された。

また、本実験では、高齢者は歩行機能が低下することが **Yamada et al. (2012)** により報告されていることを受け、加齢により、日常動作に関する認知機能も低下するのかにについて明らかにすることも目的の 1 つとした。そこで、ナイフ形玩具を用いた課題において、高齢者を参加対象に加え、子供から高齢者の認知機能の変化を検証した。その結果、参加者グループ間で有意差は見られず、高齢者であっても若年者と同等の **End-state** 効果に基づく行動の生起率を示した。これにより、ナイフ形玩具課題を用いて検証した場合、日常動作に関する認知機能に関して、一度獲得された先読み能力は年を重ねても維持されること示された。この結果を受け、実験 2 以降では、高齢者は若年成人と同じ行動を示すこととみなし、本研究の研究対象には含めず、成人と子供の違いにフォーカスを置いて検討することとした。

第3節 実験2

実験1では、ナイフ形玩具を用いた **Handle Rotation** 課題において、成人の順手反応が 100%にならないことが明らかになった。この結果から、逆手反応それ自体は、必ずしも発達途上であることを意味しておらず、むしろ一部の対象者は、逆手反応を快適な差し込み動作と選択していた可能性が示唆された。そこで実験2では、第1の目的として、こうした考え方の妥当性を検証するための実験を行うこととした。本実験では、実験1において **critical position**（すなわち、**End-state** 効果に基づき初期動作を調整するのに発達的な影響がみられると考えられる位置）を中心とした4つの位置について、順手反応、逆手反応での差し込み（ただし順手反応については、初期動作が橈屈と尺屈で2種類あるため、全3種類の差し込み動作）を体験してもらい、どの反応が操作しやすかったかについて、主観的に評価してもらった。これにより、差し込み動作が順手・逆手に関わらず、各自が最も快適と評価する反応を選択していたという考え方が正しいかどうかについて検証した。第2の目的は、回転を伴う動作を行う際の、成人の行動特性を明らかにすることである。過去の先行知見により、**End-state** 効果に基づく行動を阻害する要因として、①非利き手の使用（Manoel & Moreira, 2005）②履歴効果による干渉（Rostft et al., 2002; Weigelt et al., 2009）が報告されている。「非利き手の使用」というのは、普段使い慣れない非利き手での操作は、利き手に比べて **End-state** 効果に基づく行動の生起率が低くなるというものである。「履歴効果による干渉」というのは、ランダムに条件設定をされた場合は自分が“快適”だと思う行動をとるが、同じ動作を繰り返すように条件設定された場合、自分の意思に沿った動作の選択ではなく、前の動作につられた行動を取ってしまうというものである。これら2つの要因は、子供を対象とした発達研究で数多く報告されているが、成人では検証されていない。成人がこの阻害要因による影響を受けないことが確認された場合、これらをより精密な子供の発達検査に使用できることが考えられる。そこで、

「非利き手の使用」「履歴効果による干渉」の2つの阻害要因に着目し、成人の行動特性を評価することとした。この第2の目的を達成するため、実験2ではナイフの初期位置について、実験1よりもさらに細かくして ($45^{\circ} \rightarrow 15^{\circ}$)、2つの要因の影響を詳細に数値化できるようにした。

3.1 方法

3.1.1 実験参加者

健常若年者12名（男性5名、女性7名、平均年齢 30 ± 6.18 歳）であった。参加者は右利きの者を採用した。

3.1.2 実験装置

実験1と同一の木製ナイフ形玩具・箱を使用した。条件は 360° を 15° ずつに分割し、24方向を設定した（図16a）。その際、回転角度が 15° となる位置を1番とし、回転角度が増える方向に、順に番号付けを行った（図16b）。

また、実験装置として、幅100cm・奥行60cm・高さ71cmの机、高さ調節が可能な座部幅39cm・座部奥行43cm・全高90cm・座面高さ43.5~55cmの椅子を使用した（図17）。さらに、姿勢を固定するためのベルトを椅子に装着した。

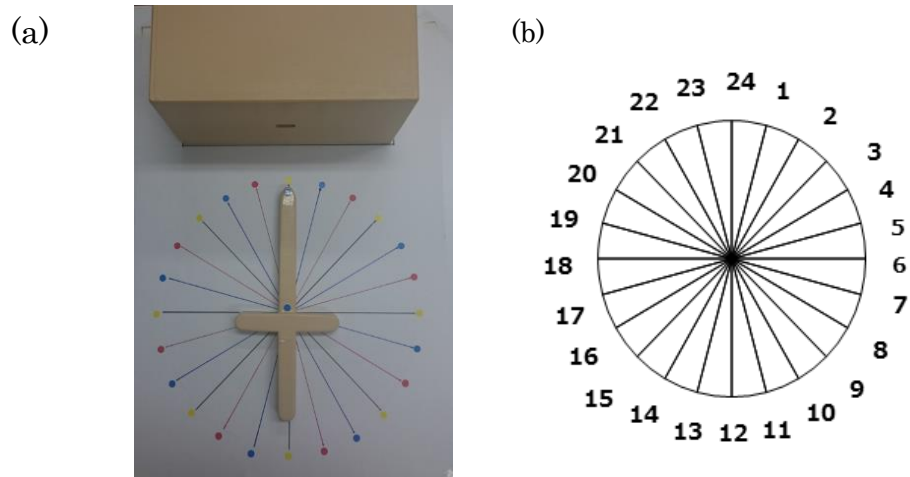


図 16 実験 2 におけるナイフ形玩具の初期位置

(a)初期位置が記された配置シート

(b)初期位置の番号付け



図 17 実験 2 で使用した机と椅子

椅子の高さを参加者により調整した。

右図は高さ調節可能な椅子

3.1.3 実験課題

課題は、実際の動作を評価する「回転動作課題」、参加者に操作のしやすさを主観的に評価してもらう「主観評価課題」の2つを行った。「回転動作課題」は、24方向のいずれかの向きに置かれたナイフ形玩具の柄の部分をつかみ、前方の箱に差し込むというものである。参加者は①ナイフ形玩具の柄を、指先だけでつかむのではなく、すべての指で握りしめること②ナイフ形玩具を裏返さないこと、の2点が求められた。「主観評価課題」は、24方向のうち特定の4方向において、逆手反応と2種類の順手反応の計3種類の反応方法について、“動作全体としての操作のしやすさ”を主観的に評価してもらうというものである。4方向において、3種類の反応方法の操作のしやすさを7段階で点数付けした後、3種類の反応方法のうち一番操作しやすいと感じた反応を選択してもらった。

3.1.4 実験手続き

実験に先立ち、参加者の座高に合わせて、椅子の高さを調整した。調整に関しては、座高三角法（JIS S 1021）を採用し、「机の高さ－椅子の高さ（差尺）＝（参加者の座高の3分の1－1）cm」となるように椅子の高さを設定した（図18）。

その後、「回転動作課題」を行った。この課題は、ナイフ形玩具を時計回り・反時計回りに15°ずつ順々に設置し、それを差し込んでもらう課題である。右手・左手ともに時計回り条件・反時計回り条件を2試行ずつ実施し、計234試行を行った。操作手順としては、片方の手で時計回り（または反時計回り）で24方向を行ったあと、そのまま反対回りで24方向を行った。その後、操作する手を変え、同様の動作を行った。この一連の動作を2セット行った。課題中、片手で48試行（時計回り・反時計回りの計2周）を行うごとに、5分程度の休憩をとった。また、操作する手の順番（右手・左手）・回転方向の順番（時計回り・反時計回り）について、参加者間でカウンターバランスをとった。

次に、「主観評価課題」を行った。この課題は、24 方向のうち回転角度が 45°, 90°, 135°, 180°となる 4 方向において、3 種類の反応方法における操作のしやすさを主観的に評価してもらう課題である。評価対象とした位置は、右手では 3 番・6 番・9 番・12 番に該当し、左手では 21 番・18 番・15 番・12 番に該当した。評価する反応は、逆手で差し込む反応（以下、逆手反応）、つかむ際に橈屈を伴い、順手で差し込む反応（以下、橈屈反応）、つかむ際に尺屈を伴い、順手で差し込む反応（以下、尺屈反応）の 3 種類の反応方法とした。4 方向の位置で、3 種類の反応方法を体験してもらい、それぞれの反応方法における「動作全体を通しての操作のしやすさ」を 7 段階で評価してもらった（図 19）。最後に、3 種類の反応方法のうち一番操作しやすいと感じた反応を選択してもらった。操作手順としては、各位置において、実験者が反応方法の見本を見せた後、参加者に同様の動作を 3 試行行ってもらった。その間に、操作のしやすさについて、7 段階のうちどれに該当するかを検討してもらった。課題は、すべての参加者において右手で 4 方向の評価を行った後、左手で 4 方向の評価を行った。操作の順番は 45°, 90°, 135°, 180°の順で行うものと、180°, 135°, 90°, 45°の順で行うものの 2 グループを設定した。逆手反応・橈屈反応・尺屈反応の反応方法を行う順番について、参加者間でカウンターバランスをとった。

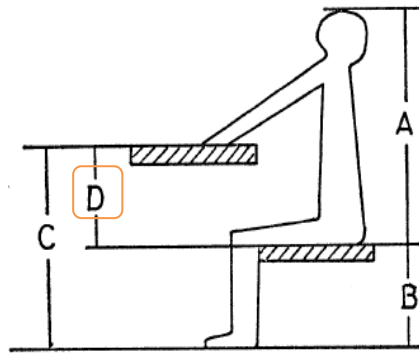


図 1. 椅子高さ, 机高さ, 差尺の定義

A: 座高 (cm)

B: 椅子高さ (cm) = 下腿長 - 1 (cm)

C: 机高さ (cm) = B + D

D: 差尺 (cm) = $A/3 - 1$ (cm)

図 18 座高三角法

机の高さと椅子の高さの差が差尺 (座高の高さ/3 - 1cm) となるように設定した.

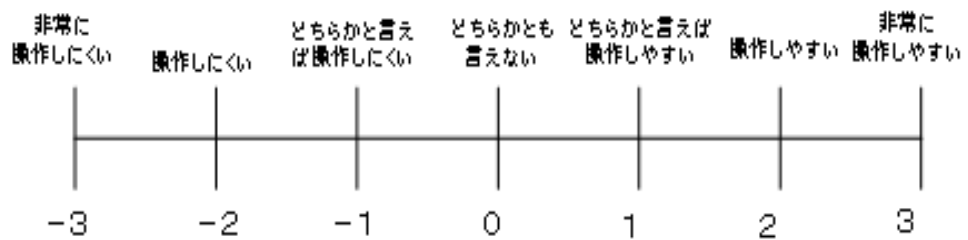


図 19 主観評価課題における評価基準

3.1.5 分析方法

回転動作課題については、実験中に撮影したビデオカメラにおいて、各試行の反応方法を評価した。右手・左手、時計回り・反時計回りの4つの条件に分けて解析した。従属変数は各回転条件における、逆手反応・橈屈反応・尺屈反応の出現割合とした。また、回転条件間の反応の出現率を比較するため、Mann-WhitneyのU検定を用いた。

主観評価課題については、参加者が「一番操作しやすい」と評価した反応の割合を算出した。従属変数は4方向の各位置における、逆手反応・橈屈反応・尺屈反応の出現割合とした。3種類の反応方法の出現割合を比較するため、CochraneのQ検定を用いた。また、4方向での3種類の反応方法を7段階で点数付けしたものについて、平均点を算出し、「一番操作しやすい」と評価したものと一貫性が得られるかを確認した。さらに、各自が「一番操作しやすい」と評価した反応を、実際の行動でどの程度選択していたかを算出した。従属変数は、「快適性に基づく行動」の出現率とし、1要因の分散分析を用いた。

3.2 結果

3.2.1 利き手・非利き手の比較

右手・左手における反応の出現率は図20の通りである。右手においては、回転角度が120°(8番)までは逆手反応の出現率が多く、その後橈屈反応に動作が切り替わっていた。次に、左手においては、回転角度が135°(15番)までは逆手反応の出現率が多く、その後橈屈反応に動作が切り替わっていた。この違いが統計的に有意となるかを検討するため、逆手反応の出現率を利き手・非利き手間で比較した。その結果、両者に有意差は認めなかった(Mann-Whitney U test, n.s.).

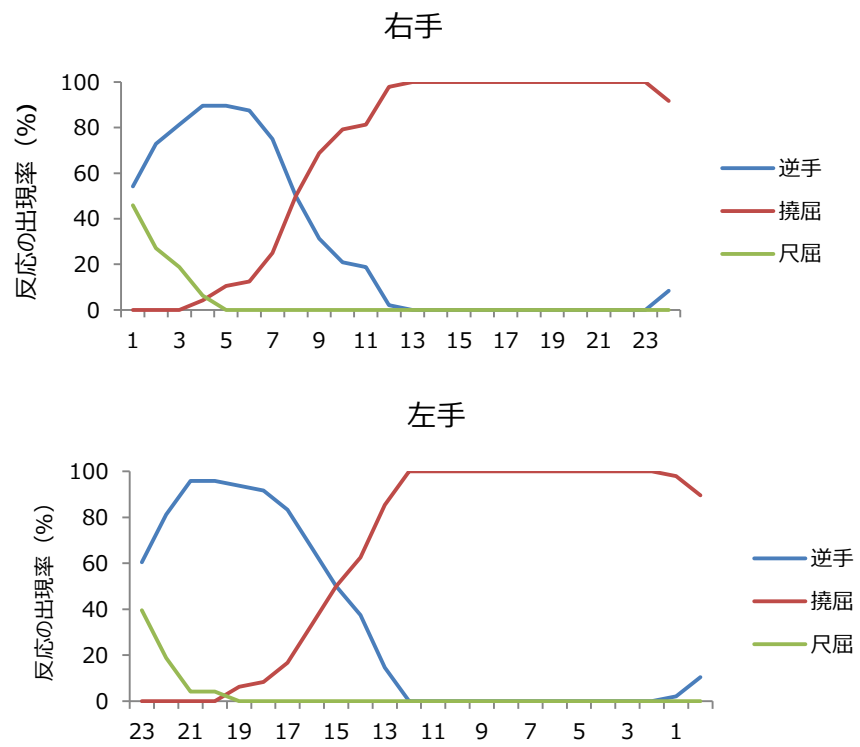


図 20 右手・左手における反応の出現率

3.2.2 履歴効果による干渉に関する比較

履歴効果による干渉を検証するため、各手において時計回り・反時計回りに分けて解析したものは図 21 の通りである。分析は、利き手・非利き手の結果と同様に、逆手反応と機屈反応の動作の切り替わりポイントを比較した。右手の時計回り条件では $120^{\circ}\sim 135^{\circ}$ の間、右手の反時計回り条件では $105^{\circ}\sim 120^{\circ}$ の間、左手の時計回り条件では 120° 、左手の反時計回り条件では 150° の位置で切り替わっていた（図 22）。右手の時計回り条件と左手の反時計回り条件が対応するため、図 22 のように、回転角度が大きくなる方向に回るもの、小さくなる方向に回るものに場合分けした。そこで、対応する回転条件において統計的に有意な差が見られるかを検討するため、逆手反応の出現率を比較した。その結果、「右手時計回り条件と右手反時計回り条件」「左手時計回り条件と左手反時計回り条件」「右手時計回り条件と左手反時計回り条件」「右手反時計回り条件と左手の時計回り条件」、すべての回転条件において、有意差は認めなかった(Mann-Whitney U test, n.s.).

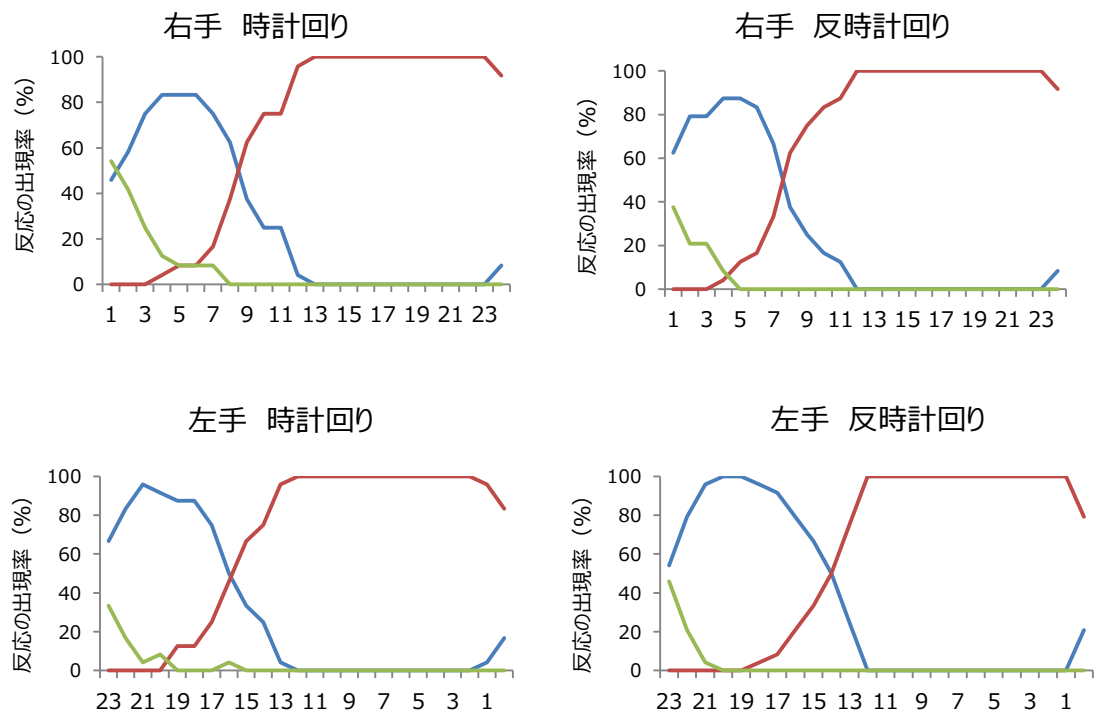






図 21 履歴効果による干渉に関する結果の比較

	0°→345°の方向		360°→15°の方向		
右手		時計回り 120°~135°		反時計回り 105°~120°	n.s
左手		反時計回り 150°		時計回り 120°	n.s
	n.s		n.s		

逆手反応の出現率 Mann -whitney U test

図 22 対応する回転条件ごとの比較

3.2.3 主観評価課題の結果

主観評価課題で設定した 4 方向の位置において、「一番操作しやすい」と評価した反応の割合は図 23 の通りである。横軸は、回転角度が 45°, 90°, 135°, 180° の順になるように示した。その結果、4 方向のうち、操作しやすいと選択した反応に違いがみられるかについて、Cochrane の Q 検定を行った。その結果、右手・左手ともに 4 つの位置条件間で有意差が見られた(右手: $Q=26.2$, $df=3.0$, $p<.001$, 左手: $Q=20.8$, $df=3.0$, $p<.001$)。次に、3 種類の反応方法について、7 段階評価したものの得点を図 24 に記した。その結果、左手の 135° (15 番) を除くすべての位置で、一番操作しやすいと評価した反応の結果と同様の傾向を示した。また、この 4 つの位置において、尺屈が操作しやすいと選択する参加者はいなかった。

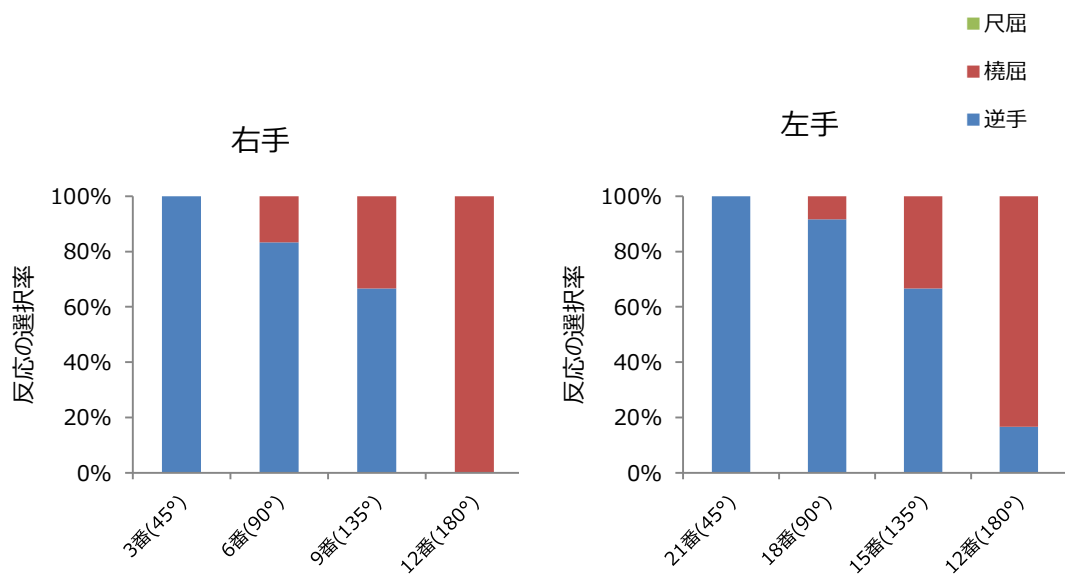


図 23 一番操作しやすいと評価した反応の割合

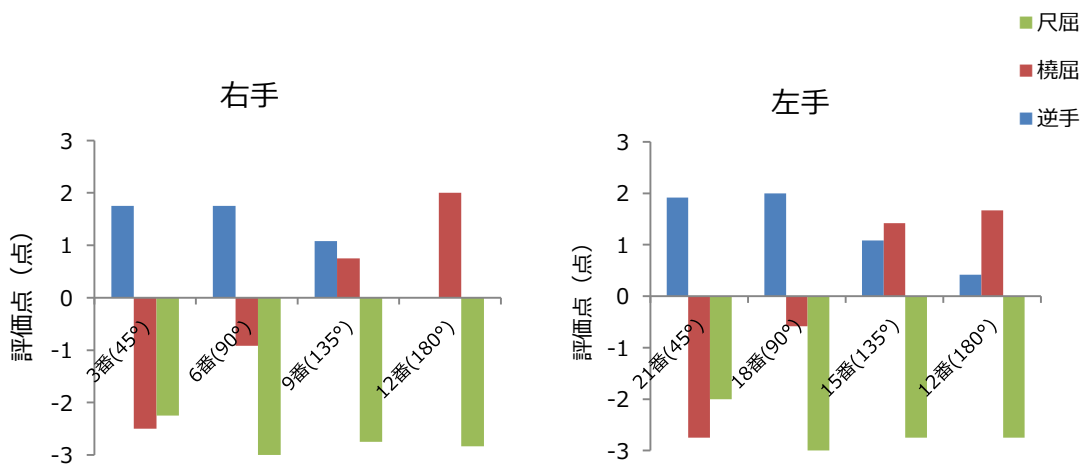


図 24 3種類の反応方法を7段階で評価した際の評価点の平均値

3.2.4 快適性に基づいた行動の割合

「一番操作しやすい」と評価した反応を実際を選択した割合は、図 25 の通りである。快適性に基づく行動の出現割合について、右手・左手に分けて 1 要因の分散分析をした。その結果、右手・左手ともに、4 方向のうち、回転角度が 135°の位置における快適性に基づく行動の割合が、他の位置に比べて有意に低くなることが明らかになった（右手： $F(3, 33)=3.02$ $p<.05$ ，左手：初期位置 $F(3, 33)=7.04$ $p<.001$ ）。

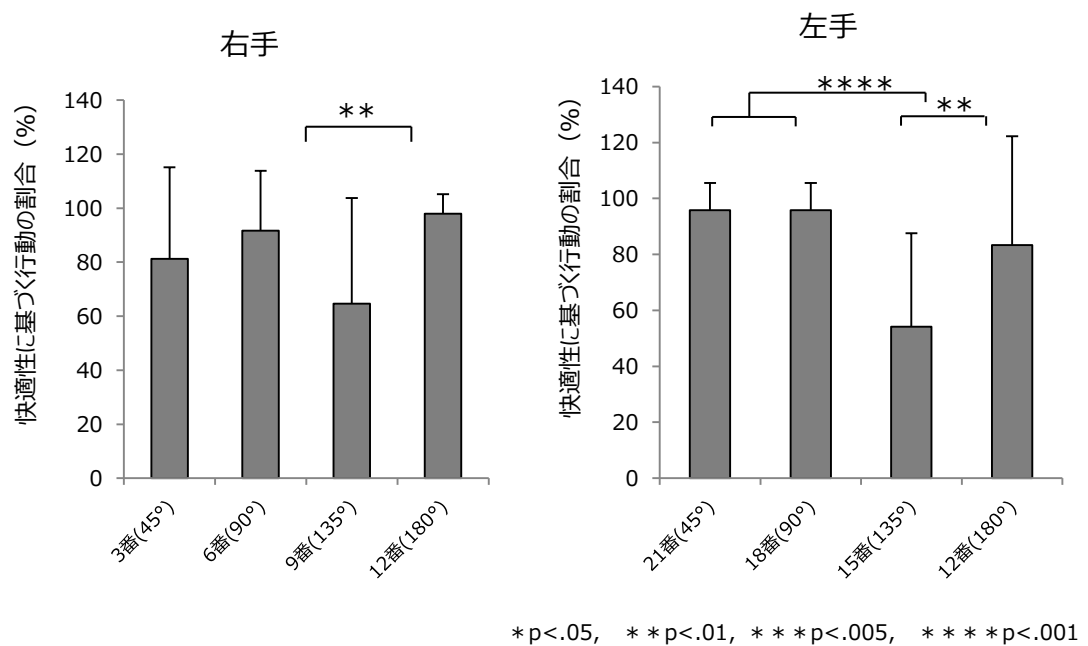


図 25 一番操作しやすいと評価した反応を選択した割合

3.4 考察

実験 2 では、第 1 の目的として、実験 1 で逆手反応を示した成人が、逆手反応を「快適」と判断した上で行動していたのかについて、主観評価課題を用いて検証した。主観評価課題においては、評価対象とする位置を、回転角度が 45°, 90°, 135°, 180°の 4 方向を設定し、それぞれの位置における操作のしやすさを評価した。回転角度が 90°, 135°の位置は、実験 1 における position2, position3 に対応した。その結果、実験 1 の critical position に対応する右手の 6 番・9 番において、6 番では 83%, 9 番では 67%が逆手反応を一番操作しやすいと評価した。さらに、左手での critical position に対応する左手の 18 番・15 番において、18 番では 92%, 15 番では 67%, が逆手反応を一番操作しやすいと評価した。以上の結果より、実験 1 において逆手反応を選択した成人は発達途上なのではなく、この反応を快適と判断した上でとった行動であったことが明らかになった。また、一番操作しやすいと評価した反応を、実際に選択した割合を比較した結果、135°の位置を除くすべての位置において、80%以上が自身の快適性に基づく行動を選択していたことが明らかになった。一方で、右手・左手ともに、135°の位置では他方向に比べて有意に低い結果となった。これは、回転動作課題の結果が示すように、動作の切り替わりが 135°の周辺に起こるため、動作選択に影響を及ぼしたことが考えられる。

次に、第 2 の目的として、成人の行動特性について、回転動作課題を行うことで検証した。測定項目として、これまでの発達研究において、「End-state 効果に基づく行動の阻害要因」になる事が報告されている 2 つの要因に着目した。第 1 の阻害要因である「非利き手の使用」について、右手・左手において回転角度ごとの反応の出現率を比較することで検証した。その結果、逆手反応と機屈反応の動作の切り替わりのポイントは、右手で 120°, 左手で 135°になることが明らかになった。ここで両者に 15°の違いが見られることがわかったが、逆手反応の出現率

を Mann-Whitney の U 検定で比較したところ、有意な差は認められなかった。次に、第 2 の阻害要因である「履歴効果による干渉」について、右手・左手の行動を時計回り条件・反時計回り条件に分けて解析することで行動の違いを検証した。その結果、対応する回転条件において「非利き手の使用」の場合と同様の解析を行ったところ、動作の切り替わりがポイントに $15^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 程度の違いが見られた。しかしながら、統計上有意な差は認められなかった。以上の結果から、2 つの阻害要因が成人の行動にもたらす影響をまとめると、「非利き手の使用」「履歴効果による干渉」は成人の行動を妨げる要因になるとは言えないことが明らかになった。

そこで、実験 3 では成人で行動の阻害を大きく受けないことが確認された「非利き手の使用」「履歴効果による干渉」に注目することとした。もしも、この 2 要因について成人で影響を受けず、子供で影響を受けることが確認された場合、これらがより精密な発達検査の指標になることが予想される。そこで、実験 3 では子供を対象に実験を行い、発達過程の子供が、「非利き手の使用」「履歴効果による干渉」にどの程度の影響を受けるかを検証することとした。

第4節 実験3

実験3では、実験2において成人を対象にして得られた結果に基づき、子供を対象にした実験を行うこととした。実験2の結果より、多くの成人参加者は、行動パターンに違いがあっても、参加者個人にとっての“快適な行動”を選択していることが明らかになった。また、「End-state 効果に基づく行動を阻害する要因」として報告されている2つの変数（非利き手の使用、履歴効果による干渉）の抵抗性について検証した結果、成人に対してはこうした要因が、統計上有意な影響を与えるわけではなかった。実験3では、6～8歳児および9～10歳児を対象として実験した場合（実験1と同じ対象年齢）、快適な行動の選択、および阻害要因の影響についてどのような結果が得られるかについて検討することとした。なお、対象児童の発達度合いを検討するために成人のデータと比較する場合には、実験2で測定した成人データを利用した。

4.1 方法

4.1.1 実験参加者

6～8歳児 11名（男性5名、女性6名、平均年齢 7.64 ± 0.67 歳）、9～10歳児 15名（男性10名、女性5名、平均年齢 9.53 ± 0.64 歳）であった。参加者は右利きの者を採用した。

4.1.2 実験装置

実験2と同一の実験環境、装置で実施した。

4.1.3 実験課題と実験手続き

実験2と同様に、2つの課題を実施した。（課題の詳細は実験2の方法を参照）

第 1 に、実際の動作を評価する「回転動作課題」、第 2 に、参加者に操作のしやすさを主観的に評価してもらう「主観評価課題」であった。ただし、子供の集中力および課題の理解のしやすさを考慮して、課題の試行数を減らすこと、ならびに主観的評価課題について簡便な形式で行うこととした。

「回転動作課題」は、24 方向のいずれかの向きに置かれたナイフ形玩具の柄の部分をつかみ、箱に差し込むというものであった。参加者は①ナイフ形玩具の柄を、指先だけでつかむのではなく、すべての指で握りしめること②ナイフ形玩具を裏返さないこと、の 2 点が求められた。実験 3 では子供を対象として実験を行うため、成人で 234 試行であったのを 72 試行に減らした。実験手順として、右手で時計回り・反時計回りを行ったあと、左手で反時計回りを 1 周ずつ行った。試行数は計 3 周・72 試行であった。1 周（24 試行）終わるごとに 5 分程度の休憩を設けた。課題の順番は、右手の回転方向について、時計回りから始めるものと反時計回りから始めるものの 2 グループを設けた。右手で 2 周（時計回り・反時計回り）行った後、左手の反時計回りを行った。

「主観評価課題」は、24 方向のうち 4 方向（回転角度が 45°, 90°, 135°, 180° となる位置）において、逆手反応・橈屈反応・尺屈反応の 3 種類の反応方法について、操作のしやすい反応を選択してもらうというものであった。評価対象とした位置は、右手では 3 番・6 番・9 番・12 番に該当し、左手では 21 番・18 番・15 番・12 番に該当した。各位置で、実験者は 3 種類の反応方法（逆手反応・橈屈反応・尺屈反応）を提示した。その後、参加者に 3 種類の反応方法のうち一番操作しやすいと感じる反応方法を口頭で選択してもらった。操作手順としては、すべての参加者において右手で 4 方向（45°, 90°, 135°, 180°の順）の評価を行った後、左手で 4 方向（45°, 90°, 135°, 180°の順）の評価を行った。3 種類の反応方法を提示する順番は、子供のわかりやすさを優先し、すべての位置で橈屈反応・尺屈反応・逆手反応の順番で行った。

4.1.4 分析方法

実験 2 と同様に、回転動作課題については、実験中に撮影したビデオカメラにおいて、各試行の反応方法を評価した。右手の時計回り・右手の反時計回り・左手の反時計回りの 3 つの条件に分けて解析した。従属変数は各回転条件における、逆手反応・橈屈反応・尺屈反応の出現割合とした。また、回転条件間の反応出現率を比較するため、Mann-Whitney の U 検定を用いた。

主観評価課題についても、実験 2 と同様の方法で分析した。まず、参加者が「一番操作しやすい」と評価した反応の割合を算出した。従属変数は 4 方向の各位置における、逆手反応・橈屈反応・尺屈反応の選択率とした。また、各自が「一番操作しやすい」と評価した反応を、実際の行動でどの程度選択していたかを算出した。従属変数は、「快適性に基づく行動」の出現率とし、6～8 歳児・9～10

歳児のグループにおいて 1 要因分散分析を用いた。さらに、参加者グループ間における快適性に基づく行動の割合を比較するため、独立変数を参加者グループ（6～8 歳児、9～10 歳児、成人）・初期位置（45°、90°、135°、180°）・操作する手（右手、左手）、従属変数を「快適性に基づく行動の割合」とし、3 要因分散分析をした。

4.2 結果

4.2.1 利き手・非利き手の比較

回転動作課題における反応の出現率は図 26 の通りである。非利き手の使用による影響を検証するため、右手の時計回り・左手の反時計回りについて逆手反応と橈屈反応の動作の切り替わりポイントを比較した（図 27）。その結果、6～8 歳児においては右手の時計回り条件では、回転角度が 135°（9 番）の位置、左手の反

時計回り条件では回転角度が 180° (12 番) の位置で切り替わっていた。この違いが統計的に有意となるかを検討するため、6～8 歳児における逆手反応の出現率を、利き手・非利き手間で比較した。その結果、両者に有意差は認めなかった (Mann-Whitney U test, n.s.). 次に、9～10 歳児においては右手の時計回り条件では、回転角度が 150° (10 番) の位置、左手の反時計回り条件では回転角度が 135° (13 番) の位置で切り替わっていた。この違いが統計的に有意となるかを検討するため、9～10 歳児における逆手反応の出現率を、右手の時計回り条件・左手の反時計回り条件間で比較した。その結果、両者に有意差は認めなかった (Mann-Whitney U test, n.s.).

4.2.2 履歴効果による干渉に関する比較

履歴効果による干渉の影響を検証するため、右手の時計回り・右手の反時計回りについて逆手反応と橈屈反応の動作の切り替わりの位置を比較した (図 28)。その結果、6～8 歳児においては右手時計回り条件では 135° (9 番)、右手反時計回り条件では 120° ～ 135° の間に動作が切り替わっていた。この違いが統計的に有意となるかを検討するため、6～8 歳児における逆手反応の出現率を、右手の時計回り条件・右手の反時計回り条件間で比較した。その結果、両者に有意差は認めなかった (Mann-Whitney U test, n.s.). 次に、9～10 歳においては右手の時計回り条件では 150° (10 番)、右手の反時計回り条件では 120° (8 番) の位置で動作が切り替わっていた。この違いが統計的に有意となるかを検討するため、9～10 歳児における逆手反応の出現率を、右手の時計回り条件・右手の反時計回り条件間で比較した。その結果、両者に有意差は認めなかった (Mann-Whitney U test, n.s.).

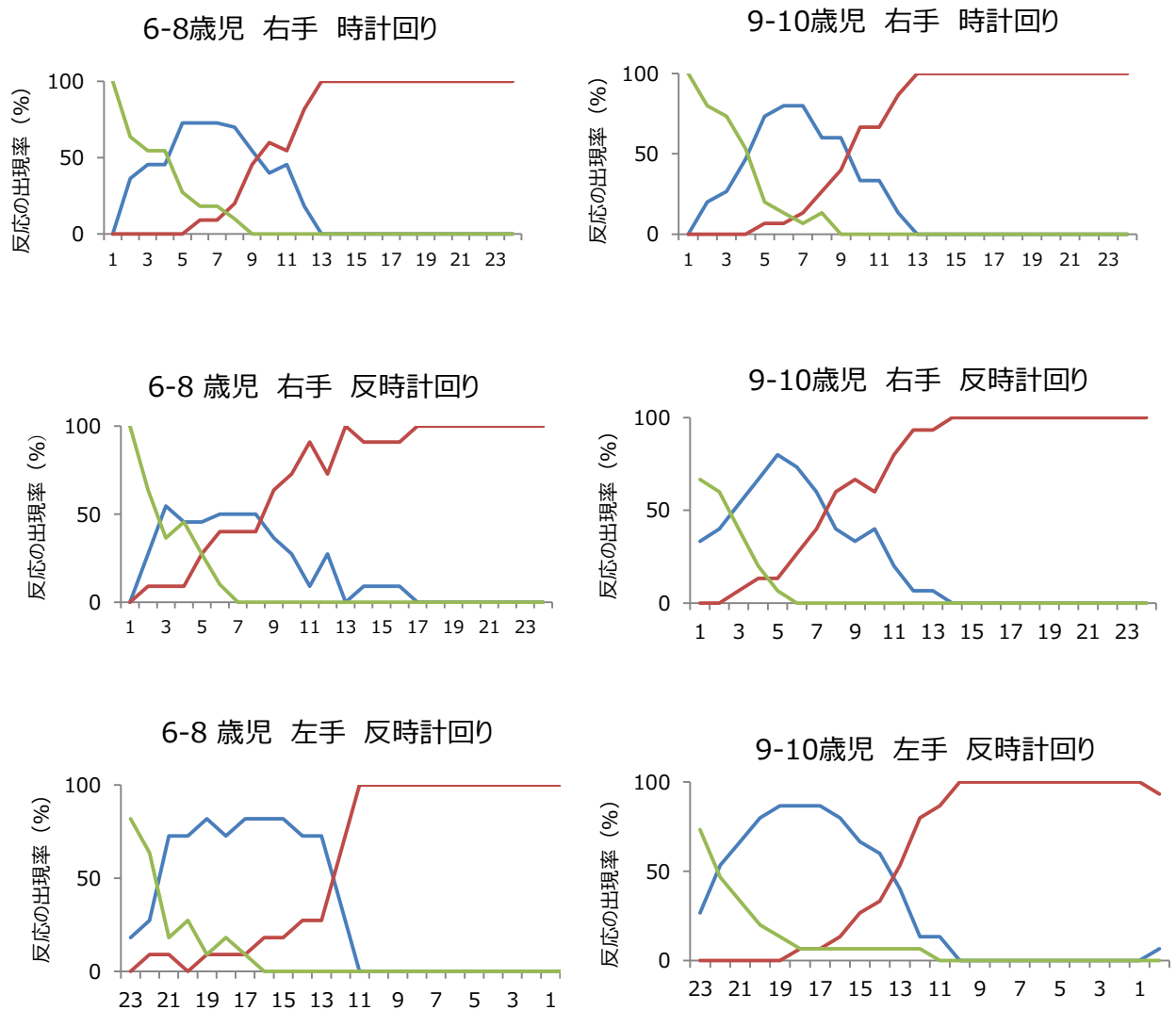


図 26 各回転条件における 6～8 歳児・9～10 歳児の反応の出現率

	6-8歳児	9-10歳児
右手 時計回り	135°	150°
左手 反時計回り	180°	165°
	n.s	n.s

逆手反応の出現率 Mann-Whitney U test

図 27 利き手・非利き手に関する条件の逆手反応と橈屈反応の切り替わりポイントの比較

6～8 歳児・9～10 歳児ともに，右手時計回り条件と左手時計回り条件の逆手反応の出現率に，有意差は見られなかった。

	6-8歳児	9-10歳児
右手 時計回り	135°	150°
右手 反時計回り	120°～135°	120°
	n.s	n.s

逆手反応の出現率 Mann-Whitney U test

図 28 履歴効果による干渉に関する条件の逆手反応と橈屈反応の切り替わりポイントの比較

6～8 歳児・9～10 歳児ともに，右手時計回り条件と右手反時計回り条件の逆手反応の出現率に，有意差は見られなかった。

4.2.3 快適性に基づいた行動の割合

「一番操作しやすい」と評価した反応を実際を選択した割合は、図 29 の通りである。快適性に基づく行動の出現割合について、右手・左手に分けて 1 要因分散分析をした。その結果、6～8 歳児において、すべての位置で快適性に基づく行動の割合に有意差は認めなかった（右手： $F(3, 30)=1.23$ n.s, 左手： $F(3, 30)=0.78$ n.s.）。9～10 歳児に対しても同様の分析を行ったところ、すべての位置で快適性に基づく行動の割合に有意差は認めなかった（右手： $F(3, 42)=2.07$ n.s, 左手： $F(3, 42)=2.46$ $p=.076$ ）。

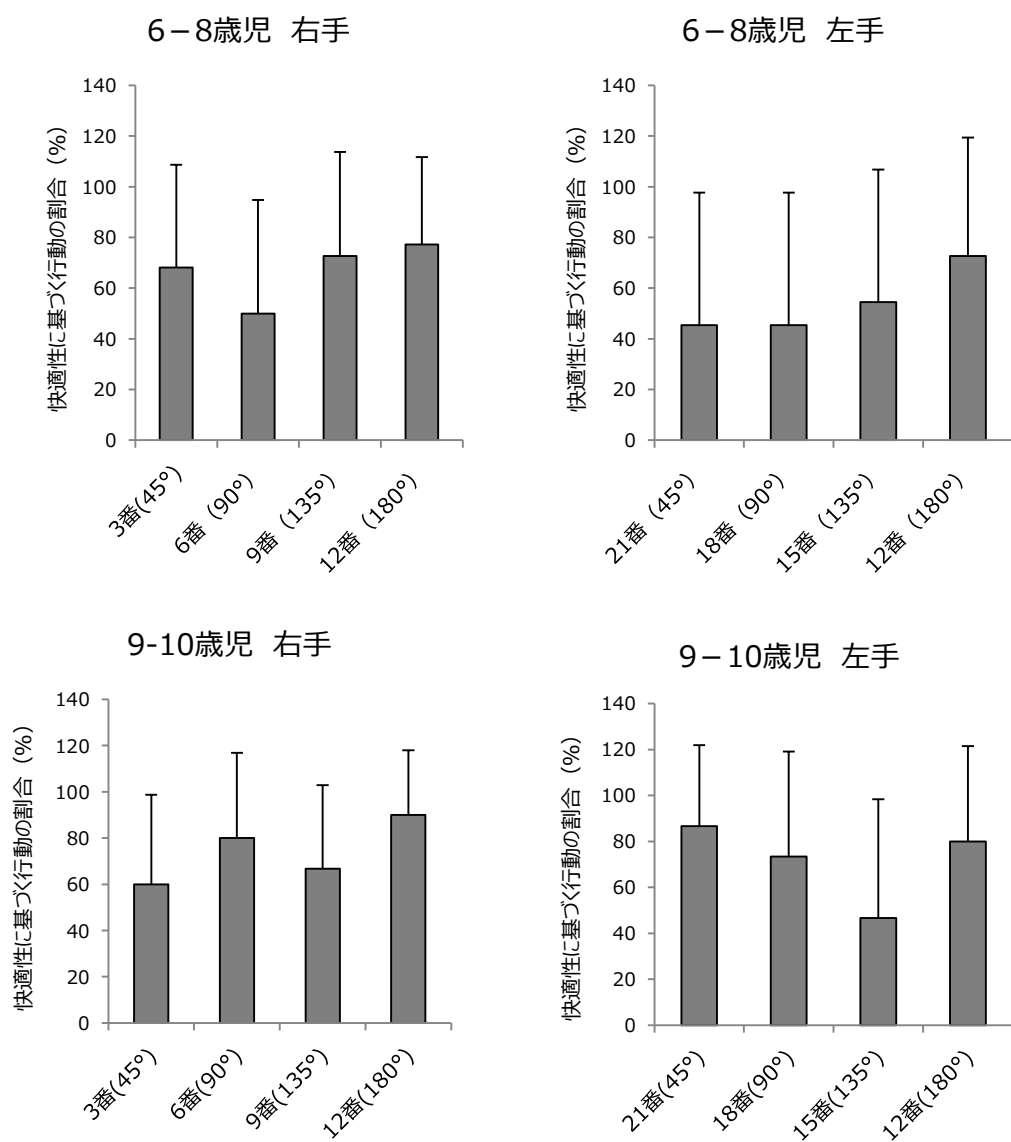


図 29 6～8 歳児・9～10 歳児における快適性に基づく行動の割合

4.2.4 回転動作課題における成人との比較

回転動作課題の結果を図 30・31 に示した。同じ回転条件を行ったときの、子供と成人の行動を比較した。まず、右手の時計回り条件について、6～8 歳児と成人、9～10 歳児と成人、6～8 歳児と 9～10 歳児において、逆手反応の出現率を比較した。その結果、すべての参加者グループ間で逆手反応の出現率に有意差は認めなかった(Mann-Whitney U test, n.s.)。次に、右手の反時計回り条件について 6～8 歳児と成人、9～10 歳児と成人、6～8 歳児と 9～10 歳児において、逆手反応の出現率を比較した。その結果、すべての参加者グループ間で逆手反応の出現率に有意差は認めなかった(Mann-Whitney U test, n.s.)。次に、左手の反時計回り条件について 6～8 歳児と成人、9～10 歳児と成人、6～8 歳児と 9～10 歳児において、逆手反応の出現率を比較した。その結果、すべての参加者グループ間で逆手反応の出現率に有意差は認めなかった(Mann-Whitney U test, n.s.)。

ここで、ビデオ解析をする中で、成人と子供の行動パターンに異なる傾向が見られることがわかった。成人においては、一度動作が切り替わると、その後、次の動作を繰り返すといった行動を取っていた。一方で、6～8 歳児においては、一度動作が切り替わっても、前の動作を繰り返すといった様子が複数の参加者で見られ、快適な行動を探索しながら行動する様子がみられた。この様子は 3 つの参加者グループを比較した時のグラフ（図 30）からも読み取ることができた。図 30 の図を概観すると、ナイフ形玩具の回転角度が $15^{\circ} \sim 135^{\circ}$ （右手では 1～9 番、左手では 23～15 番）において、成人とそれ以外の対象でパターンの違いが認められた。具体的には、成人では 135° までは逆手で占められるのに対して、6～10 歳児は逆手反応と尺屈反応が混在していた。こうした傾向を統計的に示すために、 $15^{\circ} \sim 135^{\circ}$ の位置のみを対象として、逆手反応と尺屈反応の割合を比較した。その結果、成人ではすべての回転条件において逆手反応に比べて尺屈反応の出現率は有意に低かった(Mann-Whitney U test, $p < 0.01$). 一方で、6～8 歳児における右手の時

計回り条件, 6~8 歳児における右手の反時計回り条件, 9~10 歳児の時計回り条件の 3 条件では, 逆手反応と尺屈反応に有意差が見られなかった(Mann-Whitney U test, n.s.). すなわちこの結果は, 成人で見られた逆手反応の行動選択が, 6~10 歳児では見られなかったことを示している.

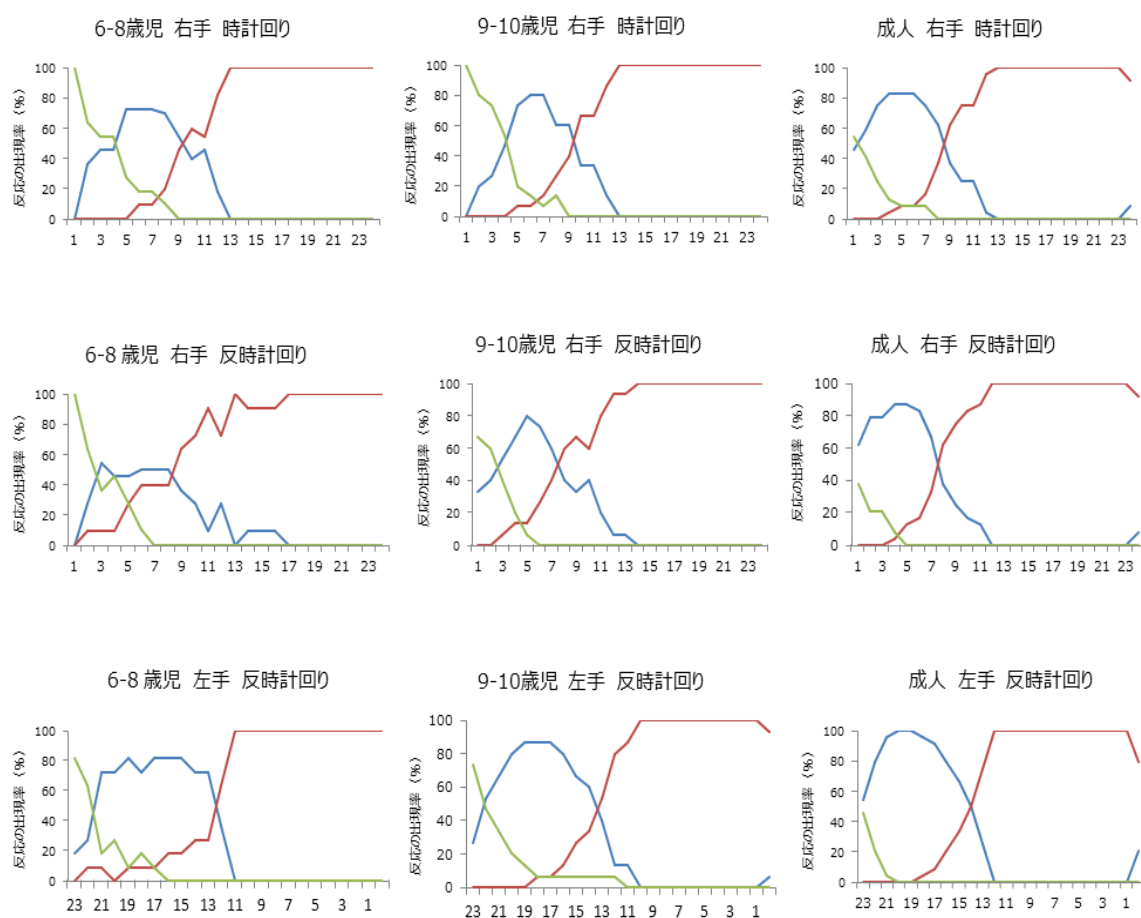


図 30 回転動作課題における 6~8 歳児・9~10 歳児・成人の比較

成人のデータは, 実験 2 の結果を利用した.

	6－8歳児	9－10歳児	成人
右手 時計回り	135°	150°	120°～135°
右手 反時計回り	120°～135°	120°	105°～120°
左手 反時計回り	180°	165°	150°

図 31 6～8 歳・9～10 歳・成人における逆手反応と橈屈反応の切り替わりポイント
成人のデータは，実験 2 の結果を利用した．

4.2.5 主観評価課題における成人との比較

すべての参加者グループにおける「一番操作しやすい」と選択した反応の割合は図 32 の通りである．成人においては，4 方向において尺屈反応を快適な反応として選択する参加者はいなかった．しかしながら，図 33 を概観すると，6～8 歳児・9～10 歳児では，年齢が低くなるほど尺屈反応の割合が多くなることが明らかであった．特に，右手の 3 番（45°）での尺屈反応を比較すると，6～8 歳児では 36%，9～10 歳児では 20%，成人では 0% となり，成人に近づくにつれて尺屈反応が減ることが示された．この結果は，尺屈反応の出現率が発達過程の子供の特徴となる可能性があることを示唆している．

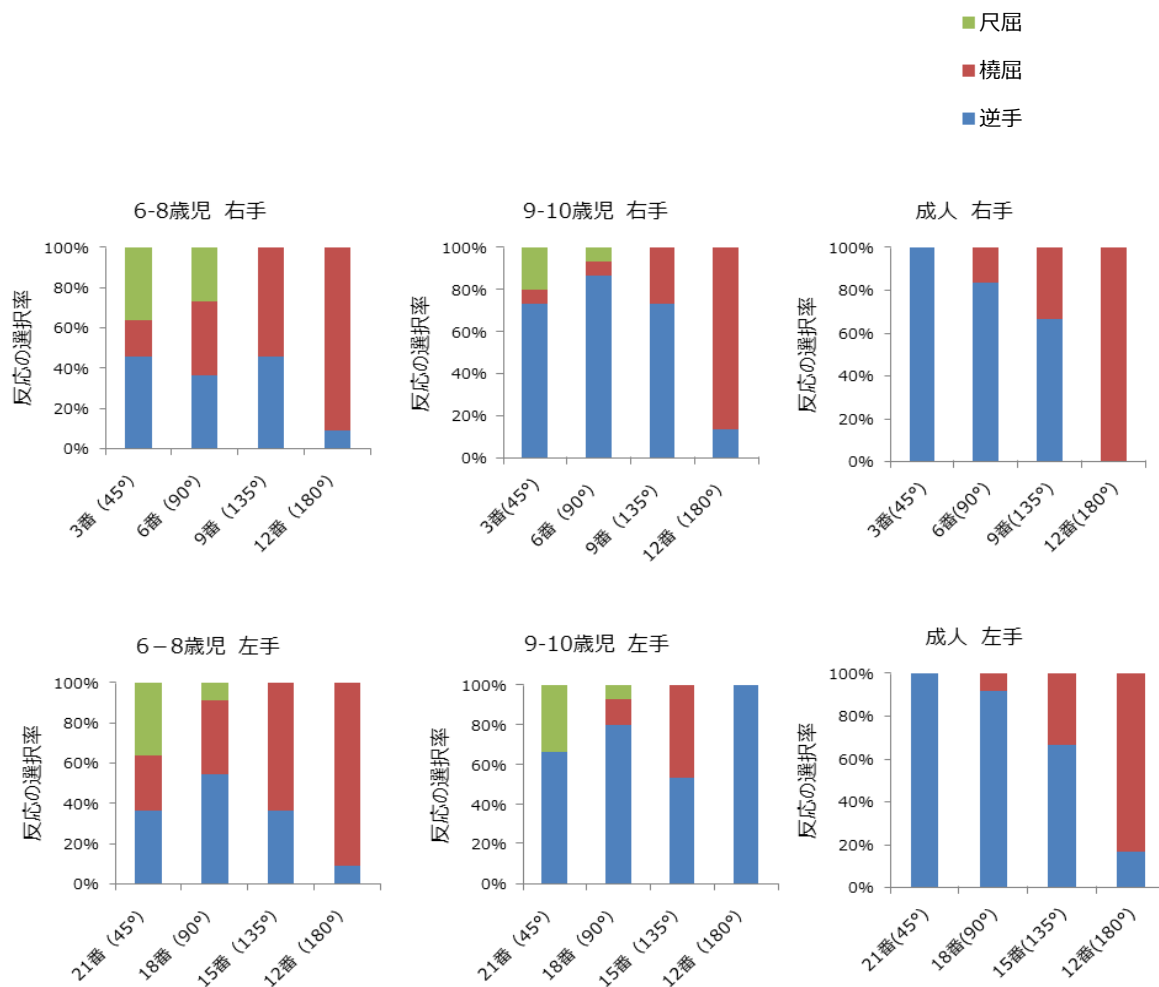


図 32 「一番操作しやすい」と評価した反応の比較

成人のデータは、実験 2 の結果を利用した。

4.2.6 「快適性に基づいた行動」における成人との比較

すべての参加者グループにおける「快適性に基づく行動」の割合は図 33 の通りである。独立変数を参加者グループ (6～8 歳児, 9～10 歳児, 成人)・初期位置 (45°, 90°, 135°, 180°)・操作する手 (右手, 左手), 従属変数を「快適性に基づく行動の割合」とし, 3 要因分散分析をした。その結果, 参加者グループの主効果が有意であった ($F(2, 35)=5.78$ $p<.01$)。Ryan 法による多重比較の結果, 6～8 歳児の快適性に基づく行動の割合は, 成人に比べて有意に低かった ($p<.005$)。また, 初期位置の主効果が有意であった。Ryan 法による多重比較の結果, 初期位置が 135° の位置での快適性に基づく行動は 180° の位置に比べて有意に低かった ($p<.001$)。また, 参加者グループと初期位置の交互作用に有意傾向が見られた ($F(6, 105)=1.96$ $p=.078$)。

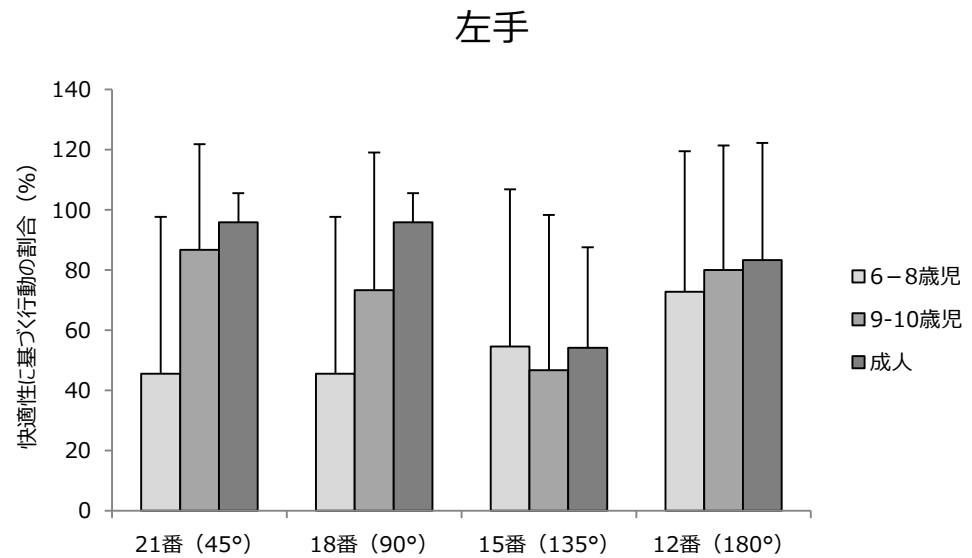
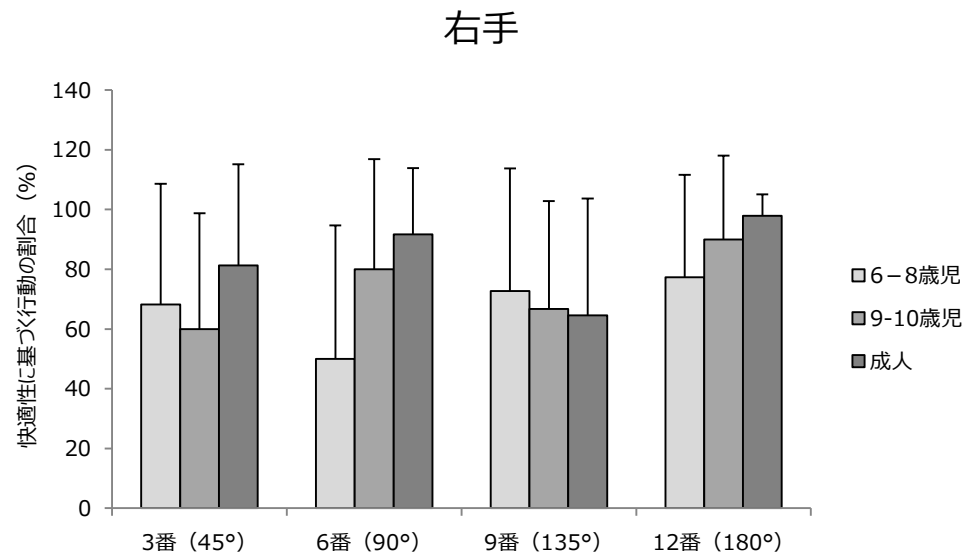


図 33 参加者グループ間の快適性に基づく行動の割合の比較
 成人のデータは、実験 2 の結果を利用した。

逆手反応と尺屈反応の出現率の比較			
	6－8歳児	9－10歳児	成人
右手 時計回り	n.s.	n.s.	p<.01
右手 反時計回り	n.s.	p<.05	p<.01
左手 反時計回り	p<.01	p<.01	p<.01

Mann-Whitney U test

図 34 15° ～135° の範囲における逆手反応と尺屈反応の選択率の比較
 行動選択パターンの違いを検証するため、それぞれの条件内で逆手反応と尺屈
 反応の出現率を比較した。

4.3 考察

主観評価課題の結果より、子供の場合は成人に比べて「一番操作しやすい」と評価する反応方法にばらつきがあることがわかった。成人においては、評価対象とした4つの位置で尺屈反応を快適と評価する参加者はいなかった。しかしながら、6～8歳児および9～10歳児における反応方法の選択率を比較したところ、逆手反応・橈屈反応・尺屈反応が混在することが明らかになった。特に、6～8歳児の左手45°の位置では、尺屈反応と逆手反応の選択率はともに36%を示した。この結果より、年齢の低い子供の方が、“快適”とする動作に個人差が生じることが明らかになった。

また、「快適性に基づく行動」の割合を比較したところ、成人および9～10歳児では動作全体として快適性が高いと感じる動作を選ぶ傾向があった。これに対して、6～8歳児が動作全体として快適性が高いと感じる動作を選ぶ傾向が他の2グループに比べて低く、成人と比べると有意差が見られた。この結果は、6～8歳児は快適だと思う行動を、実際の行動で選択することができていないことを示しており、行動計画が発達途上にあることが示唆された。

次に、回転動作課題より、非利き手の使用が6～8歳児および9～10歳児のEnd-state効果に基づく行動を阻害しているかについて検証した。実験2と同様に、逆手反応と橈屈反応の動作の切り替わりポイントを比較したところ、6～8歳児では右手の時計回りと左手の反時計回りでは45°、9～10歳児では15°の違いが見られた。しかしながら、逆手反応の出現率を比較したところ、統計上有意な差はみられなかった。この結果より、子供であっても非利き手の使用はEnd-state効果に基づく行動の阻害要因にならないことが示唆された。

もう一つの阻害要因である履歴効果による干渉についても、非利き手の使用における検証と同様に、逆手反応と橈屈反応の動作の切り替わりポイントを比較したところ、6～8歳児では右手の時計回りと右手の反時計回りでは最大で15°、9～10歳児では30°の違いが見られた。しかしながら、逆手反応の出現率を比較したところ、統計的な有意差には至らなかった。この結果より、子供であっても履歴効果による干渉はEnd-state効果に基づく行動の阻害要因にならないことが示唆された。以上、2つの阻害要因を検証した結果、「非利き手の使用」「履歴効果の干渉」といった要因は、発達度合いの指標には適さない可能性が示唆された。

その一方で、6～8歳児・9～10歳児・成人のグラフを概観すると、回転角度が15°～135°（右手の1～9番、左手の23～15番）において、成人とそれ以外の対象グループで異なる行動パターンが見られた。特に、6～8歳児においては、動作の探索行動が多く見られ、グラフにおいても動作選択が交錯している様子が見られ

た．こうした傾向を統計的に示すために， $15^{\circ}\sim 135^{\circ}$ の位置を対象として，逆手反応と尺屈反応の割合を比較した．その結果，成人ではすべての回転条件（右手の時計回り・右手の反時計回り・左手の反時計回り）において，尺屈反応は逆手反応に比べて有意に低い出現率であった（Mann-Whitney U test, $p<.01$)．ところが，“6～8 歳児における右手の時計回り条件”，“6～8 歳児における右手の反時計回り条件”，“9～10 歳児における右手の時計回り条件” の 3 条件では，尺屈反応と逆手反応の出現率の間に有意差が見られなかった(Mann-Whitney U test, n.s.)．この結果により $15^{\circ}\sim 135^{\circ}$ の位置において，子供が成人と異なる動作選択のパターンを取っていることが示された．

第4章 総合考察

近年の発達研究において、先を見越して行動していることを示す行動指標として、「End-state 効果に基づく行動」が注目されている。そこで、本研究では、この行動の発達的变化を検討するため、3つの実験を行った。End-state 効果に基づく行動に関する発達研究は、大別して3種類の課題が用いられる。第1に、逆さに置いてあるコップのつかみ方を評価する課題（Overtured Glass 課題）、第2に、棒をある位置から別の位置に移動される際のつかみ方を評価する課題（Bar Transport 課題）、第3に、目標物の移動に回転を伴う動作を含む（Handle Rotation 課題）である。本研究では、この3種類の中でも End-state 効果に基づく行動の獲得が著しく低いことが言われている Handle Rotation 課題に着目し、先読み行動の発達的变化を検討することを目的とした。

実験1では、Handle Rotation 課題を代表するナイフ形玩具を用いた研究を対象とし、Handle Rotation 課題で End-state 効果に基づく行動が低くなる理由を検討した。実験2および実験3では、実験1の結果に基づき、Handle Rotation 課題を発達検査に利用するためにどのような課題設定にすべきかを検討するための実験を行った。

成人を参加対象に加えたナイフ形玩具課題の検証

Jongbloed-Perebroom et al. (2013) はナイフ形玩具を用い3～10歳を対象として End-state 効果に基づく行動の獲得時期を検討した。その結果、Overtured Glass 課題・Bar Transport 課題では End-state 効果に基づく行動の割合が6～8歳までに80%であるのに対し、ナイフ形玩具を用いた課題では10歳であっても60%であった。そこで、実験1では「10歳で60%」という結果が、「10歳は成長の途中」で、10歳以降上がっていくものなのか、「10歳で既に成人と同程度」であり、何らかの

理由により、成人であっても 100%とならないのかのどちらの理由によるものかのかを検討するため、参加対象に成人を加えて比較した。

実験 1 では、参加対象を、6～8 歳児・9～10 歳児・若年者・高齢者とし、先行知見と同様の検討をした。先行知見の設定と同様に、ナイフ形玩具を置く初期位置を 6 方向に設定した。6 方向のナイフ形玩具の初期位置のうち、窮屈な姿勢を必要とする 2 方向を **critical position**、それ以外の 4 方向を **control position** とした。また、ナイフ形玩具を差し込む際、順手で差し込むものを **End-state** 効果に基づく反応（以下、順手反応）、逆手で差し込むものを先読みのできない反応（以下、逆手反応）と定義した。

先行知見と同様に **critical position** における順手反応を比較したところ、6～8 歳児・9～10 歳児・成人（若年者・高齢者）の間に有意差は認められなかった。この結果から、①ナイフ形玩具を差し込む際の動作形態（**end-state**）からは、6～10 歳児の運動計画が発展途上であるという根拠は見られなかったこと、そして、②成人であっても 3 割程度の参加者が逆手反応を選択していたことがわかった。従来の先行知見では、逆手反応の生起率を発達の度合いの評価として使用していた。しかしながら、本研究の実験 1 の結果から、成人であっても子供であっても同等に逆手反応を示すことがわかり、それ自体を発達の度合いの評価として使用することはできないことが示唆された。こうした発想は、**End-state** 効果に基づく行動選択に関する発達研究では指摘されていない、新しい発見であり、本研究の大きな成果の一つであると考えらる。

また、本研究の実験 1 の大きな成果として、行動の最終局面（**end-state**）の計画だけでなく、どのようにナイフ形玩具をつかむかという行動の最初の局面（**start-state**）についても、ナイフ形玩具の置かれた位置に応じた周到な運動計画が観察できることが分かった。ナイフ形玩具を置く位置の中で、先行研究におい

て主たる研究対象としていた位置（critical position）における行動を精査したところ、順手反応で差し込む場合であっても、ナイフ形玩具をつかむ際の動作形態（start-state）が 2 種類あることが明らかになった。1 つ目は手首の橈屈を伴う反応（以下、橈屈反応）、2 つ目は手首の尺屈を伴う反応（尺屈反応）である。この 2 種類の順手反応と critical position の 2 方向の関係性を調べたところ、ナイフ形玩具の回転角度が 90°である方向（position2）では尺屈反応、ナイフ形玩具の回転角度が 135°である方向（position3）では橈屈反応を示すことが、すべての参加者グループにおいて統計的に示された。この結果は、ナイフ形玩具をどの程度回転させるかによって、ナイフ形玩具をつかむ動作の選択を柔軟に調整している可能性を示唆した。こうした結果を考えると、本研究が対象としたナイフ形玩具課題は、ナイフ形玩具の差し方だけで発達の度合いを見ることはできないという難しさはあるものの、ナイフ形玩具をつかんでから回転し、差し込むまでの一連の動作の中で、周到的な行動計画を観察することができるという意味で、発達研究に対する利用価値が高いことがうかがえた。

ナイフ形玩具課題を用いた発達研究における課題設定の検討

上記のような実験 1 の成果を受け、実験 2 および実験 3 では、ナイフ形玩具課題を、発達的变化を見る課題として利用していくためには、どのような要因に着目すべきなのかを検討し、提案するための研究を行った。この目的のために、実験 2 と実験 3 では、ナイフ形玩具を置く初期位置をより細かく設定した。実験 1 では 6 方向であったが、実験 2 および実験 3 では 360°を 15°ずつに分割し、24 方向の初期位置を設定した。また、実験 2 と実験 3 では 2 つの課題を設定した。第 1 に、「主観評価課題」である。実験 1 では順手反応を「End-state 効果に基づく反応」、逆手反応を「先読みのできない未熟な反応」と定義した。しかし、個人によって快適な反応が異なる可能性を加味し、実験 2 と実験 3 では 24 方向のうち 4

方向の位置において、3 種類の反応方法（逆手反応・橈屈反応・尺屈反応）を実際に提示したあと、どの反応が一番操作しやすいと思うかについて主観的に評価してもらった。各自が選択した反応を基準にし、「快適性に基づく行動」を実際の行動でどの程度選択していたかについて算出することとした。第 2 に「回転動作課題」である。これまでに、End-state 効果に基づく行動を阻害する要因として、「非利き手の使用」「履歴効果による干渉」が報告されている。そこで、これら 2 つの阻害要因に着目し、阻害要因の抵抗性が発達的变化を検査する際のあらたな指標として利用可能であるかを検証することとした。そこで、24 方向の回転動作課題を行うにあたり、利き手・非利き手および時計回り・反時計回りの条件を設定し、「非利き手の使用」「履歴効果による干渉」の阻害要因の影響を調べることにした。参加対象は右利きの者を対象とし、実験 2 では成人を対象とし、課題の有用性を確認したのちに、実験 3 で 6～8 歳児および 9～10 歳児を対象に実験を行った。

実験 2 および実験 3 において、参加者が「一番操作しやすい」と選択した反応に基づいて「快適性に基づく行動」を算出した結果、成人および 9～10 歳児は 3 つ動作選択肢の中で、動作全体として快適性が高いと感じる動作を選ぶ傾向があった。これに対して、6～8 歳児は、動作全体として快適性が高いと感じる動作を選ぶ傾向が他の 2 グループに比べて低かった。この結果から、6～8 歳児は、自身が快適だと思う行動を実際の行動として選択することが出来ていないことを示しており、行動計画が発達の途上にあることを示唆している。

さらに、行動の選択が「非利き手の使用」「履歴効果の干渉」によりどの程度影響がみられるかを検討した。その結果、24 方向すべてを対象とした分析において、「非利き手の使用」および「履歴効果の干渉」とも、参加者グループ間の差は見られなかった。しかしながら、実際の実験映像を解析したところ、6～8 歳児では成人では見られないような、動作の探索行動が見られた。こうした様子も含め、

グラフ上で成人と子供の違いが多く見られた $15^{\circ} \sim 135^{\circ}$ に範囲を絞って動作選択の違いを精査した。その結果、 $15^{\circ} \sim 135^{\circ}$ において動作選択に成人と子供で違いが見られる条件があることが示された。こうした結果は、特定の位置条件においては、理想的な行動がどのような行動なのかを発達の途上で模索している可能性を示唆している。

本研究の成果および今後の展望

本研究を通して、大きく 2 つの成果が示された、第 1 に、End-state 効果に基づく行動の定義の問題提起である。従来の End-state 効果に関する研究では、快適な反応を一律に定義し、検証されてきた。ところが、本研究により、“快適性”の基準は個人によって異なり、成人の場合は、個人の快適性に従った行動を取っていることが示された。また、“快適性”を決める要素は、最終動作 (end-state) だけでなく、「目標物を回転する角度に応じたつかみ方」といった初期動作 (start-state) も重要な要因になることがわかった。この結果により、今後、先を見越した動作プランニングの発達的变化を検証するためには、動作全体としての行動選択を評価する必要があるという新たな視点を提供することとなった。

第 2 の成果として、従来の研究では検証されていない、新たな位置条件の重要性を見出すことができた。本研究で新たな発達指標として着目した 2 つの阻害要因に関しては、成人と子供の行動に違いは見られず、「非利き手の使用」「履歴効果の干渉」といった要因が発達的变化の指標に利用できるという結果には至らなかった。ところが、 $15^{\circ} \sim 135^{\circ}$ の範囲にターゲットを絞って解析したところ、24 方向全体を解析した際には見られなかった動作選択の違いを見つけることができた。この範囲は、従来の Handle Rotation 課題ではこれまでに 1 度も検証されることのなかった、 $15^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の位置条件をも含むものであった。こうした成果は、本研究において条件を 15° と細かく設定したために得られた成果であった。この

成果を踏まえ、今後の検討では、本研究により有用であることが示された 15° ～ 135° の位置条件をターゲットに発達研究をすることで、先を見越した動作プランニングの発達的变化をよりクリアーに検証できると考える。

引用文献

- Kathrin Wunsch, Anne Henning, Gisa Aschersleben, and Matthias Weigelt. (2013)
A Systematic Review of the End-State Comfort Effect in Normally Developing Children
and in Children With Developmental Disorders. *Journal of Motor Learning and
Development*, 2013, 1, 59-76
- Cohen, R. G., & Rosenbaum, D. A. (2004). Where grasps are made reveals how grasps
are planned: Generation and recall of motor plans. *Experimental Brain Research*, 157,
486–495.
- Rosenbaum, D. A., Vaughan, J., Barnes, H. J., & Jorgensen, M. J. (1992). Time course of
movement planning: Selection of hand grips for object manipulation. *Journal of
Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1058–1073.
- Adalbjornsson, C. F., Fischman, M. G., & Rudisill, M. E. (2008). The end-state comfort
effect in young children. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 79, 36–41.
- Knudsen, B., Henning, A., Wunsch, K., Weigelt, M., and Aschersleben, G.,(2012).
frontiers in PSYCHOLOGY, doi: 10.3389/fpsyg.2012.00445
- Stockel, T., Hughes, C. M. L., & Schack, T. (2011). Representation of grasp postures and
anticipatory motor planning in children. *Psychological Research*, doi:
10.1007/s00426-011-0387-7

Weigelt, M., & Schack, T. (2010). The development of end-state comfort planning in preschool children. *Experimental Psychology*, 57, 476–482.

Manoel, E. J., & Moreira, C. R. P. (2005). Planning manipulative hand movements: Do young children show the end-state comfort effect? *Journal of Human Movement Studies*, 49, 93–114.

Thibaut, J.-P., & Toussaint, L. (2010). Developing motor planning over ages. *Journal of Experimental Child Psychology*, 105, 116–129.

Jovanovic ,B., Schwarzer,G. (2011). Learning to grasp efficiently: The development of motor planning and the role of observational learning. *Vision Research*, 51 , 945–954

Craje, C., Aarts, P., Nijhuis-van der Sanden, M., & Steenbergen, B. (2010). Action planning in typically and atypically developing children (unilateral cerebral palsy). *Research in Developmental Disabilities*, 31, 1039–1046.

Jongbloed-Pereboom , M., Nijhuis-van der Sanden , M. W. G., Saraber-Schiphorst , N., Craje , C., Bert Steenbergen., *Journal of Experimental Child Psychology* , 114 , 295–305

Yamada, M., Higuchi, T., Mori, S., Uemura, K., Nagai, K., Aoyama, T., & Ichihashi, N. (2012). Maladaptive turning and gaze behavior induces impaired stepping on multiple footfall targets during gait in older individuals who are at high risk of falling. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 54, e102-e108

M.S. Rostoft., H. Sigmundsson .., H.T.A. Whiting , & R.P. Ingvaldsen.(2002).
Dynamics of hand preference in 4 year-old children. *Behavioural Brain Research* 132,
59–68

Matthias Weigelt., David A. Rosenbaum., Sven Huelshorst., & Thomas Schack .(2009).
Moving and memorizing: Motor planning modulates the recency effect in serial and free
recall. *Acta Psychologica* 132 68–79

Jiro Kohara., Kazuo Ouchi., & Hiromichi Terakado. (1967). A study on high-difference of
desk and feet. （差尺に関する研究－作業能率からみた寸法の検討－） *The Japanese
Journal of Ergonomics Vol. 3 (1967) No. 2 P 159-165_1*

戸上 英憲, 野呂 影勇. （1987）. VDT作業台の最適高さの研究.
人間工学 Vol. 23 (1987) No. 3 P 155-162

謝辞

本修士論文は、著者が首都大学東京大学院人間健康科学研究科ヘルスプロモーションサイエンス学域博士前期課程に在籍中の研究成果をまとめたものです。

本研究の遂行に当たり、研究のご指導ご鞭撻を頂きました本学 樋口貴広教授に心から感謝申し上げます。樋口先生には研究の機会を頂いただけでなく、不甲斐ない私を最後まで助けて頂き、とても感謝しております。樋口先生の元で学べたことをとても誇りに思います。本当にありがとうございました。また、入学時にお世話になりました、本学 藤井宣晴教授、眞鍋康子准教授に感謝申し上げます。藤井先生には、副査として論文のご助言も頂き、とても感謝しております。また、本研究において、発達の観点からの有益なアドバイス、およびたくさんの激励の言葉を下さいました、東京学芸大学 奥住秀之教授に深く感謝申し上げます。そして、本研究に関して、いつも親身に相談にのって下さいました、本学 福原和伸助教および樋口研究室のスタッフに感謝申し上げます。また、合同ゼミでご意見を下さいました、本学 北一郎教授、西島壮准教授、院生の方々に深く感謝申し上げます。北先生には首都大に在学中、色々な場面で助けて頂きました。いつも親身に相談に乗って下さり、本当にありがとうございました。また、学生生活において、日々の生活を支えて下さいました、森川涼子氏、村尾絢氏、高橋美紗江氏、米本竜馬氏、丸山智子氏に深く感謝申し上げます。森川さんには、楽しい時間をたくさん頂き、ヘルプロで同じ時間を過ごせたことをとても嬉しく思います。そして、実験に協力して下さいました皆様、および、被験者の募集に大変なご尽力およびご厚意を賜りました、樋口広美氏に深く感謝申し上げます。

最後に、2年間の研究生活をともにした同期の皆様、ご助言下さった先生方・先輩・後輩・院生室のスタッフの皆様に心から感謝申し上げます。そして、これまでの研究生活を支えてくれた、両親、妹、友人に心から感謝申し上げます。本当にありがとうございました。

平成 29 年 1 月 5 日 美野 裕佳