

# 自閉スペクトラム症における先を見越した知覚判断に基づいた 運動計画能力の解明 —若齢成人を対象とした検討—

東京都立大学大学院 人間健康科学研究科 博士後期課程 菊 地 謙  
東京都立大学 人間健康科学研究科 樋 口 貴 広

## Analysis of Motor Planning Ability Based on Proactive Perceptual Judgment in Autism Spectrum Disorder: A Study in Young Healthy Adults

Graduate School of Health Sciences, Tokyo Metropolitan University, KIKUCHI, Ken  
Graduate School of Health Sciences, Tokyo Metropolitan University, HIGUCHI, Takahiro

### 要 約

近年、自閉スペクトラム症 (ASD) 者は、運動機能障害を有するという報告が増えている。さらに、ASD 者の運動障害には、知覚過程の問題も関連することが示されている。我々は、先の目標となる知覚判断を考慮して運動全体を調整する能力が ASD 者の運動障害と関係していると仮定した。そこで、新たに「障害物回避による行為選択」課題を作成した。本研究では、実験課題内の知覚判断の外乱（隙間入口幅の変化）と運動計画に対する外乱（ビー玉把持の有無）により、若齢成人における反応を測定することで課題の妥当性を検証した。その結果、隙間入口幅の変化により、知覚判断・運動計画・視線行動への影響が示された。また、ビー玉把持が加わることで、知覚判断・運動計画に影響を及ぼすことが明らかとなった。ASD 者の運動中の知覚機能について測定可能な本実験課題を用いることによって、ASD 者の運動計画において先を見越した知覚判断がどのように機能しているのかを検討できることが示唆された。

**【キー・ワード】** 自閉スペクトラム症, 先を見越した知覚判断, 運動計画, 障害物回避

### Abstract

In recent years, there have been increasing reports that individuals with autism spectrum disorder (ASD) have motor impairments. Furthermore, it has been shown that problems with perceptual processes are also associated with motor impairments in individuals with ASD. We hypothesized that the ability to coordinate overall locomotion in considering earlier goal-directed perceptual judgments is related to motor impairments in individuals with ASD. Therefore, we created a new task, "action selection by obstacle avoidance". In this study, the validity of the task

was examined by measuring the responses of young adults to a disturbance of perceptual judgment (change in aperture entrance width) and a disturbance of motor planning (presence or absence of marble grasping) in the experimental task. The results showed that changes in the aperture entrance width affected perceptual judgment, motor planning, and gaze behavior. The addition of marble grasping also had an effect on perceptual judgment and motor planning. It is suggested that the use of this experimental task, which can measure the perceptual functions of individuals with ASD during locomotion, allows us to examine how forward-looking perceptual judgments may function in the motor planning of individuals with ASD.

**【Key words】 autism spectrum disorder, Proactive perceptual judgment, motor planning, obstacle avoidance**

## 問題と目的

自閉スペクトラム症 (ASD) は、社会的コミュニケーションの困難さと行動・興味・活動の限局的かつ反復的な行動を特徴とする疾患である (American Psychiatric Association, 2013)。近年、ASD 者が運動機能障害を有するという報告が増えている (Hirata et al., 2014; McPhillips et al., 2014; Pusponogoro et al., 2016; Zampella et al., 2021)。この ASD 者の運動障害には、聴覚や視覚などの感覚入力の調節と運動刺激を統合する知覚過程の問題も関連することがいくつかの研究から示唆されている (Adolph & Joh, 2007; Dawson & Watling, 2000)。

ASD 者の運動システムにおいて知覚メカニズムが影響する機能として、運動計画能力が挙げられる。運動計画とは、先の目標を考慮して運動全体を調整する能力である。ASD 者の運動制御に関するシステムティックレビューでは、ASD 者は運動計画能力に困難を抱えているという指摘がある (Gowen & Hamilton, 2013)。この運動計画能力は連鎖課題 (複数の動作をひとまとまりの行為として適切に連結することが求められる課題) から検討されることが多い (Cattaneo et al., 2007)。Bäckstrom らは、物体把持動作と物体の回転調整動作の二つの行為による上肢の連鎖課題を用いて、ASD 児の運動計画と運動実行に関して検討を行った (Bäckström et al., 2021)。その結果、ASD 児では最終的な物体回転調整角度の難易度に応じて事前の物体把持方法を変更せず、ゴールに近づいてから物体の回転調整を行っていることが明らかとなった。この結果は、ASD 者が先を見越して動作の初期段階で回転すべき程度を知覚できていないことを示している。このような ASD 者の運動計画の苦手さをもたらす要因として、全体よりも細部の情報処理を優先するという部分処理特性が指摘されている (Gowen & Hamilton, 2013)。つまり、ASD 者は過度な部分処理特性の影響により目先の目標に対する処理を優先するために、運動計画を困難にしていると解釈できる。

さらに、ASD 者は身体と環境の空間関係を知覚的に判断することにも苦手さがあることが示唆されている。Linkenauger らは、ASD 青年および成人が年齢および IQ が統制された対照群よりも、行為の予測推定値と実運動時の値の差分のエラー率が增大することを明らかにした (Linkenauger et al., 2012)。この実験では、リーチング能力課題 (reachability task : 腕をどこまでリーチングできる

のかを予測する課題)、把握能力課題 (graspability task : 手指でどのくらいのサイズのオブジェクトを掴むことができるのかを予測する課題)、隙間通過判断課題 (aperture task : どのくらいの隙間開口サイズに利き手を通すことができるのかを予測する課題) が実験参加者に提示された。これらの課題の中でも ASD 者は隙間通過判断課題において、手を通すことができる隙間幅の推定判断を見誤りやすいことが明らかとなった。この検証から、隙間通過判断課題のような身体と環境の空間関係について知覚判断することが、ASD 者にとって困難なタスクであることが示唆された。

本研究では、先の目標となる知覚判断を考慮して運動全体を調整する能力を、“先を見越した知覚判断に基づいた運動計画能力”と定義した。この能力を定量的に測定するため、新たに「障害物回避による行為選択」課題を開発した。課題内には、部分処理特性に基づく運動計画の困難さを反映するための連鎖課題を設定した。また、身体と空間関係の知覚判断については、先行研究で用いられた隙間通過判断課題を応用した。Linkenauger らの課題のように参加者に隙間通過できる幅を推定してもらうのではなく、実際に動作遂行を求める課題とした (Linkenauger et al., 2012)。本研究では予備検討として、若齢成人を対象に本実験課題が“先を見越した知覚判断に基づいた運動計画能力”を測定可能かどうかについて明らかにする。具体的には、実験課題における隙間の空間知覚と、目先の目標に関する情報を条件操作することにより、定型発達者の“先を見越した知覚判断に基づいた運動計画能力”にどのような影響が生じるのかを検証した。

## 方 法

### 実験参加者

右利き若齢成人 12 名のうちデータ欠損により 3 名を除外したため、実験参加者は 9 名(女性 3 名,  $24.56 \pm 4.09$  歳)であった。参加者の ASD 傾向を測定するため、成人用 Autism Spectrum Quotient (AQ) 日本語版を回答してもらい、全参加者がカットオフ値 33 点を超えていないことを確認した。また、レーヴン色彩マトリックス検査 (Raven's Colored Progressive Matrices: RCPM) により参加者の非言語的認知機能を測定し、カットオフ値の 24 点を下回るものはないことを確認した。本研究は東京都立大学の倫理審査委員会の承認を受けて実施した (承認番号: H3-66)。実験参加者から口頭および書面で同意を得たうえで、実験を行った。

表 1 実験参加者の基礎情報

	性別	年齢 (歳)	AQ 得点 (点)	RCPM 得点 (点)	RCPM 時間 (秒)
ID1	女	20	21	26	164
ID2	女	26	21	34	198
ID3	男	26	17	30	161
ID4	女	27	17	32	160
ID5	男	23	16	33	109
ID6	男	33	19	32	196
ID7	男	23	27	34	165
ID8	男	25	10	29	183
ID9	男	18	24	35	128
平均 (標準偏差)		24.56(4.09)	19.11(4.94)	31.67(2.87)	162.67(29.31)

実験装置および実験機器

本研究では、対象者の先を見越した知覚判断に基づいた運動計画能力を測定するため、障害物回避による行為選択課題を用いた。

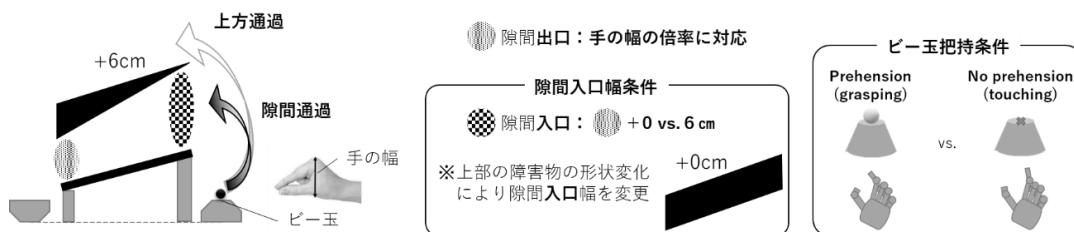


図 1 障害物回避のための行為選択課題

対象者は、課題装置右側に設置されたビー玉を、装置左側に置かれたカップへ移動させた。その際、装置中央に置かれた 2 つの障害物の配置に基づき、障害物の間にできる隙間を通るか、迂回（障害物の上方を通過）するかの行為選択を行った。隙間の出口幅は、ビー玉を母指と示指で対立つまみした際の第 2 中手骨頭から第 1 中手骨頭までの長さで定義された手の幅に対して、倍率で操作を行った。目先の目標について条件操作するため、ビー玉を把持する条件（把持あり条件）とビー玉が置いてある台を指で触れる条件（把持なし条件）を用意した。また、隙間入口幅についても条件操作を行い、出口幅と同じ幅の条件（+0 cm 条件）と出口幅よりも拡大条件（+6 cm 条件）の 2 条件を設定した。

実験の測定装置は、運動計画に関連するデータを取得するため 3 次元動作解析 OQUS(Qualysis AB., Sweden)を使用し、参加者の実験課題における知覚情報を視線から解析するために Tobii pro glasses 2 (Tobii AB., Sweden) を使用した。サンプリングレートはそれぞれ 100Hz で使用した。

## 手続き

実験者は出口隙間幅倍率の条件設定を行うため、実験開始に先駆けて実験参加者の右手の手の幅を計測した。実験者は実験参加者にできるだけ早く障害物に手がぶつからないようにビー玉を移動させること、障害物にぶつからずに隙間を通過することができるかと判断した場合は隙間を選択することを伝えた。実験開始肢位は実験参加者が実験装置の置かれた机の前の椅子に座り、机上に設定されたテープの上に右示指の指腹を乗せる肢位とした。実験参加者は課題開始前に閉眼して待機し、開始の合図であるビーブ音が聞こえたときに開眼した。開眼直後に実験装置上部の目印を見てから課題に取り組んだ。ビー玉把持の条件はブロックで分けられ、参加者ごとに異なる順番で取り組んだ。入口隙間幅の条件はブロック内でランダムに提示された。実験試行は出口隙間幅の倍率が手の幅の 1.25 倍から開始し、0.05 倍ずつ変化する“one-up-2-down の変形上下法”（隙間通過を 2 回連続して選択したときに 0.05 倍出口幅を狭くし、上方通過を選択したときに 0.05 倍出口幅を拡大する）で提示された。最初の 4 試行までを練習試行とし、倍率変化の増減方向の折り返しが 6 回見られた時点を収束点とした。4 条件（ビー玉把持 2 条件×隙間入口幅 2 条件）ごとに倍率変化の折り返しが 6 回見られるまでの試行数を「行為選択の一貫性」の指標として使用した。実験課題後に、隙間通過可能な最小の出口隙間幅倍率（Minimum Passable Ratio; MPR）を 4 条件それぞれで計測を行った。MPR は参加者が障害物にぶつかることなく連続して 2 回通過することができる最小の出口隙間幅倍率と定義した。

## 分析方法

実験参加者の各試行結果はビデオ記録と 3 次元動作解析を使用して、3 つに分類された。“成功 (success; S)” 試行は障害物と接触することなく隙間を通過することができた試行，“失敗 (failure; F)” 試行は隙間通過を選択したが障害物と接触した試行，“回避 (refusal; R)” 試行は隙間通過ではなく上方通過を選択した試行とした。各参加者の手の幅に対する出口隙間幅の倍率ごとに、全試行のうち隙間通過を選択した試行の割合として、試行率 $[(S+F)/(S+F+R)]$ を算出した。また、隙間通過を選択した試行のうち障害物に当たることなく隙間通過を成功することができた試行の割合として、成功率 $[S/(S+F)]$ を算出した。各参加者の知覚運動協応能力を計測するため、試行率および成功率の推移をロジスティック曲線 (Logistic curve) に近似した。

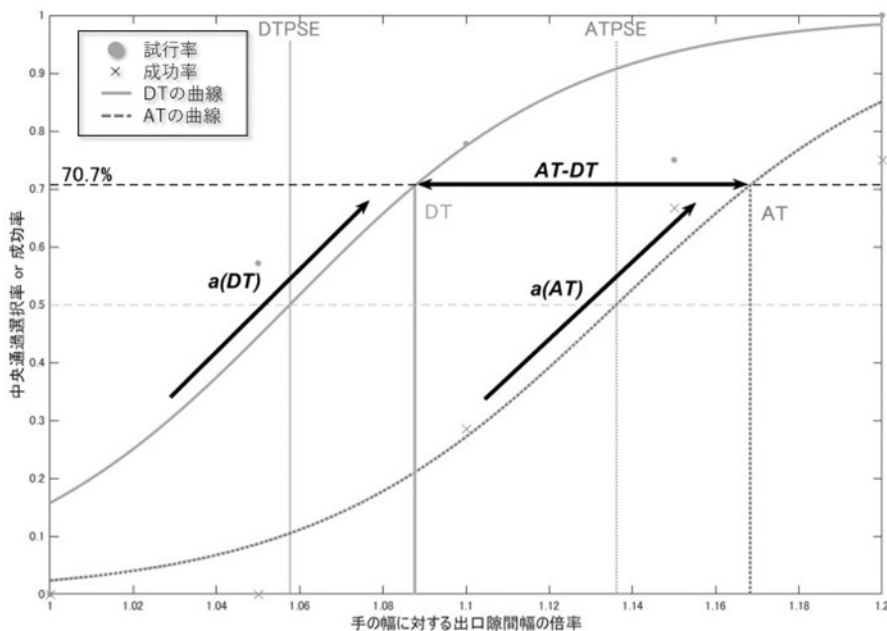


図 2 ロジスティック曲線の近似

“one-up-2-down の変形上下法”では、70.7%で閾値を求めることが推奨されている (Levitt, 1971)。そこで、試行率が 70.7%となる出口隙間幅の倍率として隙間通過決定閾値 (Decision Threshold; DT) と、成功率が 70.7%となる出口隙間幅の倍率として隙間通過成功閾値 (Affordance Threshold; AT) を以下の数式から推定した。

$$P(r) = \frac{1}{1 + \exp(-a(r - DT_{PSE} \text{ or } AT_{PSE}))}$$

$$DT \text{ or } AT = DT_{PSE} \text{ or } AT_{PSE} - \left(\frac{1}{a}\right) \log\left(\frac{1-y}{y}, 2.7182818\right)$$

上記の数式において、 $r$ は各出口隙間幅の各倍率、 $P(r)$ は出口隙間幅の各倍率に対する推定確率、 $a$ は近似させた曲線の傾き、 $DT_{PSE}$ と $AT_{PSE}$ は試行率と成功率が 50%となる出口隙間幅の倍率、 $y$ は 70.7%の確率を示す。試行率と成功率の 2 つの曲線の傾きの  $a$  をそれぞれ「 $a(DT)$ : 空間知覚判断 (出口隙間幅の倍率変化に対する隙間通過判断) の感度」と「 $a(AT)$ : 身体知覚判断 (出口隙間幅の倍率変化に対する手の幅の判断) の感度」の指標として使用した。また、DT と AT の差分値を「知覚判断の正確さ」の指標として算出した。Matlab R2020b (MathWorks Inc., Natick, Massachusetts, USA)の Curve Fitting ツールボックスで非線形最小二乗法を用いて曲線に近似させ、 $a$ , DT, AT の推定を行った。

3次元動作解析データは、Qualysis Track Manager ソフトウェア (version 2020.3, Qualysis AB., Sweden) を使用して 6Hz の Butterworth フィルターにより平滑化を行った。母指球背面に貼付したマーカーの速度プロファイルを参加者の手の動きとして解析を行った。手の動きから本実験課題を

4つのフェーズに分割した；フェーズ 1) ビー玉を設置している台へのリーチング，フェーズ 2) ビー玉の把持（把持なし条件では台に触れる），フェーズ 3) 隙間通過または上方通過の実行，フェーズ 4) ゴールのカップにビー玉を入れる（把持なし条件ではゴールのカップに触れる）。本実験では，目先の目標に対する情報の条件操作による影響を検討するため，フェーズ 1 からフェーズ 2 までに着目した。先行研究をもとに運動計画の指標として，リーチング所要時間，リーチング最大速度，リーチング最大速度到達時間，リーチング中の標準化躍度（Normalized Jerk Score; NJS），ビー玉把持所要時間を算出した。リーチング中の NJS については以下の数式から算出した。

$$NJS = \sqrt{\frac{1}{2} \int j^2(t) dt} \times \frac{RD^5}{WD^2}$$

上記の数式において， $j$  はリーチング動作時の加速度を微分した jerk の値，RD (Reaching Duration) はリーチングの所要時間，WD (Wrist Displacement) は開始から終点までの位置変位量を示す。NJS は低値であるほど，動作が滑らかであると評価された。

視線解析では，Tobii pro Lab ソフトウェア（version 1.181, Tobii AB., Sweden）を使用して，Tobii pro glasses 2 で得られた眼球運動の生データを Attention フィルター（100degree/s）によって固視へ変換したうえで解析を行った。興味領域（Area of Interest; AOI）は障害物の隙間出口（end），障害物の隙間入口（enter），ビー玉を設置している台（base）に設定した。3次元動作解析で定義したフェーズ 1 からフェーズ 2 の間に着目して 2 つの指標を算出した。1 つはリーチング中の各 AOI 内の固視時間（Total Duration of Fixation; TDF）を知覚の関心度の指標として算出し，もう 1 つは各 AOI に初めて固視ができるまでの時間（Time to First whole Fixation; TFF）を知覚の優先度の指標として算出した。TDF は高値であれば特定の AOI に対して関心度が高いと評価され，TFF は低値であれば特定の AOI に対する優先度が高いと評価された。

## 統計処理

ロジスティック曲線の近似式から得られた指標，遂行した試行数から得られた指標，動作解析の指標については，ビー玉把持の有無の要因と入口隙間幅の要因を独立変数とする二元配置分散分析を使用して条件間の比較検討を行った。また，視線解析の関心度に関する指標は上記の要因に加え，各 AOI に設定した領域の要因も加えて三元配置分散分析を用い，比較検討を行った。交互作用が認められた場合は，Bonferroni 法による多重比較検定を行った。

## 結果

表 2 には，参加者の各条件における指標ごとの平均値と標準偏差を記載した。表 3 では，分散分析の結果を記載した。

表 2 実験参加者の各条件の指標の平均値（標準偏差）

		ビー玉把持あり		ビー玉把持なし			
		+0cm	+6cm	+0cm	+6cm		
試行数	: 選択の一貫性	20.56 (5.22)	23.11 (6.88)	19.78 (6.28)	24.22 (7.21)		
MPR	: 隙間通過可能な最小出口 隙間幅倍率	1.22 (0.10)	1.14 (0.08)	1.21 (0.08)	1.14 (0.06)		
ロジスティック 曲線	DT	: 隙間通過決定閾値	1.42 (0.21)	1.22 (0.15)	1.35 (0.14)	1.14 (0.12)	
	a(DT)	: 空間知覚の感度	48.70 (66.72)	40.90 (44.84)	129.79 (102.12)	77.73 (79.14)	
	AT	: 隙間通過成功閾値	1.35 (0.15)	1.26 (0.15)	1.31 (0.14)	1.25 (0.13)	
	a(AT)	: 身体知覚の感度	221.53 (153.80)	154.75 (134.20)	236.12 (136.07)	63.37 (87.39)	
	AT-DT	: 身体-空間知覚の正確さ	-0.07 (0.09)	0.04 (0.09)	-0.04 (0.07)	0.11 (0.17)	
	AT-DT	: 身体-空間知覚の正確さ	0.09 (0.06)	0.07 (0.06)	0.05 (0.06)	0.12 (0.16)	
	視線解析	TDF(end)	: 隙間出口の関心度	0.25 (0.29)	1.12 (1.05)	0.18 (0.19)	2.19 (3.04)
		TDF(enter)	: 隙間入口の関心度	1.21 (1.62)	0.34 (0.39)	1.95 (3.30)	0.92 (1.33)
TDF(base)		: ビー玉設置台の関心度	1.18 (1.19)	1.28 (1.01)	1.56 (1.92)	2.33 (2.97)	
TFF(end)		: 隙間出口の優先度	159.02 (66.70)	122.18 (148.46)	258.40 (275.99)	154.86 (127.59)	
TFF(enter)		: 隙間入口の優先度	40.38 (48.82)	30.06 (20.55)	72.03 (62.68)	35.78 (28.18)	
TFF(base)		: ビー玉設置台の優先度	44.25 (53.64)	42.50 (41.99)	35.81 (40.52)	15.51 (15.59)	
動作解析	リーチング所要時間	: 運動計画	0.71 (0.09)	0.72 (0.09)	0.68 (0.10)	0.67 (0.10)	
	リーチング最大速度	: 運動計画	61.67 (10.42)	62.74 (10.54)	58.49 (8.45)	58.81 (9.11)	
	リーチング最大速度 到達時間	: 運動計画	0.34 (0.04)	0.34 (0.04)	0.30 (0.04)	0.31 (0.03)	
	リーチング NJS	: 運動計画	23.32 (3.24)	26.00 (5.00)	30.48 (6.74)	31.34 (6.81)	
	ビー玉把持所要時間	: 運動計画	0.48 (0.12)	0.49 (0.10)	0.32 (0.22)	0.30 (0.18)	

Note: MPR=Minimum Passable Ratio; DT=Decision Threshold; AT=Affordance Threshold; TDF=Total Duration of Fixation; TFF=Time to First whole Fixation; NJS=Normalized Jerk Score



表 3 分散分析の結果

	主効果	交互作用
試行数	把持 : F(1,8)=0.012, p=.915	把持×入口幅 : F(1,8)=0.256, p=.627
	入口幅 : F(1,8)=4.027, p=.080 <sup>+</sup>	
MPR	把持 : F(1,8)=0.462, p=.516	把持×入口幅 : F(1,8)=0.180, p=.683
	<b>入口幅 : F(1,8)=19.390, p=.002**</b>	
ロジスティック 曲線	<b>把持 : F(1,8)=5.375, p=.049*</b>	把持×入口幅 : F(1,8)=0.848, p=.384
	a(DT) 入口幅 : F(1,8)=1.513, p=.254	
	a(AT) 把持 : F(1,8)=0.631, p=.450 <b>入口幅 : F(1,8)=13.814, p=.006**</b>	
AT-DT	把持 : F(1,8)=5.048, p=.055 <sup>+</sup> <b>入口幅 : F(1,8)=13.198, p=.007**</b>	把持×入口幅 : F(1,8)=0.409, p=.540
AT-DT	把持 : F(1,8)=0.004, p=.861 入口幅 : F(1,8)=0.050, p=.534	把持×入口幅 : F(1,8)=2.247, p=.172
視線解析	把持 : F(1,8)=0.682, p=.433	把持×入口幅 : F(1,8)=2.218, p=.175
	TDF 入口幅 : F(1,8)=2.142, p=.181 <b>AOI : F(3,24)=3.835, p=.044*</b>	把持×AOI : F(3,24)=0.126, p=.875 <b>入口幅×AOI : F(3,24)=7.439, p=.026*</b> 把持×入口幅×AOI : F(3,24)=0.529, p=.488
	TFF 把持 : F(1,8)=1.917, p=.204 入口幅 : F(1,8)=1.984, p=.197 <b>AOI : F(3,24)=19.997, p=.002**</b>	把持×入口幅 : F(1,8)=1.438, p=.265 把持×AOI : F(3,24)=1.212, p=.303 入口幅×AOI : F(3,24)=0.760, p=.409 把持×入口幅×AOI : F(3,24)=0.266, p=.645
動作解析	リーチング 把持 : F(1,8)=2.458, p=.156	把持×入口幅 : F(1,8)=2.530, p=.150
	所要時間 入口幅 : F(1,8)=2.091, p=.186	
	リーチング 把持 : F(1,8)=3.085, p=.117	
	最大速度 入口幅 : F(1,8)=3.921, p=.083 <sup>+</sup>	
	リーチング <b>把持 : F(1,8)=7.370, p=.026*</b>	
	最大速度 <b>入口幅 : F(1,8)=8.822, p=.018*</b>	
	到達時間	
	リーチング <b>把持 : F(1,8)=6.972, p=.030*</b>	
	NJS <b>入口幅 : F(1,8)=7.409, p=.026*</b>	
	ビー玉把持 <b>把持 : F(1,8)=5.572, p=.046*</b>	
所要時間 入口幅 : F(1,8)=0.143, p=.715	把持×入口幅 : F(1,8)=1.733, p=.224	

Note: MPR=Minimum Passable Ratio; DT=Decision Threshold; AT=Affordance Threshold; TDF=Total Duration of Fixation; TFF=Time to First whole Fixation; NJS=Normalized Jerk Score

## 試行数と MPR

試行数には主効果および交互作用は認められなかった。MPR については、入口隙間幅の要因の有意な主効果が認められた ( $p=.002$ , partial  $\eta^2=.708$ )。入口隙間幅が拡大した+6cm 条件は、+0cm 条件と比較して隙間通過可能な最小出口隙間幅倍率は小さいことが示された。

## ロジスティック曲線

ビー玉把持の有無の要因の主効果が認められたのは、空間知覚判断の感度 a(DT)であった ( $p=.049$ , partial  $\eta^2=.402$ )。ビー玉把持により空間知覚判断の感度は低下することが明らかとなった。また、入口隙間幅の要因の有意な主効果が認められたのは、身体知覚判断の感度 a(AT) ( $p=.006$ , partial  $\eta^2=.633$ ) と知覚判断の正確さ AT-DT ( $p=.007$ , partial  $\eta^2=.623$ ) であった。+6cm 条件では+0cm 条

件よりも身体知覚判断の感度は低下しやすく、身体と空間の関係性の知覚が不正確になりやすいことが示された。しかし、いずれの指標についても交互作用は認められなかった。

### 動作解析

リーチング最大速度到達時間、リーチング NJS において、ビー玉把持の有無の要因と入口隙間幅の要因ともに主効果が認められた ( $p=.026$ ,  $\text{partial } \eta^2=.480$ ;  $p=.018$ ,  $\text{partial } \eta^2=.524$ )。リーチング最大速度到達時間は、ビー玉把持と入口隙間幅の拡大により延長することが明らかになった。滑らかさの NJS については、ビー玉把持により滑らかになり、入口隙間幅が拡大することで荒い動きとなることが判明した。また、ビー玉把持所要時間は、ビー玉把持の有無の要因に主効果が認められた ( $p=.046$ ,  $\text{partial } \eta^2=.411$ )。ビー玉把持の動作がなく台に触れる条件となっていたために、把持の時間が短くなったことが示された。

### 視線解析

知覚の関心度 TDF では AOI の要因の主効果 ( $p=.044$ ,  $\text{partial } \eta^2=.324$ )、隙間入口幅と AOI の要因の交互作用 ( $p=.026$ ,  $\text{partial } \eta^2=.482$ ) が認められた。AOI の主効果では、隙間出口領域<隙間入口領域<ビー玉を設置している台の順で関心度は高くなることが分かった。さらに、隙間入口幅と AOI の交互作用について多重比較を行った結果、入口隙間幅が拡大することで、隙間出口領域に対する関心度は高くなり ( $p=.004$ ,  $d=-.761$ )、隙間入口領域に対する関心度は低下する ( $p=.032$ ,  $d=.502$ ) ことが示された。知覚の優先度 TFF では AOI の要因の主効果のみが認められた ( $p=.002$ ,  $\text{partial } \eta^2=.714$ )。障害物の隙間出口の優先度が低下していることが明らかとなった。TFF に交互作用は認められなかった。

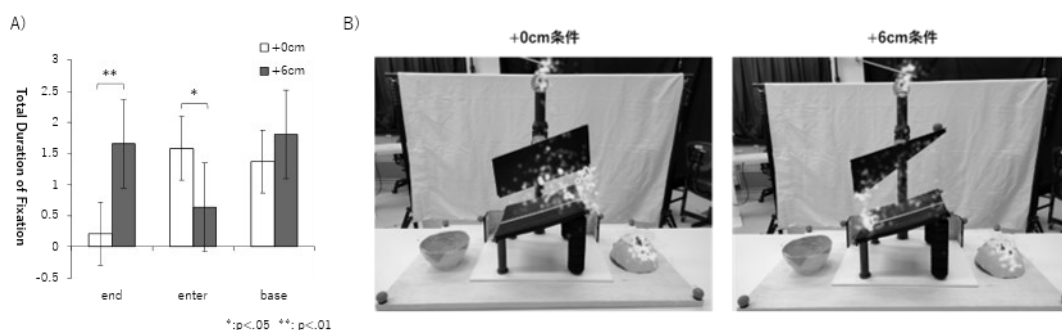


図 3 入口隙間幅条件ごとの A) 各 AOI の Total Fixation Duration と B) ヒートマップ

## 考 察

本研究では、ASD 者の先を見越した知覚判断に基づいた運動計画能力の解明を目指して、新たに作成した障害物回避による行為選択課題の予備的検討を若齢成人に実施した。ASD 者が苦手とする自身の身体と空間の関係性の知覚と、先を見越した運動計画について実験条件を設定し、本実験課題

の妥当性を検討した。

第1に、自身の身体と空間の関係性の知覚について隙間通過課題を取り入れ、隙間入口幅の拡大条件を設定した。その結果、隙間入口幅が拡大することで、出口隙間幅の倍率変化に対する手の幅の判断は鈍くなり、不正確な知覚判断を示した。これらの結果は、隙間入口幅の拡大条件設定が、参加者の身体と空間の関係性の知覚に対して外乱となっていたことを裏付ける結果であった。また、隙間入口幅の条件操作は、運動計画にも影響を与えていることが、動作解析の指標（リーチング最大速度到達時間、リーチング NJS）の結果から認められた。この結果から、隙間入口幅拡大のような隙間通過の難易度に応じて、運動全体を調整していることが示唆された。

第2に運動計画を検討するための連鎖課題については、ビー玉把持の有無の条件を設定した。動作解析の結果からは、ビー玉把持動作があることでリーチング最大速度到達時間は延長し、リーチング動作は滑らかとなることが示された。この結果から、ビー玉把持という目先の目標があることで、運動計画に負荷がかかることが示された。また、ビー玉把持の要因は出口隙間幅の倍率変化に対する隙間通過判断にも影響していたことが明らかとなった。ビー玉把持による出口隙間幅の変化に対する鈍さは、入口隙間幅のサイズに依らず生じることからも、目先の目標に対する処理がその後の知覚判断に対しても負荷となっていることが示唆された。

先行研究において、ASD 者の知覚機能と運動機能の関係性については、それぞれの標準的検査を用いた比較検討（Carmeli et al., 2008; Wang et al., 2020）や、手書き課題（Godde et al., 2018; Volman et al., 2006）、バイオロジカルモーション課題（Federici et al., 2020; Jacob & Alexander, 2022）などで検討されてきた。しかし、これらの課題や方法では、運動実行中の知覚機能の評価をすることができない。一方で、本研究における障害物回避による行為選択課題は、知覚と運動の関係性について、運動の実行を伴いながら知覚機能の評価を行うことができた。つまり、本研究で使用した障害物回避による行為選択課題が知覚判断に基づいた運動計画能力を適切に評価できると考えられた。

視線行動では、実験課題内における知覚の関心度や優先度が高くなる部位について検討を行った。その結果、入口隙間幅の拡大に伴う、興味領域の関心度に変化が認められた。入口隙間幅が拡大することで、参加者は注視すべき箇所を隙間入口領域から隙間出口領域に移動させていることが分かった。また、知覚の関心度は隙間出口領域、隙間入口領域、ビー玉設置台領域の順で高くなること、そして障害物の隙間出口の優先度は他の領域に対して低下していることが示された。Johansson らは物体操作における目と手の協調動作内に障害物回避動作を取り入れたところ、視線行動は物体把持や障害物回避それぞれのイベントが終了してから、次の領域へサッケードにより移動していることを示した（Johansson et al., 2001）。しかし、本研究の視線行動では、ビー玉把持のためのリーチング中であるにも関わらず、ビー玉設置台以外の障害物に対する関心度や優先度も認められている。つまり、リーチング動作のフェーズから後続の隙間通過に対する情報の取得を試みていることが示唆された。この結果は、隙間入口幅の条件操作が動作解析の指標に影響を与えていることを保証していると考えられる。

本研究の限界は、ロジスティック曲線の近似が当てはまらなかった参加者がいたためにサンプルサ

イズが小規模となったことが挙げられる。ロジスティック曲線の近似が当てはまるようにするためには、プロトコルとして変形上下法ではなく決められた倍率の出口隙間幅をランダムに提示する恒常法を用いる必要がある。また、外乱となりうる入口隙間幅の最低拡大サイズは不明であることが挙げられる。今後の実験では入口隙間幅の拡大による影響を検討する必要があるほか、ASD 傾向との比較から測定指標の妥当性の確認が必要と考えられる。その上で、本実験課題を ASD 児と定型発達児において比較検討し、ASD 児の先を見越した知覚判断に基づく運動計画能力について定型発達児との相違点を検証できると考えられる。

本研究の検討に基づき、本実験課題は実験参加者の先を見越した知覚判断に基づいた運動計画能力を測定できると判断した。これまで ASD 者の身体と空間の関係性の知覚や運動計画は、別々の実験課題で検証されていたため、その関連性は解明されていなかった (Fabbri-Destro et al., 2009; Fukui et al., 2018; Linkenauger et al., 2012)。しかしながら、運動実行中の知覚機能について測定可能な本実験課題を用いることによって、ASD 者の運動計画において、先を見越した知覚判断がどのように働いているのかを検討できると考えられる。

## 引用文献

- Adolph, K., & Joh, A. S. (2007). Motor development: How infants get into the act. A. Slater & M. Lewis (編), *Introduction to infant development* (pp. 63–80). Oxford University Press.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5™, 5th ed* (pp. xlv, 947). American Psychiatric Publishing, Inc.
- Bäckström, A., Johansson, A.-M., Rudolfsson, T., Rönqvist, L., von Hofsten, C., Rosander, K., & Domellöf, E. (2021). Motor planning and movement execution during goal-directed sequential manual movements in 6-year-old children with autism spectrum disorder: A kinematic analysis. *Research in Developmental Disabilities, 115*, 104014.
- Carmeli, E., Bar-Yossef, T., Ariav, C., Levy, R., & Liebermann, D. G. (2008). Perceptual-motor coordination in persons with mild intellectual disability. *Disability and Rehabilitation, 30*(5), 323–329.
- Cattaneo, L., Fabbri-Destro, M., Boria, S., Pieraccini, C., Monti, A., Cossu, G., & Rizzolatti, G. (2007). Impairment of actions chains in autism and its possible role in intention understanding. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104*(45), 17825–17830.
- Dawson, G., & Watling, R. (2000). Interventions to Facilitate Auditory, Visual, and Motor Integration in Autism: A Review of the Evidence. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 30*(5), 415–421.
- Fabbri-Destro, M., Cattaneo, L., Boria, S., & Rizzolatti, G. (2009). Planning actions in autism. *Experimental Brain Research, 192*(3), 521–525.

- Federici, A., Parma, V., Vicovaro, M., Radassao, L., Casartelli, L., & Ronconi, L. (2020). Anomalous Perception of Biological Motion in Autism: A Conceptual Review and Meta-Analysis. *Scientific Reports*, *10*(1), 4576.
- Fukui, T., Sano, M., Tanaka, A., Suzuki, M., Kim, S., Agarie, H., Fukatsu, R., Nishimaki, K., Nakajima, Y., & Wada, M. (2018). Older Adolescents and Young Adults With Autism Spectrum Disorder Have Difficulty Chaining Motor Acts When Performing Prehension Movements Compared to Typically Developing Peers. *Frontiers in Human Neuroscience*, *12*, 430.
- Godde, A., Tsao, R., Gepner, B., & Tardif, C. (2018). Characteristics of handwriting quality and speed in adults with autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*, *46*, 19–28.
- Gowen, E., & Hamilton, A. (2013). Motor abilities in autism: A review using a computational context. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *43*(2), 323–344.
- Hirata, S., Okuzumi, H., Kitajima, Y., Hosobuchi, T., Nakai, A., & Kokubun, M. (2014). Relationship between motor skill and social impairment in children with autism spectrum disorders. *International Journal of Developmental Disabilities*, *60*(4), 251–256.
- Jacob, P., & Alexander, G. (2022). Impaired Biological Motion Processing and Motor Skills in Adults with Autistic Traits. *Journal of Autism and Developmental Disorders*.
- Johansson, R. S., Westling, G., Bäckström, A., & Flanagan, J. R. (2001). Eye-hand coordination in object manipulation. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *21*(17), 6917–6932.
- Levitt, H. (1971). Transformed Up - Down Methods in Psychoacoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *49*(2B), 467–477.
- Linkenauger, S. A., Lerner, M. D., Ramenzoni, V. C., & Proffitt, D. R. (2012). A perceptual-motor deficit predicts social and communicative impairments in individuals with autism spectrum disorders. *Autism Research: Official Journal of the International Society for Autism Research*, *5*(5), 352–362.
- McPhillips, M., Finlay, J., Bejerot, S., & Hanley, M. (2014). Motor deficits in children with autism spectrum disorder: A cross-syndrome study. *Autism Research: Official Journal of the International Society for Autism Research*, *7*(6), 664–676.
- Puspongoro, H. D., Efar, P., Soedjatmiko, Soebadi, A., Firmansyah, A., Chen, H.-J., & Hung, K.-L. (2016). Gross Motor Profile and Its Association with Socialization Skills in Children with Autism Spectrum Disorders. *Pediatrics & Neonatology*, *57*(6), 501–507.
- Volman, M. J. M., van Schendel, B. M., & Jongmans, M. J. (2006). Handwriting difficulties in primary school children: A search for underlying mechanisms. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, *60*(4), 451–460.

Wuang, Y.-P., Huang, C.-L., & Tsai, H.-Y. (2020). Sensory Integration and Perceptual-Motor Profiles in School-Aged Children with Autistic Spectrum Disorder. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 16, 1661–1673.

Zampella, C. J., Wang, L. A. L., Haley, M., Hutchinson, A. G., & de Marchena, A. (2021). Motor Skill Differences in Autism Spectrum Disorder: A Clinically Focused Review. *Current Psychiatry Reports*, 23(10), 64.

## 謝 辞

本研究のために調査にご協力いただいた実験参加者に心から感謝いたします。また、樋口教授には、研究の進め方や枠組みについて有益な助言をいただきました。この研究は、2021 年度公益財団法人発達科学研究教育センターの助成金交付により研究が遂行されたものです。この場を借りて深く御礼申し上げます。