# 到達運動における位置誤差と誤差評価

上田 奈津貴 <sup>1,2</sup>, 田中 観自 <sup>1,34</sup>, 渡邊 克巳 <sup>1,3</sup>
Natsuki Ueda, Kanji Tanaka, Katsumi Watanabe
「早稲田大学 理工学術院
<sup>2</sup>茅ヶ崎リハビリテーション専門学校
<sup>3</sup>東京大学 先端科学技術研究センター
<sup>4</sup>日本学術振興会

<sup>1</sup>Faculty of Science and Engineering, Waseda University

<sup>2</sup>Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo

<sup>3</sup>Japan Society for the Promotion of Science

n.ueda000@gmail.com

#### 1. はじめに

私たちが普段運動をする時、運動の結果は視覚と 固有受容覚により知覚される。固有受容覚は姿勢や 身体位置の感覚を求心性に伝え、特に暗闇の中で自 らの身体位置を知覚する。また、固有受容覚は運動 の熟達に伴い正確性が向上することから、運動の熟 達との関連も示唆されている(Lin, Lien, Wang, & Tsauo, 2006).

固有受容覚は筋紡錘や関節受容器などいくつかの 受容器の情報が中枢神経で統合された複合感覚で, 知覚の正確性には様々な要因が影響する. 例えば, 固有受容覚により記憶された空間上の参照点への到 達運動では,参照点が身体の中心線から遠くなるに つれて運動の誤差が大きくなり,さらにその誤差は 加齢によって増大することが示されている(Schaap, Gonzales, Janssen, & Brown, 2015).

求心性の感覚神経線維が障害された場合、視覚遮 断下での誤差の修正や空間における運動の位置表現 が障害され、身体が空間上のどこに位置し、どこで運動しているかを知覚することが困難になる (Nougier et al., 1996). 一方、健常成人ではこのような空間上の身体位置の知覚がどの程度正確か、また、身体から近い、あるいは離れた場所でどのように変化するかについてはほとんど知られていない. そのため、今回は到達運動の参照点が前方・側方、同側・鏡像に移った場合の位置誤差の計測をし、その際に誤差評価がどのように変化するかを検討した.

また,運動の得意な者,不得意な者,あるいは自信のある者,自信のない者で位置誤差や誤差評価に違いがみられるかどうかを検討するために,実験参加者に運動有能感尺度(伊藤,1986),個人志向性・社会志向性 PN 尺度(伊藤,1995),特性的自己効力感尺度(成田 et al.,1995),自己受容測定尺度(沢崎,1993),運動経験年数の5つの回答をさせ,質問紙の解答と位置誤差,誤差評価,誤差評価と位置誤差の差分との相関を検討した.

## 2. 実験手順

本研究では、右利きの成人 14名 (男性 11名,女性 3名; 平均 22.09±2.31歳) が参加した。身体位置の計測には5台の赤外線カメラで構成される三次元動作解析装置 (Qualysis, Sweden) を使用し、右手指先、左手指先、胸骨の3点にマーカーを貼付し、3点の位置座標を計測した。指先のマーカーは、示指と中指をテープで固定した指先に貼付した。

実験課題は、4条件(同側前方,同側側方,鏡像前方,鏡像側方)で、すべて視覚遮断下で行った.まず、参加者はそれぞれの条件で到達運動を行い、その最終地点を各条件の参照点とした。同側条件の場合、実験参加者は参照点を決定する到達運動を左手で行い、その後の7試行では、参照点に対して到達運動も左手で行った。鏡像条件の場合、実験参加者は参照点を決定する到達運動を右手で行い、その後の7試行では、正中線を挟んで参照点と鏡像になる位置に対して到達運動を左手で行い、最終位置で3秒間静止することが求められた。また、実験参加者は各試行後に直前の到達運動の静止地点と参照点との誤差について空間上の直線距離を回答するよう教示された。

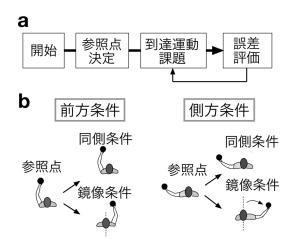


Figure 1. a: 実験の流れ b: 実験条件

## 3. 計測方法

計測した3点の位置座標データは100Hzで計測し、平滑化を行った(Butterworth filter, cut off frequency 8Hz). 参照点と到達運動最終地点との距離は以下の式で算出した.

位置誤差 = 
$$(d_x^2 + d_y^2 + d_z^2)^{1/2}$$
 · · · · (1)

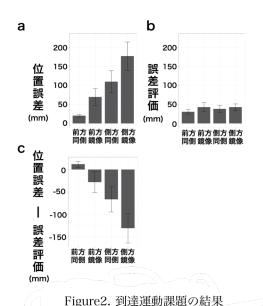
dx, dy, dz はそれぞれ x, y, z 方向の参照点と最終地点の誤差である。参照点, 到達運動の最終地点の位置座標は, 運動を行う上肢の運動速度が 0±2SD 以下の時点での位置座標を平均した(Adamovich, Berkinblit, Fookson, & Pozner, 1999).

### 4. 結果

#### 位置誤差と誤差評価についての解析

解析ではまず、参照点と到達地点との直線距離を位置誤差とし、同側前方、同側側方、鏡像前方、鏡像側方の各条件で比較した(Figure2). その結果、位置誤差は前方に比べ側方への到達運動課題の際に大きくなり (F(1,13) = 17.7, p<0.01),鏡像条件では同側での到達運動課題に比べ有意に大きいことが明らかとなった(F(1,13) = 6.1, p<0.05). 誤差評価は前方に比べ側方への到達運動の際に大きくなったが(F(1,13) = 4.94, p<0.05),同側条件と鏡像条件では有意な差はみられなかった.

位置誤差と誤差評価の差は、位置誤差と同じ く前方条件に比べ側方条件で差が大きく(F(1,13) = 17.99, p<0.01)、同側条件に比べ鏡像条件で差が大きいことが明らかとなった(F(1,13) = 5.33, p<0.05).



- a: 到達点と参照点の誤差(mm) b: 誤差評価(mm)
- c: 位置誤差と誤差評価の差 (mm)

#### 心理尺度との相関分析

到達運動課題を実施した実験参加者に, 運動有能 感尺度 (伊藤, 1986), 個人志向性・社会志向性 PN 尺度 (伊藤, 1995), 特性的自己効力感尺度 (成田 et al., 1995), 自己受容測定尺度(沢崎, 1993)の5 つの質問紙と、運動経験年数の聴取を行った。個人 志向性・社会志向性 PN 尺度の下位項目 4 項目と. 他の心理尺度,運動経験年数の9項目を独立変数と し、到達運動課題を従属変数としてステップワイズ 方式の重回帰分析を行った. 到達運動課題は, 4条 件(前方同側,前方鏡像,側方同側,側方鏡像)の 位置誤差, 誤差評価, 誤差評価と位置誤差の差分に ついて解析を行った.

解析の結果,位置誤差については前方条件で同 側・鏡像条件ともに心理尺度との相関はみられなか った。側方・同側条件では運動有能感尺度、自己受 容測定尺度、個人志向性・社会志向性 PN 尺度の個 人志向性 N 尺度の3つの心理尺度と正の相関 (Table 1) がみられ、側方・同側条件ではこれら の心理尺度の得点が高いほど位置誤差が大きくなる

傾向が示された. 側方・鏡像条件では運動有能感と 正の相関(Table 2)がみられ、側方・鏡像条件で は運動有能感の得点が高いほど位置誤差が大きくな る傾向が示された。 一方, 誤差評価はいずれの質問 紙とも相関がみられなかった.

Table1 位置誤差と心理尺度との相関 (側方・同側条件)

	( [//3/]	1.3 [/3/1/1/1]	<u> </u>
独立変数		β值	t值
(定数)		-0.294	
運動有能感		0.572*	3.204
自己受容感		0.513*	2.750
個人志向性PF	度	-0.362	-2.125
個人志向性NF	尺度	0.744**	4.420

\*p < 0.05, \*\*p < 0.01重相関係数 (R)=0.76 調整済み決定係数 $(R^2)=0.65$ 

Table2 位置誤差と心理尺度との相関 (側方・鏡像条件)

独立変数	β值	t值
(定数)	0.221	
運動有能感	0.628*	2.625
個人志向性P尺度	-0.525	-2.187
自己効力感	0.496	1.945

\*p < 0.05, \*\*p < 0.01重相関係数 (R)=0.507 調整済み決定係数 $(R^2)=0.36$ 

誤差評価と位置誤差との差分では, 側方・同側条 件で個人志向性 N 尺度と負の相関 (Table 3) がみ られ、個人志向性 N 尺度の得点が高いものほど自ら の位置誤差を実際より少なく評価する傾向が示され た. 一方, 側方・鏡像条件においては運動有能感尺 度・特性的自己効力感尺度と負の相関、個人志向性 P 尺度と正の相関がみられ、運動有能感尺度、自己 効力感尺度の得点が高いものほど自らの位置誤差を 実際よりも少なく評価し、個人志向性 P 尺度の得点 が高いものほど自らの位置誤差を実際よりも大きく

評価する傾向が示された(Table 4).

Table3 誤差評価と位置誤差の差と 心理尺度との相関(側方・同側条件)

独立変数	β值	t值
(定数)	0.176	
運動有能感	-0.457	-2.272
自己受容感	-0.458	-2.299
個人志向性P尺度	0.298	1.615
個人志向性N尺度	-0.706**	-3.894

1.247

\*p<0.05, \*\*p<0.01重相関係数 (R)=0.76調整済み決定係数 $(R^2)$ =0.61

運動経験年数

Table4 誤差評価と位置誤差の差と 心理尺度との相関(側方・鏡像条件)

独立変数	β值	t值
(定数)	-0.109	
運動有能感	-0.698*	-3.147
個人志向性P尺度	0.499*	2.244
自己効力感尺度	-0.57*	-2.408

\*p<0.05, \*\*p<0.01 重相関係数 (R)=0.58 調整済み決定係数( $R^2$ )=0.45

## 5. 考察

到達運動課題の結果から,位置誤差は前方条件よりも側方条件,同側条件よりも鏡像条件で大きくなることが示された.一方,誤差評価は前方条件と側方条件の間では変化せず,より誤差の大きい条件では実験参加者の想定以上の位置誤差が生じることが示された.

到達運動の位置誤差と心理尺度の回帰分析の結果 から,運動有能感尺度と自己受容尺度,個人志向性 N尺度の得点が高い者ほど,側方・同側条件での到 達運動の正確性が低下することが示された.運動有 能感が高い者は自らの身体能力を高く評価し,運動 のモチベーションを維持できるとされるが、身体能 力への高い自己評価とは対照的に、運動有能感が高 いほど側方・同側への到達運動の正確性は低下する ことが示唆された。また、自己受容測定尺度におけ る自己受容感の高さは一般的に対人面において肯定 的に捉えられることが多いが、側方・同側への到達 運動では自己受容感の高さが運動の正確さを低下さ せる可能性が示唆された. 個人志向性 N 尺度は個人 の否定的側面における志向性を示し、この項目の点 数の高いものは非適応的な自己表現によって、周囲 との齟齬を生み出す傾向があるとされるが、側方・ 同側条件の到達運動では自己表現において非適応的 な傾向が高いものほど運動の正確性が低下すること が示唆された. 一方、側方・鏡像条件では運動有能 感尺度のみと正の相関がみられ、運動有能感が高い 者ほど側方・鏡像への運動の正確性が低下すること が示された。一方、誤差評価はいずれの質問紙とも 相関がみられず、個人の心理過程と位置誤差の関係 が主観のみによって変化するものではないことが示 された

また、位置誤差、誤差評価の差分と心理尺度の回帰分析の結果では、側方・同側条件において個人志向性 N 尺度と負の相関がみられ、個人志向性 N 尺度の得点が高い場合実験参加者は実際の誤差よりも誤差を少なく見積もることが示された。一方、側方・鏡像条件で運動有能感尺度・自己効力感尺度と負の相関、個人志向性 P 尺度と正の相関がみられた。この結果から、運動有能感尺度・自己効力感尺度の点数が高い者ほど、想定よりも大きな位置誤差が生じていることが示された。また、個人志向性 P 尺度は、得点が高いほどより適応的な形の自己表現をなす傾向があると言われており(伊藤、1995)、この尺度の点数が高い者ほど、位置誤差を実際の誤差と同等か、実際よりも多く見積もることが示された。

同側条件と鏡像条件間で相関の違いがみられた原

因として、参照点と同側の位置誤差は非適応的な自己表現の傾向など個人内の心理特性と関係する一方、参照点と鏡像の位置誤差は運動有能感や、自己効力感など他者との関係の中で形成される心理特性と関係している可能性が考えられる。例えば嬉しさや悲しさなど個人の心理過程と密接に関係するジェスチャーの多くは片手で行うが、運動有能感や自己効力感、適応的な自己表現は幼少期からスポーツや遊びなど、様々な活動を通して他人との関わりの中で形成されるものであり、その多くは両手を使用する動作である。このような動作の持つ心理的な特性が同側条件と鏡像条件の違いに影響している可能性がある。

#### 6. 結論

本研究では運動空間によって位置誤差が変化する一方,誤差評価は変化せず,位置誤差が大きい条件では実験参加者の想定以上の位置誤差が生じることが明らかとなった.

また、心理尺度との相関から、同側への到達運動は鏡像への到達運動に比べ、より個人の内的な心理的側面との関わりがあることが示唆された。一方、鏡像への到達運動は同側への到達運動に比べ、より他人との関わりの中で形成される心理特性との関わりがあることが示唆された。今後これらの違いは利き手、非利き手の違いや左右間の感覚運動転移によるものかについて検討が必要である。

#### 参考文献

- [1] 伊藤 豊彦 (1986). 原因帰属様式と身体有能さの認知 がスポーツ行動に及ぼす影響 —スポーツ行動に関 する原因帰属モデルの検討—. 体育学研究, 31, 263-271
- [2] 伊藤 美奈子 (1995) . 個人志向性・社会志向性 PN 尺度の作成とその検討. 心理臨床学研究, 13, 39-47
- [3] 上村 有平 (2007). 青年期後期における自己受容と他者受容の関連:個人志向性・社会志向性を指標として. 発達心理学研, 18, 132-138
- [4] 沢崎 達夫 (1993). 自己受容に関する研究 (1)—新

- しい自己受容測定尺度の青年期における信頼性と妥当性の検討。カウンセリング研究,26,29-37
- [5] 成田 健一・下仲 順子・中里 克治・河合 千惠子・佐藤 眞一・長田 由紀子 (1995). 特性的自己効力感 尺度の検討—生涯発達的利用の可能性を探る. 教育心理学研究, 43, 306-314
- [6] Adamovich, S. V., Berkinblit. M. B., Fookson, O., & Pozner, H. (1999). Pointing in 3D space to rememberd targets II: Effects of movement speed toward kinesthetically defined targets. Experimental Brain Reserch, 125, 200-210
- [7] Carey, L. M., Matyas, T.A., & Oke, L. E. (1993). Sensory loss in stroke patients: effective training of tactile and proprioceptive discrimination. Achives of Physical Medicine and Rehabilitation, 74, 602-611
- [8] Fiehler, K., Rösler, F., & Henriques, D. Y. P. (2010). Interaction between gaze and visual and proprioceptive position judgements. *Experimental Brain Reserch*, 203, 485-498
- [9] Green, A. M., & Labelle, J. P. (2015). The influence of proprioceptive state on learning control of reach dynamics. *Experimental Brain Reserch*, 233, 2961-2975
- [10] Heuer, H., & Lüttgen, J. (2014). Motor learning with fading and growing haptic guidance. *Experimental Brain Reserch*, 232, 2229-2242
- [11] Lin, C.H., Lien, Y. H., Wang, S. F., & Tsauo, J. Y. (2006). Hip and Knee Proprioception in Elite, Amateur, and Novice Tennis Players. American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, 85, 216-221
- [12] Mostafa, A. A., Salomonczyk, D., Cressman, E. K., & Henriques, D. Y. P. (2014). Intermanual transfer and proprioceptive recalibration following training with translated visual feedback of the hand. *Experimental Brain Reserch*, 232, 1639-1651
- [13] Mostafa, A. A., Kamran- Disfani, R., Bahari- Kashani, G., Cressma, E. K., & Henriques, D. Y. P. (2015). Generalization of reach adaptation and proprioceptive recalibration at different distance in the workspace. *Experimental Brain Reserch*, 233, 817-827
- [14] Missaoui, B., & Thoumie, P. (2009). How far do patients with sensory ataxia benefit from so-called "proprioceptive rehabilitation"?. *Clinical Neurophysiology*, 39, 229-233
- [15] Nougier, V., Bard, C., Fleury, M., Teasdale, N., Cole, J., Forget, R., Paillard, J., & Lamarre, Y. (1996). Control of single-joint movements in deafferented patients: evidence for amplitude coding rather than position control. *Experimental Brain Reserch*, 109, 473-482
- [16] Quintern, J., Immisch, I., Albrecht, H., Pöllmann, W., Glasauer, S., & Straube, A. (1999). Influence of visual and proprioceptive afferences on upper limb ataxia in patients with multiple sclerosis. *Journal of the Neurological Sciences*, 163, 61-69.
- [17] Rand, D., Weiss, P. L., & Gottlieb, D. (1999). Does Proprioceptive Loss Influene Recovery of the Upper Extremity After Stroke. *Neurorehabilitation & Neural Repair*, 13, 15-21
- [18] Sainburg, R. L., Ghilardi, M. F., Poizner, H., & Ghez, C. (1995). Control of Limb Dynamics in Normal Subjects and Patients Without Proprioception. *Journal of Neurophysiology*, 73 (2), 820-835
- [19] Schaap, T. S., Gonzales, T. I., Janssen, T. W. J., & Brown, S. H. (2015). Proprioceptively guided reaching movements in 3D space effects of age. *Experimental Brain Reserch*, 233, 631-639

- [20] Simon, D. A., & Bjork, R.A. (2001). Metacognition in Motor Learning. *Journal of Experimental Psychology*, 27, (4), 907-912
- [21] Soechting, J. F., & Flanders, M. (1989). Errors in Pointing are Due to Approximations in Sensorimotor Transformations. *Journal of Neurophysiology*, 62, 595-608
- [22] Timmermans, B., Schilbach, L., Pasquali, A., & Cleeremans, A. (2012). Higher order thoughts in action-consciousness as an unconscious re description process. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 367, 1412-1423
- [23] Wong, J. D., Kistemaker, D. A., Chin, A., & Gribble, P. L. (2012). Can proprioceptive training improve motor learning?. *Journal of Neurophysiology*, 108, 3313-3321