

[研究論文]

他者の注視地点に対する観察者の相対的位置が視線方向知覚に及ぼす影響

The Effect of Relative Position of Observer for the Fixation Points of the Other Person on Perception of Gaze Direction

森 将輝

慶應義塾大学環境情報学部専任講師*¹

Masaki Mori

Assistant Professor, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

渡辺 利夫

慶應義塾大学名誉教授*²

Toshio Watanabe

Professor Emeritus, Keio University

Abstract: 本研究は、観察者と向かい合う他者の注視地点が観察者の前方あるいは後方に布置されている場合で視線方向知覚が異なるかを調べた。実験参加者 32 名は、顔写真を観察し、注視地点であると判断した地点に目印をつけた。視線知覚空間と物理空間の間にアフィン変換が当てはめられた。結果として、注視地点が観察者の前方にある場合よりも後方にある場合の方が、視線知覚空間は観察者と他者を結ぶ方向に狭く、異方性が大きいことが明らかになった。

This study investigated whether perception of gaze direction was different when the fixation points of the other person facing an observer were located in front of or behind the observer. Thirty-two participants observed face photographs and then marked on the judged fixation points. An affine transformation was fitted between the gaze perceptual space and the physical space. Our results revealed that the gaze perceptual space was narrower in the direction connecting the other person to the observer and the anisotropy was larger when the fixation points located in the rear rather than the front of the observer.

Keywords: 視線知覚、視線方向知覚、異方性、相対的位置、アフィン変換

gaze perception, perception of gaze direction, anisotropy, relative position, affine transformation

投稿時所属：*¹ 政策・メディア研究科後期博士課程

*² 環境情報学部教授

1 序論

1.1 視線知覚とは何か

人の眼球は、他の霊長類の眼球と比較して、輝度コントラスト比、眼瞼裂の横長さ、強膜の露出度が高いことが知られている (Kobayashi and Kohshima, 1997; 2001)。この形態的特徴により、人の眼は視認性が高く、視線方向が判断されやすいと考えられる。視線は、注視された人や物を含む対象物、節点、中心窩の3点を結ぶ視軸であり、直接観察することができない。しかし、我々は、他者の眼を観察し視線方向を推測する能力を頼りに乳幼児期の母子関係を築き、乳幼児期以降も他者理解のためにその能力を利用している (Blehar et al., 1977; Johnson et al., 1991; Yamashita et al., 2012)。

向かい合う他者の視線方向を推測することを視線知覚という。先行研究では、直視は直視以外の視線方向よりも、認識されるまでの時間が短く、注意が捕捉されやすいことが繰り返し報告されている (von Grünau and Anston, 1995; Senju and Hasegawa, 2005; Yokoyama et al., 2014)。また、直視と直視以外の視線方向では、脳の賦活領域や活動時間が異なることが見いだされている (George and Conty, 2008; George et al., 2001; Yokoyama et al., 2013)。このような知覚的性質や脳活動の違いから、視線知覚を直視知覚と視線方向知覚の2つに分類する。直視知覚は、向かい合う他者が観察者の眼を注視しているか否かを推測することを意味し、視線方向知覚は、他者が観察者の眼以外のどこを注視しているかを推測することを意味するものとする。

共同注意場面において他者の関心や注意の所在を推測する際、視線方向は他者の関心の対象を探り当てるために必要な手がかりの1つであることが指摘されている (Tomasello et al., 2007)。共同注意場面において視線方向が手がかりとしてどのように利用されているかを知るには、視線方向知覚の性質を探索していく必要がある。

1.2 視線方向知覚の計量的性質

視線方向知覚に関する研究は、側方に変位する視線方向が過大に知覚されることが Anstis ほか (1969) により見いだされたことに始まる。以後の研究では、視線方向が過大に知覚される場合 (Otsuka et al., 2016)、視線方向が過小

に知覚される場合 (Cline, 1967)、両方の性質を含む場合 (Masame, 1990) が報告されている。これらの研究結果を概観すると、実験参加者の眼の近傍を注視している場合の視線方向は過小に知覚され (やや逸れた視線方向である場合にも目が合うように知覚されており)、それ以外の地点を注視している場合の視線方向は過大に知覚される (実際の視線方向よりも視線方向が大きく逸れるように知覚されている) ことが見受けられる。前者が直視知覚、後者が視線方向知覚であると考えれば、それぞれの視線知覚で異なる性質を示すことが窺える。

視線方向知覚を研究する際、視線が対象物、節点、中心窩の3点を結ぶ一直線であることは特筆すべき点である。この点を踏まえると、頭部方向および頭部の空間布置が固定されている場合に、視線方向は広がりのある空間内に置かれた対象物の位置により一義に定まることが見いだされる。多くの先行研究は、実空間において、実験参加者の目線の高さにある1次元空間 (水平線あるいは垂直線) 内の地点を用いて、視線方向知覚の性質を調べている (Anstis et al., 1969; Masame, 1990; Otsuka et al., 2016)。しかし、我々が日々の生活において視線方向知覚を行う場面は、1次元空間に限らず、2次元空間あるいは3次元空間内においてなされるため、視線方向知覚は、空間内に置かれた対象物の空間布置をもとに性質を見いだしていく方が、より現実味を帯びた性質が得られると考えられる。そこで、本研究は、2次元空間内に布置された対象物の空間布置をもとに、視線方向知覚の空間的かつ計量的な性質を検討していく。

このような側面は、アフィン変換を用い、空間の異方性があるかという観点から検討することができる (渡辺, 2008)。空間の異方性は、空間内の方向により性質が異なることを意味し、視空間 (例えば、盛永, 1935) や認知空間 (例えば、大島・岡市, 1990) において多数報告されている現象である。これらの心理的空間に空間の異方性があるということは、心理的空間に非等質性があることを示唆し、知覚や認知の歪みを説明することに繋がる可能性を秘めている。

視線方向知覚にはどのような歪みが存在するのであろうか。森・渡辺 (2018) は、顔写真の視線方向から知覚された注視地点の位置を床面上に等間隔に布

置された 460 個のマーカーから 1 つを選択するように実験参加者に求めている。顔写真の人物の眼は、床面から高さ 125cm に位置している。実験参加者により選択されたマーカーの布置 (視線知覚空間) と、顔写真の人物が実際に注視していた地点の布置 (物理空間) の間にアフィン変換による写像関数を当てはめている。結果として、視線知覚空間は、物理空間よりも水平方向 (顔写真の人物の左右方向) に約 1.23 倍に拡大され、奥行方向 (実験参加者と顔写真を結んだ方向) に約 0.52 倍に縮小される性質があり、空間の異方性が生じていることが見いだされている。森・渡辺の研究では、顔写真の人物の注視地点は実験参加者の後方だけに存在している。ただし、森・渡辺の研究を除いた多くの先行研究では、顔写真の人物の注視地点は実験参加者の前方だけに存在している (Anstis et al., 1969; Imai et al., 2006; Masame, 1990)。現実場面では、視線方向を知覚する際、他者 (顔写真の人物) の注視地点が実験参加者の前方である場合も後方である場合も含むであろう。両者の違いがどのような影響を及ぼすのであろうか。桜井ほか (2009) は、CG で制作された顔 (CG 顔) の注視地点が、実験参加者の前方、実験参加者と同程度、実験参加者の後方のいずれに位置するかを実験参加者に判断させている。CG 顔は、実際の人物の 4 分の 1 に相当する大きさで、実験参加者の 50cm 前方に存在している。CG 顔の頭部中心座標系を基準とし、CG 顔の視線方向は、正面方向を角度 0° 、右方向を正の数 (+)、左方向を負の数 (-) と定めた場合に、水平方向への眼球回転角度が 0° 、 $\pm 2.5^\circ$ 、 $\pm 5^\circ$ 、 $\pm 10^\circ$ 、 $\pm 15^\circ$ のいずれかである。CG 顔から注視地点までの奥行距離は、10cm、20cm、30cm、40cm、50cm、60cm、70cm、80cm、90cm、100cm のいずれかである。結果として、CG 顔が実験参加者よりも前方を注視しているという判断は、視線方向に関する水平方向への眼球回転角度が大きく、CG 顔から注視地点までの奥行距離が短い場合になされることが見いだされている。さらに、桜井ほかは、いずれの注視地点である場合も、CG 顔が実験参加者よりも後方を注視しているという判断は頻度が低いという実験結果を示している。他者の注視地点は実験参加者の前方および後方に同数存在していたため、他者の注視地点が実験参加者の後方にある場合に、他者の注視地点が後方にあるという判断がなされにくいことが窺える。桜井ほかの研究は、他者の注視地点が実験参加者

あるいは実験参加者の近傍に存在する実験条件であるため、特に直視知覚に関する性質を調べていると考えられる。視線方向知覚の性質は、他者の注視地点が観察者の後方あるいは前方にある場合で異なるのであろうか。

1.3 本研究の目的

本研究の目的は、他者の注視地点に対する観察者の相対的位置により視線知覚空間における空間の異方性の大きさが異なるかを検討することである。他者の注視地点が観察者の前方にある場合と後方にある場合で視線方向知覚が異なる結果となれば、視線知覚空間は観察者の相対的位置により性質が異なると結論付けられるであろう。実験参加者は、顔写真の人物の視線方向から注視地点を知覚判断し、無地の床面上にマーカーを置くように求められた。これらの課題を、半数の実験参加者は、注視地点が実験参加者の前方に、残りの半数の実験参加者は注視地点が実験参加者の後方に布置されている場合に行った。実験参加者により置かれたマーカーの布置を視線知覚空間、顔写真の人物が実際に注視していた地点の布置を物理空間とし、物理空間と視線知覚空間の間にアフィン変換による写像関数を個人毎に当てはめていく。

2 実験（方法）

2.1 実験参加者

ナイーブな大学生または大学院生 32 名がボランティアとして実験に参加した。ただし、分析時は、実験時の裸眼あるいは矯正視力が 0.5 未満である 2 名のデータを除外し、30 名のデータが用いられた。30 名の実験参加者は、平均年齢 22.1 歳 ($SD = \pm 1.87$ 歳)、性別の内訳が女 16 名、男 14 名、裸眼あるいは矯正視力が 0.5 から 2.0 の範囲内であった。

2.2 装置と刺激

本研究で用いられた装置と刺激は、森・渡辺 (2018) により用いられたものと同様であった。

幅 400cm、奥行き 450cm の室内に、3 つの固定点 O、A、B と、可動点 P を布置した。固定点 O (0cm, 0cm) の上方に設置されたデジタルハイビジョ

ンプラズマテレビ（三洋電機製；PDP-42HD6；解像度 1024×768 pixels；画面のサイズ 42inch）には、実物大の顔写真（アジア人の男子学生 1 名と女子学生 1 名の計 2 名；裸眼あるいは矯正視力はそれぞれ 0.9、0.8；斜視、輻輳不全などの視機能の異常なし）が提示された。顔写真は、固定点 A（0cm, 100cm）に置かれたビデオカメラ（JVC 製 GZ-HM450；35mm カメラ換算値で $f=42$ mm に固定して使用）で撮影され、可動点 P を注視している時の顔写真 44 種類（注視顔写真）と、ビデオカメラを注視している時の顔写真 1 種類（直視顔写真）で構成された。可動点 P は、顔写真の人物の正面を 0° 、顔写真の人物の右を正の数（+）、顔写真の人物の左を負の数（-）とした時、床面上での 11 種類の角度 $\angle AOP = 0^\circ, \pm 6^\circ, \pm 12^\circ, \pm 18^\circ, \pm 24^\circ, \pm 30^\circ$ と、4 種類の距離 $OP = 175\text{cm}, 225\text{cm}, 275\text{cm}, 325\text{cm}$ の組み合わせから構成された。顔写真の人物は、両眼が床面から高さ 125cm に位置するように椅子の高さが調整され、鎖骨よりも上方が撮影された。写真が撮影される際、顔がカメラと正対するように、頭部方向および頭部の位置は固定されていた。

2.3 手続き

半数の実験参加者（15 名；平均年齢 22.5 ± 1.89 歳；女 7 名、男 8 名）は、固定点 A（0cm, 100cm）に置かれた椅子に、残りの半数（15 名；平均年齢 21.8 ± 1.80 歳；女 9 名、男 6 名）は固定点 B（0cm, 400cm）に置かれた椅子に座った。前者は、可動点 P が実験参加者の後方に位置するのに対し、後者は、可動点 P が実験参加者の前方に位置することが窺える。実験参加者は、固定点 A あるいは固定点 B からテレビ画面に表示された直視顔写真を 2s 観察した後、注視顔写真 44 種類のうち、いずれか 1 枚を 10s 観察した。観察終了後、椅子から離席し、注視顔写真の視線方向をもとに可動点 P の床面上での位置を判断し、その位置にマーカーを置いた。床面は、無地で白色の模造紙が敷かれた上に、半透明（緑色）の養生シートが敷かれていたため、模様による肌理の勾配などの奥行き手がかりは除去されていた。実験参加者がマーカーを置き終え、椅子に着席したのち、次の試行が開始された。実験は、注視顔写真が 1 試行につき 1 枚提示されたため、1 人につき 44 試行行われた。1 人当たりの実験時間は、インストラクションを含め 30 分程度であった。倫理的配

慮として、実験参加者は、実験内容および利益・不利益等について十分に説明を受けた上で、自由意志により実験参加に同意していた。実験参加者は、2名の被写体のいずれか一方の顔写真についてのみ判断を行った。注視顔写真の提示順序が判断に及ぼす影響を取り除くため、提示順序は実験参加者ごとにランダムであった。実験参加者は、刺激観察時に離席しない限り、身体や頭部を回転させることにに関して特に制限されなかったため、視点の位置および高さは調整されなかった。実験参加者により置かれたマーカーは、各実験参加者が全44試行を終えるまで置かれていた。

2.4 データの分析法

データの分析には、森・渡辺 (2018) および渡辺 (2008) で用いられたアフィン変換式とパラメータの推定法が用いられた。

ある物理空間 (XY 直交座標系) 内の地点の座標値 (x, y) を心理的空間 (UV 座標系) 内の地点の座標値 (u, v) に変換する際、アフィン変換式は式 1 で表される。

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{13} \\ a_{23} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

a_{11} 、 a_{12} 、 a_{13} 、 a_{21} 、 a_{22} 、 a_{23} はパラメータで、 e_1 、 e_2 は誤差項である。 U 軸と V 軸が互いに直交することを仮定し、式 1 の正方行列を対角行列と回転行列に分解すると、次式

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & 0 \\ 0 & k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta^\circ & -\sin \theta^\circ \\ \sin \theta^\circ & \cos \theta^\circ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{13} \\ a_{23} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

が得られる。式 2 は、心理的空間が、原点を (a_{13}, a_{23}) に移動し、物理空間を反時計回りに θ° 回転した後に、 U 軸方向に k_1 倍、 V 軸方向に k_2 倍した空間であることを表す。

3 結果および考察

3.1 データの処理

マーカーが置かれた 44 地点についての座標値を、原点 O を基準に 0.5cm 単位で測量し、視線知覚空間の座標値とした。顔写真の人物が実際に注視していた地点の布置を物理空間と呼ぶ。固定点 A から顔写真を観察する条件を条件 A、固定点 B から顔写真を観察する条件を条件 B とする。視線知覚空間における空間の異方性の大きさを調べるため、視線知覚空間と物理空間の間にアフィン変換式を当てはめた。個人毎に求められたアフィン変換式のパラメータ値を表 1 に示す。

表 1 Estimated values of parameters for affine transformation equation (equation 1 and 2) in each participant. The coefficient of determination and the root mean square errors (RMSE) were also given.

Participant	Stimulus	Participant	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	θ°	k_1	k_2	r_u^2	r_v^2	RMSE
Condition A														
1	Female	Female	0.946	0.043	-15.8	0.072	0.058	75.3	24.4	0.947	0.092	.845	.151	76.8
2	Female	Female	0.883	0.044	-7.8	0.029	0.165	29.2	3.5	0.884	0.167	.956	.413	21.2
3	Female	Female	1.273	0.099	-23.6	0.089	0.344	45.6	5.0	1.277	0.355	.919	.527	43.5
4	Female	Female	1.321	-0.089	13.9	0.115	0.679	-27.5	6.7	1.324	0.689	.912	.674	32.2
5	Female	Male	0.873	-0.030	2.8	0.048	0.486	-16.4	3.8	0.873	0.488	.951	.713	17.3
6	Female	Male	1.001	-0.002	-3.9	0.098	0.490	13.1	5.7	1.001	0.500	.959	.367	37.7
7	Female	Male	1.464	0.125	-34.1	0.105	0.654	-14.8	2.1	1.469	0.662	.967	.599	39.8
8	Female	Male	1.084	0.052	-23.1	0.166	0.387	39.3	10.2	1.085	0.421	.916	.555	47.8
9	Male	Female	0.878	-0.008	6.9	0.027	0.273	10.9	3.1	0.878	0.274	.956	.593	15.5
10	Male	Female	1.080	-0.009	2.3	0.003	0.400	3.6	0.5	1.080	0.400	.977	.505	18.0
11	Male	Female	1.213	-0.067	14.1	0.079	0.450	-5.1	6.6	1.215	0.456	.968	.671	21.6
12	Male	Male	1.515	-0.044	7.5	0.081	0.586	-23.6	4.8	1.515	0.592	.945	.680	29.7
13	Male	Male	1.192	0.022	3.3	0.248	0.579	-30.9	11.1	1.193	0.630	.937	.598	50.5
14	Male	Male	1.528	0.085	-28.6	0.032	0.736	-35.7	-0.3	1.530	0.736	.946	.355	45.4
15	Male	Male	1.279	-0.011	2.2	0.088	0.613	-39.8	4.3	1.280	0.619	.950	.764	25.9
Mean			1.169	0.014	-5.586	0.085	0.460	1.540	6.105	1.170	0.472			
Condition B														
16	Female	Female	0.969	0.035	-14.3	0.085	0.421	51.5	4.7	0.970	0.429	.924	.557	29.1
17	Female	Female	0.725	-0.065	1.1	-0.057	0.305	33.9	-2.7	0.728	0.310	.930	.676	21.9
18	Female	Female	0.363	0.024	2.7	0.121	0.586	-19.1	3.9	0.364	0.599	.736	.655	22.6
19	Female	Female	1.210	0.116	-33.1	0.033	0.830	-42.0	-1.6	1.215	0.831	.935	.747	38.2
20	Female	Male	1.273	0.005	-2.3	0.071	0.755	-14.5	2.6	1.273	0.758	.945	.738	27.0
21	Female	Male	1.178	-0.046	-0.4	0.001	0.328	23.8	1.3	1.179	0.328	.917	.532	24.0
22	Female	Male	0.898	-0.042	5.6	0.062	0.271	24.2	7.8	0.899	0.278	.929	.664	21.1
23	Female	Male	0.972	-0.054	8.2	-0.010	0.632	-19.1	1.1	0.974	0.632	.957	.768	18.9
24	Female	Male	1.309	-0.036	6.2	-0.049	0.762	-18.1	-1.1	1.310	0.763	.967	.668	27.0
25	Male	Female	1.333	0.138	-27.9	0.085	0.584	-28.0	1.2	1.340	0.590	.908	.449	44.7
26	Male	Female	1.548	-0.083	28.1	0.160	0.720	-46.0	7.8	1.550	0.738	.923	.453	46.3
27	Male	Female	1.200	-0.031	-13.0	0.083	0.873	-87.6	3.5	1.201	0.877	.828	.407	52.2
28	Male	Female	1.536	0.066	-9.1	0.187	1.209	-109.3	3.2	1.538	1.223	.924	.700	47.5
29	Male	Female	1.248	-0.020	11.5	-0.062	0.578	-20.6	-2.6	1.249	0.582	.927	.597	30.2
30	Male	Male	1.821	0.134	-19.8	0.163	0.941	-59.1	2.8	1.826	0.955	.940	.600	54.9
Mean			1.172	0.009	-3.759	0.058	0.653	-21.995	2.122	1.174	0.660			

3.2 条件 A の視線知覚空間（注視地点が観察者の後方に布置される条件）

図 1 に示された四角 (□) は物理空間の布置、丸 (○) は視線知覚空間における各地点のデータの平均の布置、実線の交点は表 1 に示された各パラメータの平均をもとに予測された視線知覚空間の布置を表す。個人毎のデータと予測値の間の決定係数 r_h^2 、 r_v^2 は、水平方向 (実験参加者の左右方向) に関して非常に当てはまりが良いが、奥行方向 (実験参加者と顔写真を結んだ方向)

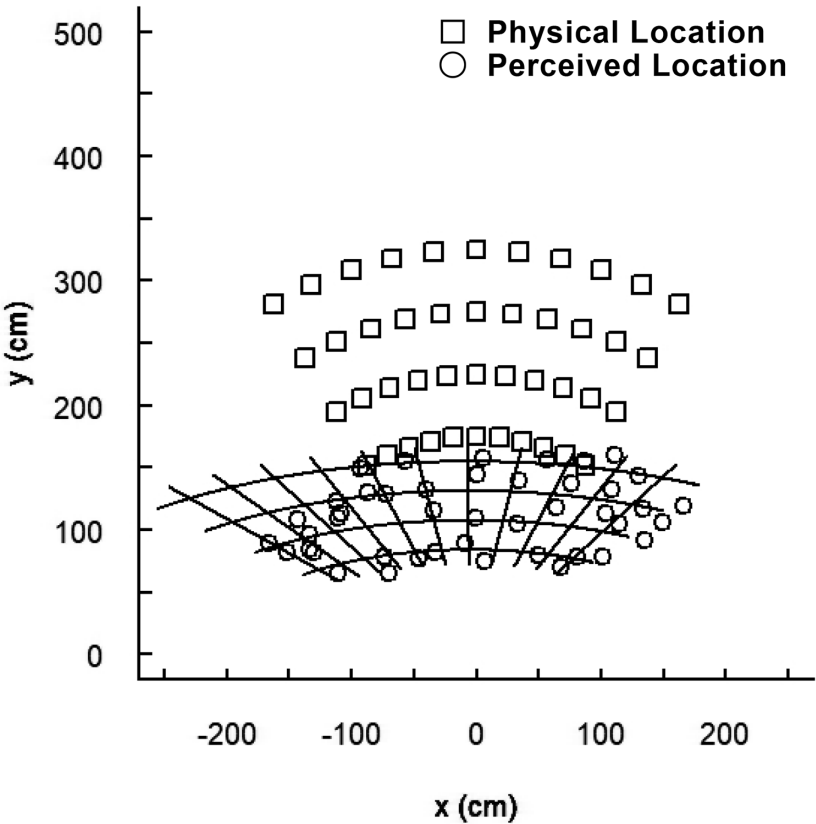


図 1 The configuring locations of the gaze perceptual space under Condition A. The perceived locations represent the mean coordinate value of the data corresponding to each of the physical location. The intersections of the solid lines stand for the predicted locations which were predicted by the affine transformation equation.

に関して当てはまりの程度に個人間でばらつきがあった(順に、 $.845 \leq r_v^2 \leq .977$; $.151 \leq r_h^2 \leq .764$)。 k_1 は、 $0.873 \leq k_1 \leq 1.530$ の範囲にあり、個人間でばらつきがある。ただし、 k_1 は、実験参加者 15 人中 11 人の推定値が 1 よりも大きい。視線知覚空間と物理空間の大きさに違いがあるかを検討するため、 k_1 に関し 1 を基準とする母平均の t 検定(両側検定、有意水準 5%)を行った。その結果、 k_1 は 1 より有意差があり、大きかった [$t(14) = 2.87, p = .012$]。 k_1 が 1 よりも大きいということは、視線知覚空間が物理空間よりも水平方向に広い空間であることを示唆する。また、 k_2 は、 $0.092 \leq k_2 \leq 0.736$ の範囲にあり、個人間でばらつきがあるが、いずれの推定値も 1 より小さい。同様に、 k_2 に関し t 検定を行った結果、 k_2 は 1 より有意差があり、小さかった [$t(14) = -10.681, p < .001$]。 k_2 が 1 よりも小さいということは、視線知覚空間が物理空間よりも奥行方向に狭い空間であることを示唆する。 t 検定の結果、 k_1 と k_2 の間には有意差があり [$t(14) = 17.865, p < .001, d = 3.420$]、 k_1 は k_2 よりも大きかった。この結果から、視線知覚空間は、物理空間よりも水平方向に広く、奥行方向に狭い空間であることが窺える。原点移動後の原点の座標値は、平均が (-5.59cm, 1.54cm) であり、いずれの方向にも 0cm から有意差がなかった[順に、 $t(14) = -1.377, p = .190$; $t(14) = 0.176, p = .863$]。これより、視線知覚空間は、物理空間から原点移動がなく、アフィン空間でなく線形空間であるとみなしても十分であることが窺える。物理空間と比較した場合の視線知覚空間の回転角 θ° は、平均 6.11° であり、 0° よりも大きかった [$t(14) = 3.977, p = .001$]。以上の分析結果と各パラメータ値の平均より、注視地点が観察者の後方に布置される場合の視線知覚空間は、物理空間を反時計回りに約 6° 回転した後に、水平方向に約 1.17 倍に拡大し、奥行方向に約 0.47 倍に縮小した空間であると考えられる。水平方向と奥行方向で空間の性質が異なることから、視線知覚空間は空間内を直交する 2 つの座標軸の方向に空間の異方性があることが窺える。

3.3 条件 B の視線知覚空間(注視地点が観察者の前方に布置される条件)

同様にして、図 2 に物理空間および視線知覚空間(データと予測値)の布置を示す。データと予測値の間の決定係数 r_v^2 、 r_h^2 は、全体的傾向として、奥行

方向よりも水平方向の方がよく当てはまっている ($.736 \leq r_u^2 \leq .967$; $.407 \leq r_v^2 \leq .768$)。 k_1 および k_2 の値は、 $0.364 \leq k_1 \leq 1.826$ および $0.310 \leq k_2 \leq 1.223$ の範囲にあり、個人間でばらつきがあった。視線知覚空間と物理空間の大きさに違いがあるかを検討するため、 k_1 および k_2 に関して t 検定を行った。その結果、 k_1 は 1 より有意に大きい傾向があり [$t(14) = 1.896, p = .079$]、 k_2 は 1 よりも有意に小さかった [$t(14) = -5.051, p < .001$]。 k_1 は k_2 よりも有意に大きか

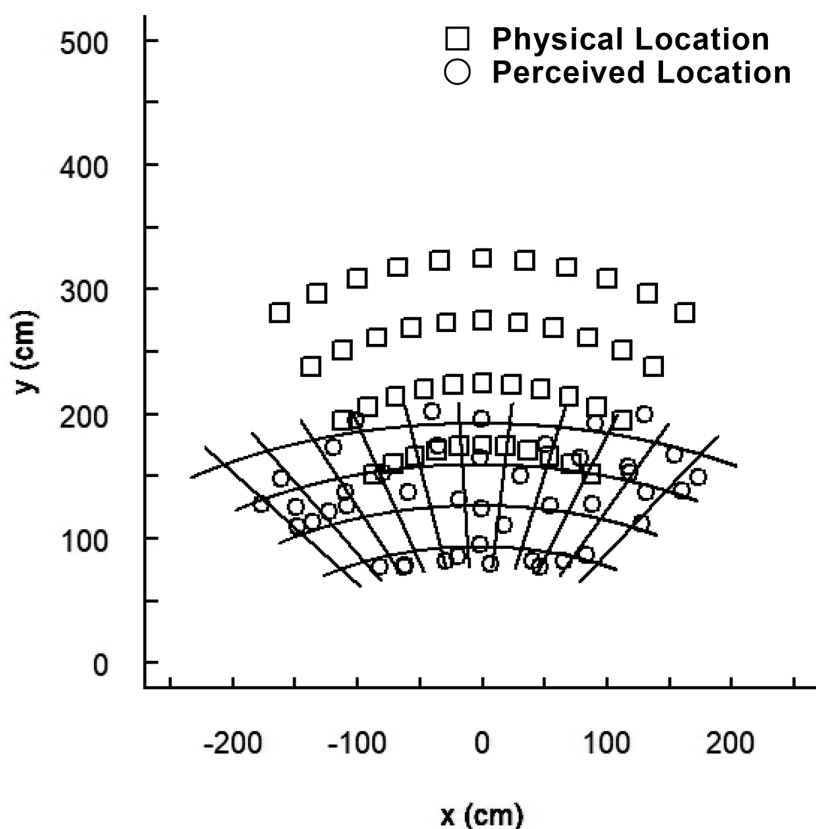


図 2 The configuring locations of the gaze perceptual space under Condition B. The perceived locations represent the mean coordinate value of the data corresponding to each of the physical location. The intersections of the solid lines stand for the predicted locations which were predicted by the affine transformation equation.

った [$t(14) = 7.066, p < .001, d = 1.707$]

。以上の分析結果から、視線知覚空間が物理空間よりも水平方向に広く、奥行方向に狭い空間であることは条件 A および条件 B の視線知覚空間に共通する性質であると考えられる。原点移動後の原点の座標値は、平均が (− 3.76cm, − 21.99cm) であった。水平方向に原点移動が無く、奥行方向に原点移動がある傾向が見いだされた [順に、 $t(14) = -0.910, p = .378$; $t(14) = -1.934, p = .074$]。条件 B の視線知覚空間は物理空間から原点がテレビの後方の方向 (奥行方向) に 20cm 程度移動しており、線形空間であるとみなすよりもアフィン空間であると考えた方が適当であると考えられる。これらの点は、条件 A の視線知覚空間においてみられなかった性質である。回転角 θ° は、平均 2.12° であり、 0° よりも大きかった [$t(14) = 2.507, p = .025$]。以上より、注視地点が観察者の前方に布置される視線知覚空間は、原点を奥行方向に約 − 20cm 移動し、物理空間を反時計回りに約 2° 回転した後に、水平方向に約 1.17 倍に拡大し、奥行方向に約 0.66 倍に縮小したものであると考えられる。両条件 (条件 A・条件 B) とともに、視線知覚空間は空間の異方性があることが窺える。

3.4 両条件の視線知覚空間の比較

これまでの分析結果から条件 A と条件 B の視線知覚空間は、空間の異方性が存在する点において共通する。ただし、条件 B よりも条件 A の方が、視線知覚空間は、観察者と他者を結ぶ方向に狭く、異方性が大きいことが窺える。条件 A と条件 B は、実験参加者が刺激の観察を行った地点により、他者の注視地点に対する観察者の相対的位置が異なっていた。観察者の相対的位置が視線方向知覚に影響を及ぼしていたかを確認するために、まず、観察者の相対的位置が視線知覚空間における異方性の大きさに及ぼす影響を検討した。空間内の軸の方向 (水平方向・奥行方向) と観察者の相対的位置 (固定点 A・固定点 B) を独立変数、パラメータ k_1 および k_2 の値を従属変数とし、軸の方向に関してのみ対応がある 2 要因分散分析を行った。その結果、軸の方向の主効果、および、2 要因の交互作用 (軸の方向×相対的位置) は有意であり [順に、 $F(1, 28) = 215.144, p < .001, \eta_p^2 = 0.885$; $F(1, 28) = 4.905, p = .035, \eta_p^2 = 0.149$]、相対的位置の主効果は有意でなかった [$F(1, 28) = 1.184, p = .286$,

$\eta_p^2 = 0.161$] (図 3)。交互作用が有意であったため、単純効果の検定を行った。その結果、いずれの相対的位置である場合にも、軸の方向の単純主効果は有意であった [水平方向 : $F(1, 28) = 142.510, p < .001$; 奥行方向 : $F(1, 28) = 77.540, p < .001$]。奥行方向に関して、相対的位置の単純主効果は有意傾向があり [$F(1, 56) = 3.709, p = .059$]、水平方向に関して、相対的位置の単純主効果は有意でなかった [$F(1, 56) = 0.002, p = .965$]。これらの結果から、いずれの相対的位置である場合にも、視線知覚空間は空間の異方性があるが、その異方性の大きさは相対的位置により異なることが窺える。水平方向に関して、相対的位置によらず視線知覚空間の大きさは変わらないが、奥行方向に関して、注視地点が観察者の前方にある場合よりも後方にある場合の方が、視線知覚空間が狭い傾向を示していた。観察者の相対的位置は奥行方向に変位する視線方向の知覚に影響を及ぼすと考えられる。

同様に、観察者の相対的位置が視線知覚空間の原点移動に及ぼす影響を調べるため、原点移動後の原点の座標値に関し、2 要因分散分析を行った。その結果、軸の方向の主効果、相対的位置の主効果、2 要因の交互作用はい

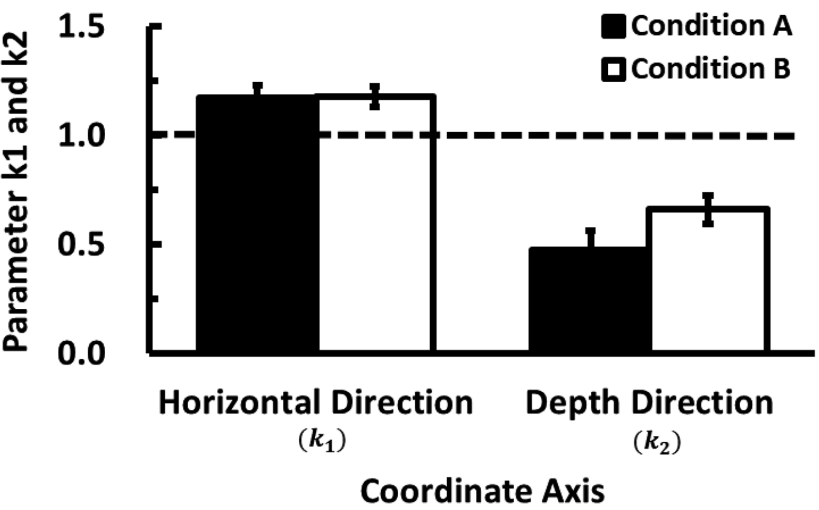


図 3 Mean of the estimated value of the parameters k_1 and k_2 (in affine transformation equation) for Condition A and B in coordinate axes of horizontal and depth directions. Error bars depict standard errors of the means.

ずれも有意でなかった [順に、 $F(1, 28) = 0.501, p = .485, \eta_p^2 = 0.008$; $F(1, 28) = 2.029, p = .165, \eta_p^2 = 0.031$; $F(1, 28) = 2.610, p = .117, \eta_p^2 = 0.042$] (図 4)。結果から、観察者の相対的位置が視線知覚空間の原点移動に及ぼす影響はないと考えられる。各条件で視線知覚空間の性質を探索した際に、条件 A では、物理空間から原点移動はないが、条件 B では、物理空間から奥行方向に原点移動があるという傾向が見いだされていた。これらの結果は、相反する結果であるように考えられるかもしれないが、後者の結果は、各条件で視線知覚空間が物理空間から原点の移動があるかを検討したものであり、観察者の相対的位置が視線知覚空間の原点移動に及ぼす影響があるかないかを示すものではないため、相反する結果ではないと考えられる。

物理空間から視線知覚空間への回転角が相対的位置による影響を受けるかを調べるため、 θ° について t 検定を行った。その結果、条件 A と条件 B の間に有意差があった [$t(21) = 2.27, p = .033, d = 0.858$]。 θ° は、注視地点が観察者の後方にある場合 ($M = 6.11, SE = 1.48$) は、前方にある場合 ($M = 2.12, SE = 0.82$) よりも大きいことが窺える。

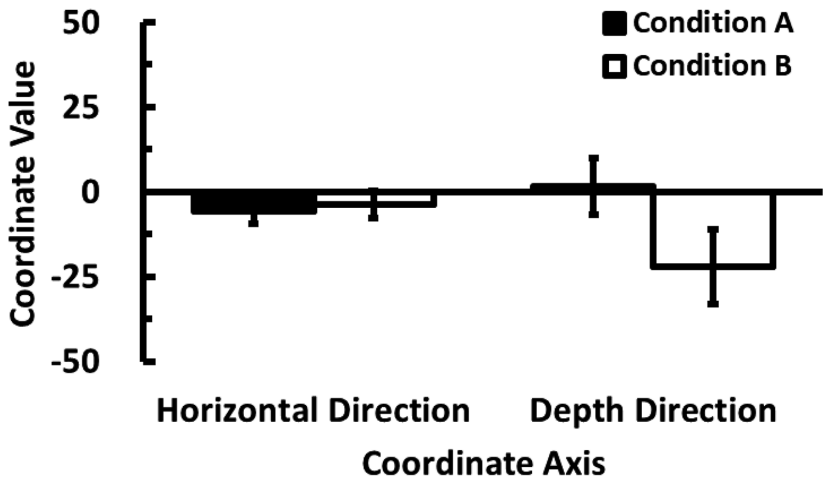


図 4 Mean coordinate value of origin shift for Condition A and B in coordinate axes of horizontal and depth directions. Error bars depict standard errors of the means.

3.5 床面に布置されたマーカーが視線方向知覚に及ぼす影響

本研究で得られた条件 A の視線知覚空間と森・渡辺により得られた視線知覚空間は、観察者の相対的位置が等しい場合の実験データである。ただし、本研究では、実験開始時にマーカーが床面上に置かれていなかったのに対し、森・渡辺の研究では、460 個のマーカーが床面全体に均等に敷き詰められていたため、両者の研究は、視線方向の判断が求められる際に、マーカーが床面上に布置されているか否かが異なる。Lobmaier ほか (2006) は、注視地点の近傍に 1 つのマーカーが布置されている場合に、そのマーカーの有無により注視地点の位置が異なって知覚されることを報告している。さらに、マーカーの位置を変位させた場合に、注視地点の位置がマーカーに近づく方向にずれて知覚されることを報告している。しかし、複数のマーカーを布置することが視線方向知覚に影響を及ぼすかどうかは定かでない。そこで、複数のマーカーを布置することが視線方向知覚に及ぼしていたかを調べるために、本稿および森・渡辺の論文の表に示されたパラメータ値をもとに、両者の視線知覚空間が等しい空間であるかを検討した。 k_1 および k_2 の値に関し、2 要因分散分析 (軸の方向×マーカー) を行った結果、軸の方向の主効果は有意であり [$F(1, 28) = 355.691, p < .001, \eta_p^2 = 0.073$]、マーカーの主効果、2 要因の交互作用は有意でなかった [順に、 $F(1, 28) = 0.394, p = .535, \eta_p^2 = 0.927$; $F(1, 28) = 0.010, p = .921, \eta_p^2 < 0.001$]。結果から、視線知覚空間は、床面にマーカーが布置されているかに関わらず、異方性の大きさが変わらないと考えられる。

同様にして、原点移動後の原点の座標値に関し、2 要因分散分析を行った結果、軸の方向の主効果、マーカーの主効果、交互作用は有意でなかった [順に、 $F(1, 28) = 1.517, p = .228, \eta_p^2 = 0.050$; $F(1, 28) = 1.105, p = .302, \eta_p^2 = 0.037$; $F(1, 28) = 0.020, p = .887, \eta_p^2 < 0.001$]。これより、原点移動は、軸の方向やマーカーの布置の影響を受けないと考えられる。

θ° に関して t 検定を行った結果、両者の視線知覚空間の間に有意差があった [$t(27) = 4.142, p < .001, d = 1.566$]。 θ° は、マーカーが布置されていない場合に 0° よりも大きく [$t(14) = 3.981, p = .001$]、マーカーが布置されている場合に 0° よりも小さい傾向が見いだされた [$t(14) = -1.932, p = .074$]。以

上の分析結果と本稿の表1および森・渡辺（2018）の論文中の表1より、マーカーが布置されていない場合は、視線知覚空間が物理空間から反時計回りに約6度回転しているのに対し、複数のマーカーが布置されている場合は、視線知覚空間が物理空間から時計回りに約3度回転している傾向があると考えられる。マーカーが布置されていない場合は、複数のマーカーが布置されている場合よりも、視線知覚空間は物理空間から反時計回りに大きく回転していると考えられる。この結果から、マーカーが布置されていない場合よりも布置されている場合の方が、床面上の手がかりをもとに回転角を修正するように視線方向を知覚していた可能性が考えられる。ただし、この知見は、ただ1つのマーカーの位置により知覚された注視地点が引きずられることを直接的に示唆するものではない。結論として、本分析結果は、複数のマーカーを布置した場合に視線知覚空間に及ぼすかを明らかにしたものであり、Lobmaier ほかの知見を積極的に支持するものではないと考える。

3.6 総合考察

本研究結果から、注視地点が観察者の前方にある場合よりも後方にある場合に、視線知覚空間は、空間の異方性が大きく、物理空間から反時計回りへの回転角が大きいことが見いだされた。このような現象はなぜ生じていたのであろうか。実験参加者は、顔写真の視線方向と注視地点の関係を推測する際、注視地点が後方にある場合、頭部や身体を左右に回旋させて床面全体を見渡す必要があるのに対し、注視地点が前方にある場合、頭部・身体を回旋させる必要はない。頭部・身体回旋などの身体姿勢を変えることが視知覚に影響を及ぼすことは繰り返し報告されている（例えば、Higashiyama and Adachi, 2006; 森・妹尾, 2017; Seno, 2014）。本研究において、観察者の相対的位置が変わることで生じる身体姿勢が視線方向知覚に影響を及ぼしていた可能性が考えられる。

本実験では、注視地点が観察者の後方にある場合、観察者からテレビ画面までの視距離は100cm、前方にある場合の視距離は400cmであった。本研究結果には、視距離が及ぼす影響も含まれていた可能性が考えられる。佐藤・松寄（2000）は、視距離が57cm、114cm、228cm、456cmのいずれである場

合にも、直視知覚と判断される範囲が視角で左右 5° 以内と一定であることから、視線知覚は視距離による影響がないと結論付けている。ただし、直視知覚と視線方向知覚は質的な違いが窺えるため、視線方向知覚が視距離の影響を受けないかは定かでない。視距離が視線方向知覚に及ぼす影響を明らかにするには、視距離を 400cm 以上に伸ばし、本研究と同じ実験刺激および実験参加者の課題を用いて実験を行う必要があるだろう。

観察者の相対的位置により視線知覚空間における空間の異方性の大きさが異なるということは、相対的位置により視線知覚空間が非等質空間であることを示唆する。視空間が定曲率のリーマン空間であり、負の曲率を示す双曲型空間であることは、多くの先行研究により指摘されている (Blank, 1953; Indow, 1979; Luneburg, 1950)。ただし、Indow and Watanabe (1984) は、視空間は負の曲率であるが、観察条件により曲率の程度が異なることを実験的に見いだしており、視空間の非等質性を示唆している。これより、視空間の非等質性を考慮に入れることは、視空間の幾何学的性質を考える上で重要であると考えられる。同様のことは、視空間だけでなく視線知覚空間にも言える可能性があるだろう。さらに、視線知覚空間が非等質空間であるということは、視線知覚空間がいずれの定曲率のリーマン空間 (ユークリッド空間、楕円型空間、双曲型空間) であるかを考える以前に、変曲率の空間である可能性を考慮していく必要があることを示唆する。ただし、視線知覚空間がいずれの曲率のリーマン空間であるかは、本研究および先行研究で明らかにされていない。いずれのリーマン空間であるかはアフィン変換を用いて確かめられないため、他の幾何学モデルを当てはめることや、新たな幾何学モデルを構成していくことが必要である。新たな幾何学モデルを構成する際、平面から球面への射影を考えていくことが解決の糸口となる可能性が指摘されており (渡辺, 2008)、このことを検討していくことが残された課題であろう。

本研究では、顔写真の人物の観察地点から 125cm 下方 (床面) に布置された 44 地点のいずれかを注視している場合の顔写真が実験刺激として用いられた。これら 44 地点は、正面から左右方向への偏角、および、顔写真の人物の床面上での位置からの奥行距離が異なった。偏角が大きいほど、一方の眼球が内転し、もう一方の眼球が外転する。奥行距離が短いほど、両眼とも下転し、

かつ、両眼とも内転する。これより、偏角の違いは、1 方向（眼球の内転・外転）に対して回転に違いが生じるのに対し、奥行距離の違いは、2 方向（眼球の内転・外転および上転・下転）に対して回転に違いが生じる。このため、本研究では、偏角が異なる場合には眼球の内転・外転の大きさを手がかりとしていると考えられる。ただし、奥行距離が異なる場合には、眼球の内転・外転の大きさを手がかりとしているか、眼球の上転・下転の大きさを手がかりとしているかは定かでない。桜井ほか（2009）の研究では、CG 顔の眼球の輻輳・開散運動が操作されている場合に直視知覚が行われている。輻輳・開散運動は、両眼とも内転あるいは外転する。ただし、眼球の下転・上転は考慮されていない。今後の課題として、視線知覚を行う際の手がかりを眼球の回転方向が複数存在することを考慮に入れていくことは、視線知覚のメカニズムに迫る上で重要であると考えられる。また、本研究では、視線知覚空間と物理空間の間にアフィン変換式を個人毎に当てはめ、その式を用いてデータの予測値を算出した結果、水平方向よりも奥行方向の方がデータと予測値の間の決定係数は小さく、個人間でばらつきが大きかった。水平方向への視線の変位は、眼球が1方向のみに回転しているのに対し、奥行方向への視線の変位は、眼球が2方向に回転していることが異なる。これより、眼球の回転方向が複数存在する場合に視線知覚が安定せず、復元された地点がばらついていると推測される。

本研究で用いられた刺激は、顔写真の頭部方向が実験参加者と正対するように固定されていた。肖像画の鼻部の方向により視線方向が異なって知覚されることが Wollaston (1824) により報告されて以来、頭部および鼻部の方向により視線方向が異なることは繰り返し報告されている (Gibson and Pick, 1963; Langton et al., 2004; Otsuka et al., 2014; Todorović, 2009)。頭部方向が視線方向知覚に及ぼす影響を考慮に入れて、他者の注視地点に対する観察者の相対的位置が視線方向知覚に及ぼす影響を考えていくことは今後の課題となろう。

注視地点が観察者の前方にあるか後方にあるかに関わらず、視線知覚空間は物理空間よりも水平方向に広く、奥行方向に狭い傾向であった。視線知覚空間と物理空間が一致しないことから、我々は、他者の視線方向のみを手が

かりに他者の注視地点を正確に推測することが困難であることが窺える。先行研究では、発達障害児や幼児の視線方向知覚に関する能力を評価する際、一般成人が他者の視線方向を正確に推測できることを前提としているように窺える (Senju and Hasegawa, 2005; Tomasello et al., 2007)。本研究結果を踏まえると、発達障害児や幼児の視線方向知覚に関する能力は、一般成人が他者の視線方向を正確に推測できないこと、および、一般成人の視線方向知覚に関する特性を考慮に入れた上で評価されていく必要があると考える。

4 まとめ

本研究は、視線方向知覚が他者の注視地点に対する観察者の相対的位置による影響を受けるかどうかを検討し、他者の注視地点が観察者の前方にある場合よりも後方にある場合に、視線知覚空間は、奥行方向に狭く、空間の異方性が大きいことが見いだされた。床面に複数のマーカーが布置されているか否かに関わらず、視線知覚空間における空間の異方性の大きさおよび原点移動の程度は変わらないことが見いだされた。床面に複数のマーカーが布置されていない場合は、布置されている場合よりも回転角が大きいことが見いだされた。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費特別研究員奨励費（課題番号：16J06224 研究代表者：森将輝）、2015 年度森泰吉郎記念研究振興基金研究者育成費の助成を受けた。抄録（英文）は、Editage (<http://www.editage.jp>) による英文校閲を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- Anstis, S. M., Mayhew, J. W., Morley, T. (1969) "The perception of where a face or television 'portrait' is looking", *The American Journal of Psychology*, 82(4), pp. 474-489.
- Blank, A. A. (1953) "The Luneburg theory of binocular visual space", *Journal of the Optical Society of America*, 43(9), pp. 717-727.
- Blehar, M. C., Lieberman, A. F., Ainsworth, M. D. S. (1977) "Early face-to-face interaction and its relation to later infant-mother attachment", *Child Development*, 48(1), pp. 182-194.
- Cline, M. G. (1967) "The perception of where a person is looking", *The American Journal of Psychology*, 80(1), pp. 41-50.
-

- George, N., Conty, L. (2008) "Facing the gaze of others", *Neurophysiologie Clinique*, 38(3), pp. 197-207.
- George, N., Driver, J., Dolan, R. J. (2001) "Seen gaze-direction modulates fusiform activity and its coupling with other brain areas during face processing", *Neuroimage*, 13(6), pp. 1102-1112.
- Gibson, J. J., Pick, A. D. (1963) "Perception of another person's looking behavior", *The American Journal of Psychology*, 76(3), pp. 386-394.
- Higashiyama, A., Adachi, K. (2006) "Perceived size and perceived distance of targets viewed from between the legs: Evidence for proprioceptive theory", *Vision Research*, 46(23), pp. 3961-3976.
- Imai, T., Sekiguchi, D., Inami, M., Kawakami, N., Tachi, S. (2006) "Measuring gaze direction perception capability of humans to design human centered communication systems", *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 15(2), pp. 123-138.
- Indow, T. (1979) "Alleys in visual space", *Journal of Mathematical Psychology*, 19(3), pp. 221-258.
- Indow, T., Watanabe, T. (1984) "Parallel- and distance-alleys with moving points in the horizontal plane", *Perception, & Psychophysics*, 35(2), pp. 144-154.
- Johnson, M. H., Dziurawiec, S., Ellis, H., Morton, J. (1991) "Newborns' preferential tracking of face-like stimuli and its subsequent decline", *Cognition*, 40(1-2), pp. 1-19.
- Kobayashi, H., Kohshima, S. (1997) "Unique morphology of the human eye", *Nature*, 378, pp. 767-768.
- Kobayashi, H., Kohshima, S. (2001) "Unique morphology of the human eye and its adaptive meaning: comparative studies on external morphology of the primate eye", *Journal of Human Evolution*, 40(5), pp. 419-435.
- Langton, S. R., Honeyman, H., Tessler, E. (2004) "The influence of head contour and nose angle on the perception of eye-gaze direction", *Perception & Psychophysics*, 66(5), pp. 752-771.
- Lobmaier, J. S., Fischer, M. H., Schwaninger, A. (2006) "Objects capture perceived gaze direction", *Experimental Psychology*, 53(2), pp. 117-122.
- Luneburg, R. K. (1950) "The metric of binocular visual space", *Journal of the Optical Society of America*, 40(10), pp. 627-642.
- Masame, K. (1990) "Perception of where a person is looking: overestimation and underestimation of gaze direction", *Tohoku Psychologica Folia*, 49, pp. 33-41.
- 森将輝、妹尾武治 (2017) 「身体姿勢の違いがベクションに及ぼす影響」『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』22(3), pp. 391-394.
- 森将輝、渡辺利夫 (2018) 「視線知覚空間の異方性」『基礎心理学研究』37(1), pp. 29-40.
- 盛永四郎 (1935) 「視方向と月の錯視」『心理学研究』10(1), pp. 1-25.
- 大島裕子、岡田広成 (1990) 「キャンパスにおける距離の判断におよぼす経験および性差の効果」『心理学研究』, 61(3), pp. 170-176.
- Otsuka, Y., Mareschal, I., Calder, A. J., Clifford, C. W. G. (2014) "Dual-route model of the effect of head orientation on perceived gaze direction", *Journal of Experimental Psychology*, 40(4), pp. 1425-1439.
- Otsuka, Y., Mareschal, I., Clifford, C. W. (2016) "Testing the dual-route model of perceived gaze direction: Linear combination of eye and head cues", *Journal of Vision*, 16(8):8, pp. 1-12.
- 桜井謙次、関根祥介、赤松茂、蒲池みゆき (2009) 「対面した他者の視線から受ける奥行の知覚」『電子情報通信学会技術研究報告：ヒューマン情報処理』109(345), pp. 53-58.
- 佐藤隆夫、松寄直幸 (2000) 「視線の知覚における観察距離と解像度の効果」『映像情

- 報メディア学会技術報告』24(35), pp. 47-51.
- Senju, A., Hasegawa, T. (2005) "Direct gaze captures visuospatial attention", *Visual Cognition*, 12(1), pp. 127-144.
- Seno, T. (2014) "Vection is not determined by the retinal coordinate", *Psychology*, 5(1), pp. 12-14.
- Todorović, D. (2009) "The effect of face eccentricity on the perception of gaze direction", *Perception*, 38(1), pp. 109-132.
- Tomasello, M., Hare, B., Lehmann, H., Call, J. (2007) "Reliance on head versus eyes in the gaze following of great apes and human infants: the cooperative eye hypothesis", *Journal of Human Evolution*, 52(3), pp. 314-320.
- von Grünau, M., Anston, C. (1995) "The detection of gaze direction a stare-in-the-crowd effect", *Perception*, 24(11), pp. 1297-1313.
- 渡辺利夫 (2008) 「視空間および認知空間の幾何学モデル」『認知科学』15(1), pp. 62-74.
- Wollaston, W. H. (1824) "On the apparent direction of eyes in a portrait", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 114, pp. 247-256.
- Yamashita, W., Kanazawa, S., Yamaguchi, M. K. (2012) "The effect of gaze direction on three-dimensional face recognition in infants", *Vision Research*, 68(1), pp. 14-18.
- Yokoyama, T., Noguchi, Y., Kita, S. (2013) "Unconscious processing of direct gaze: evidence from an ERP study", *Neuropsychologia*, 51(7), pp. 1161-1168.
- Yokoyama, T., Sakai, H., Noguchi, Y., Kita, S. (2014) "Perception of direct gaze does not require focus of attention", *Scientific Reports*, 4:3858, pp. 1-8.

[受付日 2018. 11. 13]

[採録日 2019. 8. 1]