

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H03465

研究課題名(和文) 視空間と触空間における直線の平行性と収斂性：ユークリッド空間説の検討

研究課題名(英文) Parallelism and non-parallelism of lines in visual and haptic spaces: A test of Euclidean hypothesis

研究代表者

東山 篤規 (Higashiyama, Atsuki)

立命館大学・総合心理学部・教授

研究者番号：00118001

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,900,000円

研究成果の概要(和文)：水平面において2竿の方向を調整して奥行き方向に並木道を構成させ、視空間と触運動空間の幾何学を竿の勾配によって推定した。並木は1)2竿の間隔が等しく見える等距離教示、2)2竿が前後に延長されたと想定したときに遠くで交わって見えないようにする非交差教示、3)2竿が前額面に直交して見える直交教示が与えられた。どちらの空間においても、3教示による2竿の方向は一致した。これはユークリッド空間の予想と一致する。視角の大きさが過大に知覚されるということを仮定して、2竿の遠間隔と近間隔の視角関係を検証したところ、視空間はユークリッド空間とみなせたが、触運動条件ではユークリッドモデルは適合しなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

視空間と触運動空間がどのような幾何学によって記述されるのか検討した。約2メートルの長さの2竿を用いて、特定の知覚的基準(平行性、等距離性、直交性)を満たすように、各空間の奥行き方向に2竿の方向を調整させた。その結果、視空間はユークリッド空間によって記述できるが、触運動空間はユークリッド空間、楕円的空間、双曲的空間のいずれによっても記述できなかった。これまで視空間の幾何学に関する半世紀以上の研究に終止符を打つとともに、触運動空間の幾何学に関する研究の糸口を与えるものである。

研究成果の概要(英文)：We constructed alleys by using two rods on the horizontal plane and estimated geometries of visual and tactile-kinesthetic spaces, separately. The rods were set to appear to neither diverge nor converge, to be separated by the same lateral distance, or to be perpendicular to the frontal plane. There was no significant difference on locus of the alleys among the three instructions. This result suggests that either space is Euclidean. The geometry was also estimated from visual angles between near end points of the rods and between the far ends. The results suggested that visual space is Euclidean under the assumption that visual angle is perceptually magnified; tactile-kinesthetic space is not described by either Euclidean, hyperbolic, or elliptic geometry.

研究分野：知覚心理学

キーワード：空間知覚 並木実験 視覚 触運動感覚

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

奥行き方向に2列の光点(あるいは小棒)を用いて、それらが並木道に見えるように配列する実験のことを並木実験とよぶ。並木道をつくる時、光点列が正中面に関して対称になり、しかも1)光点列の間の幅の大きさが等しく見えるようにする等距離教示と、2)光点列が前後に延長されたと想定したときに遠くで交わって見えないようにする非交差教示とがよく用いられてきた。その結果、この2並木曲線は一致せず、非交差並木が等距離並木の内側に位置するとされてきた(Blumenfeld, 1913)。これを根拠に、Luneburg(1947)や Indow(2004)は、視空間はユークリッド空間ではなく双曲的空間であると論じた。しかし Higashiyama *et al.* (1990)は、観察者数を増やし、彼らに与える教示を統制したとき、この2種類の並木曲線が一致することを見出し、視空間をユークリッド空間とみなすことができるとした。このように視空間の幾何学を巡って、ユークリッド的であることを示す結果と非ユークリッド的とみなせる結果が併存してきた。

触空間の幾何学に関しては、Blumenfeld (1936)によって触・運動の手がかりのみが与えられる状況のもとにおいて非交差平行並木を構成させた研究があるものの本格的な実験は行われず、触空間の幾何学に関して未明の状態であった。

2. 研究の目的

並木実験では、前述のように等距離教示と非交差教示がよく用いられてきた。本研究では、従来の2方法に加えて前額面に直交する並木(直交並木)を構成させ、3並木の異同を検証した。また本研究では、生態学的妥当性を高め、実験にかかる時間を大きく縮めるために光点列に代えて長い竿を用いた。

本研究では、検証すべき空間を視空間だけでなく触運動空間にまで広げるために、前述の2竿を用いて、視空間と触運動空間において3種の並木(非交差、等距離、直交)を観察者に構成させた。研究の狙いは、竿の方向が感覚様式によって異なるのかどうか、触運動空間においても3種の並木課題の結果が一致するのかどうかを明らかにすることであった。

並木実験の同じデータを用いて、竿の遠端の間隔と近端の間隔の視角的関係(伝統的には大きさ・距離の不変仮説とよばれることが多い)にもとづいて知覚空間の幾何学を論じることが可能であるので、3並木の異同に関する結果にくわえて竿の視角的関係に関する結果を勘案して、最終的に知覚空間の幾何学を推測するようにした。

3. 研究の方法

2実験が行われた。実験1では視空間において竿を見る目の高さや竿の間隔を独立変数とした並木実験が行われ、実験2では視空間と触空間において実験1と同様の実験が行われた。

(1) 実験1

観察者 カリフォルニア大学サンタ・バーバラ校の23学生および1教授(男4, 女20)。

装置 装置は、遠端が固定された2本の竿(217cm長 × 1.8cm幅)だった。観察者は、各竿の近端を片手で握って、その間隔を調整した。観察者の目から竿の遠端までの距離は242.7cm、近端までの距離は27.7cm。各竿の近端には、安全性確保のために直径3.6cmのピンポン球が取り付けられた。竿の遠端の間隔は、正中面を中点にして16cm、38cmあるいは70cm。観察者の頭は、顎台や椅子の高さを調整することによって、竿の置かれた面あるいはそれよりも10cm高い位置に固定された。竿の位置を読み取るためのスケールが、観察者から203.7cm離れた机上に貼られていた。

課題 観察者は、竿の近端の間隔を調整して、3種類の平行竿を形成した。非交差課題: 2本の竿が正中面に関して対称に見える、その竿を前あるいは後ろに伸長しても遠くで交わって見えないようにする。等距離課題: 2本の竿が正中面に関して対称に見える、竿の間隔が、どこにおいても等しく見えるようにする。直交課題: 各竿が、観察者の両眼を通る前額面に直交して見えるようにする。いずれの課題でも、竿の見え姿にもとづいて竿の位置を調整し、竿が置かれた実際の位置については考えないよう教示した。

手続き 各観察者は3課題のすべてを行った。課題の各施行順序に4観察者をランダムに割り当てた。各課題において、観察者の目の高さや竿の遠端間隔との組み合わせからなる6条件のそれぞれに対して、遠隔調整と近接調整が各2回行われた。よって、各観察者は総計72試行を行った。実験は明室で行われた。顎台と椅子の高さを決定した後、どの試行においても、最初は、竿の近端の間隔が極端に広く(あるいは狭く)設定され、観察者は、その位置から竿の間隔を調整した。調整時間に制限はなかった。各調整が終わると、実験者は各竿の座標値をmm単位で読み取った。

(2) 実験2

観察者 立命館大学の学生20人(男10, 女10)。

装置 装置として実験1と同型のものを制作した。ただし本実験では、観察者の目から竿の遠端までの距離は226.5cm、近端までの距離は9.2cmだった。竿の遠端の間隔は、正中面を中点にして16cm、38cmあるいは70cm。観察者の目の高さは、顎台と椅子の高さを調整することによって竿の高さに一致させた。

課題 観察者は、竿の近端の間隔を調整して実験1と同じ3種の平行竿を形成した。いずれの課題でも、竿の見え姿にもとづいて竿の位置を調整し、竿が置かれた実際の位置については考えないよう教示した。

手続き 各観察者は、感覚様式として、両眼を開けて調整する条件と、目隠しをして竿が手や腕に与える感覚にもとづいて調整する条件に参加し、各感覚様式のもとで3課題を行った。感覚

様式と竿の遠端間隔との組み合わせからなる 6 条件のそれぞれに対して、拡大調整と縮小調整が各 2 回行われた。よって、各観察者は総計 72 試行（様式 2×竿幅 3×課題 3×調整 4）を行った。感覚様式と竿の遠端間隔の順序にはカウンターバランスがとられた。実験は明室で行われた。顎台と椅子の高さを決定した後、各試行において、最初は、竿の近端の間隔を極端に広く（あるいは狭く）設定し、観察者には、その位置から竿の方向を調整するように求めた。調整時間に制限はなかった。各調整が終わると、実験者は各竿の座標値を mm 単位で読み取った。

4. 研究成果

(1) 実験 1

3 種の教示のもとに構成された並木の軌跡の間には有意差がなかった。これは視空間をユークリッド空間とみなしてよいことを意味する。

竿の遠端幅に依存して並木の形が変化した。遠端幅が小さいときには、竿の間隔の調整は正確だったが、遠端幅が大きいときは竿が観察者の方向に収束するように調整された。これは、竿の間隔に着目すれば、大きさの恒常性が、大きい視角を張る間隔に対して低下することを意味する。また目の下に竿が見えるように設定すると、左右の勾配（収束度）は緩やかになった。

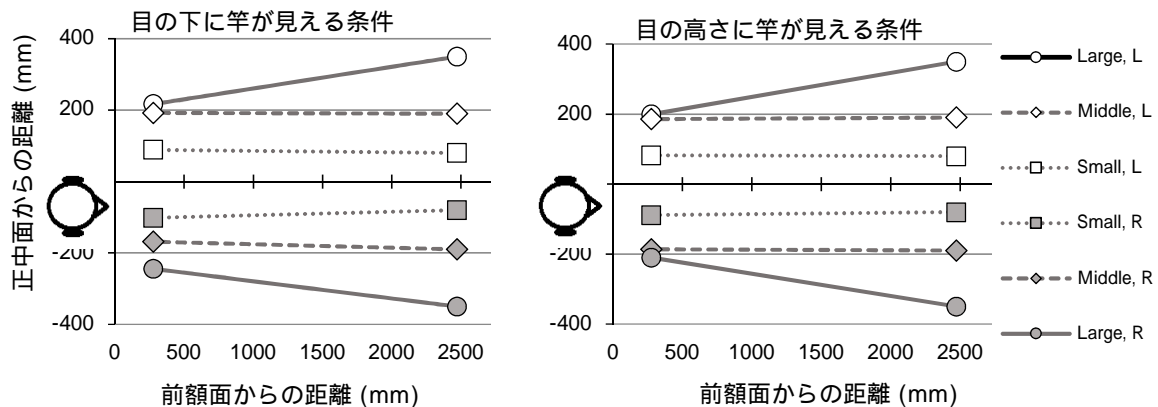


図 1. 実験 1 の結果。視覚にもとづいて決定された竿の方向。N=24。

もし視空間がユークリッド空間であれば、竿の遠間隔と近間隔の間には次の関係が成り立つ。

$$2 \tan \frac{\theta'_n}{2} = \frac{D'_f}{D'_n} (2 \tan \frac{\theta'_f}{2}) \quad (1)$$

ただし、 θ'_n と θ'_f は竿の観察者側の先端間隔とその反対側の先端間隔がそれぞれ張る視角の見かけの大きさ、 D'_n と D'_f は、それぞれ観察者から近間隔と遠間隔までの距離を表す。本研究では明室において実験が行われていることから、 D'_n と D'_f の比は、対応する物理的な距離の比に等しいと仮定する。

また物理的な視角 θ は、10～30%ほど大きく知覚されると言われているので、

$$\theta' = Q\theta \quad (2)$$

となる。ただし Q は正の定数。

式 1 と 2 を満たす Q 値を、コンピュータを用いて探したところ、 $Q = 1.23$ のときに、予測値と実測値の間の差異がもっとも小さくなる平均平方和誤差として 8.9° をえた。図 2 はこのときの θ'_n と θ'_f の関係を示す。

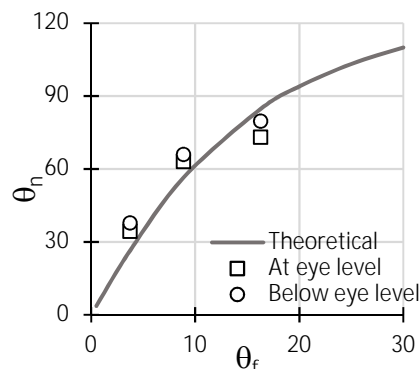


図 2. 実験 1 で得られた θ'_n と θ'_f の関係。適合曲線は式 1 と式 2 にもとづいている。

(2) 実験 2

図 3 に竿の調整された方向を示す。3 種の教示のもとに構成された並木の軌跡の間に有意差がなかった。これは視空間だけでなく触運動空間もユークリッド空間とみなせることを意味する。調整された竿の勾配は、視覚条件と触覚条件の間では異なっていた。視覚条件では、近端の間

隔は遠端の間隔にほぼ等しいが、触運動条件では一般に近端が遠端よりも広く調整される傾向があった。また触運動条件では、遠端の間隔が 16cm と 38cm のとき 2 竿は奥行き方向に収束するが、それが広いときには、2 竿は奥行き方向に発散した。

式 1 と 2 を用いて θ'_n と θ'_f の関係を適切に記述する Q 値を求めようとした。視覚条件の場合は、 $Q = 1.00$ 、平均平方和誤差 6.5° が適切であったが、触運動条件の場合は適切な Q 値を見出すことができなかった。図 4 では、 θ'_n と θ'_f の関数関係の中に視覚条件の予測曲線のみを描いている。

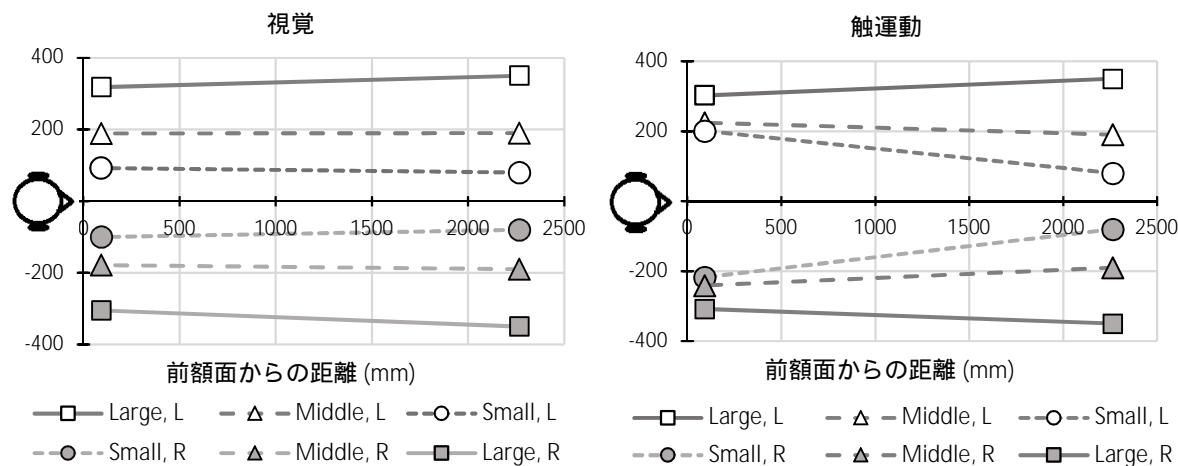


図 3 . 実験 2 の結果 . 視覚 (左) と触運動感覚 (右) にもとづいて決定された竿の方向 . $N=20$.

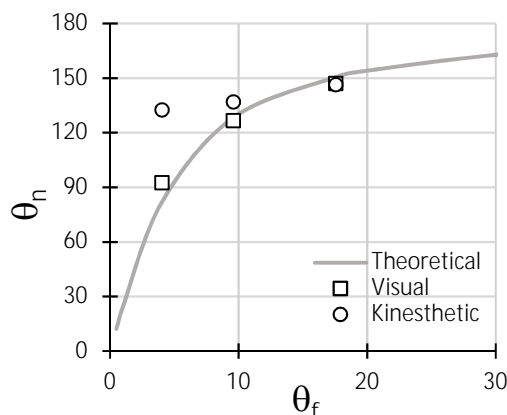


図 4 . 実験 1 で得られた θ'_n と θ'_f の関係 . 視覚条件の適合曲線は式 1 と式 2 にもとづいている .

(3) 結論

3 教示による並木の軌跡の異同について考えれば、視空間だけでなく触運動空間もユークリッド空間とみなすことができる。いっぽう竿の遠間隔と近間隔の視角関係について考えれば、視覚条件では、視角の大きさが過大に知覚されるということ認めれば(実験 1)、視空間をユークリッド空間と考えることができるが、触運動条件ではユークリッドモデルは適合しなかった。

視覚条件と触運動条件の幾何学的特性が同じであっても、各条件において得られた竿の勾配には著しい違いがあった。この相違を説明するためには自己中心(egocenter)の概念が有効かもしれない。視覚では自己中心は両眼の midpoint に(Ono,1979)、触運動感覚では肩、肘あるいは手首のような関節に(Blumenfeld,1936)あるとされ、自己中心が方向判断の基準点とされる。両手を使って作業をしているときには触運動感覚の自己中心は左右の肘にあって、右手を使ったときは右の自己中心が、左手を使ったときは左の自己中心が方向判断の基準点になると仮定する。さらに、竿の方向は一般に、自己中心と竿の遠点を結んだ直線の方に近づくように調整されると仮定してみよう。この仮定のもとでは、竿の間隔が狭いときは視覚条件の竿は正中面に対して近似的に平行になるが、竿の間隔が大きくなると観察者に向かって収束する。また触運動条件では、肘に自己中心があるので、竿の間隔が狭いと竿は観察者に向かって拡散し、竿の間隔が広いと竿は観察者に向かって収束する。

(4) 研究発表

Higashiyama, Atsuki. Visual and kinesthetic alleys formed with rods. 投稿中 .

Higashiyama, Atsuki. Visual and kinesthetic alleys formed with sticks. *The 42nd Annual Meeting of European Conference on Visual Perception*. 2019/8/29.

東山篤規. 奥行き方向における平行線 - 視空間と触運動空間のユークリッド性の検討 - . 関西心理学会第 129 回大会 . 2017/11/5.

東山篤規. 奥行き方向における平行線 : 視空間のユークリッド性の検討 . 関西心理学会第 126 回大会 . 2014/11/9 .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Atsuki Higashiyama and Tadashi Yamazaki	4. 巻 199
2. 論文標題 Somatic perception of floor inclination	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Psychologica	6. 最初と最後の頁 No.102896
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.actpsy.2019.102896	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 東山篤規	4. 巻 12
2. 論文標題 いろいろな逆さまの世界	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 理大科学フォーラム	6. 最初と最後の頁 2-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 東山篤規	4. 巻 22 (4)
2. 論文標題 鏡の中の視覚的空間	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会誌	6. 最初と最後の頁 8-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 東山篤規	4. 巻 646号
2. 論文標題 斜面をつくるきめの勾配刺激の複合性：J. J. ギブソンの遺した課題	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 立命館文学	6. 最初と最後の頁 43-58
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Atsuki Higashiyama and Tadashi Yamazaki	4. 巻 78
2. 論文標題 Anisotropic perception of slant from texture gradient: Size contrast hypothesis	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Attention, Perception, & Psychophysics	6. 最初と最後の頁 647-662
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3758/s13414-015-1024-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 東山篤規	4. 巻 641号
2. 論文標題 見かけの直線的大きさや角度的大きさ	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 立命館文学	6. 最初と最後の頁 32-43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Atsuki Higashiyama and Takashi Murakami	4. 巻 77
2. 論文標題 The effects of luminance, size, and duration of a visual line on apparent vertical while the head is being inclined in roll	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Attention, Perception, & Psychophysics	6. 最初と最後の頁 681-691
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3758/s13414-014-0774-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件(うち招待講演 6件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Atsuki Higashiyama
2. 発表標題 Visual and kinesthetic alleys formed with sticks
3. 学会等名 The 42nd Annual Meeting of European Conference on Visual Perception
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 東山篤規
2. 発表標題 身体姿勢と視知覚
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第94期定時総会講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 東山篤規
2. 発表標題 さまざまな逆さまの世界
3. 学会等名 第34回日本臨床皮膚科医会近畿ブロック総会・学術大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 東山篤規・山崎校
2. 発表標題 傾斜面に対する視覚および体性感覚の順応 - Gibson仮説とKohler仮説の比較
3. 学会等名 関西心理学会第130回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 東山篤規
2. 発表標題 身体姿勢と視知覚
3. 学会等名 日本科学哲学会第51回（2018）年次大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsuki Higashiyama and Tadashi Yamazaki
2. 発表標題 Judgments of visual somatic inclination: Evidence against visual capture
3. 学会等名 The 41th Annual Meeting of European Conference on Visual Perception (ECVP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 東山篤規
2. 発表標題 身体姿勢と視知覚
3. 学会等名 第43回感覚代行シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 東山篤規
2. 発表標題 奥行き方向における平行線 - 視空間と触運動空間のユークリッド性の検討 -
3. 学会等名 関西心理学会第129回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 東山篤規・山崎校
2. 発表標題 Visual and Somatic Adaptation to Slanted Floor
3. 学会等名 The 40th Annual Meeting of European Conference on Visual Perception (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 東山篤規
2. 発表標題 股のぞき効果：謎とその解明
3. 学会等名 第11回箱根ドライアイクラブ（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 東山篤規
2. 発表標題 姿勢（直立，横臥，股のぞき）と距離の知覚
3. 学会等名 日本計算機統計学会第31回大会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 東山篤規・對梨成一
2. 発表標題 鏡映世界の距離と奥行き：反射材の効果
3. 学会等名 関西心理学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Atsuki Higashiyama, Seiichi Tsuinashi
2. 発表標題 Apparent depth in glass, bronze, and nickel mirrors: Color effects.
3. 学会等名 The 39th Annual Meeting of European Conference on Visual Perception
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 下野孝一・東山篤規・木原健・Ono Hiroshi
2. 発表標題 枠組みが2次元画像の奥行き感に及ぼす影響
3. 学会等名 日本視覚学会2016年夏季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 東山篤規
2. 発表標題 Determination of the Somatosensory Horizontal Plane.
3. 学会等名 Psychonomic Society's 56th Annual Meeting
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 東山篤規
2. 発表標題 奥行き方向に伸びる交叉線：視空間のユークリッド性の検討
3. 学会等名 関西心理学会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 下野孝一，東山篤規，相田紗織
2. 発表標題 Framing can enhance the perceived depth of a picture
3. 学会等名 The 38th Annual Meeting of European Conference on Visual Perception
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----