

博士論文

モナリザ効果の成立機序
—両眼視差と画像性手がかりを中心として—
(The mechanism underlying the Mona Lisa effect:
The relationship between binocular disparity and
pictorial cues)

2021年3月

立命館大学大学院文学研究科
行動文化情報学専攻博士課程後期課程

森田 磨里絵

立命館大学審査博士論文

モナリザ効果の成立機序

—両眼視差と画像性手がかりを中心として—

(The mechanism underlying the Mona Lisa effect:

The relationship between binocular disparity and pictorial cues)

2021年3月

March 2021

立命館大学大学院文学研究科

行動文化情報学専攻博士課程後期課程

Doctoral Program: Major in Informatics of Behavior and Cultures

Graduate School of Letters

Ritsumeikan University

森田 磨里絵

MORITA Marie

研究指導教員: 佐藤 隆夫 教授

Supervisor: Professor SATO Takao

目次

第1章 序論	1
1.1. モナリザ効果とは.....	1
1.2. モナリザ効果の研究史.....	3
1.3. モナリザ効果と形の恒常性.....	6
1.4. モナリザ効果と奥行き知覚.....	9
1.5. 本研究の目的.....	11
第2章 モナリザ効果の指標としての顔幅測定の妥当性	13
2.1 第2章の目的	13
2.2 実験1 モナリザ効果の指標としての顔幅測定の妥当性	17
2.2.1 方法	17
2.2.3 結果	24
2.2.4 考察	28
第3章 モナリザ効果と両眼視差との関係	31
3.1 第3章の目的	31

3.2 実験 2 人物画像の背景の両眼視差の効果.....	33
3.2.1 目的.....	33
3.2.2 方法.....	33
3.2.3 結果.....	36
3.2.4 考察.....	38
3.3 実験 3 人物の顔および画枠の両眼視差の効果.....	40
3.3.1 目的.....	40
3.3.2 方法.....	40
3.3.3 結果.....	43
3.3.4 考察.....	45
3.4 実験 4 モナリザ効果における画枠の効果の検討.....	49
3.4.1 目的.....	49
3.4.2 方法.....	49
3.4.3 結果と考察.....	52
3.5 第 3 章 考察.....	55
第 4 章 モナリザ効果と顔の画像性手がかりとの関係.....	59
4.1 第 4 章の目的.....	59

4.2 実験 5 倒立顔画像に対するモナリザ効果.....	61
4.2.1 目的.....	61
4.2.2 方法.....	61
4.2.3 結果.....	63
4.2.4 考察.....	66
4.3 実験 6 ネガポジ反転顔画像に対するモナリザ効果.....	69
4.3.1 目的.....	69
4.3.2 方法.....	69
4.3.2 結果と考察.....	71
4.4 第 4 章 考察.....	75
第 5 章 空間幅に対するモナリザ効果	77
5.1 第 5 章の目的	77
5.2 実験 7 シーンに対するモナリザ効果の検討.....	79
5.2.1 方法.....	79
5.2.2 結果.....	82
5.2.3 考察.....	83

第 6 章 総合考察..... 87

6.1 研究の総括..... 87

6.2 両眼視差の機能の抑制..... 89

6.3 モナリザ効果における人物の顔の画像性手がかり..... 91

6.4 対象のタイプによる向きの不変性の強度..... 91

6.5 形の恒常性とモナリザ効果..... 94

6.6 先行研究との関連..... 96

6.7 結論..... 99

引用文献..... 103

謝辞..... 115

第 1 章 序論

1.1 モナリザ効果とは

ダ・ヴィンチの《モナ・リザ》のように、正面を向いた人物を正面から描いた肖像画を眺めながら左右に動いても、モナリザの視線は観察者を見つめ続け、モナリザの顔は観察者と正対し続ける(図 1-1)。この現象を、モナリザ効果 (The Mona Lisa effect) と呼ぶ (Boyarskaya & Hecht, 2012; Boyarskaya, Sebastian, Bauermann, Hecht, & Tüscher, 2015; Hecht, Boyarskaya, & Kitaoka, 2014; Maruyama, Endo, & Sakurai, 1985; Rogers, Lunsford, Strother, & Kubovy, 2003; Todorović, 2006, 2009, 2017)。観察者が左右に移動した時、肖像画の表面(キャンバスの面)は、観察者の視線に対し移動量に対応した角度、傾きをもつ。肖像画の表面には、人物(以下、対象人物)や背景が描かれており、テクスチャが存在している。また、はっきりとしたエッジをもつ額縁も存在している。こうした、肖像画表面のテクスチャ、額縁などは、両眼視差(左右眼の網膜像のずれ)をもち、観察者はこうした両眼視差の情報から、肖像画の傾きを得ているはずである。この傾きが正しく評価されていけば、対象人物の視線や顔も肖像画の傾きに応じた方向を向くはずである。

一方、対象人物の顔は観察者に正対するように描かれており、目や鼻の配置やそれらの相対的な位置関係、遮蔽関係といった顔に関する画像性の手がかり(顔の画像性手がかり)は、絵を傾けても変化せず、対象人物が観察者に正対していることを示唆している。つまり、肖像画を正面から外れた位置から観察している時、両眼視差と画像性手がかりは矛盾している。にもかかわらず、多

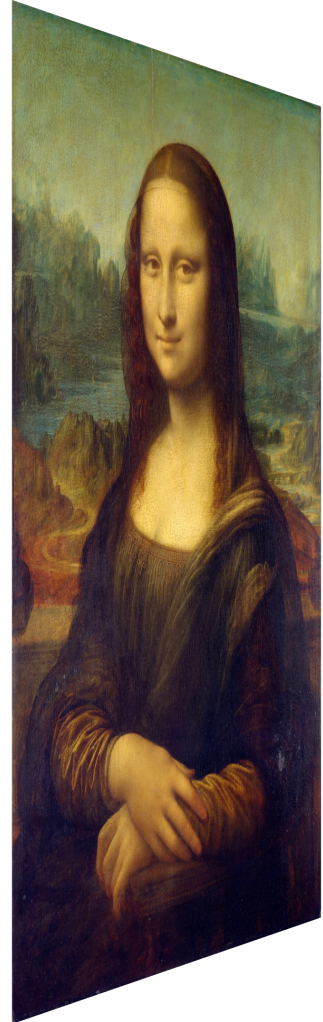


図 1-1. モナリザ効果の例 (レオナルド・ダ・ヴィンチ 《モナ・リザ》)

くの場合、対象人物の視線や顔は絵画の物理的な傾きには依存せず、観察者に正対しているかのように知覚される。このことは、対象人物の向きの知覚は、両眼視差ではなく、顔の画像性手がかりによって決定されることを意味している。こうした現象は、対象人物が、キャンバスとして存在している物理的な表面に所属しないことを意味するのかもしれない。そうした問題を考えるはじめての一步として、本研究では、モナリザ効果の生起における奥行き手がかり間の関係を定量的に明らかにすることを目的とする。

冒頭でも述べたとおり、モナリザ効果には視線に関するものと、顔や胴体などの向き(オリエンテーション)に関するものがある。これまで、多くの研究は主として視線に関する問題を扱っており、顔や胴体の向きに関するものは少ない(Boyarskaya & Hecht, 2012; Boyarskaya et al., 2015; Bruce & Young, 1998; Maruyama et al., 1985; Hecht et al., 2014; Rogers et al., 2003; Sato & Hosokawa, 2012; Todorović, 2006, 2009)。本研究では、両眼視差と画像性手がかりの関係を扱いやすいことから、顔の向きに関する検討に問題を限定する。また、冒頭で例示した、観察者の左右移動による画像の向きの変化、つまり、画像を見込む角度の変化は、固定した観察者に対する画像の垂直軸に関する回転と等価である。本研究では、この変化を、以下、基本的に「傾き」と呼ぶこととする。

1.2 モナリザ効果の研究史

肖像画に描かれた人物の顔や視線は 3 次元的な人物とは異なる振る舞いをするという気づきについては、2 世紀頃までにすでに記述がなされている。古代ローマの学者、クラウディオス・プトレマイオスは、自身の著書の中で、「人物の顔が描かれたパネルの前を鑑賞者が移動すると、絵自

体は動いていないのに、描かれた人物の視線が鑑賞者に追従する」という旨を記している (Smith, 1996). また、15 世紀の神学者・哲学者、ニコラウス・クザーヌスは、特に見事に描かれたイコン(聖人や天使などの肖像画)は、鑑賞者が絵画に対しどのような位置にいても、また鑑賞者が絵画の前を横切っても、描かれた人物の顔と視線の向きが常に鑑賞者に正対することを記し、このような効果をもつ絵画を「神のイコン」と呼んで神聖視した (Cusanus, 1453 八巻訳 2001). これらは、今日にはモナリザ効果として知られる現象と同一であると言えるだろう.

モナリザ効果に相当する現象は 1800 年以上前から知られていたにもかかわらず、その定量的な測定や生起メカニズムの検討は近年に至るまで行われてこなかった. 2 次元的に表現された人物の視線方向の知覚を定量的に示したのは、Anstis, Mayhew, & Morley (1969) が初めてであると思われる. Anstis et al. (1969) は、実際の人物や 3 次元的な眼球模型、モニターに表示した人物画像を用いて、それらを垂直軸に関して回転させた時に知覚される視線方向を測定した. その結果、顔も視線も正面を向いている 2 次元の人物画像を回転させた場合の方が、顔と視線の状態が同様の 3 次元の人物を回転させる場合よりも、人物の視線が観察者の方を向いていると判断される割合が高いことを示した. さらに、知覚される視線方向は、人物の頭部と視線の回転方向の相互作用により変化することも明らかにした. 彼らの論文は、2 次元画像中の人物の視線方向の知覚を初めて詳細に記述したという点で、モナリザ効果に関する定量的な研究の端緒と言えるだろう. しかし、Anstis et al. (1969) は「モナリザ効果」という言葉は使用しておらず、この現象を、あくまで 3 次元的な人物の視線知覚の基本的な特性を探るための実験条件の 1 つとして位置づけていた. Anstis et

al.(1969), さらに, 3 次元的な人物の視線知覚を扱った Gibson & Pick(1963), Cline(1967)等の研究を契機とし, 人物の視線知覚に関する実験的検討が行われるようになったが, それらの研究の主眼は3次元的な人物の視線知覚の解明, 特に頭部と眼球(瞳孔の露出位置)の相対位置と視線方向の知覚の関連に置かれており, モナリザ効果のような2次元的な人物画像の顔の向きや視線方向の知覚は大きく取り上げられることはなかった(e.g. Moors, Verfaillie, Daems, Pomianowska, & Germeys, 2016). 実験心理学的研究に初めて「モナリザ効果」という言葉が登場するのは, Maruyama et al.(1985)である. Maruyama et al.(1985)は, ダ・ヴィンチの《モナ・リザ》を模した人物写真や, 簡略化した人物の顔のイラストを用いて, 2次元の顔画像の顔や視線の向きの知覚を測定した. Maruyama et al.(1985)は, 「モナリザの絵をどの角度から眺めても, 絵の目の前を通り過ぎても, モナリザは絵の目の前にいる私達を見つめているような印象を与える」とし, 「この効果を、『モナリザ注視効果(The Mona Lisa gaze effect)』と名付ける」と述べ, 人物の頭部と視線の方向が正面に固定されている場合に, その画像を傾けても視線が観察者に固定されて知覚されることを実験を通じて実証した. これが, モナリザ効果を明確に定義し, 2次元画像中の人物の顔や視線の向きという問題を既存の視線知覚研究から分離し, 検討した初の試みとみなすことができるだろう.

Maruyama et al.(1985)以降, 「モナリザ効果」を実験心理学的側面から検討した文献はわずか10件である(Boyarskaya & Hecht, 2012; Boyarskaya et al., 2015; Bruce & Young, 1998; Horstmann & Loth, 2019; Maruyama et al., 1985; Hecht et al., 2014; Rogers et al., 2003; Sato & Hosokawa, 2012; Todorović, 2006, 2009). さらに, 上述のとおり, 人物の視線方向の知覚という側面から端を発して

いることから, Sato & Hosokawa (2012) 以外の研究はすべて対象人物の視線のみを扱っている。人物の視線は, 顔の中でも顕著性の高い特徴であることも相まって, モナリザ効果においては視線の効果のみが取り上げられてきたという面もあるだろう。しかし, 肖像画の対象人物が, 画像を傾けたときに, 視線のみならず顔や身体も観察者の方向を向いているように知覚されることは, 図 1-1 の例からも明らかである。実際に, 視線に関するモナリザ効果を検討した先行研究において, 実験的な検討は行っていないが, 対象人物の顔や身体も観察者に追従することを指摘しているものもある (Boyarskaya & Hecht, 2012; Rogers et al., 2003)。このような現状を考慮すると, モナリザ効果について, 視線以外の点, 顔や胴体の向きについても定量的な検討を行う必要があると考える。そこで本研究では, 人物の顔の向きに関するモナリザ効果を取り上げ, その生起に関する定量的な検討を試みる。

1.3 モナリザ効果と形の恒常性

肖像画を傾けると, 対象人物の顔や視線の向きが観察者に正対して知覚されると同時に, 対象人物の顔幅が, 肖像画に正対したときよりも細く見えることに気づくだろう (図 1-1, 右)。肖像画を傾けると, 対象人物の顔の網膜像は, 肖像画に正対したときよりも細くなる。通常, このように物体を斜め方向から観察する場合には, 形の恒常性の機能により網膜像の補正が生じる。形の恒常性とは, 視線に対して傾いた対象物の網膜像が, 物理的には対象物に正対した時の像から歪んでいても, 知覚される形態が, 正対時と同一に保たれることを指す (Thouless, 1931a, 1931b, 1932)。したがって, 肖像画を傾けた場合も, 対象人物の網膜像に対する補正により顔幅が細く見えるという印

象はもたれないはずである。それにもかかわらず、対象人物の顔が正対時よりも細く知覚されるといことは、モナリザ効果の生起時に、通常の事態では成立するはずの形の恒常性が崩壊していることを示している。

Thouless(1931a, 1931b, 1932)は、観察者に円形の物体を斜めから観察させ、その物体の形態を描画させた。その結果、観察者の描いた物体の形態は、網膜像に投影されているはずの楕円形よりも、正円に近いものになった。この結果は、観察位置が変化しても、物体の形態は網膜像どおりではなく、観察位置の変化を考慮し補正された形態に知覚され、形の知覚は物体に正対した時の形に近づこうとする傾向があることを示すものである。形の恒常性が何に基づいて生じるかに関する決定的な議論は未だなされていないが、恒常性の生起に影響する要因は、主として物体の傾き情報と、物体の形状に関する事前の知識に大別され、これらの相互作用により網膜像の補正が生じるという考えが広く受け入れられている(e.g. Pizlo, 1994)。物体の傾き情報については、物体の傾きを推定するための奥行き手がかりが豊富に存在する場合ほど、恒常性が強く生じることが知られている(Beck & Gibson, 1955; Epstein & Park, 1963; Langdon, 1951, 1955b; Leibowitz & Bourne, 1956; Marr, 1982)。例えば、単眼視下よりも両眼視下のほうが(Thouless, 1931b)、遠距離よりも近距離での観察のほうが(Beck & Gibson, 1955; Howard, Fujii, Allison, & Kirillos, 2014)、明所で観察するなど対象の視認性が高いほうが(Langdon, 1955a; Leibowitz & Bourne, 1956)、形の恒常性が強く生じることが明らかになっている。これらは、両眼視差、遠近法、テクスチャ勾配など、画像性の奥行き手がかりが活用できる場合には、それらから得られる傾きの情報に応じて網膜像の修正

が生じると説明される。また、斜めから観察する物体の形態を事前に知っている場合や (Edelman & Bülthoff, 1992; Michelle & Taylor, 1999; Poggio & Edelman, 1990; Quinlan & Allen, 2018; Ropar & Mitchell, 2002), 親和性や対象性の高い物体に対して (Hake & Myer, 1969; King, Meyer, Tangeney, & Biederman, 1976) は, 恒常性が生じやすいことが示されている。例えば机の上に置かれた皿を斜めから見るときには, 両眼視差や遠近法的奥行き手がかりに基づく傾き情報と, 「皿は丸い」という事前知識に基づいて網膜像の補正が生じ, 皿の形態の主観的な印象は円形に保たれる。

以上を踏まえ, モナリザ効果が生じる時, 同時に対象人物の顔幅が細く知覚されるという現象を解釈する。肖像画を傾けると, 肖像画表面に存在する両眼視差, および肖像画の画枠の形態変化や肖像画表面の輝度勾配といった画像性の奥行き手がかりは, 肖像画が傾いていることを示す。同時に, 対象人物の顔の網膜像は, 肖像画に正対したときよりも細くなり, さらに, 目や鼻の空間的な相対位置や遮蔽関係といった顔の画像性手がかりは, 対象人物の顔が正面を向いているという情報を与える。このような観察事態において, 目や鼻の空間的な相対位置や遮蔽関係といった顔の画像性手がかりは, 正対時と不変であり, 顔が観察者に正対していることを示唆する。対象人物の顔幅に対しては, 肖像画の傾き情報と人物の顔の幅や形態に関する事前知識の 2 つに基づく形の恒常性が生じ, 網膜像が補正され, その結果として補正された形態が知覚されると考えられる。しかし, 人物の顔の形態や幅は自由度が高いため, 「人物の一般的な顔幅」といった事前知識は強くは形成されづらい (Fuentes, Runa, Blanco, Orvalho, & Haggard, 2013)。そのため, 皿を斜めから見た場合とは異なり, 人物の顔に対する形の恒常性は, 顔形態に関する事前知識ではなく, 両

眼視差や画枠の形態変化といった画像性手がかりに基づいて生起すると考えられる。したがって、傾いた肖像画中の対象人物の顔幅が細く知覚されるということは、形態知覚のシステムが両眼視差や画枠の形態変化といった肖像画の傾き情報を活用できない結果であるとみなすことができる。この時、対象人物の顔は、観察者に正対して知覚されている、つまり、モナリザ効果が生じる。このことは、顔の向きの判断は顔の画像性手がかりに基づいており、肖像画の傾き情報は活用されていないと考えられる。すなわち、肖像画を傾けた時、傾けた顔が正対して知覚されることと、顔幅の過小視は、いずれも肖像画の傾き情報を活用できないことから生じており、その点で両者は等価の現象であると解釈することが可能である。このように考えると、肖像画を傾けた時の対象人物の知覚される顔幅は、モナリザ効果の間接的な評価指標になりうる。こうしたことから、本研究では、顔幅という指標を用いて、モナリザ効果の評価を試みることにする。

1.4 モナリザ効果と奥行き知覚

上述のとおり、モナリザ効果の生起時には、肖像画の傾きと、目や鼻の相対的な位置といった顔の画像性手がかりに基づく顔の向きが矛盾している。この時、顔の向きは観察者に正対して知覚されることから、顔の向きの判断は顔の画像性手がかりに依存していると言える。この点について、奥行き手がかりの統合過程という側面から解釈する。

奥行きの知覚は、外界の様々な物体に反射された光が網膜に投影されることから始まる。網膜像は2次元であるため、視覚系はこの2次元の網膜像に含まれる様々な情報に基づき、元の3次元的な構造を復元していると考えられている。奥行きの復元に活用される情報のことを、奥行き手

がかりと呼ぶ。奥行き手がかりには、線遠近法、テクスチャ勾配、遮蔽、陰影、両眼視差、運動視差、輻輳、調節など様々なものがある。これらの手がかりは様々な観点から分類がなされるが、一般には、手がかりが単眼の網膜像に由来するものか、両眼の網膜像に由来するものかという観点から分類がなされることが多い。両眼視差や輻輳は、両眼からの入力に由来するものであるから、両眼手がかりと呼ばれる。運動視差、遠近法、テクスチャ勾配、遮蔽、陰影などは単眼のみからの入力でも成立する手がかりであるため、単眼の奥行き手がかりと呼ばれる。単眼手がかりのうち、運動視差以外のものは画像性の奥行き手がかりと呼ばれる。

視覚系は、こうした様々な奥行き手がかりから得られる情報を統合し、最終的な1つの奥行きを知覚していると考えられているが(Bruno & Cutting, 1988; Doshier, Sperling, & Wurst, 1986; Rogers & Collett, 1989)、モナリザ効果の生起時のように、奥行きに関していくつかの手がかりが矛盾する情報を示す場合を想定する必要もある。奥行き手がかりの統合メカニズムについては複数のモデルが提唱されているが、その中でも、各手がかりから得られる奥行きを、その手がかりの信頼性や頑健性に基づき重み付けし、線形に加算するというモデルが、奥行き手がかりの統合における標準的なモデルとして広く受け入れられている(Landy, Maloney, Johnston & Young, 1995; Young, Landy, & Maloney, 1993)。このモデルでは、両眼視差や運動視差といった手がかりは、画像性手がかりよりも低次かつ頑健であるとされている。両眼・運動視差は、外界の3次元構造を網膜像に基づいて数学的に計算することができる一方、画像性手がかりは観察者の位置や対象物の事前

知識や記憶による影響を大きく受ける。そのため、両眼・運動視差手がかりは画像性手がかりよりも重み付けも大きく、奥行き知覚において決定性の高い手がかりであるとされる。

このことを踏まえ、モナリザ効果生起時の奥行き手がかり間の関係を精査する。肖像画を傾けると、肖像画表面の両眼視差や画枠の形態変化としての画像性手がかりは肖像画の傾きを示す一方、顔の画像性手がかりは顔が観察者に正対することを示す。この時、上記のモデルに従うのであれば、対象人物の顔は両眼視差が示す肖像画の傾きに従うため、顔は肖像画の傾きに応じて変化し観察者に正対しては知覚されないはずである。それでも顔が正対して知覚され、モナリザ効果が生じるということは、低次かつ決定性が高いとされている両眼視差が顔の向きの判断に活用されず、むしろ高次とされる顔の画像性手がかりに打ち消されてしまっていると考えられる。肖像画表面に存在する両眼視差は、キャンバスの物理面の存在を記述しているのだから、モナリザ効果が生じている場合は、観察者の目の前に存在する絵画面そのものが知覚されていない、もしくは顔の向きの判断から乖離してしまっている状態であるとも言える。本研究では、モナリザ効果における、肖像画の傾きを示す奥行き手がかりと顔の画像性手がかり、特に、肖像画の物理的表面を記述する両眼視差と、顔の向きに関する画像性手がかりとの関連を検討することを目的とする。

1.5 本研究の目的

以上を踏まえ、本研究では、モナリザ効果と奥行き手がかりとの関係を定量的に明らかにすることを目的とする。さらに、モナリザ効果の生起における、両眼視差と画像性の手がかりの相互関係を明らかにすることを目指す。第 2 章では、先行研究が示すモナリザ効果の評価指標の問題を受け、

モナリザ効果の強度を測定する新たな指標として顔幅を提案する。さらに、顔幅がモナリザ効果の評価指標として有効であることを実験的に示し、第 3 章以降の実験での指標として用いることの妥当性を示す。第 3 章では、モナリザ効果と、肖像画の傾きを示す奥行き手がかり(両眼視差)との関連について検討する。第 4 章では、モナリザ効果における、対象人物の顔の画像性手がかりの役割を検討する。第 5 章では、モナリザ効果と同様の向きの不変性の効果が、物体に対してしか生じないのか否かを検討する。

第 2 章 モナリザ効果の指標としての顔幅測定の妥当性

2.1 第 2 章の目的

肖像画を垂直軸に関して大きく傾けても、対象人物の顔は観察者に正対して知覚される。それにもかかわらず、傾いた顔画像を呈示し、対象人物の顔が正対しているか否かを観察者に判断させると、正対しているという判断の比率は 50 %程度であるという報告がある (Sato & Hosokawa, 2012)。この報告は、直感にはそぐわない。同様の画像を日常場面を見た人の大部分は、対象人物の顔が自分の方を向いていると述べるだろう。このように主観と大きく乖離する比率が報告された原因として、観察者の判断に対する態度が挙げられる。顔の向きを直接尋ねられたことから、観察者が分析的な態度を取り、注意を傾きのみ集中し、様々な手がかりから得られる傾き情報を意識的に統合した可能性が考えられる。その結果として、顔の向きに対する感度が必要以上に鋭敏になり、判断が直接的・直感的な印象や知覚とは異なるものとなっていたと言える。本章では、このような可能性を考慮し、対象人物の顔の向きを直接判断させるのではなく、知覚される顔幅という間接的な指標を用いてモナリザ効果の評価を試みる。

傾いた肖像画を観察すると、対象人物が観察者に正対して感じられると同時に、人物の顔幅が、肖像画に正対した時よりも細く知覚されることに気づく (図 1-1, 右)。肖像画を傾けると、対象人物の顔の網膜像の物理的な幅は、肖像画に正対した時よりも細くなる。しかし、知覚のレベルでは、物体を斜め方向から観察すると、形の恒常性が生じることも知られている (Thouless, 1931a, 1931b,

1932). 例えば, 丸い皿や時計を傾けると網膜像は楕円形になるが, 形の恒常性により, 観察者が得る対象物の形態の主観的印象は円形に保たれる, もしくは, 少なくともより円形に近づいた形態知覚が生じる(不完全な恒常性). しかし, 第 1 章の 1.3 節でも述べたとおり, 人物の顔幅に関しては, 顔幅は細くても広くても構わないことから, 強い事前知識は形成されていないと考えられる (Fuentes, et al., 2013). そのため, 人物の顔幅に対する恒常性は両眼視差をはじめとするボトムアップな傾き情報に依存し, 傾き情報から自動的に計算されると考えるのが自然であろう. このように考えると, 肖像画の傾きに応じた顔幅の過小視の度合いから, 形態知覚のシステムに対する傾き情報の関与の度合いを知る(測定する)ことができることになる. すなわち, 顔幅が肖像画に正対した時よりも細く知覚されるということは, 肖像画の物理的な傾き情報が対象人物の顔の向きの判断に活用されていない, つまり, 対象人物の顔の向きは常に観察者に正対して知覚されることを示している(モナリザ効果の生起). 反対に, 顔が傾いているにもかかわらず顔幅が肖像画正対時と同程度に知覚されるならば, 肖像画の物理的な傾きが対象人物の顔の向きの判断にも活用されており, 対象人物の顔は肖像画の傾きに応じて変化して知覚されると言える(モナリザ効果の非生起). こうした考えに基づけば, 対象人物の顔幅が過小視されることと, 顔の向きが観察者と正対することは等価だということになる. このような事態での顔幅を客観的に測定することができれば, その結果は対象人物の顔の向きの知覚, すなわちモナリザ効果の指標となりうる. 対象人物の顔の向きを直接尋ねるのではなく顔幅を判断させることで, 画枠や観察者の注意からの顔の向きの判断に対する影響を低下させ, 顔の向きの知覚を, 間接的に, おそらくは, より客観的に測定することが期待で

きる。そこで、本章では、傾いた肖像画の対象人物の顔幅は客観的に測定することが可能か否かを検討し、顔幅の判断のモナリザ効果の指標としての有効性を確認することを第一の目的とする。

また、本章では、モナリザ効果と両眼視差との関連について基本的な知見を得るため、肖像画表面に両眼視差が分布する場合と、分布しない場合におけるモナリザ効果についても、知覚される顔幅という指標を用いて検討する。肖像画を傾けた時、両眼視差、画枠からの画像性手がかり等の奥行き手がかりは肖像画の傾きを示すが、白目と黒目の比率、目や鼻の空間的な相対位置、各部位の遮蔽関係といった顔の向きに関する画像性手がかり(以下、顔の画像性手がかり)は、顔が正面を向いていることを示している。こうした2種の手がかりは、モナリザ効果の生起時には相互に矛盾することになるが、この場合、顔の画像性手がかりが奥行き手がかりに勝ち、その働きを抑制していると考えられる。第1章の1.4節でも述べたとおり、両眼視差は数ある奥行き手がかりの中でも低次かつ頑健で、高次の画像性の奥行き手がかりよりも奥行き知覚における決定性が高いとされている(e.g. Landy et al., 1995)。それにもかかわらず、両眼視差ではなく顔の画像性手がかりに依存する知覚が生じることは、顔の向きに関する表象を生成する過程では、顔の画像性手がかりによって両眼視差が活用できない状態が生じている可能性が考えられる。もしそうであれば、顔画像を単眼で観察した場合は、両眼観察するよりも顔の向きに関する判断が顔の画像性手がかりにより強く依存することが予測される。これまでに行われているモナリザ効果に関する先行研究では、モナリザ効果における両眼視差の役割が見落とされてきたことに加え、肖像画を両眼で観察するか単眼で観察するかといった観察状況の違いによる影響も検討されていない(Rogers et al., 2003;

Rosinski & Farber, 1980; Boyarskaya & Hecht, 2012). そこで本章では, 顔画像を両眼観察または単眼観察することにより, モナリザ効果と両眼視差との関連を明らかにすることも目的とする.

実験 1 では, 傾いた肖像画中の人物の顔幅の過小視は客観的に測定可能であるか否か, さらに, 知覚される対象人物の顔幅が肖像画の傾きに依ってシステムティックに変化するか否かを, 両眼視差をもつ顔画像と, もたない顔画像を用いて確認することで, 主観的な顔幅のモナリザ効果の評価指標としての有効性を検討することを目的とする. モナリザ効果が生起するならば, 肖像画の傾きが得られず形の恒常性は機能しないため, 知覚される顔幅は観察者から見込んだ物理的な幅(網膜像の幅)とほぼ一致すると考えられる. 一方, モナリザ効果が生起しない時, すなわち肖像画の傾きが得られている場合には, 形の恒常性が機能し, 顔幅は正対時とほぼ同じ幅に知覚されると考えられる. Hanada (2005) は, 人物の顔写真を回転させると, 顔幅が写真に正対した時より細く知覚されることを報告している. しかし, 彼は人物の顔幅と, 顔の向きについては全く言及していない.

2.2 実験 1 モナリザ効果の指標としての顔幅測定の妥当性

肖像画を模した人物の顔画像を垂直軸に関して回転させたものをテスト刺激とし、各画像回転角における主観的な人物の顔幅を測定した。画像表面の両眼視差の役割を検討するため、顔画像を両眼観察し画像の傾きを示す両眼視差がある条件と(両眼観察条件)、単眼観察し画像の傾きを示す両眼視差がない条件(単眼観察条件)を設けた。さらに、左右眼に同一の画像を呈示し、画像の傾きを示す両眼視差はもたない画像を両眼観察する条件(視差ゼロ観察条件)も設けた。

2.2.1 方法

2.2.1.1 観察者

著者 1 名を含む 8 名の観察者が実験に参加した。すべての観察者は、正常な(矯正)視力を有していた。Stereo Fly Test (Stereo Optical Co. Inc., Chicago, IL) の Graded circle test を用いて、すべての観察者が 1.0 以上の立体視力を有していることを確認した。観察者のうち 7 名は右眼が利き目であり、1 名は左眼が利き目であった。

2.2.1.2 装置

1 台の液晶ディスプレイ (FlexScan SX2761W, EIZO 製(石川), 27 インチ, 解像度 1920×1080 pixel, リフレッシュレート 60Hz) の画面の左半面に左眼用画像を、右半面に右眼用画像を分離して呈示し、2 つの画像を 4 枚の鏡を用いたミラーステレオスコープによって融合させることにより、立体画像を呈示した(図 2-1)。視距離は、左右眼ともに 57 cm であった。

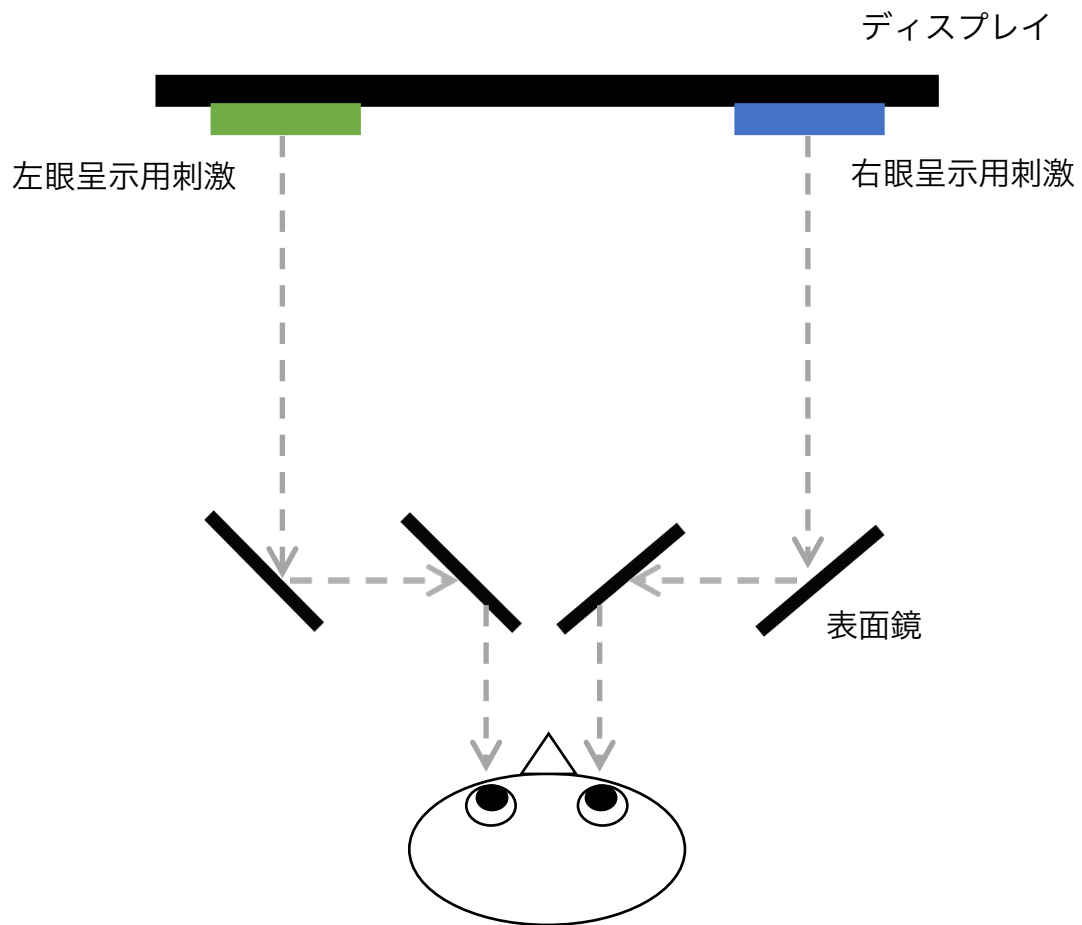


図 2-1. 実験装置を上から見た模式図.

実験は、コンピュータ (Mac Pro, Apple Inc., Cupertino, CA, Windows 10 Pro) を用いて、Matlab (R2017b, Mathworks, Natick, MA) と Psychtoolbox-3 (Brainard, 1997; Pelli, 1997) によるプログラムで制御した。

2.2.1.3 刺激

CG ソフトウェアを用いて、3 次元的な人物を正面から見た 2 次元画像を作成した。この画像を 3 次元の仮想空間内で垂直軸に関して回転させ、実空間で傾いた画像を観察している状況をシミュレートして作成した両眼視差をもつステレオ画像対を、刺激として用いた。なお、顔画像の回転は、すべて垂直軸に関する回転であった。

3 次元の人物刺激は、3 次元 CG ソフトウェアの Poser (Pro, version 11, Smith Micro Software) を用いて作成した。Poser に標準で付属する女性型モデル (JessiHiRes) を使用し、髪型は顔の輪郭が隠れないもの (UpDo_Jessi_Black) とした。顔幅は、最大の幅 (こめかみ間の幅) を 6.3 deg とし、テスト刺激の人物刺激とした。この人物刺激を基準とし、顔幅を横方向に 20 % 伸長または短縮した人物刺激をそれぞれ作成し、ダミー刺激の人物刺激とした (図 2-2 (a))。ダミー刺激は、呈示される顔幅の基準が狭い範囲に固定されてしまうことを防ぐため、実験刺激に混ぜて呈示した。これらの人物刺激を仮想カメラでそれぞれ撮影し、一辺の長さが 16 deg の正方形の 2 次元画像を作成した。仮想カメラは、その撮像の中心とモデルの両眼の中心が概ね一致するよう、モデルの顔に対して垂直に設置した。仮想カメラのレンズの焦点距離は 35 mm であった。モデルの頭部の中心からカメラまでの距離は、57 cm であった。照明は、画像の背景に人物刺激の影が写るのを防ぐため

(a)



ダミー刺激 (20%短縮)



オリジナル刺激



ダミー刺激 (20%伸長)

(b)



0°



+15°



+30°

(c)



図 2-2. 実験 1 で使用した顔画像の例. (a) テスト刺激とダミー顔刺激の例. (b) 画像回転角 0°, +15°, +30°の時のテスト刺激の例. (c) 画像回転角-30°のときのテスト刺激の例. 中央と左の顔画像を平行法で融像する, もしくは中央と右の顔画像を交差法で融像すると, 刺激を 3 次元的に傾けたような知覚が生じる.

に点光源とし、カメラと同位置に配置した。人物刺激の背景は、一様な灰色(輝度:30.12 cd/m²)とした。

このように作成した 2 次元画像を、3 次元 CG ソフトウェア Blender (version 2.79, Blender Foundation)を用いて仮想空間内でそれぞれ回転させた上で、左右眼に相当する位置(両眼間距離:6.5 cm)に 1 台ずつと、それらのカメラの中心位置に 1 台配置した計 3 台のカメラから撮影し、それぞれのカメラで撮影した画像を左右眼の刺激とした。3 台のカメラと 2 次元画像との間の距離は、57 cm であった。左右眼に相当する位置に配置した 2 台のカメラは、それらの中心位置が 2 次元画像中の人物の顔の中心と一致するようにした。この 2 台のカメラから撮影した刺激は、両眼観察条件と単眼観察条件にて左右眼に呈示する刺激として使用した。2 台のカメラの中心位置に配置した 1 台のカメラは、その中心が 2 次元画像中の人物の顔の中心と一致する位置に配置した。このカメラから撮影した刺激は、視差ゼロ観察条件にて左右眼に呈示する刺激として使用した。左右眼に同一の顔画像を呈示することで、画像の傾きを示す両眼視差をもたない顔画像の両眼観察を実現した。撮影の際、左右眼に相当する 2 台のカメラの中心位置に点光源を設置した。2 次元画像と照明の間の距離は、57 cm であった。2 次元画像が呈示される背景空間は、一様な黒色(輝度:0.34 cd/m²)とした。顔画像の回転角は、0, ±15, ±30°の 5 条件であった(図 2-2(b))。各画像回転角における、テスト刺激の対象人物の網膜像の最大の顔幅(こめかみ間の幅)は、0°の時は 6.3 deg, ±15°の時は 6.16 deg, ±30°の時は 5.53 deg であった。画像回転角 0° の時のダミー刺激の対

対象人物の網膜像の最大の顔幅(こめかみ間の幅)は、20%伸長した人物画像で 7.56 deg, 20%短縮した画像で 5.04 deg であった。

比較刺激は、一様な灰色の楕円(輝度:30.12 cd/m²)であった。比較刺激を呈示する背景は、顔画像と同じ一様な黒色であった。比較刺激には両眼視差は付与せず、前額平行面に呈示した。呈示位置は、比較刺激の中心が、対象人物の顔の中心と一致するところとした。比較刺激の横幅は、恒常法による測定のため 5 段階に変化させた。横幅の範囲は、予備観察に基づき観察者ごとに最適となる値とし、2 名は 4.95~6.75 deg(ステップ幅 0.45 deg), 残り 6 名は 4.95~7.95 deg(ステップ幅 0.75 deg)であった。縦幅はいずれも、対象人物の頭頂部から顎先までの長さに相当する 9.6 deg であった。

2.2.1.4 手続き

観察者に、回転した顔画像と楕円形の比較刺激を継時呈示し、対象人物の顔幅と比較刺激の横幅のどちらがより広く見えたかを回答させた(図 2-3)。実験は暗室内で行った。観察の際は、顎台を用いて頭部を固定した。試行間では自由に休息を取ることができた。両眼観察条件、単眼観察条件、視差ゼロ観察条件の実験は、それぞれ独立のセッションにて実施した。単眼観察条件では、各観察者は、利き目での観察のため、非利き目にアイパッチを着用し観察を行った。

各試行は、観察者がキーボードの該当するキーを押すことで開始された。キーが押されてから 16.7 ms 後に、刺激呈示画面の中心に円形の注視点を呈示した。この注視点は、比較刺激を呈示し終えるまで常時呈示されており、注視点が呈示されている間はそこから目をそらさないよう教示し

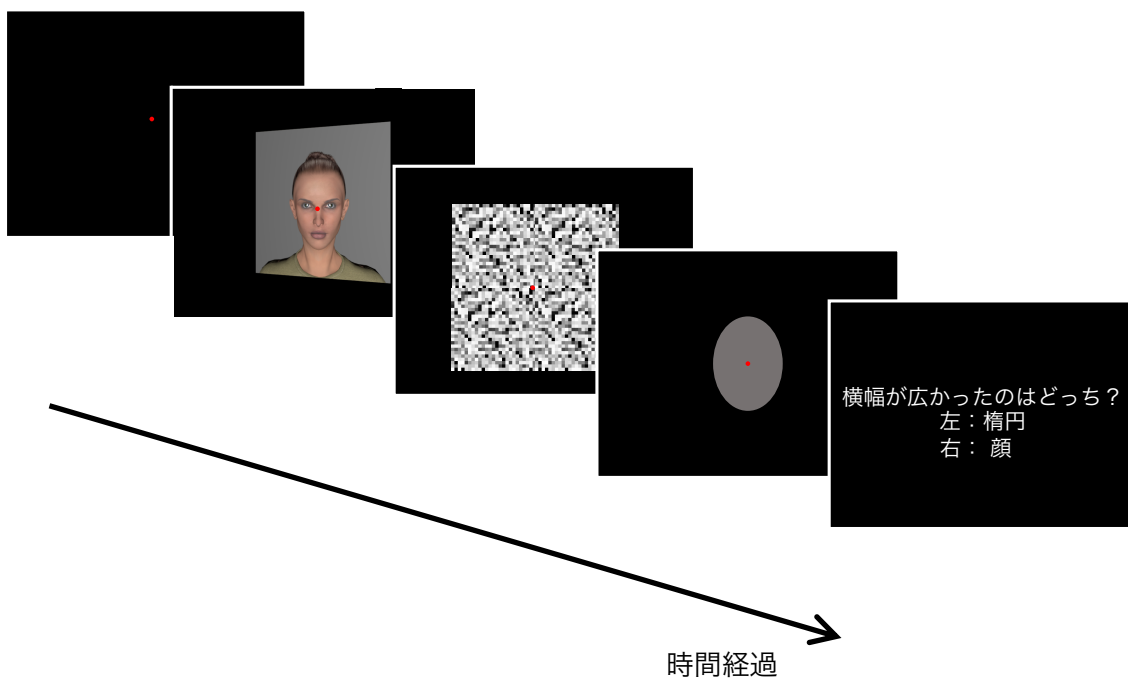


図 2-3. 1 試行の流れ.

た. 注視点呈示の 500 ms 後に, テスト刺激として顔画像を刺激呈示画面の中央(顔画像の中心と注視点の中心が一致する位置)に呈示した. 続けて, テスト刺激の残像を消去するためのダイナミックランダムノイズ(60 Hz)を呈示し, その後, 比較刺激を呈示した. テスト刺激とダイナミックランダムノイズ, 比較刺激の呈示時間は, それぞれ 500 ms であった. 観察者には, 対象人物の顔の横幅と, 比較刺激の横幅を比較し, どちらがより広く見えたかを判断し, キーボード上の該当するキーを押して応答するよう求めた(2AFC). 顔幅の判断は, 人物の髪や耳は含まず, 顔の輪郭の幅で行うよう教示した.

各セッションでは, 顔画像の回転角($0, \pm 15^\circ, \pm 30^\circ$ の 5 段階), 比較刺激の幅(5 段階. 観察者ごとに設定, 詳細は前項)のすべての組み合わせを 1 回ずつランダムな順序で呈示した. さらに, 対象人物の顔幅を 20 % 伸長または縮小したダミー刺激を, 1 セッションにつき各 10 回ずつランダムな試行位置に挿入した. こうしたセッションを, 観察条件(3 条件)ごとに, 観察者一人につきそれぞれ 10 回繰り返した. したがって, 観察者一人あたりの総試行数は 1050 試行であった.

2.2.2 結果

観察者ごとに, テスト刺激の各画像回転角において, 比較刺激の 5 段階の顔幅それぞれについて, 比較刺激の幅が顔幅よりも広いと回答された割合を算出した. この回答率について顔幅の関数として最小二乗法により累積正規分布関数を当てはめ, 回答率が 50 %となる顔幅を算出した. 各画像回転角に対してこの手順を繰り返し, 各画像回転角における主観的な顔幅(PSE: The Point of Subjective Equality)を算出した. 図 2-4(a)に, 枠あり条件と枠なし条件の全観察者の平均 PSE

を画像回転角に対しプロットしたものを示す。さらに、観察者ごとに、画像回転角に対して PSE をプロットしたものに對し、(1)に示す関数を最小二乗法を用いて当てはめ、モナリザ効果の強さ(C)と、顔幅の過大視・過小視傾向(d)を算出した。

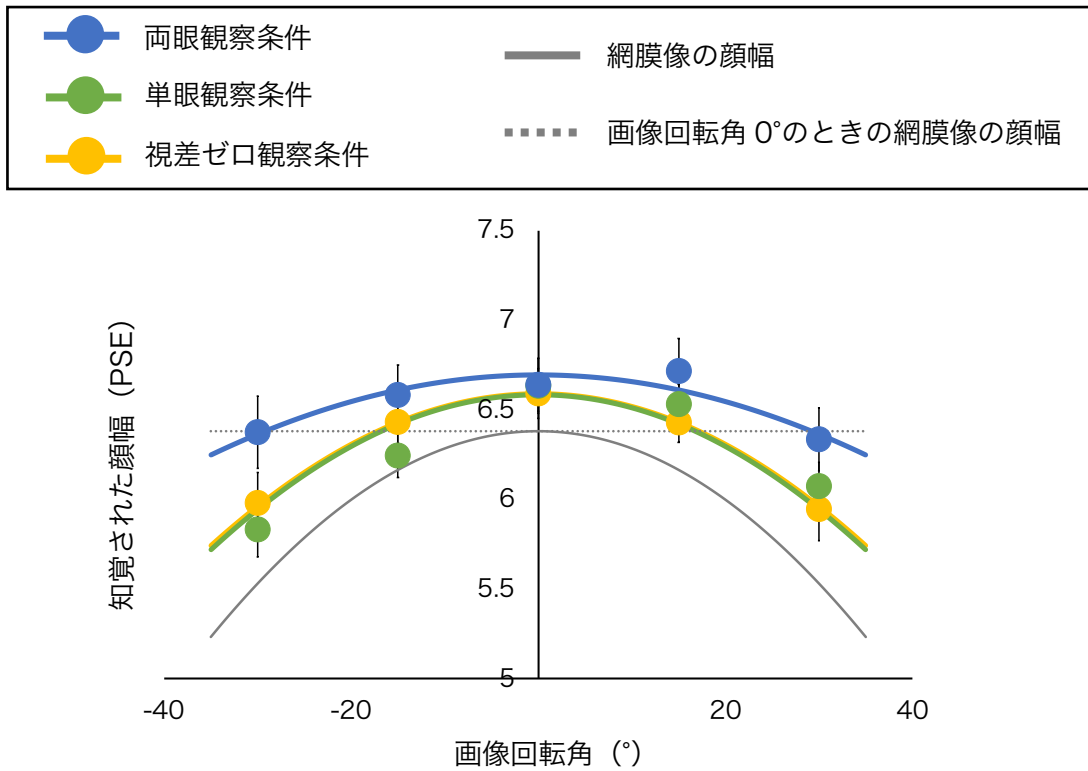
$$L_{\text{知覚}} = CL_{(\alpha)} + (1 - C)L_{(0)} + d \quad \dots (1)$$

α は顔画像の回転角を、 l は顔画像に正対した時の対象人物の顔幅の半分の長さを、 D は視距離を表す。 $L(\alpha)$ は、画像回転角が α のときの対象人物の網膜像の顔幅を、 $L(0)$ は顔画像に正対した時(画像回転角 0° の時)の網膜像の顔幅を表し、(2)に示す式を用いて算出した。

$$L_{(\alpha)} = \tan^{-1} \frac{l \cos \alpha}{D + l \sin \alpha} + \tan^{-1} \frac{-l \cos \alpha}{D - l \sin \alpha} \quad \dots (2)$$

モナリザ効果が完全に生じた場合には、画像の傾きが得られず形の恒常性が機能しないため、知覚される顔幅は $L(\alpha)$ に等しくなる ($C = 1$. 図 2-4 (a) の実線として示す)。一方、モナリザ効果が全く生じていない場合、画像の傾きが得られ、形の恒常性が生じるとすると、知覚される顔幅は画像の回転角にかかわらず $L(0)$ の値になる ($C = 0$. 図 2-4 (a) の点線として示す)。 d の値は、顔画像に正対した時の対象人物の最大の顔幅を基準としたときの、各観察者の人物の顔の過大視または過

(a)



(b)

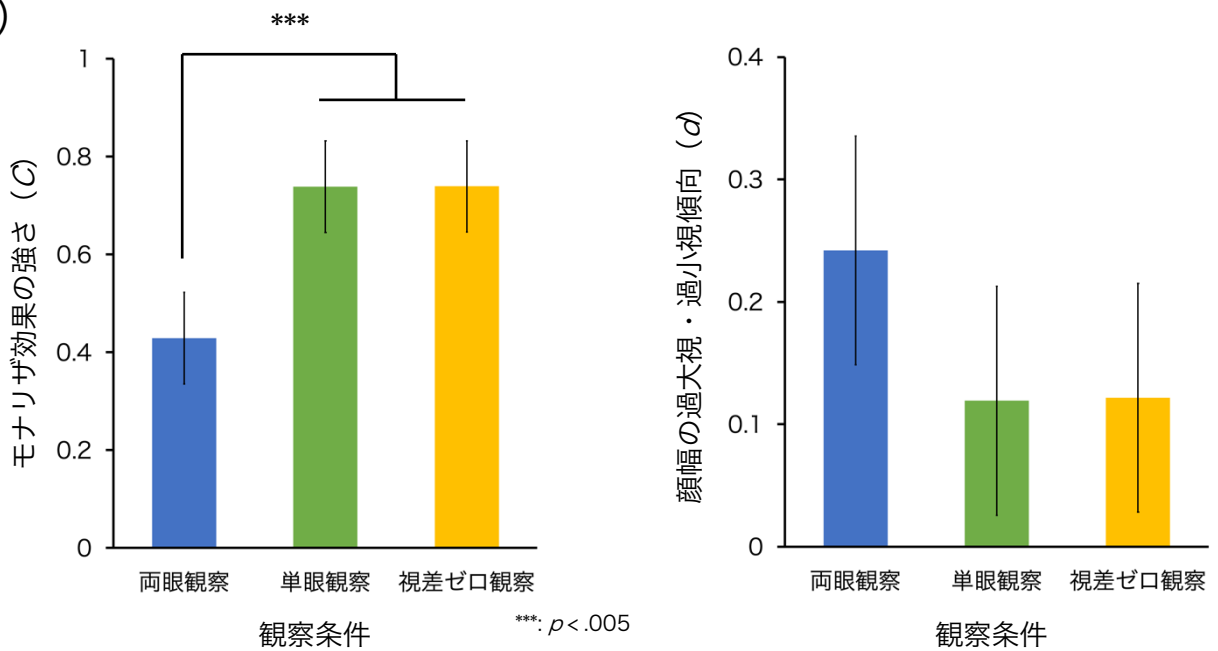


図 2-4. 実験 1 の結果。いずれも、8 名の観察者間の平均を示す。エラーバーは標準誤差を示す。(a) 各画像回転角において知覚された顔幅 (PSE) (b) 観察条件ごとのモナリザ効果の強さ (C) と、顔幅の過大視・過小視傾向 (d)。

小視傾向, つまり各観察者の全体的な過大視・過小視傾向を示す. d が正の値の場合, 観察者は, 顔画像に正対した時の対象人物の顔幅を網膜幅よりも過大視する傾向があり, 負の場合は網膜幅よりも過小視する傾向があることを示す. 図 2-4(b) に, 枠あり条件と枠なし条件の, 全観察者間の C と d の値の平均を示す.

実験で得られたすべてのモナリザ効果の強さ(C)に対し, 3 つの観察条件(両眼観察, 単眼観察, 視差ゼロ観察)に関する一要因被験者内分散分析を行った結果, 観察条件の有意な主効果が認められた($F(2, 14) = 9.17, p < .005, \eta^2 = .31$). 主効果が有意であったため, Shaffer 法による多重比較を行った結果, 両眼観察条件と単眼観察条件, 両眼観察条件と視差ゼロ条件の間に有意な差が確認された(両眼観察条件と単眼観察条件: $t(7) = 4.23, p < .005, r = .79$; 両眼観察条件と視差ゼロ観察条件: $t(7) = 3.36, p < .05, r = .85$). 単眼観察条件と視差ゼロ観察条件との間には有意差は確認されなかった($t(7) = 0.00, p = 1.00, r = .00$). この結果は, 顔画像を単眼で観察する, もしくは顔画像の傾きを示す両眼視差のない画像を観察する場合は, 両眼で観察するよりもモナリザ効果が強く生じることを示している. また, 顔幅の過大視・過小視傾向 (d)についても同様の一要因被験者内分散分析を行ったが, 観察条件による有意な主効果は認められなかった($F(2, 14) = 1.45, p = .27, \eta^2 = .02$). この結果は, 観察条件の要因は, 観察者ごとの顔幅の全体的な過大視・過小視の傾向に影響しないことを示している.

2.2.3 考察

実験 1 の第一の目的は、傾けた顔画像を観察した時に知覚される対象人物の顔幅が、モナリザ効果の評価指標として有効であるか否かを検討することであった。実験の結果、対象人物の主観的な顔幅は、画像回転角に従って細くなるという結果が得られた。特に単眼観察条件と視差ゼロ観察条件においてこの傾向が顕著であり、対象人物の顔幅は観察者が対象人物を見込んだ時の幅、すなわち網膜像の幅に近い幅に知覚された。この結果は、顔の向きを直接尋ねた場合 (Sato & Hosokawa, 2012) の結果とは異なり、モナリザ効果が完全に生じている場合の予測値にほぼ従っており、画像を傾けても対象人物が常に観察者に正対して知覚されていたことを示している。このことは、本実験で用いた手法によって得られる主観的な顔幅が、モナリザ効果の評価指標として有効であることを示していると言えるだろう。顔画像が傾くと、対象人物の網膜像の顔幅は、画像に正対した時よりも細くなる。机の上に置かれた通常の対象物であれば、両眼視差などにより与えられる傾き情報が活用され、形の恒常性が機能し、対象物の形態が正対時に近い形に知覚されることが多い。しかし、本実験の結果は、人物の顔の場合は、画像の傾き情報に基づく形の恒常性が機能せず、顔幅が網膜像の幅と同程度に知覚されてしまうことを示している。この時、対象人物の顔の向きは、顔の画像性手がかりに基づき正対して知覚された、つまり、モナリザ効果が生じたと考えられる。

傾いた顔画像を両眼で観察する場合、画像表面に分布する両眼視差と、画枠の形態変化としての画像性の奥行き手がかり(画枠の画像性手がかり)は、画像の傾きを示す一方、顔を構成するパ

一ツ間の相対的な空間位置から得られる、顔の向きに関する画像性の手がかり(顔の画像性手がかり)は、顔が観察者と正対することを示す。本実験の結果は、このような対立が生じた場合、画像性手がかりによって両眼視差の傾きが抑制されてしまうことを示している。

本実験では、単眼観察条件と視差ゼロ観察条件において、両眼観察条件よりもモナリザ効果の生起強度が強いという結果が得られた。単眼観察条件と視差ゼロ観察条件で呈示された顔画像は、どちらも画像の傾きを示す両眼視差を有していなかったため、画像の傾きは画枠の画像性手がかりからのみ得られることになる。しかし、本実験の結果は、こうした事態で、画枠の画像性手がかりが、顔の向きの判断における顔の画像性手がかりの活用を阻害することができないことを示している。

両眼観察条件においては、画枠の画像性手がかりに加え、顔と画枠に分布する両眼視差も画像の傾きを示していた。この時、モナリザ効果の強度は単眼観察条件と視差ゼロ観察条件よりも弱まったものの、 C の値は 0 より大きいという結果が得られた。この結果は、画像表面の両眼視差は対象人物の顔の向きの判断に活用され、顔がある程度画像の傾きに応じて変化して知覚されるが、その傾きに完全に従うわけではないことを示している。顔の向きの判断において、両眼視差は顔の画像性手がかりの活用を完全に阻害することはできないようだ。両眼視差は、高次の画像性の奥行き手がかりよりも奥行き知覚における決定性が高いとされているが(e.g. Landy et al., 1995)、画像中の対象人物の顔の向きの判断というレベルにおいては、むしろ顔の画像性手がかりの方が支配的である可能性を示していると言えるだろう。

本実験では、顔画像を傾けた時の対象人物の顔幅の判断が、モノリザ効果の評価方法として有効であることを示した。本研究では、本章以降のすべての実験において、知覚される対象人物の顔幅という指標を用いて、モノリザ効果の評価することとする。つまり、対象人物の顔幅が細く知覚される場合は、対象人物の顔の向きが観察者と正対し(モノリザ効果が生起)、画像正対時と同程度の幅に知覚される場合は、対象人物の顔の向きが画像の傾きに応じて変化する(モノリザ効果が非生起)とみなすこととする。続く第 3 章では、この指標を用いて、モノリザ効果の生起と肖像画表面の両眼視差との関連について検討する。本実験では、画像の傾きを示す両眼視差が得られる場合にはモノリザ効果が弱まるという結果が得られた。これは、両眼視差の活用により顔の画像性手がかりに基づく顔の向きの判断が阻害されたことを示している。しかし、その阻害の度合いは奥行き知覚の研究において考えられてきたほどに強力なものではなく、依然として顔の画像性手がかりが支配的であることを示唆する結果である。この点について、次の第 3 章において詳細な検討を行う。

第3章 モナリザ効果と両眼視差との関係

3.1 第3章の目的

第2章では、傾いた肖像画の顔の向き判断において、両眼視差の示す肖像画の傾きが、顔の画像性手がかりの活用を阻害するが、その程度は従来考えられてきた程度よりもかなり弱いことを示した。両眼視差は高次の画像性手がかりよりも奥行き知覚における決定性が高いとされているにもかかわらず、顔の向きは顔の画像性手がかりに依存する判断になるのはなぜなのだろうか。本章では、3つの実験を通じて、モナリザ効果の生起と絵画表面の両眼視差との関係の詳細な検討を試みる。

複数の奥行き手がかりが併存する場合、視覚系は各手がかり系から得られる奥行き情報を重み付けし、線形的に加算することにより、最終的な奥行き知覚を作り出すという考えが広く受け入れられている(Landy et al., 1995; Young et al., 1993)。さらに、手がかり間の重み付けは、その手がかりの推定精度や頑健性に依存していると言われている(Bülthoff & Mallot, 1988; Johnston, Cumming, & Parker, 1993)。特に両眼視差は、数ある奥行き手がかりの中でも低次かつ頑健であるとされ、対象物の立体構造に関する知識や記憶に依存する高次の画像性の奥行き手がかりよりも重み付けが大きいという考えが一般に受け入れられている(e.g. Landy et al., 1995)。しかし、モナリザ効果の生起時には、これとは逆に、顔の画像性手がかりが肖像画表面の両眼視差を抑制するという事態

が生じていると言える。そこで本章では、モナリザ効果の生起において、肖像画表面の両眼視差が抑制されてしまうのはどのような状況なのかを明らかにすることを目的とする。

肖像画の鑑賞場面を考えると、モナリザ効果の生起に關与する絵画表面の両眼視差は、主として対象人物の顔部分、背景部分、肖像画の画枠部分の3箇所に分布していると考えられる。対象人物の胴体部分にも両眼視差が存在するが、これまでに行った予備的な観察に基づく胴体は顔と共変する傾向にあるため、本章では胴体部分の両眼視差は顔部分と同等なものとして扱う。実験2で用いた肖像画を模した画像は、背景部分に両眼視差が分布していなかったため、顔の向きの判断に影響を与えるには不十分であった可能性が考えられる。そこで、まず実験2では、対象人物の背景にテクスチャを付与することにより、背景部分の両眼視差からの傾き情報を強めた場合のモナリザ効果の生起強度を検討する。顔の向きの判断に際し、背景の両眼視差から得られる画像全体の傾き情報が活用されているのであれば、テクスチャ背景をもつ顔画像におけるモナリザ効果は、背景をもたない顔画像と比較して弱まることが予測される。続く実験3では、モナリザ効果と両眼視差との関連をより詳細に検討するため、顔および画枠の両眼視差とモナリザ効果との関係を検討する。実験2および実験3の結果を踏まえ、実験4では、画枠の両眼視差と、画像性手がかりの両方を取り除いた場合のモナリザ効果について検討を行う補助的な実験を行う。

3.2 実験 2 人物画像の背景の両眼視差の効果

3.2.1 目的

対象人物の背景にランダムドットテクスチャを付加した画像と、背景にテクスチャのない画像を用いて、それぞれの画像に対するモナリザ効果の生起強度を測定した。画像を傾けると、背景が無地の場合でも顔の画像性手がかりからは顔が正面を向いているという情報が得られるが、顔と画枠の両眼視差および画枠の形態変化(画像性の奥行き手がかり)からは、画像が傾いているという情報を得ることができる。さらに、背景にランダムドットテクスチャを付加すれば、背景の両眼視差から画像の傾きを得ることができるため、背景にテクスチャをもたない場合よりも画像の傾きに関する強い情報を得ることができると考えられる。つまり、対象人物の背景にテクスチャがある場合には、画像全体の傾きの推定精度が高まるため、対象人物の顔の向きの判断は画像の傾きによる影響を受けやすくなる、すなわち、モナリザ効果が生じにくくなることが予測される。

3.2.2 方法

3.2.2.1 観察者

著者 1 名を含む 9 名の観察者が実験に参加した。すべての観察者は、正常な(矯正)視力を有していた。Stereo Fly Test (Stereo Optical Co. Inc., Chicago, IL) の Graded circle test を用いて、すべての観察者が 1.0 以上の立体視力を有していることを確認した。

3.2.2.2 装置

実験 1 で使用したものと同一であった。

3.2.1.3 刺激

実験 1 と同様の方法で両眼視差をもつステレオ画像対を作成し、テスト刺激として用いた。

顔画像の背景は、ランダムドットテクスチャまたは一様な灰色であった(図 3-1)。ランダムドットテクスチャは、1辺が 16 deg の画像をグリッド状に正方形のドットに分割し、それぞれのドットを、黒(0)から白(255)の 255 段階の階調のいずれかの灰色でランダムに塗り分けたものであった。ドットの1辺の長さが 0.06 deg であるテクスチャと(小ドット条件)、0.24 deg であるテクスチャ(大ドット条件)の 2 種類を作成した。これらのテクスチャそれぞれに対し、6 c/deg を上限とするローパスフィルタを施した。大小両条件のテクスチャともに、ドットのコントラストは 80 %、平均輝度は 30.12 cd/m²であった。テクスチャなし条件で使用した背景は、実験 1 と同一の一様な灰色の背景(輝度:30.12 cd/m²)とした。これらの背景を、実験 1 で作成した 3 つの顔幅の人物刺激(テスト刺激、ダミー刺激)の背景として挿入し、3 次元的人物を正面から見た 2 次元画像を作成した。

このように作成した 2 次元画像を、実験 1 と同様の仮想の 3 次元空間内でそれぞれ回転させ、左右眼に呈示するステレオ対画像を作成した。撮影は左右眼に相当する 2 台のカメラを用いて行った。

比較刺激は、実験 1 と同様の楕円形であった。恒常法による測定のため、比較刺激の横幅を 5 段階に変化させた。横幅の範囲は、予備観察に基づき観察者ごとに最適となる値とし、2 名は 4.95 ~6.75 deg(ステップ幅 0.45 deg)、残り 6 名は 4.95 ~7.95 deg(ステップ幅 0.75 deg)であった。



テクスチャなし条件



ドット小テクスチャ条件



ドット大テクスチャ条件

図 3-1. 実験 2 で使用したテスト刺激の画像の例.

3.2.1.4 手続き

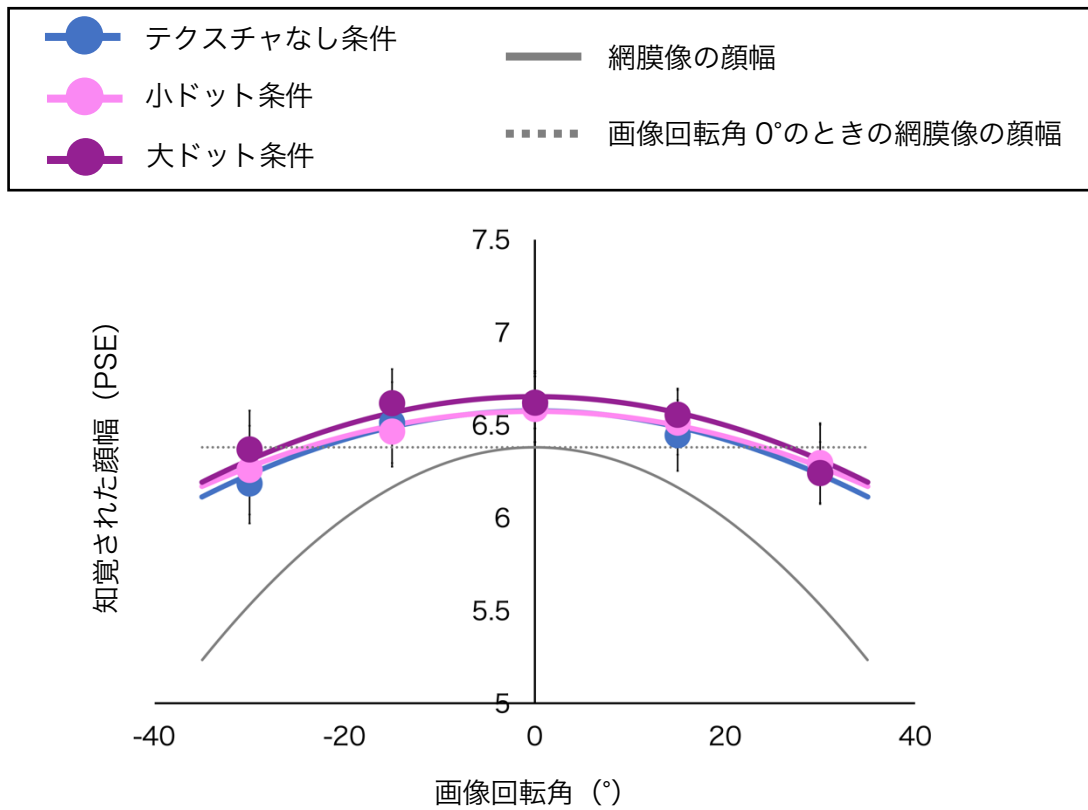
実験 1 と同様の手続きで実験を行った。小ドット条件、大ドット条件、テクスチャなし条件の実験は、それぞれ独立のセッションにて実施した。各セッションでは、顔画像の回転角(5 段階)、比較刺激の幅(5 段階)のすべての組み合わせを 1 回ずつランダムな順序で呈示した。さらに、2 種類のダミー顔画像を、1 セッションにつき各 10 回ずつランダムな試行位置に挿入した。こうしたセッションを、背景の種類(3 条件)ごとに、観察者一人につきそれぞれ 10 回繰り返した。したがって、観察者一人あたりの総試行数は 1050 試行であった。

3.2.3 結果

実験 1 と同じ方法で、各背景条件に対し、観察者ごとに各画像回転角における知覚された対象人物の顔幅(PSE)を算出した。その上で、実験 1 と同一の方法で、モナリザ効果の強さ(C)および対象人物の顔幅の過大視・過小視傾向(d)を算出した。各画像回転角における PSE と、 C および d の値の全観察者間の平均を、図 3-2 に示す。

実験で得られたすべてのモナリザ効果の強さ(C)に対し、3 種類の背景条件(小ドット、大ドット、テクスチャなし)に関する一要因被験者内分散分析を行った結果、背景の種類による有意な主効果は認められなかった($F(2, 16) = 0.16, p = .85, \eta^2 = .01$)。この結果は、対象人物の背景にテクスチャがある画像でも、背景のテクスチャがない画像に対してと同程度の強さのモナリザ効果が生じることを示している。また、顔幅の過大視・過小視傾向 (d)についても同様の一要因被験者内分散分析を行ったが、背景の種類による有意な主効果は認められなかった($F(2, 16) = 0.68, p = .52, \eta^2 = .01$)。

(a)



(b)

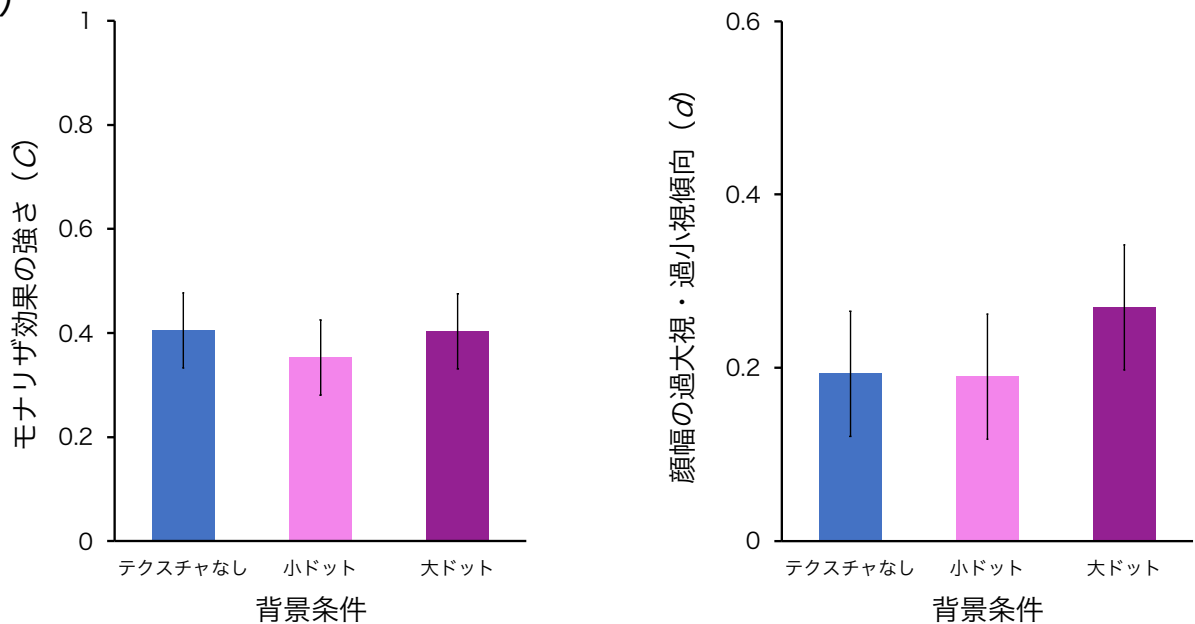


図 3-2. 実験 2 の結果. いずれも, 9 名の観察者間の平均を示す. エラーバーは標準誤差を示す. (a) 各画像回転角において知覚された顔幅 (PSE) (b) 背景条件ごとのモナリザ効果の強さ (c) と, 顔幅の過大視・過小視傾向 (d).

この結果は、背景テクスチャの有無は、観察者ごとの顔幅の過大視・過小視の傾向に影響しないことを示している。

3.2.4 考察

モナリザ効果の強さは、顔画像の背景にテクスチャ刺激を付加した場合でも、テクスチャを付加しない場合と同程度であった。つまり、背景に両眼視差を与えても、そのことから、画像全体、もしくは顔部分の傾きが得られ、モナリザ効果が弱まることはなく、背景の両眼視差を強めた場合においても、対象人物の顔の向きは顔の画像性手がかりに基づいて判断されていたといえる。したがって本実験の結果は、人物の背景の両眼視差は顔の画像性手がかりの活用を阻害せず、モナリザ効果の生起には関与していないことを示している。さらに、モナリザ効果の生起には、画像全体の表面に存在する両眼視差がすべて関与しているのではなく、ある特定の部分の両眼視差が重要である可能性も示している。

本実験で用いたランダムドットテクスチャのコントラスト値は検出閾値を大きく上回っていたことから、画像の傾きを推定するために必要な両眼視差は観察者に与えられていたと考えられる。また、傾いた写真を両眼で観察する場合や、両眼視差を与えず画像性の奥行き手がかりのみで定義された面を傾けた場合、それらの傾きは比較的正確に推定できることが知られていることから (Hanada, 2005; Zimmerman, Legge, & Cavanagh, 1995), 本研究においても画像表面の両眼視差に基づく画像の傾きは推定できていたと考えられる。それにもかかわらず、背景テクスチャをもつ顔画像に対するモナリザ効果は弱まらなかった。このような結果が得られた理由として、人物の顔の

向きの判断に関わる両眼視差は、対象人物の顔と画枠の部分に由来している可能性が挙げられる。対象人物の顔の向きに活用できる画像の傾き情報は、対象人物の顔と画枠から得られるものですでに飽和しているとすれば、背景テクスチャの付加により画像の傾き情報が追加されても加算的な効果が生じず、モナリザ効果が弱まらなかった可能性がある。しかし、対象人物の顔部分には、顔の画像性手がかりと両眼視差の両方が存在しており、顔の向きに関して互いに矛盾する情報を与えていることから、顔部分の両眼視差が顔の向きの判断に影響する可能性は残る。続く実験 3 では、この点を明らかにするため、顔および画枠の両眼視差とモナリザ効果との関連について検討する。

3.3 実験3 人物の顔および画枠の両眼視差の効果

3.3.1 目的

本実験の目的は、モノリザ効果における、人物の顔と画枠の両眼視差の効果を検討することである。対象人物の顔および胴体部分にのみ両眼視差を付加し画枠には両眼視差を与えない場合(顔視差あり条件)と、画枠の部分にのみ両眼視差を付加し対象人物の顔および胴体部分には両眼視差を与えない場合(画枠視差あり条件)におけるモノリザ効果を測定し、顔と画枠の両方に両眼視差を付加した場合(顔・画枠視差あり条件)と比較した。顔視差あり条件では、左右眼に呈示する画像の画枠形態を同一にすることで画枠の両眼視差を除去した。画枠視差あり条件では、人物の顔と胴体を単眼にのみ呈示することにより、顔と胴体部分の両眼視差を除去した。

3.3.2 方法

3.3.2.1 観察者

著者1名を含む9名の観察者が実験に参加した。すべての観察者は、正常な(矯正)視力を有していた。Stereo Fly Test (Stereo Optical Co. Inc., Chicago, IL)の Graded circle test を用いて、すべての観察者が1.0以上の立体視力を有していることを確認した。観察者のうち8名は右眼が利き目であり、1名は左眼が利き目であった。

3.3.2.2 装置

実験1および2で使用したものと同一であった。

3.3.1.3 刺激

実験 1 および 2 と同様の方法で両眼視差をもつステレオ画像対を作成し、テスト刺激として用いた。顔・画枠視差あり条件で使用した刺激は、実験 1 の両眼観察条件で使用したテスト刺激と同一であった。

顔視差あり条件では、左右眼に呈示する刺激の画枠形態を同一にすることにより、対象人物の顔および胴体部分にのみ両眼視差のあるステレオ画像対を作成した(図 3-3(a))。基本的には、実験 1 の両眼観察条件で使用した左右眼刺激に、中央カメラから撮影した回転角ごとの画枠形態(左右同一)を与えて作成した。詳しい手法を以下に示す。

実験 1 の刺激作成時の人物像撮影と同様の条件で、一辺が 16 deg の一様な白い画像、 $0, \pm 15^\circ, \pm 30^\circ$ に回転させ、中央に配した 1 台の仮想カメラで画枠を撮影した。このようにして得た各回転角の画枠を用い、実験 1 で使用したステレオ画像対(テスト刺激、ダミー刺激)に、回転角に応じた、左右眼同一の外郭形状を与えた。画像の処理には、Matlab (R2017b, Mathworks, Natick, MA)を用いた。

画枠視差あり条件では、一方の眼には灰色背景上の顔画像、他方の眼には灰色背景のみを呈示することで、画枠のみに両眼視差がある刺激を呈示した(図 3-3(b))。つまり、実験 1 で使用したステレオ刺激のどちらかの目から、対象人物を取り除いたものである。刺激変数、作成方法などは、左右どちらかの眼に呈示する画像から対象人物を除去した以外、実験 1 と同一であった。

(a)



(b)

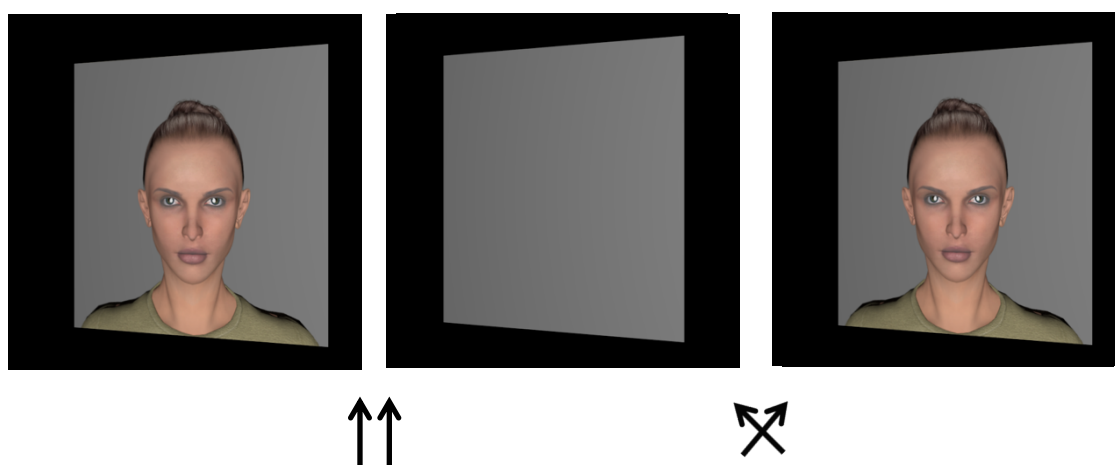


図 3-3. 実験 3 で使用した顔画像の例. 中央と左の顔画像を平行法で融像する, もしくは中央と右の顔画像を交差法で融像すると, 刺激を 3 次的に傾けたような知覚が生じる. (a) 顔視差あり条件で使用したテスト刺激 (画像回転角-30°). (b) 画枠視差あり条件で使用したテスト刺激 (画像回転角-30°).

比較刺激は、実験 1 および 2 と同様の楕円形であった。恒常法による測定のため、比較刺激の横幅を 5 段階に変化させた。横幅の範囲は、予備観察に基づき観察者ごとに最適となる値とし、4 名は 4.95～6.75 deg(ステップ幅 0.45 deg)、残り 5 名は 4.95～7.95 deg(ステップ幅 0.75 deg)であった。

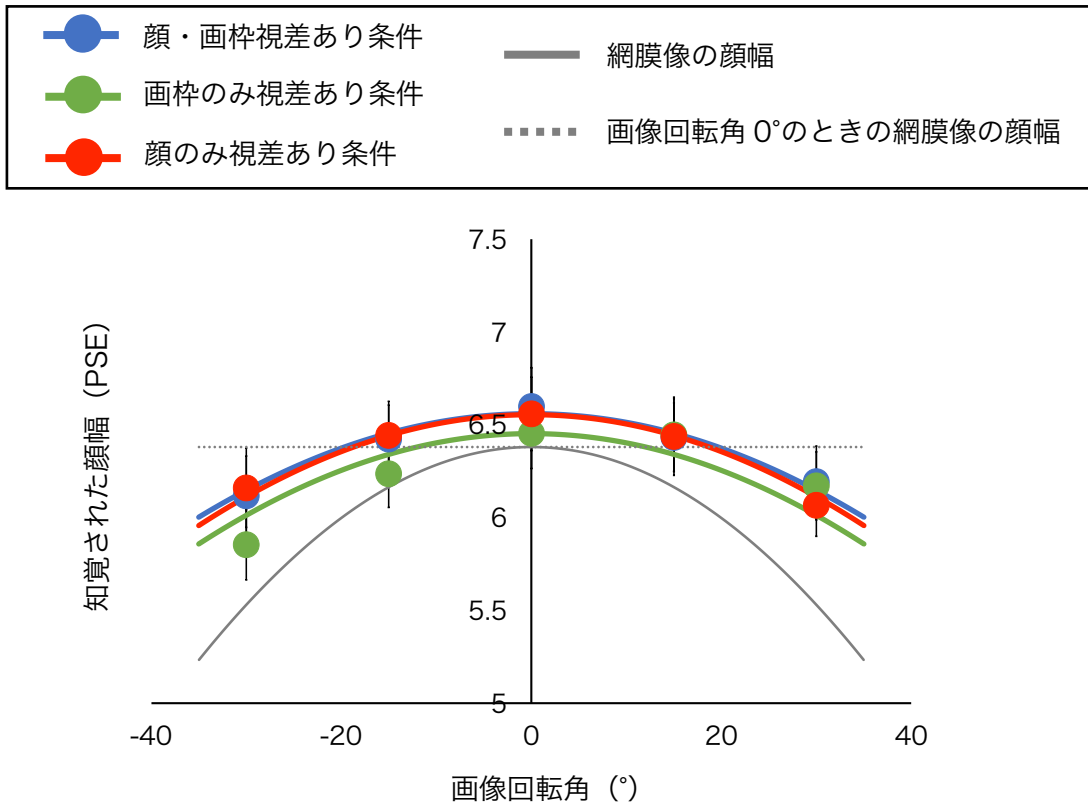
3.3.1.4 手続き

実験 1 および 2 と同様の手続きで実験を行った。顔視差あり条件、画枠視差あり条件、顔・画枠視差あり条件の実験は、それぞれ独立のセッションにて実施した。画枠視差あり条件では、観察者の利き目に顔画像を呈示した。各セッションでは、顔画像の回転角(5 段階)、比較刺激の幅(5 段階)のすべての組み合わせを 1 回ずつランダムな順序に呈示した。さらに、ダミー顔画像を、1 セッションに各 10 回ずつランダムな試行位置で呈示した。こうしたセッションを、両眼視差をもつ部分の条件(3 条件)ごとに、観察者一人につきそれぞれ 10 回繰り返した。したがって、観察者一人あたりの総試行数は 1050 試行であった。

3.3.3 結果

実験 1 および 2 と同一の方法で、各両眼視差を持つ部位の条件に対し、観察者ごとに各画像回転角において知覚された対象人物の顔幅(PSE)を算出した。その際、5 段階に変化させた比較刺激に対し、比較刺激のほうが広いと回答した回答率が 50 %を上回らず、PSE の算出が不可能であった観察者 1 名のデータを除外した。したがって、8 名の観察者のデータについて PSE を算出した。さらに、これらの PSE の値に基づき、実験 1 および 2 と同じ方法で、モナリザ効果の強さ(C)お

(a)



(b)

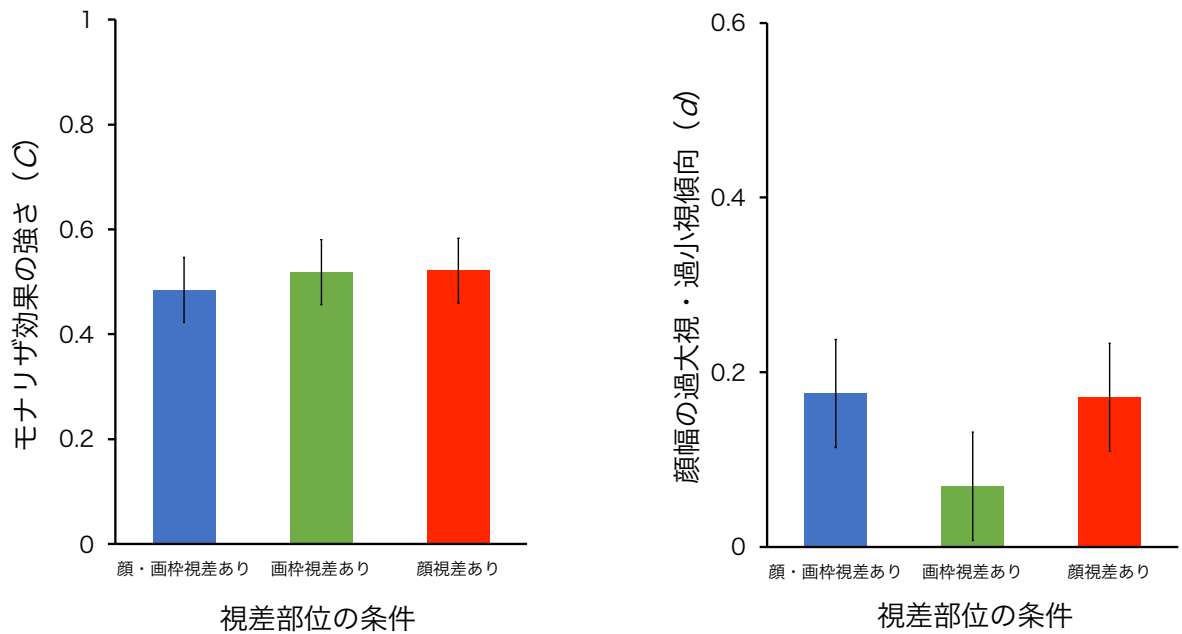


図 3-4. 実験 3 の結果. いずれも, 8 名の観察者間の平均を示す. エラーバーは標準誤差を示す. (a) 各画像回転角において知覚された顔幅 (PSE) (b) 視差を与えた部位の条件ごとのモナリザ効果の強さ (C) と, 顔幅の過大視・過小視傾向 (d).

および対象人物の顔幅の過大視・過小視傾向 (d) を算出した。各画像回転角における PSE, C および d の値の観察者 8 名間の平均を、図 3-4 に示す。

実験で得られたすべてのモナリザ効果の強さ (C) に対し、両眼視差を与えた 3 つの部分に関する条件 (顔のみ視差あり, 画枠のみ視差あり, 顔・画枠視差あり) について一要因被験者内分散分析を行った結果、両眼視差を与えた部分の有意な主効果は認められなかった ($F(2, 14) = 0.12, p = .89, \eta^2 = .00$)。この結果は、顔部分にのみ両眼視差を与えた条件、画枠部分にのみ両眼視差を与えた条件、顔と画枠の両方に両眼視差を与えた条件、3 条件に対するモナリザ効果の強度が同程度であることを示している。また、顔幅の過大視・過小視傾向 (d) についても同様に一要因被験者内分散分析を行ったが、両眼視差を与えた部分の条件による有意な主効果は認められなかった ($F(2, 14) = 0.96, p = .41, \eta^2 = .01$)。この結果は、両眼視差を与えた部分による違いは、対象人物の顔幅の過大視・過小視の傾向に影響しないことを示している。

3.3.4 考察

両眼視差を、対象人物の顔と画枠のどちらか一方に与えた場合と、それらの両方に与えた場合のいずれにおいても、モナリザ効果は同程度の強度で生じた。このことは、対象人物の顔の向き判断に対する両眼視差の効果は、顔もしくは画枠のどちらかに視差があれば成立することを示している。また、顔と画枠の両方に両眼視差が分布することによる加算的な効果も確認されなかった。実験 1 および実験 2 と同様に、本実験においても対象人物の顔が両眼視差に完全に従うのでは

なく、その機能は限定的であった。このことは、対象人物の顔の向きの判断に活用される両眼視差の情報量は、常に一定である可能性を示している。

顔の向きを示す顔の画像性手がかりは、対象人物の顔部分に存在しているのであるから、顔の向きの判断に際し顔部分の両眼視差が顔の画像性手がかりの活用可能性に影響することは妥当であろう。しかし、本実験では、画枠の両眼視差も、顔の両眼視差と同程度に顔の向きの判断に対して効果をもつという結果が得られた。このことは、顔部分の両眼視差のみがモナリザ効果の生起に関連しているわけではないことを示している。画枠視差あり条件では、対象人物の顔部分には両眼視差を与えていなかったため、両眼視差に基づく顔の向きの判断は不可能であり、顔の画像性手がかりに基づくほかなくと考えられる。それにもかかわらず、画枠の両眼視差が顔の向きの判断に影響したことは、モナリザ効果の生起が、対象人物の顔領域という局所的な両眼視差のみに影響されるわけではないことを示していると言えるだろう。前額平行面に呈示された領域の周辺を、両眼視差を与え中心領域よりも手前または奥の奥行きをもつ枠で囲むと、囲まれた中心領域の奥行き位置が周辺の両眼視差領域と同化して知覚されることが知られている (Gillam, Blackburn & Brooks, 2007)。本実験においても同様のことが生じ、対象人物の顔の向きが人物を取り囲む画枠の両眼視差に影響された可能性が考えられる。画枠のみ視差あり条件のように、物理的に矛盾のない視差分布によって囲まれた領域内は、ある 1 つの独立した面として認識されるため、その領域内に存在する人物の顔に両眼視差がなくても、顔の向きが画枠の傾きに従ったのかもしれない。

本実験の結果から、画像の一部分にだけでも画像の傾きを示す両眼視差があると、それが対象人物の顔の向きの判断に活用されることが明らかとなった。さらに、モナリザ効果の生起には顔部分の両眼視差だけでなく画枠部分の両眼視差も活用され、その活用の度合いは同程度であることも示した。つまり、モナリザ効果の生起には、画枠の示す画像の傾きが重要な働きをもっている可能性が考えられる。ここで、実験 1 と本実験で用いた 3 つの条件における、顔と画枠の両眼視差と画像性手がかりの有無を整理する(表 3-1)。画枠のもつ奥行き手がかりに着目すると、いずれの条件においても、画枠の形態変化(画枠の画像性手がかり)は呈示されていた。したがって、本実験の結果は、画枠の画像性手がかりと一致する傾きを示す両眼視差が画像表面のどこかに存在する時、画枠の画像性手がかりが加算的に働き、顔の向きの判断に影響したとも解釈することができる。顔と画枠の両眼視差がそれぞれ顔の向きの判断に影響したのではなく、画枠の画像性手がかりの存在との相互作用によって、はじめて、どちらの両眼視差も顔の向きの判断に効果をもつという可能性が考えられる。実験 1 の単眼観察条件と視差ゼロ観察条件の結果では、画枠の画像性手がかりが存在するのみでは顔の向きの判断に対する効果が確認されなかったが、それは画像表面に画枠の画像性手がかりと一致する傾きを示す両眼視差が存在しなかったためかもしれない。もしそうであるならば、画枠の両眼視差と画像性手がかりの両方が除去され、顔部分にのみ両眼視差が存在する場合には、顔部分の両眼視差は画枠の画像性手がかりとの相互作用を失うため、顔の向きに影響を与えることはなくなると考えられる。そこで実験 4 では、この点について検討するため、画枠の両眼視差と画像性手がかりの両方を取り除いた場合のモナリザ効果の強さを測定する。

		顔		画枠	
		両眼視差	画像性手がかり	両眼視差	画像性手がかり
実験 1	単眼	○	○	○	○
	視差ゼロ	×	○	×	○
	両眼	×	○	×	○
実験 3	顔視差あり	○	○	○	○
	画枠視差あり	○	○	×	○
	顔・画枠視差あり	×	○	○	○

表 3-1. 実験 1 と実験 3 の各条件における，対象人物の顔と画枠の奥行き手がかりの有無の対応表．○はその手がかりが呈示されていたことを，×はその手がかりが呈示されていなかったことを示す．

3.4 実験 4 モナリザ効果における画枠の効果の検討

3.4.1 目的

モナリザ効果における画枠の効果について検討するため、鮮明な画枠をもつ顔画像(画枠あり条件)と、ガウス状のぼかしを施し画枠が不鮮明な顔画像(画枠なし条件)におけるモナリザ効果の強さを測定した。画枠あり条件では、顔と画枠の両方に両眼視差が分布し、顔と画枠の画像性手がかりも呈示されていた。画枠なし条件では、顔の両眼視差と画像性手がかりのみが存在し、画枠の両眼視差と画像性手がかりは存在しなかった。

3.4.2 方法

3.4.2.1 観察者

著者 1 名を含む 7 名の観察者が実験に参加した。すべての観察者は、正常な(矯正)視力を有していた。Stereo Fly Test (Stereo Optical Co. Inc., Chicago, IL) の Graded circle test を用いて、すべての観察者が 1.0 以上の立体視力を有していることを確認した。

3.4.2.2 装置

実験 1 から実験 3 で使用したものと同一であった。

3.4.1.3 刺激

画枠の効果を検討するため、鮮明な画枠(正方形または台形)をもつ顔画像を呈示する画枠あり条件と、画枠にガウスぼかしを施し鮮明な画枠を持たない顔画像を呈示する画枠なし条件を設けた(図 3-5)。画枠あり条件の刺激として、実験 1 の両眼観察条件において使用したものと同一の顔



図 3-5. 実験 4 で使用した, 画像回転角 0°, +15°, +30°の時の顔画像の例. 上段には画枠あり条件で用いた刺激を, 下段には画枠なし条件で用いた刺激を示す.

画像を用いた。画枠なし条件の刺激として、画枠あり条件で用いたものと同一の画像の周辺に、ガウスぼかしを与えたものを用いた。刺激は、元刺激の中央部、 $9 \times 9 \text{ deg}$ に完全に透過する正方形領域を設け、その境界から画像の外に向かって、ガウス関数($\sigma = 0.61 \text{ deg}$)に従って透明度を減少させることによって作成した。したがって、境界部から一定以上離れた背景部は黒色となった。最外周部は $11.25 \times 11.25 \text{ deg}$ の正方形とし、画枠の両眼視差と画像性手がかりはともに存在しなかった。ガウスぼかしの形状は、顔画像の回転角にかかわらず常に一定であった。また、本実験では、対象人物の顔幅を 20% 伸長または短縮したダミー顔画像は使用しなかった。

比較刺激は、実験 1 から実験 3 と同様の楕円形であった。恒常法による測定のため、比較刺激の横幅を 5 段階に変化させた。横幅の範囲は、予備観察に基づき観察者ごとに最適となる値とし、5 名は $4.95 \sim 6.75 \text{ deg}$ (ステップ幅 0.45 deg)、残り 2 名は $4.95 \sim 7.95 \text{ deg}$ (ステップ幅 0.75 deg) であった。

3.4.1.4 手続き

実験 1 から実験 3 と同様の手続きで実験を行った。画枠あり条件と画枠なし条件は、同一セッション内でランダムな順序で呈示した。各セッションでは、画枠の有無(2 条件)、顔画像の回転角(5 段階)、比較刺激の幅(5 段階)のすべての組み合わせを 1 回ずつランダムな順序で呈示した。このセッションを、観察者一人につき 10 回繰り返した。したがって、観察者一人あたりの総試行数は 500 試行であった。

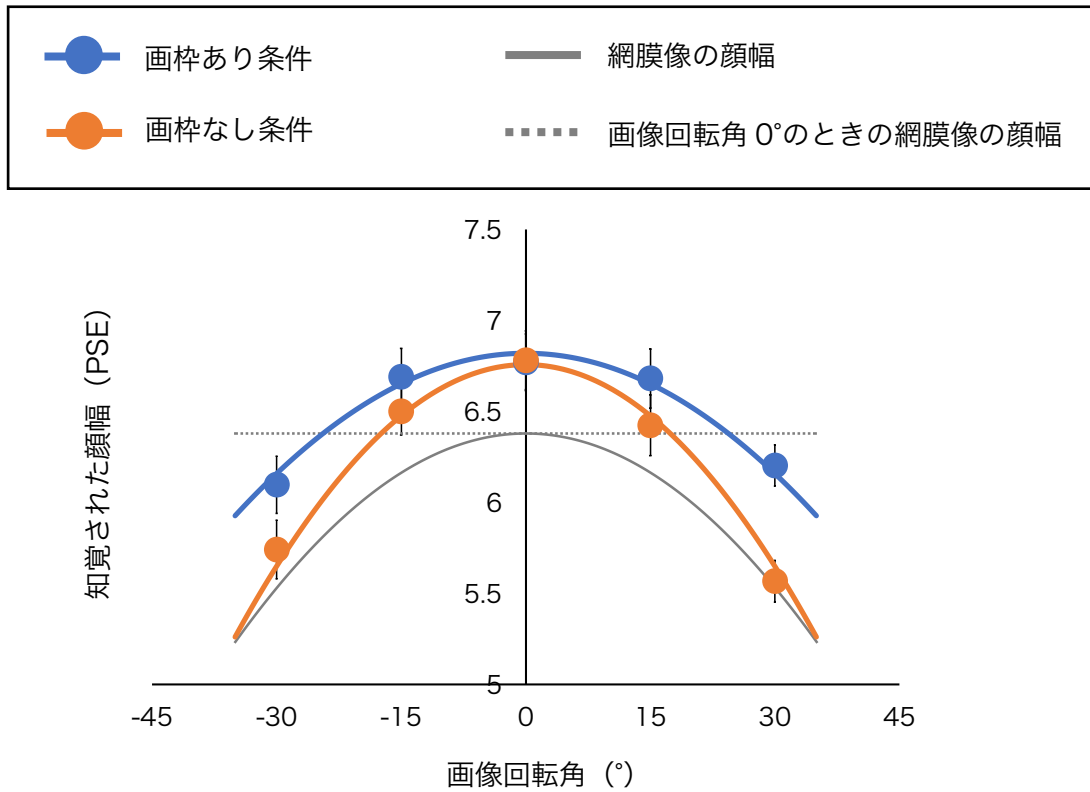
3.4.3 結果と考察

実験 1 から実験 3 と同一の方法で、観察者ごとに各画像回転角において知覚された対象人物の顔幅(PSE)を算出した上で、実験 1 から実験 3 と同一の方法で、モナリザ効果の強さ(C)および対象人物の顔幅の過大視・過小視傾向(d)を算出した。各画像回転角における PSE, C および d の値の全観察者間の平均を、図 3-6 に示す。

画枠あり条件と画枠なし条件のモナリザ効果の強さ(C)に対対応のある t 検定を行ったところ、有意な差が認められた($t(6) = 5.31, p < .005, r = .91$)。この結果は、画枠なし条件の方が、画枠あり条件よりもモナリザ効果が強く生じていたことを示している。顔幅の過大視・過小視傾向(d)についても t 検定を行ったが、有意な差は認められなかった($t(6) = 0.97, p = .37, r = .37$)。このことは、鮮明な画枠の有無による違いは、対象人物の顔幅の過大視・過小視の傾向に影響しないことを示している。

鮮明な画枠をもたない場合、鮮明な画枠をもつ場合に比べ、より強いモナリザ効果が生じた。この結果は、画像の傾きを示す画枠が存在しない場合には、顔の向きは顔の画像性手がかりに依存する傾向が強まることを示していると言える。このとき、顔部分には両眼視差が存在していたが、その両眼視差による傾きは顔の画像性手がかりによって抑制されていたものと考えられる。つまり、モナリザ効果の生起においては、画像表面の両眼視差は単独では効果をもたず、画枠の画像性手がかりが存在することで、はじめて、顔の向きの判断に効果をもつのかもしれない。

(a)



(b)

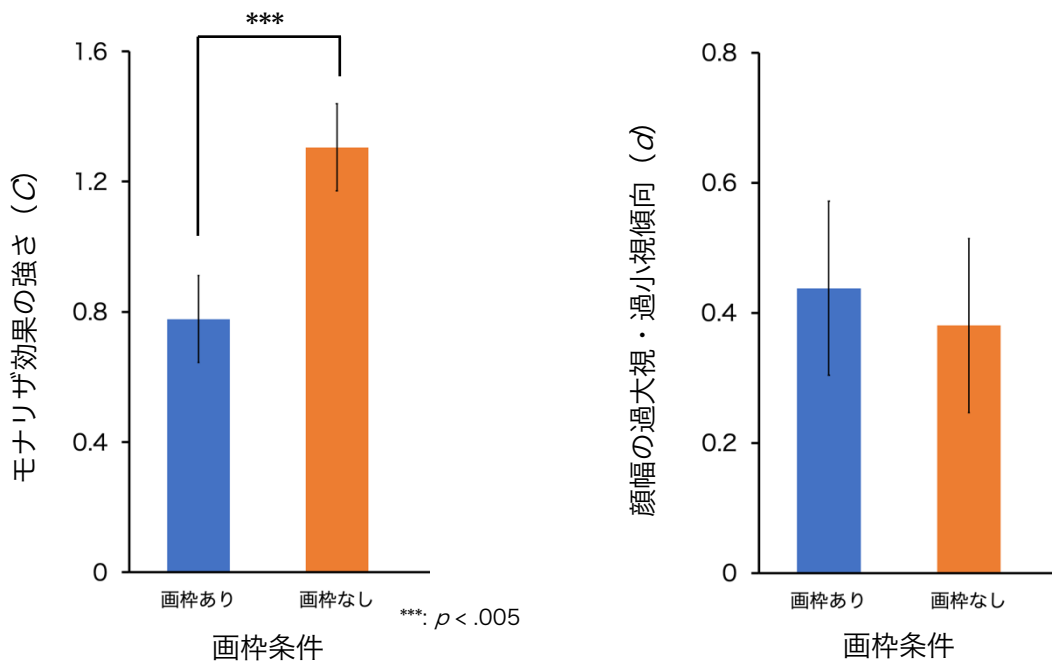


図 3-6. 実験 4 の結果. いずれも, 7 名の観察者間の平均を示す. エラーバーは標準誤差を示す. (a) 各画像回転角において知覚された顔幅 (PSE) (b) 画枠条件ごとのモノリザ効果の強さ (c) と, 顔幅の過大視・過小視傾向 (d).

本実験で得られたモナリザ効果の強さ(C)の値は、実験 1 から実験 3 で両眼視差のある顔画像を観察した場合の値よりも大きくなった。これは、実験 1 から実験 3 と本実験での手続きの違いによって生じたものと考えられる。実験 1 から実験 3 では、対象人物の顔幅を変化させたダミーの顔画像を呈示しており、さらに各条件を独立のセッションにて実施していた。しかし、本実験ではダミーの顔画像は使用せず、画枠の有無の条件も同一のセッション内で呈示していた。このような手続きの違いが、 C の値(モナリザ効果の強度を示す値)に影響した可能性が高い。したがって、本実験の結果と、実験 1 から実験 3 の結果の直接的な比較は適切ではないかもしれない。しかし、実験 1 の両眼観察条件のテスト刺激と、本実験の画枠あり条件は、同一の刺激を用いたものである。その点を考慮すれば、本実験の画枠あり条件の C の値が、実験 1 の約 2 倍になっていると解釈することができるとも考えられる。本実験の結果は、モナリザ効果の絶対的な強度(C の値)についての問題はあがあるが、鮮明な画枠が呈示されない場合は鮮明な画枠が呈示される場合よりもモナリザ効果が強くなるという、画枠の効果に関する示唆を得ることができた。本章末の考察において、この点に留意しながら、モナリザ効果における両眼視差の役割について詳しく議論する。

3.5 第3章 考察

本章では、3つの実験を通じて、モノリザ効果の生起と肖像画表面の両眼視差との関連を検討してきた。対象人物の顔、背景、画枠のそれぞれの部分に分布する両眼視差が、モノリザ効果の生起に関連しているか否かについて、対象人物の顔幅の過小視という指標を用いて検討した。第2章の実験1では、顔画像に両眼視差が与えられていても、対象人物の顔の向きの判断には両眼視差からの傾き情報が完全には活用されていないことが示された。これは、実験1では、視差を得ることのできない一様な灰色背景を用いた結果である可能性がある。そこで、本章では、顔画像の背景、画枠、顔のそれぞれの両眼視差の役割を個別に検討することとした。

まず実験2では、肖像画の背景部分の両眼視差がモノリザ効果の生起に関係しているか否かを検討した。対象人物の背景にランダムドットテクスチャがある画像と、一様な灰色の背景をもつ画像それぞれに対するモノリザ効果の強度を測定した結果、どちらの場合においてもモノリザ効果の強度は同程度となった。実験3では、顔および画枠の両眼視差とモノリザ効果との関連を検討するため、対象人物の顔部分にのみ両眼視差のある画像と、画枠の部分にのみ両眼視差のある画像に対するモノリザ効果を測定し、顔と画枠の両方に両眼視差のある画像に対する場合と比較した。その結果、モノリザ効果の強度は、いずれの画像に対しても同程度であった。実験4では、画枠の両眼視差と画像性手がかりの両方を除去した場合のモノリザ効果の生起強度を測定した。その結果、画枠を除去した画像に対するモノリザ効果は、画枠のある画像に対してよりも強く生じることが明らかになった。

では、なぜ肖像画表面の両眼視差の活用が抑制される事態が生じたのだろうか。可能性の 1 つとして、顔の立体形状に関する知識(制約条件)との関連が挙げられる。ほとんどすべての場合において人物の顔は 3 次元的に出っ張っているもので、平面または凹型にえぐれた顔に遭遇することはないため、視覚系は、「顔は凸形状である」という知識をもっていると考えられている(e.g. Gregory, 1970, 1997)。そのため、観察対象が顔であるという認識が生じると、顔形態に関する制約条件が奥行き手がかりの統合の際に支配的な役割を果たし、顔部分の両眼視差にかかわらず顔を凸型に知覚する傾向が強まると考えられる。したがって、肖像画を斜めから観察した際にも、対象が顔として認識されたため、顔部分の両眼視差は物理的には平面であることを示していてもその活用は抑制され、その結果として顔の向きが両眼視差の示す傾きに従わなかったと考えられる。さらに、3 次元的な人物の顔を知覚する際の、両眼視差の活用度合いという要因も考慮する必要がある。3 次元的な人物の顔は、他の 3 次元物体と比較しても特徴点が少ない。そのため、両眼視差から得られる顔の向きに関する情報が少ない可能性が考えられる。また、人間は人物の「顔」に特化した処理システムを有している可能性が指摘されている(e.g. Hay & Young, 1982)。このことから、顔を構成するパーツ間の相対的な位置関係という顔に特有の画像性手がかりに対し、視覚系が特に高い感度を有している可能性も考えられる。このように考えると、3 次元的な顔の立体構造の知覚、それに基づく顔の向きの判断に対して、両眼視差はあまり寄与することができず、顔の画像性手がかりや知識に基づく判断が生じる可能性が考えられる。肖像画のように 2 次元的な顔に対しても、このような 3 次元的な顔の知覚と同様の処理が行われ、顔の向きの判断における両眼視差の無効

化が生じたと言える。つまり、対象の「顔」としての認識と、顔に関する知識というトップダウンの情報が、両眼視差というボトムアップな情報を打ち消していると考えられる。

本章の 3.1 節でも述べたとおり、数ある奥行き手がかりの中でも両眼視差は低次かつ頑健で、他の奥行き手がかりよりも決定性が高いとされてきた (e.g. Landy et al., 1995)。そのため、多くの場合、奥行き知覚は両眼視差に基づき決定されるとする考えが広く受け入れられている。しかしながら、本章の一連の結果から、傾いた肖像画に描かれる人物の顔の向きの判断という事態においては、顔の画像性手がかりが肖像画表面の両眼視差の働きを抑制することが明らかになった。このことは、奥行き知覚に対する両眼視差の役割は、従来から考えられているほどに頑健ではない可能性を示している。肖像画表面の両眼視差と顔の画像性手がかりという奥行き知覚の側面から、モナリザ効果の生起を検討した研究はほとんど存在しない (Rogers et al., 2003; Anstis et al., 1969; Todorović, 2006)。しかし、本章の結果は、視線に関するモナリザ効果においても、白目と黒目の眼裂内での比率といった画像性手がかりも考慮に入れる必要があることを示している。モナリザ効果の奥行き知覚の観点からの検討は、モナリザ効果の生起メカニズムの解明のみならず、奥行き手がかりの統合モデルの精緻化にも寄与することが期待される。

本章では、モナリザ効果の生起と両眼視差との関連を詳細に検討してきた。一連の実験により、両眼視差は、対象人物の傾きを知覚する上で全く機能しないわけではないが、その機能は限定的であることを示した。傾けた肖像画を観察するという事態において、顔の向きの判断は、顔の画像

性手がかりに強く依存するようである。続く第4章では、モナリザ効果における顔の画像性手がかりの役割について検討を行う。

第4章 モナリザ効果と顔の画像性手がかりとの関係

4.1 第4章の目的

第3章では、モナリザ効果の生起と両眼視差との関係について検討し、モナリザ効果が生じているときは両眼視差が活用されにくくなることを示した。モナリザ効果の生起時には、対象人物の顔は観察者と正対して知覚されることから、対象人物の顔の向きの判断は顔の画像性手がかりに基づいて行われ、両眼視差は顔の画像性手がかりにより活用されなくなっている可能性が考えられる。本章では、この2つの手がかりの関係を検討することを目的とする。

モナリザ効果に典型的に見られるような、絵画に描かれる対象物の向きの不変性は、人間の胴体の彫刻や奥行き方向に伸びる道など、3次元的な構造物を描いた2次元画像においても生起することが知られている (Goldstein, 1979, 1987; Koenderink, van Doorn, & Koppers, 1992; Koenderink, van Doorn, Koppers, & Todd, 2004; Prytz & Scerbo, 2012; Todorović, 2005, 2008)。つまり、こうした場合にも、モナリザ効果と同様の現象が生じる。このことから、どんな対象物に対しても、対象物の画像性手がかりが、対象の向きの知覚に支配的な役割を果たしていると言えるだろう。それらの画像性手がかりは、多くの場合、特定の「物」や物のタイプに特有のものであるため、その活用のためには、まず対象物が何であるかを認識する必要がある。一般に、対象物に固有の特徴が顕著に表れ「それらしさ」が高ければ、対象物の認識は容易となる。モナリザ効果に関して言えば、対象物の「顔らしさ」が低くなり認識が難しくなると、モナリザ効果は生じにくくなることが想定さ

れる。対象物の「顔らしさ」の高低や認識の難易度といったトップダウンの要因と、モナリザ効果の生起、その強度の関連を検討することを通じて、モナリザ効果における画像性手がかりの役割をより明確にすることができるものと考えられる。

人物の顔画像の上下を反転させる、または写真のネガのように画像の輝度極性(明暗)を反転させると、画像中の人物の同定や再認が難しくなることが知られている(倒立効果(Rock, 1974; Yin, 1969), 明暗反転効果(Galper, 1970; Galper & Hochberg, 1971))。このことは、倒立呈示や明暗反転といった操作により、顔の個々の特徴量の強さや全体的な「顔らしさ」が低下し、対象を顔として認識しづらくなるために生じると説明される。したがって、これらの操作を施した顔画像においては、顔としての認識のしづらさに伴い顔の画像性手がかりも活用しづらくなり、モナリザ効果が弱まることが予測される。しかし、顔の「顔らしさ」やそれに伴う画像性手がかりの活用容易性との関連については、未だ検討されていない。そこで本章では、人物の顔の「顔らしさ」の高低を操作することにより、「顔らしさ」とモナリザ効果における顔の画像性手がかりの活用容易性の関係を検討することを目的とする。実験 5 では、倒立させた顔画像に対するモナリザ効果を、実験 6 では、輝度極性を反転させた顔画像に対するモナリザ効果を検討した。

4.2 実験 5 倒立顔画像に対するモナリザ効果

4.2.1 目的

上下を反転させた顔画像をテスト刺激とし、実験 4 と同様の手法を用いて各画像回転角における主観的な人物の顔幅を測定し、実験 4 (正立顔画像) の結果と比較した。実験 4 との比較のため、画枠の有無による効果についても検討した。

4.2.2 方法

4.2.2.1 観察者

著者 1 名を含む 7 名の観察者が実験に参加した。観察者全員が、実験 4 にも参加していた。

4.2.2.2 装置

実験 1 から実験 4 と同一であった。

4.2.2.3 刺激

実験 4 で使用したものと同一の顔画像の上下を反転させた倒立顔画像を、テスト刺激として用いた(図 4-1)。画枠の有無の効果を検討するため、画枠あり条件では鮮明な画枠をもつ画像を用い、画枠なし条件では画枠に対して実験 4 と同様のガウスぼかしを施したものをを用いた。

比較刺激は、実験 1 から実験 4 と同様の楕円形であった。恒常法による測定のために、比較刺激の横幅を 5 段階に変化させた。横幅の範囲は、予備観察に基づき観察者ごとに最適となる値とし、7 名中 4 名は 4.95～6.75 deg (ステップ幅 0.45 deg)、残り 3 名は 4.95～7.95 deg (ステップ幅 0.75 deg) であった。

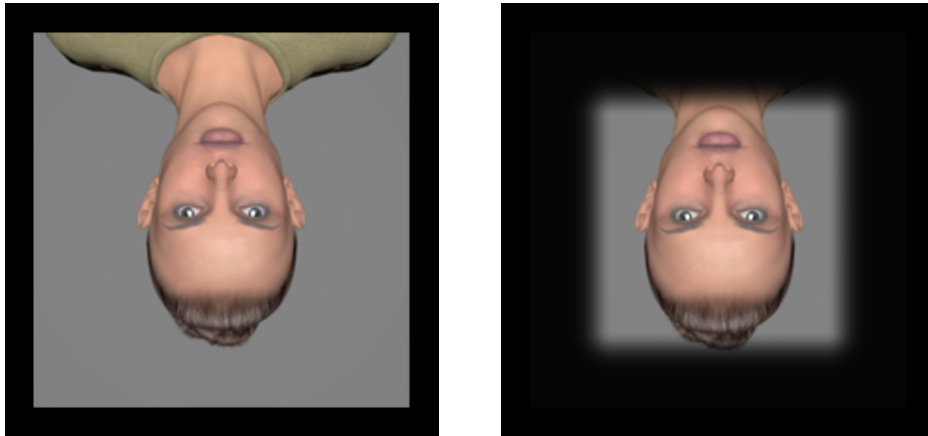


図 4-1. 実験 5 で使用した, 画像回転角 0° の時のテスト刺激の例. 左は画枠あり条件で, 右は画枠なし条件で用いた刺激を示す.

4.2.2.4 手続き

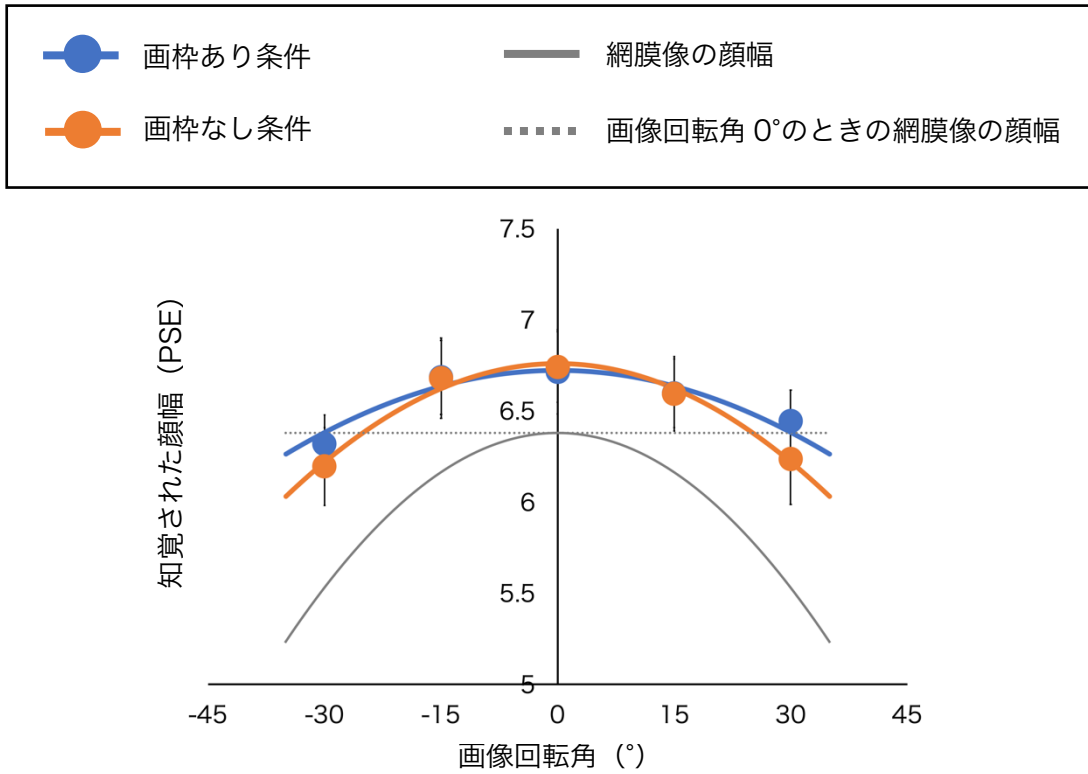
実験 4 と同一の手続きで実験を行った。各セッションでは、画枠の有無(2 条件)、顔画像の回転角(5 段階)、比較刺激の幅(5 段階)のすべての組み合わせを 1 回ずつランダムな順序で呈示した。このセッションを、観察者一人につき 10 回繰り返した。したがって、観察者一人あたりの総試行数は 500 試行であった。

4.2.3 結果

実験 4 と同一の方法で、観察者ごとに各画像回転角において知覚された対象人物の顔幅(PSE)を算出した上で、実験 4 と同一の方法で、モナリザ効果の強さ(C)および対象人物の顔幅の過大視・過小視傾向(d)を算出した。各画像回転角における PSE, C および d の値の全観察者間の平均を、図 4-2 に示す。

実験 4 と本実験で得られたモナリザ効果の強さ(C)に対し、2(正立・倒立)×2(画枠の有無)の被験者内分散分析を行った(図 4-3)。その結果、顔画像の呈示方法(正立・倒立)の主効果、画枠の有無の主効果、両者の交互作用のいずれも有意であった(呈示方法の主効果: $F(1, 6) = 12.06, p < .05, \eta^2 = .36$, 画枠の主効果: $F(1, 6) = 11.90, p < .05, \eta^2 = .19$, 交互作用: $F(1, 6) = 6.55, p < .05, \eta^2 = .03$)。有意な交互作用が認められたため、単純主効果検定を行ったところ、画枠あり条件と画枠なし条件のどちらにおいても、顔画像の呈示方法(正立・倒立)の単純主効果が有意であった(画枠あり条件: $F(1, 6) = 10.37, p < .05, \eta^2 = .27$, 画枠なし条件: $F(1, 6) = 11.75, p < .05, \eta^2 = .63$)。

(a)



(b)

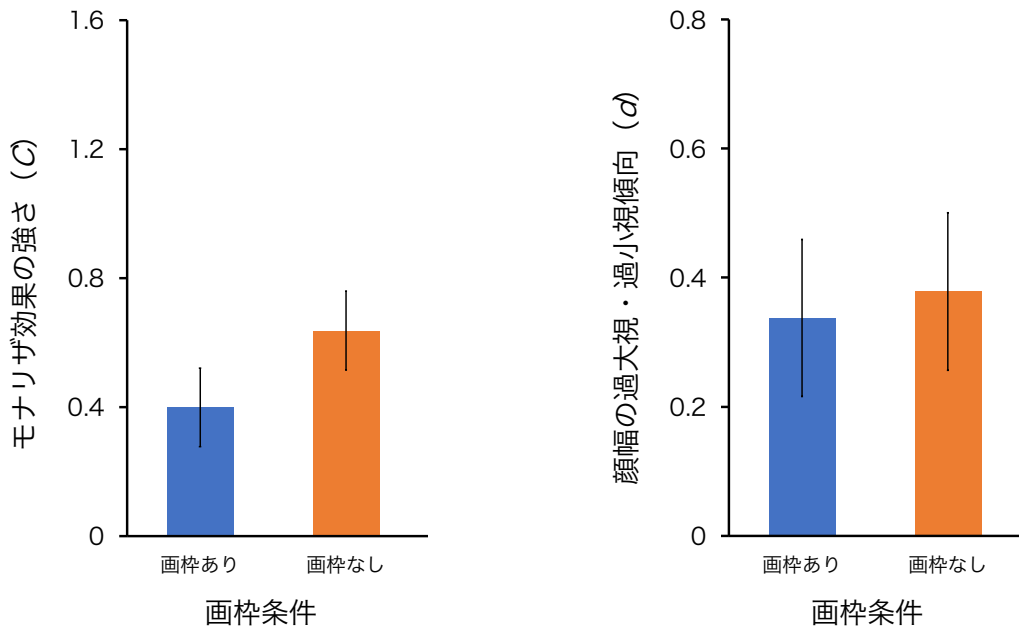


図 4-2. 実験 5 の結果. いずれも, 7 名の観察者間の平均を示す. エラーバーは標準誤差を示す. (a) 各画像回転角において知覚された顔幅 (PSE) (b) 背景条件ごとのモナリザ効果の強さ (C) と, 顔幅の過大視・過小視傾向 (d).

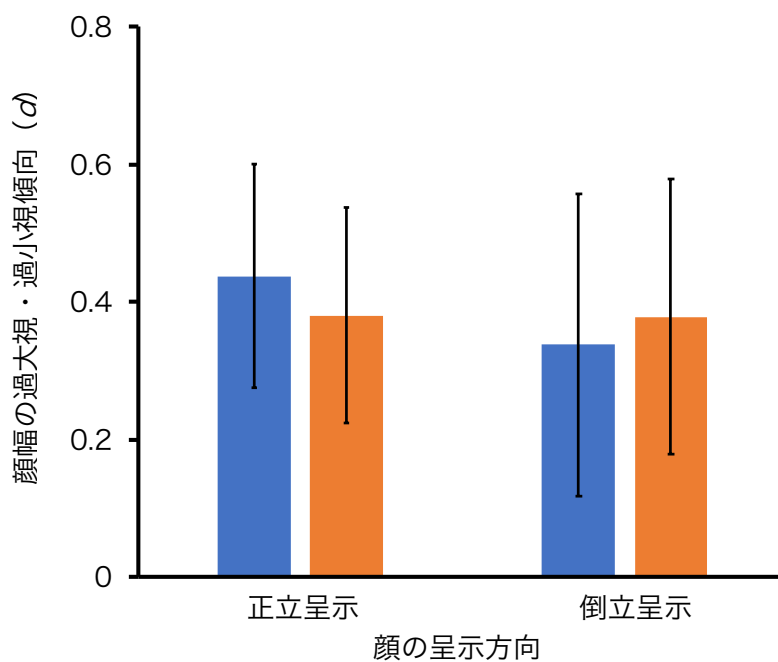
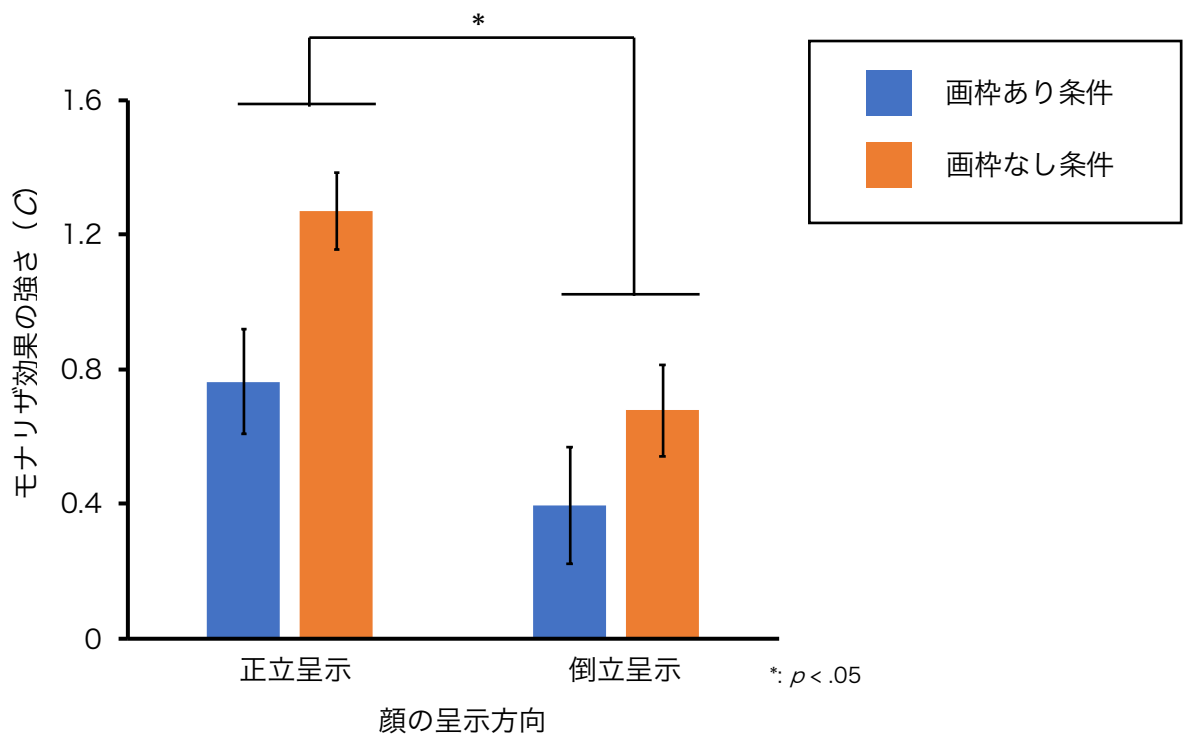


図 4-3. 顔画像の正立呈示時・倒立呈示時における、条件ごとのモナリザ効果の強さ (C) と顔幅の過大視・過小視傾向 (d) の全観察者間の平均。正立呈示のグラフは図 3-6 (b) で、倒立呈示のグラフは図 4-2 (b) で示したものと同一である。エラーバーは標準誤差を表す。

この結果は、画枠の有無にかかわらず、顔画像を倒立呈示した時には正立呈示した時よりもモノリザ効果が弱まることを示している。また、画枠の有無の単純主効果は、顔画像を正立呈示した場合には有意であったが($F(1, 6) = 28.19, p < .005, \eta^2 = .44$)、倒立呈示した場合には有意ではなかった($F(1, 6) = 2.69, p = .15, \eta^2 = .16$)。この結果は、正立の顔画像では、鮮明な画枠をもつ方がモノリザ効果が強く現れるが、倒立の顔画像では、画枠の有無がモノリザ効果の強さに影響しないことを示している。

顔幅の過大視・過小視傾向(d)についても同様に二要因の被験者内分散分析を行ったが、顔画像の呈示方法(正立・倒立)の主効果、画枠の有無の主効果、両者の交互作用のいずれも、有意ではなかった(呈示方法の主効果: $F(1, 6) = 0.17, p = .70, \eta^2 = .00$ 、画枠の主効果: $F(1, 6) = 0.03, p = .87, \eta^2 = .00$ 、交互作用: $F(1, 6) = 4.45, p = .08, \eta^2 = .00$)。この結果は、顔画像の呈示方法による違いは、対象人物の顔幅の過大視・過小視傾向の傾向に影響しないことを示している。

4.2.4 考察

本実験の結果、顔画像を倒立呈示すると、正立呈示した時に比べモノリザ効果が弱くなることが明らかになった。また、顔画像を正立呈示した時、鮮明な画枠をもつ場合にはモノリザ効果が有意に強く生じるが、倒立呈示した時にはその差が認められなかった。

顔画像を倒立呈示すると顔らしさが失われ、対象を顔として認識することが難しくなることが知られていることから(Rock, 1974; Yin, 1969)、倒立呈示におけるモノリザ効果の減少は、対象人物の顔らしさが弱まり、顔としての認識がしづらくなったために生じたものと考えられる。モノリザ効果は、

対象の顔らしさが十分に高く、顔としての認識が容易であるときに強く生じるものと解釈できる。このことは、モナリザ効果が顔の「顔らしさ」に依存する現象であることを示唆している。

倒立呈示した時にモナリザ効果が弱まった原因の 1 つとして、「顔らしさ」が低下したことにより人物の目や鼻といった顔のパーツの相対的な配置や遮蔽の情報といった、顔に特有の画像性手がかりが活用しにくくなった可能性を挙げることができる。3 次元的な顔とは異なり、2 次元的な顔画像においては、画像を傾けても顔パーツの相対的な配置や遮蔽関係は変化せず (Boyarskaya & Hecht, 2012; Todorović, 2006)、顔の画像性手がかりに着目すると顔が常に観察者に正対していると判断できる。日常のほとんどの場面で、我々は正立した顔に接しているため、正立した顔における顔パーツの空間配置や遮蔽情報の活用に慣れており、それらの画像性手がかりに基づく顔の向きの推測は容易に遂行できるものと考えられる。一方で、倒立した顔では、そのようなものに接する機会がほとんど無いため、倒立状態の顔における画像性手がかりの活用は困難であるものと考えられる。そのため、画像性手がかりに基づく顔の向きの判断が難しくなり、モナリザ効果が弱まったと考えられる。つまり、本実験の結果は、人間が正立した顔の画像性手がかりに対し高い感度を有しており、このために正立した顔からは、より強い顔の向きの判断に関わる情報が得られることを示していると考えられる。さらに、そうした情報の強弱がモナリザ効果の強度に関係している可能性を示していると言えよう。

実験 4 では正立した顔画像を呈示したが、鮮明な画枠がある場合には、ない場合と比較してモナリザ効果が有意に弱まった。本実験で顔画像を倒立呈示した場合も、統計的には有意とはなら

なかったものの、画枠あり条件において画枠なし条件よりもモナリザ効果が弱まり、実験 4 と同様の傾向が認められた。倒立呈示時に有意な画枠の効果が得られなかったのは、顔画像を倒立呈示することによりモナリザ効果自体が弱まり、画枠の有無による効果が検出しづらくなったためであると考えられる。これらの結果は、鮮明な画枠が呈示されないことから、画像全体の傾きが得にくい状況では、顔の向きの判断に両眼視差が活用されづらくなるという第 3 章での結論を支持するものである。

本実験の結果から、モナリザ効果は人物の顔の「顔らしさ」や典型性が高いほど強く生じることが明らかになった。顔パーツの相対的な空間配置や遮蔽の情報といった画像性手がかりが、モナリザ効果の生起に重要であると解釈することもできよう。続く実験 6 では、モナリザ効果の「顔らしさ」への依存性について更に検討するため、顔画像の明暗を反転させた画像を用いて同様の実験を行う。顔画像の明暗反転は、倒立呈示と同様に顔の「顔らしさ」を減衰させることが知られている (Galper, 1970; Galper & Hochberg, 1971)。したがって、モナリザ効果が顔の典型性の高低によって影響を受けるのであれば、明暗が反転した顔画像に対するモナリザ効果は、反転していない顔画像よりも弱まると考えられる。しかし、もしモナリザ効果の生起に顔の画像性手がかりが重要なのであれば、明暗を反転した顔画像であっても、呈示方向が正立であれば、明暗反転をしなかった顔画像と同程度のモナリザ効果が生じる可能性もある。

4.3 実験 6 ネガポジ反転顔画像に対するモナリザ効果

4.3.1 目的

白黒階調化した顔画像(ポジ画像)と, ポジ画像の明暗を反転させた顔画像(ネガ画像)をテスト刺激として, それぞれのモナリザ効果の強さを測定した. 実験 4 および実験 5 と同様, 画枠の有無の効果についても検討した.

4.3.2 方法

4.3.2.1 観察者

著者 1 名を含む 7 名の観察者が実験に参加した. すべての観察者は, 正常な(矯正)視力を有していた. Stereo Fly Test (Stereo Optical Co. Inc., Chicago, IL) の Graded circle test を用いて, すべての観察者が 1.0 以上の立体視力を有していることを確認した. 観察者のうち, 著者を含む 3 名がこれまでの実験 4 および 5 にも参加していた.

4.3.2.2 装置

実験 1 から実験 5 と同一であった.

4.3.2.3 刺激

実験 4 で使用した顔画像を白黒階調化したものをポジ画像として, ポジ画像の明暗を反転させた画像をネガ画像として使用した(図 4-4). 画枠の有無の効果を検討するため, 画枠あり条件では鮮明な画枠をもつネガ画像またはポジ画像を呈示し, 画枠なし条件ではそれらの画枠に対して実験 4 および実験 5 と同様のガウスぼかしを施した.



図 4-4. 実験 6 の画枠あり条件で使用したテスト刺激の例（画像回転角 0° ）。左はポジ画像，右はネガ画像を示す。

比較刺激は、実験 1 から実験 5 と同様の楕円形であった。恒常法による測定のために、比較刺激の横幅を 5 段階に変化させた。横幅の範囲は、予備観察に基づき観察者ごとに最適となる値とし、3 名は 4.95～6.75 deg(ステップ幅 0.45 deg)、残り 4 名は 4.95～7.95 deg(ステップ幅 0.75 deg)であった。

4.3.2.4 手続き

実験 4 および実験 5 と同様の手続きで実験を行った。ネガ画像とポジ画像に関する実験は、それぞれ独立のセッションにて実施した。各セッションでは、画枠の有無(2 条件)、顔画像の回転角(5 段階)、比較刺激の幅(5 段階)のすべての組み合わせを 1 回ずつランダムな順序で呈示した。こうしたセッションを、顔画像の種類(2 種類)ごとに、観察者一人につきそれぞれ 10 回繰り返した。したがって、観察者一人あたりの総試行数は 1000 試行であった。

4.3.3 結果と考察

実験 4 および実験 5 と同じ方法で、ネガ画像・ポジ画像の別に、観察者ごとに各画像回転角において知覚された人物の顔幅(PSE)を算出した上で、実験 4 および実験 5 と同一の方法でモナリザ効果の強さ(C)および対象人物の顔幅の過大視・過小視傾向(d)を算出した。各画像回転角における PSE の全観察者間の平均を図 4-5 に、 C と d の値の全観察者間の平均を図 4-6 に示す。

実験から得られたすべてのモナリザ効果の強さ(C)に対し、2(顔画像の種類:ネガ画像・ポジ画像)×2(画枠の有無)の被験者内分散分析を行った結果、画枠の有無の有意な主効果が認められ

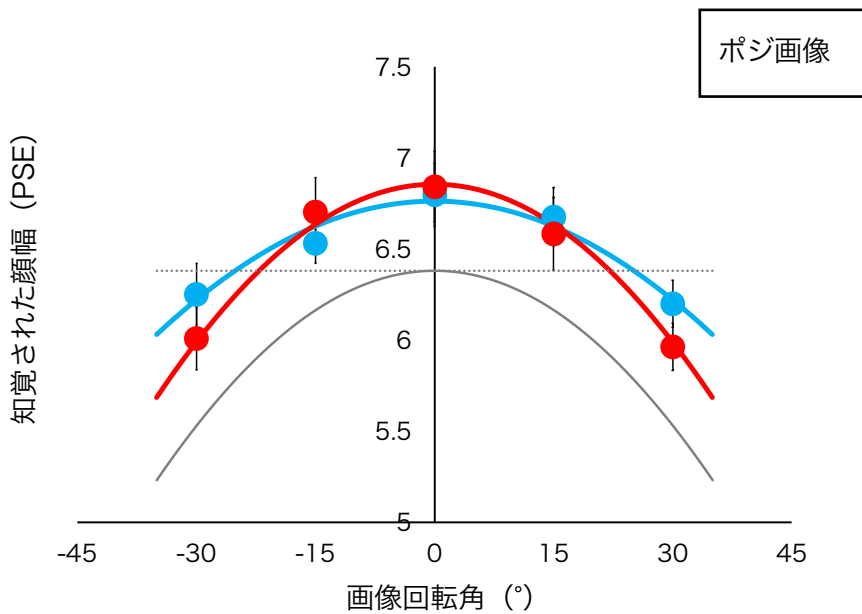
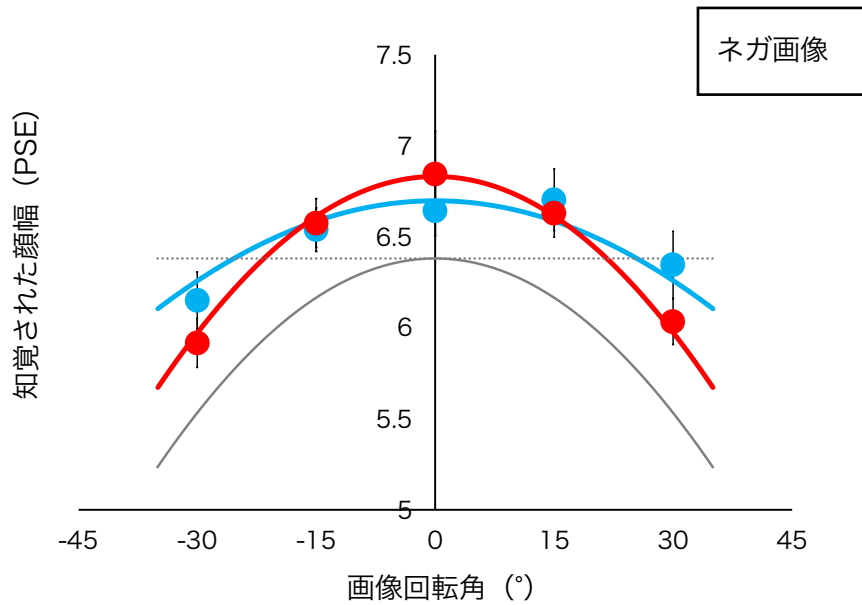


図 4-5. 実験 5 で得られた、顔画像の種類ごとの、各画像回転角において知覚された顔幅 (PSE). いずれも、7 名の観察者間の平均を示す。エラーバーは標準誤差を示す。

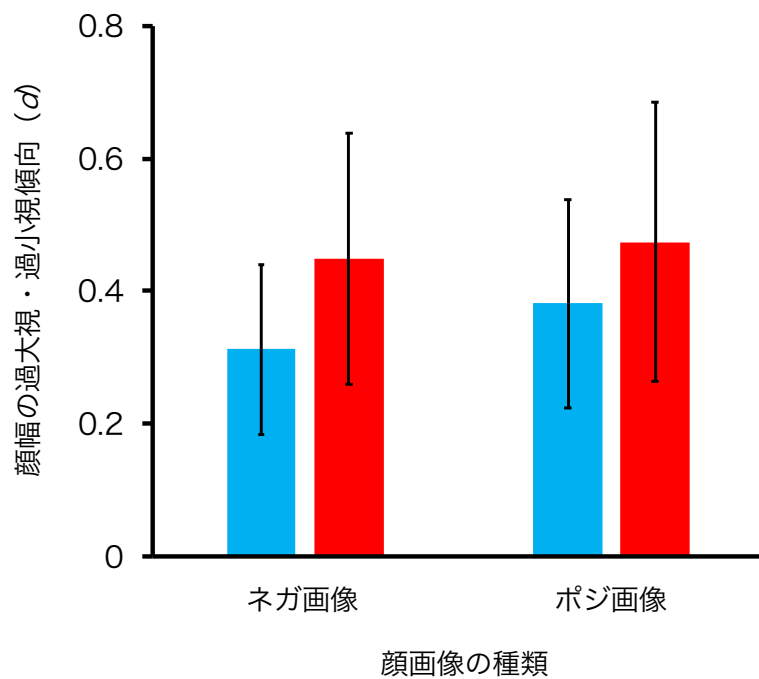
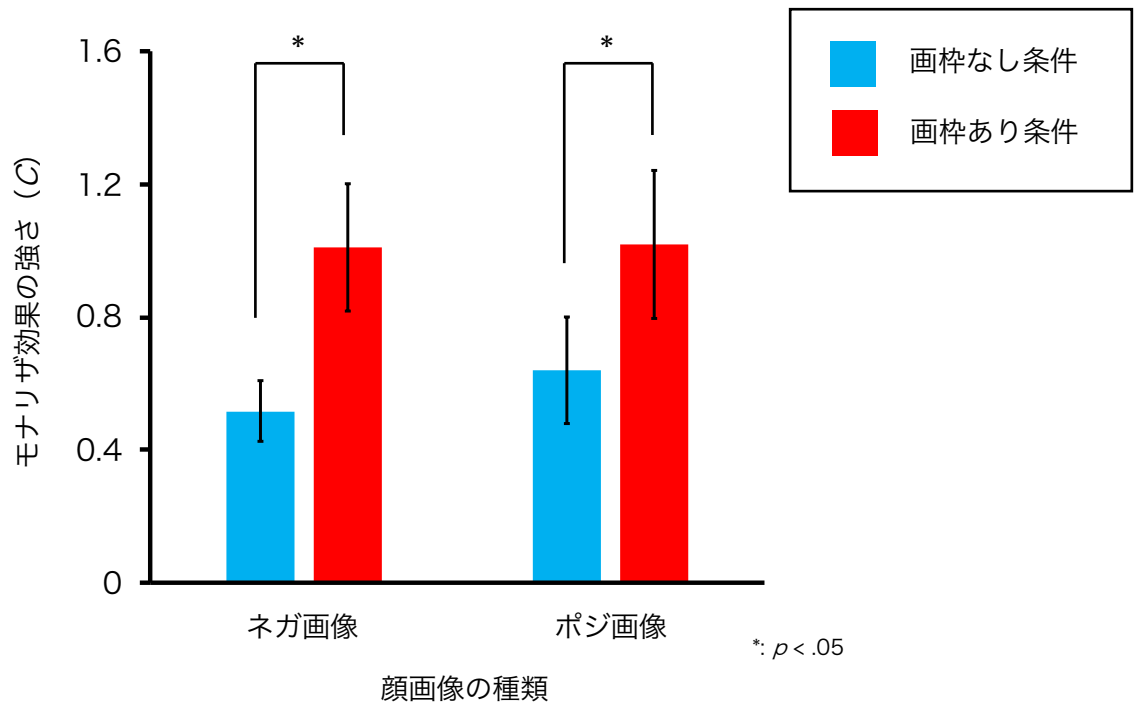


図 4-6. 実験 5 で得られた, 顔画像の種類ごとの, モナリザ効果の強さ (C) および顔幅の過大視・過小視傾向 (d). いずれも, 7 名の観察者間の平均を示す. エラーバーは標準誤差を示す.

たが($F(1, 6) = 12.19, p < .05, \eta^2 = .21$), 顔画像の種類(ネガ画像・ポジ画像)の主効果および両者の交互作用は有意ではなかった(顔画像の主効果: $F(1, 6) = 0.85, p = .39, \eta^2 = .00$, 交互作用: $F(1, 6) = 0.52, p = .50, \eta^2 = .00$). こうした分析の結果は, 顔画像の種類(ネガ画像・ポジ画像)については有意な主効果が認められず, ネガ画像に対してもポジ画像と同程度の強さのモノリザ効果が生じたことを示している. ネガ画像は, 画像の明暗は反転していたものの, 呈示方向は正立であった. したがって, この結果は, モナリザ効果の生起強度には顔の画像性手がかりがより重要であること, 顔の画像性手がかりの活用のしやすさは画像の輝度極性には依存しないことを示していると考えられる. この点については, 本章末の考察にて詳しく議論する. また, 画枠の有無に関しては, 画枠あり条件の方が画枠なし条件よりも弱いモノリザ効果が確認され, 正立の顔画像においては鮮明な画枠が呈示されることでモノリザ効果が弱まるという実験 4 の結果が再現された.

顔幅の過大視・過小視傾向(d)についても同様に二要因の被験者内分散分析を行ったが, 顔画像の種類(ネガ画像・ポジ画像)の主効果, 画枠の有無の主効果, 両者の交互作用のいずれも, 有意ではなかった(顔画像の主効果: $F(1, 6) = 0.64, p = .45, \eta^2 = .00$, 画枠の主効果: $F(1, 6) = 1.78, p = .23, \eta^2 = .02$, 交互作用: $F(1, 6) = 0.73, p = .42, \eta^2 = .00$). この結果は, 顔画像の明暗の反転は, 対象人物の顔幅の過大視・過小視傾向の傾向に影響しないことを示している.

4.4 第4章 考察

本章では、対象人物の顔の「顔らしさ」を操作することにより、モノリザ効果と顔の画像性手がかりとの関連を検討した。実験 5 では、顔画像を倒立呈示し顔らしさを弱めると、正立呈示時と比べ、モノリザ効果の強度が弱まるという結果が得られた。この結果は、対象人物の顔の「顔らしさ」が高く、「顔」としての認識が容易であるときにモノリザ効果が強く生じることを示している。しかし、実験 6 では、顔画像の明暗を反転させることにより(ネガ画像)刺激の顔らしさを弱めてもモノリザ効果は弱まらず、明暗を反転させなかった顔画像(ポジ画像)と同程度の強度のモノリザ効果が確認された。こうした結果は、モノリザ効果の強度において重要な「顔らしさ」は、上下反転では損なわれるが、顔画像の明暗反転では損なわれない側面であることを示している。ネガ画像は、肌や目などの輝度極性が通常とは異なるため奇妙な印象を受けるが、目や鼻の相対的な空間位置、遮蔽関係など、顔の向きを示す画像性手がかりはネガ・ポジ両画像の間でほぼ等価であり、その活用の難易度も同程度であったと考えられる。こうしたことから、モノリザ効果の生起強度は、顔の「顔らしさ」一般ではなく、顔の方位に関する画像性手がかりの活用容易性の高さによって決定づけられると考えることができるだろう。また、これらの結果は、顔画像の輝度極性の反転は、顔の、少なくとも向きの判断に関わる画像性手がかりの活用容易性には影響しないこと、正立・倒立(方位)および輝度極性の2つの要因が独立な「顔らしさ」をもたらしている可能性、さらには2つの操作がそれぞれ異なる顔情報の処理過程に影響を及ぼした可能性を示している。顔認知の研究において、顔画像の倒立呈示と明暗の反転という操作が、どのような顔の処理過程を阻害するのか、それぞれ独

立な「顔らしさ」を減衰させるのか否かという点については、明確な結論は得られていない(Bruce & Langton, 1994; Kemp, McManus, & Pigott, 1990; Kemp, Pike, White, & Musselman, 1996; Leder, 1996). しかし、本研究の結果は、「顔らしさ」が複数の顔の情報処理過程によって複合的に特徴づけられることを示していると言えよう.

実験 5 および実験 6 の結果は、対象物の「それらしさ」の高低、そこから来る認識の容易性というトップダウンの要因が、モナリザ効果の生起に関与していることを示していると考えられる. 3次元構造をもつ対象を描写した 2次元画像においても、対象物の「向きの不変性」が報告されていることから(Goldstein, 1979, 1987; Koenderink et al., 1992; Koenderink et al., 2004; Prytz & Scerbo, 2012; Todorović, 2005, 2008), 顔以外の 3次元物体においても「それらしさ」が高く、対象物に特有の画像性手がかりが活用できる場合には、モナリザ効果と同様の「向きの不変性」が生じると考えられる. もしそうであるならば、モナリザ効果のような対象物の向きの不変性は、対象が物体であるときには生じるが、物体ではなく空間に対しては生じない可能性が考えられる. そこで第 5 章では、この点について詳しい検討を行う.

第5章 空間幅に対するモナリザ効果

5.1 第5章の目的

第2章から第4章まで、肖像画に描かれる人物の顔を対象として、モナリザ効果における顔の画像性手がかりと両眼視差の役割を検討してきた。一連の実験により、モナリザ効果が生じる時、肖像画の傾きを示す両眼視差は、従来の奥行き手がかりの統合過程から予測されるほど支配的には機能せず、顔の向き判断は、顔の画像性手がかりにより強く依存することを示すことができた。本章では、前章までのメカニズム論から離れ、モナリザ効果が起こりうる対象について論じることとする。前章までで論じたように、モナリザ効果が生じる対象は、多くの場合、人物、もしくは人物を含む物体であった。そこで本章では、モナリザ効果は対象が物体でなければ生じないのかという点を検討する。

描かれる対象が人物以外の場合であっても、その対象物の向きは、モナリザ効果と同様に常に観察者に正対して知覚されることが報告されている (Goldstein, 1979, 1987; Koenderink et al., 1992; Koenderink et al., 2004)。これらの先行研究と、第4章の結論に基づけば、人物の顔をはじめとする絵画中の対象物の向き判断には、その対象物に特有の画像性手がかりが主として用いられると考えられる。一方で、奥行き方向に伸びる通路を正面から撮影した写真を傾けた場合も、通路の中心線が観察者と正対して知覚されることが報告されている (Prytz & Scerbo, 2012; Todorović, 2005, 2008)。これらの研究では、線遠近法に従って奥行き方向に伸びる通路の画像が用いられ

ていたため、画像性の奥行き手がかりの 1 つである線遠近法が写真内の通路の向きの知覚に支配的に作用したという可能性が考えられるだろう。しかし、絵画内の対象物の向きの知覚に、それぞれの対象物に特有の画像性手がかりが重要な役割を果たすのであれば、こうした通路のような物体に挟まれた隙間(以下、空間)の向きに関してはモナリザ効果と同様の向きの不変性が生じない、あるいは、生じたとしてもその程度が弱い可能性が考えられる。絵画の中の対象物の向きの判断については、研究ごとに用いられている指標が異なることから、対象物の種類やカテゴリによる生起強度の比較が困難であるという問題点がある(Goldstein, 1979, 1987; Koenderink et al., 2004; Todorović, 2008)。しかし、絵画を傾けたときに知覚される対象物の横幅という指標を用いれば、対象物の種類による向きの不変性の生起強度の適切な比較が可能であると考えられる。

そこで本章では、絵画に描かれた 3 次元的な物体と、物体以外の対象、物体の間の空間に対する向きの効果(モナリザ効果)を、向きと横幅との関係を通じて検討することを目的とする。実験 7 では、3 次元的な構造をもつ建物の 2 次元画像と、奥行き方向に伸びる道のシーン画像を用いてモナリザ効果の強さを測定し、比較した。実験 1 から実験 6 と同様に、傾けた絵画内の対象の主観的な幅を測定することで、向きの不変性の強度を評価した。

5.2 実験 7 シーンに対するモナリザ効果の検討

建物が写る画像と空間(道)画像をそれぞれ回転させ(傾け)たものをテスト刺激として用いた。建物と空間のそれぞれの画像には、横幅を推定する位置を示す目印として 2 本のバーえ描き加えた。観察者には、傾いた画像中の 2 本のバーの間の幅の知覚を回答させた。

5.2.1 方法

5.2.1.1 観察者

著者 1 名を含む 7 名の観察者が実験に参加した。すべての観察者は、正常な(矯正)視力を有していた。Stereo Fly Test (Stereo Optical Co. Inc., Chicago, IL) の Graded circle test を用いて、すべての観察者が 1.0 以上の立体視力を有していることを確認した。観察者のうち、著者を含む 2 名が実験 4 から実験 6 にも参加していた。

5.2.1.2 装置

実験 1 から実験 6 と同一であった。

5.2.1.3 刺激

建物または空間の画像を、実験 1 と同一の方法で垂直軸に関して回転させ、両眼視差をもつステレオ画像対を作成した。

著作権フリーの画像素材サイトから、建物と奥行き方向に伸びる道が写っている画像をそれぞれ 2 枚ずつ抜粋した。これらの画像から必要部分を切り出し、一辺の長さが 16 deg の正方形の画像を作成した。これらの 2 次元画像に対し、Adobe Photoshop CC 2018 を用いて、実験において横幅

を推定する位置を示すためのマーカーを付記した。マーカーは白色と赤色で構成された点線であった。

このようにして作成した 2 次元画像を、実験 1 と同一の仮想の 3 次元空間内で回転させた上で、左右眼に相当する 2 台のカメラを用いて撮影し、左右眼に呈示する刺激とした(図 5-1)。画像の回転角は、実験 1 から実験 6 と同じ、 $0, \pm 15, \pm 30^\circ$ の 5 条件であった。各画像回転角における、建物画像のマーカー間の横幅は、 0° の時は 5.19 deg 、 $\pm 15^\circ$ の時は 4.95 deg 、 $\pm 30^\circ$ の時は 4.35 deg であった。各画像回転角における、空間画像のマーカー間の横幅は、 0° の時は 6.96 deg 、 $\pm 15^\circ$ の時は 6.84 deg 、 $\pm 30^\circ$ の時は 6.21 deg であった。いずれの画像においても、マーカーの縦の長さは 4.35 deg 、太さは 0.15 deg であった。

比較刺激は、灰色の H 型のバー刺激(輝度: 30.12 cd/m^2)であった。参照刺激の呈示背景は、テスト刺激と同一の黒色(輝度: 0.34 cd/m^2)であった。比較刺激には両眼視差は付与せず、前額平行面に呈示した。比較刺激は、テスト刺激の呈示画面の中心から上下左右に 1.5 deg の正方形の範囲内に、比較刺激のバーの中心位置が呈示されるよう、試行ごとにランダムな位置に呈示した。比較刺激の横幅は、恒常法による測定のため 5 段階に変化させた。横幅の範囲は、建物条件では $4.05 \sim 5.85 \text{ deg}$ (ステップ幅 0.45 deg)、空間条件では $5.4 \sim 7.8 \text{ deg}$ (ステップ幅 0.6 deg)であった。バー刺激の両端の垂直線分の長さは、いずれも 1.5 deg であった。バー刺激を構成する垂直・水平線分の太さは、いずれも 0.06 deg であった。



図 5-1. 実験 7 件でテスト刺激として使用した画像の例（画像回転角 0°）。上段は建物条件で、下段は空間条件で用いた各 2 種類の画像を示す。

5.2.1.4 手続き

実験 1 から実験 6 と同様の手続きで実験を行った。建物条件と空間条件に関する実験は、それぞれ独立のセッションにて実施した。各セッションでは、画像の種類(2 種類)、画像の回転角(5 段階)、比較刺激(5 段階)のすべての組み合わせを、1 回ずつランダムな順序で呈示した。こうしたセッションを、建物または空間の条件(2 種類)ごとに、観察者一人につきそれぞれ 10 回繰り返した。したがって、観察者一人あたりの総試行数 1000 試行であった。

5.2.2 結果

建物、空間条件間の差異を検討する前に、建物と空間の各条件で使用した各 2 枚の画像間の反応の傾向に差があるか否かを検討した。実験 1 から実験 6 と同じ方法で、それぞれの条件で使用した 2 枚の画像の別に、観察者ごとに各画像回転角において知覚されたマーカ間の横幅(PSE)を算出した。建物条件と空間条件それぞれに対し、2(画像の種類)×5(各画像回転角)の被験者内分散分析を行った結果、どちらの条件においても画像の種類の有意な主効果は確認されなかった(建物条件: $F(1, 6) = 2.36, p = .18, \eta^2 = .02$, 空間条件: $F(1, 6) = 0.00, p = .96, \eta^2 = .00$)。この結果は、各条件において使用した 2 枚の画像に対する幅の判断の傾向の間に差がなかったとみなすことができる。

各条件で使用した 2 枚の画像の種類による有意な違いが確認されなかったため、各条件ごとに、2 枚の画像に対するデータを合算し、実験 1 から実験 6 と同一の方法で、建物条件と空間条件の別に、観察者ごとの各画像回転角における PSE を算出した。さらに、これらの値をもとに、実験 1 か

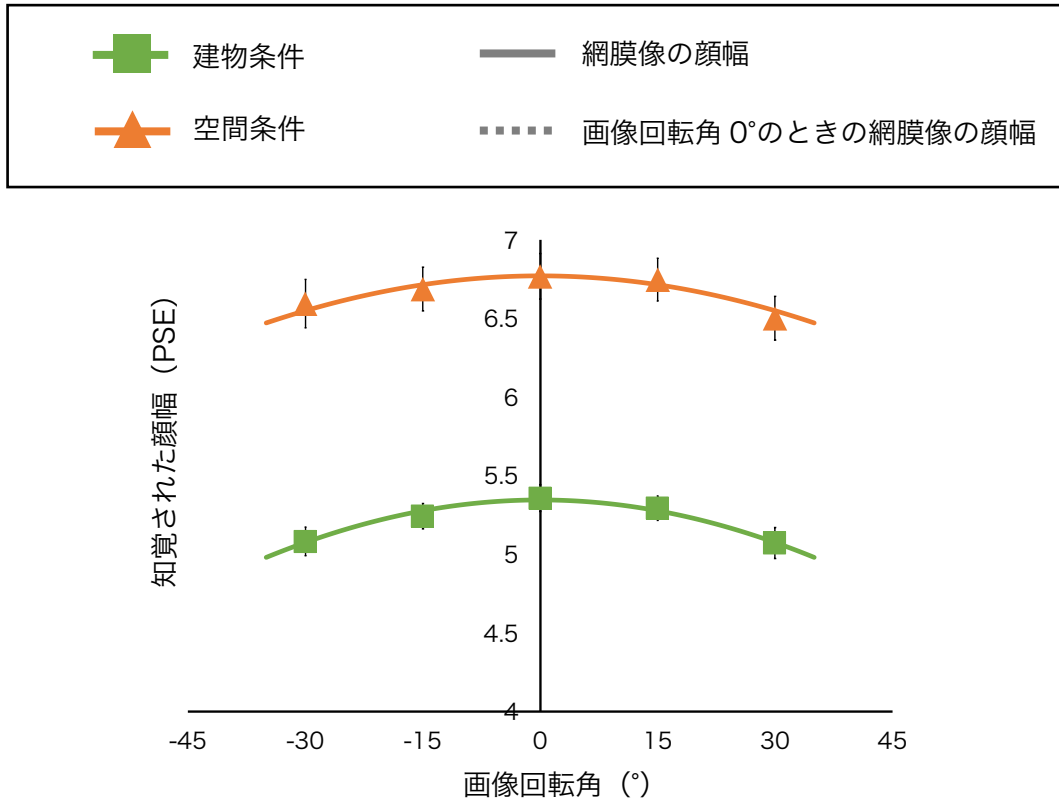
ら実験 6 と同一の方法で、モノリザ効果の強さ(C)とマーカーク間の幅の過大視・過小視傾向(d)を算出した。各画像回転角における PSE と、 C と d の値の全観察者の平均を、図 5-2 に示す。

建物条件と空間条件のモノリザ効果の強さ(C)に対し対応のある t 検定を行ったところ、有意傾向が認められた($t(6) = 2.41, p = .05, r = .70$)。この結果は、建物条件の方が、空間条件よりもモノリザ効果が強く生じる傾向があることを示している。マーカーク間の幅の過大視・過小視傾向(d)についても t 検定を行ったところ、有意差が認められた($t(6) = 4.10, p < .01, r = .86$)。空間条件で使用した画像の画像回転角 0° のときマーカーク間の幅は、建物条件で使用した画像よりも広がった。したがって、この結果は、両条件で使用した画像の横幅のベースラインが異なっていたことによるものであると考えられる。今回の結果は、奥行きを示唆する境界線(仮想的なものも含む)の内側が物体である時と空間である時では、物体である方がモノリザ効果が強く生じることを示唆する結果であると言える。

5.2.3 考察

奥行き方向に伸びる道などの空間画像に対するモノリザ効果は、建物画像よりも弱くなる傾向が認められた。建物画像に対してもモノリザ効果と同様の向きの不変性が生じたという本実験の結果は、絵画に描かれる対象物の向きが観察者に正対するという先行研究の報告と合致する(Goldstein, 1979, 1987; Koenderink et al., 1992; Koenderink et al., 2004)。しかし、空間画像に対するモノリザ効果の強度は、建物画像の場合よりも弱まる傾向にあった。このことは、対象の向きの不

(a)



(b)

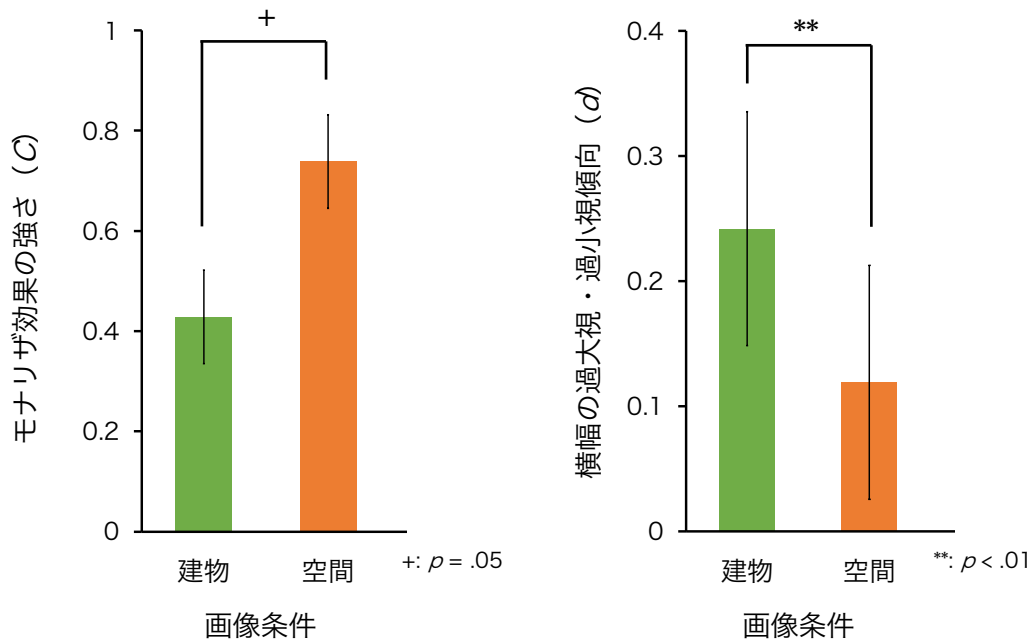


図 5-2. 実験 7 の結果. いずれも, 7 名の観察者間の平均を示す. エラーバーは標準誤差を示す. (a) 各画像回転角において知覚された顔幅 (PSE) (b) 画像条件ごとのモナリザ効果の強さ (c) と, 顔幅の過大視・過小視傾向 (d).

変性は、対象が物体であるときに強く生じること、さらに、対象の種類やカテゴリによってその生起強度が異なる可能性を示していると言える。

単純な比較は難しいものの、モナリザ効果の強度は、建物に関しては第2から第4章で検討した顔に対するものとはほぼ同じであったが、空間に対しては弱まる傾向であった。このことは、対象の向きの知覚には、対象物に特有の画像性手がかりが支配的であることを示していると言えるだろう。

本実験で用いた空間画像には、画像性の奥行き手がかりの1つとして数えられる線遠近法的奥行き手がかりを含んでいたため、この手がかりに基づく判断がなされていれば、道の向きは観察者に正対して知覚されると考えられる。それにもかかわらず、空間に対するモナリザ効果の生起強度が弱まったということは、空間の向きの判断においては線遠近法的手がかりよりも両眼視差が支配的であり、その向きが画像の傾きの応じて変化して知覚されたことを示唆している。対象の向きの判断においては、画像性手がかりの種類によって活用の度合いが異なること、線遠近法的手がかりよりも対象物に特有の画像性手がかりのほうが支配的である可能性がある。画像空間の中で1つの塊をなす物体に対してでなければ、向きの不変性は生じにくいことを示していると解釈できるかもしれない。

奥行き方向に伸びる通路の消失点が観察者と正対して知覚されるという現象も報告されているが (Prytz & Scerbo, 2012; Todorvić, 2005, 2008) , 本研究の結果に基づけば、この現象は対象が物体である場合よりも強度が弱いことが考えられる。これまでに報告されている、2次元画像中の対象物の向きの判断は、各研究で異なる指標が用いられている。用いる指標によって、2次元画像内の

奥行き知覚強度や、向き判断の傾向が異なる可能性があるとの指摘もある (Vishwanath, 2011)。本研究で用いた対象の知覚される幅を指標とすることによって、異なった事態における対象の向き知覚現象を比較することができるようになるのかもしれない。そうした観点から、今後、対象物の属性に応じた向きの不変性の強度の違いをより詳細に検討する必要があるだろう。

第6章 総合考察

6.1 研究の総括

本研究の目的は、肖像画に描かれた人物(対象人物)の顔の向きに関するモナリザ効果に着目し、モナリザ効果の生起と奥行き手がかりとの関係を明らかにすることであった。特に、肖像画の傾きを示す両眼視差と、顔のパーツの相対的な空間位置などの顔の向きに関する画像性手がかり(顔の画像性手がかり)との相互関係を検討した。第2章では、対象人物の顔の向きを直接判断させると、その知覚割合が主観よりも著しく低下するという報告を受け(Sato & Hosokawa, 2012)、対象人物の知覚される顔幅という指標を用いてモナリザ効果を評価できるか否かを確認した。肖像画を傾けた際、対象人物の顔幅が肖像画に正対したときよりも細く知覚されれば、肖像画の傾きを顔の向きの判断に活用していないと考えられるため、顔は観察者に正対して知覚されるが(モナリザ効果の生起)、肖像画を傾けても顔幅が肖像画に正対した時と同程度に知覚されれば、肖像画の傾きを顔の向きの判断にも活用していると考えられるため、顔は肖像画の傾きに応じて変化して知覚されると言える(モナリザ効果の非生起)。実験の結果、肖像画を傾けると対象人物の顔幅は肖像画を見込んだ時の幅、すなわち網膜像の幅に従うことを示すことができ、知覚される顔幅がモナリザ効果の評価指標として有効であることを示すことができた。この結果を受け、第3章以降の実験では、知覚される顔幅を指標としてモナリザ効果の生起強度を評価することとした。第3章では、モナリザ効果の生起と肖像画表面に分布する両眼視差との関連について検討した。肖像画を構成

する 3 つの部分, 絵画の背景, 画枠, 対象人物の顔部分のそれぞれに分布する両眼視差が, モナリザ効果の生起にどのように関わっているのかを詳細に検討した. その結果, 絵画の背景部分に分布する両眼視差はモナリザ効果の生起に関係していないことが明らかとなった. さらに, 画枠の形態変化としての画枠の画像性手がかりが存在しなければ, 画枠と顔部分の両眼視差はモナリザ効果の生起に活用されない可能性を示した. 第 4 章では, モナリザ効果と対象人物の顔の画像性手がかりとの関連を検討した. その結果, 顔の画像性手がかりの活用が困難である場合にはモナリザ効果の強度が低下することを示し, 目や鼻の相対位置・遮蔽関係として与えられる顔の画像性手がかりが, 対象人物の顔の向きの判断に支配的な役割を果たしていることを明らかにした. 第 5 章では, モナリザ効果の生起が人物の顔の画像性手がかりに依存するという第 4 章の結果をより詳細に検討するため, 描かれる対象が物体であるか否かによって, モナリザ効果と同様の対象の向きの不変性の生起強度が異なるかを検討した. 絵画に描かれた対象の向きの不変性が, 対象に特有の画像性手がかりに基づいて生じるのであれば, 対象が何らかの物体でなければ向きの不変性は生じないと考えられる. 実験の結果, 向きの不変性の強度は対象が空間である場合に弱まる傾向があり, 対象の向きの判断における画像性手がかりの支配性を示した.

モナリザ効果の生起を, 奥行き知覚の側面から検討した研究はこれまでにほとんど存在しなかった. 本研究の最大の意義は, モナリザ効果の生起と奥行き手がかりとの関連, 特に, モナリザ効果の生起時には対象人物の顔の画像性手がかりによって絵画表面の両眼視差が活用されなくなることを初めて定量的に示したことである. 両眼視差は従来考えられてきたほどに頑健ではなく, 奥行

き知覚において他の手がかりよりも無条件に優先的に重み付けされる情報ではないのかもしれない。本研究の結果は、モナリザ効果の生起のみならず、奥行き手がかりの統合過程の解明に対しても一石を投じる知見であると言える。

6.2 両眼視差の機能の抑制

奥行き手がかりの統合において、両眼視差は、画像性手がかりよりも低次かつ頑健で、最終的な奥行き知覚における決定性が高い手がかりであるとされてきた(e.g. Landy et al., 1995)。しかし、第3章では、モナリザ効果における両眼視差の役割は絶対的なものではなく、顔の画像性手がかりによってその機能が制限されることを示した。対象人物の背景に両眼視差を与えた場合においても加算的な効果は確認されず、顔の向き判断は顔の画像性手がかりに強く依存することが明らかとなった。なぜ対象人物の顔の向き知覚においては、両眼視差の機能が制限されるのだろうか。可能性の1つとして、顔の立体形状を知覚する際の顔に関する知識(制約条件)との関連が挙げられる。第3章の総合考察でも述べたとおり、視覚系は人物の顔が凸形状であるという強い知識を有すると考えられている(e.g. Gregory, 1970, 1997)。人物の顔の観察場面において、複数の矛盾する奥行きを示す手がかりが存在する場合は、人物の顔が凸型であるという知識が支配的な役割を果たすため、顔部分の両眼視差の機能が制限された可能性が考えられる。

第3章では、絵画表面の両眼視差は単独では顔の向き判断には活用されず、画枠の画像性手がかりとの相互作用が存在してはじめて活用されるようになることも明らかとなった。この結果は、画枠の画像性手がかりが存在すると、肖像画が1枚の物理的なキャンバスの表面に描かれている

という認識が強まり、その内部に与えられた両眼視差が顔の向きに活用されることを示している。両眼視差が与えられるのみでは、それらの両眼視差は肖像画の画面上に帰属しないが、画枠の画像性手がかりに囲まれることによって、画面全体がキャンパスの表面に定位され、対象人物の顔の向きの判断にも活用されると考えられる。一方で、画枠の画像性手がかりが存在していても、観察者の顔は肖像画の物理的な傾きに完全に従うことはなく、モナリザ効果が生じた。このことは、肖像画の内部に存在する世界は、観察者の存在する世界とは独立なものとして認識されていることを示している可能性がある。肖像画を観察する時、視覚系が、対象人物は観察者とは異なる独立した3次元世界に存在しており、観察者は窓を通して外にいる人物を眺めていると解釈しているならば、対象人物の顔は肖像画の物理的な傾きに従わなくても良い。絵画の画枠が窓枠として捉えられ、独立した3次元風景の一部を切り取っていると解釈されることが、モナリザ効果の生起の本質なのかもしれない。このような解釈が生じているならば、両眼視差の活用が阻害されるという現象は、対象が人物である場合にのみ生じる特殊なものではなく、一般的な絵画でも生じていると言えるだろう。2次元的に表現される3次元物体の向きが、モナリザ効果と同様に観察者と正対し続けることは先行研究においても報告されており (Goldstein, 1979, 1987; Koenderink et al., 1992; Koenderink et al., 2004)、本研究の第5章においても示したことであるが、一般的な絵画知覚とモナリザ効果とのメカニズム上の関連を明言しているものはほとんどない。対象人物の視線だけでなく顔の向きに着目することで、一般的な絵画知覚とモナリザ効果との関連を精査でき、両眼視差の活用が阻害されるメカニズムを明らかにすることが可能となる。

6.3 モナリザ効果における人物の顔の画像性手がかり

第4章では、倒立した顔画像に対するモナリザ効果は弱まったものの、輝度極性を反転させた顔画像に対してはモナリザ効果が弱まらなかったことから、対象人物の顔の向きの判断においては、目や鼻の相対的な空間位置として表れる顔の画像性手がかりが支配的である可能性を示した。このことは、モナリザ効果の生起に、対象物の認識の結果として供給されるトップダウンの情報と、そうした情報の供給の結果として可能となる顔の画像性手がかりの活用が強く関与していることを示す結果である。しかし、顔が顔として認識されてはじめて活用されるようになる顔の画像性手がかりが、顔パーツの相対的な位置関係および遮蔽関係により定義されるものであるか否かについては、議論の余地がある。対象が人物の顔であるか否かは、顔の輪郭や胴体の形態といった部分からでも判断することが可能であると考えられる。また、本研究で用いた人物刺激はすべて左右対称な位置に耳があったことから、目・鼻・口といった顔面に配置された顔パーツだけでなく、耳に着目することでも顔の向きは推定が可能である。対象の顔としての認識に重要な部位や、顔の向きの知覚に活用される顔の画像性手がかりは顔のどの部分に由来するのかについては、今後、詳細に検討する必要があるだろう。

6.4 対象のタイプによる向きの不変性の強度

第4章では、対象人物の顔の向きは顔の画像性手がかりに基づいて知覚されることを明らかにした。このことは、絵画に描かれる顔以外の物体の向きも、顔と同様に対象物に特有の画像性手がかりに依存した判断となる可能性が考えられる。もしそうであれば、モナリザ効果と同様の向きの不

変性は、対象が物体である場合にのみ生じ、建物に挟まれた通路のような空間においては生じない可能性が考えられる。実験の結果、建物または奥行き方向に伸びる道が写る画像を傾けた時、対象の知覚される横幅は、道の場合のほうが過小視されにくいことを示唆する結果を得た。このことは、対象が空間の場合は、物体である場合よりもその向きの判断に画像の傾きが活用されやすいことを示しており、対象の向きの判断が対象の画像性手がかりに依存するという仮説を支持する結果である。

本研究の結果に基づくと、絵画などの2次元画像に描かれた、顔を含む物体の向きに関しては、物理的存在としての画像全体の傾き情報が活用されないと考えられる。そのため、奥行き方向に伸びる道の画像において、空間を定義していた両側の建物は、観察者と正対して知覚されると考えられる。この場合、2つの建物や壁に挟まれた空間の幅は、そこに建物などの物体が存在する場合に比べ細く知覚されるはずである。しかし、第5章で行った実験の結果は、そうした空間の幅は予想とは逆に広く知覚されることを示した。このことは、空間(道)の向きは観察者と正対したながらも傾向をもつことを示している。こうした結果が、対象が空間であったことにより生じたものであるならば、絵画に描かれる対象が物体か否かによって、あるいは、対象物のタイプによって、絵画などの2次元画像の傾きを示す奥行き手がかりの活用度合いが異なる可能性がある。

これまでも述べたとおり、絵画に描かれた対象物は、人物に限らず絵画を傾けても観察者に正対し、モナリザ効果と同様の現象が生じる(Goldstein, 1979, 1987; Koenderink et al., 1992; Koenderink et al., 2004)。しかし、対象物のカテゴリやタイプの違いと向きの不変性の生起強度とい

う点に着目した検討は行われてこなかった。その理由の 1 つとして、研究ごとに対象物の向きを評価する指標が異なることが挙げられる。先行研究では、傾いた絵画中の対象物の向きを、複数のパッチの傾きを対象物の局所的な面の傾きと一致させるように 3 次元的に操作させる (Koenderink et al., 1992; Koenderink et al., 2004)、対象物の見えと同一になるよう 3 次元空間内でオブジェクトを配置させる (Goldstein, 1987)、ポインターを用いて対象物の正面の位置を指し示す (Goldstein, 1979)、対象物の立体感や剛体性の印象を回答させる (Cutting, 1987)、対象物の幅と奥行きを報告させる (Vishwanath, Girshi, & Banks, 2005) など、様々な方法が用いられてきた。絵画や写真の奥行き感や向きの知覚については、用いる指標によってその傾向が異なる可能性があることも指摘されている (Vishwanath, 2011)。こうしたことから、対象物のタイプごとの向きの知覚の傾向を検討するためには先行研究の単純な比較では不十分であり、汎用性の高い統一的な指標を用いる必要がある。本研究で用いた、傾けた画像中の対象物の知覚される横幅は、そうした目的に用い得る統一的な指標となる可能性を持つ。こうした指標を用いて統一的な検討を行うことで、モナリザ効果に対する物体のタイプの違いの効果をさらに詳細に検討することができるようになるだろう。

空間の向きが観察者と正対して知覚されづらいということは、空間と物体ではその処理系統が異なっており、そのために向きの知覚の程度にも差が生じた可能性も示している。神経心理学的研究においては、物体と空間の認識は機能的にも神経基盤的にも異なる処理を経ていると考えられている (McCarthy & Warrington, 1990; Rapport, Millis, & Bonello, 1998; Warrington & James, 1988; Warrington & Rabin, 1970)。例えば、対象物を掴んだり避けたりすることができるにもかかわらず、

その物体が何であるかを認識することができない視覚失認患者は、物体認知はできないが物体の空間内での位置は知覚できることが知られている (e.g. McCarthy & Warrington, 1990). また、物体認知と空間知覚の両方に障害が生じる場合でも、空間知覚と比較して物体認知の障害は比較的軽いことや (Mishkin & Manning, 1978), 物体認知と空間知覚のどちらか一方の障害の程度から他方の障害の程度を予測することはできないことが知られており (McCarthy & Warrington, 1990), 物体と空間の知覚処理は独立であると考えられている。さらに、物体認知と空間知覚は異なる皮質経路を介していることも示されている (Mishkin, Ungerleider, & Marcko, 1983). 以上の知見を踏まえると、第 5 章の結果は、物体認識と空間知覚の処理の違いが反映された結果である可能性もある。視覚系の主たる機能的意義は「物体」を見ることであると考えられてきたことから、空間の知覚に関する検討は物体の知覚・認知に比べ進んではない。しかし、世界は物体と空間から成り立っており、また、視覚系には、上記のように「物体」以外に、空間を見るための機能も備えられているのであるから、こうした空間知覚の側面、物体の知覚・認知と、空間の知覚・認知の比較研究の必要性は高いと言えよう。

6.5 形の恒常性とモナリザ効果

本研究では、対象人物の知覚される顔幅を指標としてモナリザ効果の生起強度を評価した。形の恒常性は、主として対象物の傾きの情報と、物体の形態に関する事前の知識の相互作用により生じると考えられている (e.g. Pizlo, 1994). 人物の顔の形態は自由度が高く事前知識が形成されにくいことから (Fuentes et al., 2013), 本研究では、基本的に、人物の顔幅の網膜像の補正は、トップ

ダウンの知識ではなくボトムアップな対象物の傾き情報に基づいて生じると仮定した。第2章では、顔画像を傾けると顔幅は観察者が画像を見込んだ時の物理的な幅、すなわち網膜像の幅に従って単調変化することを示した。この傾向は、顔画像を単眼観察した場合よりも、両眼観察した場合に弱まった。第3章においても、対象人物の顔または画枠のどちらか一方に両眼視差を与えると、第2章の両眼観察下と同程度に弱い顔幅の過小視が確認された。このことは、両眼視差に基づく画像の傾きが得られる時、形の恒常性が生起し、顔幅が画像に正対した時に近い幅に知覚されることを示している。知覚される顔幅は、画像の傾き情報の活用具合を反映していると解釈できることから、主観的な顔幅は、モナリザ効果の評価指標として妥当であると言える。

一方で、第5章においても、建物の画像を傾けるとその横幅が細く知覚されるという結果が得られた。このことは、対象が顔以外の場合においても、その向きの判断に画像の傾き情報が活用されず、形の恒常性が生じにくいことを示していると言える。形の恒常性の事前知識の働きに関する先行研究では、円や長方形、台形といった幾何学的な図形が多く用いられることから (Edelman & Bulthoff, 1992; Hake & Myer, 1969; King et al., 1976; Michelle & Taylor, 1999; Poggio & Edelman, 1990; Quinlan & Allen, 2018; Ropar & Mitchell, 2002), 形の恒常性の生起において事前知識が関与する場合は限られているのかもしれない。しかし、第5章で用いた建物画像は、建物の鋭角的な角を写したものであり、建物の典型的な姿、直角な角を写したものではなかった。対象物の典型的な見えは、対象物の方向の知覚や奥行き知覚に影響するという先行研究 (Niimi & Watanabe, 2013) を考慮に入れると、建物の典型性が低かったことによって、建物の形態に関する事前知識が

作用しづらかった可能性も考えられる。知覚される幅を指標としたモナリザ効果の評価の妥当性については、さらなる検討が必要であろう。

本研究では、肖像画を傾けると対象人物の顔幅が細く知覚されることを示したが、実際の絵画鑑賞場面においては、そのような歪みに対する違和感を抱くことはほとんどない。映画館で映画を鑑賞する際、スクリーン中央の延長線上ではなく、端の方の席から斜めに見ていても、映画に登場する人物の顔が極端に細く見えたり、歪んでいるように感じることはない。このことは、傾きや知識に基づく形の恒常性の生起が不完全であっても、我々の視覚はそうした物理的な歪みにあまり敏感ではないことを示している。絵画や映画などを鑑賞する場面を想定した先行研究の結果は、視覚系がスクリーン上の対象を斜めから観察することで生じる歪みには敏感でなく、すぐに順応してしまうことを示している(Busey, Brandy, & Cutting, 1990)。顔の形態に注意を向けて判断を行う場合と注意を向けない場合では、形の恒常性の生起具合に対する印象評価は異なるのかもしれない。

6.6 先行研究との関連

モナリザ効果に関する先行研究は、対象人物の視線方向の知覚に着目しているものが多い。3次元的の人物と肖像画の対象人物の視線方向の知覚の違いや(Bruce & Young, 1998; Rogers et al., 2003; Todorović, 2006)、対象人物の頭部と眼球の回転方向との関係(Boyarskaya & Hecht, 2012; Maruyama et al., 1985; Todorović, 2006)、対象人物の瞳孔の偏心度(Todorović, 2009)が、モナリザ効果に与える影響について検討されてきた。しかし、本研究では、対象人物の顔の向きについてのモナリザ効果に着目し、モナリザ効果が、両眼視差と顔の画像性手がかりとの相互関係

により生じていることを示した。本研究の結果は、視線に関するモナリザ効果においても、画像性手がかりと奥行き手がかりの相互作用という観点に基づき検討を行う必要があることを示唆している。視線の場合は、頭部と眼球という 2 つの異なる部位の回転の間の相互作用を考える必要がある。さらに、頭部、つまり顔全体に加え、眼裂・眼球間（白目と黒目）の画像性手がかりも考慮に入れる必要がある。視線のモナリザ効果に関しても、こうした要素をすべて考慮に入れた上で、より包括的な生起メカニズムの検討が望まれる。

奥行き知覚の研究において、立体構造の知覚に対する両眼視差の優位性が低い例として広く知られているものに、凹面顔錯視 (Hollow-face illusion) がある。これは、お面の内側のように、物理的には凹形状をもつ顔の場合であっても、顔が凸形状に知覚されるというものである (Gregory, 1970, 1997)。この錯視は、一般に、人間は「人物の顔は凸形状である」という強い制約条件を有しているため、顔部分の両眼視差が顔が凹型であることを示していても、その情報が活用されず当該部分の形態が凹ではなく凸形状に知覚されると説明される (Yellott & Kaiwi, 1979; Papathomas, 2017b)。本研究の一連の実験では、モナリザ効果も凹面顔錯視と同様に、顔の画像性手がかりが顔の向きの知覚に支配的な役割を果たし、両眼視差の活用を阻害することを示した。このことから、この 2 つの現象はその生起メカニズムを共有している可能性が考えられる。さらに、逆遠近法錯視 (リバーズ・パースペクティブ, reverse-perspective) とアナモルフォシス (anamorphosis) も、モナリザ効果・凹面顔錯視と同様に、両眼視差がキャンバスの構造の知覚に活用されにくいことで生じると考えられる。逆遠近法錯視とは、遠近法的な奥行き手がかりをもつ絵画に、遠近法が示す奥行きと

は逆の両眼視差を与えても、視差情報は無視され、遠近法(画像性)手がかりに従った奥行き知覚が生じる現象を指す(e.g. Papathomas, 2017a). アナモルフォシスとは、一見すると何が描かれているのかわからないほど歪んでいるが、特定の位置から見ると意図した通りに見えるような絵画および描画技法を指す(Topper, 2000). どちらも、両眼性手がかりが豊富に存在する状況で、両眼視差が無効化される現象とみなすことができることから、モノリザ効果と共通の生起要因を有すると考えられる。しかし、本研究での刺激の視距離は 57 cm であり、凹面顔錯視と逆遠近法錯視が生じにくいとされる距離範囲において、モノリザ効果の生起時に両眼視差が無効化されることを示した。このことは、モノリザ効果は、これらの諸現象とは異なるメカニズムに基づいて生じることを示しているのかもしれない。これらの錯視現象とモノリザ効果との関連を検討することによって、モノリザ効果における両眼視差の無効化、ひいては奥行き知覚における両眼視差の役割を明らかにすることが可能となることが期待される。

本研究では、モノリザ効果を、両眼視差と顔の画像性手がかりとの相互作用という観点から検討した。肖像画だけでなく一般的な絵画知覚においても、絵画の傾きと画家が意図した観察視点からの見えの差異は問題となる。絵画知覚の研究においては、絵画を斜めから観察すると、視覚系は、その傾き情報を元に絵画本来の観察視点、すなわち画家の視点へと自身の視点を仮想的に移動させ、移動した先からの見えを得るとする知覚メカニズムが提案されている(Hagen, 1974; Pirenne, 1970). 観察者の視点自体が移動することにより、傾いた絵画を観察しても違和感を抱かないと説明される。モノリザ効果の説明にも、このような視点の移動という要因を組み込む必要が

あるかもしれない。しかし、視点の移動が完全に生じれば、常に完全なモノリザ効果が生じるはずである。また、傾きに基づく網膜像の幾何学的な修復、つまり形の恒常性が完全に生じていれば、視点を移動させること無く絵画本来の視座からの見えを復元することが可能であるとも考えられる。しかし、実際には、不完全なモノリザ効果という中間的な知覚体験が生じてくる。絵画知覚一般にかかわる基本的な問題として、モノリザ効果の生起条件をさらに深く検討する必要があるだろう。

6.7 結論

本研究では、モノリザ効果の成立の機序を、一連の実験を通じて検討してきた。本論文を終えるにあたり、本研究の結果を踏まえ、モノリザ効果生成の機序の全体像を提案してみたい(図 6-1)。ここでは、議論を明確にするために肖像画(人物の顔)を観察する場合のみを考える。傾いた肖像画を観察すると、肖像画の背景、対象人物の顔、画枠に与えられる両眼視差と、それぞれの画像性手がかりが、視覚系に入力される。キャンバス表面の局所的な両眼視差は、VI をはじめとする初期視覚野において検出・統合され、1 枚の物理的なキャンバス面の傾きの表象が生成される。この両眼視差の検出とそれに基づく傾きの内部表象は、肖像画の観察時点で自動的かつ無意識的に行われる処理であると考えられる。一方、これと並行して、対象人物の顔、画枠の形態的特徴に対して、初期視覚野にて局所的な方位や明るさの検出といったパターン処理が生じる。このパターン処理の結果から、直接、顔や画枠の傾きに関する情報を抽出することも可能であると考えられる。さらに、顔のパターン処理に関しては、それらの処理情報が高次の視覚処理段階に到達すると、対象物が何であるかという認識が生じる。この対象認識の処理段階で、対象が顔であるという認識

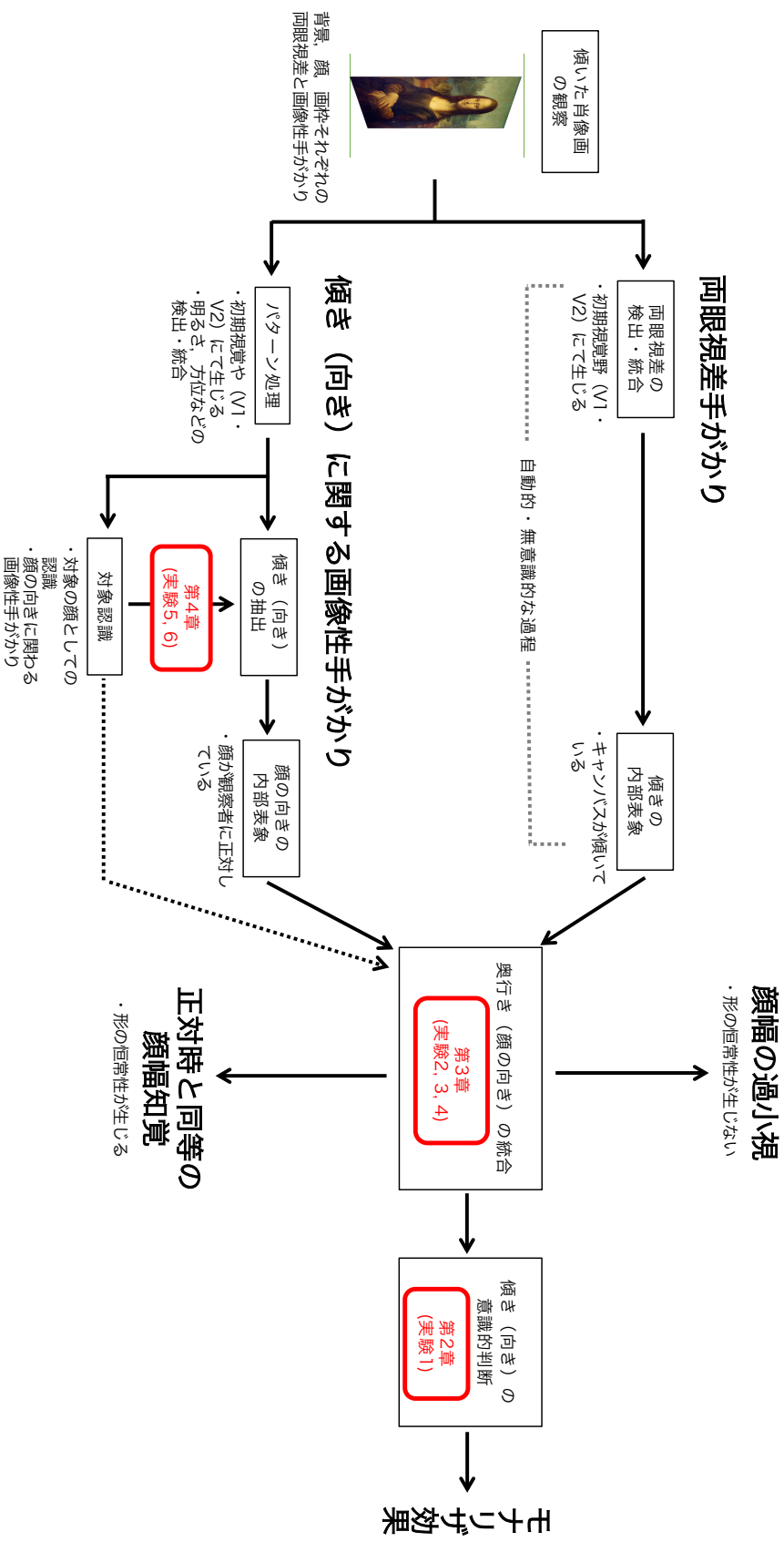


図 6-1. 本研究の結果を踏まえた、モナリザ効果の成立機序の全体像。赤字は、本研究の一連の実験で明らかになったと考えられる部分である。

が生じ、それに伴い顔に特有の「向き」に関する知識も駆動されると考えられる。本研究の第4章では、顔らしさの高低を操作することにより顔の画像性手がかりの活用容易性を操作したが、これはこの対象認識の処理段階に関係していると考えられる。顔の認識とそれに関連する向きの知識は、パターン認識から直接抽出された傾きの情報と統合され、それに基づき顔の向きについての表象が生成されると考えられる。ここでの顔の向きの表象は、顔が観察者に正対していることを示すものとなる。

このようにして得られた両眼視差と画像性手がかりに基づく傾きの表象は、奥行き(向き)情報の統合過程において統合される。両眼視差の表象に完全に依存した統合がなされれば、完全な形の恒常性が生じるため顔幅は細くは知覚されない。逆に、顔の傾きの表象に完全に依存する統合がなされるならば、形の恒常性は機能しないため顔幅は細く知覚される。つまり、ここでの両表象の統合の度合いが、形の恒常性の生起、すなわち知覚される顔幅を決定すると考えられる。モナリザ効果の生起に関しても、これと同様に、両眼視差の表象に完全に依存するならば、顔の向きは両眼視差の表象の傾きに従って変化して知覚されるが、画像性手がかりの表象に完全に依存するならば、顔は完全に観察者と正対して知覚される。本研究の一連の実験において、モナリザ効果の生起時には、両眼視差の機能が抑制されることを示した。この結果は、この奥行き情報の統合過程に関連した結果であったと考えられる。

残された課題は、なぜモナリザ効果の生起時には両眼視差が抑制されるのか、抑制は視覚処理のどの段階において生じるのか、そのメカニズムを詳細に検討することにある。上述の通り、両眼

視差の検出は低次かつ自動的な処理であり、視覚系の内部表象としては生成されているものと考えられる。両眼視差の機能的な抑制は、奥行き情報の統合過程において生じると考えられるが、肖像画の観察時には一般的な立体視場面は異なり、内部表象の生成時点ですでに抑制が生じ、強力な傾きの表象が生成されていない可能性も考えられる。また、両眼視差に基づく傾きの表象が通常の立体視と同等に強く生成されていたとして、奥行きの統合過程において活用されなかった情報はどのように失われるのかについても疑問が残る。モナリザ効果における奥行き手がかりの関連、画像性の奥行き手がかりと両眼視差の関係をさらに検討することで、肖像画のみならず、写真や絵画と言った2次元的に表現された3次元空間の知覚一般のメカニズムを解明していく必要があるだろう。

引用文献

A B C

Anstis, S. M., Mayhew, J. W., & Morley, T. (1969). The perception of where a face or television's portrait is looking. *The American journal of psychology*, **82**(4), 474-489.

Beck, J., & Gibson, J. J. (1955). The relation of apparent shape to apparent slant in the perception of objects. *Journal of Experimental Psychology*, **50**(2), 125-133.

Boyarskaya, E., & Hecht, H. (2012). Differentiating the differential rotation effect. *Acta Psychologica*, **140**(3), 252-265.

Boyarskaya, E., Sebastian, A., Bauermann, T., Hecht, H., & Tüscher, O. (2015). The Mona Lisa effect: Neural correlates of centered and off-centered gaze. *Human Brain Mapping*, **36**(2), 619-632.

Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, **10**(4), 433-436.

Bruce, V., & Langton, S. (1994). The use of pigmentation and shading information in recognising the sex and identities of faces. *Perception*, **23**(7), 803-822.

Bruce, V., & Young, A. (1998). In the eye of the beholder: The science of face perception. Oxford: Oxford University Press.

Bruno, N. & Cutting, J. E. (1988). Minimodularity and the perception of layout. *Journal of Experimental Psychology: General*, **117**, 161-170.

Busey, T. A., Brady, N. P., & Cutting, J. E. (1990). Compensation is unnecessary for the perception of faces in slanted pictures. *Perception & Psychophysics*, **48**(1), 1–11.

Bülthoff, H. H., & Mallot, H. A. (1988). Integration of depth modules: stereo and shading. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics and Image Science*, **5**(10), 1749-1758.

Cline, M. G. (1967). The perception of where a person is looking. *American Journal of Psychology*, **80**(1), 41–50.

Cutting, J. E. (1987). Rigidity in cinema seen from the front row, side aisle. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **13**(3), 323.

D E F

Dosher, B. A., Sperling, G., & Wurst, S. A. (1986). Tradeoffs between stereopsis and proximity luminance covariance as determinants of perceived 3D structure. *Vision research*, **26**(6), 973-990.

Edelman, S., & Bülthoff, H. H. (1992). Orientation dependence in the recognition of familiar and novel views of three-dimensional objects. *Vision research*, **32**(12), 2385-2400.

Epstein, W., & Park, J. N. (1963). Shape constancy: Functional relationships and theoretical formulations. *Psychological Bulletin*, **60**(3), 265–288.

Fuentes, C. T., Runa, C., Blanco, X. A., Orvalho, V., & Haggard, P. (2013). Does My Face FIT?: A Face Image Task Reveals Structure and Distortions of Facial Feature Representation. *PLoS ONE*, **8**(10), 1–9.

GHI

Galper, R. E. (1970). Recognition of faces in photographic negative. *Psychonomic Science*, **19**(4), 207-208.

Galper, R. E., & Hochberg, J. (1971). Recognition memory for photographs of faces. *The American journal of psychology*, **84**(3), 351-354.

Gibson, J. J., & Pick, A. D. (1963). Perception of another person's looking behavior. *The American journal of psychology*, **76**(3), 386-394.

Gillam, B., Blackburn S., & Brooks, K. (2007). Hinge versus twist: The effects of 'reference surfaces' and discontinuities on stereoscopic slant perception. *Perception*. **36**(4), 596-616.

Goldstein, E. B. (1979). Rotation of objects in pictures viewed at an angle: Evidence for different properties of two types of pictorial space. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **5**(1), 78–87.

- Goldstein, E. B. (1987). Spatial Layout, Orientation Relative to the Observer, and Perceived Projection in Pictures Viewed at an Angle. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **13**(2), 256–266.
- Gregory, R. L. (1970). *The intelligent eye*. New York: McGraw-Hill.
- Gregory, R. L. (1997). Knowledge in perception and illusion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, **352**(1358), 1121-1127.
- Hanada, M. (2005). Phenomenal regression to the frontal and natural picture. *Vision Research*, **45**(22), 2895–2909.
- Hagen, M. A. (1974). Picture perception: Toward a theoretical model. *Psychological Bulletin*, **81**(8), 471–497.
- Hay, D.C., Young, A.W. (1982). The human face. In Ellis AW (Eds.). *Normality and Pathology in Cognitive Functions*, Academic Press, London
- Hake, H. W., & Myers, A. E. (1969). Familiarity and shape constancy. *Journal of Experimental Psychology*, **80**(2, Pt.1), 205–214.
- Hecht, H., Boyarskaya, E., & Kitaoka, A. (2014). The Mona Lisa effect: Testing the limits of perceptual robustness vis-à-vis slanted images. *Psihologija*, **47**(3), 287–301.
- Horstmann, G., & Loth, S. (2019). The Mona Lisa Illusion—Scientists See Her Looking at Them Though She Isn't. *i-Perception*, **10**(1), 1–5.

Howard, I. P., Fujii, Y., Allison, R. S., & Kirillos, R. (2014). Shape constancy measured by a canonical-shape method. *Vision Research*, **94**, 33–40.

J K L

Johnston, E. B., Cumming, B. G., & Parker, A. J. (1993). Integration of depth modules: Stereopsis and texture. *Vision Research*, **33**(5), 813-826.

Kemp, R., McManus, C., & Pigott, T. (1990). Sensitivity to the displacement of facial features in negative and inverted images. *Perception*, **19**(4), 531–543.

Kemp, R., Pike, G., White, P., & Musselman, A. (1996). Perception and recognition of normal and negative faces: the role of shape from shading and pigmentation cues. *Perception*, **25**(1), 37-52.

King, M., Meyer, G. E., Tangney, J., & Biederman, I. (1976). Shape constancy and a perceptual bias towards symmetry. *Perception & Psychophysics*, **19**(2), 129–136.

Koenderink, J. J., Van Doorn, A. J., & Kappers, A. M. (1992). Surface perception in pictures. *Perception & Psychophysics*, **52**(5), 487-496.

Koenderink, J. J., Van Doorn, A. J., Kappers, A. M. L., & Todd, J. T. (2004). Pointing out of the picture. *Perception*, **33**(5), 513–530.

Landy, M. S., Maloney, L. T., Johnston, E. B., & Young, M. (1995). Measurement and modeling of depth cue combination: in defense of weak fusion. *Vision Research*, **35**(3), 389–412.

Langdon, J. (1951). The perception of changing shape. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **3**, 157–165.

Langdon, J. (1955a). The role of spatial stimuli in the perception of shape. Part I. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **7**, 19–27.

Langdon, J. (1955b). The role of spatial stimuli in the perception of shape. Part II. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **7**, 28–36.

Leder, H. (1996). Line drawings of faces reduce configural processing. *Perception*, **25**, 355-366

Leibowitz, H., & Bourne, L. E. (1956). Time and intensity as determiners of perceived shape. *Journal of Experimental Psychology*, **51**(4), 277–281.

M N O

Maruyama, K., Endo, M., & Sakurai, K. (1985). An experimental consideration on “Mona Lisa gaze effect”. *Tohoku Psychologica Folia*, **44**, 109–121.

Marr, D. (1982). *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. Henry Holt and Co. Inc., New York, NY.

McCarthy, R.A., & Warrington, E.K. (1990). *Cognitive neuropsychology*. San Diego, CA: Academic Press.

Mitchell, P., & Taylor, L. M. (1999). Shape constancy and theory of mind: Is there a link? *Cognition*, **70**(2), 167–190.

Mishkin, M., & Manning, F. J. (1978). Non-spatial memory after selective prefrontal lesions in monkeys. *Brain Research*, **143**(2), 313–323.

Mishkin, M., Ungerleider, L.G., & Macko, K. (1983). Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trends in Neuropsychology*, **6**, 414-417.

Moors, P., Verfaillie, K., Daems, T., Pomianowska, I., & Germeys, F. (2016). The effect of head orientation on perceived gaze direction: Revisiting gibson and pick (1963) and cline (1967). *Frontiers in Psychology*, **7**(AUG), 1–11.

Nicolaus Cusanus (1453) De Visione Dei. In Riemann, A, D. (ed). (2000) Nicolai de Cusa opera omnia / iussu et auctoritate Academiae Litterarum Heidelbergensis ad codicum fidem edita. VI, De Visione Dei.,Hamburg. (クザーヌス 八巻和彦(訳) (2001). 神を観ることについて 他二篇. 岩波文庫)

Niimi, R., & Watanabe, K. (2013). Contextual effects of scene on the visual perception of object orientation in depth. *Plos One*, **8**(12), e84371.

P Q R

Papathomas, T. V. (2017a). Revers-perspective art and objects – Illusions in depth and motion. In A.

G. Shapiro, & D. Todorović, (Eds.), *The oxford compendium of visual illusions*. (pp. 275-282).

New York, NY: Oxford University Press.

Papathomas, T. V. (2017b). The hollow-mask illusion and variations. In A. G. Shapiro, & D. Todorović,

(Eds.), *The oxford compendium of visual illusions*. (pp. 614-619). New York, NY: Oxford

University Press.

Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into

movies. *Spatial Vision*, **10**(4), 437-442.

Pirenne, M. (1970). *Optics, painting and photography*. Cambridge, England: Cambridge University

Press.

Pizlo, Z. (1994). A theory of shape constancy based on perspective invariants. *Vision Research*, **34**(12),

1637–1658.

Poggio, T. & Edelman, S. (1990). A network that learns to recognize three-dimensional objects.

Nature, London, **343**, 263-266.

Prytz, E., & Scerbo, M. W. (2012). Spatial judgments in the horizontal and vertical planes from

different vantage points. *Perception*, **41**(1), 26–42.

- Quinlan, P. T., & Allen, K. (2018). The nature of shape constancy mechanisms as revealed by shape priming. *Journal of Vision*, **18**(6), 1–17.
- Rapport, L. J., Millis, S. R., & Bonello, P. J. (1998). Validation of the Warrington theory of visual processing and the Visual Object and Space Perception Battery. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, **20**(2), 211-220.
- Rock, I. (1974). The perception of disoriented figures. *Scientific American*, **230**(1), 78-86.
- Rogers, B. J. & Collett, T. S. (1989). The appearance of surfaces specified by motion parallax and binocular disparity. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **41A**, 697–717.
- Rogers, S., Lunsford, M., Strother, L., & Kubovy, M. (2003). The Mona Lisa effect: Perception of gaze direction in real and pictured faces. In S. Rogers & J. Effken (Eds.) *Studies in Perception and Action VII*, pp.19–24. Psychology Press.
- Rosinski, R. R., & Farber, J. (1980). Compensation for viewing point in the perception of pictured space. In M. A. Hagen (Ed.), *The perception of pictures: Vol. 1. Alberti's window: The projective model of pictorial information*, pp. 137-176. New York: Academic Press.
- Ropar, D., & Mitchell, P. (2002). Shape constancy in autism: The role of prior knowledge and perspective cues. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, **43**(5), 647–653.

S T U

Sato, T., & Hosokawa, K. (2012). Mona Lisa effect of eyes and face. *i-Perception*, **3**(9), 707-707.

Smith, M. A. (1996). Ptolemy's theory of visual perception: An English translation of optics with introduction and commentary. Philadelphia, PA: The American philosophical society.

Thouless, R. H. (1931a). Phenomenal regression to the real object. Part I. *The British Journal of Psychology*, **21**(4), 339–359.

Thouless, R. H. (1931b). Phenomenal regression to the real object. Part II. *The British Journal of Psychology*, **22**(1), 1–30.

Thouless, R. H. (1932). Individual differences in phenomenal regression. *The British Journal of Psychology*, **22**(3), 216–241.

Todorović, D. (2005). Geometric and perceptual effects of the location of the observer vantage point for linear-perspective images. *Perception*, **34**(5), 521–544.

Todorović, D. (2006). Geometrical basis of perception of gaze direction. *Vision Research*, **46**(21), 3549–3562.

Todorović, D. (2008). Is pictorial perception robust? The effect of the observer vantage point on the perceived depth structure of linear-perspective images. *Perception*, **37**(1), 106–125.

Todorović, D. (2009). The effect of face eccentricity on the perception of gaze direction. *Perception*, **38**(1), 109–132.

Todorović, D. (2017). The Mona Lisa gaze effect. In A. G. Shapiro, & D. Todorović, (Eds.), *The oxford compendium of visual illusions*. (pp. 639-647). New York, NY: Oxford University Press.

Topper, D. (2000). On anamorphosis: Setting some things straight. *Leonardo*, **33**(2), 115-124.

V W X Y Z

Vishwanath, D. (2011). Information in surface and depth perception Reconciling pictures and reality.

In L. Albertazzi, G. van Tonder, & D. Vishwanath (Eds.), *Perception beyond inference: The information content of visual processes* (pp. 201–240). Cambridge, MA: MIT Press.

Vishwanath, D., Girshick, A. R., & Banks, M. S. (2005). Why pictures look right when viewed from the wrong place. *Nature neuroscience*, **8**(10), 1401-1410.

Warrington, E. K., & James, M. (1988). Visual apperceptive agnosia: a clinico-anatomical study of three cases. *Cortex*, **24**(1), 13-32.

Warrington, E. K., & Rabin, P. (1970). Perceptual matching in patients with cerebral lesions. *Neuropsychologia*, **8**(4), 475-487.

Yellott Jr., J. I., & Kaiwi, J. L. (1979). Depth inversion despite stereopsis: the appearance of random-dot stereograms on surface seen in reverse. *Perception*, **8**, 135–142.

Yin, R. K. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology*, **81**(1), 141-145.

Young, M. J., Landy, M. S. & Maloney, L. T. (1993). A perturbation analysis of depth perception

from combinations of texture and motion cues. *Vision Research*, **33**(18), 2685-2696.

Zimmerman, G. L., Legge, G. E., & Cavanagh, P. (1995). Pictorial depth cues: a new slant. *Journal*

of the Optical Society of America A, **12**(1), 17.

謝辞

本研究を遂行し、博士学位論文としてまとめるにあたり、たくさんの方々からのご支援とご指導を賜りました。指導教官の立命館大学総合心理学部の佐藤隆夫教授には、修士課程在学中から、多大なるご指導を賜りました。知覚心理学が何たるかも知らずに研究室に所属し、ただ焦り右往左往していた私を、終始暖かく見守ってくださり、ときに厳しくお導きくださいました。また、研究のご指導のみならず、心理学者として、研究者としてのあるべき姿もご教示くださいました。佐藤教授に出会っていなかったら、知覚研究の美しさや面白さに魅せられることも、ましてや博士課程に進んで研究者として歩む決意をすることもなかったことと思います。心より感謝の念を申し上げます。

副査をお引き受けくださいました、立命館大学総合心理学部の北岡明佳教授、豊橋技術科学大学大学院工学研究科の北崎充晃教授には、学位審査の過程で、仔細にわたりの確なご指摘とご助言をいただきました。北岡教授には、立命館大学文学研究科博士課程後期課程への進学にあたり、研究室に所属させていただき、現象としての知覚研究の素晴らしさをご教示いただきました。本学の恵まれた環境で研究に打ち込むことができ、本論文が今ある形になり得たのも先生方のご指導のおかげと、深く感謝申し上げます。

東京女子大学現代教養学部の田中章浩教授には、実験心理学に興味をもつきっかけを与えていただきました。大学院に進学後も、折りに触れ温かいご助言とご指導を賜り、今日まで研究を続けることができました。ここに厚く御礼申し上げます。熊本大学人文社会科学部研究部の藤井芳孝氏

には、本研究の遂行にあたり、研究計画の立案や実験プログラムの作成等で多大なご助力を賜りました。藤井さんのご助力なくして、本研究の完成はありえませんでした。深く感謝申し上げます。

研究室の先輩である金谷英俊氏、細川研知氏には、修士課程在学中から、研究の進め方や実験の作法等について日常的に有益なご助言をいただきました。金谷氏には、博士課程に進学後、身近に知覚研究について相談できる機会が少なかった時期から、多大なるご助力をいただきました。ご自身もお忙しい中、後輩である私のことを気にかけて、議論に時間を割いてくださいました。誠に感謝申し上げます。

文学研究科の先輩である中田友貴氏、同期であった戴子堯氏、西田勇樹氏とは、博士課程進学直後から、最も身近で様々な相談に乗っていただき、ともに競い合い、励まし合いながら充実した研究生生活を送ることができました。中田氏と奥様の亜希乃氏には、博士学位の申請手続きや校正等で大変なご助力をいただきました。ここに感謝申し上げます。

研究室の後輩である大橋佳奈氏には、たびたび実験参加にご協力いただき、また私との他愛もない会話に付き合ってくださいなど、良き友人でもあってくれました。研究室の卒論生であった京都大学大学院の三原萌愛氏には、本研究第5章の実験実施にあたり、多くのお力添えをいただきました。その他、お名前を挙げることはできませんが、多くの方々に、何千試行という長時間に渡る実験にご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

未筆になりましたが、大学院在学中、常に私を支え続けてくれた、父と母、弟に感謝の意を捧げます。研究者を目指すという私の決意を尊重し、支えてくれた家族がいなければ、今の私はありません。

未熟な身ではありますが、ここまで支えてくださったみなさまへの感謝を胸に、これからもさらに研究に邁進し、心理学、そして科学の発展に貢献できるよう精進していく所存です。