

Plasticity of face processing in infancy

Among the numerous visual inputs that we receive each moment, the human face is perhaps one of the most salient. The importance of the many signals it conveys (e.g., emotion, identity, direction of eye gaze, etc.) and the speed and ease (①) adults typically process this information are compelling reasons to suppose that brain circuits specialized for processing faces may exist. However, there is still considerable debate as to whether face processing is a truly special perceptual process and is organized as such at birth, or, instead, has its origin in a more general-purpose perceptual system that becomes specialized with experience.

Developmental studies can provide important information to constrain the claims of the different sides of ②this debate. It is well documented that experience is crucial for the normal development of many perceptual and cognitive functions, such as speech perception. For example, before 6–8 months of age, infants are able to ③discriminate among a wide range of phonemes*. This ability tends to narrow with repeated exposure to phonemes in the infant's native language, and a lack of exposure to phonemes outside the native language. However, Kuhl *et al.* recently demonstrated that some experience with nonnative languages from 9 months of age facilitates the maintenance of this ability at 12 months. The same pattern of results is observed in infants raised in a bilingual environment. ④Nelson has suggested that the systems underlying face processing may be similarly sculpted by experience with different kinds of faces. Although the pattern of development across speech and face processing may be similar, it is unlikely that the mechanisms and developmental trajectory* underlying these different perceptual systems are the same.

Indeed, recent developmental studies have ⑤underscored the importance of visual experience in the development of face processing. For example, patients with congenital cataracts* who were deprived of patterned visual input for the first months of life demonstrate intact object processing but subtle deficits in face processing. Moreover, when patients whose visual input had been restricted mainly to one hemisphere during infancy were examined, it was found that visual input to the right hemisphere, but not the left hemisphere, was critical for expert levels of face processing to develop. This result ⑥is consistent with a model put forth by de Schonen and Mathivet concerning the precocity* of the development of the right hemisphere and its involvement in face processing.

In addition, Quinn *et al.* demonstrated that ⑦the social environment also influences the tuning of face processing during the first months of life. They have shown that 3-

month-old infants prefer to look at female faces when paired with male faces. This preference may reflect a gender bias of the face prototype toward the primary caregiver, which in most cases is female. Importantly, they have identified a population of infants for whom the father was the primary caregiver; such infants demonstrate a bias for male faces when tested in the same manner.

The face-processing system is also influenced by the type of face experienced during the course of development. One example is the well-known ⑧“other-race effect” (ORE), in which adults find it easier to differentiate faces from their own ethnic group. Children demonstrate the same effect, although reports differ regarding the onset of the effect, ranging from 3 months to 8 years. Recently, Sangrigoli *et al.* reported that native French adults and Korean adults who had moved to France during adulthood both demonstrated the ORE. Conversely, Korean adults adopted by French families during childhood (3–9 years old at time of adoption) performed identically to the native French adult population. This finding indicates that the face-processing system remains relatively plastic throughout childhood, allowing the ORE observed at 3 months of age to be reversed. Furthermore, intensive training with other-race faces can extinguish the ORE in adults who initially demonstrate the effect.

A final example of the importance of early experience is the “other-species effect,” in which both monkey and human adults are better at recognizing faces from their own species as assessed with the visual paired comparison (VPC) task or with a forced-choice task. Many researchers attribute the ORE and other-species effects to the relatively common experience of having greater exposure to faces of one's own race compared with other races and greater experience with faces within one's own species compared with other species. Thus, it appears that these effects can be accounted for by the notion that we are best at recognizing faces similar to those we see most often (i.e., faces of individuals with whom we have most contact, ⑨ [be, of, or, race, same, the, they] the same species). However, it is important to differentiate between other-race faces, which belong to the same face category as own-race faces (i.e., human faces), and other species faces, which belong to a separate face category (i.e., nonhuman primate). Whereas the face-processing system remains flexible for the category of faces (⑩) we are most exposed, this plasticity may not extend to other face categories.

Collectively, these studies suggest that visual input during early infancy and childhood influences the development of many aspects of face processing. However, the

exact nature and origins of this experience and its effect on the development of face processing has been the subject of considerable discussion. According to Valentine's model, faces are encoded as individual points within a multidimensional face space defined by a set of dimensions (gender, eye color, etc.). Valentine proposes ⑪ a norm-based coding model, whereby faces are encoded as vectors according to their deviation from the central tendency, or prototypical average of the face space. Nelson has proposed that this face prototype is broadly tuned at birth and that the dimensions this prototype encodes may differ both qualitatively and quantitatively in infants compared with adults. One way to think about the development or formation of a face prototype is based on the experience or kinds of faces one encounters. For example, if this prototype is thought of as a continuum of all incoming faces, then the more a face deviates from the prototype (other-race and other-species faces), the less this face is easily discriminated, compared with faces that are more similar to the prototype. The development of the face prototype is most likely influenced by a number of factors, including, but not limited to, exposure time (number of faces seen), dynamic and emotionally salient information provided within the face, the timing and preferences of the development of the visual system, and changes in the categorization of individuation of people (i.e., the mother's face may have more "weight" in the formation of the prototype). Combined, these experiences gradually lead to the face prototype becoming more precise.

Early in life, infants possess a remarkable ability to discriminate among and between a large corpus of different faces, such as faces from an unfamiliar species or an unfamiliar race. With experience, the infant's face-representation system becomes more precise and increasingly restricted to faces with which infants are most familiar. This, (⑫), results in the development of expertise, in which the ability to discriminate between faces that one has not had exposure to (or has had less exposure to) is not as good as discrimination between faces with which one has had experience.

An example of this specialization of the face processing system was demonstrated in a previous study, in which we reported that although 6-month-olds, 9-month-olds, and adults are all equally good at discriminating two human faces, only 6-month-olds can also discriminate two monkey faces. Thus, it seems that some time after 6 months of age the face prototype becomes less generalized and more specific to faces commonly experienced in one's environment. Furthermore, uncommon faces, or faces that differ on the defined prototypical dimensions, are no longer easily discriminated. This observation led us to ask how flexible this representation is, and whether we can maintain its early, more general nature by exposing infants to other-species faces between the ages of 6 and 9 months.

In our investigation, 6-month-olds were exposed regularly to Barbary Macaque* monkey faces during a 3-month period, and their ability to discriminate monkey faces was then assessed at 9 months. Their discrimination performance was compared with a control group of 9-month-olds who received no training. ⑬ We hypothesize that if the ontogeny* of the face-processing system progresses from being very broadly tuned to more specific and narrowly tuned, then exposure to the monkey faces should extend the ability to discriminate faces from another species.

Discussion

The experiment reported here examined the effect of exposure to monkey faces on the specialization of the face-processing system to human faces during the first year of life. Our results are consistent with Nelson's hypothesis stating that a broadly defined face prototype exists at birth, and its development is influenced by the visual environment, leading to a more precise face prototype. Specifically, here and in our previous work, we observed a specialization of the face-processing system, as shown by the loss of ability to discriminate between faces from other species. However, with exposure to other species' faces, this loss is prevented in infants. Our results indicate, as hypothesized by Nelson, that the development of face processing follows a trend similar to the one observed for speech processing. The duration of this effect has yet to be determined; similarly we also do not know how much exposure 6-month-olds need to be able to discriminate monkey faces.

1. phoneme 音素
2. developmental trajectory 発達曲線
3. congenital cataract 先天性白内障
4. precocity 早熟性
5. Barbary macaques 靈長類の一種
- 6 ontogeny 個体発生

問 1 ①と⑩に入る二語を補え

問 2 ②は何を指しているか、日本語で具体的に答えよ

問 3 ③とほぼ同じ意味を示す本文中の単語を③以降から探し、答えよ

問 4 ④について *similarly* の指している内容を具体的に述べつつ、日本語に訳せ

問 5 ⑤と⑥の意味と最も近い単語を次から一つ選べ

⑤ 1 underlie 2 underline 3 undergo 4 undermine

⑥ 1 agree with 2 comply with 3 observe 4 adhere to

問 6 ⑦の具体的内容を日本語で答えよ

問 7 ⑧とはどのようなものか、日本語で説明せよ

問 8 ⑨を適切に並び替え、文脈に合うようにせよ

問 9 ⑪とはどのようなものか、日本語で説明せよ

問 10 ⑫を補うのに最も適当な語句を選べ.

1 in fact 2 in short 3 in the end 4 in turn

問 11 ⑬を日本語に訳せ

Plasticity of face processing in infancy 答え

問 1

with which to which

問 2

顔認識は本当に特別な知覚過程であり、生まれたときからそのようになっているのか、それとも経験により詳細が決定されるもっと一般的な知覚機構を起源に持つのかという議論

問 3

differentiate

問 4

ネルソンは、顔認識の根底にある機構は音声認識と同様に、様々な種類の顔に触れる経験により形作られるものなのではないかとの仮説を唱えた

問 5

⑤ 2 ⑥ 1

問 6

幼児の生後すぐの世話をする人が、母親であることが多いので、女性の顔を一組にみせられたとき選びやすい一方、父親が主に世話をしている場合は逆になるということ。

問 7

人は自分と同じ民族の顔を識別する方が易しい感じるというもの。

問 8

be they of the same race or

問 9

顔が、顔空間の中央値的傾向つまり、原型的な平均の顔からの偏差のベクトルとして記号化されるモデル

問 10

4

問 11

私たちは、もし顔認識機構の個体発生がとても大雑把に調整されたものからもっと具体的で細かく調整されたものへと進むのなら、猿の顔を見せればほかの種の動物の顔を識別する幼児の能力を維持させるはずだという仮説を立てる。

幼児の顔認識の可塑性 (訳、結城響)

我々が瞬間、瞬間に受け取る多数の視覚的入力の中で、おそらく人の顔はもっとも重要な入力のうちの一つである。人の顔が伝える多くの信号の重要性(例えば、感情、個性、視線の向きなど)や、大人達がいつものようにこの情報を処理する速度や気楽さは顔認識に特化されている脳内の回路が存在しているかもしれないと考える有力な理由だ。しかし、いまだに顔認識は本当に特別な知覚処理なのか、生まれたときからそうになっているのか、それとも代わりに経験により専門化されるもっと一般的な知覚体系を起源に持つのかのようなことについて相当数の議論がある。

発達に関する研究は、この論争の異なる側の主張を抑える重要な情報を提供できる。経験が音声認識のような多くの知覚、認識機能の通常の発達において欠かせないものであるということは、よく記録されている。例えば、生後六ヶ月から八ヶ月まで、幼児は広い範囲の音素を聞き分けることができる。この能力は、母語の音素に繰り返しさらされ、外国語の音素にさらされなくなることで衰える傾向にある。クールは最近、生後九ヶ月後の母語以外の言語に触れる経験は生後十二ヶ月でのこの能力の維持を簡単にするという事を示した。同じ形式の結果が、2か国語が話されている環境で育てられた幼児でも観察された。ネルソンは、顔認識の根底にある体系は音声認識と同様に、様々な種類の顔に触れる経験により形作られるものなのかもしれないと示唆した。音声認識と顔認識の発達の形式は似ているかもしれないが、これらの異なる知覚体系の根底にある発達の仕方や、構造が同じであるという可能性は低いだろう。

実際、最近の発達関連の研究は、顔認識の発達における視覚経験の重要性を強調している。例えば、生後一カ月の間先天性白内障により、模様のある視覚入力を奪われた患者は、物体認識に欠陥はなかったが、顔認識において多少の障害を示した。さらに、幼少期のとき視覚入力が主に脳の半分制限されていた患者が検査されたとき、左脳ではなく右脳への入力が、顔認識が専門的に発達するのに重要だとわかった。この結果は、デ・スコーネンとマースベト?により発表された右脳の発達の早熟性と、それと顔認識との関わりに関するモデルに一致する。

加えて、クインは、生後一ヶ月の間、社会的環境は顔認識の同調にも影響する

ということを証明した。彼らは生後三ヶ月の幼児が、男性の顔と女性の顔の組を見せられたとき、女性の顔を好んで見るということを示した。この好みは、最初の世話人に対する顔の原型の性別的偏向を反映しているのかもしれない。それは、多くの場合女性なのだ。重要なことに、彼らは父親が最初の世話人である幼児の集団を特定した。そのような幼児は、同じ方法で試験を行ったとき、男性の顔に対する偏向を示した。

顔認識体系は、発達の過程の間に経験された顔の種類にも影響される。一つの例はよく知られている「**other-race effect**」(ORE)で、大人が顔を自分の部族の顔から見分けるのを簡単だと感じるということだ。報告は、生後三ヶ月から八年という、その効果の始まりに関して異なったが、子供たちは同じ効果を示した。近年、サングリゴリは、フランスで生まれた大人と成人の間にフランスに移った韓国人の大人が両方OREを示すということ報告した。対照的に、幼児期にフランス人の家族に養子にされた韓国人の大人(養子にされた時期は三歳から九歳の時)は、ほとんどフランス生まれの大人の集団と同じ結果を残した。この発見は、顔認識体系が幼児期の間比較的可塑的に残っており、生後三ヶ月時点で観察されるOREは覆されうるということを示唆する。さらに、他の人種の顔で集中的に訓練することは、最初はOREを示していた大人のOREを消すことを可能にする。

初期の経験が重要であるという最後の例は、「**other-species effect**」で、猿と人間の大人の両方が、視覚比較課題や、強制選択課題により評価されるときに、自分の種族の顔を認識するのに秀でるということだ。多くの研究者が、OREや**other-species effect**は、他の人種と比べて自分の人種の顔に数多くさらされるという比較的共通の経験や、他の種族と比較して自分自身の種の顔に触れるという数多くの経験のためであると考えた。このように、これらの効果は、私たちが、私たちの最も頻繁にみる顔(つまり、私たちが最も接触している個体の顔、同人種であろうが、同種族であろうが)に似た顔を見分けることに最も秀でているという概念により説明できるように思える。しかし、自分自身の人種と同様に同じ顔の区分(すなわち、人の顔)に属しているほかの人種の顔と、別の顔の区分(すなわち、人でない霊長類の動物の顔)に属している他の種族の顔とを見分けるの

は、重要なことだ。顔認識体系が、私たちが最もさらされている顔の区分に柔軟な一方、この可塑性は、他の顔の区分にまで拡張しないかもしれない。

まとめて、これらの研究は幼少期や子供時代の初期の間の視覚的入力、顔認識の発達の多くの側面に影響を与えているということを示している。しかし、この経験とその顔認識の発達に対する影響の正確な性質や起源はまだ相当数の議論の論題だ。バレンティーンモデルによると、顔は、一連の次元（性や目、色など）により定義される多次元の顔の空間の中の、個々の特徴として符号化される。バレンティーンは、標準を基礎とする符号化モデル、それに従って顔が、中央の傾向や原型的な顔空間の平均からの偏差によるベクトルとして符号化されるというものを提唱している。ネルソンは、この顔の原型は生まれたときに広く調整されており、大人に比べ幼児ではこの原型が符号化する次元は質的量的に異なるかもしれないということ提唱した。顔の原型の形成や発達について考える一つの方法は、人が出会う顔の種類や、経験に基づいている。例えば、もしこの原型が次々にやってくるすべての顔の連続体として考えられるなら、そのとき、顔が原型からそれればそれるほど（ほかの人種やほかの種族の顔）、原型により似ている顔に比べ、この顔は簡単に識別しにくくなるだろう。顔の原型の発達は、さらされる時間（見た顔の数）に限らず、顔から提供される動的で感情的に目立つ情報や視覚体系の発達のタイミングや偏向、人々の個性の区分分けの中の変更を含む、多くの要因により最も影響されやすい。（つまり、母親の顔が原型の中でより大きな「比重」を占めるかもしれない）組み合わせり、これらの経験は徐々に顔の原型をより正確なものにしていく。

人生の初期、幼児は馴染みのない人種や種族の顔を識別するといったように、異なる顔の膨大なすべての資料を識別するという著しい能力を保持している。経験により、幼児の顔の心的イメージを作る体系はより正確なものとなり、そして次第に幼児の最も馴染みのある顔に制限されていく。これが今度は、専門技術の発達という結果を導く。その発達では、さらされていない（もしくは、さらされる経験が少ない）顔を見分ける能力は、十分経験されている顔の識別に比べ劣ったものとなる。

この顔認識体系における特化の例は、過去の研究で示されている。その研究で

は、生後六カ月の子供、生後九ヶ月の子供、大人は等しく二人の人間の顔を見分けることを十分上手に行えるが、生後六ヶ月の子供だけは、二匹の猿の顔を見分けることもできる、ということ報告した。したがって、生後六カ月後は、顔の原型がその子の環境で頻りに経験されている顔に専門化し、特化するように思える。加えて、馴染みのない顔や、定義済みの原型的次元で異なる顔は、もはや簡単に見分けられない。この観察により、私たちはこの顔の心的イメージを作る体系はどれだけ柔軟なのか、生後六カ月から9か月の間にほかの種族の顔にさらすことにより、初期のその一般的な性質を保てるのか、といった疑問を得た。

私たちの調査では、生後六カ月の幼児が、三か月の間、バーバリーマカクという猿の顔に定期的にさらされ、生後九ヶ月時点で、猿の顔を識別する能力が評価された。彼らの識別の結果は、何の訓練も受けていない生後九ヶ月の幼児の対象実験集団と比較された。私たちは、もし顔認識体系の個体発生がとても広く調整されたものからもっと具体的で狭い範囲に調整されたものに進むのなら、そこで猿の顔をさらすことはほかの種の顔を識別する能力を拡張するはずだという仮説を立てた。

考察

ここで報告されている実験では、生後1年間の、顔認識体系の人の顔の認識への特化に対する、サル顔にさらすことの影響を調査した。私たちの結果は、ネルソンの、広く定義された顔の原型が生まれたときから存在しており、そして、その発達は視覚的環境に影響され、より正確な顔の原型に導かれるという仮説に一致する。具体的には、ここと私たちの過去の成果に、ほかの種の顔を識別する能力の喪失により示される顔認識体系の特化を観察したものがある。しかし、他の種の顔にさらされることで、幼児のこの能力の喪失は防がれます。私たちの結果が示すのは、ネルソンの仮説のように、顔認識の発達は、音声認識で観察されるものと似た傾向を持つということだ。この効果の持続時間はまだ決められていない。同様に私たちは、生後6か月の幼児がサル顔を見分けられるようになるまでに、どれだけの時間さらすことが必要になるのかも知らない。