

総 説

顔認知メカニズムの発達による変化

三木 研作¹ 柿木 隆介^{2,3}

要旨

脳波は、時間分解能が高く、体動などによる制約が少ないので、いろいろな認知メカニズムの発達による変化を検討する研究に有用である。この総説では、今まで筆者らが脳波を用いて行ってきた顔認知メカニズムの発達による変化に関する研究を紹介する。

正立した顔、倒立した顔、目に対する脳活動の発達による変化では、8～13歳の小児を各年齢で検討した。8～11歳では、幅広くピークを複数持つ顔認知に関連する脳活動成分（N170成分）がみられたが、12～13歳では、幅が狭く1つのピークを持つものであった。年齢ごとに、正立した顔、倒立した顔、目に対するN170成分を比較したところ、8～12歳までと異なり、13歳で、正立した顔に対するN170成分の活動時間が一番短く、目に対する活動時間が一番長くなっていた。正立した顔に対する脳活動は、13歳で成人のパターンに達することが示された。

表情の変化に対する脳活動の発達による変化では、7～10歳、11歳～14歳、成人の各群で検討した。7～10歳では、笑いや怒りの表情の表出に対する脳波成分が大きくなった。一方、成人では、7～10歳、11～14歳と異なり、笑いという正の感情の表出に対する脳波成分が大きくなった。表情の変化を認知する際の脳活動のパターンは、14歳の時点では、成人のパターンに達していないことが示された。

筆者らの研究から、顔の持ついろいろな情報の種類によって、その情報の認知メカニズムの発達による変化は異なる可能性が示唆された。

キーワード 顔認知 脳波 N170 表情 発達

I. はじめに

人間は、日常生活の中で、顔からいろいろな情報を抽出して過ごしている。顔の持つ情報には、性別、年齢、既知性などがあげられる。また、表情なども、その人のもつ感情を表す顔の持つ情報として含まれている。最近では、ヒトの顔認知機構の解明に関して、非侵襲的計測法の発展により、多くの研究が進められてきた。代表的なものには、血流変化を計測する機能的磁気共鳴画像法（fMRI）、近赤外線トポグラフィー（NIRS）や、電気活動を計測する脳波（EEG）、脳磁図（MEG）がある。EEGやMEGで計測される脳活

動は、大脳皮質に存在する錐体細胞が多数かつ同時に興奮した際に生じる電気活動を反映している。そのため、fMRIやNIRSは数sec（秒）単位の脳活動が検出できる一方で、EEGやMEGは数msec（ミリ秒）単位の脳活動が検出できる。EEGやMEGは、その高い時間分解能から、ヒトのいろいろな認知情報処理メカニズムの時間的動態を検討するのに有用である。

脳波計測は、電極装着には時間がかかるものの、体動による計測の制約がなく、小児を対象にすることが可能である。海外では、脳波を用いた顔認知メカニズムの発達による変化を検討する研究が多く行われているが（e.g., Taylor et al., 1999, 2004; Itier and Taylor, 2004a,b）、日本では、まだまだ多いとは言えない。

今回、筆者らが行った以下の2つの研究を紹介する。

(1) 正立した顔、倒立した顔、目に対する脳活動の

¹ 日本赤十字豊田看護大学

² 自然科学研究機構生理学研究所

³ 総合研究大学院大学生命科学研究科生理学専攻

発達による変化 (Miki et al., 2015)

- (2) 表情の変化に対する脳活動の発達による変化
(Miki et al., 2011)

II. 正立した顔、倒立した顔、目に対する脳活動の発達による変化

健常成人を被験者とした脳波を用いた研究では、顔を提示した際に、顔提示後約 170 msec (ミリ秒) 後に左右側頭部で明瞭な脳波成分がみられ、この成分は N170 成分と名付けられた (e.g., George et al., 1996; Bentin et al., 1996)。この N170 成分は、顔を提示した際には、車などのほかの物体に比べ、その活動が大きくなった。また、顔と目だけの画像を比べたところ、顔に比べ、目だけの画像を見た際の N170 成分が延長していた。このことから、この N170 成分は顔認知メカニズムを反映した成分と考えられてきた。

また、心理学では、倒立した顔の判断は、正立した顔に比べ、遅くなるという「倒立顔効果 (Face Inversion Effect)」が知られている。健常成人を対象とした脳波を用いた研究でも、倒立した顔を提示した際の N170 成分は、正立した顔に比べ延長していた。このことから、N170 成分は倒立顔効果によって影響をうけることが示された。

以前から、海外では、顔認知を反映した N170 成分を指標に、顔認知メカニズムの発達による変化を検討する研究が行われてきた。倒立顔効果を利用した研究において、13～14 歳では倒立顔効果による N170 成分の活動潜時 (画像提示後、N170 成分の振幅が最大になるまでの時間) に、成人のような倒立顔効果による影響がみられなかった (Taylor et al., 2004)。

著者たちは、8～13 歳を被験者として正立した

顔 (Upright face)、倒立した顔 (Inverted face)、目 (Eyes) に対する N170 成分を検討した (用いた刺激画像は図 1 参照)。

正立した顔を提示した際の N170 成分について、8～11 歳までは、幅広く、2 つ以上の複数のピークをもつものであった。一方、12～13 歳では、鋭くかつピークが 1 つのものであった (図 2 参照)。

正立した顔、倒立した顔、目を提示した際の N170 成分を、年齢ごとに比較していくと、8～12 歳までは、有意差が見られなかった。13 歳で、N170 の頂点潜時に関して、正立した顔を提示した場合が一番短く、目を提示した場合が一番長くなっていた (図 3 参照)。この N170 成分の頂点潜時の違いは、今まで報告されている成人における N170 成分のパターンと同じものであった (Watanabe et al., 1999, 2003)。

この研究の結果から、正立した顔認知メカニズムは、13 歳の時点で、成人と同様のものに近づくことが示された。また、海外での研究 (Taylor et al., 2004) では、13～14 歳では倒立顔効果による N170 成分の活動潜時に影響がなかったことから、この研究の結果は、日本人特有の顔認知メカニズムを反映しているのではないかと考えられる。

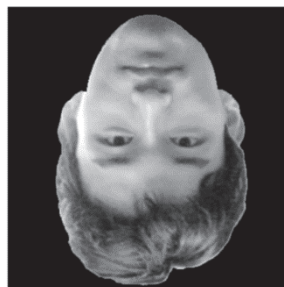
III. 表情の変化に対する脳活動の発達による変化

表情も顔の持つ情報の一つであるが、社会的コミュニケーションの際には非言語的手段として必要不可欠なものである。日常生活において、相手と円滑にコミュニケーションを進めるために、相手の表情から、その時点での心情を読み取ることを無意識にしている。表情認知の研究では、主に静的な顔画像 (static face) を用いた研究が行われてきた。表情を伴う静的

Upright face



Inverted face



Eyes



図 1 用いた刺激画像 (Miki et al., 2015 より改変)。

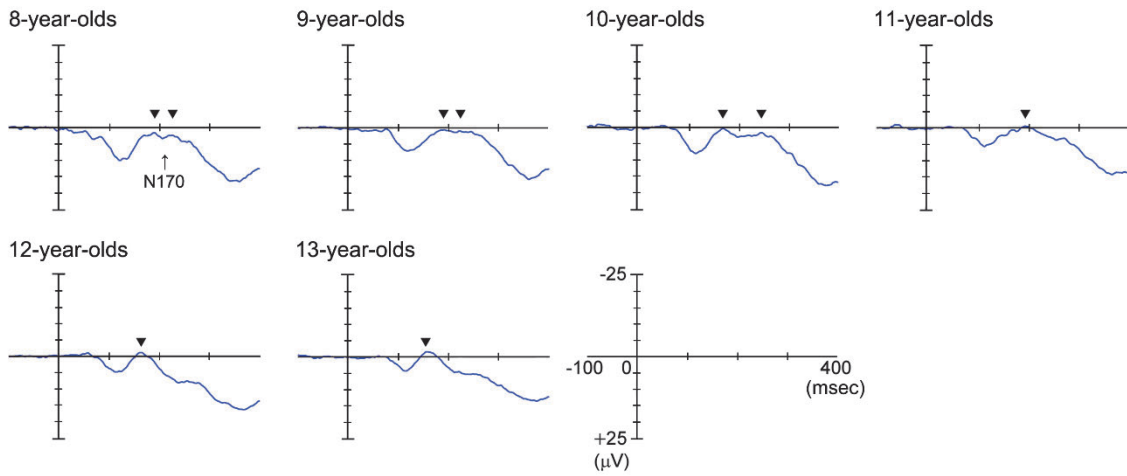


図2 右側頭部に装着した T6 電極にみられた 8～13 歳における正立した顔に対する N170 成分（各年齢群におけるすべての被験者からの総加算平均波形）。▼は N170 成分のピークを表す（Miki et al., 2015 より改変）。

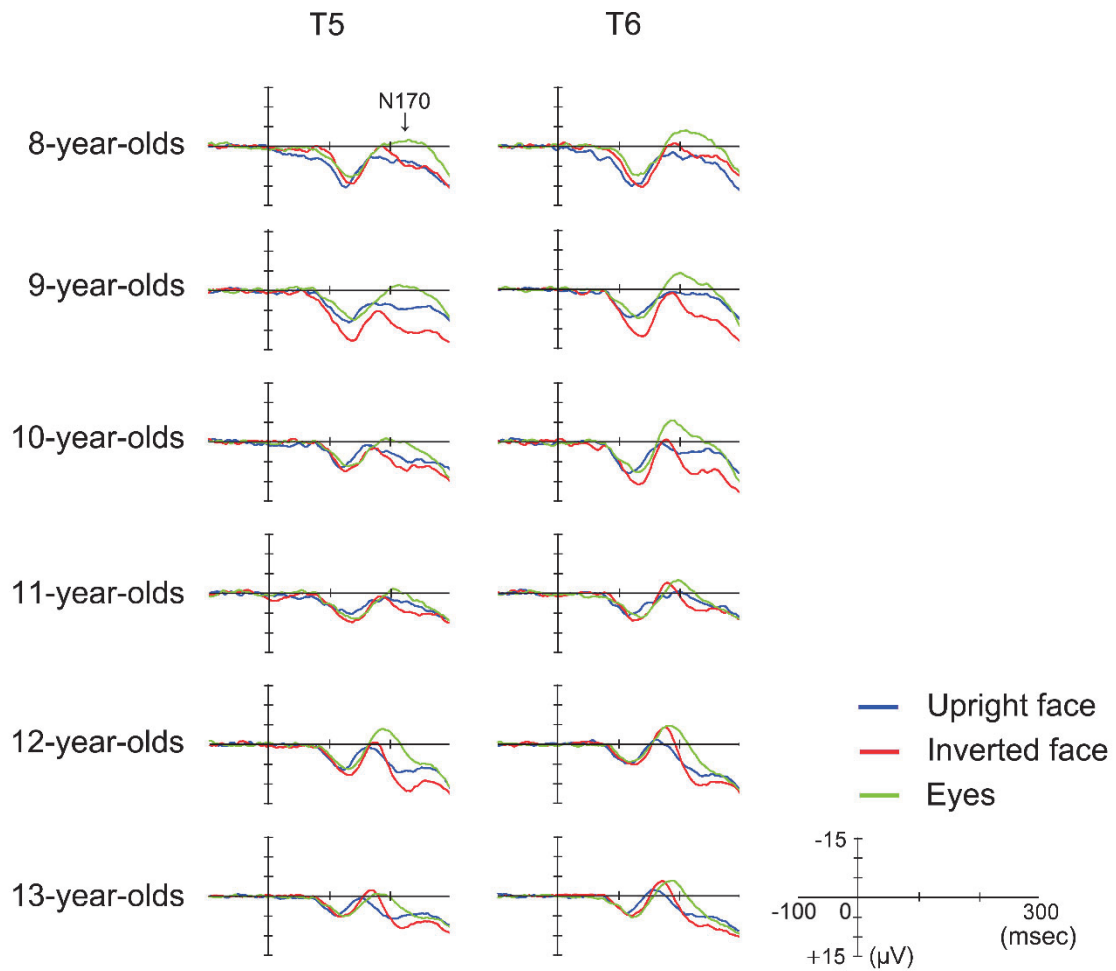


図3 左右側頭部に装着した T5（左）ならびに T6（右）電極にみられた 8～13 歳における正立した顔（Upright face）、倒立した顔（Inverted face）、目（Eyes）に対する N170 成分（各年齢群におけるすべての被験者からの総加算平均波形）（Miki et al., 2015 より改変）。

な顔画像に対する脳活動の発達による変化に関する研究では、成人での表情に対する N170 成分のパターンは、14～15歳の時点でみられたものの、それより低い年齢ではみられなかった (Batty and Taylor., 2006)。

一方で、日常生活では、表情の変化を検出する能力のほうが、重要ではないかと考えた。そこで、この研究では、表情の変化に対する脳活動の発達による変化を検討した。

筆者らは、7～10歳 (Younger Children : 39人)、11～14歳 (Older Children : 29人)、22～33歳 (Adults : 12人) を被験者として、表情変化に対して誘発される脳波成分を検討した。1枚目 (S1) の後、すぐに2枚目 (S2) を提示する以下の条件を用いた (用いた刺激画像は図4参照)。

N-H : 無表情の顔から笑った顔へ変化する条件

H-N : 笑った顔から無表情の顔へ変化する条件

N-A : 無表情の顔から怒った顔へ変化する条件

A-N : 怒った顔から無表情の顔へ変化する条件

図5は、表情が変化した際に誘発された脳波波形 (各年齢群におけるすべての被験者からの総加算平均波形) である。表情が変化した後、7～10歳では、約 235 msec (ミリ秒) 後、11～14歳では、約 220 msec (ミリ秒) 後、成人では約 170 msec (ミリ秒) 後に左右側頭部で明瞭な脳波成分がみられた。この脳波成分の頂点潜時と最大振幅は、成人では、7～10歳、ならびに11～14歳に比べ有意に短くかつ小

さくなっていた。また各年齢群において、この脳波成分の頂点潜時と最大振幅に関して条件間で比較検討した。7～10歳では、左右両側頭部において、N-H条件ならびにN-A条件が他の条件に比べ、有意に大きくなっていた。10～14歳では、左右両側頭部において、N-H条件がH-N条件、A-N条件に比べ有意に大きくなっていた。成人では、右側頭部において、N-H条件が、他の条件に比べ、有意に大きくなっていた。

この研究の結果から、①表情の変化を認知する際の脳活動のパターンは、14歳の時点では、成人のパターンに達していない可能性、加えて、②7～10歳では、笑いや怒りの表情の表出に、また成人では、笑いという正の感情の表出に対して特別な情報処理をしている可能性が示唆された。

IV. まとめと今後の展望

著者らの研究で、正立した顔を認知する際の脳活動は、13歳で成人のパターンに達していた。一方、表情の変化を認知する際の脳活動は、14歳になっても、成人のパターンに達していなかった。このことから、顔の持ついろいろな情報の種類によって、その情報の認知メカニズムの発達による変化は異なる可能性が示唆された。

このように、時間分解能が高く、体動などの制約が少ない脳波計測は、顔認知メカニズムの発達による変化を検討するのに有用である。空間分解能の高い他の

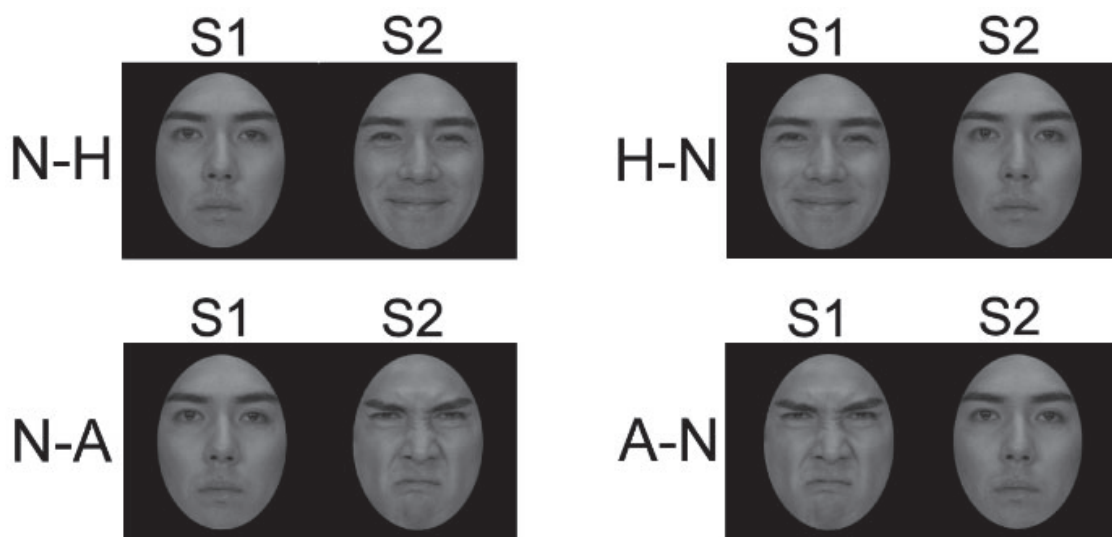


図4 用いた刺激画像。1枚目 (S1) の後、すぐに2枚目 (S2) を提示する (Miki et al., 2011 より改変)。

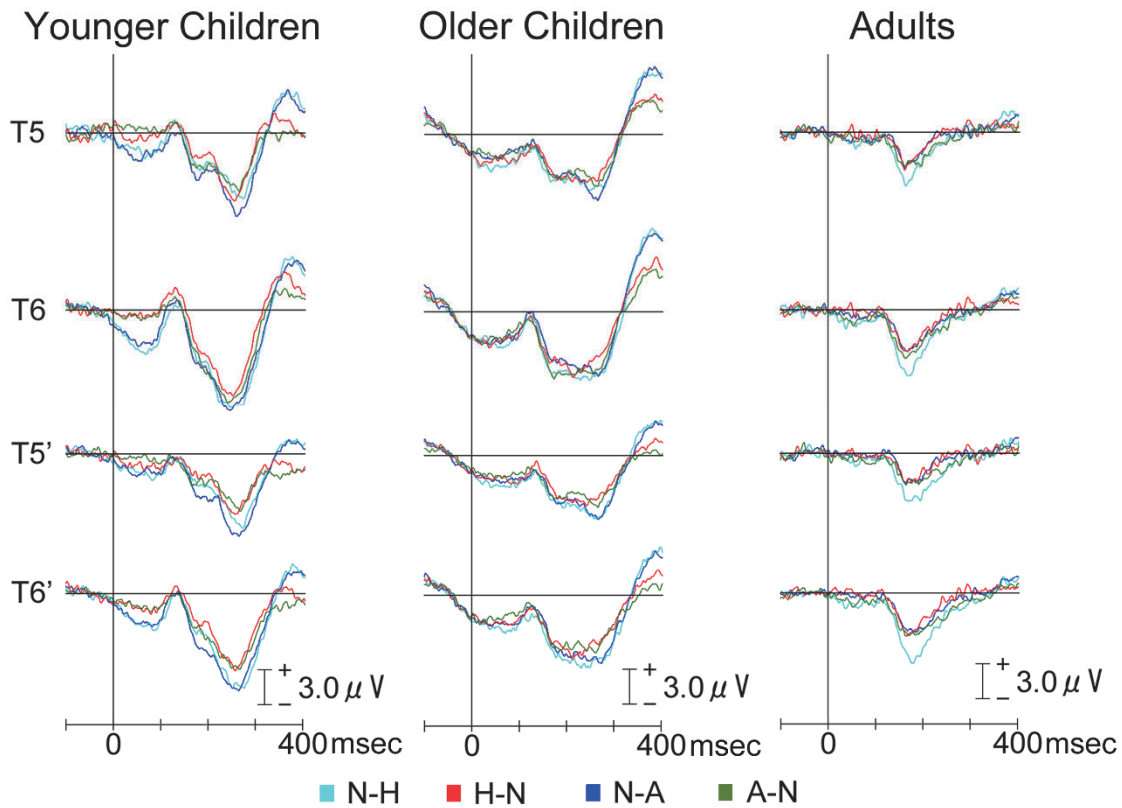


図5 左右側頭部に装着した T5 (左)、T5' (T5 より 2cm 下方)、T6 (右)、T6' (T6 より 2cm 下方) 電極での 7 ~ 10 歳 (Younger Children)、11 ~ 14 歳 (Older Children)、成人 (Adults) における表情の変化に対する脳波波形 (各年齢群におけるすべての被験者からの総加算平均波形) (Miki et al., 2011 より改変)。

非侵襲的脳機能計測法である fMRI や NIRS などとの併用により、より詳細な顔認知メカニズムの知見が得られるであろう。

参考文献

Batty M, Taylor MJ. (2006). The development of emotional face processing during childhood. *Dev Sci* 9. 207-220.

Bentin S, Allison T, Puce A, Perez E, McCarthy G. (1996). Electrophysiological studies of face perception in humans. *J. Cogn Neurosci* 8. 551-565.

George N, Evans J, Fiori N, Davidoff J, Renault B. (1996). Brain events related to normal and moderately scrambled faces. *Brain Res Cogn Brain Res* 4. 65-76.

Itier RJ, Taylor MJ. (2004a). Effects of repetition and configural changes on the development of face recognition processes. *Dev Sci* 7. 469-487.

Itier RJ, Taylor MJ. (2004b). Face inversion and

contrast-reversal effects across development: in contrast to the expertise theory. *Dev Sci* 7. 246-260.

Miki K, Watanabe S, Teruya M et al. (2011). The development of the perception of facial emotional change examined using ERPs. *Clin Neurophysiol* 122. 530-538.

Miki K, Honda Y, Takeshima Y et al. (2015). Differential age-related changes in N170 responses to upright faces, inverted faces, and eyes in Japanese children. *Front Hum Neurosci* 9. 263.

Taylor MJ, Batty M, Itier RJ. (2004). The faces of development: a review of early face processing over childhood. *J Cogn Neurosci* 16. 1426-42.

Taylor MJ, McCarthy G, Saliba E, Degiovanni E. (1999). ERP evidence of developmental changes in processing of faces. *Clin Neurophysiol* 110. 910-915.

Watanabe S, Kakigi R, Koyama S, Kirino E. (1999).

It takes longer to recognize the eyes than the whole face in humans. *Neuroreport* 10. 2193-2198.

Watanabe S, Kakigi R, Puce A. (2003). The

spatiotemporal dynamics of the face inversion effect: a magneto- and electro-encephalographic study. *Neuroscience* 116. 879-895.

Developmental Age-related Changes in the Face Perception Process

MIKI Kensaku¹, KAKIGI Ryusuke^{2,3}

¹Japanese Red Cross Toyota College of Nursing

²Department of Integrative Physiology, National Institute of Physiological Sciences (NIPS)

³Department of Physiological Sciences, School of Life Sciences, SOKENDAI (The Graduate University for Advanced Studies)

Abstract

In this review, we summarize the results of two studies conducted to investigate development age-related changes in the face perception process using EEG (electroencephalography). In the first study, we examined developmental changes in the face-related N170 component evoked by upright face, inverted face, and eyes stimuli in 8-13-year-old children. N170 evoked by an upright face was longer in duration and/or had at least two peaks in 8-11-year-old children, whereas that in 12-13-year-old children was sharp and had a single peak. Significant differences were observed in N170 latency among the three conditions in 13-year-old children. The results of the first study indicated that the pattern of responses to facial stimuli in 13-year-old children were the same as those in adults.

In the second study, we investigated developmental changes in responses evoked by facial emotional changes in 7-14-year-old children and adults. In 7-10-year-old children, the responses evoked by the expression of emotion were larger than those induced by its disappearance, independent of whether the face was happy or angry. In adults, the responses evoked by the expression of positive emotion (from neutral to happy) were the largest among changes in emotion, which differed from those in 7-14-year-old children. The results of the second study indicated that the pattern of responses to facial emotional changes at 14 years old were not the same as those in adults.

In summary, the results of these two studies suggest that age-related changes in the processing of facial information differed according to the type of information.

