

自閉症者と健常者の顔情報処理方略の比較 — classification image 法を用いて —

永井聖剛¹, 熊田孝恒¹, Patrick J. Bennett², 本間元康³, M. D. Rutherford²,
Carl M. Gaspar², Allison B. Sekuler²

¹産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門, ²Department of Psychology, Neuroscience & Behaviour, McMaster University, ³立教大学現代心理学部

要約: Classification image 法により視覚情報処理方略を詳細に示すことが可能である。例えば、顔画像が提示され個人弁別課題が与えられたとき、「顔のどの部分にどれくらい強く処理ウェイトをおくか」をピクセル単位で明らかにすることができる (e.g., Sekuler *et al.*, 2004)。ただし、この方法は相当数の試行数を必要とし、障害者など特殊な被験者に適用することは容易ではなかった。本研究ではサブ・サンプリング刺激提示、ならびにデータ加工法の洗練により、従来より遙かに少ない試行数で、従来と同等に高い精度で顔情報処理の特徴を明らかにすることに成功し、自閉症者の顔情報処理を詳細に調べた。実験の結果、自閉症者においても健常者と同じく目・眉の領域に処理のウェイトをおくが、自閉症者ではそのウェイトが弱く、額にも処理ウェイトをおくなど健常者にはみられない処理方略を示した。

Comparing face processing in typical and autistic observers using classification images

Masayoshi Nagai¹, Takatsune Kumada¹, Patrick J. Bennett², Motoyasu Honma³, M. D. Rutherford², Carl M. Gaspar², Allison B. Sekuler²

¹ Institute for Human Science and Biomedical Engineering, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), ² Department of Psychology, Neuroscience & Behaviour, McMaster University, ³ College of Contemporary Psychology, Rikkyo University

Abstract: Classification images (CIs) can reveal observers' strategies in a variety of visual tasks. However, one weakness of the CI method is that many trials are needed to obtain stable data (Sekuler *et al.*, 2004). We examined whether CIs can be obtained with fewer trials, thereby making it possible to use the method with clinical populations. With not entire but sampled faces presentations, we obtained CIs from seven typical and eight autistic observers. Although normal, or raw, CIs based on 2,900 trials could not show face processing strategy of individual observers, the filtered CIs did clearly show it. Typical observers strongly used the region of eyes and eyebrows. Some of autistic observers used eye regions like typical ones, but others of them used only forehead regions.

序

自閉症者の顔情報処理は健常者とは異なることが知られている。例えば、自閉症者は自発的に目領域に注意を向けず (e.g., Pelphrey *et al.*, 2002)、口領域を選択的に処理するとされる (e.g., Langdell, 1978; Joseph & Tanaka, 2003)。しかしながら、従来の研究手法ではパーツ毎の処理ウェイトを検討するなど、大まかな処理方略を明らかにするに過ぎなかった。本研究では Classification image (CI)法を用い、自閉症者と健常者の顔情報処理方略を詳細に比較することを目的とした。CI は近年開発された心理物理の実験手法であり (Ahumada & Lovell, 1971; Beard & Ahumada, 1998)、刺激弁別、あるいはターゲット検出を行うときに、「画像刺激のどの部分をどれくらい強く利用しているか」をピクセル単位の精度で明らかにすることができる。

Classification Image 法では、例えば、顔 A の画像、顔 B の画像を弁別される課題を被験者に与える。各試行では顔 A もしくは顔 B がランダムに選択され、各試行でランダムに生成されたホワイトノイズが選択された顔画像に輝度次元で加算され提示される (Fig. 1C 参照)。顔 A が選択された場合、加算されるホワイトノイズが顔 A の特徴を強調し顔 A と認知されやすくなる場合もあるが、顔 A の特徴を打ち消し顔 B と誤認される場合もある。分析では、各試行で生成されたホワイトノイズを「刺激—反応」の組み合わせカテゴリに分類し (Nab=顔 A が提示され、顔 B が提示されたと答えた試行の、画像内各位置毎のホワイトノイズ集合)、式 1 によって CI を得た。

$$[\text{式 1}] \text{ CI} = [\text{Mean}(\text{Naa}) + \text{Mean}(\text{Nba})] - [\text{Mean}(\text{Nab}) + \text{Mean}(\text{Nbb})]$$

CI では画像内で被験者が利用している部分のコントラストが高くなり、そうでない部分のコントラストはゼロに近づく。CI はどの位置のノイズが被験者の反応に影響を与えるかを表現したマップと考えられ、行動学的受容野 (Behavioral Receptive Field) と呼ばれる (Gold, Murray, Bennett, & Sekuler, 2000)。また別の表現をすれば、CI は特定の課題を行うときに被験者が用いるテンプレート、あるいはフィルタということもできる。従来の研究手法では明らかにならなかった視覚情報処理の諸特徴が CI によって明らかになりつつある (テクスチャ知覚: Nagai, Bennett, & Sekuler, 2007, 顔弁別: Gold, Sekuler, & Bennett, 2004, Gosselin & Schyns, 2003, Sekuler, Gaspar, Gold, & Bennet, 2004, 注意: Eckstein, Shimozaki, & Abby, 2002, Neri & Heeger, 2002; Solomon, 2002)。例えば、Sekuler *et al.* (2004) では CI 法を用いて正立顔と倒立顔の処理方略の違いを調べた。各被験者の CI から、多少の個人差はあるものの、全ての被験者が目および眉毛のエリアを有意に用いていることが明らかになった。この傾向は正立顔、倒立顔で共通であり、倒立顔で処理効率が落ちることが明らかになった。従来の研究から正立顔、倒立顔では質的に

異なる処理が行われていると考えられてきたが、それを否定し、単なる処理効率の違いであることを示唆した。

CI の計算に要する試行数は用いる画像ピクセル数に比例して増加するため、相当の試行数を必要とするという欠点があり (Sekuler *et al.*, 2004 では 10,000 試行)、障害者など特殊な被験者に適用することは容易では無かった。本研究では画像のサンプリング提示によって推定パラメータを減らすことで必要試行数を削減する手法を確立し (実験 1)、その手法により健常者と自閉症者の顔情報処理方略を比較した (実験 2)。

実験 1

方法

実験参加者 視覚認知実験への参加回数の多いエキスパート被験者 (カナダ人健常者 3 名, 日本人健常者 1 名)

実験装置 Apple PowerMac G4, Nanao FlexScan T966

刺激および手続き Gold *et al.* (1999) で使用された 2 つの顔画像 (128 x 128 pixels, Fig. 1B) を刺激として用いた。Sekuler *et al.* (2004) ではこれらの顔画像の全てのピクセルが提示されたが、本研究ではマスクをかけ、顔領域の 25% をサンプリングし提示した (Fig. 1A)。各試行での顔刺激コントラストは階段法により 70.9 % 正答レベルに調整され、サンプリング部分に各施行毎に生成されるユニークな輝度ホワイトノイズ (平均=0, RMS コントラスト=0.3) を付加した画像が刺激として提示された。課題は各試行でどちらの顔が提示されたかを答えることであった。1 日に 1 セッション (1450 試行)、4 日間にわたって 4 セッション行った。

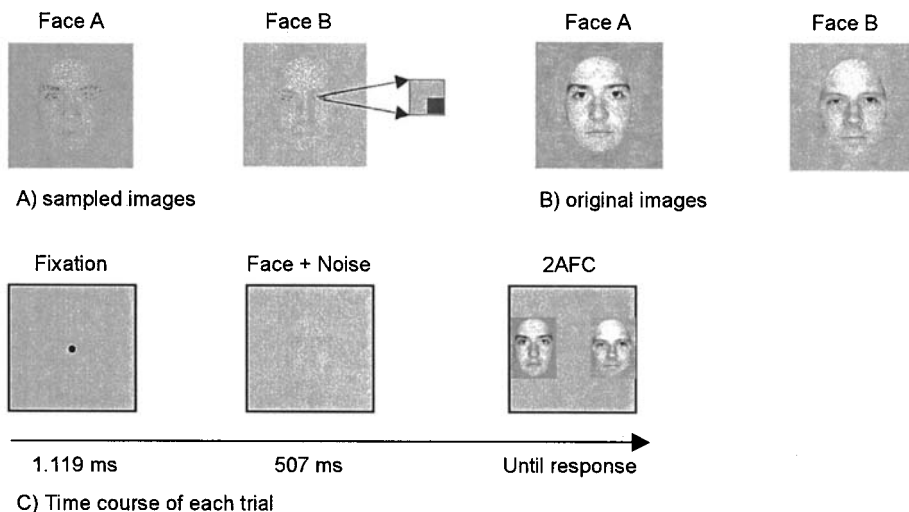


Fig.1. Stimuli used in the present study and time course of each trial.

結果

[式1]によって計算されたraw CI(何らの画像処理を施していないことから, raw CI と呼ぶ) ではコントラストの高い部分がクラスタとして視認できた. 特に被験者 m10 では 2,900 試行 (2 日分) のデータで非常にクリアなクラスタが左右の目・眉領域に確認できる (Fig.3A). しかしながら, ピクセル毎の検定ではこれらのクラスタが有意レベルに到達しなかった. そこで, CI を平滑化フィルタリングし (Fig.3B, 2,900 試行に基づいたデータ), 反応履歴ランダム並び替えによる繰り返しシミュレーション (Nagai, Bennett, & Sekuler, 2007) に基づき統計的検討を行った ($p < .001$). Fig.3C には, 被験者が有意に用いたピクセルを白抜きで示している. 被験者 f12 では有意なピクセルが確認できなかったもの, 刺激のサンプリング提示, 平滑化フィルタリング, シミュレーション分析によりわずか 2,900 試行で CI が活用できることを示すことができた.

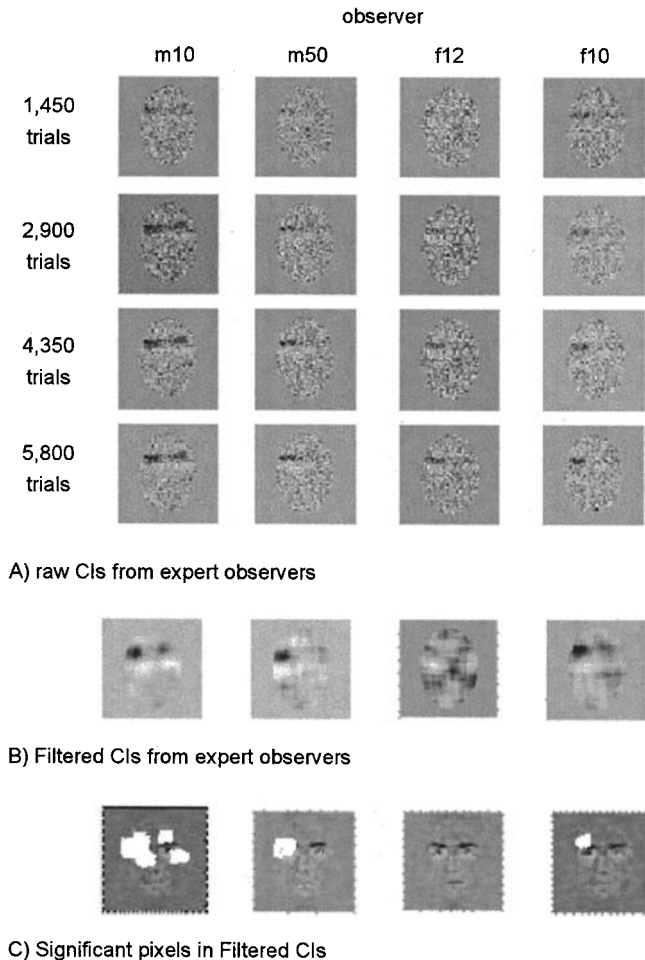


Fig.3. Results of Experiment 1

また、m10のように左右の目・眉領域を両方とも用いる被験者もいれば、m50、f10のように左領域だけ用いる被験者もみられた（有意な領域が得られないf12のような被験者もみられた）。また、同じ左目・眉領域を使う場合でも、目・眉の両方を用いるm50、眉を用いるf10というように、被験者によって用いるピクセルが異なるという個人差を明瞭に示すことが可能であることを明らかにした。

実験2

方法

実験参加者 自閉症者12名（カナダ人7名、日本人5名）および健常者8名（カナダ人4名、日本人2名）。

実験装置 実験1と同様。

刺激および手続き 1日に1セッション（1450試行）、2日間にわたって2セッション行った。その他は実験2と同様であった。

結果

Fig.4Aは自閉症者（上段はカナダ人自閉症者、下段は日本人自閉症者）、Fig.4Bは健常者（m41からm49がカナダ人健常者、m61およびm64が日本人健常者）におけるFiltered CIsの有意ピクセルを表している（実験1 Fig.3Cに相当）。本図から明らかなように、実験1にて確立した方法（刺激のサンプリング提示、

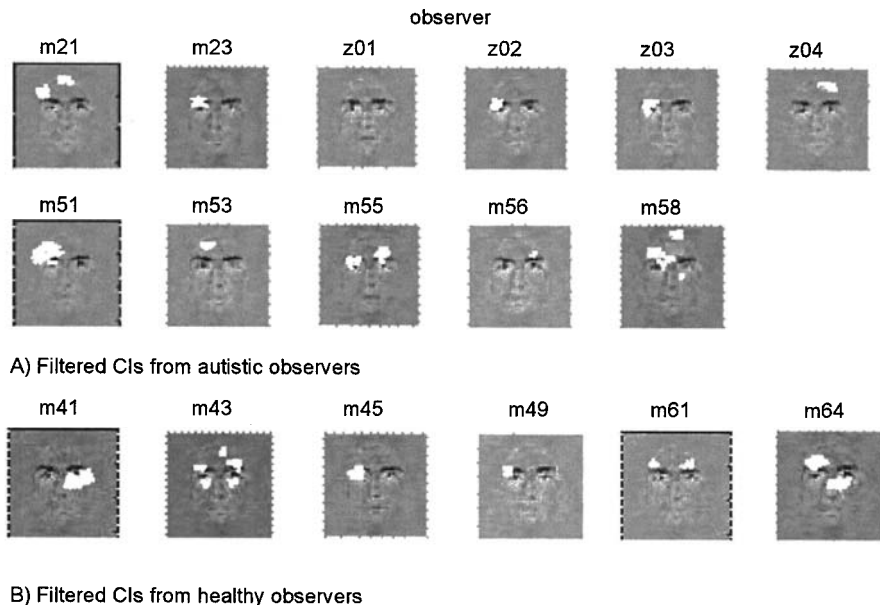


Fig.4. Results of Experiment 2

平滑化フィルタリング、シミュレーション分析)を用いることによって、実験経験のない自閉症者であっても、2,900 試行という従来よりも遙かに少ない試行数で CIs によってその顔認知方略を示せることが確認された。

健常者のデータをみると、全ての被験者で目あるいは眉毛のエリアを有意に用いて弁別課題を行っていたことがわかる。しかしながら、自閉症者のデータから有意に用いたピクセルが無い被験者 (z01)、額だけを有意に使用し目・眉エリアを使用していない被験者 (z04, m53) など、健常者に見られない特徴を示す被験者がみられた。しかしながら、自閉症者の中にも目・眉エリアだけを用いるという健常者に特徴的と考えられる方略をとる被験者 (m23, z02, z04, m51, m55, m56) がみられた。したがって、自閉症者が一様に同じ顔認知方略をもっているのではなく、多様な個人差がみられることが示唆された。

総合論議および結論

本研究では、画像のサンプリング提示によって推定パラメータを減らすこと、また平滑フィルタリングを施した Filtered CIs によって従来より遙かに少ない試行数にて、自閉症者の顔認知方略を検討できることを示した。実験2の結果から、自閉症者であっても先行研究で示唆されてきた健常者のような顔認知方略を示す者もいれば、額のみにウェイトをおくような健常者にはみられない顔認知方略を示す者もいた。健常者だけでなく、自閉症者に対しても、被験者の多様な個人差を非常に詳細に明らかにできるという CIs のメリットを示すことができたといえよう。

また、興味深いのはこの CIs によって顔認知の文化差も検討できる可能性が示唆されたことである。最近の研究では、顔を観察するときの注視位置には文化差がみられ、欧米文化に所属する被験者は目領域を注視するが、アジア文化に所属する被験者は鼻や両目の間など目領域を注視しない傾向があることが明らかになった (Jack, Blais, Scheepers, Fiset, & Caldara, 2007)。実験2における健常者日本人被験者 m64 のように鼻領域を使用するという結果は、Jack et al. (2007)の研究と一致しており興味深い。

引用文献

- Ahumada, A. J., Jr., & Lovell, J. (1971). Stimulus features in signal detection. *Journal of the Acoustical Society of America*, 49, 1751– 1756.
- Beard, B. L., & Ahumada, A., Jr. (1998). A technique to extract relevant image features for visual tasks. *Proceedings of SPIE*, 3299, 79– 85.
- Eckstein, M. P., Shimozaki, S. S., Abbey, C. K. (2002). The footprints of visual

- attention in the Posner cueing paradigm revealed by classification image. *Journal of Vision*, 2, 25-45.
- Gold, J. M., Murray, R. F., Bennett, P. J., & Sekuler, A. B. (2000). Deriving behavioural receptive fields for visually completed contours. *Current Biology*, 10, 636– 666.
- Gold, J. M., Sekuler, A. B., & Bennett, P. J. (2004). Characterizing perceptual learning with external noise. *Cognitive Science*, 28, 167-207.
- Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2003). Superstitious perceptions reveal properties of internal memory representations. *Psychological Science*, 14, 505– 509.
- Jack, R., Blais, C., Scheepers, C., Fiset, D., & Caldara, R. (2007). *Culture shapes eye movements during face identification*. Paper presented at Annual meeting of Vision Science Society, Sarasota, FL, U.S.A.
- Joseph, R. M. & Tanaka, J. (2003). Holistic and part-based face recognition in children with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 44, 529-542.
- Langdell, T. (1978). Recognition of faces: An approach to the study of autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 19, 255– 268.
- Nagai, M., Bennett, P. J., & Sekuler, A. B. (2007). Spatiotemporal templates for detecting orientation-defined targets. *Journal of Vision*, 7(8):11, 1-16.
- Neri, P. & Heeger, D. J. (2002). Spatiotemporal mechanism for detecting and identifying image features in human vision. *Nature Neuroscience*, 5, 812-816.
- Pelphrey, K. A., Sasson, N. J., Reznick, J. S., Paul, G., Goldman, B. D., & Piven, J. (2002). Visual scanning of faces in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 32, 249-261.
- Sekuler, A. B., Gasper, C. Gold, J. M., & Bennett, P. J. (2004). Inversion leads to quantitative, not qualitative, changes in face processing. *Current Biology*, 14, 391-396.

Solomon, J. A. (2002). Noise reveals visual mechanisms of detection and. *Journal of Vision, 2*, 105-120.

【謝辞】

本研究は日本—カナダ保健・医学研究協力事業（Japan-Canada Joint Health Research Program）の一環として行われた。本研究遂行にあたり、社会福祉法人コロロ学舎、特定非営利活動法人(NPO)自閉症児・者との共生ネットワーク・アシタバ、茨城県自閉症協会、茨城 LD 等発達障害親の会星の子に多大なご援助をいただきました。ここに深く感謝いたします。