

時間概念を考慮した表情認知に係る 脳機能の定性的記述に関する枠組みの提案

Qualitative Description for Brain Functions of Facial Expression Recognition based on Its Order

田和辻 可昌 *1
TAWATSUJI Yoshimasa

松居 辰則 *2
MATSUI Tatsunori

*1早稲田大学 大学院人間科学研究科
Graduate School of Human Sciences, Waseda University

*2早稲田大学 人間科学学術院
Faculty of Human Sciences, Waseda University

Facial expression of humanlike agent does not perfectly follow that of human beings. Such imperfection sometimes elicits negative impressions (e.g. uncanny valley). We proposed the brain functional model in qualitative description, taking consideration of temporal relationships of each function. Our model suggested that cerebellum should have functional connectivity with subcortical regions.

1. はじめに

Human-agent interaction の分野において、人型エージェントの表情は人間との感情的なコミュニケーションを実現する上で重要な役割を有する。ところが、人型のエージェントに対して、設計者が笑顔の表情を意図して実装したとしても、受け手はその表情に対して否定的に評価することがある (ref. 不気味の谷 [森 70])。このような笑顔が否定的に感じられる要因としては、例えば、口は笑っているのに、目は怒っているなど、顔上下において表出されている感情表現が異なり、なおかつ一般的に人間が表出することが難しい表情を表出していることなどが考えられる。

そこで本研究では、人間の表情認知過程を表現する定性的脳機能モデルを構築し、顔の上下で表情表現が異なるエージェントをどのように知覚するかに対する説明を試みる。特に各脳機能の作用の順序性に着目し、本モデルから示唆される脳機能の定性的結合関係について考察することで、モデルの妥当性の検証を行う。

2. 否定的感情生起過程を説明する定性的脳機能モデル

本節では、人型エージェントの表情動作を観察する際に起こると考えられる否定的感情が、どのような情報処理過程によって説明されるかをモデル化する。先行研究に基づき、期待誤差 (Prediction Error) の枠組みからモデル化を試みる。この上で、顔および表情認知、さらに期待誤差に係る神経基盤を調査し、定性的脳機能モデルを構築する。

2.1 不気味の谷に関する説明パラダイム

不気味の谷形成メカニズムには、「期待動作との不一致」と「幼児期における顔学習」の二点が関わっていることが先行研究から示唆されている。人間のような外見をもつアンドロイドは、その外見から典型的なヒトの身体動作を行うであろうという期待を誘発する。一方で、実際のアンドロイドは機械的な身体動作を行うため、この期待動作と知覚動作との間に齟齬が起こる。この齟齬が不気味さを誘発していると考えられている [Saygin 12]。また、早期の発達段階における顔認知の熟

達化が不気味の谷形成に関与していることも示唆されている [Lewkowicz 12]。このことは、生後 12ヶ月を越えた乳児から、不気味な (形態的に目が大きな) エージェントに対する視線選好が見られなくなるという実験結果に基づいている。以上から人間は幼児期において典型的な顔の形態や表情動作に関する内部モデルを学習によって獲得し、この構築した内部モデルに基づいて他者の表情動作を予測していると考えた。

2.2 否定的感情生起過程に係る神経基盤

表情認知過程に関する神経基盤には、皮質下による情報処理と皮質による情報処理が相互に関わっていることが示唆されている [Palermo 07]。このうち、皮質下による情報処理は、迅速な情動情報処理を可能にしていることが示唆されている。また、表情表現の動作的側面は上側頭溝 (STS: Superior Temporal Sulcus) が関与していることが知られている [飯高 12]。一方、知覚心理学の分野では、人間の表情知覚は、快-不快 (Valence) と覚醒 (Arousal) を基底とする心理次元から解釈される。この心理次元に係る神経基盤は fMRI を用いて実験的に検証されており、快-不快の評価には側頭葉および紡錘状回が、覚醒の評価には扁桃体の関与が示唆されている [Gerber 08]。

また、表情認知には小脳が関与していることが実験的に示唆されている [Baumann 12]。一般的に、小脳には運動動作の内部モデルが保存されていることが示唆されている [川人 96]。そこで、我々は幼児期において獲得した表情動作に関する内部モデルを用いて他者の表情動作を予測していると仮説を立てた。この予測動作と知覚動作との間に齟齬が生じた場合、下頭頂小葉 (inferior parietal lobule) で齟齬が検出される [Urgen 15]。

以上を踏まえて、構築した定性的脳機能モデルを図 1 に示す。他者の表情が変化すると、各脳機能がそれぞれ定性的に作用する。例えば、エージェントが皺眉筋 (corrugator supercilii) を動かすことによって、怒り顔を表出すると、網膜によってこれが検出され、側頭葉・紡錘状回によって Valence が抽出、あるいは上側頭溝によって顔の部位の動作検出が行われる。このとき、小脳によって予測動作が計算される過程には、大きく二つの経路が存在することが示唆される。一つ目の経路は、網膜からの大まかな情報が小脳に至ることで表情動作の予測を行う経路である。もうひとつ目の経路は、網膜の情報は一度上側頭溝へと送られ、顔の部位の動作検出が行われたのちに小脳へ至り、表情動作予測が行われるという経路である。

連絡先: 田和辻 可昌, 早稲田大学 大学院人間科学研究科, 埼玉県所沢市堀之内 135-1 フロンティアリサーチセンター 213 実験室, wats-kkoreverfay@akane.waseda.jp

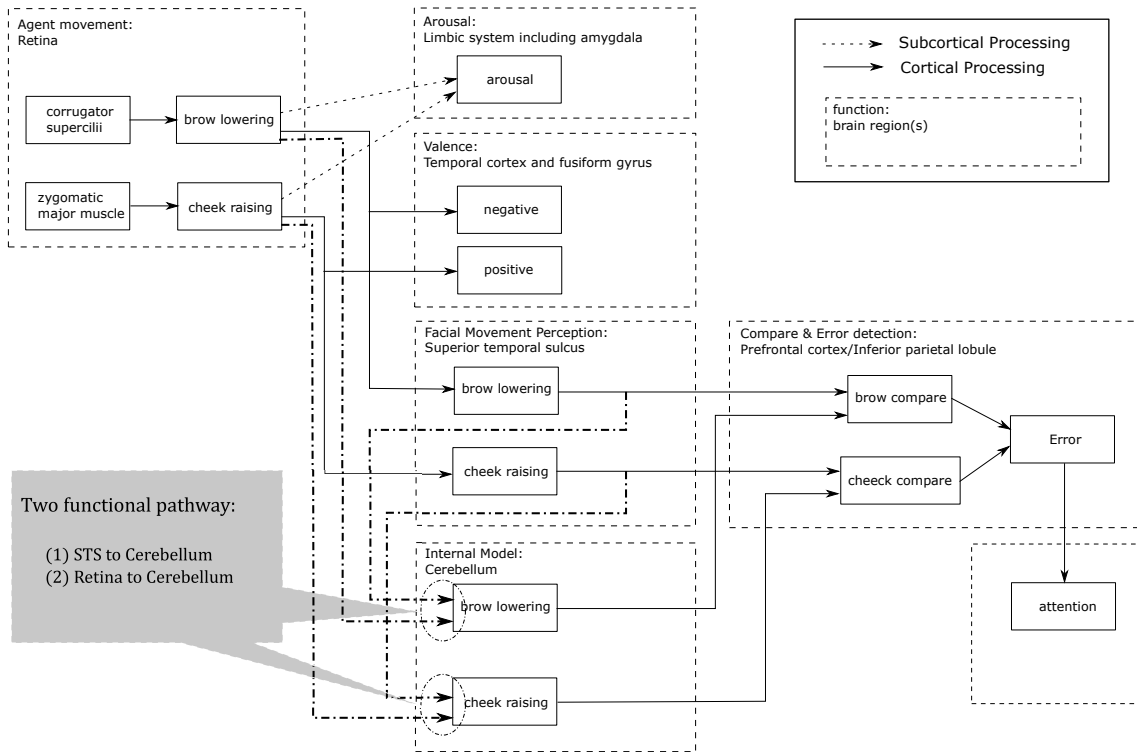


図 1: 構築した定性的脳機能モデル。図の有向一点鎖線は小脳機能に至る仮説的な二つの結合を表している。それぞれ、知覚処理が済んでから（STS から小脳へ）伝達される場合と、知覚処理以前に（網膜から小脳へ）伝達される場合を表す。

3. シミュレーション

3.1 シミュレーションの目的

本シミュレーションでは、表情筋の動作知覚時から誤差が検知されるまでの情報処理プロセスにおいて、各機能的脳部位がどのような時間的順序性で接続されているかを検証する。前節で述べた否定的感情生起に至る期待誤差検出過程には、それぞれ幾段階かの機能が関与している。したがって、機能的脳部位がどのような順序で結合されているかは極めて重要である。尚、本シミュレーションでは、各脳部位がその処理に要する時間は同程度であるという前提のもとでモデル構築およびシミュレーションの実施を行っている。

3.2 構築・実装したモデル

構築したモデルを Stella Architect(ver.1.1.2)*1 に実装した。図 2 に実装したモデルを示す。入力として表情表出を行う対象における皺眉筋 (corrugator supercillii) および大頬骨筋 (zygomatic major muscle) の動作の on-off を制御した。皺眉筋は怒り顔の表情表現に関して眉を動かす表情筋で、大頬骨筋は笑顔の表情表現に関して口角を引き上げる表情筋である。知覚された表情表現の動作側面は上側頭溝によって、その快-不快に関する評価は側頭葉/紡錘状回によって処理される。また、対象の覚醒の程度は扁桃体を含む辺縁系で迅速に処理される。さらに、小脳内部モデルによって、知覚された表情の感情的側面から各表情筋の予測動作が計算される。尚、この予測動作は学習された計算機構であるとして予め動きの系列を明示的に与えた。上側頭溝によって計算された知覚動作と小脳で計算された予測動作を基に前頭皮質や下頭頂小葉でそれぞ

れ動作の比較・誤差検出がなされ、誤差がある場合は注意機構 (attention) が働く。

3.3 結果

まず、網膜 → 小脳 へ至る結合関係を有する脳機能モデル (以下、R-C モデル) と 上側頭溝 → 小脳 へ至る結合関係を有する脳機能モデル (以下、STS-C モデル) それぞれに対して、単一の表情 (笑顔) あるいは混合表情を提示した際の、快-不快評価 (Valence) および誤差検出 (Prediction Error) が時間的にどのように変化するかを示す。

図 3 は、STS-C モデルに対して笑顔を提示した場合の快-不快評価と誤差検出の時系列的変化を表している。グラフより単一表情 (e.g. 笑顔) を提示した場合において、Valence では快評価が適切になされている。一方で、Prediction Error が動作開始時と動作終了時に検出されている。STS-C モデルに対して、R-C モデルでは、笑顔を提示した場合に Valence では、快評価が適切になされており、また、Prediction Error も検出されていない (図 4)。すなわち、単一表情を提示する場合から考えると、STS-C モデルでは、動作開始と終了時に齟齬が検出されてしまい、適切な表情認知がなされない。これは STS によって処理される動作知覚に遅れて、小脳での予測動作が計算されていることに由来すると考えられる。以上から、単一表情を適切に認知するためには、上側頭溝機能が作用する段階において、小脳機能も作用する必要があることが示唆される。

次に、この R-C モデルに対して、混合表情を提示した場合を考える。図 5 によると、Valence ではそれぞれ快評価も不快評価もなされているが、誤差が検出されていないことが分かる。これは、笑顔動作と怒り顔動作それぞれを予測しており、結果的に齟齬が検出されていないことを示している。

*1 <https://www.iseesystems.com/>

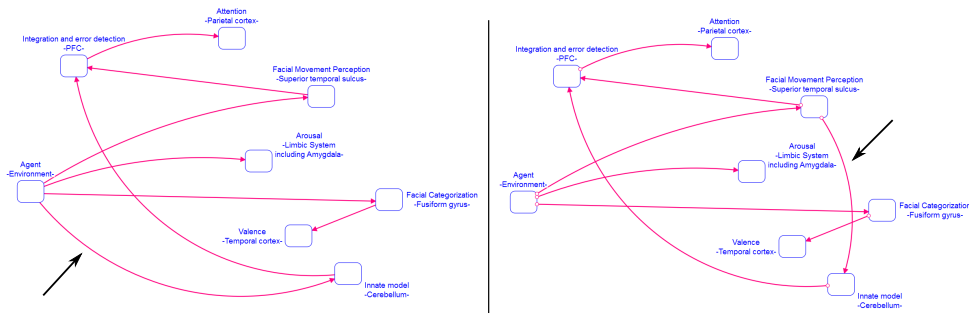


図 2: Stella Architect に実装したモデル。(左図) 知覚した情報は網膜から小脳へと直接連絡され、予測動作が求められるように接続したモデル (R-C モデル)。(右図) 知覚した情報は網膜から上側頭溝へ連絡されたのちに小脳へと送られるように接続したモデル (STS-C モデル)。

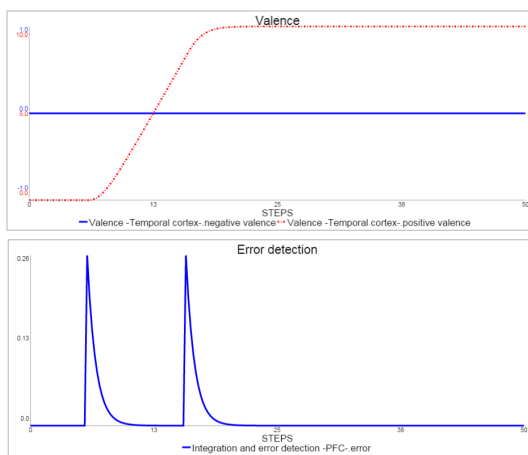


図 3: STS-C モデルに対して笑顔を表示した場合

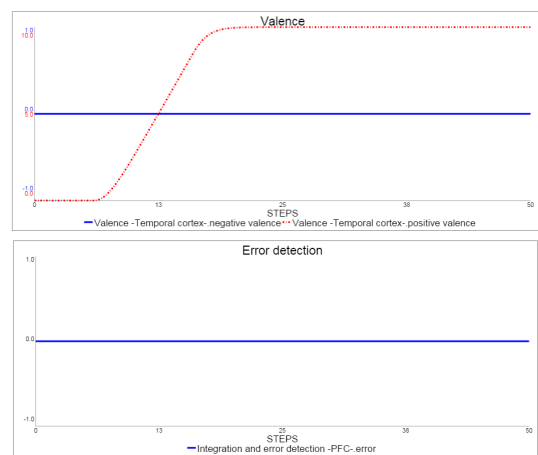


図 4: R-C モデルに対して笑顔を表示した場合

3.4 モデル修正

前節で構築したモデルでは、小脳における予測機能が上側頭溝における機能と同時に作用する必要があることが示唆された。一方で、二つの機能が同時に作用したとしても、混合表情が提示された場合、それぞれの表情動作が予測されてしまい、予測誤差が発生しないことが示唆された。これは一方の表情動作が起こっている間に、他方の表情動作が起こることはない、という仕組みが組み込まれていないことが原因であると考えられる。そこで、小脳の機能として、一方の表情状態を表す動作を検知すると他方の表情状態を表す動作に関する予測を行わないように抑制をかける機能を加えた。また、一方の表情状態を表す動作に対する検知速度を他方の表情状態を表す動作に対する検知速度よりも速めることを検討した。すなわち、以下の三点を条件とする R-C 修正モデルを提案した。

1. 小脳機能と上側頭溝機能が同時刻に作用するように、網膜から得た情報を迅速に小脳へ伝える経路が存在する
2. 笑顔に関する表情動作と怒りに関する表情動作は一方が他方よりも迅速に検知される
3. 小脳機能に対して一方の表情動作が入力されると他方の動作予測を行わないように抑制をかける

この結果、図 6 に示すように、単一表情 (e.g. 笑顔) を提示

した場合は、快評価がなされる。このとき、単一表情に対して誤差は検出されない。また、図 7 に示すように、混合表情を提示した場合は、快-不快評価がそれぞれなされる一方で、表情動作に対して誤差が検出されている。

4. 考察

本シミュレーションから、単一表情および混合表情を正しく認識するための脳機能モデルとして、下記の 3 つの条件が必要であることが示唆された。

1. 網膜から得た情報を迅速に小脳へ伝える経路が存在する。
2. 笑顔に関する表情動作と怒りに関する表情動作は一方が他方よりも迅速に検知される。
3. 小脳機能に対して一方の表情動作が入力されると他方の動作予測を行わないように抑制がかけられる

これらの条件に関して、神経科学的観点から妥当性の検証を試みる。

まず、二番目の条件に関して、上丘-視床枕-扁桃体の皮質下経路が怒り顔の迅速な検出に関与していることが実験的に示唆されている [Morris 99]。さらに、この (右) 扁桃体の賦活は怒り顔においては見られるが、喜びの顔では見られないことが

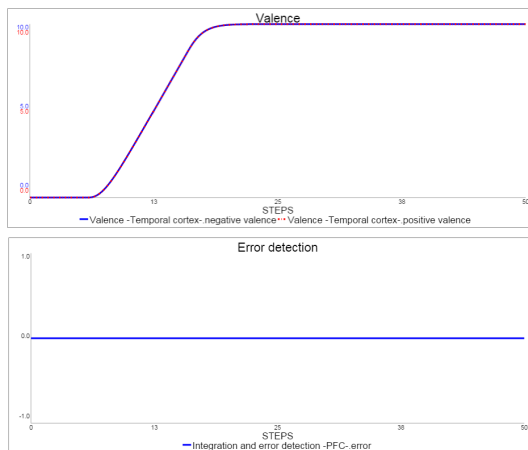


図 5: R-C モデルに対して混合表情を提示した場合

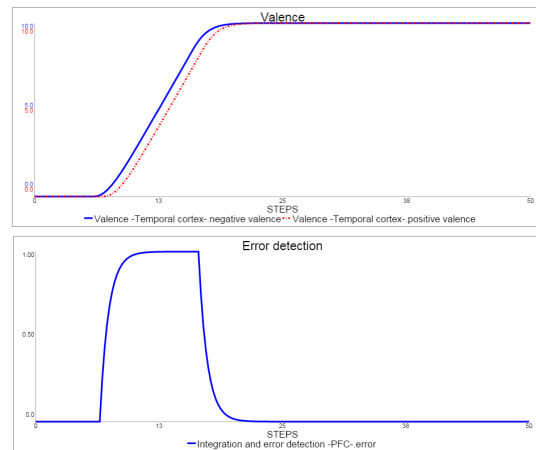


図 7: 修正 R-C モデルに対して混合表情を提示した場合

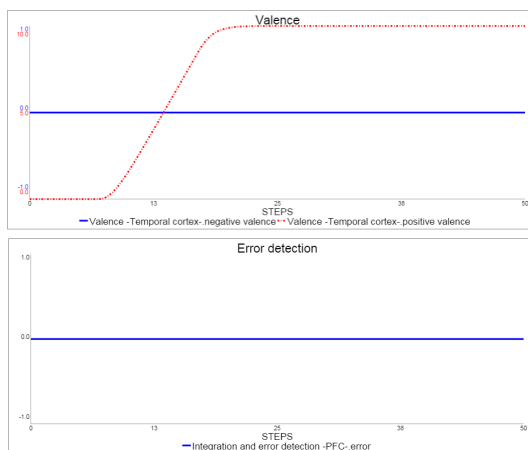


図 6: 修正 R-C モデルに対して笑顔を提示した場合

示唆されている [Morris 96]. これらのことから、二番目の条件については扁桃体を含む皮質下経路が重要な役割を果たしていることが示唆される。次に、一番目の条件として、網膜から得た情報が迅速に小脳へと伝わるためには、この上丘-視床枕-扁桃体が関与していることが示唆される。すなわち、上丘、視床枕、扁桃体のいずれかから小脳へと神経連絡があることが期待される。また、三番目の条件は、小脳においては各表情動作に関する内部モデルが個別に保存されていることを要求しており、いずれかが賦活すると他方を抑制する結合関係が存在していることを示唆している。

5. まとめと今後の展望

本研究では、脳機能の作用順序に着目して表情認知に係る定性的脳機能モデルを構築し、顔の上下半分で表情が異なるエージェントを観察した際に異常が検出される過程を説明するモデルを構築した。この結果、小脳の迅速な情報処理と表情筋の変化に対する検出時刻が笑顔と怒り顔で異なることが示唆され、皮質下による情報処理が貢献していることが示唆された。

今後の課題として、各機能に要する時間や機能間の接続に要する時間を可変的に調整することで、神経科学的に妥当な機能間接続の条件を検討する必要があると考えられる。

参考文献

- [Baumann 12] Baumann, O., et al.: Functional topography of primary emotion processing in the human cerebellum, *Neuroimages*, 61(4), 805-811 (2012).
- [Gerber 08] Gerber, A.J., et al.: An affective circumplex model of neural system subserving valence, arousal, and cognitive overlay during the appraisal of emotional faces, *Neuropsychologia*, 46(8), 2129-2139 (2008).
- [飯高 12] 飯高 哲也: 顔認知の脳内メカニズム：上側頭溝の機能を中心として, *BRAIN and NERVE*, 64(7), 737-742 (2012).
- [川人 96] 川人 光男: 脳の計算理論, 産業図書 (1996)
- [Lewkowicz 12] Lewkowicz, D.J., et al.: The development of the uncanny valley in infants, *Developmental Psychology*, 54(2), 124-132 (2012).
- [森 70] 森 政弘: 不気味の谷, エナジー誌, 7(4), 33-35 (1970). <http://www.getrobo.com> (2013/2/16 閲覧)
- [Morris 99] Morris, J.S., et al.: A subcortical pathway to the right amygdala mediating “unseen” fear, *PNAS*, 96(4), 1680-1685 (1999).
- [Morris 96] Morris, J.S., et al.: A differential neural response in the human amygdala to fearful and happy facial expression, *Nature*, 383, 812-815 (1996).
- [Palermo 07] Palermo, R. et al.: Are you always on my mind? A review of how face perception and attention interact, *Neuropsychologia*, 45(1), 75-92 (2007).
- [Saygin 12] Saygin, A.P., et al.: The thing that should not be: Predictive coding and the uncanny valley in perceiving human and humanoid robot actions, *Cognitive and Affective Neuroscience*, 7(4), 413-422 (2012).
- [Urgen 15] Urgen, B.A., et al.: Predictive coding and the uncanny valley hypothesis: Evidence from electrical brain activity, *Cognition: A Bridge between Robotics and Interaction*, 15-21 (2015)