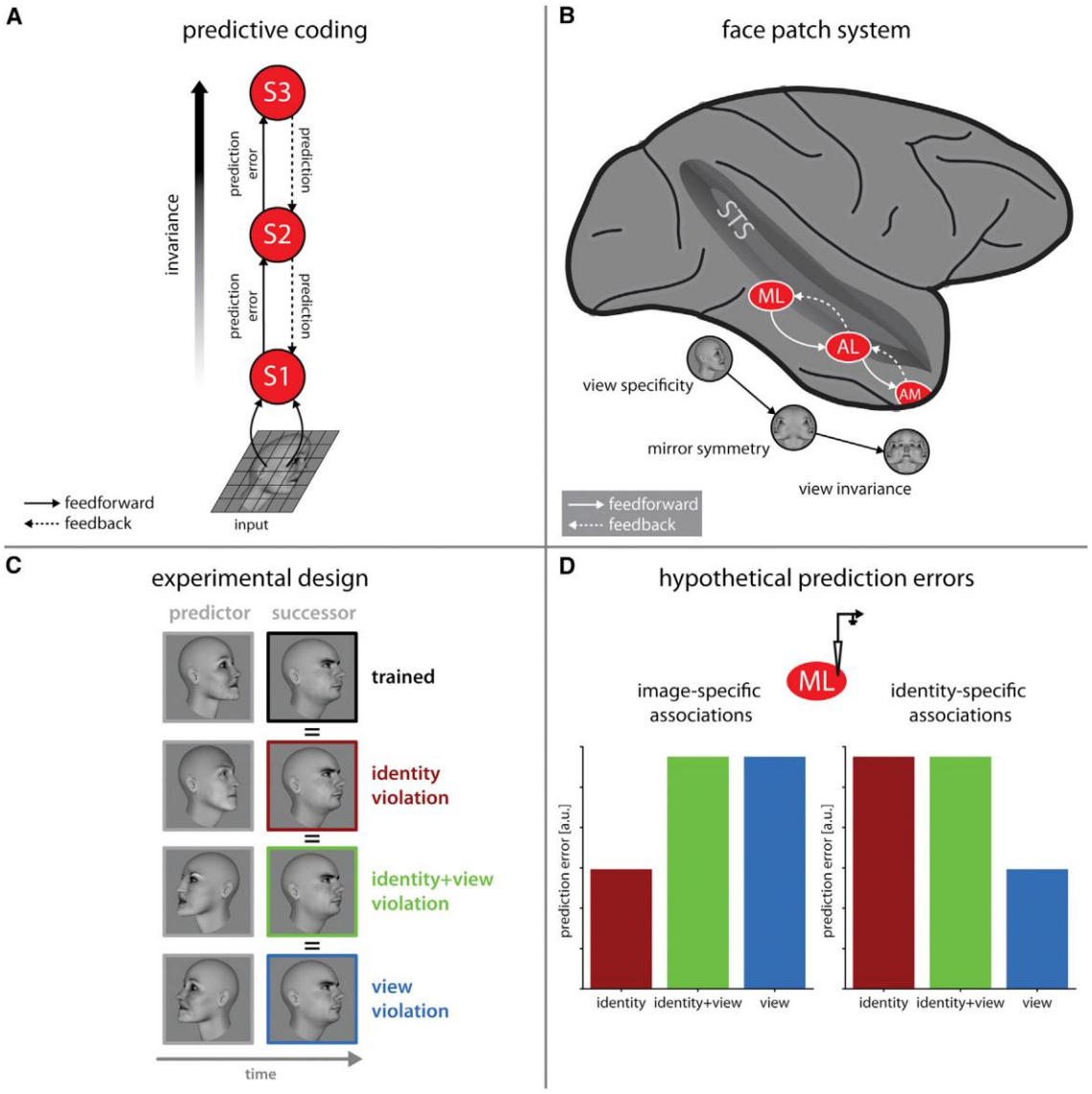
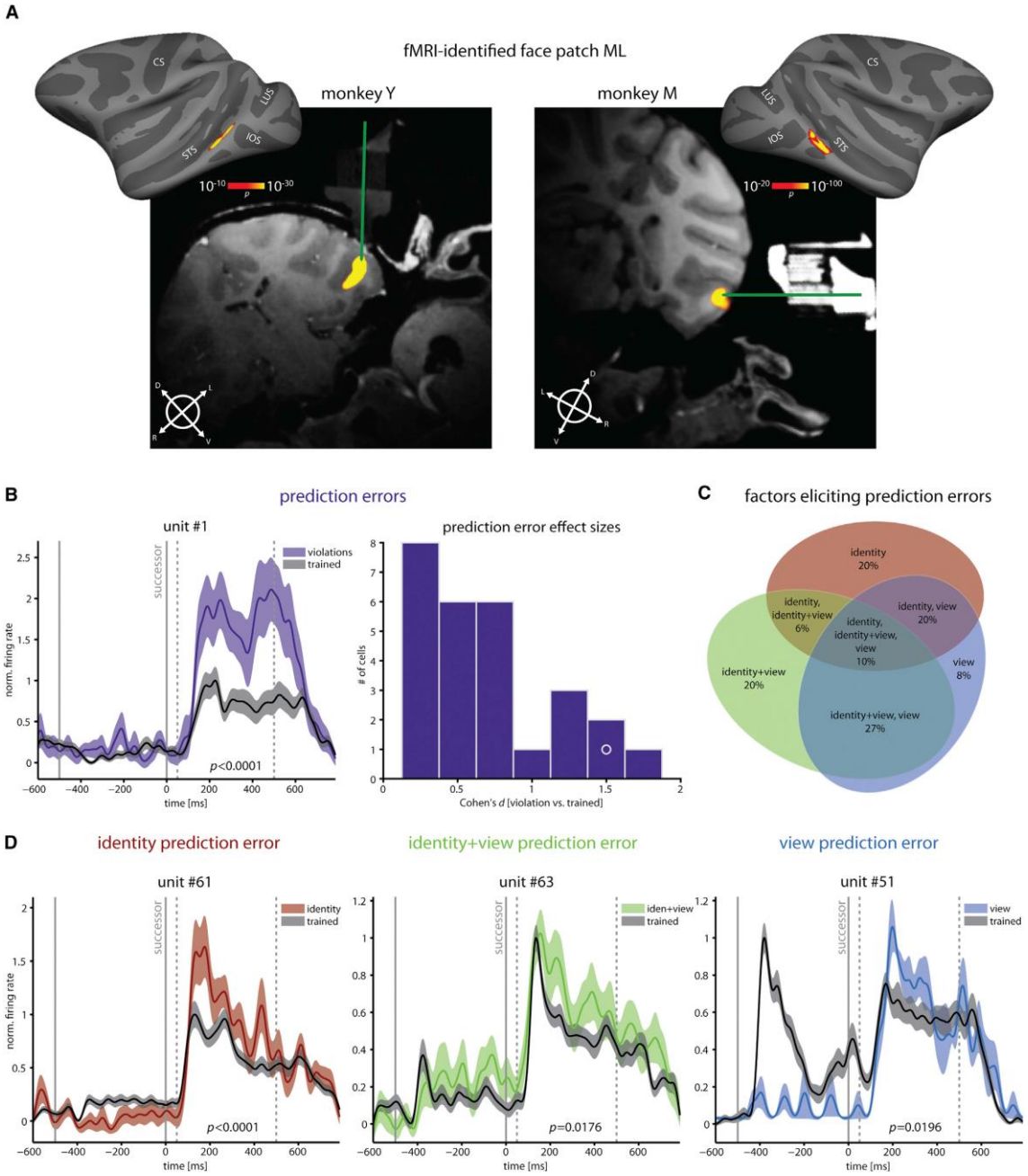
2018.02.16

期待 42：Predictive coding の動物研究

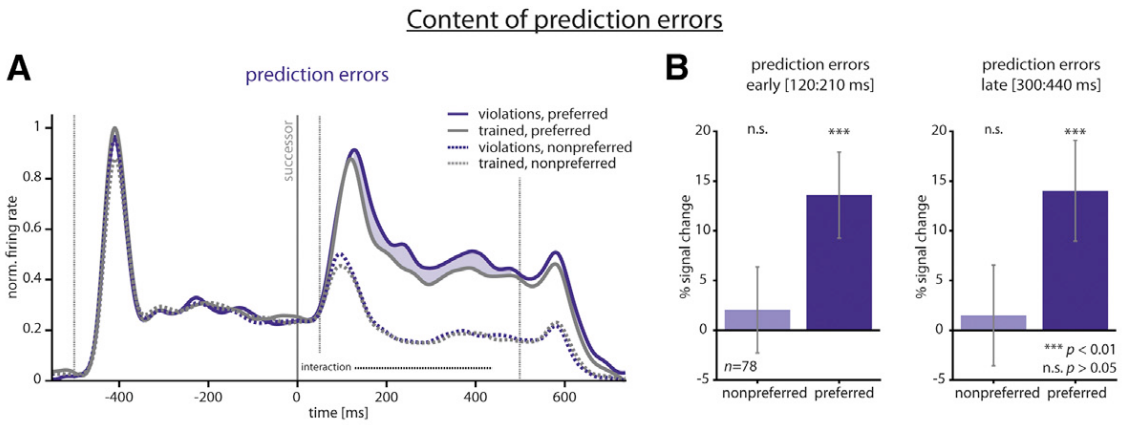
小嶋祥三

2018 年 2 月の『今月の認知神経科学』で Schwiedrzik, C.M. & Freiwald, W.A. (2017) Neuron, 96:89-97.を紹介した。Predictive coding に関しては、その神経生理学的な基盤がよく分かっていないので、この種の研究が動物で行われることを期待して、さらに詳しく紹介する。下の図は A が predictive coding の基本的な考え方で、予測（期待）が上位から下位へ（点線 feedback）、予測誤差が下位から上位へ（実線 feedforward）送られる。B がサルの階層的な face patch system（下位から上位へ ML, AL, AM）で、各 patch のニューロンの view についての tuning 特性がある。C が実験のデザインだが、violation が identity, identity+view, view の 3 つがある。D が予想される 2 つの結果で、予測誤差が image (view) によるならば左、identity によるならば右の結果になると考えられる。

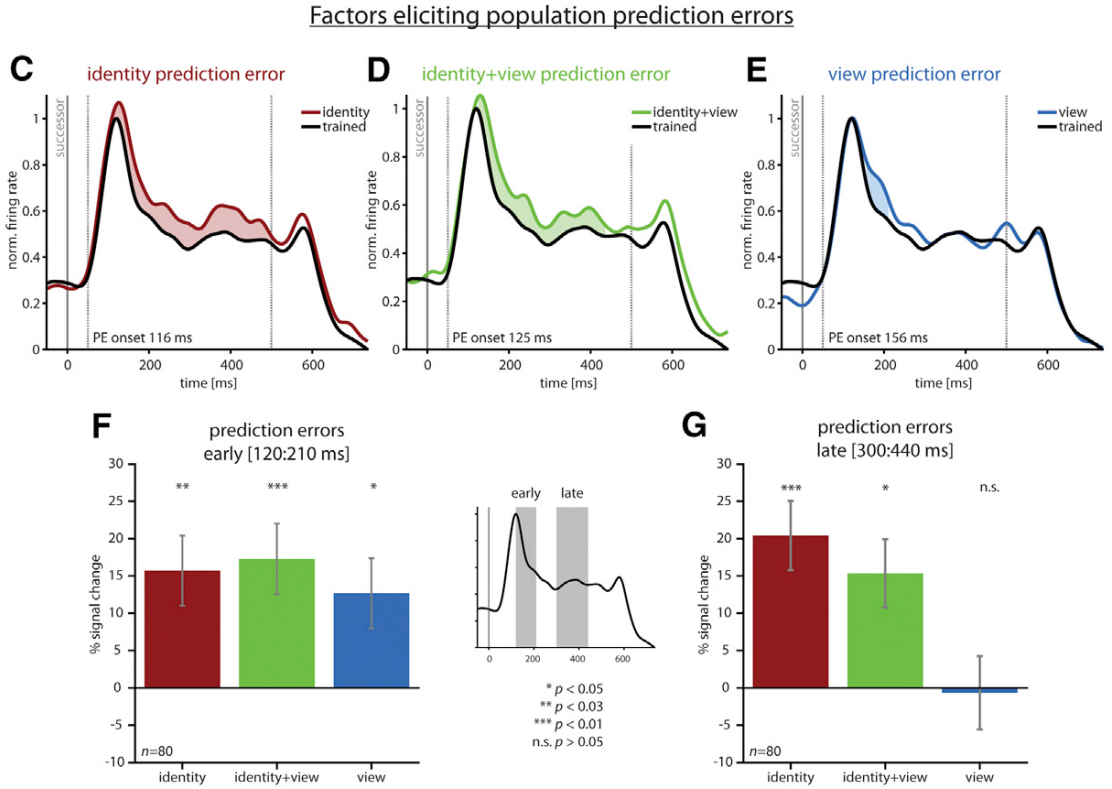




図は結果である。A は ML の位置。B の左は予測誤差に対する発射活動の増加の一例。横軸 0 で successor が提示された。B の右は 50-500 ms での予測誤差の効果を示したニューロンの分布図。白丸は左のニューロンの結果。C は予測誤差を起こした要因の Venn 図。小さくて読めないので書くと、identity 20%; identity+view 20%; view 8%; identity, identity+view 6%; identity, view 20%; identity+view, view 27%, identity, identity+view, view 10%。ML のニューロンが view 特異性（tuning）を示すのに、予測誤差は多様な tuning を示す。これは predictive coding から予測される結果である。D は左から identity, identity+view, view の予測誤差に発射活動を増大させたニューロンの例を示す。



上の図 A はニューロンの preferred（実線）/nonpreferred（点線）と violation（太線）/trained（細線）条件での平均発射活動。violation は identity と identity+view。図 B は刺激後を初期 120-210 ms と後期 300-440 ms に分けて予測誤差を表示したもの。予測誤差は preferred のみで生じ、すべての violation (deviant) 刺激にも反応するわけではない。



上の図の C, D, E はそれぞれ identity, identity+view, view の予測誤差への反応の平均で、黒の実線が trained の平均。F, G は予測誤差を前期（120-210 ms）と後期（300-440 ms）に分けて分析した結果。前期では view を含めすべての予測誤差の反応がみられるが、後期では view の予測誤差の反応はみられない。また、identity の予測誤差の反応は若干上昇している。下位の view 予測誤差の減少は、predictive coding の考えに従って、予測誤差が上位からくる feedback により抑制されるからと解釈された。

Comparison of prediction errors to local tuning

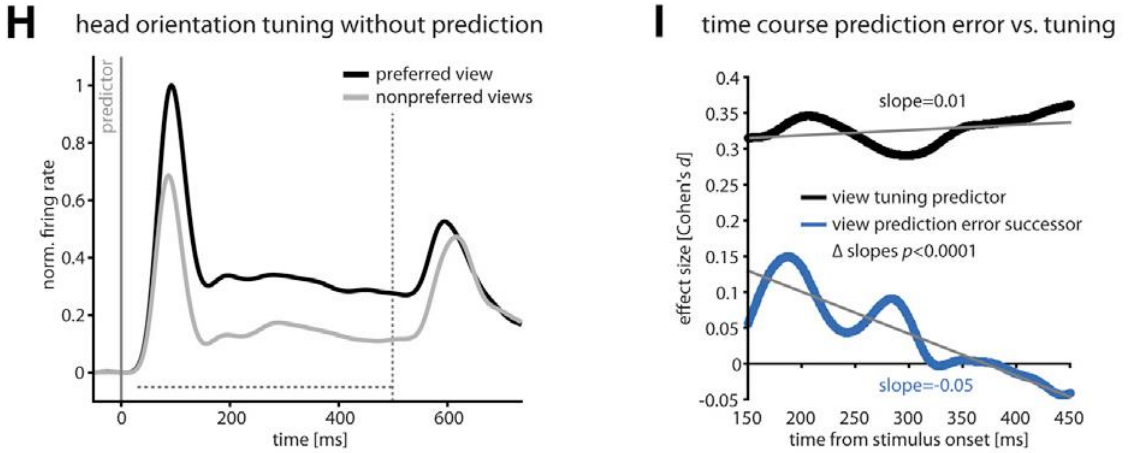


図 H は preferred view をもつニューロンが predictor となった時の発射活動。図 I は view tuning predictor（黒）と view prediction error successor（青）の effect size の比較。Predictor では時間が経っても安定して差があるが、successor では差は減少してゆく。

Mirror-symmetry

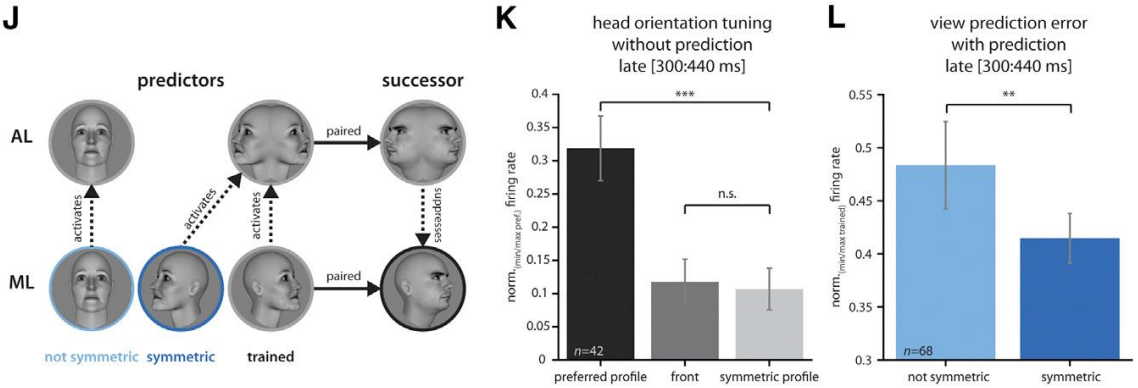


図 J-L は ML の頭の向きの tuning と AL の mirror symmetry の tuning の特性から考えられる予測誤差を分析した。ML のニューロンは頭の向きの preference があり、predictor としては図 K に示すように front と symmetric な向きより発射が多い。AL は mirror symmetry の tuning を持つので、front (non symmetric) と比べて symmetric な刺激は tuning し、予測している刺激なので view 予測誤差は少ないと予想される。その予想が正しいことが図 L に示され、symmetric よりも non symmetric の方が予測誤差の活動が高い。

以上、キチンと説明できたか心もとないが、重要な研究と思いとり上げた。ヒトの顔領域には紡錘状回顔領域 FFA，後頭顔領域 OFA，上側頭溝顔選択的領域 fSTS などがあり、もしそれらに階層構造があるのなら、サルと類似の研究が可能かもしれない。また、顔を離れて、階層構造を持つ機能系はあるだろう。それらで研究ができるかもしれない。なお、Petro, L.S. & Muckli, L. (2018) Trend. Cognit. Sci., 22:95-97 でこの論文を紹介している。