今月の認知神経科学：論文紹介

2014 年 8 月

Pitcher, D. facial expression recognition takes longer in the posterior superior temporal sulcus than in the occipital face area. J. Neurosci., 34:9173-9177, 2014.

Jonas, J. et al. Intracerebral electrical stimulation of a face selective area in the right inferior occipital cortex impairs individual face discrimination. Neuroimage, 99:487-497, 2014.

右の後部上側頭溝 rpSTS が identity 顔の同定よりも expression 表情の同定に関係することは知られているが、その機能が発揮される時間的な側面は分っていない。Pitcher の論文は、磁気刺激 TMS でこの点を研究したもの。

実験 1 では反復磁気刺激 repetitive TMS を rpSTS に与え、上記の結果を確認した。すなわち、表情の再認課題のみで成績が低下した。実験 2 では表情課題で double-pulse TMS を rpSTS と右後頭顔領域（rOFA）に 40 ms 与えたが、その開始を 20-170 ms まで 5 段階設けた。その結果、60-100 ms では rpSTS と rOFA で成績が低下したが、100-140 ms では STS のみで成績の低下がみられた。rpSTS は rOFA よりも処理に長い時間かけること、両領域は機能的に異なることが示唆された。

Jonas らの論文は rOFA に電気刺激を与え、左右に提示された見知らぬ顔の弁別（同異判断）に対する影響を見たもの。しかし、タイトルにない脳波記録、脳波にみられた反復抑制 EEG repetition suppression の分析も行っている。反復抑制の実験では、同じ顔、異なる顔を 1 秒に 6 回（6 Hz）提示した。正立、倒立の条件でも検討している。

その結果、rOFC の電気刺激で弁別が難しくなった。その刺激領域では顔刺激に対する脳波（N170）、γ 帯域の変化がみられた。また、正立顔では反復抑制がみられたが、倒立顔では抑制はみられなかった（下の図。元の図を修正してある）。これらの結果は、rOFA が顔の同定に因果的に関係することを示した。

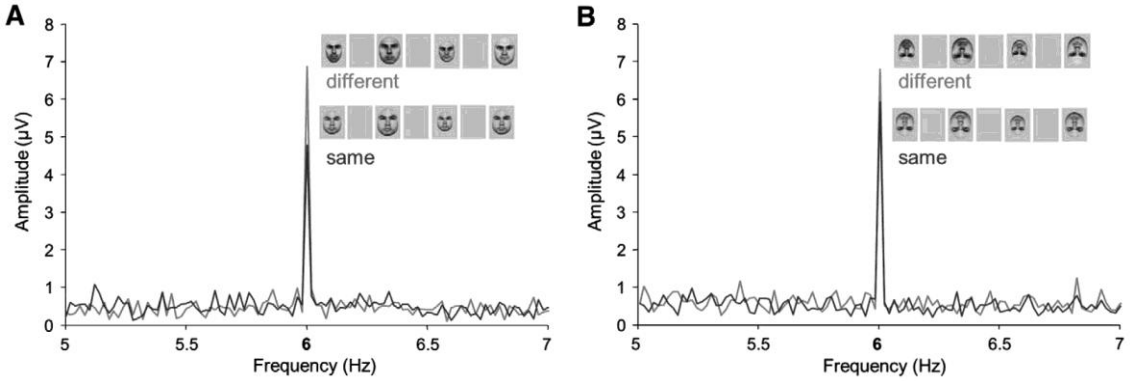
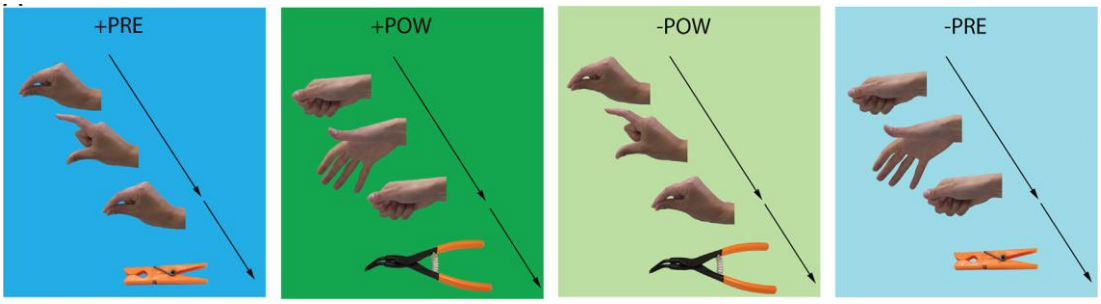
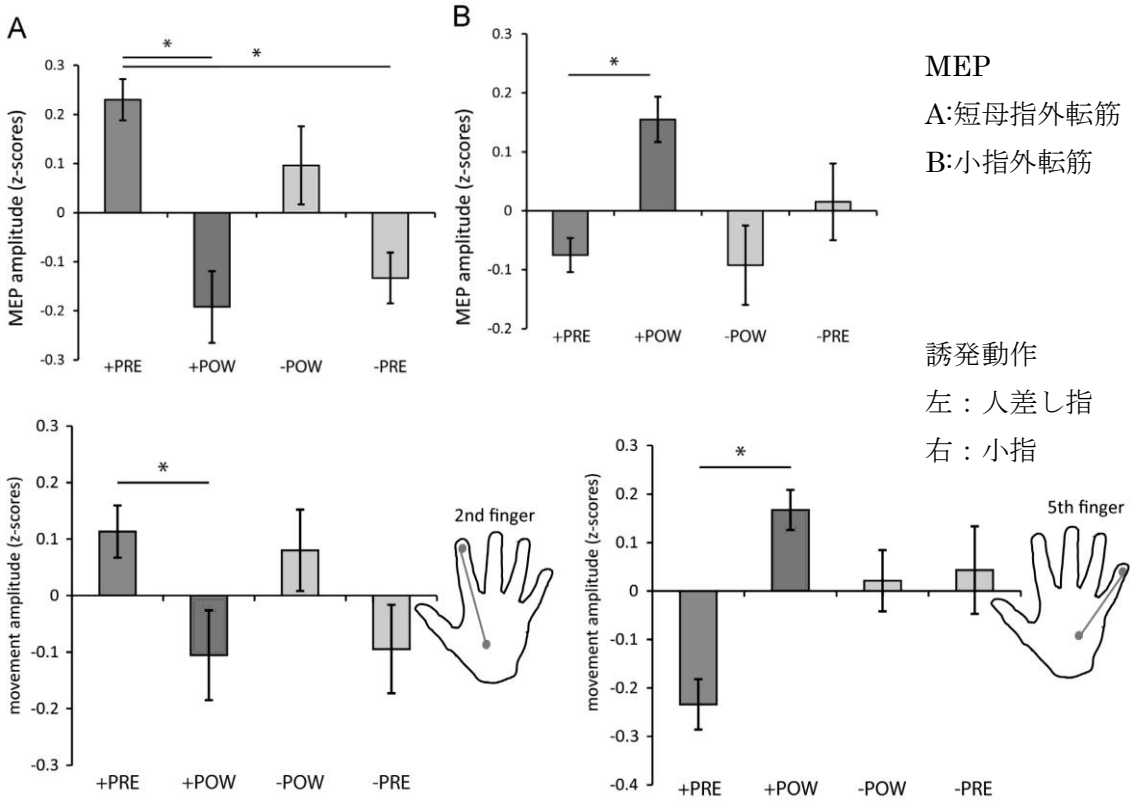


図　脳波の反復抑制の結果。電気刺激が顔の弁別を妨げる領域では、左の正立条件では、同じ顔（濃い線）で異なる顔よりも反応が落ちている。倒立条件では差が消えた。

Bartoli, E. et al. Representing tools as hand movements: Early and somatotopic visuomotor transformations. Neuropsychologia, 61:335-344, 2014.

この論文は affordance の脳内過程の研究、すなわち、感覚運動変換の研究である。実験に順応－刺激 adaptation-stimulation パラダイムを適用した。順応期では、約 1s のつまむ動作 precision grip、握る動作 power grip のビデオ・クリップを 40s 提示した。その後刺激期になるが、それぞれの動作に対応する道具の洗濯バサミ、プライアの写真を提示した。その際、道具と動作が一致する＋条件と一致しない－条件を設けた（下の図）。写真提示の 150ms 後に一次運動野へ磁気刺激 TMS を与え、それによる小指外転筋と短母指外転筋の運動誘発電位 MEP と指の運動を測定した。なお、課題は動作と道具が一致しているかの判断である。MEP と誘発動作の結果を下に示す（元の図を改変した）。両者とも道具の affordance にあった反応が得られており、早い時期に感覚運動変換が生起していた。

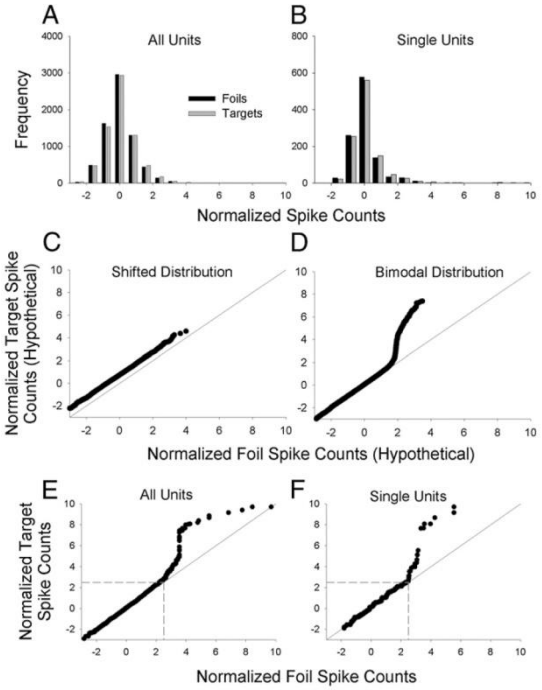




Wixted, J.T. et al. Sparse and distributed coding of episodic memory in neurons of the human hippocampus. PNAS, 111:9621-9626, 2014.

ヒトの海馬のニューロンが記憶情報をどのようにコードしているか分っていない。3 つの scheme がある：1.localist coding, 2.fully distributed coding, 3.sparse distributed coding。1 は一つのニューロンが一つの記憶をコード、2 は一つの記憶を多くのニューロンの活動パタンでコード。3 はその中間で、各記憶は少数のニューロンでコードされると考える。この研究は 9 名のテンカン患者の再認課題で海馬ニューロンの記憶のコード様式を検討した。再認時に記銘した項目と新しく加わったフォイルに対するニューロンの活動を記録、分析した。

患者レベルの分析では、記憶項目への発射はフォイルよりも強く、その差は再認の成績と正の相関をしていた。ニューロン・レベルの分析では、各 220 のニューロンの 32 の記憶項目と 32 のフォイルへの発射を比較したが、5.5 %のニューロンでしか有意な差はみられなかった。これらの矛盾した結果を理解するために、第 3 の分析として、記憶項目とフォイルへの発射活動の分位数－分位数（Q-Q）分布を検討した。下の図の左にある 2 つの説の模式的な表現（左：fully, 右：sparse）。右の図は Q-Q 分布の図で、E, F に見られるように、対角線より上方にずれているのが分る。これは二峰性 bimodal の分布を意味し、A, B の度数分布からは見えない結果である。



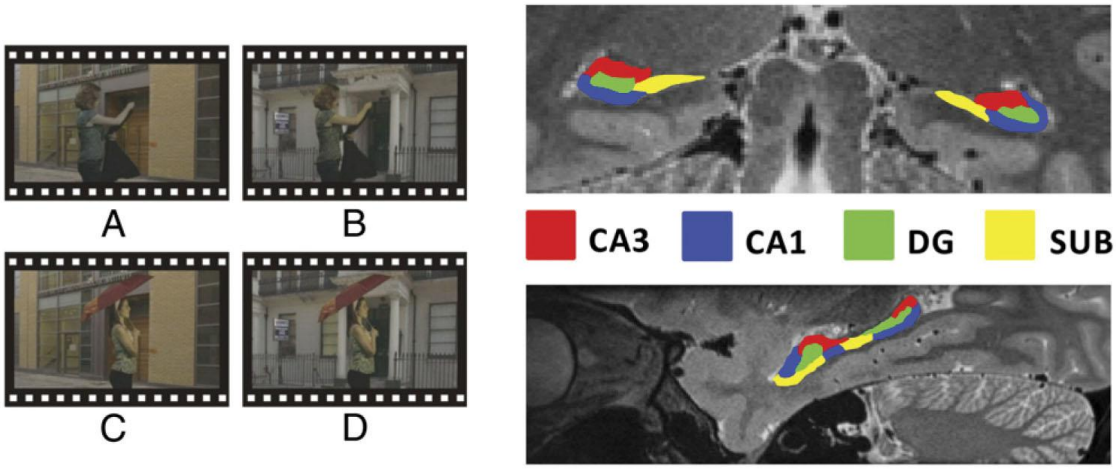
		A (Fully Distributed)								B (Sparse Distributed)							
Item Type	Test Items	--------Units--------								--------Units--------							
		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Foils	*Earth*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cup	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Diamond	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Paint	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Game	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Church	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Weapon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Square	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Targets	*Clock*	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	**2**	0	0	0
	Chief	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0	**2**	0	0	0	0	0	0
	Map	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0	0	0	0	0	0	**2**	0
	Umbrella	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	**2**	0	0	0	0	0	0	0
	Leather	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0	0	0	0	0	**2**	0	0
	Navy	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0	0	**2**	0	0	0	0	0
	Milk	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0	0	0	**2**	0	0	0	0
	Coffee	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	**2**

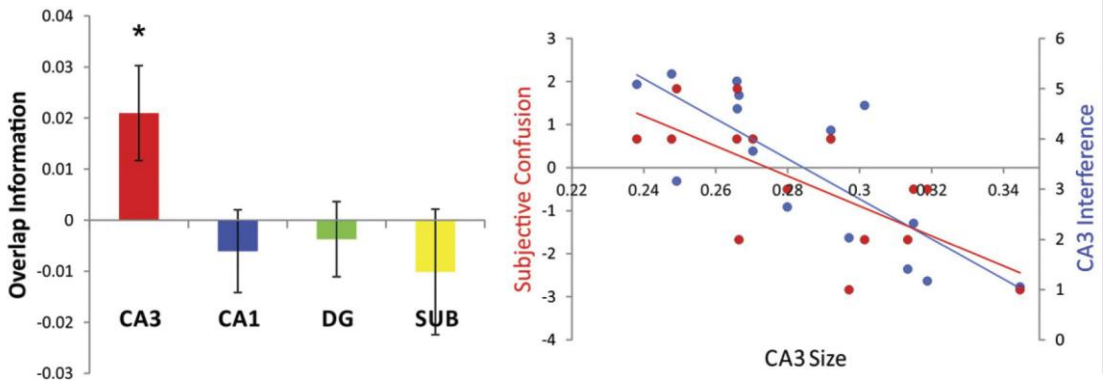
これらの結果は、海馬のニューロンによるエピソード記憶のコード化は sparse distributed coding であることを示唆する。なお、1 の local list coding は刺激項目に対応して変化するニューロンを記録できないだろうと考えている。

Chadwick, M.J. et al. CA3 size predicts the precision of memory recall. PNAS, 111: 10720-10725, 2014.

エピソード記憶を構成する要素は overlap していることが多い。しかし、われわれは個別的な記憶を想起できる。この論文は、このような記憶の機能が海馬の subfield の CA3 で行われていること、想起の個人差は CA3 の容積に関連することを明らかにした。

記憶するエピソードは 2 人の人と 2 つの場面による 4 つの動画である（上図、左）。脳活動の記録は高解像度の fMRI で、海馬の subfield の同定は超高解像度の構造用 MRI で行った。上図の右は海馬の subfiled の位置関係である。fMRI の decoding 分析は多変量 Bayes (MVB)法を援用したが、この方法では特定の記憶の想起に関係した活性のパタンを見つけ出すことができる。まず、個々の記憶が海馬の subfield にあるか検討した。その結果、CA3 にのみ個々の記憶があった。ただし、各エピソード間には多くのオーバーラップがある。下図の左にそれを示すが、CA3 でそれがみられた。これらの結果は、CA3 が pattern sepalation 処理をされた記憶情報を受け、想起に際して pattern completion することを反映していると解釈された。想起に関する個人差と CA3 の容積について検討した結果、下の図にあるように、CA3 が大きいほど記憶の妨害、混乱が少なかった。



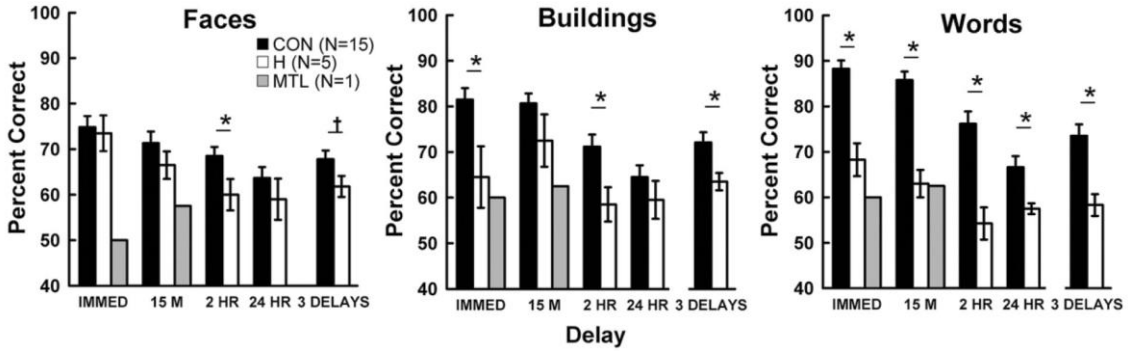


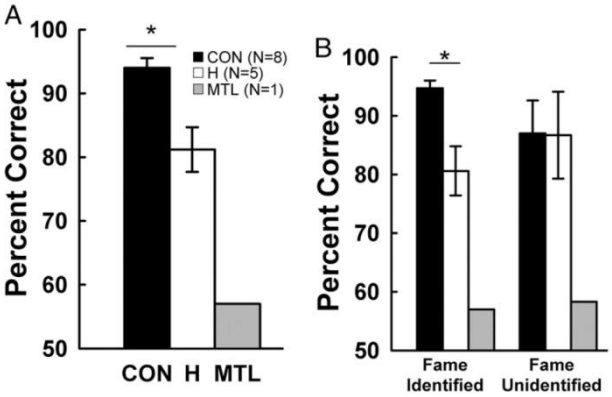
これらの図は、元の図を改変してある。DG:歯状回、SUB:海馬台

Smith, C.N. et al. When recognition memory is independent of hippocampal function. PNAS, 111:9935-9940, 2014.

海馬や関連する内側側頭葉の損傷はすべての記憶に障害を与えると考えられてきた。そして、それは再認や再生といった想起の手続きに関係なくみられる、と。しかし、最近の研究は顔はその例外かもしれないことを示唆した。すなわち、保持期間 delay が短い時は、顔の再認は可能であった。この研究は、海馬（HIPP; H）、海馬を含む内側側頭葉（MTL）の大きな損傷と顔やその他のカテゴリ（建物、単語）の刺激の再認の関係を、delay、既知性、倒立提示を操作し、5 つの実験で検討した。

実験 1 はこれまでの研究結果の再現を検討したもので、直後と 24 時間後で再認を調べた。その結果、海馬のみの損傷では顔の再認は健常者と変わらなかったが、24 時間後には成績が低下していた。MTL 損傷では両 delay で成績が低下した。単語の再認は両群ともに直後で成績が低下していた。実験 2 では delay の時間が操作された。結果を上図に示す。用いた刺激が少なく明瞭ではないが、2 時間 delay で健常者よりも再認成績が悪い。実験 3 は、実験 2 の健常者の顔の再認成績が建物、単語より悪かったので、手続きを簡素化し成績が高くなるようにしたが、結果は同じだった。実験 4 は顔の既知性を操作したもので、有名人の白黒写真を用いた。結果を下図に示すが、海馬損傷では直後再認でも成績が低下した。実験 5 では holistic 処理が難しい倒立顔を提示したが、直後再認でも成績が低下した。





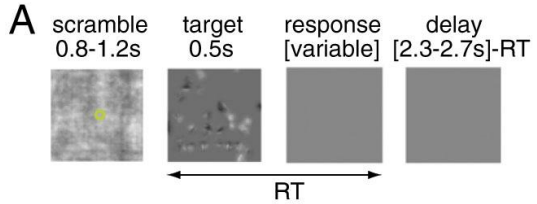
これらの結果から、顔の処理は例外的であり、それは顔の処理が holistic であること、言語化が難しいことによると考えられた。

上図：delay の操作結果

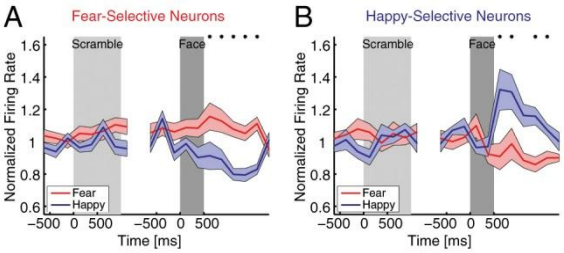
下図：既知性の操作結果

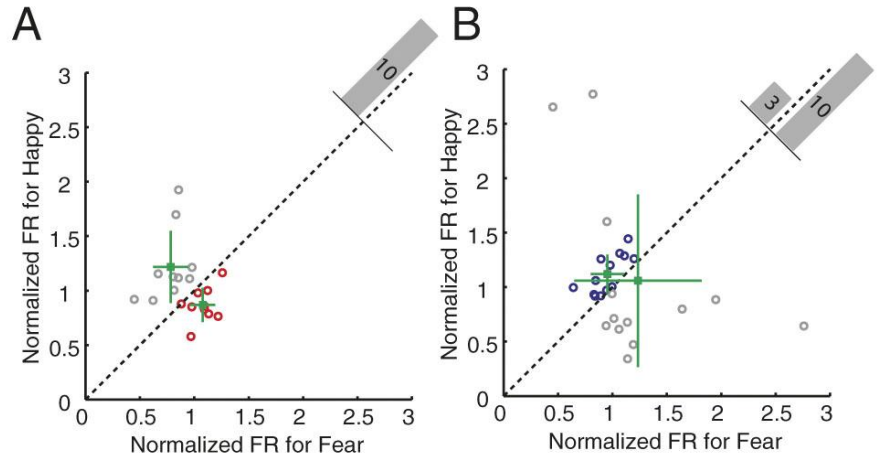
Wang, S. et al. Neurons in the human amygdale selective for perceived emotion. PNAS, 111:E3110-E3119, June 30,2014.

ヒトの扁桃核のニューロンの表情刺激への反応の特性を研究した。ヒトの fear と happy の顔写真を加工して、下の図 B にある様な bubbles stimuli を作成した。この刺激を提示し（下の図 A の target）、fear か happy の判断を求めたのが課題である。210 個の扁桃核のニューロン活動を記録したが、正しく表情判断をした試行で、fear と happy で活動が異なったのは 41 個のニューロンだった。左下の図は fear (A)と happy (B) selective neuron の活動を示す。図で赤が fear, 青が happy.



また、2 つの表情と判断の正誤の間に交互作用の見られた 23 個のニューロンを選び出し、さらに分析を加えた。内訳は fear が 10 個、happy が 13 個だった。その結果を下に示す。下の図 A, B にあるように、誤判断時の活動は、もう一方の表情の正解時の活動に類似していた。





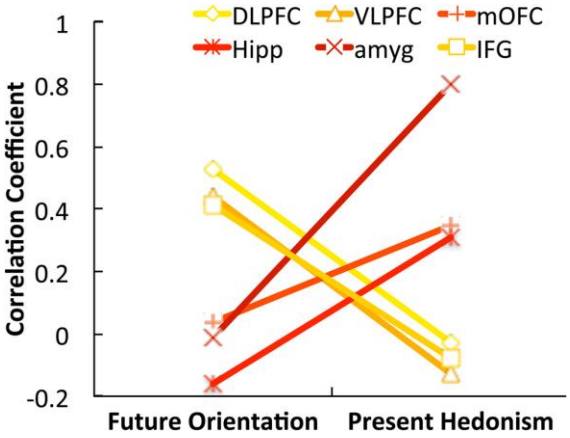
左図で、A の赤丸は正解時の fear の活動、B の青丸は正解時の happy の活動、灰色は誤判断時の活動。FR: firing rate

すなわち、図 A にあるように、fear の bubble 刺激を happy と判断した時には、happy の正解時の活動に相当する活動がみられた。これは、扁桃核の表情に関係するニューロンの活動は主観的な表情判断に対応していることを示す。論文では、ニューロン活動と主観的判断の関係をさらに検討し、また海馬のニューロンとの比較を行っているが、割愛する。

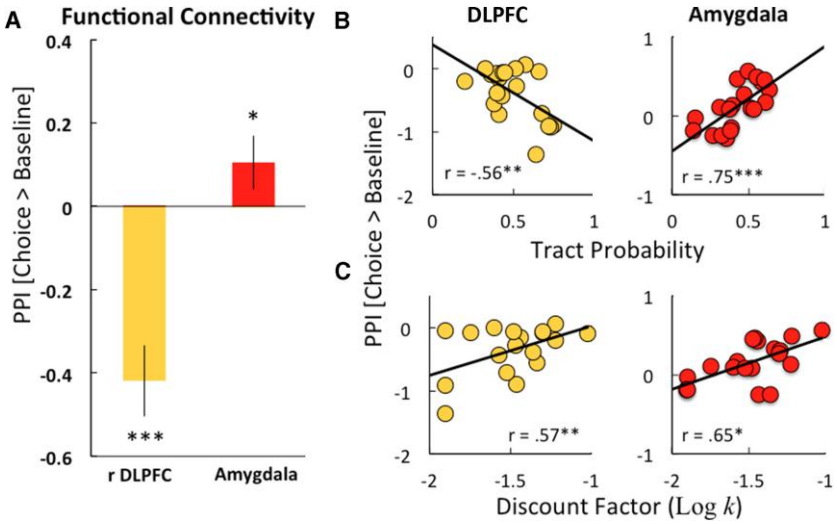
van den Bos, W. et al.　Connectivity strength of dissociable striatal tracts predict individual differences in temporal discounting. J. Neurosci., 34:10298-10310, 2014.

この論文は、直ぐにもらえる少量の報酬（SS）と将来もらえる多量の報酬（LL）の間の選択、すなわち intertemporal choice にみられる temporal (delay) discounting と、線条体－皮質、線条体－皮質下の領域との構造的、機能的な結合性を検討したもの。Temporal discounting rate, k (log k)には個人差があり、論文で使用した Zimbardo Time Perception Inventory の Future orientation (FO)と Present hedonism (PH)の要因と関係する。

課題は、例えば、今日 10 ドルもらうか、28 日後に 27 ドルもらうか、の選択である。構造的な MRI では、diffusion tensor imaging (DTI)と tractography で線条体と皮質、皮質下の領域との結合の強さを明らかにし、それと log k との相関を検討した。その結果、右背外側前頭前野、左下前頭回が負、両側の扁桃核が正の相関だった。衝動的な（log k が大）な人ほど皮質下との結びつきが強く、逆にがまん強い人は皮質との相関が強い。相関係数と FO, PH の関係を左の図に示す。前頭前野など皮質の相関は FO>PH で、扁桃核や内側眼窩前頭部など皮質下関連の領域の相関は FO<PH だった。



下の図は機能的な結合性の結果で、選択時には、背外側前頭前野とは低下、扁桃核とは増加した（A）。この二つの領域における fMRI と構造的 MRI (B)、fMRI と log k (C)との相関が示してある。



これらの結果は、線条体と外側前頭前野の結合は patience の増加と、皮質下との結合は impulsivity の増加と関連することを示した。

なお、temporal discounting と性格との関連については、**Manning, J. et al. Neuroimage, 98:42-49, 2014** もある。神経症傾向（N）は SS, 誠実性（C）は LL を選択の傾向。

Ainley, V. et al. Heartfelt imitation: High interoceptive awareness is linked to greater automatic imitation. Neuropsychologia, 60:21-28, 2014.

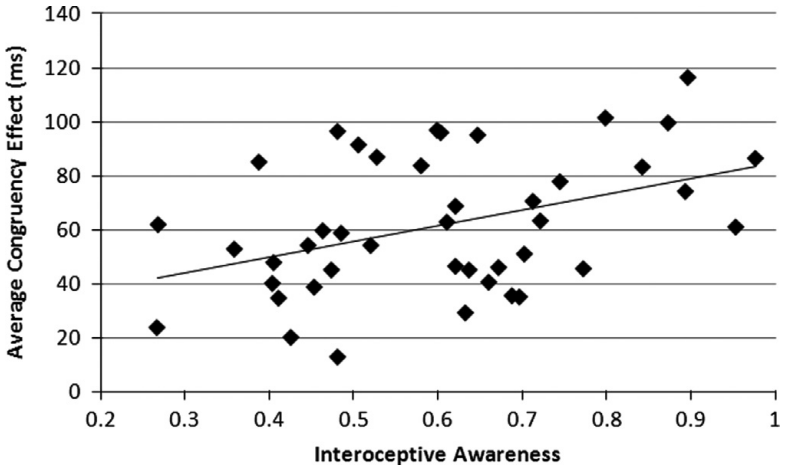
interoceptive awareness とは個人の内的な信号の気づきをいう。この研究ではこの気づきが模倣という運動の領域での自他の区別へ与える影響を検討した。

自動的な模倣 automatic imitation では、模倣の抑制は、自己が生成した運動表象を他者の行為の観察より生起した運動表象から区別することに成功したことを示している。これは一致効果 congruency effect で計測される。すなわち、要求された行為が観察された行為と不一致 incongruent な時の反応時間と、一致 congruent な時の反応時間の差を計測する。一方、interoceptive awareness については、心拍の知覚で検討した。

模倣の課題は人差し指/中指を上げる課題で、提示される数字 1/2 が上げる指を指定する。そしてモニターに人差し指/中指を上げる映像が提示される。要求された行為と映像の行為の間に一致と不一致の条件がある。上記のように、congruency effect は条件間の反応時間の差が指標である。参加者は心拍をカウントしたが、実験者は心拍を計測し、以下の式で awareness の指標とした。1/3 Σ(1-(abs(計測心拍数－カウント心拍数)/計測心拍数))。この指標が大きいと interoceptive awareness が高い。

下の図にあるように、interoceptive awareness は congruency effect と有意な正の相関を示した。なお、この相関の大部分は incongruent な条件での結果が寄与していた。すなわち、interoceptive awareness の高い人は、incongruent な条件で起こりやすい自動的な模倣を抑制するのに苦労していることを示している。

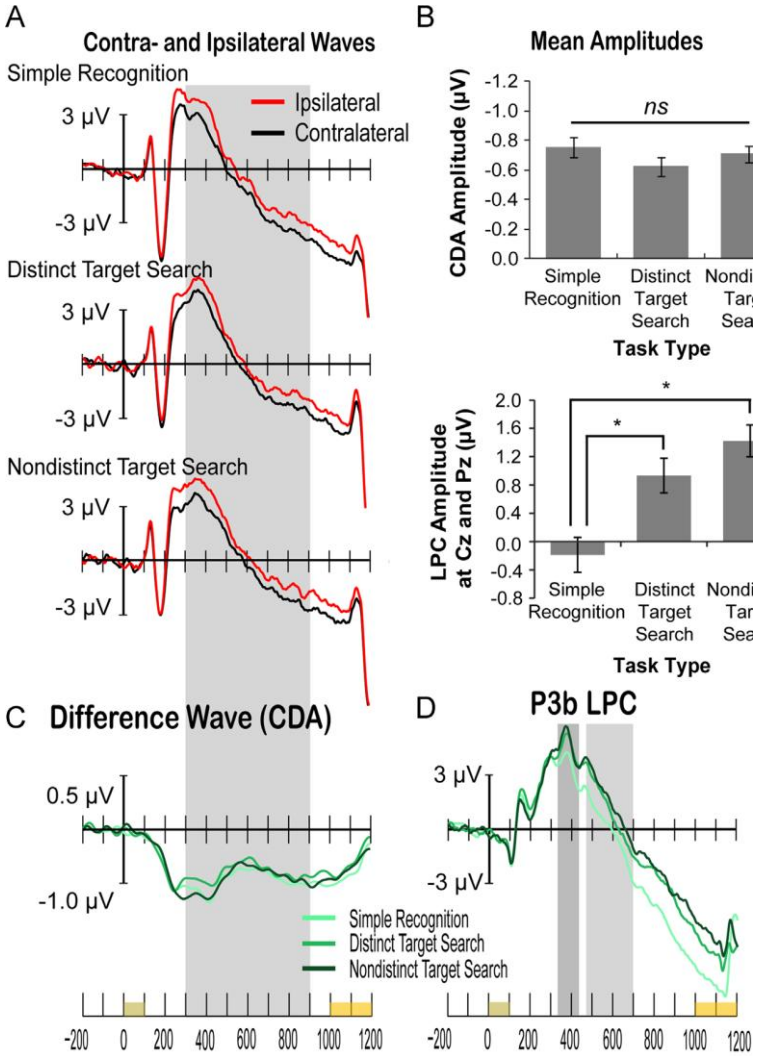
interoceptive awareness の高い人は、高い共感の傾向を持ち、観察した行為に大きな反応性を持つので、模倣しやすいのだろうと考えている。著者らは、この結果を predictive coding の立場から説明しようとしている。



Gunseli, E. et al. Is a search template an ordinary working memory? Comparing electro-physiological markers of working memory maintenance for visual search and recognition. Neuropsychologia, 60:29-38, 2014.

視覚探索では、search template をワーキング・メモリに維持して探索する。これは以下の疑問を提起する。すなわち、視覚探索における template は、特に強い標的への注意を必要としない通常のワーキング・メモリの課題における template と同じものなのか、それとも質的に異なるものなのか？

この点を検討するために、二種類の視覚探索と単純なワーキング・メモリ課題（simple recognition）を実行中の参加者の脳波（事象関連電位：ERP）を記録した。着目したのは視覚的ワーキング・メモリの表象の質的、量的な指標である対側遅延活動（contralateral delay activity: CDA）と、視覚的ワーキング・メモリの維持の努力を反映する late positive complex: LPC である。下の図に示すように、CDA は課題間で差がみられなかったが、LPC には差があり、努力を必要とする探索課題の方が Cz と Pz において振幅が大きかった。



この結果は、視覚探索における search template が単純な再認課題における表象と質的に同じものであること、しかし、その維持には努力が必要なことを示した。

この結果は、本ホームページの『脳と心：認知神経科学入門』の第 6 章からも予測される。

今月の認知神経科学の応用

Setti, A. et al. (2014) Neuropsychologia, 61:259-268.
視覚と聴覚刺激の時間順序を判断する cross-modal な訓練が、高齢者で cross-modal な sound-induced flash illusion を減少させた。

Byun, K. et al. (2014) Neuroimage, 98:336-345.
mild exercise が実行機能にどのような影響を与えるか検討した。exercise は色ー語の Stroop 課題で、NIRS で実行機能の脳活動を計測した。

Takeuchi, H. et al. (2014) Human Brain Map., 35:3646-3660.
複数の認知課題を同時に行う訓練（multitasking, MT）は認知機能にプラスの影響を与える。MT が灰白質の容積、安静時の機能結合に与える影響を見た。

Antal, A. et al. (2014) Human Brain Map., 35:3750-3759.
経頭蓋直流電気刺激（tDCS）を右の内側前頭前野に与え、社会的なストレスへの影響を見た研究。

Weber, M.J. et al. (2014) Human Brain Map., 35:3673-3686.
前頭前野への tDCS の aftereffect の研究は少ない。tDCS 前後の安静時および balloon analog risk task （BART）実行時の脳の活性を fMRI で記録し、この点を検討した。

Libero, L.E. et al. (2014) Neuropsychologia, 62:1-10
高機能自閉症児、者（ASD）とそれに対応する定型発達児、者の脳を構造的 MRI で計測した。紡錘状回、中側頭回、下前頭回で違いがみられた。

Verly, M. et al. (2014) Human Brain Map., 35:3602-3615.
ASD の言語障害と脳内の言語ネットワーク間の結合の問題を構造的 MRI と fMRI で検討した研究。ASD では underconnectivity がある。

Umemoto, A. et al. (2014) Cognit. Affect. Behav. Neurosci., 14:698-714.
注意欠陥多動障害（ADHD）には前部帯状回 ACC の報酬予測誤差の処理に問題があると考え、事象関連電位（陽性報酬反応）の分析を行った。

Norton, E.S. et al. (2014) Neuropsychologia, 61:235-246.
発達性の読みの障害 dyslexia は素早い命名と音韻の 2 つに障害があるという double-

deficit 仮説を fMRI で検討した研究。

Gearhardt, A.N. et al. (2014) Soc. Cognit. Affect. Neurosci., 9:932-938.
　テレビで放映される食物の広告に肥満を含む視聴者の脳がどのように反応するかを fMRI で検討した。影響は小さいようだ。

Cooper, J.A. et al. (2014) Cognit. Affect. Behav. Neurosci., 14:729-741.
　抑鬱 depression は注意が負の側面に偏っているので、正の側面に注意を向ける訓練をしたところ、報酬を最大化する課題に改善がみられた。

Grant, M.M. et al. (2014) Human Brain Map., 35: 4815-4826.
　発達初期の外傷性体験は抑鬱発症の危険因子だが、この点を大うつ病性障害の患者の内側前頭前野－扁桃核の結合性で検討した。

Mason, L. et al. (2014) Brain, 137:2346-2355.
　双極性障害者の意思決定は衝動性と risk-taking の障害がみられる。この研究はルーレット課題中の脳活性を測定し、外側、内側の前頭前野と腹側線条体の関係を検討した。

Potenza, M.N. (2014) Trend in Cognit. Sci., 18:429-438.
　脳機能画像研究の発展で、ギャンブルの障害は DSM-5 では行動的な中毒と位置づけられた。この論文はこの障害の脳研究の成果を予防、治療、政策に結びつけようとする。

Subramaniam, K. et al. (2014) Neuroimage, 98:281-292.
　統合失調症の患者にワーキング・メモリの訓練（N-back 課題）を行い、行動と fMRI による前頭前野（中前頭回）への影響を見た。肯定的な結果を得た。