

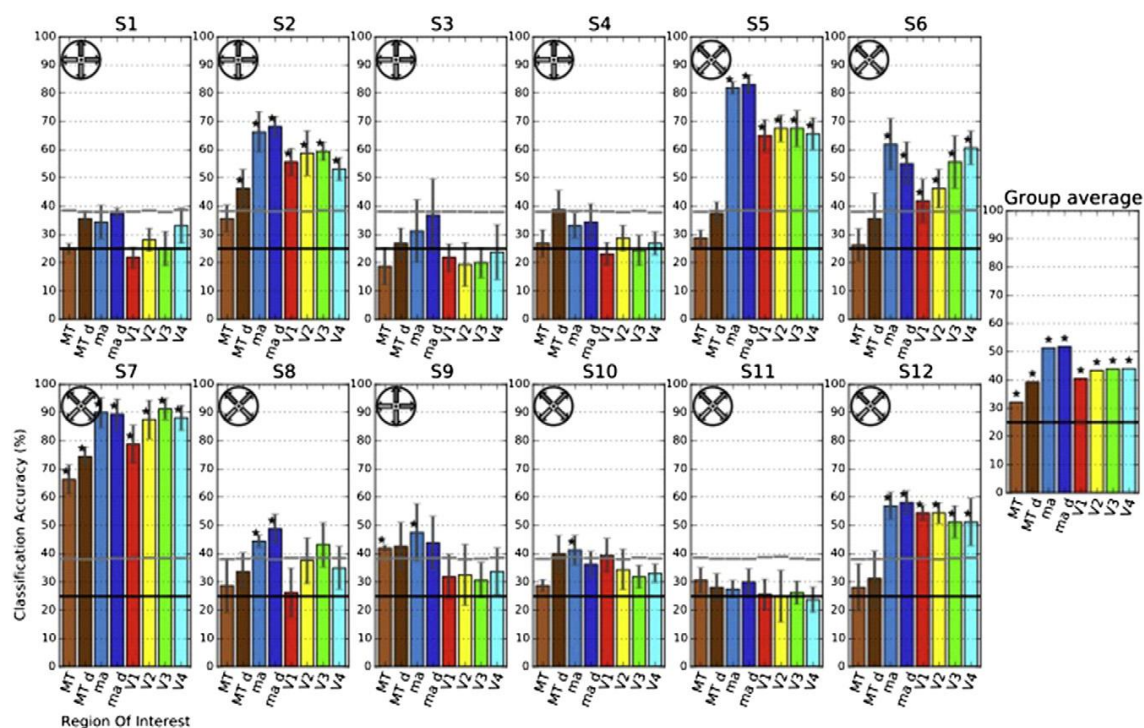
今月の認知神経科学：論文紹介

2016年1月

今月は decoding の研究をまとめて紹介する。

Emmerling, T.C. et al. Decoding the direction of imagined visual motion using 7 T ultra-high field fMRI. *Neuroimage*, 125:61-73, 2016.

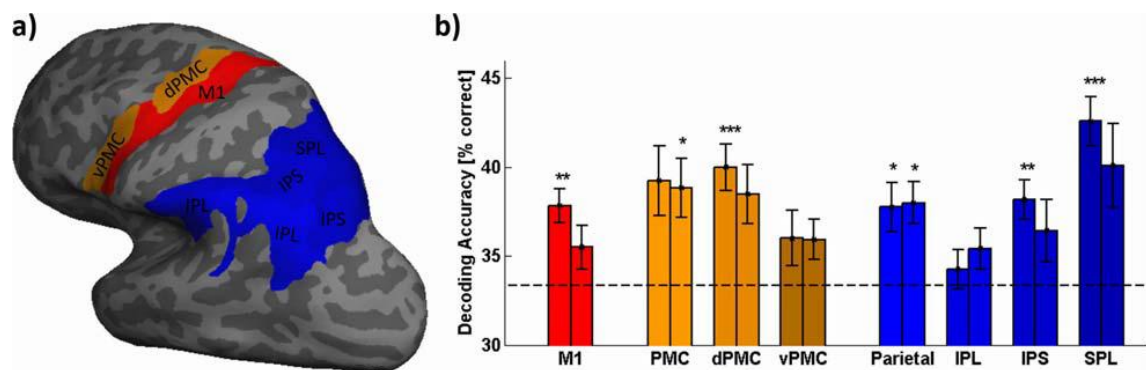
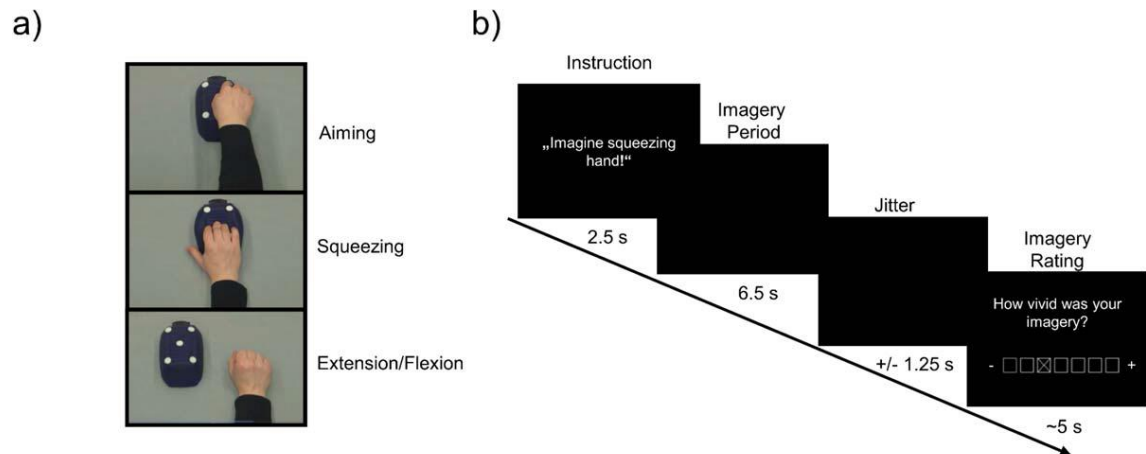
この研究は視覚刺激の運動をイメージ生成させ、その方向を decode できるかを検討した。課題は凝視点から白いドットが 90 度異なる方向に移動することをイメージすること。実験前に訓練を行っているが、4つの方向（2種類あり、12名の参加者によって異なる）は下の図の円内に示されている。イメージすべき方向は対応した数字で聴覚的に提示される。イメージ生成中に計測した fMRI データを classifier の訓練用とテスト用に分け4つの方向を decode できるか検討した。ROI は視覚領野の 8 か所で、MT、MT d:20-fold dilated MT、ma:visual motion-responsive area、ma d:10-fold dilated ma、V1-V4 である。このほかに、眼球運動やイメージの vividness の評定など行動データがあり、また fMRI データの univariate 分析もある。



上の図が decoding の結果である。参加者毎に ROI の成績が示されている。この図から分るように、個人差が大きく、ROI の一か所も有意な decoding ができなかった参加者が 4 名もいる。右端に参加者の平均が示されている。平均するとすべての ROI で有意な decode が可能だった。

Pilgramm, S. et al. Motor imagery of hand actions: Decoding the content of motor imagery from brain activity in frontal parietal motor areas. Hum. Brain Mapp., 37:81-93, 2016.

この論文は3種類の運動をイメージさせ、前頭、頭頂の運動関連領域のfMRIデータでdecodingできるかを検討したもの。運動は上図のa)に、実験の時間経過はb)にある。



ROIを下図a)に示す。前頭葉は一次運動野(M1)、背側、腹側の運動前野(dPMC, vPMC)で、頭頂葉は下頭頂小葉(IPL)、頭頂間溝(IPS)、上頭頂小葉(SPL)である。Classifierを訓練しdecodeした結果がb)である。各ROIの左右のバーはそれぞれ左右の半球の結果である。PMCは運動前野、Parietalは頭頂葉の結果を合わせたもの。この結果から分るように、ROI間、半球間に差があるが、前頭、頭頂葉の運動関連領域でイメージした運動野decodingができた。なお、イメージ生成の評定、筋電図は運動間に差がなかった。

この他に、searchlight analysisを実施し、有意なdecodingを示す領域を検討したが、上記のROIのほかに、初期の視覚皮質、hMT、有線領外身体領域EBA、補足運動野SMAなどの領域でdecodingが可能だった。

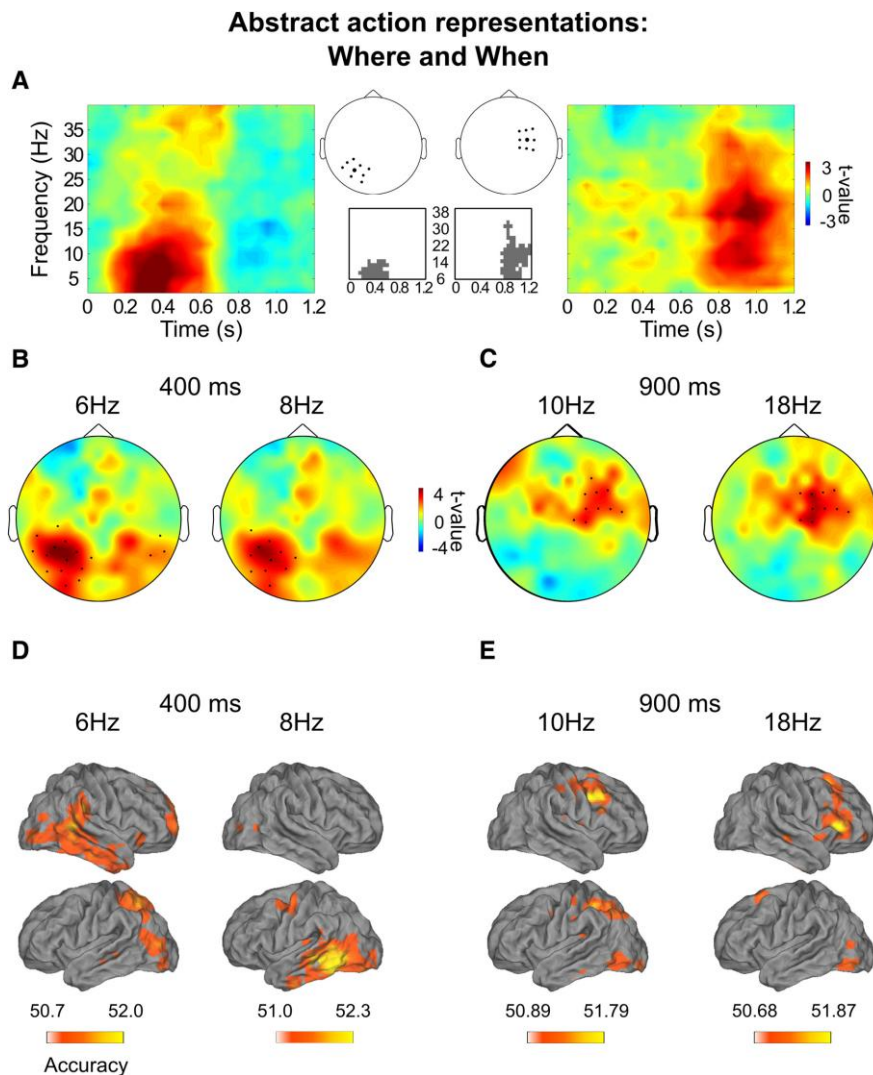
先月、実際の運動のdecodingの実験を紹介したが、イメージされた運動でも同じような領域でdecodingが可能だった。前ページの視覚のイメージ生成の結果も考え合わせると、初期の運動野、視覚野がイメージ生成に関与することが分かる。視覚、運動のイメージ生成が実際の知覚、運動と同じ領域を利用することが分かる。

Tucciarelli, R. et al. MEG multivariate analysis reveals early abstract action representations in the lateral occipitotemporal cortex. J. Neurosci., 35:16034-16045, 2015.

この論文は、運動観察時の脳磁図 MEG データに MVPA を適用した decoding で、運動の方向（左右）、効果器（左右手）の相違を越えた抽象的なレベルの pointing と grasping（実験では方向、効果器を無視して 2 つの行動のいずれかを答える。Video clip は 833 ms）の表象を、とくに時間的な側面から検討したもの。結論から言うと、運動系よりも外側後頭側頭皮質 LOTC で最も早く表象されていた。MEG データの MVPA の詳細については本文

を参照下さい。

左図は両運動の decoding の結果で、両方の運動を抽象的なレベルで区別できた時間と周波数を表示している（図 A。中央上は各データのセンサー位置、下は多重比較で生き残った結果）。2 つの領域で時間、周波数の点で異なる decoding がある。B, C は video 開始からそれぞれ、400 ms, 900 ms における decoding の結果で、領域と周波数が異なる。400 ms では左後方、900 ms では右よ



り前方で高い精度の decoding がみられた。D, E は B, C に対応する脳領域である。400 ms では LOTC で、900 ms には運動皮質を含む領域で decoding が可能だった。

これは行為の理解についてミラー・ニューロン・システム MNS が主張する action simulation とは異なる結果である。時間分解能がよい MEG を利用した MVPA であるが、LOTC にある有線領外身体領域 EBA は運動にも関わるので、今後も研究が必要だろう。

Kragel, J.E. & Polyn, S.M. Decoding episodic retrieval processes: Frontoparietal and medial temporal lobe contributions to free recall. *J. Cognit. Neurosci.*, 28:125-139, 2016.

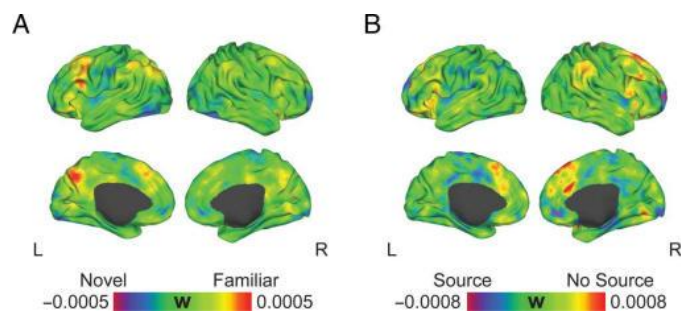
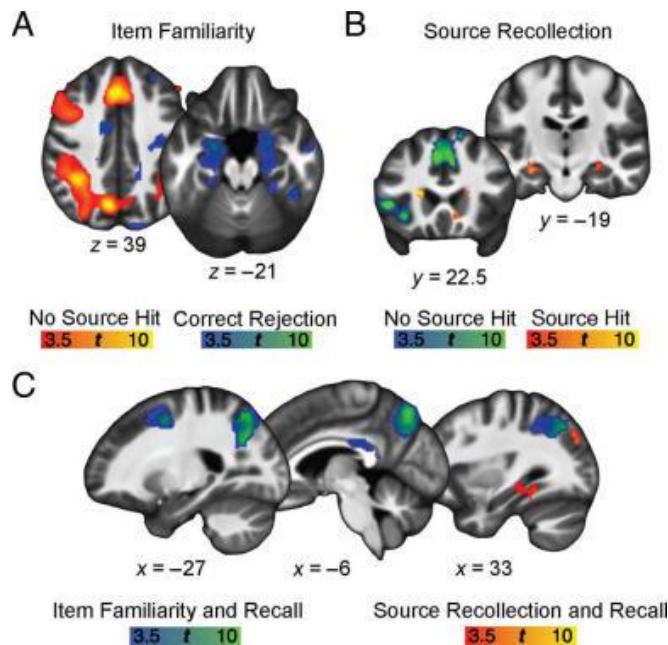
この論文は再認 (recollection, familiarity) と再生 (free recall) の関係を、fMRI データの univariate (GLM) と multivariate (MVPA, decoding) 分析により検討したもの。課題は 24 の単語の記銘とその後の想起 (再生か再認) よりなる。記銘時には単語を生物か否か、大きさのいずれかで判断することが求められる。それらは単語提示前に指示される。再生か再認かは想起試行の前に指示される。再認テストでは新しい単語が追加される。提示された単語 (全 32 刺激) が生物課題だったか、大きさ課題だったか、新しいかを判断する。課題を正しく想起できた場合が Source Hit, できなかった場合が No Source Hit, 正しく新しいと判断した場合が Correct Rejection である。再生は口頭で行う。

GLM の結果が上の図。Item Familiarity, IF は No Source Hit と Correct Rejection の比較 (A) で、Source Recollection, SR は Source Hit と No Source Hit の比較 (B) で関連する領域を求めた。No Source Hit では内外の頭頂皮質、前頭弁蓋部皮質、背側前部帯状皮質、

Source Hit は海馬など両側の内側側頭葉で活性がみられた。

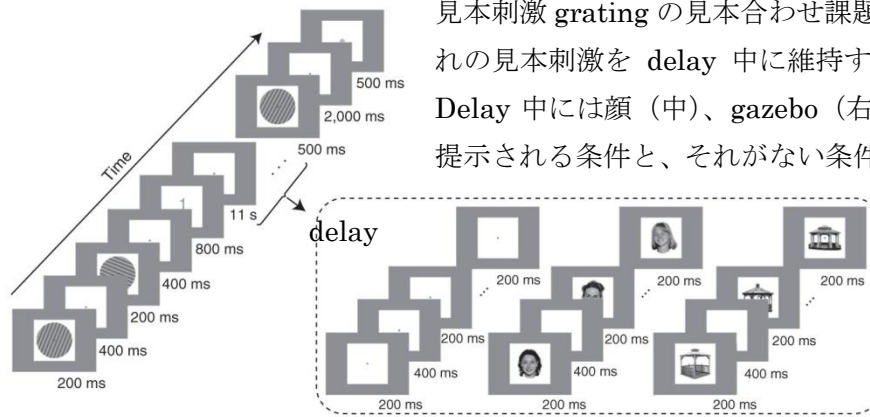
C はそれらと自由再生の重なりで、SR とは右海馬後部、その周辺、IF とは前頭、頭頂皮質で重なっていた。

下の図は decoding の結果で、A は IF, B は SR 関連の decoding で、それぞれ、背側前頭前野と楔前部、後部海馬と腹内側前頭前野等で高い decode ができた。それぞれの decoding に使った classifier を自由再生のデータ (再生と speech の比較) に適用した。再生の活性パターンは IF あるいは SR に近いのか。その結果、IF classifier は再生の活性パターンは IF のそれと類似と判断、SR classifier は Source Hit のパターンと類似しなかった。これは whole brain の結果だが、上記、再認-再生共通領域でも同じ結果だった (詳細は省略)。



Bettencourt, K.C. & Zu, Y. Decoding the content of visual short-term memory under distraction in occipital and parietal areas. Nat. Neurosci., 19:150-157, 2016.

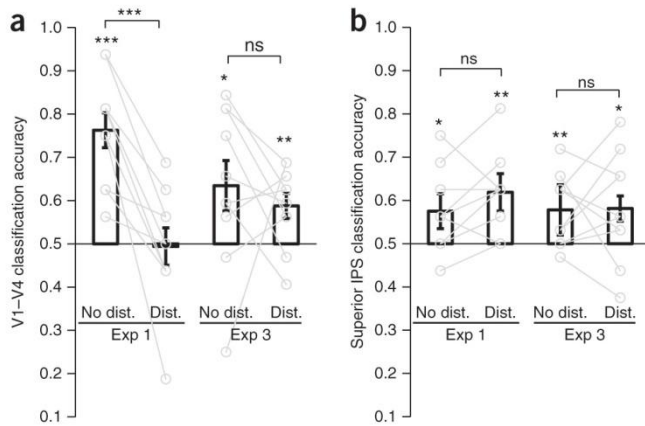
この論文は、妨害刺激がある状況下での delay 中の見本刺激の表象を、後頭、頭頂皮質の fMRI による活性に decoding を適用することで検討したもの。課題を下に示すが、2つの



見本刺激 grating の見本合わせ課題。見本提示後にいずれの見本刺激を delay 中に維持するかを示す指示がある。

Delay 中には顔 (中)、gazebo (右) が妨害刺激として提示される条件と、それが無い条件 (左) がある。実験

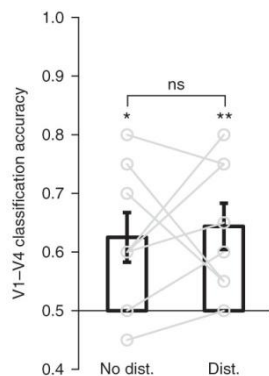
1, 3 はこの課題だが、実験 1 では妨害の予測が可能、実験 3 では予測できなかった。



左図が実験 1, 3 の結果です。a が視覚領野 (V1-V4)、b が上頭頂間溝の結果で、各グラフで、左が実験 1、右が実験 3 の結果である。各実験で左が妨害刺激なし、右が妨害刺激ありの結果。実験 1 の予期できる妨害刺激がある条件のみで、視覚領野では decoding ができなかった。その他条件では結果に差がなかった。

この結果は頭頂間溝の方が見本

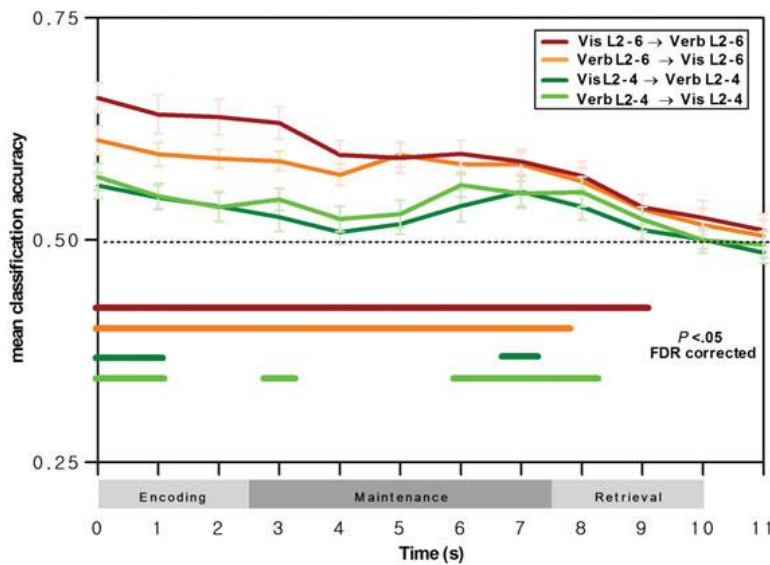
刺激の表象を維持しており、視覚領野ははいつてくる刺激の影響を受けやすいことを示唆している。そこで、実験 2 では実験 1 の結果が fMRI MVPA の限界によるのかを、overlap する刺激の decoding が視覚領野で可能かを検討した。課題は凝視点に出るアルファベットの one-back 課題である。背景に delay 中も含め contrast が弱い grating 刺激が常時提示される。また、妨害刺激に関しては実験 1, 3 と同じ刺激、timing で提示される。結果が左図



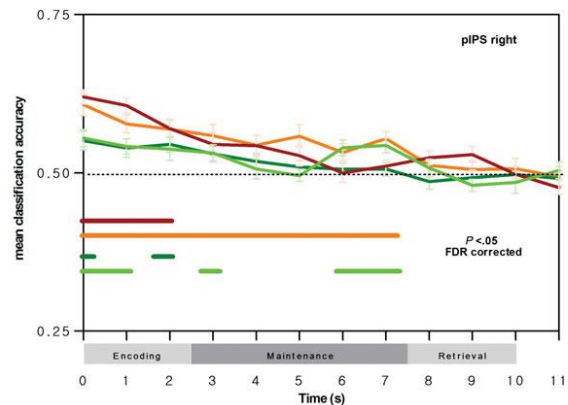
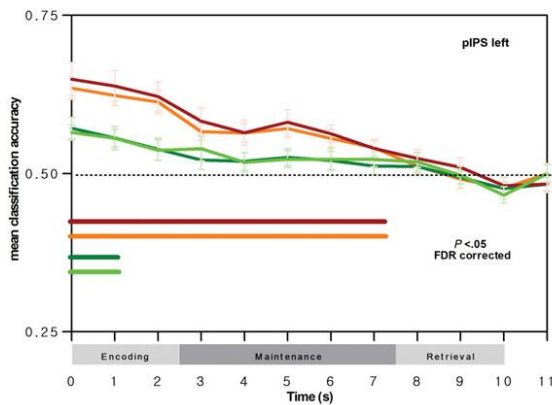
で妨害刺激の有無にかかわらず、grating が decode されている。したがって、実験 1 の妨害刺激ありの条件で decoding の成績が低下したのは、fMRI MVPA の限界によるのではない。実験 1 の結果は、他に処理すべき刺激があると、視覚領野には robust な短期記憶表象ができないことによる。すなわち、上頭頂間溝の方が表象の維持に関して重要な役割を演じている。以下省略するが、実験 4 は decoding の成績と行動 (反応時間) 関係、実験 5 は target と妨害刺激の類似性の行動実験を行っている。

Majerus, S. et al. Cross-modal decoding of neural patterns associated with working memory: Evidence for attention-based accounts of working memory. Cereb. Cortex, 26: 166-179, 2016.

この論文はアルファベットと視覚の二種類のワーキング・メモリ WM を訓練したが、その際刺激数を 2, 4, 6 にすることで負荷を変えた。そして、一方の課題（例えば、視覚）で 2-6, 2-4 の対で負荷の classifier を訓練し、他方の課題（例えば、アルファベット）の負荷を decode ができるかを検討した。課題については本文参照。fMRI データに univariate, multivariate (decoding) 分析を行った。



Univariate 分析で負荷 6 と 2 で差がでた領域を両課題で求めたが、共通していたのは頭頂間溝 IPS だった。全脳の decoding の結果を左に示す。赤、緑（視覚）、橙、黄緑（アルファベット）の線はそれぞれ 2-6, 2-4 の対で classifier を訓練し、他方の課題で負荷の decoding した結果。下の直線は有意な予測の



時期である（記録、維持、想起）。下の左右 2 つのデータは univariate 分析で共通していた左右後部頭頂間溝 pIPS の結果。線の色などの説明は上のグラフと同じである。この他に、左右の上前頭回 SFG、左前部 IPS で有意な decoding がみられている。これらは背側注意ネットワークに属する。一方、後頭、側頭の視覚、文字、音韻関連領域では有意な decoding がわずかにみられたに過ぎなかった。また、WM の成績と decoding の成績の間には関係があった。これらの結果は、両 WM 課題が共通の注意を基礎とする神経基盤を利用していることを示唆した。

今月の認知神経科学の応用

Garfinkel, S.N. & Critchley, H.D. *Trends Cognit. Sci.*, 20:34-46.

心拍と恐怖の関係や他の刺激の処理についての総説。

Reeck, C. et al. (2016) *Trends Cognit. Sci.*, 20:47-63.

情動の社会的制御、すなわち、自己でなく他者の情動の制御についての総説。

Sessa, P. & Meconi, F. (2015) *Neuropsychol.*, 79:97-105.

他者の痛みに対する empathy が、その人の外見、信頼できそう/信頼できそうにない、で違うかを事象関連電位の P3 成分で検討した。信頼できそうな外見では P3 成分がみられた。

Tang, H. et al. (2016) *Soc. Cognit. Affect. Neurosci.*, 11:23-32.

対面 face-to-face での経済的なやり取りが両者の脳の同期的活動にどのように影響するか fNIRS で検討した。右側頭頭頂接合部では両者の脳の同期的活動が高まった。

Powers, K.E. et al. (2016) *Soc. Cognit. Affect. Neurosci.*, 11:121-126.

fMRI で計測された社会的な情景に対する背内側前頭前野 dmPFC の活性は社会性を反映し、その基盤に mentalizing の機能がある。

Rodrigo, A.H. et al. (2016) *Soc. Cognit. Affect. Neurosci.*, 11:55-65.

Go/ No Go 課題実行中の前頭前野の活性を NIRS で計測し、Big Five Inventory との関係を検討した。外側部の活性は E, A, C 特性で高く、N 特性で低い。内側部では A で高い。

Saggar, M. et al. (2016) *Neuropsychol.*, 80:71-78.

社会的、非社会的な身振りの処理中の脳活性を fMRI で計測し、性格特性との関係を検討した。E 特性と社会的な身振りへの視床の活性とは正の相関。N 特性は複雑な反応だった。

Mu, Y. et al. (2015) *PNAS*, 112:15348-15353.

中国人とアメリカ人で規範に違反する状況において事象関連電位を記録した。頭頂部では両群に N400 がみられたが、前頭、側頭部の N400 は中国人にのみみられた。

Hu, J. et al. (2016) *Soc. Cognit. Affect. Neurosci.*, 11:1-10.

社会的地位が高いと Ultimatum Game, UG における unfair な offer を拒否する傾向が強いが、fMRI 計測では右前部島皮質、それと前中部帯状皮質との機能結合などが関係した。

Clemenson, G.D. & Stark, C.E.L. (2015) *J. Neurosci.*, 35:16116-16125.

ビデオゲーム (Super Mario 3D World) で環境のエンリッチメントをバーチャルに行ったところ、再認課題や空間認知課題の成績が上がった。

Haase, L. et al. (2016) *Soc. Cognit. Affect. Neurosci.*, 11:182-190.

米国海兵隊にマインドフルネス訓練 MT を行い、吸気負荷 *inspiratory breathing load* 時に脳の活性を fMRI で計測した。MT は右前部島皮質、前部帯状皮質の活性を弱めた。

Cohen, N. et al. (2016) *Neuroimage*, 125:1022-1031.

実行制御機能の活性化は不快な写真に対する扁桃核の反応、行動への妨害を低下させた。fMRI による安静時の機能結合研究は扁桃核-下前頭回の結合性の増加を示した。

Stephanou, K. et al. (2016) *Hum. Brain Mapp.*, 37:7-19.

15-25 歳の参加者で不快な社会的 *imagery* に対する情動反応と *reappraisal* の脳反応 (扁桃核、側頭-後頭皮質の社会情報処理系の活性) を fMRI で検討した研究。

Kullmann, S. et al. (2016) *Neuroimage*, 125:36-44.

肥満 (*body mass index, BMI* を指標) と脳の白質線維との関連を拡散テンソル画像法と *quantitative multiparameter mapping* で検討。辺縁系と前頭前野を結ぶ線維束に影響が。

Kraus, D. et al. (2016) *Neuroimage*, 125:522-532.

健常者の *brain-robot interface* の研究。運動イメージ生成で、感覚運動領野の β 帯域脳波の変化により、ロボットが手を動かす。この訓練前後の TMS による MEP の変化を検討。

Roe, J.M. et al. (2016) *Neuropsychol.* 80:1-8.

両視野への複数の刺激を追跡する課題中に、後部頭頂皮質へ経頭蓋直流刺激 *tDCS* を与え負荷の影響をみた。左-右+, 左+右-, *sham tDCS*。負課大の時、前二者で成績低下。

Cabral-Calderin, Y. et al. (2016) *Hum. Brain Mapp.*, 37:94-121.

経頭蓋交流刺激 *tACS* を後部皮質に与え、その周波数、強度、課題状況を変え、BOLD 信号への影響をみた。 α 、 β 帯域の *tACS* が、課題とは関係ない領域で強い効果をもった。

Kadosh, K.C. et al. (2016) *Neuroimage*, 125:616-626.

7-16 歳で両側の島皮質の活性を fMRI の *neurofeedback* で上下させた。上げると扁桃核、島皮質、下頭頂小葉への *bottom-up* の機能結合が増加。下げると逆方向の結合が増加。

Paret, C. et al. (2016) *Neuroimage*, 125:182-188.

不快な写真に対する扁桃核の活性を fMRI neurofeedback で低下させると、右扁桃核と腹内側前頭前野の機能結合を増加させたが、扁桃核からの bottom-up のモデルが適合した。

Madsen, et al. (2016) *Soc. Cognit. Affect. Neurosci.*, 11:140-149.

恐れや怒りの表情による扁桃核の機能結合とセロトニン関連の 5-HTTLPR 遺伝子型と神経症傾向 N の関係を検討した。S' は L_AL_A より内側前頭前野との結合が強いなどの結果が。

Marusak, H.A. et al. (2015) *Neuropsychol.*, 79:1-9.

Oxytocin はストレスに対する扁桃核の反応に影響をもつが、その受容体 OXTR 遺伝子の多型 A-allele 保持者が扁桃核容量の増大、表情刺激への反応を高めた。

Liu, H. et al. (2016) *Neuropsychol.*, 80:185-193.

健康な成人の自殺に対する態度と脳の灰白質の容量との関係を MRI で検討した。左背外側前頭前野は自殺許容と負の相関、左下前頭回三角部などでは正の相関がみられた。

Gutierrez-Sigut, E. et al. (2015) *Brain Lang.*, 151:23-34.

Functional transcranial Doppler sonography, fTCD を用いて、健聴の native signer で発話と手話の生成の側性化を検討した。手話生成の方が発話よりも左側性化が強かった。

Paquette, N. et al. (2015) *Neuropsychol.*, 79:21-32.

早産児を 3, 12, 36 ヶ月齢の時に、聴覚事象関連電位で mismatch negativity, MMN を検討した。言語、非言語刺激が使われたが、3 ヶ月齢で言語刺激の MMN の潜時が遅れた。

Allievi, A.G. et al. (2016) *Cereb. Cortex*, 26:402-413.

早産児の感覚運動機能の発達を fMRI で計測した。右上腕の運動による対側感覚運動皮質の反応は早く、大きく、広くなる発達変化を示した。半球間の機能結合は経験に依存した。

Smyser, C.D. et al. (2016) *Cereb. Cortex*, 26:322-333.

妊娠 23 - 29 週齢の早産児と通常産児の fMRI による安静時のネットワークを比較した。通常の方法ではほとんど差はないが、相関と共分散マトリックスによる量的分析で差が。

Jurcoane, A. et al. (2016) *Hum. Brain Mapp.*, 37:289-299.

極度の早産 and/or 低体重だった成人（平均 26 歳）の皮質脊髄路を拡散テンソル画像法で検討した。拡散性、異方性比などに通常産者との差がみられた。

Shimony, J.S. et al. (2016) *Neuroimage*, 125:780-790.

通常の MRI で異常のない、また異常のある早産児 (27-42 week postmenstrual age) と通常産児の脳の発達を 22 の cortical folding の指標から検討した研究。

Booth, B.G. et al. (2016) *Neuroimage*, 125:705-723.

拡散テンソル画像で Statistical Template Estimation for Abnormality Mapping, STEAM 法の有効性を早産児の脳で示した。

Coxon, J.P. et al. (2016) *Cereb. Cortex*, 26:12-22.

高齢者に改変した stop-signal 課題を与え、若い成人と脳の活性を fMRI で比較した。縁上回、前部島皮質、右下前頭皮質、前補足運動野は若い成人のみで stop で活性を高めた。

Neuhaus, E. et al. (2016) *Soc. Cognit. Affect, Neurosci.*, 11:44-54.

自閉症 ASD と健常の双生児で、顔刺激に対する事象関連電位 ERP の P1, N170 の成分と社会行動を検討した。群間差は P1 でみられた。一卵性、二卵性の差もみられた。

Urbain, C. et al. (2016) *Hum. Brain Mapp.*, 37:153-164.

ASD の参加者の 2-back 課題実行中に脳磁図を記録した。ASD では前頭-側頭ネットワークの α 帯域の同期的活動が減少していた。それは課題遂行や社会的認知に関係する。

Schipul, S.E. & Just, M.A. (2016) *Neuroimage*, 125:332-341.

成人の高機能 ASD に implicit dot pattern prototype learning task を課し、fMRI で脳活性を計測。ASD で成績低下、神経性の順応が低下、前頭-後方皮質との機能結合が低下。

Plit, M. et al. (2015) *PNAS*, Nov, 16:E6699-6706.

ASD の症状は多様でその予測の行動的研究がある。ここでは fMRI による安静時の機能結合で予測をする試み。Salience, default-mode, frontoparietal network が予測に貢献。

Althaus, M. et al. (2015) *Neuropsychol.*, 79:53-69.

高機能の成人男性 ASD への oxytocin 投与の効果を検討した。Oxytocin はストレス関連の回避傾向の強い参加者の社会行動に影響をもった。個人差を考慮する必要がある。

D'Gama, A.M. et al. (2015) *Neuron*, 88:910-917.

ASD の関連遺伝子の変異に関する研究。

Floris, D.L. et al. (2016) *Hum. Brain Mapp.*, 37:230-253.

成人の自閉症の脳の側性を構造的な MRI で検討し、言語の障害などに関係付けた。下頭頂小葉は右に側性化し、左の聴覚、言語関連領域の左側性化が減少していた。

Vydrova, R. et al. (2015) *Brain Lang.*, 151:35-41.

Specific Language Impairment, LSI の脳の弓状束など 4 つの線維束を拡散テンソル画像で検討した。すべての線維束で異方性比 FA の低下などがみられた。

Lee, S.W. et al. (2015) *Neuropsychol.*, 79:76-85.

かつて言語的な虐待を受けた青年に情動表情の性別の判断を行わせ、fMRI で脳活性を計測した。右扁桃核の活性と前部帯状皮質吻側部との機能結合が虐待と関係していた。