

fMRIを用いた景観画像認識時における 脳の共賦活領域の解析

松本純也¹・山田圭二郎²・精山明敏³・川崎雅史⁴

¹学生会員 修士（工学） 京都府庁建設交通部都市計画課（〒602-8570 京都市上京区下立売通
新町西入藪ノ内町, E-mail:j-matsumoto16@pref.kyoto.lg.jp）

²正会員 博士（工学） 京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1,
E-mail:keijirou.yamada.6w@kyoto-u.ac.jp）

³非会員 理博 京都大学大学院医学研究科（〒606-8507 京都市左京区聖護院川原町53,
E-mail:aseiyama@hs.med.kyoto-u.ac.jp）

⁴正会員 博士（工学） 京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1,
E-mail:kawasaki.masashi.7s@kyoto-u.ac.jp）

人が風景から受け取る情報のうち、身体的或いは社会的要素が重要であることは学術的にも実践的にも理解されるが、実際それらがどのように重要であるか、それらを含め風景をどのように捉えているかを追求しようとした研究は少ない。本研究では、身体感覚等の諸要素を含む景観認知過程を体性感覚野、大脳辺縁系といった複数脳部位での共賦活反応として捉えることにより、景観認識におけるヒトの脳の機能的反応を総論的に把握し、景観認識のあり方の理解を実証的に深める手がかりを得ることを目指す。具体的には、景観画像認識時における共賦活領域を明らかにすることを目的とし、快/不快に関わる景観画像を対象に、脳科学的手法であるfMRIを用いたスライド実験を行った。

キーワード: 景観, 認識, fMRI, 機能的磁気共鳴画像法, 共賦活反応, 情動 (快/不快), スライド実験

1. 序論

(1) 研究の背景

人が環境を眺めること（≒風景、景観）により受け取る情報として、視覚的要素のほか、身体感覚的あるいは意味的・社会的要素が重要であること（又は含まれていること）は諸分野から指摘される^{1,2,3,4}。一方、風景や景観がボトムアップ的に問題視されてきたこと、或いは文化的景観や生活景の保全、参加できる風景の創出等が推し進められていることを考えると、その場所に係わる人のごくありふれた感覚の中に、風景というものに欠かせない要素が含まれていると推察される。しかし結局のところ、風景から何を受け取りどのように理解しているのか、風景の何が重要であるのかは本質的には掴み切れていない。この現状を踏まえ、景観認識について、社会システム論的・計画論的アプローチ^{5,6}からだけでなく、より認識論的観点に立った研究からも理解を深めたいと考える。

(2) 研究の目的

上記背景のもと、本研究では、fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) 技術を用いた景観認識時の脳活動の解析結果から、「体性感覚と情動認識とは結びつく

可能性がある」⁷、「社会規範は右扁桃核、左前頭眼窩回と関連がある」⁸等の既往の知見を参考にしつつ、景観に対するヒトの感覚知覚、情動感情、記憶想起、意味理解等の諸々の機能的 (functional) 反応を総論的に把握し、ヒトの景観認識のあり方の理解を実証的に深める手がかりを得ることを目指す。

具体的には、景観画像認識時における、体性感覚野などの各種感覚野や大脳辺縁系等の複数脳部位が同時に賦活する領域（共賦活領域）を明らかにすることを目的とする。情動（快/不快）に着目した様々な景観画像を対象として fMRI を用いた室内実験を行い、SD 法により得られた二つの画像分類（快/不快評価による分類・景観特性による分類）に基づき分析、考察する。

(3) 研究の位置付け

a) 景観分野における脳科学研究

景観分野から脳科学的アプローチを試みる研究、中でもfMRIを用いた研究はそもそも多くはない。fMRI以外の脳波計測やNIRSを用いた研究^{9,10}では、その空間分解能の低さが大きなネックとなっている。詰り、今では例えば扁桃核と情動との関連がある程度示されているにも関わらず、賦活部位を特定できないために、血流増減等の議

b) 脳科学分野における景観研究

c) 本研究の新規性

```

graph LR
    subgraph Landscape_Cognition [景観認識]
        A[思考] --> C
        B[情動・感情] --> C
        D[色・形] --> C
        E[記憶] --> C
        F[身体感覚・触覚] --> C
    end
    subgraph Coactivation_Response [共賦活反応]
        G[視覚野] --> H
        I[体性感覚野] --> H
        J[運動野] --> H
        K[前頭前野] --> H
        L[大脳辺縁系] --> H
    end
    C <--> H

```

図-1 研究のフレームワーク

2. 研究手法

(1) fMRI (機能的磁気共鳴画像法) の概要

fMRI (functional magnetic resonance imaging, 機能的磁気共鳴画像法) とは、磁気共鳴現象と呼ばれる現象を利用した断層撮像法 (MRI) により、脳機能の画像化を行う手法である。MR装置 (図-2) 内で視覚、嗅覚等の五感や認知的な刺激を加え、血流増減によるMR信号変化を観測することにより、脳内のどの部位が活動していたかを把握することができる (図-3)。

(2) 使用する景観画像と分析枠組みとしての画像分類

a) 事前アンケートによる画像選定

本研究で使用した景観画像を図-4に示す。画像選定については、はじめに情動を誘発すると思われる41枚の景観画像に対し、11段階(-5～+5)の快/不快評価アンケート



図-2 MR 装置及び実験環境

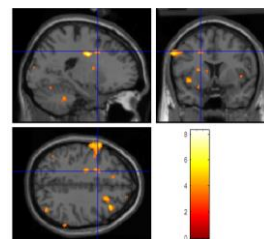


図-3 fMRI 分析結果の一例

トを行った(被験者: 20名(男性18名, 女性2名, 22~48歳, 平均32.1歳), 画像提示: PC画面). この結果, 評価点数(平均値)の高い7枚(画像1~7)と低い7枚(画像15~21)の計14枚を取り出し, その後景観として多様性を持たせるよう, 都市景観画像7枚を追加した(画像8~14).

b) SD法を用いた画像分類

21枚の景観画像に対し、SD法によるアンケート調査、因子・クラスタ分析を行い、特性ごとに画像を分類した。分類は二段階であり、①快/不快評価による分類(クラスⅠ～Ⅲ)、②景観特性による分類(ⅱ～ⅲ)とした(表-1)。この分類をもとにfMRI実験結果の分析を行った。

表-1 快/不快評価及び景観特性による画像分類

快/不快 評価分類	景観特性 分類	各クラスに含まれる画像
Ⅰ (不快)	i	    
	ii	 
	iii	  
Ⅱ (中性)	iv	 
	v	
	vi	
Ⅲ (快)	vii	    
	viii	 

アンケート調査では、PC画面上(縦285mm×横430mm)に画像を提示し、10対の形容詞対(表-2)に対し、7段階(-3～+3)で評価してもらった。被験者は景観系・医学系の健常学生13名ずつ(景観系:男性11名,女性2名,22～25歳 医学系:男性3名,女性10名,22～27歳)とした。

分析に関しては、全形容詞対において天井効果・フロア効果ともに見られなかったため、全被験者・全画像の評価点数を一括して因子分析(主因子法, Kaiserの正規化を伴うプロマックス法)にかけた。固有値が1以上



図-4 本研究で使用する景観画像（括弧内：事前アンケート点数，事後アンケート点数）

のものを抽出した結果，2つの因子が得られた（同表-2）。次に全画像に対し，評価軸（因子）・因子得点をもとにクラスタ分析（凝集型階層，Ward法，平方ユークリッド距離）を行った結果，図-5に示すデンドログラムが得られた。この同図-5の結果に対する，赤線部での分類を①快/不快評価による分類，青線部での分類を②景観特性による分類とした。

なお，①快/不快評価による分類について，クラスタⅠは事前アンケートによる不快画像7枚に，不快評価の先行する都市画像3枚（画像12～画像14）が含まれた形である。またクラスタⅢは事前アンケートによる快画像7枚のみから構成され，快/不快評価による景観分類と捉えることができるため，この結果を事前アンケートの分類から改めて快/不快評価による分類としている。

(3) 実験及び解析の方法

a) 実験方法

実験は先図-2に示す実験室内で行い，画像はプロジェクタからスクリーンに投影した後，鏡に反射させることにより提示した（視距離：3200mm，投影画像サイズ：縦445mm×横670mm，画角：約12°）。被験者は景観・土木専攻でない健常学生14名（男性5名，女性9名，22～39歳，平均25.4歳）とした。実験手順は「安静課題（15秒）→景

表-2 SD法に使用した形容詞対と因子分析結果

形容詞対	因子負荷量		共通性
	因子1	因子2	
居心地の良い (居心地の悪い)	0.945	0.406	0.897
きれいな (きたない)	0.913	0.366	0.843
安心な (不安な)	0.899	0.41	0.81
整然とした (雑然とした)	0.833	0.289	0.714
暖かい (冷たい)	0.786	0.536	0.646
親しみやすい (よそよそしい)	0.749	0.374	0.562
やわらかい (かたい)	0.718	0.661	0.64
自然的な (人工的な)	0.673	0.654	0.59
歴史的な (現代的な)	0.582	0.858	0.77
古い (新しい)	0.106	0.72	0.6

観画像（12秒）」を繰り返し21回行うものとし，実験後に快/不快評価（11段階）を回答する事後アンケートを行った（図-6）。なお被験者には，①普段風景を眺めるように好きに画像を眺めること，②安静課題時は画像中央の固視点を見ること，③実験中は体動を控えること，の三点を事前に教示した。

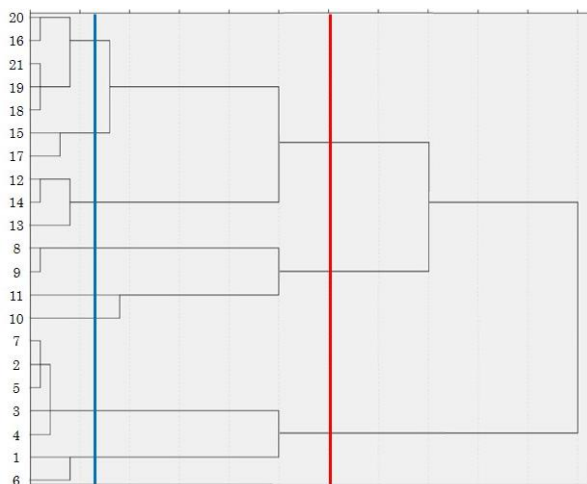


図-5 クラスタ分析結果（縦軸：画像番号）



図-6 fMRIの実験手順（安静課題：15秒，景観画像：12秒）

b) 解析方法

解析では，SPM8により標準的な二段階解析を行った。標準脳変換等の前処理の後，各被験者データへボクセル毎検定及び重回帰分析を行い，算出された被験者毎の偏重回帰係数に対し変量効果モデルに基づく被験者間での1標本t検定（危険率0.1%，全脳でのボクセル毎検定）を行った。なお，この検定条件は比較的緩いものであり，医学研究では賦活部位に見当を付けるためによく用いられる。本来はこの後に，多重比較補正を重ねて行い有意差のないものを除外するが，本研究では画像条件を単純化しておらず，景観に対する多様な反応を取り出すために，多重比較補正は行っていない。

3. 実験結果と考察

(1) 物体視・空間視経路と快/不快評価分類との対応

網膜から得られた視覚情報は後頭葉に位置する一次視覚野に送られた後，大きく二つの経路に分かれることが知られている（図-7）¹⁴⁾。この二経路との対応が，クラスタⅠ（不快）とⅢ（快）の反応において見られた。視経路（緑）（青：一次視覚野）

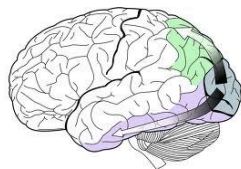


図-7 物体視経路（紫）と空間視経路（緑）

クラスタⅠ（不快）では一次視覚野である鳥距回に加え，物体視（What）経路の領域である舌状回，下側頭回，紡錘状回，側頭極に賦活が認められたが，空間視経路については，経路の最初期段階である楔部の賦活のみであった（表-3，図-8）。物体視経路とは，視覚対象が何であり，

どのような色・形をしているのかを認識する経路であるため，Ⅰの景観は空間としてと言うよりは，より物理的に捉えられていると言える。また，Ⅲと比べた際の不快感の要因としては，景観要素の煩雑さが一番に思い当たるが，それに伴い脳内では，幾分過度に物理的視覚処理を行う必要があることが分かる結果である。

一方，クラスタⅢ（快）では，下頭頂小葉，上頭頂小葉，中心後回といった空間視（Where）経路の終点付近に賦活が見られた（同表-3，図-9）。空間視経路とは，視覚対象がどこにあり，対象が動いている場合はどれほど

の速さでどの方向に動いているかを認識し，そこからの運動の誘導に係わるとされる経路である。これより先ずクラスタⅢでは，Ⅰと比べ景観を纏まった空間として捉えていると考えられる。加えて，下頭頂小葉が体外離脱体験に¹⁵⁾，上頭頂小葉が自己身体定位や身体図式に関わり^{16,17)}，中心後回が体性感覚や触覚の受容野であることから，触知等の体性感覚或は自身を空間に位置付ける運動に近い感覚をもって，Ⅲの景観を理解している可能性が考えられる。

(2) 小脳・島葉の活動からみた不快の差異

不快クラスタⅠ，Ⅱ，Ⅲにおける小脳及び島葉の活動に着目すると，Ⅱ，Ⅲでは小脳に纏まった活動が見られたが，Ⅰでは活は認められなかった。また島葉に関しては，Ⅲ>Ⅱ>Ⅰの順に活動が見られた（表-4）。

ここで各々の機能について簡単に纏めると，以下である。小脳は，長らく運動との関連，特に運動出力の調整と関わりとされてきたが，近年では内臓機能や情動機能，或いはその二つを併せた情動性行動の出力調整の側面が注目されており，息苦しさ，刺激臭，飢餓感，痛み，悲しみ・幸せの回想等に対する賦活が示されている。しかし他人の痛みなどには反応を示さないことから，小脳の活動は自身の身体状態に依存すると考えられる。また島葉も情動（特に不快情動）との関わりが指摘されており，大脳皮質の体性感覚野による認知的感覚情報処理に対し，情動的・無意識的感覚情報処理を担うとされる。無意識下で全身からのあらゆる感覚情報（身体感覚）を島葉に入力し続け，多くは意識されず捨て去られるが，情動反応が誘発される際には賦活される（図-10）¹⁸⁾。

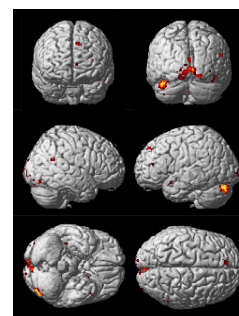


図-8 Ⅰ-Ⅲの分析結果

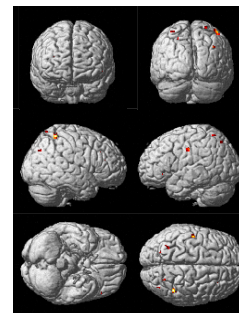


図-9 Ⅲ-Ⅰの分析結果

表-3 快/不快評価による分類をもとにした解析結果（紫：物体視経路の部位、緑：空間視経路の部位、青：一次視覚野）

		後頭葉								頭頂葉								前頭葉										側頭葉								大脳辺縁系						大脳基底核			小脳		合計		
		視床	上後頭回	中後頭回	下後頭回	島距回	舌状回	楔部	楔前部	角回	縁上回	下頭頂小葉	上頭頂小葉	中心後回	中心傍回	中心前回	補足運動野	上前頭回	内側前頭回	中前頭回	下前頭回			中眼窩回	下眼窩回	内側眼窩回	直回	上側頭回	中側頭回	下側頭回	紡錘状回	海馬傍回	側頭極	内側側頭極	側頭弁蓋	ヘッセル回	嗅皮質	島葉	前帯状皮質	中帯状皮質	後帯状皮質	海馬	扁桃核	被殻	尾状核	淡蒼球		小脳虫部	小脳
																					弁蓋部	三角部	眼窩部																										
Ⅰ	-Ⅱ	1					1		1	1					1		5	3	1	1	3		2						2	1	1	1			2			4	1	1	1		1	1			37		
	-Ⅲ	1		2	4	2	1										3	2	1		1	1					1		1	4	1													5			30		
Ⅱ	-Ⅰ												1																																			1	
	-Ⅲ							1															1				1																		2			5	
Ⅲ	-Ⅰ		1									5	1						2			1																											10
	-Ⅱ										1	1		2	2	1	1	1	2							1	1							2							1						14		

（縦軸：例えば I-II とは、クラスタ II での反応を基準とした場合の、クラスタ I に対する反応を示す 表内数字：賦活箇所数）

表-4 景観特性による分類をもとにした解析結果

		後頭葉				頭頂葉				前頭葉										側頭葉					大脳辺縁系				大脳基底核		小脳		合計																
		視床	上後頭回	中後頭回	下後頭回	島距回	舌状回	楔部	楔前部	角回	縁上回	下頭頂小葉	上頭頂小葉	中心後回	中心傍回	中心前回	補足運動野	内側前頭回	中前頭回	下前頭回		中眼窩回	下眼窩回	内側眼窩回	直回	上側頭回	中側頭回	下側頭回	紡錘状回	海馬傍回	側頭極	内側側頭極		側頭弁蓋	ヘッセル回	嗅皮質	島葉	前帯状皮質	中帯状皮質	後帯状皮質	海馬	扁桃核	尾状核	淡蒼球	小脳	小脳虫部			
																				弁蓋部	三角部																										眼窩部	上眼窩回	
i	-ii	2	1								1	6	2	1											1						1														1	16			
	-iii	3											1																																	4			
ii	-i		1								2	1					1	1			1	1			2		1	1	1	1															6	1	22		
	-iii		1		1	1												1	1					1			1																			7			
iii	-i	2	1					7		2		2				1	2	1	3			1	1			1	3	2	2	1	1							4	1	1			3		5	2	49		
	-ii				2	1				1	1	4	2	4	4	1	3					1	2		4	2	2		1	1	1	1			2	1				1		3			3		40		
i	-V		3	3		1		1	1			1	1		2	1	2	1	3					1		5	2	1	1							4	1				3		1		39				
ii		2	1	1		5	2	1							2	5	7	7	1	1	2				3	5	2	1	2	3		3		9		5	1	1		3	1	15	1	81					
iii		3	2	5		4		1	3	1	1	2	2		2	8	3	3	4			1	3			4	5	4	3	2	3		3	1						1	1	2		6	1	93			
iv		1		2		1	1		1	1	1	1	3		3	1	5	4	3	1	3	2	1	2			3	3	2	1	2			2		4	1		1			1		13	1	71			
vi		2	3	1		2		1	1	2		1	3		2	2	7	3	6	1	2			2			4	1	1				1	2		1	2		1	1		2	1		6		64		
vii		1	2					2	2	1	2	7	4		2	4	4	4	4				4	1			2	4	3		1	1				2		4					1			62			
viii			1	1								4	1		2	3	3																	3	1			1	1	1		1					24		
V		-i		1	1			1						3				1	1		1																												9
	-ii									1	2	2			1		1		1	1														1														10	
	-iii																	1																													1		
	-iv						1			1		1																	1																		4		
	-vi				1		2										1																		1											5			
	-vii																																														0		
	-viii						2		1	1		2					1									2	2																					12	
	iv	-vii				2												1	1								1	2																				4	1
-viii		1		1		1	4	1	4	6	1		3		2	2	8	2	4			1	1	3	2	1		5	4			1	1	1				1	1	1					11	1	12		
vii	-iv					1		2										1		1		2		1																									10
	-viii		1			1		6	2	1	2	2	8		5	4	5	3	3	1	3	2	1	2		1	3	6	1				1			1	2	3		1	1	2		7	1			82	
viii	-iv						1																																										2
	-vii			1									1																																			2	

以上を踏まえると、i の不快感は自身の身体状態とは関係が薄く、より意識に上る感覚情報(体性感覚野である中心後回・傍回の賦活が読み取れた)をたよりとした、周囲に意識の向かう客体的不快と考えられる。他方 ii, iii は身体状態に関わる、意識に上りにくい情報をもとにした、自己に意識の向かう主体的不快と言えそうである。

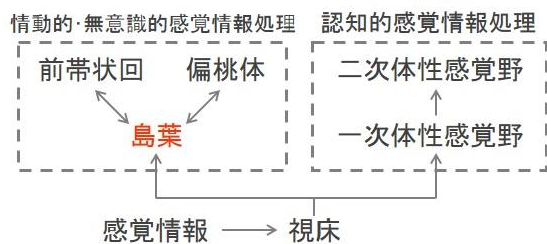


図-10 島葉による情動的・無意識的感覚情報処理

(3) 脳活動における中性景観の無感情性

快不快評価において最も中性的であったクラスタ v と他のクラスタとを比較した結果、v では情動に係わる島葉の賦活が全く見られず、また島葉に限らずそもそも賦活の見られた部位自体少なかった（賦活部位数：最高12個(v-viii)，最低0個(v-vii)）。一方で他クラスタでは、少なくとも一つは島葉の活動が認められ、賦活部位数についても最高93個(iii-v)，最低24個(viii-v)であった（同表-4）。これより v では意識的・無意識的双方の感覚入力乏しく、他と比べて何も感じていないことが脳活動からも読み取られた。

憶回路と呼ばれるものが一般に知られており、各々の回路に含まれる部位は情動、記憶が誘発された際に賦活するとされる。また扁桃核と海馬との神経連絡により、情動回路（主に扁桃核）が賦活することで記憶が強化される（言い換えると、情動的体験は記憶に残りやすい）ことが脳科学的にも示されている（図-11）¹⁹⁾。

快評価のクラスタ iv, vii, viii を比較した結果、この情動回路の賦活が最も認められたのは vii であり、次いで iv, viii の順であった（同表-4）。即ち、脳活動から見た快の質として最も情動的であり、また間接的ではあるが、最も強く記憶に残ると考えられるものが、vii であったということである。

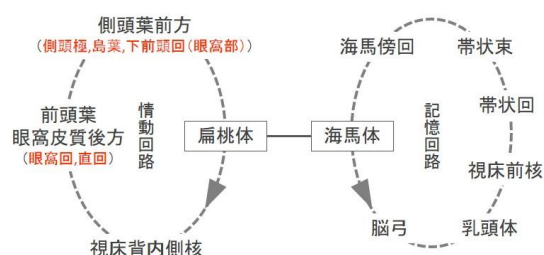


図-11 ヤコブレフの情動回路とパペッツの記憶回路

4. 結論

本研究では、身体的或は意味的要素を含めた景観認識の成り立ちを記述すべく、fMRIを用いた脳科学実験を行った。その結果、巨視的には快/不快評価と視覚的/空間的(身体的)認識との対応を、微視的には不快感の差に異なる身体感覚が関わることを読み取ることができ、景観認識を捉える術としてのfMRIの可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 中村良夫：「安寧の都市」論の構築に向けて—身体と場所の風景論から、安寧の都市研究, No. 1, pp. 4-17, 2011
- 2) 吉村晶子：無名の風景を題材とした写真作品の分析, 景観・デザイン研究講演集, No. 4, 2008
- 3) J. J. Gibson：生態学的知覚論, サイエンス社, 1986
- 4) 中村雄二郎：共通感覚論, 岩波現代文庫, 2000
- 5) 古川日出雄：生活景に着目したまちの音と住民の意識に関する調査研究, 景観・デザイン研究講演集, No. 6, 2010
- 6) 中内 和：下北沢の商業系街路空間を巡る地域的ルール形成に関する研究, 景観・デザイン研究講演集, No. 9, 2013
- 7) Ralph Adolphs et al: A Role for Somatosensory Cortices in the Visual Recognition of Emotion as Revealed by Three-Dimensional Lesion Mapping, The Journal of Neuroscience, 20(7), pp2683-2690, 2000
- 8) V. Goel et al: Social Regulation of Affective Experience of Humor, The Journal of Cognitive Neuroscience, 19(9), pp1574-1580, 2007
- 9) 李早他：脳波解析を用いた水景空間と非水景空間の比較研究, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 75, No. 647, pp67-74, 2010
- 10) 菊地進一他：生体信号計測による景観評価因子の抽出, KEIO SFC JOURNAL, Vol. 9, 2009
- 11) E. Steeves et al: Behavioral and Neuroimaging Evidence for a

Contribution of Color and Texture Information to Scene Classification in a Patient with Visual Form Agnosia, Journal of Cognitive Neuroscience, 16(6), pp955-965, 2004

- 12) R.A. Epstein et al: NEUROPSYCHOLOGICAL EVIDENCE FOR A TOPOGRAPHICAL LEARNING MECHANISM IN PARAHIPPOCAMPAL CORTEX, COGNITIVE NEUROPSYCHOLOGY, 18(6), pp481-508, 2001
- 13) R.A. Epstein et al: Parahippocampal and retrosplenial contributions to human spatial navigation, Trends in Cognitive Sciences, 12, pp388-396, 2008
- 14) Neil R. Carlson：第3版 カールソン神経科学テキスト—脳と行動一, 丸善株式会社, 2010
- 15) V. S. ラマチャンドラン：知覚は幻, 日経サイエンス社, 2010
- 16) 鈴木匡子：視覚性認知の神経心理学, 医学書院, 2010
- 17) 酒田英夫：頭頂葉, 医学書院, 2006
- 18) 有田秀穂：人間性のニューロサイエンス, 中外医学社, 2011
- 19) 枝川義邦：情動による記憶強化のしくみ, 生活工学研究, 2006