

## 簡易脳波計を用いた建築画像提示時における周波数帯域と周波数の特徴

○高橋 良爾\*<sup>1</sup> 林田 和人\*<sup>2</sup>  
渡辺 仁史\*<sup>3</sup>

キーワード：脳波 感性 簡易脳波計 EEG 合意形成 フーリエ変換

### 1. はじめに

#### 1.1 異なる分野との共同設計

現在、異なる専門性を持った技術者やデザイナーが協同で設計を始めている。ものづくりの分野では、品モノラボとよばれる場において、ソフトウェアの技術者、ハードウェアの技術者、デザイナー等の人々が交流し、アイデアを実現する事例が出てきている。建築分野においても、2012年ロンドンオリンピックを記念するために建てられた Arcelor Mittal Orbit はアニッシュ・カプーアとセシル・バルモンドという彫刻家と建築構造家がデザインを行っている。このように、異なる専門家が協同して行う設計活動は今後増えていくことが予想される。

協同設計を進めていく上では、アイデアや形、機能等様々なものを協議し、合意し、設計する。通常、複数人で合意形成を行う際、設計の根拠を提示する必要がある。合意形成を行う際に、数値化しやすい機能性や経済性の提示だけでなく、設計者の感覚やイメージといった感性を提示、共有することが可能になれば、より良い協同設計が可能となる。よって、感性の評価指標の作成が求められる。

#### 1.2 簡易脳波計について

今回、感性の評価指標を作成するため、簡易脳波計を使用した。これまで多極の脳波計を用いた感性評価に関する研究がなされてきたが、装置の着用にかかるという問題があるため、この脳波計の評価指標を日常的に使用することは困難である。よって、今回は単極にすることで容易に使用できる様になった簡易脳波計であるB3-Band<sup>注1)</sup>に注目した(図1)。



図1 簡易脳波計 B3-band

#### 1.3 簡易脳波計を使用したニューロフィードバック

ニューロフィードバックとは、脳波によって得られた自分自身の情報をつかって、自分の状態をコントロールすることである。neurowear が商品化した necomimi<sup>注2)</sup> は、自分の脳波情報から「集中度」と「リラックス度」を計測し、その値に合わせて、耳が動く商品である(図2)。necomimi を暫く装着することで、自分自身が集中する状態やリラックスする状態を知ることが出来、自分で集中やリラックス状態を作り出すことが出来るようになる。協同設計においても、このような指標があれば、より自分の感覚やイメージを協同設計者に伝えられると考える。



図2 necomimi

### 2. 研究目的

本研究では、感性評価指標を作成するにあたり、簡易脳波計を用いて、建築写真を見た際に直感的に良いと感じた時に増加する脳波の周波数帯域と周波数を明らかにすることを目的とする。

### 3. 実験方法

実験では簡易脳波計を装着した状態で、建築の画像を被験者に見てもらい、良いと感じるかどうかによって5～1の評価をつけてもらった。

#### ■被験者

20代と50代の13名の健康な被験者(男性6名、女性7名)が、脳波測定実験に参加した。

#### ■実験場所(図4)

10m×5m程度の静かな室内で実験を行った。

#### ■アンケート評価

被験者には、提示された建築の作品画像を5～1で評価してもらった(表1)。

表 1 評価語と評価尺度

評価尺度	評価語
5	とても良い
4	良い
3	どちらでもない
2	良くない
1	全く良くない

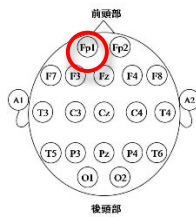


図 3 電極配置図

■ 提示画像

評価をする対象は、国内外の建築家が手がけ、それぞれ作風が異なる作品を集めたToday' s city houses<sup>1)</sup>に掲載されている全22 作品のうち、CG 作品を除く21 作品の外観、内観写真計42 枚を用いた。外観写真21 枚提示した後、内観写真21 枚を見てもらった。尚、42 枚の提示順番は人によって入れ替えた。

■ 測定器具

脳波の測定には、のB3-Band を用いた。測定部位は、国際10-20 法におけるFp1(左側前頭部) (図 3) とした。また、この位置は前頭葉に位置し、記憶や思考、感情を計測できると言われている。画像の提示はプロジェクターによって行い、家具等の配置は図のように配置した (図 4)。

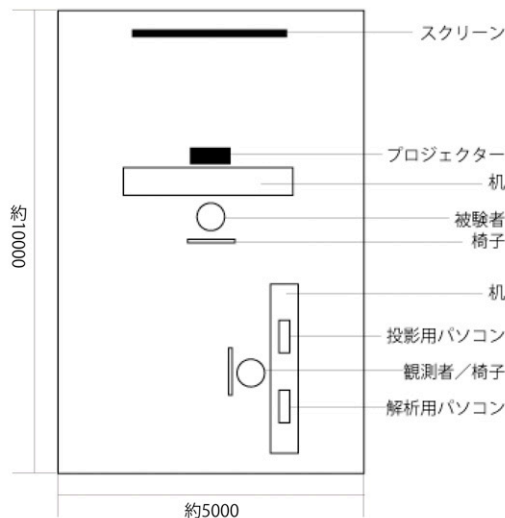


図 4 実験器具配置図

実験中の様子は以下の写真のようになる (図 5)。



図 5 実験中の様子

■ 取得したデータ

B3-Bandから取得されるデータは以下の値となる。

- ・ 生波形(12bit)
- ・ 信号品質(0-200)
- ・ delta(1-3Hz)
- ・ theta(4-7Hz)
- ・ low alpha(8-9Hz) ・ high alpha (10-13Hz)
- ・ low beta (14-17Hz) ・ high beta (18-29Hz)
- ・ lowgamma (30-40Hz) ・ mid gamma (41-50Hz)
- ・ 集中度合(1-100)
- ・ 安静度合(1-100)

なお、生波形のデータは1秒間に512データ取得される。

■ 測定手順

測定手順は、以下のように行った (図 6)。

1. 本実験に関する説明。特に回答においては直感的に回答する様に依頼した。
2. 5分間閉眼状態で安静を保つ。
3. 実験では、建築の画像の提示を五秒間行う。(写真)
4. 五秒間でアンケート用紙に評価を記入する。(回答)
5. 五秒間、開眼安静の時間とする。(休憩)
6. 3に戻り、次の画像に関して同様の測定を行った。

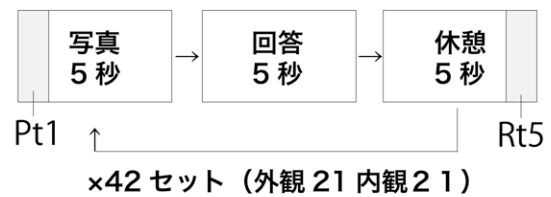


図 6 測定手順

4. 分析方法

4.1 B3-bandより取得される周波数帯域分析

建築画像を見た瞬間にどのように脳波が変化するか調べるため、良いと回答した写真(評価尺度4, 5)の開眼安静中の5秒目(Rt5)と写真提示時の1秒目(Pt1)のパワースペクトルの値(delta, theta, low alpha, high alpha, low beta, high beta, lowgamma, mid gamma)を取得した。良いと感じたとき、どの周波数帯域が増加する確率が高いか明らかにするため、全データ(1秒間に42枚×13人=546データの中で良いと回答したときのデータ)のうちPt1がRt5に比べ増加するデータの個数とその割合を求めた。その後、画像につけられた点数との相関を求めた。

■ 分析手順

1. 42枚の画像を13人が画像につけた合計点数の平均点によって、7つの点数域(2.3-2.6, 2.7-3.0, 3.1-3.4, 3.5-3.8, 3.9-4.2, 4.3-4.5, 4.6-5.0)に分類。
2. 良いと回答した写真のPt1とRt5のパワースペクトルの値を取得。Pt1とRt5を比較する(図7)。
3. (Pt1がRt5に比べ増加したデータの個数) / (全データ)

を計算。増加する割合を求める（図8）。

4. 点数域と増加する割合の相関を求める（図9）。

#### 4.2 フーリエ変換による周波数分析

周波数帯域による分析だけではなく、特定の周波数におけるパワースペクトル値を調べることによって、感性に関わる脳波を特定できると考えた。そこで、得られた生波形のデータの欠落を埋めながら、R言語のプログラムによってfft変換を行った。良いと回答した写真（評価4,5）の開眼安静中の1~5秒目の5秒間(Rt1~Rt5)と5秒目の1秒間(Rt5)と写真提示時の1~5秒目の5秒間(Pt1~Pt5)と1秒目の1秒間(Pt1)においてfft変換を行った。また、取得される周波数と同様50hz以下のパワースペクトルの値を計算した。その後、4.1と同様の分析を行った。なお、fft変換を行った際の周波数の最小単位[hz]は、(サンプリング周波数) / (サンプル数) で求められる。よって、5秒間のfft変換では0.2[hz],1秒間の解析では1[hz]ごとのパワースペクトルの値が得られる。

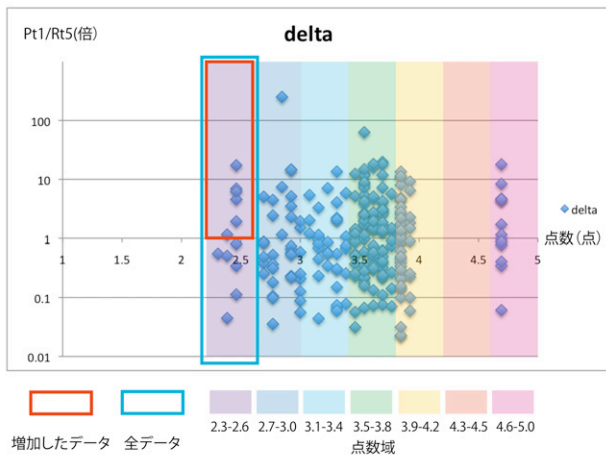


図7 Pt1/Rt5 をプロットした図

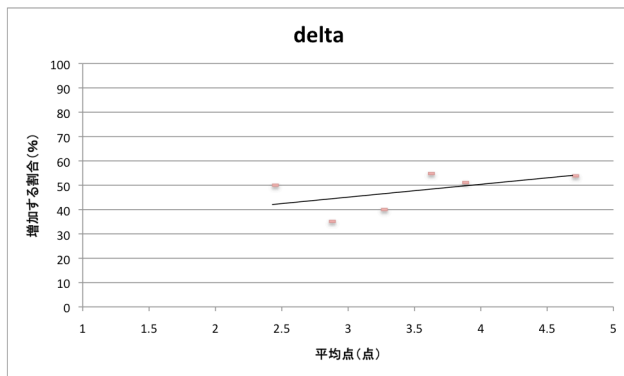


図8 delta と点数

## 5 結果

### 5.1 各画像につけられた点数

各画像につけられた平均点（満点5点）は表のようになった。画像3に関しては被験者13人全員が良い（4,5）と回答した（表2）。

表2 各画像の点数表

画像	平均点	画像	平均点	画像	平均点	画像	平均点	画像	平均点
1	3.5	2	2.5	3	4.7	4	2.5	5	3.8
6	3.8	7	3.5	8	3.2	9	2.8	10	3.4
11	3	12	3.5	13	3.7	14	2.7	15	2.4
16	3.8	17	2.8	18	2.9	19	3.2	20	2.7
21	2.9	22	2.3	23	3.3	24	3.5	25	3.6
26	3.7	27	3.5	28	2.8	29	3.8	30	2.8
31	3.9	32	3	33	3.8	34	3.8	35	3.6
36	3.6	37	3.1	38	3.2	39	2.8	40	3.3
41	3.6	42	3.7						

### 5.2 B3-Band より取得される周波数帯域と点数の相関

取得される周波数帯域と点数の相関を求めたところ、8つの周波数帯域のうち、7つの周波数帯域で正の相関がみられた。high alpha と点数との間には特に強い相関(0.91)があることが分かった（図9）。

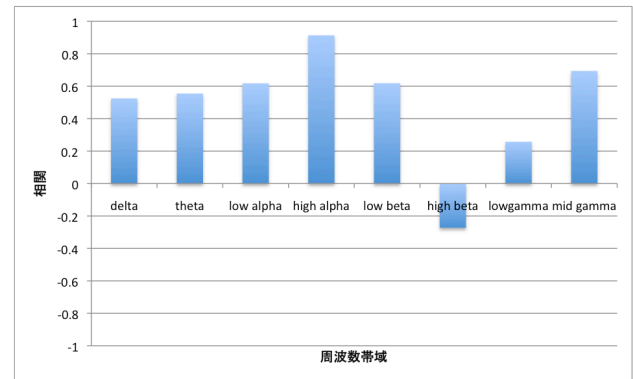


図9 周波数帯域と点数の相関

### 5.3 生波形のフーリエ変換による周波数と点数の相関

#### 5.3.1 1hz ごとの周波数の値が増加する割合と点数の相関

開眼安静中の5秒目(Rt5)と写真提示時の1秒目(Pt1)におけるパワースペクトル値の増加する割合と、点数との相関を求めたところ、強い正の相関と負の相関どちらもみられた（図10）。15hz, 21hzでは特に強い正の相関(0.9以上)がみられ、25hz, 26hzでは特に強い負の相関(-0.9以下)が見られた。

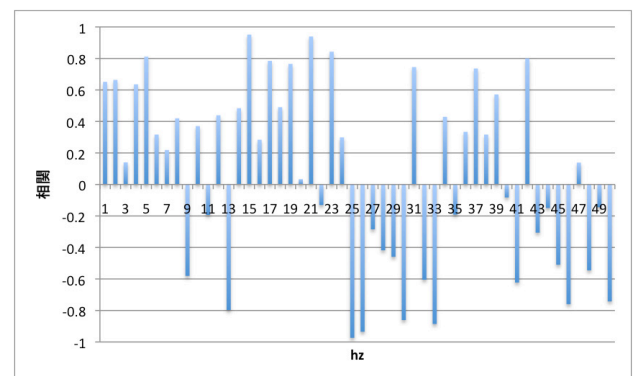


図10 1hz ごとの周波数の値が増加する割合と点数の相関

### 5.3.2 0.2hz ごとの周波数の値が増加する割合と点数の相関

開眼安静中の1~5秒目の5秒間(Rt1~Rt5)と写真提示時の1~5秒目の5秒間(Pt1~Pt5)におけるパワースペクトル値の増加する割合と、点数との相関を求めたところ、強い正の相関と負の相関どちらもみられた(図11)。15.8hz, 27hz, 31hz, 34.4hz, 41.8hz では特に強い正の相関(0.9以上)がみられ、12.2hz, 16hz, 19.4hz, 23hz, 26.6hz, 32.4hz, 39.2hz では特に強い負の相関(-0.9以下)がみられた。

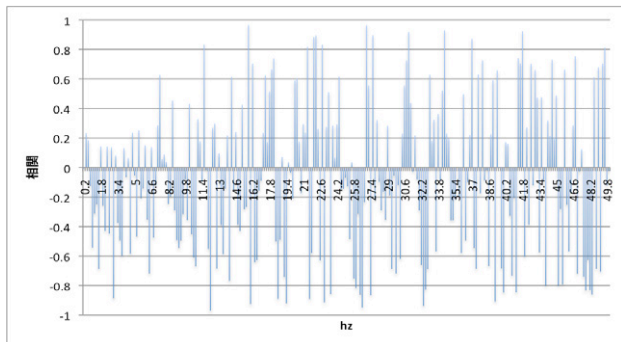


図11 0.2hz ごとの周波数の値が増加する割合と点数の相関

## 6 考察

### 6.1 取得される周波数帯域分析について

8周波数帯域のうち7周波数帯域で点数と脳波のパワースペクトル値の増加する割合には正の相関があった。よって、人が良いと感じるとき脳波のパワースペクトル値は増加する可能性が高いと考えられる。またその中でも high alpha の周波数帯域で強い相関があった。よって、取得する数値を用いる場合、high alpha の周波数帯が上昇することを良いと感じているかの指標とすることができると考えられる。

一方で、high alpha の周波数帯のみを感性の指標に用いるには判断要素として少ないため、比較的相関が強かった low alpha(0.61), lowbeta(0.61), mid gamma(0.69)も評価指標として考えることで、より正確な指標が出来るのではないかと考える。

一般的に alpha 波はリラックスしている状態に出るとされているため、良いと感じるときには同時にリラックスしているとも考えられる。

### 6.2 生波形のフーリエ変換による周波数と点数の相関

生波形をフーリエ変換することによって、1hz ごとの周波数、0.2hz ごとのパワースペクトル値が得られた。周波数帯域ではなく、周波数ごとに分析したことで点数と強い相関をもつ周波数が複数見つけることが出来た。

得られる周波数帯域とフーリエ変換によって得られた周波数との相関の値を比較した。周波数帯域では high alpha (10-13Hz) の増加する割合と点数との強い相関があったが、フーリエ変換によって得られた周波数(10,11,12,13Hz)の増加する割合と点数には強い相関はみられなかった。これは、周波数帯域という幅のある見方と

1hz ごとの周波数という見方では、異なる脳波の特徴を発見できることを示唆している。

5秒間の生波形のフーリエ変換によって得られた0.2hz ごとの値と点数の相関と1秒間の生波形のフーリエ変換によって得られた1hz ごとの値と点数の相関を比較した(図12)。その結果、31hz, 37hz では互いに、強い正の相関(0.7以上)、26hz では互いに強い負の相関(-0.7以下)がみられた。これより、1秒間という一瞬で良いと感じるときと5秒間でゆっくり良いと感じるとき、どちらの場合でも良いと感じていることがわかる指標となると考える。

これらの周波数に着目し、識別性能が優れている SVM などのパターン認識手法を用いることで正確な感性評価指標を作成できるのではないかと考えている。

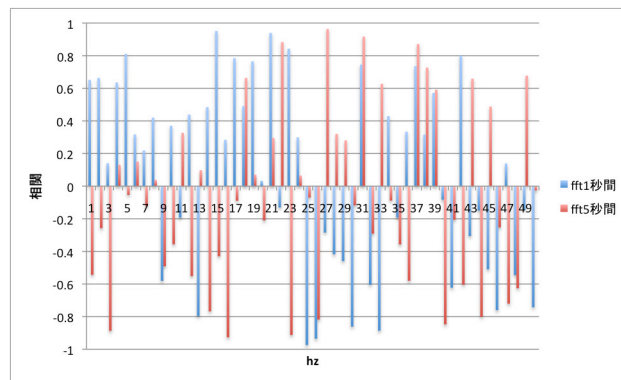


図12 0.2hz と 1hz ごとの周波数と点数の相関の比較

## 7.まとめ

今回の実験により、良いと感じるときに増加する割合が高い周波数帯域や周波数が明らかとなった。また、点数と相関が強い周波数帯域 (high alpha) に含まれる周波数であっても、周波数と点数の間には相関が強いとは限らないことがわかった。

## 8.展望

今後は、良いと感じるとき増加する周波数に注目し、SVM 等のパターン認識の技術を用いて、モデル化を目指す。モデル化の後、異なる分野の人同士がお互いの感性を共有できるようなアプリケーションの製作に取り組む。

### [参考文献]

注1) URL <http://www.neuro-bridge.com/#!untitled/c4ty>

注2) URL <http://jp.necomimi.com/news/index.html>

1) Pilar Chueca 久世利郎, Today's city houses  
株式会社グラフィック社, 東京, 2006

\*1 早稲田大学大学院創造理工学研究科建築学専攻 修士課程二年

\*2 早稲田大学理工学術院客員准教授・博士(工学)

\*3 早稲田大学理工学術院 教授・工博