脳波解析法を用いた水景空間と非水景空間の比較研究

－ 中国の住宅団地の外構に対する視聴覚実験による脳波計測 －

COMPARATIVE STUDY ON WATERSCAPED AND NON-WATERSCAPED SPACES
USING ELECTROENCEPHALOGRAM ANALYSIS

Audio-visual experiment on outer spaces of Chinese residential quarters basing on EEG measurement

李 早*, 宗本 順三**
Zao LI and Junzo MUNEMOTO

The authors are investigating physiological effect of waterscape in Chinese residential quarters. In this report we investigated an EEG by a comparison between waterscape and non-waterscape images. Results showed: α -EEG of 85% testees have activated in waterscape images compared to non-waterscape ones. Images of [Fountain pond equipped with landscape facilities] and [Pond with green islet] had higher α -EEG than others, and were shown significant difference to more than half of non-waterscape ones. It was also noticed that α -EEG of testees could be enhanced according to area increase of landscape facilities or water in these images.

Keywords: Waterscaped space, EEG (electroencephalogram), Audio-visual Experiment, Residential Quarter

水景空間, 脳波, 視聴覚実験, 住宅団地

1. はじめに

1.1. 研究の背景

近年、中国では河川における環境、景観に配慮した護岸整備をはじめとして、水辺を取り入れたオープンスペースの整備、建築と水景施設の複合など、都市における水景空間の景観形成には様々な試みがなされるようになった。居住環境に対する意識も高まり、水景施設が緑とともに、居住環境の豊かさの重要な構成要素になり、住宅団地の開発で、水景施設や周辺の水景を生かした計画が取り入れられ、池や水路などの水景施設が多用されるようになってきた¹⁾。2001年の「搜房・北京典型住宅指数」の370人に対するアンケート調査によると、79%の回答者が「水景空間を好む」と回答し、住戸の居間の窓の向きを見ると、48%の人が「水景空間の見える住戸を優先的に選択する」と回答した²⁾。中国では水景施設を有する集合住宅（以下水景住宅）団地が好まれるため、水景住宅の販売価格は一般的に高い。上海水務局の2002年調査によると、同じ住宅地区で、住宅の販売価格を比べると、水景住宅は非水景住宅より10-15%価格が高くなり、開発者の利潤も高いと報告されている³⁾。中国全体で見ると、2000年以降、中国の広州をはじめとする南方から、北京などの北方まで、水景住宅が多数建設販売されている⁴⁾。

筆者らは、中国の水景住宅団地で、水景空間が生み出す効用を人

間の行動の面から調べた。まず、来訪者に対するGPS歩行実験により、[小橋、飛石で、水路を横断する所]、[ベンチがある池面に突き出た所]などの水景空間で歩行速度が遅く、[水辺から離れた道]のような非水景空間では歩行速度が速くなることを明らかにし、水景空間では非水景空間より人の歩行速度が遅くなることを示した⁵⁾⁶⁾。また、居住者に対する行動観察により、「眺める」、「写真を撮る」などの行為が水際線への「0-1m」の近接距離で最も多く、水面と正対で「眺める」行為が多いなどを明らかにし、水辺施設、水景施設などの空間要素により人々の滞留・移動行為、行動領域が変化することを明らかにした⁷⁾。本論では、これまでの研究に引き続き、脳波を用いて水景空間が人間の生理面に与える影響を調べ、中国の住宅団地の水景空間の効用を明らかにする。

1.2. 研究の目的

本論では、中国安徽省合肥市に近年開発された6つの住宅団地の外構写真と現場で録音した環境音声を用いて、視聴覚実験を行い、被験者の脳波を計測した。水景空間あるいは非水景空間を視聴覚対象とした場合の α 波帯域パワーを比較し、水景空間の生理的な効果を脳波の α 波賦活量により検証する。

* (中国)合肥工業大学建築与芸術学院 准教授・博士(工学)

** 岡山理科大学総合情報学部建築学科 教授・工博

Assoc. Prof., School of Architecture and Art, Hefei University of Technology, China, Dr. Eng.
Prof., Department of Architecture, Okayama University of Science, Dr. Eng.

4. 実験方法

4. 1. 実験の流れと呈示条件

実験室（縦×横×高：2.3m×2.3m×2.3m）は、壁面には暗幕を廻らせ、外光を遮断し、視覚的な雑音を防ぐように配置した（図 2）。被験者に対し、写真の現場で立ち止まって周囲を見ていると感じさせるため、人間の視野と一致する視野角 120 度の写真と現場の音声を合成した「水景空間（6 箇所）」と「非水景空間（6 箇所）」、計 12 箇所のスライドを用いた（図 3）。

表 1 呈示条件

呈示条件項目	条件設定
呈示試料	(1) 水景空間の写真6枚 (2) 非水景空間の写真6枚
呈示方法	スライドを作成し、プロジェクタでスクリーンに写す
呈示サイズ	幅1200mm、高さ338mm
視距離	1900mm
呈示時間	合計11分40秒（3分20秒の休憩時間を含む）
視環境	室内の壁面には暗幕を張り、外光を遮断し、視覚的な雑音を防ぐ
音環境	呈示写真と一致する現場の環境音
被験者	15名の中国の留学生男女

図 2-a. 平面図

図 2-b. 断面図

図 2 実験室内の装置などの配置

図 4 実験の流れ

脳波測定機器には、「感性スペクトル解析装置 ESA-16」を用いた。被験者の頭部に接続された脳波チャンネル対応電極から入力された脳波信号はプロセッサにて A/D 変換され、サンプリング周波数 100Hz のデジタルデータとしてホストコンピュータに転送される。脳波計測用電極は、国際脳波学会で標準方式として推奨される 10/20 法に準じて配置した。脳波導出法には、基準電極の電位を 0 として、探査電極の電位との電位差として取り出す基準導出法を採用した。Fp1、Fp2、F1、F2、P3、P4、O1、O2、T3、T4 の 10 電極を探査電極に、耳朶電極 A2 を基準電極に、頭頂部電極 Cz をグランド電極に使用した（図 5）。

■ w: 水景空間

□ n: 非水景空間

A-F: 団地の番号

図 3 呈示写真

図 5 電極の装着

撮影された写真は、40 秒間×12 スライドをランダムに割り付けた。プロジェクタによるスクリーンへの投影画像は、1680×1050 ピクセルのスライドショーの解像度で呈示した（表 1）。40 秒のスライド（開眼状態）の呈示のうち、最初の 2 秒はフェードインを設定し、最後の 2 秒ではフェードアウトを設定した。各スライドの間には 20 秒間のインターバル（閉眼状態）を挿入し、1 人に対して合計 11 分 40 秒の脳波を計測した（図 4）。

被験者に対しては、瞬きは禁じないがなるべく動かず、リラックスした状態で画面を見るよう指示した。また、提示する各写真の間には、インターバルを設定し、音声の指示に従って、20 秒間目を閉じた状態で休憩するように説明した。

4. 2. 被験者の概要

専門が異なる中国人の留学生男女計 15 名を被験者とした。内 1 人は耳の基準電極の着装に問題があり、1 人の脳波は不安定な状態のため、13 人のデータを有効データとした（そのうち、建築学専攻が 1 人である）。13 人のうち、男性が 6 人であり、女性が 7 人である。また、文科系が 6 人、理科系が 7 人である。実験期間は 2008 年 9 月 1 日から 11 日の間であった（表 2）。

表 2 被験者の概要

単位：人	
性別	男性 6 女性 7
専門	文科系 6 理科系 7
年齢層	20代 8 30代 4 40代 1

5. α波帯域パワーの抽出の手順

EEG フォーマットで保存された脳波ファイルを CSV フォーマットに変換し、40 秒ずつ呈示する写真と対応するように、11 分 40 秒の波形データを分割した。写真のフェードインとフェードアウトの時に、写真間の視覚印象の差が小さくなると考え、最初と最後の 2 秒のデータを除去し、36 秒のデータを 1 枚の写真の分析区間とした。また、視覚活動に伴って前頭部に発生するまばたきなどの眼球運動のための筋電位は大きく、波形データにこれらの当該箇所を判別する関数を組み込み、アーチファクトの除去を行った¹³⁾。

$$E_i = if \{ or \{ \max(\overline{V}_j | i - 40 \leq j \leq i + 10) \geq 140, \max(\overline{V}_j | i - 30 \leq j \leq i + 10) \geq 100, \max(\overline{V}_j | i - 20 \leq j \leq i + 10) \geq 50 \}, 100, 0 \}$$

(1)

$$V_i = \frac{V_{FP1i} + V_{FP2i}}{2}$$

(2)

V_{FP1i} : 観測点*i*におけるFP1での電位 (μV)

V_{FP2i} : 観測点*i*におけるFP2での電位 (μV)

$E_i = 100$ となった箇所を、暫定的に瞬目によるアーチファクトの箇所とする。

つぎに、サンプリング周波数 100Hz でホストコンピュータに記録された脳波の波形データを 128Hz に変換した。これを呈示写真に対応させ、2 秒を解析単位区間として、それぞれに対して調和解析(フーリエ解析)及び相互相関解析(コヒーレンス解析)を行った。クラシックバンドの周波数帯の設定により、1.5~6.0Hz (δ波)、6.5~8.0Hz (θ波)、8.5~12Hz (α波)、12.5~30.0Hz (β波) の 4 周波数の帯域について帯域パワーを求めた。以下では解析単位時間ごとの α 波帯域パワー値を加算平均して、「水景空間」と「非水景空間」の α 波帯域パワーの比較分析を行った。

6. α波帯域パワーを用いた水景/非水景空間の効果の解析

6.1. 水景/非水景空間の α 波帯域パワー平均値の比較

1) 被験者別の水景/非水景空間の比較

各被験者の脳波から得られた 10 の電極のうち、各電極について

水景/非水景空間に対する α 波帯域パワーの平均値を表 3 に示す。α 波帯域パワー平均値が高い場合には「+」と表記する。また、t 検定を行い、有意差が 0.05 以下の場合を「*」で記し、0.01 以下の場合を「**」で記す。

ある被験者の「水景空間」が優勢であった電極数が、「非水景空間」が優勢であった電極数を上回った時に、電極の視点から見ると、その被験者は「水景空間」に対する α 波帯域パワーが優勢(以下、「水景空間」が優勢)であったと考えられる。分析の結果、10 電極から、「水景空間」が優勢であったのは、13 人のうち 9 人であった。このうち、1 人は全電極で、4 人が 9 電極で、1 人は 8 電極で、3 人は 6 電極で「水景空間」が優勢であった。「非水景空間」が優勢であったのは、2 人であった。そのうち、1 人は全電極で「非水景空間」が優勢であった。また、「水景空間」と「非水景空間」の優勢となる電極数が 2 人では同数であった。個人別に優勢となった電極数からは、大多数の被験者で「水景空間」と「非水景空間」の差がある。しかし、t 検定を行い、有意差が確認されたのは 6 人の一部の電極であった(表 3)。

実験後に、『水景空間』と『非水景空間』のうち、どちらが好きであるかの簡単なヒアリングを行った。13 人のうち、ただ 1 人(No.12)は「非水景空間」を好み、特に写真 n1 を最も好むと回答した。写真 n1 と n2 は、廊下や四阿のような景観施設が住宅団地の中心景観となっている。この被験者の n1 と n2 写真に対する α 波帯域パワー平均値は他の写真より特に高く、唯一、全電極で「非水景空間」が優勢であった。また、「水景空間」を好む 12 人のうち、2 人(No.6、No.11)は「水景空間」を「非水景空間」より好むが、写真を見た時に、水景施設の管理の問題を心配していたと回答した。この 2 人とも「水景空間」と「非水景空間」の優勢であった電極数が同数であった。

2) 正規化の α 波帯域パワー平均値による全被験者の各部位の比較

各被験者の α 波帯域パワーでは、脳波の周波数特性は様に分布しておらず、個人差が大きいため、非線形の正規化を行う。非線形

表 3 各被験者の水景/非水景空間の α 波帯域パワー平均値の比較

電極	被験者 空間	No.2		No.3		No.4		No.5		No.6		No.7		No.8		No.9		No.10		No.11		No.12		No.13		No.14	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
FP1	非水景空間	0.654	0.145	0.569	0.078	0.798	0.118	0.551	0.051	0.256	0.046	0.518	0.178	0.499	0.120	0.730	0.105	0.623	0.082	0.631	0.055	0.744	0.182	0.683	0.111	1.051	0.551
	水景空間	0.718	0.112	0.603	0.169	0.749	0.122	0.537	0.066	0.238	0.021	0.530	0.139	0.511	0.075	0.757	0.221	0.687	0.096	0.637	0.084	0.616	0.124	0.799	0.055	0.983	0.355
FP2	非水景空間	0.773	0.164	0.592	0.113	0.827	0.083	0.567	0.058	0.297	0.055	0.520	0.168	0.507	0.105	0.780	0.188	0.644	0.083	0.690	0.108	0.739	0.246	0.829	0.103	0.710	0.117
	水景空間	0.938	0.140	0.633	0.156	0.838	0.091	0.555	0.063	0.299	0.026	0.430	0.136	0.520	0.084	0.848	0.226	0.715	0.116	0.696	0.092	0.675	0.099	0.918	0.140	0.648	0.046
F3	非水景空間	0.625	0.147	0.785	0.088	1.110	0.188	0.245	0.045	0.255	0.114	0.436	0.113	0.659	0.048	0.730	0.102	0.837	0.067	0.971	0.151	0.928	0.231	0.935	0.142	0.762	0.106
	水景空間	0.837	0.222	0.946	0.220	1.072	0.214	0.259	0.020	0.339	0.162	0.441	0.151	0.662	0.058	0.781	0.195	0.827	0.090	0.907	0.108	0.764	0.205	1.065	0.081	0.788	0.186
F4	非水景空間	1.092	0.157	0.888	0.181	1.356	0.115	0.231	0.059	0.348	0.122	0.622	0.217	0.715	0.065	0.919	0.171	0.868	0.108	0.972	0.222	1.009	0.297	0.402	0.097	0.871	0.095
	水景空間	1.416	0.286	0.984	0.269	1.410	0.192	0.235	0.053	0.236	0.050	0.543	0.190	0.725	0.098	0.997	0.323	0.964	0.105	1.064	0.082	0.908	0.284	0.484	0.204	0.842	0.079
P3	非水景空間	1.147	0.125	0.904	0.124	1.386	0.261	0.317	0.091	0.793	0.046	1.044	0.362	0.989	0.132	0.842	0.104	0.940	0.112	1.085	0.156	1.056	0.275	0.459	0.16	0.830	0.138
	水景空間	1.429	0.389	1.021	0.255	1.302	0.158	0.386	0.108	0.719	0.098	1.210	0.448	1.055	0.188	1.112	0.222	0.973	0.169	1.064	0.079	0.847	0.165	0.436	0.072	1.023	0.313
P4	非水景空間	1.394	0.226	0.910	0.116	0.446	0.105	0.633	0.040	0.366	0.280	1.496	0.275	0.966	0.118	0.777	0.146	1.066	0.087	1.038	0.113	1.101	0.405	0.600	0.116	0.945	0.155
	水景空間	1.892	0.469	0.956	0.189	0.421	0.109	0.767	0.094	0.516	0.230	1.540	0.349	1.025	0.183	0.918	0.252	1.005	0.149	1.010	0.108	0.856	0.223	0.501	0.193	1.021	0.329
O1	非水景空間	0.978	0.167	0.932	0.150	1.338	0.265	0.764	0.060	0.284	0.223	1.377	0.258	0.897	0.121	0.93	0.121	0.908	0.119	0.892	0.364	0.949	0.163	1.025	0.153	1.139	0.137
	水景空間	1.211	0.402	0.990	0.247	1.315	0.153	0.729	0.138	0.448	0.271	1.505	0.379	0.906	0.148	1.133	0.151	0.967	0.140	1.018	0.268	0.782	0.124	1.184	0.111	1.449	0.454
O2	非水景空間	1.139	0.219	0.902	0.097	1.314	0.286	0.960	0.100	0.362	0.316	0.640	0.315	0.898	0.124	0.938	0.378	1.121	0.111	1.081	0.113	0.815	0.128	0.341	0.068	1.176	0.115
	水景空間	1.483	0.457	0.901	0.202	1.281	0.154	0.914	0.118	0.520	0.266	0.888	0.433	0.865	0.137	0.927	0.084	1.118	0.134	1.049	0.093	0.660	0.101	0.352	0.071	1.332	0.317
T3	非水景空間	0.590	0.111	0.542	0.064	0.849	0.143	0.652	0.038	0.308	0.107	0.918	0.132	0.748	0.089	0.659	0.149	0.693	0.077	0.792	0.103	0.802	0.137	0.800	0.150	0.441	0.052
	水景空間	0.629	0.180	0.572	0.189	0.841	0.180	0.677	0.084	0.247	0.098	0.951	0.131	0.749	0.067	0.800	0.203	0.661	0.080	0.831	0.101	0.664	0.149	0.964	0.139	0.394	0.087
T4	非水景空間	0.690	0.208	0.433	0.112	1.287	0.234	0.565	0.032	0.354	0.130	0.370	0.192	0.681	0.071	0.579	0.077	0.625	0.055	0.524	0.083	0.862	0.140	0.650	0.108	0.806	0.094
	水景空間	0.882	0.512	0.470	0.243	1.355	0.201	0.611	0.087	0.261	0.158	0.474	0.221	0.697	0.156	0.594	0.181	0.756	0.110	0.493	0.046	0.722	0.194	0.795	0.156	0.830	0.158
水景が優勢の電極数		10		9		3		6		5		8		9		9		6		5		0		9		6	
有意差がある電極数		2						1						2		1						1					

水景空間が非水景空間より α 波帯域パワー平均値が優勢である場合 * P<0.05 ** P<0.01

関数として式(3)を用いた。この結果、絶対的な値のバラツキが極端に大きい各被験者の α 波帯域パワーを直接比較したり、足し合わせたりすることが可能となる²³⁾。

$$f(x) = \log(x - \min + 1) / \log(\max - \min + 1) \quad (3)$$

以下では、正規化した α 波帯域パワー平均値に基づき、分析を行う。各被験者の正規化した α 波帯域パワー平均値を各部位毎に「水景空間」と「非水景空間」別に加算平均し、比較を行った。図6に示すように全部位において「水景空間」が「非水景空間」より α 波帯域パワー平均値が大きい。t検定の結果、頭後部の「P3」と「O1」のt値が他の電極より高く、左後頭部「O1」電極において有意差が見られた。脳波の測定では、前頭部は感情や情操、頭頂部は理解や認識、頭後部視覚刺激に関わりが深いとされている²⁴⁾。そのため、「水景空間」の画像が「非水景空間」の画像より、 α 波を賦活させると考えられる。

図7 α 波帯域パワーの平均値（正規化）と標準偏差

図6 全被験者の電位別の水景/非水景空間の α 波帯域パワー平均値（正規化）の比較

3) 写真間の正規化の α 波帯域パワー平均値と差の検定

全写真別に正規化の α 波帯域パワー平均値を比較すると、全部で12枚の撮影地点のうち、ベンチ、小橋がある噴水池（w11）、緑が多い小島がある池（w9）は、他の空間に比べて明瞭に α 波が賦活されていることがわかる（図7）。 α 波帯域パワー平均値が最も低いのは、「非水景空間（n4）」である。建設当初は、噴水を有する人工水路であったが、写真では水がない状態となっている。

また、 α 波帯域パワー平均値が高い写真（w9、w11）では低い写真（n4、n10）より標準偏差が大きく、 α 波のばらつきが大きいことが明らかになった。既往研究¹³⁾⁻¹⁹⁾²²⁾では、 α 波は人間のリラックスの評価指標と考えられている。以上により、リラックス状態の高い地点の写真では、 α 波のばらつきは大きく、逆に、リラックス状態

の低い地点の写真では、 α 波のばらつきが小さいことが明らかになった。

次に、各撮影地点の差異を見るために、多重比較を行った。図7に各電極の α 波帯域パワー平均値の写真の地点間の有意差の有無の検証を行った。「水景空間」と「非水景空間」の間で、 α 波帯域パワー平均値の有意差がある地点の組み合わせは、「水景空間（w11）」と「非水景空間（n4、n6、n10）」、「水景空間（w9）」と「非水景空間（n4、n6、n8、n10）」である。また、n8とw9の有意差が見られるが、w11との有意差が見られなかった。これは、n8とw11は同じ団地内に位置し、空間の広さ、緑と住棟など空間要素が最も似ているためと考えられる。なお、水景空間で水面面積が、最も小さい溪流（w3）と緑の面積が最も少なく、水面面積が最も大きい池（w5）を α 波帯域パワー平均値が高いw9、w11と比較すると、「水景空間」にも α 波帯域パワー平均値の有意差があった。「非水景空間」の間には、ほとんど有意差がなかった。

以上の多重比較の結果により、w9とw11の2地点の「水景空間」は「非水景空間」に比べて、 α 波を優勢に賦活する顕著な傾向が見られた。

6. 2. 視聴覚実験の音と画像の影響の分析

1) 呈示順序の影響の検定

本実験では、「水景空間（6箇所）」と「非水景空間（6箇所）」の計12箇所のスライドをランダムで、合計11分40秒で呈示した。写真呈示の順序が α 波帯域パワーに対して影響を与えているかどうかを検討する。

まず、被験者別と電極別の α 波帯域パワー平均値を呈示順序ごとに求めた。その結果、写真間の α 波帯域パワー平均値が呈示時間に伴って、明確に上がるあるいは下がることがなかった（図8）。次に、正規化した α 波帯域パワー平均値を従属変数、被験者と写真の呈示

順序を要因に、二元配置分散分析を行ったところ、被験者別と提示順序との交互作用は見られなかった。これにより、時間の経過はα波帯域パワー平均値に影響を与えないことがわかった（表4）。

図8 被験者別/電極別のα波帯域パワー平均値（正規化）の時間推移

表4 提示順序の影響の検定

従属変数: α波帯域パワーの平均値(正規化)					
ソース	タイプ III 平方和	自由度	平均平方	F 値	有意確率
修正モデル	1.689 ^a	143	.012	3.168	.014
切片	24.254	1	24.254	6505.821	.000
被験者	1.243	11	.113	30.321	.000
写真番号	.059	11	.005	1.442	.269
被験者 * 写真順番	.396	121	.003	.877	.666
誤差	.045	12	.004		
総和	27.261	156			
修正総和	1.733	155			

a. R2乗 = .974 (調整済みR2乗 = .667)

2) 環境音の影響

環境を単に景観の視覚印象の評価ではなく、聴覚と視覚を含めた環境として評価することが重要である。一方、既往研究では、映像注視における無音状態は、自然状態と視聴覚構造が大きく異なるために、脳にとってかなりの負担となることが明らかになっている²⁵⁾。そのため、本研究では現場で録音した環境音を写真と同時に提示した。提示音声の種類と音圧の変化を図9に示す。実験室の暗騒音は約37dBaである。音はスピーカーを通じ被験者に提示する。音量は、異なる現場の集音時の環境音の音圧の差を保った状態で、人が聞き取りやすい約53dBaの平均音圧レベルで提示した。

図9 環境音の音圧の変動と音声種類

音源の種類は、鳥の声、流水音、噴水の音、落水の音、暗騒音、交通騒音がある。また、いくつか種類の音が混合した環境音もある。本節では、提示する現場の環境音がα波帯域パワーに対して影響を与えているかどうかを検討する。

まず、図10に示すように、α波帯域パワー平均値が音圧に伴って変化しているとは明確に認められない。また、相関係数が0に近づく、相関が得られないと言える。次に、正規化したα波帯域パワー平均値を従属変数、被験者と写真の提示順序を要因に、二元配置分散分析を行った。表5に示すように、被験者別と提示順序との交互作用は見られなかったため、単純に音圧の変動がα波帯域パワー平均値に影響を与えないと言えない（表5）。

次に、「水景空間（6箇所）」と「非水景空間（6箇所）」別に環境音について、オクターブバンド分析を行うとともに、音圧レベルの変動を分析した（図11）。図10では「水景空間（52.5 dBa）」と非水景空間「（53.6 dBa）」の平均音圧レベルの差が少ないことを示す。しかし、オクターブバンド分析により、図11に示すように高音域で「水景空間」が「非水景空間」より音圧レベルが明確に高い。逆に、低音域で「非水景空間」が「水景空間」より音圧レベルが高いことを示した。既往研究では、音環境の評価実験により、水の音、鳥の声などの自然音が人の快適評価を向上させ、交通騒音などの人工音が人の快適評価を低下させることが検証されている^{26)~28)}。α波の賦活状態を快適性やリラクスの指標として扱った研究も数多く存在する^{13)~19) 22)}。本研究でも、全電極で「水景空間」が「非水景空間」よりα波帯域パワー平均値が大きいことが解った（図6）。これらの知見に基づき、「水景空間」では、水の音、鳥の声などの自然音が高音域に偏り、α波帯域パワー平均値の向上に対して有効である。また、一部道路に近いところに位置する「非水景空間」では交通騒音が低音域に偏っているため、α波帯域パワー平均値を低下させていると考えられる。

図10 写真別の平均音圧レベルとα波帯域パワー平均値（正規化）

表5 音圧による影響の検定

従属変数: α波帯域パワーの平均値(正規化)					
ソース	タイプ III 平方和	自由度	平均平方	F 値	有意確率
修正モデル	1.689 ^a	141	0.012	3.737	0.004
切片	24.126	1	24.126	7527.582	0.000
音圧レベル	0.059	11	0.005	1.673	0.181
被験者	1.249	11	0.114	35.420	0.000
音圧レベル * 被験者	0.391	119	0.003	1.025	0.518
誤差	0.045	14	0.003		
総和	27.261	156			
修正総和	1.733	155			

a. R2乗 = .974 (調整済みR2乗 = .713)

図 11 オクターブバンド分析による水景空間と非水景空間の環境音

3) 呈示写真の構成要素の影響

景観という視覚刺激を呈示する際に、被験者はその中から様々な情報を収集し、景観各構成要素を認識するとともに、脳の反応が発生すると考えられる。本節では、画像を2値化した上で各要素を分離して、要素毎の画像上の面積ピクセル数の割合を算出した(図12、図13)^{注1)}。これを用いて、水だけでなく、呈示写真の緑、景観施設、建物などの様々な空間の要素とα波帯域パワーとの関連を調べた。

写真の構成要素とα波帯域パワーの関係をより明確に把握するために、「各写真の構成要素の面積(ピクセル数)の割合」を説明変数、「写真別に正規化したα波帯域パワー平均値」を被説明変数として、重回帰分析を行った(表 6a-d)。なお、説明変数間のデータの質を揃えるため、それぞれの構成要素の面積ピクセル数の割合を数段階に区分し、グループ化した上で分析した。

分析の結果、重相関係数 R は 0.64 であり、0.1%水準で有意であった(表 6-a、表 6-b)。また、標準化係数により、従属変数の影響の強さを調べた(表 6-c)。構成要素の面積ピクセル数の割合では、「景観施設」、「水」、「空」、「緑」の順で、α波帯域パワーとの正の関係があることが明らかになった。一方、「道路」、「建物」の順で、α波帯域パワーと負の関係があることが明らかになった。「建物」の以外の要素の、画像中の面積ピクセル数の割合の影響の有意確率は5%以下であり、α波帯域パワーに影響を与えていると考えられる。

なお、共線性の判別の結果、VIF(分散拡大係数)が10未満、許容度が0.1以上であり、固有値が最も0に近い時の条件指標が30未満であることから、これらの項目は多重共線性が生じていないと判断できる(表 6-c、表 6-d)。

図 12 構成要素の2値化画像

* 景観施設: 団地の外構で人に休憩、通過させるために配置する人工施設である。
たとえば、廊下、四阿、小橋など。

図 13 α波帯域パワー平均値と構成要素の面積(ピクセル数)の割合

表 6 各構成要素影響の重回帰分析

表6-a モデル集計					表6-b 分散分析 ^{b)}				
モデル	R	R ² 乗	調整済みR ² 乗	推定値の標準誤差	モデル	平方和	自由度	平均平方	F 値
1	.640 ^{a)}	.409	.385	.013916	1 回帰	.020	6	.003	17.202
					残差	.029	149	.000	
					全体	.049	155		

表 6-c 係数 a

モデル	(定数)	非標準化係数		標準化係数		t	有意確率	共線性の統計量		
		B	標準誤差	ベータ	セータ			許容度	VIF	
1	(定数)	.387	.013			29.634	.000			
	緑	.005	.001	.371	.371	3.614	.000	.376	2.660	
	水	.004	.001	.384	.384	2.954	.004	.234	4.270	
	景観施設	.004	.001	.408	.408	3.791	.000	.343	2.915	
	空	.006	.001	.373	.373	4.405	.000	.554	1.804	
	建物	-.003	.002	-.140	-.140	-1.305	.194	.342	2.922	
	道路	-.005	.001	-.461	-.461	-4.147	.000	.320	3.124	

表 6-d 共線性の診断^{a)}

モデル	次元	固有値	条件指標	分散の比率						
				(定数)	緑	水	景観施設	空	建物	道路
1	1	4.725	1.000	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00
	2	.932	2.251	.00	.00	.06	.14	.01	.00	.00
	3	.651	2.693	.00	.00	.08	.07	.10	.00	.02
	4	.393	3.466	.00	.02	.06	.04	.04	.05	.06
	5	.170	5.265	.00	.13	.00	.07	.17	.10	.05
	6	.122	6.217	.00	.05	.00	.10	.62	.07	.30
	7	.006	29.134	1.00	.80	.80	.58	.06	.78	.56

以上により、景観の構成要素の中で、α波帯域パワーを向上させるのは主に画面中の景観施設の面積と水面の面積であり、α波帯域パワーを低下させるのは画面中の道路と建物の面積であることが明らかになった。

7. まとめ

本論では、13名の中国人の留学生に対する視聴覚実験を行い、脳波を計測し、住宅団地における「水景空間」と「非水景空間」について、以下のことを明らかにした。

1) 13人のうち、11人は「水景空間」の α 波帯域パワー平均値が優勢であった。このうち、9人は半数以上の電極で「水景空間」の α 波帯域パワー平均値が優勢であった。また、1人は全電極で「非水景空間」が優勢であった。

2) 正規化した各被験者の α 波帯域パワー値を調べると、全電極で「水景空間」が「非水景空間」より α 波帯域パワー平均値が大きく、左後頭部「O1」電極において有意差が見られた。

3) 環境音の分析により、単純に音圧レベルの変動が α 波帯域パワー値に影響を与えているとは言えなかった。しかし、「水景空間」では水の音、鳥の声などの自然音の音圧レベルが高音域に偏っていることで、 α 波帯域パワー平均値の向上に対して、有効であることを示した。

4) 呈示写真の構成要素の面積（ピクセル数）の割合によって α 波の賦活状態を比較すると、ベンチ、小橋がある噴水池（w11）、緑が多い小島がある池（w9）は、他の空間に比べて明瞭に α 波は賦活されていることがわかった。水のない人工水路（n4）では、 α 波帯域パワー平均値が最も小さい。

5) 「水景空間（w9、w11）」では、多くの「非水景空間」との間で α 波帯域パワー平均値の有意差があることを示した。同時に「水景空間（w9、w11）」は、「水景空間」であるw3（水面面積が最も小さい溪流）、w5（緑が最も少なく、水面面積が最も大きい池）との間にも、 α 波帯域パワー平均値の有意差があることを示した。

6) 「各写真の構成要素の面積（ピクセル数）の割合」を説明変数、「写真別に正規化した α 波帯域パワー平均値」を被説明変数とした重回帰分析の結果、 α 波帯域パワー値を向上させるのは、主に画面中の景観施設の面積と水面の面積であり、 α 波帯域パワー値を低下させるのは、画面中の道路と建物の面積であることが明らかになった。

以上、水景/非水景空間の効果を生理的に脳波の α 波帯域パワー値の賦活を用いて把握できた。今後は、水景施設の有無、または水景施設と緑などの景観要素の相乗効用による環境効果を調べ、心身の健康の増進にも貢献するか否かの継続的な研究が待たれる。

謝辞

脳波計測の実験において、株式会社マイコムの代表取締役社長湯場崎直義には、多大な御協力を頂きました。

また、本研究は平和中島財団2008年度アジア地域重点学術研究助成『「花園」の水景施設が居住者に与える「豊かさ」効果の日中共同研究』、2008-2010年度科学研究費補助金（基盤A「海外調査」、課題番号：20254004）『中国型の居住空間計画技術の研究』の支援による。

注

注1) 水のない水路（n4）では、水景施設の効用がなくなったため、その他に分類される。

参考文献

- 1) 中国景観設計年鑑、天津大学出版社、2005
- 2) 李小言：水景住宅実成「水井」住宅-水景住宅不可盲目跟風、中国房地產報、2003.7.21

- 3) 李榮：上海房價「因水而興」、水景住宅価高10%、中国新華社、http://news.xinhuanet.com/fortune/2002-06/14/content_440907.htm、2002.6.14
- 4) 夏青、鄒穎、陳天：北方地区應該慎重開發水景住区、建築學報(中国建築学会誌)、pp.56-57、2003.10
- 5) Li Zao, MUNEMOTO Junzo, YOSHIDA Tetsu, TANG Peng：Investigation on Walking Behavior along the Waterside in Chinese Residential Quarter using GPS, The 6th International Symposium on City Planning and Environmental Management in Asian Countries, Korea, pp.135-146, 2008.1
- 6) 李早、宗本順三、吉田哲、唐ペン：GPSを用いた水辺での行動の研究-中国の住宅団地における水景施設での歩行実験-、日本建築学会計画系論文集、No.630、pp.1665-1673、2008.8
- 7) 李早、宗本順三、吉田哲：水辺での居住者の移動・滞留行為の研究-中国の住宅団地における水景施設での行動観察-、日本建築学会計画系論文集、No.633、pp.2341-2347、2008.11
- 8) 荒賀裕、武者利光：脳波による新たな感性解析法 -ESA-16、Emotion Expertを用いた感性解析の手法と応用-、第5回脳機能研究所ゼミナール、1999.9
- 9) T. Musha, H. Terasaki, H. A. Haque and G. A. Ivanitsk: Feature extraction from EEGs associated with emotions, Artificial Life and Robotics, Vol.1, pp.15-19, 1997
- 10) 武者利光：「こころ」を測る、日経サイエンス、pp.20-29、1996
- 11) 松本直司、瀬田恵之、河野俊樹、高木清江、武者利光：脳波解析手法を用いた建築外部空間の情緒的意味のノーテーション、日本建築学会計画系論文集、No.562、pp.181-186、2002.12
- 12) 瀬田恵之、松本直司、高木清江、三輪律江：都市空間の物的要因が感性分析の評価傾向に与える影響-その2。脳波解析手法を用いた建築外部空間の情緒的意味のノーテーション、日本建築学会計画系論文集 No.577、pp.65-72、2004.3
- 13) 佐賀惇一：脳波分析を用いた伝統的町並みと現代的町並みの視環境の比較研究、京都大学大学院、修士学位論文、2008
- 14) 佐藤仁人：室内の窓や植栽・絵画が脳波などに及ぼす影響、日本建築学会計画系論文集、No.473、pp.193-194、1995.7
- 15) 仁科弘重、中本有美：観葉植物、花、香りが人間に及ぼす生理・心理的効果の脳波およびSD法による解析、日本建築学会計画系論文集、No.509、pp.71-75、1998.7
- 16) 加藤雪枝、橋本令子、雨宮勇：室内空間に対する心理的及び生理的反応、日本色彩学会誌 Vol.28、No.1、pp.16-25、2004.
- 17) 大野由起子、田畑貞寿：脳波反応からみた道路植栽による騒音感の緩和に関する研究、ランドスケープ研究：日本造園学会誌、Vol.59、No.3、pp.214-222、1996.2
- 18) D. C. Stevenson et al.: The Effect of Traffic Noise on Sleep of Young Adults in Their Home, J. Acoust. Soc. Am. Vol.85, No.2, pp.768-771, 1989
- 19) 橋本頼幸、西岡利晃、梅宮典子、大倉良司：誘発脳波からみた交通騒音の人体に与える影響に関する研究、日本建築学会環境系論文集、No.570、pp.1-6、2003.8
- 20) Eureka! 脳波解析ソフトのマニュアル
- 21) 大熊輝雄：臨床脳波学（第5版）、医学書院、1999
- 22) 吉田倫幸：脳波のリズム変動を指標とした快適性評価、マイクロメカトロニクス（日本時計学会誌）、Vol.46、No.2、pp.1-9、2002.6
- 23) 鶴紀子：臨床脳波と脳波解析、新興医学出版社、2000
- 24) 加藤雪枝、橋本令子、雨宮勇：室内空間に対する心理的及び生理的反応、日本色彩学会誌 Vol.28、No.1、pp.16-25、2004.3
- 25) 前川督雄、橋本秋彦、浜田洋、仁科エミ、不破本義孝、大橋力：脳波を指標とする人工静止テクスチャの生理的評価法、映像情報メディア学会誌 映像情報メディア、Vol.51、No.8、pp.1291-1299、1997.8
- 26) 鈴木信宏、小林一広：水音評価と周辺音別にみた実験的水音環境の評価、日本建築学会技術報告集、No.2、pp.105-108、1996.3
- 27) 謝明燁：景観の違いが環境音の心理評価に与える影響に関する研究 -台湾を事例として、日本建築学会環境系論文集 No.626、pp.519-525、2008.4
- 28) 長野和雄、松原斎樹、藏澄美仁、鳴海大典：環境音による快適性評価の向上の可能性と限界に関する一考察 -音・熱・光の複合環境を通して-日本建築学会計画系論文集、No.505、pp.45-50、1998.3
- 29) 李早：中国の住宅団地の水景空間における人間行動に関する研究、京都大学博士学位論文、2009.2

(2009年3月9日原稿受理、2009年9月30日採用決定)