

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

NOTATION OF EMOTIONAL MEANING OF URBAN OUTDOOR SPACES BASED ON BRAIN WAVE

松本直司*1, 瀬田恵之*2, 河野俊樹*3, 高木清江*4, 武者利光*5
*Naoji MATSUMOTO, Shigeyuki SETA, Toshiki KOHNO,
 Kiyoe TAKAGI and Toshimitsu MUSYA*

Based on a hypothesis that emotional changes can be analyzed by brainwaves, this study aims to continuously predict such changes induced by urban spaces and describe them on a time axis along with spatial information. Using data obtained from psychological rating by the SD method and brainwave measurement, urban spaces were grasped in terms of four dimensions of meaning, and a predictive equation was obtained from the relationship between psychological quantities and brainwave values. Moreover, a method of analyzing personal impression of the shapes and atmosphere of urban spaces was established by symbolizing the elements of the experiment space and relating the emotional changes to such spatial information on a time axis.

Keyword: Brain wave analysis technique, Urban outdoor space, predictive equation, Notation

脳波解析手法, 建築外部空間, 予測式, ノーテーション

1. はじめに

建築空間を評価する際に心拍・発汗・血流などのいくつかの生理的变化によって心理的变化を捉えようとする試みがなされている^{1) 2) 3)}。近年、人間の心の動き(感性)を連続的にとらえるため、諸生理反応の中の「脳波(頭皮上電位: EEG)」も着目されている。心の状態は脳波に反映するので、頭皮上の多数点で記録された脳波データに適当な信号処理を施すことによって知的な状態及び心理的な状態を推定することが可能であるためである。

また、コンピューターが発達し、データ処理が簡易になったため、1970年前後盛んに行われた空間記述(ノーテーション)研究がより進んだ形で可能となった。ノーテーションとは設計ツールとして人間の連続空間体験における感性変化・行動・空間変化を時間軸上に記録するものである。日本では北海道大学の飯田勝幸が空間譜という概念で記述を試み⁴⁾、法政大学の宮宇地一彦はフィリップ・シールの開発したノーテーションの方法を日本の都市に応用している^{5) 6)}。海外ではアメリカのローレンス・ハルブリン⁷⁾、フィリップ・シール⁸⁾らの研究が上げられる。

本研究は、「人間の心の変化を脳波によって解析できる」という仮説^{注1)}に基づき、都市空間を移動体験した場合における

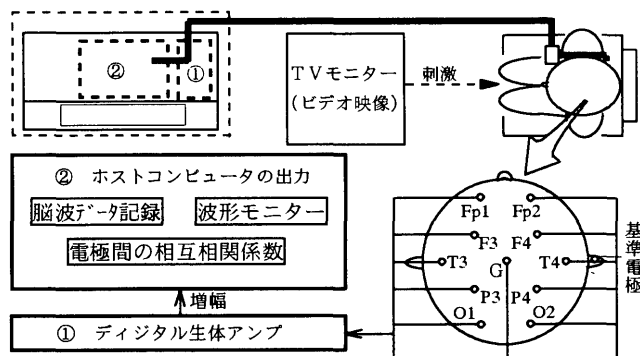


図1 脳波解析のシステム構成

人間の情緒の変化を、SD法評価実験で捉えた「心理量」と「脳波」との対応関係を関数化することにより、連続的に予測し、情緒変化を空間情報とともに時間軸上に記述することを目的とする。脳波解析手法^{注2)}を用いることにより、これまで同時に捉えることができなかった「空間の記述」「行動の記述」「感性」の3局面を連続的に記号化することが可能となる。

「心」の時代といわれる今日、心の状態を解明する架け橋として脳が注目を集めており、様々な分野で脳波研究が行われている。建築においても環境工学の分野では脳波の研究が見られる。関口ら

*1 名古屋工業大学工学部社会開発工学科 教授・工博

*2 飛鳥建設(株)技術研究所 技術推進プロジェクト
担当部長・工修

*3 飛鳥建設(株)技術研究所 環境研究室 主任・工修

*4 名古屋工業大学大学院ベンチャービジネスラボラトリー
中核的研究機関研究員・博士(工学)

*5 脳機能研究所 理博

Prof., Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.
Tobishima Corporation, Technological Research Institute, M. Eng.

Tobishima Corporation, Technological Research Institute, M. Eng.
Venture Business Laboratory, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

Doctor of Science, Brain Functions Laboratory, Inc.

は、可搬型の脳波測定器を使用し、脳波の特性と心理量評価について検討を行っている^{9) 10)}。また、仁科らは観葉植物、花、香りが脳波に与える影響についての研究を行っている¹¹⁾。佐藤は執務空間において視環境が及ぼす生理的影響を脳波を用いて測定している¹²⁾。建築計画の分野において、松本らは建築模型を用いて建築外部空間を脳波で測定したり^{13) 14) 15) 16)}、建築外部空間の予測式を分析する研究^{17) 18)}を行っている。しかし、建築外部空間の変化が脳波に与える影響の予測を行い、さらにその変化と空間の変化を時間軸上に記述する研究を行っているものはない。

2. 脳波解析手法と実験対象空間

2-1 脳波解析手法

脳波解析手法とは、測定した脳波の各電極間における経時的な相関を基に、脳の活動状況を求めるものである。本研究では図1に示す脳波解析装置『感性スペクトルESA-16』を利用し、国際脳波学会で標準方式として推奨している10/20法^{註3)}に準じて電極を配置し、各電極対における相互相関係数を用いて分析を行った。

相互相関係数とは、2個の電極で構成された電極対のそれぞれの電極において、解析区間内で観測された測定電位の相関係数である(式1)^{註4)}。

$$C_{mn} = \frac{\int_i^{i+\tau} u_m(\xi) u_n(\xi) d\xi}{\sqrt{\int_i^{i+\tau} u_m^2(\xi) d\xi} \sqrt{\int_i^{i+\tau} u_n^2(\xi) d\xi}} \quad (1)$$

$u_m(t)$: 電極mで記録した電位

$u_n(t)$: 電極nで記録した電位

これは解析区間内の頭皮上位置による電位状態の関係をとらえ、脳の活動位置や状況に関する量である。

2-2 実験対象空間

図2に示す名古屋市・栄地区における街路空間を実験対象空間とした。この地区には公園・オフィスビル・店舗・住宅など多くの空間構成要素が存在している。そのため、SD法心理評価実験および脳波測定実験において空間変化を認識しやすいと判断した。

3. SD法評価実験と空間の意味構造

3-1 SD法心理評価実験

街路空間の意味構造を把握するために、SD法評価実験を行った。評価は既往研究¹⁹⁾に基づき選定した10形容詞対評価尺度^{註5)}を用いて図2に示す32地点で行った。評価尺度は7段階評価とした。実験方法は被験者にビデオ撮影した連続的に変化する街路空間を29インチモニターで提示した。図3に実験室配置を示す。被験者は建築系学生30名で、平成10年9月28日~10月2日(20名)、平成12年6月12日~同月14日(10名)に実施した。

3-2 空間の意味構造

実験結果をもとに、各評価尺度、各地点ごとに評価結果の平均値をもとめ、主因子法-バリマックス回転による因子分析を行った。その結果、空間の意味構造として表1に示す4つの軸を得た。第I軸は「行きたくない-行ってみたい」「ぶらぶらしたくない-ぶらぶらしたい」などの4尺度が相関が高く、『遊歩性』の軸とした。第II軸は「閉鎖的な-開放的な」「囲まれた-開かれた」の2尺度

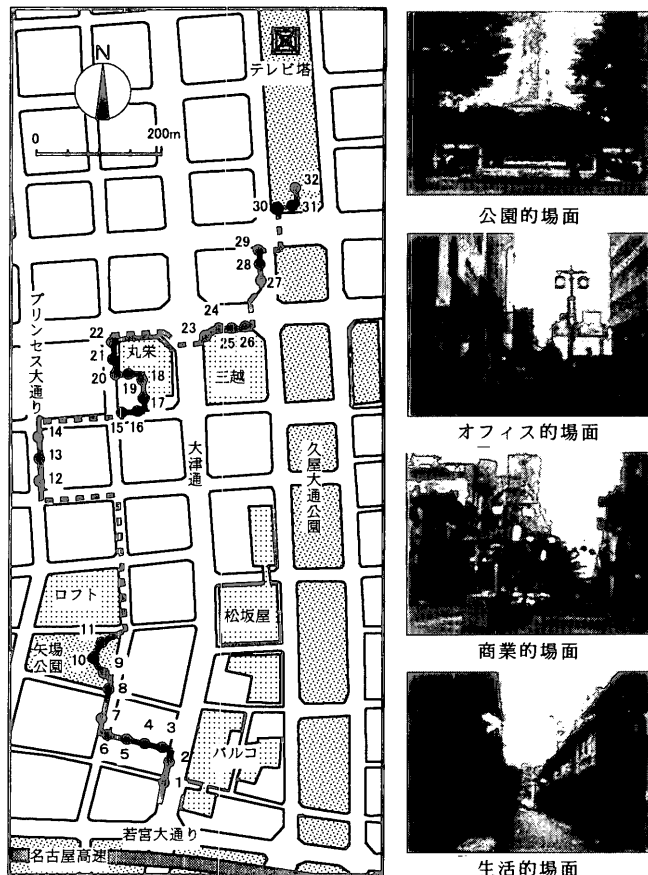


図2 実験対象空間と撮影経路

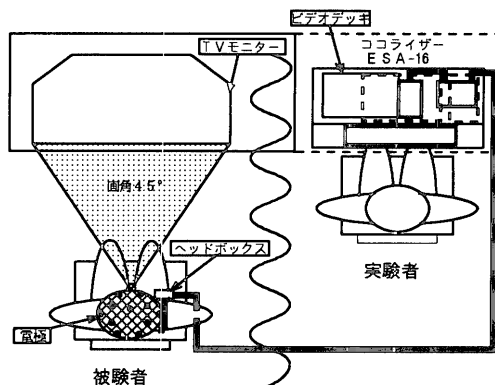


図3 実験室配置図

表1 空間の意味構造(因子負荷量)

評価尺度	因子軸	第I軸	第II軸	第III軸	第IV軸
		遊歩性	開放性	生活性	機能性
行きたくない - 行ってみたい		0.837	0.252	0.124	0.189
ぶらぶらしたくない - ぶらぶらしたい		0.837	0.291	0.062	0.192
つまらない - 楽しい		0.835	0.239	0.015	0.174
期待できない - 期待がな		0.748	0.214	0.098	0.191
閉鎖的な - 開放的な		0.360	0.855	0.008	0.259
囲まれた - 開かれた		0.297	0.752	-0.024	0.153
住みたくない - 住みたい		0.353	0.094	0.734	0.254
騒々しい - 静かな		0.005	-0.023	0.697	-0.130
働きたくない - 働きたい		0.386	0.278	0.049	0.754
伝統的な - 現代的な		0.191	0.301	-0.440	0.487
固有値		5.042	1.746	0.901	0.702
寄与率		48.187	13.621	6.543	4.453
累積寄与率		48.187	61.808	68.351	72.804

が相関が高く、『開放性』の軸とした。第Ⅲ軸は「住みたくない-住みたい」「騒々しい-静かな」の2尺度に相関が高い。『生活性』の軸とした。第Ⅳ軸は「働きたくない-働きたい」「伝統的な-現代的な」の2尺度に相関が高い。『機能性』の軸とした。

4. 脳波解析による都市空間評価予測

4-1 脳波測定実験

実験は、電極装着や実験空間への慣れを考慮し、電極を装着後実験開始までに3分間程度の安静時間を与えた。その後、9分16秒に編集したビデオ映像^{注6)}をSD法評価実験と同様に提示をした。脳波データは被験者がビデオを観察している間に測定をした(図1参照)。被験者はSD法心理評価実験を行った学生19名。平成10年9月28日~10月8日(12名)、平成12年6月20日~同月22日(7名)に実施した。

4-2 解析区間の検討

脳波測定実験で得られた脳波データを用い相互相関係数を導出する方法は、頭皮上電位の経時的データから、求める時間とその時間で求める周波数を設定することにより、指定の設定区間、周波数における値を得るといものである。本研究においては、右脳、左脳それぞれ5電極の組み合わせは、20組である。さらに、周波数帯により、4~7Hz(θ波)、8~13Hz(α波)、14~25Hz(β波)の3周波帯域を考慮し導出を行った。結果、1つの評価地点につき60組(20×3)の相互相関係数が得られた。

相互相関係数の導出においては、解析区間の検討を行った。まずは、比較的脳波が安定し、測定した脳波データにまばたきなどの外的要因による乱れのない被験者1名における左脳の脳波データ^{注7)}

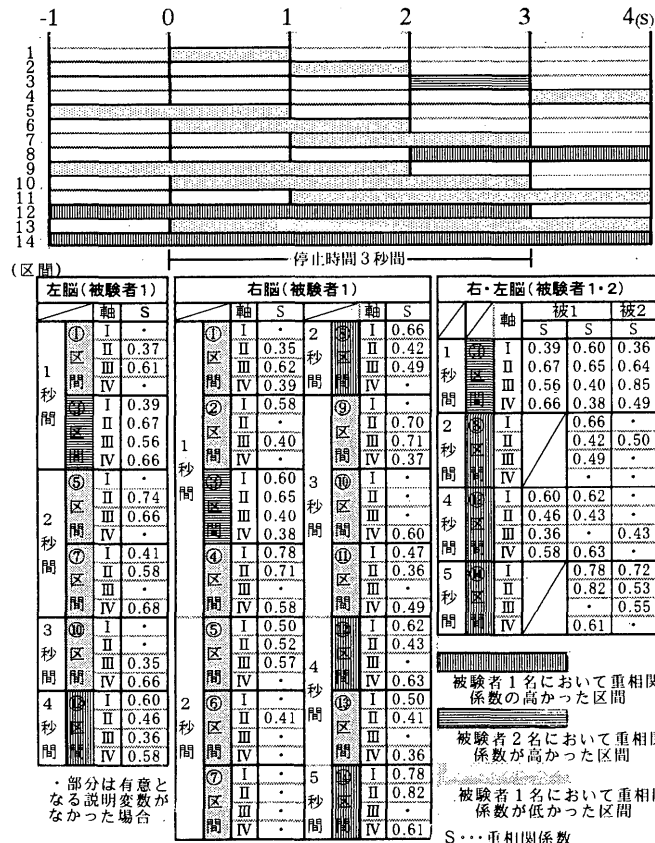


図4 代表被験者における解析区間別の重回帰分析結果

を用い、反応時点と反応長さを考慮して定めた1, 3, 5, 7, 10, 12の6つの区間域(図4参照)において32地点での相互相関係数を導出した。続いて、説明変数を脳波データの3周波帯域(θ、α、β)における相互相関係数、目的変数を32評価地点での各軸における因子得点として重回帰分析(ステップワイス回帰)を行った。

結果、区間3, 12においてI~IV軸すべてに重相関係数が得られた(図4)。さらに、右脳データを解析するために同じ被験者の脳波データを用い、左脳データの6つの区間域を含む、14区間(図4の全ての区間)域で相互相関係数を導出し同様に重回帰分析を行った。解析区間が1秒間から5秒の間のおおのにおいて重相関係数の高い区間3, 8, 12, 14を抽出した。

4つの区間(区間3, 8, 12, 14)に限定し、新たに別の被験者1名のデータを加え、上記と同様に分析を行った。その結果、I~IV軸すべてに重相関係数が得られた停止後2秒~3秒の1秒間の区間(区間3)域が解析区間として適当であることが分かった(図4)^{注8)}。

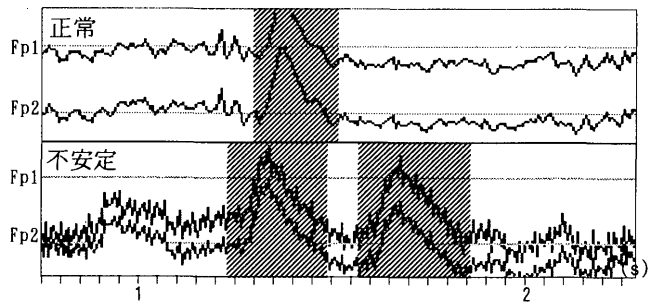


図5 正常脳波と乱れた脳波および瞬きによる影響

表2 重回帰分析による予測式の導出

進歩性	説明変数	回帰係数	偏相関係数
重相関係数	F4-P4	θ 5.640	0.613
F値	P3-O1	α -4.432	-0.465
10.096	O1-T3	β 6.837	0.640
有意確率	P3-T3	β -3.322	-0.538
0.000	定数	-2.634	
$Y = 5.64 \theta F4-P4 - 4.43 \alpha P3-O1 + 6.84 \beta O1-T3 - 3.32 \beta P3-T3 - 2.63$			
開放性	説明変数	回帰係数	偏相関係数
重相関係数	P4-T4	α -7.646	-0.546
F値	Fp2-T4	α 5.282	0.442
6.641	F4-P4	θ 4.753	0.441
有意確率	定数	-1.021	
0.002	定数	-1.021	
$Y = -7.64 \alpha P4-T4 + 5.28 \alpha Fp2-T4 + 4.75 \theta F4-P4 - 1.02$			
生活性	説明変数	回帰係数	偏相関係数
重相関係数	P3-O1	θ 8.195	0.657
F値	F4-T4	α 6.028	0.467
9.264	F3-T3	θ -7.310	-0.632
有意確率	Fp2-F4	α 7.093	0.402
0.000	定数	-12.144	
$Y = 8.19 \theta P3-O1 + 6.03 \alpha F4-T4 - 7.31 \theta F3-T3 + 7.09 \alpha Fp2-F4 - 12.14$			
機能性	説明変数	回帰係数	偏相関係数
重相関係数	Fp1-T3	θ 3.410	0.507
F値	Fp2-O2	α -2.672	-0.416
6.612	P4-T4	θ 4.389	0.374
有意確率	定数	-5.158	
0.002	定数	-5.158	
$Y = 3.41 \theta Fp1-T3 - 2.67 \alpha Fp2-O2 + 4.39 \theta P4-T4 - 5.15$			

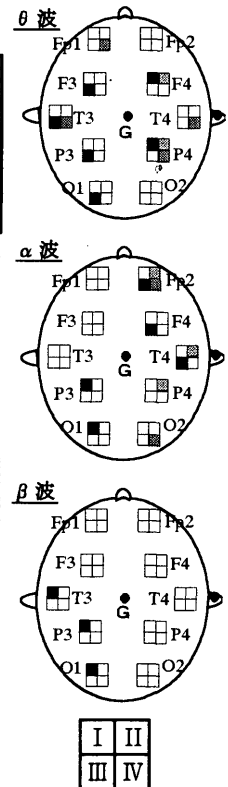


図6 選定された部位

4-3 不用データの除外

相互相関係数の導出には、被験者側の要因による影響を取り除くことは重要である。脳波データから下記に述べている被験者側の要因と時間を対応させながら、有効データから除外することが必要である。

脳波測定者19名のうち、図5の下段に示すような常時不安定な波形がみられた4名の被験者のデータを除外した。また図5の斜線部は脳波データが瞬時に基の状態にもどることから、瞬き、眼球運動などによる反応で、対象刺激による影響ではない。しかし、解析区間内でこのような反応がみられた場合、有効データからは除外することとした。

4-4 都市空間評価予測

各因子軸における、32地点の因子得点を目的変数、脳波測定実験被験者15名における相互相関係数の各地点の平均値を説明変数として重回帰分析（ステップワイス回帰）を行った。その結果、各因子ごとに表2に示す予測式を得た。『遊歩性』と『生活性』は4変数により説明され、重相関係数はそれぞれ0.774と0.761である。『開放性』と『機能性』は3変数により説明され、重相関係数はそれぞれ0.645と0.644である。また、得られた回帰直線が予測式として有効であるか判断するために、検定を行った。結果、各因子とも有意確率は0.000~0.002と小さく、回帰式は予測式として有意である。

4-5 選定部位

因子軸別に選定された相互相関係数の電極配置と周波帯域を図6に示す。『遊歩性』は θ ・ α ・ β の3周波帯域すべてにわたっている。『開放性』は θ 波・ α 波の右脳部分に偏っている。『生活性』は θ 波の左脳部分、 α 波の右脳部分に分かれている。『機能性』は θ 波・ α 波にわたっている。

4-6 予測値と因子得点の比較

図7に各因子軸別に因子得点と予測値の値を示す。『遊歩性』は前半地点では部分的に値が大きすぎて、後半は比較的値が一致している。『開放性』は地点の景観が急激に変化した部分で多少一致していない。しかし、閉鎖的な地点に比べ、開放的な地点の方が一致がよい傾向がみられた。『生活性』は前半の急激な地点の変化に値が一致していないが、後半は比較的値が一致している。『機能性』は、因子得点評価の低い地点に対して、値が一致していない、反対に評価の高い地点に対しては値が一致している。全体的には前半地点より後半地点の方が値の一致度が高くなっている。これは前半は景観が急速に変化しているのに対し、後半は比較的道幅も広く、景観がおだやかに変化しているためであると考えられる。

5. 情緒的意味のノーテーション

5-1 都市空間感性分析システム

予測式の定数と説明変数、回帰係数を用い、感性スペクトル解析を行うための都市空間感性分析用のデータベースを作成した。感性スペクトル解析とは、相互相関係数をもとにした合成関数を求める解析である。感性データベースを脳波解析装置に組み込むことにより、脳波測定後『遊歩性』『開放性』『生活性』『機能性』の感性変化をパソコンモニタ上にグラフとして表すことが可能となった。

5-2 空間の記号化

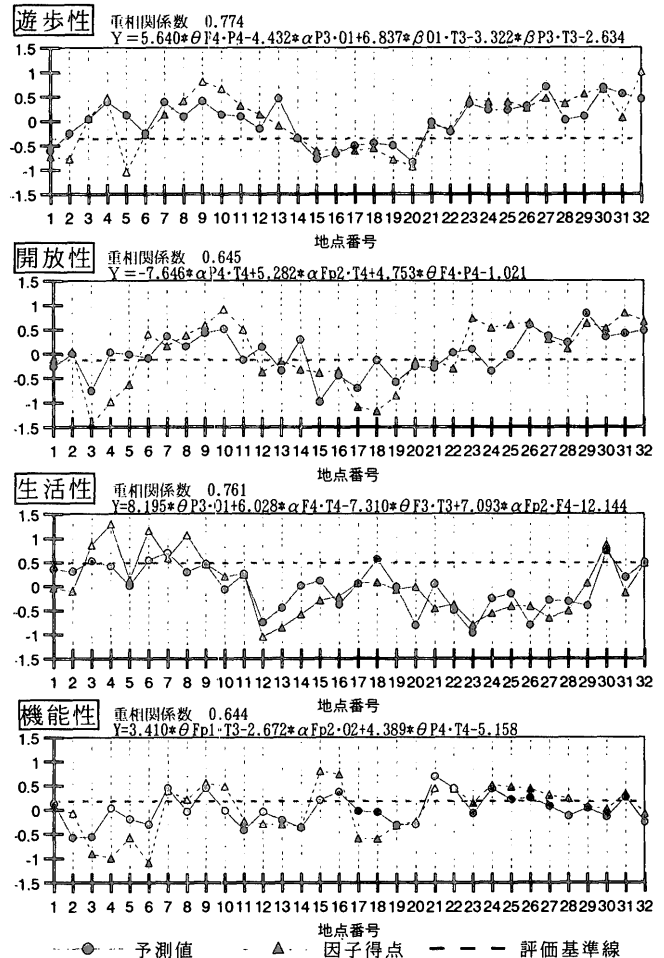


図7 予測値と因子得点の比較

都市空間の移動に伴う感性変化をノーテーションとして表記する場合、どのような空間を動いているのかを明確にする必要がある。そこで本研究の実験対象空間を、図8に示すように空間を記号化した。空間形成要素として「店舗」「住宅」「オフィス」「寺」「植え込み」「樹木」「地下鉄入り口」「横断歩道」「道路」、空間形状として「道幅」「建物高さ」、その他として「歩行場所」「方向変換」の項目を表記した^{注9)}。

5-3 情緒的意味のノーテーション

図8に被験者1名による、実験対象空間を移動体験した場合の情緒の変化を示すノーテーションの例を示す^{注10) 注11)}。各構成軸別に感性変化の傾向をみると、(イ)や(ロ)地点のように視界に樹木や公園といった緑が入った場合や、整然としたすっきりとした空間において『遊歩性』が高い傾向が見られた。(ハ)地点のように、幅の狭い道から広い道にでる場面や(ニ)地点のように進行方向の両側に建築物のない、視界の広がった空間で『開放性』が高い傾向が見られた。(ホ)地点のような公園で『生活性』が高かったほか、幅が広く人通りの少ない道で『生活性』が高い傾向が見られた。矢場公園やセントラルパークといった、整備のされた空間で『機能性』が高い傾向が見られた。

全般的には、各軸で空間に関係なく反応が現れる場合もあるが、比較的空間の雰囲気や形状に対して反応が現れているといえる。

6. 結論

本研究では、都市空間における情緒の変化を『遊歩性』『開放性』『生活性』『機能性』の4つの意味次元でとらえ、脳波データから得られる相互相関係数との対応関係について関数化を行った。その結果、重相関係数は0.644~0.774である。有意な予測式を得た。この関数を脳波解析装置に組み込むことにより、これまでのノーテーション研究では断片的にしかとらえることの出来なかった人の心の変化を連続的に記述することを可能にした。また実験対象空間を記号化し、情緒の変化と時間軸上で対応させることにより、空間の形状や雰囲気に対しての、個人の印象について分析する方法を確立した。

今後の課題として、予測式の精度向上が挙げられる。そのためにはより多くの被験者、評価対象との実験を行っていくことと、より刺激の強い対象空間を用いて実験を行うことなどが必要である。

さらに、ノーテーション研究においては情緒の変化に対して、空間の情報をいかに豊富で簡潔に表記するかが挙げられる。これらの課題を改善することにより、人間の感性研究のための実験装置として有効であることはもちろん、設計空間の事前評価システムとしての利用、また実在する空間を評価することにより新たな提言をする、などの利用が期待される。

謝辞

この論文を書くにあたり、ご協力いただいた平成12年度名古屋工業大学大学院博士前期課程修了の越智督夫氏に感謝の意を表します。

注

- 1) ①脳波は視覚的情景の変化に対して特徴的な変化が現れる。②視覚的情景の変化と脳波の変化に関係があるということは、人間の情緒の変化と関係があるということである。③人の変化をYとし、脳波の動きをXとすると、 $Y = F(X)$ と表すことができる。ここでYはSD法評価実験によって得られる因子得点であり、Xは脳波から求められる相互相関係数である。
- 2) 2-1参照。
- 3) 国際脳波学会の提案により標準電極配置法(1958)が世界各国で施行されるようになった。10/20法はMontrealのジャスパーJasper, H.らによって開発された。
- 4) サンプリング間隔は0.01秒、積分区間τは1.0秒である。
- 5) 参考文献19においての研究は今回の実験空間と同様な空間でSD法評価実験を行い、「遊歩・評価性」「生活・静謐性」「仕事・現代性」の3軸を得ている。その3軸の相関の高い6評価項目と、街路空間に重要である安定、行動に関する4評価項目を加え、10項目にしている。
- 6) ビデオは10秒歩行3秒停止で編集を行った。
- 7) データはビデオ編集において停止した時点をもととし、解析区間検討の基準にしている。
- 8) 1名の瞬きなどの外的要因による乱れのない安定した被験者データについて解析を行い、その後、その1人が特異な事例である可能性もあると考え、もう1人に加え、解析区間の検討を行った。その結果、同様の結果がえられたため、それらの結果を用いて解析区間を決定した。2名という少ない人数ではあるが、結果は確実性が高いと考えられる。
- 9) 移動空間を認識するために、空間形成要素を設定した。今回の実験区間では8要素。また、建物の高さ、道幅の広さは開放感や圧迫感などを与えると考え記すこととした。実験空間と脳波測定結果と対応させるためにどのような方法がよいか模索した結果、実際は曲がりくねっている道路を1本の直線にし、方向変換を記入することとした。さらに広い道路では歩いている場所により脳波に違いが見られると考え、歩行地点を記入した。
- 10) 被験者によって感性スペクトル分析が適合しないものもいるが、これは個人差の影響だと考えられる。図8には適合した被験者の例を示した。
- 11) 15名の被験者の解析を行っている。

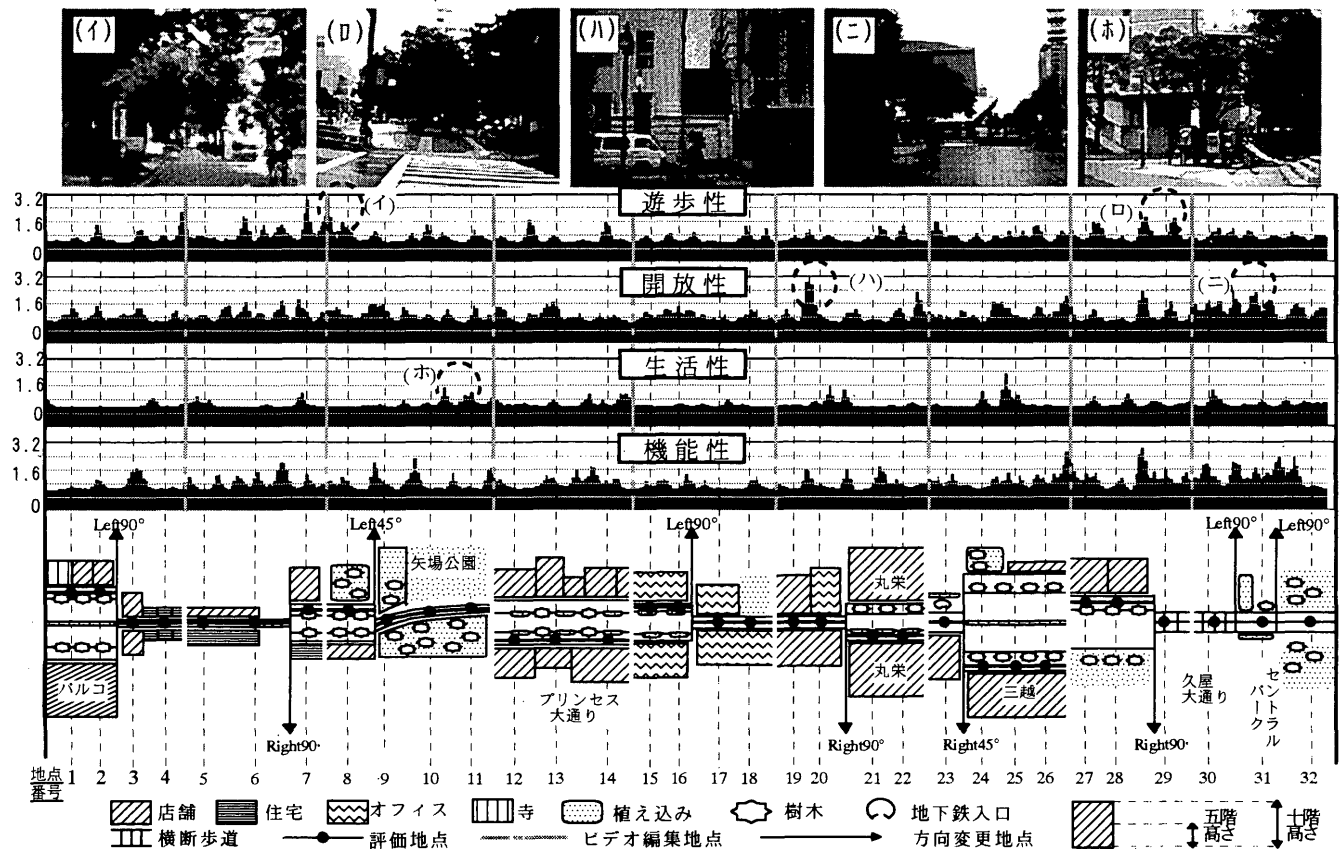


図8 情緒的意味のノーテーション

参考文献

- 1) 梶井宏修：事務作業と環境温度変化（5） パソコン作業中の脳波と心拍変動，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，pp.401-402，1998
- 2) 梶井宏修、杉田雅紀、片江俊祐：空調室内の植物が人体に及ぼす影響 単純加算作業における生理反応（心拍、血流、発汗等），日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，pp.367-368，2000
- 3) 三沢茂、関口克明、鈴木直行、杉野潔、井上諭：建築環境評価への生理的反応の導入に関する基礎的研究 その3 脳波応答と眼球運動の関連性について，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1，pp.843-844，1996
- 4) 飯田勝幸：街路の空間譜 建築文化No.340 pp.150-156，1975.2
- 5) 宮宇地一彦：人間移動に伴う視覚的シーケンス研究 その1 ショッピングモールを事例として，日本建築学会計画系論文報告集 No.440，pp.99-109，1992.10
- 6) 宮宇地一彦：人間移動に伴う視覚的シーケンス研究 その2 シークエンスの特徴分析と表記法の検証，日本建築学会計画系論文報告集 No.455，pp.97-108，1994.1
- 7) ローレンス・ハルプリン著 伊藤ていじ訳：都市環境の演出，彰国社，1970
- 8) フィリップ・シール著 稲葉武司訳：Towards An ENVIROTECTURE 環境デザインの新しい科学を目指して その2，建築文化，No.308，pp.111-118，1972.6
- 9) 三沢茂、関口克明、杉山知之、水谷好男：建築環境評価への生理的反応の導入に関する基礎的研究 その1 可搬型脳波計の改良と基礎データの検証，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1，pp.797-798，1995
- 10) 川浪大輔、関口克明、杉野潔、井上諭、三沢茂、鈴木直行：生理・心理反応を用いた路面評価に関する研究 その1 車椅子走行時の脳波測定に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1，pp.773-774，1997
- 11) 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報告集 No.509，pp.71-75，1998.7
- 12) 佐藤仁人：室内の窓や植栽・絵画が脳波等に及ぼす影響 執務空間における視環境の生理心理的影響に関する研究，日本建築学会計画系論文報告集 No.461，pp.87-95，1994.7
- 13) 瀬田恵之、河野俊樹、松本直司、岡島達雄、武者利光、高井智代、神谷彰伸、山内比呂史：ビジュアルシミュレータの動画合成方法と脳波解析手法 知覚行動直結型ビジュアルシミュレーション評価システムの研究 その2，日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1，pp.757-758，1996
- 14) 瀬田恵之、松本直司、山内比呂史、河野俊樹、岡島達雄、武者利光：建築模型を用いた評価実験による空間の変化と脳波との関連性について—知覚行動直結型ビジュアルシミュレーション評価システムの研究 その6，日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1，pp.793-794，1997
- 15) 河野俊樹、松本直司、瀬田恵之、武者利光、岡島達雄：建築外部空間評価における脳波電位と空間変化との関連性について 知覚行動直結型ビジュアルシミュレーション評価システムの研究 その7，日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1，pp.865-866，1998
- 16) 瀬田恵之、松本直司、河野俊樹、武者利光、岡島達雄：建築外部空間評価における相互相関係数と空間変化との関連性について 知覚行動直結型ビジュアルシミュレーション評価システムの研究 その8，日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1，pp.867-868，1998
- 17) 越智智夫、松本直司、瀬田恵之、河野俊樹、武者利光：脳波解析手法を用いた建築外部空間評価予測，日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1，pp.765-766，1999
- 18) 松本直司、瀬田恵之、高木清江、河野俊樹、武者利光：脳波解析手法による都市空間の感性分析，日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1，pp.843-844，2001
- 19) 松本直司、高井智代：個人差をふまえた街路景観の乱雑・整然性および魅力度の関連—中心市街地における乱雑・整然性に関する研究 その2，日本建築学会計画系論文報告集 No.440，pp.89-98，1992.10

(2001年11月9日原稿受理，2002年9月25日採用決定)