

簡易型脳波計測装置による高速道路走行景観の分析

Validity of Brain Wave Analyzer for the Evaluation of
Sequential View from a car on Expressway

深堀清隆**、窪田陽一***

By Kiyotaka FUKAHORI and Yoichi KUBOTA

In this paper, the relevance of using brainwave data in the field of landscape evaluation is discussed. There are advantages to use brainwave data describing the variation of alpha and beta waves. One is that the direct data of psychological response can be obtained easily. The data is just quantitative, and not conceptual like the data obtained by psychological scaling methods. Another advantage is that brainwave data is continuous and sequential. Those points fit for the evaluation of sequential landscape. Before concrete investigation, some problems must be checked. The problems are the quality of brainwave data which has some kinds of artifact, and the difference among some individual data. The object of evaluation is sequential landscape on expressway. In this case brainwave analysis can be applicable for evaluation, because some landscape elements may have sequential influence on some evaluative variation of criteria. The relation between alpha and beta waves and landscape elements has been mentioned.

1. 緒言

本研究は簡易な脳波測定器（IBVA（イーバ）；サイキックラボ製）を用いて高速道路走行中のシーケンズ景観の評価を試み、その利用可能性を検証するものである。景観評価において脳波を利用することは、SD法などの計量心理学的手法のように言語的概念を用いない点と、時系列的な定量的データを得ることが可能であり、それと景観変化の情報を対応づけることが可能である点で、有効であると考えられる。ただし、使用した簡易型脳波測定器は前頭部のみに着用する3つの電極しか用いないため、本研究ではこのような場合に得られる脳波データ自信の有効性についても考察を加え、その結果を報告することにする。

2. 脳波の発生とその特徴⁽¹⁾

一般にいう脳波とは人間の頭皮に装着した電極間の電位変動を測定したもので、その発生源は大脳皮質の中のニューロンの軸索、樹状突起の活動電位、細胞体の活動電位、シナプス電位、シナプス後電位である。この電位は大脳皮質、視床、視床下部、大脳辺縁系、脳幹等の神経性因子や、呼吸、代謝、血液、循環などの体液性因子によるものである。前者の神経性因子が電位変動の原因であるということが視覚的知覚と脳波の相関関係を実験的に検証する上での根拠となっており、また視覚に限らず聴覚や体性知覚についても脳誘発反応すなわち閃光、クリック音、電圧パルスの刺激によって脳波に特有な反応が現れることも知られている。本研究で問題となるであろう脳波の差異については、正常異常の差異、個人差、年齢差、左右差などがあるが、同じ人では一定条件下では個人的特徴が再現性良く得られることがわかっている。適切な条件の設定を行えば有効な結果が得られることが期待される。脳波のデータ

*キーワード：脳波、景観評価、シーケンズ景観

**学生員 埼玉大学大学院 理工学研究科

***正会員 工博 埼玉大学助教授 工学部建設工学科
(〒338 埼玉県浦和市下大久保255)

表現法には電極間の電位の振幅と周波数がよく用いられ、周波数については以下のように帯域ごとに分類されている。

- δ波 3Hz以下
- θ波 4-7Hz
- α波 8-13Hz
- β波 14Hz以上

3. 本研究の評価手法における脳波の位置づけ

(1) 従来の評価手法

土木景観工学における評価手法としては計量心理学的手法がよく用いられる。これには言語的概念を研究者と被験者の媒介手段として扱い評価尺度の形成を行う一対比較法やSD法などがある。SD法においては形容詞対の選定者の主観が混入するという問題がある。これは評価実験において研究者が被験者に評価概念を押しつけるということであるが、言語的概念の枠が限定されているか、形容詞対が互いに独立であるかなどが問題となる。さらに、評価の状況が景観体験を直接に表現しているかも疑問であるし、回答に際して意識の操作性が高すぎる、すなわち被験者がうそがつけるということも問題である。

景観に対する人間の反応を言語的媒介手段を経ずに直接的に得るには脳の反応を調べるしかない。ここに脳波を利用する意義が認められる。

(2) 脳波によるシーケンス景観の評価

景観現象を人間と対象物の関係における視覚的な知覚・認識の過程として二元論的にとらえると、評価分析のプロセスは次の3段階となる。

- ① 景観を構成する要素の把握
- ② 人間の反応の把握
- ③ ①と②の関係付け

すると脳波測定は②における直接的なデータ入手法であると位置づけられる。①や②の定量化の程度により様々な分析が考えられるが、脳波については電位波動の振幅や周波数という形の完全な定量的データなので、景観構成要素をどこまで定量化するかが評価手法を特徴づける。特に本研究のように景観のシーケンスを扱う場合、脳波計では定量的かつ時系列的な人間の反応が得られるので、景観の構図、構造物の色彩やスケール、構造物と視点との関係（距離、仰角、見込角等）の時間的変化と人間の

反応の時間的変化の関係の分析を比較的容易に行うことができる。

(3) 脳波測定による評価実験のプロセス

脳波計測装置を用いた景観評価実験のプロセスは以下になる。

- ①評価対象とする景観類型を選定し評価条件を設定する
- ②脳波を測定する
- ③数量的表現形式の脳波データ出力を得る
- ④景観諸要素と出力の比較分析
- ⑤個人差の検討
- ⑥脳波の安定性、測定条件の検証

(4) 脳波利用に際しての諸問題への対応

a) 個人差の問題

景観評価においては、脳波に個人差が存在する以上、ある人の脳波の振幅や周波数特性の絶対量の把握はあまり重要ではない。シーン景観のように変化を伴わない評価対象の場合には、感覚刺激を与える前後の脳波特性の違いの相対的把握、特に個人データの平常時の特徴を把握することが重要である。本研究のようなシーケンス景観を対象とする場合には、脳波特性の時系列変化の被験者間での相対的把握が意義をもつと考えられる。

b) 脳波分析における視覚と他の感覚の関係

評価要因となる景観構成要素の選定の後、実験の条件設定が重要となる。景観問題においては視覚が主な評価対象となるが、脳波にみられる人間の反応は、視覚のみならず聴覚や触覚などの感覚によっても誘発されると考えられる。本研究の様に、視覚的な景観構成要素のみと脳波の関係を検討したい場合、五感の操作的統制、例えば被験者に注意を与えて視覚的な認識に意識を集中させる等の対応が考えられるが、この場合ある程度の不自然さはやむを得ない。

c) 評価尺度と脳波パターンの関係づけ

分析によって得られる結果は何らかの言語的表現をもって解釈されねばならない。つまり何らかの評価尺度との関係づけが必要になってくる。ここでは脳生理心理学の分野での成果である、αβ波の特性に注目する。

α波—正常成人の覚醒、安静、閉眼状態でよくみられる

β波—開眼、痛み、暗算、緊張などの興奮により

α 波が抑制されて増加する

景観評価においては、これらを

α 波—景観の静的な評価（落ちつき、快適性）

β 波—景観の動的な評価（不快、集中、活動性）

の尺度と捉えられることによって結果の概念的把握が可能になる。脳波の分析結果から得られる情報が景観デザインという立場で実践的に生かされるということが可能かどうかは、この解釈の妥当性による。

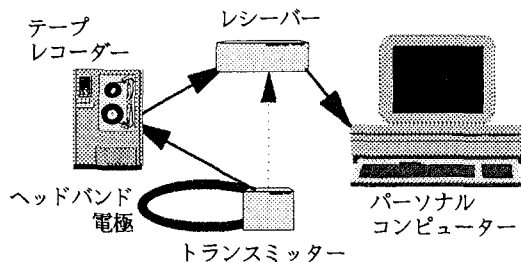


図-1 システム構成図

4. 高速道路走行景観の評価

(1) 目的

本研究は脳波測定装置を景観評価に用いる上での可能性の検討の域を越えないが、具体的な対象として高速道路の走行景観を挙げて実験を試みる。筆者らはすでに高速道路上でオーバーブリッジが連続して存在する区間の走行景観をCGアニメーションと計量心理学的手法を用いて評価する研究を行っている⁽²⁾。これは高速道路上に多数のオーバーブリッジが連続してあるときに車両の運転者がもつ圧迫感や錯綜感などの不快感について問題提起したものであった。しかし動画を用いたにもかかわらず景観の時間的変動がうまく評価に取り入れられていないという課題が残されていた。そこで本研究において、同様の対象におけるシーケンス景観の問題を検討するために脳波を用いた分析を試みた。即ち景観の快適性と α 波、橋梁桁下の走行における圧迫感と β 波の関係などを検討する。またオーバーブリッジが連続する区間では α 波が低く β 波が高くなり、逆にオーバーブリッジのない開放的な区間では α 波が高く β 波が低くなることが予想されるが、これについても検討する。

(2) 実験の方法

実験の方法としては、被験者にVTR映像などの間接的な映像を見せるよりも、実際の景観体験をさせる方が適切と思われるので、被験者に電極を装着して実際に助手席に乗りしてもらい、高速道路のある一定区間で脳波を測定した。ここで使用した脳波測定器は、電極のついた軽量なヘッドバンドとテープレコーダー（脳波は音声として記録される）から成り、現地測定が可能な簡便なものである（図-1）。

実験の条件設定と留意点は以下のようである。

①実験は同一日時の午後実施した

②測定区間は常磐自動車道の柏—谷和原間とした（走行時間は8分から10分程度）（図-2）

③被験者はドライバーとして1名（被験者X）、助手席で3名（被験者A、B、C）とし、ドライバー以外の3人については同じ区間で3回測定を行った（3回の個人データの比較をするため）。

④測定順序についてはABCABCBCの順で行った（集中力の減退を防ぐため）。

⑤被験者に対して以下の注意を与えた。

- ・脳波測定器に関する説明（途中で触らない等の注意）
- ・自然な姿勢を保ちリラックスすること
- ・会話をしないこと
- ・視野は前方に限り側方はみないこと
- ・精神活動はなるべく風景の認識に限ること

⑥測定前の条件を一定にするために測定開始直前に3分ほどある方向の風景（料金所手前）を静止状態でみせた

⑦時速約100kmの定速走行を行った

⑧原則として車線変更はしないこととした

(3) データの解析方法

脳波測定器は得られた電位データをFFT（高速フーリエ変換）プログラムによってフーリエスペクトルを求め、 α 、 β 、 δ 、 θ の各帯域の中でピーク（最大値）をとったときの電位振幅値と、その値をとった周波数を約2秒ごとに記録していった。その時系列データをわかりやすくするために移動平均法（5つのデータで平均、スパンを5とした）で平滑化したものを最終出力結果とした（図-5）。

(4) 出力データの問題点

フーリエ変換の結果得られたスペクトルから上述のように α 、 β 帯域ごとに最大値を抽出したが、なかには卓越したピークとは認め難い場合もかなり

あった。これは脳波測定時のアーティファクト（脳波以外の現象の影響の混入）に由来するものと考えられる。アーティファクトには、筋電位や心電位、脈波、眼の動き、呼吸、発汗、体動などの人体に由来するものと、電極の接着不良などのハードウェアに由来するものが考えられる。本研究ではこれらのアーティファクトが以下のような問題を起こしていることが推測された。

まず第1にここで用いた脳波測定器は前頭部の脳波のみを測定する装置であって、前頭部は眼球、瞼の動きによる筋電図の混入が最も著しい箇所であること、第2に実験は開眼状態でなされていること、第3に車の振動が体動による筋電位の混入をかなり促したと推測されることである。これらの問題に対処するには高域減衰フィルターによって高い周波数の波を減衰させて筋電位を目立たせなくすることが考えられるが、ここでは行っていない。したがって本研究においては結果についての解釈がかなり限定されることとなった。

(5) 対象区間におけるシークエンスの記述

脳波の時系列データが景観諸要素の変化によって何らかの影響を受けているかを検討するためには、被験者が見ていたものと脳波データを比較する必要がある。ここでは脳波測定と同時に撮影した高速道路のVTR映像をもとに、走行景観を時間軸にそって、構造物や道路線形などを表すいくつかの記号を用いて表現した（図-3、4）。

図-3と4の見方は以下の通りである。

a) 時間軸について

脳波は常磐自動車道の柏料金所手前から谷和原料金所まで計測されているが、最初の3分間の車両静止時間を経て本線に合流した時点から4分50秒間のシークエンスを記述した。それぞれの被験者のデータは異なる時間変動をもつが、一人の被験者の時間軸を基準として他を相対化して表示した。

b) 記述要素について

①景観構成要素の配置パターン（図-3）：高速道路の状態をオーバーブリッジ、道路標識、看板、送電鉄塔、路側の各要素で記号化した。

②線形（図-3）：矢印は道路がカーブしていることを表す。傾き具合が曲率の程度を示している。その変化は矢印の中央で起きたことを示す。

③オーバーブリッジの出現パターン（図-4）：橋梁の下を車でぐり抜けるという行動には圧迫感などの不快感が付随し脳波にも何らかの影響を与えているはずである。ここではオーバーブリッジへの接近、画面における占有率の増加、通過時点等を考慮して図のような三角形の記号を用いた。（実際には画面占有率は移動距離の2乗に比例して増大する）ハッチパターンの部分が見視であった部分である。但しこれらの記号は以下の仮定に基づいている。

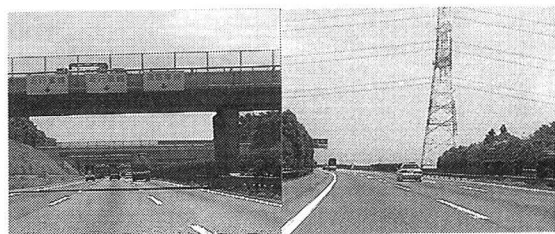
- ・被験者はほとんど前方を注視している（実験前に指示されていた）
- ・オーバーブリッジはその下を通過する30秒程前からそれと認識される（VTR映像から平均的に判断）
- ・オーバーブリッジのサイズ、クリアランス等はほぼ同じであった

④道路標識等の出現パターン（図-4）：文字を有する案内表示板、看板等はほとんどの被験者が注視する物体である。ここでは特に前方からよく視認しやすかったものの可視時間帯を記述した。また送電線及び鉄塔はその高さ及び形状を考えると特徴あるランドマークである

以上の諸要素はもし厳密に行うのであれば、VTR映像の各コマに対してメッシュ分割を行い、画面占有率などを定量的に把握して、それを時系列データとすることで脳波データとの相関を分析することが可能であろうが、今回の脳波データについては前述のようにデータとしての厳密さに問題があるので、対応付けは位置関係のみに限定して行うことにした。

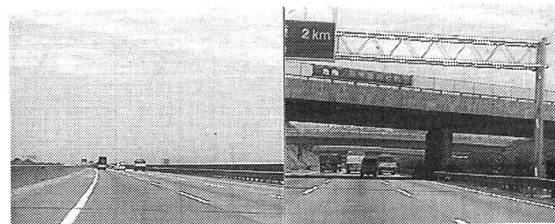
これらの図表を見てもわかるであろうが、この区間の景観的な特徴は以下の通りである（図-6）。

- (i) 前半の1分10秒間にはほとんど空を覆うようにオーバーブリッジが存在する区間がある
- (ii) それからの30秒間は左方にカーブし続ける区間であり、送電鉄塔と送電線に接近しながらそれを通過すると同時に植栽法面がきれ開放的な利根川河川敷区間にはいる
- (iii) 約1分そのような開放的な区間が続く
- (iv) 守谷サービスエリア入口を過ぎると再び多数のオーバーブリッジに覆われた区間が続く



(i)

(ii)



(iii)

(iv)

(i)前半のオーバブリッジが連続する区間

(ii)送電鉄塔への接近

(iii)利根川河川敷区間

(iv)後半のオーバブリッジが連続する区間

図-6 各区間の写真

(6) 脳波出力結果

データは10人分(被験者X1回、同A、B、C各3回)存在しそれぞれが α 、 β 、 δ 、 θ 電位振幅と、ピーク時周波数をもつので80のグラフがある。被験者を表す記号X、A、B、Cの後に付けた数字でその被験者の何回目の測定かを示している。分析には α 、 β 波の電位振幅のみを用い、電極の接触不良や測定ミスなどのあったB1、C2、C3のデータを除外した14のグラフを図-5に掲載した。測定時は可能な限り同速度、同時間になるように配慮したが、実際には同じ対象物を被験者が見ている時間はずれている。比較を可能にするため景観的にはっきりとした区切りの現れる0:01:43(利根川河川敷区間開始点)と0:03:03(守谷サービスエリア入口)をコントロールポイントとして区切りをつけた。またオーバブリッジと道路標識、看板等を通過した時点に各々記号を付した。

(7) 考察

脳波特性を分析するために、対象区間におけるシーケンス景観の記述において各景観構成要素について詳細な記号化表現を行ったが、脳波データをFFT後に平滑化した出力結果をみると、景観構成要素と脳波を厳密に対応づけることはあまり明確にできないことがわかった。そこでここでは景観構成

要素との対応関係については、被験者がある時点で何をみていたかという点に注目して検討すること限定した。脳波データそのものに関しては数値の相対的な大小関係と増加、減少傾向、増加から減少、減少から増加への変化点などを手がかりに考察を加える。(P*は図-5のピークの位置)

a) 各被験者個人における反復計測データの比較

① α 波

- ・A1とA2については01:43の時点でピークをとるなど共通点が見られる。A3においてもその時点でほぼ最大値をとっている(P1)。
- ・B2とB3との共通点はあまり見いだせない

② β 波

- ・A2とA3については配置図上で最初から3、4、5つめのオーバブリッジの付近(P2)と、送電鉄塔のところ(P3)と最後に通過したオーバブリッジより後の区間(P4)の3カ所で顕著なピークをみせているが、この2つのデータに関しては、全体的にはほぼ等しいデータ変動を見せている。ただしA1との共通点は見いだせない
- ・B2とB3については最初から2つ目のオーバブリッジのところで共にピークをとる他は、共通点は見いだせない

b) 被験者間の比較

① α 波

- ・ α 波では被験者間で似たような傾向をもつものは認められなかった。

② β 波

- ・A2、A3とC1は01:43の全く同一地点でのピーク値をもっている(P3)。

c) 脳波パターンと景観構成要素の対応関係

- ①オーバブリッジについてみると、ある特定の橋が特有の脳波波形を引き起こした例はみられなかった。これは道路標識や看板、線形や路側についても同様である。

- ②送電鉄塔付近の波形については、 α 波、 β 波ともピークをとる場合が多く、これは一部のデータではっきりとした共通性を示している。

(A1 α 、A2 α 、A3 α 、B2 α 、A2 β 、A3 β 、C1 β)

この波形に対応した景観構成要素は、送電鉄塔とほとんどそれと同時刻に通過した2つの道路標識である。しかし別の地点に立っている同じ

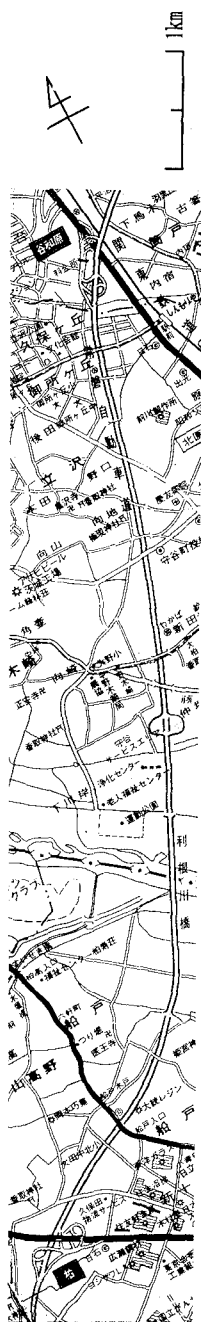


図-2 評価対象区間の路線図 (常磐自動車道、柏-谷和原)

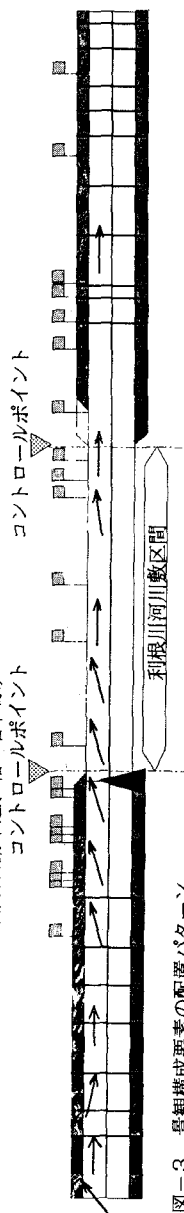


図-3 景観構成要素の配置パターン
(矢印はカーブの向きと曲率を表す)

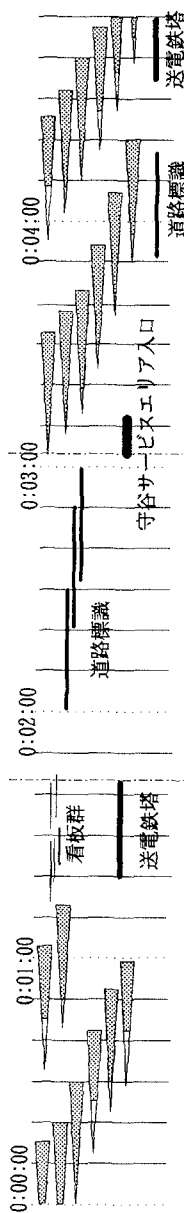
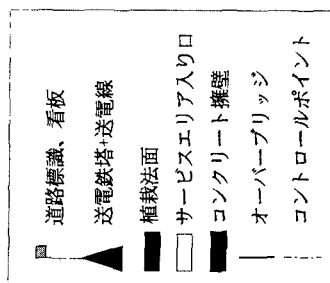
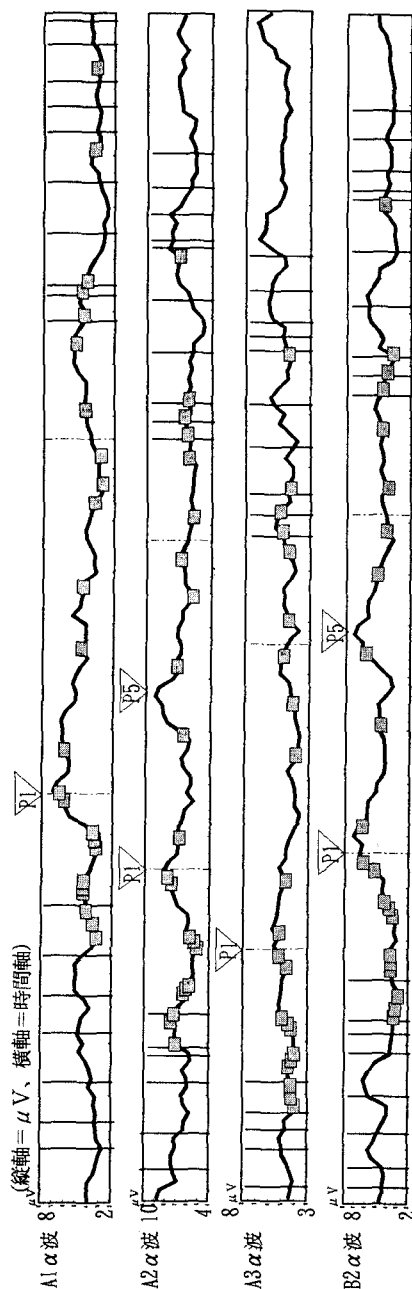
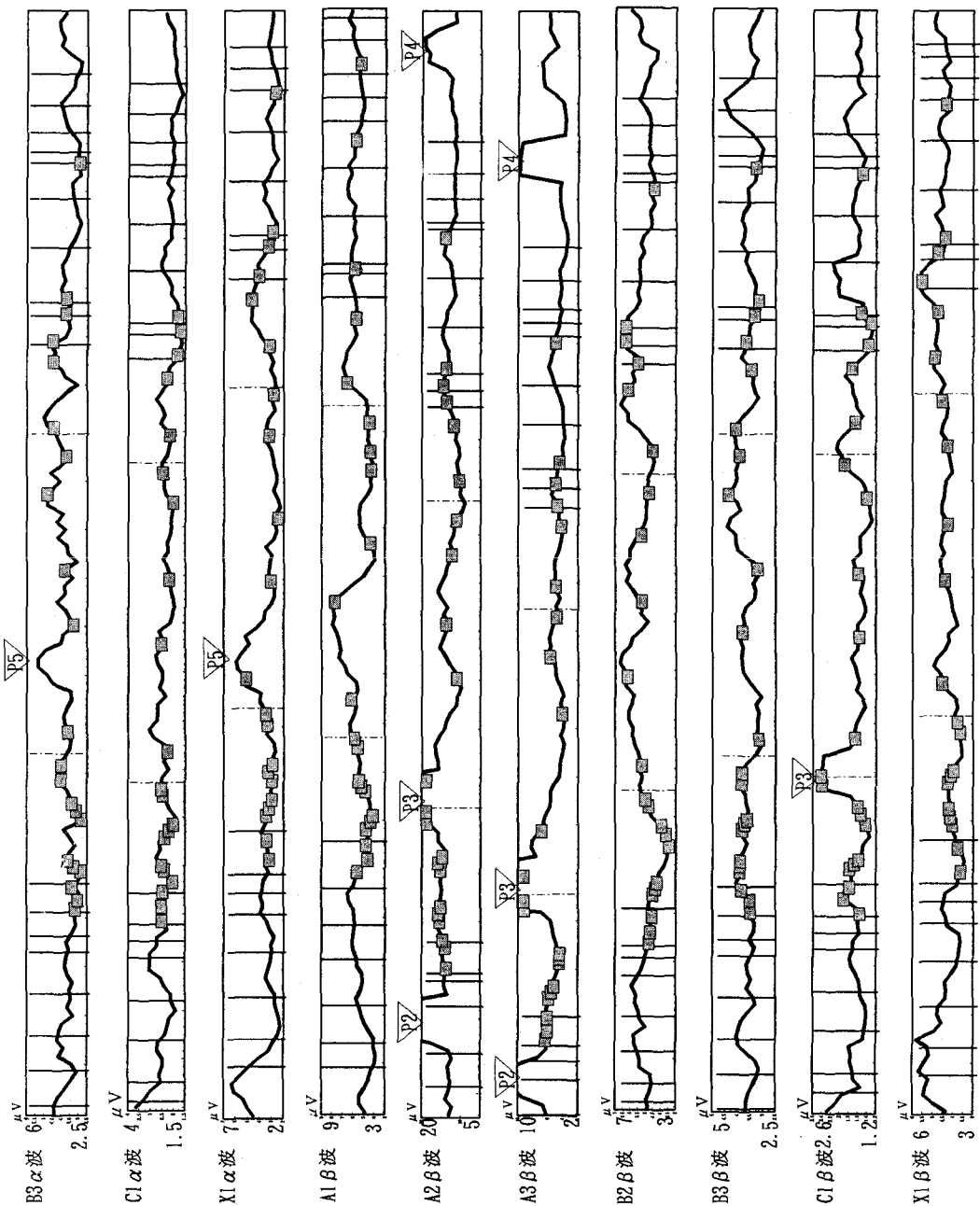


図-4 オーバーブリッジ、主な道路標識等の出現パターン



注1) B1、C2、C3は不良データのため除外
注2) P1からP5は本文中で考察をくわえたピーク



— 道路標識、看板
 | オーバーブリッジ
 --- コン트롤ポイント

注1) B1、C2、C3は不良データのため除外
 注2) P1からP5は本文中で考察をくわえたピーク

図-5 各被験者のα波、β波の変動パターンとオーバーブリッジ及び道路標識・看板類の位置の関係

情報内容の標識がこのような特有の反応を引き起こしていないことから、この脳波パターンと関連のある景観構成要素は送電鉄塔であると考えられる。またこの区間を利根川河川敷の開放的な空間とそれを挿む2つのオーバーブリッジの連続する区間の3つに分けると、この地点がちょうどその境界にあたることから、景観的特徴的な変化が脳波に影響を与えたと考えられる。

- ③A2、B2、B3、X1の α 波のデータは、河川敷区間のどこか1カ所で特有なピークをとっている(P5)。このピークの発生位置は異なるものの、被験者の気分と何らかの関係があるのかも知れない。

d) α 波と β 波の関係について

脳波に混在する α 波と β 波について、一般に β 波は α 波を抑制する作用があるといわれるが、この実験ではむしろ逆になった。すなわち α 波がピークをとると β 波も同時にピークとなるところがみられた。これは特に送電鉄塔付近で顕著であった。これは β 波が α 波を抑制する作用に関して矛盾しているわけではなく、フーリエ変換する前の電位振幅データがこの地点で他の区間より相対的に高く、単に振幅最大値が α 、 β 波共に高くなったということであろう。また混在した反応を起こすような景観構成要素が同時に出現したためとも考えられる。ただ3(4)cで述べた脳波の解釈では、 α 波は落ち着きとか快適性、 β 波は活動性と不快感を表すとしているので、送電鉄塔付近では相反する評価が同時進行していることになる。巨大な送電鉄塔から受ける圧迫感の増大が β 波のピークに、前方の開放的な河川敷への接近が α 波のピークにそれぞれ対応していると解釈することが可能である。

e) まとめ

以上の結果をまとめると、本実験で使用した器材の場合、脳波測定のもつ意義は、①特に景観的にはっきりとした特徴をもつ構造物、たとえば送電鉄塔などが人に与える影響を、その脳波のピークなどによって確認できるということと、②シーケンス景観ということに関しては、景観的に特徴ある変化がみられるときに、同じくその影響が脳波に現れるのをピークによって確認できるということであろう。当初予測したように、オーバーブリッジの多数存在する区間においては α 波が低く β 波が高いなどの傾

向や、河川敷区間ではその逆となる傾向、橋梁をくぐり抜ける瞬間に圧迫感の増大と関連して β 波が増大するなどの傾向が見いだされれば、脳波の α 、 β 波の特性を評価概念として利用する意義が確認できたと思われるが、それは今後の研究に期待される。

6. 結語

本研究では脳波を土木景観評価において利用するうえでの有効性を議論した。脳波は言語的概念に基づく評価手法にかわる直接的な人間の反応の定量的データ入手法として、またシーケンス景観を評価する上でも時系列データ入手法として、その有効性が期待される。ただし本研究で用いた簡易型脳波測定器はシーケンスの景観評価を現地測定で実施したり個人データの特徴や被験者間の比較に用いるよりは、閉眼状態で音環境の影響測定に使用したり、眼球運動をそれほど誘発しない映像などを用いたシーンの景観評価に適していると考えられる。なぜなら眼や臉の運動による筋電位が最も混入し易い前頭部の電極しかもたないからである。また α 、 β 波のもつ意義を評価概念として使用する場合には、被験者の脳波の個人的特徴を考慮する必要がある。すなわちもともと α 波が顕著な脳波をもつ人、振幅が漸増、あるいは漸減する人、 α 波が少なく振幅が低い人などいろいろな脳波があるし、 α 波がどの電極から出易いかも人によって違うからである。このような平常時の個人的特徴を把握した上で景観刺激を受けた脳波の反応との比較をするということが重要だといわれている。したがって本研究が意図したシーケンスの評価分析には国際方式に従った多チャンネルの10-20法によって測定する方が適切なであろう。何を評価する対象とするかによって実験器具、解析手法の選択が重要である。しかしここでは被験者の脳波に共通の変化を起こすような景観要素の存在を示唆する結果が得られたことには意義があるといえるだろう。

<謝辞>

放送教育開発センターの仁科エミ助教授には脳波や測定器に関する多くのアドバイスを頂きました。ここに感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 江部充、本間伊佐子(1979)図解脳波テキスト；文光堂
- 2) 深堀清隆、窪田陽一(1993)動的景観シミュレーションシステムを用いた跨道橋梁群の景観評価手法、構造工学論文集Vol39A
- 3) 大崎順彦(1976)地震動のスペクトル解析入門