

電子メディア教材における画質高度化の 必要性について

—高品位映像教材の開発について (その1)—

高杉恒夫¹⁾、不破本義孝²⁾
仁科エミ³⁾、大橋力⁴⁾

Research on the Development of High Quality Instructional Material for Higher Education (1)

Tsuneo Takasugi, Yoshitaka Fuwamoto
Emi Nishina & Tsutomu Oohashi

Abstract

We examined the difference of the effects of different format video media to the human brain function by means of brain electric activity measuring method we have developed. As the visual materials for evaluation, three materials recorded by high definition (HD) video format, which has the highest visual quality now in practical use, were chosen and edited to the test pieces. Subsequently, they were down-converted to NTSC video format. On the presentation of visual images, we set three sound condition; the music rich in natural high frequency components above the audible range (full-range sound), the same sound but from which high frequency components above 26kHz were eliminated (high-cut sound), and no sound. As a result, when the HD video were presented, the average of α -EEG (electroencephalogram) potentials were significantly higher than NTSC video ($p < 0.05$, post hoc test with Fisher's PLSD). When we used the video of natural materials, the difference of α -EEG potential between HD presentation and NTSC presentation showed statistically significance. Although no significant difference in α -EEG was observed by using the more artificial visual material. When the video were presented with full-range sound, the average of

¹⁾ 元放送教育開発センター制作部長

²⁾ 放送教育開発センター研究協力者、国際科学振興財団専任研究員

³⁾ 放送教育開発センター研究開発部助教授

⁴⁾ 放送教育開発センター研究開発部教授

α -EEG potential were significantly higher than the presentation with high-cut sound as well as no sound. These results showed that the quality of electric visual information could be evaluated by the α -EEG potential, which is the physiological and quantitative index of brain activity. It was also suggested that the improvement of the audio-visual format would be effective for the higher education.

キーワード

ヒューマンインタフェース、生理学的評価、脳波 α 波、高品位画像、ハイパーソニック・エフェクト

1. はじめに

1.1 教育におけるメディアの環境化

現代の教育のなかで、メディアのはたす役割に対する期待と依存は年々たかまりをみせている。これにともない、メディアによる教育にかかわる設備や機材も増加の一途をたどり、それに要する社会的投資も莫大な規模となってきた。必然的に、学習者があたらしいメディアから供給される電子的な情報と接する機会も増大しつづけている。メディアによる教育は、当然のことながら、一定時間以上学習者がメディアに接することを物理的に強制する。学習者は、電子メディアから供給される視聴覚情報に長時間対面しつづけるというかなり特殊な情報環境のもとにおかれざるをえない。この間、メディアのつくりだす人工的な情報環境が学習者にとっての情報環境の大部分をしめることになり、実質的にメディアが環境化することになる。

このような状況のなかで、メディアによる教育をささえるハードウェアやソフトウェアを供給するメーカー、教育者、そして管理者としての教育機関あるいは行政機関には、長期間にわたる電子メディアとの接触が学習者の脳にネガティブな影響をおよぼさないかという点について、潜在的かもしれないがおおきな責任が課せられていることを否定できない。しかし現在のところ、このことについての問題意識は、メディアによる教育にかかわる領域においてかならずしも十分とはいえない。その原因のひとつは、既存の学術領域のなかに、このようなあたらしい状況にそのままで対応可能な知識体系が存在していないことによるだろう。とはいえ、ありあわせのツールが存在しないことを理由に問題発見・解決のとりくみをなおざりにし、状況先行で教育分野への各種メディアの導入をすすめることは、のちにのべるように、深刻な問題をはらんでいる。とりわけ、最新の脳科学や情報環境学の知見は、そうした問題の存在をつよく示唆している。あらためて十分信頼できる方法をつくりだし、それにもとづく適切な分析・評価をおこなうことは、メディアによる教育にかかわるメーカー、教育者、教育機関および行政機関にとって緊急の課題といえるだろう。この研究は、この重要な課題に対して適合性をもつ学術的なツールとして情報環

境学¹⁾と感性科学²⁾とに注目し、これらを援用したあたらしい作業仮説をたてることによって、効果のたかいアプローチをめざすものである。

1.2 メディアと人間との適合性の評価

これまで、電子メディアから供給される情報と脳との適合性を吟味する研究がたちおくりてきたおおきな原因のひとつとして、人間のからだが物質的な入出力に対して一定の限界をもつものに対して、情報的な入出力に対してはそのような限界をもたず、無限にちかい適応力をもつとするかんがえかたが優勢でありつづけたことを指摘できる。このようなかんがえかたに対して、情報環境学ではまず、情報とは、「生命になんらかの反応をひきおこす可能性をもったパターンに関する科学的概念である³⁾」と定義し、物質的に異常な入力（たとえばアンフェタミンのような覚醒剤など）と、情報的に異常な入力（たとえば極端な情報削減など）とは、同様の脳内神経伝達物質代謝異常をひきおこすことなどから、「生命に入力される“ある種の情報”と“ある種の物質”とのあいだの等価性を否定できない⁴⁾」としている。さらに、地球生命は、温度など物理的な環境に対する適応限界、栄養素など特定物質の必須の要求や毒物など特定物質に対する適応不能といった化学的な入力に対する適応限界をそなえているのと同様に、情報についても、必須の入力および不適合入力について、摂取および許容の限界が存在するものとしている⁵⁾。これによって、情報環境が脳との適合性をたもっている状態とは、脳が要求する必須の情報が存在する一方で、許容限界を逸脱した情報が存在しないという条件が同時にみたされている状態とかんがえられる。

以上の観点からメディア教育の現状をあらためてみなおすと、学習メディアから供給される視聴覚信号の質や物理構造が学習者の脳との適合性に欠けるところをもつものであった場合、なんらかの生理的打撃をまねくおそれがあるという重大な問題をさけてとおることができない。すでに、CRT との接触がひきおこすてんかん症例や視覚系の疲労をはじめ、さまざまな問題が指摘されている。つまり、一定時間以上学習者が接するメディアについては、内容・画質・音質などのすべてについて、脳との適合状態がたもたれているかどうかを生理的側面から吟味する必要がある。

メディアと人間との適合性を評価するにあたって、指標になにをもちいるかは、検討結果の信頼性・有効性を左右するきわめて重要な問題となる。従来、メディアが提供する画質・音質の評価をおこなう場合、一般的には心理学的（あるいは認知科学的）手法がもちいられてきた。これらの諸手法は、高度に洗練をかさねている反面、現在では成果の質・量両面で、とりわけ信頼性の向上という側面で、一種の飽和ないしあたまうち状態がめだちはじめている。この手法体系は原理的に、回答者に意識可能な現象にしか対応していない。すなわち、自覚されることが困難な情報入力が、意識されにくいかたちで人間の生理や心理に影響をおよぼす場合、その影響を検知することがはなはだ困難である。たとえば、現在一般的にもちいられているセマンティック・ディファレンシャル法（SD法）等の質問紙調査法では、“言語”を媒介として使用せざるをえない。そのため、とくに日本語の場合、きわだった特徴になっている解釈の多義性によって、質問－回答に無視できない個人差が

表1 メディアが人間におよぼす影響の計測法とその評価

	計測法	観察する対象	計測対象	快適感	不快感 負担感	可覚領域	非可覚 領域	設備投資 の規模	メディア機能 評価への 応用可能性
内観的・主観的 実験	質問紙 調査	感覚・ 知覚	言語・ 記号	×	×	○	×	小	小 信頼性=低
脳以外の器官に 関連する生体 情報の計測的・ 客観的実験	多様	緊張・ 不安・疲労	心拍 呼吸 容積脈波 筋活動等	×	○	○	△	中	小 快感が はかれない?
脳の構造・ 機能解析	脳波・脳電図 (EEG)	脳活動の 総対的状态	頭皮上 電位	○	○	△	○	中	大 やや間接的
	脳磁波・脳磁図 (MEG)	電流発生源 位置推定	頭皮上 磁束流	原理的 に○	原理的 に○	△ 間接的	○	きわめて 大	小 音響・映像情報 の呈示困難
	X線CT	脳内部構造	X線	×	×	×	○	きわめて 大	きわめて小 機能の観察不可
	機能的核磁気 共鳴(f-MRI)	脳内部構造 と代謝活性	核磁気 共鳴スペ クトル	○	○	△ 間接的	○	きわめて 大	小 運転騒音が大
	ポジトロン 断層法(PET)	脳代謝活性	ガンマ線	○	○	△ 間接的	○	きわめて 大	大
	シングルフォトン 断層法(SPECT)	脳代謝活性	ガンマ線	○	○	△ 間接的	○	きわめて 大	中 過渡特性が悪い
	神経細胞活動の 光計測法	膜電位の 発生	電位感受 性色素の 変化	-	-	○	○	中	きわめて小 人体適用不可
	神経伝達物質の 生化学的評価法	神経回路の 活性推定	神経伝達 物質	×	×	○	○	中	中

生じ、統計的信頼性の根拠に一定の限界を不可避免的にあたえている。また回答者の主観や恣意性が介在する余地もちいさくない。こうしたさまざまな原因にもとづく現行手法の信頼性の限界を克服するためにもっとも有力な対策のひとつは、感性的電子メディアに接する人間、とりわけその脳活動を反映するなんらかの生体反応を検出し、分析する生理学的評価法を開発することとかがえられる。

このような目的に対して、すくなくとも原理的に応用可能とおもわれる生理学的指標は、現在いくつか存在している(表1)。まず、医学領域の先端的な脳機能イメージング手法が注目される。放射性同位元素の血液中への注入と放射活性の断層撮影により脳血流分布を3次元的にミリメートルのオーダーで把握することを可能にしているPET(ポジトロン断層法)およびSPECT(シングル・フォトン断層法)、強力な磁場の制御下に原子核スピンのふるまいを観測し、脳内エネルギー代謝をたかい解像度で把握するf-MRI(機能的核磁気共鳴画像解析)などは直接的で精密な測定法であり、将来的には非常に有望であるとおもわれる。ところが、これらは共通して、測定のための設備が非常におおがかりであるこ

と、視聴覚情報の呈示が困難な形状をもつこと、測定器自体の運転騒音をはじめ感性的評価という目的に対する測定環境条件の適合性に欠けるところがすくなくないことなどから、現状では感性領域への応用はかなり制約されたものになっている。同様に、原理的には有望な MEG (脳磁図) も、装置がおおがかりであるうえ、神経活動にともなう極度に微小な磁束流をとらえるという機構上、厳密な磁気シールドルーム内に装置を設置し運転しなければならず、磁性的活性をもつ映像・音声呈示装置を稼働させることは事実上不可能にちかい。

脳波 (EEG) は、ここであげた手法のなかではもっとも歴史がふるく古典的な方法といえる。かつ他の指標に比較すれば脳の活動を間接的に反映するにすぎないという限界もある。しかしながら、近年、測定にともなうストレスの低減などの工夫や解析法の高度化による信頼性の向上にはめざましいものがあり、現実的にはもっとも有望な指標となる可能性をもっている。そこで、わたくしたちは、脳波の現実的な有効性と潜在的な高度化可能性とに着目し、あたらしい高度な計測・解析手法を開発してメディア情報質の生理的な評価を実現してきた^{6,7)}。

1.3 この研究の目的

以上の背景をふまえて、この研究では、わたくしたちが開発したメディア情報質の生理学的評価手法を応用して、電子的動画像の画質のちがいが脳におよぼす影響について検討することを目的とした。評価材料となる素材については、現在、技術的に供給可能な最高品位の画像メディアとしてその応用が積極的に追究されている High Definition (HD) 方式に注目し、これと現行 NTSC 方式とを比較した。また音声についても考慮し、ハイパーソニック・エフェクト (hypersonic effect^{8,9)}=可聴域をこえ音として知覚されない高周波成分をふくむ音が、脳波 α 波ポテンシャルを増大させるとともに、可聴音の印象をより快適化する効果) をみちびくことが期待される超広帯域音声フォーマットによる音声と、それを現行のデジタルオーディオ規格にもとづいて帯域制限した音声とをくみあわせてもちいた^{10,11)}。

2. 方法論の設定

2.1 脳波による生体影響評価モデルの開発—“ α 波ポテンシャル=本来性指標” 仮説—

この実験では指標として自発脳波 α 波のポテンシャルをえらんだ。これについてわたくしたちは、「本来—適応モデル²⁾」にもとづくひとつの作業仮説をたてている。「本来—適応モデル」とは、概略次のようなものである。

DNA に記述されている地球生命の基本プログラムは、普段から稼働状態にセットされている“本来のプログラム”と、万一の場合にだけよみだされる“適応のプログラム”との2群から構成されている。本来の活性は生物の種ごとに固有のもので、地上に存在するある特定の生態系、すなわちその種の“本来の棲み場所”の環境条件に、鍵と鍵穴のようにかみあうよう設定されている。適応の活性は、その生態系では生起する確率がひくい事

象に対応するためのもので、ソフトウェア、素材レベルあるいは不活性モードなどで待機し、生存コストを節約している。こうした適応のための活性を顕在化するには、それを起動し運用するための一定のエネルギーが必要になる。その場合でも本来の生存コストはあまり節約されないために、適応作用は生命にとって一方的な負担の増大をまねき、本来よりもぞましくないフェーズとなる。したがって生物は基本的に、より適応をさけてより本来にちかづくように制御される。高等動物の脳にセットされた“情動”すなわち快・不快原則により行動を制御する神経回路は、あきらかにこうした効果をもっている。最適環境・最適ライフスタイルが選択されたとき最大の快感・最小の不快感をあたえ、最適点をはなれるにしたがって快感の低下・不快感の増大をみちびくからである。

わたくしたちは、この本来－適応の関係が脳波、とくに脳波 α 波に反映するものとかんがえた。脳波 α 波とは、自発脳波の 8～13Hz の周波数帯域をしめる正弦波様波形をもつ持続的成分で、通常、頭頂部から後頭部に最大の振幅が観察される。一般に快適・平安で目をとじた状態で大振幅となり、反対に目をひらいたりストレス要因が存在するとき消失または減弱するとされている。近年は波形の視察だけでなく、FFT（高速フーリエ変換）による周波数パワースペクトル分析がさかんであり、このパワーの平方根、すなわち各周波数の等価的電位（ポテンシャル）をもとめたうえで、 θ 波（4～8 Hz）、 α 波（8～13Hz）、 β 波（13～30Hz）などの帯域のポテンシャル積分値をえる分析が一般化しつつある¹³⁾。

そこでわたくしたちは、生命活性が最適状態を実現している平安な状態、つまり適応の必要がもっともひくくおさえられるような人類にとって本来性のたかい環境のなかでやすらいで生きているとき快適性が最大となり、 α 波はそのポテンシャルをもっともたかめ、また、本来からの乖離＝適応の高度化にともなってストレスが発生・増大し、それに対応して α 波ポテンシャルは低下する、すなわち「 α 波は本来性の指標になりうる」という作業仮説を設定した。「 α 波を本来性の指標とする」作業仮説が妥当性をもつならば、本来性からのへだたりの度合いを反映する情報環境を適切に設定したとき、そのへだたりの度合いに対応した α 波ポテンシャルの増減が観察されるはずである。このことが確認できれば、電子メディアが供給する視聴覚情報の構造が、生命にア priori に設定された本来のぞましい情報環境の構造とどの程度接近しあるいは乖離しているか、すなわち脳との適合性をたもっているかあるいは脳にとって負担となっているかを、 α 波のポテンシャルをひとつのつがかりとして検討することが可能になる。

2.2 実験用映像について

2.2.1 基本となるかんがえかた

従来なんらかのプラス要因によって α 波ポテンシャルがたかまるとされてきたのとはことなり、“ α 波ポテンシャル＝本来性指標”仮説にたつこの研究では、各映像方式が自然性とどれだけへだたっているかが、映像呈示中の α 波ポテンシャルのおちこみの度合いに反映されるという観点をとっている。つまり、本来的な情報環境との相違がおおきくなるにしたがって α 波ポテンシャルがよわめられるというわたくしたちの作業仮説からすると、実験条件を自然の情報環境との差という観点から設定する必要がある。そこで、この

実験では、HD方式による映像とNTSC方式による映像とでは、どちらがより自然の視覚情報との差がおおきかに注目し、その程度を、どちらの映像方式を呈示したときに α 波のポテンシャルがよりたかく、あるいはよりひくくあらわれるかによって評価することとした。

2.2.2 映像素材選択の禁則の設定

映像というメディアは時間・空間的な情報パターンのダイナミックな変化によって形態、色彩、うごきそのものをつたえると同時に複雑な意味内容を表現するという、きわめて多元・多義的な伝達機能をもつ。そのため、検討対象となる映像素材の選択が適切でない場合、画質のちがいを除く以外の要因が結果によりおおきな影響をおよぼす場合がありうる。画像内容が評価結果にしばしば影響することはよく知られており、この問題を回避する方策の検討もおこなわれている¹⁴⁾。この研究では、こうしたあやまちをさけるために、評価にもちいる映像素材を選択するうえで次の禁則を設定した。

禁則 a. 画質以外の要因が画質にくらべて無視できないほどおおきな影響力をもってはならない。(たとえば、文字情報・台詞が主体のものやポルノグラフィ)

禁則 b. くりかえしみることで受容する情報内容がいちじるしく変化してはならない。(たとえば、推理ドラマ、スポーツの試合など)

禁則 c. 反復してみる意欲を喚起できないもの、あるいは反復してみることに苦痛をとまなうものであってはならない。(たとえば、単純な丸や三角がときおり出現・消滅するもの)

禁則 d. メディアのちがいが画質に影響をおよぼさないものであってはならない。(たとえば画面が直線の境界で2～3分割されただけのもの)

2.2.3 選択された映像

NHKの所有する全ハイビジョン素材のなかからまず、候補作品数点をえらび、これらのなかから禁則に抵触しないものとして2作品を、禁則に抵触するものとしてオペラの一部を素材としてえらび、それらのなかからさらに適当とおもわれる場合を選択・再構成して、それぞれを3分間のマスターテープに編集した。

禁則に抵触しないものとして、a. 「花・生命の神秘」(以下「花」: 人類が本来接するであろう自然の快適な景観)、b. 「珊瑚礁の生き物たち」(以下「海」: 人類が目にするものは稀だが、映像的には条件を高度にみたす自然のうつくしい生物)の2種を、また、禁則に抵触するものとして、c. 歌劇「金鶏」から第一幕(以下「オペラ」: ストーリー性を持ち、台詞の文字表示があり、自然の事物にくらべて細密性がひくく単純な色やかたちがおおい)をそれぞれ選択した。

2.3 音声の呈示について

聴覚は、常に活性化されている人間の感受性のひとつであり、また人類とのたかい適合性が生物学的に保証されている自然環境においては常に、聴覚にうったえる複雑多様な空気振動が豊富に存在している。したがって、視覚メディアを評価する場合でも、聴覚情報

との関連については考慮することが妥当とかがえられる。そこで、映像呈示と同時に音も呈示できるようにした。

音源には、自然性のたかい映像素材「花」と「海」とに調和し、自然の高周波成分を豊富にふくむとともに、これまで同素材による実験データの蓄積があるガムラン音をもちいた。このガムラン音の高周波成分は、さきにのべたハイパーソニック・エフェクトを発生させることが確認されている。音呈示には、フルレンジサウンド (Full-Range Sound: FRS)、ハイカットサウンド (High-Cut Sound: HCS) との2条件、および自然性のもっともひくい条件として、無音を設定した。なお、「オペラ」についてはVTRのデジタル音声チャンネルの音声を使用した。この音源自体には高周波成分がふくまれないため、映像素材「オペラ」での音声の条件は、HCSと無音との2条件のみである。

2.4 呈示システム

2.4.1 映像呈示系

図1に全体のシステムをしめす。映像をみるために専用に設計された文部省放送教育開発センター内試写室において、1インチ・デジタルVTR (SONY, HDD1000) ですべての映像を再生、53インチ・背面投射型プロジェクタ・モニター (HITACHI, C53-3500R) で呈示した。

実験用映像は、オリジナルに編集したマスターテープから“HD → HD”のデジタル・コピーと“HD → (ダウン・コンバート) → NTSC → (アップ・コンバート) → HD”の疑似NTSCコピーとをそれぞれ作成してもちいた。すなわち、ここでもちいたNTSC映像は、

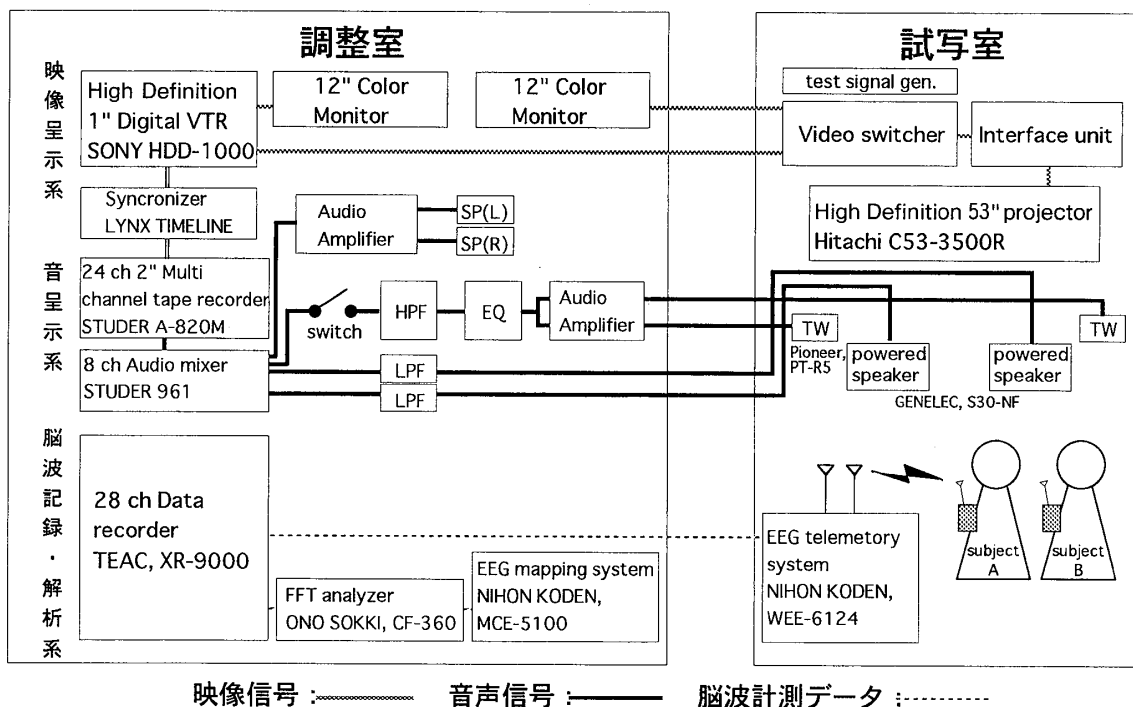


図1 実験システム

解像度は実質 NTSC と同等であるが、走査線密度のうえでは HD と同等であり、いわゆるクリアビジョンにちかい。したがって、この実験でふたつの方式のあいだにちがいがみられた場合、実際の NTSC と HD とのちがいはさらにおおきなものになる可能性がたかいとみるのが妥当である。

2.4.2 音声呈示系

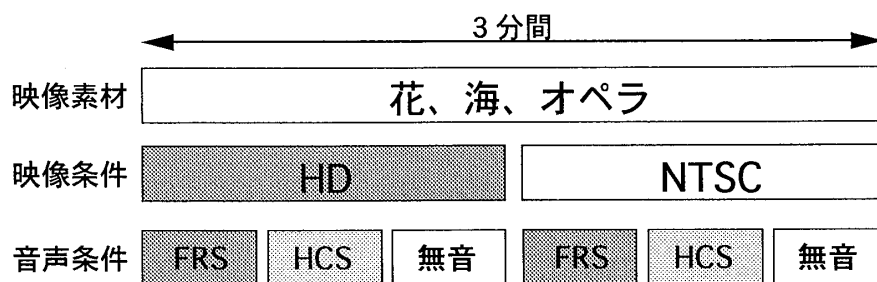
映像素材「花」と「海」では、映像系と SMPTE タイムコードによって同期させた 2 インチ 24 チャンネル・マルチトラックレコーダ (STUDER, A-820M) からオーディオ信号をおくりだし、フィルタをもちいて 26kHz 以上の高域音とそれ以下の低域音との 2 つに分割し、それぞれを別々のアンプとスピーカとをもちいてバイ・チャンネル再生^{8,9)}した。ハイカットサウンド (HCS) 条件では低域側チャンネルのみを、フルレンジサウンド (FRS) 条件では、HCS と高域側チャンネルとをあわせて同時に再生した。映像素材「オペラ」を呈示するときは、ビデオテープのサウンドトラックに録音されたサンプリング周波数 48 kHz、量子化ビット数 16 ビットのデジタル音声を再生した。

2.5 実験条件

図 2 に設定した条件をしめす。各 3 分間の 3 種類の映像素材、「花」「海」「オペラ」それぞれについて、高品位 (High Definition: HD) 方式、現行 (NTSC) 方式の 2 種類の映像方式と、可聴域をこえる高周波成分をふくむフルレンジ (Full-Range Sound: FRS) 条件、高周波成分をカットしたハイカット (High-Cut Sound: HCS) 条件、および音を呈示しない無音条件の 3 種類の音条件とをくみあわせて、すべての被験者がすべての条件のくみあわせによる視聴覚情報を経験することとした。ただしさきにのべたように、映像素材「オペラ」呈示時の音声条件は、ハイカットと無音とのふたつである。

2.6 脳波の計測

これまで一般的な脳波計測法では、被験者の頭皮上に多数の電極をつけ、そのケーブルを測定器につないだうえ、測定台上で安静仰臥姿勢をとらせる。この方法はわずかの体のうごきが雑音発生につながるため、静止状態を要求されるという被験者にとって拘束がつよいものにならざるをえない。そのため、測定行為自体が被験者を自然性とはかけはなれ



※映像素材「オペラ」には、FRS条件は設定されない。

図 2 実験条件

た不快な状態にみちびき、実験結果にマイナスの心理的バイアスをおよぼすことをさげられない。そこで、脳波の計測法から分析法にいたる過程において、研究目的との整合性をたかめるための工夫をくわえた⁶⁾。

2.6.1 拘束性の打破

無線で脳波データ送信をおこなうテレメトリアル・システムを導入し、被験者の拘束感を大幅に低減させた計測方法を設定した。

2.6.2 電極装着時間の短縮化

従来もっとも一般的な方法では、脳波計測のための電極を頭皮上にとりつける際、電極をひとつづつはりつけていくので、電極装着に30分以上をついやすことが常態となっている。そのための被験者の疲労や心理的影響は測定結果に無視できない影響をあたえるおそれがある。そこで、測定箇所にあらかじめ電極がぬいつけてある電極付キャップ (ECI, Electro-cap) を導入して、電極装置時間を大幅に短縮した。ただし、この電極付キャップは有線対応のものしか製造されていないので、テレメトリアル・システムに対応できるように改造をおこなった。

2.7 脳波等電位図 (Brain Electric Activity Map: BEAM) による解析

脳波は、頭皮表面に不均衡に発生する微小な電位のゆらぎである。とくに前頭部のデータは、脳波よりもはるかに強大な眼球運動筋電位ノイズによって、汚染されやすい。そこで頭皮全体の電位分析を脳波等電位図によってマッピングし、汚染のすくないデータを抽出できるようにした。また、脳波は生体がうけるさまざまな外的・内的な刺激に対していちじるしく敏感で、しばしばその鋭敏性が不安定性につながる。この研究では、実験結果の評価・判断に統計手法を全面的に適用して信頼性の向上をはかるとともに、こうした脳波の感受性をいかしながら不安定性を実用上十分な水準にまで排除するデータ処理法の検討をあわせておこなった。

2.7.1 分析対象時間領域

3分間にわたる映像呈示実験をつうじて記録されたデータを20秒間ごとに9つの時間領域に分割して加算平均し、それぞれの領域ごとに画像化した。えられた BEAM について α 波ポテンシャルの時間空間的な変動を観察した所見にもとづき、データが安定する映像呈示開始40秒後から呈示終了までの140秒間のデータすべてを対象として解析した。

2.7.2 分析対象頭皮上領域

BEAM から α 波ポテンシャルの定量化をおこなった。その際、BEAM 作成にともなう補間計算によってえられる頭皮上2565点のなかで、ノイズに汚染される機会がおおい前頭部3分の1にあたる部分855点の電位データを除外し、頭頂部から後頭部の1710点の電位データを対象にした。

2.7.3 統計解析

以上のようにしてえられた各条件ごとの定量化データをもとに、被験者の個人差による α 波ポテンシャルのおおきさのちがいの影響を排除するために、各被験者ごとに全条件の α 波ポテンシャルの平均値で正規化した値を算出し、これにもとづいて映像方式、映像素

材、音声条件などに着目して統計解析をおこなった。よく知られているとおり、統計解析（統計検定）とは、設定された実験条件によるデータのかたよりが、偶然のばらつきによっておこりえないかどうかを検証するもので、一般に、実験でえられたのと同様の結果が偶然によって生じる確率が危険率（ p ）であらわされる。通常、 $p < 0.05$ であるとき、その結果は、信頼にたえる意味のあるデータとして、統計的に支持されることになる。さまざまな分野でもちいられる検定法のうち、もっとも目にする機会のおおい検定法はおそらく t 検定であろう。 t 検定は 2 群おのおのの平均値の差の有意性を検定するものであり、検討対象が 2 群にかぎられる場合には計算量が非常にすくなく簡便であることから採用されることがおおい。検討対象が 3 群以上におよぶ場合は、通例、分散分析 (analysis of variance: ANOVA) とよばれる検定法がもちいられることがおおい。分散分析では、原則的に誤差の原因になる可能性のあるすべての要素は、検討対象として設定された条件へのノイズとして計算にもりこまれる。そのため、全体の計算量は t 検定にくらべてはるかに多量となる。実験結果の解析にあたってわたくしたちは、より厳密な検定が可能であること、比較する群が、映像素材：3 種類、映像方式：2 種類、音声条件：3 種類と t 検定の適用範囲におさまらないといった理由から分散分析を選択した。なお分析には、abacas 社の統計解析ソフトウェア (Stat View version 4.11) をもちいた。

3. 結果と考察

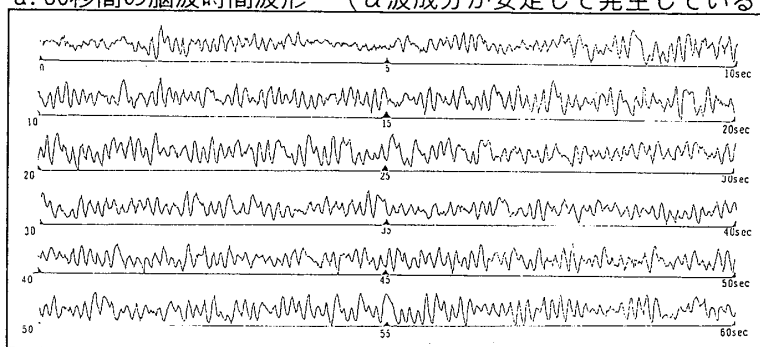
3.1 目をひらいた状態下における α 波の発生の確認

さきにのべたように、脳波学の定説¹³⁾では、 α 波は目をひらいた状態では観測がむずかしいとされている。この定説からみると、今回のような視覚情報の評価指標として、 α 波は原理的に不適合ともいえる。しかしわたくしたちは、“ α 波ポテンシャル=本来性指標”仮説にもとづいて、 α 波が目をひらいた状態で発生しにくいのは、従来の計測環境や計測手法が被験者にとって α 波の発生を許容しないレベルのストレスャーとなっていたためであり、それらを改善することで目をひらいた状態でも α 波を評価指標として有効な水準で観察できる可能性があるとの仮説をたて、被験者のストレスになる要因を実験環境から排除する工夫をおこなったわけである。こうしてえられたデータを解析するにあたり、まず、各被験者について α 波の発生状態をくわしく確認した。その結果、わたくしたちの設定した条件下では、脳波の時間波形の視察において、12名の被験者中10名で明瞭かつ持続的な α 波が観察された。つぎに FFT によりえられた映像呈示中のパワースペクトルにおいても、上とおなじ10名の被験者で α 波帯域に明瞭なピークがみとめられた。典型的な α 波の発生状態を時間波形、およびその FFT パワースペクトルにより図 3 にしめす。これらにより、計測にともなう被験者のストレスを十分低減できれば、目をひらいた条件下においても明瞭な α 波を観測するという仮説の妥当性が支持されたと判断できる。

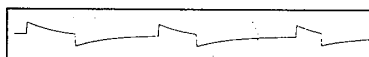
3.2 映像方式のちがいが脳波 α 波ポテンシャルにおよぼす影響

以後の検討では、前項で明瞭な α 波が確認された10名の被験者を対象とすることにし

a. 60秒間の脳波時間波形 (α波成分が安定して発生している)



校正信号 (頭皮上における50
microVoltの電位変化をしめす)



b. a.にしめした60秒間の時間波形のFFTパワースペクトル

解析条件: とりこみ時間=2秒
オーバーラップ処理=50%
加算平均回数=60回

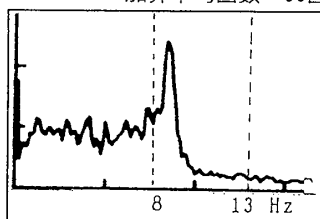


図3 目をひらいた状態下で観察された脳波α波 (典型例)

た。まず、映像素材、音声条件などによる区別をつけずに、すべての実験条件をとおして、HDとNTSCとのふたつの映像方式に注目して映像呈示中のα波ポテンシャルを比較した(図4 a)。その結果、HD呈示中にはNTSC呈示中にくらべてα波ポテンシャルがよりおおきくなる傾向が明瞭にみいだされた。そこで、この傾向が、偶然の誤差によって生じたものでないことを確認するために分散分析による統計検定をおこなった。検定の結果、HD>NTSCという傾向は偶然によるものではなく、画質のちがいによるものであることがしめされた ($p < 0.05$)。この結果は、従来、質問紙等の回答者の主観に依存した手法による以外の評価例がきわめてすくなかった視覚情報質のちがいの評価を、脳波α波ポテンシャルの変化という生理的、客観的な指標によって実現しうることをしめすものであり、この研究の最大の目的がほぼ達成されたことを意味するものとかがえる。

つぎに、この結果を映像素材別にみると、わたくしたちが設定した禁則に抵触しない映像素材(「花」+「海」)と抵触する素材「オペラ」とのあいだに、映像方式のちがいのα波ポテンシャルへの影響のあらわれかたにちがいがみられた(図4 b)。映像素材「花」では被験者10名全員がHD>NTSCの結果となり、「海」では1名を除く9名でHD>NTSCとなった。すなわち、映像素材「花」「海」を合計すると、全20例中19例がHD>NTSCをしめす。また、「花」と「海」とを合算して統計解析すると、分散分析によってHD>NTSCが有意にしめされた ($p < 0.05$)。一方「オペラ」では、HDの方が大となったもの6名、NTSC

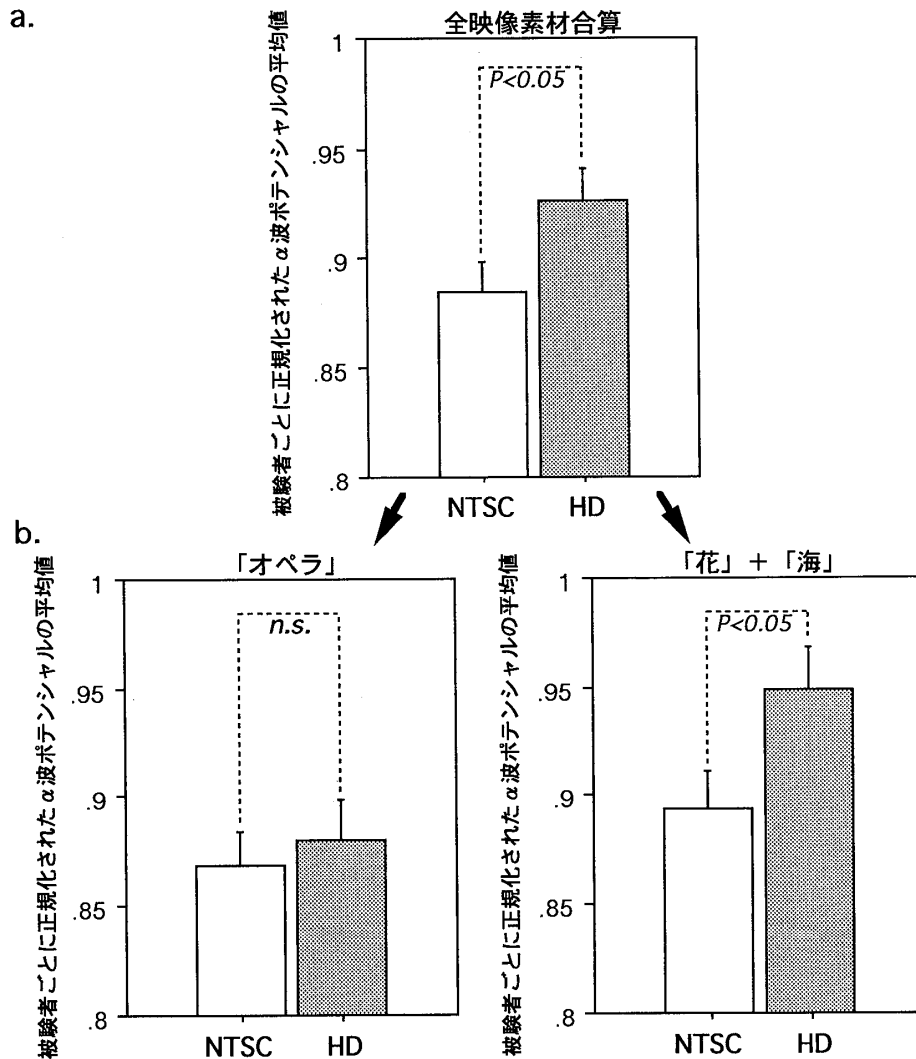


図4 映像方式の違いが脳波α波ポテンシャルにおよぼす影響

の方が大となったもの4名で判然としない傾向をしめし、統計解析によっても、HDとNTSCとのあいだのα波ポテンシャルのちがいは有意水準にたっていない。これらの結果は、わたくしたちが設定した評価用画像選択の禁則が無意味でなかったことを支持しているのではないかとかんがえている。

禁則に抵触しない映像素材「花」「海」の実像は、複雑なゆらぎをもった光学的パターンが映像フォーマットの限界をはるかにしたまわる領域にまでおよんでいる自然の事物の映像である。一方、禁則に抵触する素材「オペラ」は、人工的な素材が多用され、自然の事物を素材とした映像にくらべれば、はるかに単純で均質なパターンしかもたない。この両者が画像方式の細密度合いのちがいによってこうむる影響にはおおきな落差があり、その差が、人間の生理活性にとって無視できないものであることが、今回、一定の科学的、客観的な根拠によって示唆されたといえる。現在、教材用映像の画質についての関心はたかまりつつあるものの、HD方式の導入は、補加的な質の向上であり、贅沢とうけとめられるのが一般的傾向とおもわれる。しかし今回の実験からえられた結果からみると、長時間緊張した視聴をしいられる学習者を尊重するうえで、従来方式からHD方式への転換はで

きるだけ積極的にすすめられるべきではないかとかんがえられる。

3.3 映像の内容のちがいが脳波 α 波ポテンシャルにおよぼす影響

前項の解析において、評価用映像素材が禁則に抵触するか否かによって HD と NTSC との差を有意にしめすか否かが左右されていることがみとめられた。この結果のなかに潜在的に期待されるひとつの可能性として、画質や音質とは独立に、映像内容それ自体のもつ脳活性との適合性を、わたくしたちの手法で検討できるかもしれない。そこで、つぎに、映像素材を「禁則に抵触する－抵触しない」に類別したうえで、映像方式、音声条件による区別をつけずに、分散分析による統計検定をこころみた。その結果、「禁則に抵触しない」映像素材の呈示中の α 波は、「抵触する」素材呈示中に比べて、統計的に有意に ($p < 0.05$) たかいポテンシャルをしめすという成績がえられた(図5)。いうまでもなく、今回選択した映像は、自然性の事物によって構成されるか、人工的な事物を主体として構成されるかといったヴィジュアルなちがい以外に、たとえばせりふやストーリー性の有無といったノン・ヴィジュアルな面での対比をかなり明確にもっている。それらのうちの要素がここで観察された「禁則に抵触する－抵触しない」による脳波 α 波ポテンシャルのちがいを生じさせたのかについては、今回の結果から明確にすることはできない。しかし、今回の結果は、こうした内容のちがいが脳活性にどのような変化をみちびくのかについて検討の道がひらける可能性を否定できないものとしている。こうした評価・分析が可能になるなら

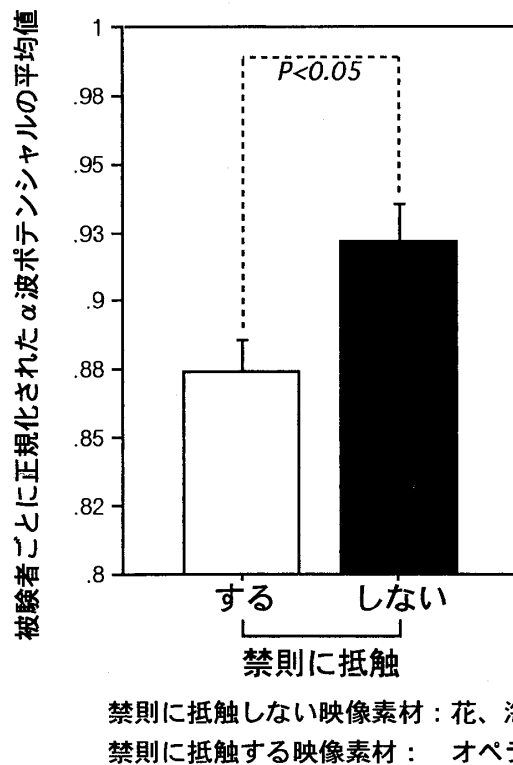


図5 禁則に抵触しない映像素材を抵触とする素材との間の α 波ポテンシャルの比較

ば、安全で効果的なメディア教育を実現するうえですくなくとも貢献をはたすだろう。今後積極的に検討すべき課題である。

3.4 映像呈示にともなう音呈示条件のちがいが脳波 α 波ポテンシャルにおよぼす影響

音声条件に FRS が設定されていない映像素材「オペラ」をのぞく「花」「海」を呈示する実験において、無音、HCS、FRS の3種の音条件だけに注目して、各音条件ごとにふたつの映像方式 (HD, NTSC) を合算した α 波ポテンシャルの平均をもとめ、比較した (図6)。その結果、 α 波ポテンシャルは、無音条件下でもっともちいさく、ついで HCS \rightarrow FRS の順でたかい値をしめした。分散分析による検定の結果、なんらかの音がある状態すなわち HCS または FRS 条件にくらべると、無音状態下では α 波ポテンシャルが顕著に抑制されることが、 $p < 0.0001$ というきわめてたかい有意性のもとにしめされた。また、HCS と FRS とのあいだのポテンシャルの差は $p < 0.01$ というたかい有意性のもとに FRS のときのほうが α 波ポテンシャルがたかいという結果をしめし、映像呈示中におけるハイパーソニック・エフェクトの発現が確認された。同時に、今回の実験条件下では、なんらかの音がある状態にくらべて無音状態の α 波ポテンシャルはかなりつよく抑制された。脳という情報処理系は不適合な情報入力がない状態をもとめると同時に、必須情報入力の確保を要求するものであるとする情報環境学のかんがえかたにてらすと、映像注視下における無音状態は、自然状態と視聴覚情報構造がおおきくことなるために、脳にとって負担となる情報環境であるのかもしれない。

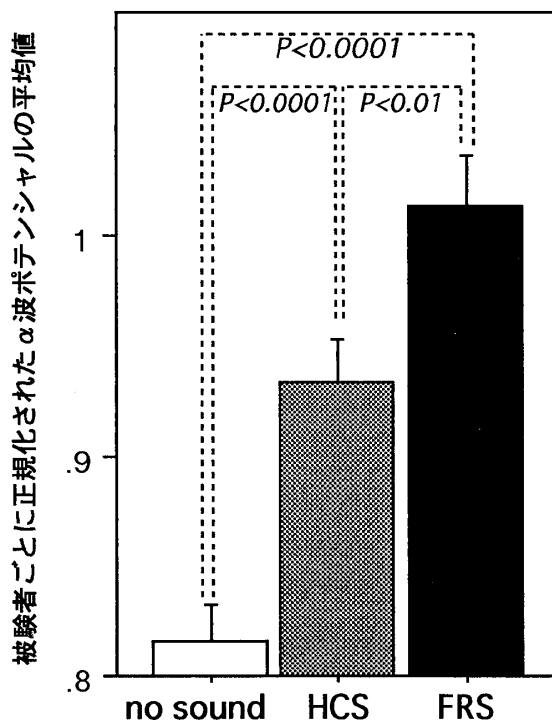


図6 映像呈示をともなう音条件のちがいが α 波ポテンシャルにおよぼす影響

3.5 本来—適応モデルによる検討結果の整理

今回の実験において設定した映像方式・音条件の物理構造の特性をあらためて整理してみると、映像方式では [NTSC>HD]、音条件では [無音>HCS>FRS] の順で、本来の情報環境とのへだたりがおおきいとみなすことができる。そこで、これまでの知見をもとに映像方式と音条件とのくみあわせを本来の環境情報との距離に対応した順序に配列して比較をこころみた。すなわち、[NTSC+無音→HD+無音→NTSC+HCS→HD+HCS→NTSC+FRS→HD+FRS] の順で本来的な視聴覚環境情報にちかづくとする直線座標軸を想定し、この座標空間のなかに、正規化された α 波ポテンシャルの被験者全員 (10名) の平均値を映像素材別にプロットした (図7)。

図にみられるように、映像素材「花」「海」においては、[NTSC+無音] 時に α 波ポテンシャルがもっともひくく、この条件をはなれて座標軸を右にたどるにしたがって α 波のポテンシャルが上昇し、[HD+FRS] にいたって最大の α 波ポテンシャルがしめされている

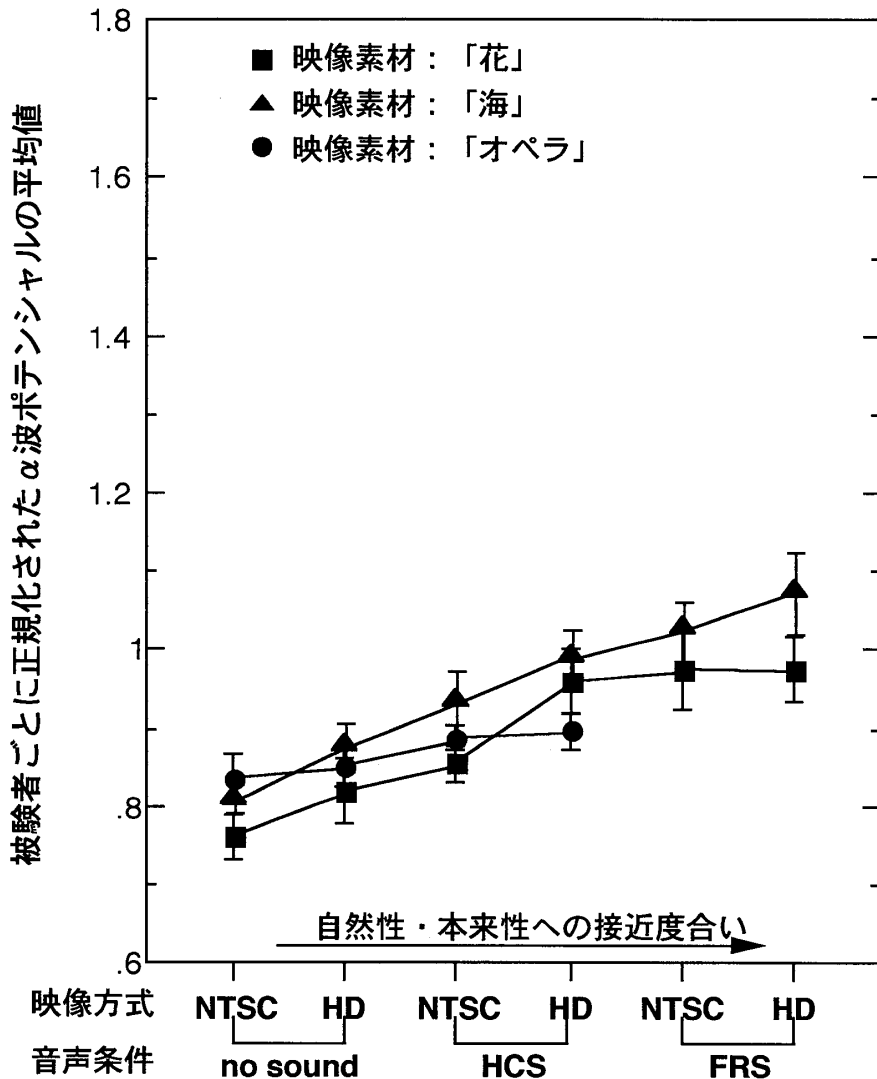


図7 “本来—適応モデル” にもとづく座標空間内に示した全被験者の α 波ポテンシャル正規化値の平均

る。つまりこれは、今回設定した本来の視聴覚情報条件からへだたるほど α 波のポテンシャルが低下し、ちかづくほど α 波のポテンシャルがたかまるという予測によく合致しており、 α 波が情報環境の本来性の指標となりうるとの作業仮説の妥当性がうらづけられたとかんがえられる。ところが、映像素材「オペラ」ではこうした傾向はみられず、全体として結果が判然としない。その理由として、自然環境のもつ精細な視聴覚情報とちがって構造がおおまかで、高品位の視聴覚情報の再現を必要としない人工的な素材の場合、映像方式や音声のちがいが、検出可能なレベルの生理的反応の差をみちびかないのではないかとかんがえられる。

3.6 自然の視覚像と電子映像とが α 波ポテンシャルにおよぼす影響の比較

これまでの検討で、NTSCによる映像よりもHDによる映像の方が、脳への負担がよりすくないであろうことがわかった。しかし、人間の脳との適合性において、HD映像は必要

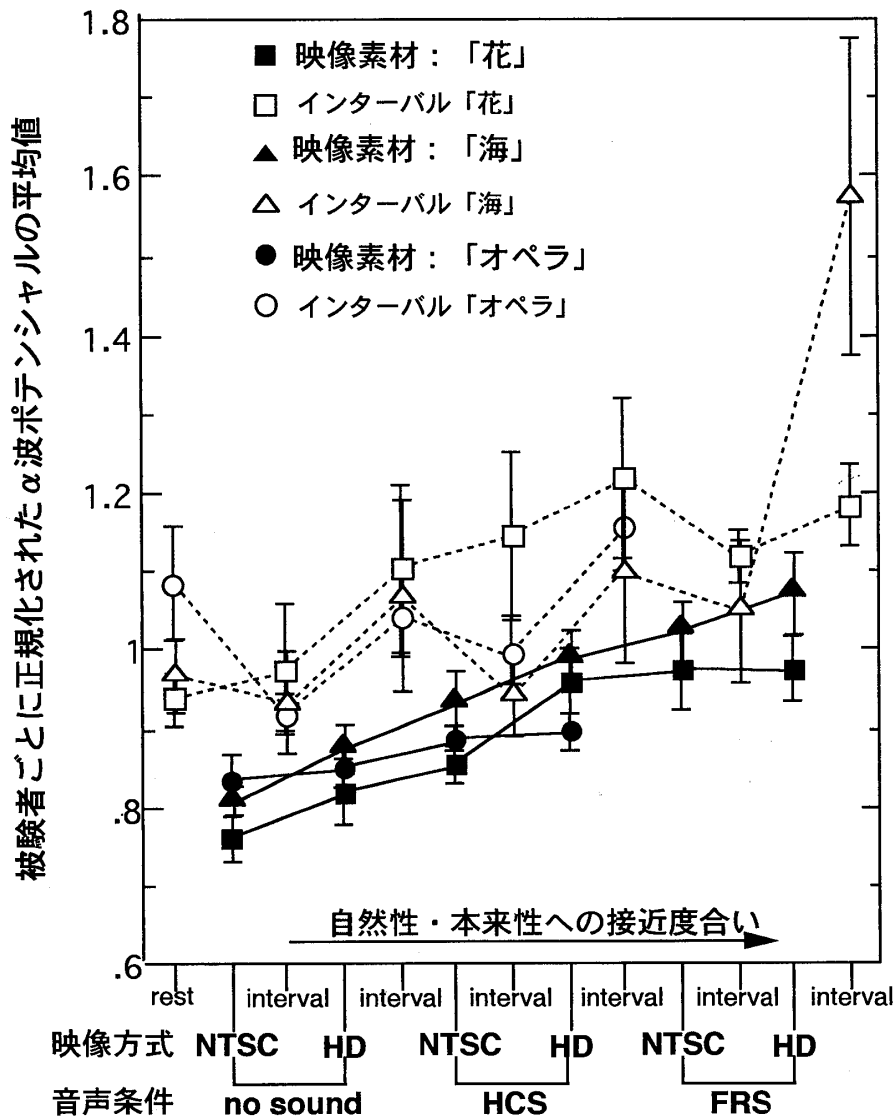


図8 映像非呈示状態と呈示状態とにおける全被験者の α 波ポテンシャル正規化値の平均

条件をみだしてあり、なんら問題がないかといえ、そうした根拠は、これまでの検討からはえられていない。そこで、厳密な条件統制下での比較ではないが、付加的な比較として、こうした電子的映像をみているときと、電子的映像の呈示がなく自然の視覚像をみているときとの α 波ポテンシャルをくらべてみた。

今回の実験において、わたくしたちは、ひとつの映像呈示と次の映像とのあいだに数十秒ないし1分以上におよぶインターバルをとり、そのあいだ被験者には電子映像は呈示されていないかわりに、室内の自然の視覚像がえられるような設定をとった。そして、映像を呈示されていないときの被験者について、これまでと同様な方法で、開眼状態下での正規化された α 波ポテンシャルの平均値を被験者全員(10名)についてもとめ、これを図7にかきくわえたものを図8にしめす。一例をのぞくすべての場合で、映像呈示前後のインターバルにおける α 波のポテンシャルは、映像呈示中のそれよりもあきらかにたかいレベルをしめしていた。この結果は、HD、NTSCいずれの方式であろうと、ディスプレイ上に呈示される映像は、脳にとって本来の自然の視覚像と無視できない距離のある情報である可能性をうちけしがたいものになっている。ただしこの場合、NTSC映像呈示直後における α 波ポテンシャルの回復度合いは呈示直前の値を下まわることがおおいのに対して、HD呈示直後の回復度合いは、呈示前のそれをうわまわるといふ傾向がみとめられた。これは、ふたつの映像方式が脳にあたえる負担の面で無視できない差をもっているという解釈を可能にする。この材料からみるかぎり、現時点で実現されている最高品位の映像規格であるHigh Definition映像といえども、人間の脳機能にとって十分な適合レベルに達しているとはいいがたい。HD方式の開発過程では、周知のとおり、評価・判断のきめでは総じて心理実験におかれていた。またその時点で、実用水準に達した適切な生理的評価方法が存在せず、その面は事実上迂回して規格をさだめざるをえなかったという経緯もある。したがって生理的な人間との適合性の検討は、現時点で軌道にのりはじめたといつてよいだろう。今回の研究の結果からすると、HDの画質が人類の視覚処理系におよぼす生理的影響、とくに脳との適合性について、さらに検討が必要であることは否定できない。とはいえ、現実にもちいられているNTSC方式の顕著な負の効果に比較してHD方式の人間に対する適合性のたかさはあきらかであり、現実的対応としてできるだけはやくHD方式による電子メディア教材の画質高度化をはかるべきことが、今回の実験によってしめされたとかんがえる。

4. おわりに

以上の実験結果は、脳波 α 波ポテンシャルを情報環境の本来性の指標とする作業仮説と矛盾せず、この仮説の妥当性をうらづけられるものとなっており、それによって、この研究の目的はおおむね所期のとおり達成できた。比較対象とする映像素材の選択における禁則の設定など適切な条件が設定された場合、生体情報を指標とするメディア情報評価手法により、HD方式による高品位映像は、NTSC方式による映像よりも、人間の脳に対する負荷がよりちいさく、適合性がよりたかいことが客観的かつ定量的にしめされ、教育メディ

アへ高品位映像を導入する有効性がうらづけられた。今後は、より学習者の脳にやさしいヒューマン＝メディア・インタフェース現実のために、実際に高品位映像による教材を作成し、その効果の評価をすすめていきたい。

謝 辞

この論文は、文部省放送教育開発センターとNHK放送文化研究所との共同研究としておこなわれた実験に負うところがおおきい。その共同実験にあたってハイビジョン再生装置の供与、および映像素材の提供をいただいたNHK放送文化研究所、映像の選択・編集におちからぞえをたまわったNHK放送文化研究所放送研究部酒井章主任研究員（当時）、同内館峻主任研究員、研究環境づくりにご尽力いただいた同篠原拓部長（当時）をはじめとする皆様に感謝もうしあげる。また、実験ならびに分析にご協力いただいた河合徳枝、中村聡、佐山弘樹そして被験者のかたがたにこころから御礼もうしあげる。なお、この研究費の一部は、文部省科学研究費補助金重点領域研究「感性情報処理の情報学・心理学的研究」ならびに奨励研究「景観の工学的物理構造と人間との生物学的適合性評価について」によるものである。

〈参考文献〉

- 1) 大橋 力：情報環境学、朝倉書店、1989。
- 2) 大橋 力：生理学から感性情報処理へ、科学研究費補助金重点領域研究「感性情報処理の情報学・心理学的研究」公開シンポジウム予稿集、pp.21-40、1993。
- 3) 文献1)、p.101。
- 4) 文献1)、p.12。
- 5) 文献1)、pp.12-18。
- 6) 不破本義孝、大橋 力、仁科エミ、河合徳枝、高田智史、田中基寛：目を開いた状態で観察される α 波を指標とする情報環境の評価法について、計測自動制御学会第9回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集、pp.209-216、1993。
- 7) 前川督雄、橋本秋彦、浜田 洋、仁科エミ、不破本義孝、大橋 力：テクスチャの快適性の生理・心理的評価、計測自動制御学会第11回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集、pp.711-718、1995。
- 8) Oohashi, T., Nishina, E., Kawai, N., Fuwamoto, Y., & Imai, H., High frequency sound above the audible range affects brain activity and sound perception, 91st Convention of the Audio Engineering Society Preprint, 3207 (W-1), New York, 1991.
- 9) 大橋 力、仁科エミ、河合徳枝、不破本義孝：可聴域をこえる高周波の生理的・心理的効果－ハイパーソニックエフェクトについて－、放送教育開発センター研究報告、71-1994-3、1994。
- 10) 大橋 力、不破本義孝、仁科エミ：メディアコミュニケーション効果の生理学的評価について（その1）－映像方式の違いによる生理的影響の検討－、電子情報通信学会技術報告、HC92-21、pp. 9-16、1992。
- 11) 大橋 力、仁科エミ、不破本義孝：メディアコミュニケーション効果の生理学的評価について（その2）－映像と音声との相互作用の検討－、電子情報通信学会技術報告、HC92-22、pp.17-24、1992。
- 12) 文献1)、p.254。

- 13) 大熊輝男：臨床脳波学第4版、医学書院、p.79、1991。
- 14) 社団法人テレビジョン学会編：テレビジョン画像の評価技術、コロナ社、p.89、1986。