

## 多変量サブトラクション重回帰による感情イメージ想起内容の客観的推定

### Objective Estimation of Emotional Image Contents by Subtracted Multi-variable Multiple Regression

○平柳 要, 伊原 正\*, 青木 隆夫\*\*, 谷島 一嘉

○ Kaname HIRAYANAGI, Tadashi IHARA, Takao AOKI, Kazuyoshi YAJIMA

日本大学医学部, \*鈴鹿医療科学技術大学医用工学部, \*\*日本大学工学部

Nihon Univ. School of Med., Suzuka Univ. of Medical Science&Technology,  
Nihon Univ. Faculty of Engineering

To estimate the status of emotional images in human brain using effective variables obtained from simultaneous measurements during different levels of arousal or pleasantness. Caffeine, placebo and nasal catarrh tablets were taken to induce high-, mid-(or neutral-) and low-arousal levels. Pleasant and horror videos were used to cause the emotional change to pleasantness and horror, respectively. Pleasant and unpleasant sounds were played to cause the change to pleasantness and unpleasantness. Various physical signals were measured during the various mental conditions. Respiratory rate (bpm), high-frequency band (0.15-0.5Hz) power spectrum of heart rate variability (ms<sup>2</sup>) and salivary cortisol (µg/dl) were selected as the variables sensitive to the feeling of pleasantness or unpleasantness. The error rate on discriminant analysis was less than 20(%). Moreover, the activated areas on brain cortex were confirmed by means of functional magnetic resonance imaging.

#### 1. 研究目的

感情(feeling)について、広辞苑では、精神の働きを知・情・意に分けた時の情的過程全般を指し、情動・気分・情操などが含まれるといった解釈がなされているが、学問分野の違いや歴史的な流れにおいて、さまざまな定義や学説が存在している[1]。大脳生理学の観点からは、外界の刺激が受容体から感覚神経を通過して上行し、大脳の感覚野に伝えられた時に感覚(sensation)を生じる。しかし、ここでは自己による判断がまだ起こらず、この感覚情報は連合野へと伝えられ、過去の体験(記憶)に照らした解釈がなされた上で、外界を認知(recognition)し、場合により意識された感情ないし情動が起こる。嫌悪、恐怖、怒り、愛などが一過性に強く表れたものは情動(emotion)と呼ばれ、持続的な状態の感情とは区別される[2]。感情や情動を支配しているのは大脳辺縁系や視床下部である。人のこころは、知・情・意の三本柱で構成され、知は認知、判断、思考、記憶、言語といった非常に高度な情報処理を営み、情は快、不快といった感情、意は意欲や意志といった欲求で、情と意は知の原動力となる。そして、情や意は視床下部から自律神経系ないし内分泌系を介して身体諸器官にさまざまな影響を及ぼしている。これらはいずれも自律神経系による神経性調節や内分泌系による体液性調節に作用して、反射性調節系を意識的に制御している[3]。

そこで、本研究では、人の精神活動の根源といえる覚醒意識度や最も基本的な感情である快-不快などの生理・心理的活動を推定するのに有効な生体変量の組合せを見つけ出すために、被

験者への刺激と被験者自らによるイメージ想起の両方を組み合わせた人工的な感情生起状態をつくり出し、脳活動ないし他の身体活動の非侵襲的な多元的計測を行った。そして、複数の有用な生体変量からコントロール値を差し引いたサブトラクション変量を用いた重回帰分析(実際には判別分析)によって、感情イメージの想起内容をどの程度の確からしさで推定できるかを検討した。

#### 2. 研究経過と方法

##### 2.1 覚醒意識度の評価実験

インフォームドコンセントが得られた若年成人4名を対象に、照度 200lx、室温 23℃前後のシールドルーム内の椅座位にて、1) 薬剤による覚醒度の違いとして、①無水カフェイン錠剤(Caffeine)、②プラセボ(ビタミン錠)および③鼻炎錠剤(Nasal catarrh 薬)を異なる日に無作為の順で一回用量を服用した場合、2) ビデオ内容による意識度の違いとして、①愉快なビデオ(Pleasant video)、②ホワイトノイズのテレビ画面(ノイズ)および③怖いビデオ(Horror video)を無作為の順で鑑賞している状況で、非侵襲的な多元的生体情報の同時計測を行い、各測定項目における応答性の特徴抽出を行った。測定項目は脳波、顔面サーモグラフ、瞬き回数、呼吸数、心拍数、心拍変動からの自律神経活動、血圧、皮膚電気活動、反応時間などである。1) 覚醒度の違いの評価実験は、服用後 30 分程度経過してから、5分間の各種計測を行なった。2) 意識度の違いの評価実験では、約 15 分間のビデオ鑑賞を行い、後半の5分間で各種計測を行なった。脳波は国際 10/20 法での

14ch とし、両耳を基準とした単極誘導で、1kHz サンプリングでパソコンに収録し、約5分間のデータを 10.24 秒毎にハニング窓を掛けた後、高速フーリエ変換(FFT)を行ない、6帯域( $2 \leq \delta < 4\text{Hz}$ ,  $4 \leq \theta < 8\text{Hz}$ ,  $8 \leq \alpha 1 < 10\text{Hz}$ ,  $10 \leq \alpha 2 < 13\text{Hz}$ ,  $13 \leq \beta 1 < 20\text{Hz}$ ,  $20 \leq \beta 2 < 30\text{Hz}$ )別に、29 回の加算平均をしてパワースペクトルを得た。顔面サーモグラフはサーモレーサにて収録し、顔面温度分布の前額中央部と鼻尖部の温度を評価した。瞬き回数は時定数3秒で上下方向の EOG 波形からカウントした。呼吸は鼻腔サーミスターによる呼吸パターンからカウントした。心拍数は胸部誘導 ECG から求め、心拍変動は 256 秒間の RR 間隔を 0.5 秒毎に変換し、ハニング窓をかけた後、FFT 解析を行ない、0.04 ~ 0.15Hz の低周波帯域パワー(LF)と 0.15 ~ 0.5Hz の高周波帯域パワー(HF)およびこの比(LF/HF)を求めた。血圧はオシロメトリック法により上腕動脈の収縮期および拡張期血圧を測定した。皮膚電気活動は通電法によって左手の人差し指-中指間のコンダクタンスで表し、この波形の軌跡長で評価した。反応時間はブザー音に対する押しボタン応答方式で、2)の評価実験では脳波等を収録した直後のビデオ鑑賞時に行った。顔面サーモグラフを除き、原則として、1)の評価実験ではプラセボ、2)の評価実験ではノイズをコントロールとし、これに対する%変化で表し、一元配置 ANOVA を用いた統計処理を行った。

## 2.2 快-不快の評価実験

同様な測定環境条件で、インフォームドコンセントの得られた若年健康成人 10 名を対象に、①ノイズ(ザーといったホワイトノイズ)、②快適な音(水の幻想、アルルの女の第二組曲メヌエットなどの曲)、③不快な音(キキーンといった金属棒で断続的にガラスを引っ掻く音)が無作為に 10 分間ずつ聞こえてくる状況で、非侵襲的な多元的生体情報の計測を 10 分間行い、各測定項目における応答性の特徴抽出を行った。測定項目は脳波、顔面サーモグラフ、瞬き回数、呼吸数、換気量、心拍数、心拍変動からの自律神経活動、血圧、皮膚血流などである。これらの解析方法は覚醒意識度の評価実験に準じたが、この実験ではノイズに対するサブトラクションで表した。また、各被験者に対して、快適な音を聴いている時と不快な音を聴いている時の二つの条件下において、1 ml 程度の唾液採取を行い、唾液中のコルチゾールと分泌型免疫グロブリン A を定量した。

さらに、2名には、快適な音、ノイズ、不快な音をそれぞれ 32 秒間ずつ順次聞こえてくる状況を6回繰り返すブロックデザインにおいて、1.5T での

EPI 法による機能的磁気共鳴イメージング(fMRI)測定を行った。画像の解析には SPM99 を使用した。そして、それぞれノイズに対する快適な音と不快な音といったサブトラクション変量によって、2名の被験者に共通して統計的に有意な脳の賦活領域を同定した。

## 3. 研究成果

### 3.1 覚醒意識度の評価実験

覚醒度の違いの評価実験でも、意識度の違いの評価実験でも、%変化で表した生体変量では何れも有意な差を認めなかった(表1)。しかし、傾向としては、脳波の帯域別パワーにおいて、Caffeine で頭頂部を中心に  $\beta 1$  と  $\beta 2$  のパワーがかなり大きく出現した。Nasal catarrh 薬では頭頂部から右前頭部にかけてやや  $\alpha 1$  のパワーが低下するに過ぎなかった。また、Pleasant video では頭頂部を中心に  $\beta 1$  と  $\beta 2$  のパワーが Caffeine 以上に大きかった。Horror video では頭頂部から右前頭部にかけて  $\beta 1$  と  $\beta 2$  のパワーがわずかに大きくなった。顔面サーモグラフでは、Caffeine で明らかに全員の顔面温が高くなっていた。瞬き回数は Pleasant video や増加した。呼吸数は Pleasant video でやや増加し、Nasal catarrh 薬ではやや減少した。心拍数には大きな変化はなく、心拍変動解析の HF は Caffeine、Nasal catarrh 薬および Pleasant video で増加した。LF/HF は Caffeine で減少し、Pleasant video でかなり増加した。血圧には大きな変化がなかった。皮膚電気活動は Pleasant video や Horror video で増加した。反応時間は Caffeine で短縮し、Horror video で延長した。

表1 各状況での各生体変量の%変化(Mean  $\pm$  SD)

	カフェイン	鼻炎薬	愉快ビデオ	恐怖ビデオ
瞬き回数	-16.6 $\pm$ 13.4	45.4 $\pm$ 135	54.3 $\pm$ 80.7	7.5 $\pm$ 79.0
呼吸数	1.4 $\pm$ 9.0	-6.7 $\pm$ 7.0	10.7 $\pm$ 5.9	4.7 $\pm$ 7.2
心拍数	1.2 $\pm$ 6.3	-1.1 $\pm$ 4.2	-3.6 $\pm$ 4.7	-3.4 $\pm$ 4.1
HF	53.3 $\pm$ 156	45.3 $\pm$ 41.4	91.5 $\pm$ 113	14.1 $\pm$ 71.6
LF/HF	-49.4 $\pm$ 28.1	10.8 $\pm$ 110	185 $\pm$ 274	-15.0 $\pm$ 53.4
収縮期血圧	4.0 $\pm$ 2.1	2.5 $\pm$ 8.2	4.8 $\pm$ 9.2	-0.9 $\pm$ 3.1
拡張期血圧	3.1 $\pm$ 8.1	-4.5 $\pm$ 5.5	6.2 $\pm$ 1.6	3.3 $\pm$ 5.3
皮膚電位活動	-8.7 $\pm$ 33.6	6.2 $\pm$ 12.1	40.0 $\pm$ 41.3	19.0 $\pm$ 22.0
反応時間	-15.2 $\pm$ 9.7	-3.2 $\pm$ 4.8	3.1 $\pm$ 11.0	14.7 $\pm$ 17.8

注:コントロールに対するパーセント変化

備考:EEGの帯域別パワーと顔面温度分布の表示は省略。

### 3.2 快-不快の評価実験

脳波の帯域別パワーでは、ノイズとの比較において、快適な音では頭頂部を中心に  $\alpha 1$  と  $\alpha 2$  のパワーの増加が認められ、不快な音では  $\alpha 1$  と  $\alpha 2$

のパワーの減少が認められたが、有意ではなかった。顔面サーモグラフは、前額中央部と鼻尖部の2ヶ所の温度で評価したが、有意な変化は認められなかった。また、瞬き回数にも有意な変化は見られなかった。呼吸数はノイズ時の $16.13 \pm 1.31$ (bpm)との比較で、不快な音の時に $17.36 \pm 1.67$ (bpm)と有意に増加した。分時換気量は、不快な音の時にやや多くなるが有意な差は見られなかった。心拍数はノイズ時の $70.2 \pm 4.8$ (bpm)に比べ、快適な音の時は $68.8 \pm 5.9$ (bpm)、不快な音の時は $70.4 \pm 6.5$ (bpm)であり、有意な差ではなかった。心拍変動のHFは、心臓副交感神経活動を反映すると考えられているが[4]、これはノイズ時の $833.2 \pm 374.0$ ( $\text{ms}^2$ )に比べて、快適な音の時に $930.2 \pm 563.8$ ( $\text{ms}^2$ )、不快な音の時には $632.3 \pm 328.7$ ( $\text{ms}^2$ )となり、心臓副交感神経活動が快適な音の時にやや亢進し、不快な音の時にやや抑制された。拡張期血圧はノイズ時の $100.3 \pm 15.7$ (mmHg)に比べ、快適な音の時に $97.4 \pm 15.0$ (mmHg)とやや低下し、不快な音の時に $106.6 \pm 10.8$ (mmHg)とやや低下したが、有意ではなかった。唾液中のコルチゾールは快適な音の時に $0.168 \pm 0.021$ ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )、不快な音の時に $0.209 \pm 0.035$ ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )と不快な音の時のほうが有意に値が高かった。分泌型免疫グロブリンAは快適な音の時に $193.2 \pm 26.8$ ( $\mu\text{g}/\text{ml}$ )、不快な音の時に $196.4 \pm 30.3$ ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )であり、ほとんど差がなかった。

また、fMRIの結果は、ノイズに対するサブトラクションにおいて、快適な音を聴いている時は聴覚野(41野)と聴覚連合野(42野)の活動が盛んになり、聴覚に意識を集中し、音楽に対する認知活動が働いていたものと考えられた。不快な音を聴いている時には、聴覚野(41野)と特に前頭連合野の活動が盛んで、騒音を強く意識し、不快感を抱いていたものと想定された。

### 3.3 快-不快のサブトラクション変量による判別分析

快-不快の評価実験で、ノイズ時のコントロール値からのサブトラクションにおいて、有意差が認められたか、あるいはもう少しで認められるサブトラクション変量は、呼吸数(bpm)、心拍変動のHF( $\text{ms}^2$ )および唾液中コルチゾール( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )の3変量であった。そこで、これらのサブトラクション変量から、快適な音を聴いている時と不快な音を聴いている時のこころの状態をどのくらい正しく判別できるかについて、判別関数分析を用いて調べた。その結果、判別関数 $z$ は、 $z = -1.63 \times \text{呼吸数} + 0.005 \times \text{心拍変動のHF} + 4.74 \times \text{唾液中コルチゾール} + 0.11$ となり、マハラノビスの汎距離を用いた場合の誤判別率は17.8%であった。

## 4. 今後の課題と発展

### 4.1 覚醒意識度の評価

カフェインは中枢神経興奮作用、脳血管収縮作用ないし利尿作用などがある。一方、くしゃみ・鼻水・鼻づまりを緩和させる鼻炎薬には、抗ヒスタミン剤や末梢血管収縮剤が入っており、これらには眠気を催させる作用がある。これまで脳波の帯域別パワーから覚醒水準、緊張度あるいは精神活動の程度などを評価する試みが多数なされており、一般に熟睡状態では $\delta$ 波、微睡状態では $\theta$ 波、落ち着いた状態(特に閉眼)では $\alpha$ 波ないし $\alpha_2$ 波、緊張状態では $\beta$ 波あるいは $\beta_2$ 波が出現しやすい[5]。 $\alpha$ 波は覚醒水準が高くて低くても、その出現率が低下する、いわゆる逆U型である。脳波の帯域別パワーの%変化のトポグラフ表示から、カフェイン服用時と愉快的ビデオ鑑賞時において、 $\beta$ 波のパワーが大きくなることが分かった。そのほかの測定では、カフェイン服用時にはHFの増加とLF/HFの減少が認められた。鼻炎薬では $\alpha$ 波がやや増加し、また瞬き回数やHFの増加傾向が見られた。愉快的ビデオ鑑賞時で、HFおよびLF/HFのかかなりの増加が見られた。これは持続的な興奮時によく見られる交感、副交感の両神経が亢進した状態と考えられる。また、愉快的ビデオ鑑賞時には、瞬き回数や皮膚電気活動の活発化も窺われた。一方、怖いビデオの鑑賞時では、皮膚電気活動がやや活発になったり、反応時間がやや延長する傾向があった。しかし、このような薬剤や視覚刺激だけでは覚醒意識度やこころの状態を正確に把握するには感情や情動による身体反応の表出が弱いような気がした。

### 4.2 快-不快の評価実験

覚醒意識度の評価実験を見直し、できるだけ強烈な刺激負荷とイメージ想起の両方から感情や情動の生起を心掛けた。そのため、快適な音では頭頂部を中心にして $\alpha$ 波パワーの増加傾向、不快な音では $\alpha$ 波パワーの減少傾向が認められた。呼吸数は不快な音の時に有意な増加を示した。分時換気量も不快な音の時にやや増加する傾向はあったが有意ではなかった。心拍数はほとんど変化しなかったが、心拍変動のHFは快適な音の時に増加傾向を示し、不快な音の時に減少傾向を示した。これは快適な音の時に心臓副交感神経がやや亢進し、不快な音の時にはやや抑制されることを示す。収縮期血圧は快適な音でも、不快な音でもやや低下する傾向を示した。唾液中コルチゾールは血漿コルチゾールと高い相関性( $r > 0.9$ )を有する[6]。そのため、唾液中コルチゾールは快適な音の時よりも、不快な音の時のほうが

高い値を示し、不快な音によって精神的ストレスを受けていたと考えられる。また、fMRI における結果をブロードマンによって作成された脳地図と対応させると、快適な音では、聴覚に意識を集中し、かつ音楽の認知を試みていたと解釈され、不快な音では、聴覚からの騒音による不快感を強く前頭葉で意識していたと想定される。

#### 4.3 快-不快のサブトラクション変量による判別分析

呼吸数、心拍変動の HF および唾液中コルチゾールの三つのサブトラクション変量から、快適な音を聴いている時と不快な音を聴いている時のこのころの状態の判別を行った結果、マハラノビスの汎距離での誤判別率は 17.8 % であり、標本数が少ない割にはまずまずの判別効率が得られた。

### 5. 今後の展望

被験者に喜怒哀楽といった感情イメージを想起させることは容易ではないが、視覚あるいは聴覚からの感情の移入と各自のイメージ想起を組み合わせることで、まずは快-不快を判別する有効な生体情報を見つけ出すことができた。ところが、本当の喜びとイメージ想起した喜びとでは脳の処理プロセスや身体への表出が違ってくこと、被験者がうまくそのイメージを想起できないと被験者自身がそれに対して自己嫌悪感を抱いてしまったりすること、などが指摘されている[3,7]。今回は、喜怒哀楽などの複雑な感情イメージ想起の評価に入る前段階の実験として、比較的単純な覚醒意識度やこのころの状態をはかることから始めた。今後、より複雑な感情イメージの想起実験では、被験者の選定や実験デザイン工夫などをより慎重に行う必要がある。本研究から、ECG の位置と帯域別パワーだけで喜怒哀楽などの比較的複雑な感情を効率良く評価するのはかなり難しいと感じた。しかし、呼吸数、心拍変動の HF ないし唾液中コルチゾールといった非侵襲的な多元的生体計測で得られる有効変量を適切に組み合わせることで、将来はこのころの状態をかなりの的中率ではかることができるものと考えられる。今後、さらにもっと有用な生体情報を説明変量に加えて検討し、これを主観的な評価基準や fMRI 以上に脳の深部までその機能を正確にはかれる新しい脳機能イメージング[8]によって検証するといった研究体制を作り上げたいと考えている。

#### 参考文献

- [1]Cornelius RR: The science of emotion. Prentice-Hall, 1996.  
 [2]LeDoux J: The emotional brain. Simon &

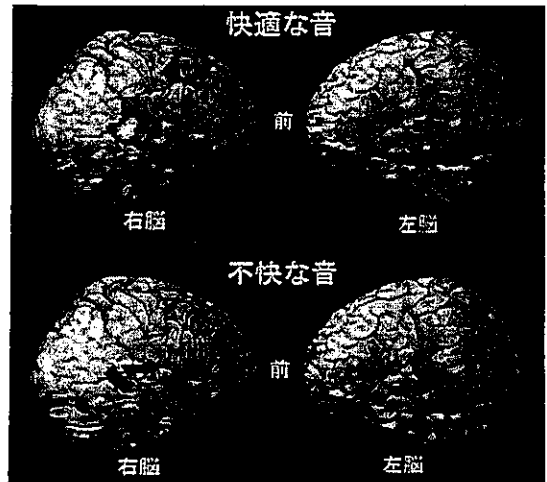


図1 fMRI による快および不快時の脳活動部位

Shuster, 1996.

- [3]Carter R: Mapping the mind. The Orion Publishing, 1999.  
 [4]Pagani M, Lombardi F, Guzzetti S, et al.: Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in conscious dogs. *Circulation Research* 59:178-193,1986.  
 [5]吉田倫幸:感性・快適性と心理生理指標. *日本音響学会誌* 50:489-4923,1994.  
 [6]Kirschbaum C, Hellhammer DH: Salivary cortisol in psychobiological research: An overview. *Neuropsychobiology* 22:150-169, 1989.  
 [7]Damasio AR: Descartes' error -Emotion, reason, and the human brain. Avon Books,1995.  
 [8]宮内哲:ヒトの脳機能の非侵襲的測定-これからの生理心理学はどうあるべきか. *生理心理学と精神生理学* 15:11-29,1997.

#### 発表論文リスト

- <1>平柳要、岩崎賢一、山口喜久、宮本晃、谷島一嘉: 模擬運転時におけるコバートの脳内環境情報の探索的多次元計測の試み. *日本人間工学会大第40回大会抄録集*,1999.  
 <2>平柳要、佐々木強、宮本晃、谷島一嘉: 14日間のヘッドダウンヘッドレストによる身体不活動がストレス・疲労にどのような影響を及ぼすか? 第69回日本衛生学会総会講演集,1999.  
 <3>Kinugasa H, Hirayanagi K: Effects of skin surface cooling and heating on autonomic nervous activity and baroreflex sensitivity in humans. *Journal of Experimental Physiology* 84:369-377,1999.