



Title	嗅覚誘発電位の測定と解析に関する研究
Author(s)	外池, 光雄
Citation	大阪大学, 1985, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/886
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

嗅覚誘発電位の測定と解析に

関する研究

電子技術総合研究所

外池光雄

嗅覚誘発電位の測定と解析に関する研究

電子技術総合研究所

外池光雄

<目次>

内容梗概	1
第1章 緒論	6
1.1 はじめに	6
1.2 嗅覚の研究の現状	11
1.2.1 嗅覚の生理学的研究	11
1.2.2 嗅覚の心理学的研究	16
1.2.3 ニオイの機器測定法	17
1.3 嗅覚とニオイ脳波計測	19
1.4 研究の目的と論文の構成	21
第2章 嗅覚誘発電位の測定法	24
2.1 はじめに	24
2.2 ニオイ刺激装置と無臭室	26
2.2.1 3つの嗅覚刺激法	26
2.2.2 嗅覚刺激ハルス発生装置	28
2.2.3 無臭室	32
2.3 呼吸同期式ニオイ刺激法	34
2.4 ニオイ認知式波形加算法	37
2.5 嗅覚誘発電位測定における雑音の除去	45
2.5.1 眼球運動並びにまばたきの影響	46
2.5.2 白色雑音による音のマスクング	49
2.6 嗅覚誘発電位の記録	50
2.6.1 基準導出法と双極導出法の比較	52

2.6.2	嗅覚誘発電位の再現性の検討	57
2.6.3	ニオイ濃度による嗅覚誘発電位の変化	62
2.7	刺激遅れ時間の推測と真の潜時の推定	67
2.8	第2章のまとめ	72
第3章	嗅覚誘発電位による嗅覚疲労の分析	75
3.1	はじめに	75
3.2	嗅覚疲労現象	76
3.3	反復ニオイ刺激に対する加算波形の変化	79
3.4	ニオイの心理実験と誘発電位応答との比較	83
3.5	第3章のまとめ	88
第4章	セマンティックデファレンシャル法によるニオイの心理的感情分析	91
4.1	はじめに	91
4.2	ニオイの心理的尺度構成法	94
4.3	等感覚強度刺激を求むる実験	97
4.4	セマンティックデファレンシャル法による実験	108
4.5	主成分分析によるニオイの感情分析	112
4.6	第4章のまとめ	118
第5章	嗅覚誘発電位の解析によるニオイの分類	120
5.1	はじめに	120
5.2	各種のニオイの嗅覚誘発電位波形	122
5.3	嗅覚誘発電位の特異値分解	126
5.3.1	特異値分解法の原理	126
5.3.2	ニオイ物質と蒸留水の誘発電位の識別	132
5.3.3	各種のニオイの嗅覚誘発電位の分析	135
5.4	嗅覚心理実験結果と嗅覚誘発電位解析結果の対応	141

5.5 検 討 143

5.5.1 嗅覚誘発電位波形の再構成に対する検討 143

5.5.2 嗅覚性応答ピークと三叉神経応答の検討 147

5.5.3 ニオイの種類に対する検討 149

5.5.4 被験者に対する検討 154

5.6 第5章のまとめ 158

第6章 検 討 162

6.1 事象関連電位P300に対する検討 162

6.2 本研究の位置づけと展望 164

第7章 結 論 168

謝 辞 173

参考文献 176

嗅覚誘発電位の測定と解析に関する研究

電子技術総合研究所

外池光雄

内容梗概

嗅覚は我々の食生活で味覚と共に重要な役割りを果たしている。他方、動物にとって嗅覚は遠くから獲物や外敵を見つけたり、異性を求めたりするのに不可欠で、とにかく動物の生存にかかわる重要な感覚である。特に犬などにおいては、嗅覚は極めて微量なニオイを非常に鋭敏に感知し、それらを識別する機能を有している。現在これほど優れた人工的検出器は作られていないので、興味ある研究課題である。

しかし、嗅覚は他の感覚に比べこれまで研究が遅れ、最も未知の感覚となっている。最近ようやく化学感覚系の嗅覚・嗅覚に対する研究も行われるようになってきたが、嗅覚に正確に対応する客観計測はまだ確立されていない。

このような観点に立って嗅覚の問題を捉えると、ニオイをいかに客観的に計測し、またこれによって引き起こされる生体の嗅覚を

いかに数量化するかは基本的に重要なことと考えられる。

筆者らは嗅覚の研究をはじめについて当所で行われてきた視覚誘発電位の研究アプローチにヒントを得た。この研究は各種の色光刺激に対し測定された人肉の視覚誘発電位の解析から心理実験で得られていた色覚の反対色成分を脳波中から抽出したものである。

本研究は視覚研究で用いられてきた脳波による解析法を嗅覚に適用し、人間の頭皮上から嗅覚誘発電位を計測する技術を開発すると共に、脳波データによって嗅覚を数量化して解析し、脳波データとニオイの心理応答との関連を明らかにするものである。

以下に本論文の構成と各章別の内容について概説する。

第1章は、本論文の緒論であり、嗅覚の特徴、ニオイ計測の現状などの研究背景を示し、嗅覚誘発電位研究の意義と役割について述べると共に、本研究の目的と本論文の構

成について概説する。

第2章では、嗅覚誘発電位の測定に関して筆者が開発してきた装置および誘発電位の計測法について述べる。まず嗅覚誘発電位の刺激としての二オキパルスを発生させる二オキ刺激発生装置の原理と被験者が二オキをかき、脳波を測定する無臭室の構造、筆者が開発した呼吸同期式二オキ刺激法、二オキ認知による脳波の波形加算法等について記述する。

次に嗅覚誘発電位の記録法として双極導出法よりも基準導出法の方が安定していること、および記録部位として正中中心部が優れていることを実証する。また嗅覚誘発電位の測定に必要な各種の雑音除去技術について詳述する。

第3章では、嗅覚誘発電位の反復二オキ刺激実験において、筆者が発見した加算波形振幅値の飽和現象

について述べ、ニオイの心理実験で得られた嗅覚疲労現象との関連を実証する。

第4章では、これまでに行われてきた心理実験によるニオイの尺度構成法について明らかにし、筆者が行った等感覚強度刺激の実験、およびセマンティック・マップ、レンシヤル法による実験について述べ、これらのデータを主成分分析して得られたニオイの感情分析結果について記述する。

第5章では、各種のニオイに対する嗅覚誘発電位の波形解析について詳述する。まず、筆者が解析に用いた特異値分解法の原理とその利点について述べ、無臭の蒸留水とニオイ物質の誘発電位波形の識別、および、各種のニオイに対する誘発電位波形の分析結果を明らかにする。これによって得られた脳波応答と心理実験データとの比較を行うことにより、ニオイ成分が抽

出されることを実証する。

第7章は本論文を総括し、本研究によって得られた成果の要点をまとめて述べる。

第1章 緒論

1.1 はじめに

ニオイは動物にとっては生存に関わる重要な感覚^{1),2)}である。また、ニオイは、我々の日常生活を豊かに、文字通り「香り高い」ものにしてくれる。そして、文明の進歩と相まって「香り」は増々我々と関わってきている^{3),4)}と言える。

例えば、我が国の嗅覚関連産業の推移を、通産省の統計で見ると、民間企業の食品の年間総出荷額が、昭和45年度から、昭和51年度までの6年間を例にとってみた場合、約7,510億円から172,740億円へと飛躍的に増大しており、また、化粧品、石けん、洗剤等の直接的な香料の生産高も 例えば、昭和47年度 480億円から、昭和52年度 550億円へと大幅な増加となっている。

特に、香料の中では、合成香料の伸び率が高く、この10年間に約2倍以上の増大を見せている。

一方、各種の工業の発達、中でも化学工業の急激

な増大によって、主に生産による廃棄物が原因となる

悪臭公害が社会問題となってきた。各種の感覚系の公害の

中で悪臭公害は騒音公害について苦情件数が多いと言わ

れており、⁵⁾悪臭公害対策は緊用の課題となっている。^{6),7)}

このように、嗅覚は増々その必要性が高まってきたが、

これまでは未知の感覚でもあった。例えば視覚では光

という電磁波の異なる振動数のスペクトルを網膜の

3種類の錐体細胞がとらえ、その興奮のパターンの組

み合わせによって様々な色の情報が脳の視覚中枢に

伝達され、色を識別していることが知られている。同様に聴覚

においても、空気中を伝播する空気の粗密波が、耳の

鼓膜を振動させ、この情報が有毛細胞から聴

覚神経へと伝達され、大脳の聴覚領で音として知覚

されていることがわかっている。しかし、嗅覚については、三オキ

を産する物質の分子が関与していることはわかって

いるが、一体どのようにして嗅細胞が「ニオイ」の情報を受容しているのか、

「ニオイ」に関する実体は何であるのか、依然として現在でも不明である。

8)~10) 11)~13) 14),15)
Amoore, Wright, Davies により提唱されている

嗅覚の学説も仮説の段階である。こうした困難な課題を解明

していくためには、嗅覚の特徴を明らかにすることが重要である。

嗅覚の特徴の1つは、ニオイの感覚が複合感覚¹⁶⁾である

ことである。鼻腔内の天井部にある嗅上皮にはニオイに

感じる嗅細胞があるが、これを主嗅覚系とすると、

鼻腔内に広く張りめぐらされている三叉神経や咽頭部

に分布する舌咽神経、迷走神経が化学受容器として果し

ているものは副嗅覚系としてやはり重要な役割りがある。最近、

17)
浅賀らは、主、副嗅覚系の双方を刺激すると言われている

テトラヒドロフラン (THF, C_4H_8O) を用いて、嗅覚

脱失者304例を調べた結果、そのうち71%の人が「ツンと

した感じ」を表現し、副嗅覚系の存在を明確にした。

しかし、重要なことは、これから嗅覚脱失症例では、ニオイの種類に対する識別が「できる」、ニオイの識別は主嗅覚系で行われていることも明らかとなった。

嗅覚の特徴の2つ目は、嗅覚が「極めて敏感な感覚である」という点である。¹⁶⁾ 良く訓練された調香師の鼻は、現在の如何なる分析機器よりも優れている。

更にイヌの鼻は、ヒトの鼻の約100万倍も嗅覚が鋭

¹⁸⁾ く、麻薬犬や警察犬の活躍は有名である。特に

警察犬の犯人捜索は、犯人の個体識別を行うも

のであり、ニオイのパターン認識が行われている実例でも

¹⁹⁾ ある。

嗅覚の特徴の3つ目は、嗅覚が「感情と深く結び

ついている」ということである。¹⁶⁾ 我々は、花の香りは快いと

感じる。一方魚の腐ったニオイは、非常に不快と感じ、

はき気をもよおしたり拒絶したくなる。ニオイは感情だけで

なく、もっと本能的な、自分の意志では制御できない情動とも深く関わっていると言えよう。それだけに、ニオイの感覚を正確にとらえることは大変重要な課題である。²⁰⁾

嗅覚の特徴のオ4は、嗅覚の疲労効果が他の感覚よりも一段と著しい点である。^{16), 21)} 現在、嗅覚疲労の機序はまだ充分説明されていないが、嗅覚疲労が日常生活で重要なポイントになる場面も多く、その説明が要求されている。

この他、嗅覚が持っている特徴は数多くあり、しかも、他の感覚とは異なり、特異な傾向を持つ場合が多い。従ってこのような点を充分考慮し、ニオイの特徴を良く把握したニオイ計測法の開発が切望されている。²²⁾

1.2 嗅覚の研究の現状

1.2.1 嗅覚の生理学的研究

生体がニオイを知覚するプロセスを解明しようとする神経生理学的研究では、ニオイの情報が伝えられる伝達経路に従って、嗅覚機構は大まかに嗅上皮(嗅覚受容細胞)段階、嗅球(一次嗅覚中樞)段階、大脳皮質嗅覚領(嗅覚高次中樞)段階に分けられる。

嗅上皮の段階では、ニオイ刺激に対してこの部位から電位の応答変化が測定される。²³⁾ この電位は嗅覚受容器電位 (electro-olfactogram) と呼ばれているが、嗅上皮の電位変化には

陰性成分と陽性成分があり、5つの型に分類されるという

²⁴⁾ 高木の研究がある。一斉、嗅細胞の電気的応答については、主に

微小電極を用いた細胞外記録法によって、²⁵⁾ Shibuya & Tucker

²⁶⁾ らの詳しい研究が行われた。ハゲタカの嗅細胞応答

では、6種類の異なるニオイ刺激に対して同一嗅細胞の

インパルス応答のパターンが異なっていた。この結果が示すことは、

嗅上皮では一種類のニオイのみに応じる嗅覚細胞（これを

Specialistと呼ぶ）は存在せず、むしろ2種類以上のニオイ

に応じる嗅覚細胞（これをGeneralistと呼ぶ）が存在すると

27), 28)

いう事実である。しかし例外があり、昆虫などにもみられる

フェロモンの受容器は、そのフェロモン以外には応じないという

Specialist型となっている。これはその生物固有の遺伝的

に特殊な受容・伝達系である。フェロモン以外の一般の

のニオイに対する受容・伝達系はすべて、Generalist型で

29)

ある。更に渋谷によって、嗅細胞の各々は各ニオイの濃度

によってインパルスを生じ、応答を示す閾値濃度が異なる

と共に、濃度に対するインパルス頻度の応答を表わす曲線の

30)

勾配が各々異なっていることが明らかにされた。以上の結

果から、各嗅細胞は一種類のニオイだけに応じるのでは

なく、いく種類かのニオイに応じるサイトがあり、しかもこれ

ら各々の嗅覚サイトが嗅細胞中に存在する個数が異なっ

ているのではないかと推察されている。³⁰⁾

嗅球の段階では、嗅細胞から送られた電氣的インパルスが、嗅球の細胞に伝えられ、一定の情報処理が行われている。

³¹⁾ Döving によるカエルや、^{32), 33)} Mathews による陸ガメ及びビラット

の研究で、嗅球の細胞には、刺激に対して応答が増加

する興奮型だけでなく、逆に応答が減少する抑制型

あるいは混合型などが知られている。^{34)~36)} Rall と Shepherd や、

³⁷⁾ 森らにおいて、嗅球内の神経回路網に対する僧帽細胞

と顆粒細胞の樹状突起間シナプス相互作用における

負帰還回路の構成が解明されている。^{38)~41)}

^{42)~48)} 大脳皮質嗅覚領の段階では、高木らの研究によって、

図 1 に示されるようなアカゲザルの嗅覚中枢と 2 つの

嗅覚神経路が発見されている。

^{49), 50)} 無麻酔下のサルを使った田辺らの実験で、大脳前頭葉

の眼窩前頭皮質外側

後部 (LPOF) に1つの

嗅覚中枢が発見され

51)

その後槍田らによる

サルの実験で、同じ前

頭葉で少し場所の

異なる眼窩前頭皮質

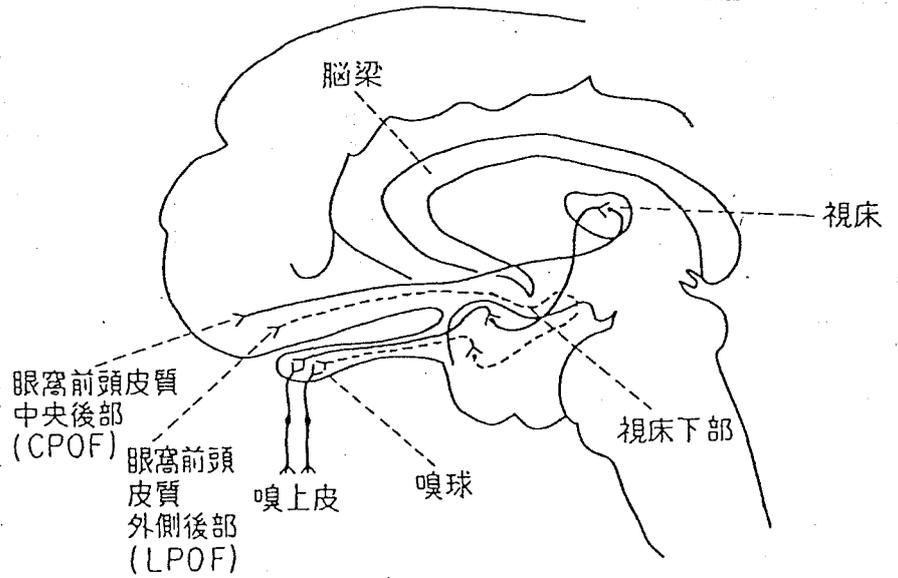


図1

アガザルの2つの嗅覚中枢と、
2つの嗅覚神経路 (高木⁴²⁾による)

中央後部 (CPOF) にもう1つの嗅覚中枢が発見された。これらの嗅覚中枢の大腦細胞のニオイに対する応答パターンには、明らかな違いが見られた。

図2 に示すように、

LPOF ではニオイの種類に

対して応答する細胞の数の

ヒストグラムは1種類の

ニオイのみに応答する

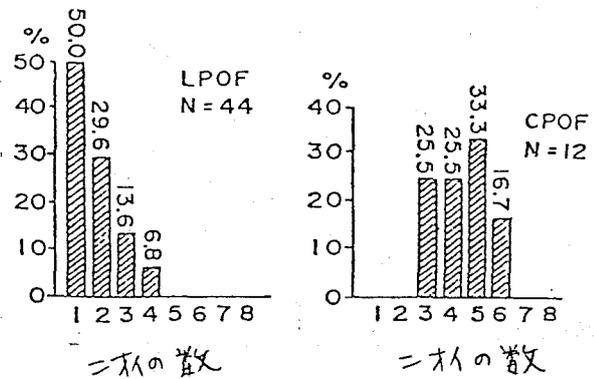


図2 2つの嗅覚中枢 (LPOF, CPOF) における細胞のニオイ応答を表わすヒストグラム (高木⁴²⁾による)

細胞が最も多く、全体の50%を占め、2種類以上のニオイに
52)

応答する細胞の比率は次第に減少した。これは、LPOFの中杞
42)
でニオイの識別が行われていることを示していると考えられる。

一方、CPOFの中杞では、細胞がニオイの種類に依りて応答

する細胞の数のヒストグラムは、1種類のみのニオイや2種類

のニオイに反応するものは存在せず、3~6種類のニオイ

に対して反応する細胞がほとんど同比率の存在を示した。
51)

このことは、CPOFの機能はニオイの識別ではなく、例えば、

統合のような機能を担っているのではないかと推測されている。
42)

以上の嗅覚生理学の研究から得られる知見を要約すると、

嗅上皮細胞段階ではいろんなニオイに応じているが、高次中杞

で明確な識別が行われていること、そしてこの中杞は、前嗅葉の

LPOFに存在しているということである。

1.2.2 嗅覚の心理学的研究

ニオイの研究では心理学的研究が最も古くから行われて

きた。その中でも官能試験法は、人間の鼻を計測手段と

する方法であるが、調香師や職業的にパネラーとして日々

官能検査を行っている人の鼻は現在のどんな分析機

器も及ばない優れた弁別能力を持っていることが知ら

16)

れている。東京都の公害研究所で悪臭の基準検査法

6)

として開発された三点比較式ニオイ袋法も官能検

査法の一つの応用である。

53)

嗅覚の心理学的研究として E. H. Hsü 以来試み

られてきたのは、因子分析法の手法による心理学実験

データを解析して、ニオイの多次元尺度構成を行う

54) 55)

研究である。ニオイの言葉を介して、ニオイのもつ

いる特徴を把之分類を行おうとするセマンティックな

56)~61)

心理学研究も吉田ら によって進められている。

1.2.3 ニオイの機器測定法

ニオイを物理化学的手法で測定し、嗅覚を客観的に

表わそうとする試みは最近急速に発展しつつある。²²⁾ また、

ガスセンサの開発も活発で、ニオイ検知への応用も可能

な段階に入ってきたと思われる。一方、新しいセンサの開

発として、生体関連物質^{62)~65)}や生物の機能を利用した素子^{66), 67)}

の開発も進んでいる。⁶⁸⁾ バイオテクノロジーの発達を通じ、バイオ

センサの研究によるニオイ検出器への試みも行われている。²⁰⁾

これらをまとめ、表1に示した。

ニオイの心理的計測が主観的評価によるのに対し、こ

れらの機器測定法は確かに客観的に計測する方法で

はある。しかし、これらの機器計測によって測られるもの

は決して「ニオイ量」という単位ではない。表に示すよう

に、測定量は質量スペクトルであったり、吸収スペクトルで

あったり、あるいは熱量、電気抵抗の変化というような物

理量でみる。従って我々が知覚するニオイの感覚を正確
 に表わすには、ニオイの感覚量を物理量、心理物理量等によ
 って導き出さねばならない。例えば、光の強度分布から
 色度座標を計算し、その色度座標値から、その光を感じる
 感覚を予測する式がおおよそ導かれるというように、視覚系では
 感覚量を客観的に計測し導出する研究が進んでいる。
 しかしながら、嗅覚では、刺激実体の客観計測法や
 感覚量の予測法がまがまだ模索段階にあって、心理

表1 ニオイの物理・化学的客観計測

測 定 法	測 定 量	感 度
物理化学的測定 ガスクロマトグラフィー ガスマス (GC-MS) 遠赤外分光器 半導体赤外センサ レーザラン分光器 光音響素子 (PAS)	ガスクロマトグラムスペクトル 質量スペクトル (M/e) 赤外吸収スペクトル ラマンスペクトル (700 cm ⁻¹ 以下) 熱 位	~ppm ~ppb ~0.1 ppb
ガスセンサ 半導体薄膜センサ (SnO ₂ , ZnO など) 多孔質セラミックスセンサ (MCT系セラミックス) 集積化超微粒子センサ	電気抵抗の変化 電気伝導度 電気抵抗	~ppm
生体関連物質お よび生物機能素 子 ベータカロチン コレステリック液晶 生物機能素子 (バイオセンサ)	電気伝導度の変化 色変化, 濃度	~10 ⁻¹² amp ~ppm

計測と物理化学的機器計測との距離は、現状ではかなり

離れており、この間をうめる = オイ計測法が切望されている。

1.3 嗅覚と二オイ脳波計測

二オイの心理知覚量を今すぐ「物理化学的量で表わすこと」は現状ではできず、また、動物を使った大脳生理学実験で得られている細胞応答結果を、二オイの心理的事実と直接結びつけることも現状では大変むずかしい。

しかし、一般に人間の心理知覚量を、客観的な生理学データに結びつける有効な方法として、大脳の脳波の計測²⁰⁾が考えられる。脳波は大脳皮質における脳細胞の活動の結果によってもたらされる電磁気的変動⁶⁹⁾と考えられる。中でも特に感覚系の誘発電位は、感覚刺激によって頭皮上に表われる大脳皮質細胞の活動電位の応答変化を示すもので^{70), 71)}ある。すでに視覚系や聴覚系ではこれらの感覚刺激に

よって得られる視覚誘発電位や聴覚誘発電位の研究が相

当進められており、誘発電位に対する研究の重要性が増大して

いる。特に視覚誘発電位では、光の波長が異なるパルス状の単

色光刺激をヒトの眼に与え、これに対する脳波を後頭部から

72), 73)

記録・解析し、反対色応答成分を抽出している。

一方、嗅覚に関する脳波の研究は⁷⁴⁾大変遅れているが、AllisonとGoff⁷⁵⁾

及びFinkenzellerら⁷⁶⁾が人間の頭皮上から、初めてニオイに反応する嗅覚誘発

77)~79)

電位を測定した。その後、PlattigとKobalら^{80), 81)}によって嗅覚誘発電位

の研究が進められているが、同じ頃筆者らも、独自に嗅覚誘発電位

の研究を開始した。1.2で述べたように、ニオイの客観的計測法を

めざす機器測定法も現状では感量を表わすことができず、またニオイの学

説も反説にとどまっているので、ニオイの感覚心理量を裏づける研究手

法の開発が切望されている。そこで、種々のニオイ刺激に対して

被験者の嗅覚誘発電位を測定し、電位波形が類似するものに、ニオイ

の類似性を推測して、電位波形の違いからニオイを分類することや、

波形解析によって嗅覚情報の成分を抽出する等の可能性が考えられる。

1.4 研究の目的と論文の構成

本研究の目的は、嗅覚を客観的に計測し、数量化することである。そのための方法として、ニオイ物質の刺激による大脳頭皮上に誘発される嗅覚誘発電位の測定と解析に関する研究を実施してきた。

誘発電位の手法は他の感覚系では既に有効な研究方法として用いられているが、嗅覚に関する脳波の研究は大変遅れているのが実情である。一般に脳波は大脳の活動を反映しているため、精神作用や心理と関係があると言われて^{69, 81)}いる。事実、これを裏づけるデータや知見も増加しており、重要なテーマとなっている。そこで嗅覚誘発電位については、まず①に最適なニオイ刺激法を開発すること、②に、嗅覚誘発電位を精度良く測定すること、③に、測定された嗅覚誘発電位の解析法を開発すること、そして④

にこれらの解析によってニオイの特徴を明らかにし、ニオイの成分の抽出を行うこと、特に誘発電位の応答と心理的な応答との対応を定めること等が重要であると考えられる。

本論文の構成は、オ1章で、嗅覚の特徴、嗅覚研究の現状などの背景となる知見を明らかにし、嗅覚誘発電位の研究の現状と意義、本研究の目的等について述べる。オ2章は、嗅覚誘発電位の精密計測技術の開発に関して、ニオイ刺激法、ニオイ刺激発生装置、嗅覚誘発電位の波形測定法、種々のノイズ除去法等を検討する。オ3章では、嗅覚誘発電位の反復ニオイ刺激実験における嗅覚疲労現象について分析する。オ4章では、嗅覚の心理研究の現状を明らかにし、等感覚強度刺激実験、およびセマンティック・マップ・レンジャル実験によるニオイの感情分析結果を吟味する。オ5章では各種のニオイの嗅覚誘発電位を解析

するが、この解析に筆者が用いた特異値分解法の原理をまず明らかにする。次にこの解析によって抽出された成分を心理データと対応させて分析する。第6章では、本研究で求められた嗅覚誘発電位と事象関連電位の関係、および本研究の位置づけと今後の研究の展望について検討する。最後に、第7章で、本研究によって得られた結論を述べる。

2章 嗅覚誘発電位の測定法

2.1 はじめに

本章では、嗅覚誘発電位を精密に測定するためのニオイ刺激法、および嗅覚誘発電位の測定法を述べる。

ニオイ刺激法については、予備実験を行ない、あらかじめ、3つの嗅覚刺激方法について検討し、これにもとづいて最適な刺激方法を決定する。また、ニオイの実験環境を整えるために作成した嗅覚実験用 box (実験 room) についても述べる。

本章では、特に呼吸同期式ニオイ刺激法、ニオイ認知式加算法の有効性を明らかにすると共に、誘発電位に混入する雑音の除去対策の中で重要な音のマスキング法および眼球運動やまばたきによる影響等について検討する。

一方、嗅覚誘発電位の測定法については、嗅覚刺激の応答を記録する最適な測定法、および頭上での

小さい誘発電位記録部位を調べる。

このようにして測定された嗅覚誘発電位の波形が、明らかに嗅覚刺激に反応するものであることを明らかにするため、相関分析を用いて解析時間範囲の分割による脳波の再現性の検討を行なう。また、ニオイの刺激濃度の変化に対する嗅覚誘発電位の応答変化についても調べる。

これらの実験におけるニオイ刺激の伝達時間を求め、応答電位波形ピークの刺激後の負の潜時を推定する。

本章では、上記のニオイ刺激法や誘発電位の測定技術を確立することによって、ニオイ刺激に対して誘発される微弱な嗅覚性応答の電位の記録が可能であることを示す。

2.2 ニオイ刺激発生装置と無臭室

2.2.1 3つの嗅覚刺激法

適切なニオイ刺激発生

装置の設計にあたり、予備実

験を行ない、以下の3つのニオ

83)

イ刺激方法を検討した。

これらの原理図を図3に

示す。以下の実験では、

コントロールとして蒸留水を

用いた。この場合、蒸留水を通った空気が送られるか、

被験者は全くニオイを感じなかった。

方法1は図3のa)のように、ニオイ物質あるいはコント

ロールをそれぞれ別々にパルス状に、一定間隔で繰り返

返し刺激するものである。刺激継続時間は100~200

ミリ秒、パルス間隔は10秒とした。この刺激間隔は、

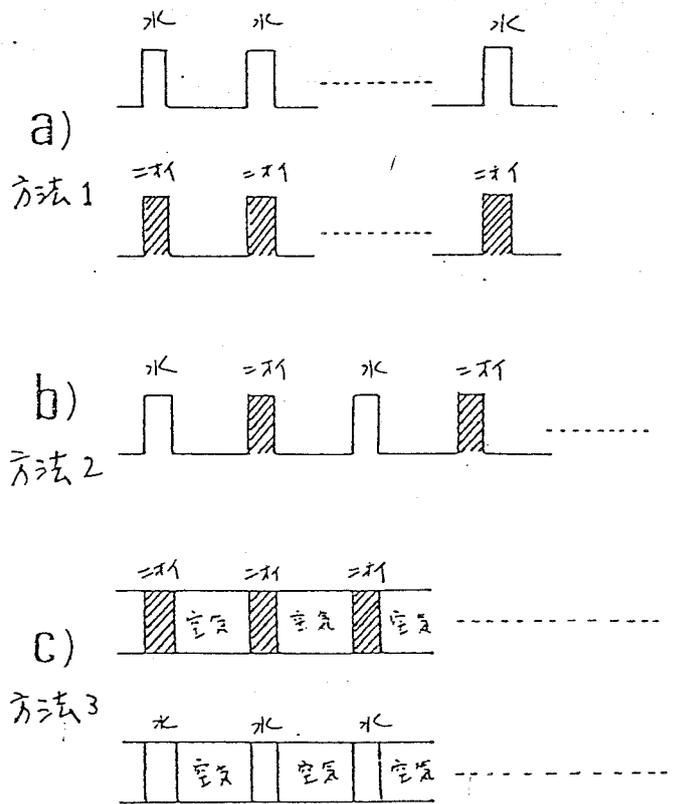


図3 3つの嗅覚刺激方法の検討

1回の呼吸2回分の時間を目安として定めた。このニオイパルス

を被験者の鼻孔に噴射注入した。この方法は簡単であるが

ニオイ物質の場合刺激のみが連続して注入されるため、

繰り返し刺激による鼻の慣応によって嗅覚感度が著し

く低下する欠点が見られた。

方法2では、図3 b)のようにコントロールとして蒸留水

を通した空気とニオイ物質とをパルス状に交互に一定

間隔で刺激として与える。この場合、ニオイとコントロールに対す

る誘発電位は、それぞれ分離して別々に加算した。

この方法ではニオイ刺激の間にコントロールが挿入され

るので、鼻の慣応による感度低下が a) に比べて少な

く、測定の実現性が向上した。しかし、刺激が鼻腔

にパルス状に加えられるため、a)と同様に三叉神経に

よる圧力効果(吹きつけの効果)が存在し、誘発電位

に大きいアーチファクトが生じた。従ってこの方法も嗅覚誘発

電位の測定のためのニオイ刺激法としては問題である。

方法3では、図3 C)のように、ニオイある...、コントロール

パルスの間に、このパルスと同じ圧力で常時一定の無臭空気を

流すようにしたものである。その結果、鼻腔に注入される

圧力が常に一定となるので、方法1、方法2のような

圧力効果を生じない。以上の検討に基づき方法3を採用した。

2.2.2 嗅覚刺激パルス発生装置

図4は上記のニオイ刺激方法の検討から、方法3を基礎

に設計・試作した嗅覚刺激パルス発生装置 (MARK-I) の

概要図である。^{84,85)} 空気ポンプ P₁ で作られた一定圧力の空気はシカ

ケル槽(H)に入る

除湿、活性炭槽

(D₁)に入る脱臭

後温度調整器

C₃を経て圧力

バスBに送られ

る。この圧力バス

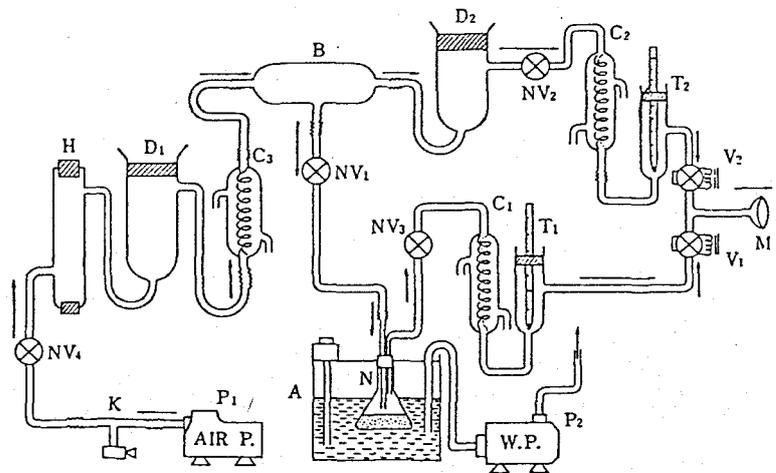


図4 嗅覚刺激パルス発生装置 (MARK-I)

Olfactory stimulator

A: Water bath with constant temperature B: Pressur buffer N: Odorant cell
 NV₁, NV₂, NV₃, NV₄: Needle valves V₁, V₂: Solenoid valves (three-way)
 P₁: Air pump M: Nosc cone

はポンプによる圧力の脈動を減らすためのバッファタンクである。

ここから通路は2系統に分かれる。一方は温度調整器 C_2 ,

3方向電磁弁 V_2 を経て新鮮無臭の空気を流す系統で

ある。他方は、恒温水槽中のニオイセル N に導かれ、ここで

ニオイの溶液をバブリングさせてニオイガスを発生させ、この

ニオイガスを温度調整器 C_1 , 3方向電磁弁 V_1 を経て、ニ

オイパルスを鼻孔に送るようになっている。

この装置では、2.2.1の方法3に基づき、電磁弁 V_1, V_2

の開閉を相互に、同時に逆に切り換えることにより、

常に圧力を一定に保ちながら一定量のニオイガスをパルス

状に一定間隔で噴射し、鼻孔に注入できる。

噴射注入式のニオイ刺激法はエルスバーグ式と呼ばれる⁷⁵⁾

嗅覚誘発電位実験としてすでに Allisonらによっても類

似の方法が試みられている。しかし Allisonらは、圧カバスカ

ら2系統に分かれる節目の位置にただ1個の3方向電

磁弁を使用しているのみである。この方式の場合、ニオイパルス

刺激後の空気噴射の際に

ニオイセルから、ニオイガスの引

き込み現象があって、明瞭

なニオイパルスが得難い。

我々の装置は、 V_1, V_2 の 2 個

の電磁弁を同時に開閉させ

ることによって、ニオイセルからの

引き込み現象を遮断す

ると共に、圧力一定のニオイ

(84, 85)

パルスの作成に成功した。通常ニオイ物質は、無臭性溶媒の

ニジロール(良質の流動パラフィン)に溶かし、必要な濃度に

調合されてニオイセルに 200 ml 入れ、ニオイセルの温度は 25°C

に保たれた。またニオイ刺激装置の流量は約 3 l/min. に

調整したが、これは被験者の鼻腔に注入された時、余り圧迫

感がなく、且つ安定にニオイを感じるレベルとして設定した。写真1は、

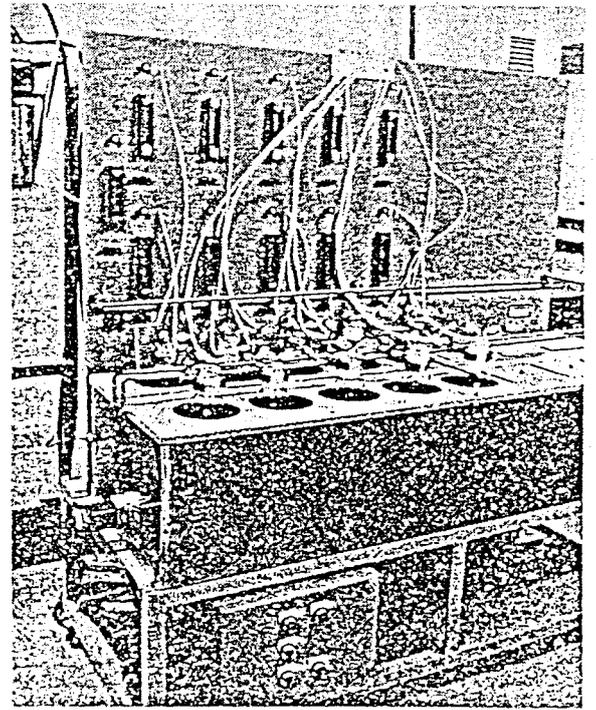


写真1 嗅覚誘発電位実験に
用いているニオイ刺激装置
(MARK-II)

この原理に基づき新しく改造した新型の嗅覚刺激装置(MARK II)である。以下の実験ではほとんどの測定が図4に示した嗅覚刺激パルス発生装置(MARK I)を用いて行なっているので、ここでは、新型の装置の詳細については省略するが、空気ポンプをコンプレッサーに変え、流量調整にマスフロー弁を使用したり、電磁弁に全テフロン製のものを用いた以外は、図4と原理的に同等のものである。

2.2.3 無臭室

被験者は図5に示されるような実験用 box の中に入ってニオイの実験が行われた。この box は、被験者が実験中安定してニオイをかぐことができる環境を実現すると共に、脳波の測定室として、電磁シールドルームの役割も兼ね備えている。また、ニオイ刺激は、外部におかれた刺激装置からテフロンチューブによって室内に導かれている。

我々も便宜上これを「無臭室」と名づけたが、通常嗅覚心理実験で閾値測定に用いられている「無臭室」をヒントにし、これを我々の嗅覚誘発電位実験用に改造したものである。従って通常の「無臭室」と同様に、部屋は縦、横、高さいずれも約 1.8m の立方形状の box で内面の壁はニオイの吸着が少なく水洗が可能な全ステンレス張りとした。また、この部屋には大容量の排気量の排気用ファンが取り付けられ、2~3分ごに部屋の空気の全面的な refresh が可能となっている他、湯水の噴射

洗浄ができる水洗設備も完備しており、音程が著しく汚染

された場合の処置ができるように設計されている。被験者は

ゆったりと感して椅子に腰をかけ、頭部は椅子につけられた

頭あてで固定し、ノースコーンが鼻の直前にとりつけられる。

脳波電極、EOG電極、呼吸検出用サニスタ、ニオイ認知判断の

押ボタンによる信号等の各々の導線が壁穴を通して

隣の準備室に導かれる。ここには誘発電位用あるいはEOG用

フリアンプ、呼吸検出パルス信号発生器等が設置され、

これらの出力はさらに外部に置かれた信号処理装置

や電子計算機の手へ

同軸ケーブルで送られる。

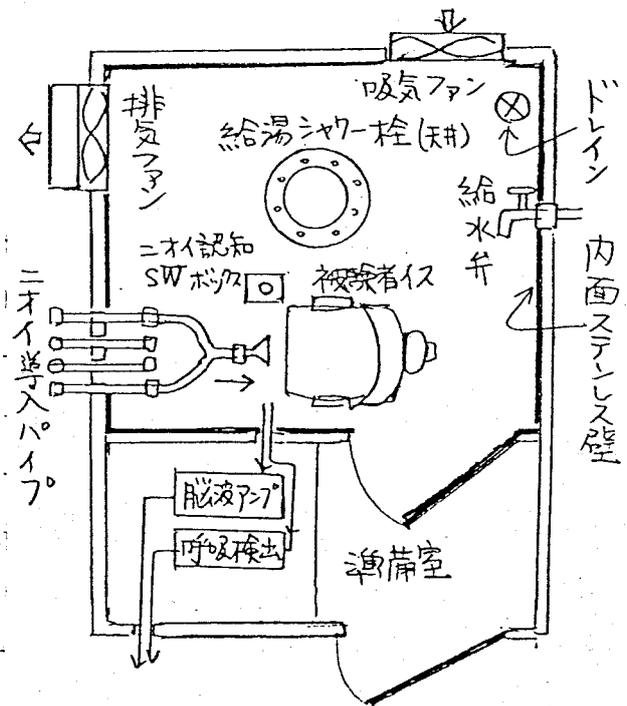


図5 無臭室

2.3 呼吸同期式ニオイ刺激法

嗅覚実験で重要な点は、被験者の呼吸と、ニオイ刺激のタイミング”を合わせることである。図3の方法3)によるニオイ刺激法では常に圧力一定のもとにニオイパルスを与えるが、一定周期の繰り返し

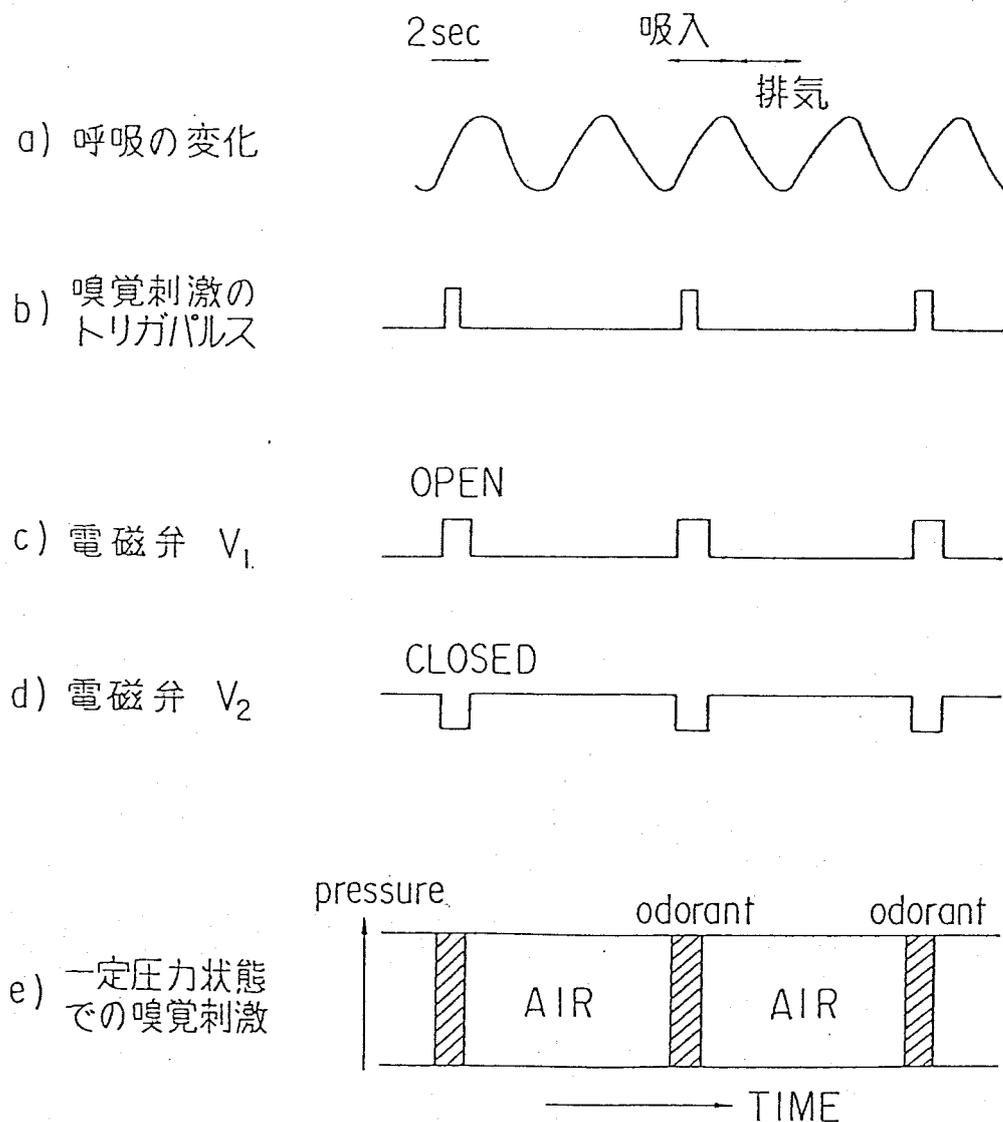


図6 呼吸同期式のニオイ刺激法

刺激では、被験者の呼吸とニオイパルスとのタイミングが合わない。なので、ニオイが充分認知できなったり、タイミングがズレた時のニオイが残留し、鼻の感度を低下させる。このような刺激の効果の弱まりによって、良い誘発電位応答が得られない。

そこで、被験者の呼吸と同期させてニオイパルスの刺激

(84, 85)

を行う方法を考案した。図6はこの方法のタイムチャートを

示すものである。まず、被験者の呼吸を検出するために、呼

吸検出ピックアップ（日本光電社製 MCR-2TA）を被験者の

の腹部にバネ状に取りつけた。この検出器は直径0.5cm

長さ約10cmのゴム管の中に導電性電解液の飽和硫酸亜鉛

液をつめ、両端に電極部が取り付けられている。この検出素子の

の固有抵抗値は約20kΩであり、呼吸にシトがってゴム

管が伸縮して抵抗値が変化するのでこれを電圧変化として

取りだし、呼吸曲線を記録する。あるいは、呼吸検出ピック

アップとして、サーミスタセンサを用い、これを被験者の片方の鼻

腔入口に取り付け、息の流出入の変化によって生じる温度

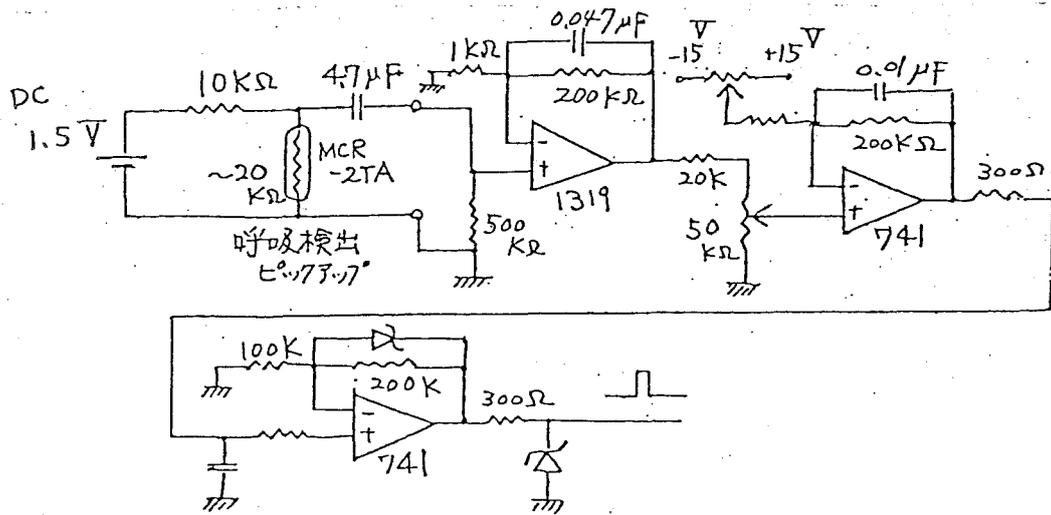


図7 呼吸同期信号発生回路

変化から、呼吸曲線を記録する。このようにして得られた呼吸変化は、図7の呼吸同期信号発生回路に電圧の変化として与えられ、あらかじめ設定された電圧閾値を越えたと、トリガーパルスが発生される。つまり、この回路では、電圧のスレッショルドレベルを調節して、被験者の呼吸の吸入期の初期に、トリガーパルスを生じさせるようにし、図6に見られるように、このトリガーパルスによって、電磁弁 V_1 , V_2 をいかに開、閉する。実際には、トリガーパルスはフリップフロップ回路を経た後、電磁弁を駆動させるので、呼吸2回に1回の割合で二オパルスが呼吸と同期して発

生される。これはニオイのバルス刺激による鼻の感度回復を

考慮して設定したもので、人により多少の相違はあるが、この

呼吸同期式ニオイ刺激の間隔は約 8~10 秒に 1 回程度

となっている。

2.4 ニオイ認知式 波形加算法

2.3 で述べたように、呼吸と同期しない一定周期刺

激ではニオイは充分知覚されないが、ニオイが認知された時

と認知されない時の誘発電位の加算波形について比較

を行なった。ニオイの認知は被験者がニオイを認知した場

合にのみボタンを押させ、ニオイ認知信号が送られる時

だけの誘発電位を選択的に加算して記録した。

図 8 は被験者の

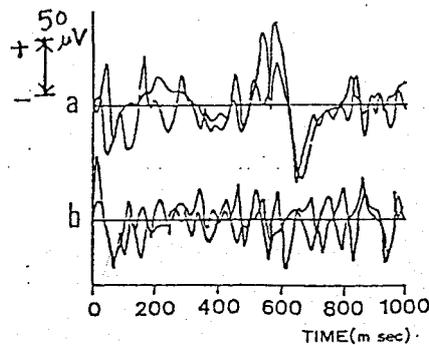
ニオイ認知信号のある

場合とない場合の

誘発電位の波形

(81, 83)

加算の比較結果



N=10

図 8 ニオイ認知式加算法による加算電位波形

a) 被験者のニオイ認知信号のある場合の誘発電位の加算結果, b) 被験者のニオイ認知信号のない場合の誘発電位の加算結果
 (被験者 M.T., 前頭部 ニオイ物質: アミール アセテート 0.1%)

である。それぞれ2回反復の結果を重ね書きで1本の曲線

は各々10回の加算波形である。ニオイはアミールアセテートを用

い、処理は図9に示すように誘発電位及び呼吸信号、及び

ニオイ認知信号はすべて同時にデータレコーダに記録される。

波形はA/D変換されて計算機のメモリ内に蓄えられ、

次に、ニオイ認知信号の有無が判別されて選択的に

波形加算が実行される。図8の結果からニオイ認知信号

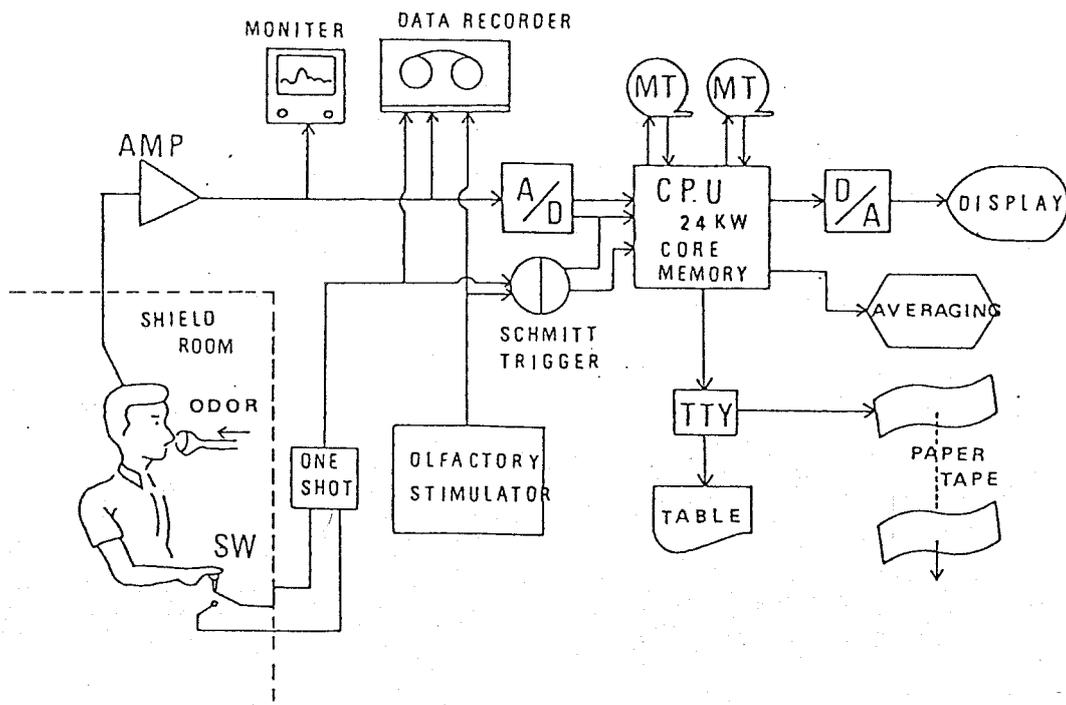


図9 ニオイ認知式波形加算法によるデータ処理系

がない場合の脳波 b) にはニオイの応答が記録されず、

一方、ニオイ認知信号による脳波加算 a) ではアールアセ

テートの再現性良好的な応答波形が得られている。この結果

は、被験者のニオイ認知信号による誘発電位の加算

方式が、明らかに誘発電位の S/N 比を改善し、再

現性ある嗅覚誘発電位データを得るのに有効であるこ

84), 85)

とを示している。

次に、呼吸同期式嗅覚刺激法とニオイ認知式波形

加算法を併用した効果について検討する。まず3人の被験

者に対し、それぞれ呼吸同期によるニオイ刺激を行った

場合と行わない場合のニオイ認知回数の比較を実施した。

図10の a), b), c) は3人の被験者に対し、それぞれ、

呼吸同期せずに N_s 回ニオイ刺激した場合の、各10回

毎の刺激に対するニオイの認知回数 n_{pc} を取り、各

被験者とも日をかえて2回反復し (○印と△印)、そ

れらの平均値を●印で表わした。被験者 MK と KI

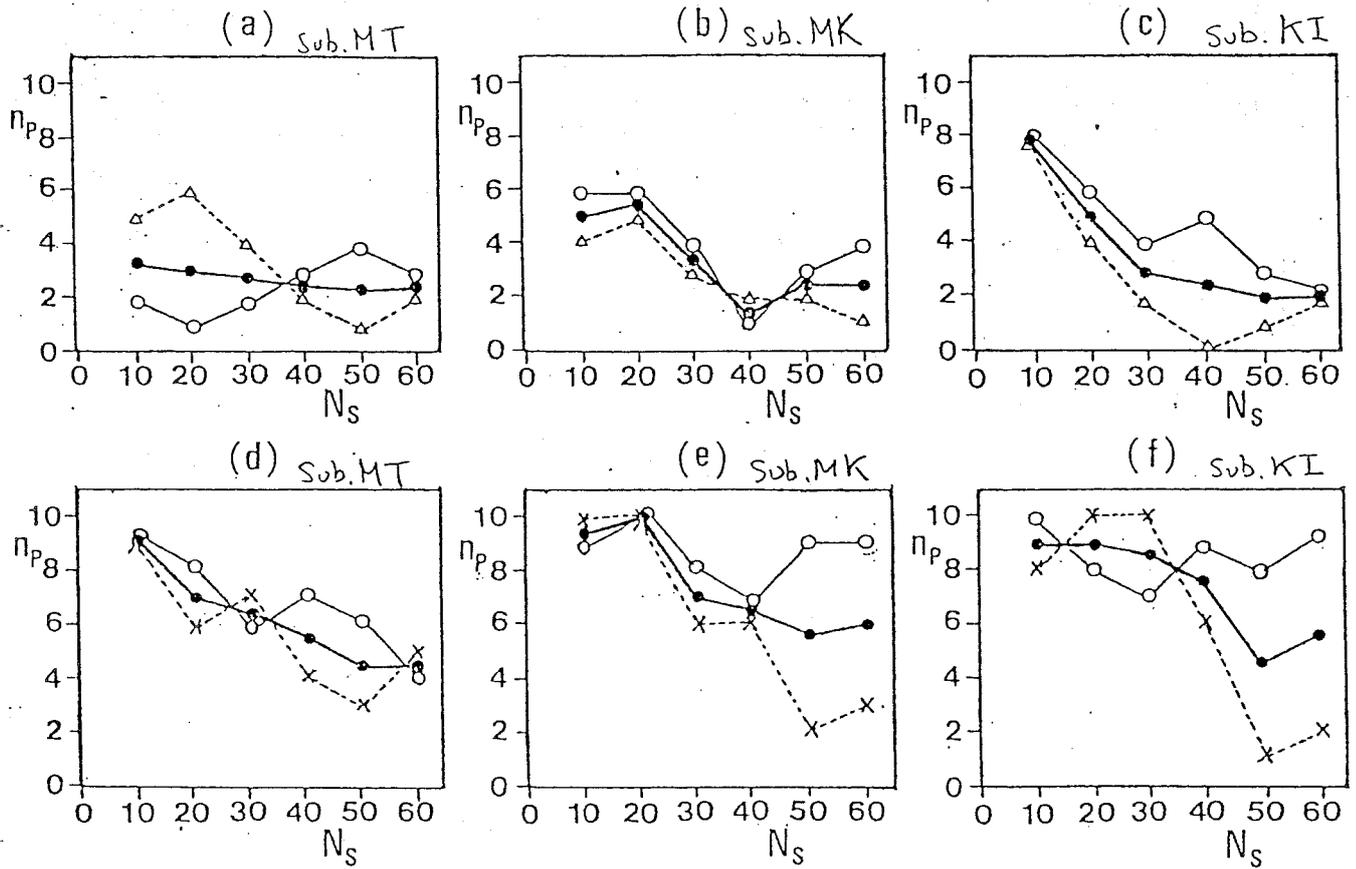


図10 呼吸同期を行わない場合と行った場合の刺激法に対する二オイ認知回数比較

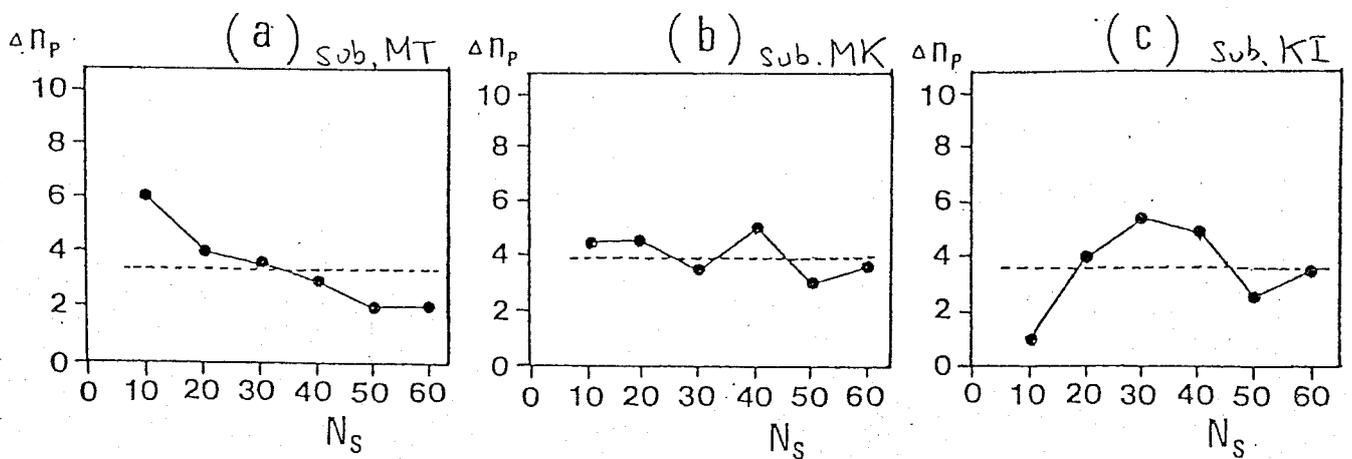


図11 呼吸同期式刺激と非同同期式刺激に対する平均認知回数の差

$$(\Delta n_p = \bar{n}_{ps} - \bar{n}_{pc})$$

は最初ニオイを認知した回数 n_{pc} の平均値がそれぞれ

5回、8回と高く、次第に n_{pc} が減少するのに対し、被

験者 MT は最初から平均3回と低い。

一方、呼吸同期式ニオイ刺激法の場合、ニオイ刺激回

数 N_s に対する同じ被験者3人のニオイ認知回数 n_{ps}

の変化を図10の d), e), f) にそれぞれ示す。各被験者

とも、日を変えて2回反復し (○FPと×FP) からの

平均値を●FPで表わした。この結果は、いずれの被験

者もニオイ刺激回数 N_s の増加に対し、次第に認知

回数が減少する傾向を示しているが、呼吸同期式刺激

法では最初のニオイ認知回数 n_{ps} は、ほとんどすべてこの

刺激を認知できるほど高い。

そこで、各被験者ごとに、呼吸同期を行った場合と行わ

ない場合のニオイ認知回数の平均をそれぞれ \bar{n}_{ps} 、 \bar{n}_{pc}

とし、これらの差を Δn_p とすると、

$$\Delta n_p = \bar{n}_{ps} - \bar{n}_{pc} \quad (1)$$

3人の被験者に対して計算したニオイの認知回数 n_p の

平均値の差 Δn_p を図11のa), b), c)に示した。

いずれの被験者も呼吸同期式刺激法が、非同期の

単純反復ニオイ刺激法よりも、すべての刺激範囲で、

認知回数が上まわっている。3人の被験者MT, MK,

KIに対する Δn_p のそれぞれ平均は3.5回, 4回,

3.5回であり、これによって呼吸同期方式による刺激

法84, 85の有効性が確認された。また、図10の結果から、

呼吸同期式刺激法は、これを用いない、単純な反復刺

激法に比べて、刺激10回ごとのニオイ認知回数 n_{ps}

が大きい。このことは、一定のニオイ認知回数に達する

までの実験時間が短縮され、それだけ被験者の

疲労を少なくすることができる。

図12は、呼吸同期式ニオイ刺激法の実験の場合に、

単純な加算を行った場合の加算波形 a) と、被験者に

よるニオイ認知信号に基づく加算波形 b) との比較を

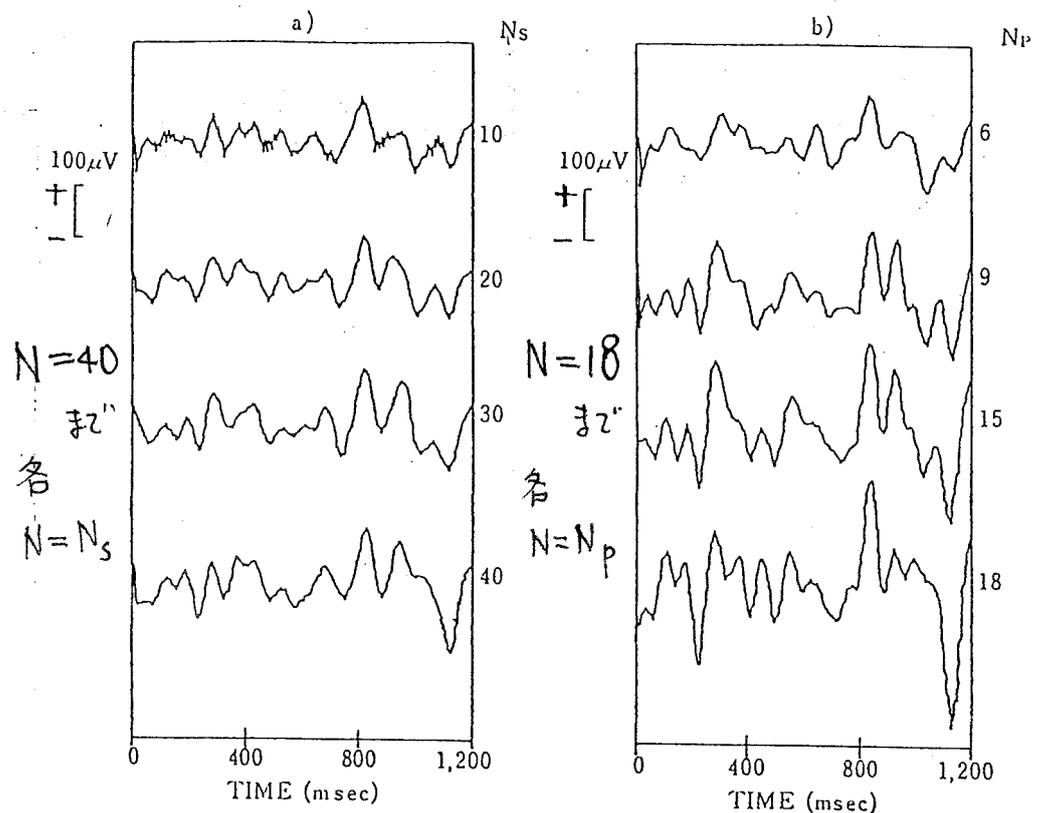


図12 呼吸同期式ニオイ刺激法に、ニオイ認知式波形加算法を行った場合の交効果
 a) : 単純加算, b) : ニオイ認知加算
 (ニオイはアミールセテート)

行ったものである。図12-a)の波形の右端の数字は、加算回数(刺激回数)

$N_s (= \sum n_{pc})$ である。a)では加算回数が増加しても加算波形の800

~820ミリ秒の陽性ピークは余り増大していかない。これに対し

図12-b)では、ニオイ認知信号に基づいて加算波形であり、

右端の数字は、加算回数(累積のニオイ認知回数)

$N_p (= \sum n_{ps})$ を示す。この方式では、加算回数の増加に

伴って約800~820ミリ秒の陽性生反応ピークが顕著に

成長する結果が示されている。以上の結果は、呼吸同期

式ニオイ刺激法に基づきながら、被験者によるニオイ認

知式波形加算法を行うことがより有効である^{84,85)}ことを示

すものである。

2.5 嗅覚誘発電位測定における雑音の除去

感覚性誘発電位の測定では、同一刺激を繰り返して
応答電位の波形に対し、加算処理を行う。一般に同一信号
波形中にランダム雑音が混入している場合、加算回数 N が
大きい程、応答電位の S/N 比は良くなり、統計学的には
 \sqrt{N} 倍の改善が見込まれる。しかし次の章で述べるよ
うに反復刺激に対する嗅覚疲労等のために、嗅覚誘発
電位測定では反復刺激回数をむやみに多くするのが困
難のようである。2.4 で述べた被験者によるニオイ認知
式波形加算法は、こうした点を踏まえてより雑音の少ない
誘発電位を選択的に波形加算して S/N 比の向上を
はかった1つの試みであった。このような応答電位の雑音除去
技術には、フィルタリング処理等もあるが、ここでは、嗅覚誘
発電位の測定を行う際、実験技術上において極めて
問題となるいくつかのアーティファクトについて検討し、それ
ら⁸⁶⁾を除去するために行った対策並びに測定法について

述べる。

2.5.1 眼球運動並びにまばたきの影響

誘発電位測定で常に問題となるのは、被験者の体、手足
あるいは顔の表情変化等に伴って測定波形に混入してくる筋電
によるアーティファクトである。これを避ける方法は、できる
だけ被験者が、手足、体、頭等を動かさないようにして
測定を行うことである。このため、我々の測定では、被験者
は楽な姿勢でやや後ろ斜めにゆったりとイスに腰をかけ、
頭はイスにつけられたイスの背側上のマクラに固定して体を
動かさないように指示を与え、筋電の混入防止に努めた。

次に、被験者の眼球運動とまばたきの影響について

83, 86)

検討した。耳の後ろ乳突起部の位置に基準電極を設置し、正中前頭

部(F_z)と、正中中心部(C_z)の二ヶ所に探索電極を

取りつけて記録した。また、眼球運動やまばたき

の検出は右眼の上、下及び、両眼の外側左、右に

電極を取りつけ、縦方向および横方向の EOG (眼

球運動電位図) を、上記脳波と共に同時記録した。

図13には、(イ) 眼の左右運動、(ロ) 眼の上下運動、および

(ハ) まばたき、が脳波に及ぼす影響を示した。この結果

から言えることは、1) 眼球運動やまばたきの影響は大きく、無視

できないア-テ-ファクトが脳波に混入する。2) 眼球運動は左右

運動よりも上下運動が鋭くて大きなア-テ-ファクトを生じる。3) 全

般に正中中心部へのア-テ-ファクト混入は、正中前頭部への混入より

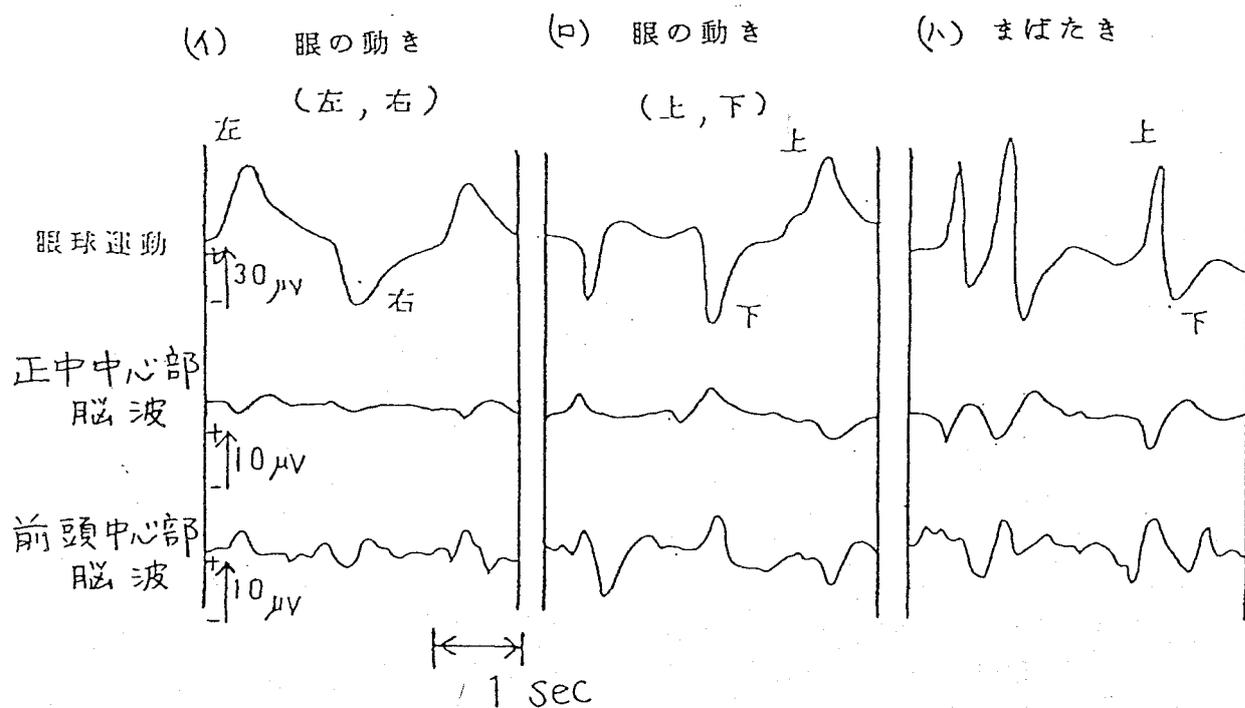


図13 嗅覚脳波測定における
眼球運動、まばたきのノイズ

も小さい。4) まばたきは、極めて大きな鋭いアーティファクトを生じる。

以上の検討により、眼球運動やまばたきが脳波中にアーティファクトを生じることが明らかであるから、これを除去するため、以下の対策を講じた。

1) 被験者には測定中前方の壁に設けた固視点を見るように指示し、眼を動かしたり、まばたきをしないようにさせた。

2) 縦方向および横方向のEOGの測定を行ない、誘発電位、呼吸同期ハルス信号、心拍認知信号と共に7チャンネルのデータレコーダにこれらを同時記録した。再生の時、EOG記録をオシロスコーフ上にモニターし、眼球運動あるいはまばたきが検出された場合、これを含む誘発電位については、波形加算から除外し、ノイズの混入を防止した。

2.5.2 白色雑音による音のマスクング

嗅覚誘発電位に混入する了一声・ファク外の第2の大きな原因は嗅覚刺激装置の電磁弁の音の影響である。電磁弁の開閉の際に発生する音は、パイプを伝って無臭室の中に入ってしまうため、被験者が耳栓をしてもその音を完全に遮断することができなかった。そこでこの電磁弁音をマスクングする方法として、白色雑音発生器によって発生させた50kHzの白色雑音を磁気テープに取り、これをスピーカで再生して連続的に被験者に聞かせた。

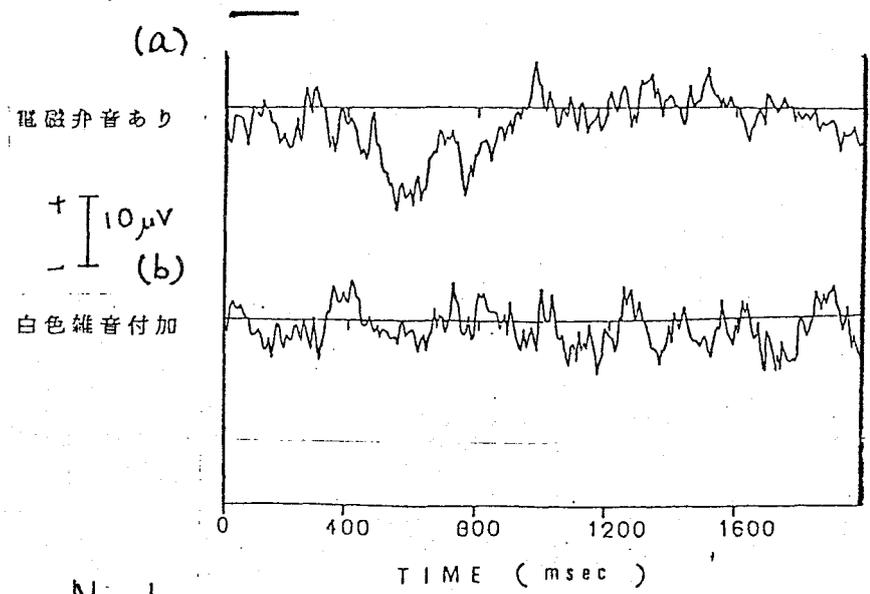


図.14 白色雑音による電磁弁音のマスクング
 (図中左上方の横棒は 200 msec の電磁弁音。
 刺激は蒸留水、正中中心部で誘発電位を記録)

図.14は a) 電磁弁音が聞える場合の正中中心部の誘発電位応答、
b) 白色雑音付加によって、電磁弁音をマスキングした時の正中
中心部の誘発電位応答の結果を示す。同様の結果は2名の
被験者について同様に得られた。また、白色雑音を聞かせ
ることによって電磁弁の音は被験者にまったく意識されず、
誘発電位中に混入する音の影響が除去された。

2.6 嗅覚誘発電位の記録

嗅覚誘発電位の記録法は次の手順により実施した。実験に際して
はあらかじめ各被験者が正常嗅覚者であることを確認するため、
現在耳鼻咽喉学会で認められ、厚生省より認可された
唯一の嗅覚テスト法である「T&T式オルファクトメータ」によるテスト
を実施した。

誘発電位の測定には、ベッファマン(株)社製の10mm径の脳波
用血電極を用いた。この血電極の電極部は銀塩化銀で作ら
れている。導電性ペーストを用いて被験者の頭皮上に接着して
張りつけるが、この時接着部位の髪の毛を剃り、電極の密着を良くした。

通常、皮膚阻抗値は $4 \sim 7 \text{ K}\Omega$ であった。基準電極

も同様の銀電極と導電ペーストを用い、左耳後方の側頭

骨乳突起部 (mastoid Process) 上に張りつけた。

電位は生体用増幅器 (isolation Amp.) により増幅

し、High-cut は 100 Hz 、Low-cut は時定数

0.3 秒に設定して記録した。誘発電位の記録は

図 9 に示したように一たんデータレコーダに記録され、

データ処理の時には、モニターで波形の状態を見ながら

再生され、計算機を用いて、刺激後 2 秒間の

波形を $500 \mu\text{s}$ ごとに A/D 変換して求めた振幅値

データをメモリ内に蓄積し、波形の平均加算処理

が行われた。通常、呼吸同期刺激法によって被

験者のニオイ認知信号に基づき誘発電位の波形加

算が実行された。以後の記述で測定された嗅覚誘

発電位という時は、一般に上記の方法によって求められた

加算波形のことを指す。

2.6.1 基準導出法と双極導出法の比較

嗅覚誘発電位の測定を行う場合の重要点は、次のようである。

1) どのような導出記録法が適しているか。

2) 頭皮上のどの部位からの記録が適しているか。

一般に脳波を記録する場合の導出法には、基準導出法

(referential derivation) と双極導出法 (bipolar

derivation) がある。基準導出法は頭皮上においた

探索電極と耳の後部の乳突起部においた基準電極との間の電

位を記録する方法である。通常、正中線に対し反対

側の耳の後部にアースを取っている。この方法では、探索電極

の下にある大脳部位の電位変動の絶対値を記録

することができる。他方、双極導出法には基準電極が

なく、頭皮上の異なる部位においた2つの探索電極

間の電位変動が記録される。この方法では、脳波

波形の形や振幅の絶対値を求めるのではなく、2つ

の部位間の相対的な電位差の変動が記録される。

双極導出法で各部位間

の電位差を二次元的に調べ

ると、大脳の局所的な部位

での電位変動が、局在性脳

波変動としてとらえられる

という長所がある。

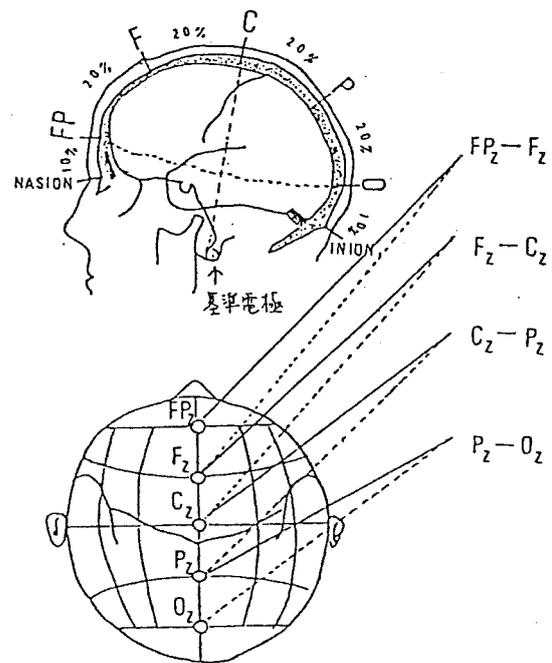


図15 基準導出法(上図)と
双極導出法(下図)

嗅覚誘発電位の記録

法を検討するため、頭皮上

に設置した電極の配置は

国際10-20システムに従い、基準導出法では、探索電極の

部位として、 F_z 、 C_z 、 P_z 、 O_z の正中線上に設置して

記録した。また、双極導出法では、 FP_z-F_z 、 F_z-C_z 、

C_z-P_z 、 P_z-O_z のそれぞれの部位間の電位差の変動をそれぞれ

記録した。各々20回の嗅覚刺激に対する脳波の

加算を行ない、刺激に対する応答波形をそれぞれ比較検討

86) した。図15には、基準導出法及び双極導出法のこれらの電極位置を示す。

図16はニオイ物質としてアミルアセレートを用いて、同一被験者に対し、基準導出法および双極導出法で嗅覚誘発電位を記録した各測定部位での応答波形の比較である。

日の異なる測定の結果を各部位ごとに、基準導出法では2回、

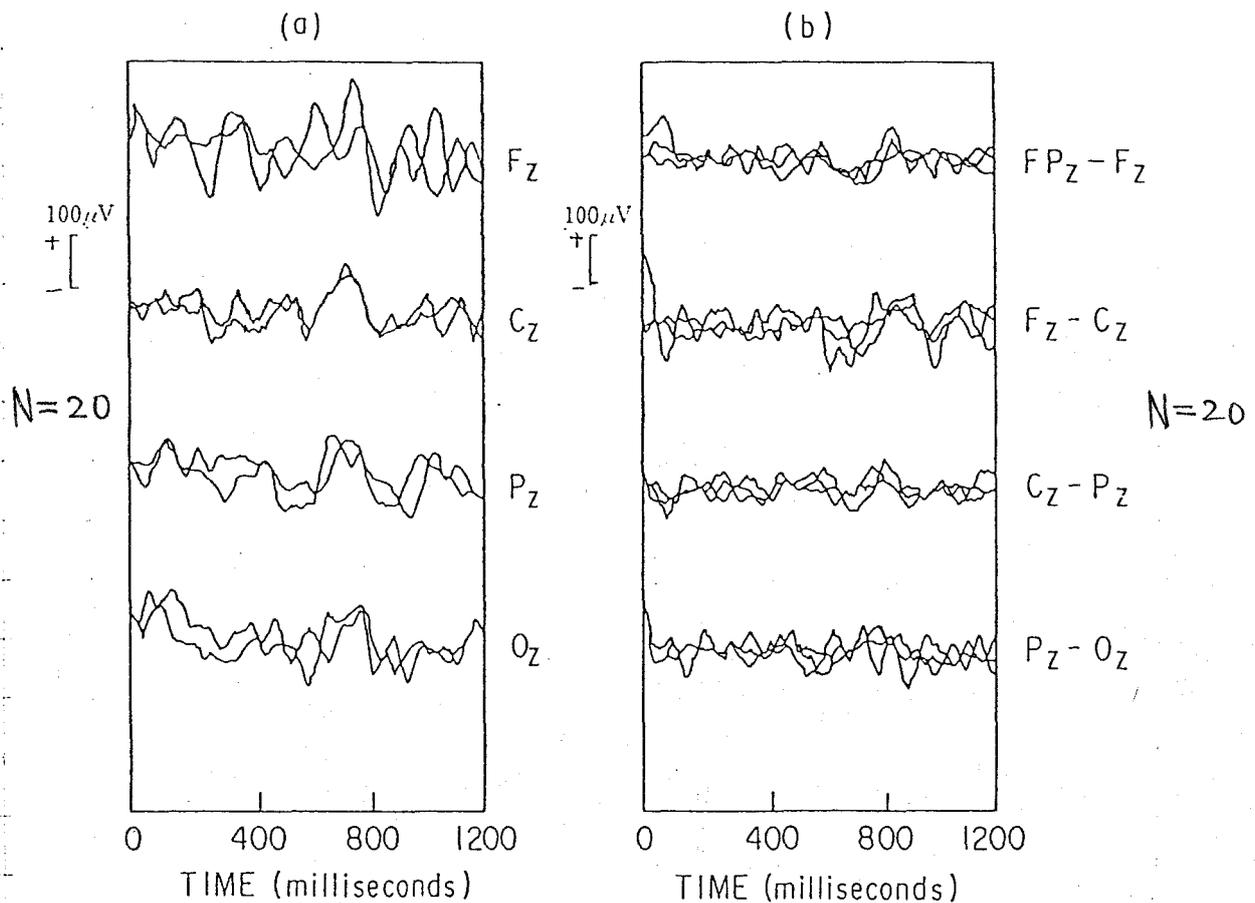


図16 基準導出法と双極導出法による各部位の嗅覚誘発電位の波形比較 (N=20)

(a) 基準導出法, (b) 双極導出法

双極導出法では3回くり返して、これらの重ね書きを同

一の図上に示した。各曲線はそれぞれ20回の加算波形で

ある。これらの測定結果より次のことが明らかとなった。

1) 基準導出法では、嗅覚刺激に対する応答波形の

振幅が大きい。いずれの部位にも刺激の応答

が得られているが、特に C_2 (正中中心部) におけ

る応答ピークの波形は、くり返しの再現性が良く

潜時が一定であり、安定している。

2) 双極導出法では、嗅覚刺激に対する応答波形の

振幅が小さく、再現性が悪い。また後方の部

位では、しばしば α 波が大きく混入した。

一般に双極導出法では、眼球運動やまばたき

の影響が少ないと言われているが、やはりこの方法

でも眼球運動やまばたきによる電位波形のアーティ

ファクトは避けられなかった。基準導出法、双極導出

法のいずれも、前頭部に近い部位では、眼球

運動やまばたきの影響を受けやすかった。

以上の結果にもとづいて、嗅覚誘発電位の記録法には、基準導出法を用い、また頭皮上の記録部位は正中中心部 (C_z) において測定する方法を採用することにした。

その理由をここにまとめると次のようである。

- 1) 応答ピークの振幅が大きい。
- 2) 応答波形の再現性が良い。
- 3) 応答ピークの潜時変動が少ない。

2.6.2 嗅覚誘発電位の再現性の検討

ニオイ刺激をすることによって人間の頭皮上より求められた誘発電位応答が嗅覚性の誘発電位であることを実証し、波形の再現性、あるいは各ニオイ物質の波形とコントロールの蒸留水の波形との相違等を明らかにするため、相関分析^{81), 87)}による検討を行なった。

誘発電位の記録法はこれまで述べてきた方法にもとづいて行ない、基準導出法によって正中中心部 (C_z) と、正中前頭部 (F_z) の2ヶ所で行った。記録された波形は、刺激後2秒間を、8ミリ秒毎に250点を次々にA/D変換し、計算機のメモリ内に蓄積加算した。波形間の相関係数は以下の式によって計算を実施した。

今、ある測定された嗅覚誘発電位波形を $y_1(t)$ とし、また、別のニオイに対する誘発電位波形を $y_2(t)$ とする時、この

波形間の相関係数 R は次式で得られる。

$$R = \frac{S(y_1, y_2)}{\sqrt{S(y_1, y_1) \cdot S(y_2, y_2)}}$$

但し、

$$S(y_1, y_2) = \sum_{\lambda=1}^{\lambda=N} y_1(t_\lambda) y_2(t_\lambda) - \left(\sum_{\lambda=1}^{\lambda=N} y_1(t_\lambda) \right) \left(\sum_{\lambda=1}^{\lambda=N} y_2(t_\lambda) \right) / N$$

$$S(y_1, y_1) = \sum_{\lambda=1}^{\lambda=N} y_1^2(t_\lambda) - \left(\sum_{\lambda=1}^{\lambda=N} y_1(t_\lambda) \right)^2 / N$$

$$S(y_2, y_2) = \sum_{\lambda=1}^{\lambda=N} y_2^2(t_\lambda) - \left(\sum_{\lambda=1}^{\lambda=N} y_2(t_\lambda) \right)^2 / N$$

図17は、アミールアセテートのニオイ刺激による誘発された同一被験者の嗅覚誘発電位波形の例である。

アミールアセテートのニオイ濃度 0.1% に対し、頭皮上の正中中心部 (C_2) と、正中前頭部 (F_2) で記録されたもので、各波形は20回の加算波形であり、異なる日に測定された2回測定の結果を同一時間上に重ねて図

示した。

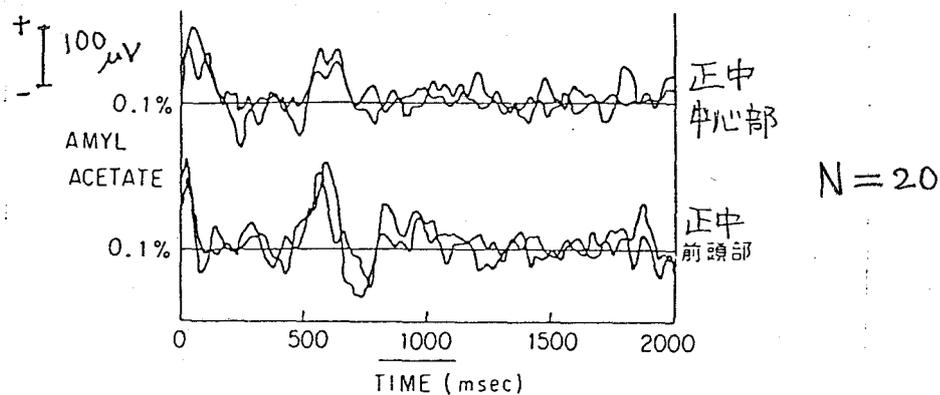


図 17

アミールアセテート(濃度0.1%)に対する誘発電位の刺激後0-2秒間の波形の再現性
 被験者 M.T

図17の測定結果は、刺激後2秒間の波形の記録であるが、刺激後1秒以内に認められる大きな振幅の応答ピークが、ニオイ刺激の応答であると思われる。明らかに、刺激後、1-2秒間の波形の振幅は小さく、またランダムな波形であるので、ニオイ刺激の応答として得られる情報は刺激後1秒以内に出現するものと考えられる。これを上記の相関係数の計算式に従って、解析時間 0-1秒、および 0-2秒のそれぞれについて計算した。解析時間 0-1秒

では $N = 125$, $0 - 2$ 秒では $N = 250$ として計算

した。これらの相関係数の計算は、濃度 10% に対しても

測定し、求めた同様な嗅覚誘発電位の波形にも適

用し、それぞれ2回測定波形の再現性結果を表2に示した。

表2 アミールアセートのニオイ刺激による嗅覚誘発電位の2回測定波形間の相関係数 (R)

測定部位	正中前頭部 (F_z)		正中中心部 (C_z)	
ニオイ濃度 解析時間	0.1%	10%	0.1%	10%
0 - 1 秒	0.66	0.72	0.64	0.62
0 - 2 秒	0.51	0.49	0.52	0.45

表2の結果は、正中前頭部、正中中心部のいずれにおいても、濃度 0.1% および 10% に対し、解析時間 $0 - 1$ 秒の方が、 $0 - 2$ 秒の場合よりも、いずれも相関係数が大きい。これらの結果より、ニオイ刺激の応答を顕著に示すニオイの情報は、大略刺激後 1 秒間の誘発電位波形中に含まれていると考え

られる。

また、同一被験者において、コントロールとして蒸留水
 に対する誘発電位を測定し、異なった日に得られた2回
 測定のコントロール波形間の相関係数を計算する
 と、0-1秒間、0-2秒間いずれの相関係
 数も余り大差なく、正中前頭部あるいは正中中部にお
 ける結果は $R = 0.3 \sim 0.4$ 程度の結果
 が得られた。これは、コントロールの蒸留水の誘発電
 位では顕著な再現性ある応答ピークが認められ
 ず、0-1秒間も1-2秒間もほぼランダム
 な応答電位波形であることを示唆している。

以上の相関係数の計算、および解析時間
 範囲を分割した検討によつて、測定された誘発
 電位が嗅覚性の誘発電位であり、主として刺激後
 1秒内に顕著な応答が得られるものと推定される。

2.6.3 ニオイ濃度による嗅覚誘発電位の変化

嗅覚誘発電位がまさにニオイの刺激に対する応答であって、他の刺激による応答や、アーチ・ファクトではないことを明らかにするため、ニオイの濃度変化に対して誘発電位の波形がどのように変化するかを調べた。^{84,85)}

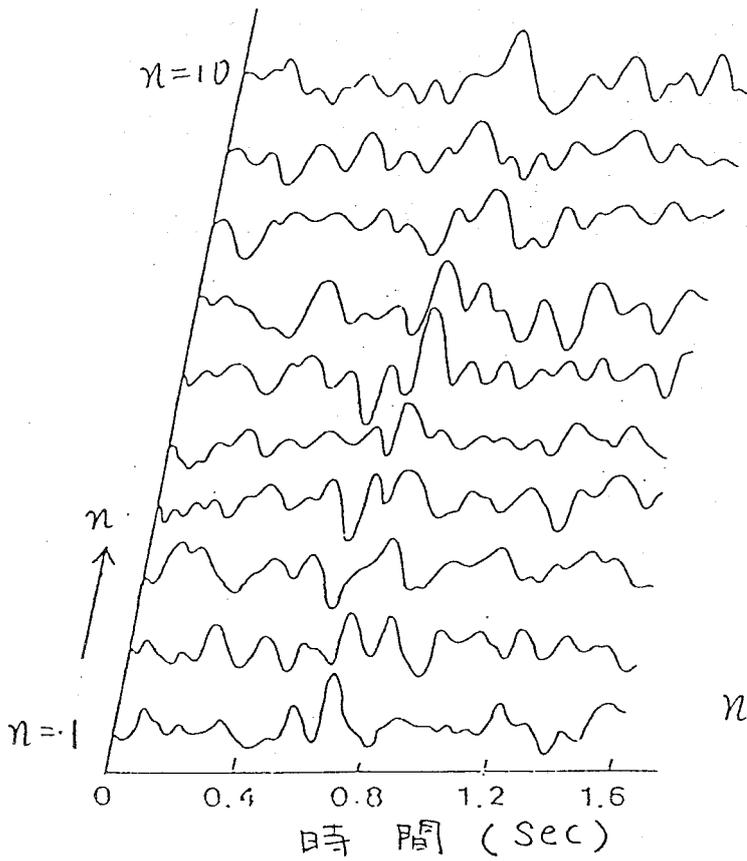
ニオイ物質として、バナナ様の甘いニオイのあるアミールアセテートを用い、このニオイの濃度を $10^{-3}\%$ から 10% まで10倍単位の濃度変化で5段階変化させ、ニオイ刺激に対する嗅覚誘発電位を測定した。電位は基準導出法によって、頭皮上の正中中心部(C_z)から記録した。また、測定は、呼吸同期式刺激法を用い、雑音除去のために、被験者には白色雑音を連続的に聞かせて、音のマスクングを行なうと共に、EOG電極を用いて、眼球運動やまばたきのモータを行ない、これらのアーチ・ファクトの混入を防止した。

図18の(a), (b), (c), (d), (e)の各図は、アミールアセテートの濃度が順に、10%、1%、 10^{-1} %、 10^{-2} %、 10^{-3} %の場合のそれぞれに対して、測定して得られた嗅覚誘発電位の応答波形の一例を示したもので、各波形は、加算前の $n=1$ 、 \sim 、 $n=10$ までの10回分の生波形を示した。これらの波形応答から、約、700～900 msecの時間範囲に顕著な振幅の応答変化が見られる。そしてこの振幅応答は特に、10%及び1%の濃度において明瞭に認められた。

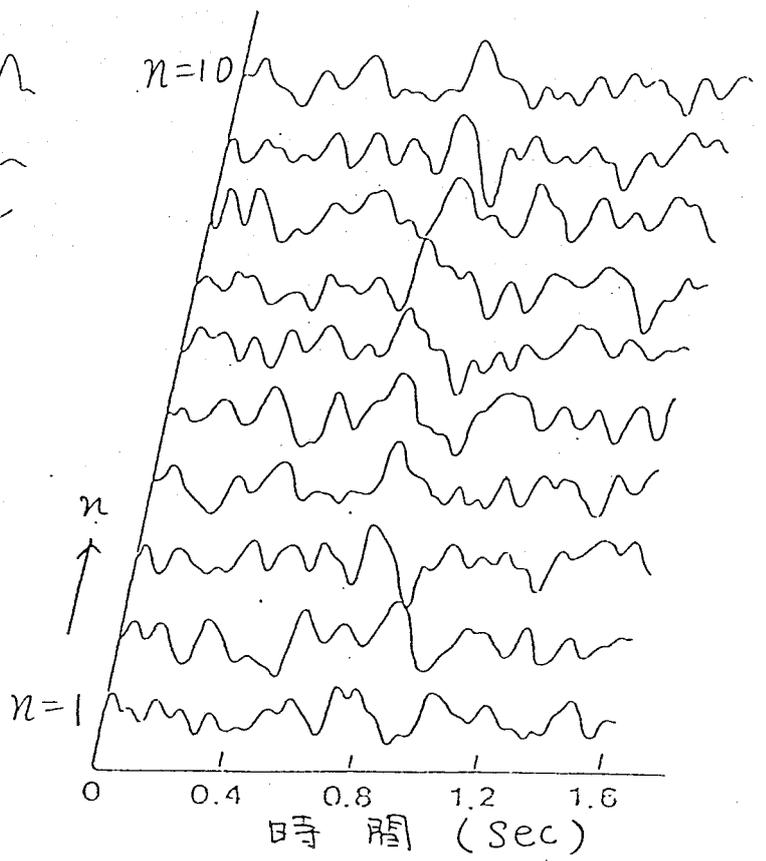
このようにして、測定した、同一被験者の各ニオイ濃度に対する嗅覚誘発電位の波形を、20回加算して各濃度刺激の加算波形を求め、異なった日の2回測定結果を重ね書きして図19に示した。

図19のニオイ応答波形の中で、最も振幅変化が顕著な応答を示す陽性のピーク成分を P_2 、その前後の陰性のピーク成分をそれぞれ N_1 、 N_2 と便宜上名づけることにする。また N_1 より前にわずかに認められる

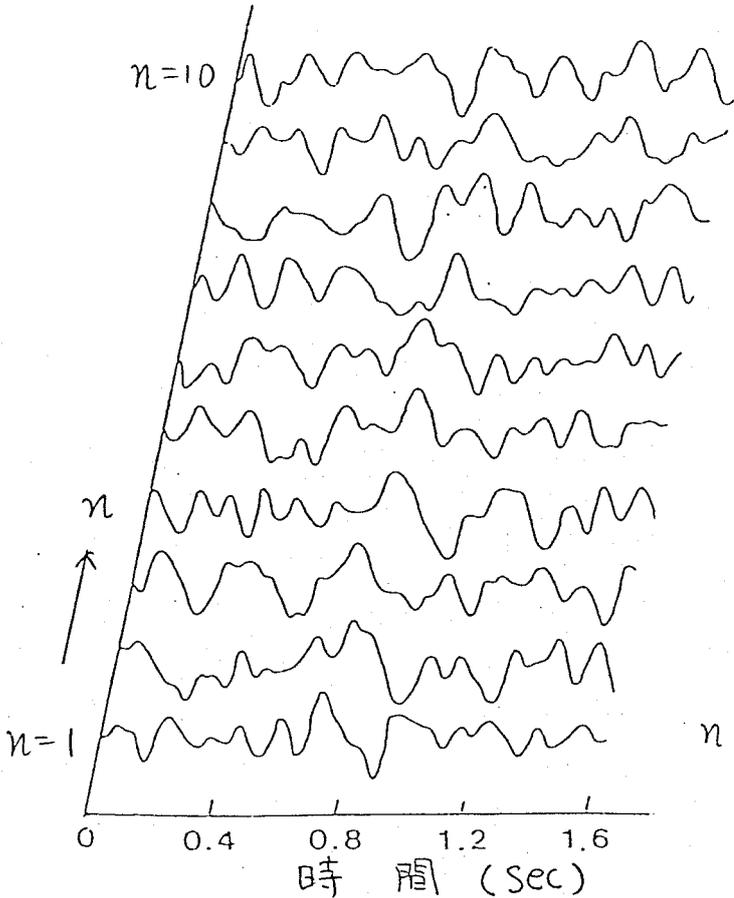
(a) 濃度 10%



(b) 濃度 1%



(c) 濃度 10^{-1} %



(d) 濃度 10^{-2} %

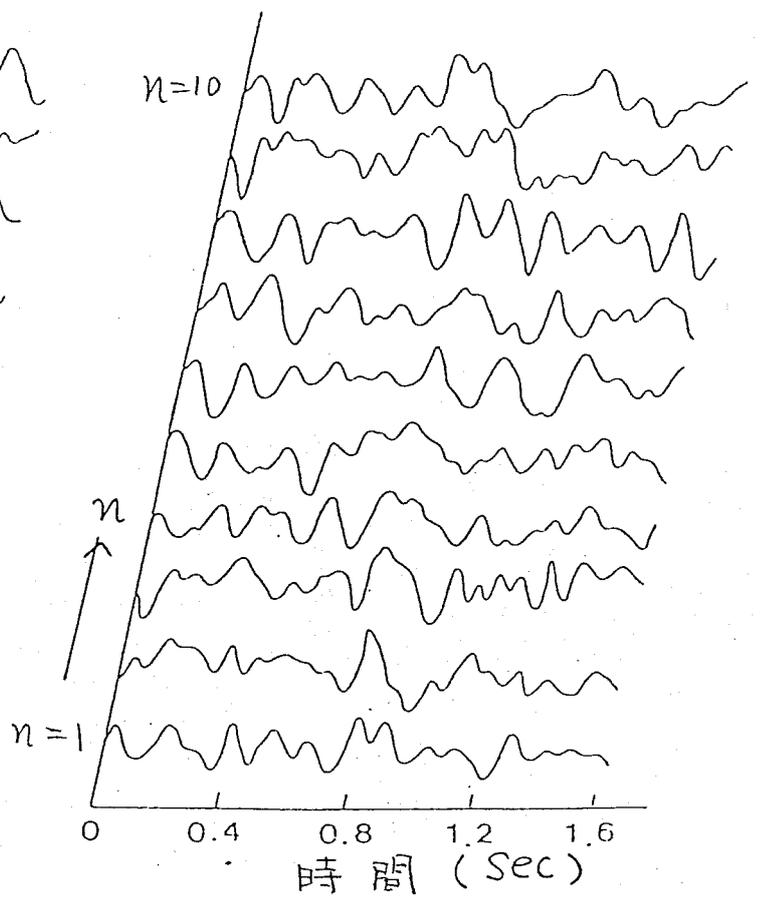


図18 アミルアセートの各ニオイ濃度に対する嗅覚誘発電位波形

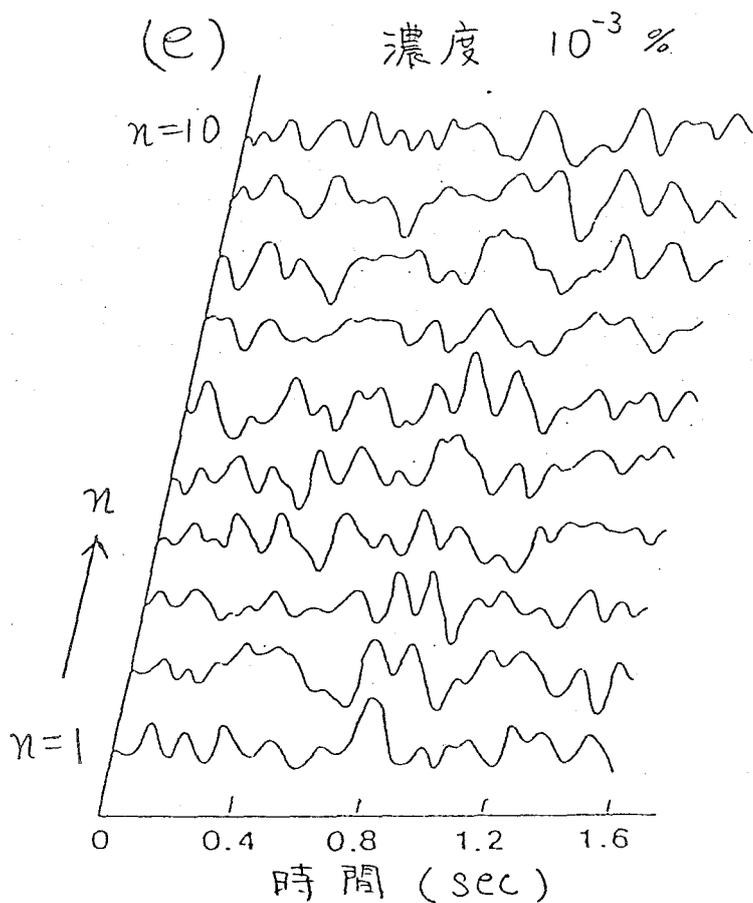


図18 アミルアセテートの各ニオイ濃度に対する嗅覚誘発電位波形

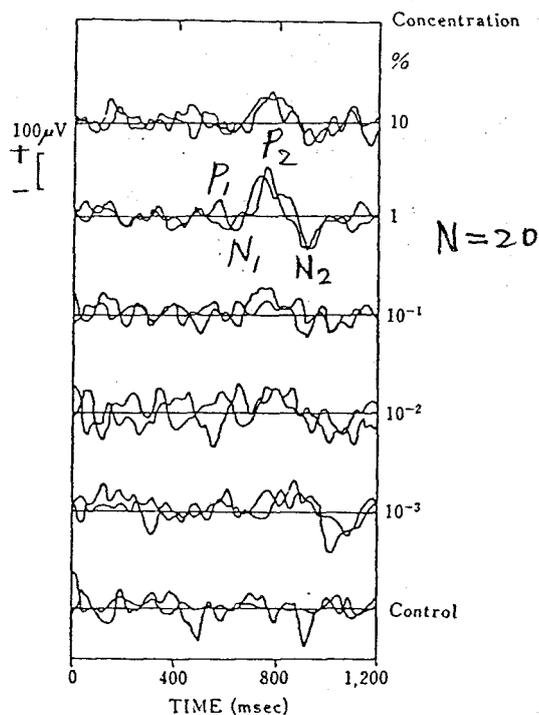


図19 嗅覚誘発電位の加算波形のニオイ濃度による変化 (N=20)
 (ニオイ: アミルアセテート)
 コントロール: 蒸留水
 被験者: MT

陽性のピーク成分を P_1 と定義することにする。図19からニオイ濃度の増加に対して、 P_2, N_1, N_2 のそれぞれのピークの振幅値が増大する様子が見られるが、ニオイの濃度に対する嗅覚誘発電位の応答波形の振幅値変化の傾向を調べるため、図19の嗅覚誘発電位の加算波形の各2回測定の前平均を求めた。図20はこうして求めた各ニオイ濃度に対する平均波形を示す。次に図20の平均波形から、 P_2-N_1 , および P_2-N_2 のそれぞれの頂点間振幅値変化

を求め、図21に図示した。

この結果は、ニオイ濃度
の変化に対する、嗅覚誘
発電位の応答振幅値の
変化の特徴を表わして

おり、ニオイ濃度の対数
的增加に対して、平均
波形の頂点間振幅値

P_2-N_1 , および P_2-N_2 と
もに、ほぼ比例して増大
することを示している。⁸³⁾

これは感覚の刺激と応答
に関する Weber-Fechner

則に適合している。これら

のピーク成分の時間遅延は、ほぼ一定で傾向的变化は明らかで

なかった。図19に示した加算波形の個別の波形では、濃度

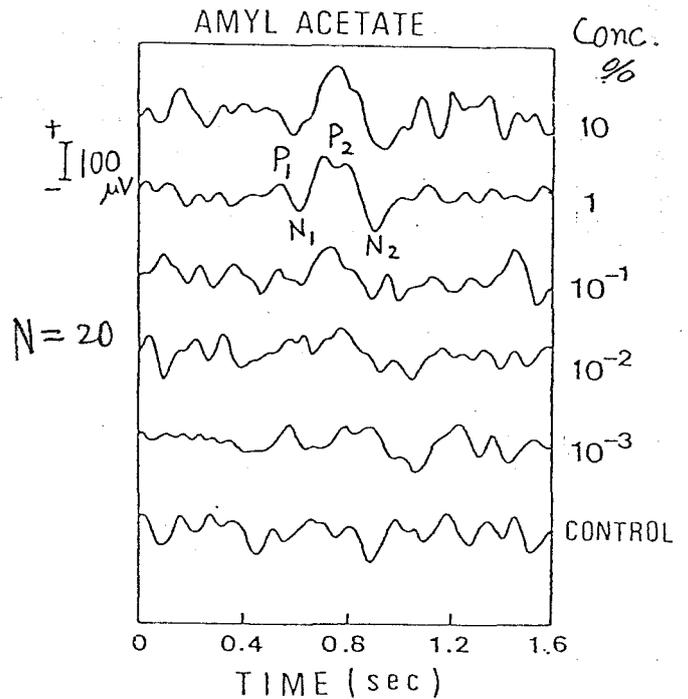


図20 アミルアセートのニオイ濃度に対する嗅覚誘発電位の平均波形の変化 (コントロールは蒸留水)

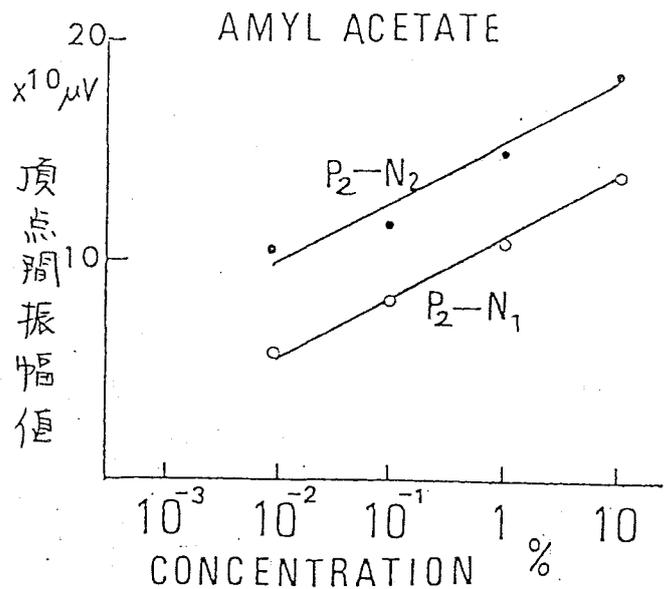


図21 嗅覚誘発電位の平均波形の応答振幅値の濃度による変化

10%については、応答ピーク P_2 の成分の振幅値に関して飽和の傾向が観測された。

以上のニオイ濃度による応答波形の振幅値変化の検討により、誘発電位波形の Dose Response が確認され、測定された波形が、ニオイ刺激による嗅覚性誘発電位の応答波形であることが明確となった。

2.7 刺激遅れ時間の推測と夏の潜時の推定

嗅覚誘発電位の応答波形は、図 20 のように得られたが、その中心的な応答成分である陽性成分 P_2 の潜時は、約 730 ミリ秒から 830 ミリ秒の範囲に観測される。しかし、これにはニオイ刺激装置の電磁弁から鼻までまでの導入管による遅れ時間が含まれてい

る。そこで、刺激の遅れ時間を測定するために、

新コスモス電気(株)社製の SnO_2 吸着効果トランジスタ (AET) ^{62), 63)} を検出器として用いて実験した。 ⁸³⁾

この素子はガスセンサとして作られたもので感度が高く、応答速度も速い。薄膜型で常時ヒータ電圧 6.65 VDC を印加し、約 715 mW のパワーに対し、テフロンシステムの基板温度 500°C に高温保持されているので、ガスの吸着反応速度が高められている。この素子のガス吸着特性を考慮して、刺激の伝達時間測定にはエタノールを使用した。測定は、内径 5 mm の伝導パイプを用い、その長さを 20, 70, 113, 163 cm と変え、素子による応答の立ち上がりまでの時間を測定した。

図 22 は SnO_2 ガスセンサによる刺激の遅れ時間の測定を示したものである。伝導パイプの長さを $l = 113 \text{ cm}$, 163 cm にした時、 SnO_2 素子 (AET) の応答を上段に、エタノールの刺激時間を下段に示した。

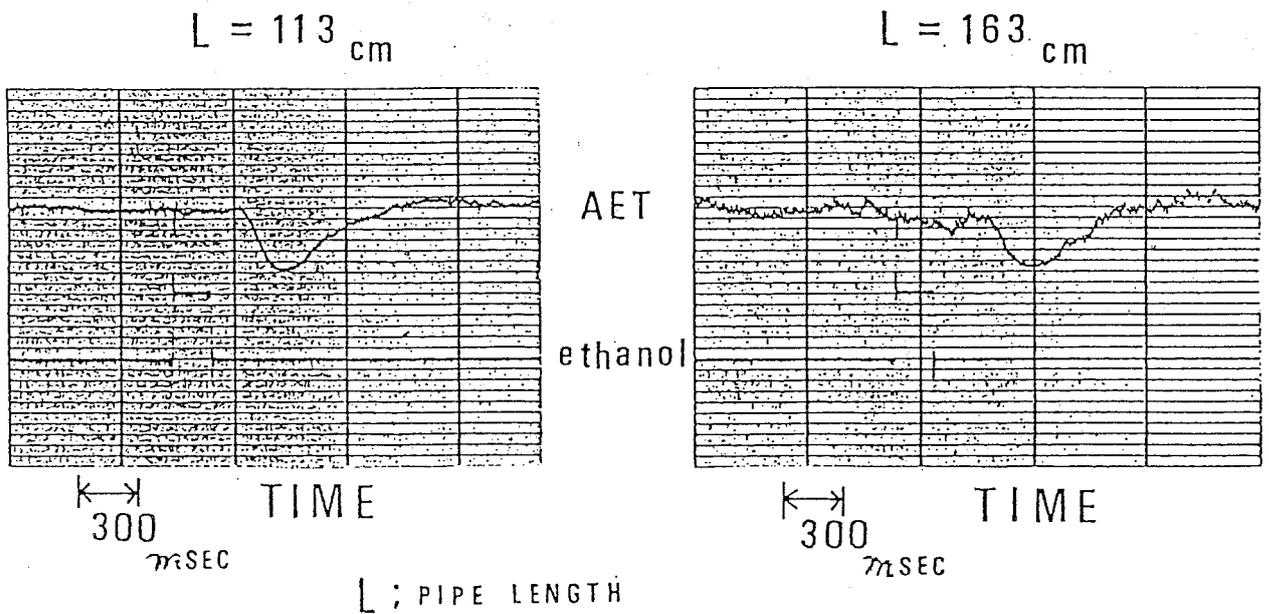


図 22 SnO_2 センサによる利敏遅れ時間の測定

次に、このようにして得られた結果から、伝導パイプの長さの変化に対する素子の応答時間変化をプロットし、図 23 に示した。各長さに対し、それぞれ 2 回ずつ素子の応答時間を測定した結果から、伝導パイプの長さ、素子の応答時間の間に直線関係が得られた。最小二乗法によって、この直線関係を求めると、図 23 のように得られた。この直線はほぼ原点近傍を通ることから、素子自身の時間的遅れはほとんど無視できるものと思われる。

以上の結果、われわれの
ニオイ刺激装置、測定系

においては、約 $l=160$ cm
であることから、約 490 ミリ
秒の時間的遅れのある
ことが確認された。

従って上述のニオイ応
答の陽性成分 P_2 の真の
潜時は、約 240 ミリ秒
から 340 ミリ秒であるうと
推定される。

75)
Allison らの嗅覚誘発

電位の測定系では導入管

による遅れが 50 ミリ秒であり、これを考慮すると、彼らの測定

による P_2 の潜時は約 450 ~ 550 ミリ秒と推測される。

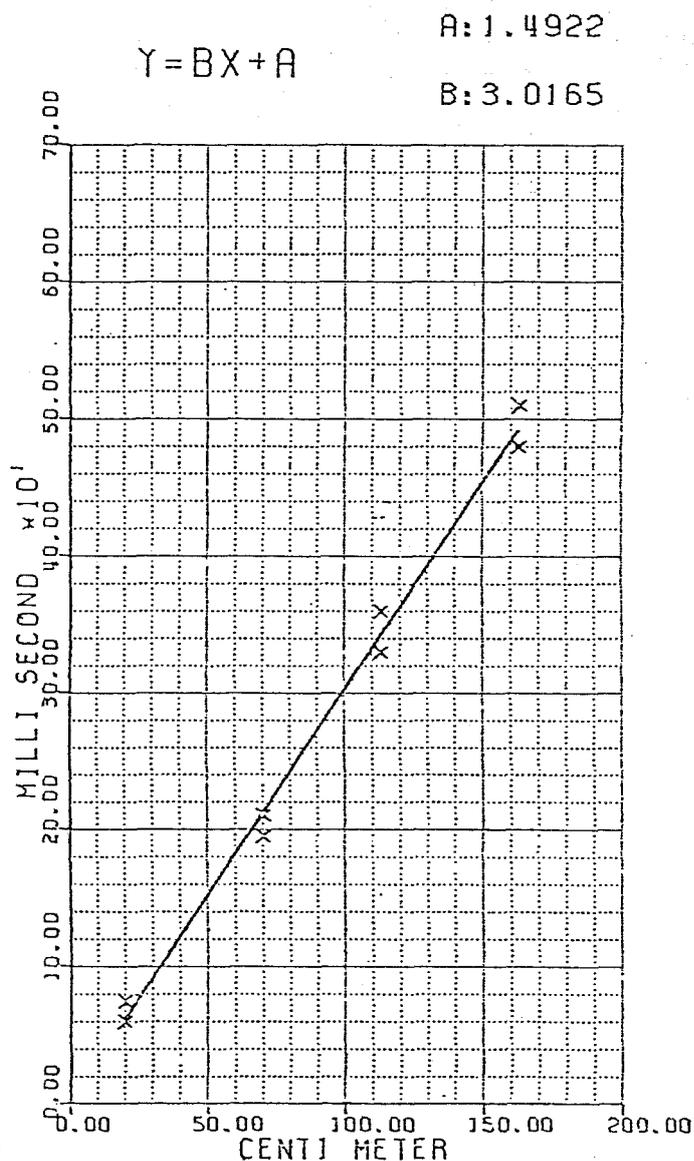


図23 伝導パイプの長さと SnO_2 センサの応答時間の直線関係

Allison らの嗅覚誘発電位の実験では、 N_1 , N_2 の負のピークの潜時は測られていない。また、嗅覚刺激装置の詳細が不明であるが、 P_2 の潜時の推測値は筆者らによる P_2 の潜時の推定値に近い結果となっている。

また、Plattig¹⁷⁾ による嗅覚誘発電位の測定では、ニオイ物質として eucaliptol を使用しているが、ニオイ応答成分として、160~250 ミリ秒のものと、310~350 ミリ秒のものを得ている。前者は三叉神経性成分と考えられており、嗅覚性応答成分は、後者の 310~350 ミリ秒と推定されている。これは、我々が実験によって求めた嗅覚性応答成分 P_2 の推定潜時 240~340 ミリ秒とほぼ一致している。嗅覚誘発電位の応答波形の顕著なピークとして我々が観測できたのは、 N_1 , P_2 , N_2 で形成される潜時が約 300 ミリ秒の陽性成分であるが、大脳嗅覚野からの電位の応答である以上、 N_1 以前に P_1 の陽性成分が存在するものと考えられる。

2.8 2章のまとめ

本章は嗅覚誘発電位実験におけるニオイ刺激法と嗅覚誘発電位の測定法について述べたが、得られた結果を要約すると次のようである。

- 1) 予備実験によってニオイ刺激法を検討した結果、圧力一定による呼吸同期式ニオイパルス刺激法が嗅覚誘発電位を得るのに最も良いことが明らかとなった。これにもとづき、ニオイ刺激装置を試作した。
- 2) 嗅覚誘発電位の再現性ある波形を得る方法として被験者によるニオイ認知式波形加算法を考案した。本手法は計算機によるデータ処理の導入によって可能となったが、単純加算法に比べ、 S/N 比の著しい向上が得られた。
- 3) 嗅覚誘発電位に対する雑音除去については、白色雑音を用いて電磁弁音のマスクングを実施すると共に、

EOG電極を用いて、眼球運動やまばたきのモニタリングを行ない、これらのアーチファクトの脳波への混入を防止した。

- 4) 嗅覚誘発電位の記録法について基準導出法と双極導出法による測定法の比較を行ない、我々の目的には基準導出法の方が適していること、および応答波形が最も安定している、再現性ある測定ができる部位として、正中中心部(C_2)が優れていることを明らかにした。
- 5) 嗅覚誘発電位の再現性を検討するため、アミールアセテートに対し、正中前頭部(F_2)と正中中心部(C_2)の電位のくり返し測定波形の相関分析を実施した。この結果、コントロールの蒸留水の誘発電位波形間では相関係数が小さく、アミールアセテートの波形間では、刺激後0-2秒内よりも、0-1秒内の方が相関係数が大きくなった。このことは、嗅覚

誘発電位の応答を実証すると共に、その応答時間範囲を示唆している。

- 6) アーリアセートに対する濃度変化について、嗅覚誘発電位の応答波形の振幅値変化を調べ、中心的な陽性成分 P_2 と陰性成分 N_1, N_2 より得られる P_2-N_1 および P_2-N_2 頂点間振幅値がニオイ濃度の対数的増加に対して、ほぼ比例して増大することを示した。

このことは、得られている応答電位波形が明らかに嗅覚応答性の誘発電位であることを示唆するものである。

- 7) ニオイ刺激発生装置の電磁弁から鼻孔までの伝導パイプによる伝達時間の推定をおこなひ、刺激の遅れ時間として約 490 ミリ秒が求められた。これにより、嗅覚誘発電位の応答 P_2 の真の潜時は約 240 ~ 340 ミリ秒と推定された。

第3章 嗅覚誘発電位による嗅覚疲労の分析

3.1 はじめに

嗅覚の著しい特徴として嗅覚疲労現象がある。^{(16), (21)}

われわれは日常、この嗅覚疲労をよく経験する。同一の

ニオイを連続してかぐと、やがてそのニオイが感

じられなくなる。

しかし、嗅覚疲労に関する研究は、これまでの文献も少^{(88), (89)}

なく、その定量的な傾向は充分明確に得られて

いないのが現状である。

この章では、嗅覚誘発電位のニオイ刺激の為に

開発した 2.2.2 の嗅覚刺激パルス発生装置を用い、被験

者の呼吸と同期させて、反復ニオイ刺激を行

い、嗅覚疲労がニオイの刺激回数に対しどのよう

にあらわれるかという定量的検討を行った。^{(20), (90)}

反復ニオイ刺激に対する嗅覚誘発電位の加算波

形を調べその波形応答と心理実験との比較も行った。⁽⁹³⁾

これらの結果から、ニオイの種類による嗅覚疲労現象の傾向、嗅覚疲労メカニズムに対する考察、及び嗅覚誘発電位の適切な加算回数についての検討を行なった。

3.2 嗅覚疲労現象

嗅覚の疲労あるいは順応または慣れという現象に
関し、現在神経生理学的に行われている区別はおお

2)

よす次のようである。1)「疲労」とはニオイ物質の刺激量

が過大なために、嗅覚受容細胞の能力の限界を超えて

応答が極端に減弱した状態であり、2)「順応」とは

刺激がくり返して持続されると、同種の刺激に対し

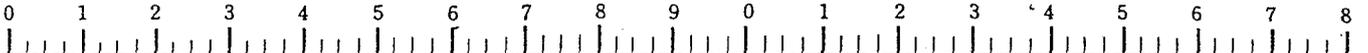
感度が極端に低下する状態で、嗅球におけるネガティブ

フィードバックによる抑制によるものと言われている。さらに3)「慣

れ」とは嗅覚高次中枢における抑制現象と考えられている。

しかし、現状ではこれらの区別は実際厳密に行われ

てはいない。恐らく嗅覚の疲労現象として出現する



状態の大部分が1)の嗅覚受容細胞のレベルで発生

している可能性が大きい。ただ動物実験による嗅覚受容

細胞の電気的インパルス応答によると、ニオイの連続的な刺

激によってインパルス数が次第に少くなり、受容細胞にお

ける嗅覚疲労をあらわすものと思われるが完全にインパ

ルスが消失することはなかったと報告されている。

嗅覚疲労についての以上の知見は、「疲労」、「順応」、

「慣れ」という定義が不十分としても、いわゆる嗅覚疲

労現象がかなりの程度、嗅覚受容器レベルで発生

しているものの、尚それ以上の中枢の関与も考慮さ

れねばならない可能性を示していると言われている。⁸⁾

図24は嗅覚

正常者による嗅覚

疲労現象について

⁹²⁾

立木によって報告

された実験例である

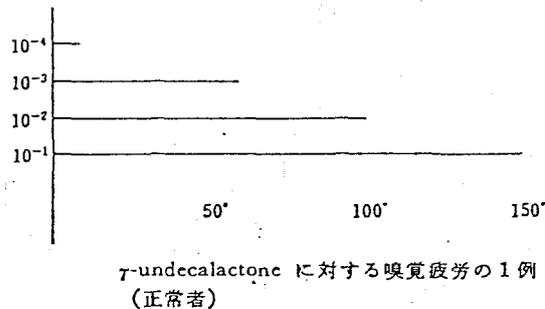


図24 嗅覚疲労の発生とニオイの濃度

(横軸は時間(秒)を示す。)

(縦軸はγ-ウンデカラクトンの濃度)

(横線はニオイ感の持続をあらわす。)

(立木⁹²⁾による)

が、ニオイの濃度が薄い場合(10^{-4})は、わずかに10秒でニオイ
の感覚が消失し、ニオイの濃度が濃い場合(10^{-1})では
約150秒間ニオイの感覚が持続した。これは日常

我々が体験する嗅覚疲労をよく説明しており、嗅覚

疲労は、弱い刺激では疲労がおこるまでの時間が短

く、強い刺激では長く時間がかかる。しかしこれ

までの研究では嗅覚疲労のニオイの種類に対する

検討は不十分である。

嗅覚疲労のさらに重要な特徴として、嗅覚疲労

が選択的疲労であるということがあげられる。全く
^{16,88)}

異種のニオイに対しては、たとえあるニオイに疲労して

いても異なるニオイは知覚することができる。しかしこの

ような選択的疲労がどのような機序のもとにおこるかは未だ

明らかとなっていないのが現状である。

3.3 反復ニオイ刺激に対する加算波形の変化

一般に感覚性誘発電位の測定では、雑音を除去して

反復加算処理することは、2.5に述べたとうりである。

しかし、嗅覚系では反復刺激に対する嗅覚疲労が著しく、

反復加算をむやみに多くすることは難しい。2.4節の

図12-a)はこのことを示しているもので、単純加算を反復しても

応答波形が余り改善されないことを示している。これに対し、

図12-b)はニオイ認知加算による波形加算を行ったもので

ある。ニオイ認知加算は、被験者がニオイを知覚する時

だけ測定波形を加算するので、応答波形のS/N比の

改善が見られた。

そこで、反復のニオイ刺激回数 N_s に対し、被験

者がニオイを認知した回数を N_p とし、 N_p に対して

図19で定義した応答波形ピークの頂点間振幅値 $P_2 - N_1$

93)
の変化を調べた。

図25は3人の

男性被験者

の名=木刺激

に対する応答波

形の P_2-N_1 位

-7の振幅値

変化を測定した

結果である。

a), b) の=木

の57に、 $N_p=10$

まではほぼ直

線的に振幅値

が増大し、 $N_p=15$

~20で、やや

飽和傾向を示すもの、あるいはc) d) のように $N_p=5$ 以上で

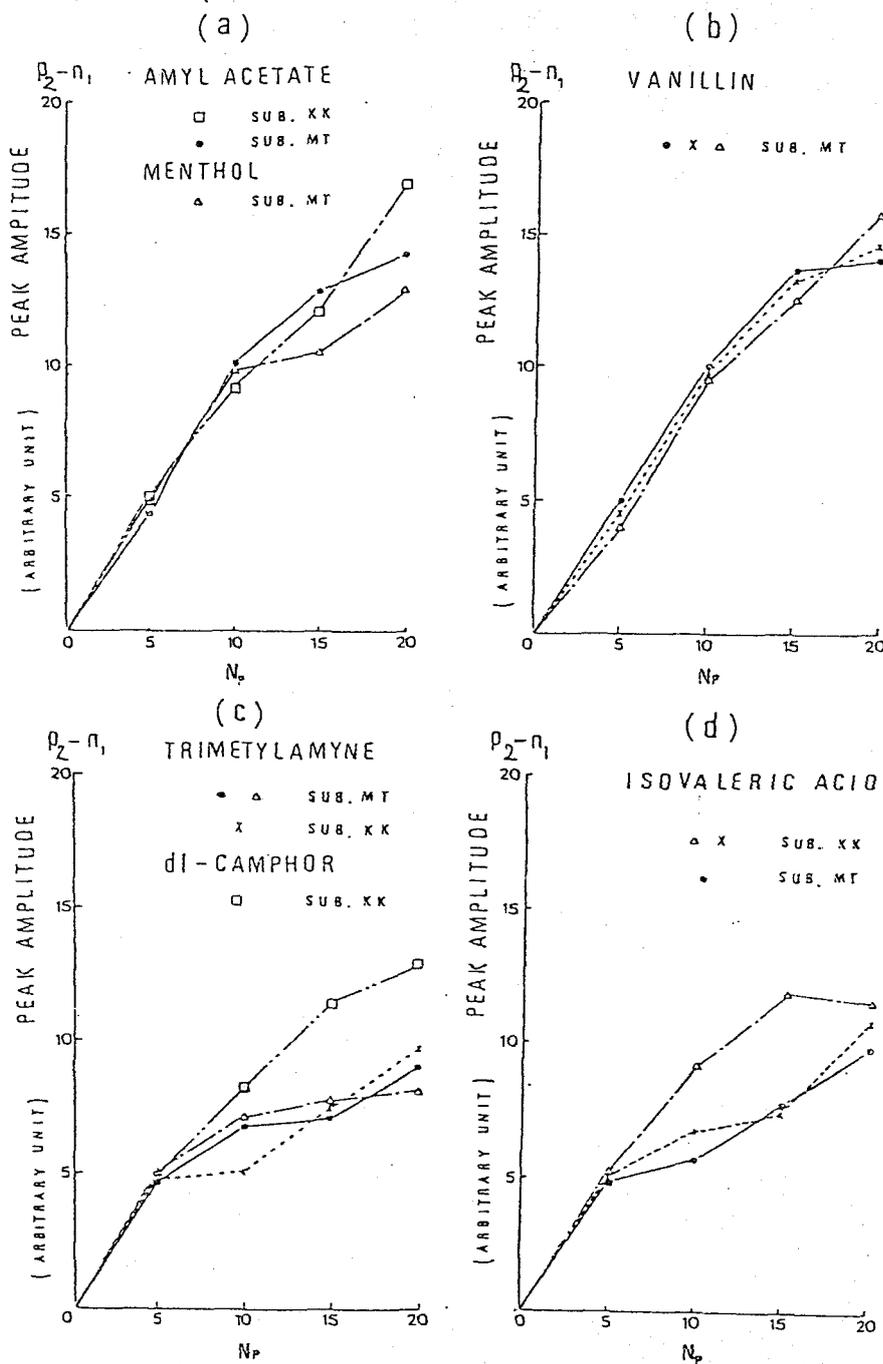


図25 木認知加算による嗅覚誘発電位の応答波形の振幅値変化 (N_p : 木認知回数)

著しい飽和の特徴を示すニオイとほぼ"2つのタイプに

分れる傾向が得られた。図25はまた、ニオイ認知

加算の方式によっても、反復ニオイの刺激による嗅覚

疲労の効果が現われていることも示している。

この影響をもっと明瞭にあらわす為には図25中の

1人の被験者 MT について、代表的な4種類のニオイ

の反復刺激回数 N_s に対する応答脳波の P_2-N_1

振幅値の変化を 図26 に示した。

図26の結果は、反復ニオイ刺激に対する嗅覚誘発

電位の加算波形の飽和特性が一層明らかとなって

20)

いる。 d) は魚の腐敗臭のす子トリメチルアミン、また c) は

汗くさいニオイのす子イソ吉草酸であり、これらの不快臭

に対しては、著しい飽和特性が見られる。これに対し、

a) のバナナ臭のす子アミルアセテートや b) のバニラ臭

は快いニオイであり、d), c) よりも飽和傾向が弱い。

以上の結果は、
 反復ニオイ刺激
 に対する嗅覚
 誘発電位の
 応答波形の
 振幅値に
 飽和特性が
 見られ、特に
 不快なニオイ
 では、快いニ

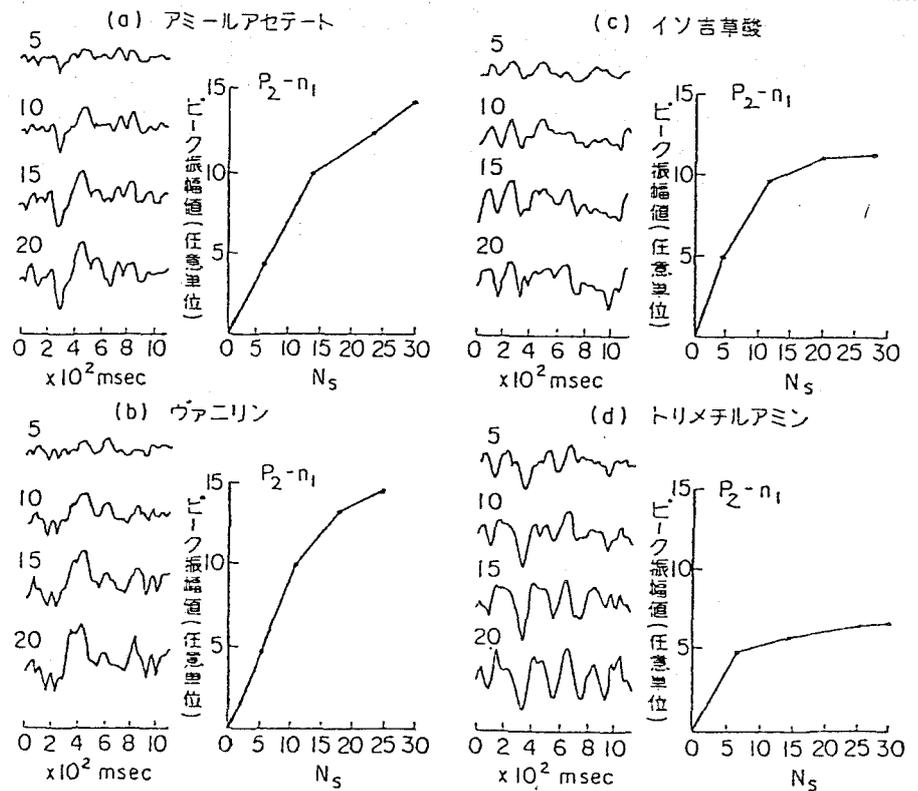


図26 反復刺激回数に対する嗅覚誘発電位の応答波形振幅値変化
 (N_s : 反復ニオイ刺激回数
 波形の左肩の数字はニオイ認回数 N_p)

オイよりもこの飽和特性が著しいことを物語っている。

3.4 ニオイの心理実験と誘発電位応答との比較

反復刺激に対する嗅覚疲労の心理実験を行った。嗅覚疲労現象を定量的にあらわすため、嗅覚誘発電位の測定実験に用いた呼吸同期式のニオイパルス刺激装置を使用した。この方法によれば、呼吸と同期させて一定量のニオイ刺激をある規則の上に行うことが可能である。また、ニオイの認知信号ボタンを被験者が押すことにより

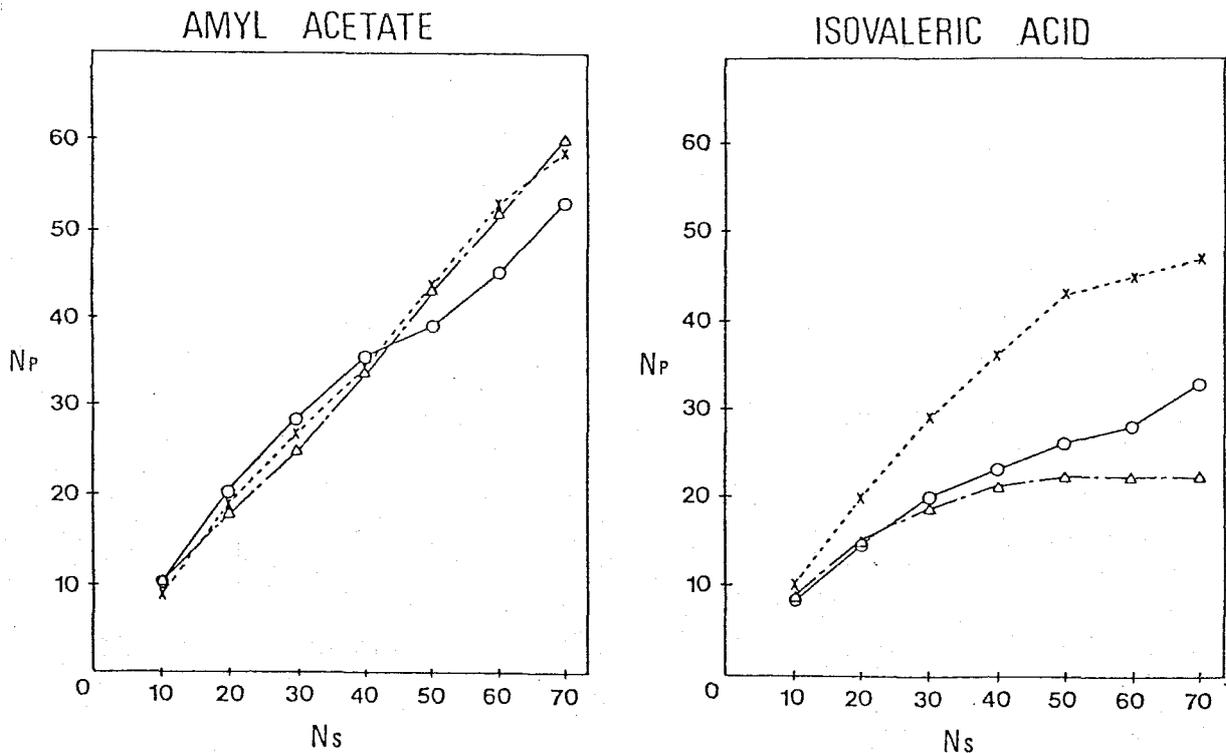


図 27 反復ニオイ刺激に対するニオイ認知回数
 (被験者 3人) (○ MT, × KK, △ KI) (Ns: ニオイ刺激回数)
 (Np: ニオイ認知回数)

ニオイ認知回数を記録し、嗅覚疲労の程度を求めた。

図27はこのようにして行った嗅覚疲労の心理実験結果である。

嗅覚ニオイパルス刺激装置によって連続してニオイ刺激を

行った回数 N_s に対するニオイ認知回数 N_p の関係を

示す。図25でニオイ認知加算による嗅覚誘発電位の実

験を行った同一の三人の被験者に対し心理応答を求めた。

バナナ様の快いニオイのするアミールアセレートでは、連続ニオイ

刺激に対し、ニオイ認知回数はほぼ直線的関係となる

が、他方、汗くさい不快なニオイであるイソ吉草酸について

は嗅覚疲労が早くあらわれ、またその疲労の程度が

著しい。但し、イソ吉草酸のニオイ刺激に対する嗅覚

疲労の曲線は、個人差も大きく、嗅覚疲労のしかたに差

が認められた。

以上の嗅覚心理応答結果を、3.3節の反復ニオイ

刺激に対する嗅覚誘発電位の波形応答と比較検討

すると、図26と図27のように極めて類似している。

このことは、反復ニオイ刺激に対する嗅覚誘発電位

の応答波形の振幅値変化に嗅覚疲労効果があらわ

れていることを証明している。また、以上の結果から、

一般に快いニオイよりも、不快臭の方が嗅覚疲労現

象が早くあらわれ、疲労の程度も大きいことが推定される。

嗅覚疲労についてはまだその機序がよくわかっていない。

が、上述の結果からニオイの種類によってかなり違いが

あることは明らかである。嗅覚は極めて感度が高く

敏感であるが、それ故に嗅覚の恒応、疲労も大きい。

快いニオイと不快なニオイで嗅覚疲労に違いがある

ということは嗅覚の知覚過程におけるメカニズムの差違

(90,94)

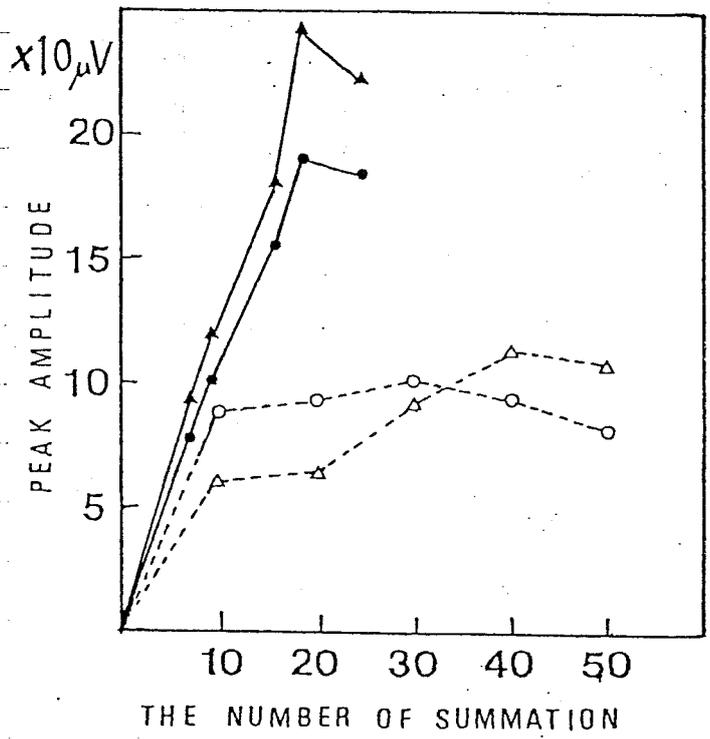
を示唆するものと考えられる。生体は自分にとって有

害なものに対する防衛反応を示すが、不快臭に対する

このような嗅覚疲労の著しい傾向も一つの防衛反応

と考えられよう。

反復ニオイ刺激に対
する嗅覚誘発電位応答
に嗅覚疲労特性が見られ、
加算波形の振幅値に飽
和現象が観測された。



このような嗅覚疲労特性
を考慮し、より精密な嗅覚誘
発電位の波形を得るため、
ニオイ刺激に対する適切な
加算回数について検討した。⁸⁴⁾⁸⁵⁾

図28 嗅覚誘発電位の加算回数と波形振幅値

- ● ; P₂ P-O7 の振幅値
- △ ▲ ; N₂ P-O7 " "
- と △ ; 単純加算
- と ▲ ; ニオイ認知加算
- ニオイはアミリアセート

図12の嗅覚誘発電位には、導入ハイ7°の遅れ時間が含まれて
いるが、今、この加算波形中の約820ミリ秒の陽性P-O7
P₂の単純加算による振幅値変化を○印、ニオイ認知加算による振幅値
変化を●印であらわし、また、約1100ミリ秒の陰性P-O7 N₂の単純

加算による振幅値変化を ΔP , ニオイ認知加算による振幅値変化を

ΔN 印であらわす。このようにして得られた加算回数と波形の振幅値

との関係が図28である。この結果より次のことがわかる。

1) 単純加算では加算回数10回以上で加算波形中のニ

オイ応答のピーク P_2, N_2 がほとんど増加しない。

一方、2) ニオイ認知信号による波形加算では P_2, N_2

ともに、加算回数とともに振幅値が増大し、ニオイ

認知信号加算では S/N 比が約2倍以上改善され

ている。しかし、ニオイ認知信号加算においても、加算回

数の増加に対して、波形振幅値の増加は比例せず、

図25で示されるように一般に嗅覚疲労による飽和の傾向

が観測される。快いニオイでは図28のように、約20回までの

加算回数が、限界ギリギリの回数とも言えるが、図26の

(c), (d)のように不快臭では、嗅覚疲労の傾向が快臭より

も著しいため、10回の加算回数が限度である。従って一般に

嗅覚誘発電位の適切な加算回数としては10回程であるう。

3.5 3章のまとめ

本章で得られた結果は以下のように要約される。

1) 嗅覚誘発電位のくり返し加算波形における応答ピーク

振幅値, $P_2 - N_1$ の加算回数 N_p に対する振幅値変化

は、一般に加算回数の増加と共に増大するが、かなり早く飽和の傾向を示すことが認められた。

この応答ピーク振幅値の飽和傾向は、ニオイの種類によって、主に2グループが存在し、 $N_p = 5$ で早くも飽和が生ずるグループと、それに比較して飽和の傾向が弱いグループとに分れた。前者は、トリメチルアミンやイソ百草酸のような不快なニオイに属し、後者は、アミールアセテートやバニリンのように、主として快いニオイにその特徴が見られた。

2) 反復するニオイ刺激に対し、被験者がニオイを知覚する

回数(ニオイ認知回数)を調べる心理実験を実施し、

3人の被験者の嗅覚疲労について検討した。この結果、アミール

アセートのような快いニオイよりも、イソ吉草酸のような不快な

ニオイの方が早く疲労し、その効果も大きいことが示唆された。

3) 3人の同一被験者による嗅覚誘発電位の応答波形ピーク

振幅値の飽和現象と、上記の嗅覚疲労に関する心理実験

結果とは極めて良く対応する結果が得られた。この結果

は、嗅覚誘発電位の応答波形の振幅値変化に嗅覚疲労効果

が見られることを証明すると共に、快いニオイよりも不快な

ニオイの方が嗅覚疲労効果が大きいことを示している。

4) 上記の結果より、快いニオイと不快なニオイで嗅覚疲労の違い

が認められたことは、嗅覚系の知覚メカニズムに関する生

体の防御反応とも考えられ、今後の嗅覚系解明に一つ

の示唆を与えるものと予想される。

5) 反復ニオイ刺激による嗅覚誘発電位の高算波形

の応答ピークの変化から、ニオイ刺激に対する誘発電位の適切な

加算回数を検討した結果、快臭や不快臭の嗅覚疲労特性の影響で、嗅覚誘発電位の加算回数は10回程度が適切と考えられる。

第4章 セマンティックディファレンシャル法を用いたニオイの心理的感情分析

4.1 はじめに

嗅覚に関する心理学的研究は アリストテレス や クレチウス 以来の感覚論に始まり、今世紀に入ると、1916年頃には Henning

その後 Moncrieff らによって、心理的な感覚から定性的

にニオイの分類を行う研究が開始された。我が国でも

貝原益軒 や 加福均三 によって心理的主観評価に基

づくニオイの分類法が提案されている。しかし初期の

こうしたニオイの分類に関する研究は一般にそれらが根

拠とすべきような客観的基準、例えば生理学的な対応等

もなく、嗅覚を定量的に取り扱うまでにはなっていない。

こうした状況から抜け出し、嗅覚を計量心理学的に扱

が、ニオイの心理的尺度構成をめざし始めたのは、

53)

1946年頃の E. H. Hsü 以来と言えよう。

第4章では、こうした嗅覚の心理的尺度構成法の研究

に関するこれまでの研究を概観し、まず現在における

到達点を明らかにする。ここで用いられてきた方法は

95)

各種のニオイに対する因子分析的方法が中心である。

この中でも主成分分析法等による多変量解析がよく用いら

れている。またニオイの感覚に関する多くの形容詞を被験

者に評価させ類似度を数値化する試みがあ

96)

されているが、Torgersonによって開発された多次元

尺度構成法の適用による因子の抽出が種々行われ

てきた。

これらの心理学的研究は多数の被験者に対し共通

なニオイの感情因子成分を客観的に抽出することに意

味がある。しかし、ニオイの感覚も個人差が予想

されるので被験者を固定した個別の心理分析も必要

と考えられる。更にニオイは明らかに刺激の強さ

によってその質が異なって感じられることがあるか

ら、心理分析に際してニオイ刺激の強さを考慮する

ことが重要と考えられる。^{97)~99)} 4.3節では、こうした観点から

筆者が実施した等感覚なニオイ刺激強度を求める実験

について記述する。

次にこうして求めたニオイの等感覚強度刺激試料を用

いたニオイの感情分析について述べる。4.4節では、

各ニオイに対してその情緒の連想を、25対の双極の形容

詞によって評価させるセマンティック・デフアレンシャル法

(以下SD法と略記)によるニオイの心理実験に

ついて記述し、4.5節ではそのデータを主成分分析

法によって解析した結果について述べ、上記の心

理実験からどのようなニオイ成分が抽出されたかを

明らかにする。

4.2 ニオイの心理的尺度構成法

ニオイの感覚に対する心理的尺度構成法の研究に
初めて多変量解析的手法を導入した E.H. Hsü は、⁵³⁾

1946年に21種類のニオイ物質について、快が不快
かの快適度評定を行い、ニオイの因子分析を実施した。

その後、1964年には Woskow が⁵⁴⁾ 25種のニオイ物質
を用いた実験を20人の被験者に対して行い、多次元尺度構

成法によってニオイの因子を抽出した。この結果は、オ

1因子として全分散比63%を占める快適性、オ2

因子として全分散比12%を占める冷たさ、および

木香の成分であった。¹⁰⁵⁾ さらに Engen は、脂肪族アル

コール類に Ekman の多次元尺度法を用いて、新鮮さ

とかびくささの因子を抽出している。

^{56)~61)}
一方同じ頃我が国の吉田も、ニオイの因子分析

に関する研究を行い、25対の双極の形容詞を用いて

ニオイの感情を評価させるセマンティック ディファレンシャル法

の心理評価を行わせ、Torgersonの多次元尺度構成法
56)

によって4因子を抽出した。吉田は Henning,

Zwaardemaker, Crockerらが用いたニオイを10~25

種集め、ニオイ刺激肉の定性的類似度の判定結

果から、素人の実験では常に第1軸に快-不快

の因子が現われるが専門家では必ずしもそうでは

とは限らないことも報告している。

一般に上記のこれらの実験ではニオイの刺激

強度が、等感覚強度に揃えられてはいなかった。

106) 2)

その後、吉田は豊田らが行った基準検査臭10種類

の実験で、2段階の強度水準を設け、この評定

には42種の形容詞を用いてこれらを因子分析し

た。その結果7因子が抽出され、第1因子に

「快-不快」、第2因子に「甘い-酸っぱい」(ニ又

神経), 第3因子に「焦臭 - 桃の香」, 第4因子に

「樟脳香 - 薬味臭」を得ている。

以上のように、これまでの研究によるニオイの心理

的尺度構成法の分析結果はいずれもほぼ1因子

に「快 - 不快」の成分が抽出されている。しかし第

2因子 - とすると、研究者によってその抽出成分

が若干異なっている。以下の4.2 ~ 4.5節

では、ニオイに関するこれまでの心理的尺度構成法

の研究を踏まえ、ニオイの因子抽出を行なう。

4.3 等感覚強度刺激を求める実験

ニオイの質の違いを心理的に評価するためには、心理的に等感覚強度となるニオイの刺激濃度を求め、等感覚強度となるニオイ試料を用いて実験を行う必要がある。

そこで、まずニオイの種類が異なっても心理的に等しい強度と感じられる各ニオイ物質の濃度を求める実験を行った。一般にニオイの実験で常に問題となるのは

使用するニオイの種類を選択である。40万~200万種

16)

類と言われているニオイの中からどのようなニオイを、

いくつ選び出すかによって、実際、得られる結果も著

しい影響を受ける。つまり、ニオイの研究ではこのよ

うなニオイの選出、分類の方法自体が問題であるが、

一方、その為にこそ、ニオイの性質に関する研究が

また必要となるという関係になっている。

107), 108)

そこで筆者は、過去のニオイに関する基準臭研究等

107)

を参考にしながら、主として Amooore が提唱しているような樟脳香、果実香、花香、腐敗臭、汗臭、刺激臭、ハッカ香、薬味臭等が含まれ、かつ従来から種々のニオイの実験に多く採用されてきたニオイとして、表3に示すような15種類を選出した。以下の記述では便宜上ニオイ名に表3の略記号を用いることとする。

表3中には、これらのニオイに対する閾値も付記したが、ここで「域値」という用語を用いたのは、豊田らの²¹⁾提案に従った。ニオイには検知域値と認知域値がある

表3

使用したニオイ物質の種類と濃度
Tab. 3 Concentrations of the odorants used in the experiment.

番号	ニオイ物質名	略号	ニオイの種類	域値 Ai ppm	等刺激強度濃度 Bi ppm
1	酢酸	AA	刺激臭(酢のニオイ)	1.00	1.00×10^{-4}
2	γ-ウンデガラクトン	RU	果実臭(桃の香り)	0.15	1.50×10^{-3}
3	アニスアルデヒド	AN	花香(花のニオイ)	0.94	9.40×10^{-3}
4	ゲラニオール	GR	花香(花のニオイ)	1.25	1.25×10^{-3}
5	オイゲノール	EG	花香(カーネーションの香り)	1.25	1.25×10^{-3}
6	β-フェニルエチルアルコール	BF	花香(バラの香り)	12.5	1.25×10^{-5}
7	シトラール	CR	果実臭(レモンの香り)	0.89	0.89×10^{-7}
8	バニリン	VL	ジャ香(甘いニオイ)	6.25	6.25×10^{-7}
9	シクロテン	CT	焦臭(こげくさいニオイ)	7.28	7.28×10^{-6}
10	ベンズアルデヒド	BA	薬味臭(アーモンド香)	0.63	6.30×10^{-9}
11	メントール	MN	ハッカ臭(ハッカのニオイ)	2.34	2.34×10^{-3}
12	樟脳	CM	樟脳香(ショウノウのニオイ)	1.25	1.25×10^{-1}
13	イソ吉草酸	IS	腐敗臭(汗くさいニオイ)	0.13	1.30×10^{-3}
14	トリメチルアミン	TA	腐敗臭(魚のくさいニオイ)	0.00021	0.21×10^{-9}
15	アミールアセテート	AM	果実臭(バナナの香り)	0.20	1.00×10^{-6}

り、また各研究者によって測定条件が異なり、どのような
域値であるのかが不明なことが多い。表3中の値は
51) 18), 21), 107)~109)
筆者が従来のいくつかの文献中 から引用してきた為に
ここに述べたような問題点が含まれている為、「域値」
として表現した。

実験は5人の男性被験者に対して行ったが、まず
これらの被験者の嗅力をT&Tオルファクトメータによって
検査し、いづれも正常嗅覚者であることを確認した。

本実験では濃度1%のアミールアセテート(AM)を基
準のニオイとして用いた。ここでアミールアセテートを基

準のニオイとして用いた理由は、一般にAMは嗅

覚生理実験によく用いられており、動物実験のデー

タも多い上、筆者らの嗅覚誘発脳波実験におい

84), 85), 87)

ても、応答が大きく、安定したデータが得られている

からである。

各ニオイ物質は、表3のそれぞれの域値濃度の $10 \sim 10^5$ 倍までの濃度を10倍単位に作成し、計6段階の濃度試料をそれぞれ20 ml の試薬びんにつめた。

ここで各ニオイ物質 ($i=1, 2, \dots, 15$) の濃度を C_i ,

各ニオイ物質の域値濃度を A_i とすると $\text{Log}_{10}(C_i/A_i)$ は

各ニオイ物質の域値に対する濃度比の対数値である。

各ニオイ物質についての $\text{Log}_{10}(C_i/A_i)$ は利効強度の

指標となるものである。今これを数値1~6

で表した。ニオイの調合に用いた溶媒として無臭の

nujol (上質の流動パラフィン) を使用し、実験は濃

度の低い方から高い試料へと順に上昇法に従って

行った。ニオイ紙を用い、嗅ぎ分け法によって基準

とするアミールアセテート1%の濃度のニオイを嗅ぎ、次

に比較すべき対照のニオイを嗅ぎ、一対比較法によ

ってこれらのニオイの感覚強度の強さを比較判定した。

等感覚強度を求めると比較実験の1セッションは基準臭の

AMを除く14種類のニオイについて順序ランダムに実施し、同一

被験者の1セッションの実験は同日内に終了した。1つのニオイ

の実験が終了し次を開始する時は5分以上の休止時間

間を設定し、さらに1セッション中にも短い休止時間を又回

取って、被験者の疲労を防止した。

これらの実験は室内の空気の換気が常時行われており、

空気が浄化されている無臭室内で行った。

1セッションの実験毎に、1枚のスコアシートを作成

し、日を変えて各被験者につき4セッションの繰り返し

実験を実施した。被験者は濃度の低い方から順にニオイ

を嗅ぎ、濃度1%のブーリアセテートの基準臭と等しいと

感じた濃度の $\log_{10}(C_i/A_i)$ で表わされるスコア値

に○印をつけて標点とした。各被験者4試行

の結果から○印の各スコア値の加算平均値を求めた。

図29は以上の実験によって得られた各被験者の等感覚強度刺激となる各ニオイのスコア値の平均値および5人の被験者の平均による等感覚強度となる値をプロットしたものである。

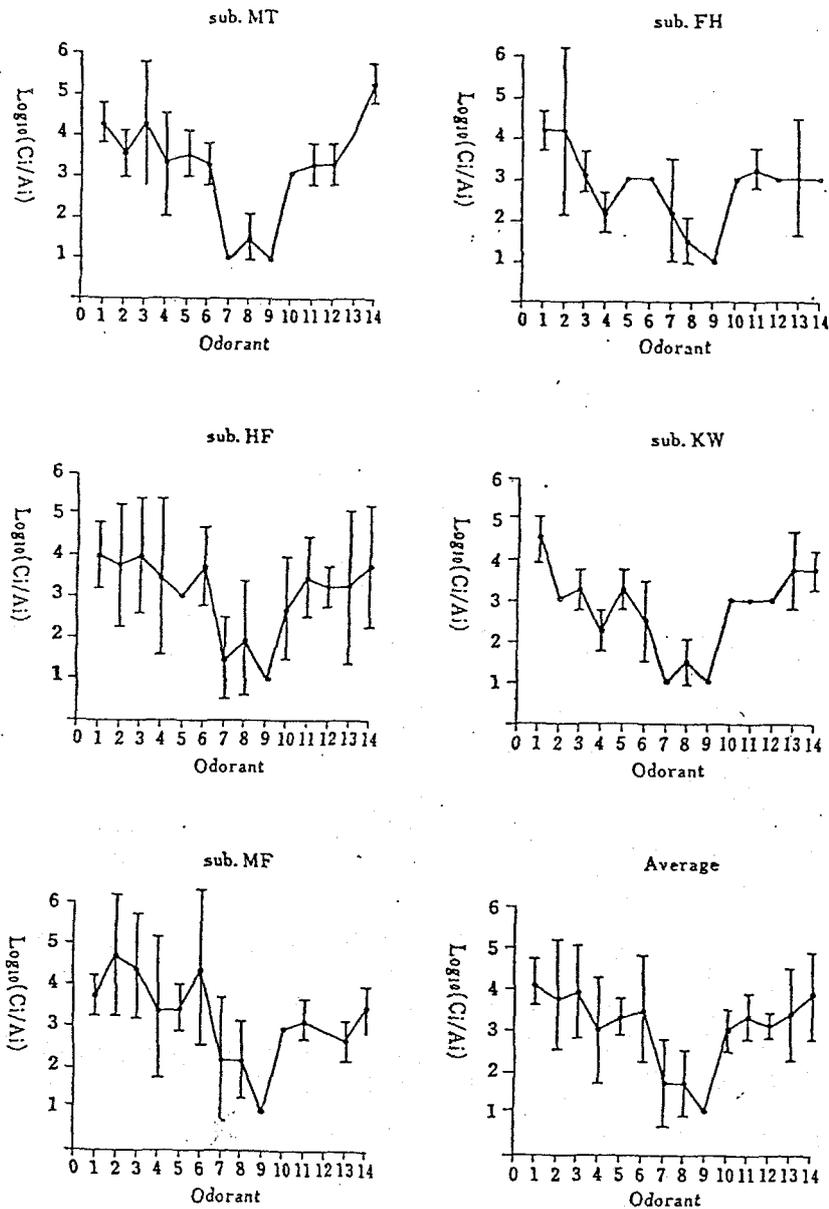


図29 濃度1%のアミルアセートと等感覚強度となるニオイの濃度を求めた実験結果 (ニオイの種類番号は表3に従っている。)

図中各点の縦方向の線は、各スコア値の標準偏差である。

各ニオイ物質 ($\lambda=1, 2, \dots; 14$) に対し、5人の被験者 ($j=1, 2, \dots; 5$) の

平均値 α_{λ} は、

$$\alpha_{\lambda} = \left\{ \sum_{j=1}^5 \text{Log}_{10} (c_{\lambda} / A_{\lambda})_j \right\} / 5$$

$$(\lambda=1, 2, \dots; 14)$$

から求めた。

図29の結果は、5人の被験者に対する等感覚強度刺激を

与える各ニオイの濃度値の109-ンが互いによく類似して

いることを表わしている。5人の被験者の平均値 α_{λ}

から、一般に濃度1%のブーリアセートと等しい感覚

強度を与える濃度 (これを B_{λ} とする) が求められ、

$$B_{\lambda} = A_{\lambda} 10^{\alpha_{\lambda}}$$

$$(\lambda=1, 2, \dots; 14)$$

から計算された。このようにして得られた等刺激強度

となる各ニオイの濃度値は表3の右端に示した。

嗅覚の域値は、一般に人による違いがあるので、厳密には、各被験者個人に固有の域値を各ニオイに対して求めることが原則である。特に、域値の値如何によって、厳しく条件が左右されるような嗅覚実験では各個人の域値を用いる必要がある。しかし、本実験では、域値の微小な変化を求めることが目的でなく、質の異なる各種のニオイ物質の強度を、かなり高い濃度の一定値（アミルアセテートの1%の基準値）の強度に揃え、各ニオイの強度が「ほぼ」等しく揃う濃度を求めることが目的である。そこで我々は、一般の人間の平均的な域値として、文献を参考に表3に掲げる A_2 の値を用いた。実験を行った5人の被験者から得られた、各ニオイの等強度な感度特性は、図29に見られるように、ほとんど5人とも類似した等強度曲線のパターンを示した。これは、5人の被験者が「年齢の近い男性であったことも起因し、域値が類似していると考えられる。以上の検討から、この実験においては、文献より引用した表3の域値の使用が妥当と思われる。

ニオイの研究で「臭質のニオイに対して等感覚強度となる濃度

(109)

を求めて分析した研究は少ない。Louis Appell はニオイの「絶対

対強度」というものを定義して、0~14段階の整数値で

これを示したが、ここで用いられた「絶対強度」は域値

の逆数 $1/A_i$ (ppm⁻¹) に対応する様なものと思われる。^{(100), (101)}

筆者の計算した $1/A_i$ の値と Appell の「絶対強度」との

(100), (101)

間には極めて類似の傾向が得られた。

(110)

一方、Andrew Dravnieks は β -グタリールの 87 ppm

を基準臭の基準濃度と定義してこれと、等感覚強度と

なるニオイの濃度値を実験的に求めている。そこで筆者

が求めた 1% のアピールアセイトと等感覚強度となる濃

度値 B_i との比較について検討した。この場合、

Dravnieks の等感覚強度と我々の B_i 値とは約 10^4 倍

我々の方が強い感覚強度レベルであることが明らかに

なり、Dravnieks も用いた共通の 5 種類のニオイ

については相対的に我々と類似の等感覚強度のパターン

(100, 101)

を示した。我々のオメガが 10^4 倍も強度の高いレベルで

等感覚強度を求めているのは、4.4節で行うニオイの

管に関するSD実験の為に明確に知覚されるニオイの強度

としたこと、あるいはまた、嗅覚誘発脳波実験に用

いる試料として、図19の濃度応答に得られている

ように1%のブーブルアセテートが最も安定した明

瞭な脳波応答を示したことなどによる。これに

対し Dravnieks は Appell らと同様に域値の近

辺における強度レベルを求めていると考えられる。

図30に、我々が得た

等感覚強度な濃度値

B_i と 各ニオイの域値

A_i を図示した。

ここに

$$B_i / A_i = 10^{\alpha_i}$$

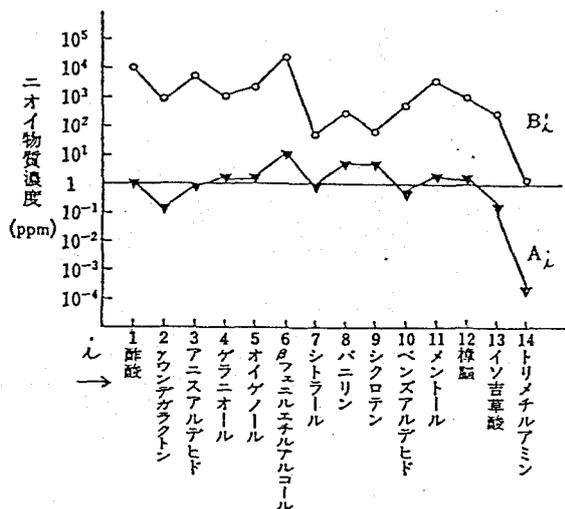


図30 各ニオイの域値(A_i)と等感覚強度刺激値(B_i)

に注目すると、各=オIの B_i/A_i の値は域値レベルから等感

覚強度レベルまでの変化の勾配を表わしている。すなわち、

B_i/A_i は=オI物質の強度を示す 1 つの指標となりうる

ものと言える。表 3 および 図 30 の結果は、シロテン、

シラール、バ=リンの=オIは B_i/A_i の値が小さく、

域値と等感覚強度の濃度までの変化幅が小さい

ことを表わしている。

4.4 セマンティック・ディファレンシャル法による実験

ニオイの感情分析を行う為に筆者が用いたセマンティック

ディファレンシャル法 (SD法) は、¹⁰²⁾ Osgoods によって計量心理

学的手法の一つとして開発されたもので、言語を媒介

としてその心理的な感情の性質を分析する有効な実

験法である。この際、評価(尺度)項目として用いる

言語に単極性の形容詞を用いる場合と、反対語を

一対とする双極の形容詞を用いる場合とがある。

筆者は、^{56, 57)} 既に吉田が永年の研究の中で用いてきた

25対の双極の形容詞を評価項目として採用した。

これについては表4に示した。評定の尺度は、一対の

形容詞の間を、非常に、かなり、やや、どちらでもない、

やや、かなり、非常に という7段階に尺度化し、順

に1~7までの整数の評点を与え数値化した。

使用したニオイは、4.3節で述べた濃度1%のアピール

アセートと等しい感覚強度

表4 25対のSD評価(尺度)項目

を与え、濃度値 B_i (ppm)

を用いた。これらの濃度

値を用いることにより、ニオイ

の強度は等しくなり、強度

変化の影響を受けない

ニオイの質のみに関する感情

分析が可能となる。

13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
麻酔性の — 刺激的な	まばらな — 充実した	雄大な — ちっぽけな	暗い — 明るい	あたたかい — 冷たい	弱い — 強い	甘い — 酸っぱい	あつましい — さわやか	深味のある — 表面的	デリケートな — がさつな	きたない — きれい	柔かい — かたい	重い — 軽い
	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14
	油くさい — 水っぽい	気持悪い — 気持ちいい	永続的 — 一時的の	にぶい — するどい	ぼんやりした — はっきりした	さびしい — にぎやかな	鎮静的 — エロチックな	生き生きした — 生気のない	辛い — 甘い	うすべらな — 厚味ある	なめらかな — サラサラした	はげしい — おだやかな

被験者は、男性3人で、これらの被験者は、第5章で述べる

嗅覚誘発電位の測定も行った。この実験で被験者

を3人に固定したのは、心理実験によって抽出したニオイ

の因子成分と、同一の被験者の脳波による生理データ

との対応を比較検討することを目的とした為である。

SD法の実験は、4.3節の心理実験と同様に清浄空気

の環境下にある無臭室内で行い、ニオイ紙を用いた嗅

ぎ分け法で実施した。ニオイの提示は「順序ランダム」に行い、1つのニオイにつき25項目のSD評定を実施して、スコアシートに記述し、同日内に15種類を終了して1セッションとした。実験中は、嗅覚疲労を防ぐため中間に休憩時間を設定したが、ニオイ提示に対するSD評定はなるべく思考することなく「第一印象で」ニオイの感情を即座に評価させた。同一被験者につき4セッション(4日間)の実験を行い、4回の平均値を算出し、各被験者別に各ニオイの25項目評価尺度に対するプロフィールパターンを求めた。

プロフィールパターンは評定の $\bar{S}=4$ を「どちらでもない」とする両極の中心とし、便宜上 $\bar{S} \leq 2.25$ 、 $\bar{S} \geq 5.75$ となる基準を設定し、この条件に該当する項目の形容詞を拾い

出した。すなわちこれはプロフィールハターンの中で両極の
 の振れが大きかったニオイとその形容詞に着目したも
 のである。表5はこうして拾い出したニオイと形容詞
 の一覽表である。ニオイVLとBFは被験者MTとKKで
 特に一致しており「気持ちいい」、「デリケートな」、「甘い」
 等の快いニオイであることを示している。しかし、被
 験者TMはニオイVLとBFに異なる評価を
 しているようである。またIS, TAは3被
 験者ともに「気持ち悪い」、「強い」、「きたない」等を
 選び不快なニオイを表わしているものと考えられる。

表5

SD 評価のプロフィール比較
 Tab. 5 Comparison of the several profiles by the semantic-differential ratings.

被験者 \ ニオイ	VL	BF	AA	CR	IS, TA
MT	気持ちいい デリケートな 甘い	気持ちいい 弱い きれい	刺激的な 強い 酸っぱい	さわやかな 軽い	気持ち悪い 強い きたない
KK	気持ちいい デリケートな 甘い	気持ちいい 弱い きれい	刺激的な 強い 酸っぱい	軽い ちっほけな	気持ち悪い 強い きたない
TM	甘い 柔かい	一時的 ぼんやりした 弱い	刺激的な 強い 酸っぱい	さわやかな 軽い デリケートな	気持ち悪い 強い きたない

(S ≤ 2.25, S ≥ 5.75)

一方、ニオイAAは3被験者ともに「刺激的な」、「強い」、「酸っぱい」が共通していた。ニオイCRについては3被験者とも「軽い」が共通し、被験者MT、TMは「さわやかな」が一致しているが、KKは若干異なっていた。

4.5 主成分分析によるニオイの感情分析

4.4節のニオイのSD実験より得られたプロフィールパターン

中特に振れが大きかった項目とニオイとの関係から、ニオイに

対する被験者の評価に共通的要素のあることが示唆

されると共に、被験者による若干の差違も表われている

ようである。そこで、上記のSD実験データから、

ニオイに対する心理的な感情の構造を分析し、

共通するニオイの因子を抽出するため、主成分分

析法の適用を行った。

各被験者別に得られている15種類のニオイ

に対する25項目の評定の4回の平均値から、 15×25

のデータ行列を作り、次に各評価項目間の分散・共分散行列を求める。この行列の固有値を求めることにより主成分分析を実施した。ここで各主成分の累積寄与率を80%に設定すると各被験者ともに3主成分まで得ることができ、4主成分以上はこれらの成分の寄与率が小さいので無視した。表6は主成分分析

表6

主成分分析により抽出された各主成分の評価項目
Tab. 6 Representative scales extracted from the principal component analysis.

被験者 主成分	Sub. MT		sub. KK		sub. TM	
	評価項目	寄与率	評価項目	寄与率	評価項目	寄与率
第1主成分	甘い-酸っぱい	-0.441	きたない-きれい	0.328	永続的な-一時的	0.370
	気持ち悪い-気持ち良い	0.391	麻酔性の-刺激的な	-0.322	きたない-きれい	0.318
	きたない-きれい	0.355	気持ち悪い-気持ち良い	0.311	はげしい-おだやかな	0.301
	デリケートな-がさつな	-0.264	デリケートな-がさつな	-0.289	弱い-強い	-0.293
	生き生きした-生気のない	-0.230	はげしい-おだやかな	0.265	ぼんやりした-はっきりした	-0.285
	まばらな-充実した	0.228	重い-軽い	0.261	気持ち悪い-気持ち良い	0.280
		44.5%		66.7%		57.8%
第2主成分	重い-軽い	0.429	甘い-酸っぱい	0.388	重い-軽い	0.407
	あつ苦しい-さわやか	0.391	うすっぺらな-厚味ある	-0.338	甘い-酸っぱい	0.378
	甘い-酸っぱい	0.337	気持ち悪い-気持ち良い	-0.275	深みのある-表面的	0.335
	鎮静的な-エロチックな	-0.305	雄大な-ちっぽけな	0.270	あたたかい-冷たい	0.285
	きたない-きれい	0.277	弱い-強い	-0.259	あつ苦しい-さわやか	0.282
	深みのある-表面的	0.275	きたない-きれい	-0.258	ぼんやりした-はっきりした	0.266
		27.1		12.8		22.4
第3主成分	弱い-強い	0.589	ぼんやりした-はっきりした	0.405	弱い-強い	-0.429
	ぼんやりした-はっきりした	0.356	あつ苦しい-さわやか	0.355	さびしい-にぎやかな	-0.371
	深みのある-表面的	-0.304	によい-するどい	0.346	深みのある-表面的	0.303
	によい-するどい	0.299	甘い-酸っぱい	0.303	生き生きした-生気のない	0.286
	鎮静的な-エロチックな	-0.250	はげしい-おだやかな	-0.303	ぼんやりした-はっきりした	-0.277
			9.9	あたたかい-冷たい	0.242	
累積寄与率		81.5		90.0		86.0

により抽出された各主成分の因子負荷量の大きな評価項目
を大きい方から6番目まで拾い出した結果である。

これから言えることは、 α_1 主成分としての被験者に共通
して得られた項目は、「きたないーきれい」、「気持ちいー

気持ち悪い」であり、 α_1 因子が「快ー不快」の特性

をもつことを示唆している。特にMTとKKはよく

類似している。また、 α_2 主成分は被験者MTとTM

がよく類似しており、「重いー軽い」、「あつ苦しいー

さわやか」、「甘いー酸っぱい」、「深みのあるー表面的

等が選ばれている。一方、被験者KKはむしろ、

α_3 主成分に上記の α_2 主成分でMTとTMで選

ばれた項目があった。この結果から α_2 因子として

上げるべき主要な成分は、「さわやかさ」の特性をも

った「清涼感」ではないかと推測される。ここで

被験者KKのみが α_2 の主成分の値向が異なると

いるが、これは被験者 k の感受性の特質に依存すること
と考えられる。

図31は、このようにして主成分分析された各被験者の
成分1および成分2の主成分の得点値を2次元の直交座標
上に重ねてプロットし比較したものである。但し被験
者 k のみは、成分3の主成分の得点値が他の被験者
の成分2の主成分の得点値と類似しているため、 k の
成分3の主成分の得点値を 図31 の縦軸として採用した。

図31は、こうして得られた3人の被験者の結果を、
同一のニオイ種類ごとに実線で結んで示した。

被験者 k の成分2主成分と成分3主成分の交換は、

表6の各評価項目の因子負荷量にも言えることで、

被験者 k の評価項目の成分2主成分と成分3主成

分の交換によって他の被験者の傾向と類似した。

図31の結果は、成分1因子であるX軸が「快-不快」

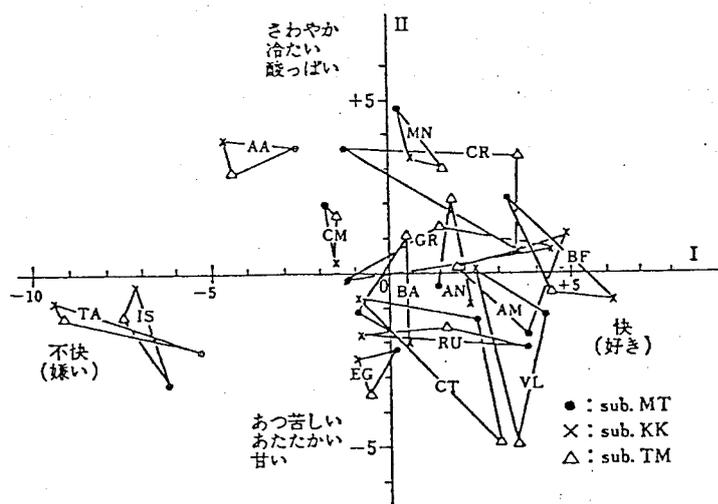


図 3 / SD 実験データの主成分分析による主成分得点分布

の軸であり、また、第2因子であるY軸が、「清涼感」の軸であることを示している。一般に15種類のソイは主として第1因子軸(X軸)方向に偏在して分布する傾向を表わしている。また、各ソイは被験者間の個人差があるもののほぼ局在して分布し、ソイの特徴によって分かれることを示している。特に第1因子軸では快いソイとして BF, AM, VL など、第2因子軸では快いソイとして TA, IS は負方向に局在して分布し、不快なソイとして選ばれていることがわかる。同様に第2因子軸の正方向には

AA, MN, CR が「さわやかさ」や「冷たさ」の特質を持

つニオイとして選択されている。一般にこの種のニオイ

は、三叉神経性刺激臭とも考えられている。このよう

にして選ばれたニオイの種類とその特質の傾向は、

我々の体験によるニオイの感覚、例えば表3中のニオイ

の種類に対する感覚と一致し、また 4.4 で得られ

た SD データのプロファイルパターンの特徴とも良く対応

する結果となった。以上の主成分分析によって、

オ1 因子として、「快-不快」、オ2 因子として、

「清涼感」の成分が抽出された。オ3 因子につい

ては余り明確には得られなかった。オ2 因子の性

質は吉田らの行った因子分析の結果と類似している。

56, 57)

4.6 第4章のまとめ

本章では、等感覚強度刺激となる濃度のニオイを用いて感情分析を実施したが、得られた結論は次のように要約される。

- 1). 1%の濃度のアミールアセテートを基準臭として用い、ニオイ紙による一対比較法によって、選出した14種類のニオイの等感覚強度刺激を与える濃度値を求める実験を行ない、その濃度を決定した。
- 2). 上記によって求められた15種類の等感覚強度刺激となる濃度試料を用いて、3人の被験者に25項目の双極の形容詞を7段階評定させるセマンティック・デフレンシャル実験を実施した。これによって得られた評定データを数値化し主成分分析した結果、第1因子に「快-不快」の成分が抽出された。
- 3). 上記の主成分分析によって第2因子として「清涼感」

を表わす成分が抽出された。また、才2の成分の特質を示したニオイの種類は、主に三叉神経刺激性のものと推定された。これらの結果は吉田らによって得られた分析結果と良く対応するものである。

第5章 嗅覚誘発電位の解析によるニオイの分類

5.1 はじめに

通常行われている脳波の解析では、 α , β , θ , δ 波と
 いうような波形中の周波数成分の出現率や消長の割合等に関
 連して大脳の活動状態を推定する方法、あるいは、応答
 波形中の特定のピークの潜時（応答遅れ時間）等に注
 目した時系列解析、波形内の相関分析等が行われ
 ている。しかし、脳波の波形が大脳の活動を反映して
 いるものと考えれば、脳波中の特定のピークのための振幅や
 潜時を分析する方法に対して、脳波の応答波形全体に含
 まれる生理情報をすべてデータとして用いる解析法は、
 111)
 一部のみを用いる場合に比べ情報の損失がない。
 そこで、本章では嗅覚誘発電位の解析に多変量解析的
 112), 113) 115)
 手法の一つである特異値分解法の適用を試みる。

はじめに、2人の被験者によって得られた各種のニオイ物質

の嗅覚誘発電位の波形を示す。次に、これらの誘発電位の解析に用いる特異値分解法の原理とその計算方法を明らかにする。

特異値分解の計算は、まず各種のニオイの誘発電位と蒸留水の誘発電位との識別について検討する。次に、蒸留水の電位波形を含めない各種のニオイの誘発電位波形の分析を実施する。そしてこれらの解析によって抽出されたニオイ成分に対する考察を行ない、第4章で求められたニオイの心理実験結果と比較すると共に、解析結果の検討を行なう。

5.2 各種のニオイの嗅覚誘発電位波形

嗅覚誘発電位の実験に使用したニオイ物質とこれらのニオイの濃度は、第4章の心理実験で用いた表3のニオイの中から選出し、濃度は表3に示されているブーリアセテート1%の濃度と等感覚強度となる濃度値を用いた。これは4.3の実験^{(100), (101)}によって求められたものである。

被験者は健康な男性2名(KKとMT)で耳鼻咽喉科学で嗅覚検査法として採用されているT&T式¹のファクタメータによる嗅覚テストを実施し、正常嗅覚者であることを確認した。ニオイ刺激は2.2.2の嗅覚刺激パルス発生装置により、圧力一定のもとに被験者の呼吸と同期させ、2呼吸に1回の割合で200ミリ秒間のニオイパルスを用いた。一方、誘発電位の記録は、大脳頭皮上の正中中心部C_zから、基準導出法で測定した。眼球運動やまばたきによるア-4.ファクタは、EOGのE-タ

によって検出して除外し、電磁弁音は、白色雑音を被験者に
 間がせてマスキングした。誘発電位の波形加算は、被験者自身によ
 るニオイ認知加算法によって実施した。図32は 2人の被験者
 に対する 6 種類のニオイとコントロールの蒸留水 (WA と略記) に対する

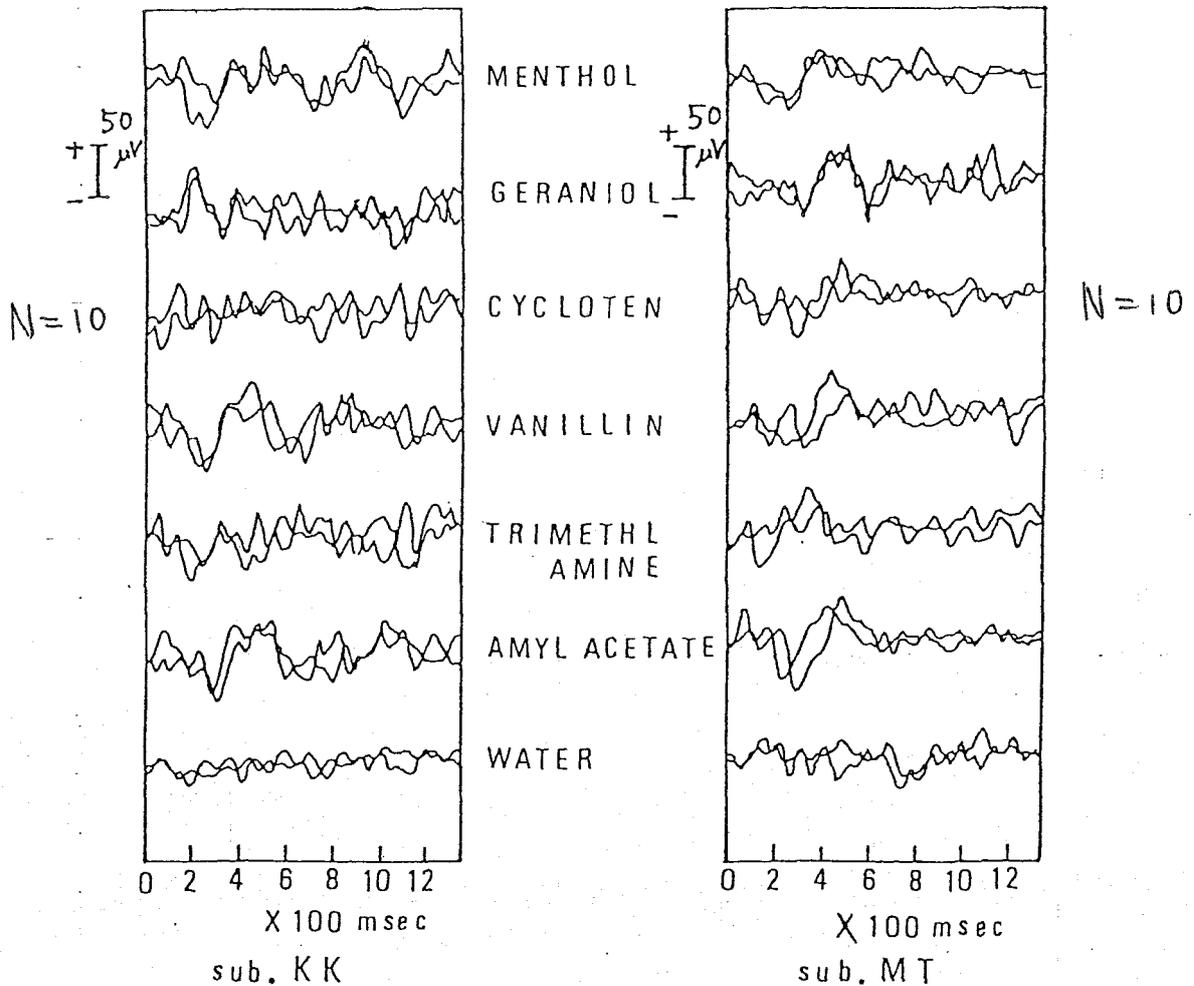


図32 各種のニオイと蒸留水に対する嗅覚誘発電位の加算波形
 (N=10)

嗅覚誘発電位の測定結果である。各波形は、嗅覚疲労の少ないはじめの10回の加算波形であり、翌た日に測定した二本の波形を重ね書きで示している。また、この実験では、2.7節で検討したように、刺激装置の電磁弁から被験者の鼻腔までの伝導パイプによる遅れ時間が約490ミリ秒と推定されるので、このニオイの伝播時間を考慮して、図32ではニオイが鼻腔内に注入された時刻を0として表わしている。

図32から明らかなように、コントロールの蒸留水による誘発電位はほとんどランダムな波形となっており、蒸留水以外の各ニオイに対する誘発電位は、ニオイ刺激後、約300～500ミリ秒の時刻に、ニオイ刺激の応答と思われる明瞭な波形のピークが認められる。ニオイの種類が異なると、これらの電位の応答波形のパターンが異なり、各々のニオイに対し特徴的な波形が示唆されるが、単に眼で見ているだけでは、これらのニオイの波形間の差違の特徴を明確

に言い表わすことは難しい。そこで、2章で得られた結果を参考

にして、ニオイ刺激後1秒間の誘発電位波形に着目することとし、この

1秒間の波形パターン全体の情報を用いたニオイ成分の抽出を試みた。
114)

電子計算機 (PDP-8/e) により、ニオイ刺激後 8 ミリ秒

毎に波形振幅値をサンプリングして A/D 変換を行い、数値

化された $n=125$ 点の数値データに対し、次に述べる

特異値分解法による解析を実施した。

5.3 嗅覚誘発電位の特異値分解

5.3.1 特異値分解法の原理

感覚性誘発電位は、感覚受容器を刺激することによって、頭皮上に現われる大脳皮質の活動電位と言われている。

一般にこの波形は複雑な形状を示すが、それが対象とする

感覚（この場合はニオイの感覚）の基本様式に対応する

基本的な波形成分から合成されていることが期待される。¹¹⁴⁾

もしこの期待が正しいとすれば、種々のニオイ刺激に対し

て記録された電位波形は少数の基本波形に分解することが

できるとある。今、これらの基本波形を生成するいくつか

かの基本的要因が互いに独立で、相互作用がないか、

あるいはこれらの相互作用の影響が小さくて無視でき

るものと仮定すると、記録される電位波形は、それを構成

する基本波形の線形結合で合成されると期待される。¹¹⁵⁾

このような線形仮説のもとで、誘発電位データから主要な

基本成分を抽出する解析法として特異値分解法を適用した。¹¹⁴⁾

解析は、当初、主成分分析法を試みたが、この方法では以下

に述べるように膨大な計算機容量を要するため、より有効

^{116), 118)}

な解析法として、特異値分解法を用いた。

今、ニオイの種類を m 、各ニオイに対し測定された嗅覚誘発電

位の加算波形の刺激後の各時刻におけるサンプリング点数を n 点

とすれば、各ニオイに対する誘発電位の加算波形をデータとする応答電位は、

P_{ij} ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$) を要素と

する $n \times m$ 行列 P で表現され、次のように m の

n 次元縦ベクトル P_j を用いて表わすことができる。

$$P = [P_1, P_2, \dots, P_m] \quad (1)$$

次に、すべてのニオイ $j=1$ から $j=m$ にわたり応答電位を加算し

平均した平均波形を次の n 次元縦ベクトル \bar{P} によつて

示す。 T はベクトル (あるいは行列) の転置を表わし、

$$\bar{P} = (P_1, P_2, \dots, P_m)^T \quad (2)$$

但し、

$$\bar{P}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m P_{ij} \quad (3)$$

$(i=1, 2, \dots, n)$

今、各サンプリング時刻毎に、各ニ杯の誘発電位の平均波形から

の偏差を求め、その偏差行列を W とすれば、

$$W = [P_1 - \bar{P}, P_2 - \bar{P}, \dots, P_m - \bar{P}] \quad (4)$$

これを n 行 m 列の行列で次のように表わす。

$$[W_{st}] = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1m} \\ w_{21} & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & & & \\ w_{n1} & \dots & \dots & w_{nm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$(s=1, 2, \dots, n)$
 $(t=1, 2, \dots, m)$

波形のサンプリング点は十分細かく取って、波形情報を

詳しく表わすので、点数 n はかなり大きな値となり、

普通 $n > m$ となる。通常の主成分分析では (5)

式の偏差行列より $n \times n$ の分散・共分散行列を求

めて解析するので膨大な計算量となる。

しかし以下に述べる特異値分解法では次に示すように

計算量を節約し、より有効に計算することが¹¹²⁾できる。

今、 $n \times m$ の行列 W のランクを m とすれば、 W は

m 個のランク 1 の行列の和として表わすことができる。

特異値分解の定理によつて次式のように分解される。

$$W = \sqrt{\mu_1} \eta_1 \xi_1^T + \sqrt{\mu_2} \eta_2 \xi_2^T + \dots + \sqrt{\mu_m} \eta_m \xi_m^T \quad (6)$$

すなわち、 n 行 m 列の行列 W を、 m 個の n 次元ベクトル W_i

を用いて表わすと、

$$W = [W_1, W_2, \dots, W_m] \quad (7)$$

各ベクトル W_i は m 個の n 次元直交ベクトル η_j の線形結

合として、

$$W_i = \sum_{j=1}^m \sqrt{\mu_j} \xi_{ij} \eta_j \quad (8)$$

但し、ここに ξ_{ij} は m 次元縦ベクトル ξ_j の i 番目の要素で

ある。また、 n 次元縦ベクトル η_j ($j=1, 2, \dots, m$) は n

行 n 列の行列 $W W^T$ の固有ベクトルであり、正規

正交条件を満たし、

$$WW^T \eta_j = \mu_j \eta_j \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \eta_i^T \eta_j &= 1 && (i=j \text{ に対して}) \\ &= 0 && (i \neq j \text{ に対して}) \end{aligned} \quad (10)$$

但し、 μ_j は行列 WW^T の固有値であり、

$$\mu_1 > \mu_2 > \dots > \mu_m > 0 \quad (11)$$

一、 m 次元縦ベクトル ξ_i ($i=1, 2, \dots, m$) は m 行

m 列の行列 $W^T W$ の固有ベクトルであり、上記と同じ

m 個の正の固有値 μ_i ($i=1, 2, \dots, m$) を持つ。

この時 ξ_i は次の直交条件を満たす。

$$\begin{aligned} \xi_i^T \xi_j &= 1 && (i=j \text{ に対して}) \\ &= 0 && (i \neq j \text{ に対して}) \end{aligned} \quad (12)$$

$$W^T W \xi_i = \mu_i \xi_i \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (13)$$

ここで、 η_j を左特異ベクトル、 ξ_i を右特異ベクトルと呼ぶ。

(9), (10), (12), (13) 式を用いると、(6) 式の η_i はベクトル ξ_i

から次のように導かれる。

$$\eta_i = \left(\frac{1}{\sqrt{\mu_i}} \right) W \xi_i \quad (14)$$

(14)式から得られる次の成分

$$\eta_{it} = \left(\frac{1}{\sqrt{\mu_i}} \right) \sum_{s=1}^n w_{st} \xi_{is} \quad (15)$$

($i=1, 2, \dots, m$)

はニオイの種類 i の t 番目の成分の重みを表わし、得

点値と呼ばれる。ここに、固有値 μ_i ($i=1, 2, \dots, m$)

の意味づけは次のように成される。

嗅覚誘発電位の加算波形の平均波形からの全変動は、(6), (40),

(2)式から、

$$\sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^m (w_{st})^2 = \sum_{i=1}^m \mu_i \quad (16)$$

の形で与えられる。

一方、(8)式から、嗅覚誘発電位の加算波形のニオイの i 成分に

関する種類変動は、(10), (12)式から

$$\sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^m (w_{st}^{(i)})^2 = \mu_i \quad (17)$$

従って、 μ_i は、成分 i のニオイの種類変動全体への寄与を

表わし、 $\mu_i / \sum_{i=1}^m \mu_i$ は成分 i の寄与率と呼ぶことができる。

以上の特異値分解法によれば、 $m \times m$ の小さな行列

$W^T W$ を用いて、極めて効率良く固有値 μ_i および固有ベクトル

\mathbf{w}_i を計算することができる。

5.3.2. ニオイ物質と蒸留水の誘発電位の識別

ニオイ物質に対する誘発電位と、無臭の蒸留水に対する

誘発電位との違いを分析し、ニオイ物質の誘発電位波形である

という共通の特徴がどのように得られるかを特異値分

解法によって解析した。

図32で得られた2人の被験者(KKとMT)による嗅覚誘

発電位を加算波形のデータ中から、アミールアセテート(AM)、

ヴァニリン(VL)、シクロテン(CT)、トリメチルアミン(TA)、メン

トール(MN)の5種類のニオイに対する誘発電位の波形、およ

び、蒸留水(WA)に対する誘発電位の波形の分析を行った。

この解析では、蒸留水のような無臭データが含まれる為、

(4)式のように平均波形を原波形から引いて、平均からの偏差

行列を求める計算は行わず、(1)式の原波形によるデータ行

列から直接、特異値分解を被験者別に実施した。

表7 二木物質と蒸留水の誘発電位の特異値分解

(二木物質 (AM, MN, VL, TA, CT) と蒸留水 (WA) に対する 各成分の寄与率)

被験者	オ1成分%	オ2成分%	オ3成分%
Sub. KK	88.6	3.9	2.3
Sub. MT	90.7	2.0	1.8

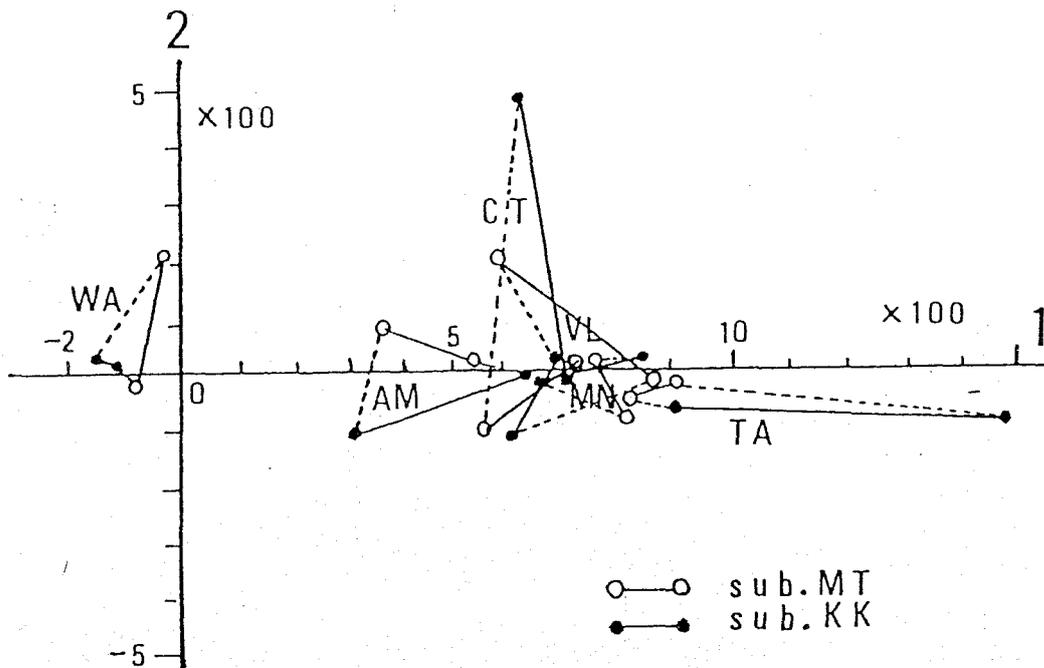


図33 特異値分解による二木物質と蒸留水の得点分布 (二木: AM, MN, VL, TA, CT, 蒸留水: WA)

表7はこの解析によって得られたオ1成分までの各成分の寄与率を示しているが、圧倒的にオ1成分の寄与率が大きかったことがわかる。

図33は、上記データの特異値分解によって求められたオ1成分、およびオ2成分の各=オIの得点値を2次元直交座標上にプロットし、同一座標に両被験者の結果を重ね書きして図示したものである。同一=オIに対する同一被験者の繰り返しデータは、互いに実線で結んで示した。この結果、両被験者に共通して、無臭の蒸留水(WA)による波形の得点値は座標の原点近傍に位置し、他方=オI刺激によって得られた波形の得点値は、いずれもオ1成分軸上の正の方向に偏在して位置した。このことは蒸留水の波形と、=オI物質の波形が誘発電位の波形パターンとして、このように識別できることを意味している。

5.3.3 各種のニオイの嗅覚誘発電位の分析

5.3.2 よりニオイ物質に対する嗅覚誘発電位の波形は、
いづれも、蒸留水のような無臭物質の誘発電位波形と異なり、
ニオイ物質としての共通の特有さを持っていることが明
らかとなった。そこで次の課題は、各種のニオイ物質
に対する嗅覚誘発電位の加算波形がお互いにどのように
異っているか、あるいはこのような誘発電位波形からニオイ
に関するどのような成分が抽出されるかということであ
る。そこでこの解析においては、無臭の蒸留水の波
形は含めず、各種のニオイの誘発電位の波形データに特
異値分解を実施した。

図32の2人の被験者（KKとMT）に対して求め
られた嗅覚誘発電位の加算波形の中から、果実香（バナナの香り）
のアピールアセテート（AM）、バニラのニオイのバニリン（VL）、
花香（バラの香）のゲラニオール（GR）、ハッカ香のメントール（MN）、

焦げ臭のシクロテン(CT), 魚の腐敗臭であるトリメチルアミン(TA), の6種類のニオイの波形の各2回の繰り返しデータを用い、被験者別に分析を実施した。解析は(2), (3), (4)式によって、まず全てのニオイの波形に対する平均波形を算出し、原波形から、平均波形を差し引いた偏差データ行列(5)を求め、解析した。

図34は、こうして被験者別に特異値分解して得られた各ニオイの嗅覚誘発電位の加算波形のオ1成分およびオ2成分の得点値の2次元座標上における分布結果である。同一座標上に2被験者の各得点値をプロットし、重ね書きで示すと共に、同一被験者の同一ニオイの得点値は実線で結んで示した。この解析の結果は、1) 各ニオイの得点値の分布が、主にオ1成分の軸方向に偏って存在していること、2) 被験者間の個人差や、2回のくり返し測定によるある程度のデータの

バラツキはあるものの、 α_1 成分軸近傍でほぼニオイの種類毎に局在して位置する傾向が認められること、また

③ バナナ様の芽香である快いニオイのAMが正方向に位置し、逆に魚の腐敗臭である不快なニオイのTAが負の方向に位置する特徴が見られることを示している。この傾向は、2回測定の同一ニオイの波形をあらかじめ平均して求めた平均波形を用いた解析によって一層鮮明化された。

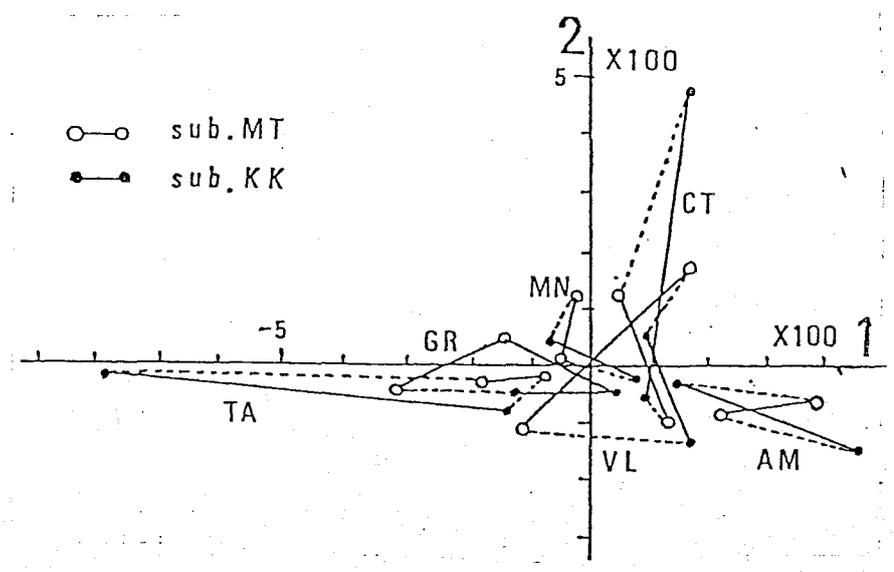


図34 嗅覚誘発電位の加算波形の特異値分解による得点値の分布
(ニオイ: AM, MN, VL, TA, CT, GR)

表8 は、各被験者に対して、各二オイ2回測定の際の波形の平均波形を用いて特異値分解を行った時の、 α_3 成分までの固有値の寄与率を示す。

表8 各種の二オイ波形の平均波形の特異値分解
(二オイ: AM, MN, VL, TA, CT, GR の波形の平均波形の特異値分解による各成分の寄与率)

被験者	α_1 成分%	α_2 成分%	α_3 成分%
Sub.KK	80.8	8.5	4.8
Sub.MT	66.7	12.0	7.5

表8の結果は、 α_2 成分までの累積寄与率が両被験者とも約80%に達すること、および α_3 成分以上の寄与率が小さいことを表わしているのと、 α_2 成分までで、ほぼデータの性質が表わされ、 α_3 成分以上を無視できることを示唆している。

平均波形を用いた解析によって得られた各二オイの α_1 および α_2 成分の得点値の分布を、図33に示した。

図35の結果は、基本的には図34のニオイの得点値の分布傾向と同様であるが、各ニオイの誘発電位の平均波形を用いることにより、その特徴が一層顕著となり、オ1成分軸近傍に並ぶ各ニオイの分布の性質、特に AM と TA の正、負反対極方向への局在化の傾向が鮮明化されると共に、図34では明らかでなかったオ2成分の特徴を示すものとして、ハッカ香の MN がオ2成分軸の正方向に一層近づく結果を得た。また、この時の特徴値分解によって求め

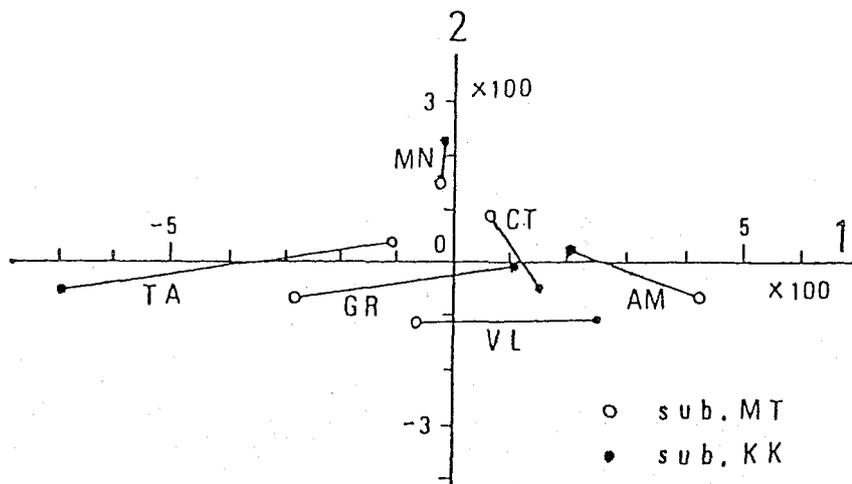


図 35 特徴値分解による嗅覚誘発電位の平均波形の得点値の分布
 (ニオイ : AM, MN, VL, TA, CT, GR)

られた平均ベクトル, 第1成分ベクトル, および第2成分
 ベクトルの波形を 図36の実線 で示した。 第3成分以
 上のベクトル波形は、表8の寄与率の結果にもとづき無視
 した。 図35の得点値の分布から、第1成分および第2
 成分の特徴が示されたが、図36のベクトル波形は、
 それらの成分が持っているであろうと推測される確率的
 な重みの時間変動パターンを表わすものと考えられる。
 これについては後の5.5で詳しく検討する。

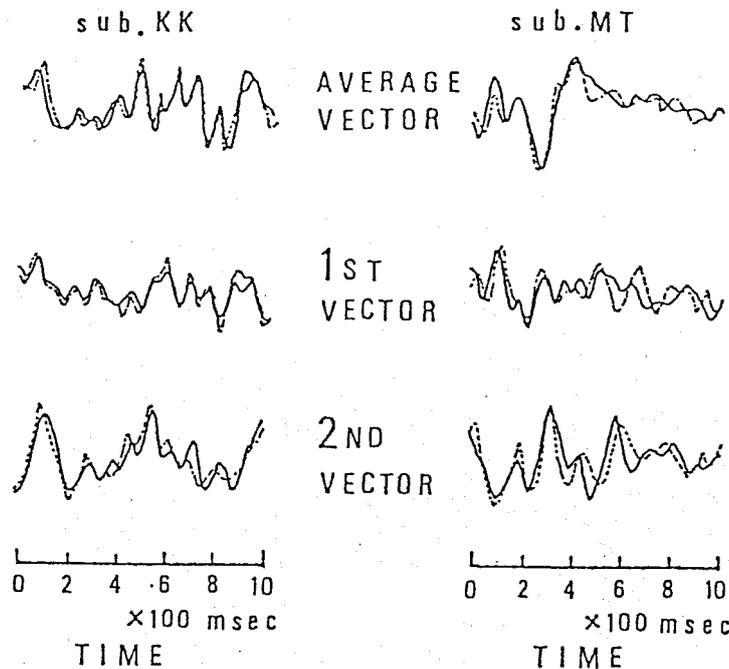


図36 嗅覚誘発電位の特異値分解による各成分のベクトル波形
 実線：ニオイ (AM, MW, VL, TA, CT, GR) の時
 破線：ニオイ (AM, MW, AN, TA, CT, IS) の時

5.4 嗅覚心理実験結果と嗅覚誘発電位解析結果の対応

嗅覚誘発電位の分析結果と、嗅覚心理実験結果とを対応させて比較するため、4.5 に示した嗅覚心理実験データの分析結果の中から、5.3.3 の嗅覚誘発電位の分析に用いた同一被験者の同一ニオイに対する得点値を拾い出して図37に示した。この結果は当然ながら、4.5 で述べた図31の各成分の特徴をそのまま表わしており、 $\alpha 1$ 成分として、「快-不快」の成分、 $\alpha 2$ 成分として、「清涼感」の成分を示している。また、図37の各ニオイの分布の傾向は、各ニオイの得点値が主として $\alpha 1$ 成分軸近傍に各ニオイ毎に局在して位置して並び、特に快いニオイのAMが正方向に、不快臭のTAが負方向に位置している。また、ハッカ香のMNが両被験者ともに $\alpha 2$ 成分軸の正方向に局在して位置する特徴を示している。これに対応して、5.3.3の図35に既に

示したように、同一被験者の同一ニオイを用いた嗅覚誘

発電位の平均波形の解析結果は、図37に得られた

ニオイの心理実験データの得点値の分布結果と極めて

良く類似している。同一被験者において示された

嗅覚心理実験データの解析結果と、誘発電位データの解析

結果の対応から、5.3.3の誘発電位の解析によって

1成分として、「快-不快」の成分、2成分として、

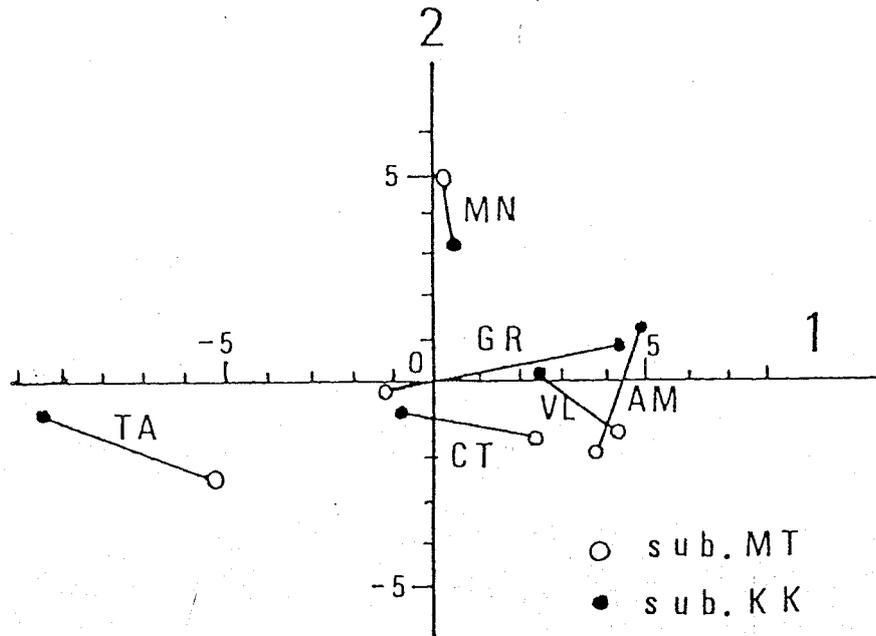


図37 嗅覚心理実験データの分析による名ニオイの得点値の分布
(ニオイ: AM, MN, VL, TA, CT, GR)

「清涼感」の成分が抽出されたと考えられる。

5.5 検 討

5.4の分析によつて、嗅覚誘発電位の加算波形のニオイ成分が抽出されることを示したが、これを裏づけるものとして、ここでは嗅覚誘発電位波形の再構成に対する検討、嗅覚誘発電位の応答ピークに対する検討、ニオイの種類に対する検討(各成分のベクトル波形の検討も含む)および被験者に対する検討を行なった。

5.5.1 嗅覚誘発電位波形の再構成に対する検討

5.3.3の嗅覚誘発電位の解析によつて得られた各成分のベクトル波形、並びにこれらの成分の得点値を用いて誘発電位波形の再構成を行ない、原波形と比較・検討した。

表8に見られるように、これらの誘発電位の特異値分解結果は各被験者に対し、 χ^2 成分までの累積寄与率が、被験者KKで89.3%、被験者MTで78.7%となり、 χ^2 成分まで、ほぼ80%を占めるので、実際上、 χ^3 成分以上

の成分を無視できるものと考えられるが、ここでは誘発電位波形の再構成計算を行い、原波形との比較を行うことにより、これを確かめる。波形の類似度は2.6.2で述べた相関係数を計算した。

5.3.3. の嗅覚誘発電位の特異値分解による分析の結果得られた平均ベクトル波形、 α_1 成分および α_2 成分の固有ベクトルの波形、並びにこれらの成分の得点値を用いて、もとの誘発電位波形を再構成する計算を行なった。

再構成の計算は、(2), (3), (4), (5), (6)式を用いて実施

した。図38は、こうして平均ベクトル波形、 α_1 成分および α_2 成分のベクトル波形とこれらの得点値を用いて

再構成された予測電位波形を破線で示し、もとの誘発電位の原波形を実線で示した。また、

図中のそれぞれの波形の左、あるいは右の端にある

数字は再構成計算によって求められた予測電位波

形と、原波形との相関係数 R の計算値を示す。

図38には、ニオイとしてアミールアセテート(AM), トリメチルアミン(TA), メントール(MN)の3種類の場合の比較例を示した。2人の被験者の他のニオイに於ける再構成波形もこれらの例とほぼ同様の傾向を示し、これらの結果より、1) 観測波形(原波形)と予測波形(再構成波形)

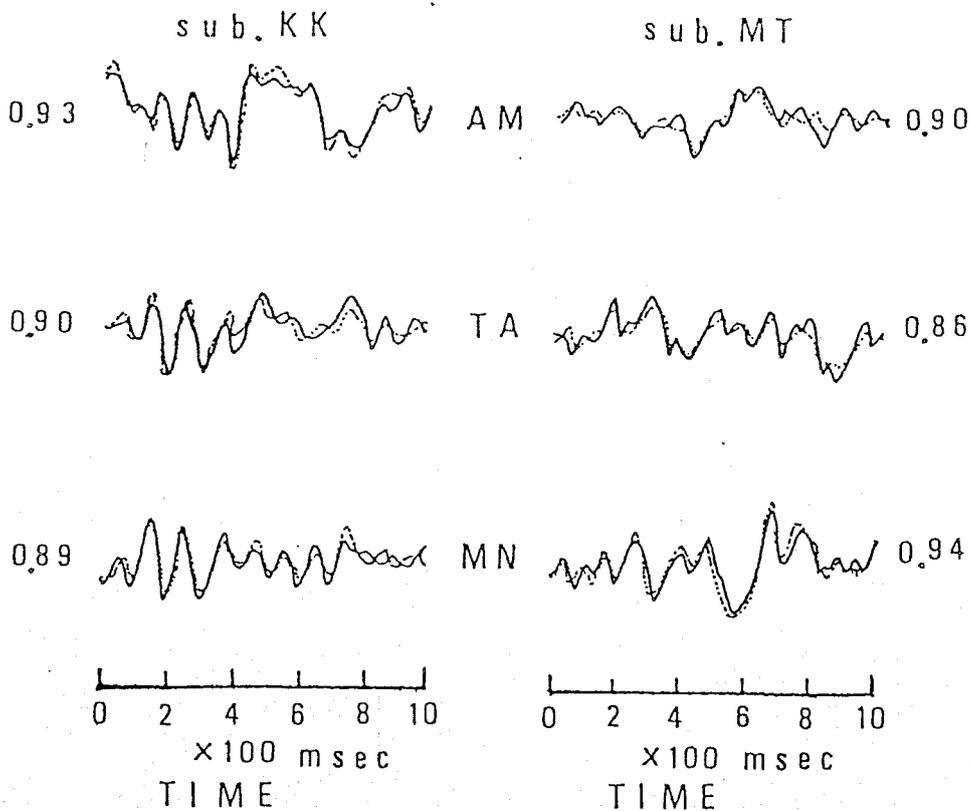


図38 嗅覚誘発電位の観測値(原波形)と予測電位並波形(再構成波形)との波形比較
 実線; 原波形, 破線; 再構成波形

は極めて良く類似している。2) それぞれの二オイの誘発電位
の観測波形(原波形)と予測波形(再構成波形)との相関
係数 R は、いずれの二オイに対しても、 $R \geq 0.84$ となり、
良い類似度を示した。

以上の比較結果から、平均ベクトル波形、オ1成分および
オ2成分の固有ベクトル波形、並びにそれらの各得点値を用
いて再構成を行うと、原波形がかなり良く復元される
ことがわかる。このことはまたオ3成分以上が実際は無視
できるものであることを示している。

特異値分解によって得られたベクトル波形は、その成分
の特徴が、出現すると推測される確率的産みの
時間変動パターンを示しているものと思われる。得ら
れた各成分のベクトル波形に再現性があり、各成分それぞれ
固有の波形が得られていることは、その成分の時間応答の
特徴が示唆されるが、本解析によって得られたベクトル波

形に対する解釈についてはもっと十分な検討が必要である
と思われるので、ここで得られたデータだけで断定すること
はしなかった。

5.5.2 嗅覚性応答ピークと三叉神経応答の検討

我々の測定によって得られている嗅覚誘発電位の中心
的な応答ピーク N_1, P_2, N_2 については、すでに第2章
で述べたように P_2-N_1 あるいは P_2-N_2 の頂点間振幅値
がニオイ濃度の対数的増加に対して増大すること、ある
いは、第3章で述べたようにこれらの振幅値がくり返
しのニオイ刺激に対して嗅覚疲労の影響を受けること
が明らかとなった。このことは、これらの応答ピークが嗅覚
受容器を起源とする嗅覚性の応答のピークであることを
示唆しているものと考えられる。

(119)

D. B. Smithらは、彼らの実験で得られた嗅覚誘発電
位が三叉神経性由来のものであることを示したが、Smithが

テストした患者 (E) は、嗅覚神経に障害のある側の鼻の
 ニオイ刺激で“応答波形が見られず”、嗅覚受容体を起源
 とする応答の可能性が残されていると言えよう。一方、
¹²⁰⁾
 Stone らのウサギの実験で、三叉神経をブロックすると、嗅球
^{121), 122)}
 から記録される正弦性律動波が大きくなって、この波が
 中樞を抑制することが示された。これは三叉神経が
 嗅覚中樞系を制御することを示唆するものである。また、
⁷¹⁾
 Plattig らの実験では、応答波形の中で、ニオイに対して順応
 性が見られない速い潜時の成分と、順応特性を示す
 遅い潜時の成分とが得られている。我々の測定した
 N_1, P_2, N_2 は Plattig らの遅い潜時成分に近い。
 以上のことを総合して検討すれば、一般に嗅覚誘発
 電位の波形は、三叉神経性成分と、嗅覚性起源の
 成分の合成されたものと考えるのが妥当と思われる。
¹²³⁾
 また、三叉神経性応答は、速い潜時の成分と予想されるが、

これは、生体にとって、まずニオイの種類を弁別以前に、生体は感覚的に速くニオイの存在を把握することが必要のためと解釈されるのではないかと考えられる。更に、5.3.3の嗅覚誘発電位の特異値分解により、オ1成分に「快—不快」、オ2成分に「清涼感」のような三叉神経応答成分が抽出されたことは、上述の応答波形成分の起源とも関連しており、今後の検討課題である。

5.5.3 ニオイの種類に対する検討

5.3.3における嗅覚誘発電位の特異値分解においては、計算機容量の制限から、ニオイの種類をAM, VL, MN, GR, CT, TAの6種類とし、波形の測定をそれぞれ2回実施し、各被験者につき計12本の誘発電位波形についての解析を行なった。

本節では、上記の計算の際に選んだニオイの種

類が解析結果に及ぼす影響について検討する。

具体的には、ニオイ物質のVLとGRの代りに、

ア=スアルデヒド (AN) と、汗臭くて不快臭である

イソ吉草酸 (IS) とを選び、AM, MN, CT, TA,

AN, IS の6種類のニオイに対する嗅覚誘発

電位の特異値分解を行なった。

図39は、この変更した6種類のニオイの波形

に対する解析結果で、被験者別に実施し、得ら

れた各ニオイの波形の2回の測定結果の得点値を

オ1およびオ2成分による二次元座標上に

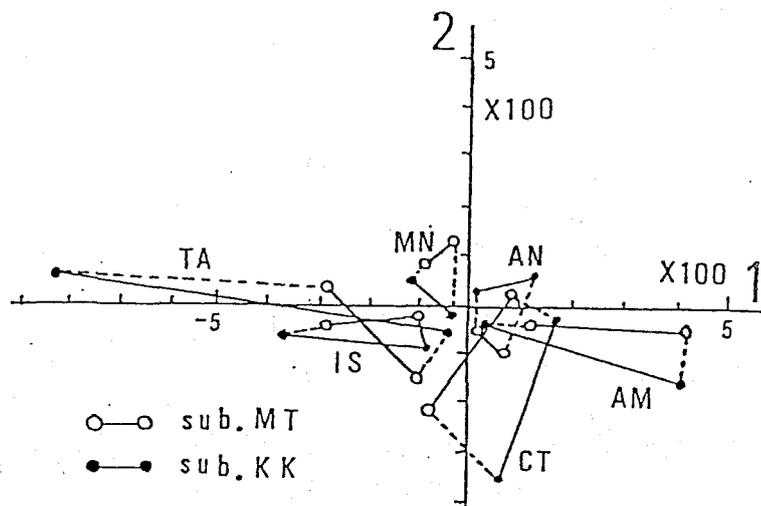


図 39

特異値分解による嗅覚誘発電位の得点値の分布
(ニオイ: AM, MN, CT, TA, IS, AN)

示したものである。2被験者の結果を同一座標上に重ねて表わし、同一被験者の同一ニオイは実線で結んで示した。この結果は、図34と本質的に同様な特徴を持った得点値の分布を示している。各ニオイの得点値は主にオ1成分軸方向に偏っていると、また図34と同じように、ニオイAMがオ1成分軸の正方向に、またニオイTAが反対極の負方向に位置している。さらに、あらたに分析に用いた不快なニオイのISも、腐敗臭であるTAと同様なオ1成分軸の負方向に位置した。さらに、上記の各ニオイについて、2回測定の実験波形をあらかじめ平均し、平均波形を用いた解析についても検討した。この分析によって得られた各ニオイの得点値を、オ1およびオ2成分による2次元直交座標軸上にプロットし、2被験者の結果を重ね書きで図40に示した。この結果は、図35で得られた嗅覚誘発電位の平均波形の

得点値の分布結果と同様に一層特徴ある傾向が得られた。

第1成分軸方向に各ニオイが局在して分布し、快いニオイの

AMに対して、不快臭であるTA及びISが反対極方向

に位置すると共に、さらにニオイMNが第2成分軸の

正方向に偏って位置する結果が得られた。MNはハッカ

香であり、このことから、第2成分が「清涼感」であることを

示唆しているものと思われる。また、この解析においても

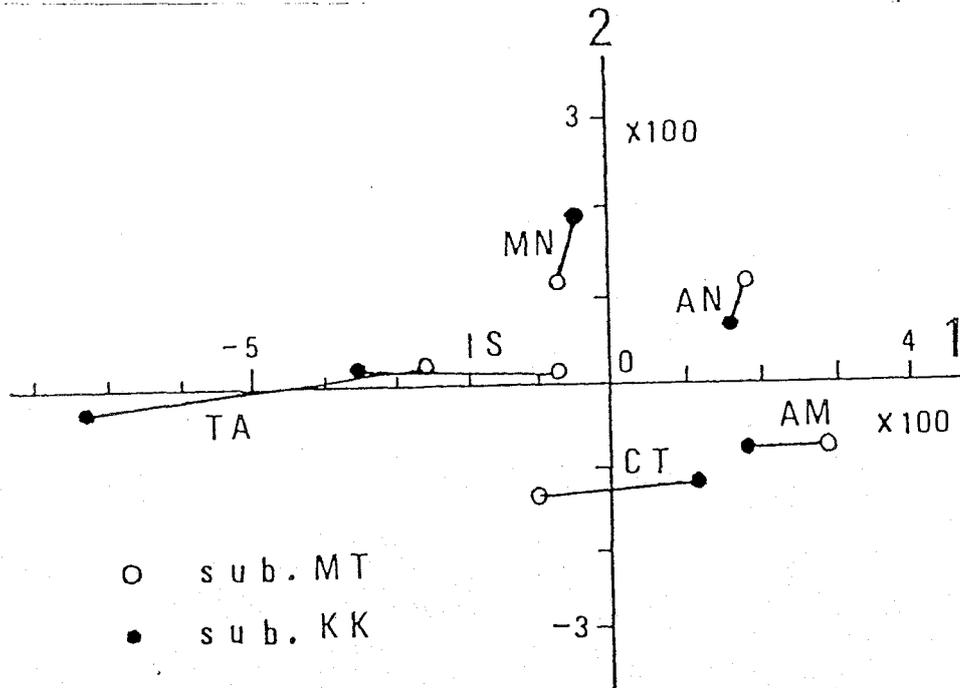


図40 特異値分解による嗅覚誘発電位の平均波形の得点値の分布
(ニオイ: AM, MN, CT, TA, IS, AN)

オ3成分までの固有値の寄与率はほぼ表8と同様の傾向を示した。上記の各ニオイに対する平均波形の特異値分解によって得られた平均ベクトル、および、オ1成分、オ2成分のベクトル波形を図36の破線で示し、5.3.3の解析結果による平均波形の各成分のベクトル波形(実線)と比較した。ニオイの種類の一部を変更して実施した解析結果のベクトル波形を比較している図36から次のことが言える。

- 1) 被験者 KK, MT とともに平均ベクトル波形、および、オ2成分のベクトル波形の実線と破線の曲線はほとんど一致している。
- 2) 被験者 KK のオ1成分のベクトル波形も、実線と破線は良く一致している。
- 3) 被験者 MT のオ1成分のベクトル波形は、ニオイの主な応答が含まれていると推定される約500ミリ秒以前の波形で実線と破線が良く一致している。

以上の結果は、代表的なニオイ AM, TA, MN などがか
含まれている場合には、ニオイ物質の種類の一部を変
更しても、解析によって平均ベクトル波形や各成分のベクトル
波形が余り大きな影響を受けないことを示唆する
ものと考えられる。

5.5.4 被験者に対する検討

5.3.3 節で述べた2人の被験者 (KK と MT) に対
する嗅覚誘発電位の特異値分解の結果は、ほぼ同様の
傾向を得たが、被験者による影響がどのようにあられる
かについての検討を行なった。このため、あらたに5人の
健康な男性 (MN, NN, HK, KT, KO) を加え、合計
7人の男性 (年齢は21才~38才) について、被験者による
影響を調べた。実験を始めるに際し、いずれの被験者に
対しても、T&T式オルフアクトメータによる嗅覚閾値検査を
実施し、正常嗅覚者であることを確認した。

ニオイ物質には表3の中から、AM, VL, CM, AA, TA, IS

の6種類を選びこれらに対する嗅覚誘発電位を測定した。

波形の加算は、嗅覚疲労が少ない10回加算とし、各ニオイ

について日の異なる2回の測定を実施した。次に合計7人の

被験者の嗅覚誘発電位に対し被験者別に特異値分解を

実施し、 α_1 成分までの固有値の寄与率を検討したところ、

7人の被験者が次の2つのグループに分かれる結果を得た。

α_1 のグループ(a)は 5,3,3 の解析と同様に、 α_1

1成分の寄与率が他成分に比べて非常に大きい比率を占め

るもので、これには、被験者 KK, MT, MN が属した。

この時のそれぞれの α_1 成分の寄与率はそれぞれ、80%、

83%、57%であった。このグループでは、各ニオイの

得点値の分布は、 α_1 および α_2 成分の2次元直交座標

上において、 α_1 成分軸方向に偏って分布し、5,3,3

と同様に快いニオイと不快臭であるニオイ(TA, IS)と

が互いに反対極方向に分れて位置した。この結果は、5.3.3

の分析結果と同様に、「快 - 不快」の成分が抽出され

たものと考えることができる。しかし、この解析では、酸っぱ

い = オイ AA と 樟脳臭 CM の特徴が余り明確ではなか

った。

一方、オ2のグループ (b) は、被験者 NN, HK, KT, KO

がこれに属し、オ1成分の固有値の寄与率が、グループ(a)

ほど大きな比率を占めない傾向を示した。これらのグル

ープにおけるオ1成分とオ2成分の平均の寄与率は、35.6

%と 20.9%の比率であった。このグループ(b)の被験者

の各 = オイに対する得点値をオ1成分およびオ2成分の

2次元直交座標上にプロットすると、各 = オイの波形の

得点値がオ2成分軸方向に局在する傾向を示した。

よってこのオ2成分軸方向の特徴として、(a)グループが

オ1成分軸方向に局在して位置する傾向と類似した。

従って、(b) グル-フ^oでは、オ₂成分は、「快-不快」成分が抽出されているものと考えられる。この場合、汗くさいニオイの IS も、腐敗臭 TA の近くに見られることが確かめられた。しかし、現時点では、何故に、(a)、(b) の両グル-フに別れるのか理由は明らかではない。新しい5人の被験者に対する心理実験についても実施しておくべきであった。今後、嗅覚誘発電位と嗅覚感度の関係等について検討を加え、さらに被験者を増した嗅覚誘発電位実験を行い、同時にこれらの被験者の心理実験データを求め、被験者による違いやその成因の究明を行う必要があると考えられる。

5.6 オイ5章のまとめ

本章で得られた結果は次のように要約される。

- 1) 各種のニオイ刺激によって得られた嗅覚誘発電位に特異値分解法を適用して解析を実施した。
- 2) 無臭の蒸留水を含む嗅覚誘発電位の解析では、平均を引かずに特異値分解を実施した。その結果、オ1成分の固有値の寄与率が全体の約90%を占め、ほとんどオ1成分のみで説明ができることが明らかとなった。また、この解析で抽出された得点値の分布は、オ1-オ2成分の2次元直交座標上において、無臭の蒸留水が原点近傍に位置し、他のニオイ物質は、そのほとんどがオ1成分軸上に集中し、且つ原点から離れた位置に局在した。
これは、誘発電位の波形上において、蒸留水とニオイ物質とが識別されていることを示唆するものである。

- 3) 無臭の蒸留水を含めず、各種のニオイ物質のみによって

得られた嗅覚誘発電位を用い、全波形の平均波形

からの残差を求め、特異値分解を実施した。この結果、

成分2成分までの固有値の累積寄与率がほぼ80%に達し、

成分1-成分2成分による2次元直交座標上における各ニオイの

得点値の分布が、主に成分1成分軸方向に分布すると共に、

各ニオイ毎に局在して位置する傾向が得られた。特に、

快いニオイであるアミールアセテートと不快なニオイである

トリメチルアミンとは、互いに成分1成分軸上の正、負反対

極方向に分れて位置した。

4)、同一ニオイの誘発電位の2回測定データをあらかじめ平

均化し、平均波形としての波形を用いて、特異値分解

を実施すると、上記2)の結果が一層明確化され、

成分1成分軸方向に分布する傾向は、上記2)の解析

と同様の結果が得られると共に、さらに成分2成分軸の

正方向近傍にハッカ香のメントールが局在を示した。

- 5). 上記の嗅覚誘発電位の解析結果と、第4章で述べたセマンティック・ディファレンシャル法によるニオイの心理実験結果を同一被験者の同一ニオイについて比較すると、ネ1-ネ2成分の2次元直交座標上における得点値の分布が極めて良く類似した対応を示した。この結果は、誘発電位から抽出されたネ1成分の因子が、「快-不快」の成分、ネ2成分の因子が、「清涼感」の成分を表わしていることを示唆するものである。
- 6). 嗅覚誘発電位の特異値分解の結果より、上述のニオイ成分が抽出されたが、嗅覚誘発電位波形の再構成に対する検討、嗅覚誘発電位の応答ピークに対する検討、ニオイの種類に対する検討により、上記の解析の妥当性が裏づけられた。
- 7). 被験者に対する検討によって新たに5人の被験者の嗅覚誘発電位を加えて解析したが、この結果、7人中4人

は、 $\alpha 1$ 成分の寄与率が上がらず、その意味づけが不明で、

むしろ、 $\alpha 2$ 成分に、「快-不快」成分が抽出された。被験

者が2グループに別れる理由は現在明らかでなく、心理実

験も含めた脳液実験を、さらに被験者を増して行い、その

成因究明を行う必要がある。

第6章 検討

6.1 事象関連電位 P300 に対する検討

事象関連電位 (Event-Related Potentials, ERP) は、近年、何らかの外的事象 (例えば感覚刺激) と生体内の生理・心理的要因としての内的事象との関連によって引き出される電位変化として注目されている。中でも、被験者にとって、何か刺激弁別が必要となるような課題が存在する時には、潜時が約 300 ミリ秒の陽性電位の出現が知られている。この場合、その電位は、被験者が認知し弁別するという意志決定などの心理的要因に対応する内因性の電位変化であると言われている。

一方、嗅覚誘発電位の応答波形として得た陽性成分のピーク P_2 は、2.7 節で述べたように伝導ハイブリッドによる刺激遅れ時間を差し引くと、夏の潜時が約 240 ~ 340 ミリ秒と推測された。また、 P_1 に潜時のみを取った場合、我々が求めた応答ピーク

P_2 と、ERP の P300 は極めて近い。また、我々は嗅覚誘発電位の波形加算に被験者によるニオイ認知式波形加算法を採用し、応答波形の S/N 比の向上をけているのである、 χ^2 に被験者の認知弁別が含まれてくる可能性がある。 χ^3 に、 χ^3 章の嗅覚疲労現象、あるいは、5.4 節で述べたように、本研究で得た応答波形が、心理的なニオイの識別という内的要因と極めて関連性深いということである。以上検討したように、本研究による嗅覚誘発電位の波形測定は、事象関連電位を測定するために設定したものでないが、刺激弁別の心理的要因との関連が強いと言われる ERP の P300 の実験設定に類似しているものと考えられることもできる。我々の求めた P_2 が ERP の P300 に近いものであれば、この応答波形と心理的要因との結びつきも理解できる。しかし、本論文では、

嗅覚刺激に反応する嗅覚性誘発電位として、 P_2 の陽性ピークをとらえており、ERPのP300としての詳細な分析は今後の重要な課題であると考えられる。

6.2 本研究の位置づけと展望

本研究は、嗅覚系に大脳誘発電位の測定と解析に関する方法を適用したものである。これまでほとんど研究が成されていなかった嗅覚性の誘発電位の計測法を開発し、ヒトの大脳頭皮上からニオイ刺激に反応する電位変化を測定することが可能となった。この方法は、インプットとして制御が可能なニオイパルスをもヒトの鼻腔に注入刺激し、大脳頭皮上から、アウトプットとして、客観的な誘発電位応答を得るものである。この手法の確立は、従来あいまいであったニオイ刺激の種々の条件（例えば、濃度、刺激開始時間、刺激持続時間など）を、初めて精密

に規定することができるようになり、これと共に客観的な生理量として、誘発電位の応答波形を求め、その振幅値変化から、アナログ波形を A/D 変換して、デジタル量としての定量化をはかり、嗅覚の数値化を可能とした。本研究では、これらの長所を生かした計測によって、嗅覚疲労の定量的な取り扱いを試みると共に、各種のニオイ刺激に対する嗅覚誘発電位の応答波形を測定し、ニオイの識別を波形解析による統計的な因子分析によって検討した。

以上のように、嗅覚誘発電位の測定と解析は嗅覚系の解明にとって重要な役割りを果たすものと考えられるが、本研究法のみによって、嗅覚系の各段階（例えば、受容器部、中継所部、中継部など）の機能や処理のすべてを明らかにすることは困難である。しかしながら、本研

究手法と他の研究手法を組み合わせた研究, 実験を行うことにより、嗅覚機構を解明していく今後の研究に一つの展望を与えるものと期待される。次に、このような研究の2~3の例を示す。

(1) 鼻咽頭導出法と嗅覚誘発電位計測法

鼻咽頭導出法は、鼻咽頭の内面の粘膜を傷つけぬように、鼻咽頭電極を挿入し、咽頭後外壁に電極を接着固定し、電位を測定するものである。咽頭壁の後外側面から記録されるのは、嗅覚の重要な処理を行っている嗅球、あるいは扁桃核近傍の応答電位であるので、大脳誘発電位の測定と併用すれば、嗅覚系のこれらの中継部位の機能と、大脳中枢の機能や処理の区別を行う研究への発展が期待できる。

(2). ファイバスコ-7°を用いた嗅粘膜観察と嗅覚誘発 電位計測法

ファイバスコ-7°を用いた内鼻鏡を用いて、嗅粘膜
近辺の様子を外部から観察することが可能とな
ってきた。嗅粘膜の観察がかなり微細
にまでできるようなれば、粘膜の状態観察と、
嗅覚誘発電位の計測とを併用することによ
って、各部位の機能の詳細を研究することが
可能となる。嗅覚誘発電位計測の応用
例として詐癆の診断の可能性があり。

(3). ホジトロンCT, SQUID磁気脳波と嗅覚誘発 電位計測法

大脳の深さ方向や嗅覚令の部位の断層
像が得られるホジトロンCT, あるいは、
脳内の微小な磁束変化を捉えるSQUID
磁束計との併用によって、嗅覚誘発電位波形
計測法の新しい発展が予想される。

第7章 結論

嗅覚誘発電位の測定と解析に関する研究によって

得られた結論は、主として以下のようにまとめられる。

1) 嗅覚誘発電位の測定に際し、ニオイ刺激法として圧

力一定による呼吸同期式ニオイパルス刺激法が最適

であることを見出し、これに基づき刺激装置を試作した。

2) 嗅覚誘発電位の波形加算法として、被験者による

ニオイ認知加算法を開発し、誘発電位測定のス/N

比を向上させた。

3) 嗅覚誘発電位の測定における雑音の除去対策

として、EOG電極を用いて、眼球運動やまば

たきを監視し、その影響を除くと共に、白色雑

音を聞かせて電磁弁音等の音のマスクングを行

った。

- 4). 嗅覚誘発電位の記録法として、基準導出法と双極導出法の比較を行ない、安定した再現性ある嗅覚誘発電位を得るには、正中中心部 C_2 の基準導出法が適していることを明らかにした。
- 5). ニオイの濃度変化に対する嗅覚誘発電位の波形応答の変化、また、ニオイ刺激後の解析時間の範囲を変えた相関係数の検討等によって、記録された誘発電位の波形が嗅覚性の誘発電位であることを示した。
- 6). 刺激装置の伝導パイプによるニオイ刺激の遅れ時間を、 SnO_2 半導体ガスセンサを用いて測定した。これによって、ニオイ応答ピークの陽性成分 P_2 の真の潜時を、240~340 ミリ秒と決定した。

7)、嗅覚誘発電位の反復ニオイ刺激による飽和特性

が嗅覚疲労によるものであることを見出した。さらに、

この嗅覚疲労特性は、心理データと対応すること、不快臭の

方が快臭よりも疲労効果が大きかったことを見出した。嗅覚疲

労の影響のため、嗅覚誘発電位の適切な加算回数は約10回である。

8)、濃度1%のアミールアセテートと等感覚強度刺激

となる各種のニオイの濃度値を求め、これを用いた

セマンティックデファレンシャル心理実験を実施した。

このデータの主成分分析によって、第1因子に「快

ー不快」、第2因子に「清涼感」の成分をそれぞれ

それぞれ抽出した。

9)、嗅覚誘発電位の波形解析に特異値分解法を

適用した。まず蒸留水の誘発電位を含むニオイの

波形データに対し、特異値分解をおこなう。第

1因子軸上で、蒸留水とニオイの得点値が

分離された。これは誘発電位上で蒸留水とニオイとが

識別されることを示す。

10) 各種のニオイの誘発電位に対し特異値分解法を実施した結果、 α_1 因子軸上に各ニオイの得点値が互いに局在して分布し、特に快いニオイのアミールアセテート、不快なニオイのトリメチルアミンは α_1 因子軸の反対極に分れて分離した。また、嗅覚誘発電位の平均波形の解析では、 α_1 因子軸では、同上の快-不快の分離が行われると共に、 α_2 因子軸近傍には、ハッカ香のメントールが位置した。

11) 上記 9)、10) の嗅覚誘発電位の解析結果と、セマンティックデファレンシャル法による心理実験データの解析結果とは極めて良く対応した。これによって、嗅覚誘発電位の波形から、 α_1 因子として、「快-不快」の成分、 α_2 因子として「清涼感」の成分の抽出が示唆された。

12) 嗅覚誘発電位の特異値分解による上記 11) の

結果に対し、分解されたヘクトル波形と得点値

とを用いた再構成波形が原波形をどの程度復元

できるかの検討、嗅覚誘発電位の応答ピークの

解釈に対する検討、ニオイの種類に対する検討、

によって、上記の解析の妥当性が裏づけられた。

13) 被験者に対する検討によって、嗅覚誘発電位の

主成分分解で、「快-不快」成分が「オ1成分」に抽

出されるグループと、「オ2成分」に抽出されるグループに

別れたが、原因が明らかでない。心理実験を含

めた誘発電位実験によりさらに被験者を増し、今

後の成因究明を行う必要がある。

謝辞

本研究は、糸内谷嘉信元大阪支所長（現大阪電気通信大学教授）、森内和之元大阪支所長（現岐阜医療短期大学教授）、栗田豊大阪支所長、南條基前産業計画研究室長（現岡山県工業技術センター所長）、武林正峯産業計画研究室長の御指導のもと、バイオニクス総合研究所における「生体の情報処理システムに関する研究」の一環として行なわれた。本研究の開始にあたり、重要な示唆を与え、またその機会を作って頂いたのは中山勝矢極限技術部長（当時企画室長）であり、本研究に対する終始変わらぬ御指導、御鞭撻に深く感謝の意を表す。

本研究の遂行に当たっては、糸内谷嘉信元大阪支所長からバイオニクス研究の重要性を指摘されると共に、脳波解析法、統計学について御指導を賜わった。一方、医学・

生理学の基礎的技術や研究方法については、常に岩間吉也大阪大学医学部名誉教授、大阪大学医学部高次研生理教室の皆様から御指導を受け、また筆者の国内留学中には、

京都大学霊長類研究所の又保田競教授、並びに同神

経生理部門の皆様から有益な御教示を賜わった。ここに、

感謝する。

嗅覚の研究に関し、また特に嗅覚誘発電位の研究

推進に際しては常々高木貞敬群馬大学名誉教授に直接

の御指導を賜わり、また嗅覚の心理学研究については、吉田正昭

中央大学教授から有益な御教示を賜わった。ここに御礼

申し上げる。白色雑音源の御提供を頂いた大阪

大学難波精一郎教授、半導体ガスセンサを御提供頂

いた新コスモス電気株式会社の中川益生元研究員、呼吸

同期刺激回路製作に当り御協力を得た当所西本昭

男技官、並びに嗅覚研究の初期に実験を手伝って頂いた

当所山中俊夫技官、側垣博明技官、さらに持豊徳分

解の計算式について御討論頂いた当所高辻幸太郎技

官に感謝の意を表す。

大阪電気通信大学の故池田潤平教授には、統計学的データ

処理法の御指導を受け、大阪電気通信大学卒業研究

生の高木宏文、東深志、河田桂祐、森川隆、今東清嗣、小林

雅則、大森和高、高橋亨の諸氏には実験ヤデータ処理を手伝って頂いた。

当所の流動研究員として御指導頂いた大阪大学工

学部藤井克彦教授、並びに西独 Erlangen 大学の K. H.

Plattig 教授には、嗅覚誘発電位研究に対する有益な御意

見、御討論を賜わった。ここに御礼申し上げます。

最後に、本論文をまとめるに当り、大阪大学基礎工学部

鈴木良次教授から、適切な御指導、温かい激励と御

教示を頂き、また、大阪大学基礎工学部 葛西道生教授、

健康体育部 有働正夫教授、笠井 健教授、並びに

人間科学部 下河内稔教授の各先生からも有益な御

意見と御討論を賜ったことに深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) R. Burton: *The Language of Smell*, Routledge & Kegan Paul LTD., 1976.
高木貞敬他訳: ニオイの世界, 紀伊國屋書店, 1978.
- 2) 菊池俊英: 匂いの世界, みずが書房, 1972.
- 3) R. Winter: *The Smell Book*, J. B. Lippincott Company, 1976.
真野啓二訳: 匂いの本, 竹内書店新社, 1978.
- 4) 印藤元一: 香料の実際知識, 東洋経済新報社, 1975.
- 5) 環境白書: 環境庁編, 昭和59年度版
- 6) 石黒辰吉: 悪臭公害の現状と対策(3), 産業公害, Vol. 13, No. 2, PP. 166-169, 1977.
- 7) 石黒辰吉: 感覚公害の測定法上の問題点 — 悪臭 —, 産業公害, Vol. 19, No. 4, PP. 58-63, 1983.
- 8) J. E. Amoore: *The Stereochemical Theory of Olfaction*,
1. Identification of the seven primary odours., Toilet Goods Assoc., Vol. 37, PP. 1-12, 1963.
- 9) J. E. Amoore: *The Stereochemical Theory of Olfaction*,
2. Elucidation of the stereochemical properties of the olfactory receptor sites., Toilet Goods Assoc., Vol. 37, PP. 13-23, 1963.

10) J.E. Amoore : Odor Theory and Odor Classification,
Fragrance Chemistry, ed. Ernst Theimer,
pp. 27-76, 1982.

11) R.H. Wright : Odour and Molecular Vibration,
I Quantum and Thermodynamic Considerations,
J. Appl. Chem., Vol. 4, pp. 611-615, 1954.

12) R.H. Wright : Odour and Molecular Vibration,
II Raman Spectra of Substances with The
Nitrobenzene Odour, J. Appl. Chem.,
Vol. 4, pp. 615-621, 1954.

13) R.H. Wright : Odor and Molecular Vibration :
Neural Coding of Olfactory Information,
J. Theoretical Biology, Vol. 64, pp. 473-
502, 1977.

14) J.T. Davies : A Theory of the Quality of Odours,
J. Theoretical Biology, vol. 8, pp. 1-7,
1965.

15) J.T. Davies : Olfactory Theories, Handbook
of Sensory Physiology vol. IV, Chemical
Senses I, pp. 322-350, 1971.

16) 高木貞敬 : 嗅覚の話, 岩波新書, 1974.

17) 浅賀英世他 : 主・副嗅覚系の関係についての検討,
第16回味と匂のシンポジウム論文集, pp. 17-20, 1982.

18) 高木貞敬：味とにおいの化学，日本化学会編，東京大学出版会，1976.

19) 外池光雄：嗅覚のあいまいさ，バイオメカニズム学会誌，
Vol. 7, No. 3, pp. 6-13, 1983.

20) 外池光雄：嗅覚と二オイ脳波計測，電子技術総合研究所
彙報，Vol. 46, No. 11, pp. 611-621, 1982.

21) 豊田文一他：嗅覚障害 — その測定と治療 —，医学
書院，1978.

22) 外池光雄，武林正峯，栗岡豊：二オイ計測の現状，電子
技術総合研究所彙報，Vol. 42, No. 3, pp. 269-
280, 1978.

23) D. Ottoson: Analysis of the electrical activity
of the olfactory epithelium, Acta Physiol.
Scan., vol. 53, suppl. 122, 1975.

24) 高木貞敬：味覚と嗅覚の科学，朝倉書店，1975.

25) T. Shibuya: Science, 143, pp. 1338-1340, 1964.

26) T. Shibuya and D. Tucker: Olfaction and Taste II,
ed. Hayashi, pp. 219-233, Pergamon Press,
1967.

27) 渋谷達明：香りを感じるメカニズム，食品工業，vol. 13,
No. 8, pp. 42-49, 1970.

28) 高木貞敬：嗅粘膜上皮の機能，神経研究の進歩，
vol. 25, No. 2, pp. 261-271, 1981.

29) 渋谷達明：匂いと行動，遺伝，vol. 37, No. 10,
pp. 104-108, 1983.

30) 渋谷達明，松崎治：嗅細胞の働き，精密機械，
vol. 47, No. 9, pp. 41-47, 1981.

31) K. B. Döving: An electrophysiological study of
odour similarities of homologous substances,
J. Physiol., 186, pp. 97-109, 1966.

32) D. F. Mathews: Response patterns of single
neurons in the tortoise olfactory
epithelium and olfactory bulb.,
J. Gen. Physiol., Vol. 60, pp. 166-180,
1972.

33) D. F. Mathews: Response patterns of single units
in the olfactory bulb of the rat to
odour., Brain Research, vol. 47,
pp. 389-400, 1972.

34) W. Rall, G. M. Shepherd and et al.: Dendrodendritic
synaptic pathway for inhibition in the
olfactory bulb., Exper. Neurol.,
vol. 14, pp. 44-56, 1966.

35) W. Rall and G. M. Shepherd : Theoretical reconstruction of field potentials and dendrodendritic synaptic interactions in olfactory bulb., J. Neurophysiol., Vol. 31, pp. 884-915, 1968.

36) G. M. Shepherd : におい^ニを識別するシナプス回路,
サイエンス, No. 4, pp. 53-62, 1978.

37) K. Mori and S. F. Takagi : Spike generation in the mitral cell dendrite of the rabbit olfactory bulb., Brain Research, vol. 100, pp. 685-689, 1975.

38) K. Mori, M. C. Nowycky and G. M. Shepherd : Electrophysiological analysis of mitral cells in the isolated turtle olfactory bulb., J. Physiol., 314, pp. 281-294, 1981.

39) K. Mori, M. C. Nowycky and G. M. Shepherd : Analysis of synaptic potentials in mitral cells in the isolated turtle olfactory bulb., J. Physiol., 314, pp. 295-309, 1981.

40) K. Mori, M. C. Nowycky and G. M. Shepherd : Analysis of a long-duration inhibitory potential in mitral cells in the isolated turtle olfactory bulb., J. Physiol., 314, pp. 311-320, 1981.

41) 森 憲作：感覚情報の処理機構，生体の科学，vol. 28，
No. 3，pp. 177-184，1977.

42) 高木貞敬：嗅覚の中樞機構，神経研究の進歩，Vol. 14，
pp. 44-56，1966.

43) 高木貞敬：脳の嗅覚中樞を探る，自然，No. 1，
pp. 79-87，1976.

44) 高木貞敬：嗅覚受容の分子機構，別冊蛋白質核酸
酵素，pp. 19-31，1977.

45) 高木貞敬：においと脳，サイエンス，No. 1，
pp. 86-98，日本経済新聞社，1979.

46) 高木貞敬：嗅覚の神経機序，医学のあゆみ，Vol. 113，
No. 8，pp. 451-463，1980.

47) 高木貞敬：嗅覚の中樞機構，神経進歩，Vol. 24，
No. 6，pp. 1155-1175，1980.

48) 高木貞敬：群馬大学における嗅覚の神経生理学的研
究の30年，生体の科学，vol. 35，No. 1，
pp. 67-79，1984.

49) T. Tanabe and et al. : An olfactory area in the
prefrontal lobe., Brain Research, Vol. 80，
pp. 127-130，1974.

- 50) T. Tanabe and et al. : An olfactory projection area in orbitofrontal cortex of the monkey . , J. Neurophysiol. , Vol. 38 , PP. 1269 - 1283 , 1975 .
- 51) H. Yarita and et al. : A trans-thalamic olfactory pathway to the orbitofrontal cortex in the monkey . , J. Neurophysiol. , Vol. 80 , PP. 69 - 85 , 1980 .
- 52) T. Tanabe , M. Iino and S. F. Takagi : Discrimination of odors in olfactory bulb , Piriform - Amygdaloid area , and orbitofrontal cortex of the monkey . , J. Neurophysiol. , vol. 38 , PP. 1284 - 1296 , 1975 .
- 53) E. H. Hsü : A factorial analysis of olfaction , Psychometrica , 11 - 1 , PP. 31 - 42 , 1946 .
- 54) H. M. Woskow : Multidimensional scaling of odors , UCLA dissertation , New York Spartan Books , 1968 .
- 55) T. Engen : Chemical Senses , Handbook of Sensory Physiology , Vol. IV , 10 , PP. 216 - 244 , Springer-Verlag , 1971 .
- 56) 吉田正昭 : 有香物質の分類に関する計量心理学的研究 , 品質管理 , 12 (10) , PP. 83 - 98 , 1961 .

57) 吉田正昭：有香物質の分類に関する計量心理学的研究
(その3), Jap. J. Psychol., 35-1,
pp. 1-17, 1964.

58) M. Yoshida: Psychometric Classification of
Odors, Chemical Senses and Flavor,
vol. 1, pp. 443-464, 1975.

59) 吉田正昭：多項目評定尺度による嗅覚7°Dファイル
の多変量解析, 第15回味と匂のシンポジウム論文集,
pp. 32-35, 1981.

60) 吉田正昭：化粧品の香の「情感」, 心理学評論,
vol. 25, No. 1, pp. 145-162, 1982.

61) 吉田正昭：感覚属性と官能検査, 計測と制御,
vol. 23, No. 3, pp. 276-282, 1984.

62) 土井 勲 他：吸着効果トランジスタ (AET), 電気学
会, 電子装置合同研究会資料, EDD-76-42, 1976.

63) 中川 益生 他：吸着効果トランジスタとその信頼性,
電気学会, 電子装置合同研究会資料, EDD-77-43,
1977.

64) 新田正義, 原留美吉：半導体ガスセンサ, 応用物理,
vol. 48, pp. 977-984, 1979.

65) 兼安昌美 他：厚膜集積ガスセンサで嗅ぎ分ける, センサ技術,
vol. 4, No. 2, pp. 52-55, 1984.

66) 若林淳右：においセンサの研究，第5回センシング技術応用
研究会資料，1978.

67) 坂口 裕他：嗅物質に対するコレステリック液晶の応答，
第14回味と匂のシンポジウム論文集，PP.37-40，1980.

68) 新時代をめざすバイオエクス技術，生体情報機能編 第3章
化学感覚受容のメカニズムと特性，日本産業技術振興
協会，PP.170-197，1984.

69) 佐藤謙助：脳波と誘発電位の要素波，脳波と筋電
図，Vol.7，No.3，PP.169-177，1979.

70) 川端信男：誘発電位の発生系のモデル，医用電子と
生体工学，Vol.12，No.5，PP.22-28，1974.

71) 岡 宏：大脳皮質誘発電位の成因，神経進歩，
Vol.23，No.2，PP.234-248，1979.

72) T. Yamanaka, H. Sobagaki and Y. Nayatani:
Opponent-colors responses in the
visually evoked potential in man.,
Vision Research, vol.13, PP.1319-1333,
1973.

73) 山中俊夫，側垣博明，納谷嘉信：視覚誘発脳波による
反対色応答の検出，電子技術総合研究所彙報，
Vol.38，No.9，PP.495-508，1974.

74) 市原正雄, 小松晃, 市原文彦 他: 嗅刺激による脳波の諸反応について, 耳喉 35, PP. 719-728, 1963.

75) T. Allison and W. R. Goff: Human cerebral evoked responses to odors stimuli, Electroenceph. Clin. Neurophysiol., 23, PP. 558-560, 1967.

76) P. Finkenzerler: Gemittelte EEG-Potentiale bei Olfaktorischer Reizung, Pflügers, Arch. Ges. Physiol., 229, pp. 76-80, 1966.

77) K. H. Plattig and G. Kobal: Olfactory evoked brainpotentials and electroolfactogram in man, Sixth International Symposium Olfaction and Taste, 1977.

78) G. Kobal and K. H. Plattig: Methodische Anmerkungen zur Gewinnung Olfaktorischer EEG-Antworten des wachen Menschen (objektive Olfaktometrie), z. EEG-EMG, 9, PP. 135-145, 1978.

79) K. H. Plattig and G. Kobal: Spatial and Temporal distribution of olfactory evoked potentials and techniques involved in their measurement, Human Evoked Potentials, Plenum Publishing Corporation, PP. 285-301, 1979.

- 80) 外池光雄他：嗅覚誘発脳波の測定(その2)，日本人間工学会才18回大会論文集，PP. 55-56，1977.
- 81) 外池光雄他：嗅覚誘発電位の測定，日本人間工学会誌，Vol. 15，No. 5，PP. 251-258，1979.
- 82) 市岡正道：感覺量の客観的处理，生理学研究法，医学書院，PP. 530-533，1975.
- 83) 外池光雄他：におい刺戟と嗅覚誘発脳波測定，電子通信学会技術報告，CPM79-3，ED79-9，PP. 11-20，1979.
- 84) 外池光雄，栗岡豊：呼吸同期式嗅覚刺激による嗅覚誘発電位の精密計測，脳波と筋電図，Vol. 9，No. 3，PP. 214-223，1981.
- 85) M. Tonoike and Y. Kurioka: Precise Measurements of Human Olfactory Evoked Potentials for Odorant Stimuli Synchronized with Respirations., Bul. Electrotech. Lab., vol. 46, No. 11, PP. 622-633, 1982.
- 86) 外池光雄他：嗅覚誘発電位測定におけるノイズ除去，才19回日本人間工学会大会論文集，PP. 125-126，1978.
- 87) 外池光雄，栗岡豊：嗅覚誘発脳波波形の相関分析，電子技術総合研究所彙報，vol. 43，No. 9 & 10，PP. 588-596，1979.

88) B. Berglund, U. Berglund and T. Lindvall :
Olfactory Self- and Cross-Adaptation :
Effects of Time of Adaptation on
Perceived Odor Intensity, Sensory
Processes, Vol. 2, PP. 191-197, 1978.

89) T. V. Getchell and G. M. Shepherd : Adaptive
properties of olfactory receptors
analysed with odour pulses of varying
durations, J. Physiol., vol. 282,
PP. 541-560, 1978.

90) 外池光雄, 栗岡豊, 南條基 : 嗅覚誘発脳波と嗅覚疲労現象,
第20回大阪大学BME研究会資料, PP. 25-
30, 1981.

91) 外池光雄 : 嗅覚誘発脳波とニオイの心理実験との比較,
第15回味と匂のシンポジウム論文集, PP. 84-87,
1981.

92) 立木孝 : 嗅覚測定の結果, 嗅覚疲労現象, 嗅覚
障害 — その測定と治療 —, 医学書院, PP.
92-93, 1978.

93) M. Tonoike : Wave Form Summation of
Human Olfactory Potentials Evoked by
Several Odorants, Electroenceph. Clin.
Neurophysiol., Vol. 52, No. 3, S141,
Xth International Congress of EEG, 1981.

94) 外池光雄：嗅覚誘発脳波とニオイ計測，才1回高砂
香料シンポジウム報告集，pp.17-24，1983.

95) 浅野長一郎：因子分析法通論，共立出版，1971.

96) W.S. Torgerson : Theory and Method of Scaling,
Wiley, 1958.

97) S.S. Stevens : Psychophysics, Wiley, 1975.

98) W. Cain : Odor Intensity : Differences in
the exponent of the psychophysical
function., Perception & Psychophysics,
Vol.6 (6A), pp.349-354, 1969.

99) B. Berglund, U. Berglund and T. Lindvall :
Separate and joint scaling of perceived
odor intensity of n-butanol and
hydrogen sulfide, Perception &
Psychophysics, Vol.23, 23(4),
pp. 313-320, 1978.

100) 外池光雄：等感覚強度刺激を用いたニオイの感情分析，
日本人間工学会誌，Vol.19, No.6, pp.321-330, 1983.

101) M. Tonoike : Emotional Analysis of Odors of
Equivalent Sensory Intensity.,
Bul. Electrotech. Lab., vol.48,
No.9 & 10, pp.797-808, 1984.

102) C.E. Osgoods and et al.: The Measurement of Meaning., Univ. Illinois Press, 1957.

103) 齊藤幸子: セマンティック・ディファレンシャル(SD)法,
日本人間工学会誌, Vol. 14, No. 6, PP. 315-325, 1978.

104) 浅野長一郎他: 3色配色の Semantic Differential
による感情分析(その2), 電気試験所彙報,
Vol. 32, No. 2, PP. 195-220, 1968.

105) T. Engen and G. Ekman: Multidimensional ratio
Scaling and multidimensional similarity in
Olfactory perception., Rep. Psychol. Lab.
Univ., Stockholm, 126, 1962.

106) 吉田正昭: 基準臭の閾値に関する研究, 日科技連
才3回官能検査シンポジウム, PP. 293-311, 1972.

107) J.E. Amoore: Molecular basis of odor,
Springfield, Illinois, 1970.
原俊昭訳: 匂い—その分子構造, 恒星社厚生閣版,
1972.

108) R.H. Wright: 匂いの科学, 菊池俊英訳, みすず
書房, 1972.

109) L. Appell: Physical foundation in perfumery,
V. Absolute intensity of odor, olfactory
equilibrium, American Perfumer and Cosmetic,
PP. 43-47, 1970.

110) A. Dravnieks : Correlation of odor intensities and vapor pressures with structural properties of odorants , Flavor Quality, American Chemical Soc., pp. 11 - 28, 1977.

111) 納谷嘉信 : 視覚誘発脳波の分析と問題点, 応用物理, Vol. 48, No. 4, pp. 370 - 375, 1979.

112) G. E. Forsythe, M. A. Malcolm and C. B. Moler : Computer method for mathematical computations,
森正武訳 : 計算機のための数値計算法, 41, 日本コンピュータ協会, 1978.

113) 森, 名取, 鳥居 : 数値計算, 情報科学講座 No. 18, 岩波書店, 1982.

114) 外池光雄 : 嗅覚誘発脳波の特異値分解, 電子通信学会論文誌 (C), Vol. J68-C No. 5, 1985.

115) E. M. Glaser and D. S. Ruchkin : Principles of Neurobiological Signal Analysis, Academic Press, 1976.

116) 富永昌治, 納谷嘉信, 永田昭次郎 : 特異値分解を用いた曲線応答解析とその放射線スワッチルへの適用, 計測自動制御学会論文集, vol. 16, no. 4, pp. 94 - 99, 1980.

117) 武林正峯, 外池光雄, 栗岡豊: サルの視覚誘発電位
波形中の反対色応答, 医用電子と生体工学,
Vol. 20, No. 2, PP. 50 - 56, 1982.

118) Y. Nayatani, K. Takahama and H. Sobagaki:
A Proposal of New Standard Deviate
Observers, Color Research and
Application, 8-1, PP. 47-56, 1983.

119) D. B. Smith and et al.: Human odorant evoked
responses; Effects of trigeminal or
olfactory deficit, Electroenceph.
Clin. Neurophysiol., 30, PP. 313-317,
1971.

120) H. Stone, B. Williams and E. J. Carregal:
The role of the trigeminal nerve in
Olfaction, Experimental Neurology,
Vol. 21, PP. 11-19, 1968.

121) E. D. Adrian: Sensory Messages and Sensation,
The Response of the Olfactory Organ
to Different Smells, Acta. Physiol.
Scand., Vol. 29, PP. 5-14, 1953.

122) M. E. Westecker: Alternating characteristics of the
evoked potential in the olfactory bulb
in response to repetitive stimulation of
the lateral olfactory tract, Brain
Research, vol. 17, PP. 142-144, 1970.

123) W. R. Goff, B. S. Rosner and T. Allison :
Distribution of cerebral somatosensory
evoked responses in normal man,
Electroenceph. Clin. Neurophysiol., 14,
pp. 697 - 713, 1962.

124) 外池光雄 : 主成分分析による嗅覚誘発脳波の解析,
*16回味と匂のシンポジウム論文集, pp. 171 -
174, 1982.