

香り刺激による脳波の相互情報量分析

関 丙 賛

Mutual Information Analysis of the EEG by Smells Stimulation

Byung-Chan Min

Abstract

To investigate the changes of cortico-cortical connectivity during odor stimulation of subjects classified by occupations, the mutual information content in EEGs was examined for general workers, perfume salespersons, and professional perfume researchers. Analysis of mutual information content (MIC) in the EEGs revealed that, among the professional perfume researchers, changes in the MIC values during odor stimulation were more apparent in the frontal region of the brain, although for the general workers group and perfume salespersons group such changes were more conspicuous in the overall posterior temporal, parietal and frontal regions. These results indicated that the brains of professional perfume researchers responded to odors mainly in the frontal region, reflecting the function of the orbitofrontal cortex (OFC) due to the occupational requirement of these subjects to discriminate or identify odors. During odor stimulation, the perfume salespersons, although relatively more exposed to odors than the general workers, showed similar changes to the general workers. MIC value was in inverse proportion to psychological preferences of the professional perfume researchers and perfume salespersons, but this was not the case with the general workers. This suggested that functional coupling for people who were occupationally exposed to odors related to psychological preference.

Keywords: odor stimulation; different occupation; mutual information content (MIC), functional connectivity; frontal, temporal, posterior, parietal regions; psychological preference

1. はじめに

香りに対する神経系の反応を評価するために、脳波 (electroencephalogram; EEG)、化学感覚の誘発電位、ポジトロン断層撮影 (PET) など多様な電気生理学的方法が用いられ、年齢と香りの因子間の関係 [1-4] や快の香りと不快の香りに対する異なる反応が明らかになった [5]。Murphy らは老年層は若年層に比べて嗅覚誘発電位の潜在時間が遅れることを報告し [4]、Henkin と Levy らは不快の香りは右半球で主に認知されるが快の香りは左半球で認知されることを報告した [5]。多様な職業群、特に香りと関連された職業に従事する人たちの香りの刺激による脳波の反応の研究に、化学物質に暴露された労働者ら

の嗅覚の機能を評価した研究例がある [6-8]。化学物質は、認知的な期待感と感知された香り全ての個人的な反応に大きく影響を及ぼし、嗅覚機能の損傷と血症、尿は作業場環境中のカドミウムの濃度とは統計的に有意な関係があるという [7]。本研究では、香りを扱う職場に従事する異なるグループについて、香りに対する反応を見るために脳波の相互情報量の分析を行った。

脳波は脳の各領域の線形・非線形的な特性を含めて表す電気的な信号である。脳波はパワースペクトル、エントロピーのみならず相関次元のような線形または非線形的な方法を用いて分析されてきた [9-12]。これらのことから、脳波は頭脳の情報処理を反映するものとして見なすことができると考えられる。したがって、脳の互いに

Received on September 8, 2006

国立 Hanbat 大学 産業経営工学科 人間工学研究室
(平成 18 年度電気通信大学同窓会賞受賞)

異なる領域間の相互情報量を調べてみることは脳波の特性を理解するための有用な方法になる。脳波のコヒ - レンス分析は互いに異なる脳の二つ領域の間の機能的な関係を調査するため広く用いられてきた。嗅覚機能に対してもコヒ - レンス分析を適用し、Haradaらは脳波のコヒ - レンス・マッピングは嗅覚機能の客観的テスト開発の基礎を提供できることを報告した[13]。しかし、コヒ - レンス分析は単に二つのチャンネル間の線形的な連結性を示せるだけで非線形的な性質まで含んだ全体的な連結度は得られないという限界を持っている。なお、相互情報量は2つの時系列データ間の線形・非線形依存度を表す量であり、2つの信号間の情報の流れまたは動力学的なカップリングを表す。仮に一つのシステムが他のものと完全に異なる独立のものならば、この2つの信号間の相互情報量はゼロになる。これを脳波に適用すると、脳波間の機能的な連結度を数値化することができる。

Xuら[14]は健康な被験者の多様な状態に対し、脳波分析として相互情報量の分析を行った。また、Jeong et al[15]、Na et al[16]はそれぞれのアルツハイマー痴呆患者と統合失調症を含む患者らの脳波分析に相互情報量の分析を適用し、意味ある結果が得られたと報告した。これらの研究成果[14-17]で脳波の相互情報量の分析が脳の機能的な連結度を数値化できることから、本研究では多様な香り刺激に対して脳への情報量の流れを調べるため、相互情報量の分析を用いて比較を行った。

2. 実験の方法

実験は単純労働職(平均年齢: 27.3才、女性: 9名、男性: 1名)、販売職(平均年齢: 25.2才、女性: 9名)、専門職(平均年齢: 32.2才、女性: 5名、男性: 5名)を対象に行った。被験者は全て鼻の手術や病気などの経験がなく、薬物を服用していない正常な嗅覚機能を持つ香粧品業に5年以上の経歴があり、正常的な嗅覚機能を持つ被験者を選んだ。実験前には嗅覚へ影響を与える喫煙・飲酒・カフェイン・薬物などの摂取を禁じて、Musk香りをを用いて嗅盲を判断した。実験は嗅覚実験を行うため構築されたチェンバー内で行われた。チェンバーは、吸・排気が同時に行われることが可能で、外部からの影響や電気的影響を除くための防音および電氣的遮蔽を行っている。実験中には一定の温度(24 ± 1)、湿度(50 ± 10)、照度(150 ~ 200Lx)が維持できるようにした。被験者は安楽いす(Easy Chair)に座って気楽な姿勢で実験を行った。試料としては、100%のbasil oil, jasmine oil, lavender oil, lemon oil, ylangylang oil, skatoleの6種である。香りの呈示方法は香り刺激を外部からテトロンチューブ(内径0.2mm)を通して被験者の鼻の孔に挿入し、呼吸の同期に合わせて90秒間呈示する(図

1)。刺激後は10分間排気システムを運転させて残存香を十分に除去した。被験者には香りに関する情報を一切与えず、香り刺激はランダムに呈示した。測定項目は脳波と主観評価である。脳波は閉眼で90秒間測定した。国際基準10-20法に基づいた8部位(F3/F4, P3/P4, T5/T6, Fz, Pz, Cz)から導出し、標本時間10msで2048点のデータをFFTによる周波数分析を行い、波(0.3-4Hz)、波(4-8Hz)、波(8-13Hz)、波(13-30Hz)の4帯域について含有率を求めた。

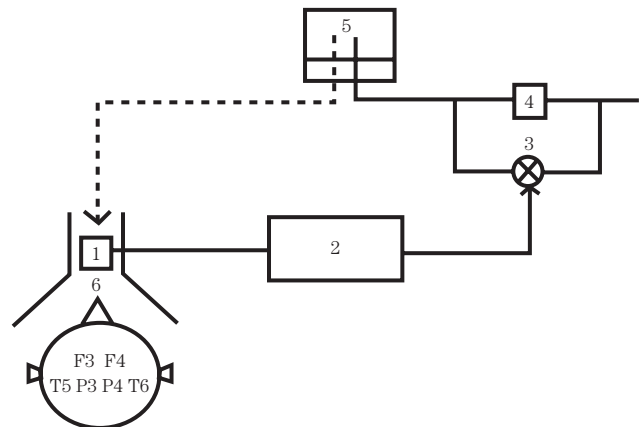


図1. 香り刺激のダイアグラム

(1. temperature sensor; 2. temperature controller; 3. needle valve; 4. flow regulator(100 ml/s); 5. odor container; 6. sniffing funnel)

3. 相互情報量分析

測定量(XとY)から得られた平均情報量はシステムのエントロピー(H)として次のように表される。ここで、XとYとは、例えば、脳波の誘導部位の2カ所、C3とC4、の時系列データである。

$$H(X) = -\sum_{x_i} P_X(x_i) \log_2 P_X(x_i) \quad (1)$$

$$H(Y) = -\sum_{y_i} P_Y(y_i) \log_2 P_Y(y_i) \quad (2)$$

ここで、 x_i と y_i は、脳波の*i*番目のデータを意味する。脳波データは電位を全て正とする絶対値として評価する。 $P_X(x_i)$ は、 x_i のデータが、データ数*N*個の解析される脳波電位(正值)の合計に対する x_i における電位の占める割合のことで、確率を表す。

x_i と y_i のデータに関する同時確率 $P_{XY}(X_i, Y_j)$ に関する情報量を以下に示す。

$$H(X, Y) = -\sum_{x_i, y_j} P_{XY}(x_i, y_j) \log_2 [P_{XY}(X_i, Y_j)] \text{ である。}$$

これらを用いて相互情報量 $I(X, Y)$ は次のように求められる。

$$I(X; Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y) \quad (3)$$

つまり、相互情報量は

$$I(X,Y) = - \sum_{x_i,y_j} P_{xy}(x_i,y_j) \log \frac{P_{xy}(x_i,y_j)}{P_x(x_i)P_y(y_j)} \quad (4)$$

となる。

もし、2つの測定量が完全に独立であるならば、相互情報量 $I(X,Y)$ はゼロになる。相互情報量は2つの時系列データ間の線形・非線型依存度を表す量であり、2つの信号間の情報の流れまたは動力的なカップリングを表す量として使用される。本研究では2つの信号間の相互情報量を平均して、2つの間の情報量として定義して使用した。

$$I(X(t),Y(t+\tau)) = - \sum_{\substack{x(t) \in X \\ y(t+\tau) \in Y}} P_{X(t)Y(t+\tau)}(x(t),y(t+\tau)) \log \frac{P_{X(t)Y(t+\tau)}(x(t),y(t+\tau))}{P_{X(t)}(x(t))P_{Y(t+\tau)}(y(t+\tau))} \quad (5)$$

平均相互情報量が増加することは二つの領域の間の情報の流れが増加され、脳機能的にカップリングとなることを意味する。平均相互情報量は各香りに対して Pairedt-Test を用いて有意性の検証を行い、P値が0.05以下である場合を統計的に有意である結果として見なした。

なお、主観的評価としては、実験直後に香り刺激に対

表1. 専門職グループの因子分析

	Component					
	1	2	3	4	5	6
Sporty	0.908	9.87E-02	-6.93E-03	7.23E-02	-0.193	0.105
Merry	0.895	9.75E-02	-8.84E-02	5.83E-02	4.18E-02	0.102
Bright	0.882	0.22	6.12E-03	-6.03E-02	0.179	4.86E-02
Clean	0.881	7.13E-02	9.02E-02	-0.121	0.126	4.06E-02
Comfortable	0.863	5.52E-02	0.179	8.85E-02	0.154	0.182
Active	0.862	3.92E-02	-0.231	0.108	4.92E-02	9.93E-02
Refreshing	0.831	-0.121	0.229	3.82E-02	0.179	-0.111
Light	0.744	0.243	-5.35E-03	-0.296	0.141	-0.34
Urbane	0.561	0.409	0.275	4.09E-02	-0.344	0.24
Warm	-0.171	0.822	-6.42E-02	0.155	0.273	4.90E-02
Feminine	0.251	0.797	0.152	-0.121	9.62E-02	0.149
Splendid	0.161	0.765	0.279	0.114	-0.123	0.213
Passional	6.57E-02	0.716	0.303	0.159	-0.127	-0.258
Delicate	0.145	0.619	0.254	-6.99E-02	7.65E-02	0.338
Elegant	5.02E-02	0.206	0.91	7.11E-02	5.10E-02	0.17
Graceful	0.167	0.327	0.843	6.81E-02	3.26E-02	0.225
Antique	-0.47	0.192	0.658	9.73E-02	0.25	-0.11
Individual	6.42E-02	-3.71E-02	-6.61E-03	0.813	6.38E-02	0.121
Impressive	-4.44E-03	-1.97E-02	0.183	0.771	0.145	-5.48E-04
Strong	-5.44E-02	0.205	7.33E-02	0.729	-0.102	-3.29E-02
Natural	0.407	5.98E-02	4.62E-02	0.215	0.761	-6.55E-02
Calm	0.319	0.333	0.335	0.123	0.676	5.60E-02
Exciting	0.294	0.327	4.69E-02	0.395	-0.524	1.46E-02
Stimulating	-0.328	0.363	-0.212	0.388	-0.464	-0.413
Romantic	0.114	0.273	0.248	0.126	-3.73E-02	0.776
Eigenvalue	8.23	4.4	2.36	1.95	1.43	1.01
% of Variance	33.07	17.61	9.45	7.80	5.73	4.05
Cumulative %	33.07	50.68	60.13	67.93	73.66	77.71
Factors	Refreshing	Soft	Graceful	Individual	Natural	Romanting

するイメージを24の形容詞について、〈好き - 嫌い〉の7段階評価を行った。

4. 結果

まず、主観評価の一つの例として24の形容語から因子分析(バリマックス回転法)を行い、因子軸を抽出したところ、専門職グループ、単純労務職グループで各々6つの因子が得られた。各因子に含まれる形容詞の内容から、専門職グループでは第1因子を〈爽快性〉、2因子を〈温和性〉、3因子を〈優雅性〉、4因子を〈個性〉、5因子を〈自然性〉、6因子を〈浪漫性〉と名付けた。第1因子から6因子までの累積寄与率は77.1%である(表1)。単純労務職グループでは第1因子を〈爽快性〉、2因子を〈温和性〉、3因子を〈刺激性〉、4因子を〈華美性〉、5因子を〈個人差〉、6因子を〈評価性〉と名付けた。第1因子から6因子までの累積寄与率は72.7%である(表2)。両グループで共に第1、2因子として得られた第1因子の〈爽快性〉、2因子の〈温和性〉をX軸、Y軸とすると快適な香りの順が決定される。専門職グループの主観的な嗜好度ではlemon>

表2. 単純労務職グループの因子分析

	Component					
	1	2	3	4	5	6
Bright	0.862	2.23E-01	1.89E-02	4.95E-02	0.124	-4.12E-02
Refreshing	0.844	2.37E-01	-4.14E-02	-7.96E-02	8.25E-02	-2.99E-02
Clean	0.842	-4.71E-03	-1.53E-01	7.06E-02	0.164	1.69E-01
Comfortable	0.773	2.10E-01	1.08E-01	-0.141	-0.108	1.85E-02
Sporty	0.748	6.69E-03	0.140	4.49E-01	-8.32E-02	-0.145
Active	0.669	-2.71E-02	6.68E-02	0.602	2.68E-02	9.24E-02
Merry	0.653	-1.36E-02	-2.83E-02	4.69E-01	9.44E-02	-2.01E-02
Light	0.474	7.22E-02	-4.32E-01	0.175	0.296	-0.311
Graceful	0.205	0.816	5.60E-02	1.64E-01	5.46E-02	9.29E-02
Romantic	2.08E-02	0.810	1.57E-02	0.225	1.46E-02	9.61E-03
Antique	-0.152	0.796	6.17E-02	0.225	7.00E-02	4.83E-02
Elegant	0.220	0.739	0.243	-0.123	0.135	0.105
Calm	3.73E-01	0.692	-0.216	-8.01E-02	-3.03E-02	-8.53E-03
Feminine	0.275	0.542	-0.171	3.06E-01	2.09E-01	-0.261
Stimulating	4.28E-02	-0.222	0.824	3.09E-02	1.72E-01	8.09E-02
Passional	-0.185	0.247	0.788	2.19E-01	6.26E-02	0.116
Exciting	0.288	0.369	0.655	-7.32E-02	0.213	-5.31E-04
Natural	4.44E-01	4.01E-01	-4.86E-01	-9.50E-03	3.53E-01	0.104
Splendid	-9.90E+03	2.91E-01	0.372	0.751	7.11E-02	-7.23E-02
Delicate	9.97E-02	0.361	-2.09E-01	0.544	-6.87E-02	2.17E-01
Individual	-1.50E-02	-5.61E-04	2.97E-01	0.154	0.782	1.86E-01
Impressive	0.263	0.434	9.40E-02	-0.194	0.637	-1.25E-01
Warm	2.59E-04	0.528	8.15E-02	0.123	4.19E-02	6.86E-01
Strong	0.185	3.07E-03	0.48	2.54E-02	0.281	0.614
Urbane	0.187	0.470	6.32E-02	0.493	9.42E-02	-0.493
Eigenvalue	7.45	3.69	2.86	1.92	1.21	1.07
% of Variance	29.80	14.74	11.42	7.69	4.86	4.26
Cumulative %	29.8	44.55	55.97	63.66	68.51	72.77
Factors	Refreshing	Soft	Stimulating	Splendid	Individual	Evaluating

ylang-ylang>lavender>jasmine>basil>skatole の順で、単純労務職グループの主観的な嗜好度では lemon>ylang-ylang>jasmine>lavender> basil>skatole の順であった。

脳波の相互情報量の解析として、呈示香に対する単純労務職の相互情報量の結果を図2に示す。コントロール(無香)に比べてlavenderとlemon呈示後にF3F4の2カ所の脳波部位の平均相互情報量が有意に増加したが、lavender呈示後はP3P4で相互情報量が有意に増加した。ylang-ylangにくらべてlemon呈示後はT5T6で同じように相互情報量が有意に増加した。しかし、平均相互情報量と主観的な嗜好度との関連性は見られなかった。

さらに、販売職の主観的な嗜好度はjasmine>lemon>lavender>ylang-ylang>basil>skatole の順で表された。呈示香に対する販売職の相互情報量の結果を図3に示す。コントロール(無香)に対する各々香りに比べてbasil呈示後にはF3F4で、skatole呈示後はF3F4で相互情報量が有意に増加した。

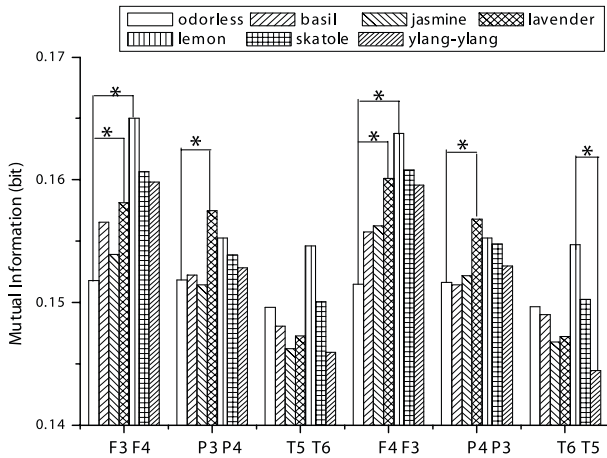


図2. 呈示の香りに対する単純労務職の相互情報量 (*P<0.05)

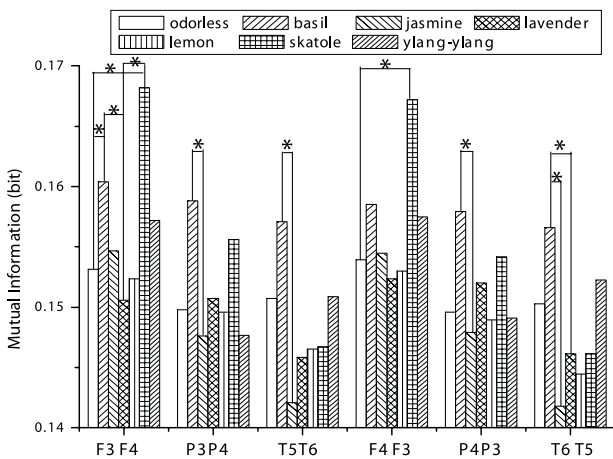


図3. 呈示の香りに対する販売職の相互情報量 (*P<0.05)

香り間では、basilに比べてjasmine呈示後には、P3P4、T5T6の部位で減少した。なお、basilに比べてlavender呈示後にはF3F4で有意に減少した。さらにbasilにくら

べてjasmineとlavender呈示後は、T5T6で相互情報量は有意に減少したが、lavenderに比べてskatole呈示後にはF3F4で相互情報量は有意に増加した。相互情報量と嗜好度との関係では嗜好度が高い香りを呈示した時に相互情報量は有意に減少する傾向が見られた。

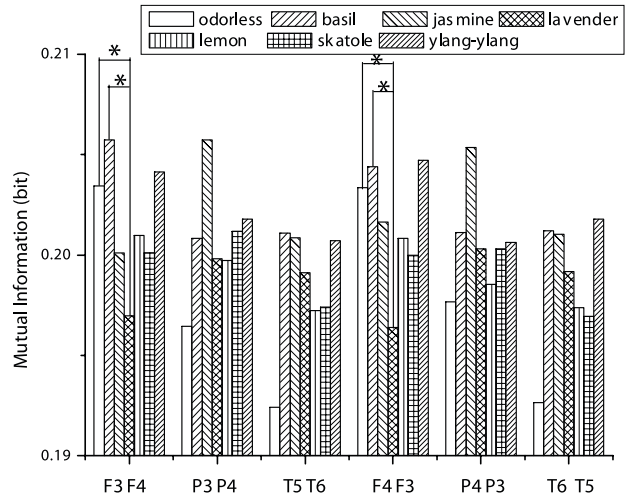


図4. 呈示の香りに対する専門職の相互情報量 (*P<0.05)

呈示の香りに対する専門職の相互情報量の結果を図4に示す。専門職グループはF3F4でコントロールとbasilに比べてlavenderの刺激による相互情報量が減少する傾向が見られた。専門職は前頭部(F3F4, F4F3)で統計的に有意差が見られ、販売職と同じように主観的な評価で嗜好度が高ければ高いほど平均相互情報量が減少する傾向が見られた。

5. 結論と考察

本研究では香粧品業に従事する単純労務職、販売職、専門職での多様な香りに対する脳の情報量の流れを把握する方法として相互情報量を用いた。その結果、専門職では相互情報量の有意差が前頭部(F3F4)のみで見られたが、単純労務職と販売職では前頭部(F3F4)、側頭部、頭頂部の全般にかけてその変化が見られた。また、単純労務職と異なり専門職と販売職は嗜好度が低い香りで相互情報量が増加する傾向が見られた。

KobalとKettermann[18]のfMRIを用いた結果とZaldら[19]のPETによる研究では香り呈示時、前頭部と嗅覚中枢を含んだ側頭部で脳機能が活性化されたという。従って、単純労務職と販売職の場合には前頭部、側頭部で相互情報量の変化が見られたのは先行して行われた研究結果と一致した。

一方、嗅覚情報を受け入れる部位と知られた orbito-frontal cortex(OFC)は前頭部の下の部分に該当する部位で、主に嗅覚情報の識別及び認知機能を担当すると知られている[20, 21]。なお、特に右側のOFCは認知記憶に

決定的な役割を行い、左側の OFC は快香りの認知に重要な役割を行う[19]。外部刺激に対し、脳の反応で後頭部は主に刺激の物理的な形態を認知するが、前頭部は刺激に対して認知反応を評価するなど高次元な機能を担当する。前頭部領域の情報量で有意な変化が見られたのは香りを専門的に区分し、弁別する職業的特性が反映された結果と思われる。しかし、作業環境で単純労務職に比べて香りの刺激に露出される時間が相対的に長い販売職での相互情報量は単純労務職と類似な傾向が見られた。つまり、販売職での香り刺激に露出される職業環境は香り関連の専門職の作業環境による反応とは区分される。

嗜好度との関係では、単純労務職と比べて専門職と販売職は嗜好度が低い香りで相互情報量が増加する傾向が見られるのは、香り関連の従事者の香りに対し主観的な嗜好度と相互情報量との関連性が示唆された。なお、嗜好度と相互情報量との反比例の関係に対し、今後更なる研究が行われるべきである。

単純労務職と香り関連の販売職の相互情報量の流れは香りの刺激時に活性化される部位である前頭部、頭頂部、側頭部で全て有意な結果が見られた。従って、香り関連の専門職では香りを区分し、弁別する職業的な特性を反映して前頭部で主として反応が見られた。

以上から、結論として、香り関連の職業によって香り刺激に対して反応する脳の活動領域の違いが明らかになり、主観評価までに影響を及ぼすことが分かった。最後に各種の精油の含有成分が異なることから香りの生体に及ぼす効果も種類により差異がある。従って、香りによる脳波の相互情報量変化の解釈には、各被験者の嗜好や評価のコントロールを検討することが重要である。

6. おわりに

香りが生体に及ぼす効果は、これまで余り明らかではなかった。それは、香りが捉えがたいものであり、どれほど生体に関わってどのように作用するのかが不明で香りの主観的評価は古くから行われてきたが、人の生体に対する生理的及び客観的計測手法が確立されてなかった為である。さらに精油物質の種類や香りに対する嗜好や記憶などが複雑に影響されるため個人差が生じる可能性があり、その評価は複雑である。香り刺激に対して科学的研究は、Sem-Jacobson[23]が初めて脳波を使った測定を行った後、多くの研究が報告されてきた。そこで香り刺激による脳波の反応には二つの傾向が見られる。つまりアルファ波(8-13Hz)の増加または減少の傾向であり、その原因としては香り刺激の呈示方法や測定のタイミングなどが挙げられる。ところで、対象は一般の被験者または化学物質に暴露された労働者が主であった。

特に、後者を対象として行われた実験は作業環境の改善がその目的であって、香りそのものが生体に及ぼす影響に関する研究は見当たらない。本研究では香粧品産業に従事する単純労務職、販売職、専門職を対象にして香り刺激による大脳の情報量の流れを把握するため相互情報量の解析を用いて香りの心理生理的効果について検討した。これらの結果から専門職では相互情報量の有意な変化が前頭部の間(F3F4)で見られたが、単純労務職と販売職では前頭部(F3F4)、側頭部(T5T6)、頭頂部(P3P4)の全域にかけてその変化が見られた。それぞれの職務と比較し、専門職が主に外部刺激に対し、高次元な機能を担当する前頭部領域の情報量で有意な変化が見られたのは香りを専門的に弁別し、認知する彼らの職業的な特性を反映した結果と推測される。なお、単純労務職と異なり専門職及び販売職は嗜好度が低い香りで相互情報量が増加する傾向が見られ、香り関連従事者の嗜好度と相互情報量の間に関連性が示唆された。香りの効果判定において、心理生理的なアプロ-チのため、脳波の相互情報量の解析が今後一層展開されることによって、香りの有用な利用が進むものと考えられる。

参考文献

- 1) Murphy, C., Nordin, S., de Wijk, R.A., Cain, W.S. and Polich, J.: Olfactory-evoked potentials: assessment of young and elderly, and comparison to psychophysical threshold, *Chem. Senses*, 19(1), 47-56 (1994)
- 2) Covington, J.W., Geisler, M.W., Polich, J. and Murphy, C.: Normal aging and odor intensity effects on the olfactory event-related potential, *Int. J. Psychophysiol.*, 32(3), 205-214 (1999)
- 3) Geisler, M.W., Morgan, C.D., Covington, J.W. and Murphy, C.: Neuropsychological performance and cognitive olfactory event-related brain potentials in young and elderly adults, *J. Clin. Exo. Neuropsychol.*, 21(1), 108-126 (1999)
- 4) Murphy, C., Morgan, C.D., Geisler, M.W., Wetter, S., Covington, J.W., Madowitz, M.D, Nordin, S. and Polich, J.M.: Olfactory event-related potentials and aging: normative data, *Int. J. Psychophysiol.*, 36(2), 133-145 (2000)
- 5) Henkin, R.I. and Levy, L.M.: Lateralization of brain activation to imagination and smell of odors using functional magnetic resonance imaging (fMRI): left hemispheric location of pleasant and right hemispheric localization of unpleasant odors, *J. Comput. Assist. Tomogr.*, 25, 493-514 (2001)
- 6) Dalton, P., Wysocki, C.J., Brody, M.J. and Lawley, H.J.: The influence cognitive bias on the perceived odor, irritation and health symptoms from chemical exposure, *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 69(6), 407-417 (1997)
- 7) Chiappino, G., Broich, G., Mascagni, P. and Picchi, O.: Occupational olfactory changes: diagnostic trends, *Med. Lav.*, 89(4), 283-291 (1998)
- 8) Rydzewski, B., Sulkowski, W. and Miarzynska, M.: Olfactory disorders induced by cadmium exposure: a clinical study, *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, 11(3), 235-245 (1998)

- 9) Babloyantz, A., Salazar, J.M. and Nicolis, C. : Evidence of chaotic dynamics of brain activity during the sleep cycle, *Phys. Lett.*, 111A, 152-156 (1985)
- 10) Basar, E. : Dynamics of sensory and cognitive processing by the brain, Berlin: Springer, (1988)
- 11) Gevins, A.A.S., Shaffer, R.E., Doyle, J.C., Cuttillo, B.A., Tannehill, R.S. and Bressler, S.L. : Shadows of thought: shifting lateralization of human brain electrical patterns during a brief visuomotor task, *Science*, 220, 97-99 (1983)
- 12) Nidermeyer, E. and Lopes da Silva, F.H. : Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields, 3rd ed. Berlin, Heidelberg. New York, Springer, 27-62 (1993)
- 13) Harada, H., Eura, Y., Shiraishi, K., Kato, K. and Soda T. : Coherence analysis of EEG changes during olfactory stimulation, *Clin. Electroencephalogr.*, 29(2), 96-100 (1998)
- 14) Xu, J., Liu, Z., Liu, R. and Yang, Q. : Information transmission in human cerebral cortex, *Physica D*, 363-374 (1997)
- 15) Jeong, J., Gore, J.C. and Peterson, B.S. : Mutual information analysis of the EEG in patients with Alzheimer's disease, *Clin. Neurophysi.*, 112, 827-835 (2001)
- 16) Na, S.H., Jin, S.H., Kim, S.Y. and Ham, B.J. : EEG in schizophrenic patients: mutual information analysis , *Clin. Neurophysiol.*, 113, 1954-1960 (2002)
- 17) Min, B.C., Jin, S.H., Kang I.H., Lee D.H., Kang J.K., Lee S.T., and Sakamoto KY. : Analysis of mutual information content for EEG responses to odor stimulation for subjects classified by occupation, , *Chem. Sense*, 28(9), 741-749 (2003)
- 18) Kobal, G. and Kettermann, B. : Olfactory functional imaging and physiology, *Int. J. Psychophysiol.*, 36, 157-163 (2000)
- 19) Zald, D.H. and Pardo, J.V. : Functional neuroimaging of the olfactory system in humans, *Int. J. Psychophysiol.*, 36, 165-181 (2000)
- 20) Jones-Gotman, M. and Zatorre, R.J. : Olfactory identification deficits in patients with focal cerebral excision, *Neuropsychologia*, 26, 387-400 (1988)
- 21) Zatorre, R.J. and Jones-Gotman, M. : Human olfactory discrimination after unilateral frontal or temporal lobectomy, *Brain* 114, 71-84 (1991)
- 22) Potts, G.F. and Tucker, D.M. : Frontal evaluation and posterior representation in target detection, *Brain Res. Cogn. Brain Res.*, 11(1), 147-156 (2001)
- 23) Sem-Jacobsen CW, Bickford RG, Dodge HW, Petersen MC, " Human olfactory responses recorded by depth electrography ", *Staff Meet Mayo Cli* 28, pp.166-170 (1953)