

原著論文

## 暗算課題による心理・生理応答への香り呈示の効果

小池 貴行\*, 山田 弘司\*\*\*\*, 金木 則明\*\*, 上村 浩信\*\*\*

\* 室蘭工業大学SVBL, \*\* 室蘭工業大学もの創造系領域,  
\*\*\* 室蘭工業大学ひと文化系領域, \*\*\*\* 酪農学園大学酪農学部

### Psycho-physiological Responses to Mental Arithmetic with Temporal Aroma Presentation

Takayuki KOIKE\*, Hiroshi YAMADA\*\*\*\*, Noriaki KANEKI\*\* and Hironobu KAMIMURA\*\*\*

\* Satellite Venture Business Laboratory, Muroran Institute of Technology, 27-1 Mizumoto, Muroran-shi, Hokkaido 050-8585, Japan

\*\* College of Design and Manufacturing Technology, Muroran Institute of Technology, 27-1 Mizumoto, Muroran-shi, Hokkaido 050-8585, Japan

\*\*\* College of Liberal Arts, Muroran Institute of Technology, 27-1 Mizumoto, Muroran-shi, Hokkaido 050-8585, Japan

\*\*\*\* Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, 582-1 Midorimachi, Bunkyo-dai, Ebetsu-shi, Hokkaido 069-8501, Japan

**Abstract :** The purpose of this study was to investigate whether peppermint and orange reduce psychological stress and enhance concentration of attention during mental arithmetic. Ten male students participated in this study performed mental arithmetic test two times. We measured oxy-hemoglobin concentration in cerebral blood flow ( $\Delta O_2Hb$ ) in frontal and temporal lobes, blood pressure, and the number of answers and mental impressions for the test and presented aromas. The aromas and non-odor were presented during 9th minutes from beginning the test. Peppermint and orange remained and significantly increased  $\Delta O_2Hb$  in left and right temporal lobes, respectively, while the aromas did not change the number of answers. Principle component analysis for mental state and behavioral data as well as for the measured all variables showed the aromas contribute to enhance concentration and inhibited sleepiness, and the aromas separated psycho-physiological response, respectively. The findings indicate that temporal aroma presentation mainly changes brain activity and thus improves concentration of attention.

**Keywords :** Mental Arithmetic test, Concentration of attention, Aroma stimuli

## 1. 緒言

デスクワークが長時間に及ぶと心的疲労の蓄積に伴う注意集中の低下が起り、心理的にもストレス状態を高めてしまう [1]。そのストレス状態は作業対象への注意集中度を一層低下させ、作業ミスを引き起こすので、更に心理的ストレスが増加する。また、近年では、そういった職業ストレスによって虚血性の心臓疾患の発生率が上昇するなど、身体面に悪影響を及ぼす報告がある [2]。このように労働に伴う心的疲労の軽減は、疲労によって低下する注意集中により発生する人為的ミスを軽減し、心理的ストレスを抑制させる意味でも、重要であると考えられる。

注意集中状態を検査する手段として内田クレペリン精神検査 (以下、UKMT) があり、長時間の実施によって心理的疲労と注意集中の状態が確認できる。図1にクレペリン検査の一例を示す。この検査では、隣接する2つの一桁の数字を加算し、一の位の数字を回答することを繰り返す課題である。この計算過程には、数字の識別と記憶という短期記憶、そして加算と回答という長期記憶が含まれるため、ワーキングメモリーを確認する課題として扱われる [3, 4]。長時間の計算課題の実施は、数字や計算への注意集中の低下や自律神経系の活動を増加させ、ストレスを増加させる [2, 5, 6]。また、計算課題実施に伴い脳が活性化することが知られており、

近赤外線分光法装置 (NIRS) を使った研究では、酸素化ヘモグロビン濃度 ( $\Delta O_2Hb$ ) が、左右前額面と左側頭部で増加すること [7] や、前頭前野 (PFC) の活動が増加すること [8-15] が知られている。さらに、健康な高齢者の側頭葉の活性は、若年者のそれよりは下がるが、認知症やアルツハイマー病患者のそれよりも増加する報告もある [16]。これらの見解は、計算課題の実施によってストレスを増加させるだけでなく、注意集中と計算によって脳活動が増加することを示唆する。これらの見解は、さらに実際のデスクワークで見られる長時間の計算実施が注意集中の低下とストレスを増加させることを支持するものである。

一方で香は集中やストレス状態を変化させる効果があることが知られている。例えば、香知覚後の直感的心理印象の情報から潜在的な心理印象の同定が可能であり [17]、香の知覚は快の情動を高めると報告されている。また、聴覚オッドボール課題中に香を知覚すると認知負荷による心理的疲労が軽減され、通常の無臭状態よりも音への注意集中の低下が抑制される報告がある [18]。最近では、4週間の香水の間欠的呈示が暗算に伴う PFC の活動を減少させ、さらに皮脂量から評価したストレス状態を軽減させる報告がある [6]。この報告では、注意集中の持続やストレスの軽減に長期間の香呈示が効果的であることを示唆する。その一方で、短時間の香り知覚によって計算課題成績が向上する報告があることから [19]、短時間の香り呈示によって注意集中の低下が

図1 クレペリンテストの問題例

抑制され、脳の活動状態にも影響し、ストレスが軽減されることが予想される。

そこで本研究では、注意集中等を検査する内田クレペリン精神検査中の短時間の快臭呈示によって、長時間の計算に伴う注意集中の低下抑制に伴い、脳活動状態が変化するか、さらに、自律神経系活動や心理状態から推定可能なストレス状態が変化するかを検討することを目的とした。この研究のために、被験者には、通常の内田クレペリン精神検査で採用される方式である「15分間の計算を5分の休憩を挟んで2回実施する」[20]を3セット実施してもらった。被験者へ呈示した香は、無臭 (NON)、鎮静作用のあるオレンジ (ORG)、覚醒や注意集中作用のあるペパーミント (PMINT) とし、各香は、各15分間のテストの9分から10分の間の1分間に呈示した。また、テスト実施中及びその前後の大脳皮質活動変化をNIRSで測定し、 $\Delta O_2Hb$ から推定される大脳皮質の活動状態の変化を推定した。また、ストレス状態に伴う自律神経系の活動状態の変化は、テスト前後の血圧から推定した。さらに課題や香への心理的印象はSD法によるアンケートから得た。

## 2. 方法

### 2.1 被験者

被験者は右利きの健康な男子大学生10名であった。実験内容の説明後、彼らからは実験参加に関する同意が得られた。被験者には、実験実施前日には、飲酒と喫煙を控え、十分な睡眠をとること、また実験実施当日は、実験開始2時間前には食事を済ませ、タバコやコーヒーなどの嗜好品の摂取を控えるようにした。

### 2.2 内田クレペリン精神検査

実験課題であるUKMTの検査手順は、「15分の暗算課題を5分の休憩を挟み2回実施する」となっている[20]。計算課題は総計30行からなる計算課題が配置され、1分当たり1行の数字を加算する。図1にその課題例を示した。隣接する数字を加算し、得られた数字の1の位を記入するものである。この検査では、1分毎の計算量や正答率、さらに各時間の回答数変化から実施者個人の作業特性や性格を調べられる。また、計算を2回行うのは、それら特性や性格が再現さ

れるか、それとも心理的疲労によってそれら項目が変化するかを調べるからである。本研究ではNON、ORG、PMINTを課題実施中に呈示したので、計算課題を3セット分用意した。NON呈示時では、実際にUCMTで使われる用紙を利用したが、他の香呈示時では、UCMTの繰り返し実施で生ずる課題内容への慣れを防ぐために、実際のUCMTで配布される問題を3分割し、その順番を入れ替えた問題を5つ作成した。被験者はこのUCMTを3セット実施した。被験者へは5つの問題からどれを行うかは分からないと説明したが、実際は全被験者に共通して2つの問題を使用した。実際の実験では、図3に示したプロトコルのように、血圧や心理状態を測定したので(後述)、1と2回目の休憩を長くした実験設定とした。なお、セット間の休憩時間は、被験者の心身の回復を優先し、20分以上とした。

### 2.3 香の選定と呈示方法

香の選定では、本実験実施前に15名の男子大学生を対象に、10種類の香から、最も鎮静する香と最も覚醒する香を選別してもらった。その結果、覚醒する香りとしてPMINTと鎮静する香としてORGの2つが選ばれた。これら香の呈示は、各セットの前半と後半ともに、計算量が最も少なくなる時間帯である課題開始後9分目に1分間行った。香の呈示では、香精油(曾田香料)15 $\mu$ lを含んだ匂い紙をニオイ刺激装置(HR-01:新電気製作所製、室蘭)に接続されたビンに入れ、ボンベから配管を経て流れてきた圧縮空気(無臭)とこれら香を混合させた。流量は1リットル/分とした。呈示開始スイッチ投入後、気象室へ香が呈示されるまでに3秒を要するので、計算開始から8分57秒後にスイッチを投入した。

### 2.4 測定手順と測定項目

被験者は、人工気象室内に設けられた座席に着座後、実験者によって左右前額部と側頭部に脳血流内の $\Delta O_2Hb$ 測定用のNIRS(NIRO-200、浜松ホトニクス)の光ファイバプローブが装着された。検出用プローブのチャンネル数は8チャンネルであった。前額部のプローブ装着は両面テープによって行い、側頭部へのファイバーの装着は専用アダプターを使用した。図2には、プローブの取り付け位置を示した。取り付け位置の設定は国際10-20法に従った。図中の「赤い三角」は発光部であり、「中抜きに青い三角」は受光部である。

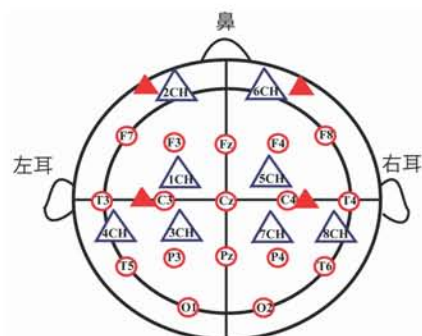
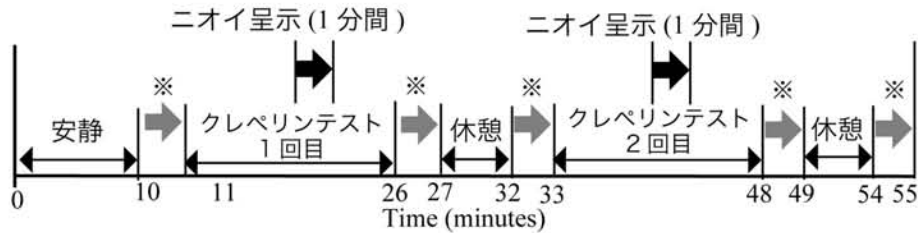


図2 NIRSのプローブの配置図

## 実験プロトコル



「※」は心理印象アンケートと血圧測定（1分間）である。

図3 実験プロトコル

その図から確認できるように、側頭葉の受光部はF3とF4付近、P3とP4付近、そしてT5とT6付近に装着され、前頭葉では発光部と受光部がFp1とFp2に装着された。その後、実験プロトコル(図3)に従い、クレペリンテストを実施した。血圧測定では非観血式連続血圧測定装置(JENTOW-7700, 日本コーリン)のカフを被験者の左上腕に装着し、1回目の課題実施前後と休憩時、さらに2回目野課題実施前後の計5回測定し、最低血圧と最高血圧を測定した。この測定後、各被験者は行った課題や知覚した香の印象、心的疲労度などに関する心理アンケートに回答した。香の印象項目は、「好き-嫌い」、「覚醒する-ぼんやりする」、「高揚する-落胆する」、「安らぐ-興奮する」、「充実した-まばらな」とした。この香印象のアンケートの質問項目はSD法に準拠し一対となっており、各質問に対し7段階で評価とし、正の印象(好き, 覚醒する, 高揚する, 安らぐ, 充実した)と負の印象(嫌い, ぼんやりする, 落胆する, 興奮する, まばらな)とをそれぞれ7と1とした。また、心理状態のアンケートでは「集中」、「疲労」、「動機」、「眠気」、「機嫌」を5段階評価で問い、安静時、2回の課題実施前後の計5回計測した。それぞれの項目に最も該当した場合には「5」とし、最も当てはまらない時には「1」とした。なお、「疲労」と「眠気」は負の印象であったので、他の項目とは逆の評価とした。これらの項目の選定は、事前に15名の学生から注意集中に関し、連想できる印象の単語を多くあげてもらい、その中で最も挙げられた5つを実験の実験でもちいた。得られたアンケートの結果のうち1回目と2回目の課題終了後のアンケートを解析対象とした。

## 2.5 データ分析

課題実施時の姿勢は、課題成績を優先としたため、椅子座位姿勢を基準にもっとも作業しやすい姿勢とした。このため頭部が深く下垂する姿勢で行った者や頭部が頻繁に動く者が見られた。その姿勢や動作は $\Delta O_2Hb$ データにアーティファクトやドリフトなどのノイズを発生させる。このノイズに関し、Matsuda and Hiraki [21] は、テレビゲームを行う子供の脳活動をfNIRSで測定し、ゲーム中に頻繁に生ずる頭部運動が原因のアーティファクトや信号ドリフトを除去するために、FIR型ローパスフィルター(Savitzky-Golay フィルター)を使いアーティファクトを除去した。その後、課題開

始前安静時の最初の1分間のデータと課題終了後の最後の1分間を用いて、信号のドリフトを除去した。本研究の実験条件はMatsuda and Hirakiの測定状況と類推したので、彼らが用いた信号処理方法を採用した。信号処理された $\Delta O_2Hb$ のデータは、1分毎の変動を調べるために、測定開始1分毎のデータの平均値を算出した。その際、課題開始前の安静時データの平均値と標準偏差を用いZ値を算出した。また、血圧値も個人差があるので安静時を基準に規格化した。それら値の時系列変動とニオイ条件差、そして課題1回目と2回目の変化を解析条件とする3元配置分散分析を用いて検証した。その解析で有意性が認められた場合には、Fisher HSDテストを用いて、各時間、ニオイ条件、さらに1回目と2回目の条件を考慮した一対比較を実施した。それぞれの検定の棄却水準は $p < 0.05$ とした。血圧については、時間とニオイを条件とする二元配置分散分析を用いた。

## 2.6 主成分分析と交差検定法による差異の検出

多くの心理-生理学的研究では、種々の刺激呈示による心理状態や生理状態の変化について個別に解析するのが主流となっている。しかし、本研究のように測定項目が増えるとデータが冗長化するため、条件変化に伴うデータの解釈を困難にさせる場合がある。主成分分析はそのような冗長になりがちな多次元の情報を低次元に圧縮し、重要な情報を低次元へ、重要性が低い情報ほど高次元に集めるものである。本研究では、主成分分析を用い、ニオイ呈示や1回目と2回目、という条件変化によってどの変数が重要となるのか、を明らかにする。その分析を実施するために、まず、表1のような心理状態アンケート、平均計算数、血圧変化、さらに全チャンネルの $\Delta O_2Hb$ データの行列を作成後、主成分分析にかけ、多次元のデータ群を低次元のデータ群に凝縮した。また、主成分分析から算出できる項目は主成分得点、固有値、寄与率、因子負荷量などである。固有値は算出すべき主成分の次数に幾つの変数が関与しているかを決定する際に用いられる。また寄与率は個々の主成分に集約される情報量の割合を示す。さらにその寄与率を第1次主成分から順に加算し得られる累積寄与率では、最初に0.80以上を越えた時点までの主成分が評価対象として用いられる。本研究では第20主成分得点までを評価対象とした。

本研究ではそれら主成分軸が形成する分布図を用いることで、データの識別を視覚的に可能した。また、各主成分の香呈示条件間や1回目と2回目の差異を検出するためにleave-one-out cross validation (LOOCV) 法を用いた。このLOOCV法は、既存のデータに新規のデータを加えた時に、既存値の回帰直線に過適合するかを平均二乗誤差(MSE)から検証するものである。本研究の場合、ニオイや回数によって分けられた複数のデータ群から成るデータを比較したので、ある群の回帰直線に対する他群とのMSEを算出し、群間差を検証した。例えば、第1主成分に対するその他の主成分の散布図を構築し、ニオイ間の影響や回数間の条件で誤差を比較した。

さらに、それら分離されたデータの機能的解釈をするために、ニオイ条件間や回数間の平均値の差に関する効果量Cohen's dを算出した。これは、2つの標本平均の差を、データの分散で規格化した量である。また大きな効果がある値として $d > 0.8$ とした。

### 3. 結果

被験者の各テスト実施回数の回答数は、NONでは1回目が $53.50 \pm 14.65$ 、2回目が $59.33 \pm 15.44$ であった。PMINTでは1回目が $56.23 \pm 16.86$ 、2回目が $61.03 \pm 18.51$ であった。ORGでは1回目が $59.33 \pm 16.92$ 、2回目が $62.29 \pm 18.17$ であった。香呈示の効果を検討するために、この計算量はさらに香呈示時間を境に前半部分と後半部分に2分割した。表2に前半と後半の回答数を示した。計算量は、1回目と2回目共に前半と後半の差は無かったが、前半および後半の1回目と2回目の比較では、前半と後半共に2回目が有意に増加した( $p < 0.05$ )。

NIRSから得られた $\Delta O_2Hb$ では、主に右半球で香呈示や時間経過、そして回数に伴う有意な差が見られた。図4には、チャンネル4と6、およびチャンネル8におけるNON、PMINTおよびORG呈示時の $\Delta O_2Hb$ の変化を示した。また、表3には3元配置分散分析の結果を示した。図4の点線がNON条件、実線がPMINT条件、赤線がORG条件である。アスタリスク(\*)は無臭とペパーミントと間で有意差があったこと、ダガー(†)は無臭とオレンジの間に有意差があり、ダブルダガー(‡)はペパーミントとオレンジに有意差があったことを意味する。ダブルアスタリスク(\*\*)は、1回目と2回目に有意差があったことを示す。また、図中の数字はその時間と有意差があったことを示す。図4左上に示したチャンネル4は言語や認知などに関わる左角回(angular gyrus)という部位付近に相当し、計算の実施にも関わる場所である。このチャンネルで測定された $\Delta O_2Hb$ のニオイと回数の交互作用で有意な変化を示したのがORG条件であった。Post-hocテストは1回目にPMINT条件よりもORG条件が有意に増加した( $p < 0.05$ )。2回目ではNON条件やPMINT条件より有意に増加した( $p < 0.005$ )。また、ORGの1回目より2回目のほうが有意に増加した( $p < 0.001$ )。チャンネル6(図4右上)は右前額面に相当する部位である。このチャンネルの三元配置分散分析は、ニオイと回数に交互作用があることを示した。ORGを提示すると $\Delta O_2Hb$ の値は、1回目と2回目ともにNONやPMINTより有意に増加した( $p < 0.05 \sim 0.001$ の範囲)。またORGの2回目が1回目より有意に増加した( $p < 0.001$ )。図4左下のチャンネル8では、ニオイ( $F_2 = 70.57$ ,  $p < 0.001$ )、時間( $F_{29} = 3.85$ ,  $p < 0.001$ )、回数( $F_1 = 41.38$ ,  $p < 0.001$ )で有意差があり、さらにニオイと時間の交互作用があった( $F_{2,29} = 1.70$ ,  $p < 0.001$ )。その後のpost-hoc分析では、課題19～21分目においてPMINTと

表1 主成分分析のための心理-生理データの行列

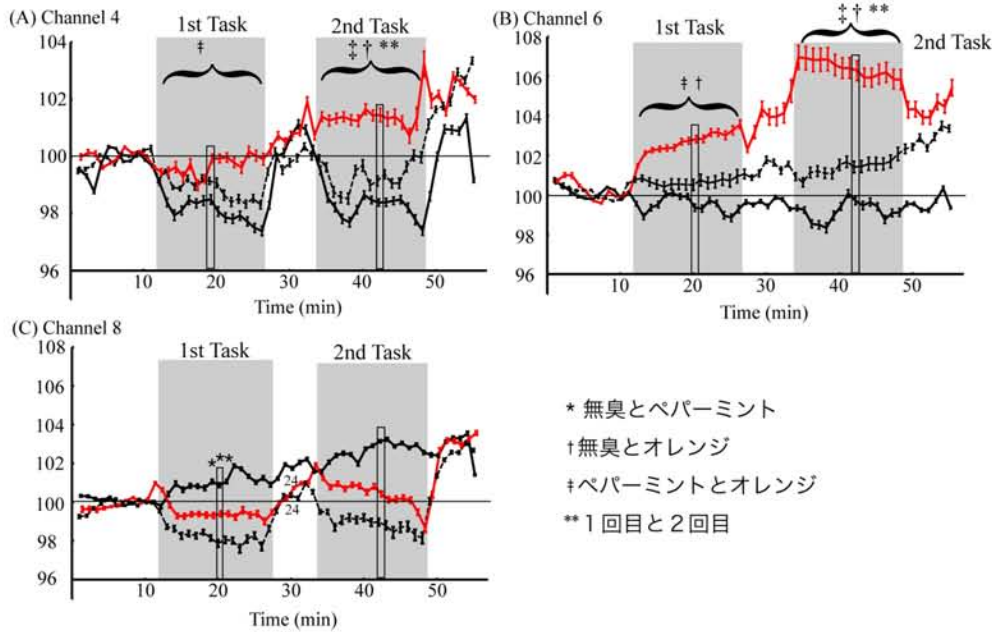
回数	被験者	香り	計算量	血圧	心理状態	NIRS Ch 1	...	NIRS Ch 8
			1と2回目	1と2回目	1と2回目	Rest, 1, 2, 3...15 (min)		Rest, 1, 2, 3...15 (min)
1	1	NON	データ行列 = $[60 \times 146]$ ↓ 10被験者 × 3種類のニオイ × 試技回数2回 ↓ 計算量 × 2 + 最低血圧と最高血圧 × 3回 + 心理項目5つ × 2回 + NIRS 16点 × 8チャンネル					
		PMINT						
		ORG						
	2							
	...							
2	10							

表2 各香呈示条件および2回の計算課題実施時の計算量

	1回目 前半		後半		2回目 前半		後半	
NON	52.94	(15.15)	54.16	(14.15)	60.03	(16.44)	58.54	(14.28)
PMINT	55.15	(17.20)	57.46	(16.51)	61.73	(19.31)	60.24	(17.68)
ORG	58.59	(16.55)	60.17	(17.41)	62.73	(18.37)	62.03	(18.08)

表中の“\*”は2回目の計算量が1回目より有意に多かったことを意味する。

## 暗算課題による心理・生理応答への香り呈示の効果

図4 チャンネル4, 6およびチャンネル8の香り呈示に伴う $\Delta O_2Hb$ の変化。

点線はNON条件, 太線はPMINT条件, 赤線はORG条件である。灰色の1st Taskは課題1回目, 2nd Taskは課題2回目である。その他は安静状態である。図中の四角は香り呈示時を指す。課題中の大きいカッコは、この区間でニオイ間の有意差があったことを示す。

無臭の間に有意差があった。また、NONの29分目とORGの30分目が24分目の値より有意に増加した ( $p < 0.05$ )。

図5には、各香呈示条件における最低血圧と最高血圧の変化を示した。最高血圧に関する二元配置分散分析はニオイ ( $F_2 = 3.76, p < 0.05$ ) と時間 ( $F_4 = 3.57, p < 0.001$ ) で有意な効果を示したが、ニオイと時間の交互作用はなかった。Post-hocテストでは、安静状態に対する、1回目と2回目の検査後に有意差があった。またニオイ間の比較では、PMINTがNONより有意に減少した。最低血圧では有意差は無かった。

計算量と課題実施に関する心理印象アンケートをもとに主成分分析を施した結果を図6に示す。図6aが課題1回目、図6bが課題2回目である。図6aでは、第1主成分と第2主成分の固有値が2.76と1.26であり、第1主成分に関わる因子は動機と集中度であったことから、この軸は「意欲」とし、第

2主成分では計算量となった。香を呈示すると計算量が増加する傾向があった。また、図6bの第1と第2主成分の固有値が2.61と1.38であり、第1主成分に関わる印象は集中と動機であったので、後半の第1主成分軸も「意欲」とした。そして第2主成分では「覚醒—眠気」とした。アンケートでは負の値ほど眠気が強くなるので、この分布から香呈示によって覚醒していることが考えられた。

図7には、ニオイ条件の変化に伴う心理印象アンケート、計算量、血圧、そして $\Delta O_2Hb$ のデータを主成分分析にかけた結果の一例を示した。この分析によって算出される固有値は、第15主成分までで、32.18, 22.41, 15.13, 11.04, 9.51, 7.67, 6.52, 3.88, 3.49, 2.26, 1.67, 1.53, 1.09, 1.01, 0.73であった。寄与率は、第13主成分までで22.20%, 15.46%, 10.43%, 7.61%, 6.56%, 5.29%, 4.50%, 2.67%,

表3 3元配置分散分析によるNIRSの各チャンネルの分析結果

	Odors		Time		Task Number		Interaction (Odors x Time)		Interaction (Odors x Number)		Interaction (Time x Number)		Interaction (Time x Number x Odor)	
	F(2)	P	F(29)	P	F(1)	P	F(2,29)	P	F(2,1)	P	F(29,1)	P	F(2,29,1)	P
Ch1	0.415	0.66	5.248	<0.001	10.90	<0.001	0.4	0.99	1.86	0.16	0.28	0.99	0.145	1
Ch2	32.28	<0.001	1.67	0.02	11.13	<0.001	0.66	0.98	2.717	0.06	0.198	1	0.14	1
Ch3	47.92	<0.001	3.27	<0.001	20.59	<0.001	0.77	0.90	0.51	0.6	0.34	1	0.25	1
Ch4	24.02	<0.001	2.77	<0.001	14.56	<0.001	0.575	0.99	3.81	0.02	0.34	0.99	0.25	1
Ch5	9.83	<0.001	2.51	<0.001	7.96	<0.005	0.61	0.99	2.60	0.07	0.67	0.91	0.35	1
Ch6	48.04	<0.001	0.94	0.56	8.56	<0.005	0.67	0.98	4.61	0.01	0.19	1	0.19	1
Ch7	20.45	<0.001	2.65	<0.001	53.80	<0.001	0.71	0.95	0.88	0.42	0.95	0.53	0.09	1
Ch8	70.57	<0.001	3.85	<0.001	41.38	<0.001	1.70	<0.001	0.47	0.62	0.87	0.66	0.19	1

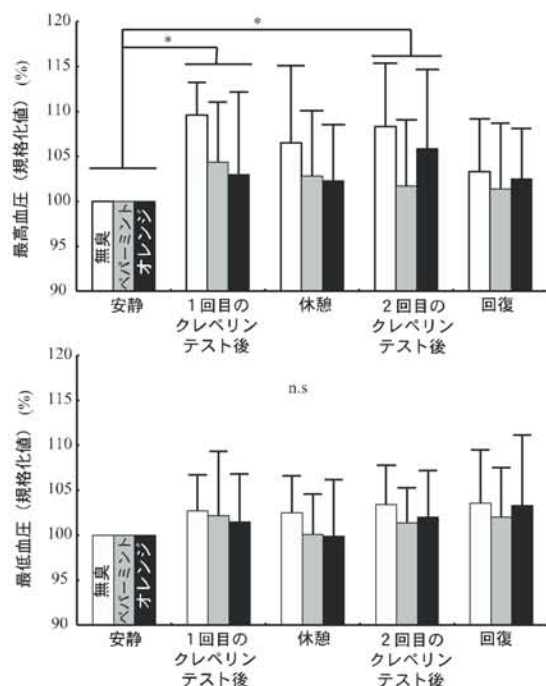


図5 最高血圧（上）と最低血圧（下）の変化。

図のエラーバーは標準偏差である。[\*]は有意差( $p < 0.05$ )があることを示す。

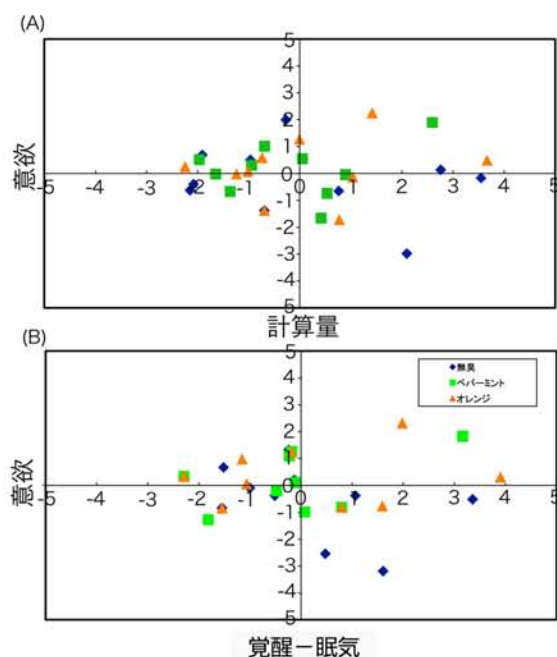


図6 心理印象と計算量に関する主成分分析の結果。

上の図6aが課題1回目、下の図6bが課題2回目のものである。

2.41%, 1.56%, 1.15%, 1.05%, 0.75% となり、累積寄与率は第12主成分で80%以上となった。特に固有値が最も大きかった第1主成分に対応する要素はNIRSのチャンネル1の中盤(5-12分目)の $\Delta O_2Hb$ であったことから、この主成分は側頭部前方の活動状態を意味する。また、第2主成分には課題実施前後の最低および最高血圧、2回目の心理的疲労が反映され、この主成分は心理的ストレス状態の変化とし

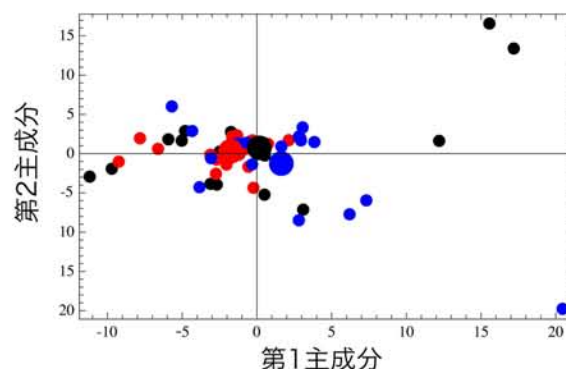


図7 香呈示に伴う心理生理応答に関する主成分分析の結果。

図中の点の色は、黒はNON、赤はPMINT、青はORGを示す。各色の大きな点は重心（各主成分得点の平均値）である。

た、この図では黒のNONの重心が原点付近であり、赤のPMINTの重心は負の値、青のORGの重心が正の値となった。第2主成分軸に対する値の変化では、各香呈示条件ともに第1主成分軸付近、すなわち0付近であった。この図全体ではNONとPMINTの分布に差異が無いようにも見られた。

LOOCVによる誤差にも回数間やニオイの影響がみられた。表4にその結果を示す。1回目と2回目を合わせたNONの回帰直線を学習モデルとし、その直線にPMINTまたはORG呈示時のデータに適用すると、回帰直線に対する後者2つの誤差が0.39と0.38となった。また、PMINTに対するORGの誤差も無臭とORGの比較時と同程度であった。各ニオイ呈示時の1回目と2回目の比較では、いずれのニオイでも誤差は0.36から0.40であった。1回目内のNON1に対するPMINT1とORG1、およびのPMINT1に対するORG1のMSEでも0.38, 0.37, 0.40であった。2回目も0.37から0.39の範囲であった。Cohen's dより得られる、各主成分得点における効果量では、1回目のPMINTとORGとの間で大きな効果量があった(PC1, 3, 10)。1回目のNONとPMINTの間(PC3, 14)や、2回目のNONとPMITの間(PC3, 16)でも

表4 各主成分得点の分布で適用されたLOOCVより得られた香条件間の平均自乗誤差

	比較条件	MSE
1回目と2回目を 含めたニオイ条 件差	NON 対 PMINT	0.394
	NON 対 ORG	0.380
	PMINT 対 ORG	0.381
各ニオイ条件の 1回目と2回目の 比較	NON1 対 NON2	0.382
	PMINT1 対 PMINT2	0.369
	ORG1 対 ORG2	0.400
各実施回数内の ニオイ間の比較	NON1 対 ORG1	0.402
	NON1 対 PMINT1	0.373
	PMINT1 対 ORG1	0.396
	NON2 対 PMINT2	0.372
	NON2 対 ORG2	0.385
	PMINT2 対 ORG2	0.382

## 暗算課題による心理・生理応答への香り呈示の効果

表5 効果量があった主成分と比較条件の表

主成分	比較条件	d 値	差分値
PC 1	P1 - O1	0.86	-2.88
PC 3	P1 - P2	0.84	-2.32
	N1 - P1	0.88	-2.76
	P1 - O1	0.86	2.75
	N2 - P2	1.89	-6.21
	P2 - O2	1.47	4.24
PC 10	P1 - O1	0.81	-0.62
PC 13	N2 - O2	0.80	-0.80
PC 14	N1 - P1	1.08	-0.80
	N1 - O1	1.33	1.07
	N2 - O2	1.30	1.12
PC 16	P1 - P2	1.49	-1.23
	N2 - P2	1.30	1.12
PC 17	N1 - O1	0.81	0.57
PC 19	N1 - N2	0.96	-0.58

PCは主成分、Pはペパーミント、Oはオレンジ、Nは無臭を示す。  
また1と2は1回目と2回目である。

効果量があった。また、NONとORGにも効果量があった。同一のニオイ条件内における1回目と2回目の効果量の比較では、PMINTでは1回目と2回目に大きな効果量があった(PC3, 16)。無臭ではPC19に1回目と2回目の効果量があった。

## 4. 考 察

本研究の目的は、注意集中状態を検証する内田クレペリン精神検査によって心理的ストレスが増加するが、それが香呈示によって軽減されるかを心理生理的側面から検証した。この目的のため、UKMT実施中の大脳皮質の活動状態を反映する $\Delta O_2Hb$ や自律神経系の活動状態を示す血圧、さらに心理印象を測定し、注意集中やストレスの状態を定量的に評価した。行動成績では、香刺激呈示前と後の計算量が共に1回目より2回目が有意に増加したが、計算量全体では香の違いによる差は無かった。この結果はニオイが計算量に影響されないことを示唆する。左後下側頭部と右後側頭部ではORGを呈示すると $\Delta O_2Hb$ がNONやPMINTより増加したこと、ORGの知覚によってこれら部位の活動が増加したことを示唆する。実際、計算量が増加すると $\Delta O_2Hb$ から得られる脳活動レベルが増加することが多数報告されている[8-14, 16]。高齢者の計算中の側頭葉の活性状態が同世代の認知症患者のそれよりも有意に増加し、計算量も増加する報告がある[16]。本研究の結果は、ORGの知覚によって後側頭葉の活動が増加し、計算量も有意ではないが無臭時よりも増加したので、ORGは脳を活性化させ注意集中を持続させる上では効果的であると考えられる。これに対し、PMINTの呈示によって、 $\Delta O_2Hb$ がORGよりも減少し、

計算量も有意差は無かったが他の香よりも増加した。特にチャンネル8ではORGとの差は無かったのに対し、無臭との差が見られた。これら活動と計算量の差には香の効能の違いが影響していると考えられる。ORG香には鎮静作用があり、不眠症治療やストレス状態にある者の入眠効果を高めるなど、脳の活性を下げ、リラックス状態を高めることが知られている[22]。一方のPMINT香は覚醒や集中を高める効果があり、自動車運転の居眠り防止に効果があることが知られている[23]。これらの報告を元に考えると、PMINTの効果である覚醒と注意集中の効果によって $\Delta O_2Hb$ の増加をもたらした。ORG呈示時では鎮静作用によって脳活動が抑制されたと考えられる。

心理印象の主成分分析では、1回目では香呈示によって増加する意欲に対する「計算量」の変化、そして意欲に対する「覚醒—眠気」の変化が見られた。この結果は、まず課題1回目では香呈示によって意欲が高まるほど、計算量が増加することを意味し、2回目では香呈示によって意欲が変化すると覚醒状態も変化することを示唆する。さらにこれら結果は、このUCMTで検証される注意集中に、動機という要素が大きく影響することを示唆する。しかし、心理印象アンケートでは5段階評価の質問項目であった。このことが主成分得点の情報量を低くさせたと考えられる。

行動や心理、さらに生理情報に対する主成分分析による重要な情報の抽出と多次元情報の圧縮、そしてLOOCVが検出するニオイ条件や回数に伴う誤差から、回数間やニオイ間に差があることが確認された(表3)。特に左の前側頭葉部位の $\Delta O_2Hb$ から成る第1主成分とストレスに関わる血圧や心理的ストレスから成る第2主成分というように、情報量の多いNIRSだけでなく、ストレスや心理情報が低次元の主成分に現れることは、この主成分分析が冗長的な情報群の中から意味ある情報を優先的に抽出できる方法であること意味する。これら主成分分析の結果は、この課題遂行による注意集中状態の持続にニオイの知覚が重要となることを示唆する。

また、Cohen's dを用いて、ニオイ条件間や実施回数の効果量を算出し、大きな効果量( $d > 0.8$ )となった主成分を明らかにした。PMINT呈示時には第1、第3、第10、第14、第16主成分で他のニオイとの差があった。このことはPMINTが幅広い成分で影響することを示唆する。ORGもPMINTと類推したが、その範囲はPMINTより高次元の主成分に影響した。無臭は第3、第14、第17主成分という高次の主成分にほかのニオイとの変化が現れた。これらの結果は、ニオイ条件の差は広い範囲で反映されることを意味するが、PMINTとORGは比較的重要度の高い低次元の主成分に影響することを示唆する。一方で同一のニオイ内の1回目と2回目の差では、PMINTは第3と第16主成分に効果量が現れ、無臭では第19主成分に効果量が現れた。これら結果はPMINTでは幅広い重要性を有する主成分のデータに1回目と2回目の影響が現れ、無臭では重要度の低い高次元の主成分に現れることを示唆する。

疲労やストレスといった心理印象や自律神経系活動指標である血圧が第2, 6, 13主成分の因子となった。これら主成分に関する効果量は第13主成分のNONとORGとの間のみで確認された。この結果は無臭条件ではストレス状態が高まるが、オレンジを呈示するとこのストレス状態が低下することを示唆する。しかし、効果量が0.8以上となった主成分の大半が $\Delta O_2Hb$ であり、主にニオイの影響を受けることを示したので、この結果は、ニオイがクレペリン検査実施中の脳活動に影響させたことを示唆する。さらに1回目と2回目の活動量に差があることを示した。この結果は、2回目の活動状態が増加することを示唆する。UKMT実施中のニオイ呈示によってどの情報が最も影響を受けるかが、PCAとLOOCVによって明らかにされたが、仮に、これら変数の一連の因果関係を詳細に検証するのであれば、今後、因果ネットワークモデルによって検証する必要があるだろう。

このLOOCVを使ったモデルの評価や群間の差異を検証した研究には、例えば、Abrishamianらによるページアンネットワークモデルを用いた心理—生理的状态を推定するモデルの精度の検証[24]、また、Niggらによる、走運動中の身体座標の変位を性差や靴の特性差、年齢差などで判別した研究[25]がある。特に、後者の研究では、LOOCVは視覚的に判別が困難な条件間の差異の特徴を抽出する際に効果的であったと説明されている。本研究では、主成分分析によって得られた分布の香による変数差をLOOCVによって抽出することができた。したがって、主成分分析の特徴である視覚的な差の検出が困難であっても、このLOOCVを用いることは検出精度を高めつつ、群間差を検出するという意味で効果的であると考えられる。

## 5. ま と め

本研究では、注意集中を要する計算課題実施中の香の呈示が注意集中の低下を抑制し、計算量や大脳皮質の活性状態の変化、そして心理的ストレスの軽減に関与するかを検証した。その結果、計算量はニオイの影響を受けなかったが、 $\Delta O_2Hb$ はPMINTやORGを呈示すると、それぞれ増加および減少することを示した。心理印象の主成分分析では、動機が計算量や覚醒状態に影響したことから、動機が注意集中に影響するものと考えられる。また、計算量やその他の心理—生理パラメータを用いた主成分分析とLOOCVの結果から、心理—生理的ストレス情報や $\Delta O_2Hb$ の情報の重要度の高さが示され、さらにニオイ条件間や1回目と2回目の差が確認された。また、Cohen's dによる検定から、PMINTとORGは、重要度の高い低次元の主成分に効果量が見られ、NONとの差や1回目と2回目の差があった。NONでは重要度の低い高次元の主成分に実施回数の差が見られた。以上のことから、香の呈示は計算課題に伴う注意集中の持続や心理及び自律神経活動、そして脳活動状態に影響することが総合的に評価された。

## 参 考 文 献

- [1] Summala, H., Mikkola, T.: Fatal accidents among car and truck drivers: effects of fatigue, age, and alcohol consumption, *Human Factors*, 36, pp.315-326, 1994.
- [2] Uehata, T.: Long working hours and occupational stress related cardiovascular attacks among middle-aged workers in Japan, *Journal of Human Ergonomics*, 20, pp.147-153, 1991.
- [3] Gruber, O., Indefrey, P., Steinmetz, H., Kleinschmidt, A.: Dissociating neural correlated of cognitive components in mental calculation, *Cerebral Cortex*, 11, pp.350-359, 2001.
- [4] Zago, L., Pesenti, M., Mellet, E., Crivello, F., Mazoyer, B., Tzourio-Mazoyer, N.: Neural correlates of simple and complex mental calculation, *NeuroImage*, 13, pp.314-327, 2001.
- [5] 福多賢太郎, 小山哲平, 魚住超: 視知覚疲労感の個人評価のための疲労推定モデル, *日本感性工学会論文誌*, 7, pp.849-857, 2008.
- [6] Tanida, M., Katsuyama, M., Sakatani, K.: Effects of fragrance administration on stress-induced prefrontal cortex activity and sebum secretion in the facial skin, *Neuroscience Letters*, 432, pp.157-161, 2008.
- [7] Hoshi, Y., Tamura, M.: Dynamic multichannel near-infrared optical imaging of human brain activity. *Journal of Applied Physiology*, 75, pp.1842-1846, 1993.
- [8] Bauernfeind, G., Leeb, R., Wriessnegger, SC., Pfurtscheller, G.: Development, set-up and first results for a one-channel near-infrared spectroscopy system, *Biomedizinische Technik*, 53, pp.36-43, 2008.
- [9] Bauernfeind, G., Scherer, R., Pfurtscheller, G., Neuper, C.: Single-trial classification of antagonistic oxyhemoglobin responses during mental arithmetic, *Medical & biological Engineering & Computing*, 49, pp.979-984, 2011.
- [10] Falk TH., Guirgis M., Power S., and Chau T.: Taking NIRS-BCIs Outside the Lab: Towards Achieving Robustness Against Environment Noise. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 9, pp.136-146, 2011.
- [11] Fuchino, Y., Nagao, M., Katura, T., Bando, M., Naito, M., Maki, A., Nakamura, K., Hayashi, H., Koizumi, H. Yoro, T.: High cognitive function of an ALS patient in the totally locked-in state, *Neuroscience Letters*, 432, pp.85-89, 2008.
- [12] Kleber, B., Birbaumer, N., Veit, R., Trevorrow, T., Lotze, M.: Overt and imagined singing of an Italian aria, *NeuroImage*, 36, pp.889-900, 2007.
- [13] Pfurtscheller, G., Bauernfeind, G., Wriessnegger, SC., Neuper, C.: Focal frontal (de)oxyhemoglobin responses during simple arithmetic, *International Journal of Psychophysiology*, 76, 1 pp.86-192, 2010.

## 暗算課題による心理・生理応答への香り呈示の効果

- [14] Power, S.D., Falk, T.H., Chau, T.: Classification of prefrontal activity due to mental arithmetic and music imagery using hidden Markov models and frequency domain near-infrared spectroscopy, *Journal of Neural Engineering*, 7, 2010.
- [15] Tanida, M., Sakatani, K., Takano, R., Tagai, K.: Relation between asymmetry of prefrontal cortex activities and the autonomic nervous system during a mental arithmetic task: near infrared spectroscopy study, *Neuroscience Letters*, 369, pp.69-74, 2004.
- [16] Hock, C., Villringer, K., Muller-Spahn, F., Hofmann, M., Schuh-Hofer, S., Heekeren, H., Wenzel, R., Dirnagl, U., Villringer, A.: Near Infrared Spectroscopy in the Diagnosis of Alzheimer's Disease, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 777, *The Neurobiology of Alzheimer's Disease*, pp.22-29, 1996.
- [17] Shimada, K., Matsuzaki, S., Sawai, M., Kamimura, H., Kaneki, N.: Causal relationship analysis of human sense for odor using graphical modeling, *Kansei Engineering International*, 7, pp.197-200, 2007.
- [18] Kaneki, N., Kurosaka, T., Yamada, H., Mitsubayashi, H., Shimada, K., Kamimura, H.: Effect of aroma on event-related potential in cognitive workload, *Kansei Engineering International*, 5, pp.51-56, 2005.
- [19] Ho, C., Spence, C.: Olfactory facilitation of dual-task performance, *Neuroscience Letters*, 389, pp.35-40, 2005.
- [20] 柏木繁雄: 内田クレペリンにおける解析の評価法, 金子書房, 東京, p.122, 1975.
- [21] Matsuda, G., Hiraki, K.: Sustained decrease in oxygenated hemoglobin during video games in the dorsal prefrontal cortex: ANIRS study of children, *NeuroImage* 29, pp.706-711, 2006.
- [22] Davis, P., 高村倫太郎 訳: *Aromatherapy*, フレグランスジャーナル社, pp.48-50, 1991.
- [23] 平松真知子, 笠井純一, 田口満: 香りが覚醒に及ぼす効果の研究, *自動車技術会論文集*, 26, 2, pp.83-93, 1995.
- [24] Abrishamian, A., Fukuta, K., Wakatsuki, J., Uozumi, T.: A discovery of physiological and psychological connection based on Bayesian network, *Transactions of Japan Society of Kansei Engineering*, 11, pp.167-173, 2012.
- [25] Nigg, B.M., Baltich, J., Maurer, C., Federolf, P.: Shoe midsole hardness, sex and age effects on lower extremity kinematics during running, *Journal of Biomechanics*, 45, pp.1692-1697, 2012.



小池 貴行 (正会員)

2007年 北海道大学大学院教育学研究科博士課程修了, 博士(教育学), 2007年4月から北海道大学大学院教育学研究院にて専門研究員, 2009年4月から, 室蘭工業大学SVBLにて博士研究員, 観察運動学習を通じた運動スキルの修得の研究などの運動学習や身体への力作用に対する抵抗特性といったバイオメカニクスの研究や, ニオイによる脳や身体の心理—生理的応答の変化といった認知科学, 感性工学, 情報工学分野, さらにニオイセンサ開発などの研究に従事。



山田 弘司 (正会員)

北海道大学大学院文学研究科修士課程修了, 酪農学園大学農食環境学群循環農学類 教授, 博士(酪農学), 実験心理学の手法を使い, 個々人のストレス状況の分類やストレスの対処行動, 循環系の生理指標を利用し自律神経系や感情分析, 人と動物の関係学の研究に従事, 日本心理学会, 日本基礎心理学会, 日本ストレス学会, 日本バイオフィードバック学会などにも所属。



金木 則明 (正会員)

1974年 室蘭工業大学大学院工学研究科修士課程修了, 現在, 室蘭工業大学大学院もの創造系領域教授, 工学博士, 酸化物半導体ガスセンサを用いた食品の鮮度検出や産地識別の研究開発, 表面プラズモン共鳴 (SPR) センサの研究開発, 心理的ストレスへのニオイの効果などの研究に従事, SPR センサは特許を取得。



上村 浩信 (正会員)

1988年 東京学芸大学大学院教育学研究科修士課程修了, 現在, 室蘭工業大学大学院ひと文化系領域准教授, その間, 運動生理学, ニオイによる呼吸代謝応答の変化, スープ摂取に伴う生体反応の研究など, 嗅覚・味覚刺激が呼吸循環系に与える影響の研究に従事。