

博士学位論文

ストレス評価のための
感情による生理反応に関する研究

平成 22 年 3 月

九州工業大学大学院生命体工学研究科

曾我知絵

目次

1. 序論	1
1-1. 本研究の背景	1
1-2. 本研究の目的	2
1-3. 本論文の構成	3
参考文献	3
2. 研究の流れと関連研究	5
2-1. 本研究で扱う「ストレス」の既定	5
2-2. 本研究の流れ	6
2-3. 生理指標－内分泌	7
2-3-1. 唾液アミラーゼ, クロモグラニン A, HHV-6	8
2-4. 生理指標－自律神経系活動	9
2-4-1. 心拍指標 (CO, RRI, LF/HF)	9
2-4-2. 血圧 (Blood Pressure: BP)	11
2-4-3. 全末梢抵抗 (Total Systemic Peripheral Resistance: TPR)	12
2-4-4. 指尖容積脈波 (Photoelectric Plethysmogram: PTG)	12
2-4-5. 皮膚組織血液量 (Tissue Blood Volume: TBV), 皮膚組織血流量 (Tissue Blood Flow: TBF)	13
2-4-6. 皮膚電位水準 (Skin Potential Level: SPL)	13
2-5. その他の生理量	14
2-6. 主観指標	14
2-6.1. POMS	14
2-6.2. NASA-TLX	15
2-6.3. SD 法	16
2-6.4. VAS 法	17
2-7. 精神課題の特性	18
参考文献	19
3. 精神作業遂行時と安静時の生理反応	24
3-1. 緒言	24
3-2. 実験環境	24

3-3.	実験課題	26
3-4.	被験者	26
3-5.	生理指標の計測	27
3-5-1.	心電図 (ECG)	27
3-5-2.	血圧 (BP)	27
3-5-3.	指尖容積脈波 (PTG)	27
3-5-4.	鼻部皮膚組織血液量 (TBV), 鼻部皮膚組織血流量 (TBF)	27
3-5-5.	皮膚電位水準 (SPL)	28
3-6.	主観評価	28
3-7.	実験手順	29
3-8.	解析方法	29
3-9.	結果	30
3-9-1.	作業成績および NASA-TLX	30
3-9-2.	POMS および感情評価	32
3-9-3.	全区間の生理反応	33
3-9-4.	回復率	35
3-10.	考察	37
3-11.	結言	40
	参考文献	40
4.	様々な強さの感情と生理反応	42
4-1.	緒言	42
4-2.	実験環境	42
4-3.	実験課題	43
4-3-1.	難易度の設定	43
4-4.	被験者	44
4-5.	生理指標の計測	45
4-5-1.	心拍出量 (CO), 全末梢抵抗 (TPR)	45
4-6.	主観評価	45
4-7.	実験手順	47
4-8.	解析方法	48
4-9.	結果	49
4-9-1.	作業成績および NASA-TLX	49

4-9-2.	POMS および感情評価	50
4-9-3.	全区間の生理反応	52
4-9-4.	作業時の生理反応	55
4-9-5.	安静時の生理反応	56
4-9-6.	主観評価と生理反応の関係	57
4-10.	考察	58
4-11.	結言	60
	参考文献	60
	付録	63
5.	感情の持続と生理量の回復過程	67
5-1.	緒言	67
5-2.	実験環境	68
5-3.	実験課題	68
5-3-1.	難易度の設定	68
5-4.	被験者	69
5-5.	生理指標の計測	69
5-6.	主観評価	70
5-7.	実験手順	72
5-8.	解析方法	73
5-9.	結果	74
5-9-1.	作業成績, NASA-TLX, 作業評価 (A1~A8)	74
5-9-2.	作業成績, NASA-TLX, 作業評価と生理反応の関係	76
5-9-3.	感情評価 (B1~B4, C1~C16)	79
5-9-4.	全区間の生理反応	82
5-9-5.	作業時の生理反応と感情評価の関係	86
5-9-6.	作業後の生理反応と感情評価の関係	88
5-10.	考察	90
5-11.	結言	93
	参考文献	94
	付録	96

6. 結論	100
6-1. まとめ	100
6-2. 今後の課題	103
6-3. 将来の展望	103
参考文献	105
謝辞	106
補足資料	107
研究業績目録	109

第1章 序論

1-1. 本研究の背景

我が国では、1991 年以降、終身雇用制や年功序列賃金制が撤廃され、高いスキルをもった人材のみが必要とされるようになった。そのため、リストラが急増し、正規雇用労働者の仕事量や質的負担が増大し、成果を求める監督者との間に人間関係の問題が生じていると言われている。実際に、厚生労働省が 5 年毎に実施している労働者健康状況調査[1]によると、職業生活上で強い不安・悩み・ストレスを感じている労働者は、約 60%と高い値を推移している。このような悩み・ストレス環境は、脳血管疾患、虚血性心疾患、うつ病など、様々な健康障害の要因となる。特に、うつ病は誰でも簡単に罹る気分障害であることが知られており、WMH の疫学調査の結果、生涯有病率（生涯のうちに 1 回はその病気にかかる割合）は 6%にもなると報告されている[2]。また、我が国において、2007 年度に実施された全国の自治体へのアンケート調査（38.8%（727）の自治体が回答）では、約半数の自治体が、過去 3 年間で心の病が増加傾向にあると回答しており[3]、それと同時にストレスによるうつ病や自殺者数は増加を続け、深刻な社会問題となっている[4][5][6]。

このような社会現象に伴い、経済産業省は、戦略マップ人間生活技術分野[7]において、「モノ充足」から「ココロの充実」を重要視した技術開発を提唱している。その中で、将来のゴールのひとつとして、「年齢・性別・言語に関係なく、誰もが安全・安心で心身にストレスなく働くことができる社会」が挙げられている。その実現には、まず、生理変化（脳波・発汗・視線・筋電位など）から、ストレスを計測する技術が必要であり、その後、ストレスと作業効率の関係の調査を経て、ストレスの低減を計測する技術やその度合いを明示（知る、知らせる）する技術の開発が計画されている。この目標達成は、京都議定書第一約束期間である 2012 年であり、数々の研究がされているが、現状では、第一段階の生理変化からストレスを計測する技術確立にも至っていない。ストレスを評価するための研究が難しい原因として、「ストレス」の定義が幅広く、非常に多くの検討事項が必要であることが挙げられる。そこで、ストレスを評価するためには、社会生活の現状を把握して、ストレスの根源を考えて実用性につながる検討を重ねる必要があると考える。

労働者健康状況調査[1]によると、労働者の不安・悩み・ストレスの原因の第1位は「職場での人間関係」、つづいて「仕事の量の問題」「仕事の質の問題」となっている。著しいスピードで進むIT化・情報化に伴って、電子メールや通信会議の技術が進み、情報伝達方法が対面式から非対面式に移行し、コミュニケーション不足を助長していることが懸念されている。一方、我が国を含めた先進諸国では、製造業中心の社会から、サービス業などの脱工業化社会になりつつあり、肉体労働、頭脳労働に加えて感情労働(emotional labor)という新しい概念が主張されるようになり[8]、「相手のいる仕事」をうまくこなす能力が要求されている。このように、現代社会では、人と接することやゆっくりと会話を楽しむ時間が取れない環境であるにも関わらず、相手のいる仕事を円滑にこなす能力を養わなければならないという、相反する要求が存在している。そのような状態であるにも関わらず、会話の少ない環境では、同じ職場で働く人の人間性を知ることが難しく、悩みや不満を相談できないという悪循環が、職場での人間関係の悩みへとつながっていると考えられる。

このように、現代における日常的な不安やストレスの根源とは、肉体労働などの物理的なストレスよりも、複雑な人間関係を円滑にこなす難しさへの不満や不安などの感情が大きく影響している。そこで、感情はストレス評価に影響する重要な因子であると考へ、感情に焦点を絞ることを考えた。

また、「ストレス」と「感情」の関係を考えて場合、一般的には、ストレス時とはネガティブな感情が惹起された状態で、「生体にとって有害なもの」「身体・心の健康を害するもの」と捉えられる。先行研究でも、緊張や不安などのネガティブな感情とストレスの客観的指標として生理量との関係が調べられている[10]が、ストレスにはネガティブな感情のみが関係するという単純なものではない。例えば、緊張状態であっても、適度な心地よさを感じる場合、心の健康を害する要素とは言い難い。ストレス評価のためには、限定された感情だけでなく、達成感や満足度などのポジティブな感情などを含んだ様々な感情を考慮した総合的な調査が必要であると考える。

1-2. 本研究の目的

先行研究にて、不安や緊張と自律神経系指標や免疫系指標との関係があると報告されている[10]ことから、これらの指標はポジティブ・ネガティブなどの様々な感情に対しても反応する可能性がある。このような生理量は意図的に操作することが難しいため、感情の客観的評価の指標になる可能性が高い。また、非対面式であっても、生理量

計測は継続的なモニタリングが可能である。

感情や生理量の変化には、個人の性格や性別、年齢などの様々な影響を受けることが考えられるため、ストレスの評価を行うためには、検討すべき事項が非常に多くある。本研究では、まずはこれらの影響をできるだけ排除した条件において、ネガティブやポジティブを含んだ様々な感情と生理反応の関係について検討し、ストレス評価に影響する因子を選定することを目的とした。また、ストレスが消失した場合であっても、そのストレスに対して後悔などの感情が継続している場合は、生理量にも影響を及ぼすことが考えられるため、ストレスの消失した後の生理反応の回復についても検討した。

1-3. 本論文の構成

本論文の構成は、以下の通りである。

第1章では、本研究の背景・目的について述べた。

第2章では、本研究で扱う「ストレス」の規定を行い、先行研究の内容と問題点について概説し、本研究の流れを示す。

第3章では、感情変化に対して反応する生理量とその動向を示し、先行研究の結果を踏まえて考察する。

第4章では、強さの異なる精神作業を繰り返し行った時の感情変化と、それに伴う生理反応との関係について述べる。

第5章では、精神作業後における感情の持続と、生理反応の回復過程に対する影響について述べる。

第6章では、第3章から第5章の結果をまとめ、今後の課題について検討する。

参考文献

- [1] 厚生労働省大臣官房統計情報部, 平成 19 年労働者健康状況調査結果の概況:
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/roudou/saigai/anzen/kenkou07/r1.html> [accessed July, 14, 2009.]
- [2] 川上憲人: 厚生労働科学研究費補助金 こころの健康についての疫学調査に関する研究,
<http://www.khj-h.com/pdf/soukatuhoukoku19.pdf> [accessed August, 3, 2009.]
- [3] 社会経済生産性本部, 2007 年 「メンタルヘルスの取り組み」に関する自治体アンケート

- ト調査結果 <http://js-mental.org/images/03/20070731.pdf> [accessed August, 7, 2009.]
- [4] 飛鳥井望: 自殺の危険因子としての精神障害—生命的危険性の高い企図手段をもちいた自殺失敗者の診断学的検討, 精神神経誌, 96(6), 415-443, 1994.
- [5] 厚生労働省大臣官房統計情報部: 平成20年 人口動態統計月報年計(概数)の概況, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/geppo/nengai08/toukei7.html> [accessed August, 4, 2009.]
- [6] World Health Organization, Suicide rates (per 100,000), by country, year, and gender: http://www.who.int/mental_health/prevention/suicide/suiciderates/en/ [accessed August, 4, 2009.]
- [7] 経済産業省, 技術戦略マップ 2008: <http://www.nedo.go.jp/roadmap/index.html> [accessed February, 9, 2009]
- [8] 石川准, 室伏亜希 訳: 管理される心—感情が商品になるとき, pp.39-63, 世界思想社, 東京, 2000.
- [9] 厚生労働省平成18年3月31日発表, 「労働者の心の健康の保持増進のための指針について」 <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2006/03/h0331-1.html> [accessed September, 20, 2009.]
- [10] 高津浩彰, 宗像光男, 小関修, 横山清子, 渡辺興作, 高田和之: 心拍変動による精神的ストレスの評価についての検討, 電気学会論文誌 C, 120(1), 104-110, 2000.

第2章 研究の流れと関連研究

2-1. 本研究で扱う「ストレス」の規定

一般的にストレスとは、ネガティブな感情が惹起されて悪影響を及ぼすものと考えられており、緊張や不安はストレスであると考えられている。しかし、ストレスとはそのように単純なものではなく、多くの感情が惹起された場合の総合的な反応であるといえる。本節では、本研究で取り扱う「ストレス」を規定する。

そもそも、ストレスとは物理学の言葉であったが、ハンス・セリエ博士(生理学者、カナダ)が1936年に発表したストレス学説が発端となり、広く使われ始めた。

ストレス学説の中では、ストレスは「体外から加えられた要求に対する身体の非特異的な反応」と定義されている。また、その反応を引き起こす刺激のことをストレスラー、刺激によってゆがみを起こした状態のことをストレスと区別している。ただし、我が国では、ストレスラーとストレスの両方の意味を含んでストレスという言葉が使用されている。

広辞苑では、ストレスは「種々の外部刺激が負担として働くとき、心身に生ずる機能変化。ストレスの原因となる要素(ストレスラー)は寒暑・騒音・化学物質など物理化学的なもの、飢餓・感染・過労・睡眠不足など生物学的なもの、精神緊張・不安・恐怖・興奮など社会的なものなど多様である。」となっている。ストレスラーは、物理的ストレスラー(騒音や振動など)、化学的ストレスラー(排気ガスや排煙など)、生物的ストレスラー(ウイルスや細菌など)、心理的ストレスラー(怒りや不安など)に分類される。

本論文で注目しているのは、心理的ストレスラーおよびその刺激に反応し、人の感情に伴って変動し、かつ一過性(もしくは慢性的)に生体や感情に現れる「精神性ストレス」である。この精神性ストレスとは、様々な感情状態が統合された結果であると考えられることができる。例えば、「緊張」はディストレス(distress: 有害ストレス)と考えがちであるが、「心地良い」感情が同時に起きた場合は、生体に対して適

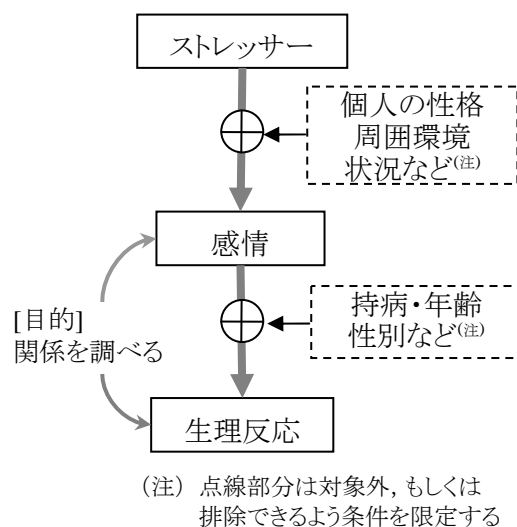


図 2-1 本研究で扱うストレス

度なストレスとなり、活動エネルギーを与えるユーストレス(eustress: 有益ストレス)になることもある[1]。したがって、本論文では、ストレスに周囲環境や個人の性格などの要素が影響して惹起された様々な感情と、それによって生じた生理反応をストレスと考える(図 2-1)。すなわち、同じストレスが与えられた場合であっても、惹起される感情は、個人の性格や周囲環境の影響を受ける。更に、まったく同じ感情が惹起された場合であっても、生理反応には、持病の有無や年齢などが影響する。そこで、本論文では、周囲環境、被験者の年齢や性別・健康状態を可能な限り統一し、限定した条件での基礎研究とする。ただし、ストレスは非特定のな(原因と結果としての反応に一对一の関係がない)反応であるという解釈から、個人の性格については検討の対象外とする。

2-2. 本研究の流れ

人が受けた刺激は感覚器で検知され、末梢神経を介して中枢神経系である脳に伝達される。脳では、その刺激が認知され、刺激に対応するために交感神経系や内分泌系を介して全身に指令を出す。その結果、各器官の亢進(活性化)や抑制(沈静)などの生体反応が現れる。

これらの生理反応から、感情に対して変化する生理量を見つけることが、本研究の第一段階となる。しかし、生理反応は、「環境」「性格」「条件」「性別」「年齢」など、非常に多くの影響を受ける[2][3]。また、同じ精神作業を行った場合であっても、個人の得手不得手や周囲の環境によって惹起する感情の強さは異なるばかりか、同じ人が同じ課題を行ったとしても、その日の体調や気配りの有無などによって感じ方が異なる。そのような状態で、万人にあてはまる感情と生理量との関係を見つけることは簡単なことではない。

このような理由から、本論文では、可能な限り周囲環境を一定に保った条件下にて、20～30 歳代の健康な男性を対象として、実験を行なうこととした。男性を選んだ理由は、女性は月経周期によるホルモン変化によって生理量が異なるため、実験スケジュール

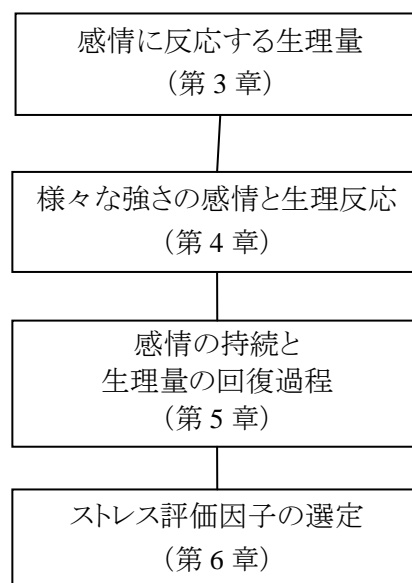


図 2-2 本研究の流れ

ルを調整する必要があるからである。また、生理反応の測定時に、胸部を含む上半身への電極貼付などを考えても、男性を対象とする方が好ましいと考えた。また、20～30歳代の成人に限定することで、成長過程における生理学的な特徴の検討や、年齢に伴って増加する高血圧や動脈硬化などの影響を抑えることができると考える。

次に、様々な強さの感情を惹起させ、感情の強さに対して変化する生理反応を明らかにすることを第二段階とする。同じ感情であっても、強さに伴って生理反応も同じように変化するとは限らない。そのため、感情を推定する場合には、同じ場面で異なる強さの感情を惹起させて、その時の生理反応を調べる必要がある。

最後に、惹起した感情の持続と生理量の回復過程を調べることを第三段階とする。精神性ストレスは、「一過性ストレス」と「慢性的ストレス(ストレスの蓄積)」を区別して考える必要があり、慢性的なストレスは、精神疾患と深く関わるといわれている。したがって、感情の持続と生理反応の回復過程を調べることによって、慢性的なストレスへの関わりにつながると考えられる。

なお、本論文では、計測が容易であること、測定機器の事情、データの分析方法や取り扱いが簡便であるという理由から、自律神経活動を対象として実験を行うこととした。本研究の流れを図 2-2 に示す。

精神性ストレスと生理量との関係については、多くの先行研究が行われており、有用な生理反応が報告されている。以下に内容を述べる。

2-3. 生理指標－内分泌系

本節では、精神性ストレスと生体反応における先行研究について述べる。

ストレス反応の発現には、HPA system (視床下部 hypothalamic－下垂体前葉 pituitary－副腎皮質系 adrenocortical system) と、SAM system (交感神経 sympathetic nervous－副腎髄質系 adrenomedullary) の 2 つの神経内分泌系が関与している(図 2-3)。

HPA system は、受動的ストレス反応系であり、ストレスによる葛藤を解消できない場合に発現するストレス耐性型の内分泌腺である。HPA system が活性化されると、副腎の肥大、胸腺とリンパ節の萎縮、胃潰瘍などの症状が現れる。

一方、SAM system は、能動的ストレス反応系であり、ストレス解消型の内分泌腺である。SAM system が活性化すると、脳下垂体から腎臓の上部にある副腎に指令が伝

達され、副腎より副腎皮質ホルモン(ストレスホルモン)が分泌される。このストレスホルモンは、脳や筋肉の働きを高め、ストレスと戦う態勢を整える役割をしており、ストレス評価の指標として有用であると考えられている。

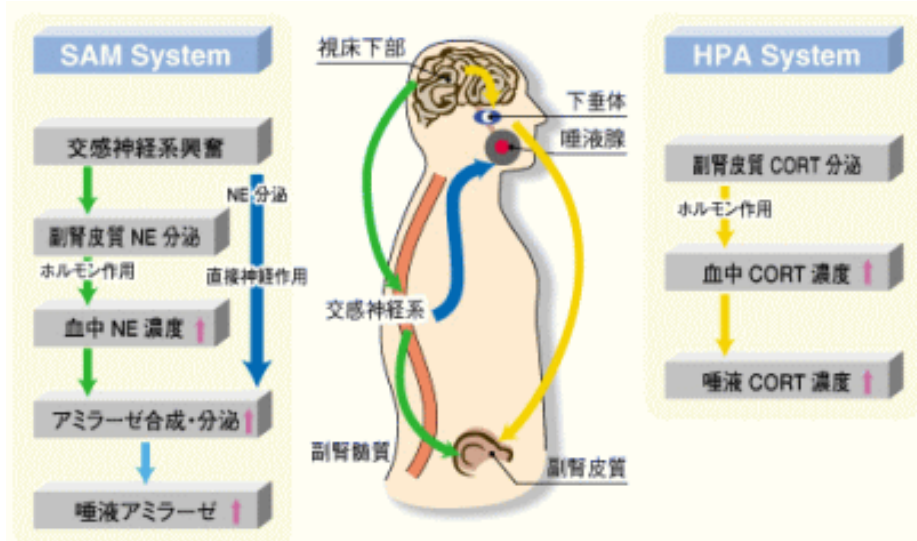


図 2-3 ストレス反応の発現

2-3-1. 唾液中アミラーゼ, クロモグラニン A, HHV-6

ストレスホルモンとしては、コルチゾールやノルアドレナリン(ノルエピネフリン)などがよく知られており、精神的ストレス評価に用いられてきた[4]。コルチゾールは免疫測定法(ELISA)などの高感度な分析法を用いることで唾液から分析ができるため、応用が期待されている。ただし、コルチゾール値には、早朝起床時に高く、夕方以降に低下するという顕著な日内変動があるため、長期間測定時には、測定時刻を一定に保つなどの配慮が必要である。ノルアドレナリンは血液採取が必要であり、ノルアドレナリン濃度変化は、ストレス負荷に対して20~30分遅れるという問題がある。そこで、他の内分泌系の指標として、ノルアドレナリン系の制御(SAM system)を受けている唾液アミラーゼ活性[5][6]が注目されている。SAM systemには、ホルモン作用と直接神経作用の2つの制御システムが存在する(図2-3)。唾液アミラーゼは、直接神経作用であり、応答時間が数分程度と、ホルモン作用よりもレスポンスが速いといわれている[7][8]。アミラーゼ活性は、不快な刺激では上昇し、快適な刺激では低下することから、快-不快の指標となる可能性が唆されている[9]。また、内分泌系の唾液中のクロモグラニンAも、運動負荷時に反応せず心理的要因にのみ反応を示したことより、ストレス評価指標としての可能性が示されている[10]。

他に、唾液中のヒトヘルペスウイルス 6(HHV-6)の定量化による疲労測定法が開発されている[11]。ヘルペスウイルスは、疲労やストレスによって再活性化するウイルスである。疲労とストレスは区別されるが、狭義では、疲労とはストレスなどの影響によって身体機能が低下することとされており、近藤は、疲労はストレスの蓄積によっておきると考えている。このことから、HHV-6は蓄積されたストレスの評価指標として有用である可能性を示唆している。

2-4. 生理指標－自律神経系活動

自律神経(autonomic nerve)は、交感神経(sympathetic nerve system)と副交感神経(parasympathetic nerve system)とで成っている。心臓、胃、小腸、大腸など、人が生きる上で必要な臓器が、これらの2重支配を受けている。交感神経系は、危急事態に対峙するために活動している。一方、副交感神経は、休息・休養を希求するために活動しており、安静時あるいはそれに近い状態で優位となる[12][13]。自律神経系反応は、意思とは無関係に活動をしているが、心的事象と対応していることから、自律神経活動は、情動・感情、疲労、ストレスなどの指標として計測評価されている。

2-4-1. 心拍指標(CO, RRI, LF/HF)

心臓は血液を全身に送り出すポンプである。1回に拍出される血液の量(Stroke Volume: SV)は70ml程度で、一分間に拍出する量を心拍出量(Cardiac Output: CO)と呼ぶ。心臓は、左右の心房と心室に分かれており、右心室は肺動脈、左心室は大動脈とつながっている。全身を循環し、低酸素、高二酸化炭素となった静脈血は、大静脈から右心房、右心室へと入る。この静脈血は、心臓のポンプ作用によって、肺へ送られて、高酸素、低二酸化炭素の動脈血となり、左心房へ戻る。左心房に入った動脈血は、左心室から心臓のポンプ作用によって大動脈から全身へと流れる。この心臓の活動は、電氣的に記録する心電図(electrocardiogram: ECG)にて観察することが可能である。心電図はP, Q, R, S, Tの5つの波として記録できる。大静脈と右心房の接点の直下にある同結節(S-A node)という細胞が発火すると心房筋が収縮して血液が心房に入る。心房の収縮に先だって脱分極するとき生じる波はP波と呼ばれる。それに続くQRS波は、心室筋の脱分極を表しており、心室の急激な収縮の開始を反映している。その後、収縮を終えた心筋の再分極を表したのがT波である。T波が終わるころには、心臓は拡張期に入る。

上記のプロセスが 1 回の心臓の鼓動であり、一定時間内の回数を心拍数 (Heart Rate: HR) と呼ぶ。また、R 波と R 波の間の時間間隔を R-R 間隔 (R-R interval: RRI) という (図 2-4)。

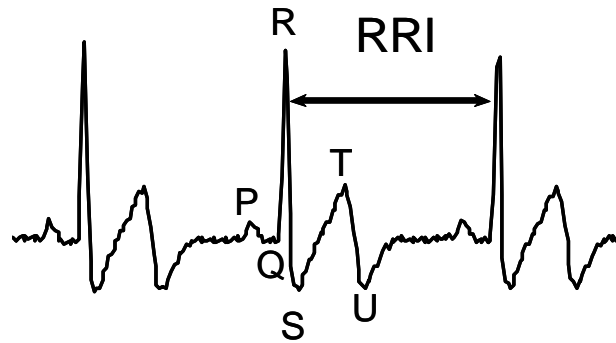


図 2-4 ECG 波形

心臓には、交感神経と副交感神経 (迷走神経) の両方が分布しているが、心室への分布はほとんどが交感神経である。すなわち、身体的・精神的負荷によって、心臓交感神経が亢進すると心拍数は増加 (RRI が減少) する。心拍 (RRI) と精神性ストレスとの関係については、多くの先行研究が行われており、鏡映描写などの刺激に注目するなどの環境の取り入れ (sensory intake) を要する課題では RRI が増加し、暗算やスピーチのような心的集中や認知的努力を要する課題や見たくないものを見せられた時の環境の拒否 (sensory rejection) では RRI が減少すると報告している [14]。高津らも、発表時に心拍が増加 (RRI が減少) し、主観的ストレス値と相関を示すことを報告している [15]。この RRI については、我々もストレスを評価する上で、有用な指標であると考えている。

心拍変動は、RRI 時系列を周波数分析することによって求めることができる [16] [17]。RRI 時系列の主な周波数成分は、主に 0.05~0.15Hz の帯域をもつ LF 成分 (Low frequency component) と、0.15~0.45Hz の帯域をもつ HF 成分 (High frequency component) からなる。LF 成分は血圧に由来する成分 (Mayer Wave related Sinus Arrhythmia: MWSA)、HF 成分は人の呼吸活動に由来される成分 (Respiratory Sinus Arrhythmia: RSA) がそれぞれ主成分と考えられている。HF 成分は主に副交感神経の支配を受けており、自律神経障害や精神負荷によって副交感神経の活動の抑制とともに HF 成分は小さくなる [13]。一方、LF 成分は、副交感神経と交感神経の両方の支配を受けており、これらの比をとった LF/HF は、交感神経活動の指標であると考えら

れている。しかし、この指標の動向についてはばらつきがあり、下野らの実験では、HF成分は安静時と課題遂行時に差はみられていない[21]。また、周波数帯域も研究者間で一定ではなく、更なる検討が必要である。

2-4-2. 血圧(BP)

血圧とは、動脈管内を流れる血液の側圧(管壁を内側から外側へ押し広げようとする圧)である。血圧は、心臓の収縮期に最高値へ達し、拡張期に最低値となり、それぞれ、収縮期血圧(systolic blood pressure: SBP)、拡張期血圧(diastolic blood pressure: DBP)と呼ばれている。また、それらの差(2-1 式)は脈圧と呼ばれている。また、一心周期内に生じた血圧波形を時間積分して、その平均値を求めれば、平均血圧(mean BP: MBP)が得られるが、2-2 式のように、MBP は DBP に脈圧の 3 分の 1 を加えた値によって近似することもできる。

$$\text{脈圧} = SBP - DBP \dots\dots\dots (2-1)$$

$$MBP = DBP + \frac{SBP - DBP}{3} \dots\dots\dots (2-2)$$

血圧を用いた先行研究としては、Guido らは、Brehm のモチベーション理論[18]に基づき、被験者のモチベーションが高い状態で、難しい精神作業を行うと、心臓血管系反応、特に SBP が高くなることを報告している[19]。また、BP は、精神作業よりも情動的な興奮が強く影響するとも言われている[20]。しかし、下野らが行った単調作業ストレス負荷実験の結果では、安静時と課題遂行時に差は認められておらず[21]、Mishima らの自律訓練法 (autogenic training: AT) (※補足 1 参照) と生理反応を調べた実験でも、血圧は特徴的な変化を認めなかったと報告されている[22]。澤田は、一過性ストレスに対し、従来のストレスには血圧を上昇させないタイプのものが想定されると述べており、一過性ストレスを再定義している[23]。その中で、血圧を上昇させない状態としては、抑うつや悲しみを挙げているが、少なくともその背後にある不安が血圧を上昇させると考えられるとも述べている。このように、血圧は、ストレス評価の指標として有用である可能性は示唆されているものの、様々な見解があり、更なる調査が必要であると考えられる。

また、血圧の問題点として、連続計測が難しいことが挙げられる。連続計測によって、血圧がストレス評価に対して敏感に反応する指標であり、有用だと判断された場合、

実用性を考慮すると離散計測でもその結果が同様になるかどうかの検証が必要であろう。

2-4-3. 全末梢抵抗 (TPR)

動脈系から静脈系への全身の血液の流れにくさを、全末梢抵抗 (Total Peripheral Resistance: TPR) と呼ばれる。TPR は、抵抗血管を通して動脈系から流出する血液に影響を与えるため、単位時間あたりの流出血液量を測定することで評価できる。しかし、実際にはその測定は困難であるため、動脈系へ流入する血液量 (CO) で代用し、オームの法則と同じように、2-3 式から換算される。

$$TPR = \frac{MBP}{CO} \dots\dots\dots (2-3)$$

ストレス評価のための精神課題の特性によって、生理量に違いが生じるが、その違いには、TPR が大きく関わっている。したがって、課題の特性を含めた考察には、TPR は必要不可欠な指標である。詳しくは 2-7 節にて述べる。

2-4-4. 指尖容積脈波 (PTG)

脈波とは、身体組織のある部分への血液の流入によって生じる容積変化を体表面から波形としてとらえたものであり、通常は、動脈管の膨張と収縮にともなう容積の変化を測定したものを容積脈波とよぶ。脈波は身体の様々な部分で計測できるが、最もよく用いられているのは指尖部であり、これを指尖容積脈波という。本論文では、特に断りがない限り、脈波もしくは PTG は指尖容積脈波を指すこととする。

脈波は、末梢循環動態や血管運動反応を捉える指標として広範に用いられている。末梢循環が交感神経支配であることに加えて、情動的安定時には、脈波の基線変動はほとんどみられず、興奮時や気分の動揺時には脈波の基線は顕著に変動するという報告や [24] [25]、作業難易度によって脈波の振幅が変化するという報告 [26] から、心理学領域では情動の指標として扱われている。更に、脈波情報にカオス解析を行って、ストレス評価をする試みもある [27] [28]。指尖容積脈波は情動に深く関わる指標であると考えられる。しかし、本論文でも後述するように、我々の実験では、回復が遅いという問題点が見つかった。実用化を考慮すると、その特性は十分に考慮する必要がある。

2-4-5. 皮膚組織血液量(TBV), 皮膚組織血流量(TBF)

皮膚組織血液量(Tissue Blood Volume: TBV)は, 約 1mm の浅部の組織内の血液量を指す. TBV と血流速度(Velocity)との積は, 皮膚組織血流量(Tissue Blood Flow: TBF)といい, どのくらいの血液がどのくらい動いているかをみる指標となる.

TBV の変化は, 主に皮膚血管の収縮と拡張運動(vasomotion)を反映していると考えられており, 皮膚血管運動は, 主に血管運動神経(交感神経)により調節される. 交感神経には, 血管を収縮させる α 作用と血管を拡張させる β 作用の異なる働きがあり, 皮膚血管のほとんどは α 作用によって調整されると言われている[29]. すなわち, ストレスがかかった時には, 交感神経が亢進し, 筋肉組織への血液を動員するために, α 作用によって血管が収縮して末梢部の血流を抑えている. TBV は, 血管収縮の単一指標であり, TBF は心拍数などの影響を受けると考えられている.

ストレス評価に関しては, 鼻部の皮膚組織血流量と顔面皮膚温の変化傾向はよく似ており, 顔面皮膚温は単調作業において, 飽きやイライラ感が生じた場合に低下するという報告[30]がある. また, 額の皮膚血流リズムは交感神経活動が低く, 副交感神経活動が優位な状態で増加する可能性があるという報告もある[31][32]. しかし, この報告では, TBF は性差や姿勢変化の影響を受けるため, 補正や正規化などの手法が必要である可能性が示唆されている. 現段階では TBF とストレスとの関係を調べた先行研究は少ないため, 更に検討が必要であると考ええる.

2-4-6. 皮膚電位水準(SPL)

発汗は, 精神性発汗と温熱性発汗にわけられる. 精神性の発汗部位は, 手掌や足底であり, 温熱性発汗部位は, それらを除いた全身が対象となる. 精神性発汗は, 生体が緊急時に際して対処する行動「闘うか逃げるか」と密接に関連した発汗であるといわれている. すなわち, 闘う時には武器を握るために必要な手掌の発汗, 逃げる時には地面を蹴るための摩擦を大きくするための足底の発汗という目的にかなっている. この精神性発汗を電氣的に捉えたものが皮膚電気活動(electrodermal activity: EDA)である. EDA には, その測定方法によって, 多くの種類があるが, 測定方法は大きく, 電位法と通電法に分けられる. 電位法で測定される反応は, 皮膚電位反応(skin potential response: SPR)であり, 緩徐な変動を捉えたものが皮膚電位水準(skin potential level: SPL)である. また, 通電法では, 皮膚抵抗反応(skin resistance

response: SRR), 皮膚コンダクタンス反応 (skin conductance response: SCR) が計測できる. 精神性ストレスとの関連研究としては, SPL は覚醒水準と関連があり, 覚醒水準が高くなると, SPL が低下するという報告がある[33]. また, Tanabe らは, 計算作業を行っている時の SPL を計測し, SPL の反応と計算速度に相関が見られたこと示している[34]. また, 精神性発汗量を計測し, 発汗変量より精神課題の主観的困難度を推定した結果, 高い相関が認められたことも報告されている[35]. これらの指標は計測が簡便であり, 計測に対する負担が少なく, 計測データも取り扱いやすいため検討を重ねる意義は十分にあると考える.

なお, 基準部位の不活性化処理については, 処理部位の皮膚の回復現象の影響で, 時間に伴って電位が変化することや, 回復部位と新たに擦剥した部位の波形や振幅には, ほとんど差がみられないことが報告されている[36]. 本論文においては, 被験者内での相対的な変化に着目しているため, 表皮擦剥などの不活性化処理は行わず, エタノールによる脱脂のみとした.

2-5. その他の生理量

その他, ストレス評価の指標として, 脳波, 瞬目, 呼吸, 瞳孔反応などについて研究が行われている[37][38]. 計測機器の問題や分析方法が難しいことなどの理由から, 本論文ではこれらの指標は対象外とするため, 説明を省く.

2-6. 主観評価

2-6-1. POMS (Profile of Mood State)

McNair ら[39]が開発した気分尺度を評価できる 65 問から構成される質問紙法である. 各質問に対して, 「まったくなかった」から「非常に多くあった」を 5 段階で回答させ, T-A (緊張—不安: Tension-Anxiety), D (抑うつ—落込: Depression-Dejection), A-H (怒り—敵意: Anger-Hostility), V (活気: Vigor), F (疲労: Fatigue), C (混乱: Confusion) の 6 つの気分を数値で得る. 本論文では, 日本版 POMS[40]を用いた.

POMS は, 人の性格ではなく, 対象者がおかれた条件により変化する一時的な感情や気分の状態を測定できるという特長がある[41]. また, 精神医学や心療内科領域では病態把握や治療効果の評価などにも応用されており, その実用性も確立されている[42].

2-6-2. NASA-TLX (National Aeronautics and Space Administration Task Load Index)

メンタルワークロードの主観的評価手法であり, MD(精神的要求:Mental Demand), PD(身体的要求:Physical Demand), TD(時間的圧迫感 Temporal Demand), OP(作業達成度:Own Performance), EF(努力:Effort), FR(不満:Frustration)の6尺度から構成される. 6尺度のすべての組み合わせ(15通り)について1対比較を行い,「どちらの項目がよりメンタルワークロードへの寄与が高いと思うか」を被験者に判断させることにより重み付け係数を得る. その後, high / low, または good / poor の両極をもつ線分上に印をつけさせる. この線分を0~100の数値に割り当て, 印の位置を読み取り, 素点とする. 以上から1対比較の結果と得られた素点により, WWL(重み付けワークロード:Weighted Workload)を算出し, ワークロードの評価値とする. 本論文では, 日本語版NASA-TLXを用いた[43]. この方法は, 精神作業を行った場合の困難度を測定する実験でも使われており, その有効性は検証されている[44]. 本論文では, 評価プログラムを作成し, 図 2-5 のような画面にて評価を行った.

先程行った作業負荷負担に関連が深いと思うのはどちらですか？

関連深い方をクリックしてください (クリックのやり直しはできません)

残り13問

精神的要求 : 精神的かつ知覚活動が要求される
身体的要求 : 身体的活動が必要である
時間的圧迫感 : 作業や頻度や速さに、時間的圧迫感を感じる
作業達成度 : あなた自身(or実験者)が設定した目標を達成できる
努 力 : 作業達成に到達するために、一生懸命作業を行う必要がある
不 満 : 作業中に、不安感、落胆、いらいら、不快感を感じる

(a) 一対比較画面

あなたが行った作業に対して、最も適したポイントまでレバーをスライドさせてください
スライダーはクリックせず、必ずスライドさせてください

精神的要求 (Mental Demand) : どの程度、精神的かつ知覚活動が要求されましたか
低い ————— 高い

身体的要求 (Physical Demand) : どの程度、身体的活動が必要でしたか
低い ————— 高い

時間的圧迫感 (Temporal Demand) : 作業や頻度や速さに、どの程度時間的圧迫感を感じましたか
低い ————— 高い

作業達成度 (Performance) : あなた自身 (or 実験者) が設定した目標をどの程度達成できましたか
良い ————— 悪い

努力 (Effort) : 作業達成に到達するために、どのくらい一生懸命作業を行う必要がありましたか
低い ————— 高い

不満 (Frustration) : 作業中に、不安感、落胆、いらいら、不快感をどの程度感じましたか
低い ————— 高い

次へ

(b) 6 尺度の評価画面

図 2-5 NASA-TLX の評価画面

2-6-3. SD (Semantic Differentials) 法

様々な刺激に対する感情や感性などの主観的評価に用いられる Osgood ら[45]が開発した「概念の内包的意味」の定量的測定法である[46][47]。図 2-6 のように、「難しいー易しい」といった形容詞対を両端にした評定尺度を 3～11 段階で与え、それぞれの尺度によって、様々な刺激について評定させる。

形容詞対は、研究者が目的に応じて、予備実験などを行なって設定する。形容詞対のどちらを左右にするかは無作為に選択し、できるだけ否定語(例:難しいー難しくない)を避ける。また、形容詞は、直感的で誰にでも理解できるものを選定し、「多義的な形容詞」「適当な反対語がないもの」「専門用語」「抽象的なもの」「研究目的が容易に推定できるもの」は避けるべきである。

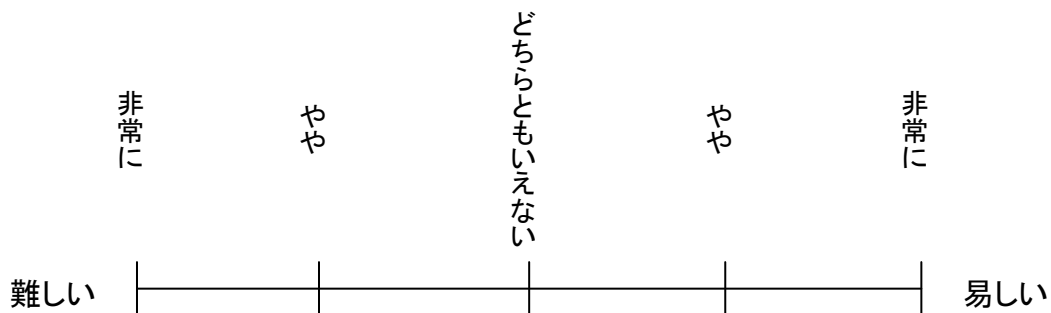


図 2-6 SD 法による評価用紙

2-6-4. VAS (Visual Analog Scale) 法

SD 法と同様に、様々な刺激に対する感情や感性などの主観的評価に用いられる手法である。VAS 法では、数直線状の左端を 0(ゼロ)、右端を最大として、連続的な数値を得ることができる。

筆記の場合は、数直線上を定規で計測する方法が用いられることもあるが、本論文では、右側の最大値を 100 とし、コンピュータ画面に数直線(スライド)を表示し、マウスをドラッグすることによって評価させた。

先程行った作業について、あなたが感じたことを直感で教えてください
スライダーはクリックせず、必ずスライドさせてください

非常に 難しい	・	どちらともいえない	・	非常に 易しい
嫌い	・		・	好き
苦手	・		・	得意
目標が高い	・		・	目標が低い
時間が気になる	・		・	自分のペースでできる
複雑だ	・		・	単純だ
当てずっぽうだ	・		・	精確だ
諦める	・		・	最後までやり遂げる

次へ

図 2-7 VAS 法による評価画面

2-7. 精神課題の特性

ストレス評価を行うための先行研究では、精神作業を負荷して、その時の生理反応を調べることが一般的であり、暗算課題、反応時間課題、鏡映描写、ストレス面接、映像、スピーチなどが用いられている。しかし、精神作業の種類によって心血管系の反応パターンは異なるといわれており[49][50]、このような研究を行うにあたっては血行力学的な機序との関わりを考察する上では、課題特性を考慮する必要がある。

表 2-1 に示すように、暗算、反応時間課題、スピーチなど、認知的な努力を必要とする sensory rejection(※補足 2 参照)の作業では、心拍出量および心拍の増加に伴って、血圧(特に SBP)も増加する(パターン 1 反応)。一方、鏡映描写などの課題に注目するような sensory intake(※補足 2 参照)の要素をもつ作業では、心拍は減少するが、末梢血管抵抗が上昇することで血圧は上昇する(パターン 2 反応)といわれている[14][51][52][53][54]。

作業中にランダムに嫌悪刺激が与えられる課題は受動的対処状況であり、パターン 2 反応が生じると考えられる。しかし、この課題を用いた先行研究では、パターン 1 反応が見られたという[52]。これについては、典型的な受動的対処状況である寒冷刺激(cold pressor)であっても、被験者が冷たさを我慢することによって実験者からの評価という結果を得ようとしているという報告[53]もあることから、実験者が設定した条件が必ずしもその通りになるとは限らないと考察している。したがって、実験で用いる精神課題については、特性を十分把握した上で、被験者の特性(cardiac reactor /vascular reactor)(※補足 3 参照)などについても多角的にとらえて考察することが必要となる。

表 2-1 ストレッサーおよび生理反応の分類

Stressor	sensory rejection	sensory intake
Coping	active	passive
Reaction	cardiac defense reaction	vascular aversive vigilance
Receptor	beta-adrenergic	alpha-adrenergic
Response	Pattern1 CO ↑, BP ↑, HR ↑	Pattern2 TPR ↑, BP ↑, HR ↓
Typical task	MA, aversive RT, video games	MT, cold pressor*

* cold pressor is not a “task” but a physiological stressor.

CO: Cardiac Output, BP: Blood Pressure, HR: Heart Rate, TPR: Total Peripheral Resistance, MA: Mental Arithmetic, RT: Reaction Time, MT: Mirror tracking

参考文献

- [1] 二木 鋭雄: 良いストレスと悪いストレス, 日本薬理学雑誌, 129(2), 76-79, 2007.
- [2] Kasprovicz, A.L., Manuck, S.B., Malkoff, S.B., Krantz, D.S.: Individual Differences in Behaviorally Evoked Cardiovascular Response: Temporal Stability and Hemodynamic Patterning, *Psychophysiology*, 27(6), 605-619, 1990.
- [3] Llabre, M.M., Klein, B.R., Saab, P.G., McCalla, J.B., Schneiderman, N.: Classification of Individual Differences in Contribution of Reactor Type Controlling for Race and Gender, *International Journal of Behavioral Medicine*, 5(3), 213-229, 1998.
- [4] Kirschbaum, C., Hellhammer, D.H.: Salivary cortisol in psychoneuroendocrine research: Recent developments and applications, *Psychoneuroendocrinol*, 19, 313-333, 1994.
- [5] Skosnik, P.D., Chatterton Jr., Swisher, T., Park, S.: Modulation of attentional inhibition by norepinephrine and cortisol after psychological stress, *International Journal of Psychology*, 36, 59-68, 2000.
- [6] Kirschbaum, C., Hellhammer, D.H.: Salivary Cortisol in Psychobiology, 22, 150-169, 1989.
- [7] Yamaguchi, M., Kanemori, T., Kanemaru, M., Mizuno, Y., Yoshida, H.: Correlation of stress and salivary amylase activity, *Japanese Journal of Medical Electronic and Biological Engineering*, 39, 234-239, 2001.
- [8] Yamaguchi, M., Kanemaru, M., Kanemori, T., Mizuno, Y.: Flow-injection-type Biosensor System for Salivary Amylase Activity, *Biosensors and Bioelectronics*, 18(5-6), 835-840, 2003.
- [9] 山口昌樹, : アミラーゼ活性はストレス推定の指標になり得るか, 医用電子と生体工学, 39(3), 234-239, 2001.
- [10] Simon, J.P., Secretion from chromaffin cells is controlled by chromogranin A-derived peptides , *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 85, 1988.
- [11] 近藤一博: 疲労のバイオマーカー:唾液中ヒトヘルペスウイルス 6(HHV-6), 医学のあゆみ, 228(6), 664-668, 2009.

- [12] 南谷晴之: ストレスを計る, 電子情報通信学会誌, 80(7), 754-757, 1997.
- [13] 大須賀美恵子, 寺下裕美, 下野太海: 心臓血管系モデルを用いた自律神経指標の解釈, *Bio Medical Engineering*, 11(1), 75-85, 1997.
- [14] Lacey, J.I., Lacey, B.C.: Somatopsychic effects of interoception, *Research in the Psychobiology of Human Behavior*, pp.59-73, John Hopkins University Press, Baltimore, 1978.
- [15] 高津浩彰, 宗像光男, 小関修, 横山清子, 渡辺興作, 高田和之: 心拍変動による精神的ストレスの評価についての検討, *電学論 C*, 120(1), 104-110, 2000.
- [16] Akselrod, D., Uvel, F.A., Shannon, D.C., Barger, A.C., Cohen, R.J.: Power spectrum analysis of heart rate fluctuations: quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control, *Science*, 213, 220-222, 1981.
- [17] Pagani, P. et al.: Power Spectral Analysis of Heart Rate Variabilities as a Marker of Sympatho-Vagal Interaction in Man and Conscious Dog, *Circulation Research*, 59(2), 178-193, 1986.
- [18] Brehm, J.W., Self, E.A.: The intensity of motivation, *Annual Review of Psychology*, 40, 109-131, 1989.
- [19] Guido, H.E., Gendolla, Michael Richter: Ego involvement and effort: Cardiovascular, electrodermal, and performance effects. *Psychophysiology*, 42, 595-603, 2005.
- [20] 山下博, 河南洋, 前田正信: 脳と循環—血圧は脳によって調整される, pp.193-198, 共立出版株式会社, 東京, 1998.
- [21] 下野太海, 大須賀美恵子, 寺下裕美: 心拍・呼吸・血圧を用いた緊張・単調ストレスの評価手法の検討, *人間工学*, 34(3), 107-115, 1998.
- [22] Mishima, N., Kubota, S., Nagata, S.: Pshychophysiological Correlates of Relaxation Induces by Standard Autogenic Training, *Psychotherapy and Psychosomatics*, 68, 207-213, 1999.
- [23] 澤田幸展: 一過性ストレス—心臓血管系血行動態を強調した視点—, *心理学評論*, 44(3), 328-348, 2001.

- [24] Burch, G.E., Cohen, A. E., Neumann, C.: A study by quantitative methods of the spontaneous variations in volume of the finger tip, toe tip, and postero-superior portion of the pinna of resting normal white adults, *American journal of physiology*, 136, 443-447, 1942.
- [25] Neumann, C., Lhamon, W. T., Cohen, A. E.: A study of factor (emotional) responsible for changes in the pattern of spontaneous rhythmic fluctuations in the volume of the vascular bed of the finger tip, *The journal of clinical investigation*, 23, 1-9, 1944.
- [26] Iani, C., Gopher, D. Lavie, P.: Effects of task difficulty and invested mental effort on peripheral vasoconstriction, *Psychophysiology*, 41, 789-798, 2004.
- [27] 藤田悦則, 小倉由美, 落合直輝, 安田栄一, 土井俊一, 村田幸治, 亀井勉, 上野義雪, 金子成彦: 指尖容積脈波情報を用いた長時間着座疲労の簡易評価法の開発, *人間工学*, 40(5), 254-263, 2004.
- [28] Sumida, T. Arimitu, Y., Tahara, T., Iwanaga, H.: Mental Consitions Reflected by the Chaos of Pulseation in Capillary Vessels, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 10(9), 2245-2255, 2000.
- [29] 入来正躬: シェーマで見る自律神経 最新の知識(第2版), 藤田企画出版, 青森, 1989.
- [30] 石川恵子, 菊本誠, 源野広和, 鈴木龍司, 大隅正人: 顔面皮膚温を主とした単調作業ストレスの評価, 第11回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, 237-240, 1995.
- [31] 向江秀之, 望月美代, 谷口洋介: 皮膚血中のリズムを用いた心身状態評価の研究, *日本生理人類学会誌*, 11(2), 27-32, 2006.
- [32] 向江秀之: 自律神経指標としての皮膚血流リズムの検討—測定部位と評価法および性差の検討—, *日本生理人類学会誌*, 13(3), 7-16, 2008.
- [33] 桶谷哲哉, 加藤光博, 高野博史, 中村清実: 瞬きと脳波および皮膚電位との相関解析による居眠り判定基準の検討, *電子情報通信学会技術研究報告*, 107(72), 17-20, 2007.
- [34] Tanabe, T., Ikemura, K., Sawai, H., Koyama, E.: Preliminary Study of a Physiological

- Evaluation Method on Attentiveness Concentration during Mental Arithmetic : Correlation between Task Performance and Physiological Indices, *Journal of physiological anthropology*, 26(5), 553-557, 2007.
- [35] 河崎雅人, 高島征助, 小西忠孝, 坂口正雄: 精神性発汗による心理的負荷量の推定に関する研究, *医科器械学*, 66(12), 679-683, 1996.
- [36] 新美良純, 鈴木二郎: 皮膚電気活動, pp.28-32, 星和書店, 東京, 1986.
- [37] 水野統太, 野村収作, 野澤昭雄, 井出英人: メンタルワークロードにおける情報ストレスの評価, *電子情報通信学会技術研究報告*, HIP 107(60), 143-147, 2007.
- [38] 田場信裕, 高良富夫, 星野聖: ストレス負荷時の心拍数と瞳孔反応, *電子情報通信学会技術報告書*, IE96-26, 75-79, 1996.
- [39] McNair, D.M., Lorr, M., Droppleman, L.F.: Profiles of Mood states, Educational and Industrial Testing Service, San Diego, CA. 1971.
- [40] 横山和仁, 荒記俊一(構成): 日本語版 POMS 検査用紙 No.850, 金子書房.
- [41] 横山和仁, 荒記俊一: 第 4 回 気分プロフィール検査(POMS), *産業衛生学雑誌*, 39(4), 73-74, 1997.
- [42] 赤林朗, 横山和仁, 荒記俊一, 島田恭子. POMS(感情プロフィール検査)日本語版の臨床応用の検討, *心身医学*, 31, 577-582, 1991.
- [43] 三宅晋司, 神代雅晴: メンタルワークロードの主観的評価法—NASA-TLXとSWATの紹介および簡便法の提案—, *人間工学*, 29(6), 399-408, 1993.
- [44] 芳賀繁, 水上直樹: 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定—各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度—, *人間工学*, 32(2), 71-79, 1996.
- [45] Osgood C.E., Suci, G.H., Tannenbaum, P.H.: The measurement of meaning. University of Illinois Press, Chicago, 1957.
- [46] 岩下豊彦: SD 法によるイメージの測定 その理解と実施の手引の詳細, 川島書店, 東京, 1983.
- [47] 岡本安晴: 計量心理学 心の科学的表現をめざして, pp.125-156, 培風館, 2006.

- [48] 福住伸一, 剣持聡久, 黒岩義之: Delayed Matching Paradigm における生理指標の変動, 電子情報通信学会技術報告書, MBE95-73, 71-78, 1995.
- [49] Lacey, J.I., Lacey, B.C.: Somatopsychic effects of interoception, *Research in the Psychobiology of Human Behavior*, pp.59-73, John Hopkins University Press, Baltimore, 1978.
- [50] Turner, J.R.: Cardiovascular reactivity and stress, pp.37-55, Plenum Press, New York, 1994.
- [51] Freyschuss, U., Fagius, L., Wallin, B.G., Bohlin, G., Persiki, A., Hjemdahl, P.: Cardiovascular and sympathoadrenal responses to mental stress: a study of sensory intake and rejection reactions, *Acta Physiologica Scandinavica*, 139, 173-183, 1990.
- [52] 松村 健太, 澤田 幸展: 精神的ストレス負荷時の血行力学的反応パターンとコントロール可能性, *生理心理学と精神生理学*, 22(3), 247-255, 2004.
- [53] Sherwood, A., Alen, M. T., Fahrenberg, J., Kelsey, R. M., Lovallo, W. R., Doornen, L. J. P.: Methodological guidelines for impedance cardiography, *Psychophysiology*, 27, 1-23, 1990.
- [54] Schneiderman, N., McCabe, P.M.: Psychophysiological Strategies in Laboratory Research, *Handbook of Research Methods in Cardiovascular Behavioral Medicine*, pp.349-364, Plenum Press, New York, 1989.
- [55] 藤田悦則, 小倉由美, 落合直輝, 安田栄一, 土井俊一, 村田幸治, 亀井勉, 上野義雪, 金子成彦: 指尖容積脈波情報を用いた長時間着座疲労の簡易評価法の開発, *人間工学*, 40(5), 254-263, 2004.
- [56] 山崎勝男: 脈波精神・心理的検査法の立場から 情動不安と脈波基線変動, *自律神経*, 28(3), 232-240, 1991.

第3章 精神作業遂行時と安静時の生理反応

3-1. 緒言

精神性ストレスと自律神経系指標の関係に関する先行研究は、前章にて紹介した。心拍に関連する指標については、多くの研究がされているが、他の指標においては、研究者によって見解が異なる指標もある。また、先行研究では、緊張や不安などの限定された感情に対する検討がされているが他の感情にも反応している可能性もある。

本章では、精神作業を負荷した時の多くの自律神経系指標を計測し、様々な感情を惹起する上で、本研究で用いた精神作業は有効か、また、先行研究にてストレスとの関連性が報告されている生理指標が、他の感情に反応している可能性があるかの2点を明らかにする。人の感情をコントロールすることは困難であるため、本研究では、難易度の異なった精神作業を行わせることによって被験者の感情を変化させることにした。本章では、このような条件下における、作業遂行時に誘発される生理反応と感情変化との関連性を明らかにすることを目的とした実験結果をまとめる。

3-2. 実験環境

被験者にコンピュータ上で計算課題を行ってもらい、安静時および作業時の生理反応を計測した。また、作業直後に、作業時に生じた感情や作業についての主観的評価を行ない、生理反応との関係を解析した。

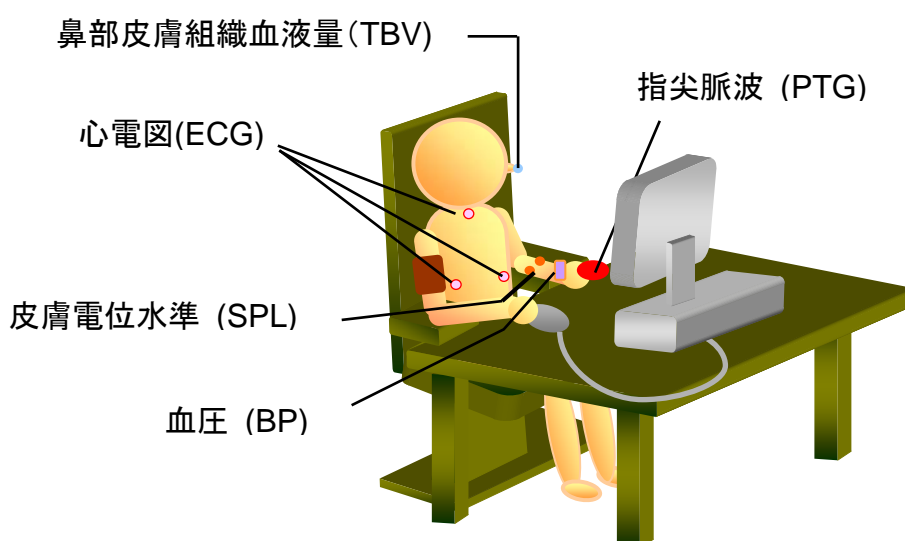


図 3-1 実験環境

実験室の室温は 26℃(実験時の変動は±1℃)に保ち、被験者は実験室にて作業を行った(図 3-1, 図 3-2(a)). 実験室のキーボード面での水平照度は 700lx とした. また, 実験者は常に被験者と計測データの状態を把握できるよう, 実験室に隣接するモニタールーム(図 3-2(b))にて観察を行った.



(a) 実験室



(b) モニタールーム

図 3-2 実験時の様子

3-5. 生理指標の計測

心電図 (ECG: Electrocardiogram), 血圧 (BP: Blood Pressure), 指尖容積脈波 (PTG: Photoelectric Plethysmogram), 鼻部皮膚組織血液量 (TBV: Tissue Blood Volume), 鼻部皮膚組織血流量 (TBF: Tissue Blood Flow), 皮膚電位水準 (SPL: Skin Potential Level) を測定した。生理指標は, サンプルング周波数 1kHz でデータレコーダ (KEYENCE NR2000) を使用して PC に取り込んだ。

3-5-1. 心電図 (ECG)

胸部 CM₅ 誘導を用いて測定し, 得られた R 波ピーク時間より, RR 間隔 (RRI: R-R Interval) を算出し, 線形補間を用いて 100Hz で再サンプルングを行った後に周波数解析を用いてパワースペクトルを求めた。パワースペクトルの低周波帯域 (LF: 0.05 ~ 0.15Hz) と高周波帯域 (HF: 0.15 ~ 0.50Hz) の積分値を算出し, 心臓交感神経系活動の指標として LF/HF を得た。

3-5-2. 血圧 (BP)

連続血圧計 (日本コーリン JENTOW-7700) を用い, 収縮期血圧 (SBP: systolic BP), 拡張期血圧 (DBP: diastolic BP) を算出し, 3-1 式にて, 平均血圧 (MBP: mean BP)。また, 3-2 式より圧受容体反射感受性 (BRS) を算出した。なお, ここで, RRILF はおよび SBPLF は, RRI および SBP の低周波成分 (0.05 ~ 0.15Hz) である。

$$MBP = DBP + \frac{SBP - DBP}{3} \dots\dots\dots (3-1)$$

$$BRS = \sqrt{\frac{RRILF}{SBPLF}} \dots\dots\dots (3-2)$$

3-5-3. 指尖容積脈波 (PTG)

校正脈波計 (日本光電 MLV-2101A) により左手第 2 指から測定し, 1 拍毎の極小値と極大値を抽出して振幅を算出した。

3-5-4. 鼻部皮膚組織血液量 (TBV), 鼻部皮膚組織血流量 (TBF)

レーザ血流計 (Laser Doppler Blood Flow Meter : OMEGAWAVE OMEGA FLOW FLO-C1) のプローブを鼻の先端に取り付けて計測した。

3-5-5. 皮膚電位水準(SPL)

前腕部を基準部位とし、左手掌拇指球部の電位水準を DC アンプ(日本光電 AG-641G)にて測定した。表皮擦剥などの不活性化処理については、皮膚の回復現象の影響による電位変化や、回復部位と新たに擦剥した部位には差がないという報告 [1]があり、本実験では、被験者内での相対的な変化に着目しているため、不活性化処理は行わず、エタノールによる脱脂のみとした。

3-6. 主観評価

精神作業直後に、気分評価として POMS、作業に対する感情評価については、予備実験を行って決定した 16 項目(表 3-1)を 5 段階の SD 法にて、紙面で実施した。また、主観的ワークロードの評価として、日本語版 NASA-TLX を用いた。

表 3-1 感情評価

No	左端	—	右端
Item1	難しい	—	易しい
Item2	嫌い	—	好き
Item3	目標が高い	—	目標が低い
Item4	退屈	—	楽しい
Item5	苦手	—	得意
Item6	劣等感を感じる	—	優越感を感じる
Item7	時間が気になる	—	自分のペースでできる
Item8	ストレスを感じる	—	快適である
Item9	うんざりする	—	やる気になる
Item10	時間が短い	—	時間が長い
Item11	手間がかかる	—	簡単だ
Item12	気が散る	—	集中できる
Item13	当てずっぽうだ	—	精確である
Item14	無関心である	—	興味がある
Item15	億劫だ	—	気楽だ
Item16	複雑である	—	単純である

3-7. 実験手順

電極装着後、実験環境に慣れるため、椅座位にて 10 分間の順応を行った後に、6 分間の安静記録を行った後に POMS を行った。その後、作業 6 分間、主観評価 (POMS, NASA-TLX, 作業に対する感情評価) の後に、安静 12 分間を行ない、再度 POMS を実施した。試行回数は、全被験者が 1 回ずつである。

被験者には、6 分以内で 15 問に正解することを目標に計算作業を行い、時間内に目標を達成した場合でも作業を続けるように教示した。また、目標を達成できない場合であっても、6 分経過した時点で作業は終了した。作業中にも正解数は表示されているが、作業終了後に、成績を被験者に通知してから主観評価を実施した。図 3-4 に実験手順を示す。なお、課題の目標は、高いと諦め、低いと飽きを生じさせる可能性がある。個人差もあるため、予備実験を行い、達成ができないわけではないが、容易ではない程度の難易度を調査した。

なお、被験者には、作業用プログラムを配布し、実験当日までに作業を十分に練習して来室するように指示をし、実験前日までに作業を習熟していることを確認した。また、希望があれば、実験前にも練習ができるように配慮し、すべての被験者が十分に習熟した状態で実験を遂行した。

安静 PRE	6 分
POMS のみ	
作業	6 分
主観評価	
安静 POST1・POST2	12 分
POMS のみ	

図 3-4 実験手順

3-8. 解析方法

作業成績においては、全被験者 14 名の正答数と誤答数の平均値と標準偏差を算出した。NASA-TLX は、MD(精神的要求)、PD(身体的要求)、TD(時間的圧迫感)、OP(作業達成度)、EF(努力)、FR(不満)の各評価値および、WWL(重み付けワークロード)、POMS の 6 尺度、感情評価(16 項目)についても平均値を算出した。また、

POMS の結果については、繰り返しのある一元配置分散分析を行なった。

生理指標に関しては、解析時間を統一するために、POST を各 6 分の 2 区間にわけ、作業前安静 (PRE)、作業時 (TASK)、作業後安静 (POST1, POST2) の 4 区間で平均値を算出し、被験者ごとに標準得点化を行った。その後、繰り返しのある一元配置分散分析を行った。Greenhouse-Geisser の自由度補正を行い、主効果が認められた指標については、Tukey の方法にて多重比較を行った (SPSS 11.0J)。

作業後の生理量が作業前の状態にどのくらい回復するのかを調べるため 3-3 式にて、各生理指標の回復率を算出した。

$$\text{recovery rate} = \frac{|TASK - POST_i|}{|PRE - TASK|} \dots\dots\dots (3-3)$$

回復率は、作業成績に関与するのではないかと仮説をたて、指標ごとに、各被験者の回復率と正解数に関して、ピアソンの積率相関係数を求め、有意検定を行った。

3-9. 結果

3-9-1. 作業成績および NASA-TLX

全被験者の正答数の平均値±SD は、11.9±5.0 であり、15 問正解した被験者は 4 名であった。誤答数の平均値±SD は、28.6±7.7 であった。各被験者の正答数を図 3-5 に示す。色のついている範囲が、被験者の目標である。また、NASA-TLX の各項目と WWL は、全被験者の平均値を図 3-6 に示す。

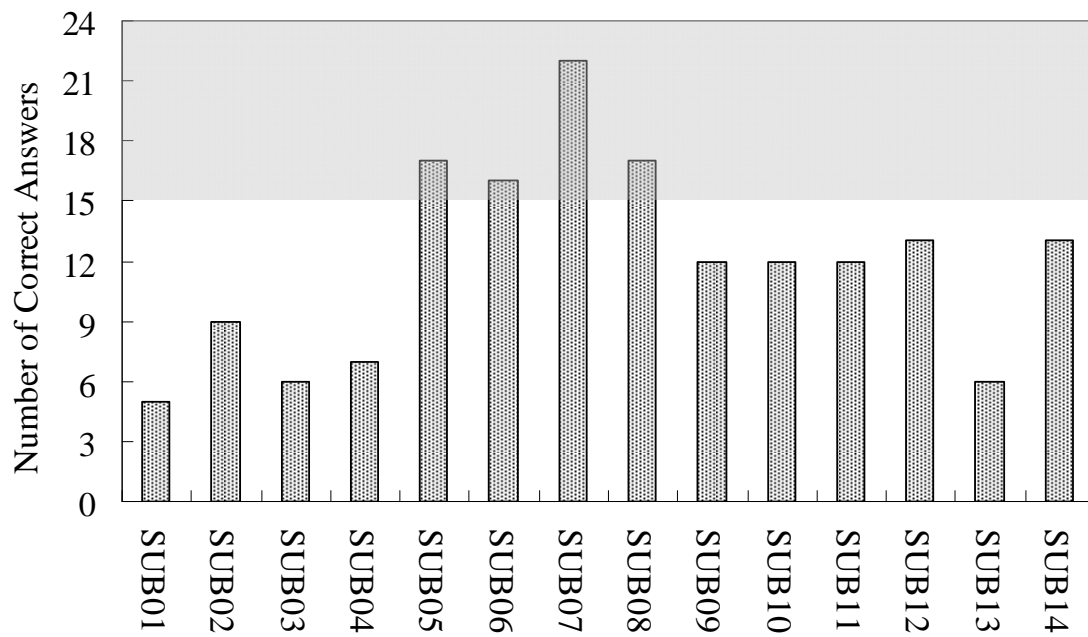


図 3-5 各被験者の正答数

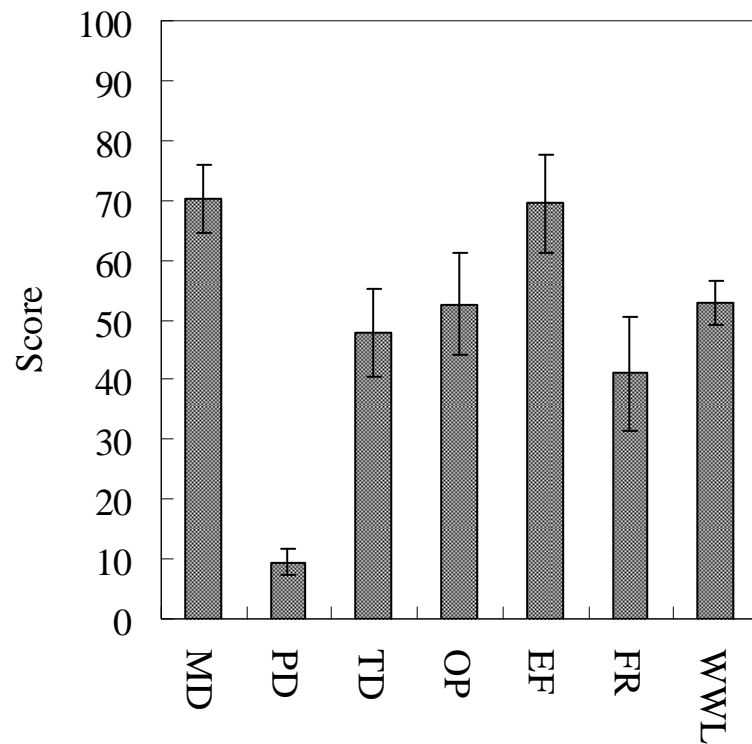


図 3-6 NASA-TLX (mean ± SE)

3-9-2. POMS および感情評価

POMSの全被験者の平均値を図 3-7に示す。分散分析の結果、どの項目においても主効果は認められなかった。有意差は認められなかったものの、活気(V)の尺度は、POST時に低い値になった。

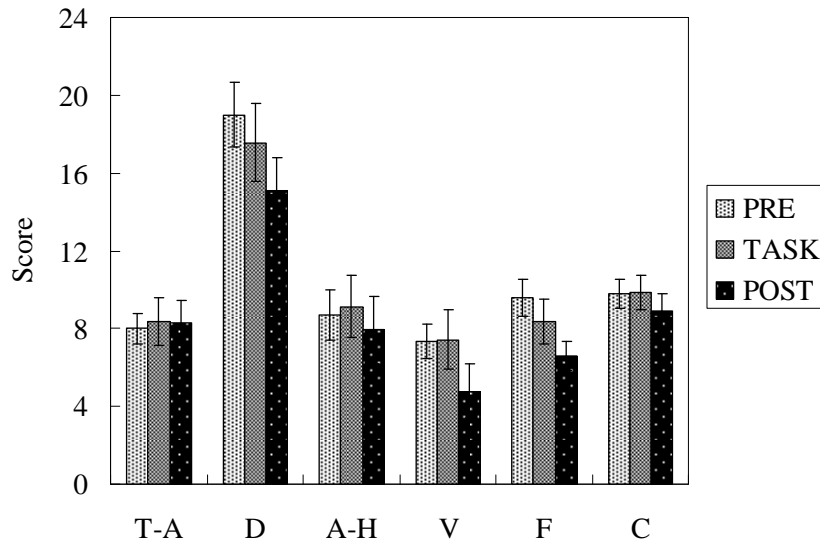


図 3-7 POMS (mean ± SE)

感情評価値の結果を図 3-8に示す。グラフ内は、値の大きい方がポジティブの感情となっている。ばらつきが大きいものの、全体的にポジティブの評価がされている。

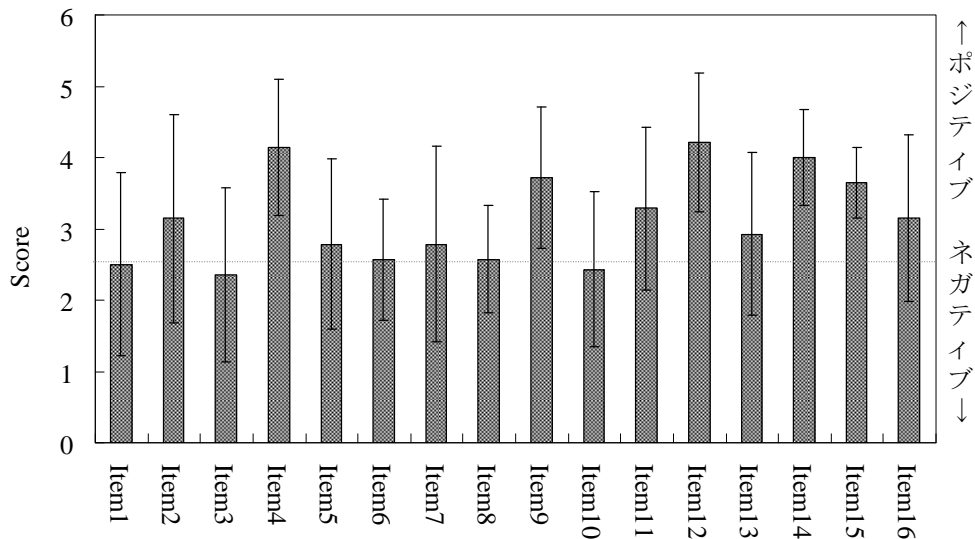
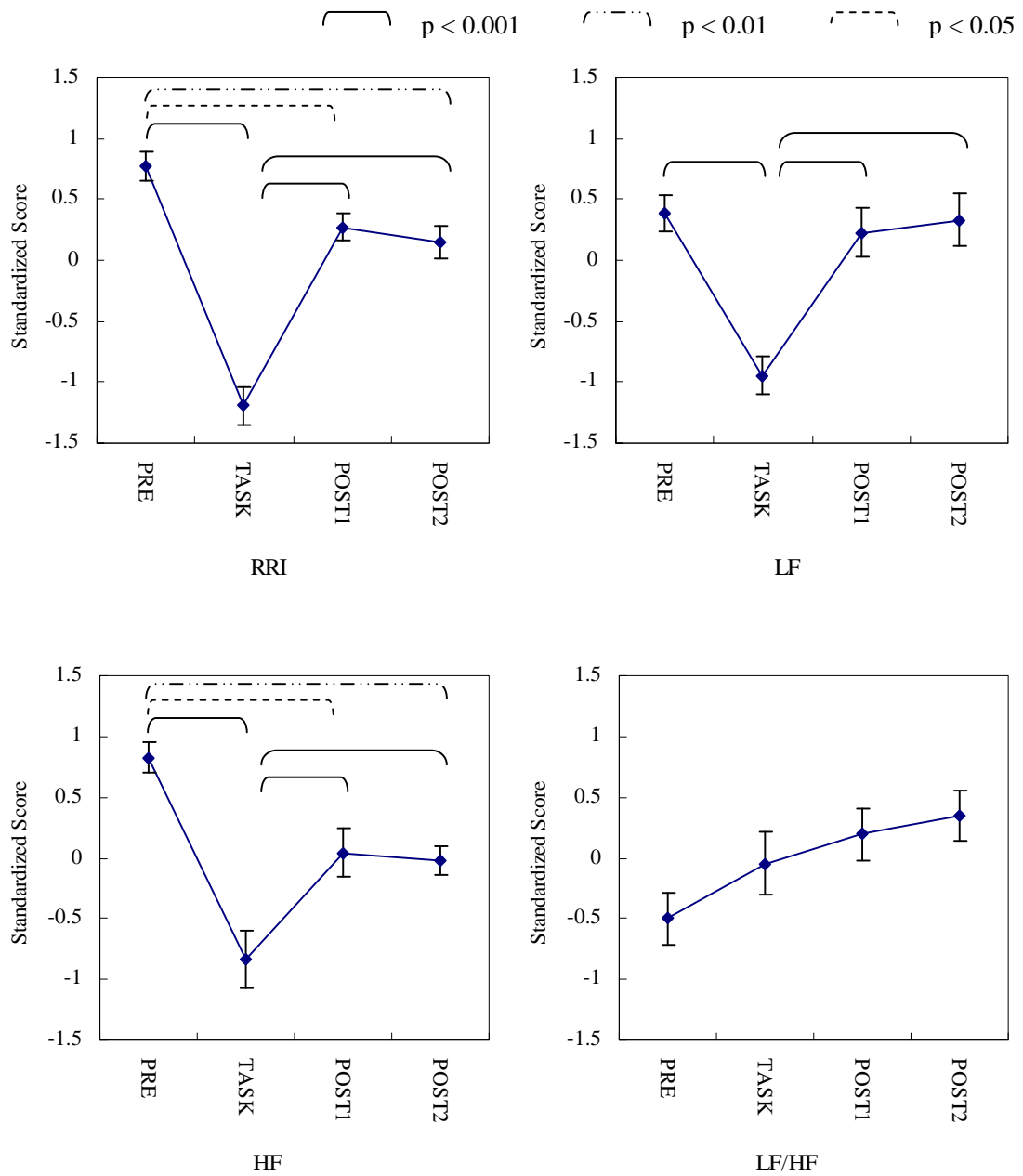


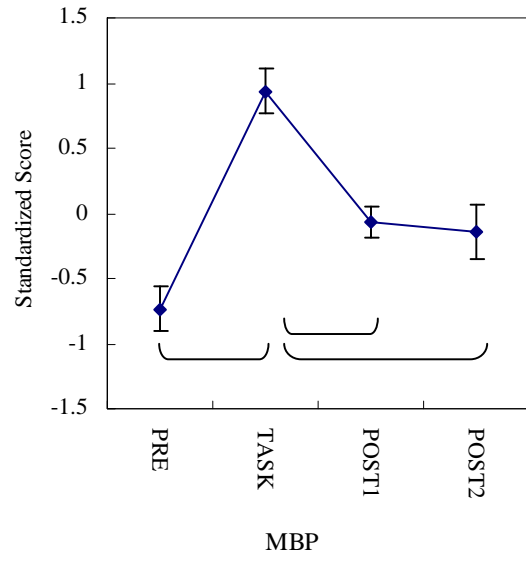
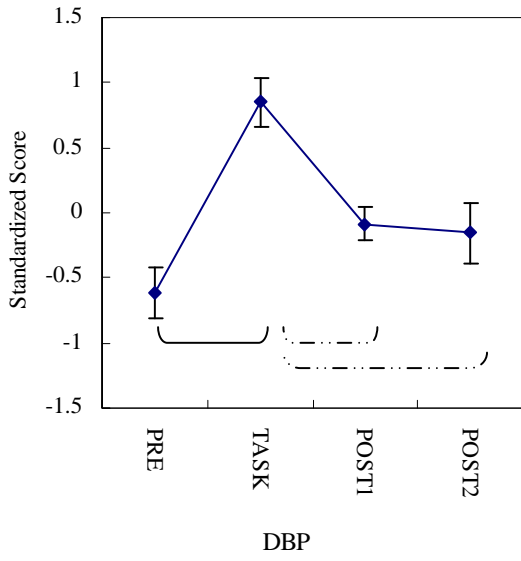
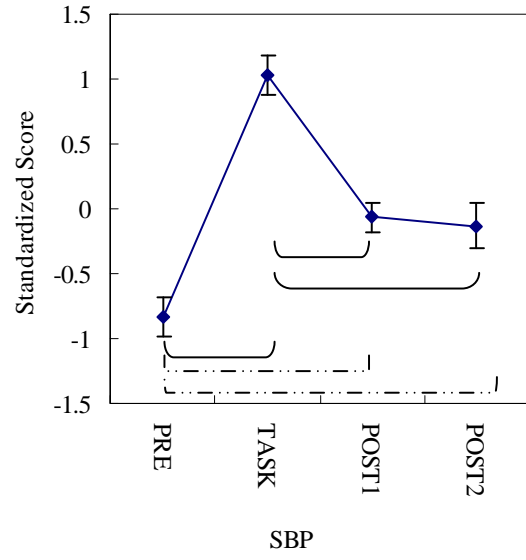
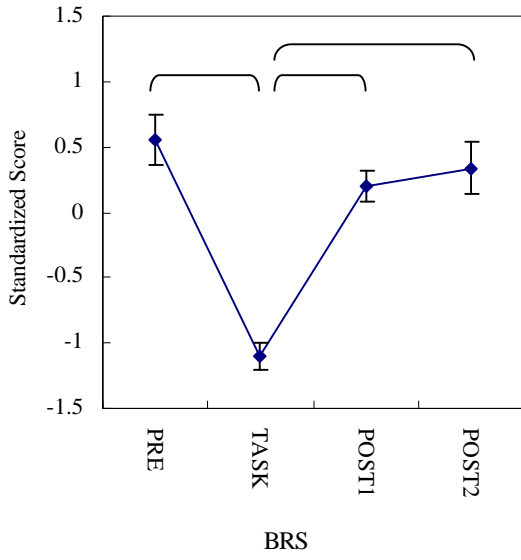
図 3-8 感情評価値 (mean ± SE)

3-9-3. 全区間の生理反応

全 4 区間の分散分析および多重比較の結果, LF/HF 外の生理指標で安静時と作業時の間に有意差が認められた。また, RRI, HF, SBP, SPL, PTG においては, 安静時の PRE, POST1, POST2の間にも有意差が認められた(図 3-9)。LF/HFは, 他の生理量とはまったく異なる反応とみとめた。



┌───┐ p < 0.001
┌───┐ p < 0.01
┌───┐ p < 0.05



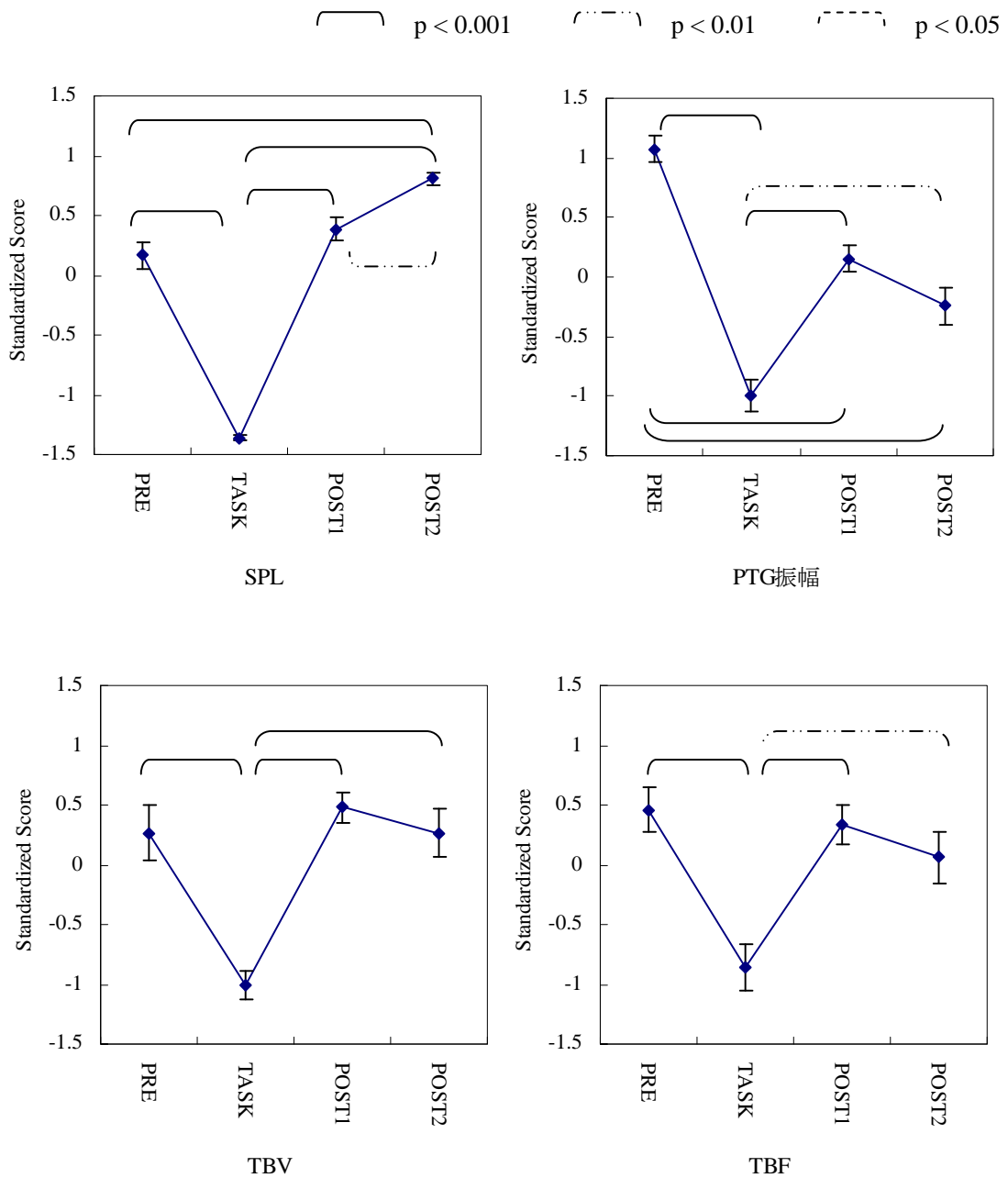


図 3-9 全区間の生理反応 (mean ± SE)

3-9-4. 回復率

各生理量の回復率を表 3-2 に示す. 80%以上回復した区間は, 完全回復に近いと判断し, 色を付けた. 前節にて, PRE と POST1 間に有意差の見られた生理量は, RRI, HF, SBP, PTG の 4 指標であったが, その他の指標でも有意差はないもののほとんど回復していないことがわかる. 回復率は, 作業成績に關与するのではないかと考えら

れることから、正解数と各生理指標について、被験者ごとに相関係数を算出した結果、統計的に有意ではないが、SPL の回復率と正解数の間に相関があった。($r_{\text{post1}}(14) = -0.513$, $r_{\text{post2}}(14) = -0.562$: 図 3-10). 他の指標に関しては、回復率と正解数との間に相関は見られなかった。

表 3-2 各生理量の回復率

80%回復した区間に色をつけた。

LF/HF は、作業に対して変化をしていないため、対象外とする。

	POST1	POST2
RRI	0.74	0.68
LF	0.88	0.96
HF	0.53	0.49
LF/HF	—	—
BRS	0.78	0.87
SBP	0.59	0.62
DBP	0.64	0.68
MBP	0.60	0.65
SPL	1.14	1.42
PTG	0.55	0.36
TBV	1.17	1.00
TBF	0.91	0.70

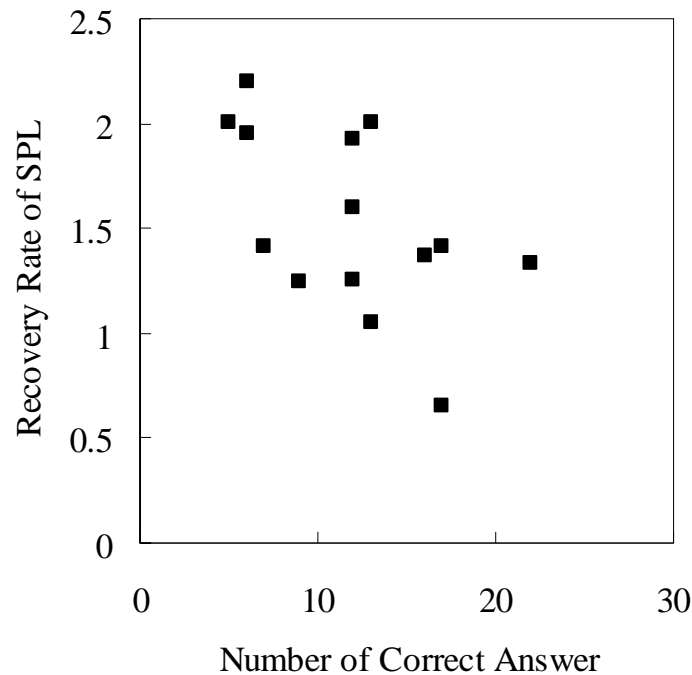


図 3-10 正解数と回復率の関係(SPL-POST2)

3-10. 考察

作業成績では、目標達成率はよくなかったものの、目標達成に近い 12 問以上の回答をした被験者が 10 名となった。また、感情評価では、目標は高くも低くもない (Item3) 設定になっており、やる気 (Item9) をもって集中 (Item12) して課題に取り組んだことがわかる。これらのことから、課題は、飽きも諦めも生じさせない適切な設定であったといえる。また、被験者間のばらつきは大きいものの、様々な種類の感情を惹起させられているといえる。本実験で用いた課題は、計算課題であることから、sensory rejection の作業となり、パターン 1 反応が生じると考えられる[1][2] (第 2 章 表 2-1 参照)。

それを踏まえて、先行研究でストレスに関係すると報告された指標について、本実験の結果と比較しながら考察を行う。RRI は、作業負荷によって、交感神経活動が亢進するか、副交感神経活動が抑制されることによって減少する。本実験においても安静時に比べて、作業遂行時に RRI が減少し、作業終了後に増加し、先行研究の結果と一致した。周波数成分に関しては、HF は副交感神経活動の指標であることから、精

神負荷によって減少するという報告[3]と同じであった。LF/HF は交感神経の指標といわれており、精神負荷時には増加するはずであるが、本実験においてはほとんど変化が見られなかった。LF が減少していることから、作業中に副交感神経と交感神経の両方が抑制していることが示唆される。このことから、本実験において見られた RRI の変化は、副交感神経活動の抑制によって起こった結果であると考えられる。BRS は、副交感神経活動の指標といわれているが、3-2 式に示すように、BRS を得るためには、血圧を測定する必要がある。血圧を連続的に測定することは困難であるため、血圧を測定することなしに、副交感神経活動の変動を得られる可能性が示唆されたことは、有用な知見であると考えられる。

BP については、高いモチベーションをもって難しい精神課題を行うと上昇するという報告[4]があるが、本実験でも血圧は上昇しており、被験者は「やる気」をもって難しい課題を行っているという条件も一致している。

PTG については、精神負荷時に減少しており、先行研究の結果と一致する。ただし、作業後に回復する傾向はみせたものの、その後の POST2 では、安静であるにもかかわらず振幅が減少した。これについては、後述する。TBF は副交感神経が優位な状態で増加するという報告[5]を裏付けるように、本実験でも作業時に比べて安静時では増加した。最後に SPL は、覚醒水準が高いと低下する指標である[6]が、本実験でも作業中に低下しており、作業後、安静が続くと増加したことから、先行研究と同じ傾向が見られたと考える。

これらを総合的に判断すると、本実験にて計測した生理指標は、LF/HF 以外のすべてが先行研究と同じ傾向を示した。しかし、作業に対しては様々な感情が惹起しており、他の感情に反応している可能性もある。また、前述した課題特性に対し、パターン 1 反応がみられているかどうかは、心拍出量(CO)の計測が必要であり、本実験では確認できていない。これについては、4 章にて検討する。

次に回復率について考察する。我々は、作業時にスムーズに問題が解けず、目標が達成できない状況では、作業後に安静になってもすべての生理量が回復しないと考えていた。しかし、目標を達成した被験者とそうでない被験者とで、そのような傾向は見られなかった。それだけでなく、すべての生理量が同じように変化するのではなく、作業前と作業後の安静時における回復過程に違いがあり、回復する指標 (Recoverable) と回復しない・回復が不十分である指標 (No Recoverable) の 2 グループ

に分けられる結果となった。SPL の回復率は正解数とやや相関が認められたことから、Recoverable に属する生理量は、作業成績に対して敏感に反応する指標である可能性が示唆される。また、No Recoverable に属する指標は、作業成績以外の感情や情動と関わりをもつ指標であるかもしれない。しかしながら、ここで重要な点は、表 3-2 からわかるように、多重比較の結果では、PRE と POST1 との間に有意差は認められないものの、POST1 で完全に回復しているとは言い難い生理量があることである。更に、PTG のように、その後の POST2 で、PRE の状態にむかって回復をするのではなく、回復とは逆に向かう傾向が見られる生理量もある。しかしながら、他の生理量と同様に、PTG 振幅の Recovery rate は、POST1 では一時的に回復に向かうものの、POST2 では回復とは逆の方向に向かう傾向にある。この原因を探るために、精神負荷の性質に着目して、考察する。

先行研究において、PTG 振幅は不安や緊張状態を示す指標であるといわれている [7]。不安は、作業後でも継続して起こる感情であり、本実験では、目標が達成できなかった場合に不安が続いている可能性がある。一方、時間的圧迫感は、作業が終了した後(もしくは強制的に終了させられた後)に、完全に開放される一時的な感情であるといえる。すなわち、本実験では、作業終了後に時間的圧迫感は 0(ゼロ)になるはずである。そこで、PTG が、時間的圧迫感のような一時的な感情に対する感度が非常によいと仮定すると、作業終了後には「一時的な感情からの開放」に対して敏感に反応し、その後、不安などの「継続する感情に反応」し、POST2 のような変化が起こっているのではないかと考えることができる。また、生理学的な機序が関係しているのかもしれない。安静後の生理反応については、第 5 章にて、その原因となる可能性を述べる。

SPL においては、POST1 で完全に PRE の状態まで回復しており、POST2 では更に増加傾向が見られた。SPL は、作業前に生じたであろう実験に対する緊張感や不安感に反応し、もともと PRE での反応が高まっていたと考えれば納得できる。このことから、SPL は他の生理量よりも感情に対して敏感に反応する、もしくはまったく異なった性質をもつ指標の可能性も示唆される。回復率と正解数との関係において、SPL だけが傾向を示したことも、この考えを支持する要因となるかもしれない。

次章からは、精神負荷の強さをかえることによって様々な強さの感情を惹起させ、生理反応に違いがあるかどうかを調べる。また、先行研究と異なった結果が得られた生

理量に関しては検証を重ね、有用性について検討することが課題である。

3-11. 結言

本章では、精神作業を負荷し、安静時と作業時において、様々な生理反応を計測し、先行研究にてストレスに反応すると報告された生理反応が、他の感情に対して反応する可能性があるかどうかを考察した。RRI, LF, HF, BP, SPL, PTG, TBF, TBV において、作業時に先行研究と同様の傾向を示したことから、これらの生理量は感情を評価する上で有用である可能性を示した。しかし、本研究で用いた精神作業によって、様々な感情が惹起されていることから、先行研究で報告されている感情とは別の感情が強く関与している可能性も否定できない。LF/HF については、先行研究の見解とは異なり、交感神経活動を示す指標であるとは言い難い。しかし、副交感神経活動の抑制を示している可能性が示唆された。以上より、次章の実験では、これらすべての生理反応について、計測・分析を進め、更なる検討を行うこととする。

また、一般的にストレス状態から解放された場合は、生理量は元に戻ることが考えられるが、本章では、すべての生理量が作業後に完全に元の状態に回復するわけではなく、生理量によって回復過程が異なり、すべての生理量が同じような動向をするわけではないことがわかった。その原因としては、作業そのものに反応する生理量と、それ以外の情動や感情にも反応する生理量とが存在しているのではないかと考察した。それについては、次章以降にて、作業中に惹起した感情と生理反応の関係を明らかにすることとする。

参考文献

- [1] Lacey, J.I., Lacey, B.C.: Somatopsychic effects of interoception, *Research in the Psychobiology of Human Behavior*, pp.59-73, John Hopkins University Press, Baltimore, 1978.
- [2] Freyschuss, U., Fagius, L., Wallin, B.G., Bohlin, G., Persiki, A., Hjemdahl, P.: Cardiovascular and sympathoadrenal responses to mental stress: a study of sensory intake and rejection reactions, *Acta Physiologica Scandinavica*, 139, 173-183, 1990.
- [3] 大須賀美恵子, 寺下裕美, 下野太海: 心臓血管系モデルを用いた自律神経指標の

解釈, *Bio Medical Engineering*, 11(1), 75-85, 1997.

- [4] Guido, H.E., Gendolla, Michael Richter: Ego involvement and effort: Cardiovascular, electrodermal, and performance effects. *Psychophysiology*, 42, 595-603, 2005.
- [5] 向江秀之, 望月美代, 谷口洋介: 皮膚血中のリズムを用いた心身状態評価の研究, *日本生理人類学会誌*, 11 (2), 27-32, 2006.
- [6] 桶谷哲哉, 加藤光博, 高野博史, 中村清実: 瞬きと脳波および皮膚電位との相関解析による居眠り判定基準の検討, *電子情報通信学会技術研究報告*, 107(72), 17-20, 2007.
- [7] Mishima, N., Kubota, S., Nagata, S.: Pshychophysiological Correlates of Relaxation Induces by Standard Autogenic Training, *Psychotherapy and Psychosomatics*, 68, 207-213, 1999.

第4章 様々な強さの感情と生理反応

4-1. 緒言

前章では、本実験にて用いた精神作業の有効性と、精神性ストレスと関連のある生理指標が、他の感情にも関連している可能性を示した。また、LF/HFでは、先行研究と同様の傾向が見られないこともわかった。前章では、計算作業を1回しか行っていないが、同一作業遂行時であっても、気分や周囲の環境によって生じる感情が異なり、それに伴って生理反応も異なることがある[1]。また、様々な強さの感情を惹起させて、生理反応を調べることで、生理量がどの感情に最も反応しているのかを明確にすることが可能となる。ただし、人の感情をコントロールすることは困難であるため、本研究では、難易度の異なった精神作業(計算作業)を行わせることによって被験者の感情を変化させることにした。本章では、このような条件下において、作業遂行時に誘発される生理反応と感情変化との関連性を明らかにすることを目的とした実験結果をまとめる。また、LF/HFの再現性も確認する。

4-2. 実験環境

前章の実験とほとんど同様であるが、心拍出量(CO)が追加となったため、実験環境の図を示す(図 4-1)。本実験でも、被験者にコンピュータ上で計算課題を行わせ、安静時および作業時の生理反応を計測した。また、作業直後に、作業時に生じた感情や作業についての主観的評価を行ない、生理反応との関係を解析した。

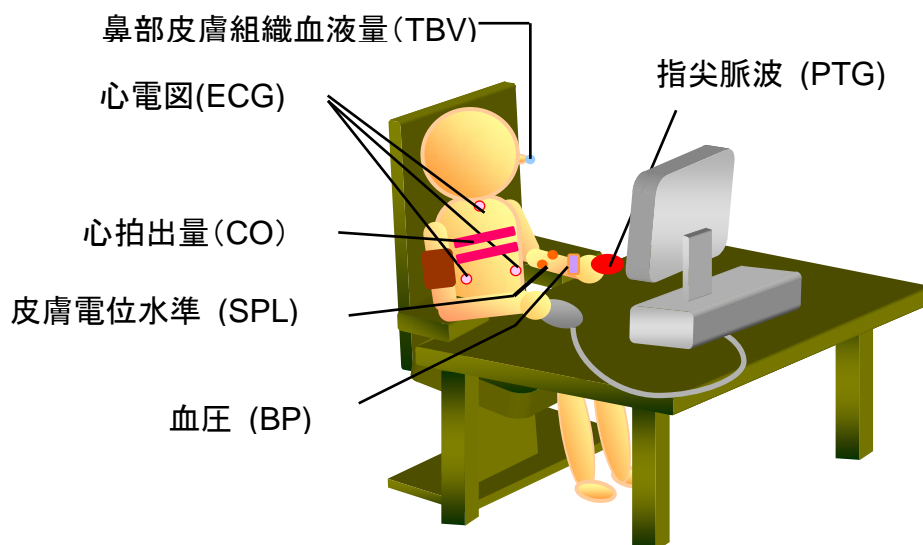


図 4-1 実験環境

実験室の室温は 26℃ (実験時の変動は±1℃) に保ち、被験者は実験室にて作業を行ない、実験者は実験室に隣接したモニタールーム(3-2 節参照)で観察を行った。実験室のキーボード面での水平照度は 700lx とした。

4-3. 実験課題

基本的には、前章と同じ課題である。ただし、本章の実験では 1 問につき選択しなおすことができる最大回数は 3 回とし、4 回誤ると、自動的に新しい問題に進んだ。

4-3-1. 難易度の設定

選択肢の数を変化させることによって、作業難易度を設定した。選択肢の数は、予備実験の結果より、「難しいがどうにかできそうだ」から「簡単だが考えて行う必要ある」の範囲を 3 段階に分割し、10 個(高難易度条件: H), 8 個(中難易度条件: M), 5 個(低難易度条件: L)の 3 条件とした。図 4-2(a)～(c)に各難易度の実験課題の画面を示す。

加算した答えが になるように下から3つ選んでください
選択後、決定ボタンをクリックすると加算結果が表示されます

+ + =

45 51 44 13 43
 49 46 83 78 76

正解数 **2** / 5

経過時間

(a) 高難易度条件: H


加算した答えが になるように下から3つ選んでください
 選択後、決定ボタンをクリックすると加算結果が表示されます

+ + =

93 81 69 97 94

80 21 17

正解数 **3** / 6

経過時間



(b) 中難易度条件: M

加算した答えが になるように下から3つ選んでください
 選択後、決定ボタンをクリックすると加算結果が表示されます

+ + =

90 84 62 97 77

正解数 **7** / 9

経過時間


(c) 低難易度条件: L

図 4-2 実験課題

4-4. 被験者

日常的にコンピュータを使用している21~32歳(平均23.8歳)の健康な男子大学院生16名が実験に参加した。実験当日までに、内容を説明して実験参加への同意を得た。実験は産業医科大学倫理委員会ガイドラインに従って実施した。

4-5. 生理指標の計測

心電図 (ECG: Electrocardiogram), 血圧 (BP: Blood Pressure), 指尖容積脈波 (PTG: Photoelectric Plethysmogram), 鼻部皮膚組織血液量 (TBV: Tissue Blood Volume), 鼻部皮膚組織血流量 (TBF: Tissue Blood Flow), 皮膚電位水準 (SPL: Skin Potential Level), 心拍出量 (CO: Cardiac Output) を測定した. CO は 1 拍毎にデータを記録し, それ以外の生理指標は, サンプリング周波数 1kHz でデータレコーダ (KEYENCE NR2000) を使用して PC に取り込んだ. なお本実験においては, 機器の不具合などの理由から SBP と DBP と CO が 3 名分, TBV が 1 名分取得できなかった.

生理量の計測方法および, その後に算出した指標については, 前章と同様であるため, ここでは説明を省く. ただし, 本実験にて CO を新たに追加したため, 以下に説明を加える.

4-5-1. 心拍出量 (CO), 全末梢抵抗 (TPR)

無侵襲連続心拍出量計 (日本電気三栄 NICOVIEW PA 1100) を用いてアドミッタンス法により測定した.

BP と CO より, 以下の計算にて, 平均血圧 (MBP: mean BP, 4-1 式) と総末梢血管抵抗 (TPR: Total Peripheral Resistance, 4-1 式) を得た [2].

$$TPR = \frac{MBP}{CO} \dots\dots\dots (4-1)$$

4-6. 主観評価

精神作業直後に, 気分評価として POMS (Profile of Mood States), 作業に対する感情評価については 17 項目 (表 4-1) を VAS 法 (Visual Analog Scale) にて実施した. 17 項目の内容は, 予備実験を行って決定した. 被験者には, パソコンの画面に表示されたスライダをドラッグして評価するように教示し, VAS 法の左端を 0 点, 右端を 100 点として記録した. 実施画面を図 4-3 に示す. POMS は, 6 気分尺度 (全項目 65 問) すべてに回答することは被験者にとって負担になるため, 緊張-不安 (T-A: Tension-Anxiety), 活気 (V: Vigor), 疲労 (F: Fatigue) の 3 尺度 (24 項目) のみを用いた. また, 主観的ワークロードの評価として, 日本語版 NASA-TLX (National Aeronautics and Space Administration Task Load Index) を用いた.

表 4-1 感情評価

左端を 0 点, 右端を 100 点として, VAS 法にて実施した。

No	左端 (0 点)	—	右端 (100 点)
Item1	飽きる	—	飽きない
Item2	難しい	—	易しい
Item3	嫌い	—	好き
Item4	目標が高い	—	目標が低い
Item5	退屈	—	楽しい
Item6	劣等感を感じる	—	優越感を感じる
Item7	時間が気になる	—	自分のペースでできる
Item8	うんざりする	—	やる気になる
Item9	手間がかかる	—	簡単だ
Item10	諦める	—	諦めない
Item11	苦手だ	—	得意だ
Item12	ストレスを感じる	—	快適である
Item13	無関心である	—	興味がある
Item14	時間が短い	—	時間が長い
Item15	気が散る	—	集中できる
Item16	当てずっぽうだ	—	精確である
Item17	億劫だ	—	気楽だ

先程行った作業について、あなたが感じたことを直感で教えてください
スライダーはクリックせず、必ずスライドさせてください

非常に	どちらともいえない	非常に
飽きる	_____	飽きない
難しい	_____	易しい
嫌い	_____	好き
目標が高い	_____	目標が低い
退屈	_____	楽しい
劣等感を感じる	_____	優越感を感じる
時間が気になる	_____	自分のペースでできる
うんざりする	_____	やる気になる
手間がかかる	_____	簡単だ

次へ

図 4-3 感情評価の実施画面(一部掲載)

4-7. 実験手順

電極装着後、実験環境に慣れるため、椅座位にて 10 分間の順応を行った後に、6 分間の安静記録と主観評価(POMS のみ)を行った。その後、作業 6 分間、主観評価(POMS, NASA-TLX, 作業に対する感情評価)、安静 6 分間を 1 セッションとして、3 セッション繰り返した。1 セッション目に高難易度条件、2 セッション目に中難易度条件、3 セッション目に低難易度条件の作業を実施し、全被験者が各条件を 1 回ずつ行った。なお、作業難易度と実験そのものに対する不安感などの感情の影響の相殺を避けるため、実験順序はランダムに選ばなかった。

被験者には、6 分以内で 15 問に正解することを目標に計算作業を行い、時間内に目標を達成した場合でも作業を続けるように教示した。また、目標を達成できない場合であっても、6 分経過した時点で作業は終了した。作業中にも正解数は表示されているが、作業終了後に、成績を被験者に通知してから主観評価を実施した。図 4-4 に実験手順を示す。なお、被験者には、作業用プログラムを配布し、実験当日までに作業を十分に練習して来室するように指示をし、実験前日までに作業を習熟していることを確認した。また、希望があれば、実験前にも練習ができるように配慮し、すべての被験者が十分に習熟した状態で実験を遂行した。

安静 PRE	6分
主観評価 *POMS のみ	
作業(高難易度: H)	6分
主観評価	
安静 POST1	6分
作業(中難易度: M)	6分
主観評価	
安静 POST2	6分
作業(低難易度: L)	6分
主観評価	
安静 POST3	6分

図 4-4 実験手順

4-8. 解析方法

作業成績においては、全被験者 16 名の正答数の平均値と、目標達成率、誤答率を算出した。NASA-TLX は、MD (Mental Demand: 精神的要求)、PD (Physical Demand: 身体的要求)、TD (Temporal Demand: 時間的圧迫感)、OP (Own Performance: 作業達成度)、EF (Effort: 努力)、FR (Frustration: 不満)の各評価値および、WWL (Weighted Workload: 重み付けワークロード)の平均値を算出した。POMS および作業に対する感情評価は平均値を算出した。

作業成績、NASA-TLX、POMS、感情評価値の結果については、繰り返しのある一元配置分散分析を行ない、主効果が認められた項目について、Tukey の方法にて多重比較を行った (SPSS 11.0J)。

生理指標に関しては、作業前安静 (PRE)、作業時 (高難易度条件: H, 中難易度条件: M, 低難易度条件: L)、作業後安静 (POST1, POST2, POST3) の 7 区間で平均値を算出し、被験者ごとに標準得点化を行った後に、繰り返しのある一元配置分散分析を行った。Greenhouse-Geisser の自由度補正を行い、主効果が認められた指標については、Tukey の方法にて多重比較を行った。その後、作業時の 3 区間および安静時の 4 区間に分け、再度標準得点化を行い、上記と同じ解析を行った。

また、被験者ごとに標準得点化を行ない、全データをプールして、主観評価および作業成績と生理反応に関して、ピアソンの積率相関係数を求め、有意検定を行った。ただし、作業時の3区間中、2つ以上が同値の主観評価は相関係数の算出時に除外した。

4-9. 結果

4-9-1. 作業成績および NASA-TLX

高難易度条件(H)、中難易度条件(M)、低難易度条件(L)の正答数の平均値(目標達成率、誤答率)は、それぞれ 10.3(6%, 54.8%), 11.8(19%, 53.1%), 20.9(69%, 37.5%)であり、低難易度条件における正答数の平均値は、高難易度条件と中難易度条件に比べて有意に高い値であった($F(2,30)=3.164$, $\epsilon =0.893$, $p<0.001$: 図 4-5)。

NASA-TLX における分散分析の結果、PD と FR 以外の項目で有意な主効果が認められた(WWL: $F(2,30)=8.282$, $\epsilon =0.986$, $p<0.001$, MD: $F(2,30)=11.188$, $\epsilon =0.966$, $p<0.001$, TD: $F(2,30)=9.899$, $\epsilon =0.879$, $p<0.001$, OP: $F(2,30)=6.372$, $\epsilon =0.957$, $p<0.05$, EF: $F(2,30)=10.577$, $\epsilon =0.808$, $p<0.001$)。多重比較の結果、高難易度条件と中難易度条件に比べて、低難易度条件は主観的ワークロード評価値が有意に低いことが認められた(図 4-6)。

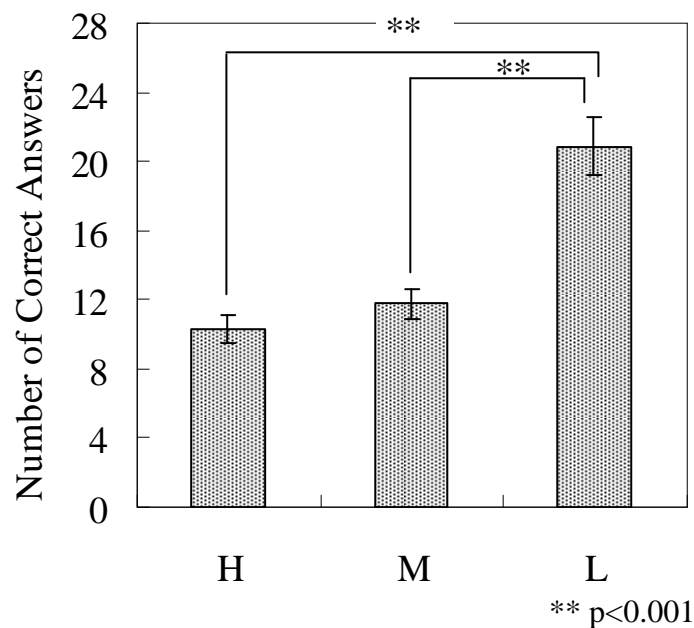


図 4-5 作業難易度における正答数 (mean±SE)

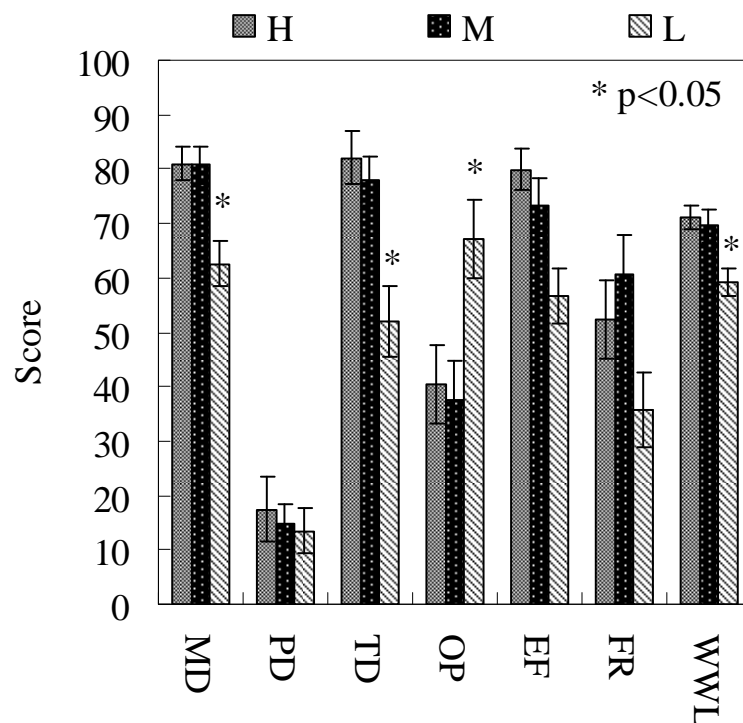


図 4-6 作業難易度における NASA-TLX (mean ± SE)

以上の結果より、低難易度条件は、高難易度条件と中難易度条件に比べて作業負荷が低く、被験者もそれを認識していたといえる。

4-9-2. POMS および感情評価

POMS に関しては、難易度を要因とする分散分析の結果、どの項目においても主効果は認められなかったが、高難易度と中難易度条件の V は、作業前や低難易度条件に比べて高い傾向を示した。また、有意差は認められていないものの、作業前 (PRE) の T-A 値は、どの条件時よりも高い値を示した。

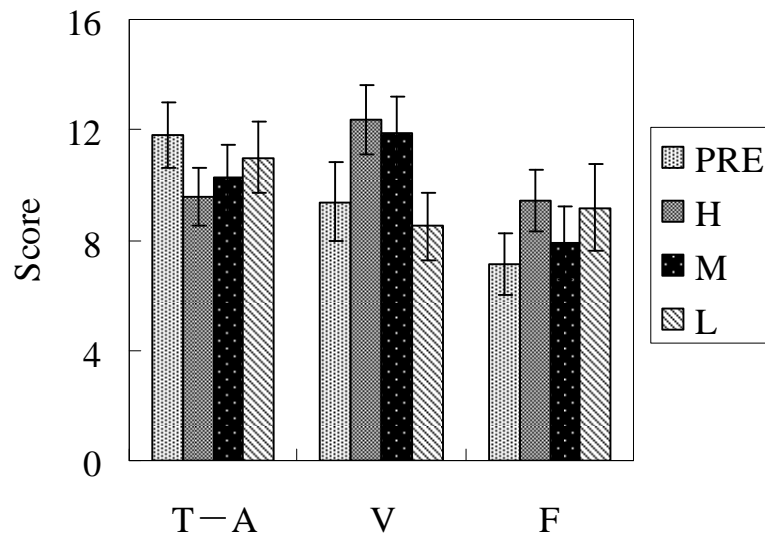


図 4-7 作業難易度における POMS (mean ± SE)

作業に対する感情評価値では、難易度 (Item2)、目標の高さ (Item4)、時間に対する気がかり (Item7)、簡単さ (Item9)、体感時間の長さ (Item14) において、低難易度条件が、高難易度条件と中難易度条件に比べて有意に低かった。また、有意差は認められていないものの、集中度 (Item15) ややる気 (Item8) の評価は、高難易度条件の評価値が高かった。

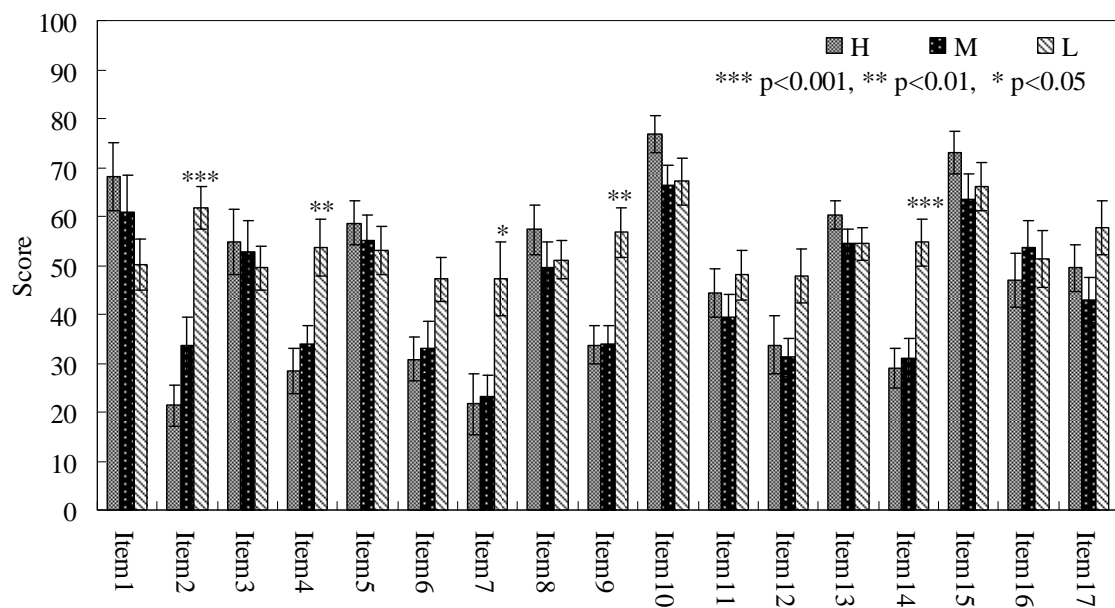
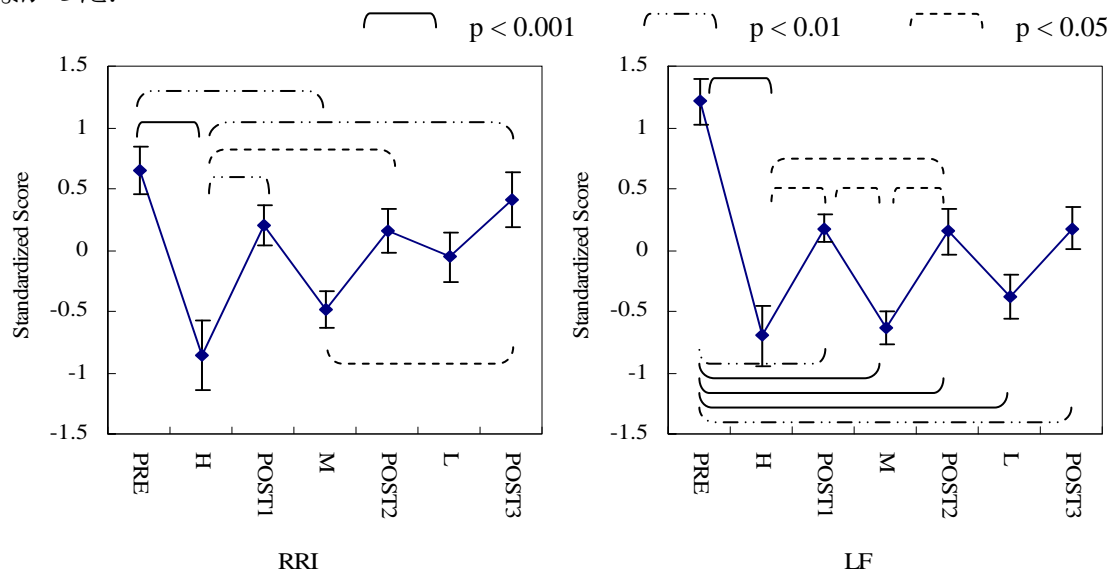


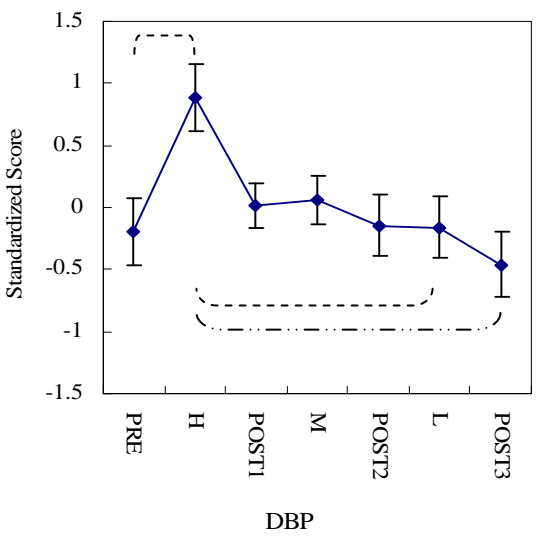
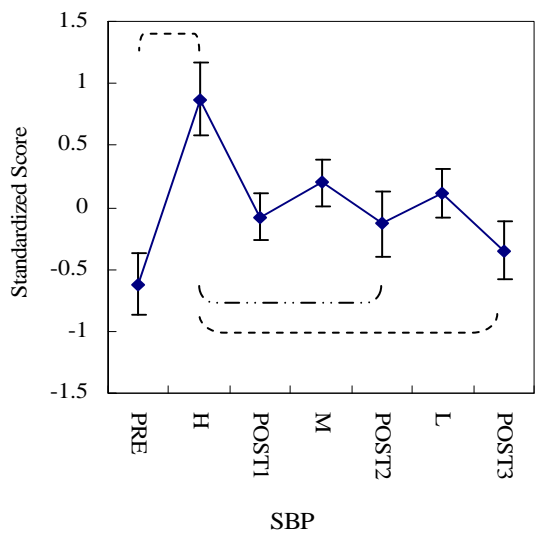
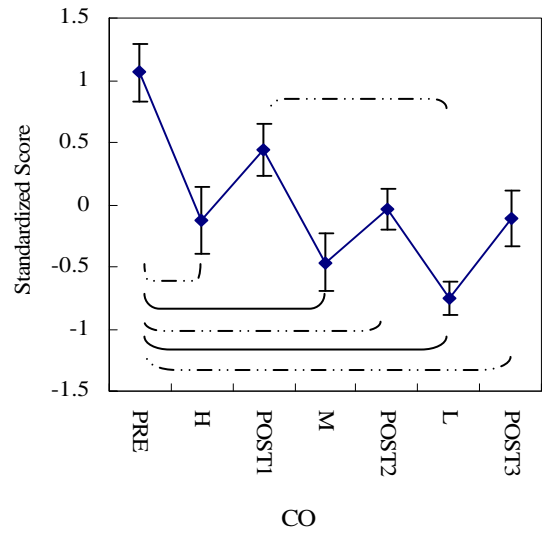
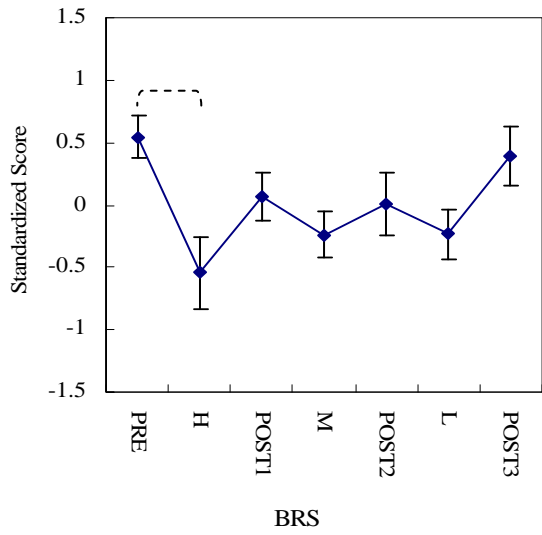
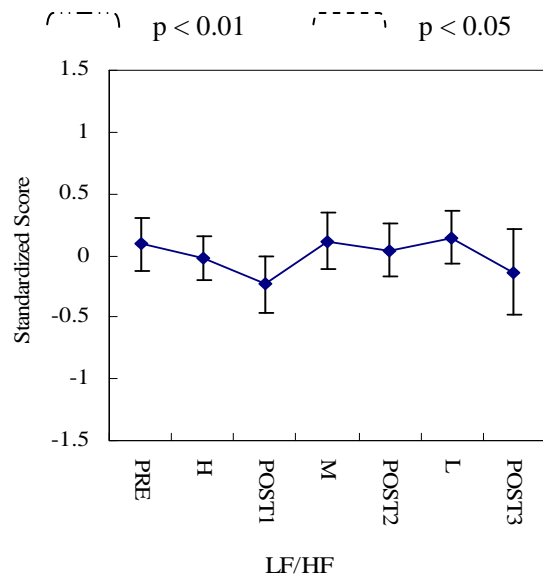
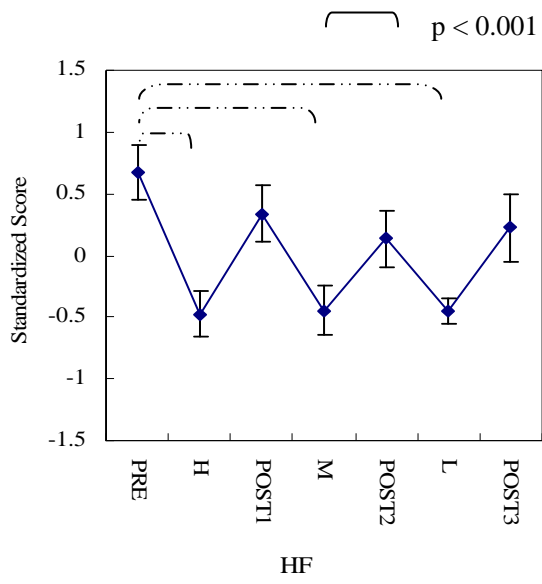
図 4-8 作業難易度における感情評価値 (mean ± SE)

POMS および感情評価の結果からも、前節の作業成績や NASA-TLX の結果と同様に、低難易度条件は、他の 2 条件に比べて作業負荷が低かった。また、有意差は認められていないものの、高難易度条件では、他の 2 条件に比べて作業への取り組み意欲(モチベーション)が高い傾向にあったといえる。また、POMS の T-A 値は、作業前が最も高くなっていたことから、被験者は、少なからず実験に対する緊張感があったといえる。

4-9-3. 全区間の生理反応

全 7 区間の分散分析および多重比較の結果、ほとんどの生理指標で安静時と作業時の間に有意差が認められた。また、安静時と作業時の間には差があるが、RRI や TBF のように作業後には作業前の状態に回復する指標と、CO や PTG 振幅のように回復せず、実験全体を通して減少傾向になる指標が認められた(図 4-9)。また、前章にて傾向のみられなかった LF/HF については、本章の実験でも各区間では変化を示さなかった。





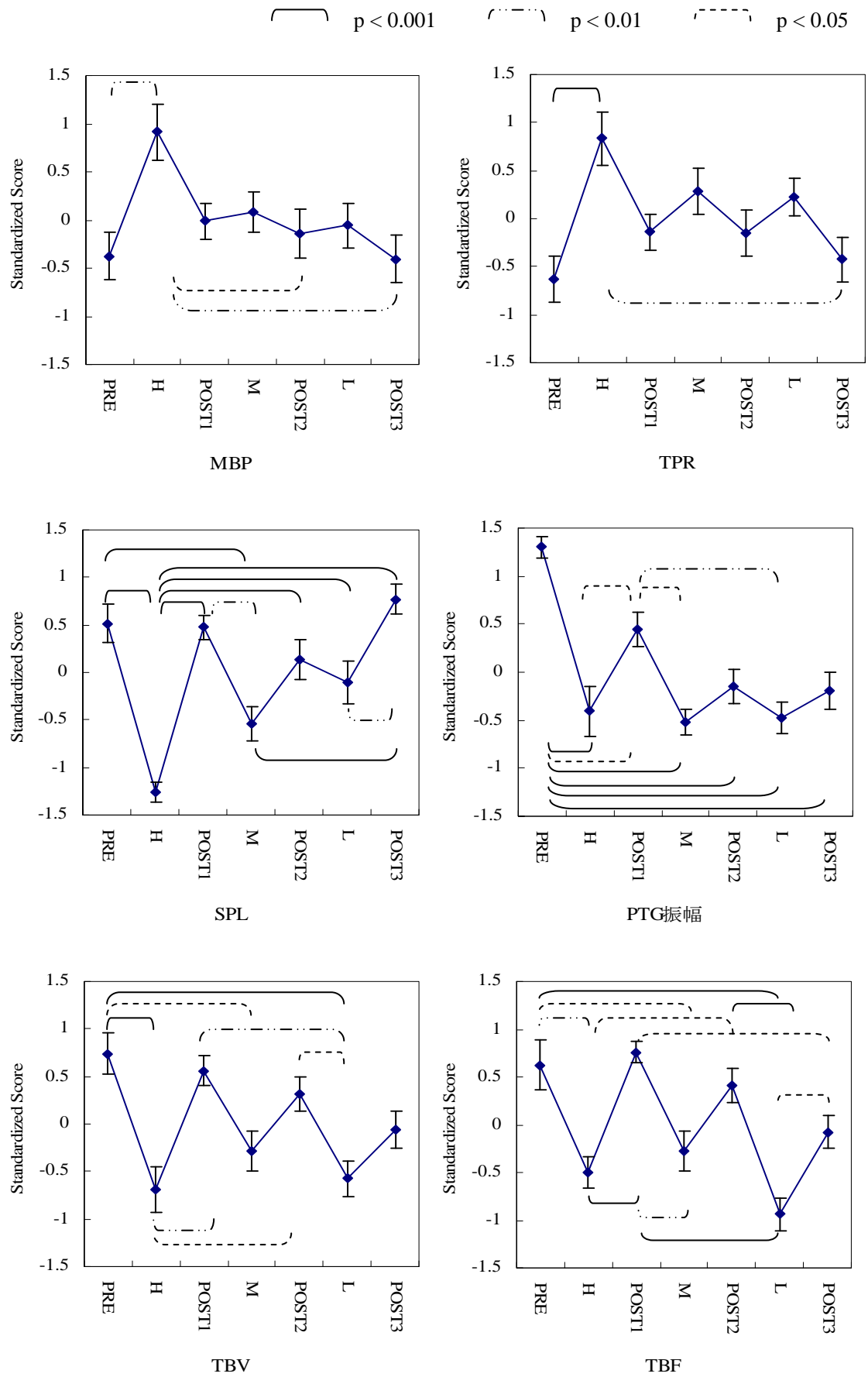


図 4-9 全区間の生理反応 (mean ± SE)

4-9-4. 作業時の生理反応

作業遂行時 3 区間において標準得点化を行い、分散分析を行った結果、SBP ($F(2,24)=3.693$, $\epsilon = 0.851$, $p < 0.05$), DBP ($F(2,24)=4.054$, $\epsilon = 0.809$, $p < 0.05$), MBP ($F(2,24)=3.848$, $\epsilon = 0.817$, $p < 0.05$), SPL ($F(2,30)=9.466$, $\epsilon = 0.858$, $p < 0.01$) に有意な主効果が認められた。多重比較を行った結果、SPL はすべての難易度条件間で有意差が認められた。また、SBP, DBP, MBP に関しては、高難易度条件において、中難易度条件と低難易度条件に比べて有意に高い値となった(図 4-10)。他の生理量については、主効果は認められなかった。

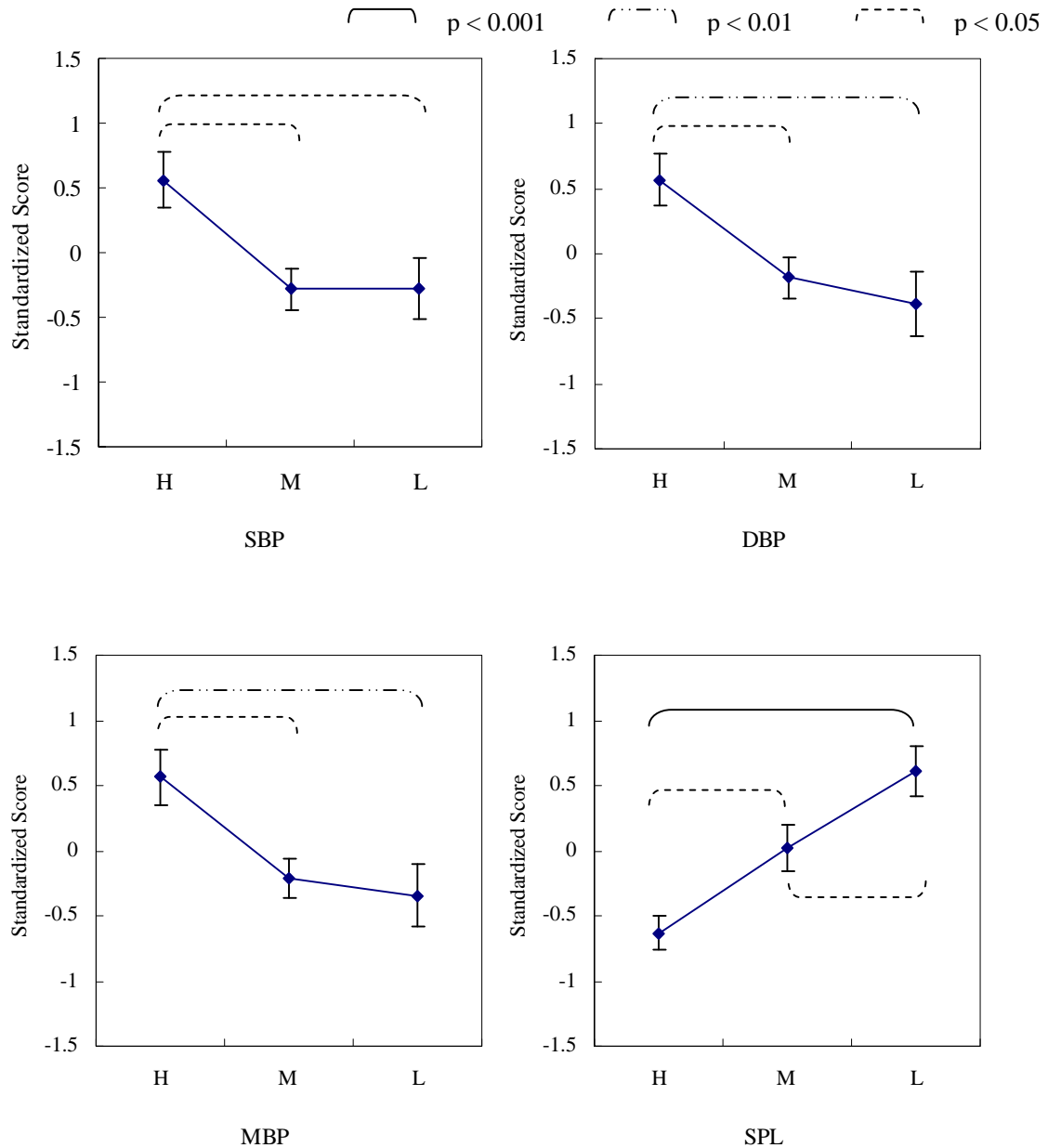


図 4-10 作業時の生理反応(mean±SE)

4-9-5. 安静時の生理反応

安静時 4 区間において標準得点化を行い、分散分析を行った結果、CO (F(3,24)=8.521, ϵ =0.787, $p < 0.01$)と PTG 振幅 (F(3,30)=30.32, ϵ =0.724, $p < 0.001$) に有意な主効果が認められた。多重比較を行った結果、CO は PRE と POST2 および POST3, POST1 と POST3 に有意差が認められた。また、PTG 振幅は、PRE とすべての安静時、POST1 と POST2 および POST3 との間に有意差が認められた(図 4-11)。他の生理量については、主効果は認められなかった。

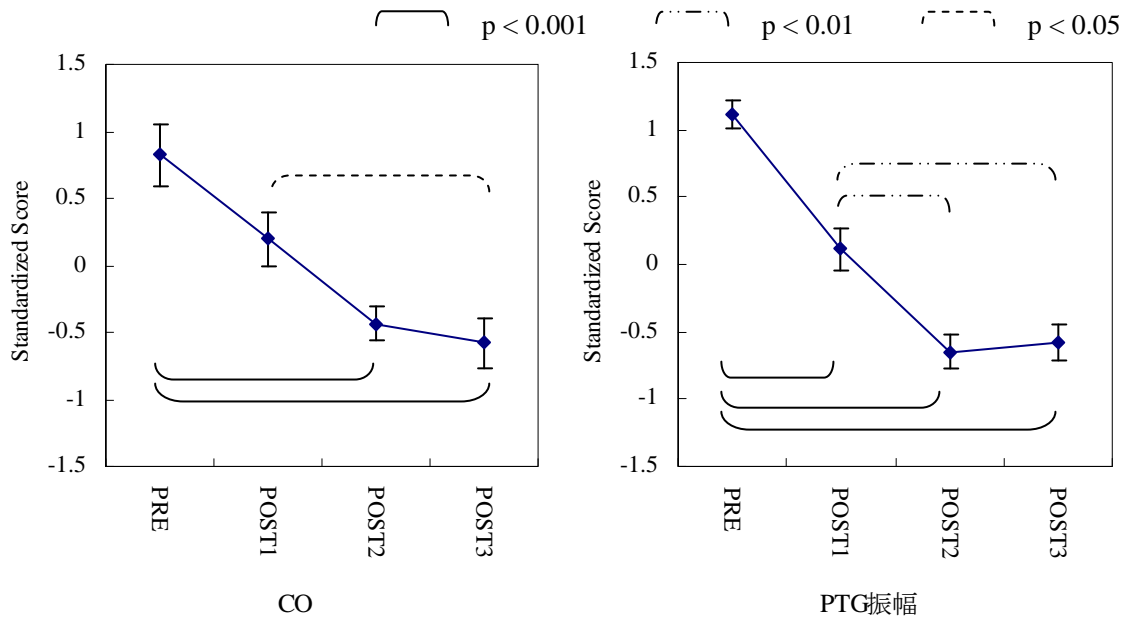


図 4-11 安静時の生理反応 (mean±SE)

4-9-6. 主観評価と生理反応の関係

有意な相関が認められた生理量については、表 4-2 にまとめて掲載し、他の生理量に関しては、本章の付録(付録 表 4-1～表 4-3)とする。

表 4-2 主観評価と生理反応の関係

	r	p	n
正答数 × SPL	0.523	< 0.01	33
TD × SPL	-0.655	< 0.001	45
WWL × SPL	-0.418	< 0.01	45
MD × TBF	0.480	< 0.01	42
OP × TBF	-0.401	< 0.01	39
V × SPL	-0.492	< 0.001	42
容易さ(Item2) × SPL	0.620	< 0.001	36
優越感(Item6) × DBP	-0.593	< 0.001	30
優越感(Item6) × MBP	-0.558	< 0.001	30
快適さ(Item12) × TBV	-0.515	< 0.001	39
集中度(Item15) × SPL	-0.629	< 0.001	36
精確さ(Item16) × BRS	0.546	< 0.001	39

作業成績と生理反応においては、正答数と SPL の間に有意な相関が見られたが、その他の生理反応と作業成績との間には、有意な相関は認められなかった。NASA-TLX と生理反応については、MD と TBF, TD と SPL, OP と TBF, WWL と SPL に有意な相関が認められた(表 4-2)。(他の生理量については、付録 表 4-1 参照)

POMS と生理反応においては、V と SPL との間に有意な相関があった(表 4-2)が、他には相関はなかった(付録 表 4-2)。

作業に対する感情評価値と生理反応においては、多数の相関関係が認められた。特に高い相関が認められたのは、容易さ(Item2)と SPL, 優越感(Item6)と DBP, MBP, 快適さ(Item12)と TBV, 集中度(Item15)と SPL, 精確さ(Item16)と BRS であった。(他の生理量については、付録 表 4-3 参照)

4-10. 考察

作業成績および NASA-TLX の結果より、低難易度条件の作業負荷は低かった。POMS の結果からは、有意差は見られていないものの、高難易度条件では他の 2 条件に比べて集中度ややる気の評価値が高かったことや、作業開始前の T-A 値がどの作業時の評価値よりも高くなっていることから、高難易度条件でのモチベーションは高く、作業順序からも緊張の影響を最も受けたことが推測できる。また、選択肢数によって難易度を設定しているため、被験者は視覚的に難易度を知ることが可能であったことも、モチベーションに関係しているかもしれない。

前章の課題であった LF/HF は、本章でも区間で変化を示さなかった。本章でも、安静時に比べて作業中では、BRS が減少していることから、RRI の減少は、副交感神経活動の抑制によって起きていると考えることができる。これは、副交感神経活動の指標といわれている HF が安静時よりも作業時の方が減少していることから同様のことがいえる。本実験の課題では、交感神経の亢進よりも副交感神経活動の抑制が強く起きていると考えると、LF/HF が変化していない理由も納得できる。先行研究では、交感神経の亢進が強く起きており、それが LF/HF への反応として現れたのではないかと考える。したがって、心臓血管系活動だけで、副交感神経活動の抑制を知ることができる可能性が示されたと考える。

Brehm のモチベーション理論[3]に基づき、被験者のモチベーションが高い状態で、難しい精神作業を行うと、心臓血管系反応、特に SBP が高くなると Guido らが報告している[4]。本実験の高難易度条件を、他の 2 条件よりも高いモチベーションを持って作業を遂行したと考えると、高難易度条件のみが有意に高くなった BP の結果は、Guido らの結果と一致する。また、BP と「優越感 (Item6)」との高い相関関係に関しても、精神作業よりも情動的な興奮が BP に強く影響するという報告[5]と同様の結果であると考えられる。さらに、POMS では作業前の T-A が最も高くなっており、実験そのものに対する緊張感をもっていたことが推測されることから、第 1 試行で有意に高くなった BP の反応に現れていることも否定はできない。

精神作業の種類によって心血管系の反応パターンが異なるといわれており[6]、精神的ストレスと血行力学的な機序との関わりを考察する上では、課題特性も考慮する必要がある。認知的な努力を必要とする sensory rejection の要素をもつ、暗算、反応

時間課題、スピーチなどの作業遂行時には心拍の増加(パターン I 反応)、課題における刺激に注目するような sensory intake の要素をもつ鏡映描写などの作業遂行時には心拍の減少(パターン II 反応)が生じるとされている[7][8]。パターン I 反応では、心拍数と CO の増加に伴って BP(特に SBP)が上昇するのに対し、パターン II 反応では心拍数が減少するが、TPR が増加することにより、BP(特に DBP)が上昇するといわれている[9][10]。

本実験の課題は、反応時間課題の要素を持つ暗算課題であることから、パターン I に属するといえる。しかし、安静時と作業遂行時の生理反応を比較すると BP, TPR は高くなっているが、RRI は低く(心拍数は高く)、CO は低くなっており、課題特性だけが生理反応に影響しているとは断言できない。

心臓血管系の活動は、同じ精神作業を遂行した場合であっても、すべての被験者が同じ反応を示すとは限らず[11][12]、解釈が難しいが、生理反応の発生機序を検討する上では、課題特性だけでなく、感情変化などの他の影響を考慮し、多角的に捉えることが必要である。

図 4-9 より、本実験では、各区間における SPL の標準誤差は他の指標と比べて全体的に小さく、全被験者の反応がほぼ同様のパターンを示す指標であるといえる。また、SPL の反応は作業時の 3 区間すべての間で有意差があり、NASA-TLX の WWL や容易さ(Item2)との間にも有意な相関を認められていることから、難易度の異なる作業に SPL が相関を示すという報告[14]と一致するものと考えられる。

また、SPL は、皮膚電気活動の一種であり、精神的手掌発汗に関係しており、覚醒度を示す指標として有用であることが示唆されている[13]。本実験では、NATA-TLX の TD(時間的圧迫感)や POMS における V(活気)、集中度(Item15)との間に有意な相関関係があり、これらがいずれも覚醒度に関係するといえることから、先行研究の結果と同様の傾向にあるといえる。また、皮膚電気活動は、緊張感などの感情に影響を受けるといわれる報告があるが[15]、本実験においても、作業前の緊張感が報告されており、実験に対する緊張感は、時間経過(試行を重ねるごとに)に伴って低くなるのが推測できることから、SPL の反応は緊張感の影響を受けていたと考えることもできる。しかし、本実験においては、作業時の緊張感についての設問がなかったため、今後、検証をする必要がある。

BRS は急激な血圧上昇に対して反射的に副交感神経活動を高め、交感神経活動

を減少させる能力の指標といわれている。副交感神経はリラックス時に亢進することから、精確さ (Item16) と正の相関関係が認められた結果は妥当であるといえる。しかし、リラックスと関係のありそうな快適さ (Item12) や気楽さ (Item17) と BRS との間には関係が認められていないことから、BRS が副交感神経活動の指標であっても反応の強さが、副交感神経活動の亢進レベルを示しているとはいえない。

作業後に作業前の状態までに回復せず、実験全体を通して減少傾向にあった指標 (図 4-11) に関しては、作業成績に関する感情が作業後も持続し、影響を及ぼしている可能性もある。しかし、本章の実験では、作業後の感情評価を行っておらず、作業後の被験者の心理状態を把握することができなかった。これについては、次章にて実験を行ない、本章の結果とあわせて考察する。

4-11. 結言

SPL や BP は、作業難易度によって、明らかに変化した生理反応であり、SPL は時間に関係する感情や集中度、活気、緊張感、BP は被験者のモチベーションが関係している可能性が示唆された。SPL は、各被験者の反応がほぼ同様のパターンを示す指標であり、計測も簡単なことから、実用性に関しても非常に有用な指標であるといえる。しかし、緊張感は感情評価項目として設定していなかったため、推測の域を超えない。それ故、主観評価項目の内容を見直すことが課題となった。

連続して同じ作業を行う実験では、作業遂行時に生じた感情が作業後も持続し、生理反応に影響を及ぼす可能性がある。前章でも、生理量によって回復過程が異なることを示したが、本章の実験でも、実験全体を通して回復しない生理量が認められた。作業後も感情評価を実施し、回復しない生理量の原因の検討に関しては、次章に示す。

参考文献

- [1] 長野祐一郎, 児玉昌久: 支援的他者の存在が心臓血管反応に与える影響, 生理心理学と精神生理学, 23 (3), 197-205, 2005.
- [2] 宮田洋, 藤澤清, 柿木昇治, 山崎勝男: 新生理心理学 1 巻 生理心理学の基礎, pp.178-180, 北大路書房, 京都, 1998.

- [3] Brehm, J.W., Self, E.A.: The intensity of motivation, *Annual Review of Psychology*, 40, 109-131, 1989.
- [4] Guido, H.E., Gendolla, Michael Richter: Ego involvement and effort: Cardiovascular, electrodermal, and performance effects. *Psychophysiology*, 42, 595-603, 2005.
- [5] 山下博, 河南洋, 前田正信: 脳と循環－血圧は脳によって調整される, pp.193-198, 共立出版株式会社, 東京, 1998.
- [6] Turner, J.R.: Cardiovascular reactivity and stress, pp.37-55, Plenum Press, New York, 1994.
- [7] Lacey, J.I., Lacey, B.C.: Somatopsychic effects of interoception, *Research in the Psychobiology of Human Behavior*, pp.59-73, John Hopkins University Press, Baltimore, 1978.
- [8] Freyschuss, U., Fagius, L., Wallin, B.G., Bohlin, G., Persiki, A., Hjemdahl, P.: Cardiovascular and sympathoadrenal responses to mental stress: a study of sensory intake and rejection reactions, *Acta Physiologica Scandinavica*, 139, 173-183, 1990.
- [9] Schneiderman, N., McCabe, P.M.: Psychophysiological Strategies in Laboratory Research, *Handbook of Research Methods in Cardiovascular Behavioral Medicine*, pp.349-364, Plenum Press, New York, 1989.
- [10] 澤田幸展: 心臓血管系における自律神経調整機能の評価—批判的評論—; *心理学評論*, 40(2), 203-220, 1997.
- [11] Kasprovicz, A.L., Manuck, S.B., Malkoff, S.B., Krantz, D.S.: Individual Differences in Behaviorally Evoked Cardiovascular Response: Temporal Stability and Hemodynamic Patterning, *Psychophysiology*, 27(6), 605-619, 1990.
- [12] Llabre, M.M., Klein, B.R., Saab, P.G., McCalla, J.B., Schneiderman, N.: Classification of Individual Differences in Contribution of Reactor Type Controlling for Race and Gender, *International Journal of Behavioral Medicine*, 5(3), 213-229, 1998.
- [13] 桶谷哲哉, 加藤光博, 高野博史, 中村清実: 瞬きと脳波および皮膚電位との相関解析による居眠り判定基準の検討, *電子情報通信学会技術研究報告*, 107(72), 17-20, 2007.

- [14] Miyake, S., Hashimoto, M., Watanabe, T., Takae, Y.: Human Responses to a Workload Change, Proceedings of Human Factors and Ergonomics Society 48th Annual Meeting, 2344-2348, 2004.
- [15] 依田拓, 杉浦康司, 堀口明伯, 下村義弘, 岩永光一, 勝浦哲夫: 皮膚電気活動によるメンタルワークロードの評価, 日本生理人類学会誌, 10 特別号(1), 134-135, 2005.

付録

付録 表 4-1 作業成績および NASA-TLX と生理反応の相関係数

***: p<0.001 **: p<0.01 ()内の数値はデータ数を示す

	RRI	LF	HF	LF/HF	CO	SBP	DBP	MBP
正答数	0.129 (33)	0.151 (33)	0.192 (33)	-0.167 (33)	-0.260 (33)	-0.132 (33)	-0.235 (33)	-0.196 (33)
MD	-0.306 (42)	-0.292 (42)	-0.111 (42)	-0.043 (42)	0.227 (38)	-0.134 (39)	-0.034 (38)	-0.072 (38)
TD	-0.114 (45)	-0.203 (45)	-0.020 (45)	-0.025 (45)	0.080 (38)	0.176 (39)	0.263 (38)	0.231 (38)
OP	0.081 (39)	0.204 (39)	0.004 (39)	-0.113 (39)	0.078 (38)	0.049 (39)	-0.080 (38)	-0.031 (38)
EF	-0.329 (42)	-0.383 (42)	-0.351 (42)	0.259 (42)	-0.207 (38)	-0.005 (39)	0.079 (38)	0.051 (38)
FR	0.029 (39)	0.201 (39)	0.129 (39)	0.095 (39)	0.182 (39)	-0.058 (39)	0.015 (39)	-0.010 (39)
WWL	-0.179 (45)	-0.183 (45)	-0.251 (45)	0.177 (45)	0.034 (38)	-0.028 (39)	0.038 (38)	0.013 (38)

	TPR	BRS	PTG 振幅	TBV	TBF	SPL
正答数	-0.114 (33)	-0.076 (33)	-0.113 (33)	-0.374 (33)	-0.240 (33)	0.523 ** (33)
MD	-0.146 (38)	0.106 (38)	0.077 (42)	0.067 (42)	0.480 ** (42)	-0.272 (42)
TD	0.162 (38)	-0.073 (38)	0.186 (45)	0.018 (44)	0.066 (44)	-0.655 *** (45)
OP	0.070 (38)	-0.125 (38)	-0.343 (39)	-0.359 (39)	-0.401 ** (39)	0.176 (39)
EF	-0.026 (38)	0.191 (38)	0.216 (42)	0.147 (42)	0.245 (42)	-0.218 (42)
FR	-0.037 (39)	-0.132 (39)	0.263 (39)	0.078 (39)	0.038 (39)	-0.163 (39)
WWL	0.038 (38)	0.046 (38)	0.265 (45)	-0.051 (44)	0.142 (44)	-0.418 ** (45)

付録 表 4-2 POMS と生理反応の相関係数

***: p<0.001 **: p<0.01 ()内の数値はデータ数を示す

	RRI	LF	HF	LF/HF	CO	SBP	DBP	MBP
T-A	-0.161 (39)	-0.189 (39)	0.021 (39)	-0.138 (39)	-0.073 (38)	-0.326 (39)	-0.271 (38)	-0.307 (38)
V	-0.294 (42)	-0.351 (42)	-0.153 (42)	-0.015 (42)	0.103 (38)	0.229 (39)	0.371 (38)	0.324 (38)
F	-0.305 (42)	-0.255 (42)	-0.093 (42)	-0.099 (42)	0.275 (38)	0.173 (39)	0.052 (38)	0.093 (38)

	TPR	BRS	PTG 振幅	TBV	TBF	SPL
T-A	-0.330 (38)	0.117 (38)	-0.069 (39)	-0.188 (39)	-0.084 (39)	0.215 (39)
V	0.285 (38)	-0.188 (38)	0.101 (42)	0.045 (42)	0.273 (42)	-0.492 *** (42)
F	0.058 (38)	-0.105 (38)	-0.348 (42)	-0.034 (42)	0.080 (42)	-0.092 (42)

付録 表 4-3 感情評価値と生理反応の相関係数

***: p<0.001 **: p<0.01 ()内の数値はデータ数を示す

	RRI	LF	HF	LF/HF	CO	SBP	DBP	MBP
Item1	-0.191 (36)	-0.046 (36)	-0.141 (36)	0.049 (36)	0.293 (36)	0.315 (36)	0.372 (36)	0.359 (36)
Item2	0.346 (36)	0.317 (36)	0.079 (36)	0.006 (36)	-0.099 (36)	-0.365 ** (36)	-0.481 ** (36)	-0.442 ** (36)
Item3	-0.040 (42)	0.107 (42)	0.032 (42)	0.227 (42)	-0.117 (39)	0.231 (39)	0.227 (39)	0.252 (39)
Item4	0.272 (36)	0.283 (36)	0.010 (36)	0.077 (36)	-0.374 (36)	-0.116 (36)	-0.130 (36)	-0.112 (36)
Item5	-0.112 (42)	-0.180 (42)	-0.341 (42)	0.075 (42)	-0.166 (39)	0.465 ** (39)	0.448 ** (39)	0.463 ** (39)
Item6	0.277 (30)	0.282 (30)	0.185 (30)	0.119 (30)	-0.260 (30)	-0.490 ** (30)	-0.593 *** (30)	-0.558 *** (30)
Item7	-0.054 (42)	0.068 (42)	0.114 (42)	-0.158 (42)	0.096 (39)	0.068 (39)	-0.046 (39)	-0.004 (39)
Item8	-0.120 (42)	0.003 (42)	-0.334 (42)	0.421 (42)	-0.155 (39)	0.192 (39)	0.178 (39)	0.201 (39)
Item9	0.158 (39)	-0.038 (39)	0.041 (39)	-0.154 (39)	-0.057 (39)	0.127 (38)	0.044 (39)	0.068 (39)
Item10	-0.294 (45)	-0.189 (45)	-0.044 (45)	-0.076 (45)	0.216 (39)	0.081 (39)	0.025 (39)	0.058 (39)
Item11	0.033 (42)	-0.077 (42)	0.238 (42)	-0.410 ** (42)	0.059 (39)	0.239 (39)	0.215 (39)	0.230 (39)
Item12	-0.106 (39)	0.083 (39)	0.343 ** (39)	-0.343 ** (39)	-0.120 (39)	-0.068 (39)	-0.168 (39)	-0.131 (39)
Item13	-0.038 (39)	0.123 (39)	0.057 (39)	0.027 (39)	0.088 (39)	0.026 (39)	-0.080 (39)	-0.033 (39)
Item14	0.017 (33)	0.230 (33)	0.377 (33)	-0.023 (33)	-0.019 (33)	-0.091 (33)	-0.233 (33)	-0.180 (33)
Item15	-0.460 ** (36)	-0.342 (36)	0.077 (36)	-0.238 (36)	0.363 (36)	0.205 (36)	0.238 (36)	0.239 (36)
Item16	0.194 (42)	0.321 (42)	0.048 (42)	0.075 (42)	0.055 (39)	-0.276 (39)	-0.209 (39)	-0.224 (39)
Item17	0.084 (42)	0.112 (42)	0.115 (42)	-0.237 (42)	0.185 (39)	0.152 (39)	0.066 (39)	0.097 (39)

	TPR	BRS	PTG 振幅	TBV	TBF	SPL	
Item1	0.288 (36)	0.107 (36)	-0.237 (36)	-0.185 (36)	-0.212 (36)	-0.484 (36)	**
Item2	-0.350 (36)	0.260 (36)	-0.036 (36)	-0.055 (36)	-0.102 (36)	0.620 (36)	***
Item3	0.237 (39)	0.139 (39)	-0.161 (42)	0.168 (42)	-0.012 (42)	-0.203 (42)	
Item4	-0.010 (36)	0.172 (36)	0.099 (36)	0.183 (36)	-0.010 (36)	0.353 (36)	
Item5	0.549 (39)	-0.318 (39)	-0.400 (42)	** -0.055 (42)	-0.187 (42)	-0.152 (42)	
Item6	-0.425 (30)	0.322 (30)	-0.078 (30)	-0.153 (30)	-0.243 (30)	0.502 (30)	**
Item7	0.023 (39)	-0.141 (39)	-0.329 (42)	-0.149 (42)	-0.005 (42)	0.346 (42)	
Item8	0.239 (39)	0.225 (39)	0.008 (42)	0.160 (42)	0.090 (42)	-0.099 (42)	
Item9	0.131 (39)	-0.073 (39)	-0.113 (39)	-0.076 (39)	-0.250 (39)	0.137 (39)	
Item10	0.020 (39)	0.118 (39)	-0.249 (45)	0.098 (45)	0.146 (45)	-0.260 (45)	
Item11	0.235 (39)	-0.257 (39)	-0.161 (42)	-0.335 (42)	0.009 (42)	-0.167 (42)	
Item12	-0.047 (39)	-0.078 (39)	-0.365 (39)	-0.515 (39)	*** -0.292 (39)	0.192 (39)	
Item13	-0.052 (39)	-0.034 (39)	-0.201 (39)	0.058 (39)	-0.418 (39)	** -0.046 (39)	
Item14	-0.117 (33)	-0.090 (33)	-0.496 (33)	** -0.019 (33)	-0.183 (33)	0.210 (33)	
Item15	0.170 (36)	-0.258 (36)	-0.064 (36)	-0.290 (36)	-0.114 (36)	-0.629 (36)	***
Item16	-0.201 (39)	0.546 (39)	*** 0.116 (42)	-0.019 (42)	-0.050 (42)	-0.134 (42)	
Item17	0.073 (39)	-0.121 (39)	-0.041 (42)	-0.183 (42)	-0.213 (42)	-0.074 (42)	

第5章 感情の持続と生理量の回復過程

5-1. 緒言

前章では、SPLは時間に関係する感情や集中度、活気、緊張感、BPは被験者のモチベーションと関連する可能性を示した。しかし、緊張感については感情評価項目として設定しておらず、実際の心理状態を把握できなかった。また、POMSに関しては、どの尺度においても作業条件間に主効果は認められず、生理指標とは、唯一、活気(V)とSPLに相関が認められたただけであった。POMSは、全項目で65問(6尺度)の設問があるが、すべての設問に回答することは被験者にとって負担になるため、前章の実験では24項目(3尺度)に限定して使用した。しかし、それでも回答には時間がかかり、飽きなどを生じさせ、主観評価自体がストレスとなる可能性が高い。したがって、主観評価の項目を被験者に負担にならないように改良することが必要であった。

また、ストレスがなくなった状態であっても、達成感や後悔などの感情が継続する可能性があり、生理反応は安静状態には戻らないことが考えられる。前章の実験でも、PTG振幅やCOのように、作業後であっても作業前の状態まで回復せず、実験を通して減少を続ける生理量が見られた。この生理現象の原因として、心理的な要因と生理的な要因の2つを仮定した。心理的要因とは、前述したように作業結果に対する感情や精神作業時に生じた感情が作業遂行後にも持続していることである。生理的要因とは、精神作業負荷によって変化した血中成分の回復には時間がかかる[1]ために、血中成分の影響などによって回復の遅い生理量が存在することである。ただ、我々の過去の実験では、作業遂行後の安静時に感情評価を行っておらず、作業遂行後に実験参加者がどのような心理状態であったかを把握することができていなかった。さらに、作業後の感情と生理反応の関連性に焦点を当てた先行研究はほとんどなく、作業後の心理状態と生理反応の関係は明らかになっていない。

そこで、本章では、①感情評価項目を見直し、作業時の生理反応と感情との関連性を明らかにすること、②作業後の生理反応と感情との関係性を明らかにし、感情の持続の影響と生理量の回復過程について考察することの2点を目的とした。

5-2. 実験環境

前章の実験と同様であるため、ここでは説明図を省く。(4-2 節参照)

実験室の室温は 26℃(実験時の変動は±1℃)に保ち、被験者は実験室にて作業を行ない、実験者は実験室に隣接したモニタールーム(3-2 節参照)にて観察を行った。なお、本実験でも、実験室のキーボード面での水平照度は 700lx とした。

5-3. 実験課題

基本的には、前章と同じ課題である。ただし、本章の実験では 1 問につき選択しなおすことができる回数を無制限とし、正しい回答になるまで同じ問題を行わなければならなかった。また、前章の課題では、選択肢の数を変化させることによって、難易度を設定した。したがって、被験者は課題遂行時に視覚的な情報から難易度を把握することができたため、被験者のモチベーションに影響を与える可能性があった。本章の課題では、視覚的に被験者が難易度を把握できない設定とした。

5-3-1. 難易度の設定

正解になる組み合わせ数を変化させることによって難易度を設定した。10 個から 3 つを選択する組み合わせ数は ${}_{10}C_3=120$ 通りである。予備実験より、まったく解けない条件では“諦め”，考えなくても正解できる条件では“飽き”を生じさせることが明らかとなったため、「とても難しいが不可能ではない」から「簡単だが考えて行う必要がある」の範囲内を 4 段階に分割した。

上記の範囲および被験者間の回答数のばらつきが少なくなる組み合わせ数を決定するための予備実験を行ない、正解になる組み合わせ数は、120 通りのうち、1 組(超高難易度条件:VH)、3 組(高難易度条件:H)、5 組(中難易度条件:M)、8 組(低難易度条件:L)に設定した。なお、問題作成時には、31+51+71 のように、正解となる 3 つの数字の下 1 桁がすべて同じになるなどして問題が簡単にならないように組み合わせを工夫した。実験課題の画面を図 5-1 に示す。なお、本実験では、すべての難易度で画面は同じである。

加算した答えが になるように下から3つ選んでください

選択後、決定ボタンをクリックすると加算結果が表示されます

+ + =

32 13 31 53 60

61 45 64 47 76

正解数 7

経過時間

図 5-1 実験課題

5-4. 被験者

日常的にコンピュータを使用している21～30歳(平均23.8歳)の健康な男子大学生および男子大学院生18名が実験に参加した。実験当日までに、内容の説明と実験参加への同意を得た。実験は産業医科大学倫理委員会ガイドラインに従って実施した。

5-5. 生理指標の計測

心電図(ECG: Electrocardiogram), 血圧(BP: Blood Pressure), 指尖容積脈波(PTG: Photoelectric Plethysmogram), 鼻部皮膚組織血液量(TBV_N: Tissue Blood Volume of Nose), 鼻部皮膚組織血流量(TBF_N: Tissue Blood Flow of Nose), 指尖部皮膚組織血液量(TBV_F: Tissue Blood Volume of Finger), 鼻部皮膚組織血流量(TBF_N: Tissue Blood Flow of Finger), 皮膚電位水準(SPL: Skin Potential Level), 心拍出量(CO: Cardiac Output)を測定した。不快感や苦痛が自律神経系反応に影響を及ぼす可能性があるため、計測部位に痺れや痒みが生じた場合は、該当部分のセンサー、電極などを取り外した。このような理由から、本実験では、BPが7名分、PTGが1名分欠損となった。また、1名分の心電図のアーチファクトが大きく、RRIの検出が不可能であったことから、RRIデータ1名を解析から除外した。

生理量の計測方法および、その後に算出した指標については、前章と同様であるため、ここでは説明を省く。本章の実験にて、新たに追加した指尖部皮膚組織血液量

(TBV_F)および血流量(TBF_F)は、鼻部皮膚組織血液量(TBV_N)および血流量(TBF_N)と同じレーザー血流計(Laser Doppler Blood Flow Meter : OMEGAWAVE OMEGA FLOW FLO-C1)のプローブを左手第三指に取り付けて計測した。

5-6. 主観評価

精神作業直後および作業後の安静直後に、感情評価(作業直後:28項目, 安静直後:20項目)(表 5-1)を VAS (Visual Analog Scale)にて実施した。28項目のうち, A1～A8 は作業に対する主観的評価, B1～B4 は作業を行なうことで変化する感情, C1～C16 は一般的感情である。感情評価の項目は前章にて行った結果より, 言葉の変更, 項目の削除と追加について検討して決定した。言葉の訂正に関しては, 「簡単だ」と「易しい」という類似する内容が含まれていたため, 「手間がかかるー簡単だ」を「複雑ー単純」に変更した。また, 前章の実験にて, POMS は, どの尺度においても作業条件間に主効果は認められず, 項目数の多さから被験者の負担になっていたため, 必要項目のみを抜粋し, 内容を検討して感情評価の項目として新たに設置した。また, 内容が漠然としていた「ストレスを感じるー快適である」と「無関心であるー興味がある」に関しては, 今回の評価項目から削除した。

実施方法は, 前章と同様で, 被験者にはパソコンの画面に表示されたスライドをドラッグして評価するように教示し, VAS 法の左端を 0 点, 右端を 100 点として記録した。また, 主観的ワークロードの評価として日本語版 NASA-TLX (National Aeronautics and Space Administration Task Load Index)を用いた。本実験では, 身体的な動作がないことから, 評価時間を短縮するために, NASA-TLX の身体的要求(PD: Physical Demand)は評価しなかった。

表 5-1 感情評価

左端を 0 点, 右端を 100 点とした. 追加欄の(※)は前章の実験から追加した項目である.

Item	0	—	100	追加
A1	難しい	—	易しい	
A2	嫌い	—	好き	
A3	苦手	—	得意	
A4	目標が高い	—	目標が低い	
A5	時間が気になる	—	自分のペースでできる	
A6	複雑だ	—	単純だ	※
A7	当てずっぽうだ	—	精確である	
A8	諦める	—	最後までやりとげる	
B1	劣等感を感じた	—	優越感を感じた	
B2	時間が長かった	—	時間が短かった	
B3	人の成績が気になった	—	人の成績は気にならなかった	※
B4	自分の成績が気になった	—	成績は気にならなかった	※
C1	飽きた	—	飽きなかった	
C2	やる気になった	—	うんざりした	
C3	がっかりした	—	生き活きた	※
C4	混乱した	—	すっきりしていた	
C5	気が散った	—	集中できた	
C6	気楽だった	—	億劫だった	
C7	退屈だった	—	熱中していた	
C8	安心だった	—	不安だった	※
C9	消極的だった	—	積極的だった	※
C10	悲しかった	—	嬉しかった	※
C11	ゆううつだった	—	爽快だった	※
C12	緊張していた	—	リラックスしていた	※
C13	イライラしていた	—	落ち着いていた	※
C14	満足だ	—	不満だ	※
C15	後悔している	—	納得している	※
C16	疲れている	—	元気だ	※

5-7. 実験手順

電極装着後、実験環境に慣れるため、椅座位にて 10 分間の順応を行った後に、5 分間の安静記録と感情評価(20 項目)を行った。その後、作業 5 分間、主観評価(NASA-TLX, 感情評価 28 項目)、安静 5 分間、主観評価(感情評価 20 項目)を 1 セッションとして、超高難易度条件から難易度を低くしながら 4 セッション繰り返した。本実験では、すべての実験参加者に様々な強さの感情を生じさせることが重要であるが、実験序盤ではどうしても実験そのものに対する緊張感が生じる。したがって、今回は作業難易度と実験そのものに対する不安や緊張などの感情の影響の相殺を避けるため、実験順序はランダムに示された。

被験者には、5 分以内に 12 問に正解することを目標に計算作業を行い、時間内に目標を達成した場合でも作業を続けるように教示した。また、目標を達成できない場合であっても、5 分経過した時点で作業は終了した。正解数は作業中の画面に表示されているが、作業終了後に正解数を被験者に改めて通知してから主観評価を実施した。図 5-2 に実験手順を示す。

なお、被験者には、作業用プログラムを配布し、実験当日までに作業を十分に練習して来室するように指示をし、実験前日までに作業を習熟していることを確認した。また、希望があれば、実験前にも練習ができるように配慮し、すべての被験者が十分に習熟した状態で実験を遂行した。

安静 (PRE)	5 分
感情評価 20 項目	
作業 1 (Very High Level: VH)	5 分
NASA-TLX, 感情評価 28 項目	
作業後安静 1 (POST1)	5 分
感情評価 20 項目	
作業 2 (High Level: H)	5 分
NASA-TLX, 感情評価 28 項目	
作業後安静 2 (POST2)	5 分
感情評価 20 項目	
作業 3 (Medium Level: M)	5 分
NASA-TLX, 感情評価 20 項目	
作業後安静 3 (POST3)	5 分
感情評価 20 項目	
作業 4 (Low Level: L)	5 分
NASA-TLX, 感情評価 28 項目	
作業後安静 4 (POST4)	5 分
感情評価 20 項目	

図 5-2 実験手順

5-8. 解析方法

作業成績に関しては、各難易度の正解数の平均値と目標達成率を求めた。主観的ワークロードは、精神的要求 (MD: mental demand), 時間的圧迫感 (TD: temporal demand), 作業達成度 (OP: own performance), 努力 (EF: effort), 不満 (FR: frustration) の 5 つの尺度項目と一対比較の結果を用いて、重み付けワークロード (WWL: Weighted Workload) を算出し、5 尺度の値と WWL の平均値を算出した。また、作業に対する感情評価 (以下、作業評価) A1~A8 についても平均値を求めた。その後、主観的ワークロード値および作業評価 A1~A8 は、被験者ごとに標準得点化を行った後に繰り返しのある一元配置分散分析を行った。Greenhouse-Geisser の自由度補正を行い、主効果が認められた項目については、Tukey の方法にて多重比較を行っ

た(SPSS 11.0J). 作業成績, 主観的ワークロード値, 作業評価, 生理量において, 被験者ごとに標準得点化を行った後, 全区間のデータをプールして, それぞれと生理量との組み合わせに対して, ピアソンの積率相関係数を求めた.

作業評価以外の感情評価は, 作業時および作業後に惹起した感情の強さを調べるため, 作業時 4 区間(VH, H, M, L)と作業後の 4 区間(POST1, POST2, POST3, POST4)に分け, 平均値を求めた. また, 項目ごとに各被験者の最小値(min)と最大値(max)を算出し, 全被験者の平均値を求めた. また, 作業時に惹起した感情が作業後にも持続しているかどうかを確認するために, 作業時(VH, H, M, L)と作業後(POST1, POST2, POST3, POST4)において被験者ごとに感情評価の平均値を求め, 対応のある t 検定を行った. また, 一般的感情である C1~C16 については, 因子分析(主因子法, バリマックス回転)を行って因子得点を算出し, 因子負荷が 0.5 以上の項目において, 因子名を検討した.

生理量については, 被験者ごとに標準得点化を行った後に繰り返しのある一元配置分散分析および Tukey の多重比較を行い, 全区間の生理反応が前章でみられた傾向と同じであるかどうかを確認した. 同様の解析を, 作業時および作業後の生理量についても行った. その後, 感情評価値, 因子得点も, 作業時と作業後に分けて被験者ごとに標準得点化を行ない, 作業時と作業後のおのおのについて, 全区間のデータをプールして, 生理量とのすべての組み合わせに対してピアソンの積率相関係数を求めた. なお, 欠損のあった被験者はすべての解析から除外し, 各区間の値がすべて同じであったデータの標準得点は 0 とした.

5-9. 結果

5-9-1. 作業成績, NASA-TLX, 作業評価(A1~A8)

全 72 試行(4 条件×18 名)について, 各難易度における正答数を図 5-3 に示す. 目標達成率は, 超高難易度条件(VH)0.0%, 高難易度条件(H)16.7%, 中難易度条件(M)72.2%, 低難易度条件(L)83.3%であり, 全体の目標達成率は 43.1%であった. また, 各難易度間の正解数について分散分析を行った結果, 主効果が認められた($F(3,51)=85.79$, $p<0.001$, $\epsilon=0.91$, $\eta^2=0.92$). Tukey の多重比較を行った結果, すべての難易度間に有意差が認められた.

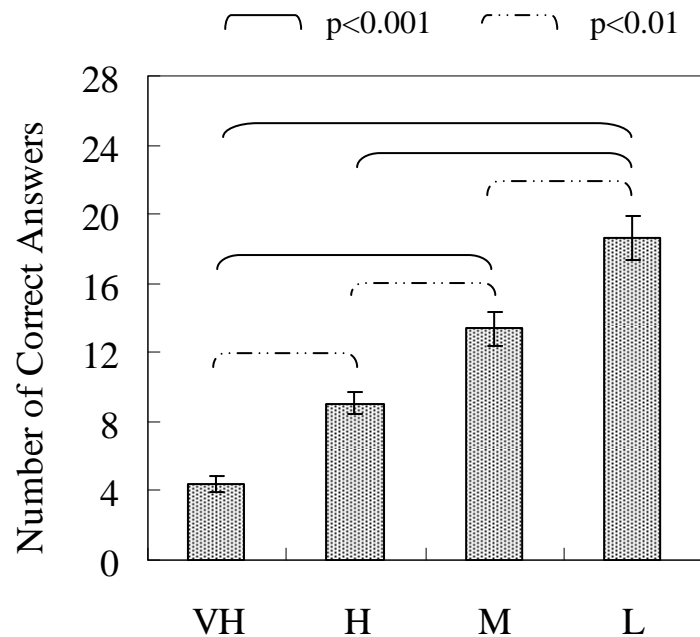


図 5-3 各難易度における正答数 (mean ± SE)

全 72 試行における主観的ワークロード値の各難易度の平均値 ± SE は、それぞれ WWL: 62.7 ± 21.9 , MD: 73.2 ± 20.5 , TD: 56.2 ± 31.2 , OP: 45.7 ± 36.1 , EF: 76.2 ± 18.9 , FR: 54.2 ± 26.4 であった。また、作業に対する感情評価 A1 ~ A8 は、それぞれ A1: 42.10 ± 3.08 , A2: 49.64 ± 2.45 , A3: 42.75 ± 2.18 , A4: 40.71 ± 2.49 , A5: 47.60 ± 3.78 , A6: 51.85 ± 2.62 , A7: 43.99 ± 3.26 , A8: 77.29 ± 2.22 であった。標準得点化後に、多重比較を行った結果を表 5-2 に示す。

結果より、全試行の目標達成率は約半数であり、作業成績も難易度条件に伴って良くなっていることから、難易度の設定はうまくコントロールできたと考える。A8(諦める—最後までやり遂げる)、NASA-TLX の MD や EF については、難易度によって有意差は見られたものの、全体の平均値も 70 以上と高値であった。

表 5-2 各難易度における NASA-TLX および A1~A8 (mean±SE)

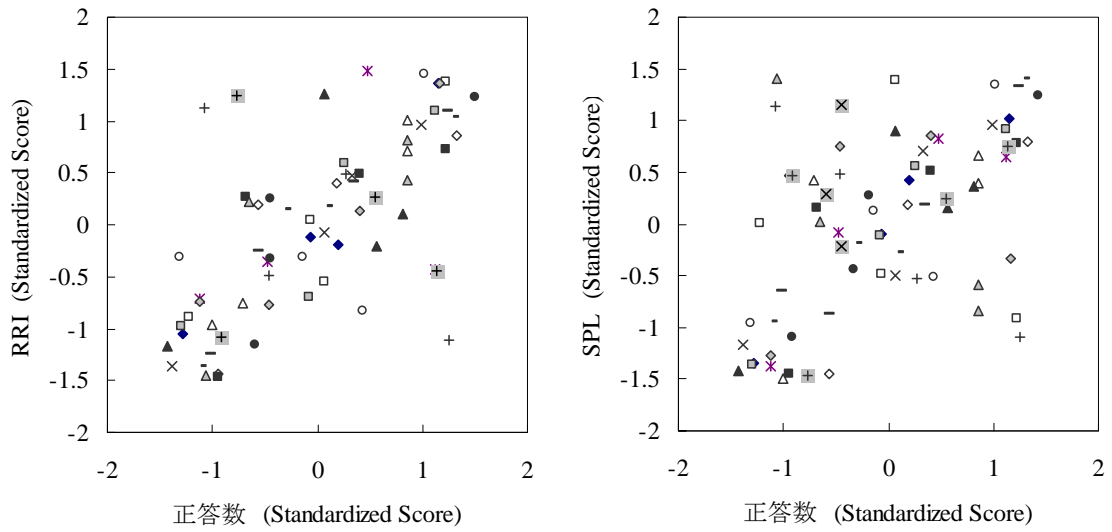
等質サブグループを a-c の添え字で示した (p<0.05)

	VH	H	M	L
WWL	1.02±0.10 ^a	0.24±0.14 ^b	-0.52±0.15 ^c	-0.74±0.11 ^c
MD	0.53±0.19 ^a	0.15±0.19 ^{a,b}	-0.33±0.20 ^b	-0.34±0.18 ^b
TD	0.56±0.21 ^a	0.25±0.14 ^{a,b}	-0.18±0.17 ^{b,c}	-0.63±0.19 ^c
OP	0.99±0.14 ^a	0.23±0.15 ^b	-0.41±0.12 ^c	-0.81±0.10 ^c
EF	0.59±0.15 ^a	-0.05±0.21 ^{a,b}	-0.14±0.18 ^b	-0.40±0.22 ^b
FR	0.70±0.15 ^a	0.50±0.12 ^a	-0.47±0.16 ^b	-0.73±0.16 ^b
A1	-0.81±0.19 ^a	-0.19±0.15 ^b	0.17±0.14 ^b	0.83±0.11 ^c
A2	-0.67±0.20 ^a	-0.09±0.18 ^{a,b}	0.16±0.17 ^{b,c}	0.60±0.16 ^c
A3	-0.79±0.16 ^a	-0.38±0.13 ^a	0.25±0.15 ^b	0.92±0.11 ^c
A4	-0.36±0.22 ^a	-0.49±0.10 ^a	-0.03±0.17 ^a	0.88±0.15 ^b
A5	-0.46±0.20 ^a	-0.20±0.16 ^a	0.06±0.20 ^{a,b}	0.61±0.18 ^b
A6	-0.72±0.15 ^a	-0.12±0.15 ^{a,b}	0.10±0.18 ^{b,c}	0.74±0.19 ^c
A7	-0.13±0.24 ^a	0.00±0.19 ^a	-0.08±0.18 ^a	0.21±0.22 ^a
A8	-0.69±0.20 ^a	-0.11±0.18 ^{a,b}	0.24±0.12 ^{b,c}	0.56±0.20 ^c

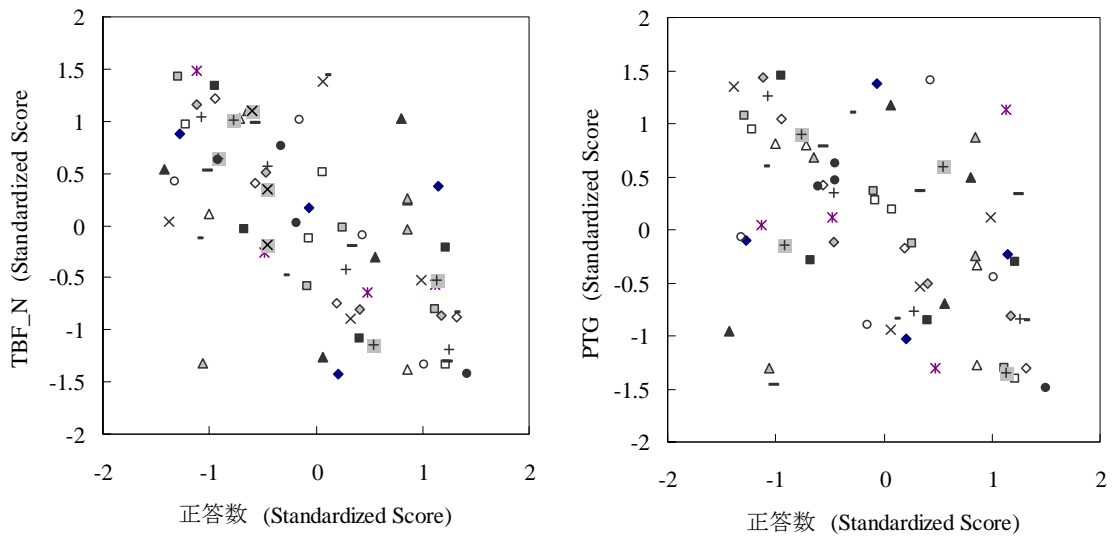
5-9-2. 作業成績, NASA-TLX, 作業評価と生理反応の関係

作業時については、正答数と RRI($r(68)=0.68$, $p<0.001$), SPL($r(72)=0.49$, $p<0.001$), TBF_N($r(72)=-0.60$, $p<0.001$), PTG($r(68)=-0.45$, $p<0.001$) に有意な相関が認められた(図 5-4). また, NASA-TLX の作業達成度(OP)と RRI($r(68)=0.57$, $p<0.001$), TBF_N($r(68)=-0.50$, $p<0.001$), SPL($r(68)=0.40$, $p<0.001$)の間にも、有意な相関が認められた(図 5-5). なお, 図 5-4, 図 5-5 では、被験者ごとにプロットした. A1~A8 についても、多くの生理反応と有意な相関が認められた. 結果を表 5-3 に示す.

なお、他の生理量に関しては、付録 表 5-1 にまとめる.

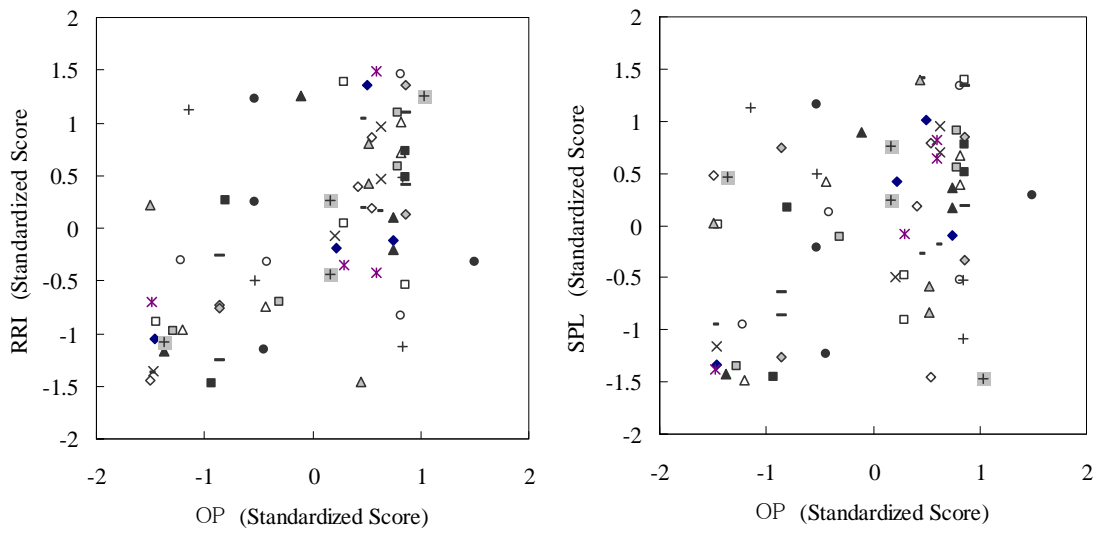


◆ SUB01 ■ SUB02 ▲ SUB03 × SUB04 ✖ SUB05 ○ SUB06 + SUB07 - SUB08 - SUB09
 ◇ SUB10 □ SUB11 △ SUB12 ◇ SUB13 □ SUB14 △ SUB15 ⊕ SUB16 ● SUB17 ⊗ SUB18

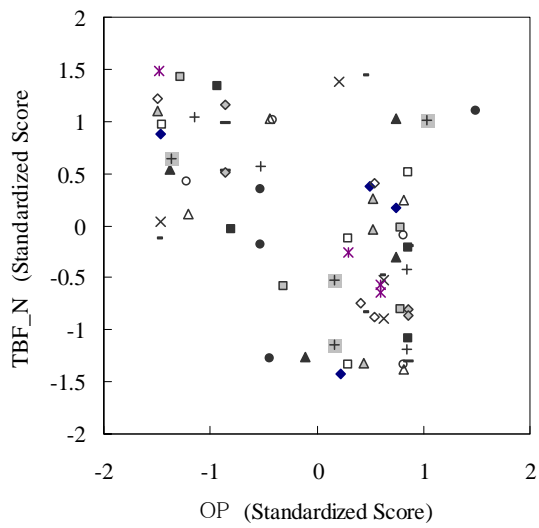


◆ SUB01 ■ SUB02 ▲ SUB03 × SUB04 ✖ SUB05 ○ SUB06 + SUB07 - SUB08 - SUB09
 ◇ SUB10 □ SUB11 △ SUB12 ◇ SUB13 □ SUB14 △ SUB15 ⊕ SUB16 ● SUB17 ⊗ SUB18

図 5-4 正答数と生理反応の関係



◆ SUB01 ■ SUB02 ▲ SUB03 × SUB04 ✖ SUB05 ○ SUB06 + SUB07 - SUB08 - SUB09
 ◇ SUB10 □ SUB11 △ SUB12 ◇ SUB13 □ SUB14 △ SUB15 ⊕ SUB16 ● SUB18



◆ SUB01 ■ SUB02 ▲ SUB03 × SUB04 ✖ SUB05 ○ SUB06 + SUB07 - SUB08 - SUB09
 ◇ SUB10 □ SUB11 △ SUB12 ◇ SUB13 □ SUB14 △ SUB15 ⊕ SUB16 ● SUB18

図 5-5 OP(NASA-TLX)と生理反応の関係

表 5-3 作業評価(A1~A8)と生理反応の相関係数

	RRI n=68		TBF_N n=72		SPL n=72		PTG n=68	
	r	p	r	p	r	p	r	p
A1	0.498	< 0.001	-0.446	< 0.001	0.246	n.s.	-0.313	< 0.01
A2	0.462	< 0.001	-0.335	< 0.01	0.338	< 0.01	-0.343	< 0.01
A3	0.576	< 0.001	-0.469	< 0.001	0.330	< 0.01	-0.429	< 0.001
A4	0.385	< 0.01	-0.380	< 0.001	0.168	n.s.	-0.312	< 0.01
A5	0.327	< 0.01	-0.274	n.s.	0.139	n.s.	-0.361	< 0.01
A6	0.394	< 0.001	-0.311	< 0.01	0.199	n.s.	-0.340	< 0.01
A7	-0.081	n.s.	-0.069	n.s.	-0.096	n.s.	-0.241	n.s.
A8	0.305	n.s.	-0.238	n.s.	0.268	n.s.	-0.308	< 0.01

5-9-3. 感情評価(B1~B4, C1~C16)

B1~B4 および C1~C16 の感情評価値を図 5-6 に示す。図内のプロットは全被験者の平均値，バーは被験者別の最小値，最大値の平均値を示す。なお，グラフ中はすべて上部がポジティブの感情になるように軸を統一している。t 検定を行った結果，B1, B3, C3, C11, C15, C16 以外の項目に有意差が認められた(p<0.05)。

t 検定の結果より，多くの項目で作業遂行時に生じた感情が作業遂行後にもそのまま持続しているわけではなかった。有意差の見られなかった 6 項目について，図 5-6 より傾向を見ると，B3(人の成績は気にならなかった)以外は，強いネガティブもしくはポジティブの感情が持続しているといった傾向は見られなかった。

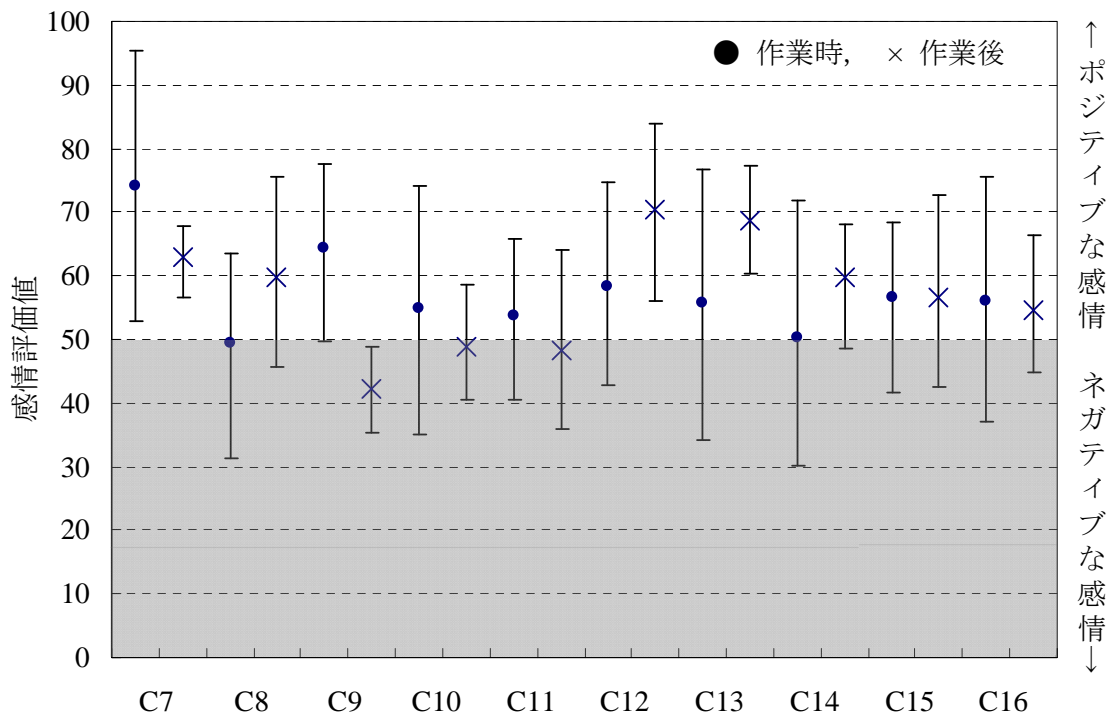
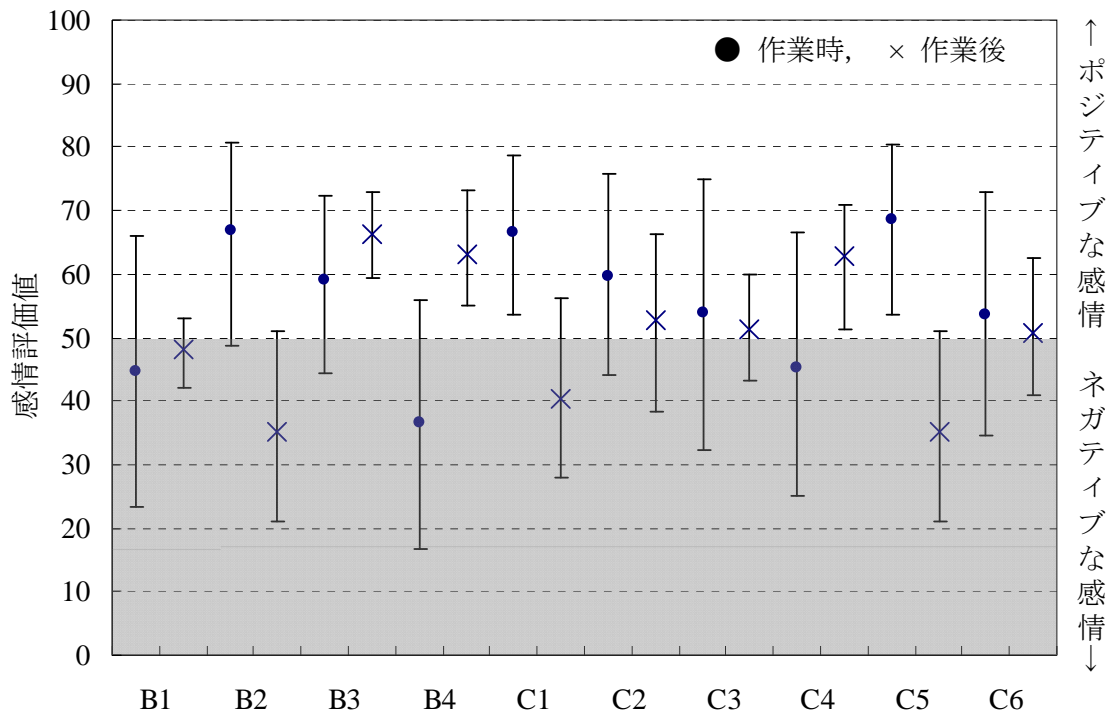


図 5-6 作業時および作業後の感情評価値

作業時の C1～C16 の感情評価値を用いて因子分析を行った結果を表 5-4 に示す。3つの因子が抽出され、累積寄与率は66.9%であった。因子負荷量が0.5以上の項目(太字とした)を参考に因子名を考察し、第1因子は「満足感」、第2因子は「集中度・活力」、第3因子は「平穩」に関する因子とした。

表 5-4 作業時の感情評価における因子負荷量

項目	感情	第1因子	第2因子	第3因子
C14	不満だ	-0.892	-0.131	0.045
C10	嬉しかった	0.835	0.288	0.056
C11	爽快だった	0.787	0.220	0.346
C15	納得している	0.754	0.146	0.130
C8	不安だった	-0.735	0.040	-0.326
C3	生き活きた	0.672	0.446	0.200
C13	落ち着いていた	0.670	0.020	0.469
C4	すっきりしていた	0.650	0.173	0.237
C6	億劫だった	-0.648	-0.241	-0.397
C7	熱中していた	0.159	0.880	-0.028
C1	飽きなかった	0.042	0.872	0.046
C16	元気だ	-0.044	0.629	0.490
C2	うんざりした	-0.487	-0.616	-0.016
C5	集中できた	0.384	0.597	0.280
C12	リラックスしていた	0.380	0.101	0.747
C9	積極的だった	0.492	0.434	0.087
cumulative contribution ratio(%)		36.0	56.8	66.9

作業後における因子分析では、因子負荷量が高い項目が1つのみの因子が多く抽出されたため、スクリープロットにより因子数を3に決定し、再計算を行った。作業時の C1～C16 の感情評価値を用いて因子分析を行った結果を表 5-5 に示す。第3因子までの累積寄与率は52.9%となった。作業時と同様に、因子負荷量が0.5以上の項目(太字とした)を参考に因子名を考察し、第1因子は「集中・意欲」、第2因子は「納得」、第3因子は「疲労・達成」に関する因子とした。

表 5-5 作業後の感情評価における因子負荷量

項目	感情	第 1 因子	第 2 因子	第 3 因子
C7	熱中していた	0.729	-0.246	0.280
C9	積極的だった	0.684	0.059	0.458
C13	落ち着いていた	0.681	0.126	-0.005
C6	億劫だった	0.643	0.396	0.032
C3	生き活きた	0.620	-0.014	0.202
C15	納得している	-0.122	0.774	0.021
C16	元気だ	-0.114	0.698	0.271
C4	すっきりしていた	-0.333	-0.640	-0.099
C8	不安だった	-0.078	-0.598	-0.324
C5	集中できた	0.258	0.502	0.262
C14	不満だ	0.073	0.246	0.739
C11	爽快だった	0.461	0.260	0.701
C2	うんざりした	0.066	0.114	0.640
C10	嬉しかった	0.371	0.191	0.598
C12	リラックスしていた	0.277	0.474	0.492
C1	積極的だった	0.278	0.246	0.204
cumulative contribution ratio(%)		33.6	46.5	52.9

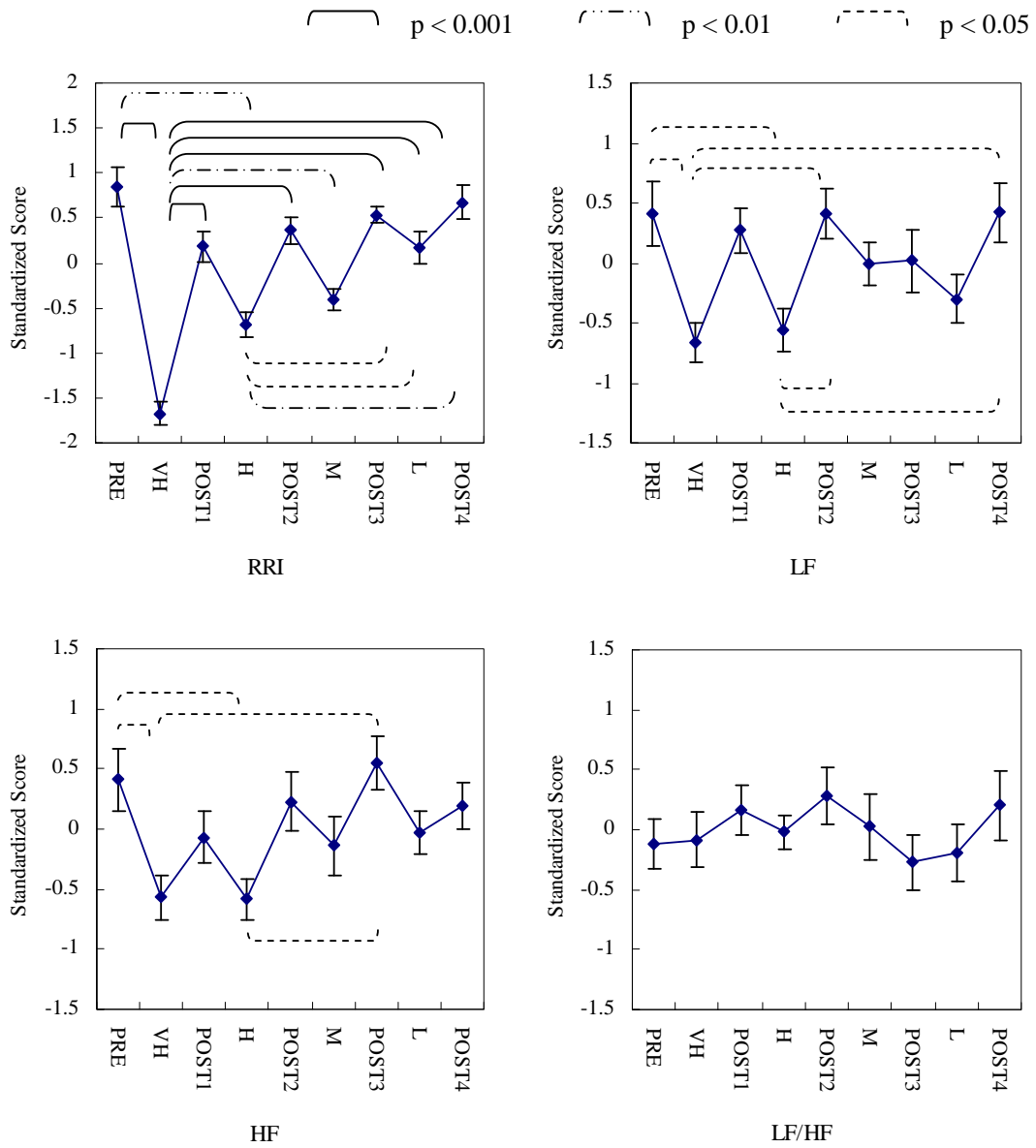
5-9-4. 全区間の生理反応

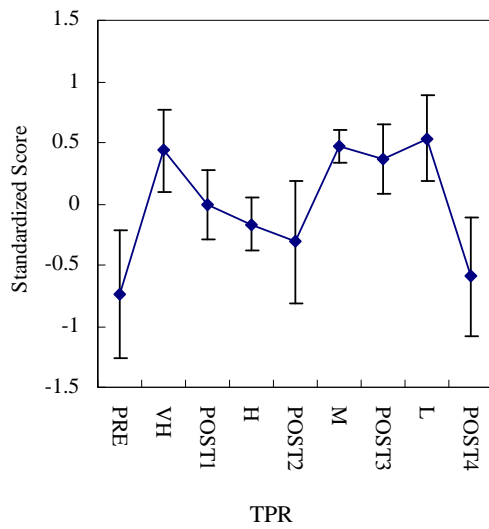
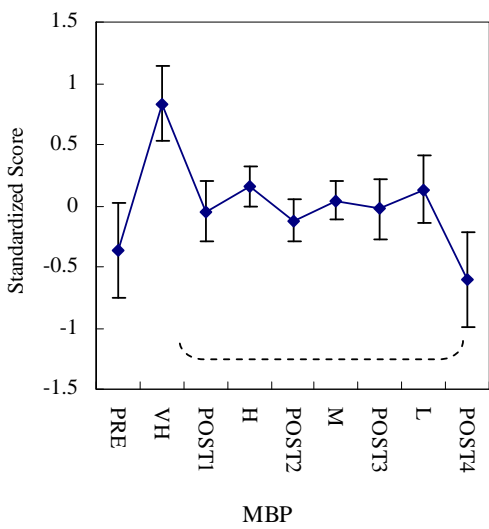
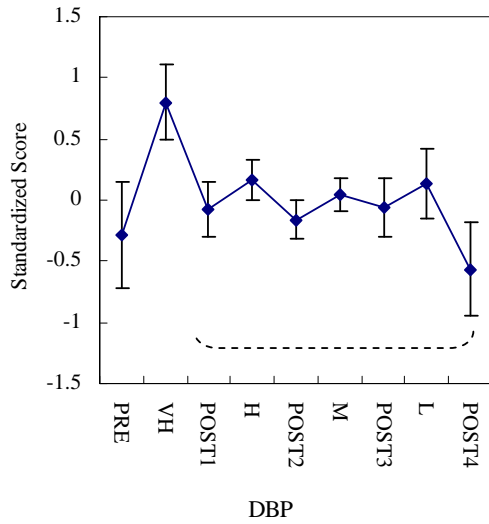
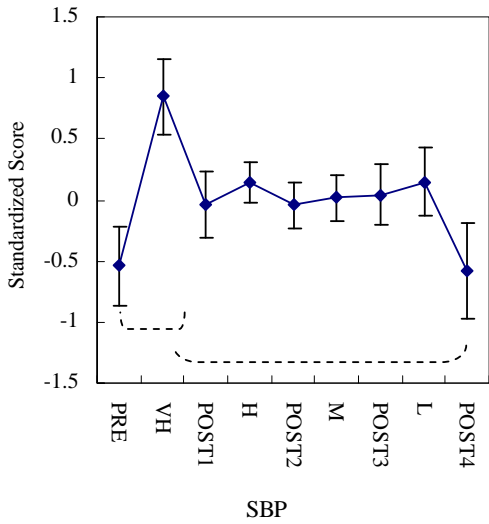
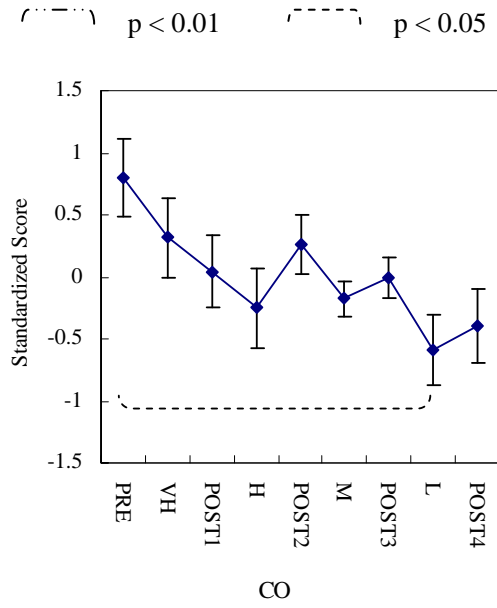
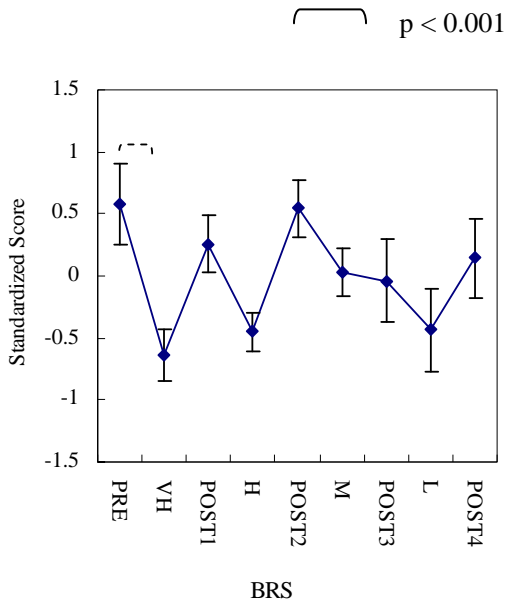
全9区間の生理反応を図5-7に示す。分散分析および多重比較の結果、多くの生理指標で作業時と作業後の間に有意差が認められた。前章と同様に RRI, LF, SPL は作業後に作業前の状態にほぼ回復し、PTG 振幅や TBF_F のように回復せず、全区間を通して、減少傾向となった。前章では、CO も減少傾向を示す生理指標であったが、本実験においても区間の有意差がみられてはいないものの減少傾向を示した。

しかし、感情は作業遂行時から遂行後にかけて持続しているわけではない。生理的要因の他に、作業後に新たに惹起した感情が関係している可能性もあると考え、作業時と作業後にわけ、感情評価と生理反応の関係をみる必要があると考えた。

5-9-3 節にて、作業遂行時に生じた感情が、遂行後にも持続しているわけではない

ことが示された。仮説として、生理的要因も考えられるが、その他に、作業後に新たに惹起した感情が関係している可能性もあると考えた。したがって、次節からは、作業時と作業後において、感情評価と生理反応の関係をみることにする。





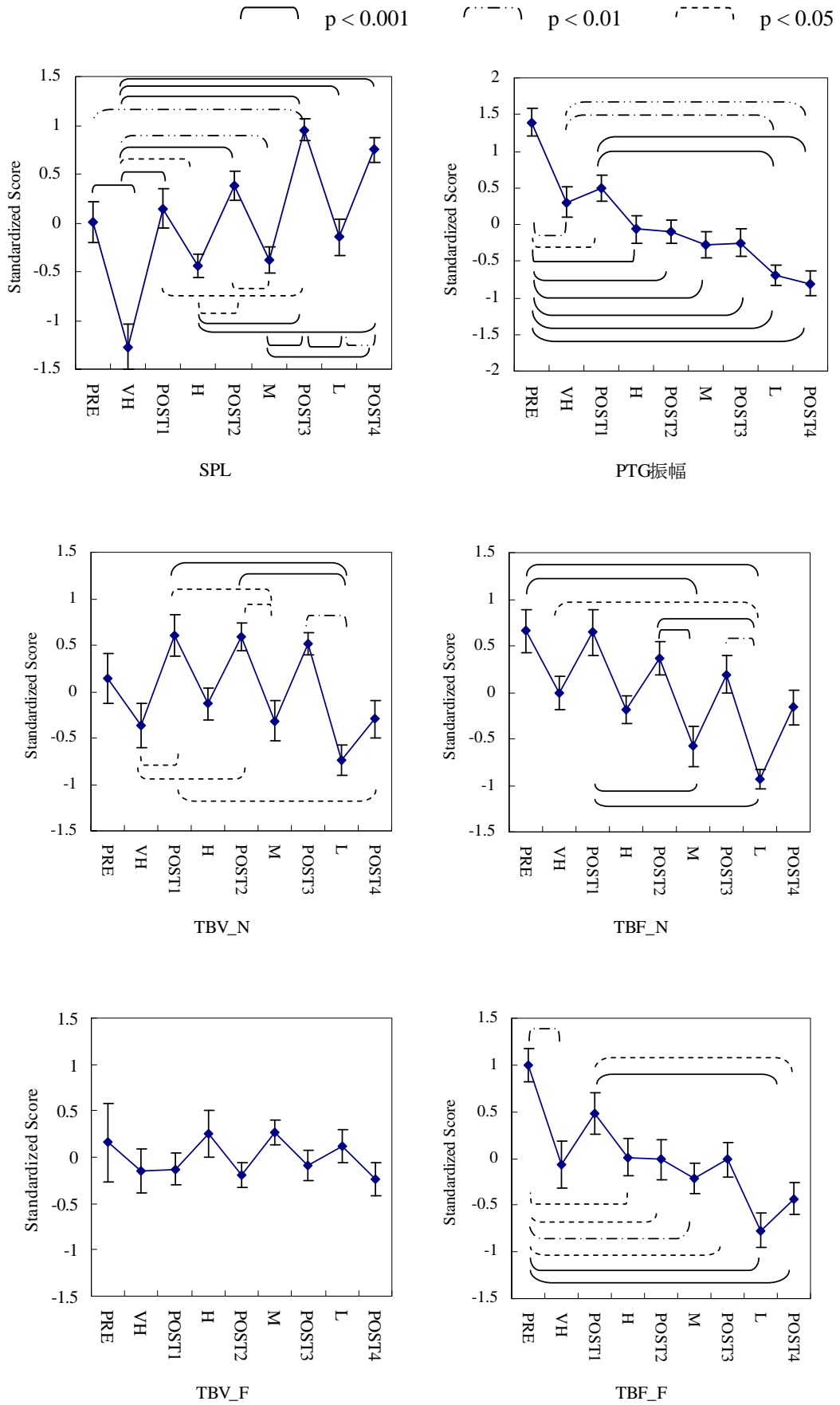


図 5-7 全区間の生理反応 (mean ± SE)

5-9-5. 作業時の生理反応と感情評価の関係

多重比較の結果、難易度間に有意差の認められた作業時の生理反応を図 5-8. RRI および SPL は作業難易度が低くなるにつれて有意に増加し、TBF と PTG は有意に減少した。感情評価 (B1~B4) と、C1~C16 の因子分析より得られた第 1 因子~第 3 因子と、作業時の生理反応との相関係数を表 5-6 に示す。RRI, SPL, TBF_N, PTG 以外は有意な相関は認められなかった。

ここでは、有意な相関が認められた生理量のみを掲載し、他の生理量については、本章の付録 (付録 表 5-2) にまとめる。優越感と満足感は、RRI, SPL と正の相関、TBF_N と PTG とは負の相関があった。また、B2 (時間が短かったという感情 (感覚)) と TBF_N とは正の相関、集中度・意欲と SPL は負の相関が統計学的には認められているが、いずれも相関係数は低かった。

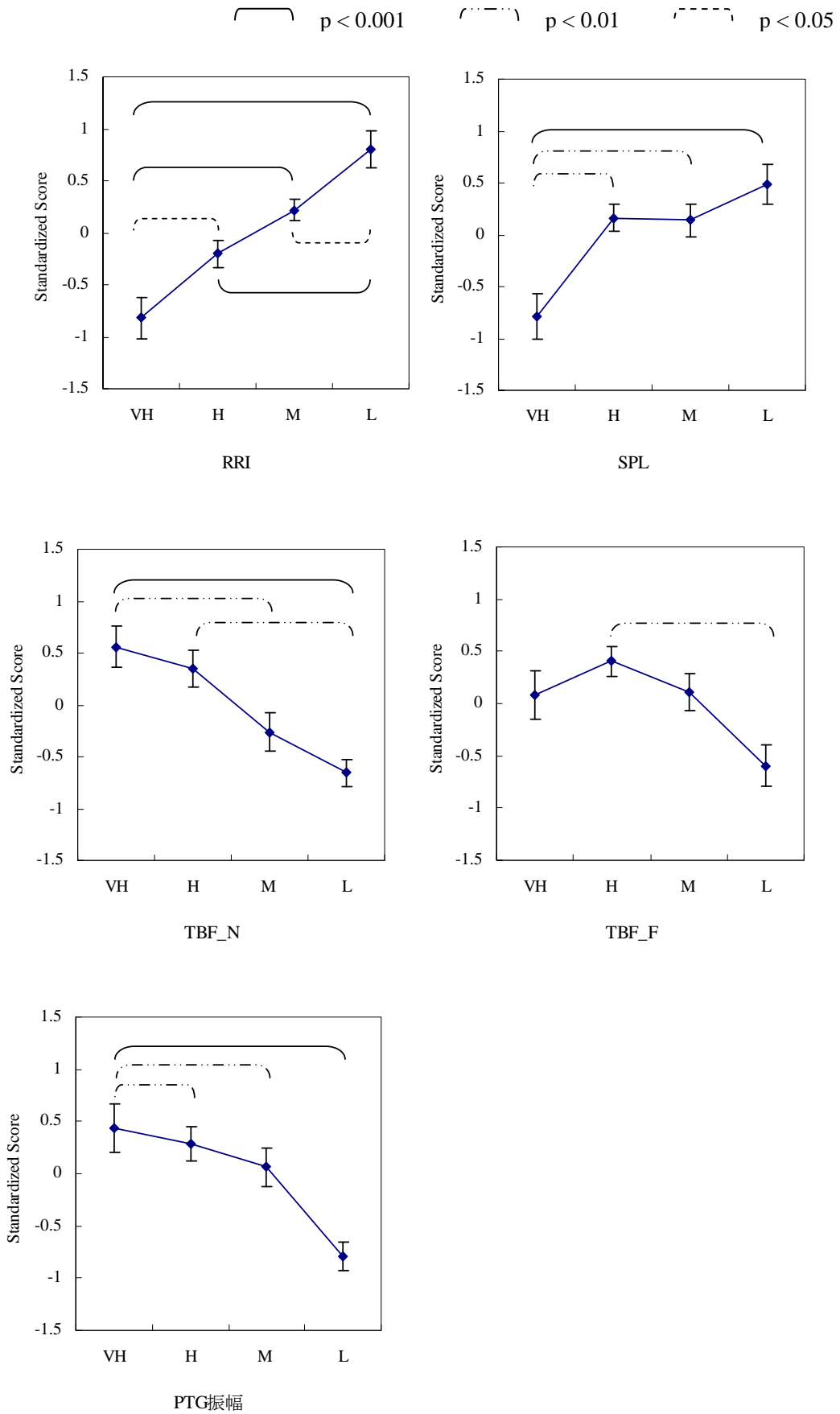


図 5-8 作業時の生理反応 (mean ± SE)

表 5-6 作業時における感情評価(B1~B4)と因子得点と生理反応の相関係数

	RRI n=68		SPL n=72		TBF_N n=72		PTG n=68	
	r	p	r	p	r	p	r	p
B1	0.54	< 0.001	0.38	< 0.001	-0.51	< 0.001	-0.37	< 0.01
B2	-0.29	n.s.	-0.19	n.s.	0.32	< 0.01	0.16	n.s.
B3	0.10	n.s.	0.26	n.s.	0.13	n.s.	0.09	n.s.
B4	0.04	n.s.	0.11	n.s.	-0.42	< 0.001	-0.11	n.s.
満足感	0.60	< 0.001	0.41	< 0.001	-0.54	< 0.001	-0.38	< 0.01
集中度・活力	-0.24	n.s.	-0.32	< 0.01	0.10	n.s.	0.07	n.s.
平穏	0.13	n.s.	-0.15	n.s.	0.01	n.s.	0.20	n.s.

5-9-6. 作業後の生理反応と感情評価の関係

多重比較の結果, 難易度間に有意差の認められた作業時の生理反応を図 5-9 に示す. SPL は POST1 と POST3 の間に有意な増加が認められたが, その後, POST4 では減少傾向が見られた. TBV_N は, POST4 のみが他の難易度に比べて有意に低くなった. PTG および TBF_F は, 作業後, すべての区間を通して減少した.

感情評価(B1~B4)と, C1~C16 の因子分析より得られた第 1 因子~第 3 因子と, 作業時の生理反応との相関係数を表 5-7 に示す. SPL, TBF_F, PTG 以外は有意な相関は認められなかった. ここでは, 有意な相関が認められた生理量のみを掲載し, 他の生理量については, 本章の付録(付録 表 5-3)にまとめる. いくつかの感情評価と生理反応の間に統計学的には相関が認められたものの, いずれも相関係数は低く, 強く関係しているとは言い難い結果となった.

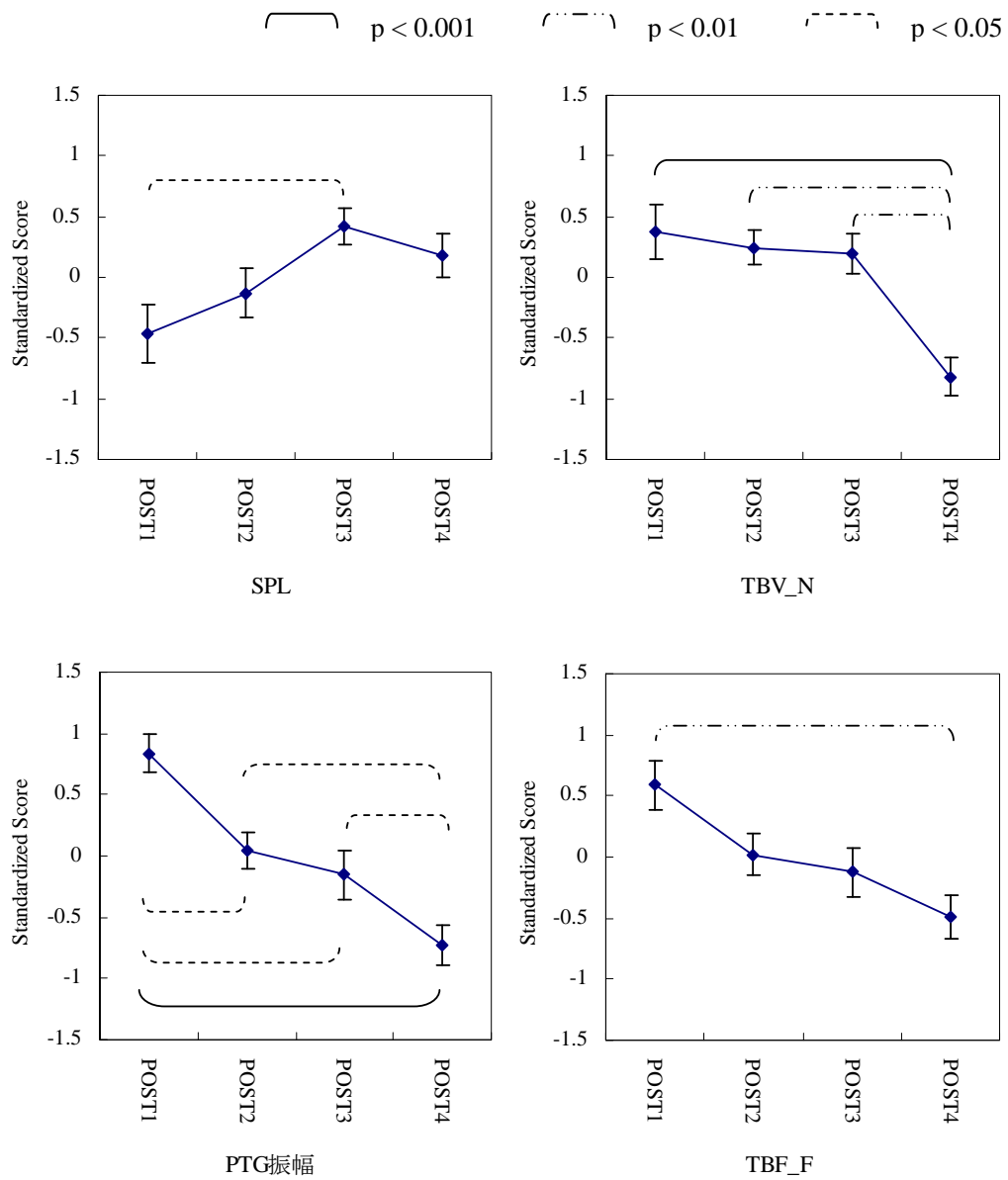


図 5-9 作業後の生理反応(mean±SE)

表 5-7 作業後における感情評価(B1~B4)と因子得点と生理反応の相関係数

	SPL n=72		TBF_F n=68		PTG n=68	
	r	p	r	p	r	p
B1	0.371	< 0.01	0.241	n.s.	-0.084	n.s.
B2	-0.155	n.s.	0.388	< 0.001	0.295	n.s.
B3	0.377	< 0.001	0.100	n.s.	0.062	n.s.
B4	0.320	n.s.	0.127	n.s.	-0.055	n.s.
集中・意欲	-0.154	n.s.	0.336	< 0.01	0.360	< 0.01
納得	-0.062	n.s.	0.151	n.s.	0.109	n.s.
疲労・達成	0.309	< 0.01	-0.259	n.s.	-0.345	< 0.01

5-10. 考察

本章では、4段階の難易度を設定し、計算作業を遂行させた。作業成績は、全試行の目標達成率は約半数となり、全試行の目標達成率は約半数であり、作業成績も難易度条件に伴って良くなっていることから、難易度の設定はうまくコントロールできたと考える。A8(諦めるー最後までやり遂げる)では、難易度によって有意差は見られたものの、全体の平均値は77.29と高値であることから、全体的に諦めないで取り組んだといえる。また、NASA-TLXのMDやEFについても、難易度によって有意差は見られたが、全体の平均値も70以上と高値であることから、どの難易度であっても一生懸命取り組まなければならない課題であったことを確認できた。感情評価の結果では、多くの項目で、最小値と最大値の範囲が大きくなっており、様々な強さの感情が惹起されたといえる。

作業成績と生理反応の関係については、本実験では、正解数が増加すると、RRIも増加(心拍数が減少)、SPLが増加、TBF_NとPTGが減少した。また、RRIとSPLは、NASA-TLXのOP(達成度)とも同様の傾向を示した。正解数と達成度は、強い関わりがあると考えられることから、この結果は妥当であるといえる。PTGとTBFに関する検討は後述する。

我々は、作業時に生じた感情が持続するのではないかと考えていたが、感情評価のt検定を行った結果、多くの項目で有意差が認められ、作業遂行時に生じた感情が

作業遂行後にも持続しているわけではなかった。また、有意差が見られなかった 6 項目についても、強いネガティブもしくはポジティブの感情が持続しているといった傾向は見られなかった。ここで、B3 はポジティブな感情が持続しているように見えるが、内容が「人の成績は気にならなかった」であるため、ニュートラルの心理状態に近いと考えている。

全区間の生理反応の動向を調べた結果より、本実験でも作業遂行後に遂行前の状態にまで回復する生理量と、回復しない生理量が認められた。しかし、感情は作業遂行時から遂行後にかけて持続しているわけではないことが示された。当初の仮説としては、感情の持続の他に生理的要因を考えていたが、作業後に新たに惹起した感情が関係している可能性もあると考えた。したがって、作業時と作業後にわけて、感情評価と生理反応の関係を調べることにした。

まず、作業時について考察する。

心拍数は、不安感・緊張感・イライラ感が高くなると増加するという報告[2][3]がある。前述したとおり、正答数と RRI とは正の相関(心拍数とは負の相関)があるが、正解できないことによって、不安やイライラ感が生じることは明らかである。また、表 5-6 より、RRI が「満足感」と有意な正の相関が認められていることから、本実験の結果は、先行研究の結果と一致すると考えることができる。

SPL は、手掌をプラス電極としているので、精神性発汗が増加すると低下する指標である。本実験においては、正解数が少ないと安心感が低く(不安感が高く)なった。不安が高まったことで精神性発汗が増加した結果、SPL が低下したのと考えられる。表 5-6 に示した SPL と「満足感」の正の相関関係も、この考えを支持している。更に、覚醒水準が高くなると SPL は低下するといわれており[4]、澤ら[5]は集中度が高い時には覚醒水準も高まることを報告している。すなわち、集中度が高いときには SPL が低下するということになる。本実験では、SPL は「集中度・活気」と負の相関を示しており、これらの先行研究の結果と一致する。前章においては、SPL は NASA-TLX の TD(時間的圧迫感)や POMS の V(活気)、集中度と相関があり、緊張感との関係しているのではないかという考察を行った。

本章での実験結果では、SPL と TD、B2(時間が短かった)の間には相関が認められなかったが、集中度に関しては前章と同じ結果となった。また、緊張感に関しては、第 3 因子の平穏と SPL との相関は認められておらず、仮説を検証できなかった。

TBF と PTG はともに末梢血管の反応に関連した指標であるが、PTG は動脈中の酸化ヘモグロビン量を計測することで得られる指標である。TBF はレーザー光を組織に照射し、浅部(約 1mm)の組織内の血流量を捉えた指標であるのに対し、PTG は深部の動脈血液量を捉えた指標である。血管は交感神経のみの支配を受ける[6]といわれているが、顔面領域に関しては、副交感神経性の血管拡張が起こるという報告もあり[7]、指尖から計測する PTG と鼻部から計測する TBF_N は、自律神経活動の観点からみると異なった生理指標であるといえる。

作業時の PTG 変化については、田中ら[8]が、暗算タスク時に正解でも不正解と呈示する実験において、正しい判定呈示時に比べて緊張状態が低減し、PTG 振幅が大きくなると報告している。本実験では、表 5-6 にて「満足感」と負の相関があることから、田中らの報告とは逆の傾向を示しているといえる。本実験では、満足感が高くなり、一種の興奮状態が生じたことで PTG 振幅が減少すると考えることができるが、生理学的な特性に原因があるとも考えられる(後述)。

次に、回復しない傾向を示した PTG と TBF について、作業後の感情評価との関係を含めて考察する。

作業時と作業後の比較では、精神作業時には PTG 振幅が減少し、作業後には回復するという報告がある[9]。作業時に PTG 振幅が減少するのは、血管は細動脈・細静脈ともに交感神経に単独支配されており[6]、 α 交感神経が亢進すると末梢血管が収縮するためである。本実験でも、5-9-4 節に示したように、作業時には作業前に比べて PTG 振幅が減少した。しかし、本実験では、前章にも見られたように、作業後に作業前の状態に回復せず、実験開始から終了までを通して全体的な減少傾向が見られた。精神作業を行うと、血中のヘマトクリット値(赤血球の容積率)が上昇し、作業後に完全に回復するまでには 20 分かかるとい報告がある[1]。ヘマトクリットの上昇は血液粘性を高め、結果的に血管内壁のずり応力を上昇させる。そのような状態になると、血管は拡張してずり応力を下げようとする作用が働く。すなわち、血管粘性は血管拡張に影響を及ぼすことが考えられる[10]。本実験では、主観評価を行う時間も考慮すると作業終了から次の作業開始までの時間が、約 6 分間であったため、作業後の血液粘性(ヘマトクリット値)は、作業前の状態まで完全には回復しなかったと推測できる。それに伴って、血管の拡張が緩やかであったと考えれば、実験中に継続して見られた PTG 振幅の減少は、回復しない状態のまま次の作業が始まったために生じたと理解

できる。作業後の感情と PTG 振幅の反応には関係が見られなかったことから、減少を続けた PTG 振幅の反応にストレスの持続などの主観的な要素が影響していると言いはし難い。したがって、PTG と満足感の関係は、生理学的な特性が関与したために生じたと考えることができる。

TBF_N については、ストレスとの関係を検討した先行研究は少ない。TBF_N と顔面皮膚温の変化傾向は同様であり、顔面皮膚温は単調作業において飽きやイライラ感が生じた場合に低下するという報告がある[11]。この先行研究では、単純作業を 1 回試行し、安静時と比べて作業時では顔面皮膚温が低下することを示している。本実験における全区間での TBF_N の動向(5-9-4 節)より、TBF_N は、作業後に比べて作業時に低下しており、同様の傾向であることが確認できた。しかし、作業時の TBF_N は「満足感」との間に負の相関関係を認めた。先行研究と本実験の作業内容は異なるため単純に比較できない部分もあるが、イライラ感などの「ネガティブな感情」増加に伴って TBF_N は低下するという先行研究と、本実験との結果は逆の傾向であるといえる。PTG と TBF は自律神経活動の観点からみると異なる生理指標であることを前述したが、これらの生理量の回復に血中のヘマトクリット値が関与しているのであれば、今回得られた TBF_N の反応は前述の PTG と同じ現象で起こった可能性が高い。

したがって、TBF_N、PTG と正解数や満足感との間に認められた相関関係は、作業難易度に伴って増加した正解数や満足感と、回復せずに低下を続けた生理量との間に偶然認められたものであり、正解数によって生じた感情が関与したのではないと考えることができる。

以上より、RRI と SPL は、作業時における満足感や集中度に対して敏感に反応する可能性が示唆された。これらの指標は、作業後に安静を保つことによって、短時間(数分間)でほぼ回復する指標であった。一方、TBF_N や PTG は作業時に低下するが、作業後の回復に時間を要する可能性が示唆された。回復に時間を要する原因としては、作業後に感情変化に伴った生理反応は認められなかったことから、心理的な影響ではなく、生理学的な特性の関与が大きいと考えられる。

5-11. 結言

RRI と SPL は、満足感や集中度に対して敏感に反応する指標である可能性が示唆された。これらの生理指標は、連続計測が可能であり、リアルタイムでの評価ができる

可能性が高い。また、計測が非常に簡便であり、特別な知識がなくても計測できることから、感情を客観的に評価する上では、大変有用な指標であると考えられる。

TBF_N や PTG は作業時に低下し、作業後すぐには回復しない指標であった。その原因としては、作業後の感情ではなく、生理学的な機序(特性)の関与が大きいと考えられた。TBF や PTG は計測が非常に簡単な指標であるが、感情評価のためには、生理量の回復時間を十分に考慮する必要があると考えられる。

参考文献

- [1] Dolf, D.B., Christopher, R., Matthew, W., Caroline, F., Nathan, J., David, M., Douglas, C.: Time course and mechanisms of mental stress-induced changes and their recovery: Hematocrit, colloid osmotic pressure, whole blood viscosity, coagulation times, and hemodynamic activity, *Psychophysiology*, 44, 639-649, 2007.
- [2] 下野太海, 大須賀美恵子, 寺下裕美: 心拍・呼吸・血圧を用いた緊張・単調作業ストレスの評価手法の検討, *人間工学*, 34(3), 107-115, 1998.
- [3] 永岑光恵, 室田真男, 石井源信, 清水康敬: 繰り返しの暗算課題遂行における緊張感と心拍数の変化, *日本教育工学会論文誌*, 25(4), 237-245, 2002.
- [4] 桶谷哲哉, 加藤光博, 高野博史, 中村清実: 瞬きと脳波および皮膚電位との相関解析による居眠り判定基準の検討, *電子情報通信学会技術研究報告*, 107(72), 17-20, 2007.
- [5] 澤 貢, 宇賀神 博, 大久保 堯夫, 芳賀 繁: 作業負担に及ぼす作業時間効果の測定のための実用的調査指標の開発, *日本経営工学会論文誌*, 52(4), 202-210, 2001.
- [6] 宮田洋, 藤澤清, 柿木昇治, 山崎勝男: *新生理心理学 1 巻 生理心理学の基礎*, pp.183, 北大路書房, 京都, 1998.
- [7] 刈田啓史郎: 口腔・顔面領域における副交感神経性血管拡張反射, *東北大学歯学雑誌*, 16(2), 87-96, 1997.
- [8] 田中康仁, 岡本永佳, 宇山圭子, 林拓世, 水野(松本)由子: 暗算試験時における脈波解析を用いたストレス評価法の検討, 第 47 回日本生体医工学会大会プログラム・論

文集(CD-ROM PS1-1-18), 2008.

- [9] 佐藤望, 三宅晋司, 久米靖文: 指尖容積脈波波高変動係数による精神作業負荷時の自律神経機能変動評価, 近畿大学工学部研究報告, 38, 47-52, 2002.
- [10] Dolf, D.B., Christopher, R., Douglas, C.: Time course and mechanisms of hemoconcentration in response to mental stress, *Biological Psychology*, 72, 318-324, 2006.
- [11] 石川恵子, 菊本誠, 源野広和, 鈴木龍司, 大隅正人: 顔面皮膚温を主とした単調作業ストレスの評価, 第 11 回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, 237-240, 1995.

付録

付録 表 5-1 作業成績, NASA-TLX, 作業評価と生理反応の相関係数

***: p<0.001 ** : p<0.01 ()内の数値はデータ数を示す

	RRI		LF	HF	LFHF	CO	SBP	DBP	MBP
正答数	0.677 (68)	***	0.296 (68)	0.358 (68)	-0.142 (68)	-0.380 (44)	-0.169 (44)	-0.121 (44)	-0.148 (44)
MD	-0.135 (68)		-0.102 (68)	-0.122 (68)	0.044 (68)	-0.136 (44)	0.075 (44)	0.072 (44)	0.077 (44)
TD	-0.296 (68)		-0.268 (68)	-0.226 (68)	0.074 (68)	0.298 (44)	-0.082 (44)	-0.146 (44)	-0.121 (44)
OP	0.569 (68)	***	0.276 (68)	0.390 (68)	-0.173 (68)	-0.340 (44)	-0.162 (44)	-0.174 (44)	-0.173 (44)
EF	-0.210 (68)		-0.016 (68)	-0.146 (68)	0.221 (68)	0.363 (44)	0.077 (44)	0.091 (44)	0.093 (44)
WWL	0.039 (68)		0.015 (68)	-0.109 (68)	0.112 (68)	-0.057 (44)	-0.057 (44)	-0.054 (44)	-0.053 (44)
A1	0.498 (68)	***	0.186 (68)	0.303 (68)	-0.193 (68)	-0.216 (44)	-0.202 (44)	-0.135 (44)	-0.170 (44)
A2	0.462 (68)	***	0.230 (68)	0.203 (68)	-0.065 (68)	-0.129 (44)	-0.211 (44)	-0.170 (44)	-0.196 (44)
A3	0.576 (68)	***	0.201 (68)	0.285 (68)	-0.101 (68)	-0.251 (44)	-0.072 (44)	-0.036 (44)	-0.059 (44)
A4	0.385 (68)	**	0.041 (68)	0.105 (68)	-0.129 (68)	-0.184 (44)	0.060 (44)	0.107 (44)	0.083 (44)
A5	0.327 (68)	**	0.235 (68)	0.218 (68)	0.026 (68)	0.025 (44)	0.318 (44)	0.300 (44)	0.310 (44)
A6	0.394 (68)	***	0.342 (68)	0.350 (68)	-0.045 (68)	0.062 (44)	0.055 (44)	0.064 (44)	0.059 (44)
A7	-0.081 (68)		-0.023 (68)	0.023 (68)	0.196 (68)	-0.155 (44)	0.120 (44)	0.062 (44)	0.100 (44)
A8	0.305 (68)		0.106 (68)	-0.002 (68)	0.144 (68)	-0.091 (44)	0.077 (44)	0.028 (44)	0.052 (44)

	TPR	BRS	PTG		TBV_N	TBF_N		TBV_F	TBF_F	SPL	
正答数	0.159 (24)	0.210 (44)	-0.447 (68)	***	-0.271 (72)	-0.602 (72)	***	0.072 (72)	-0.277 (72)	0.494 (72)	***
MD	0.167 (24)	-0.068 (44)	0.172 (68)		0.140 (72)	0.234 (72)		-0.082 (72)	-0.140 (72)	-0.189 (72)	
TD	-0.304 (24)	-0.247 (44)	0.130 (68)		0.246 (72)	0.379 (72)	**	0.000 (72)	0.047 (72)	-0.176 (72)	
OP	0.021 (24)	0.117 (44)	-0.284 (68)		-0.189 (72)	-0.497 (72)	***	0.010 (72)	-0.155 (72)	0.400 (72)	***
EF	-0.114 (24)	-0.048 (44)	-0.063 (68)		0.074 (72)	0.179 (72)		-0.101 (72)	-0.038 (72)	0.019 (72)	
WWL	0.000 (24)	0.094 (44)	0.204 (68)		0.114 (72)	0.063 (72)		-0.307 (72)	-0.030 (72)	-0.087 (72)	
A1	0.093 (24)	0.139 (44)	-0.313 (68)	**	-0.232 (72)	-0.446 (72)	***	0.246 (72)	-0.235 (72)	0.246 (72)	
A2	-0.004 (24)	0.041 (44)	-0.343 (68)	**	-0.222 (72)	-0.335 (72)	**	0.114 (72)	-0.091 (72)	0.338 (72)	**
A3	0.187 (24)	0.086 (44)	-0.429 (68)	***	-0.341 (72)	-0.469 (72)	***	0.040 (72)	-0.274 (72)	0.330 (72)	**
A4	0.318 (24)	-0.034 (44)	-0.312 (68)	**	-0.261 (72)	-0.380 (72)	***	0.149 (72)	-0.390 (72)	0.168 (72)	
A5	0.502 (24)	** -0.147 (44)	-0.361 (68)	**	-0.234 (72)	-0.274 (72)		-0.178 (72)	-0.301 (72)	0.139 (72)	
A6	0.178 (24)	-0.023 (44)	-0.340 (68)	**	-0.146 (72)	-0.311 (72)	**	-0.116 (72)	-0.274 (72)	0.199 (72)	
A7	-0.100 (24)	-0.111 (44)	-0.241 (68)		-0.059 (72)	-0.069 (72)		-0.030 (72)	-0.265 (72)	-0.096 (72)	
A8	0.216 (24)	0.090 (44)	-0.308 (68)	**	0.041 (72)	-0.238 (72)		0.138 (72)	-0.337 (72)	0.268 (72)	

付録 表 5-2 作業時の感情評価と生理反応の相関係数

***: p<0.001 ** : p<0.01 ()内の数値はデータ数を示す

	RRI	LF	HF	LFHF	CO	SBP	DBP	MBP
B1	0.539 *** (68)	0.262 (68)	0.306 (68)	-0.113 (68)	-0.246 (44)	-0.148 (44)	-0.046 (44)	-0.094 (44)
B2	-0.289 (68)	-0.109 (68)	-0.283 (68)	0.242 (68)	0.239 (44)	0.085 (44)	0.009 (44)	0.045 (44)
B3	0.095 (68)	0.012 (68)	0.251 (68)	-0.094 (68)	0.203 (44)	-0.196 (44)	-0.194 (44)	-0.207 (44)
B4	0.045 (68)	-0.177 (68)	-0.089 (68)	0.011 (68)	-0.331 (44)	0.087 (44)	0.184 (44)	0.146 (44)
満足感	0.597 *** (68)	0.346 (68)	0.458 (68)	-0.171 (68)	-0.272 (44)	-0.150 (44)	-0.100 (44)	-0.124 (44)
集中度・ 活力	-0.236 (68)	-0.154 (68)	-0.149 (68)	0.167 (68)	0.165 (44)	0.275 (44)	0.335 (44)	0.318 (44)
平穩	0.144 (68)	-0.162 (68)	-0.035 (68)	-0.150 (68)	-0.027 (44)	-0.084 (44)	-0.034 (44)	-0.051 (44)

	TPR	BRS	PTG	TBV_N	TBF_N	TBV_F	TBF_F	SPL
B1	0.081 (24)	0.119 (44)	-0.369 ** (68)	-0.272 (72)	-0.512 *** (72)	0.067 (72)	-0.196 (72)	0.384 *** (72)
B2	-0.095 (24)	-0.171 (44)	0.162 (68)	0.277 (72)	0.322 ** (72)	0.021 (72)	0.207 (72)	-0.190 (72)
B3	-0.080 (24)	0.206 (44)	0.089 (68)	0.131 (72)	0.089 (72)	-0.093 (72)	0.144 (72)	0.264 (72)
B4	0.245 (24)	-0.175 (44)	-0.109 (68)	-0.419 *** (72)	-0.204 (72)	0.097 (72)	-0.065 (72)	0.108 (72)
満足感	0.055 (24)	0.209 (44)	-0.384 ** (68)	-0.194 (72)	-0.539 *** (72)	0.071 (72)	-0.271 (72)	0.405 *** (72)
集中度・ 活力	0.267 (24)	-0.143 (44)	0.068 (68)	-0.019 (72)	0.103 (72)	-0.152 (72)	-0.078 (72)	-0.322 ** (72)
平穩	0.033 (24)	-0.024 (44)	0.201 (68)	-0.059 (72)	0.010 (72)	-0.031 (72)	0.229 (72)	-0.155 (72)

付録 表 5-3 作業後の感情評価と生理反応の相関係数

***: p<0.001 **: p<0.01 ()内の数値はデータ数を示す

	RRI	LF	HF	LFHF	CO	SBP	DBP	MBP	TPR
B1	0.034 (68)	-0.199 (68)	0.052 (68)	-0.104 (68)	0.385 (44)	-0.166 (44)	-0.218 (44)	-0.195 (44)	-0.093 (24)
B2	-0.120 (68)	-0.071 (68)	-0.179 (68)	0.101 (68)	0.186 (44)	0.033 (44)	0.074 (44)	0.047 (44)	-0.343 (24)
B3	0.029 (68)	-0.153 (68)	-0.118 (68)	0.047 (68)	0.051 (44)	-0.340 (44)	-0.382 (44)	-0.371 (44)	0.087 (24)
B4	0.015 (68)	-0.075 (68)	-0.079 (68)	0.157 (68)	-0.055 (44)	-0.336 (44)	-0.430 (44)	-0.400 (44)	-0.132 (24)
集中・意欲	-0.239 (68)	-0.074 (68)	-0.376 (68)	0.175 (68)	0.165 (44)	0.043 (44)	0.033 (44)	0.054 (44)	-0.113 (24)
納得	-0.158 (68)	-0.021 (68)	-0.092 (68)	0.049 (68)	0.232 (44)	-0.084 (44)	-0.015 (44)	-0.043 (44)	0.113 (24)
疲労・達成	0.045 (68)	0.051 (68)	0.124 (68)	0.083 (68)	-0.074 (44)	-0.340 (44)	-0.344 (44)	-0.351 (44)	-0.272 (24)

	BRS	PTG	TBV_N	TBF_N	TBV_F	TBF_F	SPL
B1	-0.307 (44)	-0.084 (68)	-0.108 (72)	-0.107 (68)	-0.293 (68)	0.241 (68)	0.371 (72)
B2	-0.090 (44)	0.295 (68)	0.086 (72)	0.171 (68)	0.388 (68)	*** 0.224 (68)	-0.155 (72)
B3	-0.008 (44)	0.062 (68)	0.175 (72)	-0.213 (68)	-0.157 (68)	0.100 (68)	0.377 (72) ***
B4	-0.130 (44)	-0.055 (68)	0.096 (72)	-0.235 (68)	-0.229 (68)	0.127 (68)	0.320 (72)
集中・意欲	-0.013 (44)	0.360 (68) **	0.346 (72) **	0.342 (68) **	-0.017 (68)	0.336 (68) **	-0.154 (72)
納得	-0.036 (44)	0.109 (68)	0.227 (72)	-0.004 (68)	0.156 (68)	0.151 (68)	-0.062 (72)
疲労・達成	0.220 (44)	-0.345 (68) **	-0.235 (72)	-0.227 (68)	0.041 (68)	-0.259 (68)	0.309 (72) **

第6章 結論

6-1. まとめ

本研究では、精神性ストレスの評価に影響する因子を選定することを目的とした。計算課題にて精神負荷を与え、その時に生じる感情と生理反応の関係を調べた。人が刺激を受けた時、感覚器で感知し、末梢神経から中枢神経へと伝達され、脳は、刺激に対応するために自律神経や内分泌を介して全身に指令を出す。その刺激の種類や強さに応じて、生理量も反応することが先行研究によって示されている。しかし、先行研究のほとんどは、緊張や不安のようなネガティブな感情のみを対象としている。一般的に、精神性ストレスとは、生体にとって有害なもので、ストレス時にはネガティブな感情が惹起すると捉えられているが、適度なストレスは活動エネルギーを与えることもある。したがって、このような研究を行う上では、様々な感情を総合的にみながら検討することが必要となる。そこで、ネガティブな感情だけでなく、達成や満足などのポジティブな感情を含めた様々な感情と生理反応の関係を調べた。しかし、生理反応は、環境や性別、年齢などの様々な影響を受ける。そこで、本研究では、可能な限り一定に保った環境で、20～30歳代の健康な男性に限定して実験を行なった。

先行研究にて、ストレスに反応する生理量は、大きく分けて、内分泌系、自律神経系、中枢神経系に分けることができる。本研究では、計測が容易であること、データの分析方法や取り扱いが簡便であること、計測機器の事情などの理由から、自律神経系指標を対象として実験を行なった。

第一段階として、3章では、本研究で用いた計算課題の妥当性の確認および、自律神経系指標がネガティブ・ポジティブに関わらず、様々な感情に反応するかどうかを確認することを目的とした。結果、本研究で使用した計算課題は、飽きも諦めも生じさせず、ある程度のストレスを与えられることを示すことができた。また、被験者間のばらつきは大きかったものの、様々な種類の感情を惹起させることができることも確認できた。生理量は、LF/HF以外で、作業遂行に対して先行研究と同様の結果を得た。したがって、RRI, LF, HF, BP, SPL, PTG, TBF, TBVは、感情に反応し、ストレス評価をする上で、有用である可能性が示唆された。精神作業によって様々な感情が惹起されることから、先行研究で報告されているもの以外の感情が強く関与している可能性も示

唆された。更に、新しい知見として、ストレスから解放された作業後ではすべての生理量が同じように回復せず、作業前の状態にまで完全に回復する **Recoverable** と、回復が不十分である **No Recoverable** のグループがあることが明らかとなった。

次の段階として、第4章では、感情と生理反応が具体的にどのように関係しているかを調べた。加えて、第3章にて感情との関与が見られなかった **LF/HF** および、第3章にて新たに発見された生理量の回復過程の再現性も確認した。人の感情をコントロールすることは困難であるため、難易度を実験課題の難易度を変化させることによって、被験者の感情を変化させた。

まず、**SPL** や **BP** は、作業難易度によって明らかに変化し、**SPL** は時間に関係する感情や集中度、活気、緊張感、**BP** は被験者のモチベーションが関係している可能性が示唆された。特に、**SPL** は、各被験者の反応がほぼ同様のパターンを示す指標であり、計測も簡単なことから、実用性に関しても非常に有用な指標であると考えた。

LF/HF の再現性については、第4章においても安静時と作業時に変化は見られず、先行研究の結果とは異なり、感情とも関係を示さないことが明らかとなった。**LF/HF** が変化しない理由としては、この指標が有用でないことを示すものではなく、副交感神経活動の抑制が起きていることによって起きている結果である可能性が示唆された。副交感神経活動の指標としては、**BRS** が有用であると言われているが、**BRS** を得るためには、血圧を計測する必要がある。**RRI** と **LF/HF** の変化を組み合わせることで、副交感神経活動の指標になるのであれば、心電図情報だけで得ることができ、有用な知見であるといえる。

生理量の回復過程については、第3章と同様に、作業後に作業前の状態にまで回復しない生理量が認められた。**PTG** 振幅や **TBF** のような末梢血管系指標では、感情に対して反応を示しているようにも見えたが、実験全体を通して減少傾向になることが認められた。この原因としては、作業成績に関係する感情が作業後にも持続し、影響を及ぼしている可能性が考えられた。

作業時に惹起した感情が持続することはストレス蓄積に関与する。したがって、ストレス評価を行う上では、感情の持続についても検討することが必要である。第5章では、作業後にも主観評価を実施し、感情の持続状態を調べ、生理反応との関わりについて

て調べた。また、実験全体を通して減少傾向を示した生理量の原因についても検討することとし、生理量が回復しない原因として、心理的な要因と生理的な要因の2つを仮定した。心理的要因とは、作業結果に対する感情や精神作業時に生じた感情が作業遂行後にも持続していることである。生理的要因とは、精神作業負荷によって変化した血中成分の回復には時間がかかるために、血中成分の影響などによって回復の遅い生理量が存在することである。

結果、作業中に様々な強さの感情を惹起させることはできたが、今回の実験では、作業時に生じた感情が作業後にも持続しなかった。

作業時の感情と生理反応の関係としては、RRIは正解数や満足度、SPLは正解数、満足度、集中度を示すことができる可能性が示唆された。また、作業後においては、SPLは疲労度と関与している可能性もあった。

生理量の回復に関しては、PTGやTBF_Nなどの末梢血管に関与する生理量が時間の経過とともに減少傾向を示した。前述した通り、精神作業によって変化した血中成分は回復に時間がかかるが、PTGやTBF_Nの反応は血液成分の回復過程の影響を受けている可能性が高いと考えた。PTGやTBF_Nは感情に反応を示す生理量であるが、連続計測を行う場合には、回復過程を考慮することが必要であることが、実験を通して見つかった新たな知見となった。

以上より、RRIとSPLは、すべての実験を通して感情と関係することが明らかとなり、再現性が高いことから、ストレス評価を行う上で有用な因子であるといえる。具体的には、満足度にはRRI、SPLの両者、集中度にはSPLが関係を示した。これらの指標は、計測が容易であり、実用化を考えても有利な指標である。SPLは、汗をかいていない定常状態から汗が出ることで反応する生理量である。心拍であれば定常状態から減少したり増加したりするのに対し、汗が出ることの逆の反応は存在しないために、SPLは、絶対的には単極性の反応であるといえる。したがって、これだけでは複雑な感情を評価することはできず、複数の生理量を組み合わせることが必要であると考えられる。

今回の結果からは、精神作業中において、RRIとSPLが相対的に共にプラス方向に変化した場合は満足感や優越感、RRIが特に一律の変化を示さず、SPLのみがマイナス方向に変化した場合には集中度を示している可能性が示唆されたといえる。また、これらの指標は、感情と相関をもっており、強さの度合いを示すことができる可能

性があるため、評価システムなどへの応用が期待できる。

6-2. 今後の課題

生理量は「環境」「性格」「条件」「性別」「年齢」など、非常に多くの影響を受ける[1][2]。例えば、同じ課題を行った場合であっても、個人の得手不得手や周囲の環境によって感情は異なり、更にその日の体調や気配りの有無などにも影響される。そのような状態で、万人にあてはまる感情と生理量との関係を見つけることは簡単なことではない。したがって、本論文では、まずは、可能な限り一定に保った環境で、20～30 歳代の健康な男性に限定して実験を行なった。しかし、職場や学校生活などでの活用を考えた場合は、年齢の幅を広げ 10～50 歳代の調査は必要であり、女性に対しても調査を行う必要がある。特に女性の場合は、ホルモンバランスの変動が激しいため、長期的に回数を重ねた実験が必要であることが考えられる。

また本論文の実験では、作業中に惹起された感情が持続する状態を発生させることができず、ストレスの蓄積(=慢性的ストレス)に対しては検討できていない。メンタルヘルスケアや精神疾患の予防を考える場合には、一過性ストレスだけでなく、慢性的ストレスも考慮する必要がある。一過性ストレスが蓄積されることで慢性的ストレスとなるのか、それとも一過性ストレスの頻度(変化)が関与するのかなど、様々な観点から検討が必要であり、慢性的ストレスに対する生理反応を明らかにすることも課題である。

本論文では、RRI と SPL を組み合わせることにより、満足感や優越感、集中度の度合いを評価できる可能性を示唆した。しかし、現段階では、個人差が大きく、生理量を用いた感情評価を行うまでには至っていない。被験者別に感情変化を整理し、個々の生理量の関係について分析をすると新たな結果が見られる可能性もある。このような分析を重ね、生理量と感情の関係を定量化(規格化)するために、個人差の問題をどのようにして解決するかが課題である。

生理量を用いて様々な感情を評価できるようになれば、個人の性格やその時の状況を加えて、総合的に判断することにより、ストレス状態を判定できるのではないかと考えている。将来の展望については、次節に述べる。

6-3. 将来の展望

将来の展望は、様々な感情を評価することによって、職場や学校生活におけるメンタルヘルスケアにつなげることである。また、それを更に発展させ、様々な健康障害や

精神疾患の一次予防の助けになることも展望のひとつである。一次予防を考えた場合、精神疾患の性質から、病識がない(本人が気づいていない)ため、自殺念慮をもつまでに症状が重症化してしまうという問題がある。テレンバッハ・H(医学者、ドイツ)は、精神疾患には発病する前から特徴的な性格があり(病前性格)、几帳面で責任感が強く、他者への配慮も強いメランコリー親和型性格の人はうつ病にかかりやすいといい[3]、現代ではその説が一般論として認識されている。このような性格の人は、自分一人で努力し、周囲にも気づかれることなく、症状が進行することがある。したがって、自身でコントロールしづらい生理反応を用いて、感情を推定することは有用な方法であると考えている。

また、本研究を進めるにあたり、企業で実際に働く方々からの生の声を聞いてきた。産業医や産業保健師などがおり、健康管理の行き届いている企業では、残業時間なども管理されていると思われる。しかし、実際には、そのような環境が整っていない企業、もしくは環境は整っていても社員が把握(利用)していない場合もあり、残業が続いて疲れていても、心の状態を客観的に評価できないことで、上司に対して訴えることができない、もしくは訴えても「君だけではない」と一喝されるだけだという声もあった。また、ある日突然退職した部下に対して、サインを見逃していたのではないかと、自分の指導や励ましの方法が間違えていたのだろうかと思悩む人もいた。また、近年では、健康管理の環境が整っている公立学校の教員の精神性疾患が急増したと文部科学省が発表しており、健康管理部門の充実だけでは解決できないこともあることが示唆される。このような状況から、感情評価システムを実現することは職場や学校生活を改善する上で必要であると考えられる。

Whangら[4]は、脈波、皮膚温、皮膚電気活動を計測するセンサーを組み込んだマウスを開発し、このマウスを用いたコンピュータ作業中の情動変化を捉える試みを行っている。また、鈴木ら[5]は、マイクロレーダーを用いて簡単に呼吸や心拍情報を計測できるシステムを提案している。本研究で感情との関連性が示唆されたRRIやSPLは、このような装置での計測が可能であり、感情評価機器への応用が期待できる。就業中の感情評価が可能となれば、「気づき」の助けとなり、職場や学校生活でのメンタルヘルスケアにつながることも期待される。感情評価システムのイメージを、図6-1に示す。このような評価システムを実現することによって、本人に自身の状態を気づかせて注意喚起を行ったり、産業医や上司などの健康管理責任者に知らせることで、心の健康状

態を客観的に評価することが可能となり、コミュニケーションのきっかけを作ったり、精神疾患の一次予防につながるものと考えている。

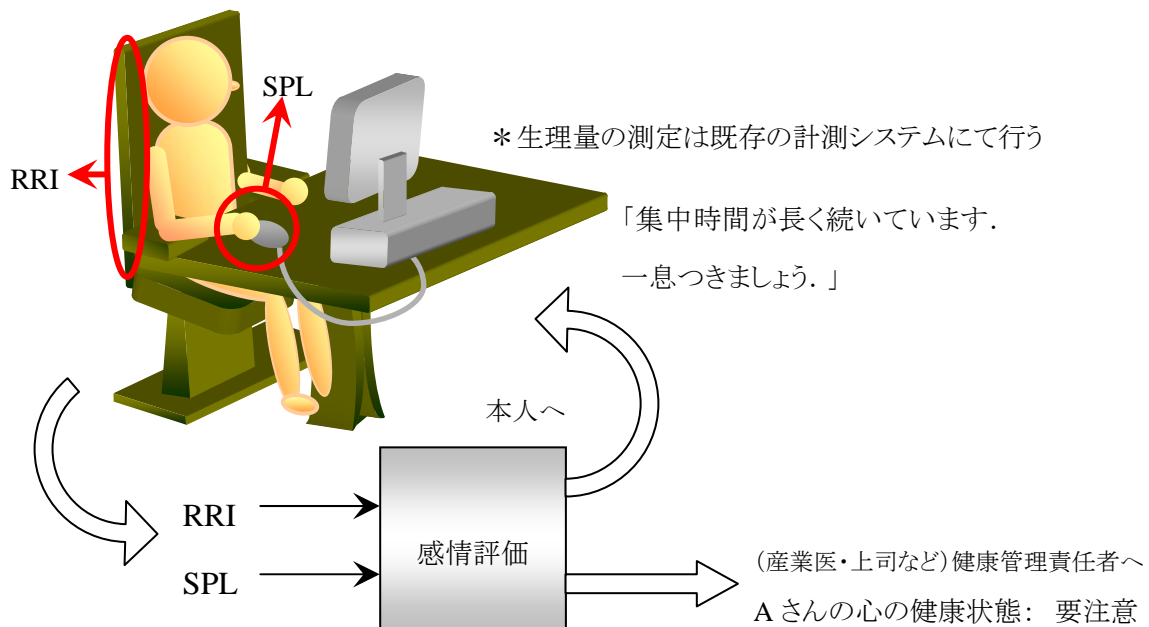


図 6-1 評価システムのイメージ図

参考文献

- [1] Kasprowicz, A.L., Manuck, S.B., Malkoff, S.B., Krantz, D.S.: Individual Differences in Behaviorally Evoked Cardiovascular Response: Temporal Stability and Hemodynamic Patterning, *Psychophysiology*, 27(6), 605-619, 1990.
- [2] Llabre, M.M., Klein, B.R., Saab, P.G., McCalla, J.B., Schneiderman, N.: Classification of Individual Differences in Contribution of Reactor Type Controlling for Race and Gender, *International Journal of Behavioral Medicine*, 5(3), 213-229, 1998.
- [3] H. テレンバッハ(著), 木村 敏(訳): メランコリー, みすず書房, 東京, 1985.
- [4] Whang, M.C., Lim, J.S., Park, K.R., Cho, Y., Boucsein, W.: Are computers capable of understanding our emotional states? In: D. Harris (ed.), *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*, pp.204-211, Springer, Berlin, 2007.
- [5] 鈴木哲, 松井岳巳, 藺牟田隼人, 石原雅之: マイクロ波レーダーを用いたメンタルストレスの非接触評価法に関する研究, 第 46 回日本生体医工学会大会プログラム・論文集(CD-ROM PS1-10-9), 2007.

謝辞

本論文は、九州工業大学大学院生命体工学研究科生体機能専攻生体機能システム講座生体機能代行システム研究室ならびに産業医科大学産業保健学部環境マネジメント学科環境心理生理学研究室において実施した研究成果をまとめたものである。

本論文をまとめるにあたり、一方ならぬご指導、ご教示をいただきました九州工業大学大学院生命体工学研究科の和田親宗准教授に心から感謝の意を表します。また、ご多忙な時間を割いてご検討頂き、貴重なご意見を賜った産業医科大学産業保健学部の三宅晋司教授、九州工業大学大学院生命体工学研究科の横井博一教授、九州工業大学工学研究院の田川善彦教授、鳥井正史教授に深く感謝申し上げます。

本研究を遂行するにあたり、訪問研究員として受入れてくださり、多くのご指導ならびに有益なご助言を頂きました産業医科大学産業保健学部の三宅晋司教授、山田晋平助教に心から感謝申し上げます。

さらに、本研究において実験や検討を行うにあたり、惜しみないご支援、ならびにご協力を頂きました産業医科大学、北九州大学、九州工業大学大学院生命体工学研究科の諸氏に心から感謝申し上げます。

最後に、長い間、温かく見守ってくれた家族に心から感謝申し上げます。

2010年3月

曾我 知絵

補足資料

補足1. 自律訓練法 (Autogenic Training: AT)

ドイツの精神科医であったシュルツ(1932年)によって体系化されたセルフコントロール法である。催眠に誘導された人が腕や脚に重たさや温かさを感じるという報告から、その感覚を自己暗示によって生じさせる催眠状態をつくることを考案した。

自律訓練法は、他者から誘導される催眠法と異なり、自分自身でいつでもどこでも行えるため、日常生活の多様な場面で行うことができる。具体的には、静かな部屋で、軽く目を閉じて、以下の7公式を繰り返し心の中で唱える。ただし、7公式すべてができる必要はなく、個人の心身状態によって訓練の段階はかわる。

- 背景公式: 気持ちがとても落ち着いている
- 第1公式: 手足が重い
- 第2公式: 手足が暖かい
- 第3公式: 心臓が静かに打っている
- 第4公式: 呼吸が楽になっている
- 第5公式: お腹が暖かい
- 第6公式: 額が涼しい

自律訓練法の訓練を通して得られる一般的な効果は、以下の通りである。

- 疲労回復
- 過敏状態の沈静化
- 自己統制力増加, 衝動的行動の減少
- 身体の痛み・精神的な苦痛の緩和
- 向上心の増進

<参考>

松岡洋一, 松岡素子: 自律訓練法 改訂版, 日本評論社, 東京, 2009.

補足2. sensory rejection / sensory intake

心拍変動の反応に違いをもたらす、刺激に対する心理的反応を指す。心臓血管系活動と心理学的反応との関係について、Lacey & Lacey(1978)は、取り入れ－拒絶説

(intake-rejection theory)を提唱した。暗算のように心理的な集中や認知的努力を必要とする時や見たくないものを見せられた時のような「環境の拒絶 (sensory rejection)」は R-R 間隔の減少(心拍数が増加), 刺激に集中・注目する時のような「環境の取り入れ (sensory intake)」は R-R 間隔の増加(心拍数の減少)に関係するとされている。

<参考>

Lacey, J.I., Lacey, B.C.: Somatopsychic effects of interoception, *Research in the Psychobiology of Human Behavior*, pp.59-73, John Hopkins University Press, Baltimore, 1978.

補足3. cardiac reactor / vascular reactor

血圧の上昇には、心拍数の増加 (cardiac reactor) と末梢血管の収縮 (vascular reactor) の 2 つの生理反応が関与する。どちらが優位であるかは個人によって異なり、Kathleen ら(1994)は、人種や持病(高血圧など)による違いについて検討も行っている。

<参考>

Kathleen, C.L., Turner J.R., Alan, L.H., Susan, S.G., Andrew, S.: Comparison of Cardiac Versus Vascular Reactors and Ethnic Groups in Plasma Epinephrine and Norepinephrine Responses to Stress, *International Journal of Behavioral Medicine*, 1(3), 229-246, 1994.

研究業績目録

1. 学術論文

- (1) 曾我知絵, 三宅晋司, 和田親宗: 計算課題遂行における自律神経系指標の変化, 日本人間工学会誌, Vol.45, No.5, 294-302, 2009.
- (2) 曾我知絵, 三宅晋司, 和田親宗: 難易度の異なる計算課題遂行時における感情変化と生理反応の関係, 日本人間工学会誌, Vol.45, No.1, 29-35, 2009.

2. 国際学会, 研究会議

- (1) Chie Soga, Shinji Miyake and Chikamune Wada: Relationship between Physiological Responses and Feelings Change induced by Mental Workload, 11th International Congress of the IUPESM, Medical Physics and Biomedical Engineering, 2345-2348, Munich, Germany, 2009.
- (2) Chie Soga, Shinji Miyake and Chikamune Wada: Differences in physiological responses to the intensity of mental stress, BIOSIGNALS2008, C1-326(CD-ROM), Funchal, Portugal, 2008.
- (3) Chie Soga, Shinji Miyake and Chikamune Wada: Recovery patterns in the physiological responses of the autonomic nervous system induced by mental workload, The Society of Instrument and Control Engineers Annual conference 2007, SICE2007 Proceedings 2A09-4 (CD-ROM), Takamatsu, Japan, 2007.
- (4) Chie Soga and Chikamune Wada: Quantitative Assessment of Physiological Stress Effects Correlated with Mood States, The Society of Instrument and Control Engineers Annual conference 2004, SICE2004 Proceedings TA1-12-3(CD-ROM), Sapporo, Japan, 2004.

3. 国内学会, 研究会議

- (1) 曾我知絵, 三宅晋司, 和田親宗: 計算課題遂行時の様々な感情状態に対する生理反応, 日本人間工学会第 50 回記念大会講演集, 488-489, 2009.

- (2) 曾我知絵, 三宅晋司, 和田親宗: 計算課題遂行における生理反応と感情の関係, 日本人間工学会九州支部第 29 回大会講演集, 9-10, 2008.
- (3) 曾我知絵, 三宅晋司, 和田親宗: 作業難易度に対する生理反応の差異, 日本人間工学会九州支部第 28 回大会講演集, 9-10, 2007.
- (4) 曾我知絵, 和田親宗: 指尖容積脈波による精神性ストレスの判定方法の提案, 日本人間工学会九州支部第 27 回大会講演集, 38-39, 2006.
- (5) 曾我知絵, 和田親宗: 指尖容積脈波情報と主観評価法を用いた精神負荷推定方法の提案, 第 21 回生体・生理工学シンポジウム論文集, 501-504, 2006.
- (6) 曾我知絵, 和田親宗: 指尖容積脈波情報を用いた精神性ストレス評価方法の提案, 日本人間工学会九州支部第 26 回大会講演集, 21-22, 2005 年.
- (7) 曾我知絵, 和田親宗: 指尖容積脈波情報を用いた精神状態推定方法の提案, 平成 17 年度バイオメディカル・ファジィ・システム学会九州・山口支部学術会議, 2005.