

作業時覚醒の生理心理的計測に関する研究動向

筑波大学心理学系 篠田 晴男

Psychophysiological measurement of arousal during mental works: A brief review

Haruo Shinoda (Institute of Psychology, University of Tsukuba, Tsukuba 305, Japan)

Research on mental works has started to get concerned with comfortable environments. Because, mental works under uncomfortable conditions are apt to increase mistakes. However, there were few studies about comfortableness during mental works from the view point of physiological measurement. So, examinations of physiological states during mental works is needed in order to get cues of comfortableness. In this review, arousal, vigilance and attention, which are deeply related to physiological states during mental works, were discussed, and a new method of measuring physiological states was proposed.

Key Words: arousal, vigilance, attention, physiological states, mental works.

我々は作業中、幾度かの眠気や一時的な覚醒の低下を感じた経験があるはずである。実際、このような意識がうつろな状態は実験手続きの中で経験的に排除すべく努力されている。また同様な意識状態はストレスフルな事態が継続した場合にもみられ、作業効率の著しい低下を招来させる。快適な作業環境の重要性が再認識される昨今、人間が適切な意識状態で作業を遂行しているか否か主観的（心理的）側面と客観的（生理的）側面の両側面から評価するシステム構築へのアプローチが望まれる。従来、作業時の意識状態¹⁾、主として覚醒に関する問題は、ヴィジランス・注意の問題とも関連して扱われてきており、中枢及び自律系生理指標をもとに、行動指標（反応時間等）との関係から検討されている。本稿では、まず、覚醒、ヴィジランス、注意について基本的なまとめを行い、中枢・自律系生理指標の変化として把握される点を整理する。次いで反応時間と生理指標との対応を論じた研究を概観し、作業²⁾時の意識状態評価の手段としての生理指標の問題点および今

後の課題を論じる。

1. 覚 醒

覚醒の研究は、1930年代に着手された作業遂行力と生理的活動性の変化についての一連の研究（Duffy, 1932; Freeman, 1939）に端を発する。その際、筋緊張と課題の性質・課題達成水準との関係において、生体の活動性のレベルを説明する概念として覚醒という用語は用いられた。さらに同様な概念として生体の活動性の増大を表す賦活の概念（Lindsley, 1952; Duffy, 1951, 1962）が提出された。Lindsley は賦活を深睡眠状態から過度の興奮状態にわたる連続的な変化とみなしたことから、このような変化を反映する生理的対件の追究が進んだ（Malmö, 1959）。脳幹網様体賦活系に関する神経学的研究からは、賦活系の作用・維持を全般性に担う神経系として、上行性網様体賦活系および汎性視床投射系の存在が重要視された（Hebb, 1955）。Bindra（1959）は生体の活動性全般を表す広い概念として覚醒を用い、活動性の程度を覚醒水準と呼んだ。また作業遂行との間に覚醒・賦活の最適水準を含む逆U字型の関係が想定された。しかし、負荷の種類・作業の性質によって逆U字型関係に適合しない例が指摘されたことから、遂行成績の量的処理に

1) 意識は意志・思考作用を含む広範な上位概念であり、本稿で問題とした意識状態は覚醒状態とはほぼ同様な過程をさすものとして論じた

2) 本稿では作業を“一定の課題を達成するための継続的活動”とした望月（1985）の定義に従う。

とどまらず、内容(質)的な違いに踏み込んだ議論の必要性が示唆される。こうした経緯は、覚醒が心理過程を含む概念ではあるが、主に生理過程に立脚し、行動・生理指標に反映される生体の活動性に関する潜在的過程を表す概念としての意義を方向づけている(望月, 1985)。

2. ヴィジランス

ヴィジランスは、もとはレーダ監視作業のような、まれに出現する重要な標的を検出するため準備している状態をさして用いられた用語である(Mackworth, 1950, 1968)。また単純反応時間課題やトラックキングなど単調さを伴う作業では、時間経過に伴ってヴィジランスのレベルが低下することが知られており、作業能率の維持という点から、ヴィジランスの低下をとらえる試みは促進されてきた。

ヴィジランスの低下は、(1) 知覚面での感度の低下(2) 標的を報告する判断基準の変化といった心理的側面から指摘されるが、また生理的な検討も試みられてきた。

生理的な手法に基づいてヴィジランスを検討した報告の多くは、中枢の認知的情報処理活動を反映する事象関連電位に関するものである。特に標的の検出に対応して300ms前後の潜時をもって生じる P_{300} 、刺激の予期状態を反映する随伴性陰性緩電位変動(contingent negative variation: CNV)等の内因性電位成分が用いられた。Parasuraman (1983)は P_{300} 振幅が実験時間の経過に伴い低下することを指摘し、Davies & Parasuraman (1977)は標的の検出率の高低と P_{300} 振幅の高低および潜時の短縮・延長が対応すると報告した。Mackworth (1968)はヴィジランス事態でみられた電位の低下を刺激に対する神経系の慣化に基づいて説明を試みた。その後ヴィジランス事態と受動的事態では慣化の速さが検討され、差が認められなかったことから、電位の低下をヴィジランスの低下に限定して論ずることは困難とされた。

3. 注意

注意は、選択・集中・維持といった過程を含む情報処理機構である。情報の処理には系列処理と並列処理の両側面があり、系列処理には処理容量に限界があるため情報の選択が必要である。入力刺激の選択が実施されるレベルが物理的属性レベルで生じるのか、意味レベルまで持ち越されるのかという点で初期選択・後期選択の立場がある。選択機構の解明

を目的とした選択的注意の研究は、反応時間を用いた心理学的研究にくわえ、事象関連電位を指標とした検討が進んでいる。選択的注意の事象関連電位による研究について、沖田(1989)のレビューでは、初期選択および初期選択後の2次的選択機構が示唆され、詳細に論じられている。

一方、Kahneman (1973)は、注意の定位・情報選択過程へ努力(effort)という独自の概念を導入した。彼は、注意が刺激処理に必要な処理容量の配分を行うとし、また処理容量は努力の消費の程度から推測されると考えた。また作業遂行に多大な注意・努力を要する妨害刺激事態では、いわゆるafter-effectとして遂行の阻害・欲求不満耐性の低下および認知的葛藤解決能力の低下等が認められることも指摘された(Grass & Singer, 1972)。Kahnemanは、努力の消費の程度を検討する指標として瞳孔の大きさが最も有効であるとし、Hess & Plot (1964)、Beatty & Wagoner (1978)はこの瞳孔の拡大・縮小のパターンをもとに課題の困難度および認知的処理のレベルの程度を変えて検討した結果、認知的な負荷の増大に応じて瞳孔が散大する傾向を認めた。

ところでKahnemanの理論では、異なる課題を同時に扱う際の干渉が問題となる。Navon & Gopher (1980)は脳における処理の局在性を仮定した並列処理の可能性を提唱したが、個々の系における処理のタイム・シェアリング処理を含めた系列的側面を否定するものではない。また処理容量が多く必要とされる高次な処理では、反復による特定の刺激に注意を向けている制御の処理が、自動的処理に移行する(Shiffrin & Schneider, 1977)。その結果努力の消費が抑制されると考えられた。また自動化に伴う努力の抑制は覚醒の低下を惹起させる一因となることも予想される。

4. 覚醒・ヴィジランス・注意

覚醒と注意について、Lacy (1967)は自律系生理指標の変化は単一の覚醒機序で説明困難なことを指摘した。彼は、視覚的な注意課題のもとで心拍と皮膚抵抗の変化を検討し、皮膚抵抗の増大と平行して心拍が低下することを観察し、変化の方向がひとつであることを暗に仮定してきた従来の覚醒論に対し、変化の方向が異なる事態が生じることを示した。Lacy & Lacy (1970)は自律系の生理的反応の変化の方向を注意の方向性を基に論じた。自己の内側への注意集中(刺激入力拒否)は、心拍低下、皮膚抵抗・血圧の上昇を伴うが、外界に注意を向けた場

合（入力受け入れ）は、逆の関係を生じる。特に注意事態では、感覚系受容器からの抑制信号により、心拍は低下し、感覚入力に対する脳の感受性が増強すると考えられた。彼らはこの関係を説明するために、心臓血管系と中枢とのフィードバックループ・モデルを提案した。このモデルでは、心臓血管系の亢進により中枢への求心性信号経路の遮断が生じるとされた。しかしその後の追試により、このような遮断が必ずしも生じないことが指摘され、Lacy はその後、心臓血管系の変化は、むしろ種々の刺激に対する注意の必要性に応じ、他の生理指標と独立に変化するとしてモデルを修正した。

また Gale (1972) は注意の持続過程における警戒性の増減に伴い背景脳波振幅が低下・増大することを指摘し、脳波に反映される警戒性の変化を中枢における注意の処理能力の配分変化に求めた。しかし、こうした振幅低下は覚醒水準の上昇に限らず、下降する事態でも観察され、背景脳波振幅値の変化を単純に警戒性ないし覚醒の変化で対応づけて考えることには無理がある。

一般に覚醒とヴィジランスは、ともに時間的経過に伴い各器官の活動性が漸時的に低下することを想定しているが、異なる側面も指摘されてきた。覚醒の低下は、まれな刺激の検出が長時間にわたり要求されるヴィジランス課題に限らず、単調な、単純作業の繰り返しを継続しておこなう事態で課題属性にかかわらず生じる (Fruhstorfer & Bergstorm, 1969)。O'Hanlon et al. (1979) は単調な条件で惹起される覚醒の低い状態で、 α 、 θ 帯域パワ量の増大、CNV の振幅低下等の脳波上の変化が観察されるとした。一方ヴィジランス課題下では、自律系生理指標の活動性に低下がみられるものの、検出率等の作業成績低下とは独立した変化を示すことを指摘した。(Eason, Beardshall, & Jaffee, 1965; O'Hanlon, 1970)。また脳波、特に α 、 θ 帯域パワ量と作業成績の対応を示唆する報告は多くあるが (Davies & Krkovic, 1965; Horvath, Frantik, Kopriva, & Meissner, 1975; Gale, Davies, & Smallbone, 1977; O'Hanlon & Beatty, 1977)、中枢系指標と自律系指標の相違を含め、ヴィジランスの低下を単一な覚醒理論で説明づけることは困難なことが推察される (Parasuraman, 1979; Warm, 1977)。すなわち、ヴィジランスの低下は覚醒の低下、あるいは神経系の慣化と直結した現象とみなすことは困難で、むしろ中枢における情報処理活動の変化を主として反映する。一方覚醒の変化は、背景にあってヴィジランス・レベルに間接的かつ全般的な影響をおよぼすものと仮定される。Goodman (1970) は覚醒の中枢を網様

体に、ヴィジランスの中枢を前頭葉の神経系に仮定し、網様体が前頭、すなわちヴィジランス・レベルを積極的に制御していると考えた。彼は被験体としてサルを用い、ヴィジランス課題における検出率、検出速度が網様体のマルチプル・ユニットの活動性と対応すると報告した。

以上、注意・ヴィジランスが覚醒と独立して働く可能性が示唆されるとともに、単一の覚醒理論でこれらの働きを説明することが困難であることが理解される。Pribram & McGuinness (1975) は一過性の応答を決定する覚醒系、レディネスを決定する賦活系、そして両系の調節を努力系が行うという相補的回路による多元的な活動の調節を提唱している。覚醒理論は複数の生理指標間の変化を説明するうえで、多次元な過程ないし系で構成されるモデルが追求される方向にある。同時に各系を司る部位の探索、中枢における情報処理の心理的データとの適合性について検討が求められる。本稿では、作業遂行時、注意（もしくは努力）および注意を維持する（ヴィジランス）活動が営まれるが、背景にこの活動を支える覚醒の働きがあり、また実際の作業遂行は課題状況、目標指向性（動機づけ）に規定され（望月、1985）、それに応じて駆動される系の関与の割合が変化するとおおまかに把握して考える。次に、作業遂行時の背景活動としての覚醒変動の一般的な推移を検討する上で、中枢系および自律系生理指標の特性を、反応時間との対応および予測に関する研究を概観し、考察を試みたい。

覚醒と脳波及び自律系生理指標

—反応時間と生理指標の対応について—

反応時間を行動指標とした生理心理的活動性について、既に1930年代に、Woodworth (1938) が、Van Bieruliet の実験報告を引用している。そこでは心拍の日間変動が反応時間に影響を与え、かつ心拍が最も高くなる際に、最短の反応時間が得られることが記された。反応時間を行動指標として、覚醒水準との対応を論じた研究は、覚醒理論研究の中核として、継続してすすめられてきた。まず覚醒水準に対し、反応時間の描くU字関係が議論された。しかし、これらの研究では覚醒の実時間的な変化に追従した量化をおこなうという問題が未だに解決されていない。また反応時間と生理指標の関係を検討した初期の研究の多くは、被験者間計画で検討を行っていたが、被験者内での検討の重要性が指摘されるようになった (Carroll & Anastasiades, 1978; Malmö, 1959)。被験者内では、覚醒の生理指標として

複数の指標を用いた場合、指標間のずれがみられ、被験者内相関が低いことも指摘された (Lacy & Lacy, 1958, 1970, 1971). Duffy (1972) は、主として、指標ごとに異なる反応出現潜時、および瞬時的な覚醒変化をその原因と指摘している。

1. 背景脳波

(1) 覚醒と背景脳波の変化

Lindsley (1952) は、高い情動状態から死に到る状態を8段階のカテゴリーに分類し、各々について対応する背景脳波の特徴、意識状態の特徴、行動能力を整理した。彼は背景脳波の波形の変化を指標としたが、一般には、直接周波数分析を実施し、パワ量ないし優勢な周波数を指標とした検討が行われている。また脳波の有効な解析法に事象関連電位があるが、その抽出過程で実時間的な情報が犠牲にされるため、時系列的な覚醒状態の推移と対応づけて検討されることは少ない。

背景脳波と反応時間との関係では、警告刺激に対して生じる α ブロッキングと反応時間の関係についての議論がある。Lansing, Schwartz, & Lindsley (1959) および Fedio, Mirsky, Smith, & Parry (1961) は警告刺激から反応刺激までの時間に応じて、反応時間および α ブロッキングは並行した変化を示すと指摘した。一方、Hermelin & Venables (1968) および Thompson & Botwinick (1966) は、 α ブロッキングと反応時間は対応した変化を示さないとする結果を報告し、一致した見解は得られていない。

反応刺激のみ提示される事態では、脳波の周波数と反応時間の間に相関が認められ、脳波周波数が高い程、反応時間も短縮されるとした報告がある (Morrel, 1966; Morris, 1977; Surwillo, 1963, 1969; Williams, Granda, Jones, Lubin, & Armington, 1962)。しかし、反応時間はパワ量、特に α 波量と関連しないという報告もあり (Lansing, et al., 1959; Fedio, et al., 1961)、周波数の高低が示す特徴は、パワ量で表現される量的特徴とは独立に、反応時間と対応する側面がある。

Townsend & Johnson (1977) はヴィジランス課題を用い、周波数の分析対象帯域幅を広くしてパワ量と反応時間を検討した結果、次の2点を指摘した。まず安静時の3~7Hzのパワ量と反応時間の間に関係は認められなかったこと、さらに実験に先だって断眠が要求された被験者では、8~20Hz帯域脳波パワ量の増大が、反応時間の短縮に先行し観察されることを報告した。

(2) 背景脳波の優勢周波数と反応時間

背景脳波の周波数、特に位相の時間的特性と課題処理に伴う反応時間との関係について、Surwillo (1963, 1969, 1975) は検討し、背景脳波の優勢な律動周期が個人の情報処理に要する時間の速さを左右する要因であると論じた。彼のモデルは背景脳波において優勢に出現する律動の1位相(周期)を単位としたゲーティング・システムを仮定したものである。彼はこの概念を認知的量子理論 (cognitive quantum theory) と呼び、1ゲート1反応処理を想定し、かつ背景脳波の周波数をゲーティング周波数とみなした。彼の理論に従うと、速い周期の優勢な背景脳波を示す者ほど、反応時間の短縮が想定される。しかし、追試では仮説どうりの結果が得られたとはいえない。背景脳波自体、常に変化するものであり、一部を切り出して論議するには、不安定な要素がつきまとう。篠田 (1983) は、後頭部の背景脳波 α 帯域ピーク周波数の高・低と視覚系の情報処理速度との関係を、独立に測定し検討した。視覚系の処理速度の指標として個人の継次的二重閃光刺激に対する識別閾を用い、約50人の被験者について調べた結果、安静時 α 帯域ピーク周波数の高低と識別閾の長短の間に有意な逆相関を得た ($r = -.52^*$, $p < .5$)。結果、背景脳波 α 帯域ピーク周波数の高・低が知覚的情報処理の速度に関与する可能性が示唆された。しかし、同時に検討した安静時 α 帯域ピーク周波数の日内および日間変動には、無視のできない変動がみられ、個人内で一定した α 帯域周波数を仮定するには問題があることも示唆された。

2. 自律系生理指標

(1) 覚醒と心拍の変化および反応時間

Hebb (1955)、Malmö (1959)、Duffy (1962)、Lindsley (1952) らが提案してきた覚醒理論では、心拍もまた覚醒水準を決定づける側面を反映する指標となりうるとされた。一方、Lacy (1959) は、既に触れたように、心拍のみで覚醒レベルを評価することに異義を唱え、覚醒は多元的に評価すべきであるとした。さらに Orbist (1976) は、反応時間課題下で、心拍および筋電位の変化を観察し、緊急時、もしくは警戒刺激提示時に、心拍は低下し、平行して筋電位も低下することを示唆した。彼は心拍の低下と平行した筋活動のノイズ低下が、感覚刺激の処理に対し、中枢を解放させる働きを担うものとみなし、運動系と心臓血管系の間に、強いリンクの存在する可能性を示唆した。

Lacy & Lacy (1974) は心拍と反応時間の対応を

検討する際、刺激オンセット時もしくはオンセット直前の心拍が最も重要であると指摘した。また実際に、被験者内での反応時間と心拍の関係を検討する際、両者の関係を線形性で説明することが難しいとする報告が多い (Jennings, Averill, Opton, & Lazarus, 1971; Jennings & Wood, 1977; Salzman & Jaques, 1976; Stern, 1976)。さらに Nowlin, Eisdorfer, Whalen, & Troyer (1971) は、心拍を、心臓ペースを外的に変化させる方法で人工的に操作し、反応時間を検討したが、有意な反応時間の変化を認めなかったと報告した。彼らは、人工的な心拍の変化は覚醒による心拍の変化と質的に異なる現象と論じた。

(2) 覚醒と皮膚電気活動の変化および反応時間

皮膚電位反応 (Skin Potential Response: SPR) は皮膚電位水準 (Skin Potential Level: SPL) に重畳した急峻な変動である。SPR は刺激強度に応じてその振幅・波形が変化する。SPR 波形の変化は、覚醒水準に依存して変化する SPL の高低に左右される。強い刺激に対して、陽性の変動ないし陽性の二相性 SPR 波形が出現しやすい。このような SPR の特徴について新見・渡部・山崎・堀・丹治 (1971) は、覚醒水準と SPL および SPR 波形との模試的關係を提案し、次のように説明づけた。すなわち覚醒水準の上昇に伴い SPL は一層陰性方向へ変位するため、相対的に陽性成分の振幅が増大する。一方、刺激に対する慣化などによって覚醒水準が低下すると SPL は陽性方向へ変位するため、SPR の陽性成分はマスクされ陰性成分が相対的に顕著となる。

通電法により測定される皮膚コンダクタンス・心拍等の自律系指標と反応時間について検討をおこなった Wilkinson, El-Beheri, & Giesecking (1972) は、これら指標の値が中程度の水準にある場合、安定した情報処理がおこなわれ、同時に系列反応時間課題が最も効率よく遂行されると論じた。次いで、Andreassi (1966) は、最も皮膚コンダクタンス値が高い試行で最短反応時間が得られ、逆に値が中程度ないし低くなると、反応時間が延長されると報告した。SPR 振幅と反応時間については、Nosai (1971) が静かな条件とノイジーな条件で各々検討し、静かな条件でのみ相関がみられたことを報告し、両者の関係について非線形的關係を示唆した。

以上、中枢系および自律系生理指標により示される生理的覚醒と、覚醒の変化に伴う反応時間の短縮・延長が検討されてきた。しかし①実験計画上の問題として、対象とされる覚醒水準の変動範囲が報

告により異なる、もしくは一部に限局されている点②生理的測度の問題として、覚醒の実時間的な変化を定量化する際の、指標の選択と処理方法に関する点③行動指標との対応を説明するモデルに関する問題として、単純な直線的關係と同時に曲線的關係に留意すべき点があり、考慮されていく必要がある。

作業時覚醒に関する多次元計測法

①③の点について Sersen, Clausen, & Lidsky (1982) は曲線性 (非線形性) の分析を加味した多次元計測による研究を試みている。彼らは、以下の点を工夫し、反応時間と生理指標との対応關係を改めて検討した。

(1) 選択反応課題を、数セッションおこない、被験者内での反応時間の標本数を大きくし、より広範囲の反応時間標本を獲得する。

(2) 心拍、皮膚コンダクタンス、脳波 (パワおよび周波数) 指標による多次元計測により反応時間との關係を検討する。

(3) 重回帰分析により①各々の自律系生理指標と反応時間との独立性②關係の線形性もしくは非線形性の程度③これらの要因から説明される反応時間の分散の割合、を検討する。

(4) 同様に、刺激前および刺激-反応間の脳波パワ量・周波数と反応時間分散の關係を検討する。

実際の実験では、1セッションに280刺激が提示された。刺激は、高・低純音×刺激間間隔 (ISI) 平均4.5秒・平均8.5秒>で組み合わせられた4刺激が、疑似乱数系列に従って提示され、被験者はどちらか一方の純音に対して選択反応を要求された。結果、以下の点が指摘された。

a) ISI が長い条件では反応の欠損が多く生じた。しかし、ISI の長短は反応時間に影響を与えなかった。反応時間の短縮は、高いトーン刺激に反応する事態でのみ認められた。

b) 自律系指標の値の変化の方向は、1セッション全体のレベルによって左右された。また個人内での自律系指標と反応時間との關係は、曲線的な關係であった。なお、心拍は刺激前2秒~刺激後4秒間の平均心拍周期、皮膚コンダクタンス値は刺激時点の値を用いた。

心拍 全セッションで最短の反応時間は心拍周期が中程度のレベルで観察され、U字型の關係が示唆された。心拍周期が短いセッションでは、最長の心拍周期において最短反応時間が観察されたが、このような事態はLacyの仮説と一致する。一方、心拍周期が長いセッションでは、逆になる。

皮膚コンダクタンス 皮膚コンダクタンスが最小レベルのセッションで、全セッションを通じ最短の反応時間が観察された。一方、皮膚コンダクタンスの増大は皮膚コンダクタンスの低いセッションで反応時間の延長を、高いセッションで短縮を生じた。

セッション内の変化についてみると、皮膚コンダクタンスは線形性が強く、一方心拍は、非線形的な逆U字形の変化を示す。

c) **脳波** 脳波の分析は、刺激前1秒間および刺激から反応時点までの時間について実施された。刺激前、刺激-反応間でのパワー(1~35Hz)の増大は反応時間の延長を生じ、同時に周波数も低かった。逆に刺激前後のパワーの低下・刺激後の高い周波数は反応時間の短縮を生じる。刺激前の周波数が高いほど反応時間が短縮されるという報告(Morrell, 1966; Williams, Granda, Jones, Lubin, & Armington, 1962)と一致した。また反応時間と、刺激から反応までの脳波の周波数との対応関係は、Surwillo (1963, 1969)の結果を支持するものであった。

反応時間と各生理指標との関係が示唆されたのは①脳波周波数・パワーと反応時間の線形的な対応関係②全セッションを通じた心拍周期と反応時間とのU字関係である。しかし全セッションを通じた反応時間と皮膚コンダクタンスとの逆U字関係は覚醒理論と相違した。従来の理論の見地からは、低い覚醒レベルでは皮膚コンダクタンスの低下および心拍周期の延長が想定されるが、さらに覚醒の低下がすすむと、皮膚コンダクタンスの値に対しては反応時間が短縮され、心拍に対しては延長されるといった逆の変化が生じることになる。すなわち最短反応時間は、皮膚コンダクタンスの低いセッションにおける最低の皮膚コンダクタンス値、かつ心拍周期の短いセッションにおける長い心拍周期を背景とし、指標の変化の方向が矛盾した状況で生じている。

Sersen et al. が指摘した自律系生理指標間の複雑な関係の背後には、統合システムとしての生体活動という側面が示唆される。Donchin (1978)はCNVの研究から、皮質の興奮性と遂行速度の関係を「皮質系は一定の遂行を維持するような調節をおこなっている」と論じたが、彼らは同様な立場から、観察された自律系の指標の変化について、以下のように言及した。低い皮膚コンダクタンスに伴う反応時間の短縮は、安静状態のもとでもたらされる最適なパフォーマンスを反映し、またLacy et al (1970, 1974)が指摘した心拍の減速がみられる注意集中事態では、心拍の加速は逆に比較的弛緩した状態の獲得をもたらす。さらに覚醒水準が高い注意集中事態でみられる反応時間の延長は、注意の拡散・退屈さに拮

抗しようとするための努力が増大した結果と考え、高い覚醒水準での作業遂行力低下は遂行力維持へ向けた努力の結果を反映するとした。

以上、中枢系および自律系生理指標と反応時間の対応関係を軸に覚醒理論を検討する際の問題点を、特に実験計画および生理指標の処理という点でSersen et al.の研究を例に論じた。自律系生理指標と反応時間の間には、各セッションの平均的な覚醒水準によって、セッション内において生理指標の変化に対応した反応時間の長短が左右されることが指摘された。このような対応関係は作業水準の維持を目的とした人間の覚醒に関する巧妙な生理的機序の存在を推測させる。

まとめと今後の課題

覚醒理論の研究は覚醒を反映する生理的变化に単一の機序を想定することから始まり、Lacy他により指摘された複数の生理指標間のずれを吸収する方向で多元過程モデルへと発展した。種々の系からなるシステム論への展開は、脳内に複数の覚醒に関連した下位システムを司る部位の存在を示唆し、おもに動物を用いた脳内過程の探索がおこなわれている。人間を対象とした研究は近年ポリグラフ測定装置の改良により多チャンネル・多現象の扱いが容易になり普及がすすんだ。しかし、得られた多次元データをどのように整理し表現するのかという点は、レーダーチャートを用いて多次元情報で視覚的に直接表現する方法(寺下・大須賀, 1986)等試みられてはいるが、試行錯誤の段階を脱しているとは言い切れない。

各生理指標のみで覚醒を検討する際には、Sersen et al.が指摘したように、反応時間との対応から描かれる関係は非線形性を含んだ複雑な関係であり、整理のしかたによっては、いかなる対応も見いだせない危険性がある。篠田・吉田(1987)はITIを40秒と長く設定した単純反応課題を用い、背景脳波指標を中心に覚醒変動を検討した。刺激前後の脳波波形について視察による定性的パタン分類を試みた結果、反応時間との非線形的な関係が示唆された。さらに θ ・ α ・ δ 帯域パワー量による分析結果もパタン分類をある程度裏付けるものであった。定量化の方法は実験・検査方法等に応じ工夫がなされるため、共通した方法は議論されていない。特に覚醒の実時間的な変化を捉えるには、必要な分析区間をどのように定めたらよいかという問題は、いまなお探索的課題である。現段階では指標ごとに適した覚醒の記述、定量化を追求することは、生理的な状態の記述・

行動の予測を意図した簡便な評価法の提供という点で有用なものであろう。

今後、覚醒を客観的に評価するための共通な実験・検査法および分析法についてデータベースづくりを含めて議論されてよいと思う。覚醒に関する研究は覚醒理論の構築および対応関係の検討に終始しがちであったが、人間工学領域では眠気の防止、作業能力維持という点から覚醒水準を生理的に計測する試みがとりあげられてきた。生活技術としての応用的側面からは作業負荷およびストレス評価への適用、作業能率維持に関するバイオフィードバック的応用が期待される。こうしたニーズに対し、覚醒理論の構築、あるいは反応時間に対する対応・予測性の検討という基礎的検討に限らず、覚醒を評価する仮説的な定量的手法の開発が行われる必要がある。

今後、作業遂行時の実時間で変動する覚醒状態の推移過程自体を情報として活用することは有効な手段と考えられる。現在、背景脳波の持つ実時間の変化を量化の比較的容易なパワ量を用いて定量化し、覚醒変動の推移を測る道具として利用することを考えている。

引用文献

- Andreassi, J.L. 1966 Skin conductance and reaction time in a continuous auditory monitoring task. *American Journal of Psychology*, **79**, 470-474.
- Beaty, J., & Wagoner, B.L. 1978 Pupillometric signs of brain activation vary with level of cognitive processing. *Science*, **199**, 1216-1218.
- Bindra, D. 1959 Motivation, a systematic reinterpretation. New York: Ronald.
- Carroll, D., & Anastasiades, P. 1978 The behaviour significance of heart rate: the Lacey's hypothesis. *Biological Psychology*, **7**, 249-275.
- Davies, D.R., & Krkovic, A. 1965 Skin conductance, alpha-activity, and vigilance. *American Journal of Psychology*, **78**, 304-306.
- Donchin, E. 1978 Discussion. In D.A. Otto (Ed.), *Multidisciplinary perspectives in event-related brain potential research*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, Pp. 659.
- Duffy, E. 1932 The relationship between muscular tension and quality of performance. *American Journal of Psychology*, **44**, 535-546.
- Duffy, E. 1957 The psychological significance of the concept of "arousal" or "activation". *Psychological Review*, **64**, 265-275.
- Duffy, E. 1962 *Activation and Behavior*. New York: Wiley.
- Eason, R.G., Beardshall, A., & Jaffee, S. 1965 Performance and psychological indicants of activation in a vigilance situation. *Perceptual and Motor Skills*, **20**, 3-13.
- Fedio, P., Mirsky, A.F., Smith, W.J., & Parry, D. 1961 Reaction time and EEG activation in normal and schizoaffective subjects. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, **13**, 923-926.
- Freeman, G.L. 1939 The optimal muscular tensions for various performances. *American Journal of Psychology*, **51**, 146-151.
- Fruhstorfer, H., & Bergstorm, R.M. 1969 Human vigilance and auditory evoked potentials. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, **27**, 346-365.
- Gale, A., Haslum, M.N., & Penfold, V. 1971 EEG correlates of cumulative expectancy and subjective estimates of alertness in a vigilance type task. *Quart. Journal of Experimental psychology*, **23**, 245-254.
- Gale, A. 1977 Some EEG correlates of sustained attention. In R.R. Mackie (Ed.), *Vigilance: Theory, Operational Performance, and Physiological Correlates*. New York: Plenum. Pp. 263-283.
- Gale, A., Davies, R., & Smallbone, A. 1977 EEG correlates of signal rate, time in task, and individual differences in reaction time during a five-stage sustained attention task. *Ergonomics*, **20**, 363-376.
- Goodman, E.H., & Polt, J.M. 1970 Vigilance, the psychological refractory period, and brain-stem multiple-unit activity. *Exp. Neurol.*, **27**, 139-150.
- Grass, D.C., & Singer, J.E. 1972 "Urban Stress". Academic Press, New York and London.
- Hebb, D.O. 1955 Drives and c.n.s. (conceptual nervous system). *Psychological Review*, **62**, 243-254.
- Hermelin, B.M., & Venable, P.H. 1964 Reaction time and alpha blocking in normal and severely subnormal subjects. *Journal of Experimental Psychology*, **67**, 365-372.
- Hess, E.H., & Plot, J.M. 1964 Pupil size in relation to mental activity during simple problem-solving. *Science*, **143**, 1190-1192.
- Horvath, M., Frantik, E., Kopriva, K., & Meissner, J. 1975 EEG theta activity increase coincides with

- performance decrement in a monotonous task. *Activitas Nervosa Superior*, **18**, 207-210.
- Jenning, J.R., Averill, J.R., Opton, E.M., & Lazarus, R.S. 1971 Some parameters of heart rate change: perceptula versus moter task requirements, noxiousness, and uncertainty. *Psychophysiology*, **7**, 194-212.
- Jennings, J.R., & Wood, C.C. 1977 Cardiac cycle time effects on performance, phasic cardiac response, and their intercorrelation in choice reaction time. *Psychophysiology*, **14**, 297-307.
- Kahneman, D. 1973 *Attention and Effect*. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Lacey, J.I., & Lacey, B.C. 1958 Verification and extension of the principle of autonomic response-sterotypy. *American Journal of Psychology*, **71**, 50-73.
- Lacy, J.I. 1967 Somatic response patterning and stress: Some revisions of activation theory. In M.H. Appley & R. Trumbull (Eds.), *Psychological Stress. Issues in research*. Appleton, New York. Pp. 14-44.
- Lacey, J.I. 1959 Psychophysiological approaches to the evaluation of psychotherapeutic process and outcome, In E.A. Rubinstein & M.B. Parloff (Eds.), *Research in Psychotherapy*. Wasington. D.C.: American Psychological Association.
- Lacey, J.I., & Lacey, B.C. 1970 Some autonomic-central nervous system interrelationships. In P. Black (Ed.), *Physiological correlates of emotion*. New York: Academic Press. Pp. 205-227.
- Lacey, J.I., & Lacey, B.C. 1974 Studies on heart rate and other bodily processes in sensorimotor behaviour. In P.A. Orbist, A.H. Black, J. Brener & L.V. Dicala (Eds.), *Cardiovascular psychophysiology*. Chicago: Aldine. Pp. 538-564.
- Lansing, R.W., Schwartz, E., & Lindsley, D.B. 1959 Reaction time and EEG activation under alerted and nonalerted conditions. *Journal of Experimental Psychology*, **58**, 1-7.
- Leavitt, F. 1968 EEG activation and reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, **77**, 194-199.
- Lindsley, D.B. 1952 Psychological phenomena and the electroencephalogram. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, **4**, 443-456.
- Mackworth, N.H. 1950 Researches on the measurement of human performance. Medical Research Council Special Report 268. HMSO, London.
- Mackworth, J.F. 1968 Vigilance, arousal, and habituation. *Psychological Review*, **75**, 308-322.
- Malmo, R.B. 1959 Activation: a neuropsychological dimension. *Psychological Review*, **66**, 367-386.
- 望月享子 1985 作業経過の心理学 東海大学出版会
- Morrell, L.K. 1966 EEG frequency and reaction time—a sequential analysis. *Neuropsychologia*, **4**, 41-48.
- Morris, C.J. 1971 Electroencephalographic and evoked potential correlates of reaction time and visual discrimination performance. *Psychonomic Science*, **23**, 193-195.
- Navon, D., & Gopher, D. 1980 Interpretation of task difficulty in terms of resources: Efficiency, load, demand, and cost composition. In Nickerson, R. (Ed.), *Attention and Performance*. Erlbaum, Hillsdale, New Jersey.
- 新見良純・渡部尊己・山崎勝男・堀 忠雄・丹治哲夫 1971 皮膚電位活動と覚醒準位 神経研究の進歩, **15**, 127-139.
- Nowlin, J.B., Eisdorfer, C., Whalen, R., & Troyer, W.G. 1971 The effect of exogenous changes in heart rate and rhythm upon reaction time performance. *Psychophysiology*, **7**, 186-193.
- O'Hanlon, J.F. 1970 Vigilance, the plasma catecholamines, and related biochemical and physiological variables. *Human Factors Research Inc. Technical Report*, 787-2.
- O'Hanlon, J.F. & Beatty, J. 1977 Concurrence of electroencephalographic and performance changes during a simulated radar watch and some implications for the arousal theory of vigilance. In R.R. Mackie (Ed.), *Vigilance: Theory, Operational Performance, and Physiological Correlates*. New York: Plenum. Pp. 189-201.
- O'Hanlon, J.F., Weber, A., Sancin, E., & Grandjean, E. 1979 Central nervous system, mood and performance changes during prolonged repetitive manual work. *Ergonomics*, **22**, 578.
- 沖田庸嵩 1989 事象関連電位と承認情報処理—選択的注意の問題を中心として— 心理学研究, **60**, 320-325.
- Orbist, P. 1976 The cardiovascular-behavioral interaction as it appears today. *Psychophysiology*, **13**, 95-107.
- Parasuraman, R. 1979 Memory load and event rate control sensitivity decrements in sustained attention. *Science*, **205**, 924-927.

- Parasuraman, R. 1983 Vigilance, arousal and the brain. In A. Gale & J.A. Edwards (Eds.), *Physiological correlates of Human Behaviour*, **2**, Pp. 35-55.
- Pribram, K.H., & McGuiness, D. 1975 Arosal, Activation, and Effort in the Contorol of Attention. *Psychological Review*, **82**, 116-149.
- Salzman, L.F., & Jaques, N. 1976 Heart rate and cardiac cycle effects on reaction time. *Perceptual and Moter Skills*, **42**, 1315-1321.
- Sersen, E.A., Clausen, J., & Lidsky, A. 1982 Reaction time and psychophysiological activity. *Perceptual and Moter Skills*, **54**, 379-390.
- Shiffrin, R.M., & Schneider, W. 1977 Controlled and automatic human information processing. II. *Psychological Review*, **84**, 127-190.
- 篠田晴男 1983 継時的二重光刺激の弁別と視覚誘発電位 筑波大学人間学類卒論
- 篠田晴男・吉田倫幸 1987 生理指標による作業遂行時の覚醒変動の検討—自発脳波を中心として—筑波大学心理学研究, **9**, 21-27.
- Stern, R.M. 1976 Reaction time and heart rate between the GET SET and GO of simulated races. *Psychophysiology*, **13**, 149-154.
- Surwillo, W.W. 1963 The reaction of simple response time to brain-wave frequency and effects of age. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, **15**, 105-114.
- Surwillo, W.W. 1969 Relationships between EEG activation and reaction time. *Perceptual and Morter Skills*, **29**, 3-7.
- Surwillo, W.W. 1975 The EEG in prediction of human reaction time. *Biological Psychology*, **3**, 79-90.
- 寺下裕美・大須賀美恵子 1986 バイオフィードバックにおける生理指標の多次元評価 日本心理学会第50回大会発表論文集, 40.
- Thompson, L.W., & Botwinick, J. 1966 The role of the preparatory interval in the relationship between EEG alpha-blocking and reaction time. *Psychophysiology*, **3**, 131-142.
- Townsend, R.E., & Johnson, L.C. 1979 Relation of frequency-analyzed EEG to monitoring behavior. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, **47**, 272-279.
- Warm, J.S. 1977 Psychological processes in sustained attention. In R.R. Mackie (Ed.), *Vigilance: Theory, Operational Performance, and Physiological Correlates*. New York: Plenum. Pp. 623-644.
- Wilkinson, R.T., El-Beheri, S., & Gieseking, C.C. 1972 Performance and arousal as a function of incentive, information load, and task novelty. *Psychophysiology*, **9**, 589-599.
- Williams, H.L., Granda, A.M., Jornes, R.C., Lusin, A., & Armington, J.C. 1962 EEG frequency and Finger-pulse volume as predictors of reaction time during sleep loss. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, **14**, 64-70.
- Woodworth, R.S. 1983 *Experimental psychology*. New York: Holt.