

緊急事態における人間行動

黒田 勲*

マン・マシン・システムの発展に伴い、人間に対しては、緊急事態への対処能力が次第に要求されるようになってきた。本報告においては航空事故という緊急事態にみられる人間行動の質的・量的変容状態と、その評価方法の例について述べた。さらにこの状態に対処する方法についても言及した。

Human Behavior in an Emergency

Isao KURODA*

With the development of the man-machine system, the ability to cope with an emergency has become increasingly required of man. This report discusses the qualitative and quantitative changes of human behavior in airplane accidents, methods to appraise them and ways to cope with such an emergency.

1. はじめに

人間が道具を使用し始めた歴史は大変古く、人間の能力を高め、その生活を向上させ、生活圏を拡げてきた。人間の進化の歴史において、その獲得された能力は遺伝されることなく、常に原点に引き戻され、あらためてゼロからの積み上げを行ってきた。一方、道具は時代を経るに従って新しい機能、工夫の累積をし、次第に発達し、巨大な力、広範囲の作業、高速度等の能力を有するようになってきた。人間と機械が共同の生活を始め、既に2世紀以上の年月がたっており、近年、生産拡大という社会的要求と相まって、機械文明の発展は著しいものがある。このようなマン・マシン・システムの巨大化の過程において、その要素であるマンあるいはマシンの適合性は必ずしも十分とはいえない面がある。その結果、システム自身、あるいはシステム相互の破たん、不均衡、食い違い等が重大な災害をもたらすようになってきた。これは単にそのシステムの崩壊にとどまらず、重大な環境への影響、社会の恐慌をきたすまでになってきた。近年、技術再評価の反省とともに、あらためてマン・マシン・システムのあり方について真剣な論議がかかわされている。

もっとも進歩していると考えられている航空機の分野においてもその例外ではない。詳細な航空事故調査と、徹底した対策を実施し、過去の多くの事故教訓を生かし、過剰なまでに安全性を追求してきたといわれる第三世代のジェット旅客機、ボーイング

747もDC-10も事故を起こし、多数の犠牲者を出している。

航空事故に限らず、種々の事故の原因は次の4つのMで代表されるといわれる。¹⁾

- 1) MAN(人的要因)
- 2) MACHINE(機械的要因)
- 3) MEDIA(環境、マン・マシン・インターフェイス等)
- 4) MANAGEMENT(管理機能)

機械面の信頼性向上に伴い、事故原因としての人的要因の占める割合が次第に大となり、航空事故においては約85%、交通事故においては90%を越える部分が人的要因に起因するといわれている。人的要因に対して、考えられるあらゆる面からの対策が講じられてきたが、その減少の度合いは著しくない。

近年、各種の対策を講じても減少しない人的要因追究の反省を含めて、全世界的に人的要因の見直しの動向があらわれている。これは人的要因について行動科学的な詳細な分析や情報科学的なアプローチがなされていくに従って、人的要因を誘発する外的要因が存在することが判明してきた。すなわち、人間が作り出した機械も、その機械を作動させる環境も、究極的にはすべて人間の作り出したものである。とすれば特定の自然的条件を除いて、すべての事故や不具合は、設計した者、材質を選択した者、その運用方法を考えた者を含めて、すべて人的要因に起因するのではないかという考え方に立脚して見直してみる必要が生じてきた。

さてふり返って、人的要因そのものを子細に観察すると、航空機環境や自動車運転のような動的マン・マシン・システムの中の人間特性はその置かれた状

*防衛庁航空幕僚監部衛生部長
Chief of Medical Division, Air Staff Office,
Defence Agency.
原稿受理 昭和52年9月21日

態によって大きく変動することを認めないわけにはいかない。何の問題もない通常の状態においてみられる人間像と、異常、あるいは緊急状態においてみられる人間像は、同一の人間であるにもかかわらず、大変違っており、全く別人のような行動をとるものである。

通常の間特性で当然できるはずの操作が、異常状態においては、全く不可能であったり、また逆に、通常状態においては決してできないようなことを見事に実施していることを見ることができる。

マン・マシン・システムの中での人間と機械の役割分担のうち、人間に要求される特性の主要なものとして、異常状態に対する対処能力がある。これは人間の情報処理機能の中で、機械に比較して著しくすぐれている記憶容量の大きさ、自己学習能力、予期しない事態に対処する創造的・総合的能力である。いかに機械が進歩してもこれらのすぐれた人間能力は最終的に残存しておかなければならない役割分担であると考えられる。

しかしながら現在作り出されている機械系や運用方式のなかには、通常の間特性と、緊急事態での人間特性を混同し、緊急事態での操作が非常に困難で、大きな過誤を誘発する可能性のある設計や方策がまま見られる。

種々の機械や、システムを考えると、緊急状態における人間特性が通常時のそれと著しく異なり、その異なった特性を正確に把握していなければならないのではなからうかと考える。

2. 緊急状態における人間特性

緊急状態における人間行動の特長は、人間の持っている最も原始的な特性のあらわれであると考えられている。すなわち、自分自身に独自の防護機能をもたない古代の裸の人類が異常な危険に遭遇した場合に示す反応がそのまま現代に受け継がれてきたとされている。

緊急状態における人間反応を考えると、常に2つの因子について考える必要がある。ひとつは外界から生体に加わる外的要因で、セリエのいわゆる「ストレッサー」に該当し、ストレッサーの質、大きさ、時間的関連性が問題となる。いまひとつは生体内部の反応態勢である。これは遺伝的素質、経験、知識、対処の自信等を含めた内的準備態勢である。この外的・内的要因のからみ合いの結果として生ずる生体反応が「ストレス」といわれる非特異的生体反応で

ある。²⁾

同一のストレッサーが作用しても、それに対する以前の経験があり、対処方策について十分自信のある場合にはストレスとならないが、初心者で経験の少ない者にとっては大きなストレスとなってあらわれる。たとえばある航空機の異常状態は、経験の浅いパイロットにとっては大きなストレスとなり、反応や行動の大きな乱れが生ずるが、常にこのような状態を体験しているテスト・パイロットにとっては、さほど大きなストレスとはならない。このように緊急事態とは、外的要因によって、一義的に決定される状態ではなく、それを受ける個人の内的要因も加味して定義される必要がある。

ストレス下における人間の生理機能の変容状態については、H・セリエやW・B・キャノンの研究が有名である。緊急時の生体反応の原因の細部機構の解明には、なお不明の点が多いが、生理学的には主に副腎髄質ホルモン、すなわちアドレナリンの分泌による作用で、全般的には迅速な活動、たとえば闘争とか逃走のための身体的準備状態を考えればよい。

キャノンはこの反応を緊急反応と呼んでおり、心拍数増加、脈拍の充実により酸素が速やかに循環できるようになる。脾臓は収縮して貯えられていた赤血球を放出し、筋肉の活動に備えて、肝臓に貯蔵されているグリコーゲンが血中に流出する。皮膚、内臓の血管は収縮して血液は脳へ再配分され、呼吸は深くなり、気管支も拡張する。瞳孔は散大し、血液凝固作用により傷口は閉鎖しやすくなり、損傷した組織の回復を促進する物質をもつリンパ球の供給が増加する。以上のような変化は秒単位あるいは分単位の短時間で生じてくる。³⁾

このような状態が長く続く場合には、セリエのいわゆる「汎適症候群」と呼ばれる一連の複雑な生体反応、ある部分は非可逆的变化をとまうようになる。

さて、われわれの問題とするところは、このような状態に陥った人間がいかなる行動をとるか、しかもそれらの行動の質的・量的変容がどの程度であるのかということである。緊急状態での人間行動については、災害発生時の人間行動、戦争時の人間行動等、比較的大きな集団行動が古くから研究されている。⁴⁾

ピエール・ジャネは緊急時の反応をいくつかの段階に分けて説明している。

- 1) 努力の段階 (あるいは防衛段階)

自分自身にその事態に対処する能力が残存しており、異常状態と心理的に戦っている状態で、かえって行動の促進を伴う。いわゆる闘争の反応が示される時期である。

2) 疲労の段階

心的エネルギーが過度に消費され、意欲低下がみられ、行動の鈍麻、抑制が生ずる。

3) 敗北の段階

心的エネルギーの減退が極度で、行動はほとんど停止し、放心状態となる。

上に述べたいくつかの段階は、ストレスラーが十分に大きく、しかも持続している場合に、人間の機能が次第にうち負かされていく段階を示したものである。うち負かされずにストレスラーをはね返すときは、勝利の感情を生じ、行動は活発となり、反応は速やかとなる。

3. 緊急事態における人間の定性的行動変容

われわれが航空事故調査の過程で遭遇する最も典型的な緊急事態は、ジェット戦闘機からの脱出の例である。この状態は航空機自体あるいは航空機の運動が異常状態となり、色々な対応処置を行なっても回復することができず、ついに航空機から脱出せざるを得なくなった例である。高速度で飛行している航空機からの脱出には、火薬あるいはロケットを使用して20Gに近い加速度をつけて座席ごと射出し、落下傘降下を行なうものである。脱出とともに急激な風圧、大きな加速度が作用し、秒単位以下で次々と作動する脱出保命装置を適確に操作していく必要がある。

脱出に成功をした74例について調査した結果を人間の情報処理過程に従ってあげてみると次のとおりである。⁵⁾

(1) 入力段階

1) 単一知覚情報に対する偏重

異常な指示あるいは動きをする計器などにとらわれすぎる。

2) 正常情報の無視

正常状態または正常範囲の指示の計器情報などについては重点を置かないか、無視してしまう。

3) 知覚情報内容の変形

色彩、形態が変化または変形してくる。また動きが非常に早くみえる。

4) 知覚対象の転動

短時間で多量の情報を得ようとするため、対象

が動きすぎて、情報内容が質的に低下する。

5) 情報をとろうとする意識水準の低下

「疲労の段階」以上に進んだ段階にみられるもので、目は動いているが、情報入手の役割を果していない。

6) 知覚伝達の麻痺

「敗北の段階」に相当するもので、精神的にも神経的にも麻痺した状態となる。

(2) 情報処理段階

1) 情報総合能力の質的・量的減退

いろいろの計器類から自分の正しい姿勢を知るとか、エンジンの不具合状態を正しく診断する能力が低下する。

2) 総合情報からの抽出能力の低下

最も重要な情報だけを選出、抽出する能力が低下する。

3) 記憶情報との比較対象能力の低下

記憶されている情報と正確に比較対象して、発生事象の定義を下す能力が低下する。

4) 記憶情報が円滑に引き出されない。

記憶しているはずのことを、とっさに思い出すことができない。

5) 判断された内容の再点検機能の低下

思いついたことが正しいか、誤っているかをいま一度再点検してみるだけの余裕がとれない。

6) 定量的判断能力が低下し、定性的となる。

7) 余裕時間を過小評価し、思考過程を省略する。

8) 判断が全く不能となる(重大なストレスの場合)。

9) 自分で記憶していないと思っていたことまで思い出す(ストレスが弱い場合)。

(3) 出力段階

1) 習慣的操作を行なう。

2) 操作のOrientationが悪くなる。

間違っ隣接するハンドルやレバーを動かす。

3) 力の制御が悪くなる。

過大な、不必要な力を用いる。

4) 筋肉の緊張度が高いため、円滑な操作が困難となる。

5) 操作自体からのFeed backがきかなくなる。

ロック機構のあるハンドルなどをロックを通り越して押してしまう。

6) 2つ以上の協調性を必要とする操作が不可能となる。

7) 過剰な、しかも急激な操作を行なう。

とができる。このような手法は操縦動作のように急速にストレスの変動のある行動解析には非常に有効な方法である。航空機だけでなく、動的なマン・マシン・システムの設計、評価、改善に広く活用することが可能である。

航空機操縦操作分析には、さらにそのシステムの慣性、反応性を加味して各操作の困難度の比較をする研究も実施されている。⁸⁾

このような行動面からの緊急度や困難度の定量化は従来あまり実施されていないが、特定の操作について具体的分析が可能であり、今後広く活用される可能性がある。

5. 緊急事態における生体反応の評価

前項までは、主としてパフォーマンスの面からストレスの評価、定量化の試みを述べたが、もうひとつの大事な尺度は、生体そのものの示す反応である。緊急事態に対処する生体の準備態勢を検査する方法としては、次に述べる心理学的方法がある。

1) 知覚テスト

閾値、フリッカーテスト、知覚速度、知覚保持、注意、弁別

2) 運動テスト

安定性、トラッキング、協調性

3) 知覚-運動テスト

反応時間

4) 認知テスト

問題解決、概念形成、条件づけ及び学習、融通性テスト

5) 情動テスト

直接観察及び面接、自己評価、投射法

またストレスの表現形としての生体反応を直接測定する方法としては次のようなものがある。

1) カテコールアミンの測定

2) ACTH及び副腎ステロイドの測定

3) 甲状腺ホルモンの測定

4) 皮膚電気反射(GSR)

5) 心拍数

6) 血圧変動

7) 容積脈波(プレシスモグラム)

8) 呼吸

9) 筋電図

10) 脳波

11) 音声分析

以上の測定法については、各々、多くの研究成果

が発表されている。本報告においては、最近、著者らが実施した、心拍数の評価方式と音声分析について述べてみたい。

(1) 心拍数の評価

緊急時における生体反応を知る方法として、以前より広く使用されている。心拍数測定は記録方法が容易である点、即応性のある反応である点、動的負荷下でも記録が可能になった点などが、広く用いられる理由で、最近では電子工学的進歩に伴って、長時間記録の分析も簡単にできるようになった。

緊急度の評価方式として、最も簡単なものは、時間経過に伴う心拍数の増減をみる方法である。この方法は生体反応の時系列的傾向を知ることは可能であるが、尺度化が困難である。これはストレスの増加に伴って、どのような増加形態をとるかが明らかでなく、また生体反応には一定の上限が存在する。さらに動的環境においては、筋労作による心拍数増加と、精神負荷によるそれとを分離することが困難である。

Luczak & Laurig (1973) は心拍数変動の各種の数学的評価と精神負荷について検討を加えている。心拍間隔をひとつずつ比較して、となり合う前後の心拍間隔の最高値の頻度をあらゆる関数と、心拍間隔差に重みづけをした関数とが比較的に精神負荷と直線的関連性をもっているとしている。⁹⁾ Sayers (1973) は心拍数のタコグラムの周波数分析を実施し、血圧変動、温度変化、呼吸の影響を分離して考慮する必要があり、心拍数変動そのものの解析はあまり意味がないとしている。¹⁰⁾

われわれもカルジオタコグラムの周波数分析や、呼吸、血圧変動との相互相関等の分析を実施してみたが、操縦というような動的環境においては、呼吸影響は比較的少なくなり、血圧変動だけが最後まで影響を与えているのではないかと考えられる。最も簡単な評価法として、平均心拍数と、その時点での標準偏差の2次元展開により、ある程度の精神負荷を見ることができないのではないかと考えている。Fig. 3は、安静時(R)を原点として、精神緊張状態として航空交通管制(ATC)、飛行前点検(PFC)、水平飛行(L.F.)、曲技飛行(Acro)、離陸(T/O)、着陸(L/D)、着陸復行(GoAr)をとったが、ほぼ放物線の上ののってくる。また実験室内のトラッキング・テストでは心拍数は上昇せずに、標準偏差だけが低下する。また飛行中のエンジン故障(Eg.F)も急激な標準偏差の低下を伴う。一方、身体負荷を主体とす

る加速度負荷(約5 Gz)、トレッドミル(中等度—TM(med)、高度TM(max))では、心拍数増加と比例して標準偏差が低下することが知られる。

以上のように、緊張度は、心拍数の増加を確かに伴う。まだ余裕のある操作を実施している場合には標準偏差が大きい、切迫した危険性を感じている場合には心拍数増加とともに、標準偏差は小さくなる。

さてこれらの心拍数変動のうち、どのような変化のときに、どのようなパフォーマンスの変容が生ずるかが問題であるが、これらについてはなおデータの収集が必要であり、現在のところまだ結論をうるに至っていない。

(2) 音声分析

実際に発生した緊急事態において、その生体反応を調査することはほとんど不可能である。緊急事態に遭遇した人にインタビューを行なう方法があるがこれも定量化にはほど遠いものである。

筆者らは、航空機の緊急事態発生時の音声記録テープを分析して、現実の場面での緊張度を調べ、ほぼその定量化を行なうことができることがわかった。

この方法は丹羽が実施した音声の基本周波数変動を調べるもので、音声分析に用いるソナグラフの記録に現れてくる縦縞、すなわち声帯振動間隔の変化率(VSSR)を平静時のそれと比較する。音声の基本

周波数の測定にはこの外に音声のフーリエ解析、濾波器を用いる方法等色々の試みがあるが、短い音声の分析には必ずしもすべての方法が適用できるとは限らない。¹¹⁾

筆者らは14例の実際の航空事故の分析を行ない、173個所の交信部分を抽出して解析した。一方、航空事故調査報告書から、交信部分に見合う状態を次の3つに分類し、交信部分の分析結果と対象させてみた。¹²⁾

- 1) 正常期(Normal phase) — 何ら異常を認めない飛行状態
- 2) 切迫期(Urgent phase) — 何らかの異常が発生してから緊急状態に至るまでの状態
- 3) 緊急期(Emergency phase) — 生命の危険が著しく大となった状態

結果はFig. 4に示すとおりで、VSSRの変化は正常期は $10.7 \pm 3.5\%$ の範囲の短縮を示し、切迫期では $27.1 \pm 9.7\%$ 、緊急期では $43.9 \pm 12.8\%$ の短縮をきたす。声帯振動間隔が短縮するということは、音声全体が高い声になるということである。Fig. 4に示すように9段階に分類することができ、1～3段階は正常期、4～6段階では切迫期、7～9段階では緊急期とすることができる。

実際の事故例について、音声変化と、前記の行動分析から得られた操縦の困難度(C値)との関連性を

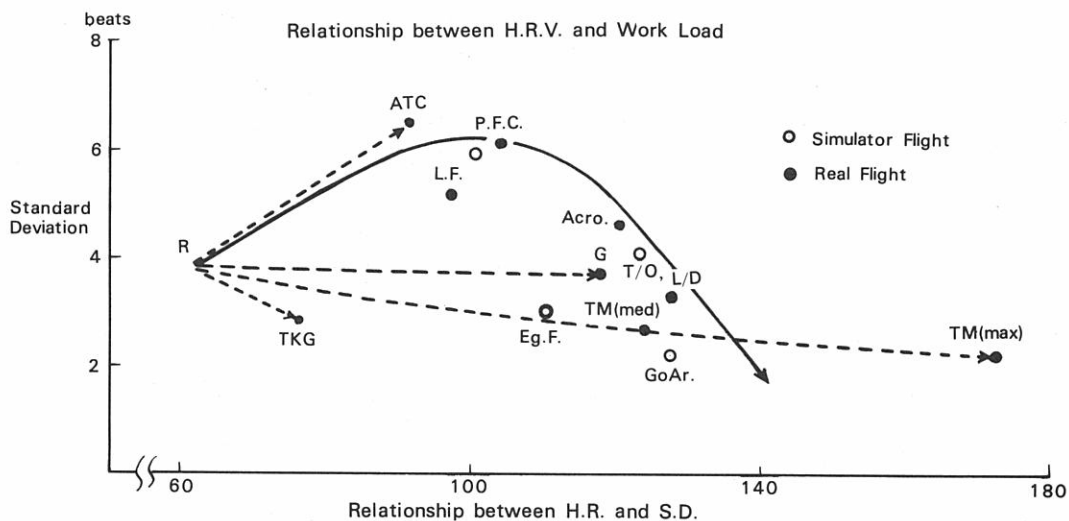


Fig. 3 精神的及び身体的負荷と心拍数変動及びその標準偏差
Heart rate and its standard deviation on mental and physical loads

Rest(R), Air traffic control(ATC), Preflight check(PF.C), Acrobatic Flight(Acro), Level flight(LF), Take off(T/O), Landing(L/D), Go around(GoAr), Engine failure(Eg.F.), G load(G), Tracking task(TKG), Tread mill-medium(TM(med)) and Tread Mill-maximum(TM(max))

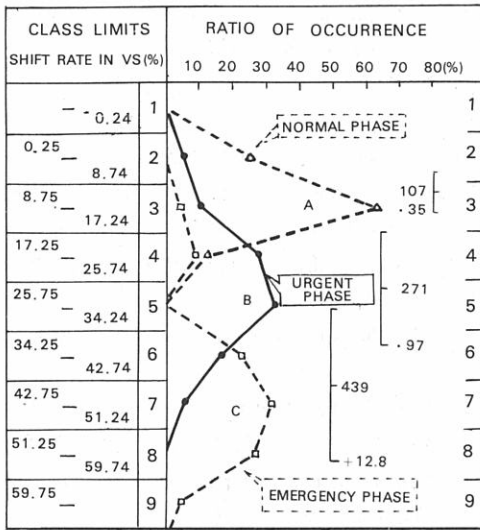


Fig.4 緊急段階と声帯振動間隔変化率の分布
Distribution of vibration-space shift rate of voice in each stage of mental load during actual aircraft accidents

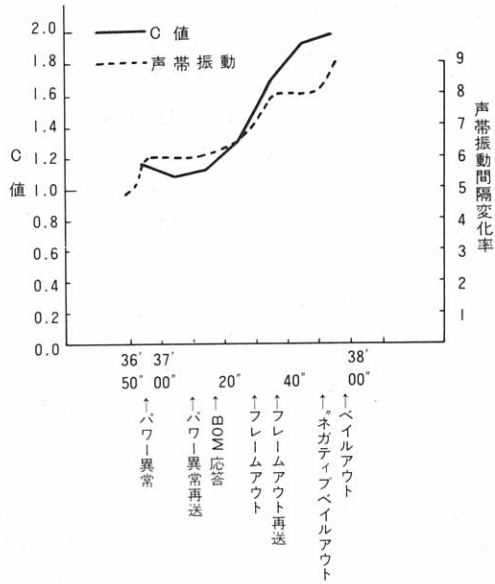


Fig.5 航空事故における音声分析結果と操縦困難度
Vibration-space shift rate and complexity of aircraft control in the actual accident

みると、Fig. 5 のとおりである。この例は燃料系の不具合が生じ、低高度でエンジン始動を行なったが不成功で、ついに脱出した例であり、音声変化からの緊張度と、行動分析面からの困難度がよく一致していることがわかる。困難度が 1.2 を越えると操作間違い等のパフォーマンスの乱れが生ずる可能性があり、音声分析では 6 段階以上の緊急期に相当する。経験度の低い操縦者や、全く予期しない異常状態が発生してその対処措置が明らかでない場合には、VSSR は急速に緊急期に入り、誤操作や誤判断が多くなり、死亡する例も多くみられる。

6. おわりに

緊急事態における人間行動の研究は、実験室内で完全に再現することが困難であり、また実際の緊急事態においては科学的調査が困難であるとともに、その状態がおのおの異なり、包括的成果を得ることが著しく困難である。いきおい形態の異なる多数の例を、長期間かけて集積し、必要部分について実験を繰り返して解釈の手掛りをつかむ努力を継続しなければならない。

他方、マン・マシン・システムにおける人間機能への要求度は、異常状態、緊急事態での処理をすることの重みが次第に増加してきている。この場合の人間機能の正確なパターンを作り上げ、判断、操作

の間違いの発生しないデザイン、運用方法を創り出すなければならない。

緊急事態が発生した場合、人間が緊張状態になり、種々の生体反応が生じてくるのは人間特性上やむを得ないことであり、緊急事態においても、十分に実施しうる対策とは、その状態でも誤りなく知覚し、正しい判断をし、容易に操作しうる器材のデザインが最も大切なことである。いたずらに人間の能力向上、教育成果に頼っている限りは緊急事態から抜け出すシステムにはなり得ないのではないかと思われる。緊急事態における人間行動の解析が前記のように十分であるとは思えないが、現段階において考えられる対策について概略を述べてみたいと思う。

(1) 知覚に関する対策

- 1) 標示がよく目立つ位置、大きさ、強さをもっていること。
- 2) 緊急事態の種類がはっきり判るように数を少なくすること。
- 3) 単一標示が単一の不具合を示すように単純化すること。
- 4) 緊急事態の標示は確実で、正確であること。時々故障をする標示は信用されなくなる。
- 5) 警報はランプのフラッシング、音の断続等、繰返しをすること。
- 6) 視覚以外の知覚機能、音、振動等をも用いて

2重、3重とすること。

- 7) 警報等を手動で止めた場合も、他の操作で自動的にリセットされること。

(2) 判断に関する対策

- 1) 不具合点の診断が容易であり、あまり考えなくてもできるようにする。
- 2) 操作の優先順序が直ちに判断しうるようにすること。
- 3) 参照すべき、マニュアル、チェック・リスト等に緊急事態の対策部分が一目でわかるようにしておく。
- 4) 記憶されていることが必ずしも思い出せないことがあることを考えて対処する。
- 5) 助言を受けられる通信系の設置。

(3) 操作に関する対策

- 1) 単純な操作でできること。
- 2) 操作しやすい位置、方向をもつこと。
- 3) 操作レバー、スイッチ等は十分な大きさ、強度をもつこと。
- 4) まぎらわしいレバー、スイッチ等と位置が近づいていないこと。
- 5) 間違っても触っても動かない程度の操作上の固さをもつこと。
- 6) 手からのフィードバックを得られる特異な形態をもつ器材等であること。
- 7) 操作の結果の成否がわかるようにすること。
- 8) 2人以上の操作である場合は、協調性の隙間のできないようにすること。
- 9) 過大な作業量にならないこと。
- 10) 操作の流れが円滑にできること。
- 11) 最終操作がきめられていること。

(4) 教育に関する対策

- 1) 習慣化するまで緊急操作を反覆練習すること。
- 2) 臨場感が出るシミュレーター等を用いること。
- 3) 意識水準の低下をきたさないような作業環境、作業時間配分をすること。
- 4) 考えられる緊急事態の原因、対策の原理を正確に教育すること。

今後とも緊急事態における人間行動という困難な研究の態勢を確立する必要性を痛感しており、より具体的な、しかも広範囲なマン・マシン・システムに適用できる対策を立てることのできる手掛りをつかみたいと考えている。色々な立場からのご助言、ご批判をいただくことができれば幸甚である。

参考文献

- 1) 黒田 勲：航空事故の人的要因について、日本航空宇宙学会誌、p.p.243～250, 1971.
- 2) Ruff, G. E. : Psychological and Psychophysiological Indices of Stress, Unusual Environments and Human Behavior, The Free Press of Glencoe, p.p.33～59, 1963.
- 3) 山下 格：情動の精神生理、金原出版、1970.
- 4) Meerloo, J.A.M. : Patterns of Panic, International Universities Press, 1950.
- 5) 黒田 勲：航空機の緊急事態における人間行動、人間工学 p.p.154～163, 1969.
- 6) 航空医学実験隊：航空機操縦の行動分析に関する研究、1975.
- 7) Naval Air Systems Command : Development of Criteria and Method for Evaluating Trainer Aircraft Effectiveness, Report 2-55100/7R-50392, 1967.
- 8) Siegel, A. and Wolf, J. : A Model for Digital Simulation of Two Operator Man-Machine Systems, Ergonomics, p.p.557～572, 1962.
- 9) Luczak, H. and Laurig, W. : An Analysis of Heart Rate Variability, Ergonomics, p.p.85～97, 1973.
- 10) Sayers, B.M. : Analysis of Heart Rate Variability, Ergonomics, p.p.17～32, 1973.
- 11) 丹羽聖尚：緊急時における音声変容の研究(1)及び(2)、航空医学実験隊報告、p.p.51～58, 1970, p.p.22～27, 1971.
- 12) 藤原治ほか：緊急時における音声変容の研究(3)及び(4)、航空医学実験隊報告、p.p.9～16, 1976, p.p.45～55, 1976.