

|                  |  |
|------------------|--|
| Title            | 産業心理学における情報理論の適用   |
| Sub Title        | Application of information theory to industrial psychology   |
| Author           | 金子, 秀彬(Kaneko, Hideaki)  |
| Publisher        | 三田哲學會  |
| Publication year | 1961   |
| Jtitle           | 哲學 No.39 (1961. 3) ,p.141- 166   |
| JaLC DOI         |  |
| Abstract         | Since Hick suggested that the reaction time increased linearly as a function of the information transmitted, various investigations on this subject have been made. In the present paper an attempt has been made to summarize the results of our recent experiments in this field and to find some available hypotheses which may provide a solution for the problems in industrial psychology. such as fatigue, accident proneness, development of skill, etc. There are two aspects in the results of reaction time experiments; one is the lawfulness of the mean reaction time, and the other the variability of each reaction time. The former leads us to the theory of "single channel" and the theory of "psychological refractory" period, the latter shows the individual differences, the degree of individual adjustment to his environment. As for the mental fatigue, the results led us to the hypotheses that the fatigue was caused not by the lower efficiency of local responses but by the disorder in central control mechanisms. From this viewpoint, it may be said that the "fatigue test" attempting to measure the degree of fatigue, by the scale of sensitivity of a single organ is inappropriate for its purpose. |
| Notes            |  |
| Genre            | Journal Article  |
| URL              | <a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00150430-00000039-0153">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00150430-00000039-0153</a>  |

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

# 産業理学における情報理論の適用

金子 秀 彬

Wiener のサイバネティクス (Cybernetics)<sup>(註26)</sup> と Shannon の情報理論<sup>(註25)</sup>は科学の多くの領域で急速に関心と呼んだが、その原理は人間活動の諸原理にも共通するところから早くより心理学の一部の研究を促進せしめるものとなつた。ある意味においては、Miller の逆説<sup>(註28)</sup>の如く心理学領域に関する限りにおいては Wiener の所説に何等新しいものはないかもしれない。しかし、Cybernetics という境界領域の開拓が個々の孤立した科学の専門領域を結合しつつあることに対しては、多くの功績がみとめられるであろう。

すでに心理学の諸領域における情報理論的考察はかなりの量にまで集積されている。これらに関しては Quastler<sup>(註24)</sup> (1955), Attneave<sup>(註14)</sup> (1959) のまとめたもの、戸田<sup>(註12)</sup>、高田<sup>(註13)</sup>、吉田の展望したもの等があるが、本稿では従来の研究で比較的明確な結論となり且われわれの研究と関連するものを要約し、併せてわれわれが産業心理学領域において情報理論的に考察し現在までに得た諸結果とそれにもとづいて試みた推論について述べてみたい。

## 1 絶対判断と点位置判断の確度に関する研究

絶対判断の確度を情報量的にみた研究は、おそらく心理学における情報

理論の最初の適用例である。これについては、音の高さ、音の強度、正方形の大きさ、円の大きさ、直線上の点位置、線の傾き等についての一次元的判断、音の高さと音の強度を同時に判断するとか、平面上の点位置（判断はタテ坐標とヨコ坐標でなされる）を判断する如き二次元的判断、大きさと色相、明度を同時に判断する如き三次元的判断、平面上のいくつかの点を同時に判断する如き多次元的判断の場合が Hake, Garner, McGill, Pollack, Eriksen<sup>(註14)</sup> 等によつて研究されている。これらの研究結果は、一次元的判断における情報伝達量はほぼ 3.2 bits<sup>(註29)</sup> を項点とするとの結論にまとまっている。また刺激判断の次元数が多くなるほど次元数の増加に比例はしないが伝達情報量の多くなることも明かにされている。たとえば一次元的点位置の判断では 3.2 bits の情報伝達量があるが、二次元的点位置（平面上の点）判断では、情報伝達量は2倍の 6.4 bits にはならず 5 bits ぐらいを限度とする。これらは刺激の受容における人間能力の限界を明かにするものと云える。作業場面にある作業者は、つねに計器であるとかその他全ての作業面の変化・表示から情報を受容してそれに応答する仕方で作る。この際どれだけの情報を一つの情報源から受容し得るかは人間機械系設計の一基準となる。

## 2 情報伝達速度

<sup>(註20)</sup> Hick は Shannon の情報理論を選択反応時間に適用し、反応時間が伝達情報量に比例することを発見した。たとえば Hick 自身の測定結果では1秒当りの伝達情報量は 5.9 bits となつた。古典的資料である Merkel<sup>(註27)</sup> (1885) の選択反応時間測定値に同様の適用をすると1秒当りの伝達情報量は 5.2 bits となつた。<sup>(註21)</sup> Hyman の結果では 5.7 bits、方法は少しちがつたが Crossman の結果では 3.3~7.3 bits となつた。<sup>(註24)</sup> Quastler と Wulff

が各種の連続作業、ピアノ、タイプ等について行つた測定では 5 ~ 24 bits となつた。以上では、選択反応時間の場合は大体毎秒速度 5 ~ 6 bits 位で一致しているとみられる。他の実験方法によるとかなりちがつた値が得られているが、これは選択反応ではその情報量が正確に算定できるのに対し、実験条件において情報量の算定に問題があるためではないかと考えられる。

われわれはいくつかの実際の生産的作業について、作業の所要時間を単位情報量当りの時間でみたがそれでは作業種別がちがう場合でも略一定して、1 bit 当り 0.10 秒から 0.14 秒ぐらいになつている。たとえば、英文タイプの場合毎分 230 字なら 1 字の作業情報量を <sup>(註30)</sup> 1.85 bit と計算するとき情報伝達速度は 0.14 秒/bit である。300 口に郵便をキーの操作で分類するソ連のオートソーター作業においては、1 通当りの作業情報量を 7.44 <sup>(註31)</sup> bits として、報告されている作業速度毎分 60 通から計算すると 0.135 秒/bit となる。新聞社の和文モノタイプ操作では <sup>(註32)</sup> 0.13 秒/bit、英文ライノタイプ <sup>(註33)</sup> 0.11 秒/bit となる。したがつて 1 秒間に処理し得る情報量は 7 bits から 10 bits となる。これは選択反応実験において得られた数値とほぼ一致すると云える。

クレペリン加算作業は、3 から 9 までの数の組合せの加算であるから、その課題の種類を  $21\ ({}_7C_2)$ 、作業の情報量をその関数として 4.4 bits と計算すれば、1 分間 80 の加算は 350 bits の作業量に相当する。1 秒当りの処理情報量にすれば約 60 bits ということになりここでも上述の数値と一致する。

人間工学問題領域では人間能力と機械の諸条件との適合を考えるが、判断能力に関する人間の限界がわかれば機械設計上の要件にそれを加えることができよう、物理学の定理は、熱源の温度差があたえられたとき、熱機関で実現し得る最大効率をあたえる。これは熱機関の能率に関するあらゆる

る工夫の限界を明示する。人間の判断処置能力の限界が 1 bit 当り 0.1 秒であるとすれば、人間の判断能力を必要とする限りにおいて、機械の能率をこれ以上にしても意味をなさないことになる。欧文タイプライターは50年来ほとんど進歩、改良されてないが、最初に設計されたものがたまたま人間能力によく一致していたためであつたと考えられる。人間の判断処置能力からみると、タイピングの能率限界は毎分約 360 字となるが、タイプライターの機械的限界は大体 400 字であつて、これに一致している。人間の能力からみれば毎分 360 字以上の判断処置は不可能であるから 400 字以上の能率で動くタイプライターを設計しても無意味になる。

### 3 選択反応時間

情報伝達速度の実験的研究は選択反応時間の研究にみられる。筆者らが選択刺激数 1 から 100 までについて実測した結果を前論文で発表した<sup>(註2)</sup>が、選択反応時間実測値は刺激反応の伝達情報量から推定される時間とかなりよく一致した。その際の両者の適合式は選択刺激数（刺激並びに反応のカテゴリー数を  $n$  とするとき

$$RT_{(n)} = K \log (n+1)$$

である。 $\log_2 (n+1)$  は情報量であるから選択反応時間 ( $RT_n$ ) は情報量に常数  $K$  を乗じたものになる。情報量が 1 bit 増すごとに選択反応時間は  $K$  だけ増加することが示される。この際時間  $K$  は 1 bit の情報を処理するために必要な中枢時間と解釈されることになる。しかるに、反応時間の構成を考えると中枢時間のみでない。視刺激ならまず網膜過程の所要時間があり、最後の筋活動過程の所要時間とその間の神経伝導時間が中枢時間に加わっているはずである。さらに中枢時間以外の全所要時間はかなり多いものと推定されている<sup>(註23・34)</sup>。

動作が解発される以前に、すでに筋には興奮が生起しており、動作に先行する筋の興奮がしばらくつづいた後に動作の実効が現われる。筋に興奮が生起している限り中枢における決定は完了しているとみななければならないであろう。この問題を究明するために反応時における筋電図的観測を、単純反応、選択反応、刺激呈示に先行する用意合図の有無、単独反応時、連続反応時等種々の条件下で約 1000 例行つた結果、筋の興奮が動作に先行する時間は略 50 msであることを確めた。これからすれば、情報処理時間を中枢過程とみるためには反応時間より動作筋過程の時間 50 ms を除かなければならない。これによつて前論文の数値を修正すると、選択反応時間と情報量の関係は一層よく適合するようになった。Table 1 に見る如くその実測値と理論値の差は低い範囲では 15 ms, 高い範囲では 10 ms 見られるのみである。

Fig. 1 は被験者の右前膊皮膚上（反応動作側）に電極を固定し、これから誘導した動作電位を陰極線オシログラフで観測したものである。筋電図（E. M. G.）の記録に併行し、刺激反応系の時間記録を行つた。図において波線は刺激呈示より反応動作が生ずるまでの所謂反応潜時を示す。波線の前は被験者が刺激呈示を待つてゐる時期である。刺激は光刺激（ネオンランプ）である。

Table 1 選択反応時間における実測値と理論値との差

| 選 択 刺 激 数 | 実 測 値 と 理 論 値 と の 差 |         |
|-----------|---------------------|---------|
|           | 修 正 前               | 修 正 後   |
| 1 — 25    | 39.2 ms             | 15.2 ms |
| 26 — 50   | 11.2 ms             | 1.2 ms  |
| 51 — 75   | 1.6 ms              | -3.2 ms |
| 76 — 100  | -9.6 ms             | -9.6 ms |

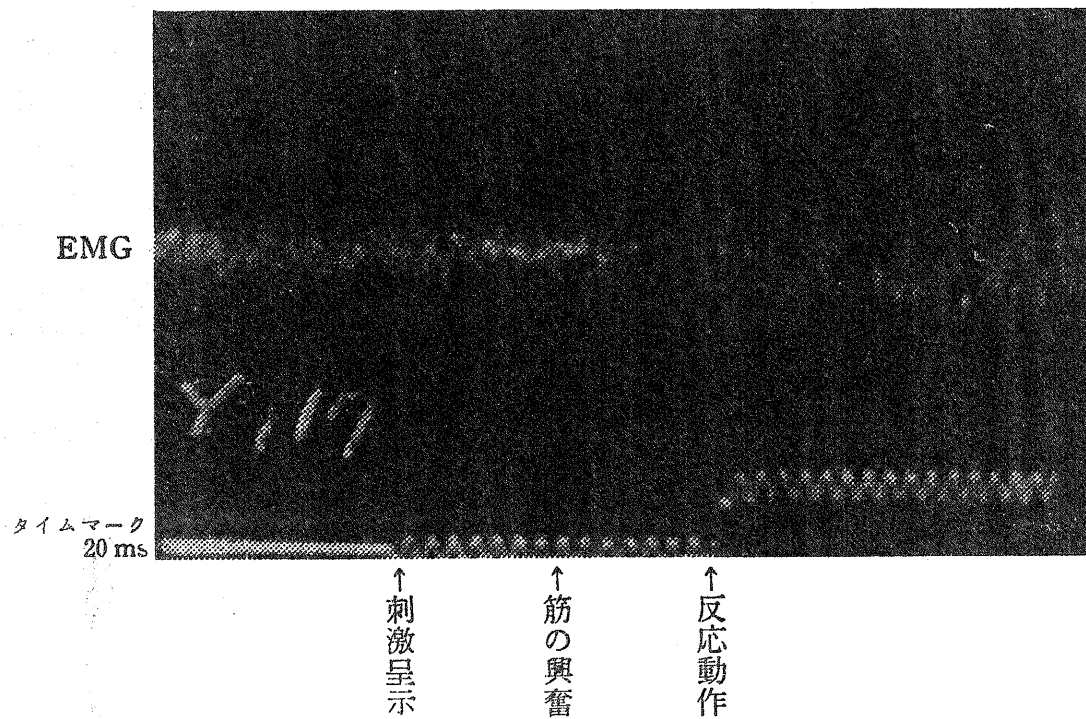
修正前は動作筋過程の時間 50 ms を含めたもので修正後はそれを除いて理論値との差を求めた。

理論値は修正前では  $RT_{(n)} = K \log_2 (n+1)$  により

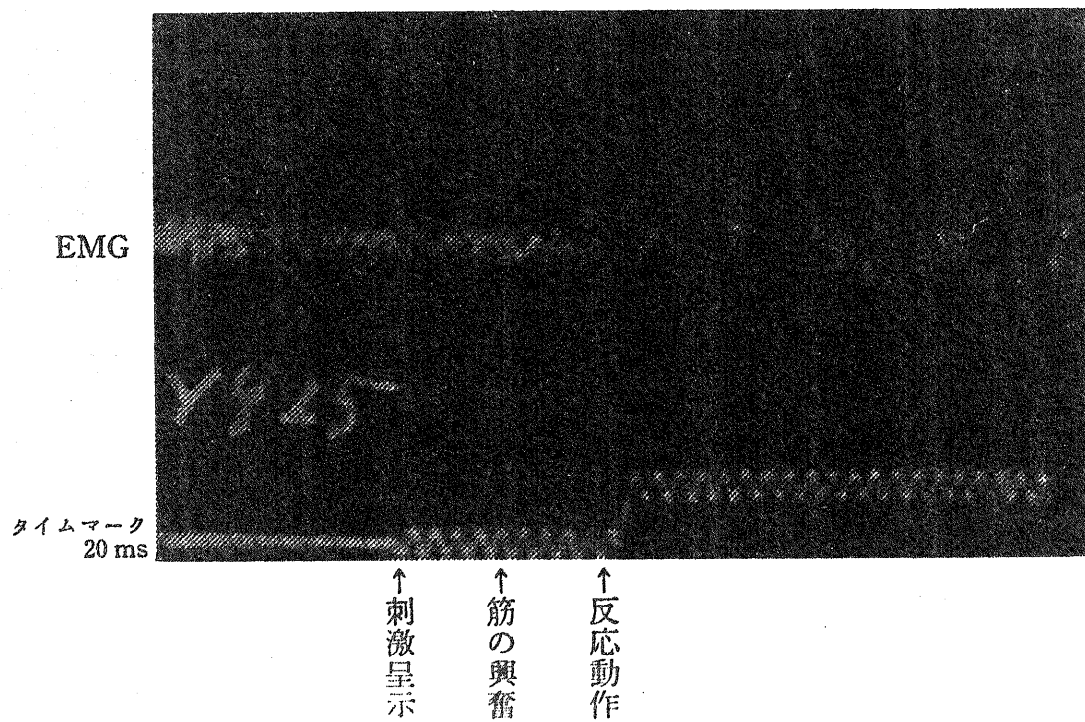
修正後は  $RT_{(n)} = 50 + K' \log_2 (n+1)$  による。

Fig. 1 反 応 時 筋 電 図

例 1.



例 2.



## 4 伝達情報量を決定する条件

### a 刺激のカテゴリーと刺激呈示時間

刺激のカテゴリー数が多くなつたとき、刺激に正しく反応すれば、伝達情報量は多くなり、刺激のカテゴリー数がある限度以上になると反応側に誤りが多くなつて伝達情報量が逆に低下することから、刺激のカテゴリー数は伝達情報量の一つの決定因子であることがわかる。反応側のカテゴリーも同様、ある限度までは伝達情報量を増加させるが、限度以上では誤反応が伝達情報量を低下させる。刺激カテゴリー数と反応カテゴリー数との関係では、後者が前者より小さいとき伝達情報量の低下することが明かにされている。

刺激の呈示時間ではそれが大きいとき、刺激の変化範囲ではそれが大きいときまた刺激間の間隔が適当であるとき、<sup>(註35)</sup> 反応結果がどうなっているか被験者自身が反応の正誤を確認するとき、<sup>(註36)</sup> 伝達情報量が多くなることも明かにされている。

### b 刺激・反応の対応性

左側信号に対しては左手で、右側信号に対しては右手で反応する如く、<sup>(註37)</sup> 刺激と反応の対応性がよいとき情報伝達速度は高くなる。また誤反応もすくなくなる。この問題は人間工学の領域において、装置とコントロール機構の適合性を解くために必要なものであるが、これに関しては、Fitts と<sup>(註18)</sup> Seeger, Deininger と<sup>(註16)</sup> Fitts, Leonard 等<sup>(註22)</sup> の研究がある。論ずるまでもなく、刺激と対応性が高いほど反応は自然的であり作業面における操作は容易になる。われわれの実験は、刺激を左よりABCの順で横に並べ、それ



に対する反応鍵を同様の順序で横に並べた場合と、刺激を上から順にA B Cとタテに並べ、反応鍵を前同様横に並べた場合における反応時間を測定したが、反応鍵と同じ位置関係に刺激が並ぶとき反応時間は短縮した。刺激配置が反応鍵と同一方向に並ぶ方が反応鍵の方向に対して垂直に並ぶときより両者の対応性は高いと考えてよいが、このような対応性の差異も情報伝達速度に差をもたらすことになる。<sup>(註22)</sup> Leonard は左右の手8指を使用し、触刺激をそれぞれの指に与え、その指の反応を求めるという方法で、刺激、反応の対応性の極度に高い条件を作成した実験を行い、このような対応性の条件では選択刺激数を1, 2, 4, 8として刺激のエントロピーを変えても選択反応時間はほとんど変化しないことを実証した。選択刺激数が8の場合も単一(単純触刺激反応になる)の場合も極度に刺激反応の対応性が高い場合には反応時間はほぼ同じになることをみたものである。

### c 対応性と習熟

対応性の高いことが情報伝達速度を高くすることは個体側では経験習熟効果あるいは神経伝導経路の変化として、刺激側では刺激自体のエントロピーの低下として考えることができよう。単純反応時間を左右両手について測定すると、5名の被験者各50回の平均値において、左手示指、右手示指はそれぞれ173 ms, 174 ms となつて全く差がない。しかるに、選択反応になると、刺激条件にみられる対応性は同じであつても、反応が左手、右手になることによつてちがひ、左手よりも右手が明かに優位になる。単純反応では左右に差がなかつたのであるから、選択反応時にみられる差異は末端の運動機能によるものでなく、中枢機能の差異に原因すると思われる (Table 2-3)。

右手が優位なのは右手が器用であるように慣れているためであり、その本質は視覚領と運動領との疎通性とか習熟による変化に求められるである

う。刺激・反応の対応性は習熟による疎通性の変化と同一機能と考えられる。この意味では習熟は刺激・反応の対応性を高くする過程と考えられる。human engineering においては刺激である作業面の表示と反応である操作との対応性を高くするようにして習熟期間を短縮することができることになるであろう。以前の生活経験においてでき上っている刺激・反応の対応性を利用した表示と操作の方式は習熟の能率化に役立つと考えられよう。

Table 2 左右の手指による反応時間

| Sub. | 左手示指   | 右手示指   | 劣位側 |
|------|--------|--------|-----|
| N    | 188 ms | 197 ms | R   |
| M    | 137    | 139    | R   |
| S    | 221    | 212    | L   |
| D    | 177    | 173    | L   |
| T    | 142    | 147    | R   |
| 平均   | 173    | 174    |     |

(視刺激反応, 各 50 回の平均値)

Table 3 選択反応(視刺激)における左右の手指の反応時間

| 被験者 \ 手 | 左      | 右      | 劣位側手 | 差    |
|---------|--------|--------|------|------|
| U       | 526 ms | 368 ms | L    | +158 |
| M       | 177    | 203    | R    | - 26 |
| S       | 627    | 581    | L    | + 46 |
| D       | 524    | 319    | L    | +205 |
| T       | 195    | 212    | R    | - 17 |
| Y       | 725    | 688    | L    | + 37 |
| 平均      | 462    | 395    |      | + 67 |

(各被験者 500 回の平均値)

選択反応では左手指によるより, 右手指による方が時間短縮する。

(有意水準 10 ~ 20 %)

## 5 精神作業内容の計測方法

従来、精神的作業の内容量の規定は一応作業をその複雑さの段階で区分し、それぞれの段階の作業にどのくらいの密度で何時間従事するかによつてのみなされていた。時間と密度は客観的に計測しうるが、そのもとになる複雑度はただ勘できめられるより他に方法がなかつたと云える。たとえば計画するような作業は高度に複雑なもの、日常的反復作業は簡単なものとし質的に区別することができるだけで、異なる作業内容のものを同一尺度で測定することはできなかつた。しかもこれには判定者の主観にもとづくところ多くその客観性はきわめてとぼしい。

情報理論は作業内容というものから一応全く離れた無関係な統計的方法で作業内容を分析するが、そこで数量化する作業の情報量は作業の複雑度を表わし、作業内容を計量する。これによるとき判断に要する時間はきわめて正確に情報量の倍数となり、疲労徴候発呈速度も情報量の関数として、情報量の多いほど疲労発呈の速くなることもすでにたしかめられている。瞬間露出器による文字系列の認知能率を刺激の情報量当りでみた実験によると、冗長度のない刺激（認知しにくく困難度が高い）も、冗長度の高い刺激（認知し易く、実際の文字系列に近似している）もほぼ等しくなることが実証されている。<sup>(註9)</sup> 記憶能率においても同様の事実が認められている。<sup>(註9)</sup> 大西は0次、1、2、3次の日本語近似かな綴の記憶実験において、0次近似綴では記憶量310であつたのに対し、3次近似綴では記憶量485であつたことをみたが、近似綴の冗長度を考慮するとき、0次近似綴から3次近似綴まででは、単位情報量当りの記憶量はほぼ等しくなる。

以上の諸事実は、人間精神に系列の冗長性を認知する能力、それを利用し得る能力、あるいは再符号化の能力と考えられるもの、時系列の認知能

力の存在を示すと共に、精神活動の基盤である認知記憶の如き機能が情報量の低次関数であることを示していると云える。このことは、さらに精神的負荷作業量が情報量によつて計量され得る可能性を示している。

筋的作業量を作業中のエネルギー代謝<sup>(註38)</sup>で計量する方法は労働の肉体的強度の判定と研究にきわめて多くの貢献をなしたといつてよい。これは昭和11年労研の古沢が筋労作の強度を示す指数として、基礎代謝に対する労働代謝<sup>(註19・8)</sup>の比を用いることを提案しこれを R.M.R. (Relative Metabolic Ratio) とよんだことにはじまつている。R.M.R. は作業者の個人差に関係なく、筋的作業量を計量する方法として使用することのできるものである。静的筋肉労働の如き場合においては主観的・客観的労働負荷と完全に併行しないときもあるが一般に R.M.R. は労働の肉体的内容量をあらわすものと認められている。これに対し精神的作業ではその内容量を計量する方法がまだ作られてなかつた。筋的作業では、その労作量にともなつて物質的消費が進行するので労働による変量の客観的把握が容易であるが、精神的作業ではそれが明かでないためにその計量が困難であつた。

精神的作業内容の情報量の計測は四半世紀前に R. M. R. が筋肉的労働負荷量の計量にその成果を取めたように、あるいはその適用によつて精神的負荷量の計測を可能とすることが期待される。

## 6 適 性 係 数

作業のエントロピーを  $H$  とするとき、作業の所要時間  $= KH$  が成立する。 $K$  は個人差に属する係数とみなすことができる。単純な作業において作業速度の高いものは複雑な作業においても高い作業速度を結果するであろうことを期待することができる。従つて  $K$  を精神作業速度に関する適性係数とすることができよう。われわれの限られた実験作業の範囲ではこれがた

しかめられている。もつとも習熟によつて作業パターンの認知度が著しく変化し、それによつて作業のエントロピーが減じ作業速度もまた著しく変わるから、その場合の習熟能は別の適性因子としなければならない。

## 7 災害頻発傾向者

作業のエントロピーとその所要時間との関係式は作業が正常であるときに適合するものであると考えねばならない。作業者の情報処理能力に平衡性が保たれてないときには前述の関係式は成立しない。われわれは、情報処理能力の平衡性が破られるとき災害或いは疲労等の不適応現象<sup>(註5)</sup>が生起するとの仮定をたて現場の検証を試みたが結果は仮定にかなり適合した。

方法は1 bitの作業内容量をもつ単純反応と1.6 bitsの作業所容内をもつ二者択一反応を検査課題とするもので、これを外線電気工の現場連絡運搬用自動車の運転従事者約900名を対象として実施した。

情報量と反応時間の関係式により、単純反応(SRT)と選択反応(CRT)の時間比はその情報量に比例するから、 $CRT/SRT$ は1.6になる。測定結果による統計的分布頻度は大体1.6を頂点とするが、中には3.0以上になるものもある(Fig. 2)。RT比が大になるのは、SRTが特に短いかCRTがとくに長いかによるが、何れにしてもSRTとCRTの平衡性が破れたものであると云えるであろう。

RT比と過去に事故を経験したことの有無の関係をみると、この関係はかなり顕著である(Table 4)。すなわちRT比が高くなるほど事故が多くなる傾向が示されている。

RT比は、同時に実施したクレペリン加算検査、カラーネーミングによるブロッキング検査、抹消検査、意志的抑制検査<sup>(註39)</sup>、瞬間的認知検査<sup>(註54)</sup>との相関何れもきわめて低いことを示した。これからみると、RT比検査は従来

安全適性検査として使用している検査が対象とするものと異なる側面を測定しているように見える。

RT 比とクレペリン加算検査、カラーネーミング検査、瞬間的認知検査による総合成績と事故経験者率との関係をとると、成績は事故頻発傾向者の検出性をきわめて高く示すようになる (Table 5)。すなわち4検査の総合判定でA段階になるものには事故経験者なく、判定段階がBCDEになるにしたがつて事故経験者多くなり、最低段階のEにおいては実に83%が事故を経験している。

Table 4 RT 比と災害経験者

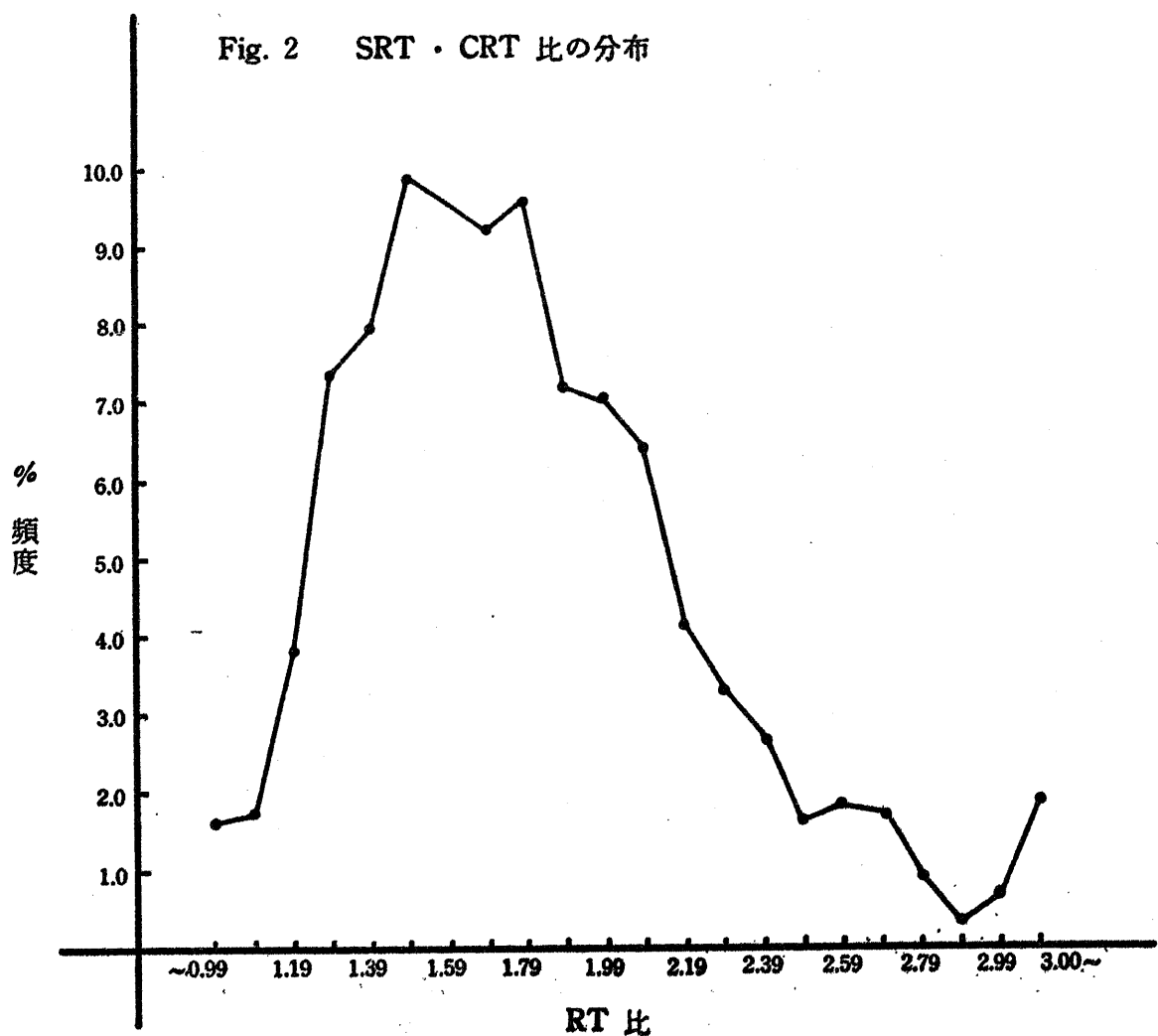
| 被験者番号 | CRT/SRT | 被験者番号 | CRT/SRT | 被験者番号 | CRT/SRT |
|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| 34    | 100%    | 1     | 168%    | 62    | 222%    |
| 10    | 113     | 5*    | 172     | 52*   | 224     |
| 22    | 113     | 9*    | 175     | 14*   | 229     |
| 23    | 118     | 4*    | 178     | 44    | 230     |
| 17    | 122     | 29    | 180     | 25    | 233     |
| 36*   | 132     | 39    | 182     | 37*   | 235     |
| 40    | 133     | 60    | 182     | 41*   | 236     |
| 18*   | 136     | 31*   | 186     | 56    | 237     |
| 32*   | 140     | 35    | 186     | 24    | 244     |
| 43    | 141     | 13    | 188     | 47    | 247     |
| 59    | 146     | 46    | 192     | 28    | 249     |
| 21    | 153     | 11*   | 194     | 54*   | 254     |
| 55    | 154     | 38*   | 196     | 30*   | 262     |
| 48    | 157     | 19    | 201     | 50*   | 277     |
| 3     | 160     | 15*   | 209     | 63    | 282     |
| 58    | 163     | 42*   | 215     | 26*   | 289     |
| 45    | 164     | 33*   | 215     | 61*   | 302     |
| 53    | 166     | 12    | 216     | 57*   | 356     |
| 2*    | 167     | 27    | 218     | 20*   | 431     |

(\* = 事故経験者)

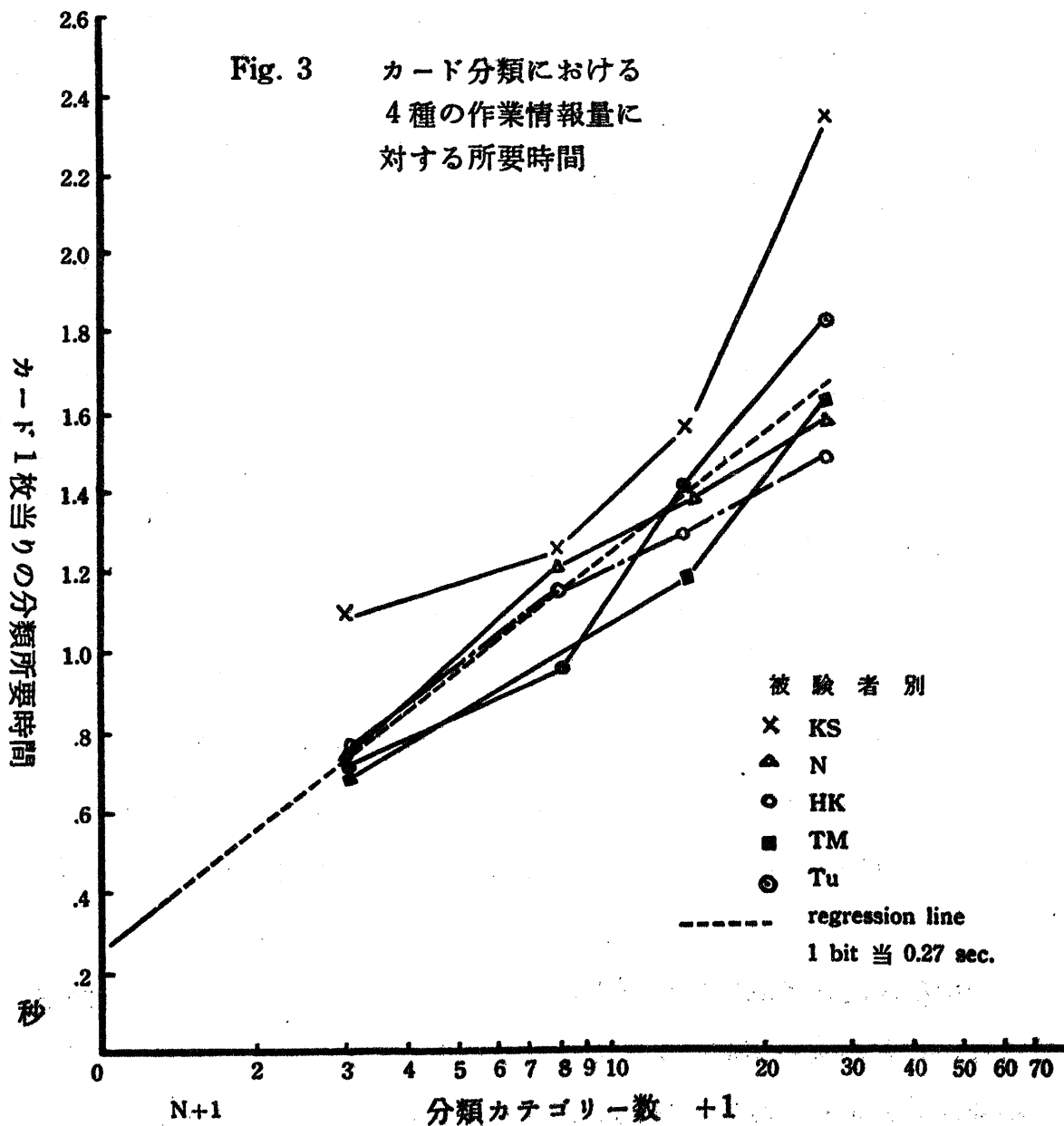
表は RT 比の大きさにしたがって被験者を並べたものであるが、RT 比が大きくなるにつれ事故経験者の発生頻度が多くなる。

## 【情報処理能不均衡の事例】

Fig. 3 は 5 名の被験者にカード区分作業を課した実験結果であるが、トランプカードを 2, 7, 13, 26 区分（それぞれ色, 1 から 7 まで, 数記号, 色と数記号にしたがつた区分）する所要時間をとつたものである。カード区分では区分動作に必要な時間が区分判断の値に加わるので、作業の情報量と所要時間との関係は図における点線の如くなる。この図では、KS を除く 4 名は大体点線の傾向にそつている。KS は明かに 4 名の傾向から外れていることがみられる。われわれはこの 5 名の被験者をよく知つてゐるが、KS は日常の行動において安全度十分と認めがたい者である。不注意に機械を落したり、つまづいたり、負傷する率が非常に多い。図は情報



処理の平衡性ということでみるととき KS において低いことを示している。これと同じ例を他のグループについても経験している。これらを総合すると、情報処理能の平衡性を指標とすることによつて安全動作の適性判定が可能になると考えられる。われわれが RT 比を含めたテストバッテリーで行つた安全適性検査結果は、従来の検査バッテリーによるものと較べはるかに妥当性高く、事故経験率との高い相関を示している。個々の RT 比がその理論値（情報量比）から離れるということは、知覚運動系の不調和を





表わし、このような不調和が事故発生 of 心理的要因となることにその妥当性の本質を仮定することができるかもしれないと考えている。

Table 5 総合判定と自動車事故者率

| 4 検査による<br>判 定 段 階 | 事故経験者率 | 実 数    |
|--------------------|--------|--------|
| A                  | 0%     | 0/7    |
| B                  | 12%    | 5/41   |
| C                  | 28%    | 58/209 |
| D                  | 54%    | 44/81  |
| E                  | 83%    | 5/6    |

(各判定段階の百分率の差は危険 1% で有意である)

## 8 単一チャンネル機構

反応時間すなわち判断時間がデータ (刺激) の情報量に算術比例するということ自体は、中枢機構が単一チャンネルのものであることを明示しているといえる。注意が同時に 2 方向に向かない事実は、すでに注意作用の実験で示されているところであるが、情報伝達速度の知見はその事実を数値的に証明したものと云える。

単一の視刺激が 2 つのディメンジョンに分割され、それぞれが左手、右手の別々の手指で反応される実験条件によつて、反応時間と情報量との関係<sup>(註 2)</sup>を追求すると、反応に関与する動作が右手左手と異なる場合においても、反応時間は左右の手の反応によつてなされた全伝達情報量に比例する。これは 2 つの情報処理が同時併行的には進行し得ないことを明かにするものである。

実際の精神的作業課題を遂行する際にも 2 種の課題は同時併行的に処理されないことが次の実験によつてたしかめられた。

精神作業の 1 つの課題を迷路学習とし、それと併行して九九算或いは簡

(註41)  
 単な加算を行う。迷路は開眼用であるから、作業者は迷路を見ながらそれを手で辿る。ここでは課題を眼から受け入れ手で応答しながら学習することになる。算数課題では問題を耳から受容して口で応答する。迷路の辿路を開始すると同時に算数の問題を与え同時併行的に2課題を遂行せしめるようにする。後者の課題は作業者が最初の問題に答え終ると同時に次の問題を与え、同様につぎつぎに問題を与えるようにしたものである。

騒音刺激がここに用いた迷路学習に妨害的影響を与えるか否かについてあらかじめ検討した結果では、ベルによる騒音、音楽メロディ、軽度の皮膚電気ショック等はごくわずかの妨害的影響を与えるのみで、統計的に有意な影響を与えるほどでないことがたしかめられた。これに対し、迷路学習中に加算、九九算を課した場合、迷路の学習速度は著しく阻止され、学習に要した回数、誤の発生量の増大がみられた。九九算よりも加算の方が迷路学習の阻止量を多くした。迷路学習を単独に行うときの学習所要時間と加算のみを単独に行うときの所要時間とを比較すると、8名の作業者の平均においては、2課題を併行的に行うときの所要時間はそれぞれの課題を単独に行つたときのそれぞれの所要時間の合計とほぼ一致する結果となった。この結果は、

- ① 課題Aの学習中に他の課題Bがはいると、課題Bの処理に必要な時間だけ課題Aの学習所要時間は延長する。
  - ② A, B 2課題を同時併行的に処理することができない。
- ことを示すものといえる。

作業者の内省報告から2課題の併行処理過程をみると、迷路学習中に与えられる算数課題がやさしい問題であるとき反射的に答え、むずかしくて考えなければならないように思われる場合には迷路学習の遂行を一たん中断して算数問題を考えるか、あるいは算数問題の方を保留して迷路学習の方をあるところまで進めたのちに考えるようにし、決して2課題は同時併

行的に処理されていない。さらに作業者は、算数問題がつぎつぎに出されると、迷路学習はそれによつて非常に邪魔され、とくに迷路を考えるときには邪魔を強く感じたことを報告している。

迷路学習の時期別に加算の応答所要時間をみると、学習の初期では短かく、学習の後期になるに従つて何れの作業者でも同様に長くなることがみられる。おそらく、迷路学習の初期では、課題は試行錯誤的に進められるだけであるので考える過程がなく、学習が進むにつれて考える過程が多くなる。考える過程のない初期では加算作業が直ちに処理されるが、考える過程が多くなる後期では迷路学習に集中するので加算の応答の保留される機会が多くなるためおくれが生ずると考えられる。これによつて、中枢では2課題は同時併行的に処理されないことが証明される。

情報処理時間が情報量に比例する事実と同時併行作業における実験事実とは等しく中枢の単一チャンネル機構を証明するものと云えるであろう。大腦が一定時間に処理し得る情報量は一定量であることが結論される。

Fig. 4 は迷路学習の時期を15分して、そのときの加算応答時間を示している。迷路学習の時期が進むにつれてきわめて規則的に加算応答時間は延長してくる。

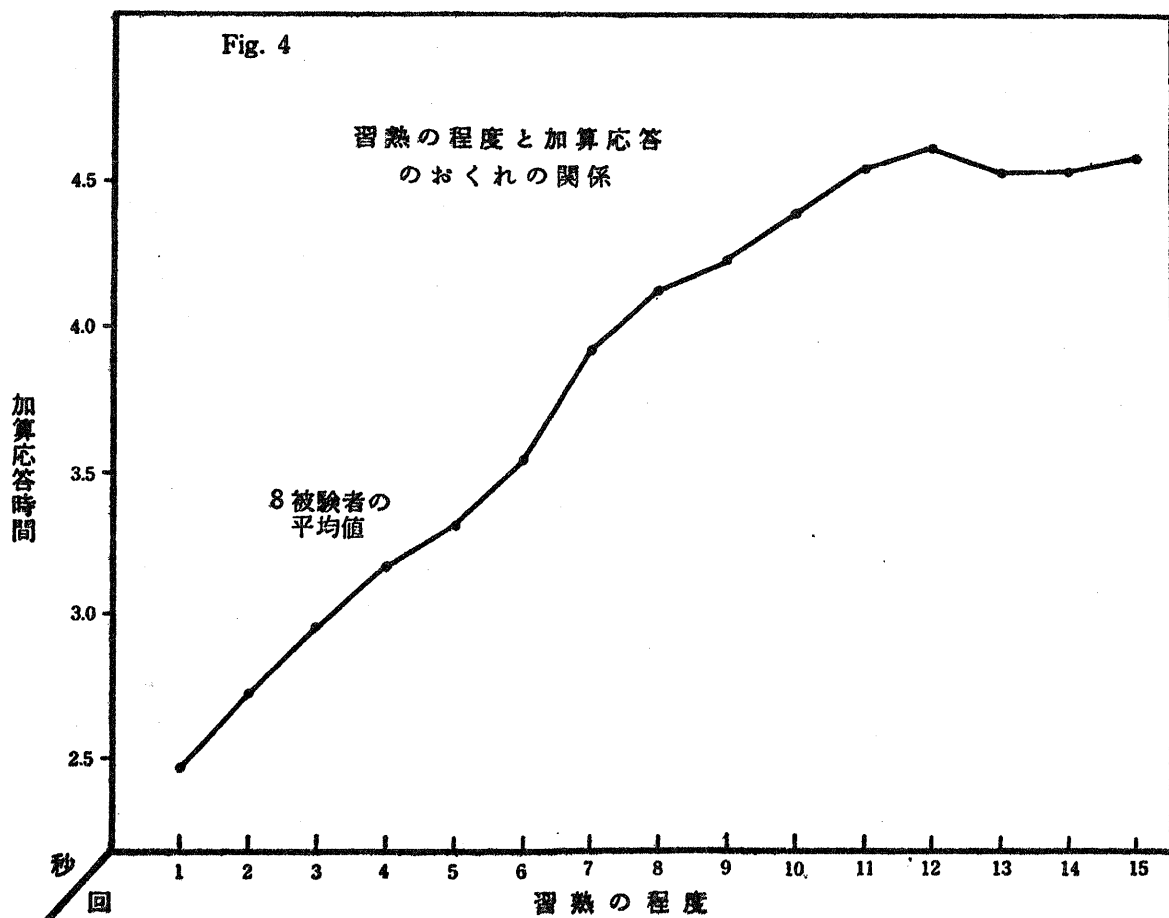
#### 【Fig. 4 の説明】

習熟の程度では、8名の被験者によつて習熟に要した回数がことなるので、第一回目を1とし、最終回目を15とし各被験者毎に中間を1—15までの間で等分に分割し、それにプロットした個人曲線を作り、それを平均して求めた曲線である。従つて全被験者について15回まで試行をくり返したのでなく、ある被験者は8回で迷路をマスターした。その場合その被験者の全試行数は8回であるが図における習熟程度では1—15回にその過程は引伸されて配分されている。加算の応答時間は、問題を示し終つてから答が出されるまでの所要時間で、 $\frac{1}{6}$ 秒単位で測つたもの

である。

## 9 疲労の本質

疲労度の測定、とくに精神疲労の測定には CFF, プリンカー値, 眼調節機能等の感覚機能検査法がよく用いられる。CFF によつて精神疲労が測定される原理は、視機能を通して大脳の状態がさぐられるという考方にある。この方法は断続する光の頻度を変え、光の断続の知覚閾値を求めるものであるが、これは網膜、視神経、視覚中枢を含めた全視覚系の興奮性を表わし、大脳の興奮性緊張度の一つの代表値を与えると考える。<sup>(註6・4)</sup> 大脳の興奮レベルは疲労によつて影響されるから、これによつて疲労判定できるとする。



昭和22年より24年にわたり電信オペレーターについてわれわれはかなり大規模の疲労研究を行つたが、以来 CFF による疲労研究資料は各地で相当数集積されてきた。CFF 法は現在使用されている他の精神疲労測定法に較べれば、信頼性と実用性の高いことが認められている。しかし、CFF が大脳の活動レベルを代表すること、大脳の活動レベルが疲労によつて変動するということは一つの仮定にすぎず、これを確証する事実はまだ得られてないと云わねばならない。CFF に限らず、他の感覚機能の変動を精神疲労の指標とするものは、何れも機能低下は一般に疲労徴候を示すものときめているが、これはいわば先験的決定であつて実証にもとづくものではない。CFF による疲労判定の実証は、今までの資料において負荷量と CFF 低下量との間にかなりの一致性が認められた点に存するのみである。ここで負荷量と CFF 低下量との関係が常に一義的であれば実用的には極めて有効な方法となる。しかるに、負荷量が著しく大きいにもかかわらず CFF の低下がおこらず逆に昂進することもみられ、長時間の連続作業中において一向に変動しないような事例もしばしば観察される。日本産業衛生協会疲労委員会は、CFF 値を変動せしめる要因を網らしたがここには疲労を促進せしめる物理的条件の外に作業者の心理的条件の多くが含まれている。<sup>(註1)</sup>たとえば心的飽和、注意、緊張の喚起状態、労働意欲、解放状態、心理的波動等によつて CFF 値は変動する。仕事へのとりかかり、油乗り、終末振作、といった作業者の気分の動揺も CFF 値を変動せしめる。疲労委員会が CFF 値を変動せしめる要因を全て明かにした意図は測定値から一義的に疲労判定することの危険性を警告し、疲労現象は開放系に存在する生体现象として把えられるべきものであること、局部的条件との関係のみで安易に取扱われてはならないことを注意することにあつたと云える。これは疲労検査における測定値を処理する際にきわめて重要な条件である。しかしさきに掲げた測定の原理と仮定に対しては矛盾する

ものがある。仮定では、CFF 値は脳の活動レベルを代表するものとしたが、心的飽和、意欲の如き心理的状态で CFF 値が変動するとすれば、CFF 値は単に脳の活動レベルを代表するのみでなく心理的状态をも代表するとしなければならないであろう。心的飽和、意欲の如きもの全てを含め、総合的に結果したものが精神疲労であると考えらるなら、CFF 値から疲労判定する際にあらためて心理的条件を考慮する必要はないわけである。

一般の現場作業においては、CFF 値は作業時間経過と共に低下する。<sup>(註 3・10)</sup>  
これに対し実験室員が研究的に長時間クレペリン、データ処理等の精神負荷の下で作業するときはほとんど変化しない。一般産業現場員について検査するとき、若い検査者と年長検査者によつて測定値は明かにちがってくる。検査者が若いと CFF 値は低く、検査者が年長であると、CFF 値は高くなる。測定値から疲労判定すれば、若い検査者が検査に当つたとき疲労状態高く、脳活動レベルは低くなり、年長者が検査に当つたときは疲労状態減少するという結果になるであろう。結局測定時における被験者の態度によつて大きく CFF 値は変動せしめられると云える。検査視標をよく注視するように被験者の注意をうながしたり、努力して検査視標を見るように指示すると CFF 測定値は決定的に高くなる。これらはさきに掲げた変動要因中の意欲であり、注意の喚起であるが、この場合それらは CFF 値の決定的変動要因である。

以上によつてみると、脳の活動レベルを代表する数値として仮定されている CFF 値は単純ではない。CFE は被験者の測定時における態度を代表すると仮定する方が適切であるようにもみえる。それにもかかわらず、疲労測定法として実用化し得るのは多数観察によつて個々の変動要因を消去する方法を講じているからである。したがつて個人の CFF 値からその者の疲労状態を判定するようなことは困難であり、又その判定過程に

必要な理論は用意されていない。

そこで、疲労の解釈は、疲労が脳の活動レベルを低下せしめるという原理にではなく、脳における情報処理の変化にその原因を求める方がむしろ合理的であるように思われる。

結論的に云えば、疲労によつて活動レベルが低下するのでなく、情報処理における脳中枢の選択決定が疲労の影響を受ける。疲労が脳の活動レベルを低下せしめるとする仮定では、検査者のちがいによつて何故測定値が変化するかを十分に説明することができない。一般の現場作業員なら CFF をかなり低下せしめるような作業負荷の下においても研究室員の実験的研究条件の場合には CFF の低下が何故生じないかを説明することができない。情報伝達速度から、1 bit 当りの情報伝達速度はほぼ一定であると推定することができる。この推定は最高中枢の機能が単一チャンネルのものであることを予想せしめる。最高中枢は一時にただ一組の情報を選択することができるだけである。Cannon (The wisdom of the body, 1932) が人間機構の一般原理を Homeostasis<sup>(註17)</sup> の概念で考えたように、生体はつねに同一レベルを保持しようとするものであると考えられる。高度の自己調節機構をそなえたものである最も重要であるべき脳中枢は、この原理に最も忠実であろう。従つて、わずかな負荷によつてその活動レベルを低下せしめるという仮定は到底受け入れがたいものとなる。

疲労時の状態をみると、他覚的・自覚的に様々な症状が表われてくる。<sup>(註15・7・35)</sup> 顔貌、眼、発音、姿勢、動作態度等の他覚的徴候から、身体各部のだるさ、痛み、耳鳴、不安感、頭痛、頭重感等の症状を疲労時の作業員は訴える。このうちすくなくとも自覚された症状は作業員の意識に上っているものである。これらが意識に上り、たとえば身体の痛みにならずにはされるとき、単一チャンネルの考えにもとづけば、脳は一時そのことによつて占有されると考えられる。産業現場において行つた多くの疲労感調査結果によれ

(註1・11)  
 ば、疲労と共に疲労感が増大する。したがって、疲労の進展と共に疲労感により中枢が占有される頻度は多くなると考えられる。この事態を作業処理の面からみれば作業能率の低下になるので、如何にも大脳機能のレベルが低下したようになる。検査者による CFF 測定値のちがいは中枢の選択決定のちがいによると解釈できよう。つまり、被験者が、CFF 刺激の弁別に注意方向を決定するか、その他の方向に決定するかが測定値差の原因である。疲労と機能との関係に関する従来の結論を総括すると、単純な機能は疲労の影響を受けないが、複雑な機能は疲労の影響を受けて低下し易い。この事実は疲労時に生ずる自覚疲労感を通信系における noise とみなせば、複雑な刺激反応系において noise の影響が生じ易い現象によると考えられる。この現象を生ぜしめるものはやはり中枢の選択決定傾向に  
 (註42)  
 求められると考える。作業者が作業に目的をどの程度見出しているか、作業に興味を持つか、積極的に作業に従事しているかで作業能がちがつてくる事実からもこれらを推論することができる。

#### 文 献 と 註

- 1 金子秀彬 産業疲労の心理学的考察 最近の産業心理学 桐原葆見監修 金沢書店 1953.
- 2 金子秀彬 インフォメーション量による反応時間の解析 横山松三郎先生古稀記念心理学論文集 昭35.
- 3 桐原葆見 機能検査法 日本産業衛生協会出版部 1957.
- 4 桐原葆見 労働の生理的負担 労働科学研究所 昭31
- 5 桐原葆見 産業心理学 千倉書房 昭13.
- 6 日本産業衛生協会産業疲労委員会撰 産業疲労検査の方法 労働医学心理学研究所 1952.
- 7 日本産業衛生協会疲労委員会 疲労調査法 労働科学研究所 昭29.
- 8 沼尻幸吉 労働の強さと適正作業量 労働科学研究所 1955.
- 9 大西誠一郎 日本語への近似度を異にする文字系列の認知と記憶について I 心理学研究 30, 309—316, 1960.



- 10 大島正光 疲労の研究 同文書院 昭35.
- 11 労働科学研究所 電信作業条件調査報告 労働科学研究所 昭24.
- 12 戸田正直, 高田洋一郎 心理学における情報理論適用の現況 心理学研究 30, 48—65, 昭34.
- 13 吉田正昭 学習における数学的モデル論の現状 心理学研究 29, 339—358 昭33.
- 14 Attneave, F. Application of information theory to psychology. Holt-Dryden, 1959.
- 15 Bills, A.G. Studying motor functions and efficiency. Method of Psychology. Andrew, T.G. ed. Wiley. 1951.
- 16 Deininger, R.L. and Fitts, P.M. Stimulus-response compatibility, information theory, and perceptual-motor performance. Information Theory in Psychology. Quastler, H. ed. Free Press. 1955.
- 17 Dempsey, E.M. Homeostasis. Handbook of Experimental Psychology. Stevens, S.S. ed. Wiley. 1951.
- 18 Fitts, P.M. and Seeger, C.M. S-R compatibility : spatial characteristics of stimulus and response codes. J. exp. Psychol., 46, 199-210, 1953.
- 19 Hake, H.W. and Garner, W.R. The effect of presenting various numbers of discrete steps on scale reading accuracy. J. exp. Psychol., 42, 358—366, 1951.
- 20 Hick, W.E. On the rate of gain of information. Quart J. exp. Psychol., 4, 11—26, 1952.
- 21 Hyman, R. Stimulus information as a determinant of reaction time. J. exp. Psychol., 45, 188—196, 1953.
- 22 Leonard, J.A. Tactual choice reaction times. Quart. J. exp. Psychol., 11, 81—00, 1959.
- 23 Monnier, M. Retinal, cortical and motor responses to photic stimulation in man. J. Neurophysiol., 15, 469—86, 1952.
- 24 Quastler, H. Information theory in psychology. Free Press, 1955.
- 25 Shannon, C.E. The mathematical theory of communication. Univ. of Ill. Press, 1949.
- 26 Wiener, N. サイバネティクス (池原止才夫, 弥永昌吉, 室賀三郎訳) 岩波書店 1957.
- 27 Woodworth, Experimental Psychology. Holt, 1955.
- 28 Miller, G.A. が1951年 Massachusetts 工科大学における近代通信理論の

講演会での逆説「ウィーナーの著書には新しいことは驚くほどすくない」  
(池原止才夫他訳, サイバネティックス, 岩波書店, 1957 あとがきによる)

- 29 1 刺激当り
- 30 英文 26 字の選択なら, 1 字の情報量は  $\log_2 26=4.7$  (bits) となる. しかし文字系列における冗長度を計算に入れると 1 字当りの情報量は半分以下になる. 1 字当り 1.85 bits としたのは 1 語の情報量を大体 9 bits としたものから計算したものである. 英語の情報量は次に詳述されている.  
Miller, G.A., Speech and language. Handbook of Experimental Psychology. Stevens, S.S. ed. Wiley. 1951.
- 31 作業の情報量は  $\log_2 300=8.23$  bits と計算される. しかし実際には等頻度分布することなく, 確率分布型に近くなると考えられるから, 実際の処理情報量は  $8.23-0.79=7.44$  (bits) と計算される.
- 32 東京毎日新聞社における筆者の実測毎分速度 70 字, この場合 漢字まじりの新聞文章における 1 字当りの作業情報量を 7.4 bits とした.
- 33 東京毎日新聞社における操作速度毎分 300 字にもとづいて計算したもの, 1 字の情報量は英文タイプと同様 1.85 bits としたものである.
- 34 Vorckel の研究 (Woodworth, R.S., Experimental Psychology. Holt, 1955. の引用)
- 35 等間隔の刺激より最適間隔の刺激がある. これは計器目盛盤の作製方法として重要である.
- 36 自己の作業成績を確認することによつて学習効果が上昇することと同じ作用とみてよいであろう.
- 37 Compatibility.....Fitts (1953, 1955) の用語 (Leonard による), display-control system の問題として重要である.
- 38 文献 8 と同じ.
- 39 桐原意志気質検査.
- 40  $\frac{1}{10}$ 秒における数字列あるいは 2 次元的空間の点位置の認知検査.
- 41 開眼用迷路は板に金属ボタンを網状に植え, 板の裏面でそれを珠ずつなぎに電氣的に結線したもので表面からでは路すじがわからないようになつている. 作業者は金属ボタンを金属棒で辿る. 辿路が正しいとき信号灯で知らされる式のものである.
- 42 複雑な情報より単純な情報を優先せしめる傾向を筆者は考えている. あるいは複雑な情報はその処理時間が大きいために noise の入る可能性が多くなる.
- 43 英文 1 字の作業情報量を 1.85 bits とすれば 360 字は 660 bits, これは毎秒

11 bits の速度になる。

- 44 もつとも人間能力は短い時間の断片でみると恒常的であるより波動的で、能率の非常にいい瞬間がある。瞬間能率は平均能率よりはるかに高いので、現在の機械的機構のタイプライターではそれに応じきれない点もあり、電気タイプライターがこの点を改良している。