人間の制御能力から導いた新しい適性検査¹

東京大学生産技術研究所 稲 葉 正 太 郎²

1 適性と適性検査

人間の適性を知ることは個人の将来の発展のためにも、また各人が所属する集団の発展のためにも、極めて必要なことであるのに、実際には極めて難しいことであると共に、科学的な方法が確立されていないので、現在各種の方法がなされている。これを方法論的にみると、心理テストや医学テストがあり、心理テストでは同一方法でテストした結果を集積して統計的な見方で共通する特徴を求め、相関の高い事項に注目して個人を推定するもので、たとえば交通事故多発者の判定についても、交通事故多発者に多く見られる性格的欠陥に注目し、逆に個人について性格テストを行ない、性格的欠陥があれば運転は危ないと判定しようというのである。また医学テストは外部の情報を入力する感覚器の機能が劣れば、当然作業も劣ることになるので、交通事故者についても、最も重要な視力の診断に多くの研究がなされている。しかしながら性格が悪くても無事故運転を続けている者もあるし、視力の違いで事故を起こしやすい人と起こしていない人との区別はつけ難く、信頼性の高い、いわゆる決め手になるような判定法は出ていなかった。これらは人間の応答機構を極めて複雑なものとして、構造性の考察から進めることをしないで、Fig. 1の如く一まず Black Box で表わし、いろいろな刺激に対する応答解析から、構造性を求める方向に進んでいたことに原因があったと思う。筆者は適性検査は個人の特性を測るものであり、診断の科学性は個人の構造性に基づいたものでなければならぬという考えから、Black Box の中味を構成し、その伝達関数を組立て、そこで特性方程式を解析することにより特性方程式の値を左右する主要因子を求めることが出来れば、その主要因子は人間の特徴と直結することになると推定した。このようにして求めた主要因子による特徴判定こそ、個人の構造性に基づく適性検査にもなり、またそういう方法でなければ正しい適性検査にはならないと考えた。以下はこのような構造性に基づく人間の特性値を求めた手順と、その特性値による

適性判定例を示し、その信頼性を示すものである。

2 人間の構造性

人間の適性は、与えられた課題や作業を早く正確に行なえる能力が高いことであり、また不確定の刺激に対する応答能力の優れたことにも通じる。このように刺激に対する応答振りを外から観察すると、Fig. 2に示す如く、感覚器で情報としての刺激を捉え、これに応じて適切な判断と動作を行なって最適の応答を発現することで、①の刺激を取入れ、脳で判断して具体的な運動命令②を脊髄に伝えれば、脊髄からは手足③に興奮を伝え筋収縮を起こさせ、外に向かって具体的な応答④を発現する。このとき応答が目的に叶うためには刻々の運動を合目的的に修正することが必要で、そのためには Fig. 3に示す如く、手足の骨格筋の中に内封された筋紡錘や、腱の中に内封された腱紡錘などによって刻々の運動状態を検出し、これを運動知覚として脊髄やさらに上位の小脳や大脳皮質まで上行させている。このような上行性興奮を

FIG. 1. 人間の応答

FIG. 2. 応答の観察

¹ New aptitude test induced by controllability by man.

² Syotaro Inaba (Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo)

Fig. 2 に記入すると、まず脊髄に上行するのが⑤、大脳までに向上するのが⑥の興奮と考えてよからう。このようにして②③④⑤の筋収縮を中心とする小ループ神経系と、①②③④⑥の大脳皮質の判断を中心とする大ループの神経系の二重結合で作動しているのが人間の神経系と考えられる。

次に大脳における判断も、⑥のフィードバック信号を多量に蓄積してから演算や比較を行なって、正しい判断を下すというのではなく、まず感覚器からの刺激を大脳皮質に投影すれば、その投影された刺激が認知されると一次的な大まかな応答形式が選出され、そのパターンに応じて次々に運動命令が流れて応答が進行し、刻々の状態が脊髄にも大脳にも伝えられて運動が知覚され、応答目標との偏差も計算されて修正が加えられるというように、①②③⑥の大回りの伝達と、②③⑤の小回りの伝達が一緒になって作動し、目的に叶った応答がなされることになる。したがって大脳は、初めの一次的な応答計画と、応答の進行に修正を加える演算の2つの働きを持ち、脊髄は手足に具体的な運動を起こさせると共に、運動の知覚を行なって、引く、押す、ひねる、攔む、蹴る、跳ねるなどの基礎的運動パターンを発現させ、運動の感覚的な調節や発現を司どり、手足は単に力学系として力を発する。ここでも脊髄や小脳を中枢として馴れた運動が失敗なく進行するように、信号伝達はくり返えされている。

以上のような信号伝達をブロック線図に表わすと、Fig. 4 の如くまとめられ、カスケード系を形成する。ここに調節計(1)は大脳皮質の一部で、一次的な応答計画を行なうところで、実質的には間脳や大脳皮質の感覚野、運動野あたりがこれに該当すると思われる。調節計(2)は手足の運動を支配する部位で、脊髄や、さらに上位の新小脳がこれに該当すると考えてよからう。次に反射的動作系というのは具体的な運動器官で、いわゆる手足に相当し、脊髄からの興奮がなくても反射的に運動を起こす構造になっているので、このような名称を与えた。最後に随意的動作系というのは、脊髄レベルの閉回路で出て来た出力を大脳皮質レベルで測定しながら、いろいろな判断を加えて応答を発現する演算器に相当する部分で、大脳皮質の連合野などがこれを分担するものと考えられる。

このようにして得られたブロック線図は、いわゆる人間の構造的な表わす装置の設計図にも該当し、これに各要素の特性を当てはめて全体の伝達関数を組立てれば、それこそ個人別の特性式になる。ここで実際の人間の応答内容を区別してみると、

(1) 「こうしなさい」といった運動目標(目標値 V)に対する応答。

(2) 動作を乱す外乱(動作外乱 D_1)に対する応答で、物理的や生理的外乱がある。靴の中に石が入った

り、手に包帯を捲いたり、手足が凍えた場合などは動作を乱すことになる。

(3) 判断を乱す外乱(判断外乱 D_2)に対する応答で、心理的や生理的外乱がある。心配、イライラ、立腹などは心理的外乱で、眠気、渇き、寒暑、疲労、空腹などは生理的外乱と思われる。

これら入力作用点は、目標値 V は調節計(1)の前、動作外乱 D_1 は反射的動作系の前、判断外乱については随意的動作系の前に入ればよからう。このようにして V 、 D_1 、 D_2 を階段状入力として加えたときの応答を比較すれば、応答回路の中の各要素の特性、すなわち構造的性に基づく特徴がわかることになる。

3 制御モデルの特性

FIG. 3. 筋力の検出

FIG. 4. 人間の応答回路

FIG. 5. 人間の制御モデル

さきの制御モデルを記号化すれば Fig. 5 の如くなり、

C_1 = 調節計 (1) = (大まかな計画)

C_2 = 調節計 (2) = (安定した動作の計画)

G_1 = 反射的動作系 = (力学的な運動)

G_2 = 随意的動作系 = (綿密な修正計画)

とした。これらに大脳生理学や実験生理学などの知見に基づき、情報伝達の上での特性を忠実に表現するような伝達関数を与えれば、より真の人間に近いものになるが、これらの組合せで支配的な要因を探すための便法として、

$$C_1 = h, C_2 = h, G_1 = 1/(1 + \tau_1 S), G_2 = 1/(1 + \tau_2 S)$$

ただし h = 比例ゲイン, τ_1, τ_2 = 時定数

として大まかな伝達関数を求め、その特性方程式を求めると V, D_1, D_2 のいずれの入力に対しても次のような同じ特性式になる。

$$R(S) = \tau_1 \tau_2 S^2 + (\tau_1 + \tau_2 + h \tau_2) S + (1 + h + h^2)$$

この式は h, τ_1, τ_2 の 3 変数を含むが、人間は判断にも動作にも必ずむだ時間があるので、特性方程式の中に 2 次振動系のような動揺を含むときはハンチングを起こす危険があるので、 S の 2 次式は等根にならないという作動の安定条件を持たせると、 $\tau_2/\tau_1 = \lambda$ と h の関係が定まり、結局安定な作動という条件づけのもとにおいては、特性方程式は τ_1 と τ_2 、または τ_1 と $\tau_2/\tau_1 = \lambda$ だけの関数になる。このことは人間の応答の支配的因子は、 τ_1 と τ_2 、または τ_1 と $\tau_2/\tau_1 = \lambda$ の 2 因子であるということになる。

さらに最終的な特性を比較するには、 V, D_1, D_2 に対する応答で、一番よい応答を発現する要因は何かということを見なければならぬ。それには V, D_1, D_2 の応答の評価を決めることで、その一つの考え方として ITAE No. を用いることにした。ITAE No. は Fig. 6 の如く、刻々の偏差に経過時間の重さを掛けたものの積分値で、たとえば階段状入力①の $x = u(t)$ に対する出力 y が、同図②の如くなったとすれば、刻々の制御偏差は $e = (x - y)$ で与えられ、この制御偏差 e に経過時間 t の重さを掛けたものの積分を Integral of time-multiplied absolute value of error (略して ITAE) と呼び、 $ITAE = \int_0^t |e| t dt$ と定義されて③のようになる。もしも出力 y が入力 x に収束しなければ、ITAE は増加するばかりであるが、 $t = t_c$ で y が x に収束するときは、 $t = t_c$ の ITAE は最大値となり、それ以上 t を増しても ITAE は増加しない。そこで $t = t_c$ の ITAE を ITAE No. と呼び、形式的には $t = \infty$ まで延長して

$$ITAE \text{ No.} = \int_0^{\infty} |e| t dt$$

と定義し、この ITAE No. の大小で出力 y の収束性のよし悪しを評価することにした。この値は時間が経つに

つれて収束が早くなるような応答を評価するのに適し、時間的評価を持った制御面積と考えられる。

このように応答の評価関数を定め、人間の制御モデルについては一層の近似を与えるために、

$$C_1 = \frac{\tau_R S + 1}{\alpha \tau_R S + 1} \quad \alpha = \text{微分振幅} = \frac{1}{15}, \quad \tau_R = \text{微分時間}$$

$$C_2 = K_c \left(1 + \frac{1}{\tau_i S} \right) \quad K_c = \text{ゲイン定数}, \quad \tau_i = \text{積分時間}$$

$$G_1 = \frac{1}{1 + \tau_1 S} \cdot \frac{1}{1 + \tau_2 S} \cdot \frac{1}{1 + \tau_3 S} \quad \text{ただし } \tau_2 = \tau_3 = \frac{1}{10} \tau_1$$

$$G_2 = \frac{1}{1 + \tau_a S} \cdot \frac{1}{1 + \tau_b S} \quad \text{ただし } \tau_b = \frac{1}{10} \tau_a$$

として、系全体をアナコンで模擬し、アナコンの作動電圧 100 V に対し

$V, D_2 = 5\%$ の階段状電圧変化

$D_1 = \pm 20\%$ " "

を与え、 $\tau_1 = 10$ 秒 (一定値)、 $\tau_a = 0, 2, 5, 10, 30, 50, 100$ 秒と変えてその都度 K_c, τ_R, τ_i を変えながら最小の

FIG. 6. インディシャル応答と ITAM No.

FIG. 7. V, D_1, D_2 に対する制御能力

ITAE No. を求めたところ, G_1, G_2 を 1 次おくれとする等価時定数を P_1, P_2 とすれば, $\tau_a/\tau_1 \doteq P_2/P_1$ の比 (以下バランスと呼ぶ) で整理されて図 7 の如くなった. この P_2/P_1 を初めに特性方程式の解析で煮詰めた主要因子 λ に等しく, アナコンの結果も主要因子は変わらないことが証明された.

4 実際の人間特性への修正

上記の結果は生命のない装置としての制御特性で,

(1) V, D_2 と D_1 の入力に差をつけている.

(2) $\frac{P_2}{P_1} \doteq \frac{\tau_a}{\tau_1} = \lambda$ の増加を, τ_1 は一定で τ_a を増加させて実現している.

(3) しかも系の作動は線形である.

とした時の応答の ITAE No. の最小値を示す. これを実際の人間の応答に修正するには,

(a) V, D_2, D_1 の入力を揃える.

(b) V, D_2 の出力に D_1 出力を加える.

(c) τ_1 は一定で $P = (\tau_1 + \tau_a)$ を増加させた応答から, $P = (\tau_1 + \tau_a) = \tau_1(1 + \tau_a/\tau_1) = \tau_1(1 + \lambda)$ を一定とする応答に改める.

(d) 非線形性の特徴を加える.

などの修正を行なう必要がある. 詳細な計算は省いて大まかな理由と手法を述べれば,

(a) D_1 の出力を入力 % の比で修正し, 5/20 倍すれば全部が 5% 入力に対する出力となる. (Fig. 8 の 5% D_1

FIG. 8. 5% 入力に対する制御能力

曲線)

(b) $\lambda \rightarrow 0$ にすることは $\tau_a \rightarrow 0$ にすることで, 人間では不可能なことであり, 実際には判断を打切るものと解してよい. その結果は試行錯誤の傾向が強くなり, あたかも D_1 外乱が加わった応答になるものと思われるので, 結論的には V, D_2 の出力に D_1 出力を加えたものが, 実際の V, D_2 に対する応答となろう. (Fig. 9 の $[V], [D_2]$)

(c) τ_1 は一定の応答より, $\tau_1 + \tau_a = C$ を一定にしようとするのが各人の努力目標と思われるので, $\lambda = \tau_a/\tau_1 \doteq P_2/P_1$ の増加に伴って, $\tau_1 + \tau_a = \tau_1(1 + \lambda)$ を一定値 C に縮める修正をしなければならない. P_1, P_2 は人間持前の時定数だから縮めることは出来ないが, Fig. 10 ①の特性でも, 応答の初めに気合いを入れて②の如くゲインを高めれば, あたかも時定数が縮まったことと同じになり, $\tau_1 + \tau_a = C$ の応答も実現する. このような増感作用は, ある程度までは収束性を早めて応答を良くするが, この努力が過度になると出力はオーバーシュートして反って悪化する. したがって $\lambda = 0$ からある値までは,

FIG. 9. D_1 を加えた V, D_2 曲線

FIG. 10. 増感効果

ITAE No. は減少して最小値に達するが、それ以上大きくすると再び増大することになる。このような修正を加えると $[V]$, $[D_2]$ は Fig. 11 の如くなる。

(d) 以上はあくまで線形性としての修正であったが、応答課題を与えて P_1 や P_2 を測る段になれば、被験者は緊張し、神経支配も非線形になることが予想される。その結果は Fig. 11 の曲線を $\lambda \rightarrow$ 大になるに従って悪化の傾向を大きく見積ること、 $[V]$, $[D_2]$ が殆んど同じ最適の λ で最適の応答（すなわち最適の ITAE No.）を示すものと推定しようというのである。

以上(a)(b)(c)(d)の修正を加えた最終的な応答曲線は Fig. 12 の如くなり、 $\lambda = m$ という最適値を持ち、 $\lambda > m$ では両者ほとんど同形の曲線が得られる。この曲線はそれぞれの λ で実現可能な最善の応答で、いわば λ によって支配される宿命的な能力限界値であるということを忘れないで頂きたい。そのことはそれぞれの λ で努力を怠れば、この曲線の示す ITAE No. より大きい応答はいくらでも出来るということである。こういう意味でこの2つの曲線を λ に対する「能力限界曲線」と呼ぶことにしよう。

さていよいよ本研究の焦点ともいうべき所に到達したわけだが、 $[V]$, $[D_2]$ の二つのどちらをみても、

$\lambda = m$ で応答能力は最高 (ITAE No. が最小)

$\lambda < m$ では応答能力は普通 (ITAE No. がやや増加)

$\lambda > m$ では応答能力は最低 (ITAE No. が著しく大) ということである。したがって各人の $\lambda = P_2/P_1$ の比を測れば、その人の能力限界は推定されるということである。すなわち各人の能力限界は λ の関数であるといえる。したがって各人の P_2/P_1 (バランスと呼ぶ) と P_1 または P を測れば、その人の能力限界が推定されることになる。この能力評価を年齢などの能力差も含めて、すべての人間に対する神経支配のよし悪しを表わすように、

応答の悪さ $\propto (m - \lambda)$, 応答の難しさ $\propto (P_1 + P_2) = P$ と考え、人間の評価を、

$$N = \text{応答の悪さ} / \text{応答の難しさ} \propto (m - \lambda) / (P_1 + P_2)$$

で比較することにした。 N は人間の特性値で、 N と応答の悪さは Fig. 13 ① となるが、応答の良さ（能力限界）で比較すれば①を上下反転した②となる。これが人間の神経支配を自動制御論で解いた N と能力限界の関係を示し、各人の N の値で能力限界が定まることから、この N を cybernetical controllability No. 略して C. C. No. と名付けた。

ところで C. C. No. の測定を考えると、 P_1 , P_2 は動作と判断の時定数で技術的には難かしいので、 P_2/P_1 の比に着目し同種の応答をくり返し行なわせたときの、一応答当りの動作と判断の所要時間を T_1 , T_2 とすれば、近似的に

$$P_2/P_1 \doteq T_2/T_1 \text{ が成立つものと考えられるので}$$

$$\text{C. C. No.} = (m - \lambda) / (P_1 + P_2) = \left(m - \frac{P_2}{P_1} \right) / (P_1 + P_2)$$

$$= \left\{ (m+1) - \left(1 + \frac{P_2}{P_1} \right) \right\} / (P_1 + P_2)$$

$$= \left\{ (m+1) - \left(1 + \frac{T_2}{T_1} \right) \right\} / (T_1 + T_2)$$

$$= \frac{(m+1)}{T} - \frac{1}{T_1} = \frac{K}{T} - \frac{1}{T_1}$$

ただし $T = T_1 + T_2$, $K = (m+1)$

FIG. 11. 応答時間一定の能力曲線

FIG. 12. 非線形系の能力曲線

FIG. 13. C. C. No. と応答能力

となる。実際には C.C. No. の値を簡単な正数にするために、テスト方法に対する補正係数 K' を導入して、

$$\text{C.C. No.} = \frac{K}{T} - \frac{K'}{T_1}$$

とした。ここに問題は K の値と、 $\frac{P_2}{P_1} \div \frac{T_2}{T_1}$ の仮定の裏付けである。

5 K と $P_2/P_1 \div T_2/T_1$ に対する検討

5-1 K の値

$K=(m+1)$ とする K の値は、結論的には $K=3$ ということになるが、このような確定値になる根拠は次のようないくつかの考え方がある。

(a) 振動論的な考え方

人間の手足が脳からの神経興奮に応じて運動を起こす状態は、Fig. 14 に示す如く、手足という重量のある物体を、筋収縮という非線形のばね系の加振によって運動を起こすのと全く同じことで、このようなばね系に加振力 F を加えた時、物体 M が安定した振動を持続するには、

f, T = 物体 M の振動数 rad/sec と周期 sec/回

f', T' = 加振力 F の振動数 rad/sec と周期 sec/回
とするとき、

$$f' = f \text{ と } f' = 3f$$

の時に限って安定した振動状態が見られる。

$f' = f$ のときは 1 回の振動で失われるエネルギーをその都度補って運動を持続させるもので、運動が持続されることは容易に理解される。

$f' = 3f$ で振動が持続されるのは、1 回の物体の振動の途中でエネルギーが補充され、それが適当な位相で働かせることによって安定した振動が得られることから、 f' を高くした緊張状態では $f' = 3f$ が安定条件となる。

この運動を解くには、

$$F = \text{加振力} = A \cos(3\omega t + \beta)$$

A = 加振力の最大値

β = 位相

ω = 物体の円振動数 rad/sec

が物体に働き、物体の変位 x が

$$x = a \cos \omega t + b \sin 3\omega t \text{ ただし } a, b = \text{定数}$$

としても A と β を適当に選べば、物体が 1 周期 $T = 2\pi/\omega$ の間に失われるエネルギー損失を補なえることが示され、運動は持続することになる。これから 3ω の加振力でも安定した応答が得られることになるが、筋収縮に対する運動は 1 回の興奮伝達で起こるので、 3ω のうちの 1ω を筋収縮に用い、あとの 2ω は脳の中の精神活動、すなわち演算などの判断に振り向けられるので、

$$\frac{\text{判断に要する時間}}{\text{動作に要する時間}} = \frac{2\omega}{\omega} = 2 = m$$

ということになり、 $K = m + 1 = 2 + 1 = 3$ 。

(b) 制御論的な経験則

A. J. ヤング (1955) の経験によれば、Fig. 15 に示すような周期 T の主制御系に、副調節計を加えて作動周期が T' の副ループを作るとき、全体の系が混乱を起こさないためには

$$T/T' > 3$$

にすることが必要であると主張している。この限界値をとれば $T/T' = 3 \div K$ と推定される。

(c) 心理測定データ

W. R. ミルス (坪内, 1961) によれば、各年令別に測った触覚反応と視覚反応時間の最小値は Fig. 16 に示す通りで、これから

$$\frac{\text{視覚反応時間}}{\text{触覚反応時間}} = \frac{(\text{判断} + \text{動作})\text{時間}}{\text{動作時間}} = \frac{P_1 + P_2}{P_1} = \frac{P}{P_1} = K$$

の値を求めると、ほぼ $K=3$ となる。

以上(a)(b)(c)の検討から、くり返ししの応答でも、1 回の応答でも、 $P/P_1 = T/T_1$ の最適値 K は 3 と考え

FIG. 14. 人間の運動

FIG. 15. A. J. Young のカスケード系

FIG. 16. W. R. ミルスの測定

てようろう。

5-2 過渡応答と周波数応答による $P_2/P_1 \div T_2/T_1$ の検討

P_2/P_1 の時定数の比が、くり返しし応答の所要時間の比 T_2/T_1 (ただし T_1, T_2 =動作と判断の所要時間) に等しいことは、次のような考えから導いた。

(1) 時定数から直接導く考え方

時定数 P_1 の定義は、出力が目標値の 63.2% にまで達する時間を意味するので、目標値に到達して原状に戻るには若干の時間を要す。これを P_1' とすると、一回の応答を完結するには、Fig.17 の如く (P_1+P_1') の時間を要することになる。ここですぐ次の目標値が加えられたとすると、再び (P_1+P_1') で応答するだろう。ここで $(P_1+P_1')=P_1(1+P_1'/P_1)$ とするとき、 P_1'/P_1 の比が時定数 P_2 の応答についても等しいとすれば、くり返しし応答の所要時間 T_1, T_2 とするとき

$$T_1 \div P_1 + P_1', \quad T_2 \div P_2 + P_2' \text{ となり,}$$

$$\frac{T_2}{T_1} \div \frac{P_2 + P_2'}{P_1 + P_1'} \div \frac{P_2(1 + P_2'/P_2)}{P_1(1 + P_1'/P_1)} \div \frac{P_2}{P_1}$$

と考えてようろう。

(2) 根軌跡から導く方法 (稲葉, 1967)

$G_1=1/(1+P_1S)$, $G_2=1/(1+P_2S)$ とすれば、 $G_1(j\omega)$, $G_2(j\omega)$ の根軌跡は Fig.18 の如くなる。ここで動作系の G_1 と判断系の G_2 とが、ほぼ同じ調子 (等しい位相角) で作動するものと仮定すれば、根軌跡の同じ点で作動することになるので、 G_1, G_2 の根軌跡の同じ点をとって

$$\omega_1 P_1 \div \omega_2 P_2$$

ただし ω_1, ω_2 は G_1, G_2 の軌跡上の ω の値が成立つことになる。これから、

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{2\pi/\omega_2}{2\pi/\omega_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

ということで、時定数の比は周期の比にほぼ等しいことがいえる。

6 C. C. No. の測定と応答能力との対応

6-1 テストペーパーの開発

以上の如くして導いた C. C. No. は、同じ程度の負荷をもった判断と動作をくり返し測って、その平均の所要時間 T_2, T_1 を算出すればよい。しかし実際には判断だけを測ることは出来ないの、

(a) 選別テスト=(判断+動作)の応答から $(T_2+T_1)T$ を測る。

(b) 動作テスト=判断を要しない動作から T_1 を測る。

の2つのテストを行ない、

$$\text{C. C. No.} = \frac{K}{T} - \frac{K'}{T_1}$$

に代入して C. C. No. を算定することにした。

テストは容易にかつ一度に多数の測定が可能のように、各種の検討を加え Fig.19 のようなテスト用紙を確定した。(a)は選別テストで、○は1, △は2, □は3という対応で、縦ワクの左にランダムに印刷された○△□に応じて、右側1, 2, 3の該当するワク内に鉛筆で打点させる。(b)は動作テストで、2本の平行線を股いで左右の面内に交互に打点する。

これらのテストはいずれも1回10秒間の時間で選別3回、動作2回、合せて50秒で終り、C. C. No. は選別の平均打点数と動作の平均打点数で、計算表から読取ることにより即座に求められる。筆者の定めたテスト用紙では、 $K=3$, $K'=1/2$ とすることにより、ほとんどの人

FIG. 17. 時定数とくり返し時間

FIG. 18. $1/(1+PS)$ の周波数特性

FIG. 19. C. C. No. テスト用紙

TABLE 1

C.C. No.	バ ラ ン ス	応 答 能 力
0 — 1	2 よ り 大	最 低
2 — 3	2	最 高
4 — 5	2 よ り 小	普 通

が C.C. No. = 0~5 の範囲に入る。C.C. No. と応答能力の対応は Table 1 の如くなる。この表は各人の C.C. No. に応じて、各人が達し得る応答能力の限界値を示すものであり、努力を怠れば応答能力はいくらでも下がるので、不熱心な能力を比較するものではない。このことは先にも注意した通りである。この用紙を用いて各種の応答能力との対応を求めたところ、能力限界値の分布は Fig. 13 の推定と全く一致する結果となった。

6-2 バスケットボール

高校生高学年について一定期間体育の時間にバスケットボールの実技を教え、最後に実技点をとって C.C. No. との対応を求め、各 C.C. No. で最上位の点を結ぶと Fig. 20 の ① となり、Fig. 13 ② と同じ形となった。

C.C. No. 曲線は能力限界を与えるもので、限界値より低い者は不熱心さが招いた結果と解される。しかし不熱心な能力点も等価に考えて、全データから回帰曲線を求めると同図 ② の如くなり、標準誤差を求めて相関比を求めると 0.43 といった低い値になる。したがって各 C.C. No. における低能力点の者には法則性はないと考えられる。

熱心な被験者で行なった測定では、全能力点が能力限界曲線に沿って分布する結果が得られた。これから能力限界曲線よりの能力低下で、応答者の不熱心さも伺われるようで、低能力点は統計的な対象には乗せられないのではないかと思う。

6-3 剣道の勝抜戦

同じ高校生について剣道の勝抜戦を行ない、2 勝までの成績と C.C. No. との対応を求め、各 C.C. No. で最上位の点を結ぶと Fig. 21 の如くなりこれも理論値と一致した。

特にこの図から最優秀の C.C. No. を推定すると C.C. No. = 1.5 にあり、正規の指導を受けていない者の剣道試合では、C.C. No. = 2~3 の最適応答よりも、若干バランスの大きい ($P_2/P_1 \rightarrow$ 大、すなわち判断が鈍くても動作の速い) 傾向の者で、手数多く打ち込んだ方が勝つ確率が高いことを示し、いわゆる作業内容に応じて適当する C.C. No. のあることを示唆するものと考えられる。

6-4 挙動特徴

同じ高校生について、技能点以外の特性と C.C. No. との対応を知ることがを目的として、生徒の生活や性格な

TABLE 2

C.C. No.	挙 動	クラブ活動	校 内 活 動
0—1	尚 早 型	所属はバラバラ	活動は不活発
2—3	適 応 型	大多数が運動部	積極的で大活躍
4—5	おくれ型	大多数が文化部	地味で熱心に活躍

どを知る担任教師の観察や、クラブ活動などを一人一人綿密に調査したところ、Table 2 如き興味ある傾向がわかった。

ここで図らずも尚早型(あわて型)、適応型(機敏型)、おくれ型(落つき型)の3つのタイプを発見した。これらの応答メカニズムについて次の如く説明できよう。

Fig. 22 の如く適応型、おくれ型、尚早型の順に並べて、これらに同じ作業をやらせたとしよう。

FIG. 20. バスケットボール 実技点

FIG. 21. 剣道の勝率

①の適応型は $T_2/T_1=2$ で最適応答がなされる。

②のおくれ型は $T_2/T_1 < 2$ ということで、判断は人並みより速いが動作が遅いので、 $T=(T_1+T_2)$ の全体の応答は長びくようである。そこで人並みの速さにしようとして判断の T_2 は縮められないので、動作の T_1 を縮めることがなされる。したがって動作が粗くなり、判断は正しくても応答は若干まづかる。これが応答能力普通ということになる原因だろう。

③の尚早型は $T_2/T_1 > 2$ ということで、判断が鈍いので T_2 が長く、動作は早く T_1 は短いというバランスである。結局応答時間 $T_1+T_2=T$ は長びくので T の短縮を企てることになるが、 T_1 は短縮できないので T_2 の短縮が行なわれる。ところで T_2 の短縮には二つの方法がある。

(1) 途中までで判断を打ち切る(判断の打ち切り)

(2) 大事な情報だけ拾って詰める(拾い読みの判断) どちらも判断を誤ることが多く、(1)では打ち切った後の見通しの誤り、(2)では誤った拾い読みや読み落しを生じる。こうした不確実な判断に動作をつなげるために応答は極めて悪く、常に修正動作を追加しなければならないのであわてた応答になるし、常に満足な応答ができないことから自信がなくなる。これが尚早型、あわて者の特徴である。

6-5 交通事故

交通事故も応答の失敗である。したがって C.C. No. の劣る者が重大事故を起こしたり、事故を多発しているものと推定される。そこで千葉県で交通事故を起こした処分者ばかり 226 名について、C.C. No. と事故の重さとの関係を調べたところ、Fig.23 の如くなり、免許停止日数 99 日以下の事故では C.C. No. の優劣に関係なく発生しているが、100 日以上 の重大事故者は 12 名中 1 名を除き、すべて C.C. No. < 1.4 の範囲に入った。(この 1 名の例外は県外者で、事故内容も明確に調査できなかった。)

FIG. 22. 尚早型の応答メカニズム

かった。)これから C.C. No. < 1.4 の者は事故を起こしやすい者と推定される。

これらの事故者について C.C. No. だけでなく、C.C. No. を T_2/T_1 のバランスと T_2 の判断時間の 2 次元で分析すると Fig.24 の如く、 $T_2/T_1 \rightarrow$ 大、 $T_2 \rightarrow$ 大では C.C. No. $\rightarrow 0$ となり、判断が悪く、バランスも劣る者が重大事故者ということになる。

この 2 次元分析で種々分析すると、適応型で事故を起こしているのは経験不足が多いが、経験が長くても重大事故を起こしているのは、やはり $T_2/T_1 \rightarrow$ 大、 $T_2 \rightarrow$ 大、C.C. No. $\rightarrow 0$ の制御能力の劣る者が圧倒的に多かった。したがって各人について C.C. No. を測ることによって

FIG. 23. 交通事故の重さと C.C. No.

FIG. 24. 事故者の特性分析

運転適性の有無を判定することができよう。

6-6 自動車教習

C.C. No. が劣るということは技術習得の能力も劣るに違いない。国内4カ所の自動車教習所にて、一定のスケジュールで3時間の教習を行なった直後、外周一周コースで実技点をとって C.C. No. との対応を調べたところ、Fig.25 の如くなり、ここでも最上位点を結ぶと C.C. No. ≈ 2 近辺に最高点を示す曲線が得られた。さらに男女別に T_2/T_1 のバランスと失点との対応を図示し、最小失点を結ぶと Fig. 26 (a)(b) となり、fig. 12 の [V], [D₂] と考え合わせれば、男性は [V] 応答で、目標目がけて一心に応答しているのに対し、女性は [D₂] 応答で、いろいろなことを考えながら応答していることがわかり、女性心理の一端を示すものと思われる。

6-7 学習能力

C.C. No. を子供について考えると、C.C. No. の劣る子供は情報の取り方も劣るので、学業成績も劣るに違いないと思った。そこで能力差の大きい子供の入学する夜間高校の新入生について、入学間もない6月の C.C. No. と、画一授業を行なった一学期の成績との対応を求めたところ Fig. 27 の如くなり、各 C.C. No. の上位点を結ぶと図中①の如く C.C. No. ≈ 2 で最優秀となった。

ところで成績下位者に注目して C.C. No. ≈ 1.5 で2群に分けると、C.C. No. < 1.5 のグループ②は無欠席、C.C. No. > 1.5 のグループ③は全員欠席があるので不熱心なことを示し、無欠席側のグループ②は、一応努力は

したが、判断が鈍いという素質的な弱さから振わなかった。

欠席側のグループ③は、一応素質はいいのに努力不足で振わなかった。

FIG. 25. 運転技能と C.C. No.

FIG. 26. 男女別応答内容の分析

FIG. 27. 学業成績と C.C. No.

ということで、グループ②の素質の劣る者には視聴覚教育などの特別な指導を与え、グループ③の努力不足の者については、欠席しないように叱咤激励すれば、どちらも成績は改善されると思う。これらの原因を突止めないで単に指導強化を企てても、指導方法が相手の特性に適合しなければ、労ばかり多くして効果はない。こういう意味で就学年令を早めることも叫ばれてはいるが、もっと本質的に子供の弱点を測定して、弱い方を強化するような教育に変えることこそ急務ではなからうか。

7 結 語

個人の適性を知することは極めて大切なことであり、いろいろな方法やテストが提案されていた。今回人間工学と自動制御論の新しい考え方で、個人の構造的に基づいた適性判定値として C.C. No. の誘導と 2, 3 の測定例を示した。個人の適性を判定するには個人の構造的に立脚しなければ、正確な判定は出来ないのではなからうか。この考え方は適性判定の方法を確立する根本的な問

題だと思っている。そういう意味で不完全なものとは思いうが、人間の神経支配を自動制御論的に解いて求めた C.C. No. は、一つの新しい手掛かりと考えている。C.C. No. テストを重ねるに従って、個人の行動的な性格判定も出来ることがわかった。現在交通事故防止などに利用されつつあるが、将来は教育の場に活用して頂きたいと思う。諸兄の御批判を仰ぎ、御指導を心から祈ってやまない次第である。

引 用 文 献

- 稲葉正太郎 1967. 自動制御入門：丸善。
Ernest J. McCormick 1964. Human factors engineering : McGraw-Hill.
坪内和夫 1961 人間工学：日刊工業新聞社。
A. J. ヤング プロセス制御系の設計（増淵正美訳）：コロナ社。

—1969. 4 . 4 . 受稿—