技能習熟の数学的考察

調査研究部　古賀一夫

1 緒言

各種の能力のなかで、物を自分の身体で直接につくりうる能力を技能という。

技能はつくり方及びつくる事に関連した知識を学習し、またつくる行為を反復練習することによつて増加してゆく。その増加過程を技能習熟過程という。

各種の習熟実験の結果、学習曲線は「双曲線になる」、「指数型成長関数をとる」[1]、習熟曲線は「log−logグラフで直線となる」[2]などといわれている。

しかし、これらは横座標に経過時間あるいは試行回数をとり、縦座標には測ろうとする能力そのものではなく、能力の大きさの目安、つまり測度を経験的に選んで表わしたものに過ぎない。したがって、このような曲線は能力そのものゝ増加過程を正しく表わしていない。

たとえば、物を正確につくる能力の測度としての製作寸法誤差は、ちがう物同志についての誤差の場合には能力の目安となり得ない。

このように、測度には一般に普遍性がない。

ある一定のものをつくるとき、誤差が恒常的に0.10㎜を越えない技能から恒常的に0.09㎜を越えない技能に向上するには、さほど大きな技能習熟上の努力を必要としない。しかし、0.02㎜から0.01㎜に向上するには非常に大きな努力を要するのである。つまりこの場合、測度上の加算によつて（0.10㎜−0.09㎜）＝（0.02㎜−0.01㎜）と両者は等しいかに思われるが、これは技能の実際的な向上は等しいことを意味しない。

このように、測度はあくまで目安にしか過ぎず、ほんとうに測定しようとする能力そのものではない。

以上のことから、厳密な意味で習熟曲線を描くためには、測定しようとする能力と測度との関連を十分に研究し、能力の基本量を定義づけることがまず必要である。そして、その基本量の具備すべき条件は、普遍性をもつものであることは勿論、その基本量を単位とする尺度は尺度上の等しい間隔が常に等しい意味をもつことが保証され、二つ以上の間隔の加算性の成り立つ尺度であるものでなければならない。すなわち、測度の間隔尺度化がなによりもまず必要なのである。

一方、学習曲線を数学的方程式で表わそうとする試みも多くなされており[3]、技能に関しては、成瀬の技能習熟方程式があるが[4]、未だ数学的仮定と学習あるいは習熟の機制（mechanism）の対応づけや、定数の意味づけが十分でない。これらを実験的に実証するためにも、測度の間隔尺度化は不可欠なことなのである。

筆者は、旋盤技能における間隔尺度化を、技能の通し評価法の研究[5]によって達成し、（その概要は2節に述べる通りである）その評点を数種の習熟実験[6][7][8]の結果に適用してみることで、3節に記した一定の実験式(1)を得た。

したがって、実験式(1)は間隔尺度化した単位基本量で得られたものであるから、本当の技能習熟を表わしているといえる。

本報告においては、以上の確証のもとにえ

られ、しかも各実験式が凡て一定の型になったことから、(1)式を技能習熟の一定法則を表わすものとみ、各実験定数を任意定数とした技能習熟の方程式とみなして、その検討、実証を数学的手法によって成した結果を述べるものである。その際、習熟の過程は技能の種類、教師を含めたいろいろな教育訓練の環境(以下単に「場」という)及び習う人(以下単に「人」という)によって異なるものであるから、任意定数の意味づけ、各実験定数と実験の場および人との対応づけを目論んだものである。

なお、本報告の基礎となった実験は、種類、期間および被実験者等々で、主に量的に満足されうるものでは未だない。したがって、場および人のもつ諸因子が技能習熟にどのように作用するかという重要な問題には深く触れることはできなかった。しかし、動物実験を中心にして教育を考えてきた学習心理学的分野に数学的思考を導入することで、その研究方法が新しく方向づけられるよう願うものである。

2.技能の通し評価法の概説

(1) 技能種類を問わず、神わざを100点、第一流を90点、技能がないのを0点とする。

(2) 寸法を正確に作る技能の場合、技能が0点から100点に達するまでに生じる寸法誤差の累積分布は正規分布をなす。この正規分布の標準偏差を評価の基準偏差とよぶ。xの技能になったということは、x以上の誤差を作ることがなくなったということである。xの誤差を生じたとき、x以上の誤差は作ることがなくなったとみなし、誤差がxより大きい確率の100倍をその技能点数とする。評価の基準偏差は第一流の技能者が表わす誤差のとき90点となるように定める。

(3) 速くできる能力を考えるとき、機械を用いる仕事の場合、たとえば切粉を出すなど、機械が当然必要とする時間は除外して考える。

ある一定の仕事をするとき、技能が0点から100点に達するまでの所要時間の累積分布は自由度2のχ^2分布をなす。この分布の助変数を評価の助変数とよぶ。

速くできる能力も(2)と同じ考え方で評価の助変数を決定し、評価点数を定める。

(4) 評価の基準偏差及び助変数には、作業の本質的な難易度を含むので、技能種別による係数を考える必要はない。

(5) 技能の通し評価法は測度を確率という一つの尺度に間隔尺度化したものである。

(6) 通し評価点数は間隔尺度化されて得られたものであるから、加算及び平均することができる。

2つ以上の要素を含む作業の技能は、各要素が機能に及ぼす影響等を考慮して重みつきの相加平均点数で表わす。

(7) 通し評価点数は確率であるから、2つ以上の点数を掛け合わせることができる。

正確に作る技能点数と速くできる技能点数を掛け合わせて100で割り、これを総合技能点数とする。これは数学的には、ある正確さがある速さでできる確率を意味し、実際的にはある価値のあるものをある速さでつくるという技能の生産性を意味する。

(8) 旋盤技能の通し評価法は、課題の異なる

２ケ年度に渡った全国総訓技能競技大会の評価に適用された結果、次のことでその妥当性が検証された。

(*a*) 常識的な総合点数の分布が得られた。

(*b*) 減点式評価法※で一流の技能者（先生）が決定した点数との間に$\gamma = 0.8041$（$n = 66$）以上の相関を示した。

(*c*) 作業未終了者について、作業打切り時間内の総合点数と、時間延長を許し作業を終了させた場合の推定総合点数と一致した。つまり、通し評価点数は作業の打切りの有無にかかわらず作業者の技能を表わした。

3. 実験方法とその結果

実験の種類、被験者及び各技能の測定値を通し評価点数で示した結果は、図１、図２、図３の通りである。ただし、各点数は被験者の平均点数であり、図３の優秀組とは訓練生２１名中、実験の結果が優秀な習熟を示した５名の平均である。

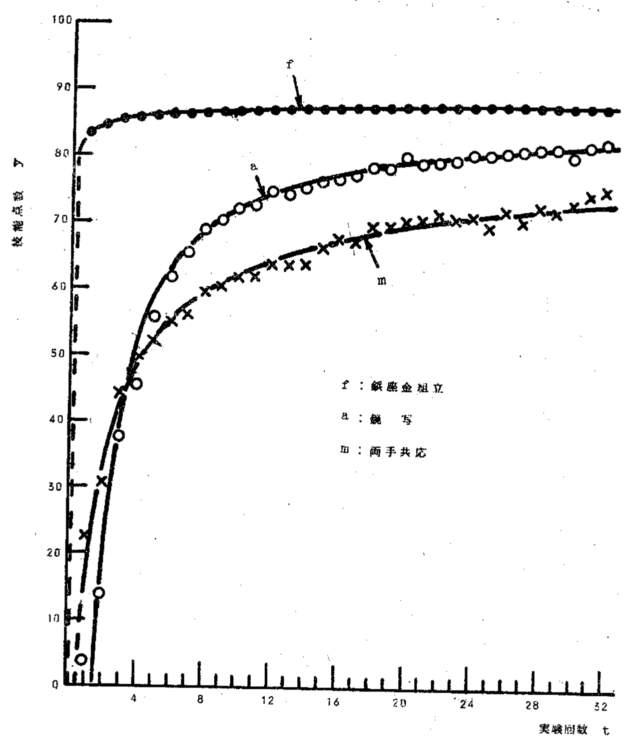

図１　単純手作業の習熟

（総訓１年生２１名平均）

※減点式評価法は課題要求を満たさない度合を測度で測り、これを点数表示する方法である。したがって、課題要求を満たしたもの相互間の技能比較ができないし、また異なった課題相互間の技能比較ができないなどの欠点がある。しかし、課題をややむつかしく決定し、測度の点数化を非常に高いレベルの技能者が行なった場合は、その人の技能評価の勘を点数で表わしたことになるので、一般に技能格差を表わした点数として信頼されている。

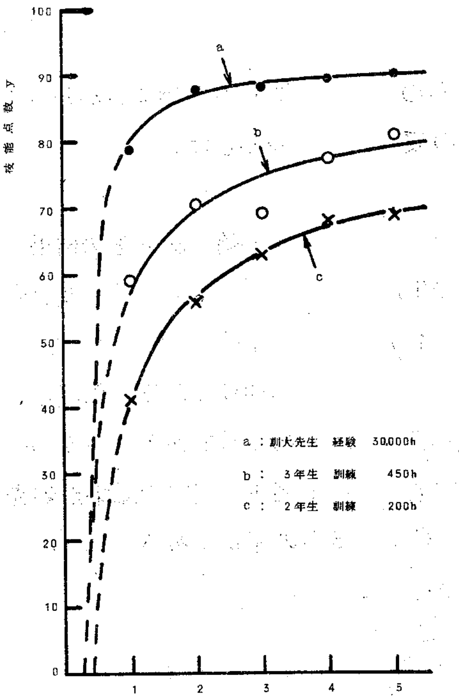

図 2 旋盤時間技能の習熟
(形状やゝ複雑)

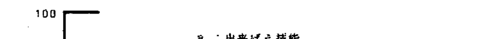

図 3 丸棒旋削技能の習熟
(総訓1年生 太線は優秀組、細線は総平均)

各実験における実験規制の大きな違いは次の通りである。

単純手作業は、試行第一回目の実施直前にやり方を説明し、やり方の手本を示した。2回目以後は特別な指示はなされなかった。なお、実験は1日1回実施された。

職業訓練大の旋盤時間技能の習熟実験は出来ばえ要求50点の形状やや複雑な図面を予め与え、使用工具は高速度鋼バイトに限るが、形状は任意、但し不合格品は受取らないとされ、以後特別な指示はなされず、1個づつ連続して作らされた。

総訓1年生の丸棒旋削作業は測定実習を終了後に作業手順書を配り、やり方を説明し、手本を示した。また、「速くやらずによいから正確にやるように」と特に指示された。2回目以後、よい習熟を示すものはそのまゝであったが、悪いものには特に注意指導がなされた。同時に、各回の作業成績はその都度被験者に知らされた。なお、この実験は5回目と6回目との間に夏休みを含み、旋盤基本実習10時間ごとに行なわれた。

以上、いずれの場合も実験式は(1)に示す様に同じ型になった。その定数及び考察に必要な計算値は表1に示すとおりである。

$$y = k\left(\frac{1}{t_0{}^n} - \frac{1}{t^n}\right) \qquad (1)$$

こゝで、y =技能の通し評価点数

t =試行回数。1、2、3・・・

t_0、k、n =実験の結果定まった定数

4.理論的考察

技能習熟を数学的に考察するに当って、数学で便宜上負の数を考えるのと同様、技能の概念にも負の技能を設定する。これは心理学でいわれるReadinessの不十分など、技能の発達・習熟に不適応をもたらす諸要因を意味する。

(1)式から

$$y_{t=0} = -\infty \qquad (2)$$

$$y_{t=t_0} = 0 \qquad (3)$$

$$y_{t=1} = k\left(\frac{1}{t_0{}^n} - 1\right) \qquad (4)$$

$$y_{t=\infty} = \frac{k}{t_0{}^n} \qquad (5)$$

(2)式から、人は生まれたときに無限大の負の技能を持つといえる。そして、人は環境の中で成育しつつ、負の技能を解消してゆく。

(3)式から、t_0 は負の技能が解消した時点と意味づけられる。

(4)式から、$t_0 > 1$ の場合は試行第一回目には未だ $-k\,(1 - 1/t_0{}^n)$ の負の技能をもつが、実験開始後 t_0 の時点で負の技能は解消することになる。

$t_0 < 1$ の場合は試行第一回目に既に $k\,(1/t_0{}^n - 1)$ の正の技能を持つ。これは実験前の過去の環境内で、実験環境に似た環境を経ていたりして、負の技能を解消していたのである。いずれにしろ解消時点は t_0 である。

(5)式から、技能習熟には限界値があり、その限界値は t_0 に反比例し、k に比例することがわかる。技能の通し評価法では神の技能を100点と定めたので、人の技能の $y_{t=\infty}$ が100点を越えることはない。また、人は生まれたその瞬間に技能をもつことはありえないのであり、$y_{t=\infty}$ は有限でもあるので t_0 が0となることはない。

(4)式と(5)式から

$$k = y_{t=\infty} - y_{t=1} \tag{6}$$

(6)式から、kは試行第一回目における習熟残余量といえる。また、試行第一回目における技能が未だ負であるときは習熟残余量は習熟限界値より大きくなることがわかる。

次に、yをtで一回微分したものを$\dot{y}$で表わすと、$\dot{y}$は習熟テンポである。

$$\dot{y} = \frac{nk}{t^{n+1}} \tag{7}$$

$$\dot{y}_{t=0} = +\infty \tag{8}$$

$$\dot{y}_{t=1} = nk \tag{9}$$

$$\dot{y}_{t=\infty} = 0 \tag{10}$$

(7)式から、習熟テンポは試行が進むにつれて減少することがわかる。

(8)式から、人は生まれたときに無限大の習熟テンポをもつといえる。このために、人は生まれたときもつていた無限大の負の技能を比較的早く解消するのだと考えられる。

(9)式から、nkはすなわち試行第一回目の習熟テンポであることがわかる。

(10)式と(5)式から、習熟が限界値に達するときは必然的に習熟テンポが0になることがわかる。

次に、試行が1、2、3……回となされ、($x-1$)回まで終ったとき、それまでの試行は凡て過去とし、実験試行x回目を新試行第一回目と考えてみる。

この場合、各定数に添字xを付ける。(1)式は次のように与えられる。

$$y = k_x\left(\frac{1}{t_0^{\,n_x}} - \frac{1}{t^{n_x}}\right) \tag{11}$$

もとのx回目と新しい一回目は技能は同一であるはずであるから、

$$k_x\left(\frac{1}{t_{0x}^{\,n_x}} - 1\right) = k\left(\frac{1}{t_0^{\,n}} - \frac{1}{x^n}\right) \tag{12}$$

限界値も同一であるはずであるから、

$$\frac{k_x}{t_{0x}^{\,n_x}} = \frac{k}{t_0^{\,x}} \tag{13}$$

更に、もとのx回目と新しい一回目の習熟テンポも同様に、

$$n_x k_x = \frac{nk}{x^{n+1}} \tag{14}$$

(12)～(14)式から次の三式が導かれる。

$$n_x = \frac{n}{x} \tag{15}$$

$$k_x = \frac{k}{x^n} \tag{16}$$

$$\therefore \log k_x = \log k - n \log x \tag{16'}$$

$$t_{0x} = \left(\frac{t_0}{x}\right)^x \tag{17}$$

$$\therefore \log t_{0x} = x(\log t_0 - \log x) \tag{17'}$$

(15)、(16)及び(17)式から

$$\dot{y}_{t=x} = n_x k_x \tag{18'}$$

以下、xの添字をつけた各定数をx時の定数とよぶ。

(15)式から、x時のn定数は、$x=1$のとき実験定数nに等しく、試行回数に比例して減少し、実験定数kの影響を受けないことがわかる。

(16)式から、x時のk定数は、$x=1$のとき実験定数kに等しく、試行が進むにつれて減少するが、その減少は(16)′式から$log-log$グラフで見て、nの大きさに比例するといえる。また、k_xが小さくなるということはx時の残余習熟量が小さくなることを意味し、nが大きいほど習熟が早くなるといえる。

(17)式から、x時のt_0定数は、$x=1$のとき実験定数t_0に等しく、試行が進むにつれて変化していく。その変化は(17)′式から$t_0<x$、すなわちx時に正の技能が表われるときはx時のt_0定数が小さくなるように、また$t_0>x$、すなわちx時に負の技能が表われるときは反対に大きくなるように変化することがわかる。

(9)式によって、試行第一回目の習熟テンポは実験定数nとkとの積として定まるといえたと同様に、(18)式から、x時の習熟テンポはx時のn及びk定数の積として定まるといえる。

また、実験の結果$t_0<1$で、t_0が0に近いことは、過去に実験試行が数回実施されていたことと同等であるので、上記のことからt_0が小さいときは実験定数n、k及びnkは小さいのが当然といえる。

したがって、本来の人の差と場の差はt_0時のn及びk定数でみたほうがよい。

$$n_{t_0}=\frac{n}{t_0} \tag{19}$$

$$k_{t_0}=y_{t=\infty} \tag{20}$$

また、(15)、(17)式から次式が得られる。

$$\frac{n_x}{t_{0x}}=\frac{n}{t_0}\times\left(\frac{x}{t_0}\right)^{x-1} \tag{21}$$

(21)式は、試行が進むにつれて新しい試行を1回目として人の差を見なおすと、人の能力は習熟につれ急速に蓄積増大していることを意味する。

以上の式及び考察を図示すると図4となる。

図4に示すとおり、$y_{t=1}$における切線ベクトルtをかき、その終点を習熟限界線に一致させる。また、図のようにベクトルa、bを考えるとき$\mathrm{t}=\mathrm{a}+\mathrm{b}$である。$\mathrm{b}$の大きさは図によって$b=k$であるから、(9)式によって$\mathrm{a}$の大きさは$a=1/n$である。

また、x時及びt_0時における切線ベクトルについても同様のことがいえる。

さて、規制された技能習熟実験の場に人があるとき、場を一定とすると人の差は実験定数nまたはkのいずれに変化を表わすであろうか、換言すれば、nまたはkのいずれが人の差を表わすであろうか。

場があっても、場が図4のt（時間）方向のベクトルa,$\mathrm{a_x}$をひき起こしうるとは考えられない。ベクトルa,$\mathrm{a_x}$は行為によって人がひき起こすものと考えられる。

したがって、ベクトルaの大きさを決定する定数nは人の差を示す定数といえる。人は場の影響を受けるから、nは場の間接的な影響を含むのであるまいかとも思われるが、(15)式においてn_xはn以外の定数を含んでいない。

よって、nは「人の差のみの定数」と意味づけることができる。

技能習熟の場は技能を引き上げる潜在力、すなわちポテンシャルを持ち、よい場であるほどそのポテンシャルは大きい。しかし、その効力の発現は人によって当然異なる。

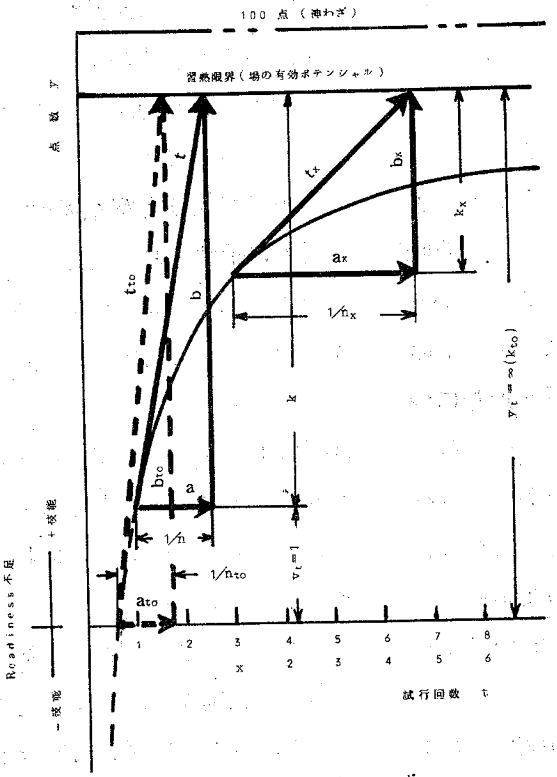

図 4　習熟テンポ

したがって、図4において上向きベクトルb、b_x、b_{t_0}は場のもつポテンシャルによってひき起こされ、その大きさは人の影響を受けて決定されたものといえる。(16)式をみると、x 時のk 定数の大きさ決定に人の影響nはxの指数で表わされている。

つまり、ベクトルb の大きさを決定する定数k は「主として場の差の定数で、人の差の影響も受ける」と意味づけることができる。

以上の考察によると、一定の実験の場に一定の人が入ると、その人の技能習熟の限界値は決まるということになる。

一定の場の中で人が、たとえば適応にむかって意識的に努力するなどの自己改造をx時に起こし、その結果x時のn定数がΔn_xだけ増加したとすれば、(15)式から、

$$\Delta n_x = \frac{\Delta n}{x} \qquad (22)$$

ゆえに、自己改造による新しいx時のn定数n_x'は次式となる。

$$n_x' = \frac{n + \Delta n}{x} \qquad (23)$$

また、場が一定でそのポテンシャルに変化はなくても、人の自己改造で場の有効ポテンシャルは変わる。x時の新しいk定数k_x'は(16)式によって次式となる。

$$k_x' = \frac{k}{x^{n+\Delta n}} \qquad (24)$$

(11)式に(23)、(24)、(17)式を代入することによって、自己改造後の習熟y_x'は次式

で表わされる。

$$y'_x \doteqdot k\left\{\frac{1}{t_0{}^{n+\Delta n}} \quad \frac{1}{(x\cdot t^{\frac{1}{x}})^{n+\Delta n}}\right\} \tag{25}$$

上式のtはもとの習熟のx回目を1とし、それ以後2・3・・・ととる回数である。

上式で$t=\infty$と置くことで、新しい習熟限界値$y_{t}'=\infty$は次式となる。

$$y_t'{}_{=\infty}=\frac{k}{t_0{}^{n+\Delta n}} \tag{26}$$

(19)式から、

$$\Delta n=t_0\cdot\Delta n_{t0} \tag{27}$$

ゆえに、$n+\Delta n=t_0(n_{t0}+\Delta n_{t0})$

これを(26)式に代入して、

$$y_t'{}_{=\infty}=\frac{k}{t_0{}^{t_0(n_{t0}+\Delta n_{t0})}} \tag{28}$$

$$\frac{y_t'{}_{=\infty}}{y_{t=\infty}}=\alpha_n \tag{29}$$

とおけば、

$$\alpha_n=\frac{1}{t_0{}^{t_0\cdot\Delta n_{t0}}} \tag{30}$$

上式の対数をとれば、

$$\log\alpha=-t_0\cdot\Delta n_{t0}\log t_0 \tag{31}$$

(31)式において、$t_0<1$のときは$\alpha_n>1$ $t_0>1$のときは$\alpha_n<1$となる。

したがって、技能が未だ負なら、自己改造による習熟限界の向上はあり得ないといえる。

また、(25)式によって、自己改造が早く起これぱその効果は除々に、おそく起これば急速に表われることがわかる。つまり、人が老化せぬ限り、自己改造はおそすぎることはないといえる。

次に、人が一定であり、x時に場の改造が起こり、場自体のポテンシャルKがΔK増加し、x時のk定数がΔk造加したとする。

場の改善以後の習熟をy_x''で表わし、改善後第一回目の試行のときに表われる技能を$y_x''{}_{\cdot 1}$とする。人は一定であるので、場の改善の前と後で、場のポテンシャルの有効度に変化があるはずはない。したがって次式が成立つ。

$$\frac{y_x''{}_{\cdot 1}-y_{t=x}}{\Delta K}=\frac{y_{t=\infty}}{K}=\frac{y_t''{}_{=\infty}}{K+\Delta K} \tag{32}$$

また、新しい習熟限界値$y_t''=\infty$は場の改善の時点にかゝわらず次式となる。

$$y_t''{}_{=\infty}=\frac{k}{t_0{}^n}+\Delta k \tag{33}$$

(32)、(33)および(1)式から次式が得られる。

$$k_{x\cdot 1}''=k\left(\frac{1}{t_0{}^n}-\frac{1}{x^n}\right)+\Delta k \tag{34}$$

したがって、上2式を相減じ、x時の新しいk定数のk_x''は次式となる。

$$k_x''=\frac{k}{x^n} \tag{35}$$

上式を(11)式に代入し、$k/x^n\,t_{0x}{}^{n_x}=(k/t_0{}^n+\Delta k)$。次に(15)式の条件を入れて整理して次式が得られる。

$$y_x''=\frac{k}{x^n}\left\{\frac{1}{(t^{\frac{n}{x}})^n}-\frac{1}{t^{\frac{n}{x}}}\right\}+\Delta k \tag{36}$$

(11)、(15)、(16)、(17)式から、(36)式右辺の第一項は、人・場ともに変化なく単にy習熟のx回目の試行を新しい1回目とし、それ以後の試行を2・3・・・とした場合である。

これをY_xで表わせば(36)式は次式となる。

$$y_x' - y_x = \Delta k \qquad (37)$$

(33)、(34)及び(37)式によって、場の改善が起こるとそのときから、場の有効ポテンシャルの増し分だけ、改善がない場合の習熟にうわ積みされるといえる。

したがって、場の改善は早い方が望ましいのは勿論であるが、いわゆる特訓もまた、効果があることがわかる。

5.実験結果の考察

図1〜3をみると、いずれの場合も実測点はよく実験曲線に乗っている。したがって、技能の通し評価法の妥当性も高く、また実験式も信頼しうる。

以下、実験式から求めた表1の実験数値をもとに考察を進める。

同一環境ごとの比較において、t_oが小さいほど$y_{t=1}$, $y_{t=\infty}$が大きく、k, n, nkが小さく表われているものについては、前節の考察で既に明らかであるから多くは触れない。

単純手作業の鋲座金組立のt_oは0に近い。これは生まれてまもなく人は指先を使うためであろう。この実験結果の習熟は微少で、n/t_oが他に比べて異常に大きい。したがって、この実験曲線は一般の習熟曲線でなく、若干の馴れを伴った指先の器用さを示すものと思われる。

鏡写作業は$t_o>1$、$y_{t=1}<1$となっている。これは単に曲線のあとを鉛筆でたどるだけの行為であれば、習字や絵画で馴れていてたやすいのだが、鏡写はかえってそれらで固定化した感覚が作業に対して負の技能として働きかけたため、作業を困難にしているのだと思われる。つまり、この作業では視覚的印象と手の運動との日常の関係が破れているからである。

以上のことから、日常の動作、感覚のなかで、後にある種の技能を習熟しようとするとき、十転移するようなものに馴れていることは必要なことと思われる。

次に、両手共応と鏡写の比較によると、$y_{t=\infty}$とn/t_oが共に小さい差しか認められない。これはこの種の作業は馴れさえすれば、同じようにできる作業であるからであろう。

環境②の3年生と2年生の比較において、3年生のt_oが2年生のt_oより小さいのは、既訓練時間の差として当然といえよう。(3年生450時間、2年生200時間)。また、n/t_oは3年生が2年生の1.5倍以上大きいが、これは技能上の専門知識の多少及び応用力の差と思われる。すなわち、本作業は被験者が自ら作業行程と手順を考えつつ行なうものであったからである。更に、これらの人の差の間接的影響は$y_{t=\infty}$の5点の開きにもうかがわれる。

次に、3年生と先生とを比較すると、t_oはほぼ等しい。このことは既訓練時間の差が当然あるにもかかわらず、運動能の壮年者と青年者の差が非常に大きく作用したためと思われる。しかし、運動能の劣勢は再び先生のもつ技能人としての諸要因によって十分補われてゆき、その結果、n/t_oでは先生は3年生の2倍を越す大きさとなって表われる。よって、時間技能は人の運動能の差を定数nではなく、t_oに含ませて考えるべきであろう。

環境③の各技能についてみると、まず、時間技能において、優秀組と総平均が等しいが

表1　　実験数値の一覧表

環境	技能			人		t_0	$y_{t=1}$	$y_{t=\infty}$	k	n	nk	n/t_0
①	単純手作業	鋲座金組立	時間（速さ）	総訓 1年生平均		0.000006	83.3	93	9.7	0.19	1.8	31.666
		両手共応				0.70	13.1	89	75.9	0.46	34.9	0.657
		鏡写				1.53	−45.0	86	131.	0.98	128.4	0.641
②	旋盤作業	形状複雑で作業はやや困難	時間（速さ）	訓大	先生	0.25	80.0	91	11.	1.53	16.8	6.120
					3年生、平均	0.23	57.5	90	32.	0.70	22.8	3.043
					2年生、平均	0.37	40.9	85	44.	0.66	29.1	1.784
③	旋盤作業	丸棒削り 最も基本的な作業	時間（速さ）	総訓、一年生	優秀組	0.02	27.6	80	52.4	0.11	5,8	5.500
					総平均	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
			出来ばえ（精度）		優秀組	0.68	18.3	87.5	69.2	0.61	37.9	0.897
					総平均	1.12	− 7.4	65	72.4	1.04	75.3	0.928
			生産		優秀組	059	6.3	70	63.7	0.18	11.5	0.305
					総平均	087	1.7	52	50.3	0.21	10.6	0.241
備考	③、生産、総平均において 試行4回目を新しい1回目としたとき					0.02	16.7	70	53.3	0.07	3.7	3.621

これは、この作業が単純で、主に運動能によるものであるからと考えられる。

次に、出来ばえ技能において t_0 が、総平均の方が優秀組より可成り大きい。したがって当然、両手共応と鏡写との比較及び理論的考察の結果からして、総平均の k は72.4より更に大きくなると思われるにもかかわらず、実験の結果は、それほど大きくなっていない。

この原因は、前述の実験規制にあると思われる。すなわち、本作業においては、1〜2回目の試行で負の技能が認められる被験者に対し、重点的指導が行なわれたので、そのことが総平均に対する場の改善となっているのである。つまり、場の改善が行なわれた2〜3回目以後の習熟コースは、(36)式によって、以前のコースよりよくなっているのである。$y_t = 1$ はよい習熟コースの逆延長によって決定されたものであるから、k は従前のコースからの値より非常に小さくなったのである。

n/t_0 は総平均が優秀組よりむしろ大きい。これは本作業が適性とか知識とかによることの少ない単純な作業であったため、優秀組に負けまいとする意欲が、人の差に、自己改造をうながす要因として強く働きかけまた固定したためと思われる。

しかし、以上にかかわらず、実験の結果、平均組は優秀組に習熟の結果達成しうる習熟限界値では追つけなかったことを示している。

これは、実験初期においては、平均組は優秀組より人の定数、したがってまた、場の有効ポテンシャルも非常に低くかったためである。

このことは、入所後、実験開始までは同様な教育訓練にもかかわらず、優秀組は試行1回目に正の技能を表わしたのに対し、平均組は負の技能しか表わし得なかったことでわかる。

最後に、生産技能の比較において、t_0 は優秀組が小さい。しかるに、k 、nk は理論的考察に反し、優秀組がかえって大きくなっている。

この原因は k に及ぼす人の影響かとも思われるが、n/t_0 の比較では環境②ほど大きな差はない。したがって、他に原因があると考えられる。

ある一つの場の中で人は同時に時間技能と出来ばえ技能の習熟を遂げるので、場は時間技能を引き上げる時間ポテンシャルと出来ばえポテンシャルの2つを持つといえる。

さきに、生産技能は時間技能と出来ばえ技能の積として定義した。したがって、場が生産技能を引き上げるポテンシャル、すなわち生産ポテンシャルは時間ポテンシャルと出来ばえポテンシャルのベクトル積と考えられる。

以上のように生産の k はポテンシャルのベクトル積なるが故に、実験の結果となったと思われる。

図3において、平均組の生産技能習熟曲線も、試行1〜8回の総体的傾向として捕えてある。しかし、実測値を注意してみると、試行1〜3回の習熟と4〜8回の習熟は明らかに異質である。これは3回以後に、成積が悪いものに先生の注意指導がなされた、すなわち場の改善が起ったことと、前に述べた、出来ばえ技能面における成績不良者の自己改造がその原因である。

試行の4回目を新しい1回目とした習熟曲線は点数で示すとおり、もとの試行1〜3回

までの傾向を延長して考えた場合より一段上位の習熟につき、優秀組と平行している。

この新しい習熟の実験定数は表1の備考に示すとおりである。習熟限界値は優秀組に等しく、場の改善の効果は著しいことがわかる。n/t_o は3.621と飛躍的に大きくなっているが、これは(21)式で述べたとおり、前3回の試行による人の能力の蓄積増大と自己改造の和と思われる。

6.結言

筆者が作った技能の通し評価法は、既に技能の測度の間隔尺度化を達成しており、これを利用して導かれた実験式(1)は技能習熟の理論方程式に近いといえる。

今後も、いろいろな条件に規制された実験を重ねて、実証を深めてゆく。

なお、本論を要約すると次のとおりである。

(1)心理学でいわれるReadinessの不十分などを一括し、負の技能の概念として処理することで、技能の数学的・理論的取扱いは容易になる。

(2)技能習熟の限界値は$k/t_o n$として定まり、to の影響が最も大きい。to は負の技能が解消した時点であり、to が小さいほど限界値は大きくなる。toが小さくするには、技能そのものをより早く習うに勝ることはないが、技能に十転移するような動作、習慣を馴致することが重要である。

(3)定数nは人によってきまる。n は大きいほどよい。固定したものでなく可能性を有するものであるから、自発的には勿論、他発的にも勉強や努力によって大きくなる。また、この人の自己改造というべきものは、おそく起っても技能習熟にとっておそすぎるということはない。

(4)場は時間技能及び出来ばえ技能を引き上げる2つのポテンシャルをもち、その積が生産技能のポテンシャルになるといえる。一定の場は個有の大きさのポテンシャルを持つが、その有効度は人によって異なる。習熟の限界値は場の有効ポテンシャルである。

定数kは主として場によってきまるが、人の影響もうけ、実験では試行1回目の習熟残余量として定まる。k は大きいほどよく、場のポテンシャル自体が大きいほど、またnが大きいほど大きくなる。

場を改善すると、その効果は直ちに表われ持続される。

終りに、本考察にあたり、職業訓練大学校の成瀬校長の論文[4)]が指針となり、教育学専攻の木村力雄氏、心理学専攻の手塚太郎氏、および戸田勝也氏の討議を戴いたことを感謝します。