島根大学教育学部紀要（教育科学）　第5巻　283—291頁　昭和46年12月

ＣＡＩに関する研究（Ⅰ）

── 学習プログラム選定法について ──

林　隆一・野坂弥蔵

Ryuichi HAYASHI and Yazo NOZAKA :

Studies on Computer-Assisted Instruction (1)

——on the Method of Choice of Learning Programs——

Abstract

In this paper, we report the method of choice of learning programs when there is the difference of student intelligence between the groups, in which the prepared learning programs have been tested, and other groups that we will present them.

Algorithm for the choice of learning programs ; We make the assumptions that the probability distribution of studen intelligence is normal probability distribution and the correct answer rate is in proportion to the student intelligence. Under the above assumptions, we calculate the correct answer rate of the groups when the prepared learning programs are applied to other groups, and then chose the learning program that the correct answer rate equals to some value (0.8 in this paper).

Within the limits of the data used, theoretical values agreed well with the data.

Ⅰ はじめに

CAI (Computer-Assisted Instruction) は電子計算機の二つの重要な能力 —— 高速な処理能力，大容量の記憶能力——を利用して，生徒個人々々の能力，性格などに適応する個人教育を実施する自動化教育システムである。それは，情報化社会に対する教育改革でもあり，わが国でもこのＣＡＩの開発にようやくのりだし始めている。

電子計算機自体は複雑なハードウェアであるが，“教育”という問題はどこまでも人間の知的活動に関するものである。それ故，ＣＡＩの中心はあくまでも“教育”というソフトウェアであり，ハードウェアはＣＡＩの実施を助けるための道具であると考えるのが本筋であり，ＣＡＩの研究課題の中心もソフトウェアにある。

現在考えられているCAIは，プログラム教育を電子計算機の助けを借りて実施するものと考えて大過ないものと思われる。従って，生徒に提示する学習プログラムの良否がCAIシステムの教育効果に多大の影響を及ぼすと考えられ，問題の選定法の確立が重要となる。

本報では，CAIのソフトウェアに関する基礎的研究として，CAIシステムに限定せず，一般にプログラム学習におけるリニア型学習プログラムの選定方法について数量的に検討したので報告する。

II　教材の提示法について

CAIシステムでは電子計算機を利用しているので単に多人数教育というよりは，多種類の問題を多人数に同時に与えることができる。また，生徒個人々々の応答を相当詳細に記憶させることができ，この過去のデータを利用して適切な教材の提示が可能になる。この事は，能力の異なる生徒それぞれに応じて適当な教材を選ぶことができ，その進め方も各自の能力に応じて決めることができる可能性を示唆している。しかし，電子計算機が大容量の記憶装置を持っているからといっても，すべての生徒のあらゆる過去の応答を記憶させることは不可能であるため，応答パターンの特徴抽出ということが重要となってくる。

現在のところ，応答パターンの特徴抽出法が確立していないため，ブランチング・プログラムに対する明確な方法論については，未だ十分な研究が進んでいない。従って，今後もうしばらくリニア型を中心とした学習プログラムにならざるを得ないであろう。

上の理由から，生徒個人々々の能力に応じて異なった教材を提示することは，今のところ困難であるので，ここでは次の様な教材提示法を考えることにする。

生徒を能力レベルによっていくつかのグループに分けると同時に，能力レベルに適応したリニア型学習プログラムをグループ数だけ準備する。同一時間内には同じレベルのリニア型学習プログラムによって学習するが，次の時間には能力評価に基づいて他のレベルの学習プログラムに移行できる。

この様な教材提示法を考えれば，各々のグループについてどの程度の学習プログラムを選定すればよいかということが以後の問題となる。

III　学習プログラムの選定

本章以後，学習プログラムとは，リニア型学習プログラムを構成する一つ一つの問題が同じ正答率をもつものをさす。その為，一つ一つの問題と学習プログラム全体の正答率は同じであり，学習プログラムと問題は同じ意味に使う。

生徒に学習プログラムを提示する場合には，生徒の能力と学習プログラムの特性（難易の程度）の両方について考慮せねばならない。学習プログラムの特性は，個々の生徒の能力をあらわす種々な因子が複雑に影響しており，確率的にしか捉えることができない。そのため，ここ

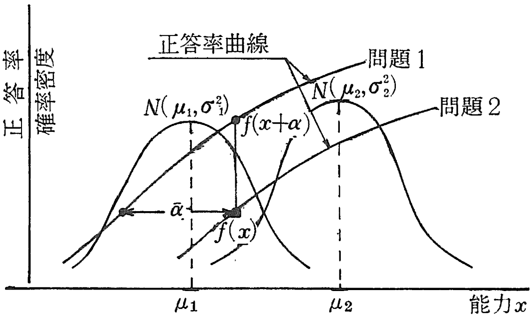
では学習プログラムの特性を測定する便宜上，一つの集団（ふつうは学級）におけるすべての生徒の学習プログラムに対する正答率――以下トータル正答率と呼ぶ――をもって特性を代表させることにする。

集団を構成する生徒の能力の平均値と分散は各集団によってそれぞれ異なるであろうが，集団の人数がある程度多ければ，その能力分布は正規分布と考えても差支えないと思われる。従って，各集団の能力の平均値と分散は異なるが，能力分布は各集団とも正規分布するものと仮定する。

本報で考えている学習プログラムの選定とは，ある能力の平均値と分散をもつ集団で過去に実施した学習プログラムを，他の異なった能力の平均値と分散をもつ集団に適用する場合に，どの程度のトータル正答率のものを選べばよいかを決定することである。

基礎式

学習プログラムのトータル正答率を求めるには，個々の生徒の能力 x に応じて問題（学習プログラム）に正答する割合を知る必要があるが，この正答率関数を $f(x)$――$0 \leqq f(x) \leqq 1$



第1図　能力分布と正答率の関係

――と表わす。能力 $x=$ 一定の場合であっても，問題の難易によって $f(x)$ の値は変化するが，この変化は図1に示す様に $f(x)$ を横軸に沿ってαだけ平行移動した $f(x+\alpha)$ の値によって求められるものとする。

トータル正答率は一つの集団のすべての生徒による正答率をもって定義しているので，正規分布 $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ の能力分布をもつ集団について考えれば，規準化 $z_1 = \dfrac{x-\mu_1}{\sigma_1}$ によって，

$$\text{トータル正答率} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(z_1+\alpha)\, e^{-\frac{z_1^2}{2}} dz_1 \tag{1}$$

と表わせる。

正規分布 $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ で求めたトータル正答率の問題を，正規分布 $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ の能力をもつ集団に適用する場合を考えれば，その集団における規準化した区間（$z_a \sim z_b$）の正答率は

$$z_1\sigma_1 + \mu_1 = z_2\sigma_2 + \mu_2$$

の関係を利用すれば，

$$\text{正答率} = \frac{\displaystyle\int_{z_2=z_a}^{z_2=z_b} f\,(Az_2+B+\alpha)e^{-\frac{z_2^2}{2}}dz_2}{\displaystyle\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{z_2^2}{2}}dz_2} \tag{2}$$

となる。ここで　$A=\dfrac{\sigma_2}{\sigma_1}$ ，$B=\dfrac{\mu_2-\mu_1}{\sigma_1}$

正答率関数

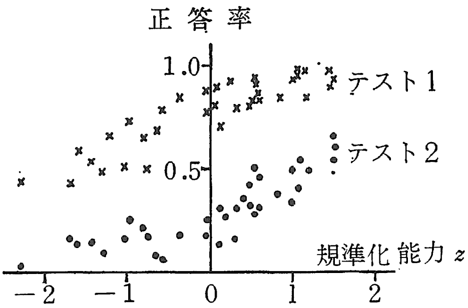
(1)，(2)式を計算するためには，正答率関数 $f\,(z)$ を決定せねばならない。$f\,(z)$ を決定するには，先ず生徒の能力を正確に評価・測定することが必要であるが，能力評価にはテストの成績，知能指数，学習速度等種々の因子が考えられるため，能力の客観的な定量化評価法は確立されていない。ここでは，手軽さのため一般に用いられているテストの成績をもって能力の代表値とする。

そこで，$f\,(z)$ を決定するためのデータとして中学における テストの成績を利用した。利用したデータの科目，人数，テスト回数を第１表に示した。

生徒個人々々の能力としては，一人の生徒が受けたすべてのテスト成績の平均値を用いた。能力に応じた正答率としては，平均値を求めるのに使った各々のテスト成績を用いた。一例を第２図に示す。横軸はクラスの能力の平均値と分散を用いて規準化した能力を示し，縦軸は正答率（各々のテストの満点に対する割合）を示している。

科　目	人　数	テスト回数
英　語	３７	７
国　語	４４	４
数 学1	３６	４
数 学2	３７	５

第１表　使用したデータ



第２図　能力と正答率の関係

第２図からも明らかな様に，問題――ここではテスト――の難易によって $f\,(z)$ の値は異なるが，$f\,(z)$ の一般形は かわらず平行移動 $f\,(z+\alpha)$ によって，各問題に 対する正答率を表わせるものと仮定しているので，$f\,(z)$ の形状だけを求めればよい。

そこで，能力と正答率は正比例するものと仮定すれば，$f\,(z)$ の一般形は

$$f(z)=\begin{cases}0 & \left(z<-\dfrac{b}{a}\right)\\ az+b & \left(-\dfrac{b}{a}\leqq z<\dfrac{1-b}{a}\right)\\ 1 & \left(z\geqq\dfrac{1-b}{a}\right)\end{cases} \tag{3}$$

なる折線で表わせる。

英　語	0.223
国　語	0.168
数　学1	0.188
数　学2	0.220
平　均	0.200

第2表　最小自乗法により求めた a の値

$f(z)$ の勾配 a を決めるために最小自乗法を用いることにするが，テストの難易によって切片 b の値が異なるため，すべてのテスト成績のデータから最小自乗法を用いて a を決めるよりは，テスト一回ごとのデータからそれぞれ a を決め，それらを平均したものを $f(z)$ の勾配 a とした方が合理的である。

最小自乗法で求めた各々のテストの a 値は0.135〜0.243の範囲にあり，各科目についての a の平均値は第2表の如くなった。

尚，能力として知能指数を用いた場合には正答率との相関は小さかった。

IV 計算結果

計算アルゴリズム

(3)式を用いて，(1)式から $f(z)$ の平行移動量 α を与えてトータル正答率を計算し，そのトータル正答率の学習プログラムで学習する集団の各グループについての正答率をA，Bをかえて(2)式から計算する。

利用したデータの範囲では，科目ごとに $f(z)$ の勾配 a が異なるのかどうかは断定できなかったので，すべての科目の平均値0.200について計算を進めた。

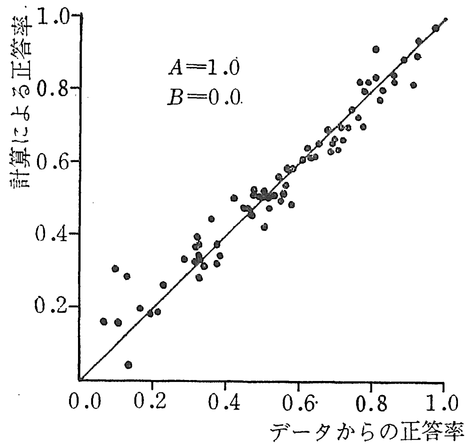
また，生徒を能力レベルによっていくつのグループに分けるかは，多くのグループに分ける程個人教育に近くなり教育効果もあがるであろうが，現実の問題として能力評価が明確でないので多数のグループに分けることは困難である。ここでは，集団を4等分することにする。即ち，

$$z<-0.7,\quad -0.7\leqq z<0,\ 0\leqq z<0.7,\quad z\geqq 0.7$$

の範囲に分けて計算した。

計算結果

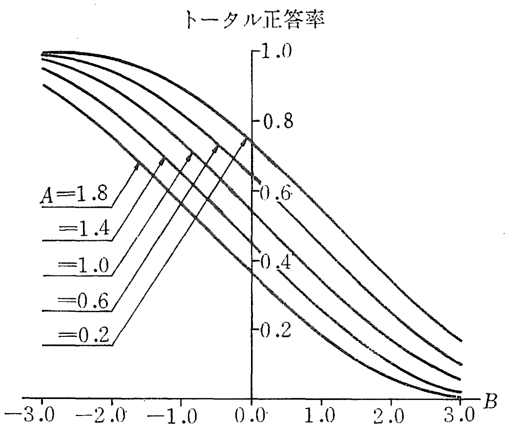
計算結果の妥当性を確かめるため，前章のテスト成績を再び利用した。一回のテストの平均点でもってそのテストのトータル正答率とし，このトータル正答率のグループごとの正答率は，上に示した4等分する z の値によって生徒をグループ化し，同一グループの生徒のテストの



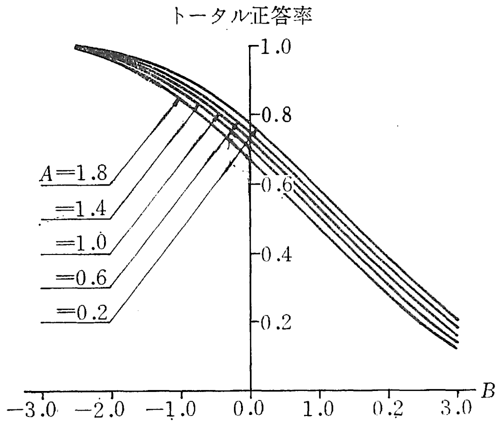
第3図　計算結果とデータの比較

平均値をもって表わした。計算結果（$A=1$, $B=0$）とデータから同じトータル正答率における各々のグループの正答率をプロットしたのが第3図である。計算結果とデータが一致しれば勾配1の直線上に点がのるはずである。第3図から明らかな様に，正答率の低いところ——即ち，能力の低いグループ——を除ばけ，データ数が少ないにもかかわらず計算結果はデータとかなりよく一致する。

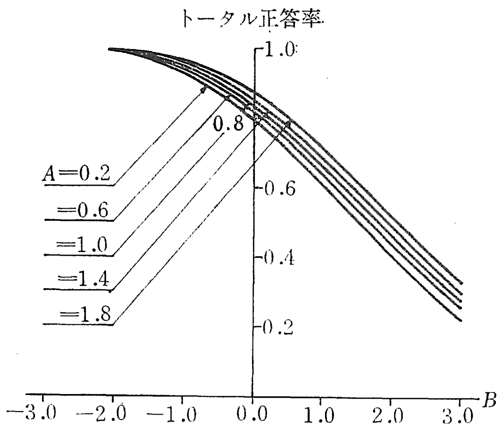
さて，学習プログラムを提示する際に，どの程度の正答率の学習プログラムが最適であるかについては，理論的な根拠はないようである



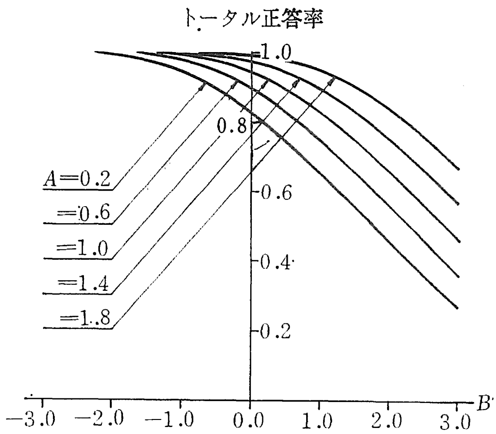
第4・a図（$z \geqq 0.7$）



第4・b図（$0 \leqq z < 0.7$）



第4・c図（$-0.7 \leqq z < 0$）



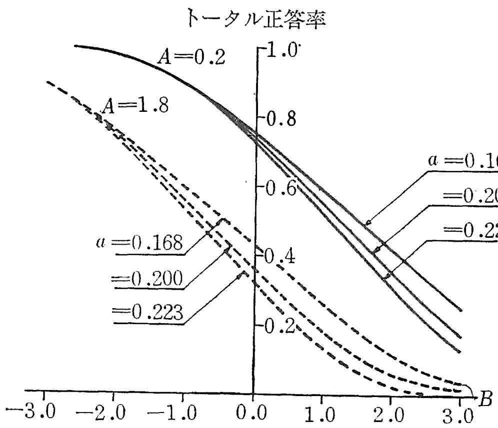
第4・d図（$z < -0.7$）

が，一応の基準としては 0.8 ぐらいが考えられているようである。第4・a図から第4・b図に正答率が0.8となるトータル正答率とBの関係をAをパラメータとして各グループごとに示した。

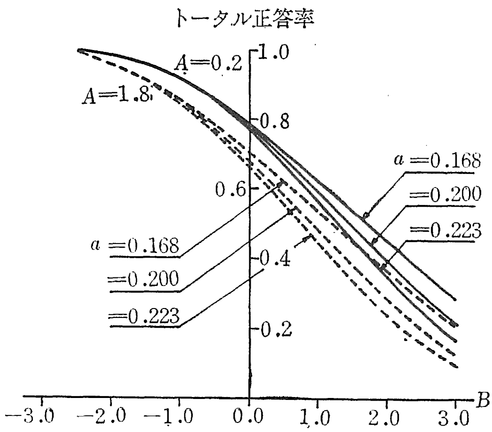
この図の利用法は次の通りである。

種々のトータル正答率の学習プログラムに過去に実施した集団の能力の平均値・分散を明記しておき，この平均値・分散と学習プログラムを提示しようとする集団の能力の平均値・分散とから A, B を計算し，第4図から対応するトータル正答率を求め，提示しようとしている学習プログラムが適当であるかどうかを調べる。或いは適当な学習プログラムを探し出す。

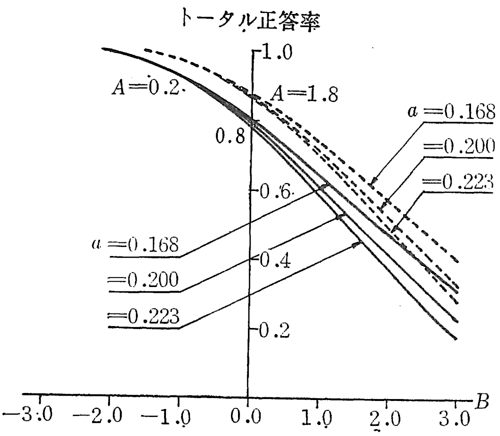
第5・a図から第5・d図は，第4図の計算の際に使った正答率関数の勾配 $a=0.200$ を 0.168 (国語), 0.223 (英語) の場合と比較したものである。図中直線は $A=0.2$, 破線は $A=1.8$ についての計算結果を示している。また，正答率関数の勾配 a をかえたい時この図から補間もできる。



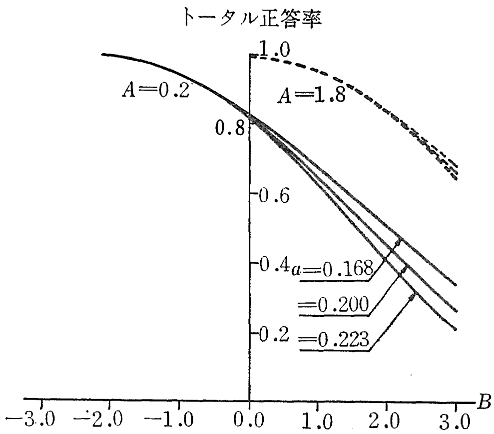
第5・a図 ($z \geqq 0.7$)



第5・b図 ($0 \leqq z < 0.7$)



第5・c図 ($-0.7 \leqq z < 0$)



第5・d図 ($z < -0.7$)

この選定法で問題となるのは，

(1)能力を同じ基準で測定せねばならない。

(2)種々のトータル正答率の学習プログラムを準備せねばならない。

ことであるが，(1)については，県下あるいは広い地域で能力測定用のペーパテストを実施するなど種々の方法で可能である。(2)については，各学校などで作成された学習プログラムにトータル正答率と能力の平均値・分散を明記して教育センター等で一括管理すれば多数の学習プログラムを集めることができる。

勿論，この学習プログラム選定法をＣＡＩに利用することもできる。多数の学習プログラムをあらかじめ電子計算機に記憶させておき，電子計算機端末器の前に座った生徒の種々の情報を入力として電子計算機に教えてやれば，自動的に学習プログラムを選定させることが可能である。

Ｖ　む　す　び

学習プログラム選定の際に経験だけからでなく，数量的にとらえるために検討してきた。この学習プログラム選定アルゴリズムにもとづいた計算結果は，利用した範囲のデータとはかなりよく一致し，実用上はあまり問題とならない程度の差であった。しかし，データが少ないため数量的な断定はできなかった。また，テストの成績から正答率を求めたが，テストでは一つ一つの問題が同じ程度でないことが普通であり，学習プログラムの場合と多少正答率の見積りは違うとも考えられる。

今後の問題として，

(1)　能力評価法の確立

(2)　データとしてテストの成績を利用したが，学習プログラムを実際に使ってのアルゴリズムの検定。

(3)　正答率関数として直線を用いたが，他に適当な関数があるかどうかの検討

(4)　科目間の相関係数の算出

などを進めてゆきたいと考えている。

これから教育心理学が進歩して人間の学習過程が明瞭になれば問題選定もこの過程に適したように進められるであろうが，将来の問題として生徒に知識が定着する度合に応じて問題を与える一種の適応制御あるいは学習制御のような考え方を導入することが必要である。とにかく問題の選定法の確立は，教育あるいは学習に関する根本問題に触れる事柄であるだけに今後も最も重要な問題点となるであろう。

これらの問題を解決するためには，教育センター或いは学習過程を詳細に記録できるＣＡＩを利用した組織的な研究体制が是非とも必要であろう。

最後にデータをいただいた松江三中多久和興基教諭，松江四中太田正直教諭に謝意を表わす。

参　考　文　献

1. Richard D. Smallwood ; "A Dicision Structure for Teaching Machines," The M. I. T. Press, 1962.

2. Patrick Suppes et al ; "Computer-Assisted Instruction, Stanford's 1965-66 Arithmetic Program," Academic Press, 1968.