

学 習 効 果 の 評 価

野 坂 弥 蔵*・杉 井 宗 治**

Yazo NOZAKA Muneharu SUGII
Evaluation of Learning Effect

Abstract: It is called in question that the data obtained from the tests in classrooms are generally too equivocal to evaluate the learning effect and to secure informations useful for clarifying the thought process of pupils and also to improve upon the method of teaching.

It is necessary for us to develop adequate test items, to process individual responses and especially to classify incorrect answers, in order to evaluate correctly the learning effect of pupils.

This is a brief report on the informations extracted from test items of an electric condenser and results of an analysis of data obtained from 178 third grade pupils enrolled in one public junior high school in Matsue City.

1. ま え が き

テストの得点から学習効果を評価して思考過程の解明や授業改善に役立つ情報を得ようとする場合、得点のもつあいまいさが問題になる。あいまいさの少ない評価をするには適切な問題を作ることと結果に適当な処理を施すことの他に、特に誤答の解析が必要と考えられる。ここでは一例として松江三中三年男子178名を対象に行った技術科の電気容量（コンデンサ）の性質についての授業と事後および保持テストの問題、ならびに結果の処理によって得られた情報を述べる。

2. 個 人 別 情 報

〔2-1〕 学習効果と事後テストの関係

教師から生徒への情報伝達が効果的に行われ、目標とした情報が生徒の心身に定着するばかりでなく、興味と関心と勉強意欲が喚起され、その情報を他方面にも応用する能力が培養されれば学習効果があったと云えようが、これら諸点の評価にはペーパーテスト、アンケート、反応時間測定、行動分析、追跡調査など多様な手段が必要となろう。ペーパーテストの得点は「定着した情報量」さえ正確には表わし得ないけれども、日常の授業で簡単に行えるのはペーパーテストであるから、今回はペーパーテストの得点だけを素情報とする。

同じ生徒でも教師の指導法によって学習効果を異にし、逆に同じ教師による指導でも生徒毎に学習効果が違ってくことから、学習効果を $f_i(x)$ というランダム関数で表わすことにする。ここで f_i は i 番目の生徒の特性によって変わる関数、 x は教師の指導効果を表わす変量とする。 $f_i(x)$ は母集団からの一標本で、事前、事後、保持各テストの得点 u_i, v_i, w_i と次の関係にあると仮定する。

$$u_i = a_i + n_i \quad \dots\dots(1)$$

$$v_i = a_i \cdot f_i(x) + n_i \quad \dots\dots(2)$$

$$w_i = a_i \cdot f_i(x) + n_i + g_i - h_i(x) \cdot t \quad \dots\dots(3)$$

n_i はテストに対する被験者の回答が偶然性に支配されて異なってくるためのあいまいさを表わす変量であって、例えば四肢選択式の問題なら、でたらめに答えても $\frac{1}{4}$ の確率で得点1を得るなどである。 g_i は生徒の努力によって増大する量で0か正の値をとる。試験前の一夜漬などの効果もこの中に含まれる。 t は時間を表わす。 $h_i(x)$ は0か正の値を持つ忘却係数で、学習内容が時間と共に次第に忘れられて行く程度を表わす。教師の指導よろしきを得れば0まで下げることできる。

もしこの式のような見方が妥当ならば、学習効果の測定には w よりも u と v の方が大切であろう。ところが毎回事前テストを実施することは不可能であるから u は使い難い。そこで普通は v だけから $f_i(x)$ を検出したい。この時 i 番目の生徒の能力 a_i は平素の評価か

* 島根大学教育学部技術研究室

** 松江市立第三中学校

ら大体の推定ができようが、偶然に支配される n_i は予測も推定もできない。しかも場合によっては $aif_i(x) < |n_i|$ で真の情報が n_i の中に埋もれることもある。このような時 n_i の影響を除くには、 n_i はノイズであって正負いずれの値も取り得ることを利用する。

[2-2] テスト結果に含まれるノイズの除去法

(a) 1 肢選択式テストで得点が 1 か 0 になる場合、同じ内容を含む M 個の問題を課し、 i 番目の生徒の各問に対する得点を $v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{im}$ とすれば

$$v_i = v_{i1} \cdot v_{i2} \cdot \dots \cdot v_{im}$$

なる v_i をその生徒の得点とする。こうすればでたらめによる正答の確率を $(1/l)^m$ に下げることができる。

(b) 記述式問題のように得点が 1, 0 でない時には

$$v_i = (v_{i1} + v_{i2} + \dots + v_{im})/m$$

とすると各問に対するノイズが相殺される。

(c) 多肢選択式の場合でも、何故その肢を選んだかの理由を付記させると、でたらめによる正答を除くことができると共に、誤答の原因が明らかになり、個人診断のみならず授業改善にも役立つ。

3. 集団の情報

[3-1] 平均値, 標準偏差, 正答率

今まで述べたのは個人別の評価についてであって使用できる得点 v_{ij} ($i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, M$) の M は、同一内容を含む問題の数であるから高々 2~5 であるため、上記のノイズ除去法を施しても除去不十分の恐れがある。そこで個人別情報は失われても集団としての傾向を把握して授業改善に役立てるために、平均、標準偏差、正答率などが用いられる。

[3-2] クロス処理

N 人の生徒の中で問題 A に正答した人数を $n(1)$, 誤答した人数を $n(0)$, 問題 B についてもそれぞれ $n'(1)$, $n'(0)$ とする。また A にも B にも正答した人数を $n(11)$, A に正答, B に誤答した人数を $n(10)$ などとすると A と B について図 1 を得る。これはまた図 2 のようにも書ける。更に確率で表わすと図 3 を得る。ここで

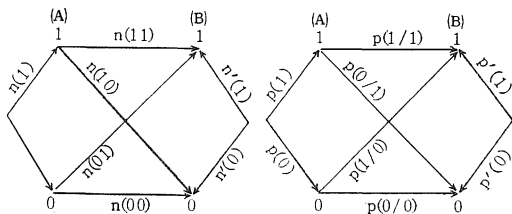


図 1

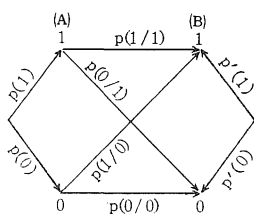


図 3

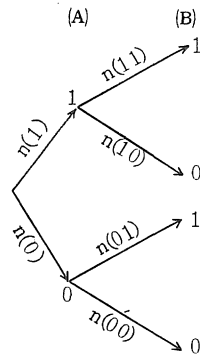


図 2

$$\begin{aligned} p(1) &= n(1)/N \\ p'(1) &= n'(1)/N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p(1/1) &= n(11)/n(1) \\ p(1/0) &= n(10)/n(0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p(11) &= n(11)/N \\ p(01) &= n(01)/N \end{aligned}$$

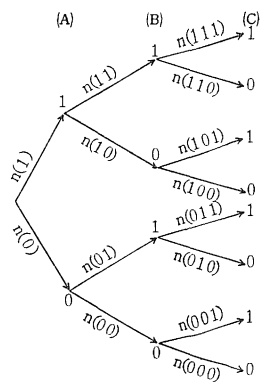


図 4

$$\begin{aligned} p(0) &= n(0)/N \\ p'(0) &= n'(0)/N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p(0/1) &= n(10)/n(1) \\ p(0/0) &= n(00)/n(0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p(10) &= n(10)/N \\ p(00) &= n(00)/N \end{aligned}$$

これらの図から次のような情報が得られる。

(a) $n(10) \neq 0, n(01) \neq 0$ ならば A と B は (教師は違うと思っても) 生徒にとってほぼ同じ問題であるからどちらか一方を使えばよい。

(b) $n(11) \neq n(10), n(01) \neq n(00)$ ならば、A と B とは生徒にとって全く異質の問題である。

(c) 適当な問題を使うと A, B に含まれる複数の目標要素 (その問題によって評価しようとしている学習目標) の中でどれが理解されていないかを判定することができる。実例を [4-2] ~ [4-4] に示す。

(d) 同じ目標要素をもつ 2 つ以上の問題 (例えば A, B, C) に対する解答結果を図 4 のように表示すると、学習効果を正しく判定するには、どれとどれの正答者を真の正答者と見ればよいかの目安が得られる。実例は [4-6] に示す。

4. 実例

[4-1] テスト問題

松江三中の三年男子 178 名を 4 組に分け、筆者らが 45 分授業を連続 2 回行い、約 1 週間後に事後テスト、約 2.5 ヶ月後に期末テストを兼ねた保持テストを実施した。内容は技術科の電気学習で増幅器を製作する前の各部品 (抵抗, コンデンサ, 電池, 変圧器など) の説明である。教科書は開隆堂発行のものであったが、授業の際には、内容をプログラマ的に記したガリ刷りを渡し、それに沿って説明ならびに教師実験を行った。ここでは、その中の特にコンデンサに関する部分で、事後、保持両

テストに共通した次に示す6問中、問(1)、(2)、(3)に対する事後テスト結果の処理について述べる。

〔問題〕

§問(1)~(4) (図5, 6, 7, 8, 9及び表1参照)

「図の回路について次の問の答を解答欄に記入せよ。

(a) 6ボルト用の豆ランプに点燈するだろうか。

(b) 豆ランプには直流が流れるか、交流が流れるか
直流と交流を加合せたものが流れるか、または何も流れないか」

図6, 7, 8, 9はそれぞれ問(1), (2), (3), (4)に対応している。図5は解答例を示すため使った。なお上記の(a), (b)はいずれも多肢選択式の問題で肢の数はそれぞれ2, 4となっている。

§問(5) (図10参照)

「図10の(ア)のように6ボルトの電池と100μFのコンデンサをつないでから、電池をはずして図(イ)のようにコンデンサだけにしBにテストの(-)棒を、Aに(+)棒をあてると何ボルトを示すか。また図(ウ)のようにコンデンサの代わりに100オームの抵抗を使うと何ボルトを示すか。」

§問(6) 「コンデンサはどんな働きをするか書け。」

〔4-2〕 問(1)について

問(1)には2つの基本要素「変圧器は交流を流す能力がある」および「豆電球は適当な大きさの電流(直流でも交流でも)が流れると点燈する」を含んでいる。178名中の正答、誤答の人数を図11に示す。また(a)に正答、(b)に誤答した生徒と、(a)にも(b)にも誤答した生徒の誤答を分類したのが表2である。この表から $n(10) = 22$ の中、14名は変圧器のことを理解せず、また直流でない点燈しないと考えている。 $n(01) = 25$ 名は豆球は交

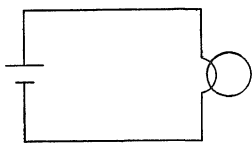


図5

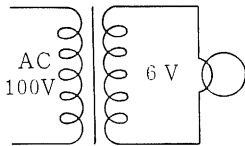


図6

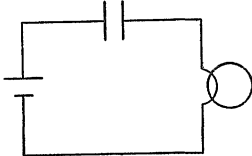


図7

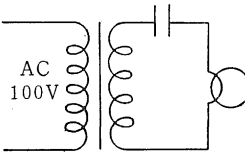


図8

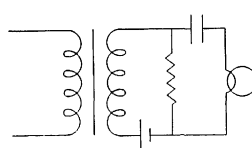


図9

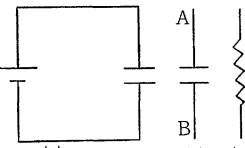


図10

表1 解答欄の一部を示す

問	答	理由	図
例	(a) 点燈する	豆ランプに電流が流れる	5
	(b) 直流が流れる	電池は直流を流す働きがある	
(1)	(a)		6
	(b)		
(2)	(a)		7
	(b)		

流では点燈しないと考えている。従って基本要素を2つ共理解していると思われるのは $n(11) = 107$ 名であって問1に対する得点 v_i は、(a)(b)それぞれに対する得点 v_{ia}, v_{ib} の積 $v_{ia} \cdot v_{ib} = v_i$ とすべきである。

表2 誤答の内訳(問1の(b))

	(10)	(00)
直流が流れる	14	4
交流と直流が流れる	1	0
流れない	2	3
無答	5	17
合計	22名	24名

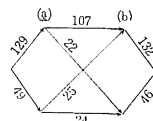


図11

〔4-3〕 問(2)について

問(2)は目標要素「コンデンサは直流を通さない」の他に基本要素「電池は直流を流す能力がある」と「豆球は適当な大きさの電流によって点燈する」を含んでいる。(a)は点燈しない、(b)は流れない、が正解であるが結果は図12のようになった。これで見ると(a)に誤答した61名は殆んど全員(b)にも誤答している。このことは61名の中には、でたらめによるものは余り含まれておらずノイズはほぼ除去されていることを示す。とすれば正答した117名という数字もほぼ正しいと思われる。その中で(b)に誤答した31名は目標要素はまず理解したが基本要素について理解不足と推定されるので(b)に対する誤答を分類してみると表3を得た。これで見ると31名は基本要素だけでなく目標要素のコンデンサについても十分

表3 誤答の内訳(問2の(b))

	(10)	(00)
直流が流れる	17	32
交流が流れる	10	6
交流と直流が流れる	1	2
無答	3	20
合計	31名	60名

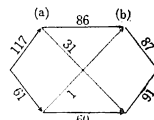


図12

には理解していないと思われ、結局問(2)の得点も $v_{ia} \cdot v_{ib} = v_i$ とすべきことが分る。

[4-4] 問(3)について

問3は目標要素「コンデンサは(容量が適当ならば)交流を通す」の他に2つの基本要素「変圧器」と「豆電球」を含み、正解は(a)が点燈する、(b)が交流が流れる、であるが結果は図13のように問2のとよく似ている。異なるところは(01)形〔(a)に誤答、(b)に正答〕が多いことである。そこで(b)に対する誤答を分類してみたら表4となった。これと表3とを比べてみると、両表とも(10)形に「直流が流れる」という誤りが多いことに気づく。このことと「点燈はしないが交流は流れる」という(01)形の誤りが多いことから、誤答者の多くは、「交流が流れても豆球は点燈しない、直流なら点燈するけれど」と考えていることが分る。

表4 誤答の内訳(問3の(b))

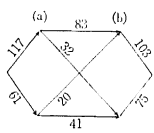


図13

	(10)	(00)
直流が流れる	18	3
交流と直流が流れる	7	4
流れない	3	10
無答	6	24
合計	34名	41名

[4-5] 問(2)と問(3)の関係

問(3)でも(a)、(b)いずれにも正答した $n(11)$ 人に得点1を与え、その他には0を与えた上で、問(2)と(3)の関係を調べて図14を得た。これで見ると(2)と(3)は全く対称になっている。こ

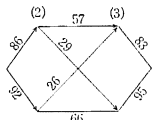


図14

のことは(2)と(3)が同程度の問題であり、学習プログラムの中に組入れる場合、どちらを先にしても大差ないことを示している。

[4-6] 問(1)、(2)、(3)の関係

結果は図15、図16のようになった。数字はいずれも178名中の人数を示す。図16より見ると、問(1)、(2)に正答した者は問(3)にも正答する確率が高いが、誤答した者は(3)にも誤答する確率が大きい。従って(1)、(2)に正答した者は学習目標「コンデンサは交流は通すが直流は通さない」を一応理解したと考えてよかろう。もっと厳格にすれば、(1)、(2)、(3)全部に正答した49名だけを合格とすべきであるが。

いずれにしても今回の実験授業の学習効果は不十分であった。その原因は

①教師が考えた基本要素より更に基本的な事項、例えば交流と直流の区別とか、回路図の読み方などに理解不足があったこと。

②教師実験だけで、生徒に実験をさせなかったことなどであろう。

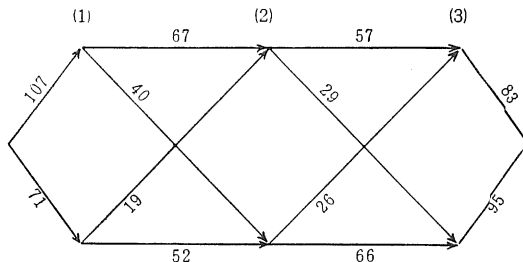


図15

5. 結び

テストの得点から授業改善や思考過程の解明に役立つ良質の情報を抽出するために、次の注意事項を提案し実験した。

(1) 問題を作る時に、それに含まれる要素を分析し、評価しようとする学習目標を含む目標要素と、それに正答するために必要な基本要素を明確にし、その目標要素を含む2つ以上の問題を用意する。(前述の間(1)~(5)では(a)と(b)と2つ用意した)

(2) 多肢選択式問題でも、何故その肢を選択したかの理由を書かせる。

(3) 結果はクロス処理すると共に、誤答の分類を行う。特に、誤答の原因からは多くの情報が得られる。

(4) 学習効果を評価するには事後テスト、できれば文字通り授業直後のテストが最も信頼できる。

いずれにしても結果の処理にはコンピュータが必要である。従来簡易形レスポンスアナライザとマイクロコンピュータを組合せた新形アナライザが出現すれば、応答時間などの情報も得られ、しかもオンライン処理が可能となろう。

卒業研究の一貫として実験授業を担当された当時島大四回生、現旭中学校の田中正治教諭に厚く感謝いたします。

(1) 織田守矢他：構造学習による授業改善法の研究、電子通信学会技術研究報告 ET76-3 (1976.6)

(2) 藤田広一：教育情報工学概論 昭晃堂 昭和50.3

(3) 岐阜大教育工学センタ：学習システム研究 No.15 (1974.3)

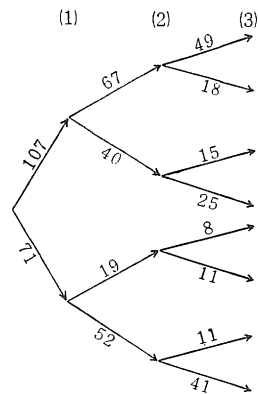


図16