

メッセージの学習者群に対する教育効果の一考察

岡田 政則† 樋川 和伸†

† 金沢学院大学 基礎教育機構

要旨

一般に教育の場はコミュニケーションにより成り立っている。本研究では教育環境内におけるメッセージの学習者群に対する教育効果を考察する。メッセージ Y を知ったとき受け手の持つ問題 X についてなお残っている平均の曖昧さの尺度としての相互情報量を教育効果と提案し議論を進める。

まず教育環境とコミュニケーションの関係を議論する。教育環境内に存在するコミュニケーションを分類整理し、情報理論における通信システムのモデルと学習者群のメッセージ受信のそれを比較する。次に相互情報量により教育効果を計量・視覚化し、最後に教育効果と学習者の変化に付いて述べる。

Observations regarding the Educational Effectiveness for Learners of a Message

Masanori Okada† Kazunobu Hikawa†

† Organization of Core Curriculum studies, Kanazawa Gakuin University

Abstract

In generally, education consists of communication. The conditional amount of information $H(X|Y)$ can be viewed as the uncertainty in X , if Y is known as the result of communication, and the amount of information $H(X)$ is the uncertainty in X . In the educational environment, we look at mutual information $I(X; Y) = H(X) - H(X|Y)$ as the educational effect. Then we try to measure the educational effect as mutual information.

To begin with, we discuss the relation of the educational environment and the communication. We will classified the communication in the educational environment. Secondly, we have measured the educational effect and visualized it. Thirdly, we discuss the difference in the learner having received the message.

1 はじめに

一般に教育の場ではメッセージの交換により学習活動が行われている。このメッセージとは学習内容そのものや質問、コメント、提案、問いそしてその KR^1 情報などである。メッセージは教師と学習者ま

¹Knowledge of Result

たは学習者同士でやり取りされる。教師がメッセージとして学習者に伝達する教材は、学習者が持っている少し曖昧な知識(情報)を整理することを目的とする。逆に学習者が発する質問は教師が有する学習者に関する情報を整理し次回より適切な教材等の提示が目的である。つまり教育環境においては教師の適切なメッセージによる学習者が持つ情報の整理

が学習の目的であると考えられる。

本稿では学習環境内において情報源(教師、学習者)から発するメッセージ Y を知ったとき受け手の持つ問題 X についてなお残っている平均の曖昧さの尺度として条件付きエントロピーで表現した相互情報量を教育効果と提案し議論を進める。次節では教育環境とコミュニケーションの関係を説明する。第3節では教育効果を相互情報量で定義し、どのような条件の時効果があるかを観察する。第4節ではメッセージを受け取ったときの学習者の変化について触れる。

2 教育環境とコミュニケーション

2.1 コミュニケーションのモデル

文献 [2] には典型的なコミュニケーションのモデルが示されている (図 1)。「送り手」は伝えたい事

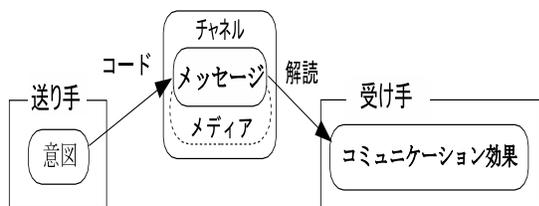


図 1: コミュニケーションのモデル

柄「意図」を持っている。「意図」は何らかの方法で表現（コード化）されメッセージとなる。メッセージ化には文字は勿論音声、絵、映像等々とさまざまな表現形式がある。このようなメッセージ化の手段を「チャネル」と呼ぶ。同じ音声というチャネルを用いても電話の場合もあるし直接語りかける場合もある。メッセージを伝達するための道具を「メディア（媒体）」という。「受け手」はメディア上のメッセージを受け取り、解読して送り手の意図を読み取ろうとする。その結果により受け手の中で何らかの変化が生じる。この変化を「コミュニケーション効果」と考える。

2.2 教育環境

コミュニケーションはメッセージの送り手と受け手が存在して成立する。メッセージを学習内容と仮に限定してみると、そのコミュニケーションの環境

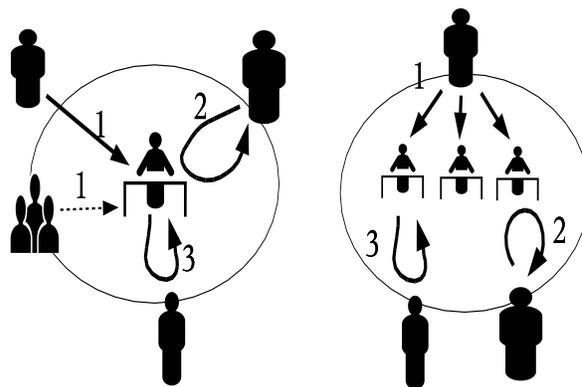


図 2: 教育環境のコミュニケーション

は教室、送り手は教師、受け手は学習者と見なせる場合がある。学校の教室では送り手、受け手としてそれぞれ学習者、教師となりうる。従って教育のための環境が成立するためには教師(役)、学習者が存在しその間に双方向のコミュニケーションが可能であることが必要な条件であろう。そこには以下のような三種類のコミュニケーションが存在する (図 2)。

1. 環境が学習者にメッセージを送る、コミュニケーション:
環境とは学習者が存在する場所である。学習者は教師の話、他の学習者同士の会話等の聞きたい情報やその他聞こえてくる情報を環境から得ることができる。学習者はこのメッセージに対して返事を返す必要がないことが多い。
2. 教師は学習者にメッセージを送り、学習者が教師に反応する双方向のコミュニケーション:
学習者は学習内容の理解度を試験されていることになる。教師が試験問題を提示し学習者が解答する。
3. 最初学習者が教師にメッセージを送る。2とは逆の双方向コミュニケーション:
学習者が質問し、教師がそれに回答することに相当する。

ここでは教師(役)と学習者が存在し、そこで双方向コミュニケーションが存在する場を教育環境または学習環境と呼ぶ。

つまり教育環境では受け手としての学習者にとって返事をする必要がないメッセージ(学習内容)が存在するが、それはを送り手の教師から見ると必ずしも特定の学習者のために意図したそれではない。

教師が学習者のために意図したメッセージは、返事が必要なものとそうでないものがある。

2.3 教師と学習者間の情報伝達

教育環境において教師のメッセージは学習者の学習内容に関する情報を整理することが目的となり、学習者のメッセージは教師の学習者に関する情報を整理することを主たる目的となる。一般に教育環境で二人以上の学習者²⁾が存在することが多い。

メッセージは何らかの通信路を通り受け手に伝わる。そのメッセージと受け手そして通信路の要件は以下ようになる。

1. 受け手の理解能力

- 受け手の理解能力が優れていれば、与えられたメッセージにより情報を整理できる。
- 受け手の理解力が低くとも、その事実をメッセージの作成者が理解しているならばやはり教育効果が上がると思われる。

2. メッセージ作成能力

- メッセージ作成能力が低いと、受け手の教育効果が上がらない。
- メッセージ作成能力が高い場合は学習者群が初学者であっても充分教育効果があると思われる。

3. 教師・学習者群間の双方向通信システム

- 双方向通信システムがないなら個々の学習者は疑問点を自分の中で解決するか他の学習者を含む第三者とのコミュニケーションを利用して解決する必要がある。

2.4 メッセージの受け手

文献 [1] にはコミュニケーションシステムとして図 3 のようにモデル化されている。情報源で生成されるメッセージが送信機により符号化され雑音源から送られた信号が加えられ受信機に届く。受信機は信号を元のメッセージに解読する。このシステムと 2.1 節のコミュニケーションモデル (図 1) との違いは雑音源の存在を仮定していることであり、両モデルとも送り手 (情報源) から発せられたメッセージ

²⁾ 学習者群” なる語を使ったときは複数の学習者を一まとまりに見なす

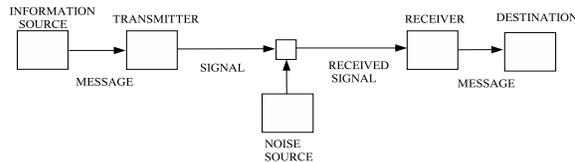


図 3: コミュニケーションシステム

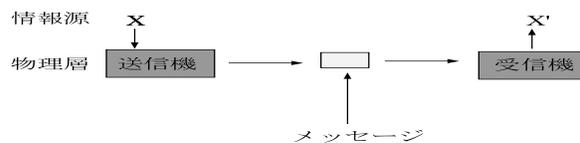


図 4: 学習者とコミュニケーション

を誤り無く受け手 (宛先) に届けることが目的の一つである。

コミュニケーションモデル (図 1) における「コミュニケーション効果」を教育環境内では「教育効果」と考える。学習者を情報源 X とする。学習者の情報源はメッセージ Y を受け取った後コミュニケーション効果により X' に変化する。 X と X' に何らかの差が生じた時メッセージ Y は、この学習者に対して教育効果があったと考える。以上を図式化したものが図 4 である。図 4 では図 3 の雑音源を受け手またはメッセージの送信者にとって意味がある情報 (メッセージ) と見なしている。

情報源 X は図 1 における送り手の「意図」と考える。学習者は普段の生活で意図を言葉としてコード化し自分自身で受け取る。教育環境他で情報源 X は外界からメッセージ Y を受け取り、 Y の効果により X' に変化する。学習者の中で物理層の受信機の出力である符号を受け入れ概念化する (意味) 受信機が X' に変換すると考えることができる。(意味) 受信機の構造・仕組みを明らかにすることは難しいので、個々の学習者の (意味) 受信機が存在を考慮しないすむよう学習者群として議論を進める。

3 教育効果の計量

コミュニケーションの目的はメッセージの受け手の中で生じるコミュニケーション効果にある。教育環境内でのメッセージの受け手は学習者であり、教師である。そのコミュニケーション効果である教育

効果を問題 (情報) の整理であると定義し、それを相互情報量で計る。

3.1 情報量と相互情報量

情報理論では情報源符号化の際 1 情報源記号当たりの平均符号長の下限を情報量と定義している。1 情報源記号当たりの平均符号長下限はその情報源 S のエントロピー $H(S)$ で与えられる。情報源記号を a_i 、その発生確率を $P(a_i)$ ($i = 1, \dots, M$) とする。無記憶の定常情報源は 1 情報源記号当たり

$$H(S) = - \sum_{i=1}^M P(a_i) \log_2 P(a_i) \text{ (bits)}$$

の情報量を発生すると考える。

情報源 X, Y に対して Y を知ったときの X についてなお残っている平均の曖昧さの尺度を $H(X|Y)$ と書き、 Y で条件を付けた X の条件付きエントロピーという。

$$\begin{aligned} H(X|Y) &= - \sum_y P(y) \sum_x P(x|y) \log_2 P(x|y) \\ &= - \sum_y \sum_x P(x, y) \log_2 P(x|y) \end{aligned}$$

X という平均した情報に関して Y なる情報を知ったとき残っている平均的な曖昧さは $H(X|Y)$ となるので、情報 X について

$$I(X; Y) = H(X) - H(X|Y) \text{ (bits)}$$

だけの曖昧さが減少したと考える。この $I(X; Y)$ が X と Y の相互情報量である。

3.2 相互情報量による教育効果

ここでは情報源 X, Y を次のように考える。

- ある問題に対して学習者 A さんが発する解答を情報源と見なし $X = \{1, 2\}$ とする。
- Y は教師が発するメッセージであり、 $Y = \{a_1, a_2\}$ と表す。

X と Y の結合確率が表 1 で与えられている。例えば教師のメッセージ Y の要素 a_1 を聞いたときに学習者群が 1 を発する確率は $P(1, a_1) = 0.45$ であるとみなせる。エントロピー関数 $\mathcal{H}(x)$ は

$$\mathcal{H}(x) = -x \log_2(x) - (1-x) \log_2(1-x)$$

である。 X のエントロピー $H(X)$ は

$$H(X) = \mathcal{H}(0.57) = 0.986 \text{ (ビット)}$$

となる。メッセージ Y を聞いたときの学習者群の解

表 1: X とメッセージ Y の結合確率分布とそれぞれの確率分布

$P(x, y)$	Y		$P(x)$
	a_1	a_2	
X	1	0.45 0.12	0.57
	2	0.15 0.28	0.43
$P(y)$		0.60 0.40	

表 2: メッセージ Y を聞いたときの X の条件付確率分布

$P(x y)$	Y	
	a_1	a_2
X	1	0.75 0.30
	2	0.25 0.70

答 X の条件付確率分布は表 2 となる。この表からメッセージの要素 a_1 を知った時に学習者群が 1、2 を解答する確率は 0.75, 0.25 となる。従って要素 a_1 を聞いたときの解答に対する曖昧さは

$$H(X|a_1) = \mathcal{H}(0.75) = 0.811 \text{ (ビット)}$$

となる。同様に要素 a_2 を聞いたときの解答に対する曖昧さは

$$H(X|a_2) = \mathcal{H}(0.70) = 0.881 \text{ (ビット)}$$

となる。この例では要素 a_1, a_2 を発する確率はそれぞれ 0.6、0.4 であるからメッセージ Y を聞いたときに残っている X に関する平均的な曖昧さは

$$H(X|Y) = 0.6 \times H(X|a_1) + 0.4 \times H(X|a_2) = 0.839 \text{ (ビット)}$$

となる。 X と Y の相互情報量は

$$I(X; Y) = H(X) - H(X|Y) = 0.147 \text{ (ビット)}$$

となる。これは A さんは今まで解答を X に従った確率分布で行っていて $H(X)$ だけの曖昧さだったが、メッセージ Y を聞いた後 $H(X|Y)$ の曖昧さになり 0.147 ビット分だけ問題が整理されたと考えられる。これをメッセージ Y の A さんの解答 X に対する教育効果と定義する。

3.3 学習者の解答モデル

簡単のために前節と同様 X を 1,2 を発生する情報源とする。以下情報源アルファベットの記号そのものでなく特にその出現確率に着目する。この X が学習者の解答モデルであるとした時 X は 1×2 の行列で表現でき

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$$

とおく、 x_1, x_2 をそれぞれ 1,2 を解答する確率と見なすと

$$x_1, x_2 \geq 0, x_1 + x_2 = 1$$

したがって X は次の 3 つに分類できる。

1. 問題が全く整理できてない解答モデル

$$X = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \end{pmatrix}$$

この場合は等確率で 1,2 を選択するので問題を全く理解していないと解釈する。

2. 問題がしっかり整理できている解答モデル

$$X = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

この場合は必ず 1 を選択するので問題を整理できていると解釈する。正答かどうかは別問題である。また 1 と 0 を逆にした場合も同様である。

3. 1 でも 2 でもない解答モデル

中間的な意味で問題を整理できている。

一般に X が n 種の解答を発生する情報源とすると

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$$

ただし $x_i \geq 0, \sum_i x_i = 1$ 。 X を学習者の解答モデルと考える。

3.4 メッセージと教育効果

学習者にとって教育効果上がるメッセージとはどのようなものであろうか。 X が $1 \times n$ の行列で表されているなら、メッセージ Y の確率分布は

$n \times n$ 行列で表すことができ、簡単のために $Y = (a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n)$ と表すと、列ベクトル a_i は

$$a_i = \begin{pmatrix} a_{i1} \\ a_{i2} \\ \vdots \\ a_{in} \end{pmatrix}$$

と書け、解答モデル X は n 次の列ベクトルであり j 番目の要素 x_j に対して a_{ij} の条件は

1. $\forall i, j (i, j = 1, 2, \dots, n) \Rightarrow a_{ij} \geq 0$
2. $x_j = \sum_i a_{ij}$

となる。前節の解答モデルの分類に沿ってメッセージを作成し考察する。

3.4.1 問題が整理できていない解答モデル

問題が整理できていない解答モデルの確率分布は

$$X = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \end{pmatrix}$$

となる。そのエントロピーは $H(X) = 1$ である。

1. まず表 3,4 のようなメッセージ Y では $H(X|Y) = 0, I(X;Y) = 1$ となり初期の曖昧さが解消したと言える。
2. 次に表 5,6 のようなメッセージ Y では $H(X|Y) = 0.940, I(X;Y) = 0.060$ となる。
3. 三番目に表 7,8 のようなメッセージ Y では $H(X|Y) = 1, I(X;Y) = 0$ となり、教育効果がなかったことを意味する。

表 3: X と $Y(1-1)$

$P(x, y)$	Y		$P(x)$
	a_1	a_2	
X	1	1/2 0	1/2
	2	0 1/2	1/2
$P(y)$	1/2	1/2	

表 4: Y を聞いたときの X の条件付確率分布 (1-1)

$P(x y)$	Y	
	a_1	a_2
X	1	1 0
	2	0 1

表 5: X と Y(1-2)

$P(x, y)$		Y		$P(x)$
		a_1	a_2	
X	1	2/12	4/12	1/2
	2	3/12	3/12	1/2
$P(y)$		5/12	7/12	

表 6: Y を聞いたときの X の条件付確率分布 (1-2)

$P(x y)$		Y	
		a_1	a_2
X	1	2/5	4/7
	2	3/5	3/7

表 7: X と Y(1-3)

$P(x, y)$		Y		$P(x)$
		a_1	a_2	
X	1	1/6	2/6	1/2
	2	1/6	2/6	1/2
$P(y)$		2/6	4/6	

表 8: Y を聞いたときの X の条件付確率分布 (1-3)

$P(x y)$		Y	
		a_1	a_2
X	1	1/2	1/2
	2	1/2	1/2

3.4.2 問題が整理できている解答モデル

問題が完全に整理できている解答モデルの確率分布は

$$X = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

となる。そのエントロピーは $H(X) = 0$ である。メッセージ Y は表 9,10 のような分布になる。 $H(X|Y) = 0, I(X; Y) = 0$ となり教育効果は認められない。

3.4.3 問題が少し整理できている解答モデル

問題が少し整理できている解答モデルの確率分布例は

$$X = \begin{pmatrix} 1/3 \\ 2/3 \end{pmatrix}$$

となる。そのエントロピーは $H(X) = 0.918$ である。

1. まず表 11,12 のようなメッセージ Y では $H(X|Y) = 0, I(X; Y) = 0.918$ となり初期の

表 9: X と Y(2-1)

$P(x, y)$		Y		$P(x)$
		a_1	a_2	
X	1	1/3	2/3	1
	2	0	0	0
$P(y)$		1/3	2/3	

表 10: Y を聞いたときの X の条件付確率分布 (2-1)

$P(x y)$		Y	
		a_1	a_2
X	1	1	1
	2	0	0

曖昧さが解消したと言える。

2. 次に表 13,14 のようなメッセージ Y でも $H(X|Y) = 0, I(X; Y) = 0.918$ となり初期の曖昧さが解消したと言える。。
3. 三番目に表 15,16 のようなメッセージ Y では $H(X|Y) = 0.769, I(X; Y) = 0.15$ となり、0.15 ビットだけ曖昧さが解消した。
4. 最後の例の表 17,18 のようなメッセージ Y では $H(X|Y) = 0.918, I(X; Y) = 0$ となり、曖昧さは解消しなかった。

表 11: X と Y(3-1)

$P(x, y)$		Y		$P(x)$
		a_1	a_2	
X	1	1/3	0	1/3
	2	0	2/3	2/3
$P(y)$		1/3	2/3	

表 12: Y を聞いたときの X の条件付確率分布 (3-1)

$P(x y)$		Y	
		a_1	a_2
X	1	1	0
	2	0	1

3.5 考察

一般に $I(X; Y) = H(X) - H(X|Y) \geq 0$ であり、加えて前節の結果より以下のことが分かる。

1. 学習者 A がメッセージ Y を受信したとき彼の解答モデル X の曖昧さは増加しない。しかし A さんがメッセージ Y を受け入れ理解できるかどうかは別問題である。

表 13: X と Y(3-2)

$P(x, y)$	Y		$P(x)$
	a_1	a_2	
X	1	0	1/3
	2	2/3	2/3
$P(y)$	2/3	1/3	

表 14: Y を聞いたときの X の条件付確率分布 (3-2)

$P(x y)$	Y	
	a_1	a_2
X	1	0
	2	1

表 15: X と Y(3-3)

$P(x, y)$	Y		$P(x)$	
	a_1	a_2		
X	1	1/12	3/12	1/3
	2	1/12	7/12	2/3
$P(y)$	2/12	10/12		

表 16: Y を聞いたときの X の条件付確率分布 (3-3)

$P(x y)$	Y	
	a_1	a_2
X	1	1/2
	2	1/2

2. メッセージ Y の効果が認識できない、つまり

(a),(b) のように $I(X; Y) = 0$ の場合がある。

(a) 学習者が正しいにしろ誤っているにしろ思い込みがある場合

(b) メッセージ Y と解答モデル X の確率分布が一次従属の場合

学習者がメッセージ Y を受け取ったとき $I(X; Y) \neq 0$ であるなら、必ず解答モデルの曖昧さは改善する。これは教育環境からメッセージを受け取り続けると学習者が抱える問題は整理され解決に向かう可能性があることを意味する。

また $I(X; Y) = 0$ の時は、学習者が問題に対して曖昧さがなく確信している場合とメッセージ Y が X に対して何も影響をおよぼさない場合である。

表 17: X と Y(3-4)

$P(x, y)$	Y		$P(x)$	
	a_1	a_2		
X	1	1/6	1/6	1/3
	2	2/6	2/6	2/3
$P(y)$	3/6	3/6		

表 18: Y を聞いたときの X の条件付確率分布 (3-4)

$P(x y)$	Y	
	a_1	a_2
X	1	1/3
	2	2/3

表 19: X と Y の結合確率分布

$P(x, y)$	Y		$P(x)$	
	a_1	a_2		
X	1	$(1-t)y_1$	$x_1 - (1-t)y_1$	x_1
	2	ty_1	$1 - x_1 - ty_1$	$1 - x_1$
$P(y)$	y_1	$1 - y_1$		

4 教育効果

4.1 解答モデルとメッセージの関係

解答モデル X を

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ 1 - x_1 \end{pmatrix}$$

とおく。ただし $0 \leq x_1 \leq 1$ 。この解答モデル X に対するメッセージ Y を作成すると、X と Y の結合確率分布は表 19 となる。ここではメッセージ Y の要素 a_1, a_2 の出現確率をそれぞれ $y_1, 1 - y_1$ とする。Y を聞いたときの X の条件付き確率分布は表 20 となる。ただし $0 < y_1 < 1$ とする。

表 20: Y を聞いたときの X の条件付き確率分布

$P(x y)$	Y	
	a_1	a_2
X	1	$1-t$
	2	t

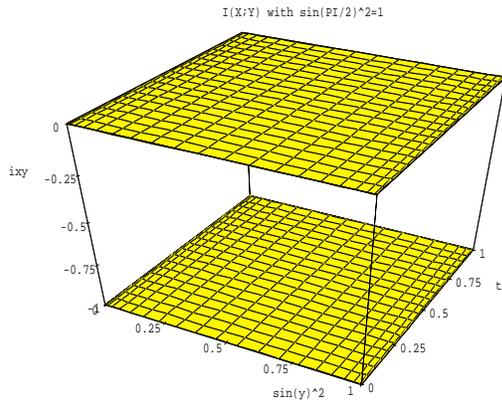


図 5: 3.4.2 の教育効果

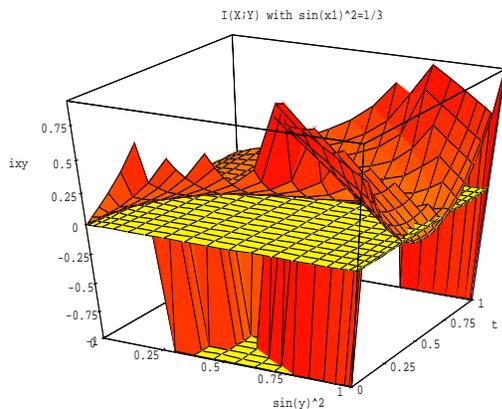


図 6: 3.4.3 の教育効果

4.2 教育効果

$x_1 = 1$ なる解答モデルの時 $I(X;Y)$ のグラフを描くと、図 5 となる。たしかに教育効果は確認できない。

$x_1 = 1/3$ の解答モデルの時 $I(X;Y)$ のグラフを描くと 図 6 となる。この場合は教育効果が認められないメッセージが存在する。

4.3 学習者の変化

解答モデル X に対してメッセージ Y を与えたときそれはどのように変化すると考えれば良いのだろうか。3.4.3 節の 3 を例として述べる。ここでは解答モデル X において 2 を発することが正解であると仮定する。

4.3.1 学習者群全体の平均的な変化

学習者群全体としてみると $H(X) = 0.918$ が $H(X|Y) = 0.767$ の曖昧さに変化したことになる。10/12 の学習者はより正解に近づき、2/12 は曖昧さが増加した。平均的には 0.15 ビット曖昧さが解消した。

4.3.2 学習者群構造の変化

この学習者群がメッセージを受信することで二つの群に分かれると考える。つまり a_1 を聞くことで 2 を選択する割合が減少した 2/12 と 2 を選択した割合が増加した 10/12 である。この場合次回各グループに適したメッセージを与えることによりさらに高い教育効果が期待できる。

5 まとめ

教育環境は学習者と教師やその他環境に存在する情報源との 3 種類のコミュニケーションが存在する。2 種類の双方向コミュニケーションと環境からの情報伝達である。この非対称性は教育環境におけるコミュニケーションが情報の量の差によって生じるものと思われる。また長い時間で考えると学習者は受け取ったメッセージに回答しているとも可能である。

文献 [1] でウィーヴァーは通信の問題には 3 つの段階があるとしている。段階 A は技術的な問題、段階 B は伝えたい意味を正確に伝えることの、意味論的問題。そして段階 C として情報が受け手の行動にどのように影響を与えるかという効果の問題に触れている。本稿で言及したメッセージ Y は情報源としての解答モデル X に影響を与える効果が統計的にはあるが確認できる。

参考文献

- [1] C.E. シャノン, W. ウィーヴァー (長谷川淳, 井上光洋), コミュニケーションの数学的理論, 明治図書出版, 1969 年
- [2] 太田信男, コミュニケーション学入門, 大修館書店, 1994 年
- [3] 岡田政則, 樋川和伸, "教育効果の情報理論", 電子情報通信学会技術研究報告 (ET2003-59), Vol.103 No.467, pp.47-52, Nov.2003