

# 講義や自習における学習者の手書きノートの分析 (第2報)

渡邊 栄治<sup>1,a)</sup> 尾関 孝史<sup>2</sup> 小濱 剛<sup>3</sup>

**概要:** 本報告では、講義や自習における学習者の手書きノートを対象として、(a) 与えられた教材の内容とノート内容の関係、(b) ノートの評価、(c) 板書動作とノートテイング動作の関係、(d) 問題解答時における学習者の動作の分析、(e) 画像処理による手書きノートの電子化に対する分析手法および分析結果について述べる。

## Analysis of hand-written notes by students in lectures and self-studies (Second report)

EIJI WATANABE<sup>1,a)</sup> TAKASHI OZEKI<sup>2</sup> TAKESHI KOHAMA<sup>3</sup>

**Abstract:** This report discusses analysis methods and results for the followings; (a) the relationship between given contents and the hand-written notes, (b) the evaluation of the hand-written notes, (c) the relationship between writing behavior on the blackboard of the lecturer and taking notes behavior of the student, (d) the analysis of the behavior of the student in the solving problems, (e) the digitization of the hand-written notes by image processing.

### 1. はじめに

「書くこと」は、「聞いたこと」や「見たこと」を、記録するための重要な動作である。「書くため」のデバイスと媒体としては、「紙とペン」が一般的であるが、PC やスマートフォンのように、直接、デジタル形式として記録される方法が普及している。一方で、書くためのデバイス [1] や媒体 [2] に関して議論されており、[2] では、紙を対象とした手書きとの比較において、ワードプロセッサの利用が文章の質の向上につながらないとしている。さらに、「紙」に記述すると同時に、アナログ的な手書き内容をデジタルデータとして記録するための手法が提案されている [3]。

一般に、板書を用いた講義では、学習者には、講師の説明を聞き、かつ板書を読みながら内容を理解した上で「書くこと」が要求される。したがって、ノート内容だけでなくノートテイング動作のタイミングも、学習者の理解を把握する上で重要な役割を果たすことから、講義や e-Learning

を対象として、学習者のノート内容やノートテイング動作の分析に関して活発に研究されている [4], [5]。

本報告では、「紙とペン」による記録内容だけではなく、書くことによって得られる「内容の理解」にも焦点を当てる。具体的には、図 1 に示すように、講義や自習におけるノートテイング動作を対象として、(a) 与えられた教材の内容とノート内容の関係 [6], (b) ノートの評価 [7], (c) 板書動作とノートテイング動作の関係 [8], (d) 問題解答時における学習者の動作の分析 [9], [10], (e) 画像処理による手書きノートの電子化 [11], [12], [13] について述べる。ここでは、既発表 [14] に対して、詳細な分析手法および分析結果について述べる。

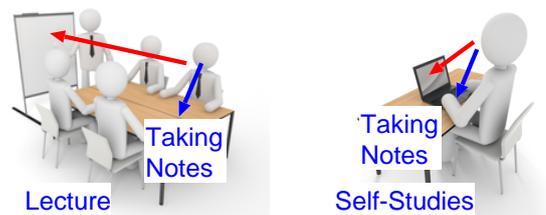


図 1 講義や自習における学習者のノートテイング動作

<sup>1</sup> 甲南大学知能情報学部  
<sup>2</sup> 福山大学工学部  
<sup>3</sup> 近畿大学生物理工学部  
a) e\_wata@konan-u.ac.jp

## 2. 与えられた教材とノート内容の関係

本節では、e-Learning において、電子教材に対する「まとめ」を手書きノートに記載する課題を通じて、「与えられた教材の内容」と「学習者のノート内容」の関係性を明確化するための手法と実験結果について述べる [6].

### 2.1 領域抽出に基づいたノート内容の分析

図 2 に、手書きノートにおける文字領域や図形領域などを抽出するための手法を示す。ここでは、画素を対象としたラベリング処理により、文字領域や図形領域を抽出する手法 (図 2 (a)) と、抽出された領域間の関係に基づいて、行や段落を抽出する手法 (図 2 (b)) から構成される。

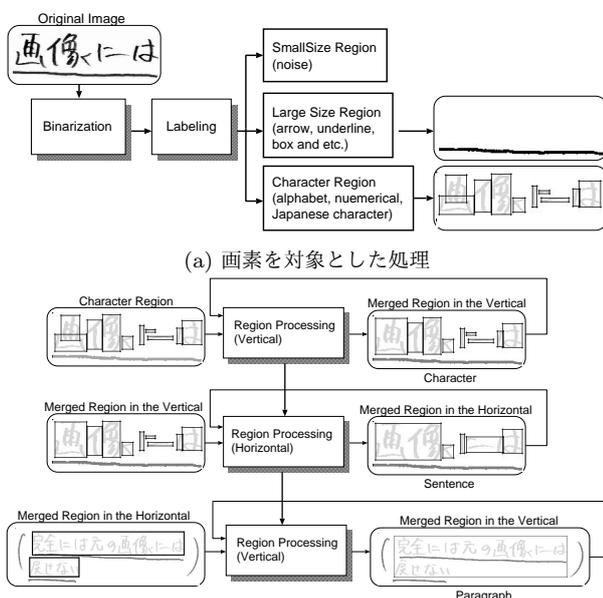


図 2 手書きノートにおける文字領域や図形領域などの抽出

### 2.2 ノート内容の分析結果

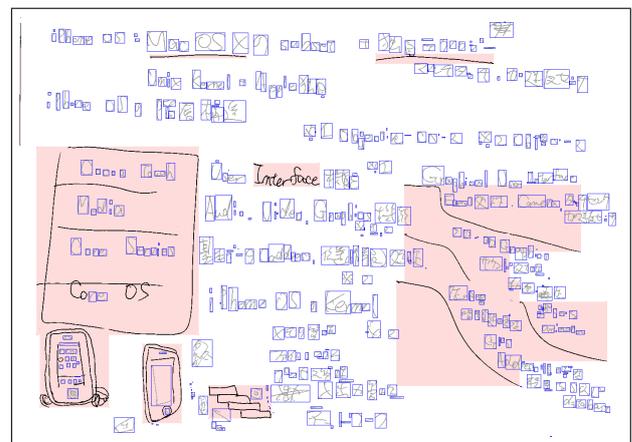
図 3 に、使用した教材 (iOS の概要 [15]) を示す。ここで、「iOS の階層構造 (Page 3)」が中心的な内容であり、Page 4 以降に、Page 3 に含まれる各項目の詳細が記述されている。また、学習者に与えられた課題は、教材の内容を、A4 (1 枚) にまとめることである。なお、所要時間は 60 分、教材におけるページ間の移動は、キーボードにより、学習者が任意のタイミングで行うことができる。

図 4 に、手書きノートにおける領域抽出結果を示す。なお、口頭試問により、学習者-A が内容に対する理解度が高く、学習者-B が低いことを確認している。学習者-A では、「iOS の階層構造 (Page 3)」が明確に記述されており、前節の手法により、階層構造の図が抽出されていることがわかる。また、階層構造の図の横に、各項目 (Page 4 以降) に対する説明が記載されている。一方、学習者-B で

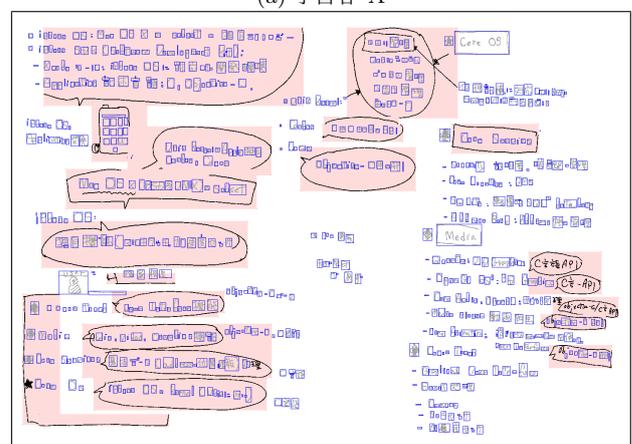


図 3 教材におけるページ間の関係 (青数字: ページ番号)

は、階層構造に含まれる項目が記載されているものの、図として表現されていないために、図形領域として抽出されていない。以上のように、図を含むような教材を対象として、「まとめ」として作成された学習者のノートにおける図形領域の抽出が可能であることが示されている。



(a) 学習者-A



(b) 学習者-B

図 4 学習者の手書きノートにおける領域抽出結果

また、図 5 に、教材におけるページの移動履歴を示す。学習者-A では、Page 7 の表示後、降順にページを移動しており、学習者-B では、ほぼ昇順にのみページを移動している。したがって、学習者-A では、ページ間の関係を把握する特徴があるものの、学習者-B では、学習者-A のような特徴がない。以上のように、教材に対する「読み方」と「書き方」が、密接な関連していることが示されている。

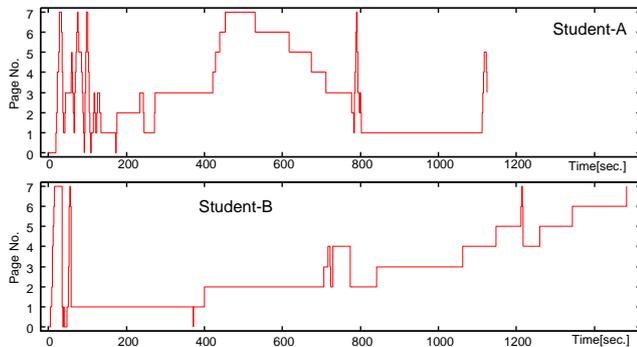


図 5 与えられた教材におけるページの移動履歴

### 3. ノートの評価

本節では、ビデオ講義を受講した際に作成された学習者のノートに対する評価手法および評価結果について述べる [7]。ここでは、ノートに対する評価項目として、(a) ノートの読み易さ、(b) 内容のわかり易さを取り上げる。また、評価者としては、(a) 当該の講義を受講した他の学習者、(b) 当該の講義を受講していない第三者を取り上げる。

#### 3.1 ノートの評価手法

##### 3.1.1 アンケートに基づいた学習者の相互評価

学習者に対して、ノートの相互評価 (内容のわかり易さ、ノートの読みやすさ) に関するアンケートを実施する。

##### 3.1.2 第三者の閲覧履歴や動作に基づいた他者評価

図 6 に示すように、第三者が、学習者のノートを参照しながら、手元の問題を解くような環境を対象とする。ここでは、(a) ノートの閲覧履歴、(b) 第三者の動作 (顔方向や手の動作) をノート評価のための特徴量として用いる。

###### 3.1.2.1 第三者によるノートの閲覧履歴

図 6 に示した環境では、第三者が当該の問題を解く際に、キーボードを用いて、ディスプレイ上でノートを参照する。ここでは、第三者による当該のノートの表示時間を、学習者のノートに対する評価のための特徴量として用いる。

###### 3.1.2.2 第三者による動作

ページ変動が無い区間では、(a) ノートを閲覧している、(b) 問題を読んでいる/解いているなどの動作が挙げられる。ここでは、第三者が装着したウェアラブルカメラ画像を基にして、第三者の動作 (上述の (a) および (b)) を判別し、ページの移動履歴と対応づける。

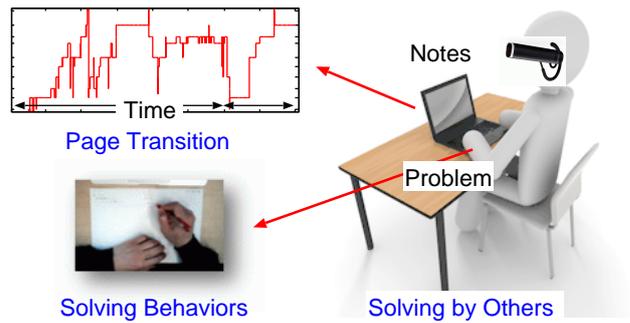


図 6 第三者によりノートを評価するための環境

#### 3.2 ノート内容に対する評価結果

下記の要領で実施したビデオ講義を対象とした。

- 講義内容: 「四角形の面積を求める」(6 分程度)
- 講義方法: 板書を基に説明,
- 事後テスト; 講義内容に準拠.
- 講師: 大学教員, 学習者: 理工系学部学生 8 名.

##### 3.2.1 アンケートに基づいた学習者の相互評価

表 1 に、項目 (ノートの読み易さ、内容の分かり易さ) に関するノートの相互評価を示す。表 1 において、以下のことが示されている。

- Note-B: 「読み易さ」と「分かり易さ」の評価が高い。
- Note-C, D: 「読み易さ」の評価が低く、「分かり易さ」の評価が高い。
- Note-H: 「読み易さ」の評価が高く、「分かり易さ」の評価が低い。
- Note-A, E, F, G: 「読み易さ」と「分かり易さ」の評価が低い。

表 1 ノートに対する学習者の相互評価 (“+”: ポジティブなコメント “-”: ネガティブなコメント)

(a) ノート (文字や図形) の読み易さ									
	A	B	C	D	E	F	G	H	$\sum +$
Note-A	/	-	+	-	-	-	-	+	2
Note-B	+	/	+	+	+	+	+	+	7
Note-C	-	-	/	-	-	-	-	+	1
Note-D	-	-	-	/	-	-	+	+	2
Note-E	-	+	+	+	/	-	-	-	3
Note-F	-	+	-	-	-	/	-	-	1
Note-G	-	-	-	-	-	-	/	-	0
Note-H	+	+	+	+	-	+	+	/	6

(b) 内容に対する分かり易さ									
	A	B	C	D	E	F	G	H	$\sum +$
Note-A	/	+	+	-	-	-	-	+	3
Note-B	+	/	+	+	+	+	+	+	7
Note-C	-	+	/	+	+	+	+	+	6
Note-D	+	+	+	/	-	+	-	+	5
Note-E	-	+	+	+	/	-	-	-	3
Note-F	-	-	-	-	-	/	-	-	0
Note-G	-	-	-	-	-	-	/	-	0
Note-H	-	-	+	-	-	-	+	/	2

### 3.2.2 第三者の閲覧履歴に基づいた学習者のノートの評価

図6に示した環境下で、第三者(理系学部生10名)が学習者のノートのみを閲覧し、手元の問題を解くような実験を実施した。表2に、第三者により閲覧されたノートの頻度や第三者の「ノートを読む」動作の割合を示す。表1および本表において、以下のことが示されている。

- 読み易さ(表1(a))の観点から、学習者-B, Hのノートに対する評価が高く、分かり易さ(表1(b))の観点から、学習者-B, Cのノートに対する評価が高い。
- 表2において、学習者-B, Hのノートの閲覧頻度が高く、表1(a)の「読み易さ」と同じ傾向が見られる。
- 学習者-Bの閲覧頻度が高い第三者(b, c, d, e, f)におけるR(ノートを読んでいる割合)が比較的小さい。

表2 第三者によって閲覧されたノートの頻度など(A, ..., H: 学習者, a, ..., j: 第三者(評価者), R: ノートを読んでいる割合)

	A	B	C	D	E	F	G	H	R
a	12.3	12.1	11.5	13.9	5.3	6.3	14.6	22.8	62.5
b	7.0	30.2	8.0	14.6	4.7	6.7	15.9	8.8	42.8
c	5.0	32.1	22.9	9.1	3.6	2.0	13.3	11.2	38.8
d	4.0	53.7	3.7	4.0	10.1	6.0	6.4	4.3	41.3
e	5.4	26.3	8.9	6.4	1.8	5.5	12.2	3.7	21.1
f	5.6	29.3	8.1	13.5	9.6	16.5	9.7	5.3	49.9
g	4.1	6.9	2.1	7.9	2.7	16.7	4.0	52.2	55.3
h	10.7	11.2	10.0	13.4	5.7	10.4	8.3	11.0	70.3
i	3.1	53.6	6.5	3.3	1.7	2.1	8.1	14.2	73.9
j	5.5	3.5	12.6	14.3	3.1	3.9	9.2	37.8	30.7
平均	6.3	25.9	9.4	10.0	4.8	7.6	10.2	17.1	48.7

## 4. 板書動作とノーティング動作の関係

学習者のノーティング動作は、講師の板書動作、板書内容および説明のタイミングなどの影響を受ける。ここでは、講師の板書動作と学習者のノーティング動作の関係を定量化するための手法およびその結果について述べる[8]。

### 4.1 講師および学習者の動作の検出

図7に示すように、板書動作を含むビデオ講義を対象として、学習者に、「ノートをとる」、「テストを受ける」課題が課せられる学習環境を対象とする。以下では、図7における講師の動作(板書/説明)および学習者の動作(ノーティング/聞く)を検出するための手法について述べる。

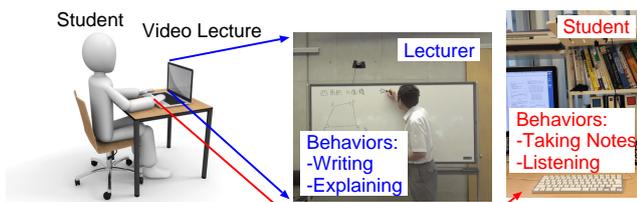


図7 対象とする学習環境および講師と学習者の動作

### 4.1.1 講師の動作の検出

講師の動作として、板書動作と説明動作を取り上げる。まず、録画した動画像から、画像処理により、講師の顔領域の画素数  $P_{face}^L(t)$ 、および顔領域の画素数  $P_{head}^L(t)$  を抽出する。つぎに、 $P_{face}^L(t)$  および  $P_{head}^L(t)$  に基づいて、顔領域の画素数の割合  $r_{face}^L(t)$  を算出する。

$$r_{face}^L(t) = \frac{P_{face}^L(t)}{P_{face}^L(t) + P_{head}^L(t)} \quad (1)$$

ここで、説明動作が生じた場合は、 $r_{face}^L(t)$  が大きな値を呈し、板書動作が生じた場合は、 $r_{face}^L(t)$  が小さな値を呈する。

### 4.1.2 学習者のノーティング動作の検出

まず、図8に示すように、手元を記録した動画におけるカラー情報を基にして、手の領域およびノートの領域を抽出し、ペン先の位置  $(x_{pen}^S, y_{pen}^S)$  を決定する。

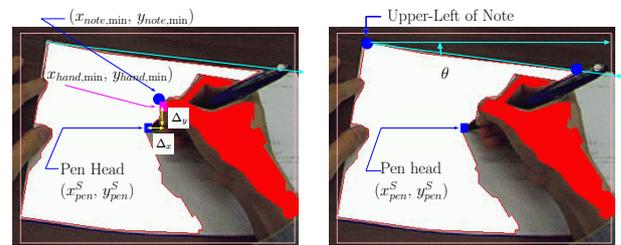


図8 ペン先位置の検出および補正

つぎに、ノーティング動作を検出するために、ペン先の変動を評価するための特徴量  $D_{pen}^S(t)$  を導入する。

$$D_{pen}^S(t) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \{x_{pen}^S(t-k+1) - x_{pen}^S(t-k)\}^2 + \{y_{pen}^S(t-k+1) - y_{pen}^S(t-k)\}^2 \quad (2)$$

ただし、 $K$  はペン先の変動を評価するための区間の長さを表す。(2)式において、 $D_{pen}^S(t)$  が一定値より大きい場合、ノーティング動作が生じたものと判定する。

### 4.2 講師と学習者の動作に対する相互相関

板書動作や学習者の理解度や興味に応じて、ノーティングなどの動作が生じる。ここでは、学習者の動作における時間遅れを考慮して、講師の動作(顔領域を構成する画素数の割合  $r_{face}^L(t)$ )と学習者の動作(ペン先位置の変動  $D_{pen,p}^S(t)$ )に対する相互相関係数  $R_{pen,p}(\tau)$  を導入する。

$$R_{pen,p}(\tau) = \frac{\sum_{t=1}^T r_{face}^L(t) D_{pen,p}^S(t+\tau)}{\sqrt{\sum_{t=1}^T \{r_{face}^L(t)\}^2} \sqrt{\sum_{t=1}^T \{D_{pen,p}^S(t+\tau)\}^2}} \quad (3)$$

ただし、 $\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T r_{face}^L(t) = 0$ 、 $\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T D_{pen,p}^S(t) = 0$  とする。また、 $\tau$  は時間遅れを表す。

### 4.3 学習者のノートンク動作のモデル化

講師の板書や説明内容は、学習者の理解度や興味に影響を及ぼし、理解度や興味は学習者のノートンク動作に表出する。ここでは、講師の板書動作と学習者のノートンク動作の関係を定量化するために、次式の時系列モデルにより、学習者の動作 ( $x_{pen}^{S,p}(t) = D_{pen}^{S,p}(t)$ ) を講師の動作  $r_{face}^L(t)$  に基づいてモデル化を行う。

$$x_{pen}^{S,p}(t) = \alpha_{pen}^{S,p} f \left( \sum_{\ell=1}^L w_{pen,\ell}^{S,p} x_{pen}^{S,p}(t-\ell) \right) + \alpha^{L,p} f \left( \sum_{\ell=1}^L w_{\ell}^{L,p} r_{face}^L(t-\ell) \right) + e(t) \quad (4)$$

ここで、 $\alpha_{pen}^{S,p}$  は、ノートンク動作  $x_{pen}^{S,p}(t)$  が過去のノートンク動作  $x_{pen}^{S,p}(t-\ell)$  から受ける影響を表す荷重係数、 $\alpha^{L,p}$  は、講師の動作  $r_{face}^L(t)$  から受ける影響を表す荷重係数である。また、 $w_{pen,\ell}^{S,p}$  は、ノートンクの動作  $x_{pen}^{S,p}(t)$  に対する時間的な相関を、 $w_{\ell}^{L,p}$  は、講師の動作  $r_{face}^L(t-\ell)$  に対する時間的な相関を表す。さらに、 $f(\cdot)$  はシグモイド関数を、 $e(t)$  はガウス雑音を表す。荷重係数  $\alpha_{pen}^{S,p}$ 、 $\alpha^{L,p}$  に着目することにより、学習者の動作が受ける要因 (講師の動作あるいは学習者自身の動作) について検討する。

図9に、(4)式に対する階層型ニューラルネットワークを示す。ここでは、中間層ユニットの役割を明確にするために、入力層と中間層間を疎な結合としている。

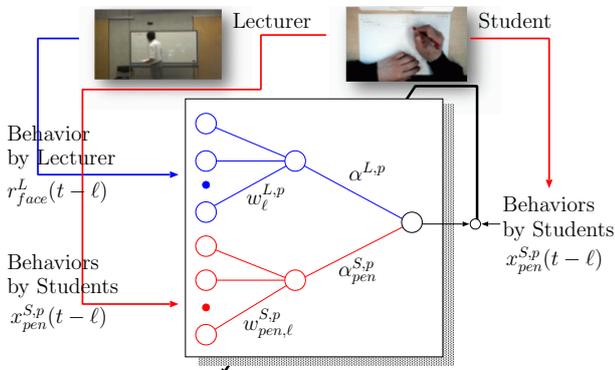


図9 (4)式のモデル化のための階層型ニューラルネットワーク

### 4.4 板書動作とノートンク動作の関係に対する分析結果

3.2節で述べたビデオ講義を対象として、板書動作とノートンク動作の関係に対する分析結果について述べる。

まず、図10に、相互相関係数  $R_{pen,p}(\tau)$  を示す。ただし、 $0 \leq \tau \leq 10$  [sec] と設定し、講義区間を 60 [sec] 毎に分割した。本図において、時間遅れ  $\tau \neq 0$  の場合に、 $R_{pen,p}(\tau)$  がピークとなっており、学習者の動作が講師の動作に対して時間遅れを伴って生じている。また、区間 [70,130] [sec] において、(a) 学習者-A では  $R_{pen,A}(\tau) > 0$  となり、(b) 学習者-B では  $R_{pen,B}(\tau) < 0$  となっている。

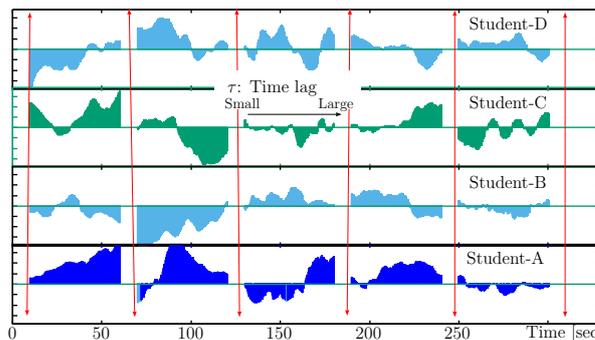


図10 講師の動作と学習者の動作の相互相関  $R_{pen,p}(\tau)$

つぎに、(4)式における講師の動作と学習者のノートンク動作の関係について述べる。図11に、一部の学習者のノートンク動作の影響を表す荷重係数  $\alpha_{pen}^{S,p}$ 、講師の動作の影響を表す荷重係数  $\alpha^{L,p}$  を示す。なお、図9に示した階層型ニューラルネットワークにおける入力層ユニット数、中間層ユニット数、出力層ユニット数は、 $L \times 2, 2, 1$  である。また、 $L = 10$  [sec] と設定した。以下では、学習者の理解度 (ビデオ講義終了後の事後テストの得点により評価) を3つのカテゴリー (良好, 中庸, 不良) に分けて、板書動作とノートンク動作の関係について述べる。

- 理解度が不良な場合 (学習者-C, G, H) : ほとんどの区間において、 $\alpha^{L,C} > 0$  となり、学習者-C は、講師の影響を強く受けている。
- 理解度が良好な場合 (学習者-B, D, F) : 区間 [70,170] において、 $\alpha_{pen}^{S,D} > 0$  となり、学習者-D 自身の影響が強い (自身のペースでノートンク動作を行う)。また、区間 [100,220] において、 $\alpha_{pen}^{S,B} > 0$  となり、学習者-B 自身の影響が強い。
- 理解度が中庸な場合 (学習者-A, E) : 区間 [0,40] において、学習者-A において、 $\alpha^{L,A} = 0$ 、 $\alpha_{pen}^{S,A} = 0$  であるが、区間 [40,250] では、 $\alpha^{L,A} > 0$  となり、学習者-A は講師の影響を強く受けている。

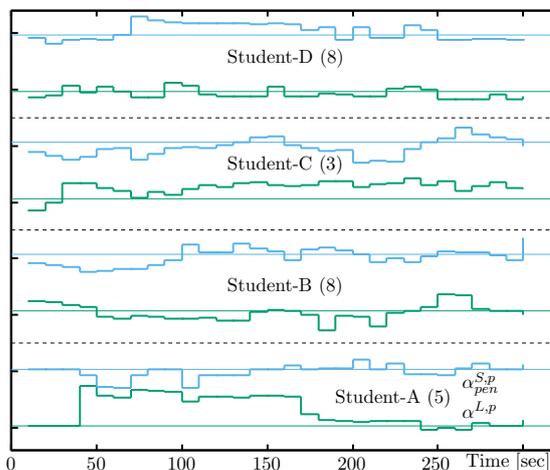


図11 ノートンク動作  $x_{pen}^{S,p}(t)$  に対するモデリング結果 ( $\alpha_{pen}^{S,p}$  : ノートンク動作の影響、 $\alpha^{L,p}$  : 講師の影響)

## 5. 問題解答時における学習者の動作の分析

本節では、問題解答時における学習者の動作を分析するための手法と分析結果について述べる [9], [10]. ここでは、ビデオ講義を対象として、(a) 事前テスト, (b) ビデオ講義の受講, (c) 事後テストを実施する. なお, (c) においては, (b) において作成したノート参照しながら, 事後テストを受けることから, 作成したノート内容の良し悪しが, 事後テストの結果や解答する際の動作に影響を及ぼす.

### 5.1 問題解答時における学習者の動作の検出

図 12 に示す学習環境において, 学習者は, Display 上のノートを参照しながら問題に解答する. ここで, 対象とする動作は, (a) 解答する際の手の動き, (b) ノートを参照する動作である. 以下では, 録画した動画から, ペン先の位置と顔の位置を検出するための手法について述べる.

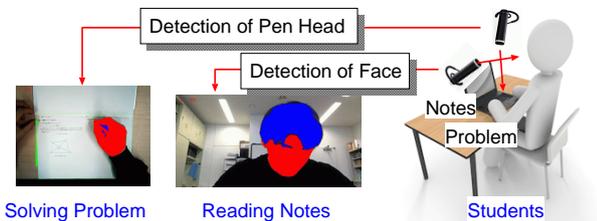


図 12 学習環境および学習者の動作の検出

図 13 に, 動画から学習者の動作 (顔方向およびペン先位置) を検出した結果を示す. ペン先位置 (水平方向)  $x^{Pen}$  から, 解答区間や解答の中断区間を検出することができる. 同様に, 鉛直方向の顔位置  $y^{Face}$  が検出されており, この値に基づいて, Display 上のノートを参照している動作を判定することができる.

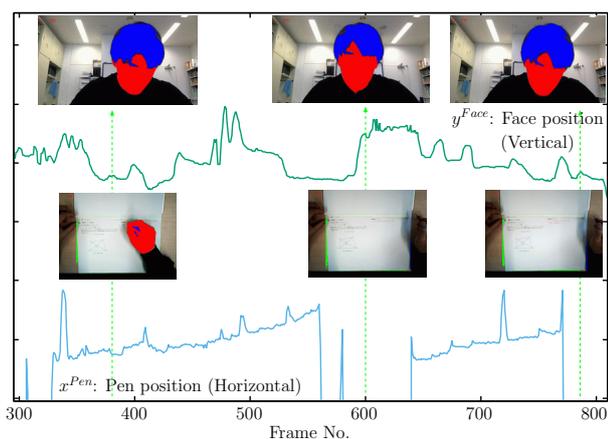


図 13 学習者の動作 (顔方向およびペン先位置) の検出結果

図 14 に, 解答上に重ね合わせたペン先位置を示す. 本図により, 問題用紙に書き込んだ内容や時刻を抽出することが可能であり, 解答のプロセスを再現することができる.

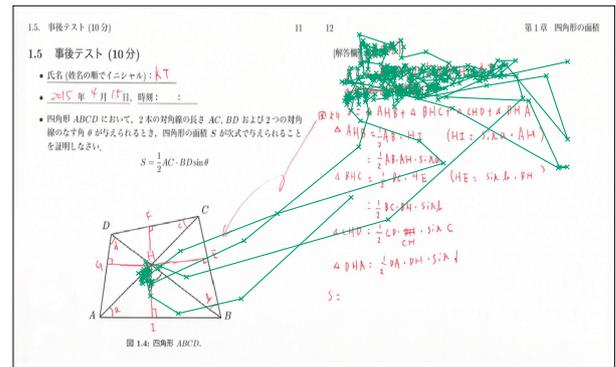


図 14 学習者のペン先位置

### 5.2 問題解答時における学習者の動作の分析結果

3.2 節で述べたビデオ講義を対象とした. まず, 手の動きに基づいて問題を解いているか否かを, 顔の動きに基づいて顔を上げているか否かを判別する. すなわち, 手の動きと顔の動きの組み合わせにより, 学習者の動作を (a) 問題を解く (Solving), (b) 動きが止まる (Pausing), (c) ノートを参照する (Referring to Notes) に分類する.

図 15 に, 学習者-5 (事後テストが不良) の動作を示す. 本図において, 断続的に解答が中断している区間がある. 特に, 360 [sec] 以降は解答に窮している状況がわかる.

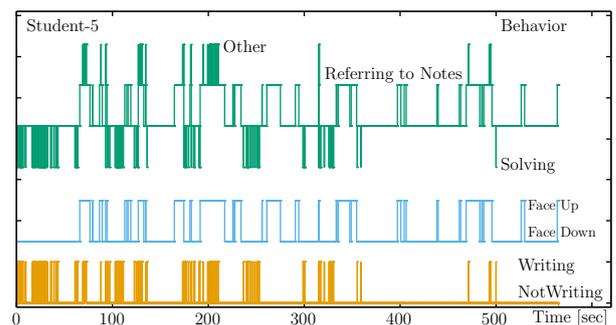


図 15 学習者-5 による問題解答時の動作

図 16 に, 学習者-6 (事後テストが良好) の動作を示す. 学習者-6 は, 解答が中断することがなく, 正答に至っている. また, 初期段階において, (a) 図への情報の書込み, (b) 四角形の追記を行った. なお, 他の学習者においては, 文章や数式から書き始めていた.

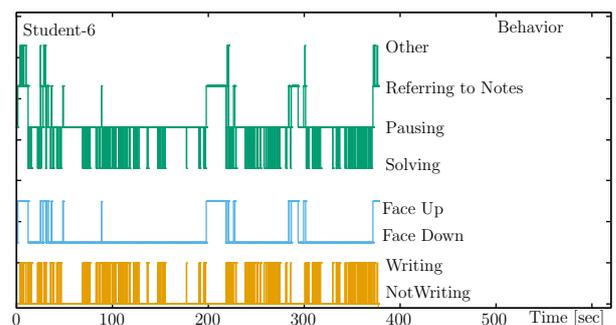


図 16 学習者-6 による問題解答時の動作

## 6. 画像処理による手書きノートの電子化

「紙とペン」によって記録された情報は、事後に、読み返すことがあり、その際、記録された情報だけでなく、参照した情報を想起する必要がある。また、「紙とペン」によって記録される過程には、参照した情報に対する理解度などの内面状態が含まれている。本節では、「紙とペン」によって作成された手書きノートに対して、(a) 書き込み内容と時間の対応付け [11], [12], (b) 手書きノート作成時に参照した情報の組み込み [13] について述べる。

### 6.1 書き込み内容と書き込み時間の対応付け [11], [12]

#### 6.1.1 学習者の動作の検出

講師の説明に対して、学習者がペンを用いてハンドアウトに書き込むような状況を対象とする。まず、頭部に取り付けたウェアラブルカメラにより、学習者の一人称視点の動画を記録する。つぎに、ウェアラブルカメラにより記録された動画から、(a) フレーム間差分により顔位置の変動を検出、(b) ペン先の位置を検出する。図 17 に示すように、左から「話し手に注目する」、「手元を見る」、「書き込む」、「書き込む」動作が録画できている。また、顔位置やペン先位置を検出できていることがわかる。

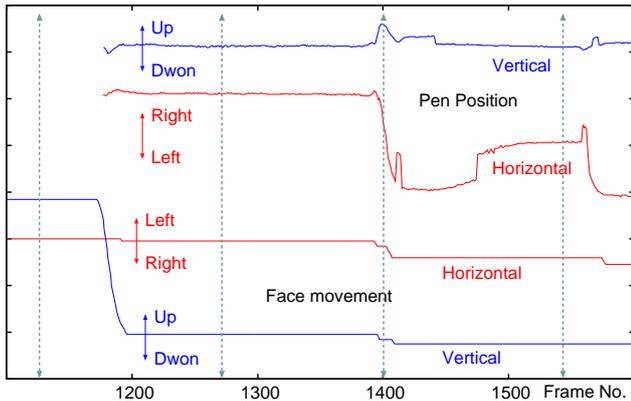
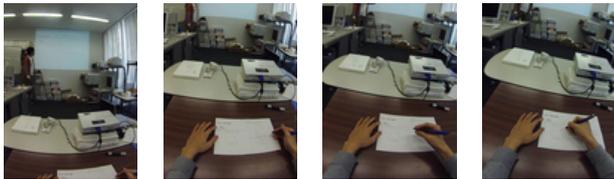


図 17 学習者の顔位置およびペン先位置の検出

#### 6.1.2 書き込み内容と書き込み時間の対応付け

図 18 に示すように、ウェアラブルカメラから得られた画像におけるペン先の位置  $(x^{Pen}(t), y^{Pen}(t))$  およびハンドアウト上の書き込み位置  $(x^{Handout}, y^{Handout})$  を照合することにより、ハンドアウト内における書き込み内容に対する時間を付与する。具体的には、ハンドアウト上の第  $i$  番目の領域の中心を  $(x_{center}^{Handout}(i), y_{center}^{Handout}(i))$  と表すことにより、第  $t$  番目の画像におけるペン先の位置  $(x^{Pen}(t), y^{Pen}(t))$

との距離  $d(t, i)$  を以下のように定義し、 $\min d^2(t, i)$  となる領域  $i$  を決定することにより、ハンドアウト内における書き込み位置  $(x^{Handout}(i), y^{Handout}(i))$  に対して、時間  $t$  を付与する。なお、ハンドアウト領域およびウェアラブルカメラ画像に対する座標変換が必要である。

$$d^2(t, i) = (x_{center}^{Handout}(i) - x^{Pen}(t))^2 + (y_{center}^{Handout}(i) - y^{Pen}(t))^2 \quad (5)$$

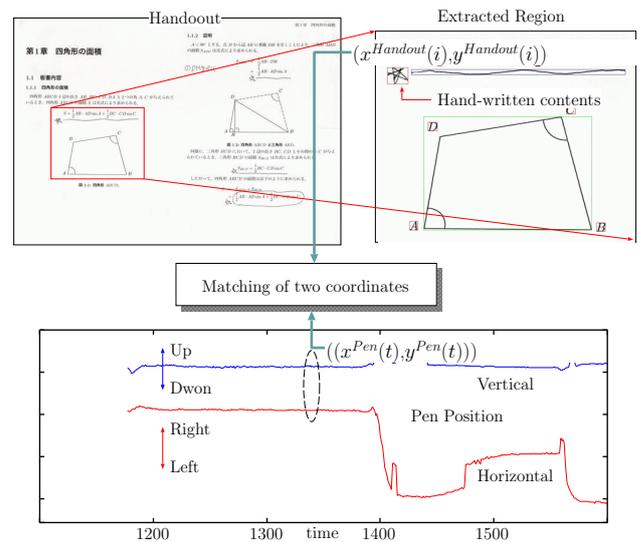


図 18 ペン先位置  $(x^{Pen}(t), y^{Pen}(t))$  およびハンドアウト上の書き込み位置  $(x^{Handout}(i), y^{Handout}(i))$  の照合

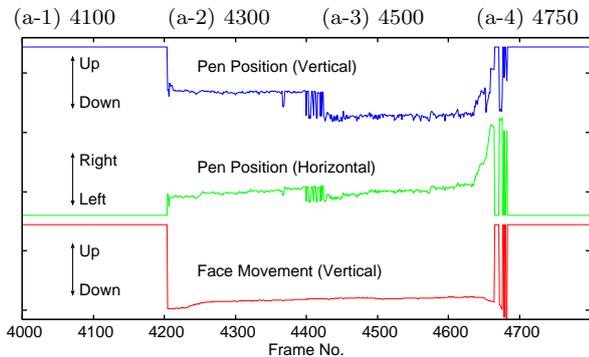
### 6.2 手書きノート作成時に参照した情報の組み込み [13]

#### 6.2.1 概要

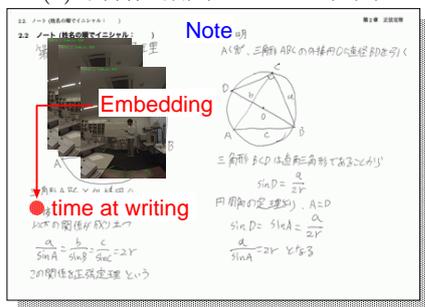
板書を含む講義に対し、学習者が板書や口頭説明をノートに書き込むような状況を扱う。図 19 (a) に示すように、ウェアラブルカメラにより、一人称視点動画を録画する。例えば、(a-1) 話し手に注目する、(a-2) 手元を見る、(a-3) ノーティングなどの動作が挙げられる。図 19 (b) に示すように、顔の位置やペン先位置の変動を検出することにより、図 19 (c) に示すように、ノーティング内容およびその時刻などを抽出する。

#### 6.2.2 ペン先の位置と書き込み領域の照合結果

図 20 に、ペン先の位置と書き込み領域の照合結果を示す。図 20 (a) は、ペン先の位置  $(x^{Pen}(t), y^{Pen}(t))$  [青色の点] および書き込み領域  $(x^{Note}(i), y^{Note}(i))$  [赤色の矩形] を照合した結果を示す。また、図 20 (b) に、ペン先の位置および書き込み領域の照合から、書き込み領域  $(x^{Note}(i), y^{Note}(i))$  に対して、時刻  $t$  を付与した結果を示す。図 20 (b) において、時刻  $t = 55$  [sec] (領域  $i = 22$ ) の直前に、ウェアラブルカメラに記録された画像を示す。この処理により、図 20 (a) に示した書き込み領域に対して時刻が与えられ、各領域に対して映像を組込むことが可能となる。

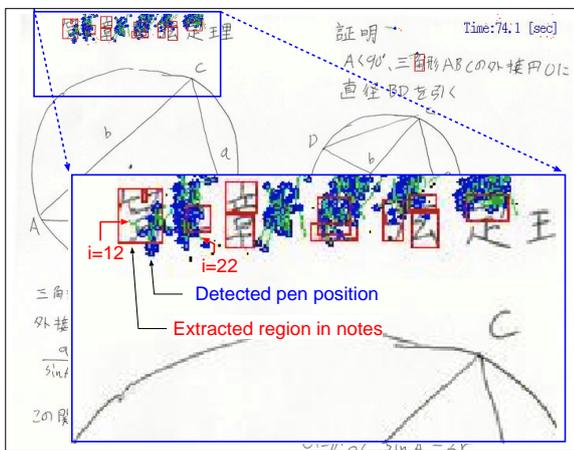


(b) 学習者の顔位置およびペン先位置

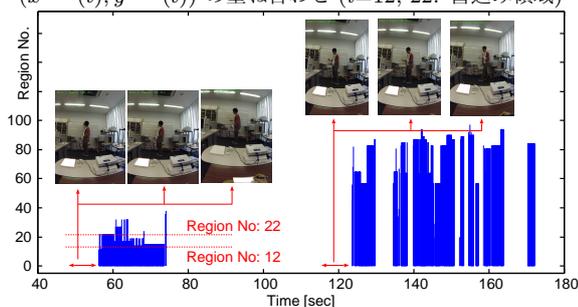


(c) 授業映像の取り込み

図 19 ノーティング動作における授業映像の取り込み



(a) 書き込み領域  $(x^{Note(i)}, y^{Note(i)})$  へのペン先の位置  $(x^{Pen(t)}, y^{Pen(t)})$  の重ね合わせ ( $i=12, 22$ : 書き込み領域)



(b) 時刻  $t$  に対する書き込み領域  $(x^{Note(i)}, y^{Note(i)})$  の推移

図 20 ペン先の位置および書き込み領域の照合結果

## 7. おわりに

本報告では、手書きノートを対象として、(a) 与えられた教材の内容とノート内容の関係、(b) ノートの評価、(c) 板書動作とノーティング動作の関係、(d) 問題解答時における学習者の動作の分析、(e) 画像処理による手書きノートの電子化について述べた。

引き続き、(i) 学習者の動作の検出精度の改善、(ii) 動作に基づいた学習者の内面状態の推定手法の構築を行う。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 JP16K00499 の助成を受けました。また、実験にご協力頂いた近畿大学小濱研究室、福山大学尾関研究室、甲南大学渡邊研究室の学生諸氏に感謝致します。

## 参考文献

- [1] 内田 誠一, Marcus Liwicki, 岩村 雅一, 大町 真一郎, 黄瀬 浩一: デジタルペン, 映情学誌, Vol. 63, No. 3, pp.293-298 (2010).
- [2] 柴田 博仁, 大村 賢悟: 紙と電子メディア —読み書きのパフォーマンス比較—, 画電学誌, Vol. 40, No. 6, pp. 975-981 (2010).
- [3] 内田 誠一, 伊藤 克啓, 岩村 雅一, 大町 真一郎, 黄瀬 浩一: ペン先画像からの手書き復元, 信学論, Vol. J93-D, No.1, pp. 64-67 (2010).
- [4] 中山 実, 六浦 光一, 山本 洋雄: フルオンライン学習でのノートテイキング活動と学生ノート評価との関連, 信学技報, ET2011-49, pp. 13-18 (2011).
- [5] 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛: e-Learning における受講者によるノーティング動作の分析, 信学論, Vol. J97-D, No.12, pp. 1725-1728 (2014).
- [6] 渡邊 栄治: e-Learning 教材と手書きノートの照合における情報伝達に関する検討, 信学技報, LOIS2009-15, pp. 105-110 (2009).
- [7] 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛: ビデオ講義を対象とした学習者のノート評価について, 信学技報, ET2015-108, pp. 81-86 (2016).
- [8] 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛: ビデオ講義を対象とした学習者のノーティング動作の分析, 信学会 HCG2016, 6 pages (2016).
- [9] 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛: 問題解答時における学習者のライティング動作の分析, 信学技報, ET2015-23, pp. 1-6 (2015).
- [10] 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛: ビデオ講義を対象とした学習者の非言語動作と理解度の関係, 信学技報, ET2015-69, pp. 1-6 (2015).
- [11] 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛: ウェアラブルカメラを用いた手書きノートの電子化, 信学技報, EMM2013-56, pp. 19-23 (2013).
- [12] 渡邊 栄治, 小池 慧, 尾関 孝史, 小濱 剛: ウェアラブルカメラを用いたハンドアウトへの書き込み内容の電子化, 信学技報, LOIS2014-14, pp. 17-21 (2014).
- [13] 渡邊 栄治, 小池 慧, 尾関 孝史, 小濱 剛: ウェアラブルカメラを用いた手書きノートへの授業映像の取り込み, 映情学技報, AIT2014-102, pp. 1-5 (2014).
- [14] 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛: 講義や自習における学習者の手書きノートの分析, 信学技報, IE2017-60, pp. 101-106 (2017).
- [15] Getting Started Documents, <http://developer.apple.com/jp/iphone/program/> (2009).