2007－CE－88 (23)
2007／2／17

協調学習支援システムにおけるユーザの操作履歴に基づく学習習熟度判別手法の提案

濱地優希[†] 倉本 到[††] 萩原兼一[†]

我々はビデオ学習環境において，効率的な学習を支援するシステム ViNoSyL (Video Note System for Learning) を開発している．ViNoSyL ではユーザ同士が電子ノートを相互参照することで効率的な学習を行うことができる．その際，学習が進むに従って生じる疑問点や，より発展的な内容についてユーザ間で互いに議論を交わしたいという要求が生じる．そこで，ViNoSyL を用いた環境において，議論の際にユーザの習熟度を基にグループを形成できれば，より効率的な学習を行うことができると考えられる．本報告では，ユーザの操作履歴から自動的に習熟度を推定する手法を提案した．また ViNoSyL を用いた評価実験おいて，複数の操作履歴の中から習熟度に影響を与えるものを示すことができた．

A Grouping Method for Effective Learning Based on Operations of A Collaborative Learning System

Yuki Hamaji,[†] Itaru Kuramoto[††] and Kenichi Hagihara [†]

When we use a kind of video learning systems alone, we often have questions about learning contents. In this situation, it is effective to discuss the questions with other learners. When we have discussion, it is important to choose a participant for effective learning. However, in video learning system environments, there are no effective indices for grouping like the marks of examination. In this paper, we propose an estimation method of learning level as index based on operations of a video learning system. We show an implementation of the method on a system based on the collaborative learning system ViNoSyL. We held an experimentation for estimating learning level, and we introduced an expression for estimating learning level, which can be helpful for grouping learners effectively.

1. はじめに

近年 e-learning やビデオ学習など，計算機を用いた学習が増加している[1)2)]．我々はこのような環境での学習を支援するシステム ViNoSyL (図 1) を開発している[3)4)]．ViNoSyL ではユーザはビデオ教材を視聴しながら，計算機上で電子的なノート（電子ノートと呼ぶ）に適宜メモなどの学習データを記録していく形態の学習を行う．また，同じビデオ教材で学習するユーザ同士で各自の電子ノートを共有し，ユーザがお互いの学習データを参照することで学習効率を向上させることができる．

このような学習環境では，学習が進むにつれて起こるに疑問点の解決や，発展的な学習のためにユーザ同士で議論したいという要求が生じることが考えられる．この場合，時間的および空間的な制約を受けずに利用できることから，電子掲示板上で議論を行う．このとき学習深化の観点から考えると，議論の参加者は注意深く選定されなければならない．なぜなら議論の場に習熟度の異なる（例えば既に答えを知っている）ユーザが存在すると，すぐに結論が出てしまう，あるいはまったく議論が進展しないなど，効果的な議論にならない可能性があるためである．グループ学習における効果的な議論とは，単に結論を知るだけでなく，発言を行いながら自ら考えることで知識の会得，定着を図るためのものである．不特定多数が参加する既存の電子掲示板では，効果的な議論のための学習者の選定を考慮していない．

そこで本報告では，議論の際に習熟度に基づいてグループ形成を行えるよう，個人学習環境でのビデオ学習におけるユーザの習熟度を自動的に推定する手法を

† 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Infomation Science and Technology, Osaka University
†† 京都工芸繊維大学
Kyoto Institute of Technology

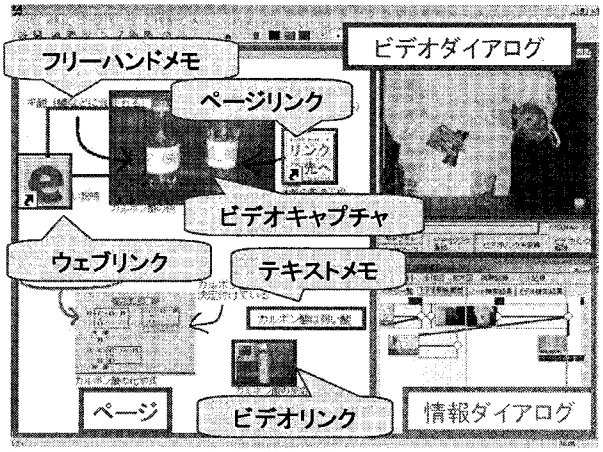

図 1　ViNoSyL の外観

提案する.

2. ビデオ学習支援システム ViNoSyL

ViNoSyL は個人学習環境において，電子ノートを作成・共有することで効率的なビデオ学習を支援するシステムである.

2.1 システム環境

ViNoSyL では学習のハードウェア環境として，計算機と液晶ペンタブレットを使用する．各ユーザが使用する計算機は全てネットワークで接続されており，ユーザはサーバ上のビデオ教材をダウンロードすることで各自のペースで自由な時間に学習を進めることができる.

インタフェースは主に以下の 3 つから構成される.

ページ

学習データを記録・閲覧する部分．これらページの集合をノートとする.

ビデオダイアログ

ビデオ教材を表示する部分．またビデオに対する基本操作（早送りや巻き戻し），及びビデオのキャプチャもこの部分で行う.

情報ダイアログ

ビデオに対する操作の履歴や，ノート内の検索結果などを表示する部分.

ユーザはビデオ教材を視聴しながら，キーボード，マウスおよびペンを用いて電子ノートに以下の学習データを記録する.

(1)　テキストメモ
(2)　フリーハンドメモ
(3)　ビデオキャプチャ画像（ビデオキャプチャ）
(4)　ウェブページへのリンク（ウェブリンク）
(5)　ビデオ教材の特定箇所へのリンク（ビデオリンク）
(6)　別のページへのリンク（ページリンク）

以降では (1)〜(6) の学習データをコンポーネントと呼ぶ.

全てのユーザの学習データはサーバ上のデータベースで一元管理され，各ユーザは任意のユーザの電子ノートを参照・引用することで，効率的な学習を行うことができる.

2.2 特徴的な機能

ViNoSyL の特徴的な機能を以下に示す.

ウェブリンク

ノート上に外部教材として任意のウェブページへのリンクを貼る機能．ウェブブラウザでリンクを貼りたいページを開き，ノート上にドラッグすることで作成できる．ノート上のウェブリンクアイコンをダブルクリックすると，ウェブブラウザが起動し，リンク先のページが表示される.

他者ノートの取り込み

参照した他のユーザのノートから，自分のノートへコンポーネントを取り込む機能．取り込んだコンポーネントはユーザが自由に編集を加えることができる．また取り込み元のページに編集が加えられた場合は更新の発生が通知され，ユーザは学習に有効な情報を逃さず取得できる[5].

2.3 学習の進め方

ViNoSyL では以下のような流れでビデオ学習を行うことを想定している．

ノート作成フェイズ

ビデオ教材を見ながら電子ノートに学習データを記録する．また，復習作業を効率的に行えるように，他のユーザのノートやウェブサイトを参照しながら，得られた情報を自分のノートにまとめる．

復習・発展フェイズ

作成したノートを見返しながら，ビデオ教材の内容を復習する．必要があれば，ノートの記述内容を整理する．また関連情報や疑問点などを調べ，得た情報を自分のノートに追記することもある．

学習は，この 2 つのフェイズを繰り返しながら進められる．

2.4 議論の必要性

各フェイズにおいてユーザは以下のような要求を持つことがある．

- **生じた疑問点を解決したい**
  （ノート作成フェイズの要求）
  学習時に理解が困難であった，十分納得できなかった部分に関して生じた疑問を解決したい．
- **学習内容をより深く，発展的に理解したい**
  （復習・発展フェイズの要求）
  理解に乏しい部分は理解できるように，重要と思われる部分は十分に納得・理解できるように，興味のある部分はより深い，または新しい知識を得られるようにしたい．

これらの要求に対し，同一のビデオ教材を用いて学習している他のユーザと議論を行うことが有効な対応のひとつとして考えられる．なぜなら，複数のユーザで学習内容について議論すると，互いの疑問や納得のいかない点を明確にし，それらを解決する，という深い理解が可能となるからである．また，他ユーザと議論することで，思い込みで学習していた部分に気付いたり，ビデオ教材以上の情報を得ることも期待できる．近年，実際の学校においても生徒同士で議論を行うグループ学習が盛んになっており，大学では PBL (Problem-based learning) と呼ばれる形態の授業を積極的に導入する動きが見られる．

しかし議論を行う場合には，学習深化の観点から参加するユーザを注意深く選出する必要がある．議論の際に習熟度が大きく異なるユーザが存在した場合，互いの議論が噛み合わない可能性が高い．また習熟度の高い学習者によって，すぐに議論の答えが導かれてしまうことは，他の学習者にとっては学習効果の低下を招くと考えられる．議論による学習は単に答えを導くことだけでなく，その導出過程で得られる学習効果を期待して実施される．そのため，グループで議論を行う際には，学習効果が高いと考えられる習熟度の似通ったユーザでグループを形成することが重要である．そこでグループ化の際の指標としてユーザの習熟度を示せば，この問題の解決に役立てることができると言える．

3. 習 熟 度

ここではビデオ学習環境でユーザの習熟度を推定するための手法について述べる．

3.1 操作履歴からの推定

習熟度とは学習者に生来固定的なものではなく，学習を通じて向上する，学問上の能力の程度を表したものである．習熟度を比較的よく表す指標として試験の成績がある．通常，学校では授業内容に関する試験を行うことで，学習者の習熟度を推定している．しかし，ビデオ学習環境においては，試験を作成する立場の人物（教師）がいないため，ビデオ内容に関する試験が存在しない場合が多い．また膨大な量のビデオ全てに試験を用意することは現実的に不可能であり，試験を行って習熟度を推定することが困難な環境であるといえる．従って，試験以外の方法で習熟度を推定する必要がある．

ここで，ビデオ学習環境における，ユーザの操作履歴に着目する．操作履歴は学習状況の履歴であり，一般によく学習する（操作量やその度合いが大きい）学習者ほど，その習熟度が高いと考えられる．従って操作履歴は，習熟度を表すデータと仮定する．しかし，厳密にどのような操作がどの程度習熟度と関連しているかは明らかでない．以下ではユーザの操作履歴から習熟度を推定する手法を提案する．

3.2 分　　類

ユーザの操作履歴から習熟度を推定するため，操作履歴を以下の 3 つの観点から考えた．

- ノートの充実度
  ノートに情報が豊富なユーザは，学習内容をノートにしっかりと記述し，多くの知識を習得していると考えられ，習熟度も高いと考えられる．
- 学習の集中度
  集中とは意識がひとつのことだけに向いている状態を言う．従って，学習に集中しているユーザは学習内容についての理解が深く，それだけ習熟度が高いと考えられる．

- 学習の反復度
  ビデオを繰り返し視聴したり，ノートを何度も編集して復習をしているユーザは，そうでないユーザに比べ学習内容を把握できると考えられ，習熟度が高いと考えられる．

これら3つの分類に対して，操作履歴からそれぞれに対応すると考えられる要素を x_n を以下に示す．

- ノートの充実度
  - **ウェブリンク数**（x_1）
    学習内容についてウェブブラウザで調べ，自分のノートにリンクを貼った数．ビデオの内容に関する補足や，より発展的な事柄について調査した数を示すと考えられる．
  - **他ノートから取り込んだコンポーネント数**（x_2）
    他ユーザのノートを参照し，そこから自分のノートに取り込んだコンポーネントの数．ただし，ウェブリンクを取り込んだ場合は，ウェブで調べたものとみなし x_1 に含める．
  - **コンポーネント数**（x_3）
    自分のノートにあるコンポーネント数から x_1 と x_2 を除いた数．コンポーネント数が多いことは，ノートの記述量が多いことを示す．
- 学習の集中度
  - **待機時間**（x_4）
    ユーザが学習中に席を離れたり居眠りをする状況を考え，入力デバイスからの操作が一定時間以上行われていない時間（秒）を計測した．ただし，入力が検知されていない場合でも，ビデオが再生されている場合には，ユーザはビデオの視聴に専念していると考え，x_4 に含まない．また本報告では4.1節で述べる実験環境からユーザの行動パターンを考慮し，計測の基準を60秒以上入力がなかった場合とした．
  - **学習時間の割合**（x_5）
    学習時間を，ViNoSyLまたはウェブブラウザのウィンドウがアクティブな状態にある時間から x_4 を除いた時間とし，（学習時間の割合）$= \frac{(\text{学習時間})}{(\text{ViNoSyL 総使用時間})}$ を求めた．これはユーザがViNoSyLを起動しているだけでは，他のアプリーケーションを使用して別の作業を行っている可能性があり，学習を行っているとは限らないためである．学習時間にウェブブラウザのウィンドウがアクティブな状態を含めるのは，ユーザが調べものなどをして学習している場合を想定するためである．
- 学習の反復度
  - **ビデオ視聴時間**（x_6）
    ビデオ再生時間の総和をビデオ視聴時間として秒単位で計測した．ビデオを何度も繰り返し視聴すると，そのぶん再生回数が増え，再生時間の総和も長くなるためである．
  - **追加コンポーネント数**（x_7）
    一度作成したページに対して，後からコンポーネントを追加した場合にカウントする．復習フェイズにおけるノート変更量を求めたいため，新たにページを作成してコンポーネントを加えた場合は，前回の学習の続きを行っているとみなし x_7 に含めない．

以上より，ユーザ a の各計測項目を $x_i(a)$，習熟度を $y(a)$ とし，$y(a)$ が $x_i(a)$ の重み付き線形和であると仮定すると，式(1)のように表すことができる．

$$y(a) = \sum_{i=1}^{7} b_i x_i(a) \qquad (1)$$

$$b_i \text{ :定数}$$

従って，式(1)から習熟度を推定するためには，これらの重み b_i を求め，習熟度に統計的に関連の深い要素 x_i を取捨選択する必要がある．その後，b_i の値を式(1)に代入して得られた式の妥当性を検証することで，習熟度が推定可能となる．

また，グループ形成に関しては，ユーザ全体を y 値を基にしていくつかのグループに分割する方法や，ある特定のユーザの y 値を基準として，それに近い y 値のユーザをグループのメンバーに選出する方法が考えられる．

4. 評価実験

3.2節で述べた各要素 x_1〜x_7 を計測する機能を付したViNoSyLで実際の学習状況を想定した実験を行った．本実験の目的は式(1)における重み b_i を導出することである．

4.1 実験環境

被験者は情報科学専攻の大学院生8人で，日ごろから計算機に携わっており，その基本操作は熟知している．

実験設備は入出力デバイス（モニタ，ヘッドホン，マウス，キーボード）による差が生じないよう，全員同じ設備を用いて実験を行った(図2)．モニタは液晶ペンタブレット付きの21インチのものを用いた．

図 2 実験の様子

実験に用いたビデオは各 20 分のドキュメンタリー番組が 2 本（V_1，V_2 とする）であり，実験結果に影響を及ぼさないよう，被験者間に予備知識の差が比較的少ないと考えられる環境問題をテーマとしたものである．

4.2 実験の手順

実験は以下の手順で行った．

(1) V_1 に対するノート N_1 作成

(2) V_1 に関する筆記試験 E_1

(3) V_2 に対するノート N_2 作成

(4) V_2 に関する筆記試験 E_2

被験者には V_1，V_2 を見ながら，その内容についてそれぞれノート（N_1，N_2 とする）を作成してもらう．N_1，N_2 共に作成時間に制限は無く，被験者が満足した段階で終了とする．

V_1，V_2 に関する筆記試験（E_1，E_2 とする）は，本来のビデオ学習環境では存在しないものであるが，今回は式 (1) の評価のため，ビデオの内容を元に作成した．試験問題はビデオのテーマについての理解度を問うため，以下の 3 タイプを用意した．

- ビデオ中に答えがある問題（Q_1）
- ビデオにはないがノート中に答えのある問題（Q_2）
- ビデオにもノートにも答えがない問題（Q_3）

Q_3 は学習者がビデオのテーマに関して外部教材を使用して学習した場合に，筆記試験の点数に反映されるように用意した．

試験 E_1，E_2 は Q_1〜Q_3 から 5 問ずつの計 15 問で，配点は各問 1 点の 15 点満点とし，試験時間は E_i ごとに 15 分とした．筆記試験中は，被験者自身が作成したノートとウェブリンクから辿れるウェブページのみを参照できるものとした．また，N_i 作成時に学習した内容からのみ答えさせるため，試験中はビデオの再生を許可しない．被験者には事前にそのことを伝え，自分のノートに学習内容をまとめるよう指示した．

表 1 ノート N_1，N_2 作成時の操作履歴

ユーザ ID	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
a_1	0	0	77	0	1	1984	6
b_1	2	2	132	0	1	5193	0
c_1	3	12	40	158	0.960	1471	1
d_1	0	0	55	0	1	1444	0
e_1	2	5	56	0	1	1462	0
f_1	0	0	110	1668	0.705	2221	0
g_1	4	2	31	0	1	1558	7
h_1	1	1	107	0	1	2620	27
a_2	0	0	57	0	1	2132	0
b_2	0	0	89	0	1	3774	0
c_2	4	11	47	0	1	1494	15
d_2	0	3	39	0	1	1475	5
e_2	2	13	62	0	1	1246	0
f_2	0	0	89	0	1	1958	0
g_2	5	3	37	0	1	1351	8
h_2	2	9	91	0	1	2978	15

表 2 筆記試験 E_1 の成績

ユーザ ID	Q_1	Q_2	Q_3	合計点
a_1	1	1	0	2
b_1	2	4	1	7
c_1	3	2	2	7
d_1	4	2	0	6
e_1	2	3	2	7
f_1	5	1	1	7
g_1	4	4	0	8
h_1	5	3	2	10

実験に際して，あらかじめ V_1，V_2 の内容に関するノートをそれぞれ 2 冊用意した．事前にノートを用意したのは筆記試験にビデオの範囲を超えた問題 Q_2 が出題されているためで，Q_2 を解答するためには，このノートを参照するという作業を行う必要がある．被験者にはこのことを知らせず，他の被験者が作成したノートと区別できないようにノート作成者は全て匿名とした．

4.3 実験結果

N_1，N_2 作成時の各ユーザの操作履歴を表 1 に，筆記試験 E_1，E_2 の結果をそれぞれ表 2，3 に示す．ユーザ ID は N_i 作成時のユーザ a を a_i とした．

これらの結果からステップワイズ式の重回帰分析[6]（F 値確率 0.05 で投入／0.10 で除去）を行ったところ，x_1，x_3 の 2 変数が選択され，p 値（有意確率）より 0.1%水準で回帰係数が有意であることが確認された（表 4）．標準化係数 β とは回帰係数 b を平均 0，分散 1 で標準化したものであり，x_i が y にどれだけ影響するかを表す．また，t 値とは回帰係数 b の信頼度を表し，絶対値が大きいほど統計的な信頼があることを意味する．以上の結果より式 (1) を式 (2) で表すこ

表 3　筆記試験 E_2 の成績

ユーザ ID	Q_1	Q_2	Q_3	合計点
a_2	4	1	0	5
b_2	4	1	1	6
c_2	4	4	1	9
d_2	3	3	1	7
e_2	4	3	1	8
f_2	4	1	2	7
g_2	5	3	1	9
h_2	5	4	1	10

表 4　重回帰分析結果

変数名	回帰係数 b	標準化係数 β	t 値	p 値
x_1	1.382	0.423	5.082	*
x_3	0.066	0.677	8.126	*

* $p < 0.001$　重決定係数 $R^2 = 0.928$

とができ，ユーザの習熟度を推定するための式を得ることができた．

$$y(a) = 1.382x_1(a) + 0.066x_3(a) \qquad (2)$$

4.4 考　　察

式 (2) が示すように，y は x_1 と x_3，すなわちウェブリンク数とコンポーネント数に強い影響を受けることがわかった．また x_1，x_3 の標準化係数 β をそれぞれ β_1，β_3 とすると，$\beta_1 < \beta_3$ となり，x_3 の値が y の値により大きく影響することがわかった．

次に除外された変数について考える．他ノートから取り込んだコンポーネント数である x_2 が式 (2) に含まれなかったのは，x_3 に対して高い相関があるためである．今回の実験環境においては，自分でノートにたくさん情報を記述するユーザは，他ユーザのノートからもたくさん取り込みを行うことがわかった．この学習者の行動パターンから，コンポーネントを x_2 と x_3 に分類せず，1 つの変数として考えるべきであったことがわかった．

学習の反復度 x_6，x_7 に関しても同様のことが言える．ノートに情報をたくさん記述するユーザはそのぶんビデオ視聴時間も長くなり，復習時の追加コンポーネントの数も多くなる傾向が強いことがわかった．本実験ではまず習熟度を 3 つに分類し，そこから各要素 x_i を選定したが，習熟度との対応関係にとらわれず，考えられる要素をすべて計測し，分析する必要があった．

学習の集中度 x_4，x_5 に関しては今回の実験結果においてはほとんど値に散らばりが見られなかった．これは実験環境の設定が原因であると考える．実際の使用環境を考えると，学習中にユーザが席を離れたり，メーラを起動したりする状況は多々ある．そのため x_4，x_5 に関しては，今回のように，実験開始と同時に学習を始めるのではなく，実験期間を長期に取り，その中で被験者の好きな時間に学習させるといったような実験環境の設定が必要であると考えられる．

このように式 (2) に変数が 2 つしか残らなかったのは，変数の独立性と，実験環境の設定に原因があると考えられる．習熟度を推定するためのより精度の高い式を得るためには，計測する操作履歴の数を増やし，実際の使用状況により近い環境で実験を行う必要がある．

5. まとめと今後の課題

本報告では，ビデオ学習環境で発生する疑問点の解決や発展的な学習という要求に対して，ユーザ同士の議論で解決するためのグループ形成に用いることができる習熟度の自動推定手法を提案した．提案手法ではユーザの操作履歴に着目し，評価実験の結果より ViNoSyL の操作履歴から習熟度を推定する式 (2) を導き，習熟度とノートの充実度に高い相関があることがわかった．

今後は，本報告で導出された式 (2) の妥当性を検証し，その精度を測定するために追実験を行う必要がある．また，さらなる習熟度推定式の精度向上を目指し，今回対象としなかった操作や，その他に収集可能なデータを導出式に導入することを考えている．

謝辞　本研究は一部，平成 17 年度科学研究費補助金（特定領域研究 17011046）の補助による．

参 考 文 献

1) 重森晴樹，倉本到，渋谷雄，辻野嘉宏：講義への集中を目的としたノート作成支援システム，情報処理学会研究報告，2004-CE-75，pp.17–24(2004)
2) 江島ゆき，櫨山淳雄：分散協調学習支援システムの提案，情報処理学会研究報告，2000-CE-57，pp.79-85(2000)
3) 藤本寛史，倉本到，藤本典幸，萩原兼一：ビデオアーカイブを利用した学習を支援するシステムの提案，情報処理学会研究報告，2002-HI-97，pp.1–6(2002)
4) 平野秀明，東浦俊文，川崎裕也，倉本到，萩原兼一：共有した電子ノートにおけるビデオシーンの注目度を利用する学習支援システム，情報処理学会研究報告，2002-CE-67，pp.41–48(2002)
5) 衿木高広，濱地優希，倉本到，萩原兼一：協調学習における相互参照可能な電子ノートの更新を動的に反映する手法，情報処理学会研究報告，2005-HI-116，pp.105–111(2005)
6) 田中豊，脇本和昌：多変量統計解析法，現代数学社 (1983)