



## 2. 学習軌跡の解析の重要性

### 2.1 学習方法の二つの流れ

古代ギリシャには、教育を意味する二つの言葉があったという[3]。ひとつは、フォルマティオ（formatio, 行動を見習わせる, かたちづくる, しこむ）で、もうひとつは、エデュカティオ（educatio, [本来の性質を]引き出す, [豚を]太らせる, いたわる）である[3]。後者の方が英語の education の語源になったが、この二つの概念は現在の教育現場においても、対極に位置する仕込み型学習方法と、引き出し型学習方法へとつながると、指摘したことがある[4]。

仕込み型学習方法は、生産ラインの工程学習や航空機の操縦訓練など、学習内容が多くて複雑である場合に効率的な学習をする方法とされる。学習者は指示された順番に学習を進めるため主体性は少なく、発達段階にある学習に適しているとは限らない。

それに対し、引き出し型学習方法は、学習者が自ら考え主体的に判断して、課題を遂行させるための問題解決能力を引き出し、育成するのが目的である。学習者に迷いが生じやすいので、課題の明確な提示と適切な誘導が必要である。このように、二つの学習方法ともに一長一短があるものの、後者の引き出し型学習方法の重要性が高まり、実施している教育現場も次第に多くなって来ている。

### 2.2 Web 教材における引き出し型学習

学習者の学習軌跡の解析は、教材作成において重要なものだが、その重要性は、学習方法によって大きく違って来る。この点は、Web 教材を考えるとはっきりする。

現在、多くの企業が e learning という名で、インターネットを利用した社内研修を実用化している。多くの場合、学習者は与えられた教材の一つの流れに沿ってクリックを繰り返し、アプリケーションの使い方や、プログラム言語の学習を進める形を取っている。図解してみれば、図1のような直線型であろう。学習者のレベルによらず、

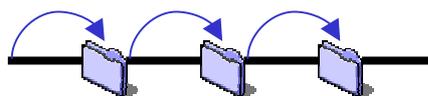


図1 仕込み型学習の教材構成（直線型）

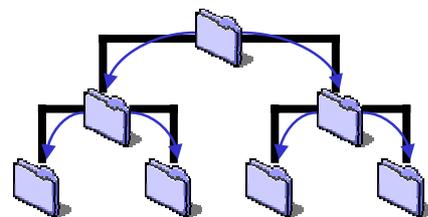


図2 引き出し型学習の教材構成（階層型）

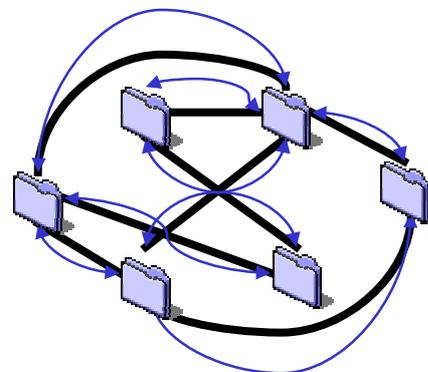


図3 引き出し型学習の教材構成（蜘蛛の巣型）

指定した学習内容を習得させるのが目的で、予定の学習結果を上げるのに適している。これは仕込み型学習方法を適応した Web 教材と言えるだろう。この場合、学習者の学習の仕方には、あまり大きな違いは考えられないので、よほどまずい教材でない限り、学習軌跡の解析の重要性は見えてこない。

一方、引き出し型学習方法の教材は、学習者の選択性を活かすため、教材構成に多数のノードとそれら間のリンクが設定される（図2、および図3）。学習者は、自由な選択意志によって学習軌跡を決定し、知識領域を広げて行き、他の範囲との関連性を自ら考えながら学習するようになる。つまり、新たなことを知ろうとする探究心を育てる効果が期待できる。しかし、リンクの張り方次第では学習目的が達成できなかったり、学習者を惑わしてしまうおそれもあるだろう。学習教

材の設計者から見た場合、予期したように使用されるかどうか、また学習努力が学習効果に適切に対応しているかどうか、適切な学習教材であるかどうか、を知る上で、どうしても学習軌跡の確実な把握が必要である。

要約すると、引き出し型学習方法においては、学習者の学習行動が適切であるかどうか、学習教材の構成が適切であるかどうか、の解析が重要であり、学習軌跡の確実な捕捉が必須である。

### 3 クリックストリームによる学習軌跡の解析

#### 3.1 クリックストリーム

クリックストリーム (Clickstream) とは、文字どおり、Web サイト等でマウスをクリックしたユーザの動作記録である。クリックストリームはこれまでのデータソースより優れた行動の記録になる可能性を持っており、ユーザの特定、セッション、行動の真の意味を探るのに非常に有効なデータとなりうる[5]。現実には、E Businessでの顧客の動向を探るのに適したデータ取得方法として注目を集めており、多くのデータウェアハウス (Data Warehouse) で導入している。例えば、EC サイトのトップページだけ見て帰ってしまった顧客、目玉商品の説明ページをじっくり読んだにも関わらず帰ってしまった顧客、ショッピングカートにいくつもの商品を登録しながら清算確認の段階でキャンセルしてしまった顧客等々を把握できるし、他にも FAQ のページを読んだら帰ってしまった顧客など、いわゆる“買わない顧客”の動線データを手に入れ、自社のサイトの弱点を一つ一つ克服するのに利用されている。

#### 3.2 クリックストリームの取得と解析

本研究では、このクリックストリームを学習軌跡の解析に利用する。ここではクリックストリームを導入する際の一連の流れ、メリット等を説明する。

クリックストリームは Web サーバーのログの中に存在している。まず、ログに記述されている

リクエスト文から、以下のものをデータとして収集する。

- 学習者の参照ページを特定  
学習者が選択したページ番号を、インデックス化してある内容と一致させる。
- 学習者の学習時間を測定  
前のページからリンクを選択し、次のページへ移るまでの滞留時間を測定することにより、学習時間をページごとに測定する。

次に、このデータを解析して学習者の行動の連続性をとらえることによって、以下のようなことを把握できる判断材料となる。データ収集および解析の方法は 4.3 項にて述べる。

- 学習者特性  
全体を通して何度も読み返しているページなどがあった場合、学習者の苦手な分野であると推測することもできる。また、前のページと次のページの関連性を探り、ページの推移を見る。それを、時系列として表せば、学習者固有の動きを判断することができ、次の動作を見ることなく予測できるまでに至る。
- 教材の構成形態  
多くの学習者より得たデータから、学習時間の長くかかったページはどれかなど、教材の特徴を把握することができる。特徴だけでなく、どこのページ、キーワードから迷子になりやすく、理解しにくくなっているかなど、教材構成の不適切な点も捉えることができる。

このようにクリックストリームによる学習軌跡の解析機構を用意することにより、教材を新規に作成したり、修正したりした場合でも、短時間で学習軌跡を得ることができ、客観的かつ解析可能な観測方法を確立できるようなる。クリックストリームによる学習軌跡の解析が短時間で適切に行えるようになれば、従来のプロトコル分析に代ることができるであろう。

## 4. クリックストリームの有効性の実証実験

### 4.1 実験のための学習教材作成

クリックストリームの有効性を実証するために、(社)情報処理学会初等中等情報教育委員会による「高等学校 普通教科『情報』試作教科書」[6]を整形して、引き出し型教材を作成し、実験を行った。原本にはリンク機能はなく、1ページが非常に長い文章となっているので、クリックストリームを取るには望ましい形ではなかった。そこで、内容を変えないように注意しながら、デザインとページ構成に変化を付けて利用した(図4)。

画面をスクロールさせなくても良いように、長い文章項目は二つから三つに分断し、一画面に収まるようにした。フォントサイズにも注意し、見やすく目に飛び込んでくる画面サイズになるように気を使った。また、章(項目)番号は、学習者に番号で自分の位置を把握されるのは好ましくなかったためタイトル部では消してある。

次に、ページの構成を図5に示す。本文(真中)、用語(上)、演習(下)の三種類で構成されており、リンクによって相互に関連付けされている。どのページからでも目次に戻ることが

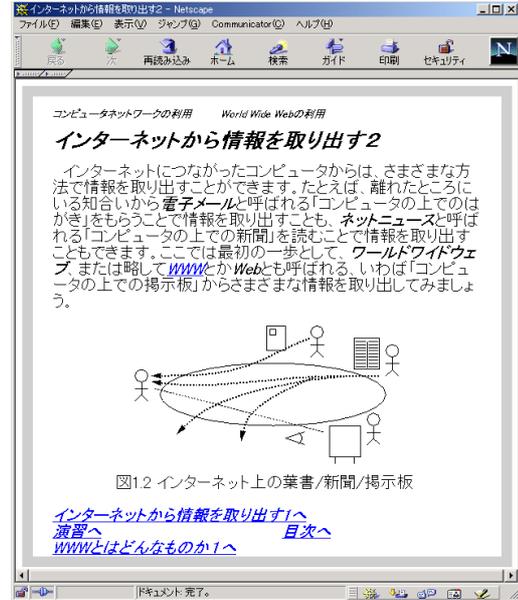


図4 実験に利用した学習教材

でき、学習者が迷ってしまったと感じた場合、軌道修正のために利用できるようにしている。学習者には分からない形ではあるが、教授者が望む学習軌跡に沿ってページに番号を振ってある。総ページ数は72ページとなった。一部のリンクは、学習者の逸脱を見るためわざと迷いやすくもしてある。

図5に示すページ構成は、一見、前出の図1に示した直線型に似ている。学習者は基本的に一

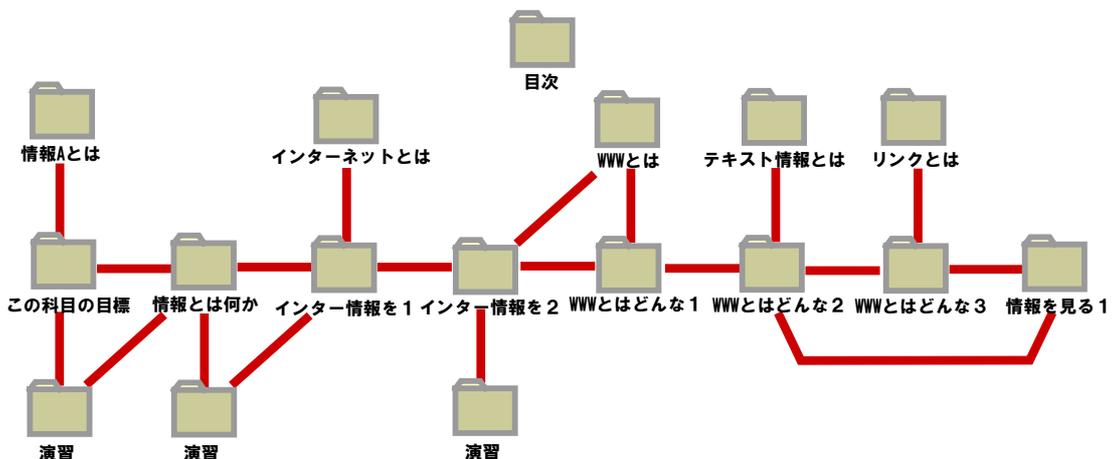


図5 学習教材のページ構成

つの流れに沿って学習を進め、寄り道を繰り返しながら最終ページへと進む。しかし、同じページを戻らずに次のページに進めることも可能であり、目次ページの存在によってどの項目へも自由に飛ぶこともできる。こうなっていると、寄り道直線型にありがちな、同じページに何度も戻ってしまう“ヨーヨー効果”は起こり難くなる。また、キーワードごとに適切なリンクを工夫して付けると、学習者からはこの教材を図6のように感じることになる。このように教材作成時の工夫次第で、階層型のように学習者に感じさせることもできる。一般的な教科書等から、引き出し型学習教材作成することも難しいことではない。

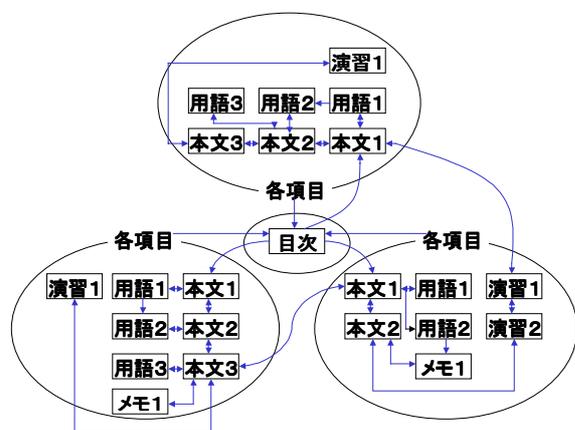


図6 学習者が“感じとる教材構成”

#### 4.2 実験方法

被験者は大学4年生の学生15名に実施した。まず、ブラウザからのHTTPリクエストをWebサーバーにすべて記録するため、ブラウザ・キャッシュをはずす。学習時間を30分と設定し、その時間内であれば同じページをなんと読み直しても良いように、なるべく自由に学習してもらおう形を取った。実験途中では被験者の後ろからビデオ撮影によりディスプレイを映し、課題遂行中に頭に浮かんだことを逐次言語化してもらって録音した。たとえば、「何々をクリックします」「迷ったので目次へ戻ります」「演習問題がわからないので本

文へ戻ります」など、自分の行動を実況中継する形で述べてもらった。これは学習者の内的な認知過程を明らかにするプロトコル分析が目的であり、この結果をクリックストリームの解析に活用する。実験終了時には、被験者と共にビデオを確認しながら、実験途中では特定しきれなかったことを、質問する形で補った。

#### 4.3 Web ログ解析ツール“Analysis of logs”の開発

実験から得たクリックストリームは3.2項に示したようにWebサーバーのログの中に存在している。

このログを見ただけでは何百というリクエスト文が並んでいるだけなので、解析したのち分かりやすい形でvisual化する必要がある。そこで、Webログ解析ツール“Analysis of logs”を開発した(図7)。開発環境にはVisual Basicを用いた。

このツールは、フィルタ、つまり絞り込みをかけ、関係のないリクエスト文を除外することができる。解析は以下のようなフィルタをかけることから始める。

- Host フィルタ  
学習した際のPCのIPアドレスによって学習者それぞれを特定し、他の学習者を除外する。
- Time フィルタ  
あらかじめ何時から何時まで実験を行ったかをメモっておき、それ以外の時間を除外する。
- File フィルタ  
学習軌跡を解析するにはじやまなイメージ、CGI/アプリケーション、Audio/Videoなどのリクエスト文を除外し、HTMLのみ残す。

フィルタから残ったリクエスト文をさらに、ページごとの学習時間や、リクエスト順番、リクエスト回数などで解析する。すると、参照時間の長いページ、リクエストの多かったページなどといった具合にカテゴリで分類することができる。

No	ファイル名	タイトル	トータル時間(秒)	平均時間(秒)
1	/clickstream/A/1232wwwniokeruzyouhodenntatu2.htm	WWWにおける情報伝達2	62	62
2	/clickstream/A/1211mediatohyougenn.htm	メディアと表現	119	59
3	/clickstream/A/1221zyouhodenntatu.htm	情報伝達と評価	46	46
4	/clickstream/A/1371zyoutaitozyoutaisenni.htm	状態と状態遷移	46	46
5	/clickstream/A/1361protocolkaisou1.htm	プロトコル階層1	84	42
6	/clickstream/A/1241zyouhounotadasisa.htm	情報の正しさを読み取る	41	41
7	/clickstream/A/1121zyouhoutoha.htm	情報とは何か	36	36
8	/clickstream/A/1251wwwdehassinnsya.htm	WWWで発信者の要求に応える	101	33
9	/clickstream/A/1145wwwtohadonna3.htm	WWWとはどんなものか3	33	33
10	/clickstream/A/1231wwwniokeruzyouhodenntatu1.htm	WWWにおける情報伝達1	31	31

図7 Web ログ解析ツール“Analysis of logs”の(参照時間が長いページ)カテゴリ表示

さらに、学習軌跡を教授者のみが知っているページ番号にあわせて図で表示する。他の市販されている解析ツールとの大きな違いは、学習軌跡に特化させた図を表示できる点である。ページの推移をページ番号と一致させ、excel との連携によって分かりやすく自動で表示ができる(図8)。

#### 4.4 実験結果から得られる学習者特性、教材の構成形態

前項で説明した解析ツールを利用し、実験結果を見る。前出の図7では、ある学習者の参照時間が長いページを示している。平均時間が長い順番にランキングされている。2番目にランキングされている「メディアと表現」は、平均時間、トータル時間が共に長く、この学習者が時間をかけて何度も学習したことを証明している。

この結果は学習者一人であるが、同時に学習者を何名も解析すると、教材自体の特徴として、どのページが長く学習されがちであるか把握することも可能である。

図8は時系列における学習軌跡を図で表示したものである。0ページへの回帰は、目次を参照したことを表している。ここでは、特徴的な学習者を3名取り上げる。時系列の最終ラインで上から学習者x、学習者y、学習者zの順番で表示してある。

丸印の所を見てもらいたい。時間帯はそれぞれずれているものの、三者とも60ページへ急いで飛んでしまっていることが目視できる。これは、21ページ目に仕込んだ「意図的な誘い」による迷いの結果であるが、そういった教材の構成形態が、

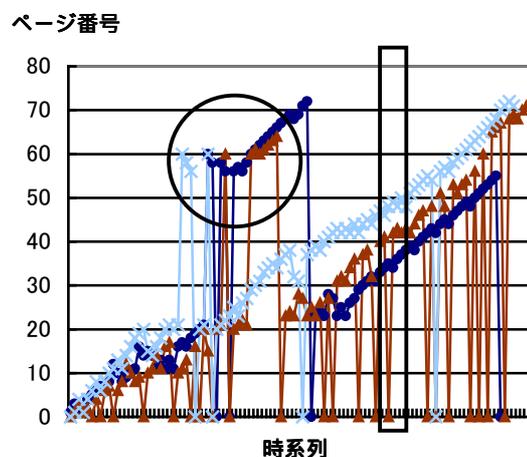


図8 時系列における学習軌跡

目に見える形で確認できる。

学習者一人一人に着目すると、最後まで学習していた学習者は、他の二人より0ページへ回帰している回数が多いのを確認できる。これは、目次を多用し、ページの隅から隅まで学習していることを示している。

四角で囲んだ部分をインデックス化してある内容で比べる。図9は学習者yと学習者xを比べた学習軌跡である。学習者yは、本文を読んだ後、目次により同じ本文を読み直し、用語を学習している。これは“ヨーヨー効果”を起こしているとも考えられる。その点、学習者xは目次を利用せずに学習を進めているため、同じ本文を読み直すことなく用語も学習できている。

学習者zは、丸印の所で迷った後の行動が他二人とは違う。一旦最終72ページまで学習を進め

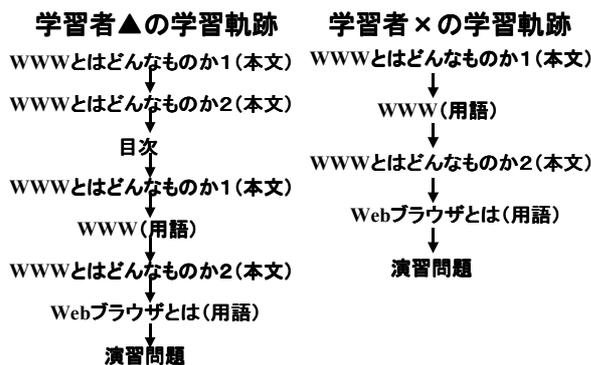


図9 インデックス化してある内容で比べた学習軌跡

ている。その後目次を利用し、学習していない23ページに戻っている。

このようにカテゴリ表示、時系列における図による表示、ともに教材の構成形態だけでなく、学習者特性も把握することが可能となる。

## 5 クリックストリームの可視化機構の開発

### 5.1 “VisualClickstream”の開発

クリックストリームを可視化することにより、学習軌跡を客観的にとらえることができるようになる。また、教授者が分析する際にも繰り返し利用することもできる。前出の図8のような形でも学習軌跡は把握できたが、教材作成者本人以外の目からは、分かりにくいかもしれない。そこで、第三者の教授者からも短時間で、直感的に学習情報を把握できる表示システム“VisualClickstream”を開発した。

開発の主部には、アニメーション作成が容易であり、Webによる表示も可能なことからFlash5を採用した。Webによる表示が可能なことから、他人数の教授者が同時に解析するとも言ったことも可能となり、短時間で客観的と言ったクリックストリームのメリットを最大限生かすことができるようになる。

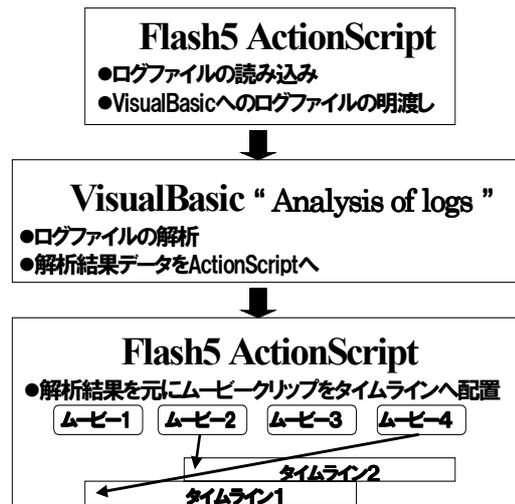


図10 “VisualClickstream”システム構成図

図10にこのシステムの構成を示す。Flash5のActionScriptはJAVA言語に非常に似たコードである。マウスイベントに利用するのが常であるが、XMLデータの解析や他のアプリケーションへのデータの明渡し等、一般的には知られていない機能も多く存在する。本システムでも、4.3項における、解析ツールのプログラム部へログファイルを明け渡すなど、重要な機能へ利用する。

Flash5では加工した画像データをシンボルと呼び、シンボルに動きを覚えこませたものをムービークリップと呼ぶ。本来、ムービークリップはタイムラインに直接配置するのだが、本システムでは、ログファイルの解析結果によってその都度ムービークリップを配置している。このことにより、学習者を何十人でも解析することも可能である。

次項では開発した表示システムを紹介する。

### 5.2 直感的に把握できる表示形式の提案

#### 5.2.1 絵巻物型の表示(図11)

学習者が学習したページを絵巻物のように順番に流れるように表示させ、中心に来た時点でそのページの学習時間を表示する。ページは透明な状態で登場し、画面の中心に近づくほど色が付く。また、端にページが移って行くにしたがって透明に戻る。

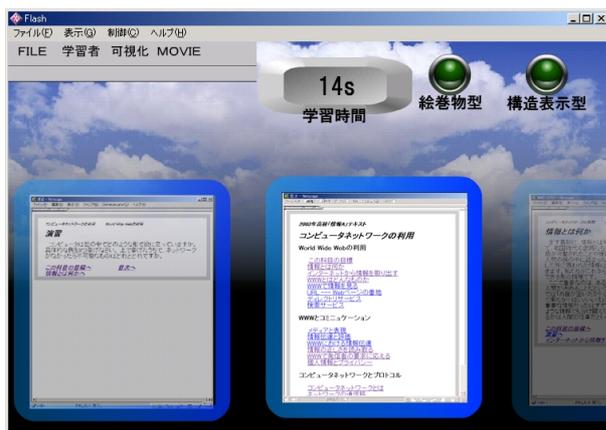


図 11 絵巻物型表示

### 5.2.2 構造表示型の表示 (図 12)

教材構造をあらかじめ表示しておき,学習した順番にページをその場で拡大し登場させる.次に移る際は縮小しその場に収め,リンクの線に沿って光を飛ばすことによって学習軌跡を表現する.



図 12 構造表示型

## 6 終わりに

引き出し型学習方法の Web 教材において,学習軌跡の解析の重要性を示した.実証実験を行うことにより,クリックストリームによる解析機構の有効性を確認することができ,学習者固有の学習への取り組み方の違い,教材の特徴の両面を把握した.さらに,クリックストリームによる学習軌跡の解析結果を,直感的な表示形式で可視化して教授者に提示するシステムを開発した.現状では,想定し得る学習軌跡のシナリオを予め用意し

ているので,長大な教材の場合には組み合わせ論的爆発も考えられるし,教材変更に対応するためにも,この点の改良に取り掛かっている.

## 参考文献

- [1]青木啓至・武井 恵雄:「クリックストリームによる学習軌跡の解析と学習教材設計」情報処理学会第 63 回全国大会 1S-04,4-143,
- [2]青木啓至・武井 恵雄:「クリックストリームによる学習軌跡の解析と可視化機構の開発」情報処理学会第 64 回全国大会 6R-06,
- [3]中内敏夫:「教育思想史」岩波書店(1998)
- [4]武井恵雄「情報技術は教育を変える」情報処理学会研究報告 2000-CE-57-7,pp.55-62(2000) .
- [5]ラルフ・キンボール,リチャードメルツ:「データウェブハウスツールキット」WILEY (2000)
- [6]<http://www2.ics.teikyo-u.ac.jp/InformationStudy/>