

プロジェクタとパソコン間画像放送システムの情報の伝わりやすさの定量的比較の試行

山之上 卓[†]

授業や会議で使われる資料提示システムの、プロジェクタとパソコン間画像放送システムについて、教室や会議における受講者への情報の伝わりやすさを定量的に計測する方法および、その方法を使って両者の比較を試みたことについて述べる。この方法で評価した結果、一画面に表示される情報が少ない場合はプロジェクタの方が伝わりやすく、情報量が多い場合は、画像放送システムの方が伝わりやすいという結果が得られた。

An Experimental Quantitative Evaluation of Information Circulation of a Projector and an Inter-PC Screen Broadcasting System

TAKASHI YAMANOUÉ[†]

A method which measures the information circulation of two presentation tools, a projector and an inter-PC screen broadcasting system in a computer laboratory, and the result of its experimental execution are shown. This method realizes a numerical evaluation of information conductivity between presentation tools and audiences. The result of comparing the two instruction tools was that the projector was better if there was small amount of data on one screen and the screen broadcasting system was better if there was big amount of data on one screen.

1. はじめに

学校や企業で教育や訓練や会議のために、どのような情報機器をどのような部屋に設置すべきか？という問題は情報機器の設置・管理担当者にとって大きな問題の一つである。

教室や会議室ではプロジェクタが設置されることが多くなった。プロジェクタの設置により、コンピュータの画面やビデオなどが簡単に教室や会議室の前面に大画面で表示できるようになった。学校の教室について、政府は「ミレニアム・プロジェクト」の中で「教育の情報化」を推進しており、「2005年度までに、全ての普通教室にプロジェクタ等を整備する。」という目標が掲げられており、これも多くの教室へプロジェクタが設置される原動力の一つとなっている。教室や会議室にプロジェクタを設置することにより比較的安価に授業や会議を電子化し、従来の黒板やホワイトボードより有効な授業や会議を実施することができる可能性がある。

一方、小中学校、高校、大学の教育現場では、多数のコンピュータ端末で構成された分散システムを持ったコンピュータ端末教室が一般的に設置されており、この分散システムを有効に利用した様々な授業支援システムも開発されている。このなかで、教師端末の画像を、学生端末に一齐に表示する機能を持った「PC間画像放送システム」は、歴史も古く、最もよく利用されているものの一つである。パソコン教室はパソコンを設置する必要があるなど経費が高くなる。しかしながら、パソコン教室上の画像放送システムは教師が提示する資料を手元で見ることができ、一画面に表示できる情報量がプロジェクタと比べて大きくできると思われる。

しかしながら、本当にそうなのか、また、そうだとしてどのくらい異なるのか定量的に評価できると、教室や会議室へのプロジェクタやパソコン端末の配置計画が行いやすくなる。また、プロジェクタとパソコン端末が両方とも使える部屋の場合、教師や発表者はこの2つの設備の特徴を把握し、うまく使い分けることにより、より良い授業や発表を行える可能性がある。

本論文では、パソコン教室における画像放送システムとプロジェクタの情報の伝わりやすさを評価・比較する方法の一つについて、およびその方法を用いて実

[†] 鹿児島大学 学術情報基盤センター
Computing and Communications Center, Kagoshima University

際にこの2つの定量的な比較を行ったことについて述べる。今回用いた方法で評価を行った場合、1画面の情報量が多い場合はPC画像放送システムの方が、情報が伝わりやすく、小さい場合はプロジェクタの方が伝わりやすかった。

2. 評価方法の概要

プロジェクタやPC画像放送システムなどの資料提示ツールの良し悪しを評価する方法の一つは、これらのツールを使って資料を提示したとき、受講者や聴衆に対してどのような影響があるかを調査することである。

この影響を調査するには、受講者または聴衆を想定した被験者に対して様々な道具を使って、同じ環境で同じ資料の提示を行ったのち、テストを行い、そのときの被験者の成績を採取すれば良い。しかしながら、資料提示ツールの比較を行う場合、あるツールを使って、ある資料の提示をして被験者のテスト結果を採取した後、別のツールを使って同じ資料の提示を行った場合、先に行った資料の影響があるため、その道具の正当な評価の比較を行ったことにはならない。ところが、異なる被験者に対して同じ資料を、ツールを代えて提示し被験者のテスト結果を採取しても、被験者の能力の差があるので、これも正当な評価の比較を行ったことにならない。提示する資料の種類によって、ツールによる影響も変わる可能性がある。

この問題を回避するため、資料については、異なる種類の資料を、それぞれの種類についてツールの数の倍数だけ用意する。同じ種類の資料は、そのテストを行ったとき、同じ能力の人であれば、同じくらいの点が得られるものとする。ツール別と同じ種類の異なる資料の提示を複数回行い、それぞれについてテストを行うことにより、一人の被験者が異なるツールで同じ資料提示を受けた場合の副作用が避けられ、ツールを変えて同じ種類の異なる資料の提示を繰り返すことにより、使うツールの順番による副作用の影響を小さくすることができる。また、できるだけ多くの被験者を用意することにより、被験者によるばらつきを平均化した結果を得ることができる。

以上を整理すると、手順1で被験者への影響を調査することになる。ここで、被験者数を n 、被験者を $M(i) (1 \leq i \leq n)$ 、比較対象のツールの数を m 、使用するツールを $T(j) (1 \leq j \leq m)$ 、提示する資料の種類数を s 、同じ種類の資料を繰り返す回数を r 、資料を $L(j,k,l)$ ($1 \leq j \leq m, 1 \leq k \leq r, 1 \leq l \leq s$)、被験者のテスト結果を $R(i,j,k,l)$ ($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m, 1 \leq k \leq r, 1 \leq l \leq s$) で表

すこととする。 $R(i,j,k,l)$ は資料 $L(j,k,l)$ と被験者 Mi の関数とみなすこともできるので、 $R(i,j,k,l) = E(Mi, L(j,k,l))$ と表すこともできる。

```
for(l=1; l<=s; l++){
  for(k=1; k<=r; k++){
    for(j=1; j<=m; j++){
      ツール Tj を使って資料 L(jk,l) を
      被験者の集合
      A={M1,M2,...Mn} (nは被験者の数)
      に提示し、テストEを実施、
      R(i,j,k,l)=E(Mi,L(j,k,l)) を得る。
    }
    休憩
  }
  休憩
}
```

手順1. 評価手順

この調査実施手順で得られた $R(i,j,k,l)$ を使い、ツールによる影響の違いを求める。

ここで、ツールの「情報の伝わりやすさ(情報伝導度)」の定義を行う必要がある。プロジェクタやPC画像放送システムなどの教材提示ツールの情報の伝わりやすさとは、情報を提示されたとき、それが被験者の集合にどのくらい速く正確に伝わるか?と定義する。この情報の伝わりやすさをできるだけ正確に計測するため、被験者に提示される情報は被験者があまり記憶していないと思われる文章とする。情報の伝わりやすさの速さは、提示された文章を手元で入力したときの一文字あたりの入力スピードとする。被験者 i に対してツール j を使って k 番目の文章 $L(j,k,l)$ が提示されたときの入力スピードは、このとき被験者によって一秒間に入力された文字数の平均値 $Av(i,j,k,l)$ で表すものとする。正確さは、一文字あたりの間違った比率とする。被験者 i に対して道具 j を使って k 番目の文章 $L(j,k,l)$ が提示されたときの、正確さは、このときの一文字あたりの間違いの割合 $Aerr(i,j,k,l)$ で表すものとする。このときの情報の伝わりやすさ(情報伝導度)がテスト結果 $R(i,j,k,l)$ であり、これを

$$R(i,j,k,l) = Av(i,j,k,l) * (1 - Aerr(i,j,k,l))$$

で定義するものとする。これはツール j によって提示された情報 $L(j,k,l)$ が被験者 i によってどのくらい速く正確に処理されたか、ということを表している。

$R(i,j,k,l)$ を被験者と同じ種類の提示資料(同じ情報量

の文章の提示)について平均を取ることにより、道具 j を使って種類 i の文章の提示を行ったときの情報伝導度 $R(*,j,*i)$ を求める。

今回、プロジェクトとの比較の対象となるPC 間画像放送システムとして、授業支援システム SOLAR-CATS の静止画放送機能を利用した。また、テストを実施するための道具として、SOLAR-CATS の操作記録・再生機能を利用した。

3. SOLAR-CATS の概要

SOLAR-CATS⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾は、お絵かきプログラム、テキストエディタ、Web ブラウザ、簡単なプログラミング言語のプログラミング環境、教育用日本語プログラミング環境(PEN)、英作文支援システムなどのアプリケーションを備えた一種のWISIWYS(What I See Is What You See)システムである。SOLAR-CATS は

- グループに参加している教師のアプリケーション操作を学生端末上で、実時間で表示する
- 教師や学生が独立してアプリケーションを操作する
- グループに参加している教師や学生がクラス内でアプリケーション操作を共有することにより、共同作業を行う
- それぞれの端末において、アプリケーション操作の記録と再生を行う
- ファイヤーウォールで隔てられた端末教室の端末を接続して、1つのグループを作り、その中で操作の共有を行う

などの機能を持つ。JAVA で開発しているため、プラットフォーム独立であり、様々なOS が混在した環境でも利用できる。Xwindow 端末や、Windows Terminal Edition を使ったシステムのように、1つのコンピュータを複数の端末で共有する場合でも利用できる。

画像のような大きなデータを短時間で多数の端末に信頼性をもって送信するために、P2P技術を利用している。通常のLANで使われているネットワークスイッチを使った場合、端末数の対数の時間に比例した遅延で一箇所からグループ内のすべての端末にそのデータを転送することができる。

グループ内で1つの操作を共有し、なおかつグループ内の誰でもその操作を可能とするためには、グループ内のメンバーが勝手に独自の操作を行うことがないよう、排他制御が必要になる。SOLAR-CATS は排他制御の機構も持っている。

SOLAR-CATS は「教師ノードシステム(teacher's node system)」, 「学生ノードシステム(student's node

system)」, 「グループマネージャ(group manager)」の3種類のプログラムで構成されている。図1と図2にSOLAR-CATS と各ノードシステムの構成を示す。

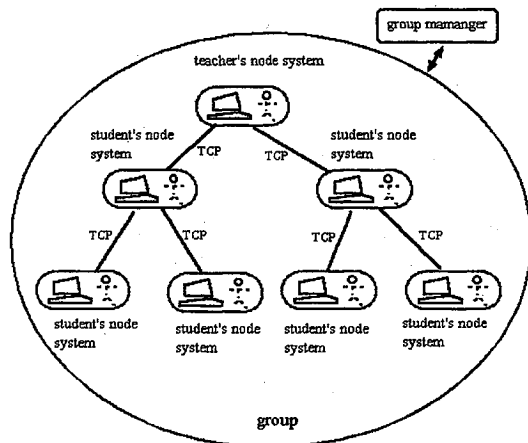


図 1. SOLAR-CATS の構成

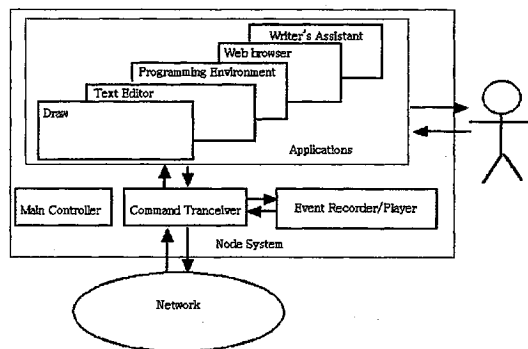


図 2. ノードシステムの構成



図 3. 端末教室で静止画放送機能を使っている様子

SOLAR-CATS は、パソコン上の画面（静止画）を取得し、これをグループ内のすべての端末に放送する機能も持っている。この機能により、SOLAR-CATS が備えていない任意の応用プログラムの画面をグループ内で共有できる。この静止画放送機能は、SOLAR-CATS のお絵かきソフトの機能の一部として組み込んでいる。このことにより、画面を送信した後、その画面の上にマウスカーソルを移動させて指示したり、画面の上に注釈を書き込んだりすることができる。

SOLAR-CATS は操作の記録・再生を行うことができるが、静止画放送機能についても記録・再生を行うことができる。図3は端末教室で SOLAR-CATS の静止画放送機能を使っている様子を表す。

4. 評価の実施と結果

評価は鹿児島大学学術情報基盤センターの端末教室で行った。評価対象となる教材提示ツールは端末教室備え付けのプロジェクトと SOLAR-CATS の静止画放送機能である。ここで使うプロジェクトとそれに関する環境は以下のとおりであった。

- 輝度: 5000 lm
- スクリーンの大きさ: 横 2m45cm x 縦 1m84cm
- プロジェクタからスクリーンまでの距離 5m
- スクリーンから一番遠くの学生までの距離 5m50cm
- スクリーンの位置: 学生のほぼ正面で、スクリーンの下端の高さが92cm
- 被験者の座る向き: スクリーンに対して90度
- 黒板蛍光灯を消灯、その他の蛍光灯を点灯

この調査の実施手順における提示資料は、パワーポイントのスライドに表示された日本語の文章とした。資料の種類の違いは、スライド1枚に表示された文字の数の違いとする。72ポイントで横10字、縦3行にわたって記述された30文字の画面と、36ポイントで横20字、縦6行にわたって記述された120文字の画面の2種類を用意した($s=2$)。この種類の資料について、それぞれ6画面を作成した($r=3, sr=6$)。評価を実施しているときの写真を図4, 5に、提示した資料の例を図6, 7に示す。

ツールはプロジェクトと SOLAR-CATS の2種類なので、同じ種類の資料の提示の繰り返し回数 r は3となる。被験者数 n は5人とした。被験者は情報工学を専攻する学部4年生3人と大学院生2人で全員男性である。全員メガネなどで視力矯正をおこなっていた。

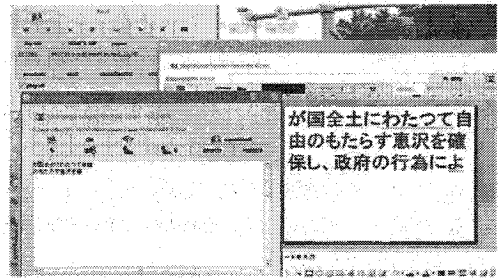


図4. SOLAR-CATS で提示された文章を入力している被験者の画面の例



図5. プロジェクタで表示された文章を入力している被験者

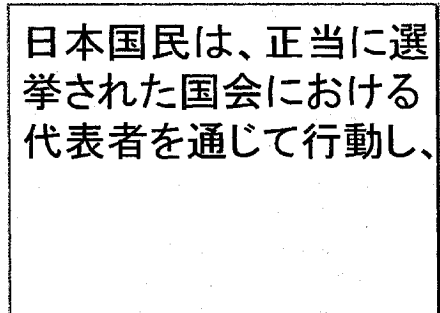


図6. 30字を72ポイントで表示した提示文書の例

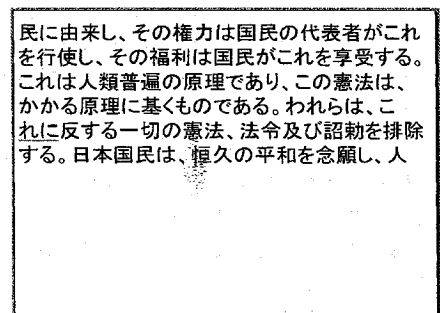


図7. 120字を36ポイントで表示した提示文書の例

各資料提示後に、遠隔操作によるファイル保存などで約一分間の休憩があった。提示資料の種類が変わる間の休憩は5分とした。

テストはそれぞれの資料を提示した後、被験者に SOLAR-CATS の文書編集ソフトで、その文章を書き写してもらった後、それぞれの文章を保存することにより実施する。入力時間を制限することはせず、それぞれの提示画面について、すべての被験者が入力を終わるまで待った。

SOLAR-CATS の操作記録・再生機能を使うことにより、被験者それぞれについて、パワーポイントが表示されたときのキータイプが、キーが押されたときの時間と共に記録されるため、書き写す速さなどを知ることができる。SOLAR-CATS を使って、被験者端末で得られた SOLAR-CATS の操作記録の例を以下に示す。

```
82247:o-drawing fc(0).mm(180,430)
82434:o-drawing fc(0).mexit(173,428)
...
99219:m-tedit txdedit.txt.kty(0,0,26085)
99219:m-tedit txdedit.txt.kty(0,1,26412)
```

ここでコロン(:)の左の数字は記録を開始してから経過時間(msec)を表す。複数の被験者の記録を遠隔操作で同時に開始するので、この時間はどの被験者もほぼ同じ値となる。コロンの右が SOLAR-CATS 上で行われた操作を表すコマンドである。"o-" で始まるコマンドは、そのコマンドが他の端末から発行されたことを表す。即ち、これは遠隔操作が行われていることを表す。"m-" で始まるコマンドは、そのコマンドが被験者自身の操作によって発行されたことを表す。今回利用するデータは文書編集の操作記録であるが、手元で資料を表示するときに描画ツールを使用しており、この部分は、その記録である。

drawfig.fc(0).mm(180,430) は、SOLAR-CATS のお絵描きツール(drawfig)の描画領域の0番目(fc(0))でマウスが左から180ピクセル上から430ピクセルの位置に移動(mm(180,430))したことを表す。

tedit txdedit.txt.kty(0,0,26085) は、文書エディタ(tedit)の0番目の文書編集領域(txdedit.txt)で、最初の位置(0)に文字コード26085の文字がタイプされたことを表す。

得られた操作記録を、表計算ソフト(excel)を使って処理し、何番目の資料を提示したとき、キータイプの開始時間と終了時間がなんであったかのデータを採取した。

正確さについては、フリーのファイル差分取得プログラム(Rekisa¹⁰)を用い、間違った箇所数を数えることとした。

これらを用いて、

$$R(i,j,k,l) = Av(i,j,k,l) * (1 - Aem(i,j,k,l))$$

を計算し、それぞれのテスト結果とし、それぞれのツールでそれぞれの種類の資料を提示したときの平均 $R(*,j,*,l)$ を計算した。これがそれぞれの場合の情報伝導度の平均値であり、結果は表1のようになった。単位は文字/秒である。

表 1. プロジェクトと SOLAR-CATS の情報伝導度(文字/秒)の平均値。カッコ内は左から各被験者について同じ種類の提示結果を平均した場合の最低、最高、標準偏差

| | プロジェクト | SOLAR-CATS |
|--------|----------------------------|----------------------------|
| 30 文字 | 1.21 (0.58, 1.87, 0.48) | 1.03 (0.68, 1.47, 0.29) |
| 120 文字 | 1.01 (0.52, 1.31, 0.36) | 1.09 (0.70, 1.34, 0.26) |

この結果によると、一画面に表示される文字数が少ないときはプロジェクトの方が情報伝導度の平均値が大きく、この値だけ見ると一画面に表示される文字数が多いときは SOLAR-CATS の方が、情報伝導度の平均値が大きいくことがわかる。ただ、この実験ではそれぞれの場合について3画面の提示しか行っておらず被験者の人数も少ない。精度の高い結果を示すためには、これらのデータを増やす必要がある。提示文書の種類も2種類しか行っていない。ただ、プロジェクトの方が SOLAR-CATS の場合と比べて標準偏差が大きい。これは着席場所などによる影響がプロジェクトの方が大きいことを伺わせていると解釈できるかもしれない。被験者によって基本的な文字入力の手速は異なるため被験者間の平均値により情報伝導度の良し悪しを判断するためには、より多くの被験者が必要となる。しかしながら今回、個々の被験者のデータを見ると、30文字の提示でプロジェクトより SOLAR-CATS の方が、情報伝導度が高かった者は1名だけであり、120文字でプロジェクトの方が、情報伝導度が高かったのも1名だけであった。この部分では小さい文字の場合の SOLAR-CATS の優位性は示すことができた。30文字の場合、プロジェクトの方が、成績が良かった原因の一つとして、視覚角度がプロジェクトの方が大きく、字が大きい場合はその影響が大きく、字が小さくなる

とその影響が小さくなっていった可能性がある。

データ収集およびその整理について、SOLAR-CATS、Rekisa、表計算ソフト(Excel)などを使うことにより、ある程度自動化することができた。このため、今後も継続してデータ収集を行うことにより、結果の精度を上げていくことが可能である。

5. 関連研究

GUIのよし悪しの定量的な評価は、古くからユーザビリティの研究として行われている⁹⁾。ここで使われている評価手法にはアンケート調査とユーザテストがあり、本論文で述べた評価はユーザテストの一つであると考えることができる。本格的なユーザテストを実施するには、ユーザビリティ・ラボ、モニター、ユーザビリティ・エンジニアが必要となる。これらを用意するためには膨大な費用や時間が必要となるため簡易なユーザテストも行われる。被験者の質がそろっていれば、被験者は5人くらいいけば十分であるとも言われている。その意味で、本論文の被験者数は問題ないかもしれない。測定する対象が絞られており、SOLAR-CATSなどのツールを使うことで、タスク実行観察と事後インタビューをある程度自動化することができた。

認知的ユーザビリティを検討するときに用いられる認知モデルとしてKLMモデル¹⁰⁾があるが、SOLAR-CATSはKLMモデルで使われるパラメータの多くを自動的に収集することができる。

AokiらはWebの操作を記録・再生するシステムについて述べている⁹⁾。Web上のエディタを組み合わせることにより、Aokiらのシステムで、被験者のキー入力などのデータ採取が可能である。しかしながら、Aokiらのシステムには、SOLAR-CATSが持っている画像の一斉放送機能は持っていない。

櫻井らは業務用Webアプリケーションの各作業の入力時間とシステム応答時間をブラウザの動作履歴から算出し、ボトルネックとなる作業を抽出する方法を提案し、実証実験を行ったことについて述べている⁹⁾。本論文は操作記録を採取する部分は櫻井らの研究と類似しているが、対象が異なっている。

西田らは、計算機演習室におけるGUI操作履歴の収集と解析を行うことにより、ユーザテストより良いデータが得られることを示している⁹⁾。本論文では統制実験を行っているが、日常的にSOLAR-CATSの上で作業が行われれば、西田らと同様のデータが得られる可能性がある。

6. おわりに

資料提示システム定量的に比較する方法の一つについて提案し、その方法を使ってプロジェクトとパソコン間画像送信システムを比較した。定量的な比較を行うため「情報伝導度」の定義を行った。

今後はより多くのデータを採取し、精度を高くしていく予定である。また、本手法を授業や会議そのものの評価に応用できないか、検討を行いたい。

謝辞 本研究の一部は平成17年度科学研究補助金基盤研究(C)17500041の補助を受けました。

参考文献

- 1) Stuart K. Card, Allen Newell, Thomas P. Moran, "The Psychology of Human-Computer Interaction", Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Mahwah, NJ, USA (1983)
- 2) 西田知博, 大坪正明, 辻野宏宏, 都介信満, "打鍵レベルでの計算機演習室内の操作履歴の解析と実験データとの比較", 情報処理学会研究報告-情報メディア, vol.1998, No.9, pp.91-96, (1998)
- 3) Aoki, Y., Ando, F., Nakajima, A., "Web operation recorder and player", Seventh International Conference on Parallel and Distributed Systems, 2000. Proceedings. pp.501-508, (2000)
- 4) 山之上 卓, "プラットフォーム独立な教育用分散システムの性能評価ツール", 情報処理学会論文誌, vol.46, No.4, pp.912-921, (2005)
- 5) 山之上 卓, "多数の端末上のアプリケーション操作の記録再生を行う教育支援システム", 情報教育シンポジウム論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ vol.2005, No.8, (IPJS SIGCE SSS2005), pp.61-68, Akaigawa, Hokkaido, 21Aug.-23Aug. (2005)
- 6) 櫻井隆雄, 恵木正史, 直野健, "ブラウザモニタリングによる業務アプリ分析方法", 情報処理学会研究報告-分散システム/インターネット運用技術, Vol.2006 No.97, pp.13-18, (2006)
- 7) Takashi Yamanoue, "A Real-Time and Interactive Instruction Tool for a Large Size Computer Laboratory", 8th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, Kumamoto Japan, 10th to 13th July, (2007)
- 8) 山之上卓, "教育支援システム SOLAR-CATS の静止画放送機能と授業への応用", 情報教育シンポジウム論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ vol.2007, No.6, (IPJS SIGCE SSS2007), pp.119-124, 四日市, 三重, 26Aug.-28Aug. (2007)
- 9) ユーザビリティ: http://www.usability.gr.jp/whatis/evaluation_method.html
- 10) Rekisa: <http://frozenlib.net/rekisa/>