

Web ページ版連想マップ作成システムの実装と 操作性の評価

藤木卓*, 岩瀬維志**, 松本英莉***, 森田裕介*

Implementation and Evaluation on Association Map Generating System available from Web page

Takashi FUJIKI*, Tadayuki IWAZE**, Eri MATSUMOTO***, Yusuke MORITA*

1. はじめに

授業により，学習者が保有する知識や概念の構造は変化する．そのため，授業の前後における学習者の構造の変化を捉えることができれば，授業評価のために必要な情報として有益である．ここでは，学習者が持つ知識や概念の授業評価のための視覚化を考える．

知識や概念の構造を表現する方法としては，ISM 教材構造化法[1]が知られている．しかしこの方法は，個々の学習者が持つ概念構造の把握を目的としてはいないため，そのまま授業評価に適用することは困難である．また，授業中の学習者の変容を追跡し，学習者の概念獲得やつまづき等を図式化する方法としてイメージマップ[2]が知られている．しかし，この方法はマッピングに時間を要するため，毎回の授業評価に用いるのは難しい．ところで，連想による短時間の調査時間で，授業の前後で得た学習者の連想反応語の変化やカテゴリ分けしたベクトル図から授業の評価を行う糸山らの実践的な研究[3]-[4]がある．また，藤木らは，学習者から得られる連想反応語を視覚化し，授業評価のためのマップとして提示する方法[5]を提案している．これらの研究で扱われる連想反応語は，授業の前後で1語につき30秒間の調査で収集できるため，毎日の授業で適用できる．しかし，マッピングの処理については，専用の表計算ソフトとそれに追加的に組み込む連想処理専用のアドインソフトを必要とするため，どのOS，どの表計算ソフトでも使用できるわけではない．

そこで，本研究では，インターネット上のどこからでも利用可能なWeb ページ上に，連想マップ作成のツールを構築することを意図した．それにより，OS や表計算ソフトの種類を問わず利用可能になる．さらに，英語表示のページを用意することで，日本語圏以外の国からの利用も可能になる．このような意図のもとに，本研究では，既に使用されている

*長崎大学教育学部

**株式会社シーエスデー

***日本電気株式会社

表計算ソフト用の連想処理アドインソフトを、Web ページとして利用可能なシステムに実装し、その操作性について評価することを目的とした。

2. 研究の方法

2.1 連想マップ

連想マップは、刺激語に対して持つ回答者集団の連想イメージを視覚化するために、回答者から得られた連想反応の語を同心円状にマッピングしたものである。マッピングの方法及び連想マップによる授業評価の研究は、藤木、糸山らの一連の研究により報告[3]されているが、本研究に関連する部分について例示して説明する。

連想マップの例を図1に示す。この連想マップは、[Windows] を刺激語として、情報基礎講習会の参加者を回答者に講習会開始時に調査した結果である。この図から、「窓」「パソコン」の語句が、最も内側の同心円上に配置されているのが分かる。中心からの距離はビットで表現されており、同心円上での反応語の配置には意味がない。中心に近い反応語は、より多くの被験者が回答した語句であることを意味しており、連想距離 D_i によって規定される。また、反応語を意味する小円は、連想量 A_i によって規定され、多くの回答者が連想した語ほど、中心に近い同心円上に配置される。ただし、最大値は、中心から $1/e$ ビットの地点で示し、それより内側では逆に小さくなっていくことが分かっている。その

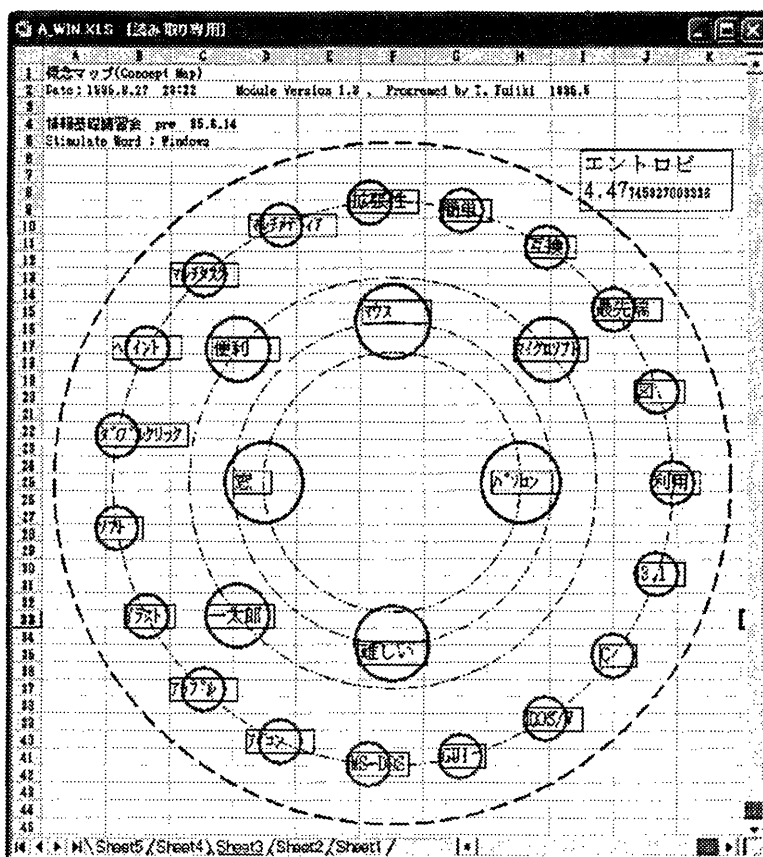


図1 連想マップの例 (刺激語「Windows」)

ため、中心近くに配置される大きい円の反応語ほど、より多くの回答者から連想される語であり、その集団内で共通するイメージを形成している連想語であることが分かる。また、被験者数が増大し、出現する連想反応語が増大するにしたがいマップも増大する。その際、連想の広がりを意味するエントロピの値も増大することが分かっている。この図では、エントロピを意味する破線の同心円はもっとも外側に位置している。そして、授業の前後で連想調査を行うことで、被験者集団の抱く刺激語に対する連想反応の変化が視覚的に把握できるため、授業評価に活用できることを藤木らが指摘している。

この連想マップは、藤木により表計算処理ソフト（Microsoft Excel）上で動作するアドインソフトとして開発されたものである。それは、連想距離や連想量等の処理に表計算処理ソフトが適しており、マクロ言語により作図も可能であったことによる。ここで、以下、本研究における連想マップ処理システムを Web 版、旧バージョンの処理システムを表計算ソフト版と呼ぶことにする。

2. 2 システム構成

2. 2. 1 システムの概要

本研究で実装した Web ページによる連想マップ作成システムは、基本機能としての連想マップ作成部分と、追加機能としてのカテゴリマップ作成部分から構成した。システム構成の概要を図2に示す。

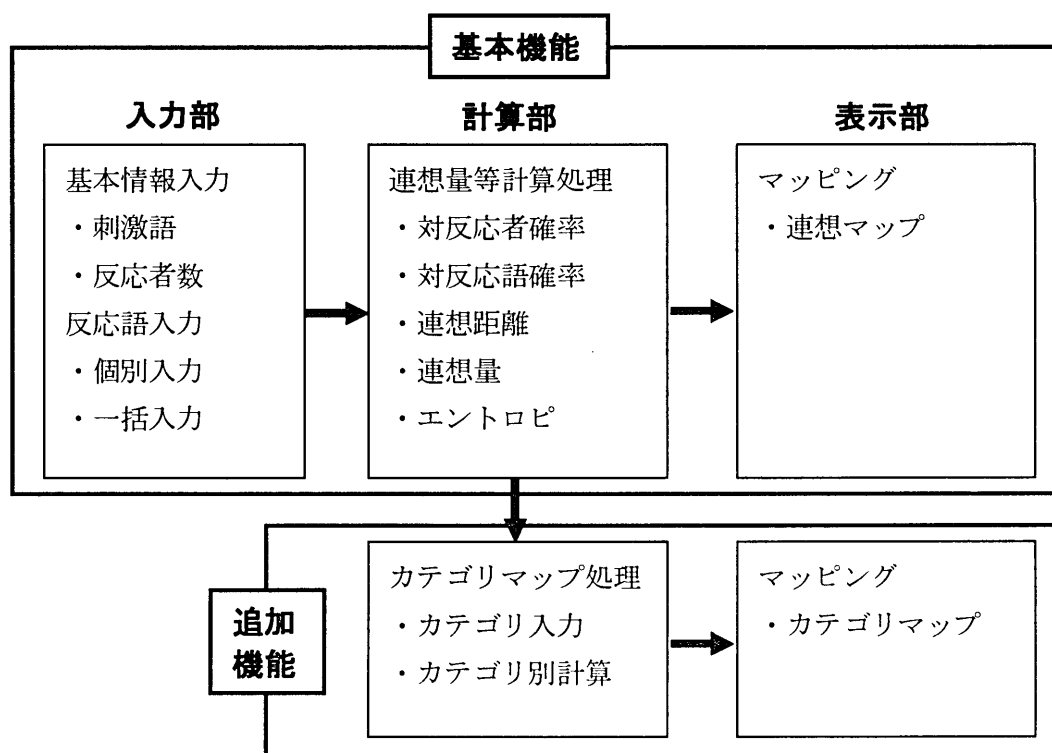


図2 連想マップ作成システム構成の概要

図2の基本機能は、入力部と計算部、表示部の各モジュールで構成し、基本となる連想マップの作成に必要な部分として機能させた。また、追加機能としては、カテゴリ分けした連想マップであるカテゴリマップの作成に必要なデータの入力計算を行う計算部と表示部から構成した。本研究では、追加機能としてカテゴリマップのみを実装したが、今後の機能追加の際には、同様の形で追加が可能である。

システムの基本機能各部のはたらきは、次の通りである。入力部は、連想マップ作成のための基本情報である刺激語及び反応者数の入力と、それに続く反応語を入力させるモジュールとして設定した。反応語の入力は、各被験者毎に一語ずつ入力していく個別入力と、一括して一度に入力する一括入力に分けた。また、計算部は、入力部から受け取った反応語等の情報から、マッピングに必要な諸情報を計算処理するモジュールとして設定した。さらに、表示部は、計算部の結果から作図を行うモジュールとして設定した。

以下、各部の詳細を述べる。

2. 2. 2 入力部

入力部は、入力インターフェイスとしてHTMLのformタグを用いた。各フォームで入力されたデータは、Webサーバ上のCGIプログラムで取り出しファイルに保存した。このCGIプログラムはPerlで記述した。また、旧バージョンである表計算ソフト版では、個別

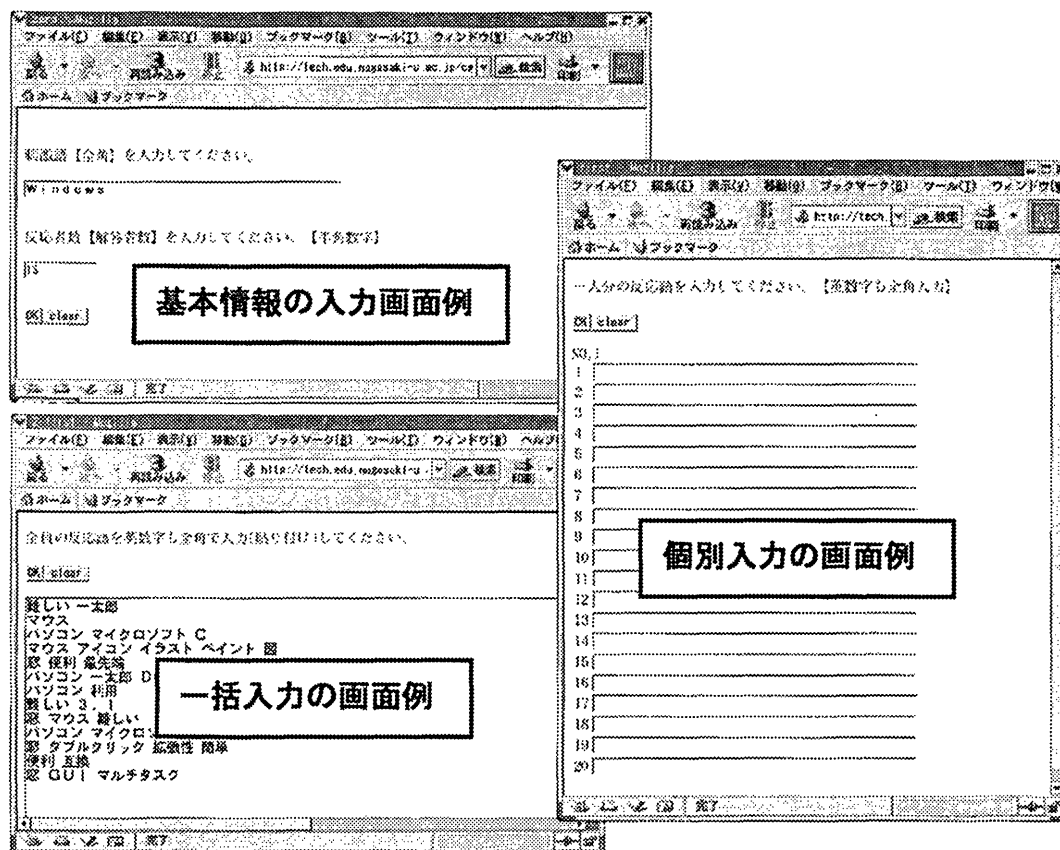


図3 入力部における画面の例

入力フォームを用いて初回の入力を行ったが、一括入力のインターフェイスは存在しなかった。それは、表計算ソフト版ではデータの保存が、表計算ソフトのデータとして簡単に保存可能であったことによる。ところが、本システムは Web ページ上での実装を意図したため、計算結果データやマップデータは Web サーバ上に置かず、利用者のコンピュータ上に保存することにしたからである。なお、一括入力したデータは、コピー&ペーストで、エディタ等へのデータの移し替えが簡単にできるが、個別入力では難しい。そのため、入力語の確認画面を表示し、それによるデータの移し替えや保存を可能にした。

ここで、Web 版での入力部における画面の例を図 3 に示す。

2. 2. 3 計算部

計算部では、入力部で入力された情報から次の項目について計算処理を行い、ファイルに保存するとともに画面に結果を表示させた。画面表示の例を図 4 に示す。

- ・ 基本情報
(刺激語及び反応者数)
- ・ 反応語総数
- ・ 反応語種数
- ・ エントロピ H
- ・ 各反応語の出現数
- ・ 対反応語確率 P_{wi}
- ・ 対反応者確率 P_{pi}
- ・ エントロピ算出に必要な
各反応語毎の情報量 I_i
- ・ エントロピ算出に必要な
量 (ここでは、H で表現
この量の合計がエントロピ)
- ・ 連想距離 D_i
- ・ 連想量 A_i

反応語	total	P_{wi}	I_i	H	P_{pi}	D_i	A_i
パソコン	4	0.1026	3.2849	0.337	0.3077	1.7004	0.5232
座	4	0.1026	3.2849	0.337	0.3077	1.7004	0.5232
マウス	3	0.0769	3.7009	0.2846	0.2308	2.1153	0.4882
楽しい	3	0.0769	3.7009	0.2846	0.2308	2.1153	0.4882
一太郎	2	0.0513	4.2849	0.2198	0.1538	2.7009	0.4154
便利	2	0.0513	4.2849	0.2198	0.1538	2.7009	0.4154
マイクロソフト	2	0.0513	4.2849	0.2198	0.1538	2.7009	0.4154
利用	1	0.0256	5.2877	0.1354	0.0769	3.7009	0.2846
図	1	0.0256	5.2877	0.1354	0.0769	3.7009	0.2846
最先端	1	0.0256	5.2877	0.1354	0.0769	3.7009	0.2846
互換	1	0.0256	5.2877	0.1354	0.0769	3.7009	0.2846
簡単	1	0.0256	5.2877	0.1354	0.0769	3.7009	0.2846
拡張性	1	0.0256	5.2877	0.1354	0.0769	3.7009	0.2846
マルチメディア	1	0.0256	5.2877	0.1354	0.0769	3.7009	0.2846

図 4 計算結果の表示例

以上の項目の計算処理には、途中の計算処理のための中間ファイルの生成を必要とした。そのため、ファイル生成が楽にできる Perl を用いた。そして、計算結果を CGI により利用者へフィードバックする形態を用いた。この場合、計算結果の保存が必要な際には、ブラウザのファイル保存機能を用いて HTML ファイルとして保存することにした。

2. 2. 4 表示部

表示部では、計算部での計算結果から作図を行う必要があったので、Java アプレットを用いた。計算結果の受け渡しは、計算部での結果をファイルに書き出しておき、それを Java アプレットから読み出す形態をとった。

以上の機能を実現するために、利用者側のブラウザに Java のプラグインを組み込む必要が生じ、本システムの利用環境の必要条件となった。

本システムによる連想マップ表示例と、比較の意味で表計算ソフト版での表示例を図 5 に示す。この図の Web 版と表計算ソフト版を比較すると分かるように、Web 版ではセルの罫線が不必要であったので、すっきりした作図結果が得られた。また、得られる連想マップは、エントロピの値に応じて大きさが変化するため、倍率ボタンを付け加えた。

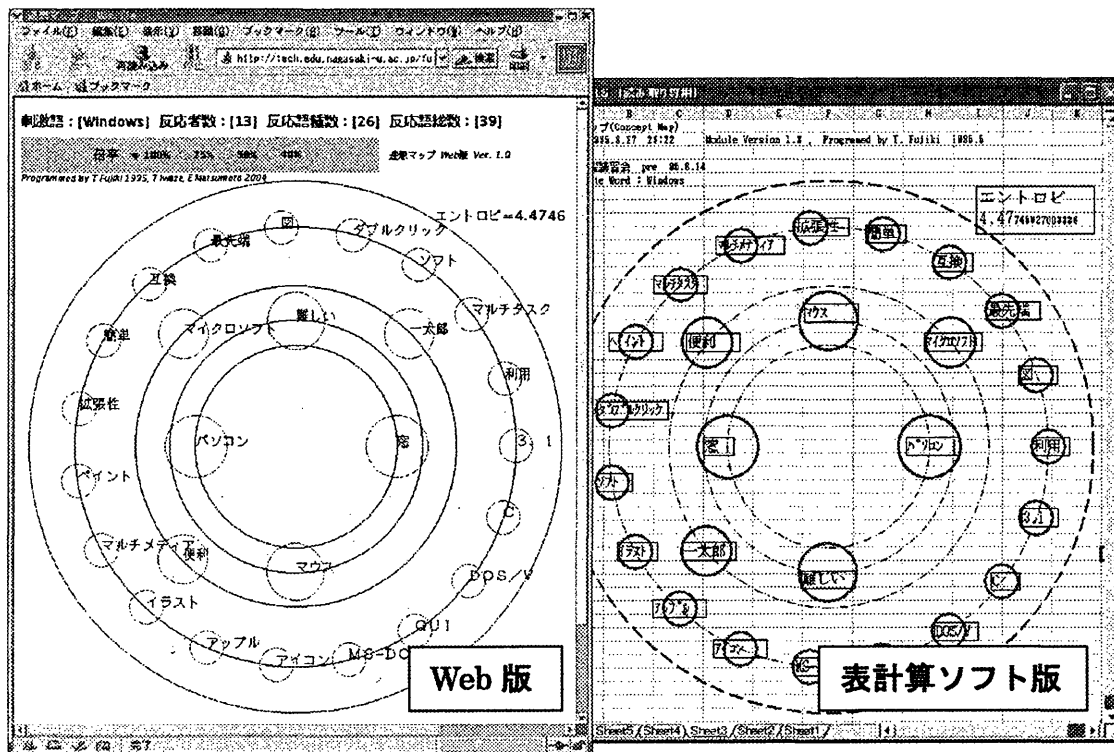


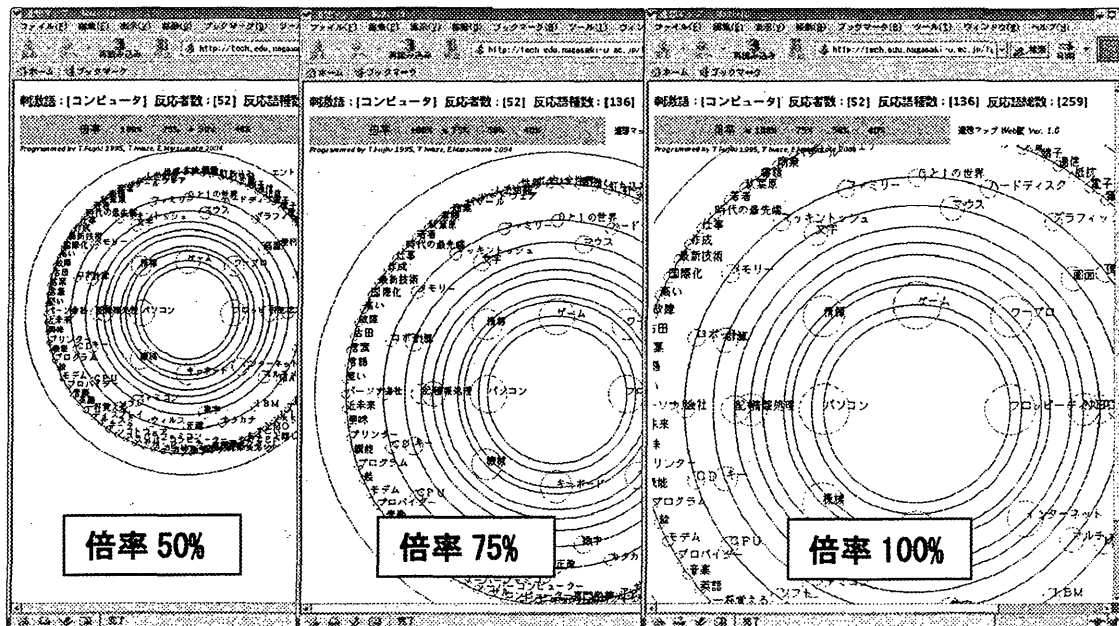
図 5 連想マップの例

この倍率ボタンの使用例を図 6 に示す。すなわち、倍率 100%では全体像が把握できないが、倍率 75%、50%と落とすことにより、全体の把握が容易となった。この場合、マップの大きさの変化に比べて文字データの縮小の割合を小さくすることで、文字の読みやすさを確保した。これは、表計算ソフト版では実現できていなかった点である。

2. 2. 5 追加機能 (カテゴリマップ処理)

本研究で追加したカテゴリマップ作成に関する画面の例を図 7 に示す。

カテゴリマップは、回答者から得られた反応語をカテゴリ分けすることで、授業の効果



を調べるための機能である。図7の計算結果画面の例に示すように、通常の計算部の後で反応語をカテゴリ分けするための画面を提示し、カテゴリに関する追加計算により、この計算結果画面が得られる。そして、この計算で得られたカテゴリに関するデータから、図7の例に示すカテゴリマップを得ることができる。

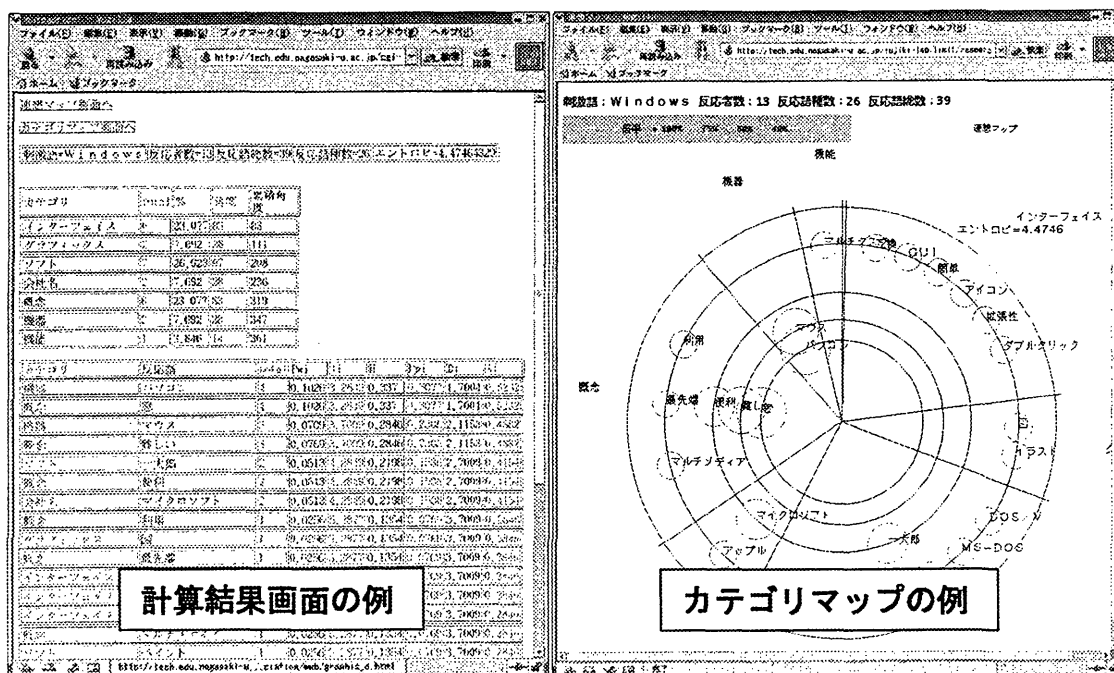


図7 カテゴリマップ作成の画面例

2. 3 操作性評価の方法

実装した Web 版連想マップ作成システムは、表計算ソフト版を改善する形で開発された

表 1 評価実験の内容及び評価項目

評価対象	操作内容	評価項目(4段階で評価)
入力部 <小マップ>	①刺激語, 反応者数欄に指定の語句と人数を入力	<ul style="list-style-type: none"> ・刺激語入力欄のサイズ ・反応者数入力欄のサイズ ・文字の大きさ ・ボタン配置 ・入力のしやすさ ・フォーム表示までの時間
	②小マップ用 13 名分の反応語データを個別入力	<ul style="list-style-type: none"> ・反応語の入力欄のサイズ ・ボタン配置 ・入力のしやすさ ・フォーム表示までの時間
計算部 <小マップ>	③入力完了後, 表示ボタンを押す	<ul style="list-style-type: none"> ・入力完了画面表示までの時間
	④計算結果ボタンを押す	<ul style="list-style-type: none"> ・連想マップへのリンクの見つけやすさ ・特定の Ppi の値の読み取り ・Ppi の値の見つけやすさ ・計算結果画面表示までの待ち時間
表示部 <小マップ>	⑤連想マップ作成ボタンを押し, 全画面表示にして更新ボタンを押す	<ul style="list-style-type: none"> ・連想マップ表示までの時間 ・反応語が配置されている同心円の大きさ ・反応語円の大きさ ・文字の大きさ, 字体 ・文字の表示位置 ・円周上の文字の読みやすさ ・マップ全体の見渡しやすさ
	⑥連想マップの倍率変更	<ul style="list-style-type: none"> ・縮小されたマップ表示までの時間 ・縮小機能の使いやすさ ・縮小倍率 ・縮小した際の, 反応語配置同心円の大きさ ・縮小した際の, 反応語円の大きさ ・縮小した際の, 文字の大きさ, 字体 ・縮小した際の, マップ全体の見渡しやすさ
入力部 <大マップ>	⑦刺激語, 反応者数欄に指定の語句と人数を入力 ⑧一括入力	<ul style="list-style-type: none"> ・一括入力のしやすさ
計算部 <大マップ>	⑨計算結果ボタンを押す ⑩連想マップへのリンクをクリック	
表示部 <大マップ>	⑪連想マップ表示後, 全画面表示にして更新ボタンを押す	<ul style="list-style-type: none"> ・連想マップ表示までの時間 ・反応語が配置されている同心円の大きさ ・反応語円の大きさ ・文字の大きさ, 字体 ・文字の表示位置 ・円周上の文字の読みやすさ ・マップ全体の見渡しやすさ
	⑫連想マップの倍率変更	<ul style="list-style-type: none"> ・縮小されたマップ表示までの時間 ・縮小機能の使いやすさ ・縮小倍率 ・縮小した際の, 反応語配置同心円の大きさ ・縮小した際の, 反応語円の大きさ ・縮小した際の, 文字の大きさ, 字体 ・縮小した際の, マップ全体の見渡しやすさ

ものである。そこで、Web 版と表計算ソフト版との比較を通した操作性の評価実験を行った。実験の内容及び評価項目を表 1 に示す。

表 1 の評価内容は、前半は小マップに関して、入力部、計算部、表示部の操作と評価項目を設定した。そして、後半は大マップに関して、表示部の操作と評価項目を設定した。後半で入力部と計算部は前半と重複するため、評価項目を設定しなかった。評価項目に関しては、4：良い、3：まあ良い、2：あまり良くない、1：良くない の 4 段階で評価させた。

評価実験に際しては、ひとりの被験者につき Web 版と表計算ソフト版の両方について評価させた。そのため、前後効果の有無を調べるために Web 版先行群と表計算ソフト版先行群の 2 群に分け、各群 7 名の教育学部学生を対象に評価実験を行った。

また、評価実験は 1 台の PC にひとりの被験者を配置し、被験者への指示が変わらないように操作手順と評価項目を記入した調査用紙を作成した。

さらに、評価実験に際しては、教育学部内に設置した Web サーバへ本システムを格納し、ネットワークの使用頻度が低い時間帯に実験を行った。用いた被験者用 PC は、CPU:AMD-K6 400MHz, メモリ：64MB, ネットワークカード：10/100Mbps 自動認識, OS:日本語 Windows98 SecondEdition, ブラウザ：InternetExplorer6.0 2 台を用いた。Web サーバは、CPU: PentiumPro200MHz Dual, メモリ：128MB, OS: Linux2.4.19, Web サーバソフト：Apache1.3 を用いた。

3. 結果及び考察

3. 1 入力部の評価

評価実験結果の集計に際して、前後効果について検討した結果 Web 先行群と表計算ソフト先行群に差は見られなかった。そのため、以降両群を併せて処理した。

入力部に関しては、Web 版と表計算ソフト版平均値検定の結果に有意な差はみられなかった（両側検定： $t(13)=1.4$, $p > .10$ ）

3. 2 計算部の評価

次に、計算部に関する結果を図 8 に示す。

この図から、計算部全体については、Web 版で 3.3, 表計算ソフト版で 3.27 と差は確認できなかった。しかし、計算部内の項目で「見つけやすさ」については、Web 版は表計算ソフト版より平均値検定において 1%水準で有意な差が見られ（両側検定： $t(13)=3.67$, $p < .01$), 高い評価を得た。一方、「計算画面待ち時間」については、表計算ソフト版は Web 版より平均値検定において 1%水準で有意な差が見られ（両側検定： $t(13)=-4.2$, $p < .01$), 高い評価を得た。計算部内での「見つけやすさ」は、計算結果から必要な値を読み取る作業内容であり、Web 版では結果の表の列毎に色分け表示を行った点が見つけやすさの向上につながったものと考えられる。また、「計算画面待ち時間」については、手計測による結果では、表計算ソフト版では 1 秒程度の時間で終了したのに対して、Web 版では 3 秒を要

した。Web 版では、Web サーバ上で計算させ、その結果を利用者側 PC の画面に表示する過程を経る関係上、表計算ソフト版より長い時間を要するのは、現状ではいたしかたないと言える。

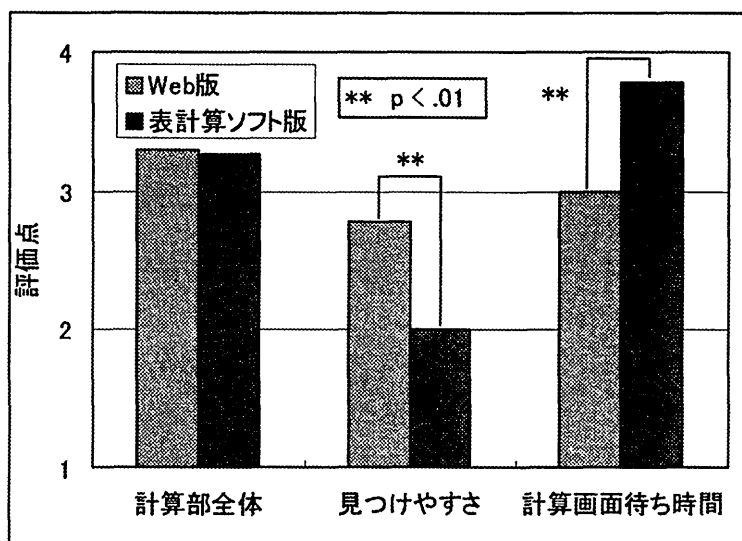


図8 計算部の結果

3.3 表示部の評価

表示部の結果を図9に示す。この図では、各項目について、データ数が小さい（反応者数 13 名）小マップでは S の文字を、データ数が多い（反応者数 52 名）大マップでは L の文字を追加した。

図9の表示部全体の結果は、Web版を用いたのか表計算ソフト版を用いたのかの違いであるシステム要因と、小マップであるか大マップであるかの違いであるマップ要因の2要因について分散分析被験者内計画を適用した。その結果、システム要因とマップ要因の両方について1%の水準で有意な差を示した（システム要因： $F(1,13)=19.19, p<.01$ 、マップ要因： $F(1,13)=41.74, p<.01$ ）。すなわち、Web版は表計算ソフト版より表示部全体について高い評価を得た。また、小マップは大マップより高い評価を得たことが分かる。

次に、表示部内の項目について、考察する。待ち時間について、システム要因とマップ要因に関する二要因分散分析被験者内計画を適用した。その結果交互作用が見られた（ $F(1,13)=22.75, p<.01$ ）ので、各要因の単純主効果を分析した。それによると、大マップについては、Web版は表計算ソフト版より1%の水準で有意な差を示した（ $F(1,13)=113.85, p<.01$ ）。また、マップ要因については、Web版と表計算ソフト版の両方について小マップは大マップより1%の水準で有意な差を示した（Web版： $F(1,13)=10.43, p<.01$ 、表計算ソフト版： $F(1,13)=43.8, p<.01$ ）。ここで、大マップについて、描画時間を手計測したところ、Web版では4秒で描画が完了したのに対して表計算ソフト版では40秒を要した。この結果から、描画所要時間の差が調査結果に表れたものと言える。データ数が多くなる際の描画

待ち時間を短縮できたことは、本システムの改善点のひとつと言える。

また、反応語や同心円等の見やすさについて、システム要因とマップ要因の二要因分散分析被験者内計画を適用した。その結果、マップ要因について、小マップは大マップより1%の水準で有意な差を示した ($F(1,13)=39.04, p<.01$)。これは、表計算ソフト版での評価も一致しており、小さいマップほど見やすいことが分かる。

さらに、反応語の文字の見易さについて、システム要因とマップ要因の二要因分散分析被験者内計画を適用したところ、交互作用が見られた ($F(1,13)=9.11, p<.01$)。そのため、各要因の単純主効果について分析を行った。その結果、文字の見易さに関して Web 版は表計算ソフト版より 1%水準で有意な差を示した (小マップ : $F(1,13)=21.31, p<.01$, 大マップ : $F(1,13)=36.11, p<.01$)。また、小マップは大マップより 1%水準で有意な差を示した (Web 版 : $F(1,13)=7.50, p<.05$, 表計算ソフト版 : $F(1,13)=15.83, p<.01$)。

最後に、縮小機能について、システム要因とマップ要因について二要因分散分析被験者内計画を適用した。その結果、交互作用に有意傾向が見られた ($F(1,13)=3.20, p<.10$)。そこで、各要因の単純主効果について分析を行った。それによると、Web 版は表計算ソフト版より有意に高い評価を示した (小マップ : $F(1,13)=25.07, p<.01$, 大マップ : $F(1,13)=3.88, p<.10$)。また、小マップは大マップより有意に高い評価を示した (Web 版 : $F(1,13)=20.81, p<.01$, 表計算ソフト版 : $F(1,13)=8.92, p<.05$)。

以上のことから、表示部については全般的に、Web 版が表計算ソフト版より高い評価を示し、小マップが大マップより高い評価を示すことが明らかになった。

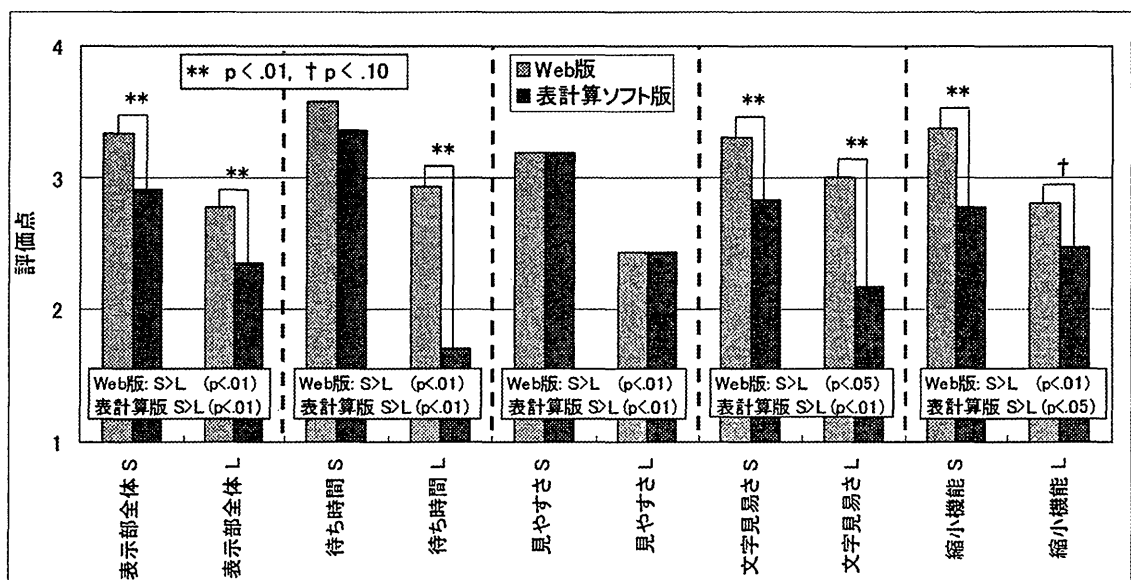


図9 表示部の結果

4. おわりに

本研究では、授業評価のための連想マップ作成ツールについて、従来からの表計算ソフト版を Web ページ上で処理可能なシステムとして実装し、その操作性について評価実験を行った。その結果、次のことが明らかとなった。

- Web ページ上で作成可能な連想マップ作成システムを実装した。
- 本システムでは、操作性に関する評価実験により、従来から使われている表計算ソフト版より、連想マップの表示部について高い評価が得られた。

今回実装した連想マップは、表計算ソフト版の機能の一部である。今後は、残りの機能の移植を行う必要がある。

最後に、本研究で実装した連想マップ作成システムは以下の URL で公開している。

<http://tech.edu.nagasaki-u.ac.jp/fujiki-lab/open/st-cont/association/index.html>

参考文献

- [1] 佐藤隆博：教育情報工学入門。コロナ社，pp.54-67，1989
- [2] 水越敏行：イメージ・マップ（IV変容過程追跡の技術），授業評価の新技术（坂元昂，水越敏行編）。明治図書，pp.87-120，1977
- [3] 糸山景大，藤木卓：教科教育学研究のモデル化と授業設計理論。教科教育学研究第14集，日本教育大学協会第二常置委員会編，第一法規，pp.71-86，1996
- [4] 辻美也子，藤木卓，上菌恒太郎，糸山景大：連想による都市イメージの表現。電子情報通信学会教育工学研究会 ET96-128，pp.111-118，1997
- [5] 藤木卓，糸山景大，金崎良一，椿山健一：情報論的手法を用いた教科教育学の研究と実践（その2）－授業により獲得された概念の連想調査による表現－。平成7年度日本教育大学協会研究集会 発表論文＋全体討議要旨 pp.17-20，1995