原著論文

関連バランス制御機能を組み込んだキーワードマップによる意思決定方略に応じたデータ分析の支援†

梶並 知記 *1・榎原 崇 *1・小笠原 敏之 *2・高間 康史 *1

本稿では、意思決定において多角的な視点からのデータ分析と、相補/非相補的な意思決定方略に対応できる、関連バランス制御機能を備えたキーワードマップを提案する。キーワードマップは、オブジェクト（キーワード）間の関連度に応じて、キーワードを2次元平面上に配置する汎用的な情報可視化システムであり、ユーザ意図を強調するマップの編集機能が備わっている。しかしながら、従来システムは、キーワード間の関連性に複数の属性が含まれている場合でも、関連度はそれらを包含し1種類の属性とみなすため、1つの視点からしかデータ分析できない。そのため意思決定支援へ応用する場合に、データを様々な視点から分析できない問題と、任意の属性を重要視するなどの意思決定方略を支援できない問題がある。本稿では、関連度を複数の重み付き属性値の線形結合と再定義し、ユーザがそれらの重みを制御することが可能な関連バランス調整機能をキーワードマップに導入する。属性の重み付け設定に応じたユーザのマップの解釈の仕方の違いを検証する被験者実験と、意思決定方略に応じた提案システムの使われ方の違いを検証する被験者実験を行った結果、提案システムは多角的な視点をユーザに提供し、また相補/非相補的な意思決定方略に対応可能であることを示す。

キーワード：意思決定支援、情報可視化、インタラクティブ情報検索、探索的データ分析、インタラクション支援

1. はじめに

情報可視化技術は、計算機を用いて、多量の情報とそれらの関係を人間に認知し易くするための技術で、情報の分析に効果的である[1]。近年、心理学や認知科学の知見と情報可視化インタフェースの融合による、ユーザの問題解決の支援が注目されてきている[10, 9, 2]。ここでは、いかに情報の分析を通して新たな知を発見(創造)し、それを意思決定に役立てるかといった問題を解決するために、可視化インタフェースの応用が考えられている。キーワードマップ[5]はこの流れを汲んだインタラクティブな情報可視化システムの一種で、オブジェクト(キーワード)間の関連性の強さ(関連度)に応じてキーワードを2D平面上に配置する。ユーザは可視化されたキーワード間の関連性を見てマップを編集するというインタラクションを通

して問題解決を試みる。問題解決の過程において、KJ法[7]のようにカードを並べたり、作図を行うことが効果的だと知られている[4]が、キーワードマップはこれらに類似するマップの編集に加えて、タスクに依存しないプリミティブなユーザ意図を強調する機能を備えている。ユーザはマップの編集を通して自身に内在する意図を強調しキーワード配置に反映させることで問題解決手段を模索できる。このシステムは特定のタスクに特化したものではなく、汎用性を意識して設計されており、旅行の行程計画作成や、自作PC作成、大学講義の履修計画作成などの多様な意思決定支援タスクにより評価実験を行った結果が報告されている[5]。

しかしながら、現状のキーワードマップでは、ユーザは、ある1つの視点からしかデータの分析ができない。この理由は、キーワード間の関連性が複数の属性を含んでいる場合でも、それらの属性に対するユーザの優先度を考慮せず、総合的に一意の関連度を定義しているからである。そのため、意思決定支援へ応用する場合に、同一データをインタラクティブに様々な視点から分析できずユーザの外的情報検索[12]の意欲の低下に繋がる事が報告されている[5]。さらに、意思決定方略[3]において重要な、特定属性への着目など

† Support of Data Analysis According to Decision Making Strategy by Using Keyword Map Equipped with Relevance Balance Controller

Tomoki KAJINAMI, Takashi MAKIHARA, Toshiyuki OGASAWARA and Yasufumi TAKAMA

*1 首都大学東京
Tokyo Metropolitan University

*2 東京都立科学技術大学
Tokyo Metropolitan Institute of Technology

を支援する事も困難であると考え、代替案を選択する際に、意思決定方略の違いによって結果が異なる場合があるため[12, 15], 意思決定方略に対応できることが望ましいと考える。

よって本稿では、キーワード間の関連性に含まれる複数の属性(以下、それぞれの属性を関連属性と呼ぶ)に対しユーザが持っている優先度を反映した関連度を考え、関連属性それぞれに対する重み付け(以下、関連バランスと呼ぶ)をユーザがインタラクティブに制御できる「関連バランス制御機能」を提案し、キーワードマップに導入する。

関連バランスに応じてユーザのマップ解釈が異なるか検証する被験者実験を行った結果、ユーザは関連バランスに応じてマップ解釈を行っており、提案システムが多角的な視点をユーザに提供していることを示す。また、購買での意思決定方略に応じた提案システムの使われ方の違いを検証する被験者実験を行った結果、ユーザは自身の相補/非相補的な意思決定方略に応じて柔軟に関連バランスを制御しており、意思決定方略の選択を支援可能であることを示す。

本稿の構成は以下のとおりである。2節で、従来のキーワードマップの基本アルゴリズムと、特徴について述べる。3節で、関連バランス制御機能を提案し、4節で提案機能を備えたキーワードマップの概要を説明する。5節で提案システムの評価結果を示す。

2. キーワードマップ

2.1 キーワードマップの基本アルゴリズム

キーワードマップとは、キーワードをノードに、キーワード同士を結ぶエッジをバネに見立てて、力指向の無向グラフ描画法[6]を元に、キーワードを2D平面上に配置する情報可視化システムである。以下に、キーワードマップの基本的なアルゴリズムを述べる。

キーワード i, j 間の関連度 R_{ij} を、式(1)のように定義する。 R_{ij} は応用ごとに与えられる。

$$R_{ij} = \begin{cases} 0 < R_{ij} \leq 1 & \text{関連があるとき} \\ -1 & \text{関連がないとき} \end{cases} \quad (1)$$

キーワードを結ぶバネの自然長 l_{ij} を式(2)とする。 m は任意の正定数である。

$$l_{ij} = m(1 - R_{ij}) \quad (2)$$

描画平面には式(3)のような仮想的な弾性力エネルギー E が生じ、この E を極小にすることが、各バネの長さが自然長に近づく理想的なキーワード配置を求めることとなる。

$$E = \sum_i \sum_j \frac{1}{2} k_{ij} (d_{ij} - l_{ij})^2 \quad (3)$$

k_{ij} はキーワード i, j 間のバネ定数、 d_{ij} は描画平面上のキーワード i, j 間の実際の距離である。キーワード i の x 座標を (x_i, y_i) とすれば、バネに働く力ベクトルは式(4)となり、これに基づきキーワード i の移動量 $\delta x_i, \delta y_i$ を式(5)で定義する。 c は任意正定数である。

$$\vec{f}_{ij} = \left(\frac{\partial E_{ij}}{\partial x_i}, \frac{\partial E_{ij}}{\partial y_i} \right) \quad (4)$$

$$\delta x_i = c \frac{\partial E_{ij}}{\partial x_i}, \delta y_i = c \frac{\partial E_{ij}}{\partial y_i} \quad (5)$$

E を減少させる方向の力ベクトル $\vec{f}_{ij}$ に沿ってキーワードを少し移動させ、座標をくり返し更新していくことにより、関連度の高いキーワードは近くに、関連度の低いキーワードは遠くに配置される事になる。

2.2 キーワードマップの特徴

キーワードマップは、読み込んだデータの理想的なキーワード配置のみを静止画で提示するシステムではない。2.1節で述べた反復計算によるキーワード配置の様子はアニメーションで表現され、また、任意のタイミングでユーザがキーワードの配置に介入できるインタラクション機能を備えている。ユーザは、1つの視点の中で様々なマップの解釈を得るために、任意のキーワードを自由に移動、固定したり、不要なキーワードを削除したりしてマップの構造を変化させることができる。また、ユーザのプリミティブな意図(複数のキーワードを同一話題として扱いたい、同一話題からなるキーワードクラスタを分離したい、キーワードやキーワードクラスタに優先度をつけて扱いたい)を反映したキーワード配置も可能である[5]。これらのインタラクション機能は、読み込んだデータのキーワード配置を変化させるのみで、データそのものを変化させることはない。

キーワードマップは、特定の用途に限定されない汎用性を意識して設計されているため、タスクに依存するデータ作成機能を備えていない。従って、図1に示すように、外部データ源へのアクセス及びキーワードマップ用データの作成を担当するバックエンドシステムと組み合わせてシステムを構築する。応用に合わせてバックエンドシステムを実装することにより、大規模データを取り扱うテキストマイニングシステムのインタフェース[8]、自作PC作成支援や、観光ルート作成支援[5]など、様々な用途に応用されている。さ

図1 システム構成

らに、ユーザのマップ編集ログやキーワードの座標ログなどをバックエンドシステムに送信可能であるため、マップ編集ログからユーザの意図を抽出し、意図に応じて情報源から新たに情報を収集し、再度キーワードマップ用のデータへ変換し可視化提示する、キーワードマップベースの適合フィードバックが可能である[13, 14]。

3 関連バランス制御機能

3.1 関連バランス制御機能の必要性

意思決定において、収集したデータを分析し多属性からなる代替案を評価する場合、属性ごとに重要度を決め、大きく分けて相補的/非相補的の2種類の意思決定方略を用いて評価することが知られている[3]。相補的な方略は、重み付けされた複数の属性から総合的に判断し代替案を評価するものである。例えば、新しい携帯電話の購入を思い立った人が、電話のデザインを犠牲(最も気に入ったデザインでないが、そこそこ気に入るもの)にする代わりにカメラ機能の充実を取ったり、アルバイトを決めるときに、時給が少し安くても家から近い勤務地のものを選んだりする場合である。非相補的な方略は、代替案の評価に用いる属性を限定するものである。例えば、新しいテレビの購入を思い立った人が、いくら新機能がついていて、デザインが気に入っていても、画面の大きさが60型以上でなければ購買候補から外す場合や、特定のメーカー品にこだわる場合である。また、500GB以上のHDD内臓型であれば、テレビのメーカーや録画機能の使い勝手など他の属性について、まったく気にしないような場合である。

従来のキーワードマップでは、上記のような相補/非相補的な意思決定方略を支援できない。その理由は、従来のキーワードマップが、多属性からなるキー

ワード同士の関連性において、属性に対するユーザの優先度をマップに反映できないからである。そのため、ユーザは同一データをインタラクティブに様々な視点から分析できず、外的情報検索意欲の低下に繋がりが[5]、また、特定属性への着目などが困難である。このことが、意思決定問題の解決に支障をきたすことに繋がっていると考える。よって、多角的な視点からインタラクティブなデータ分析を可能にし、意思決定方略に対応する機能が必要である。

ユーザの視点は、「どの属性を重視しているのか」ということに対応し、したがって関連属性の重み付けの違いが多角的な視点に対応する。

3.2 関連バランス制御機能への要求と機能の効果

相補/非相補的な意思決定方略に対応するために、2.1節の関連度 R_{ij} (式(1))を拡張し、関連属性の重み付けをユーザが調整可能とすることを提案する。相補的方略を用いる場合、ユーザはそれぞれの関連属性の重要度に応じて、関連属性の重みに差をつける。一方、非相補的方略を用いる場合、ユーザは特定の関連属性の重みを他の関連属性の重みと比較して十分に大きくする(極大化)、または十分小さくする(極小化)。このように、相補/非相補の両方の意思決定方略に対応可能となり、従来のキーワードマップでは不可能であった、多角的な視点からのデータ分析が可能になると考える。

3.3 属性の重みを考慮した関連度

n 個の関連属性を含む関連度 R_{ij} ($0 \leq R_{ij} \leq 1$) を、式(6)と式(7)で定義する。

$$R_{ij}^s = \sum_{k=1}^n g^k r_{ij}^k \quad (6)$$

$$R_{ij} = R_{ij}^s / R_{\max}^s \quad (7)$$

r_{ij}^k ($0 \leq r_{ij}^k \leq 1$) は、 k 番目の関連属性の属性値で、属性の重み g^k ($0 \leq g^k$) はユーザが制御可能である。 R_{ij}^s はキーワード i, j 間の重み付き関連属性値を線形結合したもので、 $R_{\max}^s$ は全ての R_{ij}^s のうち、最大の値である。関連属性の重み g^k を制御することにより、関連度に占める r_{ij}^k の割合を増やしたり減らしたりすることが可能で、ユーザが重要視する関連属性を重視したマップの作成や、逆に、ユーザが重要視しない関連属性の、関連度に与える影響力を抑制したマップの作成が行える。

4. 関連バランス制御機能を備えたキーワードマップ

関連バランス制御機能を備えたキーワードマップを、JAVA6を用いて計算機上に構築した。図2は、4つの関連属性を持つデータをキーワードマップに読みこんだ場合の、関連バランス制御機能の詳細を示している。関連バランス制御機能(Relevance balance controller)は制御盤(Control boards, 図2の右側の実線の四角で囲った部分)と関連バランスゲージ(Relevance balance gauge, 破線の四角で囲った部分)からなり、キーワードマップの右端(図2左側の円で囲った部分)に組み込まれる。制御盤は読み込んだデータの関連属性数と同じ数が用意され、属性名がラベルとして用いられる。関連バランスゲージは、関連属性の重みの比率を視覚的に表現するもので、制御盤と同色のバーの長さが、その関連属性の重みの度合いを示している。初期状態では全ての関連属性に均等な重み付けがなされている。ユーザは、任意の制御盤にマウスカーソルを重ね、クリックしたりマウスホイールを回転させたりすることで、対応する関連属性の重みを制御することができ、重みの比率はリアルタイムに関連バランスゲージやマップへ反映される。図3(a)は、関連属性Attr-2, Attr-3の重みを増加させた場合で、図3(b)は、Attr-2の重みを制御盤上でクリックして極大化した場合、図3(c)は、Attr-2の重みを極小化した場合を図示したものである。図4は、ユーザによる関連バランスの変更に応じて変化するマップの例を示している。初期状態のマップA(Map A)で、ユーザはインタラクション機能を利用して、注目キーワード1, 2(Focused keyword 1, 2)を固定し、それぞれを中心としたキーワードクラスタ(関連の強いキーワードの集

図3 ユーザによる関連属性の重みの変更

図4 関連バランスに応じたマップの変化

まり、図中では実線の円と破線の円で囲った)を作成した後、関連バランスを変更している。マップAと関連バランスが変更されたマップA'(Map A')では、注目キーワードの周囲に集まっているキーワードが異なっていることがわかる。このように、同一のデータセットに対し、各関連属性を重要視する度合いを変化させるだけで、多様な視点を強調したキーワード配置を得ることができる。

5. 評価実験

本節では、提案システムが多角的な視点をユーザに提供しているか、それが意思決定タスクにおいてユーザの外的情報検索意欲を向上させ、またユーザによる自由な意思決定方略の選択に対応できているかを被験者実験を通して検証する。5.1節では、提案システムを使用したユーザが、関連バランスに応じたマップの解釈を行うことを評価実験により示す。5.2節では、オンラインショッピングでの購買をタスクとした評価

図2 制御盤と関連バランスゲージ

実験を行い、提案システムを使用したユーザが、より積極的に外的情報検索を行うこと、自身の意思決定方略に応じて提案システムの使い方を変えることを検証する。

5.1 関連バランスに応じたマップの解釈

5.1.1 目的と準備

実験の目的は、関連バランスの変更により、同一のデータセットが持つ構造を、複数の視点から可視化できることを確認することである。具体的には、以下の2つの仮説が成立することを検証する。

1. 複数のユーザ(図5のUserA~C)が、同一のマップ(Map 1)を見た場合、解釈に共通性がある。
2. 1人のユーザ(図5のUserA)が、同じデータセットから異なる関連バランスにより生成された複数のマップ(Map 1~3)を見た場合、マップごとに異なる解釈を行う。

仮説1が成立すれば、ある視点から眺めたときにデータセットが持つ構造を、個人の主観によらず提示できていることになる。さらに、仮説2が成立すれば、同一のデータセットが持つ構造を、複数の視点から提示できていることになる。

30個のキーワードと、3種の関連属性(関連1~3)を持つデータを用意し、10人の被験者(A~J, 工学系大学生・大学院生)に、3種の関連属性の重みが均等になっている初期のマップと、関連1~3の1つの重みを極大化した3枚のマップ(計4枚のマップ)から、各マップを特徴付ける箇所を見つけてもらった。キーワード数は、マップの見やすさを考慮して設定し、関連属性数は、どちらかの属性を重視する2択にならない

い形で一番シンプルな3つとした。以下、初期のマップをInitialマップ、関連 i ($i=1, 2, 3$)の重みを極大化したマップをType i マップと呼ぶ。被験者のタスクは、各マップにおいて、マップを特徴付けていると考えられるキーワードクラスタを回答することである。2.2節に示したインタラクション機能の使用は禁止した。キーワードのラベルには具体的な商品名や人名・地名など意味的要素を含むものではなく、便宜上「Keyword k 」($k \in [1, 30]$)と表示し、番号を考慮せずマップの構造から特徴的な箇所を判断することを被験者に指示している。これにより、被験者がラベル同士の意味的な繋がりや、被験者の背景知識による影響を受けず、マップの構造のみからマップの特徴的な箇所を判断することが期待できる。漠然とマップの特徴的な箇所を判断するよう指示しても、被験者が戸惑う可能性があるため、取っ掛かりとして、キーワードクラスタを各マップで1~3個、1つのキーワードクラスタを3~6キーワードで構成するよう、被験者の選択肢に幅を持たせた指示を行っている。提示するマップの順番は、被験者ごとにランダムに入れかえた。

5.1.2 結果と考察

図6は、Initialマップにおいて、それぞれの被験者が回答したキーワードクラスタ(図中では、実線または破線の楕円で示す)を重ね合わせたものである。半数以上の被験者に共通する部分は、多くの被験者が特に注目したキーワード間の関連性を示しており、本論文ではコアクラスタと呼ぶ(図中では、被験者が回答したクラスタのうちコアクラスタを、実線の楕円へ変更し、内部を不透明にしている)。図中、破線で囲まれ内部が透明なクラスタは、着目した被験者が4人以下の箇所である。コアクラスタ内のキーワードに重ね

図5 関連バランスに応じたマップの解釈

図6 Initialマップにおける被験者の着目点

た数字は、コアクラスタを構成するキーワードのラベルである。また、コアクラスタごとに、そこに着目した被験者数も表記した。図6から、Initialマップでは、重なったクラスタ内部で最も多く共通する部分が5箇所あり、内4箇所がコアクラスタであることがわかる。このマップでは、1人の被験者しか着目しなかった全く重なるの無いクラスタは存在しない。Type*i*マップに対しても、図6と同様に被験者が回答したキーワードクラスタを重ねると、Type1マップでは、重なったクラスタ内部で最も多く共通する部分が4箇所あり、その全てがコアクラスタである。全く重なるの無いクラスタは1つしか存在しない。Type2マップでは、重なったクラスタ内部で最も多く共通する部分が3箇所あり、内2つがコアクラスタで、全く重なるの無いクラスタは存在しない。Type3マップでは、重なったクラスタ内部で最も多く共通する部分が4箇所あり、その全てがコアクラスタである。全く重なるの無いクラスタは存在しない。表1は、マップごとに、コアクラスタを構成するキーワードと、コアクラスタと重なりがあるクラスタを作成した被験者数をまとめたものである。構成キーワードに表記した数字はキーワードのラベルである。表1から、マップごとに多数の被験者が共通するコアクラスタに着目する傾向がある一方、関連バランスの異なるマップ間では、異なるコアクラスタが着目されていることがわかる。異なるマップ間で、同じコアクラスタに分類されているキーワード集合は、InitialマップとType1マップの19, 21と、InitialマップとType3マップの10, 21だけである。これより、仮説1, 2が成立することから、関連バランスの調整により、データセットの構造を複数の視点から可視化することが可能であるといえる。

表1 コアクラスタ構成キーワードと注目した被験者数

マップ	構成キーワード	被験者数
Initial	10, 18, 19, 21	10
	7, 13, 26	8
	1, 23, 28	5
	8, 11, 12, 25	5
Type 1	17, 23, 29	9
	19, 21, 25	9
	5, 22	9
	18, 20, 30	7
Type 2	17, 21, 30	10
	7, 11, 29	9
Type 3	13, 18, 25	9
	5, 7, 24	7
	4, 10, 21	6
	1, 15, 26	6

5.2 購買における意思決定支援

5.2.1 目的と準備

本実験では、より現実的なデータ分析を伴う意思決定タスクであるオンラインショッピングにおいて、提案システムがユーザの外的情報検索意欲を向上させ、またユーザの意思決定方略に応じたデータ分析を可能にしているか検証する。購買のためにWebから情報収集を行ったり、オンラインショッピングサイトで購買したりすることは一般的になっており、特に書籍やDVDの購入にオンラインショッピングがよく利用されている[16]。本実験では、被験者の興味も考慮し、映画DVDの購入場面を設定する。

外的情報検索意欲の向上効果については、一般的なブラウザのみを用いた従来の購買行動と比較することにより示す。すなわち、外的情報検索意欲の向上は、ユーザによる自発的な検索活動を促進するとの考えに基づき、以下の2つの仮説が成立することを検証する。

1. 提案システムを利用した場合の方が、検索回数や検索時間が増大する。
2. ユーザは、提案システムを利用した作業自体を楽しむ。

外的情報検索意欲の向上は、効率性ではなく作業自体を楽しむ(検索を繰り返す作業を苦にしない)ことが大事であり、仮説1と仮説2の両方が成立すれば、提案システムはユーザの外的情報検索意欲を向上させていることになる。

また、提案システムを使用した購買行動において、ユーザの意思決定方略に応じて関連バランス制御機能の使い方が異なれば、提案システムはユーザの意思決定方略に応じたデータ分析を可能にしているといえる。よって、提案システムを利用したユーザには、以下の2つの仮説が成立することを検証する。

3. ユーザが相補的な決定方略を行う場合、複数の関連属性の重みを制御する。
4. ユーザが非相補的な決定方略を行う場合、任意の関連属性の重みを極大か極小にする。

本節では、一般的なブラウザのみを用いた従来の購買行動と比較して仮説1, 2を検証する実験(比較実験)と、仮説3, 4を検証する実験(方略実験)に分けて検証を行う。仮説1については被験者の操作ログ、仮説2についてはアンケート結果にそれぞれ基づいて検証を行う。仮説3, 4については、被験者の操作ログと、操作意図に関する被験者のコメントの両方に基づ

いて検証を行う。

2.2節の図1に示したシステム構成に基づき、キーワードマップを使用したオンラインショッピング支援システムを構築した。商品データはAmazonAPIを用いてAmazon.co.jpから取得する映画DVDで、キーワードが映画タイトル、関連属性は、「出演者」「監督」「ジャンル」である。後述のように、本稿では一般的なブラウザを用いてAmazon.co.jpサイトにアクセスした場合との比較を行うため、DVD間の関連度は単純な設定とした。具体的には、映画*i, j*が同じ主演者の場合は「主演者」の属性値を1、同じ監督の場合は「監督」の属性値を1、異なればそれぞれ0とする。ジャンルに関しては、1つの映画が複数のジャンルに属する場合があるため、ジャンルの属性値 r_{ij}^{genre} を式(8)で求める。 G_i は映画*i*が属するジャンルの集合、 G_j は映画*j*が属するジャンルの集合である。式(8)は、映画*i, j*の属するジャンルの重なりを計っており、映画*i, j*の属するジャンルが完全に一致する場合に $r_{ij}^{genre} = 1$ 、全く一致しない場合に $r_{ij}^{genre} = 0$ となる。例えば、映画*i*が「アクション」「ホラー」「SF」の3つのジャンルに属していた場合は $1/|G_i|=1/3$ 、映画*j*が「サスペンス」「コメディ」「ホラー」「SF」の4つのジャンルに属していた場合は $1/|G_j|=1/4$ となり、共通するジャンルは2つなので、 $r_{ij}^{genre} = 0.5$ となる。

$$r_{ij}^{genre} = |G_i \cap G_j| \min(1/|G_i|, 1/|G_j|) \quad (8)$$

また、被験者は、キーワードにマウスカーソルを重ねることで、その映画の関連属性値(主演者名など)を確認できる。

比較実験、方略実験共に被験者に与えられたタスクは、被験者の友人と親にプレゼントする映画DVDを1本ずつ選ぶことである。

比較実験では、被験者6人(A~F、工学系大学生・大学院生)には、支援システムを用いた購買(KM手法)と、Internet Explorerなど一般的なブラウザのみを用いたAmazon.co.jpサイト上での購買(IE手法)を行ってもらう。表2は、初期クエリを与えたあとの、両手法の検索過程の違いをまとめたものである。IE手法では、被験者はリスト形式で提示される検索結果を眺め、新たにクエリを入力するかリンクをクリックし

て再検索を繰り返す。一方、KM手法では、被験者は商品間の関連が可視化されたキーワードマップを編集し、その編集結果を外部システムに出力することで、再検索を行う。編集結果には、被験者が選択した映画タイトル(注目映画)や制御した関連バランス設定の情報が含まれ、注目映画と、極小化されていない関連属性値が1つ以上同じ映画が、新たにキーワードマップ上に表示される。実験後、被験者には、商品を選ぶ過程を楽しめたか?(娯楽性)、満足のいく商品を選べたか?(満足度)に関する5段階(5:良い, 1:悪い)のアンケートに回答してもらう他、検索中に選択した映画に関して、どのような意図で注目したのかコメントしてもらう。なお、満足度は、商品を選んだ結果に対する満足度であり、検索作業自体の満足度ではない。そのため、両手法とも同程度の満足度となったところで検索作業を終了することを想定している。

方略実験では、比較実験とは異なる6人の被験者にKM手法のみでタスクを実行してもらい、商品検索中の意図と、その意図をどのような編集操作に結び付けたか、検索ターンごとに記録してもらう。1回の検索ターンは、表2に表記した、KM手法の4つのステップからなり、方略実験のみ、6ターン以上行うことを指示している。

5.2.2 結果と考察(比較実験)

表3はIE手法とKM手法それぞれにおいて、各被験者の娯楽性と満足度に関するアンケートの回答結果、および、新たな検索を行った回数と、タスク完了までに要した時間を、IE手法とKM手法に分けて示したものである。

KM手法では、検索回数の平均値が増加し、統計的にも有意な差($|t|=2.6073$, $P=0.0239 \leq 0.05$ (有意水準))がみられる。また検索時間も増加($|t|=3.1305$, $P=0.0130 \leq 0.05$)しており、5.2.1節の仮説1を満たしている。さらに、娯楽性の平均値が向上($|t|=2.4445$, $P=0.0292 \leq 0.05$)がみられることから、仮説2が成立することがわかる。一方、満足度については、両手法で大きな差はみられなかった。よって、KM手法は、被験者の検索意欲を向上させつつ

表2 KM手法とIE手法の検索過程

	IE 手法	KM 手法
Step 1	検索リスト観察	マップ観察
Step 2	クエリ入力 or リンククリック	マップ編集
Step 3	Step 1 へ	編集結果出力
Step 4		Step 1 へ

表3 IE手法とKM手法の比較実験の結果

被験者	娯楽性		満足度		検索回数		検索時間(分)	
	IE	KM	IE	KM	IE	KM	IE	KM
A	3	5	3	3	6	7	5	10
B	2	4	3	2	4	5	4	6
C	3	5	2	3	4	8	6	14
D	2	3	2	3	8	9	8	12
E	3	4	3	3	6	6	7	8
F	4	3	4	2	10	14	13	14
平均値	2.8	4.0	2.8	2.7	6.3	8.2	7.2	10.7

も、著しい満足度の低下も招いていないといえる。ただし、被験者Fに関しては、被験者6人中ただ1人、KM手法で検索回数と検索時間が増加していても、IE手法と比較して低い娯楽性となっており、また満足度も大きく低下していることから、ユーザによっては慣れ親しんでいるIE手法で十分満足できる場合があると考えられる。娯楽性にはシステムの使い易さも関係し、提案システムが使いにくかったために検索回数と検索時間が増加した可能性も考えられるため、被験者Fの検索行動について詳しく考察する。被験者Fは、IE手法、KM手法共に、全被験者の中で最も検索回数が多く検索時間も長いだけでなく、注目する関連属性を変更する回数も最多(12回)だった。したがって、被験者Fは、手法に関係なく、もともと検索に手間を掛ける傾向があると考えられる。

被験者から得られたコメントと、それに対応する操作について考察すると、IE手法を行った場合は、「有名な映画だから選択した」「知っている映画だから選択した」「好きな映画だから選択した」「CMで見て気になっていた」などとコメントし、映画の選択や、その関連商品画面へ移動している。一方、KM手法を行った場合は、「(他の映画との)関連が気になって選択した」「知らない映画だったので選択した」などとコメントし未知の映画を選択するほか、全員の被験者が、関連バランス制御機能を使用した後で再検索を行う行動を含んでいる。また、全ての被験者が、タスク実行中に、注目する関連属性を複数回変更しているほか、一部の被験者は、「監督が気になった」など、映画の持つ属性から興味を示すコメントをし、データ分析・再検索への足がかりとしている。これらからも、提案システムが被験者の検索意欲を向上させることを示していると考えられる。したがって、関連バランス制御機能を備えていないキーワードマップを利用した従来のKM手法では対応不可能なデータ分析・検索行動に、提案システムが対応できていると考えられる。IE手法と比較してKM手法の娯楽性や満足度が低下した被験者Fも、「知らない映画なので気になった」などのコメントをしている。被験者Fは、検索回数が多いだけでなく、注目する関連属性を頻繁に変更し検索を繰り返していることから、商品に対する要求が特に不明確で、絞り込むだけでなく、様々な視点からデータ分析を行う欲求が高いと考えられる。

以上より、IE手法において被験者は、既知情報に頼って検索および意思決定を行う傾向があるが、KM手法では対話的なデータ分析を積極的に行い、未知の映画も含め十分な検討を行った上で意思決定を行う傾向があると考えられる。この結果も、提案システムがユー

ザの情報検索意欲を向上させる事を示していると考えられる。

今回、関連バランス制御機能を備えたキーワードマップを用いたKM手法(新KM手法)と、従来のキーワードマップを用いたKM手法(旧KM手法)での比較検討を行わず、新KM手法が、旧手法で対応できないデータ分析・検索行動に対応可能な点から、提案手法の有効性を示したが、今後、新旧の手法を直接比較し、より詳細な考察を行うことが課題として挙げられる。

5.2.3 結果と考察(方略実験)

関連バランス制御機能を使用した被験者の意図を、相補/非相補的な意思決定方略の観点から分類する。被験者が「(注目映画と)全体的に類似した映画を探したい」や「他の映画とどんな風に関連しているか調べたい」などの意図により操作を行ったと回答した場合、複数の属性から総合的に判断していると考え、相補的方略に分類した。一方、被験者が「ジョニー・デップが気になる」や「アクションジャンルの映画を(再検索後のマップ上に)増やしたい」などの意図により操作を行ったと回答した場合、特定の属性のみに注目して判断していると考え、非相補的方略に分類した。また、被験者が「主演に興味は無い」や「ジャンルにこだわりはなかった」などの意図により操作を行ったと回答した場合、特定の属性を無視して判断していると考え、非相補的方略に分類した。

表4は、上記の3つに大別された意図と方略に応じて、関連バランス制御機能の使われ方をまとめたものである。表4において、「検索ターン総数」は、タスク実行中に、大別されたそれぞれの意図に応じて、関連バランス制御機能が使用された検索ターンの総数である。「全体」は、関連属性の重みを増減(極大化や極小化を除く)させる操作が行われた検索ターン数、「極大」は特定の関連属性の重みを極大化させる操作が行われた検索ターン数、「極小」は特定の関連属性の重みを極小化させる操作が行われた検索ターン数である。同一検索ターンにおいて、複数種類の操作が行われた場合があるため、検索ターン総数と各操作の検索ターン数の合計は必ずしも一致しない。

表4から、被験者は相補的な方略を採用する場合に、関連属性の重みを増減(極大化や極小化を除く)する傾

表4 被験者の意図と関連バランス制御機能の使われ方

意図(検索ターン総数)	方略	全体	極大	極小
関連を分析したい(16)	相補	13	5	1
特定の属性に注目したい(16)	非相補	4	12	0
特定の属性を無視したい(5)	非相補	2	0	5

向があることがわかる(5.2.1節の仮説3を満たす)。一方、「特定の属性に注目したい」意図で非相補的な方略を採用する場合には、特定の属性の重みを極大化する傾向があり、「特定の属性を無視したい」意図で非相補的な方略を採用する場合には、特定の属性の重みを極小化する傾向があることがわかる(仮説4を満たす)。また、特定属性を無視する意図の検索ターン数は他の2つの意図に対して少ないが、この意図を採用した被験者は必ず、極小操作を行っていた。すなわち、検索ターン総数と極小操作の検索ターン数が等しくなっている。

被験者は全員、タスク実行開始から終了までの間に相補的方略と非相補的方略の両方を採用しており、検索ターンごとに方略が変化し、それに応じて関連属性の重みを増減したり、極大化したり極小化したりする傾向があった。ある被験者は、注目している映画と他の映画との全体的な関連性を分析するために関連属性の重みを増減したあと(相補的)、特定の関連属性で絞り込むためにそれを極大化し(非相補的)、さらに再度全体の関連性に着目し関連属性の重みを増減していた(相補的)。またある被験者は、検索ターンごとに異なる関連属性を極大化したり極小化したりした(非相補的)後、タスク終盤で全体的な関連性を分析するために関連属性の重みを増減していた(相補的)。

さらに、被験者によっては、同一ターン内に両方の方略を採用し、関連属性の重みを増減したり、極大化、極小化する場合があった。

以上より、方略に応じて関連バランス制御機能の使い方が異なる傾向が示されたこと、および被験者は両方略を自由に切り替えながらタスクを遂行することが観察されたことから、関連バランス制御機能を備えたキーワードマップは、相補/非相補的方略に応じたデータ分析を支援しているといえる。

6. おわりに

本稿では、インタラクティブに多角的な視点からキーワード間の関連を分析でき、ユーザの意思決定方略を支援可能な関連バランス制御機能を備えたキーワードマップを提案した。関連バランス設定の異なるマップごとに、被験者にキーワードクラスターを回答してもらった実験の結果、提案システムにより同一データを多角的な視点から分析可能であることを示した。さらに、より現実的な意思決定課題として、オンラインショッピングサイトで映画DVDを決定するタスクを被験者に行ってもらった結果、被験者の外的情報検索意欲が向上することを示した。また、ユーザの意思決定方略(相補/非相補的)に応じて関連バランス制御機能

の使い方が異なることも示した。以上より、提案システムは、被験者の外的情報検索意欲を向上させ、また相補的/非相補的な意思決定方略に応じたデータ分析を支援しているといえる。

本稿では、一般的なブラウザを用いたデータ分析・検索行動と、提案システムを用いたデータ分析・検索行動を比較し、関連属性の利用形態の違いが意思決定に与える影響について調査することで、提案システムの有効性を評価した。しかしながら、関連バランス制御機能のユーザビリティについては評価していない。今後の課題としては、本稿で提案したキーワードマップを用いたデータ分析と、従来のキーワードマップを用いたデータ分析でユーザの行動を比較検討し、ユーザビリティ面の、より詳細な考察を行うことが挙げられる。また、ユーザが気づきにくいキーワード間の弱い関連を強調し、意外な発見を支援することが挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、科研費(2010563)の助成を受けたものです。ご支援に感謝します。

参考文献

- [1] S. T. Card, J. D. Mackinlay, and B. Shneiderman (eds.): Chapter 1 Information Visualization, in Reading in Information Visualization: Using Vision to Think, pp.1-34, Morgan Kaufman, 1999.
- [2] 藤本和則, 庄司裕子: 意思決定支援の研究領域から見たWeb インテリジェンスとインタラクション, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.18, No.2, pp.149-160, 2006.
- [3] R. M. Hogarth: Chapter 4 Combining Information for Evaluation and Choice, in Judgement and Choice, pp.62-85, John Wiley, 1987.
- [4] 伊藤毅志, 大西昇, 杉江昇: 人間の作図過程を説明する問題解決スクリプトと作図の分類, 信学論, Vol.J77-D-II, No.4, pp.811-822, 1994.
- [5] 梶並知記, 高間康史: ユーザ意図を強調したキーワード配置支援機能を備えたインタラクティブなキーワードマップ, 情処学論, Vol.48, No.3, pp.1176-1185, 2007.
- [6] T. Kamada and S. Kawai: An Algorithm for Drawing General Undirected Graphs, Inf. Process. Lett., Vol.31, No.1, pp.7-15, 1989.
- [7] 川喜田二郎, 牧島信一: 第2部 KJ 発想法, 問題解決学 KJ 法ワークブック, pp.17-62, 講談社, 1970.
- [8] 岡田貴史, 石橋融, 高間康史: M2VSM を用いたテキストマイニングシステムの構築に関する考察, 第22回ファジィシステムシンポジウム, pp.203-206, 2006.
- [9] 大澤幸生, 高間康史: Web に潜む創造的意思決定のチャンス, 人工知能誌, Vol.16, No.4, pp.530-534, 2001.
- [10] B. Shneiderman: Creating Creativity: User Interfaces

- for Supporting Innovation, ACM Trans. Computer - Human Interaction, Vol.7, No.1, pp.114 - 138, 2000.
- [11] H. A. Simon: The Executive as Decision Maker, in The New Science of Management Decision, pp.1-7, Harper & Brothers publishers, 1960.
- [12] 杉本徹雄: 4章 消費者の情報検索と選択肢評価, 消費者理解のための心理学, pp.56-72, 福村出版株式会社, 1997.
- [13] Y. Takama and T. Kajinami: Keyword Map-based Relevence Feedback for Web Information Retrieval, The 2nd Pan - Pacific Symposium on Information Technology, pp.41 - 44, 2004.
- [14] Y. Takama, A. Matsumura, and T. Kajinami: Interactive Visualization of News Distribution in Blog Space, New Generation Computing, Vol.26, No.1, pp.23 - 38, 2008.
- [15] 竹村和久: 5章 意思決定における選択方式, 意思決定の心理-その過程の探求-, pp.183-229, 福村出版株式会社, 1996.
- [16] 財団法人インターネット協会: 第6部 個人世帯利用動向, インターネット白書 2008, pp.157-256, 株式会社インプレス R&D, 2008.
- (2009年3月8日 受付)
(2009年9月28日 採録)
- [問い合わせ先]
〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6
首都大学東京大学院システムデザイン研究科情報通信システム工学専修
梶並 知記
TEL: 042-585-8629
FAX: 042-585-8629
E-mail: kajinami@krectmt3.sd.tmu.ac.jp

著者紹介

かじなみ ともき
梶並 知記 [学生会員]

2004年東京都立科学技術大学工学部電子システム工学科卒業。2006年同大学院工学研究科博士前期課程修了。同年首都大学東京大学院システムデザイン研究科博士後期課程入学。現在に至る。2008年4月より、日本学術振興会特別研究員DC2。創造的意思決定支援、対話的な情報可視化インタフェースに関する研究に従事。ACM、計測自動制御学会、情報知識学会、人工知能学会、電子情報通信学会、日本知能情報ファジィ学会各学生会員。

まきはら たかし
榎原 崇 [非会員]

2007年東京都立科学技術大学工学部電子システム工学科卒業。2009年首都大学東京大学院システムデザイン研究科博士前期課程修了。同年、KDDI入社。現在に至る。

おがわら としゆき
小笠原 敏之 [非会員]

2008年東京都立科学技術大学工学部電子システム工学科卒業。同年、株式会社システムズ入社。現在に至る。

たかま やすふみ
高間 康史 [正会員]

1994年東京大学工学部電子工学科卒業。1999年同大学院博士課程修了。1999-2002東京工業大学大学院総合理工学研究科助手。2002-2004東京都立科学技術大学助教授。2005年より首都大学東京システムデザイン学部准教授。博士(工学)。Web Intelligence や情報可視化、知的インタフェースの研究に従事。主要著書は「AI事典第2版(編)」(オーム社)、「インテリジェントネットワークシステム入門」(コロナ社)。IEEE、人工知能学会、日本知能情報ファジィ学会、情報処理学会各会員。

Support of Data Analysis According to Decision Making Strategy by Using Keyword Map Equipped with Relevance Balance Controller

by

Tomoki KAJINAMI, Takashi MAKIHARA, Toshiyuki OGASAWARA and Yasufumi TAKAMA

Abstract :

This paper proposes a keyword map equipped with a relevance balance controller for supporting data analysis according to compensatory/non-compensatory decision making strategy. A keyword map has been proposed as general-purpose interactive graph visualization tool and applied to various decision making tasks. However, it cannot support data analysis according to compensatory/non-compensatory decision making strategy, because only single relationship type is used. The proposed relevance balance controller enables a user to dynamically adjust weight of each attribute for relationship calculation. Experimental results show the proposed system can provide various viewpoints and support data analysis according to compensatory/non-compensatory decision making strategy.

Keywords : Decision making support, Information visualization, Interactive information retrieval, Exploratory data analysis, Interaction support

Contact Address : **Tomoki KAJINAMI**

Information & Communication Engineering Course, Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo, JAPAN

TEL : 042-585-8629

FAX : 042-585-8629

E-mail : kajinami@krectmt3.sd.tmu.ac.jp