

コンテキスト保持による 探索的データ分析支援の枠組[†]

松下 光範^{*1}・加藤 恒昭^{*2}

本研究の目的は、意思決定や問題解決のために大量のデータを探索的に分析する作業を支援することである。我々のアプローチは、分析のコンテキストを考慮することによって、分析者とシステムとの間のインタラクションを“自然なやりとり”として実現しようというものである。我々はこのアプローチに基づき、分析者の要求に応じた適切なデータを視覚的に表現するインタラクティブシステム InTREND を構築している。InTRENDはユーザから与えられる自然言語質問を解釈してそれに適したグラフを作成し、アニメーションを用いて提示する。本稿ではInTRENDの概要、および我々のアプローチの有効性を検証するために行ったユーザ実験について述べる。

キーワード：探索的データ分析、コンテキスト保持、自然言語インタフェース、インタラクションデザイン

1. はじめに

人は意思決定や問題解決を行う際に、その判断材料となる有益な情報を様々な統計データの中から見出すと試みる[21]。例えば、企業が新たな営業所をどこに作るべきかを検討するために既存の営業所の過去の売上高のデータを分析したり、競合店の立地や店舗数データを分析するような行為がそれに当たる。

このようなデータ分析行為においては、データを利用する目的(例えば「同業他社の収益データを店舗新設の論拠に使う」)が分析に先立って確定しているわけではなく、より抽象的な目的や解決すべき問題(例えば「この地区に新しい店舗を開店するべきか?」)だけが明らかになっている。従って、このような分析行為は、意思決定や問題解決という観点においては指向的であるが、分析の開始時点に於いてどのようにデータを分析すればよいかについての全容が明らかでなく部分的に分かっているだけという点では、試行錯誤的な行為だと言える。このような分析行為は探索的データ分析(exploratory data analysis)と呼ばれる[14]。

データベースの巨大化や Web コンテンツの爆発的な増加により、このような分析に利用できるデータは容易かつ豊富に入手できるようになったが、探索的データ分析は単なるone-shotの作業の集まりではなく、同じデータを様々な視点から多角的に眺める、仮説を立てながらデータを検索する、等の試行錯誤を繰り返しつつ行う高度に知的な思考活動[22][36]であるため、検索速度や検索精度の向上だけではなく、分析者(ユーザ)の分析行為を支援する枠組が求められる。

計算機を用いて探索的データ分析を行う場合、(1)はじめにユーザがデータから何を見出すかについての漠然とした考えを持ち、その考えの下で最初の質問を計算機に与える、(2)システムがその質問に基づいて結果を検索する、(3)計算機から提示された結果を見て、ユーザはそのデータについての理解を深め、新たな質問を計算機に与える、というプロセスを繰り返す[11]。このプロセスの繰り返しにより、ユーザは徐々に問題解決や意思決定にとって有用な情報を収集していく。

我々は、このプロセスを「データ分析を行うユーザ」と「ユーザ質問の解釈/データ検索/結果提示を行うシステム」との間の“循環的なやりとり”として捉え、これを支援するシステムとしてInTREND(an Interactive Tool for Reflective Exploration through Natural Discourse)を提案する。InTRENDは、(1)自然言語で表現されたユーザ質問を解釈する、(2)その質問と、それによって得られた検索結果に基づいてグラフを構成する、(3)そのグラフをアニメーションを用いて表

[†] A Framework for Supporting Exploratory Data Analysis by Preserving Contexts

Mitsunori MATSUSHITA and Tsuneaki KATO

^{*1} 日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所

NTT Communication Science Laboratories, NTT Corporation

^{*2} 東京大学大学院 総合文化研究科 言語情報科学専攻
Language and Information Sciences, Graduate School of Arts and Sciences, University of Tokyo

示する、という枠組でこのような循環的なやりとりを支援する。このとき、過去のやりとりをコンテキストとして保持することで、ユーザと計算機とのやりとりの円滑化を図る。

本稿ではインタラクション設計の立場から対話型可視化システムによる探索的データ分析支援の枠組について述べる。特に、探索的データ分析を円滑にするために提案システムで用いた3つのコンテキストと、それらを用いた対話型可視化システムの構成について説明する。また、コンテキストを保持して生成した可視化表現がユーザの理解に効果的であることをユーザ実験を通じて明らかにする。なお、自然言語要求の解釈方法ならびにグラフ生成の方法の詳細については文献[19]、[26]に委ねる。

2. 探索的データ分析のための計算機支援

2.1 探索的データ分析

ユーザが意思決定や問題解決を行う場面で、データの特徴を見出すために用いる手法として、データマイニング[1]や知識発見[10]が挙げられる。これらの手法の主眼は、大規模なデータ集合から興味深い現象や有意義な規則を抽出することである。すなわち、これらの手法はデータ主導の方法論であり、ユーザは得られた結果の価値判断を行うだけで、どのような結果を得るかについての積極的な働きかけはしない。これに対して探索的データ分析は、ユーザはデータの明確な利用方針を予め持たないが、計算機に質問し、得られた結果を吟味し、新たな関心や興味の下で再度質問をするというプロセスの繰り返しを通じて、得られる結果に積極的に関与するユーザ主導の方法論である。探索的データ分析のための計算機支援の主たる目標は、ユーザと計算機との間で繰り返されるインタラクションが自然かつ円滑に行われるようにすることであり、この点でデータマイニングや知識発見とは立場が大きく異なる。

2.2 “自然なやりとり”のための枠組

上述したように、探索的データ分析を行うユーザは計算機とのインタラクションを通して新たな興味や関心を持ち、再度質問を計算機に与えるという行為を繰り返し、徐々に考えを纏めていく。このとき、ユーザが計算機に新たに与える質問は、それまでのインタラクションの結果を踏まえてなされるため多分にコンテキストに依存する。同時に、ユーザはインタラクションの相手である計算機にも協調的な振舞い(helpful behaviour)を期待し、その時点のコンテキストを踏まえた出力結果が得られると考える[18]。もし、計算機

がこの期待に反した振舞いをするようであれば、ユーザの思考の流れを妨げることになる。従って、計算機とユーザとのインタラクションを円滑に繰り返すためには、計算機がコンテキストを適切に処理する必要がある。

我々はこの点を考慮して、それまでの一連のインタラクションの内容をコンテキストとして保持し、そのコンテキストを利用することでそれに続くインタラクションを円滑に継続させる、という枠組を採用し、計算機とユーザとの間のインタラクションが“自然なやりとり(natural discourse)”となるように支援する。

2.3 アプローチ: 自然言語質問に基づくグラフ描画

我々は2.2節の枠組に基づくインタラクティブシステムとして、ユーザからの質問を受け付け、その質問に基づいてデータを検索し、その検索結果をグラフを用いてユーザに回答する対話型可視化システムの実現を目指している。

我々のアプローチでは、このシステムの入力として自然言語インタフェースを利用する。従来の情報可視化システムにおける入力方法は大きくふたつに分けられる。ひとつはAPT[23]やBOZ[6]、PostGraphe[9]等のシステムが採用しているような形式言語を用いる方法である。形式言語の使用により、ユーザは自分が何を求めているかを正確に表現しシステムに伝えることができるが、そのためにはその形式言語を習得しなくてはならないという欠点がある。

もうひとつはIVEE[2]やSDM[7]、INFOVISER[17]等のシステムが採用しているような直接操作インタフェースを用いる方法である。直接操作インタフェースを用いることにより、ユーザは画面上に表示されているオブジェクトを選択するという簡便な操作でシステムに要求を伝えることができる。これは多くのユーザにとって非常に敷居が低い方法であるが、直接操作が対象とするのは表示されているオブジェクトの操作やメニューとして提供される操作であり、ユーザの問題解決タスクの観点からは直接的であるとは限らず、場合によってはユーザに余分な負担を強いることになるという欠点がある[26]。

我々が採用したような自然言語インタフェースを用いた入力手法は、このふたつの手法の欠点を補うものであり、ユーザに柔軟な表現力を提供する手段である[8][13]。

また我々のアプローチでは、検索結果を出力する方法として統計グラフを利用する。棒グラフや折れ線グラフ等の統計グラフは、探索的データ分析において蓄積された莫大な観測データを分析して傾向や特徴を見

出す際の有効な手段である[25][27]。提案するシステムはコンテキストやユーザ質問から推測されるユーザの関心を考慮し、それらを適切に反映したグラフを描画することで、ユーザの理解を助ける。このようなシステムとユーザとのやりとりをモデル化すると図1のようなになる。このモデルでは、まずユーザが自らの興味に基づいて質問を自然言語要求として表出(articulate)し、システムに問いかける。システムは与えられた質問を解釈し、その解釈結果に基づいてグラフを生成し、適切な表現形式を用いてユーザに提示する。ユーザは提示されたグラフを見ることで知見を得て、その知見がユーザの新たな興味を喚起する。この新たな興味に基づいて、ユーザは再度システムに問いかける。このようなやりとりを繰り返すことで、ユーザはデータに関する理解を深めながら、問題解決に有用な情報を徐々に集めていく。

このようなやりとりを適切に支援するには、システムがユーザとのやりとりの経緯を理解し、状況に応じた適切な応答をする必要がある。そのために、過去のやりとりをコンテキストとして保持し、そのコンテキストをその後のやりとりに反映することでユーザを支援する枠組を採用する。次章では提案するシステムが保持するコンテキストについて詳述する。

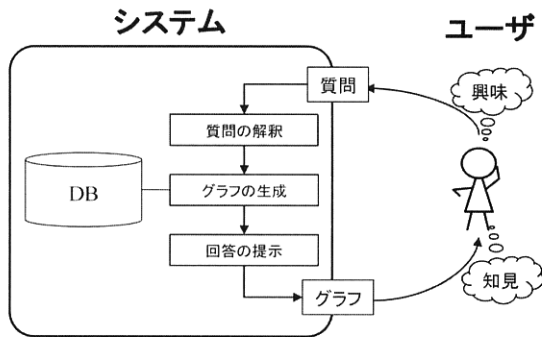


図1 システムとユーザとのやりとりのモデル

3. 探索的データ分析行為における3つのコンテキスト

上述したように、探索的データ分析を行う場面ではユーザと計算機の間で行われるやりとりが円滑に行われることが望ましい。そのひとつの手段として、計算機がやりとりの経緯をコンテキストとして保持し適切に利用する事でユーザに対して協調的に振舞う方法が考えられる。我々の提案するシステムでは、自然言語

表現によるユーザ質問の解釈、質問に対する検索結果を表現するグラフの生成、そのグラフのユーザへの提示、という各ステップにおいてコンテキストを利用する。以下でそれら3種類のコンテキストについて述べる。

3.1 自然言語コンテキスト

ユーザの質問は前回のやりとりに於ける質問を踏まえて行われる。例えば、ユーザが「2000年と2001年のA市のカフェの売上高は?」と尋ね、システムが図2に示すようなグラフで回答したとする。このグラフを眺めることにより、ユーザがA市の地区毎の売上高に興味を持った場合、システムに「2000年と2001年のA市のカフェの地区毎の売上高は?」と質問するのではなく、描かれている情報を前提として単に「地区毎に知りたい」と質問するほうがユーザにとって自然である。このような省略を伴う断片的質問を解釈するために、それまでにユーザから与えられた質問内容をコンテキスト(Natural Language Context, 以下NL-Contextと略記する)として利用することがシステムに求められる。

従来の自然言語処理技術では、発話断片や省略表現を理解するために、直前までの発話連続との構文的/意味的類似性を用いて解釈する方式が提案されている[4][16]。本研究でもこれらの方式を利用してNL-Contextを反映した質問理解を行う。

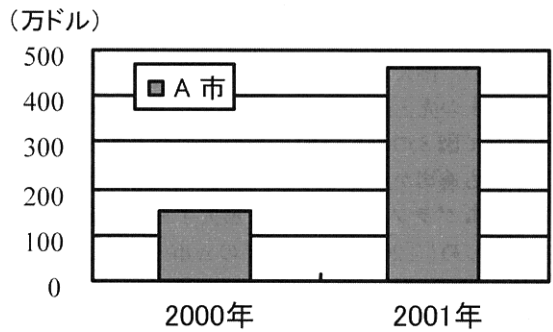


図2 対話の過程で描かれるグラフの例

3.2 グラフ生成コンテキスト

図3の(a), (b), (c), (d)はいずれも同じA市のカフェの売上高のデータを表現したグラフである。(a)と(b)では年がx軸となっているのに対して、(c)と(d)では地区がx軸となっている。ここから、(a)と(b)では2000年と2001年の2年を地区毎の売上高という特徴で比較するという観点が読み取れ、(c)と

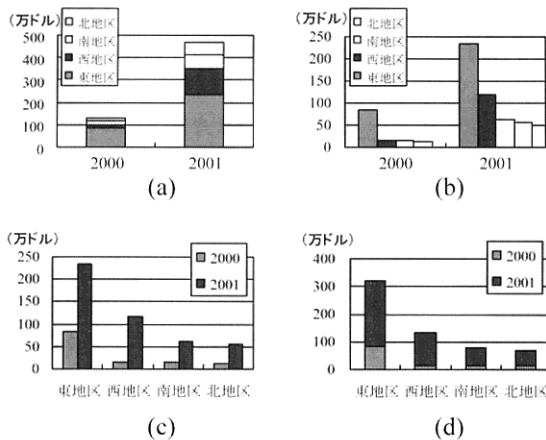


図3 同一データを描画している様々なグラフの例

(d)では各地区を2年間の売上高という特徴で比較するという観点を読み取れる。従って、2001年に大きく増加したA市の売上高の要因を分析しているのであれば前者が適切であろうし、新しい販売店をA市のどこに設けるかという検討であれば後者が適切であろう。一方、(b)と(c)は各地区各年の値が比較しやすいのに対し、(a)と(d)はそれら個々の値の比較しやすさは劣るものの、(a)ではA市全体の、(d)では2年間の売上高の合計が読み取りやすい。合計を知ることが分析者の関心に含まれているか否かで適切なグラフが異なることになろう。

このような観点・関心は分析者の側にあるものであるが、そこに描かれるデータの特徴から推定できる場合も多い。例えば、「2000年と2001年のA市の各地区のカフェの売上高を知りたい」という質問に対する答えとして図3の(a)、(b)、(c)、(d)のうちどのグラフが最も適切か尋ねた場合、図3の(c)のグラフを最も適切なグラフであるとして選択する人が多い。一方、はじめに「2000年と2001年のA市のカフェの売上高は？」と質問し、その回答として図2に示したグラフを見せ、その後に「地区毎に知りたい」と質問した場合に適切なグラフを尋ねると、図3の(c)を選択する人は減少し、図3の(a)を選択する人の数がそれを上回るようになる[19]。このふたつの条件で最終的に描かれるべきデータは同じであるにもかかわらず、人々の選択するグラフが異なったのは、後者の条件では、最初の質問に含まれている「2000年と2001年との比較」という観点や「A市全体の売上高」への関心がその後も持続していて、グラフの適切性がそれに影響されたためと考えられる。

本稿ではこの持続する観点・関心のことをグラフ生

成の際に考慮すべきコンテキスト(Graph Content Context, 以下GC-Contextと略記する)と捉える。対話文脈に沿ったグラフを生成するためには、GC-Contextを適切に処理することがシステムに求められる。

3.3 プレゼンテーションコンテキスト

ユーザは、システムが提示したグラフを見てその値や傾向等グラフから読み取れる情報の一面に着目し、新しい質問をしてグラフを描き換える。このプロセスが円滑に行われるためには、描き換えられたグラフ上でその着目点はどう表現されたかが容易に把握できなくてはならない。

通常、ユーザはグラフ中の描画オブジェクトの色や形状、位置といった視覚特徴(visual properties)のうち、観点の変化に影響されない特徴を手がかりとして、描き換える前後でのグラフの対応関係を理解する。従ってグラフ描画の際には前後のグラフに跨って共通する視覚特徴を保持することがシステムに要求される。例えば折れ線グラフから棒グラフに描き換える場合、描画オブジェクトの色や順序、各頂点の位置等の視覚特徴が適切に保持されなければ、この描き換えは非常に混乱したものになる。

しかしながら、このような視覚特徴の保持は全てのグラフ変化に対して有効なわけではない。例えば、共通の特徴を殆んど持たないグラフに描き換える場合や、グラフがあまり効果的でない視覚特徴[12]しか持たない場合には、ユーザはふたつのグラフの対応関係を理解するのに時間を要するであろう。また、以前のグラフの特徴を維持することが新たに描くグラフの可読性を低下させる場合には、視覚特徴を変化させて可読性を向上させる必要がある(例えば、棒グラフを分割して複合棒グラフに描き換えた場合のy軸範囲の変更など)。従って、グラフ描き換え時におけるユーザの理解を助けるには、新しいグラフに描き換える際に前に描かれていたグラフを考慮して、それらの対応関係が分かるように描き換える必要がある。本稿では、前に描かれていたグラフをプレゼンテーション生成の際に考慮すべきコンテキスト(Presentation Continuity Context, 以下PC-Contextと略記する)と捉え、PC-Contextを考慮した表現手段としてアニメーションによるグラフ描き換えを採用する。この方法では、描き換え前後のグラフをアニメーションで連続的に変化させることで、前のグラフに描かれていた描画オブジェクトが次のグラフのどこに対応するかを分かりやすく提示することを試みる。

図4は提案するシステムが、上述した3つのコンテ

キストをユーザとのやりとりに於いてどのように利用するかを示したものである。

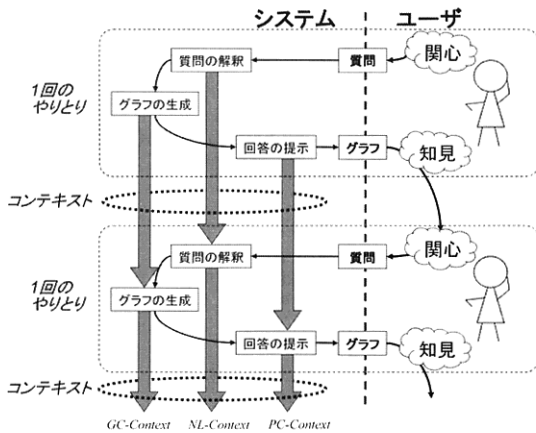


図4 やりとりのサイクルにおけるコンテキストの保持

4. InTREND システム

我々は2章で述べたインタラクティブシステムのプロトタイプとして InTREND システムを開発している。InTREND は自然言語で表現されたユーザ質問を受け付け、その質問に基づいてデータを検索し、その検索結果をグラフを用いてユーザに回答する可視化システムである。以下では、まず InTREND のシステム構成について述べ、ユーザと InTREND とのやりとりの一例を示す。その後、各システムコンポーネントの果たす役割について述べる。

4.1 システム構成

図5に示すように、InTREND システムは質問解釈部(NL parser)、グラフ種決定部(Graph planner)、データ集約部(Data organizer)、グラフ生成部(Grapher)、プレゼンテーション生成部(Presenter)の5つのコンポーネントから構成される。

質問解釈部は、自然言語で表現されたユーザ質問を受け付け、それまでの一連の質問を考慮して解釈する。

データ集約部、グラフ種決定部、グラフ生成部の3つのコンポーネントは全体としてコンテンツ生成部の役割を果たす。すなわち、これら3つのコンポーネントは質問解釈部によって解釈されたユーザ質問に基づいてコンテンツ(ユーザに提示するグラフ)を生成し、プレゼンテーション生成部に伝える。

データ集約部は、解釈された質問からユーザが求めているデータを検索し、適切な粒度で集約してデータ

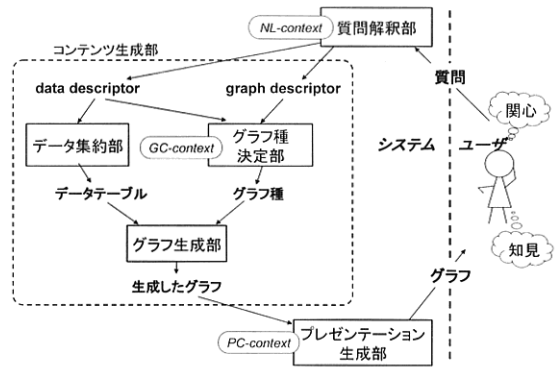


図5 InTREND の構成

テーブルを作り出す。グラフ種決定部は、得られたデータテーブルを提示するのにどのグラフ種を用いるかを、質問解釈部の解釈結果と前回のグラフコンテキスト(GC-Context)、適切なグラフを判別する知識ベースを用いて決定する。グラフ生成部は、グラフ種決定部が決定したグラフ種にデータ集約部が導出したデータテーブルを当てはめてユーザの質問への回答となるグラフを生成する。

プレゼンテーション生成部はユーザの質問に対する回答となるグラフをユーザに提示する。この際、前回描画したグラフを考慮し、適切なアニメーションを用いてグラフを描き換える。

4.2 InTREND を用いた探索的データ分析の例

ここでは分析者と InTREND とのやりとりの一例を示す。この例では、カフェを所有する会社の企画責任者(分析者)が新しい店舗をA市に出店すべきか、という意思決定を行うために InTREND を利用する場面を想定する。InTREND と分析者の間で、図6に示すようなやりとりが行われる。

まず分析者はA市の既存のカフェの状況を知りたいと考え(I-1)、「2000年と2001年のA市のカフェの売上高は?」と InTREND に入力する(Q-1)。InTREND は2年間のA市のカフェの総売上高を表すグラフを提示する(G-1)。グラフを見て、分析者はその期間の売上高が伸びていることを知る(F-1)。

次に、分析者はA市のどのエリアが最も成長したかに関心を持ち(I-2)、「地区毎に知りたい」と InTREND に質問する(Q-2)。システムはグラフで答えるが(G-2)、分析者はどのエリアが実際最も増加したかよく分からなかった(F-2)。

そこで分析者はどの地区が最も売上高のシェアが高いかに興味を切り替え(I-3)、「割合は?」と質問する(Q-3)。InTREND はグラフで応答し(G-3)、そ

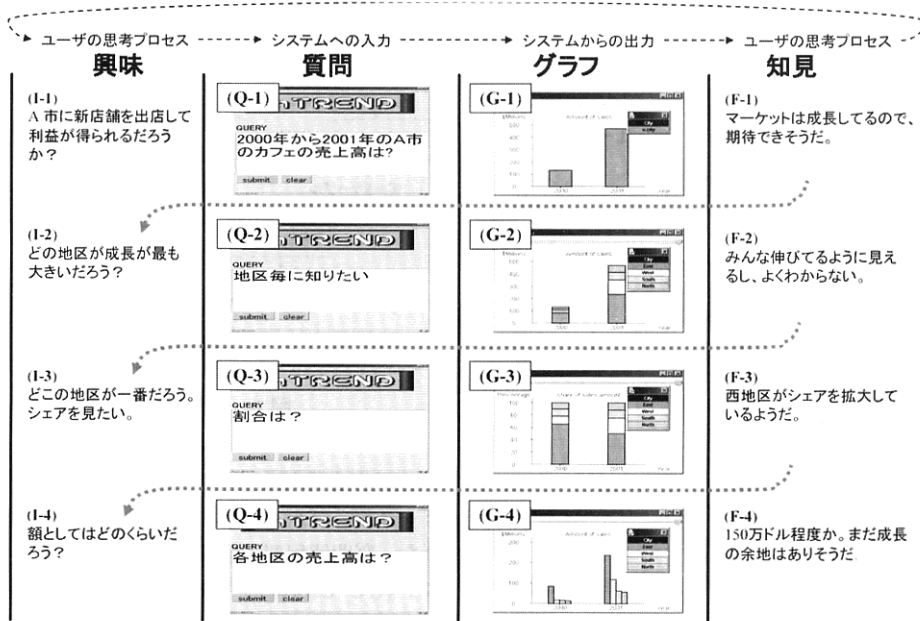


図6 InTRENDを用いた探索的データ分析の例

れを見た分析者は西地区がシェアの増大が著しいことを知る(F-3)。

西地区の実際の売上高はどのくらいか興味を持ち(I-4)、分析者は「各地区の売上高は？」と質問する(Q-4)。InTRENDはグラフで応答し(G-4)、その結果を見ることによって分析者は西地区の売上高がおおよそ150万ドル程度であることを知る(F-4)。

この例で示したように、InTRENDを用いた探索的データ分析は(1)興味の同定、(2)質問の外在化、(3)結果の受け取り、(4)知見の獲得、という4ステップでモデル化される。

図6では明らかではないが、InTRENDはグラフの表現にアニメーションを利用する。図7はInTRENDが図6のG-4のグラフを提示する際に用いるアニメーションの様子を示している。前回のやりとりで表示されたG-3を、質問Q-4に対する回答であるG-4に描き換える際にアニメーションを用いることにより、G-3とG-4との対応が分かりやすくなるので、結果として分析者がG-4を容易に理解できるようになると期待される。

以下では、このやりとりを実現するためにInTRENDの各コンポーネントが行っている処理について述べる。

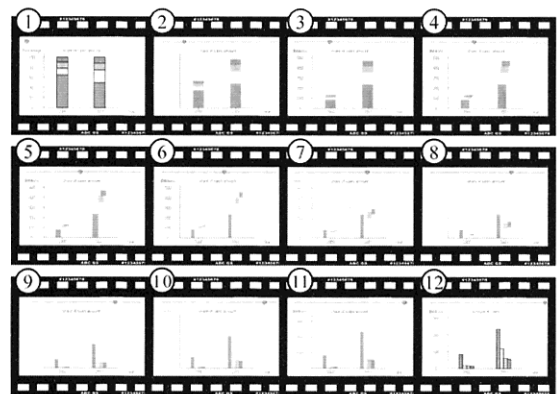


図7 グラフ描き換えの際のアニメーション

4.3 質問解釈部: 自然言語質問の解釈

質問解釈部では、ユーザから入力された自然言語質問を解釈しその意味表現を得る。意味表現は、どのデータをどのような範囲・粒度でグラフ化するかという命題内容に関する部分(本稿ではこの部分の意味表現をdata descriptorと呼ぶ)に加えて、そのどのような側面に着目してグラフ化するかというユーザの関心を表現する部分(本稿ではこの部分の意味表現をgraph descriptorと呼ぶ)からなる。この意味表現は形式的にはWoodsの意味表現言語[34]の拡張として位置づけられるが、それについての議論は他に譲り[20]、本稿では各部分の意味づけと役割を示す。

命題内容に関する部分 (data descriptor) は、独立変数の種別と範囲の指定、及び従属変数を得る関数 (統計量) の指定からなる。例えば、「2000年と2001年のA市の売上高」であれば、第一の独立変数が時間領域の年の粒度を持ち、その範囲が2000年と2001年にわたること、第二の独立変数が地域領域の市の粒度を持ち、その範囲がA市であること、従属変数が売上高によって得られるものであることが抽出される。ここで、独立変数の種別は領域と粒度の対で表現しており、「A市の地区毎の売上高」では、第二の独立変数が地域領域の地区の粒度を持ち、その範囲がA市である、つまりA市の地区であると解釈される。この情報は、グラフ描画に必要となるデータを得るために後述するデータベース検索部で利用される。

ユーザの関心を表現する部分 (graph descriptor) は、独立変数と従属変数のどのような関係にユーザが着目しているかを表現する。例えば「1997年から2001年のA市の地区毎の売上高」において、5年にわたる売上高の推移がみたいのか年毎の比較がしたいのか、比較したい場合に年毎の比較と地区毎の比較のどちらが主たる関心か、地区毎の売上高に加えてA市全体の売上高にも興味があるのかなどが示される。具体的には、data descriptor に現れている独立変数のうち、その取り得る具体値が複数のものすべて (2次元グラフを対象としているのでたかだかふたつ) について、

- ・その独立変数の違いによる従属変数の値の比較に主たる関心がある (主比較)
- ・その独立変数の違いによる従属変数の値の比較に補助的な関心がある (副比較)
- ・その独立変数に関する従属変数の値の推移変化に関心がある (推移)
- ・その独立変数の指定された範囲についての従属変数の値の総計に関心がある (総計)
- ・上記の総計に対する従属変数の個々の値の割合に関心がある (割合)

のいずれかの関心ひとつずつが割り振られる。この情報は、適切なグラフ種を決定するためにグラフ種決定部で利用される。

ユーザの入力する自然言語質問には、それ自体で意味表現が得られる独立したもの、文脈に照らしてその意味表現がはじめて得られるもの (いわゆる発話断片) とがある。前者については質問解釈部はその意味表現を得るが、「1997年から2001年のA市の売上高の推移が見たい」のようにユーザの関心が質問中で明示されない限り、ユーザの関心はこの時点では決定されず、graph descriptor は空のままになる。その場合、この部分の補完決定はグラフ種決定部で、独立変数や

従属変数の特徴や範囲の情報を用いて行われる。後者の発話断片の場合、質問はコンテキストとして蓄積されている意味表現、すなわちdata descriptorの書き換えとして処理される。例えば、「1999年から2001年のA市の売上高が見たい」に続けて、「1992年から見たい」、「地区毎に見たい」、「店舗数が見たい」などの質問があれば、各々独立変数の範囲変更、独立変数の粒度変更、従属変数の統計量変更と解釈され、すでにあるdata descriptorのうち対応する部分の変更を行うことでその意味表現を得る。独立変数の情報を領域と粒度に分けて表現しているなど、本システムの意味表現はこのような変更を直接処理しやすいものになっている。

ユーザの関心についても「変化が見たい」のように明示される場合があり、その場合は質問解釈部でgraph descriptorが変更される。ただし、それ以外でも粒度変更や範囲変更に伴ってユーザ関心が暗黙に変化する場合があります。それへの追従はグラフ種決定部で行われる。

質問解釈部のこれらの処理は、対象となる分野に関する知識を背景とし、意味文法 [16] の枠組みを用いたパターンマッチングを中心とした処理で行われる。つまり、システムは「A市」が地域領域で市の粒度を持ったインスタンスであること、「売上高」が時間と地域を独立変数とする統計量であることなどの分野知識と、「～から～の」という表現が独立変数の範囲を指定するものであるという構文パターンや「毎」や「推移」等、特定の意味表現と関連した手掛かり語の辞書を持っており、これらを用いて意味表現を生成する。また、コンテキストに依存したユーザの断片的な質問発話の理解には典型的な発話断片解釈機構 [4] を採用している。すなわち、質問解釈部は前のやりとりにおいて作成されたdata descriptorをNL-Contextとして保持しておき、ユーザから新たに質問が与えられると、NL-Contextの該当する項を上書きして新しいdata descriptorに更新する。従って、記述されない制約や条件は前回のdata descriptorの記述を継承することになるので、ユーザの質問が省略を伴う断片的なものであっても適切に補完することができる。

4.4 コンテンツ生成部：グラフの生成

データ集約部、グラフ種決定部、グラフ生成部の3つのコンポーネントは、data descriptorとgraph descriptorを質問解釈部から受け取り、グラフを生成し、プレゼンテーション生成部に渡す。

データ集約部

データ集約部は質問解釈部が生成したdata descrip-

torを用いてデータベースからグラフ描画に必要なデータ集合を抽出し、適切な粒度で集約してデータテーブルを生成する[24].

グラフ種決定部

グラフ種決定部はユーザに対してどのグラフを用いて回答するかを決定する。現在の実装ではInTRENDは9種類の2次元統計グラフ(単純棒、折れ線、複合棒、積上棒、構成比率棒、帯、円、積上層、構成比率層)を取り扱うことができる。また、複合棒や折れ線等ではふたつある独立変数のどちらを水平軸にとるかという軸の割り当ても必要になる。これらは、ユーザの関心が明らかである場合、すなわち graph descriptor に上述した関心が記述され、その取り得る具体値が複数である独立変数(たかだかふたつ)のすべてに関心が割り振られている場合は、図8に示す関係を用いて一意に決定される。関心の割り振りには制約があり、graph descriptor 中にそのような変数がひとつしかない場合は、第一・第二という区別は意味を持たず「副関心」以外の任意の関心を取りうる。そのような変数がふたつある場合は図8に示した関心の組み合わせのみが許され、第一の独立変数がいわゆる水平軸を割り当てられる変数となる*。関心の組み合わせとして図8に示したものしか許されない理由、及びグラフ種の対応付けの根拠については別稿に譲るが[19]、このように独立変数に割り振る関心の組み合わせでグラフ種や軸の割り当てを決定する枠組みにより、次に述べるユーザの関心への追従が自然に実装できている。グ

ラフ種の選択基準を選ぶかをひとつの変数で処理するような枠組みでは、そのような処理は容易でない。

このように必要な関心が割り振られていればグラフ種が決定されるので、グラフ種決定部の主たる役割は、質問中で明示されないために質問解釈部では決定できなかったユーザの関心を推定することと発話断片によって指示された変更に伴うユーザの関心の変化に追従することである。

前者については、独立変数や従属変数の特徴や範囲の情報を用いて行われる。例えば、間隔尺度を持つ独立変数について一定数以上の具体値の範囲が指定されていれば、その変数には「推移」が割り当てられる。シェアのような統計量は独立変数の範囲が適当であれば「割合」に関心を含む。時間領域の変数よりもそうでないものの方が比較の対象になりやすいので、両方に関心が割り当てられていなければ前者に「副比較」後者に「比較」を割り当てるなどの規則により関心が補完される。実装では、グラフ利用の教科書[38]やグラフコーパスから機械学習の手法によって得られた決定木[37]等を組み合わせたルール集合が用いられている。

後者については、現在の関心をできるだけ変化させないという原則に基づいてユーザの関心の変化に追従していく。例えば、「2000年と2001年のA市の売上高」では、時間変数のみが複数の具体値を持つので関心が割り当てられるが、この場合、間隔尺度を持つが具体値が2と少ないので「主比較」が割り当てられる。これによって時間変数を水平軸とした棒グラフが描か

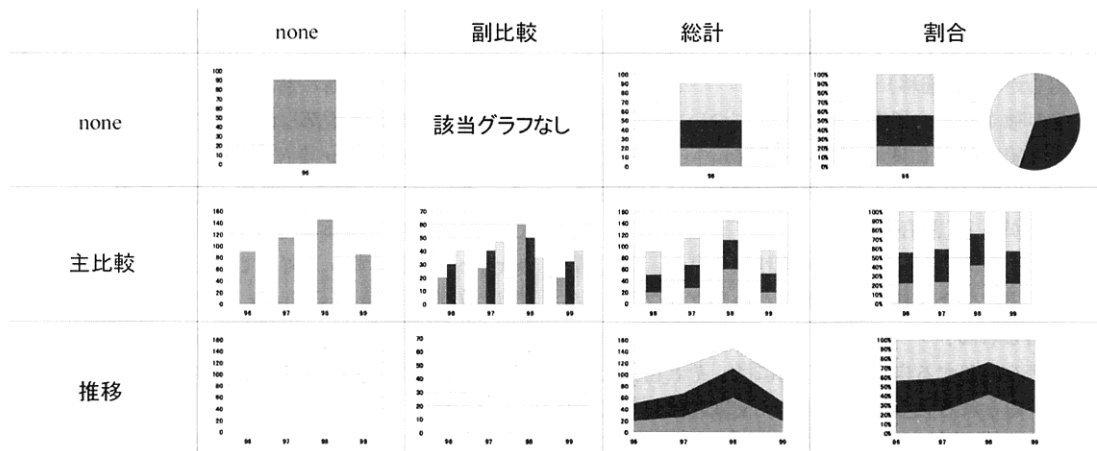


図8 関心とグラフ種との対応関係

* 図8では関心として割合だけが与えられた場合に対応するグラフとして、単純帯グラフと円グラフのふたつが割り当てられている。我々の枠組では、これらの区別は関心ではなく、直前に描画されていたグラフとの視覚的類似性に基づいて決定することとしている。

れる。ここで、「地区毎に知りたい」という発話断片が入力されると、時間変数に割り当てた関心「主比較」はそのままで、粒度の変更により新たに具体値が複数になった地域変数に関心が割り振られる。直前のグラフがA市全体の売上高のものであったこと(粒度変更によって新しく関心の割り振りが必要となったこと)から「全体」が選択される。この関心の組み合わせから図に従って積上棒グラフが描かれる**。一方、「2000年と2001年のA市の地区毎の売上高」という質問の場合は、時間領変数よりも地域変数の方が比較の対象になりやすいということで、地域変数に「主比較」、時間変数に「副比較」が割り当てられ、地区を水平軸とした複合棒グラフが描かれることになり、この一連の質問で描かれるグラフとは同じデータを描いているもののグラフ種が異なることになる。更にこれらに続いて「1997年から見たい」という発話断片が入力された場合、描かれる範囲は変更されるが、ユーザの関心は変更されず、グラフ種は積上棒グラフのままである。このグラフも「1997年から2001年のA市の地区毎の売上高」という質問に対して、(一定数以上の具体値を持った間隔尺度変数として時間変数に「推移」が関心として割り当てられることで)描かれる折れ線グラフとは大きく異なる。

グラフ生成部

グラフ生成部は、データ集約部によって生成されたデータテーブルをグラフ種決定部が決定したグラフに割り当てることでグラフを生成する。

4.5 プレゼンテーション生成部: ユーザへの回答提示

プレゼンテーション生成部は、新しく描画するグラフをユーザが容易に理解できるようにPC-Contextを考慮し、描き換え処理を行う。InTRENDでは、2種類の基準に基づきPC-Contextを考慮したプレゼンテーションを生成する。

ひとつは、新しいグラフの視覚特徴を決定する際の基準である。これはグラフ描き換えの前後で共通する視覚特徴(色や x , y 軸)を維持するためのものである。例えば、描画オブジェクトに色を割り当てる際、任意の色を一貫せずに使用するとユーザが混乱し新しく描かれたグラフの理解が困難になるため、可能な限り同じオブジェクトは同じ色を維持するようにする。

もうひとつは、ユーザが前に描かれたグラフと新しいグラフとの対応の理解を視覚的に助ける適切なアニメーションを生成するための基準である。例えば、あ

るオブジェクトを異なる色で表現する必要がある場合には、色の変化を瞬時的に行わず、オブジェクトの形状や位置の変化に併せて、漸時的に行うようにする。

5. コンテキスト保持機構の評価実験

本研究の目的はデータを探索的に分析する作業を支援することであるため、提案するシステムを評価するにはInTRENDの使用によって作業効率がどの程度向上したかを測定することが直接的な評価方法である。しかし、1章で述べたように、探索的データ分析では明確なゴールは探索行為に従って徐々に明らかになるものなので、ゴールを設定しその達成率や達成時間で評価するのは必ずしも適切な方法とは言えない。また“自然なやりとり”という点から見れば、この方法では探索過程におけるやりとりがより円滑に行われたかについて評価できない。そこで本稿では、このような全体論的な観点からの評価ではなく、InTRENDの生成する回答(グラフ)が、その特徴であるコンテキスト保持機構によってどの程度ユーザの直観にあった回答を生成したか、グラフの理解を促進したか、という構成論的な観点からの評価を行う。この方針に基づき、まずNL-ContextsとGC-Contextのふたつを考慮した対話システムとNL-Contextsのみを考慮した対話システムとを比較し、グラフ生成コンテキストの保持がユーザの選好に合致するかどうかを検証する。次に、GC-Contextを考慮して選択されたグラフを提示する際にPC-Contextを考慮した描き換えが有効かどうかを検証する。

5.1 実験1: グラフ生成コンテキストの保持

InTRENDがGC-Contextを考慮して生成したグラフの妥当性を評価する実験を行った。この実験では、まず、20代から30代の男女25名の被験者を対象に以下の手順で6種類の課題を与え、正解集合を作成した。

- (1) まず各被験者に自然言語による質問(例えば、「2000年から2001年のA市のカフェの売上高は?」)と、その応答となるグラフ(例えば、図2)を提示する。
- (2) 次に被験者に追加質問を提示する(例えば、「地区毎に知りたい」)。
- (3) 被験者に4つの回答候補グラフ(例えば、図3の(a), (b), (c), (d))を提示し、その中から最も適当だと考えるグラフを選択してもらう。この4つのグラフは、表しているデータは同じであるが読み取れる観点が異なっている。

このようにして得られたユーザのグラフ選好を正解集合と見なし、InTRENDの回答との一致率を測る。

** このような場合に常に積上棒グラフとなるわけではなく、従属変数を得る統計量「売上高」が加算によって集約を行うものであることがチェックされる。

6種類の課題は、事前の予備実験によってコンテキストによりグラフの軸やグラフ種の変更が生じる可能性があると判断した発話列に基づいて用意した、表1に課題の一覧を示す。

本実験では、被験者に課したものと同一課題をGC-Contextを考慮してグラフを選択するInTRENDと、グラフ種選択部の一部の機能を無効にしてGC-Contextを考慮しないようにしたInTRENDに与えた。

表2は、各課題に於ける4つの回答候補グラフに対する被験者の選好の分布と、InTRENDが生成したグラフを示している。表2中の数値は回答候補グラフを選択した被験者の人数であり、チェック記号のついているところがシステムの選択した回答候補グラフである。GCがGC-Contextを考慮するInTRENDの結果を、no-GCがGC-Contextを考慮しないInTRENDの結果を各々示している。この表からGC-Contextを考慮するか否かにより、6つの課題中5つで選択されるグラフが異なることが分かる。

各回答候補グラフを選択した被験者数を得点と見なし、InTRENDの各課題に於ける得点と平均得点を求めた。その結果、GC-Contextを考慮した場合の平均得点が15.83、GC-Contextを考慮しない場合の平均得点が6.67であり、GC-Contextを機能させた

表2 実験1の結果

	課題1		課題2		課題3		課題4		課題5		課題6	
	GC	no-GC	GC	no-GC	GC	no-GC	GC	no-GC	GC	no-GC	GC	no-GC
候補1	6	✓	2	✓	18	✓	7	✓	1		21	✓
候補2	1		0		1		0		18	✓	0	
候補3	8	✓	0		0		7	✓	3		0	
候補4	10		23	✓	6		11		3	✓	4	✓
得点	8	6	23	2	18	18	7	7	18	3	21	4

InTRENDの得点が有意に高かった($t(10)=2.551$; $p<0.05$)。

表2ではGC-Contextを用いたInTRENDが、6つの課題のうち2つで、最も多くの被験者に選択されるグラフを生成していない。しかし、もしそれらを間違えずに、最も多くの被験者に選択されるグラフを生成した場合でも平均得点は16.83である。このことはInTRENDがGC-Contextを考慮することによって、十分に妥当なグラフを生成していることを示している。

5.2 実験2：プレゼンテーションコンテキストの保持

次にプレゼンテーション生成部がPC-Contextを考慮して生成したアニメーションの妥当性を評価する実験を行った。この実験では、ある観点の下でグラフを描き換えたあと、そこに描かれている描画オブジェクトのうち、実験者が指示する条件を満たすものの値を被験者に回答してもらう。このグラフ描き換え時に、(α)瞬時に描き換える、(β)文脈を考慮しないアニ

表1 評価に用いた課題一覧

課題	文脈となる発話	文脈となるグラフ (x軸属性/隠れ軸属性)	課題となる発話断片 (処理内容)	回答候補 (x軸属性/隠れ軸属性)
1	1993年のA市とB市の カフェの売上高は?	単純棒グラフ (市/—)	1994年も知りたい (隠れ軸属性の要素追加)	1. 複合棒グラフ (市/年) 2. 複合棒グラフ (年/市) 3. 積上棒グラフ (市/年) 4. 積上棒グラフ (年/市)
2	1993年と1994年のA市の カフェの売上高は?	単純棒グラフ (年/—)	B市も知りたい (隠れ軸属性の要素追加)	1. 複合棒グラフ (市/年) 2. 複合棒グラフ (年/市) 3. 積上棒グラフ (市/年) 4. 積上棒グラフ (年/市)
3	1993年と1994年のA市の カフェの売上高は?	単純棒グラフ (年/—)	地区毎に知りたい (隠れ軸属性の詳細化)	1. 複合棒グラフ (年/地区) 2. 複合棒グラフ (地区/年) 3. 積上棒グラフ (年/地区) 4. 積上棒グラフ (地区/年)
4	1993年と1994年のA市の カフェの売上高は?	単純棒グラフ (年/—)	季節毎に知りたい (x軸属性の詳細化)	1. 単純棒グラフ (季節/—) 2. 複合棒グラフ (季節/年) 3. 積上棒グラフ (年/季節) 4. 積上棒グラフ (季節/年)
5	1994年のA市とB市の カフェの売上高は?	単純棒グラフ (市/—)	季節毎に知りたい (隠れ軸属性の詳細化)	1. 複合棒グラフ (市/季節) 2. 複合棒グラフ (季節/市) 3. 積上棒グラフ (市/季節) 4. 積上棒グラフ (季節/市)
6	1993年と1994年のA市と B市のカフェの売上高は?	積上棒グラフ (年/市)	近畿地方も知りたい (隠れ軸属性の要素追加)	1. 複合棒グラフ (市/年) 2. 複合棒グラフ (年/市) 3. 積上棒グラフ (市/年) 4. 積上棒グラフ (年/市)

メーションを用いて描き換える、(γ)文脈を考慮したアニメーションを用いて描き換える、という3つの描画方法を用いて被験者に提示し、描画方法の違いと課題の正答率及び回答時間との関係を調べた。(β)のアニメーションは、描かれているグラフを消去し、その後で新たなグラフをアニメーションを用いて描画する。例えば、最初に x, y 軸を描画し、その上に描画オブジェクトを順に配置していく方法である。また(γ)のアニメーションは、例えば図7に示したようなものである。実験1とは異なる20代の男女15名の被験者を対象として、各描画方法につき3つの課題(計9課題)を課した。

実験は、次の手順で行った。

- (1) あるグラフを提示し、グラフから読み取り可能な情報を口頭で伝えたあと、被験者に情報のある側面について注目するように指示する。
- (2) そのグラフを上述の3つの描画方法のうちいずれかを用いて描き換える。
- (3) はじめに描かれていたグラフの特徴を元に、描き換えたグラフに描かれているオブジェクトの値について尋ねる。

例えば、図9の(a)に示すグラフを最初のグラフとして提示し、「このグラフは1997年から1999年のA社、B社、C社の売上高の割合を示すもので、縦軸はパーセントを示します。各社のシェアの変動に着目してください。」と口頭で伝え、被験者が確認したあと、最初のグラフを図9の(b)のようなグラフに描き換える。この後、質問者が被験者に口頭で「1998年から1999年にかけてシェアが伸びた会社と、シェアの変動が少なかった会社について伺います。これらの会社の売上高の差は幾らくらいですか?」と尋ねる。この問いに正しく答えるためには、被験者ははじめに描かれていたグラフと書き換えたグラフの両方を対応付けて覚えておく必要がある。

全被験者の正答率と、正解だった被験者の平均回答時間を測定し、提示方法の違いとそれらの関係を調べたところ、正答率はいずれの提示方法でもほぼ等しく、有意差はなかった。平均回答時間については、

(α)が5.43秒、(β)が4.86秒、(γ)が4.20秒で、(α)と比較すると(γ)が統計的に有意に短い($p < 0.05$)、(β)は有意差がなかった($p = 0.343$)。また、不正解だった被験者の回答時間データを分析したところ、(β)では回答までに40秒以上かけて回答したにもかかわらず間違えていた事例が2件あった。これは(α)と(γ)の表示手法では見られなかった現象であり、文脈を考慮していないアニメーションが被験者のグラフ理解を阻害した可能性がある。更に実験後、被験者に聞き取り調査を行ったところ、7名の被験者から、「(γ)の提示方法を用いた場合が最も回答しやすかった」という回答が得られた。この結果は、PC-Contextを考慮するInTRENDの描画方法がユーザの理解の助けになっていることを示唆している。一方で、1名の被験者から「アニメーションの存在によって混乱し回答しづらかった」という回答が得られた。また、残りの8名は「提示方法の違いは回答のしやすさに影響しなかった」と回答した。

次に、描画方法(β)のアニメーションが、文脈を考慮する必要がない場面ではユーザにとって理解しやすい表現であることを確認するために補足実験を行った。これは、上記の実験に於いて、(β)が(γ)に比べて劣るのはアニメーションの質が悪いためではなく、文脈を考慮していないことに起因するものであることを確認するためである。

補足実験では、まず被験者にユーザ質問(例えば、「2000年から2001年のA市の地区毎のカフェの売上高は?」)を提示し、その回答となるグラフ(例えば、図3の(a)のグラフ)を、瞬時的に描く方法と、(β)のアニメーションを用いて描く方法、の2通りを順不同に提示し、どちらの描画方法がよりグラフを理解しやすいかを尋ねた。この実験では課題として5つのグラフ種(単純棒グラフ、円グラフ、折れ線グラフ、複合棒グラフ、積上棒グラフ)に関する描画パターンを用意した。また、提示する課題の順序は被験者毎に変更した。

その結果、1課題当たり平均3.8名の被験者が瞬時的な描き換えによる提示方法を選んだのに対して、11.2名の被験者が(β)のアニメーションを用いた提示方法を選んだ。この結果は、文脈を考慮する必要がない場合には(β)のアニメーションがグラフの理解を助けることを示唆している($t(8) = 6.541; p < 0.001$)。

6. 議論

グラフ等の可視化表現を用いてユーザの探索行為を支援する研究は、主に情報可視化分野で行われている[5][30]。

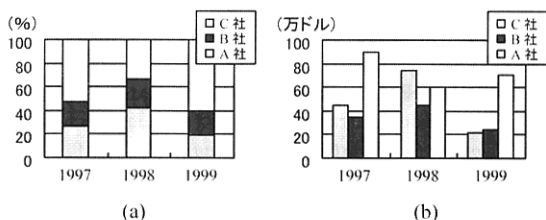


図9 実験2で用いたグラフ

本稿で示したようなグラフを用いた探索的データ分析に関する研究としてはAIDE[3]が挙げられる。AIDEはユーザの探索行為をプランニング問題と捉え、ヒューリスティックな知識を利用してユーザに分析手法の候補を提示することや、それまでの探索行為を履歴として提示することで探索のやり直しを容易にすることで、ユーザの探索行為を支援している。AIDEの主眼はユーザに有効な分析手法を提示することであり、探索行為そのものを“自然なやりとり”として実現しようとする我々のアプローチとは立場が異なる。また、対話的にグラフを描画するという試みとしてSAGE[31]が挙げられるが、SAGEはある意図を実現するグラフを試行錯誤的に作成していくためのツールであり、そのやりとりも直接操作によるものである。

情報可視化分野以外でユーザの探索行為を支援することを旨とした研究としては、情報検索分野に於いて、システムが提示する検索結果に対してユーザが興味や関心に合致するものをシステムに教示し、それに基づいてシステムが再度検索を行ったり結果を分類したりするという枠組が研究されている。例えば、適合フィードバック(relevance feedback)[32]や、Scatter/Gather[15]、retrieval by reformulation[33]などがこれにあたる。

これらの手法では、主としてユーザはデータの示す特徴やこのデータを用いて何を言いたいのかを意識しているが、それを適切に表現するユーザ要求が分からない、という情報探索の場面に於ける質問や結果の精緻化を目的としている。従って、探索結果がユーザの情報要求に影響を及ぼし、新たな情報要求を喚起することで、徐々にユーザが問題解決や意思決定にとって有用な情報を収集していく、という探索的データ分析とは目的が異なる。また、これらのシステムでは情報を整理するだけで必要な箇所を適切な表現に加工するという枠組を持たない。この点でも本研究で提案した手法と大きく異なる。

本研究では探索的データ分析に於ける情報探索行為に焦点を当て、3種類のコンテキストを保持することでそれを円滑化する枠組を示した。二つの実験の結果から、これらのコンテキストを保持し、ユーザ要求を適切に補完することがユーザのデータ理解に役立つことを明らかにした。この結果は、ユーザと計算機とのインタラクションをデザインする上で有用な知見であると考えている。

また、アニメーションによる情報提示手法は、データ分析や意思決定に有効であるとされている[29][35]。その一方で、アニメーション効果を利用することによってユーザが混乱し、却ってユーザの理解を損

なう場合があるという知見も報告されている[28]。5.2節で述べた実験の結果に於いて、7名の被験者が本研究で採用したアニメーションが内容理解の役に立った、と回答していることは、本研究で用いたアニメーションがユーザの理解を助けていることを示している。しかし、1名の被験者がアニメーションによって思考を妨げられたと主張していることから、さらなるデザイン改善の余地が残されているものと考えられる。この点については今後さらに検討していきたい。

7. おわりに

本稿では、探索的データ分析におけるユーザと計算機とのインタラクションを“自然なやりとり”として実現するための枠組を提案し、そのプロトタイプである対話的可視化システムInTRENDについて述べた。InTRENDは(1)ユーザ質問の解釈、(2)回答となるグラフの生成、(3)回答の提示、というやりとりの各サイクルでコンテキストを保持することにより、ユーザのデータ分析行為を支援する。被験者実験によりコンテキストを保持してグラフを生成/提示することがユーザの理解の助けとなることを確認した。

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費(課題番号:17700168)の助成を受けています。ご支援を感謝します。また、本研究の遂行にあたり御助言・御協力を賜りました東京大学の中小路久美代特任教授、山本恭裕特任助教、(株)メディアックスの赤塚大典氏に感謝します。

参考文献

- [1] Agrawal, R., Imielinski, T. and Swami, A.N.: Mining Association Rules between Sets of Items in Large Databases, *Proc. 1993 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, pp.207-216 (1993).
- [2] Ahlberg, C. and Wistrand, E.: IVEE: An Information Visualization and Exploration Environment, *Proc. IEEE Symposium on Information Visualization*, pp.66-73 (1995).
- [3] Amant, R.S. and Cohen, P.R.: Intelligent Support for Exploratory Data Analysis, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, Vol.7, No.4, pp.545-558 (1998).
- [4] Carbonell, J.G. and Hayes, P.J.: Recovery Strategies for Parsing Extragrammatical Language, *American Journal of Computational Linguistics*, Vol.9, No.3-4, pp.123-146 (1983).
- [5] Card, S.K., Mackinlay, J.D. and Shneiderman, B. (eds.): *Readings in Information Visualization - Using Vision To Think -*, Morgan Kaufmann Publish-

- ers (1999).
- [6] Casner, S.M.: A Task-Analytic Approach to the Automated Design of Graphic Presentations, *ACM Transactions on Graphics*, Vol.10, No.2, pp.111-151 (1991).
- [7] Chuah, M.C., Roth, S.F., Mattis, J. and Kolojechick, J.: SDM: Selective Manipulation of Visualizations, *Proc. ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp.61-70 (1995).
- [8] Cohen, P.R.: Natural Language Techniques for Multimodal Interaction, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J77-D-II, No.8, pp.1403-1416 (1994).
- [9] Fasciano, M. and Lapalme, G.: PostGraphe: A System for the Generation of Statistical Graphics and Text, *Proc. 8th International Workshop on Natural Language Generation*, pp.51-60 (1996).
- [10] Fayyad, U.M., Piatetsky-Shapiro, G. and Smyth, P.: Knowledge Discovery and Data Mining: Towards a Unifying Framework, *Proc. 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp.82-88 (1996).
- [11] Fischer, G. and Nieper-Lemke, H.: HELGON: Extending the Retrieval by Reformulation Paradigm., *Proc. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.357-362 (1989).
- [12] Foltz, M.A. and Davis, R.: Query by Attention: Visually Searchable Information Maps, *Proc. 5th International Conference on Information Visualization*, pp.85-93 (2001).
- [13] Grosz, B.J., Appelt, D.E., Martin, P.A. and Pereira, F.C.N.: TEAM: An Experiment in the Design of Transportable Natural-Language Interfaces, *Artificial Intelligence*, Vol.32, pp.173-243 (1987).
- [14] Hartwig, F. and Dearing, B.E.: *Exploratory Data Analysis*, SAGE Publications (1979).
- [15] Hearst, M.A. and Pedersen, J.O.: Revealing Collection Structure through Information Access Interfaces, *Proc. 15th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp.2047-2048 (1995).
- [16] Hendrix, G.G., Sacerdoti, E.D., Sagalowicz, D. and Slocum, J.: Developing a Natural Language Interface to Complex Data, *ACM Transactions on Database Systems*, Vol.3, No.2, pp.105-147 (1978).
- [17] Iizuka, Y., Shiohara, H., Iizuka, T. and Isobe, S.: Automatic Visualization Method for Visual Data Mining, *Proc. 2nd Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp.173-185 (1998).
- [18] 石崎雅人, 伝康晴: 談話と対話, 東京大学出版会 (2001).
- [19] 加藤恒昭, 松下光範: 探索的データ分析のためのマルチモーダル対話処理, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J87-D-II, No.5, pp.1142-1152 (2004).
- [20] Kato, T., Matsushita, M. and Maeda, E.: Answering It with Charts-Dialogue in Natural Language and Charts-, *Proc. 19th International Conference on Computational Linguistics*, pp.418-424 (2002).
- [21] Krippendorff, K.: *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology*, SAGE Publications (1980).
- [22] Mackay, W.E. and Beaudouin-Lafon, M.: DIVA: Exploratory Data Analysis with Multimedia Streams, *Proc. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.416-423 (1998).
- [23] Mackinlay, J.: Automating the Design of Graphical Presentations of Relational Information, *ACM Transactions on Graphics*, Vol.5, No.2, pp.110-141 (1986).
- [24] 松下光範, 米澤勇人, 加藤恒昭: 表題に基づく統計データの自動可視化手法, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.1, pp.87-100 (2002).
- [25] Matsushita, M. and Kato, T.: Interactive Visualization Method for Exploratory Data Analysis, *Proc. 5th International Conference on Information Visualization*, pp.671-676 (2000).
- [26] Matsushita, M., Maeda, E. and Kato, T.: Interactive Visualization Method of Numerical Data Based on Natural Language Requirements, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol.60, No.4, pp.469-488 (2004).
- [27] Morohashi, M., Takeda, K., Nomiya, H. and Maruyama, H.: Information Outlining-Filling the Gap between Visualization and Navigation in Digital Libraries, *Proc. International Symposium on Digital Libraries 1995*, pp.151-158 (1995).
- [28] Morrison, J.B., Tversky, B. and Rehrancourt, M.: Animation: Does It Facilitate Learning?, *Proc. AAAI2000 Spring Symposium Smart Graphics*, pp.53-60 (2000).
- [29] Nakakoji, K., Takashima, A. and Yamamoto, Y.: Cognitive Effects of Animated Visualization in Exploratory Visual Data Analysis, *Proc. 5th International Conference on Information Visualization*, pp.77-84 (2001).
- [30] Newman, W.M. and Lamming, M.G.: *Interactive System Design*, Addison-Wesley Publishers (1995).
- [31] Roth, S.F., Kolojechick, J., Mattis, J. and Goldstein, J.: Interactive Graphics Design Using Automatic Presentation Knowledge, *Proc. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.112-117 (1994).
- [32] Salton, G. and Buckley, C.: Improving Retrieval Performance by Relevance Feedback, *Journal of the American Society for Information Science*, Vol.41, No.4, pp.288-297 (1990).
- [33] Tou, F.N., Williams, M.D., Fikes, R.A., Henderson, A. and Malone, T.: RABBIT: An Intelligent Database Assistant, *Proc. National Conference on Artificial Intelligence*, pp.314-318 (1982).
- [34] Woods, W.A.: Semantics and Quantification in Natural Language Question Answering, *Advances in Computers (Yovits, M.C.(ed.))*, Vol.17, Academic Press, pp.2-64 (1978).
- [35] Wright, W.: Information Animation Applications in the Capital Markets, *Proc. IEEE symposium on Information Visualization*, pp.19-25 color plates 136-137 (1995).
- [36] Yamamoto, Y., Nakakoji, K. and Takada, S.: Hands-on Representations in a Two-Dimensional Space for Early Stages of Design, *Knowledge-Based Systems Journal*, Vol.13, No.6, pp.375-384 (2000).

- [37] Yonezawa, H., Matsushita, M. and Kato, T.: Criteria to Choose Appropriate Graph-types, *Proc. 6th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence*, p.823 (2000).
- [38] Zelazny, G.: *Say It with Charts*, McGraw-Hill, third edition (1996).

(2005年10月13日 受付)
(2005年11月29日 採録)

[問い合わせ先]

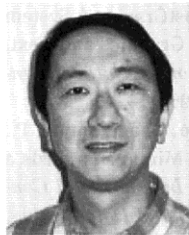
〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台2-4
日本電信電話株式会社
NTTコミュニケーション科学基礎研究所 社会情報研究部
松下 光範
TEL: 0774-93-5232
FAX: 0774-93-5285
E-mail: mat@cslab.kecl.ntt.co.jp

—— 著者紹介 ——



まつした みつのり
松下 光範 [正会員]

1969年生まれ。1993年大阪大学工学部精密工学科卒業。1995年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻制御工学分野博士前期課程修了。同年4月、日本電信電話(株)入社、現在に至る。インタラクションデザイン、自然言語理解に関する研究に従事。博士(工学)。1996年度人工知能学会全国大会優秀論文賞、2001年度人工知能学会全国大会ベストプレゼンテーション賞、平成14年度情報処理学会論文賞など各受賞。情報処理学会、人工知能学会、ACM各会員。



かとう つねあき
加藤 恒昭 [非会員]

1959年生まれ。1981年東京工業大学工学部電気電子工学科卒業。1983年東京工業大学大学院総合理工学研究科電子システム専攻修士課程修了。同年、日本電信電話公社(現NTT)に入社。2000年より、東京大学大学院総合文化研究科言語情報科学専攻助教授。現在に至る。自然言語理解、対話処理、マルチモーダルコミュニケーションに関する研究に従事。工学博士。電子情報通信学会、人工知能学会、言語処理学会、ACL各会員。

A Framework for Supporting Exploratory Data Analysis by Preserving Contexts

by

Mitsunori MATSUSHITA and Tsuneaki KATO

Abstract :

The goal of the research presented in this paper is to support users in exploring a large amount of data for the purpose of decision-making and problem-solving. Our approach is to design human-computer interaction as a natural discourse between the user who explores the data, and the system that interprets the user's query, retrieves data based on the query, and presents the result. InTREND (an Interactive Tool for Reflective Exploration through Natural Discourse) supports this type of interaction by (1) interpreting the user's query represented in a natural language, (2) composing a graph, based on the interpreted query, for retrieved data, and (3) presenting an animated graph for the retrieval results. InTREND encourages iterative exploration by maintaining the context of past interactions and uses this context to improve discourse with the user. The paper describes our research motivation, presents a natural discourse framework, and explains the InTREND system. Our user studies evaluate the context preservation mechanisms of InTREND.

Keywords : exploratory data analysis, context preservation, natural language interface, interaction design

Contact Address : **Mitsunori MATSUSHITA**

NTT Communication Science Laboratories, NTT Corporation
2-4 Hikaridai, Seika-cho, Souraku-gun, Kyoto 619-0237 Japan
TEL : 0774-93-5232
FAX : 0774-93-5285
E-mail : mat@cslab.kecl.ntt.co.jp