

思考空間の可視化によるコミュニケーション支援システム CSS

角 康之*¹ 小川 竜太*² 堀 浩一*³ 大須賀 節雄*⁴ 間瀬 健二*¹

*1 (株)ATR 知能映像通信研究所

〒619-02 京都府 相楽郡 精華町 光台 2-2

Phone: 0774-95-1444 E-mail: sumi@mic.atr.co.jp

*2 松下電器産業株式会社 中央研究所 *3 東京大学 工学系研究科 *4 早稲田大学 理工学部

あらまし 現代社会では、背景知識の異なる専門家同士が共同作業をする場が増えている。したがって、人間の共同作業におけるコミュニケーションを支援する方法論やコンピュータシステムを開発することが工学的にも重要な課題となっている。本論文では、ユーザの思考空間を可視化することによるコミュニケーション支援システム CSS を紹介する。このシステムは、ユーザの心の中にある概念やそれを構成する概念素の関連性を距離空間に可視化し、個人もしくはグループにおける概念形成を支援する。本論文では、言葉の使い方の個人差や、個人の主観的見解の相違を顕在化するのに CSS が有効であることを示す。

キーワード コミュニケーション支援、発想支援、思考空間、可視化、CSCW

CSS: A Human Communication Support System by Visualizing Thought Space Structure

Yasuyuki SUMI*¹ Ryuta OGAWA*² Koichi HORI*³
Setsuo OHSUGA*⁴ Kenji MASE*¹

*1 ATR Media Integration & Communications Research Laboratories,
Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto, 619-02 Japan

Phone: +81-774-95-1444 E-mail: sumi@mic.atr.co.jp

*2 Central Research Laboratories, Matsushita Electric Industrial CO.,LTD.

*3 Faculty of Engineering, The University of Tokyo

*4 School of Science and Engineering, Waseda University

Abstract This paper describes a system named CSS(Communication Support System) which aids human communications in R & D activities specially. CSS builds a two-dimensional topological space with fragments of concepts and words which a user uses to verbalize those. Looking at his/her own space and other users' spaces, the users can understand and analyze their interests and contexts each other. In this paper, an example using CSS are given, such as revealing difference of structure of thought spaces built by different users.

Key words human communication aid, creative concept formation aid, thought space, visualization, CSCW

1 まえがき

本稿では、言語メディアを介した人間同士のコミュニケーションを支援するコンピュータシステムに関する研究について述べる。我々がコミュニケーション、もしくはグループ活動を行なうことによって得られると期待する効果には、主に以下の2点があると考える。

1. 伝え手の心の中にある知覚・感情・思考を、過不足無く正確に受け手に伝達する
2. 他人とコミュニケーションすることにより、それまではもやもやとしていたアイデアが明確に認識されたり、心の中に新たな発想が生じるといった効果を得る

本研究は、特に2.の効果を支援、もしくは促進するためのシステムの開発を目標とする。

筆者らは、これまでに複数の発想支援システムを開発し、それと並行して、人間の発想プロセスのモデル化を試みてきた[1, 2, 3, 4]。筆者らの発想プロセス観の基盤となるものの一つとして、Koestler[5]の考えがある。Koestlerは、科学者が新たなアイデアや発想を得るときには、異なった文脈¹の間に、ある種の衝突が起きている、というモデルを提案した。我々が科学研究や新製品開発などの知的活動を行なう際に、他人とのコミュニケーションが重要な役割を担うのは、それを通して、自分の思考の文脈とは異なる新たな文脈を、外部から得るためである面が大きいと考える。

しかし一般に、アイデア、暗黙知的な知識、主観的好みなどの個人の心的内容を、他人と伝達し合うことは難しい作業である。多くの場合、それらを直接言語的に表現して他人に伝えることは困難であり、もしもそれができたとしても、それだけでは不十分であると考える。個人の心的内容は、伝え手の心の中でそれらの周辺にただよっているアイデアの断片や、それらに関連する話題を受け手に伝達しながら、徐々に共有されるものであるように考えられる。以上のように考える理由として、主に以下のような問題の存在がある。

¹本稿では、人間が思考する際の、個人のおかれている状況や、専門分野に依存したアイデアや知識の集合を、文脈と呼ぶ。

受け手側の問題 伝え手の使う言葉そのものを受け手が知らない場合がある。また、もしもその言葉を知っていたとしても、伝え手と受け手の心の中に存在する概念集合間の関連性やそれらを表現するために利用される言葉との対応が異なる場合がある。

伝え手側の問題 心的内容がもやもやしていて、自分自身でもその全体構造を認識していなかったり、それを言葉で表現することができない場合がある。

これらの問題が克服されないうちはコミュニケーションがなされないかという、そうではなく、実際の社会活動においては、上記のような状態においても活発にコミュニケーションが行なわれ、むしろ、上記のような問題を克服するためにコミュニケーションがなされることも多い。

現代社会では、複数分野の専門知識や技術を統合しなければ解決できないような大規模問題が増加し、背景知識の異なる専門家同士が共同作業をする場が増えている。したがって、上記のような問題を克服するために、コミュニケーションを支援する方法論やシステムを開発することが工学的にも重要な課題であると考えられる。そこで、本研究では以下のような作業を支援するシステムの開発を目指す。

- ユーザが自分自身の思考空間の構造を認識する。
- コミュニケーションを通して、互いに相手の思考空間の構造を理解する。
- グループ活動の中で新たな発想を得る。

ここで思考空間とは、ある人が思考活動を行なっているときに、その人の意識にのぼっているアイデアや知識の断片とそれらの結びつきによって構成される心的空間であるとしておく。

以下では、まず2.で、筆者らが開発したコミュニケーション支援システムCSSを紹介する。3.から5.では、CSSがユーザの発想やコミュニケーションをどのように支援するのかを述べる。ここでは順に、個人ユーザの概念形成支援、複数ユーザの主観的視点の相違の顕在化、複数ユーザの思考空間のすり合わせによるコミュニケーション支援について、実例を用いながら説明する。6.はむすびである。

2 コミュニケーション支援システム CSS

2.1 発想支援のための思考空間の可視化

筆者らはこれまでに、AA1[1]、CAT1[3]と呼ばれる発想支援システムを開発し、利用実験を行ってきた。筆者らは、これらのシステムを、アイデア生成、知識獲得、要求獲得、情報検索等に利用してきた。また、個人の思考活動のみでなく、人間同士のコミュニケーションを支援するための道具としての有効性も調べてきた²。

AA1とCAT1は、ユーザがアイデアや知識の断片として入力した短文やメモのタイトルを、統計的手法の一種である多次元尺度構成法を用いてコンピュータディスプレイ上の距離空間に自動配置し、ユーザの思考空間の構造を可視化するものである。これらは、ある文脈の中で構造化されている自分の思考空間を他人の目で見直すことを可能にする効果を持つと考える。また、これらのシステムは、過去の作業空間や他人が作業をした思考空間をデータベース内に蓄え、新たな思考活動中にこれらの情報を再利用することができる。これらの思考空間は、新たな思考活動を始める際のたたき台として利用できると同時に、現在の思考プロセスの外部から新たな文脈を提供してくれることを意味し、思考のはまり込みからの脱出を助ける効果を持つと考えられる。

2.2 CSSの開発

CAT1は、テキストオブジェクトと呼ばれる電子化されたメモを、それに付随して宣言されたキーワードの共有度に基づいて2次元距離空間上に自動配置することで、ユーザの思考空間の可視化を実現した。

人間同士、特に背景知識の異なる人間同士のコミュニケーションを支援するには、少なくとも個人の心的内容を、本人や本人以外の人間が認識・分析する手段が必要であると考えられる。しかし、ユーザの頭の中にもやもやと現れつつある

²これらのシステムは、筆者らのグループの外部にも配布され試用された。例えばCAT1は10数件に配布された。その配布先は、研究者、技術者、経営者、デザイナーと多岐に渡り、利用形態も様々であった。

概念やアイデアを認識・分析するには、表示されたテキストオブジェクトだけでは操作対象である外部情報としての粒度が粗過ぎ、CAT1では不十分であった。このことを解決するための一手段として、テキストオブジェクトを構成するキーワードも空間配置の対象とし、ユーザの心の中の概念とそれを構成する概念素の関連性を可視化することが有用であると考えた。そこで、空間の自動再構成に双対尺度法[6]と呼ばれる統計手法を採用し、CSS (Communication Support System) と呼ばれるシステムを新たに開発した[7]。

双対尺度法とは、複数の数量化属性で構成されたオブジェクト集合が与えられたときに、オブジェクト同士の属性共有性と属性同士の共起性を顕在化するように、オブジェクト集合と属性集合にそれぞれ得点数量を与えることによって、構造を可視化する手法である。ここでは、ユーザによって宣言されたキーワードを属性と考え、それらの重要度を属性値とすることで、双対尺度法を適用した。双対尺度法では、オブジェクト集合と属性集合に与えられる得点数量が同一尺度の上で一意に決定するという特徴を持っているため、テキストオブジェクトとそれらの構成要素としてのキーワードの関連性を、同一の距離空間上に可視化することが可能となる。双対尺度法を用いた空間配置について、付録を設けたので参照されたい。

図1にCSSの利用概観を示す。これは、筆者の一人が書きためた研究メモを用いてCSSを利用した例である。CSSはUNIXワークステーションのX-window上で構築され、マルチウィンドウによるGUIを提供する。空間中の長方形のアイコンはテキストオブジェクト、長円形のアイコンはキーワードを表す。図中に見られる通り、キーワードの宣言や重要度の変更はポップアップされたリストを使ってインタラクティブに実行できる。また、キーワードの宣言に関する変更は、空間再構成の際に空間配置の変化を引き起こす。

3 概念 - 概念素間の関連性の可視化

ここでは、CSSを個人で利用した例を用いて、CSSが人間の概念形成をどのように支援するのかを議論する。

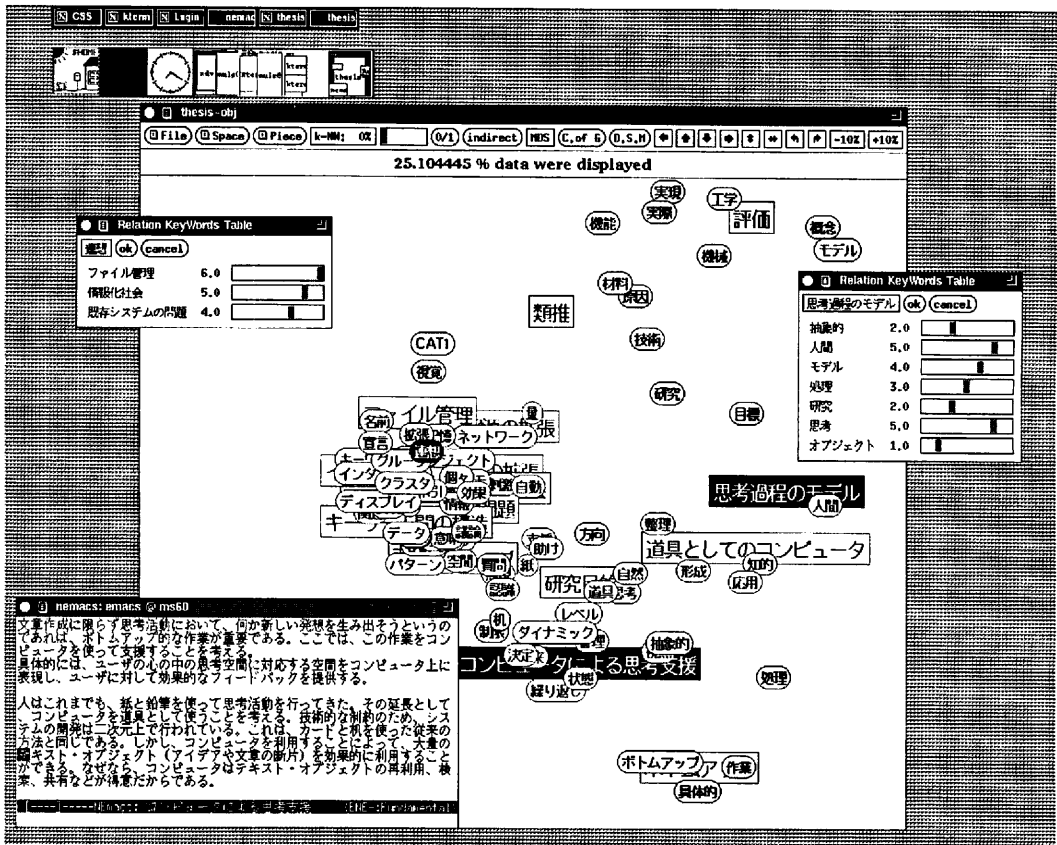


図 1: CSS の利用概観

3.1 概念形成のダイナミクスとその支援

筆者らは、「一つ概念はいくつかの概念素が集まって構成される」というモデルを採用して、システム開発を行なっている。また、概念形成においては、その概念を構成する概念素が離合集散を繰り返すという仮定をおく。さらに、概念素の集合は固定的なものとは限らず、人間と外界とのやりとりの中でダイナミックに構成されるものと考えている [4]。このような考えは、これまでも多くの認知科学研究者や哲学者が採用してきたものである [8, 9]。ここで、テキストオブジェクトをユーザの心の中に浮かんだ tentative な概念にとらえ、キーワードを概念の構成要素としての概念素にとらえ、筆者らがこれまでに開発してきた発想支援システムは、このモデルにおける概念形成のダイナミッ

クスをシミュレートするものであると考えられる。そして CSS は、特に概念 - 概念素間の関連性（共起性、階層性など）を可視化する道具であるにとらえることができる。

概念 - 概念素間の階層構造は、テキストオブジェクト - キーワード間のそれと固定的に対応しているとは限らない。ユーザは、最初から概念 - 概念素間の階層性を意識しながら思考空間を構築することは困難であるため、とりあえず心の中に浮かんだアイデアの断片をテキストオブジェクトとして切り出せば良い。しかしそのために、比較的関連性の高い概念に関する記述が複数のテキストオブジェクトにまたがってしまったり、逆に、複数の概念が同一のテキストオブジェクトに混在してしまうことが度々ある。CSS は、このように複数のテキストオブジェクトの中に散在した概念を、その構成要素である概念素（ここではキーワード）の離合集散によって再構成し、

その結果を可視化してユーザに提供するものである。したがって、CSS が再構成する思考空間上に生ずるキーワードのクラスタは、テキストオブジェクトとしての分類とは別の分類を生み出し、これらはユーザの心の中に新たに発生する概念の候補となると考えられる。また、CSS が出力する空間情報は、概念間の位相関係を表すパターン情報としてユーザに提供されるため、概念-概念素間の非階層的な関連性もユーザに提供することができる。

3.2 CSS が呈示する概念素間の関連の分析

CSS が出力する空間配置には、概念素のクラスタが現れる。図1の中でユーザの興味をひいた概念素の組合せに印をつけたものを、図2に示す。以下では、図2をもとに、CSS が出力した空間配置の中に生ずる概念素のクラスタの中に概念素間の関連の存在を見出し、その意味づけを検討する³。

- 二つのキーワード「支援」と「助け」は、テキストの中で大変似通った文脈において使われていることを示している。そして、この共起性は二つのキーワード（概念素）が言い替えの関係にあることに起因すると考えるのが妥当であろう。このようなことから、ユーザの言葉の使い方の嗜好性がわかる。
- キーワード「宣言」と「キーワード」を見ると、

「キーワード」を「宣言」する

といった述語と目的語の関係と見ることができそうである。

³以下の例では、主に二つのキーワードの組合せの場合を議論する。しかしこのことは、キーワード同士でなければならないとか、二つの組合せでなければならないといったように、思考法を制限することを意図したものではない。場合によっては、テキストオブジェクトとキーワードからなる3つ以上の組合せから、新たな発想への刺激を得ることもある。

- キーワード「CAT1」と「視覚」の共起性は、「CAT1」が「視覚（化）」の手段もしくはは道具であることを表しているように見える。
- キーワード「モデル」と「概念」の場合を見ると、一見、これらの概念はまったく異質のものであるように思われる。しかしこの実験例のユーザである筆者のひとりにとっては、

「概念」を表象した (represent) ものが「モデル」である

という関係が直ちに目に出された。このような解釈は、ユーザがこの思考空間を作ったときの文脈に依存するものである。文脈によっては、「概念」や「モデル」という言葉は他の言葉（概念素）と共起関係を持つこともあり得る。つまり、CSS はユーザの視点やおかれている文脈を可視化し、そのスナップショットを記録する能力を持つものであると考えられる。

以上で見てきたことから、CSS で可視化される概念素間の共起関係は、概念を構成する概念素間の様々な関係を区別無く包含したものであると解釈できる。これらの関係は、一般的な知識表現（モデル表現）体系の中では、例えば、抽象-具体関係、全体-部分関係、主語-述語関係、機能-データ関係、同値関係といった知識表現プリミティブを用いて記述されるものに対応すると考える。CSS のユーザは、最初から概念や概念素間の関係の種類などを意識する必要はなく、CSS が出力する思考空間全体を見渡しなが、徐々に部分部分の局所的な概念素間の関係を分析していけば良い。

これまで、概念やその構成要素を整理・構造化する作業を支援するためのシステムが開発されてきたが、それらの多くは、概念の構成要素同士の関連を与える際に、あらかじめシステムが用意した様々な意味づけを付与することをユーザに求める（例えば、[10, 11]）。しかし、概念形成における概念と概念素の関係は、変化を繰り返すことにより徐々に定まってくるものであると考えられ、最初からその組合せと種類を固定することはユーザにとっての制約が強過ぎると思われる。それに対して CSS のユーザは、

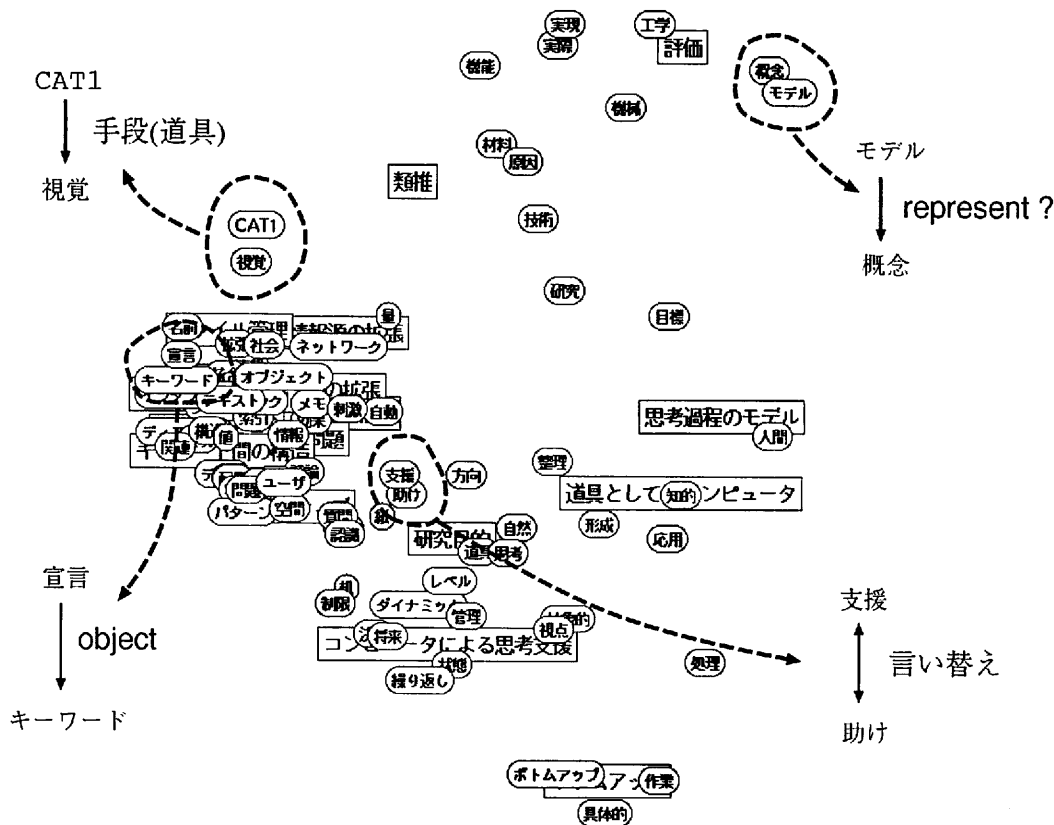


図 2: CSS が出力した空間中に見られる概念素の共起関係の解釈

概念素間の関連の存在さえも意識せずに作業を始めることができ、システムが生成する空間配置の中に概念素間の関連の候補を見出し、それから、それらに対する意味づけを考慮することができる。概念素間の関連の存在とその意味づけを記述する作業を支援する必要があるのは、それからである⁴と考える⁴。

4 複数ユーザの主観的視点の相違の顕在化

人間の創造活動について考えるとき、それは発散的思考と収束的思考の組合せとして論じられることが多い[13, 14]。発散的思考とは、視野

⁴筆者らは、概念素間の関連の記述（モデリング）に関する研究も行っており、その研究成果と CSS を統合することによって、ソフトウェア開発の要求モデル生成支援システムを開発している [12]。

を広げて代替案を探し、外部から得られた概念を思考プロセスの中に取り込む作業である。収束的思考とは、複数の代替案の中からふさわしいものを選ぶ、もしくは独自の概念に絞り込む作業である。創造活動においては、これらの思考が繰り返されると考えられるが、新たな発想を得るためには、その初期フェーズにおいて特に発散的思考が必要不可欠であると思われる。

コミュニケーションにおいても、両方の思考が重要であると思われるが、我々が、自分だけの思考プロセスにはまり込んでしまったときに他人とのコミュニケーションを必要とするのは、まさに発散的思考を行なうためであると考えられる。複数ユーザで CSS を利用することは、特にコミュニケーションにおける発散的思考を支援することをねらいとしている。

筆者らはこれまで、コミュニケーションにおける発散的思考には、個人の主観や視点を積極

的に伝え合うことが重要であると主張してきた[3, 2]。CSSを利用することによって可視化される思考空間の構造は、ユーザのおかれた文脈に強く依存する。言い替えると、CSSは個人の主観的視点を可視化する道具であるとも言えよう。

[3]では、CAT1を利用することによる個人の主観的視pointsの顕在化とそれらを伝え合う効果を議論するために、2人のユーザによる利用実験を行なった。その実験は、情報工学や認知科学に興味を持つ2人の研究者に対し、12の共通の話題を与え、各自がそれらの話題に関するキーワードを自由に宣言して思考空間の構築を行なうというものであった。この実験では、CAT1を利用することにより、各ユーザの思考空間の構造の相違が可視化され、各自の持つ概念間の関連性や興味の違いを伝え合うための有効な議論を喚起させる効果があることが確認された。

今回は、同様の実験をCSSを用いて行なった。[3]の実験の際に用いたものと同じ12の話題⁵を用いて、3人のユーザを被験者として実験を行なった結果を、図3に示す。図中で横に並んだ二つの組合せごとに一人のユーザの利用結果を示している。右側の図は、見易くするために、左側の図中からテキストオブジェクトのみを表示したものである。

CSSを利用することにより、ユーザごとの思考空間の構造の相違が顕在化された。と同時に、各ユーザの心の中の概念を構成している概念素とそれらの関連性を可視化することができた。したがって、各ユーザの興味(視点)の相違や、言葉の使い方の相違などを、CAT1を利用する場合よりも深く伝達・理解し合うことが可能となった。このような作業を行なうことは、無意識のうちに起こり得るコミュニケーションギャップを埋める効果があると共に、グループ活動における共働発想とでも呼ぶべきような現象、つまり、一人では気づかなかつたが、グループ内のコミュニケーションを通して初めて新たなアイデアが生じたというような現象を引き起こす可能性を持つ。

⁵ユーザに与えた12の話題は、CSCW、コネクションズム、ハイパーテキスト、マルチメディア、心の社会、類推、グループウェア、多次元空間の視覚化、認知科学、心における計算、発想、思考過程、自己組織化、である。

5 複数ユーザの思考空間のすり合わせ

前節では、CSSを用いてユーザごとに思考空間を構築し、それらを互いに見せ合うことが、各ユーザの視点の相違や言葉の使い方の相違を、認識・伝達し合う効果を持つことを述べた。本節では、その作業をさらに積極的に支援するために、CSSを用いて構築された複数ユーザの思考空間をすり合わせる手法について述べる。

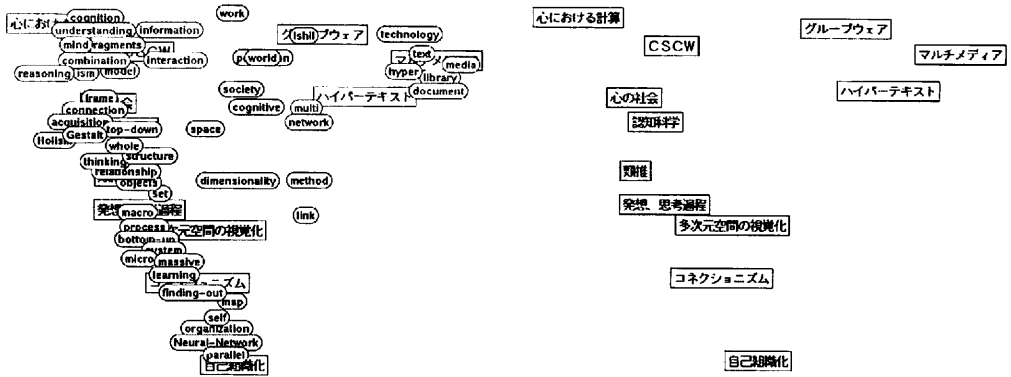
ここで、図3中のユーザAとユーザCの思考空間に注目してみたい。各ユーザがキーワードとして宣言している言葉は、互いに関連性が無いように見える。しかし、テキストオブジェクト集合の配置のみに注目すると、それらの構造は似通っている部分が多いことに気づく。この事実より、この2人はまったく独立にキーワードを宣言しているにも関わらず、2人は無意識のうちに似たような概念(テキストオブジェクト)グループに対してキーワードを共有させる傾向があると考えられる。そして、同じ概念グループに対して各ユーザが宣言したキーワードの間には、関連性が発見される可能性があると思像する。

このことを検証するために、2人の思考空間のすり合わせを試みた。ここでは、2人の思考空間がテキストオブジェクト集合を共有していること⁶を利用し、それらを媒介としてそれぞれのキーワード間の共起関係を再構成する方法を用いた(図4参照)。これは、各思考空間におけるテキストオブジェクトとキーワードの宣言関係を保ちつつ、それぞれの空間で宣言されたキーワード集合を同一のキーワード空間へ混在させるという単純な方法である。

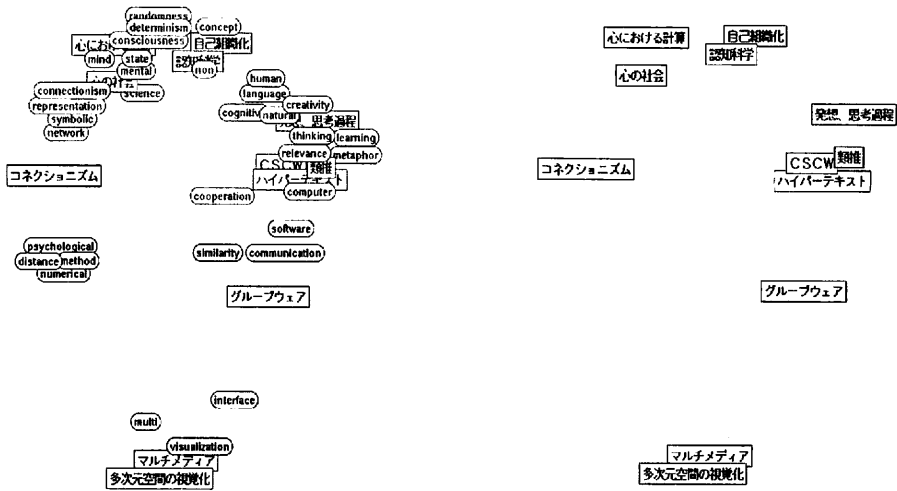
以上の方法で再構成された空間配置を、図5に示す。ただし、長円形のアイコンはユーザAが宣言したキーワードを表す。また、反転表示され、キーワードの後に“-C”と書き足された楕円系のアイコンが、ユーザCの宣言したキーワードを表す。

図5を見るとわかるように、複数ユーザの思考空間のすり合わせは、それぞれの思考空間の単

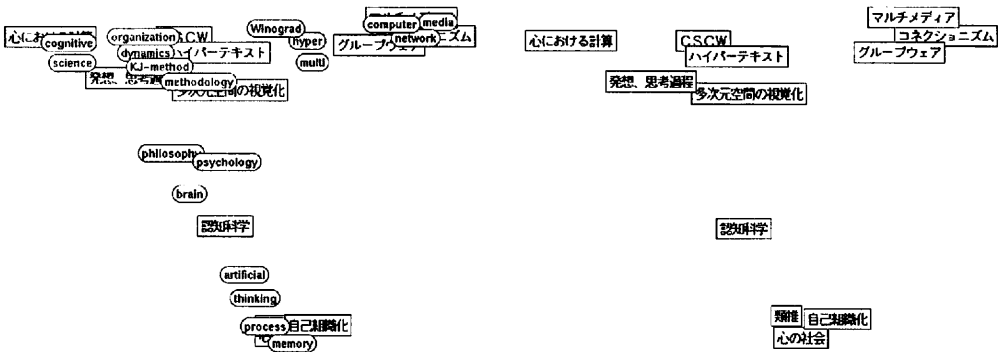
⁶2人の思考空間がテキストオブジェクト集合を共有しているのは、あくまでも字面の上でだけである。それらの概念に対応する心的内容や互いに関連づけは各ユーザごとに異なり、その様子を可視化することがこの実験の目的である。



(1) ユーザAの思考空間



(2) ユーザBの思考空間



(3) ユーザCの思考空間

図 3: CSS を用いて複数ユーザの思考空間の相違が顕在化された例

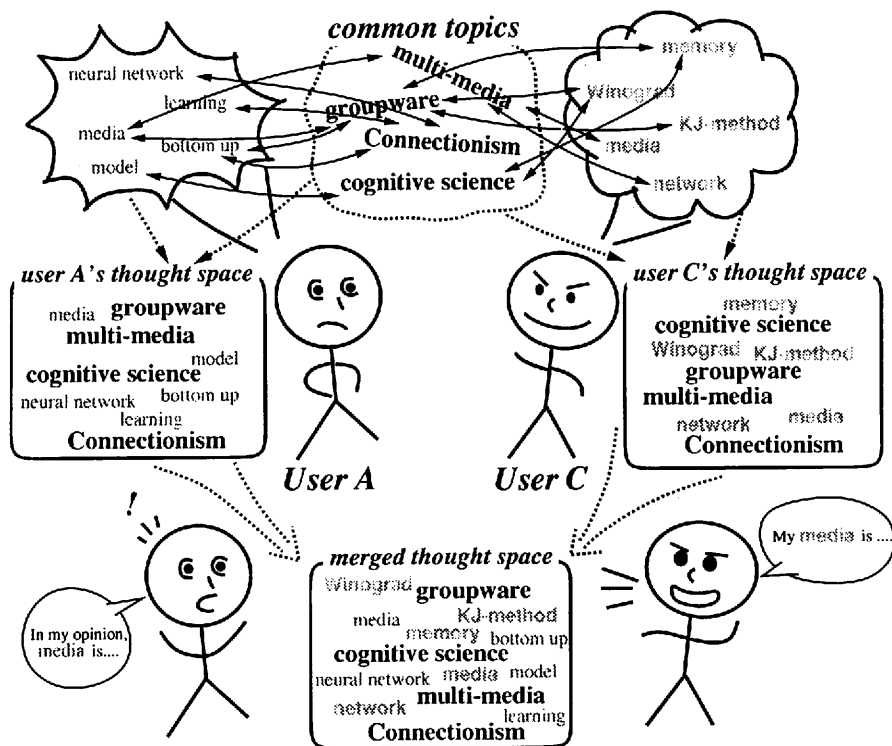


図 4: 2 人のユーザの思考空間のすり合わせの概念図

なる重ね合わせではなく、新たな構造を再構成していることに注目したい。このことにより、ユーザ A とユーザ C の概念素（キーワード）の関連性が可視化された。

図中に矢印で印をつけたのは、2 人のユーザが偶然同じ言葉を用いて宣言したキーワードを示すものである。これらを見るとわかるように、“hyper”、“media”、“multi”、“network”といった技術的な用語は非常に近くに配置されている。これは、2 人が似たようなテキストオブジェクトの組合せにおいてこれらの用語を利用したこと起因する。このことから、これらの専門用語に対して 2 人が持っている文脈は大変似通っていることが読みとれる。

その一方で、“cognition”や“process”といった抽象的もしくは一般的な言葉で表現されるキーワードは、若干離れて配置されている。このことから、ユーザ A の視点から見た“cognition”とユーザ C の“cognition”の間に多少のずれがあることが明らかになる。周辺に集まるキーワード

は、その視点のずれを分析し、さらには、そのずれを埋めるための 2 人の対話の足掛りとなるものであった。

また、空間中央には“method”という表現に近いキーワードが集まっていたことから、2 人は各々が興味を持っている方法論的課題について情報交換をするきっかけを与えられた。

以上で見てきてのように、CSS を利用し、場合によっては複数ユーザの思考空間のすり合わせを行なうことにより、各ユーザの心の中の概念構造の相違を分析することが容易になり、さらにその理由を探求するための新たな対話のきっかけが得られた。このような形態のコミュニケーション支援は、研究活動におけるディスカッション、人工物一般の概念設計者と論理設計者の対話、専門知識の教授者と学習者の会話など、様々なグループ活動に適用可能であると考え⁷。

⁷実際に、筆者らはソフトウェア開発におけるユーザの要求分析に本章で紹介した手法を利用した [15]。そこでは、曖昧で抽象的な要求しか持っていないユーザの要求空間と、



図 5: 2 人のユーザの思考空間のすり合わせの例

6 むすび

ユーザの思考空間を可視化することによるコミュニケーション支援システム CSS を紹介した。コミュニケーションを促進するためには不可欠であると考えられる、個人に依存する心の中の概念とそれらの関連性を伝え合うために、ユーザのアイデアや知識とそれを構成する概念素の関連性を、距離空間上に可視化する方法を提案した。CSS を利用することにより、ユーザの思考空間の可視化が可能となり、それにもなって言葉の使い方の個人差や、個人の主観的見解の相違が顕在化されることが確かめられた。

本稿では、個人の思考空間や、他人の思考空

具体的ソフトウェア構造を持つ事例空間をすり合わせ、ユーザの要求と過去のソフトウェアの機能構造との関連性を可視化する手法の提案を行ない、その有効性を検証した。

間との相違の顕在化を目的としたため、個人が CSS を利用する状況を対象とした。しかし、グループにおけるコミュニケーション支援を考えるとき、グループの共有思考空間として CSS を利用することも可能であると思われる。[16]では、グループによるフリーディスカッションにおける意味構造の可視化を試み、そのためのツールとして CSS を利用した。

今後は、CSS を、ユーザの類推を刺激するような異分野間コミュニケーションの支援に適用することを検討したい。また、CSS はユーザの心的内容のパターン情報を提示するものであり、そこに意味を見い出したり、それを記号情報として記述する作業はあくまでもユーザが行なっている。今後は、それらの記号情報生成を自動化することを課題とし、例えば、グループディス

カッションを活性化するための新たなキーワードを提示する手法 [17] との統合を検討したい。

謝辞

実験への協力と有意義なコメントをいただきました、東京大学の旧大須賀・堀研究室の諸氏に感謝致します。また、本研究を継続する機会を与えてくださった(株)ATR 知能映像通信研究所社長の中津良平氏に感謝致します。

参考文献

- [1] Koichi Hori. A system for aiding creative concept formation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 24, No. 6, pp. 882-894, 1994.
- [2] 杉本雅則, 堀浩一, 大須賀節雄. 設計問題への発想支援システムへの応用と発想過程のモデル化の試み. *人工知能学会誌*, Vol. 8, No. 5, pp. 575-582, 1993.
- [3] 角康之, 堀浩一, 大須賀節雄. テキストオブジェクトを空間配置することによる思考支援システム. *人工知能学会誌*, Vol. 9, No. 1, pp. 139-147, 1994.
- [4] 堀浩一. 発想支援システムの効果を議論するための一仮説. *情報処理学会論文誌*, Vol. 35, No. 10, 1994.
- [5] A. Koestler. *The Act of Creation*. Peters, London, England, 1964.
- [6] 西里静彦. 質量データの数量化 - 双対尺度法とその応用 -. 朝倉出版, 1982.
- [7] 小川竜太. ヒューマンコミュニケーション支援に関する研究 - 要求仕様作成支援の一方法 -. 修士論文, 東京大学大学院 工学系研究科, 1994.
- [8] R. A. Finke, T. B. Ward, and S. M. Smith. *Creative Cognition*. MIT Press, 1992.
- [9] Michael Polanyi. *The Tacit Dimension*. Routledge & Kegan Paul Ltd., London, 1966. 伊東俊太郎訳: 暗黙値の次元, 紀伊國屋書店, 1980.
- [10] Christine M. Neuwirth and Davis S. Kaufer. The role of external representations in the writing process: Implications for the design of hypertext-based writing tools. In *Hypertext '89 Proceedings*, pp. 319-341, 1989.
- [11] Marc Eisenstadt, John Domingue, Tim Rajan, and Enrico Motta. Visual knowledge engineering. *IEEE Trans. on Software Engineering*, Vol. 16, No. 10, pp. 1164-1177, 1990.
- [12] 角康之, 堀浩一, 大須賀節雄. ソフトウェアの要求モデル構築における発想支援とモデル生成. *人工知能学会全国大会 (第9回)*, pp. 439-442, 1995.
- [13] K. Imai, I. Nonaka, and H. Takeuchi. Managing the new product development process. In *75th Anniversary Colloquium Productivity and Technology*, pp. 28-29. Harvard Business School, 1984.
- [14] 國藤進. 発想支援システムの研究開発動向とその課題. *人工知能学会誌*, Vol. 8, No. 5, pp. 552-559, 1993.
- [15] 角康之, 堀浩一, 大須賀節雄. 要求空間を可視化することによるソフトウェアの要求モデル構築支援. 竹内彰一 (編), *インタラクティブシステムとソフトウェア II*. 近代科学社, 1994.
- [16] 角康之, 間瀬健二. グループディスカッションにおける話題空間の可視化. *情報研報: ヒューマンインタフェース*, H162-12, 1995.
- [17] Kazushi Nishimoto, Shinji Abe, Tsutomu Miyasato, and Fumio Kishino. A system supporting the human divergent thinking process by provision of relevant and heterogeneous pieces of information based on an outsider model. In *Proc. AIE/IEA-95*, pp. 575-584, Melbourne, 1995.

付録 双対尺度法を用いた空間配置

	keyword ₁	keyword ₂	...	keyword _m
object ₁	2.0	—	...	1.5
object ₂	—	2.5	...	1.0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
object _n	—	1.5	...	—

上記の形式で $n \times m$ のテキストオブジェクト \times キーワード行列が与えられたとする。ただし、要素に値が入っている場合は、そのキーワードがそのテキストオブジェクトに宣言されている状態を示し、値はユーザが与えたその重要度を表している。値が入っていない要素は、そのキーワードがそのテキストオブジェクトに宣言されていない状態を示し、実際は行列中の大半がこの状態になっている。ここでの目標は、これらのテキストオブジェクトやキーワードの分類や全体の傾向の認識を助けるような情報の可視化を行なうことである。

そのための一手段として、双対尺度法ではデータオブジェクト（ここではテキストオブジェクト）と属性（ここではキーワード）のそれぞれに得点変量

$$\mathbf{x} = {}^t(x_1, x_2, \dots, x_n), \mathbf{y} = {}^t(y_1, y_2, \dots, y_m)$$

を与える。そして、似た組合せの属性を持つデータオブジェクト同士が近い得点を持ち、同時に、似た組合せのデータオブジェクトに属する属性同士が近い得点を持つように得点ベクトルを決定する。つまり、以下に示すようにオブジェクト i が属性 j を持つとき、 (x_i, y_j) という組を作り、この組 (x_i, y_j) によって求まる相関係数が最大になるようにベクトル \mathbf{x} と \mathbf{y} を決定することになる。

		keyword ₁	keyword ₂	...	keyword _m
		y_1	y_2	...	y_m
object ₁	x_1	2.0 (x_1, y_1)	—	...	1.5 (x_1, y_m)
object ₂	x_2	—	2.5 (x_2, y_2)	...	1.0 (x_2, y_m)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
object _n	x_n	—	1.5 (x_n, y_2)	...	—

\mathbf{x} により重みづけられたオブジェクト集合と \mathbf{y} により重みづけられた属性集合の相関係数は、

$$\frac{\text{オブジェクト集合と属性集合の共分散}}{\sqrt{\text{オブジェクト集合の分散}} \cdot \sqrt{\text{属性集合の分散}}}$$

で表され、 $\bar{x} = \bar{y} = 0$ とするところでは

$$\frac{{}^t\mathbf{x}F\mathbf{y}}{\sqrt{{}^t\mathbf{x}D_n\mathbf{x}} \cdot \sqrt{{}^t\mathbf{y}D_m\mathbf{y}}}$$

となる。ただし、 F は与えられたデータ行列、 D_n は F の行の周辺度数（同じ行の値の総和）を対角項に持つ行列、 D_m は F の列の周辺度数を対角項に持つ行列である。

詳細は [17] に譲るが、上式の値を最大にするような (\mathbf{x}, \mathbf{y}) を決定する問題は固有値問題に帰着され、それを解くことにより、解が一意に得られる。最大固有値に対応する (\mathbf{x}, \mathbf{y}) はデータの分散を最も顕在化するものであり、第2固有値以降は、それよりも上位の固有値に対応する (\mathbf{x}, \mathbf{y}) の影響を差し引いた残差について、その分散を最も顕在化する (\mathbf{x}, \mathbf{y}) に対応する。

注目すべき点は、 \mathbf{x} と \mathbf{y} は一意に対応して決まり、双対尺度法においては、それらを同一尺度上での値として解釈することである。

本稿で紹介した CSS は、上位2つの固有値に対応した (\mathbf{x}, \mathbf{y}) を2組採用し、2次元平面上にテキストオブジェクト集合とキーワード集合を配置している。

したがって、数学的に厳密に考えるならば、2本の軸はそれぞれ独立に解釈されるべきものである。しかし本研究では、発想のトリガとしてこの手法を利用していることから、CSS のユーザには数学的な厳密さを強要していない。事実 CSS では、双対尺度法の出力結果をユーザが自由に回転させることができ、ユーザが双対尺度法によって得られる解の軸とは平行ではない方向にも自由に空間の軸を見い出すことを奨めている。