

## 人間-機械系による創造 – 発想支援ツールの位置づけ –

Computer Tools Augmenting Human Creativity – Example of Concept Formation Support Tool –

角 康之                      西本 一志                      間瀬 健二  
Yasuyuki SUMI              Kazushi NISHIMOTO              Kenji MASE  
(株)ATR 知能映像通信研究所  
ATR Media Integration & Communications Research Laboratories  
{sumi, knishi, mase}@mic.atr.co.jp

## Abstract

In this paper, we show examples of integrating our concept formation support tools with conventional knowledge based systems, and discuss creativity by human beings and intelligent systems. Our support tools for concept formation provide users conceptual spaces, which preserve topological structure between concepts that would be omitted when we transform informal and nebulous ideas into a set of formal symbols. Such topological structure between concepts is essential for interaction between knowledge based systems and their users; that makes more creative collaboration between human and machines.

## 1 はじめに

本論文では、筆者のグループが開発してきた発想支援ツールの効果を評価することを通して、人間-機械系による創造形態を検討する。ただし、ここでいう創造とは、研究開発における人工物(工業製品、ソフトウェア、ドキュメントなど)の創造や、人間同士のコミュニケーションにおける創造的な対話(アイデアの伝達・共有、レトリック)、アナロジーを用いた問題解決などを含む、人間による高度なレベルの創造を指す。

ここでは筆者のグループが開発してきた発想支援ツールとその知識処理系との統合例を紹介し、人間と機械の有機的な共同による創造形態を提案する。現状では機械だけによる創造に期待することはできないが、発想支援ツールは、ユーザと知識処理系の間に入ってユーザの創造性を高めてくれる[堀 97]という立場をとる。

筆者らが開発してきた発想支援ツールはユーザの心的な概念空間(conceptual space)を外在化することを支援するものであり、ユーザが入力したアイデアの断片を統計処理し、概念空間の空間構造を可視化する。ユーザはツールか

ら提示された概念空間を操作しながら、自分のアイデアを再認識したり再構成したりする。

本論文では、このような概念空間を可視化する発想支援ツールを、記号処理による推論システムや情報検索システムといった知識処理系<sup>1</sup>と統合することにより、ユーザである人間の創造性を促進する効果を示す。我々の発想支援ツールが採用する概念空間表現は、知識処理系を利用するために対象世界を記号化する際に抜け落ちてしまう概念間のtopologicalな構造を保持し、ユーザ(人間)と知識処理系(機械)の間のinteractionの場を提供する。

従来の記号主義、合理主義、客観主義などの限界を指摘し、それに代わるアプローチを提案する議論(例えば、[Johnson 87, Gärdenfors 96])や新しい科学論(例えば、[Polanyi 66, Hesse 66])を見ていると、「メタファー、アナロジー、主観性、個人的知識、身体、…」といったキーワードが散見される。これらの議論と我々のとる「概念空間表現」アプローチの関連も議論する。

Figure 1に本論文の内容の概観を示した。これは同時に、我々が開発したシステムの使用例でもある。詳細は後で述べるが、長方形のアイコンはユーザが入力したテキストに対応し、長円形のアイコンはそれらから抽出されたキーワードを表す。本論は空間中の左上部分にある、発想支援ツールと知識処理系との統合事例の紹介を通して、人間-機械系による創造形態の議論である。それを支える「概念空間表現」アプローチとその思想的背景、さらにはそれとメタファー、アナロジーとの関連が空間の中心から右側へ広がっている。また、これらの共通した背景として、概念(意味)の認知や創造には「身体」が不可欠である、との議論を導入し、身体を持たない機械による創造は不可能であり、現状では発想支援ツールを介在した人間-機械系がより良い創造形態であると主張する。

<sup>1</sup>本論文では、記号処理を中心とした従来の大部分の人工知能システムを知識処理系と呼ぶ。

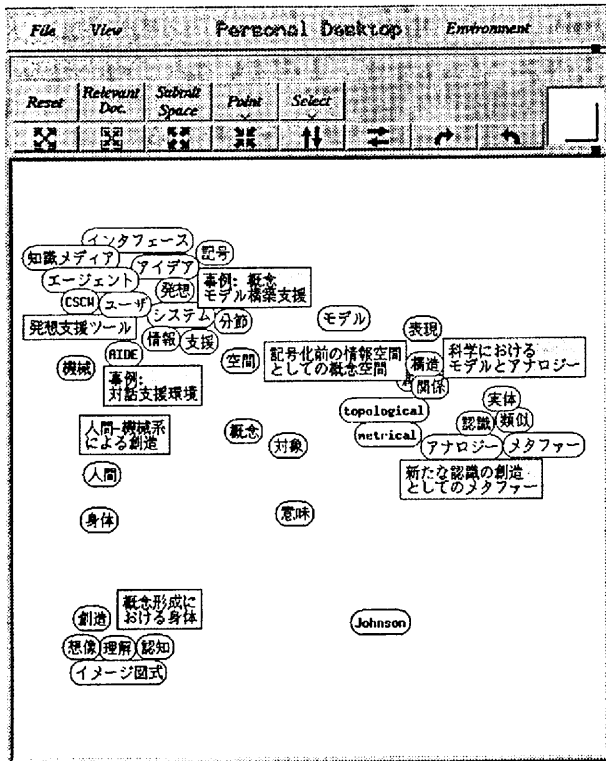


Figure 1: Overview of this paper, as well as an example of conceptual space shown by our tool.

## 2 前記号的な情報表現としての概念空間

最初に述べたような高度な創造活動においては、心の中に現れる新しい実体やそれらの集合を代表する概念を、既存の記号の集合だけで表現することが非常に困難であることが度々ある。その理由として考えられるのは、その概念(もしくは実体)がまったく新しいものであるため、それを表現する普遍的な記号がまだ存在していないか、もしくは、記号は与えられているのだが、その概念を形成する実体集合の間に必要十分な属性が存在しない、つまり、概念が多義的であるためであると考えられる。このことを考えると、新しい概念の発見や、既存の概念の新しい側面の認識が最も重要な役割を演ずる創造活動を、既に用意された記号の集合の操作だけで処理しよう、とすること自体が無理なのだと考えられる。Johnson は、従来の記号処理の上になつて意味論が根本的に間違えているのは、意味、理解、推理のすべての面で想像力が果たしている中心的役割をまったく無視していることだ、としている [Johnson 87]。

そこで我々は、元々、概念間には静的・一意的な境界など無く、概念を形作る境界や概念間の関連は、対象を見る主体の目的に応じて動的に現れ得るものである、と仮定する。そして、未分節な(記号化前の)対象世界を表現・操作するための体系として topological または metrical な構造に意味を持つ概念空間を採用する [Hori 90]<sup>2</sup>。概念空間内

では、概念間の関連性(類似性)は topological な関係で表現される。ここでの重要な仮定は、未分節な概念でも、既存の記号集合で構成される概念空間の中には落ち着くべき位置がある [堀 86]、というものである。

筆者のグループはいくつかの概念空間表現方法を検討し、それらをアイデア生成、情報検索、知識獲得、要求獲得、コミュニケーション支援などに応用するため、複数の発想支援ツールを開発してきた。Figure 1は現在開発中である AIDE と呼ばれる対話活性支援システムのサブシステム Personal Desktop の使用例である。概念空間の可視化手法としては [角 96a] を用いている。Figure 1の例では、ユーザである筆者の一人が本論文を執筆するにあたって、関連すると思われる知識やアイデアの断片をテキスト形式で入力したものである。入力されたテキストは概念空間内ではテキストオブジェクトと呼ばれ、長方形のアイコンがテキストオブジェクトを表し、ユーザがつけたタグが表示される。長円形のアイコンは入力されたテキスト内から自動抽出されたキーワードである。システムは新しいテキストが入力される度に、キーワードを自動抽出し、それらのキーワードの共有度でテキストオブジェクト間の類似度を定量化し、統計手法を用いて、それらの構造を距離空間内に可視化する。ユーザは概念空間上でキーワードの追加や削除、重要度の変更などを行なうことができ、その操作結果は空間の構造の再構成に反映される。

ユーザは、心の中にある概念が浮かんでくると呼応して、概念空間内に境界、逆に言えばアイコンのクラスタを見いだす。テキストオブジェクトやキーワードのアイコンは、ユーザの認識を促すと共に、空間中に現れる概念を構成する要素にもなりうると考える。概念空間表現の利点は、概念やそれを構成している要素間の topological な関係を表現していることであり、ユーザは要素間の隙間やそれらの spatial な関係の中に、記号化された体系の中では見落としてしまう記号間の関係を見いだすことができる。

科学哲学者は科学の歴史の中での役割の大きさとして [Hesse 66]、認知意味論者は従来の記号主義で捨て去られた部分を指摘するために [Johnson 87]、それぞれの立場でメタファーやアナロジーの重要性を指摘している。それらに共通した見方として、二つの対象の間に新しいメタファー(またはアナロジー)を導入(認識)することによって、一方の馴染みの属性が他方において顕現する、または、どちらにとっても認識されていなかった新たな意味属性が認識される、という効果があることを指摘している。

概念空間内ではこのような現象が度々観察される。例えばあるユーザ X が構築した概念空間内で、概念 A と概念 B が近くに配置されていたとき、そのことが他のユーザ Y にとって理解できない奇妙な関係であった場合、それらはメタファーなのである。ユーザ X の心的内容は、概念空間を参照することによって、より豊かにユーザ Y に伝わる

<sup>2</sup>[Gärdenfors 96]も類似した議論を展開しているが、工学的な具体性に欠ける。

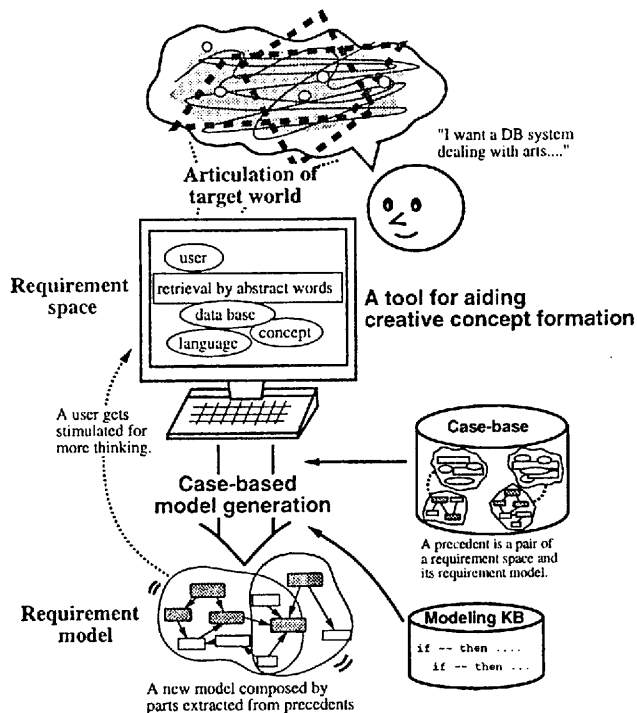


Figure 2: Outline of a system for aiding construction of requirement model in software design.

と思われる。また、ツールが提示する空間配置は、しばしば概念空間を構築しているユーザ自身にとっても概念間の新しい関係の発見を促すことがある。この場合は、ツールがメタファー認識のきっかけを提示したと考えることができる。ただし、ツール自身には何も伝えるべき意思も概念もないはずであるから、ツールがメタファー自身を提示した、とは考えたくない。

### 3 事例 1: 概念モデル構築支援システム

以下の2つの章では、前章で紹介したような発想支援ツールを、知識処理系と統合した事例を紹介する。

発想支援ツールはユーザの心の中に浮かぶ概念をユーザ自身が認識し、操作できるようにユーザの心的空間を弱構造の概念空間として表現することを支援する。と同時に、それはユーザの問題解決の一部をコンピュータに委託するために、ユーザの概念空間の一部を、知識処理系で操作可能な記号化された情報へ変換するための第一歩でもある。

ここでは、ソフトウェア開発における要求モデル構築支援環境 [角 95] を例に、ユーザ、知識処理システム、発想支援ツールの相互関係を見てみる。Figure 2にソフトウェア要求モデル構築支援環境の概観を示す。

想定されるユーザは、例えば、情報工学の研究者であり、研究のテーマやアプローチを模索しつつ、それを具現化するソフトウェアを開発しようと考えている状況であると仮定する。そのような場合、ユーザは具体的なソフトウェア要求を前もって持っていないことが多く、ユーザの

問題対象世界そのものもまだ構造が定まっていないと思われる。そこで、ユーザは発想支援ツールを利用し、ソフトウェア要求の断片をメモとして書き出し、自分の要求空間 (requirement space) を構築する。発想支援ツールは要求空間を可視化してユーザに提供し、ユーザの要求獲得や要求分析を支援する。さらにシステムは、過去の開発事例等の知識を用いて、作業中の要求空間に対応する仮の要求モデル (requirement model) を生成し、ユーザに提示する。要求モデルとは、ユーザの要求を設計、実装などの下流工程に伝えるための初期モデルである。ソフトウェアとして実現される範囲に限らず、ユーザの要求や問題が存在する対象世界をモデル化したものであり、実体とそれらの間の関連で表現されたネットワークである。ユーザは、得られた要求モデルに修正を加える等の作業を行なうことにより、自分の要求概念を、ソフトウェアに関わる構造を持った要求モデルとして認識・分析することができる。そしてユーザは、さらに発想支援ツール上でインクリメンタルに要求空間の更新作業を続けることができ、その結果は、要求モデルの更新にも反映される。以上の作業を繰り返すことにより、ユーザは自分の要求概念を成熟させると同時に、その副産物としてコンピュータ内で表現・操作可能な要求モデルを獲得することができる。と考える。

また、最終成果物として生成される要求空間と要求モデルはペアで事例ベースに蓄えられ、次回以降のシステム利用の際に事例知識として利用される。つまり、システムの事例ベースは、システムを利用するユーザもしくはコミュニティの利用状況や作業ドメインを反映しながら成長していく。

発想支援ツール上で構築された要求空間を仮モデルに変換するために、知識処理系はいくつかのタスクを自動的に実行するが、ここでは、発想支援ツールの立場を議論する上で興味深い「事例からの要求モデル部品の抽出」について紹介する。ユーザが作業中の要求空間に現れる要求概念素 (キーワード) は概して抽象度が高過ぎるため、それらの表現に一致するオブジェクト (モデル中の実体や関連) を直接事例の要求モデル内から得ることは困難であることが多い。そこで、事例の要求モデルと対になって保管されている要求空間中に現れる概念素集合とまずマッチングをとり、その結果を介在して要求モデル内の部分構造を抽出するという手法をとった。

要求モデル部品抽出の例を示す (Figure 3参照)。

1. まず、ユーザが要求空間内の二つの概念素「可視化する」と「構造」の共起に注目し、「…の構造を可視化して欲しい」という要求概念を意識したとする。そこで、その要求概念に対応する要求モデル構造を事例から獲得しようとする。
2. 概念素「可視化する」と「構造」を要求空間内に含む

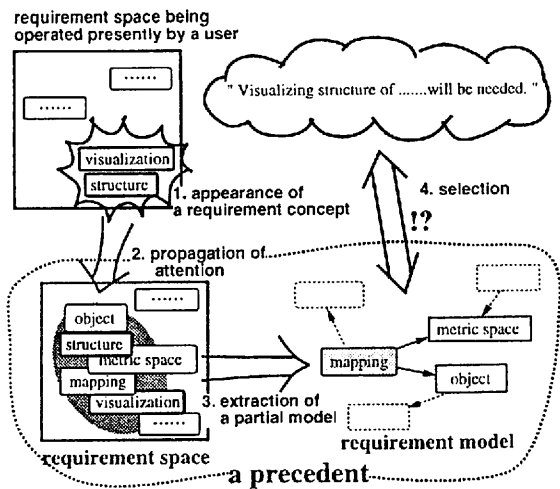


Figure 3: Extraction of a partial model meeting user's requirement concept from precedents.

事例が選択され、その要求空間内において、それら概念素の周辺に位置する概念素に活性が伝播する。図中の例では、「オブジェクト」、「距離空間」、「配置する」といった概念素に活性が伝播している。

3. これらの概念素と表現が一致するオブジェクト (実体、関連) が、その事例の要求モデル内に存在している場合、それらのオブジェクト間のリンク情報なども含めた部分を抽出する。
4. 複数の事例から抽出された要求モデルの部分構造が、ユーザの意図していた要求概念と関連しているかどうかをユーザが判断し、取捨選択する。

ここで注目してもらいたいのは、要求を出すのも、それに対する知識処理系 (機械) からの出力を評価・利用するのもユーザ (人間) である、ということである。が一方で、知識処理系は分節された情報を網羅的に処理し、ユーザが管理し切れない情報も提供してくれる。かと言って、自律性があるわけではないので、単独ではその効果を発揮し切れない。ユーザのメンタルモデルに近い情報を提供してくれる発想支援ツールが間に入ってくれるからこそ、知識処理系が生きるのだと考える。ここでは、発想支援ツールは、ユーザの要求獲得作業 (対象世界の分節作業) を支援するだけでなく、その後の要求モデル (分節された情報) の運用 (事例検索、事例集合からの仮モデル合成) においても活用される。

また、概念空間表現を利用することの特長として、上記のプロセス2で適用したような、記号 (概念) 間の spatial な関連性を陽に扱うことができる、という点を強調したい。このような情報は、記号処理単独で扱うのは困難であったと思われる。

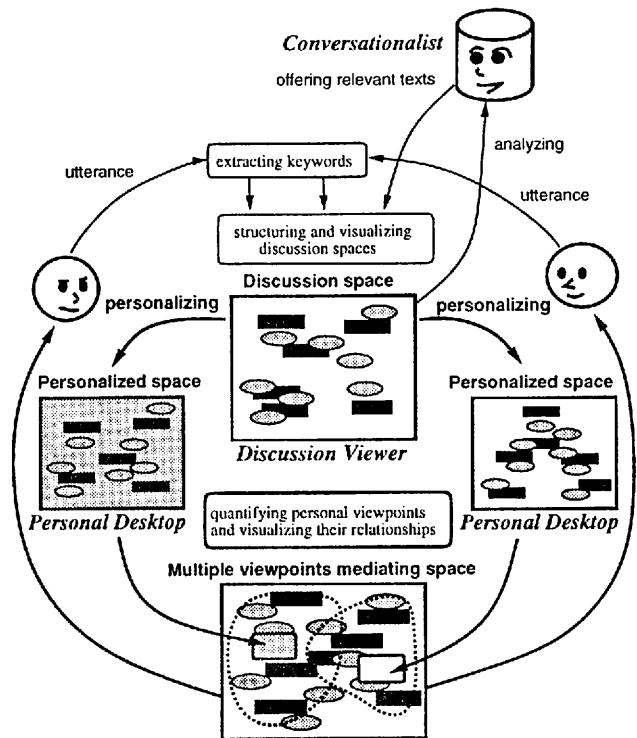


Figure 4: Configuration of AIDE.

#### 4 事例 2: 対話支援環境

現在、筆者らは AIDE (Augmented Informative Discussion Environment) と呼ばれる対話活性化支援システムを構築している [西本 96, 角 96b]。システムの構成を Figure 4 に示す。AIDE はチャット機能を有した単純な電子会議システムであるが、対話やそれを通じた協同発想、アイデアの共有を促進するために、従来のものと異なる点として、以下のような 3 つの機能を持つ。

第一に、対話の履歴を構造化し、それを可視化することによって、参加者全員が共有できるディスカッション空間 (Figure 4 中の Discussion Viewer) を提供する。これは前章までで紹介した発想支援ツールと同様の概念空間アプローチをとっている。ディスカッション空間上では、多くのキーワードを共有する発言同士は近くに配置され、逆に、発言集合内での共起性の高いキーワード同士は近くに配置される。

第二に、情報検索技術を統合し、ユーザの思考範囲の外部から積極的に情報提供を行なう。この機能はユーザの要求に応じて利用することもできるが、現在 Conversationalist と呼ばれる自律的に発言する仮想対話参加者として実装を進めている。それは、タイミングを計り、その時点でのディスカッション空間と関連するテキストを外部テキストベースから検索し、ディスカッション空間に投げ込む。

第三として、各ユーザは、必要なときにディスカッション空間を個人の思考空間としてコピーし、個人思考モードに入ることができる (Figure 4 中の Personal Desktop)。こ

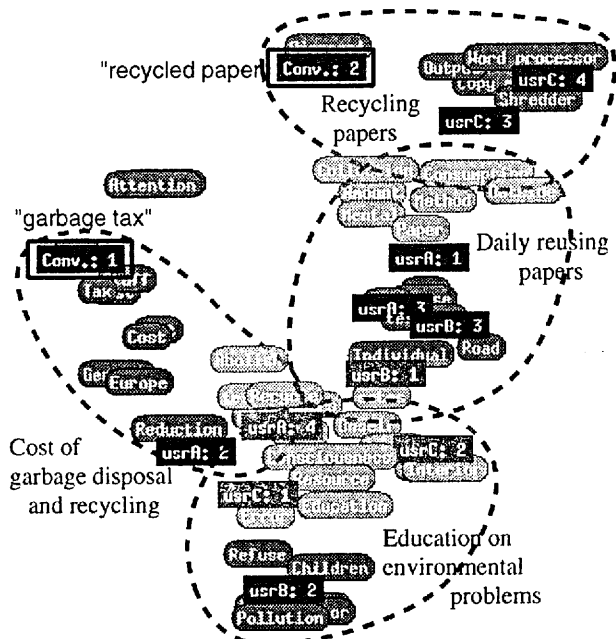


Figure 5: Example of discussion space on a subject “recycling paper”.

れも、これまでに紹介してきた発想支援ツールと基本的には同じものである。Personal Desktop上では、興味の無い発言やキーワードを削除したり、他の参加者には公開していない個人のメモ等を処理対象として加えることにより空間構造を再構成することができ、ディスカッション空間を個人化することができる。再構成された空間構造は各参加者の視点を表すものであると考えられ、それらを参加者全員で共有し合うことでアイデアを共有したり、更には新たな発想を期待することができると考え、現在、その積極的な支援手法の開発に力を注いでいる。

AIDEを利用して、同じ研究所に勤める3人(usrA, usrB, usrC)が、「研究所内の紙の再利用」について対話した際の Discussion Viewerのスクリーンショットを Figure 5に示す。図中の長方形のアイコンが発言を表し、どの発言者の何回目の発言なのかを示している。ディスカッション空間には発言を表すアイコンだけでなくキーワードを表すアイコンも表示される。そのため、図に示したように、話題のクラスタの存在を認識することが比較的容易になった。このことにより、ディスカッションからしばらく時間をおいた後でも、ディスカッションの内容や話題間の関連性を思い出すのが容易になる。

ここで“Conv.” というのは発言エージェントのことである。ただしこの実験では自律的な発言エージェントとしてではなく、ユーザが必要に応じて手動でテキスト検索を行なったものである。外部テキストベースから抽出・投入される関連テキストは、ユーザの発言を補う情報を提供したり、対話を新しい方向に導ききっかけとして働くことがあることが確認された。つまり、情報検索技術を対話環境

にシームレスに結合することにより、対話に関連する情報空間を拡大できると考える。近い将来には、発想支援系を媒体として、自律的に発言するエージェントと複数ユーザが対等な立場で対話する環境の実現を目指している。その際には、知識の内容や発言戦略の異なる個性豊かな複数の発言エージェントを対話に参加させ、ユーザである人間も含めたエージェント間の社会性なども議論したい。

しかしここで注意しなければならないのは、エージェントに対して表層的な発言戦略を与えることは可能かも知れないが、エージェントが対話内容の意味レベルで意思を持つのは無理だと考えている。つまり、対話参加者が忘れていた情報を提供することで対話を活性化すること等は可能であると考え、内容に踏み込んで、ある意図を持ちながら自ら対話を展開させることは不可能であると考え。しかし、発言エージェントが補ってくれた情報をもとに、ユーザがその中から「意図」を読み取ることはあり得るし、その効果に期待していることも事実である。

このように、我々は、知識処理系の一つである知的エージェントと人間(あえて、もうユーザとは呼ばない)がそれぞれの特徴を生かしながら有機的に協調するアーキテクチャに興味を持ち、その実装の場として CSCW(Computer Supported Cooperative Work)を採用している。[Stefik 86]ではこのようなアーキテクチャを知識メディアと呼んでおり、知識メディアは、これまで開発されてきた多くの知識処理システムが初めて人間と出会う場になるのではないかと考えている。

## 5 創造における身体的重要性

最近多くの人々が人工知能と身体に関連について議論するようになってきたが、例えば Johnson は、概念はイメージ図式と呼ばれるスキーマを介在して、運動-感覚の能力を持つ身体と密接に interaction しているのであるから、概念を身体から離れた理念的な記号集合だけで扱うことは不毛であると主張している [Johnson 87]。

我々も基本的にはこの考え方に賛成であり、身体(主体性、意図、自律性、評価基準)を持たない機械が単独で創造するのは無理であると考え。我々の研究の立場は、身体を持つ知的システムの開発は現状では難しすぎるが、人間は身体を持つことから、その人間の学習・思考能力と相補的な能力を持つ知識処理系を有効に活用する手段を考えるべきだ、というものである。そして、発想支援ツールは、身体を持った人間と知識処理系を有機的につなぐ手段になり得る、と考える。

例えば、最近多くの人工知能研究がインターネット上のアプリケーションに人工知能研究のこれからの展開を模索しているが、インターネットが面白いのは、自己組織化している知識ネットワークの各ノードの向こう側に、身体を持った人間がいるからだと考え。

## 6 おわりに

2ヶ月前に“artificial creativity”というテーマの本研究会開催の告知があった。我々の研究内容とメタファー、アナロジーなどの関連や、「機械による創造」アプローチと発想支援研究の関係を再考してみたいという気持ちが以前からあったことから、本論文の執筆を決めた。具体的には半月程前からメタファー、身体、創造性、科学哲学、概念空間関連の資料を集め始め、10日程前からそれらを読み始めた。が、それらの間に何らかの関連があり、そこに論じたいことがあるという気持ちがあるにも関わらず、それをまとめきれずに日が過ぎてしまった。4日前からそれら自分なりに消化し、それを断片的な研究メモとして書き表し始め、自ら開発してきたツール(AIDEのサブシステムであるPersonal Desktop)に入力し始めた。それからPersonal Desktopを使いながら、各トピック間の関連の再認識、内容的に足りない部分の補強、論旨に合わない部分の削除、表現の統一などを繰り返した。そして自分なりに納得のいく思考空間のスナップショットができてからは、ほぼ2日間で文章を書き上げることができた。

筆者自身の今回の経験を内観するに、Personal Desktopの助け無しでは、思考は発散する一方であり、更に悪いことに、興味はどんどん移り変わって、各論の内容は次々に頭の中から消えていった。Personal Desktopに情報を入力しその出力を評価したのも、論文執筆という創造活動を行なったのも筆者自身に違いないが、頭の中にあったアイデアの断片集合やそれらの関連を外在化する際に、Personal Desktopは有効であった。例えば、空間中に幾つかの話題の塊があるのを認識し、それらが全体の中でどのような位置づけにあるのかを常に再認することができた。そして、その塊を強く結び付けているキーワードはどれか、また、複数の塊同士を緩くつないでいる、それゆえに、論文の中ではgeneralに利用されるキーワードはどれかを整理することができた。

また、記号化が進んでしまった本論文を読んだだけでは、筆者の心の中の概念空間のtopologicalな構造(論文内では語りきっていない事項や、各トピック間のspatialな関係)を把握することや、更にはそこから読者なりの新たな認識を展開するのは困難である、と感じるかもしれない読者にとっては、Figure 1のような概念空間表現が筆者-読者間の創造的なコミュニケーションを支援してくれることを期待する。

### 謝辞

本研究の機会を与えてくださったATR知能映像通信研究所の酒井保良会長、中津良平社長に感謝致します。また、日頃から有意義なコメントをくださる東京大学の堀浩一助教授に深く感謝致します。最後に、ネットワークニュースグループfj.aiや国際会議のバンケット等で、人工

知能一般や「身体」についてご議論・ご教授頂いた皆様に感謝致します。

### 参考文献

- [Gärdenfors 96] Gärdenfors, P.: Mental representation, conceptual spaces and metaphors, *Synthese*, 106, pp. 21-47 (1996).
- [Hesse 66] Hesse, M. B.: *Models and Analogies in Science*, 2nd edition, University of Notre Dame Press, Notre Dame (1966), 高田紀代志訳: 科学・モデル・アナロジー, 培風館, 1986.
- [堀 86] 堀浩一: 単語の意味の学習について, コンピュータソフトウェア, 3(4), pp. 65-72 (1986).
- [Hori 90] Hori, K. and Ohsuga, S.: Articulation problem - A basic problem for information modelling, in Kangassalo, H., et al. eds., *Information Modelling and Knowledge Bases*, pp. 36-44, IOS Press, Amsterdam (1990).
- [堀 97] 堀浩一: システム統合のためのAIへむけて - 発想支援系と知識処理系の結合の提案 -, 人工知能学会誌, 12(2) (1997). 掲載予定.
- [Johnson 87] Johnson, M.: *The Body in the Mind*, The University of Chicago Press, Chicago (1987), 菅野盾樹, 中村雅之訳: 心の中の身体, 紀伊國屋書店, 1991.
- [西本 96] 西本一志, 角康之, 間瀬健二: Augmented Informative Discussion Environment “AIDE”, 第2回知能情報メディアシンポジウム, 電子情報通信学会 (1996).
- [Polanyi 66] Polanyi, M.: *The Tacit Dimension*, Routledge & Kegan Paul Ltd., London (1966), 佐藤敬三訳: 暗黙値の次元, 紀伊國屋書店, 1980.
- [Stefik 86] Stefik, M.: The next knowledge medium, *AI Magazine*, 7(1), pp. 34-46 (1986).
- [角 95] 角康之: ソフトウェアの要求モデル構築支援に関する研究 - 要求獲得における発想支援と要求モデルの構造化支援 -, 博士学位論文, 東京大学大学院 工学系研究科 情報工学専攻 (1995).
- [角 96a] 角康之, 小川竜太, 堀浩一, 大須賀節雄, 間瀬健二: 思考空間の可視化によるコミュニケーション支援手法, 信学論誌, J79-A(2), pp. 251-260 (1996).
- [角 96b] 角康之, 西本一志, 間瀬健二: 個人の視点を伝え合うことによる協同発想支援, 第7回AIシンポジウム, pp. 70-75, 人工知能学会 (1996).