

記憶の想起に基づく創造性支援

相原 健郎[†] 堀 浩一^{††}

本論文は、人間の創造的な思考を支援するための手法と、それに基づく支援システムを提案する。まず、創造性についての認知科学研究に基づいた思考過程のモデルを提示し、思考の制約となっているものを変更することで創造的な思考が進むことを述べる。そして、思考の制約のうち、記憶の想起の障害となっている時間的な制約に着目し、それをシステムによってユーザに変更を促すことで創造的な思考を支援することを提案している。提案手法では、時間的な制約を空間的な制約に変換してユーザに提示することで、ユーザの想起を促し、それによって思考を支援することを行う。支援システム En Passant 2 は、思考活動で最もよく用いられる紙に書かれたメモを利用し、それをシステムに入力することで、ユーザの記憶の想起のきっかけを与えるのに利用している。ユーザは、システム上でメモのマークをつけることでメモを特徴づける。それを用いてシステムはメモ間の関連度を算出し、メモを 2 次元空間上にマップしてユーザに提示する。システムを用いた長期実験を行い、システムの有用性を示している。

Enhancing Creativity through Activating Recall

KENRO AIHARA[†] and KOICHI HORI^{††}

In this paper, we propose a method and its implementation to aid the process of creative thought. The objective of this research is to enhance the human creativity with computers. This paper deals with a scientific creativity. In order to aid the process of creative thought, we have implemented a system named En Passant 2, which stores the user's research notes. The user can put his/her own mark as an index onto his/her notes in the system. The unique feature of En Passant 2 lies in the function to deal with indices and a time attribute of the user's thought explicitly. Using indices and time information, the system shows the user's notepads related to his/her awareness of the issues. The recall of his/her memories in present context makes a collision of two contexts, and that triggers the user's creativity. We have carried out several experiments and show the results.

1. はじめに

近年、計算機を人間の思考活動のパートナーとして利用することが考えられるようになった。発想支援と呼ばれる研究がなされているが、これらの研究には、既力の発想法をベースにして、それを単に計算機上に載せただけのものも多い。しかし、計算機が記号処理機械としてだけでなく、個人と外界を結ぶメディアとしての機能や、対話的に振舞う機能、環境としての機能を持つようになった今日、人間の創造的な思考を支援するために、我々は人間の思考過程において、どの部分を機械に行かせ、どの部分を人間が行った方がいいのか、また、機械は何をすべきで何をすべきでないのか、などを 1 つ 1 つ明らかにする必要がある。

本論文では、人間の創造的な思考を支援するために、日常の研究活動において書き貯められる研究メモを用いた方法論を提案する。

2. 計算機による創造性の支援

2.1 創造性支援へのアプローチ

認知科学において人間の創造性が研究されてきたが、いまだにその「人間の発想に有効である」思考の枠組みの解明には至っていない。仮に、そのような思考の枠組みがあったとしても、それはユーザに強く依存したものだと考えられる。実際になされた創造的な仕事を分析した結果、その仕事にはアナロジーが有効であったとか、まったく違うドメインのことが有効であったなどの報告がなされているが、それらはそれぞれの場合の事後分析であり、一般的に有効な方策を提供するには至っていない。

計算機によって人間の発想や思考を支援するための理論や技術に関する研究として、発想支援がある。し

[†] 国立情報学研究所

National Institute of Informatics

^{††} 東京大学

The University of Tokyo

かし、そもそも人間の発想や創造的な思考に有効である思考法・思考の枠組みの解明が困難であるので、それらの枠組みを前提とする発想支援研究のアプローチには限界がある。工学的に創造的な活動を支援するためには、むしろ、それらの思考の枠組みに強く依存した方法論をとるよりも、実際のユーザの思考や日常の操作に基づいた方法論が有効だと考える。

人間の思考の制約を変更するための刺激を与える方策として、筆者らは以前からユーザの心の中の世界をコンピュータの世界に間接的に投影し、ユーザの心の中の世界を視覚化することを試み、それによって人間の知的創造活動を支援することを研究してきた。断片的な情報を他の断片との概念の近さを距離にしてコンピュータのディスプレイ上に配置し、それをユーザに提示することによって、ユーザの思考を促進させるシステム群、AA1¹⁾、CAT1²⁾、SC0/SC1³⁾、CASSIS⁴⁾などを構築し、実験を行ってきた。

2.2 思考とメディア

Wood は Green の認知の次元^{5),6)}の枠組みをアイデアスケッチに適用している⁷⁾。Wood は認知の次元とメディアやプロセスとの関係を示している。ここでは、生成プロセスと構造化プロセスでメディアに必要とされるプロパティがワードプロセッサでは提供されていない、逆に紙やポストイットノートなどでは提供されていることが示されている。

諏訪はフリーハンドで描かれたデザインスケッチの存在が、デザイナーに「意図しなかった発見」を可能にする、としている⁸⁾。その理由の1つとして、何かがある位置に描いた途端(デザイナーの意図のあるなしにかかわらず)その他のあらゆるものとの位置関係が即座に決まり、それらが新たに認知される潜在的な候補になることをあげている。そして、その認知の不安定さが創造性を生む原動力であると規定している。

これらの研究は、人間が思考する際、頭の中だけで考えるのではなく、通常ノート・ペンなどを用いて自らの考えを外化・視覚化し、それらを保存することが有効であることを示している。

3. 提案手法

3.1 思考過程のモデル

ここでは、本論文で用いる思考過程のモデルについて説明する。まず、ここでは創造的な思考には Boden が指摘する概念空間の変換が必要であるという立場に立つ。そこでモデルは、Finke らのジェネプロアモデル (Geneplore Model⁹⁾) をもとにし、これに概念空間の変換を明示する“メタ制約”(Meta-Constraints)

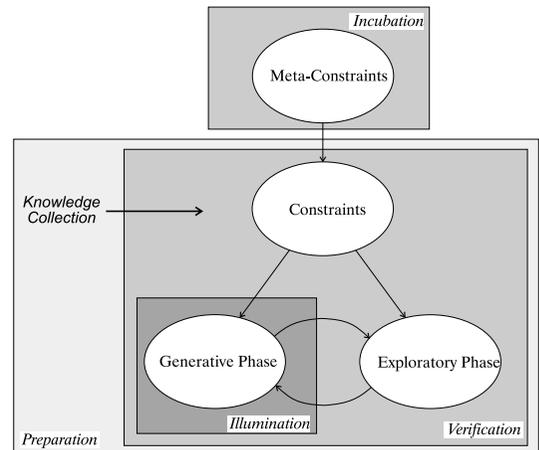


図1 創造的思考の過程のモデル

(Geneplore Model (Finke, et al., 1992) をもとに変更)

Fig.1 Proposed process model of creative thought

(based on Geneplore Model (Finke, et al., 1992)).

を加え、さらに Wallas の4つの過程、すなわち準備期、ふ化期、啓示期、実証期¹⁰⁾を重ねることで、創造的な思考過程を説明している。図1に、本論文で用いる創造活動の過程を示す。

Boden は、創造的思考を概念空間 (conceptual space) の操作として考え、操作として探索 (exploring) と変換 (transforming) とに分けた¹¹⁾。Boden は概念空間を、ドメインの思考の基礎となる生成システムであり、可能性の範囲を決定するものとしている。また、探索は表面的で小さな変化をもたらすものであり、変換は、より本質的で大きな変化をもたらす、としている。そしてこの概念空間の変換による変化が大きな創造性を生じさせるとしている。Boden は、既存の研究を分析することにより、創造的なアイデアを生むためには、制約の削除や否定が有効な場合があるとしている。

ジェネプロアモデルは、図中の“制約”(Constraints)と“生成フェーズ”(Generative Phase)、“探索フェーズ”(Exploratory Phase)の関係で説明されている。Finke らは、創造活動の過程を生成フェーズと探索フェーズに分け、前者の段階において生成された心的表象 (mental representation) を後者の段階で解釈・検証を行うというモデルで思考過程を説明している。

Wallas の説明では、まず、成功には至らないが真剣に意識的に仕事を長い期間行い (準備期)、この後、問題は脇に置かれ、意識的な対象とはならない間にふ化が起こる (ふ化期)。この間、無意識の中では作業が続けられていて、ふ化が成功すると、突然の啓示、つまり問題解決への突然の洞察を経験する (啓示期)。

啓示の段階では通常、ぼんやりとした解決が生まれるだけであり、得られた洞察を実証することによって、問題は解決されることになる（実証期）。

本論文のモデルでは、準備期では、知識を収集し、仮説生成・検証を繰り返すことによって新たな解を探求するので、制約に基づいた生成フェーズと探索フェーズを繰り返す。その際、いかにして有用な知識を収集するかが大きな問題となる。ふ化期では、Bodenのいう概念空間の変換を起こすために視点の変更が必要となると考えられるので、ジェネプロアモデルにはない制約の変更を行うための機構（メタ制約）によって、制約の変更が行われる。啓示期は、ふ化期に行われた視点の変更によって新たな仮説を生成する生成フェーズである。実証期では、実証のための生成フェーズと探索フェーズを繰り返す。

ここで、創造的思考を支援するということが、Bodenのいう概念空間の探索と変換をユーザに促すことを行うということになる。探索や変換によって新たな概念が得られることは、その概念が価値があるものであれば創造性があるといえる。さらに、概念そのものは新しくなくても、時間とともに概念空間が変化した結果、後にその概念に注目したときにそれに新たな意味を見出すことができた場合、これも概念空間が変換された結果得られた創造性といえよう。

3.2 思考の制約の変更

Bodenは、概念空間を構成する制約を取り除いたり、否定したりするなどによって概念空間自体が変化し、概念空間が変換する、と説明している。概念空間の制約としては、思考一般を支配する様々なものが考えられるが、自分が持つ知識や、認知的な特性や様々な外的な要因などがこれに含まれる。これは、育った環境や教育、文化、嗜好などによって一人一人違ったものであり、また、様々なレベルのものが含まれる。また制約には、意識すれば認識できるものと、意識することが困難であるものがある。本論文では、Bodenの言うように制約の変更が創造的な思考を行うために重要だと仮定し、自発的には変更しようとしないうような制約を変化させる外的な刺激を与えることが、支援するうえで有効だとする。本論文で扱う制約については3.3節で述べる。

AA1¹⁾をはじめとする今までの研究では、ユーザの概念空間を計算機のディスプレイ上に投影し、概念の配置を計算機が操作することによって思考を刺激してきた。概念空間をディスプレイ上に投影することによって、ユーザは自らの思考内容を客観的にとらえることを促されるので、内容の制約を変化させるのには

効であると考えられる。さらに、計算機が概念の配置を変えることによって内容の制約を変化させることが確認された。

AA1をはじめとするシステムや、KJ法¹²⁾に基づいて作られたシステム¹³⁾などの従来のシステムでは、扱う情報を内容的な近さを基準に平面的、ないしは空間的な階層で扱ってきた。そのため、その多くの使用例においては、日常行われている思考活動のうち、ある内容的にまとまりのある特定のドメインを扱う対象に限定して扱われてきた。

これに対し本論文においては、ツールがユーザにある特定のドメインに関することだけのために使用することを求めるのではなく、ユーザにドメインに関係なく自由に入力をしていってもらい、システムが緩やかにそれらを整理していくことによって、日常の思考活動において扱われることを全般的に扱う支援を行う。

3.3 記憶の想起に関わる制約

日常の思考活動では、様々な制約のために思考は断片的になる場合が多い。それらの断片的な思考の結果長期記憶貯蔵に蓄えられた記憶は、時間の経過とともに想起されにくくなる。また、他の記憶との時間的前後関係によって、想起されにくくなるという想起の障害がある（順向抑制、逆向抑制）⁴⁾。

また、想起できるとしても、自らの思い込みにより現在の思考とは無関係と誤っているということもあるであろう。

自発的には想起されない記憶を、その思考を行ったときは異なる現在の状況で想起することによって、まったく異なる知見が生じたり、新たな概念の創発を期待することができると考えられる。

本論文では、思考過程の制約のうち、

- 思い込みによる想起の障害
- 時間的経過・順序

に注目し、それらの制約を変更することによって自らが思考し蓄えてきたことを想起させる。そして、それらの想起されたものを空間的に配置して、内容の制約の変化を促す方策を提案する。

3.4 適切なメディアの活用

2.2節で述べたように、人間は思考する際、頭の中だけで考えるのではなく、通常ノート・ペンなどを用いて自らの考えを外化・視覚化し、それらを保存している。

現在のところ、人間の発散的思考段階での表現に最も適しているメディアである紙を用いることが、その段階の思考を計算機で扱うのに最適であると考えられる。

頭の中で行われている思考の内容・過程そのものを外化・分析することは、現時点では困難である。しかし、ノートへの書き付けは、思考の過程でなされた人間の行為であり、思考の一部となっているノート上での人間の行為に、その内容・過程が反映されていると考えられる。ノート上に外化されたこれらの書き付けを再利用することによって、その人間は、自分への外言を行い、このことによってさらに思考が外化(分節)されることになる。

しかし、紙のノートでは、それに表現されたものを再利用することを考えた場合、制約が多い。

本論文では、計算機上に、紙のノートの利便性をなるべく失わないように仮想的なノートを作り、その上に入力される情報、ユーザの行為の情報を用いることによってユーザの思考を支援する。そして、過去の記憶を想起させるために、過去の思考の副産物である研究メモをユーザに見せるという方策をとることにする。

4. 支援システム En Passant 2

3章で述べた方針に基づいて、思考支援システム En Passant 2 を構築した。

4.1 En Passant 2 システム構成

システムは、Writing Pad 2 と呼ばれるインタフェース、Mark Daemon と呼ばれるメモのページ間の関連度を算出するプロセス、そしてその関連度をユーザに見せたりページの検索機能を提供したりする Adviser で構成されている。

ここでページとは、複数の概念を含みうるシステム上の情報の単位である。1つのページにはユーザの紙のメモ1つが含まれることを基本としているが、システムを使用中にユーザはメモを含まないページを追加していったり、1つのページに複数のメモを含めたりすることもできる。それらの情報の粒度はユーザに任されている。これは、そもそもメモに書かれている概念の単位がユーザによって異なり、またメモの書き方も必ずしも一貫性があるわけではないことによる。

より細かく概念を表現するために、システムではマークと呼ばれるラベルをページの任意の位置に置くことができるようになっている。また、テキストも任意の位置に書き加えることが可能となっている。ユーザはマークをページに付けたりテキストを追加したりすることで、そのページ中のある場所に概念を表現す

ることができる。マークはそのページのインデックスとして使用され、ページを特徴付ける際に主要な役割を担う。

4.2 Writing Pad 2

Writing Pad 2 はページのリストなどを表示するメインウィンドウ、メモの内容を扱うページウィンドウ、ページの関連度を表示するアドバイザーからなる。

ユーザは自らが紙に書いた研究メモや、参考文献などをスキャナを用いてシステムに入力することができる。そして、システムにメモを入力する際にページにマークをつけるという作業を行う。

4.2.1 メインウィンドウ

メインウィンドウは、ページリストとマークリストを表示する。

ページリストには、時系列でページのタイトルが並べられている。リスト上でページを指定することにより、ユーザはそのページにつけられたマークのリストを見ることができる。

マークリストでは、ユーザによって作られたマークを、2次元空間上に配置して表示する。任意の場所にマークを移動できることにより、ユーザがマークの整理をする際の思考の自由度を提供している。また、マークを指定することで、ユーザはそのマークがつけられたページのリストを見ることができる。図2に



図2 Writing Pad 2 – メインウィンドウ
Fig. 2 Writing Pad 2 – main window.

メインウィンドウの例を示す。

4.2.2 ページウィンドウ

入力されたメモは、ページウィンドウ内に表示される。

ページウィンドウは以下の機能を有しており、ユーザがメモをシステム上で拡張することを可能にしている。

編集機能 ユーザは、1つのページウィンドウとして提供されるメモに、画像、テキスト、図形(直線、折れ線、曲線、長方形、多角形、楕円)を任意の場所に置くことができるメモの編集機能

リンク機能 明示的にページ間に関連を宣言したい場合、ページ間にリンクを作成することができるリンク機能

インデックス機能 メモを特徴づけるために、任意のマークをページにつける機能

特にこの中でインデックス機能が重要である。Tulving は、貯蔵情報が想起できないのは、符合化された貯蔵情報へのアクセス失敗で説明でき、適切な検索手がかりを与えることによって、逆向抑制が減少することを示している¹⁵⁾。インデックス機能を用いてページにマークをユーザがつけていくことで、後にメモを検索する際の手がかりとすることができ、メモを特徴づけることが可能となる。

4.3 Adviser

Adviser は、ユーザにページ間の関連度を見せたり、ページの検索機能を提供したりする。

本論文は、忘却してしまった、もしくは想起されにくくなった自分自身が過去に思考したことを活性化することによって、次の思考を促すことを目指している。一般に逆向抑制は、想起の対象としている記憶とそれに干渉している記憶の類似性が高いほど干渉効果が強くなり、また、後から記憶される量が増えることによって干渉効果が強くなるとされる¹⁴⁾。とすると、操作履歴の時間軸上で過去のもので、かつ、内容上の類似性が高いものほど、想起されにくくなっていると考えられる。したがって、Adviser では以下の手順に従ってメモを選択して表示する。

- (1) システムは Mark Daemon によって算出されたページ間の関連度を使って、2次元空間内でのページの配置を決定する。
- (2) 任意のページをユーザ、もしくはシステムが選択する。
- (3) 選択されたページとの関連度が閾値(ユーザによって変更可)を超えたものと、それらのページとリンクで結ばれているページをシステムが選択する。

- (4) 各ページが作成された時間が、ユーザの指定する範囲内のものを表示する。リンクが張られたページ間を線でつないで表示する。

また、ユーザは以下のようにしてページの検索が行える。

マークによる検索 指定されたマークがつけられたページのみを表示する。

文字列による検索 ページに入力されたテキストに、指定された文字列を含まれるページのみを表示する。

4.4 Mark Daemon

Mark Daemon は、ユーザによってページにつけられたマークと、ページ間のリンクによって、ページ間の関連度を算出する。

ページ i と j の間の関連度は以下のように与えられる。

- (1) 初期関連度は 0 とする。
- (2) リンクが宣言されていれば、リンク宣言時にユーザに指定された値を関連度に加える。
- (3) マーク ξ が i につけられている場合、 j につけられているマーク η とマーク ξ の間の関連度行列の値を関連度に加える。

マーク間の関係は関連度行列によって与えられる。この行列はマーク間の関係を記述したルールによって宣言的に設定される。また、それらのルールセットをユーザは複数設定できるようになっている。複数のルールセットを用意することによって、ページの特徴づけを複数通り設定することが可能である。

5. 実 験

提案手法およびシステムの有用性を示すために、長期的な実験を行った。実験の被験者を大学院学生 4 人で、1 カ月から 8 カ月にわたって実際の研究活動においてシステムを利用してもらった。

ここでは、博士課程の被験者 A の 2 つの使用例について述べる。観察 1 は Adviser をあまり使用していない例であり、観察 2 は Adviser を積極的に使用した例である。

5.1 観 察 1

被験者 A は、この実験を行う時点までに、5 カ月間、90 ページのノートを入力している。

被験者は、自分の研究で構築したシステムを使った実験が終わり、その分析を行っている段階であった。そして、その研究をまとめて論文を書くにあたり、それに関連する忘れていたことがらを思い出し、研究の目的と目指すゴールを再確認しようとしていた。

5.1.1 経 過

page 90 から page 78 まで時間軸を逆方向に参照していき、マークを貼付した。その際に新たにマークを 8 つ追加していった。メインウィンドウで各ページにつけられているマーク、および各マークがつけられているページを確認し、ページをブラウズしていった。

しばらくすると、Adviser を開き、注目しているページ (page 71) につけられたマーク “saeki” と同じマークがつけられ、かつ、page 71 の入力時から 100 日前までの範囲で入力されたページを表示した。その結果の Adviser の表示より page 75, page 45 を参照し、さらにマークの条件を増やして (“saeki”, “kiyou”, “Vygotsky” のいずれかを含むページ) 再表示させた。そして、結果を用いてページをブラウズしていった。

5.1.2 観 察

この実験により、以下のことが確認された。

- 順にページをたどっていくことが多かったこの被験者が、実験の後半に Adviser を使うことによって、時間的順序にとらわれないページのたどり方をするようになった。
- 被験者が意図したことではないが、被験者は 5 カ月前のページを偶然開き、その過去のページと現在の文脈を摺り合わせた。その結果、5 カ月前のページに新たな意味を見出して、新たなマークの貼付を行った。
- 被験者の作業の目的は、自らの研究全体の目的とゴールの再確認であった。しかし、被験者はこの作業目的に適したマークを用意してなく、また、使用しているマークに関連しているものもなかった。関連項目を探すのに適切なマークが用意されていなかったことが、被験者が時間的順序のみに従って作業を行っていった原因だと考えられる。そして、ページを次々にブラウズしていくことにより、自らの研究を大まかに見返すことを行った。その際、参照しているページの前後のページを開く機能を多用した。

しかし、Adviser によって選択されたページの提示を見ることで、被験者は時間的順序とは違ったページに移行して、ページの見返しをすることができた。

5.2 観 察 2

被験者 A は、この実験を行う時点までに、8 カ月間、90 ページのノートを入力している。

被験者は研究を論文としてまとめる段階であり、被験者のシステムの使用目的は、関連研究の見直しをしているので、現在被験者自身が認識しているもの以外のものがなかったかどうかを確認すること、実験の前

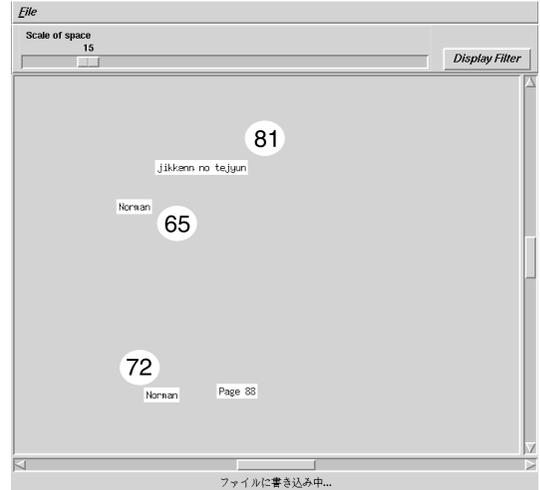


図 3 Adviser の表示例

Fig. 3 An example of Adviser.

後に被験者が何を考えていたかを見直すことであった。

5.2.1 経 過

当初より、Adviser を用いて、関連研究に関連するマークを用いた表示を行った。図 3 は、Adviser の表示例である。そして次に、検索条件から時間範囲指定、類似度範囲指定を無効にして再表示し、前の表示との差分に着目してページのブラウズを行った。

このようにユーザは、表示条件を少し変えては、表示の差分に注目し、そのページを参照するという作業を繰り返して行った。またその際には、ページに付けられたリンクを用いたブラウズなども行われた。

5.2.2 観 察

被験者は現在から 100 日前までのノートに関しては被験者自身も記憶していて、執筆している論文にもその内容が反映されていた。

しかし、システムによって表示された 100 日以上前のページ (page 1) を見つけてそのページを参照し、内容的に連続している page 2 以降のページを参照していった。

被験者は、それらのページ中の検索に用いたマーク “Vygotsky” がつけられている部分の記述については記憶にあったが、それ以外の部分についてはまったく覚えていなかった。page 2 を参照したとき、被験者はそれまで自分がそこに書いたことさえ忘れていた記述に驚き、記憶がよみがえりはじめ、そして現在の問題意識の中で思考を進めていった。

6. 考 察

6.1 被験者の問題意識とシステム

被験者の以下の問題意識・状況にシステムが対応していることが確認された。

- 漠然と全体を見返して考えをまとめたい。
- 過去のページの蓄積が少ない被験者であっても、研究の初期段階においてこれからの研究の方向性や全体像を確認したい。
- あるトピックに関することを集めたい。

研究初期に漠然とこれからのことを考えていきたいという状況においても、また、研究が熟して今までやってきたことをまとめてみたいという状況においても、被験者たちは、システムを使用することで、自分の研究の全体像を把握したり、あるキーワードや視点で現在の問題意識に関連することを探したりすることができた。

6.2 時間的順序

図4、図5は、観察1と観察2で、被験者Aがどのようにページを参照していったかを示している。図中の線の太さは、遷移の回数に応じている。観察1の前半(図4中左側)では、時間的順序に従って参照するページが移っている。観察2では、Adviserを用いることで、被験者が時間的順序にとらわれずにページを移っていったことが分かる。

実験全般においては、特に新たなページをシステムに追加して、それらを整理しながら思考するという状況において、被験者はその作業の導入時は時間的順序を利用するが、それを利用した後は、ページの時間的順序の利用は減っていた。

被験者が自らの思考を振り返る際に、まず時間的順序に依存して作業を行っていることは、時間的順序が被験者の思考の大きな制約になっていることを示している。これは、この制約が、被験者にとって有効な思考の軸となっているためだと考えられる。システムが提供するページの時系列リストは、被験者のこれらの思考において不可欠であった。Adviserでの表示はこの時間的順序を隠すものであり、この表示は時系列リストが存在してこそ効果を持つものである。

ひととおり、この時間的順序を用いたページの参照が終わると、被験者はマークを使って参照するページを決めている。これは、時間的順序を軸とした思考から、自らが明示的に付加したマークによる内容的・機能的なつながりを軸とした思考への制約の転換を表していると考えられる。そしてこの制約の転換は、作業中にたびたび生じ、被験者はこの転換を巧みに起こし

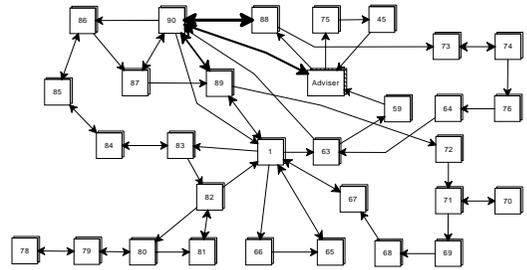


図4 参照ページの遷移(観察1)

Fig. 4 Transition of browsing (observation 1).

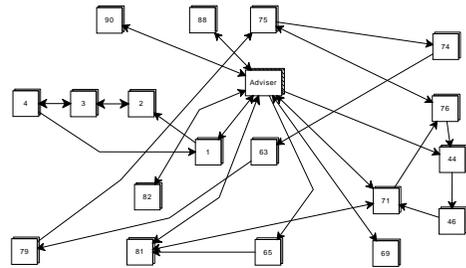


図5 参照ページの遷移(観察2)

Fig. 5 Transition of browsing (observation 2).

て思考を進めている。

また、被験者によって時間的順序を順方向に利用するか逆方向に利用するかの好みがあることが観察された。たとえば、ある被験者は参照する時間的範囲の中で最も古いページから現在に向かって順方向に参照を行っている。この被験者はその理由を、古いページの方が今の自分にとってより価値があるのではないかと期待感があるため、としている。この被験者は、逆向抑制を意識し、これを自ら排除しようとしているのである。

6.3 関連項目の摺り合わせの効果

たとえば、被験者Aは、過去のページ(page 71)を参照することで、自分の研究の実験の課題について意識するようになった。そして、マーク“subject”(実験の課題を表すマーク)を追加し、実験の課題を意識しながら過去のページを参照していった。page 68を参照したとき、以前にこのページを参照したときには気づいてなかった“subject”としての意味を見出し、このページに“subject”をつけた。このことは、システムの使用が被験者に過去の思考と現在の問題意識の摺り合わせを促進していることを示している。

このような過去の記述を見てそれに新たな着目点を見出すことは、ノートを見返すことでも可能と考えられるが、実際には数カ月前のノートを見返すことが被

験者らはあまり自発的には行っていなかった。システム上でマークが明示的につねにユーザに意識されるようになってきていること、そして、時間軸とは関係なくページをブラウズすることで、紙のノートでは困難な新たな見返すという行為をシステムはユーザに可能にしているといえる。

また、この後被験者は、実験の課題を意識して思考を続けており、“subject”の追加が被験者に実験の課題を明確に意識させることになり、その後の思考活動に意味があることであったと考えられる。

主に新たなページを追加したときに、被験者は、マークをページにつけることでページ間の関連を明示的に表している。後で自分の思考を振り返ろうとする際に、このマークを手がかりとして関連するページを参照することで、被験者は時間的順序によらず関連するページを参照していた。そして、それらのページの内容とその時点での被験者の思考を摺り合わせることで、前に参照していたときには気づいていなかった自分にとっての意味を見出していた。

Adviserでの表示は、時間的順序を隠し、マークによって関連づけられるページ間の関係を空間上の相対的位置として被験者に提示する。被験者が、時間的順序の軸と内容的・機能的なつながりの軸でページ間の関係をとらえているところに、これらを違った側面から Adviserによって表示することは、被験者自身が自分の記憶からの意外な発見を行わせる可能性を秘めている。Adviserの表示が必ず被験者に有益な思考のきっかけを与えるものではないが、時系列リストと単なるマークによる検索では見えてこない側面の提示は、被験者に思考の転換を促すものである。

6.4 マーク

マークを整理することで、マーク間の関係や構造に被験者が気づくということがあった。そして、マークの関係が被験者に意識されることで、新たなマークが追加されるといった効果が観察された。さらに、追加されたマークを被験者が意識することで、次の思考が進むということがあった。ノートでの思考を再吟味することでマークが整理され、マークを整理することで次の思考が進むということは、マークの整理と被験者の思考が相補的であることを示している。

マークは、ページの一部につけられている。これは予備実験において被験者からそのような要望があったためである。しかし、後に利用されるときはマークの周辺にある情報ごと被験者は参照することになる。被験者はマークのついているところに比べ、その周辺に書いていることは記憶していないことが多いので、

表 1 被験者別のページ数とマーク数

Table 1 Subjects.

	A	B	C	D
学年	D3	D1	M2	M2
使用期間(月)	8	3	3	1
ページ数	90	25	24	15
マーク種類数	24	12	17	17
マーク/ページ	0.50	2.16	1.75	3.33
マーク/マーク種	1.88	4.50	2.47	2.94

D: 博士課程 M: 修士課程

マークのついているところの周辺に書いてあることがらの参照が有用である場合がある。

被験者によって、マークの作り方が異なっていた。機能(たとえば、“Hypothesis”)によって作る被験者、内容(たとえば、“Experiment”)によって作る被験者、双方を用いる被験者がいた。これは、被験者個々の嗜好であり、システムが使用するマークの種類を強要すべきではないと考える。システムは、様々なユーザの使用法に対応できる必要がある。また、これらのシステムが提供する機能をどう使うかは、ユーザがどれだけシステムを理解しているかということに大きく関わることになる。結局、道具をどう使いこなすかはユーザに委ねられることになる。

被験者がマークを研究の内容で作っている場合、マークが被験者の研究の重要なキーワードとなっていて、システムの使用で意識されるマーク間の関係や構造が、被験者の研究の1つの体系を表していると考えられる。また、新しいマークの追加がマークの構造を被験者に意識させ、その構造中の空隙の存在に被験者自身が気づくことが、新たなマークの追加を促している。発想支援研究では、この空隙を視覚化することでその存在に気づかせることがしばしば試みられ、またその有効性が示されており¹⁶⁾、本研究でも同様の効果が見られた。ページの内容とマークの整理が相補的になって、ユーザの思考を促進していることは、興味深い。

表1に被験者別のページ数とマーク数の比較を示す。ここで、被験者Aの1ページあたりにつけているマーク数が他の被験者に比べ少ないことが注目される。また、被験者Bの同じマークを使う回数が多いことも分かる。

被験者Aがページ数に対してマーク数が少ない傾向にあることは、この被験者が、考えを整理するためにノートに書いているというよりも、思いついたことをすぐ書きつけているという傾向を示している。そして、これらをシステム上で整理することで、重要と思われるページにのみマークをつけていっていると考えられることができる。

被験者 B が同じマークを使う傾向にあることは、被験者 B がマークを機能で作っていることが原因だと考えられる。他の被験者は内容でマークを作るために必然的にマーク数が増加していくが、被験者 B はマーク数が作業開始時(9種類)からあまり増えていない。

システムの実装方式上、1つのページになるべくマークをいくつかつけていることが望ましい。マークのつけられていないページには、ページ間の関連度の計算において、そのページの性格づけが行えないためである。もちろん、不要なページという意味づけを、マークをつけないことで行うことはできる。実際、被験者 A はこのような利用を行っている。Adviser を用いた実験において、被験者 A が類似度ではなく、時間の範囲やマークによる検索機能を多用した原因の1つは、このようにマークの貼付が少ないことにあると考えられる。

6.5 創造的思考を支援しているのか

ページの内容を参照することで、マークが分節され、新たに追加されたり整理されていくことにより、その追加されたマークが次の思考へのきっかけになっていることが観察された。このことは、それらのマークの分節が被験者にとって「価値がある」ということを示していると考えられる。これらの分節は、日常のページを整理する作業においても、また、後からページを見返したときにも生じている。ページを見返すときに生じるマークの分節は、そのマークの概念を意識して他のページを参照していくことにつながっている。また、日常のページを整理する作業において、あるマークが分節されてもそのマークの概念を反映している既存のページがない場合、その後の被験者の日常の研究活動においてそのマークの概念が意識されることが観察された。

過去のページを参照することで、そのページをまとめる内容のテキストがそのページに追加されたり、これからの研究の方向性に関する内容のテキストを新たにページを追加してそこに追加することが観察された。これらの言語化された被験者の知識は、分節されたマーク同様、被験者のこれ以降の研究において意識されることになり、被験者にとって「価値がある」といえる。

これらの過去のページを見返すことによる効果は、思考のモデルにおいて時間とともに概念空間が変化していき、後でその部分に注目することによって生じているといえる。

過去の思考の痕跡としてのページと他の文脈を擦り合わせることにより、違った視点が生まれたり、次の

思考が促されたりしていることは、被験者の思い込みや時間的経過・順序による制約の変更が思考を促進しているということを示しているといえよう。

今回の実験では、現実に研究に行き詰まっている被験者がそこからシステムを使うことで脱却するということはなかった。しかし、被験者が、自分が行ってきた研究を整理して、それらの過去の行為を結晶化させることで、研究が次の段階に進むということが観察された。研究活動によって生み出される個々の知識を結晶化させていくことで、被験者は自らの概念空間を再構成している。システムは、この結晶化のプロセスを支援している。

7. おわりに

本論文では、ユーザの過去の思考の際に残された情報をソースとして、思考過程の制約のうち、思い込みによる想起の障害、時間的経過・順序による制約を変更することによって、人間の創造的な思考を支援する1つの方策を提案し、支援システムと実験について述べた。そして、実験により提案した方策の有用性を示した。

参考文献

- 1) Hori, K.: A System for Aiding Creative Concept Formation, *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, Vol.24, No.6, pp.882-894 (1994).
- 2) 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).
- 3) 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).
- 4) 相原健郎, 堀 浩一, 大須賀節雄: 断片的な情報の集まりから知識を構築する過程の支援, *人工知能学会誌*, Vol.11, No.3, pp.432-439 (1996).
- 5) Green, T.R.G.: Cognitive Dimensions of Notations, *People and Computers V*, Sutcliffe, A. and Macaulay, L.(Eds.), pp.443-450, Cambridge University Press (1989).
- 6) Green, T.R.G.: Describing Information Artifacts with Cognitive Dimensions and Structure Maps, *People and Computers VI*, Diaper, D. and Hammond, N.(Eds.), pp.297-316, Cambridge University Press (1991).
- 7) Wood, C.C.: A Cognitive Dimensional Analysis of Idea Sketches, Technical Report 275, School of Cognitive and Computing Sciences,

The University of Sussex (1993).

- 8) 諏訪正樹：主観的認知(perception)と知的問題解決, 人工知能学会誌, Vol.11, No.5, pp.718-720 (1996).
- 9) Finke, R.A., Ward, T.B. and Smith, S.M.: *Creative Cognition*, The MIT Press (1992).
- 10) Wallas, G.: *Art of Thought*, Harcourt Brace, New York (1925).
- 11) Boden, M.A.: *The Creative Mind - Myths and Mechanisms*, George Weidenfeld and Nicolson, London (1990).
- 12) 川喜田二郎：発想法, 中央公論社 (1967).
- 13) 杉山公造：収束的思考支援ツールの研究開発動向, 人工知能学会誌, Vol.8, No.5, pp.568-574 (1993).
- 14) 高野陽太郎：記憶, 東京大学出版会 (1995).
- 15) Tulving, E. and Psotka, J.: Retroactive Inhibition in Free Recall: Inaccessibility of Information Available in the Memory Store, *Journal of Experimental Psychology*, Vol.87, pp.1-8 (1971).
- 16) Ohiwa, H., Takeda, N., Kawai, K. and Shiomi, A.: KJ editor: A Card-Handling Tool for Creative Work Support, *Knowledge-Based Systems*, Vol.10, No.1, pp.43-50 (1997).

(平成 12 年 10 月 31 日受付)

(平成 13 年 4 月 6 日採録)



相原 健郎 (正会員)

1969 年生. 1992 年横浜国立大学工学部生産工学科卒業. 1994 年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻修士課程修了. 現在, 同大学院先端学際工学専攻博士課程在学中.

人工知能, 発想支援システムの研究に従事. 特に人間の創造性を伸ばすことを目的とする知的活動支援の理論, 方策に興味を持つ. 人工知能学会, 日本認知科学会, ACM 各会員.



堀 浩一 (正会員)

1956 年生. 1979 年東京大学工学部電子工学科卒業. 1984 年同大学院博士課程修了. 工学博士. 1984 年国立大学共同利用機関国文学研究資料館助手, 1986 年同助教授. 1988 年

東京大学助教授 (先端科学技術研究センター). 1992 年同 (工学系研究科), 1997 年東京大学教授, 現在に至る. この間, 1989 年 9 月 ~ 1990 年 1 月仏国コンピエーニュ大学客員助教授. 現在, 先端学際工学専攻所属. 航空宇宙工学専攻を兼任. 人工知能を中心とした情報処理システムの基礎から応用にわたる広範囲の研究・教育に従事. 最近の個人的な興味の中心は創造活動支援システム. 電子情報通信学会, 人工知能学会, 日本ソフトウェア科学会, 日本認知科学会, IEEE, ACM 各会員.