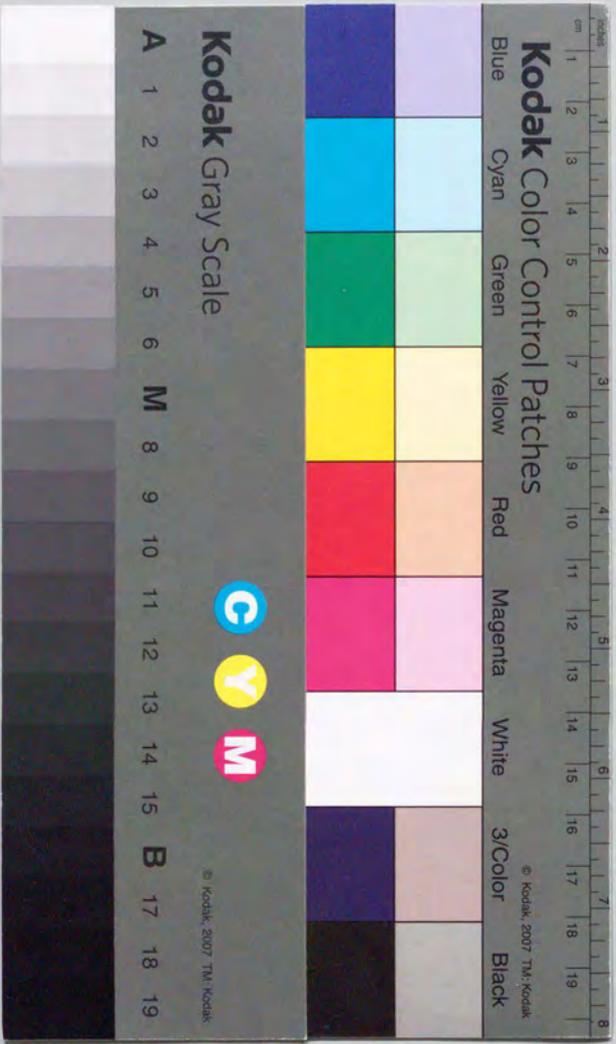


研究メモの蓄積効果を増幅する思考支援システム

相原健郎



1996年度 学位請求論文

研究メモの蓄積効果を増幅する 思考支援システム



相原 健郎

東京大学 大学院 工学系研究科 先端学際工学専攻

本論文の要旨

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、既存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わせ、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、などをひとつひと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し、支援システムの構築と実験を行った。

まず、創造的思考過程に関する研究を挙げ、創造性が心理学・認知科学でどう扱われてきたのかを述べた。また、人間と機械とのインタフェースが人間の創造的思考に及ぼす影響について述べた。それらの考察に基づいて、本論文での思考過程のモデル、思考のモデルを提案し、本論文での創造性の支援の位置づけをそのモデルを用いて説明した。

次に、人間の創造的な思考を支援するための方策を提案した。

工学的に創造的な活動を支援するためには、いまだ解明されていない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。したがって、本論文では、Young の分類における秘書レベルに基本を置き、それに思考のアイデアやヒントをユーザ自身が気づけるように機能を付加していくというアプローチで思考支援システムを構築することが有効であると考えた。

システムが扱う情報源として、ユーザの日常の研究活動において書き貯められる研究メモを利用した。これは、紙というメディアが持っている性質が人間の生成的な思考に適していること、人間の創造的な思考活動が自らの知識に基づいて行われるということ、ユーザが関知しない外界の膨大な情報を扱うことが無駄な情報をユーザに与えてしまう危険性を生じること、などを理由としている。

本論文では、思考過程の制約のうち、記憶の想起の障害となっていると考えられる、思い込みによる想起の障害、時間的経過・順序による制約を対象とした。これらの制約を変更することで、忘れていたことを思い出したり、関係ないと思いついていたことを別の視点から見直すきっかけをユーザに与え、ユーザが新たな思考を展開することができる考えた。

これらの方針に基づいて思考支援システム En Passant 1 を構築した。ユーザは、ノートをスキャナでシステムに入力し、入力したノートに後でそのノートを

見つけられるように、ユーザが思いつくインデックスをつける、ということを行く。システムはページ間の類似性をユーザがシステムを使用していない時に計算しておく。この類似性は、ユーザがノートにつけたインデックスと、ユーザが宣言するインデックスに関する関係を利用して算出する。ユーザはじっくりとノートを見直して考えたい時は、システムが提示するリストや類似性を距離にしたページの空間配置を参照して、現在の問題意識に合った過去のページを探して参照することができる。

En Passant 1 を用いて行った予備実験によって明らかになったシステム上の問題点を解決し、更に使い勝手を良くするために改めて支援システム En Passant 2 を構築した。

実験は、大学院学生 4 人の被験者がシステムを継続的に使用することで行った。En Passant 1 を用いた予備実験と En Passant 2 を用いた実験を通して、

- 過去のページを現在の文脈で参照することで新たな思考が進む
- 時間的な順序が被験者に大きな制約となっていて、その順序を変更することが被験者に思考の刺激として作用することがある
- システムの使用によって、思いがけない記述を自分のノートに見つけ、思考が進む
- ページにつけるインデックスとしてのマークを、その使用を通して整理していくことが、その後の思考に有効な軸として作用する
- 自らの過去の記述をまとめて参照することで、自分の研究を大局的にとらえることができ、それが次に思考を発展させる上での礎となる

などのシステム使用の効果が観察された。

最後に、本研究で明らかにした点に基づいて、思考支援システム構築への指針として、

- 出力と入力比を大きくするための機構
- 生成過程における即応性
- 多様な表現形式を扱えるような機構
- 探索過程における関連の透過性
- システムによる視点の変更
- 適切な情報源と、そこから有用な情報を抽出する機構

を提案した。

目次

1 序論	1
2 関連研究	3
2.1 創造的思考過程	3
2.2 計算機の創造性	5
2.3 計算機による創造性の支援 - 発想支援研究	6
2.3.1 Young の分類	6
2.3.2 創造的思考の過程に基づく分類	8
2.4 適切なメディア	9
3 本論文でのモデル	13
3.1 思考過程のモデル	13
3.2 思考のモデル	13
3.2.1 Mental World	13
3.2.2 Operating Field	14
3.2.3 Constraint	14
3.2.4 Operation	15
3.2.5 思考のモデルと計算機	15
3.3 創造性	16
4 日常の操作に基づく支援法の提案	17
4.1 思考の制約の変更	17
4.2 システムが扱うユーザの概念空間内の範囲	18
4.3 関連項目の想起	18
4.4 適切なメディア	19
4.5 研究メモを利用した支援法の提案	20
5 支援システム En Passant 1	21
5.1 En Passant 1 システム構成	22
5.2 Writing Pad 1	23

5.2.1	Page Window	23
5.2.2	Linking	24
5.2.3	Indexing	24
5.2.4	Mark Editor	25
5.3	KAUS Pad	25
5.4	Mark Daemon	25
5.5	Adviser	26
6	予備実験	29
6.1	実験の方針	29
6.2	被験者	30
6.3	被験者 A	32
6.3.1	被験者の問題意識	32
6.3.2	経過	32
6.3.3	観察	34
6.4	被験者 B	35
6.4.1	被験者の問題意識	35
6.4.2	経過	35
6.4.3	観察	36
6.5	考察	37
6.5.1	予想された効果と実験結果	37
6.5.2	予想されなかった効果と実験結果	37
6.5.3	関連項目の摺り合わせの効果	38
6.5.4	時間軸の扱い	38
6.5.5	システムの問題点	39
7	支援システム En Passant 2	41
7.1	En Passant 2 システム構成	41
7.2	Writing Pad 2	42
7.2.1	Main Window	42
7.2.2	Page Window	43
7.2.3	Linking	44
7.2.4	Indexing	44
7.2.5	Adviser	45
7.3	Mark Daemon	46

8	実験	49
8.1	実験の方針	49
8.2	被験者	50
8.3	被験者 A — 実験 1	50
8.3.1	被験者の問題意識	50
8.3.2	経過	50
8.3.3	考察	55
8.4	被験者 A — 実験 2	56
8.4.1	被験者の問題意識	56
8.4.2	経過	57
8.4.3	考察	62
8.5	被験者 B	66
8.5.1	被験者の問題意識	66
8.5.2	経過	66
8.5.3	考察	72
8.6	被験者 C — 実験 1	78
8.6.1	被験者の問題意識	78
8.6.2	経過	78
8.6.3	考察	81
8.7	被験者 C — 実験 2	86
8.7.1	被験者の問題意識	86
8.7.2	経過 — 7/25 その 1	86
8.7.3	経過 — 7/25 その 2	87
8.7.4	経過 — 7/31	88
8.7.5	経過 — 8/2	88
8.7.6	経過 — 8/4	89
8.7.7	経過 — 8/8	90
8.7.8	経過 — 8/12	96
8.7.9	経過 — 8/13	97
8.7.10	経過 — 8/17	100
8.7.11	経過 — 8/19	101
8.7.12	考察	103
9	考察・評価	105
9.1	考察	105
9.1.1	被験者の問題意識とシステム	105
9.1.2	時間的順序	105

9.1.3 関連項目の摺り合わせの効果	106
9.1.4 マーク	107
9.1.5 「価値のある」概念の創発	112
9.2 評価	112
9.2.1 モデルの評価	112
9.2.2 システムの評価	113
10 思考支援システム構築への指針	117
11 結論	121
謝辞	125
参考文献	127
A 多次元尺度構成法	137
A.1 処理の手順	137
A.2 非類似度行列の計算	137
A.3 座標行列の導出	138
B 発表文献リスト	141

図一覧

2.1 認知の次元と、メディア・プロセスとの関係 (Wood[106]より引用)	10
3.1 創造的思考の過程 (Genevieve Model[14]を元に変更)	14
3.2 思考のモデル	15
4.1 支援ツールによる時間的順序の変更	18
5.1 En Passant 1 システム構成	23
5.2 Writing Pad 1	24
5.3 linkage point の与え方	25
5.4 mark 間の関係と object 間の linkage point	26
6.1 被験者 A, ページ 71	33
6.2 過去のページと現在の問題意識の摺り合わせ (1)	38
7.1 En Passant 2 システム構成	42
7.2 Writing Pad 2 - Main Window	43
7.3 Writing Pad 2 - Page Window	44
7.4 Adviser の表示例	45
7.5 Filter	46
7.6 Adviser の処理	47
8.1 参照ページの移行 (被験者 A - 実験 1)	56
8.2 Adviser の表示 (1)	57
8.3 Adviser の表示 (2)	58
8.4 Adviser の表示 (3)	63
8.5 Adviser の表示 (4)	64
8.6 過去のページと現在の問題意識の摺り合わせ (2)	65
8.7 参照ページの移行 (被験者 A - 実験 2)	66
8.8 被験者 B, ページ 22	67
8.9 被験者 B, ページ 23	73

8.10 被験者 B, ページ 24	74
8.11 被験者 B, ページ 25	75
8.12 被験者 B, ページ 13	76
8.13 参照ページの移行 (被験者 B)	77
8.14 被験者 C, ページ 6	82
8.15 被験者 C, ページ 8	83
8.16 被験者 C, ページの参照とマーク “仕様” の変遷	84
8.17 参照ページの移行 (被験者 C - 実験 1)	86

表一覧

2.1 創造的思考の過程と関連研究・技術	9
5.1 En Passant 1 の動作環境	22
6.1 被験者	30
6.2 被験者別の思考支援ツール	31
6.3 被験者 A の予備実験経過	32
6.4 被験者 B の予備実験経過	35
7.1 En Passant 2 の動作環境	41
8.1 被験者 A の実験経過	51
8.2 被験者 A の実験経過	58
8.3 被験者 B の実験経過	67
8.4 被験者 B の作業時間	77
8.5 被験者 C の実験経過	78
8.6 被験者 C の作業時間	85
8.7 被験者 C - 7/25 の実験経過 (その 1)	87
8.8 被験者 C - 7/25 の実験経過 (その 2)	87
8.9 被験者 C - 7/31 の実験経過	88
8.10 被験者 C - 8/2 の実験経過	89
8.11 被験者 C - 8/2 の実験経過	89
8.12 被験者 C - 8/8 の実験経過	91
8.13 被験者 C - 8/12 の実験経過	96
8.14 被験者 C - 8/13 の実験経過	97
8.15 被験者 C - 8/17 の実験経過	101
8.16 被験者 C - 8/19 の実験経過	101
9.1 被験者別のページ数とマーク数	108
9.2 被験者 A のマークの意味づけ	110
9.3 被験者 B のマーク	111

9.4 被験者 C のマークの意味づけ 115

第 1 章

序論

人類の歴史は道具の歴史であると言われるように、我々人類は、それぞれの生活環境の中で、自らの肉体的・精神的苦痛を排除すべく、様々な道具を作り出してきた。そして、産業革命以降、それらの道具は工業製品として広く普及し、主に直接的には我々の肉体的な面での行為を支えるようになった。しかし、それらの道具が、単に我々の肉体的な負担を軽減させただけではなく、精神的な面でも大きな影響を及ぼしたのは言うまでもない。例えば、自動車や飛行機の発明は、我々をより速くにより早く運んでくれただけでなく、我々の世界観を変え、価値観をも変えた。そして、計算機の発明により、いよいよ、直接的に精神的な負担を軽減させる為の道具作りが行われ始めた。

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、既存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わせ、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、などをひとつひと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し、支援システムの構築と実験を行う。本論文では、創造性のうち、科学的な創造性を扱い、研究者を実際のシステムのユーザとする。

人間の思考を刺激するための方策として、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, AA1[29], CAT1[91], SC0/SC1[88], CASSIS[4]などを構築し, 実験を行ってきた。

本論文で提案するシステムの特徴は, ユーザの創造的な思考を促進するために, 記憶の想起における制約を考慮し, それを変更することによってユーザを支援することである。AA1をはじめとするシステムや, KJ法[40]に基づいて作られたシステム[90]などの従来のシステムでは, 扱う情報を平面的, ないしは空間的な階層で扱ってきた。日々蓄えられていく記憶に関連する情報を扱うには情報の時間的な属性が必要となるので, これらの方策では限界がある。本論文ではこの点に着目し, よりユーザの思考過程に則した支援を目指す。

以下, まず第2章で関連研究を挙げ, 第3章で本論文で用いるモデルについて述べる。第4章では日常の研究活動に基づく支援法を提案する。第5章でその方策に基づく支援システムについて述べる。第6章でそのシステムを用いた実験について述べ, 考察を行う。第7章では, 第6章で問題となった点を改善した支援システムについて述べる。第8章で, そのシステムを用いた実験を行う。第9章で実験の考察と, モデルとシステムの評価を行う。第10章で思考支援システム構築への指針を提案し, 第11章で結ぶ。

第2章

関連研究

本章では, 関連研究についてまとめる。まず, 創造的思考過程に関する研究を挙げ, 創造性が心理学・認知科学でどう扱われてきたのかを述べる。次に, その創造性を計算機上に実装するという立場と, 人間が創造性を発揮するための支援ツールとして計算機を利用するという立場から, 既存研究をまとめる。そして, 人間と機械とのインタフェースが人間の創造的思考に及ぼす影響について述べる。

2.1 創造的思考過程

創造性に関する研究は, 様々な分野からのアプローチによってなされてきた。しかし, いまだその方法論の確立には至っていない。現在までの研究を簡単にまとめてみる。

当初, 創造性は, 神などによって創造的なアイデアが選ばれた人間にのみ「吹き込まれる (inspire)」のだとする, 神話的な説が起こった。この説では, 「天才」と呼ばれるような人物 (Mozart や Einstein など) の創造過程を研究することによって, 先天的に創造性を持った人物が無意識の中で新しい洞察を作り出すのだ, と説いた。しかし現在では創造性は先天的な能力ではなく, その人間をとりまく環境によって誰にでも発揮できるものとする説が有力となっている。

Wallas[101]は創造活動の過程を

- 準備期 (preparation)
- ふ化期 (incubation)
- 啓示期 (illumination)
- 実証期 (verification)

の4つに分けた。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）。このモデルはその後の研究に大きな影響を与えている。

Guilford は、思考過程を発散的思考（*divergent thinking*）と収束的思考（*convergent thinking*）に分け、創造活動には発散的思考が重要であるとした [21]。

de Bono は、思考を垂直的思考と水平的思考に分け、直線的・論理的な思考が創造性を阻むとし、水平的思考が創造性に有効であるとした [10]。

Weisberg は、創造的な思考のジャンプが起こることや、また、無意識のうちに新しい洞察が生まれるといった説を否定した [105]。そして、創造的な所産とは、それまでにあった作品を修正したり精密にしたりしてできた物であり、新しい所産とは、思考する人がそれまでにあった作品からゆっくり離れて行く時に、小さな段階を経て発展するのだ、という「漸進説」を説いた。更に彼は、ブレインストーミングによって創造性に大きく関連していると考えられる発散的思考が強化され得ると考える説を否定し、逆に、創造的思考においては、冒頭からアイデアを判断することが重要であるとした。また、創造的な活動は、そうなるべき環境がそこにあったにすぎず、それを結実させた人々と他の人との相違は、モチベーションの水準だけかもしれない、ともしている。

Finke らは、創造活動の過程を生成フェーズ（*generative phase*）と探索フェーズ（*exploratory phase*）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 *Geneplore Model* を提案している [14]。また、Finke は創造性の評価について、それまでに見られなかった新規性があれば良いとか、生産性（アイデア数/時間）が大きい方が良いとかいったことではなく、特に工学的な分野では *practicality* といったことも評価の要素として考える必要があることを指摘している。

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 [7]。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
- 可能性の範囲を決定する

としている。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

- 制約の削除
- 制約の否定

が有効な場合があるとしている。

これを受けて Haase は、探索の過程が概念空間に小さな変化を起こさせ、時にその変化がその空間自体を劇的に変化させる、としている [23]。

また、Boden は創造性を

- H-Creativity
- P-Creativity

とに分けている [7]。H-Creativity とは、ある創造的な概念が人類史上初めて現れた時の創造性を指し、P-Creativity とは、ある人間がそれまでに持っていなかった概念を自ら作り出す創造性を指している。いずれにせよ、あるコミュニティ内で、ある概念が生じ、その概念がそのコミュニティに与えるインパクトが大きい時に、その概念の創出が創造的である、ということになる。Haase は、そのコミュニティが1人の人間である場合、P-Creative であり、複数の人間で構成されるものである時、H-Creative だ、としている [23]。

2.2 計算機の創造性

既存の知識ベースシステムは、シンボルとして表現可能な知識が完全にあるという理想化された世界を前提としてきた。しかし、それらのアプローチを実世界にまで拡張しようとするのは、困難であった [43]。シンボルの操作だけに基づく方法論には一定の限界があり、このアプローチで創造的な知識処理を計算機が自律的に行うことも困難だと言える。

また、ニューラルネットワークなどの *subsymbolic* なアプローチでは、シンボルで明示的に扱うことができない知識の一部を蓄積・利用したり、新たな組合せを生成することが可能となっているが、シンボルを扱わないで知的な振舞をするには限界がある。*symbolic* と *subsymbolic* 双方を統合するアプローチをとる研究が、これからの知識ベース研究の主流になっていくと思われるが、ただ単に双方の機構を持っているだけでは有効にシステムが機能するとは思えない、これらの研究は

- いかにして双方の機構をメタで制御するか
- 双方の機構が保持する知識をお互いにどう受渡すのか

という大きな課題を解決しなければならない。これらの課題は、知識ベースにどのように知識を入力していくかという知識獲得と深く関係しているので、知識の入力、整理、利用と統合的な方法論が必要となるであろう。

述語論理に基づく知識処理ツールでは、断片的な知識がルールで記述され、ルールの集合の中から論理的につながるルールを結合することによって解を得ようとしてきた。これらのルールが作る空間は、ルールの削除や否定が無い限り、基本的には単調に増加するだけで、Bodenのいう概念空間の変換は生じない。これらのツールが出す解は、それらのルールが作った解空間の中を探索した結果でしかない。

TMSや確率的な手法を用いてルールに確信度を与え、ルールが作る空間を変化させることも考えられる。しかし、いずれにせよ、既存のルールによって生成される解でしかない。今までに無い概念やルールの創発を目的とする場合、これらの手法では概念空間の変換による創造性の実現は困難と思われる。

もちろん、例えば数学のように、その空間が広大であったり、未知の部分が大きい場合、その空間を探索することによって新たな発見が得られることは十分に考えられる。計算機の膨大な処理能力は、このような空間内を余すところなく探索する場合に非常に有効である。Bodenの分類を用いれば、現在の計算機科学では、計算機は探索による創造性を持つ可能性があると思われるが、変換による創造性を計算機が有しているとは言えない。

2.3 計算機による創造性の支援 - 発想支援研究

2.3.1 Youngの分類

発想支援研究の分類によく引用されるYoungの分類[108]では、

- 秘書レベル (The Secretarial Level)
- 枠組み-パラダイムレベル (The Framework-Paradigm Level)
- 生成レベル (The Generative Level)

の3つのレベルが提唱されている。

秘書レベルのシステムとは、ユーザが創造的な活動に専念できるように、思いついたことを書き留めたり保存したりするために計算機を電子黒板のように用いるシステムのことを指す。代表的なシステムとしては、ワードプロセッサや、ハイパーテキスト[38]などが挙げられる。グループウェア[68]の中で、石井らのTeamWorkStation[31, 32]の「縫目のない(seamless)」というコンセプトや、StefikらのColab[87]のWYSIWIS (What You See Is What I See)などの主張は、秘書レベルの機能を強調したものだと考えられる。

枠組み-パラダイムレベルのシステムとは、思考の枠組みをユーザに提供し、ユーザの思考を構造化したり、思考の流れをガイドする能力を持つシステムを指す。このレベルに含まれる発想支援システムは、河合らのKJエディタ[39]や、三末らのD-ABDUCTOR[49]、篠原のCONSISTおよびCONSIST-II[83]、宗森らの郡元[54]など、KJ法[40]に基づいて作られたものが多い。また、ColabでのアイデアプロセッシングツールであるCognoter[98]はブレインストーミングに基づくシステムであり、このレベルでの機能とみなすことができる。

生成レベルのシステムとは、システムが自動的に新たなアイデアやヒントを生成して、それをユーザに提示する能力を持つシステムを指す。このレベルに含まれるシステムの中には、明示的にアイデアやヒントを提示するものと、アイデアに通じる新たな視点を提示するものに分けられる。YoungのMetaphor Machine[108]や遠藤らのFISM[12]、折原の「知恵の泉」[71]、渡部のKeyword Associator[104]は、明示的にアイデアやヒントをユーザに提示するシステムである。これに対し、堀らのAA1[29]、CAT1[91]、SC0/SC1[88]、CASSIS[4]は、システム製作者がアイデアやヒントの生成法をシステムに埋め込むのではなく、システムがユーザの使用に基づいて直観に訴える表示を生成し、ユーザ自身が新たなアイデアや視点に気づく刺激を与えるという方策をとっている[25]。

ここで注目したいことは、枠組み-パラダイムレベルと生成レベルに含まれる方法論のうち、アイデアそのものを提示する方法論や、ユーザの思考を枠にはめて思考の自由度を制限することによって思考を支援しようとする方法論では、システムの製作者が考える「人間の発想に有効である」思考の枠組みがシステムにあらかじめ組み込まれている、という点である。それらの方法論で支援されるユーザは、その思考の枠組みに強く依存して考えていくことになる。

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、全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。

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り、かつ、その有効性はBodenのいうところの概念空間の探索にとどまることになる。

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。

2.3.2 創造的思考の過程に基づく分類

より深く、よりユーザ個人個人に適した支援を目指すには、当然、人間の思考過程や創造性などといった認知モデルの考察が必要であり、かつ、それに適した既存の技術を有効に活用していかなければならない。既存の発想支援研究は、Human-Machine Interfaceの開発を中心としたものがほとんどであり、それらは残念ながら人間と機械の表面的な接触面を扱っているにすぎなかった。本論文のアプローチでは、表面的な Human Computer Interaction (HCI) の背後に、システムがユーザの思考に合った形でユーザの知識を獲得していき、その知識を利用して新たな思考を支援していく、そのためには、言語・非言語双方の知識を扱える機構、適したメディアが必要となる。

ここで、創造的思考の各過程と既存の研究・技術との関連を簡単にまとめる。表 2.1 に人間の創造的思考の各過程とその過程に関連する研究・技術を示す。

情報収集の過程では、大量の情報の中から自分にとって価値のあるものを集めるための技術がこれからはますます必要になってくると思われる。

最も一般的な情報収集の手段として、学会誌などの購読や、研究者同士で学会などのコミュニティを作り、そこでの情報交換などが行われてきた。

近年、大規模なデータベースの構築が可能になり、学術情報を電子化したデータベースが開発され、研究者に広く活用されるようになってきている。しかしデータベースが有する情報が多くなればなるほど、その中から真に個々の研究者が欲する情報を検索することが困難になるという問題が生じている。検索者が適切なキーワードを言語化することができない分節化の問題や、2次情報の作成者と検索者が同一単語に対してそれぞれが有する概念に差があるという問題が、顕在化している。それらの問題に対して、検索者の視点や検索者が置かれている状況の文脈を検索に利用する方策を解明していく必要があるであろう。

インターネットに代表される通信ネットワークの整備に伴い、電子メールや電子ニュース、更には World Wide Web などのネットワーク上のコミュニケーションツールが、それらのコミュニティ内外の情報伝達を促進し、研究者が直接アクセスできる情報空間をますます拡大させている [69]。

杉本は、学術論文のデータベース中から、各論文の視点を抽出することによって、ユーザである研究者の興味に関連する論文を集めるための一方策を提案している [89]。

インターネットによって構築された広大な情報空間から有用な情報を抽出する方策の研究なども行われ始めている [93, 92]。

データベースからの知識発見やデータマイニングなどの研究 [62, 73] も、これらに対するアプローチである。しかし、現在までのところでは、情報空間から有用な情報を得ようとする人間の能動的な介在をぬきにして、その人間にとって有

表 2.1: 創造的思考の過程と関連研究・技術

過程	関連研究・技術
情報収集	DB, KB, 情報検索
仮説生成	abduction, 述語論理
検証	シミュレーション, 述語論理
制約の変更	heuristics, 発想支援

用な情報を抽出する有効な方策は得られていない。

長尾 [57] は、創造的な設計解を得るために、ルールに基づく計算機による設計支援システムにおいて、設計のルールを積極的に追加・削除する方策を用いた。創造的な設計を支援する方策の1つの有効な提案だと言える。

本論文では、計算機上で自動化することが困難であり、かつ、人間の創造性に最も関係があると考えられる制約の変更を促すことによって、Bodenのいうところの概念空間の変換によって生じる創造性を活性化させることを目指す。

2.4 適切なメディア

Green は HCI における認知の次元 (cognitive dimensions) を提案している [19, 20]。Green は HCI システムを

$$\text{system} = \text{notation} + \text{environment}$$

としてとらえ、計算機上に構築された単なるツールとしてではなく、環境として考えるべきだとしている。例えば、紙と鉛筆は、ツールとしてはスマートではないが、ランダムなアクセスや容易な修正が可能であり、単なるシンボルだけでなく濃淡や筆圧などで多くのことを表現することができる洗練された環境である、としている。

Wood は Green の認知の次元の枠組みをアイデアスケッチに適用している [106]。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 (図 2.1)。この中で、発想過程で重要だと考えられる生成プロセスと構造化プロセスが要求するプロパティがワードプロセッサにはなく、逆に紙やポストイットノートなどに含まれていることが注目される。ワードプロセッサに代表される計算機のキーボード入力によって表現するメディアは、現在のインタフェースでは、人間の思考を損ねない程度の表現のしやすさを提供できていない。

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 [94]。その理由として、

	medium							process					
	paper	word processor	file cards	post-it notes	whiteboard	back-of-hand	dictaphone	generating	organising	goal setting	translating	reading	editing
Easy, fast Gratification	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	=	+
transparency	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	=	+
richness	+	-	+	+	+	+	-	=	+	+	=	+	=
Terseness	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	=	=	=
overview	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	=	+	=
structurability	+	-	+	+	+	+	-	=	+	+	=	=	=
visible area	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	=	+	+
Perceptual cues (typographical)	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Perceptual cues (graphical)	+	-	+	+	+	=	-	+	+	+	=	=	=
Accessibility	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	=	=	=
location through perceptual cues	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	=	=	=
facilitation through terseness	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	=	=	=
meaning through perceptual cues	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	=	=	=
No Premature commitment	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	=	=
downsliding	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	=	=
finished character	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	=	=
Low Viscosity	=	+	=	=	+	-	-	=	+	+	=	=	+
exhibits evolution	+	-	+	+	-	+	-	+	=	=	=	=	=
temporariness	+	=	=	+	+	+	=	+	=	+	-	=	-
Informalness	+	-	+	+	+	+	+	+	+	=	-	-	-
faithful conveying	-	-	-	-	-	-	=	-	-	=	+	+	+
semantic potential	+	+	+	+	+	+	=	+	+	=	-	-	-

図 2.1: 認知の次元と、メディア・プロセスとの関係 (Wood[106]より引用)

1. 描かれたものの形、角度、大きさ、位置関係の（フリーハンドであるがゆえの）曖昧さが、デザイナーの認知システムを描きおぼるから
2. 何かを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から

としている。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・ペン等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。

研究	対象	方法	結果
Finke (1989)	創造的思考	Geneplore Model	生成フェーズと探索フェーズの区別
Wallas (1926)	創造的思考	準備期、啓示期、実証期	創造的思考の4つの過程
Boden (1969)	創造的思考	概念空間の変換	視点の変更の重要性
その他			

第3章

本論文でのモデル

本章では、本論文での思考過程のモデル、思考のモデルについて述べる。そして、本論文での創造性の支援の位置づけを示す。

3.1 思考過程のモデル

図 3.1 に、Finke の Geneplore Model を元にした、本論文で用いる創造活動の過程を示す。Geneplore Model は、図中の Constraints と Generative Phase, Exploratory Phase の関係で説明されている。本論文での思考過程のモデルは、これに Meta-Constraints を加え、更に Wallas の 4 つの過程を重ねる。

Wallas の分類における準備期では、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索するので、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、Geneplore Model 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。

3.2 思考のモデル

前節の思考過程のモデルにおいて、制約に基づいて繰り返される生成フェーズと探索フェーズを、より詳細にモデル化する。

3.2.1 Mental World

人間が頭の中に持つ概念空間を Mental World とする。Mental World の中に、その人が持つ様々な概念が浮遊している。認知活動により、概念の Mental World 内の位置は他の概念との相対的な位置関係に基づいて変わる。

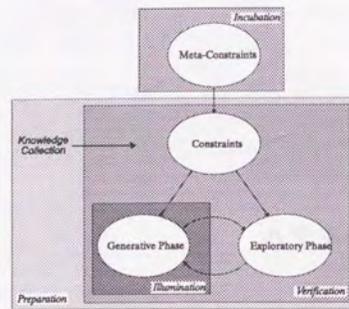


図 3.1: 創造的思考の過程 (Geneplore Model[14] を元に変更)

3.2.2 Operating Field

Mental Worldの中で、現在注目(意識)している部分を Operating Field とする。注目された部分は、その時点での Constraint に従って構成され、それが 1つの State となる。Constraint は、言語、論理、その人の価値観、環境、または、つい最近考えていたことなどによって決定される、動的なものである。この Constraint が、Operating Field での Operation をメタ的に支配する。State に Operation を行うことにより、State は遷移していく。Operating Field にて操作された概念や概念間の関係は、操作される前後で、変化を生じることとなり、それはまた、その時に操作された概念とされていない概念との関係にも影響を及ぼす。

3.2.3 Constraint

Constraint は、自分の Mental World に持つ知識や、様々な外的な要因によって成る。これは、それぞれの育った環境や教育、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。例えば、設計におけるメタ知識や、囲碁における定石などが、Constraint に含まれる。Constraint 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。Constraint の変更が、創造的な思考を行う為に必要だとすると、Constraint となっている知識・概念を自分で意識して変更することと、意識できない Constraint を変化させる外的な刺激を与えることが重要となる。

3.2.4 Operation

Operating Field の概念に対する操作を Operation とする。Operation を行うことで、Operating Field の State が遷移する。

Operation には、新しい概念の獲得(獲得)、2つの概念の結合(結合)、2つの概念の比較(比較)、ある概念の否定(否定)、結合の切断(切り離し)、ある概念の演繹的操作(演繹)、言語や絵、音などでの表現(外化)、などがある。

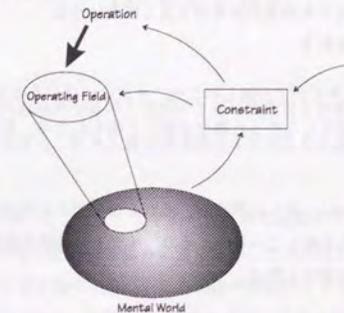


図 3.2: 思考のモデル

3.2.5 思考のモデルと計算機

この思考のモデルの一部に計算機環境を組み込むことによって、人間の思考の支援を実現することを考える。例えば、

- Mental World の局所的な記憶、テキスト、絵・写真などの画像、映像など、現在計算機で扱えるデータを利用する。- 記憶装置としての利用
- Operating Field における論理的な処理。- 推論エンジン、シミュレータとしての利用
- Constraint を変化させる刺激を人間に与える。- アドバイザとしての利用(人間の Operation の履歴をシステムが観察することによって、違った思考の方向性を示唆する。)

などの技術は、人間の思考を拡張させようと考えられる。

3.3 創造性

本論文では、上記のモデルにおいて、

- 様々な Operation の結果得られた「価値のある」概念（関係）
- State の遷移によって Mental World が変化していき、後でその部分に注目した時に気づく概念（関係）
- 制約の大きな変更によって生じる概念（関係）

の生成を支援することを創造的思考の支援と位置付ける。

また、新奇と創造性を

新奇な (novel) アイデアが新しいこと。それに価値があるかどうかは問わず、それまでに存在しなかった概念が新たに得られた時、新奇のアイデアであると呼ぶ。

創造的な (creative) 新しい概念が、それを出発点として広く展開されていくポテンシャルを有している時、そのアイデアの発想を創造的であると言い、その能力を創造性と呼ぶ。

のように区別し、新奇であれば創造的であるということを否定する。また、以前からあったアイデアだとしても、それに新たな価値が見出された時に、そのアイデアの価値を見出した新たな視点を創造的である、とする。

第4章

日常の操作に基づく支援法の提案

本章では、人間の創造的な思考を支援するための方策を提案する。始めの4節で基本的な考え方を述べ、第4.5節で研究メモを利用した本論文での方法論を提案する。

第2.3.1節で述べたように、工学的に創造的な活動を支援するためには、いまだ解明されていない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。したがって、本論文では、前述の Young の分類に対応させるとすると、秘書レベルに基本を置き、それに思考のアイデアやヒントをユーザ自身が気づけるように機能を付加していくというアプローチで思考支援システムを構築することが有効であると考えられる。

4.1 思考の制約の変更

Boden が述べている制約とは、その概念空間を支配しているルールを指していて、それらのルールを取り除いたり、否定したりすることによって制約が変化し、概念空間の変換が生じる。つまり、Boden が言及している制約とは、内容の制約である。

AA1[29]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捉えることを促されるので、内容の制約を変化させるのに有効であると考えられる。更に、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。

4.2 システムが扱うユーザの概念空間内の範囲

今までのツールでは、概念の空間的な取扱のみを支援していたので、その使用においては、概念空間内の局所的な部分、つまり対象となるドメインだけを扱っていたことになる。

そこで本論文で提案するシステムでは、ツールがユーザにドメイン別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無く自由に入力をしてもらい、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、より大局的な思考を支援することが可能になると考える。そのために、システムは大量のデータを扱い、また、長期にわたる継続的な使用を前提とすることになる。

4.3 関連項目の想起

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、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（順向抑制、逆向抑制）[97]。

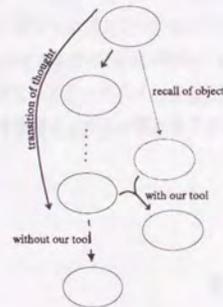


図 4.1: 支援ツールによる時間的順序の変更

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思っているということもあるであろう。

Norman は、思い出させるもの (reminder) には2つの側面があると述べている [63]。1つは、何か思い出さなくてはならないことがあるというシグナルである。もう1つは、いったい何を思い出すかというメッセージである。そして、理想的な思い出のための道具は、これらの両方の側面を含んでなければならないとしている。

自発的には想起されない記憶を、その思考を行った時と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。想起を促すシグナルをユーザに与え、そのメッセージを提示することで、単に忘れていたことを思い出すだけでなく、新たな思考のきっかけを与えられると考えられる。

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来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を提案する。

4.4 適切なメディア

第 2.4 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・ペン等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。

頭の中で行な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、このことによって更に思考が外化（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。

4.5 研究メモを利用した支援法の提案

以上の基本的な考え方に基づき、本論文が提案する思考支援の方策を以下のよ
うにまとめる。

思考の制約のうち、思い込みによる記憶の想起の障害、時間的経過・順序に注
目し、それらの制約を変更する刺激をユーザに与えることによって、創造的な思
考を支援する。そのためにはユーザの自然な日常の思考をシステムで扱う必要が
ある。そこで、ユーザの生成的な思考に適したメディアである紙の研究メモを利用
し、継続的使用を前提とするシステムとする。

研究メモが書き蓄えられていくことに伴い、その研究者の思考空間が広がる
ということが期待される。このことを本論文では研究メモの蓄積効果と呼ぶ。そし
て、システムがユーザである研究者に記憶の想起の障害となっている制約を変更
する刺激を与えることによって、ユーザの思考空間が変形したり、思考空間内
でのジャンプが起きることを期待する。このようなアプローチで研究メモの蓄積
効果を増幅する。

第5章

支援システム En Passant 1

本章では、第4章で述べた方針に基づいて構築した、思考支援システム En Pas
sant 1¹について述べる。

以下のようなユーザの使用を想定してシステムを構築した。

ノートの蓄積 ユーザのノートを定期的にシステムに入力し、入力したノートに
インデックスをつける。

- ユーザは、毎日の研究活動においてできるノートやメモをスキャナで
システムに入力する。
- ユーザは、入力したノートに、後でそのノートを見つけられるように、
ユーザが思いつくインデックスをつける。インデックスとして、
 - ページのタイトル
 - ノートの部位につけるマーク
 - 他のノートを参照するリンク
 を使用する。
- ユーザは、自由にノートの内容に記述を加えたり、新たなページを追
加する。

ノートの見返し じっくりとノートを見直して考えたい時は、システムが提供す
るリスト表示や空間配置表示を利用する。

- ユーザは、システム内に蓄積した自分のノートを参照したい時、
 - ページのタイトルのリスト
 - マークの貼付状況
 などを利用して、参照するノートを選択し、ブラウズする。

¹Electronic notepad system stores your knowledge and tells you something.

- ページ間の類似度を距離に対応させて、2次元空間上に配置された各ページのアイコンをユーザは見ること、それぞれのページを関係を視覚的に捉えることができる。その表示が、参照すべきページをユーザに把握させたり、次の思考のきっかけを与えることが期待される。

マークのカスタマイズ ユーザは、自分が使用するマークをいつでもカスタマイズすることができる。

- ユーザは、ノートにつける適当なマークがない場合、その場で自由にそのマークを追加し、使用できる。
- ユーザは、使用しているマーク間の関係を明示的に与えられると考える場合、その関係をシステムに入力する。

また、システムはユーザが使用していない時に、自動的に、ユーザの宣言したマーク間の関係と、ページへのマークの貼付、リンクのデータを用いて、ページ間の類似度を計算しておく。これによって、ユーザが使用している時にリアルタイムでの類似度計算を回避し、ユーザの入力したデータの増加に伴う類似度計算の量・時間の増大がもたらす即応性の低下に対処する。

5.1 En Passant 1 システム構成

システムの動作環境を表 5.1 に示す。

表 5.1: En Passant 1 の動作環境

Platform	IBM PC/AT Compatible
OS	Linux 1.2.1
Window System	XFree86 3.1.1 (X11R6)
GUI	Motif 2.0
Language	GNU C/C++ 2.7.0

また、システムは以下のモジュールで構成されている。

- Writing Pad 1
 - Page Window
 - Mark Editor
- KAUS Pad
- Mark Daemon

- Adviser

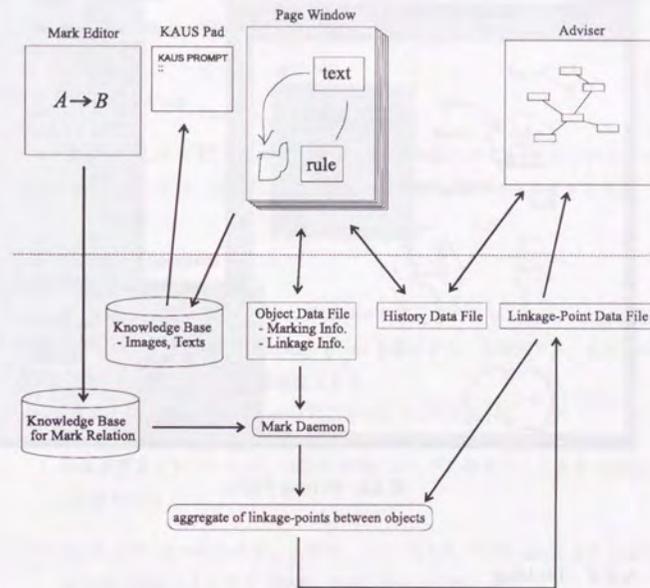


図 5.1: En Passant 1 システム構成

5.2 Writing Pad 1

Writing Pad 1 は、ノートの入力インタフェースである (図 5.2)。

5.2.1 Page Window

ユーザは、Page Window が提供するキャンバス上にビットマップイメージで絵が描け、テキストを入力するための Text Box、ルールに基づく知識処理システム KAUS²の知識を書くための Rule Box を任意の場所に開いて入力することができる。Rule Box の内容は、KAUS に読み込まれ、その知識を使った推論に使われる。また、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。En Passant 1 では、ここで入力される Text Box, Rule Box, ビットマップイメージを object として扱う。

²大須賀の提案した Multi-Layer Logic に基づき構築された知識処理システム [66, 107]

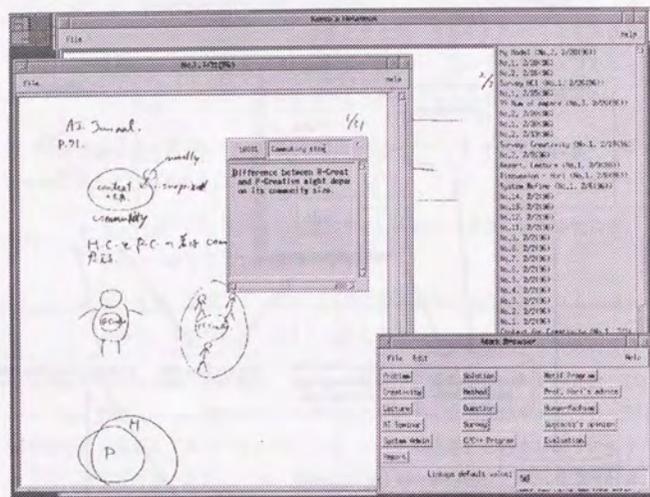


図 5.2: Writing Pad 1

5.2.2 Linking

ユーザは、明示的に object 間に関連を宣言したい場合、object 間に link を作成することができる。

5.2.3 Indexing

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た。Writing Pad 1 では、ユーザは object に mark をつけて、後で過去に作られた object を辿るために利用する。

mark として、システムがあらかじめ用意するものと、ユーザ自身が宣言するものの 2 種類を扱う。

- システムが用意する mark
[例] Question, Solution, Advice.
- ユーザによってカスタマイズされる mark

5.2.4 Mark Editor

Mark Editor はユーザ固有の mark や mark をつけられた object 間に与える linkage point (第 5.4 節参照) の与え方をカスタマイズするために用いられる。

5.3 KAUS Pad

ユーザが入力した KAUS 書式の宣言的知識を読み込んだ KAUS のプロンプトを表示する。ユーザは、自分が入力した知識を対話的に操作することができる。

5.4 Mark Daemon

Mark Daemon は、ユーザによって object に宣言された mark と、object 間の link によって、object 間の linkage point を算出する。本研究では、その linkage point をオブジェクト間の関連度とする。

object i と j の間の linkage point は以下のように与えられる。

1. link が宣言されていれば、link 宣言時にユーザに指定された値を linkage point にする
2. mark ξ が i につけられている場合、 j につけられている mark η と mark ξ の間の関連マトリクス (後述) の値を加える (図 5.4)

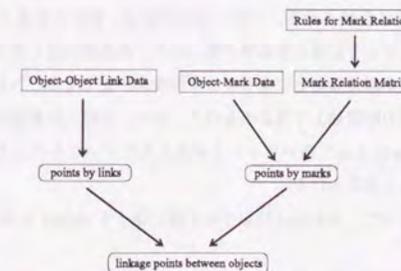


図 5.3: linkage point の与え方

また、Mark Daemon は、算出した object 間の関連度が 2 次元空間上の距離に比例するように、多次元尺度構成法 [45] (付録 A 参照) を用いて、object の 2 次元空間上での座標を算出する。この object の座標は、次節で述べる Adviser に利用される。

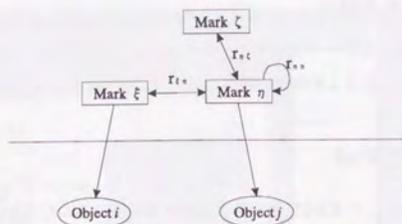


図 5.4: mark 間関係と object 間の linkage point

mark 間関係を関連マトリクスが表す。このマトリクスは、ユーザによって Mark Editor でカスタマイズされるもの、システム製作者によって事前に用意されるものなど複数あり、これらを変更することによって object 間の linkage point が変化し、Adviser に反映される。

5.5 Adviser

ユーザに、object の関連を提示する。

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。そのために、操作履歴を利用して、システムはユーザの思考の時間的経過を object 間の関係に反映させる。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も干渉効果が強くなるとされる [97]。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、つまり indexing によって高いポイントが与えられているものほど、想起されにくくなっていると考えられる。

その仮定に立つて、Adviser は以下の手順に従って object を表示する。

1. システムは、Mark Daemon によって算出した object の座標を用いて配置を決定する。
2. 任意の object (アンカーと呼ぶ) をユーザ、もしくはシステムが選択する。
3. 選択された object との linkage point が閾値 (ユーザによって変更可) を越えたものと、それらの object と link で結ばれている object をシステムが選択する。

4. 各 object 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。link が張られた object 間を線でつないで表示する。

この他にユーザは、つけられた mark による object の検索が行える。また、操作履歴を利用して、自分の思考の軌跡をトレースすることもできる。

第6章

予備実験

本章では、En Passant 1を用いて行った予備実験について述べる。

6.1 実験の方針

本論文での方策の有用性を考察するには、実験に本物性 (authenticity) が必要である。現実の問題でない実際の被験者のモチベーションは高まらないし、本当の意味での有効性は示せない。被験者に実験室に集まってもらって、実験群と統制群に分けて実験を行い、その観察を定量的に分析することで有用性を考察するという方法にはいろいろな問題がある。そこで、本論文では、固定した被験者によるシステムの使用を長期にわたって観察することで、本論文の方策とシステムの有用性を検証することにする。

発話思考法などのプロトコル分析 [37] の実験法では、その発話の強要が被験者に自然な思考を阻害してしまうことがある。そこで、このシステムの使用では、発話を強要するのではなく、システム上での行為を分析することとする。

分析には、システムによって記録される被験者の操作記録、ビデオによる録画、録音による記録を用いる。

まず、本格的な使用を始める前に、En Passant 1を用いて予備実験を行った。この予備実験で、

- マークをつけることによる有効性
- 被験者の時間的順序の扱いについて
- 関連項目の摺り合わせの効果
- 被験者の状況・問題意識にシステムがどう対応しているか
- システムの使いやすさ

を分析する。

また、システムを使用することにより、

- 被験者自身が、現在の問題意識に関連すると考えるマークを使ったページの検索を行うことで、忘れていた過去の記憶を想起する
- 現在の文脈で想起することで、新たな思考が進む
- 関連項目の想起の場合、時間の範囲は重要であるが、その範囲内での順序は意識されない

などの行為・効果が予想される。

6.2 被験者

実験の被験者を大学院学生4人に依頼した。システム使用前に被験者に行ったアンケートの結果を表6.1、表6.2にまとめて示す。

表 6.1: 被験者

項目	被験者 A	被験者 B	被験者 C	被験者 D
研究の進捗	アイデアを具体化させ、システムを構築し、実験、評価、まとめる	修士課程に進学し、これからの研究の方向性を構築している。今まで修士論文から行ってきた大きな研究の方向性は変わっていないが、これからの研究に向けていろいろな方向性を検討している。	研究の基本的なアイデアを生み出している段階、自分のアイデアを具体化している段階	研究の基本的なアイデアを生み出している段階
アイデアを思いつく瞬間		電車に乗っている時等、特にそのことについて考えていない時	歩いている時に考えの整理が進むことがある	まとめる時に何回かある。思ったこともないことを思いついたことが2回ほどある。何か問題を考えながら「ああ、もう駄目だ、博んなきゃ」と思いついて、博んな中か思いつくとき、自転車に乗っている時とか電車に乗っている時とか
その他		発散的思考を行っている時に、自分自身に着くことによるフィードバックがあるので、その思考自体が頭に入ってしまう。よって、発散的思考と収束的思考は必ずしも重複しないし、キックオフが必要ない。アウトラインでの書き出しを見せられるとうれしい。計画ノート：当面やらなければならないこと、重要なOHPの構成、短期的なことに役立つように、アイデアノート：思いついたことを書く、長期的なことに役立つように		

予備実験は、このうち、被験者 A と被験者 B で行った。

表 6.2: 被験者別の思考支援ツール

項目	被験者 A	被験者 B	被験者 C	被験者 D
発散的思考におけるツール	レポート用紙、ノート机の上でない場合は紙片、机に向かっていない時はノート	ノートを用いる。思いついた単語や短い文を書き書き、それと関連するような事柄をまわりに付け足していく。事柄なこと。思いついた時にすぐに記録できる。あまり制約がない。不便。後で整理を戻したりすることができない。読みかえして理解できないことが多い	レポート用紙、閉鎖点をいくつかつけて書き出したり、それらについて考えを書く。(閉鎖点：コンピュータ上のエディタなどと比べて)書けるスペースの自由度が高い)ドローワール：図が少しきれいにかける程度	ノート、思いついたことをその時に適当にメモする。便利だとと思うこと。書きたいときに書きたいことが書ける
収束的思考におけるツール	ノート、ワープロノートや紙を見ながらワープロでまとめていく。	ノート、ワープロのアウトラインモードを用いる。まず、確定してから考え、次に小節、中身というようにできるだけトップダウン的にまとめていく。その際、紙にノートに書き留めておいたものを参照したりする。アウトラインモードはレベルを指定して表示できるので便利	エディタ等、コンピュータ上。紙に比べて整理しやすくなり修正しやすくなる。自由度が高い。	ノート、実際のアイデアをまとめるのは、何もしないでじっと考えただけで、頭の中ですべてをそれらノートに書く。不便。書き出した覚えのあることを見たいときに探すのが大変
研究メモの見返し	思いつく時	発散的思考をノートに記録する過程ですべてに自分の頭の中にと同じ程度に入るので、多くの場合は見返す必要はないが、時に忘れてしまっていることがあるのでそれを確認するのに用いている。また、紙か自身のノートを見返すことにより、思考の進捗を見ることがある。	区切りがつかない時にさっと見直す。整理する時に、局所的なところに考えが行ってしまうことがあるので、だいたいどんなことを(自分が)考えていたのかを見返す。全体的な問題意識の整理。デジタルなことにほまらなように、適当な段階でノートのまとまりをお蔵入りさせているので、その区切りは後から、時々紙でレポート用紙をストックする。話すことによって「発散することによって一区切りがつかない」	定期的に見返すことはない。何か考えなきゃいけないな、という時に、何かしなきゃいけない時(プログラムを書かなきゃいけない時など)に、後方を見て考えてきたのかを、ということを見返すのはせいぜい1ヶ月か2ヶ月。定期的に見返すことはない。
マークについて	重要と思った時に○にする	必ずしも首尾一貫したマークでマークしているわけではないが、その記述がどういう性格のものであるかを記録するためにマークを用いている。確認一貫、判断点とそれに対するアプローチとの第一など	つけない	いいアイデアだと思つたことを□で囲んだり、○をつけるなど
スタイルの種類について	発散的思考 → イラストが多い 収束的思考 → 手で書き換えていく		基本的にはメモは、考えを整理する際に考えたことを文脈で書きますが、その考えが先に出たことにはあまり上から下へと整理された感じではないです。	最初はイメージを思い浮かべて絵を描く。それに対して考えたことや疑問に思ったことを文脈でメモして、それらの関係に何か大事だと思つたら□で囲んだり○をつけたりする。
欲しい思考支援の道具について		トップダウン的な収束的思考を行なっている時に、過去の発散的思考を記録したの中の中から関連する事柄を探して来る様な道具があると便利だと思つた。まとめる段階に過去の思考過程を必要に応じて提示してくれること。ほろほろと「整理する」という苦しみをもっと行う自体は人間にとって必要不可欠な部分なのように思われるので、そこまで計算機が自動的に行うのはあまり望まない。計算機にも望むものは人間の能力ではなかなかないような、新たな機能(過去の記録など)の中から、有用だと思われるものを抽出してくれるようなシステムである。	基本的には、文章や図など、同じ土俵で扱えるツールで、それらに、時間や内容などで、タグがつけられる機能があるとほしいです。(個人メモ管理)その上で、内容のまとまり(タグ)について(つまり分岐などの関連性)自分で整理をする機能か、もしくは他人の整理した分岐の関連性を利用して検索してくれると少しありがたいかもしれません。上で書いている「分岐」(内容でのタグ)がどのくらいの粒度かはわかりませんが、すこし、かなりまとまった考えもあってしまうとわかりません。	昔書いたことでも、もう一度見たいものを検索できるもの、電卓の中などで何か思いついたときにノートを出すのと同様に、家に帰ってから思いついたことでもなかなか思い出せないことがあるので、いつでも手軽に使えたいもの。

6.3 被験者 A

被験者 A は、この実験を行う時点までに、4ヵ月間、83 ページのノートを入力している。

6.3.1 被験者の問題意識

被験者は、自分の研究での実験が終わったばかりでそのまとめを行うにあたり、実験前に自分が実験に対してどうしているかをもう一度考え直したいと考えている。

6.3.2 経過

表 6.3: 被験者 A の予備実験経過

参照ウィンドウ	経過
Mark Editor	実験に関係のありそうなマークを探す。
	マーク “Experiment” に注目し、そのマークのついたページ (page 71 と page 75) をリストで確認する。
71	リストより page 71 を開いて参照する。
75	リストより page 75 を開いて参照する。
71, 75	この2 ページ間に新たにリンクを張る。
71	“課題” をあらわすマーク “subject” を新たに追加する。
70	開いて参照する。
69	開いて参照する。
68	開いて参照する。
	マーク “subject” を貼付する。
67	開いて参照する。
66	開いて参照する。
65	開いて参照する。
	マーク “reference” を貼付する。
	マーク “Norman” を追加する。
64	開いて参照する。
	マーク “reference”, マーク “Norman” を貼付する。
	マーク “Nahomi” を追加する。
	マーク “experiment-hirano” を追加する。
63	開いて参照する。

(次ページに続く)

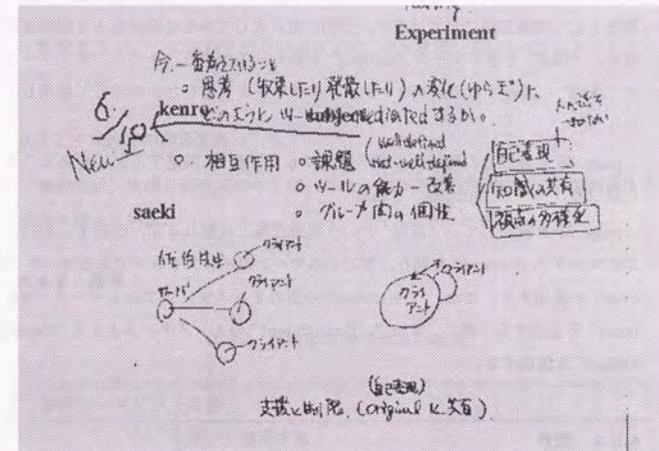


図 6.1: 被験者 A, ページ 71

表 6.3: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
	マーク “experiment-hirano” を貼付する。
62	開いて参照する。
61	開いて参照する。
60	開いて参照する。
59	開いて参照する。
	「大体自分がわかっている範囲 (自分で実験に関係あると考えられる範囲) は戻った」と言って作業を終える。

被験者は、自分が行った実験に関するマークを Mark Editor で確認し、その中からマーク “Experiment” を見つける。そして、そのマークのつけられたページをリストで確認し、それらのページを開いて参照する。

その2 ページ間にリンクを張る。

参照した page 71 に書かれた “グループ間の個性” というのは、このノートを書いた時点では被験者が他者とのディスカッションによって思い付いて単に書き留めていたことであるが、現在の意識としては、実験の重要なテーマとなっていることに被験者は気づく (図 6.1)。

そして、“グループ間の個性”の上に記述されている“課題”は現在の自分の漠然とした問題意識に当てはまり、詳細に考え直してみる必要があると被験者は考え、“課題”を表すマーク“subject”を新たに追加する。そして、他のページに“課題”に関連する箇所がないか、そのページより前をさかのぼって参照していく。

page 68を参照した時に、このページにも“課題”に関連する記述があることに気づき、マーク“subject”を貼る。

page 65を参照して、“課題”という問題意識とは離れるが、改めてこのページにマーク“reference”を貼り、更にこのマークのインスタンスであるマーク“Norman”を追加する。また、“reference”の別のインスタンスであるマーク“Nahomi”を追加する。更に、マーク“Experiment”のインスタンスとして“experiment-hirano”を追加する。

6.3.3 観察

以上の実験により以下のことが観察された。

- 現在の問題意識で過去のページをブラウズするのに、マークが有効に利用されている
- 過去のページを現在の文脈で見返すことによって、そのページに新たな意味づけがなされる
- マーク間の関係が意識されることにより、マーク間の構造が被験者に意識され、そのことが、新たなマークをつくり出すことを促す
- 新たなマーク(“subject”)を意識することにより、それをキーワードにして思考が進む
- 1つのマークの構造を意識することにより、他のマークにも構造を意識し、マークに対する思考が進む
- この被験者の他の回の実験でも同様であったが、この被験者に関しては時間軸をさかのぼる方向でページを参照していき、自ら時間的順序を崩すことがない
- 被験者自身は、時間と自分の思考活動の対応を大まかに覚えていて、通常は、システムのおいてもその時間的順序を変えるべきではない

6.4 被験者 B

被験者 B は、この実験を行う時点までに、2ヶ月間、16ページのノートを入力している。

6.4.1 被験者の問題意識

被験者は、次週に研究室のゼミで、これからの研究の方向性について発表する機会を控えている。

6.4.2 経過

表 6.4: 被験者 B の予備実験経過

参照ウィンドウ	経過
1	開いて参照する。
Mark Editor	マーク“Question”がつけられているページのリストを確認する。(該当ページは page 3, 4, 6, 7)
3	リストより開いて参照する。
4	リストより開いて参照する。
6	リストより開いて参照する。
7	リストより開いて参照する。
Mark Editor	マーク“idea”がつけられているページのリストを確認する。(該当ページは page 3, 4, 5, 8, 10, 11)
5	リストより開いて参照する。
8	リストより開いて参照する。
10	リストより開いて参照する。 マークの位置を移動してじっくりと読み考え、マークを移動した辺りに Text Box を作成し、テキストを記述する。
11	リストより開いて参照する。 じっくりと参照して、Text Box を作成し、テキストを記述する。
12	開いて参照する。 マーク“Technical issue”を追加する。 マーク“Technical issue”を貼る。
13	開いて参照する。

(次ページに続く)

表 6.4: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
14	マーク “Idea” と “Technical issue” を貼付する。 開いて参照する。
15	マーク “Hypothesis” と “Idea” を貼付する。 開いて参照する。
16	マーク “Technical issue” を貼付する。 開いて参照する。 マーク “Hypothesis” を貼付する。

まず、page 1 を開いているが、これは、紙のノートの時と同様で、癖で最初から参照するということである。

被験者の研究の方向性を考えるために、マーク “Question” と “idea” を使って古い順にページを参照していく。

マーク “idea” がつけられたページを参照し、それらのページにテキストを追加する。page 10 では、疑問として記述されていることについての現段階での被験者の回答を記述している、page 11 では、アイデアとして記述されていることの解決すべき問題点をテキストで記述している。

ノートの見返しを終え、次に新たに追加したページにマークをつけるために1ページずつ参照する。

page 12 を参照した時、このページに適当なマークがなかったため、新たにマーク “Technical issue” を追加する。

6.4.3 観察

この実験により以下のことが観察された。

- 過去のページを参照するのに、マークが有効に利用されている
- 過去のページを参照することによって、アイデアの元として蓄えてあったことを現在の文脈でとらえ、思考が進んだ
- この被験者は、時間軸を順方向にページを参照する
- マークを内容に対してではなく、その部分の機能に対してつけている

また、実験後のインタビューで以下のことが確認された。

- マーク “direction” がつけられている個所は、既に思考が完結していて、結果だけを書いているものである。それを見直すのも意味があるんですけど、

それよりも、どういう問題意識があったのかを考える方が、“direction” がついているのと違うものが出てくる可能性があると思い、この時このマーク “direction” を使用しなかった

- この実験での作業によって、今まで思っても見なかったことを新たに思いつくことはなかったが、過去の自分の考えが全体的に見て、見通しが良くなった
- 新しいことを思いつくのは、何にも向かっていない時の方が多い。システムの使用は、問題意識を明確にすると言う意味では有効であった。それまでのことを明確しておくことで、新たなものが見えてくるはずなので、その下地を作ることができる
- ページを順方向に参照していったのは、特に、逆方向が気持ち悪いというわけではないが、古いページの方が今の自分にとって価値があるのではないかという期待感があると思われる
- マークをつける個所は、漠然と重要と思う部分である。あまりマークを階層的にしようとか、きちんと作ろうという気はない

6.5 考察

6.5.1 予想された効果と実験結果

- マークによって、関連するページの記憶を想起することができる
- 過去のページを現在の文脈で参照することで、新たな思考が促進される
- 現在の文脈で想起することで、その過去のページに新たな意味づけがなされる
- 被験者に過去の被験者の考えを全体的・大局的ににとらえさせることができる

6.5.2 予想されなかった効果と実験結果

- 過去の記憶と現在の文脈の摺り合わせが、新たなマークの追加を促進する。
- ページ上で行われる思考とマークの整理が相補的に行われ、マークの整理が次の思考を促進する
- 関連するマークによって想起された記憶の周辺にある項目により、次の思考が展開されて行く
- 時間的順序を通常は守る

6.5.3 関連項目の折り合わせの効果

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を意識した。そして、マーク "subject" 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 を参照した時、以前にこのページを参照した時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 (図 6.2)。

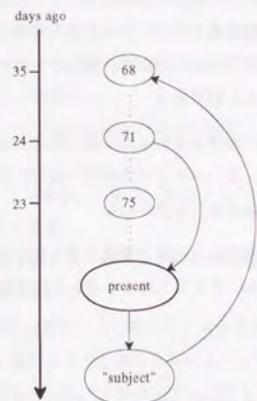


図 6.2: 過去のページと現在の問題意識の折り合わせ (1)

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折り合わせを促進していることを示している。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" の追加が被験者にとって「価値がある」ことであったと考えられる。

また、被験者 B は、"idea" というマークでページを参照することで、アイデアの元としてメモしていたものを現在の問題意識で捉え直し、そのアイデアを展開して言語化した。これらのアイデアの言語化は、被験者の研究の漸進的な進展に大きな影響を与えられ、これらの言語化は「価値がある」と言える。自らノートを見返すことがあまりないこの被験者は、システムを用いることで、これらの思考が可能になっている。

6.5.4 時間軸の扱い

被験者 A は、ページの時間的順序に反してページを参照することはなかった。このことは、被験者自身が時間的順序の変更を自らは行わないことを示してい

て、このような被験者にシステムによる支援が有効な場合があると考えられる。

被験者 B は自分自身でも逆向抑制を意識していて、そのことがより時間的に古いページを自ら参照することになっている。また、被験者 A のノートに比べ、ページ数が少ないが 1 ページの記述が多く、ノートに表現された時点で内容がある程度整理されているので、この被験者にシステムの有効性が生じるためには非常に長い期間の使用が必要となると思われる。

6.5.5 システムの問題点

予備実験で、観察された問題点や被験者による希望を以下のようにであった。

- Writing Pad 1

Main Window 常に参照できるマークのリストが必要である。また、各ページにどのマークがつけられているのかが、ページを開いてみないとわからない。

Page Window ページ自体にマークをつけるのではなく、ページの一部にマークをつけられる方がよい。また、手書き入力機能はあまり使われない。

- KAUS Pad は、被験者が KAUS ユーザーでないために利用されていない

- Mark Editor では、マーク同士の関連度を数値で表していたが、ユーザーがこれ操作することは少なく、また、マーク間のより詳細な関係について記述することができない。そのため、マーク間の関係を KAUS のルールによって記述できるようにする。

第7章

支援システム En Passant 2

本章では、第6.5.5節での問題点を解決し、更に使い勝手を良くするために改めて構築した支援システム En Passant 2 について述べる。

7.1 En Passant 2 システム構成

システムの動作環境を表7.1に示す。

表7.1: En Passant 2 の動作環境

Platform	Sun SparcStation 10	IBM PC/AT Compatible
OS	SunOS 4.1.3	Linux 2.0.0
Window System	X11R5	XFree86 3.1.2 (X11R6)
GUI	Tcl7.4/Tk4.0	
Language	GNU C/C++ 2.7.2	

また、システムは以下のモジュールで構成されている。

- Writing Pad 2
 - Main Window
 - Page Window
 - Adviser
- Mark Daemon

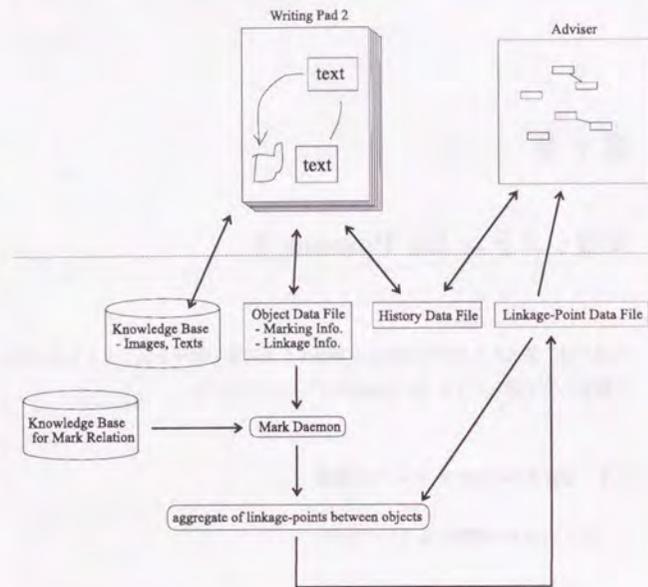


図 7.1: En Passant 2 システム構成

7.2 Writing Pad 2

7.2.1 Main Window

Main Window は、ページリストとマークリストを表示する。図 7.2 に Main Window を示す。

図中左のページリストは、時系列で入力されたページのタイトルが並べられ、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。

図中右のマークリストでは、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。マーク上でマウスをダブルクリックすることで、マークの名前を変えたり、マークとして文字列ではなくビットマップイメージを指定することが可能である。

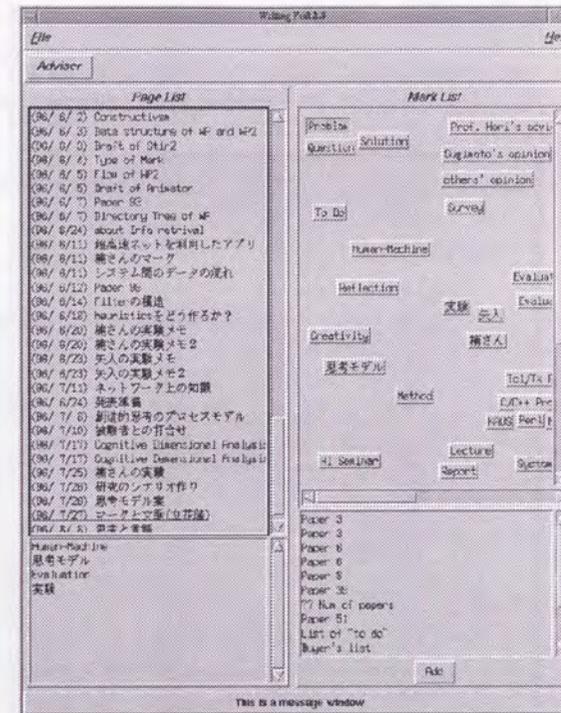


図 7.2: Writing Pad 2 - Main Window

7.2.2 Page Window

ページそのものを1つの object として扱う。ユーザは、1つのウィンドウとして提供されるページに、画像、テキスト、マーク、リンク、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。

図 7.3 に Page Window の例を示す。フリーハンドで書かれた部分が、紙のノートに書かれたものをスキャナでシステムに取り込んだビットマップイメージである。2行のテキストは、システムの使用でユーザが入力したものである。図中上部のボタンにより、前後のページを開いたり、入力する図形を選択したり、ページの名前を変更したりすることができる。

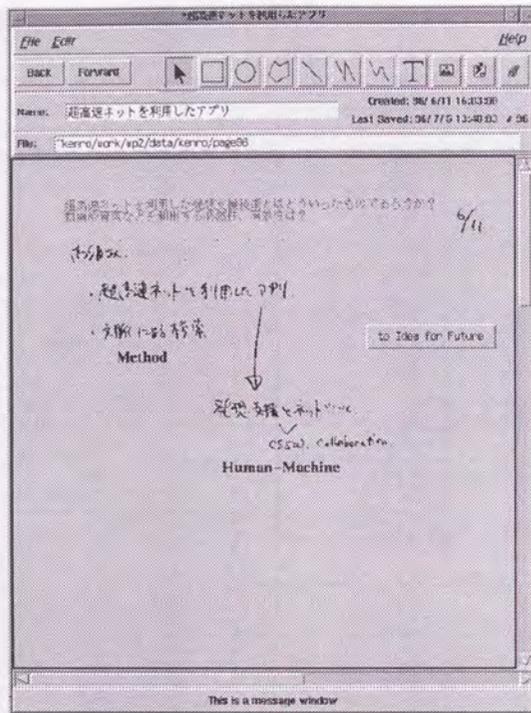


図 7.3: Writing Pad 2 - Page Window

7.2.3 Linking

En Passant 1 と同様である。図 7.3 中右の “To Idea for Future” は、“Idea for Future” というページへのリンクボタンである。

7.2.4 Indexing

En Passant 1 と同様に、object にマークをつけることで自分の思考の痕跡に indexing を行うが、マークをページ全体ではなく、ページの一部分につけるように変更した。図 7.3 中の “Method”、“Human-Machine” は、このユーザがこのページにつけたマークである。

7.2.5 Adviser

En Passant 1 に、以下の検索機能を付加した。

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

これらの要求を入力インタフェース Filter でユーザは入力する。

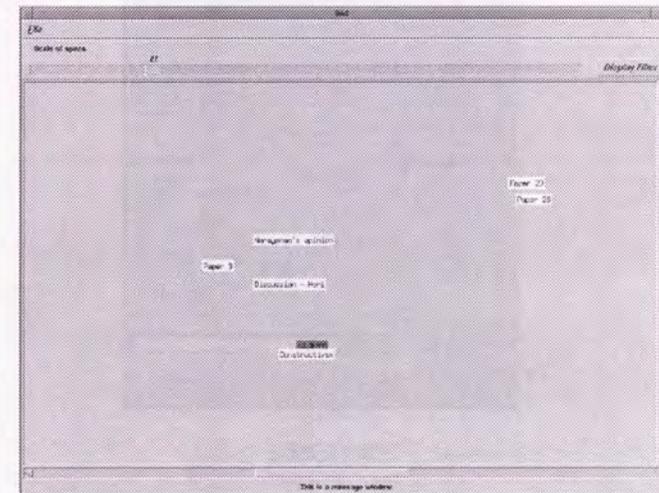


図 7.4: Adviser の表示例

図 7.4 に Adviser の表示例を示す。図中のアイコンは、ページのタイトルを示している。このタイトルをマウスでクリックすることで、そのページを開いて参照したり、見易いようにアイコンを移動することができる。画面上で1つだけ青く表示されているアイコンは、アンカーである。また、図中上部のスライダにより、ユーザの見易いように表示空間のスケールを変更することができる。

図 7.5 に Filter を示す。図中上から順番に、Adviser が使用する類似度作成ルールの選択、ユーザ自身がよく用いる表示条件の読み出し、全ページを表示対象にするかどうかの選択、ページ作成時間の範囲指定、アンカーとの類似度範囲の指定、アンカーの指定方法の選択、マークによる選択の指定、文字列による選択の指定、をユーザは行う。これらの指定を用いて、システムは、図 7.6 に示す処理に従ってページタイトルのアイコンを表示する。

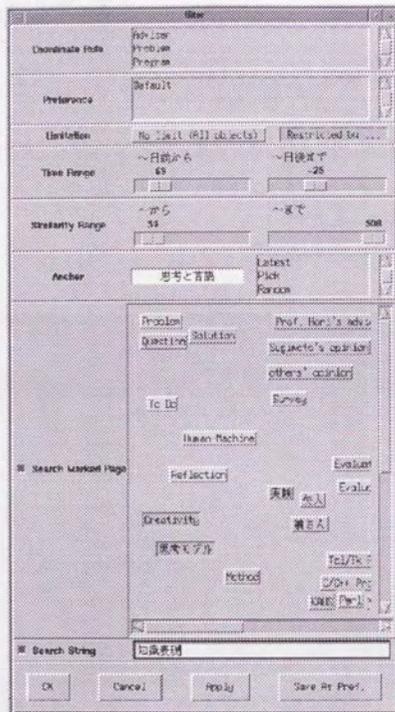


図 7.5: Filter

7.3 Mark Daemon

En Passant 1 と同様である。

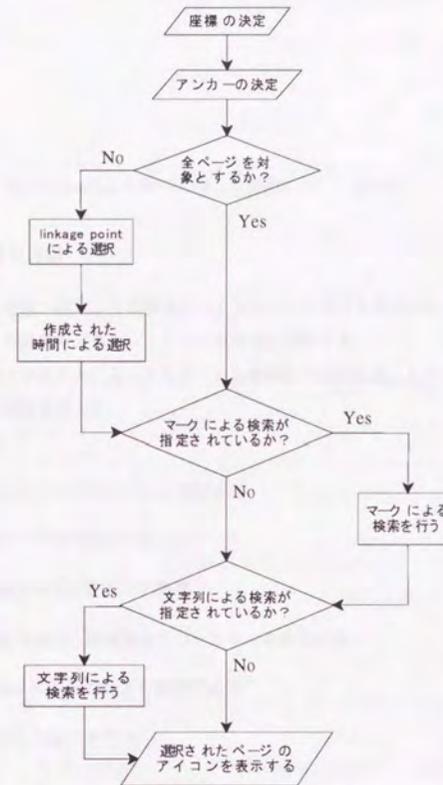


図 7.6: Adviser の処理



第8章

実験

本章では、En Passant 2 を用いて行った実験について述べる。

8.1 実験の方針

予備実験同様、固定した被験者によるシステムの使用を長期にわたって観察することで、本論文の方策とシステムの有用性を検証する。

分析には、システムによって記録される被験者の操作記録、ビデオによる録画、録音による記録を用いる。

実験では、

- マークをつけることによる有効性
- 被験者の時間的順序の扱いについて
- 関連項目の摺り合わせの効果
- 被験者の状況・問題意識でのシステムの使用の違い
- Adviser による被験者の思考の変化
- システムの使いやすさ

を分析する。

また、システムを使用することにより、

- 被験者自身が、現在の問題意識に関連すると考えるマークを使ったページの検索を行うことで、忘れていた過去の記憶を想起する
- 現在の文脈で想起することで、新たな思考が進む
- 関連項目の想起の場合、時間の範囲は重要であるが、その範囲内での順序は意識されない

- Adviser を使用することにより、
 - Adviser による直観的な表示が、リストからは得られない情報を被験者に与え、思考を別の方向へと促す
 - Filter でのページの選択により、被験者に適当数のページが提示され、それが被験者の思考を支援する

などの行為・効果が予想される。

8.2 被験者

被験者は、第6.2節の被験者のうち、被験者A、被験者B、被験者Cである。

8.3 被験者A — 実験1

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

8.3.1 被験者の問題意識

被験者自身が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。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する段階である。

入力したノート (page 81 ~ 90) の整理を行う。また、被験者自身の研究の目的とゴールを再確認する。

8.3.2 経過

page 90 から時間軸を page 78 まで逆方向に順に参照していき、マークを貼付する。

その際に新たにマーク “protocol”, “kiyou”, “Vygotsky”, “paper”, “zenkoku”, “mokuteki”, “yosikawa”, “learning” を追加する。

ページを参照している際に、誤って page 1 を開く。

このページにマーク “Vygotsky”, “learning” を貼付する。

ページにつけられたマークをリストで確認し、page 72 ~ 63 を参照し、新たにマークを貼付する。

Adviser を開き、ページの作成時間が page 71 の 100 日前以降、2 日前以前で、かつ、マーク “saeki” がつけられたページを表示する。その Adviser の表示より page 75, 45 を参照する。

検索マーク “saeki”, “kiyou”, “Vygotsky” に変更し、Adviser の表示を更新する。そして、それらのマークをこの日の作業でつけた page 88 を参照する。

Adviser を閉じ、page 73, 74, 76, 64 を参照する。

表 8.1: 被験者Aの実験経過

参照ウィンドウ	経過
90	開いて参照する。 マーク “protocol” を追加する。 マーク “protocol” を貼る。
89	開いて参照する。
90	開いて参照する。 (0'13) 開いて参照する。 (1'00)
88	開く。
90	閉じる。
88	マーク “saeki” を貼る。 マーク “kiyou” を追加する。 マーク “kiyou” を貼る。 マーク “Vygotsky” を追加する。
88	閉じる。
90	開いて参照する。
88	開いて参照する。 マーク “reference”, “Vygotsky” を貼る。 (1'05)
90	閉じる。
87	開いて参照する。 (0'27) マーク “protocol” を貼る。 マーク “paper” を追加する。 マーク “paper” を貼る。
86	開いて参照する。
85	開いて参照する。 マーク “kiyou” を貼る。
84	開いて参照する。 (0'50) マーク “zenkoku” を追加する。 マーク “zenkoku” を貼る。
83	開いて参照する。 (1'19)
82	開く。

(次ページに続く)

表 8.1: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
83	閉じる.
82	参照する. (1'10)
	マーク "mokuteki" を追加する.
	マーク "mokuteki" を貼る. (0'20)
	マーク "subject" を貼る.
81	開いて参照する. (0'18)
	マーク "yosikawa" を追加する.
	マーク "yosikawa" を貼る. (0'25)
	マーク "Norman" を貼る. (0'33)
	マーク "Experiment" を貼る. (0'48)
82	閉じる.
80	開いて参照する. (1'14)
	閉じる.
79	開いて参照する. (0'25)
	閉じる.
78	開いて参照する. (3'03)
	閉じる.
79	開いて参照する. (0'25)
	閉じる.
80	開いて参照する. (0'19)
	閉じる.
81	開いて参照する. (0'23)
	閉じる.
82	開く.
1	開く.
82	参照する. (0'23)
	閉じる.
1	マーク "Vygotsky" を貼る. (0'37)
	マーク "learning" を追加する.
	マーク "learning" を貼る. (0'31)
	閉じる. (0'31)
83	開いて参照する. (0'21)

(次ページに続く)

表 8.1: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
84	開いて参照する. (0'26)
85	開いて参照する. (0'21)
86	開いて参照する. (0'17)
87	開いて参照する. (0'38)
89	開いて参照する. (0'57)
90	開いて参照する.
89	参照する.
1	開いて参照する.
89	参照する. (0'30)
90	閉じる.
1	閉じる.
89	閉じる.
Mark List	ページにつけられたマークをリストで確認する.
72	開いて参照する. (0'13)
	マーク "Norman" を貼る. (0'43)
	閉じる.
71	開いて参照する. (0'45)
70	開いて参照する. (0'25)
	閉じる.
71	閉じる.
69	開いて参照する. (0'21)
68	開いて参照する. (0'49)
67	開く.
1	開く.
1. 67	参照する. (0'44)
1	閉じる.
67	閉じる.
66	開いて参照する. (0'15)
65	開く.
1	開く.
1. 65	参照する. (2'14)
1	閉じる.

(次ページに続く)

表 8.1: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過										
65	閉じる.										
63	開いて参照する. (0'19)										
59	開いて参照する. (0'37)										
	閉じる.										
Adviser	Adviser を開く.										
Filter	Filter を開く.										
	検索マークを指定する.										
Adviser	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>アンカー</td> <td>page 71</td> </tr> <tr> <td>類似度作成ルール</td> <td>Adviser</td> </tr> <tr> <td>類似度</td> <td>0 ~ 500</td> </tr> <tr> <td>時間</td> <td>-100 ~ 2</td> </tr> <tr> <td>検索マーク</td> <td>"saeki"</td> </tr> </tbody> </table>	アンカー	page 71	類似度作成ルール	Adviser	類似度	0 ~ 500	時間	-100 ~ 2	検索マーク	"saeki"
アンカー	page 71										
類似度作成ルール	Adviser										
類似度	0 ~ 500										
時間	-100 ~ 2										
検索マーク	"saeki"										
	という条件で表示する. (0'13)										
75	Adviser の表示より page 75 を開いて参照する. (0'33)										
45	Adviser の表示より page 45 を参照する. (0'29)										
Filter	検索マークを変更する.										
Adviser	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>アンカー</td> <td>page 71</td> </tr> <tr> <td>類似度作成ルール</td> <td>Adviser</td> </tr> <tr> <td>類似度</td> <td>0 ~ 500</td> </tr> <tr> <td>時間</td> <td>-100 ~ 2</td> </tr> <tr> <td>検索マーク</td> <td>"saeki", "kiyou", "Vygotsky"</td> </tr> </tbody> </table>	アンカー	page 71	類似度作成ルール	Adviser	類似度	0 ~ 500	時間	-100 ~ 2	検索マーク	"saeki", "kiyou", "Vygotsky"
アンカー	page 71										
類似度作成ルール	Adviser										
類似度	0 ~ 500										
時間	-100 ~ 2										
検索マーク	"saeki", "kiyou", "Vygotsky"										
	という条件で表示する. (0'15)										
Adviser	閉じる										
88	page 88 を開いて参照する. (0'16)										
73	開いて参照する. (0'27)										
74	開いて参照する. (0'26)										
	マーク "IES" を貼る. (0'19)										
	マーク "Experiment" を貼る.										
73	参照する. (0'48)										

(次ページに続く)

表 8.1: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
74	閉じる.
76	開いて参照する. (0'15)
64	開いて参照する. (0'16)

カッコ内の数値は、次のアクションとの間隔(分'秒)を表す。

8.3.3 考察

ノートでの思考とマークの整理

実験の前半は、新たに追加したノートの整理を行うため、最も新しいページから順にさかのぼっていった。ここでは、ページを参照することで、新たなマークが次々と追加されていった。ここでも、ページを参照して思考することで、マークの整理が進むことが確認できる。

マークの不備による作業

実験の中心で、被験者自身の研究の目的とゴールを確認するために、関連するページを参照しようとした。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いなく、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にしたがって作業を行っていった原因だと考えられる。そして、ページを次々と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。

Adviser の使用

順にページをたどっていくが多かったこの被験者が、実験の終盤に、Adviser を使うことによって、時間的な順序にとらわれないページのたどり方をできるようになった。

図 8.1 に、この実験で、被験者がどのようにページを参照していったかを示す。実験の前半(図 8.1 中左側)では、追加したページを整理する作業が行われたので、時間的順序に従って参照するページが移っている。それらの整理が終わった後、自分の行った実験の目的を再確認するという意識を持って過去のページを参照しようとしたが、その作業の目的に適したマークを用意していなかったため時間的順序にしたがって参照するページは移っていった(図 8.1 中右下)。実験の終盤に、Adviser を数回用いて時間的順序にとらわれない参照が行われ

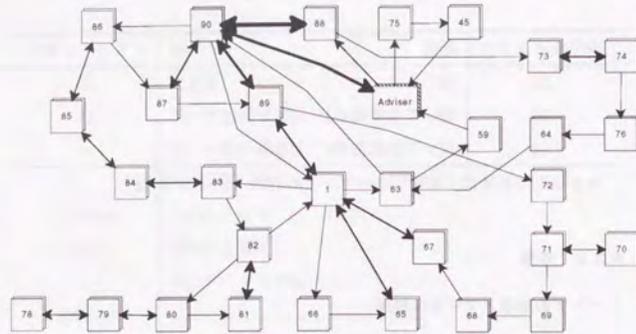


図 8.1: 参照ページの移行 (被験者 A - 実験 1)

た (図 8.1 中右上)。

現在の文脈による参照

被験者が意図したことではないが、被験者は5ヵ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ヵ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。このことは、現在の文脈で過去のページを参照することが、それらの記述に新たな解釈を与えるということを表している。

8.4 被験者 A — 実験 2

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

8.4.1 被験者の問題意識

被験者は研究を論文としてまとめる段階である。
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
- 実験の前後に被験者が何を考えていたかを見直すこと

である。

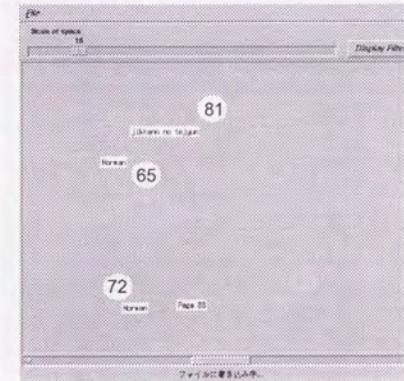


図 8.2: Adviser の表示 (1)

8.4.2 経過

Adviser を開き、作成時間が page 90 から 100 日前以降にして、マーク “Norman”, “Vygotsky” のついたページを表示させる。図 8.2 は、この条件による Adviser の表示である¹。

Filter で時間範囲指定を無効にして Adviser の表示を更新する。図 8.3 は、この条件による Adviser の表示である。前回の表示には現れなかった page 1 のアイコンに注目し、page 1 を参照する。Forward ボタンを使って page 2, page 3, page 4 を次々に参照する。

類似度作成ルールを “Reference” に変更して表示し、前回との表示の違いを見る。

類似度作成ルールを “Adviser” に戻し、検索マークを “system”, “Experiment”, “experiment-hirano” に変更して Adviser の表示を更新する。図 8.4 は、この条件による Adviser の表示である。そして、Adviser の表示より page 81, page 71 を参照する。page 71 からのリンクより page 76 を参照する。Adviser の表示より page 75, page 74, page 63, page 79 を参照する。

ページのリストを眺めて、page 44, page 46, page 71 を参照する。

そして、検索マークを “saeki” に変更して Adviser の表示を更新する。図 8.5 は、この条件による Adviser の表示である。この表示より、page 69 を参照する。

Filter で時間範囲指定、類似度範囲指定を有効にして Adviser の表示を更新し、

¹ 図中の白丸中の数字はページ番号である

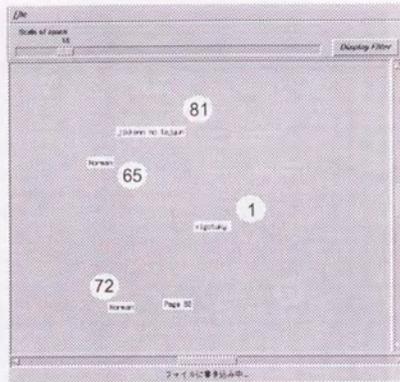


図 8.3: Adviser の表示 (2)

その表示より page 71 を参照する。

表 8.2: 被験者 A の実験経過

参照ウィンドウ	経過										
Adviser	Adviser を開く。										
Filter	Filter を開く。 検索マークとして “Norman” を指定する。										
Adviser	<table border="1"> <tr><td>アンカー</td><td>page 90</td></tr> <tr><td>類似度作成ルール</td><td>Adviser</td></tr> <tr><td>類似度</td><td>0 ~ 500</td></tr> <tr><td>時間</td><td>-20 ~ 0</td></tr> <tr><td>検索マーク</td><td>“Norman”</td></tr> </table> で表示する。(0'52)	アンカー	page 90	類似度作成ルール	Adviser	類似度	0 ~ 500	時間	-20 ~ 0	検索マーク	“Norman”
アンカー	page 90										
類似度作成ルール	Adviser										
類似度	0 ~ 500										
時間	-20 ~ 0										
検索マーク	“Norman”										
Filter	時間範囲を変更する。										

(次ページに続く)

表 8.2: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過										
Adviser	<table border="1"> <tr><td>アンカー</td><td>page 90</td></tr> <tr><td>類似度作成ルール</td><td>Adviser</td></tr> <tr><td>類似度</td><td>0 ~ 500</td></tr> <tr><td>時間</td><td>-100 ~ 0</td></tr> <tr><td>検索マーク</td><td>“Norman”, “Vygotsky”</td></tr> </table> で表示する。(0'27)	アンカー	page 90	類似度作成ルール	Adviser	類似度	0 ~ 500	時間	-100 ~ 0	検索マーク	“Norman”, “Vygotsky”
アンカー	page 90										
類似度作成ルール	Adviser										
類似度	0 ~ 500										
時間	-100 ~ 0										
検索マーク	“Norman”, “Vygotsky”										
65	Adviser の表示より開いて参照する。(0'19) 閉じる。										
81	開いて参照する。(0'23) 閉じる。(0'32)										
Filter	検索マークを変更する。										
Adviser	<table border="1"> <tr><td>アンカー</td><td>page 90</td></tr> <tr><td>類似度作成ルール</td><td>Adviser</td></tr> <tr><td>類似度</td><td>0 ~ 500</td></tr> <tr><td>時間</td><td>-100 ~ 0</td></tr> <tr><td>検索マーク</td><td>“Norman”, “Vygotsky”</td></tr> </table> という条件で表示する。(0'14)	アンカー	page 90	類似度作成ルール	Adviser	類似度	0 ~ 500	時間	-100 ~ 0	検索マーク	“Norman”, “Vygotsky”
アンカー	page 90										
類似度作成ルール	Adviser										
類似度	0 ~ 500										
時間	-100 ~ 0										
検索マーク	“Norman”, “Vygotsky”										
88	開いて参照する。(0'30) 閉じる。(1'13)										
Filter	時間範囲指定, 類似度範囲指定を無効にする。										
Adviser	<table border="1"> <tr><td>アンカー</td><td>page 90</td></tr> <tr><td>類似度作成ルール</td><td>Adviser</td></tr> <tr><td>検索マーク</td><td>“Norman”, “Vygotsky”</td></tr> </table> で表示する。(0'22)	アンカー	page 90	類似度作成ルール	Adviser	検索マーク	“Norman”, “Vygotsky”				
アンカー	page 90										
類似度作成ルール	Adviser										
検索マーク	“Norman”, “Vygotsky”										
1	Adviser の表示より開いて参照する。(0'17)										
2	Forward ボタンで開いて参照する。(1'42)										
3	Forward ボタンで開いて参照する。(0'22)										
4	Forward ボタンで開いて参照する。(0'15)										
3	参照する。(3'31)										
2	参照する。(0'05)										

(次ページに続く)

表 8.2: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過						
	閉じる. (0'03)						
3	閉じる. (0'03)						
4	閉じる. (0'02)						
1	閉じる. (0'59)						
Filter Adviser	類似度作成ルールを“Reference”に変更する.						
	<table border="1"> <tr> <td>アンカー</td> <td>page 90</td> </tr> <tr> <td>類似度作成ルール</td> <td>Reference</td> </tr> <tr> <td>検索マーク</td> <td>“Norman”, “Vygotsky”</td> </tr> </table>	アンカー	page 90	類似度作成ルール	Reference	検索マーク	“Norman”, “Vygotsky”
アンカー	page 90						
類似度作成ルール	Reference						
検索マーク	“Norman”, “Vygotsky”						
	で表示する. (0'24)						
Filter Adviser	類似度作成ルールを“Adviser”にする.						
	<table border="1"> <tr> <td>アンカー</td> <td>page 90</td> </tr> <tr> <td>類似度作成ルール</td> <td>Adviser</td> </tr> <tr> <td>検索マーク</td> <td>“Norman”, “Vygotsky”</td> </tr> </table>	アンカー	page 90	類似度作成ルール	Adviser	検索マーク	“Norman”, “Vygotsky”
アンカー	page 90						
類似度作成ルール	Adviser						
検索マーク	“Norman”, “Vygotsky”						
	で表示する. (2'47)						
Filter Adviser	検索マークを変更する						
	<table border="1"> <tr> <td>アンカー</td> <td>page 90</td> </tr> <tr> <td>類似度作成ルール</td> <td>Adviser</td> </tr> <tr> <td>検索マーク</td> <td>“system”, “Experiment”, “experiment-hirano”</td> </tr> </table>	アンカー	page 90	類似度作成ルール	Adviser	検索マーク	“system”, “Experiment”, “experiment-hirano”
アンカー	page 90						
類似度作成ルール	Adviser						
検索マーク	“system”, “Experiment”, “experiment-hirano”						
	で表示する. (0'11)						
81	Adviser の表示より開いて参照する. (0'42)						
71	Adviser の表示より開いて参照する. (0'47)						
76	page 71 からのリンクより page 76 を参照する. (0'13)						
75	Adviser の表示より開いて参照する. (2'35)						
74	Adviser の表示より開いて参照する. (1'32)						
	閉じる. (0'03)						
63	Adviser の表示より開いて参照する. (0'33)						
	閉じる. (1'07)						
79	Adviser の表示より開いて参照する. (0'13)						

(次ページに続く)

表 8.2: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過										
	閉じる. (0'07)										
75	閉じる. (0'03)										
78	閉じる. (4'37)										
44	ページリストより開いて参照する. (0'54)										
46	ページリストより開いて参照する. (0'14)										
	閉じる. (0'18)										
71	ページリストより参照する. (1'17)										
Filter Adviser	検索マークを変更する.										
	<table border="1"> <tr> <td>アンカー</td> <td>page 90</td> </tr> <tr> <td>類似度作成ルール</td> <td>Adviser</td> </tr> <tr> <td>検索マーク</td> <td>“saeki”</td> </tr> </table>	アンカー	page 90	類似度作成ルール	Adviser	検索マーク	“saeki”				
アンカー	page 90										
類似度作成ルール	Adviser										
検索マーク	“saeki”										
	で表示する. (0'06)										
69	Adviser の表示より開いて参照する. (0'07)										
	閉じる. (0'50)										
Filter Adviser	時間範囲指定, 類似度範囲指定を有効にする.										
	<table border="1"> <tr> <td>アンカー</td> <td>page 90</td> </tr> <tr> <td>類似度作成ルール</td> <td>Adviser</td> </tr> <tr> <td>類似度</td> <td>0 ~ 500</td> </tr> <tr> <td>時間</td> <td>-100 ~ -53</td> </tr> <tr> <td>検索マーク</td> <td>“saeki”</td> </tr> </table>	アンカー	page 90	類似度作成ルール	Adviser	類似度	0 ~ 500	時間	-100 ~ -53	検索マーク	“saeki”
アンカー	page 90										
類似度作成ルール	Adviser										
類似度	0 ~ 500										
時間	-100 ~ -53										
検索マーク	“saeki”										
	で表示する.										
71	Adviser の表示より参照する. (0'55)										
	閉じる. (0'04)										
81	閉じる. (0'27)										
90	閉じる. (4'14)										
Filter Adviser	表示条件を変更する.										
	<table border="1"> <tr> <td>アンカー</td> <td>page 90</td> </tr> <tr> <td>類似度作成ルール</td> <td>Keywords</td> </tr> <tr> <td>検索マーク</td> <td>“mokuteki”</td> </tr> </table>	アンカー	page 90	類似度作成ルール	Keywords	検索マーク	“mokuteki”				
アンカー	page 90										
類似度作成ルール	Keywords										
検索マーク	“mokuteki”										
	で表示する. (0'11)										

(次ページに続く)

表 8.2: (前ページより続く)

参照ウインドウ	経過
82	Adviser の表示より開いて参照する。(0'15) 閉じる。

カッコ内の数値は、次のアクションとの間隔(分'秒)を表す。

8.4.3 考察

マークの周辺の情報による思考

マークがつけてあるところは重要だと思ってマークをつけているが、それ以外の個所はマークを頼りに探すことによって付随的に参照することができる。そして、それらのマークの周辺の記述はマークをつけている個所に比べ、被験者に忘れられていることが多く、それらを参照することで、被験者が新たな発見をすることがある。

実験において、被験者がマークによって page 1 を参照した時、被験者は、マーク“Vygotsky”がつけられている部分については記憶にあったが、このページの、それ以外の部分については全く覚えていなかった。page 1 の内容は次の page 2 に続いていたので、その後、次のページ、更に次のページを参照している。page 2 を参照した時、被験者は

「ああ、こんなこと書いてたんですね。」

マーク“Vygotsky”のつけられている個所は記憶にあったので論文に反映されているんですけど、その続きにある“活動理論”のことはすっかり忘れていました。別のことでちょうどこのことについて最近調べていたんです。自分の8ヶ月前のノートにこのことが書いてあったのには驚きました。このページはゼミの時のまとめだと思います。3ヶ月前のことまでは覚えていましたけど、8ヶ月前のことはすっかり記憶になかったです。

前のノートを細かく見直すことは紙のノートだとなかったんですけど、このシステムを使うことで8ヶ月前のことを拾い出すことができました。拾い出すきっかけとなるマークをつけてあるところについては漠然と記憶していますが、その前後の全く覚えてないところまで見せてくれるところがいいです。その有効性は、その個所が古くなればなるほど強いですね。」

と述べている。

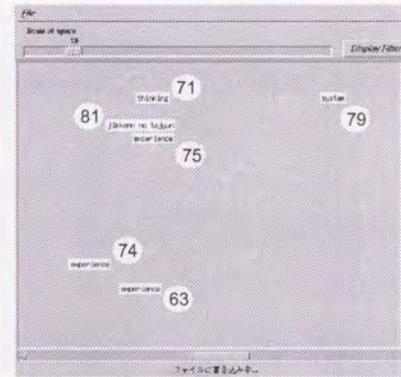


図 8.4: Adviser の表示 (3)

被験者は page 2 を参照することで全く記憶していなかった“活動理論”を見つけた。この“活動理論”についてはこの実験を行った時点でこの過去の記述とは関係なく関心をいだいている項目であった。システムを使用することで、過去の“活動理論”に関する記述と現在の意識を搾り合わせる事ができた(図 8.6)。

Adviser による時間的順序の隠蔽

図 8.1、図 8.7 に、実験 1 と実験 2 で、被験者がどのようにページを参照していったかを示す。実験 1 では、被験者が自分で行った実験の目的を再確認するという意識を持って過去のページを参照しようとした際、その作業の目的に適したマークを用意していなかったため、時間的順序にしたがって参照するページは移っていった(図 8.1 中右下)。実験 2 では、Adviser を最初から用いることで、被験者が時間的順序にとらわれずにページを移っていくことがわかる。

Filter による制限の活用

被験者はまず、ある程度最近の範囲で探して、その後に時間制限を無くして全ページを対象として探した。

最初はたくさん出てきても困ると思ったので現在から 100 日前までのノートだけを対象とする制限を加えた。その結果表示されたページ数は少なく、それらに書かれた内容を被験者は覚えていて、執筆している論文にもその内容は反映されていた。そこで、時間範囲指定を無効にして Adviser の表示を更新し

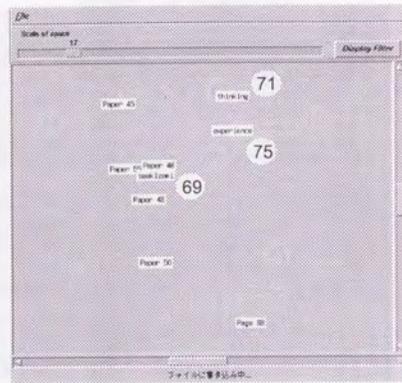


図 8.5: Adviser の表示 (4)

た。このことについて、被験者は

「まず、関連研究の見直しということで、自分がノートに書いていたことが今書いている論文に反映させているかどうかをチェックした。アドバイザーによって表示されたノートに書いてある Norman に関することや Vygotsky に関することは論文に反映されていることが確認できた。しかし、Vygotsky に関することは他にもなかったかあ、という気がする。」

と述べている。このことは、被験者が Filter によるページ数の制限をうまく利用し、自分が参照したいノートを選択していることを示している。そして、被験者は、Adviser の表示を見ることで、自分では見ることのない8ヵ月前のページを参照することができた。

表示の差による刺激

被験者は、時間範囲を制限した時の表示(図 8.2)と制限をなくした表示(図 8.3)との差分(増加分)である page 1 を見つけて、そのページを参照した。このことは、直観的な表示形態が被験者によるデータの関係の把握を支援していることを示している。

また、検索するマークを変えた時、複数のマークをつけてあるページ(それだけ重要なページ)が何回も現れるので、この重要なページが結果的に目につく。これは自分のノートや、Main Window だけでは実現できない。

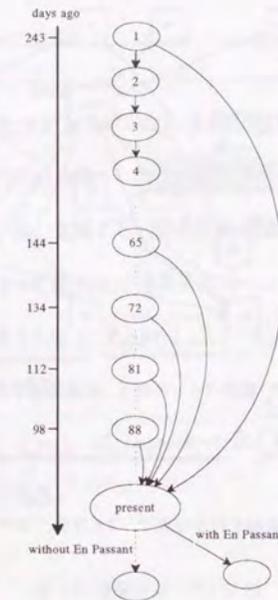


図 8.6: 過去のページと現在の問題意識の組み合わせ (2)

実験では、page 81 が Adviser の複数の表示に現れたことにより、改めてこのページが重要なページであることを被験者が認識した。

Main Window と Adviser の併用

時系列で表示される Main Window が基本として存在し、見方を変えたい時のために付加的に Adviser があるので、時間的順序に基づいてページ群をとらえたい場合、時間的順序をなくしてとらえたい場合のユーザのその時の状況にシステムが対応している。

類似度の選択

この実験では、被験者は類似度を作る視点の差を積極的には利用していない。被験者が Adviser での表示を見る際、その配置にはあまり意味を見出すことなく、Adviser を一種の検索ツールとして利用しているためだと思われる。

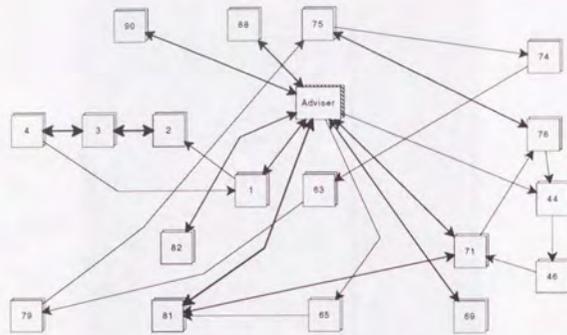


図 8.7: 参照ページの移行 (被験者 A - 実験 2)

8.5 被験者 B

被験者 B は、この実験を行う時点で、3ヵ月間、25 ページのノートを入力している。

8.5.1 被験者の問題意識

被験者 B は、研究室のゼミでこれからの研究の方向性のアイデアについて発表を終えたばかりである。その時に行った議論をまとめ直して、研究の方向を具体化しようとしている。このシステムの使用では、入力したノート (page 22 ~ 25) の整理を行い、それらの考えをまとめようとしている。

8.5.2 経過

表 8.3 に被験者 B の実験経過を示す。

まず、被験者は新しく追加したページ (page 22 ~ 25) を古い順に開いて行き、それらのページに名前をつけたり、ノートの記述を修飾するようにアンダーラインや長方形、楕円などを入力している。また、そのノートの記述を見ることによって、この時気がついたことや書き足りてないことをテキストで入力している。

page 24 は、研究室のゼミで被験者が配布した資料である。このページでは、被験者はページに記述されている文章のそれぞれの段落の上に、ゼミでの議論や参加者からのコメントをテキストで追加していった。そしてそれらの記述を追加しながら研究会での自らの発表を総括し、これからの研究の方向性を箇条書でま

Date 7.8

Hypothesis Idea

提案した行動決定メカニズムに名前を付ける

この行動決定則の主張 to 行動の文脈とサブゴール間の距離

「同じ状態、同じ目標でも、選択枝は複数存在する。
 或
 その中から1つを選ぶ上で重要なのは、
過去の履歴(文脈)、見込まれるコスト である
 ↓
 慣性力を与える

(Context, Cost) は Dependent な ~~Action~~ ^{Subgoal} Selection

Keyword COGS

図 8.8: 被験者 B, ページ 22

とめ、それらを非常に目立たせている (図 8.10 下部参照)。
 ひとつおき、新しく追加したページを参照した後、ページのリストを参照して、関連すると被験者が考えるページ間にリンクを張った。

表 8.3: 被験者 B の実験経過

参照ウィンドウ	経過
Page List	新しく追加されたページの確認。(1'51)
22	このページの名前を“文脈依存型の行動決定”にする。(1'32) 文章のアンダーラインとして、直線を入力する。(0'07) 別の個所にアンダーラインを入力する。(0'56)
Mark List	マーク“Hypothesis”をページの左上に貼る。

(次ページに続く)

表 8.3: (前ページより続く)

参照ウインドウ	経過
22	page 22 を手前に持って来て, (0'21) マーク "Idea" を page 22 の上方に貼る. (0'22) マーク "Keyword" をページ下方に貼り, (0'17) その近くの文章にアンダーラインを入力する. (0'17) page 22 を閉じる.
Page List	(0'15)
23	ページリストより, page 23 を開く. (0'41)
Page List	マークリストを参照する. (1'15)
23	マーク "Question" を page 23 の左上方部に貼る. (0'14) このマークの範囲を示すかのごとく, 長方形を入力する. (1'02) マーク "motto" を長方形の下の文章の右隣に貼り, (0'09) この文章にアンダーラインを入力する. (1'27) マーク "Idea" をその下のブロックに貼り, (0'14) そのブロックを長方形で囲む. (0'41) そのブロックの一部に, アンダーラインを入力する. (0'24) テキスト "何をもって「進歩がない」とするか?" を入力し, (0'08) 先ほどのアンダーラインからこのテキストへの矢印を入力する. (0'30) この個所にマーク "Question" を貼る. (2'07) マーク "Keyword" をページ左下のブロックに貼る. (0'10) このマークの下の文章にアンダーラインを入力する. (0'55) マーク "Question" を貼る. (0'09) マーク "Solution" を貼る. (0'15) page 23 を閉じる. (0'15)
23	page 23 をページリストより再び開き, (1'52) 名前変更を忘れていたかのようにページの名前を "フォールト時の文脈変更" にする. (0'22) ページを閉じる. (0'12)

(次ページに続く)

表 8.3: (前ページより続く)

参照ウインドウ	経過
Page List	
24	page 24 をページリストより開く. (0'06)
Page List	
23	page 23 をリストより開く. 見開き 2 ページになっているので, 左ページの最下部から右ページ最上部への矢印を入力する. (0'44)
Mark List	マークリストを参照する. (0'17)
23	マーク "Idea" をページ右上方部に貼る. (0'07) このブロックの最下部 (結論部らしき部分) を長方形で囲む. (0'15) 長方形で囲まれていない部分の一部に, アンダーラインを入力する. (0'12) page 23 を閉じる. (0'05)
Page List	(0'05)
24	page 24 をページリストによって手前に持って来て, (0'06) 名前を "研究会資料ともらったコメント" に変更する. (1'49) 楕円で, ページ中の項目を囲む. (0'18) テキスト 堀先生のコメント: テーマとして面白い 信頼性工学との関係を調査するべき 中須賀先生の理論も参考に をその楕円の左上に入力する. そして, (0'19) そのテキストを長方形で囲み, (0'08) 楕円と長方形を直線で結ぶ. (0'16) この長方形中にマーク "Advice" を貼る. (0'47) Copy & Paste により, 楕円を次の項目の上に入力する. (0'10)

(次ページに続く)

表 8.3: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
	<p>テキスト</p> <p>堀先生: これも面白い、頭と腕を両方動かしながら進めるべき</p> <p>を楕円上方に入力する。(0'09) このテキストを囲むために長方形を入力するが、うまくいかなかったのか、(0'11) これを削除し、改めて(0'09)長方形を入力する。(0'11)この長方形と楕円を結ぶ直線を入力する。(0'59)マーク“Advice”をこの長方形の中に貼る。(0'15)</p> <p>次の項目にも同様に、楕円を入力する。(0'57)</p> <p>テキスト</p> <p>堀先生: 本質的な問題ではあるが、とても難しい はまり込むとつまらなくなってしまう。 趣味でやる程度がいいのではないか。 電総研の国吉さんの研究が参考になるかも</p> <p>を楕円のすぐ下に入力する。(0'32)</p> <p>長方形を入力したテキストを囲むように入力し、(0'22)マーク“Advice”を長方形中に貼る。(1'07)</p> <p>次の項目の段落上に、テキスト</p> <p>相原さんのコメント 環境の「未知」の程度との関連を明らかに するべき 富山研の、「定性推論を用いた自己修復」が参考になるかも ロボットの「頭脳」だけでなく「体」が 大事なのではないか?</p> <p>を入力する。(0'15) このテキストを囲むように長方形を入力し、(0'13)マーク“Advice”を貼る。(0'30)</p> <p>page 24 を閉じる。(0'01)</p> <p>page 25 を手前に持って来る。(0'49)</p> <p>ページの名前を“ロボット学会提出アブスト”に変更する。(0'53)</p>
25	

(次ページに続く)

表 8.3: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
	<p>マーク“Keyword”を文章中の“文脈依存型行動則体系”の上に貼り、(0'13)この部分にアンダーラインを入力する。(2'49)</p> <p>Page List 23 ページリストを参照する。(0'13) page 23 を開く。(0'40)</p> <p>23, 25 page 25 に page 23 へのリンクを張る。(0'27)</p> <p>23 page 23 を閉じる。</p> <p>Page List 22 ページリストより page 22 を開く。(0'45) page 22 を閉じる。(0'06)</p> <p>25 page 25 を手前に持って来る。(0'17) page 25 中のリンクで page 23 を開く。(0'32)</p> <p>Page List 22 ページリストより page 22 を開く。(0'52) page 23 を手前に持って来る。(0'19) page 23 に page 22 へのリンクを張る。(0'11)</p> <p>22 page 22 を手前に持って来て、(0'04)閉じる。(0'14)</p> <p>23 page 23 中のリンクで page 22 が開くかどうか確認し、(0'03) page23 を閉じる。(0'34)</p> <p>Page List 13 ページリストを参照し、(0'15) page 13 を開く。(0'17)閉じる。(0'03)</p> <p>22 page 22 を手前に持って来る。(0'12)</p> <p>Page List 22 ページリストを参照する。(0'13) page 22 に page 13 へのリンクを張る。(0'12)</p> <p>Page List 22 ページリストを参照する。(0'03) page 22 を手前に持って来て、(0'05)閉じる。(0'11)</p> <p>25 page 25 を手前に持って来る。(1'50)</p> <p>Page List 24 ページリストを参照する。(0'33) page 24 を開く。</p>

(次ページに続く)

表 8.3: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
25	すぐに (0'01) page 25 を手前に持って来て (0'02) 閉じる. (0'42)
24	page 24 にテキスト これからの方向性 ロバストな行動, フォールトトレランスを実現する行動則表現 現代制御学のような数理的手法の確立 をノートの画像の下に入力し, 文字を大きくする. (0'11) マーク "Direction" をこのテキストの左上に貼り. (0'20) ノートからこのテキストへの大きな矢印を入力する. (0'37) 作業の終了を宣言する.

カッコ内の数値は, 次のアクションとの間隔 (分'秒) を表す.

8.5.3 考察

この日の作業は主に, 今回追加したページの整理であった. 目的が過去のページを参照することではなく, 現在取り組んでいるページの参照とそれの編集であるため, 過去のページのブラウザや Adviser の使用はなかった. しかし, このような時間的に短い範囲のページに対するシステムの使用においても, 複数ページを参照することで, それらのページへのテキストでの記述の追加が観察された. 特に, 図形の入力を多用し, 文字の大きさや色を変えながら, ページ上に記述を追加して行ったことは, システムを用いた自分のノートとのインタラクションがここでの被験者の思考を支援していると言えよう.

これらのことは, このシステムが, 過去のページを扱う効果だけでなく, 少数のページであっても紙のノートだけではできない思考環境を被験者に提供していることを示している.

また, ある追加分のページ (page 22) に過去のページ (page 13) へのリンクを張ったが, これはページのリストでタイトルを参照することで, このリンク先のページを被験者は決定している. 他のページを参照することなしにこの行為を行っていることから, この被験者はページの内容をよく把握していると考えられる.

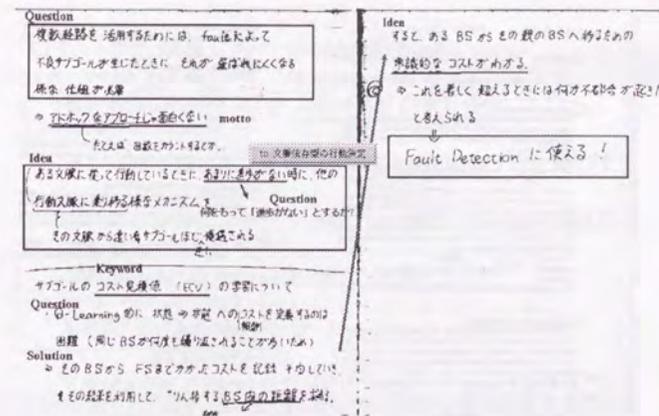


図 8.9: 被験者 B, ページ 23

各ページでの作業時間

表 8.4 に被験者 B が各ページで費した作業時間を示す. page 23, 24 での作業が平均を大きく上回っている. この 2 ページが, この日の作業の中心になっている.

特に page 23 は, このページからこの日追加された他のページ (page 22, 24, 25) 全てに移行するという行動が行われている. 作業に時間を要するテキストの入力がないにも関わらず, これだけの時間を使っている. これまでで最高数のマークがこのページに貼られていることから, このページが被験者にとって内容が濃いと推測され, この内容の濃さが作業時間に比例していると考えられる.

page 24 は, ページに文章が多く, その文章の修飾やテキストの入力が多かったため時間を要している. 入力されたテキストは, 作業時点での研究経過のまとめを文章化したものである.

page 25 は, テキスト入力はなく, マークも 1 つと少ないが, その割に頻繁に参照されている. 最も新しいページであり, この時点での被験者の文脈となっているためであろうか.

page 22 は, 最初に参照されてからは暫くの間, 参照されなかったが, 作業の後半にこまめに参照されている.

page 13 は, ページリストを参照することによって開かれ, page 22 からのリンクが貼られた.

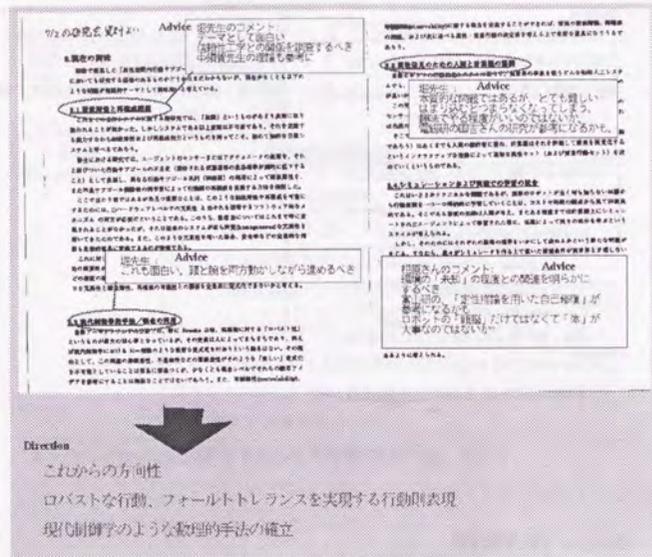


図 8.10: 被験者 B, ページ 24

参照ページの移行

被験者の参照ページの移行の様子を図 8.13 に示す²。

この日行われた作業におけるページの連鎖では、page 22 と page 24 とのつながりがない。

page 22 からは 23、25 に同数移行がある。page 23 からは作業の後半に 2 回 22 に移行していて、作業前半に 24、25 へと 1 回ずつ移行している。

page 25 からは、多くがページリストへと移行している。これは、このページが最新であって、次に続くページがないためだと考えられる。この被験者は、作業が若いページから現時点への順方向に進むという特徴があるので、時間軸に沿って作業を行い、その時間軸の端に着くと、今度は時間軸を横から眺めることができるページリストへと移行していると思われる。

page 23 を中心として、page 22 ~ 25 の見返しを行い、それが最終的に page 24 の下部に強調されたテキストになっている。

² 図中の数字は、# が移行の順番で、その右に、その移行が起こるまでに移行元のページで要した時間 (分'秒) を示す。

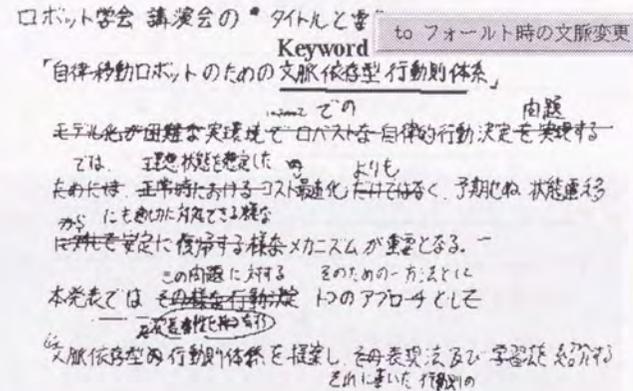


図 8.11: 被験者 B, ページ 25

また、この被験者は頻繁にページのリストを参照し、そのリストに表示されているページのタイトルを眺めていた。この被験者は、ノートを思考のまとめとして記述している傾向があり、1ページに含まれる内容は豊富で、かつ、整理されている。また、ページ数もあまり多くない。被験者は、ページのタイトルを見れば、そのページに書かれている内容を把握できている。つまり、この被験者は、ページのリストを見ることでそのページの内容を想起し、新たに追加された page 22 ~ 25 の内容と、既に入力されたページの内容を頭の中で折り合わせていたのではないかと考えられる。

最終的に page 24 に表された

これからの方向性
ロバストな行動、フォールトトランスを実現する行動則表現
現代制御学のような数理的手法の確立

は、これまでに整理されたページと新たに追加されたページの内容を、システムを使うことで被験者は頭の中で折り合わせ、被験者が考えている問題意識を結晶化させたものだとと言える。

6.7

Technical Issue

サブゴールの選択法

「慣性力」を考慮することによって、最短経路を考慮するようにした。
(通常の強化学習では難しい?)

- 複数のサブゴールが同時に発火している場合、確率的に選択される
- ある文脈を持つ一連の行動が選択されているときには、その行動系列が続けて選ばれやすい傾向がある (慣性力) **Idea**
- そうでない時は、成立しているサブゴールのうち評価値の高いものがより高い確率で選ばれるようになる

2つのパラメータによって、その時点での各サブゴールの「意図」が決まる。

- そのサブゴールの最終ゴールの見極めされた「意図」を示すパラメータ **目的**
- 過去の履歴から決まる動的な「慣性」パラメータ **過去の**

一時的に、前者を Q 、後者を I と記す

Q は強化学習によって漸次的に学習される

I は現在のエピソードの過去の数ステップの履歴によって決まる

図 8.12: 被験者 B, ページ 13

表 8.4: 被験者 B の作業時間

ページ	時間
13	0'32
22	10'12 (平均 2'02) 7'19, 0'45, 0'52, 0'31, 0'45
23	23'58 (平均 6'00) 21'01, 1'07, 0'32, 1'11
24	21'34 (平均 10'47) 21'01, 0'33
25	12'11 (平均 3'03) 9'23, 0'41, 0'17, 1'50
合計	68'27 (1回平均 4'17, ページ平均 13'41)

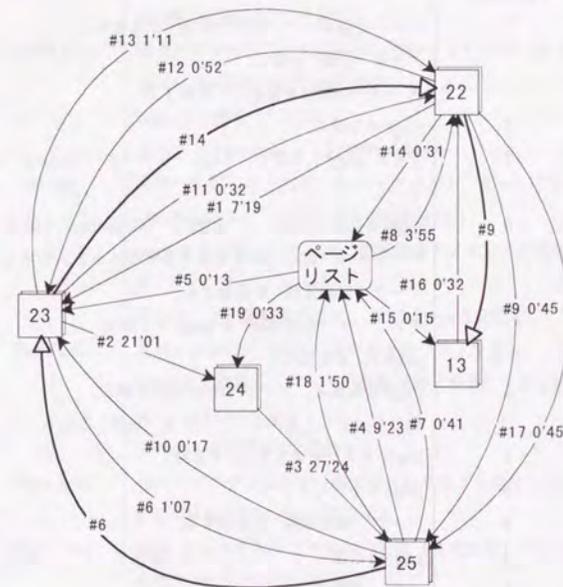


図 8.13: 参照ページの移行 (被験者 B)

8.6 被験者 C — 実験 1

被験者 C は修士課程 2 年に在学している大学院学生で、これから研究のアイデアを具体的にしていき、システムを構築しようとしている。この実験では、システム内のノートの蓄積の少ない被験者が、これから研究を展開していこうという意識のもとでシステムをどう利用していくのかを検証する。

8.6.1 被験者の問題意識

入力したノートと自分自身のマークの整理を行う。作業時点で、研究が行き詰まっているわけではなく、今後の研究のために最近行ってきたことを整理する。

8.6.2 経過

表 8.5: 被験者 C の実験経過

参照ウィンドウ	経過
Page List	
7	ページを参照してマーク“仕様”を追加する。 マーク“仕様”を貼る。 ページ上の図形を移動して整理する。
6	page 6 を開く
7	すぐに page 7 に戻り、page 7 にマーク“System”を貼る。
6	page 6 に移り、マーク“仕様”、“Modeling”を貼る。 ページ中の一部の内容を要約するテキストを入力する。 マーク“自然言語”を追加する。 そのマーク“自然言語”を page 6 に貼る。
7, 6	page 7, 6 を閉じる。
5	page 5 を開き、マーク“System”を貼る。 更にじっくりと参照して、マーク“仕様”を貼る。
4	Back ボタンにより page 4 を開く
5	page 5 を閉じる。
4	マーク“領域知識”を追加する。
3	page 3 を開く。
4	page 4 を閉じる。
3	19 秒参照する。

(次ページに続く)

表 8.5: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
7, 6	page 7, 6 を開く。
3, 6, 7	これらのページを同時に参照する。
3	page 3 にマーク“領域知識”を貼る。
2	page 2 を開く。 マーク“System”を貼る。
Mark List	マーク“System”のつけられたページのリストを参照する。
7, 5	リスト中の page 7, 5 を参照する。
2	再び page 2 へと戻り、マーク“仕様”の名前を“仕様(要求表現)”に変える。
Mark List	マーク“要求モデル”を追加する。
2	page 2 にマーク“全体像”を貼る。(1'16) じっくりとページを参照して、マーク“要求モデル”、“仕様(要求表現)”を貼る。
Mark List	各マークがつけられているページのリストをブラウスしてマークの貼付状況を確認する。
1	page 1 を開く。(0'23) マーク“Question”、“全体像”を貼る。
両 List	各マークがつけられているページリスト、各ページにつけられているマークのリストの参照を行う。
3	page 3 を参照し、マーク“情報検索ドメイン”を追加する。 そのマーク“情報検索ドメイン”を page 3 に貼る。
Page List	各ページにつけられているマークのリストを見る。
4	page 4 を参照し、マーク“仕様(要求表現)”を貼付する。(0'48)
2	マーク“設計環境”を追加する。
Page List	各ページにつけられているマークのリストを見て、page 2 につけられたマークに注目する。
Mark List	page 2 につけられたマーク“仕様(要求表現)”のつけられたページのリストを参照する。
2	page 2 を閉じる。

(次ページに続く)

表 8.5: (前ページより続く)

参照ウインドウ	経過
7	リスト中の page 7 を開く.
2, 7	参照する.
7	page 7 にテキストを入力する.
Page List	
6	リストより page 6 を参照する. (0'35)
5	リストより page 5 を参照する. (0'25)
7	page 7 に戻って, マーク "Question" を貼付する.
5	page 5 に移る.
Mark List	マーク "System" のつけられたページリストを参照する.
7	リストより page 7 を参照する.
6	page 6 に Back ボタンで移り, 参照する.
5	page 5 に Back ボタンで移り, 参照する.
6	マーク "Modeling" の削除を行う.
7	page 7 に戻り, マーク "Question" を貼付し, そのマークの近くにテキストを入力する.
Mark List	マーク "全体像" のつけられたページリストを参照する.
1	リストより page 1 を参照する. (0'56) マーク "ドメイン分析" を追加して, このページに貼る. (0'59)
Page List	ページリストを参照して, ページの名前を変更していなかったことに気づく.
3	ページの名前を変更する.
5	ページの名前を変更する.
6	ページの名前を変更する.
7	ページの名前を変更する.
4	ページの名前を変更する.
2	ページの名前を変更する.
1	ページの名前を変更する.
7	マーク "Modeling" を貼り, このマークの近くにテキストを入力する.

(次ページに続く)

表 8.5: (前ページより続く)

参照ウインドウ	経過
8	page 8 を追加し, 名前を入力する. テキストを入力し, これにアンダーラインをつけ, 強調させる. 更に, 別のテキストを入力し, この側にマーク "Modeling" を貼る. テキストを入力する. ページの名前を "モデリング過程" に変更する. 更にもう 2 文テキストを加える.
2	page 2 を開く.
Mark List	page 2 につけられているマーク "System" がつけられたページのリストを参照する.
8	マーク "Question" を貼り, 単文を加える.
7, 6, 5, 4	page 7, 6, 5, 4 を次々と参照する.
8	page 8 を見直す.
Mark List	マークのつけられたページのリストをブラウズする.
7	マーク "System" がつけられたリストから page 7 を参照する.
4	マーク "領域知識" がつけられたリストから page 4 を参照する.
8	page 8 に戻って, テキスト 2 つを追加する. マーク "領域知識" を貼る.
Mark List	マーク "Question" がつけられたページのリストを参照する.
7, 8	リストより page 7 と 8 を交互に参照する.
8	page 8 に 3 つのテキストを入力する. そして, この近辺にマーク "全体像" を貼る.

カッコ内の数値は, 次のアクションとの間隔 (分'秒) を表す.

8.6.3 考察

関連項目の摺り合わせによる効果

page 2, 7 を並べて参照することで, page 7 にテキストを入力している. これは page 2 と page 7 の内容の摺り合わせが, 被験者の概念の言語化を促していることを示している.

マークの意味づけの明確化による思考の促進

今回の作業をすすめていくことによってあるマークに関する自分の意味づけが変化していく。作業の始めの頃に page 6 に貼られたマーク “Modeling” が、作業の途中で削除され、新たに追加されたページに貼られた。その経緯について、被験者は以下のように述べている。

「“Modeling” は考えなければいけないという意識を持って用意してあったマークであり、とりあえず page 6 に貼ってみた (図 8.14)。“Modeling” の自分なりの意味づけはそれまでは曖昧であった。その前にもう1つのマーク “仕様” も同じ個所に貼付して、 “仕様” と “Modeling” とその個所を参照することにより、“Modeling” の自分なりの意味が明確になっていった。そして、その個所には “Modeling” が適切でないと感じた。そこで、“Modeling” に適切な個所はないかと探したが、不十分だったので page 8 を追加し、そこに記述を加えた (図 8.15)。」

このことは、ノートにマークを貼ることが、そのマークの意味づけを変化させたり、明確にさせたりすることを示している。

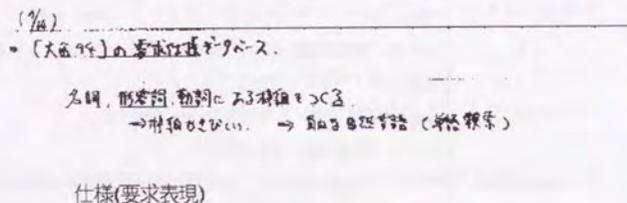


図 8.14: 被験者 C, ページ 6 (図右上にマーク “Modeling” が作業始めに貼られた)

マークの詳細化による概念の分節化

被験者は、まず page 7 を参照することで、マーク “仕様” を分節している。しかし、作業を続けていき、page 7, 5, 2 を参照することで、このマークは “仕様 (要求表現)” とより具体的になっている。このことは、複数のページを

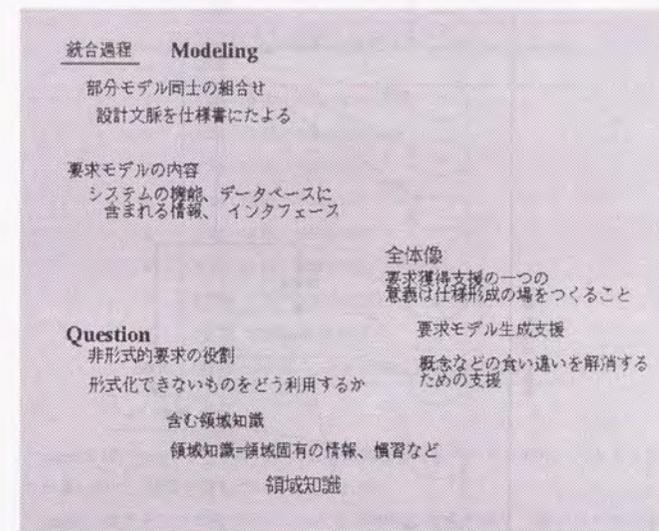


図 8.15: 被験者 C, ページ 8

現在の文脈で折り合わせることで、それらにつけていたマークがより詳細に分節されることを示している。そして、更にこのマークがより具体的になったことで、同じ “要求表現” に関するカテゴリに属するが宣言されてなかった “要求モデル” が分節されて追加された。マーク “要求モデル” の分節を促進している。

このように、あるマークの意味づけが明確になることで、他のマークの分節が促進されている。被験者は、以下のように述べている。

「どれも上流での話で、要求表現の中の要求モデルという部分についてもう少し書かなければいけないと思って作った。大体同じような枠組みだが、そのマークに関するような事柄がいろいろあるかな、もしくはいろいろやって行った方がいいかなというところを詳細化した。」

未使用マークによる刺激

被験者は、マーク “Modling” をつけるページを探したが、それに適する内容を記述したページが無かった。その結果、新たなページ page 8 を追加し、“Modeling” に関するテキストを入力している。システムの使用することで、未使用の

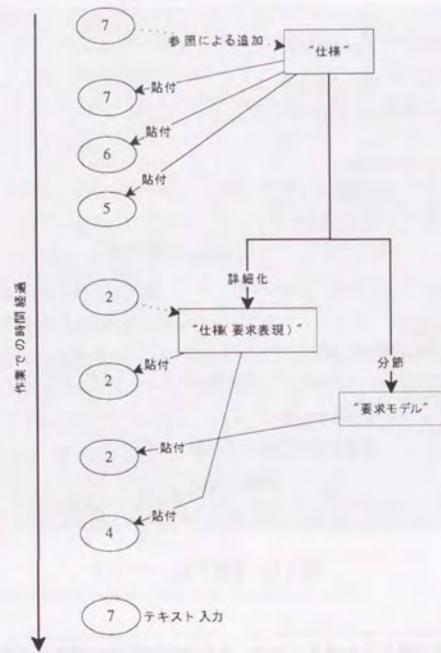


図 8.16: 被験者 C, ページの参照とマーク“仕様”の変遷

マークが被験者に意識され、それをキーワードとして被験者の思考が進み、その結果として知識が言語化されている。

また、この日の作業によって、被験者は7つのマークを新たに追加しているが、そのうちマーク“設計環境”ほどのページにも使用していない。これは、マークを貼付する内容が既存のページに含まれていなかったためである。このマークはこの後の被験者の思考の軸として利用されることになると思われる。

各ページでの作業時間

表 8.6 に被験者 C が各ページで費した作業時間を示す。作業時間の多かったのは、page 7, 8 であった。

page 7 は、作業時点での最新のページであり、被験者のその時点での問題意識や文脈を反映していると考えられる。

表 8.6: 被験者 C の作業時間

ページ	時間
1	5'35 (3回, 平均 1'52)
2	4'55 (7回, 平均 0'42)
3	2'32 (4回, 平均 0'38)
4	4'31 (5回, 平均 0'54)
5	3'42 (8回, 平均 0'28)
6	3'41 (8回, 平均 0'28)
7	13'04 (15回, 平均 0'52)
8	12'18 (7回, 平均 1'45)
合計	50'18 (57回, 1回平均 0'53, ページ平均 6'17)

page 8 は、page 1～7 の作業の結果に追加されたページであり、テキスト入力が多いので、時間を要していると思われる。

page 3 はワードプロセッサによって整形された文書であり、高いレベルでまとめられているので、マークを貼付して暫く参照する以外の作業は行われなかったために短い時間が費されたと考えられる。

参照ページの移行

被験者の参照ページの移行の様子を図 8.17 に示す³。

作業開始時の最新ページである page 7 から逆方向にページをたどって行った。page 7 からは page 3 以外の全てのページへの移行があり、17 回の移行が観察された。page 7 がこの日の作業の中心になっていることが、この移行回数からもわかる。

実験の中で、ページを並べたり、次々に参照することが観察された。そして、それらのページの連鎖の中で

- page 7, 6 を参照しながら page 3 にマークを貼る
- page 2, 7, 5 を参照してマークの名前を変更し、それと関連する新しいマークを追加して、それらを page 2 に貼る
- page 6, 5, 7 を参照して、page 7 にマークを貼る
- page 7, 6, 5, 8 を参照して、page 8 にマークを貼る

³ 図中の括弧内の数字は移行の回数を示す。線上の数字はその線のノードであるページ間の移行回数を示す。

表 8.8: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
Adviser	アンカー page 10
	類似度 50 ~ 500
	時間 -42 ~ 0
	で表示する. (0'06)
	再度, 同じ条件で表示する. (0'05)
	Adviser を閉じ, (0'04) 再び開き
6	アンカー page 10
	類似度 50 ~ 500
	時間 -20 ~ 0
	で表示する. (0'12)
	page 6 を開き, (0'23) 閉じる.

カッコ内の数値は, 次のアクションとの間隔 (分'秒) を表す.

8.7.4 経過 — 7/31

自分のノートブラウズする. 作業時間は 8 分 39 秒.

表 8.9: 被験者 C — 7/31 の実験経過

参照ウィンドウ	経過
10	開いて参照する. (2'47)
9	開いて参照する. (0'09)
8	開いて参照する. (0'08)
7	開いて参照する. (4'20)
8	参照する. (1'15)
7	参照する.

カッコ内の数値は, 次のアクションとの間隔 (分'秒) を表す.

8.7.5 経過 — 8/2

自分のノートブラウズする. 作業時間は 29 分 33 秒.

表 8.10: 被験者 C — 8/2 の実験経過

参照ウィンドウ	経過
10	開いて参照する. (4'45)
	マーク “全体像” の位置を動かす. (1'04)
8	開いて参照する. (13'25)
4	開いて参照する. (0'33)
3	開いて参照する. (9'33)
	閉じる. (0'05)
4	閉じる. (0'02)
8	閉じる. (0'06)
10	閉じる.

カッコ内の数値は, 次のアクションとの間隔 (分'秒) を表す.

page 8, 4, 3 はいずれもマーク “領域知識” が貼られているページである. この日の作業は, このマークの意味を被験者が意識してページの内容を参照したと思われる.

8.7.6 経過 — 8/4

Adviser を使用し, 自分のノートブラウズする. 作業時間は 19 分 28 秒.

表 8.11: 被験者 C — 8/2 の実験経過

参照ウィンドウ	経過
10	開いて参照する. (1'56)
3	開いて参照する. (0'50)
Adviser	Adviser を開き,
	アンカー page 10
	類似度 50 ~ 500
	時間 -20 ~ 0
	で表示する. (0'03)
10	page 10 を参照する. (0'05)
Filter	Filter を開き, 時間範囲指定, 類似度範囲指定を無効にする. (0'08)

(次ページに続く)

表 8.11: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
Adviser	アンカー page 10 で表示する. (0'14)
2	開いて参照する. (0'16)
Filter	Filter を参照し, 検索マークを設定する. (0'22)
Adviser	アンカー page 10 検索マーク “Modeling”, “全体像”, “要求モデル” 表示する. (0'15)
2	参照する. (0'18)
Filter	Filter を参照し, マークでの検索を無効にする. (0'19)
Adviser	アンカー page 10 表示する. (0'49)
1	開いて参照する. (0'35)
Adviser	Adviser を閉じる. (3'39)
2	閉じる. (0'06)
1	閉じる. (0'04)
3	参照する. (9'26)
	閉じる. (0'03)
10	閉じる.

カッコ内の数値は, 次のアクションとの間隔 (分'秒) を表す.

この日の作業によって, この後システムに入力される page 13 ~ 15 が被験者のノートに記述された.

8.7.7 経過 — 8/8

新しいページ page 11 ~ 15 を追加したので, それに対する作業を行う. 作業時間は 35 分 07 秒.

表 8.12: 被験者 C — 8/8 の実験経過

参照ウィンドウ	経過
15	開く. (0'18)
14	開く. (0'05)
13	開く. (0'05)
12	開く. (0'03)
11	開く. (0'05)
10	開く. (0'19)
15	参照する. (1'07)
14	参照する. マーク “Modeling” を貼る. (0'35)
13	参照する. (0'35)
	マーク “仕様 (要求表現)” を貼る. (0'07)
	マークを追加し, 名前を “非形式的” にする. (0'18)
	そのマーク “非形式的” を貼る. (0'05)
12	参照する. (0'22)
	マーク “仕様 (要求表現)” を貼る. (0'08)
11	参照する. (0'26)
	マーク “仕様 (要求表現)” を貼る. (0'37)
	テキスト 設計の決定理由の保存は, 後の自分が振 り替える場合 と他人 (システムの改変など) が参照する場合が ある. (その際の情報へのアクセス手段)
	を入力する. (0'13)
	そのテキストの背景となる長方形を入力する. (0'08)
10	参照する. (0'02)
11	すぐに page 11 に戻る. (0'33)
12	参照する. (0'22)
	直線をページ上の文章のアンダーラインとして入力す る. (0'23)
11	参照する. (0'02)
12	参照する. (0'00)

(次ページに続く)

表 8.12: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過						
13	参照する. (0'07)						
14	参照する. (0'05)						
15	参照する. (0'14)						
14	参照する. (0'14)						
15	参照して, (0'35) 閉じる. (0'27)						
9	開いて参照する. (0'43)						
9, 12	参照する. (0'22)						
12	page 9 から page 12 へのリンクを張る. (0'11) マーク “要求獲得作業”, (0'03) マーク “モジュールの 粒度” を追加する. (0'46)						
9	参照し, 閉じる. (0'12)						
12	閉じる. (0'03)						
14	閉じる. (0'04)						
13	閉じる. (0'03)						
11	閉じる. (0'02)						
10	閉じる. (0'08)						
Adviser	Adviser を開き, <table border="1" data-bbox="523 898 704 1000"> <tr> <td>アンカー</td> <td>page 15</td> </tr> <tr> <td>類似度</td> <td>0 ~ 500</td> </tr> <tr> <td>時間</td> <td>-20 ~ 0</td> </tr> </table> で表示する. (0'08) Adviser を閉じる. (0'15)	アンカー	page 15	類似度	0 ~ 500	時間	-20 ~ 0
アンカー	page 15						
類似度	0 ~ 500						
時間	-20 ~ 0						
15	開く. (0'03)						
Adviser	Adviser を開き, <table border="1" data-bbox="523 1157 704 1260"> <tr> <td>アンカー</td> <td>page 15</td> </tr> <tr> <td>類似度</td> <td>0 ~ 500</td> </tr> <tr> <td>時間</td> <td>-20 ~ 0</td> </tr> </table> で表示する. (0'44)	アンカー	page 15	類似度	0 ~ 500	時間	-20 ~ 0
アンカー	page 15						
類似度	0 ~ 500						
時間	-20 ~ 0						
Filter	Filter を開き, 時間範囲指定, 類似度範囲指定を無効に する. (0'05)						

(次ページに続く)

表 8.12: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過								
Adviser	<table border="1" data-bbox="1494 337 1671 375"> <tr> <td>アンカー</td> <td>page 15</td> </tr> </table> で表示する. (0'09) 閉じる. (0'13) 再び Adviser を開き, <table border="1" data-bbox="1494 496 1671 599"> <tr> <td>アンカー</td> <td>page 15</td> </tr> <tr> <td>類似度</td> <td>0 ~ 500</td> </tr> <tr> <td>時間</td> <td>-20 ~ 0</td> </tr> </table> で表示する. (0'05) Adviser を閉じる. (2'09)	アンカー	page 15	アンカー	page 15	類似度	0 ~ 500	時間	-20 ~ 0
アンカー	page 15								
アンカー	page 15								
類似度	0 ~ 500								
時間	-20 ~ 0								
15	開く. (0'03)								
Adviser	Adviser を開き, <table border="1" data-bbox="1494 756 1671 859"> <tr> <td>アンカー</td> <td>page 15</td> </tr> <tr> <td>類似度</td> <td>0 ~ 500</td> </tr> <tr> <td>時間</td> <td>-20 ~ 0</td> </tr> </table> で表示する. (0'05) Filter を開く. (0'12)	アンカー	page 15	類似度	0 ~ 500	時間	-20 ~ 0		
アンカー	page 15								
類似度	0 ~ 500								
時間	-20 ~ 0								
Filter Adviser	<table border="1" data-bbox="1494 948 1671 1050"> <tr> <td>アンカー</td> <td>page 15</td> </tr> <tr> <td>類似度</td> <td>0 ~ 500</td> </tr> <tr> <td>時間</td> <td>-47 ~ 0</td> </tr> </table> で表示する. (0'07) <table border="1" data-bbox="1494 1110 1671 1148"> <tr> <td>アンカー</td> <td>page 15</td> </tr> </table> で表示する. (1'29) Adviser を閉じる. (7'07)	アンカー	page 15	類似度	0 ~ 500	時間	-47 ~ 0	アンカー	page 15
アンカー	page 15								
類似度	0 ~ 500								
時間	-47 ~ 0								
アンカー	page 15								
15	開く. (0'02)								

(次ページに続く)

表 8.12: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過																				
Adviser	Adviser を開き, <table border="1"> <tr><td>アンカー</td><td>page 15</td></tr> <tr><td>類似度</td><td>0 ~ 500</td></tr> <tr><td>時間</td><td>-20 ~ 0</td></tr> </table> で表示する. (0'04) Filter を開く. (0'03) Adviser <table border="1"> <tr><td>アンカー</td><td>page 15</td></tr> </table> で表示する. (0'05) Adviser を閉じる. (0'39) 15 開く. (0'04) Adviser Adviser を開き, <table border="1"> <tr><td>アンカー</td><td>page 15</td></tr> <tr><td>類似度</td><td>0 ~ 500</td></tr> <tr><td>時間</td><td>-20 ~ 0</td></tr> </table> で表示する. (0'17) 12 開き, (0'05) 閉じる. (0'16) 15 閉じる. (0'05) Adviser 閉じる. (0'02) Adviser を開き, <table border="1"> <tr><td>アンカー</td><td>page 15</td></tr> <tr><td>類似度</td><td>0 ~ 500</td></tr> <tr><td>時間</td><td>-20 ~ 0</td></tr> </table> で表示する. (1'34) Filter Filter を開く. (0'28)	アンカー	page 15	類似度	0 ~ 500	時間	-20 ~ 0	アンカー	page 15	アンカー	page 15	類似度	0 ~ 500	時間	-20 ~ 0	アンカー	page 15	類似度	0 ~ 500	時間	-20 ~ 0
アンカー	page 15																				
類似度	0 ~ 500																				
時間	-20 ~ 0																				
アンカー	page 15																				
アンカー	page 15																				
類似度	0 ~ 500																				
時間	-20 ~ 0																				
アンカー	page 15																				
類似度	0 ~ 500																				
時間	-20 ~ 0																				

(次ページに続く)

表 8.12: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過								
Adviser	<table border="1"> <tr><td>アンカー</td><td>page 15</td></tr> <tr><td>類似度</td><td>0 ~ 500</td></tr> <tr><td>時間</td><td>-20 ~ 0</td></tr> <tr><td>検索マーク</td><td>“仕様 (要求表現)”, “自然言語”, “領域知識”, “設計環境”, “非形式的”, “要求獲得作業”</td></tr> </table> で表示する. (0'20) 13 開いて参照する. (0'58) 7 開いて参照し, (0'05) 閉じる. (0'12) 5 開いて参照する. (0'29) 14 開いて参照する. (0'04) マーク “要求モデル” を貼る. (0'30) 閉じる. (0'03) 5 閉じる. (0'02) Adviser 閉じる. (0'04) 13 閉じる.	アンカー	page 15	類似度	0 ~ 500	時間	-20 ~ 0	検索マーク	“仕様 (要求表現)”, “自然言語”, “領域知識”, “設計環境”, “非形式的”, “要求獲得作業”
アンカー	page 15								
類似度	0 ~ 500								
時間	-20 ~ 0								
検索マーク	“仕様 (要求表現)”, “自然言語”, “領域知識”, “設計環境”, “非形式的”, “要求獲得作業”								

カッコ内の数値は, 次のアクションとの間隔 (分'秒) を表す.

まず, 追加された page 15 ~ 11 を全て開いて, 全体を把握している. 更に, その前の page 10 を開いて参照し, 追加されたページとのつながりを確かめている.

次に, page 15 から時間的順序をさかのぼる順にページを参照していく.

当初, page 14 にマーク “Modeling” を貼っている. 実験 1 での作業の時, このマークの内容を反映する記述が, それまでのノートにないことに被験者は気づいている (第 8.6.3 節参照). 実験 1 では, 被験者は新たなページをシステムに追加し, そのページにこのマークを貼ってテキストを入力していた. 実験 1 での作業で, 被験者はこのマークの意味を明確にしている.

また, マーク “仕様 (要求表現)” が page 11, 12, 13 に貼られている. このマークは, 実験 1 において, より具体的に分節されたマークである.

これらのマークの意味する概念が, 被験者のその後の研究活動に意識され, これらのページへの記述につながっていると思われる.

page 13 を参照することで, マーク “非形式的” が分節されている. また, page 9 と page 12 を並べて参照することで, マーク “要求獲得作業”, “モジュールの

粒度”が分節された。

Adviserを何回も試しているが、これは Adviser を試験的に使用しているためと考えられる。最後の Adviser の使用では、マークによる検索を行い、その表示から page 13, 7を参照している。この日のこれまでの作業では、page 7が参照されることはなかったで、Adviser の使用が被験者にこのページの参照を促していると言える。

8.7.8 経過 — 8/12

追加された page 11 ~ 15 に対する更なる作業を行う。作業時間は7分43秒。

表 8.13: 被験者 C — 8/12 の実験経過

参照ウィンドウ	経過
15	開いて参照する。(0'37) テキスト 領域で一般的になりつつことか 事例固有のものか を入力する。(0'03) 直線でこのテキストとページの一部を結ぶ。(0'39) テキスト 要求に関しても同様の分類ができる を入力し。(0'21) この下にマーク“仕様(要求表現)”を貼る。(0'08)
14	開いて参照する。(0'23)
13	開いて参照する。(0'18)
12	開いて参照する。(0'24) マーク“モジュールの粒度”を貼る。(0'05)
13	参照する。(0'01)
12	参照する。(0'03)
11	開いて参照する。(1'21) 閉じる。(0'04)
12	閉じる。(0'03)
13	閉じる。(0'04)
14	閉じる。(0'09)
15	閉じる。(0'15)

(次ページに続く)

表 8.13: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
9	開いて。(0'06) マーク“モジュールの粒度”を貼る。(0'06) 閉じる。(0'17)
10	開いて参照する。(0'27) マーク“全体像”を貼る。(0'06) 閉じる。

カッコ内の数値は、次のアクションとの間隔(分'秒)を表す。

前回の使用では、ただ参照するだけだった page 15 に、テキストの入力とマークの貼付を行っている。また、page 12, 9に、マーク“モジュールの粒度”を貼っている。このマークは、前回の使用時にこれらのページを参照して分節化されたものであるが、その時には使用されていなかった。これは、前回の作業が何らかの理由で継続できなかったためだと思われる。

8.7.9 経過 — 8/13

page 16 ~ 18 を自ら追加する。作業時間は13分36秒。

表 8.14: 被験者 C — 8/13 の実験経過

参照ウィンドウ	経過
15	開く。
16	新たにこのページを追加する。

(次ページに続く)

表 8.14: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
	<p>テキスト</p> <p>相手との「議論」の途中で食い違いが生じた場合、初めて説明すべき差異に意義が生じ、説明する必要性が出て来る。</p> <p>システムでサポートしうる状況は、2つの事柄 A と B との差異について説明しておいたはずなのに、同様の差異に注意を払うべき別の状況において、それらが省みられないような状況、または他の点についての設計を押しすすめていくうちに、もとの点についてそれらの差異が忘れ去られてしまうような状況が考えられる。</p> <p>A と B の差異を保存しておき、「関係ある」他の状況においてそれを呼び出す。「関係づけ」を行う必要がある) また、再びもとの設計事項を取扱う際にもう一度それらを呼び出す。</p> <p>を入力する。</p> <p>このテキストの上にタイトルとして“設計文脈について”を入力する。(0'08)</p> <p>15 閉じる。(0'17)</p> <p>16 一端を入力したテキスト内に持つ曲線を入力する。(0'07)</p> <p>その曲線のもう一端に</p> <p>要求モデルがそれら議論の結果となっている (設計アーティファクト) モデルとの結び付け</p> <p>を入力する。</p> <p>閉じる。</p> <p>17 新たにこのページを追加する。</p>

(次ページに続く)

表 8.14: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
	<p>テキスト</p> <p>(8/8)</p> <p>○ Needs と Seeds</p> <p>「何をしたい」と「どうやってやる」という、物事の2つの見方。「何をして欲しい」と「何ができる」ということ。</p> <p>ソフトウェア設計でいくと、要求モデルという中間形態をクライアントと設計者が上の2つの視点からながめる。それぞれが背景にたくさん情報(知識、要求)抱えているが二つの立場ではそれらを眺める視点が違う。</p> <p>それぞれ自分のもっている情報については要求モデルと関連づけて表現する事ができるであろう。それによって要求モデルを中心に相手のもっている情報を見て、相手の文脈の理解を促進する。</p> <p>同じ立場の場合だと、CSSなどのコミュニケーション支援となる。(自分の頭の中で考えている事を空間表現をつかって表し、他者とのすり合わせに利用する)</p> <p>を入力する。</p> <p>18 新たにこのページを追加する。</p>

(次ページに続く)

表 8.14: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
	テキスト
	○既存システムの更新の度合
	「システム更新」という場合でも、更新の度合に違いがある。更新の度合が小さい場合は大きなアーキテクチャは変更する必要がなく、インタフェースの変更、小さいモジュールの追加に留まるが、大きい場合は根本的な所から変更を行う事になる。(DBなどの基盤ソフトの変更、データ形式の大幅な変更など: IR から CIR)
	いずれも既存のシステムから保存されるものがあるが、保存の度合が異なる。変更が小さい場合は既存システム自体をそのまま利用でき、設計段階における要求モデルをそのまま利用して、追加、変更を行う事になる。(細かい設計理由などは必要ないかも知れない)
	変更が大きい場合は、逆に要求モデルを大幅に変更する必要があり、その場合に要求モデルを作成する際に利用していた設計理由は重要となると思える。
	を入力する。(0'25)
	更にテキストを2つ入力する。

カッコ内の数値は、次のアクションとの間隔(分'秒)を表す。

前回までの作業で、自分のノートを見返した結果生じた問題意識や断片的な文章を、日常使い慣れたエディタでこの被験者は書き取っていた。

今回の作業は、それらのテキストをシステムに入力し、タイトルをつけたが、それ以上の作業は行わず、次の使用に持ち越されている。

8.7.10 経過 — 8/17

追加した page 16 ~ 18 に対する更なる作業を行う。作業時間は 5 分 19 秒。

表 8.15: 被験者 C — 8/17 の実験経過

参照ウィンドウ	経過
18	開いて参照する。(0'27)
16	開く。(0'03)
17	開く。(0'02)
18	参照する。(0'27)
	マーク“仕様(要求表現)”を貼る。(1'53)
16	参照する。(0'10)
18	マーク“仕様(要求表現)”を貼る。(0'11)
	テキスト“の変更”をマークの“仕様(要求表現)”の後ろに続くように入力する。(1'05)
16	マーク“設計環境”を貼る。(0'20)
	閉じる。(0'05)
18	閉じる。

カッコ内の数値は、次のアクションとの間隔(分'秒)を表す。

前回の続きの作業を行い、追加したページにマークを貼っている。ここでもマーク“仕様(要求表現)”が使われており、このマークが意味する概念を被験者が意識して研究活動を行っていることがわかる。

また、page 16 につけられたマーク“設計環境”は、これまでは使われていないマークである。実験 1 での作業時に分節されたこのマークは、その後、被験者に考えなければならないこととして意識され、このページでの記述を促していると考えられる。

8.7.11 経過 — 8/19

追加した page 16 ~ 18 に対する更なる作業を行う。作業時間は 22 分 12 秒。

表 8.16: 被験者 C — 8/19 の実験経過

参照ウィンドウ	経過
18	開いて参照する。(0'53)
17	開いて参照する。(0'16)
	マーク“設計環境”を貼る。(0'42)
	マーク“関連づけ”を追加する。(0'08)
	マーク“関連づけ”を貼る。(0'05)

(次ページに続く)

表 8.16: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
	<p>曲線をテキストの一部とこのマークを結ぶように入力する。(0'22)</p> <p>このマークの下にテキスト</p> <p>設計変更の際にその都度注釈を記録していくというのも、設計理由とモデルの関連づけ(利用方法は主に記録の「再生」になる)</p>
16	<p>を入力する。更に、(0'35) テキストを入力する。(0'08)</p> <p>開いて参照する。(0'43)</p> <p>マーク“関連づけ”を貼る。(0'14)</p> <p>テキスト</p> <p>設計の結果(出力)となるモデルの形式を決める</p> <p>を入力する。(0'08)</p>
15	開いて参照する。(0'19)
14	開いて参照する。(0'40)
13	開いて参照する。(1'37)
11	<p>開いて参照する。(0'23)</p> <p>テキスト</p> <p>実際、企業などでも膨大な要求獲得の手順書があると聞いた。</p> <p>また、そもそも専門家の技術によって効率良く行なわれる作業である。</p>
	<p>を入力する。更に、(0'15) もう1つテキストを入力する。(1'02)</p> <p>マーク“要求獲得作業”を貼る。(2'00)</p>
6	<p>開いて参照する。(3'49)</p> <p>テキスト</p> <p>RADの工程に入る前に行なうべき作業</p> <p>を入力する。(1'42)</p>
13	参照する。(0'56)
12	開いて参照する。(0'33)

(次ページに続く)

表 8.16: (前ページより続く)

参照ウィンドウ	経過
	閉じる。(0'02)
13	閉じる。(0'04)
6	閉じる。(0'04)
11	閉じる。(0'01)
14	閉じる。(0'03)
15	閉じる。(0'03)
16	閉じる。(0'03)
17	閉じる。(0'02)
18	閉じる。

カッコ内の数値は、次のアクションとの間隔(分'秒)を表す。

更に、前回の作業の続きとして、より詳細に追加したページに対する作業を行っている。

これまでは使われていないマークである“要求獲得作業”が、page 11に貼られた。これは、page 9, 12の参照によって分節された“要求獲得作業”がその後の思考によって、このマークが作られた当初よりも意味づけが明確になり、この作業時の被験者の文脈でpage 11を参照することで、このマークを使用するという行為につながっていると思われる。そして、このように思考が進むことにより、このページへのテキストの新たな入力を促進していると言える。

8.7.12 考察

これらの実験によって、以下のことが確認された。

- 被験者が行った7/25, 8/4, 8/8のAdviser使用は、主にはAdviserのテストであったと言える。使用後に行ったインタビューで、被験者は次のように述べている。

「Adviserを使ったことがなかったので、試験的に使ってみた。あまり実用上にそこから何かを得ようとしたわけではない。2次元上に配置するには、あまり入力したページが少ないという意味がないかなと思って、ページを増やしてから使おうと考えていた。」

- 実験1で分節されたマークが、その後の被験者の研究活動において意識され、思考の軸となっている。被験者は次のように語っている。

「やらなければならない部分がごっそりあって、システムを見ているとそれを感じる。自分の頭の中に地図があって、その中で抜けている部分があったので、それを埋めなければいけないという意識があった。」

このことは、システムの使用が日常の問題意識を支援していることを示している。

- 用意されていたが使用されていなかったマークの持つ意味づけが、その後の様々な思考を経ることで明確になっていく。そして、その現在の文脈で既存のページを見返すことで、そのページに新たな意味づけがなされ、テキストでの知識の表現が促されている。

第9章

考察・評価

本章では、予備実験・実験を通しての考察と、本論文でのモデルとシステムの評価を行う。

9.1 考察

9.1.1 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。

9.1.2 時間的順序

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る。

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、被験者に思考の制約を変更させるのに有効だと考えられるが、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と言える。

一通り、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。例えば、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いう期待感があるため、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。

9.1.3 関連項目の折り合わせの効果

主に新たなページを追加した時に、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る。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折り合わせることで、前に参照していた時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る。それらの折り合わせの効果は、新たなマークの追加や、概念の言語化という形で表れている。そして、それらの追加されたマークやテキストが、次の思考を促している。

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捉えているところに、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て、実験でもそのことが確認された。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。

9.1.4 マーク

En Passant 構築に際し、当初は、紙のノートでそれぞれが用いているマークがシステムでのマークとして登録されて使われるのではないかと予想していた。しかし、実際の被験者に事前にアンケートをとったところ、どの被験者もあまり紙のノートでマークを多用していなかった。被験者は、自分自身がシステムを使用するという場面に直面した際に、システムでのマークをどう利用できるかを考え、それぞれのシステムでのマークを整理していった。

紙のノートで被験者が使用しているマークの多くは丸(○)や四角形(□)、矢印(→)などの図形であった。これらのマークは、それらのマークのついている個所を強調させたり、記述を関連づけるために用いられていて、同じマークのついている個所同士の内容的な関連は薄いと考えられる。これらのマークは En Passant で提供されているマークの機能とは異なるものである。En Passant 2 において追加された図形入力機能がこのような使用を可能にしている。

被験者がシステムの使用で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。更に、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。これはシステム開発当初に被験者からそのような要望があったためである。しかし、後に利用される時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、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る。機能(例えば、“Hypothesis”)によって作る被験者、内容(例えば、“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ので、システムの挙動や仕組みをユーザにわかり易く実装することが重要であると考えられる。

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。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。

被験者Aと被験者Cは、ともに内容でマークを作っている。多くのページを入力して、研究をまとめる段階の被験者Aは、マークを整理することで自分の研究の体系を整理し、そのマークを主にページの検索のために用いている。それに対し、入力されたページが少なく、これから研究を具体化していく被験者Cは、マークを整理することによって、そのマークを自らの研究の軸としてその後の思考に利用している。つまり、被験者Aがノートの集合から研究の体系をボトムアップにまとめるのにマークを利用しているのに対し、被験者Cはマークを整理してトップダウンにその概念空間を満たすように思考を行っている。これらの2つの側面は、局所的には、それぞれの被験者の行為の中に見られる。これらのことは、まずボトムアップにマークを整理しながら研究を膨らませ、そして、トップダウンに研究を大局的に捉えて足りないところを確認し、更に、ボトムアップに研究を整理し直すのに、マークが有効に使われていることを示している。

表 9.1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

表 9.1: 被験者別のページ数とマーク数

	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D
使用期間	8ヵ月	3ヵ月	2ヵ月	1週間
ページ数	90	25	24	15
マーク種類数	24	12	17	17
マーク数/ページ	0.50	2.16	1.75	3.33
マーク数/マーク種	1.88	4.50	2.47	2.94

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わかる。

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に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。

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。

被験者A

表 9.2に被験者Aのマークを示す。また、被験者Aは自分のマークの作り方について次のように述べている。

「最初には表面的なマークばかりを作っていた。途中(マーク“subject”の追加時)から研究全体の思考が変わっていき、マークの作り方、整理の仕方が変わっていった。」

「最初にはreferenceでまとめていたが、次第にNormanとVygotskyがその中で大きな存在となり、新たに作られた。」

「マークを作られた順序で並べてみると、自分の研究の流れと合っていて面白い。最初はサーベイをしていて、その後にシステムを構築し、実験を行い、分析し、その間にいろいろな先生からのアドバイスをいただき、まとめて発表する。その際に研究の目的をもう一度考え直し、学習というキーワードが重要だと考えた、という流れがよくわかる。」

被験者はシステムを継続的に使用しながら研究を行っていった。マークの整理が被験者の研究を反映していて、マークの整理と実際の研究における思考が同期して進んでいることがわかる。このことは、システム使用開始時にマークを全て用意させることができないことを示している。

被験者B

被験者Bは、マークを内容ではなく機能で作っている(表 9.3)。したがって、マークによるobject間の関連性も、その内容ではなく、機能によって作られることになる。

自分のマークの作り方について、被験者Bは以下のように述べている。

表 9.2: 被験者 A のマークの意味づけ

No.	ページ	意味づけ	備考
0	Question	全体的に疑問に思ったこと	
1	Solution	それに解決策を見出したと思われること	
2	Advice	アドバイスを受けた先生	[Adviser]
3	sacki	アドバイスを受けた先生	[Adviser]
4	Hori	アドバイスを受けた先生	[Adviser]
5	hori	アドバイスを受けた先生	[Hori] との区別はない, [Adviser]
6	reference	参考文献	[Reference]
7	system	システムに関連すること	
8	IES	IES 研究会での議論, アドバイス, 気がついたこと	[Adviser]
9	reflection	リフレクション	重要なキーワード, [Keywords]
10	Experiment	実験から思ったこと, 実験に使えるようなこと	重要なキーワード, [Keywords]
11	kenro	kenro からのアドバイス	[Adviser]
12	subject	実験での学習者に与える課題について	
13	Norman	ノーマンの発言	[Reference]
14	experiment-hirano	実験の先生とのディスカッション	
15	Nahomi	アドバイスを受けた先生	[Adviser]
16	protocol	プロトコル分析に関すること	[Keywords]
17	kiyou	論文の紀要	論文のまとめのため
18	Vygotsky	ビゴツキーに関すること	[Reference]
19	paper	自分の論文	論文のまとめのため
20	zenkoku-taikai	全国大会の準備で大事なこと	論文のまとめのため
21	mokuteki	研究の目的を後から考え直そうと思った時に作った	
22	yosikawa	アドバイスを受けた人	[Adviser]
23	learning	学習というキーワード	[Keywords]

表 9.3: 被験者 B のマーク

マーク	
作業開始時	Question, Solution, Advice
追加	Hypothesis, Hint, Direction, Comment, Idea, Plan, Technical issue, motto, Keyword

「マークをつける部分が何となく漠然と重要な部分だ, という気がする. あまりマークを階層的にしようとかちゃんと作ろうという気はない. マークは内容ではなく, 機能で作っている。」

この被験者は, 自分のノートに記述する時点で思考が他の被験者と比べてまとまっている傾向にある. また, 1つのページへの記述も多い. この被験者の場合, マークを機能で作っていること, ページの内容がよく整理されていること, そしてページ数が少なくそこでの記述を被験者自身がよく記憶していることから, Adviser の効果はあまり期待できないと考えられる. 2年後にこの被験者が研究をまとめる時期になった時, 現在入力されているノートが有効になるのではないかと期待される.

被験者 C

表 9.4に, 被験者 C のマークを示す.

この被験者も被験者 A と同様に, 内容でマークを作っている. また, 被験者 C は, 自分のマークについて以下のように述べている.

「個々の内容が上流に関すること, 下流に関すること, それらを上流から下流へと橋渡しをしていること, などに分けられている. しかし, あまり明確にはわけられない。」

この被験者は, マーク間の関係を, 被験者自身の研究が扱う「工程」という視点と, 「表現」という視点から考えている. これは, 被験者自身がシステムを使用することで整理された視点である. システムが, これらの視点の内容を被験者に与えたり, 数などを限定したりすれば, 被験者の自由な思考を阻害する危険性が生じる.

9.1.5 「価値のある」概念の創発

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時にも生じている。ページを見返す時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。

ノートにアイデアのメモとして記述していたことを後から見直すことで、そこに記述されていた疑問に対する解答や、アイデアに対する問題点などが言語化された。これらの言語化は、システムの使用によって行われた漸進的な思考の結果であり、ここで表現された言語そのものが単独で大きな価値を持つかどうかはわからないが、全体の研究の流れの中で必要な思考になると考えられる。

また、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、新たにページを追加してこれからの研究の方向性に関する内容のテキストをそこに追加するということが観察された。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」と言える。

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 State の遷移によって Mental World 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言える。

今回の実験では、現実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にはなかった。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。

9.2 評価

9.2.1 モデルの評価

実験で観察されたことを第3章で述べた本論文でのモデルで説明することで、モデルの妥当性を検証する。

過去のページを参照することにより、そのページに別の意味づけがなされていることは、State の遷移によって Mental World が変化していき、後にその部分に注目した時に新たなことに気づく、ということを示している。

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言えよう。

システムで過去のページを後から見直すことで、そこに記述されていた疑問に対する解答や、アイデアに対する問題点などが言語化された。このことは、Mental World 内にある次の思考の元になる部分をシステムの使用によって見つけて Operating Field に置いて、現在の Constraint での Operation の結果、言語化されたとみなすことができる。

未使用マークを被験者が意識することがシステム使用後の思考に影響を与えたことは、その未使用マークが Constraint に作用して次の Operation をガイドした、と考えられる。

9.2.2 システムの評価

システムを、Green の HCI における認知の次元にしたがって評価する。

Green は認知の次元として

- 内容の変更の困難さ (Viscosity)
- 関係の透過性 (Hidden Dependencies)
- 作業初期での決定 (Premature Commitment)
- 知覚的な手掛かり (Perceptual Cueing)
- 意味のある構造の可視性 (Role-expressiveness)

を挙げている [20]。なお、これらの次元が完全なものではなく、有用だと思われる次元が随時追加されていく、と Green は述べている。

En Passant では、紙を併用することで、ユーザの生成的な段階における Viscosity を減少させている。システムの使用目的が、蓄積したページのシステム上での清書化ではなく、ユーザの思考の支援であるので、過去のページの内容の再編集などの面での Viscosity の低減の必要性は少ないと考える。

Hidden Dependencies は情報間の関係の透過性である。En Passant では、ページのリストで、どのページにどのマークがつけられているかを確認できる。マークのリストで、どのマークがどのページにつけられているかがわかる。これ

ら2つのリストによってページとマーク間の関係を双方から確認でき、透過性を高めている。

システムの使用開始時にマークを作っておく必要はないので、Premature Commitmentは少ないと言える。

マークや図形などによるページの修飾は、Perceptual Cueingとなっている。

Adviserによるページのアイコンの空間表示は、ページ間に隠された関係を示唆するものであり、Role-expressivenessに貢献している。

また、図2.1に示したWoodによる認知の次元とメディア・プロセスとの関係から、最初に外化する過程には紙が適していて、外化されたものを構成していく過程にはワードプロセッサなどのメディアが適していることが読み取れる。En Passantは、紙を併用することでユーザの入力に柔軟性を持たせ、また、ユーザの過去の入力をマークやAdviserを利用することで、知識を構成する過程を支援している。

表9.4: 被験者Cのマークの意味づけ

No.	ページ	意味づけ	備考
0	Question	question	
1	Solution	solution	
2	Advice	advice	
3	System	最終的に作るツールの実装よりのことに関すること	
4	Modeling	モデリングに関すること	下流
5	全体像	研究全体の話、上流から下流までを含んだ全体を図で表現したりしているところ	全体
6	仕様(要求表現)	表現に関する。仕様の表現に関すること	上流
7	自然言語	表現に関する。大きいトピックだと思ったので	上流
8	領域知識	領域知識に関すること	上流
9	要求モデル	表現に関する。要求表現のひとつ。詰めていかなければならないこと	下流
10	情報検索ドメイン	情報検索のドメインについて	上流
11	設計環境	全体に及ぶ環境について	全体
12	ドメイン分析	ドメインの分析について	
13	非形式的	表現に関する。非形式的な要求とか情報とかに関する。ちょっと6と関係がある	上流
14	要求獲得作業	要求獲得の作業について	
15	モジュールの粒度	他とは独立している	下流
16	関連づけ	表現に関する。形式的なものとは非形式的なものをどう関連づけるか	上流

項目	内容	評価
1	システム全体の構成	優
2	入力装置の選択	良
3	出力装置の選択	良
4	ユーザインタフェース	良
5	システムの実装	良
6	システムの検証	良
7	システムの導入	良
8	システムの維持	良
9	システムの廃止	良
10	システムの拡張	良
11	システムのセキュリティ	良
12	システムの互換性	良
13	システムの移植性	良
14	システムの保守性	良
15	システムの信頼性	良
16	システムの可用性	良
17	システムの拡張性	良
18	システムの柔軟性	良
19	システムの柔軟性	良
20	システムの柔軟性	良

第10章

思考支援システム構築への指針

本章では、本研究で明らかにした点に基づいて、思考支援システム構築への指針を提案する。

思考支援システムを構築する上で、以下の点が重要であり、これらを指針としてシステムを作成する必要があると考える。

出力と入力の比を大きくするための機構 当然のことながら、ユーザによるシステムへの入力はできるだけ少なくし、それからの出力はなるべく多くしなければならず、そうでなければそのシステムは使われなくなってしまおう。ここで注意しなければならないのは、何でもいから出力が多ければ良いというのではなく、不要なものをできるだけ出さず、有用なものをユーザが欲しい時、もしくは有効な時に出力することである。

En Passant では、入力を簡便化するために紙を併用した。紙に表現された記述をシステムに取り込むために、現在の実装ではスキャナを使用しなければならないが、電子リフィルと呼ばれるスキャナと OS を始めから持つ製品も登場しており、この点はますます容易になる状況にある。

また、出力を制御するのに Filter や Adviser を利用することができる。

生成過程における即応性 アイデアを生成する過程では、ユーザが表現したい時に表現したい方法で表現できる仕組みと、参照したい時に参照できる環境を提供することが必要となる。

En Passant では、この表現に関して、やはり紙を併用することで解決を計った。Writing Pad 1 では、マウスやタブレットなどのポインティングデバイスを用いてディスプレイ上のノートにフリーハンドの描画ができるようにしてあったが、この機能はほとんど利用されることがなかった。むしろ、被験者からは、システムにはもっと正確な描画方法が希望された。

Writing Pad 2 では、いわゆるドロツールのような図形をノート上に置くことができるように改良されたが、これらの図形はノート上の記述を修

飾するために利用されていた。つまり、紙が提供する表現の自由度と、システムが提供する正確な描画を本方策では利用することができ、全体としてユーザに表現の自由度を提供している。

ユーザが、参照したい時に参照できるようにするためには、ハードを含めたシステムが常にユーザに携行されるようにならなければならない。PDA (Personal Digital Assistant) の発展・普及が、これらの要求を実現することが期待される。また、身につけることができるシステムの研究も行われている [50]。

多様な表現形式を扱えるような機構 ユーザの表現したい形式での入力を許すためには、システムがそれらの形式を扱える必要がある。En Passant では、宣言型言語の書式でのルール、テキスト、描画という分類でこれらを扱っているが、より細かいレベルでこれらを扱えるような方向が考えられる。また、既存の技術やシステムを採り入れていくということが考えられるが、その際、これらの機能を全て思考支援システムに組み込むのではなく、それらのシステムとのデータの交換ができるチャンネルを思考支援システムが持つことで、他のシステムとの連携を実現するべきである。

探索過程における関連の透過性 入力された情報間の隠された関連性を表示することで、単なる紙の蓄積やテキストファイルの蓄積からは得られない情報をユーザに与えることができる。そのために

- 情報の時間的順序を保持する機構と、その表示系
- ユーザの直観にうったえる、概念間の関係の表示

が必要となる。

En Passant では、リストによる表示と2次元空間上の配置でこれらを提供した。

システムによる視点の変更 ユーザのある程度固定した視点をシステムによって変更させることで、ユーザに新たな方向性を考えるきっかけを与えたり、思考の行き詰まりからの脱却を促すことができる。そのためには、視点を明示的に扱い、ユーザ自身の視点を抽出し、それを変更させる方策が必要となる。

本論文では、宣言型言語 KAUS を利用することで、宣言的なルールでユーザの視点を記述する方策を採った。それらの視点をシステムが抽出する機構を考える必要がある。

視点を変更させるための刺激を与えるために、概念を表すオブジェクトを2次元空間に配置して表示するという方策が試され、その効果が確認されてきたが、全く違ったアプローチも検討する必要があると思われる。

適切な情報源と、そこから有用な情報を抽出する機構 有用な情報をユーザに示すために、そもそもどのような情報源を対象とするのかということ考えた場合、ユーザの思考を経た情報かどうか、という基準が考えられる。つまり、1度自分が思考したものと、そうでない膨大な外界の情報である。外界から自分に有用な情報を自動的に集めてくるエージェントに関する研究も行われているが、本論文では、自らの思考過程を経て蓄積された情報をソースとすることで、意味の無い情報をユーザに示す危険性を避けた。より大きな情報源への取り組みがこれからの課題であろう。

思考支援ツールを使うことで、ユーザの思考に連続性が生じ、ツール無しでは起こらなかった思考のつながりが起こることが大切だと考える。思考のつながりは、ユーザに新たな文脈を生じさせ、その新たな文脈が新しい概念の創発や既存の概念の新しい価値の再認識を促すのではないか、という期待があるからである。

第11章

結論

本論文は、真に人間にとって役に立つ機械とはどういったものであろうか、という点から出発している。人間ができることを機械がなんでも肩代りすることが、本当に人間にとっていいことなのか、という疑問は常に筆者の中に存在していた。機械の進歩が人間にとって負の効果を与えている部分があるとするならば、我々は機械を捨てるという後向きの解決策を採るのではなく、工学を発展させることでその問題を解決すべきである。

計算機に関わる科学・技術は、人間の肉体的・精神的負担を軽減させる為の道具作りを前提として行われてきたと考えられる。それらの多くは、計算機を用いて、様々なタスクを自動化することを目指してきたが、単に自動化できるところを片端から機械に置き換えていけば良いということではない。特に、人間個人個人のアイデンティティがその人の創造性にもあるとするならば、創造的なことを機械が自動生成する必要はないと筆者は考える。機械はむしろ、自らが創造するのではなく、人間の創造性を支援する、という形態をとるべきである。このような立場で本研究はなされた。

工学的に創造的な活動を支援するためには、いまだ解明されていない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た。したがって、本論文では、Youngの分類における秘書レベルに基本を置き、それに思考のアイデアやヒントをユーザ自身が気づけるように機能を付加していくというアプローチを採用した。そして、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、支援システムの構築と実験を行った。

システムが扱う情報源として、ユーザの日常の研究活動において書き貯められる研究メモを利用した。これは、紙というメディアが持っている性質が人間の生成的な思考に適していること、人間の創造的な思考活動が自らの知識に基づいて行われるということ、ユーザが関知しない外界の膨大な情報を扱うことが無駄な

情報をユーザに与えてしまう危険性を生じること、などを理由としている。

本論文では、思考過程の制約のうち、記憶の想起の障害となっていると考えられる、思い込みによる想起の障害、時間的経過・順序による制約を対象とした。これらの制約を変更することで、忘れていたことを思い出したり、関係ないと思いついていたことを別の視点から見直すきっかけをユーザに与え、ユーザが新たな思考を展開することができると考えた。

このような方策に基づいて支援システムを構築し、実験を行った。実験は、大学院学生4人の被験者が、実際の研究を継続的にシステムを用いることで行った。

この実験で、以下のことが観察された。

ユーザの状況・問題意識へのシステムの対応 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。

過去のページを現在の文脈で参照する効果 被験者は、見直した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、前に参照していた時には気づいていなかった自分にとっての意味を見出した。

時間的な順序 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。システムの時間的順序を隠す表示が被験者に思考の制約を変更させるのに有効であるが、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だと言える。この時間的順序を変更することが被験者に思考の刺激として作用することがあった。

システムの使用による思いがけない記述の発見 時間的順序を隠すシステムの表示をユーザが見ることで、ユーザは自分の記憶からの意外な発見をするきっかけを得ることができた。

ページの参照とページにつけるマークの整理 マークを自分のノートにつけていくことで、マークが整理されていき、マークが整理されることで次の思考が進むということが見られた。

過去の思考の大局的な把握 過去に記述したノートをシステムを用いて見直すことで、自分が考えてきたことを大局的に捉え直すことで、次の思考が進むということが観察された。

これらのことは、本論文の方策の有効性を示していると言える。

最後に、本研究で明らかにした点に基づいて、思考支援システム構築への指針として、

- 出力と入力比を大きくするための機構
- 生成過程における即応性
- 多様な表現形式を扱えるような機構
- 探索過程における関連の透過性
- システムによる視点の変更
- 適切な情報源と、そこから有用な情報を抽出する機構

を提案した。

今後の取り組むべき課題としては

- ユーザの日常の研究活動における、より自然な人間・機械系の探求
 - 人間の認知の更なる解明：例えば、マークの体系を構築していく過程のモデルなど。
 - インタフェース技術
- 既存の有用なシステムとの連携
- より大きな情報源への取り組み

などが挙げられる。

人間が直接操作し、五感で情報を得るシステムを扱う研究を行う場合は、その基盤に人間の認知的な部分に関する議論が不可欠である。そして、それを評価する場合には、システムを独立で評価することは不可能であり、必ず人間とシステムとの実際のインタラクションの観察が必要となる。本研究も、この点を改めて重視して行った。今後の研究が人間を中心として行われることを期待する。

謝辞

本研究を行うに際し、お世話になった多くの方々はこの場を借りて深く感謝の気持ちを表したいと存じます。

まず、指導教官である堀浩一助教授に対して、厚くお礼を述べたいと存じます。

筆者が東京大学大学院工学系研究科修士課程に入学し、堀先生の指導を仰ぐことになったことは、正に本研究を行う出発点となりました。本研究が扱う分野の第一人者である堀先生には、常に鋭い意見と数々の適切なご助言を賜りました。堀先生の深く広い視野からの的確なご指摘によって、本研究を行う上での問題点を明確にすることができました。また、研究者・教育者としての堀先生の根底に流れる人間的な優しさは、これからの筆者の人生において手本とさせて頂きたいと存じます。筆者にとってこの上ない環境で研究活動を送り、そしてここに論文としてまとめることができたことを、心から感謝を申し上げたいと存じます。

知能工学研究室の中須賀真一助教授には、一歩引いた視点で常に目を配って頂きました。中須賀先生から頂いた一人の研究者の体験を通じた意見は、ともすれば自らの考えの中だけに埋没してしまう筆者に、様々な視点を与えて下さいました。また、中須賀先生のバイタリティ溢れる研究生活・日常生活は、筆者には心強いものでありました。心から感謝致しております。

本論文の審査委員である東京大学の廣松毅教授、溝口博助教授、久保田晃弘助教授には、本研究に対する有用かつ的確なご指摘、ご指導を賜りました。ここに深く感謝致します。

筆者の修士課程での指導教官である早稲田大学理工学部大須賀節雄教授には、大須賀教授が早稲田大学に移られてからも筆者を気にかけてご指導して下さいました。深く感謝致します。

知能工学研究室の山内平行助手には、研究環境の整備などの面などでご尽力頂きました。特に、本研究で利用させて頂いたKAUSは、山内助手が開発・管理されているものであり、筆者のシステム開発には欠かせないものでありました。ここに深く感謝致します。

中京大学情報科学部の三宅芳雄教授、三宅なほみ教授と、両研究室の皆様にも

は、本研究の認知科学的な側面を考察する上で、非常に有益で深い議論を行う機会を設けて頂きました。深く感謝致します。

筑波大学大学院経営システム科学専攻の寺野隆雄教授、東京大学教育学部の佐伯胖教授には、特定の文献を用いての勉強会に参加させて頂き、筆者に勉強の機会を与えて下さいました。深く感謝致します。

研究室の先輩である文部省大学共同利用機関学術情報センターの杉本雅則助手には、たびたび研究に関する議論を行って頂き、また相談にのって頂きました。深く感謝致します。

敢えてこの場では匿名にさせていただきますが、本研究で構築したシステムの実験の被験者の方々は、継続的な実験であるにも関わらず、快く協力して下さいました。被験者の方々の協力なしでは本論文をまとめることはできませんでした。心から感謝致します。

知能工学研究室、並びに東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻の田辺研究室の皆さんにもお礼を述べなければなりません。研究を行う上で、様々なアドバイスを頂いたり、非常に親切に教えて頂いたり、常に快適な研究環境を提供して頂きました。また、研究以外の場での交流も楽しく有意義なものでした。

知能工学研究室の同期である、楠房子さん、吉田哲也さん、吉住英典君とともに博士課程を過ごしたことは、非常によい刺激となりました。深く感謝致します。

知能工学研究室の秘書である二木晶子さんには、5年間に渡り、研究活動を様々な面から支えて頂きました。深く感謝致します。

ここで名前を挙げなかった方々にも、様々な面でお世話になっていると存じます。ここに深く感謝致します。

最後に、この大学院での研究生生活を経済的に支援してくれた両親と、精神的に支えてくれた妻彩子にこの場を借りて感謝致します。

参考文献

- [1] 相原健郎, 堀浩一, 大須賀節雄. 創発的な知識の体系化を支援するための一方法. 人工知能学会 全国大会 (第8回) 論文集, 1994.
- [2] 相原健郎, 堀浩一. 研究メモの蓄積効果を増幅するための創造的思考支援システム. 人工知能学会ヒューマンインタフェースと認知モデル研究会 (第27回) 資料, March 1996.
- [3] 相原健郎, 堀浩一. 研究メモの蓄積効果を増幅する創造的思考支援システム. 人工知能学会 全国大会 (第10回) 論文集, June 1996.
- [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] Anderson, J. R. *Cognitive Psychology and Its Implications*. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1980. 富田 達彦 他 (訳): 認知心理学概論, 誠信書房, 1982.
- [6] 安西祐一郎. 問題解決の心理学. 中公新書, No. 757, 中央公論社, 1985.
- [7] Boden, M. A. *The Creative Mind - Myths and Mechanisms*. George Weidenfeld and Nicolson, London, 1990.
- [8] Boden, M. A. What is creativity? In Boden, M. A., editor, *Dimensions of Creativity*, chapter 4, pp. 75-117. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1994.
- [9] Candy, L. and Edmonds, E. Knowledge support systems for conceptual design: A feasibility study. Technical Report 94/K/LUTCHI/0167. LUTCHI Research Centre, Loughborough University, March 1994.
- [10] De Bono, E. *New Think: the Use of Lateral Thinking in the Generation of New Ideas*. Basic Books, New York, 1968. 白井 実 (訳): 水平思考の世界 - 電算機時代の創造的思考法, 講談社, 1969.

- [11] Dunbar, K. Concept discovery in a scientific domain. *Cognitive Science*, Vol. 17, No. 3, pp. 397-434, 1993.
- [12] 遠藤聡志, 大内東. 統合型発想支援システム: Fism. 人工知能学会誌, Vol. 8, No. 5, pp. 611-618, 1993.
- [13] Ferguson, E. S. *Engineering and the Mind's Eye*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1992.
- [14] Finke, R. A., Ward, T. B., and Smith, S. M. *Creative Cognition*. The MIT Press, 1992.
- [15] Fischer, G. Turning breakpoints into opportunities for creativity. *Knowledge-Based Systems*, Vol. 7, No. 4, pp. 221-232, 1994.
- [16] 福島章. 天才 - 創造のバトグラフィー. 現代新書. 講談社, 1984.
- [17] Gaines, B. R. and Shaw, M. L. G. Eliciting knowledge and transferring it effectively to a knowledge-based system. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 5, No. 1, pp. 4-14, 1993.
- [18] Ghiselin, B. *The Creative Process*. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, 1952.
- [19] Green, T. R. G. Cognitive dimensions of notations. In Sutcliffe, A. and Macaulay, L., editors, *People and Computers V*, pp. 443-450. Cambridge University Press, 1989.
- [20] Green, T. R. G. Describing information artifacts with cognitive dimensions and structure maps. In Diaper, D. and Hammond, N., editors, *People and Computers VI*, pp. 297-316. Cambridge University Press, 1991.
- [21] Guilford, J. P. *The Nature of Human Intelligence*. McGraw-Hill, New York, 1967.
- [22] Guzdial, M., Kolodner, J., Hmelo, C., Narayanan, H., Carlson, D., Rappin, N., Hübscher, R., Turns, J., and Newstetter, W. Computer support for learning through complex problem solving. *Communications of the ACM*, Vol. 39, No. 4, pp. 43-45, April 1996.
- [23] Haase, K. B. Too many ideas, just one word: a review of Margaret Boden's *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*. *Artificial Intelligence*, No. 79, pp. 69-82, 1995.

- [24] Holyoak, K. J. and Thagard, P. *Mental Leaps - Analogy in Creative Thought*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1995.
- [25] 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, pp. 1998-2008, 1994.
- [26] 堀浩一. 発想支援のための人間機械系とその認知モデル. 学習と対話研究分科会, No. 95-1 in SIGLAL. 日本認知科学会, June 1995.
- [27] 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, Vol. 12, No. 2, 1997. to appear.
- [28] Hori, K. A model for explaining a phenomenon in creative concept formation. *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E76-D, No. 12, pp. 1521-1527, 1993.
- [29] Hori, K. A system for aiding creative concept formation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 24, No. 6, pp. 882-894, 1994.
- [30] 稲垣佳世子, 波多野諒余夫. 人はいかにして学ぶか. 中公新書, No. 907. 中央公論社, 1989.
- [31] 石井裕. グループウェアのデザイン - 構造的アプローチと非構造的アプローチ. *bit*, Vol. 23, No. 3, pp. 273-283, 1991.
- [32] Ishii, H. and Miyake, N. Toward an open shared workspace: Computer and video fusion approach of teamworkstation. *Communications of the ACM*, Vol. 34, No. 12, pp. 37-50, 1991.
- [33] 市川 伸一 (編). 思考. 認知心理学, No. 4. 東京大学出版会, 1996.
- [34] Johnson-Laired, P. N. How the mind thinks. In Harman, G., editor. *Conceptions of the Mind: Essays in Honor of George A. Miller*, chapter 11, pp. 173-215. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, 1993.
- [35] 海保博之. インタフェースの認知心理学. 情報処理, Vol. 30, No. 8, pp. 902-911, 1989.
- [36] 海保博之, 原田悦子, 黒須正明. 認知的インタフェース - コンピュータとの知的つきあい方. 新曜社, 1991.
- [37] 海保博之, 原田悦子. プロトコル分析入門. 新曜社, 1993.

- [38] 金子朝男. ハイパーメディアの動向. 情報処理, Vol. 34, No. 1, pp. 60-71, 1993.
- [39] 河合和久, 塩見彰睦, 竹田尚彦, 大岩元. 協調作業支援機能を持ったカード操作ツール kj エディタの評価実験. 人工知能学会誌, Vol. 8, No. 5, pp. 583-592, 1993.
- [40] 川喜田二郎. 発想法. 中公新書, No. 136. 中央公論社, 1967.
- [41] 川喜田二郎. 続・発想法. 中公新書, No. 210. 中央公論社, 1970.
- [42] 岸野文郎. フレキシブルネットワークとヒューマンインタフェース. 電子情報通信学会誌, Vol. 77, No. 4, pp. 443-448. April 1994.
- [43] 北野宏明. AIにおける科学革命. 人工知能学会誌, Vol. 8, No. 6, pp. 744-751, 1993.
- [44] 小橋康章. 決定を支援する. 認知科学選書, No. 18. 東京大学出版会, 1988.
- [45] Kruskal, J. B. and Wish, M. *Multidimensional Scaling*. Sage Publications, Beverly Hills, 1978. 高根 芳雄 (訳): 多次元尺度法, 朝倉書店, 1980.
- [46] 國藤進. これからのグループウェア研究. *bit*, Vol. 25, No. 7, pp. 4-14, 1993.
- [47] 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.
- [48] Lawson, B. Parallel lines of thought. In *Languages of design 1*, pp. 321-331. Elsevier Science Publisher, 1993.
- [49] 三末和男, 杉山公造. 図的発想支援システム d-abductor の開発と機能的評価. 第2回「発想支援ツール」シンポジウム講演論文集. 北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 國藤研究室, Dec. 1993.
- [50] MIT Wearable Computing. Smart clothes: Wearable computing web page. <http://ics.www.media.mit.edu/projects/wearables/>. Dec. 1995.
- [51] 三宅芳雄. 思考過程はどのように支援できるか. 1995年度人工知能学会全国大会(第9回)論文集. 人工知能学会, 1995.
- [52] 宮崎清孝, 上野直樹. 視点. 認知科学選書, No. 1. 東京大学出版会, 1985.

- [53] 茂呂雄二. なぜ人は書くのか. 認知科学選書, No. 16. 東京大学出版会, 1988.
- [54] 宗森純, 堀切一郎, 長澤庸二. 発想支援システム郡元の分散協調型kj法実験への適用と評価. 情報処理学会論文誌, Vol. 35, No. 1, pp. 143-153, 1994.
- [55] 村上陽一郎. 科学者とは何か. 新潮社, 1994.
- [56] 長尾真. 人間と機械のコミュニケーションにおける諸問題. 人工知能学会誌, Vol. 8, No. 6, pp. 705-708, 1993.
- [57] Nagao, T. Knowledge-based system for aiding creative design. Master's thesis, Aeronautics and Astronautics Course, Graduate School of Engineering, the University of Tokyo, 1995.
- [58] Narayanan, N. H., Hmelo, C. E., Petrushin, V., Newstetter, W. C., Guzdial, M., and Kolodner, J. L. Computational support for collaborative learning through generative problem solving. <http://www-cscl95.indiana.edu/cscl95/narayanan.html>. May 1996.
- [59] Neisser, U. *Cognition and Reality - Principles and Implications of Cognitive Psychology*. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1976. 古崎 敬他 (訳): 認知の構図, サイエンス社, 1978.
- [60] 日本情報処理開発協会. CSCW - グループワーク支援システムの研究開発報告書. 1993.
- [61] 日本創造学会 (編). 日本の科学者と創造性. 共立出版, 1987.
- [62] 西尾章治郎. 大規模データベースにおける知識獲得. 情報処理, Vol. 34, No. 3, pp. 343-350, 1993.
- [63] Norman, D. A. *The Psychology of Everyday Things*. Basic Books, 1988. 野島 久雄 (訳): 誰のためのデザイン?, 新曜社, 1990.
- [64] Norman, D. A. and Spohrer, J. C. Learner-centered education. *Communications of the ACM*, Vol. 39, No. 4, pp. 24-27, April 1996.
- [65] 大須賀節雄 (編). ヒューマンインタフェース, 知識工学講座, No. 10. オーム社, 1992.
- [66] Ohsuga, S. and Yamauchi, H. Multi-layer logic - a predicate logic including data structure as knowledge representation language. In *New Generation Computing*, 3, pp. 403-439, 1985.

- [67] 大塚明郎, 栗本慎一郎, 慶伊富長, 児玉信次郎, 廣田鋼藏. 創発の暗黙知 - マイケル・ボランニー その哲学と科学. 青玄社, 1987.
- [68] 岡田 謙一 (編). 特集「グループウェアの実現に向けて」. 情報処理, Vol. 34, No. 8, pp. 983-1093, 1993.
- [69] 奥乃 博 (編). 小特集「人工知能研究者のためのインターネット活用術」. 人工知能学会誌, Vol. 9, No. 6, pp. 792-816, 1994.
- [70] 折原良平. 発想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. 560-567, 1993.
- [71] 折原良平. 発想支援システム「知恵の泉」. 人工知能学会誌, Vol. 9, No. 2, pp. 248-257, 1994.
- [72] 苅阪直行. 意識とは何か. 岩波科学ライブラリー, No. 36. 岩波書店, 1996.
- [73] Piatesky-Shapiro, G. and Frawley, W. J., editors. *Knowledge Discovery in Database*. Menlo Park, California, 1991. AAAI Press / MIT Press.
- [74] Polanyi, M. *The Tacit Dimension*. Routledge & Kegan Paul, London, 1966. 佐藤 敬三 (訳): 暗黙知の次元 - 言語から非言語へ. 紀伊国屋書店, 1980.
- [75] Polanyi, M. The creative imagination. In *Chemistry and Engineering News*, pp. 85-93. 1966. 慶伊 富長 (編訳): 創造的想像力. ハーベスト社, 1986.
- [76] Rein, G. L. and Ellis, C. A. rIBIS: a real-time group hypertext system. In Greenberg, S., editor, *Computer-supported Cooperative Work and Groupware*, pp. 223-241. Academic Press, 1991.
- [77] Rheingold, H. *Tools for Thought*. John Brockman Associates, 1985. 栗田 昭平 (監訳): 思考のための道具. パーソナルメディア, 1987.
- [78] 佐伯胖. 理解とは何か. 認知科学選書, No. 4. 東京大学出版会, 1985.
- [79] 佐伯胖. 認知科学の方法. 認知科学選書, No. 10. 東京大学出版会, 1986.
- [80] 佐伯胖. インタフェースと認知工学. 情報処理, Vol. 30, No. 1, pp. 2-14, 1989.
- [81] 齋藤 堯幸. 多次元尺度構成法. 朝倉書店, 1980.

- [82] Shapiro, G. *A Skelton in the Darkroom - Stories of Serendipity in Science*. HarperCollins Publishers, San Francisco, 1986. 新聞 暢一 (訳): 創造的発見と偶然. 東京化学同人, 1993.
- [83] 篠原靖志. 知識整理支援システム consist-ii - consist の評価と改良について. 人工知能学会誌, Vol. 8, No. 5, pp. 593-600, 1993.
- [84] Simon, H. A. Explaining the ineffable: AI on the topics of intuition, insight and inspiration. In *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 939-948, 1994.
- [85] Smith, S. M. Fixation, incubation, and insight in memory and creative thinking. In Smith, S. M., Ward, T. B., and Finke, R. A., editors. *The Creative Cognition Approach*, chapter 6, pp. 135-156. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1995.
- [86] Soloway, E. and Pryor, A. The next generation in human-computer interaction. *Communications of the ACM*, Vol. 39, No. 4, pp. 16-18, April 1996.
- [87] Stefik, M., Foster, G., Bobrow, D. G., Kahn, K., Lanning, S., and Suchman, L. Beyond the chalkboard: Computer support for collaboration and problem solving in meetings. *Communications of the ACM*, Vol. 30, No. 1, pp. 32-47, 1987.
- [88] 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.
- [89] Sugimoto, M., Hori, K., and Ohsuga, S. A system for assisting creative research activity. In *Proceedings of 6th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI95)*, Yokohama, July 1995.
- [90] 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.
- [91] 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.
- [92] 角康之. Collaborations and communications in personalized information spaces. 人工知能学会全国大会 (第10回) 論文集, 1996.

- [93] 住田一男, 三池誠司. 知的情報検索の動向. 人工知能学会誌, Vol. 11, No. 1, pp. 10-16, 1996.
- [94] 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.
- [95] 立花隆. 「知」のソフトウェア. 現代新書, No. 722. 講談社, 1984.
- [96] 高根方雄. 多次元尺度法. 東京大学出版会, 1980.
- [97] 高野陽太郎. 記憶, 認知心理学, 第2巻. 東京大学出版会, 1995.
- [98] Tatar, D., Foster, G., and Bobrow, D. Design for conversation: Lessons from cognoter. In Greenberg, S., editor, *Computer-Supported Cooperative Work and Groupware*, pp. 55-79. Academic Press, 1991.
- [99] 戸田 正直 (編). 特集「認知科学の動向」. 人工知能学会誌, Vol. 7, No. 5, pp. 744-785, 1992.
- [100] 内田伸子. 想像力 - 創造の泉をさぐる. 現代新書, No. 1219. 講談社, 1994.
- [101] Wallas, G. *Art of Thought*. Harcourt Brace, New York, 1925.
- [102] 渡部洋. 心理学・教育のための多変量解析法入門 - 基礎編. 福村出版, 1988.
- [103] 渡部洋. 心理学・教育のための多変量解析法入門 - 事例編. 福村出版, 1992.
- [104] 渡部勇. 発散的思考支援システム「keyword associator」第二版. 第15回システム工学部会研究会資料「発想支援技術」, pp. 9-16. 計測自動制御学会, July 1994.
- [105] Weisberg, R. W. *Creativity: genius and other myths*. W. H. Freeman and Company, New York, 1986.
- [106] Wood, C. C. A cognitive dimensional analysis of idea sketches. Technical Report 275, School of Cognitive and Computing Sciences, The University of Sussex, <ftp://ftp.cogs.susx.ac.uk/pubs/reports/csrp/csrp275>, 1993.
- [107] Yamauchi, H. *KAUS Users Manual*. RCAST, the University of Tokyo, Mar. 1995.
- [108] Young, L. F. The metaphor machine: A database method for creativity support. *Decision Support Systems*, Vol. 3, pp. 309-317, 1987.

- [109] 計測自動制御学会. 第17回システム工学部会研究会「発想支援ツール」資料, 1995.
- [110] 北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 國藤研究室. 第2回「発想支援ツール」シンポジウム講演論文集, 1993.

付録 A

多次元尺度構成法

以下では本研究で用いた計量的多次元尺度法の処理手順及び数学的理論の説明を行なうことにする。

A.1 処理の手順

データを計量的多次元尺度法で処理する場合、通常以下のステップで行われる。

1. 多次元データの行列 R を非類似度行列 S に変換する。
2. 非類似度行列 S を対称行列 B に変換する。
3. $B = AA'$ を満たす行列 A を求める。

1, 2, 3 の手順によって求めた A が多次元データをできるだけ低次元で表現する座標行列となる。こうして求めた A を許容範囲内でさらに次元を少なくした近似行列を実際のデータの空間表現に用いる。

A.2 非類似度行列の計算

n 個のデータを m 個の測定項目で計量化した多次元データは一般に、

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nm} \end{pmatrix} \quad (\text{A.1})$$

というデータ行列 R で表すことができる。

この時データは m 次元空間で表現することができるので、データ i とデータ j との非類似度 s_{ij} を以下のように定義する。

$$s_{ij} = \left\{ \sum_{k=1}^m (r_{ik} - r_{jk})^p \right\}^{1/p} \quad (\text{A.2})$$

上式は多次元空間におけるデータ i とデータ j との距離 (ミンコフスキーの p メトリック) と呼ばれる。ここでは、 $p=2$ (ユークリッド距離) としている。上式で求めた s_{ij} を要素とする行列 S が非類似度行列となる。

A.3 座標行列の導出

なぜ行列 A がデータをできるだけ低次元で表現する座標行列となるのかについて述べる。

一般に次の定理が成り立つ。

[定理] 対称行列 B が非負定符号であることと、 $B=AA^t$ となる行列 A が存在することとは同値である。このとき B は $n \times n$ 行列、 A は $n \times r$ 行列であり、 r は B の固有値の個数であるとする。

対称 $(n-1) \times (n-1)$ 行列 B の要素 b_{ij} を以下のように定義する。

$$b_{ij} = \frac{1}{2}(s_{in}^2 + s_{jn}^2 - s_{ij}^2) \quad (\text{A.3})$$

但し、 s_{ij} は、点 i と点 j との距離、従って非類似行列 S の要素である。点 n を始点とする点 i へのベクトルを \mathbf{a}_i とすると、

$$s_{ij} = |\mathbf{a}_i - \mathbf{a}_j| \quad (\text{A.4})$$

$$s_{in} = |\mathbf{a}_i| \quad (\text{A.5})$$

が成り立つ。式 (A.4) および式 (A.5) より

$$\mathbf{a}_i^t \mathbf{a}_j = \frac{1}{2}(s_{in}^2 + s_{jn}^2 - s_{ij}^2) \quad (\text{A.6})$$

となる。従って式 (A.3) より

$$b_{ij} = \mathbf{a}_i^t \mathbf{a}_j \quad (\text{A.7})$$

が成立する。よって、行列 A を

$$A = \begin{pmatrix} \mathbf{a}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{a}_{n-1} \end{pmatrix} \quad (\text{A.8})$$

とすると

$$B = AA^t \quad (\text{A.9})$$

定理より座標行列 A の次元は

$$\text{rank } A = \text{rank } B \quad (\text{A.10})$$

となる。

そこで問題になるのは、データ行列 D の次元を非類似行列を用いることにより低次元でのデータの空間表現を与える座標行列 A を求めることである。そのために、

$$B\mathbf{x}_i = \lambda_i^2 \mathbf{x}_i \quad (\text{A.11})$$

という固有方程式を解く。このとき $\lambda_i^2 \mathbf{x}_i (i=1 \dots r)$ はそれぞれ行列 B の固有値、正規直交固有ベクトルである。従って、

$$\mathbf{x}_i \mathbf{x}_j^t = \begin{cases} 1 & (i=j) \\ 0 & (i \neq j) \end{cases} \quad (\text{A.12})$$

である。

固有ベクトル行列 Q 、 $r \times r$ 次対角行列 Λ_r をそれぞれ

$$Q = (\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_r) \quad (\text{A.13})$$

$$\Lambda_r^2 = \begin{pmatrix} \lambda_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2^2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \lambda_r^2 \end{pmatrix} = \text{diag}(\lambda_i^2) \quad (\text{A.14})$$

とすると式 (A.11)、式 (A.12)、式 (A.13) および式 (A.14) より

$$Q^t A A^t Q = Q^t B Q = Q^t \text{diag}(\lambda_i^2) Q = \text{diag}(\lambda_i^2) = \Lambda_r^2 \quad (\text{A.15})$$

$$Q Q^t = Q^t Q = I \quad (I \text{ は単位行列}) \quad (\text{A.16})$$

なので両辺の左側から Q 、右側から Q^t を掛けることにより、

$$A A^t = Q \Lambda_r \Lambda_r Q^t = Q \Lambda_r \Lambda_r^t Q^t = Q \Lambda_r (\Lambda_r Q)^t \quad (\text{A.17})$$

となる。よって、

$$A = Q \Lambda_r = (\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_r) = (\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_r) \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \lambda_r \end{pmatrix} \quad (\text{A.18})$$

$$= (\lambda_1 \mathbf{x}_1, \dots, \lambda_r \mathbf{x}_r) \quad (\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_r) \quad (\text{A.19})$$

である。できるだけ低次元でデータの幾何学的構造を表現するため、ある基準値 ϵ を用いて、 $(\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_k) \geq \epsilon \geq \lambda_r$ なる関係があるとき、 r 次元座標行列 A を k 次元座標行列

$$A' = (\lambda_1 \mathbf{x}_1, \dots, \lambda_k \mathbf{x}_k) = (\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_k) \quad (\text{A.20})$$

に近似することが多い。近似行列 A' の空間行列 A に対する近似の良さの指標を与えるものとして、 A' の適合度の 1 例を以下に示す。

$$P = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^r b'_{ij}{}^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^r b_{ij}{}^2} \quad (\text{A.21})$$

$0 < P \leq 1$ であり、 p が 1 に近いほど近似のモデルが良いことになる。またこれは、

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^r b_{ij}{}^2 = \text{tr}(BB) \quad (\text{A.22})$$

式 (A.15) より

$$B = Q\Lambda_r Q' \quad (\text{A.23})$$

なので

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^r b_{ik}{}^2 = \text{tr}(Q\Lambda_r Q') \text{tr}(Q\Lambda_r Q') = \text{tr}(\Lambda_r^2) = \sum_{i=1}^r \lambda_i^2 \quad (\text{A.24})$$

である。従って

$$P = \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i^2}{\sum_{i=1}^r \lambda_i^2} \quad (\text{A.25})$$

とすることもできる。

付録 B

発表文献リスト

学会誌論文

- 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.
- 相原 健郎, 堀 浩一: 研究メモを用いた思考支援, 認知科学学会誌 (査読中).

研究会発表論文

- 相原 健郎, 堀 浩一, 大須賀 節雄: 創発的な知識の体系化を支援するための一方法, 計測自動制御学会 第 15 回システム工学部会研究会, July 1994.
- 相原 健郎, 堀 浩一: 研究メモの蓄積効果を増幅するための支援システム, 人工知能学会 ヒューマンインタフェースと認知モデル研究会 (第 27 回), March 1996.

全国大会発表論文

- 相原 健郎, 堀 浩一, 大須賀 節雄: 創発的な知識の体系化を支援するための一方法, 人工知能学会全国大会 (第 8 回), June 1994.
- 相原 健郎, 堀 浩一: 研究メモの蓄積効果を増幅する支援システム, 人工知能学会全国大会 (第 10 回), June 1996.

