

5 章 創発のためのソフトウェア

中小路 久美代¹

山本 恭裕²

¹ 東京大学先端科学技術研究センター

² 株式会社 SRA 先端技術研究所

1. はじめに

本章では, 表現とのインタラクションをおこないながら知識を創発していく過程に着目し, それに関わる道具としてのソフトウェアシステムの要件を, 理論的, 実証的に明らかにしてゆく.

論文の骨子を練る, プレゼンテーションの流れを組み立てる, 予算案を作る, といった知的創造作業(creative knowledge work)は, 問題の理解と解に対する理解とが相互に依存する, ill-defined な問題解決タスクである [1][2][3].

このようなタスクにおいては, 問題に対する部分的な理解や, 「とりあえず」決めた部分的な解を, 図やメモ書き, アノテーション, などを含む表現として外在化し, その外在化した表現を見ながら, 作業を進めていく. すなわち,

(1) 外在化する

(2) 外在化される表現を見て思考する

ということを繰り返しながら, 漸次的に解を構築しつつ, 同時並行的に問題に対する理解を深めていく. 人間は, 解の構築に至るまでの思考の過程で, 外在化の行為とその結果とのインタラクションを介した内省を通して, その表現からの「語りかけ」[4]を解釈する. これによって内的心象に変化がもたらされ, 多様なレベルでの発見と洞察, すなわち知の創発を繰り返しながら, 問題に対する理解や解に至るまでの過程の見通しを立てられるようになると考えられる[4]. (脚注: 必ずしも内的心象を表出したものではないという意味では, 「外在化」すなわち「外に表出する」という用語の利用は必ずしも適切ではないともいえるが, 本章では,

人間が作り出す認識可能な表現および表現の行為を、広義での外在化と呼ぶことにする。表現そのものの共有は可能であるが、その表現をどう解釈するかは、形式的に記述したり、厳密に共有したりはできないとの立場をとるものである。）

これまで、このような思考と創発のための外在化表現をおこなうメディアとして最も一般的に利用されてきた道具は、紙と鉛筆である。建築家がプランを練るとき、作家が小説のストーリーを組み立てるとき、数学者が方程式を解くとき、といった状況で、紙と鉛筆は思考と外在化の道具として利用されてきている。

コンピュータシステムが広く職場、教育現場、一般家庭に普及し、様々な情報創出作業にソフトウェアシステムが利用されるようになり、このような作業も、アプリケーションシステムを利用しながらおこなう機会が増えつつある。既存の情報創出のためのアプリケーションシステムの多くは、最終的なフォームを表現することを主な目的として構築されている。何をどう表現したいか、というゴールが明確な際に、より効率的にそのゴールを達成できるように構築されていることが多い。現在の作業状態からゴールとする状態までの「方向と距離」をより理解し易いように、たとえば、多くの WYSIWYG(What you get is What you See) 型ワープロソフトでは、最終的なドキュメントがどのような形態になるかを常にユーザが見てとることができるようになっている。

しかしながら、それらのアプリケーションシステムでは、問題解決の過程で思考や創発をよりおこない易くする、という観点からその表現形態がデザインされているものは、ほとんど見られない。知の創発のためのインタラクションの道具としてのソフトウェアシステムには、創出の目的とする表現形態のみならず、作る過程においてインタラクションをおこないながら問題に対する理解を進めるような表現形態が求められる[1][2]。たとえば建築家は、手描きでスケッチを繰り返しながら、設計の方針と案を少しずつ固めていく[5]。CAD システムを用いて具体的な解を表現するのはその後の段階である。同様に、たとえば研究者が論文の骨子を練る際にも、特にその初期段階のためのアプリケーションシステムには、問

題の理解を深めるのにより適した表現形態を提供することが求められる。

2. インタラクションによる知の創発

我々は、知の創発と理解の進展を、表現とのインタラクションが外乱となり生じる知識の進化として捉えている [6] (図 1.1). このような表現とのインタラクションによる創発を、「コレクティブクリエイティビティ(collective creativity)」と呼び[7], コレクティブクリエイティビティのための、ツール (道具) としてのソフトウェアシステムの研究をおこなってきている。

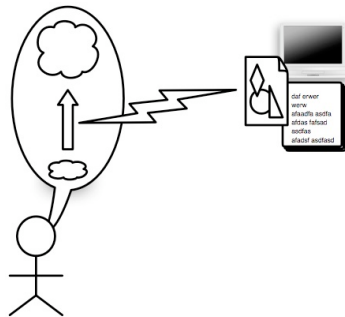


図 1.1: 表現とのインタラクションによる知の創発

ソフトウェアシステムを、コレクティブクリエイティビティを促進する、表現とのインタラクションをおこなうための道具として捉えると、三つの役割の軸を考えることができる (図 1.2).

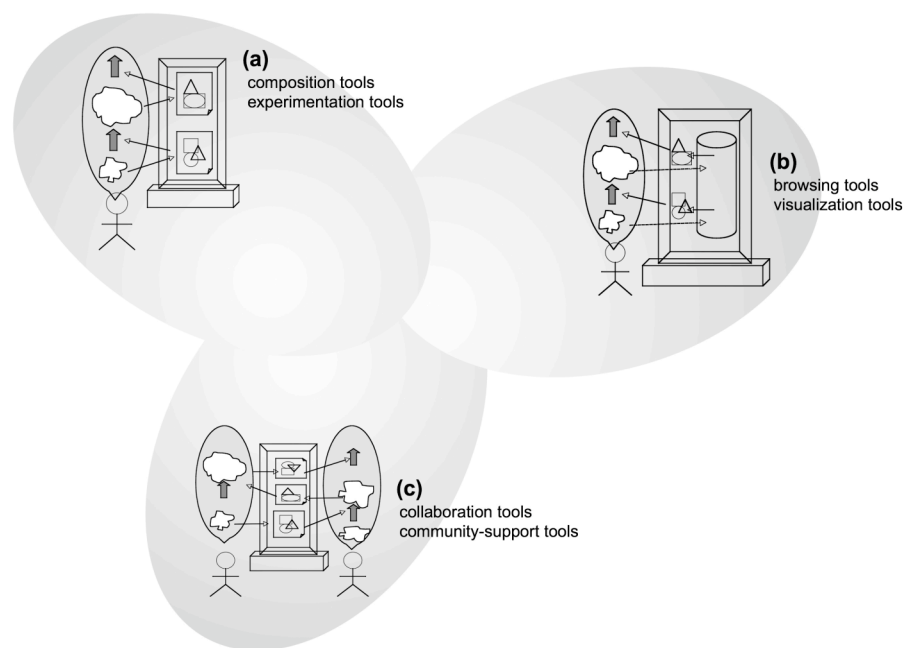


図 1.2: コレクティブクリエイティビティ支援における三つの軸

第一は、ユーザが外在化し、その外在化した表現とのインタラクションをおこなうことで自己の知の創発が促進されるような、メディアとしての道具の役割の軸である (図 1.2(a)). 紙と鉛筆が果たす役割と同じ役割を担うようなアプリケーションシステムとなる.

第二は、システムが有する情報を多様に処理、表現し、ユーザがその表現とインタラクションをおこなうことによって知の創発が促進されるような、可視化や可聴化をおこなう役割の軸である図 1.2(b). データの可視化システム[8]の多くは、様々な可視化表現を提供し、その見え方をユーザがインタラクティブに変更することによって、知の創発を促す[9]. テキストや動画を能動的に閲覧し知識を構築していく、アクティブリーディング [10]やアクティブウォッチング[11]のためのツールも同様である. また、オブジェクトをその属性によって空間配置する発想支援システム[12]や、言語処理をおこないテキストチャンクをその類似度や共起

度に応じて空間に表示したり[13]，連想キーワードを提示したりするシステム[14]などもこの軸上にあるシステムといえる。

第三は，ユーザが外在化した表現に対して，他者（人，あるいはシステム）が応答し表出した表現をユーザに提示する，コミュニケーションメディアとしての役割である図 1.2(c)。この軸上のシステムには三つの種類がある。ひとつめは，対面でしかおこなえなかった協調作業を時空を超えて可能とし，グループによる創発作業を支援するような発想支援グループウェア[15]などである。次に，対面であつても明示化されない，他者が表出した表現の背後にある暗黙の前提や意図の違いが明らかとなるように，コミュニケーションブレークダウンをきっかけとして与えるようなシステム [16]がある。三つ目に，ユーザの作業に対してシステムが能動的にフィードバックを示すことにより発想を促すシステムがある。80年代後半から 90年代にかけて知的クリティキングシステムと呼ばれ，最近では知的エージェントシステムと呼ばれる種類の，知識ベースシステムがこれにあたる[17][18][19]。いわゆる人間とシステムとが協調して問題解決にあたるようなシステム群である。

インタラクションにより知の創発を支援するような既存のシステムの多くは，主として第二，第三の役割を目的として構築されてきている。これに対して第一の役割のためのソフトウェアシステムに関する研究は，これまであまりおこなわれてきていない。以下本章では，第一の役割を目的とするソフトウェアシステムに求められる要件と，その実例について説明をおこなう。

3. 外在化：表現と行為

外在化表現が，問題解決過程におけるユーザの思考過程に影響を与えることは，従来から明らかにされつつある。

Zhang らは，ハノイの塔問題と等価の問題を異なる表現形態で表し，その解き易

さに違いが出ることを確認している[20]. 大きさの異なる円盤を三つの軸棒の間で移動させるというタスクを, たとえば, 任意の順序関係をつけた異なる種類の果物を, 三枚の皿の上で移動させるという表現に置き換えると, オブジェクトの大小関係や問題のルールを明示的に覚えるという認知的負荷が増大し, それに伴い問題解決にかかる時間も増大する. つまり, 問題解決にあたってどのような表現形態を利用するかによって, 認知的負荷が増減し問題がより難しくなったり, 解き易くなったりする, ということを示している. 一方, Rocha [21]らは, ガラス容器に入れられたカッテージチーズを分配するタスクでは, 実験参加者は, 計算をおこなうよりも先に容器間で物理的にやりとりをしてしまうことを報告している. 同様に Shirouzu [22] らは, 面積の割合を計算し平面上での領域を斜線で示すタスクにおいて, 実験参加者にたとえ同じ問題を与えたとしても, 領域を示す材料として折り紙が与えられていればまず折るし, 折りにくそうな材質のものであれば折ろうとせずにはまず計算からはじめる, といった様子を報告している. これらは, 表現形態が有するアフォーダンスによって, 人間がとる問題解決戦略が影響を受けてしまうことを示している.

一方, 問題領域のエキスパートは, ノービスと比較して, 問題を解き易くするような外在化表現をおこなう能力に長けているということが報告されている[23]. また, デザインの専門家は非専門家に比べて, スケッチ状の図形表現からより多くの概念を読み取る能力に優れているという報告もある[24].

このように, 与えられた外在化表現がどのようなものであるかによって, 人間の問題解決能力や戦略が影響を与えることは実証されつつある. しかしながら, ユーザ自身が外在化し, その外在化した表現とのインタラクションをおこなうことで自己の知の創発が促進されるような, メディアとしての道具の役割を果たすようなソフトウェアシステムの研究はまだ緒に就いたばかりである. 自らが表出したものを見て自らの知が創発されるという認知過程そのものは, まだあまり明確になっていない.

外在化という行為が、人間が抱く内的心象を外に出したものであるという考え方を
する限り、その外在化結果とインタラクションをするということが知の創発の
機会につながるとは考え難い。しかしながら、例えば、建築家がスケッチをおこ
なう過程で、自らが表出した表現との対話により新たな側面をみつけたり明示的
でなかった意図が明らかにされたりするといったことが観察されている [4][5]。
内的表現があってそれを外在化するという以外に、内的表現に先立つ外在化
という行為があるということが考えられる[25]。

Schoen [4]は、スケッチをおこないながらデザインをおこなう建築家の様子を観
察し、もやもやとしたアイデアのまま表出を開始し、表現結果とのインタラクシ
ョンをおこないながら、徐々に問題が見えてくるといった外在化を、
reflection-in-action（行為における内省）のプロセスであるとしている [4]。
Schoen のモデルの特徴的な点は、この「行為における内省」(*reflection-in-action*)
を、「行為の結果についての内省」(*reflection-on-action*)と区別している点にある。

Schoen は、*reflection-in-action* のプロセスを介して、人間が外在化された表現
形態との「対話」をおこなう、としている。外在化されつつある表現が「状況」
を作り出し、その状況からの語りかけを聞きながら外在化を続けていくことで、
問題に対する人間の理解が深まる。

つまり、自己が外在化した表現とのインタラクションによる創発のための道具に
求められるのは、ユーザがその現れつつある外在化表現と対話をおこない、その
語りかけを聞きながら創造的思考を進めていくことのできるような、そのような
表出とインタラクションとを可能とするような、表現系と操作系とを提供するこ
とであると考えられる。

4. 外在化とインタラクションのためのソフトウェアシステム

外在化の手段としてのソフトウェアシステムは、それを利用するユーザにとって

は、〈表現〉と〈操作〉という二つの側面を規定する認知的道具[26]である。ここで〈表現〉とは、何を表せるか、何を見ることができるかを、〈操作〉とは、それをどう表出できるか、どう見ることができるか、を指す。

上述のような *reflection-in-action* のプロセスを可能とするような、知の創出のための外在化のためのアプリケーションシステムは、表出の意図が明らかな状況で利用する情報表現のためのアプリケーションシステムとは目的が異なる。それによって生じる要件の違いを理解しておくことは非常に重要である。

たとえば、図 1.3(a)に示すような図形 A を外在化していく過程を考える。この図形を描くにあたっては、図 1.3(b)に示すような種々の手段が考えられる。図形 A を描くことが明確な意図としてあるような場合には、このうちのどの手段で描くべきかは、生産性、効率性といった尺度から比較検討されるべき事柄である。ユーザ実験によって、どの手法が最も効率がよいかを比較実験し評価することが可能である。

しかしながら、創造的思考を目的とした外在化の過程において図形 A を描いていく場合は、どの過程を経て描いていくかが、人間の思考に対して全く異なる影響を及ぼす。図 1.3(b)-(i)であれば、正方形を区切っていく、といった視点から図形を描く。図 1.3(b)-(ii)であれば、直線が縦横している、という気持ちで図形を描くことになる。図 1.3(b)-(iii)であれば、小さな正方形が集まって大きな正方形を構成する、という考え方となる。この際、これらの小さな正方形を端から順に並べていくのか、ランダムにくっつけていくのか、といった過程においても、さらにユーザの体験は異なってくる (図 1.3(c))。これらの異なるユーザの「体験」(experience)によって、そのユーザの理解や創発することながらも、異なったものとなってくるであろう。どの体験のパスを通るべきか、つまりどの手法で描画すべきかは一意に定まるものではなく、ユーザやタスク、状況などに依存すると考えられる。

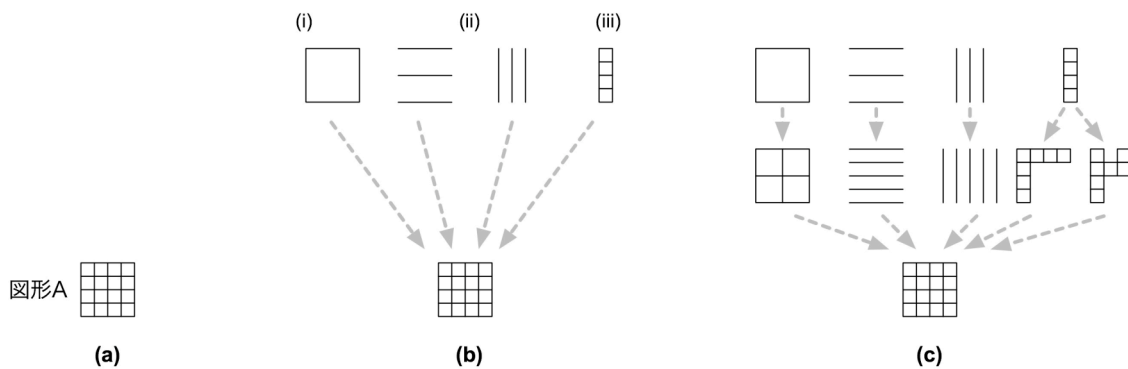


図 1.3: 外在化のプロセスによる経験の違い

昨今の傾向として、アプリケーションシステムの多くが、より多様な手段で表現をおこなえるように、より多くの機能として盛り込もうとしつつある。しかしながら、システムの機能として可能であることと、そのシステムを利用してユーザが表出したいように表出し、見たいように見てとることができる、ということとは異なる。

システムが提供する表現と操作とによって、それぞれの操作の行い易さも手順も異なってくる。reflection-in-action, すなわち行為における内省とは、外在化という行為をおこないながら、現れてくる表現とのインタラクションを介しての内省である。外在化のテンポや取り込まれるような感覚(embodiment)[27], フローと呼ばれる無心で熱中した状態[28]や「やる気」, などが重要な要因となる。直接操作や即時フィードバックといった、インタラクティブ性の高いやりとりが必要となる。一方、ユーザが、メニューからいくつもの階層を経て機能を検索、選択するというアクションをおこない、それを受けたシステムからの結果をユーザが受けて内省をおこない、次のアクションを考える、という「情報のキャッチボール」のような形態でシステムとユーザとがインタラクションをおこなうことになると、外在化の行為自体に認知的負荷がかかってしまい、外在化という行為をおこないながら内省をおこなうということが非常に難しくなる。reflection-on-action はおこなえても、reflection-in-action は起こりにくいと考

えられる。

ユーザが、どのような表現と、どのような操作とを介してシステムとインタラクションをおこなうべきか、という視点から、システムに必要とされる機能とインタフェースについて同定する作業を、「インタラクションデザイン」という[1][2]. 知の創発のための外在化とのインタラクションのための道具としてのソフトウェアシステムには、ユーザがどのような思考と行為の過程を経験しながらシステムを利用するのかという視点からのインタラクションデザインが必要となる。

5. 創発のための道具への要件と事例

5.1 手描きスケッチから学ぶ三つの要件

従来から、創造的思考プロセスのための外在化手段として、「手描きスケッチ」が注目されてきている[5][29][30]. 様々なドメインにおいて、手描きスケッチをインタフェースとして提供するシステムが構築されつつある[29][30][31]. しかしながら、スケッチという表現もしくはプロセスにおけるどの性質が、創造性とどのように関連しているのか、また、スケッチと同等の外在化の行為と表現に求められる要件は何であり、重要な要因は何であるのか、といったことが論じはじめられたのは、極めて最近である [1][32].

本章では、スケッチが創発のための *reflection-in-action* をおこなう上で適しているとされる要件を整理し、情報創出のためのスケッチと同等の表現として、オブジェクトの二次元配置表現を利用したアプローチを説明する。

紙と鉛筆による手描きスケッチは、建築設計、インダストリアルデザイン、服飾デザイン、インタフェースデザイン、プログラミングにおけるオブジェクト図の設計、といった様々な分野において、その初期段階の、創造的思考が必要とされるような場面で多く利用されている。人間がスケッチを描き、その描かれつつあ

るスケッチが状況となってその人間に語りかけてくるという *reflection-in-action* のプロセスは、いずれの分野においても、貴重な創造的プロセスであるとみなされている。

手描きスケッチとのインタラクションをおこなうことによって、どのようにそれを描く人間の創発が促されていくのかについて、表現系および操作系という観点から考察すると、下記の三つの要件を挙げることができる [1]。

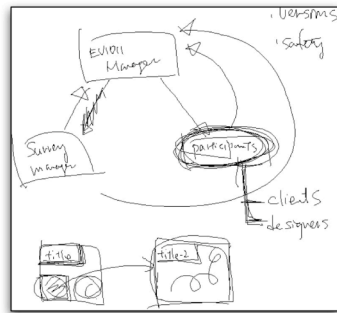
- (1) 多様な解釈の幅をもつ表現であること
- (2) 一貫した意味をもたすことができる表現であること
- (3) 直感的な操作により表現できること

第一に、表現からの語りかけを聞けるような表現であるためには、多様に解釈可能な、インフォーマルな表現形態である必要がある。スケッチ表現は、自由で「おおまな」線を描き出せる鉛筆と、上書き、なぞり書きといったインフォーマルなプロセスによって描き出される図形表現であり、曖昧かつ多様な解釈が可能なインフォーマルな表現である。そうでありながら一方で、一貫した意味づけをおこなうことができる。外在化した表現に対して、部分的に、一貫した意味づけが可能でなければ、漸次的に構築される問題や解に対する理解を表していくことができない。たとえばスケッチ表現においては、「図の右上」といった紙面上の位置や、線の明瞭さ、といった表現形態に、ほぼ一貫した解釈を与えることが可能である。これによって、「...ということは、... であるに違いない」といった、予測結果を表現していくことができる [33]。最後に、そのような表現形態は、できるだけ少ない認知的負荷で外在化できる必要がある。手描きスケッチにおける紙の上に鉛筆（またはペン）で描くという行為においては、線の強弱や精密さを手と腕の動かし方によって制御でき、一旦習得すれば一貫性をもって自在に扱える外在化手段である。

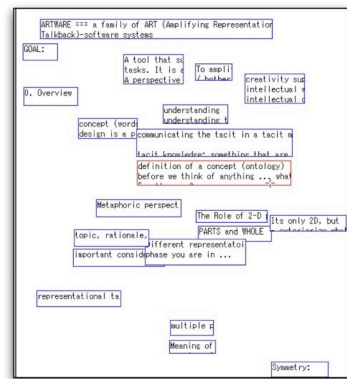
5.2 二次元配置と手描きスケッチ

我々はこれまでに、これら三つの要件を満たすような表現形態として、オブジェクトの二次元配置に着目してきた [34]。空間的ハイパーテキスト (spatial hypertext) と呼ばれる、このような空間的にオブジェクトを配置するという表現形態は、情報のトリアージ (優先順位付けと選別) のための手段や、テキストや文学の新たな表現の手法として、注目されてきている [35][36]。既存の空間的ハイパーテキストツールでは、空間に配置したオブジェクト間の関係を徐々に形式化することをめざしたり [37]、空間配置そのものを創出目的とする表現形態として取り扱ったり [38] してきていた。それに対して我々のアプローチは、空間的ハイパーテキスト表現を、知の創発のためのインタラクションをおこなう表現形態としてみなしている点で特徴的である。これまでに、空間的ハイパーテキスト表現を手段としての表現形態として、線形表現、ネットワーク表現、階層表現、という三種類の表現形態とそれぞれ結合させたツール群を開発してきている。

オブジェクトの二次元配置という空間的ハイパーテキスト表現形態は、手描きスケッチ表現と同様に、以下の点において上記の三つの要件を満たす表現形態であると考えることができる [1] (図 1.4)。空間的ハイパーテキスト表現では、たとえば二つのオブジェクト間にどのくらいの関係があるか、を、オブジェクト同士の近さや重なり具合、形の類似度など利用して、多様に表現することができる。同様に、オブジェクト同士が並んで配置されているのか、別々の塊に属しているのか、といった解釈を、多様におこなうことができる。



(a)



(b)

図 1.4: 表現形態としての手描きスケッチ(a)と空間配置(b)

それに加えて，上下や左右といった関係は，必ずみてとることができ，一貫性のある意味づけをおこなうことが可能である．グラフィカルユーザインタフェース (GUI) においては，空間に配置したオブジェクトのリサイズや移動は，マウス操作により，直接的におこなうことができる．

5.3 システム例

前項までの要件に基づき我々が構築した三種類のシステムについて，概要を述べる．これらのシステムでは，空間的ハイパーテキスト表現を，それ以外の表現形態（線形表現，ネットワーク表現，あるいは階層表現）という表現形態と結合させている [39]．図 1.5～1.7 に，三つのシステムの概要と，空間的ハイパーテキスト表現が，別の情報表現とどのように対応しているかを示す．

ART001

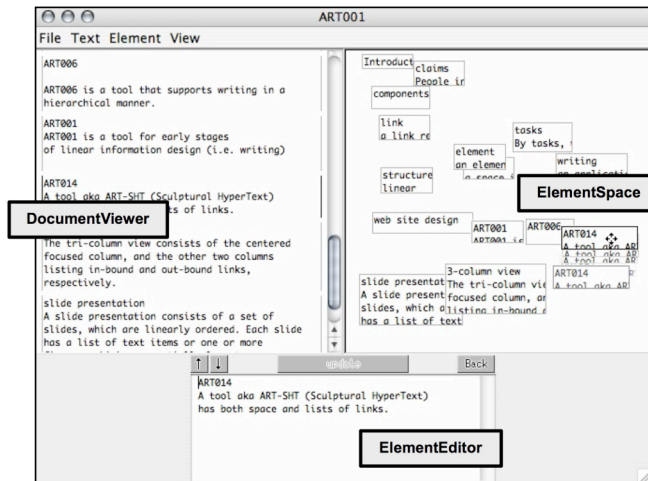
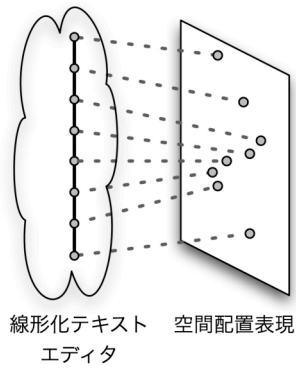


図 1.5: ART001 : 線形化テキストエディタ + 空間配置表現

ART006

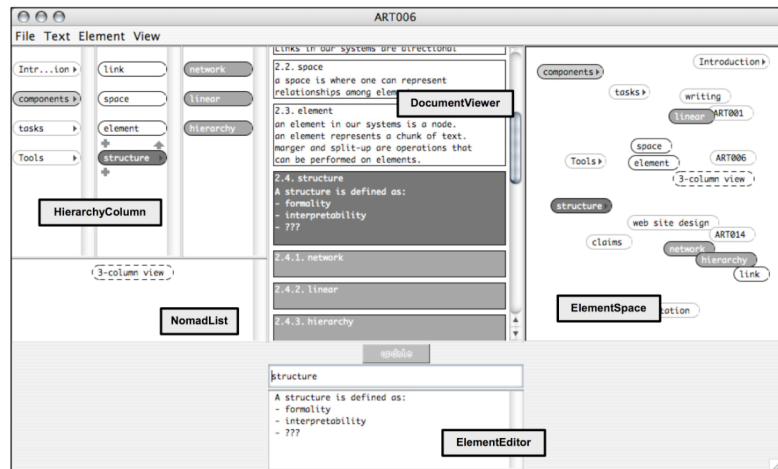
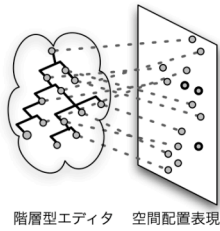


図 1.6: ART006: 階層型エディタ + 空間配置表現

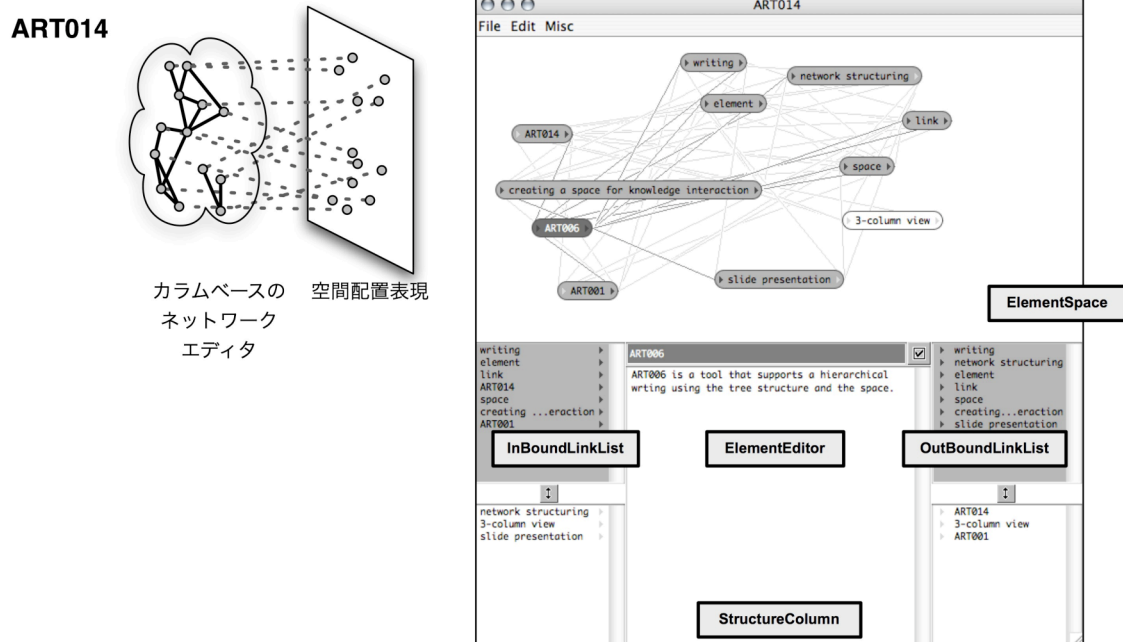


図 1.7: ART014: カラムベースのネットワークエディタ+空間配置表現

ここで紹介するシステムは、いずれも ART (Amplifying Representational Talkback) というインタラクショナルデザインの原則に従いデザインされている [3][40]. ART は、表現からの語りかけをできるだけわかりやすくするような知覚表現のデザインを目指す原則である. 現在のシステムはいずれも, Jun for Java という三次元グラフィックマルチメディアオープンソース Java ライブラリを基盤として構築されている [41].

ART001 (図 1.5) は, 文章エディタである. 本ツールはいくつかのバージョンアップを経て開発が続けられており, これまでも初期のバージョンに関して理論的背景 [3] やユーザの視線追跡評価 [42], インタラクショナルデザインの詳細 [43] などに関して報告されている.

ここでは現バージョンに関して概要を説明する。文や段落、メモなどを、一塊のエレメントとして作成し、エレメントスペースと呼ぶ空間に配置する。エレメントのサイズは自由に変更できる。エレメントスペースに配置されたエレメントの内容は、上から下へと順につながられ、ドキュメントビューアと呼ぶ線形化されたドキュメント表示部に表示される。エレメントスペース内で、エレメントをドラッグしてエレメントの上下関係を変更すると、ドキュメントビューア内で、対応するテキスト部分の前後関係が変更される。エレメントスペース内のエレメントは、分割したり結合したりすることができる。エレメントスペース内でエレメントを選択すると、ドキュメントビューア内で対応するエレメントが強調表示される。ドキュメントビューア内で選択すると、エレメント内に同じく強調表示される。

ART006 (図 1.6) は、トップダウン型のテキスト編集、すなわち、章立てやセクションの構成からはじめて、その内容を漸次的に書いていくことを可能にするテキストエディタである。一つのセクションに対応するエレメントを、タイトルとその内容として、下部にあるエレメントエディタで作成、編集することができる。セクションは、左上の階層カラム内で指定する。フォーカスしているエレメントの兄、弟、あるいは子供として新たなエレメントを作成することができる。作成されたエレメントは、右側のエレメントスペース内にそのタイトルが表示され、ユーザは配置を自由に変えることができる。エレメントスペース内でのエレメントの移動は、階層内での位置には反映されない。階層内での位置を指定しないでエレメントを作成すると、そのエレメントはノマド(**nomad**)となり、階層カラムの下部にあるノマドリストに列挙される。ノマドエレメントは、階層カラムで構築している文章の階層構造には属しないが、関連する可能性のあるテキストとして扱うことができる。階層カラムに表示されている階層構造は、**depth-first** で展開され、中央部のドキュメントビューアに表示されている。

ART014 (図 1.7) は、カラム型のインタフェースを有するネットワークエディタと空間型ハイパーテキスト表現とを融合したツールである。たとえば、ウェブサイトデザインの際に、どのようなページを作るかとページ間のリンク関係とをラフに決めていくといったタスクで使用するためのものである。ツールの詳細は、[44]にあるが、ここでは概要を説明する。中央下部で、タイトルと内容をもつエレメントを作成し、上部のエレメントスペースに配置することができる。フォーカスしたエレメントはエレメントスペース内で強調表示されると共に、構造カラム中央部のエレメントエディタに表示される。構造カラムでは、左側のカラム上部のペインに、フォーカスしたエレメントへリンクを有するエレメントのリスト、右側のエレメント上部のペインに、フォーカスしたエレメントからリンクが貼られているエレメントのリストが表示されている。左右それぞれの下部のペインには、それ以外の、リンクをもたないエレメントがリストして表示されている。フォーカスしたエレメントにリンクを貼るか貼らないかは、それぞれ左右のカラム内において、上下のペイン間でエレメントを上下矢印ボタンを用いて移動させることでおこなう。このようにして設定されたリンクは、エレメントスペース内でエレメント間の線として描画されている。エレメントスペース内でのエレメントの移動時には、これらのリンクが追隨する。スペース内でのエレメントの位置と、リンクの有無とは連携しない。

5.4 システム利用時に観察される Reflection-in-Action (行為における内省)

空間的ハイパーテキスト表現は、配置する（オブジェクトを空間内でドラッグし位置を決める）という行為そのものと、配置したレイアウト結果という表現形態という、ふたつの側面をもつ。前者が、**reflection-in-action** に、後者が **reflection-on-action** に沿うと考えることができる（3章参照）。

上述の三つのツールではいずれも、エレメントは、空間的ハイパーテキスト表現と別の表現との双方で表示され、両者の表現形態はエレメントのフォーカスという概念を中心として統合されている。一方の表現形態でエレメントに対しておこ

なう操作（たとえば内容の更新など）は、必ず他方の表現形態においても反映される。これにより、*reflection-in-action* が促進されると考えることができる。

ART001 では、エレメントスペース内でのエレメントの上下関係がドキュメントビューアに反映される。エレメントスペース内でエレメントを上下に移動させると、ドキュメントスペース内での対応するエレメントの位置が追従して更新される（図 1.8）。たとえば、ユーザ観察時には、二つの段落のどちらを先にすべきかを考えている場合に、片方の段落をエレメントスペース内でドラッグし、マウスをリリースすることなく、もう一方のエレメントよりも上に配置されるようにドラッグしたり、下側に配置されるようにドラッグしたりしながら、ドキュメントビューア内でテキストを読みながら、流れとしてどちらがよいか見比べる、といった様子が観察されている。

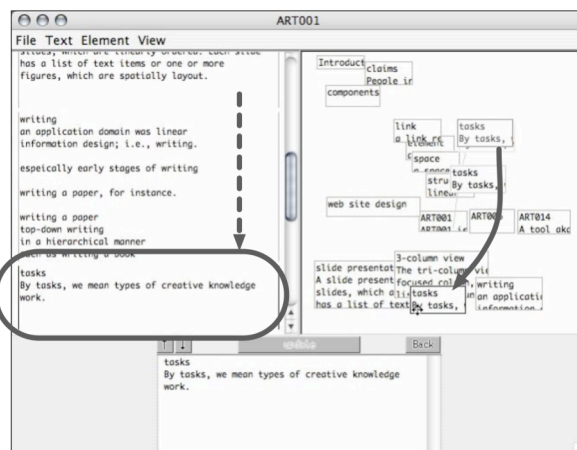


図 1.8: エレメントに対する空間上での垂直位置の操作はダイナミックに線形表現のエレメントの位置に反映される（ART001）

ART006 では、フォーカスされたエレメントは階層カラムの中央カラムに強調表示されている。エレメントスペース内でも、そのエレメント自身、およびその親、兄弟、子供といった関連の深いエレメントもそれぞれ異なる色と境界色とで強調表示されている。階層カラム内でエレメントをクリックすると、そのエレメントにフォーカスが移動し、そのエレメントが階層カラムの中央カラムに表示される。

エレメントスペース内でのエレメントの強調表示も連動して更新される。ユーザを観察していると、階層内のエレメント上で順にテンポ良くクリックし、フォーカスをパラパラと変えながら、エレメントスペース内で関連したエレメントがどのように表示されているかを、ページを繰るように見ている様子が見受けられる。エレメントスペース内には常に全エレメントが表示されているので、この行為により見えているエレメントの内容が変化する訳ではない。ユーザは、階層内でエレメントをクリックするという行為によりエレメントスペース内でのエレメントの背景色といった見た目が変わるといったインタラクションを介して、テキスト構造の流れを吟味していると考えられる。

ART014 では、構造カラムの右または左のカラムの上部ペイン内でエレメントを選択すると、現在フォーカスしているエレメントからそのエレメントへのリンクが強調表示される。ユーザによるシステム使用時には、上部ペイン内のエレメントリストに列挙されているエレメントを順に選択していきながら、それに応じてエレメントスペース内に表示される強調されたリンクを、アニメーション表示のようにして見ながらストーリーを追うといった表現とのインタラクションが観察されている[44]。

これら一連の、表現とのダイナミックなインタラクションは、作りつつある表現への視点（たとえばフォーカス）を変更することで異なる視覚的表現を作り出すことによって実現されている。空間的ハイパーテキスト表現を手段として、他の表現形態と結合することによって可能となっているインタラクティブティである。

6. おわりに

人間の知的創造作業を支援するための計算機技術の利用形態は、システムに情報や知識を格納させる、処理させる、といった考え方から、システムを道具として扱いインタラクションをおこなうメディアとして利用する、といった考え方へと広がりを見せつつある。それに伴い、システムの作り方も大きく異なってきてい

る。システムに必要となる機能を同定し必要となるインタフェースを被せる，という考え方から，人間が，システムを利用しながらどのような表現とどのようなインタラクションをおこないたいのかをデザインし，結果として必要となる機能を実装する，という考え方への移行である [45]。

文中でも触れたように，創発，すなわち創造的思考を促進するような道具を構築するためには，取り込まれるような感覚や無心で熱中する状態など，従来の工学的設計や評価の枠組みでは捉えきれない，人間としてのユーザの側面を考慮する必要が生じてくる。ソフトウェアシステムでこのような道具を実現するためには，視覚や聴覚的情報に時間を加えた表現の意味的一貫性を保証するデザイン，表現の知覚特性と矛盾することなく論理的一貫性にマッピングする枠組み，数十ミリ秒単位での処理を保証するような仕組みなどといった，高い技術力と，人間の認知的，認知的，社会的特性などに対する理解力，そして，デザイン力とが必要となる。創発のための道具としての情報技術を追求していくことは，Vannever Bush や Douglas Engelbert, Alan Kay や Ted Nelson ら，初期の情報科学研究者らが構想してきた知識活動のための情報技術の実現へ向けて，さらなる一歩を進めるものとなると考えている。

参考文献

- [1] Y. Yamamoto, K. Nakakoji, Interaction Design of Tools for Fostering Creativity in the Early Stages of Information Design, International Journal of Human-Computer Studies (IJHCS), Special Issue on Creativity L. Candy, E. Edmonds (Eds.), Vol.63, No.4-5, pp.513-535, October, 2005.
- [2] 中小路久美代, 山本恭裕, 創造的情報創出のためのナレッジインタラクシオンデザイン, 人工知能学会論文誌, Vol.19, No.2, pp.154-165, March, 2004.
- [3] 山本恭裕, 情報創出の初期段階における思考活動のための理論的枠組みとインタラクティブシステム 博士論文, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科, March, 2001.
- [4] D.A. Schoen, The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action, Basic Books, New York, 1983.
- [5] Lawson, B, Design in Mind, Architectural Press, MA, 1994.
- [6] H. R. Maturana, F. J. Varela, The Tree of Knowledge: The Biological Roots of Human Understanding, Shambhala Publications, Inc., Boston, MA, 1998.
- [7] K. Nakakoji, M. Ohira, Y. Yamamoto, Computational Support for Collective Creativity, Knowledge-Based Systems Journal, Elsevier Science, Vol.13, No.7-8, pp.451-458, December, 2000.
- [8] S.K. Card, J.D. Mackinlay, B. Shneiderman, Readings in Information Visualization: Using Vision to Think, Morgan-Kaufmann Publishers, San Mateo, CA, 1999.
- [9] B. Shneiderman, Leonardo's Laptop — Human Needs and the New Computing Technologies, MIT Press, Cambridge, MA., 2002.
- [10] B.N. Schilit, G. Golovchinsky, M.N. Price, Beyond paper: supporting active reading with free form digital ink annotations, Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, pp 249-256,

ACM Press, 1998.

- [11] Y. Yamamoto, K. Nakakoji, A. Takashima, The Landscape of Time-based Visual Presentation Primitives for Richer Video Experience, Human-Computer Interaction: INTERACT 2005, M.F. Costabile, F. Paterno (Eds.), Rome, Italy, Springer, pp.795-808, September, 2005.
- [12] K. Hori, A system for aiding creative concept formation, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 24, No. 6, pp. 882-894, 1994.
- [13] 大澤幸生, チャンス発見の情報技術—ポストデータマイニング時代の意志決定支援, 東京電機大学出版局, 2003.
- [14] IdeaFisher, <http://www.ideafisher.com/>
- [15] 宗森純, 五郎丸秀樹, 長澤庸二, 発想支援グループウェアの実施に及ぼす分散環境の影響, 情報処理学会論文誌, 36, 6, pp.1350-1358 (1995-06).
- [16] 大平雅雄, 山本恭裕, 中小路久美代, EVIDII: 差異の可視化による相互理解支援システム, 情報処理学会論文誌, 「知識と情報の共有」特集号, Vol.41, No.10, pp.2814-2826, October, 2000.
- [17] G. Fischer, K. Nakakoji, J. Ostwald, G. Stahl, T. Sumner, Embedding Critics in Integrated Design Environments, The Knowledge Engineering Review Journal, Vol.8, No.4, pp. 285-307, 1993-12.
- [18] K.Nakakoji, G. Fischer, Intertwining Knowledge Delivery, Construction, and Elicitation: A Process Model for Human-Computer Collaboration in Design, Knowledge-Based Systems Journal: Special Issue on Human-Computer Collaboration, Vol.8, No.2-3, Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, England, pp. 94-104, 1995.
- [19] Y. Ye, G. Fischer, Information Delivery in Support of Learning Reusable Software Components on Demand, Proceedings of 2002 International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI'02), San Francisco, CA, pp. 159-166, Jan. 13-16, 2002.
- [20] J. Zhang, The Nature of External Representations in Problem Solving.

- Cognitive Science, 179-217, 1997.
- [21] de la Rocha, The Reorganization of Arithmetic Practice in the Kitchen, *Anthropology and Education Quarterly*, 16, 3, 1985. pp. 193-198.
- [22] H. Shirouzu, N. Miyake, H. Masukawa, Cognitively Active Externalization for Situated Reflection, *Cognitive Science*, 26, 4, 2002. pp. 469-501.
- [23] Y. Anzai, Learning and use of representations for physics expertise. In K. A. Ericsson & J. Smith (Eds.), *Toward a general theory of expertise: Prospects and limits* (pp. 64-92). Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- [24] M. Suwa, B. Tversky, B., Constructive Perception in Design, in J.S.Gero and M.L.Maher (eds.), *Computational and Cognitive Models of Creative Design V*. Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney, Australia pp.227-239, 2001.
- [25] G. Goldschmidt, Design, in *Encyclopedia of Creativity*, Mark. A. Runco, Steven R. Pritzker (Eds.), Vol.1, Academic Press, San Diego, CA., pp.525-535, 1999.
- [26] D. Norman, *Things That Make Us Smart*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA. 1993.
- [27] S.S. Fels, Designing Intimate Experiences, *Proceedings of International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI) 2004*, pp.2-3, January, 2004.
- [28] M. Csikszentmihalyi, *Flow: The Psychology of Optimal Experience*, HarperCollins Publishers, New York, 1990.
- [29] M.D. Gross, E.Y.L. Do, Ambiguous Intentions: A Paper-like Interface for Creative Design, *Proceedings of Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '96)*, ACM, 1996. pp. 183-192.
- [30] J.A. Landay, B.A. Myers, Sketching Interfaces: Toward More Human Interface Design, *IEEE Computer*, 34, 3, 2001. pp. 56-64.

- [31] T. Igarashi, S. Matsuoka, H. Tanaka, Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design" ACM SIGGRAPH'99, Los Angeles, pp.409-416, 1999.
- [32] B. Buxton, Sketching and Experience Design, INTERACT 2005, Keynote Address, Rome, Italy, September, 2005.
- [33] A.B. Snodgrass, R.D. Coyne, Is Designing Hermeneutical? in Architectural Theory Review, Journal of the Department of Architecture, The University of Sydney, pp. 65-97, 1997.
- [34] Y. Yamamoto, K. Nakakoji, S. Takada, S, Hands-on Representations in a Two-Dimensional Space for Early Stages of Design. Knowledge-Based Systems Journal, Elsevier Science, pp.375-384, 2000.
- [35] C.C. Marshall, F.M. Shipman, Spatial Hypertext: Designing for Change. Communications of the ACM, pp.88-97, 1995.
- [36] J. Rosenberg, And And: conjunctive hypertext and the structure acteme juncture, Proceedings of the twelfth ACM conference on Hypertext and Hypermedia, August 14-18, pp.51-60, Arhus, Denmark, 2001.
- [37] F. Shipman, H. Hsieh, R. Airhart, P. Maloor, J.M. Moore, The Visual Knowledge Builder: A Second Generation Spatial Hypertext Proceedings of Hypertext 2001, ACM, 2001.
- [38] Tinderbox, <http://www.eastgate.com/Tinderbox/>
- [39] Y. Yamamoto, K. Nakakoji, Y. Nishinaka, M. Asada, R. Matsuda, What is the Space for?: The Role of Space in Authoring Hypertext Representations, Proceedings of Hypertext 2005, ACM Press, Salzburg, Austria, pp.117-125, September, 2005.
- [40] K. Nakakoji, Y. Yamamoto, T. Suzuki, S. Takada, M.D. Gross, Beyond Critiquing: Using Representational Talkback to Elicit Design Intention, Knowledge-Based Systems Journal, Elsevier Science, Amsterdam, Vol.11, No.7-8, pp.457-468, 1998.
- [41] Jun for Java, <http://www.sra.co.jp/people/nisinaka/Jun4Java/>
- [42] K. Nakakoji, Y. Yamamoto, B.N. Reeves, S. Takada, Two-Dimensional

Positioning as a Means for Reflection in Design of Interactive Systems (DIS 2000), ACM Press, New York, pp. 145-154, 2000.

- [43] Y. Yamamoto, K. Nakakoji, A. Aoki, Spatial Hypertext for Linear-Information Authoring: Interaction Design and System Development Based on the ART Design Principle, Proceedings of Hypertext2002, ACM Press, pp.35-44, June, 2002.
- [44] K. Nakakoji, Y. Yamamoto, M. Akaishi, K. Hori, Interaction Design for Scholarly Writing: Hypermedia Structures as a Means for Creative Knowledge Work, Journal for New Review of Hypermedia and Multimedia, Special Issue on Scholarly Hypermedia, S. Buckingham Shum (Ed.), Vol.11, No.1, pp.39-67, Taylor & Francis Group Ltd, Oxon, UK, June, 2005.
- [45] Cooper, A., The Inmates Are Running the Asylum: Why High-Tech Products Drive Us Crazy and How to Restore the Sanity, SAMS Publishing, 1999.