

認知ツール設計に係る認知科学および心理学的知見

中村 美恵子 宮下 芳明

人間の知的創造活動を支援することは、情報科学の分野でも大きなテーマの一つである。本論文では知的創造活動を支援する認知ツールの設計に欠かせない、認知科学、社会心理学、行動経済学など様々な分野での新しい知見を紹介する。また、人間の知覚や認知に基づいた認知ツールの試みも紹介しながら、認知ツールひいては人間と計算機のインタラクションの展開について予測する。

In information science area, the research of supporting intellectual and creative activity is essential. In this thesis we introduce some researches about cognitive science, social psychology, behavioral economics and so on. Some discoveries in those researches may be useful to reconstruct cognitive tools that support creative activity of human. We introduce some examples of cognitive tools that are based on human perception and cognition. From the discussion of those researches and discoveries, we predict the future of cognitive tools and human-computer interaction.

1 はじめに

人間計算機インタラクション（ヒューマンコンピュータインタラクション、以下 HCI）の分野は、人間の行動をどのように取得し（入力インターフェース）、コンピュータによる処理結果をどのように提示するか（出力インターフェース）、およびその相互作用について考える学問である。この「相互作用」（インタラクション）は、知識の創発・吟味・発展・共有行為を仲介することによって人間の知的創造活動を支援することまで包含している。これは、コンピュータが単なる計算機ではなく、人間の思考活動のパートナーとなりつつあることを意味する。

知的創造活動を支援するインタラクティブなメディアとして、コンピュータシステムはどうあるべきか、

そのデザインのために、人間自身やその行動についての知見が基礎となるのは言うまでもない。例えば人間工学では、人間の手の構造に基づいて入力デバイスの設計を行うように、ユーザインターフェースを設計するにあたって、身体の物理的形状や動作についての知見を規範とする。同様に、人間に情報を提示する際も、認知プロセス（知覚・理解・記憶）に関する認知科学的・心理学的アプローチによって導出された知見に基づいた設計がなされる。例えば、GUI の設計思想は「アイコンを用いた一覧表示や操作が情報の直感的な理解を促す」という人間の認知プロセスに関する知見に基づく。このように、人間の認知プロセスにおける知見とユーザインターフェース設計は密接に結びついている。

同じく、人間の知的創造活動を支援するためには、人間の認知プロセスや発想にいたるプロセスなどの理解は欠かせない。Yamamoto らは、Schön が提唱する認知プロセス reflection-in-action と reflection-on-action [31] というふたつの内省の考え方に基づき、人間の創造的な活動の支援を試みている [39]。また、相原らは Boden が指摘する概念空間の変換が必要である [7] という立場を Finke らのジェネプロアモデル [9]

Findings in Cognitive Science and Psychology for Designing Cognitive Tools.

Mieko Nakamura, Homei Miyashita, 明治大学大学院理工学研究科, Dept. of Science and Technology, Meiji University, 独立行政法人科学技術振興機構 CREST, JST CREST.

コンピュータソフトウェア, Vol.29, No.1 (2012), pp.118–129.
[解説論文] 2011 年 4 月 15 日受付.

と Wallas の指摘する創造的な思考過程 [36] を基に考察し、忘却や思い違いといった自発的には変更できない制約を外的な刺激によって変換し、創造性を支援する認知ツールの研究を行った [1]。これらのシステムに共通するところは、Schön や Finke らが導出した人間の認知プロセスのモデルが先にあり、それに基づいた認知ツールとして設計されていることである。このように認知科学的知見は、HCI の分野、特に知的活動（創造、意思決定）支援に大きく影響を与えてきている。認知科学、社会心理学そして、行動経済学などの分野の知見の導入は、知的創造活動を支援する HCIにおいて、その方向性を大きく左右する影響力をもっているといえる。本論では知的創造活動を支援するインターラクティブなメディアを認知ツールと呼ぶことにする。

ところで、2009 年から 2011 年にかけて、人間の認知プロセスについてこれまでとは大きく異なる新しい知見が次々と発見されている。心理学の分野では、情報を検索すると関連情報が忘却されてしまう「検索誘導性忘却」の現象が複数の研究者によって指摘されており、その影響の持続性も明らかになっている。認知科学の分野では、これまでの常識に反して、「読みづらい形状や薄い色のフォントで記された情報の方が記憶に残る」ことが発見されている。情報提示においても「データ/インク比が低く装飾的なグラフの方が記憶に残る」ことが報告されている。社会心理学の分野では「心理的距離が人間の発想力にも影響を与える」ことが実証されている。応用認知心理学の分野では、「音声をただ静聴するよりも、無関係ないたずら書きをしながら聴く方が記憶に残る」ことが実験によって明らかになっている。また行動経済学においては、多すぎる選択肢が商品購入の際のモチベーションを下げることもわかってきた。このように様々な学問領域でこれまでの定説が塗り替えられて行く先に予想されるのは、コンピュータシステムの設計指針、ひいては HCI の潮流が大きく変わって行くということである。

本論文は、上記のような認知科学や社会心理学などにおける新しい知見をサーベイしている。本論文で紹介するこれらの論文はソフトウェア科学分野の論文ではないが、これらの知見はソフトウェア科学分野、

特に HCI 分野において活用可能であり、これらに基づいたこれから HCI の変化を予想する手がかりとなる。まず 2 章では、人間の知覚と認知、そして、それにつながる記憶や忘却、人間の意思決定への影響などについての研究をサーベイし、そこから見いだされる新しい知見をとりあげた。3 章では知的創造活動を支援する認知ツールについて調査し、その事例について述べる。ここで紹介する論文は 2 章で述べたような認知科学的な知見を基に、創造のもととなる知識とのインタラクション方法を研究したものである。4 章では、これらの知見と事例に基づいた議論によって、認知ツールひいては人間と計算機のインタラクションの展開について予測する。

2 情報の知覚と認知についての知見

本章で紹介するのは、認知科学、社会心理学、行動経済学などの分野での、知覚、認知や記憶に関する新しい知見を提唱した論文である。これらの分野を横断的にサーベイし、その知見を活用することは今後の認知ツールの設計の方向、そして HCI の方向性を予想する上で有用だと思われる。本章で紹介する知見についての一覧を表 1 に示す。

2.1 読みづらさが記憶に及ぼす影響

これまで、教育をはじめとするあらゆる場において、情報を提示するときには余分な認知負荷を減らす方が記憶効果があると信じられてきた。文字情報ははっきりしたコントラストをもった強いフォントで表示する方が良いと考えられてきた。プレゼンテーションソフトや文章整形ソフトの見出しにおいても、太字のゴシック体が初期状態として設定されていることが多い。

教育の現場でも、生徒が容易に情報を得て楽に学ぶことができれば、生徒は後からもその情報を思い出しやすいと考えられてきたが、逆に学びにくくすることで、長く記憶できる場合もあるという指摘も存在する。そこで Diemand-Yauman らは、薄くて見慣れないフォントで書かれた教材と通常の教材の学習効果の差について比較する実験を行った [8]。大学生 28 人を対象にしたこの実験では、架空の宇宙人の

表 1 情報の知覚と認知についての知見

キーワード	概要	分野	主要論文誌	節
記憶 , 可視化	読みづらさが記憶に及ぼす影響	認知科学	Cognition	2.1
記憶 , 認知負荷	いたずら書きの効用と認知負荷	認知心理学	Applied Cognitive Psychology	2.2
発想 , 解釈	心理的距離と発想の関連	社会心理学	Experimental Social Psychology	2.3
理解 , 記憶	グラフの表現と理解 , 長期記憶への影響	人間計算機 インターラクション	ACM Conference on Human Factors in Computing Systems	2.4
忘却	検索誘導性忘却	心理学	心理学研究	2.5
意思決定	意思決定の外的要因やタイミング	人間社会心理学	Personality and Social Psychology	2.6

情報について記された教材を 90 秒で記憶し , 15 分後にテストを行った . 使用したフォントは , 読みやすいフォントの教材として 16 ポイント Arial で黒を使用し , 読みづらいフォントの教材として 12 ポイント Comic Sans MS で 60% グレースケール , または 12 ポイント Bodoni MT で 60% グレースケールのものを使用した . その結果 , 読みづらいフォントの教材を用いた方が記憶に残ることが示された . また , より長期の追実験として , 222 人の高校生を対象に , 通常の教材と読みづらい教材での学習効果を比較している . 読みづらいフォントは Haettenschweiler , Monotype Corsiva , イタリック体の Comic Sans , または , ぶれさせながらコピー機にかけるという劣化を行った教材を用意している . 複数の教科において実験が行われており , 教科によって , 1.5 週から 1 ヶ月の授業を行っている . この場合も , 「読みづらいフォントの教材で勉強したグループの方がテストの成績が良い」という有意な差を導き出している . 実験後のアンケートでは , フォントの差によって生徒のモチベーションや興味には差がなかったことが確認されている . すなわち , 読みづらいフォントが学習者の記憶にのみ影響を与えたと言える .

2.2 いたずら書きの効用

Andrade が行った実験 [4] では , いたずら書きの効用について検証がなされている . 実験ではまず被験者にあらかじめ録音された 2.5 分間のナレーションを聞かせる . 内容は , 友達からの電話という設定でパーティ参加者に関する話を聞くものである . その際被験

者をふたつのグループに分け , 片方のグループには , 「覚える必要はないがパーティ参加者の名前のみを書き留めよ」と指示し , それ以外は何も書いてはいけないという規則を設けた . もう片方のグループには , 同様の指示に加え , 四角形や丸などの図形が描かれた紙を与えて , その中に陰をつけるように指示している . ナレーションが終わり , 紙を回収した後 , 被験者たちには , 参加者の名前とナレーションに出てきた地名を答えさせている . その結果 , 図形に陰をつけながらナレーションを聞いていたグループの方が , 名前に関しても地名に関しても良く記憶していることが示された .

この実験には , 認知的負荷理論が影響していると考えられている . 脳の注意力は一定程度の量しかなく , その注意力が使われてしまうと他の刺激情報の処理を停止してしまう . ナレーションを聞いているときに空想にふけてしまえば , 脳の注意力が空想にふけることに費やされてしまう . 負荷の小さないたずら書きという行為によって , より負荷の大きい空想にふける行為が阻止される . そのためによりナレーションに集中することができたのではないかと Andrade は分析している . つまり , 全く関係ない負荷の小さな行為をすることにより注意力を維持させることができることが確かめられた .

2.3 距離の効用

洞察力や創造性は個人内の問題だと考えられてきたが , 数多くの研究から実は周りの状況 [13] やムード [20] の影響を受けることが導き出されている . そ

の中で、解釈レベル理論 (construal level theory) [35] によると、人々が物や出来事に対して感じる心理的距離の遠近によって、それらをどのように表象化するか異なるとされている。距離が大きいとき (high-level construal) は、物や出来事に対して抽象的・一般的・非文脈的に表象化を行う傾向があるが、距離が小さいとき (low-level construal) には具体的・文脈的であり細部にこだわりがちである。例えば、明日起きることを予想した場合は、「ページをめくることによって本を読んだ」のような描写になるのに対し、一年後の行為に対しては「知識を広げるために本を読んだ」のような描写になる[17]。このような心理的距離とは物理的な距離に限らず、時間的な距離や確率的な距離も含んでいる。Förster らは、時間的距離が洞察や抽象的創造性を助長する一方、分析的な問題解決には貢献しないことを実験によって示している[10]。

そして最近 Jia らによって、空間的な距離のイメージが発想に与える影響が調査された[15]。この実験では、被験者に思いつく限りの交通手段を列挙するように指示する。そのとき、問題の出題者が地理的に遠い外国にいるという情報を与えたグループの回答の方が、出題者がすぐ近くにいるという情報を与えられたグループよりも、数や柔軟さ、そして独創性といった観点で有意な差がみられた。また、洞察力を必要とする問題を解く実験でも、「その問題を出題した研究所が近くにあると言われたグループ」「研究所の位置について言及されなかったグループ」よりも、「出題した研究所が遠くにあると言われたグループ」の方が高得点を示し、有意な差がみられた。

この実験は、創造的活動に影響を与える心理的距離のうち、空間的距離が、実際の物理的距離だけでなく、言葉によるイメージ上ででの距離でも有効であることを示している。しかもその距離の情報は「問題を出題した研究所の位置がどこにあるか」という与えられた課題には全く関係しない情報として提示されている。

2.4 グラフの表現

言語などの記号的な情報は、認知的プロセスを経て人間の頭の中で内的表現に置き換えられるが、これに

対して、図形や形などの視覚的な情報は、内的表現に置き換えられることなく、外的表現として直接知覚的に人間に理解される[40]。そしてさらに、その提示手法が、人間の理解や記憶にも影響を与えることがわかつてきた。Bateman らによる研究では、普通のグラフと装飾的なグラフについて評価実験を行っている[5]。従来、装飾の多いグラフは読者の注意を散漫にし、その理解を妨げるため、データ/インク比が大きなグラフが良いと言われてきた。一方、テレビや雑誌といったメディアでは多くのデザイナーによって視覚的な装飾を施されたグラフが用いられている。

Bateman らは 20 人の被験者をふたつのグループに分け、片方には装飾のあるグラフ、もう片方には装飾のないグラフを、それぞれ 14 種類スライドショーで見せた。その直後にグラフの主題、値の種類、傾向、意図について聞き取り調査を行った。また、各グループの半数の被験者は、5 分間の休憩後に再度聞き取り調査を行い、残りの半数の被験者は 2, 3 週間後に聞き取り調査を行った。直後の聞き取り調査ではどちらのグループも差がなかったが、値の種類に関する調査だけは、装飾的グラフのグループの方が良いという結果であった。5 分後の聞き取り調査では、意図に関する調査だけで装飾的グラフの方がよかったです。2, 3 週間後の聞き取り調査では、すべての項目において装飾のあるグラフのグループの方が良く有意な差が出た。

この実験に使われたグラフは支出の増加量を示すのに怪獣の歯の大きさで示すなど、データの内容と画像をうまく組み合わせてデザインされたものであった。そのため、被験者の印象とも結びついて長く記憶されたものと考えられる。見る人の認知的負荷を少なくするためにグラフはできるだけシンプルなものが良いと信じられてきたが、情報を理解し長く記憶するためには、デザインに配慮したグラフが重要となることが示されている。

2.5 検索誘導性忘却

検索誘導性忘却 (retrieval-induced forgetting) とは、ある情報の検索に伴い、それと関連する他の情報の記憶成績が低下する現象である[34]。検索誘導性忘却を確かめるための実験は学習段階・検索練習段階・

最終テストの3段階に分かれる。学習段階では、複数のカテゴリから選出したカテゴリ名とカテゴリ事例をペアにしたリストの学習を行う（e.g. FRUIT-orange, DRINK-scotch, FRUIT-banana）。検索練習段階では学習したカテゴリの半数（e.g. FRUIT）から事例の再生を行う。手がかりとして、カテゴリ名とカテゴリ事例の最初の2文字を与え、学習項目の再生を求める（e.g. Fruit-or__）。事例の半数については検索練習を行い、残りの項目については行わない。遅延期間をおいた後で最終テストを行い、カテゴリ名とカテゴリ事例の最初の1文字を手がかりに全学習事例の再生を行う。その結果、検索練習の対象となった項目の再生が促進されるのは当然の結果であるが、検索誘導性忘却の対象となるのは、検索練習の対象とならなかった項目である。カテゴリ自体を検索練習の対象としなかった項目と比べ、検索練習の対象となったカテゴリに含まれながら検索練習の対象とならなかったカテゴリ項目の記憶成績が低下する。これを検索誘導性忘却という。検索誘導性忘却の原因としては抑止説が有力である[34]。検索練習の対象となった項目が同じカテゴリの項目との間で活性化の資源を奪い合う競合が起きることにより、検索対象でない項目の記憶を非活性化する積極的抑制が働くと考えられている。

MacLeod らの実験では検索誘導性忘却は一時的な現象で、検索練習から24時間後の最終テストでは、検索誘導性忘却が生起しない[18]と述べられている。しかし MacLead らの実験では、カテゴリ自体を検索練習の対象としなかった項目（ベースライン）の記憶成績がかなり低くなっている。そのような状態では、そもそも検索誘導性忘却が十分に検出できなかったのではないかと考え、丹藤らは再度実験を行っている。その結果、検索誘導性忘却が長期に持続することが確かめられた[34]。また、検索誘導性忘却は、検索練習によってのみ生起し、項目の再提示では生起しないことが示されている[3]。最近になって、検索練習段階での検索手がかりの量についての研究も行われた。手がかり量が少ない（e.g. Fruit-or__）と、手がかり量が多い（e.g. Fruit-oran__）場合に比べ、検索誘導性忘却が生起しやすいことがわかった[38]。これは、手がかり量を多くすることにより検索対象項目と検索

非対象項目の間で活性化の資源を奪い合う競合が少なくなり、積極的抑制が働きにくくなるからであると考えられている。

Roediger らの研究では、覚えるべき情報を繰り返し学習する方法と検索する方法では、検索する方が長期的な記憶に残りやすいことも確認されている[30]。学習内容の定着のためには検索練習が有効であるが、その方法においては、検索誘導性忘却が生起される可能性に留意し吟味する必要がある。例えば、大切なテストの前の確認テストでは、手がかり量を多くした簡単な確認形式の問題にすることで、検索誘導性忘却が生起しにくくなり、より学習効果を高めることができると考えられる。

2.6 意思決定のタイミング

我々人間は、視覚や聴覚などの感覚器官からの刺激を取り込み、脳で情報処理を行い、自らの判断で意思決定を行うと従来思われてきた。しかし、最近の脳科学的知見からは、それに異議を唱える研究が出てきた。

通常我々は目の前で起きていることをその瞬間に知覚していると考えているが、実際には視覚刺激が起きてからそれが知覚されるまでには約0.1秒の遅れが生じている。Pöppel の行った、音や光を感じたらすぐにキーを押す実験では、視覚刺激に対して0.17秒、聴覚刺激に対して0.13秒の反応時間が観測された[28]。また、この知覚遅れに対処するために脳は学習しており、それはフラッシュラグ効果（illusory flash-lag）などにより確かめられている[24]。フラッシュラグ効果とは、動いている物体に隣接する位置に短時間提示された刺激が遅れた位置に知覚される現象のことである。例えば、ディスプレイ上に左から右へ等速で動く点を表示しておき、その点が中央にきたときにその真下で別の点を表示すると、真ん中の表示された点より動く点の方が右にずれて見える現象はフラッシュラグ効果によるものである。

自発的に意思決定するタイミングよりも先に脳がすべき行動を決めているという研究もある[33]。この研究では、好きなタイミングで指を動かすように言われた被験者の脳内で、実際に指を動かすより8秒も前

に、指を動かす準備をしている様子が fMRI により観察されている。このような脳の予測機能が齟齬を起こした例として、停止したエスカレータを歩くときの身体のバランスを崩しそうになる違和感をあげることができる [29]。停止エスカレータに乗り込むまでは、「止まっているエスカレータ」として適切に認識しているにもかかわらず、停止エスカレータに乗込んだ後に、身体が前の方に急激に傾く感覚が観察されている [12]。

このような瞬間的な判断だけでなく、人間がゆっくり時間をかけて自由意思により判断を下していると思われていた状況においても、実はおかれている環境などに誘導されていることを、行動経済学などの研究に見ることができる。標準的経済学や意思決定理論では、選択肢は多ければ多いほど良く、人々の満足度も大きいとされている。しかし、Iyengar らの研究では、選択肢が多すぎると消費者が混乱してしまい選択が重荷となることで、消費者の消費意欲を低下させることができた [14]。6 種類のジャムと 24 種類のジャムの置かれたテーブルでは、通路を通りかかった人のうち 40 % が 6 種類のジャムのテーブルを訪れたのに対し、60 % の人は 24 種類のジャムのテーブルを訪れた。しかし、各テーブルに訪れた客のうち、実際に購入に至ったのは、6 種類の場合が 30 % であったのに対し、24 種類の場合では 3 % にまで減少した。消費者は、多様な選択肢が用意されていることには魅力を感じるが、選択肢が多すぎると決定ができない。また過剰な選択肢があると後々、選択を間違えたのではないかと後悔や敗北の感覚にとらわれることがあると指摘している。

また、学生に対する学習課題に対する実験では、6 種類のトピックの中から選択してレポートを書くように指示されたグループと、30 種類のトピックの中から選択するよう言われたグループでは、6 種類のグループの方が課題の提出率も良く提出したレポートの内容も良かったことが報告されている。

3 認知ツールの再設計

知的創造活動を支援する認知ツールの設計にあたって、経験則に基づくツールの研究が数多く行われてきた。ブレーンストーミングに代表される発散的思

考を支援するツールや KJ 法などの収束的思考を支援するツールなどがあり、それらについては國藤が「発想支援システムの研究開発動向とその課題」として紹介している [16]。これらのツールの開発、評価においても経験則が盲目的に用いられるのではなく、認知科学的な知見を補足することにより、さらに有効な認知ツールの設計が可能であると考える。これまでも、そういう立場に立って研究が行われてきている。例えば中小路らは、Schön が提唱する認知プロセスに則して、デザインの初期段階における内省を外在化し、インタラクティブに支援する認知ツールを提案している [21]。そのための枠組みとして Representational Talkback の概念とその增幅 (ART: Amplifying Representational Talkback) を提案している [40]。本章では、このような認知科学的知見をベースに再設計された認知ツールの研究について紹介する。

3.1 記憶の想起に基づく再設計

相原らは、時間的な制約を空間的な制約に変換して提示することでユーザの記憶の想起を促し、概念空間を変換させることによって創造性を支援するためのツール En Passant 2 を提案している [1]。相原らは、Boden が指摘する「創造的な思考には概念空間の変換が必要である」 [7] との立場に立つ。Boden は、創造的思考を概念空間の操作として考え、その操作を「探索」と「変換」に分けている。「探索」とは表面的に小さな変化をもたらすものであり、「変換」はより大きな変化をもたらすものである。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。そして、創造的なアイデアを生むためには、制約の削除や否定が有効な場合があるとしている。

En Passant 2 では、日常の思考活動は時間がたつにつれ断片的になり、時には変質し、想起されにくくなることに注目し、思い込みによる想起の障害・時間的経過というふたつの制約を変更させることにより概念空間の変換を試みている。En Passant 2 は Writing Pad 2 と呼ばれるインターフェース、Mark Daemon と呼ばれるメモのページ間の関連度を算出するプロセ

ス，そしてその関連度をユーザに見せたりページの検索機能を提供したりする Adviser で構成されている。Writing Pad 2 はページのリストなどを表示するメインウィンドウ，メモの内容を表示するページウィンドウ，ページの関連度を示す Adviser からなる。ページウィンドウとして提供されるメモ画面に，画像，テキスト，図形などを任意の位置に配置することができる。メモを構築する際に，各ページ間のリンクを作成したり，マークと呼ばれるタグ付けを行う。マークはメインウィンドウ内のマークリストという 2 次元空間上に配置して表示され，任意の位置にマークを移動することができる。これにより，ユーザにマークを整理する際の思考の自由度を提供している。システムはこのリンクとマークにより各ページ間の関連度を計算し，Adviser としてユーザに提示する。この Adviser によりユーザは，想起されにくくなった過去の思考を活性化し，次の思考につなげることができる。メモを作成したときは覚えていても，時間が経過するごとに忘れてしまったり，内容上の類似度が高いほど想起されにくくなってしまうことがある。過去の思考と他の文脈をすりあわせることにより，違った視点が生まれたり，次の思考が促されたりしたことが実験により観察されている。

3.2 文脈と現実への着地による再設計

網谷らは，「知識というものは形式的に記述することができ，万人が共有することができる」といった伝統的認識論を廃し，「知識は文脈に依存して動的に再構築されるものであり，静的に蓄積されるものではない」との立場に立つ[25]。そこで「知識の液状化と結晶化」を支援するシステム KNC を提案している[2]。知識の液状化とは，人間の行為の文脈を持った情報を分解，蓄積することであり，結晶化とは，蓄積された情報の断片とその情報間の関係をユーザの現在の文脈に沿った形で結合して提示することである。

網谷らは具体的な事例として「イベント設計」を行う過程での，プロの企画者の知識創造活動の支援を行う KNC4ED を構築している。KNC4ED はバックグラウンドで動作する動的概念ベースと実際にユーザがインタラクションをとる 4 つのインターフェースからな

る。これらのインターフェースでは，分析の時点では決定しきれていない情報空間の構造を構成するために空間表現を用い，統計的手法を用いて何らかの意味を持った空間を構成することにより概念形成過程を支援している。イベントの来場者には記録装置をつけてもらいプロトコルデータを記録する。記録されたデータは「何を見て何を考えたか」がわかるようにプロトコルユニットに分解し，ユーザのインタラクションにより再構成される動的概念ベースを構成する。ユーザには獲得した情報全体を俯瞰するためのインターフェースを用意し，2 次元空間上に索引語として配置する。また，着目した概念に関連する情報の結晶化と情報間の関係性の再構築を行うためのウインドウ，実世界での場所を示すためのウインドウなどを持つ。プロの企画者が持つ暗黙的な知識に頼りがちなイベント設計の現場で KNC4ED を使用し，そのときその場所でしか得られないデータを拾い出している。「データをコンパクトに観察でき，概念レベルから地図情報にまで容易に戻れる」こと等から有効性を評価し，知識創造活動の促進を確認している。

3.3 文書作成ツールを対象とした再設計

知的創造活動を支援するアプリケーションの中でも，特に文書作成ツールは他者に最終的な成果物を見せるための支援が主である。しかし，自分用のメモとしての文書コンテンツの享受者は紛れもなく自分自身であり，自分自身が記憶にとどめたいからメモするに他ならない。そのため，2 章で紹介した知見のうち，「記憶」に関するものはこのシステム設計に応用可能である。

CatchyMemo[22] はメモをとりながら，できるだけ記憶にとどめることを促す認知ツールである。このシステムでは 2 章で紹介した見づらいフォントが記憶定着を促すという知見を応用している。また，文字を空間的に配置したり斜めに傾けたりすることによる記憶定着の効果を測る予備実験を行っている。被験者にはテキストが整然とならんだメモ(図 1 左)，もしくは手書き風のフォントを用い，段落や一続きの言葉が空間的に並んだメモ(図 1 右)のどちらかを見せ 5 分間学習させた。後者のグループの方が好成績を収

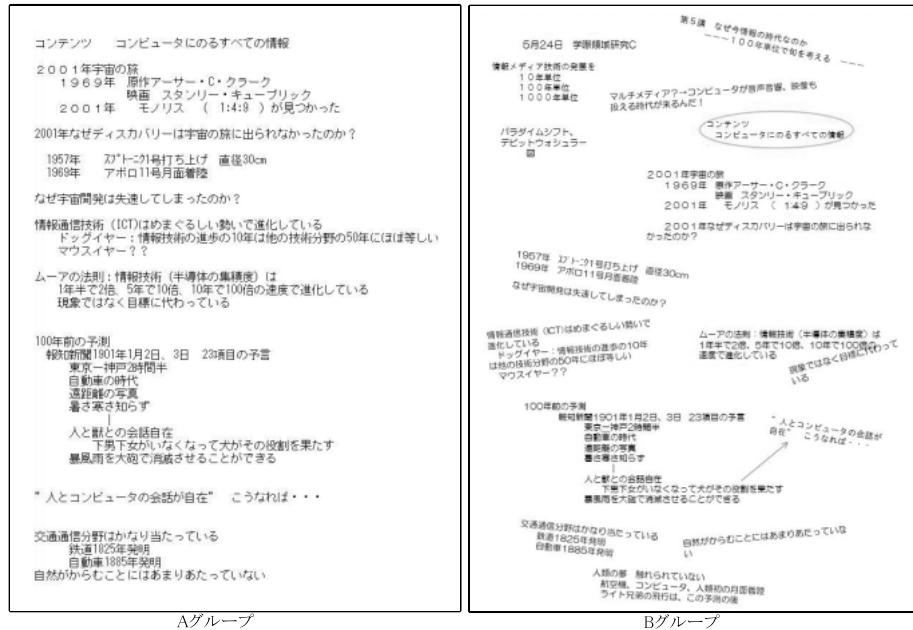


図 1 予備実験サンプルデータ

め，有意な差が確認できた．つまり手書き風のフォントを用い，段落や一続きの言葉が空間的に並んだメモの方が記憶に残るという結果が出た．

CatchyMemo は文字を空間的に配置するためにテキストボックスを自動的に生成する機能や斜めにする機能を持つ．また，矢印や図形を簡単に作成する機能は，自分用のメモをとる状況でできるだけ素早く入力が行えることを考慮した機能である．

3.4 表計算ツールを対象とした再設計

表計算ツールにおいても，ユーザ自身がそのコンテンツの享受者であるケースがある．例えば家計簿をつける目的は，単に金額のデータを入力して合計を出すことではなく，お金の移動という現象を理解し，そこから未来の計画を立てることであり，知的創造活動としての側面が強いといえる．そのため，2章で紹介した知見のうち，「理解」に関するものはこのシステム設計に応用可能である．

Catchy Account [23] は金額を入力すると同時に，その金額を面積に換算して図形表示する家計簿ソフトである．入力された金額は長方形の面積として表示

される．表示された図形は面積一定のまま変形が可能であり，それらのサイズを比べることで，知覚的に金額の大きさを理解することができる．また，図形はマウス操作によって合体・分離を簡単に行うことができ，合体すると自動的に帯グラフや円グラフが作成される(図 2)．また，タイムラインモードによって，収支の状況が時間軸にそって表示される(図 3)．

従来の表計算ソフトでも，グラフの作成機能は備わっているが，それらはデータを入力した後の集計と集計結果の可視化に用いることを前提としている．一方，Catchy Account で表示される図形は数値が入力されると同時に表示され，個々の数値と他の数値との関連性の理解を促すものである．

認知的負荷理論によると脳の注意力は一定程度の量しかなく，その注意力が使われてしまうと他の刺激情報の処理を停止してしまう．表計算ソフトのようなインターフェースで，家計簿の内容を連続して入力する場合は比較的単純な作業になり認知的負荷が低くなりがちであるため，2.2 節で述べたように脳の注意力が他の負荷の大きな作業に使われることも考えられる．Catchy Account では，図形を好ましい位置に配置す

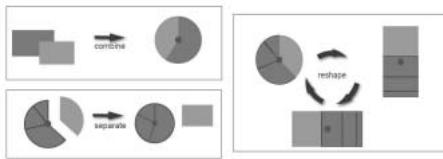


図 2 Catchy Account 合体・分離機能



図 3 Catchy Account タイムライン機能

る作業により、脳の注意力を家計簿をつけることに引き戻すとともに、図形の面積という知覚的に理解できる情報により金額の大きさを常に視覚情報として与えることができると考えている。

3.5 可視化とインタラクション手法の再設計

知的創造活動を支援するにあたって、複雑な情報の可視化は欠かせない。本節では、可視化方法の概略とインタラクション手法としての取り組みを紹介する。

複雑な情報を可視化するための要件については Wünsche がまとめている[37]。可視化のための属性を位置・長さ・3D・面積・量・形・テクスチャ・色に分け、各属性を描写の正確さや空間の必要性などの項目によって分類し、情報とビジュアル属性のマッピングによる理解の違いについて例と実験で説明している。

Bederson らは情報の詳細を見たり全体を概観したりするために表示領域を拡大縮小できるインターフェース ZUI(Zooming User Interface)[6] を提唱した。これは人間の持っている空間能力を有効活用し、ズームによってコンテキストを失うことなく詳細を表示することができる。また Fry[11] は情報可視化のステップとして、データ収集、解析、フィルタリング、マイニング、表現、精緻化、インタラクションの 7 つをあげている。データとのインタラクションはデータの制御や探索を可能にする有効な手段である。

また、紙や布を指で縮めようとしたときに発生する「撓(たわ)み」のメカニズムを用いて、画面のスクロールやズーム操作を行うインタラクション手法があ

る[26](動画[27])。この手法は表示するコンテンツを伸縮性の高い素材ととらえ、通常のスクロールでは画面外に押し出されていた領域が、空間を歪めることにより画面内に残るようになっている。実際に地図上の目的点を探す実験において、元いた場所に戻る場合には通常のスクロールに比べて、操作量が少なく高速だったことがわかっている。スクロールによって押し出された部分が画面から消えるのではなく、画面の端にとどまっていることは、操作量だけの問題ではなく、focus+context の考え方を動的に取り入れているといえる。

このほかにも可視化とインタラクション手法については数多くの研究がなされているが、それぞれの研究で、常に認知科学的・心理学的知見からの議論がなされているとはいえない。それらを考慮した再評価が必要であるとともに、今後認知ツールの設計にあたっては、認知科学的・心理学的知見を真摯に取り入れることが必要である。それにより従来のアプローチとは真逆の手法になることもあり得る点はすでに述べたとおりである。反対に、従来のアプローチによる開発、評価を通じた検証によって認知科学的・心理学的知見を生み出すことも可能であると考えている。

4 考察

今日我々の周りには様々なメディアが溢れ、我々はそれを利用することにより、情報の取得・発信を行っている。またそれらメディアは、知的創造活動の支援にも有効であることがわかってきた。McLuhan はメディアの形態はそれを使用する人間に大きな影響を与える[19] といっている。Shirouzu らの行った「全体面積の 3/4 の 2/3 となる領域を斜線で塗って示す」実験では、被験者に厚紙を与えた場合は算術的アプローチが先に行われるのに対し、折り紙を与えた場合はまずそれを折るという行動的アプローチをとることが示された[32]。つまり、メディアの形態によって、人間の思考過程までもが影響を受けるのである。HCI 研究は、メディアとしてのコンピュータの可能性を探求するものだともいえる。そして、その可能性を最大限に發揮するためには、対象となる人間の知覚や認知のメカニズムを知らなければならない。

同じ位置にあっても止まっている物体と動いている物体で位置がズれて見えるという脳科学的知見は、ディスプレイのデザインや情報提示のタイミングなどに応用されるべきであろう。また、人間が意識的に意思決定する前に、脳内で次の動作に対しての準備ができていることを考慮して、人間の無意識の意思決定に逆らわないような入力インターフェースを工夫することも大切である。我々が、自由意思により決定していると思われる消費活動においてさえ、選択肢の数が影響を与え、しかも多すぎる選択肢がかえって消費者に消費行動を控えさせるという結果からは、我々の意思決定がいかに曖昧であるかを再考させられる。我々の意思決定における外部からの影響を考え、意思決定行動を上手に誘導するインターフェースが必要であろう。

見づらいフォントの方が記憶定着が促進されたという知見は、教育における視覚教材のデザインにおいて再考を促すとともに、コンピュータでの視覚情報の提示の際にも、デザインの指針の1つになるものと思われる。つまり、その用途に応じ「ただ眺めるだけよい」のか、「見る人に理解と記憶を促した方がよい」のかにより「美しく、飽きさせないように表示する」のか、「多少見づらさを残しておく」かといった選択が必要になるであろう。

デザインされた装飾的なグラフかシンプルなグラフかによって、意味の理解や記憶への定着に差が出るならば、グラフのデザインには細心の注意を払う必要がある。数値から自動でグラフを作成するツールは、今のところ数値を图形に落とし込んだに過ぎない。色彩、情報の絞り込み、文字とのバランスなどデザインとしての要素を鑑み、理解されやすいグラフを作成するための支援が今後必要であると思われる。

聴覚からの情報の取得の際には、落書きのような単純な行為に注意力の一部を振り分けることにより、いつの間にか空想にふけるような注意力を大きくそぐ事態を防ぐことができる。また、何かについて検索する場合には、検索の手がかりを多く与えることで関連する他の項目を忘れにくくすることができたり、問題とは関係ない距離に関する情報を提示することでユーザの創造性を膨らませることができる。このような目的とする行為（情報の聴取や検索、創造的思

考）とは一見関係ないインターフェース（落書きや検索手がかり、心理的距離の提示）を工夫することにより、本来の目的を達成しやすくしたり、弊害を少なくできることがわかつてきたことは、今後の HCI の可能性を大きく膨らませるものである。

これまでの認知ツールの設計においてプレーンストーミングや KJ 法などの経験則に基づくツールが多く提案されてきた。これらは必ずしも否定されるものではないが、経験則を用いていることを前提にそれらを盲目的に扱い、認知科学的視座にたった議論を欠いているものが多い。本論文では、それらの問題を改めて提起するものである。本論文で紹介した新しい認知科学的知見を取り入れることにより、従来の経験則に基づく知見と真逆のアプローチになることも考えられる。つまり、認知ツール設計にあたっては常に認知科学的・心理学的知見を真摯に取り入れながら、また、それら知見を生みだしうることを念頭に置きながら進められるべきである。

ソフトウェア科学と学問領域的に離れてはいても、認知科学や社会心理学、行動経済学など、様々な分野で、人間とその行動についての研究が行われている。人間とコンピュータの関係性を考える HCI の分野においては特に、情報可視化、コンテンツ制作、検索システム、発想支援システム、入力機器のデザインなどにおいて、これらの新しい知見を積極的に導入する必要があると考えられる。今後の HCI の発展とともに、その責任の高まりが予想される。

参考文献

- [1] 相原健郎, 堀浩一: 記憶の想起に基づく創造性支援 , 情報処理学会論文誌 , Vol. 42, No. 6(2001), pp. 1377–1386.
- [2] 網谷重紀, 堀浩一: 知識創造過程を支援するための方法とシステムの研究 , 情報処理学会論文誌 , Vol. 46, No. 1(2005), pp. 89–102.
- [3] Anderson, M.C., Bjork, E.L. and Bjork, R.A.: Retrieval-induced forgetting: Evidence for a recall-specific mechanism, *Psychonomic Bulletin and Review*, Vol. 7(2000), pp. 522–530.
- [4] Andrade, J.: What Does Doodling do?, *Applied Cognitive Psychology*, Vol. 24, No. 1(2010), pp. 100–106.
- [5] Bateman, S., Mandryk, R.L., Gutwin, C., Gentest, A., McDine, D. and Brooks, C.: Useful Junk?

- The Effects of Visual Embellishment on Comprehension and Memorability of Charts, in *CHI2010*, 2010, pp. 2573–2582.
- [6] Bederson, B. and Meyer, J.: Implementing a Zooming User Interface: Experience Building Pad++, *Software-Practice and Experience*, Vol. 28, No. 10(1998), pp. 1101–1135.
- [7] Boden, M.A.: *The Creative Mind - Myths and mechanisms*, George Weidenfeld and Nicolson, 1990.
- [8] Diemand-Yauman, C., Oppenheimer, D.M. and Vaughan, E.B.: Fortune favors the Bold (and the Italicized): Effects of disfluency on educational outcomes, *Cognition*, Vol. 118, No. 1(2011), pp. 111–115.
- [9] Finke, R.A., Ward, T.B. and Smith, S.M.: *Creative Cognition*, The MIT Press, 1992.
- [10] Förster, J., Friedman, R.S. and Liberman, N.: Temporal Construal Effects on Abstract and Concrete Thinking: Consequences for Insight and Creative Cognition, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 87, No. 2(2004), pp. 177–189.
- [11] Fry, B., 増井俊之(監訳), 加藤慶彦(訳): ビジュアライジング・データ Processing による情報視覚化手法, オライリー・ジャパン, 2008.
- [12] 福井隆雄, 木村聰貴, 門田浩二, 五味裕章: 運転停止エスカレータに乗込む際の潜在的運動制御: 違和感の原因を探る, 電子情報通信学会技術研究報告. NC, ニューロコンピューティング, Vol. 106, No. 407(2006), pp. 37–42.
- [13] Isen, A.M.: Positive affect and decision making, *Handbook of emotions*, Lewis, M. & Haviland-Jones, J.(Eds.), Guilford Press, 2000.
- [14] Iyengar, S.S. and Lepper, M.R.: When Choice is Demotivating: Can One Desire Too Much of a Good Thing?, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 76, No. 6(2000), pp. 995–1006.
- [15] Jia, L., Hirt, E.R. and Karpen, S.C.: Lessons from a Faraway land: The effect of spatial distance on creative cognition, *Journal of Experimental Social Psychology*, Vol. 45, No. 5(2009), pp. 1127–1131.
- [16] 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(1993), pp. 552–559.
- [17] Liberman, N. and Trope, Y.: The Role of Feasibility and Desirability Considerations in Near and Distant Future Decisions: A Test of Temporal Construal Theory, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 75, No. 1(1998), pp. 5–18.
- [18] MacLeod, M.D. and Macrae C.N.: Gone but not forgotten: The transient nature of retrieval-induced forgetting, *Psychological Science*, Vol. 12(2001), pp. 148–152.
- [19] McLuhan, M. and Fiore, Q.: *The Medium is the Message: An Inventory of Effects*, Gingko Press, 2001.
- [20] Murry, N., Sujan, H., Hirt, E.R. and Sujan, M.: The influence of mood on categorization: A cognitive flexibility interpretation, *Journal of personality and Social Psychology*, Vol. 59(1990), pp. 411–425.
- [21] 中小路久美代, 山本恭裕: インタラクションデザインにおけるスケッチ: ARTware プロジェクトの事例から, Designシンポジウム 2010, 精密工学会, 2010.
- [22] 中村美恵子, 宮下芳明, 知覚的解釈を促すメモツール, 情報処理学会研究報告, Vol. 210-HCI-139, No. 12(2010), pp. 1–6.
- [23] Nakamura, M. and Miyashita, H.: Catchy Account: A System for Acquiring a Realistic Sense of Expenditures, in *ACM Augmented Human International Conference 2011*, 2011.
- [24] Nijhawan, R.: Motion extrapolation in catching, *Nature*, Vol. 370(1994), pp. 256–257.
- [25] Nonaka, I: Viewpoints on Knowledge Management from Knowledge Science, in *Presentation material at the 4th Symposium on Knowledge Science*, 2003.
- [26] 大脇正憲, 藤田和之, 高嶋和毅, 築谷喬之, 伊藤雄一, 北村喜文, 岸野文郎: 撥みのメタファーを用いたビューポート制御インターフェース, インタラクション 2011, 2011.
- [27] 「たわみ」の効果を取り入れた新しい制御インターフェース, <http://www.youtube.com/watch?v=bW6rc7RDUwY>
- [28] エルンスト・ペッペル, 田山忠之, 尾形敬次(訳): 意識のなかの時間, 岩波書店, 1995.
- [29] Reynolds, R.F. and Bronstein, A.M.: The moving platform after effect: Limited generalization of a locomotor adaptation, *Journal of Neurophysiology*, Vol. 91(2004), pp. 92–100.
- [30] Roediger, H. L. and Karpicke, J. D.: Test-Enhanced Learning: Taking Memory Tests Improves Long-Term Retention, *Psychological Science*, Vol. 17, No. 3(2006), pp. 249–255.
- [31] Schön, D.A.: *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*, Basic Books, 1983.
- [32] Shirouzu, H., Miyake, N. and Matsukawa, H.: Cognitively Active Externalization for Situated Reflection, *Cognitive Science*, Vol. 26, No. 4(2002), pp. 469–501.
- [33] Soon, C.S., Brass, M., Heinze, H.J. and Haynes, J.D.: Unconscious determinants of free decisions in the human brain, *Nature Neuroscience*, Vol. 11 (2008), pp. 543–545.
- [34] 丹藤克也, 仲真紀子: 検索誘導性忘却の持続性, 心理学研究, Vol. 78, No. 3(2007), pp. 310–315.
- [35] Trope, Y. and Liberman, N.: Temporal Construal, *Psychological Review*, Vol. 110, No. 3(2003), pp. 403–421.
- [36] Wallas, G.: *Art of Thought*, Harcourt Brace, 1925.
- [37] Wünsche, B.: A Survey, Classification and Analysis of Perceptual Concepts and their Application for the Effective Visualisation of Complex Information, in *APVis '04 Proceedings of the 2004 Australasian symposium on Information Visualisation*, Vol. 35, 2004.
- [38] 山田陽平, 月元敬, 平野哲司: 検索誘導性忘却にあ

- ける競合依存 - 検索手がかり量の影響 , 心理学研究 , Vol. 80, No. 6(2010), pp. 533–538.
- [39] Yamamoto, Y., Nakakoji, K. and Aoki, A.: A Visual Interaction Design for Tools to Think with: Interactive Systems for Designing Linear Information, *Proceedings fo Conference on Advanced Visual Interfaces(AVI2002)*, ACM Press, 2002, pp. 367–372.
- [40] 山本恭裕 , 高田眞吾 , 中小路久美代 : “Representational Talkback ”の増幅による「書いてまとめる」プロセスの支援へ向けて , 人工知能学会論文誌 , Vol. 14, No. 1(1999), pp. 82–92.
- 学 . 現在 , 在学中 . 情報の可視化と個人の知的創造活動の支援に興味を持つ . 第 10 回 NICOGRAH 春季大会にて最優秀ポスター賞受賞 . 情報処理学会学生会員 .



中村美恵子

1983 年東京理科大学応用数学科卒業 . 同年三菱重工業(株)入社 . 1985 年退職 . ベンチャー企業にて組み込みシステム , 音声応答システムなどの開発に従事 . 2010 年明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻ディジタルコンテンツ系博士後期課程入



宮下 芳明

千葉大学工学部卒業(画像工学) . 富山大学大学院で音楽教育(作曲)を専攻 . 北陸先端科学技術大学院大学にて博士号(知識科学)取得 , 優秀修了者賞 . 2007 年度より明治大学に着任 . 2009 年度より准教授 , 現在に至る . 専門はヒューマンコンピュータインターラクション(HCI) . 本会主催 WISS 2010/2011 実行委員 , 情報処理学会 インタラクション 2012 プログラム委員長など .