

WWW ブラウジングを通じた個人的知識の獲得と組織化

鷹城 徹^{†,††} 武田 英明^{††}

Acquisition and Organization of Personal Knowledge through WWW Browsing

Toru TAKASHIRO^{†,††} and Hideaki TAKEDA^{††}

あらまし 本研究の目的は、今や我々にとって日常的な知的活動となったワールドワイドウェブ (WWW) をはじめとする電子化文書の閲覧を通じて、ユーザが知識を獲得していくプロセスを支援するシステムを構築することである。本研究ではユーザ個々人の経験や興味・関心に基づく個人的な知識の構造とその背景となる文脈に注目しており、これまでに、ユーザとのインタラクションを通じて個人的知識の構造をシステム内にモデル化し、それを用いてユーザに情報を提示するシステム MindHeap の実装を行った。このシステムは通常の WWW ブラウザとしての機能に加えシステムとユーザとのインタラクションを行う機能が備わっており、ユーザはこの画面上で、文書中の注目する部分をなぞって入力することができる。入力を繰り返していくと、入力とその文脈に基づいて個人的知識構造が自動的に整理・組織化され、システムはユーザに対して様々な形で情報を提供しユーザを支援する。本論文では、このシステムを用いた評価実験を行い、実装した手法が有効であることが確かめられた。キーワード 個人的知識、文脈、知識獲得、ブラウジング支援

1. ま え が き

近年発展の著しい WWW の上には様々な情報が発信されているが、こうした情報は玉石混交である上にばらばらに散在していて、ユーザの立場からすれば思いどおりには活用しがたい状態にある。本研究の目的は、ワールドワイドウェブ (WWW) をはじめとする電子化文書の閲覧を通じてユーザが知識を獲得していくプロセスを支援するシステムを構築することである。我々は、WWW 上に存在する情報をユーザの自然な発想に沿って整理し、それをユーザに提示することができれば、ユーザはより効率的に WWW 閲覧を通じた知識獲得を行うことができると考える。我々はこれまでに、ユーザとのインタラクションを通じてユーザが注目する WWW 上の情報を獲得して構造化し、それを用いてユーザの知識獲得を支援するシステム MindHeap の実装を進めてきた。MindHeap は WWW とユーザとの間にあって両者を仲介する知識

レベルでのインタフェースとして振る舞い、ユーザが WWW を閲覧しながら注目する情報をマークしていくだけで、システムは得られた情報をユーザ個々の文脈に応じて自動的に構造化し、ユーザはそうした情報を利用することで更なる知識獲得を行うことができる。本論文ではこのシステムの実装と評価実験の結果について述べる。

2. 文書閲覧を通じた知識獲得

2.1 個人的知識

文書閲覧を通じた知識の獲得のプロセスを考える上で、本研究では個々のユーザがもつ個人的な知識に注目する。人間の知識には、一般に常識といわれるもののように万人によって共有される知識もある一方で、我々の個人的経験や興味・関心に由来する個人的な知識もまた存在している。例えば「ヒノキ」というキーワードを複数の人に与えた場合のことを考えてみる。花粉症に悩まされた経験がある人なら「ヒノキ」という概念は花粉症と分かちがたく結び付いた概念であろう。しかし、これから家を建てようと考えている人にとってみれば「ヒノキ」を家の建材と考えてヒノキ風呂を思い浮かべたりするかもしれない。このように、それぞれの人間の経験や興味・関心によって知識の想

[†] 東京大学人工物工学研究センター，東京都 RACE, The University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8904 Japan

^{††} 国立情報学研究所，東京都 National Institute of Informatics, 2-1-2 Hitotsubashi, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-8430 Japan

起のされ方は異なるのであり、本論文では、このような個人によって異なる概念間の連想的想起のつながり方やその強さの構造を個人的知識と呼ぶ。個人的知識は、人間の知識獲得のプロセスにおいて重要な役割を果たしていると我々は考えている。こうしたユーザの個人的知識を計算機上にモデル化しそれを利用してWWW上の情報を組織化することができれば、ユーザの自然な連想に沿った形で情報を提示することにつながり、ユーザの効率的な知識獲得に寄与するものと考えるのである。

2.2 知識の文脈

個人的知識を考える上で重要となるのが文脈である。文脈という語は研究者によって様々な意味で用いられているが[1]、本研究ではその語意を広義にとらえ、ある事柄の背景や周囲の状況を指すものとする。

文脈に注目した研究は、これまでも情報検索の分野において行われている[2]~[5]。ユーザが検索エンジンを用いて情報を検索する過程では、ユーザがフォームに入力する検索語以外にも、明示的には入力されないものの暗黙のうちに前提となる検索の文脈が存在する。こうした暗黙的な検索の文脈を顕在化させ、それを用いてユーザの検索エンジンへのクエリーを補完すれば、検索エンジンはユーザが求める情報に効率的に到達できる、というのがこれらの研究のアプローチである。これらの研究では、文脈はユーザの検索意図を汲んだクエリーを生成するために用いられるが、本研究では、個人が知識を獲得していく際の場面・状況に関する情報として文脈をとらえ、こうした場面・状況的文脈を用いて知識を組織化することを試みる。

我々の個人的知識は、日々の具体的な経験を通して獲得されるものであり、したがって我々は必然的に人それぞれの文脈、すなわち個人に固有の背景や状況のもとで知識を獲得している。再び2.1で挙げたヒノキの例を用いるならば、花粉症に悩まされたことがある、という経験、あるいはこれから家を建てようと考えている、という関心事や状況が、その人にとっての「ヒノキ」という概念の背景となる文脈をなしているということである。このように考えれば、個人的知識を個人的ならしめているのは人それぞれに異なる日常的文脈であるということが出来る。こうした知識のもつ文脈の重要性の指摘は以前からなされており、例えば野中らは、そのナレッジマネジメントの研究の中で、個人の知識がどういった文脈を通じて獲得されたか、ということに注目すべきであると述べている[6]。

認知科学分野の研究によれば、人間の記憶の内部には記憶すべき項目とは全く無関係な周辺の情報が無意識のうちに多数記憶されており、それが再生の際における有効な手掛りになること、また、人は現在の状況と過去の経験との間の類似に基づいて認知活動を行っていることが知られている[7],[8]。このような、人間がある事柄を記憶しようとするときに、暗黙裡に記憶の中に取り込まれた記憶の周辺の情報が文脈であり、記憶同士はその文脈を手掛りとして互いに想起し合う関係にあるものと考えられる。

2.3 文書閲覧を通じた知識獲得

WWWの閲覧もまた今や日常の具体的経験であり個人的知識獲得のプロセスである。本研究ではWWWの閲覧を通じた知識獲得を研究の対象として扱っているが、こうした文書閲覧を通しての知識獲得を考える場合、文書の書き手の思惑と読み手の思惑には違いがあるということに注目すべきである。文書にはその書き手の主張や力点が含まれている。しかし、大抵の場合、我々はそうした書き手の主張に注目して読むよりも、むしろ読み手自身がもっている個人的知識を投影しながら文書を読むことが多い。すなわち、たとえ同じ文書を読んだとしても、読み手が異なれば文書中の記述から想起される思考や文書中で注目する部分も異なると考えられる。例えば我々が紙媒体の本を読む場合、読み手が異なればアンダーラインなどのマーキングをする部分や余白への書込みの内容などには人それぞれ違いがあるであろう。これは読み手それぞれが、それまでに自分の内に蓄積してきた個人的知識を文書内容の理解の手掛りとしながらテキストを読解した結果そうなっているのである。

ここで注目すべきなのは、文書閲覧を通じた知識獲得の局面において、自分がそれまで蓄積してきた個人的知識を利用しているということである。すなわち、我々は過去に得た個人的知識を利用して新たに知識を得ているということであり、そしてそのとき得た知識は、後日また別の知識獲得の機会に文書読解の手掛りとして活用されるのである。このように考えれば、我々の日常の知識獲得活動は、知識を用いて知識を得るというスパイラルをなしているということができる。

3. システムの設計と動作

2.で行った考察から、システムが実装すべき要件は以下のとおりである。

まず第1点は、ユーザの個人的知識の手掛りとなる

情報を利用することである。個人的知識はユーザが自分の脳裏にもつものである。したがって、システム側がユーザの個人的知識に沿った形で情報を検索・提示するためには、ユーザの個人的知識を何らかの手掛りを用いて計算機内にモデル化する必要がある。そのためには、システムはユーザとの間でインタラクションを行い、個人的知識のモデル化のための手掛りとなる情報を入力として受け取らねばならない。

第2点は、個人的知識がもつ暗黙的な文脈を考慮することである。個人の知識空間を計算機内にモデル化するときに、ユーザから明示的に入力される情報だけを用いるのではなく、周囲の状況などの暗黙的な情報をも用いる必要性が指摘されている [9]。また、2.2 で述べたように、個人的知識を考える上でその文脈は不可分のものである。したがって、システム内部の個人的知識のモデルは知識がもつ文脈と結び付けられている必要がある。

第3点は、モデル化した個人的知識をユーザが新たに知識を得るために活用することである。2.3 で考察したように、我々の日常の知識獲得活動は、それまでに得た知識を用いて新たに知識を得るというスパイラルをなしていると考えることができる。システムがユーザの個人的知識をモデル化するのはまさにこの循環を円滑にするためであり、システムは、内部にモデル化された個人的知識を活用して情報を組織化・検索した上で、出力としてユーザに提示しなくてはならない。

これらの点を踏まえて試作したシステム MindHeap は、ユーザとのインタラクションを通じてユーザの個人的知識を反映した構造をシステム内に構築し、それを用いてユーザの個人的知識に沿って情報をユーザに提示するシステムである。それぞれのユーザに対して個人化された情報提示を行う手法として内容ベースフィルタリング (Content-Based Filtering) [10] があるが、本研究では文書の内容よりも個人的知識の構造化の方に焦点をあてる。

図1は MindHeap の動作画面である。システムは基本的には通常の WWW ブラウザと同様に振る舞うが、このブラウザにはシステムとユーザとのインタラクションを行う機能が備わっており、ユーザはこのブラウザ上で、文書中の注目する部分をなぞって入力することができる。この入力を繰り返していくと、入力とその文脈に基づいて個人的知識構造が自動的に整理・組織化され、システムはユーザに対して様々な形

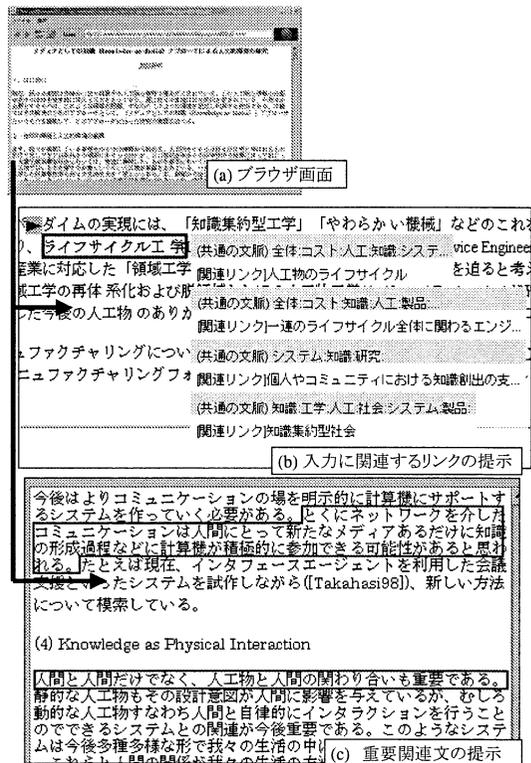


図1 システム動作画面
Fig. 1 Screenshots of the system.

で情報を提供しユーザの知識獲得を支援する。

以下、順を追ってシステムの機能を述べる。

ユーザはブラウザ画面 (図1(a)) 上に表示されたテキストから、自分にとって重要であると考えられる部分をマウスでドラッグすることによってシステムに示すことができる。システムはなぞられた範囲の文字列を切り出し、その Web ページの URL とともに入力として記憶する。これは、2.3 で例に挙げたような、我々が日常的に行っている紙媒体の文書に対する書込みを模したものであり、ユーザに認知的負担がかからないよう配慮したものである。計算機を用いてユーザの知的活動を支援するシステムの構築を考える場合、システムの操作が煩瑣となると、操作のたびにユーザはその思考を中断されてしまう。これでは知的活動を妨げてしまうことになり本末転倒である。したがって MindHeap では、このようなできるだけ簡便な入力手法をとった。

こうして取得された情報を利用して、MindHeap はユーザに対して連想的に情報を提示することで知識獲

得の支援を行う。情報の提示は、ユーザの入力に対して関連する Web ページへのリンクを提示することによって行われる。システムは、ユーザが画面上で語句を入力すると同時に、入力されたフレーズに関連する Web ページへのリンクをブラウザ画面上に出力する。図 1 (b) はリンク提示の例である。ここでは、ユーザが入力した「ライフサイクル工学」という語句について、「人工物のライフサイクル」や「知識集約型社会」など、過去の入力語句中からそれに関連するものをハイパーリンクとしてブラウザ画面上に提示している。このとき、入力された語句と提示される語句とを媒介する共通の文脈もまた画面上に表示される。図の例では、ここでの入力「ライフサイクル工学」と提示「知識集約型社会」は、「知識」「工学」「人工」「社会」などといった共通の文脈を媒介として関連していることがわかる。また、入力された文字列の左上にある三角形のアイコンをクリックすることによって、入力された文字列中に含まれる名詞と本論文中で後述する文脈語とを組み合わせる検索クエリーを生成し、検索エンジンに送信することも可能である。

更に、MindHeap は、ユーザの効率的な知識獲得を支援するために、ブラウザ上に表示中の文書からユーザにとって重要であろうと想定される文を抜粋して表示することができる (図 1 (c))。システムは、表示中の文書に含まれる各文について、計算機内にモデル化されたユーザの個人的知識構造を用いてそれぞれ重み付けを行い、その重みの大きい文を枠で囲んで表示することによって、ユーザが自らの興味・関心に応じて文書の概要を把握することを支援することができる。

4. システムの実装手法

4.1 個人的知識のモデル化

MindHeap は、ブラウザ画面上からの入力によって得られた情報に基づき、計算機内にユーザの個人的知識を反映した構造をモデル化する。個人の知識や嗜好を計算機上にモデル化し、それをを用いてユーザを支援システム内部の知識構造は、図 2 に示すように大きく二つの階層からなる。(a) は知識モデルの全体構造、(b) は知識モデルの要素となる知識ユニットである。MindHeap 内の知識構造は、図 2 (b) に示したようなまとまりを一つの知識ユニットとし、全体としてはこのユニット同士が更に結び付けられた形態、すなわち、入力フレーズと文脈語という 2 種類のノードが重み付けされたリンクで結ばれたグラフ構造を形成し

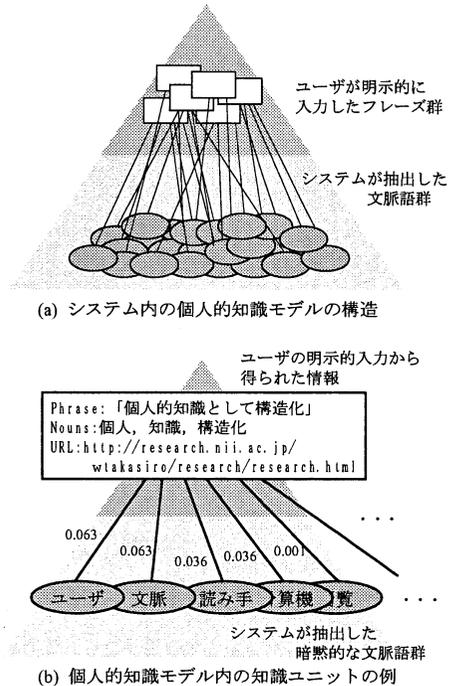


図 2 システム内の知識構造
Fig. 2 Structure of personal knowledge.

ている。このように、個人の知識空間をグラフ状の構造で表現する研究として前田らの研究 [11] があるが、本研究では、後述するようにユーザからの入力に対してその周辺の文脈語を抽出し利用しているという点が異なっている。

図 2 (a) 中の上部にあるのは、ブラウザ画面上での入力によって獲得されたユーザからの入力の集合である。このようなユーザによって入力された文書中の文字列は、ユーザが明示的に興味・関心をもってそこが重要であると明らかにしたものであり、その文字列中に含まれる概念はユーザの個人的知識の一部としてその脳裏に記銘されたものと考えることができる。したがって、入力された文字列はシステム内部の個人的知識モデルを構成する主要な要素となる。

このとき、入力された文字列から名詞を抽出してそれを別に保持しておき、システム内での処理を軽減するために実際の処理ではこの名詞集合を用いる。

図 2 (a) 中の下部にあるのは、ユーザの入力に応じてシステムが自動的に抽出した、ユーザの入力に対する文脈の集合である。2.2 で既に述べたように、本研究では、文脈のある事柄の背景や周囲の状況を指すも

MindHeapは、こうした問題を解決するためのひとつの提案である。このシステムを利用することによって、ユーザ (=Webテキストの読み手) は、自分の「閲覧」文脈に興味に応じて、次に読みたいようなページへのリンクを得ることができる。ユーザが、現在閲覧しているテキストのなかから興味をひかれた部分をマウスでなぞって入力すると、システムはユーザが閲覧中のページやこれまでの閲覧履歴をもとに、その入力の文脈となる情報を抽出し、入力とそれに伴う文脈をひとまとまりの単位として(計算機内に格納する。入力がなされるたびに計算機内に格納される情報は増大し、それは次に文脈の共通部分を介して結びつき、個人的知識として構造化される。そしてシステムは、それに応じたリンク先をユーザ自身の過去の入力の蓄積から提示したり、文脈に応じた検索フォームを自動的に生成して検索エンジンに送信したりすることができるようになる。

図 3 ユーザの入力と文脈

Fig. 3 Extraction of contextual words associated with the marked phrase.

のとしてとらえているが、この定義に従えば、上に述べたユーザの明示的入力に対する文脈として、入力がなされた文書中においてなぞりによって入力された範囲の周辺に散らばる情報を考えることができる。例えば図 3 のような文書において、ユーザが「個人的知識として構造化」というフレーズに注目し、マウスでなぞることによって入力したとする。その場合、システムはそのなぞられたフレーズの周辺に出現する出現頻度の高い語、図中における「ユーザ」「閲覧」「文脈」などの語に注目する。MindHeap では、このような入力の周囲に散らばる情報をユーザの入力に対する暗黙的な文脈と考え、システムは文書を形態素解析してこれらの語の集合を抽出し、それをユーザの入力から得られた情報に結び付けて一つのまとまった知識ユニットとして保存する(図 2 (b))。入力語句と文脈語のそれぞれは重みを付与されたリンクで結ばれている。リンクの重みには、入力がなされた文書中での文脈語の出現頻度をそれまでの閲覧履歴中での出現頻度で修正したものをを用いている。

文脈獲得の際、次の 2 点を考慮する。

- 入力がなされた時点での周囲の情報：ユーザの注目による入力がなされたときに閲覧されていた文書は、その入力の背景となる周囲の状況とみなすことができる。したがって、システムはそこからの状況的文脈の抽出を行う。

- 入力がなされるまでの閲覧の履歴：同じページを見ていたとしても、どんな閲覧履歴をたどってそれを見ているかによって、そのページがユーザに与える印象は異なる。すなわち、ユーザの閲覧履歴は、周囲

の状況からユーザが受け取る状況的文脈を左右する要素であるといえる。

具体的な手順を以下に示す。まず、システムがドラッグされた文字列をユーザからの入力 I として受け取ると、システムはそれを形態素解析して^(注1)入力文字列に含まれる名詞の集合 I_N を求める。

$$I_N = \{w : w \text{ は名詞}, w \in I\} \quad (1)$$

ユーザからの入力は必ずしも単語単位でなされるわけではないので、こうすることで文脈獲得処理のロバスト性向上を図っている。次に、現在表示中の文書 D から、入力文字列 I に対する結び付きが強いと考えられる語を抽出する。先に求めた集合 I_N をもとに、ユーザからの入力 I から見た、文書中 D に含まれる単語 w' の結び付きの強さを次のように定義する。

$$C_w = \sum_{w' \in I_N} co(w, w') \quad (w' \text{ は名詞}, w' \in D) \quad (2)$$

$co(w, w')$ は、単語 w と w' の間の共起度である。語の共起関係から結び付きの強さを求める手法としては、相互情報量を用いる手法も考えられるが、ここでは計算の簡便のため、また共起関係算出の対象となる文書が現在閲覧中の文書に限られているために、単純に共起の頻度を用いる。Miller の研究[12]によれば、人間の短期記憶が扱うことができる意味のまとまりの単位(チャンク)は七つ前後であることが知られている。したがってここでは、文書 D 中において、 w と w' が連続する 7 単語以内に出現する場合にはユーザは両者を同時に認識し、両者が共起したとみなすものと考え、その回数を数え上げてその値を $co(w, w')$ にあてた。次に、得られた共起の組のうち C_w の値で上位 30 の語の集合を W_c として切り出し、これを正規化する。上位 30 語を切り出すのは、ノイズを排除するためである。

$$C'_w = \frac{C_w}{\sum_{u \in W_c} C_u} \quad (w \in W_c) \quad (3)$$

得られた C'_w が、入力時に表示されていた文書 D から抽出された、語 w の入力 I に対する状況的文脈としての重みである。次に、こうして求められた状況的文脈の重みについて、それをこれまでの閲覧履歴に

(注1)：形態素解析には、奈良先端科学技術大学院大学の自然言語処理学講座によって開発された『茶釜』(<http://chasen.aist-nara.ac.jp/>)を用いた。

基づいて強調する。

システムは、表示中のページの前にユーザが閲覧していた過去 5 ページに出現した名詞のうち、出現頻度上位の一定数の語について、その頻度に応じて重み付けされた集合を保持している。過去 5 ページの間に出現した名詞 w について、その出現回数を F_w とする。ただし計算の簡便のために、出現回数の少ない語については 0 を与えた。これを用いて、 C'_w について、その重みの調整を行う。

$$F'_w = \frac{F_w}{\sum_{u \in W_c} F_u} \quad (w \in W_c) \quad (4)$$

$$Ch_w = C'_w(F'_w + 1) \quad (5)$$

$$Ch'_w = \frac{Ch_w}{\sum_{u \in W_c} Ch_u} \quad (w \in W_c) \quad (6)$$

Ch'_w が調整後の重みである。この結果、文脈リスト W_c の要素の語が履歴において出現頻度が高ければ、 W_c におけるその語の重み Ch'_w は重くなる。システムは、この Ch'_w の重みの上位 30 語を、図 2 のような形式で入力 I に結び付けて保存する。

ユニットの結合は文脈語を介して行われる。すなわち、共通の文脈語をもつユニット同士は、その文脈語を共有することによって互いに結合する。例えば図 4 では、「個人的知識として構造化」という知識ユニットと「言語知識の自動獲得」という知識ユニットは、それぞれ「知識」「獲得」「ユーザ」という共通の文脈語をもつが、グラフ構造上でそれらの文脈語ノードを共有することによって結合している。図 4 中に見られるリンクには、既に述べたようにそれぞれ重み付けがなされているので、その重みを用いて、ユニット同士の

結合の強度を以下の手順で求めることができる。

まず、任意の知識ユニット X について、 X における文脈語リスト W_c を $W_c(X)$ 、その重み Ch'_w を $Ch'_w(X)$ とする。

次に、知識ユニット A と B について考えるとき、両者が共有する文脈語の集合 $W_c(A, B)$ を

$$W_c(A, B) = W_c(A) \cap W_c(B) \quad (7)$$

と定義する。これを用いて、 A と B の結合の強度 $R(A, B)$ は次のように求められる。

$$R(A, B) = \sum_{w \in W_c(A, B)} Ch'_w(A)Ch'_w(B) \quad (8)$$

4.2 ユーザへの情報提示

4.2.1 関連 Web ページへのリンクの提示

提示される関連リンクは次のようにして求められる。まず、ユーザによる入力となされると、それをもとに 4.1 で述べた処理を通して知識ユニットが作成され(図 2(b)), システム内の個人的知識モデルの構造に加えられる。このとき、新たに加えられた知識ユニットと共通の文脈語をもつユニットが知識構造内であれば、加えられたユニットは、文脈語ノードを介してそれらのユニットと図 4 で見た要領で結合する。このようにして結合したユニット同士は互いに関連するものと考え、システムはそれらの間の結合の強さを式(8)のようにして求め、その値の大きい順に最大四つの知識ユニットについて、その入力フレーズを画面上に提示する。既に述べたように入力となされた Web ページの URL を取得しているため、これら画面上に提示されたフレーズは Web ページへのリンクとして機能しており、ユーザはそれをクリックすることでそのフレーズが入力された Web ページへ飛ぶことが可能である。

4.2.2 個人的知識を反映した重要文の抜粋

文書中の各文に対する重み付けの手法を以下に示す。

個人的知識モデルは図 2(b) に挙げたような知識ユニットの集合として考えることができる。この知識ユニットの集合を U とする。このとき、表示中の文書内にある任意の文 s について、その重み W_s を次のように計算する。

$$W_s = \sum_{u \in U} w(s, u) \quad (9)$$

ここで、 $w(s, u)$ は、文 s に対して知識ユニット u

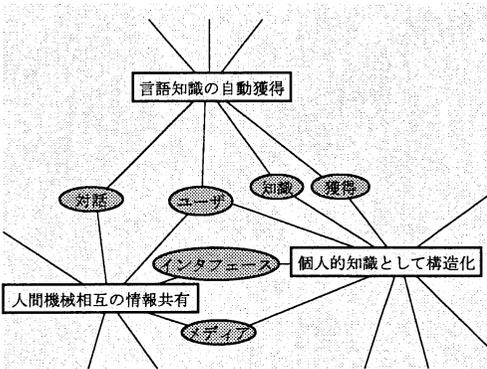


図 4 文脈語を介した結合

Fig. 4 Combination of phrases via contextual words.

が付与する重みである．これは次のようにして求める．

まず，文 s について，その中に含まれる名詞を抽出してその集合を N_s とする．次に，知識ユニット u の名詞の集合を N_u ，また u がもつ文脈語の集合を C_u とする．このとき， N_s と N_u との間に共通する語の集合 N_{co} ，また N_s と C_u とに共通する語の集合 C_{co} を求める．

$$N_{co} = N_s \cap N_u \quad (10)$$

$$C_{co} = N_s \cap C_u \quad (11)$$

N_{co} と C_{co} を用いて， $w(s, u)$ を求める．

$$w(s, u) = |N_{co}| \sum_{c \in C_{co}} f(u, c) \quad (12)$$

ここで， $f(u, c)$ は，知識ユニット u における文脈語 c に対する重みである．

このようにして文書中の各文ごとに個人的知識構造を用いて重み付けを行い，その重みの大きいものをユーザに提示する．

5. 評価実験

5.1 実験の概要

提案した手法の有効性を検証するために，システムを実際にユーザに用いてもらい，2回の実験を行った．1回目の実験参加者は5名，2回目の実験ではより多くのデータを集めるために17名の協力を仰いだ．彼らはいずれも日常的にWWWの閲覧を行っている．実験参加者には，まずMindHeapを用いてWWWブラウジングを行ってもらい，閲覧した文書の中から自分が注目する箇所を20前後なぞりによって入力するように依頼した．ただし，実験の都合上，システム側の設定によって閲覧できるページをあるドメイン内部に制限している^(注2)．

入力が終わったあと，システムからのユーザへの情報提示の内容について評価を求めた．まず，4.2.1に述べたリンク提示機能に対して評価を求める評価1を行った．続いて，1回目の実験の参加者5名に対しては，4.2.2に述べた重要文抜粋機能に対する評価を求める評価2を行った．

また，評価の簡便のため，4.2.1で述べたようにユーザの入力に対してその場で関連リンクを提示するのではなく，先に入力フェーズとしてまず入力だけを行い，その後で評価フェーズとして各入力に対する関連リンクの一覧や抜粋された重要文を提示し，評価す

(19) シースルーHMD

(19-1) 蒸着型ARディスプレイ	(19)と関連があるかどうかを5段階で評価してください。
(19-2) CCDカメラ	(19)と関連があるかどうかを5段階で評価してください。
(19-3) 情報共有	(19)と関連があるかどうかを5段階で評価してください。
(19-4) 画像処理	(19)と関連があるかどうかを5段階で評価してください。

(20) パターン認識

(20-1) 知識表現	(20)と関連があるかどうかを5段階で評価してください。
(20-2) 自然なインタフェース	(20)と関連があるかどうかを5段階で評価してください。

(21) 電子商取引

ほかのフレーズとの関連を見出せませんでした。

図5 提示リンクの関連性評価の画面
Fig.5 Screenshot of relevance evaluation.

るようにした．

おおよそ所定の数の注目点を入力してもらった後に質問紙を配布し，評価を依頼した．

5.2 評価1：提示リンクの関連性

評価1については，2回の実験を行っている．実験前の説明として，1回目の実験については特に前提を与えず，設定された範囲内で自由に閲覧してもらったが，2回目の実験では，実験の前提のあいまいさをなくすために「あなたの研究上の興味・関心に従い，注目する部分をなぞってマーキングしてください」と，マーキングするときどのような場所に行くかについて，1回目の実験よりも具体的な指示を与えた．また，両方の実験とも，マーキングの要領について「紙の文書にアンダーラインを引いたりするような要領で…」と，紙媒体の文書を比喻に挙げて説明を行った．2回目の実験では参加者が閲覧したページ数を取得したが，平均すると，参加者らは延べ72ページ，重複を除くと51ページを閲覧している．

まず，ユーザの入力に対してシステムが提示する関連リンクが適切であるかどうかについての評価を求めた．これは，4.1，4.2.1で説明した個人的知識モデル内でのユニット間の連想的想起の手法が有効であるかを検証するためである．評価のために作成した画面を図5に示す．評価する内容をWWWブラウザ上に表示してあり，実際に入力が行われたページへリンクできるようにしている．提示する関連リンクは最大

(注2): aist-nara.ac.jp

表 1 評価 1 でシステムが提示した関連リンクの数
Table 1 Number of the links presented by the system.

	入力数	提示リンク数				
		4 個	3 個	2 個	1 個	なし
参加者 1	20	14	0	1	2	3
参加者 2	23	6	1	6	4	6
参加者 3	20	19	0	0	0	1
参加者 4	18	17	0	0	0	1
参加者 5	31	24	0	3	3	1

4 個までとし、式 (8) で求めた、個人的知識モデルのグラフ構造におけるリンクの重みから計算された関連性の重みの大きい順に、提示 1~4 として提示した。ただし関連するリンクが見つからない場合やあっても関連性の重みが一定のしきい値を下回る場合などもあり、必ずしも 4 個提示されるとは限らない。表 1 は、1 回目の実験の参加者 5 名の入力に対して、実際にシステムが提示した関連リンクの数を示したものである。各行がそれぞれの実験参加者に対するシステムの提示状況を示している。例えば参加者 1 の場合、入力フェーズで 20 回入力を行ったが、その 20 回の入力のうち 14 個には図 5 中の (19) のように 4 個の関連リンクが提示されたが、関連リンクが 2 個しか提示されなかった入力が 1 個、入力に対して全く関連リンクが提示されなかった場合が 3 個あるということを示している。

表 1 を見ると、システムがユーザに提示する関連リンクの数には、参加者によってばらつきがあることがわかる。すなわち、参加者 3、参加者 4 の場合のように、ほぼすべての入力に対して関連リンクが 4 個表示された参加者もいれば、参加者 2 のように、関連リンクが 4 個表示されるもの、3 個や 2 個しか表示されないものなどのばらつきがある参加者もいる。これは、参加者 2 が入力したフレーズが互いにあまり関連性のない様々な分野に分散しており、結果として入力フレーズ同士が関連づけられることが少なかったからである。

実験参加者による評価は図 5 に示された画面上の質問に対する参加者それぞれの主観的評価とし、1 回目の実験については 5 段階評価、2 回目の実験については、より詳しく調べるために 7 段階評価とした。ユーザの入力と提示されたリンクとの間に関連があるほど高い点をつけてもらい、全く関連性の認められない場合は 1、として評価を求めた。ユーザによる評価の結果を図 6 に示す。

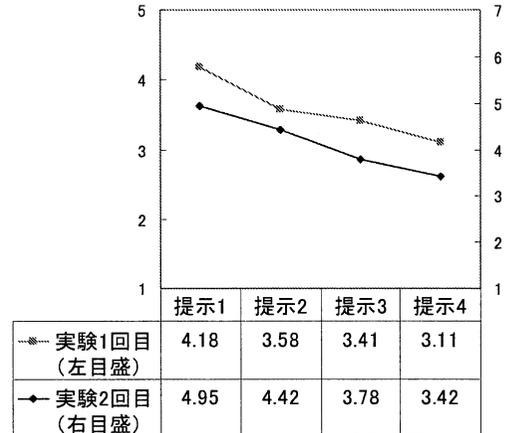


図 6 評価 1 でシステムが提示した関連リンクの評価
Fig. 6 Evaluation of the links presented by the system.

この評価の結果、実験参加者たちが自分が行った入力とシステムが提示したリンクとの間に関連性を認めていること、システムが計算した関連性の重みの順序付けが参加者の認識に合致していることがわかる。評価画面ではシステムが計算した関連性の重みによる順序付けに従い、重みの大きい順に提示 1~4 として提示した。実験参加者の評価を見ると、実験参加者個々の評価を見ると部分的には多少の順序の入換わりがあったものの、全体の平均をとった結果では、グラフは右肩下がり傾向を示しており、これは、システムが計算した関連性の重みの順序付けが、実験参加者の認識に合致していることを示している。

参加者によっては著しく評価点の低い場合も見られたが、これは、実験参加者の入力に対してシステムが抽出した文脈語に一般性の高い語が多く含まれ、それが悪影響を与えたものであると考えられる。MindHeap は、図 4 に示したように文脈語を媒介として同じ語を文脈語としてもつ知識ユニットが相互に結びつく仕組みとなっているが、「情報」「科学」「研究」などといった一般的な語が文脈語となった場合、あまり関連性のない知識ユニット同士が結び付いてしまい、関連リンクとして提示されることになり、この結果、評価点が悪化したものと考えられる。

次に、実験参加者の入力から構築された個人的知識モデルが、ユーザに対してそれぞれの興味・関心に応じた情報の提示ができていたのかどうかを考察したい。

本システムはユーザのもつ個人的知識に注目しており、ユーザに対してはその個人的知識に応じた自然な

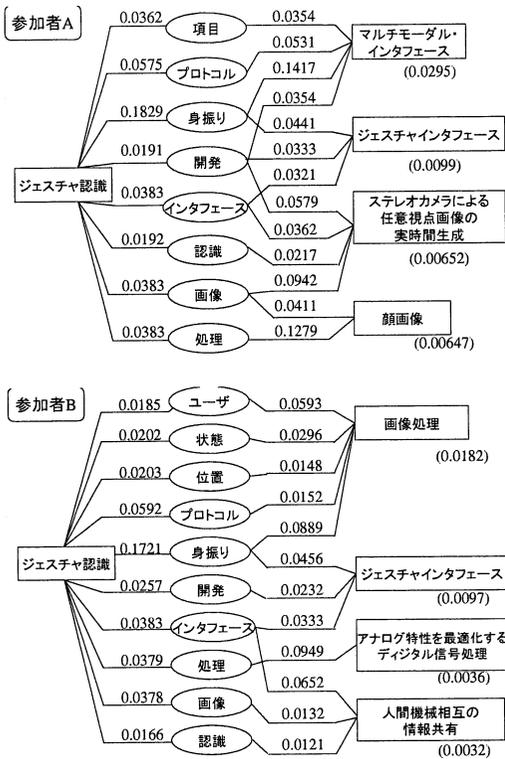


図 7 同一入力に対するリンク提示の違い

Fig. 7 Difference of link presentations to the same input.

想起に沿った情報を提示できなくてはならない。例えば、2.3 で既に述べたように、同じ文書を読んだとしても読み手が異なればそこから想起される知識は異なると考えられる。

実験参加者の入力したデータを調べたところ、1 回目の実験の複数の参加者（仮に参加者 A、参加者 B とする）が、同一のページ^{注3)}で同一の箇所をマークしていた。図 7 は、そのそれぞれの参加者が同じページの同じ「ジェスチャ認識」という箇所をマーキングして入力した場合に対してシステムが内部に構築した、ユーザ個々人の知識構造を表す重み付きグラフの内部状態を示したものである（ただし図中にはここでの説明に必要な要素のみを示している）。左側に示された入力「ジェスチャ認識」に対して、システムは中央に縦に並んだ楕円形で表された各語を文脈語として抽出しており、それぞれに重み付けしている。個々の文脈語に対して与えられる重みは閲覧の履歴によって変化するため、参加者 A、B は同じページの同じ箇所を入力しているが、文脈語に与えられた重みはそれぞれ異

表 2 重要文抜粋機能の評価

Table 2 Evaluation of important sentence extraction.

	各文ごとの評価 (平均)	抜粋文全体としての評価
参加者 1	4.6	4
参加者 2	3.3	3
参加者 3	3.0	4
参加者 4	3.8	4
参加者 5	3.3	4
平均	3.6	3.8

なっている。こうして形成された知識ユニットはシステムに蓄えられたグラフ状の知識構造に追加されるが、このとき、4.1 に述べた要領で知識ユニット同士が文脈語を介して結合し、システムは結合したユニットのそれぞれに対して関連度を算出して関連度の大きい順にユーザへ提示する。こうして提示されたものが図 7 中右側に、参加者 A、B それぞれに対して四つずつ挙げられたものであり、それぞれの下の括弧内の数字は算出された関連度である。実験参加者のそれまでの入力に応じて、システムは参加者 A、B に対してそれぞれ異なるリンクを提示している。

このように、システムはそれぞれの参加者に対して、その閲覧の文脈に応じて文脈語を重み付けして個人的知識モデルを構築し、それぞれに対して異なる関連リンクを提示していることがわかる。

5.3 評価 2：重要関連文抜粋の評価

次に、1 回目の実験の参加者 5 名について、個人的知識モデルをもとに文書中の重要関連文を抜粋する機能について評価を求めた。評価のために用いた Web ページは、今回の実験で実験参加者が閲覧したドメイン内の情報をほぼ網羅的に扱っているであろうと思われるページ^{注4)}である。このページ中から、4.2.2 で述べた手法によって計算された重みの重いもの上位 10 文をユーザに示した。

評価はまず抜粋された各文について、それぞれ実験参加者個人にとって重要な文であるかどうかの評価を評価 1 の 1 回目の実験と同じく 5 段階で評価を求め、最後に、抜粋された 10 文を全体的に見て、それが実験参加者にとって重要であると思われる部分をもとの評価用ページ中から抜粋できているかどうかの評価を求めた。

この評価の参加者それぞれの結果について、表 2 に

(注3): <http://chihara.aist-nara.ac.jp/people/95/tosiyu-k/research/title-j.html>

(注4): <http://isw3.aist-nara.ac.jp/IS/Evaluation98/B1-9.html>

示す。この表では、例えば実験参加者 1 は全部で 10 ある抜粋文のそれぞれに対する評価が平均で 4.6 点、10 の抜粋文全体について、それが重要と思われる部分を抜粋できているかどうかという評価が 4 であったことを示している。

抜粋された 10 文の各文ごとの平均評価は、5 人の参加者を平均すると 3.6 点であった。中には実験参加者 3 をはじめとして、評価の低い場合があることがわかった。これは、重要関連文抜粋の際の文ごとの重み付けの手法に、長い文であればあるほど重みが増していくという問題があったからであると考えられ、実際、様々な単語を多く含む長文に対する評価は低かった。また、用いた手法は基本的に語のマッチングであるために、入力フレーズに含まれる語と同じ語を含んでいるというだけで重みが大きくなり抜粋文として表示される場合があり、それも評価を下げる原因となったようである。

その一方で、抜粋された 10 文を全体的に見たときの評価は、各文ごとの評価平均を上回り、比較的良い値を示している。これらの結果について、次のように考えることができる。すなわち、システムが抜粋して提示した 10 文の個々を見ると、中には実験参加者個人の興味・関心に精確に適合しない文が含まれている場合もあってそれが各文ごとの評価平均を押し下げているが、10 文全体を通してみると、その全体の中には参加者にとって文書の概要を把握する上で有用な文が的確に含まれているものと考えられる。

この評価の結果、MindHeap の重要関連文抜粋機能は、文書中からユーザにとって重要であると思われる部分のある程度的確に抜粋でき、文書の概要把握ができていたことが確かめられた。

6. 関連研究

個人化された情報アクセスの重要性に対する関心は近年高まってきており [13]、本研究のように、ユーザが接した情報を収集してそれを計算機システム内に構造化し、それを利用して個々のユーザに応じた情報を提示することを試みる研究として、Remembrance Agent [14], [15], Haystack [16], WATSON [17], [18] などがある。

Remembrance Agent [14] は、ユーザのもつ個人的なファイルを収集してそれら相互の関連性を求め、それを用いてユーザが操作中の情報に対してそれに関連する情報を提示するものであり、これを Web ブラウ

ジングに適用したものが Margin Notes [15] である。Haystack [16] もまたユーザの振舞いを観察してユーザが接した情報を相互にリンクし、こうした情報をユーザの更なる情報獲得に役立てるシステムである。これらの研究では、ユーザの個人的な情報を蓄積しそれを用いてユーザに情報を提供しようとするアプローチは本研究と共通するが、ユーザの接したファイルそのものを情報源としている点が異なり、また、Margin Notes では、情報の収集と提示はシステムによって完全に自動的に行われている。これに対し、本研究では、ユーザはブラウザ上の文書から注目するポイントをマークするという操作が必要となるが、こうすることにより、ファイルそれ自体を情報源とするよりもユーザの注目点とそれを取り巻く文脈をより明確に知ることができる。

WATSON [17], [18] は、ユーザの振舞いを観察し、ユーザが操作中の情報に対して、その場で関連する情報を提示するシステムである。しかし WATSON はユーザの検索の文脈を獲得することを研究の焦点にあてており、ユーザの振舞いを観察することによって構築されたユーザプロファイルは、ユーザが検索エンジンに対し明示的検索を行った際にそのクエリーを補完する語を見出すために用いられ、こうしてユーザの関心に応じて補完されたクエリーによる検索結果がユーザの知的作業の支援に役立つというアプローチである。一方、本研究において構築する個人的知識構造もユーザのプロファイルの一種とみなすことができるが、この構造は検索クエリーの補完というよりは、ユーザが過去に触れたことのある情報を自動的に組織化・構造化するために用いられ、そのようにして情報をユーザの個人的知識構造に応じて整理することで知的作業を支援することを試みている。

7. むすび

本論文では、計算機上にモデル化したユーザの個人的知識を利用してユーザの知識獲得を支援するためのシステム MindHeap の実装について述べた。本システムの特徴は、WWW ブラウジングという日常的行為を通じた知識の獲得と利用のプロセスをスパイラル的に進めることができる点である。こうした特徴のすべてを実験的に検証することは困難であるが、本論文では小規模な実験によって知識の獲得と利用の両面において一定の有効性があるということを示した。

今後は、より継続的な実験を行うとともに、複数

ユーザの知識共有についても考察する必要がある。

文 献

- [1] 山梨正明, 比喩と理解, 認知科学選書 17, 東京大学出版会, 1988.
- [2] S. Lawrence, "Context in web search," IEEE Data Engineering Bulletin, vol.23, no.3, pp.25-32, 2000.
- [3] K. Bharat, "Searchpad: Explicit capture of search context to support web search," Proc. 9th International World Wide Web Conference (WWW9), 2000.
- [4] V. Anupam, Y. Breitbart, J. Freire, and B. Kumar, "Personalizing the web using site descriptions," DEXA - Workshop on Internet Data Management (IDM), pp.732-738, 1999.
- [5] L. Chen and K. Sycara, "Webmate: Personal agent for browsing and searching," Proc. Second International Conference on Autonomous Agents, pp.132-139, 1998.
- [6] 野中郁次郎, 紺野 登, 知識経営のすすめ, ちくま新書 225, 筑摩書房, 1998.
- [7] エンデル タルヴィング, タルヴィングの記憶理論 — エピソード記憶の要素, 教育出版, 1985.
- [8] 鈴木宏昭, 類似と思考, 共立出版, 1996.
- [9] M. Claypool, P. Le, M. Waseda, and D. Brown, "Implicit interest indicators," Proc. ACM Intelligent User Interfaces Conference (IUI '01), 2001.
- [10] M. Balabanovic and Y. Shoham, "Content-based, collaborative recommendation," Commun. ACM, vol.40, no.3, pp.66-72, 1997.
- [11] 前田晴美, 梶谷和人, 西田豊明, "連想構造を用いた情報整理システム," 情処学論, vol.38, no.3, pp.616-625, 1997.
- [12] G. Miller, "The magic number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information," Psychological Review, vol.63, pp.81-97, 1956.
- [13] 神場知成, 小池雄一, 古関義幸, "情報のパーソナライゼーションとその記述方式," 人工知能誌, vol.14, no.6, pp.936-942, 1999.
- [14] B. Rhodes and T. Starner, "Remembrance agent: A continuously running automated information retrieval system," Proc. First International Conference on The Practical Application Of Intelligent Agents and Multi Agent Technology (PAAM '96), pp.487-495, 1996.
- [15] B.J. Rhodes, "Margin notes: Building a contextually aware associative memory," Proc. International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI '00), 2000.
- [16] E. Adar, D.R. Karger, and L. Stein, "Haystack: Per-user information environments," 1999 Conference on Information and Knowledge Management, pp.413-422, 1999.
- [17] J. Budzik and K. Hammond, "Watson: Anticipating and contextualizing information needs," Proc. ASIS 1999 Annual Conference, 1999.
- [18] J. Budzik and K. Hammond, "User interactions with everyday applications as context for just-in-time in-

formation access," Proc. Intelligent User Interfaces (IUI '00), 2000.

(平成 13 年 7 月 25 日受付, 12 月 17 日再受付)



鷹城 徹 (学生員)

1996 岡山大・文・史学卒。2000 奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科博士前期課程了。現在, 東大大学院工学系研究科博士課程在学中。2000 年 4 月より国立情報学研究所特別共同利用研究員。知識の共有と再利用, コミュニティウェアに関

する研究に従事。人工知能学会学生員。



武田 英明 (正員)

1986 東大・工・精密機械卒。1991 同大大学院工学系研究科博士課程了。1993 奈良先端科学技術大学院大学助手。1995 同助教授。2000 国立情報学研究所助教授, 現在に至る。奈良先端科学技術大学院大学助教授を併任。人工知能特に知識共有, ネット

ワークコミュニティ, 実世界エージェントなどの研究に従事。AAAI, 情報処理学会等各会員。