

ウェブ認知ウォークスルーによるウェブサイトユーザビリティの評価

Cognitive Walkthrough for the Web

北島宗雄

Kitajima@ni.aist.go.jp

独立行政法人 産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門 認知的インタフェースグループ

要約 本稿では、ウェブサイトユーザビリティ評価法のひとつであるウェブ認知ウォークスルー（CWW；Cognitive Walkthrough for the Web）についてその原理と実施方法について説明する。CWWは、Walk-Up-And-Use デバイスを対象としたユーザビリティインスペクション法として開発された認知ウォークスルーをウェブサイトのユーザビリティ評価に適合するように改良したものである。CWWではユーザがウェブサイトをナビゲートする過程をシミュレートしながらユーザビリティの問題を発見する。ここで、ユーザは、ウェブページのなかから注目すべき部分領域を選択し、そこから情報探索ゴールに意味的にもっとも近いリンクを選択するものとしてモデル化される。ユーザビリティの問題の発見は、部分領域の選択、およびリンクの選択が問題なく行えるかどうかの評価を、潜在意味解析（LSA；Latent Semantic Analysis）を利用してゴールとの意味的類似度を求めることにより客観的に行われる。ゴールの記述には、探索すべき情報ばかりでなく、動機や背景知識も含まれる。また、意味的類似度は、ユーザの知識をもっともよく表現する意味空間を選択して行われる。したがって、CWWでは、多様なゴール、ユーザに対応したユーザビリティ評価が可能となっている。さらに、本稿では、現実のウェブサイトをとりあげて、CWWの実施方法を具体的に説明する。

キーワード： 認知ウォークスルー、ウェブサイトユーザビリティ、認知モデル、ウェブナビゲーション、潜在意味解析

1. はじめに

インターネットを利用して必要な情報を探し出せるようになってきている。しかしながら、Spoolら[33]が行ったウェブユーザビリティの調査によれば、そのサイトに探している情報があるのがわかっていながら探し当てるのに失敗する場合が50%を超していた。また、別の調査では、サイトサーチエンジンを利用してサーチを行った場合の情報探索成功率が30%、また、サーチエンジンを利用しなかった場合の成功率が53%であった[26]。サイトサーチエンジンはどのようなサイトにも備えられている。しかし、優良なウェブサイトではユーザがそれに頼らずに目的としている情報にたどり着けるように努力している。この結果はそのような現実と符合している。しかしながら、成功率は非常に低く、現在のウェブサイトのデザインがユーザの情報ニーズに十分にこたえることができていないことを示している。

情報にたどり着くための経路がたとえ存在していても、ユーザがその経路を容易に見つけなければユーザビリティにおける問題があることになる。上記の調査結果は、多くのサイトがこの問題を抱えていることを示している。ユーザの情報ニーズを充足できないことから来る問題は深刻である。情報提供を行いたいサイトにとっては潜在的な顧客を逃してしまうことにな

る。ユーザにとっては、効率よく探し出せないことによる時間的な損失ばかりでなく、そのサイトに存在している可能性の高い、求めている情報以外の有用な情報を獲得する機会を失うことにもなる。

上記の調査結果[26]が示すように、目的としている情報にたどり着くためにはサイトのホームページからリンクをたどっていくのが有効である。したがって、ウェブサイトのユーザビリティを向上させるためには、ユーザが目的としている情報にたどりつく確率を高めることがきわめて重要となる。本稿では、そのような観点からウェブサイトの評価してユーザビリティの高いウェブサイトの構築を支援するウェブサイトユーザビリティ評価法「ウェブ認知ウォークスルー（CWW；Cognitive Walkthrough for the Web）」について説明する。CWWは、ユーザビリティインスペクション法[25]のひとつであり、ユーザの情報探索行動を認知モデルに基づいてシミュレートすることによってウェブサイトの各ページのユーザビリティ評価を行う。ここでとるアプローチは、インターネット関連技術によって最終的にはユーザとのインタフェースであるウェブブラウザ上に提供される情報を、そのユーザビリティについて人間の側から評価する人間中心のアプローチである。

なお、本稿は、筆者とコロラド大学認知科学研究所の研究者が、CHI2002（ACM SIGCHI主催の国際会議）において“Cognitive Walkthrough for the Web”と題して

発表する内容[3]をもとに、認知モデルに基づいたユーザビリティ評価に関する理解が深まるように、説明を加えたものである。

本稿は次のように構成されている。2.では、CWWの原型である「認知ウォークスルー」について説明する。3.では、CWWの基礎となっている認知モデルについて説明を行い、CWWを定式化する。また、ウェブにおけるユーザ行動のモデルとデザイン評価ツールについて概観し、CWWの特徴を述べる。4.では、例を用いてCWWの実施方法を詳しく説明する。最後に、5.では、CWWをデザインツールとして実用化するために残されている課題を挙げる。

2. CWWの原型：認知ウォークスルー

ウェブ認知ウォークスルー（CWW；Cognitive Walkthrough for the Web）は、ATM（現金自動預払機）などのWalk-Up-And-Use機器のユーザビリティ評価を行うために開発された認知ウォークスルー（Cognitive Walkthrough）[20][31][36]の手続きの一部をウェブユーザビリティ評価に適するように手直したものである。認知ウォークスルーではWalk-Up-And-Use機器をユーザがどのように使うかということに関する認知モデルである探査学習のモデルに基づいて、デザイン中の機器をユーザが使う過程をシミュレートしてユーザビリティ評価を行う。以下では、探査学習のモデルについて簡単に説明し、認知ウォークスルーの概略を述べる。なお、詳しい解説については、[21]を参照されたい。

2.1. 探査学習の理論

探査学習の理論は、以下に示す4つの部分からなる簡単なモデルである[30]：

- 1) **目標の設定**：ユーザはまず何を達成したいのか、つまり、タスクに関する大ざっぱな記述を行う。

- 2) **探査**：ユーザは現在のタスクを遂行するのに有効なアクションを発見するためにシステムのインタフェースを探査する。
- 3) **選択**：ユーザは現在のタスクを遂行できると考えられるアクションを選択する。この選択は、しばしば、ユーザが行おうとしていることと、インタフェースにおけるアクションの記述との適合度に関する評価に基づいてなされる。
- 4) **評価**：ユーザはタスクが進展しているかどうかの評価を、システムの応答を理解していま実行したアクションが正しい選択であったかどうかを判断することにより、また、次の正しいアクションの手がかりが得られるかどうかによって行う。

ユーザは、始めに目標を設定し、そして、探査、選択、評価のステップを目標が達成されるまで繰り返す。

たとえば、PHSの着信音量を小さくしたいときのユーザの行動を探査学習のモデルにしたがってシミュレートすることができる。ユーザはジョイスティックを使ってメニューを選択して図1に示した状態に至っている。ここで、ユーザは、パネルを探査し、ジョイスティックを左方向に動かす操作を選択する。これは、液晶ディスプレイの音量インジケータの値を小さくするということと、その方向にジョイスティックを動かすという操作が適合しているからである。しかし、ジョイスティックを左に動かしても音量インジケータは変化しない。そこで、タスクが進展していないと評価する。再度、パネルを探査し、ジョイスティックの上部に「音量」ラベルがあるのを見つける。そして、ジョイスティックを下に動かす操作を選択する。コントロールの下方向への移動と音量の減少が対応するからである。操作を実行すると、音量インジケータの目盛りが小さくなるので、目標が達成されたと評価する。

表 1. 認知ウォークスルーの質問項目

質問1：	正しい操作が、ユーザに明確にわかるようになっているだろうか。
質問2：	ユーザは、正しい操作の記述と、達成しようとしていることを関係づけられるだろうか。
質問3：	ユーザは選択した操作に対するシステムの応答を正しく解釈できるだろうか。つまり、正しい選択をしたかがわかるだろうか。

表 2. ウェブ認知ウォークスルーの質問項目

質問1：	（認知ウォークスルーと同じ；表1参照）
質問2a：	ユーザは、見出し情報とユーザのページレイアウトに関する知識を用いて、正しい部分領域と、達成しようとしていることを関係づけられるだろうか。
質問2b：	ユーザは、リンクラベルと他の記述的情報を利用して、選択した部分領域内の正しいウィジェットと、達成しようとしていることを関係づけられるだろうか。
質問3：	（認知ウォークスルーと同じ；表1参照）



図 1 音量調節操作に認知ウォークスルーを適用する

2.2. 認知ウォークスルーによる分析

認知ウォークスルーによるユーザビリティ分析では、インタフェースデザイナーは、ユーザ行動のシミュレーションを探索学習のモデルにしたがって実行し、探索、選択、評価の各ステップにおいて表 1 に示した質問に答える。答えが「いいえ」となる場合にはそこにユーザビリティの問題が存在することになる。

前述の音量調節タスクにこの質問を当てはめてみる。まず、質問 1 に対する答えは「はい」である。写真に示した状態にはジョイスティックを使ってたどりついた。したがって、ユーザは音量調節をジョイスティックで行おうとする。質問 2 に対する答えは「いいえ」である。「音量」ラベルは見つけにくいので、ユーザはそれに気づかないだろう。その場合には、音量インジケータの目盛りを左右に移動させるという目標と、ジョイスティックの上下方向の移動を関連付けることは難しい。このようにしてデザインの問題が発見され、次のデザインサイクルで解決が図られる。この例では、音量インジケータの向きを上下方向に変更することが考えられる。

2.3. 認知ウォークスルーをウェブサイトデザイン評価に用いる場合の問題点

現行の認知ウォークスルーもウェブサイトの評価に利用されている[9]。しかし、Walk-Up-And-Use 的な使われ方をしている情報機器のための認知ウォークスルーでは、ユーザが採用する可能性のあるすべての操作経路をシミュレートする必要があるため、インタフェース仕様が確定し実際の操作を忠実にシミュレートできるモックアップやプロトタイプを準備してユーザビリティ評価を行う必要がある。また、ユーザのゴールはインタフェースオブジェクトの操作が中心となる。

一方、ウェブサイトデザインでは最初からサイトの

すべてを決定しておいてサイトのユーザビリティ評価を行うのは現実的ではない。また、ユーザの主要なゴールは求めている情報が掲載されているページにたどり着くことである。このような相違があるために、認知ウォークスルーが十分にウェブサイト評価に適合しているわけではなかった。

3. ウェブ認知ウォークスルーの原理

探索学習の理論にしたがってユーザ行動をシミュレートして認知ウォークスルーを行ったように、ウェブ認知ウォークスルーでは、ウェブナビゲーションの認知モデルにしたがってユーザのウェブナビゲーションをシミュレートしウェブサイトデザインを評価する。ウェブ認知ウォークスルーでは、表 1 の質問 2 をウェブナビゲーションの認知モデルにしたがって表 2 に示した質問 2a、2b に変更してウォークスルーを実施する。本章では、ウェブナビゲーションの認知モデルについて説明し、質問 2a、2b の導入の背景を説明する。また、関連研究について述べ、ウェブナビゲーションの認知モデル、ならびにウェブ認知ウォークスルーの特徴について説明する。

3.1. ウェブナビゲーションの認知モデル：CoLiDeS

3.1.1. CoLiDeS モデルの概要

ウェブ認知ウォークスルーではユーザがウェブをナビゲーションするプロセスをシミュレートして、ウェブページのデザイン上の問題点を発見する。ここで、認知シミュレーションは、理解に基づく意図的探索過程の認知モデル、CoLiDeS モデル(Comprehension-based Linked model of Deliberate Search) に基づいて行われる[17]。CoLiDeS モデルは、人間がインタフェースを探りながら機器操作を行う過程の認知モデル(LICAI モデル、Linked model of Comprehension-based Action planning and Instruction taking、[16])を拡張したモデルである。LICAI モデルでは、インタフェース上のすべてのオブジェクトからタスクゴールに適合した操作対象、ならびに操作を選択する。一方、CoLiDeS モデルでは、操作対象の選択に先立って、インタフェースディスプレイのなかから注意を向けるべき領域を選択し、その領域の中から、操作対象を選択する。

LICAI モデルではワープロなどのオフィスアプリケーションをユーザが使う過程をモデル化しているので、どの領域で次の操作を行うかということを決める領域選択プロセスをモデルに含める必要がなかった。すなわち、典型的な操作手順として、たとえば、メニューからの項目選択から始めて、ダイアログボックスとのインタラクションを行い、確認またはキャンセルで

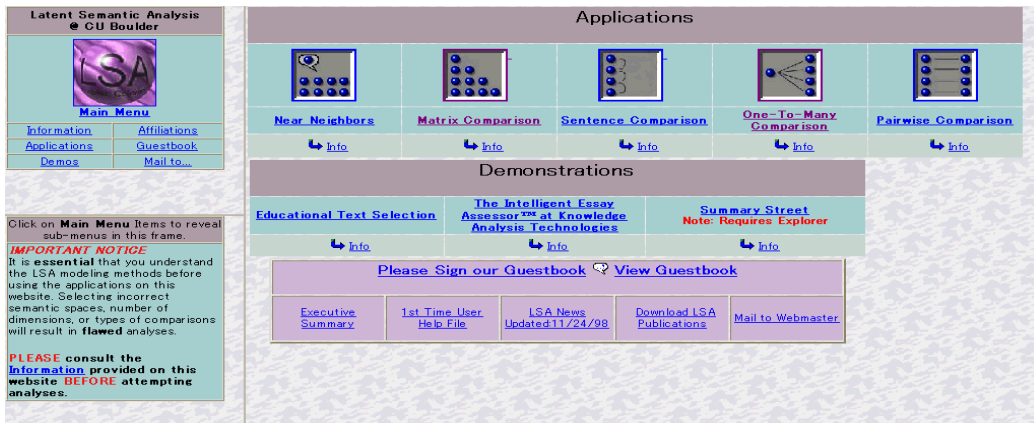


図 2. LSA ホームページ ; <http://lsa.colorado.edu>



図 3 LSA One-to-Many 比較

終わる、というものが確立している。したがって、各段階でどこに注目すべきかは明白であり、ユーザは注目すべき領域を選択する必要がない。一方、ウェブページとのインタラクションの場合には、ページが表示されるたびにどこに注目すべきかを決定しなければならない。

これらのモデルの核となっている心的プロセスは、領域の選択、操作対象の選択、操作の選択という選択のプロセスである。それぞれの選択は 2 段階で行われる。最初に、インタフェースディスプレイに表示されている情報を操作の目的に照らして理解する。次に、その理解に基づいて目的との適合性を評価し、もっとも目的に近いものを選択する。前者は理解過程、後者は手段 目標分析 (means-ends analysis) とよばれる問題解決過程である。

CoLiDeS モデル、および LICAI モデルでは、理解過程を人間がどのように文章を理解するかということに関する認知理論、Construction-Integration 理論[14]、によってモデル化している。

ユーザがウェブページを情報ニーズの観点から理解したとき、そのページのもつ「情報の香り (information scent)」を把握できる。新しいウェブページに遭遇したユーザは、この情報の香りにガイドされて情報探索を行う (問題解決過程)。この考え方は、CoLiDeS モデルばかりでなく、ウェブユーザビリティの研究者やウェブ探索過程のモデル化を行っている研究者にひろく受け入れられている ([6][10][17][19][28])。

CoLiDeS モデルでは、ウェブページ上のオブジェクトであるテキストやグラフィックスを理解し評価するプロセスが重要である。ここでは、ウェブページ上の

オブジェクトの心的表象を作り出し、関連する既知知識を用いて精緻化し、ゴールとの適合性を評価する。そして最もゴールとの適合性の高いオブジェクトが操作対象として選択される。

CoLiDeS モデルは、上述の 3 つの選択プロセスを、注意段階、操作選択段階の 2 段階に分けて、ユーザのウェブナビゲーション行動をモデル化している。まず、注意段階では、ユーザはウェブページを部分領域に分割し、その各々に対して適当な記述を与える。それには、たとえば、見出しやページレイアウトを表現することばが利用される。次に、ユーザは、現在のゴールとの適合度がもっとも大きい部分領域を選択する（領域選択プロセス）。

次に、操作選択段階では、ユーザは選択された部分領域内のすべてのウィジェットの心的な記述を生成し、現在のゴールとの適合度がもっとも大きい操作対象を選択する（操作対象選択プロセス）。そして、そのウィジェット（ハイパーリンクなど）に対する操作（通常はクリック）を選択する（操作選択プロセス）。なお、オンライン書店で特定の話題の書籍を探すプロセスの CoLiDeS モデルによるシミュレーションのデモについては[8]を参照されたい。

ウェブ認知ウォークスルーの質問項目 2a、2b は、それぞれ、注意段階、操作選択段階が問題なく実行できるかどうかをチェックするための質問となっている。

3.1.2. LSA による意味的類似度の評価

CoLiDeS では、初めて遭遇したウェブページに表示されているウィジェットを選択するとき、おののに対して与えられる記述とゴールとの意味レベルでの適合度と文字レベルでの適合度を総合的に評価し、もっとも適合度の高いものを選択する。これは、モデルの基礎となっている Construction-Integration 理論[14]に基づいている。ここで、総合評価は、インタフェース上のオブジェクトや活性化された知識をノードとするネットワークに活性を伝播させることによって行われる[15]。ウェブ認知ウォークスルーでは、この手続きを簡略化して、意味的類似度のみを用いて適合度の評価を行う。

意味的類似度の定量化には潜在意味解析（LSA；Latent Semantic Analysis）[18]として知られている手法を用いる。LSA は語とそれが現れる文脈（ドキュメント）の関係を統計的に評価する手法であり、各語および各文脈はそれぞれに対して定義される約 300 次元の意味空間内のベクトルとして表現される。複数の語で形成される合成語の意味は、個々の語のベクトルを合成することによって表現される。

2 つの合成語間の意味的類似度は、対応する 2 つの

ベクトルのなす角の余弦として定義される。たとえば、human computer interaction と software engineering の意味的類似度は 0.64 である。これは、これらのことばが同時に現れる文脈が多い、つまり類似したことばであることを反映している。一方、parenting という human computer interaction と同時に現れる文脈がないと思われることばについては、類似度は 0 となっている。このように、LSA により意味的類似度を客観的に定量化できる。なお、<http://lsa.colorado.edu> には、米国大学生の語彙レベルに基づいて構成した意味空間をもとに、インタラクティブに、語や合成語間の類似度を得ることができるウェブページが提供されている。LSA のホームページを図 2 に示した。

LSA を利用することにより、ユーザのゴールの記述をより現実的に行うことができる。従来、ユーザインタフェースのなかからゴールを達成するために必要なオブジェクトを選択する過程のモデル化の研究では、たとえば「心臓病に関する情報を探す」のような簡潔かつ特定の意味を持つゴール記述が用いられていた[15][16][32]。しかし、ユーザがウェブなどで探索を行うときに、必ずしもこのように明確に記述されたゴールを心に抱いているわけではない。LSA を用いることにより、探索したい直接的な目標ばかりでなく、一般的な関心や動機、また背景をゴールの記述に含めることができる。

3.2. ウェブにおけるユーザ行動の研究

3.2.1. ユーザの探索行動のモデル

ユーザの情報探索行動のモデルのひとつに情報フォレンジ理論（Information Foraging Theory）[28]がある。これは、人間の情報収集・意味理解のプロセスを解明するひとつのアプローチであり、自然環境におけるエネルギーの流れに対する生物的適応に関する研究を、文化的環境における情報の流れに対する技術的適応に適用したものである。つまり、自然環境における食料獲得行動では、食料を探し当てるために費やされるであろうエネルギーと発見した食料から獲得されるであろうエネルギーを事前に評価して、各時点の行動の最適化が行われるが、この考えを人間の情報獲得行動に当てはめている。

情報フォレンジ理論にも CoLiDeS モデルと同様に意味的類似性を測定する方法が取り入れている[27]。どちらのモデルもユーザのゴール記述にもっとも適合したものをユーザが選択すると仮定している。しかし、CoLiDeS モデルでは意味的類似度のみによってゴールとの適合性を評価するが、情報フォレンジ理論では取りうる個々の操作について、それを選択したことによ

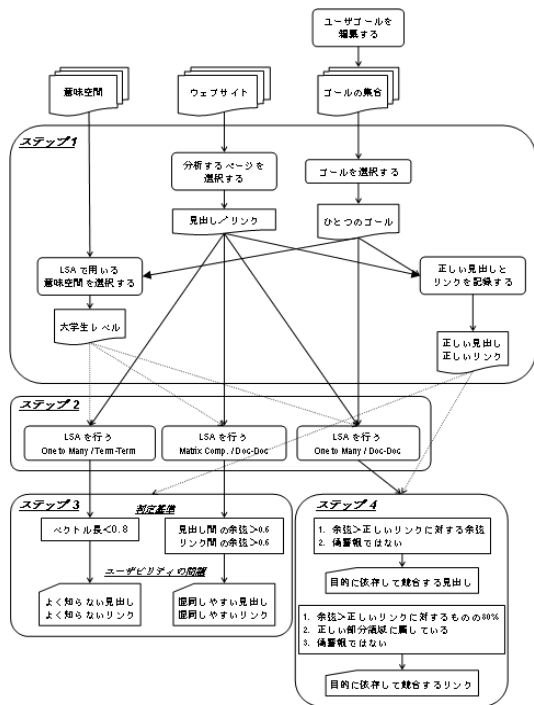


図 4. ウェブ認知ウォークスルーの概要

る影響に関する費用/便益の評価を行ってそれに基づいて次の操作を決定する。つまり、情報フォレンジ理論では、たとえば、探索を継続して行う、あるいは、より情報が豊富に存在すると感じられる（情報の香りの強い）他のウェブサイトに移って探索をやり直す、という選択肢について費用/便益評価を行い、行動が決定される。

それぞれが基礎を置いている認知理論は異なっている。すなわち、CoLiDeS モデルの場合は文章理解の認知モデルである Kintsch の Construction-Integration 理論 [14]であり、情報フォレンジ理論の場合は ACT-R[2]である。しかし、情報探索行動がゴールと情報の香りに導かれて行われるという点では共通しており、これらのモデルは人間の情報探索行動をとらえる相補的な見方を与えている。

3.2.2. ウェブにおけるユーザ行動を理解するためのアプローチ

ウェブにおけるユーザ行動の調査・分析を行うことにより、ユーザにとって利用しやすいウェブサイトをデザインすることが可能になる。また、ウェブサーバーを効率よく稼働させることが可能になる。

ユーザ行動の分析は、通常、ユーザの残したログを分析して、頻繁に現れるインタラクションのパターンを見出すことによって行われる。Huberman ら [12]はユーザのクリック数の分布をログデータの統計解析を行うことによって得ている。Tauscher[34]はクリック系列を分析し、いくつかのパターンを見出している。また、Byrne

ら [4]はパーバルプロトコル法を用いてブラウジングの様子を分析している。Pitkow と Pirolli[29]はユーザのログデータにデータマイニングの手法を適用して、ユーザが要求しそうなウェブページの予測を行っている。Chi ら [7]は、情報検索の技法を適用して、ある情報に対するニーズが与えられたときに、ユーザが特定のサイト内のどのリンクを選択するかを予測する手法を開発している。

これらの研究ではユーザのログデータを分析の対象としている。したがって、典型的なインタラクションパターンを見出すことはできても、特定の目的を持ったユーザがどのようにインタラクションを行うのかという観点からの分析はできない。実際、特定のページやサイトを訪れるユーザのすべてが、同一の目的を持っているわけではない。また、たとえば、同一の目的を持っていても、背景知識まで同じであるとは限らない。ログデータを分析してユーザの目的を推測することも試みられてはいる [7]が、キーワードの組み合わせによって目的を表現するにとどまっている。探索行動がユーザのゴールによって制御されていることは知られているが、ここで見てきたように、ログデータを分析するアプローチでは、多様なゴールと多様な背景知識を平均化した典型的なクリック系列のパターンを見出すことしかできないので、ユーザの行動（クリック系列）をユーザのゴール、背景知識と関連付けて理解するのは難しい。

3.2.3. ウェブデザイン評価ツール

ウェブデザインを自動的に評価するサービスが提供されている（たとえば、Accrue Insight[1]や WebCriteria SiteProfile[35]）。しかし、サイトに用いられているラベルやコンテンツの評価がユーザのゴールと関連づけて行われていないという問題が指摘されている [24][6]。

Chi ら [7]は、キーワードで表現された情報ニーズ（ユーザゴール）と現在のページのリンクとの類似度を評価して、ユーザが次に訪れる可能性のあるページを予測する手法（WUFIS ; Web User Flow by Information Scent）を開発した。予測は以下の手順で行われる。まず、分析対象のサイトに現れるすべての語について、各々がどのページに現れるかを計数し、TF.IDF（Term Frequency by Inverse Document Frequency）を求める。これにより、各単語を当該サイトにおける重要度によって重み付けることができる。そして、情報ニーズが与えられたら、それと各リンクやその周辺情報との関連度を、先に求めた重み付けを利用して決定する。その値が大きいほど、次に選択される確率が高くなる。Chi らは 19 種類のサイトについて WUFIS を用いた予測を行った。そして、予測結果の妥当性を人間のジャ

ッジによる評価によって確認している。

3.2.4. CWW と WUFIS の関係

CWW は WUFIS を拡張したものと考えることができる。

第 1 に、WUFIS では分析の対象となるサイトの各ページのコンテンツを利用して類似性尺度を定義している。一方、CWW では LSA を利用して同様のことを行っている。LSA は知識獲得と知識表現の理論として認知心理学の分野で研究された成果であり[18]、任意の長さの記述について類似度をはかることができる。このことにより、CWW では、詳細かつ具体的に記述されたユーザゴール、ウィジェット、部分領域を用いて、ユーザ行動の予測を行える。

第 2 に、LSA は個々のユーザ層の持っている語彙の意味に関する知識を多次元空間で表現している。そして、そのユーザ層が知覚する語間の意味的類似度を評価する。この意味空間は WUFIS が行っているようにウェブサイトに現れる語をもとに構成されるのではなく、そのユーザ層に属する人たちが過去に接したであろう語彙から構成されている。

第 3 に、CWW では、ユーザがウェブページからリンクを探索する際に、まず、部分領域をゴールとの類似性評価に基づいて選択し、その選択された部分領域のなかから、さらに、ゴールにもっとも意味的に類似したリンクやウィジェットを選択するという 2 段階選択過程が仮定されている。WUFIS ではこのような注意メカニズムは考慮されていない。

4. ウェブ認知ウォークスルーの実施

ウェブ認知ウォークスルーでは、質問 2a、2b に回答することが分析の中心となる。本章では、実際のウェブサイト <http://www.AmerLandscape.com> を例に用いてウェブ認知ウォークスルーの実施手順を説明する。なお、ホームページのスクリーンイメージを図 5 に、また、見出しとリンクのラベルを表 3 に示した。

図 4 はウェブ認知ウォークスルーの概略を示している。分析対象のウェブページ、ならびに当該ウェブサイトユーザがもちこむユーザゴールの集合については分析に先立って準備できているものとする。ステップ 1 は全体的な準備でありステップ 2、3、4 への入力を定める (4.1 節)。ステップ 2 では分析対象のページに対して LSA 分析を行う (4.2 節)。ステップ 3 とステップ 4 はウェブ認知ウォークスルーの本体であり、質問 2a と 2b に答える方法を示している。前者は、ユーザゴールに依存しない一般的な問題を見つけるためのステップ (4.3 節)、後者はゴールに依存して生じる問題を見つけるためのステップである (4.4 節)。

4.1. ステップ 1: 全体的な準備

4.1.1. ユーザゴールの選択

ユーザはさまざまな情報探索ゴールを持ってウェブサイトを訪れる。ステップ 1 では、そのなかから代表的なものを選出し、それぞれ 100 ~ 200 語 (英語の場合) で詳細に表現する。探したい情報ばかりでなく、動機や背景も記述する。以下にゴールの例を 2 つ示す。なお、原文は表 6 に示した。なお、ユーザのゴールを詳細に記述してインタフェースデザインを行う手法は利用状況 (エピソード) を詳細に物語風に記述してデザインを行うシナリオベースのデザイン[5]と共通している。

G_5 : 私の家の庭には日よけの木があるが、昨夜の暴風で大きな被害を受け多くの枝が折れてしまった。落ちてしまったものもあるし、折れたり曲がったりして幹や太い枝について落ちていないものもある。樹木の暴風被害に対して緊急サービスを行ってくれる会社があるだろうか。樹木の剪定はじょうずに行ってもらえるだろうか。剪定作業を行う作業員はこちらが希望している作業内容に十分あっているだろうか。

G_7 : 我々は敷地面積 100 エーカー以上のオフィスパークを所有しているが、そこには、広大な芝生のエリア、および、低木、常緑樹、花のエリアを景観デザインの基本とするオフィスビル群がある。さらに、3 つの中庭エリアがあり、従業員が昼食や軽食をとったり、戸外のレクリエーションに利用したりできる。パーク内のオフィスを借りたり所有する会社の大部分は魅力的な景観を維持することに高い優先順位をおいている。その理由は、クライアントとパーク内で会う機会が多いからである。我々は、すべての景観保守作業を、信頼でき、しっかりとした資格のある専門家にアウトソーシングしたい。具体的には次に挙げる作業が含まれる。頻繁に芝を刈ること、一年生の花を植えること、低木や高木の剪定、落ち葉の掃除、そして、芝生、低木、木、花に肥料を適切に与えること。さらに、病気や害虫の問題を診断し処置を行うことも必要である。

4.1.2. 意味空間の選択

次に、各々のゴールについてそれぞれに対応する意味空間を選択する。LSA ウェブサイトには 3、6、9、12 年生、大学生のそれぞれに対して意味空間が定義されているので、そのゴールを持ち込む可能性のあるユーザ層に応じて適当な意味空間を選択することになる。この例では、大学生の意味空間が適当である。なお、

この意味空間は、92,408 語、37,651 文書の共起マトリクスを 300 次元に次元圧縮して得られたものであり、これらの語と文書が 300 次元の意味空間内にそれぞれ表現されている。

4.1.3. 正しい見出し / リンクの記録

さらに、分析を行おうとしているウェブページ (図 5 に示した AmerLandscape.com のホームページ) について、各々のゴールを達成するためにユーザが選択しなければならぬ見出し / リンクを記録する。各ゴールについて正しい見出しとリンクは表 7 のようになっている。G₅ については見出し H₃ の下のリンク Storm damage specialists が選択されるべきリンクである。一方、G₇ では H₇ の下の複数のリンクが正解となっている。

4.2. ステップ 2 : LSA 分析

4.2.1. ゴール、見出しラベル、リンクラベルの意味的類似度の評価

各々のユーザゴールに対して、見出しラベル、およびリンクラベルとの意味的類似度を LSA を用いて評価する (図 4 のステップ 2 の右側)。意味的類似度は、LSA の文書空間においてゴールに対応するベクトルと見出しラベルやリンクラベルに対応するベクトルのなす角の余弦によって与えられる。ここで、ゴールと見出しラベル / リンクラベルとの意味的類似度を正確に求めるために見出し / リンクラベルを、分析を進めているページに表示されている情報を用いて補足する。具体的には、表 3 に示したように、見出しラベルについてはその見出し H_n に属しているリンクラベル L⁽ⁿ⁾ を含めた見出し H'_n を作成し見出しの意味を補足する (補足された見出しラベル)。また、リンクラベルについては、そのリンクを説明している記述があればそれで補足する (補足されたリンクラベル)。なお、AmerLandscape のホームページのリンクにはそのような情報がないので、補足は行われない。

そして、LSA の One-to-Many 比較 (図 2 参照 ; 右から 2 つ目のボタン) を選択する。すると、図 3 が表示される。ゴールを Main Text ウィンドウに、補足された見出しラベルを Text to compare ウィンドウに入力し、比較のタイプを document-to-document としてサブミットする。このようにして、各ゴールと補足された見出し間の意味的類似度を得る (表 8)。同様に、各ゴールと選択すべき見出しの下にあるリンクの間の意味的類似度を得る (表 13、表 14)。なお、N/A はこの意味空間にその語が存在しないことを示している。

4.2.2. 見出し / リンクラベルの熟知度の評価

次に、見出し / リンクラベルに対応するベクトルの

長さを得る (図 4 のステップ 2 の左側)。語のベクトル長はその語に関する知識の量の評価を与える。複合語は意味空間ではその要素となる語に対応するベクトルの和として表現されるので、複合語のベクトル長は語数の増加に伴って単調に増加する傾向がある。そこで、ベクトル長を公正に比較できるように語長をそろえてから比較を行う。具体的には、2 語を基準として比較を行う。そこで、2 語を超える見出し / リンクラベルについては、2 語の組み合わせを適当に作成する。そして、LSA の One-to-Many 比較にアクセスし、語長調整された見出し / リンクラベルを対応するウィンドウに入力し、比較のタイプとして term-to-term を選択し、Show vector length にチェックを入れてサブミットする。このようにして、見出しのベクトル長を得る (表 4)。同様に、見出し H₃、H₇ の下にあるリンクのベクトル長を得る (表 9、表 10)。

4.2.3. 見出しラベル間、およびリンクラベル間の意味的類似度

LSA の Matrix 比較にアクセスし、見出しラベル相互の比較、ならびにリンクラベル相互の比較を文書空間で行う (図 4 のステップ 2 の中央)。ここでは、表 3 に示した補足された見出しラベルを用いる。それらを Text to compare ウィンドウに入力し、比較のタイプを document-to-document としてサブミットする。すると、補足された見出しラベル間の文書空間における類似度を要素とするマトリクスが得られる。また、リンクラベルについても同様に相互間の比較を行う。こうして得られた結果を表 5、表 11、表 12 に示す。

4.3. ステップ 3 : 問題のある見出し / リンクラベルの発見 (一般的な問題の発見)

CoLiDeS モデルによれば、ユーザは最初にウェブページの部分領域に注目する。このとき、見出しラベルが利用される。しかし、注目しなければならない部分領域の見出しラベルが、ユーザが「よく知らない」ものであったり、他の見出しラベルと意味的に混同しやすいものであったりした場合に、そこを選択して注目するのが難しくなる。そこで、ウェブ認知ウォークスルーでは、4.2.2 および 4.2.3 の結果を参照して以下の基準により問題を発見する。

ベクトル長が 0.8 未満の見出しラベルを「よく知らない見出し」として記録する (図 4 のステップ 3 の左側)

相互間の意味的類似度が 0.6 より大きな見出し対について「混同しやすい見出し」として記録する (図 4 のステップ 3 の右側)

相互間の意味的類似度が 0.6 より大きなリンク対について「混同しやすいリンク」として記録する（図 4 のステップ 3 の右側）

ここで、AmerLandscape.com のホームページを対象に上記の手続きを実行してみる。このページには 4 個の見出しがあるが、表 4 に示したように、 H_2 のベクトル長は 0.53 であり基準値 0.8 に満たない。そこで、ひとつの問題点が発見された：

- 見出し H_2 はよく知らない可能性がある

また、表 5 を見れば、 H'_1 と H'_3 の間の意味的類似度が 0.65 となり、基準値の 0.6 を超えている。そこで、次の問題が発見された：

- 見出し H'_1 と見出し H'_3 は混同する可能性がある

リンクラベルについても、表 9、表 10、表 11、表 12、を参照して、同様な分析を行う。なお、ここでの基準を満たしていない数値は、四角で囲って示されている。

4.4. ステップ 4：問題のある見出し / リンクラベルの発見（目的に依存した問題の発見）

4.4.1. 見出しにかかわる問題

ステップ 3 をクリアした見出し / リンクラベルは、ユーザがよく知っていてかつ互いに意味的に類似していないラベルである。しかし、そのような見出し / リンクであっても、特定のゴールとの意味的類似度が同程度となるものが複数存在する可能性がある。そのようなラベル群は、「目的に依存して競合する」のでユーザが誤った選択をする可能性がある。

この問題を調べるために、4.2.1 で得られているゴールと補足された見出しラベルの間の意味的類似度の値を検討する。ここでの判定基準は、次のようになっている。

ゴールと補足された見出しラベルの間の意味的類似度が、デザイナーが意図した見出しに対する値よりも大きく、かつ偽警報（フォールスアラーム）でないと分析者が判断した場合には、その見出しを「目的に依存して競合する見出し」と記録する（図 4 のステップ 4 の上段）

ここで、偽警報を調べるのは、LSA の精度が十分に高くないことによる。

表 8 を見れば、 G_5 に対する正しい見出し H_3 は問題

がないことがわかる。しかし、 G_7 に対する正しい見出し H_1 は、 H_2 、 H_3 と競合することがわかる。そこで、次の問題が見つかった。

- ゴール G_7 をもったユーザにとって正しい見出し H_1 は H_2 、 H_3 と競合する可能性がある。

4.4.2. リンクにかかわる問題

ウェブ認知ウォークスルー分析では、ユーザが正しい部分領域を選択したと仮定して正しい部分領域に属するリンクのみを対象に分析を行う。この問題を調べるために、4.2.1 で得られているゴールとリンクラベルの間の意味的類似度の値を検討する。ここでの判定基準は、次のようになっている。

ゴールと補足されたリンクラベルの間の意味的類似度が、デザイナーが意図したリンクに対する値の 80% よりも大きく、かつ偽警報（フォールスアラーム）でないと分析者が判断した場合には、そのリンクを「目的に依存して競合するリンク」と記録する（図 4 のステップ 4 の下段）

ここで、 G_5 の場合を考えてみよう。表 13 において正しいリンクは $L^{(3)}_6$ であるが、 $L^{(3)}_1$ 、 $L^{(3)}_4$ 、 $L^{(3)}_{10}$ が競合する可能性のあるリンクとなっていることがわかる。そこで、次の問題が見つかった。

- ゴール G_5 をもったユーザにとって正しいリンク $L^{(3)}_6$ は $L^{(3)}_1$ 、 $L^{(3)}_4$ 、 $L^{(3)}_{10}$ と競合する可能性がある。

4.5. その他の事項

4.5.1. 次のページに進む

ひとつのページの分析が終わったら、そのページから到達できる子ページの分析に進む。考慮しているゴールの各々は正しいリンクにしたがって子ページに割り振られる。そして、各々の子ページに対して、割り振られたゴールのみを対象として、ステップ 1 から 4 を実行する。

4.5.2. ページの再デザイン

分析はページごとに進められるが、問題が見つかったら、その時点で、ページデザインを改訂して問題の解決を図る。具体的には、問題のあった見出しやリンクのラベルを変更する。ただし、ウェブ認知ウォークスルーは問題発見を支援するためのツールなので、改訂作業の支援は現時点では行えない。

改訂にあたってデザイナーは代案ページを考案し、そのページを対象にウェブ認知ウォークスルーを実施

する。そして、満足できる結果が得られるまでこの手続きを繰り返す。たとえば、次のようになる。AmerLandscape.com のホームページでは、最初に見出し H_2 、ならびに H_3 の下のリンクをよりなじみのあることばに変更する必要がある。表 9 を見れば、10 個あるリンクのうち 6 個のリンクがよく知らないリンクである。表 11 は現在のリンクラベルを用いた場合のリンク間の意味的類似度を示しているが、これは改訂されたリンクを用いて再計算しなければならない。また、混同しやすい見出し H'_1 、 H'_3 についても、改訂された見出しとリンクを用いて再計算する。リンクを変更する場合には G_5 について見出されているリンク間の競合の問題が解決されるようなラベルを選択する。見出し H_1 とその下のリンクは、 G_7 に対してチューニングする必要がある。現在のリンク構成では複数のリンクが正解となっているが、ひとつのリンクを G_7 に対応させることによって改善が図れるかもしれない。

4.5.3. 質問 1 への回答

ウェブページのデザインがユーザにとってなじみのないウィジェットを採用しているような場合には、ユーザはデザイナーが望んでいる操作を正しく行うことができない可能性がある。あるいは、ページを領域に分割するために用いられている手がかりにユーザが気づかないかもしれない。ページレイアウトやウィジェットデザインに関するガイドライン ([22][23]) に掲げられている事項を確認することにより、ウェブ認知ウォークスルーの質問項目 1 に答えることができる。

4.5.4. 質問 3 への回答

もうひとつの問題として、ユーザが正しいページに進んだことが確認できるか、あるいは誤ったページに行ってしまったことがわかるか、また、そのとき、容易に戻るができるかどうか、ということがある。これに答えることによりウェブ認知ウォークスルーの質問項目 3 に答えることができる。ウェブ認知ウォークスルーでは、質問 2a と 2b で正しい見出し/リンクを発見できるかどうかを検討する。質問 3 に対する回答は、「新しいページで質問 2a、2b に対する回答が「はい」になれば、前ページに対する質問 3 の答えも「はい」である」というように間接的に回答することができる。

ウェブ認知ウォークスルーではユーザの行う前方探索をウェブサイトがどれだけよく支援するかという観点からウェブサイトを評価する。前方探索が失敗した場合のユーザビリティ評価は、通常の認知ウォークスルーに従って行うことができる。すなわち、ユーザゴールは、たとえば、 G_5 から「ホームページに移動する」というゴールに置き換わる。認知ウォークスルーを実

施することにより対象としているウェブページがどの程度このゴールをよく支援するかを評価できる。具体的にこれを行う方法として、Instone[13]のナビゲーションストレステストがある。このテストでは、ページごとに一連の質問に答えながら、典型的なユーザがどれくらい容易にあるページからサイト内の他の場所に移動できるかということを示すことができる。ウェブ認知ウォークスルーと組み合わせて評価を行うことにより、ウェブサイトのユーザビリティを総合的に評価することができる。

5. まとめと今後の課題

ウェブ認知ウォークスルーは、ユーザの探索行動がゴールに適合したリンクを選択しながら進展するというユーザ行動の性質に基づいてウェブサイトを評価する方法である。そして、ユーザビリティの問題点は、LSA を利用した客観的評価を参照して行われる。LSA を利用することにより、ゴールの記述に動機や背景を含めることが可能となり、多様なユーザゴールに対応したユーザビリティ評価を行うことができる。また、LSA に定義された多様な意味空間を用いることにより、ユーザの背景知識に応じたユーザビリティ評価を行うことができる。

本研究は緒についたばかりであり、今後、さらに研究を進めていかなければならない課題がいくつかある。

まず、ウェブ認知ウォークスルーの指摘する問題点の精度については、被験者数 100 人程度による実験室実験によって、ウェブ認知ウォークスルーによって問題があるとされたページでユーザのタスクパフォーマンスが有意に悪くなっていることが確認されている [3]。今後、本格的な評価を行う必要がある。

第 2 に、ウェブ認知ウォークスルーを実施する目的はユーザビリティの問題点を指摘することである。しかし、ウェブサイトデザインツールとしてはそれだけでは不十分であり、問題の性質に応じた修復方法を示唆できることが望ましい。ウェブサイトデザインのプロセスに適合した系統だった修復法の開発を行う必要がある。

最後に、本稿で説明したウェブ認知ウォークスルーの手続きはマニュアルで実施する部分が多く、効率的でない。効率的な分析を可能とするための自動化が必要である。そのためには、ウェブサイトデザイン環境にウェブ認知ウォークスルーを埋め込んだ新たな環境を構築する必要がある。

ウェブユーザビリティを総合的に評価するためには、ウェブ認知ウォークスルーばかりでなく、その他の評価ツール（たとえば、[13]）や、ガイドライン（たと

えば、[22][23])も有機的に利用できるようにしなければならない。現在、ウェブサイトのユーザビリティの自動評価に関するワークショップ[11]が企画されるなど、活発に研究・実践が進められている。ユーザが求めている情報を確実かつ容易に獲得できる情報環境を実現するには、ウェブ認知ウォークスルーのようにユーザ側からのアプローチが不可欠である。今後、そのような場を利用しつつ、総合的な評価環境・デザインツールの構築を目指して研究を進めていく予定である。

6. 参考文献

1. Accrue Insight. <http://www.accrue.com>.
2. Anderson, J. R., & Lebiere, C. *The Atomic Components of Thought*. Lawrence Erlbaum Associates, 1998.
3. Blackmon, M. H., Polson, P. G., Kitajima, M., & Lewis, C. Cognitive Walkthrough for the Web. (印刷中)
4. Byrne, M. D., John, B. E., Wehrle, N. S., & Crow, D. C. The tangled Web we wove: A taskonomy of WWW use. In *Proceedings of CHI'99*, ACM Press, 544-551, 1999.
5. Carroll, J. M. (Editor). *Scenario-Based Design: Envisioning Work and Technology in System Development*, Wiley, 1995.
6. Chi, E., Pirolli, P., & Pitkow, J. The scent of a site: A system for analyzing and predicting information scent, usage, and usability of a web site. In *Proceedings of CHI 2000*, 161-168, ACM Press, 2000.
7. Chi, E., Pirolli, P., Chen, K., & Pitkow, J. Using information scent to model user information needs and actions and the Web. In *Proceedings of CHI 2000*, ACM Press, 490-497, 2001.
8. CoLiDeS demo: http://staff.aist.go.jp/kitajima.muneo/CoLiDeS_Demo.html, 2001.
9. E-marketing.Com: <http://www.e-marketing.com.au/documents/useabilityintro.htm>
10. Furnas, G. W. Effective view navigation. In *Proceedings of CHI'97*, ACM Press, 367-374, 1997.
11. Hofer, E. & Brinck, T. CHI 2002 WS: Automatically Evaluating the Usability of Web Sites, 2002.
12. Huberman, B. A., Pirolli, P., Pitkow, J., & Lukose, R. Strong regularities in World Wide Web surfing. *Science*, **280**, 95-97, 1998.
13. Instone, K. STRESS-TEST your favorite, or least favorite website. *Michigan Ohio Computer-Human Interaction Meetings (March 14, 2001)*; find Navigation Stress Test also at <http://keith.instone.org/navstress/>.
14. Kintsch, W. *Comprehension: A Paradigm for Cognition*, Cambridge University Press, 1998.
15. Kitajima M. & Polson, P.G. A comprehension-based model of correct performance and errors in skilled display-based, human-computer interaction, *International Journal of Human-Computer Studies*, **43**, pp. 65-99, 1995.
16. Kitajima, M. & Polson, P. G. A comprehension-based model of exploration, *Human-Computer Interaction*, **12**, 345-389, 1997.
17. Kitajima, M., Blackmon, M. H., & Polson, P. G. A Comprehension-based model of Web navigation and its application to Web usability analysis. In *People and Computers XIV*, Springer, 357-373, 2000. (デモ: http://staff.aist.go.jp/kitajima.muneo/CoLiDeS_Demo.html)
18. Landauer, T. K. & Dumais, S. T. A solution to Plato's problem: The Latent Semantic Analysis theory of acquisition, induction, and representation of knowledge. *Psychological Review*, **104**, 211-240, 1997.
19. Larson, K., & Czerwinski, M. Web page design: Implications of memory, structure and scent for information retrieval. In *Proceedings of CHI'98*, ACM Press, 25-32, 1998.
20. Lewis, C., Polson, P., Wharton, C., & Rieman, J. Testing a walkthrough methodology for theory-based design of walk-up-and-use interfaces. In *Proceedings of CHI'90*, ACM Press, 235-241, 1990.
21. Newman, W. & Lamming, M. *Interactive System Design*, Addison-Wesley, 1995. (インタラクティブシステムデザイン、北島宗雄(監訳)、ピアソン、1999)
22. Nielsen, J. & Tahir, M. *Jakob Nielsen's 50 Web Sites: Real World Usability Deconstructed*, New Riders Publishing, 2002.
23. Nielsen, J. *Designing Web Usability*, Indianapolis: New Riders Publishing, 2000.
24. Nielsen, J. <http://www.useit.com/alertbox/991212.html>, 1999.
25. Nielsen, J. & Mack, R. L. *Usability Inspection Methods*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994.
26. Ojakaar, E. & Spool, J. M. Getting Them to What They Want, *UIE Reports: Best Practices Series*, 2001.
27. Pirolli, P. Computational models of information

- scent-following in a very large browsable text collection. In *Proceedings of CHI'97*, ACM Press, 3-10, 1997.
28. Pirolli, P. & Card, S. Information foraging. *Psychological Review*, **106**, 643-675, 1999.
 29. Pitkow, J. & Pirolli, P. Mining longest repeated subsequences to predict World Wide Web surfing. In *Proceedings of the USENIX Conference on Internet*, 1999.
 30. Polson, P. & Lewis, C. Theory-based design for easily learned interfaces. *Human Computer Interaction*, 5, pp. 191-220, 1990.
 31. Polson, P. G., Lewis, C., Rieman, J., & Wharton, C. Cognitive walkthroughs: A method for theory-based evaluation of user interfaces. *International Journal of Man-Machine Studies*, **36**, 741-773, 1992.
 32. Rieman, J., Young, R. M., & Howes, A. A dual-space model of iteratively deepening exploratory learning. *International Journal of Human-Computer Studies*, **44**, 743-775, 1996.
 33. Spool, J. M., Scanlon, T., Schroeder, W., Snyder, C., & DeAngelo, T. *Web Site Usability: A Designer's Guide*, San Francisco: Morgan Kaufmann, 1999.
 34. Tauscher, L. & Greenberg, S. How people revisit web pages: Empirical findings and implication for the design of history systems. *International Journal of Human-Computer Studies*, **47**, 97-137, 1997.
 35. WebCriteria SiteProfile. <http://www.webcriteria.com>.
 36. Wharton, C., Rieman, J., Lewis, C., & Polson, P. The cognitive walkthrough method: A practitioner's guide. In J. Nielsen & R. L. Mack (Eds.), *Usability Inspection Methods*, New York: John Wiley & Sons Inc., 105-140, 1994.



図 5. AmerLandscape.com のホームページ

表 4. 見出しのベクトル長

見出し	選択された 2 語	ベクトル長
H_1	Landscape Management	1.24
	Landscape Maintenance	0.61
H_2	Landscape Installation	0.53
H_3	Tree Services	3.27
H_4	Snow Services	3.00
	Ice Services	3.69

表 6. ゴールの例

G_5	The storm last night did a lot of damage to the shade trees in my yard. Many branches are broken. Some branches fell to the ground and others are broken or badly bent but still partially attached to the tree trunk or to main limbs of the tree. Do you offer emergency service of storm damage to trees, and can I trust you to prune the trees expertly? Are your tree personnel fully qualified to do the work?
G_7	Our office park covers over a hundred acres with large areas of lawn and many office buildings with foundation landscape designs of flowering shrubs, evergreens, and some areas of flowers. We also have three garden patio areas for employees to use for eating lunch or snacks and outdoor recreation. Maintaining attractive landscaping is a high priority for most of the companies who rent or own offices here, because many of their clients meet with them on the premises. We want to outsource all the care of our landscape with reliable, well-qualified professionals. This includes frequently mowing the lawns, planting annual flowers, expert pruning of shrubs and trees, raking up the leaves in the fall, and proper fertilizing of the lawn, shrubs, trees, and flowers. It also requires expert diagnosis and treatment of disease and insect problems.

表 3. AmerLandscape.com のホームページの内容。 H'_n :補足された見出し $n (= H_n + L^{(n)})$, H_n :見出し n , $L^{(n)}$:見出し n の下にあるすべてのリンク。

H_1	H'_1	Masters in Landscape Management/Maintenance
	$L^{(1)}$	Professional lawn mowing •Lawn fertilizing, weed control, insect control •Cleanups, spring and fall •Weeding flower/shrub beds •Pruning shrubs, hedges, evergreens •Flower planting and care •Fertilization of shrubs, evergreens, perennials •Insect control and disease control •Tree services see below •Snow and ice removal services see below
H_2	H'_2	Masters in Landscape Installation
	$L^{(2)}$	Design and installation •Professional designers •Renovation solutions •Retaining and decorative walls •Patios, walks & drives •Mulching and edging •Trees for shade, windbreak & beauty •Shrub borders, hedges, flowering shrubs •Flower beds -- perennials, bulbs, annuals •Lawn areas and groundcovers
H_3	H'_3	Masters in Tree Services
	$L^{(3)}$	Pruning •Fertilizing •Insect and disease control •Removing trees •Stump removal and grinding •Storm damage specialists •Cabling •Lot clearing •Brush chipping •Shrub rejuvenation
H_4	H'_4	Masters in Snow and Ice Services
	$L^{(4)}$	Our reliably quick, efficient snow and ice removal services make your winter a breeze •Our versatile snow plow fleet can efficiently move the snow out of your way •Our de-icing services prevent slipping in parking lots, driveways, and sidewalks •Additional types of snow- and ice-removal equipment to handle every winter challenge

表 5. 見出し間の意味的類似度

	H'_1	H'_2	H'_3	H'_4
H'_1	1	0.32	0.65	0.52
H'_2		1	0.36	0.04
H'_3			1	0.15
H'_4				1

表 7. ゴールを達成するために選択しなければならない見出しとリンク

ゴール	見出し	リンク	テキスト
G_5	H_3		Masters in Tree Services
		$L^{(3)}_6$	Storm damage specialists
G_7	H_1		Masters in Landscape Management/Maintenance
		$L^{(1)}_1$	Professional lawn mowing
		$L^{(1)}_2$	Lawn fertilizing, weed control, insect control
		$L^{(1)}_3$	Cleanups, spring and fall
		$L^{(1)}_5$	Pruning shrubs, hedges, evergreens
		$L^{(1)}_6$	Flower planting and care
		$L^{(1)}_7$	Fertilization of shrubs, evergreens, perennials
		$L^{(1)}_8$	Insect control and disease control

表 8. ゴールと見出しの意味的類似度

	G_5	G_7
H'_1	0.35	0.50
H'_2	0.40	0.62
H'_3	0.63	0.50
H'_4	0.12	0.20

表 9. 見出し H_3 の下のリンクのベクトル長

リンク	選択された 2 語	ベクトル長
$L^{(3)}_1$	Pruning	0.15
$L^{(3)}_2$	Fertilizing	0.09
$L^{(3)}_3$	Insect control	2.35
	disease control	3.28
$L^{(3)}_4$	Removing trees	2.07
	Stump removal	0.43
$L^{(3)}_5$	Stump grinding	0.77
	Storm damage	1.47
$L^{(3)}_6$	damage specialists	1.13
	Cabling	0.00
$L^{(3)}_8$	Lot clearing	0.98
$L^{(3)}_9$	Brush chipping	0.65
$L^{(3)}_{10}$	Shrub rejuvenation	0.12

表 10. 見出し H_1 の下のリンクのベクトル長

リンク	選択された 2 語	ベクトル長
$L^{(1)}_1$	Professional mowing	0.36
	lawn mowing	0.88
$L^{(1)}_2$	Lawn fertilizing	0.46
	weed control	0.39
	insect control	1.71
$L^{(1)}_3$	Cleanups spring	2.35
	Cleanups fall	1.13
$L^{(1)}_4$	Weeding flower	0.92
	Weeding shrub	1.24
$L^{(1)}_5$	Pruning shrubs	0.15
	Pruning hedges	0.53
	Pruning evergreens	0.21
$L^{(1)}_6$	Flower planting	0.37
	Flower care	1.41
$L^{(1)}_7$	Fertilization shrubs	2.06
	Fertilization evergreens	1.07
	Fertilization perennials	1.02
$L^{(1)}_8$	Insect control	1.00
	disease control	2.35
$L^{(1)}_9$	Tree services	3.28
$L^{(1)}_{10}$	Snow removal	3.27
	ice removal	1.93
	removal services	2.86

表 11. 見出し H_3 の下のリンク間の意味的類似度

見出し H_3 の下のリンク	$L^{(3)}_1$	$L^{(3)}_2$	$L^{(3)}_3$	$L^{(3)}_4$	$L^{(3)}_5$	$L^{(3)}_6$	$L^{(3)}_7$	$L^{(3)}_8$	$L^{(3)}_9$	$L^{(3)}_{10}$
$L^{(3)}_1$: Pruning	1	-0.06	.04	.37	.03	.08	N/A	.02	.06	.15
$L^{(3)}_2$: Fertilizing		1	-0.04	-0.09	-0.02	.07	N/A	-0.09	.03	-0.04
$L^{(3)}_3$: Insect and disease control			1	-0.02	.03	.07	N/A	-0.01	-0.02	-0.02
$L^{(3)}_4$: Removing trees				1	.15	-0.00	N/A	.26	.15	.36
$L^{(3)}_5$: Stump removal and grinding					1	.11	N/A	.05	.20	.02
$L^{(3)}_6$: Storm damage specialists						1	N/A	.01	.07	-0.09
$L^{(3)}_7$: Cabling							N/A	N/A	N/A	N/A
$L^{(3)}_8$: Lot clearing								1	.12	.12
$L^{(3)}_9$: Brush chipping									1	.07
$L^{(3)}_{10}$: Shrub rejuvenation										1

表 12. 見出し H_1 の下のリンク間の意味的類似度

見出し H_1 の下のリンク	$L^{(1)}_1$	$L^{(1)}_2$	$L^{(1)}_3$	$L^{(1)}_4$	$L^{(1)}_5$	$L^{(1)}_6$	$L^{(1)}_7$	$L^{(1)}_8$	$L^{(1)}_9$	$L^{(1)}_{10}$
$L^{(1)}_1$: Professional lawn mowing	1	.07	.02	.02	.05	.13	-0.02	-0.02	.24	.11
$L^{(1)}_2$: Lawn fertilizing, weed control, insect control		1	.03	.18	.02	.15	-0.04	0.81	-0.07	-0.01
$L^{(1)}_3$: Cleanups, spring and fall			1	.11	.06	.12	.04	.03	.16	.20
$L^{(1)}_4$: Weeding flower/shrub beds				1	.08	0.64	.22	.14	.03	-0.01
$L^{(1)}_5$: Pruning shrubs, hedges, evergreens					1	.04	.51	-0.00	.25	.01
$L^{(1)}_6$: Flower planting and care						1	.15	.09	.07	.01
$L^{(1)}_7$: Fertilization of shrubs, evergreens, perennials							1	-0.07	.10	-0.00
$L^{(1)}_8$: Insect control and disease control								1	-0.06	-0.03
$L^{(1)}_9$: Tree services see below									1	.35
$L^{(1)}_{10}$: Snow and ice removal services (see below)										1

表 13. 見出し H_3 の下のリンクと G_5 の意味的類似度

見出し H_3 の下のリンク	G_5
$L^{(3)}_1$: Pruning	0.47
$L^{(3)}_2$: Fertilizing	-0.11
$L^{(3)}_3$: Insect and disease control	-0.03
$L^{(3)}_4$: Removing trees	0.60
$L^{(3)}_5$: Stump removal and grinding	0.12
$L^{(3)}_6$: Storm damage specialists	0.24
$L^{(3)}_7$: Cabling	N/A
$L^{(3)}_8$: Lot clearing	0.18
$L^{(3)}_9$: Brush chipping	0.09
$L^{(3)}_{10}$: Shrub rejuvenation	0.30

表 14. 見出し H_1 の下のリンクと G_7 の意味的類似度

見出し H_1 の下のリンク	G_7
$L^{(1)}_1$: Professional lawn mowing	0.24
$L^{(1)}_2$: Lawn fertilizing, weed control, insect control	0.21
$L^{(1)}_3$: Cleanups, spring and fall	0.15
$L^{(1)}_4$: Weeding flower/shrub beds	0.38
$L^{(1)}_5$: Pruning shrubs, hedges, evergreens	0.48
$L^{(1)}_6$: Flower planting and care	0.36
$L^{(1)}_7$: Fertilization of shrubs, evergreens, perennials	0.26
$L^{(1)}_8$: Insect control and disease control	0.25
$L^{(1)}_9$: Tree services see below	0.23
$L^{(1)}_{10}$: Snow and ice removal services see below	0.09