

視線の移動パターンに基づくユーザの迷いの検出 ——効果的な作業支援を目指して

高 木 啓 伸[†]

情報の電子化が進む現在、検索システムを用いることで膨大なデータの中から特定の情報を容易に探し出すことができる。ところが一方で情報の増加にともない、あまりにも多くの検索結果が引き出されるとい現象が起きている。そのため初心者のみならず、目的の情報にたどりつけないという状況に陥ることもしばしばである。このようなユーザの迷いの状態をコンピュータが自動検出し、適切な作業支援を行えばユーザの作業効率が著しく向上すると期待される。しかし、従来の作業履歴の解析を中心とした作業支援システムでは、ユーザが「迷い」の状態に入ったときに履歴自体の取得が困難になるため、その原因を推定することは難しい。ユーザの迷いを推測するためには、時間の空白なくユーザの作業を測定する必要がある。そこで、本論文では視線追跡装置を用いて、ユーザの視線の動きをリアルタイムに測定し、その測定結果よりユーザの迷いを推測する手法を提案する。画面上を移動するユーザの視線には迷っているときに特徴的に現れる視線の一連の規則的な動き、「視線パターン」が含まれている。このような「視線パターン」を発見するための N-Gram 解析を用いた解析手法と、パターンの発生時のユーザの思考を測定してパターンの意味を検証する手法を提案する。本手法を翻訳課題に適用した結果、ユーザが「迷いの状況」に陥ったことを示す規則的な視線パターンを発見した。さらに、このパターンが生じたときのユーザの思考を測定して、これらのパターンが確かにユーザが迷っているときに生じていることを明らかにした。最後に、これらの結果を利用した「迷い」の状況に応じた効果的な作業支援システムの実現性を検討する。

Recognizing Users' Uncertainty on the Basis of Eye Movement Patterns: A Step toward an Effective Task Assistance System

HIRONOBU TAKAGI[†]

With the rapid digitalization of data and the development of efficient search engines, it has become easier to track down desired information within a vast volume of data. However, the quantity of online data often causes a search engine to return a huge number of hits. As a result, even advanced users often cannot find the information they want. It would be possible to offer a better task-processing environment if computers could automatically recognize uncertainty on the part of the user and offer appropriate assistance. However, it is very difficult for existing task assistance systems, which facilitate operation by analyzing a user's operational history, to detect when a user is experiencing uncertainty, since no operational history exists for such periods. To detect uncertainty, a system would need to measure a user's behavior continuously without any gaps. In this paper, we propose a method of realizing such detection. The method is based on measurement of a user's eye movements in real time by means of an eye-tracking system. While a user's eyes are following movements on the screen, a frequent and recurrent "eye movement pattern" occurs when a user experiences uncertainty. We propose an analysis method, based on N-Gram analysis, for detecting such patterns. We then propose an evaluation method for determining the meaning of the pattern by questioning the user about his or her thought processes during the period when this pattern appeared. We applied this method to a translation task, and detected a recurrent eye movement pattern that occurred when a user experienced uncertainty. Questioning of the user at this time confirmed the reality of the pattern. On the basis of our results, we investigate ways of creating an effective task assistance system for various types of uncertainty.

[†] 東京大学理学系研究科情報科学専攻
Faculty of Science, University of Tokyo
現在、日本アイ・ピー・エム株式会社東京基礎研究所
Presently with Tokyo Research Laboratories, IBM Research

1. はじめに

情報の電子化が急速に進んでいる現在、コンピュータネットワークの利用によりユーザは多種多様の情報にアクセス可能である。印刷文書とは異なり、電子化

された文書の場合検索システムとの組合せにより、膨大なデータの中から特定の情報を探し出すことも容易である。しかし一方で、情報の増加にともないあまりに多くの検索結果が引き出されるという現象が起きている。そのため初心者のみならず、目的の情報にたどりつけないという状況に陥ることもしばしばである。

このような状況は様々な作業遂行中に発生するが、ここでは和英翻訳作業を例にその問題点を考察する。一般に、和英翻訳作業を行う際、様々な辞書を参照するのがつねであろう。特に、翻訳対象としている文に類似した例文を参照し、その対訳を利用することはしばしば行われている作業の1つである。電子化された用例集や辞書には大量のデータが含まれているが、高速に処理可能な全文検索機能により類似例文をすばやく検索できる。このような特長を生かした翻訳支援システムや電子化用例集もすでに実用化されている。

しかし、電子化された用例集であっても同音異義語などの問題から適切な例文にすばやくたどりつけない状況がしばしば生じる。そこで、全文検索機能だけではなく、キーワードの共起関係や構文構造の類似性を用いて、例文の検索を行う研究も進められているが実用化には至っていない¹⁴⁾。

多数の候補の中からどれを選択すればよいか分からないという、このようなユーザの「迷い」の状態をコンピュータが自動検出して適切な作業支援を行えば、ユーザの作業効率は著しく向上すると期待される。特に作業に熟達していないユーザに対し「迷い」を適切にとらえて支援を行うことで、ユーザとコンピュータの間に存在する溝を狭めることができると期待される。

これまでに提案されてきたコンピュータによる作業支援システムは主にユーザの作業履歴を利用していた。代表的な例として、予測/例示インタフェース^{1),20)}やインタフェースエージェント⁴⁾があげられる。

ところがこれらの方法では、ユーザが「迷い」の状態に入ったときに、その原因を推測することが難しくなる。なぜなら、このような状況ではユーザの操作が非常に遅くなり、十分な作業履歴を得ることができないためである。この問題を解決するためにはまず、時間の空白なくユーザの作業を測定し、ユーザがどのようなプロセスで、どのような情報を取得しようとして「迷い」の状況に陥ったのかを推測できることが望ましい。

そこで我々は時間の空白なく測定可能な情報としてユーザの視線を利用し、「迷い」の状態を検出する手法を提案する。この手法では、視線追跡装置を利用してユーザの視線の動きをリアルタイムに測定し、その

測定結果からユーザの迷いを推測する。画面上を移動するユーザの視線には、迷っているときに特徴的に表れる視線の一連の規則的な動き「視線パターン」が含まれていると予測した。このような「視線パターン」を発見するための N-Gram 解析を用いた解析手法と、パターン発生時のユーザの思考を測定してパターンの意味を検証する手法を提案する。

本論文では、はじめに3章において視線パターンの解析手法と「迷い」の状態の検証手法を提案する。4章では、この解析手法を翻訳課題に適用して得られた実験結果を報告する。ここではユーザが「迷いの状況」に陥ったことを示す規則的な視線パターンを発見している。次の5章において、このパターンが生じたときに、ユーザが何に対して迷っているのかを具体的に検証する実験を行ったのでその結果を述べる。最後に6章ではこれらの結果を利用して迷いの状況に応じた効果的な作業支援システムの実現性を検討する。

2. 関連研究

適応型インタフェース

適応型インタフェースはシステムが個々のユーザの特徴や繰り返し行う操作を学習し、それに応じて挙動を変えてシステム自ら使いやすさを向上させるシステムである。適応型インタフェースには大きく分けて繰返し操作の支援とユーザの特性への対処の2つに分類することができる。

繰返し操作の支援を行うシステムとしては、予測/例示インタフェースが代表的である^{1),20)}。これは、過去の操作履歴などからプログラムを自動生成し、操作の代行やアニメーションの作成を行うシステムである。これらのシステムでは操作履歴やコンテキストの情報を解析するとともに、アプリケーション依存の知識を利用して推測を行っている。

繰返し操作の支援を行うもう1つの代表例として、インタフェースエージェントの研究がある。これは、コンピュータで作業を行っているユーザの作業過程を観察して知識を蓄え、自立的にユーザの補助を行う技術である。その実現方法としては機械学習を用いた手法などが広く研究されている^{3),4)}。

ユーザの特性への対処を行うシステムとしては、ユーザモデルに基づいてインタフェースやオンラインヘルプを変化させるシステムが開発されている⁵⁾。

これらの適応型インタフェースでは操作の履歴、辞

この分類は文献 21) による。

Programming By Example (PBE), Programming By Demonstration (PBD) とも呼ばれている。

書情報、アプリケーション依存の知識、および学習によって獲得した知識などが推論に用いられている。しかし、基本となる情報は操作履歴であり、インタラクションが少ないときには推論を行うことが難しい。

視線を予測インタフェースに応用した例として、筆者らの行った研究¹⁷⁾がある。これは、図形の位置揃えを自動的に行うシステムにおいて推測のあいまい性を視線情報を利用して解消する方法である。その結果、単純な図形の位置揃えであれば利用可能であることが明らかとなった。

以上の研究と比較して、本研究は、ユーザが積極的に操作していないときでも視線を用いて迷いの原因を推測するという点に特徴がある。

行動分析

視線を用いてユーザの意図を分析する手法は、ソフトウェアのユーザビリティ評価やソフトウェア開発プロセスの分析といった分野でも行われている。特にソフトウェア開発行動を分析するためのシステム Ginger2¹⁰⁾ は、行動履歴とあわせて視線情報の分析も行える点で本研究と関連が深い。文献¹⁸⁾の研究では、視線からスクリーンを見ているかどうかを判断して開発行動の解釈に用いている。たとえば、「ユーザが次にすべき作業が分からなくなり画面を見詰めている」という状態は、打鍵が極端に減少しかつ停留点が画面内にある状態の持続として観察されたと報告されている。

この研究も操作の少ない時間帯を視線情報を用いて補完するという点で共通しているが、我々の手法は視線の画面上の領域間移動というさらに詳細な分析を行っている点に特徴がある。

視線インタフェース

これまでに視線をインタフェースに利用する手法が数多く研究されてきた^{2),8),11),12)}。その中でも Salvucchi による Hidden Markov Model (HMM) を用いた視線解析の手法は本研究と関連が深い^{6),7)}。この研究では、ユーザの意図した視線を推定 (tracing) するとともに、認知プロセスの推定を行っている。またこの手法を、暗算過程の推定、「読み」の視線の測定、視線入力キーボードの精度向上などに応用して成果をあげている。この手法は、プロセスが明確にモデル化可能なタスクを前提としている点で、本研究にそのまま適用することは難しい。これらの手法と融合してより正確な推論を実現することは今後の課題である。

3. 提案する手法

ここでは、データの解析方法、検証実験の手法を含

めた視線パターンの解析手法を提案する。最後に我々の手法が適用可能なタスクの条件について述べる。パターンの解析

視線からユーザの思考に関する情報を解析することの難しさは広く指摘されている。その理由の1つとしてノイズの問題があげられる。視線追跡装置の測定誤差だけでなく、実際の視線では停留点がターゲットを外れることが頻繁に起きており、これらも解析を行ううえでノイズとなる。

そこで、我々は「検索結果の各項目間で迷う視線を、視線の移動パターンとして解析する」アプローチをとった。選択肢間の視線移動を解析する手法は Computer-Assisted Instruction (CAI) システムに関する先行研究^{15),16)} に由来している。この研究では、4個の選択肢を持った理科の教材を課題として実験を行った。その結果、迷いながら候補を絞り込んで回答に至る過程を選択肢間の視線移動から解析することができた。このアプローチは「選択肢」という比較的大きな領域を単位として用いるために誤差の影響をおさえられる点と、選択肢の絞り込み過程という「ユーザの思考過程」を解析可能な点で有効であった。この研究の結果から、我々は情報検索システムに対しても同様の手法を適用することで「迷い」を解析可能であると考えた。

「迷い」の状態に特有な視線パターンを見つけるには、発話や操作履歴といった測定可能なユーザの思考に関する情報と、視線を照らし合わせる必要があり、実験者が手作業で行わなければならない。そこで手作業の負担を軽減するために N-Gram 解析¹⁹⁾ を利用した方法を開発した。これは N-Gram 解析で頻度の高いパターンを視線パターンの候補としてリストアップしたうえで、手作業で照らし合わせるという方法である。これにより視線パターンの候補を容易に得ることができ、作業時間を短縮することができる。以下に実験・解析手順の概要を示す(図1)。

(1) 作業時の視線を測定する。

実験時には同時発話、ユーザの操作履歴を記録する。意識的な同時発話が視線に影響してしまうため、発話を促すような指示は与えない。実験後に実験時のビデオ映像を見せながら事後発話を記録することでデータを補う。

(2) 停留点解析を行う(図1(a))。

視線データから停留点を解析し、停留点のリストに変換する。停留点は中心点の座標、半径、停留時間で定義される。

(3) 項目間の視線移動の履歴に変換する(図1(b))。

1つの項目上にある連続した停留点をまとめて、

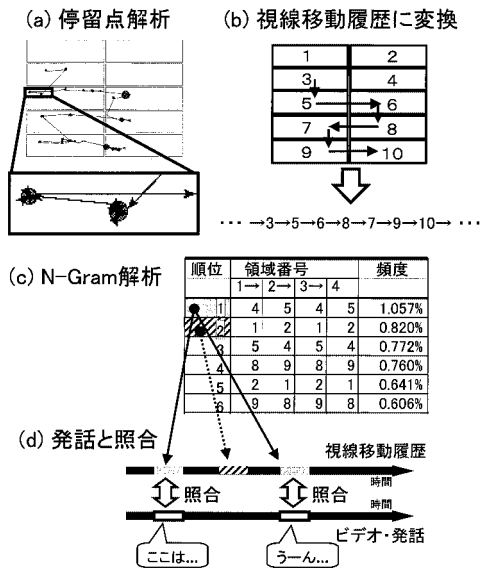


図 1 解析ステップ

Fig. 1 Analysis steps.

視線移動の履歴を構成する。これは項目番号を要素とした記号列として表現され、解析の基本データとなる。

- (4) 履歴を N-Gram 解析し、高い頻度で現れる記号列をパターン候補としてリストアップする (図 1(c))。
- (5) (4) でリストアップした候補パターンを同時発話・事後発話と照合する (図 1(d))。リストアップされたパターンの候補を、1 つ 1 つ手作業でビデオ映像および発話と照合して「迷っているときに共通して発生するパターン」を探す。このステップは自動で行うことができず、手作業で行う。

パターンの検証

パターンの解析では実験時の同時発話/事後発話をもとにしたが、これだけでは「迷い」の理由を十分に特定できない。パターンが数秒から数十秒の細かい時間粒度で発生するのに対し、発話の時間粒度が数十秒から数分と粗いためである。実際のユーザ支援を検討するうえで、パターンが発生したその瞬間の思考を測定する必要がある。

思考を測定する方法としては、作業過程を意識的に発話させる発話思考法¹³⁾が広く利用されている。ところが、視線を測定しながら意識的に発話させた場合、被験者が画面上の文を読み上げてしまい視線に影響する恐れがあるため、用いることができない。

そこで、我々はパターンが発生した時点で作業を止

め、その直前の思考を尋ねる手法を提案する。この方法では、被験者は通常どおり作業を行えるため、視線への影響を小さくおさえることができる。検索システムの背後でつねに視線を解析し、パターンが発生した時点で自動的にユーザの思考を尋ねるダイアログを提示する。このとき検索システムは停止する。被験者はダイアログの指示に従って直前の作業を説明する。

ダイアログを提示する方法を簡単にまとめると以下のようなになる。

- (1) 停留点解析を行う。
- (2) 停留が終了するたびに領域を判定する。領域判定は停留点の中心で行う。
- (3) 停留している領域が前の停留点と異なれば領域番号を視線移動履歴に追加する。
- (4) 視線移動履歴に追加されるたびにパターンを判定する。あらかじめ設定した閾値を超えた場合、パターンと判定する。
- (5) パターンが検出された時点でダイアログを提示する。

タスクの条件

我々の基本的なアプローチである「項目間移動の視線パターン」はどのような検索システムでも等しく生じるものではない。うまく我々のアプローチを適用できるようなタスクを選択する必要がある。そこで、次のようないくつかの条件をタスクに対して設定した。

- (1) 逐次的に情報獲得を行うタスクである。ユーザが随時、検索システムの情報を参照しながら行うタスクが適している。これは情報を参照する視線を解析する以上、当然であろう。
- (2) 提示情報が適切な情報量を持っている。ユーザが何度か参照するだけの適切な情報量を各項目が持つことが望ましい。たとえば、極端な例として検索結果が単語のみである場合、各項目は容易に記憶されてしまい、選択肢間で迷う視線が表れにくいであろう。
- (3) 提示情報を同粒度の情報に分割して画面上に配置できる。

これらの条件に合致するタスクとして対訳例文集を参照しながら行う翻訳作業を選択した。1章で述べたようにこの作業は情報検索における大量候補の問題を典型的に含んでいる点で題材として適切である。さらに、以下のように上記タスク条件にも合致する。

- 逐次的に辞書の検索・参照を行う必要がある。条件 (1)
- 提示情報が対訳例文という簡単に記憶できない情報量を持っている。条件 (2)

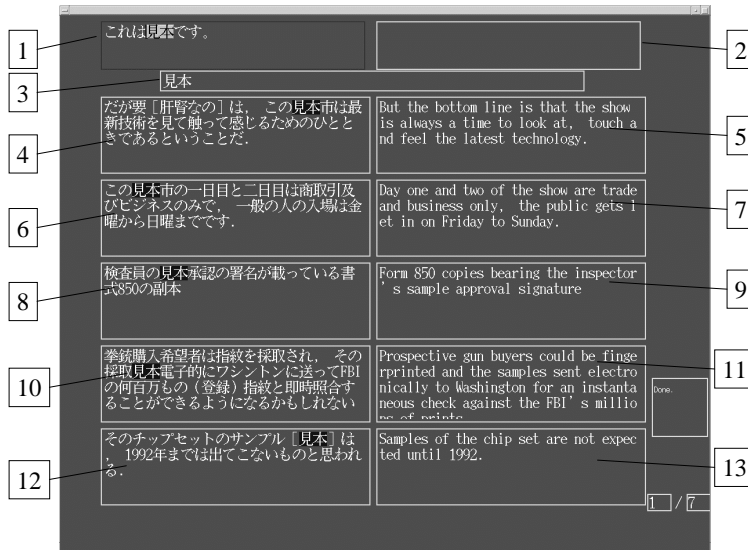


図 2 実験用対訳用例検索システム画面例

Fig. 2 Sample screen of a parallel-corpora retrieval system.

- 情報の粒度のばらつきが例文の長さの範囲にとどまる．条件 (3)

4. 実験 1 パターンの解析

4.1 方法

目的

本実験の目的は翻訳作業時の視線から「迷い」の状態に特有な視線パターンを解析することである．

手法

実際に日本語から英語へ翻訳作業を行っている被験者の視線を測定し、視線パターンを解析した．

翻訳には実験用に作成した対訳用例全文検索システム (図 2) を利用した．このシステムは 45000 の対訳用例を任意の文字列で全文検索できる機能を持っている．実験開始時に課題フィールド (図 2[1]) に課題となる和文が提示された．被験者は検索システムを利用しながら課題を英文に翻訳し、入力フィールド (図 2[2]) に入力するよう指示された．

検索は画面上の文字列をマウスドラッグで選択し、F3 キーを押すことで実行される．画面上のどの文字列でも選択して検索することができ、表示されていない文字列は一度入力フィールドに入力してから選択することで検索できる．検索キーワードは領域 3 (図 2[3]) に表示されるためいつでも確認できる．検索結果は領域 4 から 13 に、最大 5 対表示される．5 対以上あっ

た場合はページめくりキー (F6 が次ページ、F7 が前ページ) によって順番に参照することができる．全体のページ数、現在のページ番号は画面の右下 (図 2[13] の右下) に表示されているためいつでも確認できる．終了コマンド (Control + Q) でシステムは終了する．

課題となる和文は市販の参考書などから抜粋した．課題の一部を以下に示す．課題の多くは (3) のように完全な文であるが、英語初級者の被験者でも翻訳が可能なものとして (1) のような単語のみの課題を 2 題、(2) のような文節のみの課題も 2 題用意した．

- (1) 構造
- (2) 朝一番早い電車
- (3) 画面が出ない場合はコンセントがきているか検査してください．

実験手順

- (1) 課題を提示

左上のフィールド (図 2[1]) に提示される和文を英語に翻訳して、右上のフィールド (図 2[2]) に入力するよう指示．

- (2) 翻訳作業

被験者の自己申告で終了する．翻訳できずに終了する場合も許した．時間制限は設けなかった．実験中、被験者が操作しているワークステーションのスクリーンをビデオに記録した．ビデオに

は作業中の視線が分かるように視線を示す十字形のマークを重畳した。

(3) 事後発話プロトコル収集

翻訳終了直後に、作業中のビデオ映像を再生しながら事後発話を記録した。

被験者

実験には6名が参加した。実験前に各自の英語に関する語学力を自己申告して貰い以下のとおり分類した。

・初級者 2名 ・中級者 1名 ・上級者 3名

実験環境

視線検出には、非接触式角膜反射型視線追跡装置 EMR-NC (NTT 社および NAC 社開発) を使用した。EMR-NC の測定精度は視野角 0.28 度 (模擬眼利用時)、サンプリングレートは毎秒 30 回である。EMR-NC はワークステーション Sun Sparc10 (SS10) に接続されており、計測した視線データはリアルタイムで SS10 に転送された。また、実験刺激の提示には 21 インチモニター Nanao FlexScan68T を利用した。

解析

3章に述べた方法で解析を行った。停留点は、最小停留時間を 66.7 msec、最大停留点直径を視野角約 1.5 度で定義した。候補パターンの照合については次の 4.2 節で述べる。

4.2 結 果

1 被験者あたりの課題数は最も多い被験者で 12 題、最小で 3 題、平均で 7.17 題であった。1 課題あたりの回答までの時間は全被験者平均で 209.6 秒、最短で 18.9 秒、最長では 1579 秒あり被験者により大きなばらつきがあった。

2-Gram から 5-Gram までの N-Gram 解析の結果から、パターン候補をリストアップした。例として 4-Gram 解析の結果 2393 種類のうち、上位 20 を表 1 に示す。表 1 には順位・頻度・移動した領域番号と意味を示した。たとえば最も頻度の高い 4 5 4 5 では、領域 4 は用例の和文、5 が英文であり、用例の和文と英文を交互に移動したと解釈できる。そこで「用例和 用例英」と表した。

このようにリストアップされた視線パターンの候補を上位のものから順次、実験時の同時発話・事後発話と照合した。そして、共通したユーザの迷いが生じるパターンを探索した。たとえば、表 1 において「課題和 入力英」というパターンが、高い頻度 (順位 2 位と 5 位) で表れていることが分かる。照合した結果、このパターンは課題終了時に入力した英文が正しく訳

表 1 N-Gram 解析例 (4 Gram, 上位 20)

Table 1 Results of N-Gram analysis (4-Gram, 1st-20th candidates).

順位	領域番号				頻度	意味	
1	4	5	4	5	1.06%	用例和	用例英
2	1	2	1	2	0.82%	課題和	入力英
3	5	4	5	4	0.77%	用例和	用例英
4	8	9	8	9	0.76%	用例和	用例英
5	2	1	2	1	0.64%	課題和	入力英
6	9	8	9	8	0.61%	用例和	用例英
7	12	13	12	13	0.58%	用例和	用例英
8	6	7	6	7	0.58%	用例和	用例英
9	13	12	13	12	0.55%	用例和	用例英
10	10	11	10	11	0.43%	用例和	用例英
11	5	4	5	7	0.42%	その他	
12	3	3	3	3	0.40%	同一領域 (検索語)	
13	4	5	7	6	0.40%	その他	
14	11	10	11	10	0.39%	用例和	用例英
15	7	6	7	6	0.38%	用例和	用例英
16	4	5	4	6	0.38%	その他	
17	7	5	4	5	0.34%	その他	
18	6	8	10	12	0.32%	和文スキャン	
19	5	4	6	7	0.31%	その他	
20	2	3	2	3	0.30%	検索語	入力英

せていることを確認するときに生じることが分かった。つまり、これは確認のプロセスであり「迷い」とは関連がなく、視線パターンとはしなかった。また、領域 3 を繰り返して見るパターン (12 位) は、領域 3 が他の領域よりも狭いために、測定誤差が影響して頻度が高くなっていることが分かった。このように迷いとは関連のないパターン候補を切り捨てて候補を絞り込んでいった。

その結果 2 つのパターン、比較パターンとスキャンパターンがユーザが迷っているときに特徴的に発生するパターンであることが明らかになった。以下、これらのパターンの詳細について述べる。

比較パターン

これはユーザが英文と対応する和文を、照らし合わせて読んでいるときに生じるパターンである。図 3 に視線の例を示す。図 3 から、英文から始まって和文へ、そして再び英文へと約 10 秒間にわたり視線が往復していることが分かる。このパターンは高い頻度で観察された。表 1 の中では 4 5 4 5 (1 位) や 6 7 6 7 (8 位) といった「用例和 用例英」と示されているものが比較パターンに対応している。

このパターン発生時には「英文が分からなかった」「英文が難しかった」といった事後発話が頻りに現れていた。これらの結果から、被験者は英文を理解しようとしているが英文と和文との対応関係が理解できず

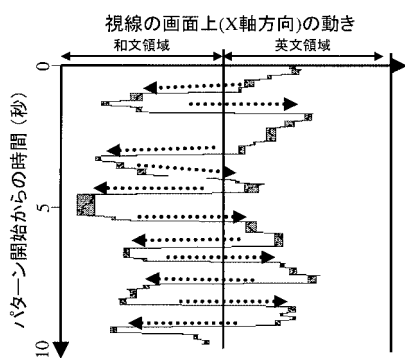


図3 比較パターンの視線例

Fig. 3 Example of eye movement in the comparing pattern.

に迷っている状態であると推測できる。

もう一つ、比較パターンの特徴として、回数の多いパターンが初心者によく生じていたことがあげられる。特に、10回以上の比較はすべて初心者・中級者で生じていた。このことから初心者ほど迷いやすく、回数が多い比較パターンは初心者によく生じ上級者には少ないと考えられる。

スキャンパターン

もう一つのパターンがスキャンパターンである。これは検索結果の和文部分を上から順番に見る視線である。このパターンも比較的高い頻度で生じた。表1には、18位に6 8 10 12という形で現れている。また、表にはないが22位には4 6 8 10というパターンが現れていた。

領域4, 6, 8, 10, 12はすべて和文部分であり、4 6 8 10 12という順序は上部のものから並んでいる(図2参照)。このようなパターンは6名の被験者全員に生じ全体で107回生じた。これは、全被験者平均で84秒に1度の頻度で生じている計算になる。

実験データから、スキャンパターン発生直後にしばしば画面を切り替える操作(ページめくりまたは検索)を行っていることが分かった。ユーザが画面を切り替える場面とは、一般に検索結果の中に適当な用例が含まれず、次の用例を参照していると考えられる。このことからスキャンパターンは、翻訳の参考になる用例を探しているが検索結果が期待したものではないために、次々とページをめくっているような場合に生じるパターンであると推測した。

我々はスキャンパターンがページめくりと関連していることを統計的に検証するために、パターンから最も近い画面切替え操作までの時間の分布と、それ以外

の場合の時間分布をMann-WhitneyのU検定で有意差検定を行った。縦に3つ以上の和文部分を連続してみた場合をパターンとして定義した。その結果 z は -10.247 ($p < 0.0001$)であり統計的に有意差があることが分かった⁹⁾。

4.3 議論

今回の実験で2つの視線パターンを見出した。しかし、これらの場面においてユーザが具体的にどのように迷っていたのかは依然明らかではない。3章でも述べたように、これらのパターンを実際に作業支援に利用するためには、パターンが発生したときにどのような理由で迷っているのか、そしてどのような支援が必要としているのかを明らかにする必要がある。

- 何回以上往復する比較パターンが迷いを示しているのか？ それはどの程度確実なのか？
- 比較パターンが発生したときのユーザの迷いとはどのような迷いなのか？ そしてどのような支援が必要なのか？
- 何%のスキャンパターンが、実際に不要な情報を削除しようとしているときに生じているのか？

次の章ではこれらを明らかにするために行ったパターンの検証実験について述べる。

5. 実験2 パターンの検証

5.1 方法

目的

実験2ではパターン発生時のユーザの思考を測定し実験1の結果を検証する。実験1の結果を次のように仮説に整理した。

仮説1 ある回数以上往復する比較パターンが生じる
とき、ユーザは実際に「迷い」の状態にある。

仮説2 ある個数以上を読み飛ばすスキャンパターンが生じる
とき、ユーザは画面上の情報に不要だと感じている。

これらの仮説を検証し、回数(個数)を明らかにするとともに、各パターンが発生したときにユーザが何に対して迷っているのか、どのような支援が必要なのかを確認する。

手法

3章で述べた、パターンが生じた瞬間にその時点の思考を発話させる手法を用いた。

実験に用いた対訳用例検索システムは基本的には実験1で用いたものと同様である。異なる点は画面構成を修正した点と、ダイアログの自動提示を行う点である。画面構成の修正としては、図2における領域3の形を変えた点と、検索結果表示領域(4-13)それぞれの

片道を1回とカウントした。

間隔を広げて誤差の影響を受けにくくした点である。

ダイアログの自動提示については、3章で述べたアルゴリズムに基づいて実装した。ダイアログの設問は予想される返答を考慮して決定した。例としてスキャンパターン用ダイアログの設問を以下に示す。

- (1) この画面が表示される直前、英文/単語/熟語などを探していませんか?(はっきりと条件を定めて探していた・探していたものがあつた・探しているものがなかった・まだ分からない)
- (2) (1)で「はっきり条件を定めて探していた」と答えた方、何を探していたのか口頭でなるべく詳しく説明してください。
- (3) この画面が表示される直前に考えていたことをなるべく詳しく口頭で説明してください。

また、様々な長さのパターンに対して分析を行うため、パターン検出の閾値を変えて実験を行った。これは、小さな閾値を設定すれば長いパターンが検出されにくくなり、逆に大きな閾値を設定すれば短いパターンが無視されてしまうためである。検出されていない長さのパターンを検出できるように、閾値の自動制御を行った。

実験手順の概要を次に示す。

- (1) 課題提示(実験1と同様)
- (2) 翻訳作業(実験1と同様)
- (3) ダイアログ提示
パターン発生時に質問用ダイアログが提示される。提示された時点で翻訳作業を終了し、ダイアログに返答する。ダイアログ上の「次へ」というボタンを押すことで次の課題が提示される。
- (4) 翻訳終了
パターンが発生せずに翻訳が終了した場合は被験者の意志でシステムを終了することができる。終了後、自動的に次の課題が提示される。

課題

実験には一部のみを翻訳する部分翻訳課題を用いた。鍵カッコでくくられた部分が翻訳対象である。

- 両国の間の紛争は我が国にも[飛び火]する可能性がある。
- 彼はいつでも[向上心]をもって活動していることが手によるように分かる。
- それでは我々は彼の[お手並み]拝見といきますか。

被験者

被験者は7名で全員理系大学生および大学院生であった。実験前に英語力を自己申告してもらった。その結果、実験1と比較して被験者間での英語力のばら

つきは小さく、およそ一般的な大学院生の英語力があるものと判断できた。

実験環境

実験1と同様であるため省略する。

解析

停留点解析のパラメータは実験1と同様である。

5.2 結果

結果を図4と図5に示す。一被験者あたりの課題数は最も多い被験者で42題、最小で27題、平均32.1題であり被験者間で大きなばらつきはなかった。また、回答までの時間は平均130.1秒、最大でも737.9秒であり実験1のような極端に大きな時間のばらつきはなかった。

比較パターン

結果を図4に示す。横軸がパターンの比較回数、縦軸は度数とユーザ意図による分類である。図4から8回以上往復する場合はすべてユーザが何らかの原因で迷っている場面であることが明らかになり、仮説1は裏付けられた。このような8回以上往復するパターンは4名の被験者において生じていた。そのためこの現

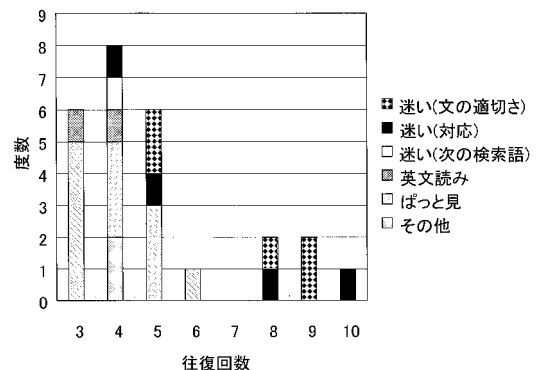


図4 比較パターン解析結果

Fig. 4 Results for the comparing pattern.

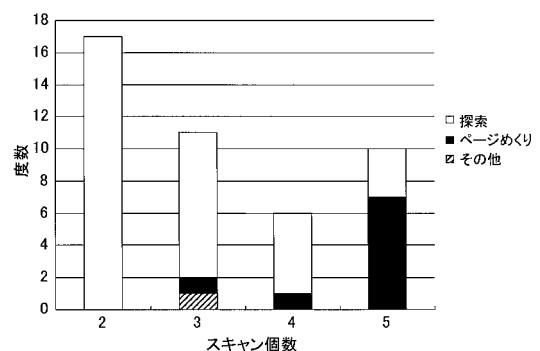


図5 スキャンパターン解析結果

Fig. 5 Results for the scanning pattern.

象が特定の被験者に固有のものではないことが確認された。3回の往復の場合は、ほとんどが「ぱっと見」に分類され「迷い」を示さなかった。4回・5回往復に関しても、徐々に「迷い」の割合が増加していた。ただ、6回・7回の往復は非常に少なかったため評価できなかった。

この原因としては、もともと回数の大きいパターンの発生は少ないことが考えられる。もう1つの要因として、パターン検出のための閾値の制御が適切ではなかった可能性がある。5.1節で述べたように、様々なパターンを検出できるように閾値を自動的に制御している。この制御で6回のパターンを検出するよう閾値を設定した実験が少なく、もともとの発生の少なかった6・7回比較を検出できなかったと考えられる。

各分類の意味は以下のとおりである。これらはダイアログへの返答と実験時の発話から判断した。

迷い(文の適切さ) 用例の英文が、翻訳している課題の参考になるか判断している場面

迷い(対応) 用例の英文の一部の意味が分からず、左にある和文と照らし合わせている場面

迷い(次の検索語) 検索結果が予想と異なっしまい、次にどのような検索語で検索を行うべきか考えている場面

英文読み 英文を読んで理解できた場面

ぱっと見 一瞬見ただけでダイアログが表示されてしまった場面

その他 ユーザ意図が判断できなかった場面

個々のパターン発生時におけるユーザの思考も明らかになった。表2に例を示す。課題は「足しにする」という和文である。ユーザはこれを訳すために、「足

し」をキーワードに検索を行ったところ、5つの例文が見つかった。この中で被験者は表2に示した例文に注目した。発話からは、まず例文の和文を見て適切であると判断したことが分かる。これは、パターンが和文から開始するというかたちで視線にも現れている。また、発話から「fill the yawning gaps」という英語の意味は理解しており、課題の訳として適切かどうかを検討していることが分かる。このように本検証手法を用いることで、個々のパターン発生時にユーザの「迷いのプロセス」を確認することができ、作業支援を検討するうえで重要な情報を得ることができた。

スキャンパターン

結果を図5に示す。横軸はスキャンした文の数、縦軸は度数および分類である。

グラフから、縦に2個の文をスキャンするパターンではすべて「何かを探している」場面であり読み飛ばしであるとはいえないことが分かる。3個、4個についても同様である。しかし、縦にすべての文(5個)をスキャンするパターンでは、10回中7回で、「不要な例文を消して次のページを表示しようとしたときにダイアログが表示された」と報告された。このパターンは5名の被験者に現れた。これらの結果より縦に5個をスキャンするパターンにおいてのみ仮説2が正しかったといえる。

ユーザの意図の分類は、比較パターンと同様ダイアログへの返答と実験時の発話から判断した。探索かどうかは設問1への返答で判定した。探索の中でも「探しているものがみつからず次のページを見ようとしていた」という発話があった場合は「ページめぐり」に分類した。「その他」は判定ができなかった場合である。

6. 作業支援の検討

本章では、本研究の結果を利用したユーザ支援を検討する。

比較パターン

実験結果から、8回以上往復する比較パターンの出現として「迷い」の状態を検出できることが分かった。また、比較パターンが生じているときには「用例文の適切さ」に迷っている場合と、英文と和文の「対応」が分からずに照らし合わせている場合の2通りの「迷い」が存在することが明らかとなった。

「用例文の適切さ」に迷っている場合には作業方針の変更を提案することで作業効率を向上できると考えられる。例として、表2の場面を検討する。この場面では日本語の「足し」という言葉にこだわってしま

表2 実験で観察された「迷い」の例
Table 2 Example of user uncertainty during the experiment.

課題	海外旅行の[足しにする]ためにバイトをした。			
検索キーワード	足し			
比較した用例				
和文	両社とも、彼等の米国での商品構成の大きな穴[大口をあけている欠落部分]を埋める足しにするために、この商品を必要としている。			
英文	Both companies need this product to help fill the yawning gaps in their U.S. lineup.			
比較回数	9回			
領域推移	領域4(和文)	領域5(英文)	4	5
	5	4	5	4
持続時間	23.8秒			
発話(抜粋)	「日本語をみるとあっているかなあとおもったんですけど英語を見るとちょっと違うなあとおもって、gapをうめるにはっていうのはがうかなと...」			

い行き詰まっていた。効率良く作業を進めるためには「足す」などの別の活用形で検索する、「補う」「補助する」など別の表現に言い換えて検索するといったように翻訳の方針を変更する必要がある。

そこで、比較パターンが生じた時点で現在の検索語の類義語を次の検索語の候補として提案することができればユーザは適切なヒントを得ることができるであろう。具体的には、比較パターンをトリガとして現在の検索語の類義語をシソーラスから検索し、次の検索語の候補として提案するという方法である。

一方、「文の対応関係」に迷っている場合もいくつかの支援が考えられる。この場合には、英文の構文構造が複雑で難しい、英文と和文で構文構造が大きく異なっているため理解しにくいなどの理由が考えられる。そこでユーザが迷っている英文の構文構造や含まれる単語の意味を解析して提示することにより、理解を助けることができる。この支援は、視線から「迷っている英文」が特定されてはじめて可能になる。実現するには構文構造を解析する必要があるが、これは自然言語処理の技術を適用することで実現可能であろう。またユーザが迷っている例文の和文・英文の対応関係を解析して提示する支援も考えられる。完全な対応関係を自動解析することは困難だが、辞書や統計情報を用いて部分的に提示することは可能である。

これら3種類のうち、適切な支援はユーザによって異なる。そこで、適応型インタフェースの枠組みで学習する方法が考えられる。具体的には、すべての支援を提示したうえで「より多く読まれた」ものをユーザの視線から解析し、次からその支援の優先度を上げるという方法である。このように、適応型インタフェースの手法と視線解析を組み合わせることでより柔軟な支援を実現できるであろう。

スキャンパターン

実験結果から、スキャンパターンの出現として、「ユーザが画面上の情報を不要だと感じた時点」を検出できることが分かった。これを利用した支援としてまず考えられるのがページめくりの提案である。これは単純にスキャンパターンをトリガとして実現できる。また、比較パターンと同様に別の検索語を提案する方法も考えられる。

ここまでは、候補の提案を行う、情報を提示するなどの支援だったが、検索結果の優先順位をかえて必要性が高いものを優先的に表示するという方法も考えられる。これはユーザがページめくりキーを押したとき

に、通常であれば単純に次の情報を提示するところを、ユーザの意図に、より近い例文を優先的に表示するという支援である。これは読み飛ばされた例文と類似した例文の優先度を下げて提示することで実現できる。類似度の計算には文献14)で用いられている方法が利用できるであろう。

今後の課題

誤った推測に基づいて操作の自動実行を行った場合、ユーザのまったく意図しない動作が突然生じることになり戸惑うであろう。これは適応型インタフェース全般の問題であり様々な解決方法が提案されているが、予測自体の確実性を上げることも重要である。我々の研究においても、今後さらに多くの検証実験を行ったうえで、より厳密にパターンの定義を行う必要がある。また、操作履歴や画面に提示されている情報と組み合わせる推測を行うことにより精度を上げる方法も検討していく。さらに、解析の粒度を上げて「文のどの部分で迷っているか」が分かれば、より有効な支援を行うことができる。このような解析の詳細化も今後の課題である。

7. おわりに

本研究では「迷い」の状態を検出するための視線の解析手法および、パターンの意味を検証する実験の手法を提案した。この手法を和英翻訳課題に適用し、「迷い」を示す規則的な視線のパターンを発見した。次に、パターンが生じているときに実際にどのような迷っているのかを実験によって検証した。最後に実験結果を利用してより適切な作業支援が行えることを論じた。

6章でも述べたようにパターンの確実性の問題および解析の詳細化が今後の大きな課題であり、さらに実験を重ねる必要がある。

また、本手法を他の題材に適用することで、手法の一般性を確認する必要がある。その題材として他の情報検索課題、たとえばWebの検索エンジンに適用することが考えられる。さらに、各エンジンの「迷い方の違い」を評価して検索インタフェースの改良につながることも考えられる。

近い将来、視線追跡装置が身近な存在になったときには、本研究の成果を利用することでより柔軟な作業支援を実現できるであろう。

謝辞 本研究の実施にあたり NTT Communication Science 基礎研究所メディア情報研究部の吉川厚博士、

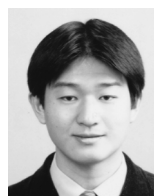
大野健彦氏のご指導・ご協力をいただいたことに謝意を表します。また東京大学理学部萩谷昌己教授のご指導に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Cypher, A. (Ed.): *Watch What I Do: Programming by Demonstration*, The MIT Press, Cambridge (1993).
- 2) Jacob, R.J.K.: The Use of Eye Movements in Human-Computer Interaction Techniques: What You Look At is What You Get, *ACM Trans. Information Systems*, Vol.9, No.3, pp.152-169 (1991).
- 3) Lieberman, H.: Autonomous Interface Agents, *Proc. Human Factors in Computing Systems: CHI 97 Conference*, pp.67-74, ACM Press (1997).
- 4) Maes, P.: Agents That Reduce Work and Information Overload, *Comm. ACM*, Vol.37, No.7, pp.811-821 (1994).
- 5) Sukaviriya, P. and Foley, J.D.: Supporting adaptive interfaces in a knowledge-based user interface environment, *Proc. 1993 International Workshop on Intelligent User Interfaces*, pp.107-113, ACM Press (1993).
- 6) Salvucchi, D.D.: Inferring Intent in Eye-Based Interfaces: Tracing Eye Movement Actions with Process Models, *Proc. Human Factors in Computing Systems: CHI 99 Conference*, ACM Press (1999).
- 7) Salvucchi, D.D.: Mapping Eye Movements to Cognitive Processes, Ph.D. Thesis, Carnegie Mellon University, CMU-CS-99-131 (1999).
- 8) Starker, I. and Bolt, R.A.: A gaze-responsive self-disclosing display, *Proc. Human Factors in Computing Systems: CHI 90 Conference*, pp.3-9, ACM Press (1990).
- 9) Takagi, H.: Development of an Eye-movement Enhanced Translation Support System, *IEEE Asia Pacific Computer Human Interaction 1998* (1998).
- 10) Torii, K., Matsumoto, K., Nakakoji, K., Takada, Y., Takada, S. and Shima, K.: Ginger2: an environment for CAESE (computer-aided empirical software engineering), *IEEE Trans. Softw. Eng.*, Vol.25, No.4, pp.474-492 (1999).
- 11) Zhai, S., Morimoto, C. and Ihde, S.: Manual and Gaze Input Cascaded (MAGIC) Pointing, *Proc. Human Factors in Computing Systems: CHI 99 Conference*, pp.246-253, ACM Press (1999).
- 12) 大野健彦: 視線を用いた高速なメニュー選択作業, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.2, pp.602-612 (1999).
- 13) 海保博之, 原田悦子(編): プロトコル分析入門—発話データから何を讀むか, 新曜社 (1993).
- 14) 隅田英一郎, 堤 豊: 翻訳支援のための類似用例の実用的検索法, 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol.J74-D-II, No.10, pp.1437-1447 (1991).
- 15) 高木啓伸, 吉川 厚: 学習情報を抽出するための視線情報解析手法, 科学教育学会第 19 会例会資料 (1995).
- 16) 高木啓伸: セレクションタスクにおける視線, インタラクティブシステムとソフトウェア 4, 日本ソフトウェア科学会 WISS '96, 近代科学社 (1996).
- 17) 高木啓伸: 視線情報を用いた推測型インタフェースの開発, 東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻修士論文 (1996).
- 18) 中島田義敬, 森崎修司, 門田暁人, 松本健一, 鳥居宏次: ソフトウェア開発行動の分析支援を目的とした映像検索システム, 信学技報, ソフトウェアサイエンス, SS96-61 (1997).
- 19) 長尾 真, 佐藤理史(編): 岩波講座ソフトウェア科学 15 自然言語処理, 岩波書店 (1996).
- 20) 増井俊之: 予測/例示インタフェースの研究動向, コンピュータソフトウェア, Vol.14, No.3, pp.220-235 (1997).
- 21) 増井俊之: 適応/予測型テキスト編集システム, インタラクティブシステムとソフトウェア II, 日本ソフトウェア科学会 WISS '94, 近代科学社 (1994).

(平成 11 年 11 月 1 日受付)

(平成 12 年 4 月 6 日採録)



高木 啓伸 (正会員)

1994 年早稲田大学理工学部電子通信学科卒業。1996 年東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻修士課程修了。1999 年同大学院理学系研究科情報科学専攻博士課程単位取得退学。1999 年日本アイ・ピー・エム(株)入社。現在, 同社東京基礎研究所にて視覚障害者向けユーザインタフェースの研究開発に従事。ソフトウェア科学会会員。