

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年5月30日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23650528

研究課題名（和文） 眼球情報を用いた提示内容の理解度評価手法の確立に関する研究

研究課題名（英文） Development of evaluation procedure for understanding contents presented using features of oculo-motors

研究代表者

中山 実 (Nakayama Minoru)

東京工業大学・大学院社会理工学研究科・教授

研究者番号：40221460

研究成果の概要（和文）：

回答を求める文章の読み過程における眼球運動を計測し、時間順序性を有する眼球運動特徴量を用いての回答正誤予測、回答に関する確信度を表す数理モデル化を目的とした。文章理解について内部状態を仮定して、回答確信度を示す2つの隠れ状態からなる隠れマルコフモデルを構築した。回答時の眼球運動をサッカードと注視に分離し、これらよりモデルのパラメータを推定し、状態系列を予測し、内部状態の時間的遷移の分析が可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：

A model-based approach was proposed to estimate users' contextual understanding from features of their eye movements while viewing question statements in response to definition statements. Features of eye movements were defined as a sequence of symbols, saccade and fixation. Eye movements were modeled using hidden Markov models for the sequential data, which has 2 states, "certain" and "uncertain". As a result, feasibility of chronological prediction using the model is examined.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・教育工学

キーワード：ヒューマン・インターフェイス・眼球運動

## 1. 研究開始当初の背景

眼球運動は、入力操作支援にも利用されるが、ユーザビリティや判断の確信度にも応じた変化をする。特に Web 検索候補や多肢選択課題での確信度が、眼球運動の特徴量で検討されている。

Web における回答行動は、広告バナーへのクリックのようにマーケティングや情報提供サービスの向上に重要であり、表示内容に対するユーザの理解度評価が求められる。教育分野ではオンラインテストで、内容理解やその確信度を評価している。

文章や画像などの提示情報に対する眼球情

報の特徴から内容の理解度を推定評価する手法を開発できれば、情報提示の支援や評価、学習者の理解過程の分析等に応用できる。

## 2. 研究の目的

本研究では提示情報の理解過程における眼球情報から、提示内容の理解度を推定する手法を開発確立する。

(1)記憶や理解に関する眼球情報の特徴抽出  
提示内容の理解を評価するために、記憶-再認型の課題を用いて、課題の回答正誤や正答率

で評価する，記憶や理解の指標と関係する眼球情報の特徴抽出を行う．さらに，提示する情報量の変化による眼球情報と理解度との関係を分析する．

(2)眼球情報による理解度の推定手法の確立：記憶・再認過程での眼球情報の特徴から提示情報の理解度を予測するモデルを確立し，高性能化するための条件を明らかにする．特に，記憶時と再認時での違いや，それぞれの推定方法を明確化する．

### 3. 研究の方法

#### (1)実験課題

実験課題は，定義文と質問文からなり，いずれも is-a ルールで記述された短文である．いずれの文も，2つの建物の位置関係を示す定義文である．これらの文から複数の建物の位置関係について理解することを求めた．この際，推移律などの2項関係によって，構造が理解されるようにした．また，定義文の提示数は実験条件によって，3, 5, 7文とした．これによって，全体的な内容理解と，短期的な記憶と保持の負荷を変化させて，課題の難易度を設定した．

実験では，条件で設定された数の定義文が5秒ずつ提示された．その後，10の質問文を提示した．質問文は，定義文から作成された命題で，逆や否定なども含むものである．質問文では，強制2肢選択で質問文の内容正誤について“Yes”(true), “No”(false)のどちらかできるだけ早く回答することを求めた．回答はマウスボタンの左右を押して入力を求め，反応時間を計測した．質問文の提示時間の制限は10秒であったが，回答後には次の質問文へ移行した．

課題数は各定義文ごとに5セット実施した．このため，被験者の回答回数は150(定義文3条件 x5セット x10質問)であった．

被験者は大学生および大学院生の6名であった．

#### (2)眼球運動の計測

被験者の眼球運動は，眼球運動計測装置(EMR-8NL)で非接触計測した．

課題はPCのプログラムで連続的に表示し，その回答も計測した．定義文および質問文は，前述の形式で，20インチのLCDモニターで表示した．

被験者はモニターから60cm離れた場所にあご台を用いて座り，被験者の前40cmのところに眼球運動計測カメラを設置した．実験セッションごとに，キャリブレーションを行った．眼球運動計測装置では，画面上の視線の位置を画面サイズに対して，640×480の解像度で

60Hzで計測した．

視線の位置情報は，眼球運動計測装置から時系列データとしてシリアルポートから出力され，実験用PCで提示した刺激情報と同期させて記録した．

#### (3)眼球運動の特徴データの定義

本研究では，先行研究に従って眼球運動からサッカド(saccade)と注視(fixation)の情報を用いた．計測した視線位置の時系列データから変位を算出し，分離の閾値として40deg./sec.を用いてサッカドを検出した．

### 4. 研究成果

#### (1)理解状態のモデル

質問文での回答過程における眼球運動の変化を表現するモデルについて説明する．

眼球運動の特徴を用いた先行研究における眼球運動の成分は，サッカドごとの特徴や眼球運動の成分を積算した特徴，そして注視空間に対応させて2次元での眼球運動の特徴の検討をしている研究がある．

本研究では，質問文が提示されている間に計測された眼球運動が，回答者の内部状態の変化によって出力されるものとする．その出力は，連続的に観測されるサッカド(sac:saccade)と注視(fix:fixation)であり，これらを出力シンボルとする観測系列を定義し，時系列データとして検討した．

本課題である強制2肢選択課題における質問文を黙読している間の文脈理解過程を，前述の確信度の概念と隠れマルコフモデルを用いて数理モデル化した．この黙読時の状態として，回答の確信度が高い状態と低い状態を

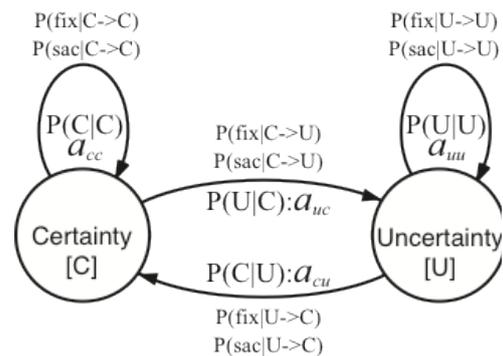


図1.マルコフモデル

設定し，常に状態遷移すると仮定した．

モデルの概要を図1に示す．すなわち，確信度が高い状態(Certain)では正答回答が，確信度が低い状態(Uncertain)では誤答回答することを意味する．質問文が提示された時点

では、文を読む前であることから正答できる可能性は低い。このため、初期状態は、確信度が低い状態とし、理解状態によって確信度が高い状態へ移ることを示している。確信度の高い状態と低い状態は、文の読み過程とともに時々刻々と変化すると考えられることから、2つの状態を遷移すると考える。

この間、それぞれの状態を反映して、眼球運動が変化するものとする。各状態からは注視とサッカーのシンボルが連続的に出力され、シンボル系列が生成される。これが上で定義した眼球運動を示す観測系列である。

この図に示す隠れマルコフモデルは、式で定義できる。

## (2) モデルパラメータの推定

前述の隠れマルコフモデルでは、出力シンボルの観測系列が実験結果より得られることから、パラメータの推定が可能である。

そこで、実験観測値よりパラメータを最適化し、モデルの性能を評価した。パラメータの最適化は Baum-Welch アルゴリズムを用いて行った。Baum-Welch アルゴリズムでは定義された尤度関数を最大化するものである。ここで、Forward アルゴリズムを用いて、尤度関数を最大化する状態系列を求めた。

モデルの性能評価は、Leave-one-out 法を用いた。すなわち、ある被験者の課題セットをテストデータとし、残りのデータを訓練データとしてパラメータの最適化を行った。

次に、テストデータの観測系列を用いて、隠れ状態間での遷移をシミュレートした。前述の仮定から、確信度の高い状態では正答、確信度が低い状態では誤答として、実際の回答応答との関係から正判別予測と誤判別予測となる割合を調べた。隠れ状態間の遷移は時系列で予測されるため、正誤判別の性能も時系列的に評価できる。

## (3) 確信度値の定義

前述のように、本研究で定義した隠れマルコフモデルでは、確信度が高い状態(Certain)と確信度が低い状態(Uncertain)の2つの状態を仮定した。それぞれの状態に存在する確率を  $c$ ,  $u$  とすると、 $c+u=1$  が常に成り立つ。これら2つの状態に関わる遷移から、それぞれの状態遷移確率が算出される。ここで、モデルの性質から、定常分布に収束する。このモデルにより生成されるマルコフ連鎖の均衡分布を用いると、正答すると思われる確信度が高い状態の確率が定義できる。

これによって、任意の時刻での確信度を算出することができる。

## (4) 推定精度の結果

前述のように Leave-one-out 法によってモデルの性能評価を行った。シミュレーションに

よる回答正誤と、実験での回答が一致した割合を推定精度と定義した。

シミュレーションでは、質問文を提示した時刻から眼球運動のサンプリング時間と共に状態が推定され、時刻ごとの推定精度が算出できる。この結果を、課題の難易度として設定した。提示した定義文の数(定義文数)ごとに平均値を算出した。

まず、定義文数間で推定精度を比較する。いずれの時刻においても定義文の数が3の条件が、推定精度が高く、続いて定義文数が5の条件、定義文数が7の条件が低かった。

すなわち、課題の難易度が低い実験課題では、高い推定精度が得られた。これは、実験値でも正答率が課題の難度によって低下しており、推定手法以外の要因による影響と考えられる。

次に、サンプリング時間ごとの推定精度を比較する。質問文を提示した直後の0-250ミリ秒の区間では、難易度の低い定義文の数が3の条件で、時刻550ミリ秒では全ての条件で、高い推定精度になった。最高推定精度は定義文数ごとに異なり、定義文数3の条件では83.33%(時刻550ミリ秒)、定義文数5の条件では76.33%(時刻550ミリ秒)、定義文数7の条件では70.67%(時刻550ミリ秒)であった。

いずれの推定精度も、二項分布による検定では有意な推定精度である。また、質問文への回答中の眼球運動特徴から、回答正誤をサポートベクトルマシン(SVM)で推定する結果と比較しても、推定精度は同程度以上であった。先行研究の手法では、観測時間内の特徴情報によって推定したが、

本手法では時系列的に推定可能であり、上述のように時刻の依存性が検討できた。

## (5) 内部状態の検討

内部状態として定義文数ごとに確信度が高い状態(Certain)にある確率  $c$ (確信度)と、眼球運動のサンプリング時間の関係を調べた。

まず、サンプリング時間による変化を見ると、質問文提示直後の100-250ミリ秒では確信度が高く、時刻が経過するに従って確信度が低下する。特に、1秒以降では確信度が大きく低下していることがわかる。実験での反応時間計測の結果では、全体の平均反応時間は3秒程度であり、質問文を読んで回答を判断する過程で、確信度が低下している状況を表していると考えられる。

定義文数による確信度の変化を比較すると、300ミリ秒以後では、定義文数3での確信度が高くなっているが、全体として、定義文数による顕著な違いは認められない。4秒時点では定義文数による違いは見られなかった。

## (6) 他の指標との比較検討

結果では、眼球運動の観測時間に応じた時系列的な推定精度や確信度の変化を分析した。これらの結果では、質問文の提示直後やある時間領域での変化が認められた。課題の性質から、文章を読んで理解することが、選択回答に必要な情報処理である。

文章理解に関して、時系列的な分析を行う研究例として、事象関連電位(ERP)を用いた研究がある。特に、文脈理解を検出する N400 が知られている。これは、文章末での文脈上の不整合が、文章提示後 400 ミリ秒前後に現れる陰性波に影響を与えるものである。

本実験での質問文は ERP 実験に用いることを前提に作成された文ではないが、短文で 15 文字程度のものである。質問文の読み時間が ERP 実験とほぼ同程度と仮定すれば、400 ミリ秒程度で読み終えろと考えられる。文の読みに関する潜時については、眼球運動の潜時や辞書アクセスに関する検討から、読みの初期段階で 150--200 ミリ秒程度を要すると考えられる。すなわち、150 ミリ秒から 400 ミリ秒の間で質問文を読み取り、その後、定義文で構築された知識との照合、判断が行われると予想される。

定義文数間においては、定義文数が増加するほど課題の複雑度が上がり、推定精度の低下に繋がったと考えられる。時間ごとの推定精度の推移は、150 ミリ秒と 550 ミリ秒において極大値を確認した。

その値は定義文数 3 の条件下で最も大きく、150 ミリ秒と 550 ミリ秒において、それぞれ 84.33%、83.33%であった。上記の文理解過程を考えると、前者の 150 ミリ秒時点では、文頭の単語認識段階で、文脈理解による変化とは考えにくい。質問文提示後の文を読み始める段階での眼球運動の特徴が、読み理解が進んだ時点のものと類似するなどが影響したと考えられる。一方、後者の 550 ミリ秒は N400 の潜時と近い時間領域での反応であり、文脈理解に伴う眼球運動が観測されたことが影響したと考えることもできる。

次に、内部状態である確信度の高い状態の確率である確信度について考察する。時間ごとの確信度の推移は、100-250 ミリ秒において高い確信度を確認した。観測した時刻 100-250 ミリ秒における高い確信度の結果は、推定精度と同様に、質問文の提示直後は注視頻度が高く、読み理解が進んだ状態と同様な眼球運動特徴が現れたためと考えられる。既に述べたように、確信度は時刻とともに低下しており、誤答回答の反応時間が正答回答の場合よりも長いこととも符合する。ただし、確信度が比較的高い値に留まっているのは、本実験での眼球運動の特徴の偏りによると考えられ、より多くの特徴情報を加えること

によって改善が期待される。

この可能性検討については今後の課題である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

M. Nakayama and Y. Hayashi, Prediction of recall accuracy in contextual understanding tasks using features of oculo-motors, Springer, Universal Access in the Information Society, 査読有, 印刷中

[学会発表] (計 6 件)

(1)N. Takahashi, M. Nakayama, Chronological prediction of certainly in recall tests using Markov models of eye movements, BIOTECHNO2013, 2013 年 3 月 27 日, Lisbon, Portugal

(2)H. Yago, M. Nakayama, How stimulus image features of Kanji characters influence the absence of attention, AVA Christmas Meeting, 2012 年 12 月 18 日, London, UK

(3)高橋直也, 中山実, 隠れマルコフモデルによる眼球運動特徴量を用いた回答正誤予測の検討, 電子情報通信学会HIP研究会, 2012 年 3 月 29 日, 神戸

(4)中山実, 眼球情報による課題回答者の状態推定に関する基礎的検討, 第 5 回テスト学会ワークショップ, 2012 年 3 月 22 日, 東京

[その他]

ホームページ等

<http://www.nk.cradle.titech.ac.jp/~nakayama>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中山 実 (Nakayama Minoru)

東京工業大学・大学院社会理工学研究科・教授

研究者番号: 4022146