

# 眼球運動分析による英語リスニング電子教材学習者を対象とした 学習者の主観難易度推定法

## Estimation Method of e-Learning Learners' Subjective Difficulty by Eye Movement Analysis of English Listening Tests

繁田 亜友子†      濱本 和彦†      野須 潔†  
Ayuko Shigeta      Kazuhiko Hamamoto      Kiyoshi Nosu

### 1. まえがき

近年、大学等において e-Learning が広く活用されている。Learning システムでは、学習内容や課題の進捗状況、小テストの成績などといった学習履歴をデータベースに蓄積し、学習者の支援やアドバイス等に活用されている。

一般的に対面式講義において、教師は学習者の「客観的な学習内容の理解度」と「学習者の主観的な評価」の両方を判断し適宜授業が進められている。「客観的な学習内容の理解度」とは、教師の学習者に対する「学習内容の理解ができていないか」という評価であり、課題の解答状況やテストの結果が判断基準に用いられている。一方「学習者の主観的な評価」とは、学習者が学習内容に対して主観的に感じる「簡単」、「面白い」といった評価であり、必ずしもテストの結果から得られるものではなく、教師が学習者の表情やしぐさなどから随時判断している。学習内容の理解を深めるためには、「教師による客観的理解度」と「学習者の主観的な評価」の両者を考慮することが必要不可欠である。

e-Learning の学習環境においても「客観的理解度」の評価は、蓄積されたデータベースの学習履歴等を用いて対面式講義と同質の評価が可能であると考えられる<sup>[2]</sup>。しかし、多くの e-Learning システムでは、「学習者の主観的な評価」を得ることが出来ないため、対面式講義のように学習者の様子を把握し指導することができないという問題点がある。そこで「学習者の主観的な評価」をシステムが推定することが必要と考えられる。

ここで「学習者の主観的な評価」は、テストや課題の正誤結果や解答に要する時間といった学習履歴や学習者の行動データを用いてもある程度推定可能であると考えられる。しかし、文字や図・アニメーションなどによる解説を閲覧する教材では、学習者の学習履歴や行動データを十分に得ることが難しいと考えられる。そこで、教師に代わって学習者の学習の様子を常時観察できる手段として、情報機器端末の教材画面と対面しながら学習を進めていく e-Learning 学習形態を考慮し、解答を選択する過程を反映すると思われる眼球運動に着目した。

これまで、計算テスト、および閲覧主体型の教材を対象に学習者の頭部姿勢、視線、つぶやきなどの顔特徴からサポートベクターマシンを用いて学習者の主観的な難易度を推定している報告がある<sup>[3]</sup>。しかしこれらの顔特徴と主観的な難易度との間には個人差が存在することから、推定器を個人ごとに作成しており、多数の学習者を対象とする e-Learning においては実用面での課題が残る。

本研究は、学習者が問題解決中に学習内容に対して主観的に感じる「簡単」「難しい」いずれかの評価を主観難易度と定義し、選択式英語リスニング電子教材を対象に、解答時間の眼球運動から選択問題を遂行中の主観難易度を推定する手法について提案する。

まず、学習者の眼球運動から主観難易度を推定するために、学習中の学習者の眼球運動を測定し主観評価と対応付けを行う測定実験を行った。次に、主観難易度による眼球運動の違いについて分析し、推定に有効と思われる特徴量を抽出した。さらに、抽出した特徴量を用い、学習者の主観難易度を Support Vector Machine (SVM)<sup>[4]</sup>を用いて推定する。推定は解答時間とリスニング時間に着目し両者を比較検討する。

本提案手法の特徴は、以下のとおりである。(1) 画面表示された選択問題を遂行中の主観難易度を設問単位で推定する(2) 眼球の平均移動速度、視野角度、瞬きの回数といった眼球運動から学習者の主観難易度を推定する(3) 実用性を考慮し、学習者個人ではなく共通の特徴量を用いて推定が可能な点である。

本論文の構成は以下のとおりである。2章では、眼球運動測定および、主観難易度測定について述べる。3章では、2章の測定結果から主観難易度によって眼球運動に有意差が認められるのかを U 検定により確認し、主観難易度推定に用いる眼球運動の特徴量を抽出する。4章では、抽出した特徴量により SVM を用いた主観難易度推定の手法について述べ、シミュレーション実験を行う。最後に5章で本研究をまとめる。

## 2. 眼球運動測定および主観難易度測定

### 2.1 眼球運動測定

#### 2.1.1 測定条件と手順

被験者は、大学生 10 名(女性 5 名、男性 5 名)、英語学習レベルは大学初級レベルである。問題は、初級英語リスニング電子教材を用い 10 題出題した(会話音声の平均再生時間 8.9 秒)。問題は、大学初級レベルの被験者が(1)容易に解答できる問題(2)解答が比較的難しい問題(3)被験者によって評価が異なる問題の3つのレベルを基準に選んだ。問題数は(1)3題(2)3題(3)4題出題した。

問題は画面に1問ずつ提示し、画面上部に問題文、下部に解答肢の一覧を縦方向に4択で表示した。被験者には、最初に問題と解答肢の一覧が提示され、音声再生ボタンをクリックし問題文を聞き取り解答を解答肢一覧より選択する。問題と解答肢の一覧は、リスニング中も常に表示されている。解答後、次の問題ボタンをクリックし次の問題へ進む。なお、画面スクロールは無く再生ボタン、解答肢の位置も変化しない。また、画面の明るさ、コントラスト

†Tokai University

も一定とした。

以下、測定手順を述べる。

- (1) 被験者は、10問の学習問題について1問ずつ解答する。なお、会話音声の再生回数・解答時間共に被験者が解答するまで制限を与えなかった。
- (2) 被験者が学習している学習用PC端末モニタに表示された教材画面を被験者の後方よりビデオカメラで撮影した。
- (3) 10問の学習終了後直ちに、被験者に(2)で撮影した教材画面の映像を提示し、各問いについて2.2節で述べる主観難易度の測定を実施した。
- (4) 眼球運動の測定は、竹井機器工業製FreeView(T.K.K.2920)を用いて行った<sup>[5]</sup>。視聴する教材のモニタのサイズは21インチ、モニタと被験者との距離は100cmとした。なお、測定時は顎台を使用し被験者の頭部が動かないようにした。測定間隔は1/30secである。

### 2.1.2 眼球運動測定項目

フレーム(1フレーム1/30[sec])ごとに以下のデータを取得した。

- (1) 移動速度 [deg/sec]
- (2) 視野角度 X [deg]  
(正面を0とした時の水平方向の視野角度)
- (3) 視野角度 Y [deg]  
(正面を0とした時の垂直方向の視野角度)
- (4) 注視時間 [msec]
- (5) 瞬きの有無

有効視野角度範囲は、角度  $X = \pm 12.0[\text{deg}]$ 、角度  $Y = \pm 9.0[\text{deg}]$ に設定した。また、移動速度が5 [deg/sec]以下の動きを注視と判断する<sup>[6]</sup>。

## 2.2 主観難易度測定

本提案手法は、学習者の課題遂行中の眼球運動と遂行中の主観難易度を設問単位で対応付ける。ここで、課題解答中に主観難易度を逐次評価することも可能であるが、それらが学習を阻害する恐れも考えられる。そこで、被験者には、10問の学習終了後直ちに、撮影した教材画面の映像を提示し、以下の5段階の主観難易度を設問単位で測定した。

- (1) 簡単
- (2) やや簡単
- (3) どちらでもない
- (4) やや難しい
- (5) 難しい

5段階評価値(1)と(2)を主観難易度「簡単」、評価値(4)と(5)を「難しい」とする。なお、評価値(3)は中立状態として主観難易度からは除外する。

## 3. 推定に用いる眼球運動特徴量の分析と抽出

### 3.1 主観難易度の分布と正解率

表1に2.2節で実施した被験者10名の各リスニング問題に対する5段階評価値の分布と正答率を示す(全評価サンプル数100, 男女各50)。

表1 主観評価実験における評価値の分布と正答率

		(a) 女性		(b) 男性	
		評価値の分布		正答率	
		5段階 評価	主観 難易度	5段階 評価	主観 難易度
簡 単	1	12.0%	38.0%	83.3%	78.9%
	2	26.0%		76.9%	
	3	10.0%		-	
い し い	4	36.0%	52.0%	66.6%	61.5%
	5	16.0%		50.0%	

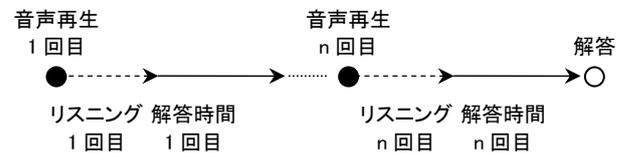


図1 リスニング時間と解答時間

女性の全評価数に占める5段階評価値の分布の割合は、5段階評価値(1)12.0%、(2)26.0%であり、主観難易度「簡単」は38.0%、一方、5段階評価値(4)36.0%、(5)16.0%であり、主観難易度「難しい」は52.0%であった。また、正答率は、主観難易度「簡単」では78.9%「難しい」では61.5%であった。

男性の全評価数に占める5段階評価値の分布の割合は、5段階評価値(1)28.0%、(2)14.0%であり、主観難易度「簡単」は42.0%、一方、5段階評価値(4)38.0%、(5)16.0%であった。正答率は「簡単」では90.4%「難しい」では44.4%であった。

主観難易度の分布には男女による差はさほど見られなかった。しかし、正答率は、主観評価「難しい」における女性の平均が61.5%と男性の平均が44.4%と比較しやや高い結果となったが、被験者は正答であっても「難しい」と評価する傾向があることが確認され主観難易度を検討する必要性が示されたと考えられる。

3.2 眼球運動の特徴量

本提案手法では、図1に示すリスニング時間と解答時間を定義し、それぞれの時間における眼球運動特徴量から主観難易度を推定する。

リスニング時間は、音声再生ボタンをクリックし問題の会話音声を聞き終わるまでの時間とする。解答時間は、会話音声を聞き終わり解答肢をクリック、または再度音声再生ボタンをクリックするまでの時間とする。問題文を複数回再生した場合は、すべての解答時間を合計した。

2.1.2節で述べた眼球運動測定項目から主観難易度推定に用いる特徴量を抽出するため各フレームの値から、以下

(a) ~ (h) 8項目の眼球運動特徴量の値を求めた。

以下に、式(a)から式(h)で用いる記号を示す。

$T$  [sec]: リスニング時間または解答時間の合計時間  
 $N$  [コマ]: リスニング時間または解答時間  $T$  (sec) の総フレーム数

$f_{vi}$  [deg/sec]:  $i$  番目のフレームの移動速度

$f_{xi}$  [deg]:  $i$  番目のフレームの視野角度 X

$f_{yi}$  [deg]:  $i$  番目のフレームの視野角度 Y

$f_{gaza}$ : 1回の注視時間

$f_{blinks}$ : 瞬きの有無

なお(a) ~ (f)の計算時には、注視・瞬きと判断したフレームは除いている。

(a) 平均移動速度  $v$

総解答時間  $t$  (sec) 中の移動速度  $f_v$  の平均値を  $v$  とする。

$$v = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_{vi} \text{ [deg/sec]} \dots\dots\dots(1)$$

(b) 移動速度の標準偏差  $s_v$

(a) で定義した移動速度  $f_v$  の標準偏差を  $s_v$  とする。

$$s_v = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (f_{vi} - v)^2} \dots\dots\dots(2)$$

(c) 視野角度変位  $dx$

フレーム  $n$  と  $n+1$  間の X 方向の視野角度の変化量を総解答時間で平均した値を  $dx$  とする。

$$dx = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |f_{xi+1} - f_{xi}| \text{ [deg]} \dots\dots\dots(3)$$

(d) 視野角度変位  $dy$

フレーム  $n$  と  $n+1$  間の Y 方向の視野角度の変化量を総解答時間で平均した値を  $dy$  とする。

$$dy = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |f_{yi+1} - f_{yi}| \text{ [deg]} \dots\dots\dots(4)$$

(e) 視野角度変位 X の標準偏差  $s_{dx}$

(b) で定義した視野角度  $f_x$  の標準偏差を  $s_{dx}$  とする。

$$s_{dx} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (f_{xi} - dx)^2} \dots\dots\dots(5)$$

(f) 視野角度変位 Y の標準偏差  $s_{dy}$

(d) で定義した視野角度  $f_y$  の標準偏差を  $s_{dy}$  とする。

$$s_{dy} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (f_{yi} - dy)^2} \dots\dots\dots(6)$$

(g) 注視時間  $gaza$

総解答時間  $T$  (sec) に占める注視時間  $f_{gaza}$  の割合を  $gaza$  とする。

$$gaza = \sum_{i=1}^N f_{gaza} \text{ [sec]} \dots\dots\dots(7)$$

(h) 瞬きの回数  $blinks$

総解答時間  $T$  (sec) に占める瞬きの回数  $f_{blinks}$  割合を  $blinks$  とする。

$$blinks = \frac{f_{blinks}}{T} \dots\dots\dots(8)$$

3.3 眼球運動と主観難易度との関連の分析

3.2節で定義した(a)から(h)の眼球運動特徴量の8項目について主観難易度によって差があるかを検討するために Mann-Whitney の U 検定 (Mann-Whitney U test) を行った。

なお、それぞれの項目は、単位が異なることから個人ごとに平均値  $x$  と標準偏差  $S_x$  を用い式(9)により標準化した値  $z$  を用いた。

$$z = \frac{(x - \bar{x})}{S_x} \dots\dots\dots(9)$$

リスニング時の眼球運動特徴量の U 検定の結果を図2に示す。

(a) 平均移動速度

主観難易度「簡単」の中央値は-0.60「難しい」の中央値は0.30であった。U検定の結果、有意水準5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた (U=423, p<.001)。

(b) 移動速度の標準偏差

主観難易度「簡単」の中央値は-0.47「難しい」の中央値は0.13であった。U検定の結果、有意水準5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた (U=661, p=.002)。

(c) 平均視野角度変位 X

主観難易度「簡単」の中央値は-0.67「難しい」の中央値は0.28であった。U検定の結果、有意水準5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた (U=508, p<.000)。

(d) 平均視野角度変位 Y

主観難易度「簡単」の中央値は-0.52「難しい」の中央値は0.25であった。U検定の結果、有意水準5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた (U=728, p=.010)。

(e) 視野角度変位 X の標準偏差

主観難易度「簡単」の中央値は-0.71「難しい」の中央値は0.35であった。U検定の結果、有意水準5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた (U=486, p<.001)。

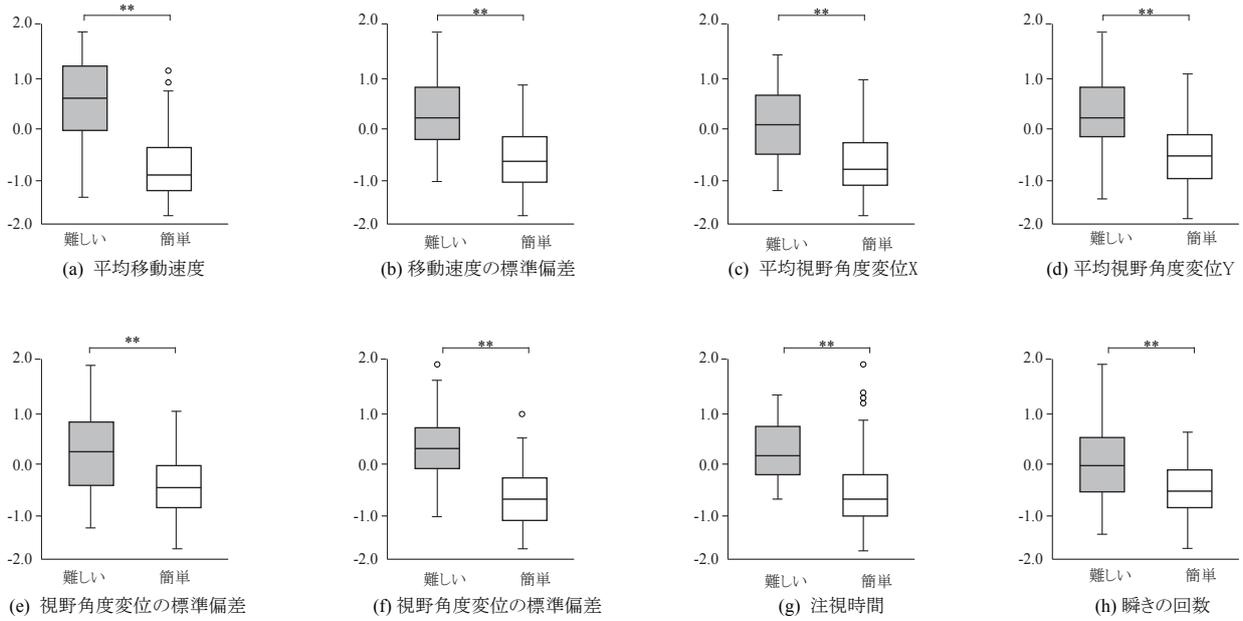


図2 眼球運動特徴量の比較 (女性) (Mann-Whitney の U 検定) (リスニング時)

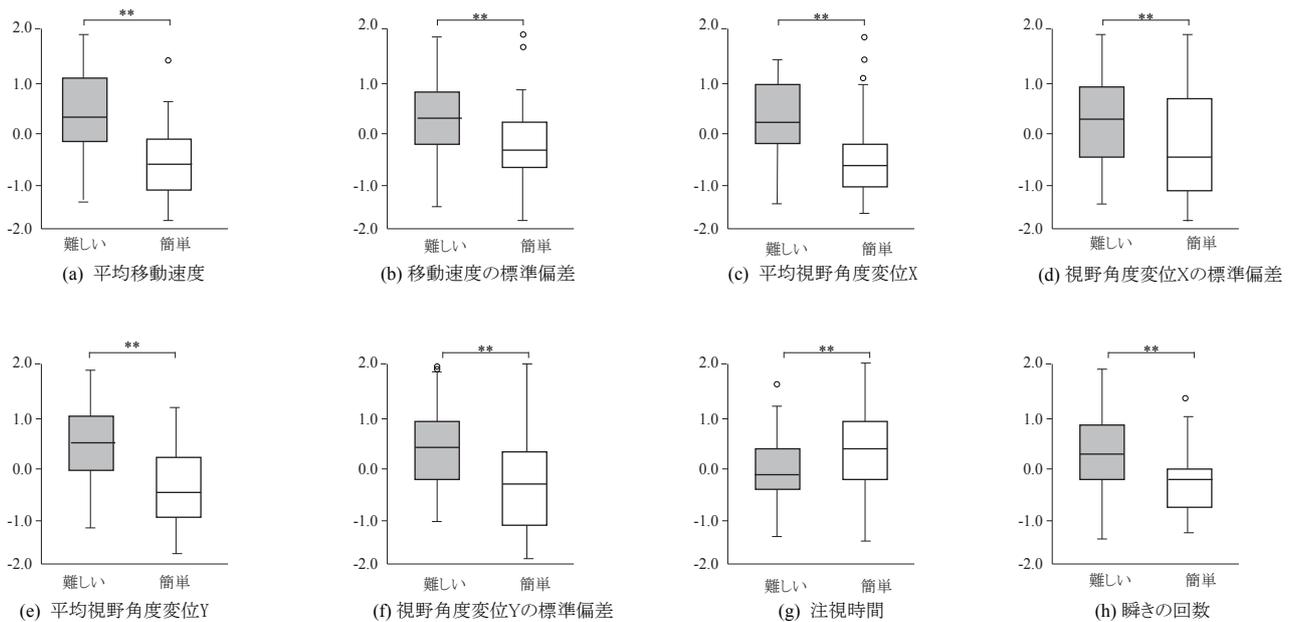


図3 眼球運動特徴量の比較 (男性) (Mann-Whitney の U 検定) (解答時)

(f) 視野角度変位 Y の標準偏差

主観難易度「簡単」の中央値は-0.48「難しい」の中央値は 0.28 であった。U 検定の結果、有意水準 5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた ( $U = 632, p < .001$ ) .

(g) 注視時間

主観難易度「簡単」の中央値は 0.29「難しい」の中央値は-0.33 であった。U 検定の結果、有意水準 5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた ( $U = 745, p = .015$ ) .

(h) 瞬きの回数

主観難易度「簡単」の中央値は-0.33「難しい」の中央値は 0.22 であった。U 検定の結果、有意水準 5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた ( $U = 563, p = .000$ ) .

表2 シミュレーション実験一致率結果 (リスニング時)

性別	主観難易度	A	B	C	D	E	平均
女性	難しい	80.0%	100.0%	83.3%	100.0%	100.0%	92.7%
	簡単	66.7%	75.0%	100.0%	100.0%	66.7%	81.7%
		F	G	H	I	J	平均
男性	難しい	80.0%	80.0%	100.0%	80.0%	80.0%	84.0%
	簡単	50.0%	25.0%	75.0%	50.0%	40.0%	48.0%

表3 シミュレーション実験一致率結果 (解答時)

性別	主観難易度	A	B	C	D	E	平均
女性	難しい	80.0%	100.0%	83.3%	80.0%	75.0%	83.7%
	簡単	100.0%	100.0%	100.0%	80.0%	66.7%	89.3%
		F	G	H	I	J	平均
男性	難しい	100.0%	83.0%	83.3%	100.0%	83.3%	89.9%
	簡単	75.0%	100.0%	100.0%	60.0%	75.0%	82.0%

次に解答時の眼球運動特徴量の U 検定の結果を図3に示す。

- (a) 平均移動速度  
主観難易度「簡単」の中央値は-0.82「難しい」の中央値は0.30であった。U検定の結果、有意水準5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた (U=325, p<.001)。
- (b) 移動速度の標準偏差  
主観難易度「簡単」の中央値は-0.80「難しい」の中央値は0.31であった。U検定の結果、有意水準5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた (U=455, p<.000)。
- (c) 平均視野角度変位 X  
主観難易度「簡単」の中央値は-0.59「難しい」の中央値は0.31であった。U検定の結果、有意水準5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた (U=592, p<.00)。
- (d) 平均視野角度変位 Y  
主観難易度「簡単」の中央値は-0.73「難しい」の中央値は0.40であった。U検定の結果、有意水準5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた (U=581, p<.000)。
- (e) 視野角度変位 X の標準偏差  
主観難易度「簡単」の中央値は-0.74「難しい」の中央値は0.43であった。U検定の結果、有意水準5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた (U=699, p<.001)。
- (f) 視野角度変位 Y の標準偏差  
主観難易度「簡単」の中央値は-0.76「難しい」の中央値は0.33であった。U検定の結果、有意水準5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた (U=347, p<.001)。
- (g) 注視時間  
主観難易度「簡単」の中央値は-0.42「難しい」の中央値は0.12であった。U検定の結果、有意水準5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた (U=656, p<.000)。

(h) 瞬きの回数

主観難易度「簡単」の中央値は0.14「難しい」の中央値は-0.17であった。U検定の結果、有意水準5%のもとで主観難易度の中央値には有意な差が認められた (U=951, p<.025)。

以上の結果よりリスニング時、解答時共に (a) から (h) までの8項目の眼球運動特徴量すべてに有意差が認められたのでこれらの特徴量に用いることとする。

#### 4. SVMによる主観難易度推定

3章において、学習者の眼球運動を測定し主観評価と対応付け推定に用いる特徴量の検討を行った。その結果、男女共に主観難易度によって眼球運動の分布に違いがあることが確認された。

本提案手法は、3.1節で求めた主観難易度別の眼球運動の8項目を特徴量とし Support Vector Machine (SVM)[4],[7]を用い主観難易度推定を行う。

SVMは、識別平面(超平面)と最も近い訓練サンプルとの距離をマージンと呼び、このマージンが最大となるような識別平面を求める。

2つのクラスを  $C_1, C_2$  とし各クラスのラベルを1と-1とする。訓練サンプル集合として  $n$  個の特徴ベクトル  $x_1, \dots, x_n$  とそれぞれの集合サンプルに対する正解ラベル  $y_1, \dots, y_n$  が与えられているとする。また、マージンからのみ出し量を  $\xi$  とする。この時、SVMは、式(11)の2次計画問題に帰着し識別平面を求める。

$$\begin{aligned} \underset{w,b}{\text{minimize}} \quad & G(w, \xi) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n \xi_i \\ \text{subject to} \quad & y_i (w^T x_i + b) - (1 - \xi_i) \geq 0 \quad \dots\dots\dots(11) \\ & \xi_i \geq 0 \quad (i=1, \dots, n) \end{aligned}$$

#### 4.1 シミュレーション実験方法

本提案手法では、主観難易度別の眼球運動の8項目の特徴量を SVM の特徴ベクトル  $X=(x_1, \dots, x_8)^T$  とし判別クラス  $y$  を  $y = \{-1, 1 \mid -1=\text{難しい}, 1=\text{簡単}\}$  の2値とする。カーネル関数には式(12)に示す Radial Basis Function (RBF) カーネルを用いる。誤差パラメータ  $C$  は1.0に設定した。

$$k(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2), \gamma > 0 \dots\dots\dots (12)$$

RBF カーネルに用いる  $\gamma$  はグリッドサーチにより最適値を求め<sup>[8]</sup>リスニング時、解答時共に  $\gamma=0.125$  に設定した。

提案手法の有効性を確認するために、シミュレーション実験を行った。実験は、2章で測定したデータを用い leave-one-out 法<sup>[9]</sup>により行った。まず、全被験者数を  $n_s$  人とする。一人分の全評価データを取り出し、残りの  $n_s-1$  人分を学習サンプルとして SVM の学習を行い、取り出した被験者をテストサンプルとした。これを全被験者について行った。

## 4.2 シミュレーション実験結果

主観難易度の一致率は、被験者ごと式 (13) を用いて算出した。

$$\text{一致率} = \frac{\text{シミュレーション結果と主観評価が一致した数}}{\text{総評価データ数}} \dots (13)$$

2.2 節の評価値(1), (2)の眼球運動特徴量を入力ベクトル  $X$  とした時、判別クラスが  $y = 1$  (簡単)、評価値(4), (5)の眼球運動特徴量を入力ベクトル  $X$  とした時、判別クラスが  $y = -1$  (難しい)となれば一致したとする。

リスニング時の実験結果を表 2 に示す。被験者 A~E は女性、F~J は男性である。女性の平均一致率は「難しい」92.7%「簡単」81.7%、男性の平均一致率は「難しい」84.0%「簡単」48.0%、被験者全体の平均一致率は「難しい」88.3%「簡単」64.8%であった。

次に、解答時の実験結果を表 3 に示す。女性の平均一致率は「難しい」83.7%「簡単」89.3%、男性の平均一致率は「難しい」89.9%「簡単」82.0%、被験者全体の平均一致率は「難しい」86.8%「簡単」85.7%であった。特に、リスニング時の男性の「簡単」の一致率が 48.0%と女性の平均 81.7%と比較し低い結果となった。

## 4.3 考察

本提案手法によるリスニング時における主観難易度推定の被験者 10 名による平均一致率は「難しい」88.3%「簡単」64.8%、解答時における平均一致率は「難しい」86.8%「簡単」85.7%であったことから、本提案手法を用いて解答時の眼球運動から e-Learning 学習者の主観難易度を推定できる見通しが得られた。

シミュレーション実験における平均一致率は、リスニング時と比較し解答時間の方が「難しい」では、1.5%「簡単」では 20.9%良い結果となった。これは、解答肢を選択する眼球運動が学習者の主観難易度による違いや特徴をより反映するためであると考えられる。

リスニング時の男性の一致率が低かった結果については、今後、被験者数を増やし検討していく予定である。

## 5. まとめ

本研究は、学習者が問題解決中に学習内容に対して主観的に感じる「簡単」「難しい」いずれかの評価を主観難易度と定義し、選択式英語リスニング電子教材を対象に、学習者の解答時間の眼球運動の特徴量から選択問題を遂行中の主観難易度を推定する手法について提案し、その有効性を検証した。

本研究により得られた結論は以下のとおりである。

- (1) 本提案手法によるリスニング時を対象とした主観難易度推定の結果は、女性の平均一致率は「難しい」92.7%「簡単」81.7%、男性の平均一致率は「難しい」84.0%「簡単」48.0%、被験者全体の平均一致率は「難しい」88.3%「簡単」64.8%であった。次に、解答時間を対象とした推定の結果は、女性の平均一致率は「難しい」83.7%「簡単」89.3%、男性の平均一致率は「難しい」89.9%「簡単」82.0%、被験者全体の平均一致率は「難しい」86.8%「簡単」85.7%であった。
- (2) 本提案手法を用いて主観難易度を推定するには、リスニング時よりも解答時の眼球運動特徴量を用いるほうが有効である
- (3) リスニング時および解答時の主観難易度によって眼球運動特徴量に有意差が認められるかを確認するために Mann-Whitney の U 検定を行ったリスニング時、解答時共に主観難易度によって、平均移動速度、移動速度の標準偏差、視野角度変位 X,Y、視野角度変位 X,Y の標準偏差、注視時間、瞬きの回数の中央値に有意水準 5%のもとで有意な差が認められたことから、これらを特徴量とすることが有効である。

今後は、被験者数を増やし詳細に検討していく予定である。さらに、マルチメディアデータを含む e-Learning 教材を対象に学習者の主観難易度の推定や「面白い」「つまらない」といった学習者の心理状態に関する推定についても検討していく予定である。

## 参考文献

- [1]特定非営利活動法人 日本イーラーニングコンソーシアム, "eラーニング白書 2008/2009 年度", 東京電機大学出版局 (2008).
- [2]UENO M. and OKAMOTO T., "Intelligent Bayesian agent as a facilitator in e-Learning" Proc. World Conference on e-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher education (e-Learning) 2006, pp.3084-3092 (2006).
- [3]中村 和晃, 角所 考, 村上 正行, 美濃 導彦, "e-Learning における学習者の顔動作観測に基づく主観的難易度の推定", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J93-D, No.5 pp.568-578 (2010).
- [4]V.Vapnik, "The Nature of Statistical Learning Theory", Springer Verlag. (1995).
- [5]小池 武士, 繁田 亜友子, 野須 潔, "e-Learning 学習者の眼球運動測定データによる感情推定の考察" FIT2009 (第 8 回情報科学技術フォーラム) 講演論文集, pp.515-516 (2009).
- [6]山田 光穂, 福田 忠彦, "画像における注視点の定義と画像分析への応用" 電子通信学会論文誌, Vol.J69-D, No.9 pp.1335-1342 (1986).
- [7]Thorsten Joachims, "Learning to Classify Text Using Support Vector Machines", Dissertation, Kluwer (2002)
- [8]Chih-Wei Hsu, Chih-Chung Chang, and Chih-Jen Lin, "A Practical Guide to Support Vector Classification", National Taiwan University (2003).
- [9]P.A. Lachenbruch and M.R.Mickey, "Estimation of error rates in discriminate analysis", Technometrics, 10, pp1-11 (1968).