

# 混合ベータ分布モデルによる VOD 講義の映像区間の検出

中村 慎吾<sup>1,a)</sup> 坂根 耕平<sup>1,b)</sup> 椎名 広光<sup>2,c)</sup> 小林 伸行<sup>3,d)</sup>

**概要:** 現在, インターネット環境を利用して講義を行う VOD 講義が多くの大学で行われている。しかしながら, 現状のシステムでは VOD の内容に対する検索機能がほとんど作成されていないため, 講義のタイトルからいくつか候補を選び, 動画を再生して目的のコンテンツを探す必要がある。そこで本研究では, 利用者が重要なポイントや復習したいポイントをより容易に探すことができるようにする検索機能を作成することを目標とする。検索機能は, 字幕データに字幕データに対する検索語の出現頻度をもとにし, 検索語が現れる確率を混合正規分布モデルや混合ベータ分布モデルに当てはめ, 得られる近似分布の成分から利用者の意図する映像区間の推定結果を提供する。また, 混合正規分布モデルと混合ベータ分布モデルでは, 近似分布の成分の形状が相違する。そのため, 平均の位置が最も大きくなり平均の位置で対称性のある正規分布と最大の位置が平均の位置にない非対称なベータ分布の間の区間推定結果の相違についても述べる。

## Detecting Movie Segments Using Beta Distribution for VOD Lectures with Japanese Subtitles

**Abstract:** Many universities are now using Video On Demand (VOD) lectures, which utilize the Internet to conduct lectures. However, because current systems are yet to implement search functionality for VOD, users must search manually by selecting videos based on their titles, playing a portion of the videos, and searching for the contents they are seeking. This study aims to create a search function that allows users to easily search important points and points to review. We propose a system in which the search function applies mixed normal distribution models and mixed beta distributions to the occurrence frequency of a search term based on the appearance frequency of the search term in subtitle data. Using the components of these distributions, the algorithm estimates the video segments the users are searching for. The shapes of approximation distribution components differ in the mixed standard distribution and mixed beta distribution. For this reason, we also discuss the differences in the segment estimation results in the normal distribution, which is symmetrical in relation to the average position and in which the average position is the largest, and the asymmetrical beta distribution, in which the largest position is not in the average position.

### 1. はじめに

現在, Web 教材を用いた e-Learning, すなわち WBT (Web-Based Training) と対面授業を組み合わせたブレンディッドラーニングやスライドと講義の動画を配信する VOD(Video On Demand) による e-Learning 講義などさ

まざまな大学で e-Learning の利用が行われている。岡山理科大学では VOD による e-Learning 講義を 2004 年度から行っている [1]。その中では VOD 教材を見かえすのに, タイトルの内容から目的の教材を探す必要があり, 復習が難しい状態にある。

多くの VOD 講義は, 配信や管理に学習管理システムを利用しており, それらのシステムの研究は多くなされてきている。SCORM[2] は e-Learning の標準フォーマットとして知られている。また, この学習システムは, 講義のコンテンツ管理や配信機能の他に学習者の支援も行えるようになっている。これに対して, これらの学習システム管理には, 学習支援へのシステムとして自主学習システムが必要と考えられ, 特に次の事項を示す。

<sup>1</sup> 岡山理科大学大学院 総合情報研究科  
Graduate School of Informatics, Okayama University of Science  
<sup>2</sup> 岡山理科大学 総合情報学部  
Faculty of Informatics, Okayama University of Science  
<sup>3</sup> 山陽学園大学 総合人間学部  
Faculty of Human Sciences, Sanyo Gakuen University  
a) 626653@teammgear.net  
b) i13im01sk@std.ous.ac.jp  
c) shiina@mis.ous.ac.jp  
d) koba\_nob@sguc.ac.jp

- (a) 講義のアウトラインの提供.
- (b) 宿題や学習者の関心との関連性によって場所を含むトピック検索.
- (c) 講義の準備情報の提供.

先行研究の VOD 教材の検索方法としては講義のスライド内や教師の音声からもスライドの検索が可能なシステムが開発されている [3] が、語句が含まれているスライドが羅列されるだけで、講義のどのあたりでどのくらいの時間が検索語に関する内容が扱われているのか分からないという問題がある。

一方、時系列のテキスト情報に対する情報抽出の研究としては、テキストストリームデータの時間軸に対して出現の生起確率の確率密度から特殊な変化や出来事をとらえる研究がなされている [4], [5], [6]. また、文書集合からの話題を推定する研究もなされている。

そこで、私たちは、目的の教材 VOD を検索する方法として、これまで教材として提供されている VOD システムの映像に付加されている字幕を利用して、検索語の頻度のヒストグラムに対して 2 次の凸関数を当てはめ映像区間を推定する方法を提案し、システムの開発を行った [8], [9]. しかし、この方法では、頻度の密度分布と比較すると精度が悪く、重なっている区間を推定することができない問題を持っている。

本研究では、検索語の頻度に対して、混合正規分布を当てはめ映像区間を推定する方法と混合ベータ分布を当てはめて映像区間を推定する方法の 2 種類の方法を提案する。2 つの分布の当てはめには、混合正規分布と混合ベータ分布の最尤推定を EM アルゴリズム [10], [11], [12] で解く方法を用いている。

混合正規分布の場合は、成分である正規分布は平均を中心とした対象な分布である。これに対して、混合ベータ分布の場合は、成分であるベータ分布は非対称な分布としても表現で、最初に盛り上がる分布や最後に盛り上がる分布をふくめて多様な位置に頂点を取ることができるので、2 つの手法で映像区間の推定に差が生じるかについても調査した結果についても述べることにする。

## 2. VOD システムによる e-Learning 講義システム

本研究で作成しているシステムは、岡山理科大学を含む関連 6 大学で構成している教育コンソーシアムにおける単位互換制度を利用した VOD による e-Learning 講義のシステム [1] 上 (図 1) に別途追加する形で開発している。

VOD の実行画面は図 1 のような構成で、左上に講師の動画、左下にそのセクションの内容を表示する。画面の右側に講義資料となるスライドを表示する構成になっており、ボタンで他のスライドに切り替えることができる。2007 年

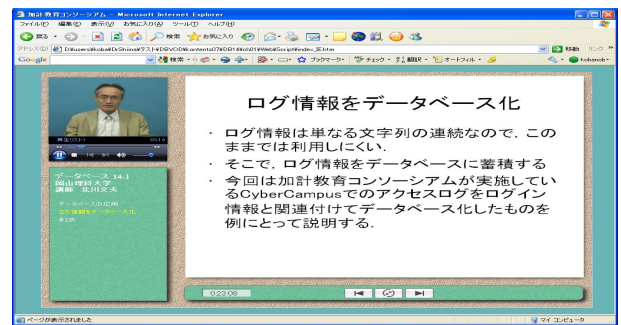


図 1 VOD 実行画面 1

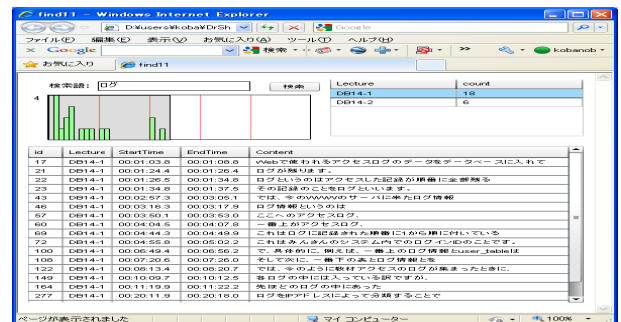


図 2 VOD 検索画面

度データベースの講義では、1 回の講義は 3 つのセクションに分かれており、1 つのセクションは 20~30 分程度となっている。また、各セクションの最後に講義内容に関する課題があり、講義内容の理解を確認するために用いられている。

これに対して、本研究で追加した機能は、VOD 教材の動画の音声データ取り出した字幕データに対して検索語が含まれている頻度をヒストグラムにしたものを利用して検索する。検索画面は図 2 のような構成で、左上に検索語を入力し、右上の VOD 教材 (講義回, セクション) を選択すると、その教材に含まれる検索語のヒストグラムと検索語の内容の区間推定の結果を表示する。

## 3. 検索語の頻度による比較

### 3.1 字幕に対する検索語の頻度

本研究では現在教材として提供されている VOD システム [1] の映像に付加されている字幕に検索を行い、映像区間を推定する。そのため、検索語の頻度を時間間隔ごとに表示したヒストグラムが必要となる。

本稿の例では、岡山理科大学サイバーキャンパス データベース 14 回目の VOD 教材に対して、14 回目の課題である「インターネットでのビジネスモデルで、キーワード広告が優れている点を論じなさい。また、それ以外に収入が得られそうな方式があるか考えてみよう。」の中から重要語と考えられる「広告」を検索語としたときの単語頻度のヒストグラムと確率密度関数を図 3 に示す。図 3 の場合、横軸は映像時間 33 分を 1 分ごとに区切った横軸とその 1

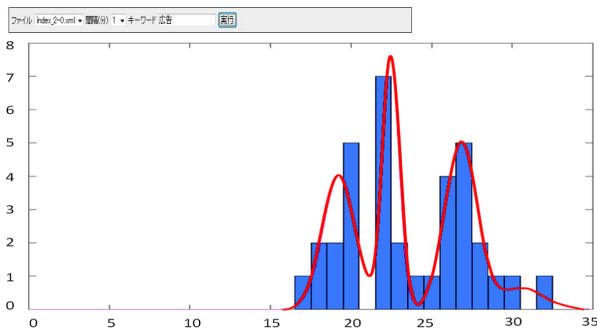


図 3 単語頻度 (検索語が「広告」の場合)

間に現れる単語の頻度を縦軸に表したものである。

#### 4. 混合正規分布による映像区間推定

字幕データに対する単語頻度から作られるヒストグラムの山の推定に、混合正規分布を使う場合、講義の1セクションに検索語に対する複数の映像区間があると仮定し、混合正規分布によって単語の出現確率を近似する。映像区間の推定はEMアルゴリズムによって推定された混合正規分布によって区間推定を行う。混合正規分布は正規分布の線形結合によって作られるので、正規分布の山を一つの検索語の話題の区間として、このときの正規分布から区間推定を行う。次に検索語の出現時間、正規分布、混合正規分布について定義する。

(1) 検索語の出現個数を  $N$  とし、その出現時間  $x_i, (i = 1, \dots, N)$  の集合を  $X = \{x_1, \dots, x_N\}$  とする。

(2) 正規分布

$$\phi(x; \mu_l, \sigma_l^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_l^2}} \exp\left(-\frac{(x - \mu_l)^2}{2\sigma_l^2}\right).$$

(3) 混合正規分布

$$q_l(x; \theta) = \sum_{l=1}^m w_l \phi(x; \mu_l, \sigma_l^2),$$

$$\sum_{l=1}^m w_l = 1.$$

混合正規分布の混合数を  $m = 1, \dots, M$  で表し、混合正規分布のパラメータ  $\theta = (w_1, \dots, w_m, \mu_1, \dots, \mu_m, \sigma_1^2, \dots, \sigma_m^2)$ ,  $w_l$ :  $l$  番目の正規分布に対する重み,  $\mu_l$ :  $l$  番目正規分布の平均,  $\sigma_l^2$ :  $l$  番目の正規分布の分散とする。

##### 4.1 EM アルゴリズムによる検索語の分布に対する混合正規分布の近似

映像区間推定処理は、VOD 講義の映像に出現する検索語の分布に対して、混合正規分布を近似し、混合正規分布の各正規分布から区間を推定する。混合正規分布の近似は、正規分布の位置 (平均) と幅 (分散) を決める EM アルゴリズムを用い、以下にそのアルゴリズムを示す。

表 1 混合正規分布による検索語に対する映像区間

混合数	(開始時間, 終了時間) (単位: 分)
1	(9.43, 32.15)
2	(16.67, 23.28), (22.90, 29.77)
3	(16.72, 21.92), (18.51, 28.85), (23.68, 30.58)

(1) 初期値

$\mu_l$  を検索語の出現時間を  $m$  分割した中点,  $\sigma_l = 1, w_l = \frac{1}{M}$  とする。

(2) E-step

$$\eta_{i,l} := \frac{w_l \phi(x_i; \mu_l, \sigma_l^2)}{\sum_{l'=1}^m w_{l'} \phi(x_i; \mu_{l'}, \sigma_{l'}^2)}.$$

(3) M-step

$$w_l := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_{i,l},$$

$$\mu_l := \frac{\sum_{i=1}^n \eta_{i,l} x_i}{\sum_{i=1}^n \eta_{i,l}},$$

$$\sigma_l := \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \eta_{i,l} (x_i - \mu_l)^2}{\sum_{i=1}^n \eta_{i,l}}}.$$

(4)(2),(3) が収束するまで繰り返す。

##### 4.2 混合正規分布による区間推定処理

混合正規分布の近似によって混合する正規分布が求められるが、本研究では、各正規分布を一つの話題を示す区間に類似しているとして推定する。よって、区間推定は、正規分布の平均と分散から導出する。

本研究で対象とした VOD 講義は、映像が一つあたり 20~30 分で提供されており、よって検索語に対する映像区間は 3 程度であるとし、混合正規分布の混合数  $m = 1, \dots, 3$  で近似を行っている。また、これによって得られた各正規分布に対して、68.26% をカバーする平均  $\mu_l$  から標準偏差  $\pm \sigma_l$  の幅を区間とする。推定されたパラメータ  $\theta = (w_1, \dots, w_m, \mu_1, \dots, \mu_m, \sigma_1^2, \dots, \sigma_m^2)$  に対して、 $\mu_l - \sigma_l$  から  $\mu_l + \sigma_l$  までの区間を一つの区間として提供する。図 4,5 は、検索語「広告」に対する VOD 講義のヒストグラムと混合正規分布による近似を示しており、表 1 は、混合数ごとの映像区間の推定結果を示す。

##### 5. 混合ベータ分布による映像区間推定

ベータ関数を利用するため、字幕の出現時間  $x \in [0, \text{終了時刻}]$  を  $y \in [0, 1]$  に変換して処理を行っている。区間推定の提示の際には、字幕の出現時間に戻している。

(1) ベータ関数

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 t^{\alpha-1} (1-t)^{\beta-1} dt.$$

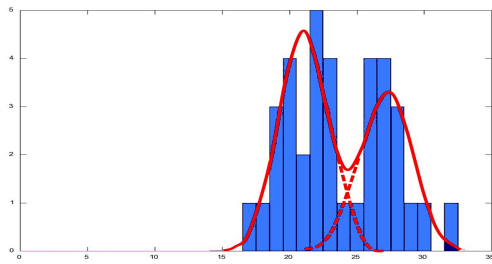


図 4 混合正規分布による近似 (検索語:「広告」,  $M = 2$ )

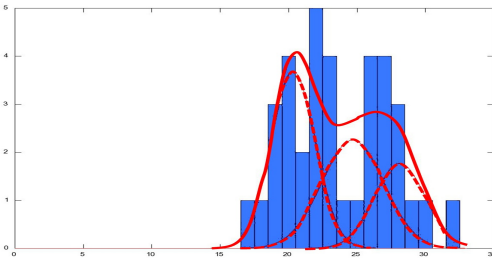


図 5 混合正規分布による近似 (検索語:「広告」,  $M = 3$ )

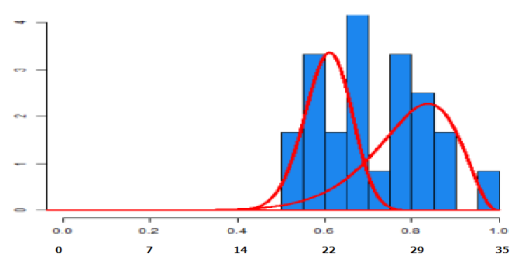


図 6 混合ベータ分布による近似 (検索語:「広告」,  $M = 2$ )

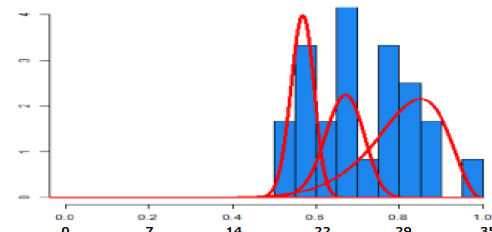


図 7 混合ベータ分布による近似 (検索語:「広告」,  $M = 3$ )

(2) ベータ分布の密度関数

$$f_l(y; \alpha_l, \beta_l) = \frac{y^{\alpha_l-1}(1-y)^{\beta_l-1}}{B(\alpha_l, \beta_l)}$$

(3) 混合ベータ分布の密度関数

混合正規分布の混合数を  $t = 1, \dots, l, \dots, M$  で表し、混合正規分布のパラメータ  $\theta_t = (w_1, \dots, w_l, \dots, w_t, \alpha_1, \dots, \alpha_l, \dots, \alpha_t, \beta_1, \dots, \beta_l, \dots, \beta_t)$ ,  $w_l$ : 混合数  $t$  の時の  $l$  番目のベータ分布に対する重み,  $\alpha_l, \beta_l$ : 混合数  $t$  の時の  $l$  番目ベータ分布のパラメータとすると、混合ベータ分布の密度関数  $q_t(x; \theta_t)$  を、

$$q_t(y; \theta_t) = \sum_{l=1}^t w_l \cdot f_l(y; \alpha_l, \beta_l)$$

で表す。

### 5.1 EM アルゴリズムによる検索語の分布に対する混合ベータ分布の近似

映像区間推定処理は、VOD 講義の映像に出現する検索語の分布に対する近似を、前章の混合正規分布に換えて混合ベータ分布で近似する。また、区間についても混合ベータ分布の成分である各ベータ分布から推定する。ベータ分布は、パラメータ  $\alpha_l$  と  $\beta_l$  から算出され、それを推定するのに EM アルゴリズムを用い、以下にそのアルゴリズムを示す。

(1) 初期値

$M$  成分からなる混合ベータ分布の場合、各ベータ分布のパラメータを  $\alpha_l = 1, \beta_l = 1, (l = 1, \dots, M)$ , とする。また、各ベータ分布の重み  $w_l = \frac{1}{M}$  を初期値とする。

(2) E-step

$$\eta_{i,l} := \frac{w_l f_l(y_i; \alpha_l, \beta_l)}{\sum_{j=1}^M w_j f_j(y_i; \alpha_j, \beta_j)}$$

表 2 混合ベータ分布による検索語に対する映像区間

混合数	(開始時間, 終了時間) (単位: 分)
1	(20.13, 28.90)
2	(18.87, 21.34), (23.51, 30.07)
3	(17.29, 19.04), (20.00, 22.94), (24.24, 30.17)

(3) M-step

$$w_l := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_{i,l}$$

$$\theta_t := \operatorname{argmax}_{\theta_t} l(\theta_t, \eta)$$

ただし、対数尤度関数  $l(\theta_t, \eta)$  は、次式で定義する。

$$l(\theta_t, \eta) = \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^M \eta_{i,l} \{ \log w_l + \log f_l(y_i; \alpha_l, \beta_l) \}$$

(4) (2)(3) を対数尤度関数  $l(\theta_t, \eta)$  が収束するまで繰り返す。

### 5.2 混合ベータによる区間推定処理

混合正規分布の近似と同様に、単語の出現時間に対して混合ベータ分布の近似には、EM アルゴリズムを利用する。混合数  $l$  ごとの近似から得られる各ベータ分布の密度関数  $f_l$  から、分散  $\sigma_l^2$ , 最頻値  $M_l$  は、

$$\text{分散 } \sigma_l^2 = \frac{\alpha_l \beta_l}{(\alpha_l + \beta_l)^2 (\alpha_l + \beta_l + 1)}$$

$$\text{最頻値 } M_l = \frac{\alpha_l - 1}{\alpha_l + \beta_l - 2}$$

で得られる。

映像区間としては、各ベータ分布の密度関数から区間を最頻値  $M_l$  を中心とした前後  $M_l - \sigma_l$  から  $M_l + \sigma_l$  までを一つの区間として提供する。

図 6, 7 は、混合数 2 と 3 の時の検索単語「広告」に対す

表 3 混合正規分布と混合ベータ分布による検索語に対する映像区間

混合数	混合成分番号	混合正規分布 (時間)	混合ベータ分布 (時間)
検索語 (広告)			
$l = 1$	$m = 1$	(9.43,32.15)	(20.13,28.90)
$l = 2$	$m = 1$	(16.67,23.28)	(18.87,21.34)
	$m = 2$	(22.90,29.77)	(23.51,30.07)
$l = 3$	$m = 1$	(16.72,21.92)	(17.29,19.04)
	$m = 2$	(18.51,28.85)	(20.00,22.94)
	$m = 3$	(23.68,30.58)	(24.24,30.17)
検索語 (サイト)			
$l = 1$	$m = 1$	(0.00,32.51)	(5.49,21.48)
$l = 2$	$m = 1$	(0.00,32.51)	(4.33,14.12)
	$m = 2$	(13.84,32.51)	(17.84,31.26)
$l = 3$	$m = 1$	(0.00,13.57)	(1.69,4.39)
	$m = 2$	(7.36,17.33)	(9.85,14.12)
	$m = 3$	(2.63,41.26)	(18.72,30.26)
検索語 (検索エンジン)			
$l = 1$	$m = 1$	(0.00,32.51)	(12.57,32.51)
$l = 2$	$m = 1$	(0.00,32.51)	(7.46,20.03)
	$m = 2$	(0.00,32.51)	(30.46,30.74)
$l = 3$	$m = 1$	(0.00,10.94)	(0.78,7.37)
	$m = 2$	(13.38,20.28)	(15.04,19.04)
	$m = 3$	(30.58,30.61)	(30.46,30.75)
検索語 (キーワード)			
$l = 1$	$m = 1$	(0.00,32.51)	(16.46,32.09)
$l = 2$	$m = 1$	(6.81, 7.78)	(13.00,26.29)
	$m = 2$	(7.03,32.51)	(21.10,32.51)
$l = 3$	$m = 1$	(6.81, 7.78)	(6.75, 8.10)
	$m = 2$	(15.64,24.04)	(18.77,22.93)
	$m = 3$	(16.34,32.51)	(23.40,32.51)
検索語 (収入)			
$l = 1$	$m = 1$	(0.00,32.51)	(24.39,32.51)
$l = 2$	$m = 1$	(17.11, 20.72)	(17.05,23.01)
	$m = 2$	(24.94,32.51)	(29.15,32.51)
$l = 3$	$m = 1$	(17.44,20.28)	(17.38,18.57)
	$m = 2$	(25.66,25.87)	(22.96,30.04)
	$m = 3$	(28.12,31.78)	(30.11,32.51)

る VOD 講義のヒストグラムと混合正規分布による近似を示しており、表 2 は、混合数ごとの映像区間の推定結果を示している。

## 6. 映像区間推定例とスライドページの推定

データベース 14 回目の VOD 教材に対する検索語「広告」の他に、「サイト」、「検索エンジン」、「キーワード」、「サイト」、「収入」を用いた場合の混合正規分布と混合ベータ分布を用いた場合の映像区間推定を示す(表 3)。また、映像区間の推定時間に対応するスライドのページ区間についても、算出した結果を表 4 に示し、各スライドのページ区間を 1(悪)から 5(良)の 5 段階評価を行っている。

### 6.1 混合正規分布と混合ベータ分布の近似による映像区間推定の違い

本研究では、VOD 講義の字幕を利用して、検索語の出現する頻度に、混合正規分布と混合ベータ分布の 2 つの分布を近似させ、その成分から映像区間の推定を行っている。表 1 と 2 から見られる混合正規分布と混合ベータ分布との間の相違点は、正規分布のほうは、映像区間を長めに推定している。ベータ分布の場合は、一方が短めで、もう一方が比較正確な推定を行っている。ベータ分布では、最大となる地点が右側で、左側に裾野が長い場合、映像の開始位置が実際話題を始めた位置よりも遅く推定している。

表 4 混合正規分布と混合ベータ分布による検索語に対するスライドのページ区間の推定と評価

混合数	混合成分番号	混合正規分布 (スライドページ)	混合正規分布 (スライドページ評価 1-5)	混合ベータ分布 (スライドページ)	混合ベータ分布 (スライドページ評価 1-5)
検索語 (広告)					
$l = 1$	$m = 1$	7-17	2	12-15	4
$l = 2$	$m = 1$	10-13	4	11-13	4
	$m = 2$	13-15	4	14-15	4
$l = 3$	$m = 1$	10-13	4	11-11	5
	$m = 2$	11-15	5	12-13	5
	$m = 3$	14-16	3	14-15	5
検索語 (サイト)					
$l = 1$	$m = 1$	1-17	2	5-13	2
$l = 2$	$m = 1$	1-17	2	4-9	4
	$m = 2$	9-17	2	11-16	3
$l = 3$	$m = 1$	1-9	2	3-4	3
	$m = 2$	6-11	4	7-9	4
	$m = 3$	3-17	2	11-15	5
検索語 (検索エンジン)					
$l = 1$	$m = 1$	1-17	2	9-17	2
$l = 2$	$m = 1$	1-17	2	6-12	4
	$m = 2$	1-17	2	16-16	2
$l = 3$	$m = 1$	1-8	4	2-6	3
	$m = 2$	9-12	4	9-11	5
	$m = 3$	16-16	3	16-16	3
検索語 (キーワード)					
$l = 1$	$m = 1$	1-17	2	10-17	3
$l = 2$	$m = 1$	6-6	4	9-15	3
	$m = 2$	6-17	3	13-17	4
$l = 3$	$m = 1$	6-6	4	6-6	4
	$m = 2$	10-14	3	11-13	4
	$m = 3$	10-17	4	14-17	2
検索語 (収入)					
$l = 1$	$m = 1$	1-17	2	14-17	4
$l = 2$	$m = 1$	11-12	4	11-13	2
	$m = 2$	14-17	4	15-17	2
$l = 3$	$m = 1$	11-12	4	11-11	3
	$m = 2$	14-14	3	13-15	4
	$m = 3$	15-17	2	15-17	2

## 6.2 スライドのページ区間の推定

映像区間の推定時間に対応するスライドのページ区間については、正規分布が両端の裾野を多くとることから推定時間が大きく、それにつられてページの範囲が大きい傾向がある。特に混合数が少ない場合は大きい区間を推定するため悪い評価となっている。一方、ベータ分布に対しては、おおむね正規分布を利用した推定より良い評価を得ているが、混合数が少ない場合に最頻値の値が分布の後半側に偏っている場合に前半側の区間を切り落とし、それにつられてページ範囲が短いものがある。

## 7. 今後の課題

混合ベータ分布の場合は、長いほうの区間推定が短く推

定してしまっている。特に、左側に裾野が長い場合は、開始位置の推定の改善をはかる必要がある。出現する確率密度や頻度のヒストグラムの形状に近似させるだけでなく、もともとの頻度の加工などによってより正確な映像区間が推定できるのではないかと考えている。

また、単語の頻度から出現確率を導出して、その確率密度関数の変化からトピックの検知を行うバースト性を組み合わせて、より精密な映像区間推定の構築を目指したい。

## 参考文献

- [1] 北川, 大西, 対面講義と e-learning(LMS + VOD) とを併用した講義形式の実践と分析, 日本教育情報学会学会誌 Vol.22 No.3 pp.57-66, 2007.

- [2] Fallon, C. and Brown, S., *e-Learning Standards*, St. Lucie Press, Boca Raton, FL, 2003.
- [3] 伊藤, 藤井, 石川, 音声文書検索を用いたオンデマンド講義システム, 電子情報通信学会技術研究報告 SP 音声, Vol.101, No.523, pp.55-60, 2001.
- [4] J. Kleinberg, Bursty and hierarchical structure in streams, In Proc. 8th SIGKDD, pp. 91-101, 2002.
- [5] X. Wang, CX. Zhai, and R. Sproat X. Hu., Mining correlated bursty topic patterns from coordinated text streams. In Proc. 13th SIGKDD, pp. 784-793, 2007
- [6] V. Lavrenko, M. Schmill, D. Lawrie, P. Ogilvie, D. Jensen, J. Allan, Mining of Concurrent Text and Time-Series, KDD-2000 Workshop on Text Mining, 2000.
- [7] C. C. Aggarwal, J. Han, J. Wang, and P. S. Yu., On demand classification of data streams. In KDD, pages 503-508, 2004.
- [8] 小林, 椎名, 北川, 字幕データを用いた VOD 教材検索システムの提案, 教育情報システム学会第 31 回全国大会, pp416-417, 2009.
- [9] N. Kobayashi, et al., Detecting Movie Segments Using Gaussian Mixture Models for VOD Lectures with Japanese Subtitles, JSiSE, Vol.10(1), pp.39-46, 2011
- [10] A.P.Dempster, N.M.Laird, and D.B.Rubin. *Maximum likelihood form incomplete data via the EM algorithm*, Journal of the Royal Statistical Society series B, Vol. 39, No.1, pp.1-38, 1977.
- [11] C. M. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning*, Springer, 2006.
- [12] Y. Ji, et al., *Applications of beta-mixture models in bioinformatics* Bioinformatics Vol 21 No.9, pp. 2118-2122, 2005.
- [13] Y. Watanabe, Y. Wu, H. Yokota, Digesting Online Multimedia Presentation Archives Based on Visual Effects, Proc. International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems, 477-482, 2010.