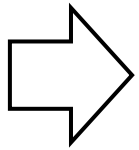
ベイズ教師なし文境界認識

内海慶　　持橋大地
SB Intuitions　統計数理研究所 /
国立国語研究所
daichi@ism.ac.jp

第31回言語処理学会年次大会
2025-3-11(火)

文分割＝文境界認識

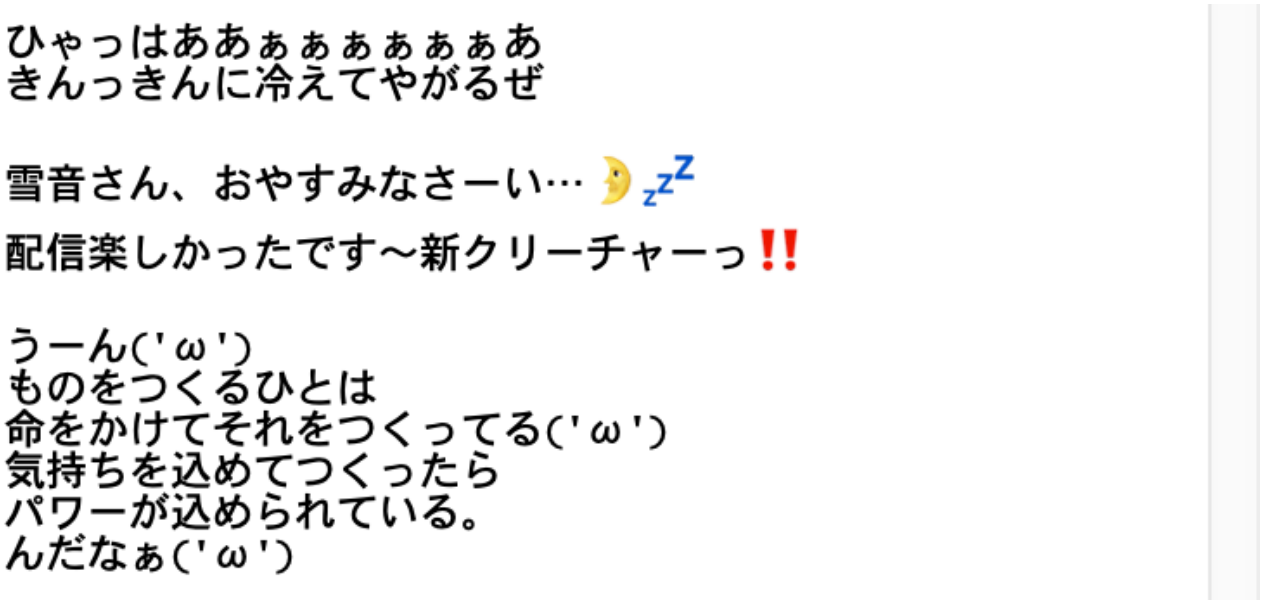
今日は寒いね。もう
朝食は食べた？
政府、自治体に輸送
ゼロへの努力を要請



今日は寒いね。
もう朝食は食べた？
政府、自治体に輸送ゼロへの¥
努力を要請

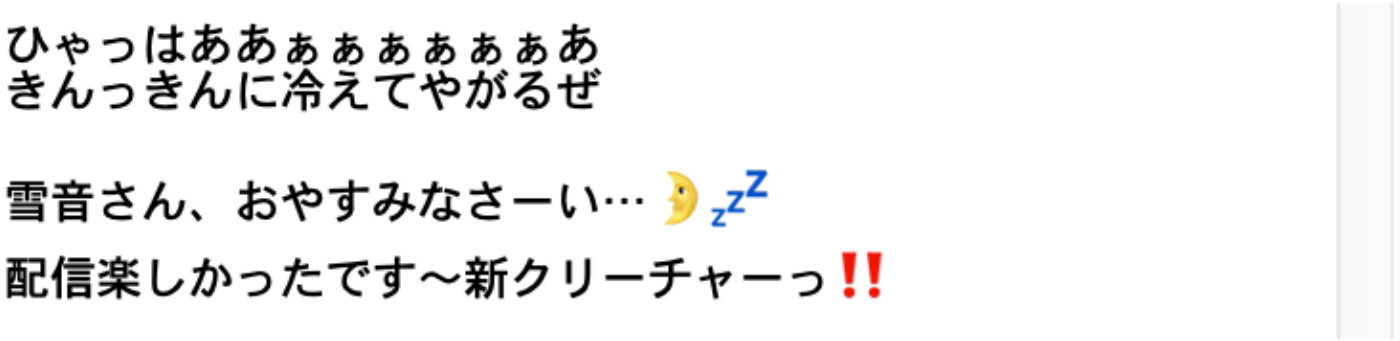
- 文分割：テキストを文に分解するタスク
  - 文以外は含まれていないと仮定 (⇔ 宇田川+(2023))
- 論理関係など、文単位の現象のための基礎技術
- 標準的な文に対しては、高精度なツールが存在
  - Punkt (2006), PySBD (2020), Ersatz (2021)
  - 文末がピリオドで終わるなど、欧米語の強い仮定

文分割＝文境界認識 (2)



- 実際のテキストでは、さまざまな文末が存在
  - 「ナリよ」「ラジね」「ねええ💦」
- 文末が句点「。」とは限らず、「。」が文末とは限らない
  - 「モーニング娘。」「いいひと。」「(゜∀。)」

文分割の教師なし学習



- 「ぁぁぁあ」「…」「ナリよ」など、無数にある文末表現をすべて人手でタグ付けするのは不可能
- 教師なし学習？
  - テキストの最後は、必ず文末; 最初は、必ず文頭
  - 統計的なヒントは豊富 →できるはず
- 先行研究：Punkt (Kiss+ CL2006), Where's the Point (Minixhofer+ ACL2023)などは、欧米語のピリオドや行末に依存したヒューリスティック

LLMによる文分割

- 現在のSOTA:
  “Segment Any Text (SAT)” (Frohmann+ ACL 2024)
- LLMに次の(ひどい)プロンプトを与えてテキストを文に分割

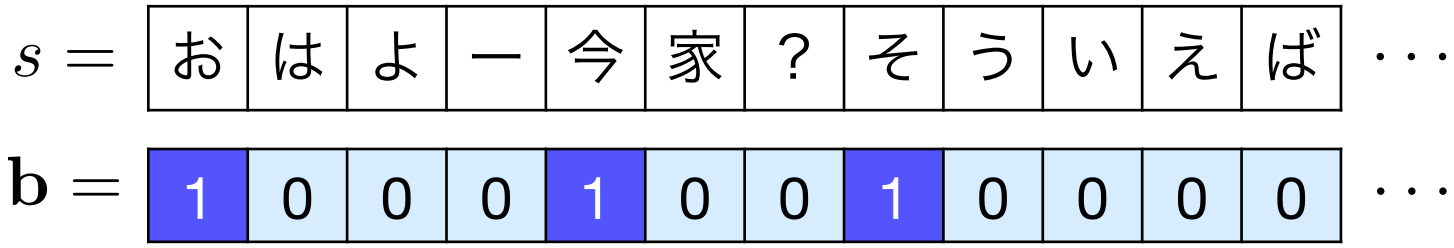
General LLM Prompt

Separate the following text into sentences by adding a newline between each sentence. Do not modify the text in any way and keep the exact ordering of words! If you modify it, remove or add anything, you get fined $1000 per word. Provide a concise answer without any introduction. Indicate sentence boundaries only via a single newline, no more than this!

LLMがテキストを勝手に書き換えることがあるため、後処理も不可欠

こんないい加減な方法がSOTAとは。。

セミマルコフモデルによる定式化



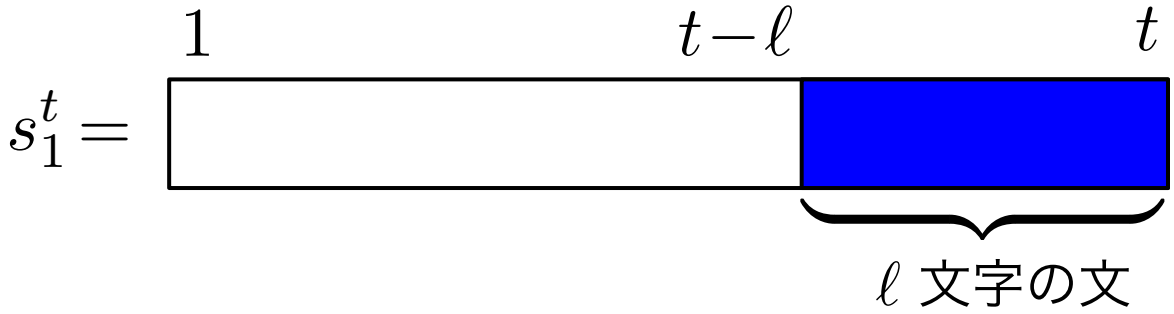
- テキスト $s = c_1 c_2 c_3 \cdots c_T$ の各文字の背後に、文がそこから始まるかを表す二値の潜在変数 $\mathbf{b} = b_1 b_2 b_3 \cdots b_T$ があると仮定 ($b_t = 1$の場所が文頭)
- 観測データの確率

$$p(s) = \sum_{\mathbf{b}} p(s, \mathbf{b}) = \sum_{\mathbf{b}} p(s|\mathbf{b}) p(\mathbf{b})$$

を最大化する $\mathbf{b}$ を学習する

  - 探索空間は 2^T で膨大にある

動的計画法による文分割



- 前向き変数 $\alpha(s_{t-(\ell-1)}^t)$ を、「時刻tまでの文字列で最後の ℓ 文字が文になっている周辺確率」とする
- 定義から、$\alpha(s_{t-(\ell-1)}^t)$ は次のように展開できる

$$\alpha(s_{t-(\ell-1)}^t) = \underbrace{p(s_{t-(\ell-1)}^t | b_t = 1, \sim)}_{\text{文の確率}} q(1-q)^{\ell-1} \sum_{j=1}^{t-\ell} \alpha(s_{t-\ell-(j-1)}^{t-\ell})$$

($q = p(b_t = 1)$: 分割の事前確率)

文の確率の計算

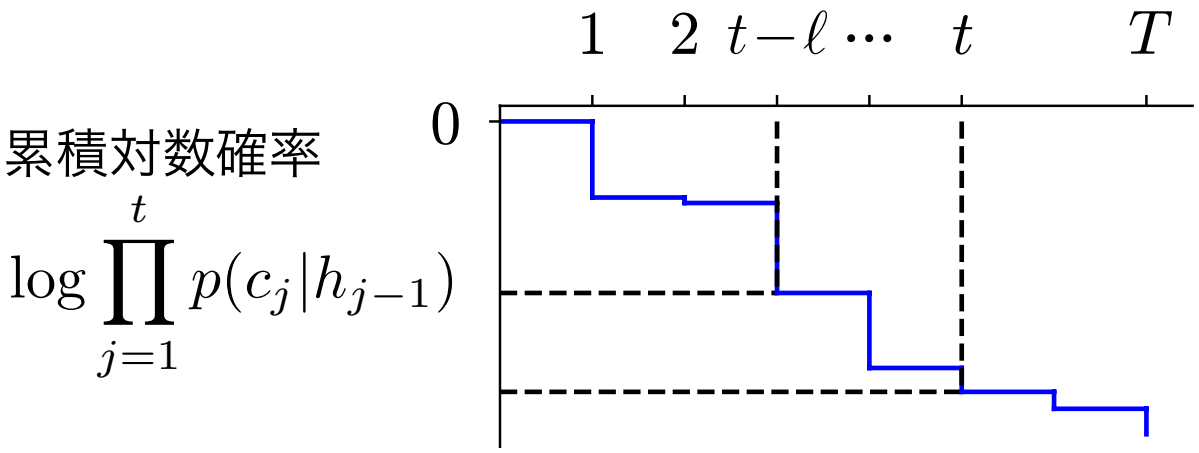
- 文の確率

$$p(s_{t-(\ell-1)}^{t}|b_t=1,\sim)=\prod_{j=1}^{\ell}p(c_{t-\ell+j}|h_{t-\ell+j-1})\cdot p(\$|h_t)$$

  は、文字nグラムモデルを用いて計算できる
  - h_t：時刻tまでのnグラム文脈 (文頭文字^を含む)
  - ＄：文末を表す特殊文字
- 学習データの文分割に伴って、nグラム言語モデルも更新される
  (＝何が文頭や文末になりやすいか、が更新される)

MCMC法による文分割の学習

- 前向きフィルタリング–後向きサンプリング法 (FFBS) を用いて、学習テキストの文分割をサンプリング
  → 言語モデルを更新、を繰り返す
- 文のnグラム確率は、累積確率 $\Phi(t) = \sum_{j=1}^{t} \log p(c_j | h_{j-1})$ を事前に計算しておけば、$\Phi(t) - \Phi(t-\ell)$ を使ってO(1)で求められる → $O(T^3)$から$O(T^2)$に学習が高速化



改行と事前確率

- 本研究の定式化で、分割の事前確率 $q = p(b_t = 1)$ は重要
  - q を正しく扱うことで、文分割の性能が大きく改善した
- 元のテキストで改行があった部分は、文末である可能性が高い → 事前確率 q が異なるはず
  - q_2：改行があった位置
  - q_1：句読点があった位置
  - q_0：それ以外の位置

  の3種類の事前確率を導入し、q_i の事後確率分布を学習中に求めて q_i 自体もサンプリングして学習

実験

- 学習データ：
  - APIから取得したランダムな日本語ツイート200K個
  - BCCWJ Core からランダムな200K文
    (半教師あり学習の場合)
- テストデータ
  - Twitter (Xのこと)：ランダムな894ツイートをクラウドソーシングで文分割 (5名, 一致率89.6%)
    → 一致率>80%, =100%に分けて評価
  - BCCWJ：
    10K文をランダムに10文ずつ連結したテキスト
- 言語モデル：5グラムの文字HPYLM (ベイズ*n*グラム)

文分割結果 (1/2)

- 元ツイート：

閃光のハサウェイを
観に行こうとしたけど
ヤメー

絶対数はともかく容易に想像できる
…(＝ ＝) ﾄｵｲﾒ
それで逆に別姓くんが皆から距離を置かれて「いじめ」に発展する可能性も在る

いとちゃんおはよ～❣(･ω･ฅ)
ギリギリセーフだねw
声がガラガラになるってことは
歌ってみたの録音してるとか?(¯v¯)ﾆﾔ
(˚Д˚)ｱｯ!?
また21位って書いてあるぞwww

わぁ読破ありがとうございます……！☺✨(もしや先ほどの方でしょうか?違ってたら\
ごめんなさい💦)共通するものがあって嬉しいです！児童書版は本当健やかであれ！\
ですね♪
質問の件ですが(リプ続)

文分割結果 (2/2)

- 提案手法による文分割結果：

閃光のハサウェイを観に行こうとしたけどヤメー

絶対数はともかく容易に想像できる…(＝ ＝) ﾄｵｲﾒ
それで逆に別姓くんが皆から距離を置かれて「いじめ」に発展する可能性も在る

いとちゃんおはよ～❣(･ω･ฅ)ギリギリセーフだねw
声がガラガラになるってことは歌ってみたの録音してるとか?(¯v¯)ﾆﾔ(゜Д゜)ｱｯ!?
また21位って書いてあるぞwww

わぁ読破ありがとうございます……！☺️✨
(もしや先ほどの方でしょうか?
違ってたらごめんなさい💦)
共通するものがあって嬉しいです！
児童書版は本当健やかであれ！
ですね♪
質問の件ですが(リプ続)

実験結果 (Twitter: 崩れたテキスト)

モデル	説明	精度	再現率	F_1
Bunkai [6]	教師あり学習	78.6	83.3	81.0
WtP [4]	自己教師あり学習	81.3	74.4	77.7
SAT [5]	大規模言語モデル	82.7	88.8	85.6
USBD	ベイズ教師なし学習	**85.6**	87.7	**86.6**
	ベイズ半教師あり学習	83.3	**93.1**	**87.9**

- LLMによるアドホックな文分割を超えて、提案手法が世界最高精度
  - 教師あり学習のBunkaiや, 自己教師あり学習のWtP (ACL 2023)より高性能
  - 標準的な文を事前学習した半教師あり学習で, さらに改善

実験結果 (BCCWJ: 標準的テキスト)

モデル	説明	精度	再現率	F_1
PySBD [2]	ルールベース	66.1	54.3	59.6
Ersatz [1]	Transformer	63.2	44.0	51.9
WtP [4]	自己教師あり学習	84.5	71.6	77.5
SAT [5]	大規模言語モデル	80.0	74.6	77.2
USBD	ベイズ半教師あり学習	**94.7**	**88.7**	**91.6**

- 標準的な文の文分割についても、提案法は最高精度
  - 文をランダムに繋いたテストデータなので、結構難しいタスク
- きちんと統計的な定式化をすることが有効

まとめと展望

- テキストの文分割の完全な教師なし学習を提案
  - セミマルコフモデルによる統計的な定式化とMCMC
  - LLMによる文分割を超えて、現在世界最高精度
- ツイートなどテキスト末尾/先頭の情報の統計を利用
  - ヒューリスティックなし; 日本語/中国語/タイ語等にも適用可能
  - 教師なし単語分割との違い→ 二重分節ではない、探索空間の圧倒的な広さ ($O(T^3)$だが高速化して$O(T^2)$)
- 今後
  - 言語モデルのニューラル化 (現在は5gram)