

規則処理を参考にした CRF によるアクセント結合処理モデル *

印南圭祐, 渡辺美知子, 峯松信明, 広瀬啓吉 (東大)

1 はじめに

仮名漢字混じり文を入力とした日本語テキスト音声合成システムにおいて, 文中のアクセント核位置を適切に推定することで, より自然な読み上げ音声の出力が期待できる. 日本語単語は, 他の語と接続して発声された場合, 孤立発声時のアクセント核位置から変化する現象が容易に起こる (アクセント結合). 従って, アクセント結合を処理するモジュールの開発が必要になる. 従来は, 規則に基づくアクセント結合処理手法 [1] が用いられてきたが, 筆者らは CRF (条件付き確率場) を用いた統計的な処理手法を提案し, 従来よりも高精度な処理を実現した [2][3]. また, 誤り分析を通して, 従来の規則処理を参考にした改善の可能性を検討した [4]. 本報では, 規則によるアクセント結合処理の際に用いられるアクセント結合様式・結合アクセント価の情報を, CRF 学習へ直接利用することによる性能改善について報告する.

2 CRF を用いた統計的アクセント結合処理の先行研究

筆者等はまず, JNAS[7] および ATR 音素バランス文 503 文のテキストに対し, 単独ラベラにアクセント句境界, およびアクセント核の位置情報を付与させることで, アクセントデータベースを作成した [2][3]. そして利用可能な JNAS 読み上げ文 70 セット (7,280 文) を, 学習用データ / 評価用データとして 65 セット (6,753 文) / 5 セット (527 文) に分割し, CRF++ を用いてアクセント核位置の推定実験を行なった. この実験は, 推定対象語およびその前後に出現する語の各種語彙特性を学習素性として, 文中の各形態素のアクセント核が孤立発声時の位置からどのように移動するのかを推定するものである. CRF 学習に利用した素性の詳細は, [2][3] を参照して戴きたい.

実験結果は Table. 1 の通りである. 精度の算出は, 形態素単位とアクセント句単位で行なった. アクセント句単位の集計は, アクセント句内の全ての核位置に着目した場合と, アクセント句中の最初のアクセント核 (主核) の位置のみに着目した場合の 2 通りを行なった. また, アクセント句のうち, 1 つの自立語と 1 つの付属語から構成される「単純なアクセント句」と, 名詞同士の接続を伴う「名詞連続を含むアクセント句」の精度も求めた.

実験結果から, CRF によるアクセント推定手法を用いることで, 規則処理よりも全体的に高精度なアクセント結合処理が可能であることが分かった. また, 単純な句は規則・CRF とともに特に誤推定が少ない構

成と言える. しかし名詞連続を含む句の推定精度が低く, 学習の改善が必要である.

アクセント句を構成する品詞に着目したカテゴリ分析を行なった結果 [4], 副助詞を含むアクセント句や付属語が連続で出現するアクセント句など, 付属語に関連したカテゴリで誤推定が多いことが分かった. 複合名詞や付属語を含む句に対するアクセント結合規則が既に整備されていることをふまえ, 既存の規則の知見をより直接的に利用した学習を行なうことで改良の余地があると判断した.

3 規則処理のアクセント属性を直接利用した CRF 学習

既存の規則処理の知見を, より直接的に機械学習へ反映させるため, アクセント結合の規則処理で利用される「アクセント結合様式」および「結合アクセント価」の 2 種類のアクセント属性をデータベースに登録し, 評価実験を行なった.

3.1 アクセント結合様式と結合アクセント価

句坂らのアクセント結合規則 [1] は, アクセント結合様式と結合アクセント価の 2 種のアクセント属性を定義・利用することで, 付属語 / 複合単語 / 接頭辞の各種アクセント結合の統一的な説明を可能にした. 句坂らが定義した結合規則に改良を加えたものを, Table. 2 に示す [3][5][6].

3.1.1 付属語アクセント結合規則

先行する N_1 モーラ M_1 型アクセントの自立語 (名詞, 動詞, 形容詞) の後ろに N_2 モーラ M_2 の結合アクセント価を持つ付属語 (助詞, 助動詞) が接続した結果, N_c モーラ M_c 型アクセントを持つ文節が構成された場合を考える. この時, 後続する付属語のアクセント結合様式と, 先行自立語のアクセント核の有無によってアクセント結合の変化内容が決定され, 後続付属語の結合アクセント価によってアクセント核位置が決定される. (Table. 2-(a))

3.1.2 複合単語アクセント結合規則

先行する N_1 モーラ M_1 型アクセントを持つ自立語に対して, 後続単語として N_2 モーラ M_2 型の結合アクセント価を持つ自立語や接尾辞が接続し, N_c モーラ M_c 型アクセントを持つ複合語が構成された場合を考える. 後続単語が動詞または形容詞の時は, 複合語の最終モーラの直前に核がくる ($M_c = N_1 + N_2 - 1$) 場合が普通である. 後続単語が名詞または接尾辞の場合の処理を Table. 2-(b) に示す. 複合単語アクセン

* A CRF-based accent sandhi estimation model using rule-based features by Keisuke Innami, Michiko Watanabe, Nobuaki Minematsu and Keikichi Hirose (The University of Tokyo)

Table 1: 規則処理と CRF によるアクセント推定処理精度の比較

	形態素	すべての核			主核のみ		
		すべての句	単純	名詞連続	すべての句	単純	名詞連続
規則に基づく手法	—%	76.4%	94.4%	73.5%	76.8%	94.5%	74.2%
CRF による推定手法	96.5%	91.9%	97.2%	86.6%	93.5%	97.7%	87.9%

Table 2: 各種アクセント結合規則

(N₁ モーラ M₁ 型 + N₂ モーラ M₂ 価 → N_c モーラ M_c 型)

(a) 付属語アクセント結合規則

結合様式	M _c	
	M ₁ = 0	M ₁ ≠ 0
(F1) 従属型	M ₁	
(F2@M ₂) 不完全支配型	N ₁ +M ₂	M ₁
(F3@M ₂) 融合型	M ₁	N ₁ +M ₂
(F4@M ₂) 支配型	N ₁ +M ₂	
(F5) 平板化型	0	
(F6@M _{2a} , M _{2b})	N ₁ +M _{2a}	N ₁ +M _{2b}

(b) 複合名詞アクセント結合規則

結合様式	後続語の性質	M ₂	M _c
(C1) 保存型	N ₂ 2	M ₂	N ₁ +M ₂
	M ₂ ≠ (N ₂ -1, N ₂ , 0)		
(C2) 生起型	N ₂ 2	1	N ₁ +1
	M ₂ ≠ (N ₂ -1, N ₂ , 0)		
(C3) 標準型	N ₂ 2	0	N ₁
(C4) 平板型	N ₂ 2	*	0
(C5)	—	*	M ₁
(C10)	—	*	M ₁ M ₂

(c) 接頭辞アクセント結合規則

結合様式	M _c	
	M ₂ = 0, N ₂	M ₂ ≠ 0, N ₂
(P1) 一体化型	0	N ₁ +M ₂
(P2) 自立語結合型	N ₁ +1	N ₁ +M ₂
(P4) 混合型	N ₁ +1	N ₁ +M ₂
	M ₁	
	M ₁ M ₂	
(P6)	0	
(P13)	M ₁	
	M ₁	M ₂
(P14)	M ₁	N ₁ +M ₂

ト結合も、付属語アクセント結合と同様に、アクセント結合様式と結合アクセント価を用いて処理体系を説明できる。ただし、処理を決定する要素の殆どを後続単語が持つ点で、付属語の処理とは異なる。

3.1.3 接頭辞アクセント結合規則

N₁ モーラ M₁ 型アクセントを持つ先行する接頭辞に対して、後続単語として N₂ モーラ M₂ 型の結合アクセント価を持つ自立語が接続し、N_c モーラ M_c 型アクセントを持つ語が構成された場合を考える。後続単語が動詞、または形容詞の場合、前述のように単純な規則で処理可能である。後続単語が名詞の場合の処理体系を Table. 2-(c) に示す。一部のアクセント結合様式を持つ接頭辞は、構文や意味上の使い分けに対応して、複数のアクセント型を持つ場合がある。

3.2 アクセント結合様式を CRF 学習に取り入れたアクセント推定

先行研究 [2],[3],[4] の実験用データベースの作成にあたって、形態素解析辞書 UniDic[10] を利用した。UniDic では、各単語に対し、アクセント結合様式と結合アクセント価にあたる属性情報が「アクセント結合型」として登録されている。単語が自立語の場合は連続単語アクセント結合処理のためのアクセント結合様式が、接頭辞の場合は接頭辞アクセント結合処理のためのアクセント結合様式が、そして付属語の場合は付属語アクセント結合処理のためのアクセント結合様式が登録されている。ただし付属語の場合、各語固有の結合アクセント価が、文中発声時のアクセント核位置決定に必要な場合がある。それに該当する不完全支配型・融合型等のアクセント結合様式を取る場合、結合アクセント価が併せて登録される。また、先行自立語の品詞によって、後続付属語のアクセント結合様式、および結合アクセント価が異なる場合がある¹。これに伴い、付属語は先行する単語が「名詞/動詞/形容詞」の場合に対応し、最大 3 種類のアクセント結合型が登録されている。

UniDic のアクセント結合型の登録情報を利用して、アクセント結合を規則で処理することが可能である。

従来の CRF によるアクセント推定では、各単語のアクセントに関する要素として、単独発声アクセント型しか利用していなかった。そこで、アクセント結合型の情報を直接 CRF 学習に用いた処理モデルを検討した。

なお、実験に用いたデータベースのアクセント結合型ラベルは、先行研究 [2][3] の時点における UniDic のバージョンに基づく値となっている。最新バージョンの UniDic は、アクセント結合型など規則処理に用いられる属性ラベルが更新されているが、最新のラベル情報を用いたデータベース更新・および規則処理の精度算出はまだ行っていない、現在、その準備としてデータベースの更新作業を進めている。

3.2.1 実験手順

実験用データベースの各単語に対し、それぞれのアクセント結合型を踏まえて以下の 5 種のラベルを追加した上で、CRF によるアクセント推定の評価実験を行なった。

- 付属語アクセント結合様式 (先行語：名詞)
- 付属語アクセント結合様式 (先行語：動詞)

¹句法は直前の語の品詞には依存しないと述べているが [1]、アクセント属性の推定実験の結果、直前の語の品詞ごとに異なるアクセント型を持たせることの有効性が確認された [5]。

Table 3: アクセント結合様式・結合アクセント価を用いた CRF 推定結果

	形態素	すべての核			主核のみ		
		すべての句	単純	名詞連続	全ての句	単純	名詞連続
規則手法	—%	76.4%	94.4%	73.5%	76.8%	94.5%	74.2%
従来の CRF 手法	96.5%	91.9%	97.2%	86.6%	93.5%	97.7%	87.9%
CRF 手法 (+結合様式)	当該のみ	96.5%	91.7%	96.8%	86.5%	93.5%	97.3%
	前後 1 語含む	96.7%	92.2%	96.8%	87.9%	93.7%	97.3%
	前後 2 語含む	96.5%	92.0%	97.0%	87.2%	93.6%	97.4%
CRF 手法 (+結合様式 &結合アクセント価)	当該のみ	96.5%	91.9%	97.0%	86.8%	93.6%	97.4%
	前後 1 語含む	96.6%	92.1%	96.8%	87.6%	93.7%	97.3%
	前後 2 語含む	96.5%	92.0%	97.0%	87.2%	93.6%	97.4%

Table 4: 誤推定が多いアクセント句カテゴリの精度比較

	すべての句	副助詞	付属語連続
先行研究の素性	91.9%	84.4%	85.6%
先行研究の素性 + 結合様式	92.2%	85.9%	87.5%
先行研究の素性 + 結合様式組合せ	92.4%	86.7%	87.9%

- 付属語アクセント結合様式 (先行語：形容詞)
- 複合単語アクセント結合様式
- 接頭辞アクセント結合様式

学習素性は，先行研究の学習素性に上記のラベルを追加したものを用いた．

先行研究 [3] では，当該形態素だけでなく，前後の形態素の語彙情報を学習素性に加えて評価実験を行ない，当該形態素とその前後の 2 形態素のラベルを学習に利用するのが最も効果的であることを確認した．これにならい，上記の 5 種類のラベルに着目する形態素の数を「当該形態素のみ / 前後 1 形態素を含む 3 形態素 / 前後 2 形態素を含む 5 形態素」と変化させて実験を行なった．

3.2.2 実験結果

実験結果を Table. 3 に示す．前後 1・2 形態素のアクセント結合様式まで利用した場合，総合的な推定精度は僅かに向上した．前後 1 形態素を含む 3 形態素のアクセント結合様式を学習に用いることで，最も高い処理精度が得られた．また，複合名詞アクセント結合が起きる「名詞連続を含むアクセント句」に対して特に効果的な学習が行なわれていることが分かる．前後 1 形態素までを学習に利用した場合の誤推定の減少率は，形態素単位で最大約 5.7%，アクセント句単位で最大 3.7% となった．また，前後 1 形態素まで学習に利用した場合について，「副助詞を含むアクセント句」と「付属語が連続で出現するアクセント句」のカテゴリにおける精度を求めた．その結果を Table. 4 に示す．

アクセント結合様式をアクセント推定に用いることにより，従来の CRF 処理モデルで特に処理精度が低いカテゴリのアクセント句に対する処理が改善できると分かった．一方，単純なアクセント句の処理精

度が若干低下していることから，付属語アクセント結合の学習に関して悪影響が出ている可能性がある．

3.3 付属語の結合アクセント価を用いたアクセント推定

前述の評価実験では，付属語の結合アクセント価を機械学習に利用しなかった．そこで，アクセント結合様式に加えて結合アクセント価も利用した実験を行なった．

3.3.1 実験手順

3.2 の実験データに加えた 5 種のアクセント結合様式ラベルのうち，付属語に関連した 3 種類を，アクセント結合様式と結合アクセント価の値を組み合わせたラベルに変更した上で，3.2 の実験と同じ学習 / 評価データの配分，同じ学習素性を用いて評価実験を行なった．

3.3.2 実験結果

実験結果を Table. 3 に示す．アクセント結合様式のみを利用した場合の実験結果と同様，前後 1 形態素のラベルを学習素性に含めた場合に，最も効果的な学習が可能である．また，名詞連続を含むアクセント句の学習が特に改善されている．

結合アクセント価を利用した場合と利用しなかった場合では，わずかであるが利用しない場合の方が処理精度が高いという結果になった．

3.4 アクセント結合型を含めた組合せ素性の利用

前述の評価実験から，アクセント結合様式，および結合アクセント価を CRF によるアクセント推定に利用する場合，当該形態素とその前後の 1 形態素で計 3 形態素のラベルを参照するのが最も効果的だと分かった．更に規則の知見を CRF 処理に反映させるため，アクセント結合型を用いた組み合わせた素性の設計を検討した．

3.4.1 アクセント結合型と単独発声アクセント型による組合せ素性

規則に基づくアクセント結合処理の結果を決定する要素として，アクセント結合型・結合アクセント型の他に，接続する語の単独発声アクセント型が挙げられる．各種アクセント結合において，接続する語の単独発声時のアクセント核位置が，アクセント結

Table 5: 規則処理に関するアクセント属性の組合せ素性を用いた CRF 推定結果

	形態素	すべての核			主核のみ		
		全ての句	単純	名詞連続	全ての句	単純	名詞連続
先行研究の素性	96.5%	91.9%	97.2%	86.6%	93.5%	97.7%	87.9%
従来素性 + 結合様式	96.7%	92.2%	96.8%	87.9%	93.7%	97.3%	89.4%
従来素性 + 結合様式の組合せ素性	96.8%	92.4%	97.1%	88.4%	94.0%	97.6%	89.8%
従来素性 + 結合様式・結合価	96.6%	92.1%	96.8%	87.6%	93.7%	97.3%	89.2%
従来素性 + 結合様式・結合価の組合せ素性	96.7%	92.4%	97.2%	88.7%	94.0%	97.7%	90.1%

合による核位置移動の傾向に影響する．また，アクセント結合後のアクセント核位置を求めるにあたり，単独発声アクセント型への着目は重要である．そこで以下のような組合せ素性を，学習に利用することを検討した．

- { 当該形態素の単独発声アクセント型と直前形態素のアクセント結合様式 }
- { 当該形態素の単独発声アクセント型と当該形態素のアクセント結合様式 }
- { 当該形態素の単独発声アクセント型と直後形態素のアクセント結合様式 }

3.4.2 評価実験

上記の 3 種の組合せ素性を，3.2 でデータベースに追加した 5 種類のアクセント結合様式に関するラベルごとに作成し，先行研究 [2][3] の学習素性に計 15 の組合せ素性を追加した．そして，3.2 と同一の学習 / 評価データを用い，CRF によるアクセント推定の精度を求めた．

また，アクセント結合様式だけではなく，結合アクセント価も利用した場合の実験を行なった．3.2 でデータベースに追加した，付属語の結合アクセント価を含むアクセント結合型のラベルごとに上記の組合せ素性を作成し，先行研究の学習素性に計 15 種を追加した．そして，3.2 の実験と同一の学習 / 評価データを用い，同様に推定精度を求めた．

3.4.3 実験結果

実験結果を Table. 5 に示す．また，副助詞を含む句，付属語が連続で出現する句の推定精度を Table. 4 に示す．実験結果から，組合せ素性の導入により全体的に推定精度が向上したことが分かった．また，組合せ素性として用いたことで，付属語の結合アクセント価の学習が改善したと考えられる．

4 まとめ

アクセント結合の規則処理におけるアクセント属性を CRF 学習に取り入れることで，アクセント推定処理の精度を向上させることができた．また，それらのアクセント属性と推定対象語の単独発声アクセント型を組み合わせることで，より効果的な学習が実現できた．今後は，アクセント属性ラベルの利用形式の変更や，アクセント結合様式，および結合アクセ

ント価の組合せ素性の改良により，更なる処理精度の改善を目指す．

謝辞 本研究に全面的にご協力頂いた黒岩龍様と，度々御助言と御支援を頂いた特定領域研究「日本語コーパス」電子化辞書班の皆様に厚く感謝申し上げます．

参考文献

- [1] 匂坂, 佐藤, 信学論, J66-D7, pp.849-856, 1983.
- [2] 黒岩他, 信学技報, SP2006-174, pp.31-36, 2007.
- [3] 黒岩, “日本語音声合成のためのアクセント結合規則の改善とデータベースに基づく統計的アクセント処理”, 東京大学大学院情報理工学系研究科電子情報学専攻修士論文, 2007.
- [4] 印南他, 言語処理学会第 14 回年次大会 発表論文集, pp.969-972, 2008.
- [5] 喜多他, 電子情報通信学会音声研究会, SP2002-26, pp.13-18, 2002.
- [6] 伝他, “UniDic version 1.3.9 ユーザーズマニュアル”, 2008
- [7] <http://www.mibel.cs.tsukuba.ac.jp/jnas/>
- [8] <http://crfpp.sourceforge.net/>
- [9] <http://hil.t.u-tokyo.ac.jp/~galatea/index-jp.html>
- [10] <http://www.tokuteicorpus.jp/dist/>