

親密度の低い漢語と四字漢語短縮形のアクセント型の生成及び自然度評価

り ぼくとう
李 墨彤

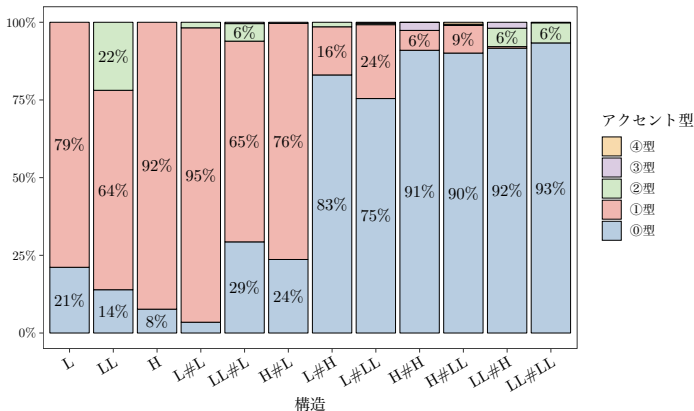
ribokuto@gmail.com

大阪大学大学院

音韻論学会 2019 年度春期研究発表会
2019 年 6 月 21 日 (金)
首都大学東京・秋葉原サテライトキャンパス

先行研究：辞書にける漢語のアクセント型の分布

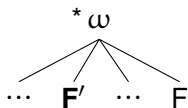
- 『新明解国語辞典 第四版』の場合



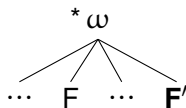
- 2 モーラ語 (L#L)：①型優勢；4 モーラ語：①型優勢
- 3 モーラ語の場合、○○#○は①型が多いのに対して、○#○○は①型が多い(最上他 1999; 小川 2006; 塩田 2016)；ただし、①型と①型のバリエーションも観察されている
- …#L：①型優勢；…#LL か…#H：①型優勢

先行研究：ア核が産出される・産出されない仕組み (Ito & Mester 2016)

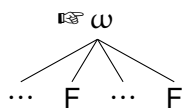
- OT (Prince & Smolensky 1993/2004) に基づく分析：
 $\text{NONFIN}(\text{FT}') \cdot \text{RIGHTMOST} \gg \text{WDACC}^1$
- 韻律語がフットを2つ以上持ち、かつ1つのフットが語末に位置する韻律構造 → 平板式アクセント



(a) RIGHTMOST により、語末でないフットはヘッドフットになれない。

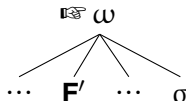


(b) NONFIN(FT') により、語末のフットはヘッドフットになれない。



(c) 結果として、ヘッドフットを持たない韻律語(平板型)が産出される。

- フットに解析されない音節が1つ(以上)語末に位置する韻律構造 → 起伏式アクセント



¹各制約の具体的な定義は「付録：制約の定義」を参照されたい。²—

先行研究：漢語の優勢なA型に対する分析(李 2017)

- OT に基づく分析：

$\text{NonFin}(\text{L}) \gg \text{MorFt} \gg \text{NonFin}(\sigma)$

- …#L の場合、 $\text{NonFin}(\text{L})$ によって、第2要素の軽音節がフットに解析されず、①型が産出される： $(\text{L}')\#\text{L} \cdot (\text{H}')\#\text{L} \cdot (\text{L}'\text{L})\#\text{L}$
- …#LL か …#H の場合、 MorFt によって、第2要素がフットに解析され、②型が産出される： $(\text{L})\#(\text{LL}) \cdot (\text{L})\#(\text{H}) \cdot (\text{LL})\#(\text{LL}) \cdot \dots$

- 問題点

- 使用した漢語のデータは辞書によるものであるため、母語話者が今まで見たことのない語に対するアクセント付与を直接調べたものではない
- 各構造の優勢なアクセント型のみ説明でき、実際のデータに見られるアクセント型のバリエーションを説明することができない

先行研究：複合語短縮形の優勢なアクセント型について

- 外来語複合語の短縮形（例：「パーソナル+コンピュータ → パソコン 0」）は多くの場合平板型になり（秋永・金田一 2001; 森 2002; 村田 2018）、Ito & Mester (2016)・李 (2017)の提案で説明できる
LEXFT によって、短縮語を構成する各要素はフットに解析される：
(LL)+(LL)（パソコン）・(LL)+(L)（ファミマ）・(H)+(H)（ジーパン）…
- これと似たような現象として、四字漢語の二字短縮形があるが、必ずしも㊦型になるとは限らないようである（「健康-保険 → 健保㊦」）
- （漢語）複合名詞の短縮形のアクセント規則（秋永・金田一 2001）
 - 2 モーラ語：頭高型（市^し議会^ぎ議員㊦）
 - 3 モーラ語：省略意識の薄れるものが多く、二字漢語の一般的な法則に準じる（健康^{けん}保^ぼ險㊦；労働^{ろう}組^そ合㊦；化学^か織^{せん}維㊦；空^{くう}中^{ちゅう}輸^{しゅ}送㊦）
 - 4 モーラ語：原則として平板型（特別^{とく}急^{きゅう}行㊦；高等^{こう}学^{がく}校㊦）
- ただし、母語話者が今まで見たことのない漢語複合名詞の短縮形に対するアクセント付与を調べ、各構造におけるアクセント型の分布を報告した研究が少ない

研究の目的

- 親密度が低いと考えられる二字漢語および四字漢語の短縮形の調査語を利用して、母語話者がはじめてこれらの語を見たとき、どんなアクセントで読むかを構造ごとに調べる
- 生成（読み上げ調査）と並行して、母語話者が各アクセント型で発音された調査語の自然度に対する評価も調べる
 - 自然度評価はその構造のすべてのアクセント型に対して評価が行われるため、より効率よくデータを集めることができる
 - 自然度評価は母語話者がどんな構造 × アクセント型の組み合わせを嫌うかという直接否定証拠が得られる
 - 自然度評価はグラマーの段階性（gradience in grammar）を示すことが多く、読み上げ調査よりもアクセント型間のランク付けが容易である
- 制約ベースモデルを用いて、生成と自然度評価の結果を分析し、生成のバリエーションと評価の段階性を説明する

調査語：親密度の低い二字漢語の選び方

- 音韻・形態構造：2 モーラ語から 4 モーラ語まで合計 9 種のもの
2 モーラ語： L#L
3 モーラ語： LL#L L#LL H#L L#H
4 モーラ語： LL#LL H#LL LL#H H#H
- 語の親密度について、『日本語の語彙特性』（天野・近藤 1999, 2000）における「文字音声単語親密度」の指標（1～7 の 7 段階）が 2.5 以下のものに限定している（平均 = 1.59；標準偏差 = 0.31）
- 漢語の場合、語全体のアクセント型が特定の形態素（特に第 2 要素）によって指定されることがある（最上他 1999）：

第 2 形態素	①型の語数	総語数	①型の割合	①型の語例
しゃ 写	12 語	12 語	100%	接写・映写・実写・複写・描写
ゆ 油	21 語	21 語	100%	石油・灯油・原油・給油・重油
...

この影響を避けるために、調査語の第 2 形態素について、その第 2 形態素を持つ二字漢語の総数が『日本語の語彙特性』において 2 語以下か、単語のグループが特定のアクセント型に偏っていないものに限定した

調査語：二字漢語の語彙リスト

構造	語数	調査語
L#L	6	邪飛・地祇・娑婆・举措・獻歎・夢寐
LL#L	7	曲浦・直披・舳舻・国帑・発兌・木履・略綬
L#LL	7	舐憤・斧鑿・蘆荻・斧鉞・塗抹・蛇蝎・披瀝
H#L	9	代赅・官衙・陰阻・瞋恚・親炙・注疏・盤踞・檻樓・囹圄
L#H	6	素馨・華胄・世尊・弥縫・捕縄・油單
LL#LL	9	尺牘・鬱勃・博奕・踟躕・落莫・逐鹿・絡繹・剝削・寂寞
H#LL	9	駐筭・荊棘・戒飭・救恤・鷄肋・警蹕・謙抑・剛愎・繁縟
LL#H	8	僻陬・卜筮・束脩・疫癘・目睫・駢遞・拔錨・博搜
H#H	12	均霑・退嬰・藩屏・因循・冤枉・奸佞・繭紬・殷賑・秋霖・少輔・端倪・蹢躅

調査語：親密度の事前確認

漢語の調査語が調査参加者にとって親密度が低いことを確認するため、調査の前にすべての調査語をリスト形式で調査参加者に見せ、その中から既に知っているものを選ばせた（選ばれたものを調査語から除外した）

調査の前に、以下の漢語に目を通して、

辞書やインターネットで調べたりせずに、

中から既に知っているものをお選びください（複数可）：

（知っている単語がない場合、チェックを入れないで送信してください）

- | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 邪飛
じやひ | <input type="checkbox"/> 地氐
ちで | <input type="checkbox"/> 婆娑
はさ | <input type="checkbox"/> 拳措
けんそ | <input type="checkbox"/> 歛歛
けんけん | <input type="checkbox"/> 夢寐
むび | <input type="checkbox"/> 曲浦
きょくぽ | <input type="checkbox"/> 直拔
じきひ |
| <input type="checkbox"/> 触蟻
じくち | <input type="checkbox"/> 国帛
こくどく | <input type="checkbox"/> 婆娑
はさ | <input type="checkbox"/> 拳措
けんそ | <input type="checkbox"/> 歛歛
けんけん | <input type="checkbox"/> 夢寐
むび | <input type="checkbox"/> 曲浦
きょくぽ | <input type="checkbox"/> 直拔
じきひ |
| <input type="checkbox"/> 触蟻
じくち | <input type="checkbox"/> 国帛
こくどく | <input type="checkbox"/> 婆娑
はさ | <input type="checkbox"/> 拳措
けんそ | <input type="checkbox"/> 歛歛
けんけん | <input type="checkbox"/> 夢寐
むび | <input type="checkbox"/> 曲浦
きょくぽ | <input type="checkbox"/> 直拔
じきひ |
| <input type="checkbox"/> 斧鉞
しんしや | <input type="checkbox"/> 塗抹
とまつ | <input type="checkbox"/> 蛇蝎
だかつ | <input type="checkbox"/> 木履
ひれき | <input type="checkbox"/> 略綏
りやくしゆ | <input type="checkbox"/> 蛭蝨
けんそ | <input type="checkbox"/> 斧鑿
けんそ | <input type="checkbox"/> 蘆荻
しんい |
| <input type="checkbox"/> 親炙
しんしや | <input type="checkbox"/> 注疏
ちゅうそ | <input type="checkbox"/> 蛇蝎
だかつ | <input type="checkbox"/> 被覆
ひふく | <input type="checkbox"/> 代赭
だいこ | <input type="checkbox"/> 官衙
くわんが | <input type="checkbox"/> 陟隄
しつてい | <input type="checkbox"/> 嘆患
たんわん |
| <input type="checkbox"/> 弥縫
みほう | <input type="checkbox"/> 描繡
びやうしゆ | <input type="checkbox"/> 盤踞
ばんきよ | <input type="checkbox"/> 襦襖
じゆふく | <input type="checkbox"/> 團圓
だんえん | <input type="checkbox"/> 紫髯
ししゆ | <input type="checkbox"/> 畢青
ひしやう | <input type="checkbox"/> 世尊
せそん |
| <input type="checkbox"/> 逐鹿
じくろく | <input type="checkbox"/> 絡繹
らくらく | <input type="checkbox"/> 油半
ちゆうはん | <input type="checkbox"/> 尺牘
しつてく | <input type="checkbox"/> 世尊
せそん | <input type="checkbox"/> 鬱勃
うよく | <input type="checkbox"/> 博奕
はくやく | <input type="checkbox"/> 躡躡
しやくしやく |
| <input type="checkbox"/> 救恤
きうしゆ | <input type="checkbox"/> 鷄肋
けいりく | <input type="checkbox"/> 剗剗
けんけん | <input type="checkbox"/> 寂寞
じやくもく | <input type="checkbox"/> 落莫
らくもく | <input type="checkbox"/> 駐節
ちしやく | <input type="checkbox"/> 荊棘
けいけき | <input type="checkbox"/> 戒飭
けいしつ |
| <input type="checkbox"/> 束脩
しよくしやう | <input type="checkbox"/> 疫癘
えきれい | <input type="checkbox"/> 管簾
くわんれん | <input type="checkbox"/> 謙抑
けんよく | <input type="checkbox"/> 剛愎
かうへき | <input type="checkbox"/> 繁縷
はんりよく | <input type="checkbox"/> 僻陋
へきろう | <input type="checkbox"/> ト笠
たいりつ |
| <input type="checkbox"/> 藩屏
はんぺい | <input type="checkbox"/> 因循
いんじゆん | <input type="checkbox"/> 目捷
めくしやう | <input type="checkbox"/> 厭遁
えんてん | <input type="checkbox"/> 拔錨
はつびやう | <input type="checkbox"/> 博搜
はくそう | <input type="checkbox"/> 均霑
きんてん | <input type="checkbox"/> 退嬰
たいえい |
| <input type="checkbox"/> 端倪
たんげい | <input type="checkbox"/> 踰踰
いんじゆん | <input type="checkbox"/> 冤枉
えんかう | <input type="checkbox"/> 奸佞
かんねい | <input type="checkbox"/> 蕭蕭
しやうしやう | <input type="checkbox"/> 殷賑
いんしん | <input type="checkbox"/> 均霑
きんてん | <input type="checkbox"/> 少輔
しやうぼう |

送信

調査語：親密度の低い短縮語の作り方

- 音韻・形態構造：2 モーラ語から 4 モーラ語まで合計 9 種のもの
2 モーラ語： L-L
3 モーラ語： LL-L L-LL H-L L-H
4 モーラ語： LL-LL H-LL LL-H H-H
- 短縮語のもととなる四字漢語について、一部インターネット上にあるものに加えて、基本的には『情報・知識 imidas '98』（imidas 編集部 1997）と『新和英大辞典 第 5 版』（渡邊他 2003）から選出した
- 筆者が上記の短縮語の各構造に合わせて、四字漢語の第 1・第 2 要素の第 1 文字をそれぞれ取って短縮語を作成した
（例：「着信履歴 → 着履^{ちやくり}」）
- 作成したすべての短縮語を検索エンジン Google で調べ、ヒット数が高くないことを事前に確認し、また、調査参加者でない日本語母語話者に見てもらい、「今まで聞いたことはないが、こんな略語があると言われたら、別に不自然だとも思わない」と略語自体の自然さを確かめた
- 『日本語の語彙特性』において、その短縮語と同じ第 2 形態素を持つ単語のグループが特定のアクセント型に偏っていないことを確認した

調査語：短縮語の語彙リスト

構造		語数		調査語（小さい文字を削除して短縮語を作成）							
L-L	9	異種寄生	機密書類	予防措置	化学汚染	社長秘書	自己犠牲	古語辞典	普通預金	遺族扶助	
LL-L	7	結合距離	実質預金	活物寄生	国語辞典	悪性腫瘍	閼下刺激	着信履歴			
L-LL	6	社会秩序	疑問副詞	皮膚剥離	試行錯誤	自己克服	路上喫煙				
H-L	10	走行距離	環境汚染	電磁遮蔽	安産祈願	残留孤児	検索履歴	信用危機	神経刺激	民間企業	交通違反
L-H	7	避難勧告	家庭看護	過当競争	写真凹版	外科救急	舞台挨拶	家庭排水			
LL-LL	5	質量輻射	石油頁岩	液体窒素	植物毒素	疾病特約					
H-LL	8	法律秩序	飽和液体	精神錯乱	網膜剥離	人間国宝	入院特約	人権抑圧	細菌毒素		
LL-H	7	角膜潰瘍	滑降競技	特惠貿易	匿名広告	植物採集	物理探查	雑損控除			
H-H	7	海外貿易	内陸鹹湖	生活排水	急救看護	全称肯定	飽和蒸気	海底探查			

調査時間と調査参加者

- 調査時間：2018 年 8～9 月
- 調査参加者の基本情報
 - 母方言：全員首都圏方言話者（12 歳まで東京都・神奈川県・埼玉県・千葉県のいずれかの地域で生育した人）
 - 人数：合計 25 人（3 人は読み上げ調査のみに、3 人は自然度評価調査のみに、残りの 19 人は両方の調査に参加）
 - 性別：男性 10 人、女性 15 人
 - 年齢：平均 32.68 歳、標準偏差 15.74 歳
 - 生育地：東京都 12 人、神奈川県 7 人、埼玉県 5 人、千葉県 1 人

調査の手順：読み上げ調査

- 調査対象 1 人につき、約 36 語の二字漢語と 33 語の短縮語を用意した
- 場面設定：
 - 二字漢語：「あまりなじみのない漢語を友達に説明します」
 - 短縮語：「このように長い単語を略す人がいます。あなたはこの略語をどう読みますか」
- 提示文：
 - 二字漢語：＜○○は△△△△という意味／ということ／…です＞
 - 短縮語：＜△△△△を略して、○○です＞
- 調査が始まる前に、アクセントとはなにかについて簡単に説明した
- 録音の手順²（次のスライド）：調査語および提示文をランダムに調査対象に示し、それらを一通り確認した後、提示文を読み上げて録音するように求めた。その際、赤く表記されている調査語を自然だと思うアクセントで発音するように求めた
- 録音が終わった後に、筆者が録音データを聞いて、二字漢語・四字漢語・短縮語のアクセント型を書き取った

² 調査用のウェブサイトは主に jsPsych (Ver.6.0.4; de Leeuw 2015) を利用して作成した。

調査画面：読み上げ調査

じくろ 舳舻

じくろ せんしゅ せんび
<舳舻は船首と船尾のことです>

(上の<>内の文全体を録音してください)

録音/停止

(繰り返しなどが必要な場合は、上のボタンをもう一回クリックしてください)



(4番目の音声です。合計9個あります)

休憩

(自分の音声をはっきりと確認できたら、次へお進みください)

次へ

かきょう 過競

かとうきょうそう りやく かきょう
<過当競争を略して、過競です>

(上の<>内の文全体を録音してください)

録音/停止

(繰り返しなどが必要な場合は、上のボタンをもう一回クリックしてください)



(5番目の音声です。合計8個あります)

休憩

(自分の音声をはっきりと確認できたら、次へお進みください)

次へ

調査の手順：自然度評価調査

- 刺激音の作成：東京方言話者 1 人（50 代男性）に、調査語のすべて可能なアクセント型（尾高型を除く；提示文に入れた形）を無響室で読ませて録音し、刺激音を作成した
- 調査対象 1 人につき、約 74 項目の二字漢語と約 38 項目の短縮語を用意した
- 場面設定：
 - 二字漢語：「とある友人があなたにあまりなじみのない漢語を説明しようとしています」
 - 短縮語：「このように長い単語を略す人がいます。あなたはこの略語のアクセント型が自然だと思いますか」
- 提示文：読み上げ調査と同様
- 評価の手順（次のスライド）：調査語および提示文をランダムに調査対象に示し、それと同時に刺激音を再生して聞かせた後に、7 段階（1：不自然～7：自然）でアクセントの自然度を評価させた。その際、調査語自体の自然さや話者の声質の自然さで評価しないように注意した

調査画面：自然度評価調査

かんねい 奸佞

かんねい ころ い み

＜**奸佞**は心がねじけているという意味です＞

〔下のスライドバーを使って、赤く表記されている部分のアクセントの自然度を評価してください〕

1 2 3 4 5 6 7

不自然 どちらとも 言えない 自然

（音声をもう一度確認したい場合は、下の三角ボタンをクリックしてください）

▶ 0:00 / 0:04 ● 🔊 ⚙️

（2番目の音声です。合計3個あります）

評価

（評価が終わったら、次へお進みください）

次へ進む

かんお
環汚

かんきょうおせん りやく かんお

<環境汚染を略して、環汚です>

(下のスライドバーを使って、赤く表記されている部分のアクセントの自然度を評価してください)

1 2 3 4 5 6 7

不自然 どちらとも 自然

思えない

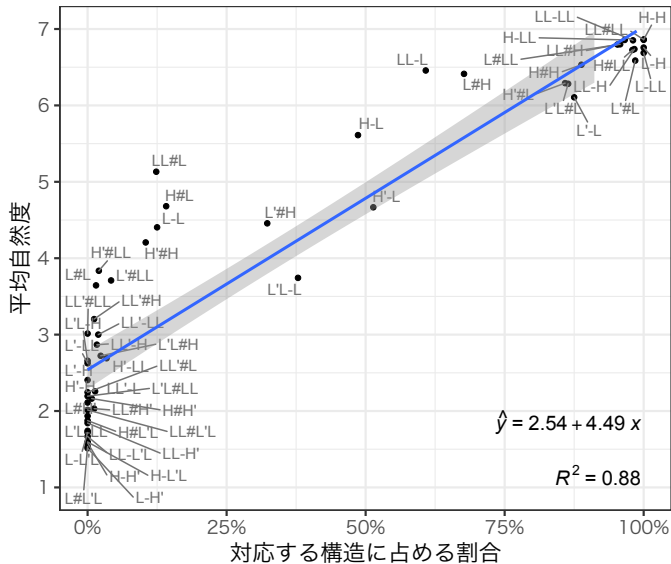
(音声をもう一度確認したい場合は、下の三角ボタンをクリックしてください)

▶ 0.00 / 0.04 ● 🔊 ⋮

(3番目の音声です。合計7個あります)

(評価が終わったら、次へお進みください)

調査結果：生成と評価の相関 ($r = 0.939$)



調査結果：四字漢語本来のアクセント型による影響

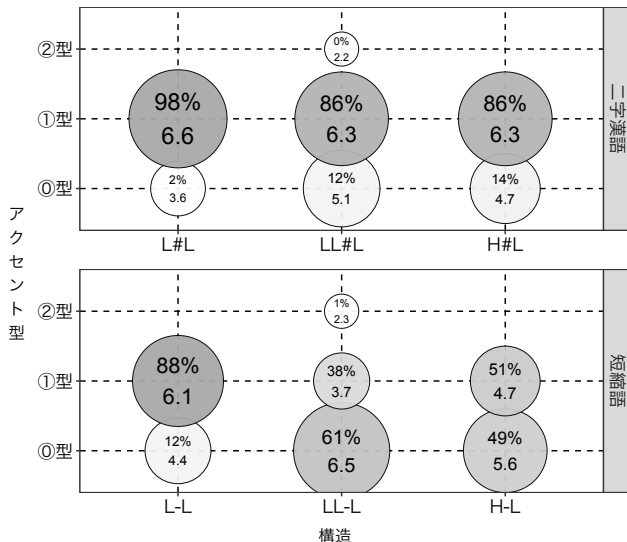
- 四字漢語が非融合アクセントをとる場合があります（例：「^{しんきゅうこうたい}新旧交代」「^{しょうそくふめい}消息不明」）、それが短縮語のアクセント付与に關与している可能性は否定できない
- 複合語のアクセント型（融合アクセントか非融合アクセントか）とその短縮語のアクセント型（平板式か起伏式か）の数の集計

複合語のアクセント型	短縮語のアクセント型	
	平板式	起伏式
融合アクセント	477	161
非融合アクセント	24	3

上記のデータに対してフィッシャーの正確確率検定を行ったところ、有意差が見られなかった ($p = 0.113$)

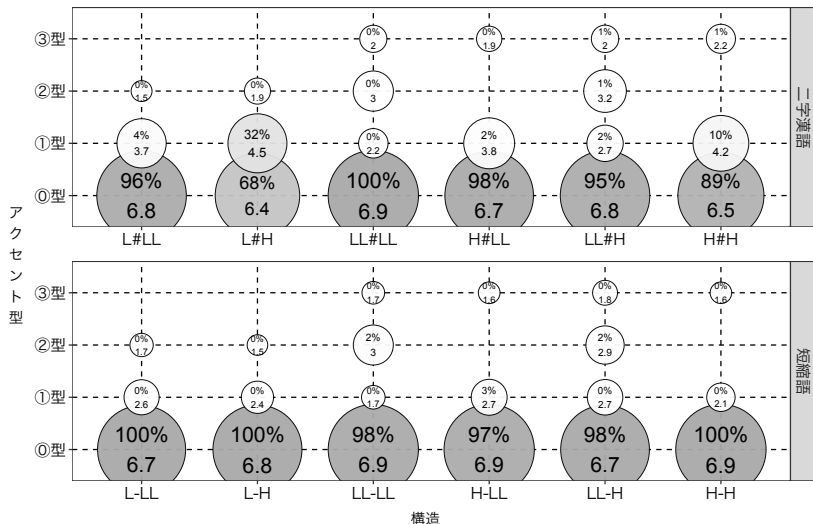
→ 四字漢語本来のアクセント型と関係なく、短縮語のアクセント型が平板型になりやすい

調査結果：第2要素がLの場合



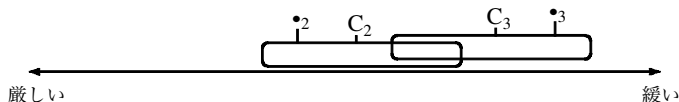
(産出された割合：円の色の濃さに比例する；平均自然度：円の大きさに比例する)

調査結果：第2要素がLLかHの場合

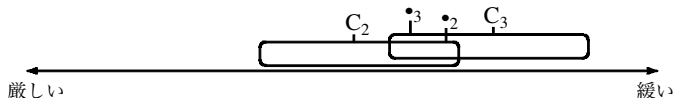


制約ベースモデル：Stochastic OT (SOT) (Boersma 1997, 1999; Boersma & Hayes 2001)

- ランキングは離散的ではなく、連続的である
- 評価器 H-EVAL が評価ノイズを与え、各制約の値を一時的に変化させる。値の変化は正規分布 (平均 = 制約の値, 評価偏差 = 評価ノイズ) に従う
- 図例：制約の値の変化 (Boersma & Hayes 2001)



(a) 通常のランキング ($C_2 \gg C_3$)。



(b) 稀なランキング ($C_3 \gg C_2$)。

学習アルゴリズム : Gradual Learning Algorithm (GLA) (Boersma 1997, 1999; Boersma & Hayes 2001)

- SOT に基づく学習アルゴリズム
- 昇格と降格の両方を取り入れている³

	制約 1	制約 2	制約 3	制約 4
	100→ 99	96 ←95	90→ 89	86 ←85
a.  候補 1		← *	*	← *
b.  候補 2	* →		* * →	

- GLA が適用された場合、グラマーの学習可能性 (learnability) の問題に答えることができ、モデルの自己整合性 (self-consistency) が高いと考えられる

³降格と昇格の程度 (値の変動幅) は plasticity (以下、 ϵ) というパラメータに基づいている。

韻律の曖昧性問題：各レベルにおける表示

レベル	表示の例	韻律情報
深層形 (underlying form ; UF)	σσσ	音節
表層形 (surface form ; SF)	/(σ'σ)σ/	音節・フット・アクセント
顕在形 (overt form ; OF)	[σσσ]	音節・アクセント

- UF（縦棒 | | で括る）は従来の OT の入力に当たるレベルで、音節の情報のみ含むとする
- SF（スラッシュ // で括る）は従来の OT の出力に当たるレベルで、音節とアクセントだけでなく、音声的な証拠が顕著でないフットも含むとする
- OF（角括弧 [] で括る）は SF からフットの情報を取り除き、曖昧性が生じないと考えられる音節とアクセントの情報を持つとする
- 問題点：各制約に対する違反の程度を知るために、学習者は言語データの SF を把握しなければならないが、実際にアクセスしうるのは OF にある音節とアクセントの情報のみである

解析アルゴリズム : Expected Interpretive Parsing (EIP) (Jarosz 2013)

- 学習者今現在のグラマーを利用して、言語データの SF (特にフット情報) をロバストに解析するアルゴリズム⁴

EIP for GLA

Require: Initialised Stochastic Grammar G_0

```
1: for  $d$  in  $D$  do  
2:   Sample  $G' \sim G_i$   
3:    $\text{Input} \leftarrow \text{uf}(d)$   
4:    $\text{Output} \leftarrow \text{Optimise}_{G'}(\text{Input})$   
5:   if  $\text{overt}(\text{Output}) \neq d$  then  
6:      $\text{Parse} \sim P(\text{parse} \mid G_i, d)$ 5  
7:      $G_{i+1} \leftarrow \text{Update}(G_i, \text{Parse}, \text{Output})$   
8:   end if  
9: end for
```

⁴EIP の詳細とその有効性は Jarosz (2013) と Li (2018) を参照されたい。

⁵リサンプリングの最大回数は 1000 回に設定されている。

前準備：パラメータの設定など

- 読み上げ調査の結果に対して、SOT×GLA×EIP の組み合わせを利用してモデルを作る
- 使用するソフト：Praat (Ver.6.0.52; Boersma & Weenink 2019)
- GLA のパラメータ設定

アップデートルール	評価ノイズ	初期の ε	ε の数	ε ごとの実行数	ε の減衰
Symmetric all	2.0	1.0	4	10000	0.1

- Symmetric all : ε (学習率) の値に準じて、loser (現時点のグラマーによって仮産出されるが、実際の言語データと一致しないもの) を支持するすべての制約を降格させ、winner (解析アルゴリズムによって実際の言語データの SF だとされたもの) を支持するすべての制約を昇格させるアルゴリズム
 - ε は 4 つあり、それぞれ 1 万回実行される (合計 $4 \times 1 \text{ 万} = 4 \text{ 万回}$)
 - 「 ε の減衰」が 0.1 に設定されていることは、この場合、最初の 1 万回の ε は 1.0、次の 1 万回は 0.1、3 番目の 1 万回は 0.01、最後の 1 万回は 0.001 だということを意味する
 - 「評価ノイズ」が 2.0 に設定されていることは、毎回の評価に当たって、各制約の値がランダムに変化するとき、その変化が従う正規分布の標準偏差が 2.0 ということである
- 使用する制約群：李 (2017) で使用した 14 個の制約 (「付録：制約の定義」を参照)
 - 制約の初期値はすべて 100 とする

前準備：パラメータの設定など

- 目標データに指定された構造 × アクセント型の各組み合わせの割合に準じて、学習データ (OF) をランダムに生成し学習させるが、学習ステップを 4 万回実行したら、それを 1 回のシミュレーションと見なす
- 学習が終わった後に、最終のランキングに基づき、各々の入力 (UF) に対して、10 万個のデータ (SF) をランダムに産出させ、そこから OF を抽出して、各アクセント型が各音節構造に占める割合を計算する
- モデルの評価については、グラマーによって生成されたデータと目標データとの相関および平均絶対誤差 (Mean Absolute Error, 以下、MAE) を計算し、相関が高いほど、また、MAE が小さいほどモデルの説明力が高いと評価する
- MAE⁶ の計算式：
$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t|$$

⁶たとえば、 $x = (0.1, 0.3, 0.5)$ 、 $y = (0.6, 0.2, 0.2)$ の場合、 x と y の MAE は $\frac{|0.1-0.6|+|0.3-0.2|+|0.5-0.2|}{3} = 0.3$ となる。

前準備：生成器 Gen の設定

- 3 モーラ以上から成るフットを生成しない。1・2 モーラから成るフット (**L**)・(**H**)・(**LL**)・(**LL**) のみ生成する (FTBINMAX- μ の効果)
- 軽音節 2 つから成るフットについて、第 2 軽音節がアクセント核を担う場合、その候補が持つ (**LL'**) と (**LL**) が弱強格として生成されるが、そうでない場合は強弱格で生成される (RHTYPE=T の効果)

以上の設定によって、MT は実質的に違反されないことになる

(フット構造について、Gen に以上の制限を加えることは普通しないが、アクセント現象だけを手がかりにして moraic trochee の構造が学習できないため (3・4 モーラの (2 音節) フットと弱強格のフットが多く生成されてしまうため)、今回はあえて Gen に以上の制限を加えた)

生成モデル：結果

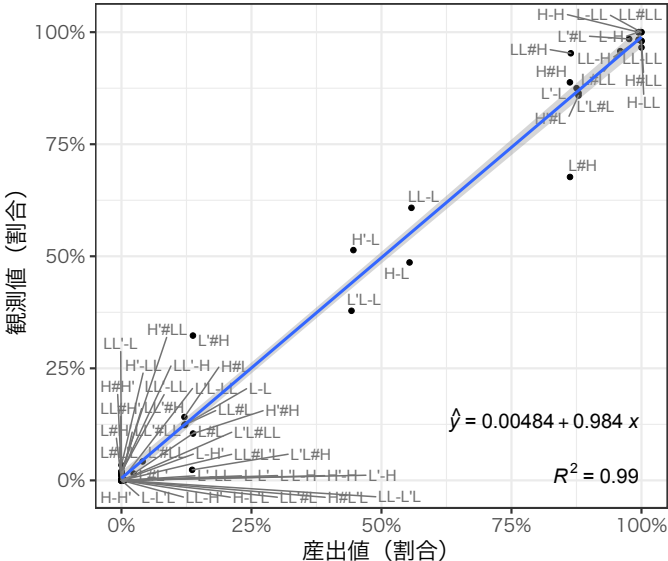
- 50 回のシミュレーションの結果

	数	平均値	標準偏差	中央値	最小値	最大値
相関	50	0.994	0.000	0.994	0.994	0.994
MAE	50	0.024	0.001	0.025	0.022	0.027

- MAE が最も小さいグラマー

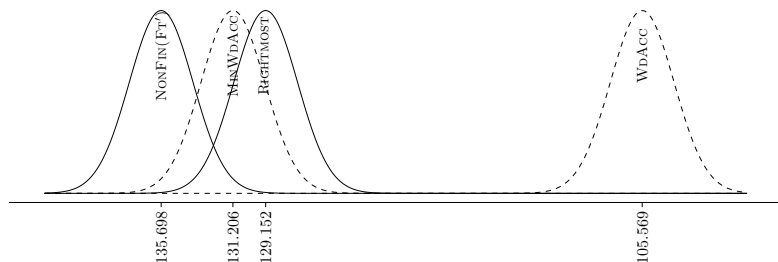
制約	値	制約	値
NONFIN(FT')	135.698	NONFIN(σ)	125.554
LEXFT	132.211	FTBIN	123.814
NONFIN(L)	131.927	WSP	106.373
MINWDACC	131.206	WDACC	105.569
RIGHTMOST	129.152	NOLAPSE	102.000
INITFT	129.151	MT	100.000
MORFT	128.648	PARSE- σ	60.732

生成モデル：産出値と観測値の相関 ($r = 0.994$; MAE が最も小さいグラマーの場合)



生成モデル：平板型の産出

- 重要な制約群（実線：ヘッドフットに関する制約群；破線：アクセント付与に関する制約群）

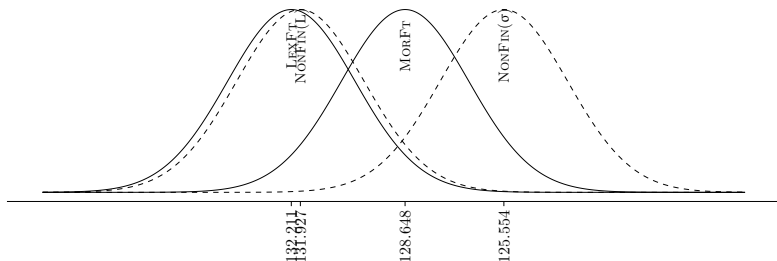


- 制約の対のランキング（確率）

	≫ NONFIN(Ft')	≫ RIGHTMOST
WDACC	0	0
MINWDACC	0.056	0.766

生成モデル：形態・音韻による違い

- 重要な制約群（実線：形態・音韻インターフェイスに関する制約群；破線：NONFINALITY 制約群）

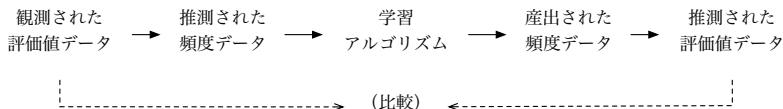


- 制約の対のランキング（確率）

	≫ LEXFt	≫ MORFt
NONFIN(σ)	0.009	0.137
NONFIN(L)	0.460	0.877

評価モデル：評価値を頻度に変換する手順

- 評価値は頻度データではないため、前述したモデルに直接学習させることができない
- 評価値を頻度に変換する手順(Boersma & Hayes 2001)



評価値のデータを推測頻度に変換したものを目標データとしてモデルに学習させ、学習済みのモデルによって産出された頻度データをまた推測評価値に逆変換し、それをもとの評価値と比較させる

- 同一の UF を持つ OF の相対頻度は足して 100%になるのに対して、評価値の場合、各 OF の平均自然度の合計は定数とならないため、モデルによって産出された各 OF の相対頻度を評価値に直接変換することが難しい → 評価値の差に変換して比較する

評価モデルを評価する新たな指標：：ヒット率

- 自然度のような連続値の結果は個人差が存在するため、ここではモデルを評価する指標として、相関と MAE に加え、個人差を考慮した「ヒット率」(Keller (2000)の「精度」(accuracy) という指標に相当するもの) も利用する

- ヒット率の計算式：
$$\text{ヒット率} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{hit}(|\Delta J_i - \Delta J'_i|)$$

$|\Delta J_i - \Delta J'_i|$ は観測評価値の差から予測評価値の差を引いた値（予測データと目標データとの差）の絶対値であり、 $\text{hit}()$ は入力となる値が閾値 δ より小さければ 1 を、そうでなければ 0 を返す関数である；Keller (2000)に従い、 δ を各々の調査参加者から計算した観測評価値の差の標準偏差に設定している（「付録：評価モデルの結果」を参照されたい）

- ヒット率はすべての対におけるヒットの具合の平均を計算することで、予測データが全体的にどれくらい目標データから逸脱しているかを個人差を考慮した視点で考察する指標である

評価モデル：変換用の関数

- 観測評価値 → 推測頻度：
$$F_i = \frac{a^{-J_i}}{\sum_{k=1}^n a^{-J_k}}$$
- 産出頻度 → 推測評価値の差：
$$J'_i - J'_j = \log_a \left(\frac{F'_j}{F'_i} \right)$$
- ただし、産出頻度が0の場合、小さい値 (1.0×10^{-4}) で代入した
- 例：LL#Lの場合 ($a = 0.11$)

OF _i	OF _j	J _i	J _j	ΔJ	SD _{ΔJ}	F _i	F _j	F' _i	F' _j	ΔJ'	D	hit(D)
[LL#L]	[L'L#L]	5.13	6.28	-1.15	2.18	0.073	0.927	0.049	0.952	-1.35	-0.20	1
[LL#L]	[LL'#L]	5.13	2.25	2.89	2.28	0.073	1.25×10^{-4}	0.049	$0(1.0 \times 10^{-4})$	2.80	-0.09	1
[L'L#L]	[LL'#L]	6.28	2.25	4.04	2.42	0.927	1.25×10^{-4}	0.952	$0(1.0 \times 10^{-4})$	4.15	-0.11	1

- 評価値の差が対応する推測頻度の比 ($a = 0.11$)

$J_i - J_j$	0	1	2	3	4	5	6
$F_i : F_j$	1 : 1	9 : 1	83 : 1	751 : 1	6830 : 1	62092 : 1	564474 : 1

評価モデル：結果

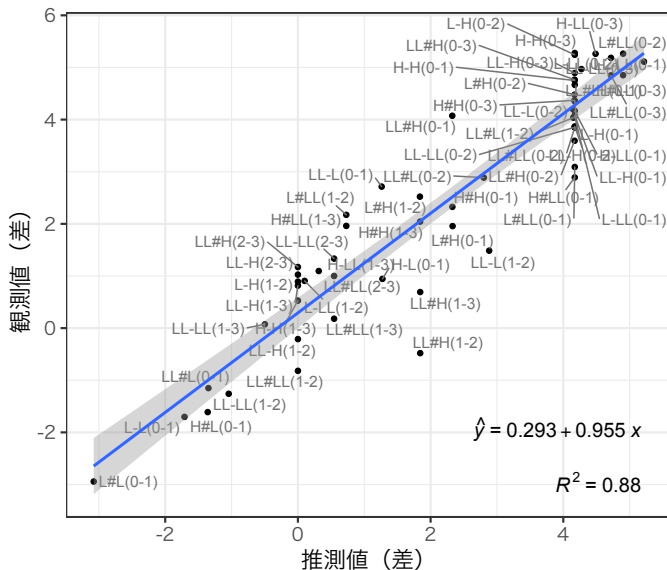
- 50 回のシミュレーションの結果

	数	平均値	標準偏差	中央値	最小値	最大値
相関	50	0.906	0.011	0.908	0.880	0.940
MAE	50	0.823	0.083	0.833	0.596	1.038
ヒット率	50	0.949	0.027	0.966	0.879	0.983

- MAE が最も小さいグラマー

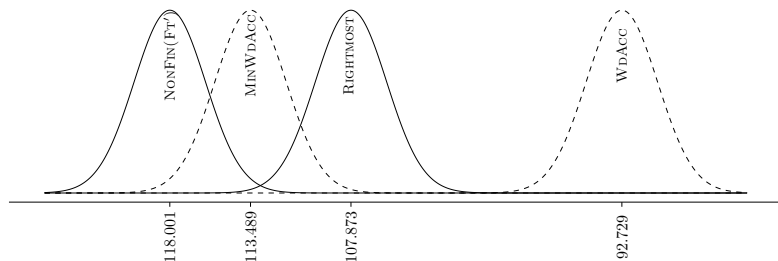
制約	値	制約	値
LEXFT	124.527	RIGHTMOST	107.873
NONFIN(L)	120.064	FTBIN	104.096
NONFIN(FT')	118.001	INITFT	102.000
MORFT	115.365	MT	100.000
MINWDACC	113.489	NOLAPSE	100.000
WSP	111.429	WDACC	92.729
NONFIN(σ)	108.635	PARSE- σ	83.397

評価モデル：推測値と観測値の相関 ($r = 0.940$)



評価モデル：平板型の産出

- 重要な制約群（実線：ヘッドフットに関する制約群；破線：アクセント付与に関する制約群）



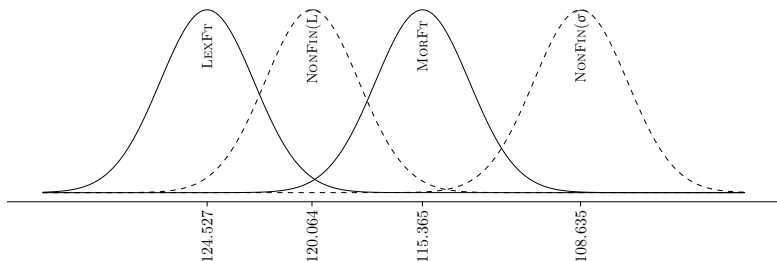
- 制約の対のランキング（確率）

	\gg NONFIN(F_t')	\gg RIGHTMOST
WdACC	0	4.30×10^{-8}
MINWdACC	0.055	0.976

MINWdACC \gg RIGHTMOST の確率は生成モデルより高い： $(L')\#(L)$ と $(L')-(L)$ の形式を好む

評価モデル：形態・音韻による違い

- 重要な制約群（実線：形態・音韻インターフェイスに関する制約群；破線：NONFINALITY 制約群）



- 制約の対のランキング（確率）

	≫ LEXFT	≫ MORFT
NONFIN(σ)	9.62×10^{-9}	0.009
NONFIN(L)	0.057	0.952

生成モデルと比べ、LEXFT の優位性が更に顕著：短縮語（H-L・LL-L）の◎型を好む

まとめ

- 生成と自然度評価の結果に大きな相関が観察された
- 親密度の低い漢語の調査結果は辞書におけるアクセント型の分布の傾向と一致し、 $\cdots\#L$ は①型優勢で、 $\cdots\#LL$ と $\cdots\#H$ は②型優勢；①型と②型のバリエーションは主に 3 モーラ語に集中していた
- 親密度の低い短縮語の調査結果として、 $L-L$ を除き、基本的には②型が優勢だったが、 $LL-L$ と $H-L$ において①型と②型のバリエーションが顕著に出ていた
- 自然度評価の結果として、多くの場合 -2 型が最も低く評価されていた ($NONFIN(FT')$ による効果が考えられる)
- 制約ベースモデル (SOT) を用いて、読み上げ調査に観察されたアクセント型の分布とバリエーション、および自然度評価調査に観察された評価の段階性を説明した
 - 平板型の産出： $WDACC \cdot MINWDACC$ と $NONFIN(FT')$ ・ $RIGHTMOST$ の相対的な位置関係
 - 形態・音韻構造による違い： $LEXFT \cdot MORFT$ と $NONFIN(L)$ ・ $NONFIN(\sigma)$ の相対的な位置関係

今後の課題

- 各音韻・形態構造ごとに短縮語を作ったが、促音化・(半)濁音化したほうがより自然に感じる調査語がある（「質量^{しつ}輻^{ふく}射」など）→ 短縮語形成とアクセント付与を同時に調べる必要がある
- 評価モデルは誤差の視点から見れば、まだ改善する余地がある
 - 誤差が相対的に大きかった理由として、使用したモデルは主に頻度データを分析するものであり、評価値に対応したものではないこと、また、韻律構造の曖昧性が強く、うまく解析できていないことが考えられる
 - 評価値に特化したモデル Linear OT (Keller 2000) があるが、解析アルゴリズムに対応していないため、曖昧性のあるデータに直接応用することはできない

参考文献

- Boersma, Paul (1997) "How we learn variation, optionality, and probability," in *Proceedings of the Institute of Phonetic Sciences of the University of Amsterdam*, Vol. 21, pp. 43–58, Amsterdam.
- Boersma, Paul (1999) "Optimality-theoretic learning in the Praat program," in *IFA proceedings*, Vol. 23, pp. 17–35.
- Boersma, Paul & Bruce Hayes (2001) "Empirical Tests of the Gradual Learning Algorithm," *Linguistic inquiry*, Vol. 32, No. 1, pp. 45–86.
- Boersma, Paul & David Weenink (2019) "Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 6.0.52," URL: <http://www.praat.org/>.
- Ito, Junko & Armin Mester (2016) "Unaccentedness in Japanese," *Linguistic Inquiry*, Vol. 47, No. 3, pp. 471–526.
- Jarosz, Gaja (2013) "Learning with hidden structure in Optimality Theory and Harmonic Grammar: beyond Robust Interpretive Parsing," *Phonology*, Vol. 30, No. 1, pp. 27–71.
- Keller, Frank (2000) "Gradience in Grammar: Experimental and Computational Aspects of Degrees of Grammaticality," Ph.D. dissertation, University of Edinburgh.
- de Leeuw, Joshua R. (2015) "jsPsych: A JavaScript library for creating behavioral experiments in a Web browser," *Behavior research methods*, Vol. 47, No. 1, pp. 1–12, DOI: <http://dx.doi.org/10.3758/s13428-014-0458-y>.
- Li, Motong (2018) "The Learnability of the Accentuation of Sino-Japanese Words and Loanwords: The Hidden Structure Problem," *ONIN KENKYU (PhSJ Journal: Phonological Studies)*, No. 21, pp. 31–40, 3.
- Prince, Alan & Paul Smolensky (1993/2004) *Optimality Theory: Constraint interaction in generative grammar*, Malden, MA & Oxford, UK: Blackwell.
- 秋永一枝・金田一春彦（編）（2001）『新明解日本語アクセント辞典』，三省堂，東京。
- 天野成昭・近藤公久（1999）『日本語の語彙特性』，三省堂，東京。
- 天野成昭・近藤公久（2000）「NTT データベースシリーズ「日本語の語彙特性」について」，『音声研究』，第 4 巻，第 2 号，44–50 頁。
- imidas 編集部（編）（1997）『情報・知識 imidas '98』，集英社，東京。
- 小川晋史（2006）「日本語諸方言の 2 字漢語アクセント」，修士論文，神戸大学。
- 塩田雄大（2016）「NHK アクセント辞典「新辞典」への大改訂 ⑥ 漢語のアクセントの現況 ～変化の「背景」を探る～」，『放送研究と調査』，第 66 巻，第 12 号，64–85 頁。
- 村田道明（2018）「略語の分類と、アクセント調査～複合語を中心に～」，URL：https://cpb-us-e1.wpmucdn.com/sites.dartmouth.edu/dist/a/1712/files/2018/08/3b_murata_slides-16tp5p6.pdf, 32nd Annual Japanese Language Teachers' Association of New England Conference 発表資料, Dartmouth College.
- 最上勝也・坂本充・塩田雄大・大西勝也（1999）『「日本語発音アクセント辞典」～改訂の系譜と音韻構造の考察～』，『NHK 放送文化調査研究年報』，第 44 巻，97–157 頁。
- 森庸子（2002）「3 モーラ複合語略語の生成要因：若者のキャンパスことばから」，『音声研究』，第 6 巻，第 1 号，121–137 頁，DOI：http://dx.doi.org/10.24467/onseikenkyu.6.1_121。
- 李墨彤（2017）「日本語漢語の優勢なアクセント型の分布－外来語と比較して－」，『音韻研究』，第 20 号，11–20 頁。
- 渡邊敏郎・Edmund R. Skrzypczak・Paul Snowden（編）（2003）『新和英大辞典 第 5 版』，研究社，東京。