



東京大学 工学部 4年生 夏学期 501130

# 応用音響学

---

音声とは：音声学の雑学

嵯峨山 茂樹

東京大学 工学部 計数工学科

<sagayama@hil.t.u-tokyo.ac.jp>

資料所在 <http://hil.t.u-tokyo.ac.jp/~sagayama/applied-acoustics/>



# 応用音響学：音声とは (1) 音声学の雑学

---

## ■ 要点

- 母音
- 子音
- 音節
- 日本語の特質
- 異音
- アクセント



# 教科書・参考書・文献

---

## References

- [1] 服部四郎, 「音声学」, ¥350, 岩波全書, 1951.
- [2] レイ・D・ケント, チャールズ・リード, 「音声の音響分析」, 荒井・菅原監訳, 海文堂, ¥3200, ISBN4-303-61000-3, 1996.
- [3] スチュアート・ローゼン, ピーター・ハウエル, 「音声・聴覚のための信号とシステム」, 荒井・菅原監訳, 海文堂, ¥4200, ISBN4-303-61010-0, 1998.
- [4] 島岡 丘, 佐藤 寧, 「最新の音声学・音韻論 現代英語を中心に」, ¥350, 研究社出版, ISBN4-327-41026-8, ¥2530, 1987.
- [5] 古井 貞熙, 「音声情報処理」, 電子情報通信工学シリーズ, 森北出版, ISBN4-627-70271-X, ¥2200.
- [6] 古井 貞熙, 「音響・音声工学」, 電子・情報工学入門シリーズ, 近代科学社, ISBN4-7649-0196-X, ¥3400.
- [7] Laurence Rabiner, Biing-Hwang Juang: Fundamentals of Speech Recognition, (Translated under supervision of S. Furui), NTT Advanced Technologies, 1993; Laurence Rabiner, Biing-Hwang Juang 「音声認識の基礎(上, 下)」(古井貞熙 監訳), NTT アドバンステクノロジー, 1995.



# 参考書：英語上達への音声学・工学的アプローチ

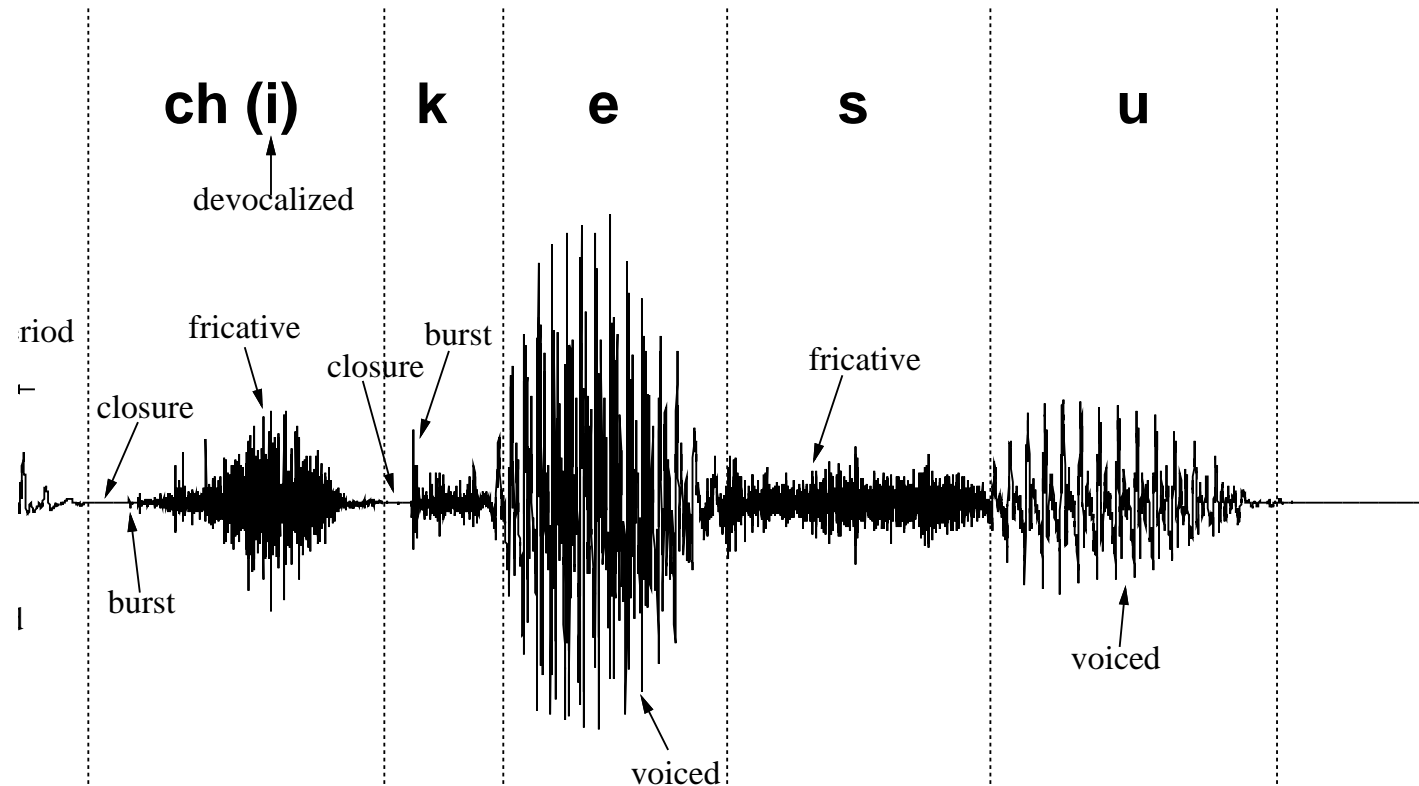
- 山田恒夫 / 足立隆弘 / ATR 人間情報通信研究所：「英語リスニング科学的上達法」，講談社ブルーバックス，発行年月日：1998年3月20日，サイズ：173 × 112mm，297 ページ，ISBN4-06-257206-0，1600 円。
- 山田恒夫 / 足立隆弘 / ATR 人間情報通信研究所：「英語スピーキング科学的上達法」，講談社ブルーバックス，発行年月日：1999年8月20日，サイズ：173 × 112mm，302 ページ，ISBN4-06-257263-X，1600 円。





# 音声波形

「打ち消す」の音声波形を示す。「ち」は無声化して、母音が脱落している。有声音(ここでは u, e, u)には、周期性が見られる。これが、ピッチ(声の高さ)として感じられる。

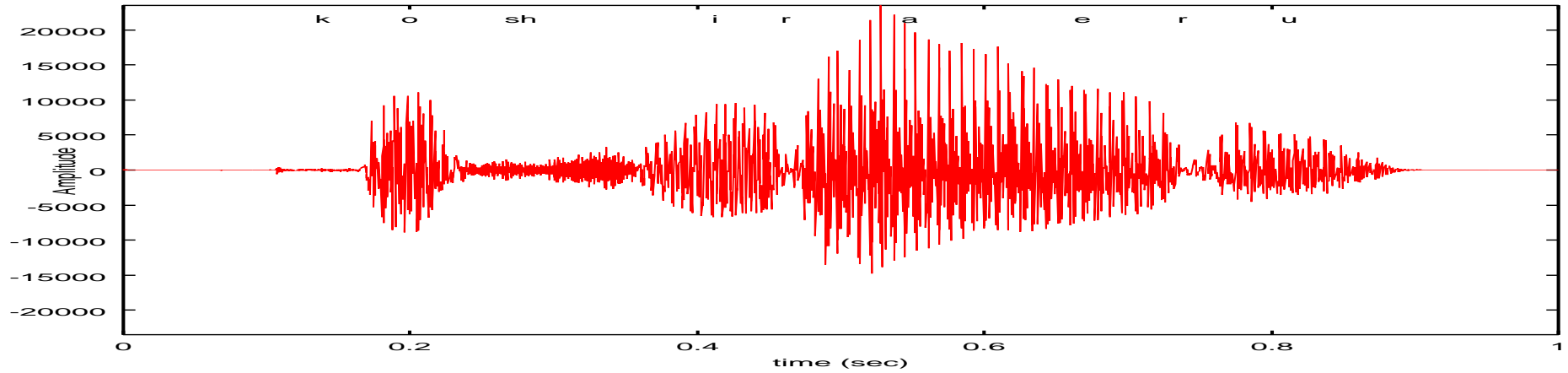


Speech Waveform /uchikesu/

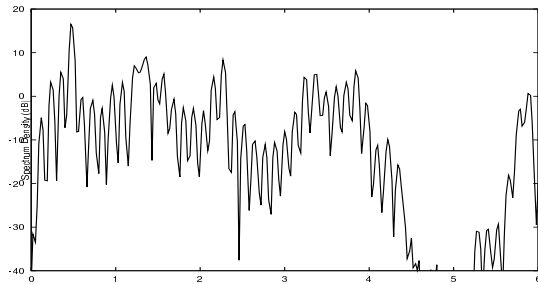
図1. 音声波形の例「打ち消す」



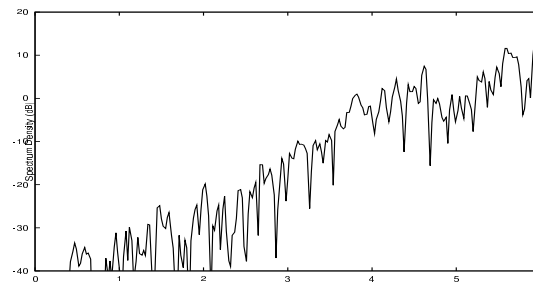
# 音声スペクトル



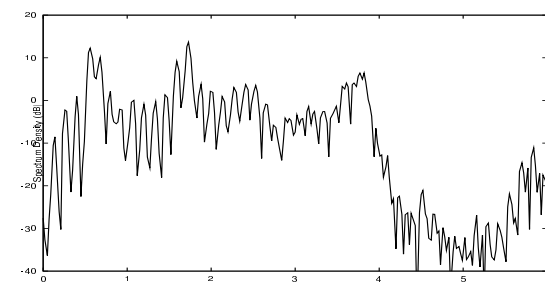
(a) 音声波形の例 (男声「こしらえる」)



(b) /o/ のスペクトル



(c) /ɤ/ のスペクトル



(d) /a/ のスペクトル

(いずれも、高域強調処理後のスペクトル計算結果)



# 音響学から言語学の階層

---

- 語用論 (Pragmatics)
- 意味論 (Semantics)
- 構文論 (Syntax)
- 語彙論 (Lexicon)
- 音韻論 (Phonology)
- 音声学 (Phonetics)
- 音響学 (Acoustics)



# 音声学、音韻論、正書法

## ■ 音声学 Phonetics

- 音声の正確な観察とその記述、音声が生じる過程や機構の解明
- 音素の物理現象に関する分析
- 調音音声学、音響音声学、聴覚音声学
- 表記法: [ 音素記号 ] (e.g., [utʃkesu])

## ■ 音韻論 Phonemics, Phonology

- 言語体系に占める音声の位置づけ、その役割や機能に関する事柄を解明
- 言語学の最小単位としての音素
- 表記法: / 音素記号 / (e.g., /utʃikesu/)

## ■ 正書法 Orthography

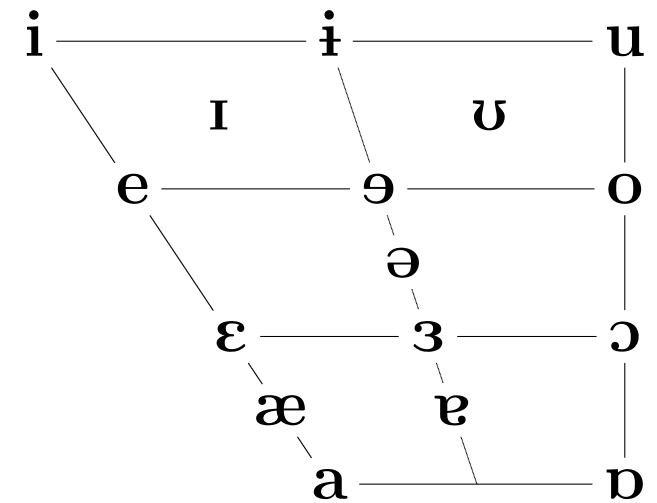
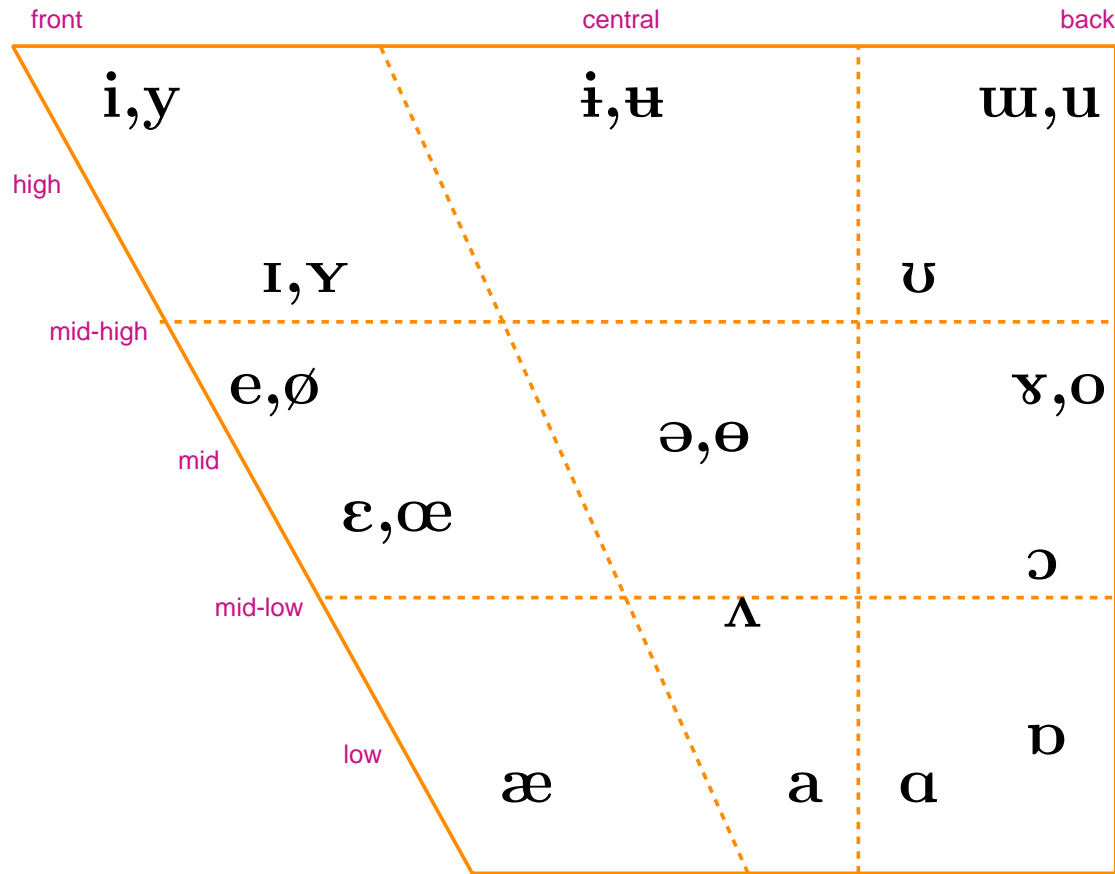
- e.g. 「打ち消す」
- e.g. 「私は北へ」 /wataʃi<sup>w</sup>akita<sup>e</sup>/ [wataɕiwakita<sup>e</sup>]





# 母音の調音

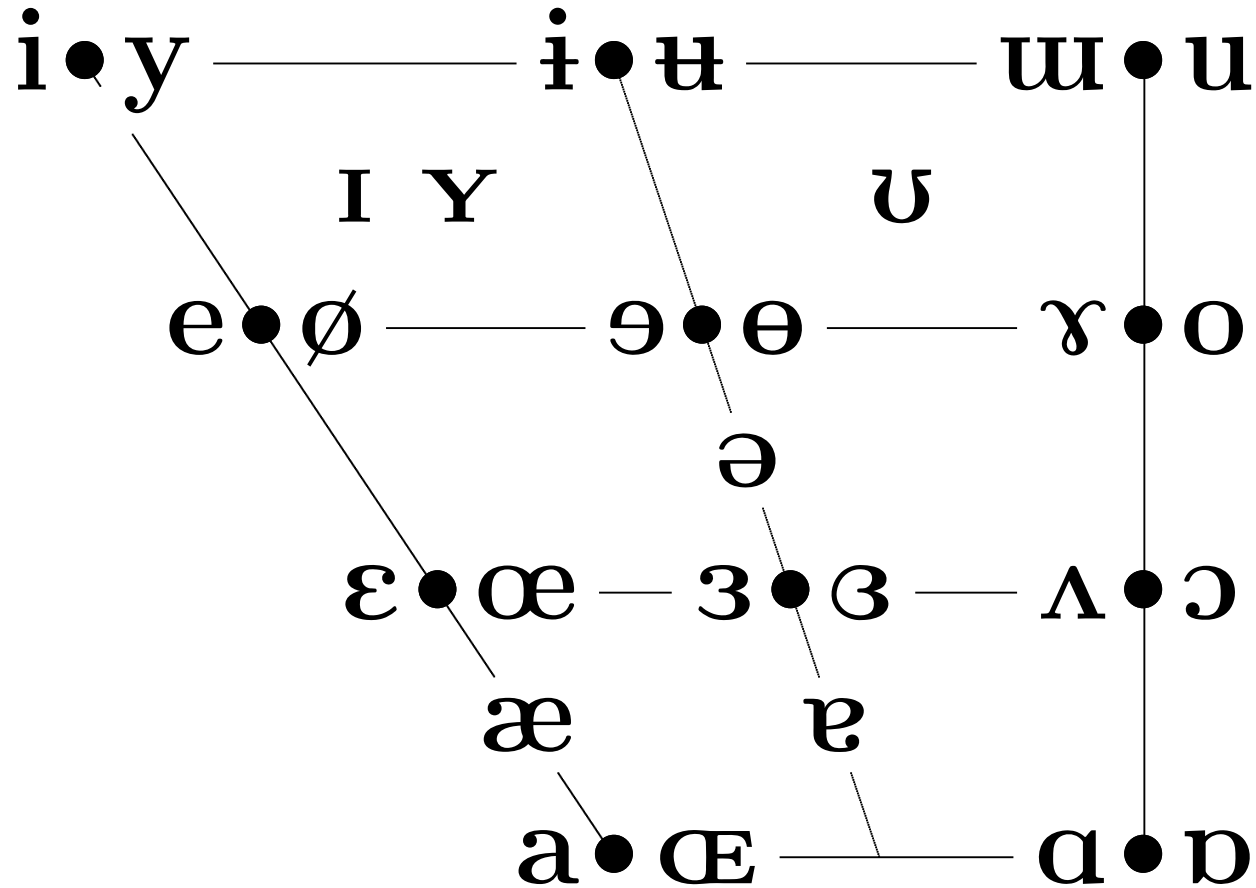
- 3要素: 前後位置、口の open/close、唇の rounded/unrounded
- 調音位置





# 母音の調音

- 3要素: 前後位置、口の open/close、唇の rounded/unrounded
- 調音位置 (updated 1996)





# 日本語母音の調音

## ■ 日本語に出現する母音の種類

	Front	Central	Back
Close	i,(y)	(i,u)	ɯ,[u]
Close-mid	[e],(ø)	(ɪ,ʏ)	(ʊ)
Open-mid	ɛ,(œ)	[ə],(ə)	(ɔ),o
Open		(æ)	(ʌ),[ɔ]
		a,(ɛ)	(ɐ,a)

1. 典型的な母音は 5 種類だが、括弧に入れた調音も出現することがある。
2. 母音の調音は、音素環境やその他の変動要因によって変動する。ア a は典型的には [a] だが、[ɑ, ɒ, ə, ɐ, æ] もある。イ i は典型的には [i] だが、[ɪ] もある。ウ u は典型的には [ɯ] だが、[u, ʊ, ʉ] もある。エ e は典型的には [ɛ] だが、[e] もある。オ o は典型的には [o] だが、[ɔ] もある。
3. 外来母音 (たとえば、[ə]) が定着するのは当分先のことのように考えられる。対応するカナが作られていないことが最大の理由と思われる。一部の人々には使われ始めているようである。  
(例: バードウォッチングは、[ba:dowot:ɕinŋu] でなく [bɛ:dwot:finŋu] と発音する人がいる。アメリカ英語では **bird watching** [bɜ:dwɒtʃɪŋ] )



# 日本語母音の特徴

- わずか5種類 ( a, i, u, e, o ) (正確には u でなく  $\omega$ )
  - Cf. 琉球方言: 3 母音「あいうえお」「あいういう」  
アラビア語: 3 母音
  - Cf. 英語 母音:  $\text{æ}, \text{a}, \text{ɒ}, \text{ɑ}, \text{ə}, \text{ɝ}, \text{ɑː}, \text{əʊ}, \text{ʌ}, \text{e}, \text{eɪ}, \text{eə}, \text{eɝ}, \text{ɜː}, \text{aɪ}, \text{iː}, \text{ʊ}, \text{u}, \text{uː}, \text{o}, \text{oː}, \text{ou}, \text{aʊ}, \text{ɔɪ}, \dots$  二重母音を含めて 26 種くらい
  - Cf. フランス語の母音: si [i], the [e], lait [ɛ], la [a], pas [ɑ], lune [y], feu [ϕ], le [ə], œuf [œ], nous [u], mot [o], mode [ɔ], vin [ẽ], un [œ̃], blanc [ã], bon [õ] : 16 種
  - Cf. ハワイ語 (ポリネシア系言語) の母音: a, e, i, o, u : 5 種 (二重母音 ei, eu, oi, ou, ai, ae, ao, au)
- ウラル・アルタイ語系 (韓国朝鮮語、満州語、ツングース語、モンゴル語、トルコ語、タタール語、ハンガリー語、フィン語など)、  
母音調和 (atama, kökörös, etc.)
- 古代は少なくとも 8 種  $\text{i}, \text{ë}, \text{ö}$ : 万葉集、記紀
- 母音のみの文章「青い家へ甥を追う / aoiieeoioou /」が可能。



# 日本語の子音

- 子音の3大要素：調音位置、調音様式、有声/無声
- 日本語子音に出現する(と思われる)音声の種類

日本語に出現する子音の種類

	両唇 bi-labial	唇歯 labio-dental	歯間 dental	歯茎 alveolar	歯茎口蓋 post-alveolar	反舌 retro-flex	口蓋 palatal	軟口蓋 velar	口蓋垂 uvular	咽頭 pharyngeal	声門 glottal
破裂 Plosive	p b			t d				k g			ʔ
鼻 Nasal	m			n			ɲ	ŋ	ɴ	— —	— —
震え Trill				r				— —			— —
Tap or Flap				ɾ				— —			— —
摩擦 Fricative	ɸ β	f* v*	θ* ð*	s z	ʃ ʒ		ç	x	χ	ħ	h
Lateral fricative	— —	— —									
わたり Approximant							j				
Lateral approximant	— —	— —		l						— —	— —

Voiced-Labial: w, Alveolo-palatal fricative: ç, ʒ, 複合的な音: tʃ, ts, ɕ



# 日本語子音の特徴

- 音韻論的には14種 ( k, s, t, n, h, m, j, r, w, g, z, d, b, p, (+  
ʃ, ʧ, ʒ, dʒ, dz, ʧ, ..))
- 子音は連続しない。
  - Cf. 英語: scripts (手書き): [skr],[pts]、glimpse(ちらりと見る): [gl][mps]、one twelfth(12番の1): [lθs]
  - Cf. ドイツ語: Schrift(文書)、des Strumpfs (靴下の)[mpfs]
  - Cf. ロシア語: (zdravstvujtje) (こんにちわ)
  - Cf. チェコ語: zmrzlina (アイスクリーム)  
子音のみの文章 “strč prst skrz krk” 「指を喉に突っ込め」
  - Cf. 日本語: 母音のみの文章「甥を青い家へ追う / oioai-  
ieeou /」



# 演習問題

---

- 母音の3要素は何か
- 日本語5母音のそれぞれの3要素は何か
- 子音の3要素は何か
- 日本語子音の/*k,s,t,h,n,b*/の3要素は何か
- 日本語のひらがなの濁点は調音の何の対比に対応するか？その例外は？
- 両唇無声破裂音は何か？



# Phonotactic Constraints

- 単語中の音素連鎖は言語によって制約がある。
- 日本語: 子音は連続しない。
- Cf. ヨーロッパ言語の場合
  - 英語: scripts (手書き)、glimpse(ちらりと見る)、twelfths(5/12) などから、[str],[lfθs],[mps]などは可能。しかし[pf],[zdr],[mrz]などは存在しない。
  - ドイツ語: Schrift(文書)、Strumpf (靴下)
  - ロシア語: (zdravstvujtje) (こんにちわ)
  - チェコ語: zmrzlina (アイスクリーム)  
子音のみの文章 “strč prst skrz krk” 「指を喉に突っ込め」





# 音節とモーラ

---

- 音節 syllable
  - 発音の単位、語の構成単位
- モーラ mora (複数形は morae)
  - リズム



# 日本語音節構造

## ■ 促音(っ)・撥音(ん)・長音(ー)

- 促音 /Q/: 後続子音が1モーラ長くなったもの
- 撥音 /N/: 1モーラ長の鼻音．調音は後続音素に依存 (後述)
- 長音: 先行母音が1モーラ長くなったもの
- /oto/(音), /oQto/(夫), /o:to/(嘔吐)
- /kita/(来た、着た), /kiQta/ (切った), /ki:ta/ (聞いた、効いた)
- 母音連鎖の例:
  - 「正しい, いい言い方 /tadaçi:i:i:kata/」
  - 「経営へ影響 /kε:ε:εε:kjo:/」
  - 「おう, 王を追おう /o:o:ooo:/」

## ■ 開音節 = 子音 + 母音

- 歴史的には, 連母音を避ける:
  - 来 + 有り けり、と + 有り たり、に + 有り なり、見 + う(棄)つ 見つ、
  - 行き + 痛し 行きたし、... (「二重母音」は今もない。)
- 韓国朝鮮語は閉音節: ハングル(han-gul)、キムチ(kim-chi)、カムサハムニダ(kam-sa-ham-ni-da)



# 日本語音節構造

## ■ 連濁

- 空 kara + 箱 hako = 空箱 karabako
- 大 oo + 凧 tako = 大凧 oodako Cf. 大 oo + 風 kaze = 大風 ookaze
- 山 yama + 田 ta = 山田 yamada Cf. 太 oo + 田 ta = 太田 oota
- 株式 kabushiki + 会社 kaisha = 株式会社 kabushikigaisha, Cf. 会社関係

## ■ 無声化、無声化傾向

- 光 ç(i)kari, 話し方 hanash(i)kata
- 独身 dok(u)shin, 付け加える ts(u)kekuwaeru
- 形 k[a]tachi, 福島 h(u)kush[i]ma
- アクセント核のない、無声子音に挟まれた母音は無声化

## ■ 外来語

- 英語: bat, buble, bar, bird あ
- 英語: Wim·ble·don [wím·bældən] ウインブルドン、  
ad·vice [əd·vái·s] アドバiス、アドバiス



# 日本語と他言語の音声学的比較 (1)

## ■ 日本語 (ウラル・アルタイ系言語)

- 母音: a, e, i, o, u : 5種
- 子音: p, b, t, d, k, g, s, (ʃ), h, m, n, r, (ts), (tʃ), (ʒ),
- 外来語の母音: 英語: bat [æ], bubble [ʌ], bar [ɑ], bird [ə] あ  
Wim·ble·don[wímbəldən] ウインブルドン
- 外来語の子音: l r, th s, f h, v b, (zh dzh, m/n/ng, ...etc.)  
例: brush(ブラシ) burashi, leisure(レジャー) redʒaa, thrill(スリル)  
suriru, Berlín(ベルリン) bérurin

## ■ Cf. フランス語 (ラテン系言語)

- 母音: si [i], thé [e], lait [ɛ], la [a], pas [ɑ], lune [y], feu [ø], le [ə], œuf [œ], nous [u], mot [o], mode [ɔ], vin [ɛ̃], un [œ̃], blanc [ã], bon [ɔ̃] : 16種
- 子音: j, ɥ, w, p, b, t, d, k, g, f, v, s, z, ʃ, ʒ, l, r, ts, dz, tʃ, dʒ, m, n, ɲ, ɲ: 25種
- 語順: 主語 ± 動詞 ± 目的語



# 日本語と他言語の音声学的比較 (2)

## ■ Cf. ハワイ語 (ポリネシア系言語)

- 母音: a, e, i, o, u : 5種 (二重母音 ei, eu, oi, ou, ai, ae, ao, au)

- 子音: p, k, h, l, m, n, w, ' : わずか8種

Hawai'i

- 語順: 動詞 ± 主語 ± 目的語 or 他の前置句

He kāne au (“I am a man”),

Ua aloha au iāia (“I love her”)

- 外来語の子音:

p, b, f    p v, w    w s, h, sh    h l, r    l n, ng    ng t, d, th, s, z,

zh, ts, dz, k, g    k

例: brush(ブラシ)    paraki, San Francisco(サンフランシスコ)    kapalakiko



# 日本語と他言語の音声学的比較 (3)

## ■ Cf. 中国語 (声調 (tone) 言語)

### ■ 4 声 + 轻声

媽 [mā] 「おかあさん」、麻 [má] 「あさ」、馬 [mǎ] 「うま」、罵 [mà] 「ののしる」 (文例: 媽罵馬)

柘氏嗜食石獅 shí shì shì shí shí shī 「柘さんは石のライオンを食べるのが好きだ」

### ■ 416 音節 × 4 声      1345 音節



# 外来語の発音から見た言語間の比較

## 日本語・英語・ハワイ語の比較

英語	日本語	ハワイ語
brush [brʌʃ]	ブラシ [burafi]	[palaki]
ice cream [aɪskri:m]	アイスクリーム [aɪskuri:mɯ]	[aikalima]
Victor [vɪktər]	ビクター [bɪkuta:]	[wikoli]
Catherine [kæθərɪn]	キャサリン [kjasariŋ]	[kakalina]
San Francisco [sænfrənsɪskəʊ]	サンフランシスコ [saŋhuraŋsɪsɯko]	[kaparakiko]



# 日本語音の変遷

---

## ■ 日本語音の変遷

- 古代日本語 8母音 ( a, i, u, e, o, ī, ē, ō): 万葉かなの研究
- 今日: keɸu keu (keō) kiō kjō  
蝶: teɸu teu (teō) tiō tjō
- 室町時代: 世界 (しえかい, 関東方言: せかい)、をところ おとこ、をみな おんな、ぐわっこう (学校)、くわっぱ (河童)
- 現代カナ表記は、若干の例外のみ





# 英語音の変遷、正書法

## ■ 英語母音の変遷 (英語は「旧かなづかい」)

### ■ 歴史上、約130の変化

### ■ 近代英語(15世紀)の大母音推移

i: ai, u: au, e: i:, o: u:, ε: i:, ɔ: ou, a: ei

### ■ 例: like[i:], cloud[u:], deep[e:], moon[o:], meal[ε:], road[ɔ:], make[a:], knight[i]

### ■ 中英語期の開音節の長音化

hope[o o:], name[a a:], even[e e:]

### ■ 古英語期のウムラウト(500-600年頃)

mouse[u:] mice[i:], goose[o:] geese[e:], man[a] men[ε]

## ■ 英語の正書法

### ■ 歴史的な発音の綴りを反映

### ■ e.g., knight [nait]



# 音素の環境依存性 – 異音 (allophone)

- 先行音素，後続音素など phoneme context の影響
- 子音の例: 音素 /h/ は後続母音により別の allophone
  - は /ha/ [ha, xa]
  - ひ /hi/ [hi, çi]
  - ふ /hu/ [hɯ, φɯ]
  - へ /he/ [hɛ, xɛ]
  - ほ /ho/ [ho, xo]
- /i/ に後続する子音は「硬口蓋化」する。
  - き /ki/, ぴ /pi/ は 摩擦性
- 「撥音」の例: 撥音 /N/ は後続音素により別の調音
  - 後続音素が /a, i, u, e, o, k, h, j, w, g/ の場合 [ŋ]
  - 後続音素が /t, tʃ, ts, d, n, r, ʒ, dʒ/ の場合 [n]
  - 後続音素が /m, b, p/ の場合 [m]
  - 後続音素が /s, ʃ/ の場合 [i̥]
- 「促音」の例: 撥音 /Q/ は後続音素が1モーラ長くなる。
  - 後続音素により別の調音
  - 後続音素が摩擦音 /s, ʃ, z, ʒ/ の場合, [s, ŋ, z, ʒ]
  - 後続音素が無声破裂音 /k, t, p, tʃ, ts/ の場合, 無音
  - 後続音素が有声破裂音 /b, d, g/ の場合 (外来語), buzz bar



# 日本語の文法

---

## ■ ウラル・アルタイ型語順

主語 述語、修飾語 被修飾語、目的語・補語 動詞、名詞・動詞 助詞・助動詞

## ■ 膠着語: 行か・れ・まし・た・の・で・しょう・か・しら 文節

## ■ (Cf. 屈折語: インドヨーロッパ諸語、give, gave, given)



# 日本語のアクセント

## モーラ数とアクセント型

### ■ 高低アクセント

- ピッチアクセント：日本語、セルボ・クロアチア語、リトアニア語、スウェーデン語、ノルウェー語、古代ギリシャ語(?)
- ストレスアクセント：英語、ドイツ語、スペイン語、ロシア語、アフリカ東・北部
- アクセントなし：フランス語、インドネシア語、韓国ソウル方言、日本水戸・仙台・熊本・宮崎方言

### ■ mモーラ n型アクセント (関東方言)

#### ■ 2モーラの例:

端 (0型)  $\text{hashi}$  ⇒ 端を (0型)

箸 (1型)  $\text{hāshi}$  ⇒ 箸を (1型)

橋 (2型)  $\text{hashi}$  ⇒ 橋を (2型)



# 日本語の外来語アクセント

- ③型アクセント：語尾から3番目の音節にアクセント核
  - アレク、アレクス、アレクシア、アレクサンドル、アレクサンドロス
  - マネージャー、マネージャ、マネジャー、マネジャ
  - ダウン、ブラウス、プログラム、コンディション、スキャンジナビア、etc.
  - 誤：ピーターパン (Peter Pán)、ウィンブルドン (Wínbledon)、ドラマ (dráma)、ハワイ、メカニズム、アルゴリズム、...
- 1型アクセント
  - キー、ダウン、システム、アクセント、ラボラトリー
  - 誤：アドバイス (advíce)、アドバンス (advánce)、エンデバー (endéavor)、コントロール (contról)
- 0型アクセント
  - 誤：ディスク、プリンタ、ドラマ、etc.：新年の傾向
- Cf. 

{	イタリア語：②型アクセント傾向？
	フランス語：①型アクセント傾向？



# 日本語のアクセント結合

## アクセント変化規則

- 神戸 /koːbe/ + 大学 /daigaku/    神戸大学 /ko:bedaːigaku/
- 食べる 食べられる 食べられます 食べられません
- 食べる 食べるようだ 食べるようであります
- 「ニワニワニワトリガイル」イントネーション    意味による
  - 「庭には鶏が…」ニワニワ/ニワトリガイル
  - 「庭には二羽鳥が…」ニワニワ/ニワ/トリガイル
  - 「二羽、庭には鳥が…」ニワ/ニワニワ/トリガイル



# 日本語テキストの特性 (1)

- 文字種類が多い  
ひらがな (50) + かたかな (50) + 漢字 (3000)  
ローマ字、アルファベット、数字、記号
- ベタ書き (語境界がわかりにくい)  
畜産物価格安定法 = 畜産物/価格/安定法 or 畜産/物価/格安/定法
- 漢字の読みが多様 (音、訓)  
行(ギョウ、アン、コウ、いく、おこなう)：「行った」?
- 同字異音語  
今日 (こんにち, きょう), 最中 (さいちゅう, もなか), etc.  
(逆に、同音異義語も多いので、了解しにくい。)
- 連濁、数詞  
株式会社(かぶしきがいしゃ)  
いっぽん、にほん、さんぼん



## 日本語テキストの特性 (2)

- 文字から読みが決まらない  
こうし(講師、子牛、格子)、えいり(絵入り、営利)、
- 文字からアクセントが決まらない  
(最近では平板化傾向: 泉、赤とんぼ、電車、インク、ドラム、ディスク、etc.)  
(Cf. 英語 *sé*nse, *sé*nsor, *sé*nsitive, *sen*sation, *sen*sational, etc)
- 句のアクセントの規則が複雑  
音声 + 合成 + 技術 + 研究 + 会 + 定例 + 総会 + 準備 + 委員 + 選出 + 期間 + 中は...
- 語彙、構文、意味、文脈、状況、常識、世界  
文法、音声、音節構造  
意味の曖昧さ: Time flies like an arrow (Fruit flies like a banana.)  
意味の曖昧さ、構文の曖昧さ





# 日本人はなぜ英語が下手か

## ■ 音素の発音に関して

- 母音、子音ともに種類が少ない 音素縮退  
( æ, ɑ, ɒ, ə, ø, e, ʌ a ) ( l, r r ) ( s, θ s )
- 似ているようで異なる母音: æ a, ɔ o, u u
- 二重母音がない 母音連鎖で置き換え
- 閉音節構造のみ 母音挿入 ( straight [streɪt] [swɔɾe:tɔ] )
- モーラ構造、長音、促音がある 余計な区別やリズム

## ■ 韻律に関して

- ピッチアクセント ストレスアクセントにならない
- アクセント結合規則 誤ったアクセント変化  
( database management system [dæɪtəbeɪs mænədʒmənt sistəm]  
データベースマネージメントシステム)