

# 日本語分節音の時間特性に関する分布について

松井 理直

神戸松蔭言語科学研究所・大阪保健医療大学

michinao.matsui [at] ohsu.ac.jp

---

## On the distributions of the temporal features of Japanese segments

Michinao F. MATSUI

Shoin Institute for Linguistic Sciences, Osaka Health Science University

### Abstract

本研究では、C/D モデルの観点から日本語音声の時間特性について概観する。結論として、基底状態におけるモーラの重要性および基底状態に対するある固有の子音が持つ等時間性の性質について述べる。

This study proposed the some temporal features of Japanese speech sounds from the view points of the the Converter/Distributor model. The results of two experiments show that the mora-timing is the most basic feature of the ground state and the equi temporal feature of the unique consonant against the ground state.

キーワード: 日本語音声、時間特性、C/D モデル

**Keywords:** Japanese phonetics, temporal feature, the Converter/Distributor model

## 1. 研究の目的

視覚情報が空間的構造を持つのに対し、聴覚情報である音は時間構造を持つところに特徴がある。ことばの音情報である音声・音韻情報も例外ではない。音韻情報の線条性は、/ike/ と /kei/ といった意味の違いを表すことに貢献する。そして、音節やモーラといった階層的な韻律構造は、こうした音韻情報の線条性を実時間の流れの中に位置づけていく。

音節数やモーラ数、また下部構造であるモーラによって示される音節量などは、デフォルトアクセントの位置や略語形成などの計算過程において重要な機能を担う。同時に、

特にモーラは日本語音声の実時間構造についても本質的な役割を果たす。言語現象という心理的な側面からいうと、俳句や和歌のリズムを持ち出すまでもなく、モーラが基本的なリズム単位として関わる現象が多い。すなわち、少なくとも定性的には日本語はモーラ単位での等時性に基づくリズムに従う。しかしその一方で、日本語の調音運動および物理的な音響特性という観点から日本語の等時性を見た場合、実時間的性質としては揺らぎも多く、物理的には完全な等時性を持つわけではない。これは、日本語におけるモーラの物理的等時性が幻想だということではなく、等時性を乱すいくつかの要因が関わることで原因であろう。

この点について、Fujimura (2002), 藤村 (2007) によって提案されている C/D モデルはいくつかの興味深い示唆を与えてくれる。後述するように、C/D モデルは音節構造(およびその下位構造であるモーラ構造)を最も基本的な単位と見なす枠組みだが、各音節の実時間的性質は「連続量」であるシラブルパルスの強度によって可変的に決まっていく。言い換えれば、シラブルパルスの強度が変化すれば、実時間構造上の完全な等時性は崩れてしまう。しかし、シラブルの連鎖という定性的な性質としては、韻律構造としてあくまで「等しい性質」を保つ。このように定量的な調音モデルである C/D モデルは、日本語のリズムの等時性という点についても興味深い視点を提供してくれる枠組みといえるだろう。

しかし、この C/D モデルのパラメータには、未だに不明な点が多い。例えば C/D モデルは、音節構造と共に、子音の性質を決めるインパルス応答を最も基本的な概念として採用している。ところが、このインパルス応答の強さとシラブルパルスと強さとの間に関連があるのか、それとも独立したパラメータなのかという点についても、ほとんど研究がなされていない。そこで、本稿では、C/D モデルにおけるいくつかの性質を明らかにするために、日本語分節音の実時間特性について基本的なデータの分析を試みる。

## 2. C/D モデルの概要

### 2.1. 音節：C/D モデルにおける基本的な実時間構造

データの分析を行う前に、まず C/D モデルの概要を簡単に見ておきたい。音韻論における多くの理論は定性的なものであるが、音の本質である定量的な実時間構造について一定の予測を与える定量的な枠組みもいくつか提案されている。そうした枠組みとして、Browman (1992) による articulatory phonology や Fujimura (2002), 藤村 (2007) による C/D モデルを挙げることができよう。

藤村が提案した C/D モデルでは、調音運動を音節の大きな流れ上に局所的な子音動作を乗せて行われるものと見なす。例えば「甘美」という語の調音運動は、母音“e, i”が作る大きな調音変化に子音“k, m, b”が局所的に影響を与える形で計算される。分節音の情報である素性の束も、音素単位ではなく音節単位で「甘美：<{low, stop, dorsal, nasal<sup>coda</sup>}, {high, palatal, stop, labial, voiced}>」といった集合のリストを成す。一般的な音韻論では音韻素性を二値的な情報と考えるが、C/D モデルにおける音韻情報は原子的素性と捉えられている。したがって、音韻素性は Particle Phonology や Government Phonology にお

ける音韻要素のようなものであってもよい。

## 2.2. C/D モデルにおける母音と子音の実時間性

C/D モデルでは、こうした音韻素性・韻律・発話スタイルといった定性的情報を「シラブル・パルス」を中心とした定量的性質に変換し (convert)、その中に素性の定量的特徴を分配 (distribute) する。図 1 に、この変換/分配の様子 (C/D ダイアグラム) を示す。太線で示された 2 箇所の縦棒がシラブル・パルスで、全ての計算の元となる。

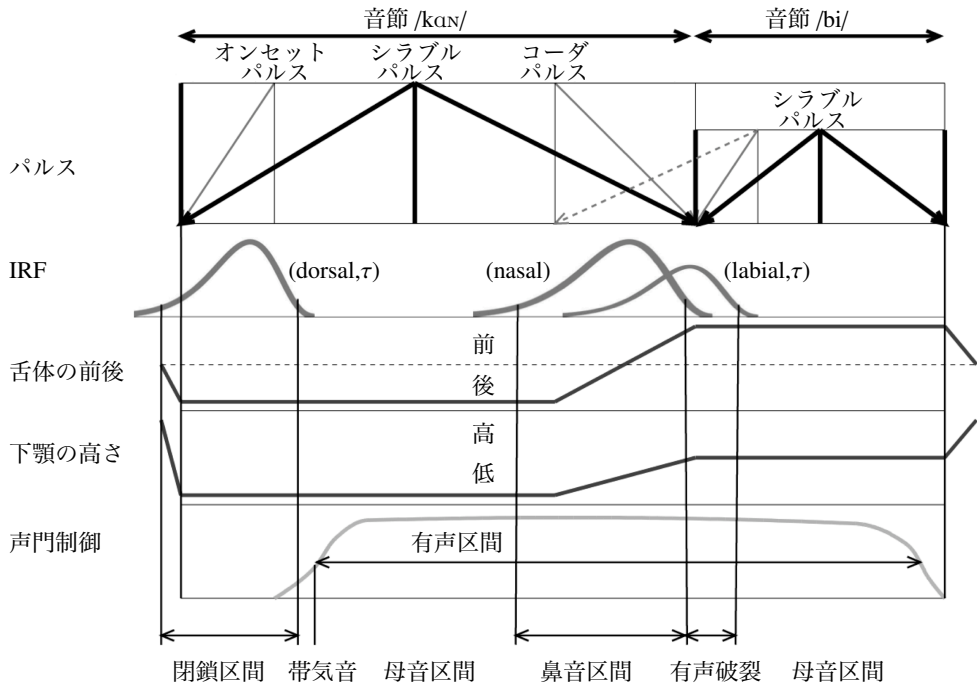


図 1: 「甘美」の C/D ダイアグラム

このシラブル・パルスの強度によって、音節およびその中核領域 (通常は母音) の「実時間領域」や強さが決まっていく。例えば、「甘美」の場合は最初のシラブル・パルスが強いため、第 1 音節の持続時間が長い。こうした抽象的な音節時間領域は、シラブル・パルスの頂点から左右に伸びる「シラブル三角形」(図 1 の太い矢印) で示される。なお C/D モデルでは、理論の自由度を制限するために一発話内のシラブル三角形は相似形を成すという仮定を置いている点に注意されたい。

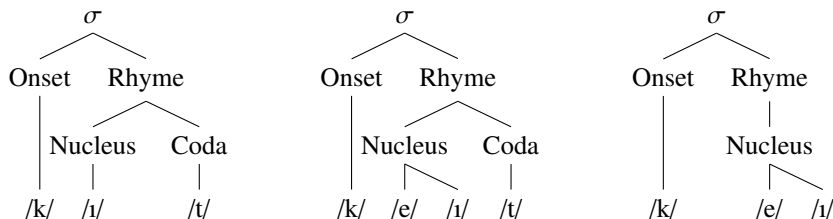
さらに音節中核領域の周縁には、子音に関する周縁パルス (オンセット・パルスおよびコーダ・パルス) が出力される。周縁パルスはシラブル・パルスと同一の高さを持ち、周縁パルスの強度はこの高さでパルスの頂点から出る半三角形の傾斜角によって決まっていく。この時、子音の各素性は、周縁パルスの強度に基づく impulse response function (IRF) として局所的に分配される。図 1 における 3 つの IRF は各々「軟口蓋破裂」「鼻音

性」「両唇破裂」の情報を表し、各素性の時間特性を決めていく。こうした子音の局所的性質に対し、母音の調音は V-to-V Coarticulation の特性などからいって大局的な運動であり、母音の前後・狭広の情報や声帯振動の特性などは音節全体に跨がる情報として扱わなければならない (Fujimura, 1992; Ohman, 1966)。C/D モデルが音節単位で素性束を指定し、母音素性に onset/coda などの局所性を示す添え字を付けない理由がここにある。言い換えるなら、“low” という素性は広母音 [e] の性質という以上に、音節全体自体が持つ口腔の状態を示す。

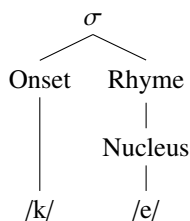
### 2.3. C/D モデルにおける等時性に関する予測

調音運動が持つ以上のような性質から、音声の実時間特性を決める最も基本的な情報は音節構造にあるといつてよい。一般に、英語の音節は (1a) のような構造をしていると言われてきた。この構造は、英詩における脚韻 (pit/kit, way/stay など) の踏み方や、“br(eakfast)+(l)unch → brunch”, “sm(og)+(f)og → smog”, “sn(oke)+(sh)ark → snark”, “sp(oon) + (f)ork → spork” といったかばん語の形成といった現象をうまく説明する。さらに英語の第一強勢を持つ音節は、[kit], [ki:] といった重音節でなければならず、[ki] のような軽音節が許されない。すなわち、英語の第一強勢音節はモーラを 1 つしか含まない (1b) のような構造を許さないという制約も持つ。

#### (1) a. *kit, kate, kay* の音節構造



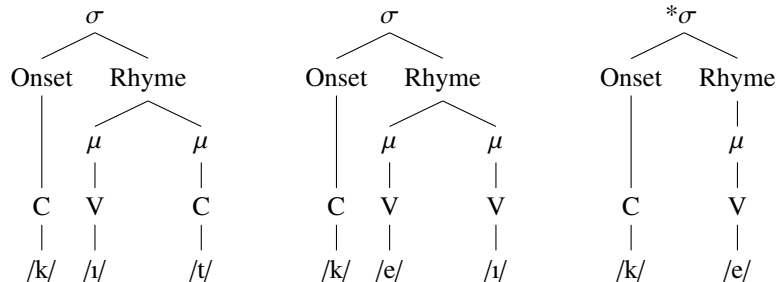
#### b. 第一強勢を持つ音節として許されない構造



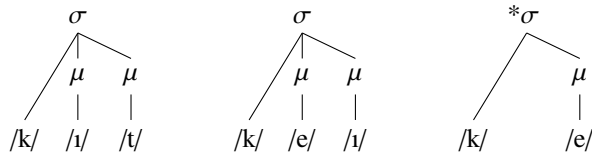
こうした音節量 (音節の重さ) という概念は、(1) のような構造では表しにくい。ライムの下位構造が何らかの形で枝分かれしていることとして表現はできるが、(1) の構造では直接的に音節量を反映する単位が存在しないからである。これに対し、音節の下部構造としてモーラを設定する構造 (2) では、音節に含まれるモーラ数によって音節量をカウントすることが可能となる。軽音節であれば 1 つのモーラのみを持つし、重音節であれば 2 つのモーラを、超重音節であれば 3 つ以上のモーラを音節内部に含む。

こうしたモーラを下部構造として持つ音節構造としては、(2a)のような複雑な表示から、(2b)のような極めて簡素な表示まで、様々なタイプのもが提案されている。かばん語の形成過程を例に取るなら、(2a)では onset/rhyme の部分で音節を切り分けることで説明がなされ、(2b)のような音節構造の表示では、モーラに支配されていない分節音(すなわち頭子音)とモーラに支配されている分節音(母音および音節末子音)が切り分けられると考えることで説明がつく。この性質は、英語は音節内のモーラ構造を分解することができず、モーラ間の結合度が強いと言い換えてもよい。

(2) a. 音節量を反映する複雑な音節構造



b. 音節量を反映する最も単純な音節構造



音節内におけるモーラ間の結合度が強いという英語音声の性質は、実時間上の特性にも影響を与える。例えば、英語では peak となる母音と coda となる子音の間で時間的相互作用を持つ。すなわち、持続時間が長めになる無声阻害音が coda に来た場合は先行する母音の持続時間が短めになり、無声子音よりは持続時間が短い有声阻害音が coda にある場合には先行する母音の持続時間が長めになる(図2)。一方、onsetの子音とpeakである母音との間には、こうした代償効果がほとんど生じない(図3)。こうした実時間上の代償効果も、(2b)で示されているように、頭子音が音節に直接支配されているのに対し、主母音と音節末子音は共に音節の下部構造であるモーラに支配されているという性質から説明がつく。

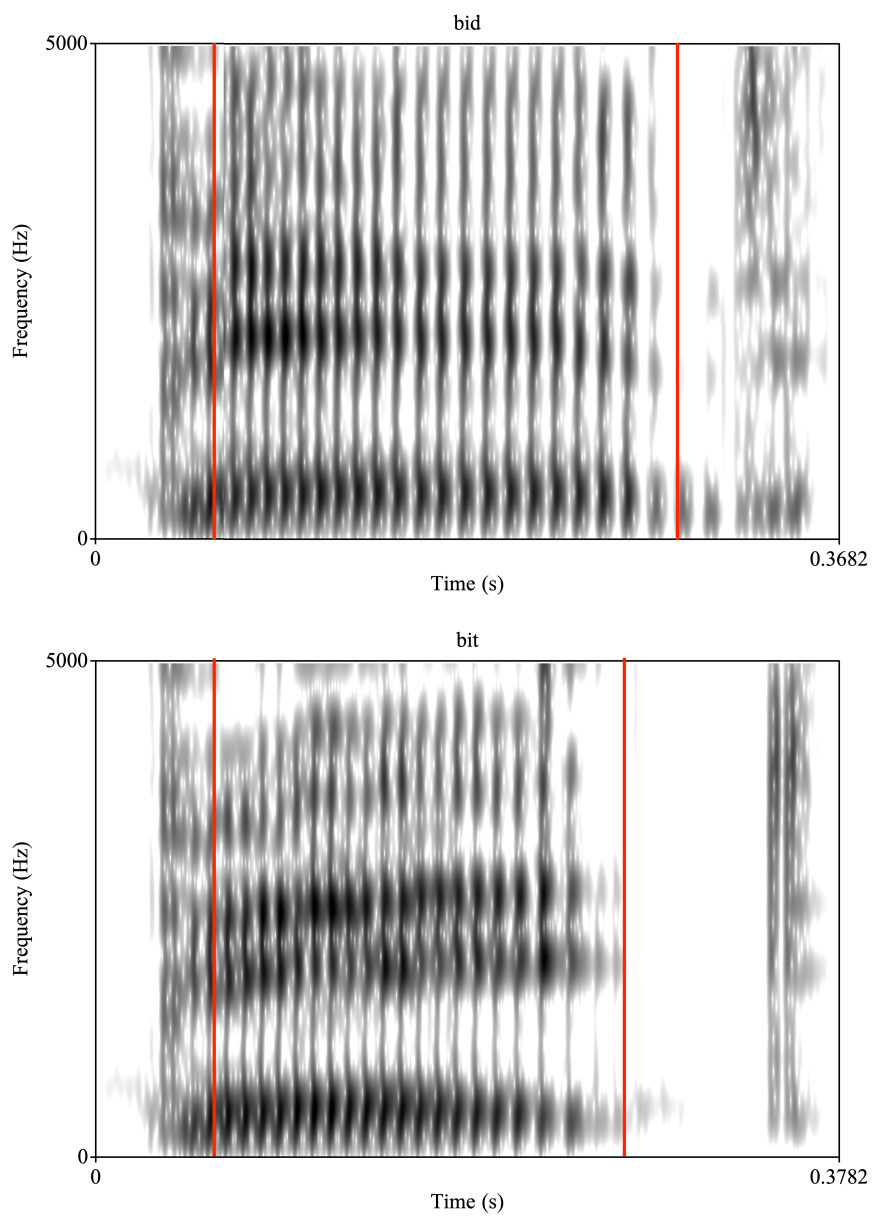


図 2: 'bid'-'bit' における頭子音・母音・末尾子音の持続時間

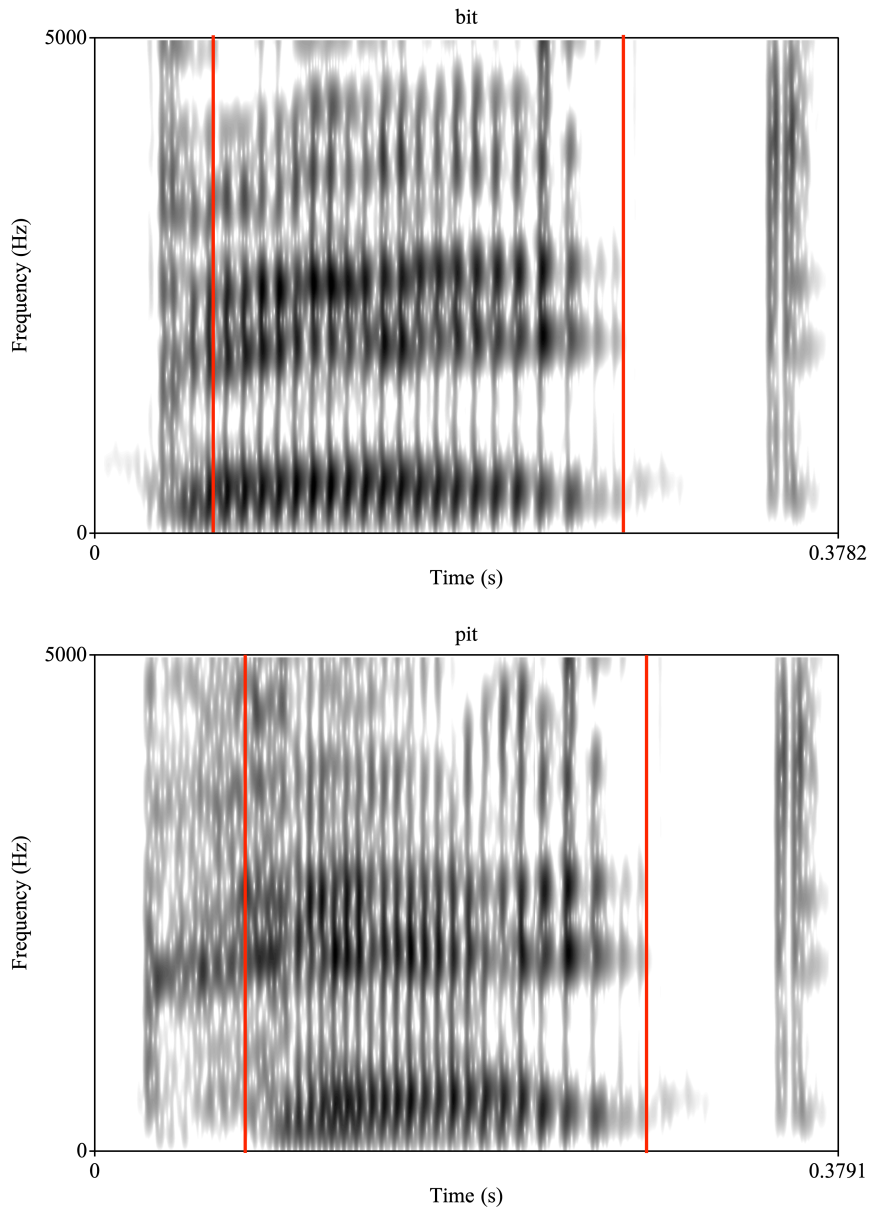
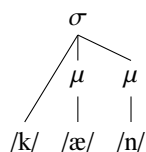


図 3: 'bit'-'pit' における頭子音・母音・末尾子音の持続時間

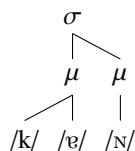
これに対し、日本語の音節構造が英語と同じような (3a) という構造を持っているか、あるいは (3b) という構造を持っているのかという点については議論が多い。例えば、「レター」と「ファックス」から「レタックス」というかばん語を作り出す過程を取り上げてみよう。(3a) の音節構造に従うなら、英語のかばん語の形成と同じく、日本語のかば

ん語は /ret(ɐɐ)/ と /(\phi)eQksu/ から作られていると考えられる。一方、(3b) の音節構造では、母音が属するモーラの下に頭子音が組み込まれているため、頭子音と母音を切り離すことは、モーラ同士の関係である母音と末尾子音を切り離すことより難しい。したがって、(3b) の音節構造に従えば、レタックスというかばん語は /retɐ(ɐ)/ と /(\phi)eQksu/ という過程から作られていることになる。この問題について、(3b) の構造を支持するものとして、「土壇場」と「キャンセル」から「ドタキャン」が作られたり、(不適切な語であるが)「ネット」と「オカマ」から「ネカマ」が形成されたり、「超ベリーバッド」を「ちょべりば」と言ったりする例を挙げることができるだろう。(3a) の構造に従えば、「土壇場」の /ɐN/、「ネット」の /eQ/、「ベリー」の /ii/ の関係は、頭子音との関係よりも強いため、切り離すことが難しいはずである。しかし、実際にはこれらの撥音・促音・長音は切り離されて、かばん語から消えてしまっているのに対し、頭子音は母音としっかり結びつき、切り離されることがない。

(3) a. 頭子音が音節と結びつく構造



b. 頭子音がモーラと結びつく構造



このことから、本稿では日本語の音節構造として(3b)の構造を仮定しておく。この仮定に従うなら、(3a)の構造に従う英語において主母音と末尾子音の間に実時間上の補償効果が生じるように、(3b)の構造は頭子音と主母音の間に実時間上の補償効果が生じることを予測するであろう。

### 3. 日本語におけるモーラの時間特性

#### 3.1. モーラにおける頭子音と母音との補償効果

日本語音声において、頭子音と主母音の間に実時間上の補償効果が生じることはある程度成立すると思われる。図4に示したグラフは、日本音響学会が出している音声データベースから500文を選択し、 $C_1V_1C_2V_2C_3V_3$ の連鎖について、各子音の平均持続時間を計測した結果である。大まかな傾向ではあるが、頭子音 $C_2$ と主母音 $V_2$ 間に、頭子音が長いほど主母音が短くなるという時間補償効果が見て取れるだろう。(3b)の構造を組み込んだC/Dモデルにおいても、この現象は、主要なシラブル・パルスが自立モーラの



実時間特性を決め(付属モーラの実時間特性は周辺パルスによって決まる)、その中で頭子音と主母音が持続時間を分け合うという形で説明が付く。



図 4: 語中のモーラにおける先行子音・後続母音間の時間補償効果

### 3.2. シラブル・パルスの強度が持続時間に与える影響

しかし、図 4 の結果はあくまで平均値に過ぎない。実際の発話では、少なくとも物理的な実時間上の持続時間はかなりの変動を持つ。例えば、上記のデータベースから得られるタ音における子音持続時間と母音持続時間の分布を図 5 に示す。グラフから分かる通り、単純に物理的な持続時間という観点から見ると、子音と母音の間で常に代償効果が起こっているわけではない。子音持続時間が同じであっても、母音の持続時間は様々な範囲を持っており、結果的にモーラ全体の持続時間も大きく変動する。線形混合分析でも、母音持続時間に与える子音の効果は弱いもので、単純相関としても相関係数は 0.2 ほどである。

### タ音における子音tと母音aの分布

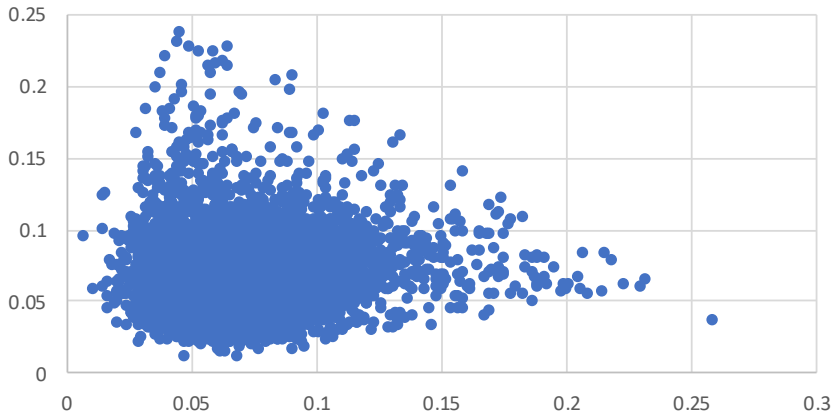


図 5: タ音における子音持続時間と母音持続時間の分布

しかし、子音持続時間とモーラ持続時間、あるいは母音持続時間とモーラ持続時間については、分散は大きいものの、ある程度の因果関係を持つ。同じく、タ音における子音持続時間とモーラの関係を図 6 に、母音持続時間とモーラの関係を図 7 に示す。このことは、子音のインパルス応答の強さにシラブル・パルスの強度が一定の影響を与えていることを意味する。

### タ音における子音tとモーラ長の分布

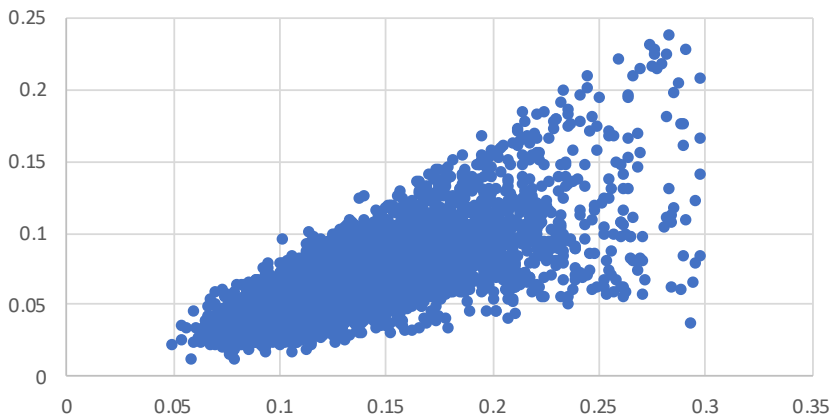


図 6: タ音における子音持続時間とモーラ持続時間の分布

## 夕音における母音aとモーラ長の分布

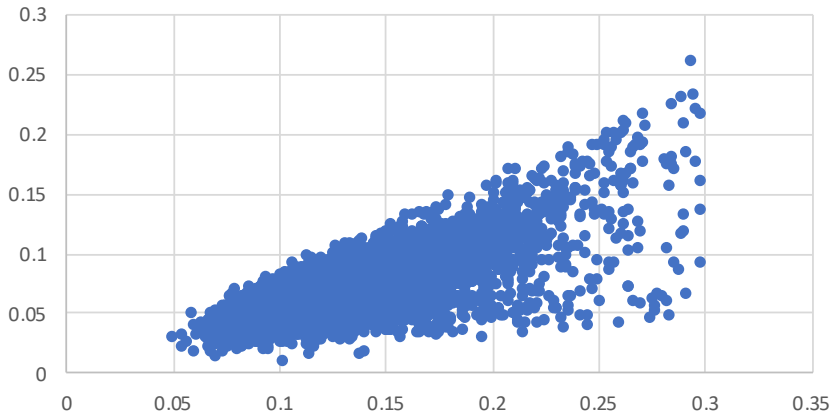


図 7: 夕音における母音持続時間とモーラ持続時間の分布

破裂音のみならず、無声摩擦音でも同様の傾向を示す。破裂子音でも摩擦子音でも、母音持続時間からモーラ長への予測は説明力が高く、子音持続時間からモーラ長への予測も一定の説明力を持つ。ただし、両者を比較すると、母音持続時間のほうがモーラ長への影響が強い。

## サ音における子音とモーラの分布

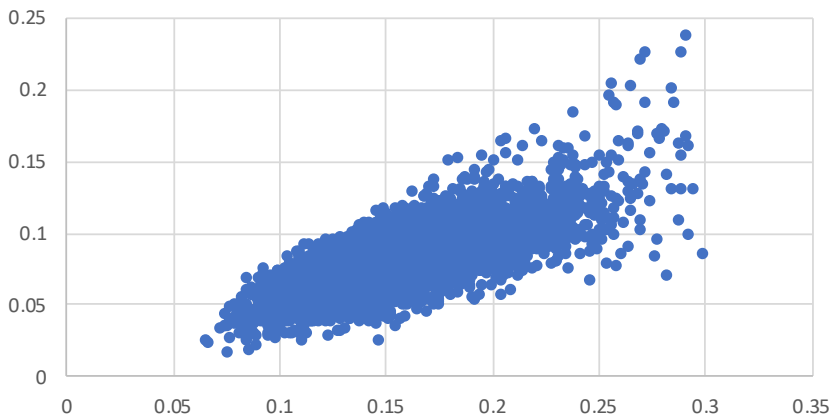


図 8: サ音における子音持続時間とモーラ持続時間の分布

## サ音における母音とモーラの分布

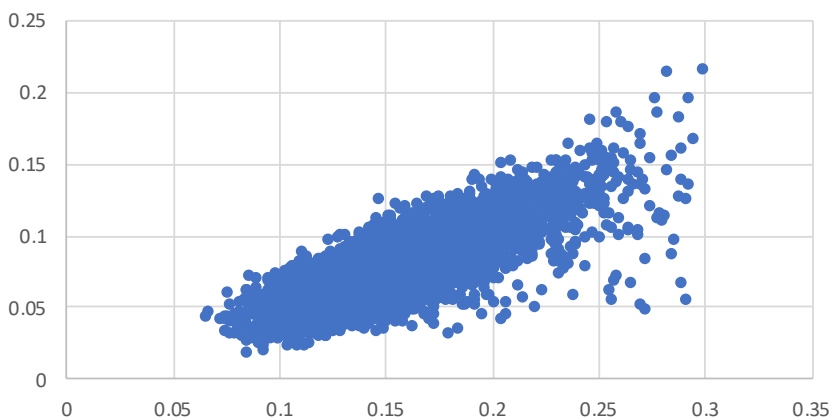


図 9: サ音における母音持続時間とモーラ持続時間の分布

## 4. 日本語の破裂音について

## 4.1. 国際音声記号における破裂音

ところで、タ音における子音持続時間とモーラの関係である図 6 とサ音における子音持続時間とモーラの関係である図 8 を比較すると、破裂音である [t] 音のほうが [s] 音よりもデータの分散が大きいことに気がつく。この点は、日本語における破裂音の位置づけを考える上で興味深い。

国際音声記号における破裂音は、口腔内に比較的長い時間の完全閉鎖を持ち、かつその後には口腔内の完全閉鎖が開放されるものとして定義されている。そしてこの破裂音の変異として、ゆっくりとした開放区間を持つ調音方法を破擦音、開放区間のない調音方法を閉鎖音と呼ぶ。英語では、例えば末尾子音において [pi:k], [pi:kʰ] のように破裂音と閉鎖音のいずれもが可能である。

## 4.2. 日本語における閉鎖子音

一方、日本語の [p], [t], [k], [b], [d], [g] 音は破裂音であるというより閉鎖音と見る方がおそらく妥当であろう。例えば、「一杯」「一体」「一回」の促音部は完全に閉鎖されており、促音部で開放を持つことはない。こうした場合の開放区間は後続モーラの子音部で初めて起こる。また、鹿児島方言などでは英語と同じように語末阻害子音が可能であるが、この場合も開放を持つことが少なく、むしろ声門閉鎖を伴うことが多い。このことは、日本語の [p], [t], [k], [b], [d], [g] 音における開放区間は子音が「破裂音」として内在する性質というより、後続母音によって受動的に引き起こされるものであることを示す。

こうした性質は、実時間上でも反映されているように思われる。上記のデータにおけるタ音の子音持続時間を、閉鎖部と帯気が起こっている開放部とにわけてみよう。タ音

における子音閉鎖持続時間とモーラ持続時間の分布を図 10 に、タ音における開放部持続時間とモーラ持続時間の分布を図 11 に示す。タ音における子音閉鎖持続時間はモーラ持続時間との間に正の相関を持つが、タ音における開放部持続時間はモーラ持続時間との間に相関をほぼ持たないことが見て取れる。これは、[t] 音における開放がシラブル・パルスの影響を受けておらず、受動的に引き起こされていることを示す。

### タ音における子音閉鎖部とモーラ長の分布

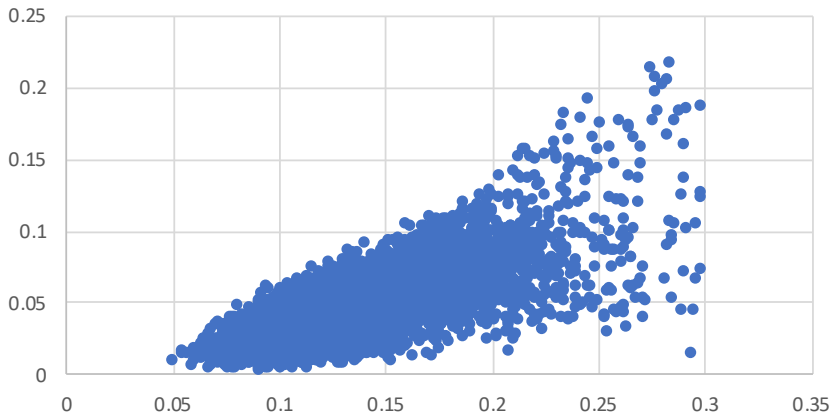


図 10: タ音における子音閉鎖持続時間とモーラ持続時間の分布

### タ音における子音帯気部とモーラ長の分布

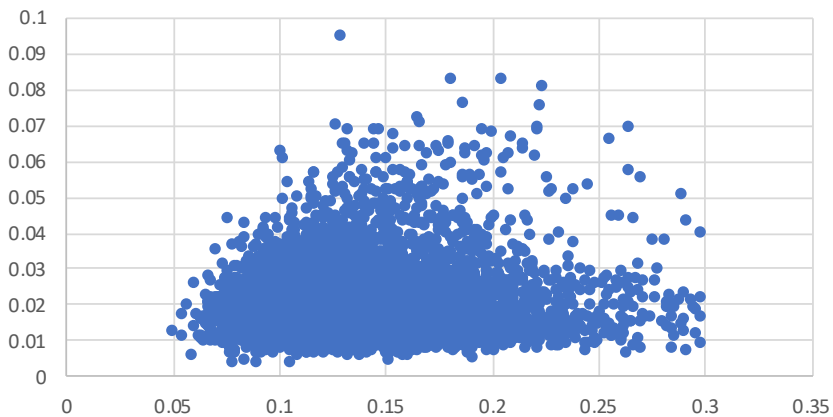


図 11: タ音における開放部持続時間とモーラ持続時間の分布

## 5. まとめ

本稿は、日本語の分節音を持つ持続時間の分布について簡単なデータを提供するものである。結論として、実時間上の特性として、子音のインパルス応答における強さはシラブル・パルスの強さとある程度連動していること、また日本語はある程度のモーラ等時性を持ち、頭子音の持続時間と母音持続時間の間に一定の補償効果があることを見た。ただし、個々の発話においてはそうした補償効果が崩れることもあり、それはシラブル・パルスの強度が変化することが一因である。また、日本語の [p], [t], [k], [b], [d], [g] 音は破裂音というより閉鎖音であり、この性質が実時間上でも反映されることを見た。[p], [t], [k], [b], [d], [g] 音の開放部は後続母音によって受動的に引き起こされるものであり、シラブル・パルスの影響を受けない。しかし、一般的には [p], [t], [k], [b], [d], [g] 音の開放部は子音の一部と見なされている。この閉鎖音の開放部を子音の持続時間に組み込んでしまうと、それは頭子音の持続時間と母音持続時間の補償作用を乱す要因となってしまう。

以上の結果は、C/D モデルにおけるパラメータにも一つの貢献を成す。子音がモーラに束縛されていることが、日本語における IRF の時間束縛条件を引き起こしている可能性があるだろう。この点については、CV 音節を基本とする言語の調音動態を調査することによって、その妥当性を検討しなければならない。

また、日本語の [p], [t], [k], [b], [d], [g] 音が破裂音ではなく閉鎖音であるという見解は、C/D モデルにおける要素表示の再考を促すものである。二項的な弁別素性ではなく、単性的な要素理論においては、破裂音はしばしば閉鎖性の要素と共に摩擦性の要素も持つ。これは、確かに破裂音としては正しい表示である。英語の末尾子音における [pi:k], [pi:k̚] の違いも、前者は摩擦性要素を残し、後者は摩擦性要素を失った物として解釈できるだろう。

しかし、日本語の [p], [t], [k] において、閉鎖性要素と共に摩擦性要素も必要なのかという点は再考を要する。閉鎖性要素だけを持つ分節音である可能性も排除できない。この点については、C/D モデルの枠組みの中で今後検討を行いたい。また、各種のデータベースを分析して、方言も含め、日本語音声の持つ時間特性についてより詳細な研究も必要であるが、これも今後の課題としたい。

## 謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究(C)「日本語音声の調音協調運動に関する総合的研究」(2018年度~2021年度、研究代表者：松井理直、課題番号：18K00597)、および国立国語研究所プロジェクト「対照言語学の観点から見た日本語の音声と文法」(プロジェクトリーダー：窪菌晴夫教授)の援助を受けました。

## 参考文献

Browman, Catherine and Goldstein, Louise (1992) Articulatory phonology: an overview. *Phonetica*. 49 (3-4): 155-180.

- Fujimura, Osamu (1992) Phonology and phonetics — a syllable-based model of articulatory organization. *The Acoustical Society of Japan (E)* 13(1): 39–48.
- Fujimura, Osamu (2002) Temporal organization of speech utterance: A C/D model perspective. *Cadernos de Estudos Linguísticos, Instituto de Estudos da Linguagem, Campinas* 43: 9–36.
- 藤村靖 (2007) 『音声科学原論—言語の本質を考える』 岩波書店, 東京.
- 前川喜久雄 (2010) 「日本語有声破裂音における閉鎖調音の弱化」『音声研究』 14 (2): 1–15.
- Öhman, S. E. G. (1966) Coarticulation in VCV utterances: spectrographic measurements. *Journal of Acoustical Society of America*, 39, 151–168.

**Author's web site:** <http://sils.shoin.ac.jp/~matsui/>

(受付日: 2021 年 12 月 10 日)