



日英語母音フォルマント周波数の分布と基本母音図との関係

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2012-11-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 田村, 光規 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.32150/00002424

日英語母音フォルマント周波数の分布と基本母音図との関係

田 村 光 規

I

言語音の生成においては、吸着音は別として、肺臓から流れる呼気が vocal tract (声道) を通過する際に音声器官による調節を受ける。この時声帯が振動すると喉頭原音が生じ、母音の場合には声道内で共鳴現象をおこす。子音においては、調音体と調音体の接近及び接触位置が比較的容易に認定されるが、母音に関しては調音体の接近度が小さく、子音の分類と同一の方法で母音の音質の差を記述するのは実際上極めて困難である。従って母音の場合には口腔内の X 線撮影等を手段とした Cardinal vowel diagram (基本母音図) を作成し、舌の位置に応じて区別される種々の母音をこの図に位置づけるという方法がとられている。こうして共鳴器としての声道の容積や形に大きな変化を与えるあごの開閉度、舌面の動きという生理的な面が調音音声学的に処理される。

一方このように咽腔、口腔(鼻母音の場合は鼻腔も関与)を喉頭原音が通過する生理的プロセスにおいて生ずる共鳴現象を物理的に把握し、母音の成分を記述すれば母音の音質の差異に関する問題はより一層究明される。筆者はヘテロダイナミック方式のサウンドスペクトログラフ SG-07 型を使用し、母音の物理的な面について実験を行った。先ず、日本語及び英語の母音を録音円板にとらえ、分析操作の後放電記録紙上に描記された音声エネルギーの分布状況を検討し、エネルギーの集中しているフォルマント帯域の最大ボリュームを示すピークポイントの周波数を測定し、この測定値を、比例尺度、対数尺度、メル尺度の三種のグラフに位置づけ、これ等のグラフ上の周波数測定値相互の関係を従来の基本母音図に位置づけられた舌位置に依る母音相互の対比し、調音器官の動きと音響スペクトルの間の関連について検討した。つまり、日英語母音の生理的面と物理的面にどのような対応関係が存在するかを実験により確かめた。

II

ここでは先ず調音音声学の面から作成されている従来の母音図について検討する。これ等の母音図を見ると、科学性のあるものから科学性のうすいものに至るまでいくつかのタイプが見られる。つまり基本母音図が、音声教育面からの配慮もあって、種々の形に変形されて示される場合も多い。しかもこれ等の図形内に位置づけられる記号は、ある場合には音声記号であり、またある場合には音素記号であるから、一層混乱が生じがちである。従って筆者の母音フォルマント周波数分布図と基本母音図を対比させるに先だて、従来のいくつかの異なるタイプの母音図について検討を加え整理しておく必要がある。J.C. Catford によれば、基準となる母音尺度として今日用いられている *cardinal vowels* (基本母音) という術語自体は、電話発明者 A.G. Bell の父 A.M. Bell によって最初に導入されたようだが⁽¹⁾、今日普及している母音図の多くは Daniel Jones が作成した cardinal vowel diagram に準拠している。

Fig.1 は Jones 自身が 4 種の基本母音を発音している際に左側面からとった X 線写真であり、ロン

ドンの St. Bartholomew's Hospital でとられたものである⁽²⁾。X線撮影により舌面の輪郭をとらえるには、造影剤 Barium sulfate paste を舌面に塗る方法もあるが⁽³⁾、Jones は舌の中央にそって前部から後部にかけて金属の鎖を位置づける方法をとっている。Fig.1 の左上は、母音であることを保持するという条件のもとに口腔内で舌をできるだけ前方によせると共に前舌部をできるだけ高くもち上げた場合であり、その時の舌の最高点（大きな黒点でその最高点を示してある）を *cardinal vowel* [i] の位置と定めている。左下は同じ条件のもとで舌をできるだけ前方によせると共に前舌部をできるだけ低く下げた場合であり、その時の舌の最高点を *cardinal vowel* [a] と定めている。右上は舌をできるだけ後方によせると共に後舌部をできるだけ高く持ち上げた場合であり、その時の舌の最高点が [u] である。右下は舌をできるだけ後方によせると共に後舌部をできるだけ下げた場合で、その時の舌の最高点が [ɑ] である。×印は硬口蓋後部の一点である。この X 線写真は 2/5 に縮小されているので、この写真を見て上記 4 個の基本母音の位置を正確に図示するわけには行かないが、×と 4 個の大きな黒点との関係は Fig.2 のようになるであろう。Fig.3~Fig.8 は Jones による図であるが⁽⁴⁾、前母音 [i] - [a] の間に等間隔に [e], [ɛ] を位置づけ、[ɑ] - [u] の間に等間隔に [ɔ], [o] を位置づけた曲線による図形が Fig.3 であり、これの直線による図形が Fig.4 である。Fig.3 の方が Fig.4 よりも科学的に正確であるが、曲線図形は直線図形よりも実際上取り扱いに不便であるし、Fig.4 も基本母音の相対的舌位置の関係はかなり正確に保持しているので、種々の母音の位置関係を見るには Fig.4 のタイプが使用される。所が音声教育上の配慮その他から Fig.4 の基本母音図をより一層単純化した Fig.5 のタイプもかなり使用されている。しかしこの図では後母音の系列の基本母音の前後関係が失われて一律になってしまうし、前舌高母音と後舌高母音とが同一の高さになってしまう。更に Fig.6 のような母音図も使用されるが、これは図形としていかに釣合いがとれていようと、音声事実から隔たっており、不正確で科学性は一層うすくなる。さて Jones はこれ等の基本母音に番号を与えており、No 1 [i], No 2 [e], No 3 [ɛ], No 4 [a], No 5 [ɑ], No 6 [ɔ], No 7 [o], No 8 [u] と定めているが、これ等 No 1~No 8 は特定言語の母音ではなく（但し特定言語のある具体的な母音が、たまたまこれ等いくつかと重なることはあり得る）、No 1~No 8 を結ぶ直線に囲まれた四辺形は人類言語の母音の限界を示している。つまり世界のあらゆる言語の母音はこの枠内（枠を示す直線を含む）に位置しており、この枠をはみ出すと摩擦を伴う等して母音の発音は不可能になるという意味の図形である。Fig.7 は基本母音図 Fig.4 に具体的な英語（南英）の母音を大きな黒点で示したものであり、Fig.8 はそれを単純化した Fig.5 にこれ等の母音を位置づけたものである。しかしロンドン大学の A.C. Gimson が改訂した Jones の *English Pronouncing Dictionary* 第 13 版には Fig.9 のような母音図が示されており⁽⁵⁾、Jones の母音図作成以後いく分変化した現代イギリス英語の母音がうかがわれる。これを Fig.7 と比較してみると、[ɔ:] が基本母音 [ɔ] よりも高まり、[ʌ] の舌位置がいく分下がり、より前方に移動しているのが特徴的である。

Fig.10 及び Fig. 11 は Claude Merton Wise による母音図であるが⁽⁶⁾、Fig.10 の曲線図形では [i] と [u] の距離があまりにも短し、[u] と [ɑ] の距離が長過ぎる。しかもこの曲線図形のもとにして口腔図では、明らかに最高点になっていない位置を最高点としてとらえているところもあり不正確である。従って、この曲線による図形を直線による図形に変換しても Fig.11 (Fig.4 タイプ) のような四辺形にはならないはずであるが、この四辺形に Wise 自身が母音を発音した際の位置を黒点で示している。そしてここには一般アメリカ英語以外の母音つまり米国東部、南部、英国の母音も含まれている。但し後母音を見ると、これ等は Cardinal Vowel No 5 と No 8 を結ぶ直線にほぼそっており、単純化された図と考えられる。

J.C. Catford は Fig.12 のような図形を示し、これが伝統的な母音分類の為の舌の最高点を示して

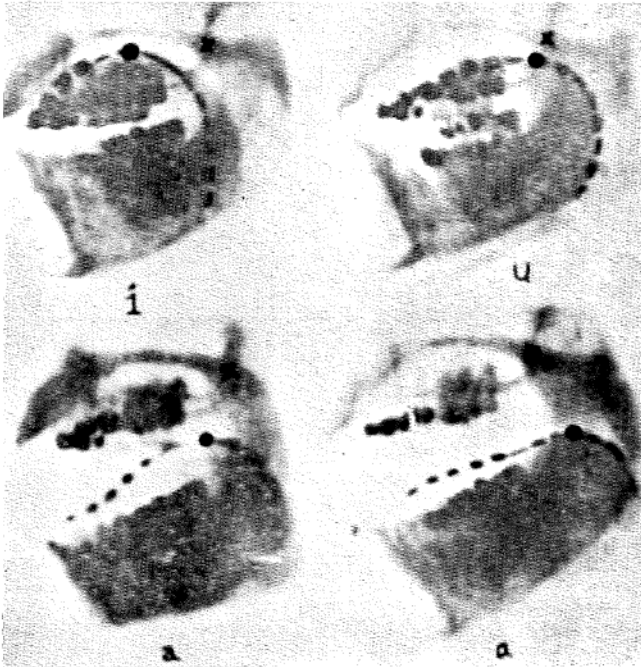


Fig. 1

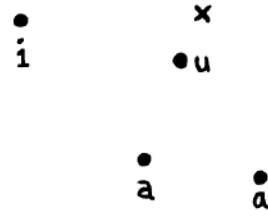


Fig. 2

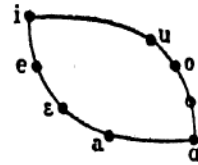


Fig. 3

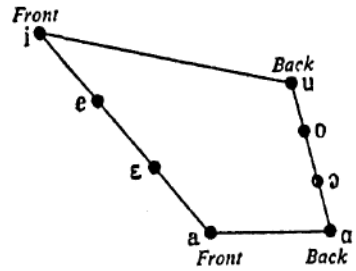


Fig. 4

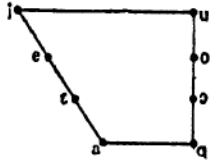


Fig. 5

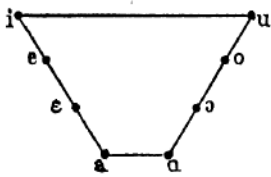


Fig. 6

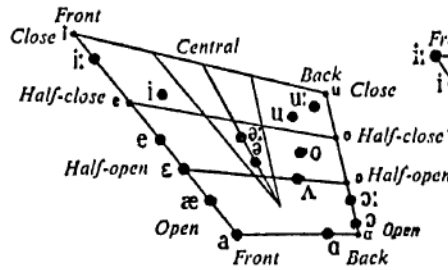


Fig. 7

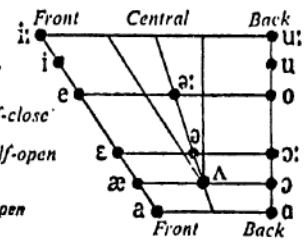


Fig. 8

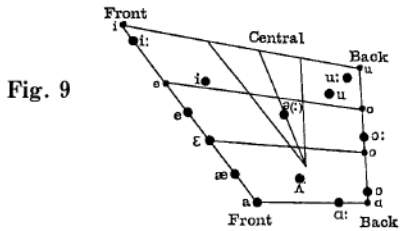
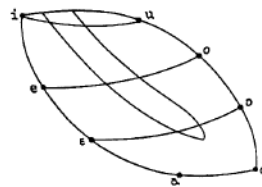


Fig. 9

Fig. 10



いと云うが⁽⁷⁾、この図では基本母音No 1 - No 4 の距離とNo 5 - No 8 の距離があまりにも接近しており、No 1 - No 8 の距離とNo 4 - No 5 の距離も接近し過ぎているから正確な図とは云えないだろう。しかしこれ等四点の大体の相互関係は保持されていると云えよう。なおこのタイプの図形は Fig.13 に示した John Samuel Kenyon の母音図に類似している⁽⁸⁾。この母音図の場合も Fig.11 の場合と同様に、一般アメリカ英語以外の米国東部、南部、英国等の母音をも含めており、一部の母音を除いて Kenyon 自身の母音の位置が示されている。X線撮影では [e] - [ɪ], [o] - [ʊ] がそれぞれ接近していることをふまえて、図形内の [e, i, o, u] の位置関係もそのように示されている。しかしここに見られる前母音、後母音は、それぞれ基本母音No 1 - No 4 を結ぶ直線とNo 5 - No 8 を結ぶ直線にそって位置づけられており、かなり単純化された母音図である。また Fig.11 の母音図と比較してみると、中舌母音の分布に相違が見られる。Fig.14 は Clifford H. Prator, Jr. と Betty Wallace Robinett による *Manual of American English Pronunciation* に示されている米語の母音図⁽⁹⁾であるが、これは Kenyon による Fig.13 の図をアダプトしたものである。ここには音声記号と音素記号の中間的な記号が見られるので、音声学的には充分注意する必要があるが、この点については後に述べることにする。なおこの Manual には米人吹込みによる録音テープ（以下 Tape-AEP と略す）⁽¹⁰⁾があり、筆者はアメリカ英語母音の音響分析において主としてこの録音テープを使用した。

さて次に日本語の母音図を見よう。Fig.15 は音声学会会報（各号）⁽¹¹⁾の表紙うらに示されている日本語の母音であり、方言音を含めている。この母音図は平易に表示されたものであるが、日本語の場合も厳密な母音の位置をとらえるにはX線撮影が行われる。Fig.16 のX線写真には、日本語「雨」の「ア」の位置が示されている⁽¹²⁾。Fig.17 はレントゲン実験を経て位置づけられた日本語母音であり⁽¹³⁾、これは Fig.4 タイプの基本母音図の枠内に納められているので、特に Fig.7, Fig.11 等の英米語の母音の相対的關係と比較するのに都合が良い。

以上、イギリス英語、アメリカ英語、日本語に関して基本母音との関連において示されている種々のタイプの母音図を検討して来たわけだが、そこには科学性を持った厳密な母音図から、単純化された母音図に至るまでのいくつかのタイプが見られる。更にまたこれ等の母音図は、もっぱらX線撮影に依存しているというわけではなく、個々の母音の舌位置の認定には音声学者の聴覚による判断も大きな比重を持っている。従来の母音図に関して以上のような点に留意して、次に日英語母音の音響分析に移り、その実験結果とこれ等の母音図との関係をとらえることにする。

III

純音を発する発振体としての音叉が振動すると周囲の空気分子の位置に変化がおり、これ等分子の変位による空気の圧縮、希薄化の交互運動は正弦波 (Sine wave) を成し、振幅 (amplitude) つまり気圧の水準からの最大変動範囲がその音の強さを示し、周波数 (frequency) つまり一秒間における周期的な圧縮、希薄化の反復運動回数がその音の高さを示す⁽¹⁴⁾。しかし人間が発する音声はそのような単一のサインカーブで示されるような単純な音ではない。音声には周期的なものも非周期的なものもあるが、周期的な母音の場合も単純音ではなく、声帯の振動によって生じた喉頭原音は声道内を通過する際に共鳴現象をおこし、基音 (fundamental tone) と、ろ過されて振幅に著しい差異を生じた複数個の倍音 (harmonic) とから成る複合音を形成する。基音は複合波の成分のうち最も低い振動数つまり基本振動数を持つ成分音であり、倍音は基本振動数の整数倍の振動数の成分であるが⁽¹⁵⁾、母音の音質は共鳴現象により強調や抑圧を受けたそれぞれの倍音の相対的振幅が成す成分構造によって決まる。筆者が母音の分析に使用したヘテロダイン方式のサウンドスペクトログラフ SG-07 型は、上記の複合音の原波形を周波数の異なる正弦波に分析するフーリエ解析を経た

それぞれの音声の成分構造を時間の流れにそって放電記録紙上に描記する。

Fig.18 は前述の Tape-AEP をサウンドスペクトログラフにライン入力して得たアメリカ英語の発話 *This room is more expensive than that one.* のスペクトログラムである。レンジ 2.4 秒、分析範囲を全幅 85 Hz (ヘルツ) - 8 KHz (キロヘルツ) とし、濾波器実効帯域幅つまりフィルター幅を広帯域 300 Hz に調節した。縦軸が周波数であり横軸が時間である。分析成分のエネルギーは濃淡によって表示され、エネルギーの大きい成分は濃く表示されている。周波数軸はこの図の左側に示し、0, 4 KHz, 8 KHz の点を記しておいたが、このように矢印の方向に上に行くにつれて周波数が高くなる。母音が発音されている所には帯状の黒い部分がいくつかずつ描記されているが、これ等は比較的振幅の大きな周波数成分の集まりであり、フォルマント (Formant) と呼ばれる。フォルマントは音韻性を形作る重要な因子⁽¹⁶⁾とみなされ、ある音を特徴づけたり、これと音色の異なる他の音を区別するのに役立つと考えられる。そして周波数の低い方から順に第 1 フォルマント (F_1)、第 2 フォルマント (F_2)、第 3 フォルマント (F_3) …となるが、図に見られるように、これ等はただ一つの高さの周波数を示しているのではなく、幅を持った周波数帯を成しているが、筆者はフォルマント周波数の測定に当っては最大ボリュームを示す頂点の周波数をとらえた。Fig.18 では *room* と *that* の母音フォルマントのうち、それぞれ F_1 と F_2 のピークの時間的動きを実線で示した。*that* の /æ/ においてはフォルマントの大きなわん曲は見られず定状部 (steady state) が容易に見られるが、*room* の場合には /r/ からの過渡部 (transition) を経て /uw/ の調音に入り、gliding を見せながら後続の両唇通鼻音 /m/ への過渡部に入る状況がフォルマントのわん曲によく現われている。更に進むと /m/ の定状部に入り、次の *is* の母音は /m/ からの過渡部を経て定状部に入る。このように調音音声学で云う所のわたり (glide) がフォルマントの動きによく現われている。これ等の帯の断面図が Time Section であり時間軸の一時点における切断面を意味する。Fig.18 の上部に ㉠-㉤ の五つの時点におけるセクションを記録した。㉠は *this*、㉡は *room*、㉢は *more*、㉣は *expensive* の第 2 音節、㉤は *that* のそれぞれの母音の一時点のセクションを示している。なおこれ等はフォルマントの時間的流れを示すパタン描記の後、同一放電記録紙上に逆セクションの方法により描記した。つまりこの場合には記録紙の下が分析可能上限周波数であり、上に行くにつれて周波数が低くなり最上部はゼロとなる。セクション ㉠に 0Hz と 3KHz の周波数の位置を示したが、このように矢印の方向に周波数が高まって行く。第 1 フォルマントと第 2 フォルマントのピークにそれぞれ F_1 、 F_2 を記した。*that* の母音部を見ると周波数の最も低い部分にもフォルマントのような帯を表わす横縞が見られるが、これは F_1 ではなく声帯 (vocal cords) の振動を示す有声縞 (voice bar) であるから、そのすぐ上の bar が F_1 で、その上が F_2 である (*expensive* のエネルギーを見ると、[s] は無声音なので voice bar を持たないのに対し、[v] は有声音なので voice bar が描記されている点に注意)。㉤時点における下のパタン描記の α 、 β の周波数はそれぞれセクション描記の α 、 β に対応する。この時点の F_1 と F_2 のピークのボリューム差を測定すると、 F_2 は F_1 より 2 dB (デシベル) 大きい。同様に *room* の母音部の動きを示すフォルマントの ㉢時点に関して、パタン描記の F_1 、 F_2 はそれぞれセクション描記の F_1 、 F_2 に対応する。二つのピークのボリューム差を測定すると、 F_1 は F_2 よりも 1 dB 大きく、周波数は図に示したように F_1 は 400 Hz であり F_2 は 1250 Hz である。

次に Fig.19 も Fig.18 と同一の録音によるものであるが、フィルター幅を狭帯域 45 Hz に調節し倍音をとらえたものである。母音部に沢山の筋が見られるが、最も周波数の低い所に見られる筋は喉頭原音のピッチを表わす基本振動数を持つ成分音である。この基本波のすぐ上が 2 倍音、更に上が 3 倍音……N 倍音となっている。Fig.19 の *room* と *that* の母音にそれぞれ黒点で 10 倍音まで記したが、前者の 10 倍音の測定値は 1100 Hz であるのに対し後者の 10 倍音は 1750 Hz である。この測定

値をそれぞれ 10 で割ると、*room* の基本波は 110 Hz、*that* の基本波は 175 Hz となり、*room* のピッチと比較して *that* のピッチはかなり高いという事実が実験により確認されたわけである。このピッチの高低に関しては Fig.18 の広帯域 300 Hz 幅のフィルターによって得たスペクトログラムからも細条 (striation) を見ることによって概略は知ることができる。フォルマントの帯の周辺を見ると縦に走るこまかな線による縞を成しているが、この線が細条である。*room* においては細条の間隔が広く、*that* の場合には狭いが、細条は声帯の振動数の現われであるから、*that* の場合のように細条の間隔が狭いということは声帯の振動が早いということであり、従って Fig.18 から *that* のピッチは高いと判定できる。しかし Fig. 19 によれば正確な数値が得られる。さて Fig.19 の中央よりやや高い位置の基底線 (base line) の上には振幅描記が見られるが、これは 45Hz パタン描記の後、放電記録紙を装着円筒に固定したままその上に描記したものであるから、上下の描記の時間軸にずれは生じていない。この文では *this* と *that* が対照を成しており、対照強調があるであろうと予想されるが、振幅を調べてみると *this* と *that* の母音の振幅がこの発話の中で最も大きいことが確かめられた。なおこの二つを比較すると、*that* の方が *this* より 2 dB 大きいことが確認された。また音声の訓練を受けた者の聴覚から、通常英語の音節に強い stress が置かれると長くなり、そうでない場合は短いと感じることができるが、Fig.19 でピッチが低く振幅も小さい *is* とピッチが高く振幅も大きい *that* の母音部を、Fig.18 のスペクトログラムを手掛りに測定してみると、*is* の母音は 70 msec. (70/1000 秒)、*that* の母音は 140 msec. (140/1000 秒) という数値が出、後者は前者の 2 倍の持続時間をもつことがわかった。

さて以上の実験結果から母音が発話の流れに位置づけられると周囲の音の影響でフォルマントがわん曲するし、その他種々の要因による変化を受けることが物理的にも確認され、これが自然な言語のそのままの姿であるが、筆者は先ず母音の物理的な基本形をとらえて、これを生理的な基本母音図と対比してみる必要があると考え、以下の母音フォルマント周波数の測定に当っては、主として独立して発音され、音声環境の影響による過渡部を有しない母音の定状部を対象とした。

このようにして Tape-AEP において単独に発音されているアメリカ英語の 12 種の母音をサウンドスペクトログラフにライン入力し、分析範囲を全幅 85 Hz—8 KHz とし、フィルター幅を 300 Hz に調節して描記した広帯域パタンと逆セクション描記から F_1 と F_2 を測定した。() 内の二つの数値のうち前者が F_1 、後者が F_2 である。(単位は Hz)。

[i] (250, 2250), [ɪ] (400, 2100), [e] (500, 2000), [ɛ] (650, 1900), [æ] (750, 1800), [a] (850, 1200), [ɔ] (700, 1000), [o] (500, 900), [ʊ] (450, 1150), [u] (400, 1000), [ə] (700, 1250), [ɐ] (500, 1500)。

Prator—Robinet による Fig.14 では、*beat* の母音を /iy/ と表記しているが、これは Jones による Fig.7 の [i:] に相当する。また Fig.14 の *bit* の母音 /ɪ/ は Fig.7 の [i] に相当する。Fig.20 は /iy/、Fig.21 は /ɪ/ のスペクトログラムであり、それぞれ上部に 300 Hz 広帯域フィルターと 45 Hz 狭帯域フィルターによる逆セクションを濃度調整して二重描記した。これ等のスペクトログラムから /iy/ と /ɪ/ の音質が異なることは確かである。また /iy/ の前部と後部の二つのセクションを比較してみると、後部はボリュームがかなり小さくなっているが周波数の相違はわずかである。しかしわずかながら gliding をおこなっているのである。所で単独に母音を発音する際に、Tape-AEP の informant は /iy/ を /ɪ/ に比べてかなり長く発音していることがこのスペクトログラムからもわかるが、/s-t/ の同一音声環境に位置づけられた *seat* の母音 (Fig.23) と *sit* の母音 (Fig.22) の長さを測定してみると、前者が 140 msec. (140/1000 秒)、後者が 125 msec. (125/1000 秒) であり、持続時間に大差はないことがわかった。以上の理由から筆者は本稿においては /iy/ の前部の周波数を測定

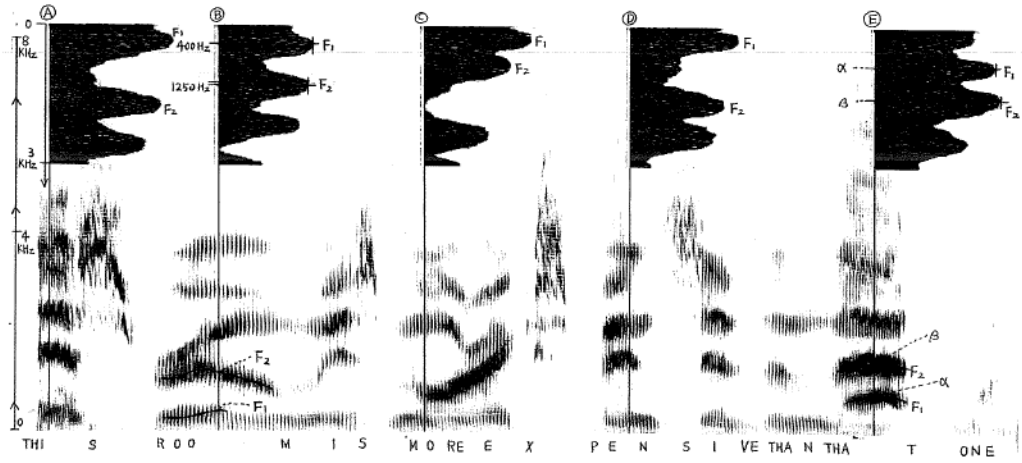


Fig. 18

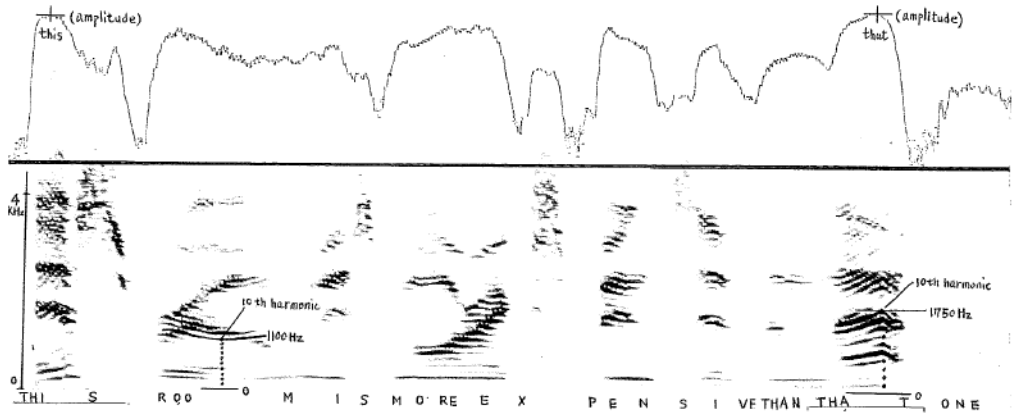


Fig. 19

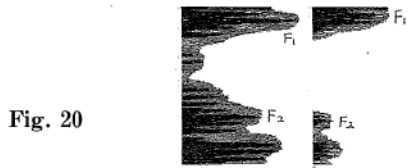


Fig. 20

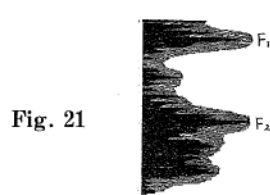


Fig. 21

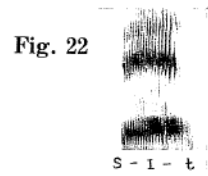


Fig. 22

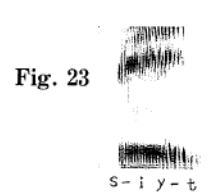
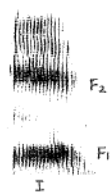
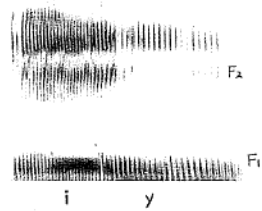


Fig. 23

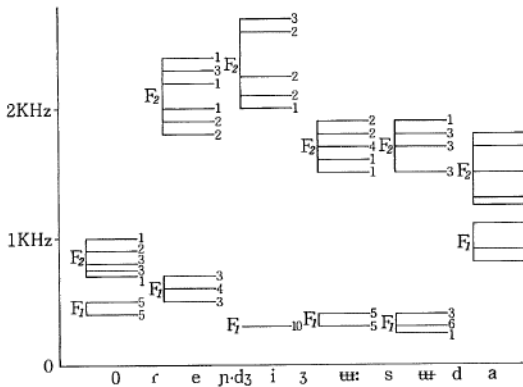
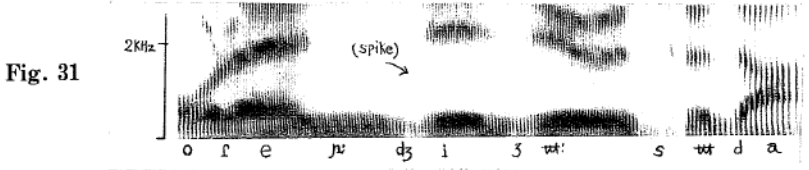
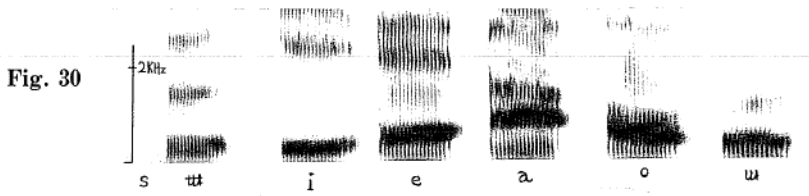


Fig. 32

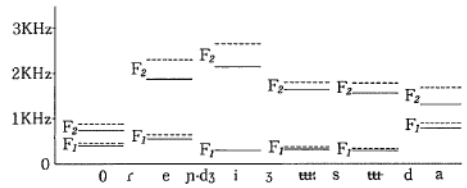


Fig. 33

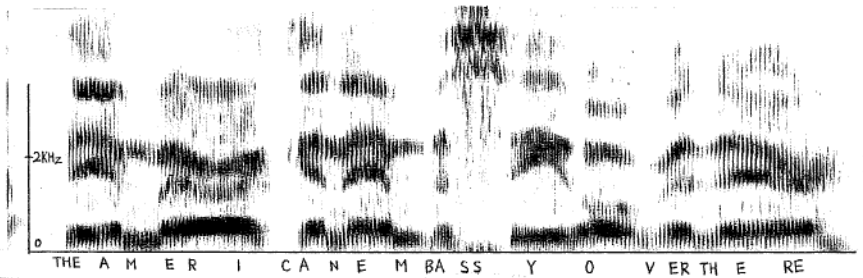


Fig. 34

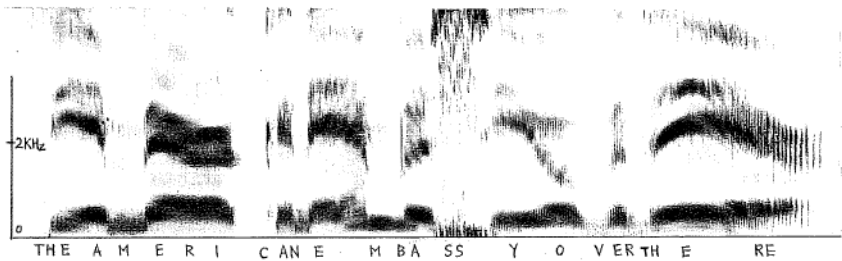


Fig. 35

し、これを [i] とし、/ɪ/ はそのまま [ɪ] とした。次に *bait*, *date* 等の /ey/ にも gliding が見られ、後部は変化しているので、前部 [e] の数値をとらえた。[ɛ] は *bet*, *get* 等の母音、[æ] は *bat*, *cat*, [a] は *pot*, *cot*, [ɔ] は *bought*, *saw* 等の母音であり、この [ɔ] は Fig.7 の [ɔ:] に相当する。次に Fig.14 では *boat* の母音を /ow/ と表記しているが、gliding が見られるので、前部の周波数を測定し、これを [o] とした。[u] は *put*, *bull* 等の母音である。Fig.14 では *boot* の母音を /uw/ と表記しており、これは Fig.7 の [u:] に相当するが、ここにも gliding が見られるので前部 [u] の周波数をとらえた。[ə] は *but*, *cut* 等の母音である。最後に通常 /ər/ と音素表記される *fur*, *per* 等の母音のスペクトログラムを調べてみると、フォルマントが一定しており gliding が見られなかった。従ってこの音は音声学的には [ə] + [r] ではなく一音であることになるので [ə] と表記しその周波数値を示した。

以上のアメリカ英語に見られる 12 種の母音フォルマント周波数測定値 (F_1 及び F_2) の分布状況を比例尺度によるグラフに表わしたのが Fig.24 である。単位を Hz とし、縦軸に F_1 、横軸に F_2 をとり、右上を 0 とした。そして F_1 は下に行くほど周波数が高まり、 F_2 は左に進むほど周波数が高まるように軸を設定した。その理由は、前記周波数測定値を検討した結果、このように軸をとる方が周波数測定値のグラフと基本母音図との関係を同一平面上で把握するのに便利であろうと予測したためである。一方 Fig.25 は、横軸 5 の距離が縦軸 2 の距離に相当するように軸をとる、この平面上に Fig.24 の母音図形を変換したものである。つまりどの母音に関しても F_1 は周波数が低く、しかも母音相互の周波数の相違幅が小さいのに対し、 F_2 は周波数が高く、しかも母音相互の周波数の相違幅が大きいので、変化幅の大きい F_2 の目盛を縮小することによって縦軸と横軸の釣合をとって見たわけである。さてこれ等母音の前後関係が強調されている Fig.24 と前後上下関係の釣合のとれた Fig.25 を見て、これを前述の基本母音図において舌の位置に応じて示されている英語の母音と比較してみると、 F_2 の周波数は舌を前方によせるにつれて増大し、後方によせるにつれて減少し、 F_1 の周波数は舌面が高まる（つまり口蓋に接近する）につれて減少し、舌が低くなるにつれて増大していることがわかる。この関係は、Fig.8, Fig.13, Fig.14 等を見ると、特に五種の前舌母音に関して明確に現われている。（但し Fig.7, Fig.9, Fig.11 等を見ると、[ɪ] に相当する母音はいく分中舌の方向にずれている）。また前述のように Kenyon は X 線撮影で確められたように [ɪ] と [e], [o] と [u] を極端に接近させて図形化し Fig.13 のような母音図を示しているが、この点に関してはどうか。Kenyon はこの図で前母音相互の上下関係、後母音相互の上下関係を強調しているので、Fig.25 の特に後母音に関して、上下関係を視点を向けなければ比較にならない。このような点に注意して Fig.25 と Fig.13 を比較してみると、周波数分布図においても確かに [ɪ] と [e] の F_1 周波数の間隔は狭く、[o] と [u] の F_1 の間隔も狭いことがわかる。また Fig.25 の [a] はアメリカ英語の *pat* [pat] の [a] を /a/ とみなして表記したものであるから、Fig.7 の [a] と比較すべき筋合のものではなく、ほぼ Fig.7 の [a] に相当すると考えれば良い。このように見て来ると、周波数軸におけるこの母音も基本母音図における母音の位置と良く一致していることになる。次に Fig.25 の [ə] は単独に強調して発音しているので Fig.7, Fig.11, Fig.13 等の [ə] ではなく [ʌ] に相当すると見るべきであり、このように考えるとこの母音のフォルマントも舌の位置と良く対応していることになる。後母音に関しては母音図全体の枠から見て、フォルマント周波数分布図におけるアメリカ英語後母音の前後関係はイギリス英語後母音の微妙な前後関係といく分対応しない面も見られるが、[u] と [ʊ] の前後関係は明確に一致しているのである。

次に日本語の母音を検討する。日本語においては、[s, z, ts, dz] の後では /u/ の異音は中舌音 [ɯ] (= [ü]) になると云われているので、この現象が母音フォルマントにどのように現われるか実験

する意味があるので、五種の母音 [i, e, a, o, u] に [ɯ] をプラスして計六種の母音についてスペクトルをとり、 F_1 、 F_2 の周波数を測定した。特に我々日本人が日常使用するこの日本語に関しては個人差がどのように現われているか興味深い問題と考えていたので、大学生男子5名と女子5名、計10名を被験者として[sɯ, i, e, a, o, u]と発音させ、サウンドスペクトログラフにマイク入力し、スペクトルをとった。そして、このフォルマント周波数測定値をもとに、男子平均 (Fig.26)、女子平均 (Fig.27)、10名の平均値 (Fig.28) をグラフに表わした。10名の母音の分布を Fig.29 (M=男, F=女) に示した。実例として男子のスペクトログラムの例を Fig.30 に示した。Fig.26~Fig.28 を X線撮影による日本語の舌位置を表わす Fig.17 と比較してみると、この基本母音図に位置する母音とフォルマントのグラフが、先に英語に関してもそうであったように、良く対応していることがわかる。舌が奥に引かれるにつれて F_2 の周波数が下がり、舌が高められるにつれて F_1 の周波数が下がっている様子が良く示されているし、日本語の/u/の異音は英語の/u/に比べて中舌よりの位置で発音されており、日本語の[o]は英語の[ɔ]ではなく[o]に近い点も周波数に良く現われている。Fig.17では、筆者のように/u/を二つに分離しておらず、/a-o/の距離よりも/o-u/の距離の方が長い、低母音[a]、高母音[u]共に[o]よりも中舌よりであるという関係や[a, o, u.]の上下関係等フォルマントのグラフと共通している。つまり日本語母音全体としての相互関係を示す舌位置とフォルマントの二種の図形に対応関係があることは確かである。このことは Fig.29 の10名の母音フォルマント周波数分布図にも現われている。[e]はかなり広く分布しているが、日本語の場合には英語と違って、[i] - [a]の間には音韻上/e/のみが存在するので、これがかかなり拡散していても音韻情報の上では支障は生じないであろう。[ɯ], [u]はかなり接近しているが、これ等は/u/の異音であるから、たとえ両者に重複部分ができて音韻情報は確保される。特に前母音に関しては男女が分離し、女性の第2フォルマントの周波数が大きい、母音全体としての相対的關係は Fig.17 に良く対応している。なお Fig.24, Fig.25 のアメリカ英語の informant は男子であるから、この意味ではここで日英語を対比させるには、Fig.25 と男子日本語話者の Fig.26 の同一スケールによる図を比較すると局部的には便利であろうが、重要なのは母音図全体としての相互関係である。ここで筆者はこれ等日本語の母音が発話の流れに位置づけられた場合、上記の關係はどのように保持されるか確かめる為に、前述の大学生被験者10名に「オレンジジュースだ」と発音させ、広帯域300 Hzのフィルターによりそのスペクトルを取った。Fig.31 は男子の母音フォルマントを示すスペクトログラムの例である。これを見ると、「オレンジ」の「ジ」の始めには細い縦線 spike (針状線) が走っており、この子音は破擦音 [dʒ] であるが、「ジュース」の「ジ」は母音の直後なので spike は見られず、この子音は摩擦音 [ʒ] であることがわかる。また通常 [s, z, ts, dz] の後に [ɯ] が現われると云われているが、測定の結果 [ʒ] の後にもこの中舌音が現われることがわかった。こうして F_1 と F_2 の定状部の周波数を測定しグラフを作成した。Fig.32 には10名の母音フォルマント(横線)の分布が示されている。 F_1 と F_2 をそれぞれまとめて左側を縦線で結んだ。それぞれ右側に記した数字は人数である。Fig.33 には男子平均値(実線)と女子平均値(点線)を位置づけた。[i]の F_1 は10名共一致している。女子のフォルマントは男子のそれよりもいく分高く、特に[i, e, a]の F_2 の差が大きい。このことは先の単独母音 Fig.26~Fig.29 のグラフに現われていたのと同様である。そして各母音相互の關係は単独母音の場合と同様であることがわかる。ここで米語話者の男女の同一発話断片 (*the American Embassy over there*) を録音テープ⁽¹⁷⁾からサウンドスペクトログラフにライン入力して得た300 Hzフィルター使用による広帯域幅スペクトログラム Fig.34 (男性), Fig.35 (女性)を比較してみると、やはり女性のフォルマントは男性のそれよりも高く、日本語の場合と同様に特に前母音の第2フォルマントが高いことがわかった。喉頭原音を発する声帯の長さは、成人男子で約

23 mm, 女子は 18 mm であり⁽¹⁸⁾, 1 秒間の声帯振動数の平均値は, 男子 100~150 回, 女子 200~300 回⁽¹⁹⁾である。そこで筆者は, ドミソドの音程で声帯の振動速度を変えて順次喉頭原音のピッチを上げて同一母音を発音し, 広帯域幅スペクトログラムを取ってみたが, フォルマントの周波数は高まらず一定していた。狭帯域幅のスペクトログラムを取ってみると, 当然のことながら倍音によってピッチの変化が明確にとらえられた。この実験から, 女子の母音フォルマントが男子より高い原因は声帯の振動数にあるのではなく, 共鳴器としての声道にあることは容易に予測される。つまり男が女の声をまねしても, これがにせものであることは, その録音スペクトルを取れば発見されることになる。但し言語における音韻情報の上では, 前述のようにこの差は問題ではない。

さて次に日英語にほぼ共通した音声環境[h] V [d]における日英語母音を比較する意味で, UCLAの音声学者 Ladefoged (イギリス英語話者) 自身の英語の 8 種の母音フォルマント⁽²⁰⁾と筆者の 2 モーラの日本語(火だ, 舳だ, 齒だ, 帆だ, 負だ)の第 1 モーラの母音とを同一スケールのグラフに表わしてみた。これが Fig.36 であり, それぞれ下が F_1 , 上が F_2 である。(但し日本語「火」は [çi], 「負」は [øu] であるから厳密な意味では類似した音声環境とは云えないが), ここでは Ladefoged は英語の [o] をあげていないので, 筆者の日本語 [o] に似たものが見当たらないが, 特に英語の [u] と日本語の [u] の相違が明確に示されている。このように音声環境を設定してスペクトログラムのフォルマントに近い図で母音を対比させるのも有効な一つの方法であると筆者は考えている。また J.C. Catford は, 比例尺度ではなくログリズムスケールによってフォルマント周波数の関係を示す方法をとっている⁽²¹⁾, 筆者は常用対数方眼紙(両対数)に Fig. 25~Fig.28 の図を変換してみた。(Fig.25 を Fig.37 に, Fig.26 を Fig.38 に, Fig.27 を Fig.39 に, Fig.28 を Fig.40 にそれぞれ変換)。しかし Fig.25~Fig.28 と Fig.37~Fig.40 を比べてみても, 母音相互の關係に相違は生じていない。ただ Fig.25~Fig.28 では, 基本母音図と比較する為 F_1 と F_2 の目盛を同一にしていなが, 対数の場合にはそのように意図的に目盛を変えずに基本母音図と対比できるという意味では, より自然であろう。また人間の音の高さに対する感覚は周波数と比例関係にあるわけではないので, この点を考慮して, 人間の純音に対する感覚尺度としての mel 尺度を利用するのも一方法であろう。Fig.41 は, 横軸に周波数を, 縦軸にメルをとって両者の關係を示した Denes-Pinson による図⁽²²⁾である。Ladefoged は, 数値自体は周波数とし, これ等の数値をメル尺度の率に合わせて配置したグラフ用紙⁽²³⁾を提供し, このグラフ用紙の縦軸に F_1 , 横軸に F_1 と F_2 の差 ($F_2 - F_1$) をとることを勧めているので, この用紙を使用して Fig.25~Fig.28 (つまり対数尺度の Fig.37~Fig.40 に相当) をメル尺度による図形 Fig.42~Fig.45 にそれぞれ変換してみた。これ等を見ると確かに Fig.4 タイプの基本母音図をもって, これ等フォルマント周波数により分布する母音を容易に包圍できることがわかるが, 部分的に見ると, 日本語の [u] も英語の [u] もかなり前方に位置することになる。また英語の後母音 [ɔ] と [o] の前後關係はわずかながら逆転する。横軸に $F_2 - F_1$ をとってあるので, F_2 の低い母音の場合にはこのように位置が変化するが, F_2 がかなり高く F_1 がかなり低い前母音の場合には, 横軸に F_2 をとった場合と比べてほとんど変化は見られないことになる。なお Ladefoged のメル尺度によるグラフ用紙は横軸と縦軸の数値の幅を意図的に変えているので, この意味では対数尺度の方が自然であろう。しかしこのメルによる方法をとった場合も母音全体の相互關係には大きな変化が見られず, 基本母音図の舌の位置との対応關係は, これまでにあげた F_1 , F_2 図形の場合と同様に保持されている。

IV

以上サウントスペクトログラフに依る実験を通して日英語母音の音質を支えるフォルマント周波数を測定し、これ等測定値の分布図を作成し、これを従来の調音音声学の母音図と対比した。その結果、 F_1 が高まるにつれて母音は次第に低母音となり、 F_2 が高まるにつれて前母音になるという関係が把握された。メル尺度により縦軸に F_1 、横軸に F_2 と F_1 の差をとった場合にも舌位置を示す母音図と同様の図形が得られるが、このことは全般的に云って F_1 の数値が小さくしかも母音間の相違を示す幅も小さいのに対して、 F_2 の数値が大きい為である。またフォルマントの個人差を検討してみると、男子に比べて女子のフォルマント周波数値は大きい。しかし基本母音の枠内の具体的な母音図形と男女により数値の差を示すフォルマント周波数分布図も相対的には一致した関係を持っていることがわかった。なお単独母音のほかに発話の音声環境に位置づけられた母音についても実験を行ったが、この場合の母音相互の関係も単独母音の関係を明確に保持していることが確められた。従来の母音図と周波数分布図において個々の母音を調べると、両方でわずかながらずれている音も見当るが、従来の母音図はもっぱらX線撮影に依存しているわけではなく音声学者の聴覚による母音識別力を利用して推定した面もうかがわれるので、伝統的な基本母音図自体も今後綿密な実験によって再検討されねばならないと考える。

〔注〕

- (1) see J.C. Catford, *Fundamental Problems in Phonetics* (Edinburgh Univ., 1977), p. 173.
- (2) See Daniel Jones, *An Outline of English Phonetics* (Cambridge: Heffer & Sons—Tokyo: Maruzen Company, 1960⁹), i.
- (3) 鳥居次好&兼子尚道, 「英語の発音」(東京:大修館, 1964), pp. 16—19 参照.
- (4) See Daniel Jones, *An Outline of English Phonetics*, pp. 35, 36, 37, 64.
- (5) Daniel Jones, *English Pronouncing Dictionary*, 13th Edition, edited by A.C. Gimson (London: J.M. Dent & Sons Ltd—New York: E.P. Dutton & Co. Inc., 1967), iv.
- (6) C.M. Wise, *Introduction to Phonetics* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall), pp. 81, 86.
- (7) See J. C. Catford, *Eundamental Problems in Phonetics*, p.173.
- (8) See J.S. Kenyon, *American Pronunciation* (Ann Arbor, Michigan: George Wahr, 1962¹⁰), pp.60, 61.
- (9) Clifford H. Prator, JR. & Betty Wallace Robinett, *Manual of American English Pronunciation*, Third Edition (New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1972), p. 13.
- (10) Manual of American English Pronunciation 録音テープ (Tokyo: Eichosha, 1973).
- (11) 音声学会会報(各号), 日本音声学会発行.
- (12) 大西雅雄, 「国語音声教本」(東京: 広文堂, 1967⁹), p. 12.
- (13) 大西雅雄(総監修), 「音声学大辞典」(東京: 三修社, 1976), p. 735.
- (14) See P. Ladefoged, *Elements of Acoustic Phonetics* (Univ. of Chicago, 1962), pp. 3—21.
- (15) 榎矢好弘, 「英語音声学」(東京: こびあん書房, 1976), p. 20 参照.
- (16) 越川常治, 「音声の物理」, 「聴覚と音声」(東京: 電子通信学会, 1976¹⁰), p. 289.
- (17) Sony Language Laboratory, *Modern English Conversation E—4* (Tokyo: Sony, 1964).
- (18) See A.C. Gimson, *An Introduction to the Pronunciation of English* (London: Edward Arnold, 1965), p. 8.
- (19) See Bertil Malmberg, *Phonetics* (New York: Dover Publications, 1963), p. 26.
- (20) See P. Ladefoged, *Elements of Acoustic Phonetics*, p. 102.
- (21) See J.C. Catford, *Fundamental Problems in Phonetics*, p. 60.
- (22) Peter B. Denes & Elliot N. Pinson, *The Speech chain: The Physics and Biology of Spoken Language* (New York: Bell Telephone Laboratories, 1970⁷), p. 85.
- (23) P. Ladefoged, *A Course in phonetics* (New York: Harcourt Brace Jovanovich, Inc., 1975), p. 175.

(本学助教授・函館分校)