ARTICULATORY MOTOR FUNCTION AND ITS VARIABILITY SANETOMI EGUCHI, M.D.

Dept. of Head and Neck, National Kyushu Cancer Center.

Observations on the intra subject variability of articulatory motor function were performed in order to clarify the sensory motor feedback self-control function.

Measurements of vowel formant frequencies and voice onset time of speech sounds spoken 100 times by 5 normal male adults were performed and mean values, intra subject standard deviations and relative standard deviations were calculated.

Mean values of the first formant frequencies and the second formant frequencies showed almost the same values as those found in previous literatures.

Intra subject standard deviations of the distribution of formant frequencies were 20-60 Hz relative to the mean values of formant frequencies, but relative standard deviations showed almost the same values, 3-6% in each vowel.

Intra subject standard deviations of voice onset time were between 5 and 12 msec. without relation to the length of voice onset time, and the relative standard deviations were the same in each consonant.

It was clarified that distributions of measurements of 100 trials showed normal distribution.

The author pointed out that the self controlled physiological function works within normal range of variability which was shown by intra subject standard deviation, and relative standard deviation might be considered as self control index in the term of servo technology.

The author hypothesized that the measurement of intra subject standard deviation in speech behavior would give us useful information for the diagnosis and prognosis of speech disorders.

A 78—0323. 00020

構音運動とその変動性について ——音響分析的研究——

(九州がんセンター)

江口実美

はじめに

音声言語活動は人類が有する最高次の機能の一つである。音声言語活動の一つとしての構音運動についての医学的研究は古くよりなされており、その正常性、病的状態、などについて、音響学的、筋電図学的、臨床医学的な解明がなされてきている。現在までに明らかにされた音響分析的研究の結果を総括してみると、喉頭原音、母音、子音、などの音響構成、また、構音共同運動 (Coarticulation) の場合の音響構成、などの正常パターンを明らかにして、その結果から、正常な構音運動機能を推測している。

これらの語音の音響パターンは、構音運動機能が行使さ

れた結果生じた音響現象の静的パターンであつて、構音運動機能そのものの動的活動パターン、特に、構音運動が目的になつた、正しいものであるかどうか、については明らかにしていない。

著者は、生体における、正常な、目的になつた運動機能が、その運動機能自身によつて生じる回帰感覚情報によつて自己調整をうけているという、生理・心理的、ならびに、生体情報処理過程の解釈の考え方を、耳鼻咽喉科、とくに、聴覚・音声言語領域に応用して、その機能の正常性を明らかにすることを目的として、一連の研究をつづけてきているが、今回、正常成人が行なう正常な構音運動について、音響学的に分析を行なつて、その正常性

について解釈を行なったので報告し，御批判を得たい

研究方法

研究対象は日本人正常成人男子5名である。これらの被験者は無響室内において，日本語5母音と代表的子音構音（口唇音，舌歯茎音，舌口蓋音）を含む，無意検査

語（PA TO E KI U）を，マイク直前で約70dB. SPLとして普通の状態でくりかえし100回発語し，これを録音した。発語録音に関しては，くりかえし10回発語（約1分）を行なったのち，約2分間の休息を与えるというシリーズで録音した。

図1 検査語のソナグラム。

図2 同一被験者の同一語音にみられる変動を示す。上は母音におけるフォルマント周波数の変動, 下は子音における VOT の変動の実例,

録音された同一被験者による 100 回くりかえしての同一語音サンプルは, その再生音声についてソナグラムを作り, それぞれのソナグラムから, 5 母音の第 1 フォルマント周波数, 第 2 フォルマント周波数および, 子音の子音波 (fill) から後続母音までの時間 (VOT) を測定した。図(1)はソナグラムのサンプルを示し, 図(2)に同一被験者の同一語音にみられた変動の実例を示す。さらに, それぞれのサンプルの測定値から, 各被験者についての平均値, 被験者内標準偏差, ならびに, 100 回トライアルにおける測定値の頻度分布を調べた。得られた各被験者についての測定結果から, これを集計して, 5 名の被験者についての平均値, 被験者内標準偏差を算出した。

研究成績

5 名の被験者についての 5 母音における第 1 フォルマント周波数, および, 第 2 フォルマント周波数についての 100 回トライアルにおける測定値の平均値とその被験

表1 母音 100 回発語におけるフォルマント周波数の平均値, 被験者内標準偏差, 相対標準偏差。

		[i]	[e]	[a]	[ɔ]	[u]
F ₁	M	384	561	801	533	433
	σ	19.2	28.2	53.1	26.0	24.0
	σ/M	0.051	0.050	0.066	0.049	0.055
F ₂	M	2176	1855	1245	915	1041
	σ	59.9	44.8	44.5	44.1	38.6
	σ/M	0.027	0.024	0.036	0.048	0.037

M: 平均値

σ : 被験者内標準偏差

σ/M : 相対標準偏差

表2 子音 100 回発語における VOT (子音波から後続母音までの時間) の平均値, 被験者内標準偏差, 相対標準偏差。

	[p] ~ [a]	[t] ~ [ɔ]	[k] ~ [i]
M	32.5	23.0	51.6
σ	12.2	5.5	10.6
σ/M	0.386	0.246	0.205

M: 平均値

σ : 被験者内標準偏差

σ/M : 相対標準偏差

者内標準偏差および, 被験者内標準偏差と平均値との割合, すなわち, 相対標準偏差を表(1)に示す。子音における子音波から後続母音までの時間 (voice onset time) の平均値, 被験者内標準偏差, および, 相対標準偏差を表(2)に示す。また, 母音フォルマント周波数についての母音図を図(3)に示す。一方, 100 回のトライアルにおける各母音フォルマント周波数の頻度分布のヒストグラムを作製してみると図(4)のごとくであり, その百分率累積度数分布を図(5)に示す。また voice onset time (以下 VOT とする) のヒストグラムを図(6), 百分率累積度数分布を図(7)に示す。これらのヒストグラム, および百分率累積度数分布は, 5 名の被験者についてみても, 全く同様であつて, 正規分布を示していることが判明した。

以上の成績を要約してみると, 5 母音の第 1 フォルマント周波数, 第 2 フォルマント周波数については, 従来の研究成果によつて示されている日本語母音フォルマント周波数と同様な値を示しており, 被験者内標準偏差については, 20~60Hz が得られているが, フォルマント周波数が大きいものでは, 大きい値を示し, フォルマン

図3 フォルマント周波数から得られた母音図。

ト周波数が小さいものでは、小さい値を示す傾向があることが明らかとなり、この傾向は、さらに、相対標準偏差をとつてみると、いずれのフォルマント周波数においても、ほぼ同様な値、3～6%を示していることによつて証明されることは興味深い。

VOT についてみると、同一被験者による同一構音運

動の 100 回トライアルにおける各測定値のヒストグラムは、いずれの測定サンプルにおいても、正規分布に従つた分布を示すことが明らかとなつた。被験者内標準偏差については、5～12msec を示し、この値は VOT とは必ずしも無関係であつて、相対標準偏差は 20～40 % を示し、VOT の長短とは、一定の傾向を示していない。

考 按

1. 生体における音声言語活動について

音声言語活動は人類が有する最高次の機能であつて、その目的は、話し手が聴き手に伝え聴せようとする内容（情報）を初期の目的に合致するような音響成分を含んだ空気振動現象（音声言語）として作り出す機能である。このような音声言語を作り出す末梢発声構音器官が形態的にも、機能的にも正常なものでなければならないことは論を俟たないが、中枢領域において生起した運動命令が正しく調整・伝達されて、末梢発声構音器官を正しく働かさなければならない。このような運動命令によつて末梢発声構音器官が活動（音声言語活動）した結果として作り出された音声言語が初期の目的になつたものであるかどうかについては、その音響分析的研究によつて、その活動の実態を明らかにすることができる。すなわち、音声言語の研究は、初期においては、その音響

図4 100回トライアルにおける母音フォルマント周波数のヒストグラム。
上段は F_1 、下段は F_2 を示す

図5 100回トライアルにおける母音フォルマント周波数の累積度数分布。

図6 100回トライアルにおける VOT のヒストグラム。

パターンがどのような音響構成を示しているかを究明することによってなされてきており、それぞれ、母音フォルマント、子音波、移行部、鼻音化、咽頭音化、などが明らかにされ、各国語についての一定の音響パターン、構音運動との関連が示されており、病的音響パターンについても報告されている¹⁾²⁾。しかし、音声言語活動そのものの動的研究報告は極めて少ない。

2. 音声言語活動の変動性について

その後の研究の動向は、構音運動の動的機能の解明に向けられてきており、構音共同運動 (coarticulation)³⁾、さらには、構音運動機能そのものの解明への生体機能の変動性の概念の導入などの報告がなされている⁴⁾。

構音運動の変動性については、同一母音のフォルマント周波数が、その母音の前後に位置する子音によって変化することが音響分析によって明らかにされ、また、同一被験者において、同一母音フォルマント周波数が異なった値を示すことがあること、反対に、異なった母音のフォルマント周波数が同じ値を示すことがあること、また、異なった被験者において同一母音フォルマント周波数が異なった値を示すことがあること、などが音響分析

図7 100回トライアルにおける VOT の累積度数分布。

的に示されており、音声言語活動の末梢ボタンとしての音響パターンから構音状態を考える上に、一つの困難な問題を提示した⁵⁾⁸⁾⁷⁾⁸⁾

これらは、被験者が一回のトライアルを行なった場合の変動性の問題であつて、被験者間並びに被験語間の変動性である。

他の一つの構音運動の変動性の問題は、同一被験者が同一構音運動を行なった場合を行なった場合の変動性、つまり、構音運動を同様にを行なった場合に存在する変動性であつて、被験者自身に内存する発語機能の変動性である。この問題については、極めて研究報告が少なく、わずかに Peterson & Barney⁹⁾ による同一構音運動の二回トライアルにおける母音フォルマント周波数の変動値についての報告がみられるが、その変動値の発生原因については述べられていない。また、Eguchi & Hirsh¹⁰⁾ は、1969年、これら被験者内変動性が存在することは正常な生体機能においては当然であり、自動調整機能と関連があるとして、被験者内変動性の存在を証明し、年令的発達段階を報告している。

3. 自己調整能 (self control function) と生体情報処

理

音声言語活動(発声構音運動)へのフィードバック理論の導入は古くからみられる¹¹⁾¹²⁾。発声中に傍から音を与えた場合(side tone)のピッチの上昇、音圧の上昇などをみる Lombard 現象、発語中に側音を与えた場合の発語の乱れをみる Lee effect¹³⁾、または、発語中に自己の発語を時間的に遅らせて聴かせた場合に起る発語の乱れをみる delayed auditory feedback (遅延効果)¹⁴⁾などの報告がある。これらの報告は、いずれも、一回の発語中に形成されている speech system における output としての発声構音機能と input としての聴覚機能との間の一連の自己調整系(feedback self control system)に変化を与えた場合に生じる発声構音機能の変化、すなわち、output の現象としての変化をみているものであつて feedback system の中に内存する self control function 自体の機能をみていない。

生体における自己調整能をみるためには、大きく二つの方法が示されている¹⁵⁾。その一つは、制御されて活動する運動系に対応する中枢領域の現象の変化を記録して調べる方法であり¹⁶⁾、他の一つは、output における現象をその機能の投影像と考えて、input に外乱を加えたり、麻痺させた場合の結果を測定したり、あるいは、output の変化の出現頻度を測定したりして、その結果から自己調整機能を推定しようとするものであつて、この方法では、推計学、生理・心理学、あるいは、サイバネティックス理論、生体情報処理理論によつて考えることが必要となつてくる⁴⁾¹⁷⁾

生体の各種機能についての神経生理・心理学的な立場から生体情報理論によれば「一般に、ある制御された事象が、人為的に制御不可能で、しかも、独立的に多くの要因によつて作用されている場合、この事象についての測定値は、これら要因の総合結果として表わされ、多数回測定を行なつてみると、正規分布に従う値を示す」ことが知られている¹⁷⁾。一方、生体における、ある運動機能とその自己調整能、ならびに、運動機能の変動性については、生理学分野においては古くより報告がなされており、「ある運動機能が、ある目的にかなつた運動を行なうとき、その機能は、その運動自身によつて生じる各種の回帰感覚情報によつて自己調整されて正常に働いていることが知られており、しかも、この機能を多数回くり返して行なつてみると、自己調整をうけているにもかかわらず、全く同一なものでなく、ある正常な変動範囲内に含まれることが知られており、正規分布に従うこ

と」が示されている¹⁹⁾。そして、これらの理論から「ある制御をうけた機能の制御能（自己調整能）の一端を知る方法として、その機能の多数回測定における測定値の変動性を求める」⁴⁾ことが考えられるとする仮説が成立ってくる。

4. 音声言語活動と生体情報処理理論、並びに自己調整能

音声言語活動も生体における運動機能の一つであり、生理・心理機能の一つであつて、活動に伴つて生じる各種の感覚受容器からの感覚情報によつて自己調整をうけていることが考えられている。

音声言語活動における回帰感覚情報としては、聴覚、口腔内接触感覚、深部知覚などがあげられているが⁴⁾¹⁹⁾²⁰⁾²¹⁾、その中でも、聴覚による自己調整の働きが最も重要な役割を演じていることが明らかにされている。すなわち、音声言語活動は、ある目的にかなうように（初期の目的に合致し、伝えようとする情報を充分に含むように）制御された事象であり、しかも独立的に働く多く要因によつて作用されている（聴覚、その他の感覚系からの個々の感覚情報が回帰して、それぞれ、作用している）ものであるから、同一被験者が同一発声構音運動を多数回行なつてみると、正規分布に従う変動値を示すことが理解され、このような分布を示す測定値から変動性をみるために標準偏差（被験者内標準偏差）を求める方法が考えられる⁴⁾。そこで、音声言語活動に対して独立的に働く要因として考えられているいくつかの感覚入力に異常を起させた場合の制御能を調べるために、自己の聴覚をマスキングしたり²²⁾、口腔内の表面麻酔を行なつて同一発声構音運動の多数回トライアルにおける変動性を測定して²³⁾、正常の場合のそれと較べてみると、変動性が大きくなること（ $p > 0.05$ で有意）が証明されている。この事実は、自己調整能に異常が生じた結果である。このように音声言語活動においても、その被験者内変動性を求めることによつて自己調整能を知る目安となりうるということがわかるであろう。

5. 音響分析による音声言語活動の変動性の証明

一般に音声言語活動を調べるためには、活動現象を直接とらえることができるレ線の研究、パラトグラムによる研究、発声構音器官への運動命令をとらえる筋電図学的研究などの他、活動の結果としてできた音響現象（acoustic features of voice and speech）について、その音響構成成分の分析によつてみる方法がある。この方法としては、音声ピッチ、母音フォルマント、voice onset

time, temporal orders, coarticulation, etc. を測定することによつて行なうことができる。

著者は、今回の研究では、音響分析によつて音声言語活動を動的にとらえることとして、その変動性をみるために、同一発語を同じような状態で100回行なわせ、100回のトライアルにおける各語音の acoustic features についての各測定値の頻度分布を調べた。測定に用いた検査文は無意検査文（パトエキウ）であつて、この中には、日本語5母音と代表的子音構音である口唇音、舌歯茎音、舌口蓋音が含まれているから、日本語構音運動の代表的なものであると考えてよい。

語音の音響分析図と構音運動の実際との関係については、構音運動のレ線的研究と音響分析の研究によれば²⁾、母音フォルマントは母音構音によつて生じる口腔と咽頭における共鳴腔の大きさによつて特徴つけられており、構音による舌の位置が移動すれば、フォルマント周波数も変化することが証明されているから、フォルマント周波数を測定することによつて母音構音における舌の状態を推定することができる。しかも、同一母音構音運動を数回くりかえした場合のフォルマント周波数に差異が存在する場合は、舌の位置が同一なものでなく、変動していることを意味している。子音構音については、各構音器官の活動（破裂音・摩擦音など）とそれにつづく voicing（声帯振動）との協調的活動様態をとらえることができる。すなわち、VOT（子音構音から voicing が始まるまでの時間、voice onset time）が適度な時間間隔を有していない場合は、正しい子音として発語されていないことになり、この間隔が異常に接近していると母音として聴きとられたり、反対に、離れすぎていると、二つの別々の構音が行なわれたように聴きとられる現象を明らかにすることができる。子音の場合においても、同一子音構音を数回行なつた場合に VOT に差異が存在する場合は、子音構音における協調的活動が変動することを意味している。

正常な音声言語活動（発声構音運動）は、伝えるべき音声言語内容（情報）を最も効率よく含れた音声言語を作り出すように自己調整をうけていることが考えられる。そこで、これら活動が、生体調節系においてどのような活動を行なっているかを明らかにするために、同一被験者の語音の音響分析図から第1フォルマント周波数、第2フォルマント周波数、VOTの100回のトライアルにおける頻度分布を調べた。また、各測定値の平均値についても従来の報告値と較べて検討した結果、母音フ

ホルマント周波数も VOT も各トライアルにおいて全く同一な値を示さず，その変動分布は正規分布を示し，平均値においては正常値を示していた。このことは，正常な音声言語活動も，生体情報処理系における変動性に含まれていることがその音響分析によつて証明されうることを示しており，また，ある平均的パターンを生じるためには，その平均値を取り囲む正常変動範囲に含まれるように自己調整をうけながら活動しているが明らかとなっている。一方，ホルマント周波数についてみると，これらの変動性（被験者内標準偏差）は，平均値が大きいものでは大きく，平均値が小さいものでは小さいことが示されていたことは，平均値と変動性（被験者内標準偏差）との間には関連があることを意味している。すなわち，平均値と変動性（標準偏差）との比，相対標準偏差を求めてみると，いずれのホルマント周波数においてもほぼ3～6%を示していたことは，平均値を中心とした平均値の3～6%の値の範囲は正常変動範囲内であることを意味しており，この範囲内に入る機能は正常機能が行使されたことであつて，この範囲を越える場合は，異常が生じているとして回帰感覚によつてとらえられて誤差修正が行なわれなければならないであろう。このように，正常人が母音を発語する場合に，その発語によつて生じた母音が正しいものであつたかどうかをチェックして，弁別，自己認知する能力が，その平均値の値に関連しており，平均値の3～6%であることであつて，その関係は，下記の式によつて示されることができる。

$$\Delta F/F = K$$

ΔF : 変動性（被験者内標準偏差）

F: 平均値（ホルマント中心周波数）

K: 定数（3～6%）

自動制御についての制御工学的理論によれば²⁴⁾，ある一定の機能（M）を保持しようとする（平均値に近づけようとする）ためのサーモスタットのような働きの発動点（ σ ，トリガーポイント）は $\sigma/M=C$ で示される関係が存在することが明らかにされており，これを自動調整指数と呼んでいる。すなわち，機能（M）が大きいものでは，トリガーポイント（ σ ）は大きいことであつて，（ σ ）が大きいものでは（C），定数が大きくなって，自動制御が良くないことを示しており，自動調整指数（C）の大小によつて制御能力の良否が指示されるとしている。

生体機能についての著者の仮説から得られる被験者内標準偏差（ ΔF ）は σ であり，平均値（F）はMであると考えられるから

$$\Delta F/F = \sigma/M$$

であることが示され，そのトリガーポイント（サーモスタットのような働きの発動点）は生体においては感覚受容器からの感覚情報に基づいてきめられることが考えられる。一方，母音構音における共鳴腔理論によれば，ホルマント周波数が高いということは，共鳴腔の大きさが小さいということであるから，小さい共鳴腔を構音する場合には，大きい共鳴腔の構音の場合よりも，構音運動の正常変動範囲，すなわち，平均的構音状態からの偏差が大きい値で示されることであつて，この事実の生体における感覚・運動自己調整能における意義については今後究明されるべき問題であろう。若し，この値がホルマント周波数弁別域値と近似な値を示すならば興味ある事実であろう。

VOTについてみると，100回トライアルにおいて得られた値の平均値は，舌口蓋音の場合が長い時間を示し，次いで，口唇破裂音，舌歯茎音が短い間隔を示したことは，子音構音における口腔内圧産生に必要な時間とも関連があることが考えられるが，その値が従来の研究結果とほぼ同様な傾向を示しているから，正常な子音構音を行なつたことが明らかにされている。また，その値の頻度分布についてみると正規分布を示していることが明らかにされているから，母音構音の場合と同様に子音構音運動機能も自己調整をうけていることが理解される。そこで，これらの分布を示す測定値についての被験者内標準偏差（変動性）についてみると，約5～12msecの値を示しており，VOTの平均値の長短とその変動性との間には一致した関係はみられないようである。

聴覚における temporal orders の弁別値についての研究によれば，二音間隔弁別域値は5～10msecであるとされており，一方，子音構音におけるVOTは二つの音響現象の経時的間隔であるから，このVOTの変動（被験者内標準偏差）値は正常なVOTの平均値で示される時間間隔を得るための誤差弁別範囲を示す値であろうと考えられる。すなわち，ある間隔の間を保つべき場合における第1音から一定時間を経過した場合の第2点が正しいものであるかどうかの弁別域値であると思われる。このことは，語音発語における temporal orders の自己調整は，ある一定間隔を経過した時点の誤差弁別域値に関係があつて，temporal orders の長短を示す平均値には関係がないであろうと推測され，その値は5～10msecであつて，被験内標準偏差で示されることが考えられ，この値は米国人における英語構音における temporal

orders においても同様な結果が示されていることと考え合わせると興味深い結果である。

結 語

音声言語活動（発声構音運動）を生体における情報処理活動の一つとしてとらえて、その被験者に内存する機能の変動性を、音声言語の音響分析パターンを測定して被験内標準偏差を求めることによつて明らかにすることを試みた。

生体における各種の正常な運動機能は、その機能によつて生じる各種の感覚情報によつて feedback control をうけており、同一機能の多数回トライアルによる結果の分布は、正規分布を示すことを構音機能において証明した。

この結果から、同一運動機能（構音運動）の多数回トライアルにおける被験者内標準偏差を求めることによつて、その運動機能への feedback function の一端を知ることができ、さらに、運動機能の障害（言語障害）の診断法となりうることを考えた。

また運動機能の変動性（被験者内標準偏差）を、その機能の示す平均値で割つた値、すなわち相対標準偏差は、feedback control された機能の正常性維持のための誤差判別修正へのトリガーポイントによつて決められ、それぞれの機能において、ある一定の値を示すものであることが示され、これは、制御工学における自動調整指数に相当するものであると考えられる。

母音フォルマント周波数の被験者内標準偏差は20～60 Hz を示し、この値はフォルマント中心周波数の高低に関係があり、その相対標準偏差は、母音の種類に関係なく、ほぼ一定な値、3～6% を示した。子音における voice onset time の被験者内標準偏差は、その長短に関係なく 5～12 msec を示しているが、相対標準偏差は各子音によつて異なり20～40% であつた。

参 考 文 献

- 1) Joaes, M.: Acoustic phonetic, Language monograph, No. 23, Jour. of the Linguistic Soc., of Amer., Vol. 24. No., Suppl. 1948.
- 2) Fant, G.: Acoustic theory of speech production, Mouton & Co., s-Gravenhage. 1960.
- 3) Ohman, S.E.G.: Perception of segments of VCCV utterances, J. Acous. Soc. Amer. 40 ; 979, 1966.
- 4) 江口実美：音声言語における感覚運動自己調整能、その考按と研究法、医学のあゆみ、73 ; 49, 1970.
- 5) Dunn, H.K.: The calculation of vowel resonances and electrical vocal tract, J. Acous. Soc. Amer. 23 ; 740, 1950.
- 6) Stevens, K.N and House, A.S.: Development of a quantitative descriptions of vowel articulations, J. Acous. Soc. Amer., 27 ; 484, 1955.
- 7) Stevens, K.N. & House, A.S.: An acoustical theory of vowel production and some of its implication, J.S.H.R. 4 ; 303, 1961.
- 8) Stevens, K.N. & House, A.S.: Perturbation of vowel articulations by consonantal context; An acoustical study. J.S.H.R. 6 ; 111, 1963.
- 9) Peterson, E.G. and Barney, H.L.: Control method used in a study of the vowels, J. Acous. Soc. Amer., 24 ; 175, 1952.
- 10) Eguchi, S. and Hirsh, I.J.: Development of speech sound in children, Acta Otol. Suppl. 257, 1969.
- 11) Lombard, E.: Le Signe de Lelevation de la Voix, Ann. Mal. Oreil. Larynx, 37 ; 101, 1911.
- 12) Urbantshitsch, von V.: Uber den Einfluss von Schallempfindungen auf die Sprache, Arch. Ges. Physiol. 137 ; 422, 1911.
- 13) Lee, B.S.: Some effects of side tone delay, J. Acous. Soc. Amer. 22 ; 824, 1950.
- 14) Chase, R.A.: A developmental study of change in behavior and delayed auditory feedback, J. Genet. Psychology. 99 ; 101, 1961.
- 15) 森 茂美：運動と姿勢の調節、医学のあゆみ、77 ; 1, 1971.
- 16) Evarts, E.V.: Temporal pattern of discharge of pyramidal tract neurons during sleep and waking in the monkey. J. Neurophysiol. 27 ; 152, 1964.
- 17) 宮脇一男：生体情報処理、ME 選書 9, コロナ、1969.
- 18) 時実利彦：筋電図の臨床、協同医書。
- 19) Fairbank, G.: Effects of delayed auditory feedback upon articulation. J.S.H.R. 1 ; 12, 1958.
- 20) Davis, H.: Auditory communication, J.S.H.D. 16 ; 3, 1951.
- 21) Mysak, E.D.: Speed pathology and feedback theory. Thomas, 1967.
- 22) 江口実美：音声言語における感覚運動自己調整能の研究：第4報、Auditory masking の影響について Audiology Japan, 13 ; 60, 1970.

- 23) 江口実美：口腔内感覚と構音運動機能，一表面麻痺 情報処理機構”（班長，佐藤謙助）によつて，その一部
の影響について—耳鼻臨，46；437，1971. を援助されている。（昭和46年度）
- 24) 榎木義一：わかる自動制御，日新出版，1971.

（原稿受付 昭和49. 8. 3 日）

本研究は文部省科学研究，特定研究，“アナログ生体