

リズム知覚の基礎としての時間知覚に関する精神物理学的研究

中島, 祥好

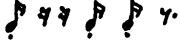
<https://doi.org/10.11501/3159287>

出版情報：九州芸術工科大学，1999，博士（芸術工学），論文博士
バージョン：
権利関係：

第 4 章 楽譜上のリズムとリズム産出

4. 1 目的

前章までの実験では、2～3個の空虚時間の時間長が、その物理的な比率よりも極端ではない方向にずれた比率を持つように知覚されることを確認した。さらに、この傾向は、主観的な時間長が物理的な時間長に正の定数を加えたものに比例すると言う〈つけくわえ仮説〉の考えかたによって定量的に説明されることを示した。この考えかたは、音楽演奏の時間パターンに適用できる可能性がある。特に、西洋音楽においては、一つひとつの音符あるいは休符の相対的な時間長が、明確に示されていることが多いので、体系的な考察が可能となる。殆どの場合、一つひとつの音符あるいは休符は、「時価」を持つ。時価とは、主観的な時間の流れにおいて割り当てられた、相対的な時間長であると考えてよい（例えば、隣りあった4分音符と8分音符とがあるとき、通常は、4分音符が8分音符のおよそ2倍の長さに感ぜられるように演奏されなければならない。）。主観的時間と物理的時間とのあいだにくい違いがあるならば、演奏者が、音符あるいは休符の物理的な長さを、楽譜とは異なるように産出することが必要になるであろう。別の言いかたをすると、物理的なリズムが、機械的に記譜リズム（＝楽譜に示されたリズム）と等しい場合には、聴取者、あるいは演奏者自身に、不正確な演奏が聴こえるようなことが起こりうる。

ここで、4分音符に相当するような1拍分の時価が、3:1の比率で2つの部分に分割されると仮定する。また、これらの部分はスタッカートの付いた16分音符によって区切られるものとする []。近年急速に実用化されつつある、簡易型の自動演奏システム（コンピューターに組み込まれていることも多く、通常、物理量と主観量とのくい違いを無視する）が、このパターンを、94拍/分のテンポで演奏するならば、1拍分に対応する640msの時間長が、480msおよび160msの2つの部分に分割されるはずである。しかし、もしそうであれば、〈つけくわえ仮説〉が予測する、この拍の主観的な分割比は、 $(480+80):(160+80)$ すなわち 7:3 くらいになり、音楽的に不正確になってしまふことが予測される。正しい分割比を産出するためには、大雑把に言って、この拍を520msおよび120msの2つの部分に分割しなければならないことになる。この場合には、物理的な分割比が13:3（約4:1）となるが、主観的な分割比は、 $(520+80):(120+80)$ 、すなわち 3:1 となることが予測される。このような物理的な分割比と主観的な分割比とのくい違いは、テンポが速いときほど大きいはずである。なぜなら、式(1)において〈つけくわえ定数〉を示す α の影響は、1拍全体の物理的な長さが短いときほど大きいからである。

実験7では、ここまで報告した知覚実験を模擬するために、ごく単純な、音楽的には面白みのない記譜リズムを用いた。演奏者が不可避免的に何らかの音楽表現を行ってしまい、実験結果の解釈が困難になることを避けるために、メロディーあるいは和声などの音楽的文脈の影響は、可能なかぎり取り除いた。実験8では、さらに、演奏に伴う動作要因を取り除くために、調整によって単純なリズムを作ることを被験者に求めた。この際、時間の分割比を楽譜ではなく数で示すような条件をも含めることにより、第2章、第3章で得た結論を、調整法の手続きによって確認することも、併せて行った。

4. 2 実験7：単純な記譜リズムの演奏

4. 2. 1 目的

演奏音が、クリックのような部分を含む明白な立ち上がりを持ち、その後ほぼ単調に減衰する楽器として、ピアノおよびマリimbaを選んだ。これらの楽器は、ごく短い音が空虚時間を区切るような、比較的単純な知覚実験に似た状況を提供する。Terhardt と Schütte (1976) および Schütte (1978) は、時間包絡の異なる2種類の短い音（例えばAとB）が交替で（A B A B A B A B. . . と）呈示されるような刺激パターンを用い、隣接する時間間隔における規則性の知覚に関する実験を行った。その結果、どのような時間包絡を持つ音であっても、その中のある一時点によって代表されることが判った。20 ms 未満の誤差を無視してよいならば、瞬時の立ち上がりをもつ音は、その立ち上がりの時点によって代表されると考えてよい。Sternberg ら (1982; 実験7) は、本論文における精神物理学的な実験で用いたのと似たような刺激パターンを用いて、この結論を支持する結果を得ている。Handel (1993) は、やや複雑なリズムの異同判断に関して、区切音の持続時間を変化させても、その立ち上がり部分の物理的な時間関係さえ保たれておれば、判断結果に影響しないことを示した。このような過去の実験結果を踏まえるならば、物理条件を制御する際に多少精密さを欠くことがあっても、実際の楽器を用いる実験によって、音楽家の訓練された時間制御の技能を引き出すことが極めて有益であろう。

実験7の目的は、現実場面に似せた状況において〈つけくわえ仮説〉の適用可能性を検証することである。すなわち、音楽演奏のような複雑な状況において、単純な実験式で表されるような傾向が現れうるものかどうかを調べる。

4. 2. 2 方法

この実験で用いるすべての記譜リズムは、3つの音からなり、中央のオクターブより1つ上のオクターブにおいて、f、g、fの3つの音が、この順序で継起するパターンが、簡単な楽譜として示されている。3つの音の立ち上がりは、クリックのような部分を含んでおり、一種の分割時間を形成している。第1の音の始まりと第3の音の始まりとに挟まれる、1拍分の時価は、第2の音の始まりによって分割され、図21に示すように、1/4、1/3、1/2、2/3、3/4の分割比をなしている。電子メトロノームのテンポを、弱いクリックによって、小さいオープン・エア型のヘッドホン（携帯カセット・プレーヤーなどに用いる型）を通して、実験セッションの間中、演奏者に呈示した。用いたテンポは63、80、100、126、160、200拍/分の6段階である。メトロノームのクリックの呈示レベルは、演奏が最も容易になるように、演奏者によって事前に調整された。演奏者は、まず、6つのテンポを順に呈示され、それぞれのテンポにおいて、5つの記譜リズムを順に演奏した。一つ一つのリズムは4回くり返され、リズムA、B、C、D、E（図21）はこの順序で続けて演奏された。最も遅いテンポを最初に済ませ、その後テンポは一段階ずつ速くなった。以上が実験の前半であり、実験の後半では、前半の手続きを逆の順序で繰り返した。演奏者は、望めばいつでも休憩を取ることができた。

専門的な訓練を受けた2人の女性の演奏家が参加し、それぞれ、専門の楽器で

あるピアノ、マリimbaを演奏した。演奏者は、特にアクセントを付けず、また、特別な音楽表現を交えずに、楽譜上のリズムを演奏するように教示された。

演奏は、（オープン・リール型の）ステレオ・テープレコーダーによって録音した。その際、マイクロホンは、以下の条件を満たすように設置した：

- (i) 再生した音を、演奏者が聴いたときに、自然であると感じられること（このことは、録音の前に確認した）
- (ii) 楽器の（反射音ではない）直接音が、明瞭に録音されていること。

次に、一つひとつの演奏リズムの物理的な時間構造を分析した。この際、録音された音を、別のテープに複写してから再生した。2つのチャンネルからの出力電圧を平均した後、アナログのミュージック・シンセサイザー・システム

（Roland System 700）に付属したエンヴェロープ・フォロワー（入力電圧波形の時間包絡の概形を、電圧波形として出力する）を通すことによって、音の時間包

♩ = 63, 80, 100, 126, 160, 200 beats min⁻¹
like a training

A R_n $\frac{1}{4}$

B $\frac{1}{3}$

C $\frac{1}{2}$

D $\frac{2}{3}$

E $\frac{3}{4}$

図 2 1 実験 7 において用いられた 5 つの記譜リズム。R_n は、最初の拍の記譜上の分割比である。ピアノ、マリimbaのいずれについても、実験の前半においては、テンポごとに、ここに記した順でリズムが演奏され、それぞれのリズムは、4 回くり返された。後半では、リズムの順序が逆にされ、それぞれ 4 回くり返された。

絡を単純化して観測した。波形の観測には、高速フーリエ分析器（小野測器 CF 400）の波形記録部を用いた。いずれの楽器についても、実験で用いた音に関するかぎり、立ち上がりの形がほとんど一定であったので、ある音の時間包絡のピークから、次の音の時間包絡のピークまでの物理的な時間長を、音の立ち上がりによって区切られた時間間隔（疑似空虚時間）の物理的な長さで見なすことができる。このようにして、一つひとつの時間間隔の物理的な長さを測定した。

4. 2. 3 結果と考察

第1、第2の音の楽譜上の時価が、それぞれ τ_1 および τ_2 であり、対応する時間間隔の物理的な長さが、それぞれ t_1 および t_2 であるとする。この拍の記譜上の分割比は、次のように表される：

$$R_n = \tau_1 / (\tau_1 + \tau_2) \quad (38)$$

また、物理的な分割比は、次のように表される：

$$R_o = t_1 / (t_1 + t_2) \quad (39)$$

仮に、演奏者が自動演奏装置のようにふるまい、記譜された時間と演奏された時間との間にくい違いがないのであれば、記譜された分割比 R_n と物理的な分割比 R_o とは、等しくなるであろう。一方、<つけくわえ仮説>が適用できるのであれば、主観的な分割比は、次のように予測される：

$$\hat{R}_s = (t_1 + \alpha) / [(t_1 + \alpha) + (t_2 + \alpha)], \quad \alpha = 80 \text{ [ms]} \quad (40)$$

主観的に正しいリズムを得るためには、式 (38) における R_n が、式 (40) における \hat{R}_s に等しくなければならないと考えられる。このような観点から、 R_n と R_o との関係、および R_n と \hat{R}_s との関係を、実験データに即して検討した。 \hat{R}_s を計算するために用いる <つけくわえ定数> α の値は、80 ms とした。この際、各条件における測定から得た R_o あるいは \hat{R}_s の8つの値の算術平均値を用いた。

図 2 2 (a)-(f) には、テンポが速いほど、 R_n と R_o とのくい違いが大きくなることが、はっきりと示されている。一方、テンポに関係なく、 R_n と \hat{R}_s とは、よく一致している。 R_n と R_o とのくい違いの度合は、次の値にまとめられる：

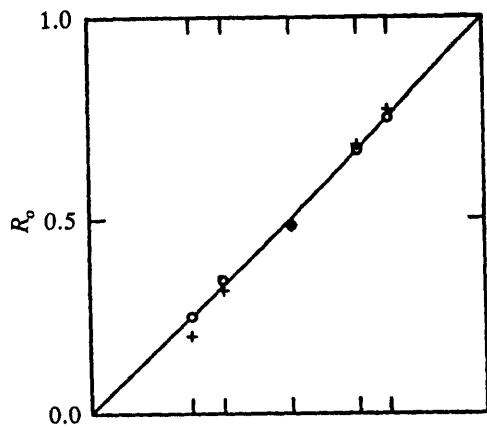
$$\sigma (R_o, R_n) = [\{ \sum (R_o - R_n)^2 \} / N]^{1/2} \quad (41)$$

ここで、 N はグラフ上でデータを表す点の数を示し、 Σ はこの N 個の点に関する合計を意味する。 R_n と \hat{R}_s とのくい違いの度合は、次の値にまとめられる：

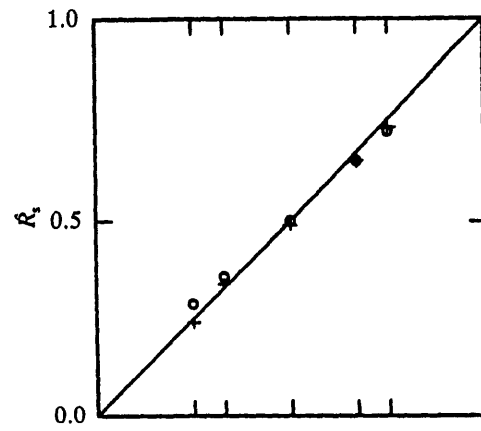
$$\sigma (\hat{R}_s, R_n) = [\{ \sum (\hat{R}_s - R_n)^2 \} / N]^{1/2} \quad (42)$$

この2つのくい違いの指標を比較することによって、 R_n が R_o と \hat{R}_s とのいずれに近いかを、定量的に検討することができる（表 1 1）。

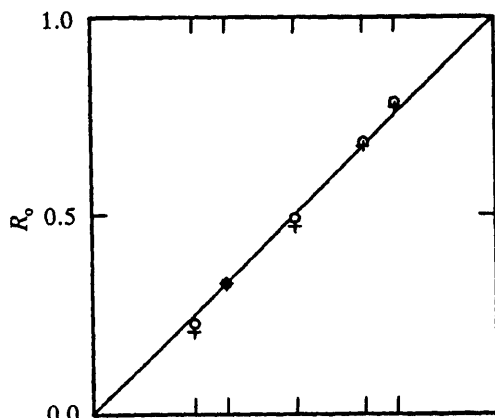
$\text{♩} = 63 \text{ beats min}^{-1}$



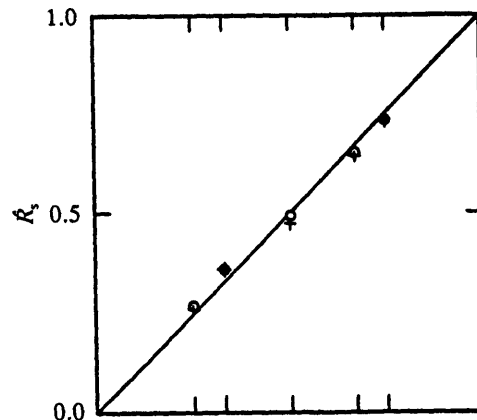
(a)



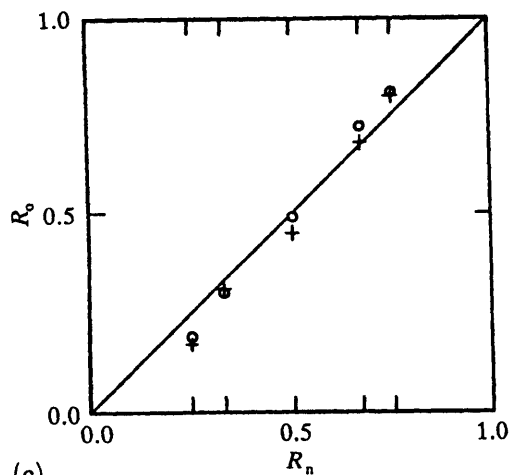
$\text{♩} = 80 \text{ beats min}^{-1}$



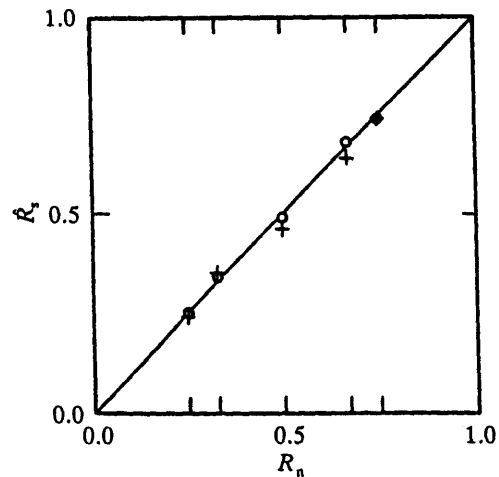
(b)



$\text{♩} = 100 \text{ beats min}^{-1}$



(c)

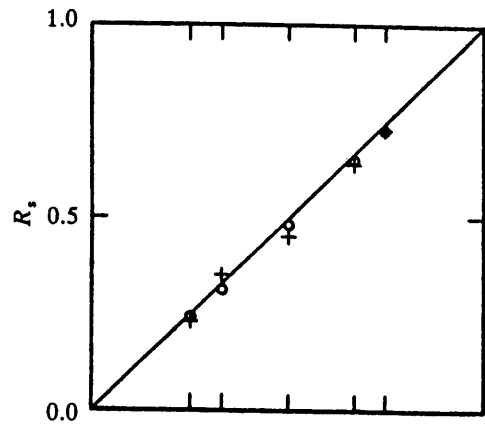
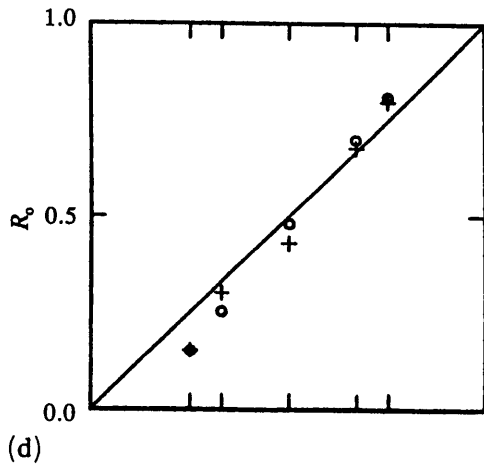


(次頁に続く)

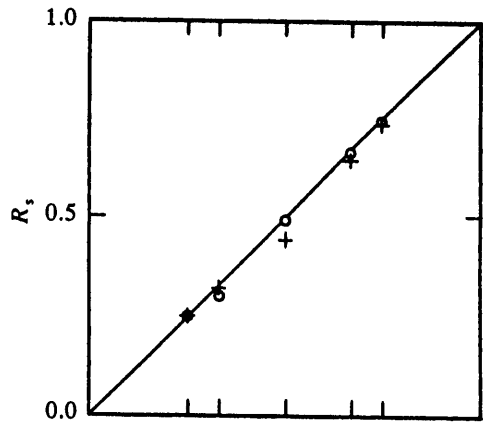
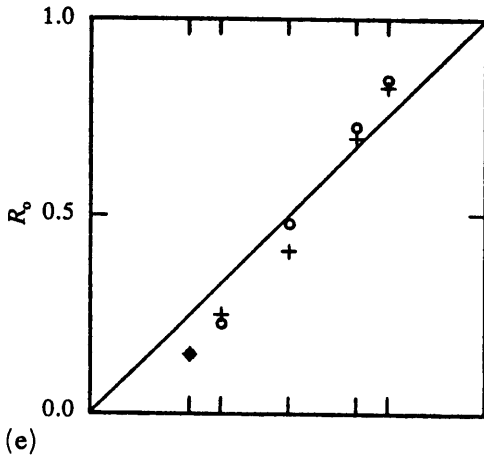
図 2.2 実験 7。拍の記譜上の分割比 R_n と、物理的な分割比 R_o との関係、および、記譜上の分割比 R_n と、仮説の予測する主観的な分割比 \hat{r}_s との関係。 \hat{r}_s を計算するために用いられたくっつけくわえ定数 α の値は 80 ms である。各点は、8つの R_o あるいは \hat{r}_s の値の算術平均値を示す。記譜上の分割比 R_n は、物理的な分割比 R_o ではなく、仮説の予測する主観的な分割比 \hat{r}_s にほぼ等しくなっている。+ → ピアノ。○ → マリンバ。

(図 2 2 の続き)

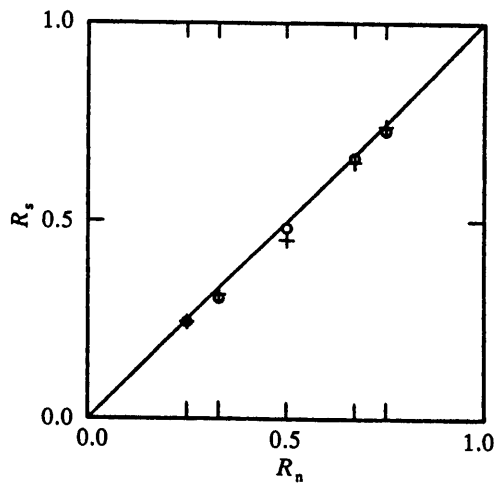
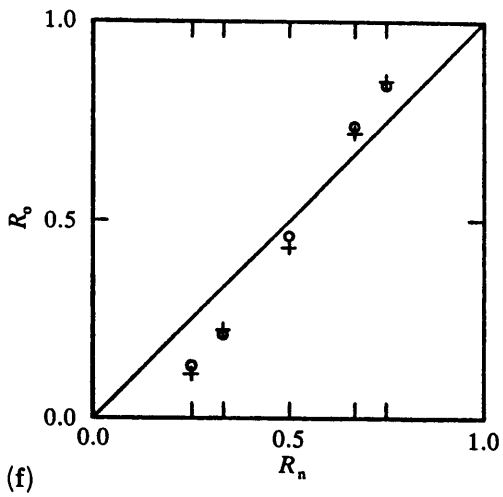
$\text{♩} = 126 \text{ beats min}^{-1}$



$\text{♩} = 160 \text{ beats min}^{-1}$



$\text{♩} = 200 \text{ beats min}^{-1}$



本研究の目的に直接関係することではないが、図 2 3 に示すように、演奏によって作り出された 1 拍分の物理的な長さが、メトロノームで示された 1 拍分の長さから、わずかではあるが、系統的に逸脱する傾向が見られる。すなわち、テンポが 63 拍/分の場合を除き、演奏における 1 拍分の長さ t_1+t_2 は、メトロノームで示された 1 拍分の長さよりも長くなることが多い。また、 $R_n = 1/2$ のときには、他の条件に比べて、1 拍分の長さ t_1+t_2 が短めになっている。これらの傾向は、テンポが速いときほど、明瞭である。音楽演奏に関して、体系的な研究を行う際には、この点をさらに詳しく検討する必要があるだろう。

演奏者が特定のアクセントを意図せずにリズム演奏を行ったにもかかわらず、音と音との間には系統的なレベル差が見られた。このことを確認するために、各音の時間波形の相対的な振幅（ピーク-ピーク値）を、アナログ・メモリー・オシロスコープ（Kikusui 5516ST）を用いて測定した。一つひとつの演奏について、3 つの音の振幅を、平均値が 0 dB となるようにデシベル値に変換した。各条件において、各音符に関する 8 つのデシベル値を平均したものを、表 1 2 に示す。短い音のレベルは低く、「短い音の直後の音」のレベルは比較的高い、という傾向が見られ、この傾向は、テンポが速いときほど、明瞭である。

Bengtsson と Gabrielsson (1977, 1980, 1983) は、「音の長さに関する系統的な変形 *systematical variations as regards tone durations*」が、音楽演奏の分析に際して重要な手がかりになりうることを示した。本実験は、その典型的な場合として、記譜上の拍の分割比から、物理的な（演奏された）拍の分割比が系統的に逸脱する例を示すものである。この逸脱は、時間知覚の実験から得られた定量的な仮説によって、明確に説明される。記譜リズムと演奏リズムとの違いは、リズム・パターンの構造から生ずることもあり (Povel, 1977; Clarke, 1982)、拍子やフレーズ（時間方向のまとまりの形成）に関する文化の影響が無視できない場合もある（例えば、Bengtsson と Gabrielsson, 1977; Gabrielsson, 1985）。最近では、楽曲解釈の本質にまで踏み込んだ関連研究もなされている（例えば、Repp, 1998）。ところが、本実験の結果は、楽譜と演奏との違いに関して、芸術的な、あるいは文化的な要因とは別に、純粹に知覚的な要因を想定する必要があることを示している。これは、音楽心理学の分野において、ともすれば忘れられがちな事柄である。ただし、Gabrielsson (1974) の報告するような少し複雑なリズム・パターンの演奏に関しては、このような区別は簡単ではない。

前章で取り上げた Sternberg ら (1982) は、知覚実験とリズム産出実験との間に、かなりの違いが生じうることを示している。先に述べたように、彼らの知覚実験は、本論文で報告した比率判断の実験と一致するような結果を示している。ところが、彼らのリズム産出実験は、知覚実験の結果に対して、定性的に逆の結果を示している。すなわち、標準時間と産出された時間との間の物理的な比率が、産出のために指定された比率よりも、極端でない（1:1 に近い）方向にずれる傾向が見られた。一方、本実験においては、産出された時間間隔の物理的な比率が、対応する記譜上の比率よりも、いっそう極端になる（1:1 から遠くなる）傾向が見られた。音楽演奏に関連する実験には、多くの要因が関わっているため、このようない違いの要因を特定するには、実験手続きの相違点を整理する必要がある。本実験と、Sternberg ら のリズム産出実験とが、手続きにおいて異なっているのは以下の点である：

表 1 1 実験 7。物理的な分割比 R_o の、記譜上の分割比 R_n からの逸脱の度合を代表する指標（自乗平均値の平方根） $\sigma(R_o, R_n)$ 、および、仮説の予測する主観的な分割比 \hat{R}_s の、記譜上の分割比 R_n からの逸脱の度合を代表する指標 $\sigma(\hat{R}_s, R_n)$ 。計算には、図 2 2 に示した平均値を用いた。

Tempo beats min ⁻¹	Piano		Marimba	
	$\sigma(R_o, R_n)$	$\sigma(\hat{R}_s, R_n)$	$\sigma(R_o, R_n)$	$\sigma(\hat{R}_s, R_n)$
63	0.03	0.01	0.01	0.03
80	0.02	0.03	0.02	0.02
100	0.05	0.02	0.05	0.01
126	0.06	0.03	0.07	0.02
160	0.08	0.03	0.08	0.02
200	0.10	0.03	0.09	0.02

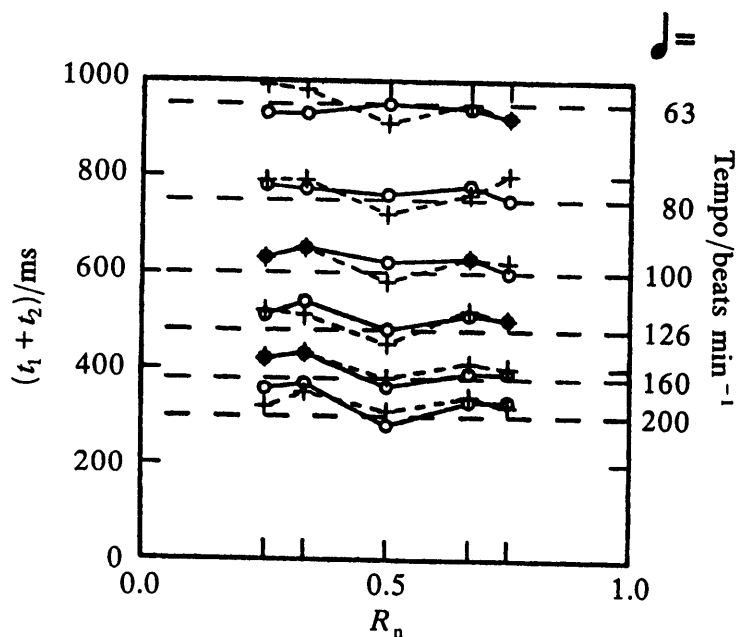


図 2 3 最初の拍の物理的な長さ t_1+t_2 。各点は、8つの測定値の算術平均値を示す。メトロノームの示す1拍分の長さが完全に守られるならば、データを示す点は、破線の上に並ぶはずである。+→ピアノ、○→マリンバ。

- (i) Sternberg らの実験では、演奏者が2拍目の途中の音を1つだけ産出したのに対し、本実験においては、拍の始まりを示す音を含めて、全ての音が、演奏者によって産出された。
- (ii) Sternberg らの用いたリズム・パターンにおいては、1拍分の長さがまず呈示された後に、1拍より短い長さが付加された。それに対し、本実験において用いられたリズム・パターンは、1拍を指定された比率に分割することによって得られており、2つの隣接する音符の時間長が、連動して変化した。

- (iii) 今回の実験では、テンポが、メトロノームによって常時与えられた。
 (iv) 今回の実験では、人工的なインターフェースではなく、実際の楽器が、用いられた。

Sternberg らの研究と本研究との結果のくい違いが、どのような要因によって生じたのかを明らかにすることは、現段階では難しい。ただ一つははっきりと言えることは、Sternberg らの被験者は、専門的訓練を受けた音楽家であるにもかかわらず、実験中の彼ら自身の「演奏」を録音で聴く機会を与えられるならば、それをかなり不正確であると感じるであろう、とすることである。音楽における楽譜が、演奏家および（訓練された）聴取者の間で、共通の記号になりうるとするならば、これは明らかな矛盾である。Sternberg らは、この点に関して、少なくとも何らかの見解を示すべきであったが、納得のゆく説明は与えられていない。国際的なレベルの演奏家に被験者を依頼するなど、貴重な面を持つデータであるだけに残念である。

表 1 2 実験 7。3つの音の相対的な音圧レベルを、記譜上の分割比およびメトロノームのテンポの組み合わせごとに示す。1回ごとの演奏について、各音の振幅（ピーク-ピーク値）を求め、3つの音にわたる平均値が 0 dB になるようにデシベル値に換算した。表に示す個々のデシベル値は、8つのデシベル値の平均値である。分割比 1/4、1/3 の場合の第 1 音、分割比 2/3、3/4 の場合の第 2 音（すなわち相対的に短い音）は低いレベルを示し、これらの音の直後の音は比較的高いレベルを示している。

Tempo beats min ⁻¹	Tone	R_n (piano)					R_n (marimba)				
		$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$
63	1st	-0.1	0.3	0.7	1.0	1.0	-0.8	-0.9	0.1	0.9	0.4
	2nd	0.2	-0.1	-0.4	-1.1	-1.4	2.3	2.1	0.9	0.6	-0.5
	3rd	-0.1	-0.2	-0.3	0.1	0.4	-1.5	-1.3	-1.0	-1.6	0.1
80	1st	-0.2	0.3	0.4	1.0	1.2	-0.1	-0.5	0.4	1.0	0.7
	2nd	0.2	0.2	-0.3	-0.9	-1.5	2.0	1.9	1.2	0.4	-0.6
	3rd	0.0	-0.5	-0.1	-0.2	0.3	-1.8	-1.4	-1.6	-1.4	-0.1
100	1st	-1.2	0.3	0.5	1.0	1.3	-1.8	-1.3	-0.1	0.9	1.1
	2nd	1.4	0.6	-0.4	-1.0	-2.5	2.5	1.6	1.5	-0.5	-1.5
	3rd	-0.1	-0.9	-0.1	0.0	1.2	-0.7	-0.3	-1.4	-0.5	0.4
126	1st	-2.2	-0.2	0.0	0.7	1.9	-2.8	-1.6	0.1	1.2	1.1
	2nd	1.8	0.8	-0.2	-1.1	-2.9	3.1	1.9	0.4	-1.1	-1.3
	3rd	0.4	-0.6	0.2	0.4	1.1	-0.4	-0.3	-0.5	-0.1	0.2
160	1st	-2.2	-1.1	-0.7	0.9	2.4	-2.7	-1.9	0.0	1.0	1.0
	2nd	1.8	1.1	0.2	-1.6	-3.8	2.7	1.9	0.2	-1.6	-3.0
	3rd	0.5	0.0	0.5	0.7	1.4	0.0	0.0	-0.3	0.6	2.1
200	1st	-3.0	-2.4	-0.9	1.1	3.3	-2.7	-2.2	-0.4	0.6	1.1
	2nd	2.2	1.5	0.2	-1.5	-5.1	3.6	2.5	1.1	-1.0	-2.8
	3rd	0.8	1.0	0.7	0.4	1.8	-0.8	-0.3	-0.8	0.4	1.7

4. 3 実験8：隣接する時間長の比率の調整

4. 3. 1 目的

実験7において、楽譜に記された時価の比率と、演奏された音符の始まりから始まりまでの、物理的な時間長とのあいだに、〈つけくわえ仮説〉によって説明されるような単純な関係のあることが判った。ただ、実験7においては、被験者が、与えられた比率を演奏の際に感じているのか、あるいは、自分の演奏を、録音を通して受動的に聴いたときにその比率が感ぜられるように演奏しているのか、不明瞭な部分が残っている。さらに、被験者は訓練されているとは言うものの、音楽家にとっては不自然な状況で演奏を求められるわけであるから、動作要因による結果の歪み、誤差が生ずる可能性もある。このような疑問を取り除くために、被験者が調整作業によって時間長の比率を決定するような実験を行った。このような手続きにおいて、被験者は、受動的に音刺激のパターンを聴くわけであるから、演奏の最中に感ずる比率と、受動的に演奏を聴くときに感ずる比率とが、仮に異なっておれば、ここでは後者を手掛かりとした判断がなされることになり、不明瞭な点はなくなる。また、動作要因の入りこむ余地は、極めて少ない。

4. 3. 2 方法

被験者

正常な聴力を有する 21～23 歳の男性 6 名が被験者となった。被験者は全て九州芸術工科大学音響設計学科の学生であり、音響技術者のための基本的な音楽演奏の訓練と、聴能の訓練とを受けている。

教示

次のような教示が、デモンストレーション、図解を用いてなされた：


- (1) 2つの隣接する空虚時間が、マウスのボタンをクリックした2～3秒後に呈示されます。
- (2) 時間の長さの比率が、数／音符（いずれか一方が用いられる）で指定された比率になるように調整してください。ここで時間の長さとは、区切音の始まりから始まりまでの長さを指します。（音符を用いる場合）1番目の音の始まりから、3番目の音の始まりまでを1拍とみなしてください。
- (3) 試行の初めに呈示される比率は、指定された比率とは明らかに異なるように感ぜられるはずですが、そうでないときには実験者に知らせてください。
- (4) マウスの操作によって、時間の長さの比率を変化させたり、パターンを呈示したりすることができます。
- (5) 十分に調整して指定された比率が感ぜられると思うときに、マウスの操作により、試行を完了してください。
- (6) いろいろと試みたにもかかわらず、指定された比率を実現することが難しい場合には、マウスの操作により、試行を放棄してください。
- (7) パターンは何回呈示してもかまいません。試行の初めには、いろいろな比

- 率を試してみるために、かなり粗い調整を行ってください。
- (8) 呈示のたびに、新たな気持ちで音を聴いてください。
- (9) 音楽、話し言葉、コツコツ叩く音などを、意図的に想像したり、体を動かして時間を測ったりしないでください。時計は絶対に見ないでください。
- (11) この実験は、どのように感ずるかを調べるためのものです。物理的に正確な比率を作ろうとしないでください。

刺激および装置

実験6の隣接呈示条件などと同じように、継時的に示される3つの短音が、隣接する2つの空虚部分を区切るような分割時間を、刺激パターンとして用いた。刺激パターンは、パーソナル・コンピューター (Commodore Amiga 500) によって発生され、制御された。区切音には、電子的な打楽器音として聴くことが可能であり、かつ制御しやすい音を探した結果、500 Hz のパルス列を、3.5 kHz の低域通過型フィルターに通したものをを用いることにした。その持続時間は約 8 ms である。この区切音は、オーディオ用増幅器 (Onkyo AG 5)、ヘッドホン (AKG K141) を通して、防音室内の被験者の左耳に呈示した。人工耳 (Brüel & Kjær 4152) を用いて測定したレベルは、約 83 dBA (定常音のレベル) であった。

配置と手続き

被験者が、パーソナル・コンピューターのマウスを定められたように動かして、マウスのボタンをクリックすると (押して離すと)、3秒後に刺激パターンの呈示が始まる。このとき、被験者の正面に置かれたブラウン管に、指定された比率が、数比条件では、数で (例えば 3 : 1 と) 示されており、楽譜条件では、音符で (例えば  と) 示されている。一つのセッションの中では、数比条件、楽譜条件のいずれか一方のみの試行が現れる。

第1音の始まりから、第3音の始まりまでの時間長を「全体の長さ」と呼び、第1音の始まりから、第2音の始まりまでの時間長を、全体の長さで割った値を、「時間長の分割比」と呼ぶことにする (これまでの実験の場合と同じである。)。1試行の中では、全体の物理的な長さが固定されており、調整によって、物理的な分割比が変化する。楽譜条件では、1番目の音符の始まりから、3番目の音符の始まりまでを、1拍とみなし、3番目の音符は、次の拍の始まりを示すと考える。楽譜は図2-1に示したものに似ているが、五線は用いなかった。また、休符を一切用いず、3番目の音符は、黒丸のみで示した。この黒丸が次の拍の始まりを示すものであり、これを任意の時価 (音価) を有する音符とみなしてよいことを、教示の際に説明した。全ての被験者は、ある程度の音楽経験を有しており、「楽譜」の意味を即座に解して課題を行うことができた。指定された比率は、数で示すと 1:3, 1:2, 1:1, 2:1, 3:1 の5段階であり、音符で示した場合にも、この5段階に対応する指定がなされた。この5段階を分割比で表すと、0.25, 0.33, 0.50, 0.67, 0.75 となる。全体の物理的な長さとしては、180, 360, 540, 720 ms の4段階を設けた。この実験は、標準刺激と比較刺激とがあるような通常の調整法の手続きから外れているので、上昇系列と下降系列と言う言葉の意味が少し変化するが、調整の開始点において十分に小さい分割比を設定する「上昇系列」と、十分に大きい分割比を設定する「下降系列」とを設けた。比率 (5段階)、

全体の長さ（4段階）、系列（2種類）を変化させることによって、40種類の試行ができるが、この40試行をランダム順に並べたものを1ブロックとした。数比条件、楽譜条件のいずれにおいても、被験者ごとに、1ブロックの訓練に続いて、2ブロックの本測定を行った。この際、ブロック内で適当に休憩を挟んだ。被験者の半数については、数比条件の測定を先に実施し、半数については楽譜条件の測定を先に実施した。いずれの被験者についても、両条件の間には最低2週間の間隔を置いた。

4. 3. 3 結果と考察

数比条件、楽譜条件のいずれにおいても、「全体の物理的な長さ」と「指定された比率」とで定まる調整条件のそれぞれに対して、6名の被験者から合わせて24の測定値を得た。調整の結果得られた物理的な分割比（0より大きく1より小さい）の平均値を図24に示す。また、指定された比率からのずれが、統計学的に有意であったかどうかを、24回の比較に基づく符号検定（両側）の結果に従って表13に示す。図24、表13の双方において、数比条件、楽譜条件のいずれにおいても、0.5よりも小さい分割比は、より小さく産出され、0.5よりも大きい分割比は、より大きく産出される、と言う傾向をはっきりと読みとることができる。すなわち、指定された比率よりもより極端な（1:1から遠い）比率が産出されている。この傾向は〈つけくわえ仮説〉から予測されるものである。

ここで、被験者が「主観的な比率」と指定された比率とが等しくなるように調整を行ったと考え、更に、〈つけくわえ仮説〉に従って、空虚時間の主観的な長さが、その物理的な長さに80msを加えたものに比例すると仮定すれば、実験結果は図24に実線で示すような値を取ると予測される。この予測は、一部の例外を除いて、指定された比率と物理的な比率とのくい違いをよく表しており、〈つけくわえ仮説〉の妥当性を定量的に示している。

仮説による予測からの逸脱が見られるのは、全体の長さが180msで、指定された比率が0.25（1:3）あるいは0.75（3:1）である場合のみである。これらの条件においては、仮説から予測される物理的な分割比が、1:35ないし35:1となり、短い方の空虚時間が5msとなる。ところが、実際の調整によって得られた比率は、それほど極端ではなく、図24の該当する箇所では、グラフが不自然に曲がっている。今回の実験条件においては区切音の長さが8msであったので、2つの音の始まりから始まりまでの時間長の下限値を、実験システム（コンピューター・プログラム）において10msに設定してあり、5msという予測値が実現されることは不可能であった。しかしながら、この下限値が実際の測定値に現れたことは一度もなく、短い方の空虚時間は、全被験者の平均を取れば20msを超えているので、極端に短い時間間隔を避けるような別の要因が働いたと考えるのが妥当であろう。平均して20ms未満の時間間隔が得られるような調整を行った被験者は、数比条件、楽譜条件においてそれぞれ1人しかいない。

2つの音の前後関係が知覚されるためには、音の始まりから始まりまでの時間間隔が、20ms程度必要である（Hirsh, 1959）。（20msと言うのは音波が約7m進むのに要する時間であるが、20ms以内の時間内に生じた2つの音響事象を、継時的なものとして知覚することは、数メートルの距離を置いて物理的に同時に生じた2つの事象を、継時的なものとして知覚することにつながり、環境に適應するうえで必ずしも有利ではない場合がある。）被験者は、2つの音を継

時的な事象としてははっきりと知覚するために、言いかえれば、2つの音の始まりのあいだに時間間隔を明確に知覚するために、この程度の物理的な時間長を必要としたであろう。仮説のうえでは5msという極端に短い時間長が必要とされる場合、被験者は、2つの音を継時的な事象として知覚しうる範囲内で、できる限り短い時間長を選んだ可能性がある。ただし、今回の実験では、調整が不可能であると思われる場合には放棄してよいことを、教示の際に明確に述べてあったにもかかわらず、実際に放棄された試行が全くないので、被験者は、ある程度納得したうえで、試行を完了したと考えられる。短いほうの時間長が20msよりも短くなるときに、対応する主観的な長さが急激に短くなる可能性もある。話し言葉や音楽には現れないような、極端に短い時間間隔の知覚は、本研究の対象ではないが、将来の研究を必要とする複雑な面を持つことが示された。

表13 実験8。数比条件、楽譜条件、および両条件を併せた場合における、指定された比率からの調整結果のずれに関する符号検定。有意差の判定に際しては、6名の被験者から得られた24の物理的な分割比を、指定された比率と比較した。<*/<**：指定された比率に相当する分割比よりも、5%/1%水準で有意に小さい。>*/>**：指定された比率に相当する分割比よりも、5%/1%水準で有意に大きい。

Assigned ratio	Numeric-ratio condition				Notated-ratio condition			
	Total duration [ms]				Total duration [ms]			
	180	360	540	720	180	360	540	720
0.250 (1:3)	<**	<**	<**	<**	<**	<**	<**	<**
0.333 (1:2)	<**	<**	<**	-	<**	<**	<**	-
0.500 (1:1)	-	-	-	-	-	<*	-	-
0.667 (2:1)	>**	-	-	-	>**	>*	-	-
0.750 (3:1)	>**	>**	>**	>**	>**	>**	>**	>**

Assigned ratio	Combined			
	Total duration [ms]			
	180	360	540	720
0.250 (1:3)	<**	<**	<**	<**
0.333 (1:2)	<**	<**	<**	<*
0.500 (1:1)	<*	<**	-	-
0.667 (2:1)	>**	>*	>**	>*
0.750 (3:1)	>**	>**	>**	>**

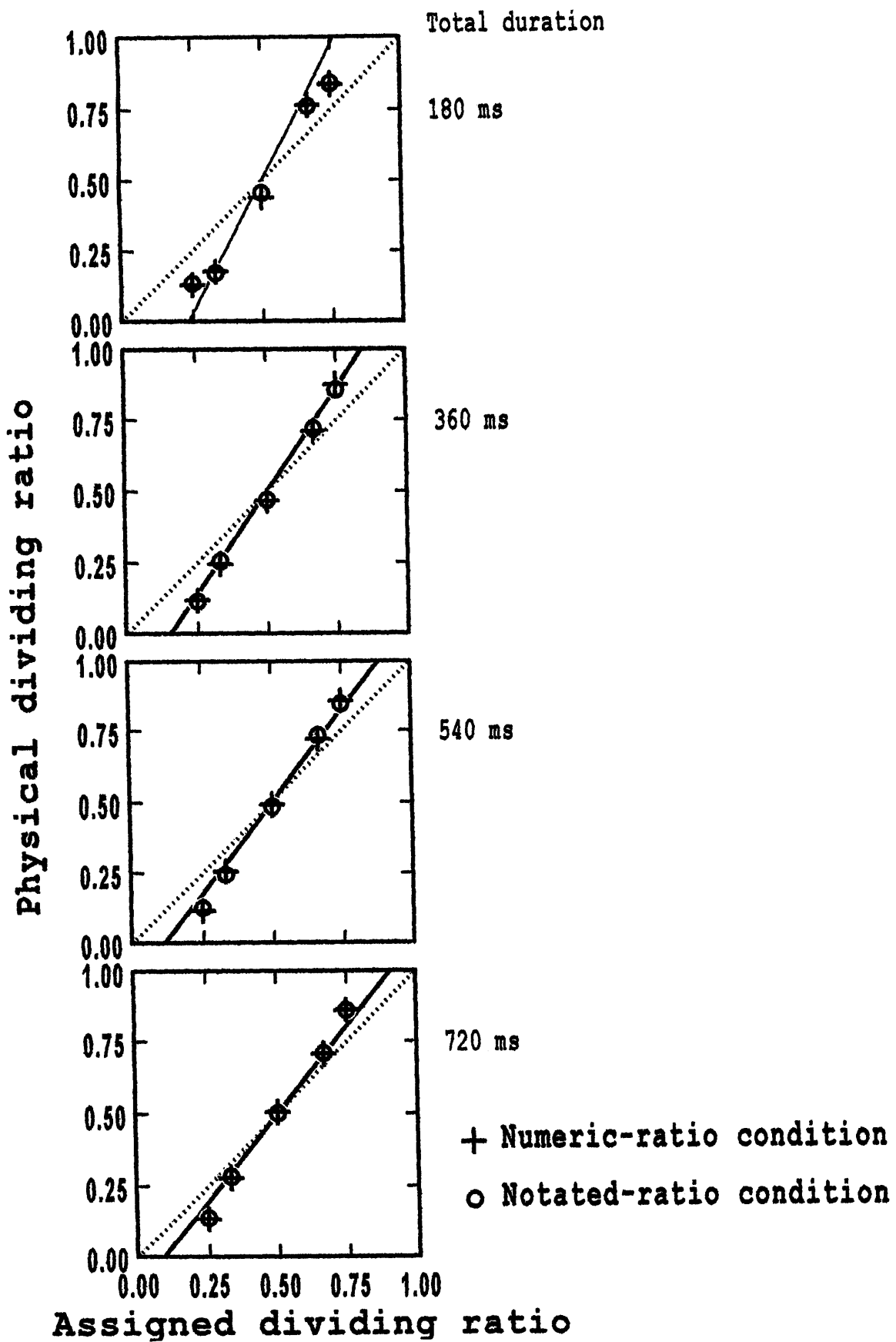


図 2 4 実験 8。調整によって得られた物理的な分割比。各点は、24 の値の算術平均値を示す。点線は物理的な時間長と、主観的な時間長とが比例する関係を示し、実線は〈つけくわえ仮説〉からの予測を示す。

なお、問題の箇所においては、調整の結果生じた空虚時間の一方が、これまで<つけくわえ仮説>を適用する下限としていた 40 ms を下回るのので、仮説に修正を加える必要は認められない。むしろ、40 ms 程度を境目に、単純な心理尺度を当てはめることが困難になることが、再確認されたと考えてよい。ただし、本実験に見る限り、この下限の値を約 30 ms に引き下げることができそうである。

実験 7 においては、音楽に関する専門的な訓練を受けた被験者に、楽譜で示したリズムの演奏を求めたのに対して、本実験では、音楽経験はあるが専門家ではない被験者に対して、動作要因を取り除いた実験を行い、結果の一般性を確かめることができた。さらに、同じ被験者に対して、音楽的な文脈を取り除いた測定をも併せて行い、同様の結果を得た。これは、実験 1～6 にかけて行った比率判断の実験から得られた結論を、異なった実験手法によって補強すると同時に、実験 7 におけるリズム演奏（リズム産出）の結果が、他の精神物理学的な実験と、具体的なデータのうえで結びつきうることを確認するものである。

なお、伝統的な精神物理学の見地からは、数比条件における測定を、隣接する空虚時間を用いるのではなく、十分に長い時間間隔において離れた 2 つの空虚時間を用いて行うことが望ましい。そこで、そのような実験を予備的に行った。その結果、指定された比率よりも、産出された比率のほうが極端に（1:1 から遠く）なるという、本実験の傾向をある程度確かめることができた。しかし、データのばらつきや、時間順位効果が大変大きくなり、そのようなデータから定量的な考察を進めることは、大変難しいことが判った。そもそも、日常生活におけるリズム知覚に関して、隣接する時間間隔の長短関係や、時々刻々のテンポの増減を知覚することは多いが、時間的に離れた時間間隔の長短関係を判断することはほとんどない。このことと、実験室で時間的に離れた時間長の比率を判断することが難しいこととは、対応しているとも考えられる。しかし、実験 6 の隣接呈示条件と分離呈示条件とにおける標準偏差を比較すると、分離呈示条件における標準偏差のほうが大きいとは限らないので、分離呈示条件における判断の方が難しいとは一概に言いきれない。日常生活においては、時間長の長短比較のみを行うか、時間長の比率を単純な比率と関係づけるかの、いずれかを求められることが多く、実験 6 でのように、複雑な比率と関係づけるような判断を求められることはあまりない。それゆえ、本実験でのように、実験者が単純な比率を指定するような実験状況のほうが、日常生活におけるリズム知覚の状況に近いと言える。この場合には、隣接呈示条件と分離呈示条件との違いが現れる可能性がある。

以上の考察に従えば、本実験における数比条件は、日常生活におけるリズム知覚の仕組みを探るうえで、最も基本的な条件であると考えられ、そのような条件において<つけくわえ仮説>が支持されたことは重要である。今後、より広い範囲の時間長に関して、同様のデータを蓄積することが有益であろう。

4. 4 まとめ

楽譜に示される時間の分割比と、物理的な時間の分割比とを対応づけるような実験を行い、一拍の分割に関して、<つけくわえ仮説>が極めてよく当てはまることが判った。このことは、日常生活において時間長の比率を精密に判断することを求められるときに、我々が、物理的な時間長について判断しているのではなく、それとある関数関係によって結びついた主観的な時間長について判断しているということを、明確に示しており、中島（1979）の研究から本研究に到るまで

の精神物理学的な取り組みが、適切な方向を示していたことを裏付けるものである。別の条件においては、数によって単純な分割比を指定すると言う、日常生活に近い実験場面において、指定された分割比が感ぜられるように時間長の比率を調整することを、被験者に求めた。この場合にも、仮説の当てはまりは極めて良かった。