

# 4分音の「ぶつかり」がピアノの音の聞こえ方にもたらす特殊な知覚の発生条件

## Occurrence condition of specific perception for hearing piano sound "conflicted" with quarter-tone

山 本 裕 之

YAMAMOTO Hiroyuki

If piano sound tuned with 12-tone equal temperament conflicted with other instrument by quarter-tone, heard as if badly tuned piano. Investigated and considered what kind of conditions required for occurrence of this specific perception phenomenon effectively. Consequently, found that if producing piano and other musical instrument sound at the same without delay can be obtained best effects. In addition, discussed this specific perception is considered as "paracusis", and can be applied for composition works.

### 1. はじめに

20 世紀前半より、イワン・ヴィシュネグラツキー Ivan Alexandrovich Wyschnegradsky (1893-1979) やアロイス・ハーバ Alois Hába (1893-1973) らが積極的に用い始めた微分音は、西洋芸術音楽において 12 平均律に満足しない作曲家達にとっての新たな音楽的資源として認められはじめた。とりわけ 20 世紀後半になると、フランスを中心としたスペクトル楽派が音響学的な裏付けによって微分音を用いることをより科学的に後押ししたことなどにより、微分音は本格的に普及した。ヴィシュネグラツキーは微分音を 12 平均律からの発展形として使用し、ジェラルド・グリゼイ Gérard Grisey (1946-1998) やトリスタン・ミュライユ Tristan Murail (1947-) らスペクトル楽派の作曲家達は、楽器音のスペクトルを加算合成して新しい響きを得るための手段として微分音を用いている。このように、微分音は旋律的な「横の動き」を拡張するため、あるいは「縦の響き」である和音に 12 平均律では実現できないような音響的性質を与えるためなど、様々な理由で積極的に用いられてきた。たとえばジェルジ・リゲティ György Ligeti (1923-2006) は民族音楽をヒントに、西洋の固定された音組織システムである 12 平均律に「異質な音組織が侵入してくる」ような用い方として、微分音を積極的に導入している。これは表現の拡張としての微分音の使用とは異なり、西洋のシステムに対する批判的な切り口を微分音に求めるという意味では、微分音黎明期の作曲家やスペクトル楽派などとは少し異なったスタンスである。

このように一口に微分音といっても、その使用目的は様々であるが、いずれにせよ伝統的な 12 平均律とは異なる音高（ピッチ）の導入が現代の西洋芸術音楽における多様性に深く関わっていることは確かであろう。筆者は 2006 年より微分音の中でも広く用いられている「4 分音」、すなわち半音をさらに半分に等分した微分音を積極的に自作に用いている。その中でも特に、音律が 12 平均律に固定された鍵盤楽器（主にピアノ）に対して、4 分音を鳴らせる弦楽器や管楽器などで 4 分音を「ぶつける」、つまり 4 分音だけずらして音を同時に鳴らすことを行ってきた。その目的は、音に「うなり」を起こすことによって聴き手がピッチを正確には把握しにくくすることにより、筆者の作曲上の関心事である「音の曖昧性」を強調することにある。ところがこのような作品を発表するごとに、聴衆から「ピアノの調律が狂ったように聞こえる」との指摘を多く受けるようになった。いうまでもなくピアノの調律は固定されているため、4 分音がぶつかったときに限って「ピアノの調律が狂う」などということは実際には起こりえない。この知覚現象について、作品を発表するごとに聴衆からは「なぜそのように聞こえるのか？」という質問が増えた。この問いに対して筆者は明確な答えを持たないが、一方で 4 分音の「ぶつかり」をどのような条件で起こせば「調律が狂った」ように聴き手が知覚しやすくなるのかについて強い興味を持った。4 分音が鳴っている中でピアノが遅れてぶつかることが、このように聞こえる理由だと指摘した作曲家もいたが、はたしてそうだろうか。ピアノがその楽器に対してどのようなタイミングや条件で弾かれるとこの現象が起こりやすいのか、それらを整理し理解した上で効果的かつ安定的にこの現象を作品に導入できれば、新しい楽器が新しい音楽を生んできたように、新たな音楽的資源としての価値をこの知覚現象に見いだせるのではないかと考えた。

## 2. 研究方法と実施

4 分音の「ぶつかり」は、ピアノとその他の楽器（以降、「4 分音楽器」と呼ぶ）の組み合わせによって作り得る。この二種の楽器が鳴るタイミング、音高の上下関係や 4 分音楽器の種類による違いによって、「調律が狂った」ような知覚はどのように発現されるのかをできるだけ明らかにするため、4 分音の「ぶつかり」を含む楽曲を実験参加者に聴いてもらい、データを集めて分析し、考察する。

実験は予備調査と本調査に分けて行った。予備調査では、既にある 4 分音の「ぶつかり」を含むいくつかの楽曲（筆者作）を 4 名の実験参加者に録音で聴いてもらい、どのような箇所「調律が狂った」「音が歪んだ」などと感じるかを楽譜上にマークしてもらい、そこから本調査で実験参加者に聴かせる 4 分音の「ぶつかり」のパターンを分類した。本調査では予備調査から導き出した幾通りかの「ぶつかり」のパターンを含んだ数曲の楽曲を制作し、それを 49 名の実験参加者に生演奏で聴かせ、予備調査と同様に「調律が狂った」「音が歪んだ」などと感じる箇所を楽譜上にマークしてもらった。本研究は聴き手を音楽の専門家とは限定していないが、楽曲上の正確な場所にマークをしてもらうことが必要な調査を行うために、今回の実験参加者は予備調査、本調査とも楽譜を正確に読むことができる音楽大学の学生および卒業生に依頼した。

## 2.1. 予備調査

予備調査では、実験参加者に以下の楽曲を録音で聴かせ、楽譜上にマークしてもらった。楽曲はすべて筆者が過去に制作したものである。

1. 《Contour-ism mini》for violin and piano（残響が少なめ）
2. 《Contour-ism I》for tuba and piano
3. 《Contour-ism III》for trombone and piano
4. 《Contour-ism IV》for flute, violin and piano
5. 《Contour-ism V》for flute and piano
6. 《Contour-ism VI》for violin, violoncello and piano (piano trio)
7. 《Contour-ism mini》for violin and piano（残響が多め）

2016年4月から6月にかけて、各実験参加者には以上のべ7曲を続けて、日にちを変えて2回聴かせた。なお実験参加者は筆者が勤務する愛知県立芸術大学の学生4名で、専攻はすべて作曲である。

予備調査の結果から、4名中3名以上の実験参加者が少なくともどちらかの回で「ピアノの調律が狂ったように聞こえた」などと指摘した箇所（例：Figure 1）をピックアップした。これらを俯瞰したところ、「ピアノの調律が狂ったように聞こえる」知覚（以後、「当該知覚」と呼ぶ）に関して、以下のような特徴が見られた。

- ・ ピアノよりも4分音楽器が先に鳴らされている箇所に多く見いだされた
- ・ ピアノと4分音楽器が同時に鳴らされている箇所にも多く見いだされた
- ・ 4分音楽器よりもピアノが先に鳴らされている箇所にも少し見いだされた
- ・ 4分音楽器よりオクターブ下にピアノが鳴っている箇所にも僅かに見いだされた
- ・ どちらの楽器が4分音高いか（あるいは低いか）による違いはあまり見いだされなかった
- ・ 少なくとも中低音域以上では音域による違いはあまり見いだされなかった
- ・ 残響の異なる同一曲（1曲目と7曲目）で比較すると、残響が少ない方では3名以上が指摘した箇所が2箇所のみと少なかった
- ・ 4分音楽器がチューバである場合（2曲目）は、3名以上が指摘した箇所が2箇所のみと少なかった

Figure 1 shows a musical score for Trombone and Piano. The score is divided into two staves. The Trombone staff is in bass clef, and the Piano staff is in treble clef. Dashed lines connect notes between the two staves, indicating intervals. A legend on the right explains the symbols: a sharp sign (#) indicates a 4th interval up from the piano sound, and a flat sign (b) indicates a 4th interval down. Numbers 15, 4, and 3 are written below the piano staff, indicating the number of participants who pointed out the 'wild' tuning sensation at those specific measures.

Figure 1 4分音の「ぶつかり」の例。数字は「調律が狂ったように聞こえる」と指摘した人数

以上の結果から、4分音による「ぶつかり」によって期待される当該知覚現象は、少なくとも「低音金管楽器」あるいは「残響が少ない」場合を除き、多く発生することが推察された。

## 2.2. 本調査

本調査では、予備調査の結果を元に制作する実験用の楽曲に、以下の要素を適宜盛り込むこととした。

- ・ ピアノが4分音楽器に先行して鳴る箇所を含め、これを「PA (Piano Ahead)」とする
- ・ 4分音楽器がピアノに先行して鳴る箇所を含め、これを「PB (Piano Behind)」とする
- ・ 両楽器が同時に鳴る箇所を含め、これを「S (Simultaneously)」とする
- ・ 上記三通りをそれぞれ、「ピアノの音高が4分音上に位置する」「ピアノの音高が4分音下に位置する」の二通りずつに分け、前者を「1」(例：PA1)、後者を「2」(例：S2)とする(以上 Figure 2)
- ・ 1オクターブの開きがある箇所も適宜含める



Figure 2 6通りに分類した4分音の「ぶつかり」パターン

その上で、楽曲は幾通りかの種類(発音原理)の4分音楽器を含み、また本調査で依頼できる演奏者との兼ね合いを考え、以下の編成による楽曲を計4曲制作した。

- ・ 「楽曲1」：violin, violoncello and piano：ピアノと弦楽器
- ・ 「楽曲2」：alto-saxophone, bassoon and piano：ピアノと木管楽器
- ・ 「楽曲3」：trombone, euphonium and piano：ピアノと金管楽器
- ・ 「楽曲4」：violin, violoncello, alto-saxophone, bassoon, trombone, euphonium and piano：ピアノとすべての楽器

調査は2017年2月に1回実施した。49名の実験参加者を一堂に集め、実験の趣旨と方法を説明してから生演奏で各曲を2回ずつ続けて演奏されたものを、その場で実験参加者に楽譜上にマークしてもらう方法で行った<sup>1</sup>。楽譜へのマークは1回目に赤鉛筆、2回目に青鉛筆で記入された。実験会場は残響が少なめである愛知県立芸術大学内の中サイズの教室で行った。残響が少ない教室を選んだのは、当該知覚現象が残響の多い録音で比較的多く発生していることが予備調査で分かったものの、それが音の混濁が引き起こした可能性も考えられたため、そのような条件をできるだけ排除するためである。残響を少なくすることによって、当該知覚が楽器音同士の干渉によって引き起こされるものに制限することができると考えた。なお実験参加者は筆者が勤務する愛知県立芸術大学の学生(46名)、卒業生(1名)、名古屋音楽大学の学生(2名)からなり、専攻はそれぞれ作曲(12名)、声楽(9名)、ピアノ(10名)、弦楽器(9名)、木管楽器(6名)、音楽学(3名)であった。

<sup>1</sup> 記入に際しては、ピアノに限らずどの楽器でも「音が歪んだ」「狂って聞こえる」など感じた箇所にマークするよう指示した。

### 3. 分析

実験参加者によってマークされた箇所をカウントして集計した。各曲とも2回ずつ演奏しているため、たとえば一つの箇所におけるカウントの最大数は49名×2回＝98となる。ただし、演奏は実演だったため、リズムがずれたり、4分音がうまく出せなかったなど、集計に含めるには不適切な箇所もあり、そのようなところについては問題のない回のみ(すなわち最大値49)をカウントした。これらのカウントをパーセンテージに変換して集計した。

なお、すべての楽器が参加する「楽曲4」では、ピアノと「ぶつかる」各4分音楽器のデータをその種類ごとに分類し、それらを「楽曲1, 2, 3」(すなわち弦楽器、木管楽器、金管楽器別)に振り分けて集計した。これは分析を楽器種別ごとに行うためである。

#### 3.1 タイミング別分析

すべての楽曲を通して、有効に採取できた箇所のサンプル数は、Table 1の通りである。

	ピアノと弦楽器	ピアノと木管楽器	ピアノと金管楽器	計
S1	6	4	3	13
S2	2	6	4	12
PA1	3	6	4	13
PA2	4	6	3	13
PB1	8	9	3	20
PB2	8	10	5	23
計	31	41	22	94

Table 1 データのサンプル数

なお、同じ条件が連打で連続している(たとえばまったく同じ音でPB1が連続して鳴らされる——その場合、間に休符はないものとする)場合は、最初の音のみを対象とし、続く連打音は集計から除外してある。

集計の結果、実験参加者が楽譜上にマークした箇所の大半は、どの楽曲においてもピアノの音であった。すべての楽曲における当該知覚現象の総平均値は、S1が42.2%、S2が41.6%、PA1が6.2%、PA2が4.2%、PB1が28.8%、PB2が35.1%である。これを楽器種別ごとに見ると値はいくらかの

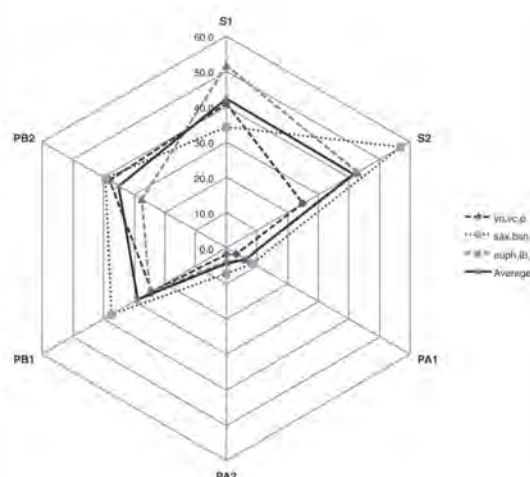


Figure 3 「ぶつかり」種と楽器編成別による当該知覚発生率



ばらつきがあり、たとえば金管楽器では S1 が 51.7% と半数を超え、また木管楽器では S2 が 57.0% と比較的高い値を出している一方、同じ S2 でも弦楽器では 25.0% に留まっている。いずれにせよ S、PB、PA の順で値が大きく、「1」と「2」、すなわち音高の高低関係による大きな違いは見られない。また PA は楽器種別によらずほぼ一桁台と低い値になっている (Figure 3)。

楽曲中の S、PB、PA のどれにも当てはまらない他のすべての音については、一部を除いて概ね 0.0% から高くても数% のところが多い。PA については予備調査で当該知覚現象の指摘が何力所かあり、本調査においても特に木管楽器の 6 箇所 で 10% 台の数値が見当たるが、どれも概ね低い数値であるといえる。このことから、PA については「どれにも当てはまらない他のすべての音」と同様に当該知覚がかなり起きにくいと考えてよいと思われる。そのため本稿では以降、主として S および PB を分析および考察の対象とする。

### 3.1.1 当該知覚率の高い箇所

S および PB は概ね高めの平均値を出している。とはいえ極端に高い数値ではなく、約半数前後の人が当該知覚現象を認識している程度である。ただしこれは平均値であって、同じような条件でありながらさらに高い数値の箇所もあれば、低い箇所もある。

最も高い数値の箇所は、ピアノと木管楽器による「楽曲 2」の冒頭で、はじめの PB1 の 77.6% である。次の PB2 では 74.5% となっている (Figure 4)。

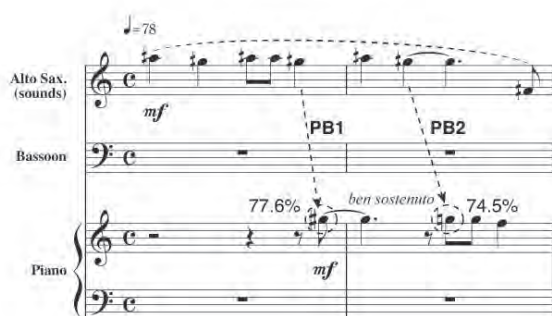


Figure 4 当該知覚が 70% 以上の箇所

この箇所では実験参加者のおよそ 4 分の 3 が当該知覚現象を認識したことになる。ただし、70% 台を記録したのはここだけである。この部分は曲の冒頭であり、はじめに 4 分音楽器であるサクソフォンが単独で鳴り、それに重なるようにはじめて鳴ったピアノ音が PB1 である。次の箇所もサクソフォンが同じ音を鳴らしている中で重なったピアノ音はまだ 2 つ目の音である。実験参加者にとってはピアノの PB 音に対する最大限の集中が起こり、なおかつ他に気を取られる要素がない条件であるため、ここまで高い値になったと考えられる<sup>2</sup>。

次いで数値の高い 60% 台の箇所は、ピアノと木管楽器の「楽曲 2」およびピアノと金管楽器の「楽曲 3」にそれぞれ 1 箇所ずつ (Figure 5 A. および B.)、そしてピアノとすべての楽器の「楽曲 4」に 3 箇所 (弦楽器とのぶつかりが 1 箇所 (Figure 5 C. の 1 小節目)、木管楽器とのぶつかりが 2 箇所

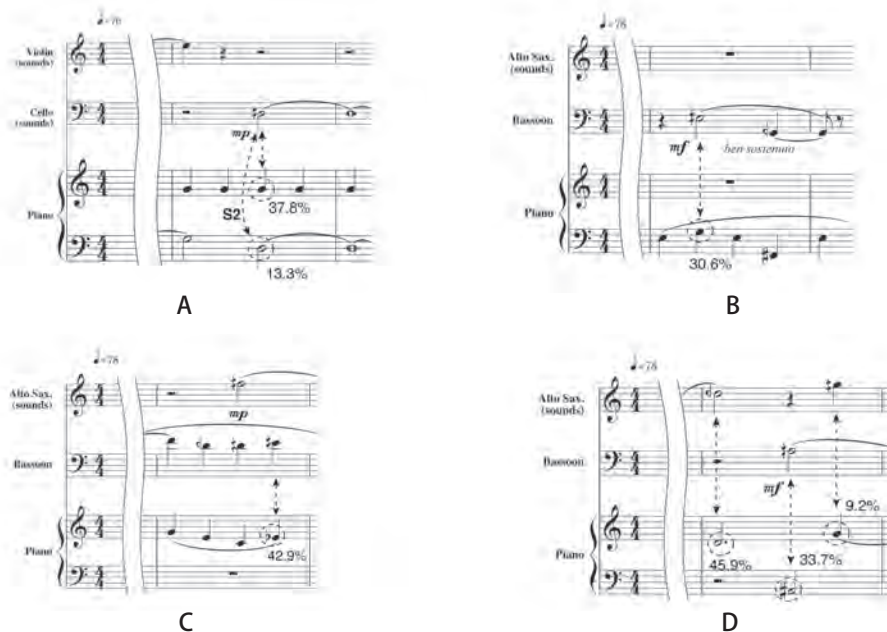
<sup>2</sup> 他の楽曲の冒頭はすべてピアノが先に鳴っているため、同じような条件のサンプルは他に設定していない。

所（Figure 5 C. の3小節目およびD.）の合計5箇所あり、このうち4箇所がS2だった。



Figure 5 当該知覚が60%以上の箇所

一方で、S、PB、PAのいずれにも該当しないにもかかわらず、パーセンテージが高い箇所もいくつか見られた。特に30%を超えるものはピアノと弦楽器の「楽曲1」に1箇所（Figure 6のA.）、ピアノと木管楽器の「楽曲2」に5箇所あった（Figure 6のB.～E.）。





E

Figure 6 想定されない箇所における当該知覚率の高い例

Figure 6 の A. では、4 分音楽器(チェロ)に対して 1 オクターヴと 4 度(11 度)上にあるピアノ音(G 音)が 37.8% となった。ただし、同時にチェロに対して 4 分音の「ぶつかり」を S2 で生じている音もあり、これは 13.3% と S としては低い数値となっている。つまり S の「ぶつかり」よりも、同時に鳴る違う音でより高い値を記録している。この G 音はその前から連打されており、3 拍目で S2 の「ぶつかり」が同時に起こったことによって連打音が影響され、聴覚上の「錯覚」を引き起こしたものと推察することはできるが、この一例のみから判断することはできない。

B. では 2 楽器間に長 2 度と 4 分音の音程(すなわち 4 分音 5 つ分)が、また C. では増 1 度と 4 分音(4 分音 3 つ分)の音程がある。この 2 箇所は 4 分音の「ぶつかり」と呼ぶことはできない。にもかかわらず前者は 30.6%、後者は 42.9% と無視できない値となっているが、その理由は不明である。

### 3.1.2. オクターヴ違いの当該知覚率

一方、Figure 6 の D. の 3 箇所および E. では、4 分音の「ぶつかり」が 1 オクターヴ離れて起こっている。D. ではそれぞれ 45.9%、33.7%、9.2%、E. では 43.9% と一箇所を除いて比較的高い値となっている。このオクターヴ離れた箇所における現象は予備調査でも確認されていたことから、本調査では「楽曲 1, 2, 3」の中で計 8 箇所 (S が 5 箇所、PB が 3 箇所) の「1 オクターヴと 4 分音でぶつかる」箇所を設定してあった。これらの値の平均値は 26.5% であり、また S が PB よりも高くなっている (Table 2)。

1 oct.+S (5 samples)	1 oct.+PB (3 samples)	平均 (8 samples)
31.2%	18.6%	26.5%

Table 2 1 オクターヴと 4 分音の「ぶつかり」

サンプル数が少ないため一概にはいえないが、S や PB に該当しない PA とその他の箇所の値がほぼ 0.0% から高くても一桁台であることから考えると、平均で 26.5% という値は明らかに高いといえるだろう。



### 3.1.3. 当該知覚率の低い箇所

逆に S あるいは PB であるにもかかわらず、4 分音の「ぶつかり」が当該知覚をあまり誘発しない箇所もある。25% 未満のサンプルは全 94 サンプル中 16 箇所あり、うち 15 箇所は PB である（Table 3）。

	ピアノと弦楽器	ピアノと木管楽器	ピアノと金管楽器	計
S1	0	0	0	0
S2	1	0	0	1
PB1	4	3	2	9
PB2	1	2	3	6
計	6	5	5	16

Table 3 当該知覚率の低いサンプル数

このうち唯一の S である箇所は、Figure 6 の A. で示した「連打音に錯覚をもたらした」きっかけとなったと推察される「特別な」箇所である。これを除くと、当該知覚率の低い箇所は PB に限定して起こっている。ではこれら 15 箇所の PB では何が起きているのだろうか。すると、以下のような幾通りかの「原因」と思しきものが見当たる。

1. 低音域にある（Figure 7 の A.）
2. 固定された 4 分音楽器の音に対して、PB1 → PB2 のようにピアノ自身が半音動く（Figure 7 の B. ～ D.）
3. 直前、あるいは他のパートに目立った動きがある（Figure 7 の E.）
4. 直前に先行する当該知覚がある（Figure 7 の F. ～ H.）
5. 理由不明

このうち 1. ～ 4. は、必ずしもこれらの条件下で常に当該知覚率が下がっているというわけではない<sup>3</sup>。しかし条件の一つとして考察する意味はあると思われる。

当該知覚と音域の関係については後述するが、楽曲中に低音域のサンプルはわずか 2 箇所しか設定していなかったため、低音域における「ぶつかり」については他に比較できるデータがない。ただし予備調査の 2 曲目におけるチューバの「ぶつかり」にもあまり当該知覚が見いだされなかったことから、低音域が当該知覚率の低さの理由である可能性はあるだろう。

2. では一つの固定された 4 分音楽器を軸にして、ピアノが半音動く（つまり PB1 から PB2 へ、あるいはその逆の連続した動き）ケースである。Figure 7 の B. および C. ではその間に別の音が挿入されているものの、音型の特徴から聴き手にとってこれら二音間の半音は比較しやすい位置にある（C. では先行音が PB ではなく S だが、後続音への影響は同じと考えられる）。このような場合、後続する PB の値はいずれも小さく、また概ね同一の実験参加者に見られる。このような現象が確認できたのは興味深く、おそらく「先行音で耳が『慣れ』てしまう」ことが可能性として考えられるだろう。

<sup>3</sup> たとえば、2. のような半音階移動で数値が僅かに上がった場所も一箇所あった。



Figure 7 当該知覚率の低い例

3. は『『4 分音のぶつかり』への耳の誘導が他の要素に邪魔される』ケースと思われる。E. の 1 小節目にあるピアノの C 音は、自身の低音からの動きの最後に位置する音であり、この上行形が耳に残っている可能性がある。3 小節目 F# 音の箇所では、高音部に目立った動きがある。

4. も「邪魔をされている」と考えられるケースである。F. ではピアノのD音（PB2）が鳴ったときには既に長3度下のB♭音がその前小節から持続しており、それ自身PB1として34.7%の知覚を生じている。後のD音がこの当該知覚に「邪魔をされた」としても不思議はない。ほぼ同じ現象はG.とH.でも見られる<sup>4</sup>。ただしこれらのケースでは互いの時間間隔が短いため、直前の音に本当に「気を取られた」以外に、実験参加者が楽譜にマークし損なった可能性も否定できない。

以上のようにSやPBであっても当該知覚が低くなることの原因が推察できる箇所はあるものの、残り5サンプル（PB1が2箇所、PB2が3箇所）については原因を推察することができなかった。

### 3.2. 音域別分析

予備調査ではチューバを用いた楽曲で当該知覚の指摘が少なく、本調査でもその様子が垣間見られたことから、低音域における当該知覚発生率が低くなる可能性があることは既

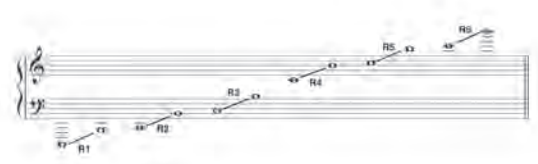


Figure8 音域

に指摘した。ではその他の音域ではどうだろうか。本調査の全楽曲中において、最低音域および最高音域についてはサンプルを設定した箇所が僅かであったため集計はできないが、ここでは一般的な楽曲で頻繁に用いる4つの音域（Figure 8のR2～R5）、すなわち中低音域から中高音域までについて集計した（Figure 9）。

平均としては中高音域（R5）が中低音域（R2）に比べてやや値が高いものの、全体としては33.9%から42.8%の間の違いであり、あまり大きな差はない。ただし、SおよびPBの値を個別に見るとかなりばらつきがあり、特にPBは中高音域において高めであることがかろうじて見て取れる（S1のR2音域はサンプルがないため除外してある）。

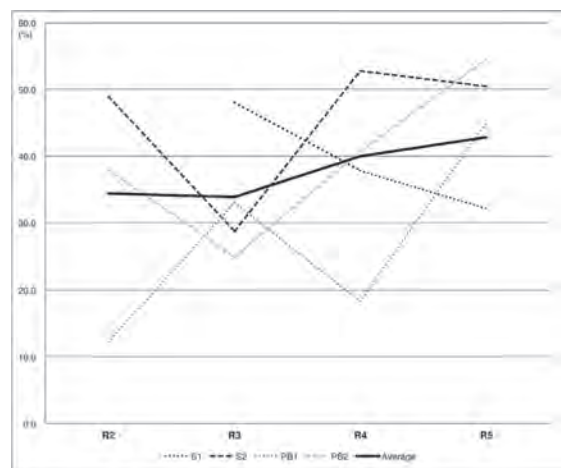


Figure9 音域別当該知覚率

音域別のサンプルは総じて多くなかった上、個別に見ると大きなばらつきが見えるため、この集計からは確かなことはいえないが、中低音から中高音域における当該知覚現象にあまり大きな差はないと考えられる。

<sup>4</sup> ただし、G.の3拍目の4分音楽器（サクソフォン）およびH.の1拍目の4分音楽器（トロンボーン）は、実際の演奏では4分音より少し外れた（前者は4分音より狭く、後者は広かった）ため「参考値」としたが、それでも各々高い値を記録しているので、比較対象たり得るとした。

### 3.3. 楽器種別の特徴

楽器種別による当該知覚発生率については既に Figure 3 で示した通りだが、あらためて個別の数値を以下に示す (Table 4)。

	ピアノと弦楽器	ピアノと木管楽器	ピアノと金管楽器	平均
S1	40.6	34.2	51.7	42.2
S2	25.0	57.0	42.9	41.6
PB1	24.4	37.3	24.8	28.8
PB2	38.1	39.5	27.6	35.1

Table 4 楽器種別による当該知覚発生率 (%)

既に述べたように、全体の平均としては S が PB に比較して発生率が高い。この傾向を特に表しているのは金管楽器であるが、弦楽器ならびに木管楽器では必ずしも同じ様な結果にはなっていない。これは調査に用いた各楽曲自体が異なることにともない、S および PB の設定の仕方に違いがあることが原因の一つである可能性は否めない<sup>5</sup>。そのほかに、楽器の音色（倍音構造）やアーティキュレーション（発音の仕方）の違いが結果の違いを生んでいると考えることもできるだろう（たとえば弦楽器の多くの音は、できるだけ 4 分音を正確に鳴らすために 4 分音で調律した弦上での自然ハーモニクスを多用したが、金管楽器に比べて音のアタックは弱くなる）。ただし、Table 4 では S と PB を 1 と 2 に分けてあるが、単純に S と PB にまとめてその平均を見ると、弦楽器では S が 36.8% と PB が 31.3%、木管楽器が S が 47.9% と PB が 38.4%、金管楽器が S が 46.6% と PB が 26.5% となっている。このことから、楽器の種別に関係なく S は PB に比較して当該知覚率が高い傾向にあるといえる。

### 4. スペクトログラムによる解析

これまでは各条件で当該知覚がどれだけの確率で発生しているのかを、サンプルの集計を元に分析した。ではこれらの知覚が発生している瞬間に、音自体にはどのような現象が起こっているのだろうか。

「ピアノの調律が狂っているように聞こえる」というのは、現実には起こっていないはずのものを知覚することである。つまりこの現象はある種の「聴覚性錯覚」であるといえる。「調律が狂っている」というのが「ピッチが定まっていない」、あるいは「ピッチがずれているように聞こえる」のだとしたら、そこには 4 分音のように二つのピッチの周波数の差が僅かである場合に、聴き手の聴覚に発生するとされる、いわゆる「うなり」が関係していることが考えられる。この「うなり」が具体的にどのような聞こえ方なのかについて詳細に報告しているものは見当たらない<sup>6</sup>。ただしスペクトログラム解析を行うと、この「うなり」にあたる現象は可視化される。つまり少なくとも「うなり」は聴覚上の錯覚以上に物理現象から説明されうる。以下、本調査の主要な箇所についてスペクトログラム解析を

<sup>5</sup> 楽曲を共通化し楽器編成だけを変えて比較する方法もあるが、繰り返し同じ楽曲を聴いて記憶してしまう影響を避けるため、本調査では異なる楽曲を制作し用いた。

<sup>6</sup> 「うなり」を「ビート」と表現しているものもある（たとえば吉田・亀田 1966）。

行った結果を述べる。なお解析にあたっては「Audacity1.3.12」(Macintosh 版)を用いた。

#### 4.1. 当該知覚率の高い箇所での「縞模様」

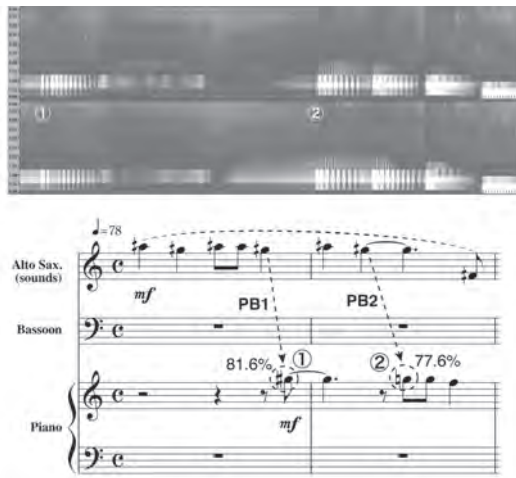


Figure 10 当該知覚が70%以上のスペクトログラム画像

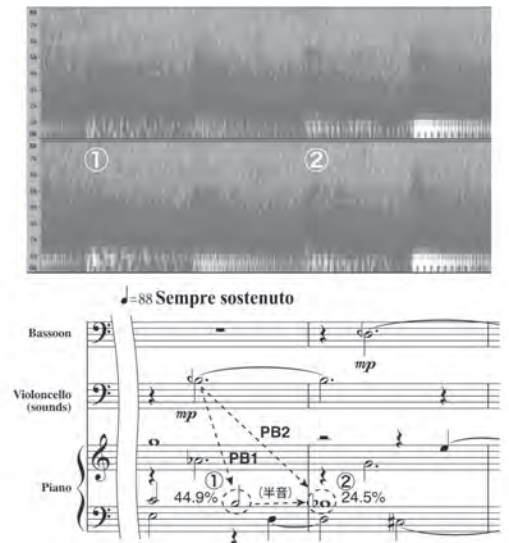


Figure 11 当該知覚が低い箇所でのスペクトログラム画像

Figure 10 は Figure 4 と同じ箇所、すなわち当該知覚が70%を越える箇所をスペクトログラム解析した画像である(1回目の演奏のスペクトログラム解析であり、譜例上の知覚率の数値も1回目のものである)。解析画像の①および②において見られる縞模様は、譜例における4分音楽器(サクソフォン)にピアノが「ぶつかった」箇所にあたり、聴覚上の「うなり」を感じさせる箇所でもある。なお、その直前の4分音楽器のみの箇所ではこの模様は見られない。

逆に、何らかの理由によって当該知覚率が低くなった箇所をスペクトログラムで表示したものが Figure 11 である(1回目の演奏)。これは Figure 7 のD.にあたり、固定された4分音楽器に対してピアノが上下に半音動いている。この箇所では前の当該知覚(①)より後(②)の方の数値が低かったのは前述の通りである。もし物理的に①よりも②の方の「うなり」がより少ないのであれば、縞模様にも違いが出るはずであるが、この解析画像ではその差が確認できない。これはおそらく耳の「慣れ」が数値を下げたことを裏付けるものの一つと考えられる。

以上のように「うなり」そのものは解析画像で確認できるが、条件によっては物理的現象と聴覚は必ずしも一致しない可能性が示唆される。



## 4.2. オクターブ離れている箇所への解析

オクターブ離れているにもかかわらず当該知覚の値が高い箇所のスペクトログラム画像は Figure 12 である。これは Figure 6 の D. の 2 回目の演奏である。この 3 箇所はすべてオクターブと 4 分音の音程関係になっているにもかかわらず、どれも「うなり」を表す縞模様がはっきりと見て取れる。一方の楽器の倍音ともう一方の基音が近い（たとえば計算上①のピアノの第 2 倍音は 587Hz、サクソフォンの基音は 570Hz となる）、「うなり」を誘発しているものと考えられる。なお「①」から「③」へと進むにつれて数値が低くなっていくのは、やはり耳の「慣れ」が起こっている可能性が考えられる。

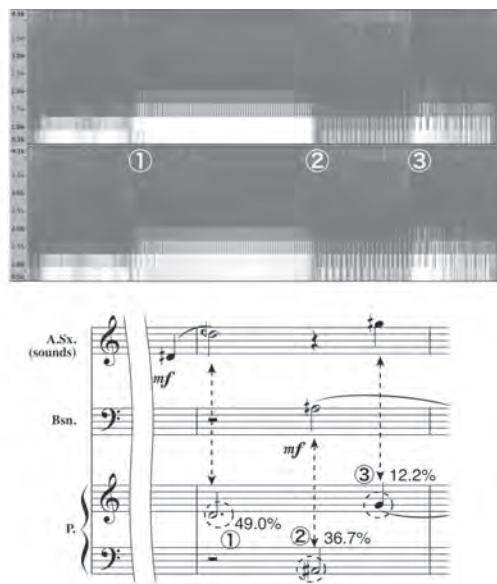


Figure 12 オクターブ離れているが当該知覚の高い箇所におけるスペクトログラム画像

## 5. 考察

### 5.1. 調査のまとめ

本稿の目的は、当該知覚が起こる理由を求めることではなく、当該知覚がどのような条件で多く発生するのかを、楽曲の聴取結果を元にできるだけ明らかにすることにある。もちろん当該知覚は「うなり」に関係すると思われるため、スペクトログラム解析からその様子も観察しようとした。その結果、「ピアノの調律が狂ったように聞こえる」知覚は、4 分音の「ぶつかり」に起因する「うなり」と必ずしも合致しないことを指摘するに至った。つまり当該知覚においては「うなり」のみならず、何らかの聴覚性錯覚も起きていることが考えられる。あるいは、「うなり」が当該知覚に大きな関わりを持つとしても、なぜ一方の楽器、それも本来調律が固定されているはずの「ピアノ」の方が狂ったように導かれるのかは不明である。いずれにせよこの点については本稿の目的を逸脱するため、将来の研究にゆだねたい。

まずは、本調査による聴取結果を整理したい。ここではピアノと 4 分音楽器の鳴るタイミング(3通り)とその上下関係(2通り)の合わせて計 6 通り (S1 と S2、PA1 と PA2、PB1 と PB2) の 4 分音の「ぶつかり」を設定した。その結果、S と PB では当該知覚が比較的多く発生したが、PA は「ぶつかり」が発生していない他の箇所とあまり変わらない値であった。また S と PB を比較すると S の方、すなわち 4 分音楽器とピアノが同時に発生する方が、PB、すなわち 4 分音楽器の後にピアノが鳴るケースに比べて平均値は高かった。つまり S では比較的安定的に当該知覚が発生しやすいことになる。ただしここで注意しなければならないのは、これらの数値はあくまでも全体の「平均値」であり、PB の「ぶつかり」による効果が S と比べて必ずしも弱いことを意味しない。事実、最も高い値を示したのは PB1 であるが、PB であるにもかかわらず値が低い箇所も散見されたためこのような平均値となっている。

次に4分音楽器とピアノの上下関係、すなわち1と2を比べると、SとPBのどちらにおいても特に目立った違いは認められなかった。このことから当該知覚は「4分音でぶつかる」ことが重要であり、楽器間の音高上の関係自体が当該知覚に影響を与えることはほぼないと考えられる。

加えて4分音楽器の楽器種別を比較すると、多少の発生率の違いは見られたものの、どの楽器種別でも概ねSがPBより高い値を出す傾向にあった。本調査では多岐に亘った種類の4分音楽器を用意できなかったため決して一般化はできないが、4分音を作り出せて、かつピアノとの間に当該知覚が発生させられないという楽器は、現時点ではあまりないといえることができるだろう。ただし低音楽器については比較的発生率が下がる可能性がある。

当該知覚は4分音の「ぶつかり」によって発生することを前提としているが、その「応用」として、オクターブと4分音の「ぶつかり」によってもおそらく倍音同士の干渉によって当該知覚をある程度引き起こすことができることも確認した。その一方で、4分音の「ぶつかり」が起こっていないにもかかわらず当該知覚が確認される箇所もいくつかあったが、どのような理由や条件によってそれらが引き起こされたのかについては明らかにできなかった。

そしてPBであるにもかかわらず当該知覚率が低くなってしまうケースについては、「ピアノが4分音楽器に対して半音で動く」「他の目立った動き、あるいは他の当該知覚に邪魔をされる」などの条件下で起こることを確認し、前者については「耳の慣れ」が理由の一つと推察した。ただし、これらのほかに原因が推察できないケースも散見された。

音域ごとの当該知覚の発生率については、平均的に見た場合には少なくとも中低音域から中高音域の間にあまり大きな差は認められなかった。ただしサンプル数が少ないのと、各条件（S、PB、PA）ごとに見たときに数値のばらつきがあったため、この結果はあくまでも「参考」としたい。

以上のことから、当該知覚を最も安定的に導き出す条件は、「4分音楽器とピアノは同時に鳴らし、その音域は中低音から中高音域までを用いる」ことであることが分かった。また「4分音楽器がピアノに先行する」ことでも高い効果が期待できる。加えて「オクターブ違いの4分音の『ぶつかり』」でも当該知覚を発生させることは可能である。しかしこのような条件下であっても、「4分音楽器のひとつの音を軸にしてピアノが半音で動く」「直前に当該知覚を起こす先行音がある」「周囲に他の目立った動きがある」ことがあると効果は下がってしまう可能性があることもわかった。

## 5.2. 聴覚性錯覚の作曲作品への導入

音楽作品において意識的か無意識的にかかわらず、聴覚性錯覚、すなわち「錯聴」が応用される事例は多い。有名なものではピョートル・イリイチ・チャイコフスキー Peter Ilyich Tchaikovsky (1840-1893) の《交響曲第6番 短調 Op.74》の第4楽章の冒頭で、2つのヴァイオリンパートがメロディーを1音ずつ交互に演奏している例がある (Figure 13)。



Figure 13 チャイコフスキーの錯聴

人間の耳は時間に沿ってメロディーを「横に」聴く傾向がある。そのためチャイコフスキーが書いたもの (譜例の A) は、実際には B のように聞こえる。この二つのヴァイオリンパートは実際にはお互い離れたところで演奏されることから、耳には B のメロディーと捉えられながらもそれが幾分不定位に聞こえてくるため、B をそのまま演奏するよりも不安定に聞こえるだろう。チャイコフスキーがこれを「錯聴」と意識したかどうかは不明だが、人間の耳が音をどのように捉えるのかを分かった上で楽曲に応用しているのは明らかである。いずれにせよ錯聴の使用自体が音楽の価値を上げるわけではないが、この例からも分かるように音楽の表現に錯聴が影響を与えることは可能である。

アメリカの作曲家、スティーヴ・ライヒ Steve Reich (1936-) は初期の代表作である2台のピアノのための《ピアノ・フェイズ》(1967) で、はじめユニゾンで開始された12の16分音符からなるフレーズを奏者がずらしていくことによって、元のフレーズで聴かれるのとは異なるメロディパターンが次々と浮かび上がる仕掛けを盛り込んだ (Figure 14)。二人の奏者自身は (特に曲の前半では) 弾くフレーズ自体を全く変えていない。ところがフレーズがずれたときに聴き手には音列の組み合わせが変わったものが聞こえ、同時に元のフレーズは知覚されにくくなってしまふ。これも一種の錯聴といって良いだろう<sup>7</sup>。



Figure 14 ライヒ《ピアノ・フェイズ》

<sup>7</sup> Piano I が同じフレーズをひたすら繰り返しているのに対し、Piano II は16分音符分ずつ前にずれていく。すると譜例3段目のように、1個分ずれたときには濁った重音の羅列に聞こえるが、さらにもう一つずれると上声に新しいメロディが発生したかのように聞こえ、同時に元のフレーズは知覚されにくくなる。なお譜例はこの現象をわかりやすくするために原譜から改変してある。

チャイコフスキーの例では楽曲のごく一部に（しかし効果的に）錯聴を利用しているが、ライヒの場合はそれ自体が作曲上の手法となっており、また音楽のスタイルそのものを方向づけている。このように錯聴が楽曲に与える影響やレベルは様々だが、いずれにせよ古今の作曲家は目に見えない「聴覚の複雑な仕組み」を昔から研究し、作品に取り入れてきた。もちろん作曲において錯聴を取り入れること自体が目的化するわけではないが、音楽においてこそできることでもある。筆者は本稿で扱った 4 分音の「ぶつかり」が自作品の表現として有用であると考え、2006 年以降積極的に用いているが、ライヒ同様に自作品のスタイルにまで影響を与えていることを自覚している。ただこの当該知覚現象は、4 分音や微分音を用いている筆者以外の作曲家の作品にも時折見られることであり、それらの作品にはまた独自のスタイルがある。いずれにせよ、錯聴が音楽作品に様々な形で意識的に用いられる積極的な姿勢は、科学的な研究とともに今後さらに広がっても良いのではないだろうか。

## 6. おわりに

本稿では当該知覚の発生条件について現象的な視点から述べたが、この当該知覚現象をもし筆者以外の作曲家が作品に取り入れるとしたら、その用法や位置づけは当然その作曲家独自のものとなるだろう。本稿をきっかけに「ピアノの調律が狂った」ような不思議な知覚が、筆者以外の作品に、筆者とは違ったアプローチで導入されれば本望であり、また強い興味を引かれるものである。

最後に、本調査において演奏者としてご協力いただいたヴァイオリニストの佐藤まどかさん、チェリストの松本卓以さん、サクソフォン奏者の日下部任良さん、ファゴット奏者の中川日出鷹さん、トロンボーン奏者の村田厚生さん、ユーフォニアム奏者の小寺香奈さん、ピアニストの及川夕美さんに心より感謝を申し上げます。なお本研究は科研費（課題番号：16K02244）の助成を受けたものである。

---

## 参考文献

- 澁谷由香「音楽的資源としての微分音程の使用法について—現代作曲技法の可能性」博士学位論文（博音 211 号）、東京藝術大学、2011 年  
 鈴木純明「スペクトル音楽とジェラルド・グリゼーの創作《ヴォルテクス・テンポルム》の分析を中心に」『NEW COMPOSERS』Vol.9、日本現代音楽協会、2008 年  
 神月朋子『ジェルジ・リゲティ論』春秋社、2003 年  
 ボール、フィリップ『音楽の科学』（The Music Instinct, 2010）夏目大訳、河出書房新社、2011 年  
 難波精一郎編『聴覚ハンドブック』ナカニシヤ出版、1984 年  
 難波精一郎編『音の科学』朝倉書店、1989 年  
 谷口高士編『音は心の中で音楽になる [音楽心理学への招待]』北大路書房、2000 年  
 社団法人電子通信学会編『聴覚と音声』社団法人電子通信学会、1966 年