

音律の検討 III

— 12等分平均律、バッハ音律、ヴェルクマイスター音律、ヤング6分の1各音律における和音の響きの相違 —

岸 啓 子 (音楽科)

(平成18年6月2日受理)

A Research into the Temperament III

— The Character of Triads —

Keiko KISHI

1 はじめに

主要三和音が協和的に響くピアノの最適音律を求め、これまで「小・中学校ピアノ音律への不等分平均律（複合純正律）導入の試み——最適音律選定のための理論的考察」（注1）、「同——三和音の理論的考察、判定、聴取実験」（注2）において考察を進めてきた。この稿の目的は2つである。第1は、前稿まで各音律の音階上のピッチについて旋律と和音の性質・特徴を対象に音律を論じてきたが、ここでは音を構成する要素である倍音を考察の対象として取り上げる。倍音は音色を決定する重要な要素であり、倍音（上部音）すべてをカットして基音のみにすると、音色的特徴が消え、オーボエやピアノ等の楽器の違いを聞き分けることが不可能になることはよく知られている。しかしここで問題とするのは、倍音のこのような音色構成的側面ではなく、倍音の協和的側面およびその基礎をなすピッチ即ち音高的側面である。協和的側面とは、和音の協和理論において倍音列が最も重要な理論的根拠を与えていること、純正音程の振動数比は基本的に倍音列の音の振動数比であることの2点であり、この協和的側面が和音の協和の大きな鍵となっているのである。

倍音は誰もがはっきり個別に聞き分けられる実際の音と比べ、1音それ自体を構成する部分音であって、個別に聞き分けられるものではない（稀に部分的に聞こえることはある）。しかし音楽の響きには極めて重大な効果を持つものであり、古典的和声の三和音の協和理論の根幹をなす要素でもある。また、チェンバロやピアノの調律では、基音どうしだけでなく、基音と低次の倍音間で

のピッチ合わせもしばしば行われている。

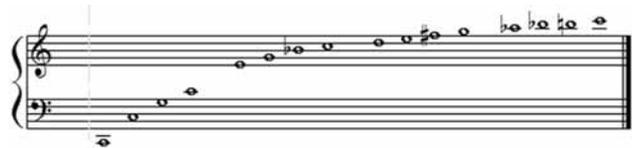
第2は、検討中の音律が、実際の音楽作品でどのような響きを持つかを、曲に則して具体的に明らかにすることである。曲の中に現れる伴奏が12等分平均律、バッハ音律、ヴェルクマイスター第1技法の3、ヤング6分の1各音律でどのように異なる響きを持つかについて、和音を対象に検討する。前稿で和音の純正度表示のために考案した「ひまわり図」を使用し、和音の響きかたを視覚的に把握できるようにした。ひまわり図は三和音の3度・5度について0～5の6段階で純正音程からの逸脱度を表示したものである。（注3）

2 倍音の問題

倍音の協和的側面における問題はピッチ・音高的側面と絡み合っている。この点の問題は、三和音の構成音それぞれの倍音に含まれる音相互のピッチ関係と、三和音の根音に含まれる倍音と実際の音階上の音の間のピッチ関係である。

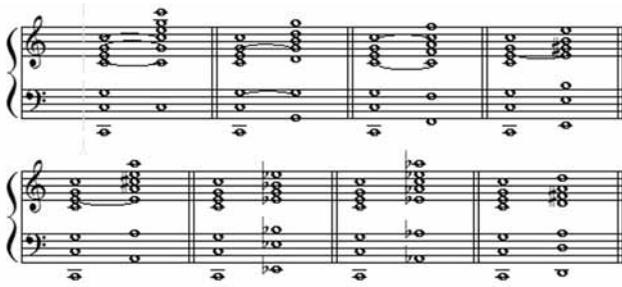
協和音程に現れる非協和性その1：倍音間のズレ

三和音を構成する音程である完全5度と長短3度は倍音列の中にそれぞれ第3、第5、第6倍音として含まれており、例えば長三和音ドミソでは、根音ドを基音とする倍音中にミとソが既に含まれている（譜例1）。



譜例1

単音を構成する倍音自体の中に三和音が含まれている事実が、音組織が三和音に基礎を置く理論的根拠を与えており、この倍音列が協和・不協和理論の判定基準を形成しているのである。現在、協和・不協和の区別はヘルムホルツの「音近親理論Klangverwandtschaft」に基づいてなされており、或る2音の倍音列中に1ないしそれ以上の共通音がある時、その2音は協和状態にあるとされ、共通音がない場合に不協和とされる。判定は第8倍音までで行われ、音階の実音よりかなり低い第7倍音（ソとの短3度は除外される（譜例2））。



譜例 2

譜例2の最初の5つは完全8・5・4度、長3・6度の倍音とその共通音を示したものである。それに対して最後の3つ短3・6度、長2度には互いに共通する倍音が含まれていない。なお長2度ドレのレの第7倍音ドは、音階中のド（即ちドの第2・4倍音）よりかなり低く、この場合もやはり判定基準から除外されているのである（注4）。

しかしここに大きな問題がある。倍音列は言わずと知れた純正音程であるため、音楽の進行する中でその都度音程を形成することのできる声（重唱・合唱）や弦楽器では実際に鳴らす2音を純正音程に取り、倍音列中の共通音を同一ピッチに保つことは可能だが、予め調律しておく鍵盤楽器では、純正音程による純正律が実際上不可能である。よって鍵盤楽器では、特定2音の倍音比較において、楽譜上は同一音であっても、実際のピッチが異なるケースが現れる。そしてこのピッチのズレが、本来協和する筈の音程に、非協和的要素を混在させる結果を生むのである。基になる2音のピッチが音律ごとに異なるため、本来ヘルムホルツの理論では協和音程である筈の2音であっても、実際の協和の程度がそれぞれ音律によって違ってくることになる。

例えば平均律の場合、ドミの倍音のピッチは表1のようになる。各倍音上にあるのがセント値で、上部倍音のオクターブを越えるセント値についてはオクターブ1200セントを減じて表示した。平均律では音階の各音は100セント刻みの数値であるが、倍音が平均律で現れることはない。楽譜上同一音であるドの第5倍音とミの第4倍音であるが、実際のピッチは14セントの差がある。

ヴェルクマイスター音律、バウハ音律、ヤング音律等の古典音律であっても、平均律ほど大きくはないにしてもこの倍音間のズレはやはり生じる。

表 1 平均律ドミの倍音相互比較 単位セント

基音	0	0	702	0	386	702	969	0	
ド	ド	ド	ソ	ド	ミ	ソ	シ♭	ド	
		400	400	1102	400	786	1102	169	400
ミ		ミ	シ	ミ	ソ♯	シ	レ	ミ	

表 2 バウハ音律ドミの倍音相互比較 単位セント

基音	0	0	702	0	386	702	969	0	
ド	ド	ド	ソ	ド	ミ	ソ	シ♭	ド	
		392	392	1094	392	678	1094	161	392
ミ		ミ	シ	ミ	ソ♯	シ	レ	ミ	

表 3 ヴェルクマイスター第3技法第1ドミの倍音相互比較 単位セント

基音	0	0	702	0	386	702	969	0	
ド	ド	ド	ソ	ド	ミ	ソ	シ♭	ド	
		390	390	1092	390	776	1092	159	390
ミ		ミ	シ	ミ	ソ♯	シ	レ	ミ	

表 4 ヤング6分の1ドミの倍音相互比較 単位セント

基音	0	0	702	0	386	702	969	0	
ド	ド	ド	ソ	ド	ミ	ソ	シ♭	ド	
		392	392	1094	392	678	1094	161	
ミ		ミ	シ	ミ	ソ♯	シ	レ	ミ	

協和音程に現れる非協和性その2：実際の音と倍音のズレ

合唱や管楽・弦楽合奏、チェンバロ演奏で和音が協和したとき、全体の響きが豊かに艶やかに膨らむことはしばしば体験される。それとは逆に、倍音と実際の音のピッチがずれて互いに打ち消しあうと、響きは痩せ、極端な場合には不快な唸りを生ずることもある。唸りは2音の振動の差から生じ、ヘルムホルツによると毎秒33振動で不快感が最強となり、毎秒7以下または120以上で最小となるとされている（注5）。倍音はこのように、和

音の響きをプラスにもマイナスにも左右する重要な要素なのである。鍵盤楽器でこのような倍音と実際の音の一致・不一致を決定する究極の要素は、各音の音高を規定する音律にある。平均律が問題とされる最大の原因は、旋律を歌った（奏した）場合の音高（ピッチ）ではなく、和音として響かせた時の響き方であり、その響きから協和的な豊かさを感じ取りにくい点である。端的には、長三和音ドミソの平均律ミ（400セント）が純正長三度（386セント）より約14セントも高く、ハモらない点である。この14セントという大きなズレのために平均律ミは根音ドとハモらないばかりでなく、ドの第5倍音として現れるミともハモらない。

倍音と実際の音の間におこるこの共鳴の有無を確かめる方法は、その倍音に相当する音の鍵盤を、音を鳴らさずにそっと押してダンパーを上げて弦が振動する状態にしたまま、低音域で基音を打鍵し、開放された倍音の弦が倍音への共鳴によって振動し、響き始めるかどうかをチェックすることである。現在のピアノの調律である平均律では、第2、3、4、6、8倍音は共鳴して小さな音を響かせるが、第5倍音の共振はおこらない。第5倍音は長3度音であり、平均律ミと倍音中の純正長3度のミの差であるこの14セントのズレが、共鳴を阻んでいるのである。

音階上のピッチと、各音に含まれる倍音とのズレは、平均律だけではなく、どの音律にもある。このズレを持たない音律はそもそも存在しえず、最もそれに近い純正律も、24調それぞれに24の純正律があって、調性が変わるとに調律しなおさなければならぬために鍵盤楽器での使用は非実際的であり、この考察の対象からは除外している。

音階上の実音と倍音のピッチのズレが、倍音が比較的強く、しかも三和音の他の構成音との共通音であることも多い第8倍音までに大きく現れる場合は、問題である。平均律、バウハ音律、ヴェルクマイスター音律、ヤング6分の1音律でハ長調主和音ドミソについて、音階上のド音に含まれる倍音と実音の共通音のピッチ比較は以下のようになる。単位はセント値で、1オクターブ1200セントを越えるものは1200セントを減じた値（単純音程）で示している。

表5 平均律ドの倍音実音比較 単位セント

音名	ド	ド	ソ	ド	ミ	ソ	シ♭	ド
倍音	0	0	702	0	386	702	969	0
実音	0	0	700	0	400	700	1000	0

表6 バウハ音律ドの倍音実音比較 単位セント

音名	ド	ド	ソ	ド	ミ	ソ	シ♭	ド
倍音	0	0	702	0	386	702	969	0
実音	0	0	698	0	392	698	1000	0

表7 ヴェルクマイスター音律ドの倍音実音比較 単位セント

音名	ド	ド	ソ	ド	ミ	ソ	シ♭	ド
倍音	0	0	702	0	386	702	969	0
実音	0	0	696	0	390	696	996	0

表8 ヤング6分の1音律ドの倍音実音比較 単位セント

音名	ド	ド	ソ	ド	ミ	ソ	シ♭	ド
倍音	0	0	702	0	386	702	969	0
実音	0	0	698	0	392	698	1000	

考察

4つの音律のドミの倍音列間では、基音ドの第5倍音であると同時に基音ミの第4倍音であるミが、両音に共通する倍音である。表1～4の太枠に囲まれたこのミの差を比較すると、平均律では14セント、それ以外ではバウハ音律とヤング6分の1が6セント、ヴェルクマイスターが4セントである。平均律の14セントは飛びぬけて大きな数値であり、平均律では比較的低下の倍音間の調和にも深刻な問題を孕むことがわかる。また、この差はヘルムホルツの協和の理論そのものを危うくするほどの値であると言えよう。一方、平均律以外での差は小さく、ヤング音律に調律したピアノでは先述の実験で、ドの第5倍音と実音ミのピアノ弦の共振が確認された。平均律による一般のピアノでは起こりえない現象である。従って6セントはそれ以下の4セントも含め協和的に優れた値（差）であると言える。

音階上の実音と倍音間の比較では、オクターブおよび実際の音よりかなり低い第7倍音を除外し、第3・6倍音5度と第5倍音3度で比較する。第3・第6倍音ソと実音ソの差は、平均律2セント、バウハ音律・ヤング音

律が4セント、ヴェルクマイスターが6セントとなっている。平均律の2セントは確かに他の音律と比較した場合小さく、ヴェルクマイスター実音（ドソは696セント）と倍音との6セントのズレでは、注意して耳を傾けると、唸りがはっきり聞き取れる。バッハ音律・ヤング6分の1音律の4セントより平均律の2セントのほうが小さく5度については平均律が優位である。ただ、3度が音程的に長・短で形容されるのに対して、5度は完全が冠されているように、その協和度は極めて高く、それ故に僅かのズレでも3度より遥かに目立ち、唸りも耳に付くことも確かである。

以上の点を総合的に勘案すると、3度に問題のある平均律と5度に唸りの出るヴェルクマイスター音律は、倍音を考慮した場合に和音の響きの点でバッハ音律とヤング6分の1音律にこの点で一步譲らざるを得ないと判断される。特に平均律の広めの完全5度に慣れた現代人の耳には、ヴェルクマイスターの狭い5度は違和感があることが、前稿の聴取実験からも明らかである。先述のように倍音列音と音階上実音がきれいに一致する音律そのものは存在しないにしても、若干の差については共鳴を妨害するものではなく、一方、大きく異なるズレは響きの美しさ、豊かさを減じる点を考慮すると、平均律3度がやはり問題ありと判定せざるを得ない。従って倍音関連の判定は、バッハ音律とヤング音律が最適であると言える。

3 ピアノ調律上の問題について

倍音の非整数倍性：理論をほぼそのまま展開できるチェンバロとはことなり、ピアノではピアノ独特の特性があり、音律の理論的計算値をそのまま鍵盤に忠実に展開し難いこと、倍音（部分音）が物理的に理想的な弦を想定した理論どおり整数倍にならず若干上側にずれること（ピアノ音の部分音の非整数倍性）が確認されている。ヴァイオリンやチェロではこの非整数倍性は無視できる程度であるが、ピアノではピアノ線という剛性の高い弦を用いているため、ズレが生じるのである。（注4）

フレッチャーによれば、実際のピアノ弦では、1点c（中央のハ）で第2部分音が基音の周波数より1.2セント高く、8半音上がるたびに値が倍になるという。例えば1点ハ音から2オクターブ上の3点ハ音では、第2倍音

（5点ハ音に相当する部分音）が3.6セント高くなり、このズレは高次倍音ほど大きくなるとされている。

高次倍音（部分音）はピアノの音色に関与するとはいえ、エネルギー自体は第8倍音までの低次倍音がはるかに強く、また、ピアノの88鍵の音域では高音域は中央ハ音から4オクターブ上の5点ハ音までである。仮に先の1点ハ音の4オクターブ上の16倍音のズレを計算するなら7.2セント+ α となる。確かに大きなズレではあるが、高次倍音列は和音ではなく既に音階あるいは半音階的に並んで出現しており、筆者が問題としている協和・非協和の和音区別には直接は関係のないところである。これに対して音律理論の根幹となる主和音自体に、第3音の倍音と実音に14セントのズレを持ち、中央の音域にそれを展開する（従って非整数倍性による差もそれだけ増大する）平均律のズレの方がはるかに大きく問題である。非整数倍性もピアノの調律の重要な性質であるが、それはすべての音律において生じる問題であり、音階上の音高を規定する原理である音律の選定を目指す本稿にとっては、副次的な問題であるので次稿にまわしたい。

調律曲線：基本的に全ての音域のオクターブをそのまま1：2の振動数比で演奏するチェンバロや、弦・管楽器とは異なり、ピアノの調律では、中央の音域のオクターブは1：2の基準値で調律されるが、低音域・高音域で独特のオクターブの拡張がみられ、この伸張の度合いを表示したものを調律曲線と呼んでいる。例えばピアノの最高音5点ハ音の振動数の理論値は4186Hzであるが、実際は74Hzそれより高く、また最低音では理論値27.5Hzより0.4Hz低くなっていることを白砂氏は記述している。このオクターブの拡張は中央ド付近から上下方向へ2オクターブ間（合計4オクターブ）はあまり見られず、鍵盤の両端近くで大きく上下に伸びるもので、楽器個体によって現れ方が異なっている。調律曲線は倍音のインハーモニシティと関連があり、その関係についての研究もあるが（注5）、ピアノそれぞれによって若干異なっている。土橋氏の調律曲線では、中央1点c音およびその付近音域でのズレはゼロで、上下方向に25番、65番キー付近で5セントの差、14番、73番キーで10セントの差となる。これを大きいと見るかどうか、また、度の程度までの調律曲線をピアノ調律の必然と見るかどうかについては、実態を肯定し、報告するだけならとも

かく、望ましい音律を求めて考察を進めている段階では、まだまだ検討すべき課題の多い奥深い問題である。しかし先のインハーモニシティの問題と同様、次稿で扱うことにしたい。本稿の目的は和音の響きを音律理論的に探求することであり、その現実的展開は、次の段階で取り上げたい。「音律の持つ数値は音律の構成理念を表すものであり、調律に当たっては、最終的には音楽的な耳で聴きながら調整する」(平凡社音楽辞典第3巻1513頁)ことが望まれているのである。

4 和音の判定と表示法

伴奏和音：平均律、ヤング6分の1音律、バッハ音律、ヴェルクマイスター第1技法第3の音律における和音を取り上げる場合、まず問題となるのはその旋律にどのような和音が伴奏に用いられるかという和音の決定である。旋律は和音から生まれ、和音は旋律を含むという古典的な和声の法則に拠りながら、伴奏和音の種類や配置、その交代のタイミングにも選択の幅は当然生じる。また、より複雑な陰影を求めるなら変化音も考え得る。しかしここでは、教科書の様式に倣い、基本的かつシンプルな和音を選定した。

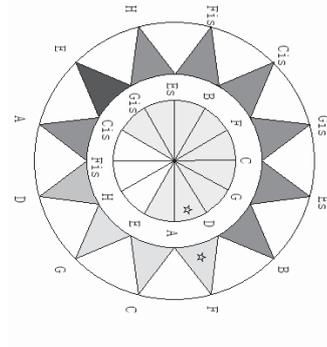
和音の配置：和音の配置についても、根音をバスとするばかりでなく、第3音・第5音をバスとする展開位置もあり得るし、実際、音楽の中でそれらも多用されている。しかしここでは以下の理由によってすべて基本位置で判定した。基本位置3和音が第3音をバスとする第1展開位置をとる場合、例えばドミソの和音ではミソドとなり、ドミの長3度はミドの短6度となる。ギリシャ時代のピタゴラス音律はさておき、それ以外の全ての音律はオクターブを純正の完全8度(音程比2対1)としている。このため、両者は原音程と展開音程として相補的に純正オクターブを形成し、結局、純正長3度からの逸脱値は、そのままその展開音程である純正短6度からの離反値と一致する。例えばドミが386セントなら、ミドは814セント、両音程の合計は1200セントで、一方が純正音程なら他方も純正音程である。平均律ではドミが400セント、ミドが800セントで、どちらも14セント純正音程からズレている。ラドミのラドの短3度も、展開音程ドラの長6度との合計は、音律とは関係なく必ず純正完全8度1200セントとなる。

第2展開位置はソドミとなり、ドソの完全5度がソドの完全4度となる。この場合も両音程の合計は必ず1200セントである。例えば純正律の完全5度702セントとその展開音程の完全4度498セント、平均律の完全5度700セントとその展開音程の完全4度500セントは、いずれも2セントずつ完全音程からずれている。展開音程に直すまでもなく基本形で純正からの隔たりの大きさが測れ、その隔たりの幅は基本音程・展開音程のいずれも同一であるため、和音はすべて基本位置で示した。

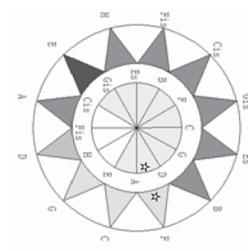
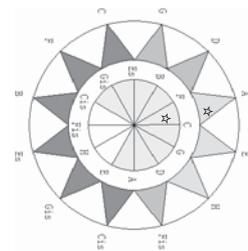
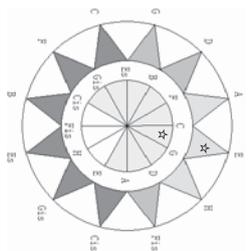
非和声音：非和声音および属7・属9和音を含む7和音・9和音については協和度の表示の対象外とする。音楽教科書が前提する音楽様式の和音は、和声音と非和声音、協和音と不協和音の交替で進行している。本稿が問題としているのは協和音である3和音であり、本来よく協和するはずの3和音が現代の調律・音律によって協和しない状態になっている実態である。非和声音や不協和音は、本来協和しない響き自体に魅力と意味があり、次に来る協和音の安定感・調和感をより一層強めるスパイスとしての役割があり、このスパイスが効果をあげるため、協和音の協和性が必要とされるのである。

ひまわり図：これについては前稿に詳しく述べたのでここでは説明を省略する。以下楽譜を挙げて、その和音が三和音としてどのような響きの協和的特徴を備えているかを分析し、ひまわり図を用いて示す。

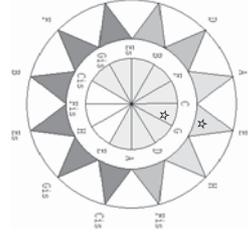
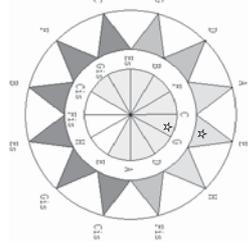
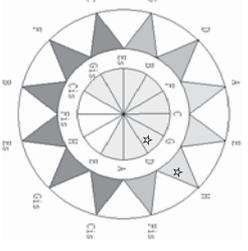
12



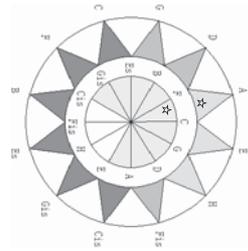
15



18



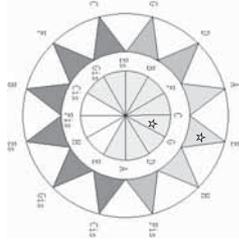
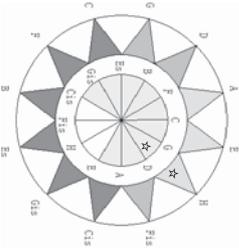
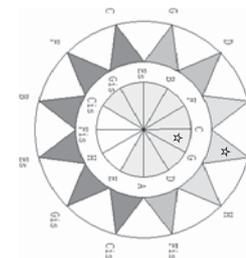
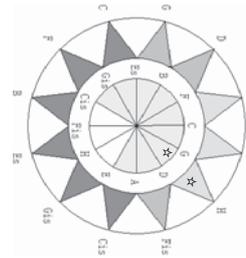
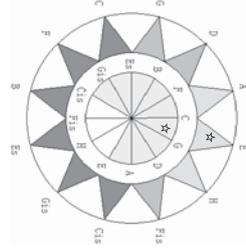
21



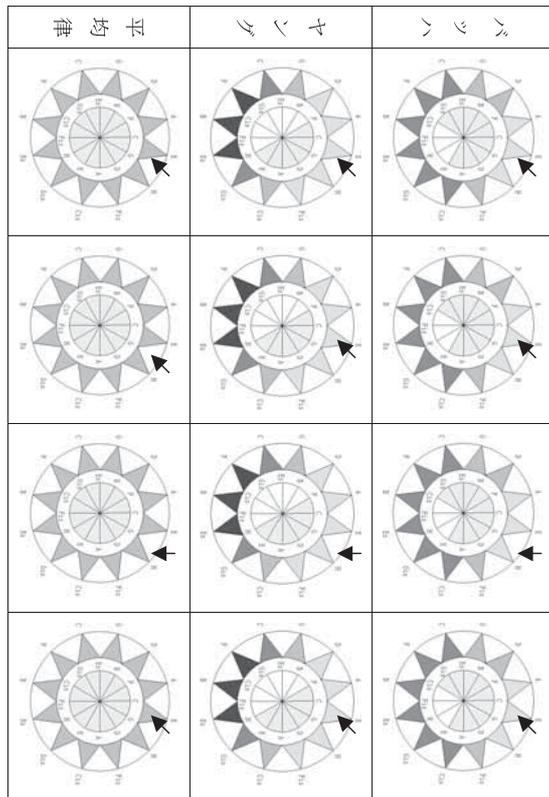
24

27

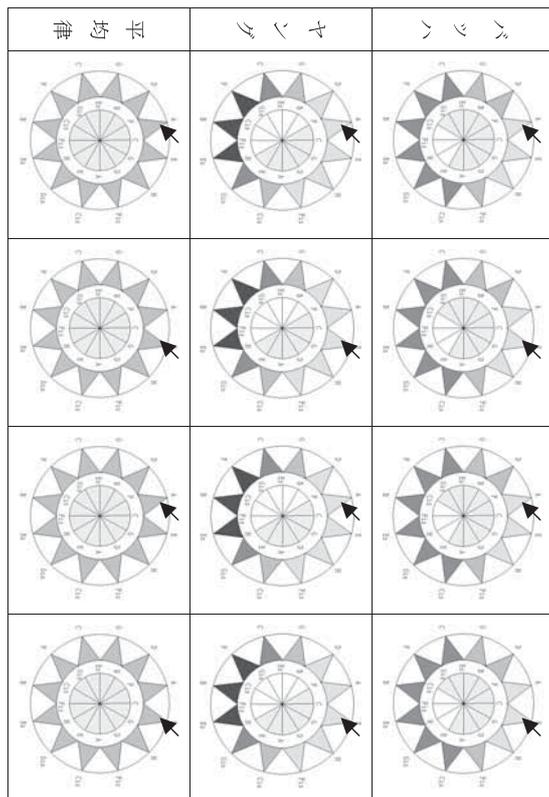
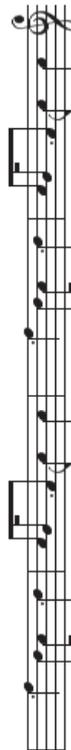
30



譜例 4-1



譜例 4-2



5 『バッハの平均律クラヴィーア曲集第1巻』

『バッハの平均律クラヴィーア曲集第1巻』第1番プレリュードC Durをバッハ音律で演奏した場合の和音を示した。平均律ではどの和音もタイプとしては一様で、音高がスライドするだけだが、バッハ音律では、音色が異なる和音タイプ自体が数種類あり、なおかつ基本的和音は平均律より純正に近い響きを持つ。星印の部分が該当する三和音。長・短三和音以外の不協和音・非和声音は表示していない（譜例3）。

6 教材の和音判定：「聖しこの夜」

小・中学校教材の伴奏和音について判定を行ない、バッハ、ヤング、平均律各音律の和音図で比較した（表9）。バッハ・ヤング音律ではハ長調の主要三和音の3度はレベル2で、平均律のレベル3より良好である。和音の種類が限定されたこの曲ではたまたまバッハ・ヤング音律とも同レベルとなっている（譜例4）。

おわりに

倍音を中心にした考察、および実際の曲での和音の響き方の判定を通して、平均律はやはり問題が大きいことが浮き彫りになった。ヴェルクマイスター第1技法の3は古典音律としては優れた音律で、現在でも古楽で愛用されているが、前稿の聞き取り調査の結果も併せて勘案するとピアノでは倍音関係で若干問題があると言える。

注1 愛媛大学教育実践センター紀要 55-68頁、2005年7月

注2 愛媛大学教育学部紀要第52巻第1号 265-278頁、平成17年10月

注3 ひまわり図のアイデアは筆者による。作図は城戸透氏による。

注4 一般的な楽典では、完全協和音程は完全8度、完全5度、完全4度であり、不完全協和音程は長短3度、長短6度で、3・6度の長短を区別していない。これ以外の長短2度、長短7度および全ての増減・重増・重減音程が非協和音程である。なお平均律では異名同音であるが、その他の古典音律と純正律では原則的に異名異音である。とはいえ実際に鍵盤に音律を展開する調律にあたっては、GisをAsとして、またはAsをGisとして、異

名同音による使用を念頭に置くことになる。その場合も、GisとAsのいずれかの音として調律し、その音でされなかった方の音を代用する。CisとDesについても事情は同じである。

注5 ただしこのヘルムホルツのうなり理論については、問題点も指摘されている。同一音程間であっても唸りはオクターブ上で倍加し、オクターブ下で半減して音域によって変化するため、ひらがな音どとカタカナ音ミの間の長3度が33ビートの不協和の唸りを持つことになる点などである。

注6 安藤由典 新版楽器の音響学 1996 音楽之友社 158、159頁

注7 土橋光義 インハーモニシティから調律曲線を求める (Inharmonicity to Tuning Curve) JPTA会報2005年3 No.126 (99-102頁)、101頁

参考文献

安藤由典 新版楽器の音響学 音楽之友社、1996

土橋光義 インハーモニシティから調律曲線を求める (Inharmonicity to Tuning Curve) JPTA会報2005年3 No.126、99-102頁

D.T.トュルク：クラヴィーア教本、東川 清一訳、春秋社、2000

(原著はDniel Gottlob Türk: Klavierschule,1789)

H.ケレタート：音律について バッハとその時代、竹内ふみ子訳、シンフォニア、1990

平島 達司：ゼロ・ビートの再発見——平均律への疑問と古典音律をめぐって 東京音楽社、1983

平島 達司：ゼロ・ビートの再発見・技法篇——古典音律の解釈と実践のテクニク 東京音楽社、1983

東川 清一編：古楽の音律 (Temperament and Intonation on early music) 春秋社、2001

アニタ・T・サリヴァン、岡田 作彦訳：ピアノと平均律の謎——調律師が見た音の世界、白揚社、1989

H. ケレタート、竹内ふみ子訳：音律について 上巻——バッハとその時代——、シンフォニア、1990

(原著は Herbert Kelleat: Zur musikalischen Temperatur, J.S. Bach und seine Zeit, 1981, Berlin)

東川 清一：シャープとフラットのはなし——読譜法の今昔、音楽之友社、1992

溝部 国光：正しい音階（音楽音響学）、日本楽譜出版社、1984

ジョン・メッフェン 奥田 恵二訳：調律法入門 ——
ピアノから金管楽器まで——音楽之友社、1985

（原著はJohn Meffen: A Guide to Tuning Musical
Instruments,1982）

高橋彰彦 複合純正律ピアノのすすめ ショパンこそ
純正音律で、音楽之友社、1992

Bradley Rehmann, Bach's extraordinary temperament :our
Rosetta Stone, Early Music,vol 33 no. 1 ~ 2

