

Title	感性科学の観点からみた新たな音楽環境づくりの可能性
Sub Title	The future of acoustic design : from the perspective of "kansei" science
Author	棚瀬, 廉人(Tanase, Rento)
Publisher	慶應SFC学会
Publication year	2021
Jtitle	Keio SFC journal Vol.20, No.2 (2020. ) ,p.84- 106
JaLC DOI	10.14991/003.00200002-0084
Abstract	世界的な感染症予防とインターネット文明を融合したニューノーマルへの行動変容が、音・音楽の環境に及ぼす変化への対応を考える。ネット接続の物理空間を「オンライン環境」として再定義し、音を認知・学習するプロセスに及ぶ影響を論じる。実験室実験での従来型感性科学手法にクラウド技術を組合せ、非言語/感性情報からなる集合知による音響設計手段を示す。即ち、人文/社会/自然科学の総合知となるInternet of Humanの概念や遠隔感性科学の可能性に言及し、産官学連携による音作り環境構築の加速を提案する。
Notes	特集 音楽と科学 招待論文：総説・レビュー論文
Genre	Journal Article
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=0402-2002-0084">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=0402-2002-0084</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

[招待論文：総説・レビュー論文]

# 感性科学の観点からみた新たな音楽環境 づくりの可能性

## The Future of Acoustic Design: From the Perspective of “Kansei” Science

棚瀬 廉人

ヤマハ株式会社音響事業本部クラウドビジネス推進部

Rento Tanase

Cloud Business Department Audio Products Business Unit, Yamaha Corporation

Correspondence to: rento.tanase@music.yamaha.com

**Abstract:** 世界的な感染症予防とインターネット文明を融合したニューノーマルへの行動変容が、音・音楽の環境に及ぼす変化への対応を考える。ネット接続の物理空間を「オンライン環境」として再定義し、音を認知・学習するプロセスに及ぶ影響を論じる。実験室実験での従来型感性科学手法にクラウド技術を組合せ、非言語/感性情報からなる集合知による音響設計手段を示す。即ち、人文/社会/自然科学の総合知となる Internet of Human の概念や遠隔感性科学の可能性に言及し、産官学連携による音作り環境構築の加速を提案する。

Behavior modification to “New Normal” for global measures of COVID 19 affects the environment of sound and music. Interconnection of physical spaces on the Internet is redefined as “online environment” and its influence on recognizing and learning processes for sound is discussed. Sound and acoustic design method with collective intelligence extracted from nonverbal “Kansei” information is proposed. Here, cloud technologies and the scientific Kansei technique are combined. In addition, the concept of IoH (Internet of Human) is mentioned as integrated intelligence of humanities, social science, and natural science. Industry-government-academia collaboration is expected for rapid construction of new sound design.

**Keywords:** 音響、感性、クラウドソーシング、クラウドソリューション、ニューノーマル acoustics, Kansei, crowd sourcing, cloud solution, new normal

### 1 はじめに

「特別な夏」。それが本稿を書き始めた 2020 年 8 月の状況である。野外フェスやライブなどの音楽イベントは軒並み中止になった。一部プロスポーツ

---

が無観客興行を再開し始めたとはいえ、オリンピックの「おもてなし」は翌年に延期され、eスポーツを含むスポーツイベントも延期を余儀なくされた。お盆の帰省や墓参りは自粛となり、平和祈念の各種イベントも参加規模を縮小した。世界中の人と人のつながりや伝搬が分断され、小さくなってきている。

一方で、ネットワーク環境の生活シーンへの新たな活用は、否応なく一気に進んだ。テレワーク、リモートワークという言葉が当たり前になり、企業活動や教育の現場では、オンライン環境への移行が進んでいる。良い面があることに気づく一方、従来環境との違いに限界や戸惑いも見え隠れしている。ネット社会到来、リーマンショック後の経済原則に続く「ニューノーマル」は、大きなライフスタイル変革にも及ぶことを実感している。

音楽界隈の、あるいは、音にまつわる人間の営みの「ニューノーマル」はいかなるものになるのか。ネット接続でのデジタル音楽の楽しみ方が普及し、一方で、記録メディアからライブエンターテイメントへの価値のシフトが見られたのが今世紀のこれまでの流れである。無観客ライブの需要が示す通り、人々が渴望するライブへの人気は時間とともに復活し、その価値の提供はこれまで通りに残るとして、それに加えて、ネット活用での映像を伴う音楽のありようやその音響設計技法が生まれるのではないだろうか。ペスト流行後のルネサンスのように。

## 2 オンライン環境の音作りとは

音を学び、音を楽しむ環境は、どのようにデザインされてきたか。曲作り、練習、コンチェルト、オペラ、ミュージカル、コンサート、収録、再生、いずれも、音が出る、音が広がる、音が届くという環境を伴う。演出家や施設的设计者は、これら音環境をコントロールしてきた。いずれも、同一空間内で音が広がることを前提に音環境のデザインはなされてきた。

2020年の「ニューノーマル」では、オンライン環境(インターネットを介した部屋と部屋の接続)での対話が普及し、ある程度の情報伝達・意思疎通が可能であることが、広く知られることとなった。オフライン環境(同一の部屋での対面)での対話や合奏とは異なり、オンライン環境では何かが損なわれ、不足することは、技術的課題として研究者、開発者には以前から認識されて

いた。当たり前だったオフライン環境からオンライン環境に代わった瞬間に、人々は失われたものを補いたくなり、それを不満と感じる。

オンライン環境、即ち、異なる空間の接続では、それぞれの空間の間での音響物理的な差異があり、音響心理的な差異を生じやすいと考えられる。例えば、部屋の大きさや内装が異なれば、音量や響き（余韻）の量は異なる。使用者は、オンライン環境の使用にあたって、その差異に初めて気づくことになる。あるいは、音響専門家でなければ、無意識レベルの違和感かもしれない。最先端でありながら、極めてアナログな問題を孕んでいる。

「ニューノーマル」の前提となる社会はどのように変化していくのか。内閣府が提唱する統合イノベーション戦略2020<sup>1)</sup>や Society5.0<sup>2)</sup>では、デジタル化、センシング、ビッグデータ、AIなどの大量情報/データが流通・利活用され、人文・社会科学の知を融合した総合知によって人間中心の社会の再定義が図られようとしている。これらに鑑みて、音波、ヒトの感性といった、極めてアナログで目に見えない問題と、それと対極をなす先端技術を関連付けて、来るべき社会にどのように音響技術が関わっていくかを考える。

以下、オンライン環境と関連技術を整理した上で、音響物理と感性科学の観点からオンライン環境での音作りについて考える。なお、ヒトは次第に慣れるという前提のもと、日常的となるであろうオンライン環境を中心に考えることとする。

### 3 音体験としてのオンライン・オフライン環境の対比と現状

「軽重、長短、善悪、是非等の字は相對したる考えより生じたるものなり」。福澤諭吉先生の「文明論之概略」からの一節である。以下、にわかに顕在化したオンライン環境を、オフライン環境と相対的に整理し、今後日常的となるであろうオンライン環境の音作りを考える土台を提示する。

音体験としてのオフライン環境とは、2019年までの音が存在する環境をイメージすればそれほど外れていない。「生」、「ライブ」、「リアル」、「Face to face」、「会う」などの言葉で表現され、あまりに当たり前で、意識や定義したことはこれまではなかった概念である。あえて物理的に定義するならば、音が音波（空気の粗密波、気圧の微妙な変化）のみによって伝達される環境であ

---

る。ビジネスシーンであれば、参加者が一堂に会しての会議や面接、ブレインストーミングがそれにあたる。音楽であれば、オーケストラやバンドの合奏、合唱、吹奏楽のパート練習、生伴奏での声楽、レコーディングなど、すべてを網羅的に列挙できないほど幅広く存在する。エンタテインメントとしてのライブ演奏は、上記の演奏者に聴衆が加わることになる。これには、公会堂やライブハウスなどの屋内で催される演目もあれば、フェスや学園祭のように屋外で催される演目もある。研究活動における輪講や学会討議、教育におけるインタラクティブな授業やスポーツ、医療行為などでやり取りされる音、音声の情報は、このオフライン環境のもとに存在することが当たり前であった。改めて、音が（音波が）届くことの意味を考える機会となっている。

音体験としてのオンライン環境とは、音、音声、音楽の情報がいったんデジタル化、符号化され、ネット（インターネット、イントラネットの区別はない）を介して、別の場所、時間に送信され、復号化、再生される環境である。広義には、Blue-ray Disc 映像やネット配信動画も含むが、繰り返される再生コンテンツはここでの議論の主な対象とはしない。「遠隔～」、「テレ～」などと表現される環境を対象とする。ビジネスシーンにおける Web 会議や遠隔操作、教育における遠隔授業、医療機関における遠隔診察、研究活動における実験や輪講・学会活動などがここでの議論の対象である。音楽やエンタテインメント（エンタメ）においては、演奏や演技の練習、指導、発表、公演などである。

ここで、音楽・エンタメのオンライン環境に対応した具体的な取り組みや技術の例として、以下に (1) ～ (5) をあげる。オフライン環境を前提に築かれたこれらの音響技術の蓄積が、「ニューノーマル」に対応していくと期待される。

- (1) オンラインセッションサービス<sup>3)</sup>：ネットワークの「音の遅れ」によるストレスを減らした PC 用演奏アプリである。インターネット回線を介して遠隔地間の複数のユーザ同士で遠隔音楽合奏を楽しむことができる。メトロノーム、録音、リバーブなど音楽体験向上の機能も提供されている。
- (2) クラウド録音システム<sup>4)</sup>：オーディオインタフェースに接続された高音質マイクで演奏音を収録し、PC やスマートフォンアプリにより、クラウドに保存、即共有するシステムである。遠隔地の友人、家族、先生などに音源を提供できる。音源に対するアドバイスなどボイスコメント機能も

用意されている。

- (3) 立体音響収録・再生システム<sup>5)</sup>：演奏会場の音源の存在感や音場の臨場感を64chマイク(7次HOA)で収録するViRealMicとヘッドホンやマルチチャンネルスピーカから再生する音響信号処理技術の組合せである。ヘッドホン再生では、音源から耳元までの音響特性(頭部音響伝達関数：HRTF)を再現し、2ch再生であっても、立体感を再現する。
- (4) 遠隔応援システム<sup>6)</sup>：ストリーミング配信やパブリックビューイングなどの音楽ライブやスポーツ中継、講演会などで、遠隔地から配信元の会場に、応援やメッセージなどを送信できるシステムである。下記の音響通信システムを活用している。
- (5) 音響通信システム<sup>7)</sup>：情報通信できる特殊な音(トリガー音)を音楽などに加えてスピーカから再生し、音の到達範囲にあるスマートフォンなどの様々な受音デバイスに情報を伝達する技術である。放送を経由した伝達も可能で、受聴しているコンテンツにリアルタイムに文字情報などを提供することができる。いわば、音のQRコードである。

次に、オンライン環境とオフライン環境のイベント分類を行う。音、音楽イベントの多くは、シーンや目的によってオンライン、オフラインが融合するケースも多い。松川(2020)<sup>8)</sup>の分類を参考に、時間、空間、方向の三つの切り口で各種イベントを相対分類すると表1になる。時間は、現在すなわち同時/共時か、過去/未来すなわち非同時/非共時に分類する。空間は、同一空間/共空間か、非同一空間/非共空間に分類する。方向は、片方向か双方向に分類する。片方向は、発音と受音を分担するケースであり、双方向は発音と受音の両方を担うケースである。これらの切り口で各種音響イベントを分類して下表にまとめる。さらに、相互接続の状況からⅠ、Ⅱ、Ⅲの3領域を考える。領域Ⅰは、一対多の片方向イベントで、基本的にテレビ放送と同様である。領域Ⅱは、一対一から多対多まで多様な空間相互接続が想定される。領域Ⅲは、一(ヒト)対コンピュータともいえる領域である。領域Ⅰと領域Ⅲは、これまで議論の対象であったが、ニューノーマル対応によって、領域Ⅱの課題が顕在化してくると予想される。領域Ⅰは高い経済効率が情報伝達手段に求められ、領域Ⅲは非日常、あるいは、リアルとの差異が情報伝達手段に

---

求められる。一方で領域Ⅱでは、日常的でオフライン環境と同様な情報伝達  
が求められる点が領域Ⅰ、領域Ⅲと異なる。

表 1 各種音響イベントのオンライン環境、オフライン環境での分類（著者仮説）

	同一空間/共空間	非同一直間/非共空間（別空間、遠隔）
同時/ 共時	オフライン環境：従来  リアル 従来の会議、学会、授業 従来の音楽練習、演奏会 領域O	(片方向) テレワーク、モニタ/観察、遠隔説明、遠隔操作、 音楽ストリーミング、テレビ 領域Ⅰ  (双方向) テレカンファレンス、遠隔レッスン、協調作業、 合奏・ライブビュー、対戦ゲーム 領域Ⅱ
非同時/ 非共時	(片方向) 過去/未来の体験：AR/MR	(片方向) シミュレーション：VR 領域Ⅲ

## 4 物理音響的視点からみたオンライン環境とその課題

### 4.1 パーソナル空間の音響共鳴の影響と対策例

音環境が音の聴取に及ぼす影響を、音響物理の面から考えてみる。図1(A)は防音室など音響モード（音響共鳴による定性的な音の強さの分布性状）を示したシミュレーション結果である（柵瀬，2014）<sup>9)</sup>。濃色は音圧が高く、白色は音圧が低いことを示す。このうち、⑥の158Hzの音響モードは、天井高2.2m程度の部屋で上下方向に必ず生じる音響モードで、椅子に座ったときの耳の位置で、常に音が強調される周波数帯域となる。「プーミー」、「こもる」、「音程が取れない」と評される原因となる（楽音の音高が部屋の共鳴周波数に吸い込まれる）。この周波数は、天井高が2mの防音室であれば170Hz、天井高が3mのオフィスの会議室や海外の居宅であれば113Hzとなる。

オーディオリスニングやカラオケ練習に加え、遠隔会議などCASE/Maas活用が期待される車室においては、音響状況はもっと複雑で、図1(B)のような空間で音を聴取する（柵瀬，2014）<sup>9)</sup>。車室の音響条件は、当然のことながら、車格、車種、シートポジションによって大きく異なる。概して、容量が数人のパーソナル空間では、車室に限らず人間の寸法に起因して、100Hzから200Hzの帯域で部屋の共鳴現象にさらされることになる。

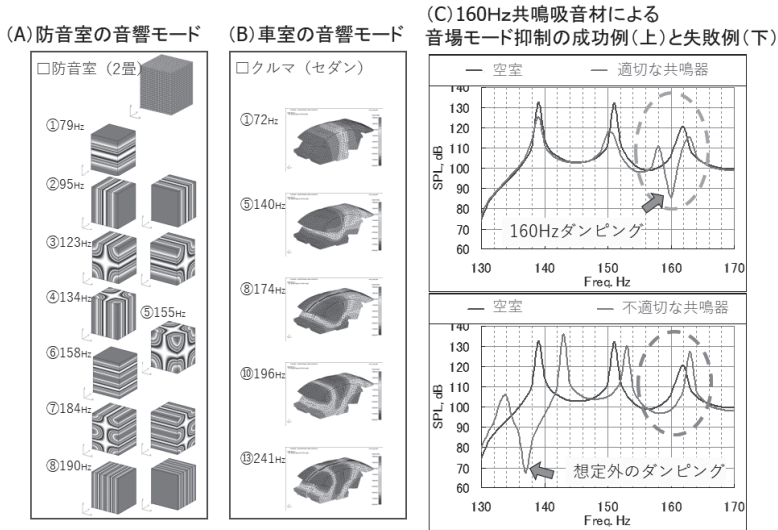


図1 小空間音場制御の例 (棚瀬, 2014)<sup>9)</sup>

図1 (C) および図2は、(A)の空間の音響制御の例である (棚瀬, 2014)<sup>9)</sup>。160Hz帯域の音響共鳴に対処するために160Hzに吸音効果のあるとされる共鳴型吸音材を敷設したときの部屋の音響特性を示す。160Hzの吸音材であっても、効果がある場合とない場合が発生することを示している。低周波数の適切な音響モード対策により、残響感、明瞭度、響きの量などをコントロールすると、吹奏印象(この例ではフレンチホルン奏者)や会話のしやすさが大きく改善されることがわかっている。

このような小空間の音響現象および制御手法は、20世紀初頭に提言された、コンサートホールを対象とした残響理論では説明がつかない。そのため、不要な共鳴を有した無数の部屋が世界中に存在してしまっている。つまり、オンライン環境による部屋の音響接続は、不特定・複数の共鳴装置を相互接続した物理音響モデルが出現することを意味する。



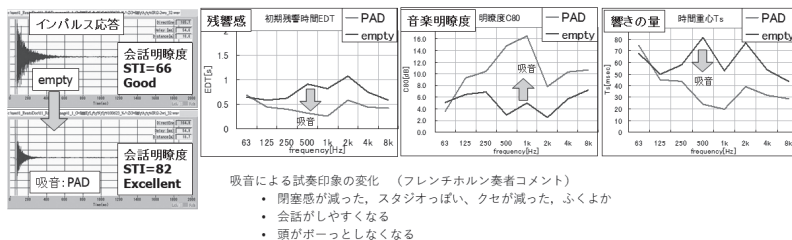


図2 音楽練習室での音響モード制御の例 (棚瀬, 2014)<sup>9)</sup>

## 4.2 音響が認知に及ぼす影響

音楽聴取 / 演奏の能力獲得に及ぼすこれら音響物理的影響を考える。松原ら (2011)<sup>10)</sup> は、メタ認知的言語化による音楽演奏の熟達プロセスとして、次の4つの段階を提案している。

- ① オーケストラスコアやパート譜を読み、曲を聴いて、楽曲を理解するプロセス
- ② オーケストラの演奏を聴きながら、リアルタイムに何が起きているか理解するプロセス
- ③ リアルタイムに状況を判断しどう反応すれば良いか理解するプロセス
- ④ リアルタイムに反応しながら思い通りの表現ができるプロセス

このうち、②と③のプロセスは、聴取環境 / 演奏環境が特に大きく影響すると考えられる。

従来のオフライン環境、即ち、連続的に同一の環境で合奏する場合には、時間経過とともに、あるいは、継続的にその空間を利用することにより、演奏者同士はお互いに感度を研ぎ澄ませて (聴きどころに慣れて) いくことができる。また、映像と音響の情報は、同時に (遅れなく) 伝達され、その環境で人間は学習 / 熟達を重ねてきた。

一方で、オンライン環境では、“接続されている時間だけ”、異なる空間の音が聞こえてくるという環境が提示されることになる。即ち、自分がいる空間の音響特性とは異なる、別の空間群の音響特性が重畳された特性の演奏音を断続的に聞くことになる。音の流れは、音響イベント (発話、発声、発音) →伝達 A →受信→認知→理解 / 思考 / 判断→反応 / 音響イベント→伝達 B →

自己フィードバック、となる。同一空間（オフライン環境での共有）では、伝達 A と伝達 B が略同一（多くは音響の相反定理が成立）であるが、別空間（遠隔）ではこの前提がなくなる。また、多数の接続空間の多数の演奏を接続すると、伝達 C、D、E、・・・が出現する。

ここで、伝達状況の断続変化は、音響物理的には響きの量や質、周波数特性（音質）、相手の音の到達タイミング、自分／共演者の反射音のタイミングなど、多くの音響パラメータにおいて発生する。また、映像と音響の情報のズレも断続的に変化する。即ち、断続的に発生する不連続なズレや変化に対応しながら、音や演奏の学習／熟達を進めていくことになる。

#### 4.3 オンライン環境での音作りと認知の関係

このような、断続的で不連続な音・映像環境の変化が人間の適応や学習に及ぼす影響については、これまで十分に議論されてこなかったのではないだろうか。伝達情報が言語情報、即ち、事実情報伝達、もしくは文字化可能な言語情報であれば、音波を用いずとも伝達できる。むしろ、音波を介在しない手段の方が正確で効率的かもしれない。しかし、ニュアンス、感情、感動、印象、共時、共有、共感など、人間の心理や感性に関わる非言語情報、感性情報を伝達しようとする、音波の符号化（ネット）が介在する影響の取り扱いが重要になってくる。インターネットに流れる非言語情報／感性情報の符号化／復号化の問題、とも定義づけられ、清木（2013）の提案する「意味の数学モデル」<sup>11)</sup>を拡張する概念が必要となろう。

この非言語情報／感性情報の符号化／復号化問題はさらに二つに分類できる。一つは、リアルを再合成するために本質的に必要な情報をいかに効率よく不備なく符号化／復号化するか、もう一つは、符号化された感性情報をいかに積極的に復号／利活用するか、という問題である。拡張現実（Augmented Reality: AR）は、目的や倫理に沿っていれば後者として許容されると考える。

参考までに、会話における非言語情報と音響パラメータの因果に関する仮説を図3に例示する（あくまで著者の試案であり、今後の議論・検証が必要である）。例えば、残響が長い／音が小さい／遅れが大きい、といった場合、発話タイミングや言葉の選び方、結果的に表情などに音響条件の影響が及ぶ

---

と考えられる。異なる音響条件を接続したオンライン環境下では、音響条件の変化が潜在的かつ総合的にコミュニケーションに影響すると考えられる。演奏環境については、さらに深い議論が必要であろう。

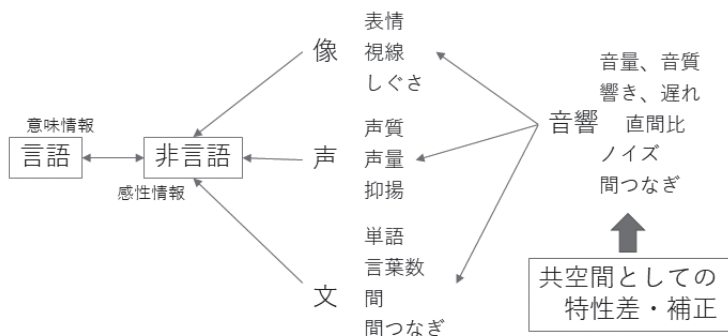


図3 非言語対話への音響パラメータの影響因果の例 (著者仮説)

この解決には、言語情報の伝達経路と非言語情報の伝達経路を分離して、それぞれに効率的手段を適用することが賢明かもしれない。即ち、非言語情報/感性情報の遠隔伝達の手段・評価方法を確立していくことが重要と考えられる。近未来のSF映画/アニメでは、大量の視覚情報(文字・映像)と聴覚情報から瞬時判断するシーンがしばしばみられる。ニューノーマルを経験する人類は、新たなコミュニケーション能力を獲得するのかもしれない。

#### 4.4 小括：オンライン環境における音響設計の新たな問いと課題

コミュニケーションの土台となる音響環境が時間変化を伴うと、音の感性の成長や音楽能力の熟達プロセスは、従来(オフライン環境)とは異なると考えられる。メタ認知のプロセス破綻/停滞や聴覚のゲシュタルト崩壊が発生することもあろう。これらを踏まえ、ニューノーマル・オンライン環境における新たな問いや課題を以下(1)～(7)のようにまとめることができる。

- (1) 複数の異なる音響特性/共鳴特性を接続した複合音響システムでの音の振る舞いはいかなるものであり、どのように制御可能か
- (2) 音の認知プロセスに悪影響を及ぼさない、音響パラメータの断続変化限

界はどの程度か

- (3) オンライン環境下での能力形成や学習過程はメタ認知的にどのように説明できるか、加速学習は可能か
- (4) オンライン環境の断続的不連続条件変化を伴うコミュニケーションでは聴覚のゲシュタルト崩壊は発生するのか
- (5) 学習/熟達プロセスをすでに獲得した人間(オールドタイプ)と環境断続変化する環境下で学習/熟達プロセスを獲得していく人間(ニュータイプ)には、どんな能力変化が生じるか
- (6) 非言語情報/感性情報の遠隔伝達の本質的要件は何か
- (7) 感性情報を符号化してインターネットに流せるか、また、感性情報の復号化は可能か

## 5 感性科学活用の可能性

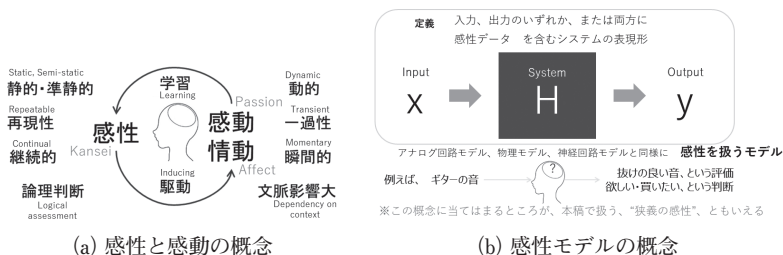
### 5.1 感性科学の取り組み

オフライン環境からオンライン環境へのシフトにより、音響物理的な空間の違いが認知に影響を及ぼすこと、非言語情報/感性情報を遠隔で伝達する手段・評価法が求められていることを示した。ここで、これらの課題の解明に向け、科学的な感性評価の適用を考えてみる。

楽器や音響製品の音作りは、ヒトの感性によるところが大きく、これに科学的に取り組むための仕組みづくりを進めてきた。基本的な考え方として、感性を図4(a)のように、感動との関係性で説明する(柵瀬, 2016)<sup>12)</sup>。即ち、感性が駆動されて感動が生まれ、感動の繰り返しによって、感性は育まれると考える。ここで、感性は再現性を仮定できるという前提であるため、継続的に収集するデータサイエンスを適用できると考える。一方で、感動は、瞬発的、一過性であり、ある特定事象を同時かつ大量にデータ収集すれば、データサイエンスを適用できると考える。これらを総合的に取り扱うために提唱した感性モデルの概念や感性評価システムを図4(b)(c)に示す(柵瀬, 2016)<sup>12)</sup>。今回の問題では、前者の感性データサイエンスの適用を考える。後者の感動データサイエンスは、脳神経科学・リモートセンシング技術の活用が解決を早めるかもしれない。なお、個々の手法や手続き、個人情報を取り

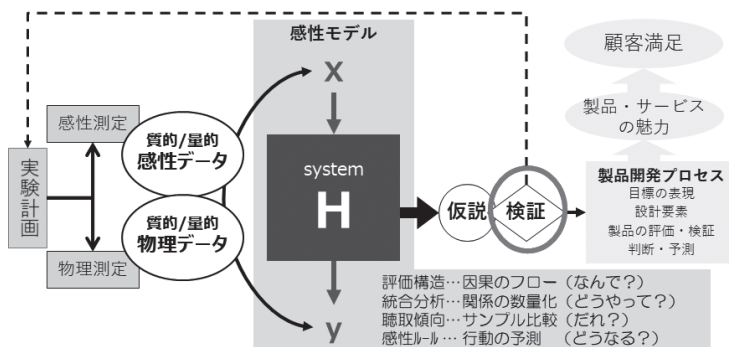
---

扱いなど倫理ガイドラインについては、参考文献(棚瀬, 2016)<sup>12)</sup>を参照されたい。以下、科学的な感性評価の事例を示す。



(a) 感性と感動の概念

(b) 感性モデルの概念



(c) 感性評価システム

図4 感性評価の取り組み(棚瀬, 2016)<sup>12)</sup>

## 5.2 感性評価の構造モデル表現

感性科学の一例として、評価構造モデルの事例を図5に示す(棚瀬, 2016)<sup>12)</sup>。この取り組みの目的は、電子ピアノの「弾き応え」というキーワードの意味を解釈するために、設計者感性評価のモデルを構造的に表現/可視化することであった。設計者間で漠然と暗黙知として存在する印象語を共有化することで、経験者の勘・コツ・度胸ではない、再現性がある形式知として継承できる音作りのコンセンサスの確立を目指した。具体的には、レポートリッド法により導出した仮説モデルに、感性評価データをあてはめ、SEM(構造方程式モデリング)を解いて、有向グラフの偏相関係数を求めている。

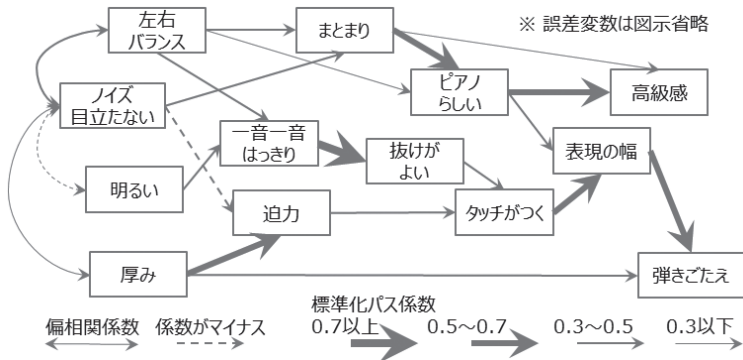


図5 感性の評価構造の例：電子ピアノの場合（棚瀬, 2016）<sup>12)</sup>

このグラフから音の印象の因果を読み取ることで、例えば、ノイズという印象語の多義性を確認できる。ノイズを端緒とする経路を辿ると、ノイズが目立たないと、音がまとまり、ピアノらしく高級感のある音になるという因果になる。また、表現の幅がひろがり、弾き応えがある、と読み取れる。一方で、ノイズが目立たなくないと（図5中破線）、即ち、ノイズが目立つと、迫力があってタッチが付きやすく、表現の幅がひろがり、弾き応えがある、とも読み取れる。一見、矛盾しているようだが、ノイズに二つの意味がある、あるいは、印象語の分解が不十分である、と考えれば、辻褄が合う。構造表現の可視化により、印象語の精度や因果関係の理解が進むという事例である。

### 5.3 異なる音環境から生まれる異なる感性モデル

音を聴取する立場によって評価の傾向が異なることが、オーケストラ vs 吹奏楽団、金管奏者 vs 木管奏者の比較実験で明らかになった（棚瀬, 2016）<sup>12)</sup>。各属性の評価者によるクラリネット音色の印象をまとめると、「あたたかい」、「奥行きがある」といった評価語で、統計的に有意に属性間の差が見られた（棚瀬, 2016）<sup>12)</sup>。感性実験の闇雲な全員平均や多数決は誤った解釈を招きかねない、という事例である。

音を聴取する環境によって評価の傾向が変わることは、ドラム音の実験で明らかになった（棚瀬, 2016）<sup>12)</sup>。アコースティックドラムを叩いてドラム音

を聴取する機会の多いグループ A と、電子ドラムの音をヘッドホンやモニタースピーカーで聴取するグループ B を比較した。複数のドラムのドライソース（無響音）を複数の建築条件（部屋の残響や周波数特性が異なる）で比較評価してもらい、音響物理データとの相関を比較分析した。その結果、グループ A は、低音では部屋の響きの影響を取り除いてドラム音を評価できる一方で、高音では部屋の響きとドラム音を分離して評価することはできなかった。逆に、グループ B は、低音では部屋の響きとドラム音を分離して評価できないが、高音では分離して評価することができた（棚瀬, 2016）<sup>12)</sup>。普段の聴取環境の音響物理的な違いが、音の聞き分けに影響を及ぼす事例である。

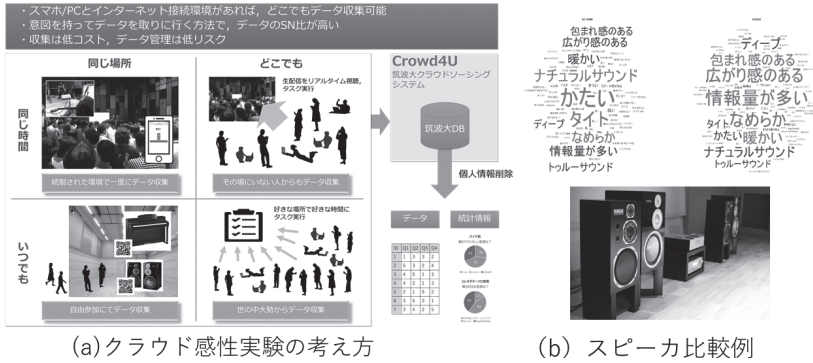
なお、これらの結果は、どちらの耳が良いか、といった短絡的な話ではない。聴取の立場や環境で感性モデルは異なり、感性評価の結果は異なる。そして、その違いは感性モデルの違いとして説明できるということを強調しておきたい。

#### 5.4 クラウドソーシングシステムを活用した感性実験

ここまでの事例の対象/目的は、ヒトとヒトとの感性モデルの違いを表現する可能性や、感性モデルの違いを音響物理データで示すことであった。つまり、人間の感性をデータ表現する研究であり、実験データの精度を確保するために、同一空間で同一の音を聞く厳格な実験統制を準備していた。

次に、不特定多数に対する取り組みを紹介する。各個人のモバイル端末を利用したクラウドデータ収集の仕組みを活用する実験手法である（筑波大学・松原正樹先生との共同研究）。クラウドシステムは、筑波大学の Crowd4U を利用した<sup>13)</sup>。その概念と録音スタジオからライブ配信する楽音を集会施設に集まった群衆 (Crowd) が印象評価する様子を図 6 (a) に示す。また、図 6 (b) は弊社新旧スピーカーを比較試聴して、その違いの印象語を各自のスマホで収集し、ワードマップ化した結果である。音を聞く環境は同一空間としたが、対象は不特定多数で、時間も聴取位置も回答方法も厳格な制限をすることなく比較的自由に実施した。つまり、これらはモバイル端末とクラウドシステムを利用して、大量の感性データを同時取得可能であることを示す事例である。





(a)クラウド感性実験の考え方 (b) スピーカ比較例  
 図6 クラウド感性実験の概念と例 (筑波大学・松原正樹先生との共同研究)

5.5 クラウド実験仮説に基づく感性モデルの分類とパラメトリックな音作り

以上を複合的に利用した事例として、バイク音に適用した結果を図7に示す(柵瀬, 2020)<sup>14</sup>。クラウド実験から音の好みの異なる二つのクラスタが存在するという仮説を導き出し、感性実験で高い再現性を示す少数のエリート評価者のデータを用いて高精度の感性モデルを構造化した事例である。

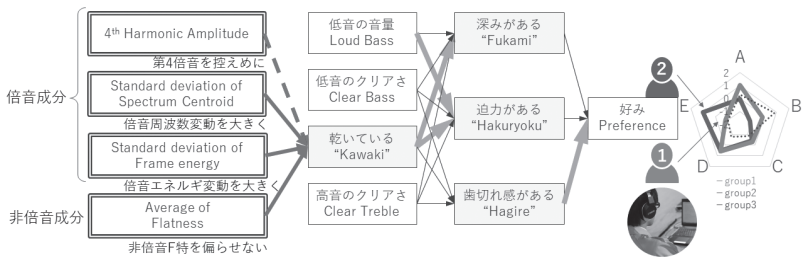


図7 バイク音の感性評価 (柵瀬, 2020)<sup>14</sup>

二つの好みの違いを説明するキーワードは「乾き」であり、その「乾き」に関連する音響物理パラメータを抽出した(柵瀬, 2020)<sup>14</sup>。クラスタ間の感性評価構造と差異の要因となる音響物理特性に辿り着き、その結果をシンセサイザに実装することで、ダイヤル一つで音の好みを選択できる可能性を示



すことができた。この事例は、感性モデルが音作りに利活用できることを示す。また、クラスタ抽出のクラウド実験では、聴取環境 (DA 変換とアンプとヘッドホン) が異なっても、母数を確保すれば仮説導出が可能であることを示すことができた。

## 5.6 オンライン環境での感性評価の活用

最後に、オンライン環境での満足 / 不満の解釈に感性モデルの考え方を適用してみる。オフライン環境からオンライン環境に移行したときのオンライン環境の不満は、図 8 (a) のようなモデルで説明できる可能性がある。即ち、各要素の細かい不満の積み重ねが不満の限界値を超えるかどうか、といった減点法モデルである。一方、図 8 (b) は、オンライン環境を前提に満足度を説明する加点法のモデルである。従来のオフライン環境に対する不満を前提としたオンライン環境の音作りと、オンライン環境が日常的であるとしたときの音作りには差異が生じそうであり、「ニューノーマル」におけるオンライン環境で満足感を得る方向を模索することを提案したい。

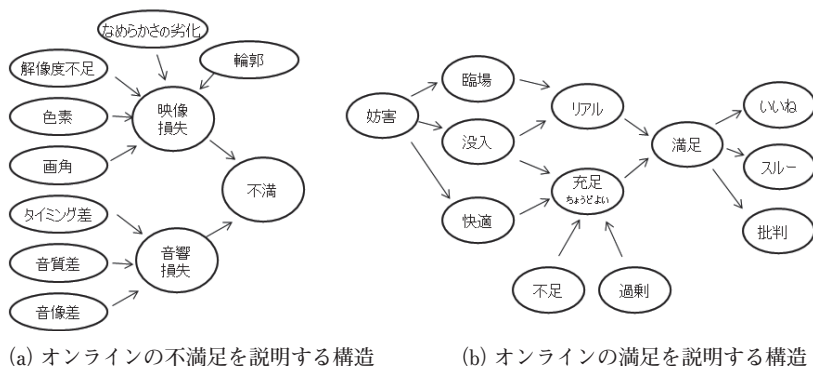


図 8 オンライン環境の満足・不満のモデル化の例 (著者仮説)

## 5.7 小括：感性科学活用の可能性

感性科学の現状として、感性および感性モデルの定義、感性評価システム、クラウドソーシングの活用、感性データの音作りへの活用について紹介した。

また、オンライン環境での満足を目指す方向性について触れた。あらためてオンライン環境を考えるにあたり、感性科学の可能性は次のようにまとめられる。

- (1) 環境や立場によって異なる感性モデルを表現できる
- (2) 異なる感性モデルの平均によるミスリード防止には、クラスタ分類が有効である
- (3) 感性データと物理データを関連付けて、ヒトとモノ、ヒトとオトの関係を感性モデルとして解釈できる
- (4) モバイル端末とクラウドソーシングを活用して同時大量の感性データを収集できる
- (5) 分類された感性モデルを利用すれば、個々の感性に対応した音作りが可能である
- (6) オンラインの満足を生む音作りは、環境変化の不満を減らす音作りとは異なる

## 6 提言：感性科学を利用したオンライン時代の音づくり

ここまでの音響物理と感性科学を関連付ける取り組みや思考を、Society5.0が目指すサイバー空間とフィジカル空間の連結という観点にクラウド技術の利活用を加味して考察してみる。なお、下記で示す「クラウド」は、CloudとCrowdの両方の意味を含ませる。

クラウド感性実験は、不特定多数の大量感性データを、モバイル機器を介して遠隔サーバに集積できる。感性データ取得のための音響コンテンツを、遠隔地から同時発音で再生することもできる。また、感性データの取得に対価を用意することで、クラウドソーシングの仕組みを活用できる。

従来の感性実験は、実験室にモニタ(被検者)を招集、時間拘束して、データを取得することがもっぱらであったが、クラウド実験はその制限を取り払い、大量データの取得を可能にする。一方で、実験条件の固定化は困難となり、条件の揺らぎを統計的な取り扱いで担保する必要がある。これは、新たな社会実験、つまりデータオリエンテッドな人文科学・社会科学の道具を手に入れることはできるが、統計的取扱いに課題もあることを意味する。

対策として、クラウドと実験室を融合した仮説検証ループ、即ち、クラウド実験での仮説→実験室実験での検証→実験室実験での仮説→クラウド実験での検証→クラウド実験での仮説、というループを回すことで精度向上を期待できる。このループは、Society5.0のプログラミング教育で鈴木(2019)が提唱するデバッグ主義<sup>15)</sup>、即ち、AARサイクル(Anticipation、Action、Reflection)を社会実験に適用する研究スタイルに類似するとも考えている。

片方向の音環境条件(主に表1の領域Ⅰ)では、サイバー空間からクラウド配信されるコンテンツや出題を、フィジカル空間で人間が処理し、サイバー空間のクラウドデータセンタにデータを集積、解析することができる(図9(a))。人文科学・社会科学としてのデータ解析は、Society4.0の範疇かもしれない。このデータを用いて、フィジカル空間の音響条件にフィードバックが加わると、自然科学要素や工学要素も融合したSociety5.0が実現されると考える。

双方向の音環境条件(主に表1の領域Ⅱ)では、同時に複数のフィジカル空間が接続される以外は、片方向と大きく変わらない。但し、複数のフィジカル空間それぞれの組合せからのデータ解析結果を統合的に取りまとめ、各フィジカル空間の間のカップリング条件にフィードバックをかけていくことになる。例えば、音環境Aは、音環境B～音環境Fとの全ての接続経路からのデータ解析結果を用いて、音環境Aの音響条件にフィードバックをかけていくことになる(図9(b))。こうなるとあまり複雑なことは難しく、音環境や音の提示

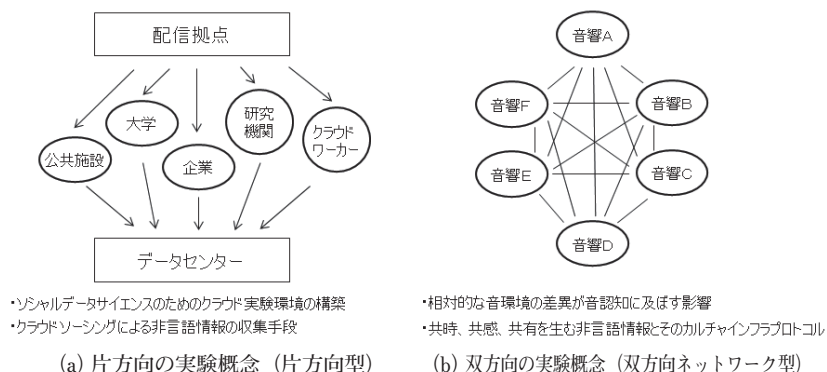


図9 クラウド遠隔音響実験の概念図(著者仮説)

手段を簡単な音響モデルで表現しておくことが肝要になると想像される。

これらを一般化すると、クラウド環境を活用して、人を知り、場を知り、音を知り、音や場を人に合わせて調整する、新たな音作りの方向性が見えてくる。つまり、ヒューマンコンピューテーションとしての感性データ集積にクラウドソーシングを活用し、各個人環境に合わせた音がデータオリエンテッドで提供される、という音作りである。その手段として、物理的な音響条件を変化して実現してもよいし、状況・条件・相性に合わせて、コンテンツを加飾／加工することで、物理要素の欠点を補ったり強調したり合成してもよい。もちろん、使用する音響機器類の音響特性を、個々人や目的に合わせてデジタル手段等で調整してもよい。その時の目的関数として、インターネットに接続する個々人の感性モデル（あるいは感性パターン）に調合することになる。このような、ヒトの感性データをインターネットで収集・分析し、個々の環境にフィードバックする全体システムのことを、IoH (Internet of Human) と呼ぶことにする。

また、以上から、下記例のような、人文科学・社会科学的な研究テーマが構想される。

- (1) ソーシャルデータサイエンスのためのクラウド感性実験環境の構築
- (2) クラウドソーシングによる非言語情報／感性情報の収集手段 (実験プロトコル)
- (3) 相対的な音環境の差異が音の認知に及ぼす影響とそのフィードバック
- (4) 共時・共感・共有を生む非言語情報とその伝達のカルチャインフラストラクチャとしての IoH

上記の研究テーマを進めるための通信技術的な条件はすでに整っているように思う。大学がコンテンツ配信やデータセンタを担い、実験室や講義室など学内環境と学生の個人環境を接続すれば、Society5.0の社会実験環境は構築できる。大学構内に限らず大学キャンパス間を接続し、大学間連携、場合によっては国内外の企業連携も可能である。

## 7 音楽環境の Society5.0、感染症対策として一考

安全、安心がなければ、心の底から音楽を楽しむことはできない。新宿、

---

渋谷の繁華街の飲食店に足を踏み入れると、空気質に違和感を感じることもある。風邪の匂い、インフルエンザの匂い、の類である。対感染症で敏感になった自身の防衛システムが起動するようなものである。未来社会では、データ化されていない人間の直感/直観/直勘を活用できないだろうか。

例えば、ライブハウスや劇場において、そこに居合わせる不特定多数の聴衆の感覚を集めることは技術的にはそれほど難しくない。IoH (Internet of Human)、即ち、人体の反応を自動もしくはマニュアルで感染症情報としてCloudにUploadできればよい。会場側にも、二酸化炭素濃度や酸素濃度、音声情報からの咳の発生頻度や体温分布、アルコール消毒の実施状況などを計測して同時配信すれば、ヒトの感覚と物理指標の対応をデータサイエンスの対象とすることができる。次に、これらの情報を音響通信技術などで聴衆に配信・伝達すればよい。多言語にも対応した文字配信の音響通信システムはすでに実装段階である。提示された文字情報をみて、自らの行動を判断・決断するのは情報受信者自身である。周囲の人の認知や行動を文字として認識し、自らの感覚と合わせた判断を促すことで、少なくとも感染爆発を防ぐツールとはなりうるだろう。一方、それらの情報を基に、それほど危険がないと自ら判断できれば、音楽を楽しむことに集中できるはずである。

この考え方は、当然、飲食店やショッピングモールなどの一般消費行動、通勤・通学の公共交通機関利用、行動が一様でない大学の講義、展示会や祭典などの非日常イベントにも応用できる。放送設備を使って、感染症対策を訴えても馬の耳に念仏であることは容易に想像がつくが、自分のスマホ画面に自分のリスク情報が提示されていたら、個々の行動は変容するのではないだろうか。

上記の考え方は、天候や地震災害の場面では、未来の非常放送として活用できるかもしれない。自治体や省庁、災害援助の自衛隊からの情報に加え、自分の周囲の人たちの避難状況などが自らのスマホ画面に表示されたら、行動は変容するであろう。もちろん、群集心理の煽動やパニック行動を防ぐ工夫は必要である。

## 8 遠隔感性科学の可能性

オンライン環境での音作りについて、クラウドシステムを活用した音の調整の可能性について述べてきた。個々人が利用する部屋や音響機器の特性を、ヒトの感性などのセンシングシステムからの情報集約を反映して設定することは技術的には実現できそうである。遠隔での会話・会議はともかく、双方向の非言語的な情報交換が重要な音楽系の用途や、不連続な化学反応が求められる研究・創造活動では、個々人や仲間内に適した環境づくりが必要になってくるであろう。あるいは、オンライン環境を前提とした、これまでと異なる新たな価値が生み出される機会到来とも考えられる。

本稿ではその実現に向けて、人文・社会科学的なアプローチも加えて総合的に解決すべき研究パラダイムの可能性も示してきた。その流れを俯瞰して遠隔感性科学研究の可能性を図10にまとめる。SFCのみならず、キャンパス間、大学間、あるいは企業や研究機関との協力で、ニューノーマルへの対応のきっかけを作ることも可能であろう。

ヒトに内在する非言語情報/感性情報を記述して伝送できれば、再生産可

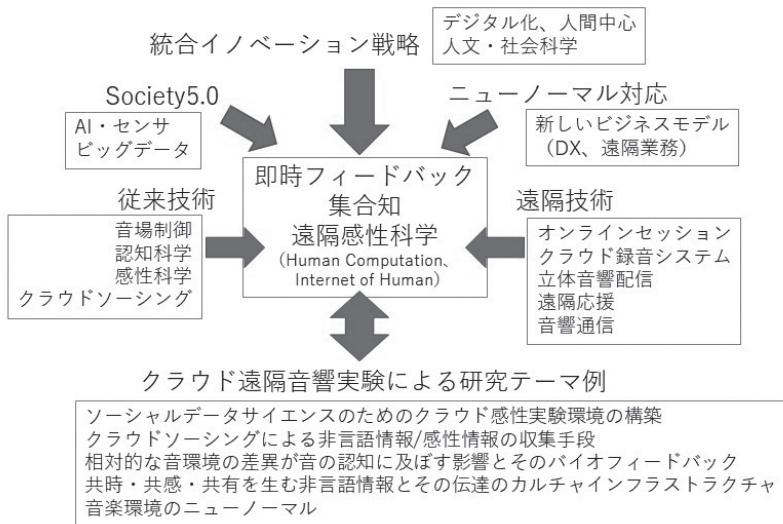


図10 オンライン環境の音響研究スキーム (著者提案)

能な無限資源を生み出す現代の錬金術となりうるかもしれない。クラウドソーシング、ヒューマンコンピューション、Internet of Human など、集合知の活用で新たな人類の進化を引き寄せることを期待する。その恩恵は、音楽のみならず、教育、スポーツ、医療のほか、あらゆる文化芸術全般におよぶであろう。

## 9 おわりに

執筆中も答えに辿り着かず、自問自答が継続していることを最後に記しておく。今回の特集号のテーマは、音楽と科学である。科学とは何を指すのか。科学の要諦は再現性であるとするならば、科学が文化芸術を扱う場合、再現する(=前提として、価値が変化しない)芸術文化のみが対象となるのだろうか。新たな芸術文化が、変革の時代に生じやすいのであれば、科学は新たな芸術文化に対応できないのではないかという危惧がある。

変化を是とした音楽文化に向き合う科学とはいかなるものか。来るべき新たな産業革命の準備はできているのか。科学の立場を今一度、見直す時が来ているように思う。個人的には、産業革命以降、自然科学が人文科学、社会科学と距離を取り、“狭義の科学”となった時代が終焉を迎えていると考える。21世紀はすでに20年を経過した。21世紀末の科学とはどうなるのか。Society5.0はその解を内包するのだろうか。

人間中心主義の議論は、宗教的配慮が必要であり、これまでは距離を置く自分があった。しかし、Society5.0が前提とするデジタル化・ネット革命が、IoH (Internet of Human) も含めて人を取り巻く“環境”の変化だと捉えれば、新たな定義としての人間中心主義の議論に踏み込む意義と必然性があることも、本稿を執筆し考察する中で気づくことができた。成熟社会では、不足・不満の研究ではなく、充足・幸福の説明研究が必要なのかもしれない。

浅学を省みず、思い切ったことを批判覚悟で書いた点は、感染症の流行が生む思考の先鋭化の表れとしてご容赦いただければ幸いである。アカデミアやビジネスとは異なる素朴な視点・議論を、ステイホームで提供してくれた妻や子供たちにも感謝したい。音が、音楽文化が、感染症と対峙する人類の援護となることを切に願い、本稿の締め括りとする。



注

- 1) 内閣府「統合イノベーション戦略2020(概要)」<https://www8.cao.go.jp/cstp/togo2020gaiyo.pdf> (2020年09月30日アクセス)
- 2) 内閣府「Society5.0」[https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/) (2020年09月30日アクセス)
- 3) ヤマハ「SYNCROOM」<https://syncroom.yamaha.com/>(2020年09月30日アクセス)
- 4) ヤマハ「即レコ」<https://www.sokureko24.jp/> (2020年09月30日アクセス)
- 5) ヤマハ「立体音響技術 ViReal」<https://research.yamaha.com/ja/technologies/vireal/> (2020年09月30日アクセス)
- 6) SoundUD 推進コンソーシアム「リモート応援システム」<https://soundud.org/serviceinfo/products08/> (2020年09月30日アクセス)
- 7) SoundUD 推進コンソーシアム「SoundUD とは」<https://soundud.org/sud/> (2020年09月30日アクセス)
- 8) 松川昌平 (2020)「オンキャンパスでもオンラインでもない同じ空間と時間を共有することの可能性」[https://www.sfc.keio.ac.jp/deans\\_diary/014789.html](https://www.sfc.keio.ac.jp/deans_diary/014789.html) (2020年09月30日アクセス)
- 9) 棚瀬廉人 (2014)「アコースティック・ダンパによる車室騒音制御」自動車技術会春季学術講演会予稿集, 2014.05.21.
- 10) 松原正樹, 諏訪正樹 (2011)「メタ認知的言語化によるオーケストラ理解の熟達プロセス」日本認知科学会第28大会講演論文集, pp. 448-452.
- 11) 清木康 (2013)「感性や意味を計量するデータベースシステム」『KEIO SFC JOURNAL』13 (2), pp. 19-26.
- 12) 棚瀬廉人 (2016)「楽器製作の最前線」『日本音響学会誌』72 (1), pp. 28-36.
- 13) マイクロボランティア・クラウドソーシングプラットフォーム「Crowd4U」<https://crowd4u.org/ja/> (2020年09月30日アクセス)
- 14) 棚瀬廉人 (2020)「バイク音の感性モデリング」『自動車技術』74 (7), pp. 68-73.
- 15) 鈴木寛 (2019)「VUCA 時代を生き抜くマインドセットは『デバッグ主義』」<https://coeteco.jp/articles/10564> (2020年09月30日アクセス)

〔受付日 2020. 9. 30〕