応
般

7 音楽とヒューマン・コンピュータ・インタラクション

竹川佳成（公立はこだて未来大学）

音楽と HCI の関係について

HCI（Human Computer Interaction）は入出力デバイスといった情報処理技術，知識の学習や創造の支援技法，可視化や可聴化といった表現処理技法など，人と情報技術との相互作用全般について研究する分野である．近年，HCI は，まさにカンブリア紀を迎えているといっても過言ではない．ヘッドマウントディスプレイ・ウォッチ（Apple Watch などの腕時計型ウェアラブルコンピュータ）・プロジェクションマッピング・ドローン・深度センサ（Kinect などの格安モーションキャプチャ）・格安視線認識装置など，入出力デバイスだけでも毎日のように世間を賑わしている．HCI は確実に我々の日常生活に浸透・普及し，快適な日常生活を営む上でもはやなくてはならない不動の地位を占めつつある．一方，楽器は，音楽家のあくなき音楽表現の追求と演奏技術の錬磨，楽器職人による素材・構造・デザインなどの多面的分析と高度な物作り技術により生み出された偉大なインタフェースの 1 つといえる．

HCI は楽器演奏だけでなく，音楽のあらゆる活動を支えている．音楽活動には大きく，楽曲・楽器制作，楽器の練習，披露，視聴というフェーズがある．本稿では主に前者の支援技術について，代表的な研究や製品，作品を挙げながらその意義や動向についてまとめる．

制作支援

1957 年に発表された作品「イリアック組曲」は計算機を利用して自動作曲された初の事例であり，1919 年に発明されたテルミンは電子技術を利用した初の電子楽器である．以降，作編曲・楽器制作を支援するさまざまなインタフェースが研究・開発されてきた．この領域の研究や開発は，前衛的な音楽制作に取り組む一部の音楽家や研究者によって推進されてきた．しかし，現在では，多くの作曲家が PC 上で動作する作曲支援ツールを利用して作曲していたり，小学生が夏休みの自由研究や工作の一環でオリジナルの電子楽器を作っていたり，それらは一般的に普及しつつある．作編曲・楽器制作においてランドマークとなった事例について紹介する．

♫ 作編曲支援

Max は作編曲から演奏のデータ処理まで可能なプログラミング環境で，コンピュータ音楽の音楽家や研究者で広く利用されているソフトウェアである．Max は 1980 年代当時の IRCAM（Institute for Research and Coordination Acoustic / Music）にいた Miller Puckette によって開発され，GUI（Graphical User Interface）画面上でオブジェクト同士をパッチコードで接続しデータフローを記述するというビジュアルプログラミング言語を採用しており，プログラミングの知識のない音楽家でも扱いやすい．また，音響信号処理機能や画像処理機能が追加され，たとえば，カメラで演奏者やパフォーマを撮影し，演奏やパフォーマの動きによって，プロジェクションマッピングされたオブジェクト上の映像効果をインタラクティブに変えるといった，サウンドとヴィジュアルを融合した作品を Max 上で制作できる．

作曲は，縦軸に音高，横軸に時間が割り当てられている五線譜上に，音価（音の時間的な長さの比）情報を持つ音符を配置するという作業と想像されることが多いが，メディアやインタフェース技術が発達している現在，音符に音価以外のさまざまな情報を付与する事例がある．その代表的な事例として Hyperscore がある．これは，縦軸に音高，横軸に時間が割り当てられているスケッチウィンドウに，ペンツールで描画していく．また，ペンツールの各色に，異なる音素材を割り当てられる機能を持っている．これはペインティングというメタファを作曲に応用している．音楽的な知識のない人でも簡単に作曲できる．

♫ 楽器制作支援

上述したように電子楽器の登場は 20 世紀初頭であったが，アコースティック楽器と同等の音質やレイテンシを実現するまでには，長い年月を要した．我が国は，YAMAHA，Roland，KAWAI をはじめ楽器の産地であり，楽器メーカがしのぎを削って，高機能・高性能な電子楽器を開発している．たとえば，YAMAHA 社のハイブリッドピアノは，グランドピアノのアクション機構および打鍵に影響を与えない非接触型センサにより鍵の動きを検出することで，グランドピアノと同等の打鍵感を提供している．また，Roland 社の V-Piano は，発音時におけるグランドピアノの弦・ハンマー・響板など発音に影響する各パーツの振舞い，およびその相互作用をモデル化し，ディジタル信号処理技術を利用して再現するという物理モデル音源をベースにグランドピアノの音を忠実に再現している．

このような背景のもと電気電子通信技術の発展に伴い，多種多様なセンサやアクチュエータが誕生し，従来のアコースティック楽器と異なるデザインの新楽器も登場した．新楽器や演奏インタフェースの制作は 1980 年代から始まり，当初はマシンパワーによる実時間処理の難しさや，センサを扱うための高度な電気電子回路の知識を必要とするなど，その敷居は高かった．近年，プロトタイピングやディジタルファブリケーションが HCI においてトレンドの 1 つになっており，これらの技術を使って，特別な知識がなくても手軽に電子部品やその筐体を制作できるツールや製品が多数提供されている．

楽器制作問わず電子工作において広く利用されているツールとして Arduino とそのシールド（Shield）がある．Arduino は，マイコンおよび入出力ポートを備えた基板，マイコンを C++ 風のプログラミング言語によって制御できる統合開発環境から構成される．また，Arduino 用の Shield を利用することで，Arduino のハードウェア的な機能を手軽に拡張できる．楽器制作において関連のある Shield は，たとえば，Music Instrument Shield や，MIDI（Musical Instrument Digital Interface）Shield があり，Music Instrument Shield を利用することで楽器音を発音させたり，MIDI Shield を利用することで MIDI 入出力ポートを持つ電子楽器と連携できる．また，上述した Max を始め Processing，Pure Data などから直接マイコンを制御できるようなライブラリやファームウェアも提供されている．

学習支援

楽器の演奏技術の向上には多大な時間を必要とするため，敷居の高さに演奏に取り組むことを最初から断念したり，演奏の練習を途中で挫折してしまう初心者が多い． 演奏の敷居の高さの問題を HCI を活用して解決している事例が多数ある．たとえば，Piano Tutor[1] は演奏追従認識による自動譜めくり機能や，ビデオや音声による模範演奏の提示や，演奏者の演奏データを解析し改善点をテキストなどで指示する機能などを持つ．また，竹川ら [2] は鍵盤の上にプロジェクタを設置し，**図 -1** に示すように，鍵盤やその周囲に演奏を補助する情報を提示する．鍵盤上に次に弾くべき鍵や運指番号を提示することで打鍵位置の学習を支援したり，楽譜の音符と鍵を線で結ぶことで譜読練習を支援したりしている．また，画像処理および演奏ルールを組み合わせることで，打鍵している指が他の指に隠されても正しく認

図-1　ピアノ学習支援システム

識できる運指認識技術を開発した．鍵盤上にはカメラが設置されており，打鍵している指をリアルタイムに認識でき，誤った指使いをしていれば警告を出すなどの機能も提供している．

楽器演奏時に初心者は，楽譜と演奏する楽器の手元の両方を見る必要がある．また，譜面上の音符を見て，音符から鍵盤上の打鍵位置をイメージし，弾くという一連のプロセスは最初に立ちはだかる難関である．楽器の上にプロジェクションマッピングすることで，どこをどうすべきかが楽器を見ているだけで理解できるため，演奏の難度は下がる．最終的には，このような補助情報を見ずに演奏できるようになる必要があるが，補助に依存してしまう学習者もいるため，補助からの離脱も検討する必要がある．この問題を解決するために，視線計測装置を利用して学習者が補助情報を見たかどうかを認識し，補助を利用した個所を学習者に提示するシステム[3)]がある．学習者は自分自身がどれだけ補助に頼っているのか，特にどの個所に補助が必要なのかを理解でき，苦手個所を集中的に練習するなど練習方法が改善される．

このようにHCIは，演奏の認識・演奏の補助・演奏の振り返りなどに貢献している．今回は，ピアノの事例を中心に説明したが，ドラムや琴などさまざまな楽器でHCIを活用した学習支援システムが提案されている．

展望

本稿では，「楽曲や楽器の制作支援」「楽器の学習支援」という観点でHCIが貢献している事例について述べた．HCIは，人に新しい着眼点や発想の発見を支援したり，本当にやりたいことに注力できる環境を提供したり，人の能力そのものを拡張したり，音楽活動における深層的な要素に貢献する．冒頭で述べたように，HCIはカンブリア紀を迎えており，本稿ではページの都合上紹介しなかったが，VR（Virtual Reality）・AR（Augmented Reality）楽器，ロボット演奏など魅力的な事例は多数ある．また，ドローンやウォッチなどトレンドのHCI技術を活用した音楽支援は今後も同様に提案され推し進められていくと考えられる．今後の動向に注目したい．

参考文献
1）Dannenberg, R. B. et al. : A Computer-Based Multi-Media Tutor for Beginning Piano Students, Journal of New Music Research, 19 (2-3), pp.155-173（1990）.
2）竹川佳成ら：運指認識技術を活用したピアノ演奏学習支援システムの構築，情報処理学会論文誌，Vol.52, No.2, pp.917-927（2011）.
3）竹川佳成ら：システム補助からの離脱を考慮したピアノ演奏学習システムの設計と実装，コンピュータソフトウェア（日本ソフトウェア科学会論文誌），Vol.30, No.4, pp.51-60（2013）.

（2016年3月16日受付）

竹川佳成（正会員）　yoshi@fun.ac.jp

2007年大阪大学大学院情報科学研究科博士課程修了．同年より神戸大学自然科学系先端融合研究環重点研究部助教．2012年より公立はこだて未来大学システム情報科学部助教．2014年より同大システム情報科学部准教授，現在に至る．2011年にはMIT Media Lab.にてAssistant Visiting Professorを兼務．博士（情報科学）．