

バイノーラル音響コンテンツの臨場感向上に向けた バイオフィードバック応用について

長嶋 洋一

静岡文化芸術大学 〒430-8533 静岡県浜松市中区中央2-1-1

E-mail: nagasm@suac.ac.jp

あらまし 人間の頭部の音響効果を再現したダミーヘッドマイクによって鼓膜に届く状態の音を録音し、ステレオのヘッドホン・イヤホン等で聴取するとリアルな臨場感を再現できる「バイノーラル録音」の歴史は19世紀に遡るほど古い。かつてのリアルな再現性を追求した時代から、リアル以上の仮想現実感/拡張現実感を指向する時代となり、バイノーラル音響コンテンツのより有効な収録、あるいはリアルタイム・バイノーラル音響エンタテインメントを実現していくために、生体情報センサとバイオフィードバック技術を組み合わせた実時間音響信号処理システムの可能性を提案する。

キーワード バイノーラル, 仮想現実感, 拡張現実感, 生体情報センサ, バイオフィードバック

Biofeedback Application for better Binaural Contents

Yoichi NAGASHIMA

Faculty of Design, Shizuoka University of Art and Culture 2-1-1 chuo, nakaku, Hamamatsu, Shizuoka, 430-8533 Japan

E-mail: nagasm@suac.ac.jp

Abstract The history of binaural recording started in the 19th century. The "binaural recording" can reproduce realistic presence when listening with stereophonic headphones / earphones etc. by recording dummy head microphone replaying the acoustic effect of the human head reaches the eardrum. Now we can expand our real experiences with virtual reality and augmented reality, can realize more effective recording of binaural sound contents or real time binaural sound processing. In this paper, I propose the possibility of a real-time acoustic signal processing system combining bio-sensing and bio-feedback technology.

Keywords Binaural, VR, AR, BioSensing, BioFeedback

1. はじめに

バイノーラル録音の歴史は19世紀に遡るほど古い[1]。これは、人間の頭部の音響効果を再現したダミーヘッドマイク(図1)によって鼓膜に届く状態の音を録音し、ステレオのヘッドホン・イヤホン等で聴取するとゾクゾクするほど非常にリアルな臨場感を再現できるという技術である。かつてリアルな再現性を追求した20世紀から、リアル以上の仮想現実感/拡張現実感を指向する21世紀となり、バイノーラル音響コンテンツのより有効な収録、あるいはリアルタイム・バイノーラル音響エンタテインメントを実現していくために、生体情報センサとバイオフィードバック技術を組み合わせた実時間音響信号処理システムの可能性を提案したい。



Figure 1. Dummy Head Microphone.

2. バイノーラル今昔

アイデアがシンプルで歴史も長いバイノーラルであるが、サラウンドオーディオと同様に「誰もがバイノーラル」というほど爆発的に普及してこなかったのも事実である。図1のノイマン製のダミーヘッドマイクは現在も100万円程度で販売されており、さらに最近では3Dプリンタを活用した廉価なダミーヘッドマイクも数多く登場している。何より、「録音可能なMDウォークマンのイヤホン端子でなくマイク端子にイヤホンを接続して、音楽を聴いているフリをして満員電車に乗って録音してみる」というサウンドデザイン教育の定番体験実験をしてみれば判るように、人間の耳に届くサウンドのリアリティはイヤホンをマイクに使うインピーダンスミスマッチングの音質劣化を凌駕するだけの臨場感効果がある。

しかし、ダミーヘッドマイクで録音してヘッドホン/イヤホンで聴取する古典的バイノーラルというのは、コンテンツの録音の際に全てが決まってしまうポストプロダクション困難であり、リスナーがそれぞれヘッドホン/イヤホンを装着することから、コンサート形式の同時多数聴取体験に適さないという限界があった。また筆者は両眼の視力にかなりの差があるために立体視システム(3D-TV・HMD)にまったく興味が無いのだが、同様に聴覚的/体格的な個人差に対して、ヤマハのViReal[2]では100人以上の頭部と耳の形を3Dスキャンして「平均化」しているが、個人差による聞こえ方の違いに対応せずに平均化するという発想自体に限界があった。

20世紀末から21世紀になって、サウンドに関するDigital Signal Processing技術が進展し、もはや「HiFi」は死語となり、クラシック音楽のコンサートホールでのライブ録音ですら多種の音響効果・音響信号処理を施してCDになる時代となった。これと歩調を合わせて、バイノーラル録音や空間音響の新しい流れとして、図2のWAVESの”Nx” [3]のように、ヘッドホン聴取に対してバイノーラルやサラウンド等の音響信号処理を任意に加工できるプラグイン等も登場してきた。VRが家庭レベルに普及する中で、どうせ頭にHMDを装着するのだからそこにヘッドホンがあっても視聴体験上のデメリットは無くなり、ここに「VRのHMDとセットのバイノーラル/サラウンド音響信号処理」という新しい展開が登場した。全ては音響信号処理のバーチャル空間内のモデルでリアルタイム生成するので、録音位置が固定していた古典的バイノーラルから、仮想空間内を移動するのに合わせてリスニングポイントが移動するVRバイノーラル生成へと、技術的な焦点が進展していることに注目したい。

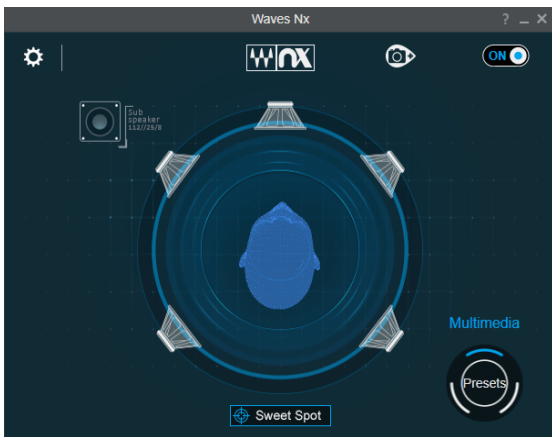


Figure 2. WAVES “Nx” .

筆者はこれまで約30年、主としてComputer Musicやメディアアートの領域で、作曲/公演/研究/開発/講演/教育などの活動を続けてきた[4]。システム開発やリアルタイム音楽生成のプラットフォームとして”Max” [5]を活用してきたが、Maxコミュニティでは図3のようにバイノーラルを実装した実験的パッチも多数、共有(オープンソース文化)されており、バイノーラルの実験のための環境は整っている。

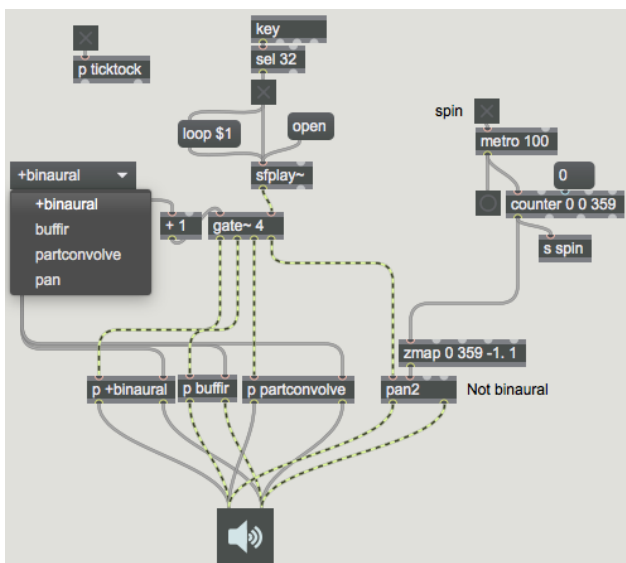


Figure 3. Binaural Experiment patch in Max7.

3. 生体情報センシング

筆者はComputer Musicの作曲の一部として多種の新楽器を製作してきた[4]が、1990年代後半からは筋電/呼吸/心拍などの生体センサをオリジナル開発して、作曲/公演に活用してきた[6-13]。例えば図4は、海外で開発された生体センサ”BioMuse” (約300万円)より2桁安く作る、というコンセプトで開発した両腕(8ch+8ch)筋電センサ楽器”MiniBioMuse-III” [14]である。この楽器を用いて作品公演した都市は海外に限定しても、Kassel, Hamburg, Montreal, Amsterdam, Paris, Vancouver, Taipei, Yekaterinburg, Osloと並び、そのYouTube記録動画へのリンクも[15]に置いている。

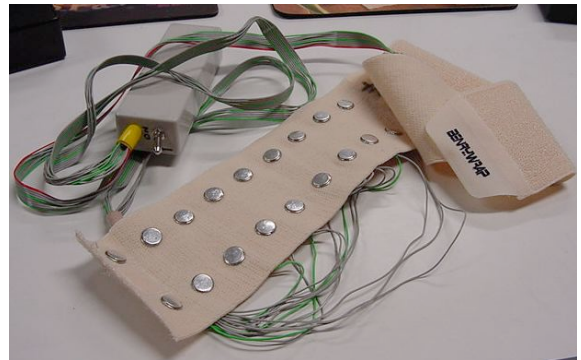


Figure 4. New Instruments “MiniBioMuse-III” .

筆者は技術士(情報工学部門/電気電子部門)として、1990年頃から福祉工学の領域でのセンシングシステム(一例:高齢者施設のベッド上空に赤外線ビームを配置して認知症患者の発作をナースコール)も開発してきたが、CQ出版「インターフェース」誌2015年4月号に生体情報センシングの特集記事を執筆したのを契機に、主としてバイオフィードバック・リハビリテーション領域の専門家とのコラボレーションを開始した。これが本報告に繋がる伏線となっている。

4. 内受容感覚とバイオフィードバックと情動/感情

外受容感覚Exteroception(視覚/聴覚/味覚/嗅覚/触覚)に対して、内臓や血管の状態、内分泌系・横紋筋等から脳が受容する内受容感覚Interoceptionは、Damasio[16-19]の提唱する図5のソマティック・マーカー仮説(SMH)とともに、人間の感情[20]や意思決定[21]に大きく関係している。SMHにおいて、身体の恒常性を維持するために無意識下で脳に送られる内受容感覚に従った脳内の状況予測マップが何らかの原因で予測から外れた場合に喚起されるのが情動であり、原初的には危機回避の感情(怒り/怖れ)に至った、という説明は生物進化論的にも納得できるし、ジャズのテンションノートを愛好する音楽心理的現象とも符丁している[22]。

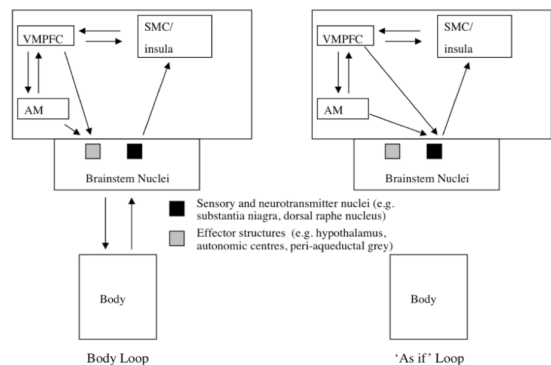


Figure 5. Damasio’ s “Somatic Marker Hypothesis” .

一方、脳機能をバイズモデルと予測符号化に基づく予測マシンとして捉えた研究において、Sethはこれまでの外受容感覚だけでなく内受容感覚も同様に関係することでSMHと結び付く(図6)と提案した[23]。このモデルは、Damacioが「あたかもループ」(As if Loop)として提唱した、時間的な遅延の大きい内受容感覚でも瞬時に危機回避するための情動生起のバイパス経路とも対応している。

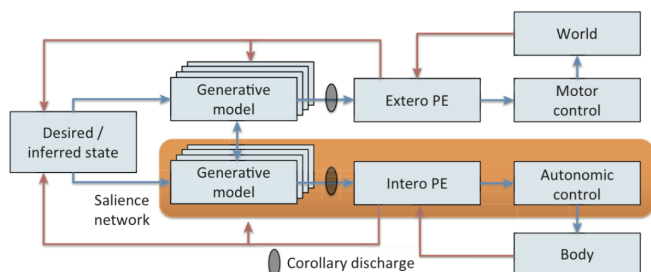


Figure 6. Seth's model.

エンタテインメント用に開発したバイオフィードバックゲームを臨床医の意見を取り入れトレーニングシステムに改良して、医療分野での応用を試みた棟方の報告[24, 25]は、このDamacioのSMHと情動/感情との結び付きという視点から多くの示唆を与えた。先行研究[26]によれば、生体信号フィードバックを行うゲームとして、ユーザが直接コントロールできる呼吸活動や随意筋活動や息の温度制御と、直接コントロールできない皮膚電気活動(GSR)や心拍について調査した結果、ユーザは前者の直接的にコントロールできる生体信号を好んだ。一方、棟方は皮膚電気活動を指標に末梢交感神経系の活動を亢進させるバイオフィードバックゲームによるトレーニングを行った結果、直接的にコントロールできているわけではない(スコアに直結する身体制御の詳細は本人にも不明)GSR制御のバイオフィードバック体験により、薬で発作を抑制できない(担当医師が匙を投げた)難治性てんかん患者の発作が明確に低減され、実験終了後も効果が持続するという画期的な観察を報告した。被験者の一人の「生まれつき自分の一部である発作が減ったことは何か自分のアイデンティティを失ったようで落ち着かない」(マイナスの情動/感情)という感想は、一般的に「病気」と呼ばれる状態すら望ましい恒常性の状態となり得る事を示している。

5. 無意識下の感覚と脳内作用の共鳴/同期

オリジナルの筋電センサを用いたジェスチャー認識システムでの実験[13, 22, 27]において筆者が報告したのは、脳内で意識[28-30]のレベルにまでのぼらない内受容感覚の領域において、多くの被験者が報告した「意外性」と「嬉しい情動/感情」、いわば広義のエンタテインメントとして筆者が注目しているウェルネス感覚であった。これは初めてバイノーラルサウンドの効果的なデモ音響を聞いた時の新鮮な感覚とも通じており、筆者の最近のテーマの一つである感情センシング[31]やメンタルヘルスやセラピーと共に、本研究テーマと繋がっている。

「音楽と感情」というテーマは音楽心理学の領域で相当に長い歴史をもつ難題であるが、“Music is the future of medicine.”というポリシーを掲げる「Brain.fm」[32]というプロジェクト(図7)では、人間の脳活動として「集中」「リラックス」「瞑想/睡眠」という3種類の状態で特徴的な脳波の周波数成分に対して、聴取する音楽を振幅変調する周波数を同じレベルの周波数帯に設定して引き込み同期を起こすことで、実際に人間の精神活動を「集中」「リラックス」「瞑想/睡眠」に引き込む[33]、というアイデアを提唱している。

内観的にも経験的にもこの発想にはかなりの無理があるが、生体リズムや生命現象におけるリズム同期やカオス同期、という非線形現象[34-38]については相当に解明されつつあるところであり、さらにはエネルギー供給を受ける散逸構造こそが生命現象の源となる「時間の方向性」を支える、というプリゴジンの説[39-43]とダマシオの説く進化的解説[19]とも繋がり、本稿で提案する実験手法とも通じるところがある。

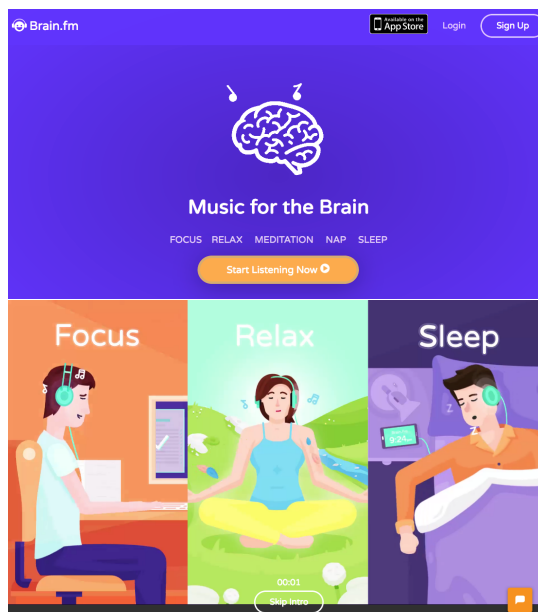


Figure 7. Concept of “brain.fm”.

筆者はかつて似たような視点から非線形問題について実験・検討した際に、脳内ニューロンの非線形振動現象におけるカオスと周囲から与えられるカオスとの共鳴同期の可能性を提唱していたが[44-46]、前述の生体センシングやバイオフィードバックや内受容感覚と情動/感情に関する研究とを進めてきたところで、予想外に両者の背景/道筋が合体(共鳴)してきたことに驚いている。

6. バイノーラル感覚のセンシング

ここでようやく本稿のタイトルに到達した。かつてのバイノーラル録音がリアルな再現性を追求した時代から、いまやリアル以上の仮想現実感/拡張現実感を指向する/実現できる時代となり、バイノーラル音響コンテンツのより有効な収録、あるいはリアルタイム・バイノーラル音響エンタテインメントを実現していくというのが大きな目標である。プラットフォームとしては、古典的なダミーヘッドマイク、あるいは空間に多数配置したマイクロホンアレイがあり、これをRoland FA-101のような多チャンネルデジタルオーディオインターフェース(図8)を経由してサンプリングして、あとはMax7によって任意のアルゴリズムでデジタル信号処理を行ってあげればいじらう。



Figure 8. Roland “FA-101”.

拡張されたバイノーラルサウンドを処理するMax7システムにおいて、リアルタイム音響信号処理に作用するパラメータとなる生体センサ入力候補として、古典的な皮膚電気抵抗や心拍(耳たぶの赤外線透過センサから血流量に対応した光量変化を検出)、呼吸(伸縮性ベルトを胸部/腹部に巻いて抵抗値の変化を検出)などの生体情報があり、筆者は過去にこれらを開発してきたので、実装はまずまず容易である。

しかしバイノーラル音響に特有の、背筋がゾクッとするような情動/感情の検出という意味では、やはり本命は内受容感覚の表出現象、すなわち脳波の検出であると考えている。筆者は2016年に、299ドルと安価に出回った脳波センシングバンド”Muse”(図9)を解析した[47-48]。しかしその結果として、開眼状態では脳波信号の10倍から100倍のレベルで外眼筋/表情筋の筋電信号がノイズとして邪魔をすることから、「Museは脳波楽器としては使用できない」「Museを表情筋センサとして活用することで表情楽器としての可能性がある」という結論に達していた。

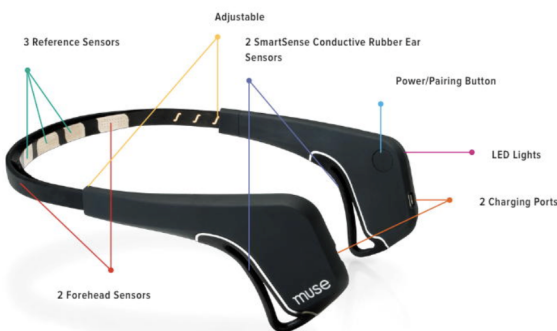


Figure 9. Brain sensor “Muse” .

筆者とコラボレータの照岡正樹氏で2016年から2017年にかけて開発した筋電センサシステム「VPP-SUAC」(図10)は、筆者らにとって第6世代となる最新の筋電センサ回路を4チャンネル搭載するとともに、Arduinoシールド互換のピンでmbed NucleoF401REに搭載でき、さらにXBeeを搭載してホストPCとWiFiで情報交換するシステムである[27]。実はこのシステムでは、基板上のジャンパオプションとして、通常の筋電センサとしてだけでなく、高速度追従する運動筋電センサモード、さらにゲインを上げた脳波センサモードを持っているので、適切な脳波電極を接続した場合には、4チャンネルと簡易型ではあるものの、脳波センサとしても活用できる。これについては今後の機会に実験報告していきたい。

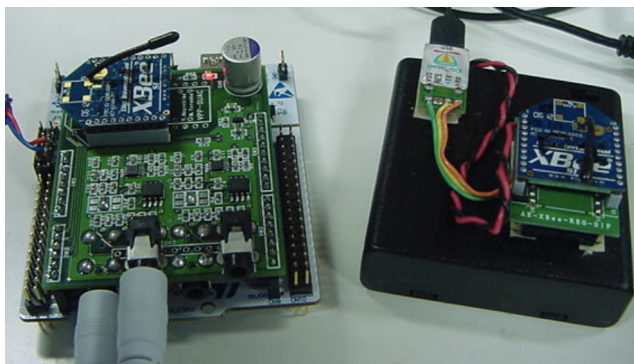


Figure 10. Original sensor “VPP-SUAC” .

さらに最近になって、3Dプリンタで出力したヘッドセットをキットとして自分で組み立てる必要のある脳波センサモジュールと、それに接続する8チャンネルのWiFi送信対応脳波センサ回路ボードとをそれぞれ499ドルで提供しているOpenBCI[47]から、図11のようなシステムを入手した。本稿

執筆時点ではまだ実験上で詳しい内容を紹介できないが、これもバイノーラル体験における脳波情報センシングシステムとして活用する方向で検討を進めている。

これら脳波センサからのバイオフィードバック情報によって、バイノーラルサウンドを聴取する被験者の情動/感情の変化をパラメータとしてフィードバックしつつDeep Learningシステムで関係性を学習することで、より効果的なバイノーラル感覚を生み出すために音響信号処理をマイニングしていく・・・というここからの作戦については、囲碁ソフトなどと同様に一つの機械学習ネタとして展開されていくことになる。その報告はまた次の機会をご期待いただきたい。

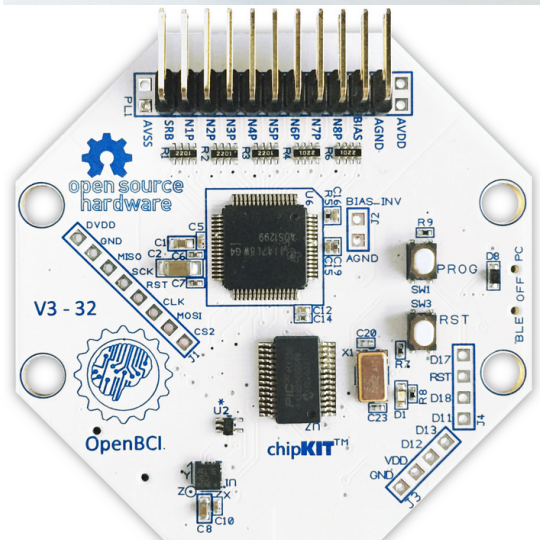
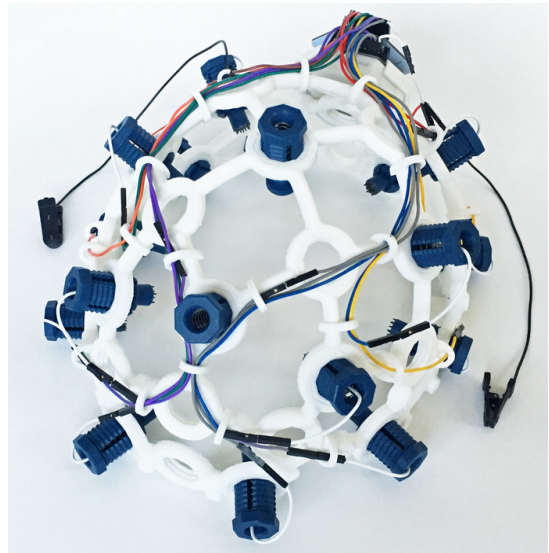


Figure 11. Sensor & Board of “OpenBCI” .

7. おわりに

かつてバイノーラルのリアルな再現性を追求した時代から、リアル以上の仮想現実感/拡張現実感を指向する時代となり、バイノーラル音響コンテンツのより有効な収録、あるいはリアルタイム・バイノーラル音響エンタテインメントを実現していくために、生体情報センサとバイオフィードバック技術を組み合わせた実時間音響信号処理システムの可能性を提案した。本稿執筆時点ではまだ提案のみのpaper machineであるが、EMM研究会の発表までに実験が進展した場合には、その最新状況について報告してみたい。

文 献

1. Binaural recording, https://en.wikipedia.org/wiki/Binaural_recording
2. ヤマハ, ViReal, <http://www.y2lab.com/project/vireal/>
3. WAVES, Nx, <http://www.waves.com/nx>
4. Art & Science Laboratory, <http://nagasm.org>
5. Max, <http://cycling74.com/products/max/>
6. Yoichi Nagashima, BioSensorFusion: New Interfaces for Interactive Multimedia Art, Proc. of ICMC1998, International Computer Music Association.
7. Yoichi Nagashima, Interactive Multi-Media Performance with Bio-Sensing and Bio-Feedback, Proceedings of International Conference on Audible Display, 2002.
8. Yoichi Nagashima, Interactive Multimedia Art with Biological Interfaces, Proceedings of 17th Congress of the International Association of Empirical Aesthetics, 2002.
9. Yoichi Nagashima, Bio-Sensing Systems and Bio-Feedback Systems for Interactive Media Arts, Proceedings of 3rd International Conference on New Interfaces for Musical Expression, 2003.
10. Yoichi Nagashima, Combined Force Display System of EMG Sensor for Interactive Performance, Proc. of ICMC2003, International Computer Music Association.
11. Yoichi Nagashima, Multi Rubbing Tactile Instrument, Proceedings of International Conference on New Interfaces for Musical Expression, 2016.
12. Yoichi Nagashima, Towards the BioFeedback Game --- with Interoception and Rehabilitation ---, Proceedings of the 8th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications, 2016.
13. Yoichi Nagashima, Bio-Sensing and Bio-Feedback Instruments --- DoubleMyo, MuseOSC and MRTI2015 ---, Proc. of ICMC2016, International Computer Music Association.
14. <http://nagasm.org/ASL/SIGMUS0108/>
15. <http://nagasm.org/ASL/YouTube.html>
16. Antonio R. Damasio, 田中三彦(訳), デカルトの誤り - 情動、理性、人間の脳, 講談社, 2000.
17. Antonio R. Damasio, 田中三彦(訳), 無意識の脳 - 自己意識の脳, 講談社, 2003.
18. Antonio R. Damasio, 田中三彦(訳), 感じる脳 - 情動と感情の脳科学 よみがえるスピノザ, 講談社, 2005.
19. Antonio R. Damasio, 山形浩生(訳), 自己が心にやってくる - 意識ある脳の構築, 早川書房, 2013.
20. 寺澤悠理・梅田聡, 内受容感覚と感情をつなぐ心理・神経メカニズム, 心理学評論, Vol. 57, No. 1, 49-76. 2014.
21. 大平英樹, 感情的意思決定を支える脳と身体の機能的関連, 心理学評論, Vol. 57, No. 1, 140-154. 2014.
22. 長嶋洋一, 内受容感覚コントローラとしての筋電楽器 --- 癒し系エンタテインメントのために ---, 日本音楽知覚認知学会2015年春季研究発表会資料, 日本音楽知覚認知学会.
23. Anil K. Seth, Interoceptive inference, emotion, and the embodied self. Trends of Cognitive Science, 17, 565-573. 2013.
24. 棟方渚, バイオフィードバックゲームの医療応用, 情報処理学会研究報告 (2014-EC-33). 2014.
25. 棟方渚/櫻井高太郎/中村光寿/吉川浩/小野哲雄, バイオフィードバックゲーム“The ZEN”のトレーニング効果とエンタテインメント性 - 長期実験観察と治療応用の一症例の報告 -, デジタルゲーム学研究 第7巻第2号, 日本デジタルゲーム学会, 2015.
26. Nacke, L. E. et al, Biofeedback Game Design - Using Direct and Indirect Physiological Control to Enhance Game Interaction. Proceedings of the 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems. 103-112. 2011.
27. 長嶋洋一, 生体情報センシングのバイオフィードバック療法への応用について, 知覚情報研究会・研究報告, 電気学会, 2017.
28. 下條信輔, 「意識」とは何だろうか - 脳の来歴、知覚の錯誤, 講談社現代新書, 講談社, 1999.
29. 下條信輔, サプリミナル・マインド - 潜在的人間観のゆくえ, 中公新書, 中央公論社, 1996.
30. 下條信輔, サプリミナル・インパクト - 情動と潜在認知の現代, ちくま新書, 筑摩書房, 2008.
31. 佐藤香[編集], 感情現象の諸相, ナカニシヤ出版, 2006.
32. <https://www.brain.fm/>
33. <https://www.brain.fm/pdfs/BrainFMWhitePaper.pdf>
34. R. L. Devaney, 後藤憲一[訳], カオス力学系入門第2版, 共立出版, 2003.
35. A. Pikovsky, M. I. Rosenblum, and J. Kurths, 徳田功[訳], 同期理論の基礎と応用, 丸善, 2009.
36. 蔵本由紀[編], リズム現象の世界, 東京大学出版会, 2005.
37. S. H. Strogatz, Nonlinear Dynamics and Chaos, Westview Press, 1994.
38. スティーヴン・ストロガッツ, SYNC なぜ自然はシンクロしたがるのか, 早川書房, 2005.
39. I. プリゴジン, I. スタンジェール, 伏見康治, 伏見讓, 松枝秀明[訳], 混沌からの秩序, みすず書房, 1887.
40. G. ニコリス, I. プリゴジン, 小島陽之助[訳], 散逸構造 - 自己秩序形成の物理学的基礎, 岩波書店, 1980
41. イリヤ・プリゴジン, 小出昭一郎, 安孫子誠也[訳], 存在から発展へ - 物理科学における時間と多様性, みすず書房, 1984.
42. Ilya Prigogine, 安孫子誠也, 谷口佳津宏[訳], 確実性の終焉 - 時間と量子論、二つのパラドクスの解決, みすず書房, 1997.
43. 北原和夫. プリゴジンの考えてきたこと, 岩波書店, 1999.
44. 長嶋洋一, カオスに対する聴覚的なアプローチ(1), 電子情報通信学会非線形問題研究会 (NLP) 研究会資料 (技術研究報告) NLP2011-158, 2012.
45. 長嶋洋一, サウンド知覚のカオス共鳴によるモデル化に向けて, 電子情報通信学会非線形問題研究会 (NLP) 研究会資料 (技術研究報告) NLP2013-144, 2014.
46. 長嶋洋一, カオスに対する聴覚的なアプローチ(2), 電子情報通信学会非線形問題研究会 (NLP) 研究会資料 (技術研究報告) NLP2014-44, 2014.
47. <http://openbci.com/>