

# 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～

EMG Instruments as Controllers of Interoception --- for Healing Entertainment ---

長嶋 洋一

YOICHI NAGASHIMA

静岡文化芸術大学

Shizuoka University of Art and Culture

nagasm@suac.ac.jp

内容梗概：外受容感覚(五感)に加えて最近注目されている内受容感覚と情動/感情と脳内プロセスモデルの関係について、筋電楽器のジェスチャ認識研究で発見した無意識下のリラックス効果の適用を検討し、癒し系エンタテインメントの可能性について考察した。本稿ではまず、過去に開発した筋電楽器と新世代の筋電楽器を紹介し、筋電センサによるジェスチャ認識の新技术を提案する。次に内受容感覚とソマティック・マーカー仮説と脳機能を予測マシンとしてモデル化した研究を紹介し、内受容感覚から情動/感情が生まれる仮説の検証について検討する。さらに随意筋の制御である筋電ジェスチャ認識の実験から得られた無意識下コントロールの持つ可能性を、心を豊かにする広義のエンタテインメントとして検討した。

Key Words : EMG Instruments, Interoception, Somatic Marker Hypothesis, Emotion and Feeling, Bio Feedback

## 1 はじめに

筆者はこれまで4世代にわたってオリジナルの筋電センサを開発し、筋電楽器として音楽領域で活用してきたが、2014-2015年に新たに開発した第5世代の筋電センサをCQ出版「インターフェース」誌2015年4月号「生体情報の信号処理」特集にて公開した(長嶋2015a)。ほぼこれと同時期に登場したGesture Control Armband "Myo" (ThalmicLabs2014)についても解析し、新たに提案する筋電パターン認識アルゴリズムを適用したジェスチャ認識が、過去に報告した200バンドFFT認識による手法(長嶋2010)よりも優れている事を確認した。本稿ではまずこの概要について報告する。

筋電情報は脳から制御指令する随意筋(横紋筋)への神経インパルスを計測したものであるが、一般に「五感」と呼ばれる外界に向けた感覚器(視覚・聴覚・味覚・嗅覚・触覚)からなる「外受容感覚」に対して、内蔵や血管の状態、内分泌系・横紋筋等の情報「内受容感覚」は、Damacioの提唱するソマティック・マーカー仮説(SMH)とともに、人間の感情(寺

澤2014)や意思決定(大平2014)に大きく関係している、という新たな報告は、脳機能を外受容感覚と内受容感覚の両方に対する予測マシンとしてモデル化したSethの研究(Seth2013)とともに注目されている。本稿の後半ではこの状況を整理し、新たな筋電パターン認識実験とバイオフィードバックを組み合わせることによってSMHを検証し、さらに随意筋を制御する無意識下のリラクゼーション作用が広義のエンタテインメントとして感情と関係してくる、という仮説を検討提案する。

## 2 オリジナル筋電センサ

### 2.1 第1世代～第3世代の筋電センサ

過去の音知学会や情報処理学会音楽情報科学研究会などの場で報告しているので、筆者オリジナルの筋電センサ楽器については参考文献(長嶋2015a)内に全て公開しているドキュメントへのリンクを参照されたい。例えば第3世代の筋電楽器"MiniBioMuse-III"を活用したライブ音楽作品の公演は、海外に限定してもKassel, Hamburg, Montreal, Amsterdam, Paris, Vancouver, Taipei, Yekaterinburg, Osloで行っ

ていて、そのYouTube記録動画へのリンクもここに置かれている。

## 2.2 第4世代の筋電センサ

エレクトロニクスの世界で高性能半導体の登場を受けた第4世代のオリジナル筋電センサは楽器でなくジェスチャ認識のツールとして研究した(長嶋2010)。ここでは手首ベルトの4チャンネル筋電センサ出力を各50バンド、計200バンドのFFT情報としてリアルタイム認識することで、29種類のポーズから被験者ごとに特徴的な5ポーズ程度を良好に認識できる事を報告した。

## 2.3 第5世代の筋電センサ

詳しくは参考文献(長嶋2015a)内にあるリンク「mbed日記」「Myo日記」「生体信号の情報処理のためのプラットフォームについて」にあるので省略するが、この特集記事執筆のために生体情報全般について整理するとともに2チャンネルながらコンパクトな新筋電センサ(情報伝送にWiFiを使用)を開発した。ここでは簡易型のFFTによる筋電パターン認識に加えて、筆者がリサージュ解析と名付けた新たな手法により、少ない処理量で有効な認識を実現できる可能性を提示できた。

# 3 世界の新・筋電センサ

## 3.1 BITalinoとe-Health

前項までは参考文献(長嶋2015a)にある情報なので、ここからが新しい報告である。筆者の特集記事執筆とほぼ並行して、海外でも生体情報計測や筋電情報に注目が集まっているのか、新しいシステムが3つ、登場した。そのうちBITalinoとe-Healthについては「インターフェース」誌の原稿として執筆したものの、誌面の都合で掲載されなかったののでここで簡単に紹介する。

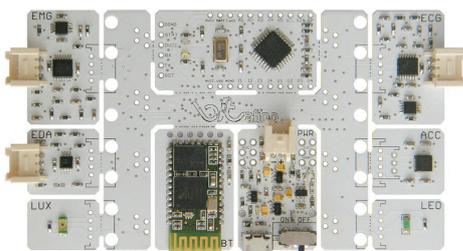


Fig.1 BITalino.

図1のBITalinoは、リスボンの研究所ISELのJose Guerreiro氏の修士論文(Guerreiro2013)の中で、生体信号検出システムの実例として実現したシステムである。ネットショップでは、皮膚に貼り付ける電極5枚と3電極(筋電・

心電)と2電極(皮膚電気抵抗)の電極ケーブル各1本とリチウムポリマー電池1個とメイン基板のベーシックセットが149ユーロである。

BITalinoの内蔵マイコンはATMEGA328PでArduino互換であるが、ユーザがファームウェアをオリジナルに改編できないので「Arduino風のAVRマイコン」というのが正しい。またBluetoothモジュール専用でArduinoのようなホストPCと接続するUSBコネクタが無く、ユーザはBluetooth経由でBITalinoから送られてくるEMG・ECG・EDA・LUX・ACCという5種類のセンサ情報パケットを受信する。表示用のアプリケーションの提供とともに、自作するためのツールやAPIも公開されていて、PythonやJavascriptでセンサ情報を利用したアプリケーションを開発できる。



Fig.2 e-Health.

図2のe-Healthは、BITalinoがファームウェアを書き換えできないAVRマイコンによって生体センシング情報を送信するシステムとして完結しているのに対して、ホストマイコンとしてArduinoやRaspberryPiに対応した生体センサ・シールドである。基板上的コネクタはArduinoシールドだが「RaspberryPiに変換するアダプタ基板」も一緒に出していて、両方に対応している。この生体センサ・シールド単体の価格は75ユーロだが、周辺機器として提供されているものを全て含むセットは450ユーロになる。注意点として、e-Healthは8種類の生体情報を計測できるとしているが、実は完成品の計測器を外部オプション装置として繋ぐだけという生体情報が多数ある。

## 3.2 Myoの標準機能

BITalinoやe-Healthとほぼ同時期(2014年前半)に世界的にリリース(オンライン予約受付)されたものの実際に出て来るのが2015年にずれ込んだのが、図3の“Myo”(199ドル)である。これはUSB dongleに対してBluetoothで「9軸センサ(3次元方向・3次元加速度・3次元ジャイロ)」と「8チャンネル筋電情報」を送送す

るという完結した(改変不可)アームバンドセンサ製品である。



Fig.3 Myo.

Myoを使うためには標準の「Myoコントローラ」というアプリケーションを起動して、USB DongleとMyoとでBluetooth通信を確立する必要がある。このツールのジェスチャー登録機能を使うと、「脱力」「グー」「パー」「パーで手首を屈曲」「パーで手首を反らせる」という5種類のジェスチャーを学習して必要なパラメータをMyo本体に伝送し、Myoからはセンサの生データでなく5種類のジェスチャー番号をシンプルに取得して、一般のアプリケーションの操作(プレゼンソフトのページめくり、ムービーのスタート/ストップ等)に割り当てて、マウスでない新しい入力デバイスとしてお手軽に使える。

### 3.3 Myoの Unofficial Tools

たった5種類のお仕着せジェスチャー入力装置として飽き足らないユーザのために、Myoを提供するThalmic Labs社のWebサイトでは、関連情報を公開することで、膨大な”Unofficial Tools”が出揃うことを支援している。<http://developer.thalmic.com/forums/topic/541/>に並んでいる対応ツールの品揃えは2015年3月時点で以下の34種類にもなっている。

- Myo Connect WebSocket API
- Myo Java
- Myo Java JNI Library
- Myo JNI
- Myo Objective-C for OS X (Kemcake)
- Myo Objective-C for OS X (ShirazO)
- Myo AIR AS3 Extension
- Myo OSC
- MyOSC
- MyoSharp C# Wrapper
- Myo.NET
- Myo.js
- MyoJS (Requires MyoDaemon, Mac only)
- Myo Node
- Myo Node Red
- MyoDaemon
- MyoAS3
- Python Bindings for the Myo SDK
- Myo Python Wrapper
- Myo Ruby
- Myo UE4 Plugin
- Myo Unity iOS Plugin
- Myo Go Client
- Cinder Myo
- libmyo for Linux

- Myo Xamarin
- Myo Cordova/PhoneGap plugin
- openFrameworks addon using WebSockets
- Myo for Delphi
- Myo for Processing
- QCMyo - Myo Quartz Composer Plug-in
- Myo ROS and Myo ROS Windows
- ROS Myo
- Myo for Arduino control

このそれぞれの対応環境ごとに豊富なサンプルも充実していて、オープンソース文化における筋電のスタンダードを狙っている。筆者はMyoDaemonというデーモンプロセスを介する手法、node.jsにJavascript経由でアクセスする通信などを試した上で、ProcessingによってMyo情報を取得したりMyoに振動情報を伝えるツールを完成させ、このProcessingスケッチとOSC(Open Sound Control)を介して通信してMax環境で筋電音楽生成や筋電ジェスチャー認識を行うシステム環境を整えた。図4はその実験画面である。

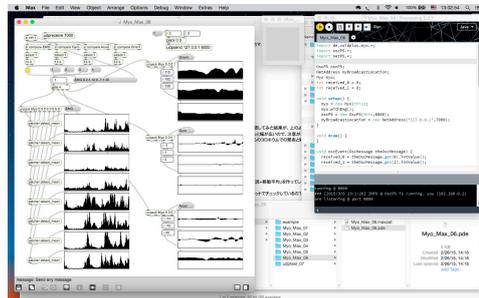


Fig.4 Myo-Processing-Max.

## 4 Myoによるジェスチャー認識

5種類のジェスチャー入力装置では勿体ないレベルのBluetooth高速通信性能である事を確認した上で、筆者の第3世代筋電センサのように代替品が無い(フロントエンド回路に使用している東芝dualFETは既に製造中止)という心配のない市販システムMyoを、より高機能な筋電センサとして活用する事にした。具体的には上記のようにProcessing経由で取得したMyoからのBluetooth情報に対してインターフェース誌2015年4月号特集記事(長嶋2015a)で紹介した信号処理として、(1)全波整流(絶対値)、(2)40段の移動平均(積分)、という前処理を施して8チャンネル筋電エンベロープ情報とした上で、よくあるFFT解析でなく、筆者が提唱した「リサージュ解析」のアルゴリズムによって32チャンネルの筋電解析情報をリアルタイム取得した。この信号処理手法の詳細は別途に報告の予定(2015年6月、電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会)なのでここでは省略する。

この32チャンネルの筋電解析情報を、第4世代のジェスチャ認識ツール(長嶋2010)の200バンドFFT情報から置き換えたMaxパッチとして開発したのが、図5のMyo筋電ジェスチャ認識システムであり、この動作紹介のデモ動画もYouTube(長嶋2015c)に上げた。



Fig.5 Myo Gesture Recognition System.

ここで重要な点は、あらかじめ画面内に表示される29種類のポーズを真似た筋電解析情報をまず全て記録し、次に再び画面内の表示を真似た筋電解析情報との距離を刻々とリアルタイム計算し、最小値のポーズを1ポイントずつ増加させる、というグラフを体験者本人が視覚的に確認して、そのポイントを上げるために、個々のポーズ再現中もももどと脱力と緊張を繰り返す、というバイオフィードバックとなっている事である。随意筋とはいえこの微調整はかなり無意識下であるにもかかわらず、面白いようにヒットする。

## 5 内受容感覚とSMHと情動/感情

### 5.1 DamasioのSomatic Marker仮説

外受容感覚Exteroception(視覚・聴覚・味覚・嗅覚・触覚)に対して、内蔵や血管の状態、内分泌系・横紋筋等から脳が受容する内受容感覚Interoceptionは、Damasioの提唱する図6のソマティック・マーカ仮説(SMH)とともに、人間の感情(寺澤2014)や意思決定(大平2014)に大きく関係している。

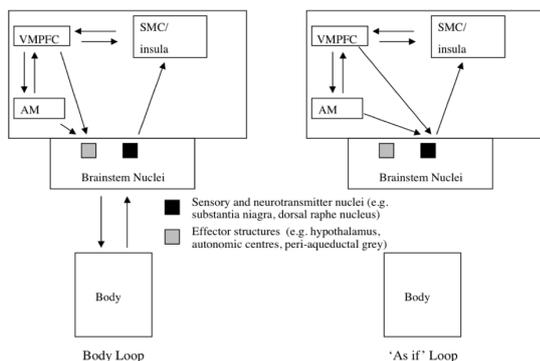


Fig.6 Somatic Marker Hypothesis.

批判もある(向井2011)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(後述)。

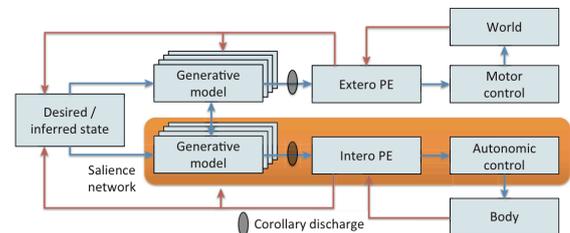


Fig.7 Model of Interoceptive Inference.

一方、脳機能をベ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7)と提案した(Seth2013)。このモデルは、Damasio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。

### 5.2 Bio Feedbackと医療Entertainment

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(棟方2014)は、このDamasio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(Nacke2011)。

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。

### 5.3 筋電ジェスチャ制御との関係

これらの先行研究/報告を並べて検討すると、身体と感情、注意と自己、予測/期待と感情、意識と無意識、などの重要な視点を見出せる。ビートをキーワードとして視覚・聴覚・身体動作(タッピング)を組み合わせた心理学実験(長嶋2003)では、予測/期待のプロセスがビートの引き込みを起こすという現象を確認したが、バイオフィードバックと内受容感覚の要素が欠けていたために、実験の中で感情という要素は出現しなかった。

しかし今回の筋電ジェスチャ認識システムでは、あらかじめ登録した自分の29種類のポーズに対応した筋電解析情報とリアルタイム照合する際に、狙ったポーズと客観的にもっとも「近い」場合にスコアが伸びるといって、随意筋とはいっても皮膚電気活動と同様にほぼ無意識下のリラックスと緊張の微調整から得られる成功(達成)の充実感/意外感の感情は、明らかに一種のエンタテインメントであった。

### 5.4 SMH的な音楽聴取の情動/感情の解釈

筆者がDamacioのSMH(図6)に興味を持つのは、生物学的な発達遺伝学の視点で賛同できることもあるが、音楽聴取時の情動に関する歴史的名文「音楽の面白さと知的情動」(村尾1998)の記述とまさに結び付くからである。ショパン名曲の知的情動の背景解説は原文を参照していただくとして、このような時間的スパンの長い曲を心理学実験の素材とすることで、内受容感覚センシングにおいて「あたかもループ」でない生体情報の関係性を確認できる可能性は重要である。

思考実験としてSMH的な音楽聴取の情動についてPOPSやJazzのコードシーケンス聴取を考えてみよう(キーはC Majorとする)。コードの進行という意味で前後同一コードは除外されるので、例えばトニックの3和音C(構成音C/E/G)から進行するコードのうち、1音が前後で共通する(一種の音楽的恒常性)とすると、Cから進行するコードの候補は「F/G/Ab/A/Eb/E」の

6種類となり、このうち近親調のC→FとC→Gに対して、Cから他の4種に進行するコード進行は全てカッコイイ情動となるのは、そこに恒常性からの揺らぎ(無意識下の予測からの摂動)があり、注意が「その後」(→予測モデルの動的修正)に向かうからであろう。

Jazz等でトニックのCM7に対してG7→CM7だけでなくDb7→CM7(裏5度)のドミナントモーションが好まれるのも、G7とDb7に共通するF/Bのトライトーン(3全音=6半音=増4度=減5度)の音程の解決を無意識下に期待/予測したところにハマる音楽的情動からであろう。

内受容感覚の鋭敏さには個人差が大きく(寺澤2014)、このような議論にピンと来ない工学者も多いが、注意を意識した訓練で向上するので、音楽情報科学に関する研究者を志すのであればぜひ感性を鍛えていただきたい。

## 6 新たな実験/研究に向けて

### 6.1 第一の目標

内受容感覚と感情に関する研究は発展途上なので(寺澤2014)、ここで今後の研究/実験の構想を述べる。まず第一の目標はSMHやSeth論文の仮説に対する追試/検証である。Seth論文では外受容感覚における脳内モデル検証として、ラバーハンド錯覚をHMDとKinectで実験するなど比較的シンプルな実験装置でトライしていて、従来の脳科学実験においてfMRIやPETなど巨大施設を必要としていたのに対して、より軽快な実験を行うアプローチを提唱している。バイオフィードバックはMax環境によって容易にマルチモーダルな条件提示を実現できることから、この手法を参考とした追試・検証をデザインして実験していきたい。

### 6.2 第二の目標

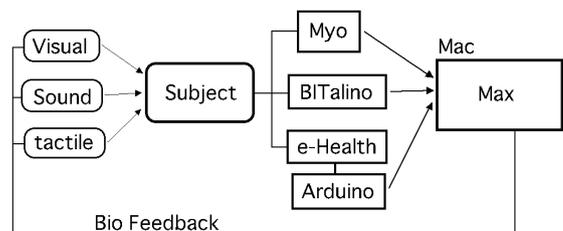


Fig.8 New Experiment System.

本報告の筋電ジェスチャー認識システムの最終ステップで行った一種のゲームモードは、予備的実験の段階でも情動/感情を伴う結果を予感させた。これを明確に計測するために、本稿で紹介したBITalino・e-Healthなどを活用して、自律神経系と深く関わる皮膚電

気抵抗(GSR)センシングや心拍情報・呼吸情報と組み合わせた実験環境(図8)を構築して、筋電ジェスチャー認識実験の一部として、能動的な随意筋の無意識下のバイオフィードバック微調整の際の情動と結びつく検出を目指したい。これにより、筋電を介した内受容感覚センシングへと繋がる可能性が期待できる。

### 6.3 第三の目標

筋電計測システムはあくまで道具であり、情動・感情との結び付きを捉えるツールであるだけでなく、さらに目標は広義のエンタテインメントにある。Damasioによれば、内受容感覚は生物学的なホメオスタシス(物理的・化学的)のためだけでなく、メンタルなホメオスタシス(自己意識)のためにも中心的な役割を果たしている可能性が高い。これは「心」そのものに繋がる、エンタテインメントの本質を検討する議論と直結している。医療エンタテインメントだけでなく、内受容感覚という新たな視点から、色々なエンタテインメントの可能性を追求することは、翻って音楽の世界でこれまで議論されてきた「音楽と感情」のテーマに対しても、予測・期待などの情動から生まれる音楽的感情に対する新たなモデルを提供すると期待できる。「癒し」とは決して安静・平穏な方向だけでなく、期待の裏切りや予測誤差の修正など脳内の一種のストレスによって、結果としてカタルシス効果を生み出すことも含まれるのである。

## 7 おわりに

オリジナル筋電情報処理システムについて報告し、新たな筋電ジェスチャー認識とバイオフィードバックを組み合わせることによって、SMHと感情の検証、さらに随意筋を制御する無意識下のリラクゼーション作用を広義のエンタテインメントとしていきたい、という提案について述べた。直接的にはまだ音楽の領域に入ってきていないが、将来的には筋電センサから筋電楽器へと進化させ、音楽(聴取+予測+生成)のパートナー、「音楽と感情」の新しいモデルの心理学実験ツールとして検討していきたいと考えている。

### 参考文献

大平英樹 (2014). 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.  
Jose Guerreiro (2013). A Biosignal Embedded System for Physiological

Computing. Thesis submitted in the fulfilment of the requirements for the Degree of Master in Electronic and Telecommunications Engineering, Instituto Superior de Engenharia de LISBOA.

- Anil K. Seth (2013). Interoceptive inference, emotion, and the embodied self. Trends of Cognitive Science, 17, 565-573.
- Antonio R. Damasio, 田中三彦(訳) (2000). デカルトの誤り 情動、理性、人間の脳. 講談社.
- Antonio R. Damasio, 田中三彦(訳) (2003). 無意識の脳 自己意識の脳. 講談社.
- Antonio R. Damasio, 田中三彦(訳) (2005). 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.
- Antonio R. Damasio, 山形浩生(訳) (2013). 自己が心にやってくる. 早川書房.
- ThalamicLabs (2014). Myo. <http://thalamic.com/myo/>
- 寺澤悠理・梅田聡 (2014). 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.
- 長嶋洋一 (2003). 音楽的ビートが映像的ビートの知覚に及ぼす引き込み効果. <http://nagasm.org/ASL/beat/>
- 長嶋洋一 (2010). 新しい筋電楽器のジェスチャー・表現の検討について. 日本音楽知覚認知学会2010年春季研究発表会資料.
- 長嶋洋一 (2015a). 筋電センサ関係情報. [http://nagasm.org/ASL/CQ\\_mbed\\_EMG.html](http://nagasm.org/ASL/CQ_mbed_EMG.html)
- 長嶋洋一 (2015b). 生体信号の情報処理のためのプラットフォームについて. 情報処理学会研究報告 (2015-EC-35).
- 長嶋洋一 (2015c). 筋電ジェスチャー認識システムのデモ. <http://www.youtube.com/watch?v=K4JPBpFCcyU>
- Nacke, L. E. et al (2011). 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.
- 日経サイエンス編集部 (2014). 意識と感覚の脳科学. 日本経済新聞出版社.
- 向井雅明 (2011). Dの誤り ダマシオ批判. [http://psychanalyse.jp/archives/M\\_MUKAI/damasio.doc](http://psychanalyse.jp/archives/M_MUKAI/damasio.doc)
- 棟方渚 (2014). 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).
- 村尾忠廣 (1998). 音楽の分析・解釈. bit別冊 コンピュータと音楽の世界-基礎からフロンティアまで-. 共立出版, 216-223.