

サブテーマ4：

マルチモーダルデータからの不変情報の発見とその方法論の研究

研究代表者

[統計数理研究所] 松井 知子

共同研究者

[早稲田大学] 田邊 國士
[国立情報学研究所] 佐藤 真一, 古山 宣洋, 井上 雅史
[京都教育大学] 花田 里欧子
[和歌山大学 / 統計数理研究所] 入野 俊夫
[統計数理研究所] 福水 健次, Marco Cuturi

1. 研究目標

21世紀の知識社会では、インターネットや大容量の電子媒体を通して、多様なマルチモーダルデータが一層利用できるようになることは確実である。その中で、それらのデータをいろいろな目的でうまく処理する技術が強く求められている。本サブテーマでは、各目的に合わせて、マルチモーダルデータから重要な情報（ここでは“不変情報”と呼ぶ）を自動的に発見するための新しい帰納的方法論について検討を行う。マルチモーダルデータを扱う、画像・音声・言語・対話処理などに関する具体的な課題をいくつか取り上げ、それぞれに不変情報の発見を試み、それらのアプローチを横断的に解析する。

従来の方法論の多くは、先験的な知識に基づいた要素還元による。例えば、マルチモーダルデータの統合の問題においては、個々のモダリティごとに先験的に分節化を行った上で、連関を構造化するというアプローチが取られている。しかし、これは人間が行う処理とは異なり、雑音やスケールの違いによる影響を受け易い。人間の処理を探求し、より高性能なデータ処理を実現するためには、マルチモーダルデータを先験的に分離しないで、一つのまとまりとして捉えることが必要である。

その手段として、近年、開発された PLRM (Penalized Logistic Regression Machine) [8, 9, 10] や SVM (Support Vector Machine) [11] など、自動モデル選択の機構を含む帰納的学習機械を用いることが有望である。これらの学習機械は画像や音声処理などのパターン認識の分野で利用されているが、個別のデータに対して適用されているに過ぎない。本サブテーマでは、マルチモーダルデータを統合的に捕らえ、帰納的アプローチにより不変情報を発見するしくみを見出すことを目標とする。具体的には、次の四つの課題への取り組むことにより、その方法論の有効性・可能性を明らかにする。

- A) **映像データからの不変事象の学習検索**：TRECVID (映像索引付け・検索に関する国際的な競争型評価プロジェクト) [12] の高レベル特徴抽出タスクにおいて、機械学習を用いた帰納的なアプローチにより、適切な不変情報すなわち適切な特徴量の設計を行う。

TRECVID 高レベル特徴抽出タスクとは、プロジェクト参加者に配布される数百時間規模の大量のニュース映像を構成するショットを、その意味内容に応じて、群衆、建物、動物、航空機などのクラスに分類する、映像意味解析の高度化を狙いとしたタスクである。参加者は、訓練用映像セットとして、上記のクラスに分類されたショットが与えられ、これを用いてまず上記のクラスに適切に自動分類する手法の構築を行う。後ほど、評価用映像セットに対し構築した手法を適用し、クラスに分類した結果をプロジェクトオーガナイザーに送付することにより、分類結果の精度の相互比較が行われる。

従って、プロジェクト参加者は、ニュース映像から意味解析に必要な特徴量を適切に抽出することと、訓練用映像セットから適切なクラス分けが可能な分類器の設計とが求められる。本研究では、映像というマルチモーダルな対象からの適切な特徴量の抽出を、マルチモーダルデータからの不変情報の抽出と捕らえ、また訓練用映像セットからの分類器の設計に対し、帰納的な学習機械を用いたアプローチをとることにより、本サブテーマへの貢献をねらう。

- B) **ダイナミカルシステムを用いた身体協調の不変原理の探求**：自然な会話場面における身体協調を成立させている不変情報を明らかにすることを目的とする。例えば、対人コミュニケーションにおいていわゆる「間」が合うといった表現を日常的に用いるが、そのような円滑なコミュニケーションができている場合、具体的には身体運動のどの部分とどの部分がどのような位相関係にあるのか、そして、円滑さまたは逆に淀みなどとして理解されるコミュニケーションの系としての安定性を左右するのはどのような制御パラメータなのか。このような、コミュニケーションにおける身体協調を成立させる不変情報を明らかにすることで、人間と機械の身体的な協調システムの開発に向けて基礎的なデータと理論を提供することを目指す。
- C) **身体性制約下における外界データの不变情報抽出機械としての知覚神経回路の特定**：PLRMなどの帰納的学習機械を改良して、大規模なデータの処理や有効なデータの選択的利用が行えるようにする。その機械により、人間の空間音源定位のしくみの解明を試み、帰納的学習機械を用いた統計科学的手法による新しいアプローチの有効性を示す。具体的には、さまざまな方向・距離から到達する音を内耳モデルなどを用いてコーディングし、PLRMなどの帰納的学習機械を用いて、空間音源定位のための「統計モデル」を自動学習する。PLRMはカーネルマシンとして、データのみに基づいて広い範囲のモデルを帰納的に獲得できる能力がある。カーネルマシンは、無限の数のカーネル回帰変数を内包しており、それらにより無限の数のモデルを表現することができる。次いで、そのモデルのポスト分析を行い、そのモデルに表されている情報を探る。ここでは、この情報を空間音源定位のための不変情報とする。最終的には、この不変情報に基づいて神経回路を同定することを目指す。
- D) **対話データからの不変情報（コミュニケーション・パターン）を規定する要因の特定**：映像として記録された対話から、その対話を特徴付ける量を抽出する手法を開発する。対話の特徴量としては、盛り上がり・円滑さ・影響力、といった人間の主観的判断に依存する

対象を想定している。これらの特徴を対話内部の定量的であってそれ自体では意味を持たない、韻律・韻き・相槌・話者交代といったさまざまな指標から機械的に帰納するプロセスを通じて、対話の特徴付ける不変情報としてのコミュニケーション・パターン[13,14]の同定を目指す。分析対象とする対話として、臨床心理士等による面接場面を取り上げ、そこでのコミュニケーション・パターンの規定要因を特定することで、臨床実践および臨床教育に資する知識を獲得することを目標とする。

上記 A)~D)の検討においては適宜、帰納的学習機械を利用する。また大規模データを扱い、量的な問題に取り組むことにより、新たに見えてくる質的な問題を明らかにしていく。本研究を通して、従来の先験的要素還元的な方法とは異なる科学方法論の新しいパラダイムを創造する。

2. 年次研究計画

H17~21年度の5ヵ年間で、上記 A)~D)の課題について、帰納的アプローチによる不変情報の発見を試み、帰納的アプローチの有効性を実証する。それらの検討を通じて、分野横断的な帰納的メタウェア(マルチモーダルデータのコーディングモデル,大規模データを扱えるアルゴリズム)を開発していく。さらに、帰納的アプローチの体系化に取り組む。H17年度は主に各課題のための研究体制を整え、研究を開始した。H18年度以降の年次計画を次に述べる。

H18年度

各課題について次の計画で取り組む。

- A) **映像データからの不変事象の学習検索**:H17年度は、比較的オーソドックスな特徴量(色モーメント, Gabor テクスチャ, キーワードベクトル等)と、比較的オーソドックスな SVM を用い、特に全体/局所情報間, マルチモーダル情報に対しモードの異なる情報間, 分類結果/低レベル特徴量のように抽象度の異なる情報間等に対する融合方法に注力して検討を行った。平成 18年度も、引き続き最適な特徴量ならびに最適な融合方法について検討を行う。あわせて、新たな特徴量の検討(階層型色ヒストグラムの利用, 音響情報の利用など)、新たな識別器の利用について検討を行う。
- B) **ダイナミカルシステムを用いた身体協調の不変原理の探求**: H17年度の統制実験結果を踏まえ、より自然な会話場面における身体協調の不変情報について検討する。これまでにデータ集録してある自然会話データ(音声, 映像, 呼吸運動, 身振り動作など、一部の身体部位の3次元動作データ)について、再帰定量分析(Recurrence Quantification Analysis) [15]などの手法を用いて分析していく。また、同じコミュニケーションを対象とする、D)の課題に再帰定量分析を適用することも考えている。
- C) **身体性制約下における外界データの不変情報抽出機械としての知覚神経回路の特定**: 学習データとして雑音データを複数作成して用い、PLRMによる音源方向検出の汎化性について調べる。また、聴覚系には音の始まりに反応する onset ニューロンが存在することが知られているが、このニューロンの働きと音源方向検出との関係についても検討する。

- D) **対話データからの不変情報(コミュニケーション・パターン)を規定する要因の特定**：
本格的なデータの収集，一対話内に見出される不変情報の発見に取り組む。

H19 年度

各課題について次の計画で推進する。同時に，帰納的メタウェア・アプローチに関する分野横断的な検討を開始する。

- A) **映像データからの不変事象の学習検索**：これまでの知見から，タスクの種類ごとに，タスクの特性，最適な特徴量 / 融合方法 / 学習手法が異なってくるのがわかってきている。こうした問題に対応するためには，これまで検討してきている SVM のような分類型の学習器のみならず，隠れマルコフモデル(HMM)や Conditional Random Field(CRF)のような，タスク / クラス間の依存関係まで考慮に入れた生成型の学習器の利用も視野にいれる必要があると考えられる。これらについても検討していく予定である。
- B) **ダイナミカルシステムを用いた身体協調の不変原理の探求**：18 年度に引き続き，自然会話データについての分析を進める。D)の課題と併合させながら，コミュニケーションの問題を一括して捉えていく予定である。
- C) **身体性制約下における外界データの不变情報抽出機械としての知覚神経回路の特定**：
PLRM のポスト分析から，音源方向検出における不変情報の定義を試み，知覚神経回路の特定を目指す。
- D) **対話データからの不変情報(コミュニケーション・パターン)を規定する要因の特定**：
データ収集の継続と，複数の対話を横断して見出される不変情報の発見に取り組む。

H20, H21 年度

各課題について引き続き検討を展開する。それらの検討結果をまとめていき，分野横断的な帰納的メタウェア，帰納的手法に関する資料化を行う。これらにより，映像検索の高度化，人間のコミュニケーションにおける間の問題の解明，知覚神経回路の特定，臨床心理士の支援ツールの開発などを目指す。

3. 平成 17 年度の研究進捗

各課題の研究進捗は次の通りである。

- A) **映像データからの不変事象の学習検索**：平成 17 年度は，比較的オーソドックスな特徴量として色モーメント，Gabor テクスチャ，キーワードベクトル等を用い，学習機械として SVM を用いて高レベル特徴抽出タスクの実験を行った。その結果，カーネル融合法がもっとも高い性能を示すことがわかった。
- B) **ダイナミカルシステムを用いた身体協調の不変原理の探求**：コミュニケーションにおける身体的な，個人内ならびに個人間の協調に関する実験から，発話-身振り協調系と呼吸運動が密接に関わりながら協調系を組織していることがわかった。また，屈曲と発声が同期するモード A，伸展と発声が同期するモード B に関して，結合再帰性分析により，モード B

よりもモード A において、手首運動と呼吸運動とがより同期していることを示した。

- C) **身体性制約下における外界データの不变情報抽出機械としての知覚神経回路の特定**：PLRMにより、パルス音もしくは純音について、聴覚フィルタの出力の一次結合情報に基づいて音源方向が検出できることを確かめた。
- D) **対話データからの不变情報（コミュニケーション・パターン）を規定する要因の特定**：H17年度は、今年度以降の本格稼働のための準備作業を行った。具体的には、研究アプローチに関してメンバー間で共通認識を得ること、対話分析に関連する学術的知識を共有すること、データ取得及びその分析のための計算機やソフトウェア、研究支援者の確保等の環境整備である。

4. 平成17年度研究成果

(1) 知見・成果物・知的財産権等

上記 A) ~ D) の各課題で得られた知見・成果物の要点を次にまとめる。

- A) **映像データからの不变事象の学習検索（成果発表[1,2,3]）**：特徴量として色モーメント、Gabor テクスチャ、キーワードベクトル等を、学習機械として SVM を用いた場合に、カーネル融合法がもっとも高い性能を示すという知見が得られた。
- B) **ダイナミカルシステムを用いた身体協調の不变原理の探求（成果発表[4]）**：コミュニケーションにおける身体的な、個人内ならびに個人間の協調に関する実験から、発話-身振り協調系と呼吸運動が密接に関わりながら協調系を組織しているという知見が得られた。また、屈曲と発声が同期するモード A、伸展と発声が同期するモード B に関して、結合再帰性分析により、モード B よりもモード A において、手首運動と呼吸運動とがより同期しているという知見も得られた。
- C) **身体性制約下における外界データの不变情報抽出機械としての知覚神経回路の特定（成果発表[5]）**：パルス音もしくは純音を用いた実験において、学習とテストで同種類の音源を用いる場合には、両耳信号である神経発火パターンの一次結合情報のみに基づいて音源定位できるという知見が得られた。同時に、学習とテストで音源の種類が異なる場合には方向推定は難しいという知見も得られている。
- D) **対話データからの不变情報（コミュニケーション・パターン）を規定する要因の特定**：マスターセラピスト（高いスキルを持つセラピスト）の特徴の定性的把握、臨床の立場、情報処理の立場、それぞれから求められるデータ要件の違いを整理に関する知見が得られた。成果物としては、家族療法での面接場面を対象としたデータ収集のためのプロトコル、およびサンプルトランスクリプト（対話を書き起こしたもの）1 対話分がある。

この他に帰納的学習機械について Kernel CCA の収束に関する検討を行った（成果発表[6]）。

知的財産権については、C) の課題に関連し、特許「松井知子、田邊國士、入野俊夫、“音源方

向検出装置及び音源方向検出方法,”特願 2005-271227」(成果発表[7])を出願した。

以下、各課題の成果について詳しく紹介する。

A) 映像データからの不変事象の学習検索

平成 17 年度は、比較的オーソドックスな特徴量(色モーメント, Gabor テクスチャ, キーワードベクトル等)と、比較的オーソドックスな学習機械(SVM) を用いてアプローチした。画像を構成する複数の領域間, 色/テクスチャ/キーワード等特性の異なる特徴間, ならびに画像全体から得た分類結果と画像の局所的な分類結果間において、特徴量や分類結果などの融合を行う必要があるが、この手法についてさまざまな検討を行った。具体的には、

- 早期融合: 各領域・モダリティから得た特徴量を単純に結合して全体の特徴量として扱う手法
- 後期融合: 各領域・モダリティごとに識別器を学習しておいて、分類時には、各領域の分類結果を融合し、これをさらに上位の識別器によりクラス分けを行う。
- ハイブリッド: 上記を組み合わせ、各領域から得た分類結果と特徴量をあわせて上位の識別器に与える。
- カーネル融合: 早期融合の一種と考えられるが、単純な結合ではなく、カーネル関数を用い、領域や特性ごとに適切な融合法を学習により得る。

等についてクラス分け性能の評価を行った。今のところ、カーネル融合法が最も高い性能を示すことがわかっている。

B) ダイナミカルシステムを用いた身体協調の不変原理の探求

H16 年度までに、母音の発声と手首の伸展・屈曲運動を同期させる協調実験を、個人内協調と個人間協調に関してそれぞれ実施し、分析した。その結果、発声と手首運動とのあいだの協調ダイナミクスの質的な転換と、呼吸運動のパターンの質的な転換とが密接に関わっていることを示し、論文として纏めた[4]。具体的には、被験者に与えられた課題は、「あぁ」という発声と手首の屈曲・伸展運動を同期させることであった。同期のテンポは段階的にテンポが速くなるよう設定されたメトロノームに合わせ、メトロノームが 1 回鳴るごとに、手首の屈曲・伸展を 1 回、屈曲のときに発声を同期させるモード A と、伸展のときに発声を同期させるモード B という 2 種類のモードで同期させる。このような課題を一人でやる個人内条件と、発声と手の動作を 2 人で分担してやる個人間条件とを比べてみると、どちらの条件でも約 1.2Hz 前後で同期のタイミングが急に不安定になりながらも、平均としては同期のモードに拘わりなく物理的にはほぼ同じ位置に収束するようになるなど、発声と手の動作を協調させるシステムが質的に転換することが明らかとなった。さらに、発声-手協調システムが質的に転換する 1.2Hz 前後では、呼吸運動のパターンも質的な転換をすることが明らかになった。さらに、個人内協調実験ならびに個人間協調実験の両実験において、身振り動作と呼吸運動との間の結合関係やその周期性について再帰定量分析 (Recurrence Quantification Analysis) [15] を用いて分析を進めた結果、位相モードや周波数

によって結合の強度が異なることを示す予備的な結果が得られつつあり、最終的な解析をしているところである。これらの結果は、同期のテンポが 1.2Hz よりも高くなると、一人での同期と、二人での同期は質的に似通ったものになることを示唆している。もちろん、自然文脈の会話場面では周期性の高い動作ばかりではないので直接的な応用には限界があるが、今後は、本研究で得られた知見を基礎としながら、より自然な文脈での呼吸のはたらきを明らかにし、人同士のコミュニケーションの理解や共生システムの開発に寄与するよう研究を進めていく予定である。

C) 身体性制約下における外界データの不变情報抽出機械としての知覚神経回路の特定

人間の空間音源定位[16]には方向と距離の知覚が含まれる。また、方向知覚は一般に、水平面定位と正中面定位に分けて考えられる。水平面定位に関しては、1948 年発表以来、Jefress の一致検出器モデル[17]が最有力とされてきた。このモデルは一種の相互相関法に基づいており、時間遅れに応じて数多くの検出器が並んだモデルである[18,19]。しかし、これまで生理実験による検証や反証は十分に行われてこなかったために、上記モデルの正当性は明らかではない。最近、小型哺乳類において一致検出器の存在に疑問を呈する議論が生理データに基づいてなされている[20]。一方、複数のマイクロホンを用いた工学的な音源方向推定に関してはいろいろな方法が提案されてきた。代表的な方法としては、複数のマイクロホンで受信した信号の時間差に基づくノンパラメトリックな推定法、線形予測法、最小分散法、MUSIC 法などのパラメトリックな推定法が挙げられる[21]。いずれの方法においても、各マイクロホンの受信信号間の相互相関を利用している。

正中面定位に関しては、従来、頭部と耳介の重要な役割、音像方向が音源方向と一致する音源の種類、また逆に一致しない音源の種類などについての知見がいくつか報告されているが、水平面の Jefress のモデルのように有力なモデルはまだない。工学的にも有効な方法は提案されていない。距離知覚に関してもいくつかの知見が報告されているが、未解明の部分が多い。

H17 年度は水平面定位について、両耳信号間の相互相関を用いない音源方向推定法について検討を進めてきた[5]。この方法では、方向の異なる音源に対して頭部伝達関数 (Head-Related Transfer Function; HRTF) と内耳モデル (Inner Ear) を適用し、2~20ms 程度の両耳の内耳出力である神経発火パターン X (Neural Activity Pattern; NAP) を模擬する[22,23]。多数の学習用データと正解方向から、1 次の多項式カーネル関数 (線形重み行列 W) を持つ PLRM の双対学習機械 dPLRM に水平面定位を学習させ、テスト用データに対する方向の正解率 (PLRM の出力確率が最大となる方向を答えとして求める) で性能を評価する (図 1)。つまり、両耳信号である神経発火パターンの一次結合情報のみに基づいて確率的な音源方向推定を行う。パルス音もしくは純音を用いた実験において、学習とテストで同種類の音源を用いる場合には音源定位できることを確かめた。

しかし、この方法では学習とテストで音源の種類が異なる場合には方向推定は難しい。今後は、複数の種類の音源による大規模なデータを同時に学習するなどして、汎化性について検討する必要がある。また、純音 (サイン波) を用いた実験では、サイン波の位相を利用して、開始時点に

関して同期の取れた NAP を作成した . 今後は , 純音を含めて , NAP の開始時点を自動的に検出する機構について検討する必要がある .

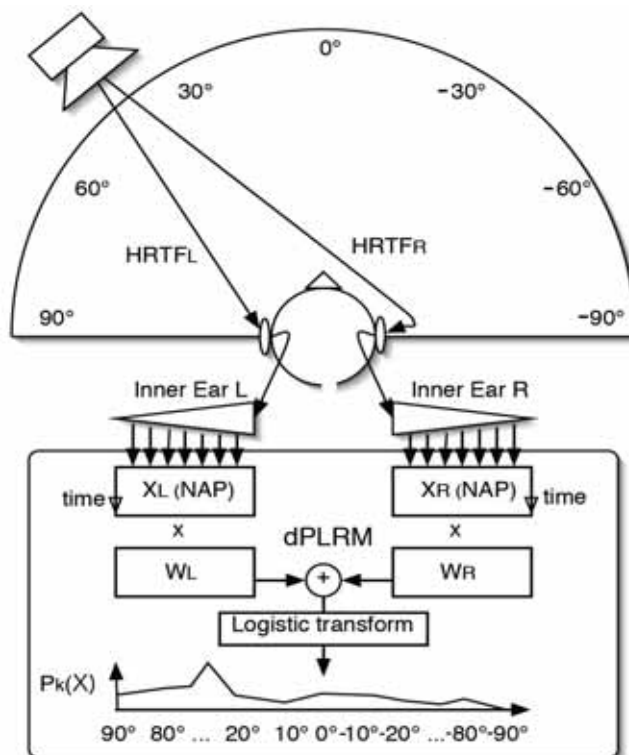


図 1: dPLRM による音源方向推定

D) 対話データからの変情報 (コミュニケーション・パターン) を規定する要因の特定

この課題の特徴は以下の三点である . 一点目は , 異なるバックグラウンドを持った研究者のコラボレーションを最大限活用することである . 現在の参加メンバーはそれぞれ情報科学 , 臨床心理学 , 心理言語学 , という異なる分野を専門とする . 本研究では , それら複数の視点を統合した新しい研究フレームワークの構築を目指している . 今回対象とする臨床心理士の面接場面の対話からの知識抽出は , 情報処理の立場での信号・記号列の処理やデータマネージメント , 臨床の立場での知見の有用性の判定 , 基礎心理学的側面からのジェスチャー等を中心にした対話の精緻な分析 , それらが相補うことで初めて可能となるテーマであるといえる . 本研究参加メンバー以外にも , 音響分析・映像分析・機械学習手法等の知識を有するサブテーマ参加者との幅広い協業が期待される . 二点目の特徴は , 実環境におけるデータを利用することである . 対話分析の研究においては , 「自由に雑談してください」という自由発話課題を含め , 人工的に設定された対話課題の状況をデータ取得に適した実験室環境で記録したデータを利用することが多い . それに対して本研究では , 実際に臨床心理の専門家としての訓練を行っている話者を取り上げている . そのため , 対話者の発話目的は研究のためのデータ提供ではなく , 自身の問題解決であり , より現実

の発話に近いデータが利用可能である。一方で、その発話環境も自然なものとなっているため、取得されたデータがノイズや不規則な外乱などを含むことになり、分析が複雑になる。これは分析方法の開発の側面からは挑戦のしがいのある課題となる。三点目の特徴は、分析の目標が実践の場への反映可能な知識の獲得という、応用可能性を見据えた研究であることである。人間の対話に関するより深い洞察を得ること、対話分析のための帰納的方法を開発することといった基礎的な内容から、応用までを統合したテーマ設定である。特に今回取り上げる臨床心理学の現場においては対話のシステムティックな分析という試み自体が少なく、本研究で得られる知見は有用性という観点から厳しい評価を受けることになる反面、認知された際には、実践家及び実践家になるための訓練途上にある学生に大きな影響を与える可能性がある。

(2) 成果発表及び著書執筆等

H17年度は次の7つの成果発表を行った。

- [1] S. Ayache, G. M. Quenot, J. Gensel, and S. Satoh, "CLIPS-LSR-NII Experiments at TRECVID 2005," The TRECVID 2005 Workshop, 2005.
- [2] Stephane Ayache, Georges Quenot, and Shin'ichi Satoh, "Context-Based Conceptual Image Indexing," International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), 2006.
- [3] Stephane Ayache, George Quenot, Jerome Gensel, and Shin'ichi Satoh, "Using topic concepts for semantic video shots classification," Proc. of International Conference on Image and Video Retrieval (CIVR2006), 2006.
- [4] K. Hayashi, N. Furuyama and H. Takase, "Intra- and Inter-personal Coordination of Speech, Gesture and Breathing Movements," 人工知能学会誌, Vol. 20, No. 3, pp. 247-258, 2005.
- [5] 松井知子, 田邊國士, 入野俊夫, "両内耳信号の相関情報を用いない音源方向推定," 日本音響学会研究発表会講演論文集, 3-Q-33 秋季 2005.
- [6] Kenji Fukumizu, Francis R. Bach and Arthur Gretton, "Consistency of Kernel Canonical Correlation Analysis," Advances in Neural Informaiton Processing Systems, 18. (2006) to appear.
- [7] 松井知子, 田邊國士, 入野俊夫, "音源方向検出装置及び音源方向検出方法," 特願 2005-271227.

【参考文献】

- [8] K. Tanabe, "Penalized Logistic Regression Machines: New methods for statistical prediction 1," ISM Cooperative Research Report 143, pp. 163-194, 2001.

- [9] K. Tanabe, "Penalized Logistic Regression Machines: New methods for statistical prediction 2," Proc. IBIS, Tokyo, pp. 71-76, 2001.
- [10] K. Tanabe, "Penalized Logistic Regression Machines and Related Linear Numerical Algebra," KOKYUROKU 1320, Institute for Mathematical Sciences, Kyoto University, pp. 239-249, 2003.
- [11] V. N. Vapnik, "The Nature of Statistical Learning Theory," Springer, 1995.
- [12] <http://www-nlpir.nist.gov/projects/trecvid/>
- [13] Paul Watzlawick, Janet Beavin Bavelas, and Don D. Jackson, "人間コミュニケーションの語用論 - 相互作用パターン, 病理とパラドックスの研究 - ," 二瓶社, 1998.
- [14] 若島孔文・長谷川啓三, "短期療法ガイドブック," 金剛出版, 2000.
- [15] M. Romano, M. Thiel, J. Kurths, W. von Bloh, "Multivariate Recurrence Plots," Phys. Lett. A, 330, 2004.
- [16] J. Blauert, "Spatial Hearing," MIT Press, Massachusetts, 1999.
- [17] L. A. Jeffress, "A place theory of sound localization," J. Comp. Physiol. Psychol., 41, pp. 35-39, 1948.
- [18] J. Blauert, "Spatial Hearing," MIT Press, Massachusetts, 1999.
- [19] C. H. Knapp and G. C. Carter, "The generalized correlation method for estimation of time delay," IEEE Trans. ASSP, 24(4), pp. 320-327, 1976.
- [20] D. McAlpine and B. Grothe, "Sound localization and delay lines. do mammals fit the model?," Trends in Neurosciences, 27(7), pp. 347-350, 2003.
- [21] 大賀寿郎, 山崎芳男, 金田豊, "音響システムとデジタル信号処理," (社)電子情報通信学会, 1995.
- [22] T. Irino and R. D. Patterson, "A compressive gammachirp auditory filter for both physiological and psychophysical data," J. Acoust. Soc. Am. 109 (5), pp. 2008-2022, 2001.
- [23] R. Meddis, "Simulation of auditory-neural transduction: Further studies," J. Acoust. Soc. Am. 83(3), pp.1056-1063m 1988.