

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 15 日現在

機関番号：34449

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22520415

研究課題名(和文) 認知的関連性のモデル化と文理解実験に基づく実証的研究

研究課題名(英文) The Modeling of Cognitive Relevance and the Actual Study based on the Experiments of Sentence Comprehension

研究代表者

松井 理直 (Matsui, Michinao)

大阪保健医療大学・保健医療学部・教授

研究者番号：00273714

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：関連性理論の中心的な概念である関連性の認知原理および関連性の伝達原理のうち、認知的関連性の数学的性質について研究を行った。その結果、回帰係数の特性を持った多値論理の枠組みが適切であり、情報の既定性と関連性が日常推論や日本語の様々な条件文の理解過程に重要な影響を与えていること、また各種認知バイアスが特に否定情報のフレームの大きさに強く影響されていることを明らかにした。また、この主観的確率の生成過程に関する数学的性質から、先入観や固定観念といった誤りの信念形成や、事実であっても信じられない現象について、その事実を排除してしまう数学的な性質の一部も解明できた。

研究成果の概要(英文)：Logical reasoning is fundamental to human intelligence, but the logical processing system of cognitive agents is different from propositional logic, especially on solving problems which are linked with the counterposition. This is partly because a cognitive agent cannot acquire every essential information for reasoning because of our limited capacity. Therefore, our cognitive system is expected to find the narrow optimal relevance information. Relevance theory (Sperber and Wilson 1986) is based on a definition of relevance and two principles of relevance. One of the principles, called Cognitive Principle, means that human cognition is geared to the maximisation of relevance. This research proposes the framework of multiple-valued logic based on the philosophy of the cognitive principle, and reveals the effect of both settledness and relevance of information on everyday reasoning including of the interpretation process of the various types of conditionals in Japanese.

研究分野：人文学

科研費の分科・細目：言語学

キーワード：関連性理論 関連性の認知原理 バイズ確率 回帰性 ロジスティック関数 認知錯誤

## 1. 研究開始当初の背景

人間を取り巻く環境や情報は膨大であり、人間の知覚・思考・伝達といった認知能力はその情報の一部しか処理できない。しかし認知システムは、部分情報を手がかりにした推論により、より良い解を得ることができる。「関連性理論 (Sperber and Wilson, 1986)」は、認知主体が行う情報推論に関する極めて興味深い枠組みである。しかし関連性理論の成果は、その多くが「関連性の伝達原理」に関するものであり、もう一方の主要な原理である「関連性の認知原理」に関する研究が少ない。これには、関連性の認知原理が最も基本的な原理であるため、高次過程からその性質を研究するのが難しいという理由によるものと思われる。しかし、この原理は適切な推論範囲を決定する認知の基本的性質であり、これなくしては関連性の伝達原理も適切に機能しない。関連性の認知原理の厳密な定義は、関連性理論をさらに精度の高い理論とし、認知能力を総合的に理解するために必要なことである。そこで本研究では、「関連性の認知原理」の性質を明示的にモデル化することを最大の目標とした。

## 2. 研究の目的

上記の問題を解決するため、本研究は「関連性の認知原理」を数理モデルによって明確に定義し、実験を通じてモデルの妥当性を実証的に検討すると共に、意味論と語用論の統合に寄与することを目的とする。具体的な下位目標は以下の通りであった。

- (1) 日常推論の言語的表現であり、多様な特性を持つ日本語条件文の理解過程について心理実験を通して明確にし、形式論理とは異なる日常推論の特徴を明らかにした。
- (2) 実験結果を基に、関連性理論の基本概念である「認知的関連性」を確率論によってモデル化し、その概念の特性を数式によって表現した。
- (3) 情報の範疇化に関わる性質についても数学的な表現を行い、その妥当性を実験的に確認した。

## 3. 研究の方法

Wason 選択課題や日本語条件文に関する意味理解について、セルフペーストリーディング法やプローブを用いた文理解実験を行い、情報の関連性について従来から提案されている認知バイアスの効果がどのような文脈の影響を受けるか、またその定量的な性質はどのようなものかを実験的に確認した。また、言語の基本的な性質であるカテゴリー化がどのように行われるのかを検証するため、音声理解実験および信念変更に関する心理実験を行い、範疇化のプロセスを実験的に確認した。

## 4. 研究成果

### 4.1 認知的関連性の定義

今、条件  $X$  が成立している時に情報  $Y$  が成立する条件付き確率を  $P(Y|X)$  で表し、条件  $X$  が成立していない時 (これを否定情報と呼び、小文字  $x$  で表す) に情報  $Y$  が成立する条件付き確率を  $P(Y|x)$  で表すとする。この時、情報  $X$  の情報  $Y$  に対する認知的関連性の強度は、前項の研究の方法で述べた心理実験の結果と照らし合わせ、以下のような形で近似できる。なお、 $k$  は 0 から 1 までの実数値を取り、否定情報  $x$  をどの程度考慮するかという認知フレームの広さを示す。

$$(1) \quad (X \rightarrow Y) = P(Y|X) - k \cdot P(Y|x)$$

この式(1)は、情報の関連性は、「 $X$  ならば  $Y$ 」と「 $X$  でないならば  $Y$ 」という情報と、「 $X$  でない」事態をどの程度想定するかということから計算できることを示す。また、この式は情報  $X$  と情報  $Y$  の共起確率  $P(XY)$  を用いて、式(2)のように変形することができる。

$$(2) \quad (x \rightarrow y) = P(XY) / (P(XY) + P(Xy)) - k \cdot (P(xY) / (P(xY) + P(xy)))$$

ここで係数  $k$  について言えば、 $k=0$  であるなら否定情報を全く考慮しないことを意味しており、認知的関連性  $(X \rightarrow Y)$  は条件付き確率  $P(Y|X)$  そのものとなる。また、 $k=1$  の時は肯定情報と否定情報の全ての条件を考慮に入れることとなり、認知的関連性  $(X \rightarrow Y)$  は統計学でいう回帰係数に一致する。一般には、 $k$  は 0 から 1 の間の実数値を取るため、認知的関連性は回帰係数に似た性質を持つこととなる。

### 4.2 認知的関連性の計算式が持つ特性

式(1)の性質から、認知的関連性が「真である」可能性を持つ時、すなわち  $(X \rightarrow Y) > 0$  の条件を満たす時、逆の関連性  $(Y \rightarrow X) > 0$ 、裏の関連性  $(x \rightarrow y) > 0$ 、対偶の関連性  $(y \rightarrow x) > 0$  が常に成立する。すなわち、「 $X$  ならば  $Y$ 」という条件文が成立する時には、逆・裏・対偶に関するいずれの情報についても、関連性が高くなり、顕在的情報としての存在が強まることが分かる。同時に、逆・裏・対偶の関連性の強度が一致することはない。これが認知的関連性と、数理論理の大きな違いである。すなわち、数理論理では対偶は常に成立するが、認知的関連性に基づく判断では、ある条件が成立するからといって、対偶条件が常に成立するとは限らない。これは、「黒くないものを全て調べた結果、そこにカラスが存在しない」ことが分かったからといって、「カラスは黒い」という結論を常に出せるとは限らないことを意味する。一番極端な例として、現実世界に「カラス」という動物が存在しなければ、「カラスは黒い」という結論

を得ることはできないことが挙げられる。また、全ての情報の存在が確認されており、否定情報を含む全ての情報を完全に考慮しており、かつ完全な認知的関連性を持つ ( $(x, y)=1$  である) 場合には、逆・裏・対偶のいずれの関連性も完全な真となる。すなわち、認知主体が全ての情報を完全に把握していると確信している状況下では、ある条件が成立すると逆・裏の条件も成立する。これも数理論理とは異なる性質であるが、Wason 選択課題などから確認される確信バイアスなどの各種信念バイアスの特徴をよく表していると言っておく。

人間の認知処理において、もう1つ重要な性質は、情報 X と情報 Y の関係を考える時に、「否定情報 x かつ否定情報 y」の組み合わせだけはほとんど考慮されないという点を挙げるができる。これは、「人口の 5% がある病気に罹っているとします。この病気に罹っているかどうかを確かめる検査があるのですが完全なものではなく、病気に実際に罹っている人が受けたら 90% の確率で陽性となり、病気に罹っていない人が受けたら 90% の確率で陰性と出ます。ある人がこの検査を受けてみると陽性と出ました。この人が実際に病気にかかっている確率はどれだけのですか？」という、いわゆる「擬陽性問題」に多くの人がかかかってしまうことに現れている。この問題の正解は 32% であるが、多くの人 90% 近くと答えてしまう。これは、先件に関する「人口の 5% がある病気に罹る」という条件が無視されることによって引き起こされることが分かっている。

認知的関連性は、こうした人間の思考傾向もうまく表現できる。認知主体が条件文「X なら Y」を考慮する時、先件の否定情報 x をどの程度考慮するかは、否定情報 x の生起確率そのものに依存するであろう。すなわち、フレームの大きさを示す係数 k は、ほぼ  $k=P(x)$  の性質を持つと見てよい。ここで式 (1) に  $k=P(x)$  を代入すると、

$$(3) \quad (x, y) = P(XY) / (P(XY) + P(Xy)) - P(Xy)$$

と変形できる。式(2)と比較して単純になっているばかりでなく、フレームの広さを表す係数 k が消失していることはもちろんのこと、情報 X と情報 Y の共起関係のうち、「否定情報 x かつ否定情報 y」という共起関係も、認知的関連性の計算式から消失していることが分かる。これが、認知主体が「擬陽性問題」において、先件のフレームの広さを無視してしまうことと、「否定情報 x かつ否定情報 y」という共起関係を無視してしまうことの原因と考えられる。

さらに式(1)は、これまで認知的バイアスを説明するのに用いられてきた DH モデルの数値や差分に基づく情報値といった概念を導出することもできる。差分に基づく情報値

については  $P(Y|x)$  の極値を取ることによって、また DH モデルについては差分情報値の乗数にルートを掛けることによって求められる。すなわち、式(1)は様々な関連性指数の元になる計算式と考えることができる。

#### 4.3 情報の screen-off について

さて、情報間の関連性を計算する場合、次に問題になるのが、原因の連鎖や共通原因が存在することによる擬似相関効果の影響である。これについても、式(1)に基づく計算は、妥当な認知処理をもたらす。今、2つの情報が独立でないとき、 $P(Y1, Y2) > P(Y1) \cdot P(Y2)$  が成立する。また、ある原因 X が Y1, Y2 の主たる原因である時、 $(X, Y1) > (X, Y1)$  および  $(X, Y2) > (X, Y2)$  が成立する。ただし、この原因は Y1, Y2 に独立に影響を及ぼすため、 $P(Y1, Y2|X) = P(Y1|X) \cdot P(Y2|X)$  および  $P(Y1, Y2|x) = P(Y1|x) \cdot P(Y2|x)$  を満たす。したがって、

$$(4) \quad (X, Y1) = (X, Y1, Y2)$$

が成立する。この式の表す内容を端的に言えば、ある原因はより近い結果に直接影響を与えることを意味する。これはある原因が一方の結果をもう一方の結果から screen-off することにつながり、これによって因果関係の時間順序およびある種の擬似相関を排除することができる（排除できない要因もある。例えば、X と Y1, Y2 の関係がいずれも疑似相関である場合や、Y1, Y2 が共に同一の複数要因から影響を受けている場合などである。この問題については今後の研究課題である）。こうした screen-off の性質を自然に実現できることも、認知的関連性の利点といっておく。

#### 4.4 単独情報に対する認知錯誤について

情報の認知処理に確率的性質を導入する上で常に問題となるのが、主観的確率をどのような性質のものとするかという点である。これは式(1)に限らず、DH モデルや loose symmetry model などにも共通する問題であろう。言うまでもなく、式(1)についても、適切な主観的確率を割り当てることができなければ、妥当な関連性計算も望めない。

認知主体が情報を獲得する際、時に誤った信念を持ち続けてしまうことがある。こうした認識上の錯誤については、ベーコンのイドラ論以来、特に (a) 情報獲得が演繹推論のみならず帰納推論や仮説推論によっても行われていること、(b) 認知主体が例外事象や偶発情報といったノイズが存在する現実世界の中で生きていること、(c) 一旦「思い込み」が形成されてしまうと、その思い込みに反する正事例を無視してしまうことといった妨害要因について、多くの議論がなされてきた。こうした認識錯誤をもたらす各種の要因が認識に及ぼす影響について、情報に対す

る敏感性、例外事象やノイズといった攪乱情報、先入観の存在といった要因をモデルに導入して、様々なタイプの認識錯誤が起こり得ることをモデル化した。

今、情報 X の情報価を変数 t で表す。t は 0 ~ 1 の範囲を取る実数で、二値或多値の命題真理値や認知主体が経験した頻度確率の数値である。認知主体にとって情報がどの程度認識しやすいかという認識度指数 a は、この情報価のコントラストに依存して決まると考えられる。また、対象情報の性質によって認知主体の感受性自体も異なるとし、認識関数 f(x) を Stevens のベキ法則に従って表せるものと仮定しておく。

次に、認知主体が情報 X を獲得する際に、それを妨害する 2 種類の要因を導入する。こうした妨害要因のうち、情報 X と独立に発生するものを「ランダムノイズ」、情報 X と何らかの相関を持つものを「偏向要因」と呼ぶ。ランダムノイズの強さを S/N 比 s で、偏向要因は一種のバイアスであるので、その強さを bN で示しておく。この時、認知主体が情報 X に関する主観的確率は以下の式で表せる(式の導出については研究業績を参照)。

$$(5) \quad P_n(x) = \frac{1}{1 + \exp(a - 2a \cdot f(\frac{s-1}{s} \cdot t) + bN)}$$

認識度指数、認識関数、ランダムノイズの S/N 比および偏向要因バイアスは、情報獲得において各々異なった影響を与える。まず、認識度指数 a の影響を、図 1 に示す。認識度指数が強くなるほど、曖昧な情報であっても当該情報であるか否かを範疇的に判断できるようになることが分かる。

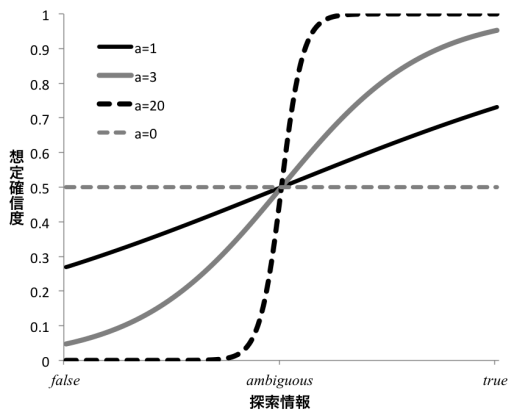


図 1 : 認識度指数の影響

これに対し、認識関数の特性は図 2 のようになり、ベキ指数が 1 の場合には情報 X の真偽について対称的な判断を下すが、ベキ指数が 1 より小さい場合には認知主体は「真」に偏る想定確信度を持つ。すなわち、「偽」で

あることがかなり明確である場合にのみ「偽」に近い判断が下される。一方、ベキ指数が 1 より大きくなればなるほど、「真」と判断される世界は縮小され、情報価が 0.5 を大きく上回っても依然として「偽」と判断する傾向が続く。言い換えるなら、認識関数におけるベキ指数が 1 より小さい場合には「疑わしきは罰せず」という原則に基づいた判断となり、ベキ指数が 1 より大きくなれば疑い深い判断を下す傾向を持つ。

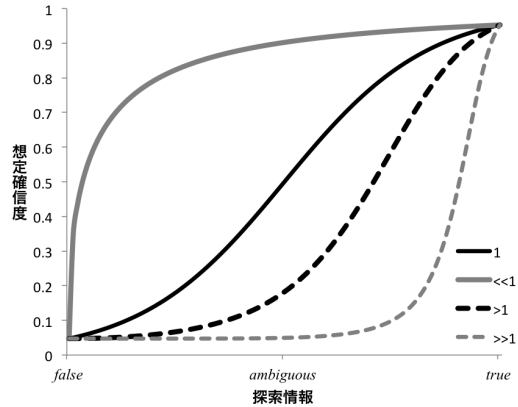


図 2 : 認識関数の特性

認知主体の内部特性である認識度指数や認識関数の特性に対し、認知主体の外部に存在するランダムノイズは、図 3 ような影響を与える。この影響は自明なもので、S/N 比が小さくなるにつれて、すなわちランダムノイズの影響が強くなるにつれて、情報が「真」であっても認知主体の内部では真とは判断されにくくなっていく。

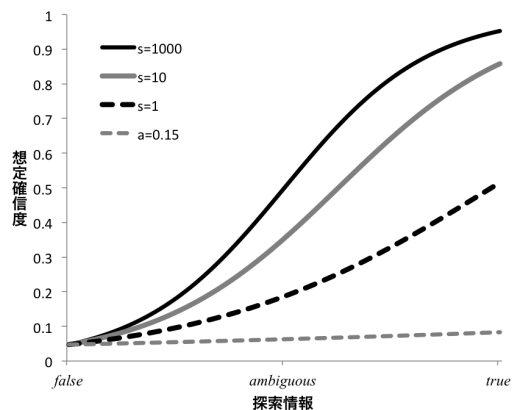


図 3 : ランダムノイズの影響

最後に、偏向要因の影響を図 4 に示す。偏向要因はランダムノイズと同じく、情報価や真理値の正しい認識に混乱をもたらす。しかし、その影響がランダムノイズとは異なる点に注意が必要である。偏向度指数 b が 0 より小さくなるほど、どのような情報価であっても「真」という想定判断を下す可能性が高くなり、逆に b が 0 より大きくなるほど、どのような情報に対しても「偽」という判断を下す可能性が高くなっていることが分かる。す

なわち、偏向要因は一種の先入観や固定観念に相当する性質を表すといつてよい。

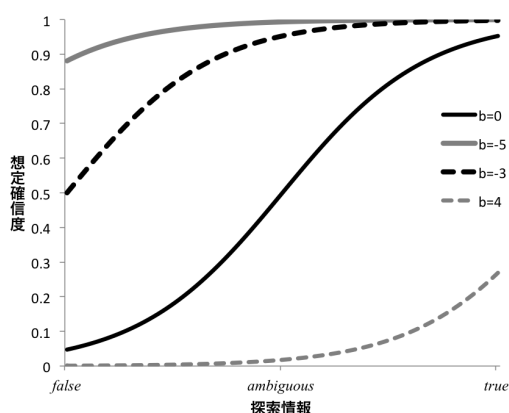


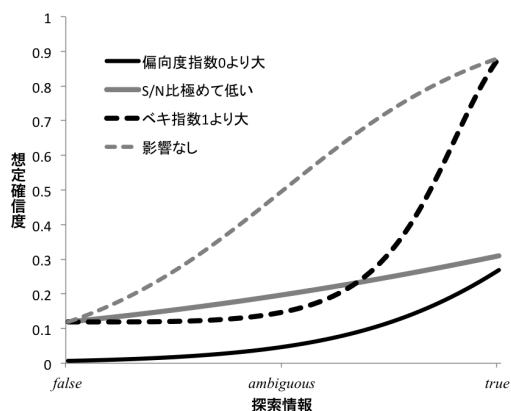
図4：偏向要因の影響

以上のように、本稿で仮定した認識度指数、認識関数、ランダムノイズのS/N比および偏向要因バイアスは、誤った想定獲得に各々特有の影響を与える。ここで、認知主体が「偽」に偏った判断を行う状況について見てみよう。これは図5に示す通り、偏向要因が0より大きい場合、S/N比が非常に小さい場合、ベキ指数が1よりも小さい場合に生じやすい。しかし、S/N比および認識関数の作用は、情報が実際に「偽」である時には攪乱要因として機能していない。また認識関数については、情報が完全に「真」である場合にも正しい想定確信度をもたらす。これに対し、偏向度指数が0より大きい場合には、 $t=0$ の場合においてもさらに確信度を下げる効果を与えていることが分かる。もちろん、他の情報価であっても、基準となる判断よりも常に確信度が低い。すなわち、偽に偏る判断をもたらすといつても、認識関数の影響とノイズの影響は異なるものである。認識関数は、「疑い深い性質」や「疑わしきは罰せず」といった認識そのものの性質を反映舌ものであり、言うまでもなく認知的関連性の本質的な性質を担う。

図5：偽に偏る判断における各種要因の影響

#### 4.5 研究のまとめ

以上の研究の結果、認知的関連性の計算は統計学でいう回帰計算に近い性質を持つことがわかった。また、各種認知バイアスは、文脈（特にどの程度十分に否定情報を考え



るか)というフレームの大きさからもたらされることも明らかになった。例えば、確証バイアスが生じる状況では、否定情報はほとんど考慮されない。また、マッチングバイアスは、単に明示的情報と言語的情報のマッチングというだけでなく、否定情報がどの程度顕在化しているかによって生じてくる認知的バイアスである。一方、逆・裏・対偶の推論については、命題論理学と大きくことなつた性質を持つが、これは命題論理学が「全ての情報の存在と全ての情報の組み合わせに関する可能性」について完全性を持っているからであり、部分情報にしかアクセスできない認知主体にとって、対偶の推論が必ずしも有効でないことも捉えることができた。

次に、情報の範疇化に関しては、ロジスティックな数学的性質を持つことが音声知覚実験や先入観の変更過程に関する心理実験により確認した。その結果に基づき、連続的知覚過程、範疇的知覚過程、固定観念による信念の歪み、信念の時系列的な獲得過程についても、その数学的性質の一端を解明できた。

今後の研究課題としては、まず複数の因果関係が絡む情報の screen-off をさらに明確に行う方法を見つけなければならない。これは、可能世界の時系列的順序を決定づける上でも必要な計算である。また、このような screen-off の機能は擬似相関に関して、ある程度働くものでなければならない。これらの点については、今後も研究を進める予定である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 10 件)

松井理直. 想定確信度の時系列的更新. 『神戸松蔭女子学院大学研究紀要 文学部篇』No.3. 2014. 41-61.

松井理直. 歯擦音の母音無声化・VOT 分布・促音挿入. 『神戸松蔭女子学院大学研究紀要 言語科学研究所篇 (TALKS)』No. 17. 2014. 67-106.

松井理直. 確率に基づく条件文理解に必要な可能世界の近接性判断. 『日本認知科学会第30回全国大会論文集』. 2013. 418-427.

松井理直. 歯擦音の有声性と無声化母音の知覚の手がかりについて. 『第27回日本音声学全国大会論文集』. 2013. 35-40.

松井理直. 論理的推論における既定情報と関連性の影響. 『神戸松蔭女子学院大学研究紀要 言語科学研究所篇 (TALKS)』No.16. 2013. 63-97.

Matsui, Michinao. The Computational

Process of "And-type" Conditionals in Japanese. Proceedings of the 34th Annual Meeting of the Cognitive Science Society. 2012. p.2778.

松井理直. 条件文の理解過程における既定性と関連性の影響. 『日本認知科学会第29回大会論文集』. 2012. 234-243.

松井理直. 借用語における促音生起の抑制要因. 『神戸松蔭女子学院大学研究紀要 言語科学研究所篇 (TALKS)』 No.15. 2012. 49-102.

松井理直. 認知的関連性における条件文の計算過程. 『神戸松蔭女子学院大学研究紀要文学部篇』. vol.1. 2012. 33-47.

松井理直. 焦点情報に関する統語構造と韻律構造の対応関係. 『日本認知科学会第28回大会発表論文集』. 2011. 697-706.

〔学会発表〕(計 15 件)

松井理直. VOT 分布のシミュレーションに関する予備的研究. 「レキシコン・フェスタ」(1st/Feb/2014, 国立国語研究所)

松井理直. 有声促音知覚における促進的/抑制的手がかりに関する一考察. 「理論・構造研究系プロジェクト研究成果合同発表会」(2nd/Mar/2013, 国立国語研究所)

松井理直. 摩擦成分のフォルマント遷移が音韻知覚に与える諸影響. 近畿音声言語研究会 (6th/Apr/2013, 西宮市大学交流センター)

松井理直. 音韻境界判断における摩擦性フォルマント遷移の影響. 関西音韻論研究会 (PAIK, 20th/Apr/2013, 神戸大学)

松井理直. 摩擦性フォルマント遷移と無声化母音・阻害音有声性・借用語摩擦促音の変異. 音声言語研究会 (11th/May/2013, TKP 大阪梅田ビジネスセンター)

松井理直. 無声化母音・阻害音有声性の知覚的手がかりと摩擦促音の生起. 「日本語レキシコンの音韻特性」(23th/June/2013, 国立国語研究所)

松井理直. 有声阻害音の VOT 分布に関するモデル化と考察. 関西音韻論研究会 (PAIK, 5th/Oct/2013, 神戸大学)

Michinao F. Matsui. On the Perceptual Cue of Devoiced Vowels and Voicedness of Obstruents. ICPP3 (21st/Dec/2013, National Institute for Japanese Language

and Linguistics)

松井理直. 知覚的補間母音と借用語における促音抑制. 関西音韻論研究会. (2012 年 1 月. 神戸大学)

松井理直. 無声摩擦成分の知覚様式と借用語における促音抑制. 国立国語研究所合同プロジェクト研究発表会. (2012 年 2 月. 国立国語研究所)

松井理直. 聴覚・言語理解の動向とそれに基づく聴覚障害のシミュレーション. 日本心理学会・発達心理学基礎研究検討会. (2012 年 3 月. お茶の水女子大学)

松井理直. 言語理解の実時間処理について. 関西心理言語学研究会. (2011 年 9 月 9 日, 大阪府・関西学院大学梅田サテライトキャンパス).

松井理直. 借用語における摩擦促音の非対称性をもたらす要因について. 日本心理学会第 75 回大会. (2011 年 9 月 15 日. 日本大学)

森 尚彫・伊藤壽一・平海晴一・山口 忍・柴田尚美・松井理直・山本典生・坂本達則・岩井詔子・小島 憲・松本昌宏・扇田秀章. 人工内耳装用学童児の聞き取り能力における教室音環境の影響. 日本聴覚医学会. (2011 年 9 月)

松井理直. 感覚異常のシミュレーション. 福田学園校友会. (2011 年 11 月. 大阪保健医療大学)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松井 理直 (MATSUI Michinao)  
大阪保健医療大学・保健医療学部・教授  
研究者番号: 00273714

(2) 研究分担者: なし

(3) 連携研究者: なし