

## 「間(ま)」の共有と共創的情報統合システム：合意形成の対話をモデルとして

研究代表者 三宅美博 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・准教授 (A03 班)  
研究分担者 山本知仁 金沢工業大学・情報学部情報工学科・講師 (A03 班)  
海外研究協力者 E. ペッペル ミュンヘン大学・医学的心理学研究所・教授・所長  
研究協力者 高杉将司 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・博士前期課程  
武藤ゆみ子 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・博士後期課程  
阿部浩幸 金沢工業大学・大学院工学研究科・博士前期課

### 1. 研究の概要

情報爆発時代の背景には、記号化された明在的情報に偏ったコミュニケーション支援技術の拡大がある。この問題を克服するためには、明在的情報と同時に、情報を統合するための暗在的なコンテキスト情報の共有促進が不可欠である。そして、コンテキストを生む「場」や「間」が人々の間で共有される必要がある。そこで本研究では、人間の対話をモデル系として「間」の共有機構を解析し、共創的情報統合の支援システムを構築することを目標としている。

本研究構想は、前半のステージが合意形成の対話における「間」の共有に基づく情報統合機構の解析であり、後半のステージがそのメカニズムを活用した共創型の情報統合支援システムへの展開である。18 年度 (第 1 年度) は、合意形成の対話コミュニケーションの解析に取り組み、言語に関わる明在的セマンティクスと「間」に関わる暗在的ダイナミクスの時間発展の同時計測を進めた。19~20 年度 (第 2~3 年度) は、この結果を踏まえて「間」の共有と共創的情報統合のモデル化への第一歩として、指示・応答対話に限定して、「間」の共有のためのタイミング制御モデルを構築し、その実験的検証を行なった。

本年度は第 3 年度として、人間同士の指示・応答対話において明らかにされた発話と身振りのタイミング機構を、コミュニケーションロボットを用いて人とロボットのインタラクションとして再構成し、それに基づく「間」の共有から対話への影響を調査した。その結果タイミング制御の有無によって、対話の印象に差が現れることが示された。特に、高齢者において差が顕著に現れ、タイミング制御モデルを搭載したロボットのインタラクションの方が情報統合へ向けて好ましい印象を与えることが明らかになった。さらに、タイミング制御の有無によって、発話の意味自体が変化することも示された。しかし若年者においてはこの差はあまり見られなかった。

これらの結果から、指示・応答対話における発話と身振りのタイミングの時間的構造としての「間」が、対話の印象に影響することを実証した。さらに、タイミングという非言語的コミュニケーションが、発話の内容やその意味といった言語的コミュニケーションに影響を与える可能性を示唆した。したがって、タイミング制御を介する「間」の共有が共創的情報統合に有効であることが示された。

## 2. 人間同士の対話におけるタイミング機構

本章では、人間同士の対話コミュニケーションにおける発話と身振りの時間的構造の解析結果について述べる。具体的には、2 者間での指示・応答場面を実験対象とし、課題を次のように設定した。被験者は、Fig.1 に示すような 10 個の同じ形の積み木(木製、5cm × 5cm × 2.5cm)が置かれた机に、1.2m 程度離れて2 人が向かい合って座る。そして、以下の2 つの発話と身振りからなる指示・応答対話を行った。

- 発話 1. 指示者が「積み木を取ってください」という指示を被指示(応答)者に出す
- 発話 2. 被指示者はその指示に対して「はい」という返事をして机の上の積み木を一つ取る

これらの実験課題において、発話速度の変化が発話行動の時間的な構造に与える影響を明らかにするために、指示者の発話速度を意図的に「はやい」、「ふつう」、「おそい」の三段階に変化させるよう指示し、上記の対話を 10 回繰り返した。また、この実験には、20 代(平均年齢：22.8 歳)の男子学生 4 人が被験者として参加し、全ての組合せ 12 組分の実験を行った。

解析に用いた時間的特徴量を Fig.2 に示す。音声に関しては、指示者の指示発話長、被指示者の応答発話長に加え、インターパーソナルな量として、指示発話の終了から応答発話の開始に対応する「間」である交替潜時長の 3 つを用いた。身体動作に関しては、被指示者が応答時に行う頷き長と、積み木を取得する動作である掴み長に加え、イントラパーソナルな音声と身体動作の関係として、頷き時間と応答発話開始時間までの時間差、掴み開始時間と応答発話開始時間までの時間差の 4 つを特徴量として用いた。

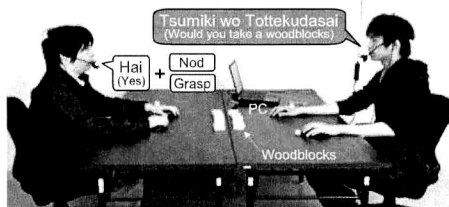


Fig.1 指示・応答対話

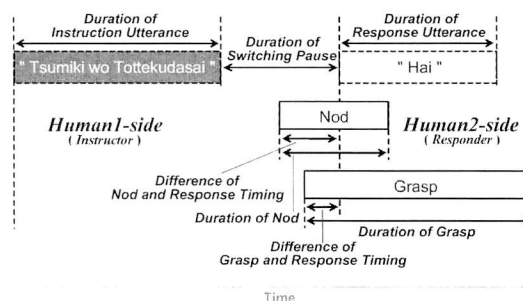


Fig.2 対話の時間的特徴量

これらの特徴量の全ての組み合わせについての相関解析を行うことで、指示・応答対話における発話と身振りのタイミングを包括的に解析した。その結果、人間同士の指示・応答対話において、被指示(応答)者の発話と身振りの開始タイミングが、指示者の発話長に依存して変化することを明らかにし、特に Fig.3 に示すような 3 つの相関関係の存在を報告した。

1. 発話長(指示者) (Sd) - 交替潜時長 (Pd)
2. 交替潜時長 (Pd) - 頷きの先行時間長(被指示者) (Np)
3. 交替潜時長 (Pd) - 掴みの先行時間長(被指示者) (Gp)

ここで、4つの時間的特徴量は以下のように定義されている。

Sd: 指示者の指示発話長,

Pd: 指示者の指示発話終了から被指示者の応答発話開始まで交替潜時長,

Np: 被指示者の頷き開始から被指示者の応答発話開始までの時間差(頷きの先行時間長),

Gp: 被指示者の掴み開始から被指示者の応答発話開始までの時間差(掴みの先行時間長)

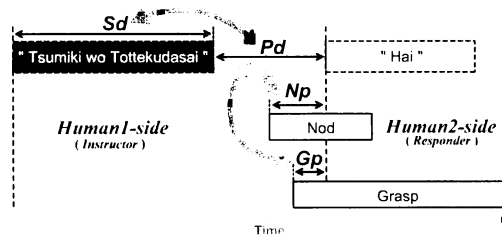


Fig.3 対話における主要な相関関係

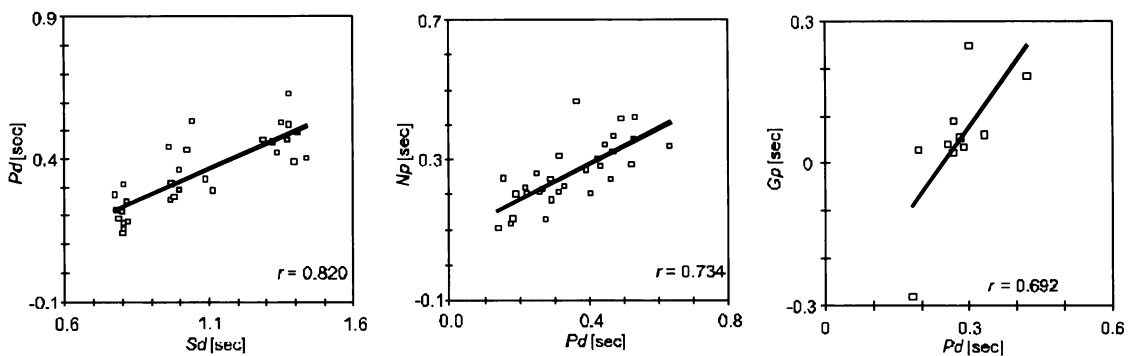


Fig.4 相関関係の例

まず、Sd - Pd の相関関係(相関係数:0.538) の一例を Fig.4a に示す。同図のように、指示発話長(Sd)と交替潜時長(Pd)の間に中程度の正の相関が示された。この結果から、人間同士の指示と応答の対話では指示者の指示発話長が長くなると、被指示者が応答発話開始するまでの交替潜時長も長くなることが示唆された。次に、Pd - Np の相関関係(相関係数:0.801) の一例を Fig.4b に示す。同図のように、交替潜時長(Pd)と被指示者の頷きの先行時間長(Np)の間に強い正の相関関係が示された。この結果から、交替潜時長が長くなると、被指示者の頷き

の先行時間長も長くなることが示唆された。最後に、 $Pd - Gp$  の相関関係(相関係数:0.692) の一例を Fig. 4c に示す。同図のように、交替潜時長(Pd) と被指示者の掴みの先行時間長( $Gp$ ) の間に中程度の正の相関関係が示された。この結果から、交替潜時長が長くなると、被指示者の掴みの先行時間長も長くなることが示唆された。

### 3. コミュニケーションロボットにおける発話と身振りのタイミング制御

本章では、上記で明らかにした指示・応答対話におけるタイミングの相関関係がどのように対話コミュニケーションに影響をおよぼすか、人とロボットのインタラクションを用いて構成的に分析した結果を説明する。

実験システムは、被験者の指示に対して応答するコミュニケーションロボットと、これを制御する PC で構成されている。ロボットには、対話タイミング制御モデルを実装した。そのモデルには、人間同士での 2 者間の指示発話と応答発話からなる指示・応答対話の相関関係を、Fig. 5 に示すように被指示者をロボットに置き換え、人間とロボットの 2 者間に対応させた対話タイミング制御モデルを用いる。

タイミング制御モデルは、人間同士の指示・応答対話で観察された相関関係に基づいている。そこで、人とロボットのインタラクションにおける  $Sd - Pd$  の相関関係は、人間(指示者)の指示発話長( $Sd$ ) を入力値、ロボットが発話開始するまでの交替潜時長( $Pd$ ) を出力値とし、入力された  $Sd$  が長くなるとそれに応じて出力値の  $Pd$  が長くなるモデルとした。また、 $Pd - Np$  の相関関係では、 $Sd - Pd$  の相関関係において出力された  $Pd$  を入力値、ロボットが領き開始する時刻からロボットの発話が始まるまでの時間差、領きの先行時間長( $Np$ ) を出力値とし、入力された  $Pd$  が長くなるとそれに応じて出力値の  $Np$  も長くなるモデルとした。ただし、ロボットの制御上の制約から、 $Gp$  と  $Np$  は一致させた。

実験では、人間同士で観察された相関関係に基づき再構成された上記の対話タイミング制御モデル(Model 条件) と、ある固定された交替潜時長と身振りのタイミングを提示するもの(Fix 条件) の 2 つを用意し比較する。Model 条件は、いくつかの予備調査に基づき、以下のモデルに設定した。

$$Pd = 0.9347Sd + 110.15 \quad (1)$$

$$Np = Gp = 0.6667Pd \quad (2)$$

Fix 条件は、いくつかの予備調査に基づき、以下の値に設定した。

$$Pd = 1000 \quad (3)$$

$$Np = Gp = 200 \quad (4)$$

なお、このような比較が唯一の方法ではないが、まずこのような対比からタイミング制御の影響を評価することを始めた。

ロボットの身振りとしては Fig. 6 に示したような身振りをを用いた。このロボットの身振りは、人間同士の指示・応答対話実験における被指示(応答)者の身振りに基づき設定したものである。

本実験では、Model 条件と Fix 条件のロボットの応答タイミングの印象について比較し、Table 1 に示す質問項目に対し、どちらの条件がより当てはまるかを回答する。質問の内容については、質問項目 1~3 番の「自然さ」「信頼性」「知的さ」は、ロボットの対人的な印象について問う項目である。質問項目 4, 5 番の「速さ」「近さ」は、被験者とロボットとの関係における主観的な時間と空間について問う項目である。質問項目 6 番の「肯定的」は、発話と身振りのタイミングによって、発話の意味自体に影響があるかを問う項目である。

Table 1 質問項目

1. もっとも自然に感じたものはどれですか	[natural]
2. もっとも信頼できると感じたものはどれですか	[reliable]
3. もっとも知的に感じたものはどれですか	[intelligent]
4. もっとも速いと感じたものはどれですか	[fast]
5. もっとも近い(心理的に)と感じたものはどれですか	[close]
6. もっとも肯定的に感じた「はい、わかりました」はどれですか	[positive]

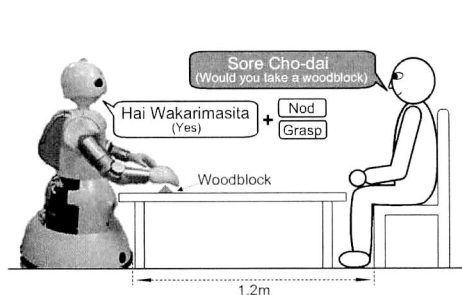


Fig.5 実験の様子

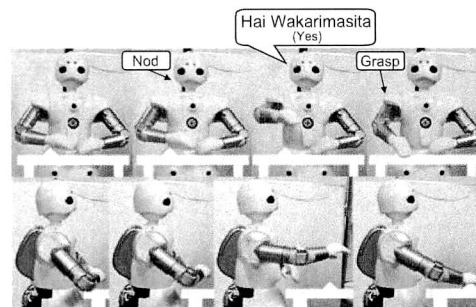


Fig.6 ロボットの身振り

被験者としては、高齢者と若年者の 2 つの年代を用いて印象評価実験を行なった。高齢者は、66 歳から 74 歳まで(平均年齢:69.0 歳)の 18 名(男性 9 名, 女性 9 名)。若年者は、20 代(平均年齢:22.9 歳)の学生 18 名(男性 9 名, 女性 9 名)が被験者として参加した。

高齢者における結果を Fig.7 に示す。高齢者においては、タイミングを制御する場合(Model 条件)と、それを使用しないタイミングを固定する場合(Fix 条件)のあいだで対話の印象評価に顕著な差が観察された。そこで、タイミング制御モデルの有無による印象評価に違いがあるかどうかを調べるために t 検定を行った。その結果、Fix 条件( $m = 37.96\%$ ,  $SD = 0.17\%$ )よりも Model 条件( $m = 62.04\%$ ,  $SD = 0.17\%$ )の方が有意に評価が高く( $t(10) = 9.97$ ,  $p < 0.01$ )、タイミング制御モデルの有無によって、対話の印象に差が現れることが示された。さらに、差が現れた際、Model 条件の印象評価が高かった。特に、質問項目「自然さ」「信頼性」「知的さ」「近さ」

「肯定的」の5項目においてModel条件の評価が顕著に高かった。

若年者における結果をFig.8に示す。若年者においては、Model条件とFix条件のあいだで対話の印象評価の差があまり見られなかった。

上記の結果より、タイミング制御モデルを使用する場合(Model条件)と、それを使用しないタイミングを固定する場合(Fix条件)のあいだで対話の印象評価に差が観察されることが確認された。特に、高齢者においては差が顕著に現れた。

質問項目1~3番の「自然さ」「信頼性」「知的さ」は、ロボットの対人的な印象について問う項目である。この項目では、全ての項目でModel条件がFix条件を大きく上回った。これは、対話におけるタイミングが、自然で円滑なコミュニケーションをする上で重要な役割を担うことを意味している。質問項目4,5番の「速さ」「近さ」は、被験者とロボットとの関係における主観的な時間と空間について問う項目である。この項目では、主観的な時間についてModel条件とFix条件の差が顕著に現れた。これは、対話におけるタイミングが、高齢者との対話において特に重要な要素になっていることを示唆している。質問項目6番の「肯定的」は、タイミングが発話の意味に影響を及ぼすか否かを問う項目である。この項目でも顕著な差が現れ、非言語的コミュニケーションが、発話の意味という言語的コミュニケーションに影響を与えることが示唆された。

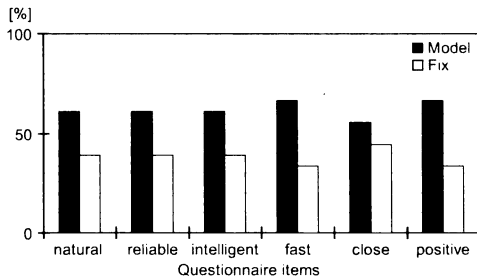


Fig.7 高齢者

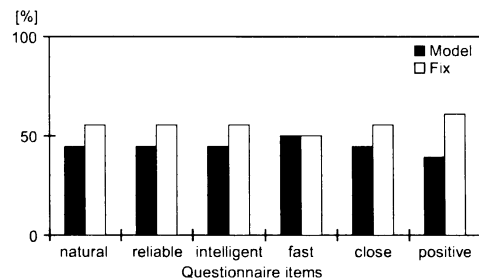


Fig.8 若年者

さらに、高齢者においてModel条件とFix条件のあいだに差が現れた際、Model条件の印象評価が有意に高かった。質問項目1~3番では、全ての項目でModel条件の評価が顕著に高かった。これは、タイミング制御モデルを搭載したロボットの方が、「自然さ」「信頼性」「知的さ」において好ましいインタラクションを行うことを示唆する。質問項目4,5番では、主観的な時間についてModel条件の評価が顕著に高かった。これは、発話と身振りのタイミングが変化することによって、固定されたタイミングよりも主観的に速く感じることを示している。質問項目6番の項目でも、Model条件の評価が顕著に高く、タイミングが変化することで発話に肯定的印象を与えることが示された。

これらのことは、Model条件のように対話におけるタイミングを変化させることによって、少なくとも高齢者に対しては、情報統合へ向けて対話の印象を改善する効果があることを意味している。ただし、Model条件のパラメータが異なれば、高齢者における印象に逆効果をもたら

す可能性も考えられることから、今後は、パラメータに依存して印象がどのように変化するかを調査する必要がある。

さらに、Model 条件と Fix 条件の印象評価の差が高齢者に見られ、若年者にはあまり見られなかったことについては、年齢による時間認知からの影響が考えられる。すでに、時間認知については加齢によって変化することが知られており、高齢者と若年者で印象に違いが出た可能性がある。つまり、タイミング制御モデルを構築する上で、年齢を考慮する、例えば、世代間でそれぞれ違ったパラメータのタイミング制御モデルにチューニングする必要があることを示唆している。

しかし、人間同士の対話で得られた知見をコミュニケーションロボットを用いて人とロボットのインタラクションとして再構成することによって、コミュニケーション研究に新しい視点を持ち込まれたことは確かである。従来のように特定のコミュニケーション・チャンネルのみを扱う部分的なコミュニケーション研究とは一線を画している。本実験ではこれまでコミュニケーション研究において行われなかった包括的アプローチの有効性を実証した。加えて、コミュニケーションに発話と身振りのタイミングといった対話の時間的構造が影響することを示した。

#### 4. 今後の展望

本研究構想において、前半のステージは共創的な情報統合、特に、対話を介する合意形成プロセスにおける「間」の役割の基礎的調査（18年度）および簡単な指示-応答対話に限定した「間」のタイミング制御機構のモデル化とコミュニケーションロボットへの実装（19～20年度）であった。そして、今後の後半のステージでは、これまでの3年間の成果を踏まえて、人間同士の合意形成の対話における「間」の共有機構の分析とモデル化、さらに、ヒューマンロボットインタラクション（HRI）における共創的な情報統合システムとしての実装と評価（21～22年度）に取り組むことになる。

特に、この後半ステージの21年度では、合意形成の対話コミュニケーションにおける共創的な情報統合のメカニズムを明らかにする予定である。そして「間」としてのコンテキストを共有するための発話と身振りのタイミング制御モデルを構築することになる。後半ステージの22年度では、このタイミング制御モデルのHRIへの実装および情報統合システムとしての有効性評価に取り組むことになる。そして最終的には、情報爆発の克服にはインターパーソナルなコンテキスト共有が不可欠であり、そのためには「間」の共有支援システムが有効であるという、共創的な視点から本研究成果を取りまとめる。

#### 参考文献

- [1] 三宅美博, 場と共創 (分担: "コミュニケーションと共生成" 第4章 pp.339-397), NTT出版, 東京 (2000)
- [2] 三宅美博, 共創とは何か (分担: "人と人工物の共創システム" 第2章 pp.79-108), 培風館, 東京 (2004)
- [3] E. ペッペル: 意識のなかの時間, 岩波書店 (1995)
- [4] Miyake, Y., Onishi, Y. & Pöppel, E., "Two types of anticipation in synchronous tapping,"

Acta Neurobiologiae Experimentalis, Vol.64, pp.415-426 (2004)

[5] 今 誉, 三宅美博, "協調タッピングにおける相互同調過程の解析とモデル化," ヒューマンインタフェース学会論文誌 Vol.7, No.4, pp.61-70 (2005)

[6] 三宅美博, 辰巳勇臣, 杉原史郎, "交互発話における発話長と発話間隔の時間的階層性," 計測自動制御学会論文集, Vol.40, No.6, pp.670-678 (2004)

## 研究成果リスト

### 著書, 論文

1. 三宅美博, エージェントベース社会システム科学宣言 (分担: "「間(ま)」の共有と共創コミュニケーション"), 勁草書房, 東京 (in press)
2. 高杉將司, 山本知仁, 武藤ゆみ子, 阿部浩幸, 三宅美博, "コミュニケーションロボットとの対話を用いた発話と身振りのタイミング機構の分析," 計測自動制御学会論文集 (in press)
3. 三宅美博, "共創とコミュニケーション," 人工知能学会誌, vol.23, no.5, pp.659-664 (2008)
4. Namera, K., Takasugi, S., Takano, K., Yamamoto, T., Miyake, Y., "Timing control of utterance and body motion in human-robot interaction," Proc. of 17th IEEE Int. Workshop on Robot & Human Interactive Communication (ROMAN2008), Munich, Germany, pp.119-123 (2008)
5. Yamamoto, T., Kobayashi, Y., Muto, Y., Takano, K., Miyake, Y., "Hierarchical timing structure of utterance in human dialogue," Proc. of IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics (SMC2008), Singapore, Singapore, pp.810-813 (2008)
6. Yoshida, M., Miyake, Y., Furuyama N., "Temporal development of pragmatics and dynamics in conversation for building consensus," Proc. of IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics (SMC2008), Singapore, Singapore, pp.2419-2425 (2008)
7. Nojima, M., Shimo, H., Miyake, Y., "Subjective timing control in synchronized motion of humans: A basic study for human-robot interaction," Proc. of 9th Int. Symp. on Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS2008), Ambient Intelligence session, Tsukuba, Japan, pp.1-12 (2008)
8. Miyake, Y., "Co-creation of presence in human communication," Proc. of Int. Workshop on Interaction Dynamics, Embodiment, and Implicit Primordial Knowledge Model, Kyoto, Japan, Session-1 pp.1 (2008)
9. Miyake, Y., "Timing control in human communication", Proc. of Slovenia-Japan AICS Symposium on Nonlinear Phenomena in Complex Systems, Tokyo, Japan, Session-2 pp.1 (2008)
10. 高杉將司, 山本知仁, 高野弘二, 滑健作, 武藤ゆみ子, 三宅美博, "コミュニケーションロボットにおける発話と身振りのタイミング制御," ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008 講演会予稿集, pp.871-878 (2008)



11. 阿部浩幸, 山本知仁, 武藤ゆみ子, 三宅美博, "対話における発話と身体動作のインタラクションの解析," ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008 講演会予稿集, pp.287-290 (2008)
12. 野島満春, 下茂博章, 三宅美博, "同期タッピングにおける二重化されたタイミング機構の解析," 第 9 回 SICE システムインテグレーション部門講演会講演論文集 (SI2008) (in press)
13. 高杉將司, 山本知仁, 武藤ゆみ子, 阿部浩幸, 三宅美博, "コミュニケーションロボットとの対話を用いた発話と身振りのタイミング機構の分析," 第 9 回 SICE システムインテグレーション部門講演会講演論文集(SI2008) (in press)

#### 招待講演

1. 三宅美博, "気づきの支援技術としての共創的 I T S," 第 7 回 I T S シンポジウム 2008 予稿集, 東京 (in press) (Invited lecture)
2. 三宅美博, "共創システム: 「間(ま)」を共創するコミュニケーション," 第 60 回舞踊学会大会予稿集(基調講演), 東京 (in press) (Invited lecture)
3. Miyake, Y., "Timing control of utterance and body motion in human-robot interaction," Proc. of 7th Sino-German Advanced Workshop in Cognitive Neuroscience and Psychology, Beijing, China, pp.68-70 (2008) (Invited lecture)
4. 三宅美博, "インターパーソナルな時間感覚の共有," 認識と運動における主体性の数理脳科学プロジェクト第 1 回研究会, 国際高等研究所, 京都 (2008) (Invited lecture)
5. 三宅美博, "「間(ま)」の共創とヒューマンコミュニケーション," ホモコントリビューエンス懇談会(第 14 回), ホモコントリビューエンス研究所, 東京 (2008) (Invited lecture)