

対話における「間(ま)」の共有支援と共創インタフェース

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・助教授 (A03 班)
研究分担者 山本知仁 金沢工業大学・工学部情報工学科・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 古山宣洋 国立情報学研究所・情報学基礎研究系・助教授
小林洋平 京都産業大学・大学院経済学研究科・特定研究員
吉田 誠 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・博士後期課程
高野弘二 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・博士後期課程
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
中島壮人 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・博士前期課程
朝日健太 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・博士前期課程
大良宏樹 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・博士前期課程
平野作実 金沢工業大学・工学部情報工学科・学部4年
出口 弘 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授 (B01 班)

1. 研究の概要

研究目的

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(作業仮説)。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。

われわれは予備的研究として既に、同期タッピング課題を用いて「間」の共有に関する心理学的分析を進めてきた。そこでは外界からの刺激に少し先行して応答する状況が「同時」と感覚されることを明らかにした。この予測的な時間感覚が「間」に対応し、それを生成する暗在的ダイナミクスを共有することで「間が合う」ことを示したのである。しかし、このような「間」のモデルを人間の対話コミュニケーションへ適用するためには、「間」だけではなく言語という明在的情報との関連も考慮されなければならない。

そこで本研究の方針としては、人間の対話、特に合意形成プロセスに注目し、言語に関わる明在的セマンティクスと「間」に関わる暗在的なダイナミクスの時間発展の同時計測を行い、個体間での「間」の共有過程と情報の統合過程の相互関係について解析しモデル化する。最終的には、対話における「間」の共有を介して情報統合を支援できる共創インタフェース技術を確立する予定である。

本年度の研究成果の概要

本研究構想は大きく2つのステージに分けられる。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。ただし、構想全体は数年間に及ぶものであり、

本成果報告書では最初の1年分についてのみ報告する。本年度は、具体的に下記の2つの課題を取り上げた。

課題1：合意形成の対話コミュニケーションにおける「間」の共有過程の観察

分担：三宅・吉田・古山・ペッペル・中島・朝日・高野・武藤

課題2：対話コミュニケーションにおけるタイミング機構の解析システム開発

分担：三宅・山本・小林・大良・平野・高野・出口

第1の課題に関して、われわれは本年度、合意形成の対話コミュニケーションの分析に着手し、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ている。前者については会話分析を介する主観的合意度として評価し、後者については会話の交替潜時 (switching pause) として評価する。なお交替潜時とは一方の話者が発話を終了してから、他方の話者が発話を開始するまでのポーズ時間である。このような分析の結果、合意形成過程における合意度の上昇に従って被験者間の交替潜時の時間発展が同調してゆく興味深い現象が発見された。これは情報統合に際して「間」の共有が重要であることを示唆する知見であり、われわれの作業仮説を支持するものであった。近年、対話における交替潜時と相手への印象の関係が研究され始めているが、本研究はそれを合意形成の情報統合プロセスにおける時間発展として初めて明らかにしたものと考えられる。このように本研究は合意形成のタイミング機構を「間」の共有という視点から解析した最初の報告である。

第2の課題は、第1の課題で見いだされた現象を定量的に解析し再構成するための実験システムの開発である。具体的には、2人の被験者が対面で対話コミュニケーションする状況を想定し、モーションキャプチャー装置を活用することで、発話と身振りの記録と解析に関わるシステムを構築した。これによって被験者内での発話と身振りのタイミング関係、被験者間での発話同士、身振り同士のタイミング関係に時系列解析を加えることが可能になった。さらに、これを人間とエージェント (アバター) の対話コミュニケーションにおいて再構成することにも取り組んだ。これによって「間」の共有が情報統合に与える影響を定量的に評価することが可能になった。これまで対話と身体動作の関係はシカゴ大学のグループ (マックニールやスタム) が注目してきたが、それらは対話における言語の文法的解析やジェスチャーの定性的記述に留まっていた。

情報爆発の克服にはコンテキスト共有による共創的情報統合が不可欠であり、そのためには「間」の共有が必要である。本年度は「間」の共有に関わる合意形成過程の観察とそれを解析するための実験システムの開発を達成した。

2. 合意形成の対話コミュニケーションにおける「間」の共有過程の観察 (課題1)

2.1. 概要

本課題では、コミュニケーションにおける情報統合過程の一例として、2人の被験者間での合意形成の対話を取り上げた。特に、対話コミュニケーションにおけるターンテイキングに注目し情報統合メカニズムの解明に取り組んだ。具体的には、暗在的ダイナミクスとして発話における交替潜時の時間発展を分析し、明在的セマンティクスとして合意と非合意に関わる発話意味内容の時間発展について調べた。その結果、交替潜時に周期数十秒程度のリズム的な時間変動があ

り、発話意味内容にも類似した変動が観察された。そして、交替潜時のリズム的な時間変動が被験者間で相互に同調するステージは発話意味内容における合意形成のステージに対応していることが明らかになった。このように対話における交替潜時の同調が、合意形成の情報統合プロセスにおいて重要な役割を果たしていることが初めて示された。以下、この現象について詳細に説明する。

2.2 方法

ここで用いた合意形成課題は、2人の被験者が与えられた資料に基づいて数分間の対話コミュニケーションを行い、その結果として1つの共通の結論を導出するタスクである。被験者だけが実験室内にいる環境において、2人に共通の資料と各自で異なる資料が混ぜられて、それぞれに提供される。資料は相手に直接見せてはいけないが、口頭でなら自由に情報交換してよいものとする。さらに発話思考法（考えていることを口に出す方法）を心がけるように依頼した。

被験者は相互に面識があり、自然に話せる状況を前提としている。学生ならば同じ学年、年齢差5歳以内、同性、同じ国籍（今回は日本人のみ）とした。実験システムとしては、図1のようにテーブルを挟んで2人の被験者がいすに座って対面する状況を、側面からビデオ映像として記録した。また音声はヘッドセットを用いて個々の被験者から独立に記録した。発話ダイナミクスの解析には、音声解析ソフト（音声工房、NTTアドバンステクノロジー）を用い、発話生波形より発話強度の時間変化を計算し、その上で発話の交替潜時を図2のように定義して計算した。発話意味内容については会話分析の方法を用いた。特に、合意度という量を主観的評価量として定義することで、合意形成過程のセマンティクスを定量的に分析した。

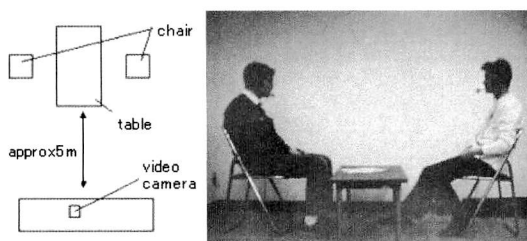


Fig.1 Experimental setups

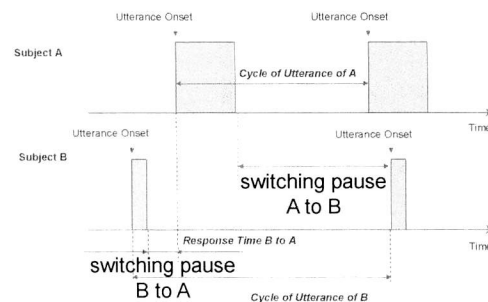


Fig.2 Definition of switching pause

2.3. 結果と考察

結果の一例について説明する。ここでは発話ダイナミクスと発話意味内容の時間発展を同時に記録し解析した。

発話のダイナミクスについては、図3のように、交替潜時の20秒ごとの平均値を計算し時間発展を評価した。その結果、個々の被験者において周期数十秒程度の交替潜時の時間変動のリズムが観察され、それが被験者間で徐々に同調してゆく様子が見られた。

一方、発話意味内容については、会話分析の結果から積極的な意見交換のステージと思考するステージの交代が観察された。これも一種のリズムと考えることができる。そして合意度という

主観的 5 段階評価の形でそれを定量化してみると、合意度もリズム的に時間変動しつつ最終的な合意に至っていることが観察された。第 3 者による 30 秒ごとの合意度評価の時間変動が図 4 に示されている。そして、交替潜時としての発話ダイナミクスと合意度としての発話意味内容の時間発展には、一定の対応関係がありそうである。

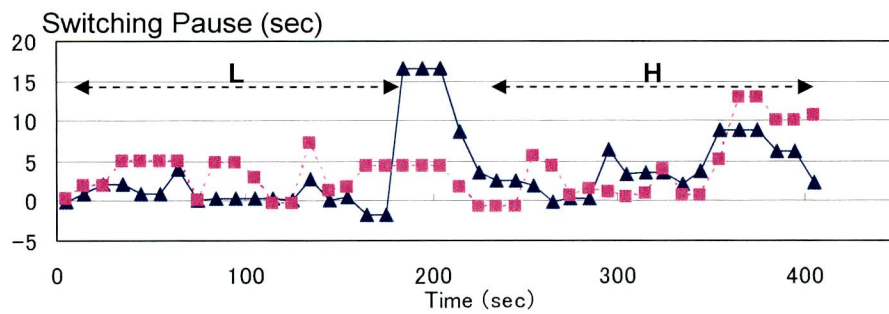


Fig.3 Time course of switching pause (▲: A to B, ■: B to A)

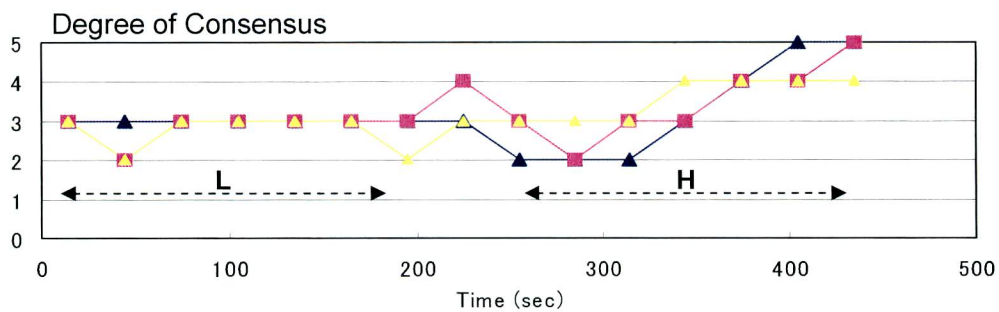


Fig.4 Time course of degree of consensus
(Each marker represents an evaluator respectively)

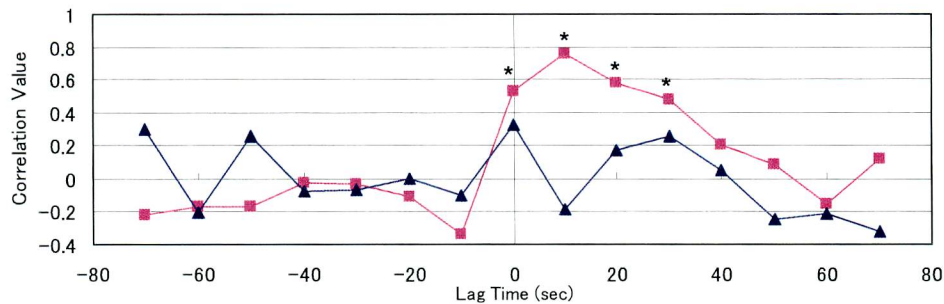


Fig.5 Cross correlation of switching pause A to B and B to A
(▲: Low consensus, ■: High Consensus) *: $p < 0.05$

これを詳細に分析するために、合意度の高い時期と低い時期に分離して比較する。図 4 に示す最初の 180 秒の領域 L (Low consensus) と最後の 180 秒の領域 H (High consensus) を比べる。領域 L は主観的評価としての合意度が相対的に低い時間区間であり、領域 H は相対的に高い領域である。それぞれの領域における 2 人の被験者間での交替潜時の時間変動の相互相関係数を計算

すると、図5のようになった。領域Lでは有意な相関はいずれのラグに対しても観察されなかったが、領域Hではラグ0～30秒に有意な相関が確認された。このことは交替潜時の時間変動が同調するところで合意度が高くなることを意味している。同様の傾向は表1に示すように、5名の被験者中の4例において有意差を伴って観察された。

対面コミュニケーションにおける同調傾向自体は、これまでも報告されてきたが、本結果は、それが合意形成の過程において本質的な役割を担っていることを明らかにした。したがって対話における「間」の共有と合意形成の間に関連があることが示された。このことは合意形成という共創的情報統合に「間」の共有が不可欠であることを示唆している。

	Low Consensus	High Consensus
Example 1	0.325	0.527*
Example 2	0.266	0.366*
Example 3	-0.073	0.471*
Example 4	0.120	0.272
Example 5	0.659*	0.576*

Table 1 Cross correlation value on lag 0 *: p<0.05

3. 対話コミュニケーションにおけるタイミング機構の解析システム開発（課題2）

本課題では、上記のような結果を踏まえて、合意形成の過程を定量的に解析するための実験システムを開発することを目標にしている。具体的には、2人の被験者が対面で対話コミュニケーションする状況を想定し、モーションキャプチャー装置を活用することで、発話と身振りの記録と解析に関わるシステムを構築した。これによって被験者内での発話と身振りのタイミング関係、被験者間での発話同士、身振り同士のタイミング関係に時系列解析を加えることが可能になった。本システムを合意形成の対話コミュニケーションに活用することで、前記の結果を超えて「間」の共有と情報統合の関係について解析が進むものと期待される。

さらに、本システムを人間とエージェント（アバター）の対話コミュニケーションとして再構成することにも取り組んだ。具体的には、アバターの発話と身振りの開始タイミングを操作するための音声情報と映像情報のリアルタイム提示システムを構築した。これによって「間」の共有が情報統合に与える影響を定量的に評価することが可能になった。このように本研究によって、対話コミュニケーションの分析と再構成を統合した実験系における解析がはじめて可能になる。この成果は情報統合を支援するインタフェースモデルの構築にもつながるであろう。

4. 今後の展望

今年度は、上記の2つの課題について研究した。一方は、合意形成という共創的な情報統合に直接関わるプロセスの観察であり、もう一方は、その計測と解析のための実験システムの開発であった。今後は、これらの成果を統合して下記のような方向性に向けて展開する予定である。

・展望1

まず、「間」の共有プロセスの解析ではプリミティブ抽出から始める。特に、ターンテイキングとの関連において交替潜時と関連する発話と身振りの時間発展に注目する。具体的には、海外共同研究者ペップルの提案する「3秒の窓」という心理学的な知見を活用する予定である。これは認知やコミュニケーションに関わる広範な行動が、量子化された約3秒の時間窓の連鎖として構成されるとする仮説であり、多くの事例において妥当性が確認されている。これは本計画における「間」のプリミティブに直接対応する可能性が高く、そのプリミティブの時間発展と同調メカニズムを時系列解析の手法を用いて明らかにする。

・展望2

われわれは既に、協調タッピング課題をモデル系として、「間」の共有に関する基本的メカニズムを明らかにしている。この仕組みは対話の交替潜時の同調モデルと対応するものであり、これを「間」の共有の基礎モデルとして採用する予定である。ただし合意形成の対話に特徴的である情報統合プロセスに適用するためには、意味的な状態遷移との関係も明らかにしなければならない。その上で上記モデルにおいて認知的モジュールの構造化によって対処する。これによって合意形成の対話における「間」の共有モデルが実現される。

・展望3

さらに、モデルの妥当性を検証するために「間」の共有プロセスへの人為的介入から情報統合プロセスへの影響を実験的に評価する必要がある。特に、対話の交替潜時を主たる要素とするプリミティブを操作することで、合意形成の情報統合にどのような意味的影響が現われるかを解析し、共創的情報統合のメカニズムとの関係を明らかにする予定である。これは情報統合を支援するインタフェースモデルにもつながる。

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. ペップル: 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, "共創システムと複雑性," 複雑系叢書(早稲田大学複雑系高等学術研究所編), 共立出版 (in press)

2. Miyake, Y., Onishi, Y. & Poppel, E., "Two types of anticipatory-timing mechanism in synchronization tapping," In N Osaka (Eds.), *Object Recognition, Attention, and Action*, Springer-Verlag, Tokyo (in press)
3. Miyake, Y., "Co-creation system and Complexity," *Proc. of Joint 3rd Int. Conf. on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS2006)*, Tokyo, Japan, pp.TH-A2-2 (2006)
4. Yoshida, M. & Miyake, Y., "Relationship between utterance dynamics and pragmatics in the conversation of consensus building process," *Proc. of the 15th IEEE Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN2006)*, Hatfield, U.K., pp.641-645 (2006)
5. Yoshida, M. & Miyake, Y., "Relationship between utterance and subjective pragmatics in the conversation of consensus building process," *Proc. of 6th Int. Workshop on Emergent Synthesis (IWES2006)*, Kashiwa, Japan, pp.119-124 (2006)
6. Yamamoto, T. & Miyake, Y., "A hierarchical interaction in music ensemble performance: Analysis of 1-bar rhythm and respiration rhythm," In J L Wu, K Ito, S Tobimatsu, T Nishida, H Fukuyama (Eds.), *Complex Medical Engineering*, Springer-Verlag, Tokyo (in press)
7. Takano, K. & Miyake, Y., "Control mechanisms of perceived phase error on synchronized tapping," *Proc. of 15th IEEE Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN2006)*, Hatfield, U.K., pp.635-640 (2006)
8. 三宅美博, "共創システムと無限定性—安心な社会システムの回復をめざして—," *機械学会会誌*, Vol.109, No.1049, pp.39-42 (2006)
9. 三宅美博, "コミュニティ・インタフェースへ向かう共創システム—歩行介助システム Walk-Mate を介する場づくり—," *日本ロボット学会誌*, Vol.24, No.6, pp.700-707 (2006)
10. 三宅美博, "Co-creation system and indefiniteness: For recovery of communicability in social system," *共創と複雑系シンポジウム予稿集(Co-creation2006)*, pp.43-45 (2006)
11. 三宅美博, "歩行介助ロボット Walk-Mate と共創: Walk-Mate プロジェクトの 12 年を振り返って," *リハビリテーションにおけるロボット技術に関するワークショップ講演論文集*, pp.12-18 (2006)
12. 三宅美博, 吉田 誠, "インターパーソナルなタイミング共有と共創システム," 第 7 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(SI2006), pp.1080-1081 (2006)
13. 吉田 誠, 三宅美博, "合意形成過程における会話の意味的側面とダイナミクスの関係," 第 16 回インテリジェント・システム・シンポジウム予稿集(FAN'06), pp.57-62 (2006)
14. 吉田 誠, 三宅美博, "合意形成過程における発話ダイナミクスの解析," 第 18 回自律分散システム・シンポジウム資料, pp.233-238 (2006)
15. 中島壯人, 小松知章, 三宅美博, "同期タッピングにおける二重化された同調ダイナミクス," 第 7 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(SI2006), pp.1082-1083 (2006)
16. 中島壯人, 小松知章, 三宅美博, "同期タッピングにおける予測的タイミング機構の時系列解析," *ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006 講演会予稿集*, pp.285-288 (2006)
17. 中島壯人, 三宅美博, "交互協調タッピングの相互相関解析に基づくモデル化," 第 18 回自律分散システム・シンポジウム資料, pp.277-282 (2006)

18. 朝日健太, 中島壯人, 三宅美博, "同期タッピングおよび交互タッピングにおけるタイミング制御機構の解析と比較," 第7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(SI2006), pp.1084-1085 (2006)
19. 朝日健太, 中島壯人, 三宅美博, "2種類の協調タッピング課題における相互同調過程の解析," ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006 講演会予稿集, pp.241-244 (2006)
20. 朝日健太, 三宅美博, "時間遅れを伴う協調タッピングにおけるタイミング共有の特性," 第18回自律分散システム・シンポジウム資料, pp.227-232 (2006)
21. 武藤ゆみ子, 三宅美博, エルンスト・ペッペル, "外乱を含む同期タッピング課題における認知が運動に与える影響," ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006 講演会予稿集, pp.289-294 (2006)

招待講演

1. Miyake, Y., "Co-creation system and sustainable society," Proc. of 6th Int. Workshop on Emergent Synthesis (IWES2006), Kashiwa, Japan, Keynote Speech (2006) (Invited lecture)
2. Miyake, Y., "Two types of phase correction mechanism in synchronized tapping," Proc. of 5th Sino-German Advanced Workshop in Cognitive Neuroscience and Psychology, Beijing, China, pp.34-35 (2006) (Invited lecture)
3. 三宅美博, "共創システム：安心の場の再生に向けて," 技術の変化と新産業構造に関する研究会・第4回科学技術の新展開に関する研究会 (産業創造研究所) (2006)
<http://www.iri.or.jp/is/2006.3.14.pdf>