

共創コミュニケーションにおける重層化されたタイミング機構

東京工業大学 総合理工学研究科 知能システム科学専攻 下茂 博章、野島 満春、○三宅 美博

Dual Timing Mechanism in Co-creative Communication

Shimo Hiroaki, Mituharu Nojima and ○Yoshihiro Miyake Tokyo Institute of Technology, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Department of Computational Intelligence and System Science

Abstract: We clarify internal phase correction mechanisms affecting timing control in a synchronization tapping task. Synchronization error (SE) was directly controlled within 450-1800 ms of the inter stimulus onset interval (ISI) with our experimental method. Two types of internal phase correction mechanism became evident. The first showed a strong negative correlation between SE change and change in inter tap onset interval (ITI), suggesting a simple negative feedback mechanism. The second type was inhibited in a dual task condition. These results suggest that there are two types of internal phase correction mechanism.

1. はじめに

人間は変化しつづける動的環境に適応しつつ生活しているが、その適応機構の時間的側面に深く関与しているのがタイミングを合わせる能力である。最近では、タイミング合わせが会話などのコミュニケーションや他者との共同作業を円滑に達成する上でも重要な役割を担っていると注目されている。

そのタイミング合わせにおいて、周期的な刺激に対して身体反応が数10ms程度先行する“負の非同期現象”が観測されている^[1]。これは、人間の内部における“主観としての時間流れ”の成立を示唆し、認知的な時間を予測的に創出していることを示唆している。しかし、人間の共同作業において、未だ物理的な時間を前提とする外側からのコーディネーション支援のみが行われているのが現状である。そのため、認知的な世界の創出を前提にした内側からのコーディネーション支援を研究する必要がある。このような人間の協調プロセスを共創的に支援しうる人工物をめざすわれわれの研究グループは、タイミング機構に注目し、新たなインターフェース技術として活用することを目標として研究を進めている^[2]。

1.1 先行研究・同期タッピング課題

同期タッピング課題とは、被験者にリズム音としての刺激を入力しその応答としてのタップを同期させる心理学的実験のことである。人間のタイミング機構の研究にはその同期タッピング課題が広く用いられてきたが、その成果は大きく分けて、タイミング機構のメカニズムに関する研究と、その神経基盤を明らかにする研究の2つに分けることができる。前者からは多くのタイミング制御のモデルが提案され、その基礎的モデルとして、単純な負のフィードバックである位相誤差訂正機構と周期誤差訂正機構の結合によって記述される Mates モデルがある^[5]。また後者の研究においてわれわれ研究グループは、その神経基盤として注意資源に注目し、注意がタイミング制御に影響していることを示唆してきた^{[3]-[4]}。しかし先行研究では、タイミング機構のメカニズムとそれに対する能動的注意からの影響が明らかになっていない。そこで本研究では、同期タッピング課題における位相誤差の訂正機構をモデル系として両者の関係を明らかにする。

2. 方法

2.1 パラメータの定義

記録された n 番目の刺激時刻を $S(n)$ 、 n 番目のタップ時刻を $R(n)$ として、刺激周期である ISI (Inter Stimulus-onset Interval)、連続するタップの時間間隔である ITI (Inter

Tap-onset Interval)、刺激時刻に対するタップ時刻の時間差である SE (Synchronization Error)を以下の式(1)~(3)のように定義した。

$$ISI(n) = S(n+1) - S(n) \quad (1)$$

$$ITI(n) = R(n+1) - R(n) \quad (2)$$

$$SE(n) = R(n) - S(n) \quad (3)$$

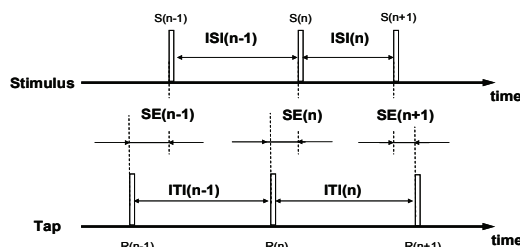


図1 同期タッピングのタイミングチャート

Fig.1 Timing-chart of temporal relationship between taps and auditory stimuli

2.2 実験方針・手順

本研究では、同期タッピング課題における位相誤差訂正機構の解析を目的としている。そのために、 SE を制御し、被験者の応答を観察する。しかし、位相誤差訂正機構の解析をするためには、知覚上の位相誤差を制御する必要があるため、本実験は同期タッピング課題を2つの段階に分けて行う。まず第1段階は、音刺激の提示周期を固定し一定のリズムでタップを行う。第2段階は、第一段階で得られたデータをもとに、被験者がタップと音刺激が同期していると感じている大きさで SE を固定する。その状態から、位相誤差 ΔSE を与え、その応答としてタップを観察する。それによって位相誤差訂正機構を観察する。また、認知に関わる注意資源からの影響について観察するため二重課題法を用いて対比実験を行う。また、本研究では上記の同期タッピング課題のみを行う Single 条件と、上記の同期タッピング課題と共に黙読課題を行う Dual 条件の二種類の条件のもとで行った。

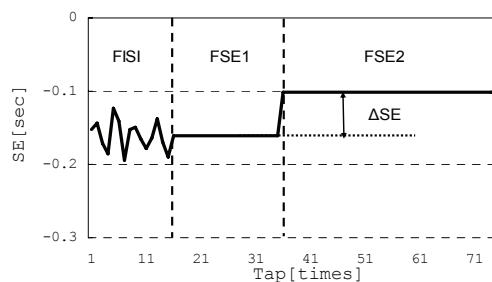


図2 SEの時間発展

Fig.2 Temporal development of SE

2.3 被験者 及び 実験システム概要

課題を遂行する被験者は、ボランティアとして 20 代男子 5 名(21-24 歳、平均年齢 22.6 歳)に依頼した。

タッピングシステムは PC(IBM, Thinkpad535)上のシングルタスク OS(IBM, PC-DOS200)に C 言語を用いて実装された。提示音刺激は、500Hz 矩形波を 100ms 間、イヤホンによって被験者の両耳に提示した。

3. 結果

3.1 SE および ITI の時間発展

まず、制御量である位相誤差の変化 ΔSE に対する応答量として、タップ周期の変化 ΔITI を式(4)で定義する。

$$\Delta ITI = (\text{mean ITI in the FSE}_2 \text{ condition}) - (\text{mean ITI in the FSE}_1 \text{ condition}) \quad (4)$$

結果としては、制御量としての位相誤差の変化 ΔSE が 0 の状況では、応答量としてのタップ周期の変化 ΔITI も観察されなかった。また ΔSE が正の状況では、応答量としてのタップ周期は減少し ΔITI は負となり、 ΔSE が負の状況では、タップ周期は増加し ΔITI は正となった。この結果より、 ΔSE を制御することで、知覚上における位相誤差を制御することに成功していると考えられる。

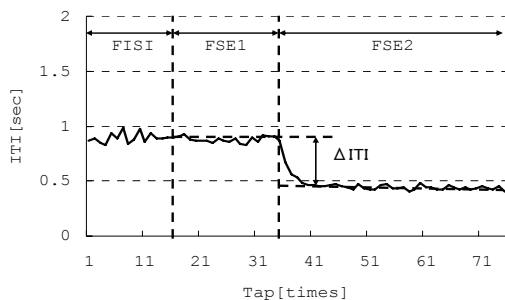


図 3 ITI の時間発展
Fig.3 Temporal development of ITI

3.2 相関解析

図 4 は、横軸に制御した ΔSE 、縦軸にその応答である ΔITI をとったものである。このグラフにおいて大きく別けて 3 つの特徴が見て取れたためクラスタ分析を行い、プロットを 3 つのクラスタに分類した。また、それらのクラスタと注意がどのように関係しているのかを調査するために、注意資源が使用できる Single 条件と、注意資源が使用できない Dual 条件を比較する。

ISI=900ms におけるグラフである図 4 を例にとると、原点近傍に直線状にプロットが分布し single 条件と dual 条件の差があまりないクラスタ 1、 $\Delta SE > 0$ 側において原点を通る直線から少し離れた位置に分布し dual 条件より single 条件の方が小さい値をとるクラスタ 2、 $\Delta SE < 0$ 側において原点を通る直線から大きく外れた位置に存在し single 条件では存在するが dual 条件では存在しないクラスタ 3 が観測された。また、他の ISI における結果と比較することで、クラスタ 1 はどの ISI でも出現するのに対し、クラスタ 2 は主に ISI が長周期側で、クラスタ 3 は主に ISI が短周期側で観測されることがわかった。

4. 考察

クラスタ 1 は、Single 条件と Dual 条件の両方で観察されることから注意資源を必要としない機構であると考えられる。また、原点を通る直線上に位置し負の相関を持つことから、上述した Mates モデルの位相誤差訂正機構にお

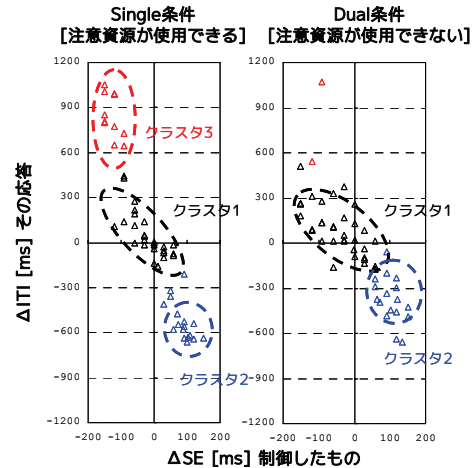


図 4 Single 条件と Dual 条件における ΔSE - ΔITI 応答
Fig.4 Relationship between ΔSE and ΔITI under single task condition and dual task condition

ける負のフィードバック機構と一致する。

クラスタ 2 は、Single 条件と比べて Dual 条件では抑制されていることから、その生成には注意資源が関与し、主に ISI が長周期側で観測されることから ISI 依存性も有していると推定される。また、 $\Delta SE > 0$ 側のみで存在し、さらにクラスタ 1 が描き出す傾きが負で原点を通る直線からも大きく外れていることから Mates モデルでは記述できないフィードバックを持ち、注意資源を必要とする機構であると考えられる。

最後にクラスタ 3 に関してだが、Single 条件と比べて Dual 条件では抑制されていることから、その生成には注意資源が関与し、主に ISI が短周期側で観測されることから ISI 依存性も有していると推定される。また、 $\Delta SE < 0$ 側のみで存在し、さらにクラスタ 1 が描き出す傾きが負で原点を通る直線からも大きく外れていることから、Mates モデルでは記述できないフィードバックを持ち、注意資源を必要とする機構であると考えられる。

本研究で位相誤差訂正機構には、多くのモデルの基礎となっている Mates モデルで記述できない機構が存在し、その機構が注意を必要とするということがわかった。今後これらの注意資源を必要とする機構についてより詳しく観察し、それらも考慮に入れた新たなモデルの構築を目指していきたい。

参考文献

- [1] K.Dunlap: Reactions on rhythmic stimuli, with attempt to synchronize; Psychological Review, Vol. 17,399/416
- [2] 三宅, 辰巳, 杉原: 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)
- [3] Y.Miyake, Y.Onishi & E.Poeppel : "Two types of anticipation in synchronization tapping", Acta Neurobiologiae Experimentalis, 64,415/426(2004)
- [4] Kouji Takano & Yoshihiro Miyake: Two types of phase correction mechanism involved in synchronized tapping, Neuroscience Letters, Volume 417, Issue 2, 1 May 2007, Pages 196-200
- [5] J.Mates, T.Radil, U.Muller , E.Poppel: Temporal Integration in Sensorimotor Synchronization, Journal of Cognitive Neuroscience,6-4,332/340(1994)