

タイミング生成機構とコミュニケーション支援技術への応用

武藤ゆみ子^{1,2}・三宅美博²

1. 日本学術振興会 2. 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 知能システム科学専攻

はじめに

人間の運動や会話において、「タイミング」という時間情報はそれらを円滑に遂行していくうえで不可欠な要素の一つ。

I. 個体内で自分がある運動を円滑に行うために必要な一連の動作を、身体的な制約に基づき決定された時間的規則に従って行う(運動制御)

(例) 投球に必要な一連の動作の時間順序やそのタイミング、書字における書き順やタイミング・・・

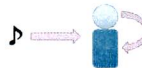


↓
複数の身体機能がある時間順序やタイミングで動かし、運動の達成をしている。(時間軸上の事象のような・・・)

※このような運動の中でも、特に歩行のようにリズムが周期的な運動は「周期運動」と呼ばれる。

II. 外的イベントとタイミングを合わせる

(例) 音楽に合わせてダンスをする・・・



III. 他者とタイミングを合わせる

(例) 音楽の共同演奏・・・
他者との対話コミュニケーション など

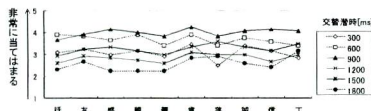


外的イベントや他者とタイミングを合わせる際の動作タイミングはどのように決められているのだろうか？

研究2:HAIにおけるタイミングと印象形成の関係 [7]

HAI(ヒューマン エージェント インタラクション)において、アバターの発話タイミングが人間の心理に与える影響の考察

人間:「それをとってください」
アバタ:「はい」 (※「はい」の発話タイミングを制御)
人間側がアバタに対して抱く印象は影響を受けるのか？



300msでは落ち着いた印象や丁寧な印象は得られない
1800msでは全体的に悪い印象を与えている。

運動制御は、動作目標に基づいて最適化された結果から動作タイミングが決定される。一方で対人コミュニケーションにおけるタイミング生成には、意思や心理も関与し、またそのタイミングが心理に影響を及ぼす。

研究3:人と関わるロボット設計へ(共同研究)

1. 人間同士の指示-応答対話の時間的解析(阿部, 2008) [8]

人間A:「そのつみきをとってください」
人間B:「はい」

人間の動作(発話・頷き・身振り)を時間軸上の事象として扱い、個体間/個体内における時間関係を調査。

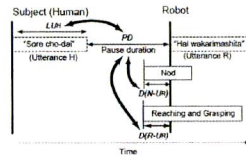


2. コミュニケーションロボットにおける発話と身振りの制御(高杉, 2008) [9][10]

人間同士の結果(1)で検出された発話と身振りの相関関係をロボットに実装して、印象評価実験を行った。

人間:「それちよーだい」
ロボット:「はい, わかりました」
(発話, 頷き, 把持動作を制御)

実験の結果, 高齢者の被験者は、タイミングが制御されたロボットの印象を高く評価した。



近年, ロボットは複数の言語・非言語機能(発話, 頷き, 身振り, 視線)を獲得してきた。しかし, 「これらの機能をもつ」と「複数の機能をうまく使う」とは異なる。このような視点から各動作のタイミングに注目し, 調査を進めていくことは, 今後人と関わるロボットの設計にも応用可能であると考えられる。

研究1: タイミング生成に関する心理物理実験

人間が様々なものとタイミングを合わせていくためには, 環境変化に対応して運動を変えていくことが必要になる。そのメカニズムを心理物理実験を用いて調査した。



■ 同期タッピング課題 [1] (リズム音に合わせて, 指でボタンを押す課題)を用いる

■ 音刺激提示周期(ISI: InterStimulus onset Interval)

【一般的な音刺激】メトロノームのような等間隔の音(500-800ms)
【本研究の音刺激】 $N(800, \sigma^2)$ に従う正規乱数で与える(Fig.1)。

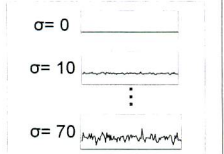


Fig.1 本提示したISI時系列例

実験1

- 被験者: 12人(女性4人, 男性8人)
- 9通りの σ を用意 $\sigma = \{0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}$ ms
- 各 σ に対し110個のISIを発生させ, 実験を行う
- 被験者が刺激変動を認知していたかどうかを調査。
- 被験者の応答タイミングを計測し, データを解析。

結果考察1: 刺激変動に対する主観的気づき

【 $\sigma=0-10$ ms】刺激変動に気づかなかった

(変動が認知できない程小さかったため, 被験者は「等間隔」であると思っていた。物理的にはランダム, 主観的には等間隔)

【 $\sigma=40-80$ ms】刺激変動に気づいていた

(物理的にはランダム, 主観的には時々変動に気付く)

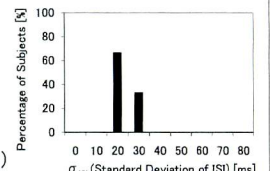


Fig.2 被験者が変動に気づいた閾値

結果考察2: 応答データ解析結果

応答タイミング $T(n+1)$ の決定には, どの時間特徴量が影響を及ぼしているのか調査した。

(a) ISIとITIの交互相関解析(周期維持について)

通常の同期課題では等間隔のため, いつのISIが $ITI(n)$ に影響を及ぼしているのか不明であった。そこで本研究では, $ITI(n)$ と $ISI(n)$ の交互相関解析を行った。

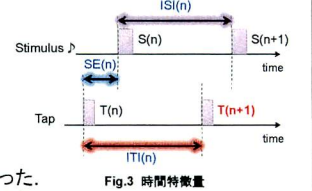


Fig.3 時間特徴量

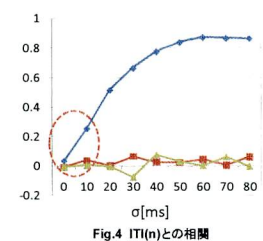


Fig.4 ITI(n)との相関

・ISI(n-1)とITI(n)に強い相関が検出された(Fig.4)

特に $\sigma=10$ msは, 被験者は(物理的にはランダムだが)主観的には等間隔だと感じる条件である。

↓
変動の認知にかかわらず, ひとつ前のISIの情報に基づき次のタップタイミングが決められていることを示唆

(b) SEとITIの交互相関解析(同期維持について) [2]

同期を維持するために, 同期誤差SEは重要な役割を果たしていることが知られている [9] SE(n)と $ITI(n)$ の相関解析を行った。

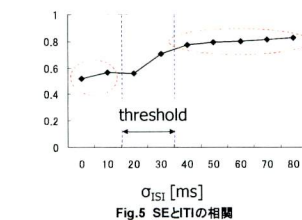


Fig.5 SEとITIの相関

・認知の閾値を境に差が検出され($p < 0.05$). 以下の2つの条件で異なる結果が得られた(Fig.5)

- $\sigma=0-10$ ms
- $\sigma=40-80$ ms

同期誤差SEは変動の認知をトリガーとし, 特にSEが十分認知できるような大きさであるときに, SEをフィードバックすることによって次のタップが決める補助的な役割を果たしている可能性を示唆。

まとめと今後の展望

同期タッピング課題における脳内機構は, 基本的には聴覚領域と運動領域で説明でき, 音なしの指タッピングと前頭前野と小脳の一部を除けば, ほとんど同じであることが知られている [4]。また, 近年では歩行などの周期運動が, ボールを蹴る, 腕を伸ばしてコップをつかむといった離散運動の基礎であるということも示唆されている [5]。これらのことから, 周期運動におけるタイミング機構の解析は人間の運動におけるタイミング機構を明らかにしていくうえで重要であると考えられる。

本研究では, 刺激変動の認知状態に関わらず $ISI(n-1)$ は $ITI(n)$ に影響を与え, SEは認知状態に依存していることが明らかになった。完全にランダムな刺激を与えた先行研究では, 等間隔の刺激と比べさらに小脳が活性化したことを報告している [6]。以上のことから, 今後タイミング制御における小脳の役割にも注目して研究を進めていく予定である。

[1] Dunlap K. "Reactions to rhythmic stimuli: with attempt to synchronize." Psychological Review, Vol. 17, pp. 339-416 (1910)
[2] 武藤ゆみ子, 三宅美博, エルンスト・ヘンベル. "複雑な環境変動における認知を伴うタイミング機構: 環境の複雑性を考慮したインタフェース設計のための基礎的研究." 計測自動制御学会, Vol. 43, No. 11, pp. 989-997(2007)
[3] Mates, J. "A model of synchronization of motor acts to a stimulus sequence. 1. Timing and error corrections." Biological Cybernetics, Vol. 70, pp. 463-473 (1994)
[4] Thaut, M. H. "Neural basis of rhythmic timing networks in the human brain." Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 999, pp. 364-373 (2003)
[5] Schaal, S., Sternad, D., Osu, R., Kawato, M. "Rhythmic arm movement is not discrete." Nature Neuroscience, Vol. 7, pp. 1136-1143 (2004)
[6] Thaut, M. H. Rhythmic Music, and the Brain. Scientific Foundations and Clinical Applications. Routledge Pr. (2005)
[7] 武藤ゆみ子, 高野弘二, 大良宏樹, 小林洋平, 山本知仁, 三宅美博. "音声インタフェースにおける発話タイミング制御とその評価" ヒューマンインタフェースシンポジウム2007講演会予稿集, pp. 639-642 (2007)
[8] 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)
[9] 高杉将司, 山本知仁, 高野弘二, 須藤作, 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)
[10] 武藤ゆみ子, 高杉将司, 山本知仁, 三宅美博. "ヒューマノイドロボットにおける発話と身振りのタイミング制御" HAIシンポジウム2008, 1A-2 (2008)