

経頭蓋磁気刺激による反応時間変動現象のモデル解析

○金子秀和* 赤松幹之* Thierry HASBROUCQ**

*工業技術院 生命工学工業技術研究所

**Cognitive Neuroscience Laboratory, CNRS, France

1. はじめに

脳は多数のニューロンのネットワークからなり、その情報処理はニューロン相互の協調作用によって成り立っている。このような複雑なシステムを理解してゆく上で、神経細胞、カラム、皮質領野等の各段階をモデル化し、拡張してゆく手法は有効である。本研究では、皮質領野を機能単位とする脳機能モデルを提案する。具体的には、経頭蓋磁気刺激 (TMS: Transcranial Magnetic Stimulation [1]) によるタスク反応時間 (RT: Reaction Time or Response Time) の変動現象をモデル解析する。

2. 刺激反応時間タスクにおける磁気刺激実験

従来、運動野 (M: Motor Cortex) 以外の一次体性感覚野 (S1: Primary Somatosensory Cortex) や他の皮質領野に TMS を適用した際の脳神経機構の変化はほとんど報告されていなかった。しかし、最近、TMSによって感覚情報の検出感度が低下する旨の心理学的実験結果が報告されている [2]。我々も、神経発火閾値を越える TMS を対側一次体性感覚野 (cS1: Contralateral S1)、対側運動野 (cM: Contralateral M) に加えた場合、触覚刺激反応時間タスクでの RT の変動現象を確認した [3]。以下、その際の実験方法及び結果を示す。

2. 1 実験方法

両耳に耳栓を施した右利きの健康なヒト被験者において、時刻 $t=0\text{ms}$ でトリガ信号 (GS: Go-Signal) として右手人差し指に触覚刺激を加え、これに対して可能な限り短時間で左手人差し指によるボタン押し (BP: Button Press) を行うという反応時間タスク (RT は GS と BP の時間間隔) を実施した。触覚刺激にはピン (面積 $1\text{mm} \times 2\text{mm}$ 、ストローク 1mm 、持続時間 5ms) を用い、応答検出はマウスボタン (NEC 製 PC-9872R) を用いた。TMS は、磁気刺激装置 (MAGSTIM200、8 の字型プローブ、刺激強度 1.32 テスラ、プローブの位置及び角度は cM 刺激では誘発運動の大きさ、cS1 刺激では誘発される触感覚の強さが最大となるように調整) にて cM または cS1 に $-500\text{ms} \sim +500\text{ms}$ までの様々なタイミング (以下、TMST と呼ぶ) でランダムに加えた。尚、LED により GS の 2s 以前に準備信号 (WS: Warning Signal) を呈示し、試行間の時間間隔を $7 \sim 10\text{s}$ の間でランダムに変化させた。

2. 2 実験結果

図 1 (a) 及び (b) は cS1 及び cM に TMS を加えた時の BP のタイミングを GS または TMS で同期させて表示したものである。図中 (a) より、概ね BP は $145\text{ms} < \text{RT} < 240\text{ms}$ の間に集中していることがわか

る。また図中 (b) より、TMS に同期した BP の生じていること及び BP の発生率の変動が約 140ms 周期であることがわかる。

図 2 は極めて RT ($< 145\text{ms}$) が短かった場合の BP のタイミングを TMS で同期させてヒストグラムにし、表示したものである。これより、cS1 への TMS によって BP が誘発されることはあっても cM への TMS によって BP が誘発されることは希であることがわかる。

3. 実験結果の考察及びモデルの構成

著者らは前記実験結果をシミュレートするため、各皮質領野による情報処理が逐次的に行われていることを仮定して図 3 の様なカスケードモデルを提案した [3]。これにより、TMS によって生じる RT の延長現象はシミュレートできた。しかし、各皮質領野での情報処理時間を一定としたため、図 1 (b) に見られるような BP 発生確率の変動現象を表現することはできなかった。

本稿では、「皮質領野活動の周期性」及び「増幅器としての連合野」を仮定することによって上記カスケードモデルを改良する。

3. 1 皮質領野活動の周期性

BP は cM の運動指令を反映しているから、TMS を cM へ加えたときの BP の分布は cM での神経活動レベルが高まる様子を表しているといえる。よって、図 1 (b) の実験結果から cM での神経活動が周期的であると推察される。そこで、皮質領野モデルの内部に神経活動レベル (cortical activity) が固有周期 (NP: Natural Period) に従って変動する構造 (図 (a) 中の右側部分) を導入する。

3. 2 増幅器としての連合野

「cM よりも、筋肉からほど遠い cS1 への TMS によって BP が誘発されやすい」という図 2 の結果から、「同じ大きさの TMS を cS1 または cM に加えた場合、cM よりも cS1 への TMS の方が筋肉に達した場合の影響が大きい」と考えざるを得ない。そこで、cS1 と cM との間に存在する連合野によって cS1 からの入力が大きく増幅されるものとする。すなわち、図 4 (b) の様に cS1 から来る信号が右手人差し指に加えられる触覚刺激によって生じたと判断される場合、連合野で信号強度を 2 倍に増幅する。

4 シミュレーション結果及び考察

図 5 にシミュレーション結果を示した。但し、触覚神経への入力は触覚刺激がオフの時 0.1 、オンの時 1.0 であるとした。また、これらのシミュレーションでは図 3 及び 4 中に示されたパラメータを用いている。このシミュレーションでは、TMS によって生

じる皮質領野活動レベルの周期的な変化が表現できた。また、BPがcMよりもcS1へのTMSによって誘発されやすいことも表現できている。

図1 (a) と図5がcS1及びcMのどちらにTMSを加えた場合でもよく一致していることから、「TMSによって皮質領野活動レベルが変動し、BPの分布に粗密が生じる」ものと考えられる。この仮説を受け入れることによってTMSによるRTの短縮現象も延長現象も説明することが可能である。

5. まとめ

触覚刺激反応時間タスクにおいて神経発火閾値を越えるTMSをcS1あるいはcMに加えたときのRTの変化をシミュレート可能な皮質領野モデルを提案した。シミュレーションと実験の結果を一致させるには「皮質領野が固有周波数を持つこと」及び「特

定の触覚刺激が入力されたかどうか判定するような皮質領野がcS1とcMの間に存在すること」を仮定する必要のあることがわかった。

参考文献

- [1] A. T. Barker, I. L. Freeston, R. Jalinous: "Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex," *Lancet* 1: 1106-1107, 1985.
- [2] L. G. Cohen, S. Bandinelli, S. Sato, C. Kufta, and M. Hallett, "Attenuation in detection of somatosensory stimuli by transcranial magnetic stimulation," *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, vol. 81, pp. 366-76, 1991.
- [3] 金子秀和, 赤松幹之: "刺激反応時間タスクにおける大脳感覚野及び運動野への磁気刺激の影響とモデリング," 第10回生体生理工学シンポジウム論文集, pp. 213-216, 1995.

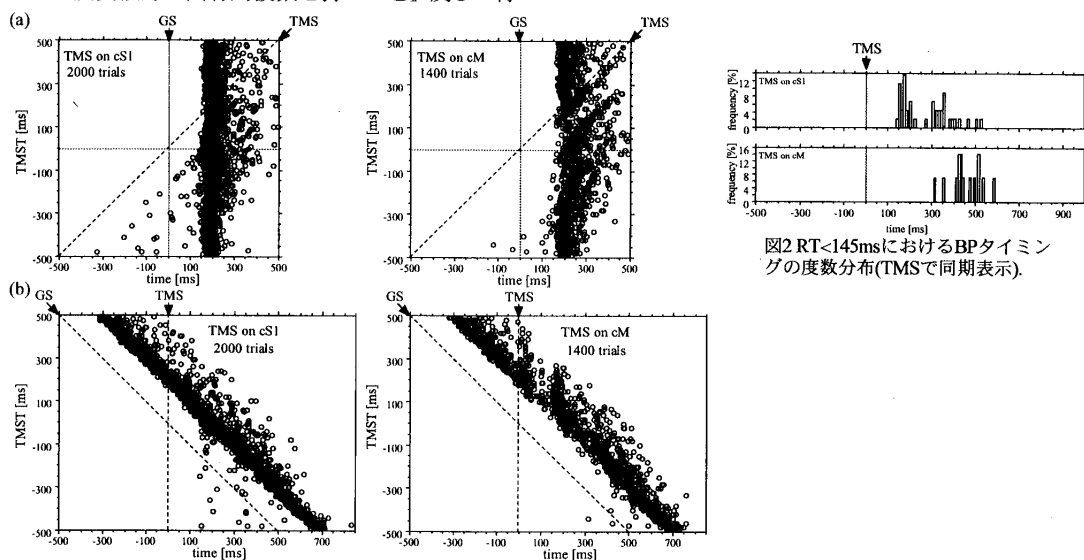


図1 BPの分布。(a)GSで同期表示。(b)TMSで同期表示。

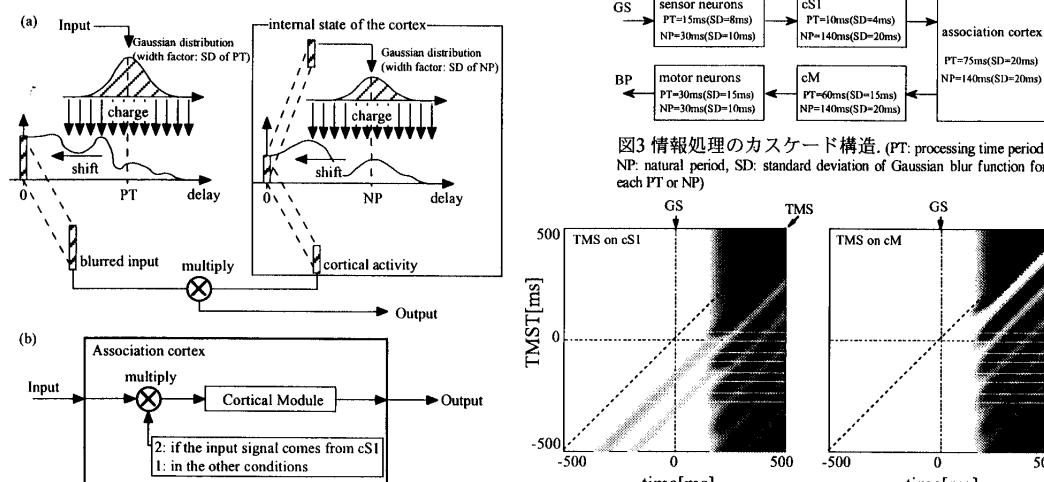


図3 情報処理のカスケード構造。(PT: processing time period, NP: natural period, SD: standard deviation of Gaussian blur function for each PT or NP)

図4 皮質領野モデル。(a)信号の流れ。(b)連合野での増幅。

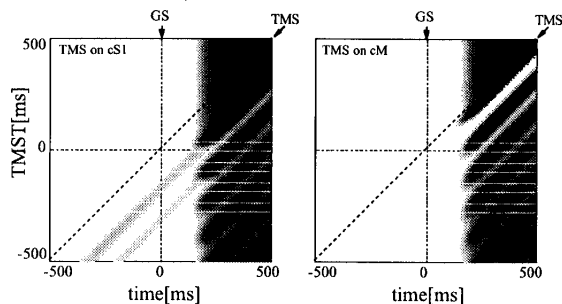


図5 シミュレーション結果。