

てんかん患者の多点皮質脳波における神経活動の雪崩現象の検証

機械情報工学科 03100267 イハヨン

指導教員 高橋宏和 講師

1: 背景と目的

てんかん患者の脳では、発作時に、てんかん発作を引き起こす焦点を中心として、異常な脳波が一部の脳領域あるいは全領域に伝播する。脳状態のこのような動的変化から、背後にある力学法則を推定することは、てんかん発作の予測や神経活動の理論的基礎など、臨床応用・生理学への貢献につながるため、重要である。

状態の動的変化を記述する力学モデルの1つに、自己組織的臨界現象がある[1]。その代表例として、砂山の雪崩現象が挙げられる。これは、砂山に少しずつ砂粒を落としている状況で、ある条件を満たすと、落とした砂粒から雪崩が起きるものであり、雪崩の大きさ s とその出現確率 $D(s)$ には、

$$D(s) \propto s^{-\alpha}$$

というべき側が成立する。

このような雪崩現象は、大脳皮質でも神経活動の雪崩現象として報告されている。多点皮質脳波計測では、ときおり、nLFP (negative Local Field Potential) と呼ばれる負の極大反応が、電極間で同期的に発生する。その際に、nLFP の同期の電極数(サイズ)と発生頻度がべき側に従う[2]。雪崩現象の特徴として、同期現象のサイズの広がりが発散・収束しない、すなわちクリティカルな状態であるがある。

本研究では、てんかん発作の背後にある力学法則として、上記の神経活動の雪崩現象を考え、平常時から異常時への脳波の動的な変化を解析した。具体的には、雪崩の発展の指標である σ (branching parameter) とべき側を用いて調べた。

2: 方法

データは東京大学附属病院脳神経外科川合謙介氏から提供を受けた。2名のてんかん患者からの長期間(2~3日) ECoG データを対象とした。そのうち1名は、複雑部分てんかんである CPS (Complex partial seizure) から異常脳波が脳全体に広がった SGTC (Secondarily generalized tonic-clonic seizure) に発展し、もう1名は CPS のみを含む。脳波から 50 Hz の電源ノイズを除去し、30分ごとに区切って解析した。

神経活動の雪崩現象: 30分の多チャンネル脳波のデータからピークを計算した。2の手法で雪崩の大きさを計算し、① 雪崩の発展性を表す σ を計算した。② 雪崩の大きさの出現確率の分布を求め、線形回帰でべき側かどうかを調べた。線形回帰を行う際には、サイズ 1~20 までと全サイズに対してそれぞれ行った。0.8 以上であれば有意と見なした。

エネルギー: 今回の研究と合わせて解析する既存の手法として脳波のエネルギー[3]を用いた。脳波のエネルギーは時間窓で脳波を切りだしてその脳波の二乗和の平均で求められる。

3: 結果

結果: 発作と burst において σ が高くなることを確認した。特に発作時はより高くなっていることが確認できる(図1)。患者1において Burst があった時間帯とてんかん発作があった時間帯を除いて平均と標準偏差を計算すると 0.1884 ± 0.029 である。バーストがある場合は 0.3 以上であり、てんかん発作がある時間帯は 0.51 で有意な σ の差がある。

発作時のサイズと出現確率の分布を表した図が図2である。サイズ 1 から 20 までの線形回帰直線である緑直線と全体の線形回帰直線である赤直線が表されている。

4: 考察

脳波のデータからいつも σ が 1 より小さかったということは異常脳波の広がり収束することを意味する。Burst および発作において σ が大きくなったことはクリティカルな状態

に近くなっていることを暗示し、抑制の抑制で説明できる。てんかん発作時にべき数が小さくなることもクリティカルな状態に近くなったことを表しているかもしれない。尚、 σ を使うと Energy より優れたアルゴリズムの開発に繋がれると考えられる。

5: 今後の展望

より多くの患者(5人)に対して同じ理論を適応する。 σ の詳細及び空間的な依存性を調べる必要もあると考えられる。この手法を元にてんかん患者に対するリアルタイムの観測を行い、アルゴリズムの開発につなげる。

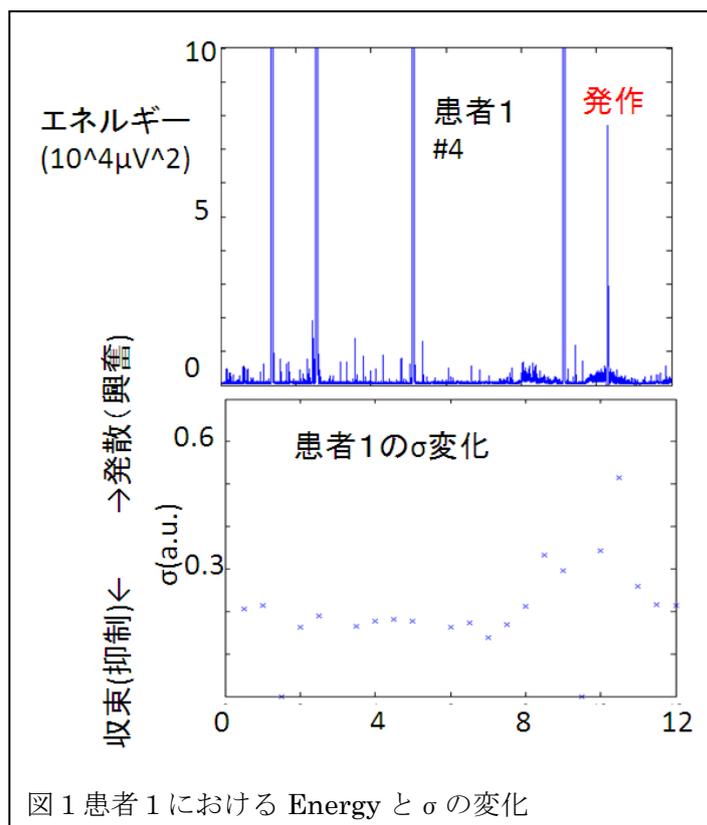


図1 患者1における Energy と σ の変化

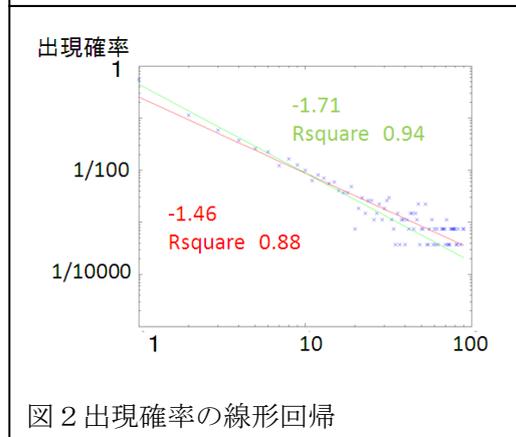


図2 出現確率の線形回帰

参考文献

- [1] Per Bak et al., "Self-organized criticality", Physical Review A(1988) 38:364-373
- [2] Dietmar Plez et al., "The organizing principles of neuronal avalanches: cell assemblies in the cortex?", Trends in Neuroscience(2007), 30:101-110
- [3] Brian Litt et al., "Epileptic Seizures May Begin Hours in Advance of Clinical Onset: A Report of Five Patients", Neuron (2001) 30: 51-64