

神経応答のゆらぎの相関から見た脳の情報表現の効率

三浦 佳二

東北大学大学院情報科学研究科 数学連携推進室/応用情報科学専攻

脳の神経細胞の感覚刺激に対する応答には、必ずしも完全な再現性はなく、試行毎のばらつき(=「ノイズ」)が存在する。そこで、脳は神経細胞のアンサンブルを用いることで、シグナル-ノイズ比を向上させていると考えられる。しかしながら、単純な理論計算から、ノイズに正の相関が存在する場合には、細胞数を増やしてもS/N比は必ずしも改善しないことが予言されている(三浦, 日本神経回路学会誌 2012)。より現実的な理論モデルにおける検討の余地が残されてはいるものの、これまでの観測においては、視覚皮質を中心として大脳皮質のほぼ全ての領域において有意な正のノイズ相関(平均値 0.1-0.2)が報告されていることを考えれば、神経科学に大きな非効率性の問題を投げかけている(例えば Cohen & Kohn, Nature Neuroscience 2011)。

ところが例外的に、嗅覚皮質においては、スニフ時にノイズ相関はほぼゼロ(0.005)であることが三浦らにより発見された(Miura et al., Neuron 2012)。そこではさらに、ノイズ相関が課題の状況に応じて動的に変動しうること、また、相関がある場合には読み出せる情報量が激減することから、ノイズ相関は嗅覚皮質においても重大な問題となりうることを確認された。実は、他にも例外的にゼロノイズ相関を観測した例として、Renart et al. (Science 2010)や Ecker et al. (Science 2010)もあるが、これらの視覚皮質の研究においては、背景活動のドリフト部分をハンドチューニングではあるが取り除いている。

そこで、視覚皮質においても、背景活動のドリフトをシステムティックに除去すれば、ノイズ相関は常に0に近くなるという仮説が立てられる。しかし、この検証に必要なドリフト成分の推定は、ドリフトの形が前もってわからず、また実験が一度きりでドリフトに再現性もないために、一般に極めて困難である。先行研究のハンドチューニングの方法では、異なるデータに対する結果を公平に比べることができない。そこで、ドリフトの形を任意として一切仮定を置かないノンパラメトリックな方法で、ノイズ相関を正しく推定できる方法を提案した(Miura, JNSS 2011)。そして、この方法を一次視覚野の実験データに適用したところ、トレンド除去によってノイズ相関も消えることが確認できた。したがって、この提案法を統一的に用いてノイズ相関を推定すれば、先行研究同士の矛盾を解消するとともに、脳の非効率性の謎を解決することができるかもしれない。

参考文献:

Miura K, Mainen ZF, Uchida N., Odor representations in olfactory cortex: distributed rate coding and decorrelated population activity. Neuron. 2012; 74(6): 1087-98.

三浦佳二, ポピュレーションコーディングにおけるノイズ相関の影響, 日本神経回路学会誌 18(2) 67-72 2011年6月

Miura K, An unbiased estimator of noise correlations under signal drift, The 21st Annual Conference of the Japanese Neural Network Society (December, 2011)