

## 細胞システムにおける確率的情報処理の数理

小林 徹也

東京大学 生産技術研究所, 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 さきがけ

我々の体はミクロな細胞からできている。そして細胞は其中で生じる複雑な化学反応の相互作用で構成されている。古くから、微小空間である細胞内で生じる化学反応は、関わる個々の分子の分子数が少ないことから、非常に大きな確率性を有しうることが理論的に指摘されてきた。この理論的予測は、近年のバイオイメージング技術の発展により、この理論予測通り、1細胞の振る舞いや個々の細胞の細胞内反応は非常に確率的であることが実験的に示されている [1, 2]。これに対し、このような確率的に挙動する反応や細胞を構成要素として組み上がっている我々の体は、その恒常性を非常に安定に保ち、また同時に様々な不確定な環境にも柔軟に応答できる。このような特性はよりミクロな単細胞生物などでも検証され [3]、生物の持つ普遍性の高い特性であるとみなすことができる。ではいったいどのようなロジックで確率的な挙動をする素子から安定でかつ柔軟なシステムが形成されるのだろうか?その原理を解明することはシステム生物学などにおける大きな課題になっている。

この問題に関する主なアプローチは、実際の細胞内反応系のモデルを分子生物学的な実験に基づき構成し、確率的シミュレーションや確率解析などによって、その振る舞いを調べることである。しかしながら大腸菌などの非常に単純な系を除き、いまだ細胞内反応系の多くの部分は分子生物学的に未知であり、また複雑な反応系においてはどんな要素やフィードバックが確率性からの安定性の創発に関連するかを明確に示すことが難しい。これに対して最近、反応の詳細にあまり踏み込まず、細胞システムの確率的な入出力関係に注目して、情報理論的な方法によって確率的なシステムの中で情報がどのように伝達され<sup>1</sup>、かつ処理されているかを解析する方法が注目されている [4, 5]。

本研究ではミクロな細胞システムの解析における情報理論の応用について概説し [5]、ベイズ推定 (ベイズフィルター) と同じような計算構造が細胞内システムに埋め込まれうること示した最近の我々の研究を紹介する [6, 7]。また、離散状態に関するベイズ推定とノイズ励起現象との関連性についても議論したい [8]。

## 参考文献

- [1] <http://www.nature.com/nature/focus/biologicalnoise/index.html> (2010)
- [2] M. Ueda & T. Shibata, *Biophys. J.*, 93, 11-20 (2007).

<sup>1</sup>実際は完全な情報理論というより、様々な情報系の理論を組み合わせ使っているという側面があるので、システムバイオロジーの分野では「情報理論」:=「情報の理論」と読み替えていただくと適切かと思われる。

- [3] D. Bray, "Wet ware: A computer in every living cell", Yale Univ. Press (2009).
- [4] M. D. Brennan *et al.*, Science, 338, 334-335 (2012).
- [5] T. J. Kobayashi and A. Kamimura, Adv. Exp. Med. Biol., 736, 275-291 (2012).
- [6] T. J. Kobayashi, Phys. Rev. Lett. 104, 228104 (2010).
- [7] T. J. Kobayashi, and A. Kamimura, Phys. Biol. 8(5) (2011).
- [8] T. J. Kobayashi, Phys. Rev. Lett. 106, 228101 (2011).