

非ガウス雑音環境での信号の最適非線形読み出し

一木 輝久

豊田中央研究所

我々の身の回りは雑音に満ちている．そして「雑音」という言葉は，我々が欲しい「信号」の情報を得ようとするときの邪魔ものという意味合いを多分に含んでいる．確かに大きな雑音の中では人の話が聞き取れないことは日常経験していることである．しかし，雑音は本当に邪魔ものなのであろうか？

物理，特に統計物理は雑音があるから面白い．熱雑音の大きさを平衡状態の温度が与えられ，温度を変えれば様々な非線形系で相転移が見られる．相転移点では相関長が発散し，局所的にかけた摂動によって系全体が影響を受ける．すなわち，系の応答が大きくなるのである．この相転移と外場への応答の関係から類推すると，相転移が起こるような熱力学極限でなくとも，非線形系がさらされる雑音の強さを適度に設定すれば，外場に対する系の応答が良くなると考えられる．これが確率共鳴と呼ばれる現象である [1, 2]．外場を信号，応答をその観測値と読み替えれば，適度に雑音があった方が信号がよく見えるというのである．雑音は適量であれば，邪魔ものではなかったということである．

「適度な雑音はむしろ好ましい」ということで，確率共鳴が発見されて以来，雑音で信号が見えないことに困っていた様々な分野で雑音の積極利用がブームになった [3, 4, 5]．確率共鳴を起こす非線形デバイスを使って，見えなかった信号をあぶり出そうというのである．しかし，その流れにくぎを刺したのが Dykman ら [6, 7] である．彼らは揺動散逸定理を用いて，白色ガウス雑音のもとでは，確率共鳴を起こす非線形デバイスをわざわざ用いるよりも，何の変哲もない線形デバイスを用いた方が信号が取れることを示したのである．信号を取るためには手段を選ばないのであれば，確率共鳴は使い物にならなかったのである．

ではそれ以降，確率共鳴で雑音に埋もれた信号を取り出そうという話がなくなったかというところではない．白色ガウス雑音のもとでは信号取り出しの目的に確率共鳴は不向き，というだけであって，他の雑音環境下では確率共鳴が使える可能性がある．実際，そのような例がいくつか報告されている [8, 9, 10]．

雑音に埋もれた信号の取り出しが至上命題であるならば，それに最も適したデバイスはどのようなものであろうか？この問いに答えるのが本講演の目的である．本講演ではまず，最適デバイスの入出力特性は雑音の確率密度によって決定されること [11] を示す．次いで得られた入出力特性から，ガウス雑音のもとでは線形デバイスが最適であること，非ガウス雑音環境では線形デバイスの性能を上回る確率共鳴が起きうる，という既存の結果が全て導かれることを示す．得られたデバイスの入出力特性の情報理論的意味についても議論する．

参考文献

- [1] R. Benzi, A. Sutera, and A. Vulpiani, *J. Phys. A: Math. Gen.* **14**, L453 (1981).

- [2] L. Gammaitoni, P. Hänggi, P. Jung, *Rev. Mod. Phys.* **70**, 223 (1998).
- [3] J. K. Douglass, L. Wilkens, E. Pantazelou, and F. Moss, *Nature* **365**, 337 (1993).
- [4] K. Wiesenfeld and F. Moss, *Nature* **373**, 33 (1995).
- [5] J. J. Collins, C. C. Chow, and T. T. Imhoff, *Nature* **376**, 236 (1995).
- [6] M. I. Dykman, D. G. Luchinsky, R. Mannella, P. V. E. McClintock, N. D. Stein, and N. G. Stocks, *Nuovo Cim. D* **17**, 661 (1995).
- [7] M. DeWeese, W. Bialek, *Nuovo Cim. D* **17**, 733 (1995).
- [8] L. Gammaitoni, *Phys. Rev. E* **52**, 4691 (1995).
- [9] F. Chapeau-Bondeau and X. Godivier, *Phys. Rev. E* **55**, 1478 (1997).
- [10] B. Kosko and S. Mitaim, *Phys. Rev. E* **64**, 051110 (2001).
- [11] A. Ichiki and Y. Tadokoro, submitted to *Phys. Rev. E*.