

平成 22 年 5 月 17 日現在

研究種目：若手研究 (B)
研究期間：2007～2010
課題番号：19740260
研究課題名 (和文) 化学反応ネットワーク系の応答理論構築による生体機能実現機構の解明

研究課題名 (英文) Theoretical study of response and functions of catalytic reaction networks in living system

研究代表者

粟津 暁紀 (AWAZU AKINORI)
広島大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：00448234

研究代表者の専門分野：非線形物理、生物物理
科研費の分科・細目：物理学・生物物理・化学物理
キーワード：化学反応ネットワーク、分子の少数性、エネルギー論

1. 研究計画の概要

本研究の目的は、化学反応ネットワーク系の非平衡統計力学と非線形応答理論の構築を行い、その枠組みを利用して、様々な生物の様々な部位で様々な形で行われる、様々な(広義の)情報処理過程、エネルギーや情報の伝達、識別、変換、蓄積と取り出し(記憶)、に潜む普遍的側面と、系の個性と機能性との相関を明確にすることである。特に、細胞内や前生命的な状況をモデル化した化学反応ネットワークにおける、分子の少数性が引き起こす非定常揺らぎや緩和過程、ネットワーク構造と機能性とエネルギー効率の関係等を明らかにする事で、生命が示す自己状態維持：再生、再帰性(自己複製)、および一見それと相反する性質に思われる様々な自己変化：適応、分化、進化、に潜むメカニズムの抽出を試みる。

2. 研究の進捗状況

これまでの研究では、多数の化学成分より成る、一般的な触媒反応ネットワーク系について、特に細胞中などで想定されるような分子数があまり多くない状況、状態のエネルギーが多様に分散している不均一な状況における揺らぎや状態変化に対し、非線形動力学、統計力学的な考察及びシミュレーションを行う事で、理論的に研究してきた。これまでに(1)多数の化学成分からなる、非平衡状態にある触媒反応ネットワーク系において、外部からの分子の流入の減少により分子数が減少する事で、自己組織化臨界現象と同様の非定常な反応過程が実現する事を見出し、大腸菌や心筋細胞の1/f揺らぎの発生や、細胞の表現型揺らぎとの関連を議論した。(2)

大規模な触媒反応ネットワーク系は、各状態エネルギーの分散性によって、平衡状態への緩和が、普遍的にガラス的な非常に遅いものになる事を見出した。そして細胞等のもつ環境変動に対するロバスト性や記憶、遅い揺らぎの普遍的なメカニズムの可能性を提案した。(3)また触媒反応ネットワークにおける平衡状態への緩和は、系内部の分子数が減少し、その離散性が現れることによって、更に遅くなる事を見出した。つまり、細胞内部等、全ての分子の数が常に十分に多くないような状況に特有の遅い変化のメカニズムを見出した。このように、触媒反応ネットワーク系における動力的側面、統計力学的側面のうち、特に触媒関係の絡み合いと分子の少数性によって初めて生じるフラストレーションによって現れる、揺らぎや緩和、エネルギーの流れに関する普遍的な性質を、明らかにしてきた。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由) 2で述べたように、これまでに反応ネットワーク系の揺らぎやエネルギー的側面についての普遍的な側面が明らかになってきており、反応ネットワークの形と機能性と効率を議論する下地はおおよそ整ったと言える。

4. 今後の研究の推進方策

細胞内には、非常に粗い分類ではあるが、大まかに分けて二つの反応ネットワーク系が活動している。一つは外界の変化を内部に伝え応答を実現するシグナル伝達系、もう一つ

は外部から栄養を取り込みエネルギーを取り出す代謝系である。それぞれの経路にはその機能の為に備わっている個々の特徴と同時に共通な性質もある。これまで本研究では主に共通な側面に注目してきたが、今後はその知見を生かし、個々の機能-ネットワーク構造-動力学の関係を明らかにしていく。

シグナル伝達系の経路上流の反応は、膜結合型分子やその近傍の分子に担われている事が知られている。膜近傍領域という空間的制約から、そのような反応過程には大きな揺らぎや分子の離散性が影響を及ぼす。そこで、これまで行ってきた分子少数性の影響に関する知見を元に、細胞内シグナル伝達経路の揺らぎや応答を議論する。

代謝系についても、近年の実験やフラックス解析等で、栄養状態の変化に対する経路の選択、切り替え等が観察されている。そこでエネルギー収支を明示的に考慮した反応ダイナミックスの研究の知見を、実際の代謝系に適用し、環境変動に対する応答のメカニズムやエネルギー収支等について考察する

またこれらのネットワーク系に対し、構造や環境を系統的に変化させた際の、挙動の変化、構造安定性等を考察する事で、進化過程や進化可能性に関する考察も行う。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

(1) A. Awazu and K. Kaneko:

“Discreteness-Induced Slow Relaxation in Reversible Catalytic Reaction Networks”

Phys. Rev. E (2010) in press

査読有り

(2) A. Awazu and K. Kaneko:

“Ubiquitous ‘glassy’ relaxation in catalytic reaction networks”

Phys. Rev. E 80 (2009)

041931-1 - 041931-7

査読有り

(3) A. Awazu and K. Kaneko:

“Self-organized criticality of a catalytic reaction network under flow”

Phys. Rev. E 80 (2009)

010902(R)-1 - 010902(R)-4

査読有り

[学会発表] (計 10 件)

(1) Akinori Awazu

“Discreteness-induced transition and self-organized criticality in catalytic reaction networks”

International symposium on Complex System Biology

2009、9/30 東京大学

(2) 栗津暁紀

“可逆触媒反応ネットワーク系の構造と機能性：定常状態と緩和と効率”

日本物理学会

2010、3/20 岡山大学