

- 1. Assembly and dissociation of organelles
- 2. Transition of organelles
- 3. Intraorganellar reaction
- 4. Interorganellar reaction

オルガネラ形成のダイナミックス

九大理 西山賢一・中野達彦・清水 博

1. 序 論

生物における秩序の問題の解明は、現代生物学の最大の課題の一つであり、いろんなレベルや側面から調べる必要がある。例えば、生物に普遍的に存在するリズム（バイオリズム）を手がかりにして自己組織の原理を探るのも、その一つであり、私達はこれも手がけている。ここでは、もう一つの試みとして、オルガネラ形成のダイナミックスへの理論的なアプローチを行う。

2. オルガネラ形成への視点

オルガネラ形成に対する視点は二つあると思われる。その一つは self assembly というとらえ方であり、これは、オルガネラの素材を適当な条件下におけば、熱力学的法則により高次構造ができると見る。朝倉昌氏の講演で詳しく述べられたもので詳細は省く。もう一つは dissipative structureあるいは dynamic order という視点である。つまり、物質とエネルギーの流れの中でできる構造としてとらえるのである。ここではこちらの視点を採用し、これよりどんな特徴がひき出せるかを調べる。

3. Dissipative Structureとして

今オルガネラ形成に関与する系を、代謝系 ψ と構造形成系 ϕ の二つに分ける。そして、 $\psi \otimes \phi$ の空間でオルガネラ形成を考える。これまでに、一方の空間での研究はあった。

Turing は 1952 年に ψ 系で化学反応と拡散を取り入れて形態形成の議論を行っている。また Prigogine 学派は 1967 年頃から, Turing の研究を一般化し, 非線型反応の領域まで含めた計算を進めている。そして, 均一系が不安定化して新たに生じる dissipative structure について興味深い結果を得ている。他方, ϕ 系に対する研究の例としては大沢グループのアクチンの GF 変換を上げることができる。そして, 試験管内での実験が, ϕ 空間における self assembly としてとらえられる事が示された。

私達は空間を $\psi \otimes \phi$ に拡張して考えるが, その意義は次の三つに一応まとめられる。

- (1) 代謝系と構造系との coupling という視点から, 大きさや形の制御の問題の手がかりをつかめるかも知れない。(2) 生きた状態での研究を理論で先取りできるかも知れない。(3) 分子オートマトンへの物理化学的な基礎付けを与えられるかも知れない。

以下で簡単なモデルを作って調べるが, その際次の性質をモデルに要請する。i) 系の発展が境界・環境を変え, これが又系の発展にはね返る。ii) self assembly を部分系として含む。

4. Circular Model

Fig.1 で表わされるような二次元のモデルを考え, これを cell と呼ぶ, 実際には細胞内の微小構造でもあり得る。cell の外から代謝物 ϕ_1 がとりこまれ, cell 内で化学反応により ϕ_2 ができ, これが cell のカベ ϕ の素材になるか, あるいは素材を活性化して, カベを成長させると考える。第一

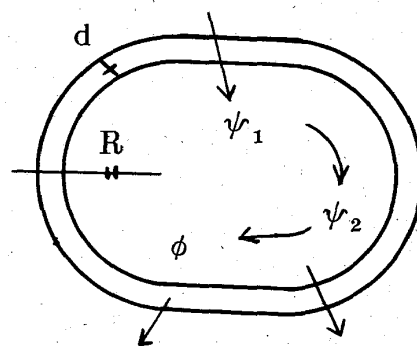


図 1

歩として, cell の成長と大きさの制御に関心をおくことにして, cell 内は均一と仮定する。カベの総量を ϕ と表わせば kinetic equation は次のように与えられる。

$$\dot{\phi} = 2\pi R(\theta - \eta) \quad (1)$$

ここに関数 θ と η はそれぞれ, 単位長さ当りで素材がカベをつくり, あるいは素材がカベから離れていく速度である。これらは代謝系に依存している。cell の成長を二段階

に考え, まず $R = R_0$ でカベの base structure ができ, 次にカベの厚さ d と密度 ρ が一定のまま成長するとしよう。前者の過程は 5 で扱うことにして, その後の発展を調べるために (1) 式を R の式におきかえる。

いま, $\Phi = 2 \pi d \rho (R - R_0)$ を考慮すれば,

$$\dot{R} = R (\theta - \eta) / d \rho \equiv -d \Omega / d R, \quad (2)$$

が得られる。ここで Ω は一種のポテンシャルになっており, Ω の減少する方向に R は変化する。cell の発展はいろんな効果により制御されるが, 特に次のような条件下でのふるまいを詳しく調べた。①カベの成長速度 θ は, ϕ_2 の濃度を“感じる”か, それとも ϕ_2 の総量を“感じる”か? ② ϕ_2 は cell の各場所で decay するか, それともカベの部分でのみ decay するか? ③代謝系の反応の非線型性の効果, ④カベができるときシグモイド性 (協力現象) の効果。なお η は簡単のため一定とした。詳細は省略するか, ①と②である条件下では R がある大きさまで成長して安定にとどまり, またある時はいつまでも成長しつづける事が容易に出てくる。これは生体内での大きさの制御に関連して興味深い。又③では上記の結果の他に, 複数個の R の定常状態が出現する。④は①～③の組合わせで理解できる。

5. Linear Model

さらに空間的な不均一性も入れて考察を進めるため, 一次元の系で拡散項も入れて計算機によるシミュレーションを行った。そして base structure の形成に対しては, まず素材がそろってから構造が作られるという過程が示せ, 又 Φ 系の ψ 系へのフィードバックの効果により, functional order と結びつき得る新たな構造がひき出された。

6. これからの課題

1) 4 のモデルで ψ の dissipative structure を調べる。これは functional order に関連して重要である。2) Prigogine 学派の evolution criterion を境界が変化する場合にまで拡張する。これにより一般論がもっと生物に接近できよう。3) ゆらぎの効果を取り入れる。とにかく問題は盛り沢山である。