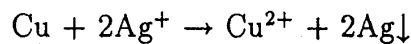


強磁場中の金属葉フラクタルの成長 II

東北大金研 大久保 晋、茂木 巖、中川 康昭

§ 1 序

拡散律速凝集 (DLA) のモデルは 1981 年に Witten と Sander [1] によって提案され、現在までに様々な摂動を加えた計算機シミュレーション、その統計的な性質が調べられている [2, 3]。また、実験系においても DLA パターンを形成する実験が行われている [4]。最近の実験で、実験パラメータを変えることによって DLA パターンから、DBM (Dense Branching Morphology) パターンとなることが見いだされ [5, 6, 7, 8, 9]、その発現機構に関して強い関心が持たれている。DLA において特徴的であった成長端の荒れ度合いが DBM では、きわめて小さくなる。実際の物理系において、DLA パターンを形成するものは電析、ビスカスフィンガー、誘電破壊等があり、純粹に拡散によってパターンが形成されるものとして、無電解還元による金属の成長がある。その中で硝酸銀水溶液-金属銅の組合わせで成長する銀の析出パターンは結晶異方性を持たない。我々は適当な濃度の硝酸銀を用いて、銀を 2 次元的に成長させることによって得られる金属葉のパターンが DLA パターンになることを見いだした [10]。



この化学反応は銀と銅の酸化還元電位の違いにより右方向に不可逆的に反応が進む。銀葉の成長プロセスは、水溶液中でブラウン運動している銀イオンが還元され、金属銅表面に金属銀が析出するもので、DLA モデルと同じプロセスで凝集体が成長する。この様な凝集体の成長を磁場中で行うことにより、ブラウン運動する荷電粒子に Lorentz 力が働いたときのパターン形成について調べた。

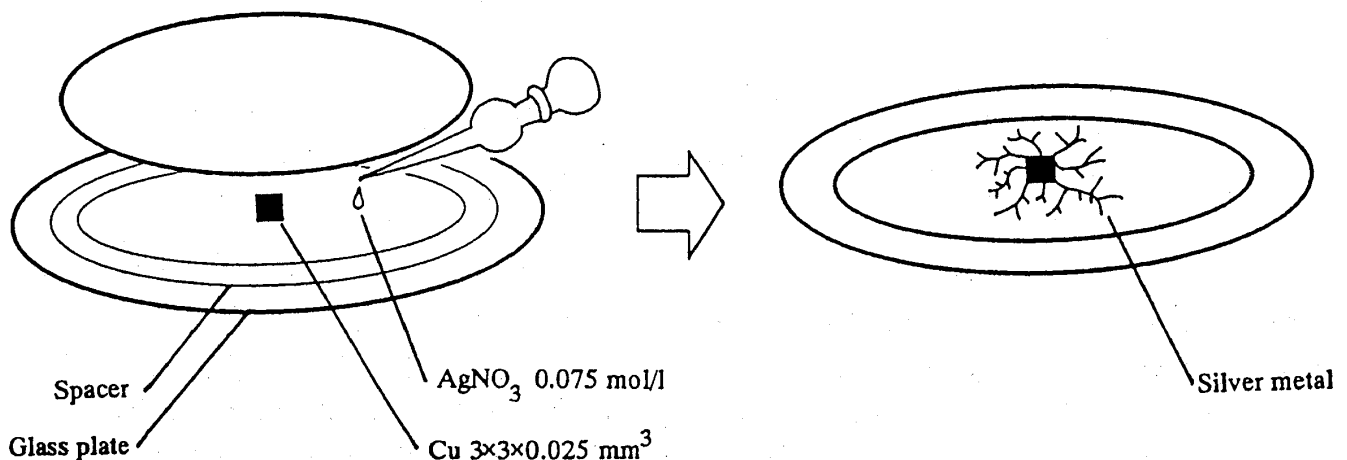


図 1: 実験手順

§ 2 実験方法

金属葉は、直径 $\phi 120$ と $\phi 130$ の 2 枚のガラス板の間に 0.075 mol/l の硝酸銀水溶液と $3 \times 3 \times 0.025 \text{ mm}^3$ の銅箔をいれガラス板を水平にし、 $25 \pm 0.2^\circ \text{C}$ に保ち 120 分間成長させる。(図 1) これらを東北大金研付属強磁場センターの超伝導マグネット SM-3 を用いて、ガラス板に垂直方向に最大 8T の定常強磁場をかけて金属葉を成長させた。成長させた金属葉を写真撮影し、イメージスキャナーでコンピュータに取り込み解析を行った。

§ 3 実験結果

図 2(a) は磁場のない状態で成長させたパターンで、遮蔽効果も見られ典型的な DLA パターンを形成している。中心の四角は金属銅片で、成長した銀葉の直径はほぼ 20mm である。ガラス板の間に 0.06mm のスペーサーを入れてあるので、ガラス板の間に成長する金属葉の縦横比は 0.003 で金属葉は 2 次元的であるといえる。8 T の磁場中で成長させた金属葉は図 2(b) である。枝が渦を巻いて成長していることがわかる。また、枝と枝の間隔が密で成長端が銅片を中心に円を描いていることから DBM パターンとなっているといえる。詳細な観察をするために、種金属である銅片を板状 ($3 \times 50 \times 0.025 \text{ mm}^3$) にしたときのパターンを図 3 に示す。(a) は磁場のない状態で 120 分間成長させたものである。直線状に種粒子を配置したときの DLA パターンを形成している。(b) は 8 T の磁場中で成長させたときのパターンである。枝が左に傾いて成長し、枝と枝の間隔が極めて小さくなっていることが観察される。また、成長端は凹凸の少ない直線状になっている。これらは、図 2(b) の DBM パターンに対応している。

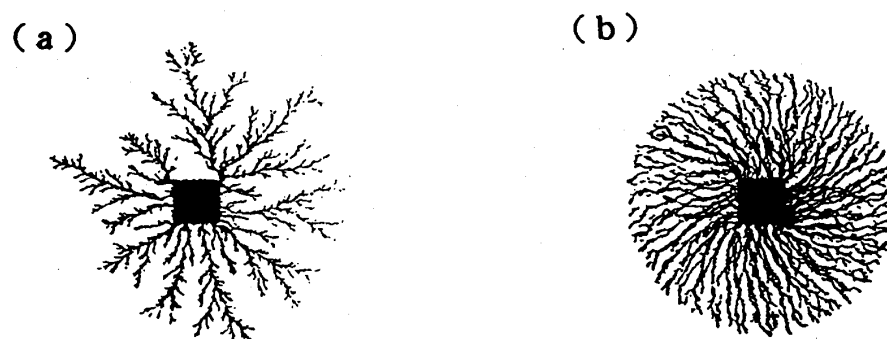


図 2: 金属葉 (種金属四角 $3 \times 3 \times 0.025 \text{ mm}^3$)

(a) 0T, (b) 8T ⊙ 硝酸銀濃度 0.075 mol/l 120 分間育成

box-counting 法を用いてフラクタル次元を求めたのが図 4 である。実際のサイズで 0.6mm 前後までのスケールでは、磁場のない場合と同じ構造を持っていることがわかる。図 5 には、主枝-主枝の間隔、主枝の角度を磁場をパラメータにして示してある。主枝の間隔は磁場と共に小さくなり 8 T では 1mm 程度になる。グラフから 10 T 前後で飽和することが予想される。主枝の角度は磁場と共に大きくなって行き、主枝間隔と同様に 10 T 前後に飽和することが予想される。

§ 4 まとめ

DLA モデルはランダムウォークする粒子の凝集のモデルである。この系が磁場中にあり、荷電粒子の凝集であったならその凝集体の形態はどのようになるかが研究の目的であった。この

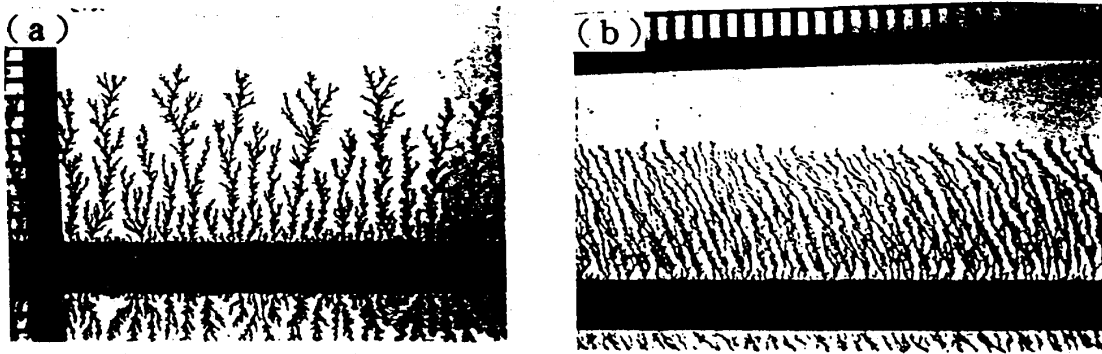
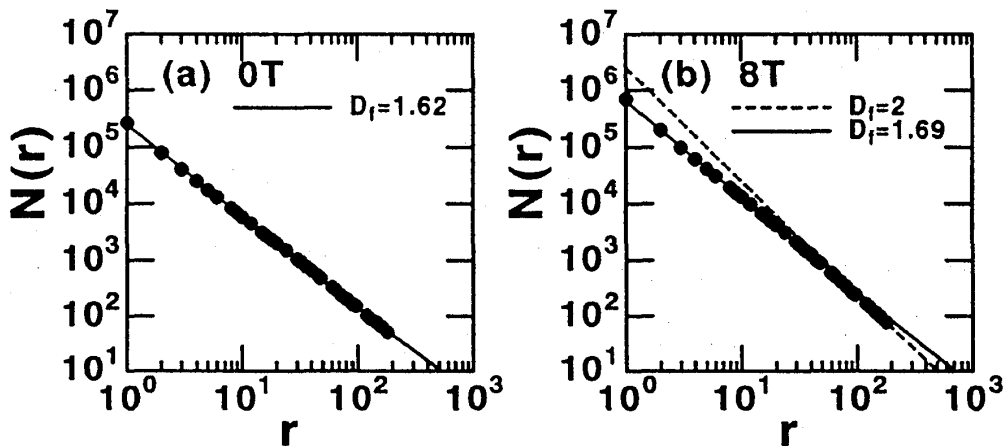
図 3: 金属樹 (種金属板状 $3 \times 50 \times 0.025 \text{ mm}^3$)(a) 0T, (b) 8T $\odot$ 硝酸銀濃度 0.075 mol/l 120 分間育成

図 4: フラクタル次元解析

実験では、ブラウン運動している磁場中の荷電粒子が Lorentz 力を受けて回転運動していると考えられる。十分磁場が強いときには Lorentz 力による回転半径がブラウン運動の拡散長より小さくなり、有効拡散長が小さくなることが考えられる。有効拡散長が磁場によって小さくなることは、実験において拡散層が薄くなることとして表れる。そのため磁場をかけて成長させると枝と枝の間隔が小さくなりパターンが密になるものと考えられる。DLA モデルでは、拡散層をシュミレートすることはできない。拡散層をシュミレートできるモデルとして上羽、斎藤が行っている格子ガスモデル [11, 12] があり、計算機の上で行うには格子ガスモデルでおこなう必要があると考えられる。一方、DBM を特徴付けている成長端のラフネスの小ささは、DLA の成長端のラフネスが拡散長程度であることを考えると実験で得られるパターンの成長端のラフネスは拡散長よりも小さいように見られる。

今後は、ビデオ等で動的に成長をとらえ、磁場が拡散場にどの様に影響を及ぼし、どのように DBM パターンと結び付いていくかを明らかにしていくつもりである。

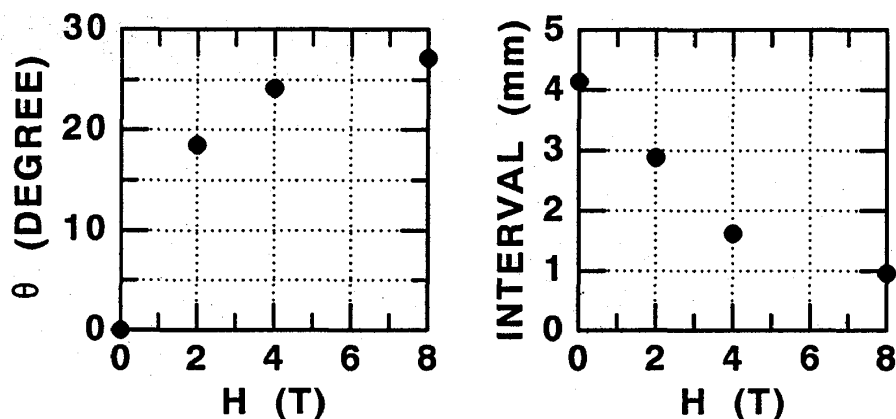


図 5:

参考文献

- [1] T.A.Witten, L.M.Sander, Phys. Rev. Lett. **47** (1981) 1400
- [2] P.Meakin, Phys. Rev. A **27** (1983) 1495
- [3] T.Nagatani and Sagués, J. Phys. Soc. Jpn. **60** (1991) 1181
- [4] M.Matsushita, M.Sano, Y.Hayakawa, H.Honjo, and Y.Sawada Phys. Rev. Lett. **53** (1984) 286
- [5] R.D.Pochy, A.Garcia, R.D.Freimuth, V.M.Castillo and L.Lam, Physica D **51** (1991) 539
- [6] C.Chen and J.Jorné, J. Electrochem. Soc. **137** (1990) 2047
- [7] E.Ben-Jacob, G.Deutscher, P.Garik, Nigel D.Goldenfeld, and Y.Lareah, Phys. Rev. Lett. **57** (1986) 1903
- [8] H.Fujikawa and M.Matsushita, J. Phys. Soc. Jpn. **58** (1989) 3875
- [9] M.Ohgiwari, M.Matsushita, and T.Matsuyama, J. Phys. Soc. Jpn. **61** (1992) 816
- [10] I.Mogi, S.Okubo, and Y.Nakagawa, J. Phys. Soc. Jpn. **60** (1991) 3200
- [11] M.Uwaha and Y.Saito, Phys. Rev. A **40** (1989) 4716
- [12] S.Seki, M.Uwaha and Y.Saito, Europhys. Lett. **14** (1991) 397