

不規則集合塵の幾何断面積・表面積の推定

浅田 章大、浦川 聖太郎、岡田 靖彦、中村 吉宏、野村 英子、向井 正(神戸大学・自然科学研究科)

概要

本研究では、非球形の不規則集合塵(BPCA; Ballistic Particle-Cluster Aggregate, BCCA; Ballistic Cluster-Cluster Aggregate)に対し、その表面積、断面積を計算した。その結果、同質量の球より表面積、断面積ともに大きくなることがわかった。これより、不規則集合塵は球形塵よりガス抵抗を受けやすいことがわかる。また、表面積/断面積の値は塵のサイズ、形状によらず球とほぼ同様の4となることが確認された。これより、非球形塵の温度を求める際の輻射平衡でも、表面積/断面積の値は球の場合とほぼ同様に扱えることがわかった。

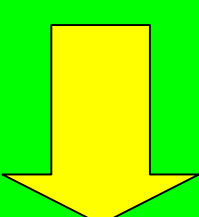
1.背景

・原始惑星系円盤内や彗星の塵は、ガス抵抗を受ける。ガス抵抗は、塵とガスの相対速度が十分大きいとき、**ガス抵抗は断面積の関数**として扱うことができる。

・半径 a_0 の塵の温度を見積もる際、球形塵を仮定し、その表面積($4a_0^2$)、断面積(πa_0^2)を用い、輻射平衡 $4R^2 \frac{Q_{abs}}{4r^2} \stackrel{?}{=} \frac{4a_0^2}{4r^2} Q_{abs} B_{star} d^2 \stackrel{?}{=} 4a_0^2 \frac{Q_{abs} B_{dust} d^2}{4r^2}$ (R : 星の半径、 r : 星ダスト間距離)を考えて、求めることができる。

非球形塵の場合、その**断面積、表面積比が必要**となる。

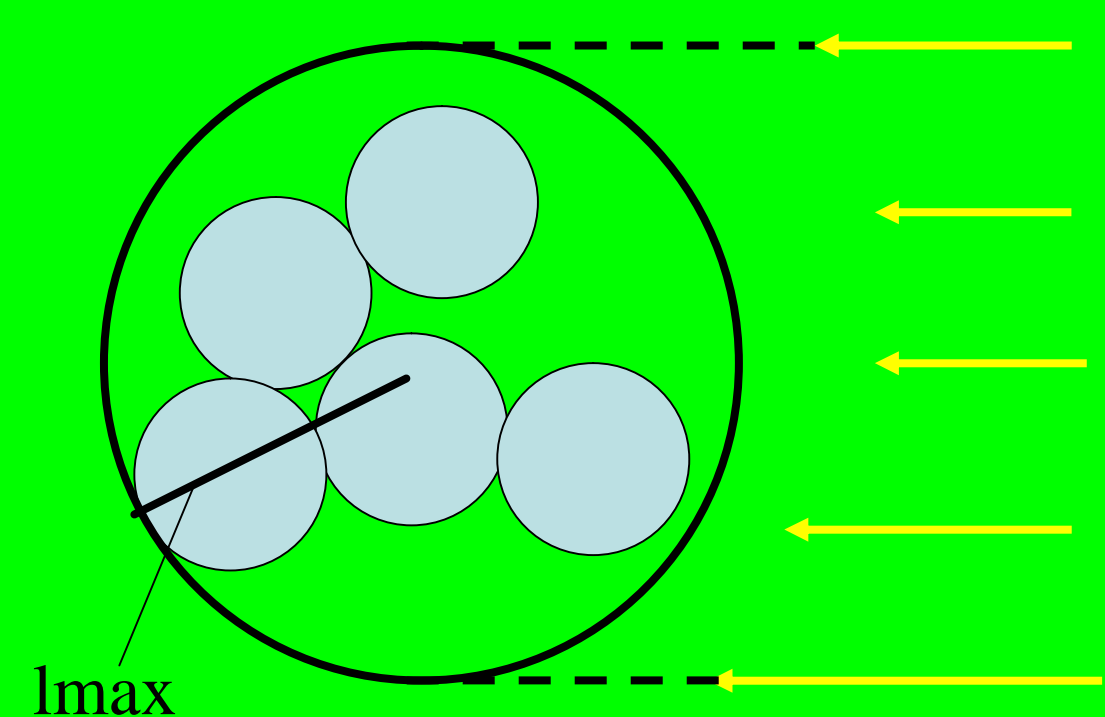
・これまでの観測から、**星間塵は非球形**をしていることがわかっている。



塵へのガス抵抗、塵の温度を見積もるために、**非球形塵の幾何断面積、表面積を計算することは重要**である。

本研究では、不規則集合塵BPCA(Ballistic Particle-Cluster Aggregate), BCCA(Ballistic Cluster-Cluster Aggregate)に対し、モンテカルロシミュレーションを用い、その断面積、表面積を計算し、その考察を行う。

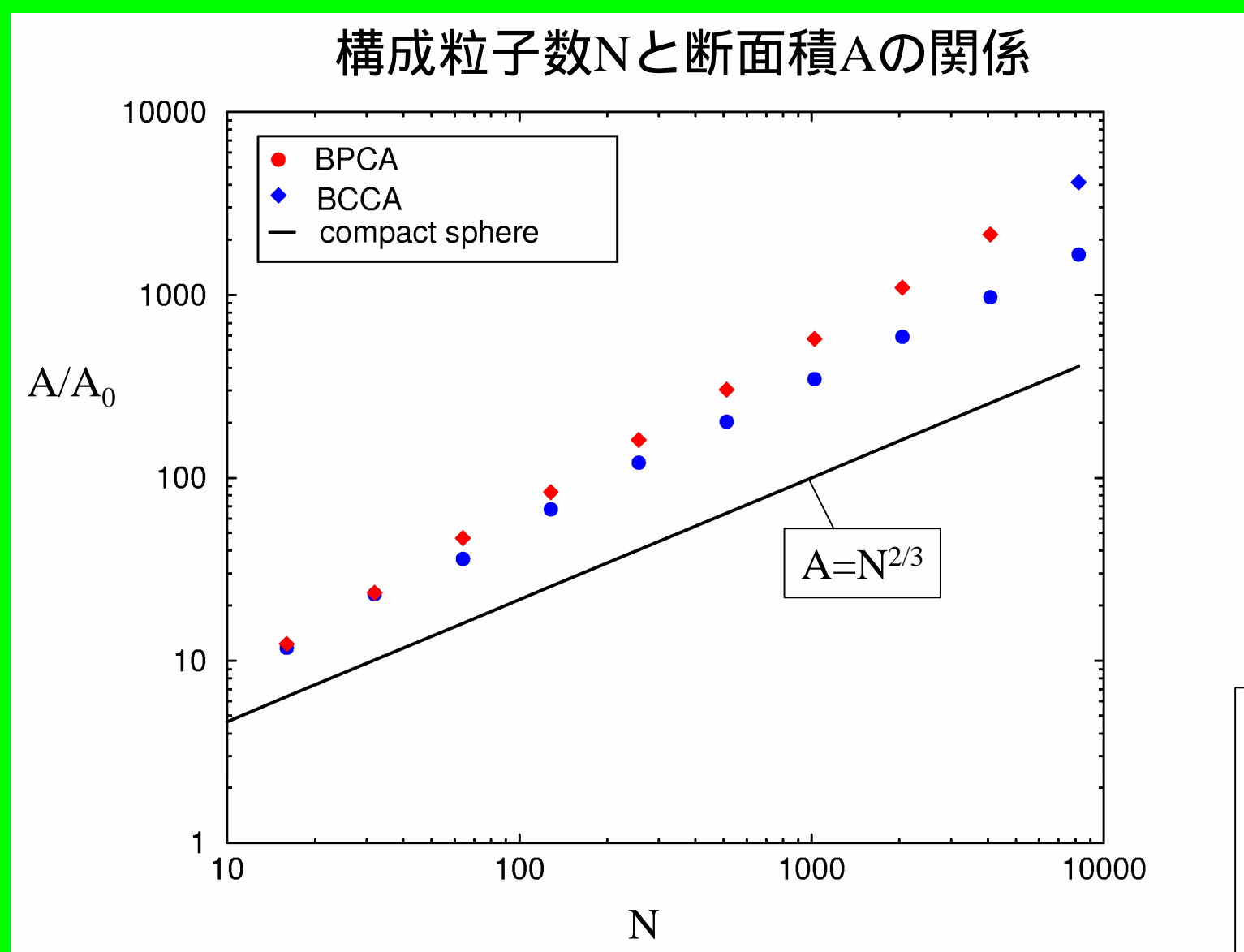
2.幾何断面積A



断面積計算手順

1. 集合塵を1つの平面へ投影
2. 投影した面の中心から一番外側の構成粒子までの距離を l_{max} とする
3. 半径 l_{max} の円を描き、その円内に面と垂直に N 個の点をランダムに飛ばす
4. 投影面に当たった個数を M 個とする
5. $A_i \approx (l_{max})^2 \frac{M}{N}$ 式により、1つの平面へ投影したときの断面積が求まる
今回は x, y, z 平面へ投影し、3平面での平均を集合体全体での断面積とした

縦軸は構成粒子1つの断面積 $A_0 (= a_0^2)$ で A を規格化した値
直線は N と同質量の球の断面積
なお、同じ塵に対し、断面積を計算したところ、その誤差はおよそ1%と、プログラムによるバラつきはほとんどない。



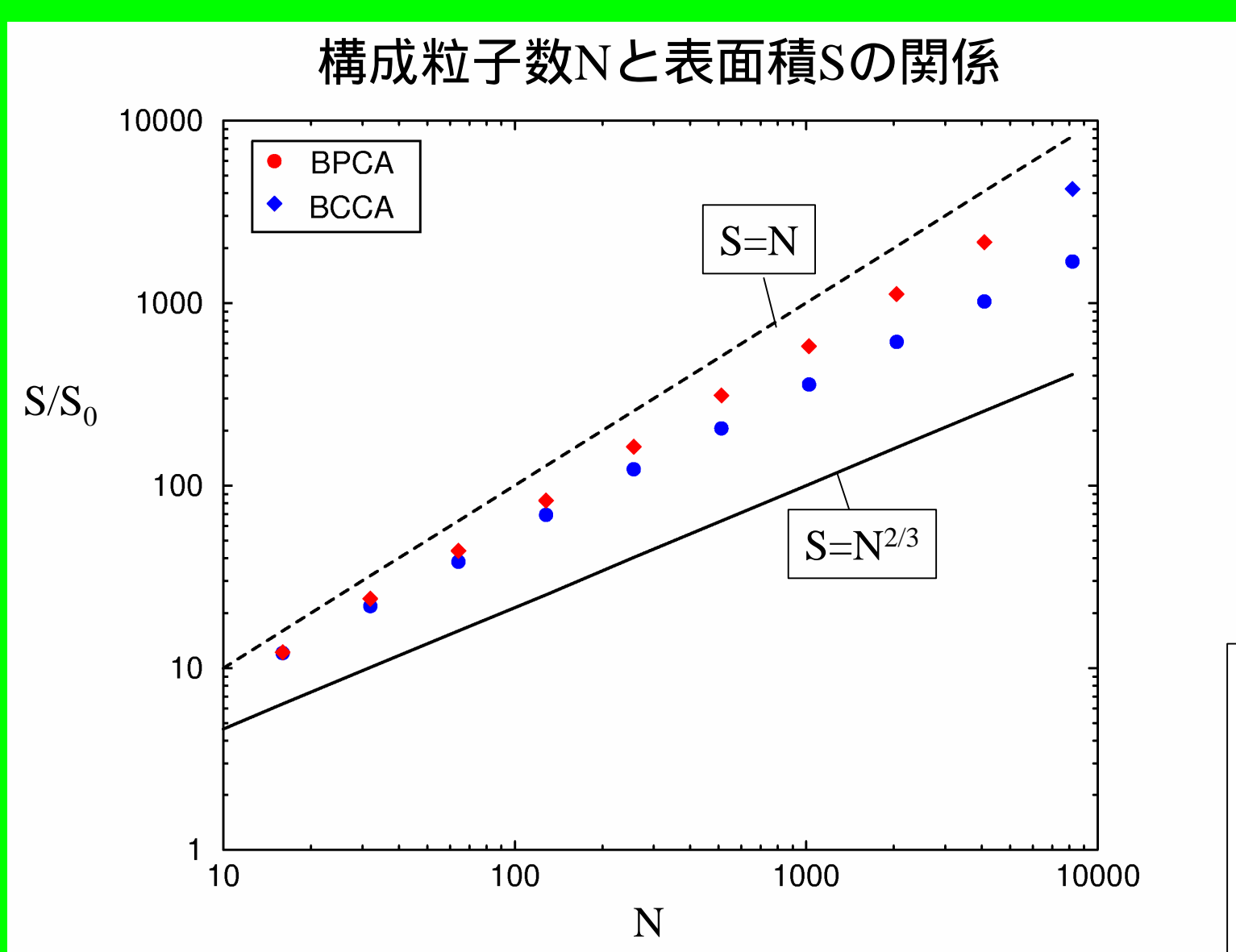
同質量の球とBPCA,BCCAの断面積を比較した場合、**BPCA、BCCAともに同質量の球よりも断面積が大きくなる**。このため、**塵に働くガス抵抗も大きくなる**ことが予想される。

3.表面積S

表面積計算手順

1. 1つの構成粒子の中心から N 個の点をランダムに飛ばす
2. 他の粒子と当たることなく集合体の外部へ出た個数を M 個とする
3. $S_i \approx 4a_0^2 \frac{M}{N}$ 式より、1つの粒子の表面積が求まる
4. この作業を全ての粒子に対して行い、その総和を集合体全体の表面積 S とする

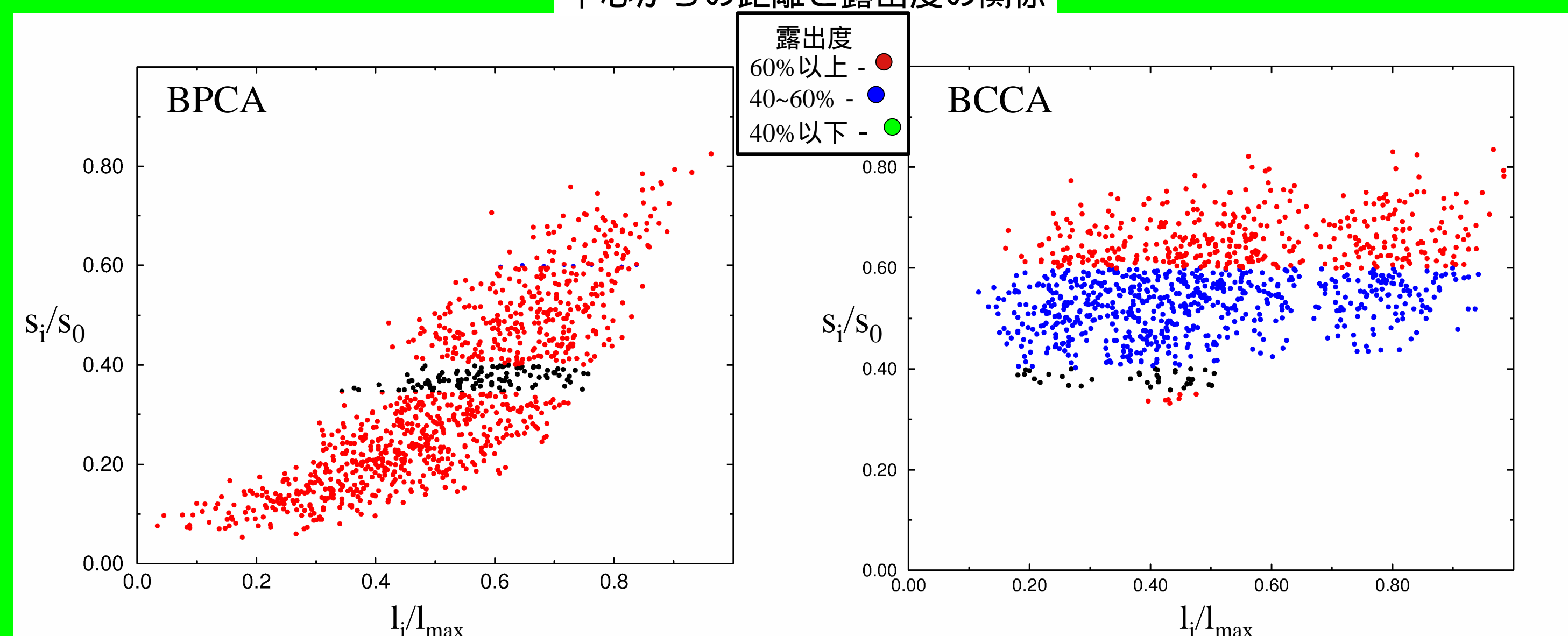
縦軸は構成粒子1つの表面積 $S_0 (= 4a_0^2)$ で S を規格化した値
実線は N と同質量の球の表面積
点線は単純に構成粒子の表面積 $S_0 (= 4a_0^2)$ に N をかけた値
なお、同じ塵に対し、表面積を計算したところ、その誤差はおよそ1%と、プログラムによるバラつきはほとんどない。



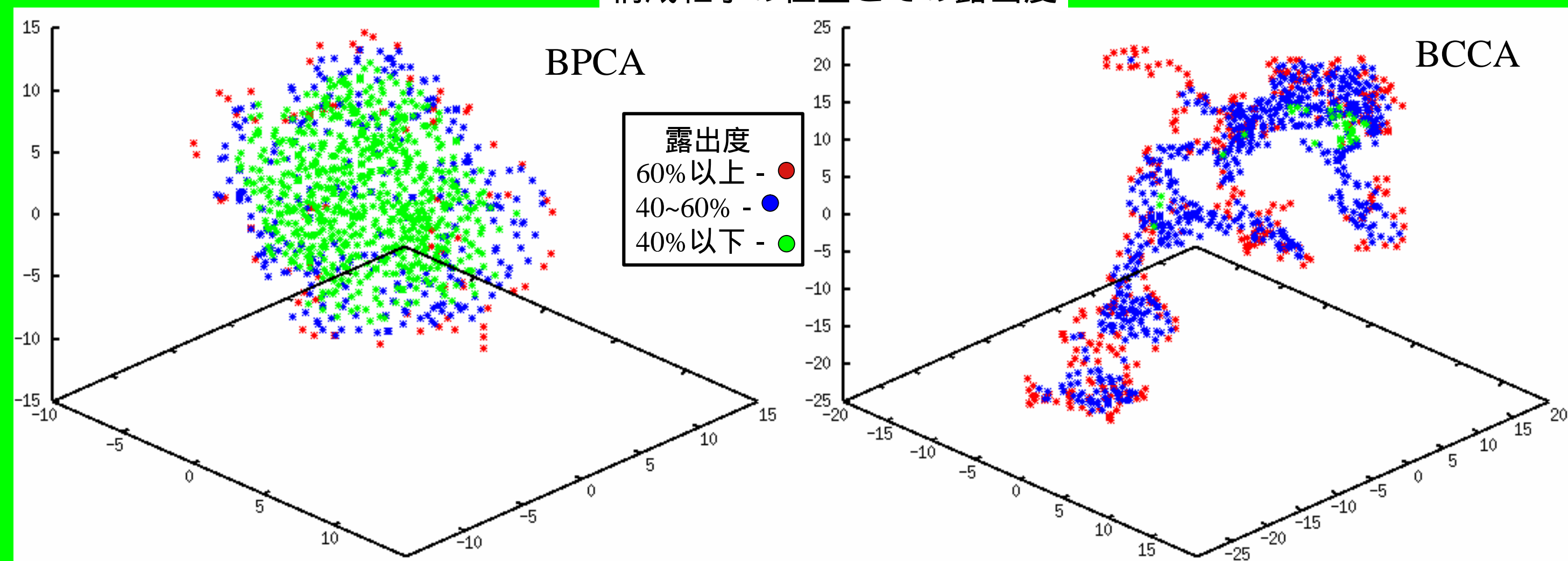
BPCA,BCCAともに、同質量の球より表面積が大きくなる。

$$\text{露出度} = \frac{\text{全体の表面積に寄与する表面積 } S_i}{\text{粒子1つの表面積 } S_0 (= 4a_0^2)}$$

中心からの距離と露出度の関係



構成粒子の位置とその露出度

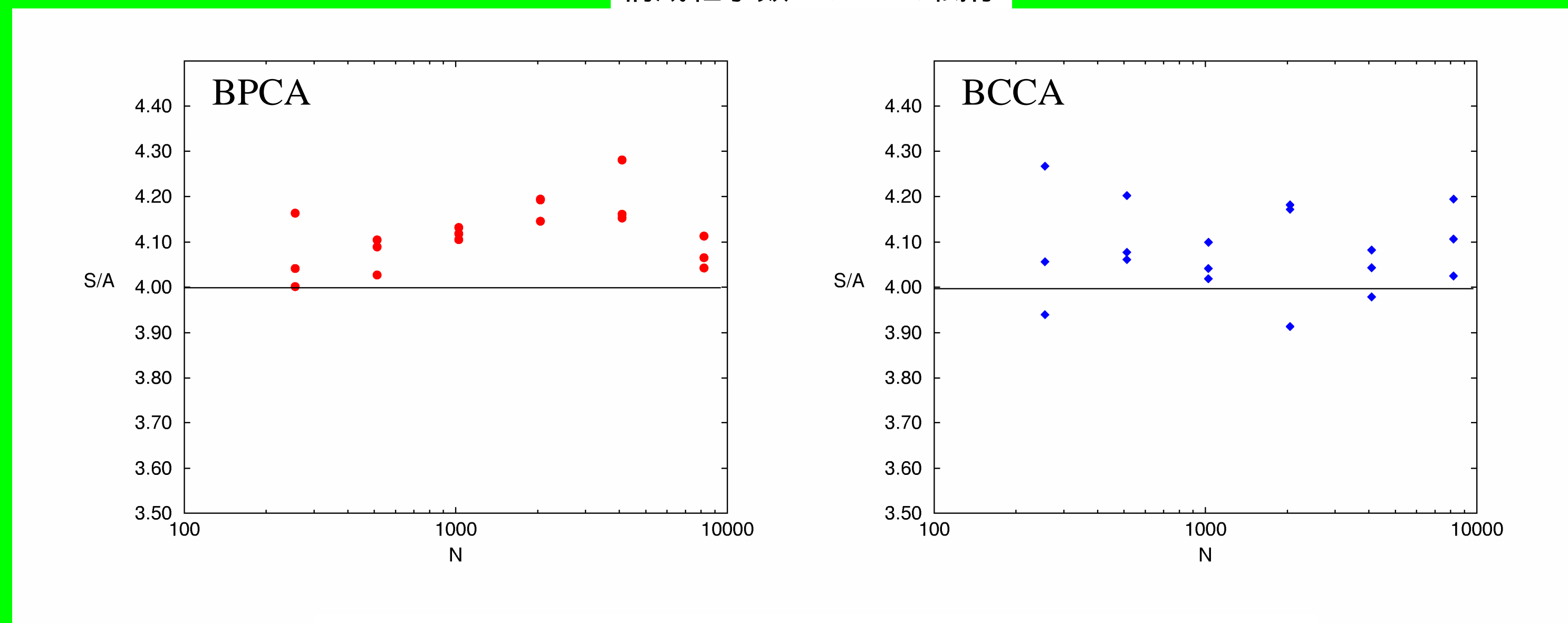


上図より**BPCAとBCCAの形状の違いによる表面積の分布の違い**を見て取れる。BPCAは集合体の中心から離れるほど、露出度が大きくなっている。BCCAは粒子の位置にはよらず、どの粒子も高い露出度を示している。

4.表面積/断面積

球の場合は表面積 $4r^2$ 、断面積 πr^2 より明らかに S/A は4となる。非球形塵に対しては、上の計算結果から求め、結果を以下のグラフに示す。

構成粒子数NとS/Aの関係



図は各構成粒子N毎に、異なる3つの形状の不規則塵に対して、S/Aの計算を行ったもの

不規則塵の表面積/断面積の値は、複雑な形状をしているにも関わらず、**球形の場合とほぼ同様の4となる**。これより、**非球形塵の局所輻射平衡を考える際も球形の場合と同様に扱うことができる**。

5.まとめこれから

球形塵と不規則集合塵(BPCA, BCCA)において、幾何断面積、表面積、その比について比較を行った。

- ・不規則集合塵は球形塵より、**断面積、表面積ともに大きい**
 - ・不規則集合塵の**表面積/断面積の値は、球形の場合とほぼ同様の4となる**
- 上の結果は、Kitada et al.(1993, Proc. of 3rd International Congress on Optical Particle Sizing, pp121-125)とよく一致した。

今後、今回求めた断面積の計算結果を用い、初期太陽系環境を仮定したときのガス抵抗の影響について計算し、球形塵の場合との比較を行う。