

放出物カーテン内におけるパターン形成機構の解明に向けた 多粒子衝突シミュレーション

中澤風音¹, 奥住聡¹, 黒澤耕介²

¹ 東京工業大学, ² 千葉工業大学

1 はじめに

天体現象などの衝突現象に伴って形成される放出物カーテン内には、非一様な粒子パターンが生じる。このパターンの形成メカニズムを探るため、現在までに実験、数値計算の双方で様々な研究が行われてきた。その結果、パターン形成には非弾性衝突が関わっており、反発係数が小さいほどより明瞭なパターンができることが明らかになった。(Kadono+,2015)

一方でパターン形成の詳細な機構や、反発係数や速度などのパラメータの定量的な影響は未だに分かっていない。そこで本研究ではパターン形成機構の解明を目的として、一次元の初期速度を持った多粒子の衝突シミュレーションを行うとともに、各時刻でフーリエ変換や運動エネルギーの追跡を用いた解析を行い、非弾性衝突が作る粒子パターンの性質を探索した。

2 数値計算・解析方法

衝突シミュレーションはオープンソースの REBOUND(Rein+,2012) を用いて行った。周期境界条件を課した一辺 0.2 m の正方形のボックス内へ x 方向に -30 m/s...30 m/s の一様分布で速度を与えた 20000 個の剛体球粒子をランダムに配置し、2 ms の間の各粒子の位置座標及び速度を計算した。衝突の際の反発係数は法線方向の速度成分に対し 0.1、接戦方向の速度成分に対し 1.0 で一定とした。

上記の計算で得た各粒子の位置の時間発展をフーリエ変換を用いて解析した。フーリエ変換については、粒子の位置情報を元に数密度の関数を作り、二次元離散フーリエ変換により波数空間に変換した。得られた波数空間内でのスペクトルを解析するとともに、x 方向の各波数 k_x において、 k_y 方向にパワースペクトルの総和をとったものの時間変化を追うことで、実空間 x 方向にできるパターンの波長の時間変化を調べた。また各時刻における系の全運動エネルギーを追跡し、フーリエ変換の結果との比較を行った。

3 結果

2 ms 間の衝突計算で、ランダムに配置した粒子は非弾性衝突を繰り返してクラスターを形成した (図 1, 図 2)。フーリエ変換の結果、最終状態では波数空間内で $k_x=40 \text{ m}^{-1}$ を中心にピークが見られた。これは実空間で波長 25 mm に対応し、密度分布に見られるクラスターの x 方向の間隔に一致している。また各 k_x におけるパワースペクトルの総和の時間変化から、1 ms まではピーク波数が低波数側へシフトしながら成長し、1 ms から 2 ms まではピーク波数のシフトを伴わないパワースペクトルの増大が起きることが確認できた。こ

これはクラスター同士が衝突しながら合体成長していく過程と、速度が減少しほぼ動かなくなったクラスターに衝突を経験しておらず十分な速度を持った粒子が衝突することで吸収される二つの過程によるものであると考えられる。また、系の運動エネルギーの追跡では1 msでエネルギー減少がほぼ頭打ちになる様子が見られた。これはクラスターが1 ms時点で持っているエネルギーが非常に小さく、ほとんど動かない状態にあることを示しており、1 msでピーク波数のシフトが止まることを示すものとなっている。

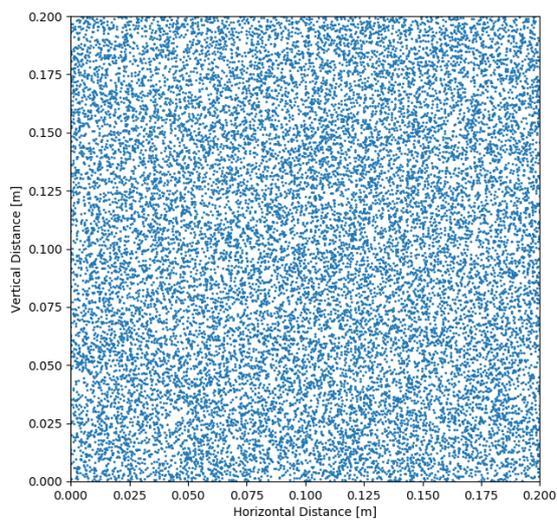


図1 初期状態

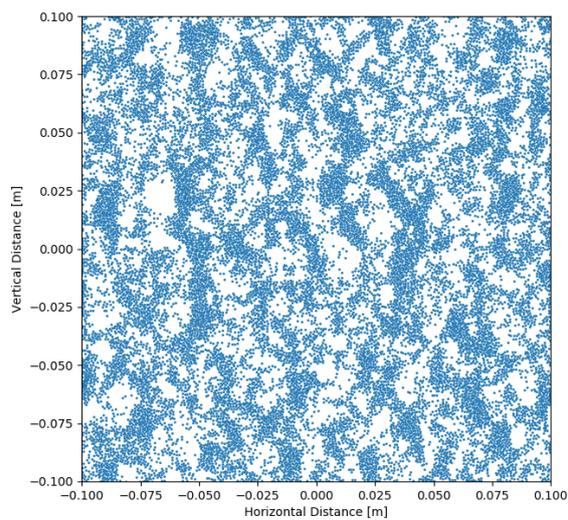


図2 最終状態