

iSALEを用いた 高速衝突物の計算

岡本 尚也

千葉工業大学惑星探査研究センター

iSALE講習会 2015/11/25

背景

衝突放出物

衝突によって掘削され表面から飛び出した物質

衝突点近傍のものほど早い速度で飛び出す

放出物の速度や質量の定量的な研究の惑星科学的な重要性

- クレーター周辺の堆積物分布
- テクタイト（天然のガラス）の起源？
- 火星衛星Phobosへの火星物質の輸送

背景

衝突速度近傍から放出される非常に速い速度の放出メカニズムはわかっていない

- **実験**で高速な放出物の放出過程を調べる

○ 放出速度 × 放出質量

詳しくは明日の衝突研究会で！

- **数値シミュレーション**を用いた計算

数値シミュレーションを用いた研究

- 火星から飛び出すSNC隕石の質量はCPPRの違いに依らない

計算で用いられた解像度は20-100CPPR

Artemieva and Ivanov, 2004

- 解像度の違いで放出物の最大速度が変化

Jhonson et al., 2013

高速放出物の速度・質量の解像度依存性を調べる

シミュレーション条件

弾丸： ポリカーボネイト球 直径4.8 mm

標的： ポリカーボネイト板(5 cm × 5 cm × 2 cm)

衝突速度： 4.18 km/s @千葉工業大学

衝突角度： 90 度(垂直衝突)

CPPR： 25, 50, 100, 200, 400

インプットパラメーター

asteroid.inp

高解像度の計算 400CPPRの例

```
9  ----- Mesh Geometry Parameters -----
10 GRIDH      horizontal cells      : 0           : 1200        : 200
11 GRIDV      vertical cells      : 200_____ : 1000        : 100
12 GRIDSPC    grid spacing        : 6.0D-6
13 GRIDEXT    ext. factor          : 1.02d0
14 CYL        Cylind. geometry    : 1.0D0
15 GRIDSPCM   max. grid spacing   : -20.0D0
16  ----- Global setup parameters -----
17 S_TYPE     setup type           : DEFAULT
18 T_SURF     Surface temp         : 293.D0
19 GRAD_TYPE  gradient type        : NONE
20 PR_TRACE   Collision tracers    : 1
21  ----- Projectile ("Object") Parameters -----
22 OBJNUM     number of objects     : 1
23 OBJRESH    CPPR horizontal       : 400
24 OBJRESV    CPPR vertical         : 400
25 OBJVEL     object velocity       : -4.178D3
26 OBJMAT     object material       : proj___
27 OBJTYPE    object type           : SPHEROID
28 OBJOFF_V   proj offset (ver)    : 0
```

インプットパラメーター

asteroid.inp

トレーサー粒子の書き出し

```
47 ----- Tracer Particle Parameters -----
48 TR_QUAL    quality                : 1
49 TR_SPCH    tracer spacing X       : -1.D0           : -1.D0
50 TR_SPCV    tracer spacing Y       : -1.D0           : -1.D0
51 TR_VAR     add. tracer fields     : #TrP-TrT-Trp-Trt-TrV#
52 ----- (Material) Model parameters (global) -----
53 STRESS     Consider stress        : 1
54 ROCUTOFF   Density cutoff         : 1.0
55 TENSILE    Tensile failure        : 0
56 VEL_CUT    Velocity cutoff        : -5.
57 VEL_MIN    Min. velocity          : 0.05
58 LP_TOLER   Pressure tolerance     : 3.0D-8
59 ----- Data Saving Parameters -----
60 QUALITY    Compression rate       : 80
61 VARLIST    List of variables      : #Den-Tmp-Sie-Pre-Csn-VEL-VSt-SMU-Ert#
62 -----
63 <<END
```

インプットパラメーター

material.inp

強度モデルは**Hydro**を選択

```
1 #ISMAT
2 -----
3 MATNAME      Material name      : proj___      : target_
4 EOSNAME      EOS name         : polycar      : polycar
5 EOSTYPE      EOS type         : tillo        : tillo
6 STRMOD       Strength model    : HYDRO        : HYDRO
7 DAMMOD       Damage model      : NONE         : NONE
8 ACFL         Acoustic fluidisation : NONE         : NONE
9 PORMOD       Porosity model    : NONE         : NONE
10 THSOFT       Thermal softening  : NONE         : NONE
11 LDWEAK       Low density weakening : NONE         : NONE
12 -----general parameters -----
13 POIS         pois             : 5.0D-01      : 5.0D-01
14 -----thermal parameters -----
15 CHEAT        C_heat           : 1.2000D+03   : 1.2000D+03
16 <<END
17
```

インプットパラメーター

ポリカのTillotsonパラメーター

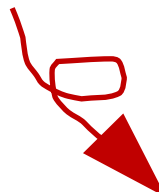
Table 1. Parameters for Tillotson Equation of State for Polycarbonate^a

Parameter	Value
ρ_0 , ^b kg/m ³	1194
a ^c	0.5
b ^c	1.0
A , ^d GPa	9.2
B , ^d GPa	6.9
E_0 , ^e MJ/kg	2
α ^f	5
β ^f	5
E_{iv} , ^g MJ/kg	0.28
E_{cv} , ^g MJ/kg	1.3

Sugita & Schultz, 2003b

Polycar.tilloを作成

iSALE/share/eos
フォルダに入れる

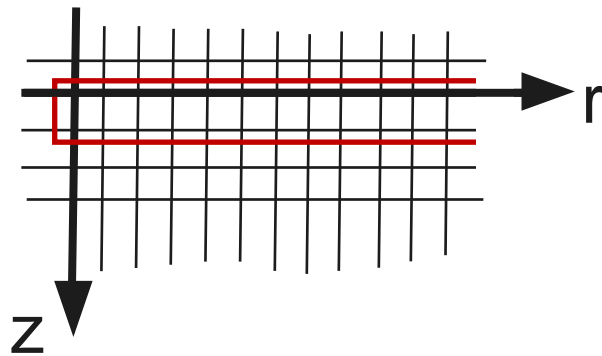


```
1 Tillotson EOS parameter for *** Polycarbonate ***
2 First 20 col. reserved for param discip., next 10 col. for Mat. param
3 density          : 1.194D+3
4 atill            : 9.2D+9
5 btill           : 6.9D+9
6 ezero           : 2.0D+6
7 tilla           : 0.5D0
8 tillb           : 1.0D0
9 alpha           : 5.D0
10 beta            : 5.D0
11 eiv             : 2.8D+5
12 ecv             : 1.3D+6
13
14 ! Add extra commets below:
15 Data are taken from Sugita & Schultz, 2003, JGR
```


iSALEを使った計算

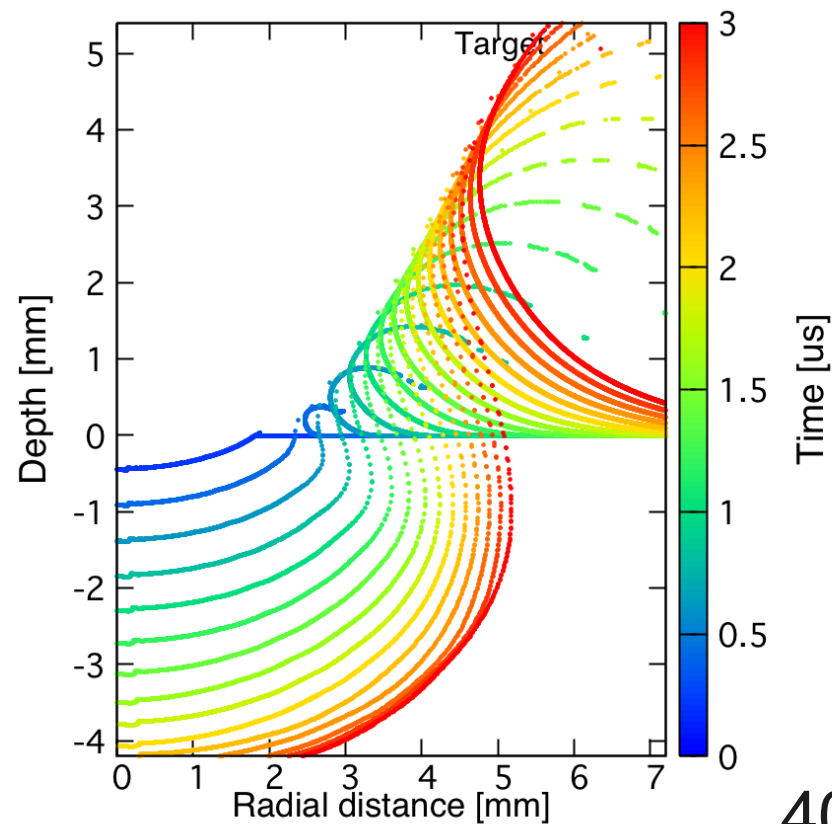
標的表面から放出される粒子を抽出

放出物のカーテン形状を見るために標的表面 2 グリッド分のトレーサー粒子を抽出



トレーサーの初期位置
赤で囲った部分を抽出

イジェクタカーテンの形状

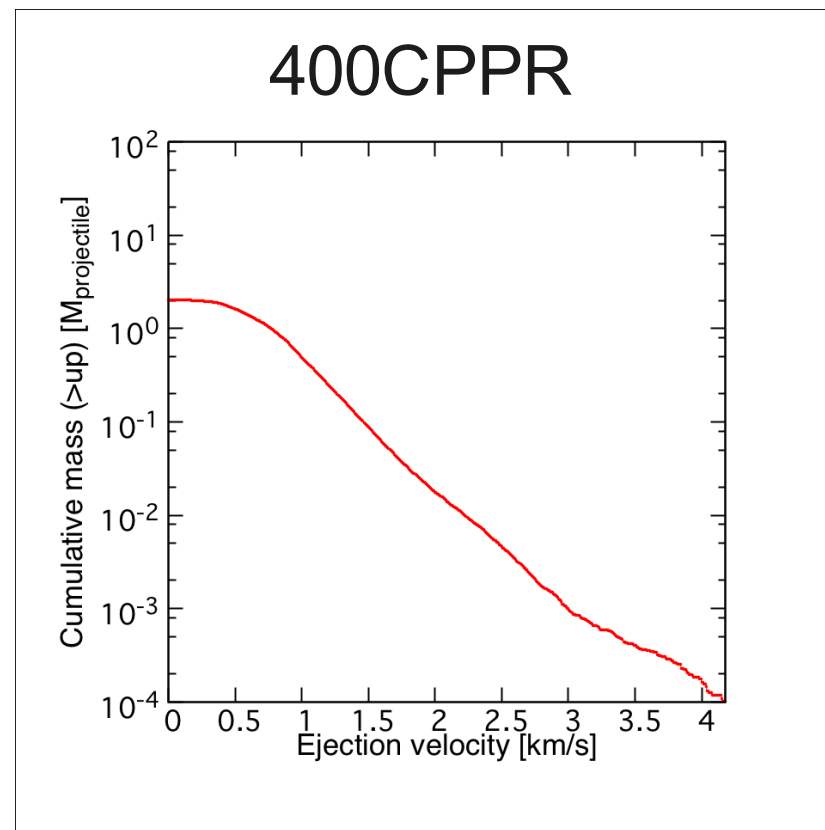


400CPPR

iSALEを使った計算

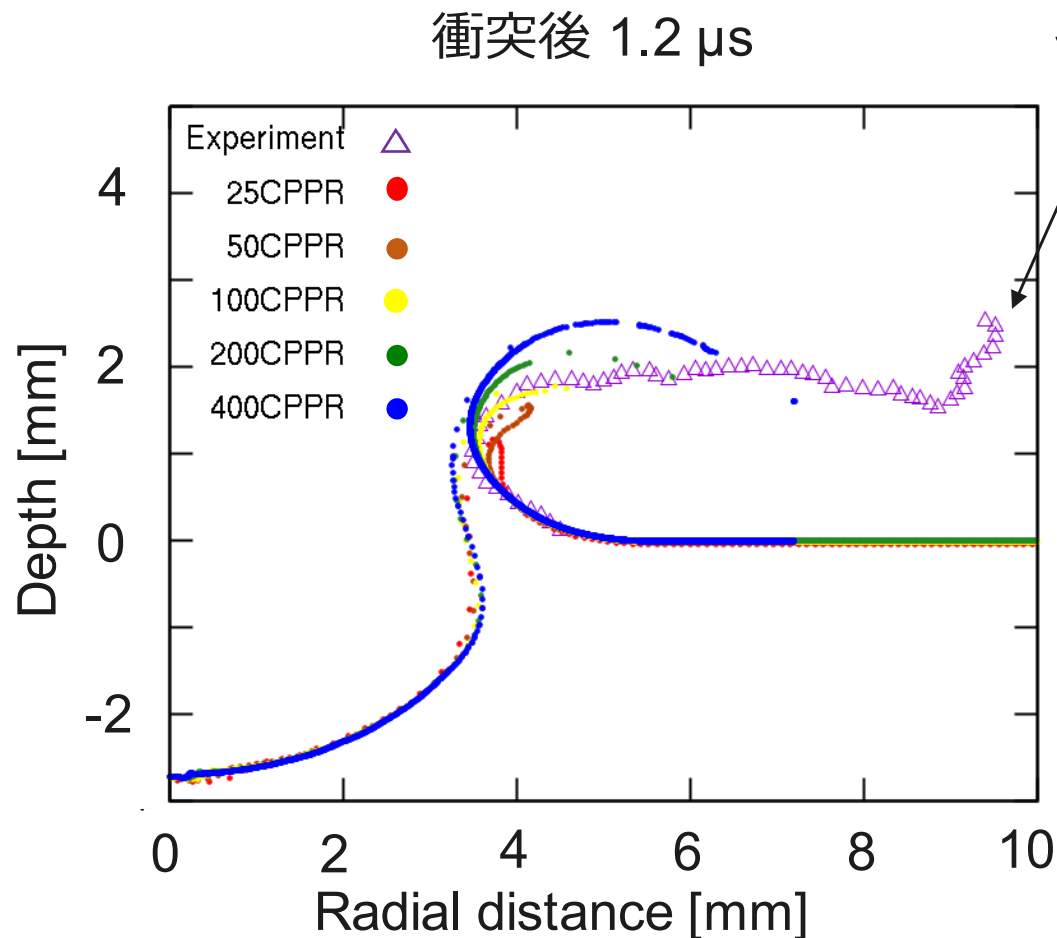
飛び出した粒子の積算質量

1. 標的表面から飛び出したトレーサー粒子の速度を計算
2. そのトレーサー粒子を軸回転させたときの領域の質量を計算
3. ある速度より速い放出物の総質量をビンにつめていく



iSALEを使った計算

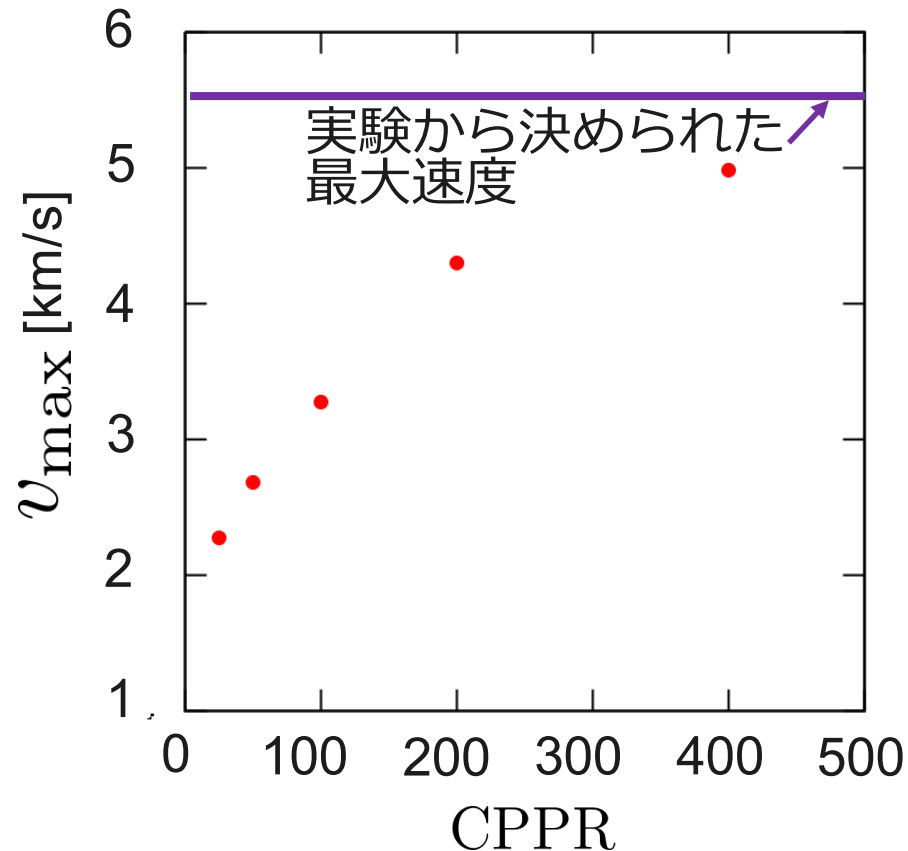
計算解像度がパラメータ：**25, 50, 100, 200, 400 CPPR**
(CPPR: Cell Per Projectile Radius)



- 計算解像度が**高いほど**衝突点から離れた**遠方の高速粒子を表現**できる
- 解像度をあげていけば実験結果をより良く再現できるかもしれない

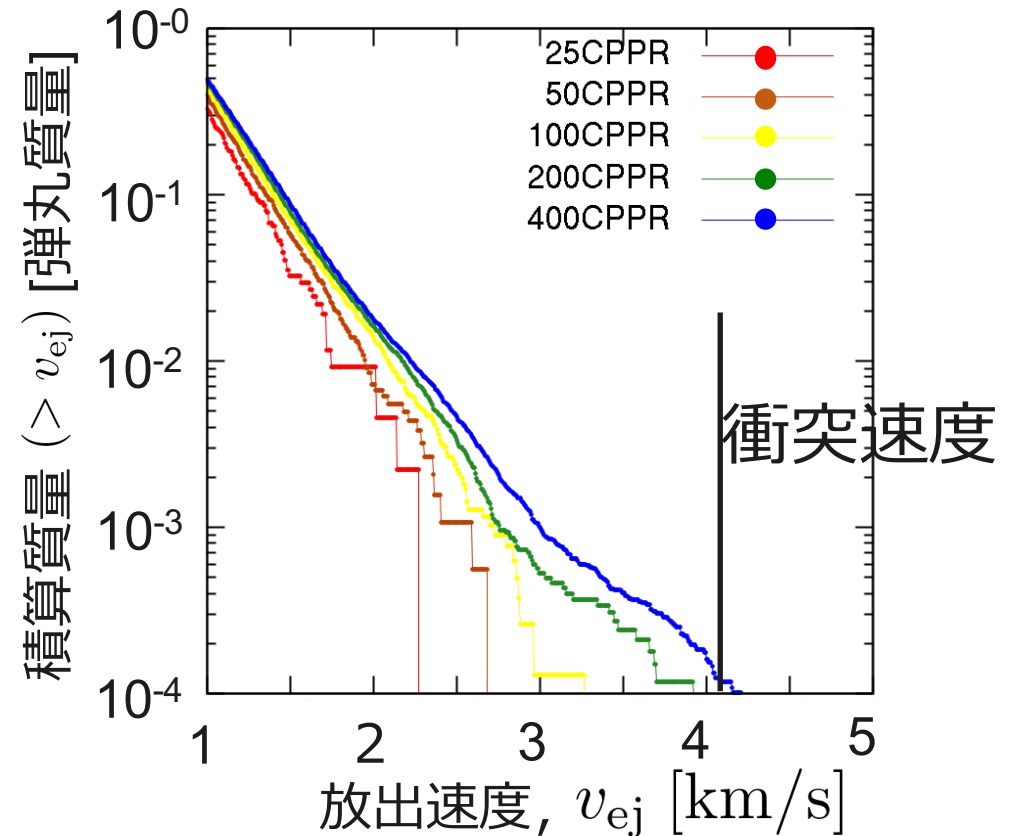
iSALEを使った計算

イジェクタ粒子の最大速度, v_{\max}



CPPRが大きくなるほど
実験から決められた最大速度
 5.62 ± 0.05 [km/s] に近づく

放出質量



計算解像度が**高いほど積算質量は多くなる**

まとめ

iSALE shock physics codeを用いて 高速放出物の速度や質量を計算

- 低解像度から高解像度で計算
 - CPPRをパラメータ (20-400)
- 計算解像度が高いほど実験結果をよく再現できる.
 - イジェクタカーテンの形状、最大放出速度