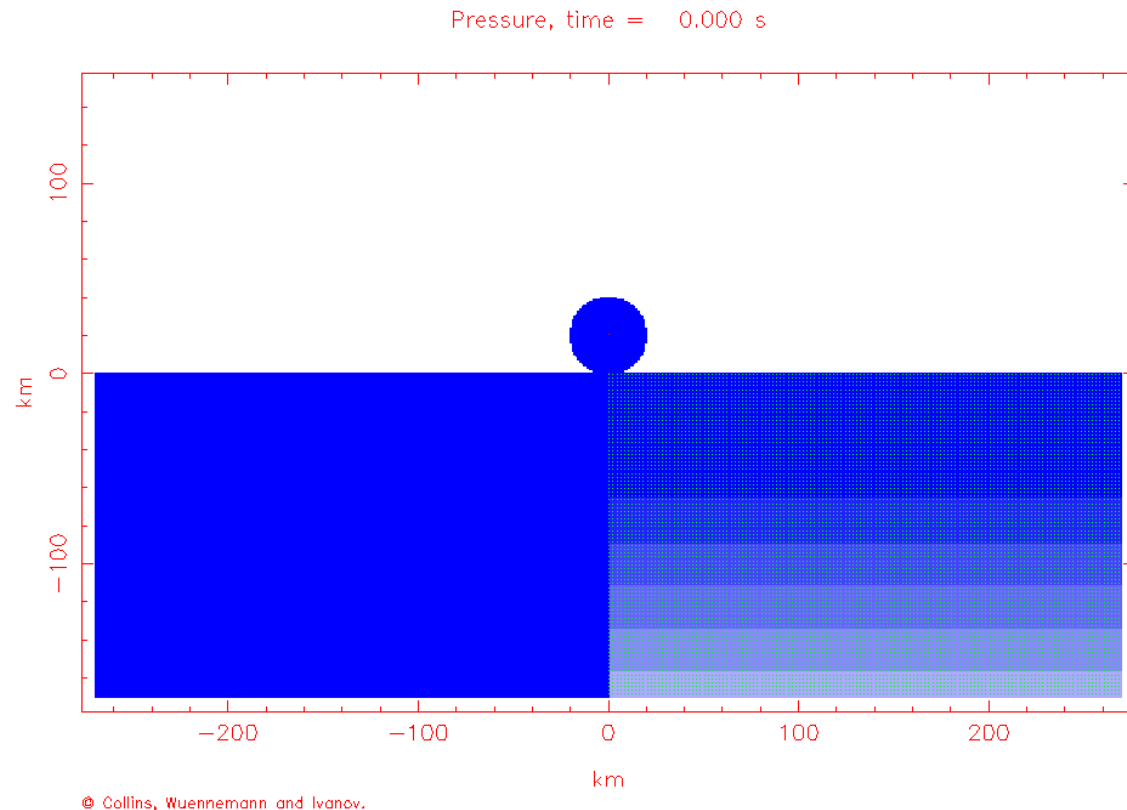


# iSALE Shock physics code概要

1. iSALEとは？
2. Validity tests
3. 説明書のありか
4. 座標系
5. iSALE計算の流れ
6. EOS
7. 物質モデル
8. 空隙モデル
9. トレーサー粒子
10. 引用の注意



黒澤 耕介

千葉工業大学 惑星探査研究センター

2014 2/5

# iSALE shock physics codeとは?

iSALE: Impact-SALE (Simplified Arbitrary Lagrangian Eulerian)

[e.g., Wunnemann+, 2006, Icarus]

**歴史:** SALE codeをもとにMeloshらが  
惑星科学に特化した仕様に改良

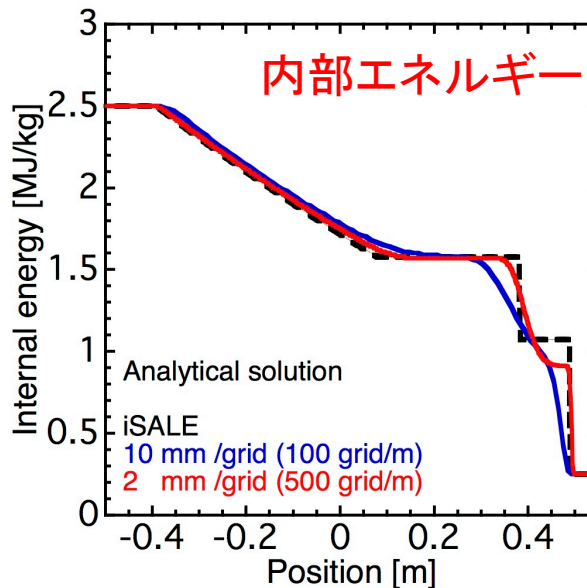
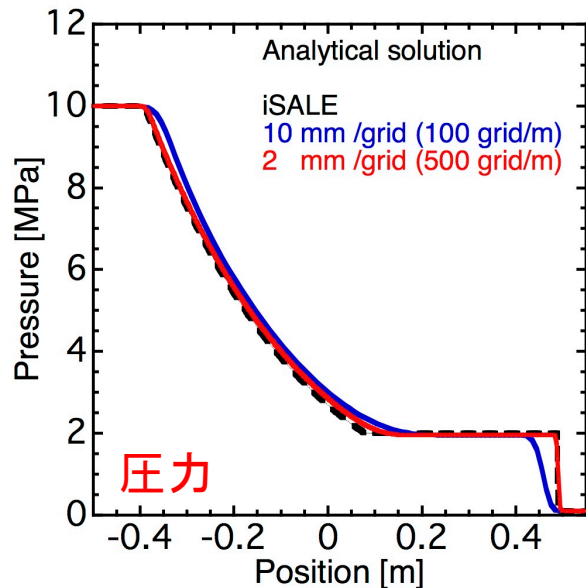
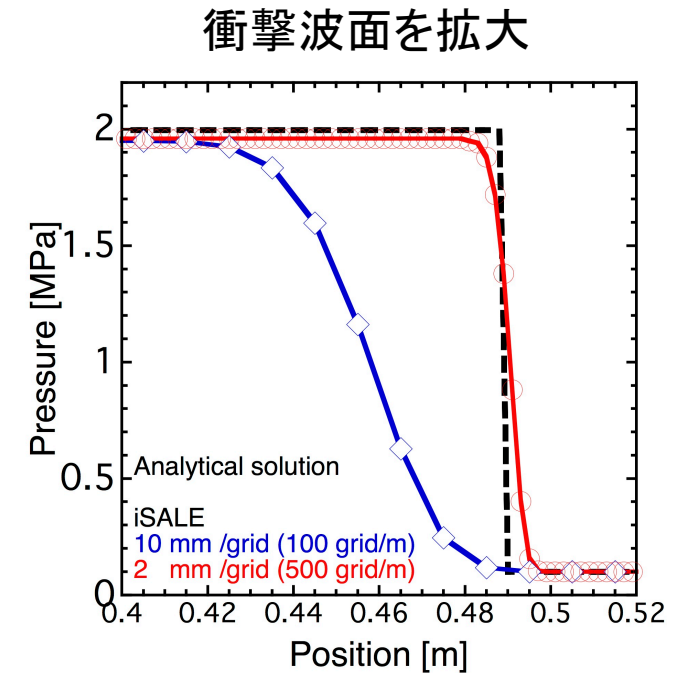
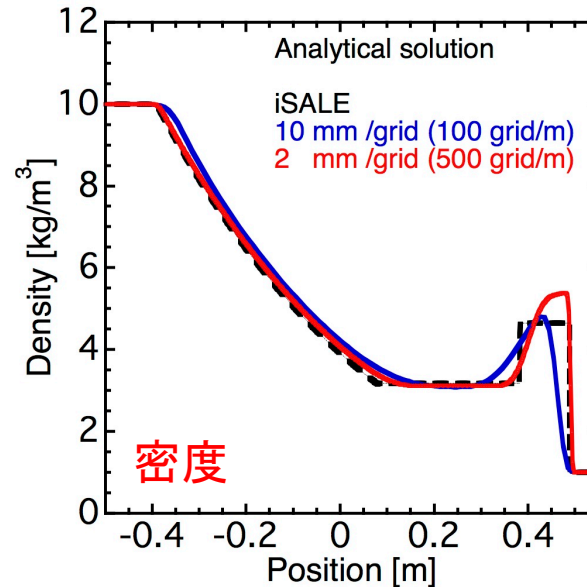
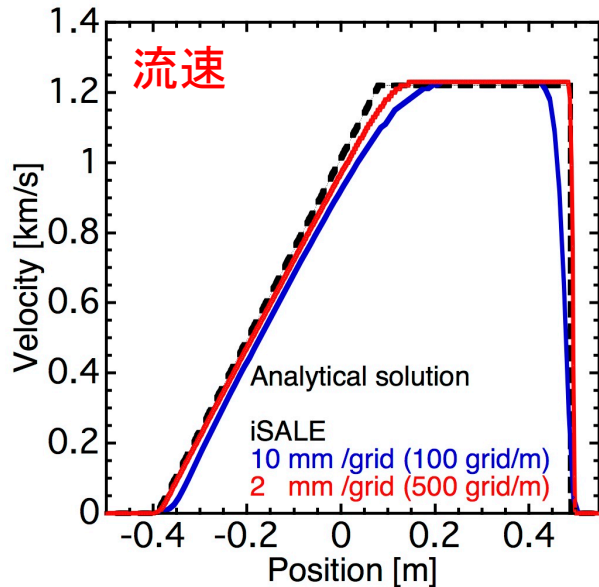
**Core developer:** G. Collins, K. Wunnemann, B. Ivanov,  
H. J. Melosh, D. Elbeshausen

**特徴:**

- ・惑星科学者に対して公開されている。
- ・最大3種類の物質を同時に扱える。
- ・流体運動だけでなく、応力場の変化も同時に解く。
- ・岩石, 水氷, 金属鉄など様々な物質の状態方程式を扱える。
- ・破壊, ダメージ, 空隙, 音響流動モデルが実装されている。
- ・重力, 地温勾配を任意に与えることができる。
- ・描画ソフトも配布されており、初心者でも容易に解析を行える。
- ・トレーサー粒子を用いた解析も可能。

# Validity check 1

## 1-D衝撃波管問題の解析解[例えば松尾, 1994]との比較

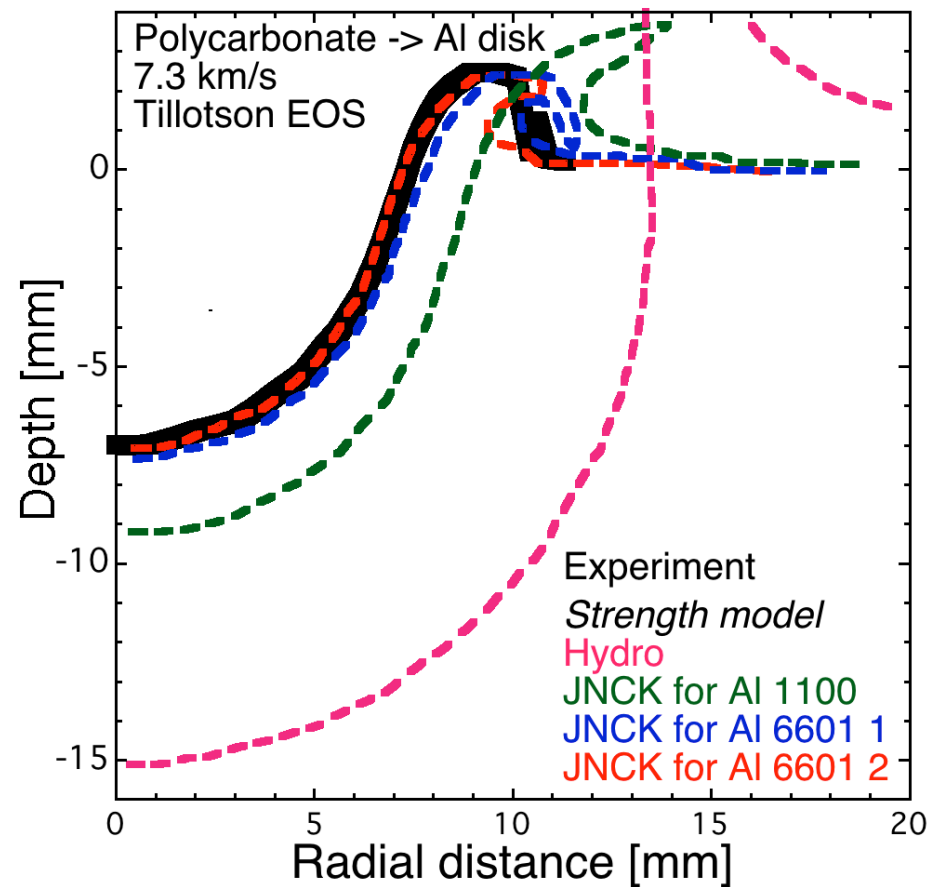
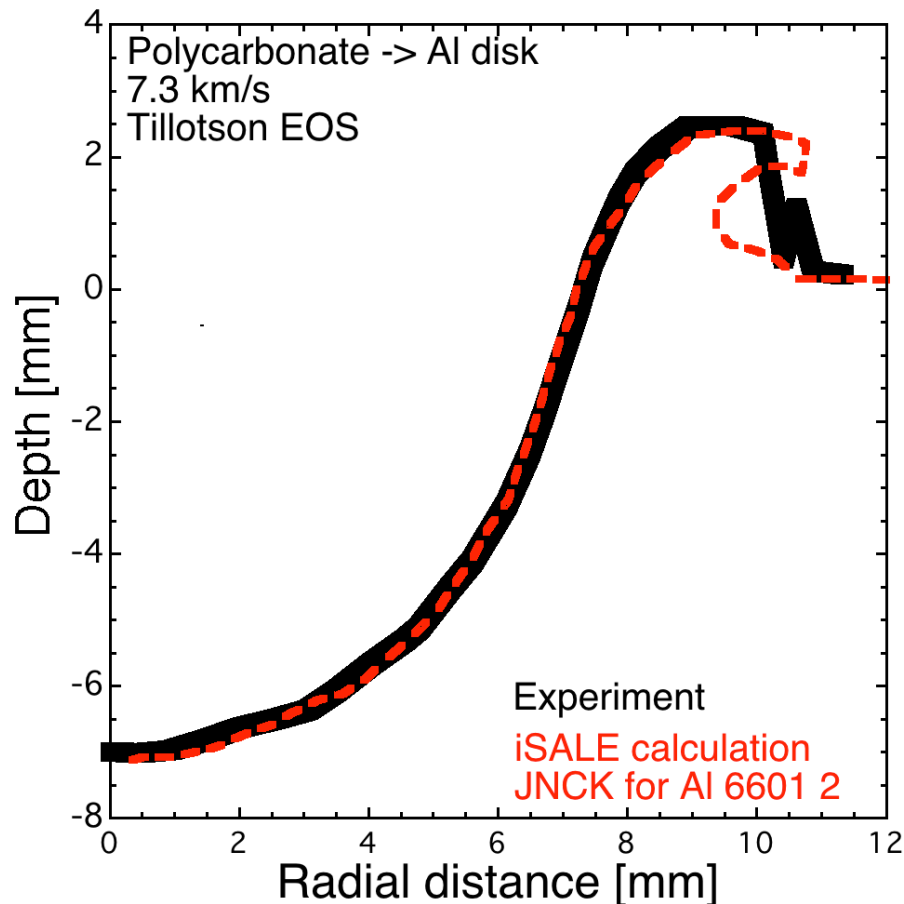


# Validity check 2

千葉工大惑星探査研で行った衝突実験との比較

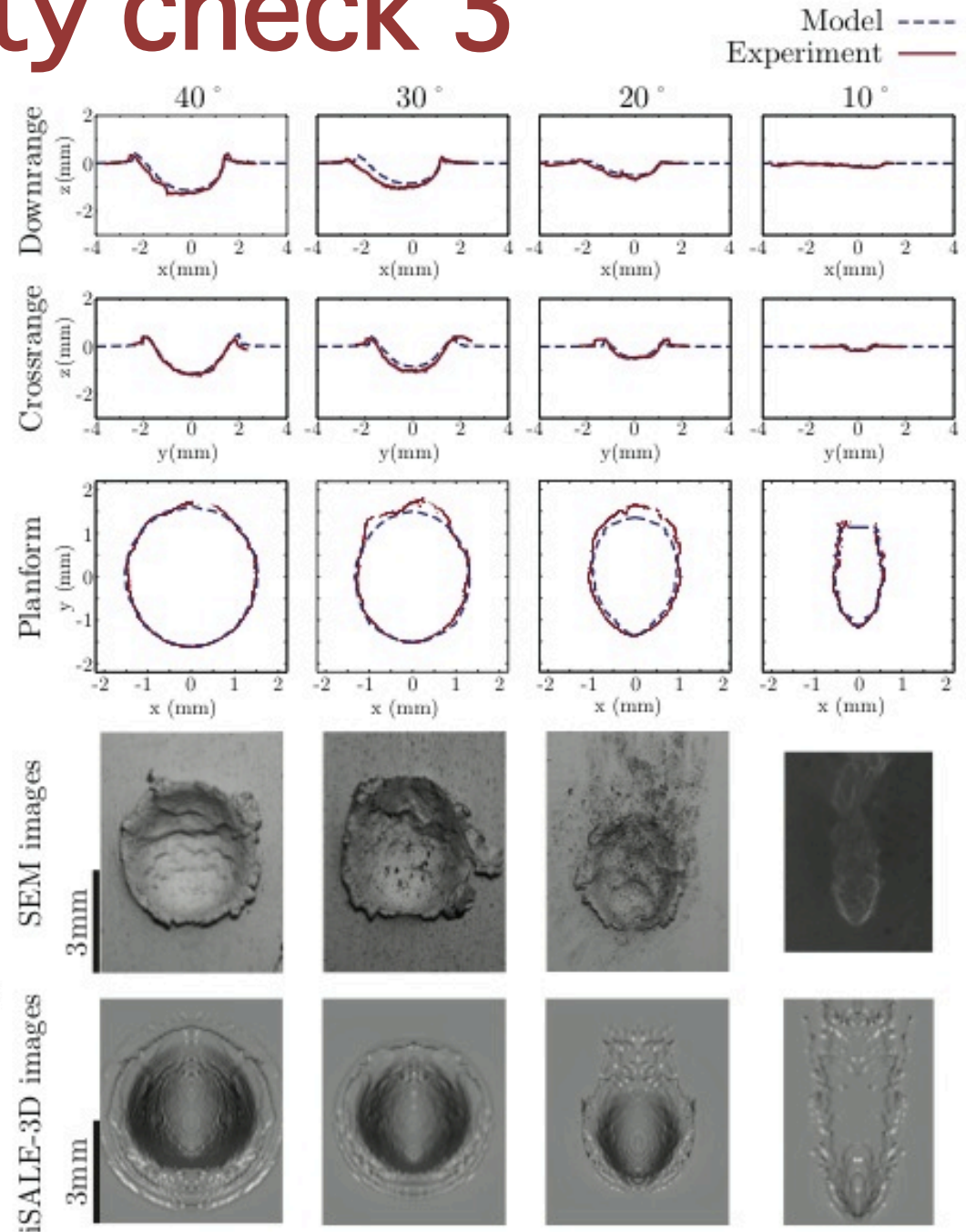
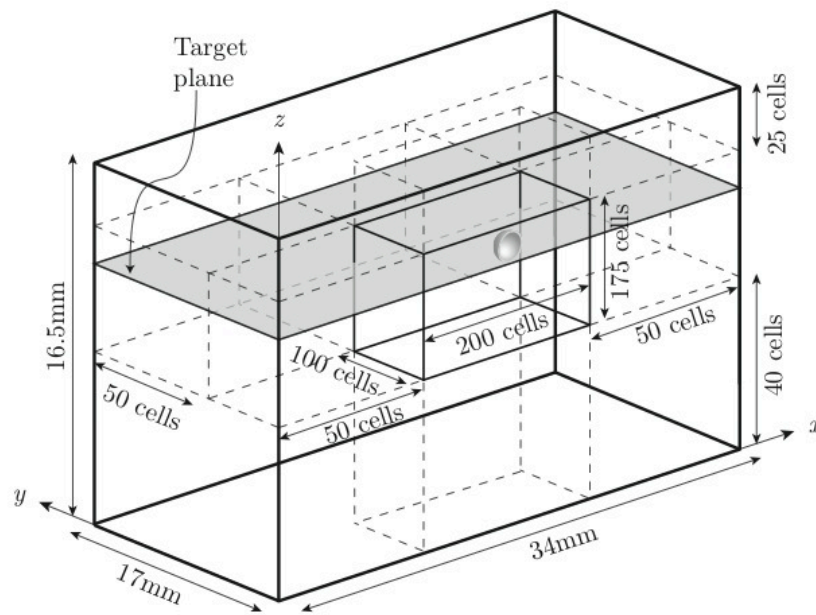
ポリカーボネイト球(直径4.8 mm)-> Al円板(2 cm厚)

強度モデルによる違い



# Validity check 3

斜め衝突実験と  
iSALE-3D斜め衝突計算の比較  
[Davison, Ph.D Thesis]



# iSALEの説明書

## 1. iSALE-Manual: 「iSALE-Chicxulub」 -> 「iSALE」 -> 「doc」

iSALE:  
A multi-material, multi-rheology shock physics code for simulating impact phenomena.

Gareth S. Collins, Kai Wünnemann,  
Dirk Elbeshausen,  
Boris Ivanov,  
H. Jay Melosh,  
T. Davison

August 21, 2012

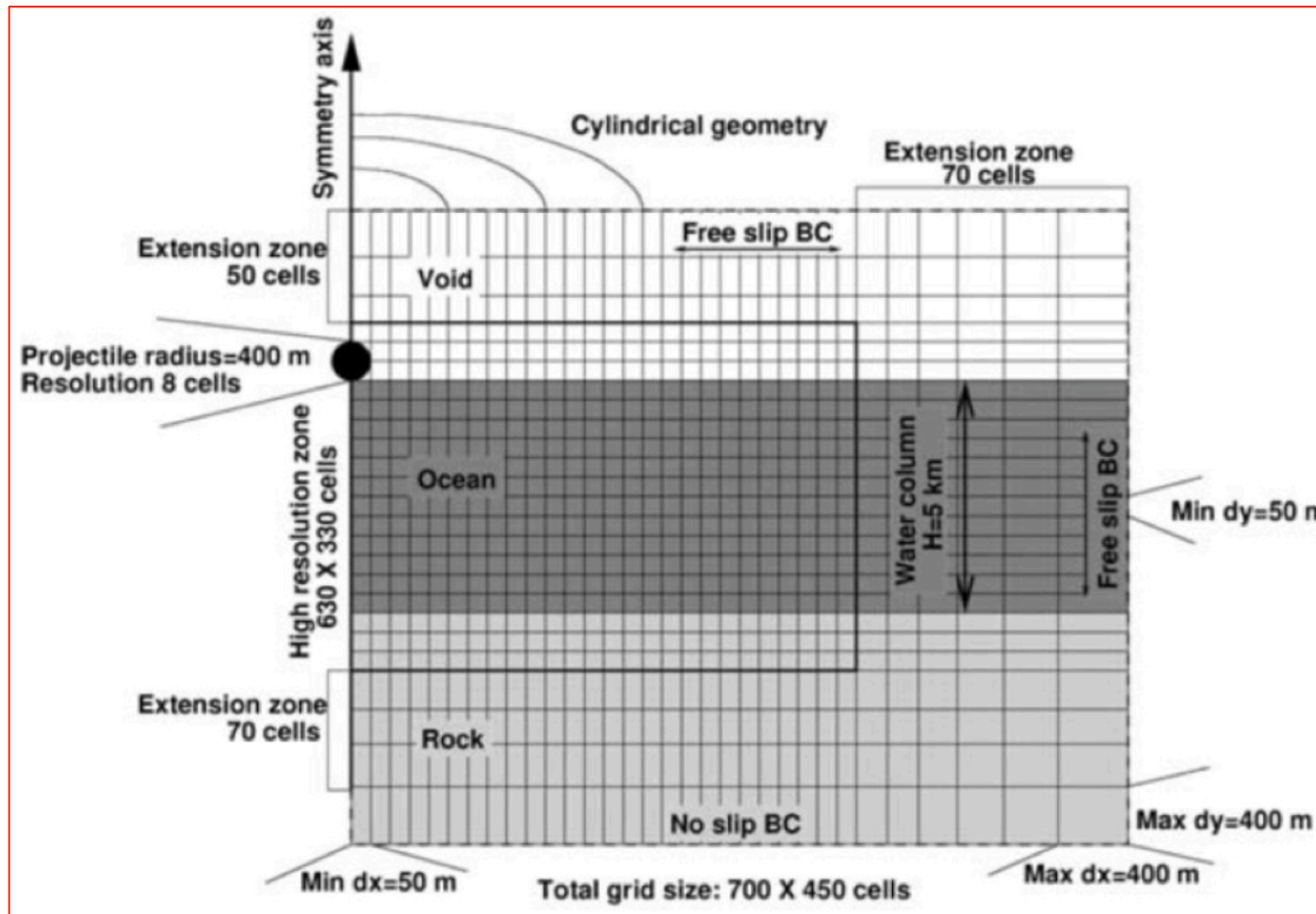
## 2. parameters.db:各サンプルプログラムと同じフォルダ

```
1427 <PARAM>
1428 ABBREV : GRAD_TYPE : STR
1429 DESC : Lithostatic gradient
1430 <INFO>
1431 Several different options are available to pre-compress the target/planet
1432 as a consequence of the ambient gravitational field...
1433
1434 \begin{description}
1435 \item[NONE] -- No gravity field; constant initial material properties
1436
1437 \item[DEFAULT] -- Spatially and temporally constant gravity field; initial material
1438 properties change with depth in target.
1439
1440 \item[CENTRAL] -- Spatially varying gravity field, but constant in time. For
1441 use in S\_TYPE == PLANET mode. Initial material properties change
1442 with distance from planet centre.
1443
1444 \item[SELF] -- Spatially and temporally varying gravity field, calculated
1445 from mutual gravitational attraction of all mass in domain.
1446 Initial material properties change according to gravity field.
1447 (Not currently available in iSALE-3D).
1448 \end{description}
1449 </INFO>
1450 <CODE>
1451 DIM : 2
1452 OPTIONAL : YES
1453 DEFVAL : DEFAULT
1454 VALUES : DEFAULT : NONE : CENTRAL : SELF
1455 </CODE>
```



# iSALE2Dの計算座標例

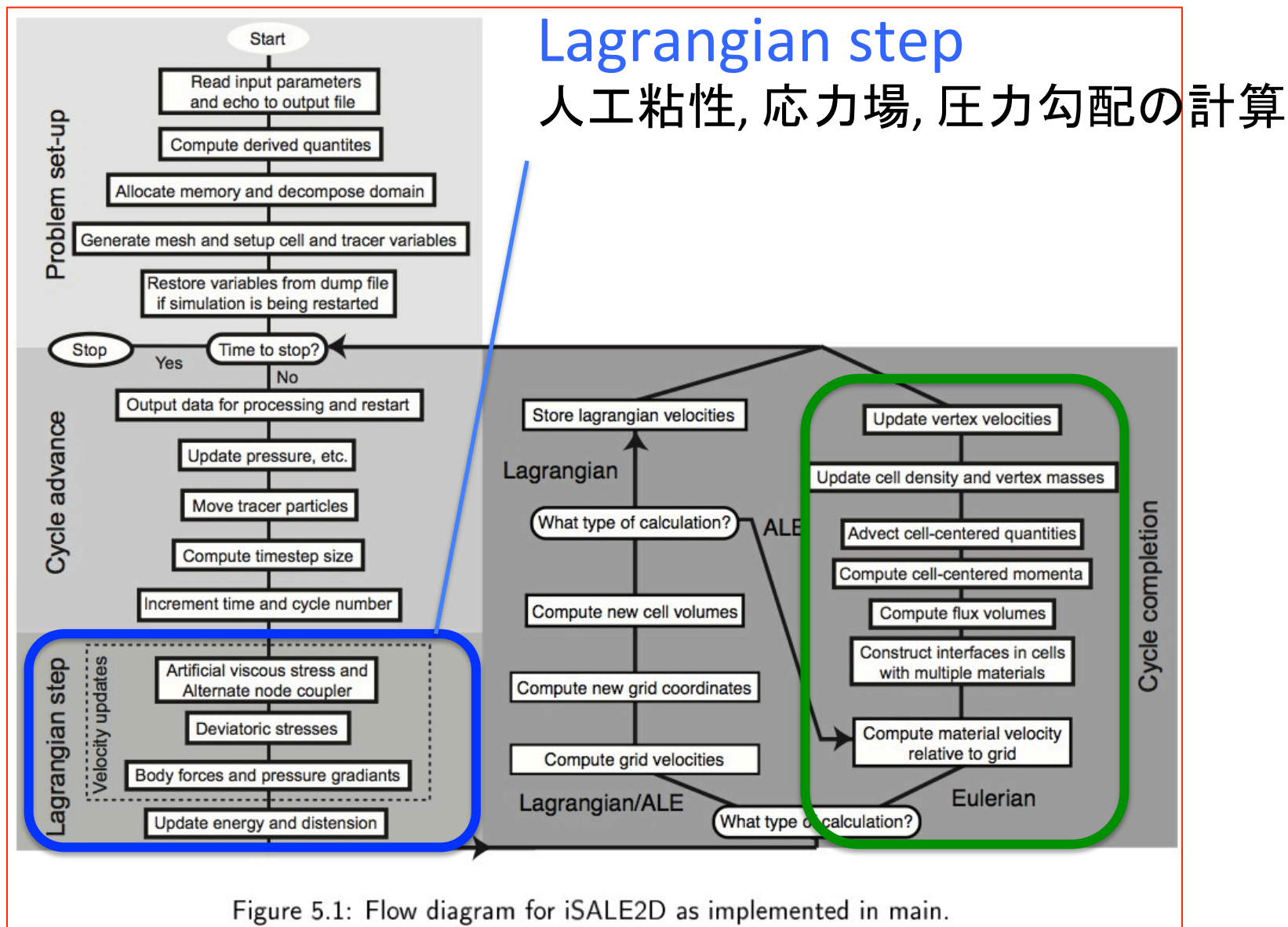
マニュアル P21



High-resolution zoneの外側にExtension zoneを配置可能  
(境界からの反射波の影響を小さくできる)

# iSALE2Dの計算の流れ

マニュアル P51





# iSALEのEOS

## Tillotson Analytical EOS or Tabular ANEOS

※理想気体のEOSはTillotson EOSに内包(perfgas.tillo)

```
1 Tillotson EOS parameter for *** BASALT ***
2 First 20 col. reserved for param descrip., next 10 col. for Mat. param
3 density      : 2.65D+3
4 atill        : 5.3D+10
5 btill        : 5.3D+10
6 ezero        : 4.87D+8
7 tilla        : 0.6D0
8 tillb        : 0.6D0
9 alpha        : 5.D0
10 beta        : 5.D0
11 eiv         : 4.72D+6
12 ecv         : 18.2D+6
13
14 ! Add extra commets below:
15 Experimental values, origin unkown!
```

<- basalt\_.tillo

物質名は7文字で  
なければならない!

```
1 0.100000000000E+01 0.100000000000E+02 0.200000000000E+02 0.400000000000E+02
2 0.800000000000E+02 0.160000000000E+03 0.200000000000E+03 0.273000000000E+03
3 0.290000000000E+03 0.300000000000E+03 0.336000000000E+03 0.376320000000E+03
4 0.421478400000E+03 0.472055808000E+03 0.528702504960E+03 0.592146805555E+03
5 0.663204422222E+03 0.742788952888E+03 0.831923627235E+03 0.931754462503E+03
6 0.104356499800E+04 0.116879279776E+04 0.130904793350E+04 0.146613368552E+04
7 0.164206972778E+04 0.183911809511E+04 0.205981226652E+04 0.230698973851E+04
8 0.258382850713E+04 0.289388792798E+04 0.324115447934E+04 0.363009301686E+04
9 0.406570417888E+04 0.455358868035E+04 0.510001932199E+04 0.571202164063E+04
10 0.639746423751E+04 0.716515994601E+04 0.802497913953E+04 0.898797663627E+04
11 0.100665338326E+05 0.112745178925E+05 0.126274600396E+05 0.141427552444E+05
12 0.158398858737E+05 0.177406721786E+05 0.198695528400E+05 0.222538991808E+05
13 0.249243670825E+05 0.279152911324E+05 0.312651260683E+05 0.350169411965E+05
14 0.392189741401E+05 0.439252510369E+05 0.491962811613E+05 0.550998349007E+05
15 0.617118150887E+05 0.691172328994E+05 0.774113008473E+05 0.867006569490E+05
16 0.109335232414E+04 0.451759751638-101 0.100000000000E-11 0.109335232414E+04
17 0.451759751638-101 0.100000000000E-11 0.109335232414E+04 0.451759751638-101
18 0.100000000000E-11 0.109335232414E+04 0.451759751638-101 0.100000000000E-11
19 0.109335232414E+04 0.451759751638-101 0.100000000000E-11 0.109335232414E+04
```

<- basalt\_.aneos

テーブルEOSなので、  
数字が並んでいるだけ。

# iSALEの物質モデル 1

マニュアル P33 – P43, Chapter 4

STRMOD	DAMMOD	ACFL	THSOFT	LDWEAK
ROCK	NONE, SIMPLE, COLLINS, IVANOV	NONE, BLOCK	NONE, OHNAKA	NONE, POLY
DRPR	NONE	NONE, BLOCK	NONE, OHNAKA	NONE, POLY
LUNDI	NONE	NONE, BLOCK	NONE, OHNAKA	NONE, POLY
LUNDD	NONE	NONE, BLOCK	NONE, OHNAKA	NONE, POLY
VNMS	NONE	NONE	NONE, OHNAKA	NONE, POLY
JNCK	NONE	NONE	NONE, JNCK	NONE
LIQU	NONE	NONE	NONE	NONE
HYDRO	NONE	NONE	NONE	NONE

強度



ダメージ

音響流動



熱弱化

低密度弱化

問題設定に合わせて適切なモデルを組み合わせ、  
パラメータセットを精査すべし。

# iSALEの物質モデル 2 -空隙- $\varepsilon$ - $\alpha$ compaction model

$P$ - $\alpha$  modelと本質的には同じ。計算コストが劇的に減る。

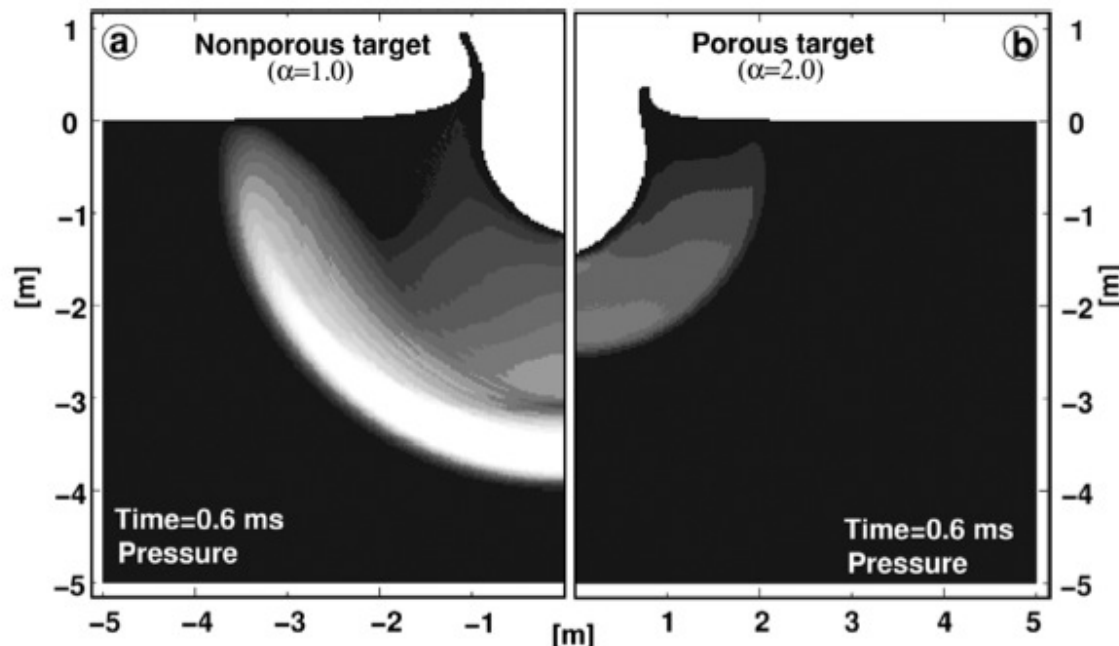
[Kerley, 1992]

[Wunnemann+, 2006, *Icarus*]

$$P = f(\rho, E, \alpha) = \frac{1}{\alpha} P_s(\alpha\rho, E) = \frac{1}{\alpha} P_s(\rho_s, E)$$

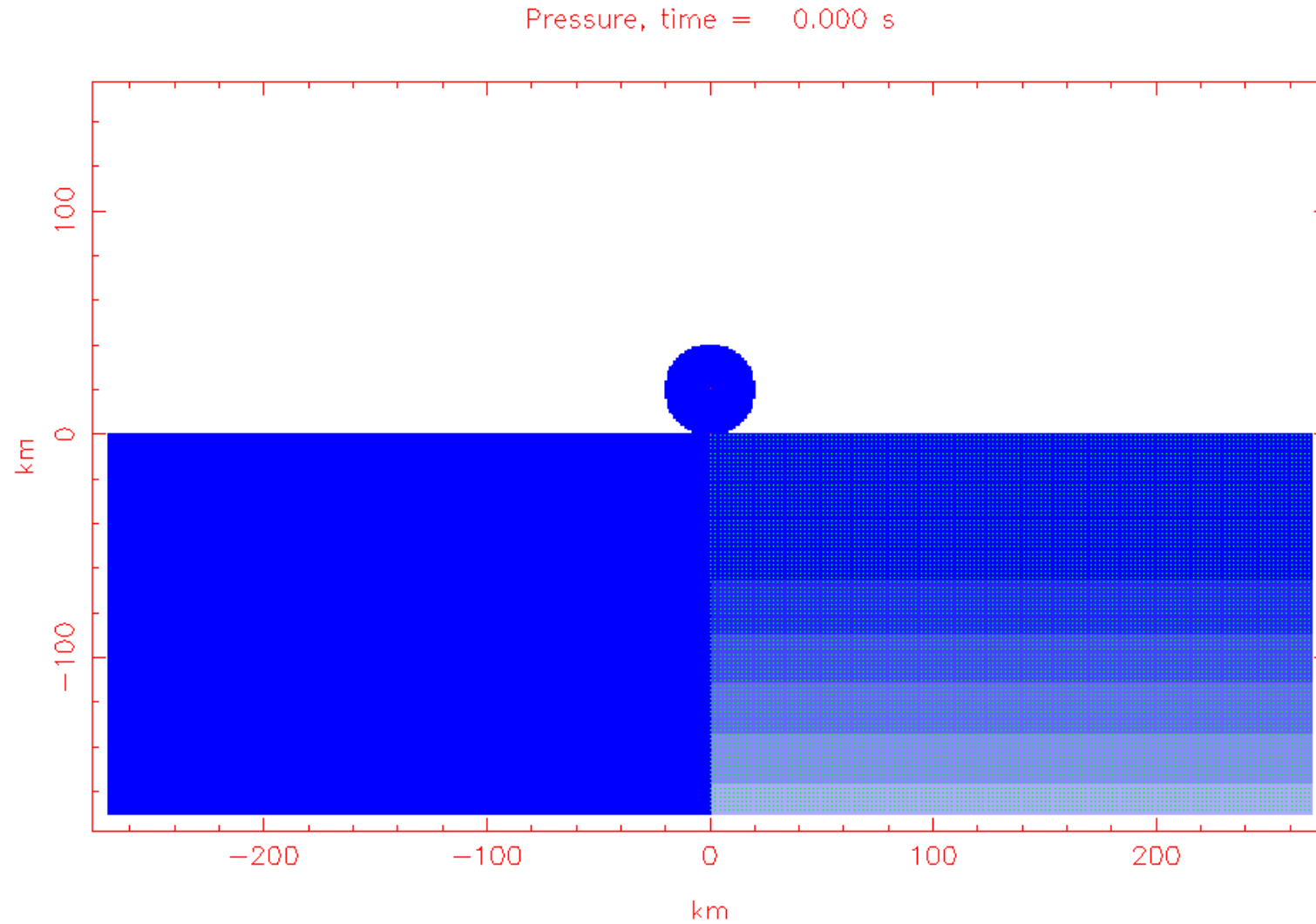
熱力学的証明はHolsapple, 2008を参照

$$\alpha = 1/(1-\phi) = \rho_{\text{solid}}/\rho$$

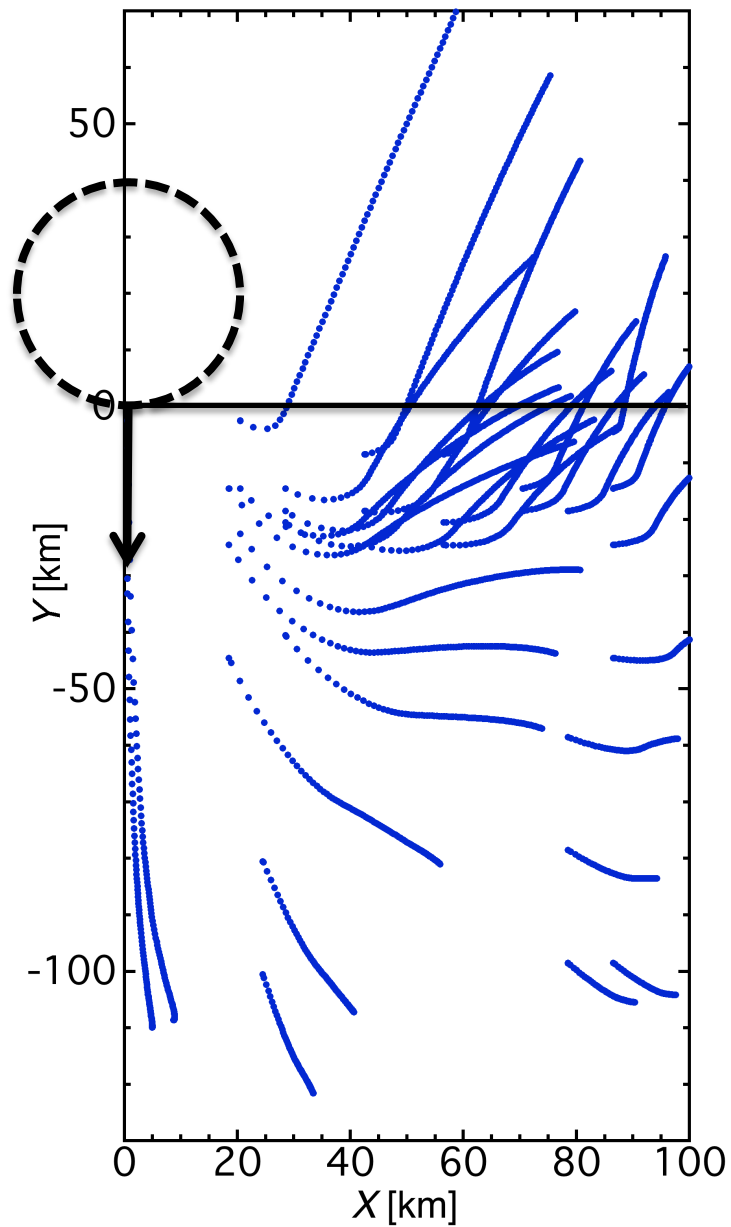


[Wunnemann et al., 2006]

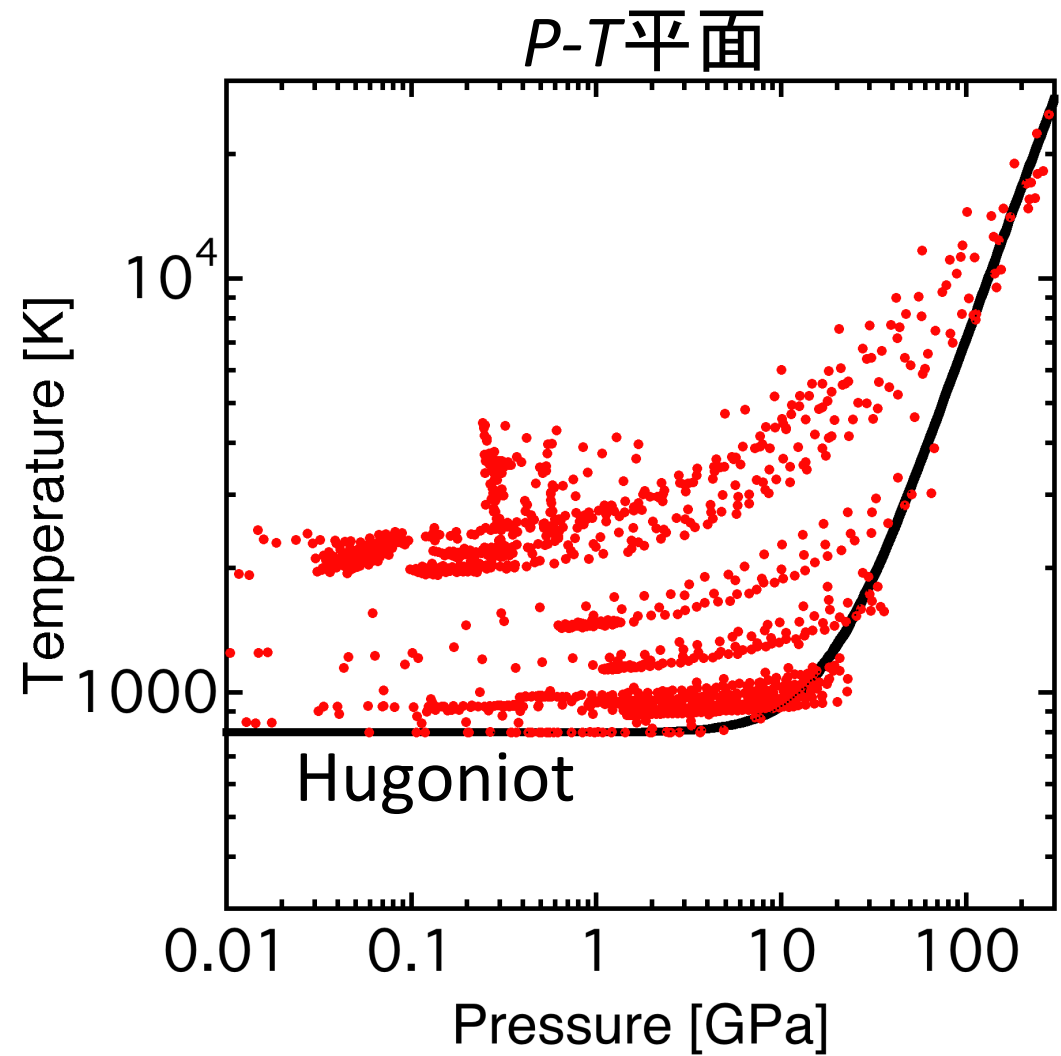
# Lagrangian tracer particles



# Lagrangian tracer particles



金星への垂直衝突  
直径40 km  
速度20 km/s





# 引用の注意

iSALEを用いた成果を公表する場合 (マニュアル P5)

## 本文中

In this work we use the iSALE shock physics code (Wünnemann et al., 2006), which is an extension of the SALE hydrocode (Amsden et al., 1980). To simulate hypervelocity impact processes in solid materials SALE was modified to include an elasto-plastic constitutive model, fragmentation models, various equations of state (EoS), and multiple materials (Melosh et al., 1992; Ivanov et al., 1997). More recent improvements include a modified strength model (Collins et al., 2004) and a porosity compaction model (Wünnemann et al., 2006).

A shorter description, appropriate for conference abstracts should still include all key references.

In this work we use the iSALE shock physics code (Amsden et al., 1980; Ivanov et al., 1997; Wünnemann et al., 2006).

Referencesに最低限上記の3論文を加えるべし。

## Acknowledgements

We gratefully acknowledge the developers of iSALE, including Gareth Collins, Kai Wünnemann, Boris Ivanov, Jay Melosh and Dirk Elbeshausen.