

# 第3回iSALE勉強会

大まかな予定

1300-1325 iSALEの基本的な説明

1330-1430 iSALEで扱える状態方程式の解説

1440-1600 iSALE基本操作実習

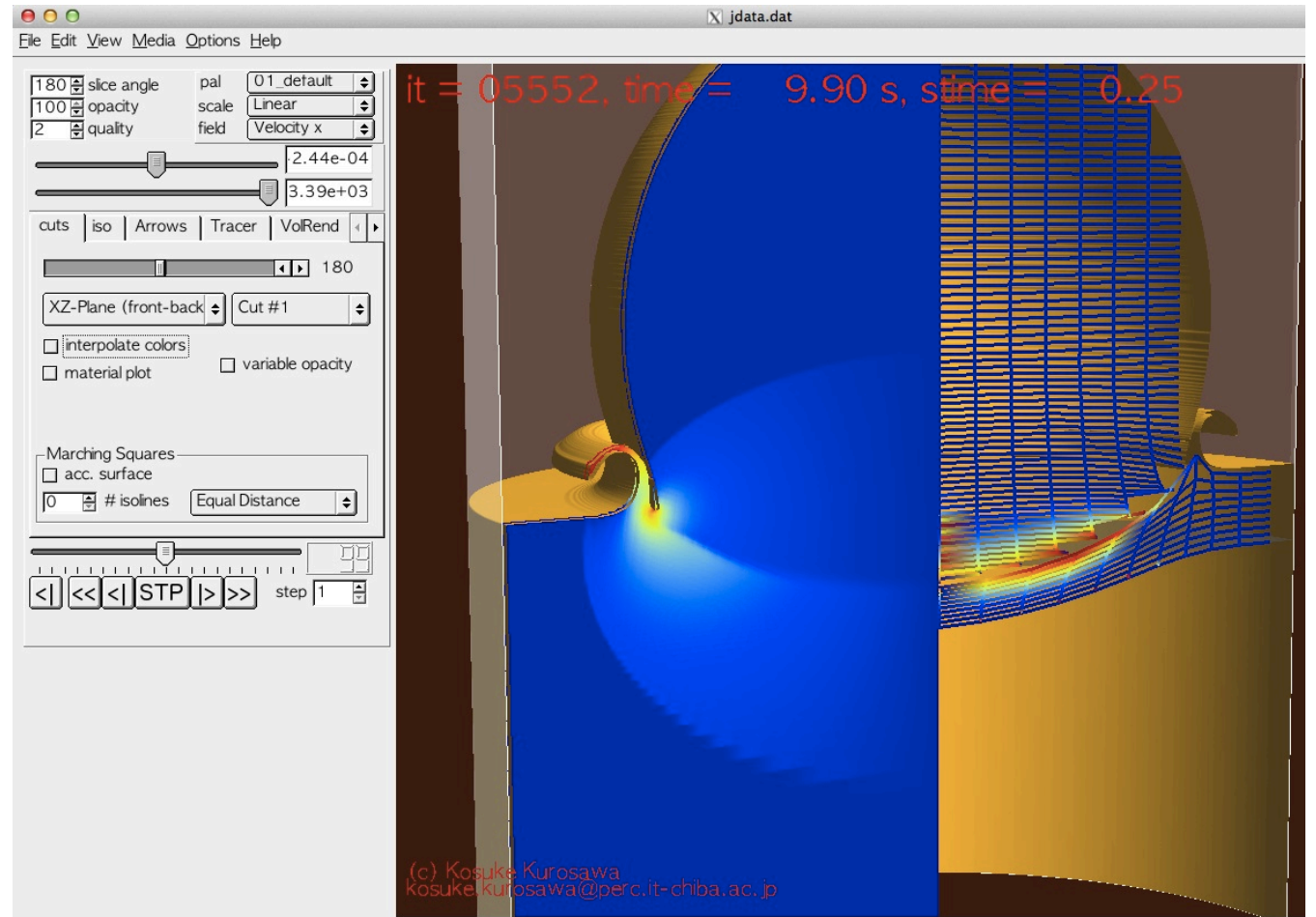
1610-1800 iSALEを用いた研究例紹介

- ・岡本尚也(千葉工大) iSALEを用いた高速放出物の計算
- ・細野七月(理研) iSALEとSPHの衝突計算の比較
- ・鈴木絢子(ISAS) 球対球衝突におけるiSALE試用雑感
- ・脇田茂(NAOJ) iSALEを用いた微惑星衝突シミュレーション
- ・黒澤耕介(千葉工大) iSALEの計算出力と衝撃圧縮実験との比較

1900~ 懇親会&衝突研究会の前夜祭

# 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 10/22

# iSALE shock physics codeとは？

iSALE: Impact-SALE (Simplified Arbitrary Lagrangian Eulerian)

[e.g., Wünnemann+, 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。>50報の査読付論文が出版されている。

**特徴:** 衝撃波を補足できる流体コード + 粘弾塑性体応答 (セミ・ラグランジュ法)

-> "Hydro code"でなく"Shock physics code"

- 状態方程式: Tillotson EOS or ANEOS
- 物質モデル: 降伏応力, 空隙, 音響流動, 熱弱化

**操作:** 2つの入力ファイルに初期条件を入力するのみ。

->初心者でも簡便に望み通りの計算を実行可能。

**解析&描画:** "iSALE plot" と "VIMoD" が同梱されている。

**最重要利点:** 現在も改良され続けている [e.g., Collins & Melosh, 2014]

# iSALE活用術

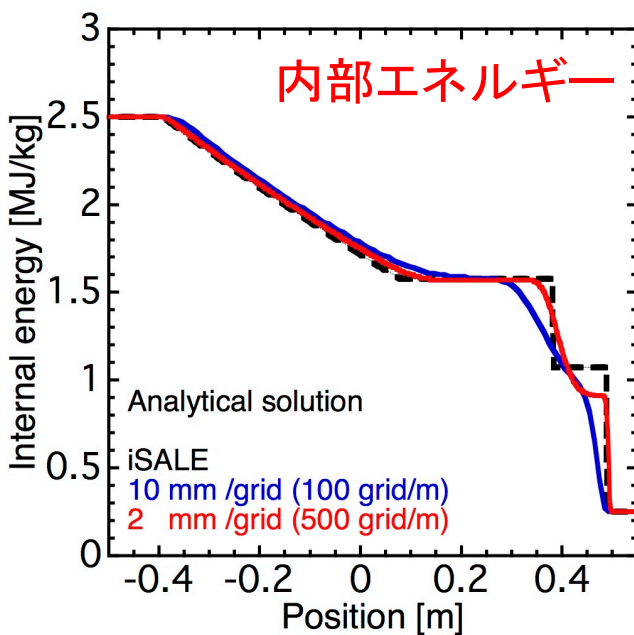
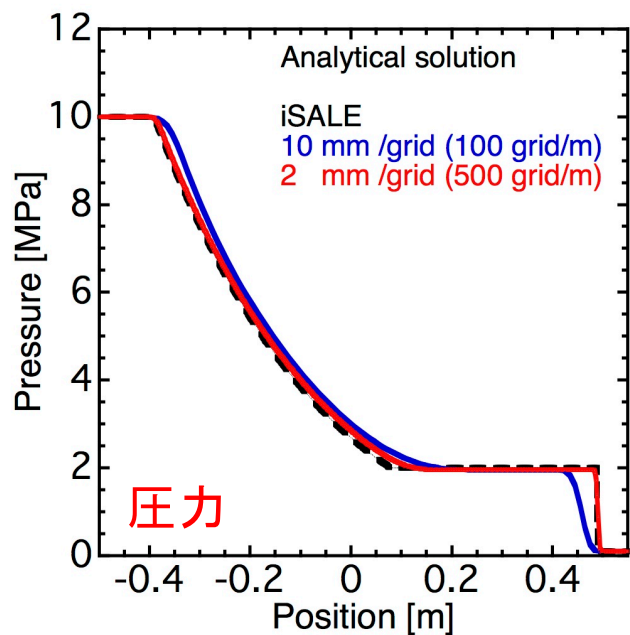
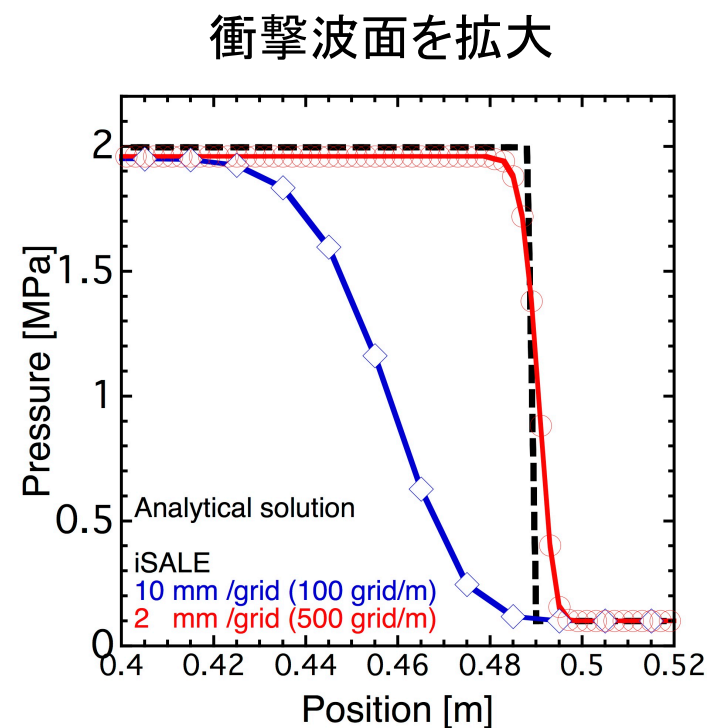
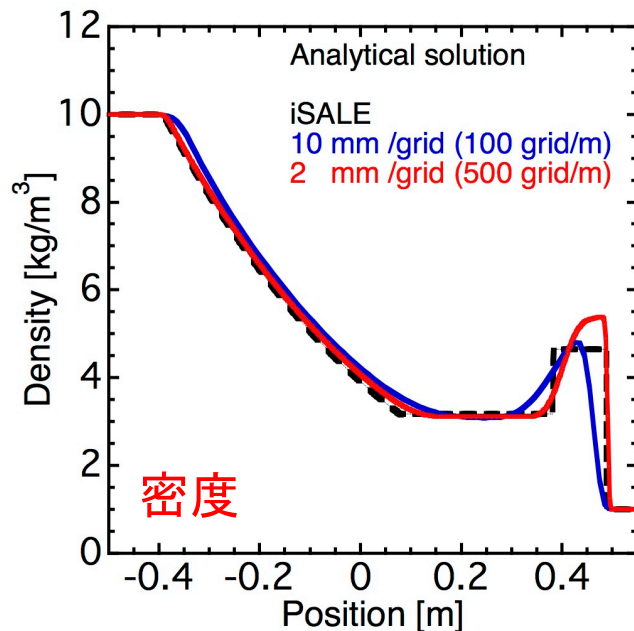
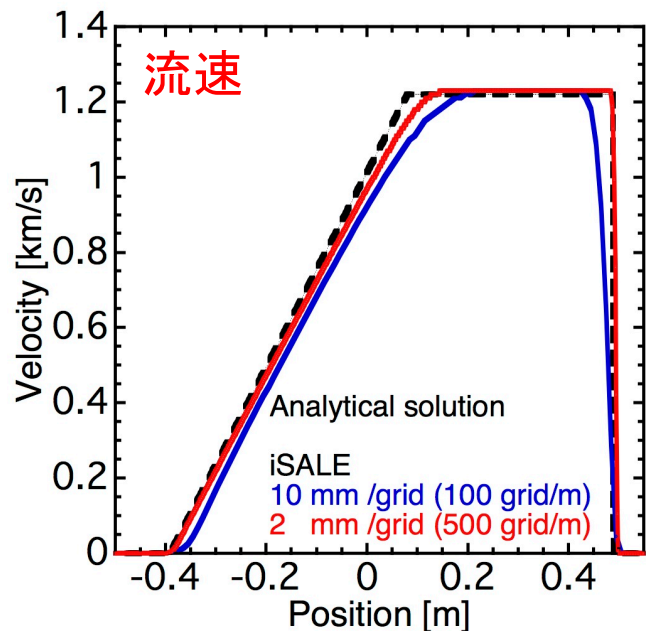
思いついたことをすぐに計算できる.

- 月の表裏の地温勾配の影響 [Mijikovic+, 2013, *Science*]
  - 月のマスコンの起源 [Melosh+, 2013, *Science*]
  - Vestaの核の物性の影響 [Bowling+, 2013, *JGR*]
  - 微惑星の衝突熱埋め込み [Davison+, 2010, *Icarus*; 2012, *GCA*]
  - クレータ回収試料の微細分析の解釈 [Davison+, 2013, *GRL*]
  - 衝突凝縮物生成過程の素過程 [Johnson & Melosh, 2013, *Icarus*]
  - Impact jettingの素過程 [Johnson+, 2014, *Icarus*]
  - 斜め衝突による掘削素過程 [Elbeshausen+, 2009, 2013, *JGR*]
  - 原始地球の衝突生成メルト量 [Marchi+, 2014, *Nature*]
- などなど

※他にも例えばK/Pg衝突への適用した論文多数 [e.g., Collins+, 2008, *EPSL*]

# 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

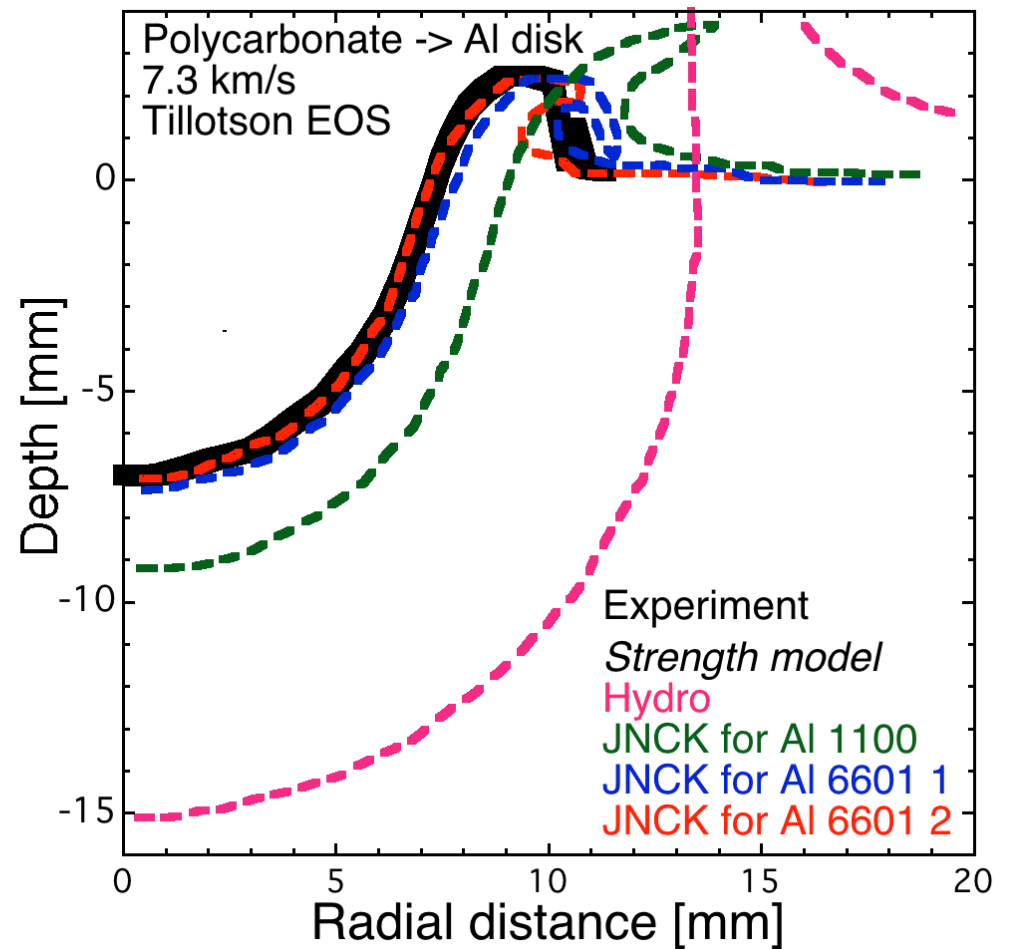
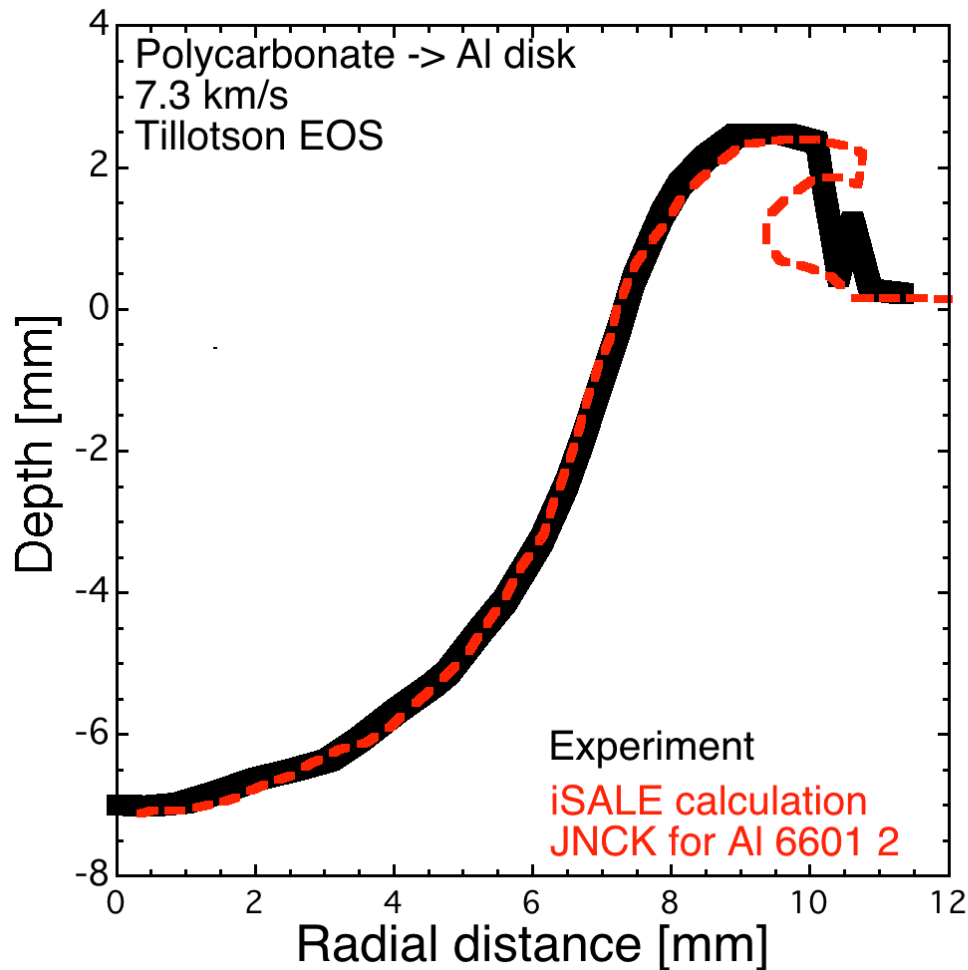


# Validity check 2

千葉工大惑星探査研で行った衝突実験との比較

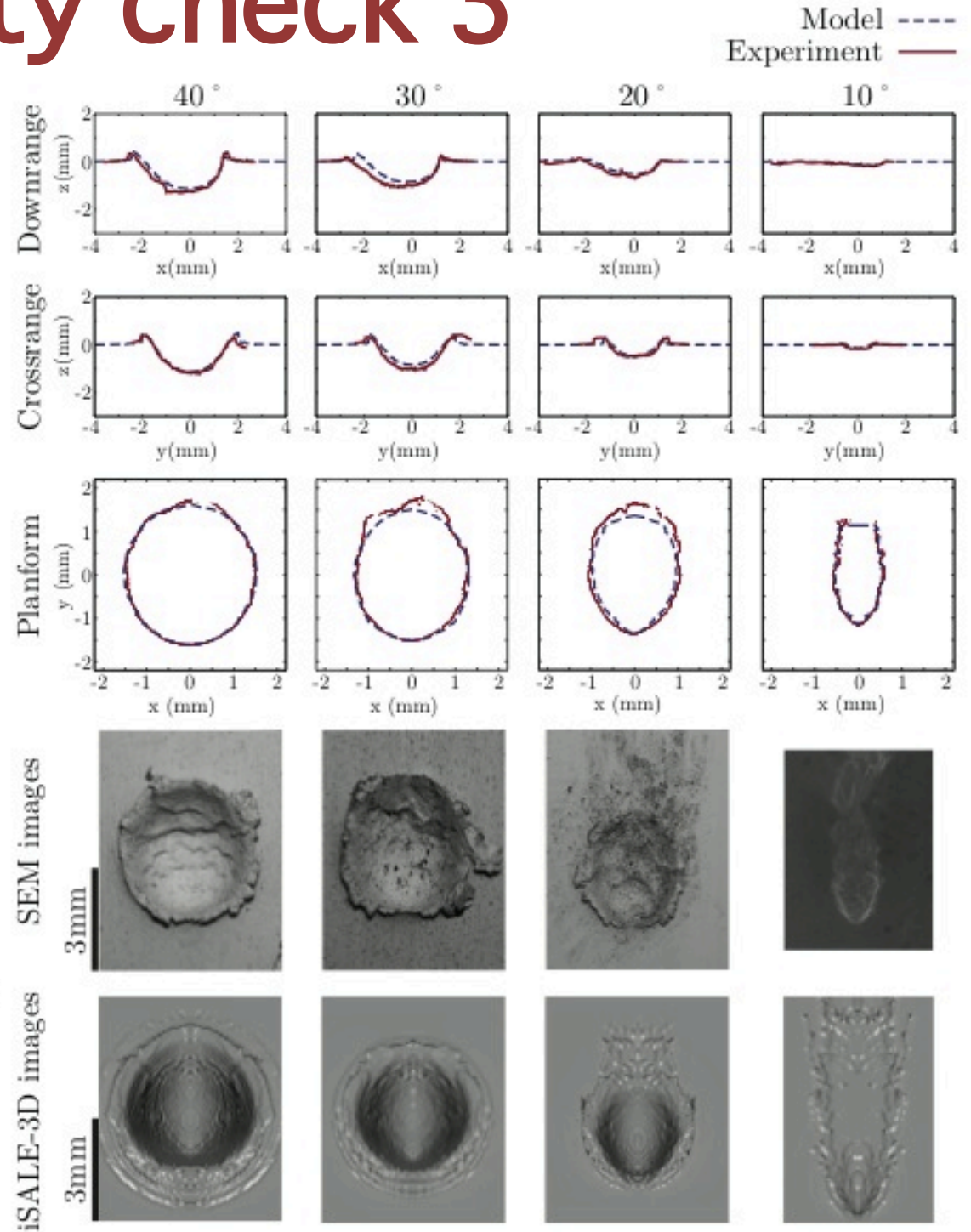
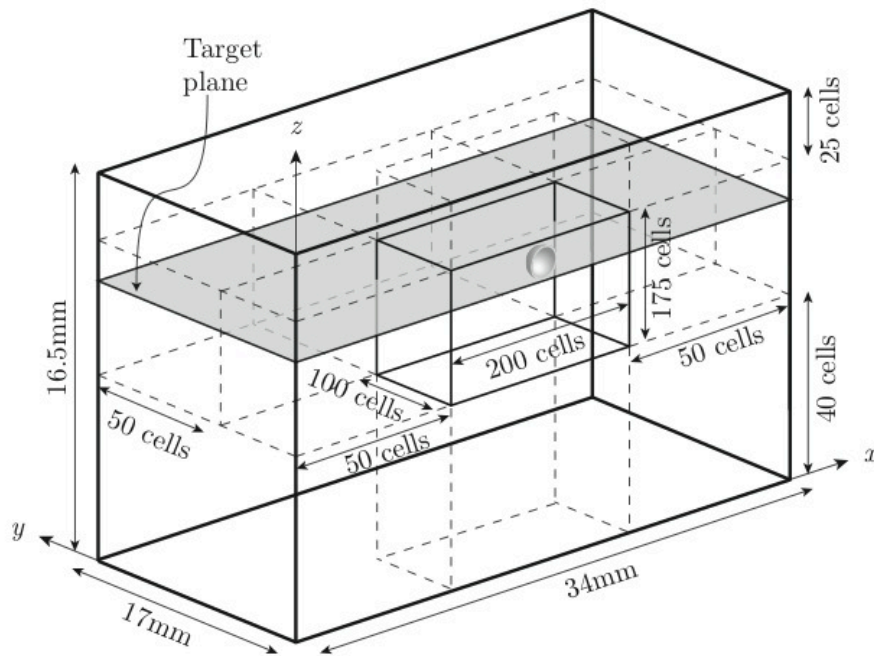
ポリカーボネイト球(直径4.8 mm)-> Al円板(2 cm厚)

強度モデルによる違い



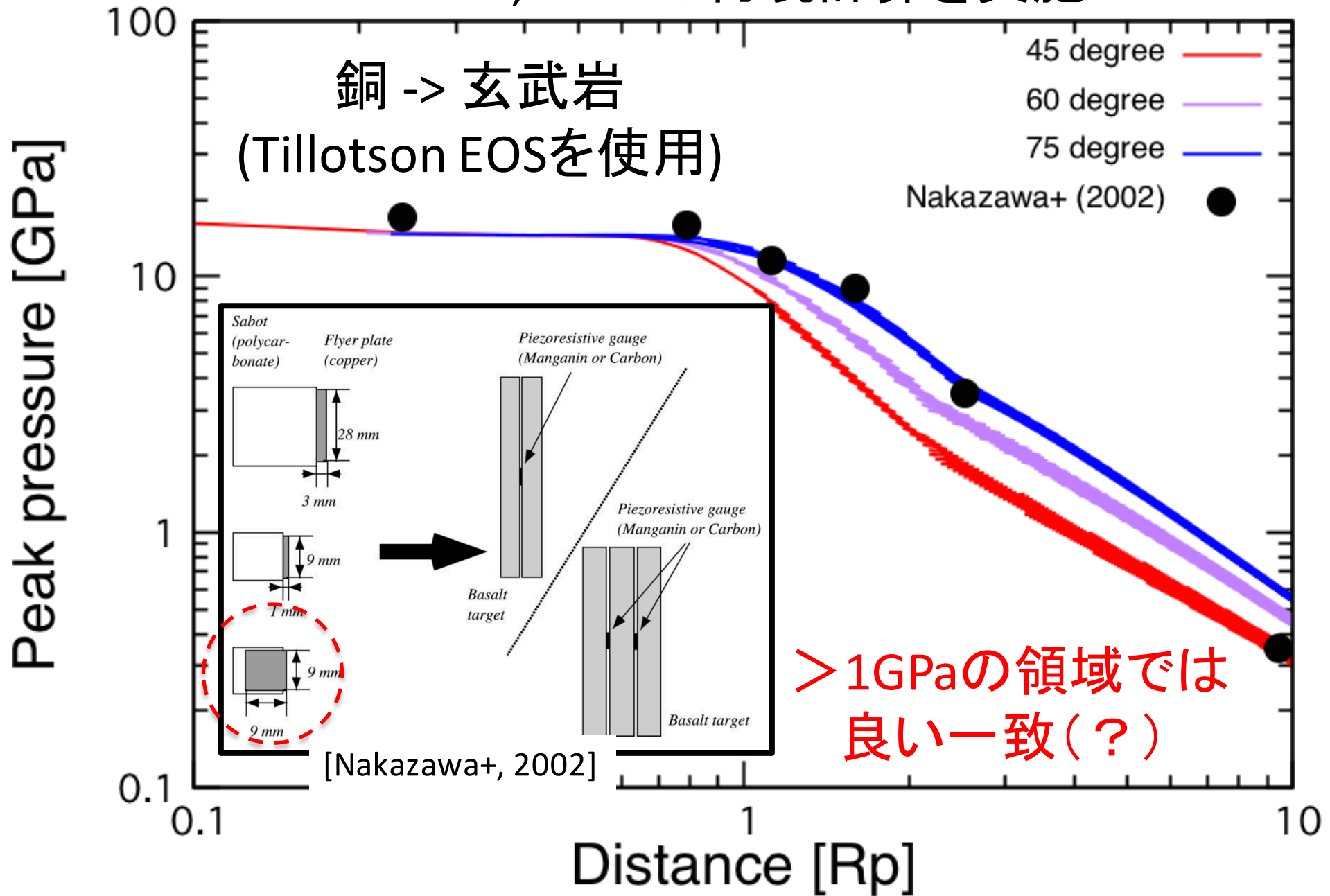
# Validity check 3

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



# Validity check 4

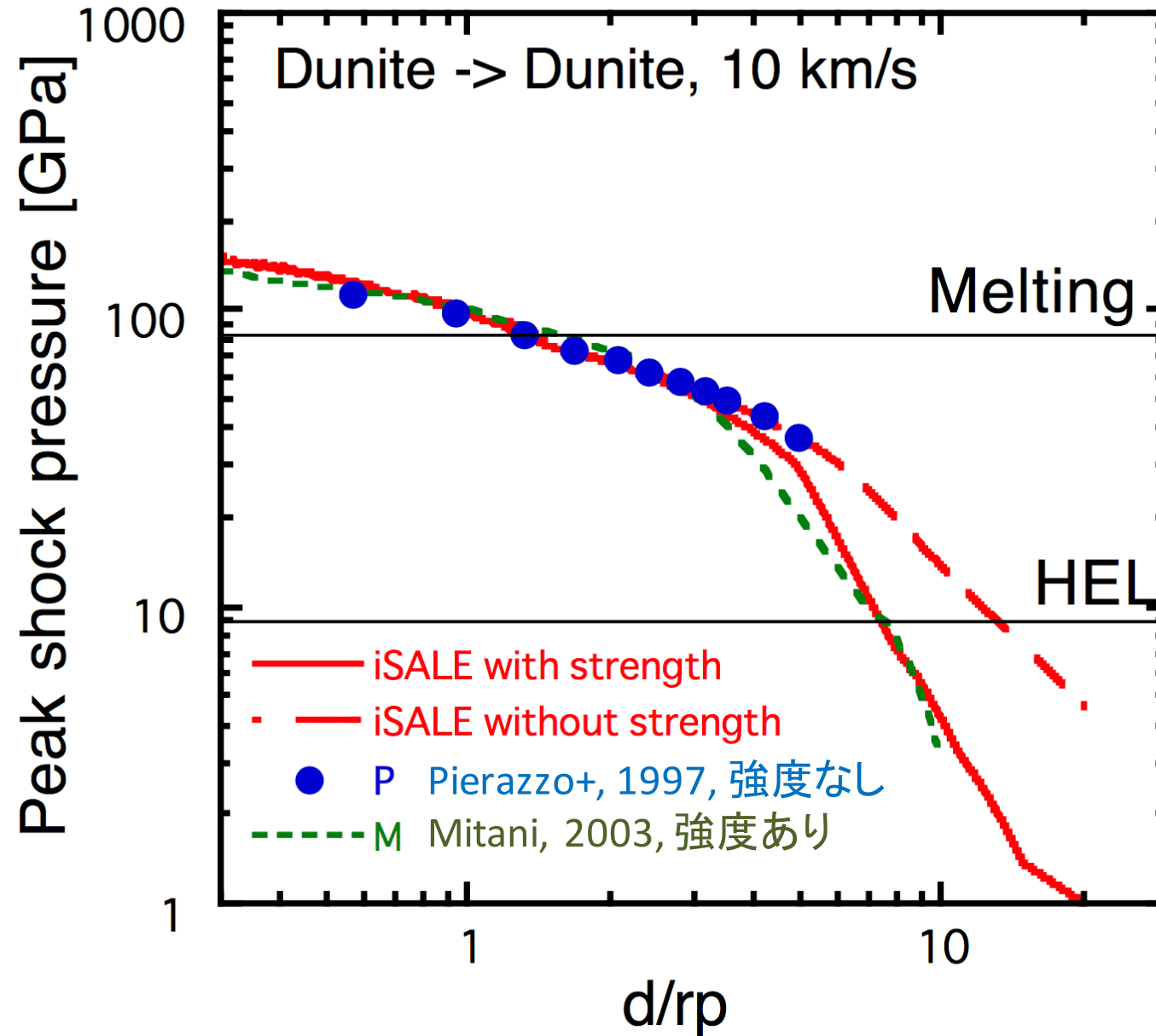
Nakazawa+, 2002の再現計算を実施





# Validity check 5

過去の数値計算との比較



# 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

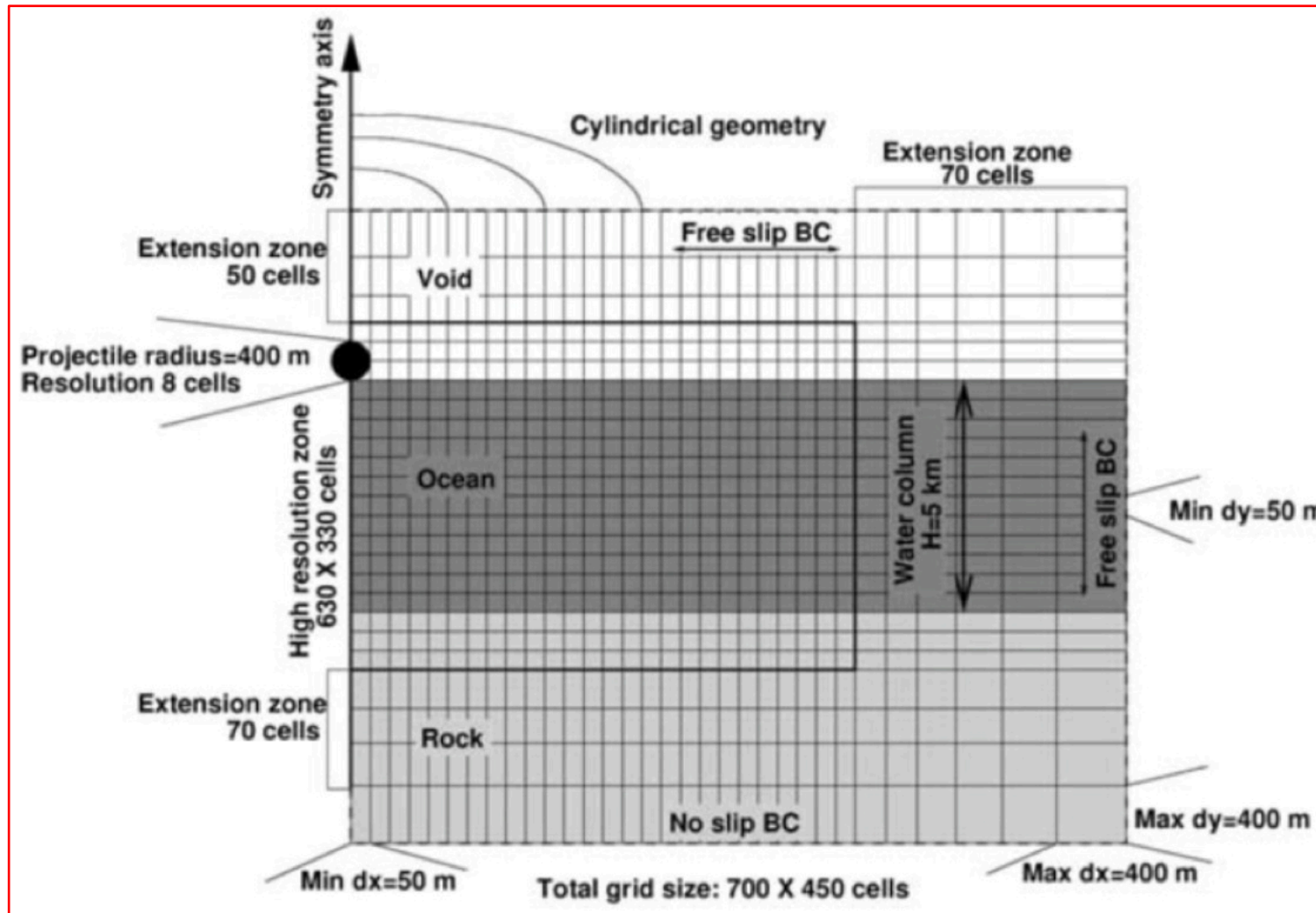
August 21, 2012

## 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

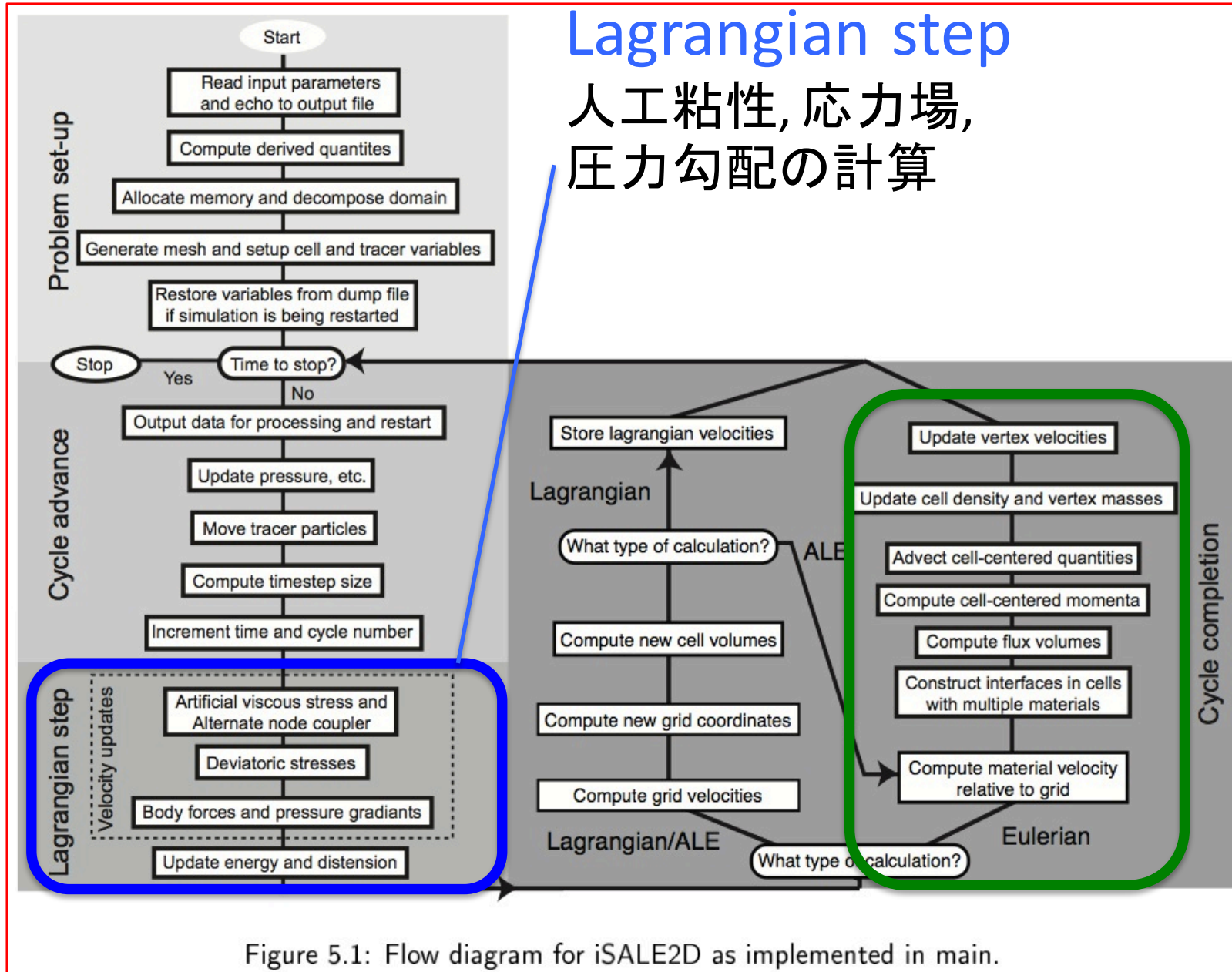
マニュアル P21



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, 玄田さんの解説資料も参照



# 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 unknow!
```

<- 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, 中村さんの解説資料

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。

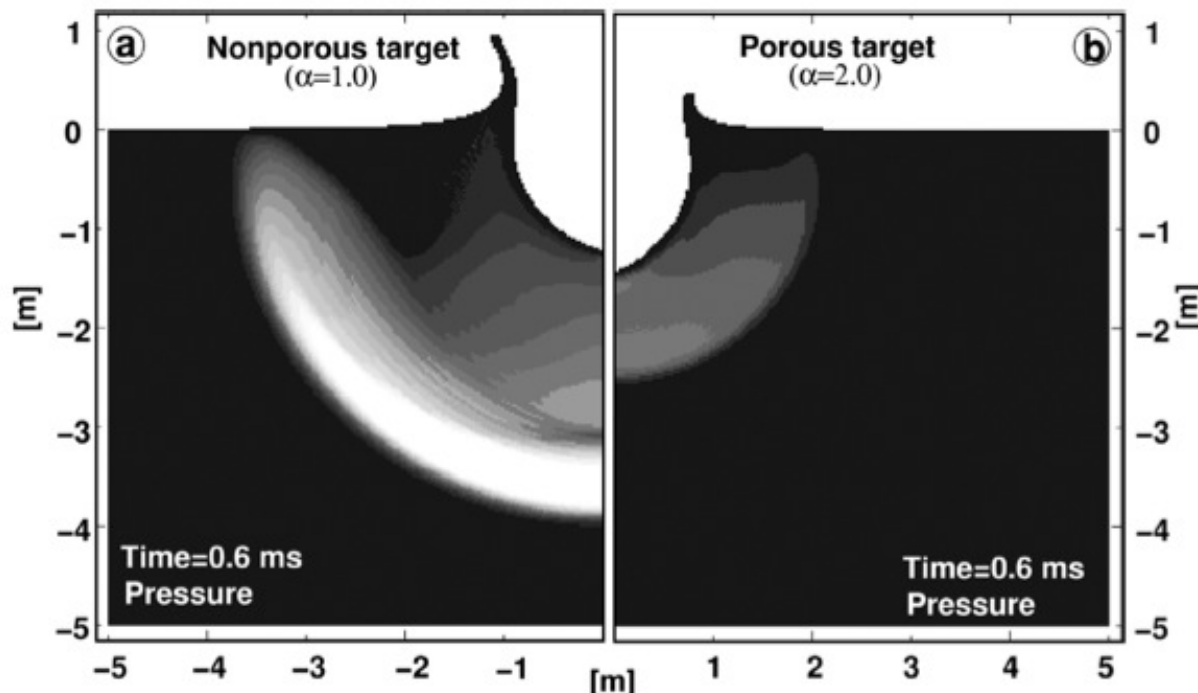
[Kerley, 1992]

[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

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



[Wunnemann et al., 2006]

# iSALE wiki

本家 <http://www.isale-code.de/redmine/projects/isale>

日本版 <https://www.wakusei.jp/~impact/wiki/iSALE/>

## 目次

### A. 下準備編

1. iSALEとは？
2. コードの入手
3. インストール
4. デモ
5. 一次元衝撃波管問題

### B. 実践編

1. デモをカスタマイズするには？
2. 計算のログを残す
3. 例. 衝突実験との比較. ポリカ球→AI板
4. 例. 二層標的のクレータリング
5. 例. 高空隙率天体への衝突天体貫入

### C. 解析編

1. iSALEplotの使い方
2. 例. クレータ形成過程
3. 例. トレーサー粒子追跡
4. 例. 衝撃温度or温度 vs 累積質量？

### D. iSALEで使われている物質モデル

1. 状態方程式？
2. 構成方程式

[iSALE users group in Japan](#) [ページ一覧](#) [検索](#) [更新履歴](#) [ログイン](#)

## iSALE users group in Japan

ようこそ！

iSALEユーザーの情報共有の場です。

メンバーによる内容の編集は自由です。

特定の問題に対するInput file例や、解析のちょっとしたコツなどみなさんの知恵を出し合って、良い成果を出せるようにしていきます。

wikiの編集法は[こちら](#)

☆第一回勉強会のお知らせ☆(無事、終了しました！)

- 目的: 参加者全員が数値計算の特性、限界をある程度把握した上で、個々人のパソコンでiSALEを走らせることができるようになること。
- 講義スライド
  - 高田淑子(宮城教育大) 「衝突流体計算の歴史」 -> [iSALEworkshop140205\\_Takata.pdf](#)
  - 玄田英典(東工大ELSI) 「衝突流体計算の計算手順」 -> [iSALEworkshop140205\\_Genda.pdf](#)
  - 中村昭子(神戸大) 「物質強度/空隙モデルの解説」 -> [iSALEworkshop140205\\_Nakamura.pdf](#)
  - 黒澤耕介(千葉工大) 「状態方程式の解説」 -> [iSALEworkshop140205\\_kurosawa2.pdf](#)
    - 「iSALEとは？」 -> [iSALEworkshop140205\\_kurosawa1.pdf](#)
    - 「描画ソフトVIMoDの使用法」 -> [VIMod\\_manual\\_kurosawa.pdf](#)

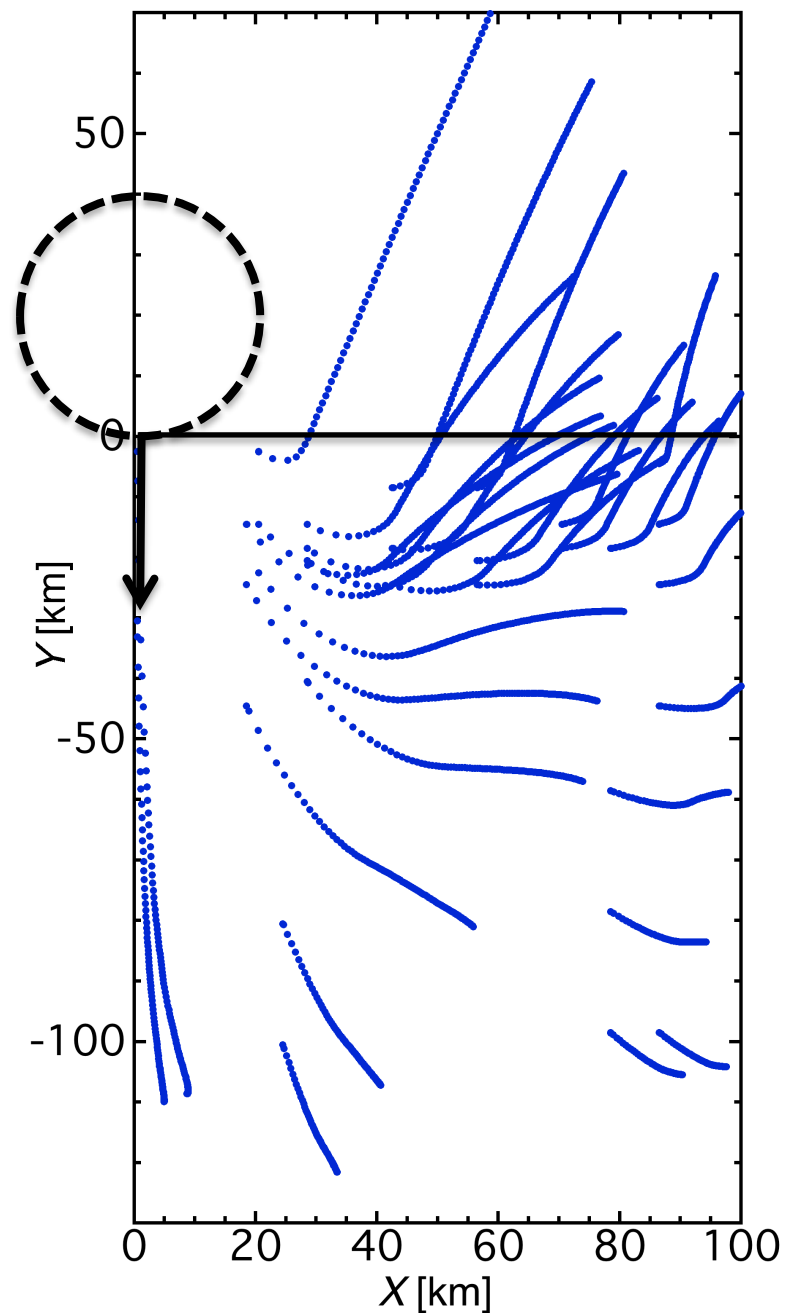
☆iSALE講習会@真夏の千葉工大を実施しました！

- サンプルプログラム集 -> [iSALE\\_sample\\_150824.zip](#)
- サンプルプログラム説明書 -> [iSALE\\_sample\\_manual.pdf](#)

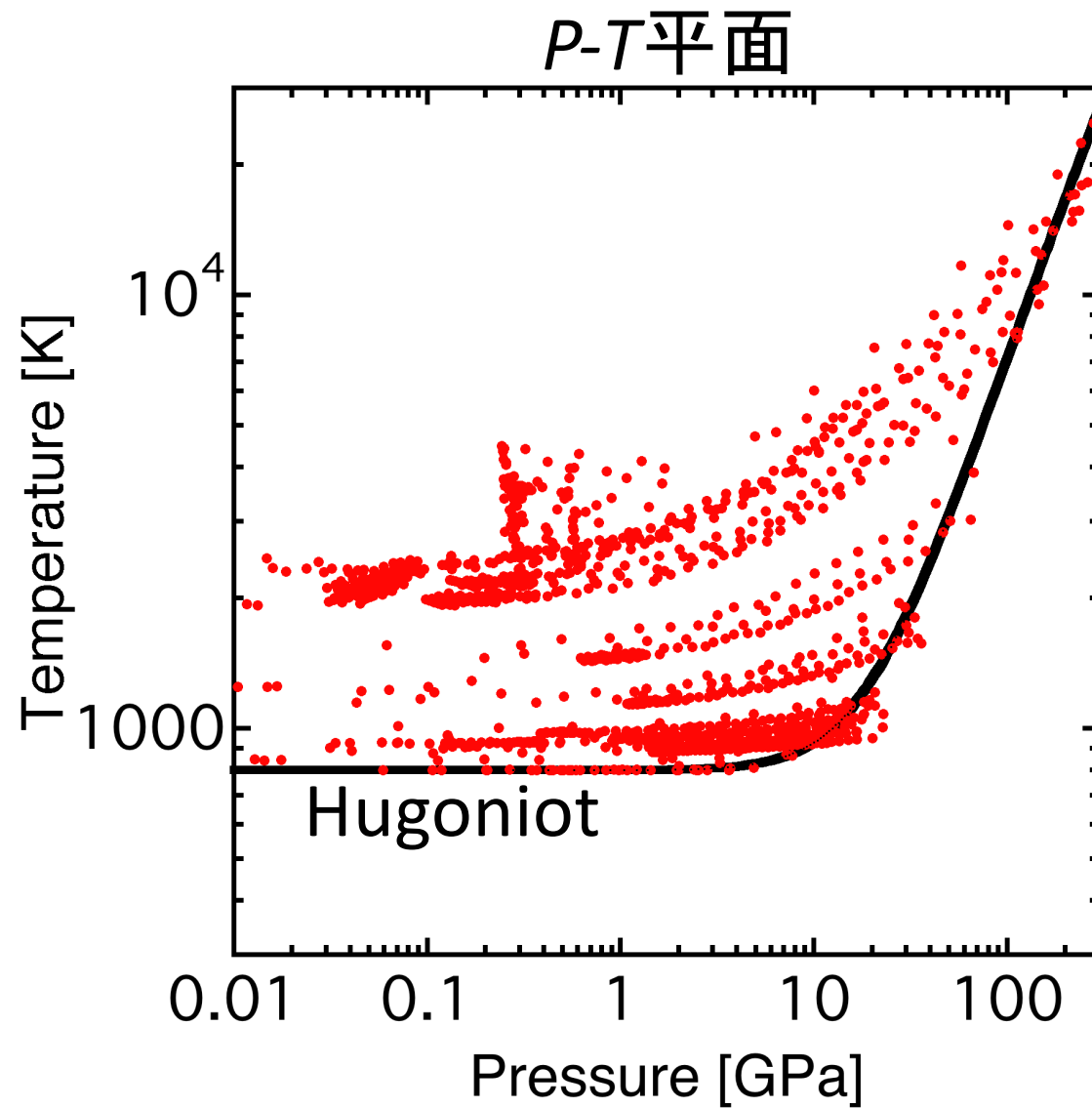
トレーサ解析のサンプルプログラムなど、公開中！



# 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.