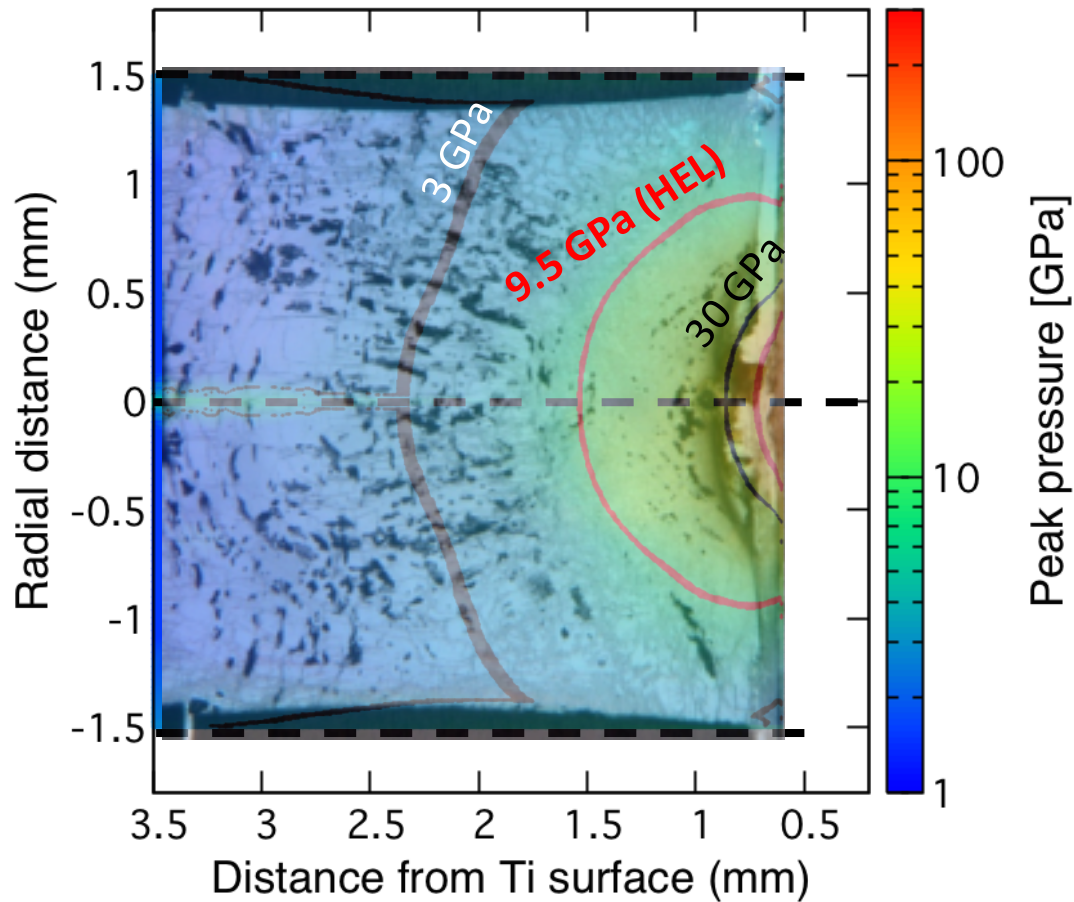
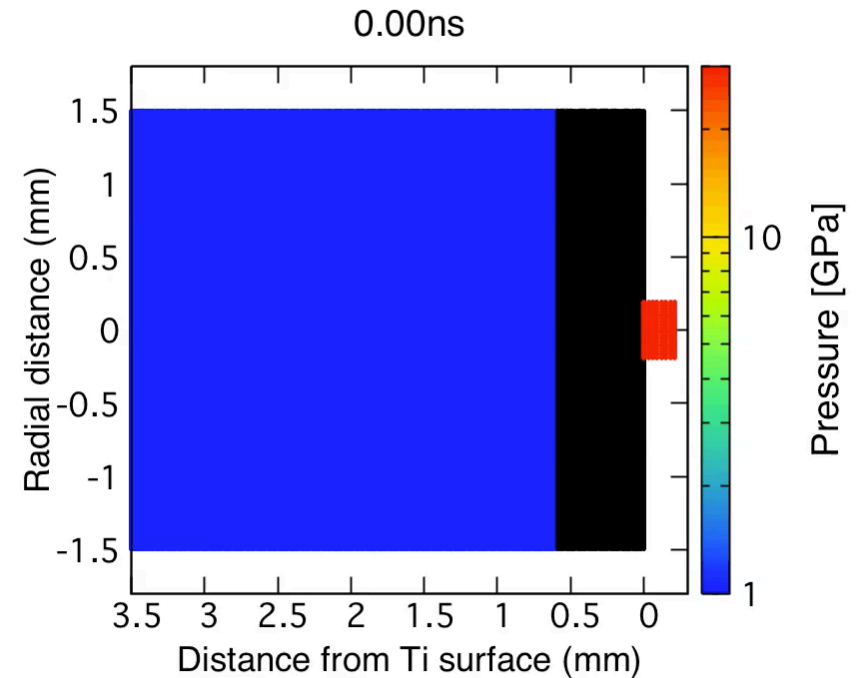


iSALEの計算出力と衝撃圧縮実験の比較



[Nagaki et al., In revision]



黒澤 耕介

千葉工業大学 惑星探査研究センター

iSALE活用法 -衝突/衝撃波伝播実験の解釈-

iSALEの特徴

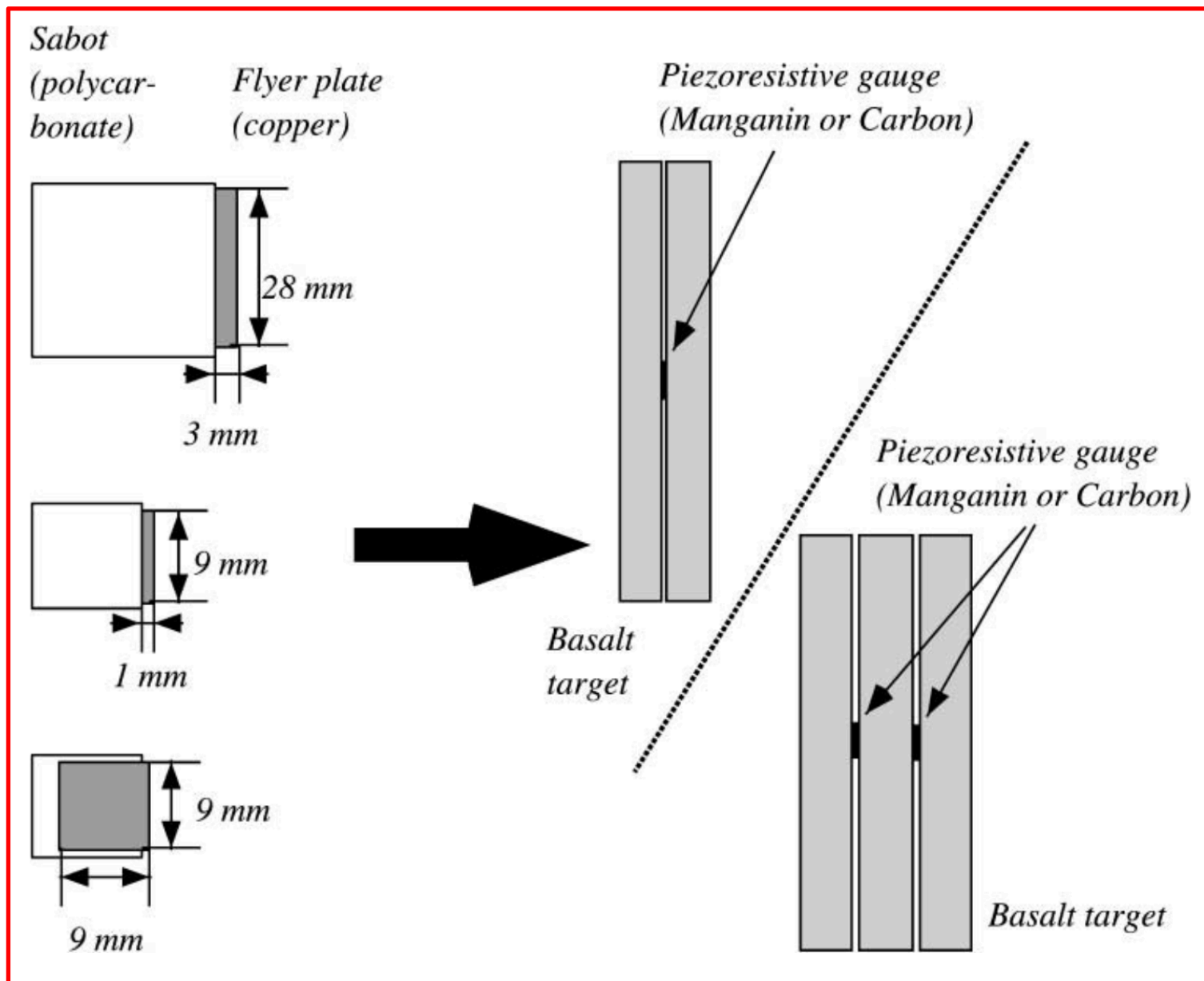
- ・3種の物質を同時に扱える.
- ・様々な物質に対応するEOSが実装されている.
- ・様々な物質の強度モデルが実装されている.
- ・初学者でも比較的簡便に初期配置を変更できる.

自身が行った実験の結果と計算出力の比較が容易.

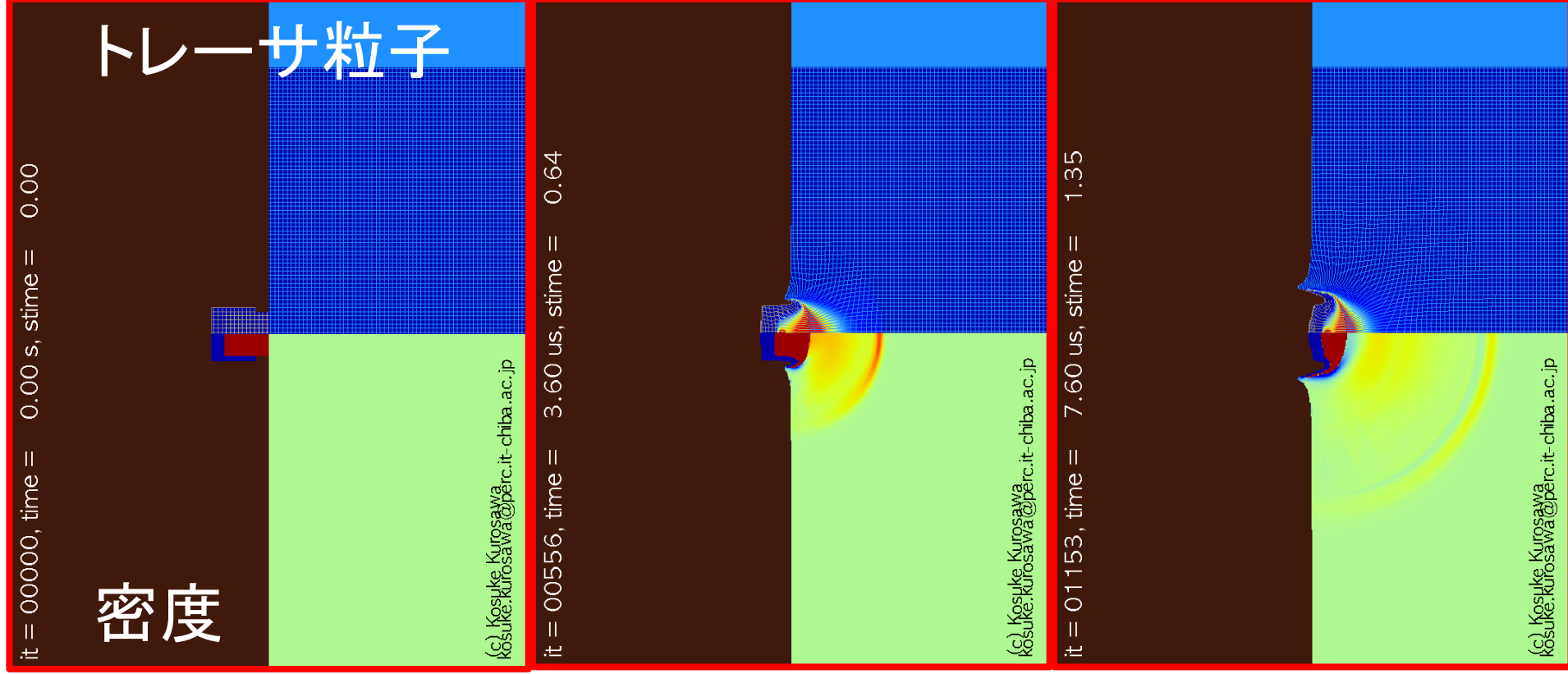
- > 標的内部の衝撃波の伝播過程を可視化することで,
- ・実験のデザイン
 - ・データ解析の方針
 - ・結果の解釈
- を助けてくれる.

Nakazawa et al., 2002, Icarusとの比較

衝突実験で玄武岩中の衝撃圧減衰率を計測



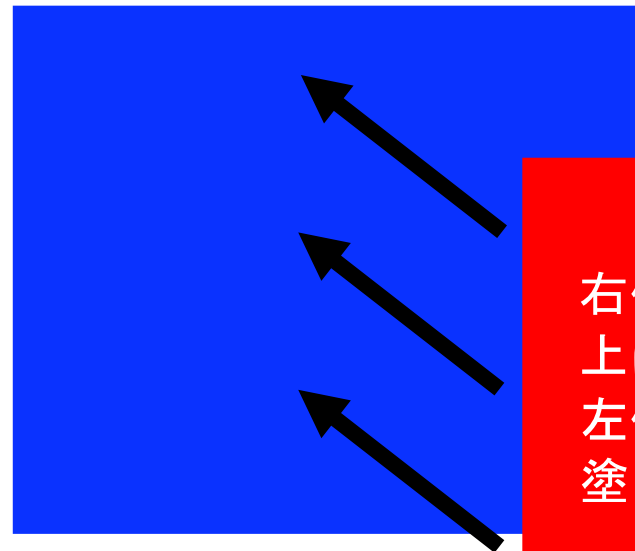
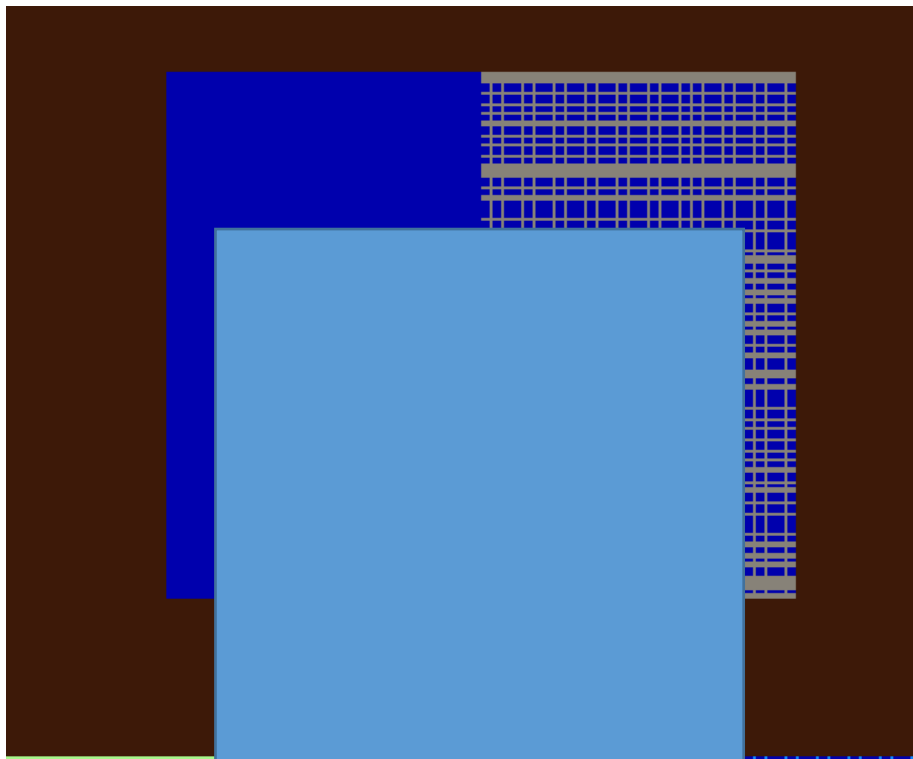
iSALEによる再現計算例



VIMoDで描画.

asteroid.inp

```
----- Projectile ("Object") Parameters -----  
OBJNUM      number of objects           :2  
OBJRESH     CPPR horizontal             (:30) (:25)  
OBJRESV     CPPR vertical               (:25) (:25)  
OBJVEL      object velocity             (-1.6D+3) (-1.6D+3)  
OBJMAT      object material             (:sabot__) (:proj___)  
OBJTYPE     object type                  (:CYLINDER) (:CYLINDER)  
OBJOFF_V    proj offset (ver)          (:15) (: 0)
```



右側の列の物質が
上に重なる。
左側に列の物質は
塗りつぶされる。

material.inp

MATNAME	Material name	: proj___	: sabot__	: sample_
EOSNAME	EOS name	: copper_	: polycar	: basalt_
EOSTYPE	EOS type	: tillo	: tillo	: tillo
STRMOD	Strength model	: JNCK	: HYDRO	: ROCK
DAMMOD	Damage model	: NONE	: NONE	: COLLINS
ACFL	Acoustic fluidisation	: NONE	: NONE	: NONE
PORMOD	Porosity model	: NONE	: NONE	: NONE
THSOFT	Thermal softening	: JNCK	: NONE	: OHNAKA
LDWEAK	Low density weakening	: NONE	: NONE	: POLY

Projectile

Plastic sabot

標的試料

iSALEPlotによるトレーサ粒子書き出し

「./Plotting/TrpTrt.inp」の中身 (iSALEPlotのインプット)

```
#ISPLT
-----
VERSION    __DO NOT MODIFY__                : 2.0
-----
PLOT TYPES AND TIME STEPS -----
PLOTTYPE   Type of plot (right and left panel) : Trp : Trt
TIMESTEP   First and last files to be read   : 0 : 200
INCREMNT   Spacing between files to be read   : 1
-----
GRID GEOMETRY -----
GRIDH      Min and max i number for plotting : 1 : 1
GRIDV      Min and max j number for plotting : 1 : 1
-----
TRACER PARAMETERS -----
TR_TYPE    Tracer lines, grid or points (1,2,3) : 1
TR_SPACE   Spacing between tracers to be plotted : 10
TR_SIZE    Size of tracer plot marker         : 1
-----
PLOTTING PARAMETERS -----
TITLES     Should titles be plotted? (1=yes,0=no) : 1
PANEL      Double (2) or single (1) panel plot : -2
PLOTSIZE   Plot width and Height (inches)      : 12. : 9.
DEVICE     Graphics device and extension       : png/png
```

ポイントは赤字で囲んだ部分. 出力は次ページ

iSALEPlotによるトレーサ粒子出力例

```
#Data exported at simulation time: 0.1000E+01
#Data columns: tracer unit, tracer IDTrp, Trt
#Total number of tracer units: 2
#Number of tracers per unit: 988 9900
1 1 1.2247E+02 -5.7355E+03 1.1097E+10 3.6122E+03
1 2 1.1680E+02 -5.7230E+03 1.1097E+10 3.6122E+03
1 3 1.1077E+02 -5.7092E+03 1.1097E+10 3.6122E+03
1 4 1.0405E+02 -5.6927E+03 1.0128E+10 3.8999E+03
1 5 9.7566E+01 -5.6741E+03 1.0086E+10 3.9126E+03
1 6 9.1850E+01 -5.6530E+03 1.0086E+10 3.9126E+03
1 7 8.6943E+01 -5.6269E+03 1.0086E+10 3.9126E+03
1 8 8.2886E+01 -5.5938E+03 8.9183E+09 3.8625E+03
1 9 7.9716E+01 -5.5544E+03 8.9183E+09 3.8625E+03
1 10 7.7365E+01 -5.5120E+03 8.9183E+09 3.8625E+03
1 11 7.5682E+01 -5.4689E+03 7.8867E+09 3.7965E+03
1 12 7.4546E+01 -5.4250E+03 7.8867E+09 3.7965E+03
1 13 7.3898E+01 -5.3796E+03 7.1330E+09 3.7335E+03
1 14 7.3712E+01 -5.3329E+03 7.1330E+09 3.7335E+03
1 15 7.3942E+01 -5.2857E+03 6.4499E+09 3.6591E+03
1 16 7.4516E+01 -5.2389E+03 6.4499E+09 3.6591E+03
1 17 7.5371E+01 -5.1930E+03 5.9063E+09 3.5795E+03
1 18 7.6464E+01 -5.1480E+03 5.9063E+09 3.5795E+03
1 19 7.7759E+01 -5.1042E+03 5.9063E+09 3.5795E+03
1 20 7.9226E+01 -5.0618E+03 5.3519E+09 3.4849E+03
1 21 8.0833E+01 -5.0208E+03 5.3519E+09 3.4849E+03
1 22 8.2560E+01 -4.9812E+03 4.7048E+09 3.3714E+03
1 23 8.4379E+01 -4.9432E+03 4.7048E+09 3.3714E+03
1 24 8.6284E+01 -4.9067E+03 4.7048E+09 3.3714E+03
1 25 8.8262E+01 -4.8716E+03 3.8886E+09 3.2387E+03
1 26 9.0291E+01 -4.8380E+03 3.8886E+09 3.2387E+03
```

一つのファイルにある時刻の
全トレーサ粒子の
X, Y, P, Tが格納されている。

Index	通番号	R座標	Z座標	圧力	温度
-------	-----	-----	-----	----	----

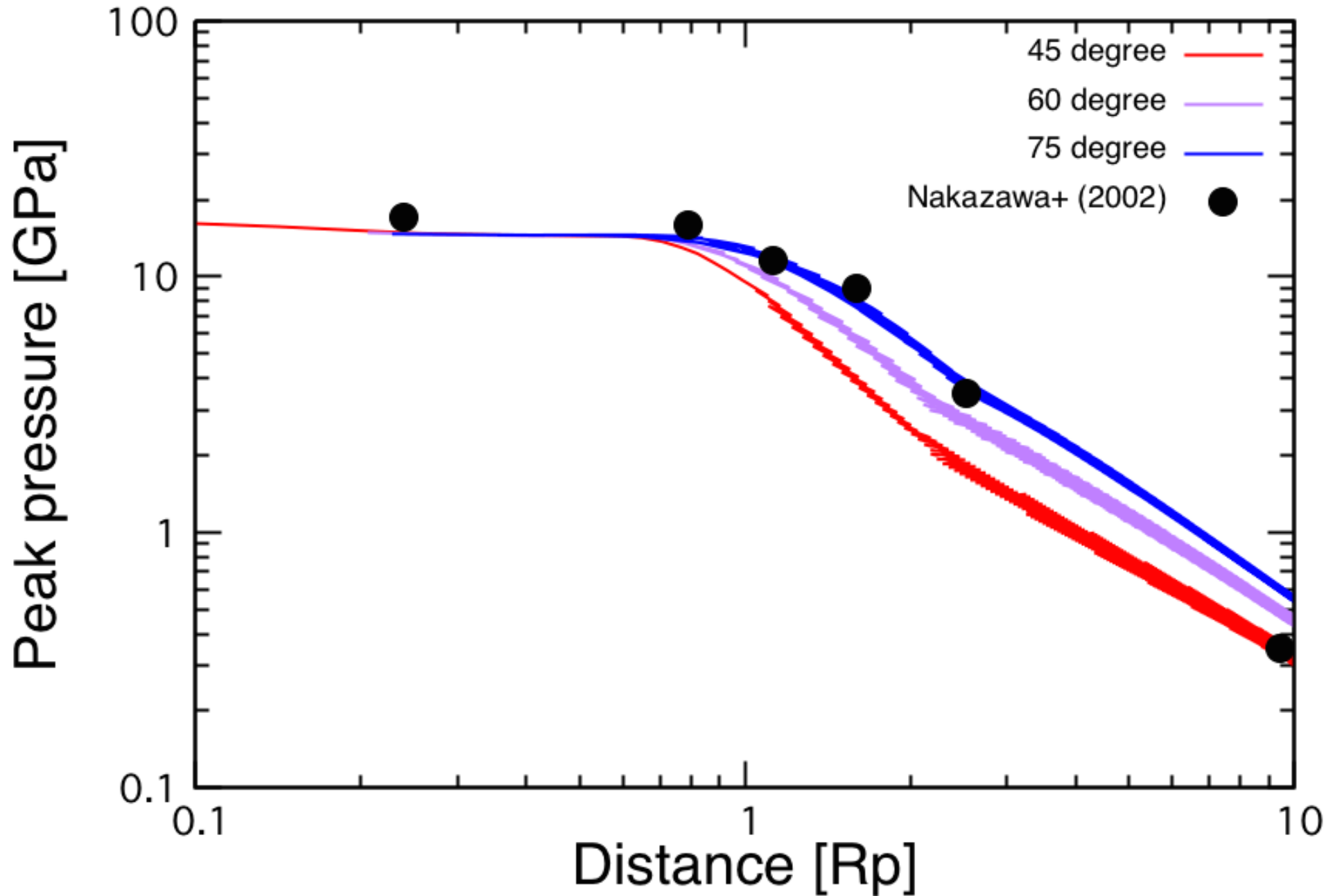
トレーサ粒子解析プログラムの流れ

1. 「./export」と「./export_max」からトレーサ粒子データ TrpTrtXXXXX.txtを読み込み, 配列に格納.
2. 適当な条件処理, もしくは演算を施し調べたい物理量を算出する.
3. データを書き出す.

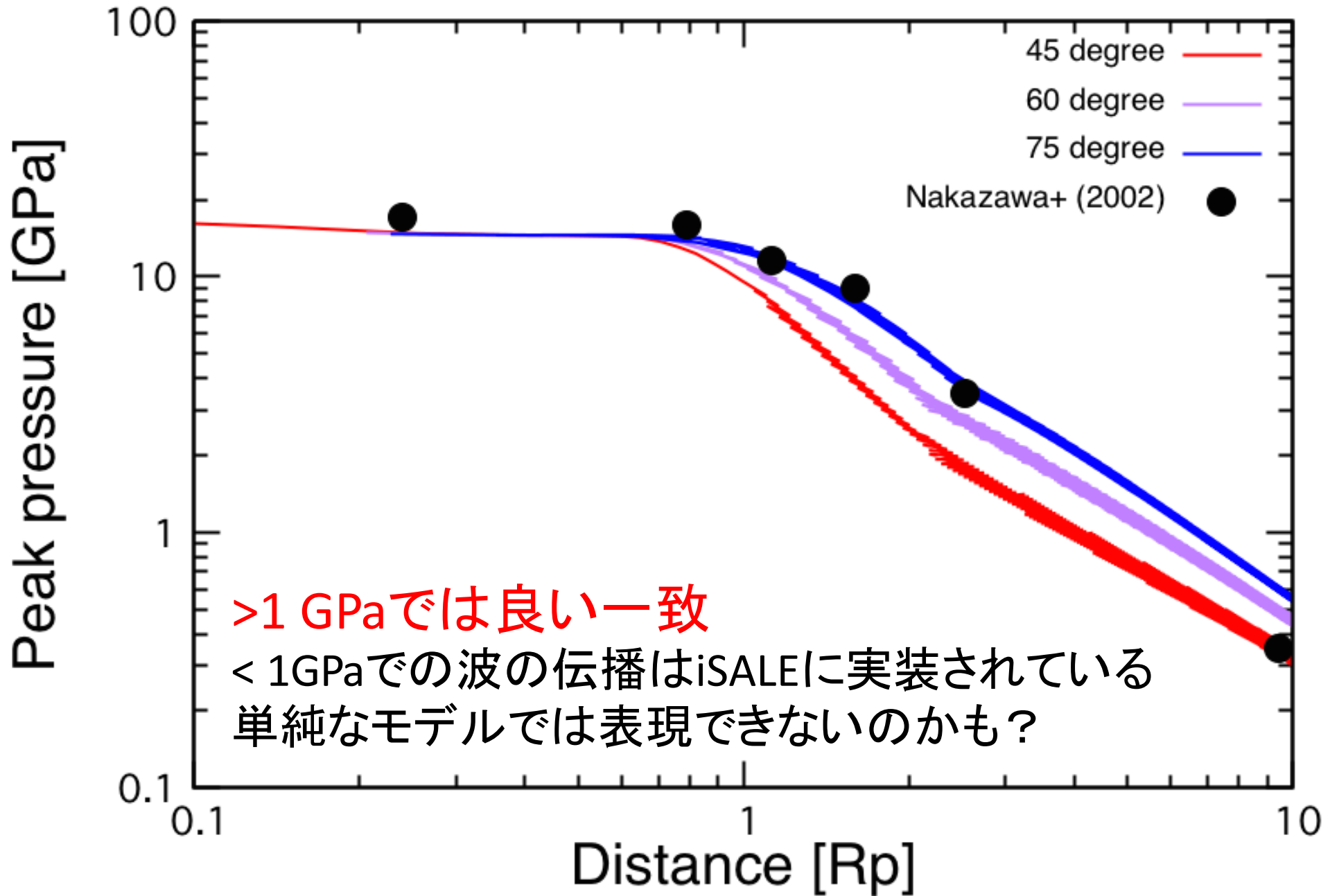
今回の処理

- a. 衝突点からある角度方向にあるトレーサ粒子を抜き出す.
- b. 衝突点からの距離の関数として経験した最大衝撃圧を出力する.

実験結果と計算結果の比較

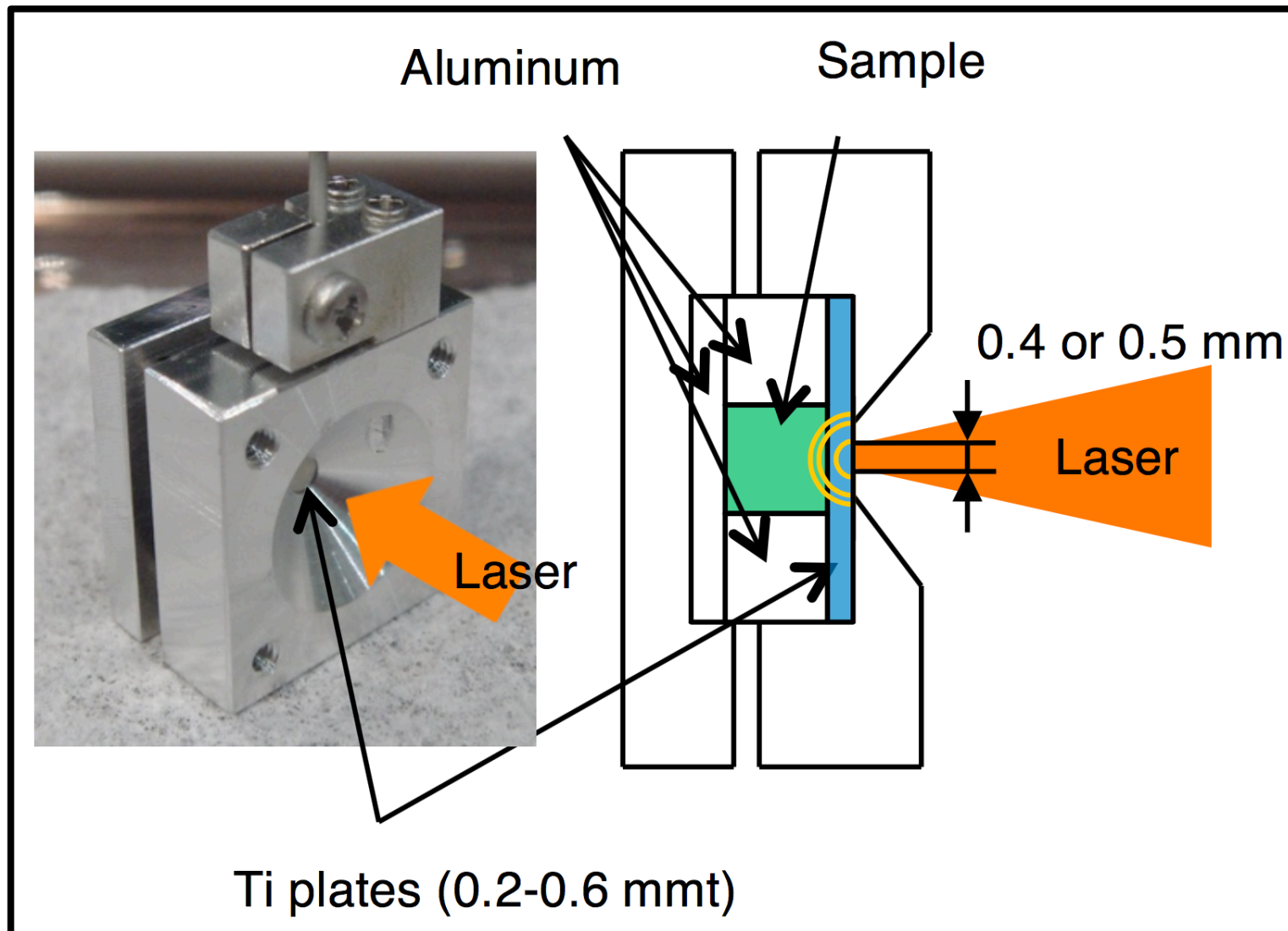


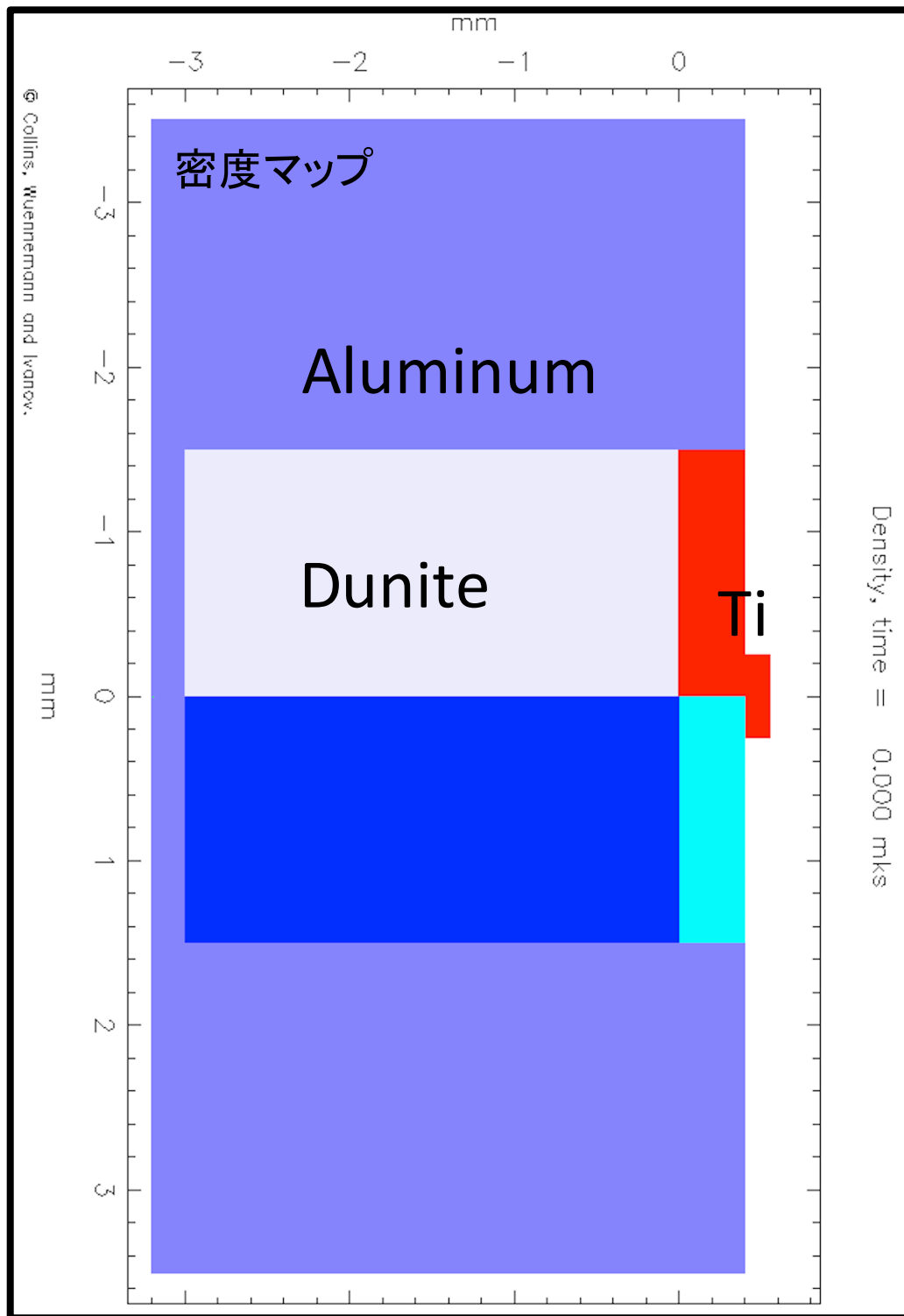
実験結果と計算結果の比較



レーザー衝撃実験との比較

高強度レーザーを用いて試料中に強い衝撃波(>100 GPa)を発生.
衝撃波の減衰を利用して,幅広い衝撃圧を経験した試料を一度に回収.





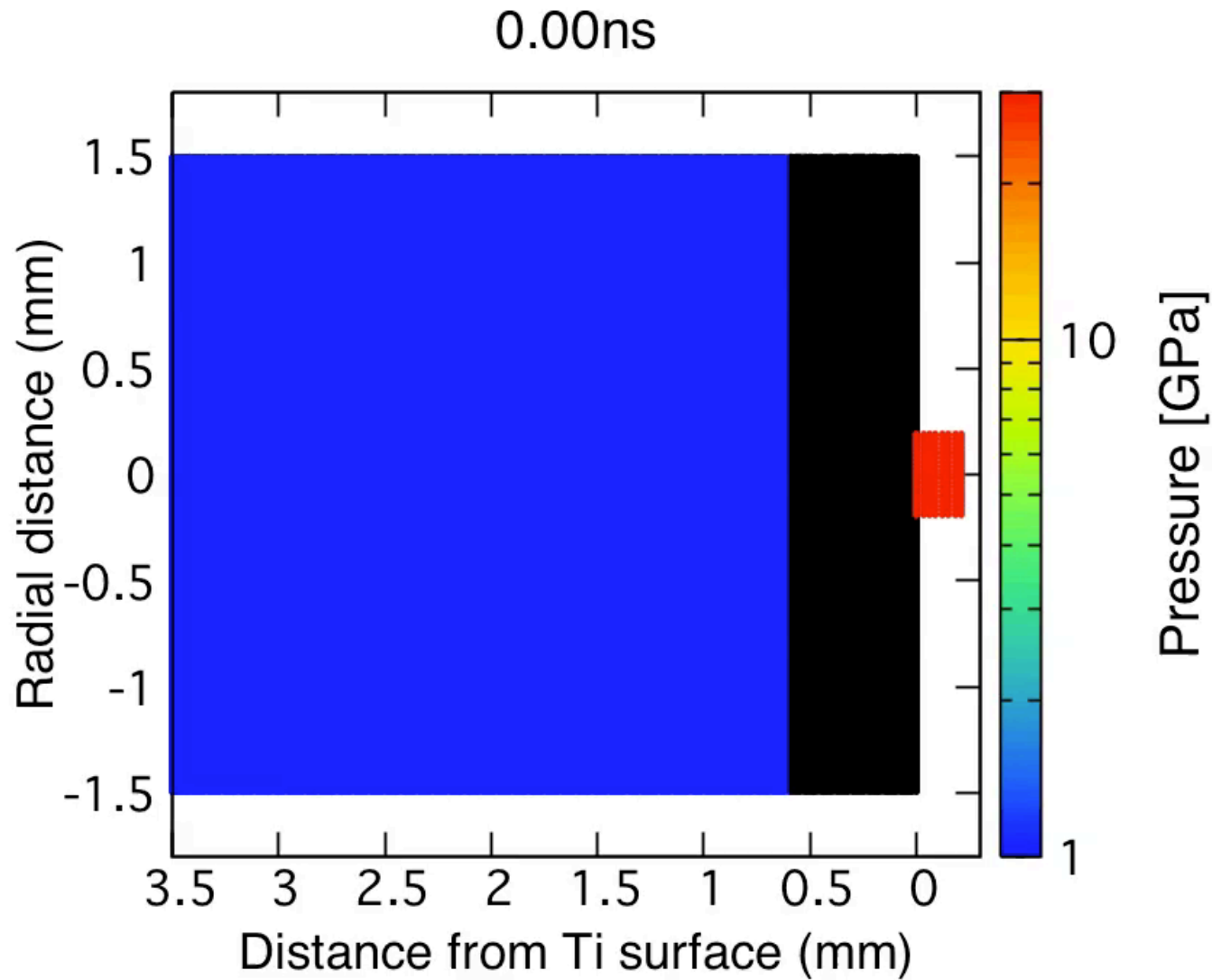
<-初期条件設定

レーザーパルスを
Ti飛翔体で代用.

レーザーパルス照射で
発生する衝撃圧の近似式.

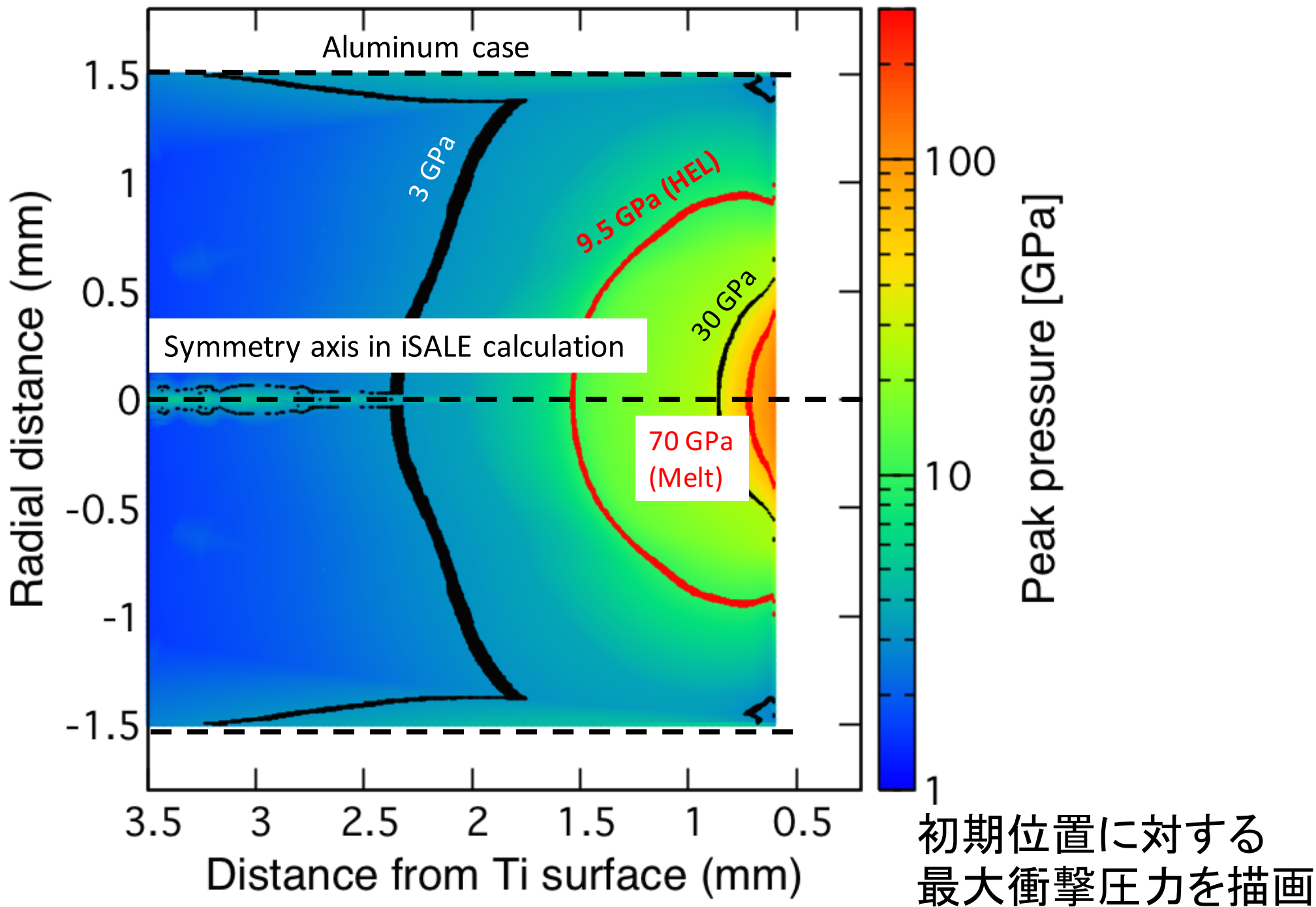
レーザーパルス持続時間
&最大衝撃圧
->Ti飛翔体の速度と
厚みを決定.

iSALE計算結果例

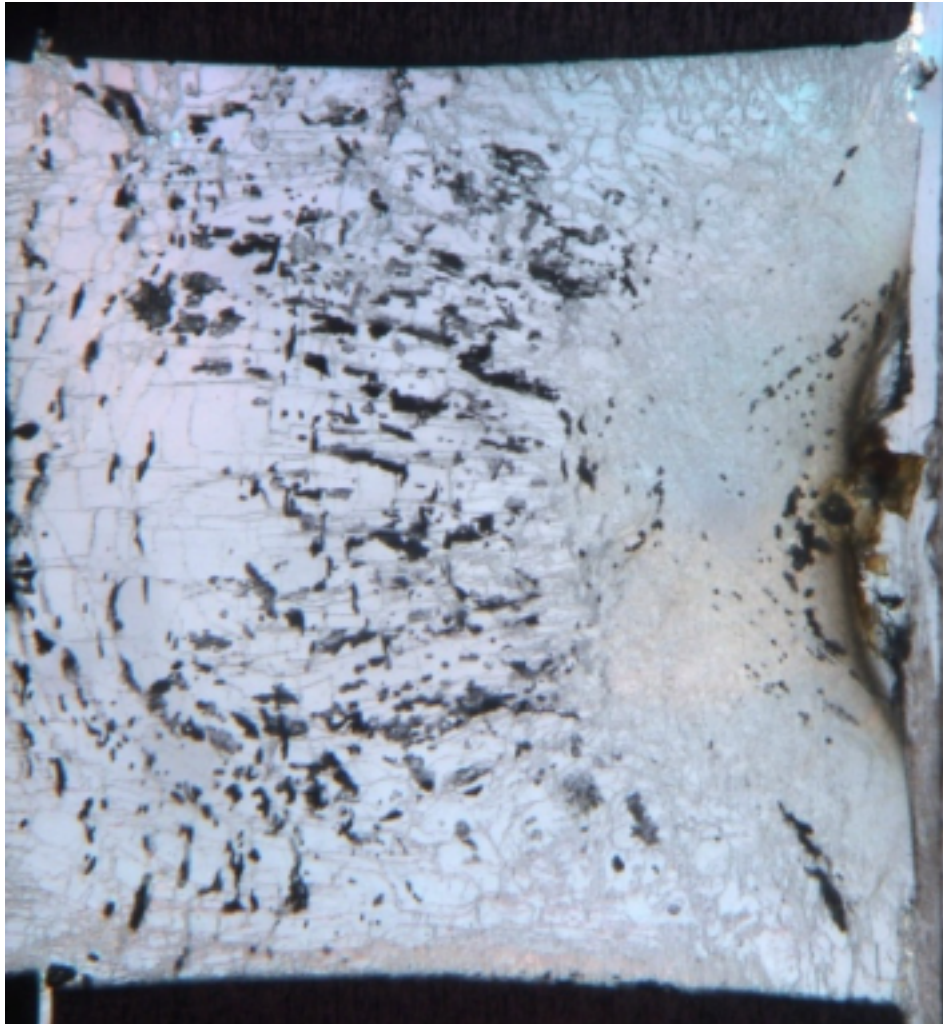


Tracer粒子を書き出してgnuplotで描画

Run22 Quartz 430 GPa, Ti 240 μm



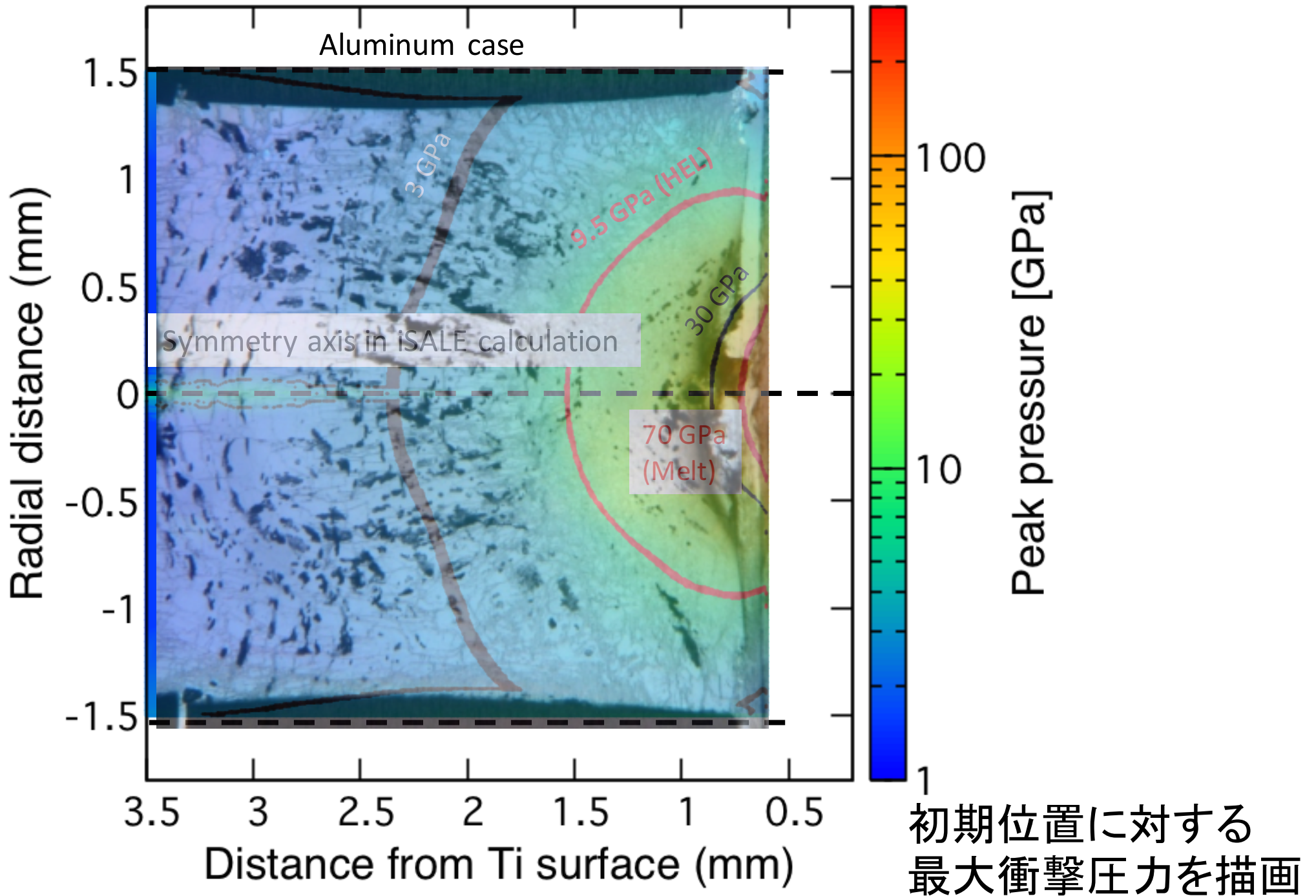
回収試料の電子顕微鏡写真



[Nagaki et al., In revision]

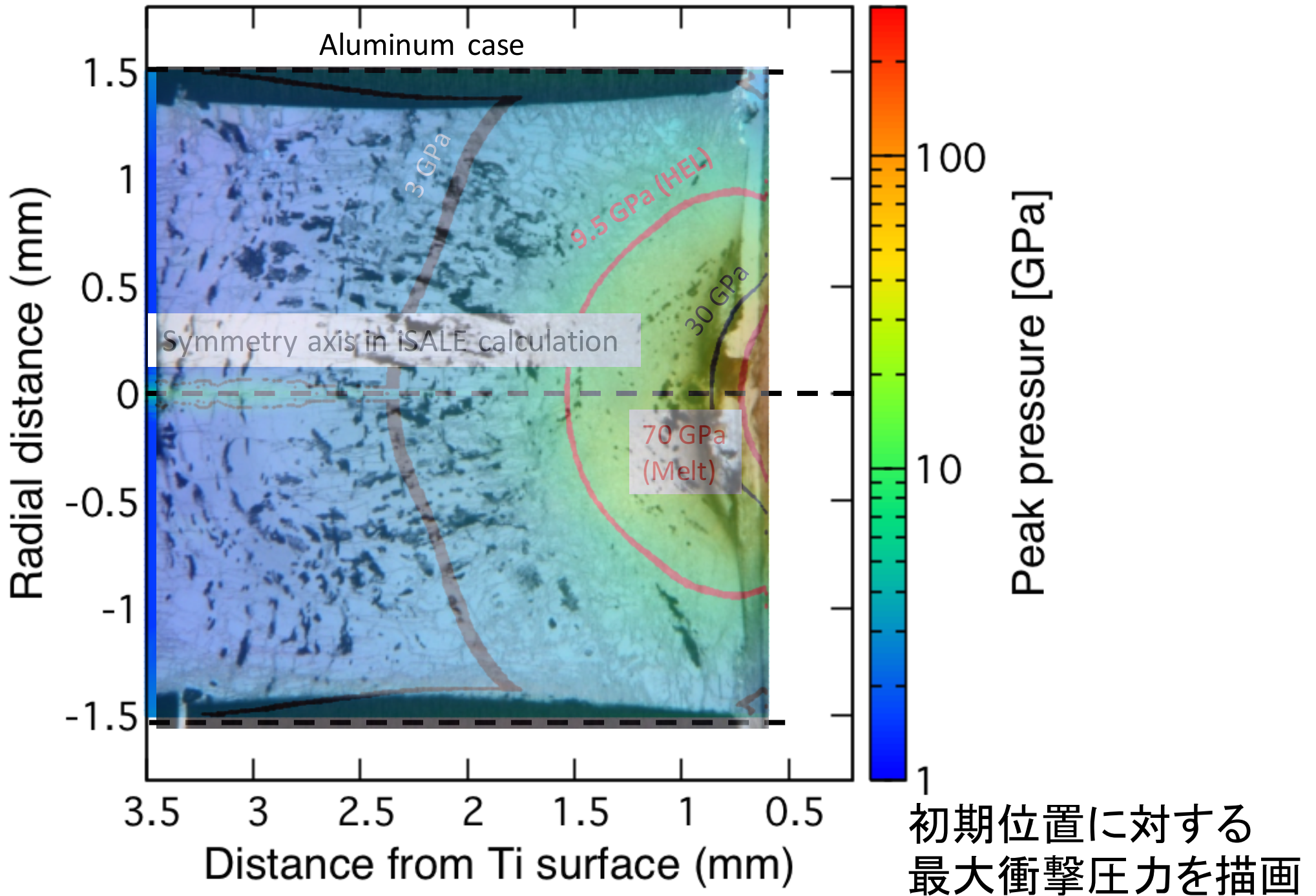
Run22 Quartz 430 GPa, Ti 240 μm

[Nagaki et al., In revision]



Run22 Quartz 430 GPa, Ti 240 μm

[Nagaki et al., In revision]



計算結果から示唆されること

- ☆ 解放後に熔融するほどの衝撃圧を経験した物質は初期位置から移動してしまう(押し込まれる).
- ☆ HELを超える衝撃圧を受けた物質はほぼ初期位置にとどまるようだ.
- ☆ アルミケースからの反射衝撃波の影響で1 GPaの等圧線は歪むらしい.

外から観測することが困難な実験では
iSALEによる再現計算が解釈を助けてくれる.

まとめ

iSALEを用いた衝撃波伝播実験の再現計算

- ☆ <100 GPa & > 1GPaの領域では実験結果をよく再現できるようだ.
- ☆ 不透明な試料中の衝撃波を可視化することで、実験結果の解析方針決定, 結果の解釈に役立つ.

謝辞: iSALEの開発者であるGareth Collins, Kai Wünnemann, Boris Ivanov, H. Jay Melosh, Dirk Elbeshausenの各氏に感謝致します.

Special thanks: 門野 敏彦 氏