

高エネルギー物理のための **PHITS** シミュレーション

坂木 泰仁

KEK

基礎研究会 素粒子物理学の進展 (PPP) 2023

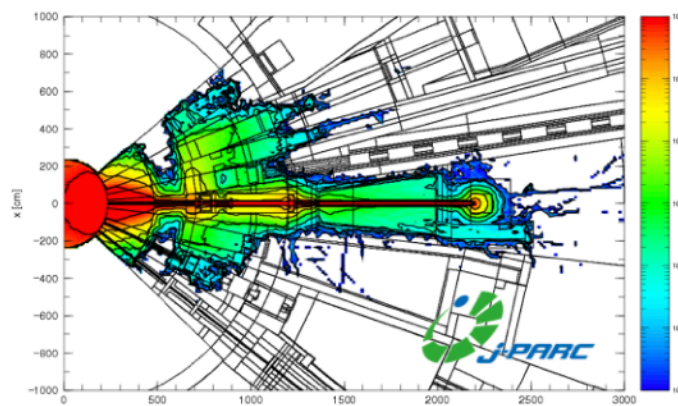
PHITSとは？

Particle and Heavy Ion Transport code System

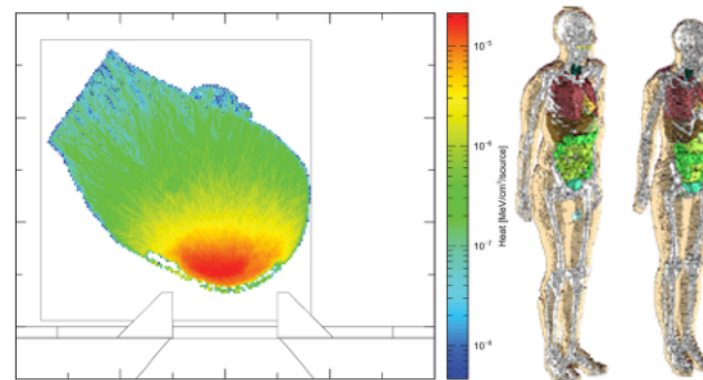
基本特性

任意の体系中における様々な放射線の挙動を、核反応モデルや核データライブラリを用いて模擬する**モンテカルロ計算コード**

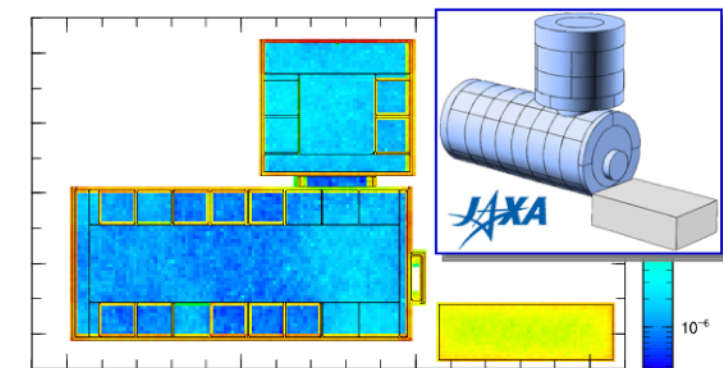
適用例



加速器遮へい設計



放射線治療&防護研究



宇宙・地球惑星科学

入手方法

- ✓ 利用申請書をPHITSホームページより提出*
- ✓ **全ての構成要素** (ソースコード、実行ファイル、データライブラリ、画像出力ツールなど) が集約されたパッケージを無償で入手可能

* <http://phits.jaea.go.jp/> 申請から配布までは3週間程度の時間を要する

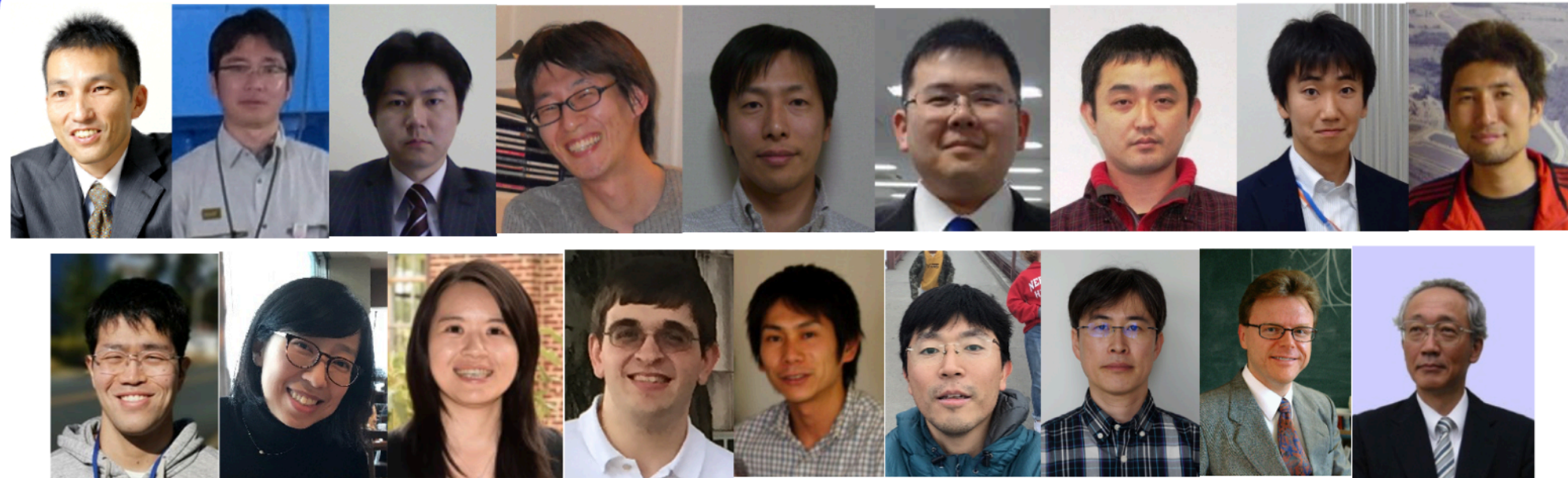
PHITSとは

- 世界的に用いられている粒子輸送コード。例えば、あるエネルギーをもった粒子が物質の中でどのような反応を起こし、どのような二次粒子が発生し、それらがどのようにに進んでいくかをシミュレーションするソフトウェア。
- 個人的には[粒子物理屋のおもちゃ](#)。高精度だけど**簡単**！そして楽しい！

開発チームメンバー

佐藤達彦¹, 岩元洋介¹, 橋本慎太郎¹, 小川達彦¹, 古田琢哉¹, 安部晋一郎¹,
 甲斐健師¹, 松谷悠佑¹, 松田規宏¹, 平田悠歩¹, Lan Yao¹, Pi-En Tsai^{1*},
 Hunter Ratliff^{1**}, 岩瀬広², 坂木泰仁², 執行信寛³, Lembit Sihver⁴, 仁井田浩二⁵

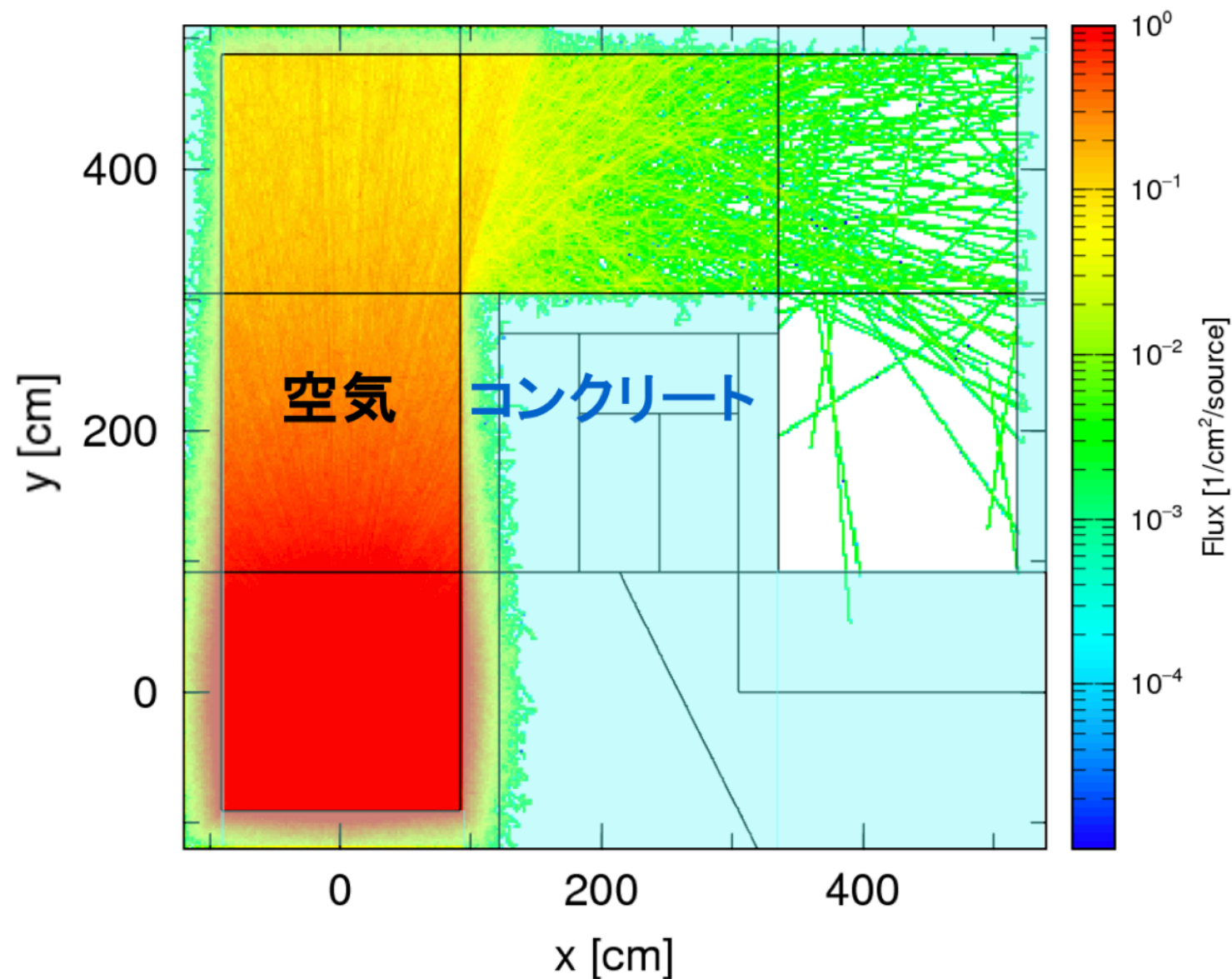
1. 日本原子力研究開発機構 (JAEA), 日本
2. 高エネルギー加速器研究機構 (KEK), 日本
3. 九州大学, 日本
4. ウィーン工科大学, オーストリア
5. 高度情報科学技術研究機構 (RIST), 日本



現所属: *Zap Energy, USA; **HVL, Norway

PHITS計算結果の例

no. = 1, ie = 1, iz = 1, it = 1

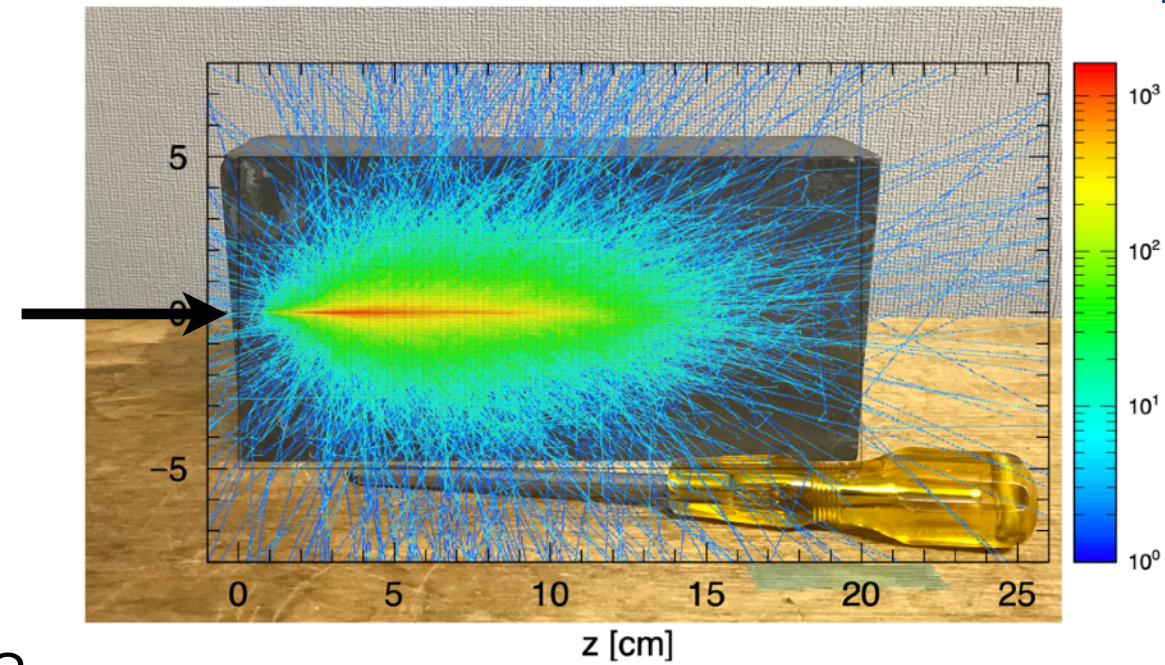


^{137}Cs から放出された100,000個の光子の挙動をPHITSで模擬

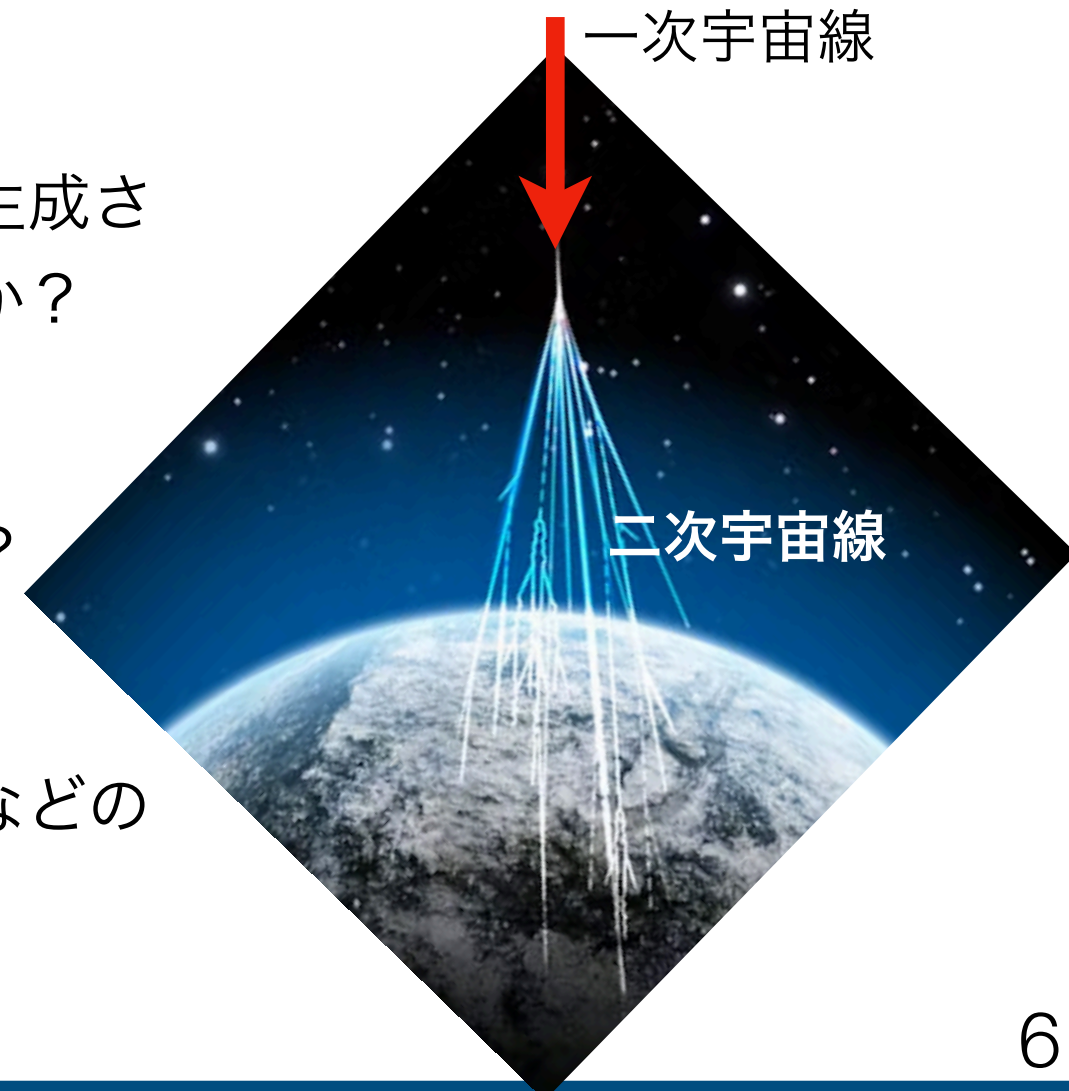
数多くの放射線挙動を模擬することにより、全体的な挙動(平均値)を導出

計算例

- 100 GeV の電子ビームを鉛ブロックに打ち込んだら何が起きるか？二次粒子のフラックスは？



- ターゲットの中で新粒子がどれだけ生成されるか？
- バックグラウンドのミュオンや中性子がどれだけ生成されるか？検出器にどれだけエネルギー付与を与えるか？
- 宇宙線が量子コンピュータ内の素子に与える影響は？
- 宇宙線によって空気中や海に生成されるトリチウムなどの放射性核種の量は？



PHITSコードの使用遍歴と研究背景

- ILC設計に関する仕事でPHITSを使っていた。
- 新粒子探索のための固定標的実験の計算に利用できることに気づいた。あまりにも便利だった。
- 新しい相互作用や粒子をPHITSに実装できる機能を作った。
 - モデルファイルを指定されたフォルダに入れて再コンパイルするだけで新物理がPHITSの計算に入る。
- FeynRulesにおける新モデルファイルを共有するように、PHITSの新物理ファイルを、現象論コミュニティで共有し、研究に広く役立てられるようにしたい。（何か良いアイデアがありますか？）
- 固定標的実験以外にも PHITS は活用できると思う。

PHITS の特徴

- **利用が簡単** (以下のページを参照)
 - 基本的に粒子輸送コードは使うのは難しい。使わないとすぐ忘れる。
 - 加速器や素粒子実験の人でもさっと使える人は多くない。
 - 普通の理論の人で使える粒子輸送コードは PHITS だけだと思う。
 - 簡単だけど実装されている物理モデルは最高水準。
 - 日本語のマニュアルや勉強資料がある。掲示板 (<https://meteor.nucl.kyushu-u.ac.jp/phitsforum/>) も日本語可。
- **新相互作用や新粒子の実装が簡単**
 - PHITS-UDM (User Defined Model) <https://sakaki-y.github.io/PHITS-UDM/>
 - PHITS 3.33 (2023年9月リリース予定) から実装される。
 - 詳しくは私に聞いて下さい (マニュアルをもう少し整備します...)
- **レアな事象を効率的に生成する機能が豊富**
 - 粒子輸送内のレアな事象生成に対して様々なバイアシング技法が用いられる。PHITSではそれがデフォルトで入っている。固定標的実験のシミュレーションでは必須の機能。
- **スレッド並列計算が超簡単**
 - インプットファイル (後述) の先頭に \$OMP=16 などと書くだけ

入手先

<https://phits.jaea.go.jp/getj.html>

① ヒント

「利用希望理由及び利用目的」の箇所に、核兵器を作るため、とか書かない。

しばらくするとダウンロードURLが送られてくる。

例えば、高エネルギー物理の人たちにはダウンロード手順がめんどくさく思えるかもしれないが、核データなども入っていたりするので、まあしょうがない。その代わりに、中性子輸送や放射化計算など高精度で行える。

申請に時間がかかる場合があります。

すぐに試したい人は申請後、私にメール下さい

インストール方法

ダウンロードしたフォルダの中の以下の資料とかを参考にする。

(Windows の場合)

phits332A/win/instruction-jpn.pptx

(macOS の場合)

phits332A/mac/README-jpn.pdf

(Linux の場合)

phits332A/liunx/README-jpn.txt

(OSに依存しない 方法。自分でコンパイルする。ターミナルで make するだけ。)

[https://sakaki-y.github.io/PHITS-UDM/tree how to use/1/main.html#sec-phits-compile](https://sakaki-y.github.io/PHITS-UDM/tree%20how%20to%20use/1/main.html#sec-phits-compile)

基本的にスクリプトファイルを(ダブル)クリックすれば自動でインストールできる。私は普段、「macOS の場合」のやり方で簡単な計算を行い、重い計算をする場合は、Linuxのワークステーションで「OSに依存しない 方法」でやっている。

資料に書かれているようにインストール後、テストファイル
(phits/lecture/basic/lec01/lec01.inp) が動けばOK。

[ダブルクリック一発でインストールできる](#)

PHITS の使い方

参考：<https://sakaki-y.github.io/phits-primer/index.html>

公式HP：<https://phits.jaea.go.jp/indexj.html>

PHITS の使い方

- 計算内容を インプットファイル に書いて PHITS に読み込ませる：
 - [MacOS の場合] PHITS アイコン にそれを ドロップ・アンド・ドロップ
 - [Windows の場合] インプットファイルを 右クリック → 送る → PHITS
- ターミナルや Linux を使える人は 同梱された シェルスクリプト を実行する：

```
> phits.sh test.inp
```
- または、原始的に “PHITS の実行ファイルパス < インプットファイルのパス” で走る

```
> /Users/sakaki/phits/phits_MacIfort < test.inp
```
- 要は、インプットファイルを上手く書くことで、色々な計算ができるようになる。
 ➡ 具体例は次ページ

インプットファイルの例

test.inp

100 GeV の電子を長さ20cmの鉛ブロックに打ち込んで、指定した x, y, z の範囲における二次粒子のフラックスを計算する (プロットする)

[parameters]

```
maxbch = 1      $ バッチ数
maxcas = 1      $ バッチあたりの入射粒子数
negs = 2        $ 電磁シャワーモデルとしてEGS5を用いる
maxbnk = 1000000
```

[source]

```
s-type = 1      $ 単色エネルギー線源
proj = electron $ 電子ビーム
  e0 = 100000   $ エネルギー [MeV]
  z0 = -100     $ z = -100cmからビームを打ち込む
  z1 = -100
```

[surface]

```
1  rpp  -5 5  -5 5  0 20  $ ブロックの境界を定義
99 so   999
```

[material]

```
mat[1] Pb 1      $ 鉛を定義
```

[cell]

```
101 1 -11.3 -1      $ 鉛ブロックを定義
 98 0          -99 #101
 99 -1          99
```

[t-track]

\$ 指定された (x,y,z) 範囲における2次元プロットを出力

```
file = 2D_xz.out  $ 出力ファイル名
epsout = 1        $ EPSファイルで出力
part = all        $ プロットしたい粒子
mesh = xyz

x-type = 2        $ x の範囲・ビン数
  xmin = -6
  xmax = 6
  nx = 299

y-type = 2        $ y の範囲・ビン数
  ymin = -6
  ymax = 6
  ny = 1

z-type = 2        $ z の範囲・ビン数
  zmin = -1
  zmax = 21
  nz = 500

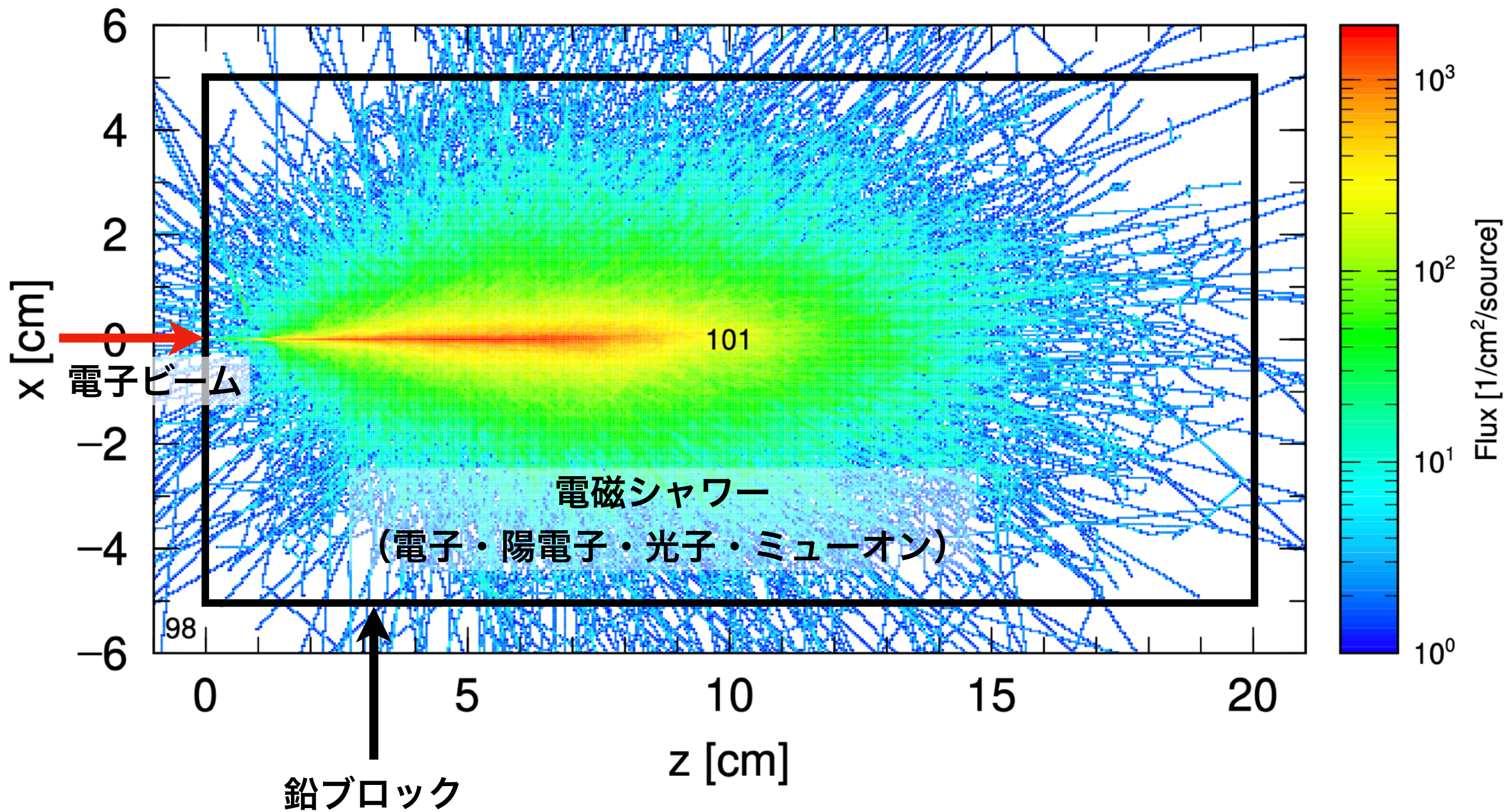
e-type = 2        $ エネルギーの範囲
  emin = 0
  emax = 999999
  ne = 1

unit = 1          $ 1: FLUX [1/cm^2/source]
axis = xz

gshow = 3
```


インプットファイルの例

test.inp の計算結果



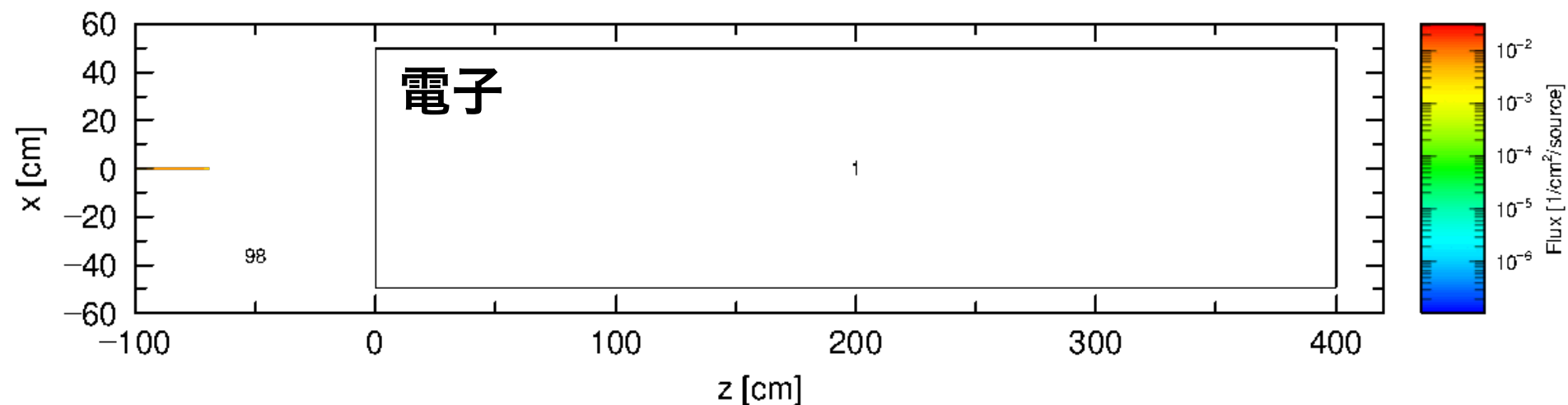
(デモ)

幅100cm、長さ400cmの直方体の水(cell=1)に、左から 1 GeV の電子を1発打ち込んでみた

アニメーション

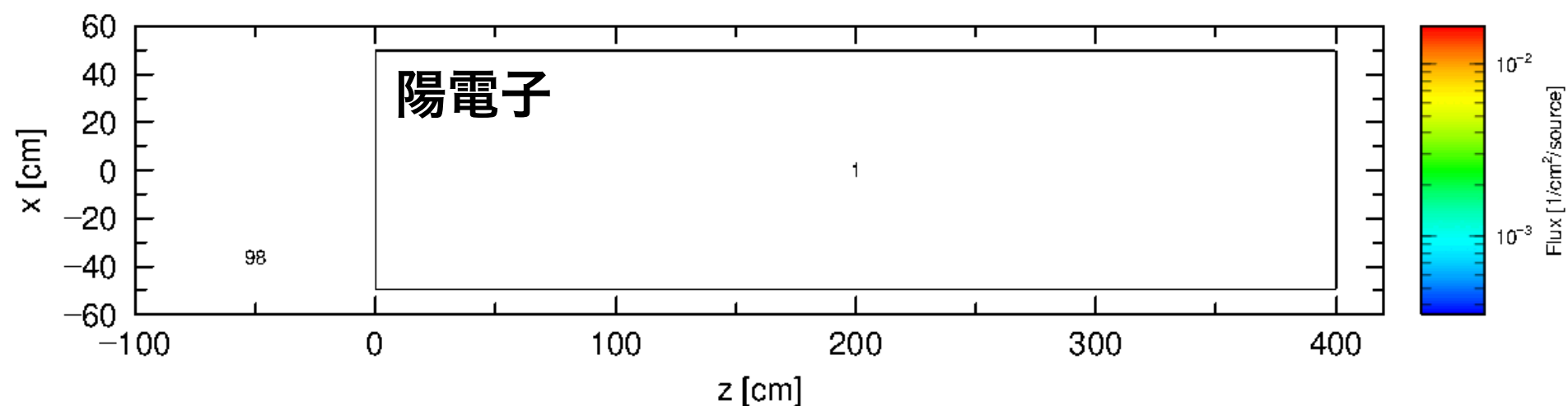
https://sakaki-y.github.io/phits-primer/tree/samples/1_electron/main.html

no. = 1, ie = 1, iy = 1, it = 1



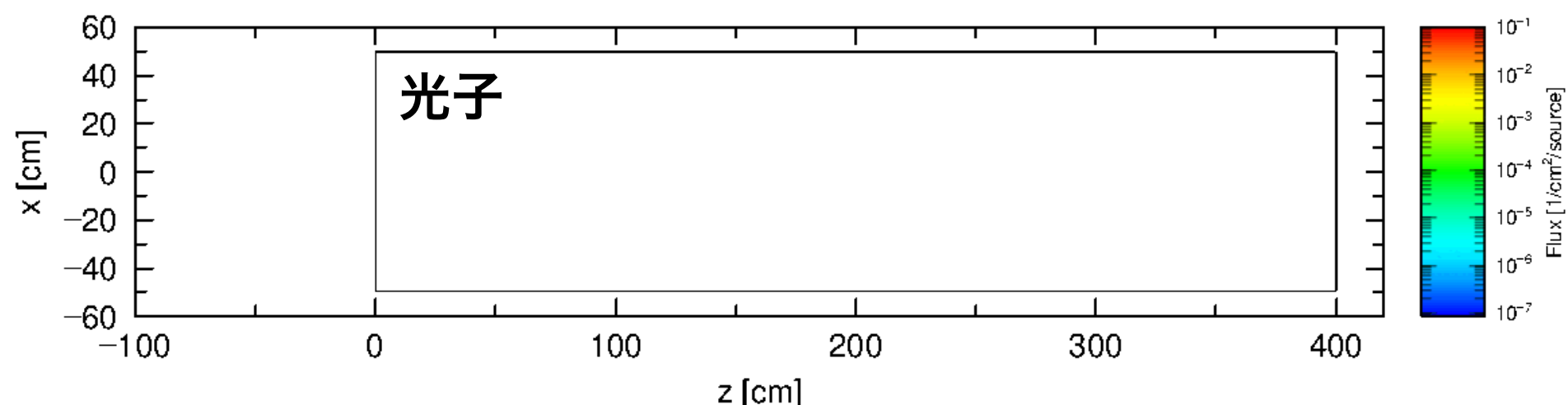
emin = 0.0000E+00 [MeV]
emax = 1.0000E+07 [MeV]
ymin = -6.0000E+01 [cm]
ymax = 6.0000E+01 [cm]
part. = electron
tmin = 0.0000E+00 [nsec]
tmax = 1.0000E+00 [nsec]

no. = 1, ie = 1, iy = 1, it = 1



emin = 0.0000E+00 [MeV]
emax = 1.0000E+07 [MeV]
ymin = -6.0000E+01 [cm]
ymax = 6.0000E+01 [cm]
part. = positron
tmin = 0.0000E+00 [nsec]
tmax = 1.0000E+00 [nsec]

no. = 1, ie = 1, iy = 1, it = 1



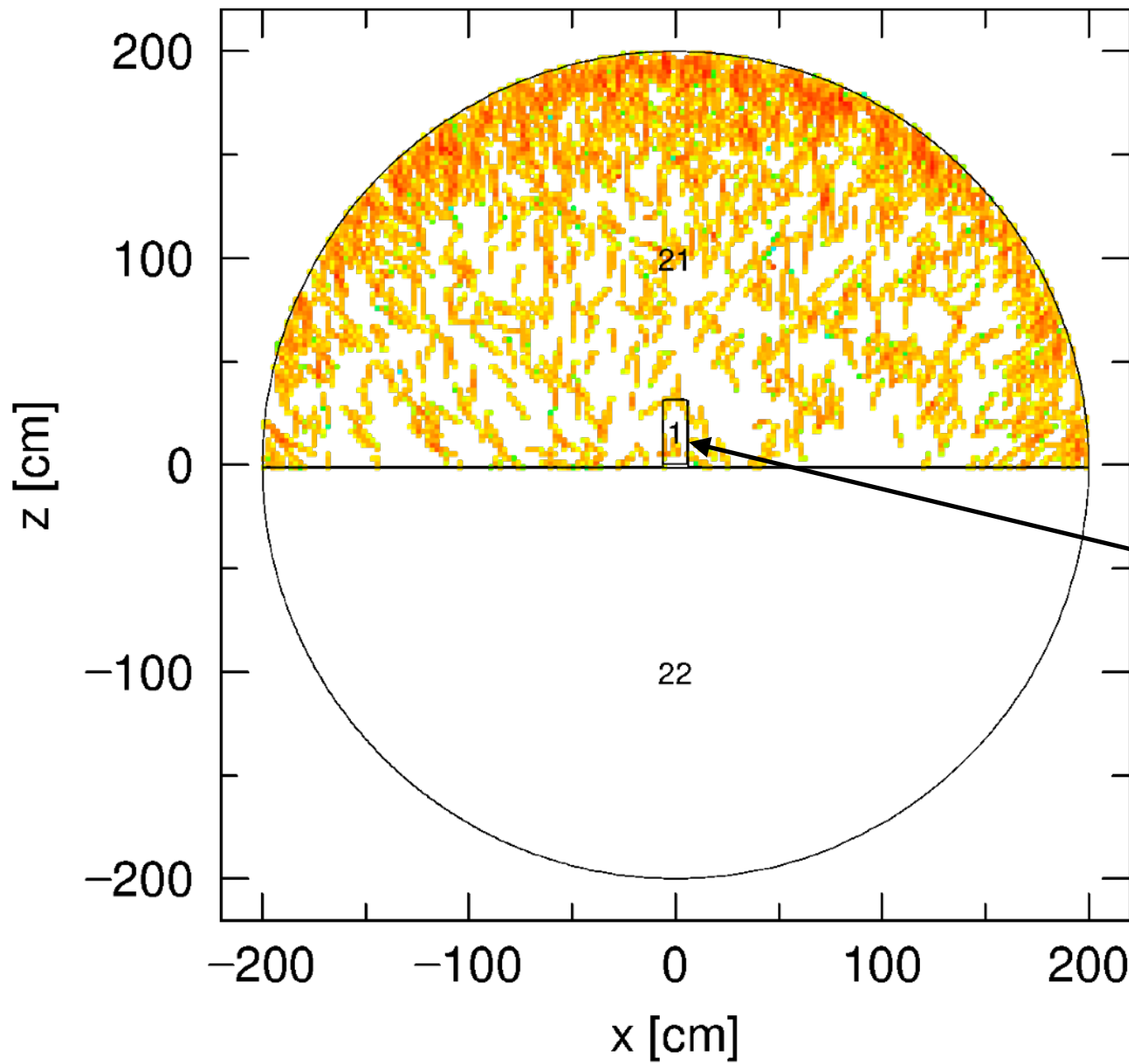
emin = 0.0000E+00 [MeV]
emax = 1.0000E+07 [MeV]
ymin = -6.0000E+01 [cm]
ymax = 6.0000E+01 [cm]
part. = photon
tmin = 0.0000E+00 [nsec]
tmax = 1.0000E+00 [nsec]

宇宙線を空から降らせる

https://sakaki-y.github.io/phits-primer/tree_samples/cosmic/main.html

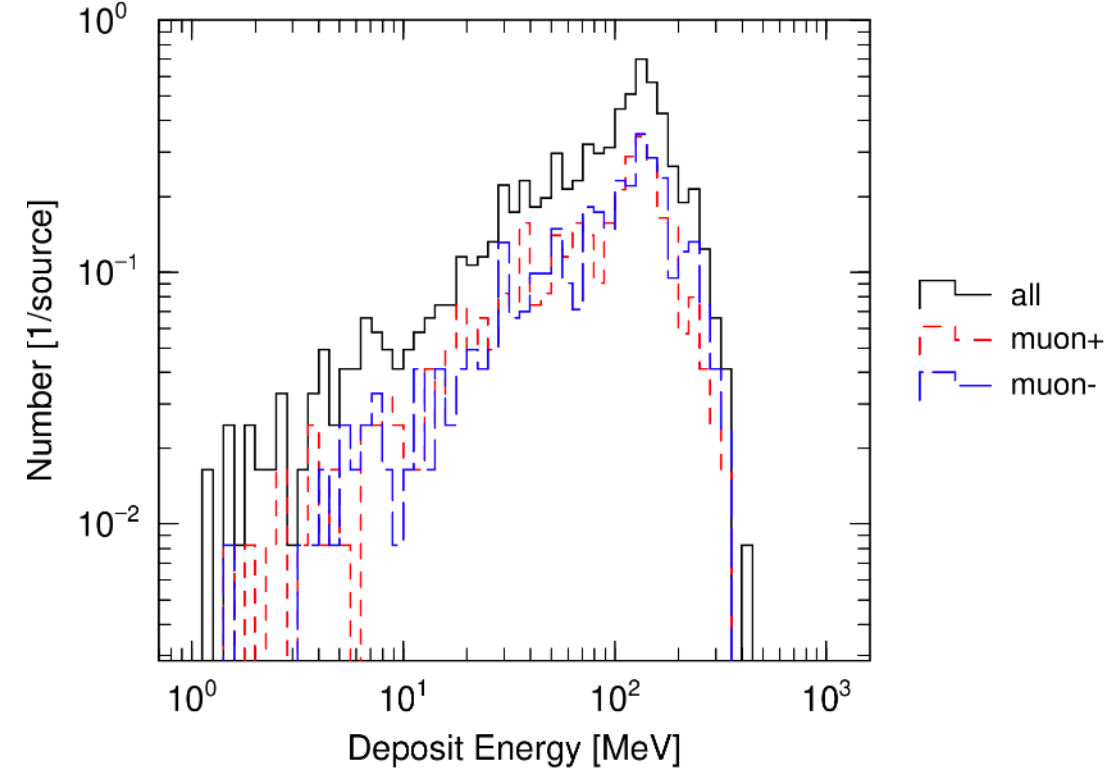
アニメーション

no. = 1, ie = 1, iy = 1, it = 1



emin = 0.0000E+00 [MeV/l
emax = 1.0000E+10 [MeV/l
ymin = -2.2000E+02 [cm]
ymax = 2.2000E+02 [cm]
part. = p1-group
tmin = 0.0000E+00 [nsec]
tmax = 5.0000E-01 [nsec]

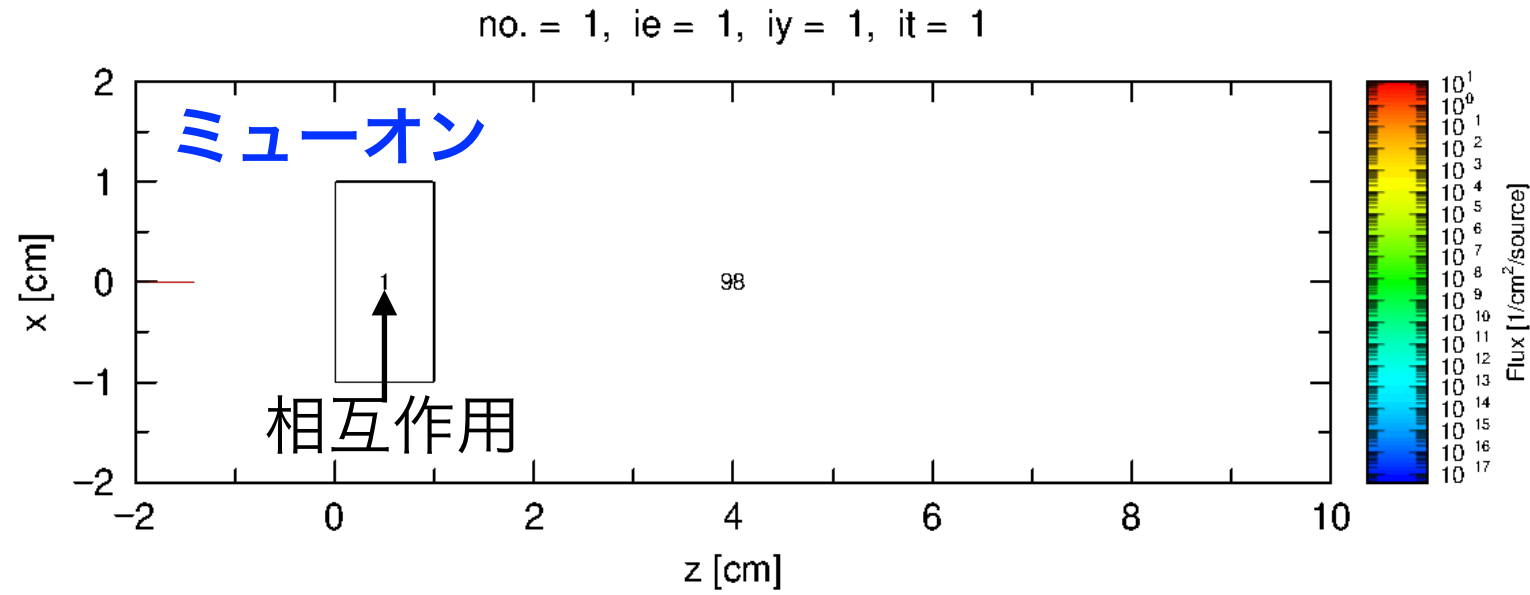
検出器(PbO)へのエネルギー付与



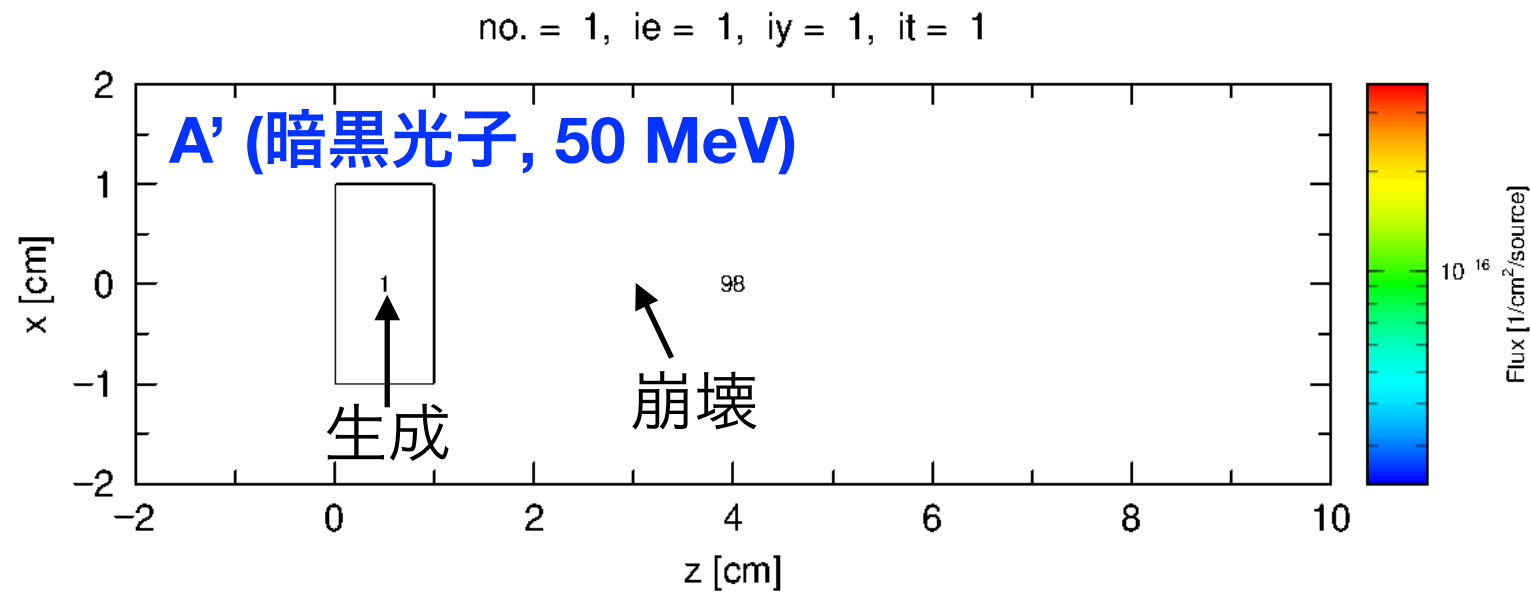
新粒子生成 ($\mu N \rightarrow \mu N A'$, $A' \rightarrow e^+ e^-$)

https://sakaki-y.github.io/phits-primer/tree/samples/new_boson/main.html

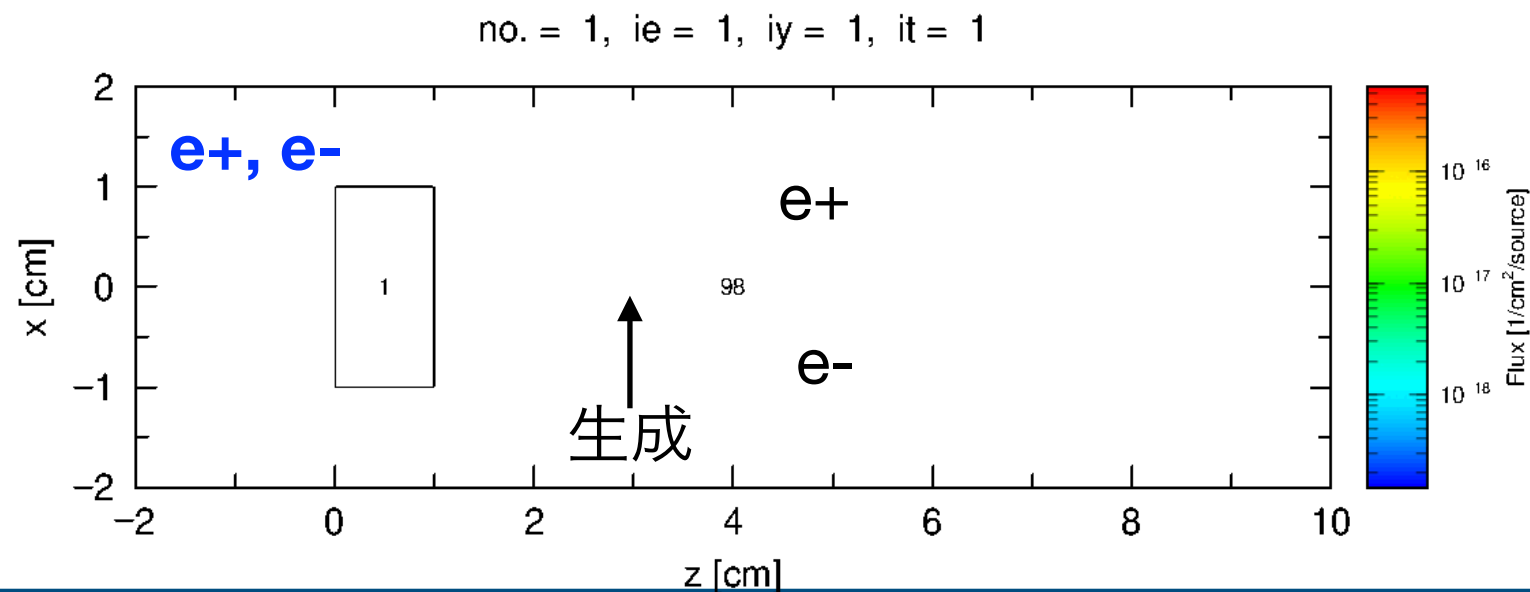
アニメーション



emin = 0.0000E+00 [MeV]
 emax = 1.0010E+03 [MeV]
 ymin = -2.0000E+00 [cm]
 ymax = 2.0000E+00 [cm]
 part. = muon-
 tmin = 0.0000E+00 [nsec]
 tmax = 2.0000E-02 [nsec]



emin = 0.0000E+00 [MeV]
 emax = 1.0010E+03 [MeV]
 ymin = -2.0000E+00 [cm]
 ymax = 2.0000E+00 [cm]
 part. = 900000
 tmin = 0.0000E+00 [nsec]
 tmax = 2.0000E-02 [nsec]



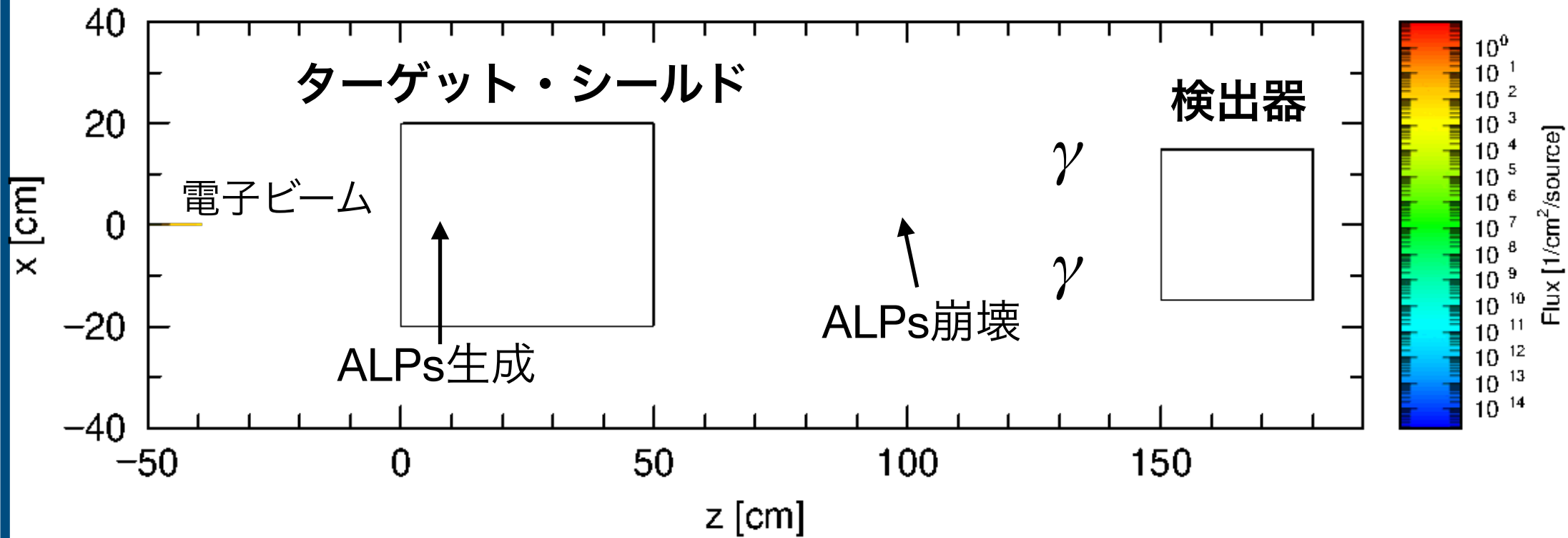
emin = 0.0000E+00 [MeV]
 emax = 1.0010E+03 [MeV]
 ymin = -2.0000E+00 [cm]
 ymax = 2.0000E+00 [cm]
 part. = p1-group
 tmin = 0.0000E+00 [nsec]
 tmax = 2.0000E-02 [nsec]

新粒子生成

https://rcwww.kek.jp/research/shield/sakaki/ /2023/2d_xz.gif

アニメーション

no. = 1, ie = 1, iy = 1, it = 1



emin = 0.0000E+00 [MeV]
emax = 7.0010E+03 [MeV]
ymin = -4.0000E+01 [cm]
ymax = 4.0000E+01 [cm]
part. = all
tmin = 0.0000E+00 [nsec]
tmax = 3.3333E-01 [nsec]

まとめ

- PHITSとは、ビームや放射線がどのように物質と相互作用するかを計算するコード。
- 使い方が簡単
- 日本語の資料も充実している
- ユーザーが定義した相互作用や粒子を実装できるようになったので、ユーザーが作成した新物理のモデルファイルを共有したりして、現象論コミュニティの研究に PHITS が役立てられないか。