高エネルギー宇宙物理学のための ROOT 入門

– 第 6 回 –

奥村 曉

名古屋大学 宇宙地球環境研究所

2016 年 6 月 15 日

名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY

ISEE Institute for Space-Earth Environmental Research

oxon@mac.com

git pull して最新版にしてください

```
$ cd RHEA
$ git pull
```

numpy を入れてください

```
$ python
>>> import numpy
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
ImportError: No module named numpy

$ sudo easy_install pip
$ sudo pip install numpy

$ python
>>> import numpy
```

❶ もし numpy が入っていなかったら

❷ まず pip を入れる（easy_install は多分入ってるはず）

❸ pip を使って numpy を入れる

❹ numpy を import できるか確認

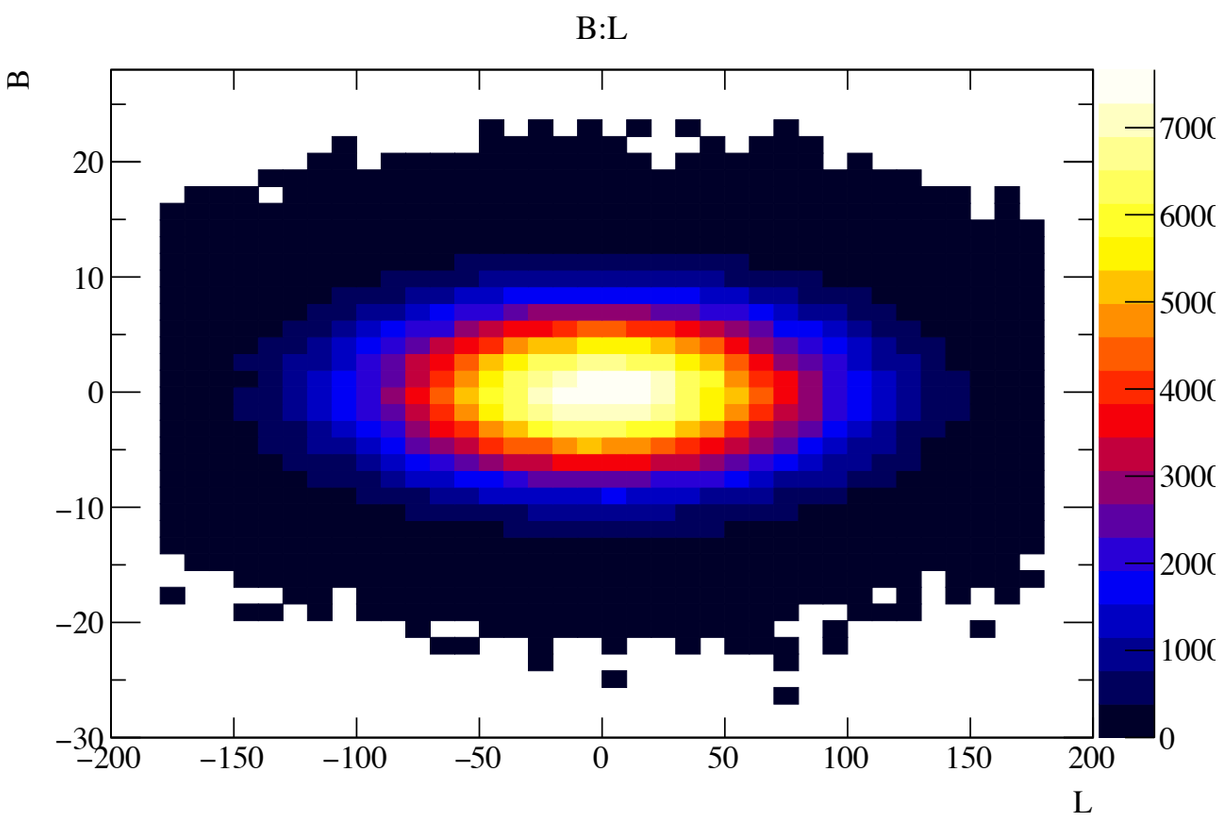
TTree の続き

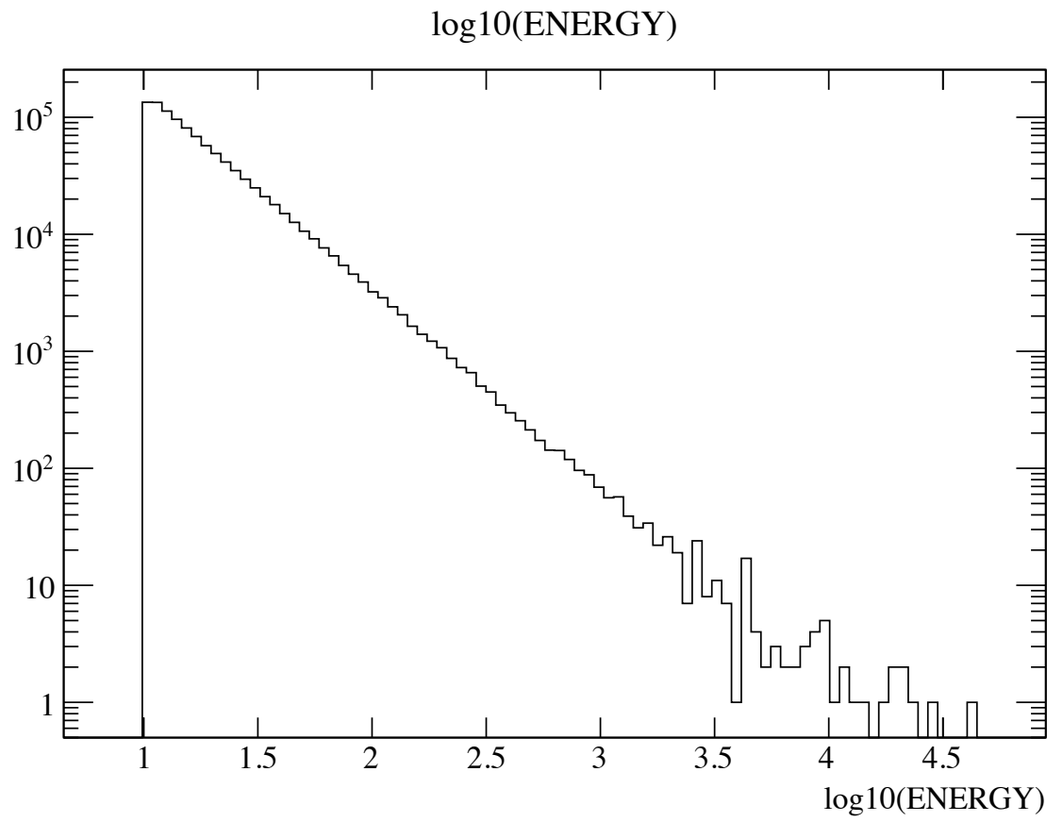
まずは TNtuple から

TNtuple とは

- Q. なんで TTree じゃなくて TNtuple からやるの?
  A. そっちのほうが簡単だから
- TNtuple は TTree の派生クラス
- TTree には int でも double でも ROOT のクラスでも詰められるが、TNtuple は float しか詰められない
  - やれることが非常に限られる
  - その分、TTree（に近い概念）を理解するのが楽
- 使いどころ
  - 手早く解析したいとき
  - データの型を気にしなくて良く、データ構造が単純なとき

単純な例（前回の Fermi/LAT データのようなもの）






```
root [0] TNtuple nt("nt", "test", "ENERGY:L:B")
root [1] TF1 f1("f1", "x**(-2.7)", 10, 1000000)
root [2] while(nt.GetEntries() < 1000000){
root (cont'ed, cancel with .@) [3] float e = f1.GetRandom();
root (cont'ed, cancel with .@) [4] float l = gRandom->Gaus(0, 60);
root (cont'ed, cancel with .@) [5] float b = gRandom->Gaus(0, 5);
root (cont'ed, cancel with .@) [6] if(abs(l) <= 180 && abs(b) <= 90) nt.Fill(e, l, b);
root (cont'ed, cancel with .@) [7]}
root [8] nt.Draw("B:L", "", "colz")
root [9] nt.Draw("log10(ENERGY)")
root [10] gPad->SetLogy(1)
```

❶ TNtuple 作成。第三引数は float の変数名一覧。

❷ -2.7 乗の冪に従う乱数発生用の一変数関数

❸ 詰めたい変数値を
イベントごとに代入し

❹ Fill することでイベントを増やす

❺ 後は前回の TTree と同様に遊ぶ

TTree の読み書き（1）

```
$ root misc/lat_photon_weekly_w009_p302_v001.root
root [1] photons->Print()
******************************************************************************
*Tree    :photons   : LAT PASS8 Photons                                       *
*Entries :   177778 : Total =        27471504 bytes  File  Size =   27453414 *
*        :          : Tree compression factor =   1.00                       *
******************************************************************************
*Br    0 :ENERGY    : ENERGY[1]/F                                            *
*Entries :   177778 : Total  Size=     713624 bytes  File Size  =     712860 *
*Baskets :       23 : Basket Size=      32000 bytes  Compression=   1.00     *
*.............................................................................*
*Br    1 :RA        : RA[1]/F                                                *
*Entries :   177778 : Total  Size=     713516 bytes  File Size  =     712768 *
*Baskets :       23 : Basket Size=      32000 bytes  Compression=   1.00     *
*.............................................................................*
*Br    2 :DEC       : DEC[1]/F                                               *
*Entries :   177778 : Total  Size=     713543 bytes  File Size  =     712791 *
*Baskets :       23 : Basket Size=      32000 bytes  Compression=   1.00     *
*.............................................................................*
(省略)
$ curl -O https://raw.githubusercontent.com:443/akira-okumura/RHEA-Slides/master/photons/
lat_photon_weekly_w009_p302_v001_extracted.root
$ root lat_photon_weekly_w009_p302_v001_extracted.root
root [1] photons->Print()
******************************************************************************
*Tree    :photons   :                                                         *
*Entries :   166224 : Total =         2001714 bytes  File  Size =    1830019 *
*        :          : Tree compression factor =   1.09                       *
******************************************************************************
*Br    0 :ENERGY    : ENERGY/F                                               *
*Entries :   166224 : Total  Size=     667210 bytes  File Size  =     608569 *
*Baskets :       21 : Basket Size=      32000 bytes  Compression=   1.10     *
*.............................................................................*
*Br    1 :L         : L/F                                                    *
*Entries :   166224 : Total  Size=     667085 bytes  File Size  =     594905 *
*Baskets :       21 : Basket Size=      32000 bytes  Compression=   1.12     *
*.............................................................................*
*Br    2 :B         : B/F                                                    *
*Entries :   166224 : Total  Size=     667085 bytes  File Size  =     625487 *
*Baskets :       21 : Basket Size=      32000 bytes  Compression=   1.07     *
*.............................................................................*
```

❶ 前回の LAT データを TTree にしたもの

❷ Branch が合計 23 個ある

❸ TChain を試すときに使った ROOT ファイル

❹ Branch が合計 3 個

TTree の読み書き（2）

```
$ cat src/tree_extract.C
void tree_extract(const char* input, const char* output) {
  TFile fin(input);
  TTree* photons = (TTree*)fin.Get("photons");


  Float_t energy, l, b, zenith;
  photons->SetBranchAddress("ENERGY", &energy);
  photons->SetBranchAddress("L", &l);
  photons->SetBranchAddress("B", &b);
  photons->SetBranchAddress("ZENITH_ANGLE", &zenith);

  TFile fout(output, "create");
  TTree photons_mod("photons", "");
  photons_mod.Branch("ENERGY", &energy, "ENERGY/F");
  photons_mod.Branch("L", &l, "L/F");
  photons_mod.Branch("B", &b, "B/F");

  for(int i = 0; i < photons->GetEntries(); ++i) {
    photons->GetEntry(i);
    if (zenith < 100.) {
      photons_mod.Fill();
    }
  }

  photons_mod.Write();
  fout.Close();
}
```

❶ 前回の LAT データで一部のみを抜き出したスクリプト

❷ TFile::Get を使って、名前で TTree を取り出す
※ TTree 以外も同様に取り出せる
※ キャスト（cast）という作業をする必要がある

❸ イベントごとにブランチの値を読むには、
適切な型の変数を用意しブランチに紐付ける
※ 必ず変数のポインタを渡すこと

❺ TTree::Branch を呼ぶことで、新しく作った
TTree にブランチを追加することができる
※ ここもポインタを渡す

❹ TTree::GetEntry を実行すると、指定した
ブランチのイベント毎の値が変数に代入される

❻ Fill することで、ブランチに使用している変数の
「現在」の値が詰められる

※ GetEntry する度に energy/l/b/zenith は全て
書き変わっている

型に注意

C type	ROOT typedef	C99/C++11	ROOT TTree	Python array	NumPy	FITS
signed char	Char_t	int8_t	B	b	int8	A or S
unsigned char	UChar_t	uint8_t	b	B	uint8	B
signed short	Short_t	int16_t	S	h or i	int16	I
unsigned short	UShort_t	uint16_t	s	H or I	uint16	U
signed int (32 bit)	Int_t	int32_t	I	l	int32	J
unsigned int (32 bit)	UInt_t	uint32_t	i	L	uint32	V
signed int (64 bit)	Long64_t	int64_t	L	N/A	int64	K
unsigned int (64 bit)	ULong64_t	uint64_t	l	N/A	uint64	N/A
float	Float_t	float	F	f	float32	E
double	Double_t	double	D	d	float64	D
bool	Bool_t	bool	O	N/A	bool_	X

- TTree::Branch を呼ぶときは第 3 引数で型を ROOT に教える必要がある
- C++ はポインタでメモリのアドレスが渡されるだけだと、その型を保存するのに必要なメモリの大きさが分からない

Python の場合（やり方はいくつかあります）

```
$ cat src/tree_extract.py
#!/usr/bin/env python
import ROOT
import numpy

def tree_extract(input_name, output_name):
    fin = ROOT.TFile(input_name)
    photons = fin.Get('photons')

    energy = numpy.ndarray(1, dtype = 'float32')
    l = numpy.ndarray(1, dtype = 'float32')
    b = numpy.ndarray(1, dtype = 'float32')

    fout = ROOT.TFile(output_name, 'create')
    photons_mod = ROOT.TTree('photons', '')
    photons_mod.Branch('ENERGY', energy, 'ENERGY/F')
    photons_mod.Branch('L', l, 'L/F')
    photons_mod.Branch('B', b, 'B/F')

    for i in xrange(photons.GetEntries()):
        photons.GetEntry(i)
        energy[0] = photons.ENERGY
        l[0] = photons.L
        b[0] = photons.B
        zenith = photons.ZENITH_ANGLE
        if zenith < 100.:
            photons_mod.Fill()

    photons_mod.Write()
    fout.Close()
```

❶ tree_extract.C を Python にしたもの

❷ numpy を使うやり方にします

❸ Python だと面倒な cast が不要
※ 些細なことだが慣れると C++ に戻れなくなる

❹ Python 上では直接的に C のポインタを渡せないので
numpy の ndarray を使う

❺ ここは C++ と同様、ただし引数は numpy.ndarray
※ PyROOT がうまいこと変換してくれる

❻ TTree::SetBranchAddress 不要
直接ブランチを触れる

クラスを詰める – より ROOT らしい例

```
$ root
root [0] .x event_class_tree.C+("../misc/lat_photon_weekly_w009_p302_v001.root",
"event.root")
Info in <TMacOSXSystem::ACLiC>: creating shared library /Users/oxon/git/RHEA/
src/./event_class_tree_C.so
root [1] TFile f("event.root")
(TFile &) Name: event.root Title:
root [3] photons->Print()
******************************************************************************
*Tree    :photons   :                                                        *
*Entries :   177778 : Total =         6446728 bytes  File  Size =    3336680 *
*       :          : Tree compression factor =   1.93                       *
******************************************************************************
*Br    0 :event     : PhotonEvent                                            *
*Entries :   177778 : Total  Size=    6446347 bytes  File Size  =    3332478 *
*Baskets :      447 : Basket Size=      16000 bytes  Compression=   1.93     *
*.............................................................................*
root [4] photons->Draw("event.fEnergy")
root [6] photons->Draw("event.fB:-(event.fL > 180 ? event.fL - 360 :
event.fL)>>hGal", "", "colz")
(Long64_t) 177778
```

クラスの詰め方

```
#include "TTree.h"
#include "TFile.h"

class PhotonEvent : public TObject {
private:
  Float_t fEnergy;
  Float_t fL;
  Float_t fB;
  Float_t fZenithAngle;
  Short_t fCalibVersion[3];

public:
  void SetEnergy(Float_t energy) {fEnergy = energy;}
  void SetL(Float_t l) {fL = l;}
  void SetB(Float_t b) {fB = b;}
  void SetZenithAngle(Float_t zenith) {fZenithAngle = zenith;}
  void SetCalibVersion(Short_t* calib) {
    for(int i = 0; i < 3; ++i) {
      fCalibVersion[i] = calib[i];
    }
  }

  ClassDef(PhotonEvent, 1)
};

void event_class_tree(const char* input, const char* output) {
  TFile fin(input);
  TTree* photons = (TTree*)fin.Get("photons");
  Float_t energy, l, b, zenith;
  Short_t calib[3];
  photons->SetBranchAddress("ENERGY", &energy);
  photons->SetBranchAddress("L", &l);
  photons->SetBranchAddress("B", &b);
  photons->SetBranchAddress("ZENITH_ANGLE", &zenith);
  photons->SetBranchAddress("CALIB_VERSION", calib);

  PhotonEvent event;

  TFile fout(output, "create");
  TTree photons_mod("photons", "");
  photons_mod.Branch("event", "PhotonEvent", &event, 16000, 0);

  for(int i = 0; i < photons->GetEntries(); ++i) {
    photons->GetEntry(i);
    event.SetEnergy(energy);
    event.SetL(l);
    event.SetB(b);
    event.SetZenithAngle(zenith);
    event.SetCalibVersion(calib);
    photons_mod.Fill();
  }

  photons_mod.Write();
  fout.Close();
}
```

❶ コンパイルするので必要なものを #include

❷ クラスを作る。TObject から継承しなくても良い。

❸ メンバ変数の型は、メモリサイズの環境依存を減らすために ROOT で typedef されたものを使う

❹ メンバ変数を private にする場合は setter を

❺ ROOT で class を追加するときのおまじない

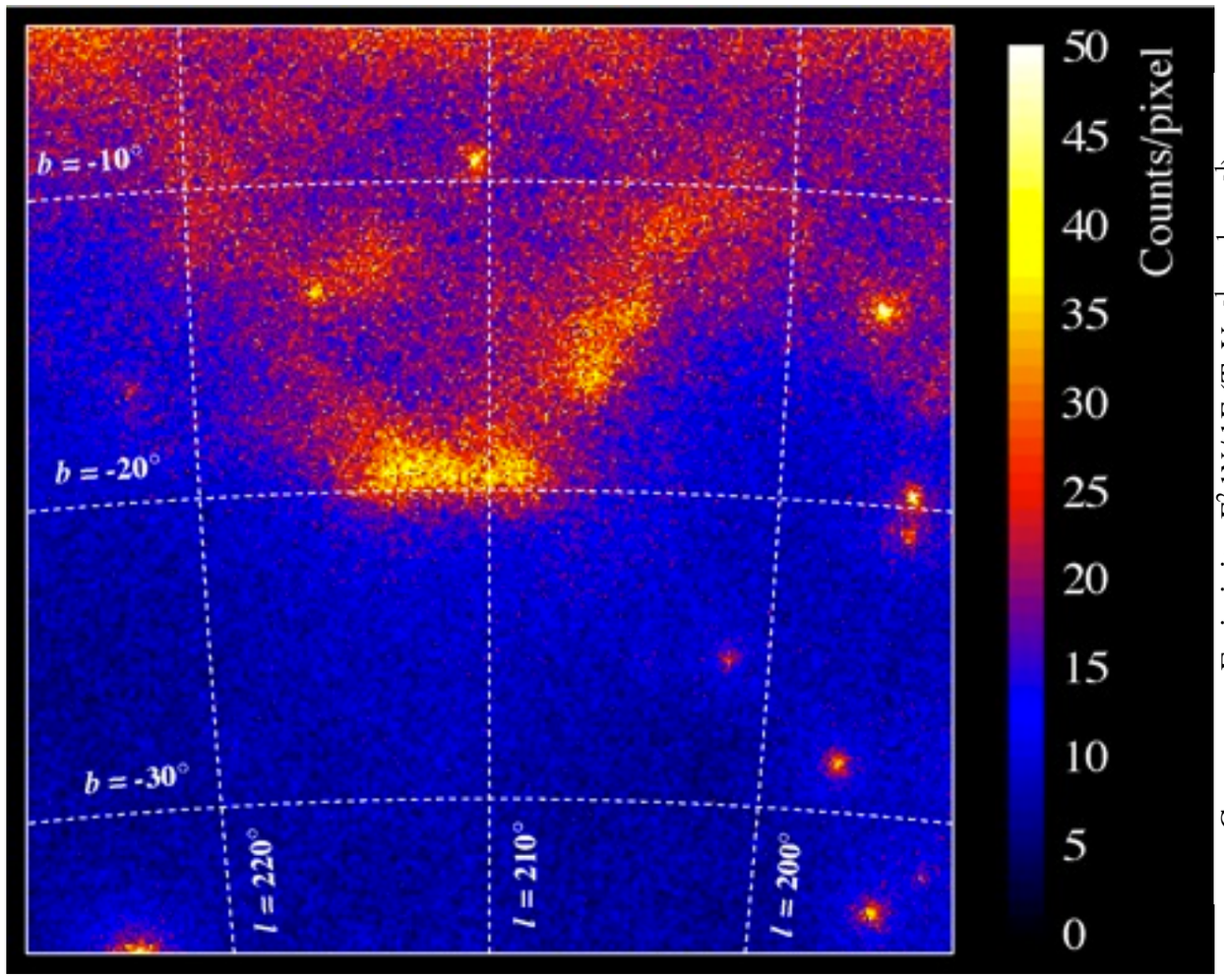
❻ クラスのインスタンスのポインタを渡す

❼ クラスのメンバ変数を更新して詰めるだけ

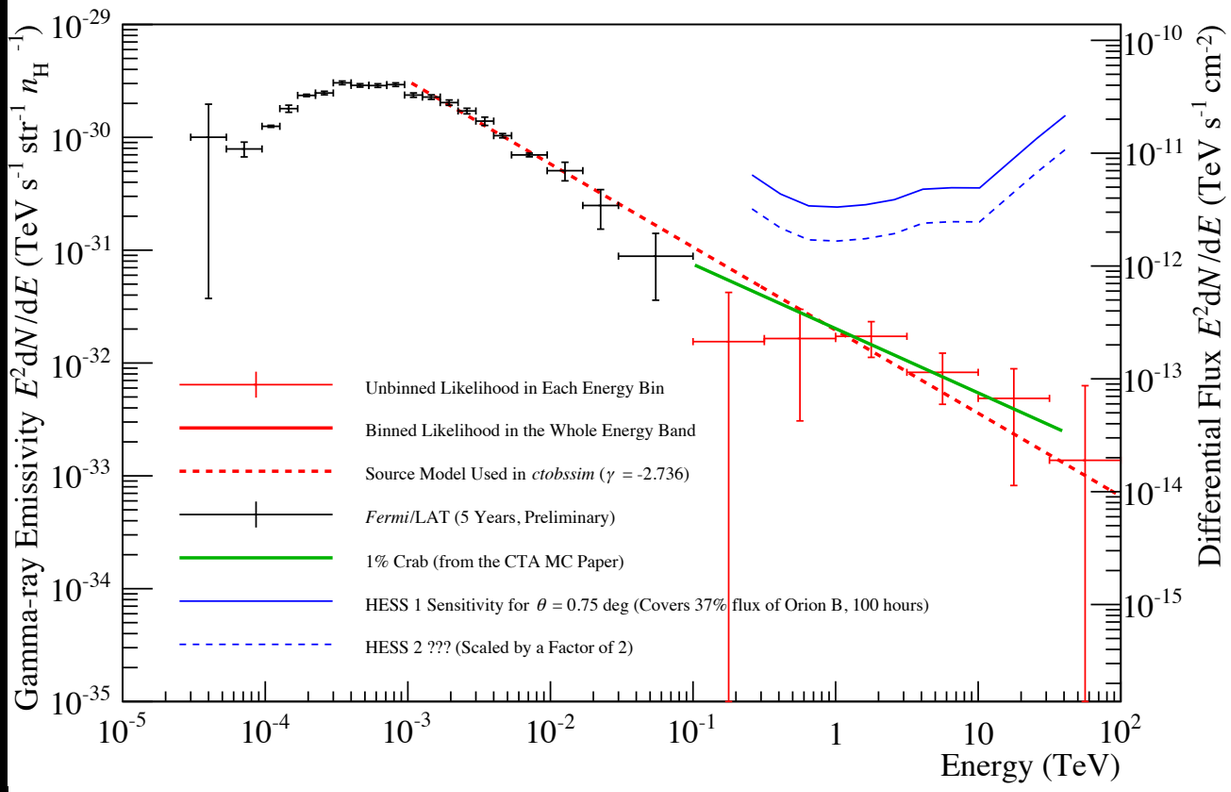
雑多な話

どんな風に ROOT を普段使っているのか (1)

Fermi/LAT のカウントマップの例

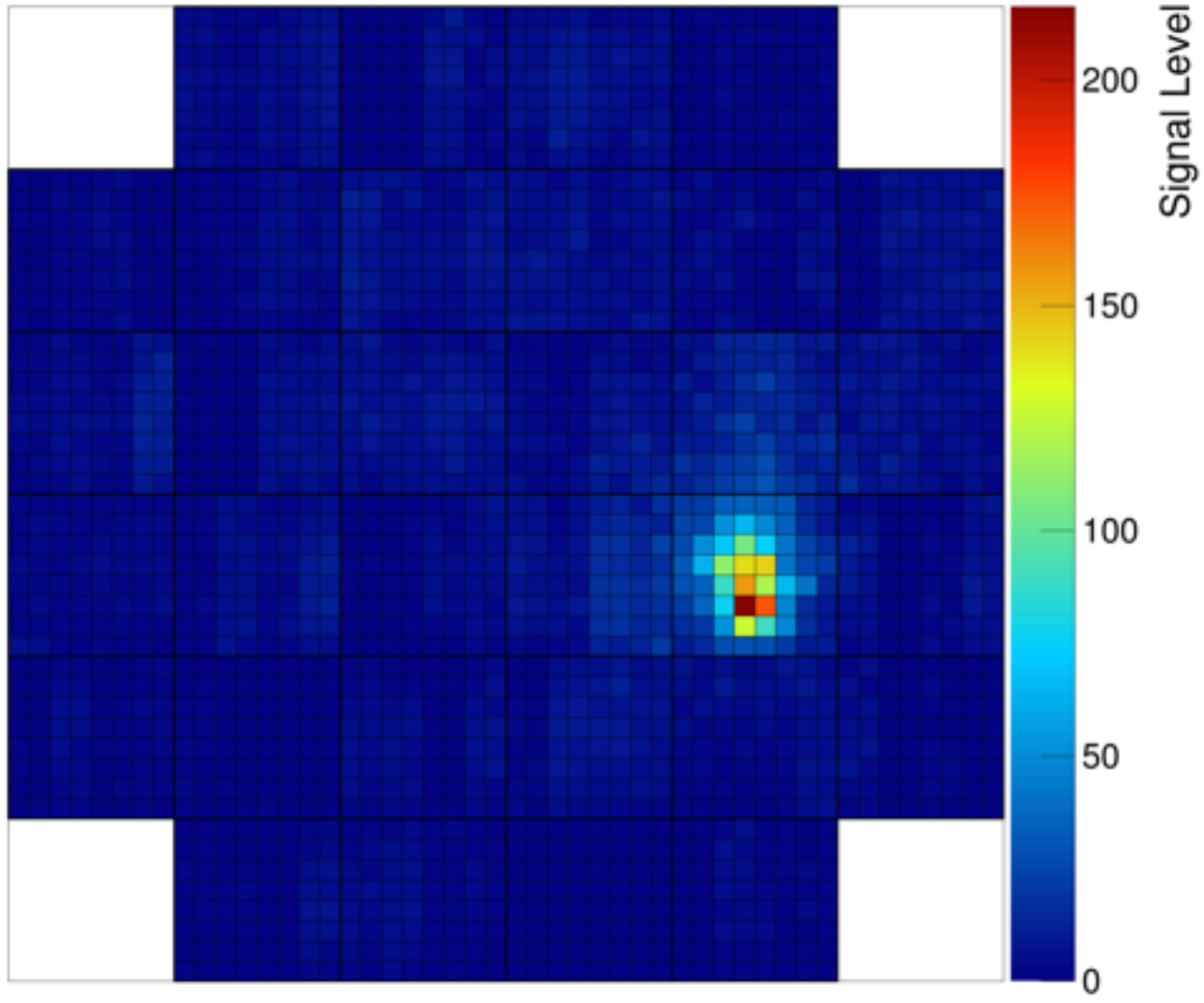


CTA のシミュレーションの例



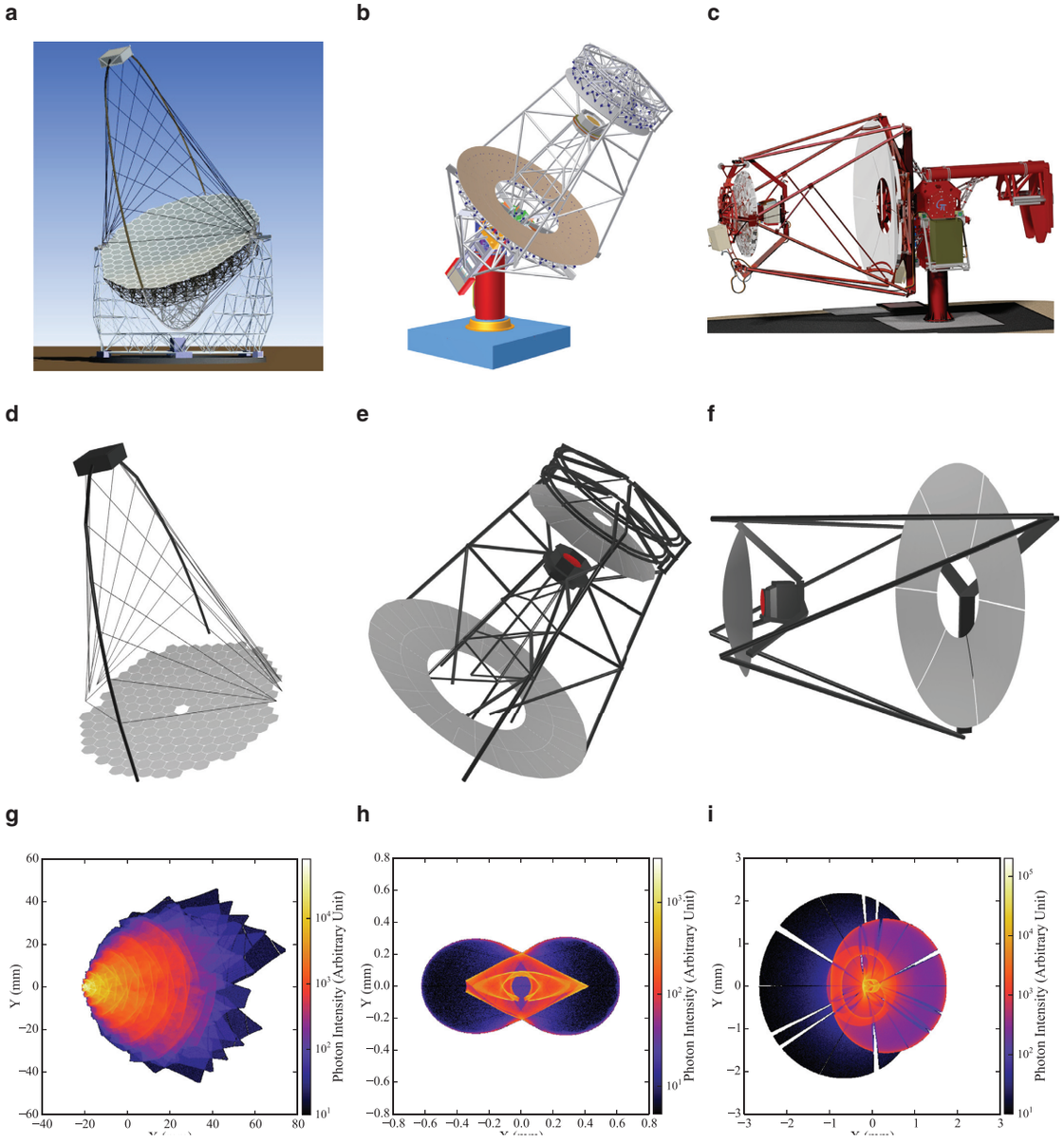
- ガンマ線観測のデータ解析とシミュレーション（の結果の表示）
- 計算自体は Fermi や CTA で ROOT に依存しないソフトがやってくれる
- 出てきたガンマ線スペクトルのフィット、カウントマップの表示など

どんな風に ROOT を普段使っているのか (2)



- CTA の望遠鏡カメラ試作機で取得したデータの解析
- エレキの性能試験
- DAQ 部分には ROOT は使っていない

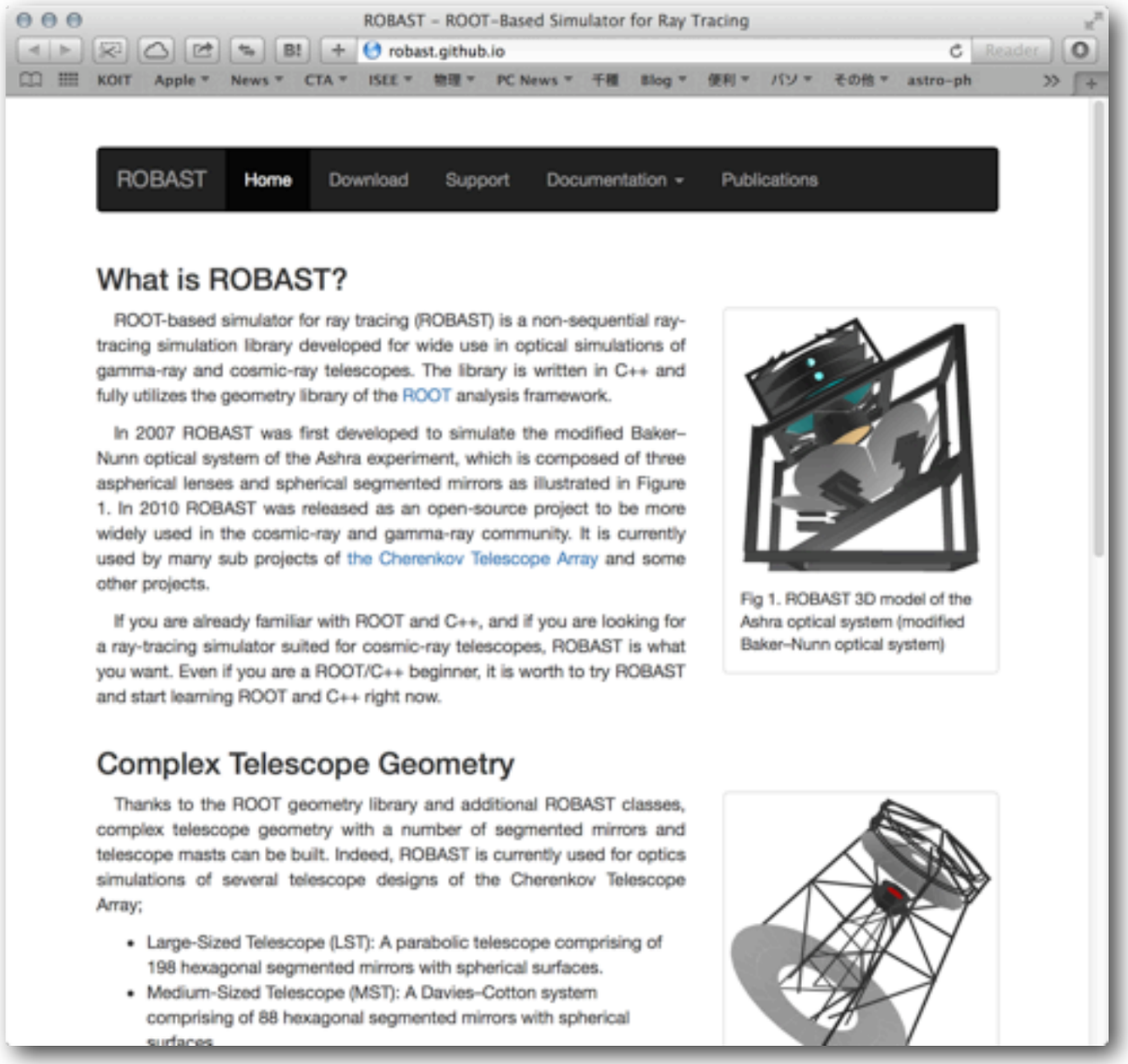
どんな風に ROOT を普段使っているのか（3）



- CTA の光学系シミュレーション
- 6 種類ある光学系のうち 4 種類で ROBAST（後述）が使用されている
- 光学系の性能評価を、光線追跡結果を TH2 に詰めて解析することで行う

ROBAST

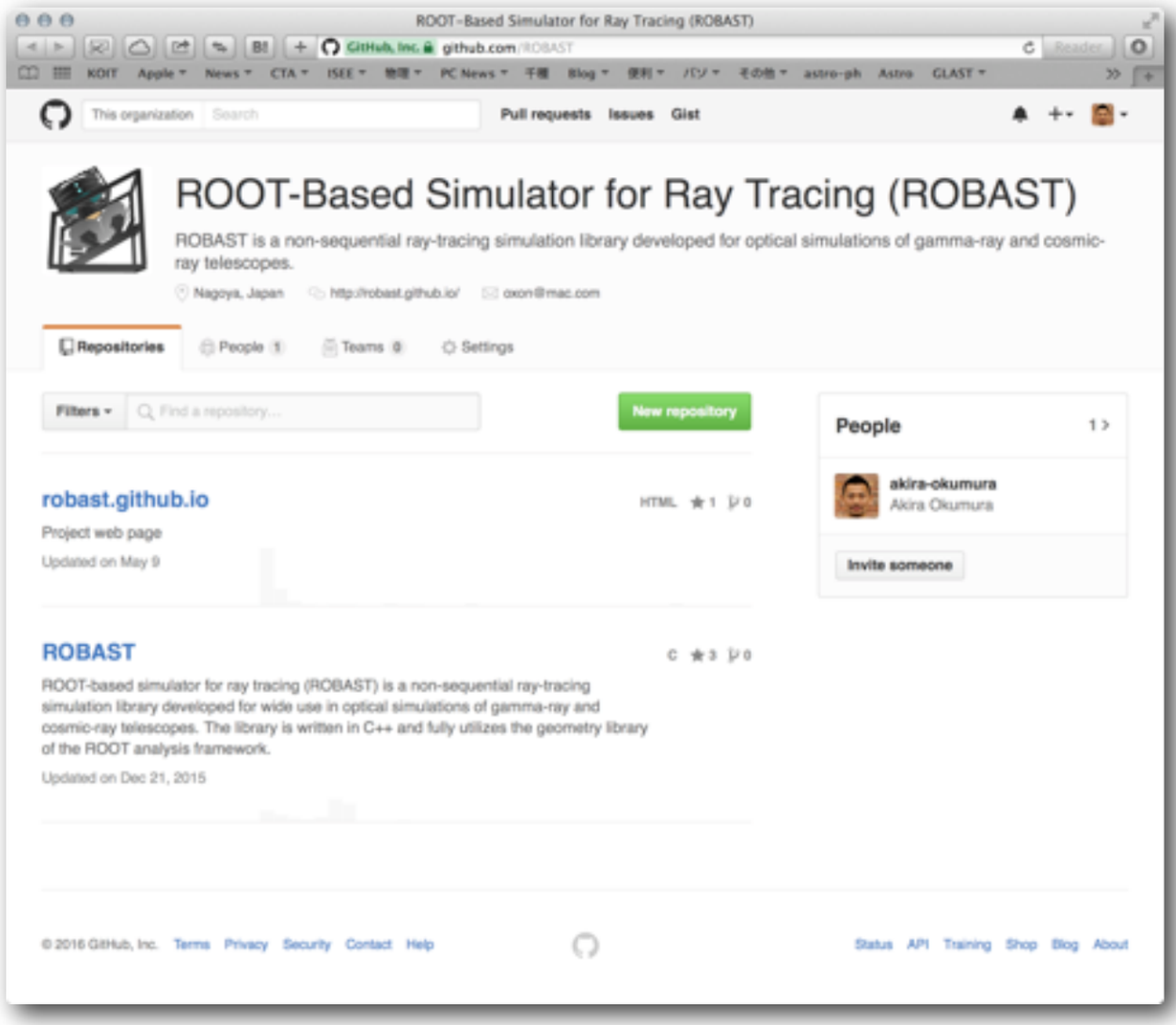
http://robast.github.io/



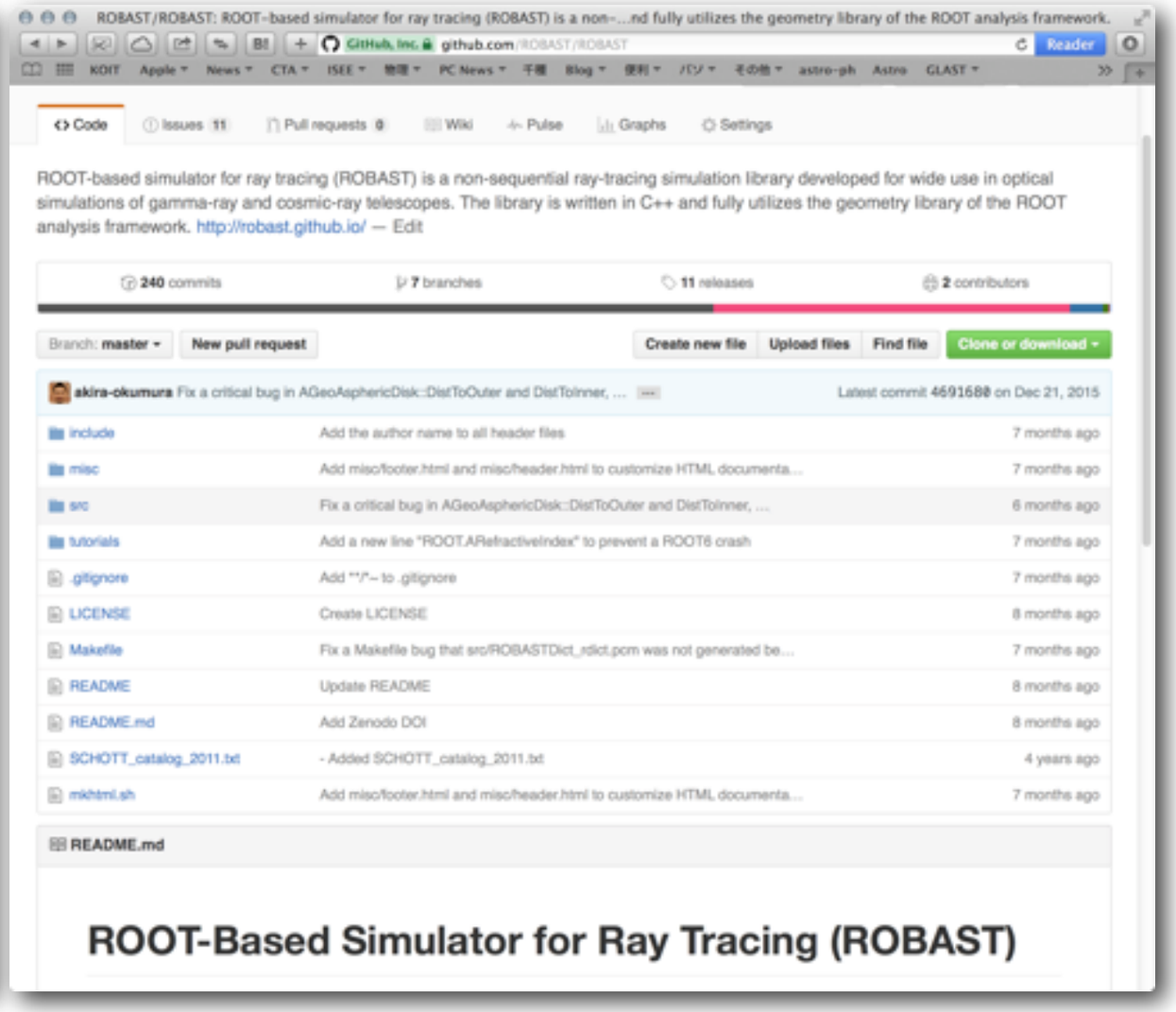
- 宇宙線実験屋向けの光線追跡ライブラリ
- ROOT が持っている機能を多数利用 (多分、自分で書いた部分は 3000 行くらいしかない)
- 比較的小規模なので、ROOT を利用したライブラリの作り方の参考になるかも

ROBAST の GitHub レポジトリ

https://github.com/ROBAST



https://github.com/ROBAST/ROBAST



- ROOT で自作ライブラリを作るときの、ひとつの例
- 2007 年ごろに書いたものなので、少し汚い
- GitHub での webpage の公開の仕方とかの参考にも