

# F21:新しい宇宙線空気シャワー シミュレーションコードの開発 (COSMOSの開発と将来の展開)

塔 隆志 (東大ICRR)

# 査定額と共同研究者

- 査定額 10万円（旅費）
  - 月例実務者会議（ハイブリッド）
- 大型計算機利用
- 共同研究者（所属は申請時）

常定芳基、藤井俊博（大阪公立大）、毛受弘彰（名大）、櫻井信之（徳島大）、  
吉越貴紀、大石理子、野中敏幸、武多昭道、西山竜一、釜江常好（東大）、木戸英治、  
榊直人（理研）、笠原克昌（芝工大）、芝田達伸、板倉数記（KEK）、  
大嶋晃敏、山崎勝也（中部大）、日比野欣也、有働慈治（神大）、  
多米田裕一郎（大阪電通大）、奥田剛司（立命館大）、奈良寧（国際教養大）、  
土屋晴文（原子力機構）

# 活動内容 (COSMOS開発)

- 2013年末、有志による「モンテカルロシミュレーション研究会」として発足 (2014年から共同利用)
- Gfortran化、cmake compileの実現
- 共同研究者で分担し、多様な環境でのコンパイルと動作試験
  - マイナーアップデート (環境依存を多数発見)
  - Web page, manual, サンプルコード等の改良
- 2021年に非気体媒質・非地球大気での計算可能なCOSMOS Xを公開
- CORSIKA WSでの講演
- 「空気シャワー観測による宇宙線の起源探索研究会」 (一般+学生セッション) を毎年開催
- COSMOS講習会を実施
- 今年度 (後述)
  - 月例会議で Debug, etc... <= これがメイン!
  - 太陽磁場中の計算導入
  - COSMOS講習会開催 (昨年度末)、今年度も3月に実施予定
  - ICRC2023でポスター発表

# COSMOS X公開

- <http://cosmos.icrr.u-tokyo.ac.jp/COSMOSweb/>

COSMOS Air Shower MC Tool

cosmic ray air shower monte carlo code

COSMOS Develop Team  
cosmos@icrr.u-tokyo.ac.jp

COSMOS Top | What is COSMOS | Platform | Download | Installation

Users' Guide | Sample Codes | Doxygen | Documents

COSMOS Top

Now brand-new version of COSMOS, COSMOS X, is available. Enjoy it. Your feedbacks are welcome.

For old COSMOS version <=8, please go to the original page.

Welcome to COSMOS, a cosmic-ray air shower MC simulation code

COSMOS is...

COSMOS News

## COSMOS X Manual

COSMOS X development team

November 18, 2021

### Contents

<b>1</b>	<b>What is COSMOS X?</b>	<b>3</b>
1.1	What can we do with COSMOS X? . . . . .	3
1.2	Structure . . . . .	3
1.2.1	General structure . . . . .	4
1.2.2	Users' flexibility: 3 user control files . . . . .	4
1.3	What we can not do (now)? . . . . .	5
<b>2</b>	<b>How to use COSMOS X for the first time?</b>	<b>9</b>
2.1	Environment . . . . .	9
2.2	Download . . . . .	9
2.3	Installation . . . . .	9
2.4	Test program (First Kiss) . . . . .	10
2.4.1	Compile and Run . . . . .	10
2.4.2	Track visualization . . . . .	11
2.4.3	Userhook output . . . . .	12
<b>3</b>	<b>How to edit the user control files?</b>	<b>13</b>
3.1	primary file . . . . .	13
3.2	param file . . . . .	14
3.3	userhook function . . . . .	14
<b>4</b>	<b>How to optimize my simulation?</b>	<b>15</b>
4.1	Hadronic interaction model <b>ON GOING</b> . . . . .	15
4.2	Thinning . . . . .	15
4.3	AS, hybrid method . . . . .	15
4.4	Magnetic field . . . . .	15
4.5	Electric field . . . . .	15
4.6	Non-air material, non-earth sphere . . . . .	15



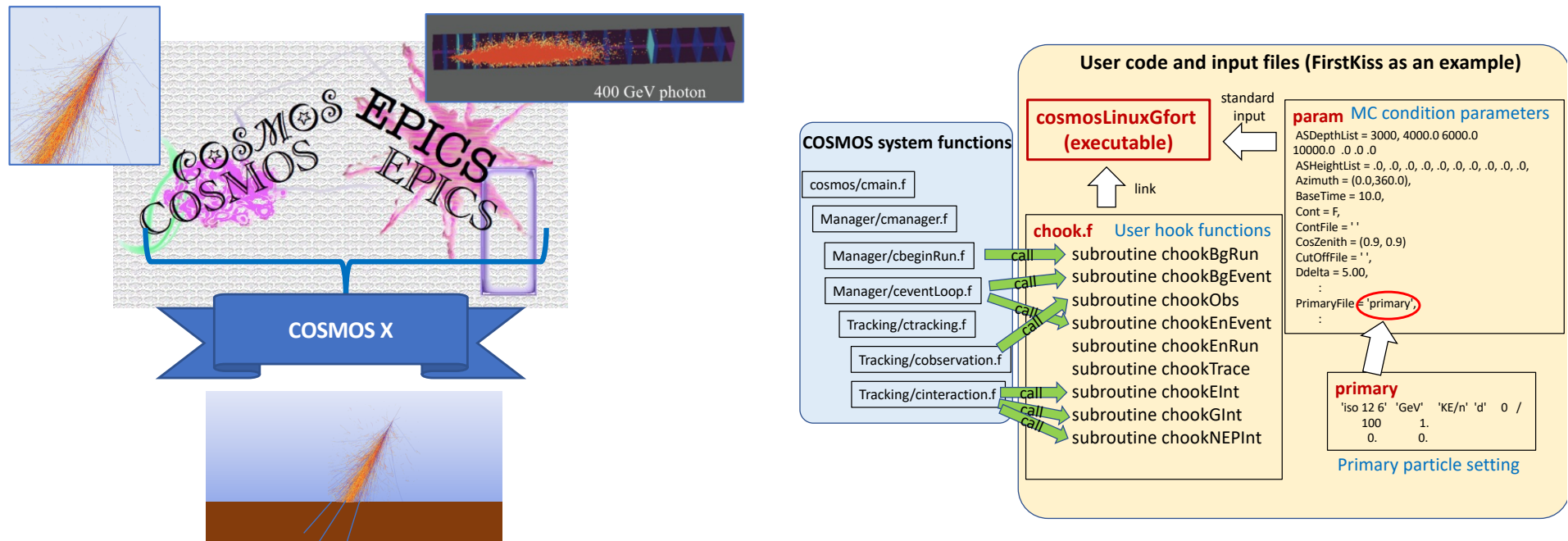
# COSMOS Xの特徴

Proceedings paper : PoS(ICRC2023)294

## Development of a general purpose air shower simulation tool COSMOS X

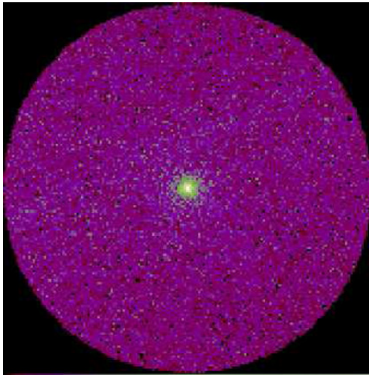
T. Sako,<sup>a</sup> T. Fujii,<sup>b,c</sup> K. Kasahara,<sup>d</sup> H. Menjo,<sup>e</sup> N. Sakaki,<sup>f</sup> A. Taketa,<sup>h</sup> Y. Tameda<sup>i</sup> for the COSMOS X development team

<sup>a</sup>Institute for Cosmic Ray Research, the University of Tokyo, <sup>b</sup>Hakubi Center for Advanced Research, Kyoto University, <sup>c</sup>Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>d</sup>Faculty of Systems Engineering and Science, Shibaura Institute of Technology, <sup>e</sup>Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, <sup>f</sup>Computational Astrophysics Laboratory, RIKEN, <sup>g</sup>Graduate School of Science, Osaka City University, <sup>h</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo, <sup>i</sup>Osaka Electro-Communication University, Department of Engineering Science



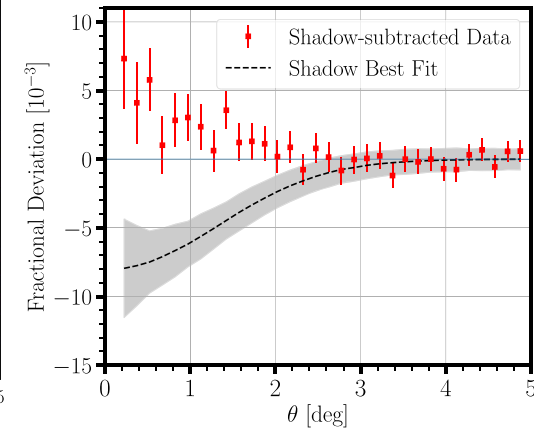
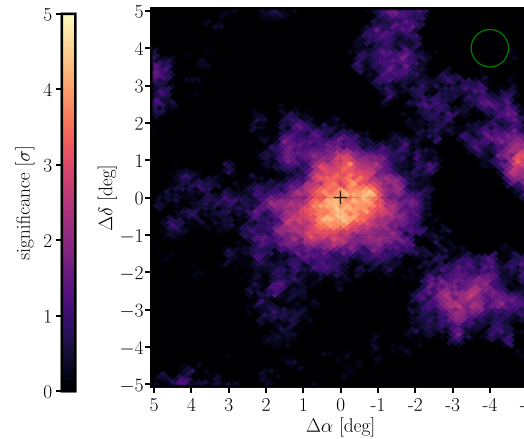
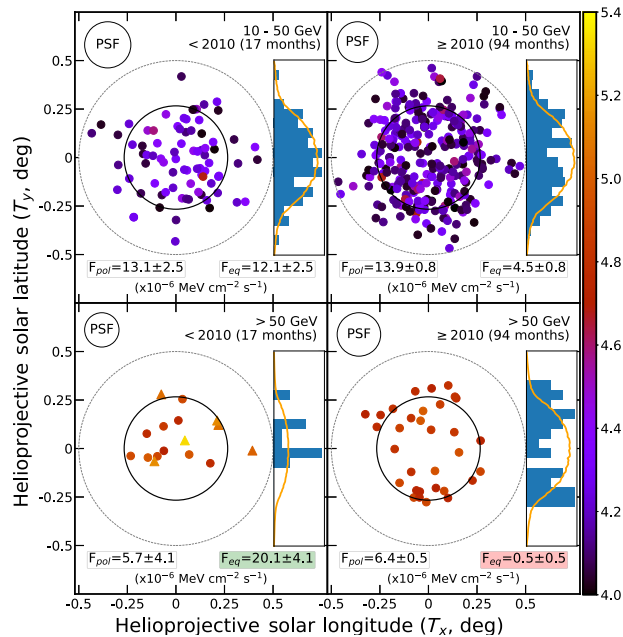
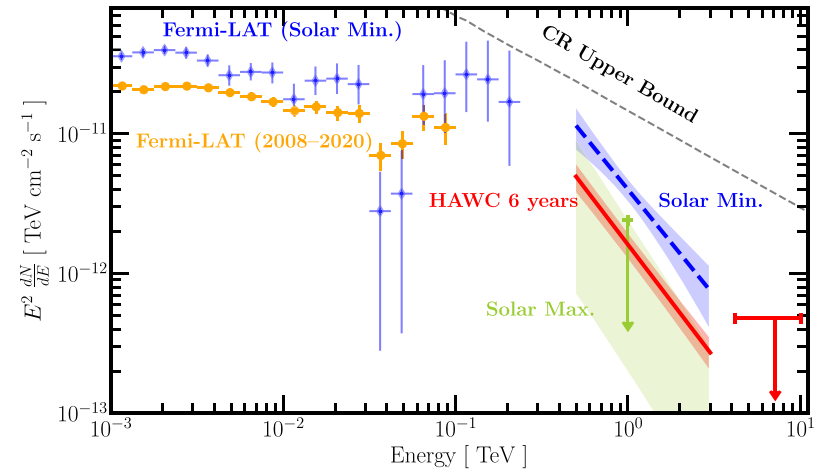
- 笠原が開発した空気シャワーシミュレーションツールCOSMOSと検出器シミュレーションツールEPICSを一体化したシミュレーションツール
- 地球大気だけでなく、土、水、コンクリートなどの物質、地球以外の星での計算が可能。物質分布は**同心球殻**であること。
- プロセスごとにユーザー定義関数が呼ばれることで、反応過程にアクセス可能 (GEANT4のイメージ)。

# Extra-Terrestrial Air showers !?



- Fermi/LAT observation
- GCR + solar atmosphere

A.Abdo et al., ApJ, 734:116 (10pp), 2011



HAWC Collaboration, Phys. Rev. Lett. 131, 051201 (2023)

T. Linden et al., PRL 121, 131113 (2018)

# 太陽表面でのガンマ線放射

D. Seckel, T. Stanev and T.K.Gaisser, ApJ, 382:652-666 (1991)

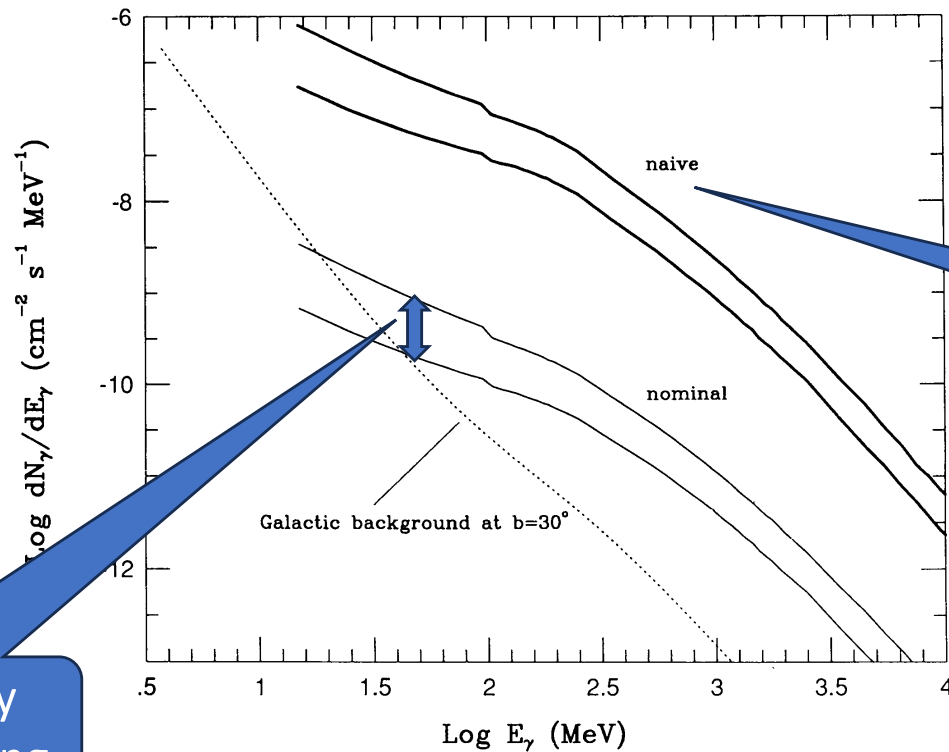
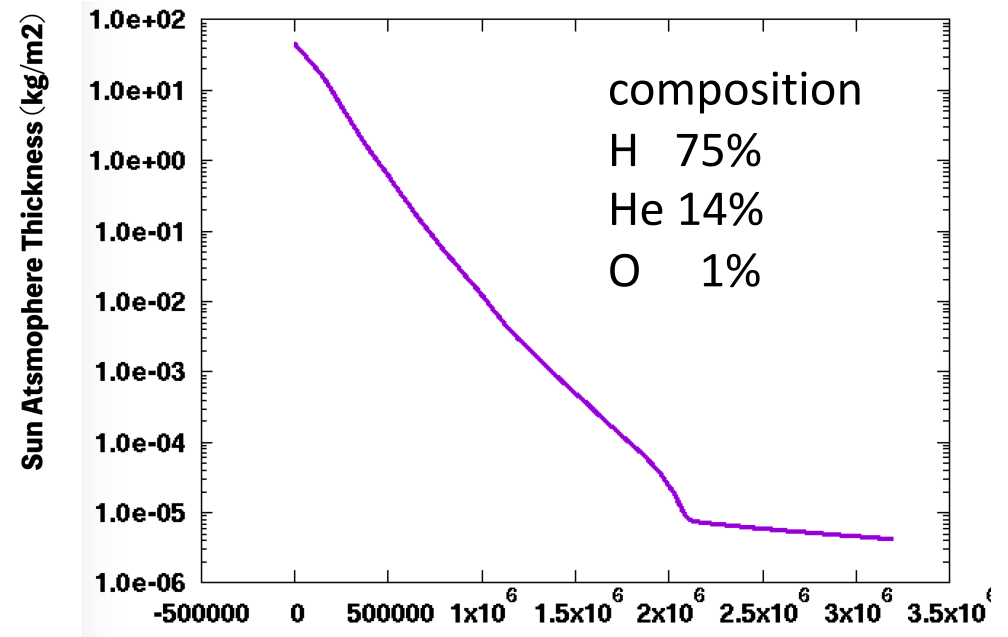
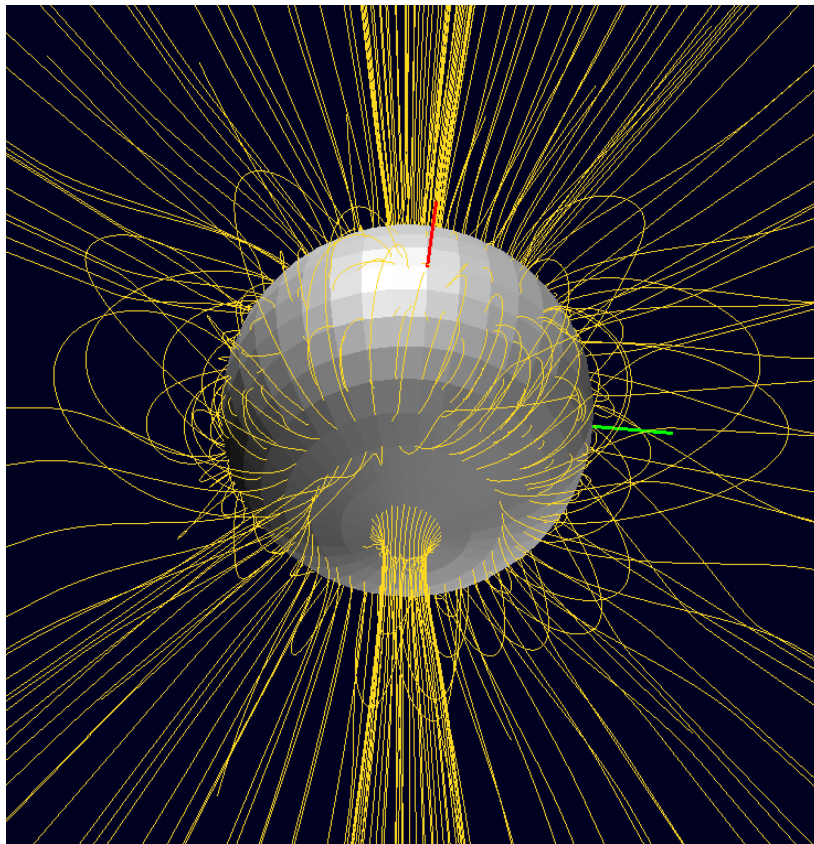
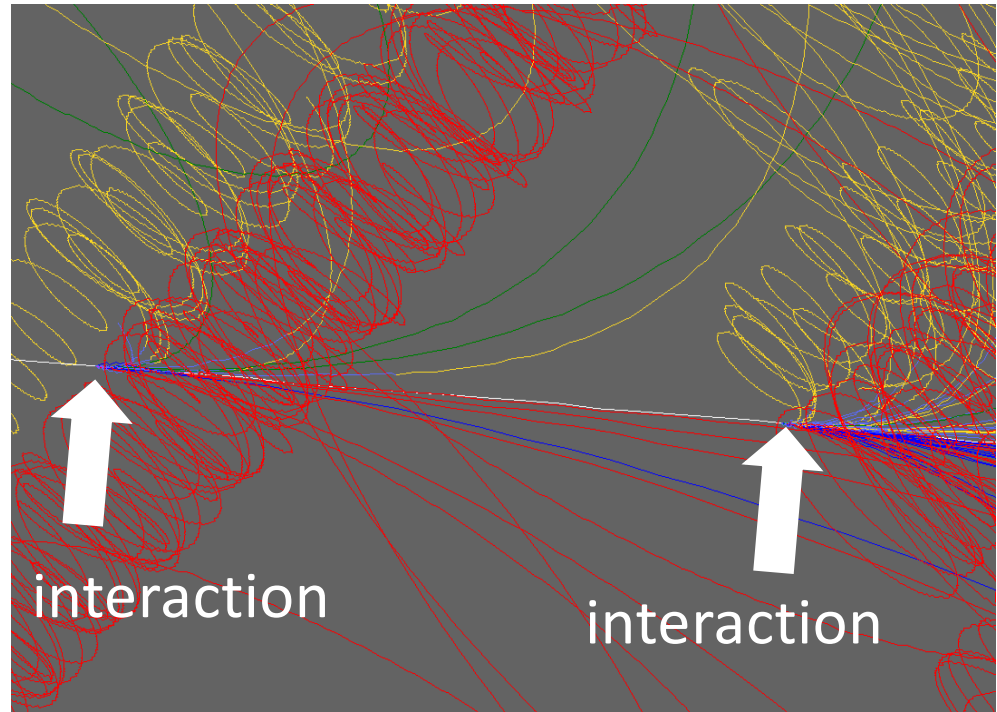
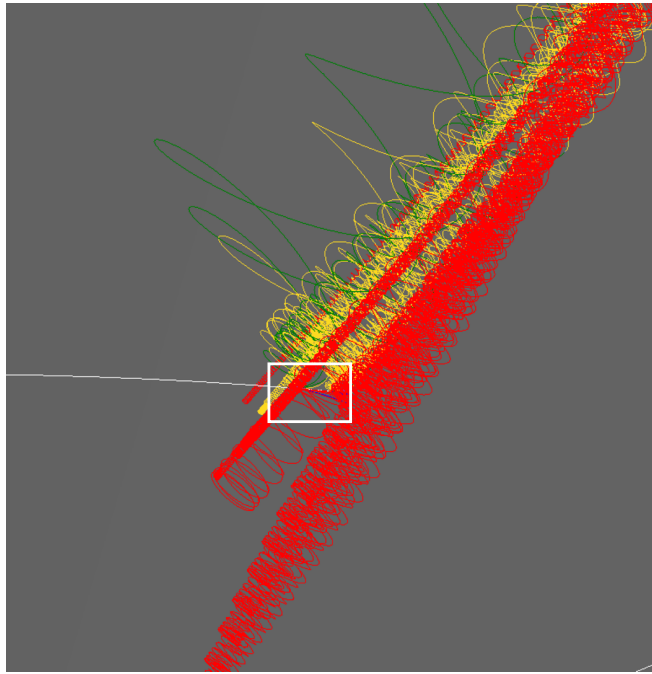
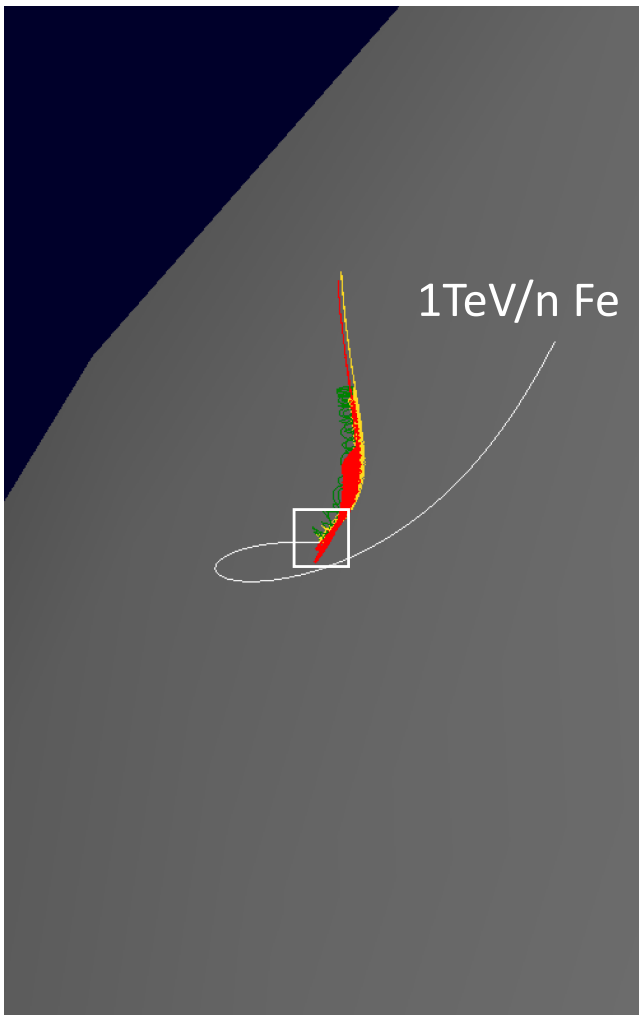


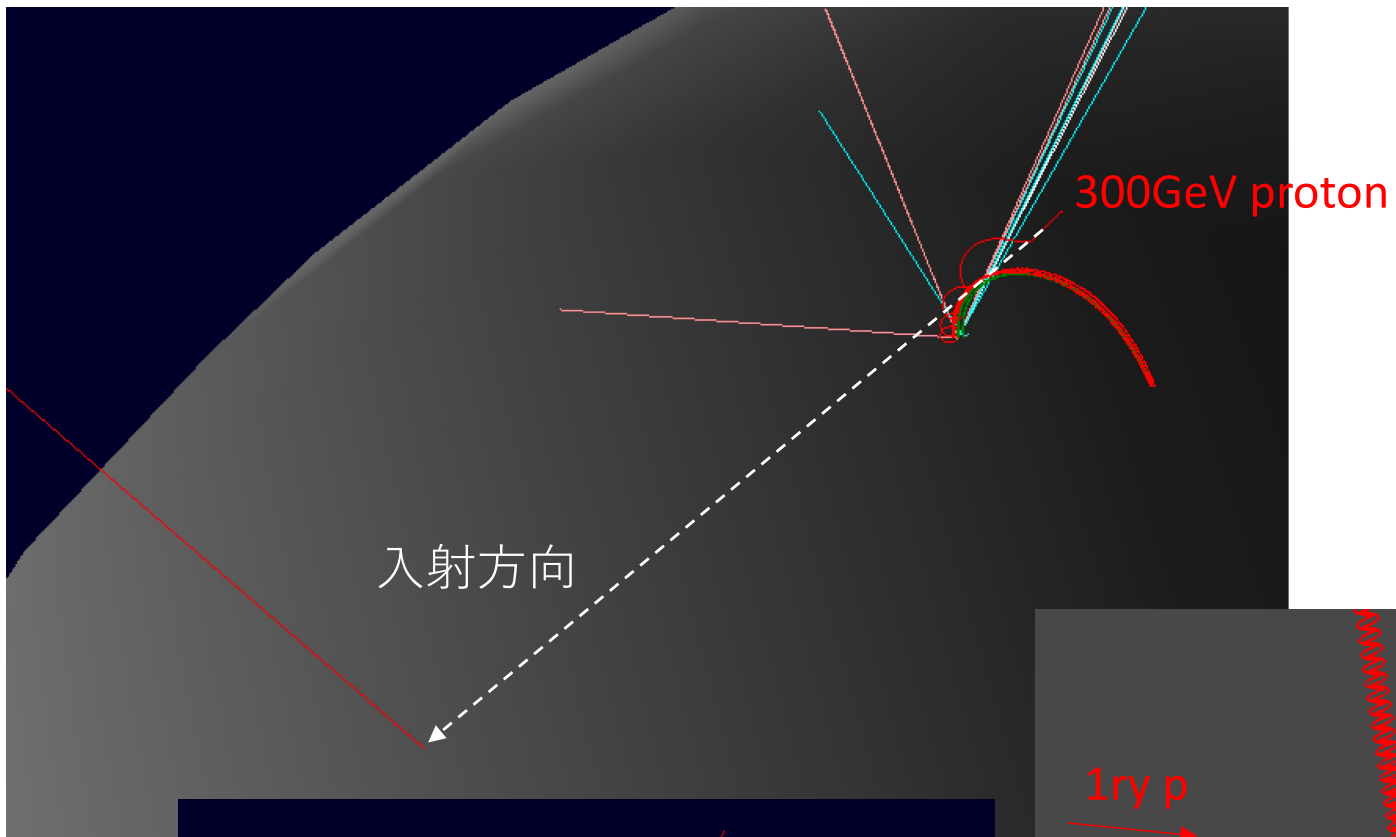
FIG. 7.—Differential photon flux at Earth for different assumptions about cosmic-ray propagation. Weighting of the curves is the same as in Fig. 4: bold for naive, light for nominal. In each pair of curves the upper curve shows the  $\gamma$ -ray albedo assuming charged particle trajectories for the cascade development, and the lower curve shows the result for neutral particle trajectories. The dotted curve shows the Galactic background for a disk the size of the Sun.

# 太陽磁場・太陽大気での計算実装

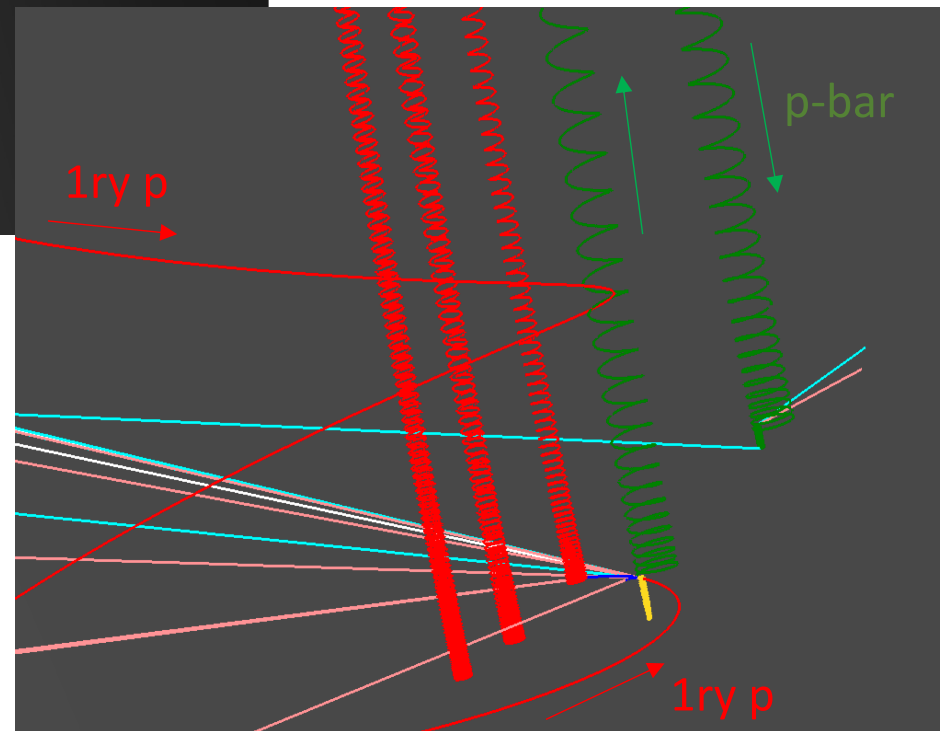
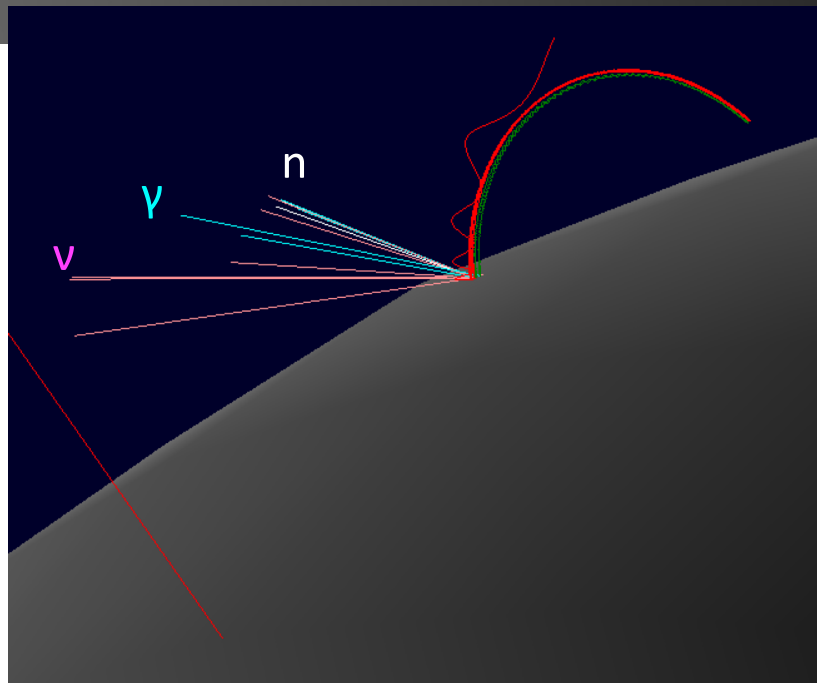
Hakamada modelの実装







- gamma
- positron, electron
- mu
- pi+, pi-
- proton, neutron
- anti-proton
- ion
- neutrino





# COSMOS講習会と 第六回空気シャワー観測による 宇宙線の起源探索研究会

- **2023年**3月27-29日 ハイブリッド開催
- <https://indico.cern.ch/event/1244851/>

Participants

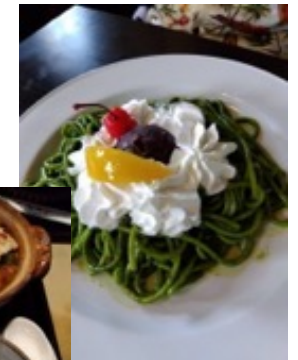
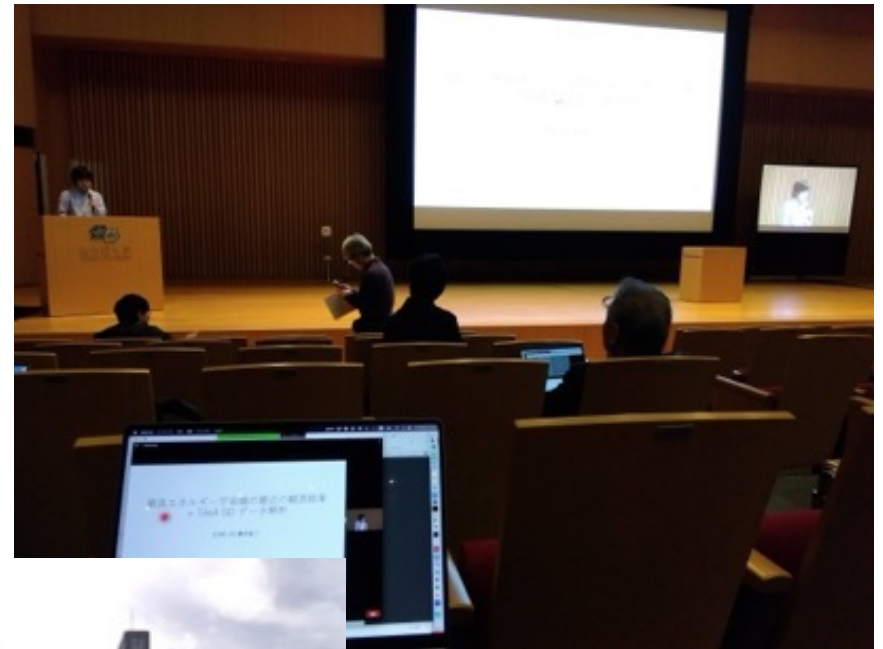
A	Akimichi Taketa	A	Akira Okumura	A	Atsushi Shiomi	E	Eiji Kido	E	Eiji Kido	F	Fraser Bradfield
H	Hiroaki Menjo	H	Hiroki Namba	H	Hiroyuki Sagawa	H	Hitoshi Oshima	H	Hitoshi Oshima	H	Hotta naoki
I	Ichiro Komae	K	Kaoru Takahashi	K	Kaoru Takahashi	K	katsuaki kasahara	K	katsuaki kasahara		
K	Kazumasa Kawata	K	keitaro fujita	K	Ken Ohashi	K	Kinya Hibino	K	Kota Mizuno		
K	Kozo Fujisue	K	Kyoshi Nishijima	M	Masahiro Takeda	M	Masakatsu Ichimura	M	Michiko Ohishi		
M	Miku Nakahara	M	Miku Nakahara	M	Mitsunari Takahashi	N	Naoto Sakaki	R	Reiko Orito	R	Ryo Higuchi
R	Ryo Higuchi	R	Ryuji Takeishi	S	Sakurai Shunsuke	S	satoko osone	S	Sei Kato	S	Sei Kato
S	Shigeo Kimura	S	Shoichi Shibata	S	Shoma Sato	S	Shoma Sato	S	Shunsuke Sakurai	S	sousuke okukawa
S	Susumu Inoue	T	Takashi Sako	T	Takayuki Saito	T	Takehiko Saito	T	Takuro Kobayashi		
T	Tomohiro Inada	T	Toshihiro Fujii	T	Tsubasa Sasaki	Y	Yasushi Muraki	Y	Yoshitaka Itow	Y	Yuga Kitagami
Y	Yuga Kitagami	Y	Yuichiro Tameda	Y	Yukiho Kobayashi	Y	Yusuke Kawachi	小森 康平	小森 康平		
影一 鉄尾	憲昭 Noriaki 杉本 Sugimoto	憲昭 Noriaki 杉本 Sugimoto	橋森 優貴	橋森 優貴							
芳基 常定	貴紀 吉越	廣野 和紀子									

Contact [menjo@isee.nagoya-u.ac.jp](mailto:menjo@isee.nagoya-u.ac.jp)

MONDAY, 27 MARCH

13:00 → 18:05 1日目午後 ES館6階, ES635

13:00	趣旨説明 Speaker: Hiroaki Menjo (Nagoya University (JP)) 20230327_AirShow...	5m
13:05	IceCube実験最新結果とマルチメッセンジャー観測展望 Speaker: Koji Noda (The University of Tokyo) 230327IceCubeNe...	40m
13:45	ブレーザーにおける非熱的放射の時間変動と今後の展望 Speaker: Shunsuke Sakurai	20m
14:05	テレスコープアレイ実験のための深層学習を用いた宇宙線空気シャワー解析手法の開発 Speaker: Shoma Sato	20m
14:25	深層学習を用いたガンマ線/原子核宇宙線空気シャワー選別手法の研究 Speaker: Sousuke Okukawa	20m
14:45	新型大気蛍光望遠鏡の再構成 Speaker: Fraser Bradfield	20m
15:05		
15:25	VERITAS/CTA-LST1データを用いたハード Speaker: Michiko Ohishi (ICRIT)	
15:45	LHC実験における中性パイオンの質量の	



@名古屋大学  
ICRC2023ハイブリッドリハーサル

# COSMOS講習会と 第七回空気シャワー観測による 宇宙線の起源探索研究会

- **2024年**3月25-27日（25, 26日午前が講習会）
- @宇宙線研
- <https://indico.cern.ch/event/1358926/>

## 第七回 空気シャワー観測による宇宙線の起源探索研究会

📅 25 Mar 2024, 12:45 → 27 Mar 2024, 18:00 Asia/Tokyo

**Description**

本研究会は宇宙線研共同利用「Knee領域および最高エネルギー領域での宇宙線反応の実験的研究」と「新しい宇宙線空気シャワーシミュレーションコード開発」の一環として毎年実施しています。空気シャワー実験の研究者の集まりとしてスタートしましたが、近年は宇宙線利用やニュートリノなど空気シャワーに限らず幅広い議論ができる研究会を目指しています。今年は宇宙線研究所を会場として、2024年3月26日と27日に開催します。26日午後若手、27日はシニアしてセッションを便宜上分けますが、参加者の都合に合わせて講演日程はスケジュールします。また「今の観測結果から何がいえるのか」をテーマにレビュー講演や招待講演も予定しています。

また空気シャワーシミュレーションコードCOSMOSの講習会を研究会の直前（3月25日午後と26日午前）日に開催します。この講習会では、COSMOSの初心者を対象として、サンプルコードの実行ができるようになり、自分の希望する計算ができるようになるとっかかりを支援します。

- 空気シャワー研究会：3月26日午後、27日終日  
会場：東大柏キャンパス 部屋TBD  
ベストエフォートでのZOOM接続も予定しています。
- COSMOS講習会：3月25日午後、27日午前  
会場：東大柏キャンパス 部屋TBD  
参加者は作業用のノートパソコンを用意してください。

過去の研究会のリンク

- 2017年 第1回
- 2018年 第2回
- 2019年 第3回
- 2021年 第4回
- 2022年 第5回
- 2023年 第6回

(詳細情報の展開のため、参加登録をお願いします。)

**Registration**

- COSMOS講習会参加登録 [Register](#)
- 研究会参加登録 [Register](#)

**Participants**

H Haruka KOBAYASHI H Hiroaki Menjo J Jun Shikita K Keitaro Fujita K Kohei Endo K Koza Fujisue  
M Miku Nakahara R Ryo Higuchi R Ryuichi Kobo R Ryunosuke Sakamoto S Satoko Osone S Sei Kato  
T Teruyoshi Kawashima Y Yusuke Kawachi さ さこ 隆志 K 幸祐 木下 憲昭 杉本 楓 楓 藤田 薫 薫 高橋  
達 達 希 石井

**Contact**

- menjo@isee.nagoya-u.ac.jp
- sako@icrr.u-tokyo.ac.jp



# まとめ

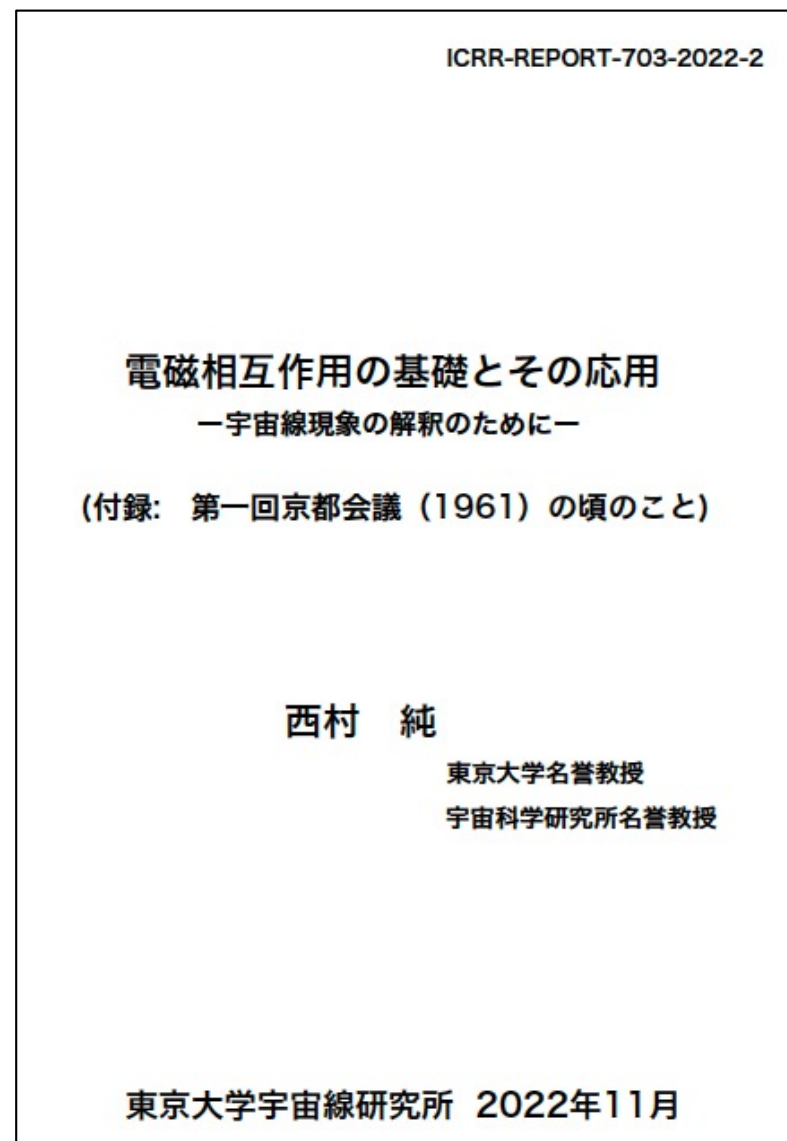
- COSMOS Xの開発を通じた空気シャワーシミュレーションの研究を継続
- 太陽磁場、太陽大気中における宇宙線の軌道計算、反応計算を実装
- COSMOS講習会、空気シャワー研究会を通じた若手、グループ間交流を推進

**ご支援ありがとうございます。  
初心者ユーザーのご意見歓迎。卒業研究等のテーマにもどうぞ。**

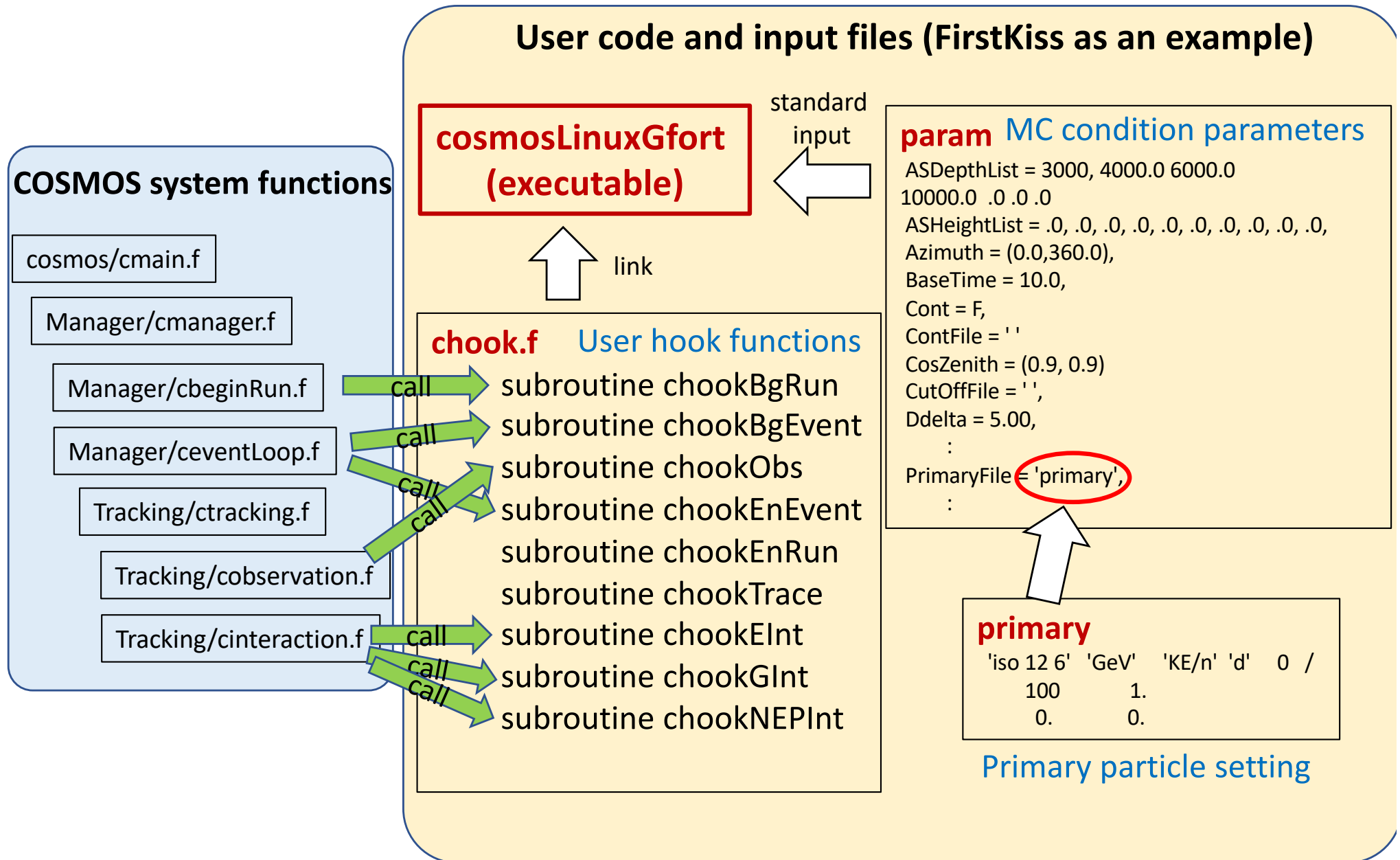


# 西村先生テキスト

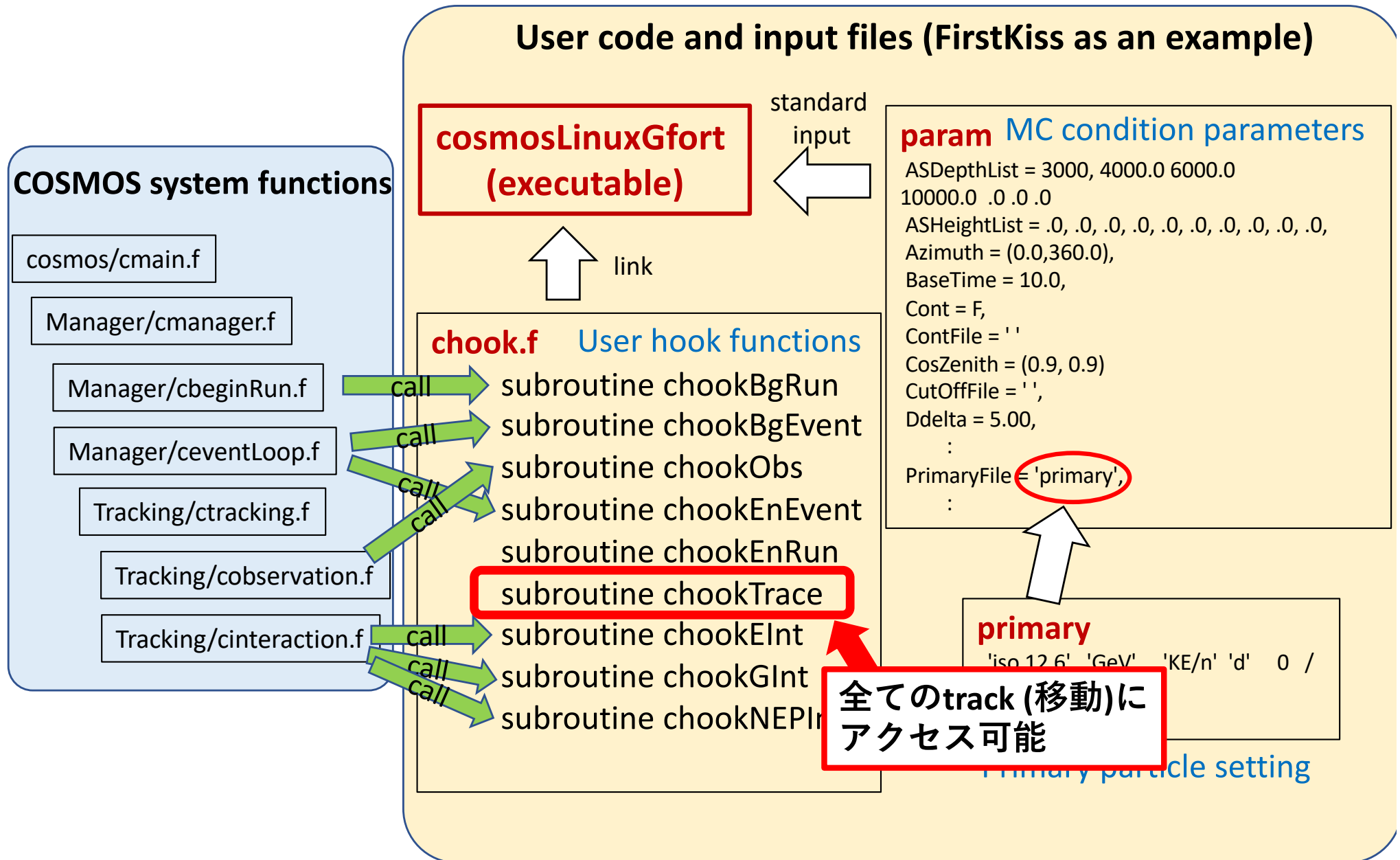
- 2015年の講義をテキスト化
- ICRR Reportとして出版・配布
- 宇宙線研HP「年次資料・報告書」からPDF DL可
- 印刷版も余裕があります。希望者はこちらご連絡ください。
- 水本好彦先生、笠原克昌先生、中村健蔵先生、宇宙線研広報室には企画、編集、出版にわたってご協力いただきました。ありがとうございます。



# COSMOS User Interface



# COSMOS User Interface



```

! ***** hook for trace
! * This is called only when trace > 60
! * User should manage the trace information here.
! * If you use this, you may need some output for tr
! * at the beginning of 1 event generatio and at the
! * generation so that you can identify each event.
! *
! *
!
subroutine chookTrace

```

```

#include "ZmediaLoft.h"

#include "Ztrack.h"
#include "Ztrackp.h"
#include "Ztrackv.h"
#include "Zobs.h"
#include "Zobsv.h"

```

```

type(coord)::f
type(coord)::t

```

```

call ccoordForTr( 25, f, t)

```

```

! t is in meter.
tstep = 100 ! timing step in nsec
iusbf = TrackBefMove%t/0.3/tstep
iusmv = MovedTrack%t/0.3/tstep
energy = MovedTrack%p%fm%p(4)

```

```

if ( iusbf .ne. iusmv ) .and. ( energy .gt. 0.01 ) then
write(TraceDev,'(2i7, 3i4, f10.1, 3f12.1, 2f10.1)')

```

```

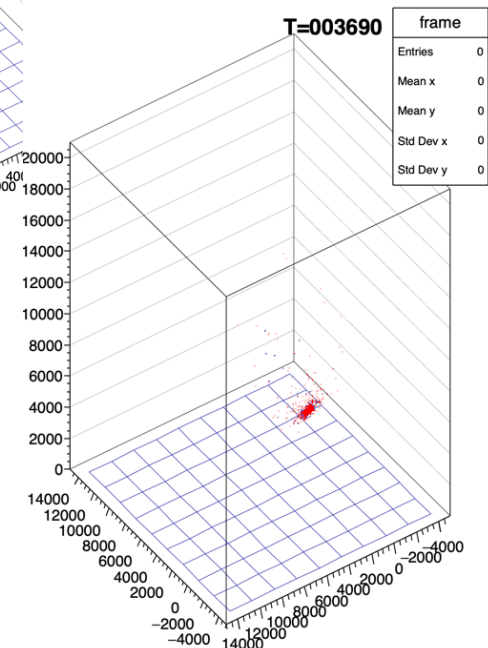
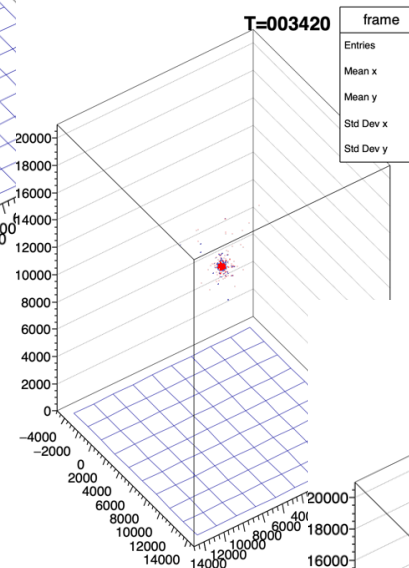
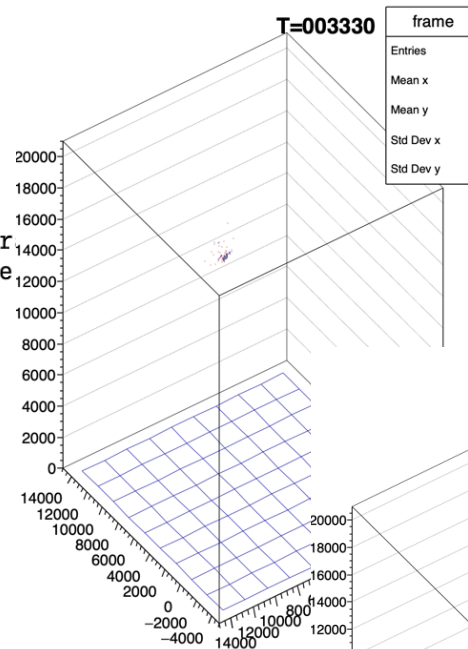
* iusbf, iusmv,
* TrackBefMove%p%code, TrackBefMove%p%subcode,
* TrackBefMove%p%charge,
* energy,
* f%r(1), f%r(2), f%r(3),
* TrackBefMove%t, MovedTrack%t
endif

```

```

end

```

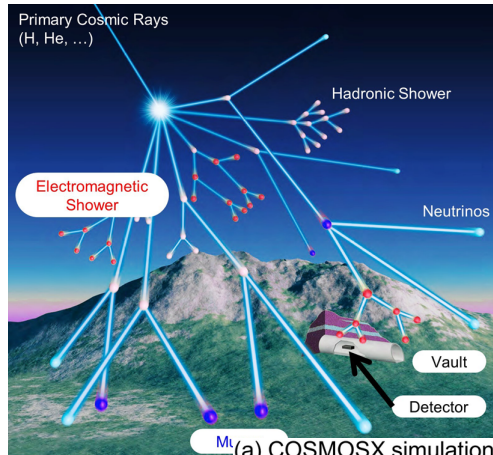


Animation:

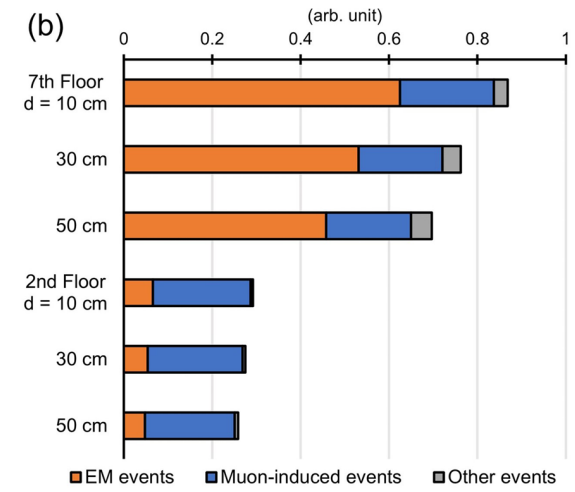
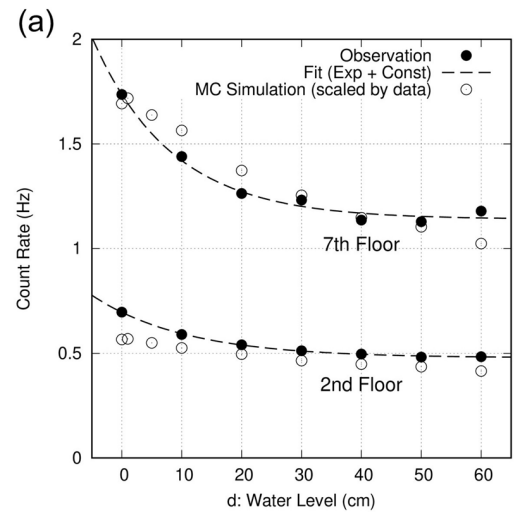
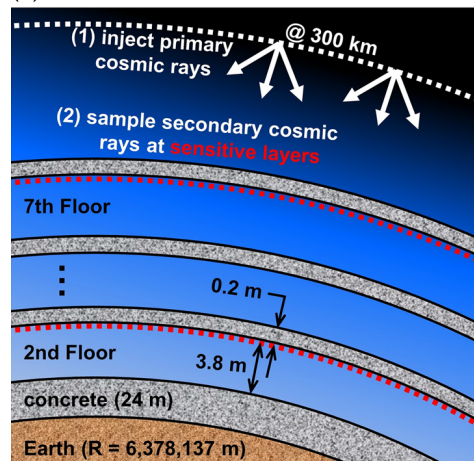
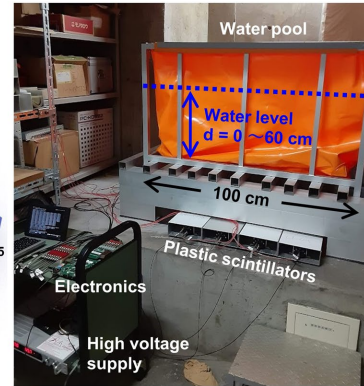
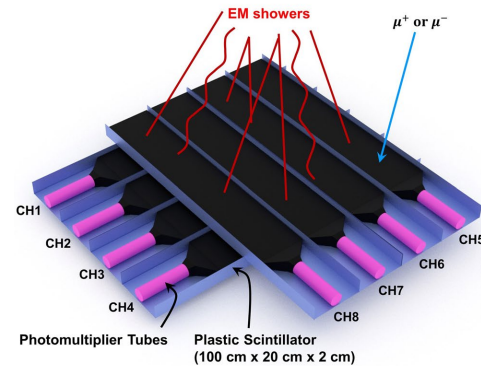
[http://cosmos.icrr.u-tokyo.ac.jp/Misc/proton\\_10TeV.gif](http://cosmos.icrr.u-tokyo.ac.jp/Misc/proton_10TeV.gif)

# COSMOS Xの応用

“Radiography using cosmic-ray electromagnetic showers and its application in hydrology,” A. Taketa, R. Nishiyama, K. Yamamoto & M. Iguchi, Scientific reports (2022) 12:20395



(a) COSMOSX simulation



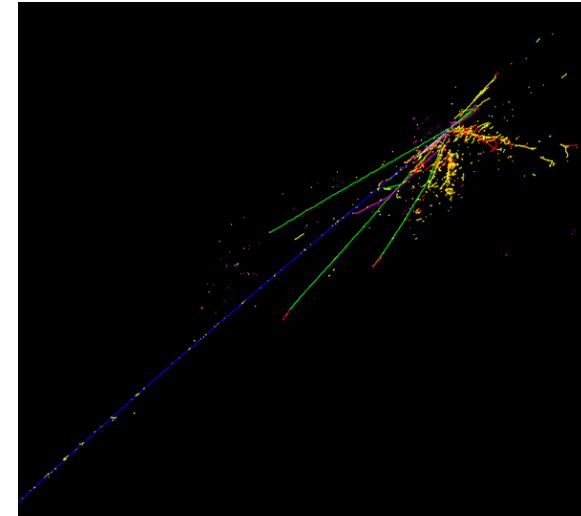
- 二次宇宙線「電磁成分」の吸収で土中水分量を測定する cosmic electromagnetic particle (CEMP) radiography を提唱
- COSMOS X + GEANT4で実験室での測定を再現



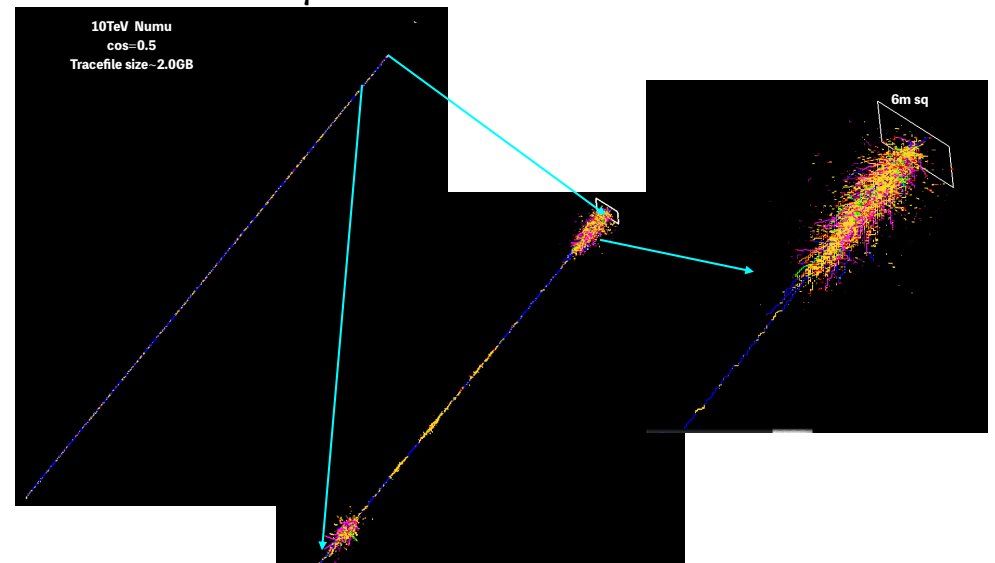
# ニュートリノ反応の導入

$$\nu_{\mu}(30\text{GeV}) + O \rightarrow \mu(10\text{GeV}) + X$$

- COSMOS Xは neutrino interaction modelは実装していない
- 一般的なgenerator (GENIE, NuWRO, NEUT, Herwig...) の導入を検討  
=> NEUTと将来の検討開始
- Step1 : NEUTで計算した生成粒子群をCOSMOS Xで任意のvertexに入射  
右図 : NEUTで計算したinteraction (CCDIS) をCOSMOS Xで氷中で追跡
- Step2 (将来) : NEUTとCOSMOS Xを連携

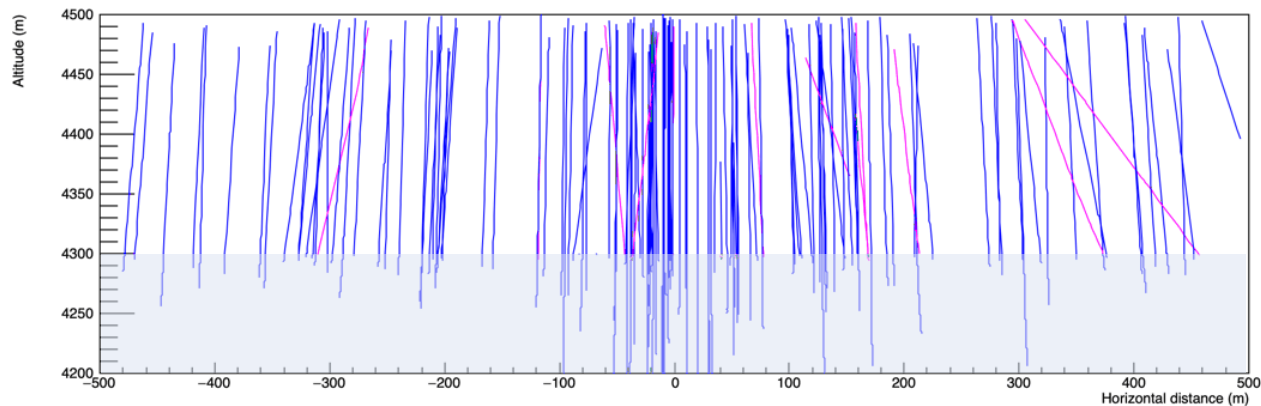


$$\nu_{\mu}(10\text{TeV}) + O \rightarrow \mu + X$$

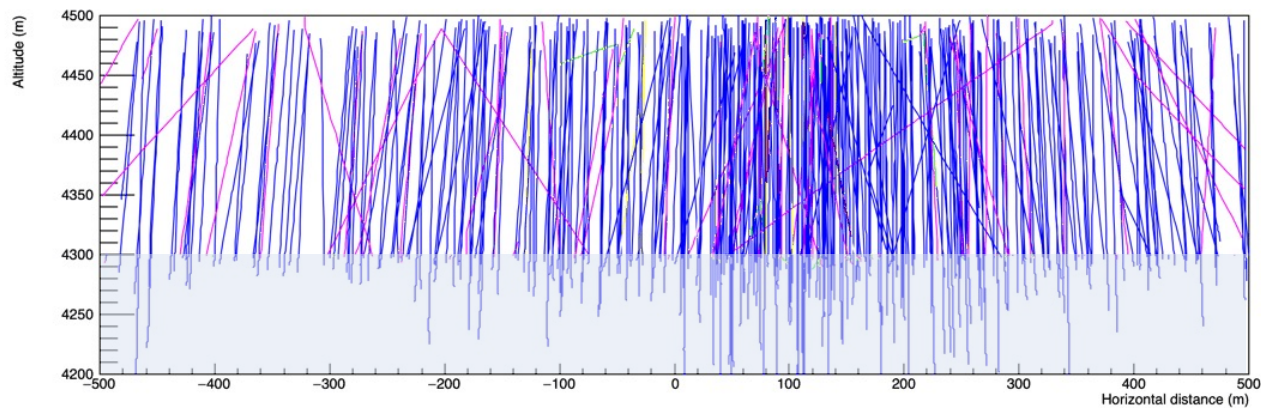




# 水中のミュー粒子



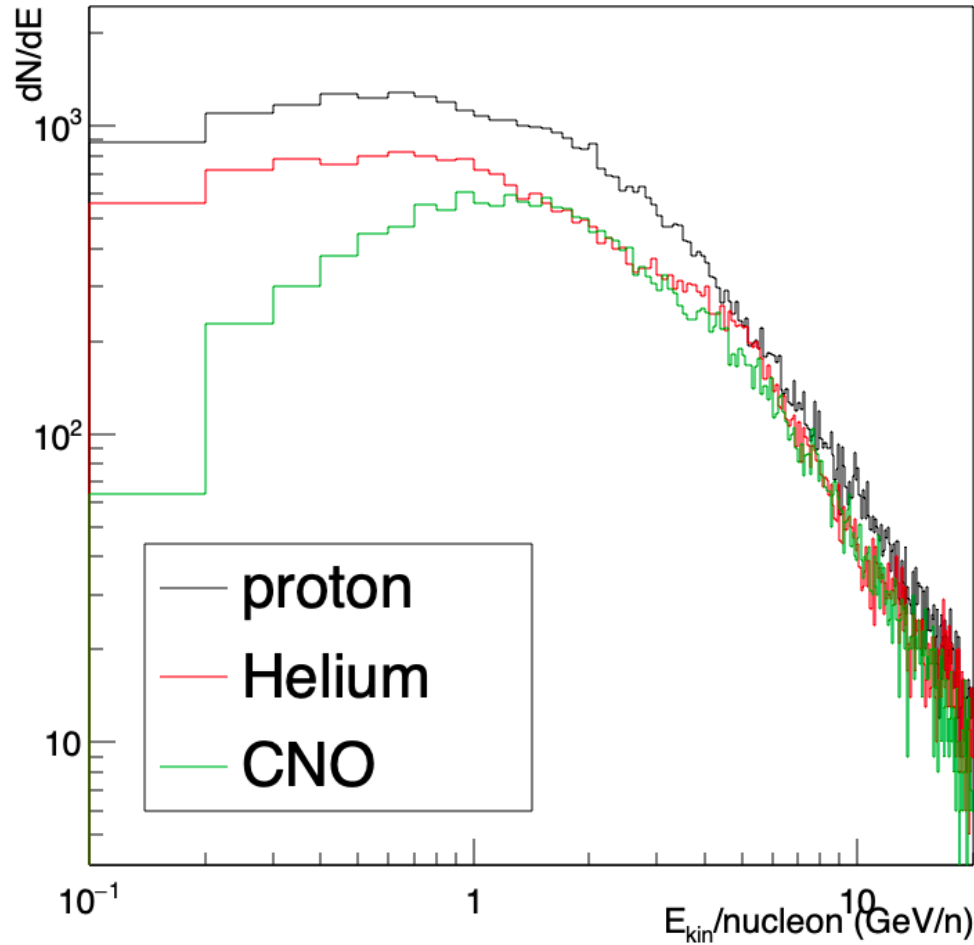
10TeV proton shower



10TeV Fe shower

- 電磁シャワーは計算しない（縦発達だけB近似で代用）オプション
- Muon, hadronのみ計算、表示
- <4300mは水

# Primary definition



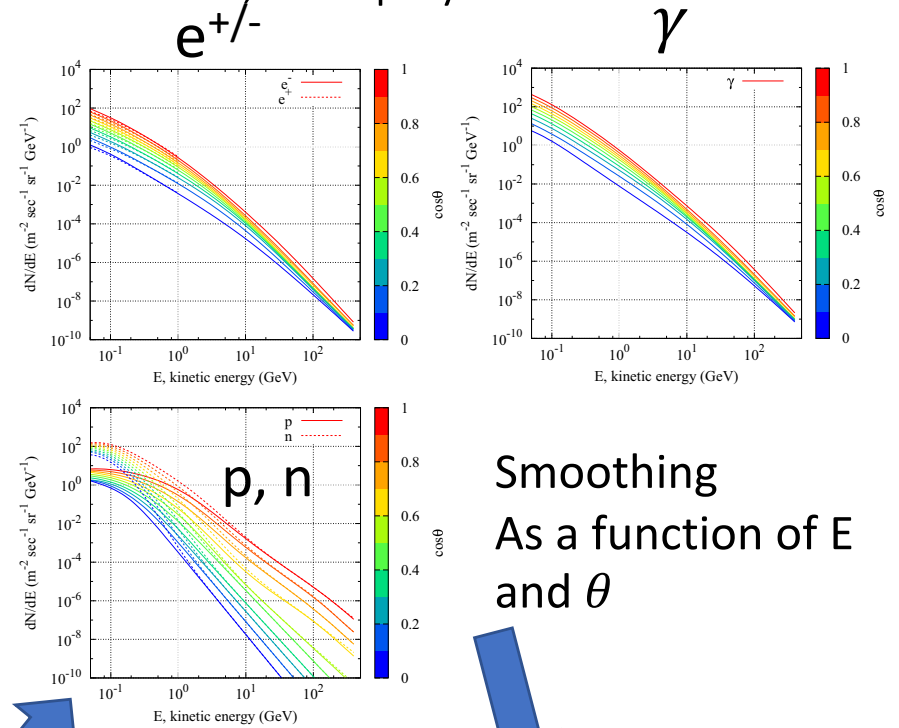
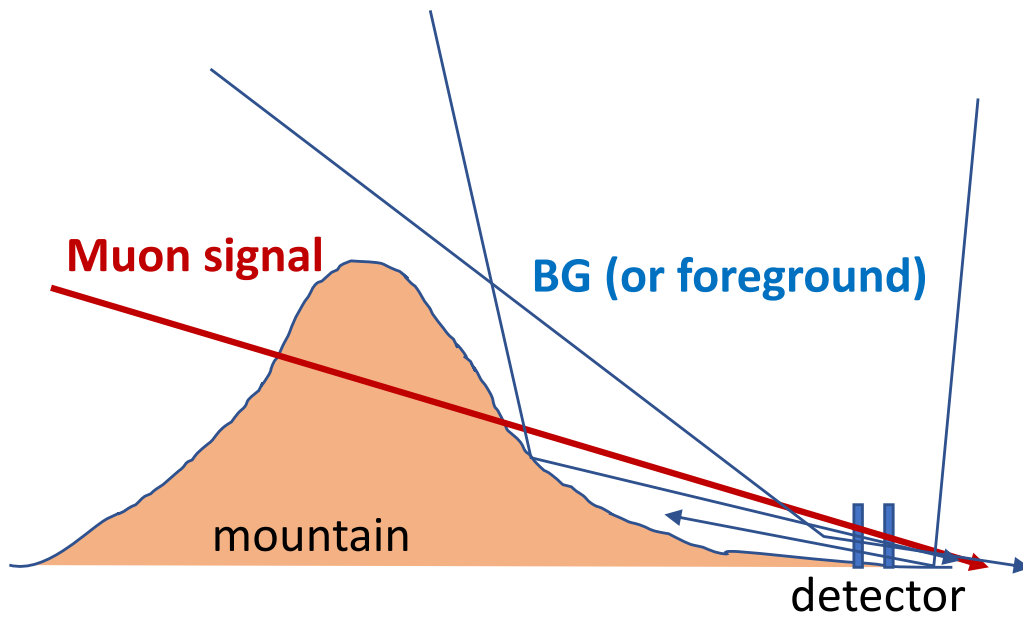
Of course, mono energy, simple power law are simpler

## 'primary' file

"	'p'	'GeV'	'KE/n'	'd'	0	/
		0.1	1.2			
		0.2	1.5			
		.3	1.7			
		.4	1.9			
		.5	1.93			
		.6	1.9			
		.8	1.8			
		1.5	1.5			
		2.	1.25			
		3.	.8			
		4.	.55			
		10.	.1			
		20.	.02			
		100.	2.8e-4			
	0		0			
'He'	'GeV'	'KE/n'	'd'	0	/	
	.1	.7				
	.2	1.				
	.4	1.2				
	.6	1.25				
	.8	1.2				
	1.	1.15				
	2.	.7				
	5.	0.35				
	10.	0.065				
	30.	.008				
	100.	2.e-4				
	0		0			
'CNO'	'GeV'	'KE/n'	'd'	0	/	
	.1	.013				
	.2	.28				
	.3	.4				
	.5	.65				
	.8	.8				
	1.	.85				
	1.3	.88				
	2.0	.75				
	4.	.35				
	6.	.2				
	10.	.07				
	20.	.012				
	0		0			

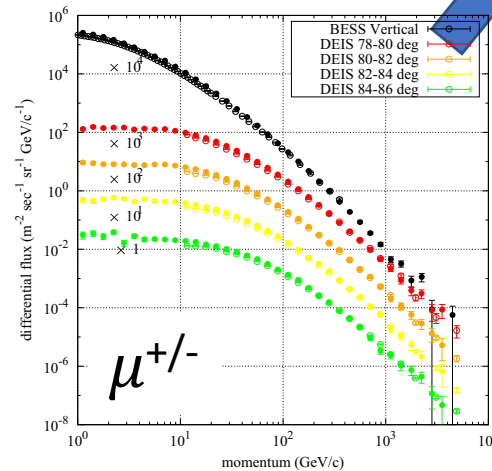
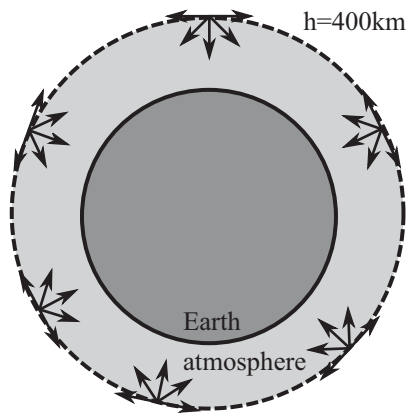
# 最近の応用例：Muography

(R.Nishiyama, A.Taketa, S.Miyamoto, K.Kasahara, Geophys. J. Int. (2016) 206)

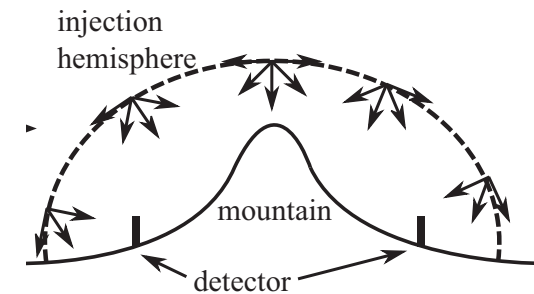


Smoothing  
As a function of  $E$   
and  $\theta$

(a) COSMOS

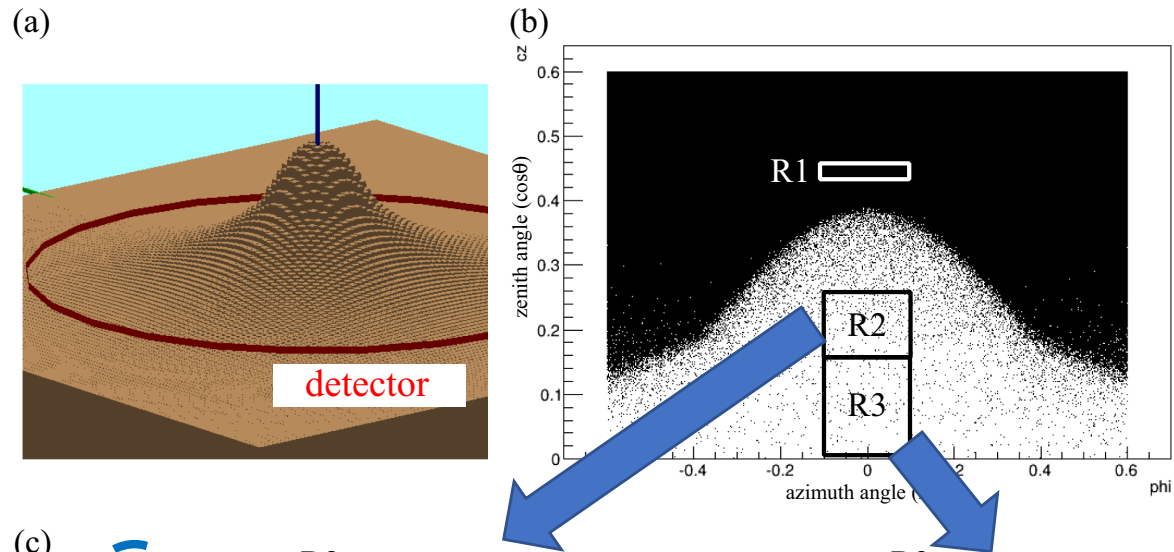


(b) GEANT4

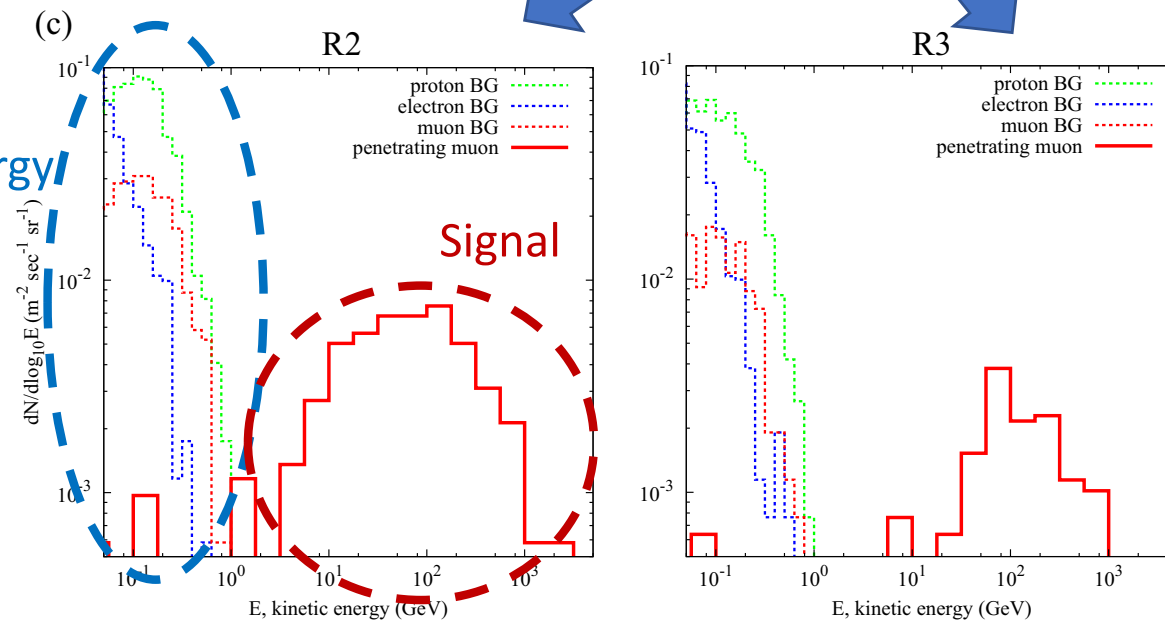


# 最近の応用例：Muography

(R.Nishiyama, A.Taketa, S.Miyamoto, K.Kasahara, Geophys. J. Int. (2016) 206)



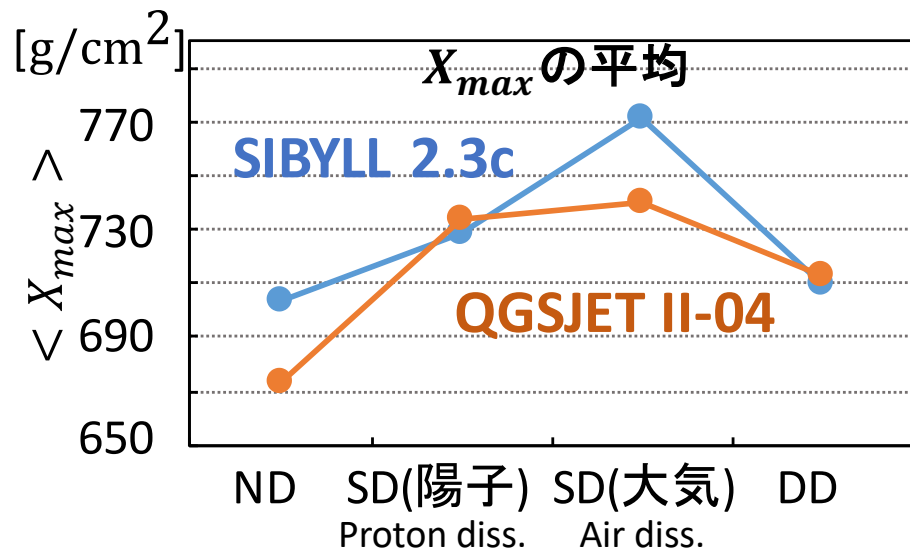
BG dominates in number  
But clear difference in energy!



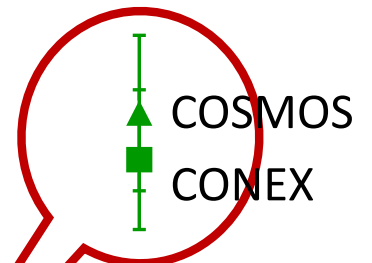
# 最近の応用例：

by K.Ohashi (LHCf, Nagoya)

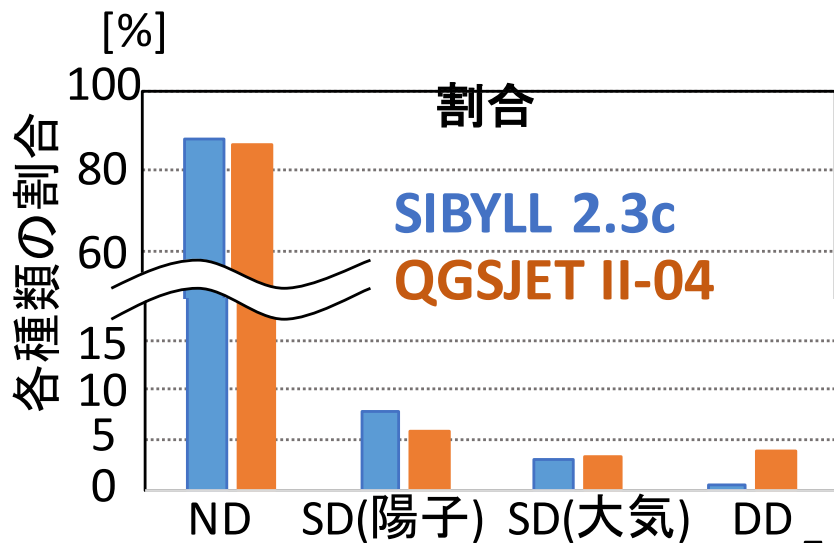
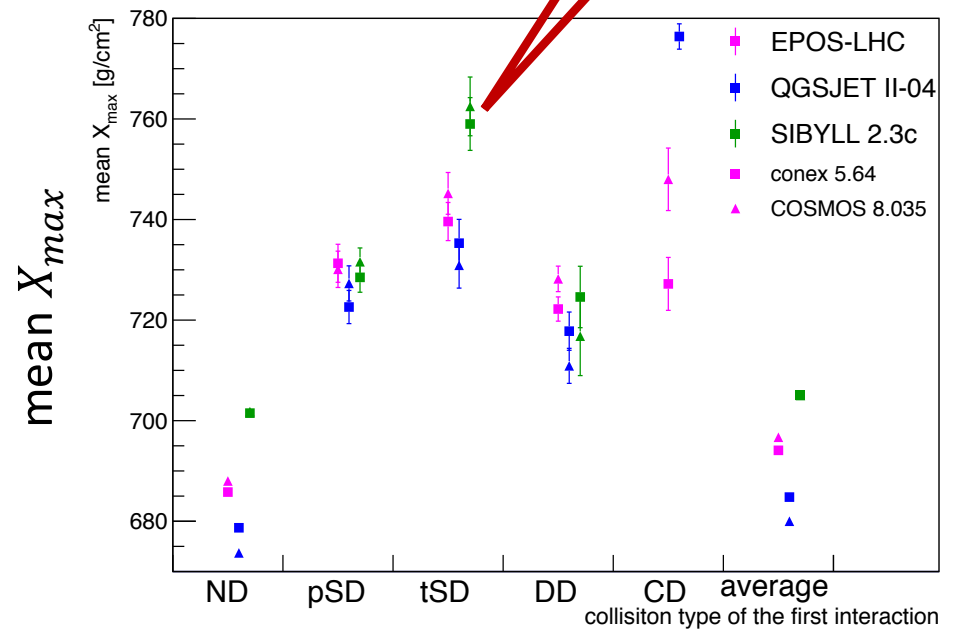
- 1<sup>st</sup> interaction category and  $\langle X_{max} \rangle$



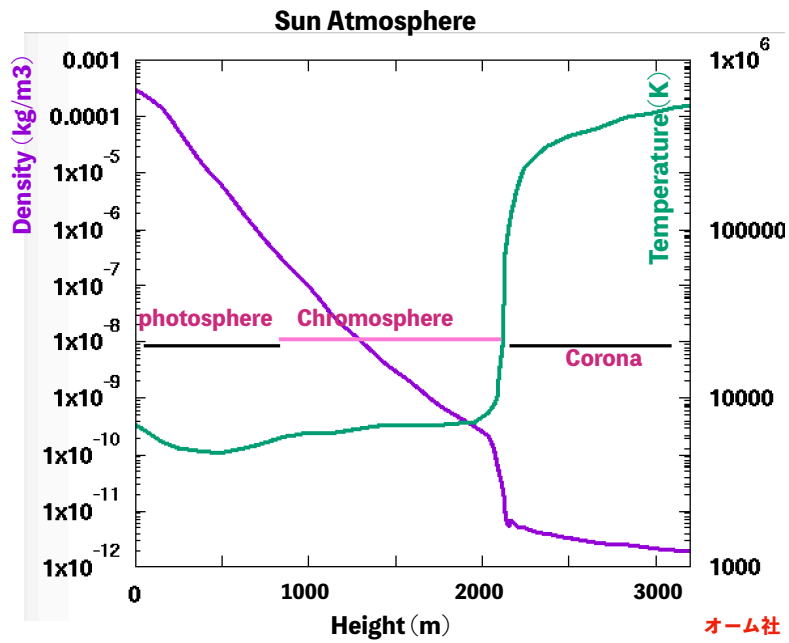
COSMOS 8.035  
10<sup>17</sup>eV proton



COSMOS vs. CONEX



# 太陽大気テスト計算



オーム社『宇宙環境科学』

Toy Magnetic Field

