

F20: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）
 - COSMOS講習会
- 大型計算機利用
- 共同研究者（所属は申請時）

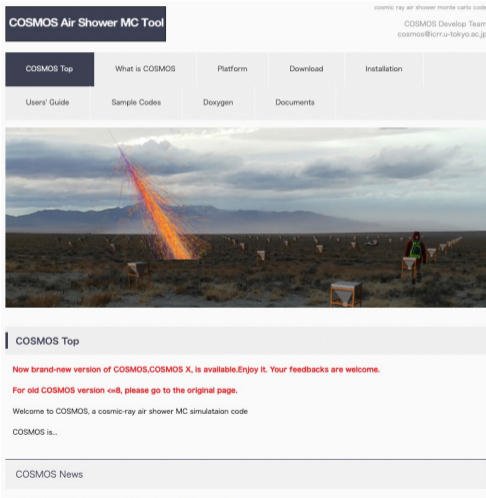
常定芳基、藤井俊博（大阪公立大）、毛受弘彰（名大）、櫻井信之（徳島大）、吉越貴紀、大石理子、野中敏幸、武多昭道、西山竜一、釜江常好（東大）、木戸英治、榊直人（理研）、笠原克昌（芝工大）、芝田達伸、板倉数記（KEK）、大嶋晃敏、山崎勝也（中部大）、日比野欣也、有働慈治（神大）、多米田裕一郎（大阪電通大）、奥田剛司（立命館大）、奈良寧（国際教養大）、土屋晴文（原子力機構）

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
 - 月例会議で Debug, etc... <= **これがメイン!**
 - OS, compilerのアップデートがあると苦戦
 - 開発 (debug) 強化のため、Gitサーバーの移行
 - 応用研究 (ミュオン、大気電場影響) へのサポート
 - COSMOS講習会開催 (昨年度末)、今年度も3月に実施予定

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

1	What is COSMOS X?	3
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
2	How to use COSMOS X for the first time?	9
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
3	How to edit the user control files?	13
3.1	primary file	13
3.2	param file	14
3.3	userhook function	14
4	How to optimize my simulation?	15
4.1	Hadronic interaction model ON GOING	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/>

MONDAY 25 MARCH	
13:30 - 17:30	COSMOS講習会 Speaker: emma.gardner
講習	
TUESDAY 26 MARCH	
09:30 - 11:30	COSMOS講習会 Speaker: emma.gardner
実践結果紹介	
10:30 - 10:30	空気シャワー研究会：開会セッション
12:00	観望説明 Speaker: Hiroaki Morigi (Shizuoka University LPF)
12:30	TA 50による大天頂角ニュートリノシャワー観測手法の発表 Speaker: 黒 高規 (ICRR)
12:50	TALe-60 SD による100 kton級の宇宙線観測 Speaker: Jun Shikata (大阪公立大学)
13:10	TALe-60 SD の再構成プログラムとデータ解析 Speaker: Yusaku Kanauchi (大阪公立大学)
13:30	LHC実験とATLAS実験の共同観測のためのデータ取得 Speaker: 伊藤 孝平 (大阪大学)
13:50	検出器出力解析プラットフォームの開発とデータ解析 Speaker: Atsushi Mizuno (ICRR)
14:10	検出器出力解析プラットフォームの開発とデータ解析 Speaker: Kohji Endo (大阪公立大学)

14:30	TAx4実験のための宇宙線空気シャワーの非対称性の研究 Speaker: Ryunosuke Sakamoto (大阪電気通信大学)
14:45	TAx4実験宇宙線空気シャワーハイブリッド事象解析の現状 Speaker: Yuki Kusumori (大阪電気通信大学)
15:30	ALPACA実験用インテグレーションPMTのダイナミックレンジの拡張 Speaker: Tetsuhiro Kawashima (ICRR)
15:40	ALPAQUITAデータ解析 Speaker: Kaho Goto (中研大)
16:00	ずばる望遠鏡サイトに設置する空気シャワー検出器の開発 Speaker: Ryuchi Kubo (大阪公立大学)
16:20	TA Hybrid 解析と SD 解析を用いた invisible energy の推定 Speaker: Mikio Nakahara (大阪公立大学)
16:40	TAx4 SDによる大天頂角空気シャワー事象の再構成手法の開発 Speaker: Chiaki Koyama (ICRR)
17:00	LHCとATLAS-ZDC共同測定で電子ビームを用いた性能評価 Speaker: Haruka KOBAYASHI (ICRR)
17:20	三次元カスケード理論に基づく空気シャワー粒子ララル分布の数値計算プログラム開発 Speaker: 長 崇司 (大阪公立大学)

17:35	IceCube-Gen2の光検出器FOM検出に向けたファイバーの評価 Speaker: 渡邊 石野 (大阪公立大学)
17:50	Even-Odd法を用いたTASD事象毎の到来方向決定精度の見直しと手法の検討 Speaker: Tetsu Nakayama (大阪電気通信大学)
18:00	(リモート発表) 月による宇宙線観測効果を用いた地磁気変動推定の研究 Speaker: Tsubasa Sasaki (大阪大学)
懇話会	
WEDNESDAY 27 MARCH	
空気シャワー研究会：一般セッション	
09:00	LHCの最近の観測結果 1：エネルギースケールと質量生成 Speaker: Kazuo Fujikawa (ICRR)
09:40	LHCの最近の観測結果 2：到来方向と観測値 Speaker: Ryoji Higashi (ICRR)
10:20	Break
10:30	飯岡田における電子加速器と最高エネルギー宇宙線 Speaker: Kosuke Nishimori (ICRR)
11:15	TALe実験ハイブリッド観測によるエネルギーベクトル測定 Speaker: Hiroaki Oshima (ICRR)
13:30	FASER実験の最新結果とハドロン相互作用研究の今後の展望 Speaker: Ken Ohshiro (University of Bonn)
13:50	Break
14:00	最高エネルギーガンマ線天文学のこれまでとこれから Speaker: Sei Kato (ICRR)
14:40	電子・陽電子対の最新結果 Speaker: Youshi Akaike (Waseda Univ.)

「宇宙線空気シャワー観測によるマルチメッセンジャー天文学の推進」研究会

<https://indico.cern.ch/event/1484453/>

3月24日

- First session : COSMOS・ROBAST 講習会 March 24
 - Style : In-person (リモート参加をご希望の場合にはご相談ください)
 - 会場 / Venue : ICRR, TBD for the room
 - 言語 / Language : Japanese
 - 空気シャワーモンテカルロシミュレーションコードCOSMOS XとROOTベースのレイトレースコードROBASTについての初心者向けのハンズオン講習を行います。

COSMOS講習会 + ROBAST講習会

3月25日-
26日午前

- 2nd session : Workshop March 25 to 26 morning
 - Style : Hybrid (in-person + zoom)
 - 会場 / Venue : ICRR, TBD for the room
 - 言語 / Language : Japanese
 - 空気シャワー実験をはじめとした広く宇宙線研究や実用についての招待講演と一般講演を実施し(アプスト受付1月26日まで)、優秀な学生発表を表彰します。

空気シャワー研究会

3月26日午後-
27日

- 3rd session : Machine learning (ML) lecture + hands-on, March 26 Afternoon to 27
 - Style : In-person
 - 会場 / Venue : ICRR, TBD for the room
 - 言語 / Language : English
 - 台湾アカデミアシニカの Anatoli Fedynitch氏を講師として英語で開催します。前半は初心者向けの一般的な機械学習講習を実施し、後半は発展した内容についての講習を行います。前半、後半のみの参加もOKです。 / Dr. Anatoli Fedynitch in Academia Sinica will lead this session and provide the lecture and hand-on practice about machine learning techniques mainly for ML beginners. The advanced course will be provided in the later half of this session also. You can join the first and/or later half of this session for your interest.
- 4th session : Machine learning course for Telescope Array members, March 28 and 29.
 - 本セッションはTA実験に特化した講習になります、TA関係者のみが参加可能です。 / This session is dedicated for TA analysis. Only TA members can join this session.

機械学習による空気シャワー
研究スクール

Enjoy air shower week!!

まとめ

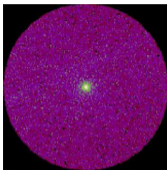
- COSMOS Xの開発を通じた空気シャワーシミュレーションの研究を継続
- 開発のネックが深刻化：OSやコンパイラアップデートへの対応
- 開発力強化のためにGitサーバーの移行中
 - 人数制限のあるGitLabから通常のgitへ、若手・計算機強い人大歓迎
- COSMOS講習会、空気シャワー研究会を通じた若手、グループ間交流を推進

25年度の目標：

- 昨年度までに実装した太陽大気計算、ニュートリノシャワー計算、を利用した研究を進めたい
- ミューオン観測、大気電場加速への応用研究を支援
- CORSIKA8との比較

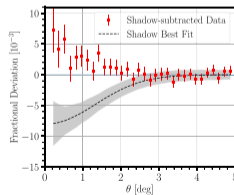
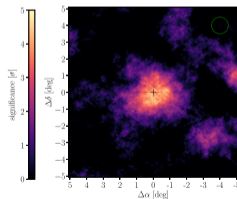
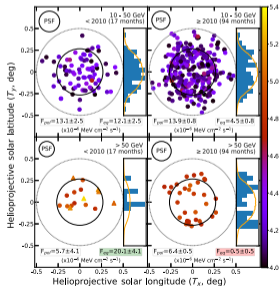
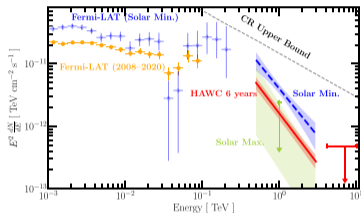
ご支援ありがとうございます。
初心者ユーザーのご意見歓迎。卒業研究等のテーマにもどうぞ。

Extra-Terrestrial Air showers !?



- Fermi/LAT observation
- GCR + solar atmosphere

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

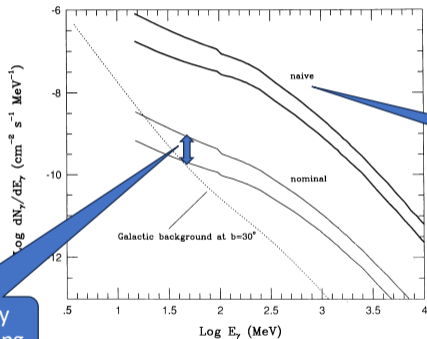


HAWC Collaboration, Phys. Rev. Lett. 131, 051201 (2023)

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)



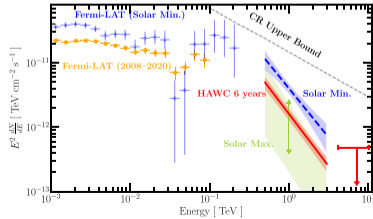
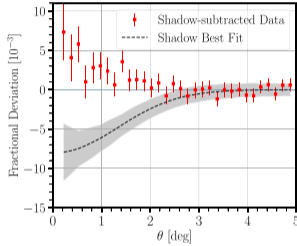
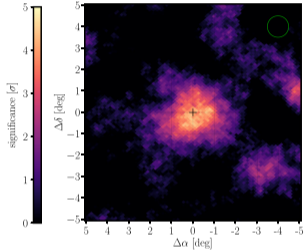
difference of 2ry
trajectory modeling

magnetic field ignored

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 γ -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.

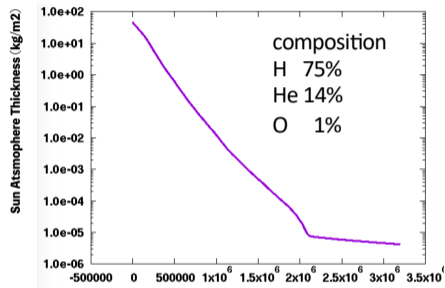
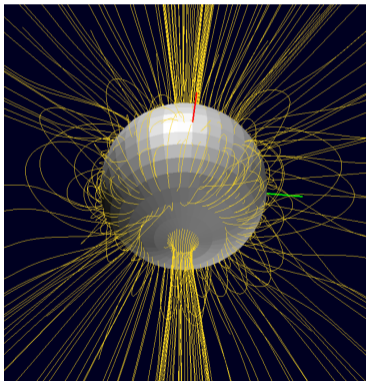
HAWC detection at \sim TeV

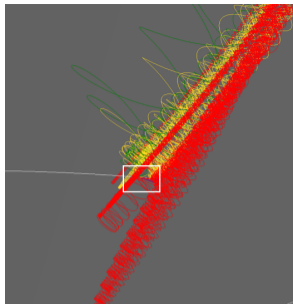
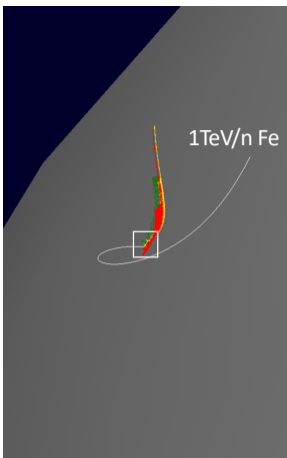
HAWC Collaboration, Phys. Rev. Lett. 131, 051201 (2023)



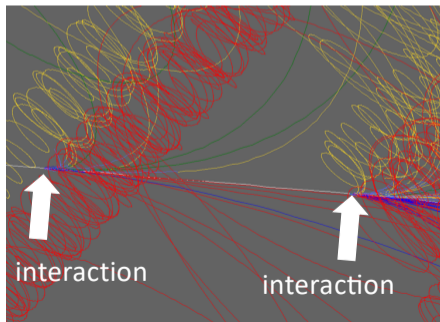
太陽磁場・太陽大気での計算実装

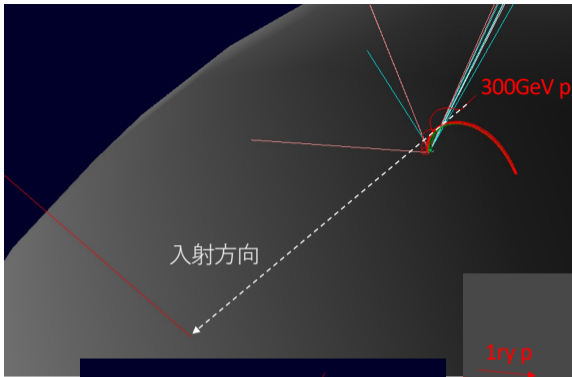
Hakamada modelの実装



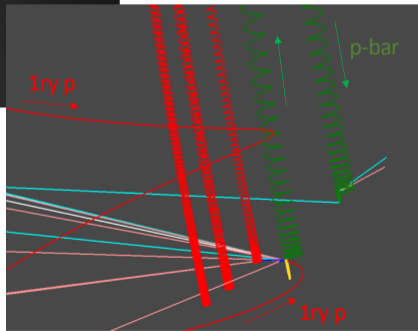
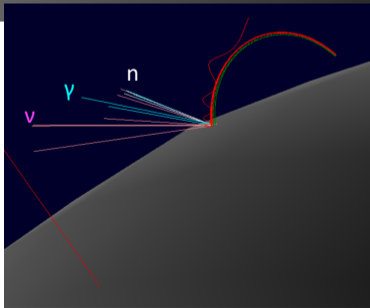


positron, electron
mu
pi+, pi-
proton
anti-proton
ion





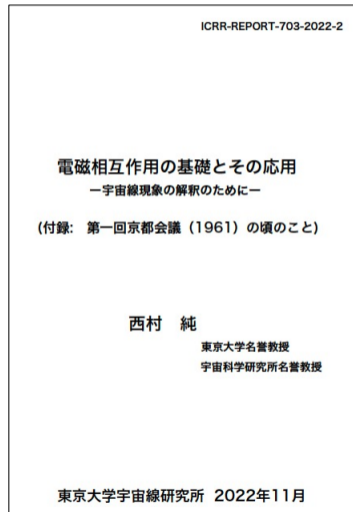
- gamma
- positron, electron
- mu
- pi+, pi-
- proton, neutron
- anti-proton
- ion
- neutrino



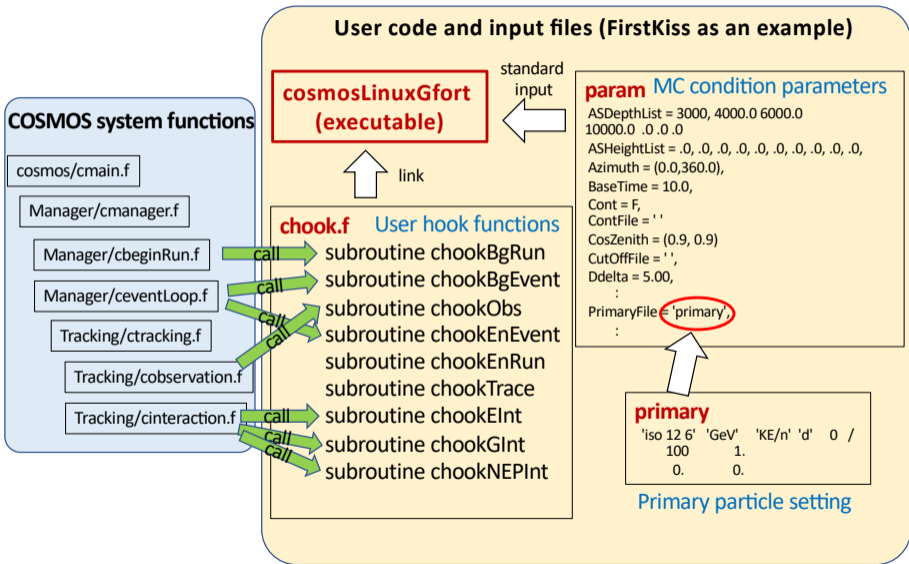
西村先生テキスト

- 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。

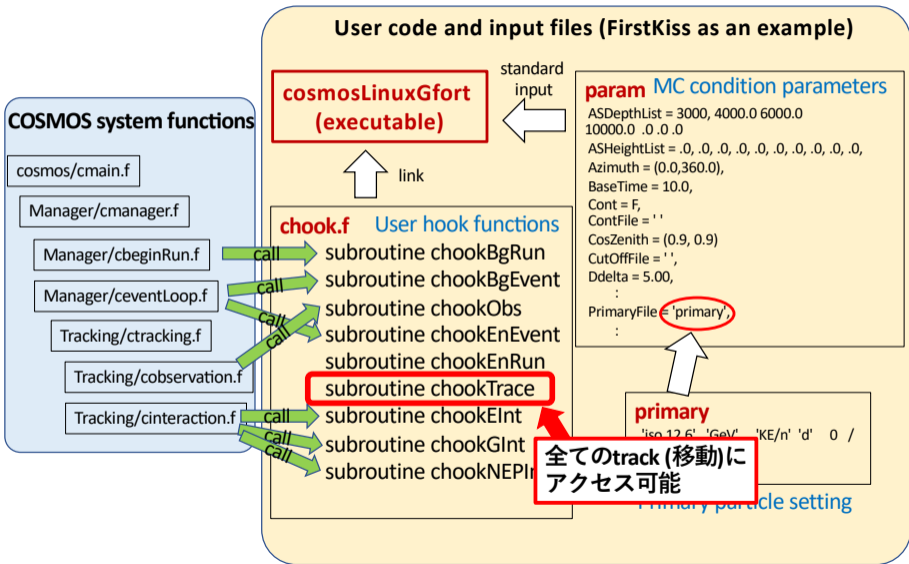
- 水本好彦先生、笠原克昌先生、中村健蔵先生、宇宙線研広報室には企画、編集、出版にわたってご協力いただきました。ありがとうございます。



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)

```

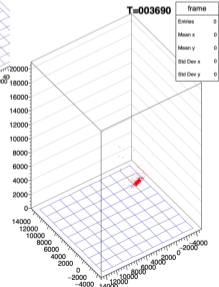
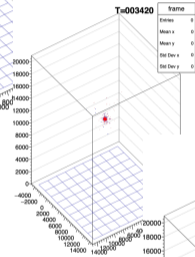
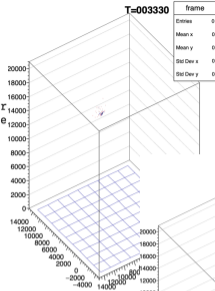
```

! t is in meter.
tstep = 100 ! timing step in nsec
iusbf = TrackBefMove%t/0.3/tstep
iusmv = MovedTrack%t/0.3/tstep
energy = MovedTrack%pfm%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

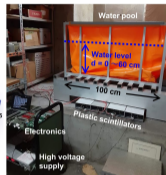
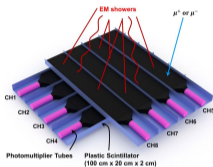
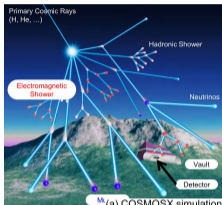
```



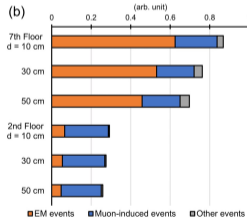
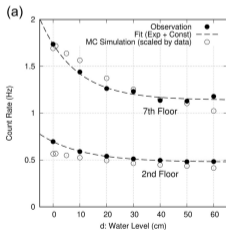
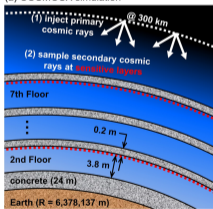
Animation:
http://cosmos.icrr.u-tokyo.ac.jp/Misc/proton_10TeV.gif

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

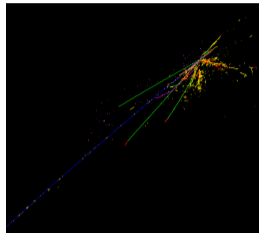


- 二次宇宙線「電磁成分」の吸収で土中水分量を測定する cosmic electromagnetic particle (CEMP) radiography を提唱
- COSMOS X + GEANT4で実験室での測定を再現

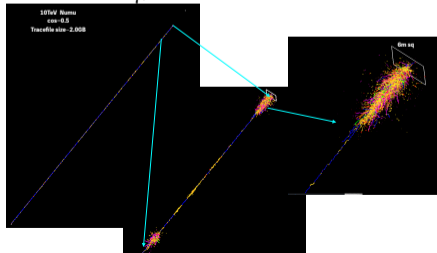
ニュートリノ反応の導入

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

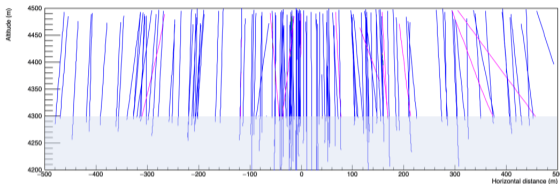
- COSMOS Xは neutrino interaction modelは実装していない
- 一般的なgenerator (GENIE, NuWRO, NEUT, Herwig...) の導入を検討
=> NEUTと将来の検討開始
- Step1 : NEUTで計算した生成粒子群をCOSMOS Xで任意のvertexに入射
右図 : NEUTで計算したinteraction (CCDIS) をCOSMOS Xで氷中で追跡
- Step2 (将来) : NEUTとCOSMOS Xを連携



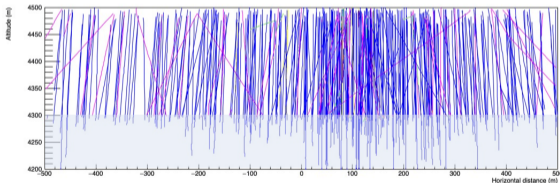
$$\nu_{\mu}(10\text{TeV}) + O \rightarrow \mu + X$$



水中のミュー粒子



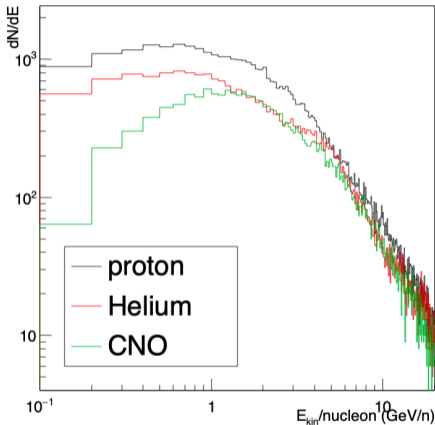
10TeV proton shower



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



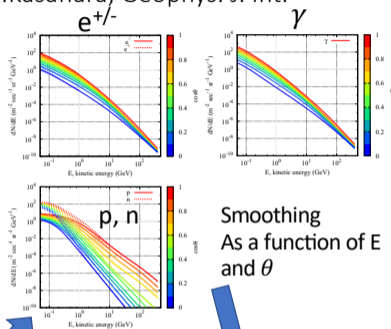
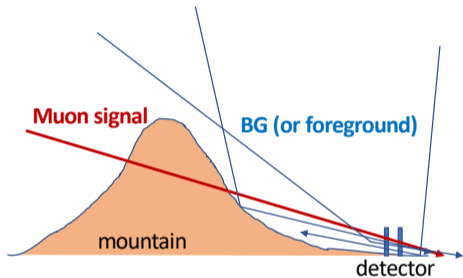
Of course, mono energy, simple power law are simpler

'primary' file

'p'	'GeV'	'KE/n'	'd'	
	0.1	1.2		0 /
	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'	
	.1	.7		0 /
	.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'	
	.1	.013		0 /
	.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		

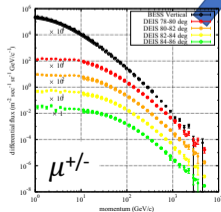
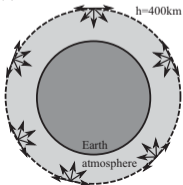
最近の応用例：Muography

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

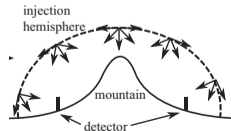


Smoothing
As a function of E
and θ

(a) COSMOS

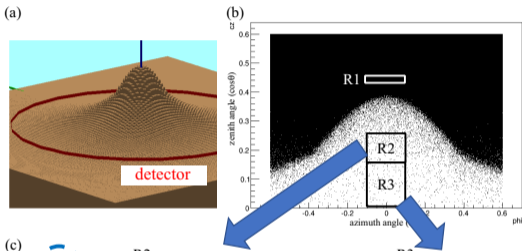


(b) GEANT4

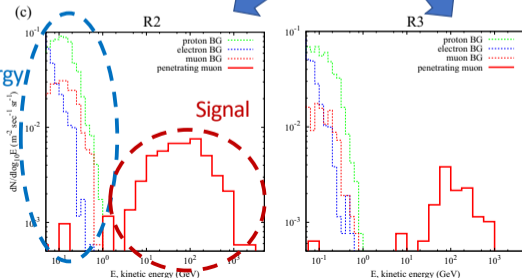


最近の応用例：Muography

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



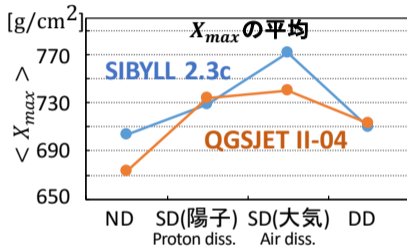
BG dominates in number
But clear difference in energy



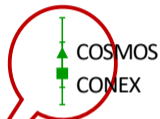
最近の応用例：

by K.Ohashi (LHCf, Nagoya)

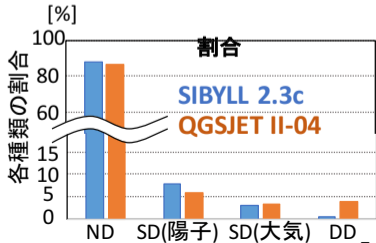
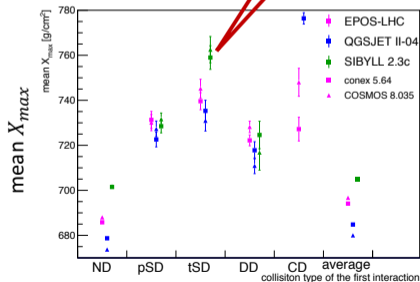
- 1st interaction category and $\langle X_{max} \rangle$



COSMOS 8.035
10¹⁷eV proton



COSMOS vs. CONEX



太陽大気テスト計算

