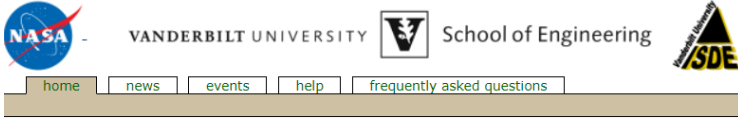


How To creme96

半導体も宇宙も専門外で素人が、creme96 コードを使ってみた。
(Flux ~ LET分布の計算まで) 使い方が間違っていたらゴメンね。

● creme96 Home Page

<https://creme.isde.vanderbilt.edu/CREME-MC>



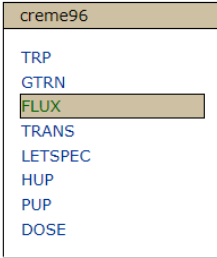
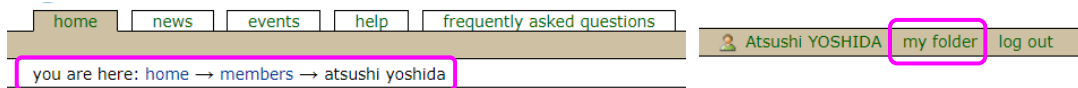
Web ブラウザーベースで、
操作するようになっています。

● User登録が必要です

help -> getting started 参照

help が良く整備されているので、
以下の操作の都度、参照してください。

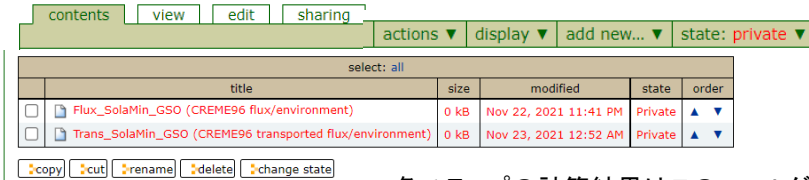
● Login すると、メニューが変わります



画面左に、[creme96メニュー] が表示されます。

これらの詳しい使い方については、help->Table of Contents を参照。

[my folder] をクリック、[contents]タブに自分用の計算結果フォルダーが表示されます。



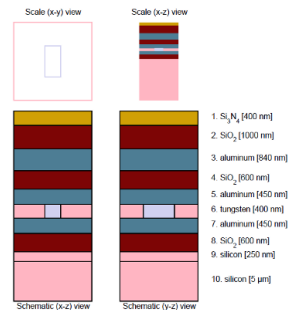
※ 私がやりたい事

静止軌道(GEO)とIIS軌道位置について、
● 重粒子線(H~U)の Flux vs Energy 分布
● それを LET値に変換した Flux vs LET 分布
が欲しい。コレだけです。

※ 他にも沢山できるらしい

半導体屋や宇宙屋さんの場合、
衛星の行き先: 軌道を決めて、そこでの Flux DB を作ってから、
それをロケット筐体の遮蔽壁を通過させて、
多層デバイスのエラーレートを計算する
と言った計算までできるらしいです。
詳しくは help->CREME-MC 参照。MCIはMonte Carloの略らしい。->

各ステップの計算結果はこのフォルダーに
どんどん追加されます。
適宜 [my folder] [contents] を確認して、
[delete]で整理して下さい。



※ 作業の流れ help->How To Run CREME96 参照 Input / Output Files の表。

- 1) FLUX モジュールで、Flux vs E 分布を作成 ロケットの行先に応じて TRP, GTRN も使用。
- 2) TRANS モジュールで、遮蔽壁通過後の Flux vs E 分布に変換 (遮蔽無しなら、やらなくても良い)
- 3) LETSPEC モジュールで、Flux vs LET 分布に変換
- 4) その先は、読んでいません。

● Flux データの準備

[creme96メニュー] で、“FLUX” を選択。パラメータ設定画面になる。

CREME96/FLUX

External Space Ionizing-Radiation Environment: User-Supplied Parameters

- Atomic number of lightest species to be included: 重粒子線 Z= 1(H)~92(U) を指定
- Atomic number of heaviest species to be included:
- Environment model:
 - GCR Version:
 - CREME96 (valid 1950-1997)
 - CREME 2009 (Nymmik with extensions, valid 1760-present) (Note: shielded environments, until we resolve some issues with magnetic trar)
 - Solar Conditions: *Solar Min を指定*
 - Solar-quiet (no "flare") conditions:
 - Solar Minimum (Cosmic-Ray Maximum)
 - Solar Maximum (Cosmic-Ray Minimum)
 - Enter year (eg. 1996.80)
 - Solar-energetic particle ("flare") conditions:
 - Worst Week
 - Worst Day
 - Peak 5-minute-averaged fluxes
- Spacecraft location: *GEO軌道を指定*
 - Near-Earth Interplanetary/Geosynchronous Orbit
 - Inside Earth's Magnetosphere

a. Name of GTRN file:

b. Name of trapped proton file:

5. Rootname for FLUX Output file:

Flux File Preview

Download: [Flux_SolaMin_GSO.flx.png](#)
 Download: [Flux_SolaMin_GSO.flx.pdf](#)
 Download: [Flux_SolaMin_GSO.flx.gtr.gz](#)
 Download: [Flux_SolaMin_GSO.flx.tsv](#)

(左上) 上記パラメータを指定して、[Submit] すると、
 (右上) 暫くしてから そのFluxデータのプロット画面になる。

Download: *.tsv で、TAB 区切りデータ《1》が取れる。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	FLUX: Z=1~92, CREME96, Solar Min(Cosmic-Ray Max)								
2	Near-Earth Interplanetary/Geosynchronous Orbit								
3	Energy	Flux (particles/m ² -s-sr-MeV/nuc)							
4	(MeV/nuc)	Z=1	Z=2	Z=3	Z=4	Z=5	Z=6	Z=7	Z=8
5	1.0023	202.29	11.169	0.01118	0.000593	0.016287	0.22496	0.026786	0.24829
6	1.01623	207.42	11.364	0.011393	0.000608	0.016631	0.22904	0.027328	0.25266
7	1.03036	212.73	11.564	0.011613	0.000624	0.016986	0.23323	0.027886	0.25715
8	1.04467	218.26	11.771	0.01184	0.00064	0.017354	0.23758	0.028464	0.26179

← 《1》*.tsv を Excelで読み込んだ
 E [MeV/u] 毎に、
 Z=1 ~ 92 までの
 Flux値 [個/(m²/sec)
 / (単位立体角 srad)
 / (binning size MeV/u)]
 になっている。

Flux_SolaMin_GSO (CREME96 flux/environment)

by Atsushi YOSHIDA — last modified Nov 22, 2021 11:41 PM

Interplanetary/Geosynchronous orbit, particle flux Z= 1 to 92, Solar M

Flux_SolaMin_GSO.flx - Creme96 Flux File, 1095Kb

```

4 Flux_SolaMin_GSO.FLX
%Created by CREME96:FLUX_DRIVER Version 210 on 20211122 at 212637.0+
%ZMIN = 1 ZMAX = 92+
%IMODE = 0 SOLAR-QUIET MODE: YEAR = 1977.0000+
%ITRANS = 0 GEOSYNCH/NEAR-EARTH INTERPLANETARY FLUXES+
1.0000E-01 1.0000E+05 1002 1 92 UNSHIELDED 1977.000 0 0 210 3+
0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00+
0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00+
0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00+
  
```

一方、計算した FLUXデータは、
 [contents] タブに入っていて、
 その title 名をクリックして、
 フォルダの中身にある
 *.flx ファイル。これもdownload可能

でも中身の数字意味はよくわからない。
 → 詳しくは
 help→CREME96→FLUX→Output 参照

● 次は、TRANS 計算

Help-> creme96-> TRANS を読む。

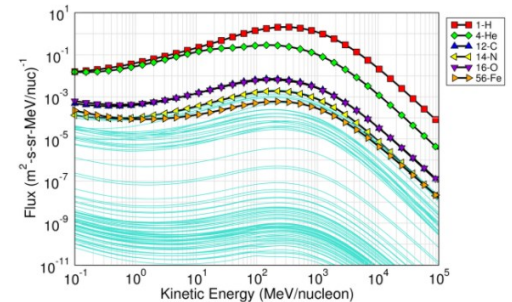
- TRANS では FLUX の出力 *.flx を読んで、指定したシールド厚さを透過させ、
 - E損失計算と、Fragmentation(核破砕反応)の計算をする。
 - 計算結果を *.tfx で出力する。
- という手順らしい。尚、シールド無しの場合は、これをskipしてもOK。

CREME96/TRANS

Nuclear Transport Module User-Supplied Parameters Browseで*.flxを選択

1. Name of flux file: Flux_SolaMin_GSO (CREME96 flux/environment)
2. Shielding material: aluminum シールドは Alumi しか選べないそうです。
3. Shield Thickness:
 - Specify single value: 1 g/cm2 厚さとその単位の指定
 - Use an existing distribution file: No file selected
4. Transport Code:
 - Creme96 TRANS/UPROP 出力ファイル名を指定
 - HZETR1995/Nucfrg2 (warning: beta code, and cannot use a .shd file)
5. Rootname for TRANS Output file: Trans_SolaMin_GSO (.tfx)

Transmitted Flux File Preview



Download: [Trans_SolaMin_GSO.tfx.png](#)
 Download: [Trans_SolaMin_GSO.tfx.pdf](#)
 Download: [Trans_SolaMin_GSO.tfx.agr.gz](#)
 Download: [Trans_SolaMin_GSO.tfx.tsv](#)

(左上) 上記パラメータを指定して、[Submit] すると、
 (右上) 暫くしてから その Flux vs E データのプロット画面になる。Download: *.tsv 《2》で取れる。
 この TRANS 出力の *.tsv も、FLUX 出力の *.tsv と同じフォーマット。
 計算した TRANSデータ *.tfx は、[contents] タブで見えます。そのフォーマットは *.flx と同じ。

上例では、Al 1g/cm2 = 3.7mm を通過させた場合。TRANS前と比べてLowE 成分が消えている。
 因みに IIS国際宇宙ステーションの壁厚は Alumi 9.5mm 程度だそうです。

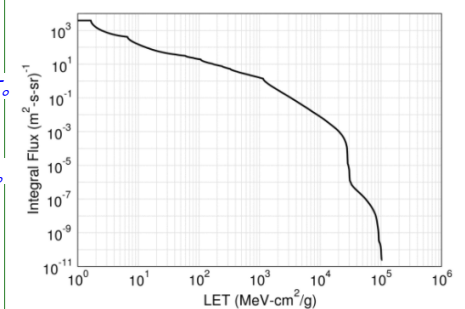
● 最後に LETSPEC 計算 (私の場合はココマデ)

CREME96/LETSPEC

Linear Energy Transfer (LET) Spectra User-Supplied Parameters Browseで*.tfxを選択

1. Name of flux file: Trans_SolaMin_GSO (CREME96 transported flux/er)
2. Atomic number of lightest species to be included: 1
3. Atomic number of heaviest species to be included: 92 ← この Z範囲、後述します。
4. Minimum Energy value: 0.1 MeV/nuc ← 0.1以外はエラーになった。
5. Device material: silicon LET計算の対象材質は Si しか選べないそうです。
6. Do you want a differential LET spectrum too?
7. Rootname for LETSPEC output file: LET_SolaMin_GSO (.let)

LET Spectrum file preview



Download: [LET_SolaMin_GSO.let.png](#)
 Download: [LET_SolaMin_GSO.let.pdf](#)
 Download: [LET_SolaMin_GSO.let.agr.gz](#)
 Download: [LET_SolaMin_GSO.let.tsv](#)

(左上) 上記パラメータを指定して、[Submit] すると、
 (右上) 暫くしてから その Flux vs LET データのプロット画面になる。Download: *.tsv 《3》で取れる。
 この TRANS 出力の *.tsv も、FLUX 出力の *.tsv と同じフォーマット。
 計算した LETデータ *.let は、[contents] タブで見えます。このフォーマットは *.flx *.tfx とは別です。
 詳しくは help->LETSPEC Outputs 参照。

● LETSPEC 計算(続き)

```

LET (MeV-cm2/g) Integral Flux (particles/m2-s-sr)
1.3895
1.01166 3895
1.02346 3895
1.0354 3895
1.04748 3895
    
```

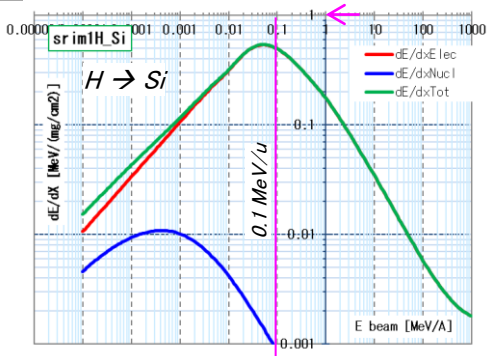
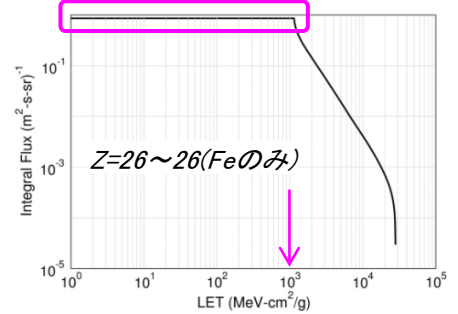
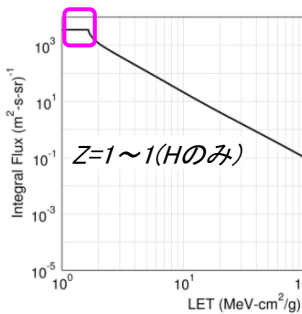
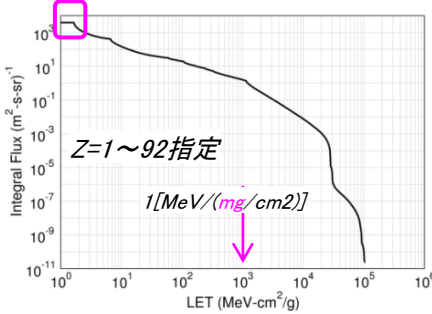
LETSPEC Download: ***.tsv 《3》**は、
 パラメータで指定した「Z 番号全ての和」のFlux値 しか書いてありません！
 *.tsv 《1》, 《2》 の様に、Zごとに計算結果を書いて欲しいのに…。困った…。

CREME96/LETSPEC

Linear Energy Transfer (LET) Spectra User-Supplied Parameters

1. Name of flux file:
2. Atomic number of lightest species to be included:
3. Atomic number of heaviest species to be included:

仕方がないので、左図のように
 Z番号指定で、同じZ値を指定して、
 Z=1 から 92 まで愚直に計算する事にしました。疲れた…。



ところで、**□** の部分が変わる？ だと思いませんか？
 (変1) low LET 側の Flux が一定値になっている。
 (変2) 一定値になる手前の Flux が急に増えている。

左図はSRIM-2013で計算した、単一核種 が Si 材に入射した場合の
 Y軸:LET X軸:E のグラフ(Stopping Power)です。

- 先ず LETSPEC図と比較する場合、幾つか注意が必要です。
- SRIM図は、Y軸:LET なので、90° 右回りに回転して比較です。
- LETSPEC図は、SRIM図に "Fluxの重み" が掛けてあります。
- LET単位の違い。(g/cm2) と (mg/cm2) で 3桁違います。↓ 印参照。

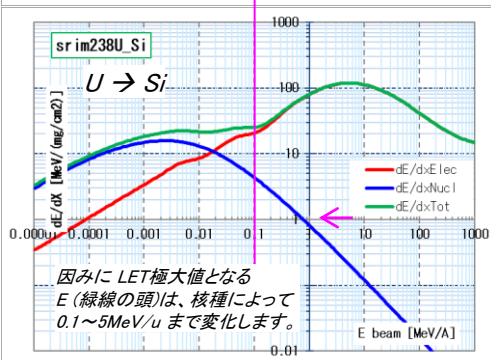
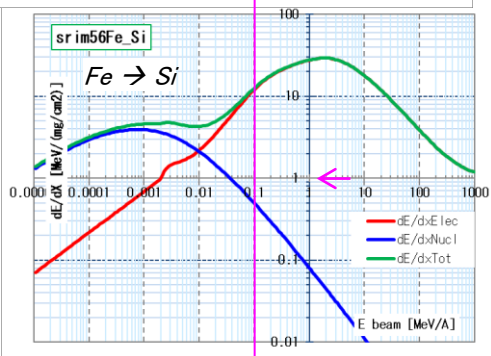
help->FLUX Output に「Flux 出力の E 範囲は、1 ~ 10⁵ MeV/uです」
 Help->TRANS Output に「Trans では 0.1 ~ です」と書いてあるので、
 元々 0.1MeV/u 以下のLET値計算はできないのは理解できますが、
 (変1) 「Flux値も 1MeV/u 以下で一定値」というのは、**over estimate**
になっているのでは？ というナイーブな疑問があります。
 この一定値が全て加算されて、Z=1~92のFlux分布になっているので。
 → (変1)については、次ページ以降で考察してあります。

尚、(変2)については、幾つか説明がありました。

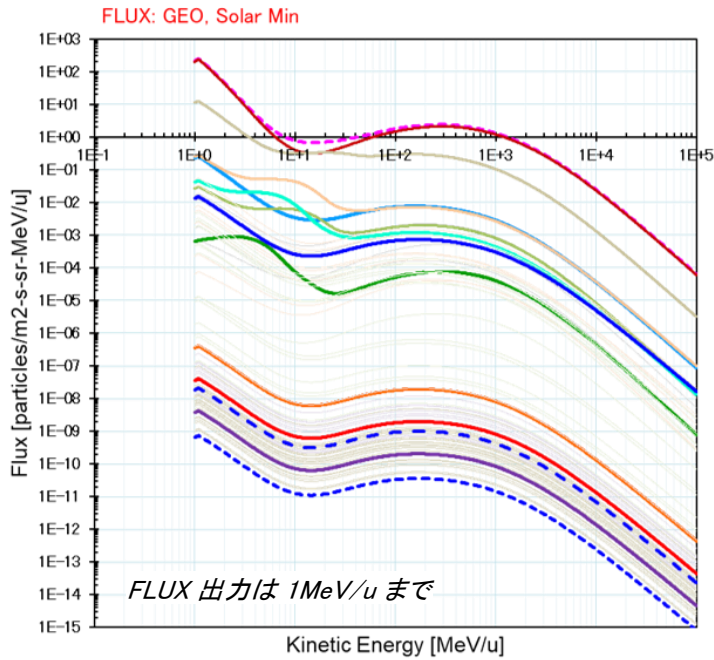
- help->LETSPEC->LET Spectra では、
- Differential LET spectrum (DLT) を参照せよ。
 LETスペクトルの low/high エッジの所は、E-binning に起因する?
 artifacts peak が生じます。→ まあ、これは妥当でしょう。

- help->TRANS->Energy Loss Routines に、E-loss計算の説明あり。
- crème の E-loss計算は、SRIMではない。参考文献紹介あり。
- SRIMと比較したが、SEU効果に関するE範囲では大きな差異無し。
- 但し約0.1MeV/u以下で、crème 採用計算では LET値が大きめである。
 ビーム核が電子捕獲後の原子衝突(atomic collision)が増加する効果で、
 SRIMではこの効果が考慮されていないからではないのか？
- いずれにせよ、0.1MeV/u以下は Si 中飛程で 1μm以下なので問題無し。

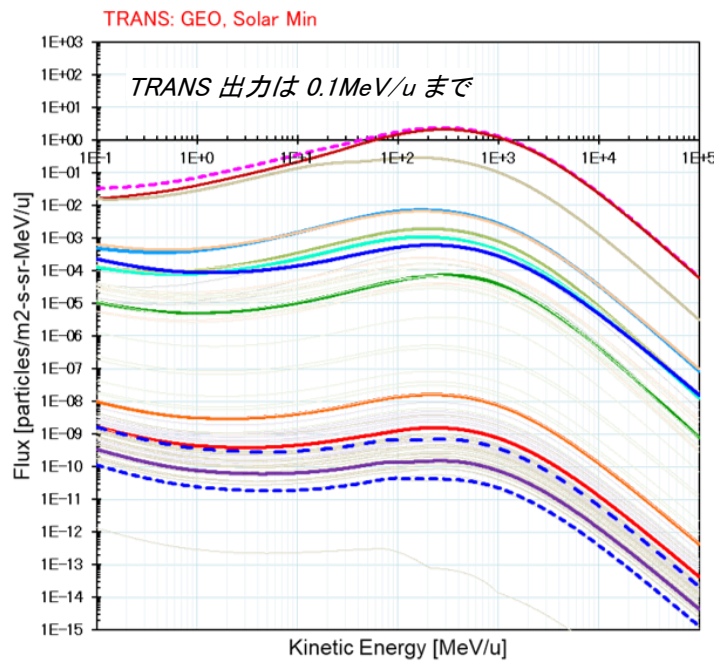
ん？ これは SRIMで言う所の dE/dX nuclear (左図の青線)に相当する効果で、
 それを織り込んででも そのLET極大値は1~2桁低く、それより低エネルギー側では、
 LET値は更に桁で低下して行きます。これに Fluxの重みを掛け合わせても、
 LET分布が一定値というのは、どうもしっくりきませんでした。



● 以上の計算出力を Excel表で整理してプロットしてみます (1)



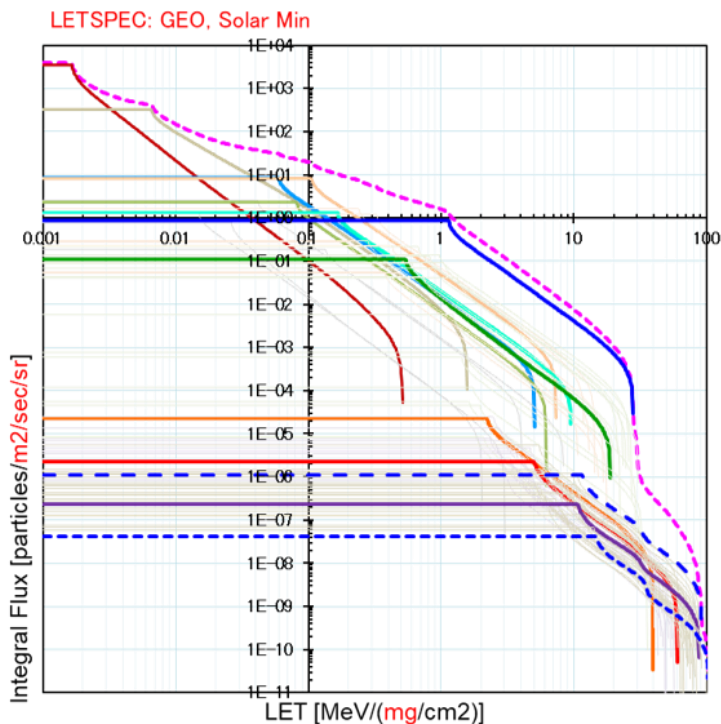
Sum	H	He
Li	Be	B
C	N	O
F	Ne	Na
Mg	Al	Si
P	S	Cl
Ar	K	Ca
Sc	Ti	V
Cr	Mn	Fe
Co	Ni	Cu
Zn	Ga	Ge
As	Se	Br
Kr	Rb	Sr
Y	Zr	Nb
Mo	Tc	Ru
Rh	Pd	Ag
Cd	In	Sn
Sb	Te	I
Xe	Os	Ba
La	Ce	Pr
Nd	Pm	Sm
Eu	Gd	Tb
Dy	Ho	Er
Tm	Yb	Lu
Hf	Ta	W
Re	Os	Ir
Pt	Au	Hg
Tl	Pb	Bi
Th	U	



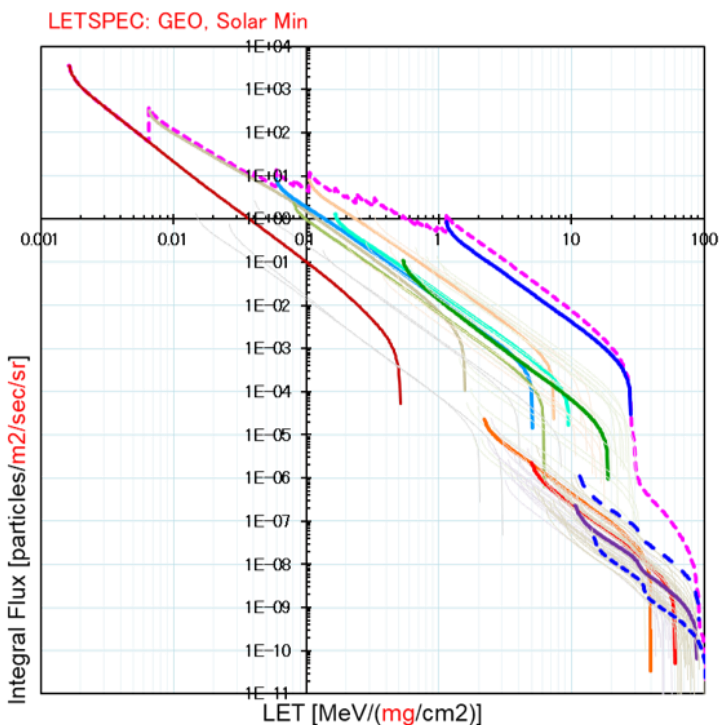
核種の色は、
 “重要”なモノだけ色付き
 他は細線 にしました。

ここで“重要”とは、
 ・右下図 で Fluxが大きいモノ
 ++ 理研で提供可能な
 C, Ne, Ar, Fe, Kr, Xe, Au
 ++ 元素合成で重要な
 H, He, C, N, O, Fe, Pb, U
 です。

● 計算出力を Excel表で整理してプロット(2)



(左上) LETSPEC 出力そのまま
Z範囲指定で、核種1個ずつ出力した。



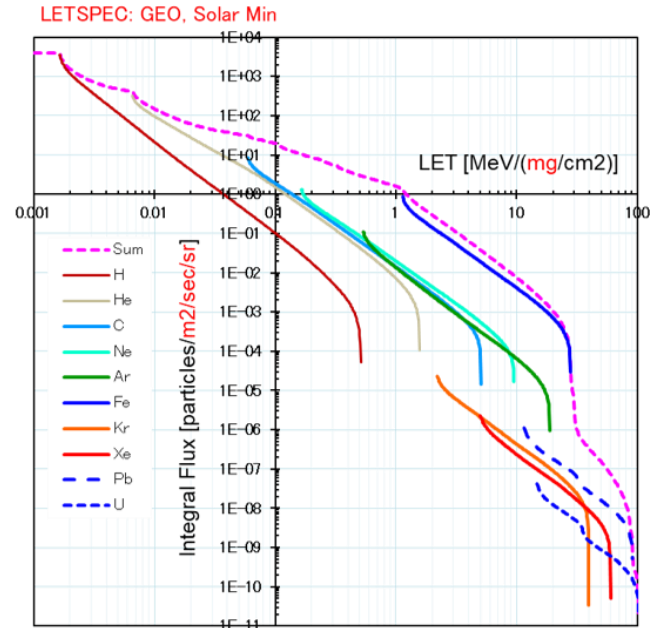
(左下) 前述の(変1)について、
over estimation になっている?と思われる
□の部分、単純にゼロにした場合

この2図の Sum --- を比べると、

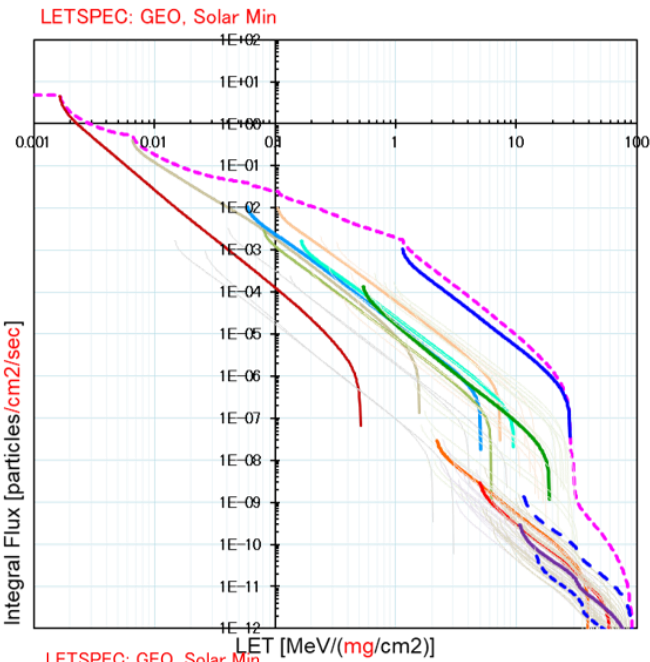
- ・ H の max LET = 0.5 MeV/(mg/cm2) 以下では factor 程度の差異がある事がわかりますが、
- ・ それ以上の領域では Fe が Flux を主に決めているので、
- ・ Single Event 現象に関する限り、
どちらの図でもほとんど問題無しらしい。

と言うのが結論ですね。安心しました。

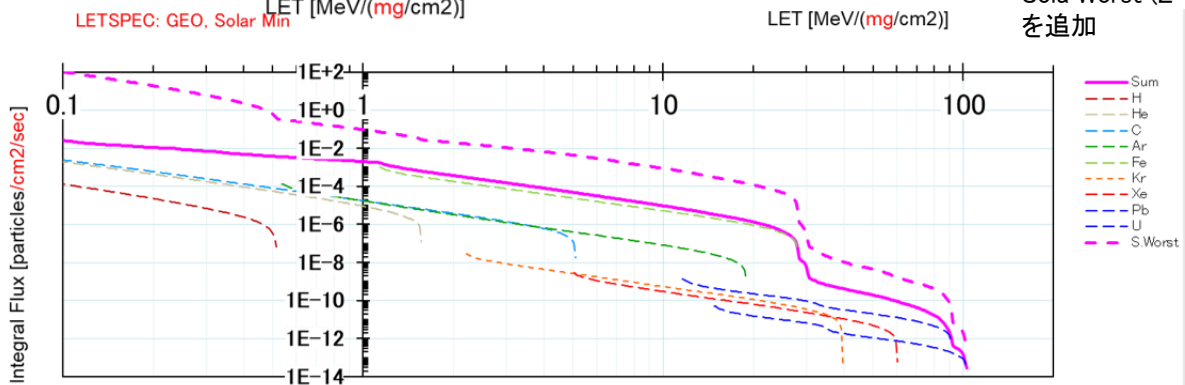
● おまけプロット(1)



LETSPEC 出力で、
Sum は、オリジナルのまま
核種毎は、□ 部分をゼロにした値

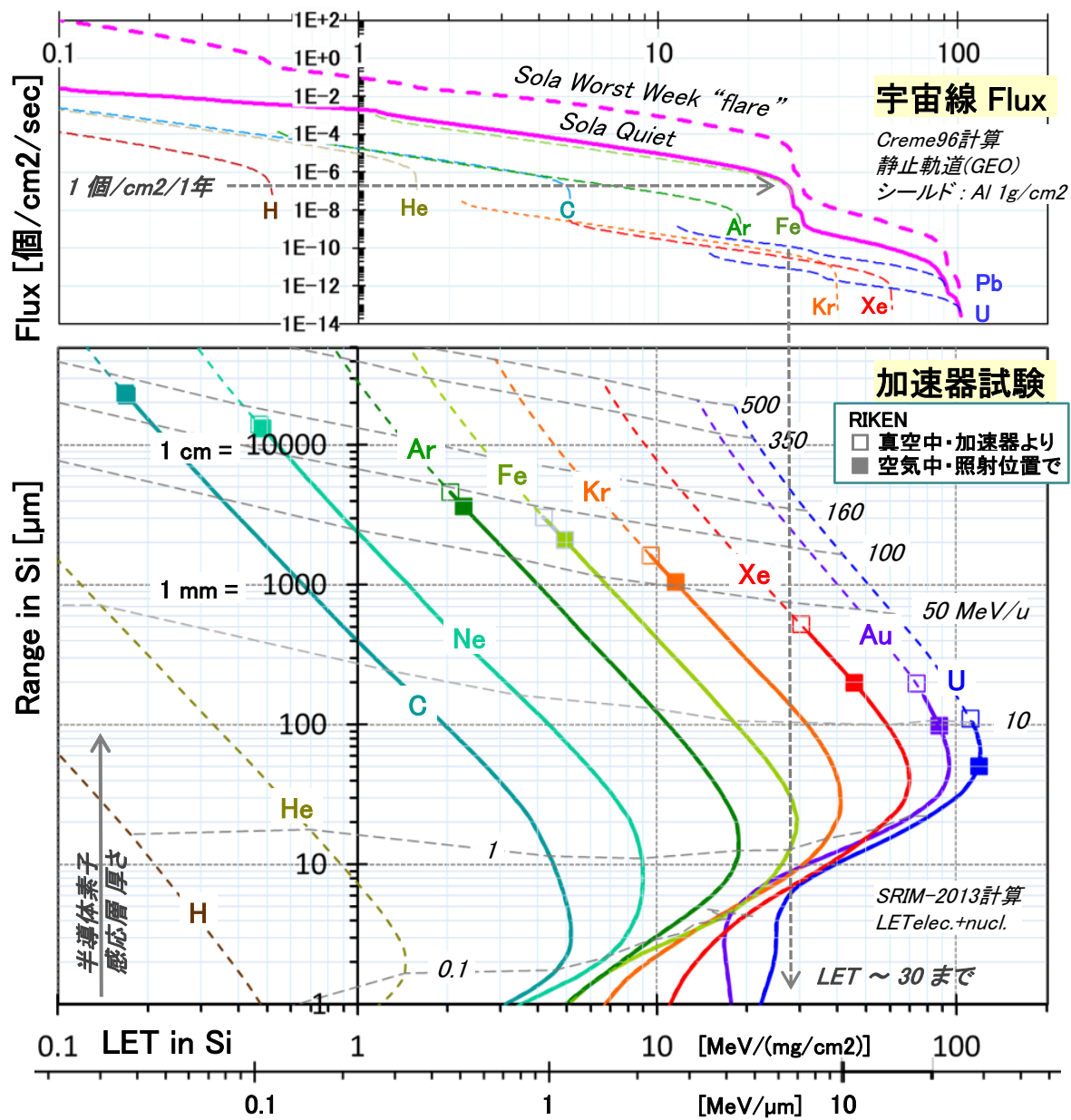


上図と同じで、
縦軸を $\times 4\pi \times 1E-4$ して、
[part./cm2/sec] に変換。
即ち
 4π srad : 全方向として
 $m^2 \rightarrow cm^2$ に変換した



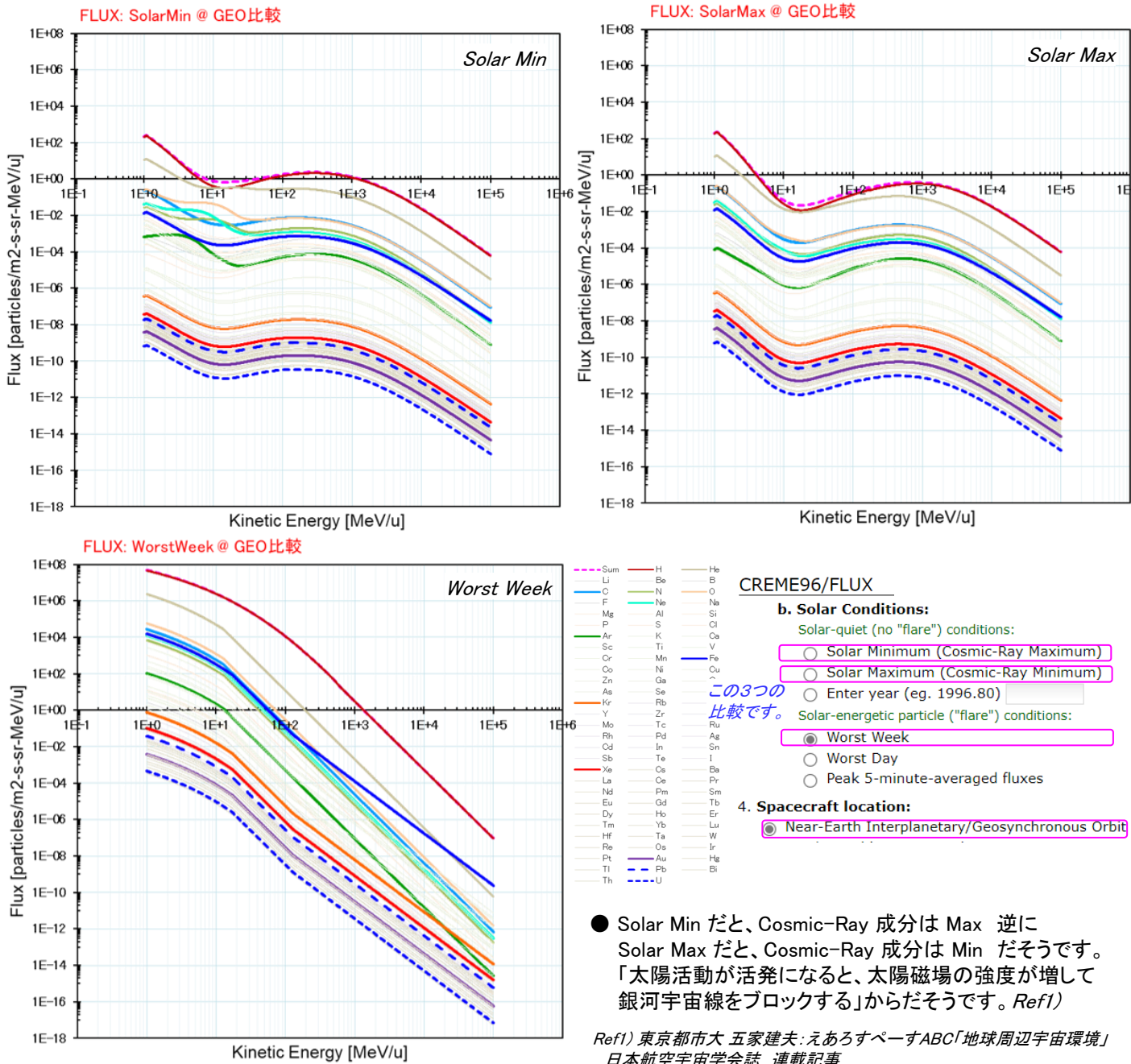
上図に、
Sola Worst (Z=1~92)
を追加

● おまけプロット(2) 実は、HP用のこの絵にハマたかったのです。



● つけたしプロット(1)

ついでに、「TRANS無し」の Flux です。つまり ロケット壁遮蔽無しでムキダシの場合 で、Solar Min, Solar Max, Worst Week @ GEO を比較してみました。



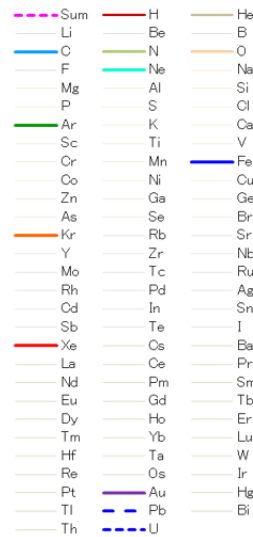
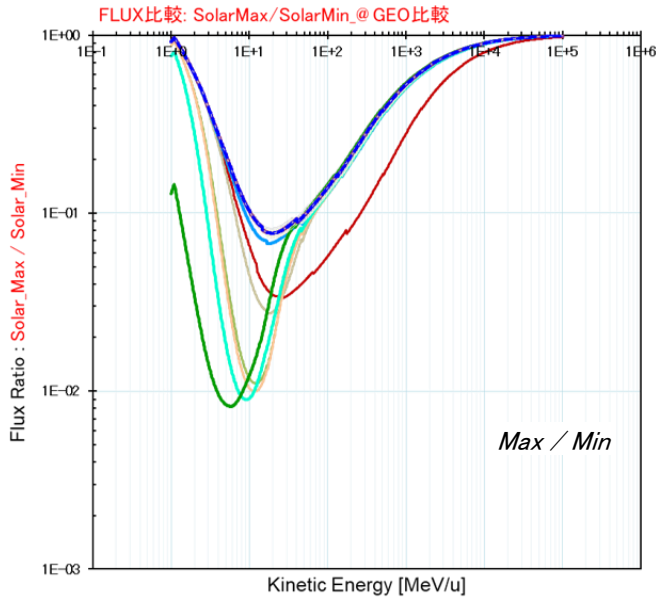
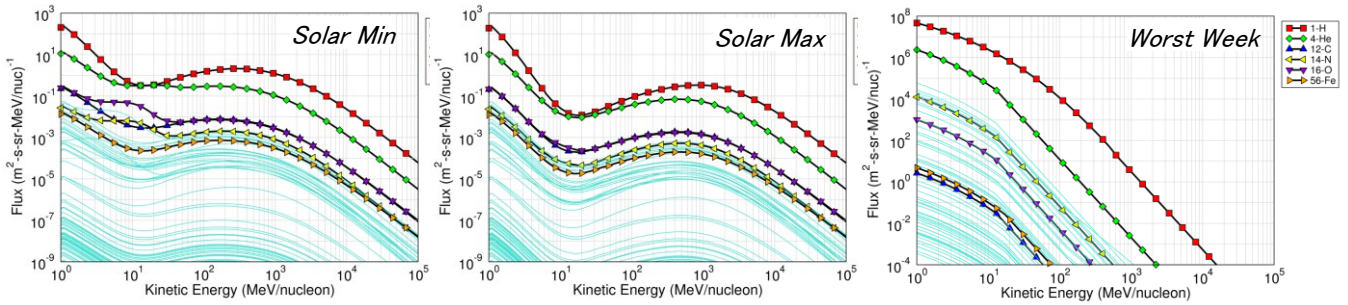
● Solar Min だと、Cosmic-Ray 成分は Max 逆に Solar Max だと、Cosmic-Ray 成分は Min だそうです。「太陽活動が活発になると、太陽磁場の強度が増えて銀河宇宙線をブロックする」からだそうです。Ref1)

Ref1) 東京都市大 五家建夫:えあろすペーすABC「地球周辺宇宙環境」日本航空宇宙学会誌 連載記事 https://www.istage.ist.go.jp/article/kjsass/59/686/59_99/pdf/~char/en

- また、Solar Max でも 重粒子成分が存在するのは、「太陽宇宙線も、銀河宇宙線とほぼ似た元素構成を持つ」からだそうです。Ref1) 銀河宇宙線の成分は、超新星爆発などのゴミ核種が由来だそうです、太陽も第2世代の星だ！(同じくゴミが集まってから、再度核融合が点火した) ということですね。
- Solar Max の方が Min より、エネルギー分布が高い方にシフトするんですね。
- Worst Week ("flare") では、10 MeV/u 以下の成分がドンと増えるようです。

● つけたしプロット(2)

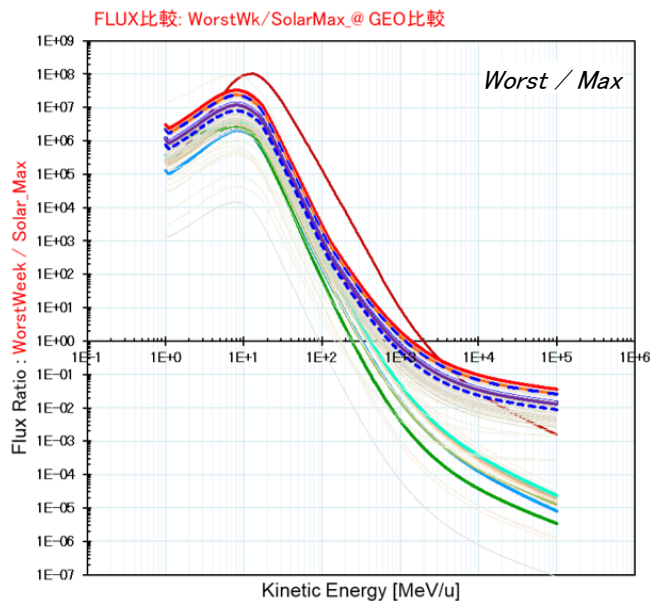
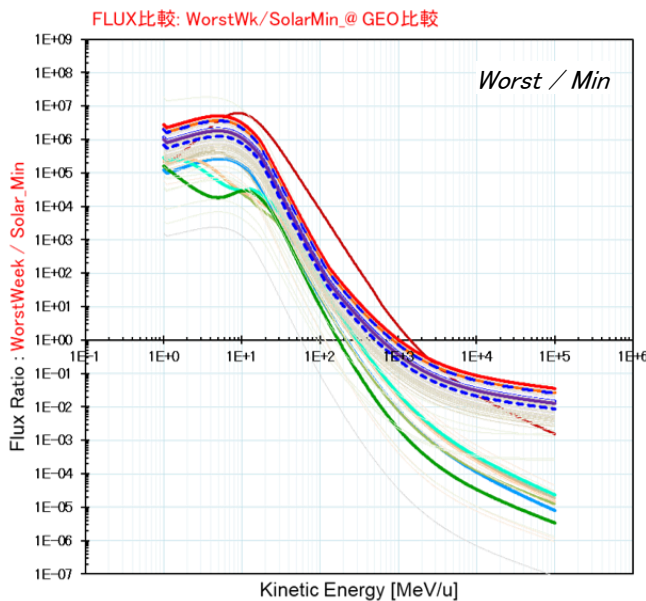
前頁の FLUX について、creme96 のプロットは下記です。



前頁の FLUX vs E 表を、
割り算したグラフです。

● Max / Min では、
全体が Max < Min で、
~ 10MeV/u が特に減っている。
なんでかな？ わかりません。
また、Fe 以上の重核は、
殆ど Fe の ratio と同じ。

● Worst / Min or Max では、
< 100 MeV/u はドンと増えるが
> 1 GeV/u では減るんですね。
flare で銀河由来がブロック
されるのかな？ わかりません。



● つけたしプロット(3)



同 FLUX (Z=1~92) 3種類について、Z毎に集計したプロットです。

※ Worst Week の FLUX は、Z=3,4,5(Li,Be,B) 43(Tc), 61(Pm) がヌケているので、集計の時は注意。

- Solar Min と Max の核種構成は、殆ど同じですね。
- Worst Week の Flux はドンと増えているけど、核種構成の比率(左下図)を見ると、Solar Minと比べて重粒子(>Fe)成分が多めになるんですね。

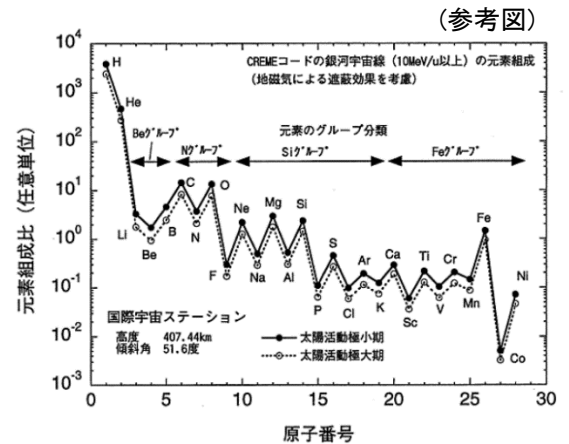
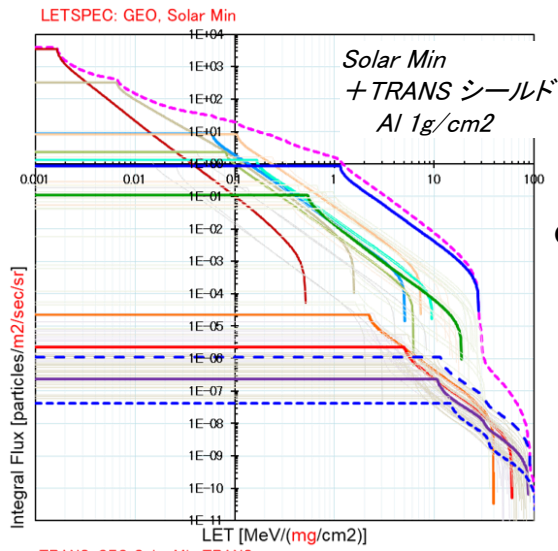
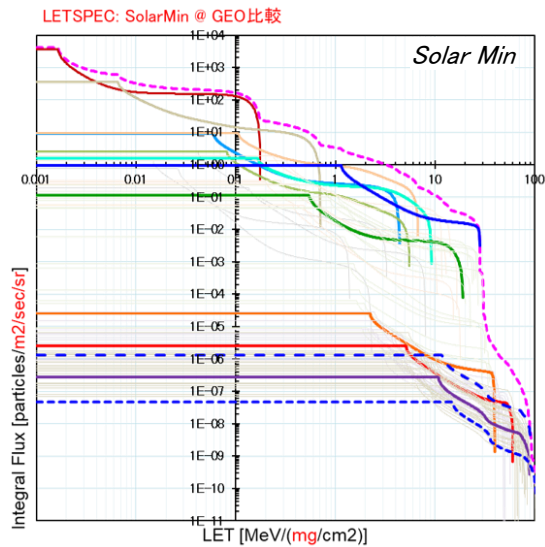


図 2-2 国際宇宙ステーション軌道における銀河宇宙線の元素組成

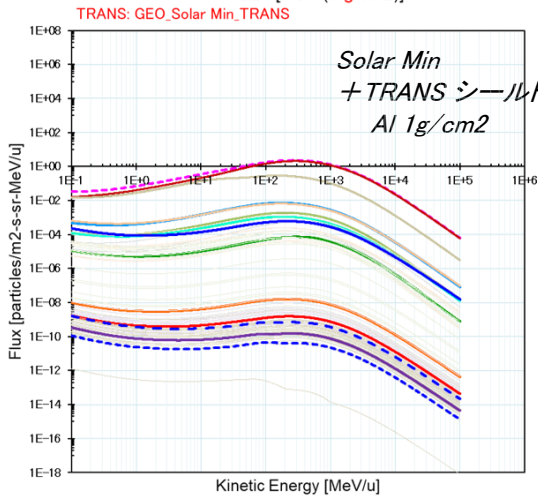
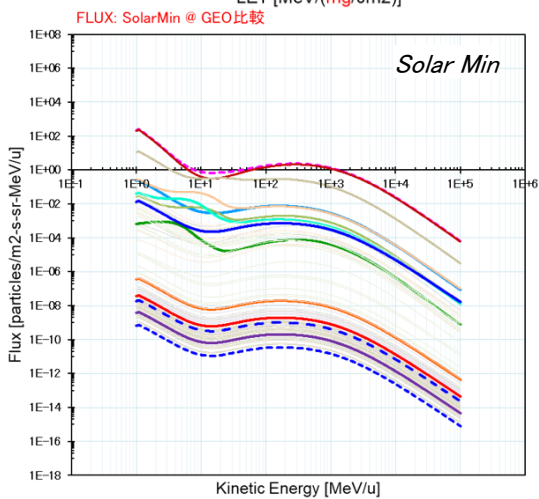
Ref) 東工大松永研究室 宇宙環境調査 <http://lss.mes.titech.ac.jp/~matunaga/SpaceEnvironment.pdf>

● つけたしプロット(4)

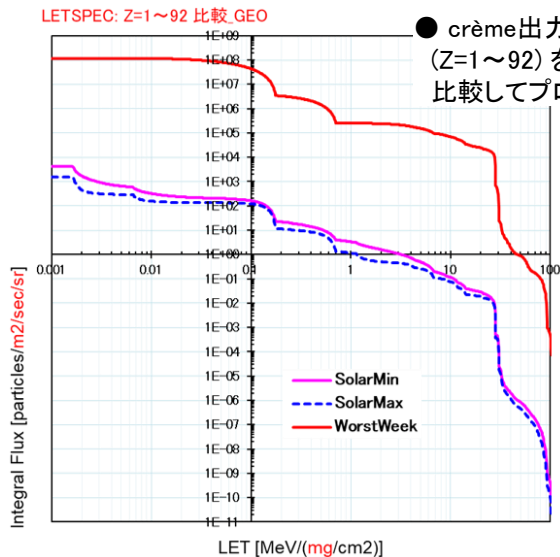
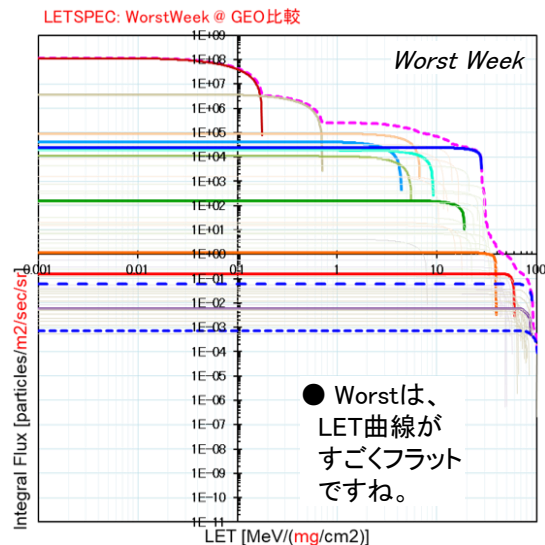
前頁の FLUX 3種について、TRANS 無しで、LETSPEC 計算をしてみました。
 先ずは、creme96の出力 (LET小側フラット)のままです。 Solar Max は省略しました。



● Solar Min の TRANS 有りと比べると、核種毎の LET曲線の形が随分違いますね。

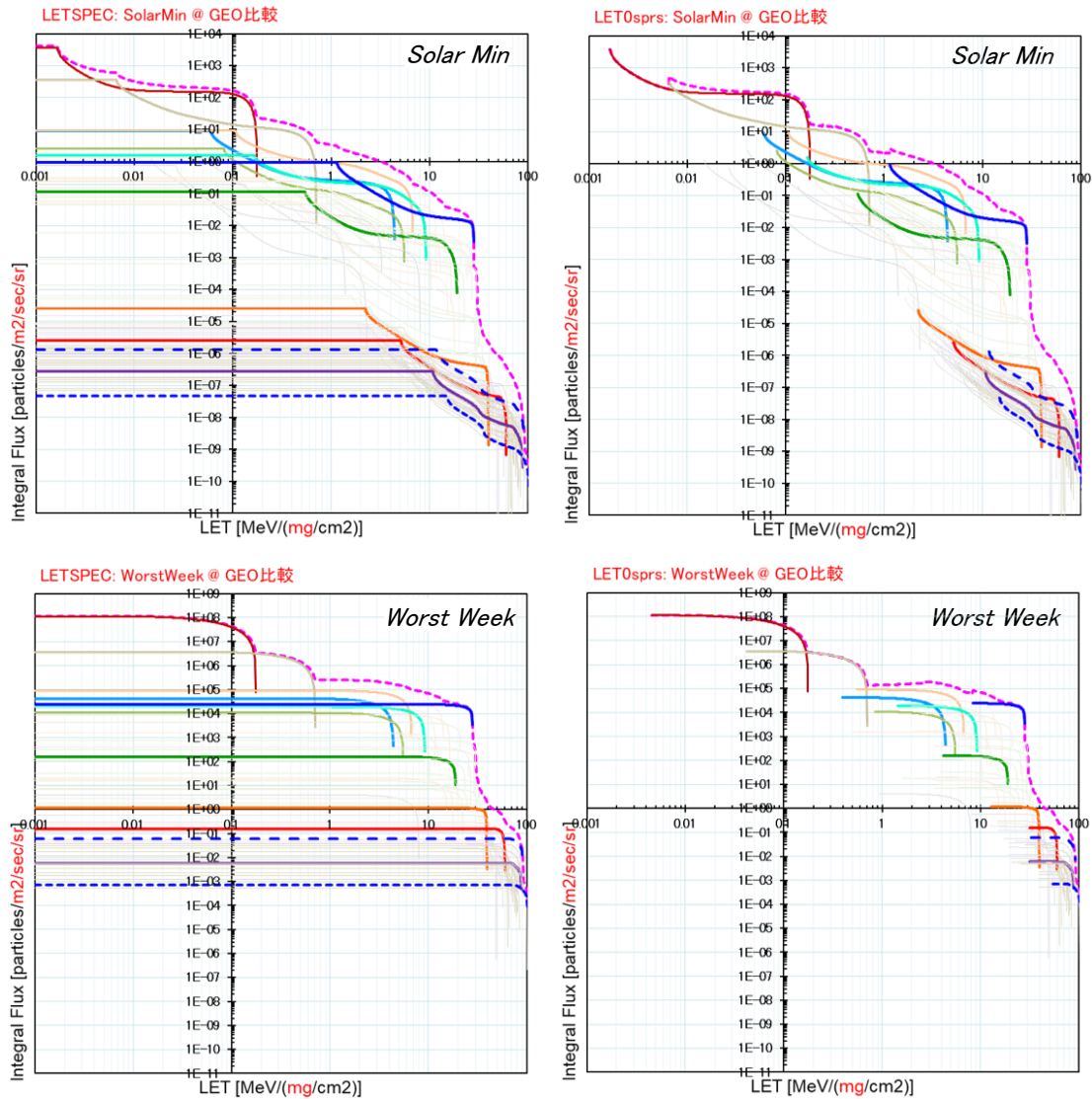


● Solar Min の TRANS 有りの FLUX 分布は、と比べると、E < 10MeV/u の違いが影響している様子です。



● つけたしプロット(5)

最後に (LET小側フラット) を除いたプロットです。 除いても、Sum には大きな差異はなさそうです。



以上、宇宙線のド素人が creme96 を使ってみたレポートでした。
解釈などが間違っている箇所がママあるとは思いますが、
参考になれば幸甚です。