

宇宙環境計測情報提供プラットフォームの研究開発

宮川 雄大^{*1}, 木本 雄吾^{*2}, 上野 遥^{*2}, 松本 晴久^{*2}

Research and Development of Space Environment & Effects System

MIYAKAWA Takehiro^{*1}, KIMOTO Yugo^{*2}, UENO Haruka^{*2}, MATSUMOTO Haruhisa^{*2}

ABSTRACT

We research and develop SEES (Space Environment & Effects Systems). SEES is the database system for providing data and model concerned with space environments, such as high energy particles, galactic cosmic rays, atomic oxygen, plasma, magnetic field, and effects from space environments, such as single event upset, degradation of solar cell, total dose, degradation of thermal control material.

In this report, we introduce the summary of our activity including asking SEES user about their opinions and their demands implemented this fiscal year. In addition, we explain about our prospects for the future.

Keywords: space environment, database, real-time data graph

概 要

我々は、宇宙環境計測情報提供プラットフォームとして宇宙環境計測情報システム(SEES: Space Environment & Effects System)の研究開発に取り組んでいる。SEESは、宇宙環境(高エネルギー粒子、銀河宇宙線、原子状酸素、プラズマ、磁場など)に関するデータとモデルを提供するデータベースであり、加えて、宇宙環境からの影響に関するデータ(シングルイベントアップセット、太陽電池セルの劣化、トータルドーズ、熱制御材の劣化など)も提供している。

本論文では、SEESの研究開発状況に関する概要、今年度を実施したSEESユーザーへの調査研究(意見・要望のヒアリング)の結果概要について述べると共に、今後の展望について説明する。

1 はじめに

2025年頃に太陽フレアの活動が活発になることが予想されている¹⁾。また、極端な宇宙天気現象によるワーストシナリオとして、携帯電話システム(UHF帯)が、太陽電波バーストの影響を受け、昼間の時間帯に最大で数時間程度のサービス停止が全国の一部エリアで2週間にわたり断続的に発生する可能性があること、衛星測位システム(GPS衛星、準天頂衛星みちびき等)が、測位精度の大幅な劣化や測

* 2023年11月30日受付 (Received November 30, 2023)

^{*1} 安全・信頼性推進部 (Safety and Mission Assurance Department)

^{*2} 研究開発部門 (Research and Development Directorate)

位の途絶が全国的に2週間にわたり断続的に発生する可能性があること等の衛星サービスに異常が発生することに加え、衛星の機能喪失への懸念が報告されている²⁾。太陽活動をはじめとする宇宙環境を精密に計測することは、これらの人類社会の生活への影響を正確に把握する上で重要である。

JAXA 研究開発部門では、太陽活動を起因とする衛星故障を回避することを目的に長年に渡り宇宙環境の計測及び解析を実施しており、これらの情報を、インターネットにて宇宙環境計測情報システム (SEES: Space Environment & Effects System)を公開している³⁾。

2 SEES の概要

2.1 SEES とは

様々な宇宙活動にて、放射線等の宇宙環境データ、宇宙環境の影響(図1参照)による部品・材料の劣化、及び誤動作データを取得し、宇宙機(衛星等)の設計及び運用に反映させることは重要である。

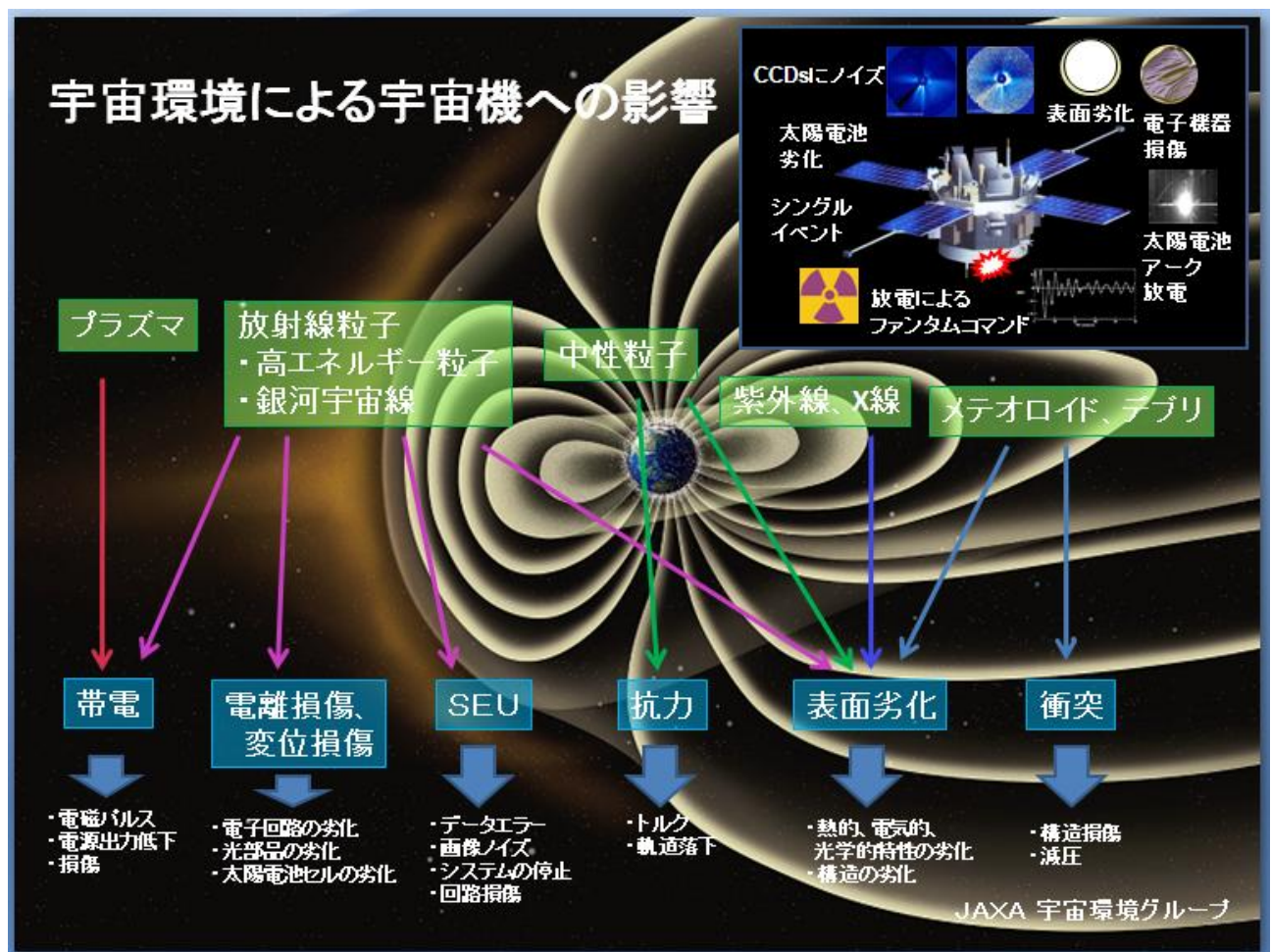


図1：宇宙環境による宇宙機への影響⁴⁾

JAXA (前身である宇宙開発事業団含む) 研究開発部門は、ETS-V(1987年打上げ) から長年に渡り様々

な宇宙機に宇宙環境計測装置を搭載してきた。特に放射線観測装置を搭載し、様々な軌道高度・期間を通じて計測を実施した。

JAXA 研究開発部門では 1994 年から SEES の研究開発を開始、そして翌 1995 年からインターネットを介し、SEES の公開を開始した。当初 SEES は当該データを利用する限られた研究者のみが使用できるツールとして整備したが、1994 年の ETS-VI 軌道投入失敗以降、宇宙環境データ（放射線、磁場）のニーズが高まった理由により、データの公開機能を有するように機能拡張をおこなった⁵⁾。計測データの一部や解析結果等の公開情報はユーザー登録なしでの利用が可能であるが、下記に説明する多くの機能を利用するためには、ユーザー登録が必要である。

SEES の機能は、①計測データ、②宇宙環境/衛星環境モデル解析ツール (SEES へ要登録)で構成され、これらのツールを SEES の HP で使用することが出来る。

JAXA 研究開発部門にて開発し、衛星へ搭載した機器を表 1 に示す。これまで 15 個の装置開発を行い、衛星搭載を実現した。放射線計測に加え、帯電電位のデータ等を取得してきた。国際宇宙ステーションの周回する低軌道 (軌道高度 約 400km)、GOSAT (高度約 667km)、Jason-2 (高度 1336km: CNES 衛星)、DRTS 等の静止軌道 (軌道高度 約 36000km)など、幅広い軌道高度に渡り宇宙環境計測を実施している。

表 1 搭載装置の名称及び搭載衛星³⁾

名称	略語	搭載衛星
メモリ誤作動モニタ	SUM ^{※1}	ETS-V, ETS-VI, ADEOS, ADEOS-II, MDS-1, ETS-VII, SEDA-AP
放射線吸収線量モニタ	DOM/SDOM ^{※2}	ETS-V, ETS-VI, ADEOS-II, DRTS, MDS-1, SEDA-AP
重イオン観測装置	HIT ^{※3}	ETS-VI, ADEOS, ALOS, MDS-1, GOSAT, SEDA-AP
帯電電位モニタ	POM ^{※4}	ETS-V, ETS-VI, ADEOS, ETS-VII, SEDA-AP
積算吸収線量計	DOS ^{※5}	ADEOS, ADEOS-II, MDS-1, ETS-VII
軽粒子観測装置	LPT ^{※6}	ALOS, GOSAT, Jason-2, QZS, Jason-3
磁力計	MAM ^{※7}	ETS-VI, MDS-1, ETS-VII, QZS
汚染/熱制御材劣化モニタ	COM ^{※8}	ETS-V, ETS-VI, ADEOS
中性子モニタ	NEM ^{※9}	Suttle, SEDA-AP
原子状酸素モニタ	AOM ^{※10}	ETS-VII, SEDA-AP
集積回路モニタ	ICM ^{※11}	ETS-V, ETS-VI
太陽電池セルモニタ	SCM ^{※12}	ETS-V, ETS-VI
プラズマモニタ	PLAM ^{※13}	SEDA-AP
帯電放電モニタ	DIM ^{※14}	ETS-V
高エネルギー粒子モニタ	HPM ^{※15}	ADEOS

※1 SUM: Single event Upset Monitor / RSM: RAM Soft-error Monitor … (メモリ誤動作モニタ) 宇宙機の設計に役立てるため、シングルイベントによる半導体メモリやマイクロプロセッサの誤動作を計測する。陽子及び重イオンによる 2 つのシングルイベント現象 (シングルイベントアップセット、シングルイベントラッチアップ) の発生頻度を計測する。

※2 DOM: DOse Monitor / SDOM: Standard DOse Monitor (放射線吸収線量モニタ) … 放射線強度の空間分布を示す。加えて、その時間変動が太陽活動によってどの様に变化するかデータの蓄積によって捉え、宇宙機の受ける全照射量予測の精度を上げることで衛星の信頼性設計に寄与する。電子、陽子、重イオン等の強度計測にシリコン半導体検出器を用いる。SDOM の場合は、シリコン半導体検出器とシンチレーションを用いる。

※3 HIT: Heavy Ion Telescope (重イオン観測装置) … 半導体素子のシングルイベント現象に対し、大きな影響を与える重イオンを計測する。シリコン半導体検出器を用いて高エネルギー重イオン(He より重い元素で、その粒子が持っているエネルギーが核子あたり数10MeV から数100MeV 程度のもの)の種類、エネルギー、核質量、強度、方向分布を計測する。

※4 POM: POtential Monitor (帯電電位モニタ) … 代表的な衛星材料と、軌道上でのプラズマとの相互作用に起因した帯電電位を計測することにより、軌道上での帯電放電現象を確認し、宇宙機の帯電放電防止策を検討するために計測する。衛星表面材の帯電電位の計測及びリーク電流の計測を行う。

※5 DOS: DOSimeter (積算吸収線量計) … 広範囲に渡るエネルギー分布と成分を持つ宇宙放射線からの長時間の電離損傷による影響をトータルドーズとして捉え、宇宙機の搭載面における宇宙放射線の時間変動、太陽活動の強度変化によりどの様に变化するのか測定する。ADEOS-II 以降においては、シールド厚の異なる衛星内部の多点計測によりトータルドーズモデル (dose-depth カーブ) を作成する為のデータとする。RADFET(トータルドーズ効果の感度を増した p-ch MOSFET 素子)を用いて放射線による電気特性 (ゲートソース間電圧) の変化から放射線吸収線量を計測する。

※6 LPT: Light Particle Telescope (軽粒子観測装置) … 高感度かつ高分解能で高エネルギー軽粒子の粒子組成及びエネルギースペクトルを観測する。3~8 枚の半導体検出器 (SSD) を持ち、高感度かつ高分解能で高エネルギー軽粒子 (電子、陽子、ヘリウム) の粒子組成及びエネルギースペクトルを観測する。また、3 種の計測データ形式を有することにより、検出器の性能 (エネルギー分解能、時間分解能、テレメータ量等) についてその特徴を生かした観測が可能である。

※7 MAM: MAgnetoMeter (磁力計) … 磁場の3成分を計測することにより、太陽活動に伴う磁気擾乱と地球磁場の関係を明らかにする。特に、荷電粒子の磁場による衛星での環境を明らかにする。フラックスゲート型磁力計により軌道上の磁場強度 (3成分) を測定する。

※8 COM: COntamination Monitor / TDM: Thermal control material Degradation Monitor (汚染モニタ/熱制御材劣化モニタ) … 宇宙機の開発に反映するため、宇宙機の熱制御材が、宇宙機から出る汚染等の影響により劣化する様子を計測する。熱制御材の宇宙空間における太陽光吸収率 (α) 及び赤外放射率 (ϵ) の経年変化を熱制御材の温度変化を計測することにより求める。

※9 NEM: NEutron Monitor (中性子モニタ) … 中性子は荷電を持たないため人体の奥深くまで到達し、軌道上で宇宙飛行士が受ける中性子被曝による影響は、宇宙放射線全体の20%にもなると言われている。そこで、有人飛行(国際宇宙ステーション計画など)のための基礎データとして中性子のデータを取得する。陽子等の混在場から中性子のエネルギースペクトルを計測する。

※10 AOM: Atomic Oxygen Monitor (原子状酸素モニタ) … 低軌道にて熱制御材の劣化に対して大きな影響を与える原子状酸素密度を計測する。エネルギーアナライザ方式を採用した質量分析装置を用いる。

※11 ICM: Integrated Circuit Monitor (集積回路モニタ) … 宇宙放射線等による集積回路の電気特性の経年変化 (トータルドーズ変化) を計測する。集積回路の電気特性を計測する。

※12 SCM: Solar Cell Monitor (太陽電池セルモニタ) … 宇宙機の開発に反映するため、太陽電池セルの耐宇宙環境特性評価を行う。負荷抵抗の切り替えにより各種太陽電池セルの V-I 特性の計測を行い、太陽電池セルの劣化特性を取得する。

※13 PLAM: PLAsma Monitor (プラズマモニタ) … 宇宙機周辺のプラズマ環境は、表面に帯電を生じさせアーク放電によるシステム/機器の誤動作の原因となることがあるため、宇宙環境の基礎データとして計測する。宇宙機周辺のプラズマ密度及び電子温度、宇宙機のフローティング電位を計測する。

※14 DIM: DIsgnare Monitor (帯電放電モニタ) … 軌道上での放電環境を調べるため計測する。宇宙機の帯電放電の頻度を、ワイヤアンテナによる EIM 受信方式により測定する。

※15 HPM: High energy Particle Monitor (高エネルギー粒子モニタ) … 高エネルギー陽子(シングルイベントの発生原因)の強度を測定する。シリコン半導体検出器を用いて、陽子の強度を計測する。

2.2 計測データ

SEES で公開しているデータは①リアルタイムグラフ、②計測データの2種類がある。このうち、リアルタイムデータは現在、GOSAT、QZSS、Jason-3 の情報を公開している。縦軸に Differential Flux[$\text{cm}^2/\text{sr}/\text{sec}/\text{MeV}$]、横軸に UT(時間)を表すデータに加え、ある期間における世界地図上での Electron(0.91~1.06 MeV)の Differential Flux[$\text{LOG}_{10}/\text{electron}/\text{cm}^2/\text{sr}/\text{sec}/\text{MeV}$]、ある期間における世界地図上での Proton(1.00~1.20 MeV)の Differential Flux[$\text{LOG}_{10}/\text{electron}/\text{cm}^2/\text{sr}/\text{sec}/\text{MeV}$]を公開している。また、運用終了した衛星へ搭載/取得したデータについてもグラフを公開している。

宇宙環境/衛星環境モデル解析ツール(SEES へ要登録)は、AP8・AE8 (放射線)、MSIS-86 (中性大気)など NASA 等が無償提供されている複数のモデルを、軌道高度等の条件を入力すれば直ぐに計算できる便利なツールである。

3 SEES ユーザーへのアンケート調査

宇宙基本計画工程表⁹⁾にて、民間企業の参入促進が求められている中、SEES は、科学研究に留まらず、軌道上実績のない(又は少ない)新規参入企業等が必要とする情報源となる可能性を秘めていると考える。新規参入企業は、耐放射線設計や宇宙放射線影響が及ぼす衛星運用に関するノウハウが十分に蓄積されておらず、宇宙放射線に関するリスクの認知が不足している可能性がある。そこで耐放射線設計や実宇宙環境のデータベースである SEES を活用することで、それら不足部分を補うことが可能である。更に、宇宙基本計画工程表には、総務省等の施策のキーワードとして「宇宙天気」に関する課題が挙げられており、関係機関との連携や情報共有が望まれる。2項で述べた通り、宇宙環境と衛星設計・運用に関して多くの情報を有する SEES 資産の有効活用を行う必要がある。科学研究での利用促進に加え、太陽活動がもたらすリスクを抱える産業界等との連携強化が一層必要である。宇宙天気サービスの高度化や新事業の創出も検討されている⁹⁾。これらを取りまく背景をベースに SEES ユーザーのニーズを改めて直接調査する機運が生じてきた。1995年に SEES を公開して以降、SEES の登録ユーザーに対するアンケート調査が十分に行われておらず、ユーザーの声を聴き、その潜在ニーズを汲み取る仕組みが十分でなかった背景もあった。

そこで本調査研究において、SEES へユーザー登録をしている方々を対象に、今後の SEES の機能改善に向けてどのような意見や要望を有しているか明らかにするため、アンケート調査を実施した。本項では、ユーザーが特定されないよう配慮する形でおこなったアンケート調査結果の概要を述べる。

【調査対象】

SEES ユーザー登録利用者：77名 (内 大学、研究機関等：34名、企業関係者等：36名、JAXA 関係者：7名)

【調査方法】

期間：2022年9月9日～2022年10月14日

方法：Microsoft Forms のアンケートフォームへの入力

【回答状況】

回答数：16件（内 大学、研究機関等5名、企業関係者等6名、JAXA関係者5名）

回答率：20.8%

今回のアンケートで回答を得た16件のユーザー所属の割合を図2に示す。

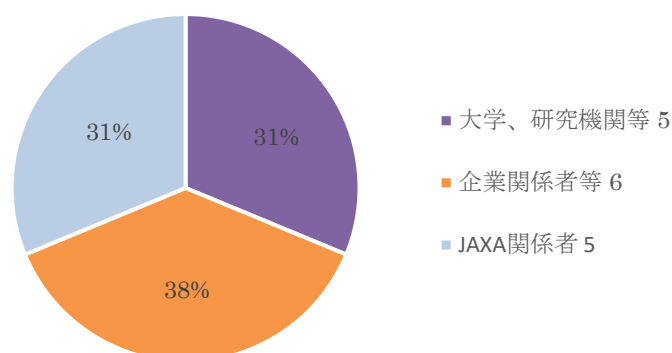


図2：ユーザーの所属の割合

使用している機能について、「①計測データ」（以降、データ）と「②宇宙環境/衛星環境モデル解析ツール」（以降、モデル）の使用割合を図3、使用されているデータの内訳を図4、使用しているモデルの内訳を図5に示す。図3よりデータの利用割合が4割程度を占めていること、図4よりデータ利用の大半が宇宙放射線の計測データの準リアルタイムグラフであることが分かった。このうち、図3に関し、モデルを使用する13ユーザーの内訳は、「大学、研究機関等」が3、「企業関係者等」が6、「JAXA関係者」が4であった。また、データを利用する8ユーザーの内訳は、「大学、研究機関等」が3、「企業関係者等」が3、「JAXA関係者」が2であった。このことから、モデルを使用するユーザーの半数は「企業関係者等」であることが読み取れる。図4に関し、準リアルタイムグラフを使用する8ユーザーの内訳は「大学、研究機関等」が3、「企業関係者等」が3、「JAXA関係者」が2であった。また、衛星デジタルデータを使用する1ユーザーは「大学、研究機関等」であり、衛星デジタルデータ利用ユーザーは、準リアルタイムグラフについても利用している。

図5からモデルの利用は、放射線帯粒子モデルと銀河宇宙線モデルの利用する割合が高いことが分かった。このうち、放射線帯粒子モデルを利用する11ユーザーの内訳は、「大学、研究機関

等」が3、「企業関係者等」が5、「JAXA 関係者」が3であった。また、銀河宇宙線モデルを利用する8ユーザーの内訳は、「大学、研究機関等」が2、「企業関係者等」が5、「JAXA 関係者」が1であった。図3からモデルを使用するユーザーの半数は「企業関係者等」であることを説明していたところ、これらの利用者が放射線帯粒子モデルや銀河宇宙線モデルを利用していることがわかる。

なお、放射線帯粒子モデルでは、高度の変化に対する放射線帯粒子(陽子、電子)のフラックスを計算することが出来る。また、銀河宇宙線モデルエネルギーの変化に対する衛星内部(遮蔽厚を入力)の銀河宇宙線のフラックス、遮蔽厚の変化に対する銀河宇宙線のフラックスを計算することが出来る。

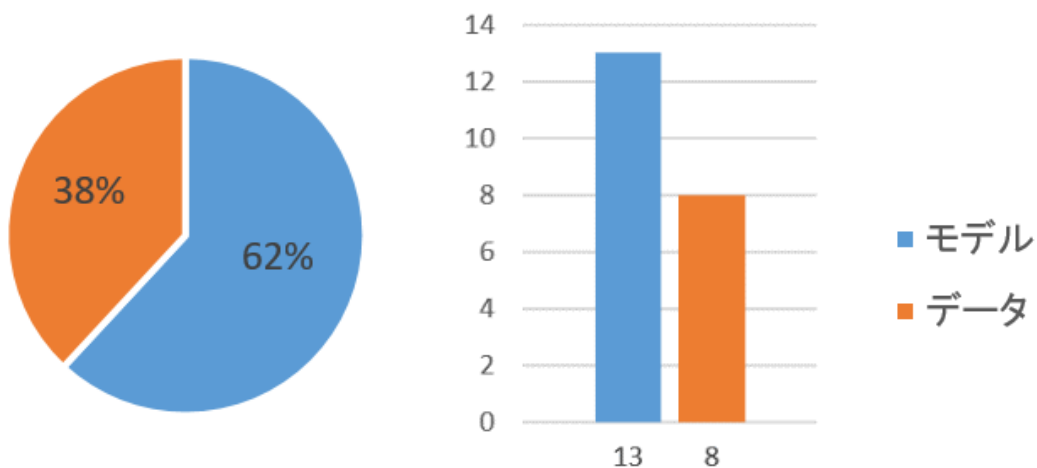


図3: モデルとデータの使用割合

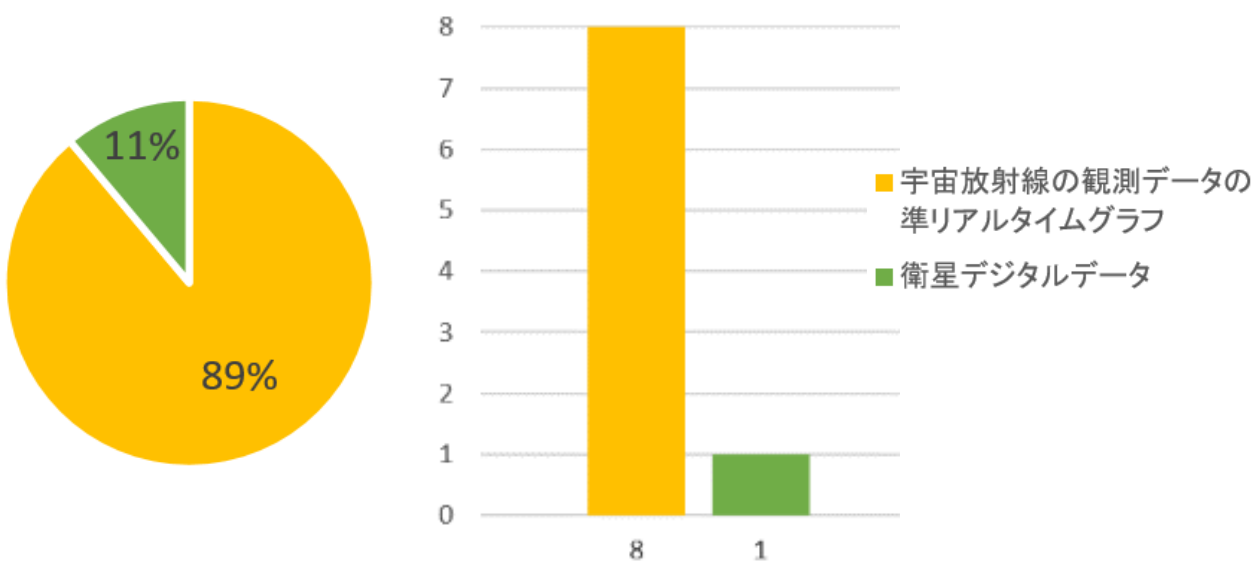


図4: SEESにて使用しているデータの内訳

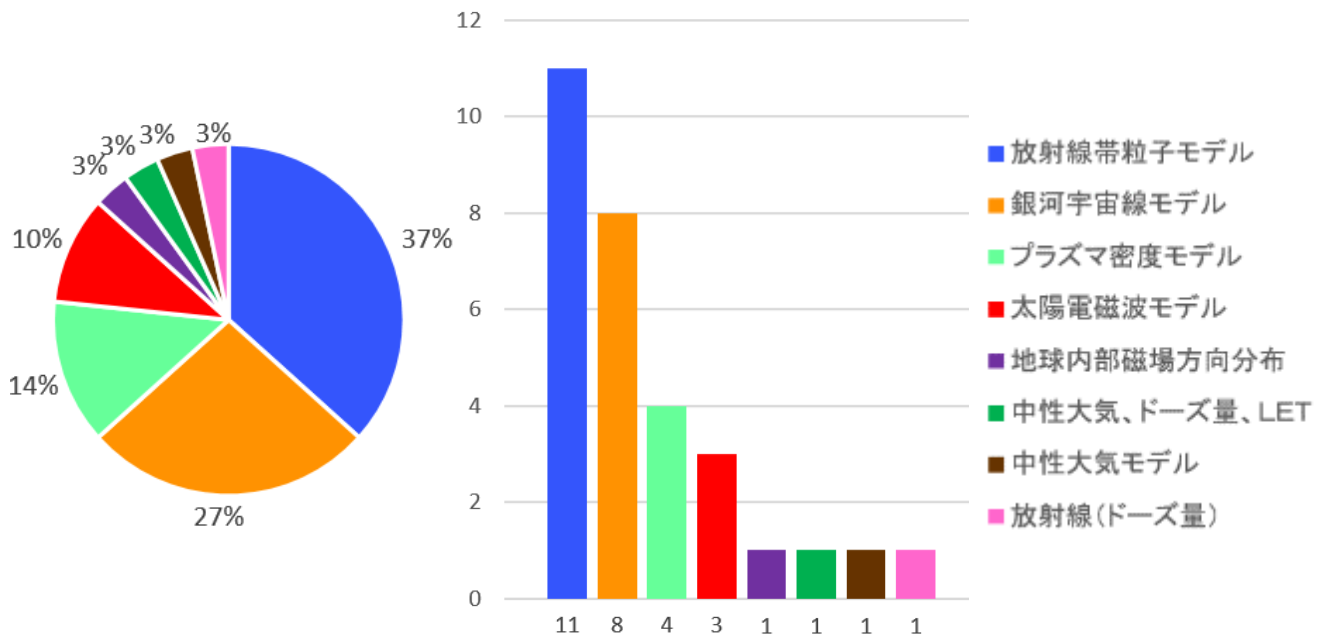


図 5 : SEES にて使用しているモデルの内訳

また、使用率の高い機能のうち、宇宙放射線の計測データの準リアルタイムグラフの例を図 6 及び図 7 に示す。

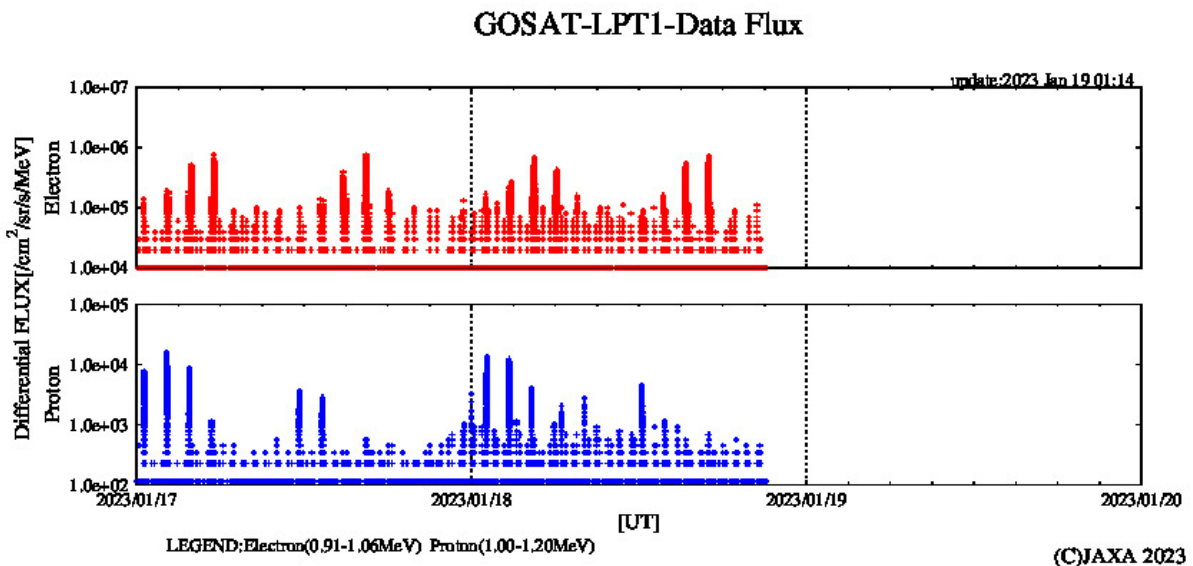


図 6 : 低軌道衛星(GOSAT)における宇宙放射線の計測データの準リアルタイムグラフ (単位面積あたりの電子 (上、赤) および陽子 (下、青) の強度の時刻変化を表したもの)

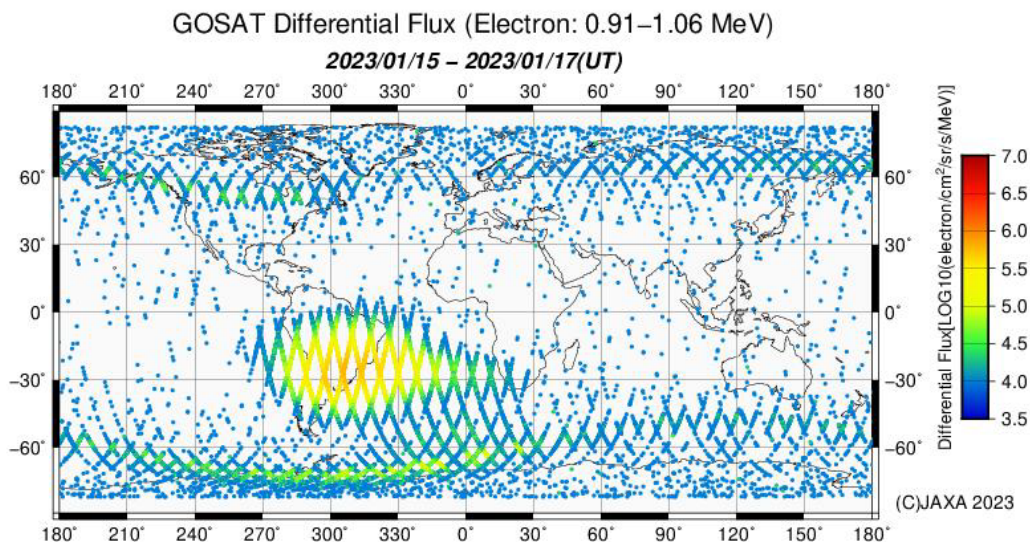


図 7：低軌道衛星(GOSAT)の軌道高度における電子の分布

(GOSAT の軌道における単位面積あたりの電子の強度の時刻変化を表したもの。) 南アメリカ付近で電子の Flux の値が高いのは南大西洋異常地域(SAA)による影響^{7,8)}である。また、南極近くや北緯の高い地域で Flux の値が高い(放射線の捕捉されている領域が三日月型に分布している)理由は、外帯電子の Horn 領域、即ち、地球磁場の関係上、極のところで磁場に捕捉されているため Flux の値が高くなる。

また、ユーザーが何のために SEES を利用しているのか以下に概要を提示する。主に、衛星設計、大型太陽フレア発生時の過去データの参照、大学での教育等で活用されていることが分かる。

- (1) 衛星システム設計、衛星搭載機器設計に利用(例: 原子状酸素密度の評価含む宇宙環境算出に利用)
- (2) 大型太陽フレア発生時、SEES の情報を参照
- (3) 大学機関での研究・教育(例: 上記(1)の衛星システム設計での利用を含む)

アンケート調査時点で、SEES を使用していない理由を図 8 に示す。

このうち、「その他」を選択した方の内容については、「今後、適宜利用を考えている」、「要望した機能(表 2 に記載)を追加して欲しい」であった。

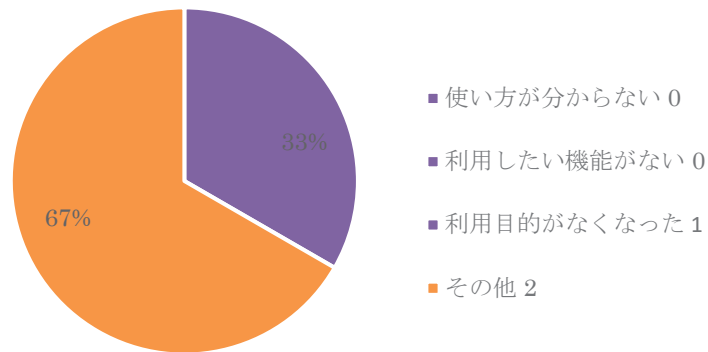


図 8 : SEES を使用していない理由

SEES で使用している機能に対する満足度を図 9 に示す。「非常に満足している」と「かなり満足している」を回答したユーザーから約 7 割が満足していることが分かった。一方、約 3 割は改善を要望していることが分かった。

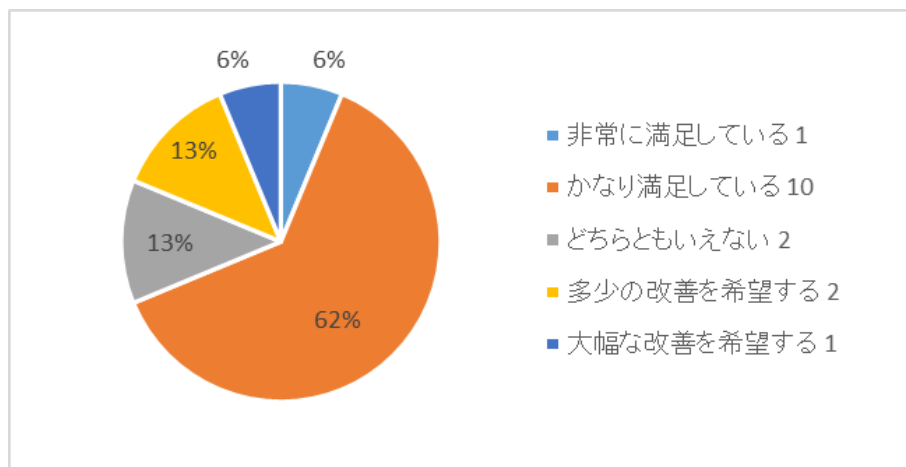


図 9 : SEES で使用している機能に対する満足度

アンケート結果を分析する限り、SEES の利用目的・内容は、宇宙環境での科学研究に加え、宇宙環境の解析や材料の放射線耐性評価といった実務的なものである。使われている機能としては、上述のとおり、計測データとモデルがあり、計測データでは宇宙放射線の計測データの準リアルタイムグラフ、モデルとしては放射線帯粒子モデルと銀河宇宙線モデルがそれぞれ主に使用されていた。

また、SEES の機能付加に関する要望に対し、必要性・緊急性等の観点から優先順位付けを実施した(表 2)。

表2 SEESの機能付加に関する要望内容と対策案

No.	SEESの機能付加に関する要望内容と対策
1	2025年頃の太陽フレア活発化に伴う要望：放射線密度が一定値を超える予測の際のアラートなど(衛星運用への活用のため)。⇒【対応策】2021年度迄はSEESにて機能があった。多数の衛星故障の回避に貢献するため、復活させる方向で検討する。
2	2025年頃の太陽フレア活発化に伴う要望：過去の太陽フレア時の軌道上データの把握(1989年, 2000年, 2003年など)⇒【対応策】静止軌道で太陽フレアのデータを取得しており、DRTSが2002年打上げのため2003年のデータは存在するため、特記して示すことは可能。
3	モデルの説明、パラメータの意味などの解説を充実化。(SEESはどう使えるのか) ⇒【対応策】モデルの説明、パラメータの意味等の解説を充実化させるための検討を行いたい。

このうち、表2のNo.1については、衛星運用警報メールシステムとして、大規模な太陽フレアや磁気嵐発生時に過酷な宇宙環境現象に曝されている地球周回衛星の運用不具合発生を回避するため、静止軌道上を周回する衛星で観測されるX線や高エネルギー電子等のデータをリアルタイムで受信し、異常時に衛星運用警報メールを発することで衛星運用者に注意を喚起する機能を有していた^{9,10)}が、現状では本機能を有していない。今後、改めて当該機能を有する方向で検討する。なお、SEESでは、衛星搭載宇宙環境計測装置で自動検知し、計算機による自動(判断、予測)発信の衛星運用警報発令システムを構築し、実行できる。そのため、SEESの計算機では、アラートを出すためのアラート発令基準をユーザーが、磁気嵐やX線強度等を対象に数段階に分けて設定することが出来、自動的に発出される仕組みに出来るのが特徴である。

現状でSEESを利用するユーザーが77であること、アンケートでの回答数の状況を踏まえ、大学機関や新規参入企業を含む企業関係者等の研究開発利用を促進するためには、これらの課題解決に向けた取り組みが求められると考える。

4 まとめ及び今後の展望

- (1) 宇宙基本計画工程表にて、民間企業の参入促進が求められている中、研究プロダクトである宇宙環境計測情報システム(SEES)の準リアルタイムグラフや放射線帯粒子モデルや銀河宇宙線モデル等の宇宙環境モデルは、科学研究での利用に加え、軌道上実績のない(又は少ない)新規参入企業等が必要とする情報源となる可能性を秘めている。
- (2) SEESを対象に、使用している機能、満足度、追加を要望する機能を把握するため、アンケートを実施した。本調査研究にて、SEESの満足度(約7割が満足)の把握・活用事例を明確化できたことに加え、研究プロダクトの質の向上に向けて改良すべきポイント(機能付加の要望)を明確化出来た。
- (3) 本調査研究成果を活かすため、2023年度に、3項の表2「SEESの機能付加に関する要望内容と対策」にて示した3つの改善点を軸に改善点を検討することにより、SEES利用者に対して最適な宇宙環境情報の提供が可能なプラットフォームの構築を目指す。

参考文献

- 1) <https://www.nasa.gov/press-release/solar-cycle-25-is-here-nasa-noaa-scientists-explain-what-that-means>
- 2) 宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会 報告書、総務省、2022年6月21日、
https://www.soumu.go.jp/main_content/000821116.pdf
- 3) https://sees.tksc.jaxa.jp/fw/dfw/SEES/Japanese/Top/top_j.shtml
- 4) https://sees.tksc.jaxa.jp/fw/dfw/SEES/Japanese/WhatsSEES/whats_sees_j.shtml
- 5) 上野賢一郎、宇宙環境計測情報システム (SEES)、平成15年度宇宙科学情報解析センターシンポジウム、p.27-37、2004
- 6) 宇宙基本計画工程表(令和4年度改訂)、宇宙開発戦略本部決定、令和4年12月23日
- 7) D.N.Baker, P.J.Ericson, J.F.Fennell, J.C.Foster, A.N.Jaynes, P.T.Verronen, Space Weather Effects in the Earth's Radiation Belts, Space Sci Rev (2018)214:17, DOI 10.1007/s11214-017-0452-7
- 8) 宇宙環境標準、JERG-2-141、宇宙航空研究開発機構、平成22年3月2日、
https://sma.jaxa.jp/TechDoc/Docs/JAXA-JERG-2-141_N1.pdf
- 9) 中山正史、松本晴久、古賀清一、五家建夫、宇宙天気予報を使った衛星運用警報システムの構築－宇宙環境計測情報システム－、電気情報通信学会 信学技報、SANE2007-50、vol.107、p.49-51、2007
- 10) 藤田友貴奈、小川敏春、岩倉隆裕、小泉勉、越石英樹、松本晴久、宇宙環境計測データの提供環境の整備、第58回宇宙科学技術連合講演会講演集、JSASS-2014-4028、2014