

低軌道における宇宙放射線影響と 宇宙天気予報

2025年度 第20回宇宙天気ユーザーズフォーラム

2026年2月20日 @情報通信研究機構イノベーションセンター

有人宇宙システム株式会社

運用管制・クルーユニット / 健康管理運用グループ

市川 椋大

00. 自己紹介

01. ISSについて

- ✓ ISSとは
- ✓ ISSにおける健康管理運用チームの役割
- ✓ ISSでの宇宙放射線環境

02. 日本人宇宙飛行士の放射線被ばく管理

- ✓ 放射線被ばく管理方法
- ✓ 計測機器
- ✓ 放射線被ばく管理における宇宙天気
- ✓ 課題

03. 月探査における放射線被ばく管理

- ✓ 月探査とは
- ✓ 月探査における放射線被ばく管理

04. まとめ

00. 自己紹介

01. ISSについて

- ✓ ISSとは
- ✓ ISSにおける健康管理運用チームの役割
- ✓ ISSでの宇宙放射線環境

02. 日本人宇宙飛行士の放射線被ばく管理

- ✓ 放射線被ばく管理方法
- ✓ 計測機器
- ✓ 放射線被ばく管理における宇宙天気
- ✓ 課題

03. 月探査における放射線被ばく管理

- ✓ 月探査とは
- ✓ 月探査における放射線被ばく管理

04. まとめ

00. 自己紹介

市川 椋大

所属： 有人宇宙システム株式会社 (JAMSS: Japan Manned Space Systems Corporation)
 運用管制・クルーユニット 健康管理運用グループ

主業務： 日本人宇宙飛行士健康管理運用業務

- 担当領域：
- 放射線被ばく管理運用
 - 環境管理運用
 - JAXA バイオメディカルエンジニア

JAMSSの業務

✓ 安全・ミッション保証

ex) 宇宙機器の品質解析

✓ ISS/きぼう運用

ex) きぼう運用

✓ 宇宙安全保障

ex) 衛星利用

✓ 宇宙探査

ex) 火星衛星探査計画

002 JAMSS, LINKING HUMANS AND SPACE

ひとと宇宙をつなぐ

私たち JAMSS は 24 時間 365 日、
 地上から国際宇宙ステーション (ISS) / 日本実験棟「きぼう」を見守っています。
 「宇宙」という極限かつユニークな環境において必要とされる運用技術およびインテグレーション技術を駆使し、
 さまざまな宇宙ミッションの成功に寄与してきました。今までもこれからもひとと宇宙をつないでいきます。

「きぼう」運用業務

計画管理

多国間での年～日々単位でのスケジュール調整を行います

技術支援

「きぼう」全体の技術評価およびモジュール・装置間のインタフェース評価・調整を行います

システム運用

筑波宇宙センターの運用管制室から、「きぼう」システムの運用管制を24時間体制で行います

実験運用

「きぼう」で行われる宇宙実験の運用管制を行います

訓練

宇宙環境での宇宙飛行士活動に対し、国内外の宇宙飛行士や運用管制官に訓練を提供します

健康管理

日本人宇宙飛行士の健康管理運用を支援します

ユーザ支援

「きぼう」で行われる宇宙実験をはじめとする多種多様な「宇宙利用」の実現を支援します

安全・ミッション保証

搭載されるハードウェアおよびソフトウェアの安全性・信頼性・保全本性に關する評価を行います

00. 自己紹介

01. ISSについて

- ✓ ISSとは
- ✓ ISSにおける健康管理運用チームの役割
- ✓ ISSにおける宇宙放射線環境

02. 日本人宇宙飛行士の放射線被ばく管理

- ✓ 放射線被ばく管理方法
- ✓ 計測機器
- ✓ 放射線被ばく管理における宇宙天気
- ✓ 課題

03. 月探査における放射線被ばく管理

- ✓ 月探査とは
- ✓ 月探査における放射線被ばく管理

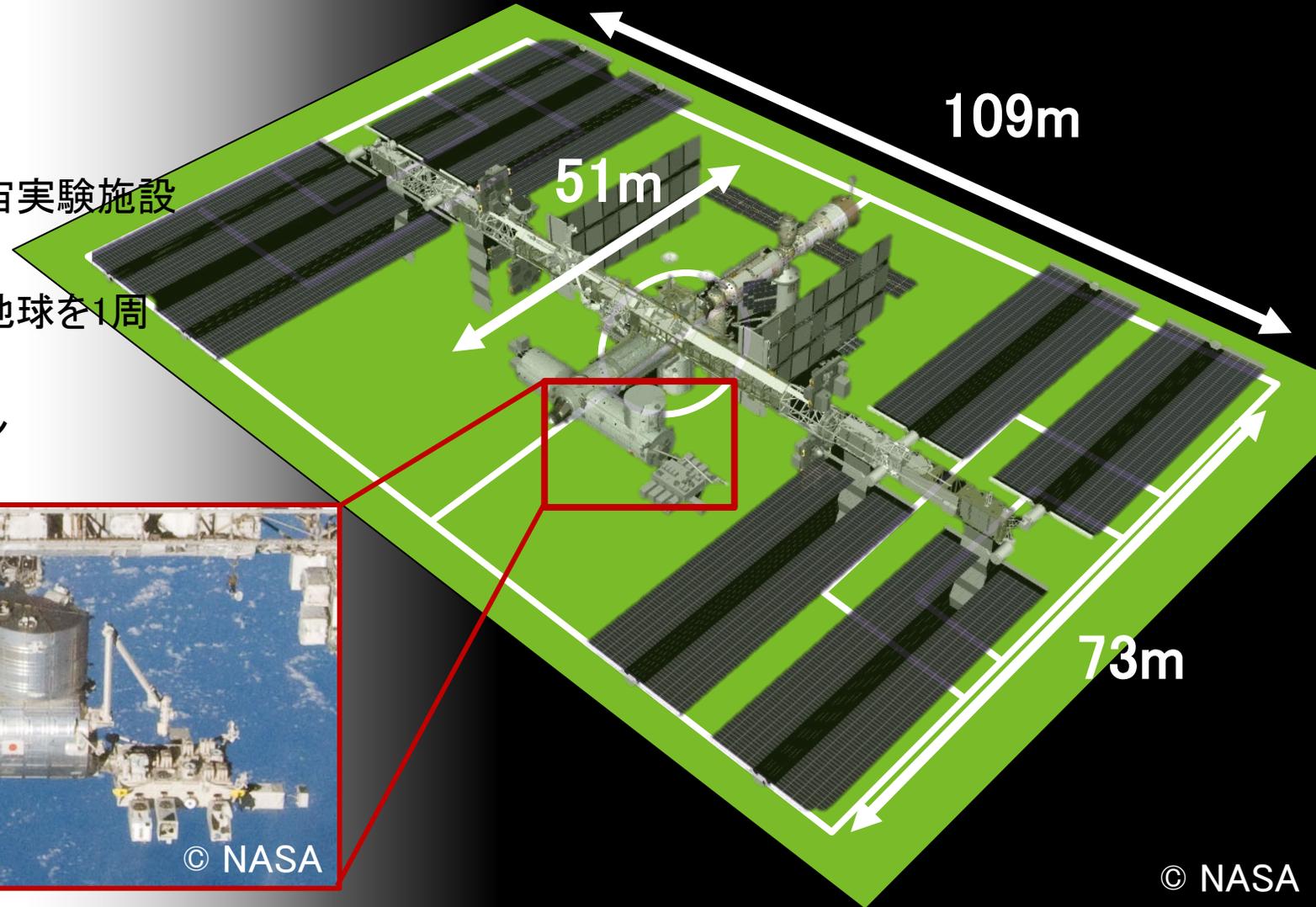
04. まとめ

01. ISSについて

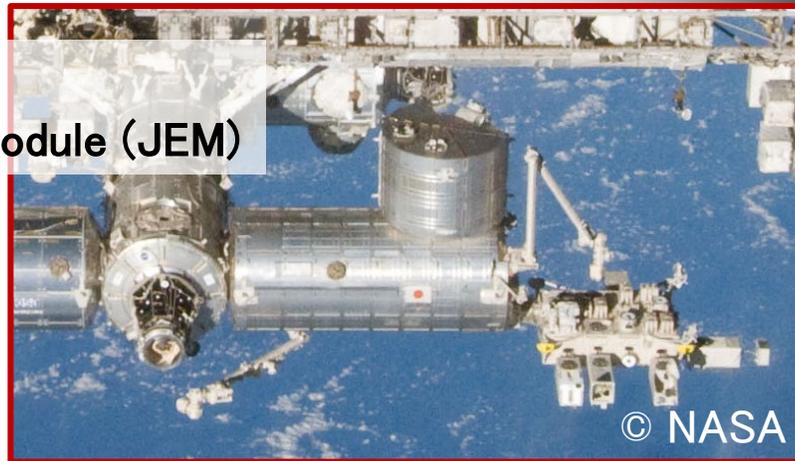
ISSとは

国際宇宙ステーション(ISS)

- 地球低軌道(高度約400km)を周回する宇宙実験施設
- 日、米、ロ、欧、加などの国際共同運用
- 周回速度は時速約28,000kmで、約90分で地球を1周
- 常時6~7人の宇宙飛行士が半年程度滞在
- 日本人宇宙飛行士は、約1年に1回アサイン



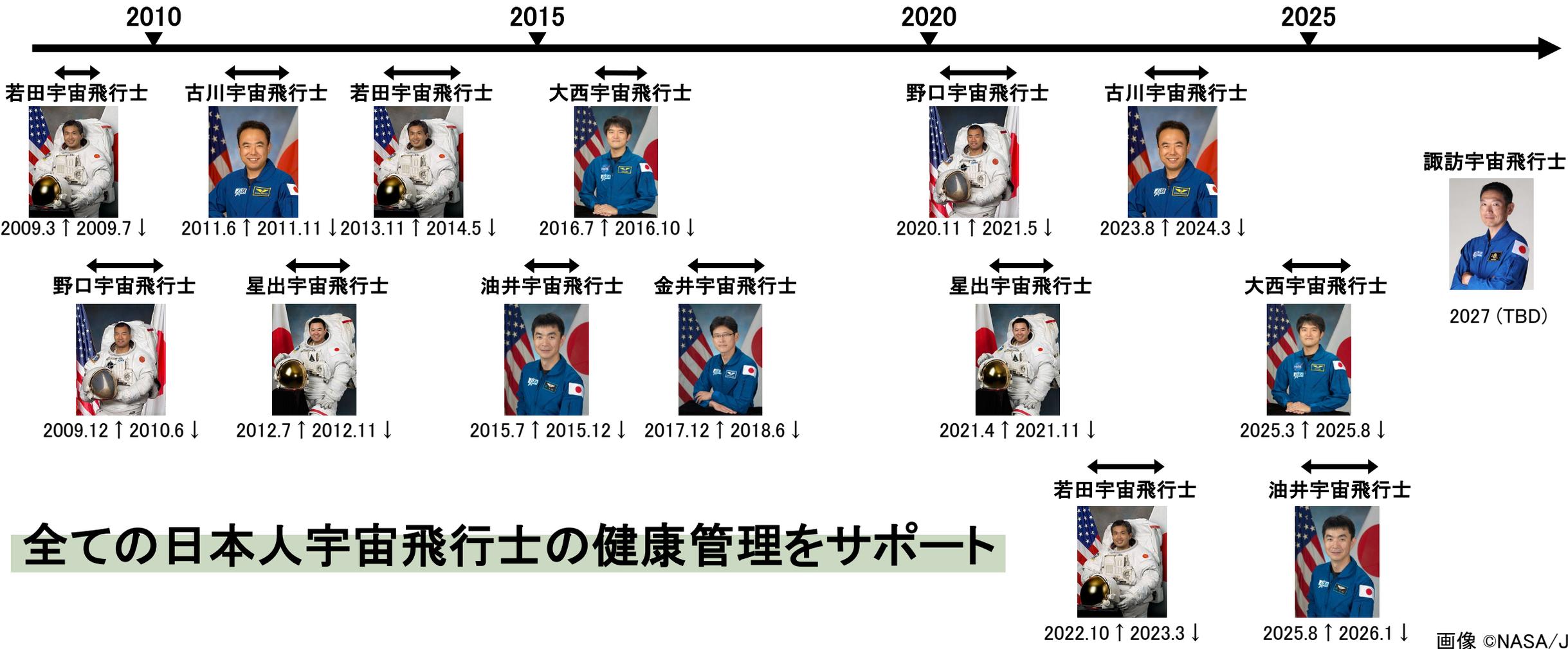
きぼう 日本実験棟
 Japanese Experiment Module (JEM)



© NASA

01. ISSについて

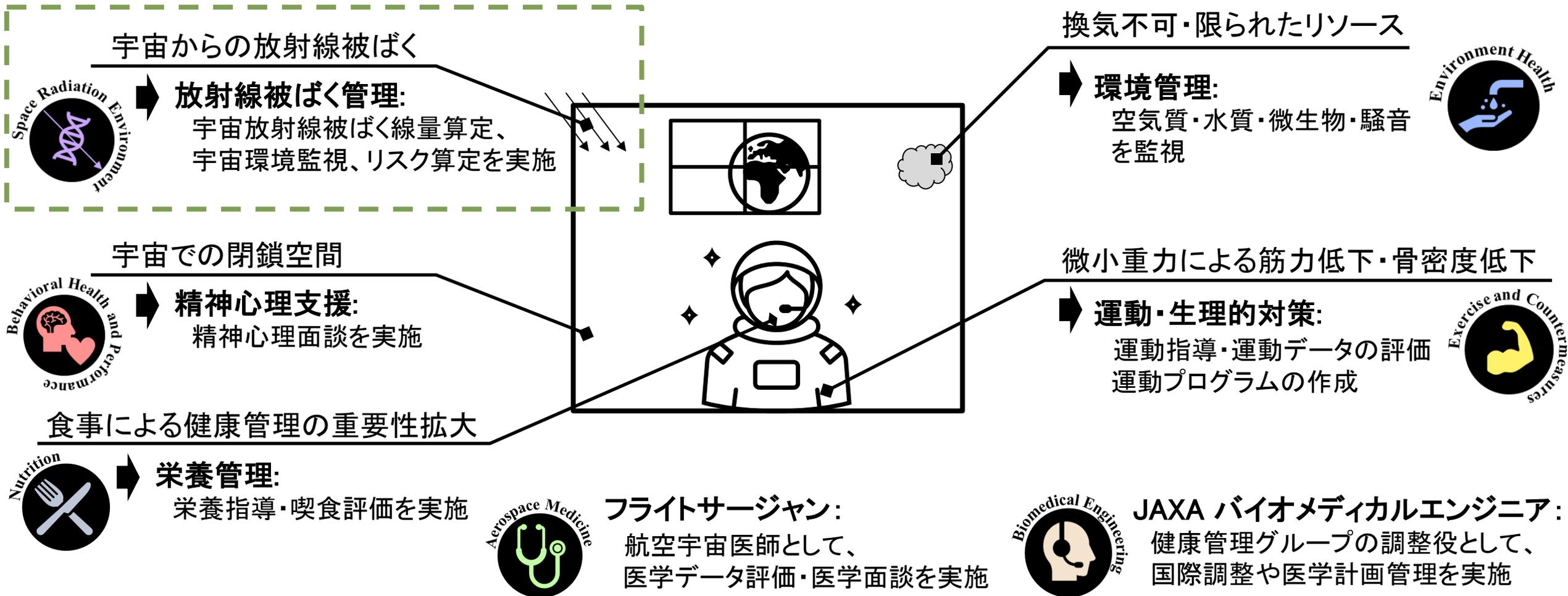
ISSにおける健康管理運用チームの役割



全ての日本人宇宙飛行士の健康管理をサポート

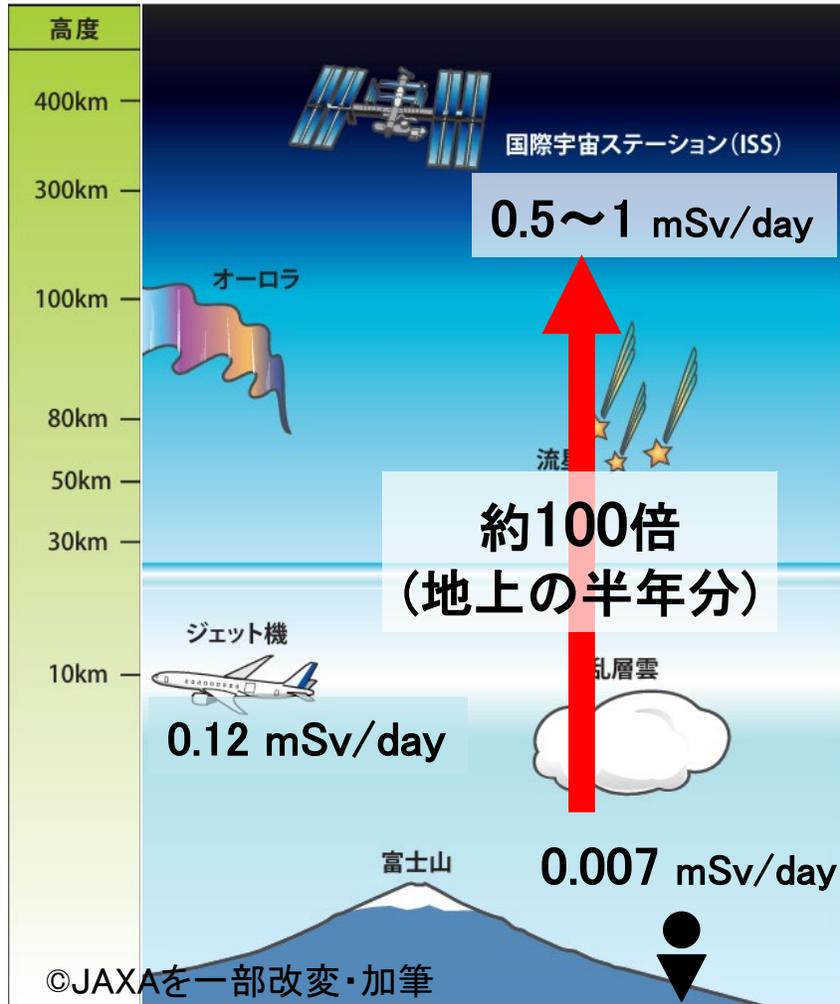
01. ISSについて

ISSにおける健康管理運用チームの役割

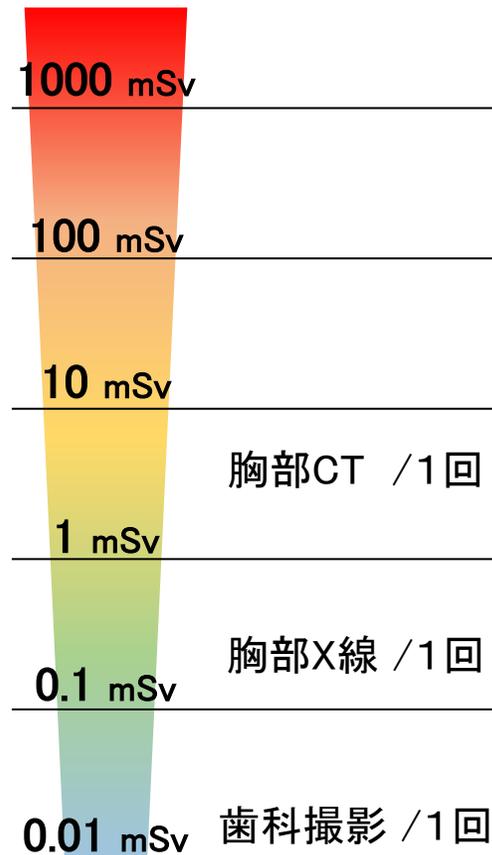


01. ISSについて

ISSにおける宇宙放射線環境



地上との比較



生物影響

不妊、一時的脱毛

白内障

がんリスク増加

放射線被ばく管理

日本人宇宙飛行士の生涯累積限度

放射線作業者の5年間限度

放射線作業者の1年間限度

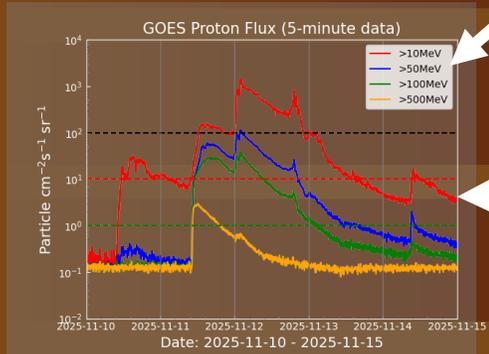
	地上	宇宙
線源	天然放射線同位体元素 2次宇宙線	1次宇宙線 (太陽粒子線、銀河宇宙線、捕捉粒子線) 2次宇宙線 (陽子線、荷電粒子線、中性子線など)
粒子	γ線(MeV程度)、ミュオン、 中性子線など	・電子、重荷電粒子、中性子 ・エネルギー範囲の上限は~10GeV/n を超える

01. ISSについて

ISSにおける宇宙放射線環境

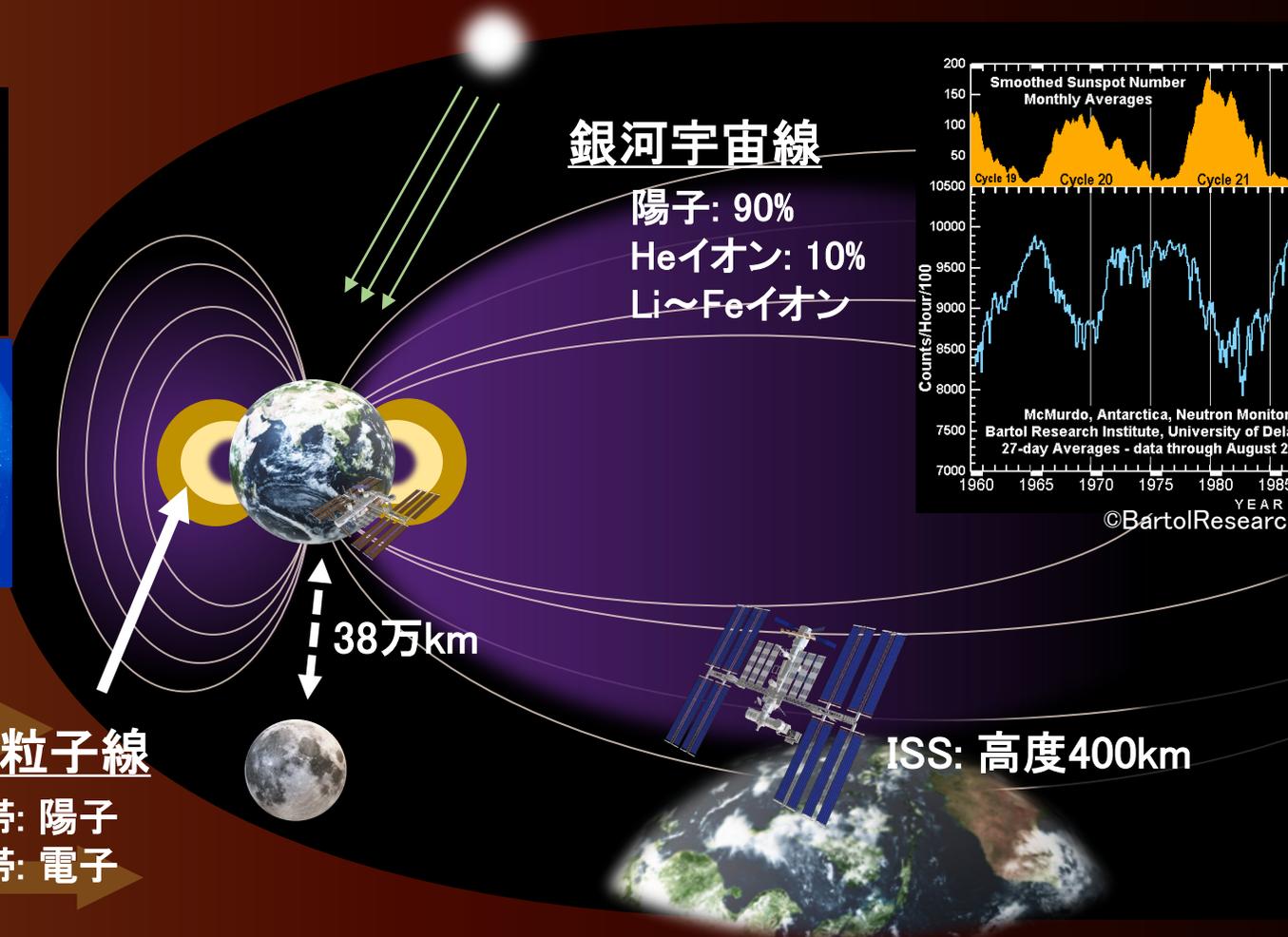
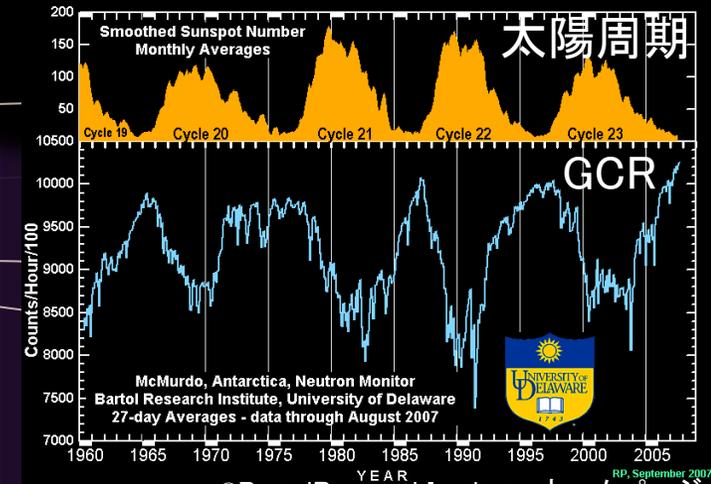
太陽粒子線

陽子: 80~90%
 Heイオン: 10~20%
 重荷電粒子(>He): 1%



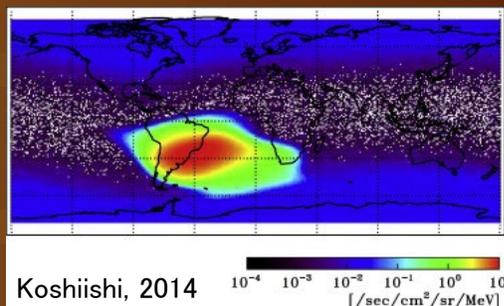
銀河宇宙線

陽子: 90%
 Heイオン: 10%
 Li~Feイオン



捕捉粒子線

内帯: 陽子
 外帯: 電子



01. ISSについて

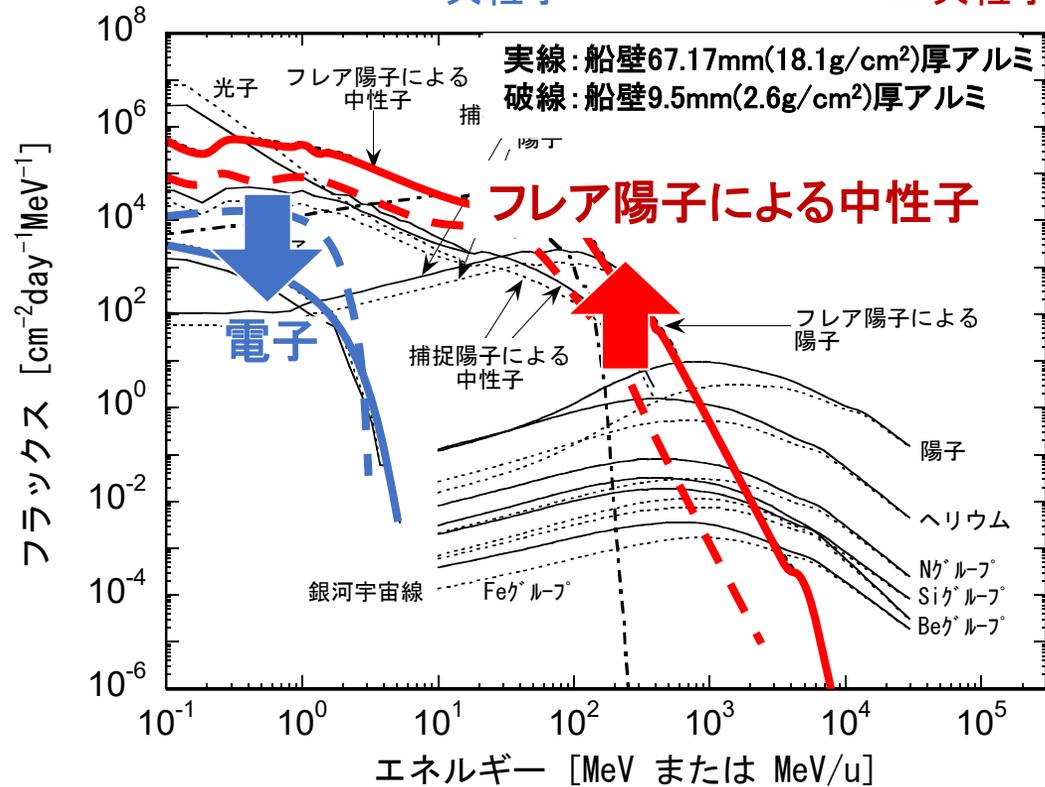
ISSにおける宇宙放射線環境

静穏時のISS船内環境

船壁によってエネルギーが減衰される粒子・新たに生成される粒子が存在

一次粒子

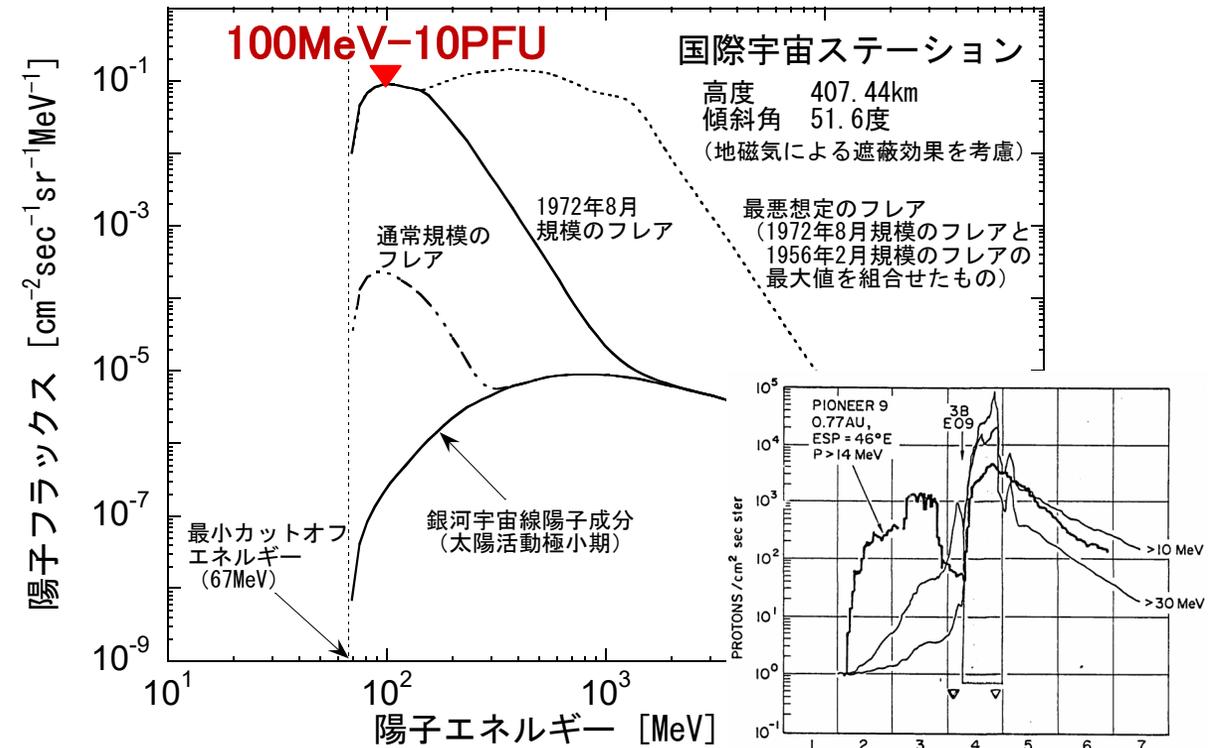
二次粒子



PFU: Particle Flux Unit (1 particle/cm²/s/sr)

大規模フレア時のISS船内環境

大規模フレア(10MeV-10⁴PFU)時には船内でも100MeVの陽子が10PFUに到達する



DTIC "Study of the August 1972 Solar Proton Events"

00. 自己紹介

01. ISSについて

- ✓ ISSとは
- ✓ ISSにおける健康管理運用チームの役割
- ✓ ISSにおける宇宙放射線環境

02. 日本人宇宙飛行士の放射線被ばく管理

- ✓ 放射線被ばく管理方法
- ✓ 計測機器
- ✓ 放射線被ばく管理における宇宙天気
- ✓ 課題

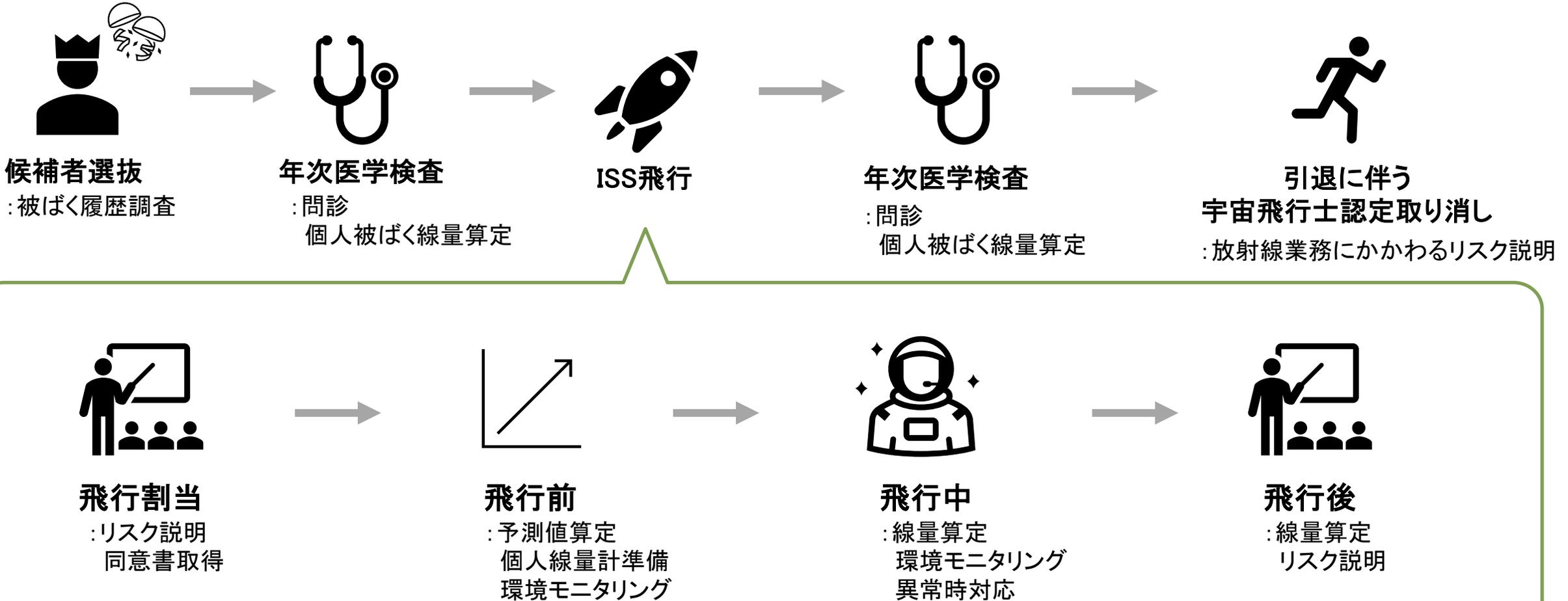
03. 月探査における放射線被ばく管理

- ✓ 月探査とは
- ✓ 月探査における放射線被ばく管理

04. まとめ

02. 日本人宇宙飛行士の放射線被ばく管理

放射線被ばく管理方法



02. 日本人宇宙飛行士の放射線被ばく管理

放射線被ばく管理方法

日本国内において職業上の放射線被ばく管理を規定している法律



放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律

- 放射性同位元素(RI)や放射線発生装置の使用・販売・廃棄を規制
- それらによる放射線影響から人や環境を守る



労働安全衛生法電離放射線障害防止規則

- 放射線業務に従事する労働者の被ばくを最小限に抑えること
 - 被ばくによる健康影響(がん・白内障など)を未然に防止すること
- 放射線業務で発生する被ばくを対象に制限値などを設定している

自然放射線である、宇宙放射線は規制の対象外

しかし、宇宙飛行士の放射線被ばく量は地上の100倍…

JAXAでは外部諮問委員会として有人サポート委員会宇宙放射線被ばく管理分科会を設置し、宇宙放射線に対する管理手法を規程に定めている

02. 日本人宇宙飛行士の放射線被ばく管理

放射線被ばく管理方法

全身均等換算(がん・遺伝的影響)

● ISS搭乗宇宙飛行士の生涯実効線量制限値

寄与生涯がん死亡確率が、想定条件:初飛行後3年間隔で3回搭乗にて、3%程度上昇する線量にて設定

初めて宇宙飛行を行った年齢	男性 (Sv)	女性 (Sv)
27~30歳	0.6	0.5
31~35歳	0.7	0.6
36~40歳	0.8	0.65
41~45歳	0.95	0.75
46歳≦	1.0	0.8

● ISS搭乗宇宙飛行士の組織等価線量制限値

不可逆的な確定的影響を回避するため、実効線量制限値では防護できない組織について個別に制限値を設定

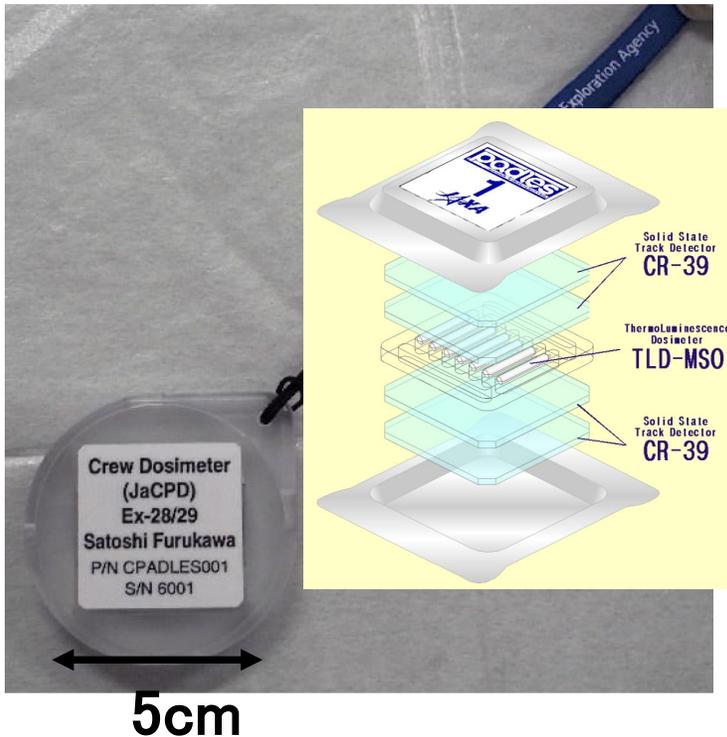
被ばく期間\組織・臓器	骨髄 (Sv)	皮膚 (Sv)	精巣 (Sv)
1週間	-	2	-
1年間	0.5	7	1
生涯	-	20	-

02. 日本人宇宙飛行士の放射線被ばく管理

計測機器

受動積算型宇宙放射線線量計 PAssive Dosimeter for Life science Experiments in Space (PADLES)

Passive型: メリット: 線種の推定可能、電池不要、小型・軽量
 → 飛行士個人が装着する線量計
 デメリット: リアルタイム測定不可能、時間分解能なし

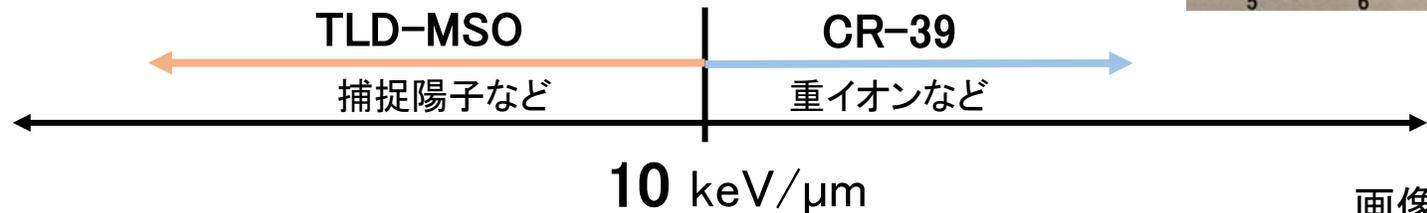
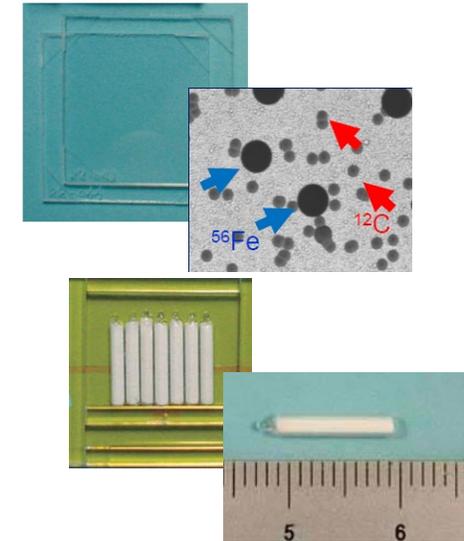


◆ 固体飛跡検出器 (CR-39)

宇宙線粒子が通過するとその飛跡を記録するプラスチック
 → 飛跡の形を見ると、粒子の向きやエネルギーがわかる

◆ 熱蛍光線量計 (TLD-MSO)

放射線を照射した後に加熱すると光(熱蛍光)を放出する結晶
 → 光量をはかると照射した放射線の量がわかる



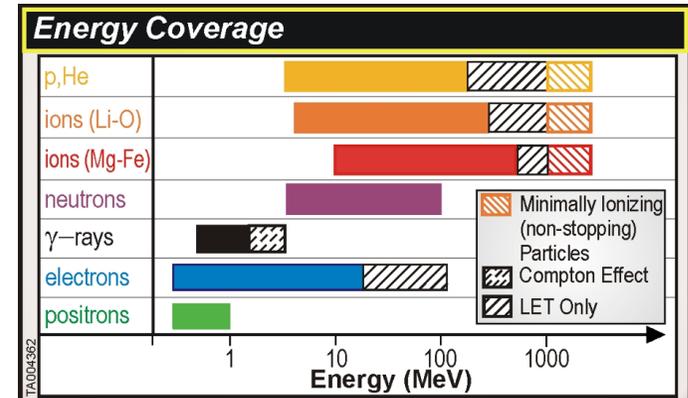
画像 ©JAXA

02. 日本人宇宙飛行士の放射線被ばく管理

計測機器

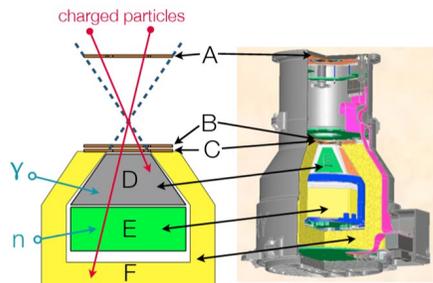
Radiation Assessment Detector (RAD)

Active型: メリット:リアルタイム測定可能、時間分解能あり
→据え置き型のリアルタイム線量計
デメリット:線種の推定不可能、電池必要、大型



荷電粒子計測計

Charged Particle Detector : CPD

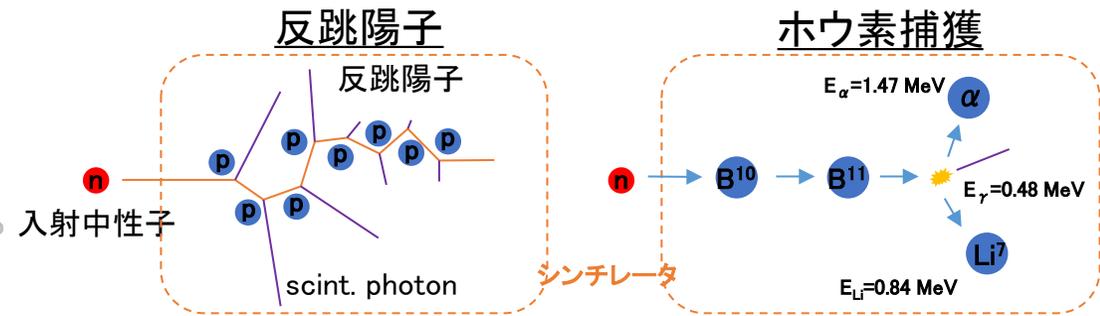
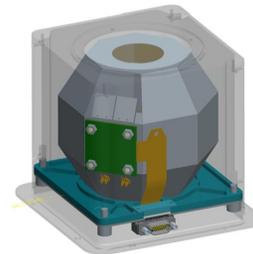


Detector	Material	Type	Purpose
A, B ¹ , C	Si	SSD	Charged particle spectroscopy
D	BGO ²	Scintillating Calorimeter	Energy resolving detector
E ¹	EJ260XL ³	Scintillator	High-energy particle measurements
F	EJ260XL ³	Scintillating Anti-coincidence counter	Anti-coincidence counter

- Si検出器: dE/dx から粒子の電荷とエネルギーを推定
- BGOカロリメータ: ビスマス・ゲルマニウム酸化物(高密度シンチレータ)により、粒子が入ると止まるor減速しながら光を出す
- プラスチックシンチレータ: 中性粒子・荷電粒子が通過すると光を出す

高速中性子計測計

Fast Neutron Detector : FND

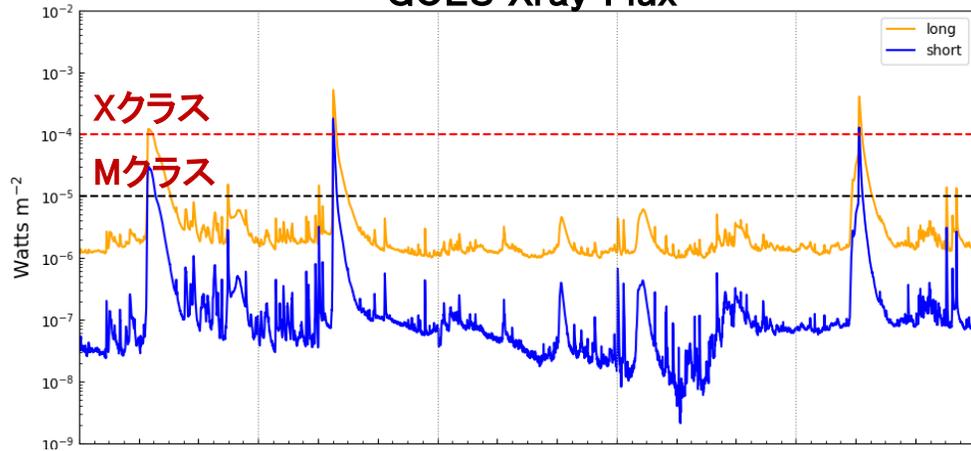


画像 ©NASA

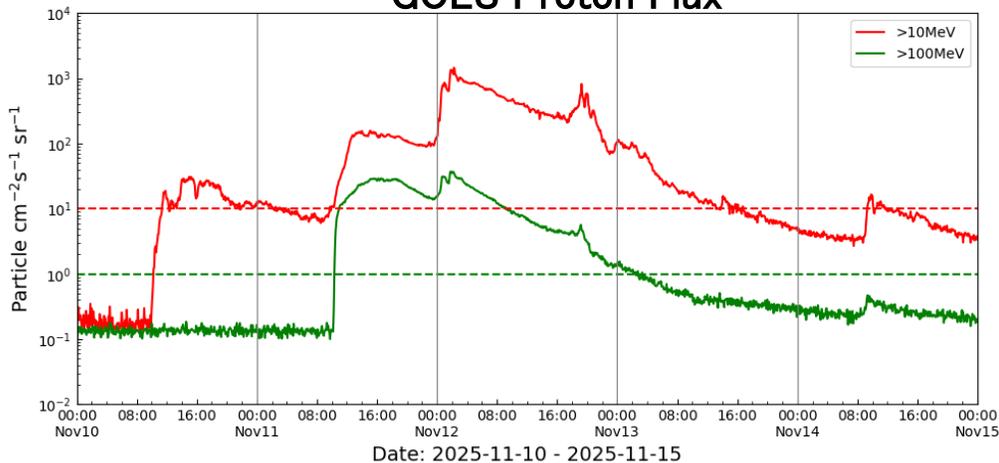
02. 日本人宇宙飛行士の放射線被ばく管理

放射線被ばく管理における宇宙天気

GOES Xray Flux



GOES Proton Flux



ISSにおける宇宙環境異常時の定義

→ 【Flight Rules】:ISS国際共通ルール

警戒 (Alert)

- NOAAがSPE※1予報を出した場合
- SPEが発生した場合
- 地磁気嵐($K_p \geq 7$)の場合



➤ 放射線量のモニタリングを継続

非常事態 (Contingency)

- ESPE ※2が発生した場合



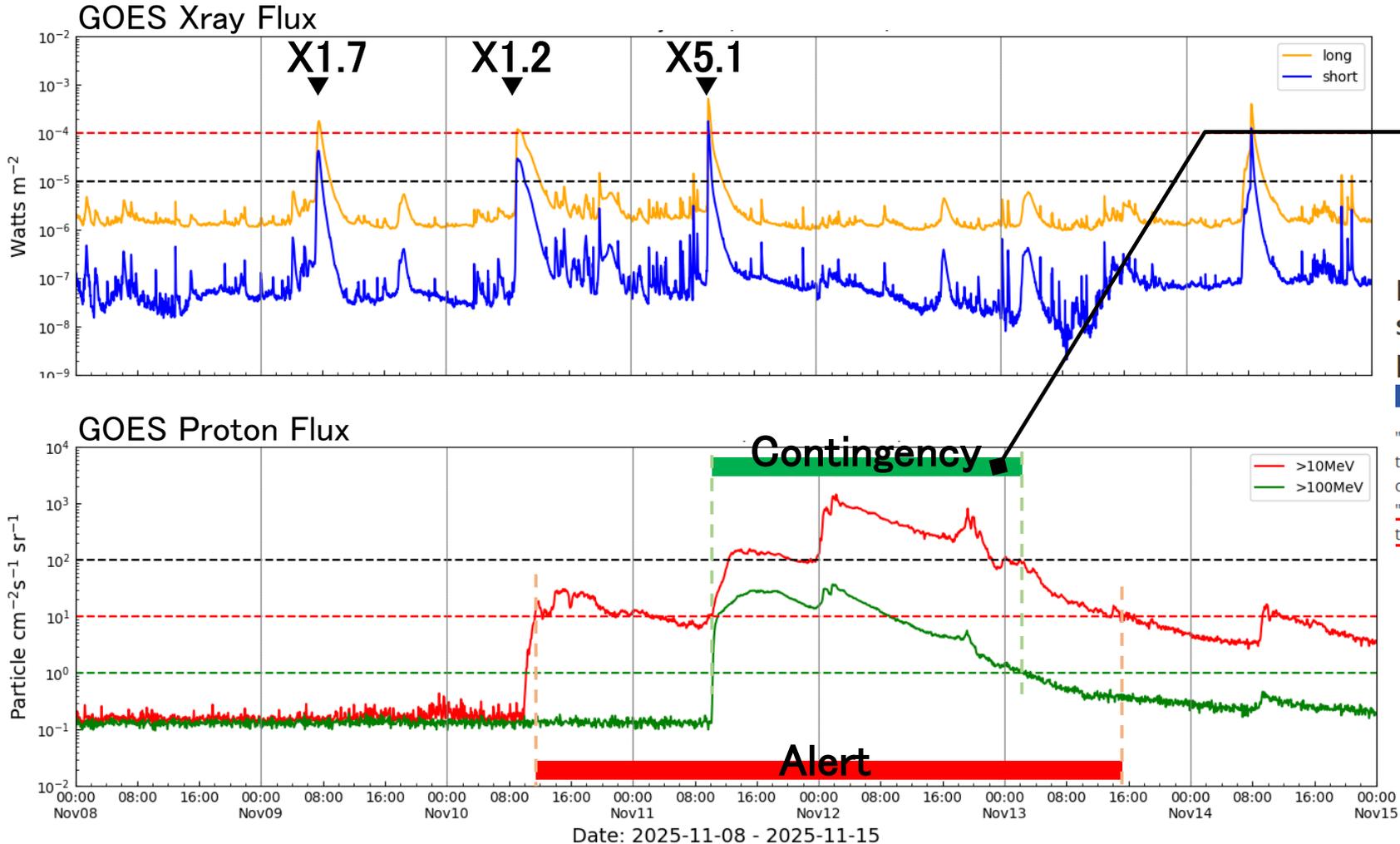
- オンコール体制へ移行
- 必要に応じて介入措置を実施
- 100MeV陽子が100PFUを超過した場合は、遮蔽の厚い場所へ滞在を勧告

※1: SPE (Solar Particle Event)
 10MeV以上の陽子が10PFU以上

※2: ESPE (Energetic Solar Particle Event)
 100MeV以上の陽子が1PFU以上

02. 日本人宇宙飛行士の放射線被ばく管理

放射線被ばく管理における宇宙天気



飛行士の対応

ロシア人飛行士は就寝場所を変更
 (ISSの中でより遮蔽が高い場所へ移動)

ISS astronauts take cover from radiation as solar storms spark auroras across the planet

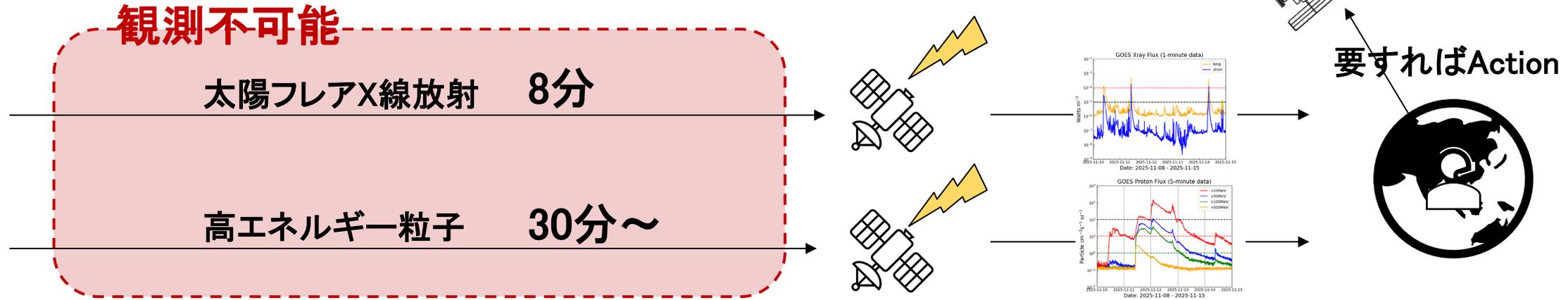
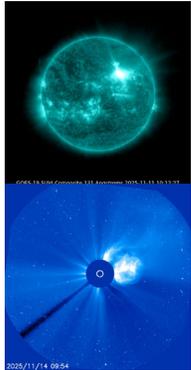
News By Josh Dinner published November 14, 2025

"We entered into an energetic solar particle event this morning, and we're going to go in and out of holes of higher than the baseline [radiation] risk," one operator told NASA astronaut Mike Fincke over the comms channel. Out of an "abundance of caution," the station's three Russian cosmonauts were instructed to spend a night in the ISS laboratory module

<https://www.space.com/space-exploration/international-space-station/iss-astronauts-take-cover-from-radiation-as-solar-storms-spark-auroras-across-the-planet>

02. 日本人宇宙飛行士の放射線被ばく管理

課題



課題点

- **実際にSPEが観測されてから宇宙飛行士はアクションを取る**
 - ある程度の被ばくを受ける前提の対応
 - 今後、月・火星に人類が進出した場合は、
 - ・磁気圏外によるISS以上の被ばく量
 - ・通信遅延によるリアルタイム通信の難化
 - ・緊急帰還の難化
- **月探査では、閾値(100MeV-100PUF)を下げる検討**
 - 月探査では、宇宙飛行士自らシェルターを作成するため

➡ **被ばく線量を最低限にするためには、宇宙天気予報を利用した事前準備が重要**

00. 自己紹介

01. ISSについて

- ✓ ISSとは
- ✓ ISSにおける健康管理運用チームの役割
- ✓ ISSにおける宇宙放射線環境

02. 日本人宇宙飛行士の放射線被ばく管理

- ✓ 放射線被ばく管理方法
- ✓ 計測機器
- ✓ 放射線被ばく管理における宇宙天気
- ✓ 課題

03. 月探査における放射線被ばく管理

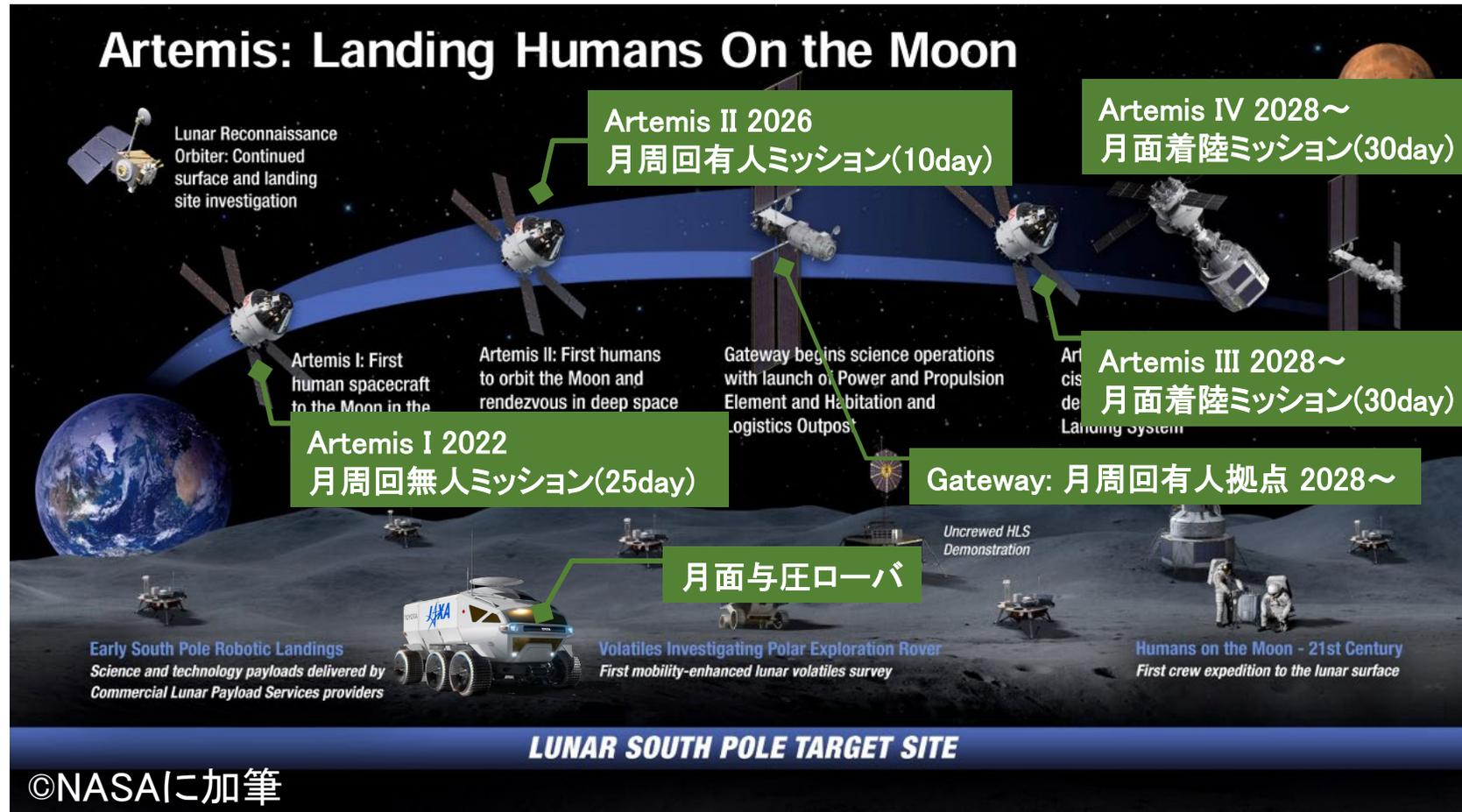
- ✓ 月探査とは
- ✓ 月探査における放射線被ばく管理

04. まとめ

03. 月探査における放射線被ばく管理

|| 月探査とは

Artemis計画: NASA主導の月面への有人着陸および長期滞在を目的としたプログラム

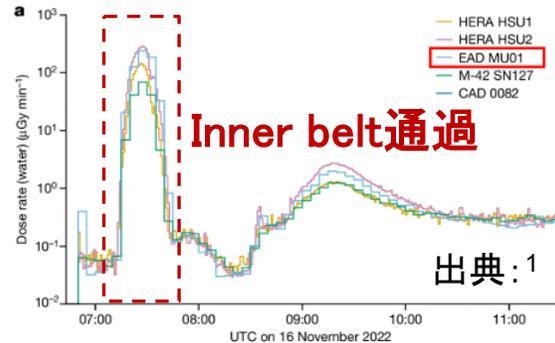
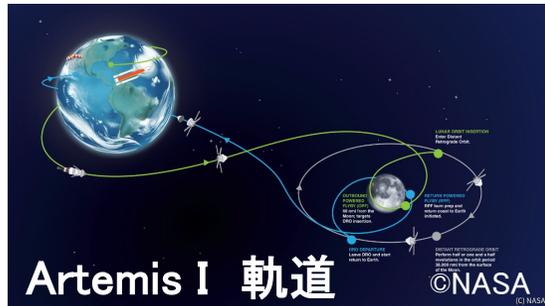


03. 月探査における放射線被ばく管理

月探査における放射線被ばく管理

観測位置	線量
ISS	0.68 mSv/day ¹
Artemis I (宇宙船内)	0.96~1.24 mSv/day ¹
嫦娥4号 (月面)	1.37 mSv/day ²

1: Space radiation measurements during the Artemis I lunar mission | Nature
 2: Stuart P George. 「First measurements of the radiation dose on the lunar surface」, 2024 Sep.



嫦娥4号



中国の月探査機で2019年打上げ
 月面裏の放射線量を測定

©CSNA/Siyu Zhang/Kevin M. Gill - ChangE-4 - PCAM

月探査において被ばく管理チームが気にする点

1. いつSPEが起こるのか
2. 発生したSPEはどの程度の規模なのか
3. いつSPEは終わるのか



1. Monitoring/Nowcasting

特定の制限値を終えた場合に行動をとる

2. Forecasting

予測に対しては行動をとらない



- ▶ ARRT: Acute Radiation Risk Tool
 → 急性放射線影響のリスク予測ツール
- ▶ SPE scoreboard
 → SPE予測

03. 月探査における放射線被ばく管理

宇宙天気予報の発展

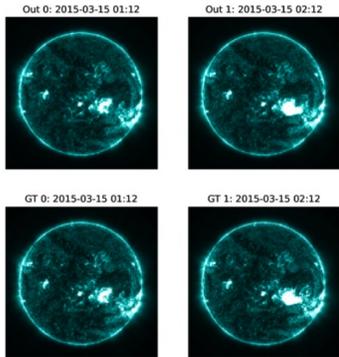
◆ NASAの宇宙天気予報AIモデル: **Surya**

特徴: 基盤モデルであり、汎用的に太陽現象を扱える

- 予測内容:
- 24時間以内の活動領域出現予報
 - 24時間以内のM/Xクラスフレアの発生確率
 - 2時間先の太陽像生成
 - 最大4日先の太陽風速度予測
 - EUVスペクトル予測

フレア予測のTSS: **0.436**

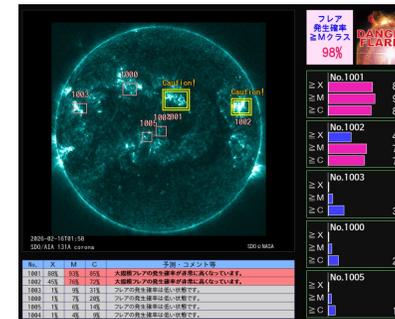
<https://arxiv.org/html/2508.14112v2>



◆ NICTの宇宙天気予報深層学習モデル: **Deep Flare Net**

特徴: 太陽フレア予測に特化した深層学習モデル

- 予測内容: ➤ 24時間以内のC/M/Xクラスフレアの発生確率



フレア予測のTSS

M ≥: **0.7**

C ≥: **0.72**

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s40623-021-01381-9.pdf>

今後の月・深宇宙探査では宇宙天気予報による事前準備が非常に重要

日本は実運用で培った高精度なフレア予測を基盤に、

SPE・地磁気嵐予測へ領域を拡張し、世界をリードする宇宙天気予報体系の構築をめざす

04. まとめ

1. ISS軌道では陽子、電子、重粒子が多く、地上の約100倍の被ばくを受ける
2. 日本人宇宙飛行士の放射線被ばく管理は、法令がなく、JAXA独自に生涯の被ばく線量制限値を設定し管理をしている
3. 被ばく管理では宇宙環境を監視しており、高エネルギー粒子の量(SPE, ESPE)によって対応方法が異なる
4. 月探査などの深宇宙では、被ばく量や時間的制約が今まで以上に厳しくなる
→NASAはSPE予測や急性放射線影響予測のツールを開発



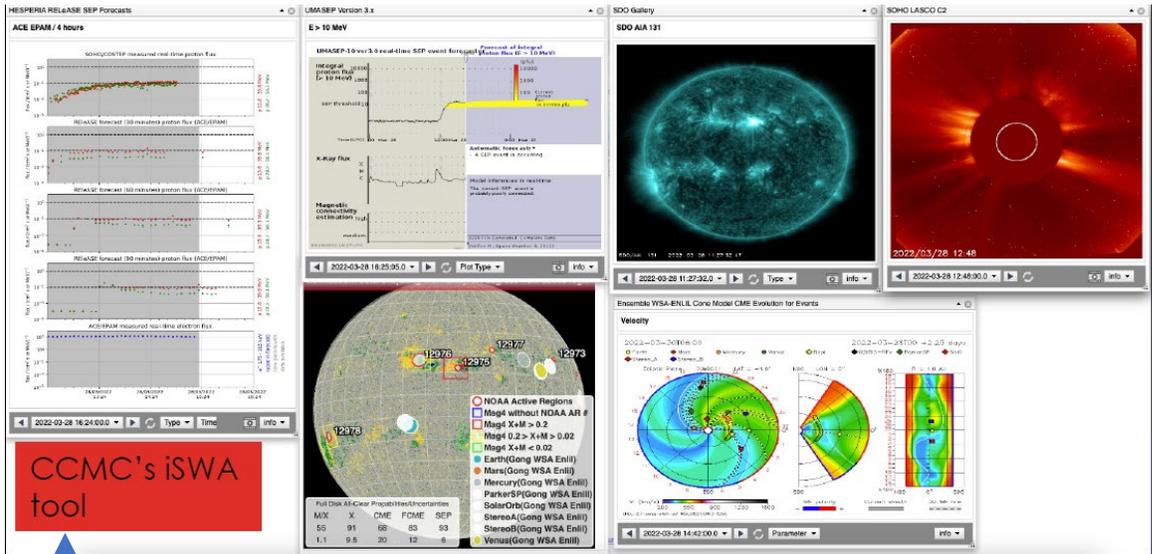
民間宇宙ステーション・深宇宙探査を行うためには、より精度の高い宇宙天気予報が必須となる

Appendix

03. 月探査における放射線被ばく管理

月探査における放射線被ばく管理

1. Monitoring/Nowcasting



CCMC: Community Coordinated Modeling Center
→NASAの宇宙天気モデルの研究開発

iSWA: Integrated Space Weather Analysis
→リアルタイムの宇宙天気情報を配信

Artemis搭載の放射線計測機器

荷電粒子のリアルタイム空間モニタリング計測器

@宇宙船

@gateway、着陸船

リアルタイム個人線量計

@alltime

@船外活動

中性子計測器

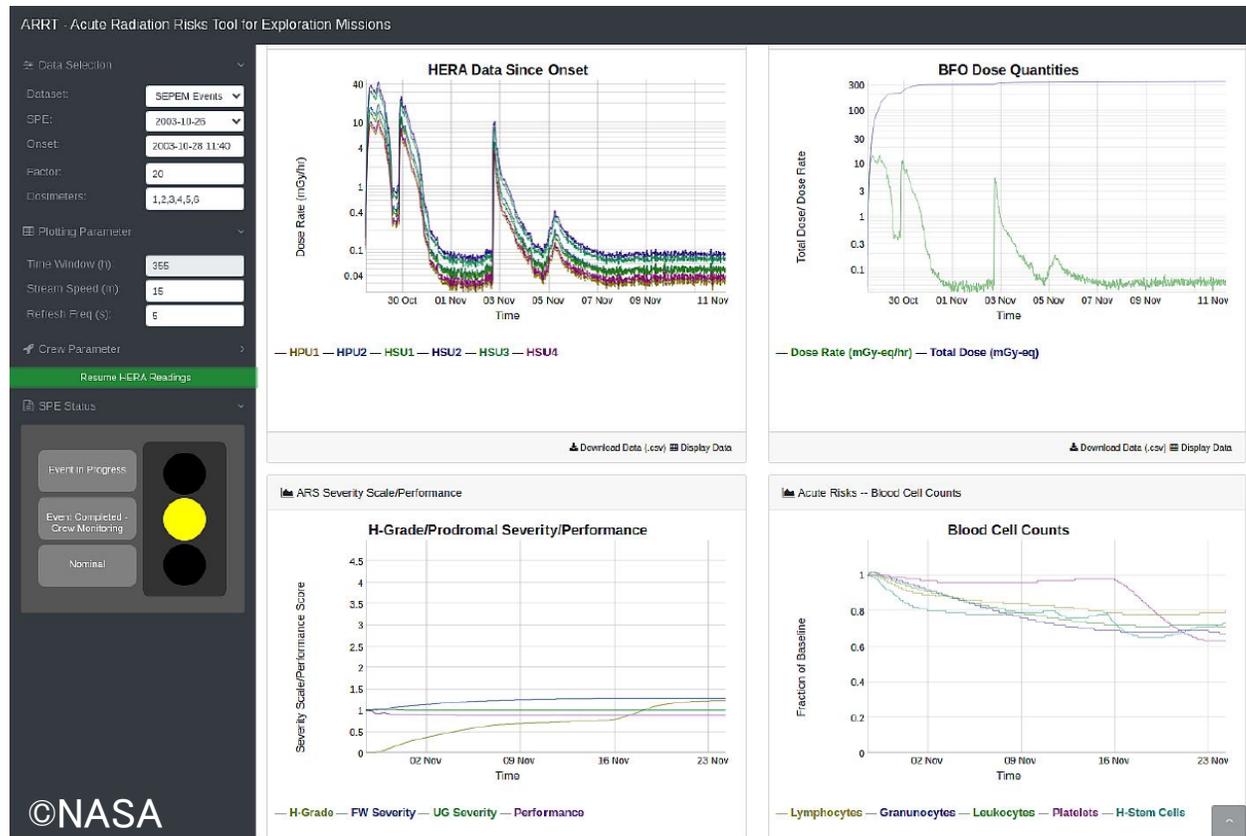
Function	HERA 	CAD 	ARES 	ARD 	Neutron Detector* 
Type of measurement/ what is measured	<ul style="list-style-type: none"> Charged Particle Detector Area monitoring of flux/species and dose 	<ul style="list-style-type: none"> Crew member dose rate/total dose 	<ul style="list-style-type: none"> Charged Particle Detector Area monitoring of flux/species and dose 	<ul style="list-style-type: none"> Crew member dose rate/total dose 	<ul style="list-style-type: none"> Neutron flux
Proposed mission	<ul style="list-style-type: none"> Orion 	<ul style="list-style-type: none"> Personal dosimeter worn by crew at all times (except for EVA, because of battery & lack of vacuum capability) Manifested by Orion 	<ul style="list-style-type: none"> Gateway, Lander (HERA heritage hw) 	<ul style="list-style-type: none"> EVA, integrated with xEMU 	<ul style="list-style-type: none"> Vehicles with crew, including HALO, HLS, Orion
Use	<ul style="list-style-type: none"> Real time monitoring On board alerting 	<ul style="list-style-type: none"> Real-time dose at crew Post mission crew risk assessment, re-flight determination 	<ul style="list-style-type: none"> Real time monitoring On board alerting 	<ul style="list-style-type: none"> Real time dose at crew On board alerting Post mission crew risk assessment 	<ul style="list-style-type: none"> Post mission Crew risk modeling, re-flight determination
Mass	<ul style="list-style-type: none"> ~3kg 	<ul style="list-style-type: none"> 35g 	<ul style="list-style-type: none"> <2kg 	<ul style="list-style-type: none"> 430g 	<ul style="list-style-type: none"> 4.25 kg

03. 月探査における放射線被ばく管理

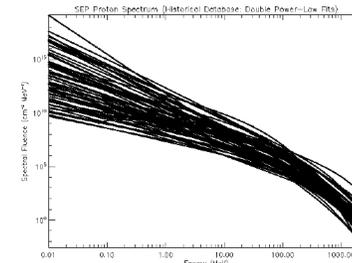
月探査における放射線被ばく管理

2. Forecasting

ARRT: Acute Radiation Risk Tool (急性放射線影響のリスク予測ツール)



Step1. 事前データベース構築



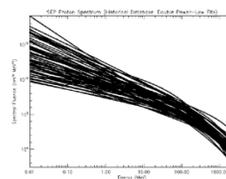
過去のSPE(65件)

骨髄の等価線量
(被ばく影響が最も大きい)
宇宙船遮蔽考慮の輸送計算

Step2. リアルタイム運用

宇宙船内の放射線環境を計測

↓ 形状が近いものを検索



過去のSPE(65件)

骨髄の等価線量
(被ばく影響が最も大きい)
宇宙船遮蔽考慮の輸送計算

スケーリングパラメータ調整

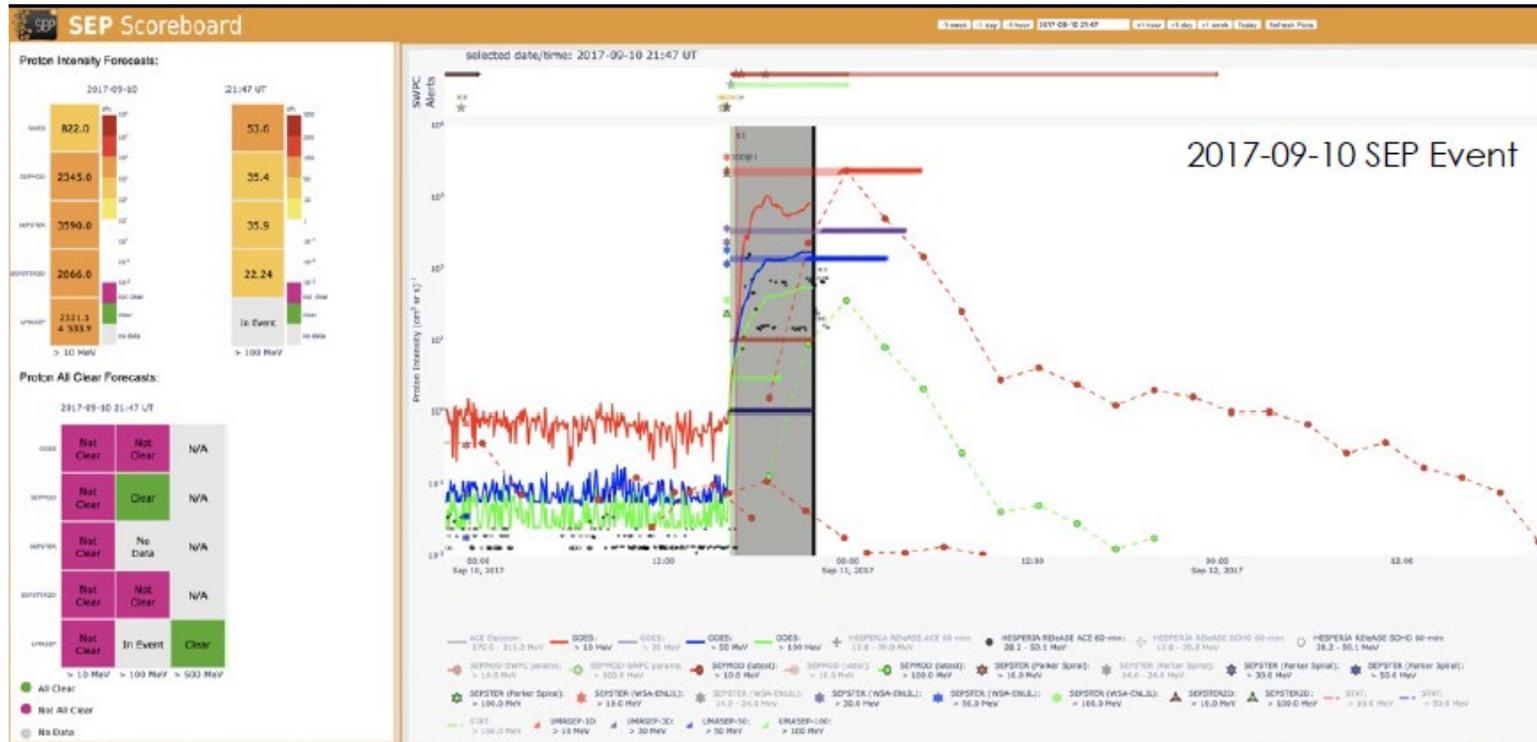
リアルタイム臓器線量

03. 月探査における放射線被ばく管理

月探査における放射線被ばく管理

2. Forecasting

SPE scoreboard



SEP Scoreboard

2021-10-28 20:33 UT

2021-10-28 SEP Event

	GOES	GOES Day 1	MAG4_SAWAB_30MT	MAG4_SAWAB	MAG4_UOBL	SEPMOD	SEPSTER	SEPSTER2D	UMASEP
> 10 MeV	Not Clear	Clear	Clear	Clear	Not Clear	Not Clear	Clear	Not Clear	Not Clear
> 100 MeV	Not Clear	No Data	No Data	No Data	No Data	Clear	No Data	Clear	Not Clear
> 500 MeV	Clear	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Clear

確率モデル: MAG4、SWPC、ASPECS、SPRINTS

Proton intensityモデル: SEPSTER、SEPSTER2D、HESPERIA RELEASE、SEPMOD、UMASEP、ASPECS

FY 2025 President's Budget Request Moon to Mars Manifest



FY	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Exploration Systems Development Mission Directorate			Artemis II (Sep. 2025) Crewed Flight SLS Block 1/ Orion/ML1	Artemis III (Sep. 2026) Crewed Flight SLS Block 1/ Orion/ML1 HLS Crewed Lunar Demo xEVA Surface Suits HLS Uncrewed Lunar Demo Gateway PPE/HALO Launch	Gateway PPE/HALO Arrival in NRHO	Artemis IV (Sep. 2028) Crewed Flight SLS Block 1B/ Orion/ML2 I-Hab to Gateway Gateway Logistics Services Sustaining HLS Crewed Lunar Demo xEVA Surface Suits Sustaining HLS Uncrewed Lunar Demo		Artemis V (Mar. 2030) Crewed Flight SLS Block 1B/ Orion/ML2 ESPRIT to Gateway Sustaining HLS Crewed Lunar Demo xEVA Surface Suits LTV	Artemis VI (Mar. 2031) Crewed Flight SLS Block 1B/ Orion/ML2 Airlock to Gateway Gateway Logistics Services Gateway External Robotics System TBD Sustaining HLS Services xEVA Surface Suits	Artemis VII (Mar. 2032) Crewed Flight SLS Block 1B/ Orion/ML2 Gateway Operations TBD Sustaining HLS Services xEVA Surface Suits Pressurized Rover
Space Operations Mission Directorate	DSN Upgrades (DLEU) Completed DSS-36 [Canberra]	Completed DSS-24 [Goldstone]	DSS-34 [Canberra] DSS-56 [Madrid]		Lunar Communications Relay and Navigation Services (LCRNS)—Increment Alpha	Lunar Exploration Ground Sites 1-3 DSS-54 [Madrid]	Ongoing Science, Human Research Program, and Technology Development in LEO (ISS transition to CLD)			
Science Mission Directorate	LRO CLPS Flights Outlined Mars 2020:	ESCAPEDE Attempted TO 2-AB Completed TO 2-IM TO 19D	TO 20A: VIPER HERMES ready for integration ESA Lunar Pathfinder delivered for launch AVATAR (Artemis II) TO PRIME-1 Lunar Trailblazer TO CP-11	Artemis III Surface Science Instruments MMX (MEGANE/P-Sampler) TO CS-3&4 TO CP-12	LRO continued ops TO CS-06 TO CP-21 TO CP-22	Artemis IV Surface Science Instruments Rosalind Franklin Mission (RFM) Launch, Landing TO CS-5 TO CP-31 TO CP-41 TO CP-42 TO CP-51 TO CP-52	Artemis V Surface Science Instruments Artemis LTV Science Instruments TO CP-61 TO CP-62	Artemis VI Surface Science Instruments	Artemis VII Surface Science Instruments	
Space Technology Mission Directorate	MOXIE; MEDA DSOC	CFM SpaceX TP Flight Demo	Surface Robotic Scouts (CADRE) TO PRIME-1: Drill; Nokia LTE/4G Comm; IM Deployable Hopper CFM ULA TP Flight Demo PPE SEP qual, environ. complete CFM Eta Space TP Flight Demo	CFM Lockheed Martin TP Flight Demo NEP Concept Design	DRACO Demonstration	TO LIFT-1: Lunar Surface Power Demo (i.e., RFC, VSAT, Wireless Charging); Lunar Surface Scaled Construction Demo 1; ISRU Pilot Excavator; ISRU Subscale Demo	SEP qual. complete			Fission Surface Power demo delivered for launch TO LIFT-2: Lunar Surface Scaled Construction Demo 2; Autonomous Robotics Demo; Deployable Hopper 2; ISRU Subscale Demo 2

Icons are representative only, and may not reflect final configurations, not to scale | Icons represent the fiscal year in which an event occurs | Based on FY 2025 President's budget request

将来月面活動の例

- 月面活動の将来像や日本の貢献分野を見通すにあたり、国際的ロードマップ等を参考に2040年代以降に民間人による観光や深宇宙、月以遠へ向かうロケット等への推進供給産業が始まると仮定。※ISECG（27の宇宙機関の国際宇宙探査協働グループ）

アーキテクチャ検討の想定年代

年代	①黎明期(前半)	②黎明期(中盤)	③黎明期(後半)	④成長期	⑤成熟期
	2020年代後半	2030年代前半	2030年代後半	2040年代以降	—
主な計画等	ISECGロードマップ:Phase 1 Artemis II~Artemis IV	ISECGロードマップ:Phase 2A Artemis V~Artemis VII以降	ISECGロードマップ:Phase 2B	ISECGロードマップ:Phase 3 (ロードマップに明示的な年代の記載なし)	-
LunA-10における時代想定	Exploration Age / Foundational Age (自給前提・技術実証の時代 / 大型モビリティ・MVEレベルの実証が登場する時代)	Industrial Age (大型物資輸送・投資回収・ISRU [※] 完全稼働が始まる時代)	Jet Age (and Beyond) (月100tの酸素生産・マルチサイト(赤道+極)での活動・地球からの輸送量減少が始まる時代)		-
将来想定される月面活動の例	無人機(衛星・ローバ・ランダ・その他設置機器)による月面での科学・探査活動				
	宇宙飛行士による月面での科学・探査活動				
				深宇宙で科学・探査活動を行う実施主体への推進供給 民間人(非宇宙飛行士)による月面観光	
活動状況	官需 <ul style="list-style-type: none"> 黎明期の更に初期段階であり、無人機による活動が中心 また、短期間の有人探査も始まっている。 	官需 <ul style="list-style-type: none"> 黎明期中盤であり、今後の月面活動の基盤となるインフラ・モビリティ・拠点等の実装・実証が進められている。 	官需 <ul style="list-style-type: none"> 黎明期の後半であり、月面での有人探査活動が本格化。 今後の月面活動の基盤となるインフラ・モビリティ・拠点等の実装・実証が進められている。 	官需 民需 <ul style="list-style-type: none"> 成長期ではインフラ・拠点の設置・拡張が進み、宇宙飛行士の長期滞在が実現している。 宇宙飛行士に続いて、民間人の訪問(富裕層の観光等)が始まる。 	官需 民需 <ul style="list-style-type: none"> 成熟期では月面産業が更に発展し、更なる滞在期間の長期化や滞在人数の増加が実現。 民間人の滞在・往来(富裕層の観光等)が増加。
月面上の活動人数	4人~			40人~100人程度	数百名~
活動者の属性	宇宙飛行士	宇宙飛行士	宇宙飛行士、産業従事者(インフラ関係等)	宇宙飛行士、産業従事者(インフラ関係等)、民間人	宇宙飛行士、産業従事者(インフラ関係、観光業等)、民間人
有人探査における活動拠点	Gateway(+南極ランダ)	Gateway(+南極ランダ)	Gateway+南極拠点	Gateway+南極拠点+広範囲に複数拠点	Gateway+南極拠点+広範囲に多数拠点
活動範囲	月南極(ランダ)周辺	月南極(ランダ)+周辺数百~数千km	月南極拠点+周辺数千~数万km程度	月南極拠点、複数拠点+周辺数千~数万km程度	月南極、多数拠点+周辺数千~数万km程度
滞在日数/頻度	最大14日間(昼:越夜なし)/年1回	14~42日間(昼+夜+昼:越夜1回)/年1回		数百日以上(長期滞在)/年複数回	数年/年複数回

※ISRU (in situ resource utilization : 現地で入手可能な資源を利用)