

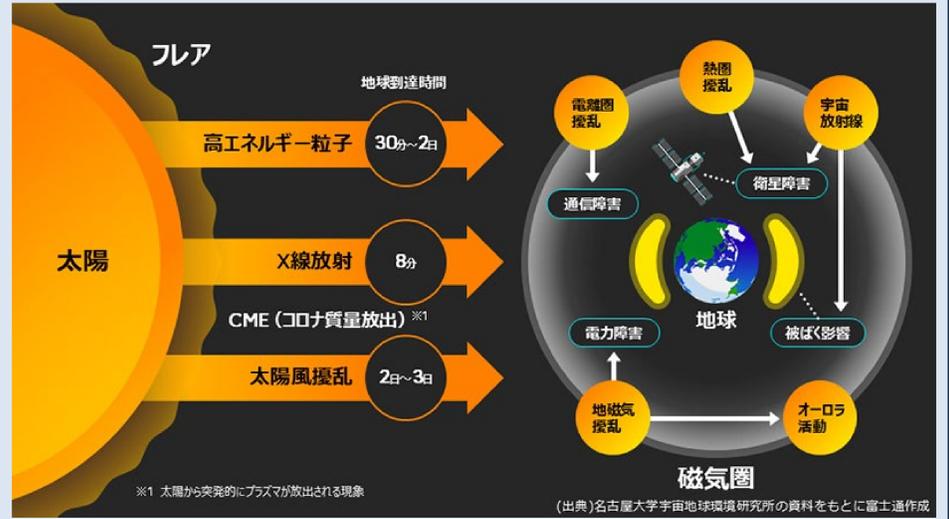
説明可能なAI技術を活用した月・火星探査に向けた太陽放射線事前予測技術の開発について



富士通株式会社、東海国立大学機構、JAXA

太陽フレアやコロナ質量放出 (CME) によって生成される太陽高エネルギー粒子 (SEP) は、人的な健康被害や宇宙システムへのリスクである。特に月では過去に致死量レベルの放射線が発生したとの報告もあり、持続可能な月面活動を実現していくためには、回避計画立案のための予測が極めて重要である。

本研究は、より活発化する地球圏や月、火星、惑星間空間での人類活動の安全確保を見据え、SEP予測に向けた2つの取り組みを実施した。



説明可能なAIを適用したSEP発生予測技術の構築と予測可能領域の拡大検討

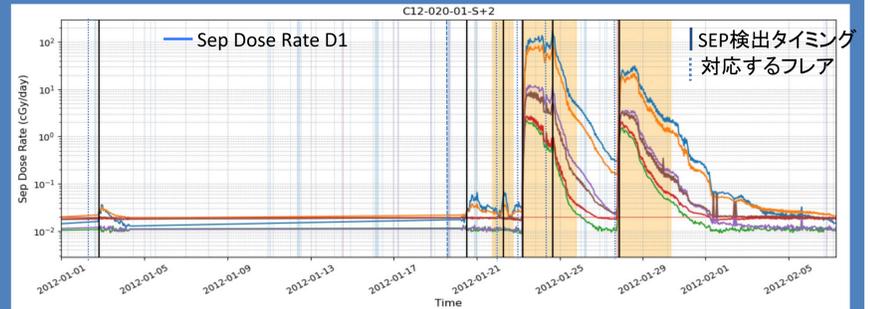
磁気圏内のSEP発生予測モデル (Fujita et al., 2025, Submitted) を月に適用。磁気圏外のSEPイベント100以上に対し、フレアとの対応付けができ、かつ特徴量取得ができる47イベントを抽出し、説明可能なAIでの予測モデルを構築。

→説明可能なAIにて重要特徴量と判断された「電波バースト (Type III)」を中心にモデル拡張中。

◆解析に利用する予測因子

① Active Region	② SHARP parameter	③ Free Energy (k-scheme)	④ PIL	⑤ Flare	⑥ Radio Burst	⑦ Solar Wind
8 features	18 features	9 features	6 features	12 features	2 features	2 features
Active region LAT [deg] LON [deg] Churish Penumbra Distribution of ARs Longitude Length [deg] Number of ARs HALE	SHARP parameter usflux [Mx] meangam [deg] meangbt [G Mm ⁻¹] meangbz [G Mm ⁻¹] meangbh [G Mm ⁻¹] meanzjd [m A m ⁻²] Totusjz [A] Meanalp [M m ⁻¹] meanzjh [G ² m ⁻¹] totusjh [G ² m ⁻¹] absnjzh [G ² m ⁻¹] Savnppp [A] meantpot [erg cm ⁻²] totpot [erg cm ⁻¹] meantahr [deg] shrgt45 r_value [Mx] area_acr [mH]	within predicted circle on PIL Er (max within 0Mm<rc<1Mm) [erg] Er (max within 0Mm<rc<2Mm) [erg] Er (max within 0Mm<rc<3Mm) [erg] Er (max within 0Mm<rc<4Mm) [erg] Er (max within 0Mm<rc<5Mm) [erg] Er (max within 5Mm<rc<10Mm) [erg] Er (Max) [erg] within HIFER ≥ 1000G EHIFER (Max) [erg] EHIFER (Sum) [erg] ※Er: releasable energy ※EHIFER: magnetic free energy ※rc: critical radius	within HIFER ≥ 500G Number of PIL Max length of PIL [Mm] Sum of length of PIL [Mm] within HIFER ≥ 1000G Number of PIL Max length of PIL [Mm] Sum of length of PIL [Mm]	Flare properties SXR peak [W m ⁻¹] Flare duration time [s] Flare rise time [s] Flare decay time [s] SXR time-integrated flux xrsa_duration (0.5-4.0Å) [J m ⁻²] xrsa_rise (0.5-4.0Å) [J m ⁻²] xrsa_decay (0.5-4.0Å) [J m ⁻²] xrsa_4h (0.5-4.0Å) [J m ⁻²] xrsb_duration (1.0-8.0Å) [J m ⁻²] xrsb_rise (1.0-8.0Å) [J m ⁻²] xrsb_decay (1.0-8.0Å) [J m ⁻²] xrsb_4h (1.0-8.0Å) [J m ⁻²]	Integrated radio intensity RAD1 [μV Hz ^{-0.5}] RAD2 [μV Hz ^{-0.5}] ※only up to the end of November 2021	Solar wind Solar wind velocity [km s ⁻¹] Solar wind density [cm ⁻³]

◆SEPイベント検出と太陽フレア紐づけ例



◆データセットごとのサンプル数と予測精度評価

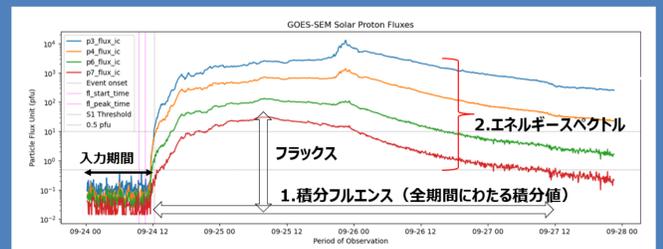
サンプル数	DS1:balanced (1:2)	DS2:imbalanced (1:17)	予測精度	DS1:balanced (1:2)	DS2:imbalanced (1:17)
SEP-positive	47	47	ACC	0.837	0.956
SEP-negative	94	799	FPR	0.696	0.431
合計	141	846	F1	0.733	0.518
			TSS	0.598	0.419

◆SEPイベント発生予測根拠 (DS2:imbalanced)

SEPイベント発生予測根拠	重み	# pos	# neg
SXR_MAX≥3.7e-06 ∧ Flare duration(s)≥930 ∧ Type3_RAD1≥28900	0.71	36	54
Flare stand≥630 ∧ xrsb_decay≥0.0004817 ∧ E_HIFER_sum≥1.2e+29 ∧ E_HIFER_sum<5.9e+32	0.70	25	13
LON≥-27 ∧ xrsb_duration≥0.001041 ∧ meanalp≥0.00196 ∧ meanalp<0.03704	0.41	23	7
LON≥-27 ∧ xrsb_duration≥0.001041 ∧ area_acr≥510	0.28	25	11
xrsb_duration≥0.001041 ∧ meanalp≥0.00196 ∧ E_HIFER_sum<5.9e+32	0.25	26	13
LAT≥11 ∧ xrsa_decay≥9.99e-05 ∧ xrsb_duration≥0.001041	0.24	25	14
xrsa_duration≥8.1e-05 ∧ Er(0_rc_3)<6.6e+31 ∧ Type3_RAD1≥28900	0.22	25	14
xrsb_duration≥0.001041 ∧ meanpot<12960 ∧ area_acr≥510	0.20	24	11
LON≥-27 ∧ xrsb_duration≥0.000135 ∧ Type3_RAD1≥28900	0.09	31	39

Artemis計画搭載予定の放射線リアルタイムモニタリングを導入した予測精度の向上

人体への線量評価を行うための計算体系および線源 (エネルギースペクトル予測) をAI技術を用いて構築し、評価
 ※ カタログ: GSEPカタログ (Rotti et al., 2022) 学習221件/テスト54件
 X線 (2チャンネル) および陽子線 (6チャンネル) を入力
 →さらなる精度向上にむけ、特徴量・イベントの追加拡張中
 →深宇宙・月面での実効線量・臓器線量を評価中



予測モデルでの学習対象 (出力部)

