

AI回帰モデルによる太陽高エネルギー粒子事象のプロファイル予測

加藤裕太^{1,2}, 岩川明則¹, 草野完也², 光田千紘^{1,2}

1. 富士通株式会社 富士通研究所 宇宙データフロンティア研究センター
2. 名古屋大学 宇宙地球環境研究所

kato.yuta@fujitsu.com

本研究は、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 宇宙探査イノベーションハブ第12回研究提案募集 (RFP)採択案件として実施したものである。

Fujitsu Restricted



AI回帰モデル開発の背景

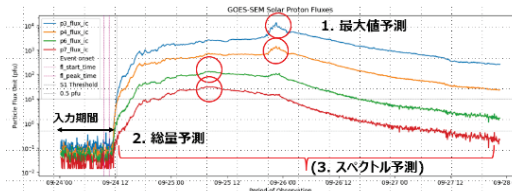
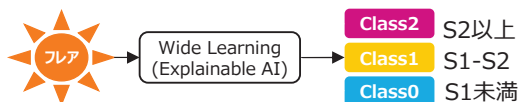
FUJITSU

Introduction / Methods / Results / Discussions / Summary

- NOAA S-scale (>10 pfu @ >10 MeV)による分類タスクは機械学習において数多く存在 (e.g., Whitman et al. 2023 (review paper), Fujita et al. submitted)
- より詳細なインパクトを予測するための、SEP事象の数値的なプロファイル予測も重要
 - 今回は、SEP事象の最大値(peak flux)、総量(fluence)、総量を元にしたスペクトル予測に取り組み
 - より深宇宙もターゲットに見据えているが、今回は静止軌道衛星のカatalogを使用 (Rotti et al. 2022)

分類タスク (e.g., Fujita et al. submitted)

回帰タスク



Fujitsu Restricted

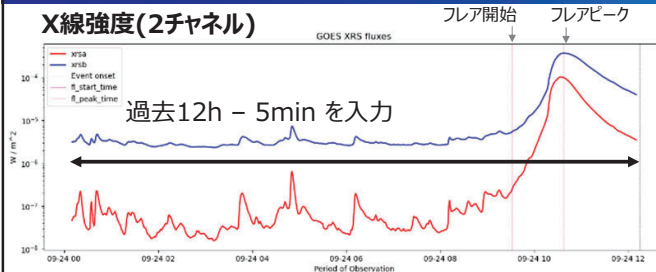
©2025 Fujitsu Limited

手法: 学習データ (入力)

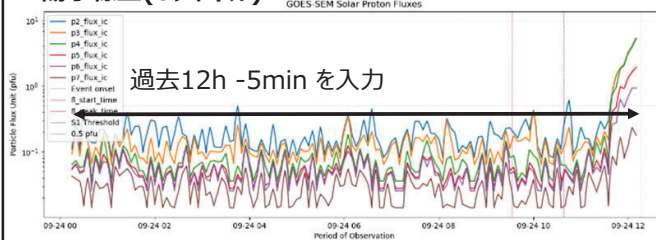
FUJITSU

Introduction Methods Results Discussions Summary

X線強度(2チャンネル)



陽子線量(6チャンネル)



● 利用カタログ・SEPイベント定義

- GSEP カタログ (Rotti et al. 2022)
- 0.5pfu以上 (GSEPカタログにおける閾値)

● データ数 (例. (※>10 MeV peak flux 予測))

- 学習: 211件 (1997.11 ~ 2013.6)
- テスト: 54件 (2013.6 ~ 2017.9)

● 学習時系列データ

- 715点 (12時間 - 5分), ※1分分解能
- X線: 1-4 Å, 1-8 Å の2チャンネル
- 陽子線: p2,3,4,5,6,7 の6チャンネル

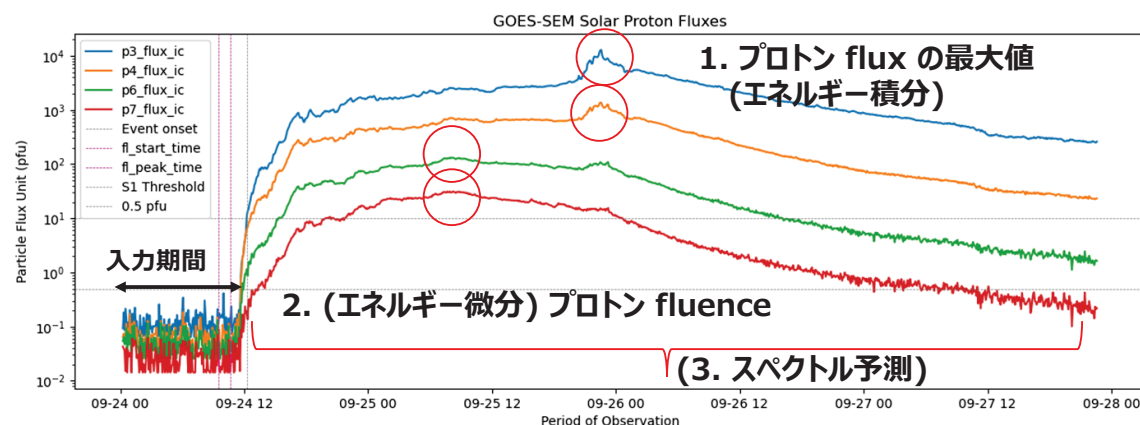
Fujitsu Restricted

©2025 Fujitsu Limited

手法: 学習データ (出力)

FUJITSU

Introduction Methods Results Discussions Summary



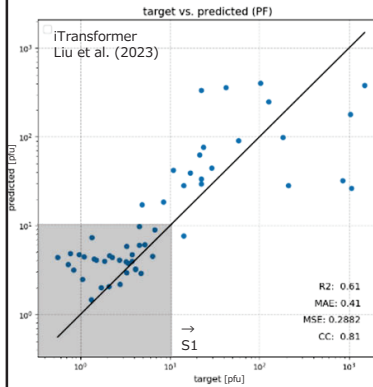
※2. を4微分チャンネルについて予測し、関数フィッティングにより導出

Fujitsu Restricted

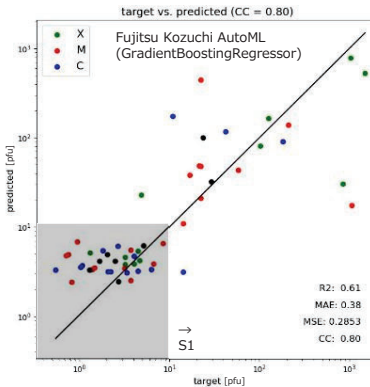
©2025 Fujitsu Limited

結果: >10MeV Peak Flux

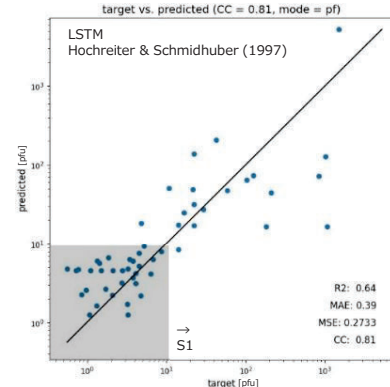
Fujitsu Kozuchi AutoML



LSTM



iTransformer



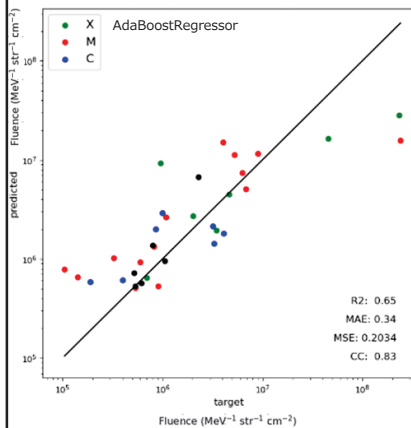
- 同カタログにおいて分類タスク(S1以上/未済)を実施している先行研究と同精度を確認 (TSS~0.9, Rotti et al. 2024)

Fujitsu Restricted

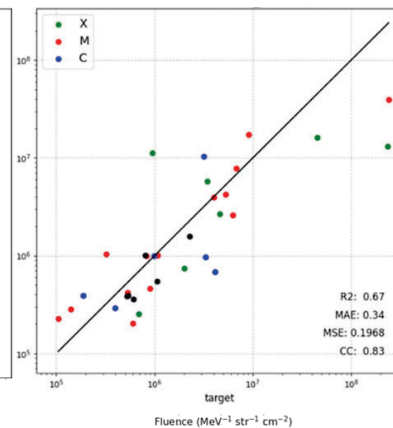
©2025 Fujitsu Limited

結果: >10MeV 積分 Fluence

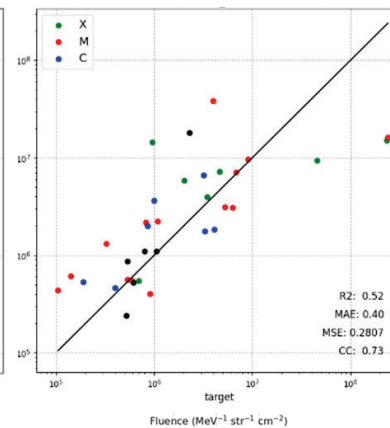
Fujitsu Kozuchi AutoML



LSTM



iTransformer



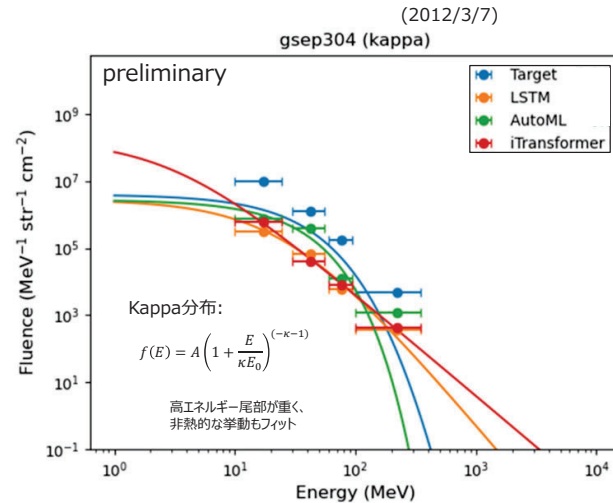
- >30, 60, 100 MeV 微分 Fluence においても学習モデルの構築 & 推論を実施

Fujitsu Restricted

©2025 Fujitsu Limited

結果: エネルギースペクトル

- 例. AR11429 (X5.4) 2012/3/7
 - Peak flux = 6530 pfu (>10 MeV)
 - 全AIモデルでこのイベントは過小評価しており
特徴量や学習データの追加を検討する
(※11イベントをテストしており、評価を実施中)
- 人/宇宙機へのインパクトへの関連付け
についても調査中



サマリー

- **概要**
 - 複数の機械学習・深層学習アルゴリズムにより、SEPプロファイル(peak・fluence)の予測モデルを構築
 - 微分 fluence チャンネル4点の予測値に対し、11 SEPイベントに対しSEDフィッティングを実施
- **結果・議論**
 - 回帰タスクにおいても、10 pfu @>10 MeV 分類タスクを行う先行研究と同等の精度を確認
 - SEDフィットにおいて、S3イベント等において全モデル予測が過小評価が見られる
更なる特徴量の追加や、データサンプル数が必要と考えられる
- **Future Work**
 - インパクトにより関連した予測ターゲットの検討・その予測モデル構築の検討
 - 新たな国内静止軌道、月周回/月面、深宇宙探査機観測データとの連携を模索

