

宇宙天気予報の精度を上げる技術の開発

～機械学習とビッグデータで、太陽フレアの発生予測を8割へアップ～

【ポイント】

- 機械学習とビッグデータを用いた手法が、太陽フレアの予測にも有効であることを実証
- いまだに解明されていない太陽フレアの発生メカニズムを解明する鍵が得られた
- 従来よりも早い予報が可能になり、宇宙天気の影響による災害の早期対策へ貢献

国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT、理事長代行: 黒瀬 泰平)は、電磁波研究所及び先進的音声翻訳研究開発推進センターにおいて、機械学習とビッグデータを用いた予測モデル開発により、宇宙天気予報の精度を格段に上げることになりました。

NICT では宇宙天気予報を毎日配信していますが、予報精度の向上が長年の課題でした。今回、複数の機械学習の手法を太陽観測データ解析に応用することで、大量の情報処理による統計的な太陽フレアの予測を可能にしました。その結果、従来の人の手による5割程度の手法に比べると、8割を超える世界トップクラスの精度まで予測精度を上げることができました。また、太陽フレア発生前に現れる特徴を、統合的に機械学習によるデータ分析から明らかにしました。そのことにより、太陽フレアの謎を解く鍵が得られたとともに、従来の一昨日の予報からリアルタイム予報への道が拓け、宇宙天気の影響による災害に対して、より早期の対策準備ができるように実用化を進めます。

この成果は、米国の専門誌「*The Astrophysical Journal*」に、1月25日(水)(日本時間1月26日(木)午前2時)に掲載されます。なお、本研究の一部は、JSPS 科研費(JP15K17620)の助成により実施されました。

【背景】

NICT では毎日、宇宙天気予報¹を行い、広く一般に情報配信をしています。宇宙天気の源となる太陽面爆発フレアは、黒点周辺に蓄えられた磁場の歪みエネルギーが基になって発生し、大量の放射線や有害な粒子が地球に降り注ぎます。宇宙天気による通信障害や航空機運用及び電力網への影響といった様々な社会現象に対して、より早期に対策を取るため、太陽フレアの予測が求められています。近年、太陽衛星観測による監視体制が整ってきていますが、膨大な量の観測データの処理の困難さなどのため、従来宇宙天気予報の予報精度は長い間上がらず、新しいアプローチによる精度向上が喫緊の課題となっていました。

【今回の成果】

今回、電磁波研究所の宇宙天気予報研究チームは、先進的音声翻訳研究開発推進センター(ASTREC)の機械学習専門グループと連携し、複数の機械学習²の手法を太陽観測データに適用することで、人では処理しきれない大量の情報による統計的な予測を行う新しい技術を開発しました。学習データ作成には、NASAのSDO衛星観測による高分解能データ30万枚というビッグデータを用い、約60個の黒点の特徴に注目しました。特徴の検討には、長年にわたる宇宙天気予報の経験を反映させました。

その結果、従来5割弱程度だった太陽フレアの予測精度から、**8割を超える世界トップクラスの精度**を達成しました。また、機械学習を用いた分析により、どの特徴が、どの程度予測に有効かを統合的に示し、新たに選んだ黒点の特徴が従来考慮されてこなかった太陽フレアの前兆を示すことを初めて明らかにしました。

【今後の展望】

現在、国際民間航空機関(ICAO)では2020年頃を目標に、海洋上・極域航路での通信、宇宙放射線被ばく、更にGPSを利用した測位などに影響を与える宇宙天気の情報を、通常業務で利用しようという計画が進められています。

このような状況において、本太陽フレアの予測モデルが、リアルタイムで、より精度の高い予測情報として活用されるよう、今後、検証しながら実用化を進めていきます。



図1: 宇宙天気予報 Web サイト
<http://swc.nict.go.jp/contents/index.php>

<用語解説>

*1 宇宙天気予報

NICTでは、毎日午後2時半に宇宙天気予報会議を行っている。宇宙天気とは、太陽活動が源になって、しばしば地球周辺環境が激しく影響を受ける現象を示す。太陽活動が活発な時はオーロラが発生しやすい等、宇宙利用が進む現在、社会インフラにも影響が起り得る。人工衛星運用や有人活動のほか、電離圏(地上100km以上)での反射を利用した短波通信やGPS測位などにも影響が現れる。それらへの有効な対策を促す目的で、太陽フレア、太陽プロトン現象、磁気嵐などの状況が監視され、NICTから予報情報が毎日午後3時に配信される。

宇宙天気予報 URL <http://swc.nict.go.jp/contents/index.php>



図2: NICTでの宇宙天気予報会議の様子

*2 機械学習

様々な事象に関するデータからデータの統計的性質を学習するとともに、その学習結果を用いて新たに得られるデータを分類・予測する技術の総称である。

*3 磁気中性線 (補足資料参照)

太陽黒点は、磁石でいうN極とS極の対からできている。この太陽表面上の黒点のN極とS極の境目を磁気中性線と呼ぶ。この領域には、黒点磁場の歪みが蓄積されたり、太陽フレア発生をトリガーする小規模な磁力線が出現したりするため、太陽フレアの予測には重要な領域である。

*4 彩層低部の発光 (補足資料参照)

太陽表面の光球と、その上空にある「コロナ」との間に存在するのが彩層である(図3参照)。黒点を形成する磁力線は、太陽内部から彩層を通してコロナに出現する。この彩層を通る時に微小なフレアが起ると、彩層低部で発光が観測されることが考えられている。

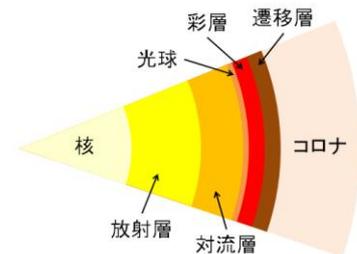


図3: 太陽大気の構造の模式図

<掲載論文>

掲載誌: *The Astrophysical Journal*, Vol. 835, Issue 2, 156 (10pp), 2017 February 1

DOI: 10.3847/1538-4357/835/2/156

URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/835/2/156>

論文名: Solar Flare Prediction Model with Three Machine-Learning Algorithms using Ultraviolet Brightening and Vector Magnetograms

著者: 西塚直人¹, 杉浦孔明², 久保勇樹¹, 田光江¹, 亘慎一¹, 石井守¹

¹NICT 電磁波研究所、²NICT 先進的音声翻訳研究開発推進センター

< 本件に関する問い合わせ先 >

電磁波研究所
宇宙環境研究室
西塚 直人
Tel: 042-327-7476
E-mail: solar-publicity@ml.nict.go.jp

< 広報 >

広報部 報道室
廣田 幸子
Tel: 042-327-6923
Fax: 042-327-7587
E-mail: publicity@nict.go.jp

今回開発した太陽フレアの発生予測モデル

太陽フレアによる影響(太陽風じょう乱)は2~3日後に地球に到来します(図4参照)。現状の宇宙天気予報では、これ以上前に予報を出すことはできません。一方、社会的ニーズとして、宇宙天気の影響が社会的インパクトをもたらす航空機運用、電力網への影響、あるいは衛星運用という分野では、あらかじめ対策の必要があります。今回の太陽フレアの正確な予測で、それらの準備期間を長く取ることができるようになります。



図4: 宇宙天気現象の発生と社会への影響

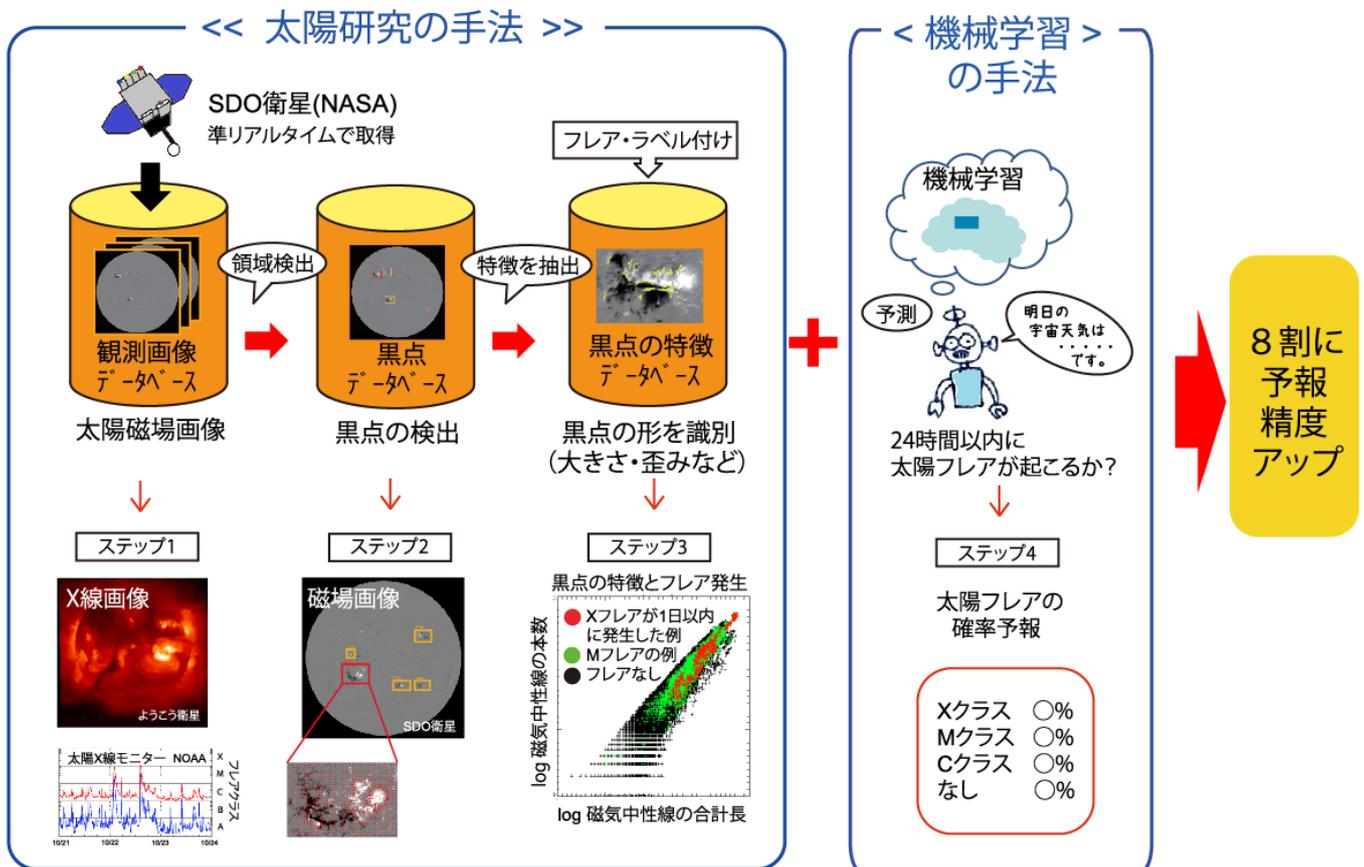


図5: 太陽フレア発生の予測モデルのフローチャート(概要図)

今回開発した太陽フレア予測のモデル概要を図5に示します。過去のどの黒点から、どのクラスの太陽フレアが発生したかのリストを作成しました。このリストから大きなフレアが起こった時の黒点の特徴を機械学習で見つけ出す作業を行いました。今回、一般的な機械学習手法であるサポートベクターマシン(SVM)、k近傍法(kNN)、アンサンブル学習(ERT)という複数の手法を用いました。

その結果、最大規模フレア(Xクラス)も中規模フレア(Mクラス)も同様に、従来5割弱程度だった予測精度から、8割を超える世界トップクラスの予測精度を達成しました。

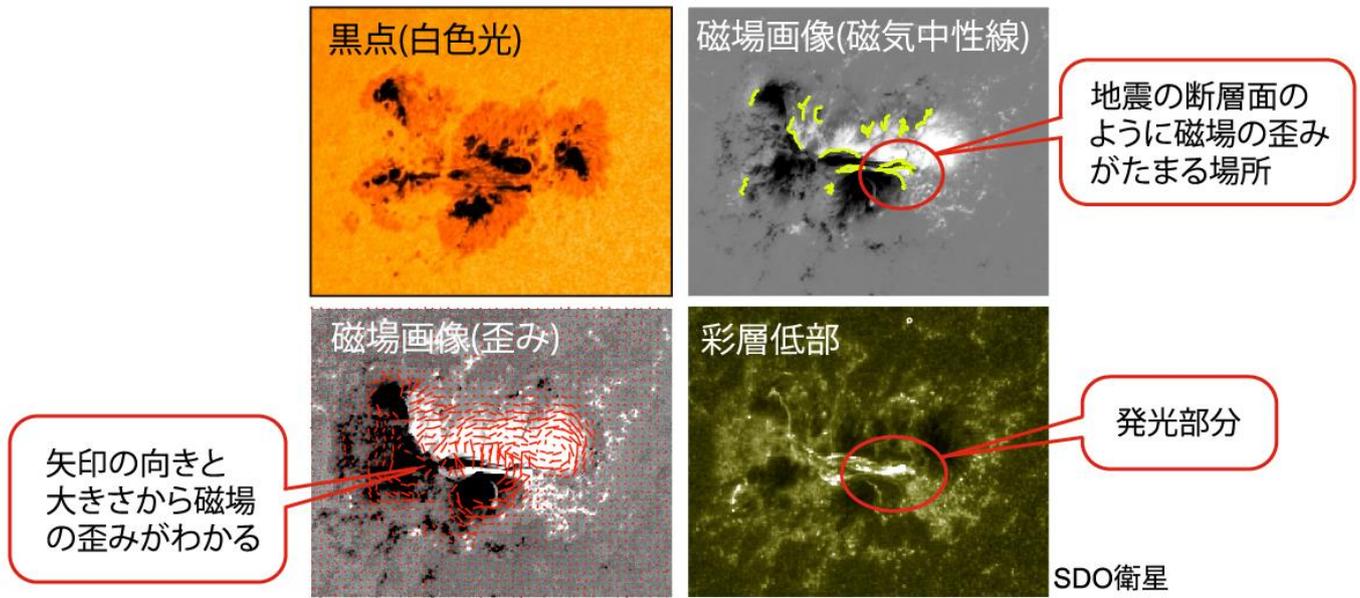


図 6: 太陽黒点の磁場と彩層低部画像 (SDO 衛星 HMI 望遠鏡、AIA 望遠鏡)

図 6 に、選んだ黒点の特徴の例として、磁気中性線³(図 6 右上、黄線)や磁場の歪み(図 6 左下、赤矢印)、彩層低部の発光⁴(図 6 右下)を示します。本研究では、約 60 個の黒点の特徴について、太陽フレア発生前の重要度のランキングについても、統合的に機械学習を用いた分析により明らかにしました。すると、従来重要だと思われていた黒点の特徴のほかに、磁気中性線の長さや本数、及び今回新たに採用した彩層低部の発光の面積も重要であるということが新たに明らかになりました(表 1 参照)。

地震発生メカニズムに類似して、磁気中性線の長さや本数は、太陽黒点に蓄積された歪みエネルギー、フレアを起こすトリガーのメカニズムの一候補と考えられる小規模磁場の出現と関連が強いと考えられます。また、彩層低部の発光も、小規模磁場の太陽大気下層からの出現と関連があると解釈され、いまだに解明されていない太陽フレアの発生メカニズムを知る手がかりを示す貴重な結果です。

1	太陽フレアの発生実績
2	磁気中性線の長さ・本数
3	磁場の強さ・磁束量
4	彩層低部の発光
5	磁場の歪み具合
6	時間変化の度合い

表 1: 黒点の特徴の重要度のランキング(概要)

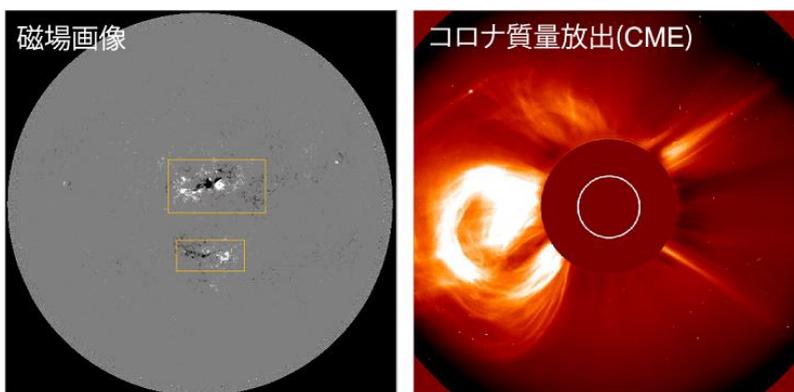


図 7: (左図)太陽磁場画像と検出した黒点 (SDO 衛星 HMI 望遠鏡/ NASA)、(右図)地球側へ飛び出す太陽大気プラズマ(コロナ質量放出, CME) (SOHO 探査機 LASCO 観測装置/ESA & NASA)

最後に、本研究では、黒点ごとに太陽フレアの予測を行いました(図 7 参照)。一般的に、太陽の見かけ上、真ん中付近で太陽フレアが発生すると、地球への影響が大きくなります。したがって、場所を考慮することで地球への影響の大きさも判断できるのも、本モデルの特徴です。さらに、予測の自動化によって、今まで一日一回だけ行われていた予報からリアルタイム予報を目指して、今後検証をしながら実用化を進めていきます。