

2023 年度卒業

修士論文

深層学習による動画予測手法を用いた太陽全球紫外線像の
時系列予測

Time-Series Prediction of Full-Disk Solar Ultraviolet Images Using
Deep Learning-based Video Prediction Method

所属	新潟大学 大学院自然科学研究科 電気情報工学専攻 情報工学コース 飯田研究室
氏名	佐々木明良
学籍番号	F22C017D

概要

目次

第 1 章	研究背景	5
第 2 章	動画予測	6
2.1	動画予測のための基礎技術	6
2.1.1	Convolutional Neural Network (CNN)	6
2.1.2	Encoder-Decoder	6
2.1.3	Long Short Term Memory (LSTM)	6
2.1.4	Attention	6
2.2	動画予測フレームワーク	6
2.2.1	ConvLSTM	6
2.2.2	PredRNN	6
2.2.3	Motion Aware Unit	6
第 3 章	データ	7
3.1	SDO / AIA	7
3.1.1	AIA 171 Å	8
3.1.2	AIA 193 Å	8
3.1.3	AIA 211 Å	8
3.2	データセットの作成	8
3.2.1	破損画像の除去	9
3.2.2	画像の前処理	9
第 4 章	Motion Aware Unit を用いた 1 波長を入力とした紫外線像の全球時系列予測	10
4.1	実験概要	10
4.2	学習の推移	10
4.3	実験結果	10
4.3.1	全球での評価	10
4.3.2	経度依存性の評価	10
4.3.3	東側リムから出現する活動領域に対する視覚的評価	10

4.4	考察	10
第 5 章	Motion Aware Unit を用いた 3 波長を入力とした紫外線像の全球時系列予測	11
5.1	実験概要	11
5.2	学習の推移	11
5.3	実験結果	11
	5.3.1 全球での評価	11
	5.3.2 経度依存性の評価	11
	5.3.3 東側リムから出現する活動領域に対する視覚的評価	11
5.4	考察	11
第 6 章	まとめ	12
参考文献		13

第 1 章

研究背景

第 2 章

動画予測

2.1 動画予測のための基礎技術

2.1.1 Convolutional Neural Network (CNN)

2.1.2 Encoder-Decoder

2.1.3 Long Short Term Memory (LSTM)

2.1.4 Attention

2.2 動画予測フレームワーク

2.2.1 ConvLSTM

2.2.2 PredRNN

2.2.3 Motion Aware Unit

第 3 章

データ

3.1 SDO / AIA

モデルの学習及び評価データとして、NASA の Solar Dynamic Observatory(SDO)[1] の Atmospheric Imaging Assembly(AIA) で撮影された紫外線観測データを用いた。

SDO は 2010 年 2 月に打ち上げられた太陽観測衛星であり、AIA、Helioseismic and Magnetic Imager(HMI)、Extreme Ultraviolet Variability Experiment(EVE) などの高い空間解像度、時間分解能を持つ観測機器を搭載している。その観測データは太陽物理学、宇宙天気予報、また地球環境に関する研究など、多くの分野で利用されている。

なかでも、AIA は主に太陽大気を紫外線で観測する観測機器である。4096 × 4096、約 0.6arcsec の空間解像度をもち、数秒ごとに太陽全球の画像を観測している。また、複数の紫外線波長フィルターで同時に観測を行うことで、多層的な太陽大気の理解に貢献している。

これらのデータは Joint Science Operations Center(JSOC) によって提供されており、Python の太陽物理学を支援するライブラリである Sunpy を用いてダウンロードすることができる。

実験 1 では入力、出力ともに 211 Å フィルターで得られたデータを利用した。これは 211 Å フィルターで撮影された紫外線像が、コロナホールと活動領域といった、二つの太陽円盤上の大規模構造をバランスよく明瞭に表現し、本研究のモデルの効果検証に適していると考えたためである。また、実験 2 では入力に 171 Å、193 Å フィルターで得られたデータを追加で利用した。これらの波長を追加することで、より広範な温度帯に渡る太陽活動をモデルが学習することを期待している。

3.1.1 AIA 171 Å

3.1.2 AIA 193 Å

3.1.3 AIA 211 Å

3.2 データセットの作成

本研究で用いるデータセットには、SDO/AIA 望遠鏡のデータが提供されている 2010 年 5 月から、2022 年 10 月までのデータが含まれている。

この期間に存在するデータから、4 時間ごとにデータを抽出し、約 22000 枚 (正確な方がいい?) をデータセットに含んでいる。これらのデータを、24 枚の画像を 1 セットとして分割する。各セットは 24 枚の時系列に並んだ画像で構成され、太陽の時間的依存性および空間的情報を同時に捉えている。24 枚のうち、前半の 12 枚、すなわち 44 時間後までを入力データ、後半の 12 枚、すなわち 48 時間後から 92 時間後までを出力データとして扱う。学習の際は、前半の 12 枚に対して後半の 12 枚を教師データとして扱い、テストの際は 12 枚の画像データに続くモデルにとって未知の 12 枚を再現できるか検証する。

このようにして作成されたデータセットは、926 セットになり、これを学習用データセット=826、検証データセット=50、テストデータセット=50 というように分割した。

このデータセットは第 24 太陽活動周期の初期から、第 25 周期の初期までの観測データを網羅している。この時間範囲には、太陽活動の活発性が高いフェーズと低いフェーズの両方が含まれている。従って、このデータセットは太陽活動の活発性に依存しない可能性が高く、その汎化能力に対する期待が一定程度裏付けられる。

実験	実験 1	実験 2
入力波長	211 Å	171 Å, 193 Å, 211 Å
出力波長	211 Å	
総枚数	22000	66000
セット数	232	
セットごとの枚数	入力 12 → 出力 12	
解像度	512 * 512	

表 3.1 各実験でのデータセット

3.2.1 破損画像の除去

3.2.2 画像の前処理

第 4 章

Motion Aware Unit を用いた 1 波長を入力とした紫外線像の全球時系列予測

4.1 実験概要

4.2 学習の推移

4.3 実験結果

4.3.1 全球での評価

平均輝度とその誤差

画像類似度

単純差動回転モデルとの比較

4.3.2 経度依存性の評価

平均輝度とその誤差

単純差動回転モデルとの比較

4.3.3 東側リムから出現する活動領域に対する視覚的評価

4.4 考察

第 5 章

Motion Aware Unit を用いた 3 波長を入力とした紫外線像の全球時系列予測

5.1 実験概要

5.2 学習の推移

5.3 実験結果

5.3.1 全球での評価

平均輝度とその誤差

画像類似度

単純差動回転モデルとの比較

5.3.2 経度依存性の評価

平均輝度とその誤差

単純差動回転モデルとの比較

5.3.3 東側リムから出現する活動領域に対する視覚的評価

5.4 考察

第 6 章

まとめ

謝辞

参考文献

- [1] W Dean Pesnell, B J Thompson, and PC Chamberlin. *The solar dynamics observatory (SDO)*. Springer, 2012.