

# イオノゾンデ観測の全球規模解析：h'F の解析

松本 貴裕<sup>†</sup> 山本 隼也<sup>†</sup> 高見 友幸<sup>†</sup>

<sup>†</sup>大阪電気通信大学大学院 総合情報学研究科

<sup>†</sup>dt21a001@oecu.jp <sup>†</sup>mw21a008@oecu.jp <sup>†</sup>takami@osakac.ac.jp

キーワード イオノゾンデ, h'F, データサイエンス, Python プログラミング学

## 1 はじめに

地球の上層大気は高度約 80km 以上の領域において電離大気が現れる。この領域は電離圏と呼ばれ、高度の低い側から順に D 領域 (~80km), E 領域 (~100km), F 領域 (200~600km) と呼ばれる。電離圏の観測的な研究は 1950 年代から行われてきたが、近年、人工衛星の利用が一般的になり、宇宙ステーションの建設計画がなされるに至って、電離圏環境に関する研究が重要視されつつある。宇宙天気予報のための研究や人工衛星の破片が作り出す宇宙のゴミ問題対策の研究等がこれに相当する。

本研究では、電離圏 F 領域に生じる電離大気の層 (以下, F 層) に関連する観測データの解析を行う。当然ながら、電離圏物理学への寄与を期待するものであるが、それと同時に、データサイエンスの教材開発という視点での取り組みも意図された研究である。本稿では、後者の目的に重点を置く。

解析対象としたデータは、1960 年代以降の世界各地 (図 1) のイオノゾンデ観測から得られた h'F の 1 時間値、波長 10.7cm の太陽光強度 (F10.7) の 1 日値、地磁気の kp インデックスの 3 時間値である。プログラミング言語には Python を使用し、データ処理、データ可視化、データベース構築、データ公開までを一貫したシステムとして構築すべく研究に着手した。ライブラリとして、pandas, matplotlib, numpy, pyscript といったメジャーなライブラリを使用している。

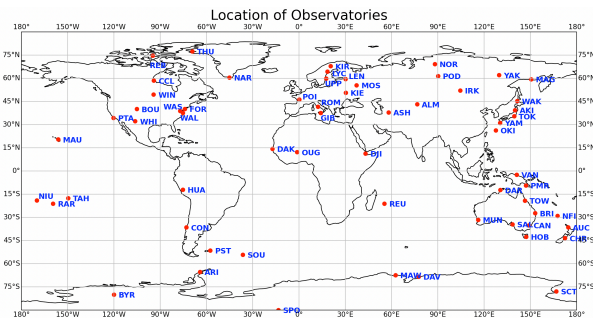


図 1. イオノゾンデ観測の観測地点.

## 2 データ解析

### 2.1 開発過程

目指すシステムの開発過程は、次の 5 段階に分かれる。

1. 世界 62 地点のイオノゾンデ観測の収集を行った上で、F10.7 および kp データと合わせて独自のデータベースを構築する。
2. F 層高度の平均日変動の特徴が太陽活動度、地磁気変動、季節にどのように依存するかを調べる。
3. 全球規模での F 層高度の平均描像を抽出する。
4. 全球規模とは別に局所的な変動についても検討する。
5. 最終的には、データ公開のための Web アプリケーションの作成を行う。

上記 5) については今後の課題であり、4) の過程までが本研究に対応する。上記 1) については、各観測地点では、すべての期間で観測が行われているわけではなく、また、電離圏 F 領域の観測はより低い高度領域である E 領域の妨害を大きく受けるため、観測期間中であっても観測データが得られるとは限らない。このように、各観測地点での全球規模的な観測の足並みが揃うことはほぼないわけであるが、50 年以上に渡る統計解析を行えば、各観測地点の観測期間のばらつきの問題は影響せず、F 層の平均描像を抽出できることが期待できる。この点が 50 年以上の観測ビッグデータを扱う研究手法の特徴でもある。

### 2.2 データの分類

データを季節別、太陽活動度別、地磁気擾乱度の別に分類し、あらかじめ最適の分類基準を探った (図 2)。その結果、季節については、夏、春秋、冬の 3 分割、太陽活動度については F10.7=120 の上下で 2 分割した。地磁気擾乱度についても 2 分割し、kp=3+以下を地磁気静穏時、4-以上を地磁気擾乱時としている。こうして計 12 グ

ループの分類で統計処理と周波数分析を行い、観測地点の緯度依存性および南北半球依存性としてまとめた。

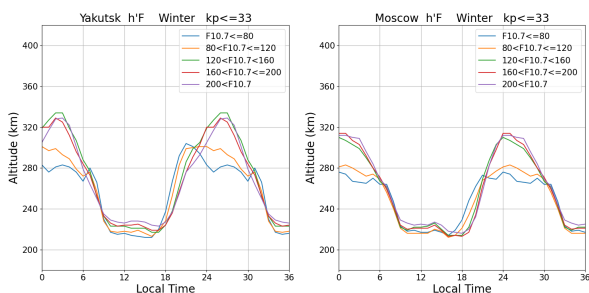


図2. Yakutsk と Moscow の平均日変動. F10.7=120 を境として日変動の様相が大きく変わることがわかる。

なお、データサイエンスの教材としては、データをどのような観点から見たときに顕著な特徴を抽出できるかということに重点が置かれており（つまり、上述したとおり、データをどのように分類するかという作業が重要となる）、データを分類した後の定型化された処理（統計解析やデータ可視化等々）は、データサイエンスのトレーニングにとってはさほど重要でないと考えている。とは言え、統計解析やデータ可視化の作業は、未知のデータの性質を探る上では必須である。統計解析とデータ可視化を駆使した試行錯誤の末にデータの本質が浮かび上がる。その面白さを教材にすることができるかどうかという試みである。

### 3 解析結果

#### 3.1 全球規模の解析

全球規模特性の抽出のため、F層高度変動の1日周期および半日周期変動成分に注目して解析を行った。最も顕著な特徴として、太陽活動度の高い時期における地磁気静穏日の冬半球側に、1日周期成分の緯度特性として現れることが明らかになった。

#### 3.2 局所的な変動特性

得られた全球規模特性を踏まえた上で、各観測地点に固有の変動特性について考察した（図3）。特に、日本の5観測地点（稚内、秋田、東京、山川、沖縄）のF層高度の南北構造が、他の経度緯度領域および南半球に類似した現象として現れているのかに注目した。F層高度の平均日変動には、観測地点の領域ごとに、特定の季節および時間帯で様々な特徴的な変動が出現する。日本上空の現象の一例として、地磁気静穏日の冬の夜明け時におけるF

層高度の急な上昇が見られるが、この上昇は緯度が下がるにつれ、より大きな上昇を見せる。これと類似した現象は、同じ経度上にある南半球の観測点（Townsville から Hobart に連なる4観測地点）で確認することができた。

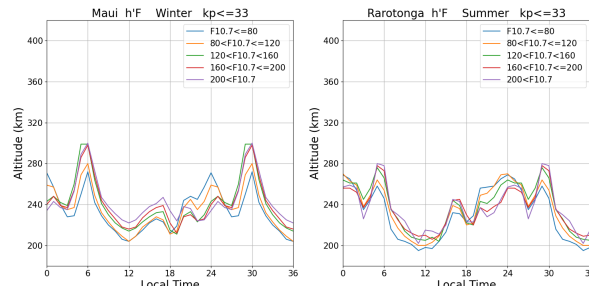


図3. Maui と Rarotonga の平均日変動。複雑な日変動であるが、赤道を挟んでほぼ同じ緯度では、夏と冬で同じ様相を見せる。したがって、正しい平均日変動を抽出できていることがわかる。

## 4 まとめ

本研究はh'Fの観測データをデータサイエンスの教材とする試みでなされたものであるが、教材の候補となるデータは他にも多々あり、本稿でその一例を紹介した次第である。h'Fのデータ解析から得られた成果は非常に多く、電離圏物理学への寄与も期待できるであろう。

一般には、電離圏の様相はほとんど知られておらず、たいていの学生は先入観なくデータ解析に取り組むことができるものと思われる。冒頭で述べたとおり、興味を持たれそうな処理対象でもある上、電離圏の様相は、時刻、季節、緯度、地磁気活動度、太陽活動度のパラメータに大きく依存するため、データの見方により結果が大きく変わる点が面白い。

通常、データ処理の演習は、題材となるデータベースがきちんと整えられていることが多く、用いる解析方法の選択肢は多くない。プログラミング手法の学習用ではなく、データ解析の作業そのものを体験し試行錯誤を楽しむことのできるデータ教材を見つけるのはむずかしいかも知れない。

## 参考文献

- [1] 山本隼也, 田中竜二, 高見友幸, 地球電離圏のビッグデータ解析 ~F層高度の平均日変動特性~, 第11回国際ICT利用研究会研究会講演予稿集, 25-26, 2022.