

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～

山本隼也¹⁾ 田中竜二²⁾ 高見友幸^{1) 2)}

¹⁾ 大阪電気通信大学大学院 総合情報学研究科 ²⁾ 大阪電気通信大学 総合情報学部

キーワード：電離圏 F 領域，平均日変動，Python プログラミング，アイオノゾンデ

1 はじめに

地球の上層大気は太陽放射により一部が電離大気の状態になっており，特に，高度 80～1000km の間では電子密度が大きい。この領域は電離圏と呼ばれており，D 層，E 層，F 層に分類される。本研究は，このうち，F 層の高度に注目し，その日変動を解析した。日本の電離圏観測の 5 地点（稚内，秋田，国分寺，山川，沖縄）のデータを 1960 年から 2020 年まで収集し，Python で，データの統計処理および可視化を行った。

なお，本研究は，電離圏を地球物理学的な研究対象としてデータ解析を行うのが目的ではない。ビッグデータ処理の試行体験学習を目的としており，通常を表計算ソフトウェアでは処理できない大容量のデータベースとして，電離圏観測のデータが選択された次第である。

電離圏の様相は，時刻，季節，緯度，地磁気活動度，太陽活動度に大きく依存することがわかっている。そのため，学習者は，データ処理に先立ち，インターネット上で公開されている様々な観測データの収集を行うことから始めなければならない。これは一種の面白さとなるであろう。

どの観測データを収集するかで，当然，データ処理の観点も導かれる結果も変わる。通常，データ処理の演習は，題材とするデータベースがすでに用意されている。本研究では，データ処理の手法ではなく，データ解析する際のいろいろな試行錯誤を体験することができるような，教材としてのデータベースを探ることが研究目的である。

2 アイオノグラム

電離圏観測に用いられる最も一般的な装置はアイオノゾンデと呼ばれる。アイオノゾンデは周波

数 1MHz から 25MHz 程度までの HF 帯電波を掃引して上空に送射する一種のレーダーである。パルス電波が電離層まで伝搬し，反射して戻ってくるまでの時間を計測することで，図 1 に示されたアイオノグラムを得ることができる。

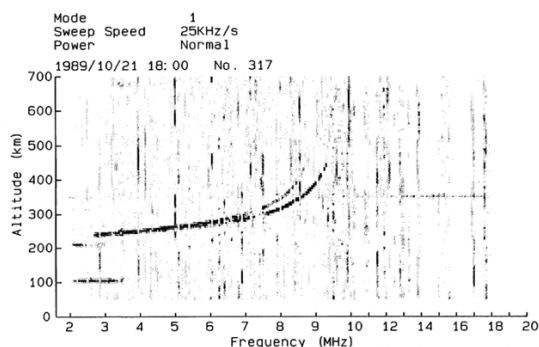


図 1. アイオノグラムの一例.

アイオノグラムからは $h'F$ (F 層の高度の目安となる物理量) や $foF2$ (電離圏の最大電子密度) の他，いくつかの特徴的なパラメータを読み取ることができる。今回の解析では $h'F$ の値だけを用いて解析を行った。時間分解能は 1 時間，データ総数は約 150 万個である。表 1 に今回の解析で用いた電離圏のデータ個数を示した。

表 1. 電離圏データの個数 (観測点別).

	稚内の $h'F$	秋田の $h'F$	国分寺の $h'F$	山川の $h'F$	沖縄の $h'F$
データの個数	389,494	164,114	454,863	338,664	282,715
地磁気静音時の個数	307,717	121,041	352,880	268,132	222,907
地磁気擾乱時の個数	81,777	43,073	101,983	70,532	59,808

3 平均日変動

本稿で取り上げる解析では，地磁気静穏日における $h'F$ の平均日変動を，季節および観測地点ご

とに分類して比較検討した。平均日変動の特性を抽出するために用いた Python のライブラリは、データ解析に Pandas, データ可視化には Matplotlib を用いている。地磁気活動は kp 値が 3+以下の時間帯のデータを静穏日のデータとみなした。季節の分類は、11月～1月を冬, 2月～4月を春, 5月～7月を夏, 8月～10月を秋としている。

図2と図3に、それぞれ、観測点と季節を比較して変動特性を図示した。23時以降の0時から6時は23時以前の0時から6時と値は同じである。

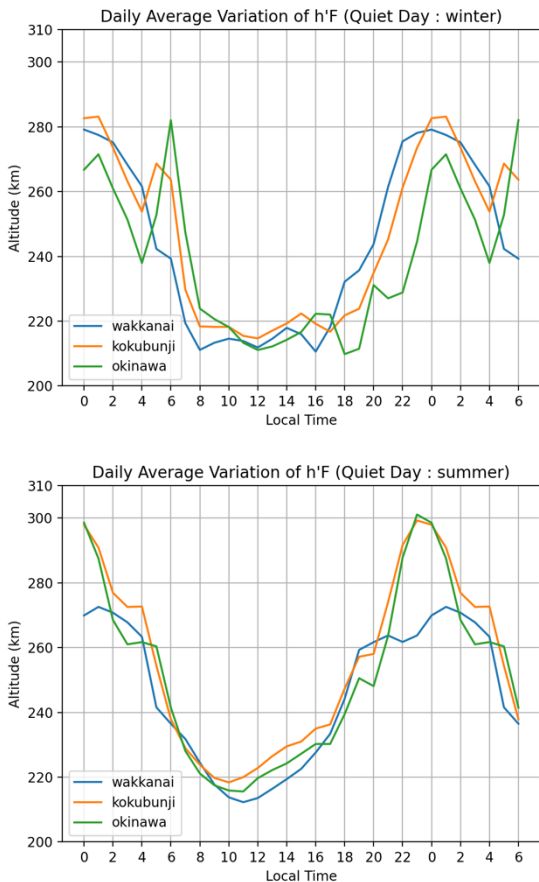


図2. 地磁気静穏日の稚内, 国分寺, 沖縄における $h'F$ 平均日変動の比較. 上) 冬, 下) 夏.

冬では国分寺と沖縄が4時から8時ごろに値が急に伸びているのに対し、稚内ではほとんど変化がない。また、20時から4時ごろでは沖縄が最も低い結果となった。夏では、4時から8時ごろの値の伸びは無くなっており、20時から4時ごろでは、稚内のみ値が低いことがわかる。続いて、各地点ごとの季節のグラフを確認する。

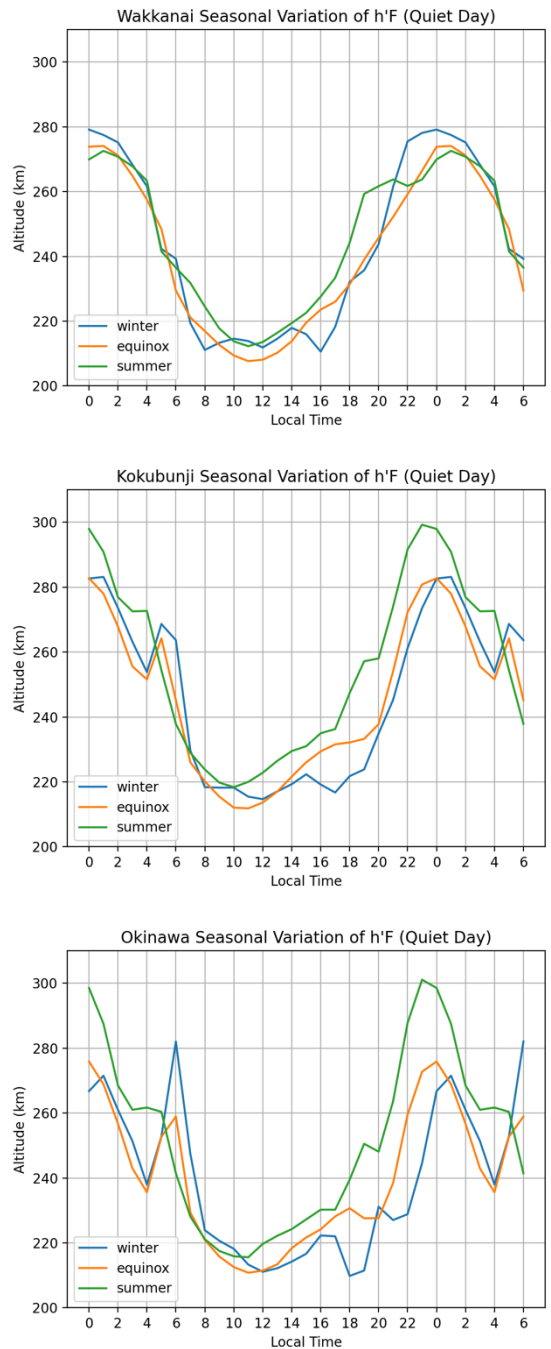


図3. 地磁気静穏日における $h'F$ 平均日変動の季節比較. 上) 稚内, 中) 国分寺, 下) 沖縄.

稚内は $h'F$ 最高地点が 280km と他の地点より低く、季節による変化が少ない。中でも沖縄は上下を繰り返しており、稚内が最もグラフが滑らかである。このことから、北では冬で F 層が高く、南では夏に高くなり、北よりも南の方が F 層の上下が激しくなることが確認できる。