

1. Introduction

電離圏はプラズマを含む領域であり、様々な帯域の電波に対して分散性を示す。衛星と地上の間に存在するため、電離圏に激しい擾乱が発生すると、電波による通信が乱れたり、GPSなどの測位誤差を大きくするなど、通信環境に対する様々な影響が発生する。近年では、航空機の自動航行にGPSが用いられつつあり、また運航に際し、電離圏の情報が提供されるなど、精度の高い電波通信環境情報が重要になりつつある。

電離圏を常時観測する観測装置の一つにイオンゾンデがある。電離圏は電波を反射するが、その反射される周波数は、電子密度に応じて決まることを利用して、電離圏の鉛直方向分布を観測するシステムである。観測結果はイオノグラムとして表示される。電離圏に不規則性があると、電波が散乱され、反射エコーが乱れる。この散乱エコーは、スプレッドFと呼ばれる。現状では目視にてスプレッドFが検出されているが、情報提供の即時性において、その自動検出が注目されている。イオンゾンデの観測結果、すなわちイオノグラムは画像で提供されるため、機械学習を用いた画像認識によりイオノグラムのスプレッドFを自動的に検出できることが期待される。

そこで、本研究では、機械学習を使用してスプレッドFの自動検出を試みる。

2. Observation and Data

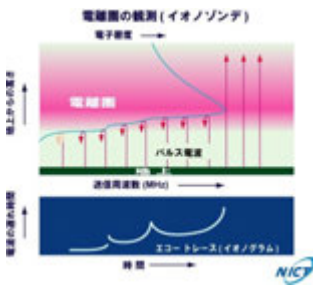


Fig. 1 イオノグラム観測の原理の模式図
 (https://wdc.nict.go.jp/IONO/HP2009/contents/ionogram.html)

通常はFig. 2(a)に示すように、電離圏からの反射によるトレースが細い線のように現れる。この変化が電子密度分布を反映している。しかし、電離圏に激しい擾乱が発生すると、Fig. 2(b), (c)のようにトレースが乱れ、拡散するようになる。電離圏のF領域からのトレースが拡散するという意味で、スプレッドFと呼ばれる。

スプレッドFは、トレースの形状に応じて周波数型とレンジ型（および混合型）の2つのタイプに分類される。Glover (1961) は、スプレッドFのタイプを以下のように分類した。
 ✓ 周波数型スプレッドF: 拡散の度合いは、トレースの上方にスワイプしているため、侵入値または臨界周波数の値に多少の曖昧さがある。
 ✓ レンジ型スプレッドF: スプレッドは、広範囲の周波数にわたって、周波数にほぼ依存しない。

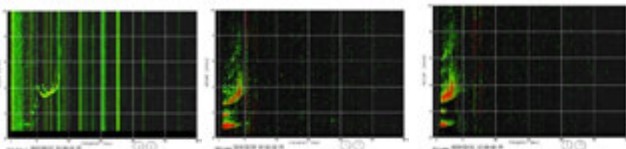


Fig. 2 (a) スプレッドFなし Fig. 2 (b) 周波数型スプレッドF Fig. 2 (c) レンジ型スプレッドF



Fig. 3 情報通信研究機構のイオンゾンデ位置

イオンゾンデは、情報通信研究機構 (NICT) によって国内4地点 (稚内、国分寺、山川、大宜味) に設置されている。本研究でも、これらの観測点で2018年に取得されたデータを用いて、自動検出の開発を進めた。

5. Conclusion

本研究は機械学習の一つである画像認識技術を用いてスプレッドFの自動検出を行った。

日本の4つのイオンゾンデ観測点で取得されたデータに対して、周波数型、レンジ型のスプレッドFを抽出し、それぞれ100枚の学習データを用いて分類器を作成し、検出を行った。その結果、各タイプ別のスプレッドFについては7割以上の自動検出を行うことが可能であり、観測点によっては9割以上の検出が可能であることが明らかとなった。

現在の学習データはまだ十分な枚数であるとはいえず、今後枚数を増やすことで、より精度の高い自動検出が期待される。

3. Method

検出アルゴリズム: YouOnlyLookOnce (YOLO)

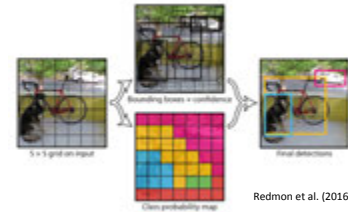


Fig. 4 YOLOのアルゴリズムの模式図

検出と識別を同時に行い高速化された物体検出手法。画像をSxSのグリッドにわけ、それぞれのグリッド内で検出対象の物体が存在するかを判定し、全部のグリッドでの存在確率を求めることで、画像内に検出対象があるかどうかを判定する。

学習対象
 • 周波数型スプレッドF
 • レンジ型スプレッドF
 • 通常のE領域, F領域トレース
 いずれも100枚を学習

検出対象
 • 周波数型スプレッドF
 • レンジ型スプレッドF
 • 混合型スプレッドF (周波数型, レンジ型の両方の判定が重なったもの)
 • スプレッドFの発生していないもの (通常のE, F領域のトレースのみ)

検出結果例

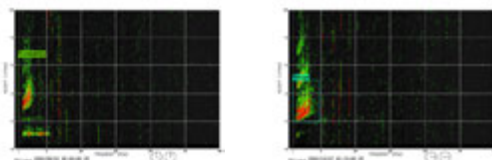


Fig. 5 検出結果例 (左) 周波数型 (右) レンジ型

4. Results

稚内	総画像数	周波数型	レンジ型	検出なし
周波数型	100	80	15	5
レンジ型	100	19	76	5
混合型	100	59	37	4
スプレッドFなし	100	10	2	88

国分寺	総画像数	周波数型	レンジ型	検出なし
周波数型	100	92	0	8
スプレッドFなし	100	5	0	95

山川	総画像数	周波数型	レンジ型	検出なし
周波数型	100	73	0	27
スプレッドFなし	100	4	0	96

大宜味	総画像数	周波数型	レンジ型	検出なし
周波数型	100	79	14	7
レンジ型	100	19	68	13
混合型	100	57	34	9
スプレッドFなし	100	2	24	74

Table 1 イオンゾンデ4地点でのスプレッドF自動検出の結果

上記はイオンゾンデ4地点でのデータに対して学習し、検出を進めた結果である。表において、所望の欄の色をオレンジで色付けている。なお、国分寺と山川については、レンジ型スプレッドFが観測されなかったため、周波数型のみを検出を進めた。大宜見、稚内では、タイプ別のスプレッドFは7割以上の割合で検出ができていた。また、国分寺、山川においても同様であり、さらにスプレッドFなしの画像に対しての誤検出の割合は5%以内に抑えることができていたことがわかる。

6. Acknowledgment

イオノグラムデータは情報通信研究機構 (NICT) より提供いただいた。

7. Reference

F.N.Glover, "A Survey of Spread-F", NBS Technical Note 82, 1960