

機械学習を用いた東・東南アジアの電離圏イオノグラムの自動読取

#劉 鵬¹⁾, 横山 竜宏¹⁾, 山本 衛¹⁾

⁽¹⁾ 京都大学生存圏研究所

Automatic Ionogram Scaling in East and Southeast Asia Based on Machine Learning

#Peng LIU¹⁾, Tatsuhiko YOKOYAMA¹⁾, Mamoru YAMAMOTO¹⁾

⁽¹⁾ Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

The Earth's ionosphere is a region where a portion of the Earth's atmosphere is ionized into electrons and ions by sunlight. Various ionospheric anomalies and space weather phenomena in ionosphere can cause radio communication scintillation, satellite signal fluctuations, and larger positioning errors. The most widely used ionospheric observation equipment in the world is the ionosonde. It transmits pulse signals ranging from low to high frequencies vertically then obtains an image called ionogram (Figure b), which records the frequency and virtual height of ionospheric echoes. By scaling various parameters from the ionogram, the electron density distribution in the ionosphere (Figure c) can be derived.

There are approximately 200 ionosondes worldwide, and their distribution in East and Southeast Asia is shown in Figure a. However, considering the ionogram formats of different ionosondes differ, a general intelligent processing system for ionograms is in high demand. Leveraging the recent progresses in artificial intelligence, this research aims to develop a new method for intelligently scaling ionograms based on instance segmentation technology.

The proposed method consists of five steps: 1), denoising the raw data; 2) creating labeled images and training the machine learning model; 3) automatically processing ionograms in east/southeast Asia by referencing the trained model; 4) restoring the coordinate system transformation from images to ionogram; 5) statistically analyzing the ionospheric disturbance phenomena and improving the IRI model accuracy. This research is crucial for industrial applications, such as improving the quality of GPS positioning and radio communications, as well as improving the accuracy of the IRI model.

地球電離圏は太陽光によって地球大気の一部が電子とイオンに電離した領域である。電離圏における様々な電離圏異常の宇宙天気現象が起きると、電波通信の途絶や異常反射、衛星信号の揺らぎや測位誤差の主な原因となる。世界で最も広く用いられている電離圏観測設備はイオノゾンデである。その原理は、低周波から高周波までのパルス信号を鉛直に送信し、反射エコー信号の周波数と見かけ高度を記録したイオノグラム (図 b) と呼ばれる観測データを取得する。イオノグラムから様々なパラメータを読み取ることによって、電離圏の電子密度分布 (図 c) が求められる。

全世界のイオノゾンデはおおよそ 200 機あり、そのうち東・東南アジアにおける分布を図 a に示す。異なるイオノゾンデから出力されたイオノグラムの形式は異なるため、全世界汎用のイオノグラム知能処理システムの構築が必要である。日本での 5 機、中国での 5 機、韓国での 2 機と東南アジアでの 6 機のイオノゾンデのイオノグラムデータは、現在まで有効に利用されていない。最近の目覚ましい人工知能の技術発展を利用し、イオノグラムを研究対象として新しい電離圏擾乱現象の知的な自動解析と電子密度パラメータの読み取り手法を本研究で創出することを目的とする。

本研究の提案手法の流れは五つの手順で構成される: 1) 生データのノイズ除去と可視化、2) 教師データの作成と機械学習モデル訓練、3) 訓練済みモデルを参照して数千万枚の画像の自動処理、4) 検出信号の画像座標系から元のイオノグラム座標系に復元してエコーの特性値を導出、5) 電離圏異常現象の統計解析と国際参照電離圏モデルの高精度化である。本研究は GPS 測位、無線通信など電離圏擾乱の影響を強く受ける電波利用技術の高品質化、及び国際参照電離圏モデルの高精度化などの産業応用にとって不可欠な基礎研究である。

