

太陽活動極大期におけるオーロラ活動に伴うインフラサウンドの事例解析

浅野 ひなた (宇宙地球探査システム研究室)

(指導教員 山本 真行 教授)

1. 背景と目的

宇宙天気現象の一つであるオーロラは、太陽風のプラズマが磁気圏を介して地球磁力線沿いに降下し大気中の酸素・窒素等の原子を励起することで発光する現象である。それに伴い電流、磁場、熱が発生することが知られている。古くから AIW(オーロラに伴う超低周波音波)が発生するという報告が存在する[1]が、AIW の特定には至っていない。本研究では大畑により全天カメラ画像からオーロラ活動を定量化し地上インフラサウンドデータとの比較解析手法が提案された[2]。しかし、解析期間は約 11 年周期の太陽活動の極小期に相当し、AIW と解釈可能な事例は 1 例にとどまった。この結果は手法の限界を示すものではなく、太陽活動度の低さに起因する観測事例不足であった可能性が高い。

本研究では、太陽活動極大期における南極極昭和基地での各種観測データを使用し、オーロラに伴って発生すると考えられるインフラサウンド(AIW)の検出と物理的整合性の検証を目的とする。

2. 解析手法

南極昭和基地で運用されているインフラサウンドセンサ 6000-16B と全天球カメラ Sony α6300 の観測データと気象庁が公開する風速データを AIW 候補の特定に使用する。また特定した候補波形の物理的整合性の検証には、地震計データ、国立極地研究所が運用している PANSY レーダーの計測データを使用した。観測データから解析を行う際に

- ・オーロラが出現している
- ・日没時間帯 (太陽仰角 -12° 以下)
- ・夜間に月が昇っていない期間
- ・風速 5m/s(3 月から 5 月), 2.5 m/s 以下(6 月から 8 月)
- ・晴天である
- ・連続した 1 時間の間にデータの欠損がない

の全ての条件を満たす 1 時間窓のデータを抽出し、本研究では最終的に 2024 年 3 月から 8 月の計 62 時間分を解析可能な日時として選定した。

オーロラ変化度の算出には、図 1 のように 1 分ごとの画像の変化差分を求める画像解析を用いた。差分表示画像の赤く表示されている範囲のピクセル数を変化の度合いを表す指標として用いた。

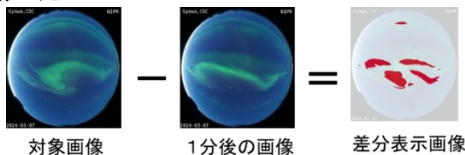


図 1 画像比較と差分の表示

インフラサウンドデータは先行研究[1]により示された周波数帯域(0.1~0.01 Hz)でバイパスフィルタを適用した。オーロラ変化度とインフラサウンド波形プロットを比較し、オーロラ変化度が大きくなった 3-5 分後にインフラサウンドに変動がみられたものを AIW 候補と判定した。

3. 解析結果と検証

解析可能条件を満たした観測データのうち、AIW とみられる観測事例が 6 例確認された。

観測対象の AIW は音源と観測地の距離が長く、観測した波形が AIW であるかを確認するためには観測データの比較から時間的かつ空間的に整合性がとれるかどうかを検証する必要がある。そのため、以下 4 つの検証を行った。

a) AIW 伝搬時間の整合性検証

カメラ射影方式の幾何特性を用いて、オーロラからセンサ

までの距離を算出し理論伝搬時間を求め、実際の伝搬時間との比較を行った。すべての観測例で理論伝搬時間と実際の伝搬時間には少なくとも 30 秒以上の差が生じた。

b) オーロラが音波生成条件を満たしていたかの検証

AIW の発生メカニズムとして弧状のディスクリート(明瞭な)オーロラの超音速駆動が有力な説である[1]。そこで、カメラの射影方式の幾何特性から、オーロラ下端の高度 100 km における移動速度を求め、AIW の発生が可能であったかどうかの検証を行った。6 例全ての観測例で超音速駆動が確認され、AIW が発生可能であったことが示された。

c) 伝搬経路中での圧力擾乱の有無

AIW が地上に伝搬してくる過程で、伝搬経路中の高層大気に圧力擾乱を励起している可能性がある。高層大気の風速場変動の確認を PANSY レーダーの鉛直方向風速データを使って試みた。しかし、時間分解能が小さく観測例でみられたような 3-5 分ほどの短時間での変動を確認することが困難であった。

d) 観測地周辺の他のインフラサウンド源の有無

南極では氷震や気象学的な気圧変動によってもインフラサウンドが発生することが分かっており、AIW が観測された日時に他のインフラサウンド源が存在していなかったか調査した。6 例中 2 例で AIW 候補波形が地震計東西成分波形と一致したことから、少なくとも 2 例は氷震によって発生したインフラサウンドである可能性が示唆される。(図 2)

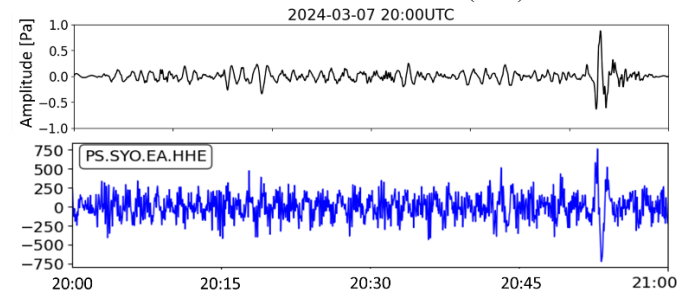


図 2 インフラサウンド波形と地震波形が明瞭に一致した例

4. 結論

2024 年 3 月から 8 月までの観測データを用いた解析により、合計で 6 例の AIW 候補波形を確認した。さらに、それらの観測事例について物理的整合性の検証を行った。すべての AIW 候補事例において音波の発生自体は物理的に可能であると考えられるものの、伝搬時間の矛盾や氷震現象から発生したインフラサウンドを AIW として検知している事例が確認された。これより、検証結果からは観測された波形が AIW 候補である一方で、オーロラ起因と断定することは現状では困難であるという結論に至った。

本研究では太陽活動極大期のデータについての調査を行い、それに加えて、周辺インフラサウンド源の調査や、大気観測レーダーを用いた伝搬経路上における風速場擾乱の検証など、抽出された波形の妥当性を評価するための新たなアプローチを提案した。

参考文献

- [1] CHARLES R. WILSON (1969), "Auroral Infrasonic Waves", Journal of Geophysical Research, Space Physics, 74, pp.1812-1836.
- [2] Haruka Ohata (2020), "Establishment of investigating methods for clarifying the correspondence between infrasound in the polar regions and natural phenomena such as the aurora", Polar Science Symposium, OMP29, Tachikawa.