

## オーロラの発生と GPS シンチレーションの関連性についての統計解析

# 加藤 優作 [1]; 細川 敬祐 [1]; 大塚 雄一 [2]; 小川 泰信 [3]; 福田 陽子 [4]; 片岡 龍峰 [3]; 田中 正行 [5]  
[1] 電通大; [2] 名大宇地研; [3] 極地研; [4] 東大・理・地惑; [5] 東工大

## Relationship between aurora and GPS scintillation: a statistical analysis

# Yusaku Kato[1]; Keisuke Hosokawa[1]; Yuichi Otsuka[2]; Yasunobu Ogawa[3]; Yoko Fukuda[4]; Ryuho Kataoka[3];  
Masayuki Tanaka[5]

[1] UEC; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] NIPR; [4] Dept. Earth & Planet. Sci, Univ. Tokyo; [5] Tokyo Institute of Technology

In this paper, we investigate the relationship between aurora emission and the magnitude of the GPS scintillation indices through large-scale statistical analysis using image recognition based on machine learning. We make use of data from an all-sky color digital camera and GPS scintillation monitoring system in Tromsø, Norway (69.60N, 19.20E). Through the statistical analysis of observations for 4 years, we found that phase scintillation increases and amplitude scintillation decreases when auroras appear on the ray-path of the GPS navigation signal. In the statistics, scintillation data in the morning and afternoon periods were investigated in a separate manner. Since diffuse (discrete) auroras occur more frequently in the morning (afternoon) period, this statistical analysis enabled us to examine the association between GPS scintillation and the form (i.e., diffuse or discrete) of aurora. As a result, it was found that amplitude scintillation decreases during intervals of diffuse aurora and phase scintillation increases during those of discrete aurora.

When diffuse auroras take place, the electron density increases in the bottom of the E region at ~100 km altitude and the shape of diffuse aurora is known to be more uniform than that of discrete aurora. This means that the spatial structure of the ionospheric electron density becomes more uniform during intervals of diffuse aurora. We suppose that this process can explain the decrease of amplitude scintillation in the morning side. In contrast, when discrete auroras appear, a layer of enhanced electron density is distributed in a wide range of altitude up to lower F region. This implies that the GPS navigation signal travels through the region of enhanced/disturbed electron density for a long time. If the phase refractive index changes with time, then the phase of the received signal is disturbed, and eventually the level of phase scintillation increases. This mechanism can account for the increase of phase scintillation during intervals of discrete aurora.

電離圏には様々な時空間スケールの電子密度変動が常に生じている。衛星からの通信電波は、地上で受信される前に必ず電離圏を通過するが、電離圏電子密度の乱れに応じて、受信信号の振幅や位相に揺らぎが生じる。この揺らぎを電離圏シンチレーションと呼ぶ。特に、地上で受信する GPS 衛星の測位信号に見られる揺らぎを GPS シンチレーションと呼び、揺らぎのレベルが大きい場合は、全球衛星測位システムを利用することができなくなることが知られている。GPS シンチレーションの要因は、電子密度の空間変動に伴う回折性シンチレーションと、時間変動に伴う屈折性シンチレーションの2つに大別できる。前者については、電離圏の電子密度の空間的不規則構造がスリットの役割を果たすことで、人工衛星からの等位相平面波が乱れ、位相のずれた信号が干渉することで受信信号の振幅にシンチレーションを発生させると考えられている（振幅シンチレーション）。後者の屈折性シンチレーションについては、電離圏電子密度変動に依存して信号の位相速度が時間変化し、受信信号の位相が揺らぐことによって、主として受信信号の位相にシンチレーションが生じるとされている（位相シンチレーション）。しかし、これらのシンチレーションの発生メカニズムには未解明の部分が多く、特に高緯度電離圏においてオーロラが発生したときに、GPS 測位信号にどのようなシンチレーションが生じるかについては、その基本的性質が明らかにされていない。

本研究では、ノルウェー・トロムソ（69.60N,19.20E）に設置された全天カラーデジタルカメラと GPS 受信機（GSV4004B）を用いて、オーロラの出現が GPS シンチレーションの発生とどのように関連しているかを統計的に調べた。始めに、教師あり機械学習によってオーロラの有無を判別する分類器を作成し、全天カラーデジタルカメラによって 30 秒間隔で撮影された画像に対して作成した分類器を適用した。これにより、各時間の GPS 衛星測位電波の IPP（Ionospheric Pierce Point）におけるオーロラの有無を高速かつ正確に自動検出することが可能になった。このオーロラ自動検出手法に基づいて、2009 年からの 4 年間にわたる光学データと GPS 受信機データの統計解析を行った。その結果、オーロラが発生した際に位相シンチレーションが増加すること、振幅シンチレーションは逆に減少することの 2 つの性質が明らかになった。さらに、オーロラの形態とシンチレーションの関連性を明らかにするために、ディフューズオーロラが卓越する午前時間帯と、ディスクリットオーロラが支配的な午後時間帯に分けて解析を行った。その結果、午前時間帯において、オーロラ発生時の振幅シンチレーションの減少がより顕著に見られることが分かった。また、午後時間帯のほうがオーロラ発生時の位相シンチレーションの増大が大きいことも明らかになった。この統計解析結果は、1) ディフューズオーロラは振幅シンチレーションを減少させること、2) ディスクリットオーロラは位相シンチレーションを増加させること、を意味する。

1) の特性を作り出す要因に関しては、以下で述べる A, B の 2 通りの解釈が有りうる。A) ディフューズオーロラ発生時には、電離圏電子密度の増大領域は 100 km 付近の低高度に生じ、ディスクリットオーロラに比べて電子密度の空間分布は一樣であると考えられる。ある程度の電子密度不規則構造を持っていた電離圏の空間的構造が、ディフューズオーロラの発生によってより一樣になることで、午前側で振幅シンチレーションが減少する、B) 規則的に並んでいた電子密度

の空間的構造がディフューズオーロラの発生によってさらに乱れ、空間構造のコヒーレンスが落ちることによって信号の回折・干渉が起らず、振幅シンチレーションが減少する。このどちらの解釈がより妥当であるかについて、現在検証を行っているところである。次に、2)の性質に関する解釈を述べる。ディスクリートオーロラが発生すると、電子密度の増大領域はより高高度まで広がる。そのため、GPS測位信号は、電子密度が乱れ位相屈折率が変化している高度領域を長時間通過し（長い距離伝搬し）、位相シンチレーションがより強く発生するようになると考えている。発表では、機械学習を導入することによって得られた統計解析結果に基づいて、詳細なシンチレーションの増加・減少のメカニズムについて議論を行う予定である。