

低軌道衛星の GPS データで観測された中緯度域における全電子数増大現象についての解析

京都大学大学院 五井紫 齋藤昭則 西岡未知

平成 21 年 2 月 28 日

1 概要

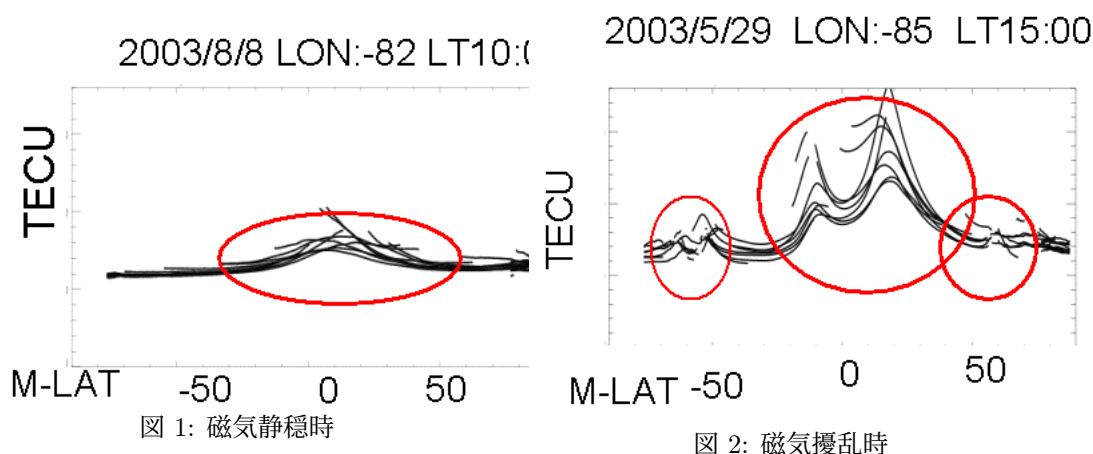
低軌道衛星の全電子数データと電離圏地上観測データを用いて、中緯度域で起こる全電子数の増大現象の高度分布について解析を行った。本研究では飛翔高度約 500km である GRACE 衛星の TEC データを用いた。この GRACE-TEC データは 500km から 20,000km のデータで、電離圏上部とプラズマ圏を通る観測経路上の TEC を表すものである。GRACE-TEC において地磁気緯度 50 度から 70 度の領域で TEC の増大現象が観測された。この TEC 増大現象は Storm Enhanced Density (SED)、またはその他の現象によるものであると本研究の観測事実からわかった。この TEC 増大が起こる主な高度領域を知るために、GRACE-TEC と地上-GPS 間の TEC データの比較を行った。地上-GPS 間の TEC データにおいて SED が同日に観測された。SED とは赤道異常から局所的に中緯度域へ広がった高電子密度領域のことである。地上-GPS 間の TEC データで観測された SED による TEC 増大のおよそ 66%は電離圏上部以上で起こっていることがわかった。

2 研究の背景と目的

高度 20,000km を飛翔する GPS 衛星と地上 GPS 受信機との間の TEC を測ることによって、電離圏やプラズマ圏が観測されてきた。GPS 受信機を搭載した低軌道衛星の TEC データは、低軌道衛星と GPS 衛星間の TEC を表す。この低軌道衛星の TEC データは、電離圏の寄与の少ないものであるため、電離圏上部以上の領域の観測には適している。本研究は、低軌道衛星の TEC データの観測により、電離圏上部よりも高高度領域で起きる現象の解明を目的とする。

3 データセット

本研究では高度約 450km を飛翔する GRACE 衛星の GPS データを使用した。GRACE 衛星の軌道はほぼ極軌道で、周期は約 90 分である。



上図は GRACE-TEC を磁気緯度に沿ってプロットしたものである。図 1 は磁気静穏時の GRACE-TEC で、低緯度域で赤道異常が観測された。図 2 は磁気擾乱時の GRACE-TEC で、低緯度域に赤道異常、中緯度域に TEC 増大現象が観測された。本研究では中緯度域で観測された TEC 増大現象に注目して解析を行った。

4 イベント解析

GRACE 衛星の天頂角を 20 度に制限して GRACE-TEC をプロットすることにより、GPS 衛星と GRACE 衛星間のパスの差による TEC の差を軽減した。昼側に起こる TEC 増大現象と夕方起こる TEC 増大現象について地上-GPS 間 TEC と比較した。以下に示すのは 2003 年 5 月 29 日、昼側に観測された TEC 増大現象の例である。また、地上-GPS 間 TEC として、Haystack Observatory が提供する MIT-TEC を使用した。

4.1 GRACE-TEC と地上-GPS 間 TEC の比較

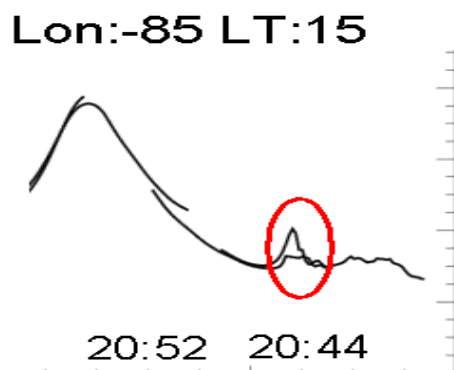


図 3: 2003 年 5 月 29 日、UT20:48 頃の GRACE-TEC

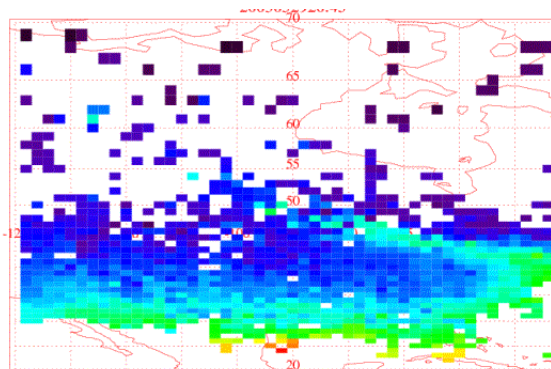


図 4: 2003 年 5 月 29 日の地上-GPS 間 TEC

地上観測での TEC 増大現象の振幅と GRACE-TEC で観測された TEC 増大現象の振幅の比較を行い、現象の鉛直構造について解析を行った。図 3 において、UT20:48 に緯度 50 度から 60 度にかけて TEC 増大現象が GRACE-TEC で観測された。地上-GPS 間 TEC(図 4) で、UT20:45(LT15:00) において SED が観測された。GRACE-TEC で観測された TEC の位置と時刻、MIT-TEC で観測された SED の腕の位置と時刻が一致した。このことから、GRACE-TEC で観測された TEC-増大現象は SED によるものであるとわかった。このような例は LT19 にも観測されており、昼側だけではなく夕方側にも SED が TEC 増大現象として、GRACE-TEC で観測されていることがわかった。

4.2 鉛直構造の比較

図 5 は 2003 年 5 月 29 日 20:48UT 頃の MIT-TEC を磁気緯度に沿ってプロットしたものである。示されている経度域は-85 度あたりで、GRACE 衛星が同時刻に飛行していた経度域と同じ領域である。図 6 は同時刻の GRACE-TEC を磁気緯度にプロットしたものである。地上 TEC による TEC-Enhancement が 25TECU であるのに対し、GRACE-TEC で観測された TEC-Enhancement は 12TECU であった。一方、夕方側 (2004 年 7 月 25 日、LT19) でも地上 TEC による TEC-Enhancement が 20TECU であるのに対し、GRACE-TEC で観測された TEC-Enhancement は 10TECU であった。以上の結果から、地上で観測された TEC-Enhancement の 5 割は GRACE 衛星の高度以上 (約 500km) の寄与であることがわかった。

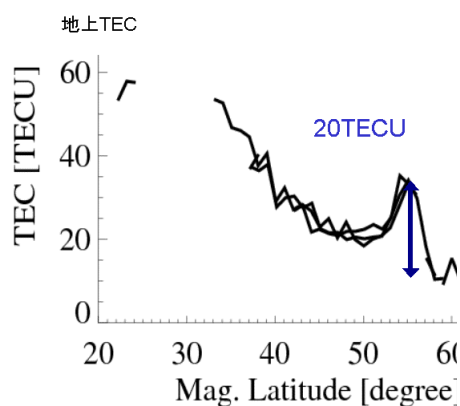


図 5: 2003 年 5 月 29 日の MIT-TEC(地上-GPS 間の TEC)

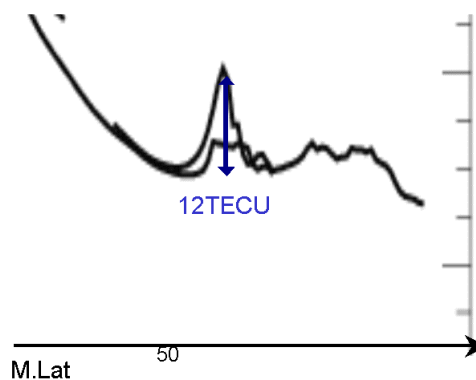


図 6: 2003 年 5 月 29 日の GRACE 衛星の TEC

5 統計解析

イベント解析で得られた TEC-Enhancement についての特徴を基にして主に 2003 年から 2004 年にかけて統計解析を行った。統計解析を行う際に、使用した条件は以下である。

- TEC-Enhancement の振幅が 2TECU 以上
- GRACE 衛星が地球を半周することを 1 パス（1 回の観測チャンス）とカウント
- 同じパスで TEC-Enhancement が 2 つ以上観測されても各々違うイベントとカウントする
- 出現緯度が 40 度以上 70 度以下であること
- 解析を行う期間は 2003 年から 2004 年の二年間

5.1 LT についての統計

2003 年から 2004 年の全ての日についての統計を行った結果を以下に示す。

図 7 は横軸がローカルタイムを示し、縦軸は TEC 増大現象が出現した割合を示してある。LT6 から 12 と朝側から昼側の範囲と、LT15 から 24 にかけて夕方から夜までの範囲に出現率が上がることが解った。夕方から夜にかけて出現率が上がる特徴は SED の特徴と一致するが、朝から昼にかけて出現率が高いという特徴は一致しない。このことから、GRACE-TEC で観測される全ての TEC 増大現象が SED を観測しているわけではないと言える。

5.2 磁気擾乱時の LT についての統計

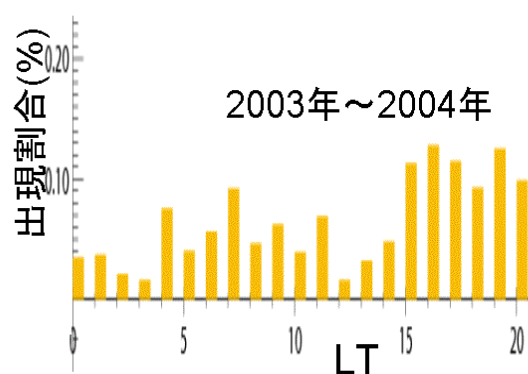


図 7: 2003 年と 2004 年の LT に対する統計

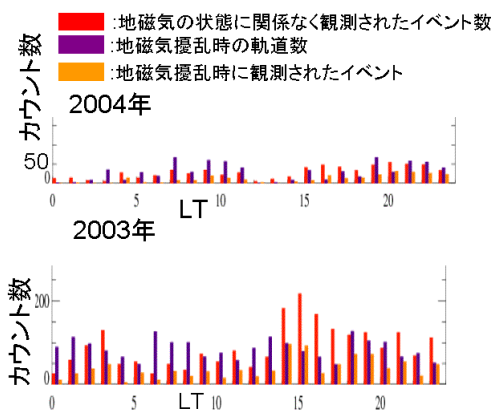


図 8: 2003 年と 2004 年の磁気擾乱時日についての統計

地磁気擾乱時の TEC-Enhancement の出現率を 2003 年から 2004 年について解析を行った。地磁気擾乱を表す指数として kp_i 指数を用いた。 $kp_i \geq 3$ の時を地磁気擾乱時とした。図 8 は横軸が LT を表し、縦軸は TEC 増大現象の出現回数を表している。この結果から、磁気擾乱時には LT14 から 20 に TEC-Enhancement の出現割合のピークがあることがわかった。これは SED の特徴と一致している。一方で、LT3 から 5 の朝側でも TEC 増大現象の出現割合が高くなることがわかった。また、2004 年よりも 2003 年の方がイベントが起こりやすいことがわかった。これは太陽活動度が 2003 年が 2004 年よりも高いためと考えられる。

6 まとめ

GRACE-TEC において、中緯度域で観測される TEC-Enhancement についてイベント解析を行った。この TEC-Enhancement の少なくとも 5 割は GRACE 衛星の高度（約 450km）以上の寄与であることがわかった。また、統計解析においては

- LT15 24 で TEC-Enhancement の出現割合が最も高くなることがわかった。
- LT6 12 でも TEC-Enhancement の出現割合が高くなることが分かった。

地磁気擾乱時においても、朝と昼に出現割合があることがわかった。TEC-Enhancement の出現は太陽活動度に依存することがわかった。