

GPS衛星を利用した全電子数測定における2周波搬送波位相の仰角依存特性の測定方法とその補正結果

A method for obtain the elevation angle dependencies of GPS receivers for TEC measurements

山崎 亮三[1], 五十嵐 喜良[1], 丸山 隆[2]
Ryozo Yamazaki[1], Kiyoshi Igarashi[1], Takashi Maruyama[2]

[1] 通総研, [2] 通総研・平磯
[1] CRL, [2] Comm. Res. Lab./Hiraiso

通総研では、リアルタイムで日本全国的全電子数(TEC)のコンタマップを作成するための研究を行っている。TECは、GPSのL1、L2の2つの周波数の搬送波位相を用いて計算することができる。コンタマップを作成するためには、全国各地にGPS受信機を設置する必要があるが、同一地点で同一のGPS衛星の信号を受信したとしても、仰角の変化によるL1およびL2の搬送波位相の変化のしかたは受信機の機種によって、大きく異なる。同じ機種であっても、多少異なる特性を有する。本発表では、国分寺とその周辺に設置されたGPS受信点の受信データのみを用いて、それぞれの受信点における仰角依存特性を求めたので報告する。

1. はじめに

通総研では、宇宙天気予報プロジェクトの一環として、リアルタイムで日本全国の鉛直方向の全電子数(TEC: total electron contents)のコンタマップを作成することを目指しており、そのために必要となる各種手法について研究を行っている。TECは、GPS(Global Positioning System)衛星からのL1、L2の2つの周波数の搬送波位相を用いて計算することができる。コンタマップを作成するには、全国各地でのTEC値がリアルタイムで必要となるが、研究の第一段階として、国土地理院によるGPS連続観測網から得られるデータを利用している。この観測網には、種々の受信機が使用されている。ところが、同一地点で同一のGPS衛星の信号を受信したとしても、仰角の変化によるL1およびL2の搬送波位相の変化のしかたは受信機の機種によって大きく異なる。また、同じ機種であっても、多少異なる特性を有する。そこで、本発表では、GPSの受信データのみを用いてその受信機における仰角依存特性を求める方法とそれを用いたTEC値の補正効果について検討を行った。

2. GPS衛星を利用した全電子数測定方法

各GPS衛星は、それぞれ常時L1とL2の異なる2つの周波数で航法メッセージなどの信号を同時に発射している。電離層では電波の進む速度は、全電子数と周波数に依存して遅くなるので、L1、L2の到達時間差が分かれば全電子数を求めることができる。国土地理院では、日本全国1,000ヶ所以上にGPSの受信局を設置し、L1およびL2の2つの周波数による搬送波位相やC/AコードおよびPコードから得られる疑似距離などの測定結果をRINEXと呼ばれるフォーマットで公開しており、これらの結果を用いてTEC値を求めることができる。使用されている受信機のメーカーとしては数社程あり、また機種も何種類があるが、国分寺周辺のGPS受信点では、1社3機種の受信機が使用されている。RINEXデータファイルからTEC値を求めてみると、例えば、国分寺と町田、練馬と川崎、八王子と入間などでは、それぞれ用いられている機種が同一であり、TEC値の日変化の様子も非常によく一致する。ところが、国分寺と練馬のように異なる機種間では、かなり異なった結果となった。2点間の距離が約20kmと近いにもかかわらずこのような大きな違いが生じるのは、受信機の機種の違いによるものと考えられる。すなわち、GPS信号の入射する角度によって搬送波位相の値が変化し、その変化の仕方がL1波とL2波で異なるためと考えられる。

3. 仰角依存特性の測定方法

一日の間で鉛直方向のTEC値は、観測する衛星の方位や仰角や時刻などによって様々に変化するが、もしも、受信機に上述した仰角依存特性があるとすれば、ある一定の仰角 θ_0 におけるTEC値と任意の仰角 θ におけるTEC値との差は、全衛星について平均化すれば、方位や時刻の違いによる寄与は平均化のために小さくなり、仰角の違いによる差のみが主として生じるはずであり、これはRINEXデータファイルのみから各受信点ごとに計算することができる。

4. 仰角依存特性の測定結果

一例として、1999年8月18日および9月15日のTEC測定結果を用いて、国分寺とその周辺数ヶ所について仰角依存特性を求め、以下の結果を得た。

まず、国分寺と町田については、よい一致が見られ、どちらも仰角依存特性はあまりないことが分かった。また、同じ機種を使っている秋川などにおいても、ほぼ同様の結果となった。

これに対し、練馬と川崎については、よく一致し、どちらも θ が大きくなるほど T E C 値も大きくなるという明確な仰角依存特性が見られ、 $\theta = 80^\circ$ のときと 35° のときとでは、約 1.5×10^{17} [個/m²] も差があることが分かった。また、この特性は、機種は違うものの八王子や入間などにおける結果とほぼ一致した。

また、1999年8月18日は、9月15日より T E C の日変化が小さく（昼と夜とで T E C 値にあまり差がない）このため仰角依存特性のばらつきも9月15日の結果よりも少なかった。

5 . 仰角依存特性を用いた補正結果

1999年8月18日と9月15日のどちらにおいても、仰角依存特性を考慮して T E C 値を補正すると、例えば、国分寺と練馬について、かなりよく一致するようになった。今後は、さらに仰角依存特性の精度向上などについて検討を行う予定である。また、近く、同一機種の G P S 受信機を3台調達し、所内で同時観測を実施し、その後地方電波観測所に設置する予定である。その結果から、この方法による仰角依存特性の求め方についての評価も行う予定である。

最後に、本研究を行うにあたっては国土地理院による G P S 連続観測網のデータを利用したので、関係各位に深謝する。