

ACC021-02

会場:展示ホール7別室3

時間: 5月27日11:00-11:15

## 直接波と反射波の干渉を利用したGPS積雪深度計

### GPS snow depth meter using interference between direct and reflected waves

大関 優<sup>1\*</sup>, 日置 幸介<sup>1</sup>

Masaru Ozeki<sup>1\*</sup>, Kosuke Heki<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北海道大学大学院理学院自然史科学専攻

<sup>1</sup>Natural History Sciences, Hokkaido Univ.

アメダスの積雪深度計は雪面で反射した超音波の往復時間から雪の深さを求めているが、本研究ではGPS観測によってアンテナ周囲の積雪深度を求める方法について報告する。なおGPS局は特殊なものである必要はなく、測位を目的とした通常の二周波受信機で十分応用可能である。積雪深度の推定のために、「マルチパス」を利用する。GPS衛星からの直接波と地面等で反射した電波の干渉によって生じる様々な現象を総称してマルチパスと呼ぶが、衛星の公転周期である恒星日に同期した繰り返し測位誤差などが良く知られる。地面による電波の反射が地表の「濡れ」加減に依存することから、マルチパスの振幅からアンテナ周囲の土壌水分量が推定できる(Larson et al., 2008)。マルチパスの積極的利用である。ここでは積雪に伴う見かけ上のアンテナ高の変動を、マルチパスの位相変化率(光路長の変化率)から求める手法を紹介する。最近Larson et al. (2009)は、GPS受信信号のSN比から求めた光路長変化率を用いて積雪深度を求める手法を報告した。国土地理院の連続観測網GEONETではこれまでSN比をRINEXファイル中に記録公開していなかったため、本研究ではSN比同様geometry-freeなL1とL2の位相差(L4)を利用した。なお昨年頃からGEONETでのSN比データが公開されるようになったため、今後はSN比を用いた積雪深度の計測も可能である。

マルチパスの影響を定式化したElosegui et al. (1995)によると、マルチパスの干渉による受信電波の位相ずれは、電波の波長、アンテナ高、仰角、直接波と反射波の振幅比から求めることができる。これを長さの次元にし、それらのL1、L2での値の差(L4)をとる。この値は電離圏全電子数に比例し、局位置や中性大気遅延には無関係なgeometry-free性を持つ。GPS衛星が上空を移動すると仰角が時間変化し、雪面で反射したL1やL2電波の位相も特定の周期で変化する。その周期はアンテナが低くなるほど長くなる(光路長の変化が緩慢になるため)。これを利用すればGPSで積雪深度を推定できる。積雪は等価的にアンテナ高を下げるのである。

本研究では札幌市南区藤野にあるGEONET点950128の2009年二月から四月にかけてのデータを用い、21番衛星が南西の地平線に沈む前の二時間程度のL4時系列のマルチパス成分を解析した。観測時間窓は毎日約4分ずつ早くして、衛星の方向を毎日同じに保った。得られたL4の時系列をスペクトル解析すると、L1とL2のそれぞれに起因する二つの周波数が卓越する。無積雪時のマルチパスによるL1とL2の位相変化の周波数はそれぞれ5および4 mHz程度であるが、これが本来のGPSアンテナの高さである約5mに相当する。その周波数は雪が深くなると有意に低くなり、1 m程度の積雪でL2のピークは約0.75 mHz下方にシフトする。L4を求める式から理論的に予測される位相変化の周波数を計算してあらかじめ校正曲線を作っておき、日々の値から積雪深度の推移を求めた。なお雪面での反射率の違いはマルチパス成分の振幅に影響するが、ここで計測しているマルチパスの位相変化率には影響しない。また衛星や受信局が異なると、別の校正曲線が必要となる。

アメダス札幌点で観測された積雪深度とGPSマルチパス解析から求めた積雪深度を比較した。両

者は10 km程度離れているが、積雪深度データは比較的良い一致を示した。時折データの乱れが見られるが、その場合マルチパスの位相変化の周波数ピークが綺麗に捉えられていないことが多い。現地は誰でも自由に入出りできる札幌市北方自然教育園の構内であり、21番衛星の電波が反射する部分の雪面がしばしば人為的に乱されるのだろう。本研究ではさらに、複数の衛星で求めた積雪深度を平均することによってこの問題の解決をはかった。

#### 文献

Larson, K. et al., GPS Solut., 12, 173, 2008

Larson, K. et al., GRL, 36, L17502, doi:10.1029/2009GL039430, 2009

Elosegui, P. et al., JGR, 100, 9921, 1995

キーワード: GPS,マルチパス,積雪深度計

Keywords: GPS, multipath, snow depth meter