

地中探査レーダー(GPR)による知床峠の積雪観測(2011年)

若林剛・高橋修平(北見工業大学)

1. はじめに

広域での積雪の堆積状態を知ることは、除雪や雪崩の危険性についての情報に役立つ。また、積雪の断面観測による方法では多くの時間と労力が必要であり、広域の積雪状態を見る際には均一性などの問題が発生するなどの欠点がある。地中探査レーダー(Ground Penetrating Radar 以下 GPR と略す)は電磁波を用いて地中の内部構造を非破壊かつ迅速に調査することができる機械であり、この GPR を積雪のあるフィールドで用いれば上記の問題を解決することが出来る。しかし、GPR 内部から生じるシステムノイズと地面信号や雪面信号との判別、電磁波速度の予測等の GPR 観測の問題点がある。

今回 2011 年 3 月 16 日に知床峠横断道路の未除雪区間を GPR により観測した。これは 2005 年から毎年同時期に行っている。これは、除雪の情報に役立てることと知床半島の自然環境を知ることが目的として行っている。

2. GPR 観測装置、観測原理

(1) 観測装置

本研究では Mala Geoscience 社製の GPR(図 1)を用いており、受信周波数は 800MHz のものを用いた。アンテナは電磁波の送信機と受信機が一体となっており、観測では他にコントロールユニット、パソコンを必要とする。



図-1 Mala Geoscience 社製 GPR

(2) GPR 観測理論

GPR 観測を行うと、まず送信機から出た電磁波が反射し、反射してきた電磁波を受信機で受信するまでの時間と反射強度が得られる。取得した反射の受信の時間と強度から積雪深や内部構造を調べることが出来る。積雪中では空気中よりも電磁波速度が遅くなるため、GPR 観測データから積雪深を求めるには積雪中の電磁波速度を予測する必要がある。

電磁波速度は空気中では 1) 式で表される。

$$C = 1 / \sqrt{\epsilon_0 / \mu_0} \dots\dots\dots 1)$$

C は真空中の電磁波速度、 ϵ_0 は真空中の誘電率、 μ_r は真空中の透磁率を意味している。また、一般的に地中や積雪中では透磁率の変化はほとんど無いため、透磁率の変化に電磁波速度は依存するので物質中の電磁波速度は 2) 式のようなになる。

$$V = C \sqrt{\epsilon_0 / \mu_0} \dots\dots\dots 2)$$

V は物質中の電磁波速度, ϵ は物質の誘電率を意味している.

ここで比誘電率というものを 3) 式のように定義し比誘電率は ϵ_r とする.

$$\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0 \dots\dots\dots 3)$$

積雪中の比誘電率は, 積雪密度に依存する次式が経験的に知られている (Tiuri, 1984). 4) 式にそれを示す. ρ は積雪の密度を意味している.

$$\epsilon_r = 1 + 1.7\rho + 0.7\rho^2 \dots\dots\dots 4)$$

また真空中の電磁波速度は $300\text{m}/\mu\text{s}$ なので, 積雪中の電磁波速度は 5) 式で表される.

$$\epsilon_r = 300 / \sqrt{(1 + 1.7\rho + 0.7\rho^2)} \dots\dots\dots 5)$$

この式から積雪中の電波速度は密度に依存することがわかる. 今回の観測で積雪断面観測によって密度が得られる場所での電磁波速度の予想はこのモデル式にしたがって計算を行っている.

3. 知床峠横断道路ウトロ側移動観測

(1) 観測地点

2011 年 3 月 16 日に知床横断道路のウトロ側 (22.5km) から知床峠頂上 (17km) までの 5.5km の距離を, GPR 搭載ソリで雪上車により牽引して観測を行った (図 2). 観測コースを図 3 に示す. 出発地点と頂上では積雪の断面観測を行った.



図-2 観測風景



図-3 観測コース

(2) GPR 搭載ソリ牽引観測

GPR 観測で使用したアンテナの受信周波数は 800MHz, データ取得インターバルは 1 秒, さらに位置データを GPR で取得しながら走行した. 500m 毎に走行を停車させ, 実測による積雪深をゾンデ棒により観測を行った. アンテナ底面と雪面が触れない構造になっていて, 取得した観測データは雪面までの距離を考慮する必要がある.

(3) 観測結果

GPR 搭載ソリの牽引観測結果を図 4 に示す. GPR により知床横断道路 5.5km を 100m 毎に積雪深を観測することが出来た. 山間部に入るにつれ積雪深が増加し, 最大積雪深は 19.7km 地点の 332cm で, 最小は 18.5km 地点であった.

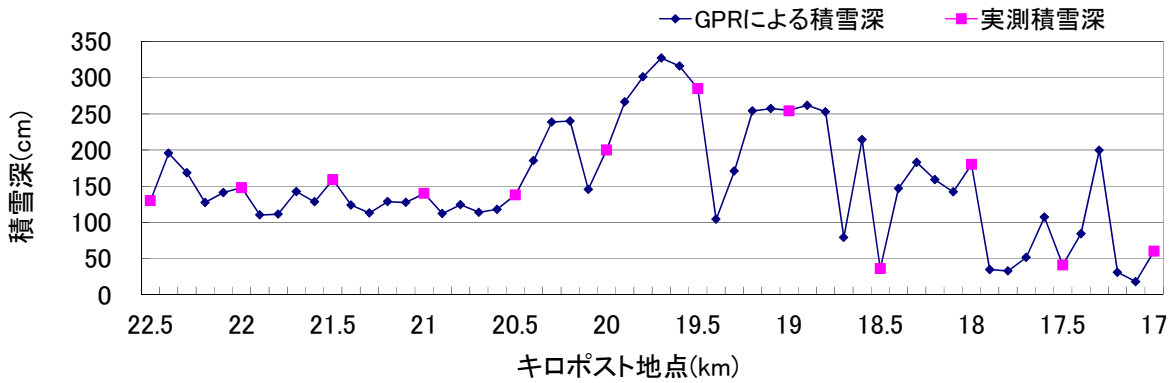


図-4 知床峠横断道路移動観測結果

4. 知床峠横断道路羅臼側実測観測

(1) 観測地点

2011年3月16-17日に知床峠頂上(17km)から羅臼側(9km)までの8kmの距離の観測を行った。観測コースを図5に示す。

(2) 観測方法

スノーポールにより積雪深を計測した。

羅臼側の実測積雪深の結果を図6に示す。データが不足している地点は、天候が悪かったことや観測が危険だったことなどから観測結果が得られなかった。最大積雪深は12.5km地点付近の3.2mだった。ウトロ側のようにふもとに近づくにつれ積雪が少なくなるといった傾向は見られず、ふもとに近づいても1.5mを超える積雪が多い。



図-5 観測コース

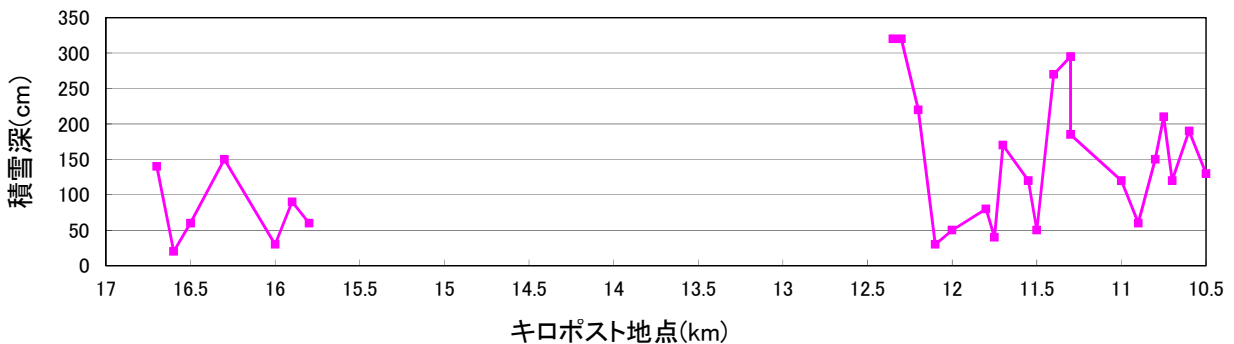


図-6 羅臼側の実測積雪深観測結果

5. 考察

(1) 知床峠横断道路ウトロ側移動観測

今年の観測結果でも各地点で例年と同じ結果が得られた。ウトロ側の特徴である1.9km地点では積雪が多く、18.5km地点では積雪が少ないという結果が得られた。これは地形の影響と風による影響であると考えられる。19km地点と18.5km地点の地形を図7に示す。ウトロのアメダスよりウトロ側の風向は南南東がほとんどであることが分かった。これより南南東の風と斜面の影響から19km地点では吹き溜まり積雪が多くなったと考えられる。一方18.5km地点では地形と南南東の風の影響により吹き払われていて積雪が少なくなったと考えられる。



図-7 19km地点と18.5km地点の地形

(2) 知床横断道路積雪観測年度比較

2005年から2011年に行った知床横断道路上の実測積雪深観測結果を図8に示す。これから各km地点での積雪の傾向は毎年同じ傾向が見られた。

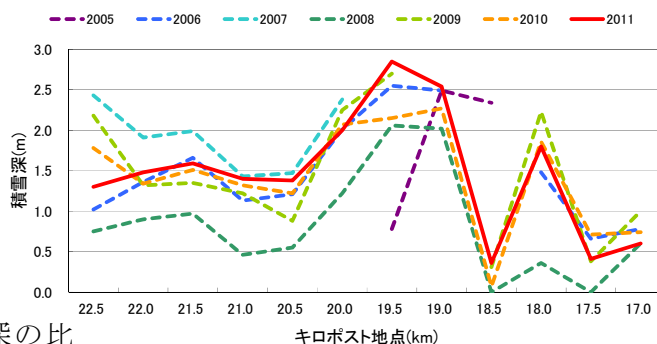


図-8 実測積雪深観測結果

2009年から3年間の100mごとの積雪深の比較のグラフを図9に示す。100mごとの積雪深を比較したところ100mごとの積雪深の傾向は3年間と同じような結果が得られた。

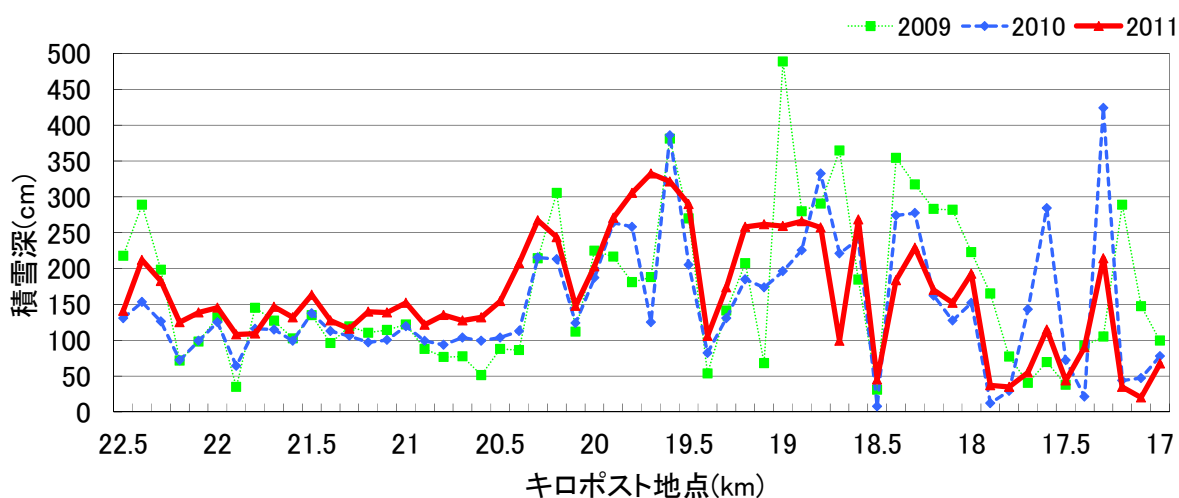


図-9 GPRによる100mごとの観測結果

6. まとめ

- ・各km地点での積雪の傾向は過去6年間と同じような結果となった。
- ・100m毎の連続した積雪深のGPR観測から、地点ごとの積雪傾向と4mを超える積雪でも予想することが出来た。
- ・今年の知床横断道路の最大と最少の積雪深と地点は以下ようになった。
 ウトロ側-頂上 最大:424cm(17.6km地点) 最少:8cm(18.5km地点)
 頂上-羅臼側 最大:380cm(12.5km地点) 最少:30cm(12.9km地点)

【参考・引用文献】

- 1) 木下陽介・佐藤研吾・高橋修平・小杉知史(2008):地中探査レーダーによる積雪観測(4)-知床峠の積雪観測-, 寒地技術論文・報告集 Vol.24,116.
- 2) 木下陽介・高橋修平・浜名裕司:地中レーダー(GPR)による知床峠の積雪観測(2009年), 北海道の雪氷 No.28
- 3) 松岡健一(2005):16.4 地中探査レーダー, 雪と氷の事典, 674-678
- 4) Tiuri, M, E., Sihvola, A. H, Nyfors, E. B., and Hallikaiken, M. T., (1984): The complex Dielectric Constant of Snow at Microwave Frequencies. IEEE Journal of Oceanic Engineering Vol OE-9, No5, 377-381.