

地中探査レーダー(GPR)による知床峠の積雪観測(2010 年)

若林剛(北見工業大学), 木下陽介(五洋建設株式会社), 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(木下 他、2009) .

今回 2010 年 3 月 19 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とを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(松岡, 2005) .

電磁波速度は空気中では次式で表される.

$C=1/\sqrt{(\epsilon_0 \mu_0)}$ (C :真空中の電磁波速度, ϵ_0 :真空中の誘電率, μ_0 :真空中の誘磁率)
ここで, 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とため, 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次式のようなになる.

$$V=C\sqrt{(\epsilon_0/\mu_0)} \quad (V:物質中の電磁波速度, \epsilon:物質の誘電率)$$

ここで比誘電率というものを次式のように定義する.

$$\epsilon_r=\epsilon/\epsilon_0 \quad (\epsilon_r:比誘電率)$$

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).

$$\epsilon_r=1+1.7\rho+0.7\rho^2 \quad (\epsilon_r:比誘電率, \rho:積雪の密度)$$

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次式で表される.

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

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. GPR の精度観測

(1) 観測方法

GPR で得られた結果の精度がどれくらいかを検証するために精度観測を行った．

2010 年 1 月 14 日～1 月 22 日の期間に受信周波数が 800MHz と 1.6GHz の 2 種類のアンテナを使用した．高さが 20-140cm 台の任意の雪山を作り観測を行った．

精度検証のため、実測による積雪深と積雪密度を得た．

(2) 観測結果

観測結果を図-2 に、実測の積雪深と GPR 観測の相関係数 R と GPR 観測の誤差の標準偏差 STD はそれぞれ以下のようになった．

800MHz: $R=0.9990$ $STD=1.61\text{cm}$ 1.6GHz: $R=0.9989$ $STD=1.78\text{cm}$

このように 800MHz と 1.6GHz の両方のアンテナで高い相関があり、精度が高いことがわかった．

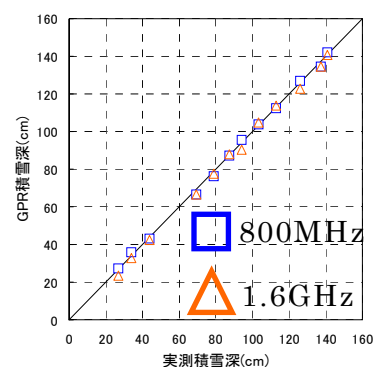


図-2 GPR 精度観測結果

4. 知床峠横断道路移動観測

(1) 観測地点

2010 年 3 月 19 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-3)．観測コースを図 4 に示す．出発地点と頂上では積雪の断面観測を行った．



図-3 観測風景



図-4 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-5 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 17.7km 地点の 424cm で、最小は 18.5km 地点であった．

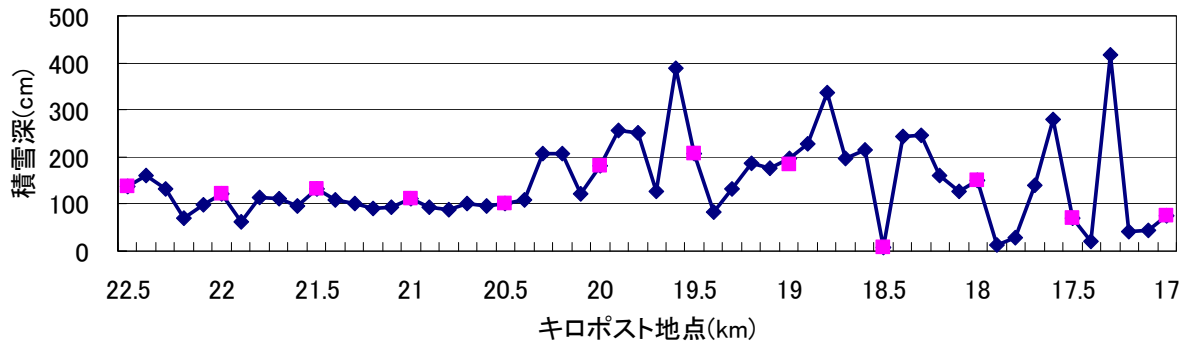


図-5 知床峠横断道路移動観測結果

5. 羅臼側の実測積雪観測

(1) 観測地点

2010年3月19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(北見工業大学 高橋・日下・岩崎)。ただし10.5km以降は除雪されていたので、10.5kmまでの結果を利用した。観測コースを図-6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-7に示す。最大積雪深は12.5km地点の3.8m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。また、頂上から16km地点から15km地点では図-8のように雪庇が発生していて危険であった。



図-6 観測コース



図-8 雪庇発生様子

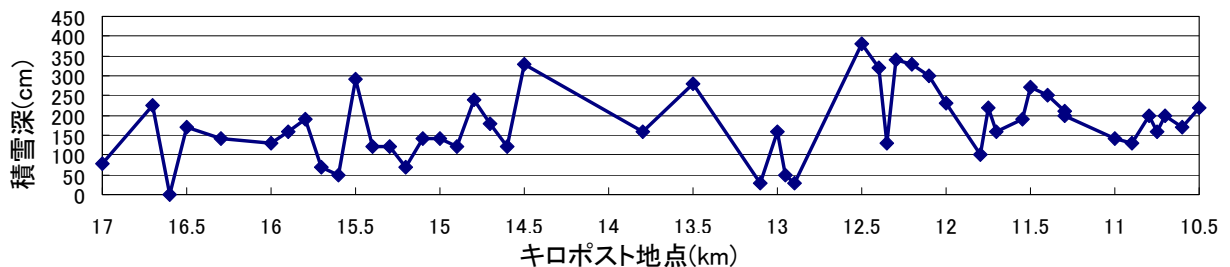


図-7 羅臼側の実測積雪深観測結果

6. 考察

(1) 知床横断道路移動観測結果

19km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-9に示す。また2009年11月から2010年3月のウトロのアメダスの風向データより南南東の風の割合が多いことがわかった。よって南南東の風と斜面の影響から

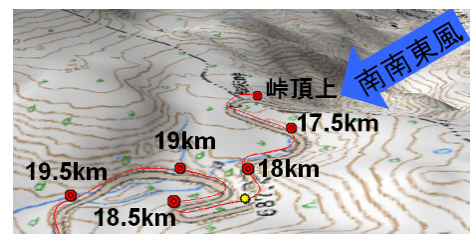


図-9 19km地点と18.5km地点の地形

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。

(2) 知床横断道路積雪観測年度比較

2005 年から 2010 年に行った知床横断道路上の実測積雪深観測結果を図-10 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。

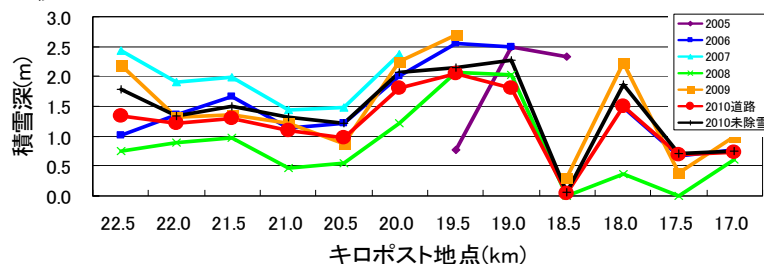


図-10 実測積雪深観測結果

(3) 羅臼側の実測積雪観測結果

14km 地点では積雪が多く急斜面という結果が得られた(図-11)。これは地形と風の影響だと考えられる。14km 地点の地形を図-12 に示す。2009 年 11 月から 2010 年 3 月の羅臼のアメダスの風向のデータより北西の風の割合が多いことがわかった。よって北西と斜面の影響から急斜面が発生したと考えられる。この地点での除雪の際には十分な安全対策が必要であると考えられる。



図-11 14km 地点付近様子

(4) 知床横断道路全域の積雪

ウトロ側はふもとに近づくと積雪深が 150cm 以下になり減少していることがわかる。積雪が多い場所と少ない場所が極端である。一方羅臼側はふもとに近づいても積雪深が 150cm を超えていて、全体的に積雪が多い。

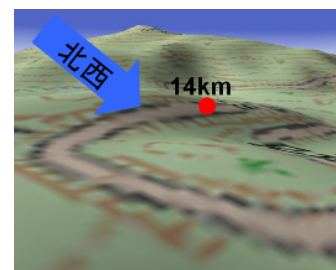


図-12 14km 地点の地形

7. まとめ

- ・各 km 地点での積雪の傾向は過去 5 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。
- ・GPR と実測の積雪深の誤差は最大で 11cm であった。
- ・相対誤差は最大と平均でそれぞれ以下になった。
最大:6%(積雪深 183cm) 平均:3%
- ・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のようになった。
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) 松岡健一(2005):16.4 地中探査レーダー, 雪と氷の事典, 674-678
- 3) 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.
- 4) 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