

GNSS測位における着雪、積雪の影響と積雪センサとしての利用

吉原貴之¹、本吉弘岐²、齋藤享¹、毛塚敦¹、山口悟²

¹国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

²国立研究開発法人防災科学技術研究所

発表内容



■ 目的

- ❑ 着雪、積雪によるGNSS受信信号への影響調査
- ❑ GNSS信号の積雪内部での伝搬(遅延・減衰)のモデル化と積雪観測

■ 冬季実験

- ❑ GNSSアンテナ／受信機の設置

4シーズン: 2011年/2012年、2012年/2013年、2013年/2014年、2014年/2015年

- ❑ 積雪深含む気象定常観測

■ GNSS測位への影響評価

- ❑ GNSSアンテナへの着雪
- ❑ GNSSアンテナを覆う積雪

■ まとめと課題

はじめに 着雪、積雪とGNSS



■ 着雪、積雪面反射

- ❑ GPS連続観測点のアンテナへの着雪による位置定誤差(R. Jaldehagほか、1996等)
- ❑ GNSS信号の積雪面反射を利用した積雪深の計測(K. Larsonほか、2009等)

■ 積雪内でのGNSS信号受信

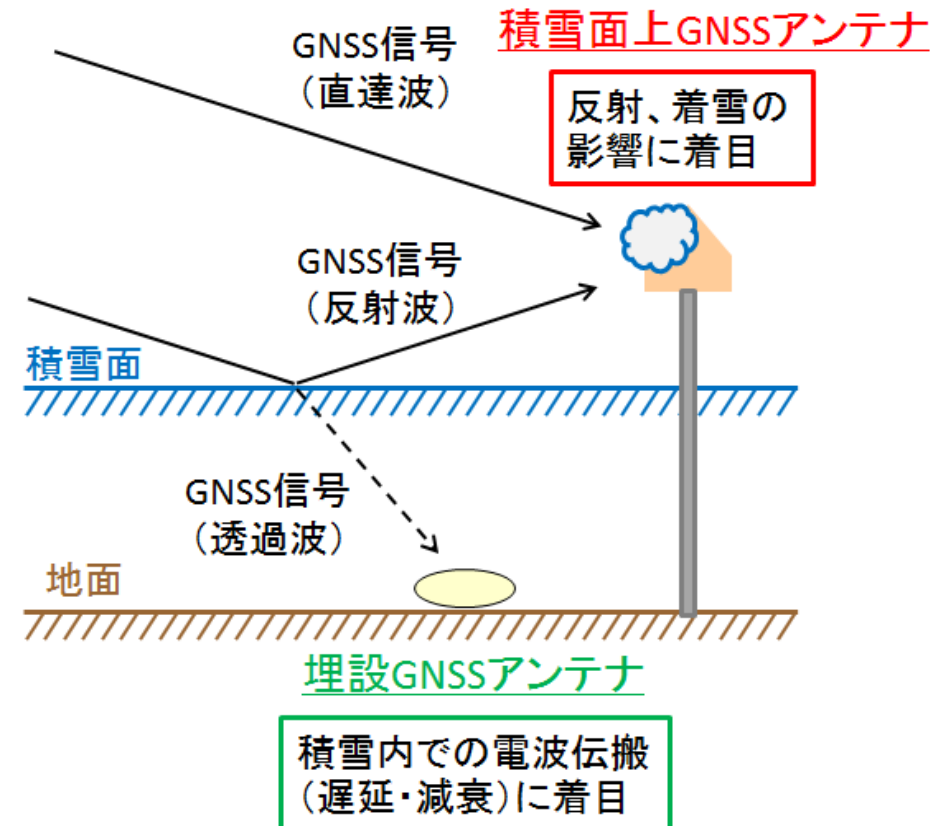
- ❑ 雪崩救助のためのGPS高感度受信機(J. Schleppeほか、2006等)
- ❑ 積雪底面のGNSSアンテナを用いた積雪深、積雪水量、含水率の測定(P. Henkelほか、2018等)

はじめに

目的 ～GNSS測位と積雪観測～



- GNSS測位: 着雪、積雪によるGNSS受信信号への影響評価・補正
 - 測距(レンジ)誤差、測位誤差評価
 - 積雪内部に設置されたGNSSアンテナの高精度測位手法の開発
- 積雪観測: GNSS信号の積雪内部における伝搬(遅延・減衰)解析
 - 衛星視線方向毎の積雪量観測(経路長、積雪水量、含水率)
 - 雪崩などの自然災害予測への応用

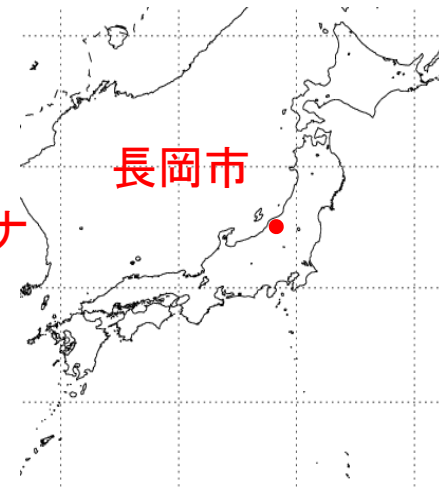


冬季実験

防災科学技術研究所雪氷防災研究センター露場

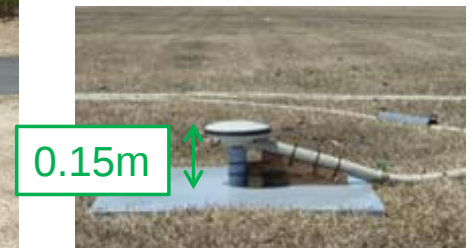
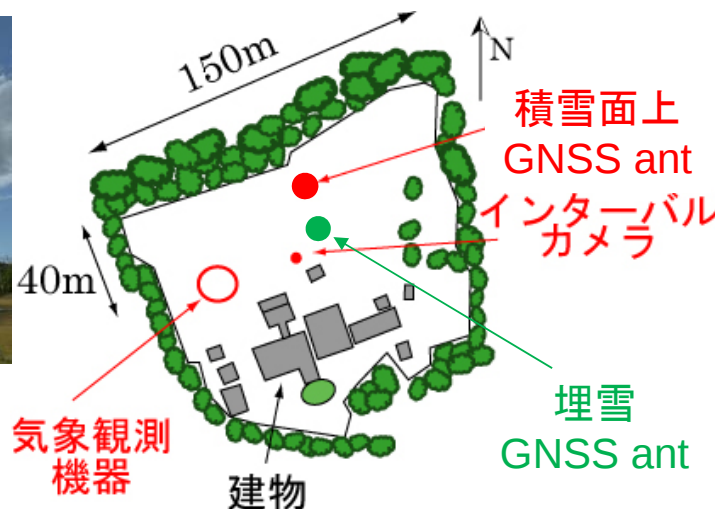
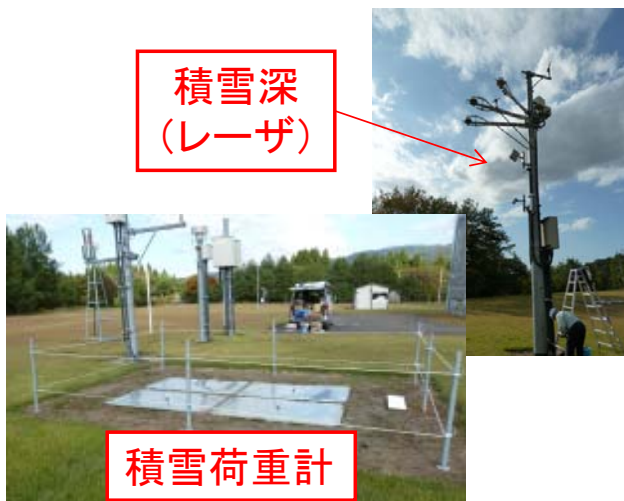


- GNSS受信装置設置(4シーズン:2011/2012年~2014/2015年)
 - GNSSアンテナ: 積雪面上アンテナ、埋雪アンテナ(2013/2014年除く)
 - GNSS受信機:2つのGNSSアンテナ受信信号を同期処理(マルチRFポート入力、基準信号入力)
- 気象定常観測装置(10分毎)
 - 気温、気圧、雨量、積雪深、積雪重量、日射、積雪面放射等



積雪面上GNSSアンテナ
(チョークリングアンテナ)

埋雪GNSSアンテナ



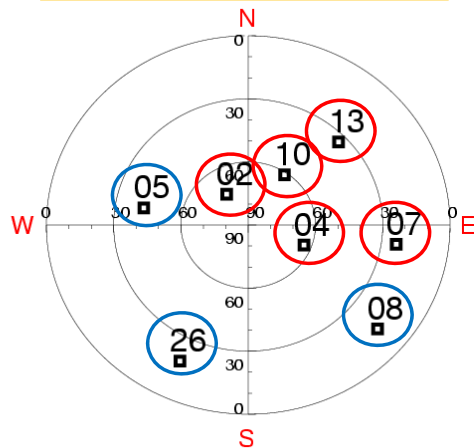
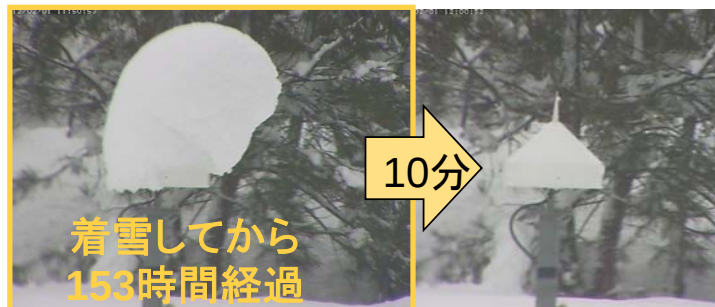
GNSS測位への影響評価

着雪によるレンジ誤差 (2011/2012年冬季)

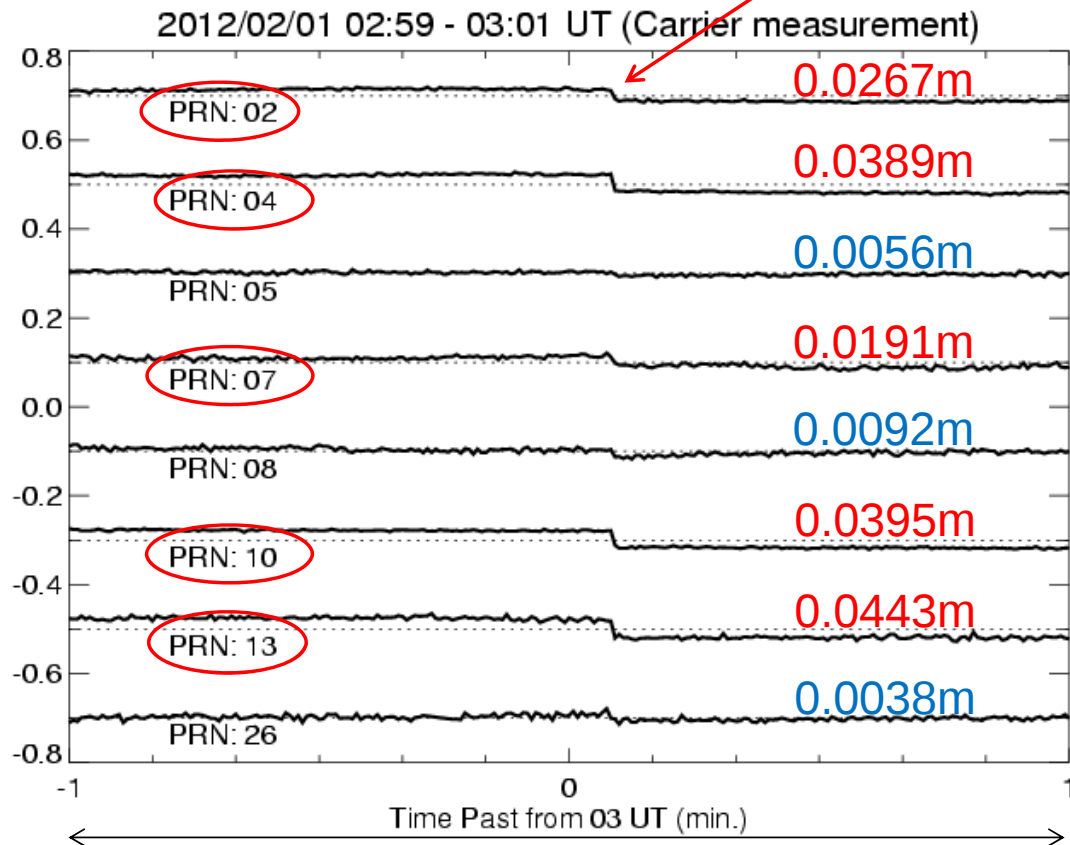
変動幅



インターバルカメラ(画像)



搬送波位相観測値の変動(m)

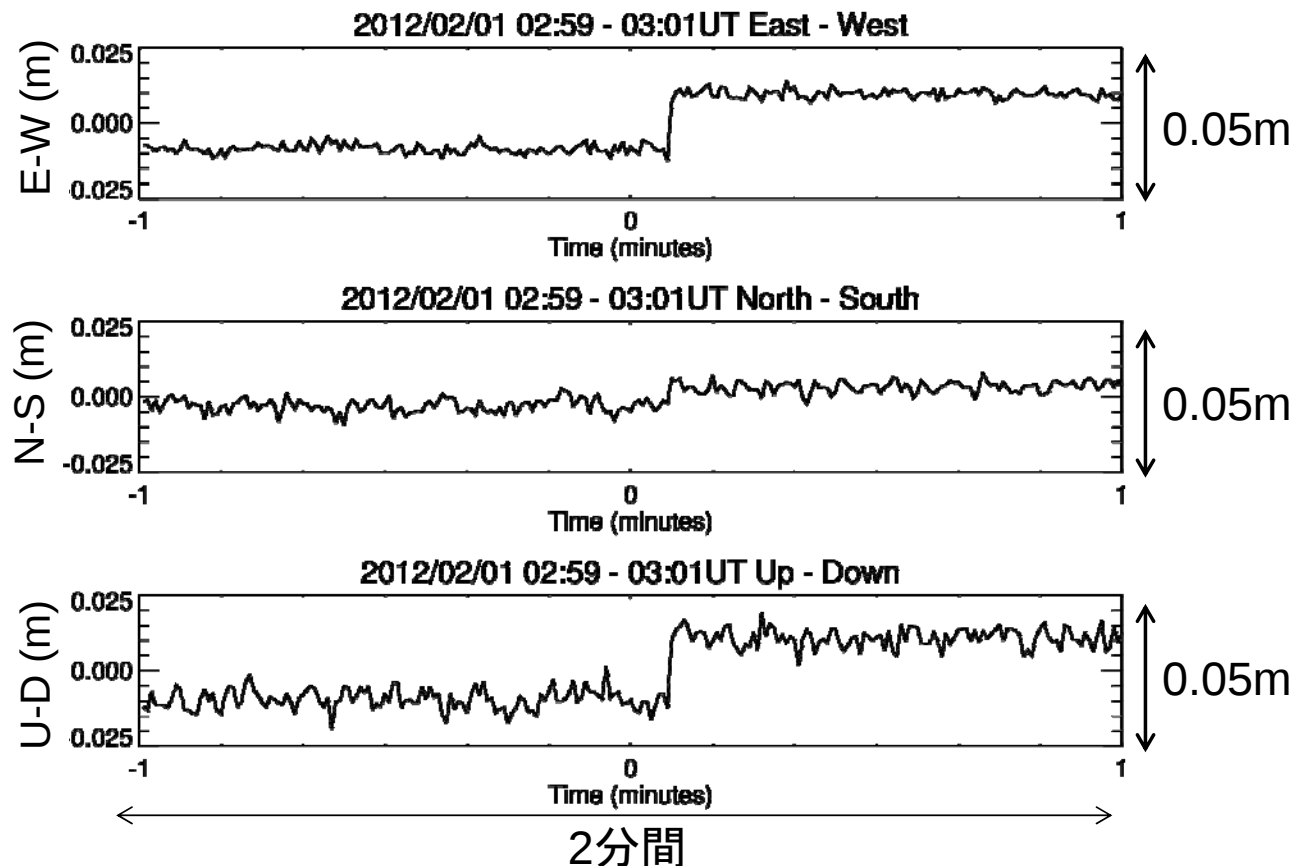


[T. Yoshiharaほか、Proc. of ION ITM 2013]

2分間

GNSS測位への影響評価

着雪による測位誤差(2011/2012年冬季)



- 着雪の落下前後における測位解変動で評価
 - RTKLIBによる相対測位(埋設アンテナを基準点として使用)
 - この事例ではE-W及びU-D方向に2cm程度の測位誤差
- 着雪時の測位誤差
 - 着雪形状とGNSS衛星のジオメトリ変化によって数cm程度の振幅で時間変動すると考えられる
- 撥水塗料(HIREC-S)
 - 翌シーズン(2012/2013)に実施
 - 着雪は防げないが落雪する頻度が高くなる傾向がみられた

GNSS測位への影響評価

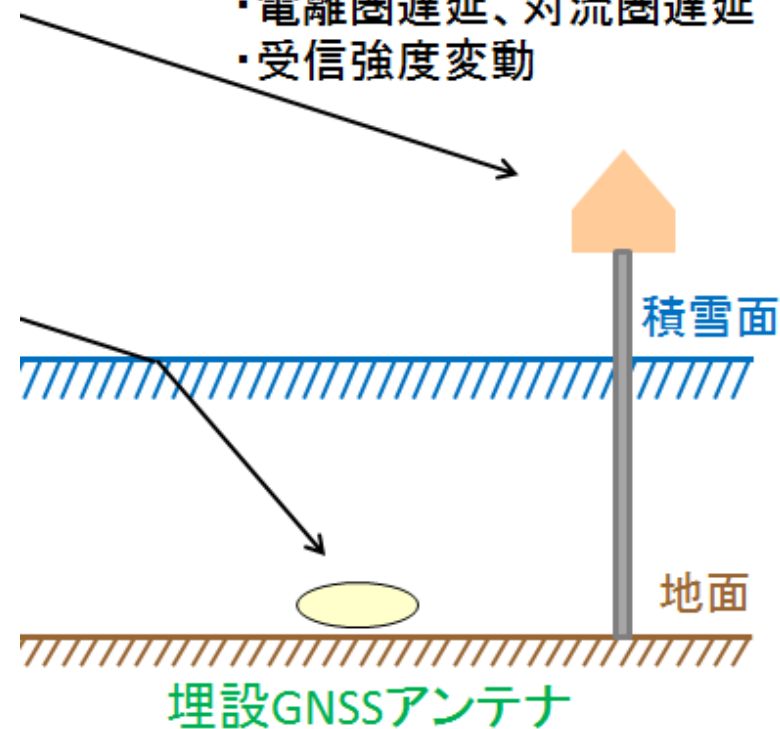
積雪底面での測位誤差評価

- 誤差要因①: 伝搬遅延
 - ❑ 積雪の屈折率実部: 1.5程度
 - ❑ 積雪密度、含水率に依存
 - ❑ 経路長に比例
 - ⇒ コード擬似距離／搬送波位相誤差
- 誤差要因②: 受信強度低下
 - ❑ 積雪面での反射／透過
 - ❑ 積雪内部での減衰
 - ❑ 積雪密度、含水率に依存
 - ❑ C/N0低下量: 経路長に比例
 - ⇒ 衛星数減少、観測雑音増加

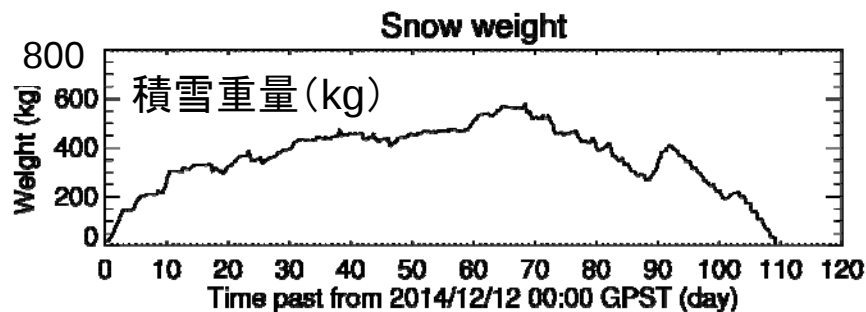
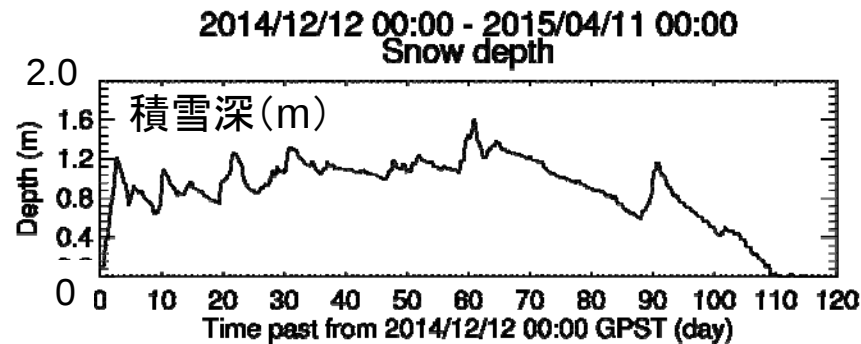
積雪面上GNSSアンテナ(基準局)

GNSS受信信号の共通誤差の除去

- ・衛星時計、衛星位置誤差
- ・電離圏遅延、対流圏遅延
- ・受信強度変動

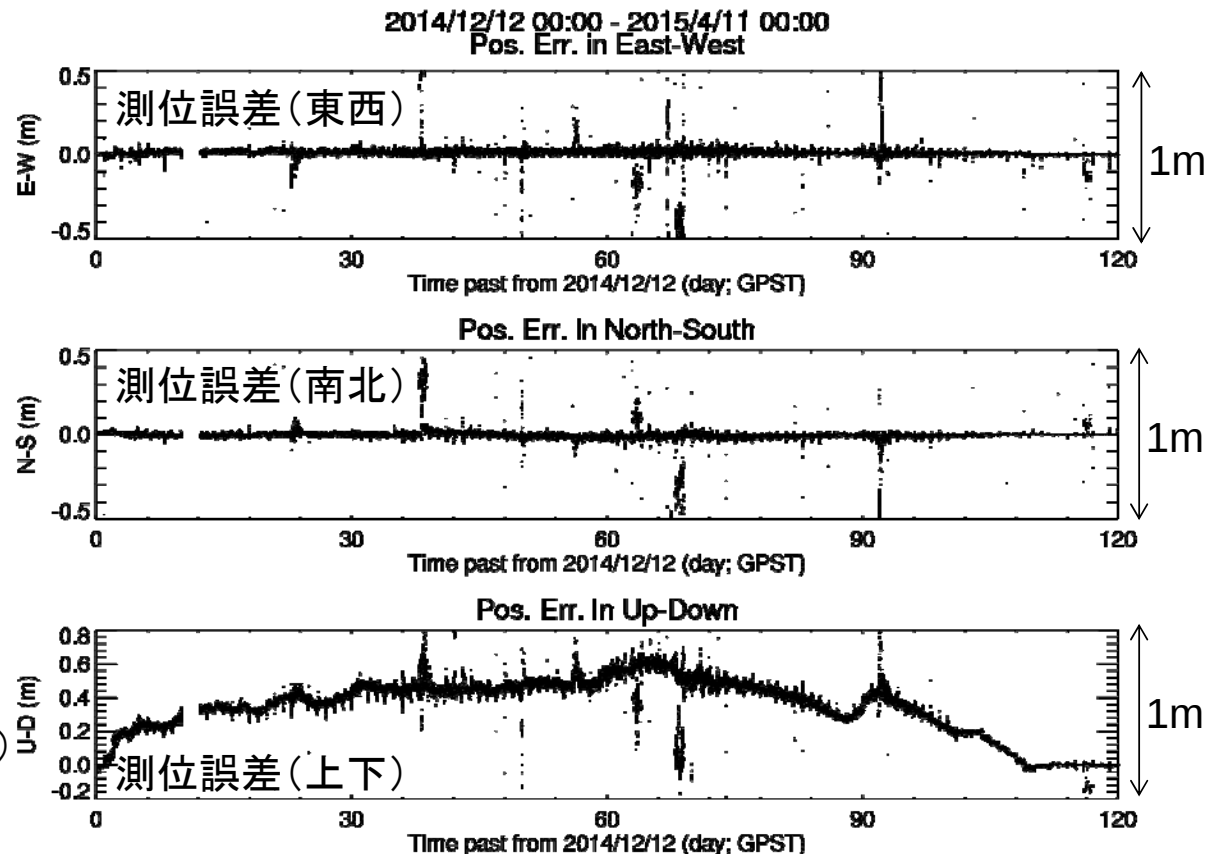


GNSS測位への影響評価 積雪底面での測位誤差(2014/2015年冬季)



■ 埋設アンテナの測位解

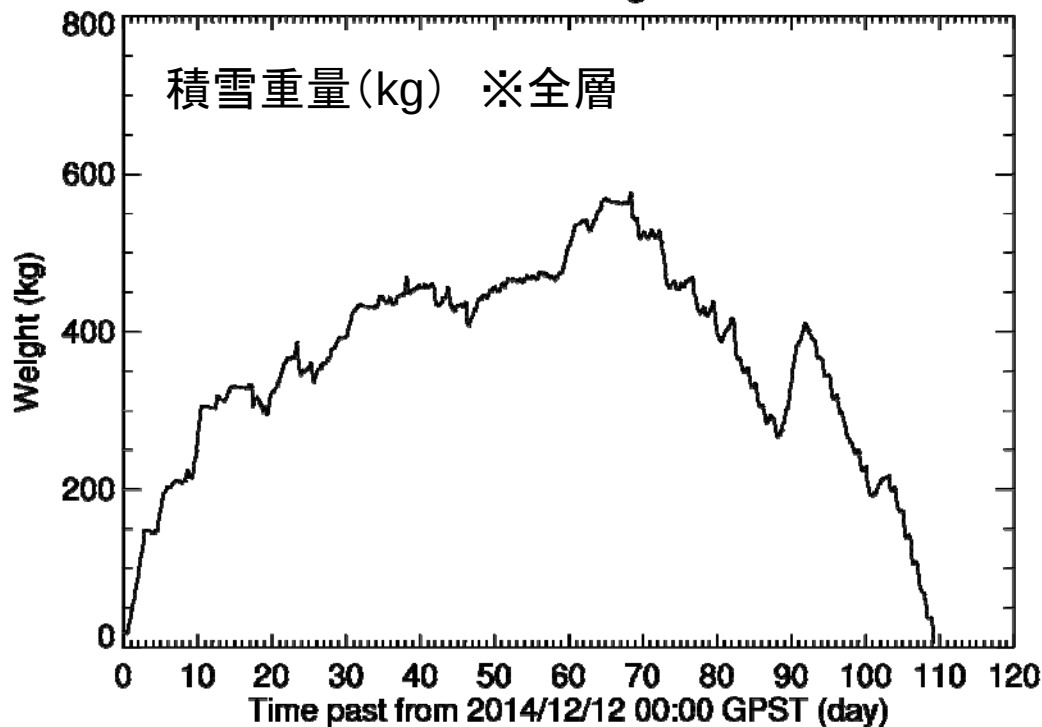
- RTKLIBによる位置解析(積雪面上アンテナを基準局)
- Fix解で評価
- 主要な上下誤差変動成分:最大60cm程度



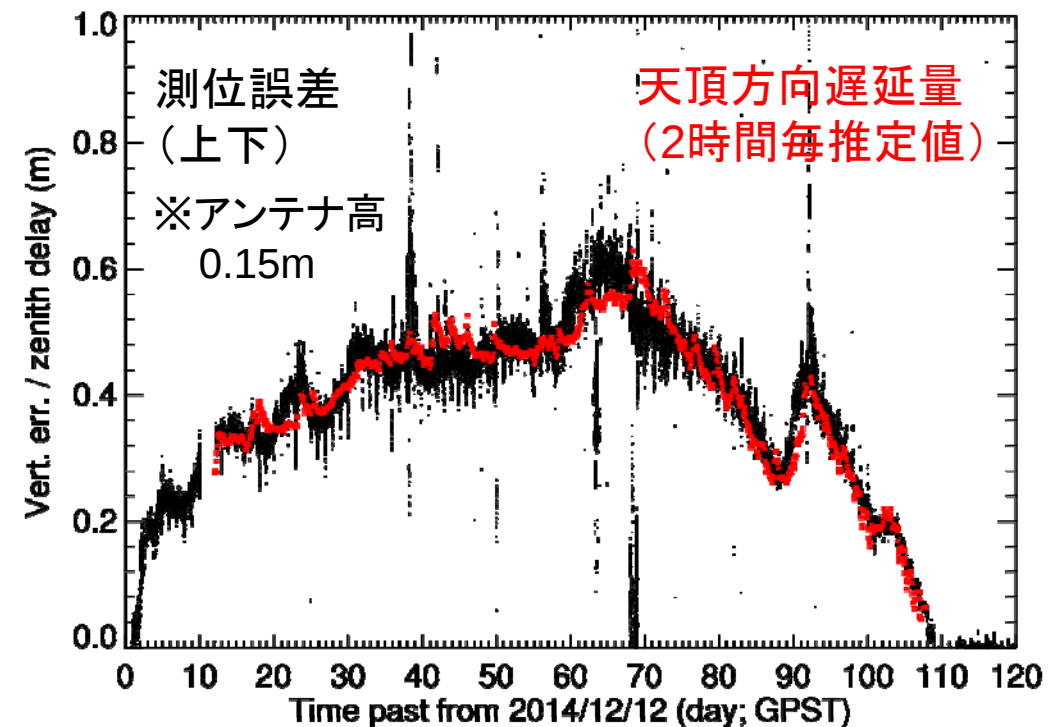
GNSS測位への影響評価 積雪底面での測位誤差(2014/2015年冬季)



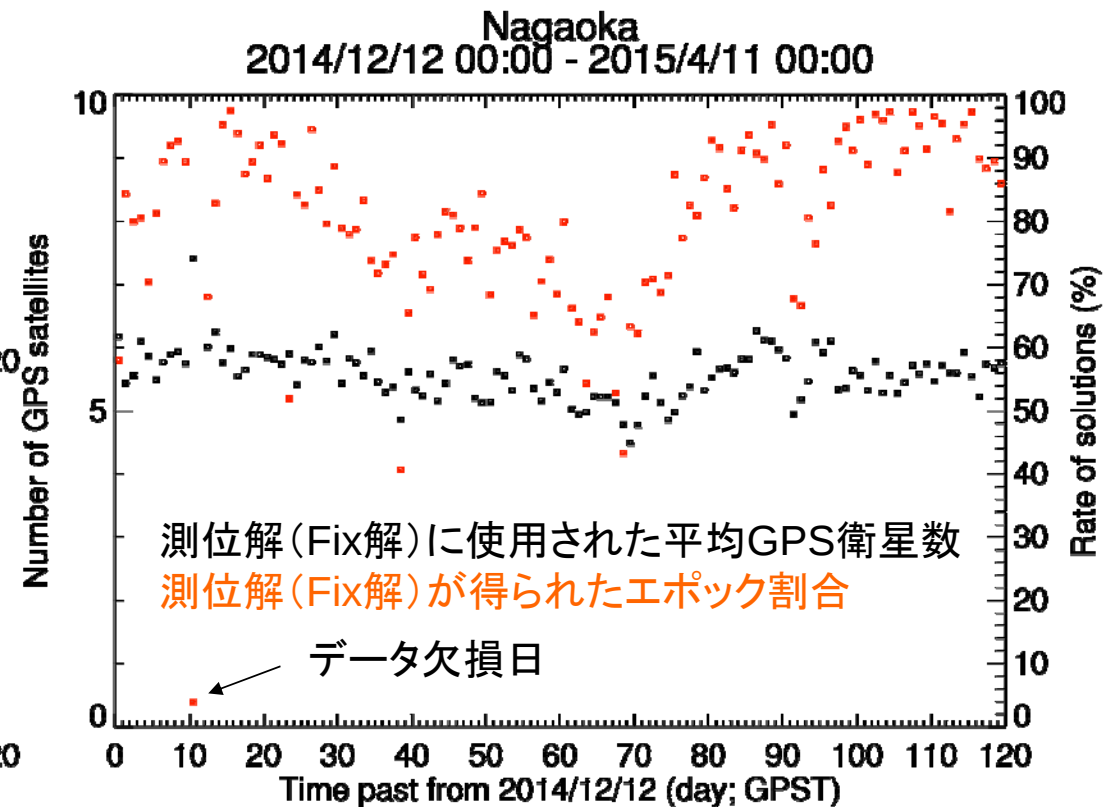
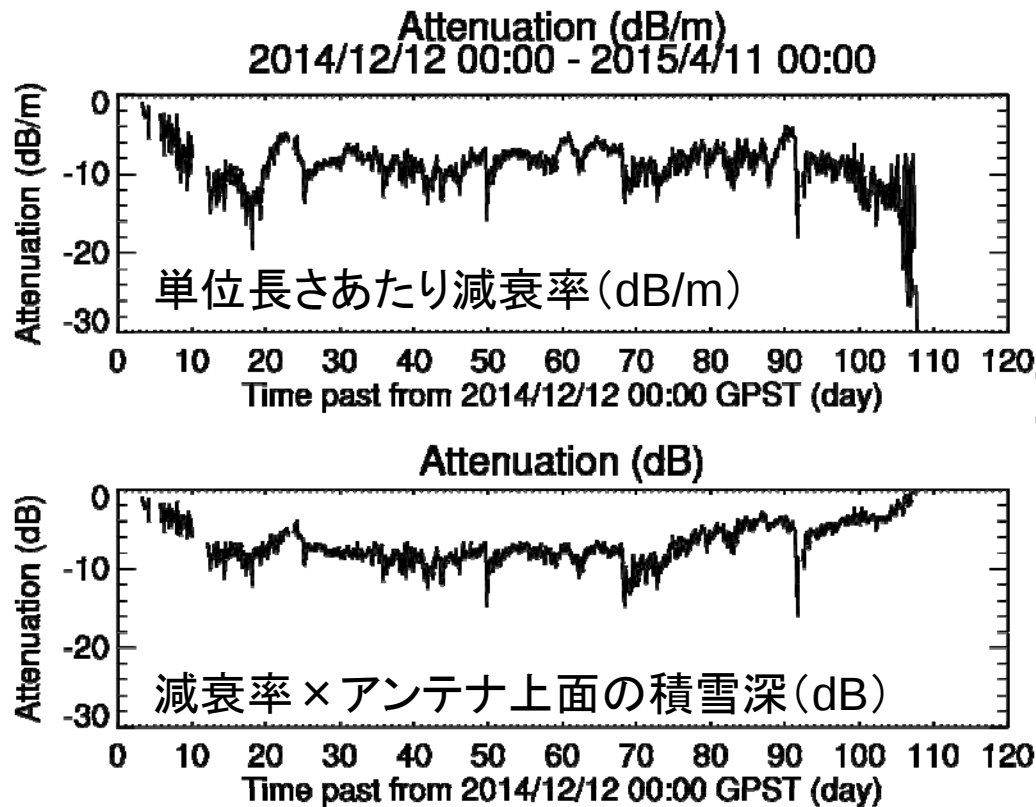
2014/12/12 00:00 - 2015/04/11 00:00
Snow weight



Nagaoka
2014/12/12 00:00 - 2015/04/11 00:00



高精度測位手法の開発と積雪観測 積雪による伝搬遅延量と減衰



まとめと課題



- 着雪、積雪によるGNSS受信信号への影響評価
 - 着雪(40cm程度):レンジ誤差 ~4cm、測位誤差 ~2cm(2方向成分)
 - 積雪底面での測位:垂直方向誤差の大きさは積雪天頂遅延量と同程度、減衰によって有効衛星数が減少傾向
- GNSS信号の積雪内部での伝搬(遅延・減衰)のモデル化
 - 高精度測位手法の開発
 - 積雪遅延量を考慮した測位アルゴリズム
 - 斜面に設置したGNSS受信局の積雪期の位置解析
 - 積雪観測
 - 衛星視線方向の積雪量(積雪深、積雪水量、含水率) ⇒ 多点観測による分布推定
 - 雪崩などの自然災害予測への応用

謝辞、参考文献



■ 謝辞

- 測位解析には解析ソフトウェアRTKLIB ver.2.4.2を使用させて頂きました。感謝申し上げます。

■ 参考文献

- R. Jaldehag, et al., "Geodesy using the Swedish permanent GPS network: Effects of snow accumulation on estimates of site positions", Geophys. Res. Lett., vol.23, No.13, pp.1601-1604, June 1996.
- K. Larson, et al., "Can we measure snow depth with GPS receivers?", Geophys. Res. Lett, vol.36, L17502, doi:10.1029 / 2009GL039430, 2009.
- J.B. Schleppe and G. Lachapelle, "GPS Tracking Performance Under Avalanche Deposited Snow," Proc. of ION GNSS 2006, pp. 3105-3116, Fort Worth, TX, Sept. 2006.
- P. Henkel et al., "Snow Water Equivalent of Dry Snow Derived From GNSS Carrier Phases," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol.56, No.6, pp.3561-3572, June 2018.
- T. Yoshihara et. al, "GAST-D Integrity Risks of Snow Accumulation on GBAS Reference Antennas and Multipath Effects Due to Snow-surface Reflection," Proc. of ION ITM 2013, pp.112-120, San Diego, California, January 2013.