

森林内におけるハンディ GNSS 受信機の測位精度—冬季と夏季の比較—

東京大学北海道演習林

遠國 正樹・尾張 敏章・平田 雅和・鈴木 祐紀
高橋 功一・笠原 久臣・芝野 博文

はじめに

著者らは前報(7)で、GPS(米国)と GLONASS(ロシア)の両方に対応したハイブリッド型を含む最新式のハンディ GNSS(Global Navigation Satellite System)受信機 3機種を対象に、夏季の森林内での測位精度を評価した。一方、北海道ではササ等が雪に覆われる冬季に森林測量を行うことも多い。冬季における林冠の落葉は GNSS 受信機の測位精度に影響を及ぼす可能性がある(3, 5)。そこで本研究では、前報(7)と同一の GNSS 受信機を対象として、冬季の森林内で再び測位試験を実施し、季節による測位精度の比較を行った。

調査地および方法

1) 調査地の概況

調査は 2013 年 4 月 22 日に東京大学北海道演習林 13 林班 A 小班で行った(43° 17' N, 142° 36' E, 標高 620~740 m)。調査区は既報(2, 7)の傾斜・閉鎖区(傾斜度約 30°, 北向き斜面)とした。林道上に 10 測点が設置されており、全長は 390 m, 測点間の間隔は 20~75 m である。全ての測点が林縁にある常緑針葉樹または落葉広葉樹の林相下にある。全天写真および全天写真解析プログラム の CanopOn2(6)を用いて算出した測点上の林冠開空率を図-1に示す。林冠開空率の平均値は、冬季(26.0%)が夏季(9.3%)に比べて有意に大きかった($p < 0.001$, t 検定)。

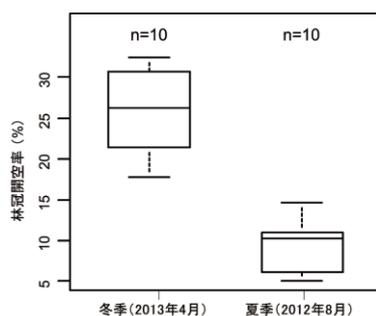


図-1 冬季と夏季における林冠開空率の比較

2) 測位方法

測位試験に用いた GNSS 受信機は、Trimble 社の GeoExplorer 6000 シリーズ GeoXH ハンドヘルド (T 機), Garmin 社の eTrex30J (E 機) および GPSMAP62S (G 機) の 3 機種である。測位試験は G 機 1 台, E 機 2 台, T 機 1 台を用いて行った。T 機と E 機は GPS と GLONASS の両衛星を受信でき、G 機は GPS 衛星のみ受信が可能である。

なお、受信機の設定は前報(7)と同様、E 機のうち 1 台は GPS のみ受信可能とし (E1 機), もう 1 台は GPS と GLONASS の両方を受信できるように設定した (E2 機)。また、T 機は外部アンテナの Tornado external GNSS antenna (Trimble 社) を使用し、受信機の GNSS 設定を「スマート設定」(利用可能な全ての GNSS 衛星情報を使用し、測位精度ができる限り高くなるように使用する衛星の組み合わせを自動的に決定する設定) とした。調査当日は、全ての測点において 4 回繰り返して測位を行った。各測点の測定時間は 30 秒/点とし、地上高 1.8 m で測位した(7)。

3) 解析方法

測位精度の評価は既報(2, 4)と同様、各測点での測位誤差を算出し、測位条件ごとの平均測位誤差を比較することで行った。測位誤差の計算式は以下のとおりである。なお、各測点の真値座標は高精度 GNSS 受信機 (ProMark100, Ashtech 社) を用いたスタティック測量により決定した(7)。

$$d = \sqrt{(X_{true} - X)^2 + (Y_{true} - Y)^2}$$

d : 測位誤差 (m)

X, Y : ハンディ GNSS 受信機による X, Y 座標

 X_{true}, Y_{true} : 真値の X, Y 座標

測位条件の違いが測位誤差に及ぼす影響を一般化線形混合モデル (GLMM) により分析した。季節、測位方法、両因子間の交互作用の 3 つを固定効果とし、AIC によるモデル選択を行った。時間的、空間的な疑似反復の影響を考慮し、測定回と測点をランダム効果とした(1)。応答変数(測位誤差)は正規分布に従うと仮定した。分析には統計分析ソフトウェアの R 3.0.1 と RStudio, および lme4, MuMIn, multcomp パッケージを使用した。

結果と考察

冬季の測位試験でも夏季と同様に、全ての測位 (n=160) で衛星信号の受信および測位が可能であった。表-1 に季節別、測位方法別の衛星受信数と MSAS(運輸多目的衛星用衛星航法補強システム) による補正成功率を示す。GLONASS 衛星の受信数 (E2 機と T 機) は、季節間に有意な差が認められなかった。一方、GPS 衛星の受信数は、いずれの測位方法とも冬季が夏季に比べて有意に減少した ($p < 0.001$, t 検定)。冬季は林冠の落葉により受信可能な衛星数が増えると想定していたが、結果は反対で

Masaki TOKUNI, Toshiaki OWARI, Masakazu HIRATA, Masanori SUZUKI, Koichi TAKAHASHI, Hisatomi KASAHARA, Hirofumi SHIBANO (The Univ. of Tokyo Hokkaido Forest, Furano 079-1563)

Positioning accuracy of handy GNSS receivers in a forest : a comparison between winter and summer seasons

表-1 季節および測位方法別のGPS, GLONASS 衛星受信数(平均個数)とMSAS 補正成功率(%)

| 測位方法 | 冬季 | | | 夏季 | | |
|-----------------------|--------------|--------------|------|--------------|--------------|------|
| | GPS | GLONASS | MSAS | GPS | GLONASS | MSAS |
| T機 | 5.5 (0.9) | 5.3 (0.9) | - | 7.2 (1.0) | 5.2 (0.7) | - |
| E1機 (GPSのみ) | 7.4 (1.0) | - | 0.0 | 8.6 (0.7) | - | 33.3 |
| E2機(GPS + GLONASS) | 7.5 (0.9) | 6.5 (0.9) | 0.0 | 8.6 (0.8) | 6.0 (0.9) | 0.0 |
| G機 | 7.1 (0.9) | - | 0.0 | 8.4 (0.8) | - | 0.0 |

注) 括弧内の数値は衛星受信数の標準偏差を表す。夏季の数値は前報(7)より引用。

表-2 季節と測位方法によるGLMM分析の結果

| 因子 | 水準 | 推定値 | 標準誤差 | t 値 |
|---------|------------------------|---------|--------|--------|
| (切片) | | 1.6111 | 0.9864 | 1.633 |
| 季節 | 冬季 | 0.0000 | - | - |
| | 夏季 | -0.1331 | 1.3937 | -0.096 |
| 測位方法 | T機 | 0.0000 | - | - |
| | E1機(GPSのみ) | 3.7629 | 0.9971 | 3.774 |
| | E2機 (GPS + GLONASS) | 3.8610 | 0.9971 | 3.872 |
| | G機 | 7.0360 | 0.9971 | 7.057 |
| 測位方法×季節 | T機×夏季 | -0.1331 | - | - |
| | E1機×夏季 | -1.3241 | 1.5230 | -0.869 |
| | E2機×夏季 | -0.5363 | 1.5230 | -0.352 |
| | G機×夏季 | -4.2619 | 1.5230 | -2.798 |

注) AIC=1673.2。各推定値は冬季のT機に対する値を示す。AICによるモデル選択の結果、全ての因子が選択された。

あった。測位試験を行った時間帯の衛星配置の違いに因るものと考えられる。冬季は全ての測位でMSASによる補正ができず、北向き斜面の林冠下でMSAS補正情報の受信は難しいことが改めて示された。なお、T機では全測位で後処理補正を行うことができた。

測位誤差を季節別、測位方法別に示したのが図-2である。E1機とG機では、冬季が夏季に比べて測位誤差のばらつきが大きくなった。両機の夏季における測位誤差は最大約10mであったのに対して、冬季では誤差が20mを超えた場合もあり、測位成果の信頼性が低下した。これは主に、冬季の受信衛星数が夏季に比べて少なかった(表-1)ことに起因すると考えられる。一方、E2機の最大測位誤差は両季節とも約11~12mでほぼ同じであり、T機の最大測位誤差(約3.5m)も冬季と夏季との間にほとんど差がなかった。両者ともGPS衛星とGLONASS衛星を同時受信する測位方法であり、受信衛星数の増加が測位の安定性に寄与した可能性がある。

季節と測位方法、両因子間の交互作用を固定効果としたGLMM分析の結果を表-2に示す。AICが最小のモデルとして3つの因子全てが選択された。冬季におけるT機の測位誤差(切片の推定値)は約1.6mと推定された。季節による測位誤差の比較では、冬季と夏季との間に有意な差は認められなかった($p=0.92$)。ただし、交互作用項(測位方法×季節)の推定値から、GPS衛星のみを受信する測位方法のG機とE1機では、夏季の測位誤差が冬季に比べてそれぞれ-4.3mと-1.3mと小さくなった。一方、GLONASS衛星を併用したE2機では、夏季と冬季がほぼ同等(-0.5m)の測位誤差であった。測位方法別では、

E1機とE2機がT機に比べて測定誤差が+3.8~3.9mと大きく、G機がT機よりも測定誤差が+7.0mと推定された。測位方法間で多重比較を行った結果、T機の測位誤差の推定値は他の3つよりも有意に小さかった(Tukey法, $p < 0.001$)。また、E1機とE2機の測定誤差がG機よりも有意に小さかった($p < 0.01$)。

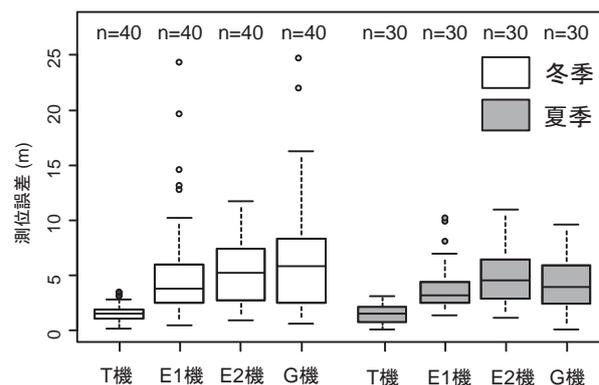


図-2 季節および測位方法別の測位誤差

注) 冬季・G機の一部データ(測位誤差: 51, 34, 33 m)は非表示とした。

おわりに

本研究により、北向き斜面で林冠下の厳しい測位環境であっても、T機の測位誤差(後処理補正後)は季節によらず平均2m以内、最大3~4mであり、高精度の測位を安定して行えることが示された。G機とE1機では冬季に

において測位誤差のばらつきが大きくなり、林冠の落葉に伴う測位精度の向上が確認できなかった。測点上空の衛星数や配置によっては GPS 測位の精度が大幅に低下する可能性を示唆しており、森林内での利用にあたって注意が必要である。一方、E2 機の結果から、GPS 衛星と GLONASS 衛星の併用により、受信可能な衛星数が少ない状況下において測位成果の安定性が向上する (最大測位誤差を小さくする) 可能性が示された。ハイブリッド型 GNSS 受信機の測位精度に関する報告は未だ少なく、様々な測位環境下での精度検証が今後望まれる。

本研究の実施にあたって、本学大学院生の辰巳晋一氏には図の作成に協力頂いた。ここに厚くお礼申し上げる。

引用文献

- (1) 久保拓也 (2012) データ解析のための統計モデリング入門. 岩波書店, 東京, 267pp.
- (2) 及川 希・笠原久臣・尾張敏章 (2008) 東京大学北海道演習林における GPS 測位精度の評価. 日林北支論

56 : 107-109.

- (3) Owari T, Kasahara H, Oikawa N, Fukuoka S (2009) Seasonal variation of global positioning system (GPS) accuracy within the Tokyo University Forest in Hokkaido. Bull Tokyo Univ For **120**: 19-28.
- (4) 立木靖之・吉村哲彦・長谷川尚史・酒井徹朗・尾張敏章・三田友規・中村太士 (2004) 森林における歩行時の GPS 測位精度評価. 日林誌 **86** : 5-11.
- (5) Tachiki Y, Yoshimura T, Hasegawa H, Mita T, Sakai T, Nakamura F (2005) GPS positioning accuracy while walking under forest canopy in summer and winter seasons. J Jpn For Eng Soc **20**(1): 23-28.
- (6) 竹中明夫 (2009) CanopOn2.
<http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/> (アクセス日 : 2013 年 7 月 10 日)
- (7) 遠國正樹・平田雅和・鈴木祐紀・高橋功一・尾張敏章 (2013) 森林内におけるハンディ GNSS 受信機の測位精度. 北森研 **61** : 117-120.

