

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 14 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580219

研究課題名(和文) 新世代衛星測位システムを用いた森林測量の測位精度および作業効率の向上

研究課題名(英文) Improving the accuracy and efficiency of forest surveying by using the new-generation global navigation satellite system

研究代表者

吉村 哲彦 (YOSHIMURA, TETSUHIKO)

島根大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：40252499

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、MSAS、ロシアのGLONASSに加えて、準天頂衛星の測位精度を検証する実験を、スギ人工林内に設定した0.24haのテストサイトにおいて実施した。その結果、準天頂衛星の補完信号を使った場合に測位誤差の改善はほとんど認められなかった。準天頂衛星の補強信号を使った測位試験を行った結果でも、MSASを用いた場合と測位精度にはほとんど差がなかった。それでも、高仰角の準天頂衛星は、中仰角のMSASと比較してスギ人工林内では受信率が高いという結果になった。ゆえに、中低位仰角から進入する劣化した信号を排除するマルチパス除去機能を備えたGNSSレシーバーを用いることで測位精度の改善が期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, field tests to evaluate the accuracy of the QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) were conducted in the experimental site set up in Cryptomeria japonica plantation forests with an area of 0.24ha. As a result, there was little improvement of positioning accuracy when the complementary signal was used. It was also found that there was little difference in the positioning accuracy between the QZSS and conventional MSAS when the augmentation signal was used. However, the reception rate of the QZSS signals from the higher elevation angles was found to be higher than the MSAS signals with the lower and medium elevation angles. Therefore, GNSS receivers with the multipath rejection technology that blocks the signals from the lower and medium elevation angles are expected to improve the positioning accuracy.

研究分野：森林利用学

キーワード：森林測量 GPS GLONASS GNSS MSAS 準天頂衛星 測位試験 測位精度

1. 研究開始当初の背景

2009年12月に策定された「森林・林業再生プラン」では、10年後の木材自給率50%以上を目指して、効率的かつ安定的な林業経営の基盤づくりを進めるとともに、木材の安定供給と利用に必要な体制を構築することが掲げられた。これを受けて森林組合では、2010年10月の全国森林組合大会において、最優先の業務を施業集約化・合意形成を核とした「提案型集約化施業」を目指すとした。「提案型集約化施業」とは、森林所有者等から施業を依頼されるのを待つのではなく、林業事業者から森林所有者に対して、森林の現況を示した写真や施業の方針、施業を実施するのに必要な経費や木材の販売額など事業を実施した場合の収支を明らかにしたデータ(森林施業提案書)を提示して、森林所有者の施業に対する関心を高め、施業を取りまとめて受託する取り組みである。また、森林施業計画に代わる新たな森林経営計画では、森林の所有者や森林組合が、隣接する森林を数百ヘクタール規模ごとにまとめて間伐計画や林道の整備計画を策定した場合に限って助成の対象とすることになった。このような施策によって森林組合や森林所有者の間では施業集約化への関心が高まっている。

施業の集約化を進めるにあたっては、森林所有者の特定や境界の明確化、森林現況に関する詳細な情報の収集等を行うことが前提となる。しかしながら、不在村地主の増加や森林所有者の高齢化、森林の相続等により、人の記憶の中にあつた森林情報が不明確になる傾向にある。実際、施業集約化の推進にあたっては、不在村地主の存在により効率的な施業の実施が難しくなっている。2005年農林業センサスによると、森林の所在地と異なる市町村に居住する不在村者の保有する森林面積は、私有林面積の24%を占めており、そのうちの約4割は当該都道府県外に居住する者の保有となっている。さらに今後、森林所有者の高齢化等に伴い、不在村地主がさらに増加するものと予想される。

平成23年度から、施業集約化を通じて計画的な森林施業を行う者に対して、搬出間伐等の森林施業とこれと一体となった森林作業道の開設を直接支援する「森林管理・環境保全直接支払制度」を導入されている。そのためにも森林所有者の特定と境界の明確化が欠かせない。また、2010年5月には「国土調査事業十箇年計画」が定められ、今後10年間で、林地における地籍調査(主に市町村が主体となって、一筆ごとの土地の所有者、地番、地目を調査し、境界の位置と面積を測量する調査)実施面積の割合を42%から50%とすることとされ、林野庁と国土交通省が連携して林地における地籍整備の促進を図られることになっている。

このような状況において、我が国の森林管理や森林生産の現場では森林の境界画定が急速に進められており、その作業効率化のた

めに森林の境界測量におけるGPSの必要性がますます高まっている。森林組合など森林測量を実施する現場ではGPSの精度や信頼性への不安があり、未だに時間と手間を要するコンパス測量が多用されているのが実状である。実際に、GPSの単独測位の精度は森林の境界測量には十分ではなく、補正情報を取得して測位精度を高めるための新たな測位技術が求められている。

2. 研究の目的

GPSに代表される衛星測位システムは近年急速に進歩しており、米国によるGPS近代化、欧州のGalileo、ロシアのGLONASS、中国の北斗(コンパス)、日本の準天頂衛星といった新世代衛星測位システムの本格的な実用化が目前となっている。このような新世代衛星測位システムを森林測量に応用して測位精度と作業効率を大幅に向上する可能性を見つけることが本研究の目的である。

森林内のGPS単独測位では樹木や山陰により衛星の電波が遮断されやすいため誤差が大きくなる。一方、森林簿のデータベース化やGISの発展により、森林内においても精度の高い位置情報が必要とされている。高精度測位を実現するためには、補正情報を用いてDGPS測位を行う必要があるが、森林内で利用できるのは、運輸多目的衛星用衛星航法補強システム(以下MSAS)と実験運転中ではあるが補正信号(L1-SAIF信号)を準天頂衛星から送信する準天頂衛星システム(以下QZSS)がある。QZSSの特徴には補正情報を常時仰角75°以上天頂方向から得ることが可能ということがある。一方、静止衛星であるMSASの補正情報は45°程度の中仰角からであるため、森林内での立木や山陰による障害が大きいと考えられる。本研究では、QZSSのL1-SAIF信号とMSASを用いて森林環境の条件の異なる測位試験を行い、それによって誤差の予測モデルを構築した。さらに、マルチパス除去機能のある高性能アンテナを用いることによる測位誤差の向上についても検証を行った。

3. 研究の方法

本研究で準天頂衛星を用いた測位試験を行ったのは島根県大田市の島根大学三瓶演習林多根団地スギ人工林内(23林班、1956年植栽、平均胸高直径29.6cm、平均樹高21.1m)13ポイントと皆伐植栽地15ポイントである(図-1)。皆伐植栽地は、測位環境の違いから林縁部・尾根林縁部・皆伐上部・皆伐下部に4区分した。測位試験の15ポイントは、林縁部に5ポイント、尾根林縁部6ポイント、皆伐上部に2ポイント、皆伐下部に2ポイントである。これらの測位ポイントはトータルステーションを用いて非常に高い精度の測量を行うことで真の座標値を持っている。林縁部、尾根林縁部、皆伐上部・下部の写真を、それぞれ図-2、3、

4 に示した。



図-1 調査地の地図



図-2 林縁部



図-3 尾根林縁部



図-4 皆伐上部・下部

本研究で用いた GNSS レシーバーはコア社製の高精度 QZS+GPS 受信評価機 CD311(図-5)である。CD311 は QZSS の補完信号と補強信号が受信できる。このレシーバーではモードを変更することにより従来の MSAS も利用可能となるので、本研究では QZSS と MSAS の比較試験を行った。CD311 の標準仕様アンテナは On Shine Enterprise 社製の ANT-555 である。本研究ではマルチパス耐性のある Trimble 社製の Hurricane アンテナ(図-6)も比較のために用いている。



図-5 CD311



図-6 Hurricane アンテナ

本研究では2台のCD311を使用して、モードやアンテナや測位エリアを変更して測位を行った。各ポイントにおける測位は、2台のCD311を使って1秒間隔で5分間の連続測位を行った。測位データはNMEAフォーマットでノート型パソコンに記録した。なお、準天頂衛星が天頂方向(75°以上)にある時間帯を選んで測位を行っている。

2015年10~12月の期間にQZSSモードとMSASモードによる比較試験をスギ人工林内と皆伐植栽地で各3回行って比較した。さらに、2015年11~12月の期間にアンテナの比較試験をスギ人工林内と皆伐植栽地で実施した。その際、QZSSモードでの比較試験を11月に、MSASモードでの比較試験を12月にを行った。

測位誤差の評価は精密度と正確度の統合指標であるRMSを用いた。さらに、QZSSとMSASの補正情報の取得率と補正率をノート型パソコンに記録されたNMEAデータから求めた。ここで、取得率は補正情報を取得している時間の割合、補正率は補正情報を利用して誤差を補正している時間の割合である。CD311は補正情報が取得できなくなっても、それまで取得していた補正情報を用いて数分間の誤差補正が可能であるため、両者を分離して比較を行っている。

4. 研究成果

図-7はQZSSとMSASによる測位結果の比較を示した図である。この結果からはQZSSの優劣について論じたいが、皆伐植栽地における皆伐下部においてQZSSの測位精度が悪くなった。これは皆伐地周囲に残存している立木の影響で信号の劣化、遮断、反射といった現象が起こったためであると考えられる。分散分析の結果、衛星の種類は有意ではなく、測位ポイントが危険率1%で有意となった。実験前の仮説としては、天頂方向から補正情報を受けるQZSSの方が中仰角方向から補正情報を受けるMSASよりも測位精度がよいだろうと考えていたが、実際には違いはないという結果になった。

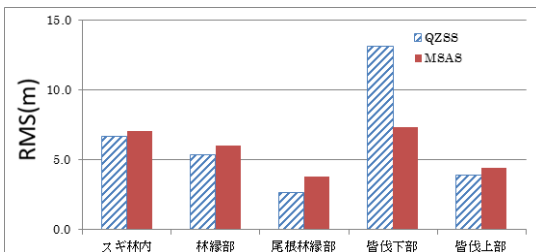


図-7 QZSSとMSASによる測位結果の比較

一方、取得率を比較すると、すべての測位ポイントでQZSSの方が高いという結果になった(図-8)。特に、スギ人工林内では圧倒的にQZSSの方が取得率は高くなった。これは、

QZSSの補正信号が樹幹・樹冠の影響の小さい天頂方向から送られてくるためであると考えられる。補正率についても取得率とほとんど同じ傾向が認められたが、特にQZSSの補正率については、すべての測位ポイントで100%に近いという驚くべき結果を得ることができた(図-9)。

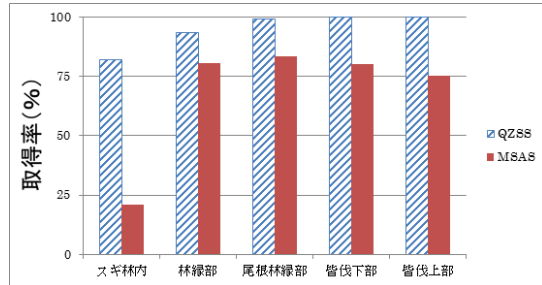


図-8 取得率の比較

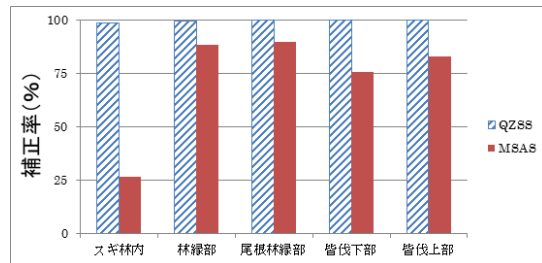


図-9 補正率の比較

アンテナによる測位誤差への影響を比較したのが図-10である。この結果から測位誤差に関しては概ねHurricaneアンテナの方が小さく、ANT-555アンテナは大きい傾向が見られた。分散分析の結果、アンテナの種類と測位ポイントは危険率1%以下で有意であった。衛星の種類は有意ではなかった。アンテナの種類と測位ポイントの交互作用も有意であった(図-11)。この図からスギ人工林内ではアンテナの種類による測位誤差の差は小さいが皆伐植栽地ではマルチパス耐性のあるHurricaneアンテナの効果がとても大きいことがわかる。図-12は測位ポイントとアンテナの種類ごとの取得率を示した図である。この図によると、スギ人工林内ではQZSSの取得率が高く、MSASでは低くなるのがわかる。一方、皆伐植栽地ではQZSSとMSASの間で取得率には大きな差はない。これは図-8の結果とほぼ同じであり、取得率にはアンテナの種類は影響していないと考えられる。

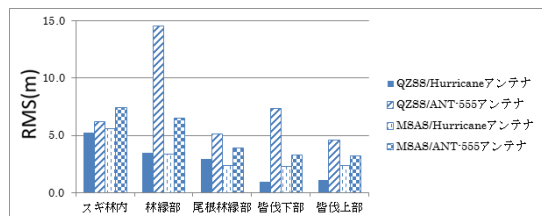


図-10 アンテナの種類による測位結果の比較

図-13 は測位ポイントとアンテナの種類ごとの補正率を示した図である。この図によると、補正率も取得率とほぼ同じ傾向が見られた。

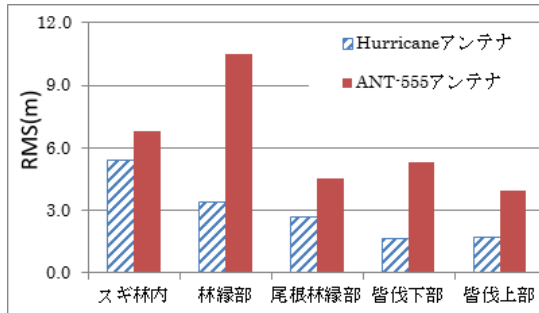


図-11 アンテナの種類と測位ポイントの相互作用

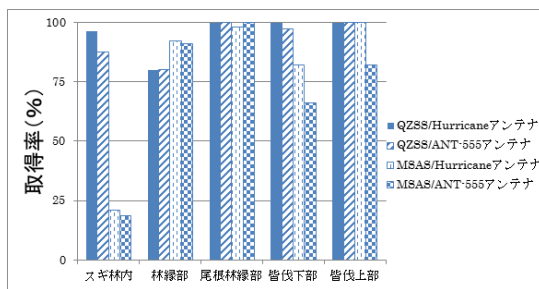


図-12 取得率

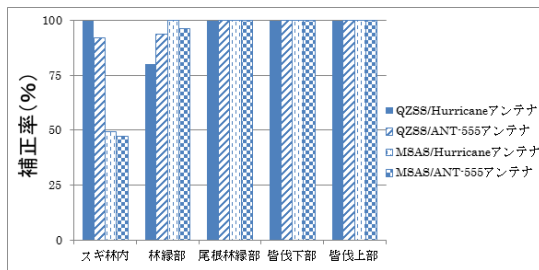


図-13 補正率

以上の結果から、スギ人工林と皆伐植栽地において、実験計画段階の予想に反して QZSS と MSAS の測位精度にはほとんど差が見られなかった。しかしながら、高仰角の QZSS は中仰角の MSAS と比較すると、衛星からの信号が届きにくいスギ人工林内で取得率・補正率とも高いという結果が得られたことにより QZSS の優位性は確認できた。

QZSS の補正情報が受信できているにもかかわらず、スギ人工林内で測位精度の向上が見られなかった理由は、中低仰角方向から進入する通常の GPS 信号が信号の劣化や反射等によって攪乱されていたため、それによる測位誤差の増大が QZSS による補正効果を打ち消したためではないかと考えられる。

マルチパス除去耐性のある Hurricane アンテナを用いることで皆伐植栽地において測位精度が向上したのは、中低仰角から進入する信号の劣化度合いが小さかったため、QZSS や MSAS による補正効果がある程度発揮されたためであろう。

本研究ではマルチパス耐性のあるアンテナによる補正効果の向上を目指したが、GNSS レシーバー本体側にマルチパス除去機能を組み込むことで、スギ人工林内でも十分な補正効果を発揮できる可能性があることが示唆された(図-14)。CD311 は QZSS を利用する実験機であったためマルチパスに対して限定的な対応しかできなかったが、今後開発される QZSS 対応機において、強力なマルチパス除去機能が組み込まれることに期待したい。

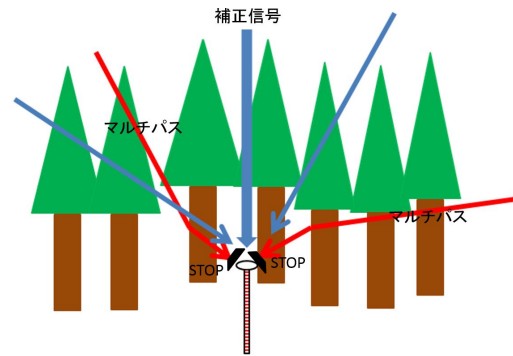


図-14 マルチパス除去による森林環境での高精度の QZSS 測位

<引用文献>

林野庁、森林・林業白書(平成 22 年版)、農林統計協会、2011、195pp

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Tetsuhiko Yoshimura, Tsuyoshi Noba, Productivity analysis of thinning operations using a swing yarder on steep slopes in western Japan, Proceedings of the IUFRO UNIT 3.06 International conference, Forest Operations in Mountainous Conditions、査読無、2013、CD-ROM

Tetsuhiko Yoshimura, Improvement of autonomous GPS accuracy with the crisscross arrangement of low-cost GPS receivers, FORMEC 2012 Croatia Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment、査読無、2012、CD-ROM

〔学会発表〕(計 3 件)

吉村哲彦、横見謙二、スギ人工林における GPS による面積測量の誤差に関する考察、第 20 回森林利用学会学術研究発表会、2013 年 11 月 30 日、石央文化ホール(島根県浜田市)

Tetsuhiko Yoshimura, Tsuyoshi Noba,

Productivity analysis of thinning operations using a swing yarder on steep slopes in western Japan, Proceedings of the IUFRO UNIT 3.06 International conference, Forest Operations in Mountainous Conditions, 2013年6月3日、Honne, Norway

Tetsuhiko Yoshimura, Improvement of autonomous GPS accuracy with the crisscross arrangement of low-cost GPS receivers, FORMEC 2012 Croatia Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment 2012年10月9日、Cavcat, Croatia

〔その他〕

ホームページ等

WEB サイト (GPS の森@島根大学) :
<http://forest101.life.shimane-u.ac.jp/>

研修会：吉村哲彦，GPS の基礎と応用，島根県林業普及員専門研修，島根県飯南町，2012

研修会：吉村哲彦，三瓶演習林におけるGPS 実証試験の結果，林業ビジネスモデルの実現を目指すためのチーム会議，島根県浜田市，2013

研修会：吉村哲彦，森林 GPS，経営マインドをもつ革新的森林経営の担い手育成研修，島根県隠岐の島町，2015

研修会：吉村哲彦，森林 GPS，経営マインドをもつ革新的森林経営の担い手育成研修，島根県浜田市，2015

研修会：吉村哲彦，森林 GPS，経営マインドをもつ革新的森林経営の担い手育成研修，島根県松江市，2015

6．研究組織

(1)研究代表者

吉村 哲彦 (YOSHIMURA, Tetsuhiko)

島根大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：40252499