

## 機械地拵えにおける GPS トラッキングの利用可能性

東京大学北海道演習林	遠國 正樹・笠原 久臣・磯崎 靖雄
	福岡 哲・高橋 功一
森林総合研究所北海道支所	高橋 正義
東京大学北海道演習林	尾張 敏章

## はじめに

東京大学北海道演習林(北演)では、林冠が疎開して林床にササが繁茂し、天然更新が不良で後継樹を欠いた林分集団(疎生林)を対象に、機械地拵えと低密度植栽による更新補助作業を行っている(3)。植栽作業の実施に先立って、準備すべき植栽苗の本数見積りや請負業者への作業指示が必要となる。そのため、地拵え後に現地へ赴いて境界測量を行い、植栽予定区域の正確な位置や面積を把握している。

植栽予定区域は地拵え実行区域とほぼ一致する。従って、地拵えを行った位置を作業と同時に記録すれば、現地での境界測量を省略できる可能性がある。そこで我々は、地拵え機械の走行軌跡をGPS(全地球測位システム)により測位(トラッキング)し、地拵え実行区域を画定する方法を試行した。なお、GPSを機械地拵えへ応用した事例は国外(2)にある一方、国内での報告はあまり見当たらない。

本研究では、機械地拵えにおいてGPSトラッキングの林内実証試験を行い、更新補助作業における植栽予定区域の画定作業を省力化する方法を検討した。地拵え機械の走行軌跡に基づく地拵え実行区域の画定手順を示した上で、従来の境界測量により画定した植栽予定区域との比較を行ったので報告する。

## 調査地および方法

## 1) 調査地の概要

調査地は北演40林班A小班内の2011年度施業対象地のうち、更新補助作業の対象区域である(北緯43°17′, 東経142°39′, 標高820~830m)。平坦地または西~南西向きの緩斜面、傾斜度は0~8°である。1981年の風害により疎林化し、エゾマツやトドマツ、ダケカンバの中大径木が点在する。林床はササに厚く覆われている。

調査地内にA, B, Cの3試験区(地拵え予定区域)を設定した。閉合トラバース測量で画定した面積は、それぞれ0.78 ha, 0.56 ha, 0.49 haである。なお、この測量の閉合比は、いずれも北演における測量許容精度(1/150)(4)を満たしている。

## 2) 調査方法

機械地拵えは2011年6~7月に実施した。使用した機械は、ベースマシンがエクスカバータ(PC138-US, コマツ社)、アタッチメントがグラブプレキ(GSR-14B, イワフジ工業社)である。この機械の全長は7260 mm(輸

送時)、全幅2490 mm(ミラー含まず)、最大掘削半径8300 mmである。地拵え作業では、点在する立木群をできるだけ残しながら、主に無立木地でササを除去した。3試験区の地拵えには延べ39.4時間(0.05 ha/h)を要した。

機械の走行軌跡は、高感度GPS受信機のGPSMAP 62s(Garmin社)を2台用いて記録した。電池は充電式ニッケル水素電池enloop(SANYO社)を使用した。1台はキャビン内のフロントガラスに吸盤マウントで固定し、内蔵アンテナで衛星信号を受信して測位した(キャビン内)。なお作業中は、このGPS受信機の画面上に地拵え予定区域図を表示し、機械の位置を確認しながら地拵えを実行した。もう1台には外部アンテナ(GA27C, 同社)を取り付け、キャビン天井部に設置して測位した(キャビン外)。走行軌跡のロギング間隔は10秒とした。各試験区での作業開始と終了の時刻、および重機トラブルなどに伴う作業外時間を野帳に記録した。

植栽予定区域を画定する従来の方法は地拵え後に行った。レーザーコンパス測量システム(4)による閉合トラバース測量とし、レーザー測距儀TruPulse 200と電子コンパスモジュールMapStar ECM II(LASER TECHNOLOGY社)、モバイル端末Archer Field PC(Juniper Systems社)、測量用ソフトウェアGeoSketch(テインバーテック社)を使用した。測量基点は高精度GPS受信機のProMark 3(Magellan Navigation社)で測位した。A, B, Cの各試験区の閉合比は、それぞれ1/748, 1/835, 1/423であった。

## 3) 機械の走行軌跡による地拵え実行区域の画定方法

はじめに、GPSデータ管理ソフトウェアのMap Source(Garmin社)を用いて、野帳に記録した作業開始・終了時刻と作業外時間をもとに、地拵え作業中の機械走行軌跡を抽出した。その際、明らかに測位誤差と思われる軌跡データは削除した。抽出後の軌跡データはGPX(GPS Exchange Format)形式で保存し、ファイルコンバータのgpx2shp(1)でESRIシェープファイル形式に変換した。

続いて、GISソフトウェアのArcGIS 10(ESRI社)のArc Toolboxにあるデータ管理ツールにより、機械走行軌跡(ポイント)を包含する凸包ポリゴン(データを囲む最小の凸図形)を自動生成した。この際、ジオメトリタイプはCONVEX\_HULL、グループオプションはNONEとした。さらに、凸包ポリゴンに囲まれた区域のうち、機械走行軌跡のない区域を地拵え未実行とみなし、凸包ポリゴンを編集することで地拵え実行区域を画定した。

Masaki TOOKUNI, Hisatomi KASAHARA, Yasuo ISOZAKI, Satoshi FUKUOKA, Koichi TAKAHASHI (The Univ. of Tokyo Hokkaido Forest, Furano 079-1563), Masayoshi TAKAHASHI (Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Sapporo 062-8516), Toshiaki OWARI (The Univ. of Tokyo Hokkaido Forest, Furano 079-1563)  
Applicability of GPS tracking to mechanical site preparation

4) 分析方法

地拵え実行（植栽予定）区域の画定結果を評価するため、GPSの測位方法の違い、および従来の測量手法との違いについて比較を行った。比較項目は、地拵え実行（植栽予定）区域の形状、面積、周囲長の3つとした。

**結果と考察**

1) 機械の走行軌跡から画定した地拵え実行区域

図-1は抽出処理後の機械走行軌跡を地拵え予定区域とともに示したものである。軌跡データは概ね地拵え予定区域内に収まっていたが、走行軌跡データが明らかに区域外に逸脱している箇所や、区域内にもかかわらず軌

跡のない箇所が一部でみられた。前者は、オペレータが予定区域外での地拵えを現地で必要と判断し、あえて行った可能性がある。後者については、作業アームとキャビンの位置の違いが影響したか、区域内に点在する立木を残したため地拵えを実行しなかった可能性が考えられる。

図-2は軌跡データをもとにArcGISで自動生成した凸包ポリゴンを示したものである。凸包ポリゴンは全ての試験区で複数に分割されて生成された。これは、機械走行軌跡の記録・抽出の過程で、軌跡データ自体が複数に分割されていたためである。全ての試験区において、地拵えを実行したはずの区域が凸包ポリゴンには含まれて

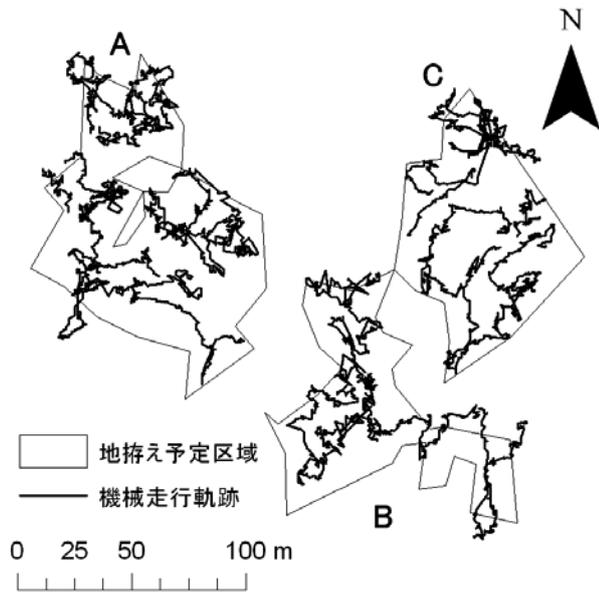


図-1 機械走行軌跡\*と地拵え予定区域  
\*キャビン内で測位したデータを示した。

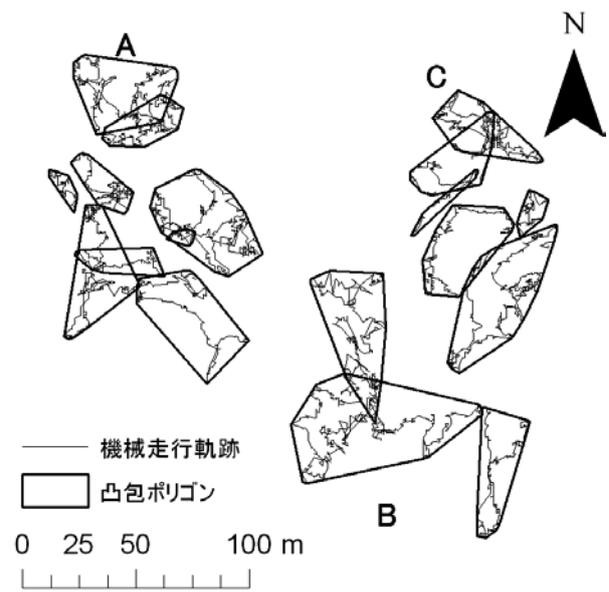


図-2 機械走行軌跡から生成した凸包ポリゴン  
注：図-1に同じ。

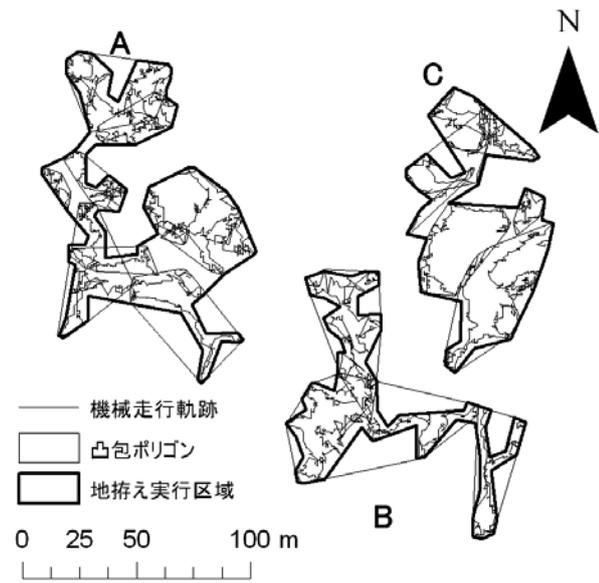


図-3 凸包ポリゴンと機械走行軌跡をもとに画定した地拵え実行区域  
注：図-1に同じ。

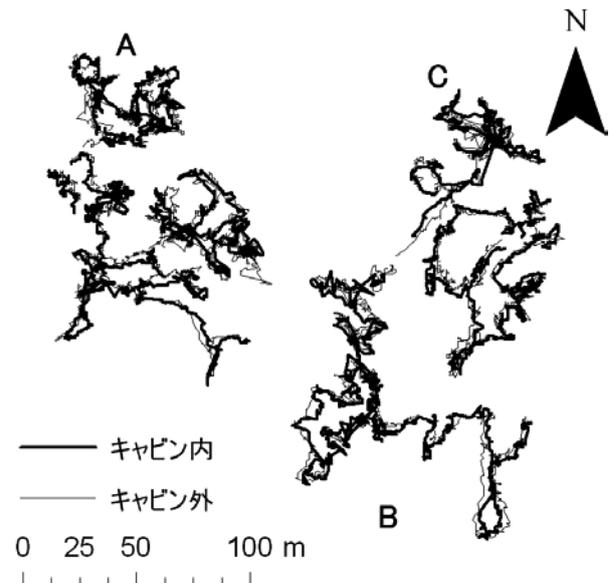


図-4 GPS アンテナの設置位置による機械走行軌跡の比較

いなかったり、地拵えを行っていない区域が凸包ポリゴンには含まれていたりした。これより、凸包ポリゴンの自動生成だけで地拵え実行区域を正確に画定するのは難しいと考えられた。

図-3は凸包ポリゴンと機械走行軌跡の両方を参照しながら ArcGIS 上で画定した地拵え実行区域を示したものである。地拵え予定区域(図-1)と同じく、各試験区に1個ずつのポリゴンが作成された。画定された地拵え実行区域の形状は、地拵え予定区域に比べてやや複雑となった。これは、GPSによる機械走行軌跡の測位誤差とともに、機械オペレータが現地の林況に応じて地拵えを行ったことも影響していると考えられる。

2) GPSアンテナの設置位置による画定区域の比較

図-4はGPSアンテナの設置位置別に機械走行軌跡の測位結果を示したものである。キャビン内でのGPS測位は、キャビン外での測位に比べて、天井やアームにより

衛星信号が遮断される可能性がある。そのため、測位誤差が大きくなることを想定していたが、機械走行軌跡の測位結果はキャビン内とキャビン外でほぼ一致していた。

図-5はGPSアンテナの設置位置別に画定された地拵え実行区域を示したものである。また、画定された区域の面積と周囲長を表-1に示した。地拵え実行区域の形状に関して、キャビン内とキャビン外で大きな違いは見られなかった。面積と周囲長についても、両者の間に有意な差は認められなかった(対応のあるt検定,  $p > 0.05$ )。以上の結果から、本研究で用いた高感度GPS受信機であれば、機械走行軌跡のトラッキングは外部アンテナを使用せず、キャビン内での設置で支障ないと考えられた。

3) 従来の方で画定した植栽予定区域との比較

図-6は機械走行軌跡(キャビン内)から画定した地拵え実行区域を、従来の境界測量によって画定した植栽予定区域と重ねて示したものである。また、画定された

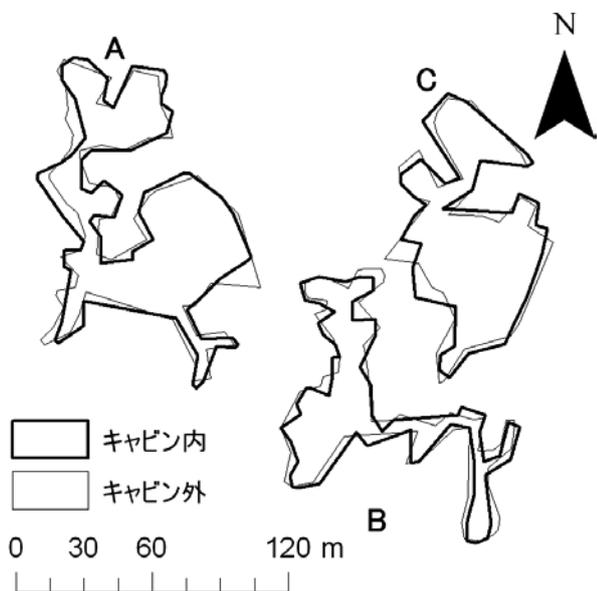


図-5 GPSアンテナの設置位置による地拵え実行区域の画定結果の比較

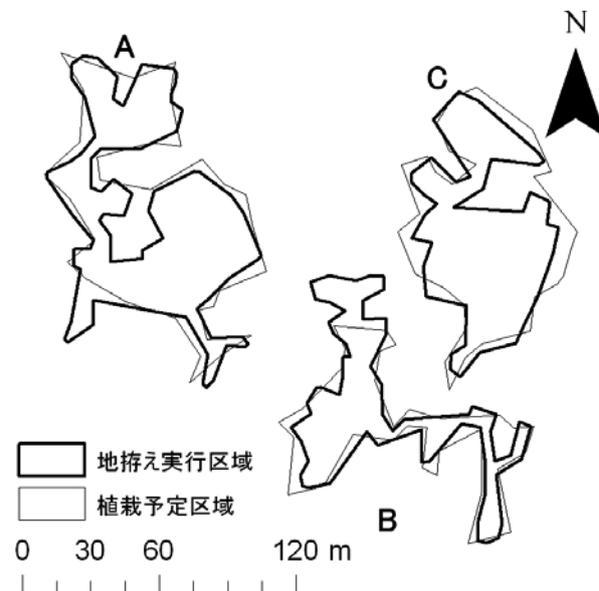


図-6 地拵え実行区域(GPS)と植栽予定区域(レーザーコンパス)の比較  
注: GPSはキャビン内で測位。

表-1 地拵え実行(植栽予定)区域の画定方法による面積と周囲長の比較

試験区	地拵え実行区域				植栽予定区域	
	GPSトラッキング (キャビン内)		GPSトラッキング (キャビン外)		レーザーコンパスによる 境界測量	
	面積 (ha)	周囲長 (m)	面積 (ha)	周囲長 (m)	面積 (ha)	周囲長 (m)
A区	0.53	700	0.53	702	0.61	554
B区	0.29	588	0.31	571	0.3	494
C区	0.42	457	0.41	466	0.54	404
平均(SD)	0.41 (0.12)	581 (122)	0.42 (0.11)	580 (119)	0.48 (0.16)	484 (75)

区域の面積と周囲長を表-1に示す。区域の形状は全体として概ね一致していた。面積は両者の間に有意な差がなかった一方、周囲長は地拵え実行区域が植栽予定区域に比べて有意に長くなった ( $p < 0.05$ )。A区の中央とC区の北側では、地拵え実行区域外が植栽予定区域内に含まれていた。現況を確認したところ、いずれの箇所においても立木が残存しており、地拵えは行われていなかった。従来の方法では、作業効率化のため、小面積の地拵え未実行区域も含めて境界測量を行う場合がある。GPSトラッキングを利用した画定作業により、従来よりもきめ細かく地拵え実行区域を特定できたと考えられる。

一方、A区の南側とB区の北側では、地拵え実行区域内にもかかわらず植栽予定区域外であった。現況を確認したところ、それぞれ樹冠で上空が閉鎖した箇所、土壌が過湿である箇所であった。いずれも植栽には不適と判断され、植栽予定区域から除外されたものと考えられる。従来の方法では地拵え後に植栽予定区域の画定作業を行うため、植栽不適地を除くことができたが、GPSによる手法では機械の走行軌跡を用いるため、植栽不適地が含まれてしまったと考えられる。

### おわりに

本研究を通じて、機械走行軌跡をもとに地拵え実行区域の画定作業を行う方法と手順を具体的に示すことができた。GPSの精度検証を行っていないため正確な比較はできないものの、キャビン内に設置したGPSトラッキングをもとに画定した植栽予定区域は、面積、形状とも実用可能な水準にあると考えられ、従来の境界測量による画定方法の代替として実際の業務に導入は可能と判断す

る。これにより、北演では植栽予定地の境界測量業務(人工数で約20人日/年)の省力化が可能となる。

一方、本研究の画定方法では、植栽不適地の有無を現地を確認する必要があった。また、北向き斜面など衛星信号の受信に不利な条件下でも同様の試験を行い、本研究で示した方法をどこまで適用可能か検証する必要がある。北演では今後、著者らが考案した画定手法をマニュアル化し、更新補助作業におけるGPSの利用を積極的に進めていく。

本研究の実施にあたり、北演技術職員の及川希、宅間隆二、犬飼慎也の各氏には現地調査への協力を、中川雄治、松井理生の両氏には有益な助言をいただいた。ここに厚く御礼申し上げる。

### 引用文献

- (1) 平岡稔浩 (2005) gpx2shp, <http://gpx2shp.sourceforge.jp> (アクセス日: 2011年11月11日)
- (2) Husband, S.C. (2010) GPS guidance of mechanized site preparation in forestry plantations: a precision forestry approach. Proc. of the 10<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, 16pp., Denver, Colorado, USA.
- (3) 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林北海道演習林 (2012) 北海道演習林第13期教育研究計画 (平成23~32年度). 演習林 (東大): 印刷中.
- (4) 遠國正樹・木村徳志・宅間隆二・清水目元一・中川雄治 (2010) 林況測量におけるレーザーコンパスの利用可能性. 平成21年度技術職員等試験研究・研修会議報告: 41-46.