

GPS 機器およびソフトの紹介

～森林での利用を中心として～

株式会社 竹谷商事 開発企画 土井康裕

1. はじめに

近年、携帯電話によるマンナビやカーナビゲーションシステムなど衛星からの電波を利用して、自分が今、地球上のどの場所に居るのかを3次元座標で容易に知り得るGPS (Global positioning System) 技術が急速な勢いで普及してきました。迷わず目的地に到達できたり、通った場所を記録できたりと、早く正確に移動する際のツールとして業務及び一般的な生活の場で多用されてきています。

国土の約70%を森林で覆われた日本の森林内での業務活動にもGPSはなくてはならないものになって来ています。竹谷商事では2003年から森林内での測量・調査・管理業務の迅速・効率化をしていただくことを視野にGPS、又それらに付随したソフトウェアの提供及び開発をして参りました。

2. 森林でのGPS利用

GPSは米国において軍事目的に開発されたもので地上約2万Kmのところを飛んでいる衛星からの電波に乗せられた時刻情報を受信し計算することで、地球上における位置(緯度、経度、高さ)を知ることができるスケールの大きなシステムです⁽¹⁾(図1.)。

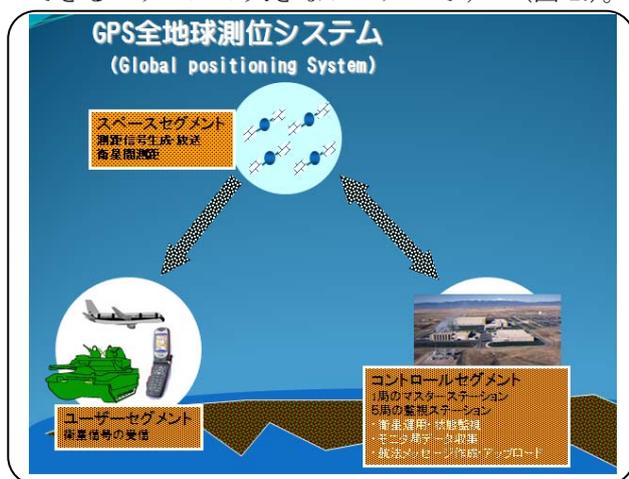


図1.GPSシステム概念

安価なリクリエーション用から高価な高精度基準点測量などに利用されるものまで。技術は発展し、精度がある程度良いものも小型化され入手し易くなってきましたものの、森林内という得意な環境では樹冠などの枝葉の影響を受けて電波が減衰して受信できなかったり、マルチパス(反射波)により測位精度が悪化する結果を招いたりしてしまいます。

GPSにとって森林という特異な環境(電波環境)で使用するには、十分精度の必要な測量や、マッピングであったり、だいたいの精度でも可能なナビゲーションであったり、業務の種類に応じて利用する機種選定も十分に認識しておく必要があります。

以上のことからGPSについて性能・機能・価格などの観点から市販されている機器を分析しておくことがまずは大切なこととなります。図2よりGPS機器はカテゴリに分けると精度で10m程度、1m以下、数cmの3種類、価格でも大きくは10万円以下、数十万円、数百万円など3種類程度に分類されます。もちろん安価だと測位精度が悪くなりますが、精度が数cmと高いRTK(リアルタイムキネマティック)測量用GPSは数百万円台とかなり高額な機器になってきます。しかしRTKなどの位相測位型のGPSは森林の樹冠下では測位(座標取得)できる確率が低いことや測位までに時間が必要なことで実際にはあまり利用されていません。よって、現状では森林で利用されるGPSとしてはDGPS(ディファレンシャルGPS)と呼ばれる図2の精度カテゴリーでは真ん中の機器が好まれて利用されています。その中でもAshtech社(旧MagellanPro)のMobileMapperシリーズは他機種に比べると安価で精度が同等以上のコストパフォーマンスに優れた機器になります。さらには、MobileMapperは森林での利用実績が豊富で、その測位結果(精度)に定評があります。特にこのことは森林内でのGPS誤差要因であるマルチパス除去に大きな効

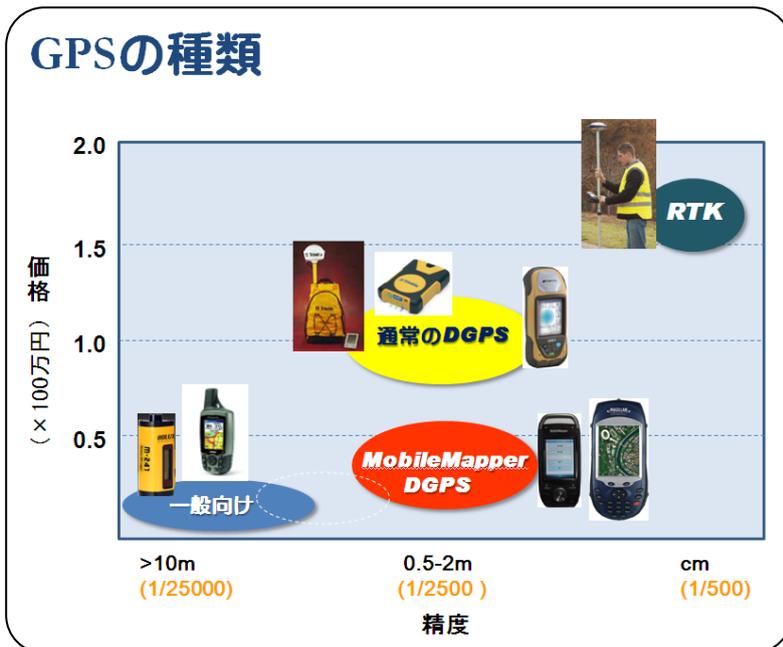


図 2. GPS の種類

4個以上の衛星と受信機との直線距離を測定することで地球上での自分の位置を算出するのがGPSの基本原理ですが、これら誤差要因はGPS衛星とGPS受信機の直線距離測定に誤差を及ぼす直接の原因となっており、それら距離測定結果を使って算出される測位座標には自ずと誤差を及ぼします。①～④についてはGPSを地球上で使用する場合に常に生じる性質のもので、⑤は局所で発生したり、しなかったりする性質の要因という事になります。これら①～⑤を取り除けないGPS機種は一般的に誤差が10m前後になると言われており(単独測位)、図2の一般向けに相当します(現在は一般向けでも除去機能を有した機種ものもあります)。一方で、これら誤差を取り除けば測位精度がUPして図2の真ん中のカテゴリーの性能を有することになります。特に①～④の誤差を取り除く手法をディファレンシャル補正(DGPS)と呼んでいます。測量された既知点でGPS測定すれば①～④の誤差はそれが座標値の差となって算出されます。既知点のある程度近くでGPS測位をすると、その移動局のGPSも同程度の誤差を有していると考えられます。既知点で算出された誤差分を移動局のGPSから差し引き(差分;ディファレンシャル)するという方法を利用して高精度を実現することが可能となります(図4)。

⑤のマルチパスは受信機の周りの環境で変化しますのでDGPSでは取り除くことはできず、受信機にマ

果があったに他なりません。

ここで話は変わりますがGPSに関する誤差の話をしたと思います。元々GPS利用上、地球上ではかならず発生する測位結果(位置座標)に及ぼされる誤差があり、その誤差を取り除く機能の有無が図2の精度カテゴリーの部分でGPSの分類と関係しています。誤差の要因は電波を用いた測位原理に関連しますが、その詳細説明は後述の(補足1)に譲るとしまして、誤差の要因は主に次の5つ、①衛星位置の誤差、②衛星の時計誤差、③電離層遅延、④対流圏遅延、⑤マルチパス(反射波)が存在します⁽²⁾(図3)。

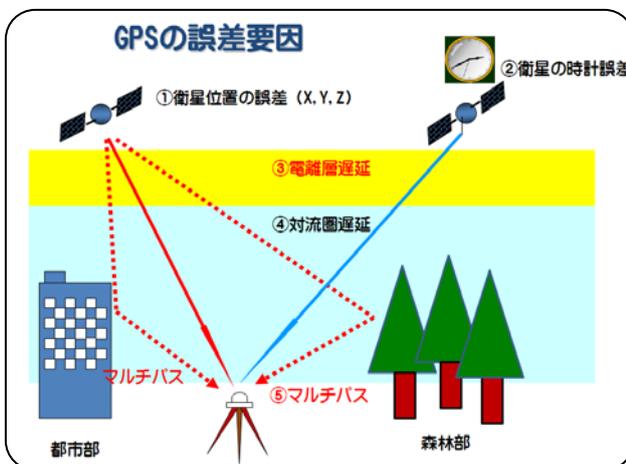


図 3. GPS 誤差要因

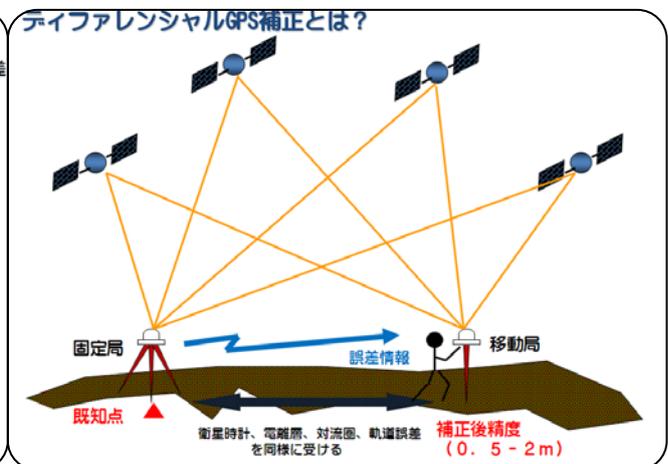


図 4. ディファレンシャル補正とは

マルチパス除去の機能を付与することでしか解決はできません（例えば森林や都市部では除去し、草原では除去必要ないなどを受信機が判別可能であるなど）。上述しましたように MobileMapper シリーズの誤差補正エンジンはマルチパスの除去（後処理ディファレンシャル補正と同時に処理されます）に定評⁽³⁾⁽⁴⁾があり、森林利用で普及してきた理由は位置精度の整合性の高い部分にあったと言えます。

一方では、一般向けの GPS も最近では安価な高精度チップ（SufStar、MTK など）が開発され森林内でも感度良く電波をキャッチしやすく、低消費電力化でバッテリーを使用するモバイル機器への組み込みがしやすくなりました。よって、自分の位置を森林内で確認したり、森林内において地図上（1/25000 程度）で場所を記録したりという要望には一般向け GPS でも十分に答えられるようになってきたのです。さらにはこれらカテゴリーでも最近では国土交通省のディファレンシャル補正用の MSAS 情報（補足 2）がリアルタイムで受信し誤差補正できるようになっているのでカタログ値で 2-5m 程度の精度のものも上市されるようになり、図 2 の DGPS カテゴリーの機器と比べて精度の部分で大きな差はなくなり始めているのが現状です。しかし DGPS カテゴリーの数十万円する高価な機種は測位精度に多大な影響を及ぼすことが予測さ

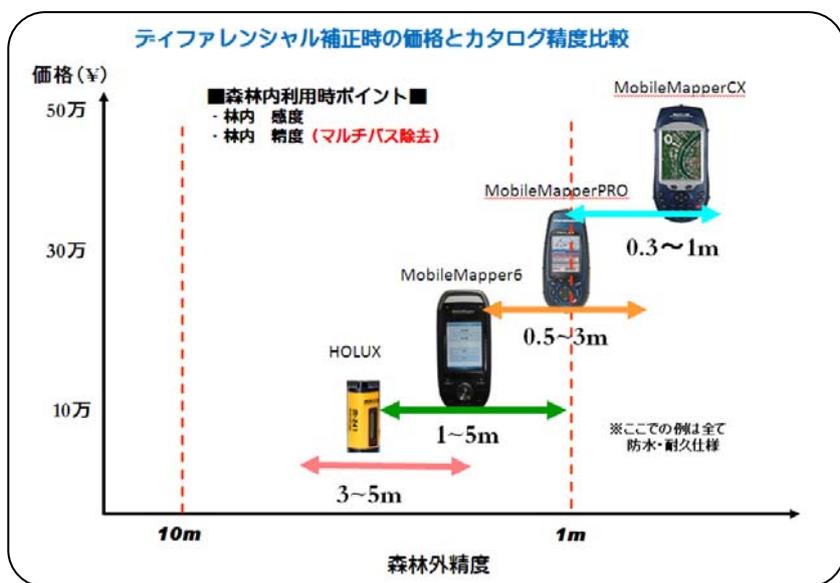


図 5. GPS の価格とカタログ精度（森林外）

レンシャル機能の付いた HOLUX（台湾製）M-241 を、リファレンスとして一般向けで比較的森林で定評のある Garmin 製 Map60CSX も比較評価しました。試験地は林野庁近畿中国森林管理局管内、箕面国有林の杉人工林において樹冠の影響を主に評価するため尾根筋に精密に測量された座標点を設置して、一日かけて GPS で座標を測位し、基準の座標点と比較して誤差評価を行いました。

【試験方法】

- 場所 大阪府 箕面国有林 270 林班わ小班
- 機器 Ashtech 製 MobileMapper6、PRO、CX
HOLUX 製 M-241
ガーミン製 Map60CSX

○測定方法

AM10:00 から PM5:00 まで 1 時間毎に 3 回それぞれの機器で座標を取得。1 回の座標取得は 30 秒間データを記録し平均値を算出し結果とした。

MobileMapper 関連はマルチパス除去した結果を比較した。

れた電波を削除できるように各社チューニングを施しており、安定した測位を実現できるように設計されています。ここで、電波環境に応じて設計された高精度機種（DGPS）と、感度は良くなっているが環境に応じた設計がされていない安価な機種を、森林内での GPS 利用の指針にするべく精度評価を実施しました。

対象とした機種は図 5 にあります DGPS カテゴリーの MobileMapper シリーズの 3 機種と一般用 GPS にディファ



図 6. GPS 試験環境

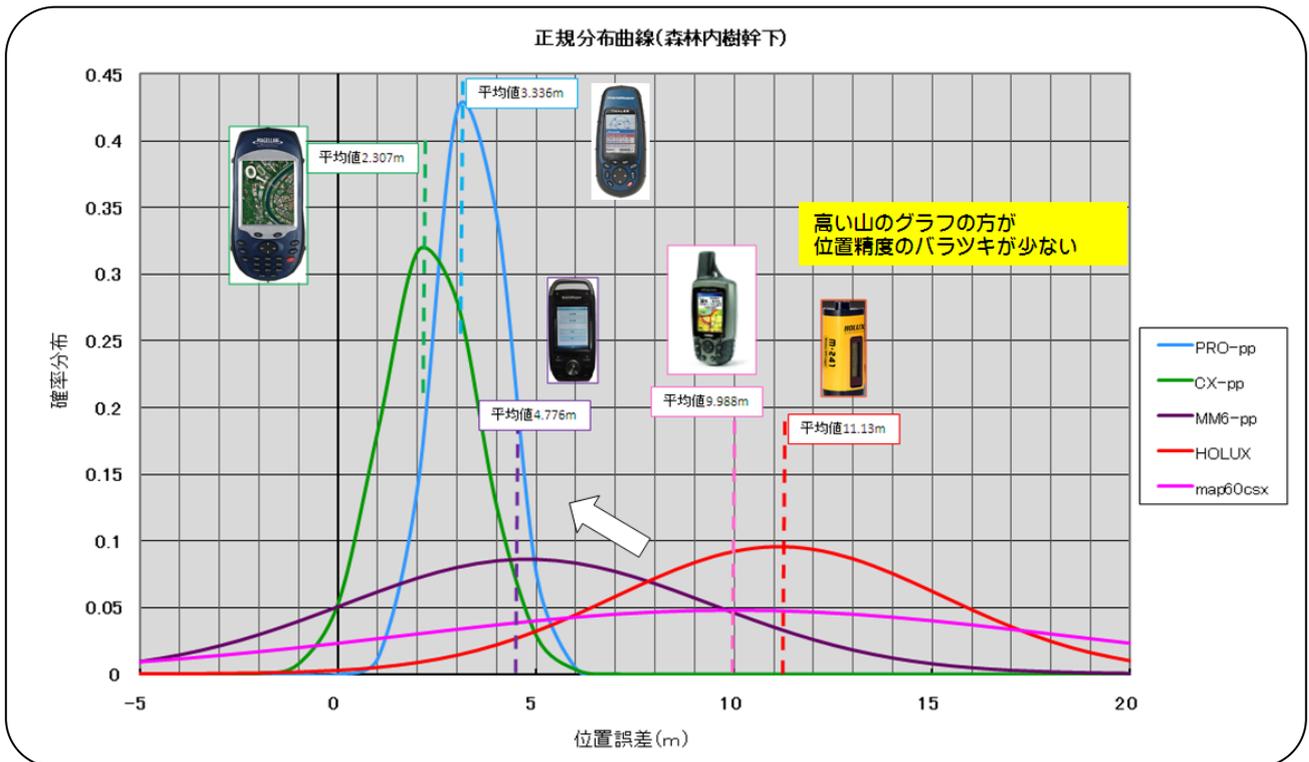


図 7.森林内での各種GPS位置精度比較

やはり現在の全ての機器は受信感度がUPしているためデータがとれないことはほとんど無くデータが収集できました。リアルタイムでは全ての機種でディファレンシャル補正も行われマルチパス以外の誤差補正はどの機種も処理が機能していました。取得された結果は基準点を原点に誤差プロットされることが一般的ですが比較評価し難いので、ここでは取得された座標データを統計処理し、1日を通した調査において位置誤差の出現が正規分布的に発生すると仮定し、確率分布曲線をプロットしてみました(図7)。

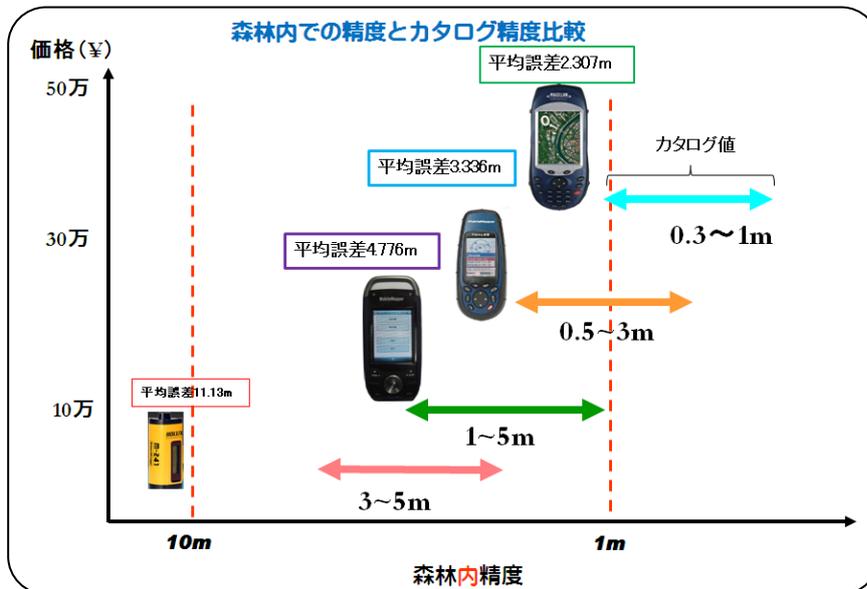


図 8. GPS の価格と森林内精度比較

パフォーマンスは評判通りで PRO、CX については誤差のばらつきも少な正規分布曲線が高くシャープで安定した測位が可能なのがハッキリと伺えました。

以上の理論的説明、簡単な森林内での調査結果を総合すると、機種により森林内で衛星からの電波が受

一般向けGPSのガーミンMap60CSX(カタログ値精度10m以下)、HOLUX製M-241などはカタログ値と比べるとかなり精度劣化しており、Map60CSXで10m、M-241で11m程の誤差になっていました。さらに、位置誤差が小さい時(0に近い)から大きい時にかけて誤差発生が広く分布しており、測定が安定しない事を示唆していると言えます。一方、MobileMapperシリーズの森林内での誤差除去のパフ

信できない事はほとんど無くなったのですが、機種によっては精度のバラツキが大きく、安定しない事が判明しました。これら一般向け GPS も森林利用ではナビゲーションや自分の位置確認程度で有効ですが、それ以上に安定した精度を求める業務等の場合はコスト部分が許されるようでしたら、高位機種の利用も考慮されることをお勧め致します。

さらに次世代では GPS 衛星だけでなくロシアの GRONASS、ヨーロッパの Galileo といった衛星の運用が本格化してくれば、DGPS だけでなく RTK などの精密精度の機種が森林利用できるようになり、革新的に森林管理、測量業務が進む事も考えられます。しかし、現状ではまだまだ難しいようです。

3. 森林で GPS を活用するためのツール

森林内で GPS を使い自分の位置を知り得ることは業務上非常に効果的です。さらに等高線がない様な 1/25000 や 1/50000 の小縮尺の地図ではなく、業務で頻繁に利用される森林基本図(1/5000)の上で自分の位置確認、座標記録、軌跡の記録などができれば飛躍的に仕事はかどります。また、縮尺の大きな地図があることで GPS 精度の検証にも利用できたり、逆に地図の正確性も確認することができます。これらの

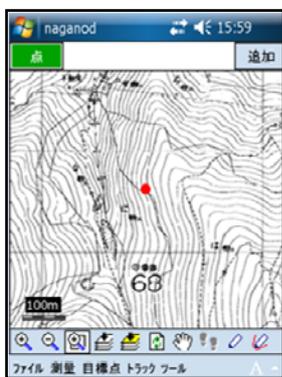


図 9. MapManager 画面
(全画面表示)

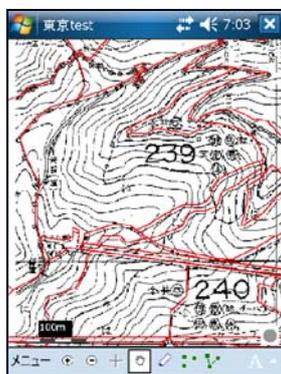


図 10. MapManagerLite 画面
(簡易 MobileGIS)



図 11. MapManagerPRO 画面
(コンパスナビゲーション、測量画面)

地図を取込みながら GPS データと連動させることはソフトウェアの仕事になりますが、竹谷商事では

森林測量システム FOREVO (フォレボ) シリーズとしまして MobileGIS ソフト「MapManager」を開発・販売をして参りました。日本の森林分野に数百ライセンスの実績を有している標準ツールです。また様々な PDA (携帯情報端末)、GPS 機器 (DGPS、一般向け GPS など) と組み合わせることができますのでハードウェアの機能を多くの機種から選んでいただくことが可能です (図 12)。価格・ソフト

業務に合わせたGPS+モバイルGISソフトウェア MapManagerシリーズ
10万円台での利用から可能

- ・自分の位置がわかる
- ・所定の場所までナビゲーション
- ・業務用GIS地図を背景図に利用できる
- ・簡単な調査 (GPS精度) マッピング → GISデータ化
- ・測量精度でマッピング (コンパスとの併用) → GISデータ化
- ・衛星/航空画像からマッピング → GISデータ化

図 12. 業務に合わせた組合せ

ト機能においても最適化を図るため 3 種類の仕様を設けており (表 1)、業態、業務に合わせてお選びいただくことができます。

行政などで構築された GIS（地理情報システム）の基本図、衛星画像、航空画像、ベクトル地図（林・小班界、境界、林道 etc）などがそのまま読み込めてナビからコンパス測量まで全ての森林測量が GIS データとして利用することを可能にするモバイル GIS ソフトとすることもできます。MapManager では森林利用としての機能も充実しており、GPS で受信した座標データを毎秒モニタ画面に表示し、マルチパスに起因する外れたデータは画面で選択して削除できる機能（リアルタイムマルチパス除去）などがあります。オペレータが目で見えて簡易的にマルチパスを除去することがソフト機能として可能になっています。

表 1. 森林測量ソフト MapManager シリーズ機能

	MapManager-Lite	MapManager	MapManagerPRO
コンセプト	簡易 MobileGIS ソフト (GPS 専用)	測量 MobileGIS ソフト (GPS 専用)	測量 MobileGIS ソフト (GPS+コンパス)
GPS 位置確認	○	○	○
GPS ナビゲーション	○	○	○
コンパスナビゲーション※1	—	—	○
GIS 地図取込 (Shape)	○	○	○
GIS 地図取込 (ラスター)	○	○	○
GPS 測量 (点、線、面)	○	○	○
リアルタイムマルチパス除去※2	○	○	○
後処理マルチパス除去※3	—	○ (オプション)	○ (オプション)
コンパス測量 (多角、放射)	—	—	○
衛星/航空画像上測点作成	—	○	○
面積計算	△	○ (任意箇所)	○(任意箇所)
閉合比計算	—	—	○

※1 GPS 精度の望めない場所でも電子コンパスを使いピンポイントで目的地に近づける（特許技術）

※2 林内で測位受信状況を確認しながらアナログにマルチパスを除去する機能

※3 MobileMapper など後処理マルチパス除去機能を有した GPS で利用すれば MapManage 上でも処理可能

また、森林内の樹冠下、谷部などで GPS では所望の精度が望めない場合は、近年、図 13 にあるように軽量小型で方位角、高低角、斜距離がこれ一台で測定可能な小型電子コンパス(TruPulse360)を利用したコンパスナビゲーション機能が目から鱗の機能として利用する事ができます (MapManagerPRO ; 図 11、図 13)。

4. 森林向けモバイル調査機器の選定

GPS は森林で利用する場合、防水、防塵、高精度タイプ、一般向けタイプ、マルチパス除去機能が有るか無いか、さらには携帯業務端末 (PDA) の処理速度、画面の大きさなど、業務に応じて選択してもらい、MapManager のような森林業務を反映したソフトウェアを組み合わせる事が基本になります。

もちろん利用に際しては谷部、北側斜面は GPS の衛星が少なくなるので精度劣化が大きいとか、アンテナ部分を帽子、服、体などでも遮蔽しないように気を付けるとか、林道の片側が切り立った崖の場合は開いた方向



図 13. 電子コンパス+GPS

にアンテナを向けるとかなどなど・・・に注意し、GPSの原理を十分に把握して運用することが肝要となります。

GPSは前述でもありましたが森林内で精度が良いものでも数mの誤差はありますので測量というよりはマッピング(コンパス利用時の製図誤差程度なので)又はナビゲーションへの応用が主になると考えられます。測量精度が必要な場合はコンパスナビゲーションでの説明の際にもありましたが、弊社最上位ソフトMapManagerPROにおいて電子コンパスを利用すればGPS測量した様な形態で地図上に結果を表示することができます(GPSは必須です:図14)。周囲測量においても1/100~1/200程度の精度で測量可能です。GPSと電子

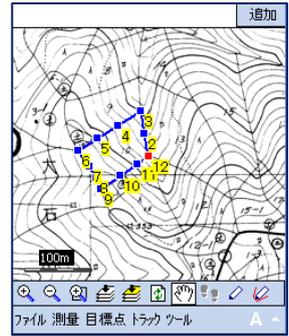


図14.コンパス測量画面

コンパスの併用も便利なツールとなります。以上から、造林検査の測量、森林巡視業務、森林資源モニタリング調査、林班界調査など森林業務に応じてハード、ソフト、最適な組合せを選択しご利用下さい。

5. 今後

今後、弊社では森林業務の要望を余すところなくモバイルGISソフト「MapManager」に組み込んでいく予定です。森林簿、所有者、境界、施業履歴・・・などの台帳(データベース)の閲覧を現地で可能にし、さらに高精度測量機器(トランシットなど)との連携も可能な様々な業務をこなせるソフトウェアを構築していきます。

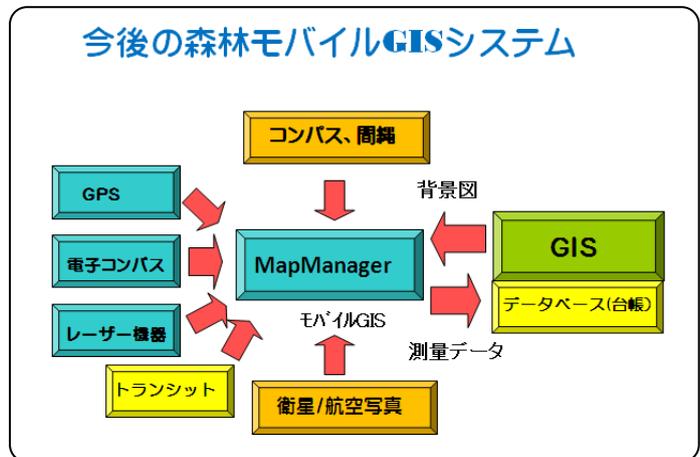


図15. モバイルGISシステム関連図

(補足1) 測位原理(コード測位)について

GPS衛星は原子時計を搭載しているので非常に精度の高い時刻情報を電波に乗せて発信しています。受信機にも高精度の時計があれば、「GPS衛星の時刻と電波受信時刻の差」をとり、それに電波の速度(光速度)を掛けてやれば、正確な距離が分かることになります(図16)。

衛星から見た場合の受信機の位置は、測定された距離分、離れた円球面上に存在することになります(図17)。次に同様に、二つ目の衛星との距離を測定すると、その衛星からも距離分離れた円球面上に存在することになります。こうして出きる二つの円球面の交わる場所、一つの面の円周上に自分は居ることになります。最後に

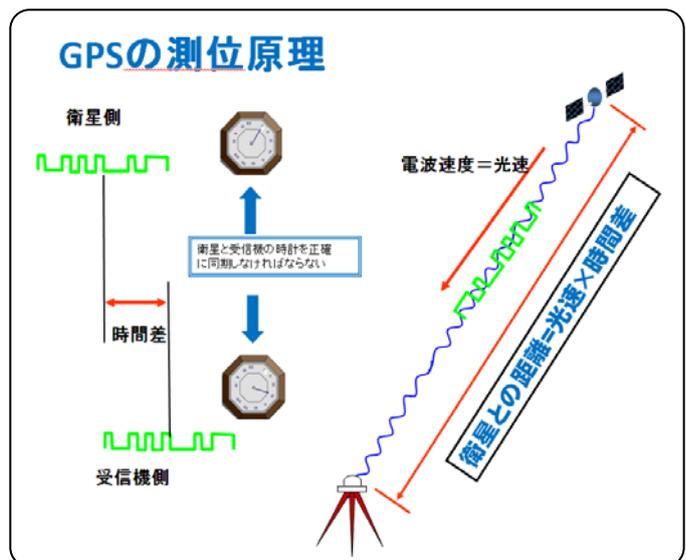


図16.GPS測位原理

三つ目の衛星との距離を測定すると、その衛星からも距離分離れた円球面上に居ることになり、これと先ほどの円周上の交点として、一つの点の位置が正確に定まります(実際は2点残るが地球上にいる事

が確定しているので：図 17)。このようにして、三つのGPS衛星からの電波が受信でき、精度のよい時計をもってれば、空間上の一点として自分の正確な位置が決定できるのです。しかし、現実には受信機の時計はせいぜいクォーツレベルの精度しかないので、その精度が不正確な分の誤差が発生します。

そこで、受信機の時刻を正確に知るために、4つ目のGPS衛星からの電波を用いることが必要となります。実際のGPS受信機の内部では、受信機の位置情報(x, y, z)と時刻情報tとを4つの未知数とする方程式をつくり、受信機の時計と4つの衛星との時刻差情報を用いて解くことで正確な位置と時刻を求めています。

ところで本文中の単独測位でのGPS誤差は衛星と受信機の距離を求める際に、実際は電離層、対流圏の水蒸気などで電波が減速されているにもかかわらずスピードを光速のまま仮定しているため生じるものです。

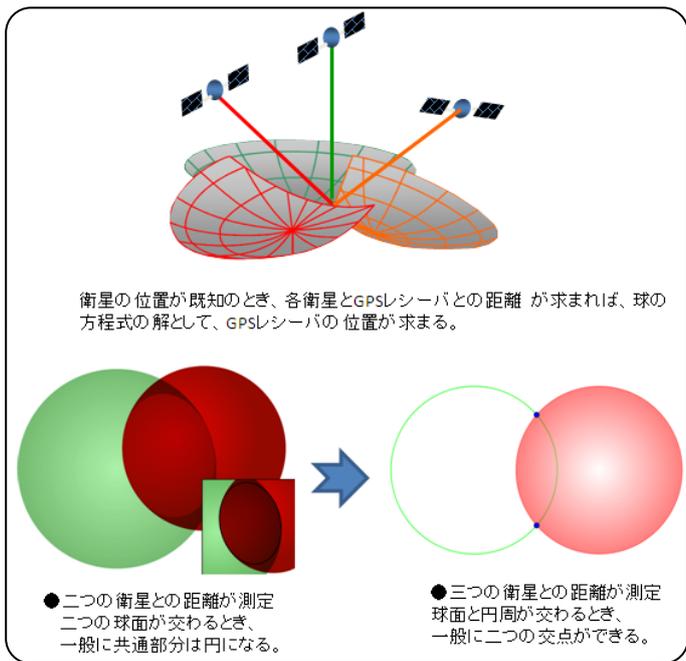


図 17. 簡単 GPS 測位原理

(補足 2) MSAS について⑤

従来の単独のGPS測位では①衛星位置の誤差、②衛星の時計誤差、③電離層遅延、④対流圏遅延により測位に誤差を生じていましたが専用静止衛星からの補正データを利用して高精度化が可能になりました。この総称を静止衛星型衛星航法補強システム SBAS(Satellite-based Augmentation System エスバス)と呼びます。このうち、米国では INMARSAT(インマルサット)を利用した広域補強

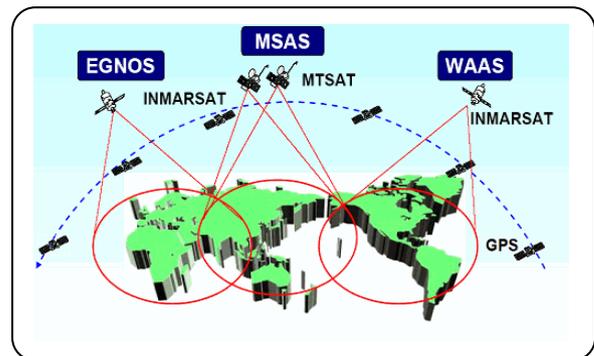


図 18. SBAS

システムを Wide Area Augmentation System の略で WAAS(ワース)。日本ではひまわりの後続機で運輸多目的衛星 MTSAT(エムティーサット)を利用した衛星補強システム MSAS(Multi-functional Transport Satellite エムサス)が運用されています。又、欧州では EGNOS(European Geostationary-Satellite Navigation Overlay Service イグノス)と呼ばれています。

6. 参考文献

- (1) 古野直樹他：GPS のしくみと応用技術、トランジスタ技術編集部編、QC 出版社、2009
- (2) 坂井丈泰著：GPS 技術入門、東京電機大学出版局、2003
- (3) 河合剛匡、瀬戸島政博、船橋学、今井靖晃、河合雅巳、斉藤恵介、橋本靖彦：高感度なハンディ型 GPS を使用した森林内での計測比較、応用測量論文集 17、PP115-123、2008.11
- (4) 樽谷宣彦、大家広路：林業分野における携帯型 GPS の活用について、機械化林業 No.629、PP9-17、2006.4
- (5) <http://www.aoisonic.com/waas/waas.htm> より抜粋