単独測位GPSの測位精度と茶園における利用の検討

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構 野菜茶業研究所*

荒木 琢也・深山大介・宮崎昌宏

(平成17年3月11日受理)

Accuracy of SPS-GPS and Application to Tea Field Management

Takuya Araki, Daisuke Miyama and Masahiro Miyazaki

National Institute of Vegetable and Tea Science

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization

Summary

In this study, accuracy and availability of SPS-GPS (Standard Positioning Service GPS) receiver as a positioning device was evaluated by a fixed-point and site test in a tea field. The SPS-GPS has a positioning precision of about 5.33 m (2 d RMS) with continuous observation for 12 hours at fixed-point. By using GPS, plotting and computing 1349m²($\pm 3\%$) area of tea field can be done easily in 13 minutes by a single operator. Therefore, GPS has sufficient accuracy, and is a simple device to collect geographical information.

Key Words: GPS, GIS, Tea Field Management

1 緒 言

合理的かつ効率的な茶園管理には、茶樹の生育、栽植状態や茶園土壌環境など茶園状態の把握や管理下にある茶園の気温や雨量等の気象環境や傾斜度、斜面方向など園地特性を把握することが必要である。薬剤や肥料などの資材の投入量の算出や単位面積あたりの収量などを求めるには茶園面積が必要であるが、基盤整備が行われていない茶園の多くは面積が正確に把握されていない。また、荒茶加工の担い手の減少や加工施設の経営の改善の必要性から再編整備が推進され、製茶施設は大型化しており、製茶施設を利用する茶園の数は増加していると考えられ、多数の茶園を効率的に管理する必要性がある。このような状

況のなか、数多くの茶園の農地管理や生産管理を効率的に行い、生産性を向上させるためにGIS(地理情報システム)の活用が求められている。しかし、GISの基盤となる地理情報の整備は進んでおらず、幹線道路から離れた作業道などは既製の地図に記載されていないことが多い。さらに茶園の現状を反映した詳細な地理情報は容易に取得できない。そこで、GPS(Global Positioning System)による地理情報の取得および利用が注目されるようになってきた。

GPSは、アメリカ合衆国が開発・運用している人工衛星を用いた位置決定のためのシステムである。今日、カーナビゲーションシステムをはじめとして、高精度のものは測量にも用いられるようになった。GPS衛星は地球

* 〒428-8501 静岡県島田市金谷2769

の赤道面に対して55度傾いた6枚の軌道面上、高度約20,000kmに4個ずつ合計24個配置され、その周回周期は0.5恒星日である。

測位の仕組みは、軌道上の位置がわかっている複数のGPS衛星からGPS受信機までの信号到達時間をもとにGPSアンテナの位置を計算する。信号到達時間をもとに距離を算出するためGPS衛星には正確な時刻を刻む原子時計が組み込まれている。緯度、経度、高さ、受信機の時計の誤差の4つの未知数を得るために4機のGPS衛星の信号到達時間から時刻の同期を行い、測位を行う。

GPS測位方式には単独測位方式と相対測位方式とがある。単独測位はGPSのもっとも基本的な利用法で、カーナビゲーションシステムや船舶用、レジャー用途などに利用されている。市販されている受信機の価格は数万円からある。GPS衛星からの電波のみにより測位する方式であるため、軽装備にでき、電源は乾電池やコンピュータから供給される方式のものが多い。衛星からの電波が受信できる場所で利用可能である。相対測位方式にはディファレンシャルGPS(以下D-GPS)、干渉測位がある。D-GPSは既知の点の測位誤差情報を、未知点へ伝送し、未知点での測位結果を補正して精度を改善する方式である。日本では海上保安庁の中波ビーコン、FM多重により補正情報を受信できる。精度は数mと言われている。衛星からの電波のほか補正情報用電波の受信装備が必要であり、補正情報が受信できる場所でないと性能を発揮できない。干渉測位方式はGPS衛星からの電波の搬送波の位相を測定し測位を行う方式で、キネマティック方式、スタティック方式がある。精度は後処理を行う場合、数mm、実時間測位で数cmと言われている。一般に固定局と移動局を一組にして測位を行うため重装備である。

農業においては、作業機械の位置認識や自動操舵に干渉測位方式の高精度GPSの利用が試みられている^{2~7)}。また、ディファレンシャルGPS、GISを用いた土壌調査支援システムが開発されている⁸⁾。しかし、単独測位方式のGPSについては利用されていない現状にある。

元来、GPSは軍事目的に開発されたため、民間利用においては測位精度を低下させる信号(Selective Availability: S/A)が出されていたが、2000年5月にそれが解除された。このため測位精度は基本的な構成の単独測位GPSにおいても100m程度から10m程度に改善されたといわれており、位置情報の取得手段として実用的なシステムになってきた¹⁾。

そこで本報では、近年精度の向上があり、軽装備で容易に取り扱え低コストであるなどのメリットがある単独測位GPSを用いて、その測位精度を調査し、茶園面積計測やGISの構築など茶園管理への利用を検討した。

なお、本研究は農業・生物系特定産業技術研究機構の交付金プロジェクト「消費者に信頼される生産体系を支える精密畑作農業技術の開発」の一環で行ったものである。

2 方 法

供試したGPS受信機の仕様を表1に示す。単独測位GPSはコンパクトフラッシュカード型GPS受信機(日本無線株式会社製、NNN-310TA、外形寸法57.0mm(W)×74.3mm(D)×22.0mm(H)、重量約55g)で、測定には外部GPSアンテナ(日本無線株式会社製、NAY-3700M5、外形寸法41mm(W)×50mm(D)×15mm(H)、重量約115g)を使用した。L1帯(1575.42MHz)の8チャンネルの受信が可能で、民間向けのC/Aコードの符号を利用して測位を行った結果をNMEA0183フォーマットで1秒毎に出力する。電源はコンピュータより供給される。

表1 供試GPS受信機の仕様

型式	NNN-310TA
外形寸法[mm], 質量[g]	57.0(W)×74.3(D)× 22.0(H)、55
インターフェース	コンパクトフラッシュ TypeII
受信方式	マルチチャンネル (8チャンネル)
受信周波数	1575.42MHz
出力フォーマット	NMEA0183

測位精度を調べるための測位データの収録は自作のアプリケーションを用い、ノート型パソコンで行った。緯度、経度、高さのほか受信衛星数、受信状態の把握のため信号対ノイズ比(SNR)、測位点と衛星の配置との幾何学的関係による測位精度への影響を示す精度低下率(Dilution Of Precision, 以下DOP)、位置精度低下率(PDOP)、水平位置精度低下率(HDOP)を取得できる。茶園属性データの取得、解析にはGISデータ収集ソフトウェア(株式会社アカサカテック製SOLO-FIELD, Version 3.3.1)を用いPDA(PocketPC, 日本ヒューレット・パッカード株式会社製h 2210)でおこなった。

本報では、GPSからの出力にはWorld Geodetic System 1984 (WGS-84)と呼ばれる座標系を、三角点の緯度、経度には国土地理院の世界測地系(測地成果2000)と呼ばれる座標系を用いた。ともに地球中心を原点とした地心測地座標系である。準拠楕円体の扁平率がごく僅かに異なるものの、この影響は僅かであるため⁹⁾、本報では等しいものとして扱った。また高さについては、WGS-84系によるジオイドからの高さを高さとし、測地成果2000による水準面からの高さを標高と記した。

計測結果の精密度(ばらつきの程度)は、水平面を対象として誤差円半径($2 \times \text{distance root mean square}$, 以下2 dRMS) [m]で表した。2 dRMSは測位誤差が典型的な分布をする場合、誤差のうち95%がその範囲に入るため、GPSの精度を示す指標として用いられている。緯度および経度の距離への変換は、緯度方向30.8m/秒、経度方向25.4m/秒で計算した。

2.1 単独測位GPSの測位精度

利用可能な衛星数や受信状態の変化を調べるために、野菜茶業研究所(静岡県榛原郡金谷町)内の圃場において、周囲が開け上空に信号を遮蔽する障害物の無い受信条件が良いと考えられる茶園(アンテナ高地上1.5m, 以下A地点)と、アンテナ上部より南側に樹木(樹高8-13m)に囲まれ、受信条件が悪いと考え

られる茶園(アンテナ高地上1.0m, 以下B地点)にアンテナを設置して、単独測位による12時間の連続測定を行った。測定は、2002年8月19~20日(A地点)、同21~22日(B地点)にかけて、1秒間隔でデータを収録した。

単独測位GPSの測位結果の再現性を検証するため、測位結果の年間変動を、2004年にC地点(周囲が開け上空に信号を遮蔽する障害物の無い)において計測した。計測は毎月行い、5分間(300点)の平均値を測位結果とした。

2.2 三角点測位試験

単独測位の測位精度を検証するため、位置座標が正確に求められている三角点に測位点を設けて、測定を行った。測位点には四等三角点(基準点コード5238-11-6001, 点名 牧ノ原, 北緯 $34^{\circ}48'37''$.6996, 東経 $138^{\circ}7'43''$.4955(世界測地系), 標高213.74m)を用いた。三角点は牧之原台地の茶園内にあり上空に信号を遮蔽するものはなかった。GPSアンテナはポールを用いて、三角点の真上1.5mに設置した。測定は、2002年8月29日10時~11時にかけて、1秒間隔でデータを収録した。

2.3 茶園属性データ収集への応用

茶園属性データ収集への単独測位GPSの適用を調査する目的で、茶園形状、面積および栽植様式の取得を試みた。約13.5a, 11うねの茶園を供試し、茶園を7角形として取得した。またうね配置はうねの両端の位置を記録した。1点あたりの測位にかかる時間について5秒(概ね5回サンプリング)¹⁰⁾や10秒(概ね10回サンプリング)¹¹⁾の事例がある。また、公共測量作業にネットワーク型RTK-GPSを利用する場合、1点あたりの観測回数を10回以上とすることが提案されている¹²⁾。本試験では10データ(概ね10秒間)をサンプリングし平均化した値を測位結果とした。計測作業は1人でを行い、茶園外周を歩行し頂点およびうねの端点を記録した。

測定は、2004年9月28日10時~12時に行っていた。点間距離および面積を測量機により計測した実測値と比較した。

3 試験結果および考察

3.1 衛星受信状態

測定点において単独測位で得られた緯度、経度、高さ、GPS受信機が捉えた衛星数、PDOPの比較を表2に、受信衛星数、PDOPの時間変化を図1に示す。受信衛星数はA地点では6を下回ることがなく、平均7.7個のGPS衛星を捉えていた。B地点では、測定中平均6.5個のGPS衛星を捉えていたが、午前1時から午前5時の間は衛星数の変動が大きく、3次元測位に最低限必要な4を下回ることがあった。12時間の測位結果の精密度はA地点では水平面2 dRMSが5.33mであったのに対し、B地点では10.2mであり、誤差円面積は4倍であった。測位に利用される衛星はGPSアンテナ内部で決定されるが、PDOPはA地点では平均2.0と良好であったのに対し、B地点では平均2.5と受信状態はA地点に比べ劣った。PDOPは3以下が好ましいとされるが¹³⁾、PDOPが、3より大となる時間の割合はA地点で0%、B地点で

19.3%と、測位地点の状況によりGPSの利用に適さない時間が出現することがわかった。PDOPが3より大となる時間帯は衛星数が少ない、午前1時から午前5時の間だった。このような時間帯は精度の低下が認められたことから、フィールドでの計測中はPDOPあるいは衛星数のいずれかをモニターすることで、測位精度の劣るデータを除去できると考えられた。

衛星方位角によるSNRの分布の状態を図2に示す。測位点において受信機が捉えた衛星のSNRは、A地点で平均49.3dB、B地点で平均45.1dBであった。南側を樹木に遮られたB地点では、南側(90°-270°)にある衛星からのSNRが低く、SNRの低下は樹木による信号の減衰の影響によると考えられた。

3.2 測位結果の年間変動

2004年1月から同年12月にC地点において測位した結果、年間12点の水平面2 dRMSは5.75mであった。各月の測位状態の衛星数は7～8個、PDOPは1.5～2.4であり2 dRMSは最

表2 連続測位結果 (静岡県榛原郡金谷町)

測位点		A地点 2002年8月19-20日	B地点 2002年8月21-22日
緯度	平均	34°48'25.5466"	34°48'31.2826"
	最大	34°48'25.9080"	34°48'31.9800"
	最小	34°48'25.3200"	34°48'30.6660"
	2σ	0.0726"	0.1409"
経度	平均	138°07'57.0726"	138°08'02.1183"
	最大	138°07'57.2820"	138°08'02.9700"
	最小	138°07'56.7780"	138°08'01.5240"
	2σ	0.0570"	0.1069"
水平面2 dRMS[m]		5.33	10.2
高さ[m]	平均	208.1	204.8
	最大	217	227
	最小	191	158
	2σ	3.0793	6.8243
PDOP	平均	2.0	2.5
衛星数	平均	7.7	6.5
	最大	8	8
	最小	6	0

小3.01m（9月）、最大6.14m（2月）だった（表3）。PDOPおよび衛星数がばらつきの程度である2 dRMSに及ばず影響は本試験の条件では認められなかった。高さについては平均205.5m、標準偏差5.2mで、218.0m（1月）～199.8m（10月）と最大18.2mの差が生じた。測位結果のばらつきは、緯度方向で経度方向より大きかったが、一定の傾向は認められなかった（図3）。良好な条件下での単独測位GPSによる測位の再現性は、年間を通して半径約6 m程度の円となる。茶園や防霜ファンの特定などに利用できると考えられた。

3.3 三角点における単独測位の精度

測位結果を表4に示す。緯度、経度、高さはWGS-84座標系による600回の測定値の平均、標準偏差である。測位結果と三角点の測地成果との座標値の差は国土地理院のプログラムデータを用いて、準拠楕円体をGRS80として、距離[m]に換算して誤差として求めた。測位結果と測地成果との誤差は南北（緯度）方向で1.21m、東西（経度）方向で0.645m、距離で1.37m、高さで3.24mであった。計測中

の水平面2 dRMSは1.56m、PDOPは1.9であり、受信状態は良好であった。

測定に利用した三角点は茶園内にあり周囲が開けて、受信状態が良かったため、単独測位としては極めて高い精度で測位できたと考えられた。また、2 dRMSが小さかったのは計測時間が10分間と短く、測位結果のドリフトの影響が少なかったためと考えられた。計測時間を短くすることで、ドリフトの影響が少なくなると考えられるが、年間のばらつきを考慮すると、単独測位GPSにより詳細な地理情報を得ることは困難であると考えられる。今回の誤差1.37mは茶園の境界や茶うねを識別するような、詳細なGIS構築への適用には精度が不足すると考えられるが、1/1000の地形図上では、約1.4mmであり、デジタルマップ上で茶園の位置を特定するなど、簡易な情報取得手法として利用できると判断された。

3.4 茶園情報の取得

約13.5a、11うねの茶園を供試し、茶園形状、面積、うね配置の取得をした（図4）。作業に要した時間は衛星信号を受信し測位結果が安

図1 障害物の有無が受信衛星数およびPDOPに及ぼす影響

A：障害物なし2002年8月19～20日

B：障害物あり2002年8月21～22日

図2 衛星方位角の違いによるSNRの変化
方位角は0°, 90°, 180°, 270°の順に北、東、南、西

表3 測位結果および受信状態の年間変動(2004年)

日 時			結 果			状 態		
月	日	時 刻	緯度[秒]	経度[秒]	高さ[m]	2dRMS[m]	衛星数	PDOP
1	16	12:00:00-12:04:59	27.2948	57.6055	218.0	5.28	8.0	2.4
2	26	12:00:00-12:04:59	27.4235	57.7158	204.9	6.14	7.8	1.8
3	23	12:00:00-12:04:59	27.4938	57.6233	210.1	4.18	7.0	2.1
4	23	14:30:00-14:34:59	27.4690	57.6902	202.3	3.93	8.0	2.3
5	18	10:30:00-10:34:59	27.4603	57.6611	211.3	5.94	8.0	1.5
6	16	12:35:00-12:39:59	27.3606	57.5058	205.5	4.59	8.0	1.8
7	14	11:30:00-11:34:59	27.3460	57.5526	203.7	3.26	8.0	1.7
8	16	12:30:00-12:34:59	27.3088	57.6575	201.3	3.13	7.9	1.9
9	21	12:15:00-12:19:59	27.4359	57.5855	204.8	3.01	8.0	1.7
10	22	09:45:00-09:49:59	27.3837	57.5753	199.8	3.95	8.0	1.6
11	24	11:15:00-11:19:59	27.3457	57.5746	202.4	4.43	8.0	1.7
12	17	11:50:00-11:54:59	27.2725	57.7397	202.1	4.79	8.0	1.9

表中の緯度および経度はそれぞれ34°48'および138°07'以下の値を記載した。

図3 1年間の測位結果のばらつき
2004年1月—2004年12月

表4 三角点における測位結果

測位点	四等三角点 牧ノ原
	2002年8月29日
緯 度 平均	34°48'37.7390"
2σ	0.0233"
経 度 平均	138°07'43.4701"
2σ	0.0545"
高さ[m] 平均	210.5
2σ	0
水平面 2dRMS[m]	1.56
PDOP 平均	1.9

図4 GPSによる茶園形状、面積、うね配置
の取得
茶園面積13.5a，11うね

定するまでの3分間と茶園形状7点、うね配置22点の計29点を取得する10分間とで、計13分であった。単独測位GPSおよび測量機により計測された面積はそれぞれ1305m²、1349m²で約3%の誤差が生じた。形状は測量機により取得した形状とほぼ同等であり、7点の各頂点間の距離の誤差は平均0.69m (n=21)、最大1.77m、最小0.05mだった(図5)。面積および茶園形状の取得において生じた誤差は、測位結果のドリフトなどの単独測位GPS自体の不確定の誤差による精度の限界と考えられた。また、2004年の毎月の測位結果の2 dRMSを考慮すると、面積計測には不安定である。うね配置図と茶園図とを合わせた場合、うねが茶園外に表示され、うねの配置を取得するには十分な精度はなく、測量機の代替としての利用には不十分と判断された。

国土地理院発行の地図の精度は1/25000地形図で図上±0.7mm(約±17m)、1/2500国土基本図で図上±0.7mm(約±1.7m)であるから、単独測位GPSにより取得した位置情報はほぼ1/2500国土基本図に相当する情報と考えられる。したがって、縮尺の大きな地図やコンピュータディスプレイ上で地図を拡大できるGIS構築への適用には精度が不足するが、茶園での観察記録の位置情報・日時情報記録な

図5 GPSによる茶園頂点間距離計測における誤差頻度 (n=21)

茶園面積13.5a, 11うね, 7頂点

e: GPSによる点間距離計測の誤差 [m]

どへの利用が可能と考えられた。縮尺の小さな地図、例えば1/2500の地図を利用する場合、単独測位GPSを茶園の特定や誘導に利用できると考えられた。

4 摘 要

本研究では、単独測位GPSの測位精度を調査し、茶園面積計測やGISの構築など茶園管理への利用を検討し、以下の結論を得た。

- 1) アンテナ上空の状況により、衛星からの信号の受信状態が劣化し、GPSの利用に適さない時間帯が出現する。
- 2) 良好な条件下での単独測位GPSの精密さは約5m(2 dRMS)であり、測位結果の再現性は、年間を通して半径約6m(2 dRMS)であることを確認した。
- 3) 三角点において測位した結果、誤差は南北(緯度)方向で1.21m、東西(経度)方向で0.645m、距離で1.37m、高さで3.24mであった。
- 4) 約13.5a, 11うねの茶園の茶園形状、面積、うね配置を取得した結果、うねの配置を取得するには十分な精度が得られなかったが、茶園面積は3%の誤差で取得できた。また、茶園形状は測量機により取得した形状とほぼ同等であった。
- 5) GISを構築するには精度が不十分であるが、GISを運用していく上で茶園の特定などに利用できると考えられた。

5 引 用 文 献

- 1) 坂井文泰(2003): 総合誤差. GPS技術入門, 東京電機大学出版局, 95-98.
- 2) 長坂善貞・谷脇憲・大谷隆二・重田一人・佐々木泰弘(1999): 自動走行田植機の開発(第1報), 農業機械学会誌61(6), 179-186.
- 3) 木瀬道夫・野口 伸・石井一暢・寺尾日出男(2001): RTK-GPSとFOGを使用したほ場作業ロボット(第1報), 農業機械学会誌 63(5), 74-79.
- 4) 木瀬道夫・野口 伸・石井一暢・寺尾日出男(2001): RTK-GPSとFOGを使用

- したほ場作業ロボット(第2報)，農業機械学会誌 63(5)，80-85.
- 5) 木瀬道夫・野口 伸・石井一暢・寺尾日出男(2002)：RTK—GPSとFOGを使用したほ場作業ロボット(第3報)，農業機械学会誌 64(2)，102-110.
- 6) 木瀬道夫・野口 伸・石井一暢・寺尾日出男(2002)：RTK—GPSとFOGを使用したほ場作業ロボット(第4報)，農業機械学会誌 64(4)，76-84.
- 7) 水島 晃・野口 伸・松尾陽介(2004)：GPSを使用した車両方位計測法，農業機械学会誌 66(6)，136-143.
- 8) 安田典夫(2001)：GPSを搭載した農耕地の土壤調査支援システムの開発，ペドロジシト45(1)，14-22.
- 9) 土屋 淳・辻宏道(1999)：3.1.4日本測地系とWGS—84系。改訂版GPS測量の基礎，日本測量協会，62-63.
- 10) 樋口良彦(2002)：農業土木におけるGPS利用技術(その5)，農土誌，70(2)，147-150.
- 11) 奥山武彦・奥島修二・中里裕臣・今泉眞之・竹内睦雄(1998)：ディファレンシャルGPSの測位精度と野外調査への応用の検討，農業土木学会論文集194，149-157.
- 12) 国土交通省国土地理院(2004)：ネットワーク型RTK—GPSを利用する公共測量作業マニュアル(案)基準点測量，12.
- 13) 土屋 淳・辻宏道(2001)：3.1.2単独測位の精度，そして誤差。新・やさしいGPS測量，日本測量協会，116-117.