

# GPS-VRS-RTK方式による 短時間・高精度位置測定技術の解説

渡辺 和明<sup>1)</sup>・七山 太<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

我々産業技術総合研究所地質調査総合センターの「地質の調査」業務では、地震・火山噴火などによる地殻変動量の把握や地中構造探査などにおいて、地形の位置と標高に関する精密な計測が要求される。そのため的手法として、従来から最高精度が数cmとされるGPS (Global Positioning System) による3次元位置測定が行われているが、基準局の設置や実際の測定・解析に長時間を要することが難点となっていた。

しかし近年の科学技術の発展により、一人でも簡単に、精度良く、かつ短時間で効率的に測定できる手法が考案され、それに対応した機器が開発・販売されてきている。本稿では、最近、地理分野の学会でも流行の兆しを見せているGPS-VRS-RTK方式について、ユーザー側の立場から実際の測定結果に基づき解説を行いたい。

## 2. 測量とは?

そもそも測量とは、地球表面上の点の関係位置を決めるための技術・作業の総称である。具体的には地図の作成、土地の位置・状態調査などを行う。基本測量作業および公共測量作業に従事するためには測量士もしくは測量士補の国家資格を必要とされ、その内容については測量法において詳細に定められている(岡田・森, 2008)。

実は測量の歴史は古く、古代エジプトのピラミッド建設時から行われてきたことが知られている。我が国では1800年に伊能忠敬が日本地図作成のため、蝦夷地(現在の北海道)で本格的な測量を行ったの

が始まりとされる。伊能が56歳の時、即ち、寛政12年(1800年)が我が国の測量史の紀元といえる。この時伊能は、緯度1度がおおよそ111km程度に相当すること、またそれを基に、地球全体の外周がおおよそ4万km程度であることを知っていた。この値は現在計測されている数値と0.1%程度の誤差内であり、伊能の測量の正確さの証左ともいえる。こうして作られたのが大日本沿海輿地全図である(第1図)。

測量は分類の仕方によって、測地測量(基準点測量)と地形測量(細部測量)に、さらに前者は、三角測量、多角測量、三辺測量、水準(レベル)測量、GPS測量に区分される。

三角測量は、基準点と各測点を結んで測量区域を三角形の組み合わせで示し、三角法により三角形の内角・辺長を用いて位置関係を求める方法である。



第1図 伊能忠敬と大日本沿海輿地全図の切手。

1) 産総研 地質調査情報センター  
2) 産総研 地質情報研究部門

キーワード: 「地質の調査」業務, GPS (Global Positioning System), 3次元位置測定, VRS-RTK方式, 鳥取砂丘, 霧多布湿原

片方の測点上に経緯儀(トランシット)を設置, もう片方の測点上に目標となる棒(スタッフ)を立てる. トランシットからスタッフを目視し角度を調べる. 測点間の距離は角度, 一辺の長さを基に数値計算で算出する. 基準点と測点間の視界を確保する必要があるため, 建築物など障害物の多い場所での三角測量は測点が多くなるなど手間と時間がかかる.

多角測量はトラバース測量とも呼ばれる. 測点間の測定方法は三角測量と同一. 基準点から測点A, 測点Aから測点B, 測点Bから測点Cという具合に測点を結んで測量区域を多角形で示し, 多角形の各辺の長さ・角度で位置関係を求める. 描く多角形にはいくつかの種類があり, 多角形の辺が最終的に基準点に戻ってきて閉じた状態になるものを「閉合トラバース」, 戻ることなく開放された状態になるものを「開放トラバース」と呼び, 三角点などの高い精度を持つ2つの基準点を結ぶものを「結合トラバース」と呼ぶ.

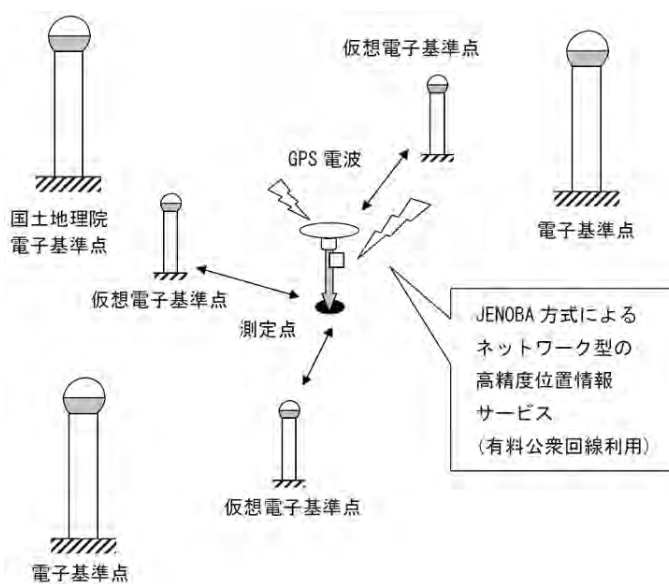
三辺測量は, 3つの測点で描く三角形各辺の距離を測量する. かつては精度が悪いため使われなかったが, 近年では高精度で距離を測れる光波測距儀などの機器が登場し, それにより利用可能となった.

レベル測量とは2測点間に「標尺」を設置, レベルと呼ばれる光学機器により地表からの高さを測定する. これを繰り返し, 国土地理院の基準点の標高との比較から各測点の正確な高さを算出する基礎的な方法である. この方法はシンプルであり, 熟練すれば精度が向上し, 汎用性が高い. 我々も, 基準点のないベトナム・メコンデルタ海岸において, 季節的な沿岸浸食・堆積状況の断面変化を調査するために, レベル測量を同一測線で繰り返し行った経験がある(渡辺, 2008).

GPS測量は, 基準点と未知点にGPS受信機を設置し, 同時に長時間観測することにより2点間の距離をcmオーダーで精密に求める方法である.

### 3. GPS-VRS-RTK測量とは?

カーナビゲーションシステムや携帯電話では, 一般にGPS(Global Positioning System)が普通に使われ



第2図 GPS-VRS-RTK方式のイメージ.

ているが, GPSを用いた測量はカーナビの普及以前から徐々に採用されはじめ(Jan Van Sickle, 2001), 今日では日本の国土の維持管理を目的とした基本測量に広く利用されている(坂井, 2003).

日本の国家三角点の座標値は, これまで三角測量などで求めていたが, 現在はGPS測量がその役割を担っている. 特に, 国土地理院設置の日本全国のGPS電子基準点による24時間観測データから, 大地震時の地殻の動きや大陸プレートの移動についても高精度で監視できるシステムが構築されている.

また最近では, 奥村(2010)がRTK-GPS方式を用いて, 海成段丘の高度や活断層による変位地形の計測を行い, その実用性が証明されている.

今回紹介するGPS-VRS-RTK方式は, GPS電子基準点の情報と測定者のGPS測定情報を基に, 測定箇所近傍に仮想基準点(Virtual Reference Station: VRS)を設けてそれを利用するという最新の方法であり, 基準点からの距離が短くなれば相対的に精度が良くなるというGPSの特長を最大限に生かすものである. それには, 有料のJENOB A方式によるネットワーク型の高精度位置情報サービスを受けることが前提となり, 情報の送受信はモデムと携帯電話の公衆回線を利用することになる. よって天空が開け, かつ携帯電話が通じる場所であるならば, 国内の殆どの



第3図 根室市南部沿湿原において使用した  
Leica SR530.



第4図 浜中町霧多布湿原において使用したスマートローバー。

mm+1ppmとされている。

#### 4. 測定方法

今回のシステムのうち、Leica SR530を使用したものは、1本のカーボン製のポールの最上部にGPSアンテナを装着し、ポールの中程にコントローラー、リュックサック内にGPS受信機本体と外部バッテリー、すぐに操作が可能なモデムと携帯電話をウェストバッグに納め、各々をケーブルで接続する格好で測定した。スマートローバーでは、ポールの最上部にGPSアンテナと受信機が一体となった装置を設置し、ウェストバッグに携帯電話のみを納め、各機器間をBluetoothによる無線で接続している。

実際の測定手順としては、事前に測定日の日付などによるジョブを作成し、平面直角座標系のチェック、始点のID番号を入力しておく。測定点にポールを置き、携帯電話を用いて高精度位置情報サービスに接続し、精密測定モードになったら、ポールを2本の棒で支え三脚状態にして地表面に鉛直状態で固定し、測定ボタンを押し20秒で3次元座標が得られ測定終了となる。ID番号は自動でインクリメントされ次の点での測定が可能となる。スマートローバーでは、まずインターネットに接続した後に高精度位置情報サービスに接続するという接続方式が異なる以外の操作は同様で、測定時間は10秒である。

測定されたデータは、いずれの方法もコンパクトフラッシュカードにテキスト形式で蓄積されるので、その後、容易にパーソナルコンピュータに転送できる。

場所において、この方法の採用が可能となる(第2図)。

使用手順としては、まず携帯電話により移動局から概略位置情報を位置情報サービス事業者(配信事業者)に送信し、配信事業者において移動局周辺の電子基準点の観測量から概略位置に仮想基準点を作り、この地点の補正情報や位相データなどを計算して移動局に送り返す。こうして送り返された補正情報や位相データなどを基に測量を行って位置座標を求めるといった複雑な処理を行う。

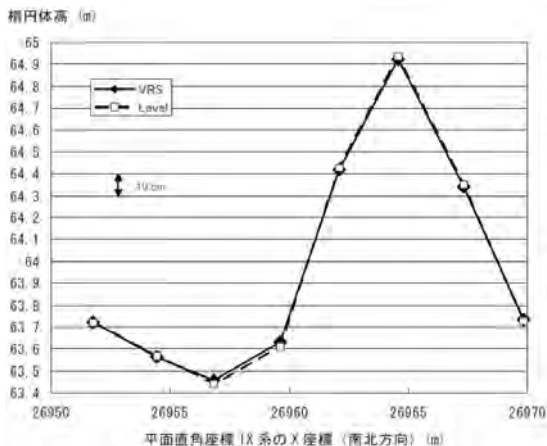
GPS-VRS-RTK方式は、観測した地点の3次元座標値が誤差数cmという高精度でわずか約10~20秒で得られるため、次から次へと場所を移動し、多くのポイントの座標が効率よく求められる。また、既知点の座標を入力しておけば、その点までの方向と距離が表示され、簡便に既知点の位置再現が可能である。ちなみに奥村(2010)はこのシステムを調査車両の屋根に設置し、車両で移動しながらの計測を連続的にを行い、3Dマッピングに成功している。

我々の沿岸低地(霧多布湿原、鳥取砂丘など)地形計測に使用したシステムは、2008年度はライカ・ジオシステムズ社製のLeica SR530受信機を使用したもの(第3図)、2009年度は同社製のスマートローバーSystem 1200 GNSS(第4図)であり、後者のカタログ値の精度は水平成分10mm+1ppm、垂直成分20





第5図 根室市友知海岸におけるレベル測量の作業風景。人員は最低2名必要。風の強い海岸では、標尺を地表面に対して垂直に保つことは難しいし、風で揺れる標尺の数値をレベルで読み取る作業にも経験がいることも重要。



第6図 GPS-VRS-RTK方式とレベル測量による楕円体高の比較。

Leica SR530でのデータフォーマットは、各測定点の測定日時、ID番号、平面直角座標系のX座標(N方向にプラス)、同Y座標(E方向にプラス)、楕円体高、前三者の各標準偏差、スマートローバーでは、ID番号、X座標、Y座標、楕円体高である。これらの楕円体高から測定地域付近の三角点のジオイド高の平均値(国土地理院がホームページで電子情報として提供)を差し引きすることで標高を算出する。

### 5. レベル測量などとの精度比較

我々がこのGPS-VRS-RTK測量方式を採用した目的は、地中レーダーでイメージングされた地形断面図の標高補正(村上ほか, 2008)を迅速簡便にかつ精度良く行うためであった。

この場合、精度の面からいえば、熟練者によるレベル測量が最適ではあるが、2人(レベル測定者と標尺者)以上の人員が必要なこと(第5図)、視通の確保、

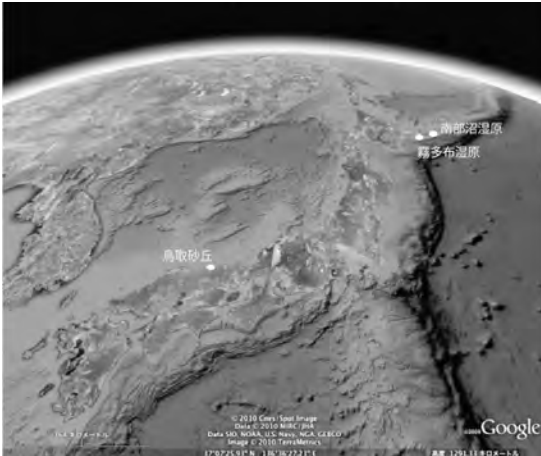
高低差が大きい場合は測定回数が多くなり効率的なデータ取得ができないこと、実務経験の有無によって誤差が増えること、などの欠点も多い。

一般にGPSによる3次元位置測定においては、垂直成分は水平成分の50%程度の精度しかないといわれてきた。この精度について検証するために、我々は産総研つくば中央第7事業所敷地内の8地点において標高を実験的に測定し、同地点において別途実施したレベル測量のデータと比較した。その結果、両者の測定差は約1~2cm程度内に収まった(第6図)。

さらに、測定精度が数cmである3種類の測定方式、即ちGPSファストスタティック、トータルステーション、レベルについて、測定条件や測定時間などの項目別の比較を行った(第1表)。この比較により、GPS-VRS-RTK方式は他の測定方法よりも優れていることは明確である。またこの方式は、標高とともにX・Y座標も同時に求められ、同時に3次元座標を得られることが最も重要といえよう。

第1表 標高測定精度が数cmの測量手法の測定条件や測定時間の比較。

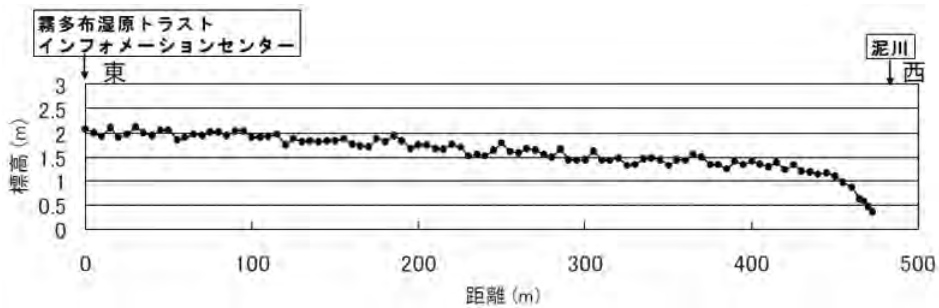
測定方式	測定条件	1点の測定時間	最低必要人員	基準点	特長	備考
GPS-VRS-RTK	上空が開けている 携帯電話が通じる	10~20秒	1人	仮想電子基準点	リアルタイムに未知点の座標が求まる	
GPSファストスタティック	上空が開けている	7分~20分	1人	電子基準点		測定後に電子基準点のデータとともに解析する
トータルステーション	機械点から測定点までの視通が必要	10~20秒	2人	ローカルな点	リアルタイムに未知点の座標が求まる	固定点の座標を求める必要がある
レベル	機械点から測定点までの視通が必要	10~20秒	2人	ローカルな点	リアルタイムに未知点の座標が求まる	固定点の座標を求める必要がある 水平位置が求まらない



第7図 南部沼湿原，霧多布湿原および鳥取砂丘の位置図。基図にはGoogle Earthを使用。



第8図 NPO霧多布湿原トラスト付近から西方向を望む。



第9図 霧多布湿原の琵琶瀬測線の状況。北から望む。

## 6. 日本の沿岸低地での実測例

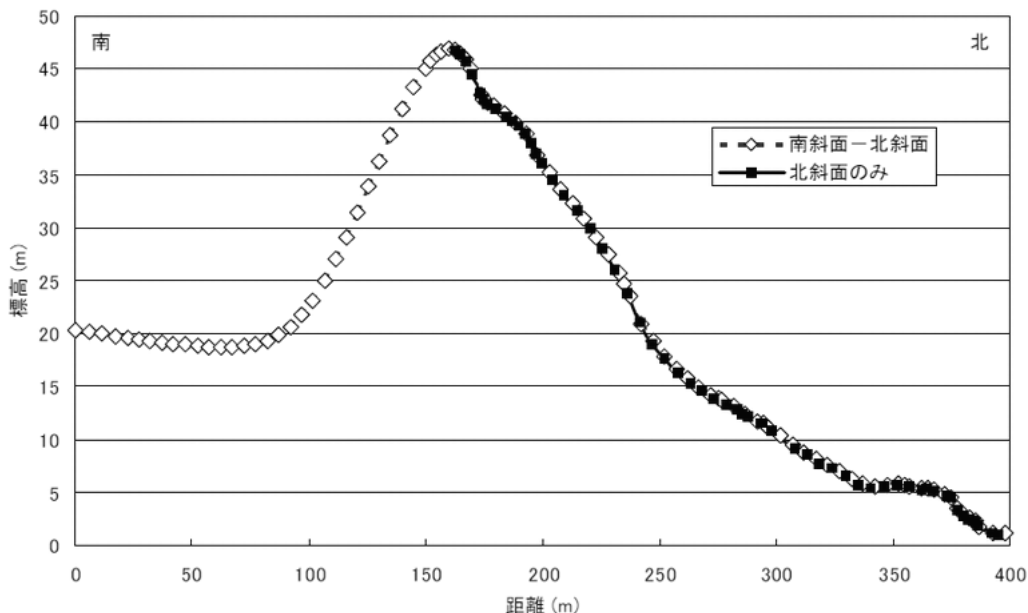
次に、これまで我々が行ってきた北海道根室市南部沼湿原，同浜中町霧多布湿原および鳥取県鳥取市鳥取砂丘（第7図）で地中レーダー探査とあわせて行った地形測量の結果のうち、微地形表現やデータの安定的な取得ができたものをその実例として示したい。

北海道浜中町琵琶瀬のNPO霧多布湿原トラストインフォメーションセンターから西方向を望む霧多布湿原（第8図）において、約470mのGPR測線上を5m間隔でGPS-VRS-RTK方式による測定を行った。その断面図（第9図）から、一見平坦に見える湿原であっても、約0.2%の勾配で西方向に向かって標高が低くなる傾向が読み取れる。さらに、地形断面には微少な凹凸が認められるが、これは寒冷地の湿原表面に多数存在する谷地坊主によるものである。



第10図 鳥取砂丘の馬の背。南から望む。

鳥取県鳥取市の鳥取砂丘には、「馬の背」（第10図）と呼ばれる第二砂丘列がある。この砂丘を横断するGPR測線上において、同様に5m間隔および傾斜変換点で本方式の測定を行った。この地形断面図（第11図）では、砂丘の斜面形状を正確にトレースするように見える。



第11図 鳥取砂丘の馬の背横断面を東から望む。

ちなみに北斜面の測定時においてGPR取得データの不具合が生じたため、再測定を行った。同日の午前・午後に同一の測線上にて測定を行い両者の比較を行った。その結果、GPS衛星状態が異なる環境でもその測定結果はほぼ同一であった。このことから見ても、GPS-VRS-RTK方式で得られたデータは、再現性が高いと断言できる。

### 7. まとめ

本稿ではGPS-VRS-RTK方式による最新の測量方法について概説した。この測量方法を用いる場合、GPSと携帯電話のデータ通信状況が満足する環境であるならば、一人での測定が可能である。しかも簡便、短時間に高精度で3次元座標を求めることができるシステムであり、測定作業の効率化に貢献できる。今後さらなる普及と技術の進展が望める有効な測量手法であると私達は着目し、いち早く地質ニュースの読者の皆様に本システムの解説文を紹介させていただいた次第である。

なお、本稿をまとめるにあたり、地質調査情報セン

ターの脇田浩二センター長、斎藤英二氏並びに中澤都子氏には、本研究に対しご理解・ご協力をいただいた。地質情報研究部門の齋藤文紀上席研究員、村上文敏博士並びに田村 亨博士には多数の建設的なご教示をいただいた。ここに筆者一同謝意を申し上げます。

### 参考文献

Jan Van Sickle (2001) : GPS for land surveyors, CRC Press, 284p.  
 村上文敏・田村 亨・七山 太・斎藤文紀・渡辺和明(2008) : 地中レーダの海岸平野研究への応用。地質ニュース, no.642, 13-18.  
 岡田 清・森 忠次(2008) : 測量学。森 忠次(編), 東京電機大学出版局, 310p.  
 奥村晃史(2010) : RTK-GPSを用いた地形計測, 日本地球惑星科学連合2010年大会講演要旨, HGM005-18.  
 坂井丈泰(2003) : GPS技術入門。東京電機大学出版局, 224p.  
 渡辺和明(2008) : メコンデルタ海岸測量記。地質ニュースno.650, 2-14.

WATANABE Kazuaki and NANAYAMA Futoshi (2010) : An introduction of short time and high-precise positioning technology using by GPS-VRS-RTK system.

<受付: 2010年6月4日>