

GNSSとはなにか

カーナビやスマートフォンの地図アプリなど、私たちの生活では幅広く「位置情報」が利用されています。これはスマート農業でも同じです。スマート農業では、省力化・効率化のため無人の車両ロボットを利用しますが、これら車両ロボットは、自分が圃場のどこにいるのかを常に把握しながら作業を進めます。また、場所ごとの作物の生育状態や肥料不足などの情報も、位置情報がなければ正確に把握できなくなります(図1)。

こうした位置情報を提供するために高精度で位置を計測する測位システムのことを「GNSS (Global Navigation Satellite System : 全地球航法衛星システム)」といいます。これは上空の人工衛星を利用して位置を測定するもので、アメリカのGPS以外にも、ロシアの「GLONASS」、ヨーロッパの「Galileo」、そして日本の「QZSS (準天頂衛星システム)」などがあります。これら衛星を用いた測位システムを総称して「GNSS」と呼んでいます。

GNSSではどのようにして位置を計測しているのか

たとえば、自分の家から歩いて5分(300秒)の距離にコンビニがある場合、歩く速さが1m/秒ならば、コンビニまでの距離は、「速さ(1m/秒)×時間(300秒)」から300mとすぐにわかります。

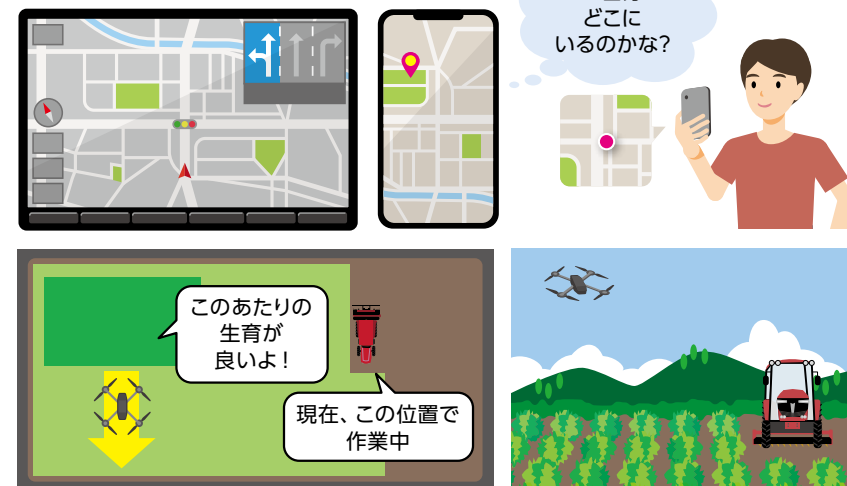
GNSSの位置計測もこれと同じ原理です。人工衛星から発信される電波には、「どの軌道にある、どの衛星から、何時何分に電波が送信されたか」や、「その衛星は今、どこにいるか」といった情報が載せられています。そして地上でこの電波を受けたときに、自分が持っている時計の時刻と、その電波に載せられていた時刻との差から、「電波がとどくまでに、どれくらいかかったか」が計算できます(電波の速度は、約30万km/秒)。

こうして人工衛星との「距離」がわかりましたが、これではいま自分がいる「位置」が1か所には定まりません。「位置」を知るには、使う人工衛星を3つに増やします(図2)。

紙の上ではこのように簡単なのですが、私たちは「高さ」がある「3次元

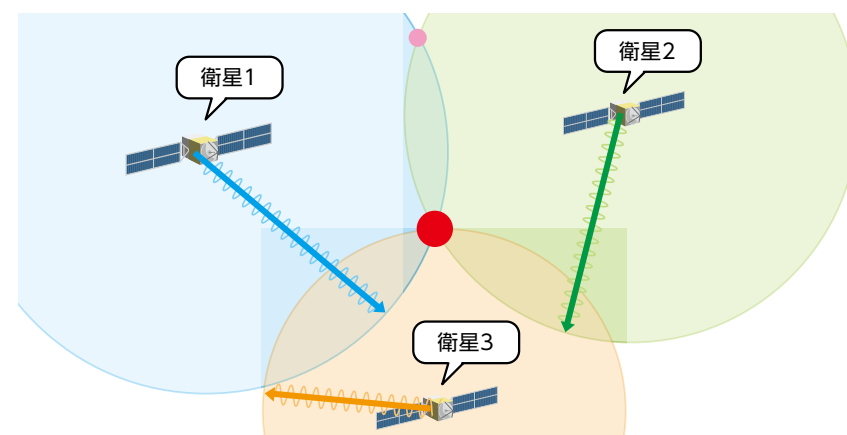
図1 位置情報はなぜ必要か

カーナビや地図アプリ



ふだんの生活で身近に活用している位置情報は、スマート農業でもドローンや車両ロボットの運用などで重要となる。

図2 計測原理



「衛星1」と「衛星2」を使い、そこからの距離がわかれば、電波を受け取った自分の位置は、「2つの円上にある2つの点のどちらか」というのがわかる。そして「衛星3」からの電波を受け取ることで、「3つの円が交わる大きな赤点の場所」にいることがわかる。

空間」に存在しています。そこで4つ目の衛星を利用すれば、地球上の3次元の位置(地図上の位置に加えて高度)が計測可能となります(図3)。

誤差について

人工衛星に搭載されている時計はとても正確ですが、それでも少しズレることがあります。また、地上の受信機に入っている時計はさらに時刻がズレることがあります。つまり、こうしたズレを含んだ時刻をもとに割り出した距離には「誤差」が生じます。

時刻のほかに人工衛星の軌道のズレや複数の衛星の位置関係のズレ、また地球をとり囲んでいる対流圏や電離層の影響による電波の速度の低下、そして地上の受信機のまわりに存在する障害物による「マルチパス(電波の跳ね返り)」などによっても誤差が生じます。

誤差は「範囲」を持っています。たとえば、的をねらってピストルを撃つと、弾は必ずしも的に命中するとはかぎらず、その周辺の一定の範囲に散らばります。このように誤差というのは「点」ではなく、ある程度の「範囲」を持ち、その面積が小さいほど正確だといえます。たとえば、図4のように人工衛星が上空に集まっている場合と離れている場合を考えてみましょう。どちらも同じ程度に距離の誤差を含んでいるとすると、衛星が近い場合の方が、各々の衛星が描く円の弧によってつくられる距離誤差の範囲面積が大きくなり、精度が低くなります。

GNSSを用いた測位方法

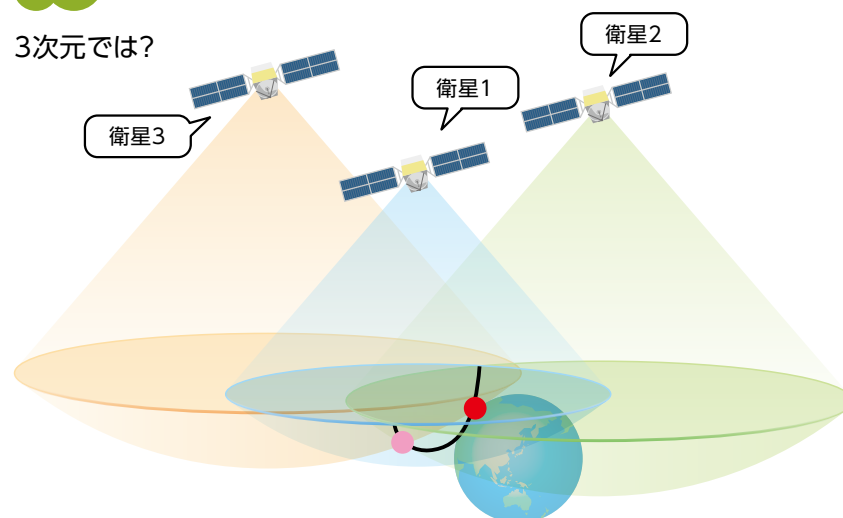
「単独測位」と「相対測位」

GNSSを用いて位置を計測することを「測位」といい、その方法を整理すると図5のようになります。

まず、今まで見てきたように1つの受信機で位置を計測する方法を「単独測位」といいます。ただし、単独測位では精度が不十分である場合には受信機を2つ使って精度を高める方法がとられ、これを「相対測位」と呼ん

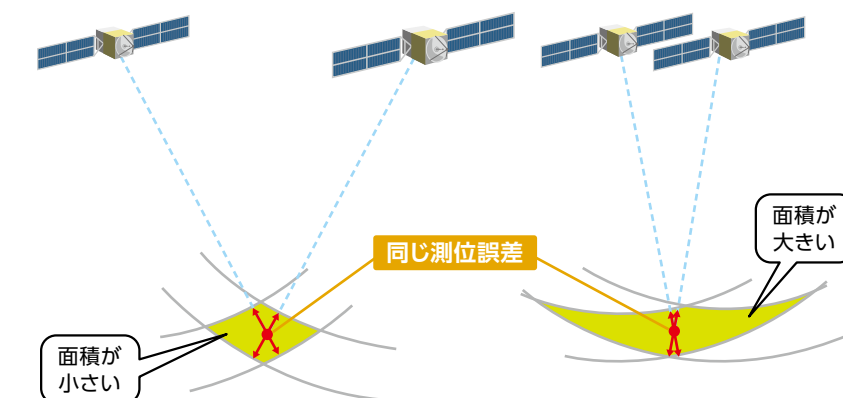
図3 計測原理

3次元では？



「衛星1」と「衛星2」が交わる部分は平面の「円」であらわされ、「衛星3」を加えることで、図のように赤い点2つがわかるが、特定の「位置」にしばらく込むためには、4つ目の衛星が必要になる。

図4 測位精度の指標



同じ測位誤差でも、衛星の配置によって精度は影響を受ける。その度合いをあらわす指標として、「精度低下率(DOP(ドップ))」があり、「値が大きくなるほど精度が悪くなっている」と判断される。DOPには「HDOP(水平の精度)」、「VDOP(垂直の精度)」、「PDOP(位置の精度)」の3つがある。

でいます。これは、固定している受信機「基地局(または基準局)」と、位置を知りたい地点にもう1つの受信機「移動局」を置いて計測して、基地局で出した補正データを移動局に送信することで、移動局の位置を補正して精度を上げる方法です(図6)。

ディファレンシャル測位(DGNSS)

相対測位では、基地局の補正データで移動局のデータを補正しましたが、ディファレンシャル測位は基地局と移動局の両方で単独測位を行って、基地局でその2つの差を割り出し、新たな補正情報を移動局に送る方法です(図7)。

今までは、図のように近くに基地局を設置する必要がありましたが、高精度な測位の必要がなく、コストを抑えたい場合は、補正信号を直接人工衛星から受信する方式などが採用されています。

干渉測位：スタティック測位とRTK測位

人工衛星からの電波の速度は一定ではなく、そこで距離の誤差が生じてしまいます。そこで、「複数の電波の波の数(周波数)」や「それらの波のズレ」を調べることで補正して正確な位置を計測する方法がとられます。いわば、電波に載せられている時刻や位置などの情報ではなく、「電波そのもの」を利用して測位するわけです。

干渉測位と呼ばれるこの方法は2つに分類されます。

まず、一定の時間をかけて、移動する衛星からの波の数を正確に数える「スタティック測位」です。ある衛星からの電波の波の数を時間をかけて計測すると、波の数に差が出てきます。その差から正確な位置を補正するわけです。スタティック測位は高精度ですが、長時間、定点で測らなければならないという難点があります。

もう1つは「RTK測位(リアルタイムキネマティック測位)」で、こちらは1つではなく複数の電波の波の数を計測して、それらのズレから瞬時に波の数を推定する方法です。スタティック測位よりも短い時間での測位が可能で、ロボット農機など移動する物体の測位にはこのRTK測位が用いられます。測位の精度は2cm(500円玉サイズ)で、受信側が携帯電話を使

図5 測位方法の分類

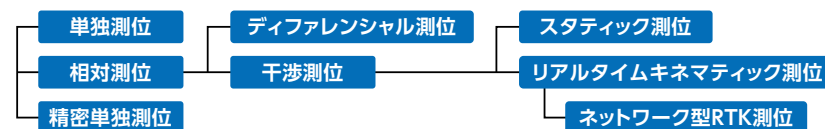
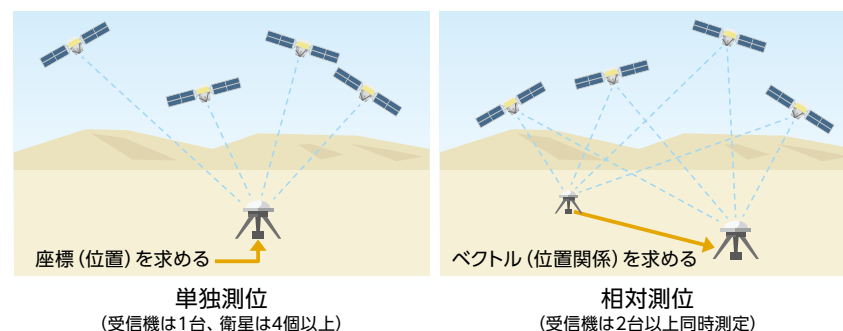
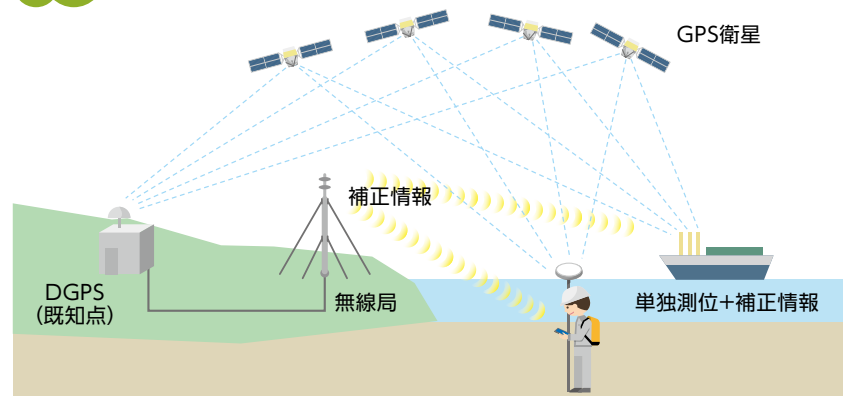


図6 単独測位と相対測位



単独測位は1つのGNSS受信機だけを使うが、相対測位は正確な位置がわかっている基準局からの相対的な位置関係によって測位の精度を高める。

図7 ディファレンシャル測位



2点の相対的な関係を用いるので相対測位だが、基地局と移動局の両方で単独測位を行ってから相対的な誤差を出し、補正データを算出する。誤差の範囲は数m~50cm程度。

って位置を確認することも可能です。ただし、RTK測位は複数の電波の周波数を受信できる高価な受信機が必要で、基地局との距離は10km以内という制約があります。

ネットワーク型RTK測位

干渉測位は2つの受信機を用意するのでコストがかかり、距離が離れるほど時間をかけなければ高精度の測位ができなくなります。これに対して「ネットワーク型RTK測位(ネットワーク型リアルタイムキネマティック測位)」は、補正信号を基地局からではなくネットワークから得る方法です。そのなかで最も使用されているのが「VRS方式」と呼ばれるもので、国土地理院が日本全国に置いた約1300点の「電子基準点」の情報から得られた補正信号を配信事業者がネットワークを介して農場の移動局に送信します(図8)。

精密単独測位

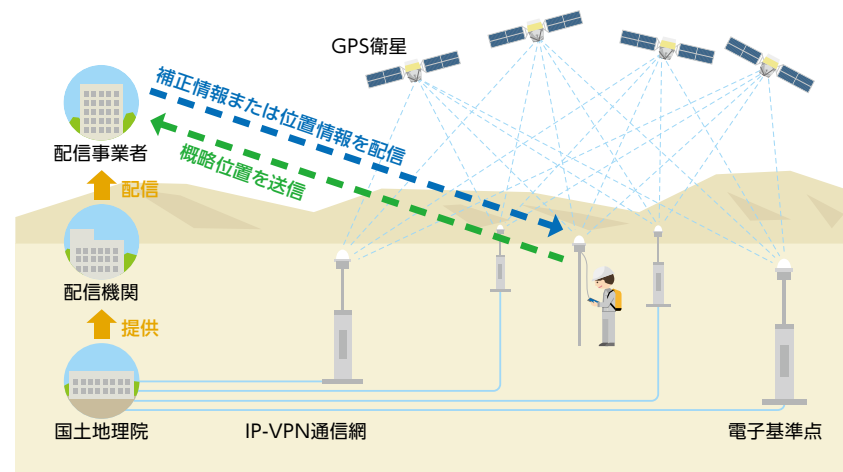
ネットワークが使いにくい場所でも測位ができる方法です。通信衛星からの補強信号を用いて、単独で測位精度を高めるもので、^{エスラス}「SLAS」や、誤差がセンチメートル級の^{シーラス}「CLAS」、日本が開発した^{マドカ}「MADOCA」など、いくつかの測位方法があります。たとえば、日本の準天頂衛星(QZSS)「みちびき」は、ほかのGPS衛星の補完や電波の改善、補正信号の送信などを行ったりして、測位精度を高めています。

現在の問題点と利用の際のポイント

GNSSの利用例としては、ドローンや車両ロボットがあります。防除作業などに用いられる飛行型ドローンの場合は機材の積載量に限界があるためにRTK測位よりも単独測位のGNSSが使われることが多く、いっぽう車両ロボットでは機材を積むことができ、さらに移動時に作物を傷つけないようにしなければならないため、高い精度で測位できるRTK測位やネットワーク型RTK測位が用いられます。

しかし、農作業を行う環境には、GNSSにとって不都合な要因が少なく

図8 VRS方式



国土地理院が設置した電子基準点で計測された情報は、「IP-VPN通信網」を通じて国土地理院に集められる。移動局が正確な位置を知りたい場合、どのような補正信号になるかを配信事業者が計算し、ネットワークを介して移動局に送信する。これも携帯電話を用いて測位できる。国土地理院の電子基準点の利用は無料だが、配信事業者によるデータの利用は有料となる。

ありません。たとえば防風林によって人工衛星からの電波がさえぎられることがありますし、都市部から離れた場所では、ネットワーク型RTK測位で使用する携帯電話の電波が途切れることもあります。

GNSSを導入する際には、精度や特性などはさまざまなので、目的や予算に合った方式を選び、すでに導入している場合はその特性を踏まえたうえで適切に利用することが重要といえます。