

第1章 もはや commonsense の GPS... 位置がわかる理由知ってますか？

# GPS 衛星測位のしくみ

塩野 隼人 Hayato Shiono

## 衛星からの電波で位置がわかるしくみ

● 専用の人工衛星があるから位置が測れる

衛星測位とは、「人工衛星から到来する電波を利用して、位置を測る方法」のことをいいます。衛星測位のための電波を放送している人工衛星を測位衛星と呼び、それら測位衛星を構成するシステムのことを測位衛星システムと呼びます。

測位衛星システムの代表的な存在が、米国の運用するGPS(Global Positioning System)です。今や位置を知る手段・方法として一般名詞となったGPSですが、正確には米国が運用する測位衛星システムの名前です。

GPSのような測位衛星システムが提供するサービスは測位(Positioning)、航法(Navigation)、時刻(Timing)の3つで、頭文字をとってPNTと呼ばれます。航法は「自分の位置を測定(測位)しながら目的地や経由地に導く方法」のことをいいます。航法は測位と異なる意味を持ちますが、航法に必要な測位のことを指す場合もあります。

もう1つの時刻は一見、測位に関係ないように思えます。しかし、衛星測位の原理を知ると、なぜ時刻が関係するのか理解できるでしょう。

● 衛星測位の原理

測位衛星から到来する電波を利用してどのように位置を測るのでしょうか。基本原理を図1に示します。

衛星測位は、衛星とユーザの間の距離を測ること(測距)で実現しています。そのために測位衛星が放送している電波を測距信号といいます。測距信号の中には、測位衛星が電波を放送した時刻の情報( $t^T$ )が含まれています。受信機は測距信号を受信した時刻( $t^R$ )と、測位衛星が電波を放送した時刻との差分、つまり電波の伝搬にかかった時間を求めます。これに電波の速度= $c$ (光速)を掛けると、測位衛星と受信機(アンテナ)間の距離 $r$ が求まります。

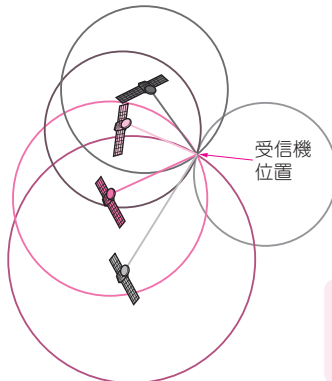
$$r = c(t^T - t^R) \dots \dots \dots (1)$$

測位衛星との距離がわかるということは、衛星を中心にその距離が描く球上のどこかにユーザが位置していることとなります。これを複数の測位衛星で計算すると、球が複数できます。それらの球が1点で交わる場所が、ユーザの位置になります。ある測位衛星 $p$ との距離は、その衛星 $p$ の位置 $x^p, y^p, z^p$ と、ユーザ $u$ の位置 $x_u, y_u, z_u$ を使って式(2)のように表せます。ユーザ $u$ の位置を表す3つの未知数があるので、連立方程式を立てて解くには、最低でも3機の測位衛星との測距を行う必要があります。

$$r_u^p = \sqrt{(x^p - x_u)^2 + (y^p - y_u)^2 + (z^p - z_u)^2} \dots \dots \dots (2)$$

ところで、この方法で正確な測距を行うには、測位衛星と受信機が共に正確な時間を刻んでいる必要があります。時刻が1 nsずれると、約30 cmの測距誤差が発生します。測位衛星は原子時計を搭載しており、高い精度で時を刻んでいます。一般的な受信機ではそうはいきません。そこで、受信機の時計誤差を4つ目の未知数として扱います。時計誤差を $\delta t_u$ としたとき、距離 $r^p$ は式(3)で表されます。時計誤差は単位をメートルに統一するため光速 $c$ をかけています。未知数が4つなので、最低限4機の測位衛星との測距を行うことで、ユーザの位置、そして受信機時計の誤差を求めることができます。

$$r_u^p = \sqrt{(x^p - x_u)^2 + (y^p - y_u)^2 + (z^p - z_u)^2} + c\delta t_u \dots \dots (3)$$



測位信号から、それぞれの衛星からの距離が求まる。距離がひとつに交わる点を受信機の位置

図1 衛星測位の基本原則