

GNSSとその測位原理

防災研究所
西村卓也

GNSSとは

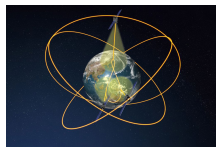
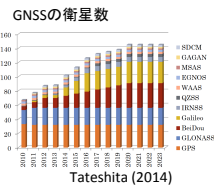
- 人工衛星(GNSS衛星)の電波を受信して3次元的な位置を測る技術
- 米国のGPSは1980年代に実用化
- 人工衛星には、精密な時計(原子時計)が搭載されている
- 高精度な水平位置の測量手法としては、現在主力となる手法
- 位置計測手法は、複数点のデータを用いるかどうかで単独測位と相対測位、衛星との距離測定手法により、コードを用いた測位と搬送波の位相を用いた測位(干渉測位)にそれぞれ大別される



ハンディGNSS受信機 GPSを使った測量

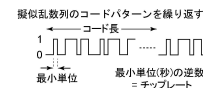
マルチGNSSの時代

- 2000年頃までは、衛星測位と言えばGPSの独壇場。
- 2000年代になって、GLONASSが復活し、Galileo、Compass/Beidou(北斗)が計画・実用化されて、マルチGNSSが本格化した。
- 日本でも準天頂衛星1号機(みちびき)が2010年に打ち上げられ、2018年度には4機、将来的には7機打ち上げられる予定。

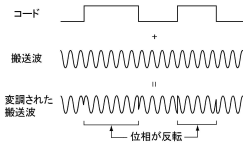


準天頂衛星の軌道
(JAXAホームページより)

コードを用いた測位



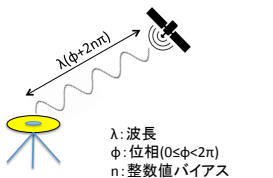
	最小単位	チップレート	コード長
C/Aコード	1μs	1.023Mbps	1ms
Pコード	0.1μs	10.23Mbps	1週間



測地学Webテキストより

- GPSからの信号はL1(波長19cm, 1575MHz), L2(波長24cm, 1228MHz), L5(波長25cm, 1176MHz)の3つ周波数の搬送波をコードで変調して送信されている
- コード(信号)を用いて衛星-アンテナ間の擬似距離を測定する。C/Aコードは、民生用として公開されているが、P(Y)コードは軍事用である
- コードには、衛星から送信された時刻が書かれているので、受信機で受信した時刻との差に光速を乗じて擬似距離が測定できる
- 各コードは衛星毎に異なる擬似乱数列で変調されているので、受信機内で1つの周波数の信号から、各衛星毎のコードの分離が可能になる(CDMA方式)
- 擬似距離の測定精度はコードの最小単位による。C/Aコードの場合は、 $10^8(s) \times 3 \cdot 10^8(m/s) = 30(m)$ となる。

位相を用いた測位



- 位相は波長の1/100程度で測定できるので、位相を使えば擬似距離の変化は2mm程度で測定できるが、擬似距離の絶対値は波長の整数倍の不確実性があるため、簡単には決めることができない。
- 長時間観測すると衛星が移動するが、真の観測点位置は不変であるため整数値バイアスが決定できる。

測地学Webテキストより

搬送波位相の位相差

衛星から送信された観測点Aでの搬送波の位相 Φ_{iA} は以下のように表せる。

$$\Phi_{iA} = \frac{r_{iA}}{\lambda} + d_i + \delta_i + N_{iA} \quad \dots(1)$$

ここで、 d_i は衛星の時計誤差による位相の誤差、 δ_i は観測点(受信機)の時計誤差による位相誤差、 N_{iA} は整数値バイアス。ここで、以下のような位相差を取ることにより、衛星と受信機の時計誤差を消去することができる。

(1)衛星間一重位相差

$$\Delta\Phi_{jA} = \Phi_{jA} - \Phi_{iA}$$

観測点Aで同じ時刻に観測された衛星*i*と*j*の位相の差を取ることにより、受信機の時計誤差 δ_i が消去される。

(2)観測点間一重位相差

$$\Delta\Phi_{iB} = \Phi_{iB} - \Phi_{iA}$$

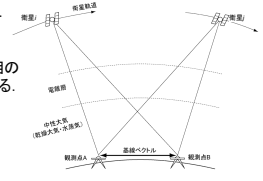
ある時刻に観測点A, Bで測定した衛星*i*からの位相の差を取ることにより、衛星の時計誤差 d_i が消去される。

(3)二重位相差

ある時刻に観測点A, Bで衛星*i*と*j*の位相をとると、衛星、受信機双方の時計誤差が消去される。

$$\Delta\Phi_{jAB} = (\Phi_{jB} - \Phi_{jA}) - (\Phi_{iB} - \Phi_{iA})$$

$$= \frac{1}{\lambda} \{ (r_{jB} - r_{jA}) - (r_{iB} - r_{iA}) \} + (N_{jB} - N_{jA}) - (N_{iB} - N_{iA}) \quad \dots(2)$$



測地学Webテキストより

観測方程式

(2)式は、時刻tにおいて次のように書き表すことができる。

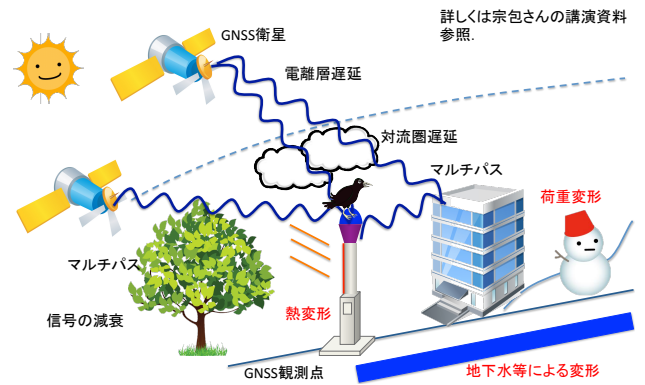
$$\lambda\Phi_{jAB}(t) = \{r_{jA}(t) - r_{jB}(t)\} - \{r_{jA}(t) - r_{jA}(t)\} + \lambda N_{jAB}(t)$$

この時、衛星jの位置、観測点Aの位置は既知である。未知なのは観測点Bの位置 $(x_B(t), y_B(t), z_B(t))$ と整数値/バイアス $N_{jAB}(t)$ である。観測量及び既知の変数を左辺、未知数を右辺に移項すると、

$$\lambda\Phi_{jAB}(t) + \{r_{jA}(t) - r_{jB}(t)\} = \{r_{jA}(t) - r_{jA}(t)\} + \lambda N_{jAB}(t)$$

この式が観測方程式となる。各二重位相毎にこの式ができるが、各式毎に整数値/バイアスが未知数として入るので、解くことができない。しかし、時間的に連続して観測していれば、整数値/バイアスは#こよらず一定となるので、二重位相差が3つ以上観測できれば、観測点Bの位置を解くことができることになる。

GNSSの誤差要因



参考文献

- GPS 理論と応用 ホフマン-ウェレンホフ・リヒテネガー・コリンズ著 西修二郎訳, シュプリンガー・フェアクラーク東京
- Webテキスト測地学, <http://www.geod.jpn.org/web-text>, 日本測地学会編
- わかりやすいGPS測量 小白井亮一著, オーム社
- 「精度を極めるGNSSの場合」, 測地学サマースクール資料, 宗包浩志著