センチメータ級測位補強サービスの利用とその品質の解説

CLAS：Centi-meter Level Augmentation Service

2018年11月から準天頂衛星の4機体制の運用が開始され、その活用によって、測量分野では、従来型の基準点測量が不要になるなど、その活用範囲が広がってきている。CLASの精度の仕様が内閣府によって下枠のように示されている。この仕様の統計学的内容の解説及びCLAS利用にあたっての考慮すべき点などを解説する。

内閣府仕様内容
静止：95%確率範囲で水平成分6cm、鉛直成分12cm
（RMSでは水平成分3.47cm、鉛直成分6.13cm）
移動体：95%確率範囲で水平成分12cm、鉛直成分24cm
（RMSでは水平成分6.94cm、鉛直成分12.25cm）
初期補足時間（TTFF):60秒
補正情報：準天頂衛星システムから無償提供

【注】

RMS(Root Mean Square)
2乗平均平方根は、標準偏差と同じ統計量と考える。
水平誤差は、2次元の正規分布、鉛直誤差は1次元の正規分布による。

http://qzss.go.jp/technical/system/l6.html#section01

特に考慮する点は、従来の基準点測量である三角測量などは、**相対測位**である。相対測位の水平誤差は、**誤差楕円の面積の大きさ**によって表示され、**X、Ｙ座標及び隣接点との相関が強い**ことである。それに対して、CLASは、**単独測位**で、水平誤差は**誤差の長さＤＲＭＳ**で表示され**隣接点同志が独立に決められる**ことである。近距離の相対測位の精度は、従来測量機器のトータルステーション（TS)より劣るから、従来型相対測量の代用としてCLASを使うのは好ましくなく、その活用には、工夫が要求される。

アイサンテクノロジー株式会社

2019年3月

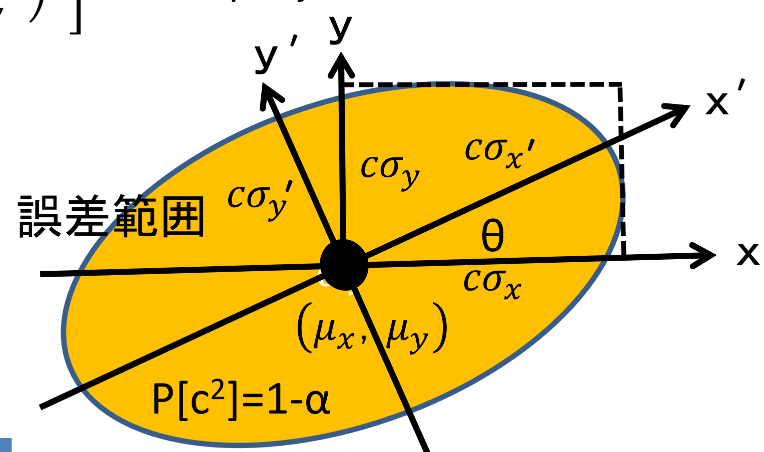
測位・測量の水平位置の品質評価の尺度

1．相対測位の水平位置の品質評価（誤差楕円）

従来型の相対測位の水平位置の品質評価は、「**誤差楕円**」が使われてきている。2次元の正規分布における同じ確率をもつ等高線は、μ_x、μ_yを中心とした式(1)に示す楕円で表される。

$$c^2 = \frac{1}{(1-\rho^2)}\left[\left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2 - 2\rho\left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\right)\left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right) + \left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right] \quad \text{ここに}\rho: xy\text{の相関係数} \qquad (1)$$

αを有意水準として、確率　P[c^2]= $1-\alpha$ の関係は、「**自由度２の**χ^2分布」から計算し、次表に示す結果を得る。例えば、α =0.05の場合、誤差楕円内に落ちる確率は95％である。



誤差楕円（x、yに相関関係ρがある）

自由度2のχ2分布（k：次頁）

c^2	1.000	1.386	2.000	6.000	18.00
c	1.000	1.177	1.414	2.447	4.243
k	0.710	0.830	1.000	1.732	3.000
p	0.393	0.500	0.632	0.950	0.9999

位置が1σ内の誤差楕円に落ちる確率は、C=1の「39％」であるが、「95％」内に落ちる確率は、C=2.45の2.45σの広がった範囲となる。

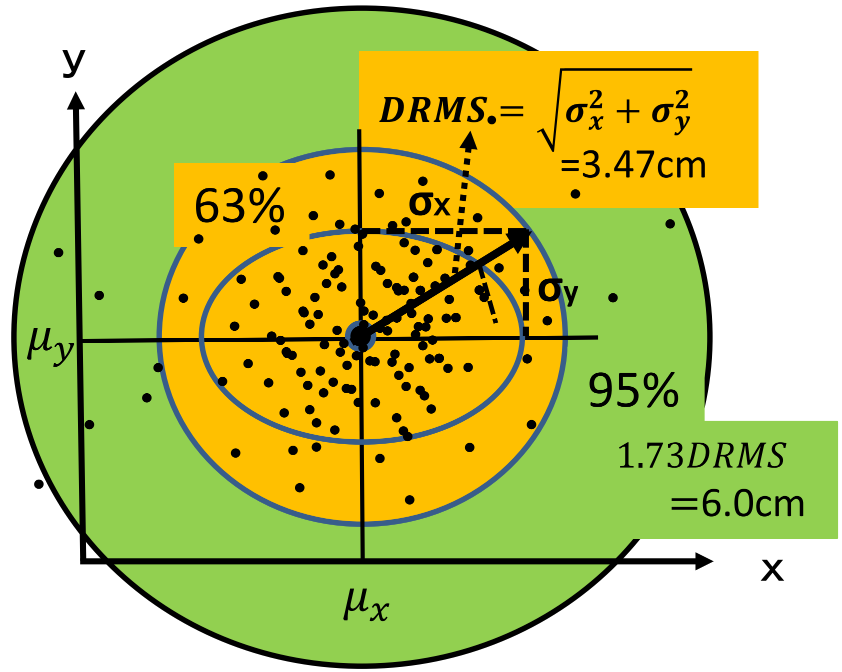
誤差楕円は、楕円体の長軸（ $c\sigma_x'$ ）及び短軸（ $c\sigma_y'$ ）並びに長軸の傾き（θ）の3要素によって決められている。これら3要素及び隣接点との相関関係が強く働いている。

2. 単独測位の水平位置の評価（DRMS ：Distance Root Mean Square ）

誤差楕円は、相対測位の品質評価の尺度で、観測値の落ちる面積の大小が評価の基準である。単独測位であるCLASの場合は、水平位置の評価として、誤差楕円とは別に、HDOPに相当する式(2)に示す距離を基準とした尺度（**DRMS**）を使っている。図に示すように、観測値の落ちる範囲を距離（**DRMS**）で表すのである。

$$\text{DRMS}=\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2}\equiv\sigma_d \qquad (2)$$

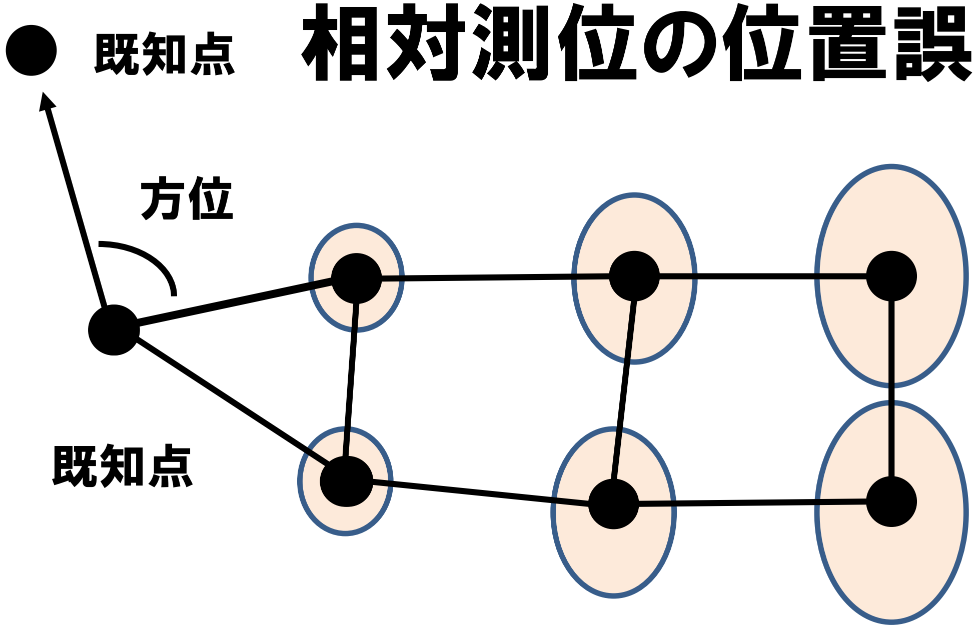
単独測位が前提なので、式(1)に示すxyの相関関係はなく（ρ＝0）、平面内ではどの方向も平等で 、$\sigma_x=\sigma_y=\sigma$, $\sqrt{(x-\mu_x)^2+(y-\mu_y)^2}=k\sigma_d=\sqrt{2}k\sigma$とする。前頁の表から、確率95%の場合、$c^2=6$となるから、$2k^2=6$を得る。従って、$k=\sqrt{3}=1.73$が得られ、1.73DRMSが95%の確率範囲であり、内閣府の仕様 95% 6cmは、RMS(=DRMS)=6/1.73=3.47cmとなっている。ちなみに$k=1$のときは、$c^2=2k^2=2$で、前頁表から、半径σ_dの円内に落ちる確率は63.2%である。同様に国土調査法施行令別表第四筆界点の公差（甲一）内に落ちる確率は、k＝3のときで、99.99%である。



3. 鉛直成分の評価

内閣府の仕様は、鉛直成分95% 12cm及びRMS（1σ）=6.13cmである。この場合、1次元の正規分布に従うことを仮定し、6.13cm×1.96（95%）=12cmが導かれる。1回の観測値が、RMS（1σ）=6.13cm内に落ちる確率は、68%である。

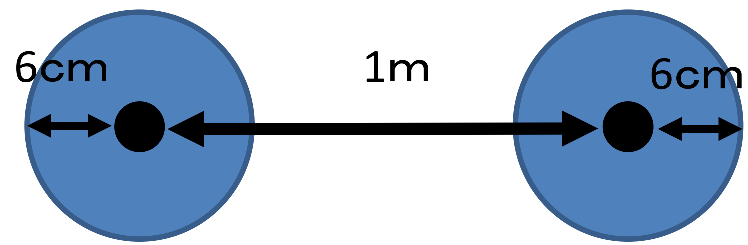
相対測位の位置誤差



相対測位の場合、既知点から離れるに従い位置誤差は大きくなるが、隣接点間の相対位置関係は、強く結ばれている。既知点から遠方に位置する点の誤差が大きいからといって、隣接点間の相対的位置の誤差が大きくなるわけではない。

CLASの内閣府の仕様は、「6cm 95%」である。単独測位の特徴は、隣接点との位置の相関関係がない独立観測であることである。従って、1m離れた距離に対して、$\sqrt{2} \times 6\mathrm{cm} = 8.4\mathrm{cm}$に相当する大きな誤差が生じる可能性がある。近距離の場合、単独測位による相対的位置関係はTSより劣り、細部測量はTSとの組み合わせの活用が不可欠である。さらに、座標観測値は、現在、確定論的変数として扱われているが、確率変数処理により座標値に自由度を与えるなど相対測位とは異なった単独測位に見合った、工夫が必要であろう。

単独測位の位置誤差



参考文献:Meyer, Data Analysis for Scientists and Engineers,1992

文責:技術顧問　松坂・中根

誤りの訂正

中根勝見・横井貴史（2015年12月）
衛星測位時代における測地学・ISO・測量法に基づく
地球上の位置を表す理論とその仕組み、アイサンテクノロジー株式会社
第8章２項１節２次元（平面）の誤差評価

ＤＲＭＳ：１次元の正規分布に基づき、1σ：68.3％及び2σ：95.4％のような評価を行いました。この評価は誤りで、平面の評価であるから、本資料に記述した２次元の正規分布を仮定したものでなくてはなりません。つまり、1σ：63.2％及び1.73σ：95％としなければなりません。訂正してお詫び申し上げます。

アイサンテクノロジー株式会社　技術顧問　中根勝見