

## 高い精度の測量に関する研究会(仮称)第2回

測技協位置計測部会：中根

### 現行作業規程の準則における誤差の棄却基準 (三角測量時代における精度の基準を改める)

	準則	CLAS (内閣府仕様)
座標	95%値：水平17cm、標高40cm (目測精度)	95%値：水平6cm、標高12cm
閉合差	水平4級 = $15\text{cm} + 10\text{cm} \cdot \sqrt{\text{辺数} \cdot \text{路線長}}$ 3級基準点間 (200m) = <b>19cm</b> 標高4級 = $20\text{cm} + 30\text{cm} \cdot \text{路線長} / \sqrt{\text{辺数}}$ 3級基準点間 (200m) = <b>21.5cm</b>	} 根拠不明 (資料不明) (2σ?, 3σ?)

現行準則の測量成果の品質管理は、19世紀の記述統計学を基礎としている。従って、準則全体において誤差棄却の根拠不明！衛星測位に見合った精度基準及び20世紀の推測統計学に基づく仮説検定等を導入すべき！、乗り物に例えるなら、20世紀の新幹線時代に馬車を使って移動している感じである。以下に具体例。

## CLAS観測座標を観測値として処理する

◆座標は、確率論的関数ではなく、確定論的関数(重量無限大)として処理されてきた。最近、ネットワーク型RTK(現在はTSの代用として使用)及びCLAS(PPP)により、座標そのものが観測値となっている。今後の測量は、地籍測量も含め、大規模な基準点測量は不要で、CLAS等による座標観測とTSの組み合わせによる細部測量の時代になるであろう。CLASは、近傍に既知点が不要なので、地震発生後、国土地理院の電子基準点の復旧を待たず、直ちに復旧測量が可能になる。

◆電子基準点の座標の場合も距離測定や角度観測値と同様に、誤差を持った確率変数として処理できる(原田健久、2001: 測量計算法及びMikhail, 1976: Observations and Least Squares)。

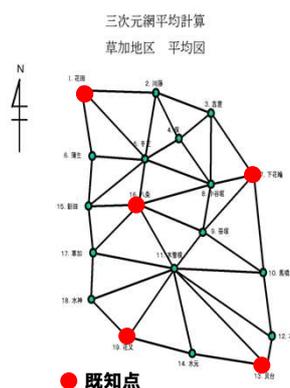
観測方程式  $v_x = X - \hat{X}$ 、 $v_y = Y - \hat{Y}$ 、 $v_h = h - \hat{h}$

重量  $p_x = 1/\sigma_x^2$ 、 $p_y = 1/\sigma_y^2$ 、 $x, y$ 座標に相関無

$p_h = 1/\sigma_h^2$

既知点座標標準偏差 ( $\sigma_x = \sigma_y = 1\sim 3\text{cm}$ ,  $\sigma_h = 3\sim 5\text{cm}$ )

◆以下、国土地理院が提供する「世界測地系に基づく測量計算プログラムの例題」草加GPS観測網(右図)による計算例に基づく考察を行う。



草加地区GPS観測網  
(19点、41基線観測)  
国土地理院例題より

以下計算は、1995年に中根が研究用に開発した異種観測値を3Dで同時処理する計算プログラムを使った。

かいにじょう

## 分散( $\chi^2$ )の検定による観測値の分散の品質評価

$$\chi^2 = v^t P v,$$

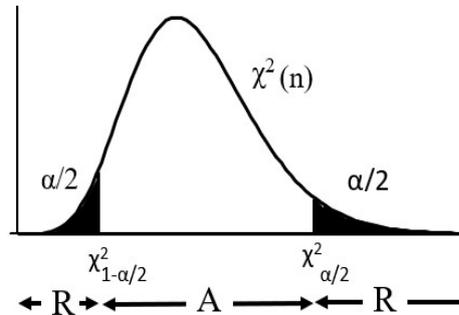
$v$ : 観測値の残差,  $P$ : 観測値の重量として、右図に示すように、 $A$  (Accept) の範囲に $\chi^2$ が入れば、仮説 $H_0: \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2$  が採択されたことになる。

◆ 下方の $\alpha/2$ の範囲に入る場合、観測値が揃いすぎて $v$ が小さくなるためである。観測結果を良くするため、作られた観測値は、この下方域 $R$ で棄却(Reject)される。

◆ 上方の $\alpha/2$ の範囲に入る場合、観測値の誤差が大きく $v$ が大きくなる場合又は観測値の重量 $P$ が大きい場合で、棄却される。

◆ 基線ベクトルの基線解析から、**共分散行列**が得られる。この値を基線ベクトルの重量として使う場合があるが、この値は、**標本分散**であって、母分散より小さくなる傾向がある。この大きくなった重量は、上方域での棄却となる可能性が高い。準則の**母分散は、固定重量** $n=e:4mm, h=7mm$ の平方と理解できる。

◆ 下表は、草加地区の観測結果の既知点1及び既知点5の場合の自由度と下限又は上限の棄却値である。



自由度 (n)	$\chi^2_{1-1/2\alpha} = 0.975$	$\chi^2_{\alpha/2} = 0.025$
1点既知点 69	47.9	93.9
5点既知点 81	58.0	107.9

## 草加GPS網平均計算結果の評価

番号	既知点	観測値重量	$\chi^2$	$1-\alpha/2 = 0.975$	$\alpha/2 = 0.025$	検定採否	棄却原因	標準偏差		
								全体	座標	観測
1	1点固定(仮定網)	固定	16.5	47.9	93.9	棄却	観測誤差小	0.5	0.0	0.5
2	1点既知点固定	共分散	755.8	47.9	93.9	棄却	不適重量	3.3	0.0	3.3
3	5点既知点固定	共分散	20909.7	58.0	107.9	棄却	不適重量・既知点誤差	16.1	3.9	16.1
4	5点既知点固定	固定 $n=e=4mm$	570.2	58.0	107.9	棄却	既知点誤差	2.6	4.0	2.6
5	5点既知点観測(重量1cm)	固定 $n=e=2mm$	67.20	58.0	107.9	採択		0.9	1.3	0.8
6	5点観測(含25cm誤差)、(重量1cm)	固定 $n=e=2mm$	499.14	58.0	107.9	棄却	既知点誤差	2.5	6.1	0.9

### $\chi^2$ 検定結果

- 1点既知点固定・固定重量: **残差<10mmで、小さ過ぎ**で下方域に棄却。
- 1点既知点固定・共分散行列: **重量が大き**く $\chi^2$ が大きくなり、上方域で棄却。
- 5点既知点固定・共分散重量: **既知点誤差及び不適重量**のため、上方域で棄却。
- 5点既知点固定・固定重量: **既知点誤差**のため、上方域で棄却。
- 5点既知点観測(水平1cm、高さ3cm)・固定重量: **異種観測値の均衡**がとれ、採択。
- 既知点誤差: **既知点誤差**のため、上方域で棄却。

2. 及び3. が国土地理院の計算例: **全くの規格外**

参考: 残差の検定: Baard (1968) と Pope (1972) の二つの方法がある。

## 今後の課題

1. GNSS・TS成果等異種観測値の3D同時処理の実現。
2. 19世紀の理論からの脱却、現行記述統計学に基づく品質管理を推測統計学に基づいて、全面的見直し。**既に述べた  $\chi^2$ 検定などの導入。**
3. 日本列島の二つの座標系(ITRF1994・ITRF2008)の**JGD2014への統一**
4. CLAS(ITRF2005)等単独測位成果のJGD2011との整合。
5. 標高の三重成果及び明治成果の更新:(今後の予定議題。)  
未だに、明治時代の三角測量時代に標高の影響が残っている。  
測量法上の標高は、地殻変動を無視した**スタティック**。衛星測位は基準日表示の**セミ・ダイナミック**。国民生活に必要な実標高は、**ダイナミック**。  
(セミ・ダイナミック標高:最上川で20cm低い堤防建設:危険!)

参考文献:測量法、作業規程の準則、統計学(初歩)、Leick(1990):GPS  
謝辞:松坂茂氏(アイサンテクノロジー株式会社)にご一読いただきました。

## 要議論

終わり