

# 距離の観測方程式の重量

ハル工業大学 正会員 岩 渕 清 行

## 1. はじめに.

トラバースの調整計算は、トランシット法則によるべきか、それともコンパス法則によるべきか考えた。結論として、「均等わり」がよさそうである。これは実際の測量からの結論ではない。現場における豊富な経験からの御教示を得たい。なお以下において、一般論は別として、私が考えるトラバース測量とは、学生実習における、閉合トラバース（ループのないもの）であつて、平面測量とし、高低については考えない。

## 2. トラバースの調整計算の種類

伝統に従い、トラバースの計算を、測角の精度と測距の精度とに因りて分類したのが下の表である。

第1表 トラバース調整計算（近似解）の分類表

| 精度の比較   | 左の条件に都合のよい解法名、日本語の代表例                             | 英語の本における代表的解法名                              |
|---------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1 測 ≫ 測 | 仮称逆君島法則（ホーマルな公式は知らない。 <small>最小二乗法で計算した</small> ） |                                             |
| 2 巨 > 角 | 仮称逆トランシット法則（GT法と略すことあり）                           |                                             |
| 3 の = の | コンパス法則（C法）                                        | Bowditch 或は compass rule                    |
| 4 精 < 精 | トランシット法則（T法）                                      | Transit rule                                |
| 5 度 ≪ 度 | 君島法則（K法）                                          | unaltered Bearing (U.B法) 或は Crandall method |

ここに示した近似解のうち1番目のものについて、所謂繰り返し計算なしに答を出せる式は、ある筈であるが、私は知らない。この表に入れてない「均等割」を含め、近似解法はすべてその計算の初め段階において角だけを幾何学的条件にあわせる（均等わりで）。そのあとの、緯巨、経巨の誤差を0にする配分方法で、種類がわけられる。結果として出来上がった座標値から逆算した距離と角度が、実測値からどれだけ変動させられていたかをしらべると、距離は5つ場合一番大きく動かされている。角は、1番の場合が最も大きく動かされている。このことは、二乗平均値をとって云っている。変動は1から5へ（或は5から1へ）は段階的である。

最小二乗法の場合、測角と測距の精度をかえることにより結果は、1から5まで方向を連続的にとりうる。このことは、最小二乗法の長所であり、また欠点だろう。実測値の精度に対する推定が正しくなければ、結果は、正しいと云えない。また、その次に、最小二乗法の場合、測角と測距の精度から、目的函数の重量をきめ、正規方程式を作って解いた結果を見ると、自分か思ったように変動してはくれない。これは、最小二乗法に対する理解のしかたがまちがっているのであろうか？（以下において均等割法のこともN法とゆうことあり）

## 3. 色々な、形や方向のものについてしらべてみた。

最小二乗法による調整が最も合理的であることは伝統的に認められている。学生実習の場合は、近似解の方がよい。各近似解の結果、最小二乗解の結果とくらべてみるに、法則性のようなものがあらわれるが、トラバースの形や方向、そしてまた精度により、それは消されてしまう。市販の参考書雑誌および学生実習のデーターを用い、ポケット計算機でしらべた。コンピューターを用いれば、もっと多くの事が判明すると思う。文献に明記されていないことを云うならば、(1)測量の精度がよいならば、どの方法を用いても結果は入して変らない。だから一番簡単な「均等わり」がよい。(2) T法及びGT法の場合、座標系により（とゆ）ことは具体的に云うと、とりわけ方位角の値により）同じ実測データーで、100 m<sup>2</sup>以上の面積差を生じるものもあつた。（PPPT 1~150である）これは90°の周期性あり。勿論変動量（角、距離とも）90°の周期あり。山が1つ場合と2つ場合がある。<sup>(1)</sup>文献12で云っている。とりつけ方位角が動かされてしまうのは、1, 5つ解以外すべての（N法を含め）近似解の特質である。<sup>(2)</sup>コンパス解は、最小二乗解のある（距離の重量）の場合と一致するものあり。次頁に文献年表をつけた。

第2表 トラバースの調整に関する年表 (文献に因る寛書) ネットワークについてのものは含まない。

| 番号 | 西暦   | 元号    | 著者                             | 記事 [備考: 1から13までは論文等。その後日本。△印は見えていないもの] 本の年代は私の見た本の発行年。                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----|------|-------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 1901 | 明治35年 | Crandall C.L.                  | △ The adjustment of a transit survey as compared with that of compass survey.<br>Transaction of the American Society of Civil Engineer, Vol. 45, PP. 453-464, 1901<br>②④の参考文献にこれが出ている。おそらく、Crandall 法とはこれにのこれた解法であらう。君島法則と同じものと思う。①にかかれていて説明によると、「まづ角を均等わりて調整し、それは動かないものとし、距離を重みつき最小二乗法でなす。この手法は、C法やT法にくらべ 時間がかかる。しかし距離に大きな誤差がある場合は 適当な結果をもたす。」 |
| 2  | 1907 | 41    | Kimishima H.                   | △ Balancing a survey when the error of closure is due to linear measurement only<br>工学雑誌 No. 302, 1907, PP. 4-6 外国の本では君島法則と書いてある見ない。⑩或は⑫に式の導き出しあり。                                                                                                                                                                                              |
| 3  | 1938 | 昭和13  | H. L. P. Jolly                 | △ Why not least squares? Empire Survey Review, Vol. IV, No. 28, April 1938<br>見えないのでこの題目の意味不明。ネットワーク⑩によれば、この論文にある調整法が最も正しい調整法と云ふこと。しかし、それが最小二乗法なのか? 私の知りたいことは、最小二乗法がすでにあったのか? と云ふこと。(距離と角をそれぞれ補正するもの) (が Jolly 法はたとえネットワークにはかいてある)                                                                                                              |
| 4  | 1969 | 44    | 春日屋 伸昌                         | △トラバース測量の合理的調整法, 測量, 19巻2号 PP. 16-21, 3号 PP. 21-23                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 5  | 1970 | 45    | 星田 義治                          | マトリックス演算による条件間接測定法の解説, 土木学会講演集 110号 昭和45年度, PP. 223-224<br>この機軸の中に、条件法の式がある。数値計算は、講演時になされた話だが、いっていない。なお、我が国土木の測量教科書としてマトリックス使用はじめは昭和52年に中村、村井氏らがいた本であらう。ついで54年に森氏の測量Ⅰが出た。星田氏のこの教科書も、他うネットワーク本もミスプリントがあるから注意を要す。                                                                                                                                 |
| 6  | "    | "     | Bird, R. G.                    | △ least squares adjustment of a travers, Survey Review, Vol. 20, No. 155, 1970                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 7  | "    | "     | Berthon Jones, P.              | △ The notation of permissible misclose in traversing, The Australian Survey, Vol. 23, No. 3, 1970                                                                                                                                                                                                                                               |
| 8  | 1972 | 47    | Jones, P. B.                   | △ A comparison of the precision of travers, Survey Review, Vol. 21, No. 164, 1972                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 9  | "    | "     | Ashkenazi et al.               | △ Rigorous adjustment of an EDM traverse, Survey Review, Vol. 21, No. 165, 1972                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 10 | "    | "     | Bird, R. G.                    | △ Least squares adjustment of EDM Traverses, Survey Review Vol. 21, No. 165, 1972                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 11 | "    | "     | P. B. Jones                    | A comparison of the precision of traverses adjustment by Bowditch rule and by least squares                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 12 | 1975 | 50    | Gabriel Obenson                | absolute traverse distortion of some adjustment methodes, Survey Review XXIII, 197, Joly 1975.<br>Bowditch法はよくない。均等割が一番よい。T法も時にはよい結果をもたらす。この三者に共通に悪いことは、とりわけ方位角が調整するとおとられることだ。U.B法もいかに直線的なトラバースにはためだ。U.B法の式を出している。                                                                                                                              |
| 13 | 1981 | 56    | 近津 博文                          | 観測角に影響を与える各種不定誤差とトラバースの同時調整法, 測量, 第31巻9号 PP. 28-32                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 14 | 1974 | 昭和49年 | P. RICHADUS                    | Project surveying (序文は1965年に書いたものがついている) 座標系の選定方法で変る調整は要注意。<br>と書いている。Baardaの公式が出ている。参考文献にドイツ語のもの多し。コンパス法則がよいこと議論の余地なし。                                                                                                                                                                                                                         |
| 15 | 1976 | 51    | David Clarke                   | Plane and geodetic surveying Vol. 2, 6th ed. PP. 155-156 「トラバースの revival がきた」, 参考文献多し。                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 16 | 1977 | 52    | David Clarke                   | Plane and geodetic surveying Vol. 1, 6th ed. PP. 213-216 「コンパス法則がよい」③の若干の説明あり。                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 17 | "    | "     | Blinker Wolf                   | Elementary Surveying 6th ed. PP. 225-232 C法, T法その他 Crandall 法と最小二乗法について説明あり。                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 18 | 1978 | 53    | 春日屋 伸昌                         | 測量学Ⅰ, 条件法による厳密解の公式(解法)が書かれている。角の測り方については式が成立しない。数値例に、わざわざ法と云っている。                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 19 | "    | "     | 沢田 良修<br>(篠 邦彦校訂)              | 測量計算マニュアル(山海堂) C法, T法その他に、条件法式法及び観測方程式法による厳密調整が書かれている。重みについて「ある重みを与えて調整すると結果の重みは異なる」……このような注意は初めに著者に有難い。この本は非常に内容豊富である。残念ながら解答の形式が地理院式になって、素人にはつまみづらい。                                                                                                                                                                                          |
| 20 | 1980 | 55    | 北野 芳徳                          | 測量の誤差と最小二乗法(測量協会) C法, T法, G法 の公式あり。(なおG法は、現代測量学①一般測量) (測量協会発行のものもある)                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 21 | 1981 | 56    | 田中 勇吉                          | 多角測量(測量協会) C法, T法, N法の式あり。この本はN法を「一般法」と称す。地理院は誤って「ついている」一般法                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 22 | "    | "     | 国土建設学院編                        | 測量士補受験講座(海峽) C法, T法, 辺長等しい時N法。法にもとづく測量はコンパス法則でやる。かゝる測量協会発行の受験テキストにもコンパス法則が普通であるといっている。                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 23 | "    | "     | 森 忠次                           | 測量学Ⅱ(文芸) この本の条件法式は完璧なと思う。但し説明が少なくて初見者にはおもしろくない。数値例がほしい。この本の参考文献に④が出ている。なお森氏の測量学Ⅰ(文芸) 昭和49年発行に、②が書いてあった。                                                                                                                                                                                                                                         |
| 24 | "    | "     | Davis, Foote, Anderson, Mickel | Surveying Theory and Practice 5th ed. (McGraw-Hill) 第5版は昭和49年に出版。1981年の刷りでは、1980年の文献もかいている。T法は、残念なことに路線が座標軸に平行な時に正しく結果をよまない。最小二乗解の数値例がちゃんと出ている。書式が地理院式でないことは有難い。式変形にわざわざマトリックスを使っている。                                                                                                                                                           |
| 25 | 1982 | 57    | Mottitt, Bouchard              | Surveying 6th ed. (Harper & Row) この本ではコンパス法則しかかいてない。T法は無視                                                                                                                                                                                                                                                                                       |