

異なる精度の器械を使用したトラバース測量の精度に関する研究

佐久間泰¹・鶴岡栄²

¹ 筑波大学農林工学系, 305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

² 筑波大学第二学群生物資源学類, 305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

要 旨

トラバース測量において角度は通常同一精度の器械を使用し測定する。しかし、同一精度の器械の台数が少なく短期間に測量を行わなければならない時には、異なる精度の器械を使用して測量を行わざるをえない。このような異なる測角精度の器械を用いてトラバース測量を行う場合、トラバース測量の精度を高めるためには、どのトラバース点にどの精度の器械を配置すればよいか、角度の補正はどのように行うべきかなどの問題がでてくる。

これを解明するために、7種類の測角精度の異なる器械を使用し、14点の閉合トラバースの測量を行った。その結果から、異なる精度の器械を用いて1通りのトラバース測量を行ったと想定される仮想トラバース20組（精度がより良い器械の設置の仕方10組、精度がより悪い器械の設置の仕方10組）を設定し、それぞれについて10通りの内角の補正方法によるトラバース計算を行い、トラバース測量の精度を示す閉合比を比較検討した。

検討の結果以下のことが明らかになった。①精度のより良い組み合わせの閉合比の平均が精度のより悪い組み合わせの約半分になり、水平角の測定値に大きい誤差が発生しやすい2測線の距離の短い点から順に精度の高い器械を設置していくとよい。②内角の閉合差を補正するには各測定値に等配分する方法が勧められる。計算が一番単純で他の方法と比較しても閉合比がほぼ同等だからである。

キーワード：角度補正，偶然誤差，水平角，定誤差，トラバース測量，閉合比

研究の目的

トラバース測量において角度は通常同一精度の器械を使用し測定することが勧められる。これは角度の精度を均一にし誤差を小さくしようとするためである。角度補正の計算がやりやすいというメリットもある。しかしながら、同一精度の器械の台数が少なく短期間に測量を行わなければならない時には、異なる精度の器械を使用して測量を行わざるをえない。例えば、筑波大学生物資源学類の測量学実習の集中授業は、夏期休業中4日間でトラバース測量と平板測量による地形図の作成を行う。角度の測定は1日または1日半で終了しなければ作業が完結せず、成果品も得られない。

このような制約条件があり異なる測角精度の器械を用いてトラバース測量を行う場合、トラ

バース測量の精度を高めるためには、どのトラバース点にどの精度の器械を配置すればよいか、角度の補正はどのように行うべきかなどの問題がでてくる。

本研究では、14のトラバース点の閉合トラバースを設置しトラバース測量を行う。筑波大学が有する、7種類の測角精度の異なる器械を使用し、それぞれの器械につきトラバースの全内角を1通り測定する。その結果から、異なる精度の器械を用いて1通りのトラバース測量を行ったと想定される仮想トラバースを20組設定する。すなわち、精度がより良いと思われる器械の設置の仕方10組、精度がより悪いと思われる器械の設置の仕方10組計20組である。次に、内角の補正方法を10通り設定し合計200回のトラバース計算を行い、トラバース測量の精度を示す閉合比を比較することによって器械の設置の仕方と内角の補正方法を検討する。

測定方法

1. トラバースの設置

筑波大学第二学群棟と一ノ矢学生宿舎の間にあるテニスコート北の空き地から、植物見本園南までの範囲において水準点 (No.0) と GPS 測量により座標値を求めた3点 (No.1, No.7, No.8) 計4点の既知点を含む14点の閉合トラバースを設置した (図1参照)。GPS測量は、基準点に茨城県つくば市栗原にある4等三角点を利用して行った。

2. 測距

測角の誤差に問題を限定していることから、測距は7回のトラバース測量とも同一のトータルステーションにより光波測定を行った。この器械の精度はDを測定距離とすると $\pm(5\text{ mm} + 3\text{ ppm} \cdot D)$ である。1本の測線に対し、前視3回、後視3回の計6回の測定を行い、その最確値を測定値とした。測定結果は表1に示した。

3. 測角

最小目盛りがデジタルで1", 5", 10", 20", アナログで5", 10", 20"の7種類の測角精度の異なるセオドライトを使用し、それぞれ1回ずつ計7回のトラバース測量を行った。

測定法は、公共測量作業規定により方向法による2対回の測定を行った。

各トラバース点において倍角差と観測差が上記の規定による許容範囲を越えた場合には再測を行った。また角の閉合差 (内角の測定値の和と理論値 $2,160^\circ$ との差) が上記の規定の許容範囲を越えた場合にも再測を行った。

測定結果は表2に示してある。

水平角の誤差

水平角測定時に生じる誤差には、予期できない変化や観測者の感覚の不一致などにより原因がわかっても除去できない誤差と測定ごとに大きさが一定している誤差の2種類がある。前者を偶然誤差、後者を定誤差という。

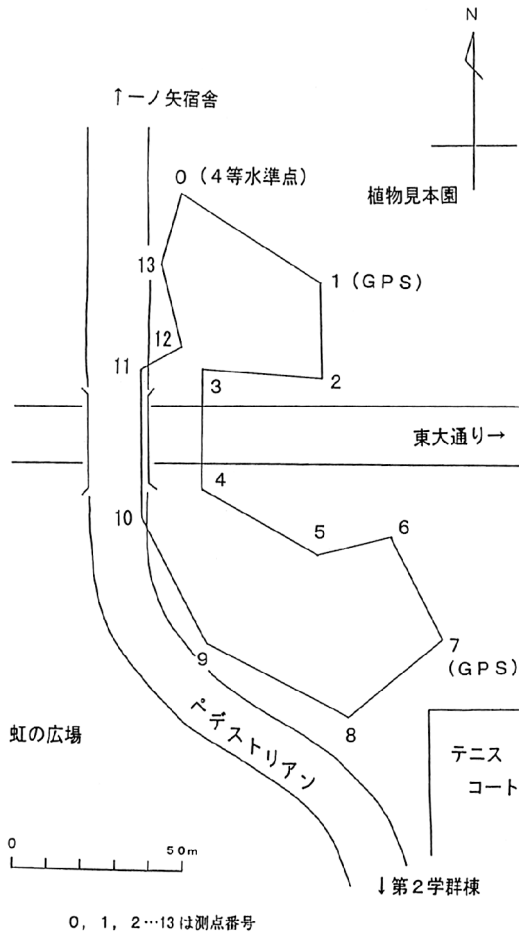


図1 トラバース配置

表1 測距結果

測線	m
0～1	48.624
1～2	24.048
2～3	19.830
3～4	26.279
4～5	34.355
5～6	25.016
6～7	33.640
7～8	32.627
8～9	35.091
9～10	39.356
10～11	38.405
11～12	14.053
12～13	25.788
13～0	34.178

1. 偶然誤差³⁾

偶然誤差には視準誤差と目盛読取誤差がある。

視準誤差は、目標を正しく視準していないことによる誤差で、観測者の目の分解角、望遠鏡レンズの倍率などで決まり、視準距離に反比例する。

目盛読取誤差は、目盛りを読み取るさいに生ずる誤差で、器械の精度により違ってくる。器械の最小目盛の単位が1"刻み、5"刻み、10"刻みと大きくなるにつれ目盛読取誤差は5倍、10倍と大きくなる。デジタルの場合は表示にすでに誤差が生じておりその表示誤差とも言える誤差が目盛読取誤差に相当する。

視準誤差、目盛読取誤差をそれぞれ a 、 b とすると観測点から1点を視準したときの読みに含まれる偶然誤差 σ は、誤差伝播の法則により

$$\sigma = \pm\sqrt{a^2 + b^2}$$

正・反の観測値は (終読) - (初読) であるから、その誤差 σ' は

表2 測角結果

測点	デジタル 1"			デジタル 5"			デジタル 10"			デジタル 20"			アナログ 5"			アナログ 10"			アナログ 20"		
	°	'	"	°	'	"	°	'	"	°	'	"	°	'	"	°	'	"	°	'	"
0	38	49	25	38	48	29	38	48	10	38	48	15	38	49	42	38	48	15	38	48	33
1	131	55	30	131	58	13	131	58	38	131	58	15	131	55	36	131	58	28	131	58	03
2	103	02	52	103	03	13	103	02	30	103	02	35	103	02	33	103	02	40	103	03	11
3	249	03	28	248	59	58	249	00	13	249	00	00	249	03	24	249	00	16	249	00	31
4	272	38	20	272	38	45	272	38	48	272	38	45	272	38	06	272	38	46	272	38	40
5	206	41	21	206	41	13	206	41	33	206	41	55	206	41	18	206	41	33	206	41	31
6	127	24	47	127	25	21	127	24	53	127	25	00	127	24	55	127	25	01	127	25	10
7	76	17	50	76	18	31	76	18	05	76	18	10	76	17	45	76	18	15	76	18	05
8	108	36	13	108	34	15	108	34	33	108	33	55	108	35	53	108	33	53	108	34	13
9	191	39	00	191	40	48	191	39	53	191	41	00	191	39	02	191	40	55	191	40	52
10	119	31	37	119	31	20	119	31	28	119	31	20	119	31	40	119	31	05	119	31	21
11	75	36	59	75	38	10	75	38	05	75	38	00	75	37	52	75	37	27	75	37	58
12	282	05	34	282	05	24	282	05	45	282	05	40	282	05	35	282	05	28	282	05	23
13	176	36	50	176	36	35	176	36	43	176	36	40	176	36	39	176	36	56	176	37	33

$$\sigma' = \pm\sqrt{\sigma^2 + \sigma^2} = \pm\sqrt{2}\sigma$$

正・反の観測値の平均である1対回の測定値の誤差 σ_1 は

$$\sigma_1 = \pm\sqrt{\sigma'^2 + \sigma'^2} = \pm\sigma = \pm\sqrt{a^2 + b^2}$$

1対回目の測定値と2対回目の測定値の平均値が2対回測定の測定値となるからその誤差 $\hat{\sigma}$ は

$$\hat{\sigma} = \pm\sqrt{2}\sqrt{a^2 + b^2}$$

2. 定誤差^{2,3)}

定誤差には、視準軸誤差（視準線軸と水平軸とが直交していないことによる誤差）、水平軸誤差（水平軸と垂直軸とが直交していないことによる誤差）、偏心誤差（回転軸中心に水平目盛盤の中心が一致していないことによる誤差）、外心誤差（望遠鏡の視準線が回転軸からずれていることによる誤差）という望遠鏡正・反の平均と2つのバーニヤの平均をとることによって除去することができる誤差と、目盛分割誤差（目盛の位置によって目盛の刻み幅が異なることによる誤差）、鉛直軸誤差（鉛直軸が正確に鉛直でないことによる誤差）、据え付け不良による誤差（整準誤差と求心誤差）の除去できない誤差がある。

目盛分割誤差は目盛盤の位置によって正弦曲線を描く性質を持っているので、2対回の方法で測定すれば目盛盤の広い範囲を使うことになりかなり小さくなる。最大でも5"程度である¹⁾。

鉛直軸誤差 (Δv) は、鉛直軸と鉛直線のなす角を v とし視準線の仰角又は俯角を h とすると、その最大値 Δv_{\max} は

$$\Delta v_{\max} = 2v \cdot \tan h$$

すなわち、 v 、 $\tan h$ に比例する。 $\tan h$ は標高差を測定距離で除しているから Δv_{\max} は測線距離に反比例する。

据え付け不良による誤差には、整準誤差（鉛直軸を傾けて設置したときの誤差）と求心誤差（測点と鉛直軸が一致していないことによる誤差）がある。

気泡管を使い器械を水平にする整準が不完全である時の誤差が整準誤差であり、鉛直軸誤差と同様の式で表され、測定距離に反比例する。気泡管が1目盛ずれた場合の整準誤差は器械の性能によって決まる。

求心誤差については、図2に示したように測点Oから e だけ偏心したO'に器械を据えたとき、内角を w 、内角の測定値を w' 、2測線の距離を S_1 、 S_2 とすれば、求心誤差 Δe は

$$\Delta e = w - w' = (\epsilon_1 + \beta_1) + (\epsilon_2 + \beta_2) - (\beta_1 + \beta_2) = \epsilon_1 + \epsilon_2$$

ϵ_1 、 ϵ_2 は微小だから

$$\Delta e \doteq e (\sin \beta_1 / S_1 + \sin \beta_2 / S_2)$$

$\sin \beta_1$ と $\sin \beta_2$ は、 $\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ$ のとき最大となるから内角が 180° の時求心誤差が最大となる。また、 β_1 と β_2 は、偏心した位置によって大きさが変わり求心誤差も変わる。すなわち、求心誤差は、偏心距離、内角の大きさ、偏心の方向および2測線の距離によって決まる。

3. 測定値の誤差

今回の測定に使用した7台の器械による測定値がそれぞれどの程度の誤差を含む可能性があるのかを計算した。以下それぞれの誤差の計算方法とその量を説明する。

(1) 偶然誤差

視準誤差は前述したように望遠鏡の倍率によって変わるが、7台の器械の倍率はすべて30倍であり器械の違いによる視準誤差の違いはなく、 $1'' \sim 2''$ 程度である²⁾。

目盛読取誤差は最小目盛の $1/2 \sim 1$ 倍程度である²⁾。

(2) 目盛分割誤差

目盛分割誤差は前述のように最大でも $5''$ である¹⁾。

(3) 鉛直軸誤差と整準誤差

鉛直軸誤差は、器械に備わっている誤差であるからその量は知ることが困難であるが、整準

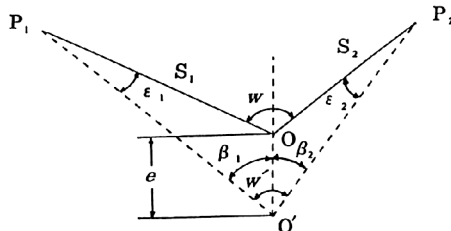


図2 求心誤差

誤差は機械の性能から計算できるので、整準誤差を少し多めに計算しそれが鉛直軸誤差と整準誤差の和と仮定して計算した。

気泡管が1目盛（2mm）ずれたときの水平角目盛の誤差が、気泡管感度として器械の仕様書に示されている。注意して整準すれば1/2目盛（1mm）もずれないので、ここでは1mmずれたときの誤差を計算した。前述した h は視準線が仰角のときプラスで俯角のときマイナスとなる。

(4) 求心誤差

ある点の求心誤差は、内角と2測線の距離がわかれば推定できる。ここでは偏心距離 e を1mmとして計算した。各測点の誤差は偏心する方向によってその大きさが変わり、どの測点でも最小値が0で、最大値は測点によって違ってくる。今回の測定では、最大値が最小の測点はNo.0で4″、最大値が最大の測点はNo.13の14″である。それぞれ偏心方向によって-4″～+4″、-14″～+14″の間で変化する。

(5) 測定値の誤差の量

以上の結果をまとめて1対回測定した測定値の誤差の量を計算した結果を表3に示した。目盛分割誤差 (p) は最大値を表示した。視準誤差 (a)、鉛直軸誤差と整準誤差の和 (q)、求心誤差 (r) に幅があるのは測線距離、標高差および偏心方向が違うからである。偶然誤差は目盛読取誤差 (b) による違いが大きく、機械の精度による違いがその量の違いに現れている。

1対回の測定値の誤差は $\pm\sqrt{a^2+b^2}+p+q+r$ である。2対回の測定値では偶然誤差は前述のように $\pm\sqrt{2}\sqrt{a^2+b^2}$ となり、定誤差 p, q, r はそれぞれプラスマイナスがあるから、相殺されることもありうるが、2倍になる可能性もある。

2対回の測定値に含まれる誤差が、測線の距離による違いと器械の精度による違いとどちらがどれだけ大きいかは明確にはわからない。

仮想トラバースの閉合比

1. 仮想トラバースの設定

1測点に7個の精度の異なる測定値があり、14点につき1つずつ選べば精度の異なる14個の測定値の組み合わせができ、これを異なる精度の器械で測定したトラバース測量と見なす。これを仮想トラバースと呼ぶことにする。

表3 1対回の測定値の誤差量

器 械	a	b	$\sqrt{a^2+b^2}$	p	q	r		
						No. 0	No.13	
デジタル	1″	1～2	1以下	3～4	5以下	1～4	0～4	0～14
	5″	1～2	2～4	4～9	5以下	1～8	0～4	0～14
	10″	1～2	4～7	8～15	5以下	1～8	0～4	0～14
	20″	1～2	4～8	8～16	5以下	1～11	0～4	0～14
アナログ	5″	1～2	1～2	3～4	5以下	1～6	0～4	0～14
	10″	1～2	2～4	4～9	5以下	1～8	0～4	0～14
	20″	1～2	4～7	8～15	5以下	1～8	0～4	0～14

a ; 視準誤差 b ; 目盛読取誤差 p ; 目盛分割誤差 q ; 垂直軸誤差+整準誤差 r ; 求心誤差

この研究では7種類の器械を必ず使用することになるから、仮想トラバースの測定値群の組み合わせは約2,486億通りが考えられる。この組み合わせには測線距離と器械の精度からみた仮想トラバースの精度の優劣が生ずる。全部の組み合わせを検討することはできないので、精度がより良いトラバース10組と精度がより悪いトラバース10組を設定しその閉合比を検討することとする。

まず、測点を挟む2測線の距離の逆数比で内角の測定値に順位をつける。すなわち、測点を挟む2測線の距離を S_1 、 S_2 とすると、 $1/(S_1+S_2)$ を計算しその値の小さい方から順位をつける。順位の高い測点の測定値に含まれる誤差は、距離によって変わる誤差が他の測点の誤差より小さいので、次のように仮想トラバースを設定した。

精度がより良いトラバース10組は、1位から7位までの測点に対し器械の精度が悪い順にデジタル20", アナログ20", デジタル10", アナログ10", デジタル5", アナログ5", デジタル1"を配置し、残りの7点にはデジタル1"とアナログ5"の2つをとりデジタル1"をより多く配置する組み合わせを表4のように作った。

精度がより悪いトラバース10組は、1位から7位まで上記の順位と反対の順に器械を配置

表4 精度のより良い仮想トラバースの組み合わせ10組

測点	距離による 精度の順位	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
0	1	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20
10	2	ア 20	ア 20	ア 20	ア 20	ア 20	ア 20	ア 20	ア 20	ア 20	ア 20
9	3	デ 10	デ 10	デ 10	デ 10	デ 10	デ 10	デ 10	デ 10	デ 10	デ 10
8	4	ア 10	ア 10	ア 10	ア 10	ア 10	ア 10	ア 10	ア 10	ア 10	ア 10
7	5	デ 5	デ 5	デ 5	デ 5	デ 5	デ 5	デ 5	デ 5	デ 5	デ 5
1	6	ア 5	ア 5	ア 5	ア 5	ア 5	ア 5	ア 5	ア 5	ア 5	ア 5
4	7	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1
13	8	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	ア 5	デ 1	デ 1
5	9	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	ア 5	デ 1	デ 1	デ 1
6	10	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	ア 5	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1
3	11	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	ア 5	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1
2	12	デ 1	デ 1	デ 1	ア 5	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	ア 5
11	13	デ 1	デ 1	ア 5	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	ア 5	デ 1
12	14	デ 1	ア 5	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	ア 5	ア 5

1) ①, ②, …, ⑩は組み合わせの番号である。

2) デジタル1", …, アナログ20"の器械をデ1, デ5, …, デ20, ア5, …, ア20と表記した。

し、残りの7点にはデジタル20"とアナログ20"の2つをとり、デジタル20"をより多く配置する組み合わせを表5のように作った。

2. 角の閉合差の補正方法

トラバース計算の初めに角の閉合差を算出し、それを14の異なる精度をもつ測定値に配分し測定値の補正を行わなければならない。

測角精度が同じ場合の補正方法は各角に等配分し、端数を距離の逆数比により配分する方法がとられる。例えば、角の閉合差が17"の場合、2測線の距離が短い方から3点をとり2"補正し、他の11点に1"補正する。10"の場合、2測線の距離が長い方から4点をとり0"とし、他の10点に1"補正する。このように計算が簡単である。しかし、ここでの各測定値の精度は必ずしも等しくないから他の方法が理論的には望ましい。

14の内角の和は各測定値の合計で、その誤差σ"は

$$\sigma'' = \pm 2\sqrt{7} \sqrt{a^2 + b^2} + p' + q' + r'$$

表5 精度のより悪い仮想トラバースの組み合わせ10組

測点	距離による精度の順位	①'	②'	③'	④'	⑤'	⑥'	⑦'	⑧'	⑨'	⑩'
0	1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1	デ 1
10	2	ア 5	ア 5	ア 5	ア 5	ア 5	ア 5	ア 5	ア 5	ア 5	ア 5
9	3	デ 5	デ 5	デ 5	デ 5	デ 5	デ 5	デ 5	デ 5	デ 5	デ 5
8	4	ア 10	ア 10	ア 10	ア 10	ア 10	ア 10	ア 10	ア 10	ア 10	ア 10
7	5	デ 10	デ 10	デ 10	デ 10	デ 10	デ 10	デ 10	デ 10	デ 10	デ 10
1	6	ア 20	ア 20	ア 20	ア 20	ア 20	ア 20	ア 20	ア 20	ア 20	ア 20
4	7	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20
13	8	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	ア 20	デ 20	デ 20
5	9	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	ア 20	デ 20	デ 20	デ 20
6	10	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	ア 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20
3	11	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	ア 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20
2	12	デ 20	デ 20	デ 20	ア 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	ア 20
11	13	デ 20	デ 20	ア 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	ア 20	デ 20
12	14	デ 20	ア 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	デ 20	ア 20	ア 20	ア 20

1) ①', ②', ..., ⑩'は組み合わせの番号である。

2) デジタル1", ..., アナログ20"の器械をデ1, デ5, ..., デ20, ア5, ..., ア20と表記した。

$p' + q' + r'$ は各測定値の定誤差の和である。

この σ'' は 2 測線の距離の逆数比による誤差と器械の精度による違いによる誤差の和と考えてよい。ただし、両者の誤差の比は知ることができないので、ここでは両者の比を、1 : 1, 2 : 1, 3 : 1, 4 : 1, 5 : 1, 1 : 2, 1 : 3, 1 : 4, 1 : 5 の 9 通りの補正方法を取り上げる。例えば、角の閉合差が 12 秒の場合、1 : 1 の補正方法では 6'' を距離の逆数比で配分し残りの 6'' を器械の精度の比で配分し、2 : 1 の補正方法では 8'' を距離の逆数比で配分し残りの 4'' を器械の精度の比で配分する。ただし、この計算はかなり面倒であるという欠点がある。理論的には問題があるが計算の簡便な等配分の方法による計算も行ってみる。すなわち、10 通りの補正方法による比較検討を行う。

3. 閉合比

20 組のトラバースの閉合比を 10 通りの補正方法で計算した結果は表 6 の通りである。閉合比は、座標の閉合差を総測線距離で除し分数で表現する。分数は分子を 1 とし、分母は有効数字

表 6 仮想トラバースの閉合比

精度のより良い組み合わせ

組合せ	補正量の配分割合 (距離の逆数比 : 器械の精度の比)									等配分
	1 : 1	2 : 1	3 : 1	4 : 1	5 : 1	1 : 2	1 : 3	1 : 4	1 : 5	
①	26	28	29	27	27	26	25	25	25	27
②	27	27	29	28	28	28	27	26	26	30
③	18	17	18	18	18	18	18	19	19	18
④	23	23	24	24	24	22	22	22	22	24
⑤	23	24	23	23	23	22	22	21	21	23
⑥	24	24	24	24	24	25	25	22	22	25
⑦	23	23	22	23	23	21	22	21	21	22
⑧	18	18	18	18	18	17	17	18	18	17
⑨	24	24	24	25	25	24	24	23	23	26
⑩	28	28	27	28	28	25	26	25	25	28
平均	23	24	24	24	24	23	23	22	22	24

精度のより悪い組み合わせ

組合せ	補正量の配分割合 (距離の逆数比 : 器械の精度の比)									等配分
	1 : 1	2 : 1	3 : 1	4 : 1	5 : 1	1 : 2	1 : 3	1 : 4	1 : 5	
①'	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14
②'	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15
③'	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14
④'	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
⑤'	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
⑥'	15	16	15	16	16	15	16	16	16	15
⑦'	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
⑧'	11	11	11	11	11	11	11	10	11	11
⑨'	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
⑩'	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
平均	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14

閉合比の逆数を 1,000 で除した数字を示した。

2桁で表す。表6では、分母の数字を1,000単位で表示してある。例えば、精度の良い組み合わせ①で26, 28はそれぞれ1/26,000, 1/28,000のことであり、分母が大きければ閉合比が小さくなり精度が高くなる。

精度のより良い組み合わせと精度のより悪い組み合わせを平均で比べると、前者は1/22,000～1/24,000と後者の1/14,000の0.6倍、言い換えれば、後者が前者の約2倍の違いがある。個別に見ても精度のより良い組み合わせが高い精度を示していることが明確によみとれる。器械の組み合わせが閉合比に大きく影響を及ぼしていると言える。器械を組み合わせる場合には、距離の逆数比で順位の高い測点に、より精度の悪い精度の器械から順に配置する方法がよい。

10通りの補正方法を比べてみると、どの方法が特に精度が高いという傾向はみられない。平均をみると、精度の良い組み合わせで1/22,000～1/24,000と有効数字2桁目が1, 2だけ違うという微々たる違いで、精度の悪い組み合わせではすべて1/14,000である。等配分と他の方法を比べても違いは小さく、むしろ精度が悪くなっている組み合わせが見られる。すなわち、理論的に問題があるが計算の簡単な等配分による方法が、理論的には望ましいが計算が面倒な方法と比べて遜色がないということであり、等配分による方法は実用に耐えうると言える。

結 論

1. 器械の配置

トラバース測量の精度を高めるために器械の配置は、次のように配置することが勧められる。

- 1) 測点を挟む2測線の距離の逆数比で順位をつける。距離の順位は、測点を挟む2測線の距離を S_1 , S_2 とすると、 $1/(S_1+S_2)$ を計算し小さい方から順位をつける。
- 2) 1) で決めた順位の高い順に精度の悪い器械から順に配置する。例えば、最小目盛りがデジタル1", 5", 10"の器械をそれぞれ2台所有しているとすれば、1位と2位の測点に10"の器械を、3位と4位の測点の測点に5"の器械を、5位と6位の測点に1"の器械を配置する。7位以下の測点も同様に繰り返して配置する。このように配置すれば、デジタル1"の機械2台だけを使用する場合に比べて1/3の時間で測量できる。

2. 内角の補正方法

角の閉合差を補正するには、各測定値に等配分し端数を距離の逆数比で配分する補正方法が実用的である。

トラバース点が14点の例で補正の仕方は以下のようにすればよい。

- 1) 角の閉合差を14で除し余りが7"以下の場合：例えば17"の閉合差の時には、2測線の距離が短い方から3点をとり2"補正し、他の11点に1"補正する。
- 2) 角の閉合差を14で除し余りが8"以上の場合：例えば24"の閉合差の時には、1)の方法にしたがい、2測線の距離が短い方から10点をとり2"補正し、他の4点に1"補正してもよいが、2測線の距離が長い方から4点をとり1"補正し、他の10点に2"補正する方法もありこの方が計算は早くできる。

あとがき

この研究は、著者の1人鶴岡が平成10年度筑波大学生物資源学類の卒業研究として遂行し、さらに研究生として継続して行った成果の一部である。測定にあたっては、植物見本園の使用を快く認めていただいた筑波大学農林学系砂坂元幸助教授には心から感謝の意を表す。また、元生物資源学類の学生、伊藤亮一、船元智恵子の両君には測定のさいに手伝っていただいた。お礼申し上げます。

引用文献

- 1) 松井啓之輔, 1985, 測量学I, p.187-196, 共立出版, 東京.
- 2) 森 忠次, 1979, 測量学1基礎編, p.166-174, 丸善, 東京.
- 3) 日本測量協会創立30周年記念「現代測量学」出版委員会編, 1982, 現代測量学 第3巻, p.195-200, 日本測量協会, 東京.

Study on Precision in Traversing as Measured by Several Kinds of Instruments

Taiichi SAKUMA¹ and Eiichi TURUOKA²

¹ Institute of Agricultural and Forest Engineering, University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan

² College of Agrobiological Resources, University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan

Abstract

The interior angles of closed traverse are usually measured by using one of several kinds of instruments capable of high quality precision. However, when instruments of high precision are few and measuring must be conducted in a short period of time, the interior angles are measured by using instruments with precision of varied quality. In this situation, it is necessary to determine the best arrangement between the traverse points and the available instruments, and the best method by which to revise the error of closure of angles in order to obtain a smaller ratio of closing error, which is indicative of higher quality of traversing. To determine the best arrangement and method, each interior angle of closed traverse with fourteen points was measured seven ways; that is, by using seven different respective instruments. The study was conducted by examining the ratios of closing error of twenty imaginary traverses (ten traverses with better precision and ten traverses with worse precision) set up from the measured data. The results are as follows:

- ① The average ratio of closing error of ten traverses with better precision is about half that of ten traverses with worse precision. It is therefore recommended that the more precise instruments should be set to the points contained by shorter sides, given that the shorter sides allow bigger errors.
- ② Ten methods of revising the error of closure of angles were examined. The results of this examination suggest that the most useful approach is to divide the error of closure of angles equally to all angles. Because this approach simplifies the calculation in comparison to that required by the other methods examined, and the ratios of closing error were found to be approximate among all methods.

Key words : accidental error, horizontal angle, ratio of closing error, revising error of closure of angles, systematic error, traversing