

相対的な誤差楕円も表示する平面 の測量網計算プログラムの開発

松井佐久夫、木村洋昭 (RIKEN)

木内 淳(SPring-8 サービス(株))

- 1) 測量の網平均計算
- 2) BASICプログラムの検証と改良、使用実績
- 3) 相対的な誤差楕円
- 4) シミュレーションにも便利
- 5) Excel VBAへの書換え
- 6) まとめ

1) 測量の網平均計算

ための連のプログラムである。

大型計算機, パソコンをとわず, X, Y 網平均の計算順序は, 図-7.10 である。

水準網調整計算プログラム



測量叢書 第1巻 改訂版 基準点測量
 細野武庸 井内登 日本測量協会
 (1992)

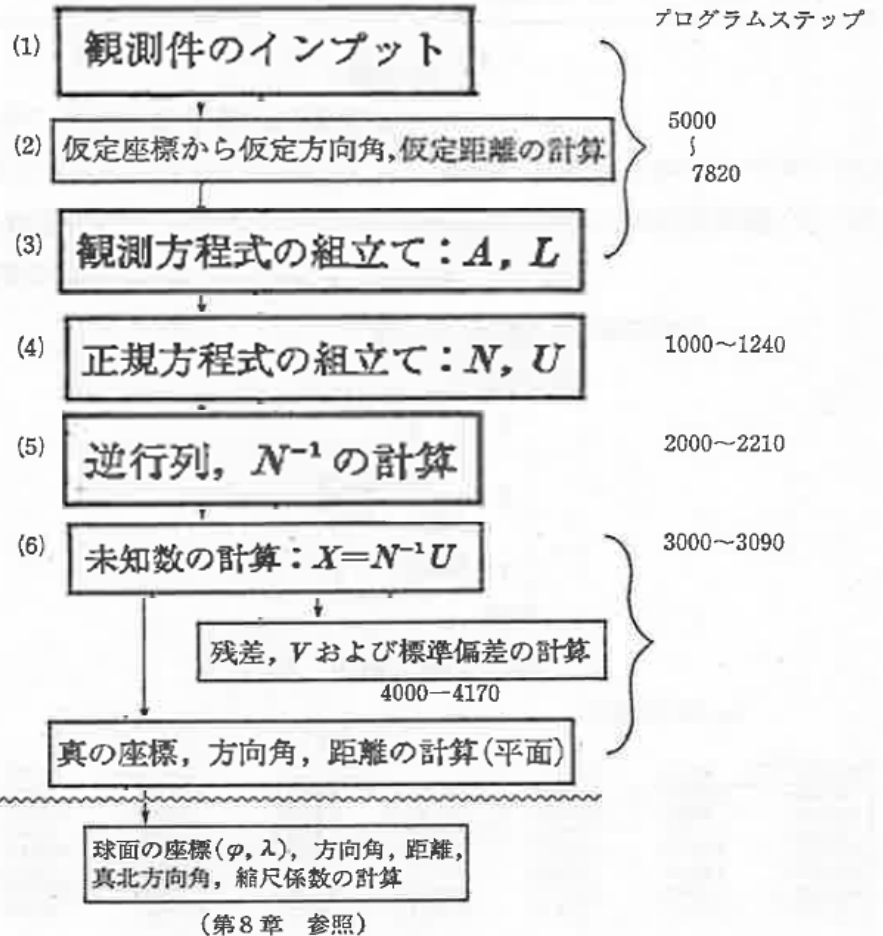


図-7.10 $X \cdot Y$ 網平均計算の流れ

細野武庸 他:『測量叢書 第1巻 改訂版 基準点測量』,

日本測量協会(1992) p252 ~ 256

```

1080 FOR K=1 TO N
1090 S1=0
1100 FOR I=1 TO M
1110 S1=S1+P(I)*A(I,J)*A(I,K)
1120 NEXT I
1130 S(J,K)=S1:S=INT(S1)
1140 PRINT S;
1150 LPRINT TAB(10*(K-1));S;
1160 NEXT K
1162 PRINT:LPRINT
1164 NEXT J
1166 FOR J=1 TO N
1170 FOR I=1 TO M
1180 AK(J)=AK(J)+P(I)*A(I,J)*AL
1190 NEXT I
1200 S=AK(J):GOSUB 9280
1210 PRINT J,AK(J)
1220 LPRINT TAB(20):S;J
1230 NEXT J
1240 S1=0
2000 REM***INVERSE MATRIX:N-1*****
2010 FOR K=1 TO N
2020 T=1/S(K,K)
2030 S(K,K)=1
2040 FOR J=1 TO N
2050 S(K,J)=S(K,J)*T
2060 NEXT J
2070 FOR I=1 TO N
2080 IF I=K THEN GOTO 2130
2090 Q=S(I,K)
2092 S(I,K)=0
2100 FOR J=1 TO N
2110 S(I,J)=S(I,J)-Q*S(K,J)
2120 NEXT J
2130 NEXT I
2150 NEXT K
2152 PRINT "S(I,J)/10^9"
2160 LPRINT "S(I,J)/10^9"
2170 FOR J=1 TO N:FOR K=1 TO N
2180 S1=INT(S(J,K)*1000000000)
2190 LPRINT TAB(10*(K-1));S1;
2200 PRINT TAB(10*(K-1));S1;
2210 NEXT K:LPRINT:NEXT J
3000 REM***X=-N-1.U****
3010 LPRINT
3020 FOR I=1 TO N
3030 X(I)=0
3040 FOR J=1 TO N
3050 X(I)=X(I)+S(I,J)*AK(J)
3060 NEXT J
3070 PRINT I,X(I)
3080 *LPRINT I,X(I)
3090 NEXT I
    
```

正規方程式の組立て及び印字
(表-7.5)

正規方程式の組立て

正規方程式の解

```

4100 FOR I=1 TO M
4110 VV=VV+P(I)*V(I)^2
4120 NEXT I
4130 SD=GQR(VV/(M-N))
4140 PRINT:SD
4150 FOR I=1 TO N
4160 MX(I)=SD*SQR(S(I,I))
4170 NEXT I
4200 REM***
4210 LPRINT:LPRINT:LPRINT
4220 LPRINT "M=":M:"N=":N
4230 LPRINT
4240 LPRINT "NO.      X      MX"
4250 FOR I=1 TO N
4260 S=X(I):GOSUB 9320:S1=S
4270 S=MX(I):GOSUB 9320:S2=S
4280 LPRINT I;S1;S2
4290 NEXT I
4292 S=SD:GOSUB 9320:SD=S
4300 PRINT:LPRINT"SD=":SD
4310 STOP
5000 REM***
5010 DEFDBL A-G,L-Y
5020 RA=3.14159265#/180:RO=3600/RA
5030 DIM S(15,15),AK(30),X(30),V(30),MX(30),AN(20,20),CS(20)
5040 DIM XJ(30),YJ(30),AP(30),A(30,15),AL(30),P(30)
5050 RESTORE 10000
5060 J=1
5070 READ A,X,Y
5080 AP(J)=A:XJ(J)=X:YJ(J)=Y
5090 PRINT A;X;Y;J
5100 IF A=9999 GOTO 5120
5110 J=J+1:GOTO 5070
5120 NR=J-1
5130 READ A,X,Y
5140 PRINT A;X;Y;J
5150 AP(J)=A:XJ(J)=X:YJ(J)=Y
5160 IF A=9999 GOTO 5180
5170 J=J+1:GOTO 5130
5180 NP=J-1:NQ=NP-NR
6000 REM***ANGLE***
6010 I=0
6020 GOSUB 9170
6030 READ K1,K0,K2,A1
6040 PRINT K1;K0;K2;A1
6050 IF K1=9999 GOTO 6170
6060 FOR J=1 TO NP
6070 IF K1=AP(J) THEN J1=J
6080 IF K0=AP(J) THEN J0=J
6090 IF K2=AP(J) THEN J2=J
6100 NEXT J
6110 GOSUB 9000
6112 S=A1:GOSUB 9600:AT=S
6114 *LPRINT AT
    
```

標準偏差の計算)

観測件の読み込み

```

6120 B2=360+((T2-T1)-AT)
6130 IF T2<T1 THEN T2=T2+360
6140 B2=({(T2-T1)-AT)*3600
6150 IF AN(J1,J0)=1 GOTO 6230
6160 IF I=0 GOTO 6220
6170 FOR J=1 TO NP*2
6180 A(I,J)=CS(J)
6190 NEXT J
6200 AL(I)=CL*P(I)=-1/I
6210 IF K1=9999 THEN NT=I:GOTO 7000
6220 FOR J=1 TO NP*2:CS(J)=0:NEXT J
6230 CL=0:I1=0:AN(J1,J0)=1
6240 I=I+1
6250 A(I,J1*2-1)=E1:A(I,J1*2)=F1
6260 A(I,J0*2-1)=-E1:A(I,J0*2)=-F1
6270 AL(I)=0:P(I)=1
6280 FOR J
6290 CS(J)=CS(J)+A(I,J)
6300 NEXT
6310 CL=CL
6320 I=I+1
6330 A(I,J
6340 A(I,J
6350 AL(I)
6360 FOR J
6370 CS(J)
6380 NEXT
6390 I1=I1
6400 I=I+1
6410 STOP
7000 REM***DISTANCE***
7010 I=1
7020 READ
7030 IF K1
7040 IO=I+1
7042 FOR J
7050 IF K1
7060 IF K2
7062 NEXT
7064 GOSUB
7070 A(IO,
7080 A(IO,
7090 GOSUB
7100 AS=AS+S
7110 B4=(S2^(1/2)-AS)/S2^(1/2)*RO
7120 GOSUB 7100
7130 AL(IO)=B4:P(IO)=P
7140 I=I+1:GOTO 7020
7700 REM***
7710 FOR I=1 TO NT+NS
7720 FOR J=1 TO NP*2
7730 S=A(I,J+2*NR):A(I,J)=S:GOSUB 9280
7740 PRINT S:LPRINT S:TAB(10*J):
7750 NEXT J:LPRINT:NEXT I
7752 FOR I=1 TO NT+NS
7754 FOR J=1 TO NP+NS
7760 S=AL(I):GOSUB 9280:S1=S
7770 S=P(I):GOSUB 9280:S2=S
7780 PRINT I:S1:S2
7790 LPRINT TAB(10):S1:TAB(20):S2:TAB(30):"(:I:)"
7800 NEXT I
7810 LPRINT
7820 GOTO 1000
7830 STOP

```

角の観測方程式の組立て

距離の観測方程式の組立て

シュライバーの消去法

サブルーチン等

```

9000 REM***SUB***
9010 C1=XJ(J0)-XJ(J1):D1=YJ(J0)-YJ(J1)
9020 IF (C1=0)*(D1=0) GOTO 9040
9030 E1=-D1/(C1^2+D1^2):F1=C1/(C1^2+D1^2)
9040 C2=XJ(J0)-XJ(J2):D2=YJ(J0)-YJ(J2)
9110 PRINT T1,T2
9120 RETURN
9122 REM***SUB***
9130 C1=XJ(J2)-XJ(J1):D1=YJ(J2)-YJ(J1)
9132 V3=YJ(J2)+YJ(J1):Y3=Y3/2
9140 S2=C1^2+D1^2:S=S2^(1/2)
9150 E1=C1/S2*RO:F1=D1/S2*RO
9160 RETURN
9162 REM***SUB***
9170 FOR JX=1 TO NP*2
9180 FOR JY=1 TO NP*2
9190 AN(JX,JY)=0
9200 NEXT JY:NEXT JX
9210 RETURN
9220 REM***SUB***
9230 T=ATN(Y/X)/RA
9240 IF X<0 THEN T=T+180:GOTO 9260
9250 IF Y<0 THEN T=T+360
9260 RETURN
9270 REM***SUB***
9280 SX=ABS(S):SS=SGN(S)
9290 SX=INT(SX*(1+5E-11)*100)/100
9300 S=SS*SX
9310 RETURN
9320 REM***SUB***
9330 SS=SGN(S):S=ABS(S)
9340 S=INT(S/1000+.5)/1000
9350 S=SS*S
9360 RETURN
9370 STOP
9400 REM***SUB***
9410 AM=.9999:A0=63774001:E2=6.6743E-03
9420 S1=SIN(36*RA)
9430 SM=A0*(1-E2)/(1-E2*S1^2)^(3/2):SN=A0/(1-E2*S1^2)^(1/2)
9440 S3=AM*(1+Y3^2/(2*SM*SN*AM^2)+Y3^4/(24*(SM*SN*AM^2)^2)
9450 RETURN
9600 REM***SUB***
9610 SO=SGN(S):S=ABS(S)
9620 SD=INT(S/100000):S1=S/10000-SD:SM=INT(S1*100):SS=S1-100-SM
9630 S=SG*(SS/.6+SM)/60+SD)
9640 RETURN
9700 REM***SUB***
9710 MT=1.3:U1=1.5:R1=3*1E-06:S2=S2*1000000!
9720 P=MT^2*S2/(U1^2+R1^2*S2)*RO^2)
9730 RETURN
10000 REM***TAKAKU-HYOGO
10002 REM***K,Y DATA
10010 DATA 301, -92491.540,88919.350
10020 DATA 302, -94163.680,92351.480
10030 DATA 303, -95560.550,90073.470
10040 DATA 9999,0,0

```

図-7.11 (その3)

図-7.11 (その4)

2) BASICプログラムの検証と改良、使用

- プログラムの改良
 - ・ 入力部: 名前をそのまま使う
 - ・ 計算結果から推測される角度、距離と実測値の差の打ち出し
 - ・ (絶対・相対) 誤差楕円部の追加
 - ・ 逆行列の計算時 桁落ち防止のための軸だし
 - ・ 既知点として一軸のみ固定で計算できるように改良
 - ・ グラフィック部の追加
- アプリケーション N88BASICから FBASICへ
 - ・ Windows7でも走る

測量会社の使用するプログラムの場合

P. 21

• SPring-8 建設時

コピー証明書

計算プログラム名称 球面ST計算および経緯度・XY座標相互換算は、社団法人日本測量協会測量技術センターが検定したプログラム（検定No. 60-56、日測技発第963号、昭和61年3月29日付電子計算機用プログラム検定証明書及び検定No. 60-57、日測技発第964号、昭和61年3月29日付電子計算機用プログラム検定証明書）のコピーに相違ないことを証明します。（使用機種名Gシリーズ）

Y 網 平 均 計 算
(観測方程式)

平面直角座標系 0

放射光建設基準点第2回測量

検定番号(日本測量協会)	No.61-96	S 62.02.27
登録番号(国土地理院)	No.62.A-12	S 62.06.04
コピー検定番号(日本測量協会)	No. 4-20	H 4.5.1
コピー登録番号(国土地理院)	No. 4.A-39	H 4.5.28

証 明 者

会社所在地 大阪府箕面市船場東2-1-15

会社名 株式会社

代表者 代表取締役 伊藤 幸男

電算プログラム管理者 開発部長 細川 明

検定番号(日本測量協会)	No. 61-96	S 62.02.27
登録番号(国土地理院)	No. 62.A-12	S 62.06.04
コピー検定番号(日本測量協会)	No. 4-20	H 4.5.1
コピー登録番号(国土地理院)	No. 4.A-39	H 4.5.28

プログラム管理者 代表取締役 山口 政勝

電算プログラム検定記録書

文書のレビューと注釈の管理

日測技発第 号

電算プログラム検定記録書

使用目的	精密測地網一次基準点測量	OS及び使用言語	MS-DOS PASCAL	主任検定者	佐藤 昇
作業規程	電算プログラム検定要領 精密測地網一次基準点測量作業規程	ステップ数	5394	検定者	佐野
名称	XY網平均計算(観測方程式)	使用電子計算機機種	JEC GEO STATION GX-II	検定	自平成 4 年 4 月 27 日
種別	(新規、コピー、修正) コピー	主記憶容量及び桁数	762KB以上 14	期間	至平成 4 年 5 月 / 日
依頼者	株式会社 カイヤマグチ	VERSION及びCPUのビット数	Ver.2.1以上 16	備考	

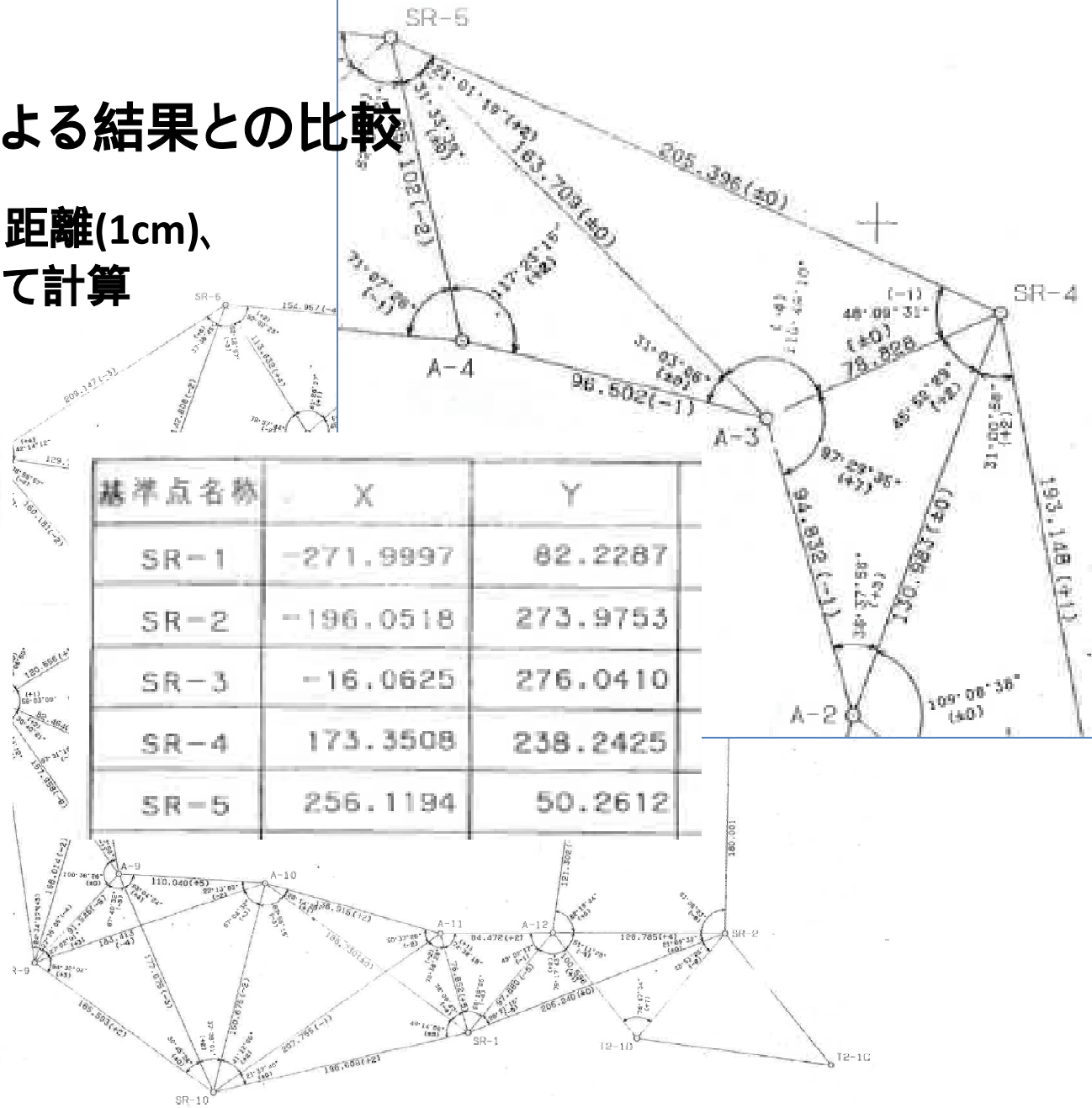
点検事項	検定者指摘事項	参考事項	所見
プログラム説明書	/		
フローチャート			
計算式等			
入出力の書式			
計算結果		良	株式会社 ジェック 所有プログラム (登録年月日 昭和 62 年 6 月 4 日)
その他		(登録番号 第 62.A-12号)	のコピー

(検証1)

(株)山口測量による結果との比較

重み 角度(3.5秒)、距離(1cm)、
 入力データ同じにして計算
 結果:良く一致した

基準点名称	X	Y	H
SR-1	-271.9997	82.2287	290.510
SR-2	-196.0518	273.9753	290.525
SR-3	-16.0625	276.0410	290.719
SR-4	173.3508	238.2425	290.370
SR-5	256.1194	50.2612	290.893
SR-6	269.5047	-104.1161	290.584
SR-7	155.1571	-279.2363	290.719
SR-8	-28.9126	-273.7694	290.856
SR-9	-223.2980	-244.2829	290.778
SR-10	-318.5102	-108.7992	290.562
A-1	-76.7210	160.4439	0.000
A-2	50.0578	194.0228	0.000
A-3	140.7934	166.4524	0.000
A-4	163.7049	72.7096	0.000
A-5	174.2104	-42.2197	0.000
A-6	134.6493	-151.1068	0.000
A-7	36.0710	-172.1077	0.000
A-8	-61.7492	-198.1249	0.000
A-9	-156.9266	-181.2313	0.000
A-10	-162.2670	-71.3214	0.000
A-11	198.4234	60.7331	0.000
A-12	-197.0608	145.1942	0.000
T2-1C	-293.5916	354.0963	293.262
T2-1D	-274.9533	208.8523	293.233



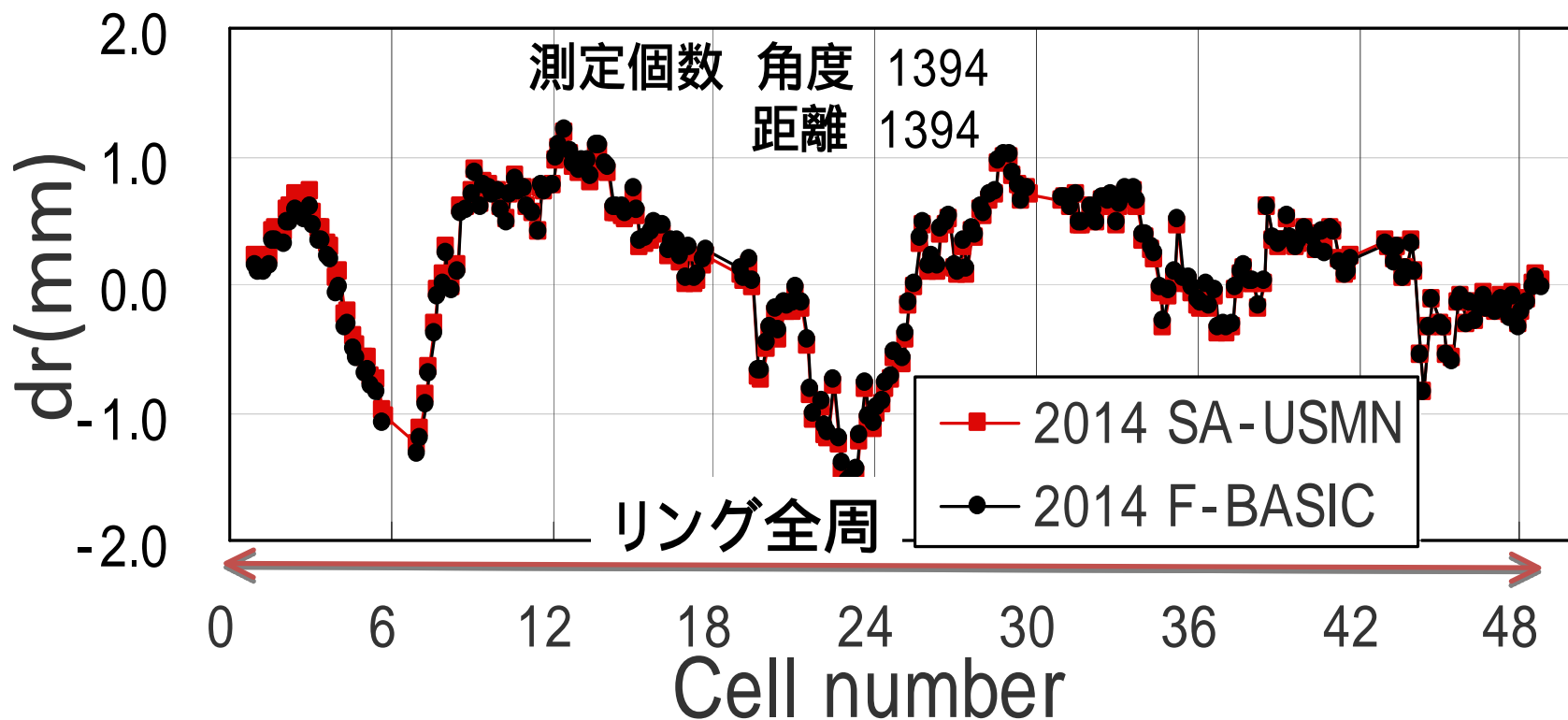
基準点名称	X	Y
SR-1	-271.9997	82.2287
SR-2	-196.0518	273.9753
SR-3	-16.0625	276.0410
SR-4	173.3508	238.2425
SR-5	256.1194	50.2612

(検証2) 蓄積リング dr 半径方向の距離

USMNによる解析との比較

Spatial Analyzer(SA) (New River Kinematics社)

(USNM:Unified Spatial Metrology Network)



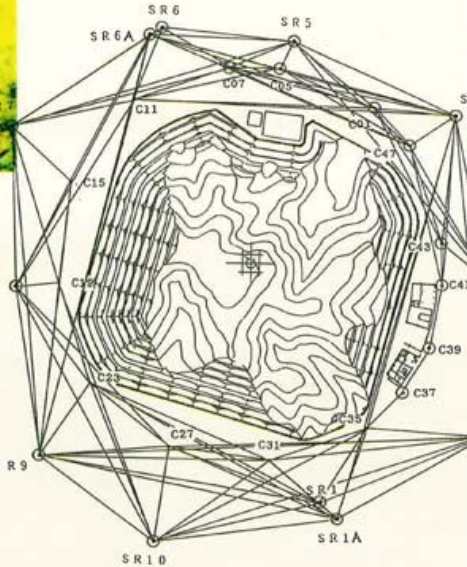
(使用実績1) SPring8蓄積リングの基準点とモニュメント

モニメント上の距離計 ME5000
(精度 $0.2\text{mm} \pm 0.2\text{ppm} \times \text{キ}$)

モニメント測量 (93.1)



SR7に設置した T3000 による角度測定



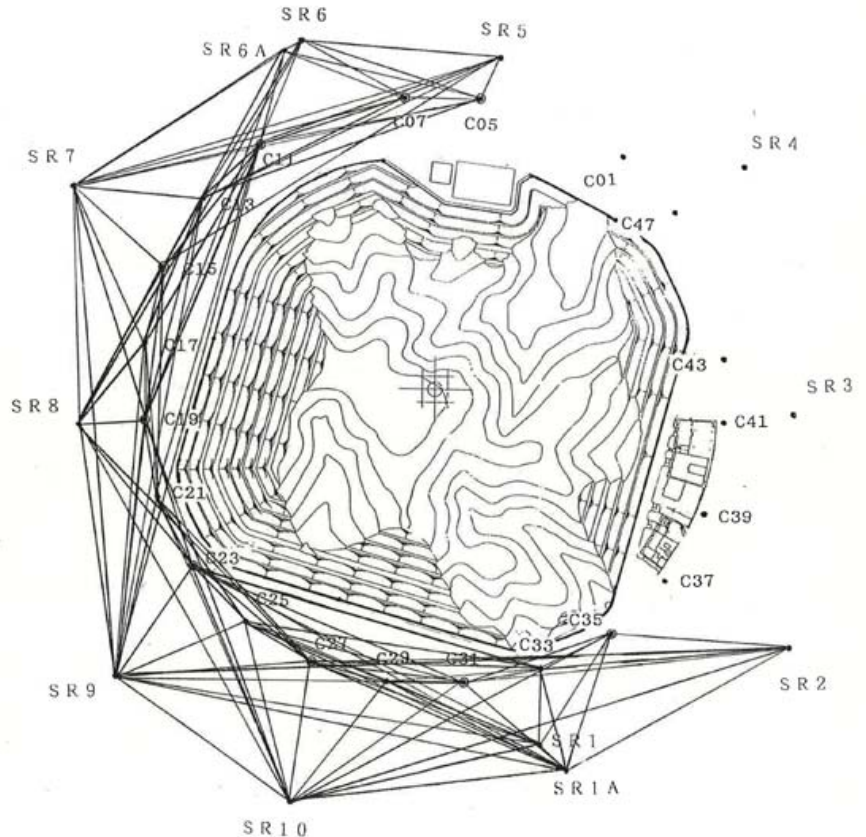
C01~C47 モニメント
SR1~SR10 外部基準点
SR1A, SR6A 副点 (4辺に1点のみ)



モニメント上のセオリアイト T3000

2回の測量と計算

Survey 2 1993.10.



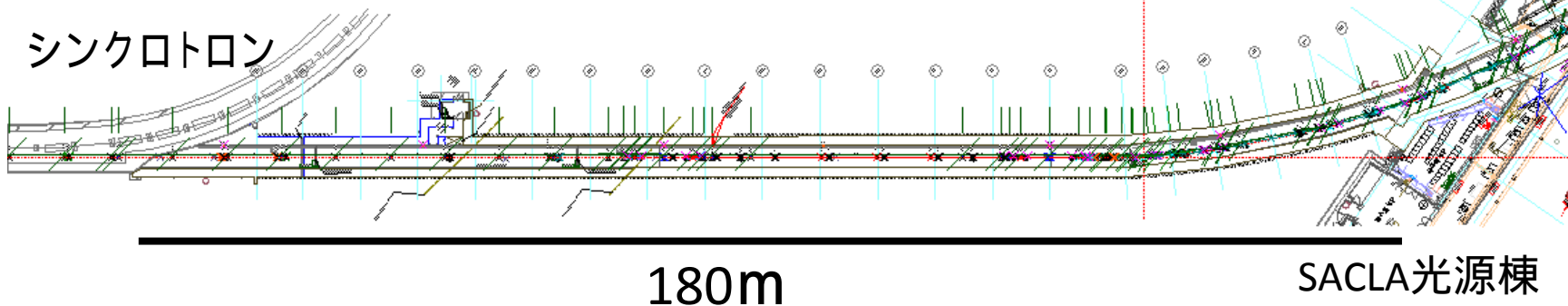
(使用実績2) XSBT系 モニュメント設置と網平均計算

SACLAからSPring-8の
シンクロトロンへのBT系

高さの差 ~ 9mあった
が水平面内での計算

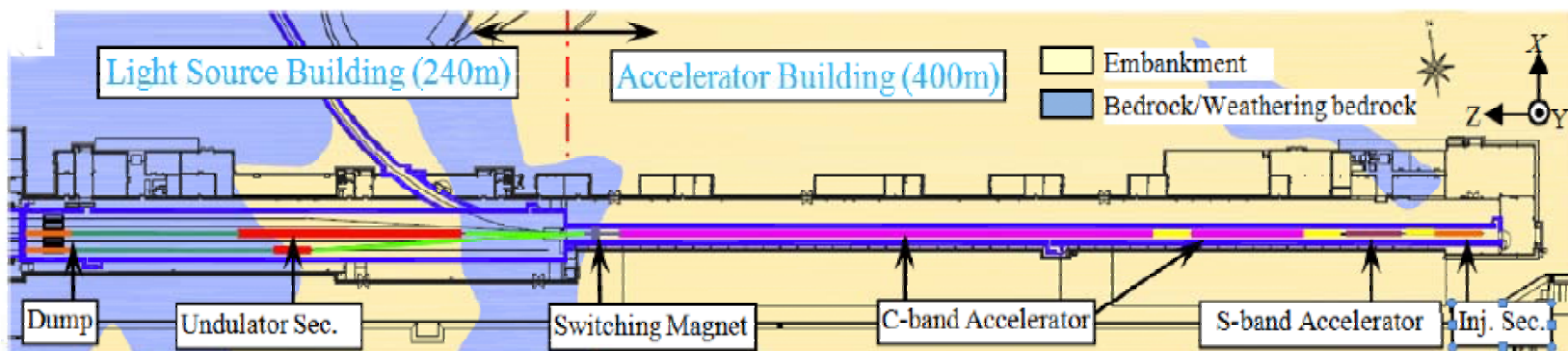


傾斜部での測量の様子

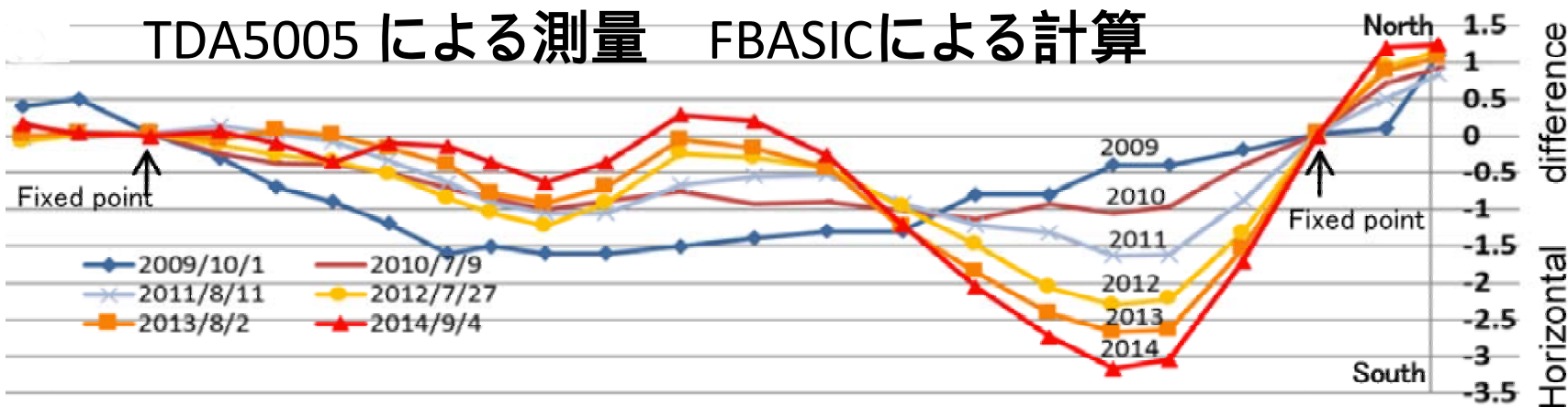


(使用実績3) XFEL SACLA モニュメントの網平均計算

直線に近くても網平均で計算
 最初は機器を据え付けるため、その後は変化をモニターしている



TDA5005 による測量 FBASICによる計算



3) 誤差楕円の計算方法

A=観測方程式の行列

P=重みの行列

L=設定値から求まる値
と観測値の差の行列

X=解

$(A^T P A)^{-1}$ 分散、共分散行列

最小二乗法の正規方程式

$$A^T P A X + A^T P L = 0$$

$$X = -(A^T P A)^{-1} (A^T P L)$$

相対的な誤差楕円

$$\sigma_{\Delta N}^2 = \sigma_{N1}^2 - 2\sigma_{N1N2} + \sigma_{N2}^2$$

$$\sigma_{\Delta E}^2 = \sigma_{E1}^2 - 2\sigma_{E1E2} + \sigma_{E2}^2$$

$$\sigma_{\Delta N \Delta E} = \sigma_{N1E1} - \sigma_{N1E2} - \sigma_{E1N2} + \sigma_{N2E2}$$

	1	2	3	4
1	$\sigma_{N1}^2 \quad \sigma_{NE}$ $\sigma_{NE} \quad \sigma_{E1}^2$			
2	$\sigma_{N1N2} \quad \sigma_{E1N2}$ $\sigma_{N1E2} \quad \sigma_{E1E2}$	$\sigma_{N2}^2 \quad \sigma_{NE}$ $\sigma_{NE} \quad \sigma_{E2}^2$		
3	$\sigma_{N1N3} \quad \sigma_{E1N3}$ $\sigma_{N1E3} \quad \sigma_{E1E3}$	$\sigma_{N2N3} \quad \sigma_{E2N3}$ $\sigma_{N2E3} \quad \sigma_{E2E3}$	$\sigma_{N3}^2 \quad \sigma_{NE}$ $\sigma_{NE} \quad \sigma_{E3}^2$	
4	$\sigma_{N1N4} \quad \sigma_{E1N4}$ $\sigma_{N1E4} \quad \sigma_{E1E4}$	$\sigma_{N2N4} \quad \sigma_{E2N4}$ $\sigma_{N2E4} \quad \sigma_{E2E4}$	$\sigma_{N3N4} \quad \sigma_{E3N4}$ $\sigma_{N3E4} \quad \sigma_{E3E4}$	$\sigma_{N4}^2 \quad \sigma_{NE}$ $\sigma_{NE} \quad \sigma_{E4}^2$

シミュレーションと誤差楕円の例

SACLA光源棟モニユメント測量の場合

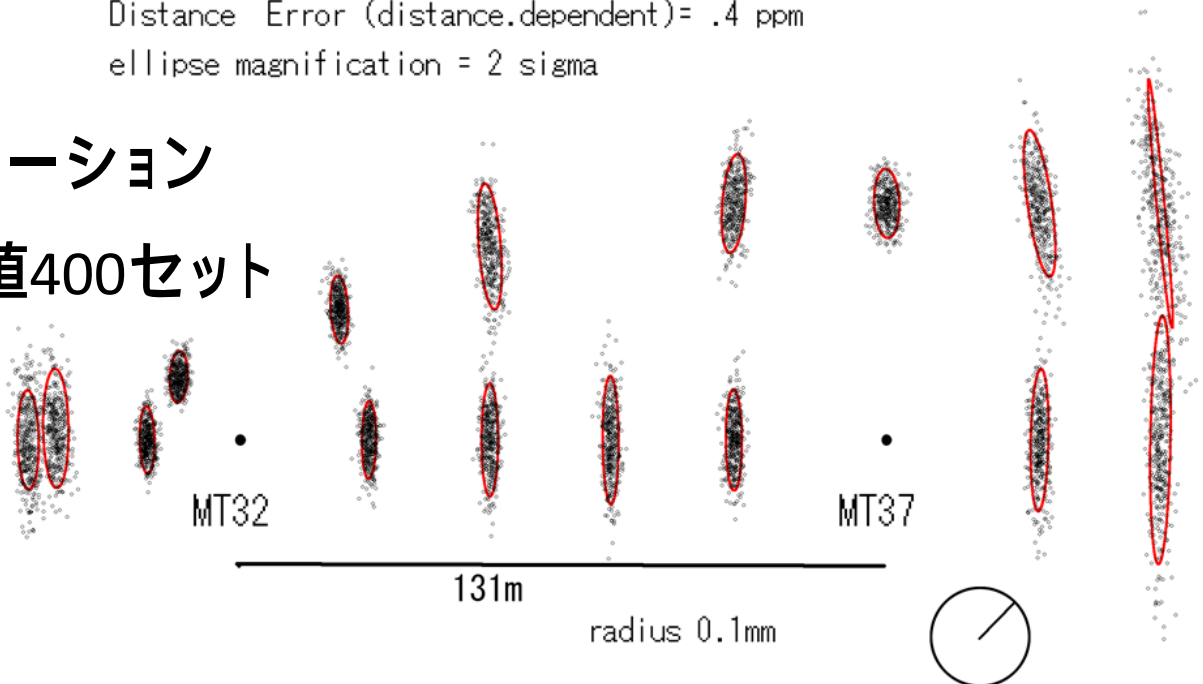
測定値のばらつき = 解析時のエラーの場合

2 の誤差楕円の内側に86%が入る

15/08/01 10:11:29 Survey Simulation
Angle Error = .5 sec
Distance Error (Const.)= .01 mm
Distance Error (distance.dependent)= .4 ppm
ellipse magnification = 2 sigma

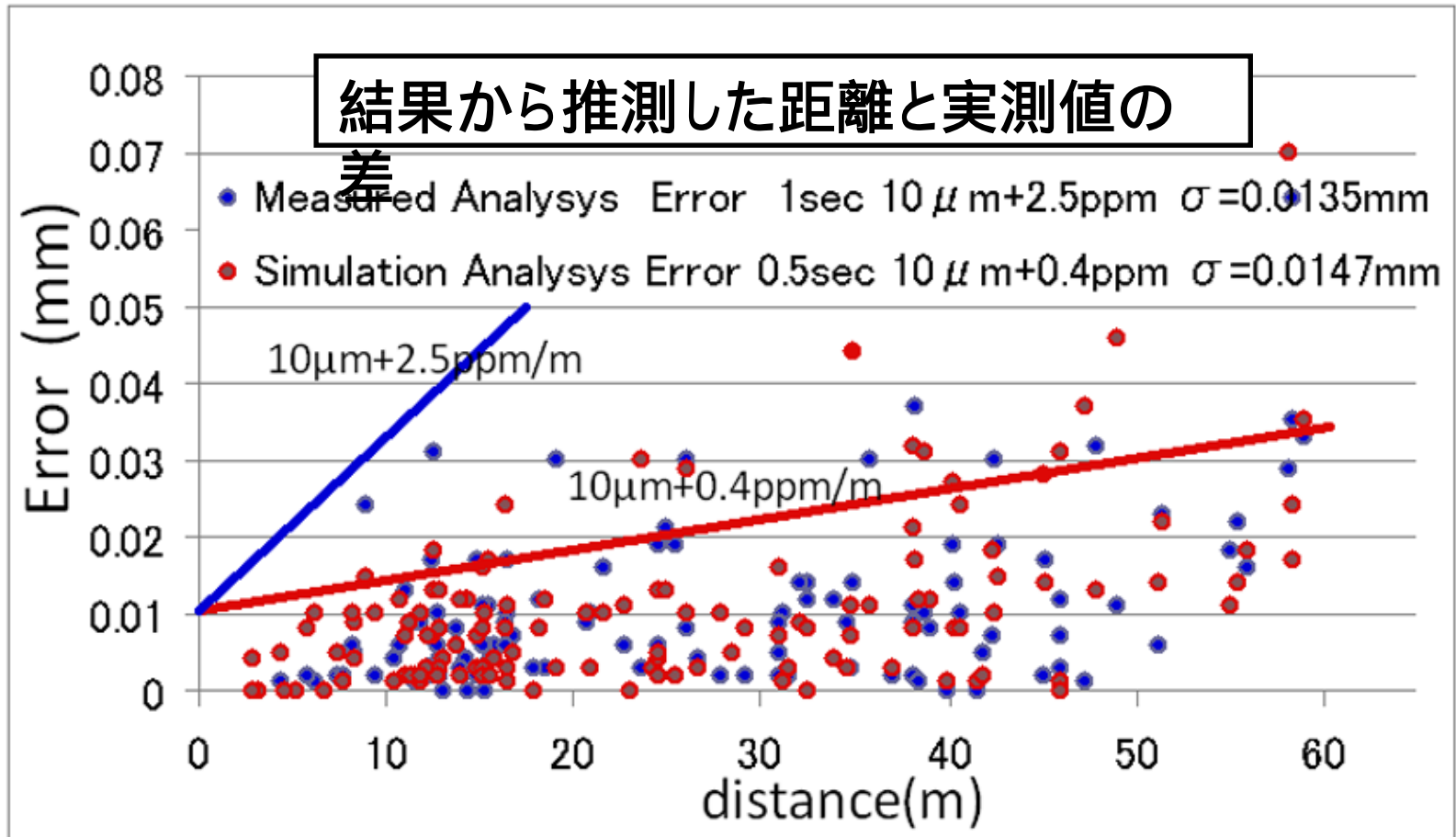
シミュレーション

測定値400セット



4) シミュレーションの効用 その1

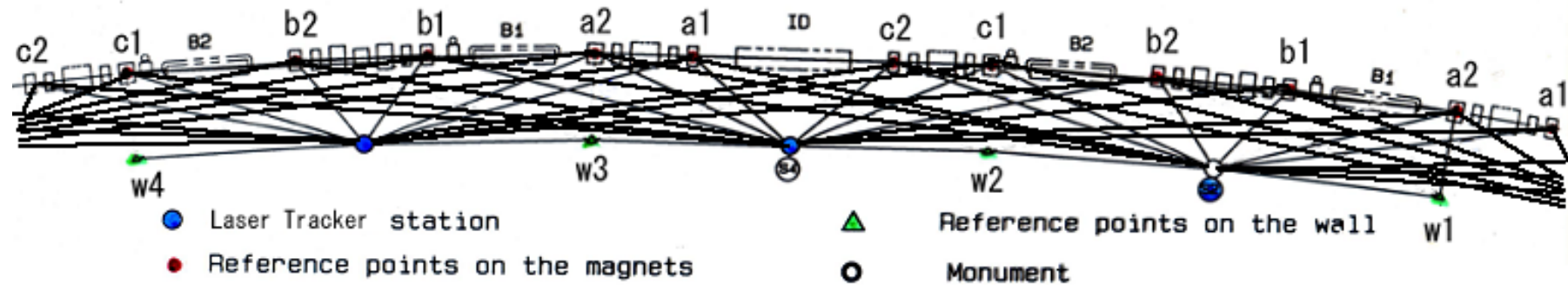
4-1 測量の実力値の推測

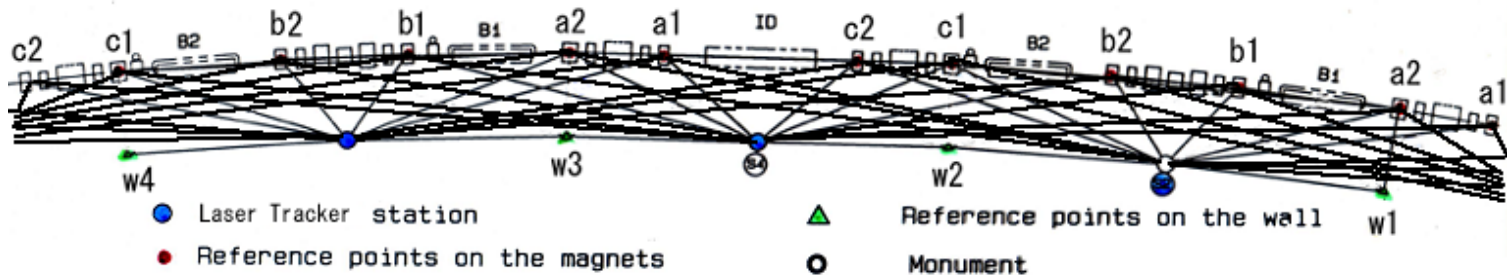


4) シミュレーションの効用 その2

4-2 測量網の最適化 相対的誤差楕円の計算より

リングの測量網



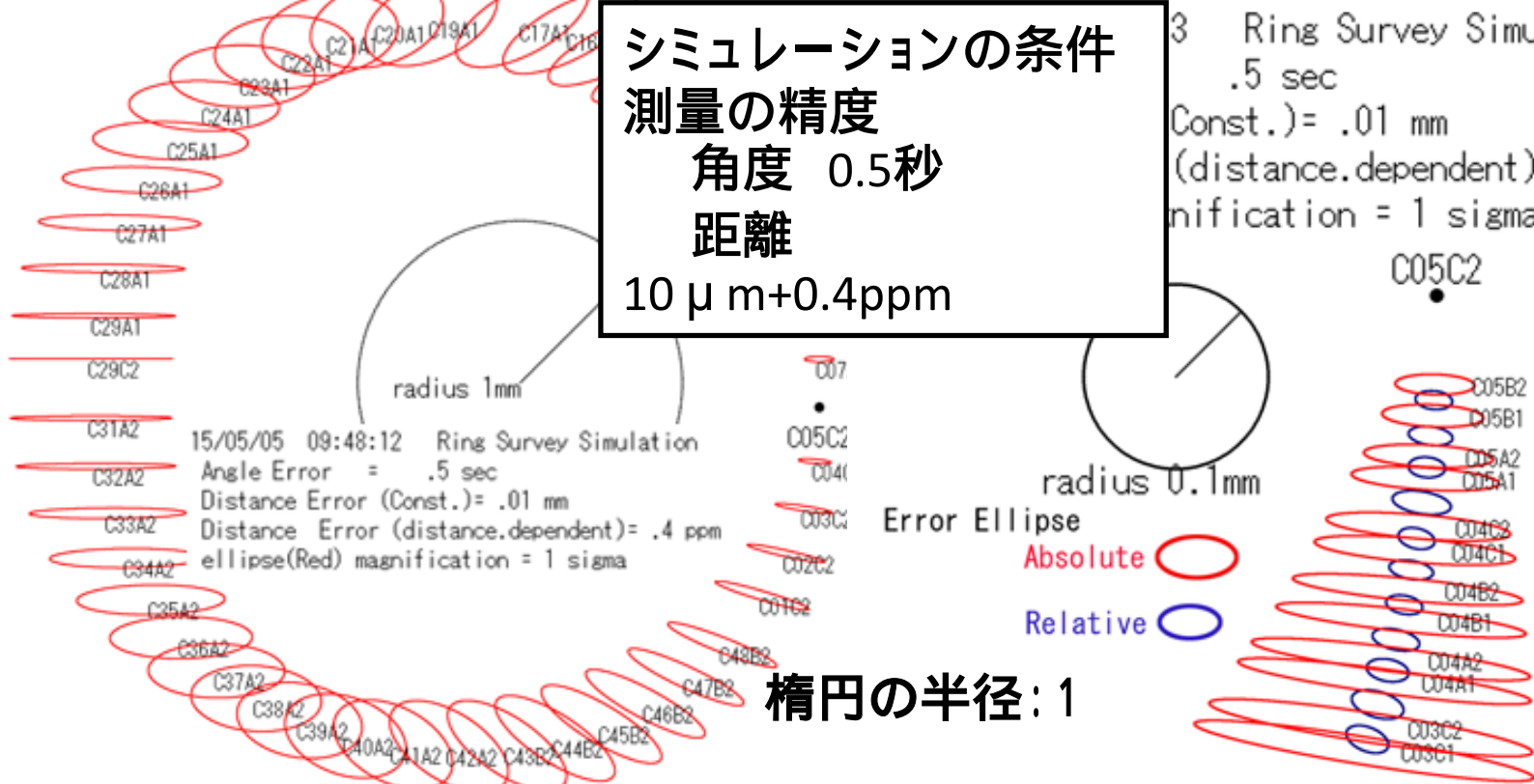


絶対的な誤差楕円

絶対的と相対的な誤差楕円

シミュレーションの条件
 測量の精度
 角度 0.5秒
 距離
 10 μm + 0.4ppm

3 Ring Survey Simulation
 .5 sec
 Const.) = .01 mm
 (distance.dependent) = .4 ppm
 nification = 1 sigma



シミュレーション例 1)

絶対的な誤差楕円 測量の角度精度依存

角度精度 1秒

14/12/04 04:48:30 Ring Survey Simulation
Angle Error = 1 sec
Distance Error (Const.)= .02 mm
Distance Error (distance.dependent)= .4 ppm
ellipse(Red) magnification = 1 sigma

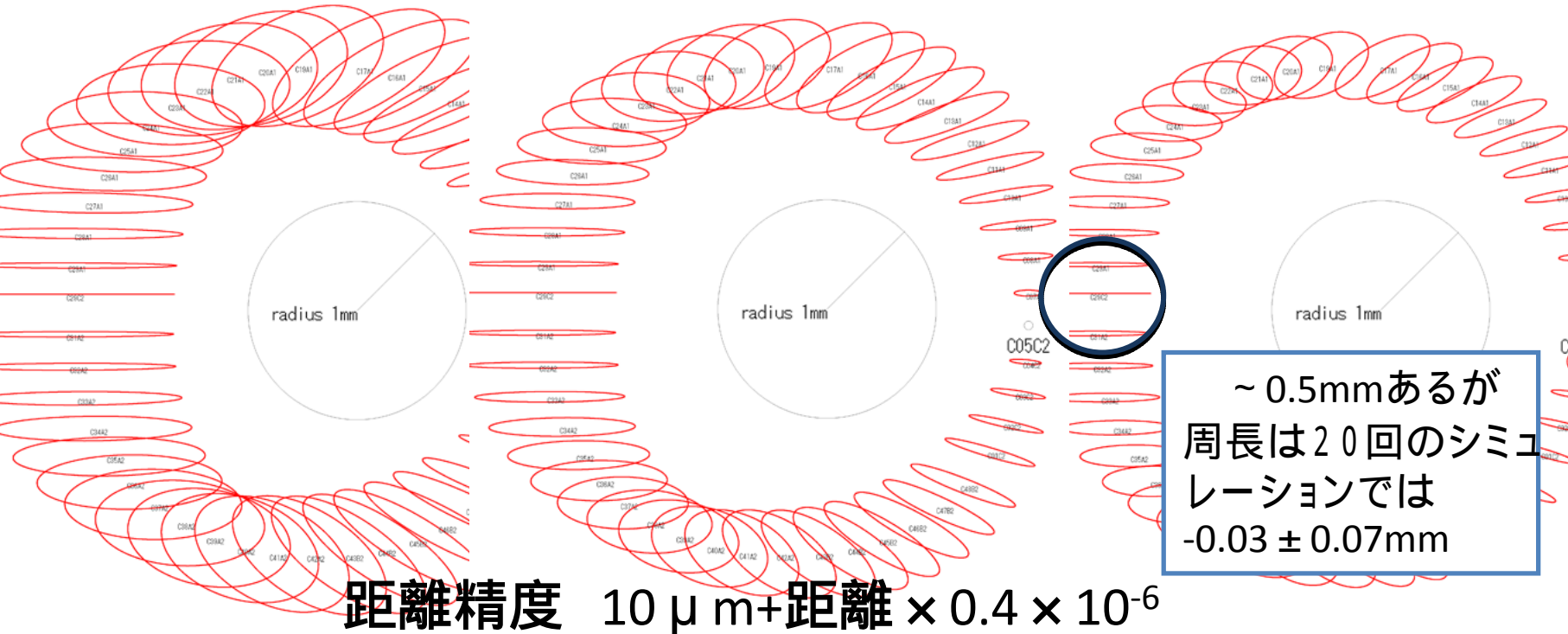
0.7秒

14/12/04 12:30:22 Ring Survey Simulation
Angle Error = 0.7 sec
Distance Error (Const.)= .02 mm
Distance Error (distance.dependent)= .4 ppm
ellipse(Red) magnification = 1 sigma

変わる！

0.5秒

14/12/04 11:05:08 Ring Survey Simulation
Angle Error = 0.5 sec
Distance Error (Const.)= .02 mm
Distance Error (distance.dependent)= .4 ppm
ellipse(Red) magnification = 1 sigma



シミュレーション例 2) 絶対的な誤差楕円 距離精度依存

楕円の短軸は少し変わるが長軸
の大きさはあまり変わらない

距離精度
 $20 \mu\text{m} + \text{距離} \times 5 \times 10^{-6}$

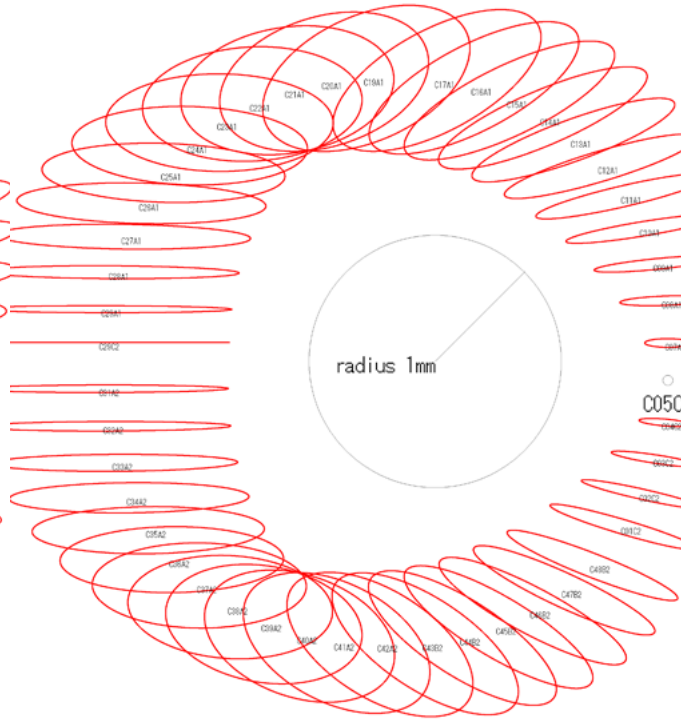
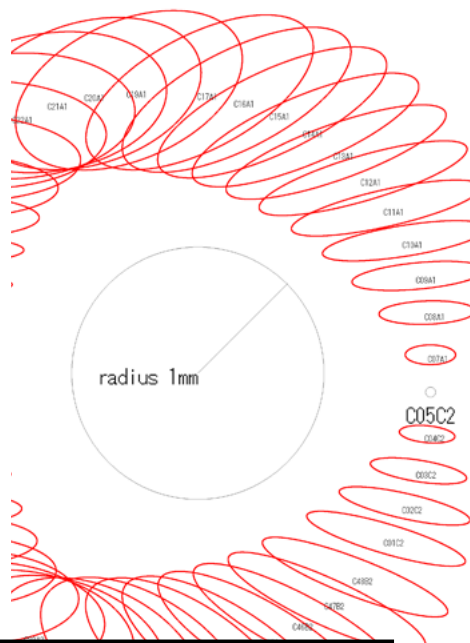
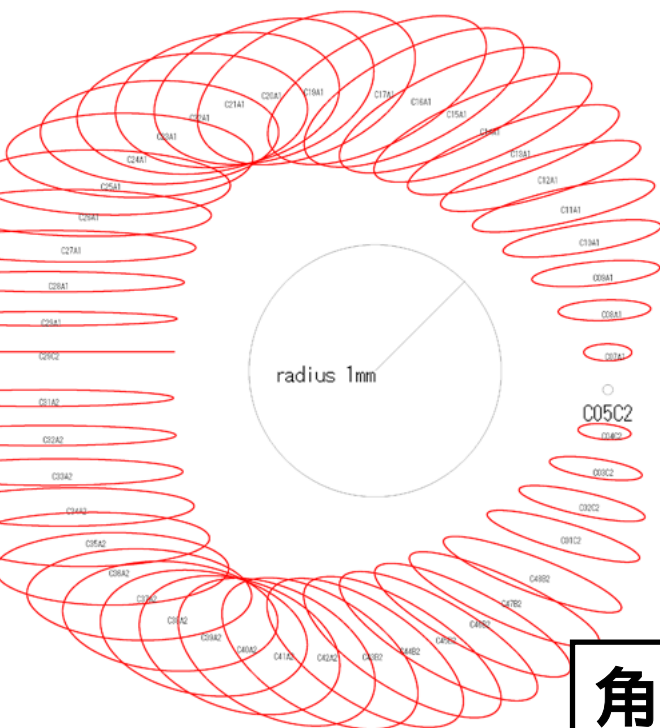
Angle Error = 1 sec
Distance Error (Const.) = .02 mm
Distance Error (distance.dependent) = 5 ppm
ellipse(Ref) magnification = 1 sigma

$30 \mu\text{m} + \text{距離} \times 5 \times 10^{-6}$

1 sec
(Const.) = .03 mm
(distance.dependent) = 5 ppm
magnification = 1 sigma

$20 \mu\text{m} + \text{距離} \times 1 \times 10^{-6}$

Angle Error = 1 sec
Distance Error (Const.) = .02 mm
Distance Error (distance.dependent) = 1 ppm
ellipse(Ref) magnification = 1 sigma



角度精度 1秒

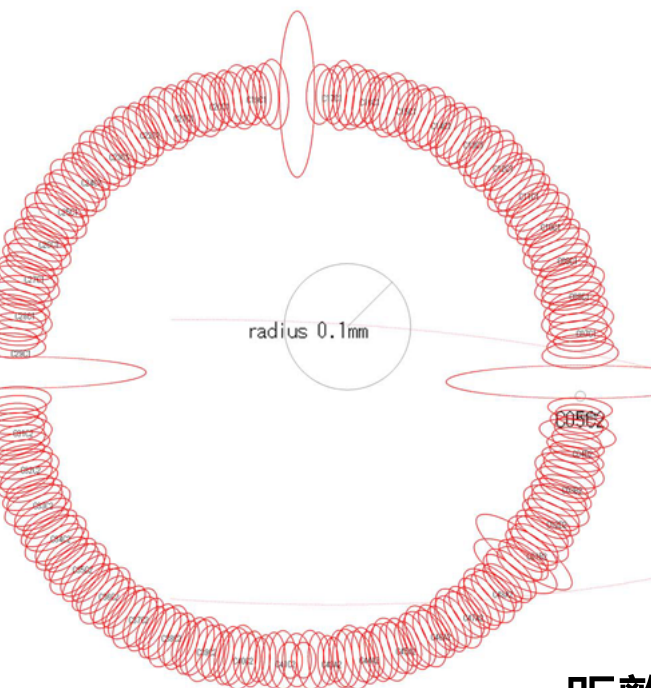
シミュレーション例 3)

相対的な誤差楕円 角度精度依存

角度精度 1秒

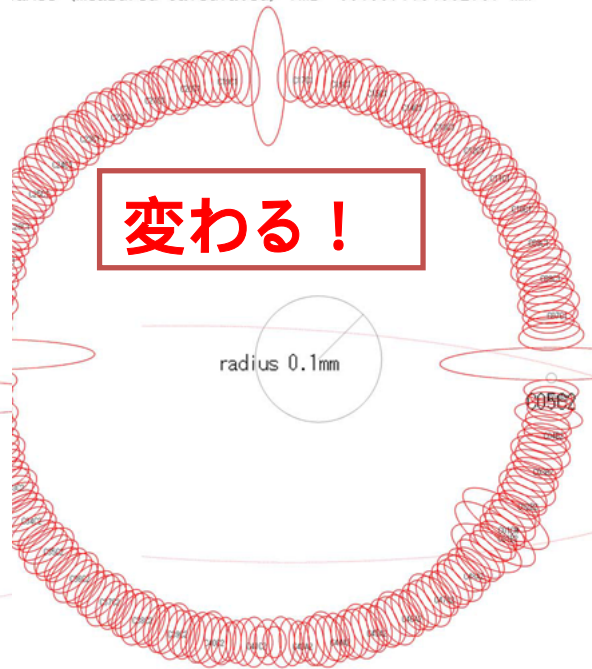
```
4/12/08 15:04:10 Ring Survey Simulation  
Angle Error = 1 sec  
Distance Error (Const.)= .02 mm  
Distance Error (distance.dependent)= .4 ppm  
ellipse(Red) magnification = 1 sigma
```

```
Angle difference (Measured-Calculated) rms = 1.274 sec  
Distance difference (Measured-Calculated) rms=0.019mm
```



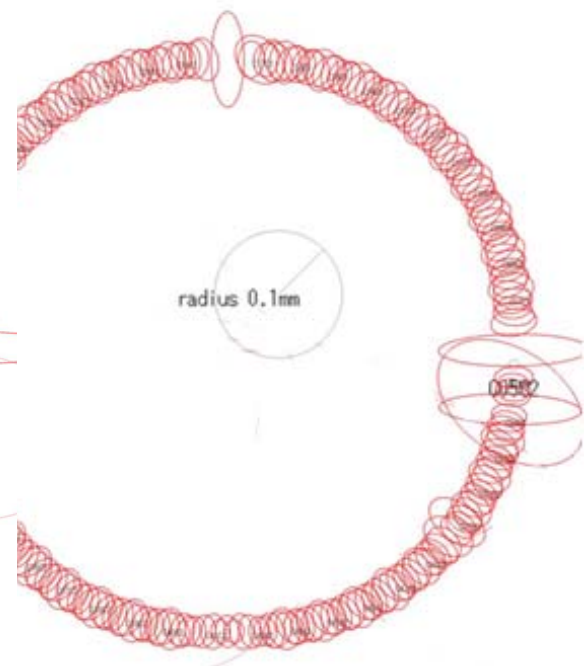
0.8秒

```
4/12/08 13:27:06 Ring Survey Simulation  
Angle Error = .8 sec  
Distance Error (Const.)= .02 mm  
Distance Error (distance.dependent)= .4 ppm  
ellipse(Red) magnification = 1 sigma  
Angle difference (Measured-Calculated) rms= 1.01994468666294 sec  
Distance difference (Measured-Calculated) rms= .019571194562757 mm
```



0.5秒

```
4/12/08 19:56:28 Ring Survey Simulation  
Angle Error = .5 sec  
Distance Error (Const.)= .02 mm  
Distance Error (distance.dependent)= .4 ppm  
ellipse(Red) magnification = 1 sigma  
Angle difference (Measured-Calculated) rms = .6374 sec  
Distance difference (Measured-Calculated) rms=0.021 mm
```



距離精度 $20 \mu\text{m} + \text{距離} \times 0.4 \times 10^{-6}$

シミュレーション例 3)

相対的な誤差楕円 距離の固定部精度依存

近距離の測定も多いため

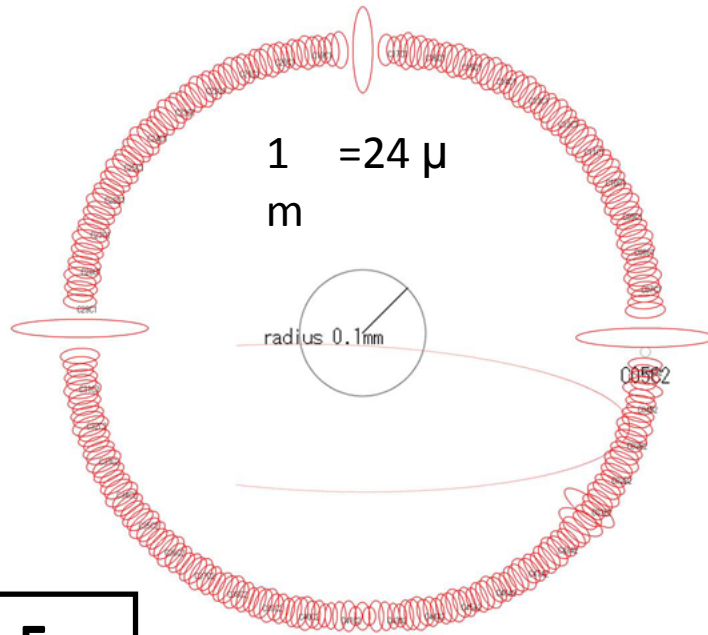
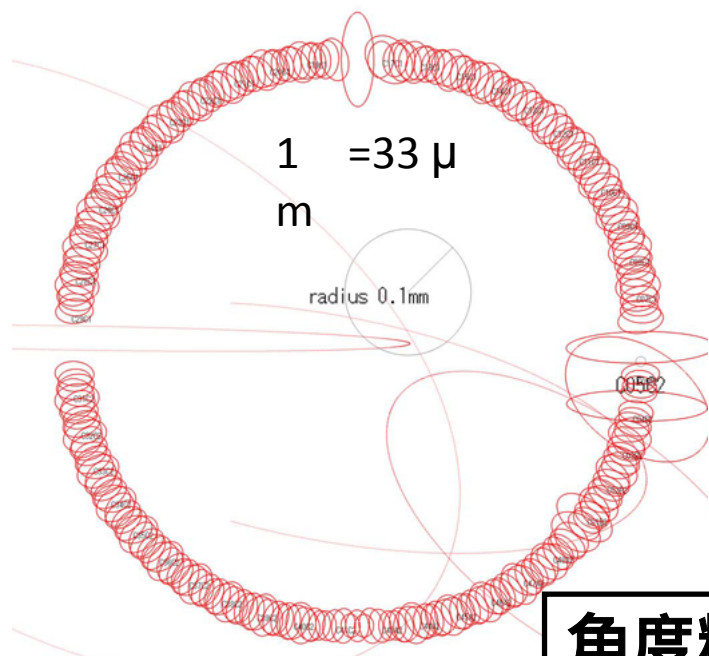
距離精度
 $20 \mu\text{m} + \text{距離} \times 0.4 \times 10^{-6}$

変わる！

14/12/09 03:37:18 Ring Survey Simulation
Angle Error = .5 sec
 $10 \mu\text{m} + \text{距離} \times 0.4 \times 10^{-6}$

Angle difference (Measured-Calculated) rms = .6374 sec
Distance difference (Measured-Calculated) rms=0.021 mm

Angle difference (Measured-Calculated) rms = .637 sec
Distance difference (Measured-Calculated) rms= .013 mm



角度精度 0.5

秒

5) Excel VBAへの書換え

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Survey							
2	Analysys Parameters							
3		Angle- Distance Weight						
4		Angle Error (1 sigma		1.000	sec			
5		Distance Error (Consta		0.01	mm			
6		Distance Error (Distanc		2.5	ppm			
8		Coordinate	right hand (ex.) +X=West direction +Y=North direction					
9			fix one coordinate X or Y Jfix=1 (X) =2(Y) =0(none)					
10			Jfix=1 or 2 →half known point=first Unknown point					
11		JFIX		2				
13		Iteration		3	times			
15			X(m)	Y (m)				
16	Known Poi	Mt32	0.00000	0.00000				
17		9999	0	0				
18	Unknown F	Mt37	130.99995	0.00000				
19		Mt14	-43.11770	0.00000				
20		Mt31	-19.00000	0.00000				
21		Mt33	26.00000	0.00000				
22		Mt34	50.50000	0.00000				
24		9999	0	0				
25	Mrasured	Mt14	T3_1	MtSCSScb0	192.1823			
26	Angle	Mt14	T3_1	BT21_1	355.7378			
27		Mt14	T3_1	BT21_2	204.1411			
29		Mt39	T3_10	W10N	2.0906			
30		9999	0	0	0			
31	Measured	T3_1	MtSCSSgur	11.084221				
32	Distance	T3_1	MtSCSSbc	22.632399				
34		Mt37	Mt39	55.500037				
35		9999	0.000	0.000				
37	Analyzing	Iteration=	1	Time=	16:01:52	Making normal equation		
38		Iteration=	1	Time=	16:01:52	Solving equation		
39		Iteration=	2	Time=	16:01:52	Making normal equation		
40		Iteration=	2	Time=	16:01:53	Solving equation		

Excel シートに解析のエラーを入力

角度 (sec)

距離 (固定部 (mm))

(距離に依存する部分 ppm)

半固定する X軸、Y軸、なし

繰り返し回数

既知点 XY座標

未知点 XY座標

角度 データ

シミュレーションの場合
データなし

距離 データ

解析 繰り返し回数 時刻

相対的誤差楕円

42	Result	2015/7/28	16:01:53
43	Angle Error=	1.0	sec
44	Distance error(Const)=	0.010	mm
45	Distance error(distance)	2.5	ppm
47	Iteration times=	3	

Error Ellipse (Relative)							
Point1	Point2	EW(mm)	NS(mm)	SNEW(mm)	Max(mm)	Min(mm)	Angle(deg)
Mt33	Mt34	0.012	0.032	0.005	0.032	0.012	1.54
Mt34	Mt35	0.012	0.029	0.005	0.029	0.012	1.53
Mt35	Mt36	0.013	0.035	-0.001	0.035	0.013	1.57

計算結果

Comparison between Calculated and a measured							
Angle Fitting weight=1		Calc.(deg)	measured	difference			
Mt14	T3_1	MtSCSSg	15.4180	15.4181	-0.5 sec		
Mt14	T3_1	MtSCSSb	191.5926	191.5930	-1.4 sec		
Mt14	T3_1	MtSCSSc	192.1824	192.1823	0.4 sec		
Mt39	T3_10	W10N	2.0906	2.0906	-0.1 sec		
Angle Fitting	0.740	sec					

--- Half known point ---						
half known	X(m)	X(mm)	X(m)	Y(m)	Y(m)	Y(m)
Point	Assumed	correction	Adjusted	Fixed Y		
Mt37	130.99995	0.034	130.99998	0.00000	0.00000	
Unknown Point						
Point	Assumed (m)	correction (mm)	Adjusted (m)	Assumed (m)	correction (mm)	Adjusted (m)
Mt14	-43.11770	0.47	-43.11723	0.00000	-0.07	-0.00007
Mt31	-19.00000	-0.08	-19.00008	0.00000	-0.08	-0.00008
Mt33	26.00000	0.02	26.00002	0.00000	0.02	0.00002
Mt34	50.50000	0.14	50.50014	0.00000	0.19	0.00019
Mt35	75.00000	0.06	75.00006	0.00000	0.37	0.00037

Distance Fitting						Calc.(mm)	measured	difference
T3_1	MtSCSSg	11.084	11.084	-0.002		mm		
T3_1	MtSCSSbc	22.632	22.632	-0.006		mm		
Mt38	Mt39	24.500	24.500	0.019		mm		
Mt37	Mt39	55.500	55.500	0.019		mm		
Distance Fitting	0.014	mm						

結果から推測されるきより、
角度と実測値との差

絶対的誤差楕円

66	Known Point number=	1	Un Known Point numb	49	Total Point	50
67	Measured Angle number	111	Distance number=	133		
68	Measurement Error (standard deviat	2.0E-06	0.404	sec		
70	Iteration Standard Deviation(rad) and					
71	1	3.8E-04	0.0E+00			
72	2	2.0E-06	7.2E-02			

Error Ellipse (Absolute)						
Point	EW(mm)	NS(mm)	SNEW(mm)	Max(mm)	Min(mm)	Angle(deg)
Mt37	0.023	0.000	0.000	0.023	0.000	0.00
Mt14	0.016	0.068	0.010	0.068	0.016	-0.02
Mt31	0.010	0.031	-0.002	0.031	0.010	0.01
Mt33	0.011	0.038	0.006	0.038	0.011	-0.02

VBA 計算の一部

(プロシーディングには計算の主要部はすべて載せている)

シミュレーションの場合
一様乱数 正規乱数

- Calculation of Coefficients of observation eq.

```
c1 = XJ(j0, iter) - XJ(j1, iter): d1 = YJ(j0, iter) - YJ(j1, iter)
If (c1 = 0) * (d1 = 0) Then
Else: e1 = d1 / (c1 ^ 2 + d1 ^ 2): f1 = -c1 / (c1 ^ 2 + d1 ^ 2)
End If

c2 = XJ(j0, iter) - XJ(j2, iter): d2 = YJ(j0, iter) - YJ(j2, iter)
If (c2 = 0) * (d2 = 0) Then
Else: e2 = d2 / (c2 ^ 2 + d2 ^ 2): F2 = -c2 / (c2 ^ 2 + d2 ^ 2)
End If

x = -c1: y = -d1: t1 = Atn(y / x)
If x < 0 Then
t1 = t1 + pi
Elseif y < 0 Then
t1 = t1 + pi * 2
End If
```

```
Function bunp(sigma As Double) As Double
' Trans Random Number from flat distribution to
Normal one
Dim rn As Double, sum As Double, xran As Double,
dxran As Double, comp As Double, pn As Double
Dim iran As Integer

pi = 3.141592653: sqpi = Sqr(pi)
rn = Rnd - 0.5: pn = Sgn(rn): If rn < 0 Then rn = -rn
sum = 0#: xran = 0#: dxran = 0.01
comp = rn * sqpi / dxran
For iran = 1 To 30000
sum = sum + Exp(-xran * xran)
If sum > comp Then rnn = xran: GoTo 14210
xran = xran + dxran
Next iran
14210: bunp = pn * rnn * sigma / 0.707107

End Function
```


解析結果に続いて 誤差楕円の図の表示

With ActiveSheet.Shapes.AddLine(x1 + xc, y1 + yc, x2 + xc, y2 + yc)
End With

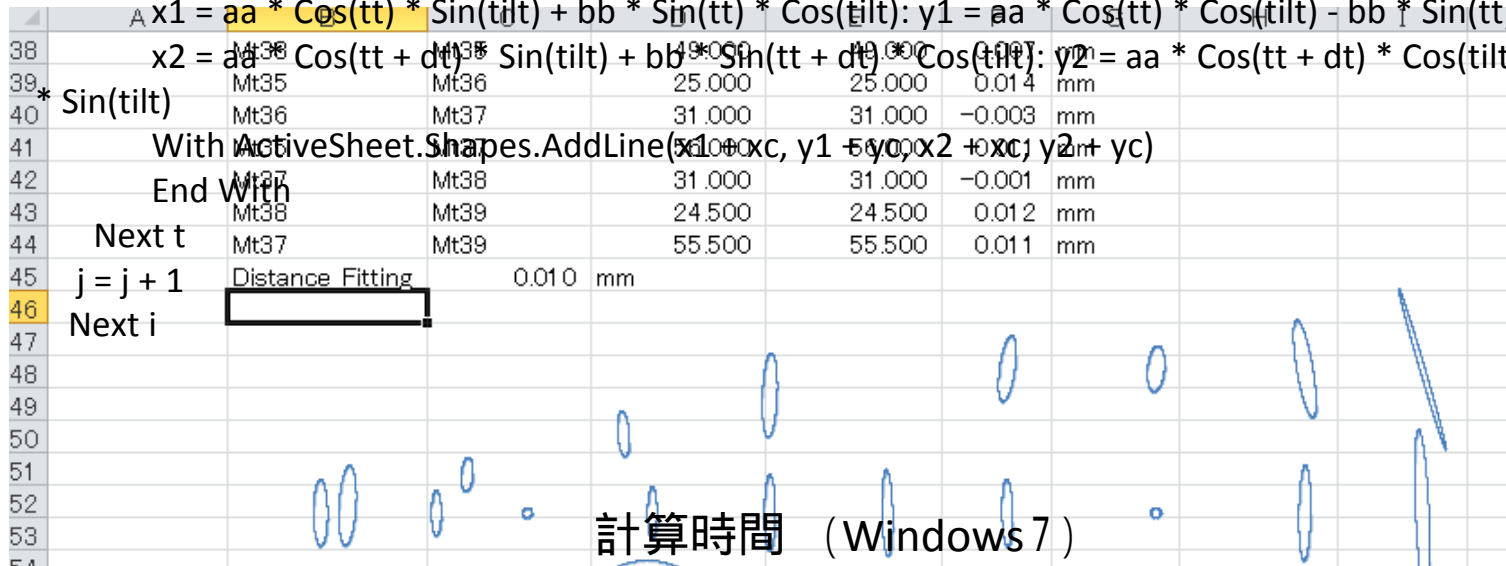
xc = XJ(i, maxiter) * xmulti + shiftx: yc = YJ(i, maxiter) * ymulti + shifty: aa = SMAX_abs(j) * multi: bb = SMIN_abs(j)
* multi: tilt = -ANGLE(j) / ra * degr
tilt = Angle_abs(i) * ra

For t = 0 To 360 Step 0.2: tt = t * degr

```

A x1 = aa * Cos(tt) * Sin(tilt) + bb * Sin(tt) * Cos(tilt): y1 = aa * Cos(tt) * Cos(tilt) - bb * Sin(tt) * Sin(tilt)
38 x2 = aa * Cos(tt + dt) * Sin(tilt) + bb * Sin(tt + dt) * Cos(tilt): y2 = aa * Cos(tt + dt) * Cos(tilt) - bb * Sin(tt + dt)
39 * Sin(tilt)
40 Mt35 Mt36 25.000 25.000 0.014 mm
41 With ActiveSheet.Shapes.AddLine(x1 + xc, y1 + yc, x2 + xc, y2 + yc)
42 End With
43 Mt37 Mt38 31.000 31.000 -0.001 mm
44 Next t
45 j = j + 1
46 Distance Fitting 0.010 mm
47 Next i

```



計算時間 (Windows 7)

場所	測量点	角度	距離	FBASIC	VBA
光源棟	50	111	133	<1秒	<1秒
蓄積リング	486	1300	1400	26分 (36分)	10分 (19分)

(Windows XP)

まとめ

- ・教科書『基準点測量』の水平面内の網平均計算の具体的なプログラムを基に改良も加えこれまでのSPring8の多くのところで使用し実用上問題はなかった。
- ・シミュレーションや相対的な誤差楕円の計算など目的や設定が決まっている場合は測量器に付属しているソフトに比べ使いやすい。
- ・測量機器の精度、空気などの環境やターゲット、測量など含めた実力値はシミュレーションとの比較からある程度推測可能だと考えられる。
- ・シミュレーションで周長のエラーが評価できる。現状の測量網ではランダムエラーの影響は全周ではキャンセルされシステムティックエラーのみによることがわかった。
- ・シミュレーション、特に相対的な誤差楕円の値から測量網の最適化が検討できる。ライカ製AT402の実力を十分発揮できれば、蓄積リングの半径方向の相対的なエラーは現状の測量網でも20 μ m(1)程度で収まることがわかった。

BASIC系ソフト (Excel VBA含む)

- ・計算と同時に誤差楕円も描けるので便利である。
- ・BASICからExcel VBAへの変換は同じ文法が使える等スムーズに実現できた。
- ・Excel (VBA) で解析でき使い勝手が向上する。
- ・計算時間はF B A S I CコンパイラよりExcel VBAの方がかなり速い。測点数500、測定数3000程度で1回の計算にはWindows7で10分程度である。
- ・できればダウンロードできるところに置き、使用する人でさらに使いやすいものに改良してもらえるといいのではないかと考えている。