

# 太陽による方向角計算

*BLUETREND V*

2004/05/28 第1版

参考文献 「北極星・太陽による方位角測定の実際」 (社)日本測量協会

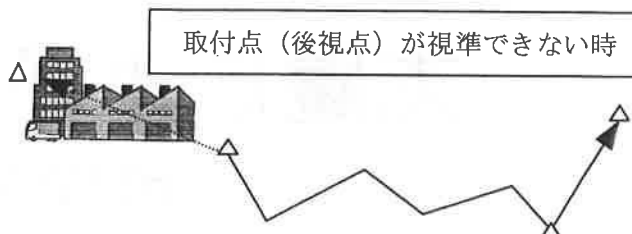
福井コンピュータ株式会社 土木商品開発部

## ☆☆☆ 太陽観測とは ☆☆☆

### — どういう場合に使うのか —

基準点測量においてその出発点、または、結合点(閉合点)で、既知点への見通しがない場合に、これらの点において、方位角の観測を行ない、これを既知点方向として多角路線(点検路線)の方向角を決める。

このときの取り付け点として、あるポイントに点を作成し、発点から作成した点までの方位角を測定し、角の閉合差を算出する時に利用する。



つまり、太陽観測にて、既知点とあるポイント点、2点間の方向角を求めておけば、いろいろな測量に役立つ訳です。

### — 原理 —

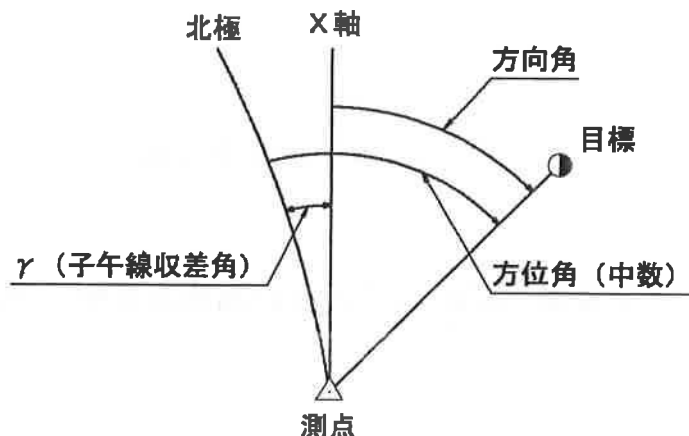
地球の傾きや、自転周期、公転周期は一定で、その上にいる観測者のポイント(緯度、経度)や時間から太陽の方向の方位角がわかります。これを、表にして記載したものが「理科年表」として、毎年出版されています。そこに記載されている数値を利用して、ある点への方向角を計算で求めることができます。

### — 真北と北軸と磁北について —

- ① 真北とは、その地点を通る子午線の北極の方向です。
- ② 北軸(X軸)とは、その地点を通る平面直角座標系のX軸の方向です。
- ③ 磁北とは、その地点で方位磁針が指す方向です。

### — 方位角と方向角について —

- ① 方向角とは、座標の北軸から測定した測線の角をいいます。
- ② 方位角とは、真北方向から測定した測線への角をいいます。



「太陽による方向角計算」は太陽の観測を複数回行い、その観測から計算された方位角の中数から方向角を計算いたします。

**—観測の注意—**

方位角の測定に太陽を観測する場合、太陽の方向が水平方向になる時、つまり、太陽の南中付近にきた時は観測に最も不利です。その付近は太陽の見かけの動きが速く、1秒間で水平角度にして数10秒以上移動するので、時刻の測定誤差が、水平角の観測に大きく影響する。

それを避けるために、太陽の移動が水平方向に小さく、鉛直方向に移動する、日の出から午前9時以前、15時から日没までに、観測する事が望ましい。しかし、水平線の近くではかえって太陽の像がゆれたり、くずれたりするのでかえって良くない。

**—観測の準備—**

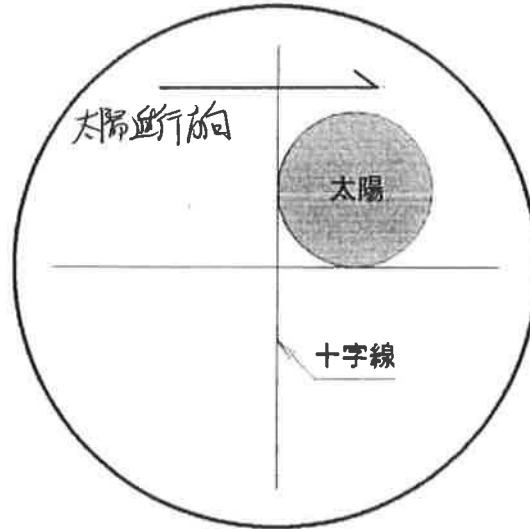
- ① 太陽をトータルステーションで観測するので、減光の為のフィルターを用意する。
- ② 観測に使用する時計を(JJY)に合わせる。<http://jy.crl.go.jp/>、日本標準時(JST)を取得する事ができます。

*jjy.nict.go.jp*

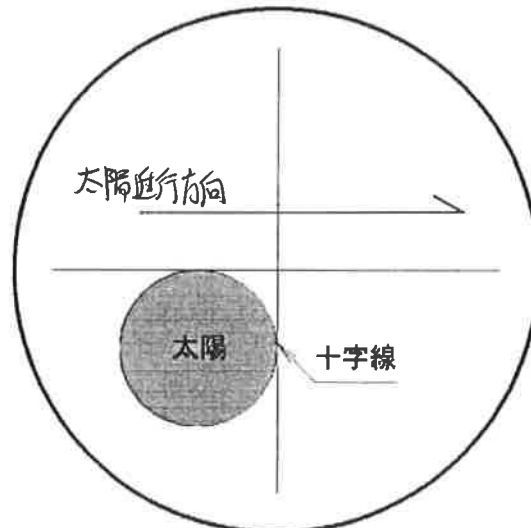
—観測の開始—

1対回 & 1観測、3回の例で説明。

- ① トータルステーションの望遠鏡(正)で水平目盛板の目盛を  $0^\circ$  付近の位置にし、方向として設置した後視点(m)を視準し、水平角を読定する。
- ② 望遠鏡(正)で下記のように太陽(S)の像を正しく十字線に接させた瞬時の時間を読みとり、その時の水平角を讀定する。



- ③ 速やかに望遠鏡(反)にして下記のように太陽(S)の像を正しく十字線に接させた瞬時の時間を読みとり、その時の水平角を讀定する。



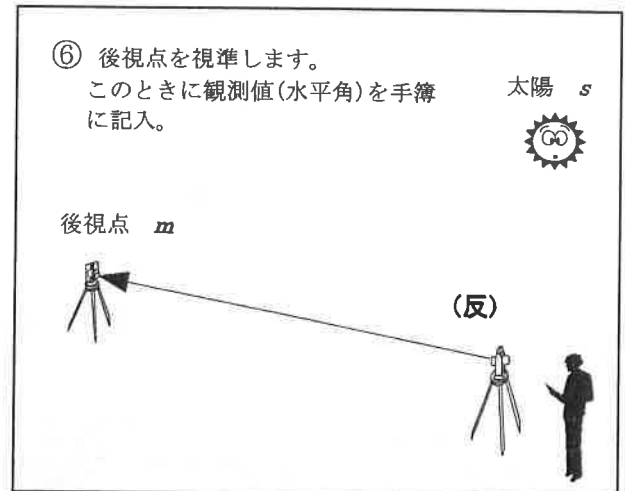
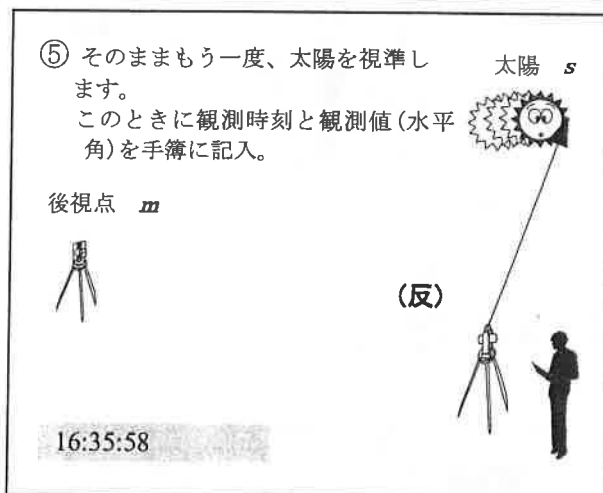
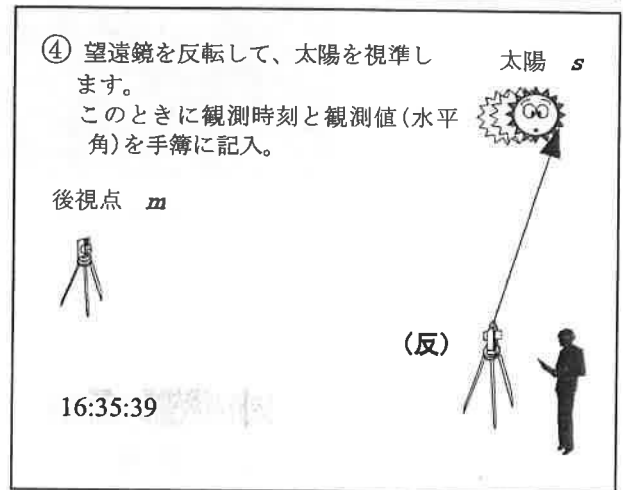
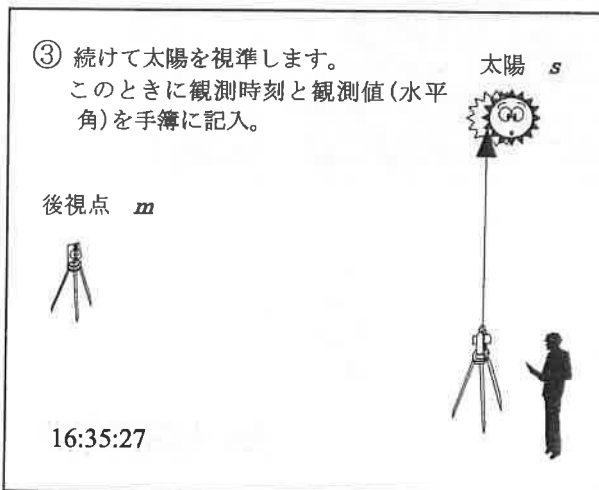
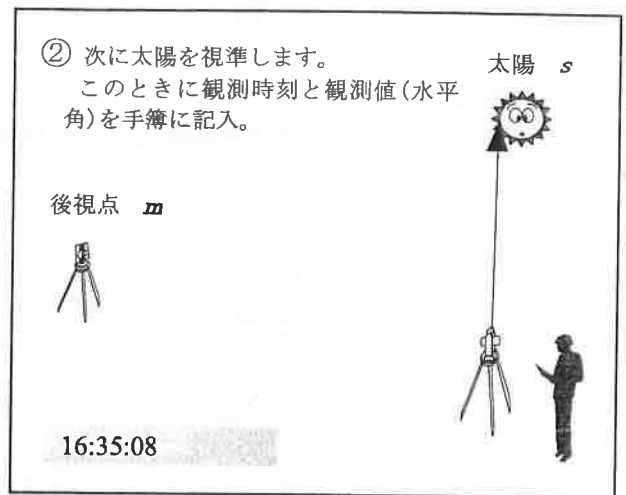
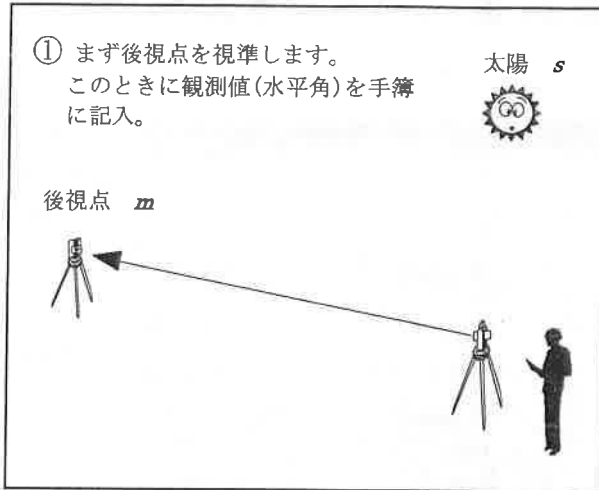
- ④ 望遠鏡を方向として設置した後視点(m)を視準し、水平角を讀定する。

以上で、 $0^\circ$  における1対回の観測が完了です。次に、目盛位置を $60^\circ$  望遠鏡(反)で対回の観測を前述と同様に行う。次に、目盛位置を $120^\circ$  の観測を望遠鏡(正)で対回の観測を、前述と同様に行う。

通常、1観測で、3回、あるいは5回行います。偶数回の観測(2,4回目)は望遠鏡(反)で方向として設置した後視点(m)を視準します。

5回の場合の、目盛位置は、 $180^\circ \div 5$ ですから、 $0^\circ$ 、 $36^\circ$ 、 $72^\circ$ 、 $108^\circ$ 、 $144^\circ$  です。

太陽による方向角観測例(1対回&2観測)



観測結果

対回	輪郭	望遠鏡	目標	観測の時	観測値(水平角)
1	0°	r	m		0° 1' 2" ①
			s	16:35:08 ②	278°35'51" ②
		l		16:35:27 ③	278°37'09" ③
				16:35:39 ④	99°34'32" ④
				16:35:58 ⑤	99°35'23" ⑤
			m		180° 0'58" ⑥

# 太陽による方向角計算へのデータ入力

## 1. 計算条件

**計算条件**

観測日(D): 平成 14年 3月 2日

観測者(M): ○村×男

目標名(T): T1

測点(S):

名称: A1

緯度: 35.42210

経度: 139.45220

原点経度(O): 139.50000

均時差(K):

当日: -0.12155

翌日: -0.12033

視赤緯(L):

当日: -7.21230

翌日: -6.56290

上の日付 (平成 14年 3月 2日) より、理科年表をひいて入力

OK    キャンセル

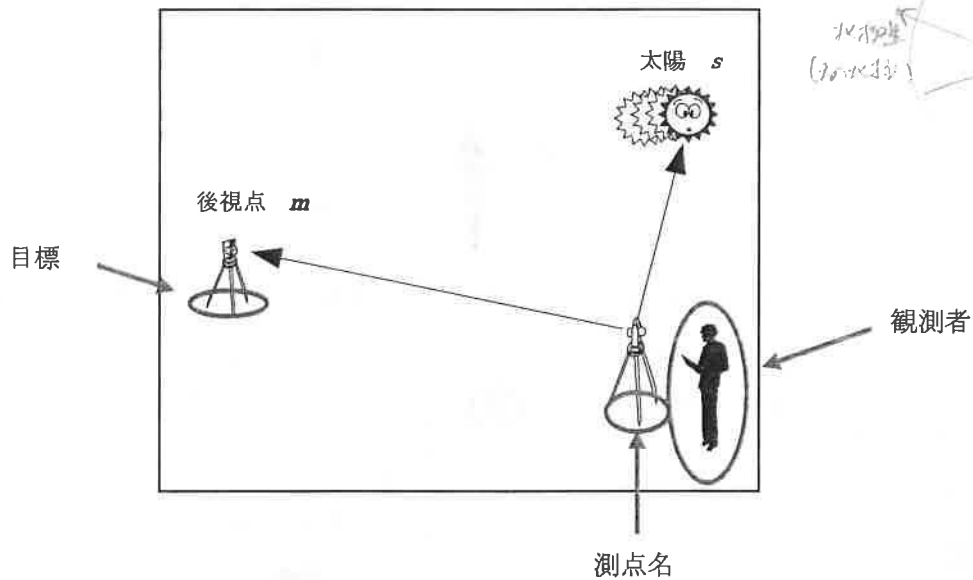
正確な日付  
を入力

測点経度の原点の  
経度を入力

成果表より転記

天球上を一定距離で歩くと  
平均的に観測した太陽  
の位置の移動量  
・公転の速度 23.2°/日

天球上の位置 (緯度で変化)  
+  
-  
北緯 (緯度)  
地球



### 理科年表2002(写し)

太陽 平成14年 3月 2002

日次	七曜	通日	世界時 0 h			東京, 中央標準時		
			視赤経	視赤緯	均時差	出	南中	入
			h m s	° ' "	m s	h m	h m s	h m
1	金	60	22 46 57.3	- 7 44 11	-12 27.3	6 12	11 53 27	17 36
2	土	61	22 50 42.1	7 21 23	12 15.5	6 10	11 53 15	17 37
3	日	62	22 54 26.4	6 58 29	12 3.3	6 9	11 53 3	17 38
4	月	63	22 58 10.2	6 35 28	11 50.6	6 8	11 52 50	17 38
5	火	64	23 1 53.7	6 12 23	11 37.4	6 6	11 52 37	17 39

観測時刻が午前 9 時以前の場合は、均時差および視赤緯は前日の表をもちい、観測時刻は +24.0 してください。

2. 野帳入力(1対回&1観測、3回の場合)

観測データ

No.	番号	輪郭	望遠鏡	目標	観測時刻	観測値	正反の平均
1	1	0	r	m		0.01050	0.01075
2				s	15.47600	52.33200	52.57000
3			l	s	15.49020	233.20400	
4				m		180.01100	
5				T =	15.48260		
6				m-s			307.04075
7	2	60	l	m		240.01100	240.01070
8				s	15.52180	293.55130	293.47180
9			r	s	15.54030	113.39230	
10				m		60.01040	
11				T =	15.53105		
12				m-s			306.13490
13	3	120	r	m		120.00500	120.00500
14				s	16.15140	177.15350	177.38050
15			l	s	16.16220	358.00350	
16				m		300.00500	
17				T =	16.15480		

観測パターン、各観測時刻、観測水平角を入力後、OKで「太陽による方向角計算」入力タブに格納。

観測データの出力

観測手簿

平成 14 年 4 月 1 日

現場名: サンプル

測点名: A1

観測日: 平成 14 年 3 月 2 日

目標名: T1

観測者: ○村×男

測点緯度 B = 35-42-21.0

測点経度 L = 139-45-22.0

原点経度 LO = 139-50-00.0

番号	輪郭	望遠鏡	目標	観測の時	観測値	正反の平均
1	0	r (正)	m		0-01-05.0	0-01-07.5 52-57-00.0 平均
			s	15-47-50.0	52-33-20.0	
		l (反)		15-49-02.0	233-20-40.0	
			m		180-01-10.0	
			T' =	15-48-26.0	平均	307-04-07.5 m-s
番号	輪郭	望遠鏡	目標	観測の時	観測値	正反の平均
2	60	l (反)	m		240-01-10.0	240-01-07.0
			s	15-52-18.0	293-55-13.0	293-47-18.0
		r (正)		15-54-03.0	113-39-23.0	
			m		60-01-04.0	
			T' =	15-53-10.5		306-13-49.0
番号	輪郭	望遠鏡	目標	観測の時	観測値	正反の平均
3	120	r (正)	m		120-00-50.0	120-00-50.0
			s	16-15-14.0	177-15-35.0	177-38-05.0
		l (反)		16-16-22.0	358-00-35.0	
			m		300-00-50.0	
			T' =	16-15-48.0		302-22-45.0

3. 「太陽による方向角計算」入力タブへ格納

☐ データ入力		⇨ 計算書		
No.	輪郭	平均観測時刻	時刻補正值	測角
1	0	15.48260	0.0	307.04075
2	60	15.53105	0.0	306.13490
3	120	16.15480	0.0	302.22450
4				
5				
6				
7				

※ 丸めについて

理科年表に記載されている「均時差」が 0.1 秒単位の為、「角度・時間」の丸めは、1/10 秒以上とする。

丸め設定(計算用)

角度・時間(A) <input type="text" value="1/10 秒"/>	角度・時間以外の 小数点以下(B) <input type="text" value="真数"/>
<input type="button" value="OK"/>	<input type="button" value="キャンセル"/>

4. 「太陽による方向角計算計算書」の出力

				世界測地系
太陽による方向角計算書				
				平成 14 年 4 月 1 日
現場名: サンプル				
観測日: 平成 14 年 3 月 2 日	原点経度 L0 = 139-50-00.0			
測点名: A1	測点緯度 B = 35-42-21.0			観測者
目標名: T1	測点経度 L = 139-45-22.0			○村×男
輪 郭	0	60	120	
観測時刻 T' =	15-48-26.0	15-53-10.5	16-15-48.0	
時刻補正值 ΔT =	0-00-00.0	0-00-00.0	0-00-00.0	
T =	15-48-26.0	15-53-10.5	16-15-48.0	
中央子午線経度 λ0 =	-9-00-00.0	-9-00-00.0	-9-00-00.0	
世界時 UT =	6-48-26.0	6-53-10.5	7-15-48.0	
当日均時差 E1 =	-0-12-15.5	-0-12-15.5	-0-12-15.5	
翌日均時差 E2 =	-0-12-03.3	-0-12-03.3	-0-12-03.3	
均時差補正值 ΔE =	0-00-03.5	0-00-03.5	0-00-03.7	
均時差 E =	-0-12-12.0	-0-12-12.0	-0-12-11.8	
視世界時 AT =	6-36-14.0	6-40-58.5	7-03-36.2	
日の小数 d =	0.283634259	0.286927083	0.302638889	
当日視赤緯 δ1 =	-7-21-23.0	-7-21-23.0	-7-21-23.0	

翌日視赤緯	$\delta 2 =$	-6-58-29.0	-6-58-29.0	-6-58-29.0
視赤緯補正值	$\Delta \delta =$	0-06-29.7	0-06-34.2	0-06-55.8
視赤緯	$\delta =$	-7-14-53.3	-7-14-48.8	-7-14-27.2
視世界時	AT =	6-36-14.0	6-40-58.5	7-03-36.2
観測点経度(時)	L =	9-19-01.5	9-19-01.5	9-19-01.5
地方視太陽時	LAT =	15-55-15.5	16-00-00.0	16-22-37.7
時間差	=	-12-00-00.0	-12-00-00.0	-12-00-00.0
時角(時)	th =	3-55-15.5	4-00-00.0	4-22-37.7
時角(度)	$t^\circ =$	58-48-52.5	60-00-00.0	65-39-25.5
	$\tan \delta =$	-0.127183060	-0.127160890	-0.127054479
	$\sec t =$	1.931212978	2.000000000	2.426024932
	$\tan M =$	-0.245617576	-0.254321781	-0.308237333
観測点緯度	B =	35-42-21.0	35-42-21.0	35-42-21.0
	M =	-13-47-58.8	-14-16-08.6	-17-07-52.5
	B-M =	49-30-19.8	49-58-29.6	52-50-13.5
	$\cos M =$	0.971135668	0.969148990	0.955632499
	$\tan t =$	1.652145141	1.732050808	2.210338655
	$\operatorname{cosec}(B-M) =$	1.314979196	1.305887660	1.254829425
	$\tan A =$	2.109827674	2.192082993	2.650540371
太陽の方位角	A =	244-38-25.2	245-28-41.3	249-19-46.0
測角	m-S =	307-04-07.5	306-13-49.0	302-22-45.0
方位角	A =	191-42-32.7	191-42-30.3	191-42-31.0

番号	方位角	$\delta$	$\delta \delta$
1	191-42-32.7	-1.4	1.96
2	191-42-30.3	1.0	1.00
3	191-42-31.0	0.3	0.09
中数	191-42-31.3	$\delta \delta$ 計	3.05

$$\Delta L = L - L_0 = -0-04-38.0$$

$$\sin B = 0.583623887$$

$$-\gamma = 0-02-42.2$$

$$M = \pm 0.7$$

$$\text{方向角} = 191-45-13.5$$

5. 計算書の説明 (4.「太陽による方向角計算計算書」の0輪郭で説明)

B (緯度)	観測点の緯度 (成果表又は5万分の1の地図上等から求める。)
L (経度)	〃 経度 〃
L 0	観測点の所属する平面直角座標系の原点の経度
輪郭 (目盛)	通常5対回で、36° 輪郭づつ。 180 ÷ 対回数
観測時刻 T' =	各対回の観測時刻の平均値 (観測手簿計算書を参照)
時刻補正值 Δ T =	観測の前後に時報等を聞いて、観測時に使用している時計との誤差を測定。 (たいていの場合、観測前にデジタルウォッチで時刻を合わせてから観測に出かけるため、たいてい「0」。)
T =	補正後の観測時刻 (※午前9時より前の時は、+24する)
中央子午線経度 λ 0 =	-9 世界時 = 日本標準時 - 9 (上式より-9することで世界の標準時にする↓)
世界時 UT =	補正後の観測時刻 (※午前9時より前の時は、+24する)
当日均時差 E 1 =	理科年表より (前表参照) -12分 15.5秒
翌日均時差 E 2 =	理科年表より (前表参照) -12分 3.3秒
均時差補正值 Δ E =	(E 2 [翌日均時差] - E 1 [当日均時差]) × d [日の小数] -例- {(-12分 3.3秒) - (-12分 15.5秒)} × 0.283634259 = 3.5秒
均時差 E =	E 1 [当日均時差] + Δ E [均時差補正值]
視世界時 AT =	UT [世界時] + E [均時差]
日の小数 d =	UT [世界時] を日単位にする -例- UTが6時48分26秒の場合 ( {26秒 ÷ 60} + 48分 ) ÷ 60 + 6時 ÷ 24時 = 0.283634259
当日視赤緯 δ 1 =	理科年表より (前表参照) -7° 21' 23"
翌日視赤緯 δ 2 =	理科年表より (前表参照) -6° 58' 29"
視赤緯補正值 Δ δ =	(δ 2 [翌日視赤緯] - δ 1 [当日視赤緯]) × d [日の小数] -例- {(-6-58-29.0) - (-7-21-23.0)} × 0.283634259 = 0-6-29.7
視赤緯 δ =	δ 1 [当日視赤緯] + Δ δ [視赤緯補正值]
視世界時 AT =	UT [世界時] + E [均時差]
観測点経度(時) L =	観測点の経度を時間に直したもの -例- 139° 45' 22" の場合 ( {22" ÷ 60} + 45' ) ÷ 60 + 139° ÷ 15 = 9-19-01.5
地方視太陽時 LAT =	AT [視世界時] + L [観測点経度(時)]

時間差	- 1 2 時		
時角(時)      h =	LAT [地方視太陽時] - 1 2 時		
時角              t° =	t h [時角] を角度に直す - 例 - 3 時 55 分 15.5 秒の場合 [ ((15.5 秒 ÷ 60) + 55 分) ÷ 60 } + 3 時 ] × 15 = 58-48-52.5		
tan δ =	t a n ( δ [視赤緯] )		
sec t° =	c o s (時角 ( t° ) ) の逆数		
tan M =	tan δ [視赤緯] × sec t° [時角 ( t° ) ]		
観測点緯度      B =	観測点の緯度 (入力値) 35° 42' 21.0"		
M =	tan Mより求める (tan <sup>-1</sup> (tan δ [視赤緯] × sec t° [時角 ( t° ) ] ) )		
B - M =	B [観測点経度] - M		
cos M =	cos M		
tan t =	t a n t° [時角 ( t° ) ]		
cosec (B - M) =	s i n ( B [観測点経度] - M ) の逆数		
tan A =	cos M × tan t × cosec (B - M)		
太陽の方位角    A =	tan Aより求める (tan <sup>-1</sup> (cos M × tan t × cosec (B - M) ) )		
測 角              m - S =	測角          307-04-07.5		
方位角              A =	A [太陽の方位角] + (m - S) [測角]		
Δ L = L - L0 =	L [測点経度] - L0 [原点経度]		
sin B =	sin B [測点緯度]		
- γ =	Δ L × sin B		
番号	方位角	δ	δ δ
1	191-42-32.7	-1.4	1.96
2	191-42-30.3	1.0	1.00
3	191-42-31.0	0.3	0.09
中数	191-42-31.3	δ δ 計	3.05
		M = ±	0.7
	方向角 =	中数 - γ	
	方向角 =	191-42-31.3 + 0-02-42.2	
	方向角 =	191-45-13.5	

**標準偏差**

$$M = \pm \sqrt{\frac{(\delta\delta)}{n(n-1)}}$$

$$= \pm \sqrt{\frac{(3.05)}{3(3-1)}}$$

$$= 0.7129\dots$$

$$= 0.7$$