

真の地殻変動測定は GPS 単独測位で 一動く大地—  
 True of crustal deformation measurements in GPS alone positioning  
 -Earth to vibration-

元海上保安庁海洋情報部

小野房吉

**まえがき** わが国は、地震予知を主目的に GPS 電波の搬送波を利用した**相対測位手法**による高精度地殻変動観測点を全国 1,100 か所余に設置、観測網を展開した。しかし、最大級の地震「東北・関東沖地震」\*1 を予知できず、採用した測位手法に疑問符がついた。原因は未だ総括されていないが、これについては私見であるが、真の地殻変動が測定できていなかったためと考える。**地震後**に測定結果が複数の機関からプレス発表されたが、それによると何れも数メートル以上と意外に大きかった。しかし、この変動を引き起こす、地震エネルギー蓄積過程が、観測網で測定できていなかった。素朴に測定方法の齟齬といわざるを得ない。そこで発表値を子細に見ると、それは標準化された値ではなくマイナーなものであった。即ち恣意的に設置した基準点に対する相対値であり、真の地殻変動ではない。ここで真の地殻変動であるためには、世界測地系(WGS)に対する偏差として標準化されている必要がある。そうでなければ普遍性がなく、第三者が検証できないからだ。

そもそも地殻変動を考えると、考慮すべきは**基準座標系と地球形状の定常的な変動**である。即ち、扁平な**回転楕円体である地球の性質**だ。回転楕円体は、回転速度によって遠心力が変化し、形が変わる。この学理、地球について考えて見ると、地球は構成する物質質量共不均一、形も山あり谷あり凸凹、回転軸に対して非対称、例えるなら出来の悪い「コマ」である。これが自転している。従って自転には、①、「フラツキ」が想定される。また、②季節によって天体相互(太陽・地球・月)に働く引力が変化するから、これによっても、形が

変わるはず。更に、地球の自転は永年減速している。\*2 これでも③**永年的に地球形状は変わる**だろう。以上三つの原因により地殻は、常に**日周変動、季節変動、経年変動**していると想定される。これ等の変動は、高精度な地殻変動観測網なら、当然測定されて然るべきだ。また、大地震に先駆けて地殻変動があるなら、これが定常変動に重畳すると想定される。だが、冒頭の観測網では、前記想定される何れの変動も測定されていない。地震予知が不可であったのは当然と思える。精度以前の問題である。

処で**真の地殻変動**は測定出来ないものであろうか？ 可能である。それも**GPS システムが本来目的とした単独測位**で。従来それが出来ないとしたのは、個々の測定値を一見、バラツキの大きさから高精度は無理と判断、**バラツキの中に真値**が潜んでいることに気づかなかつたのであろう。市販安価の GPS 受信機\*3 でもデータの大量取得、統計処理で高精度化できる。しかも単独測位では電波伝搬経路の状態が位置情報が擾乱を受けない事が判った。搬送波を利用する相対測位では、この補正\*4 が不可欠とされているが、単独測位では、この考慮は無用。後述の単独測位の長き観測期間には、梅雨の長雨、台風、電離層異常等様々遭遇したが、それらによる擾乱は受けなかつた。そればかりか天体力学的に想定される前記の地殻の日周変動、季節変動及び経年変動が明瞭に検出できた。以下はその報告である

**2.地殻の日周変動** 市販の GPS 受信機を購入し、アンテナを空の開けた、ベランダに設置、毎

10秒間隔で連続測位した。測定期間は、'09年3月から'14年12月まで5年余、測定項目は緯度、経度及び標高。使用した受信機は、大量のデータを蓄積可能なメモリ内蔵の携帯型。2日毎に保存したデータをパソコンにダウンロードして蓄積した。

受信機の故障で一時期に欠測したが、それ以外の期間はほぼ連続している。表1は、測定結果の一例。解析に用いたデータの総数は、凡そ15,768,000組(緯度・経度・標高)である。

**表1 測定値の一例** 緯度・経度の小数点以下の値は分の少数、標高はメートルである。

測定位置の座標  $\varphi_0=35^{\circ}46'14.750''E$   $\lambda_0=139^{\circ}54'36.880''$   $h_0=28.5m$

No.	Dayt.	Time	Lat.	Long.	Hgt.
.	Y M D	H M S	° ' "	° ' "	m
1	2014/1/1	0:00:01	3546.2467	13954.6158	30
2	2014/1/1	0:00:11	3546.2467	13954.6158	30
3	2014/1/1	0:00:21	3546.2468	13954.6158	29
4	2014/1/1	0:00:31	3546.2468	13954.6158	30
5	2014/1/1	0:00:41	3546.2468	13954.6158	30
6	2014/1/1	0:00:51	3546.2468	13954.6158	30
7	2014/1/1	0:01:01	3546.2467	13954.6157	31
8	2014/1/1	0:01:11	3546.2467	13954.6157	30
9	2014/1/1	0:01:21	3546.2467	13954.6156	30
10	2014/1/1	0:01:31	3546.2467	13954.6156	31
11	2014/1/1	0:01:41	3546.2467	13954.6156	30
12	2014/1/1	0:01:51	3546.2468	13954.6155	30
13	2014/1/1	0:02:01	3546.2468	13954.6155	29



アンテナ



GPS 受信機

生データに、最少分解能を超えるランダムなバラツキがあることが幸いし、多数データの平均で少数以下が精度良く求まった。この手法は統計学の学理。

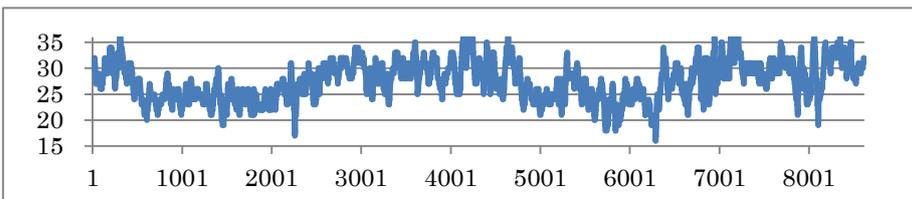


図 1-1  
標高の変化分  
単位: [ m. ]

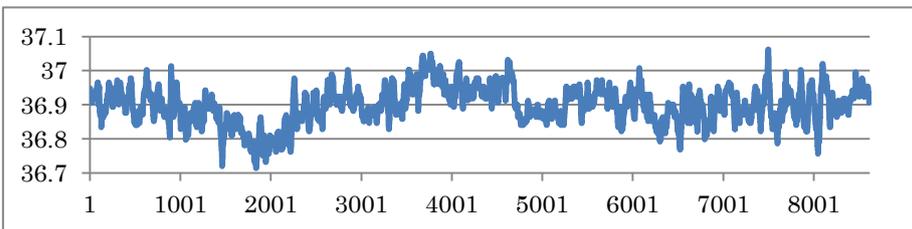


図 1-2  
経度の変化分  
単位: [ ° ]

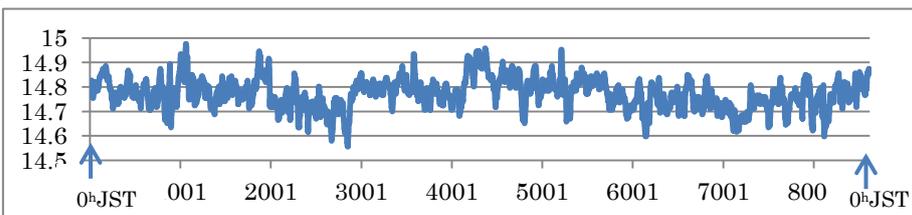


図 1-3  
緯度の変化分  
単位: [ ° ]

(15<sup>d</sup> /Oct.'13)

図 1. 標高・経度・緯度の一日の変化の様子 時間軸数値はデータ数

図 2 は、個々のデータについて 2 時間の移動平均後、作図した。明らかな日周変動が見える。

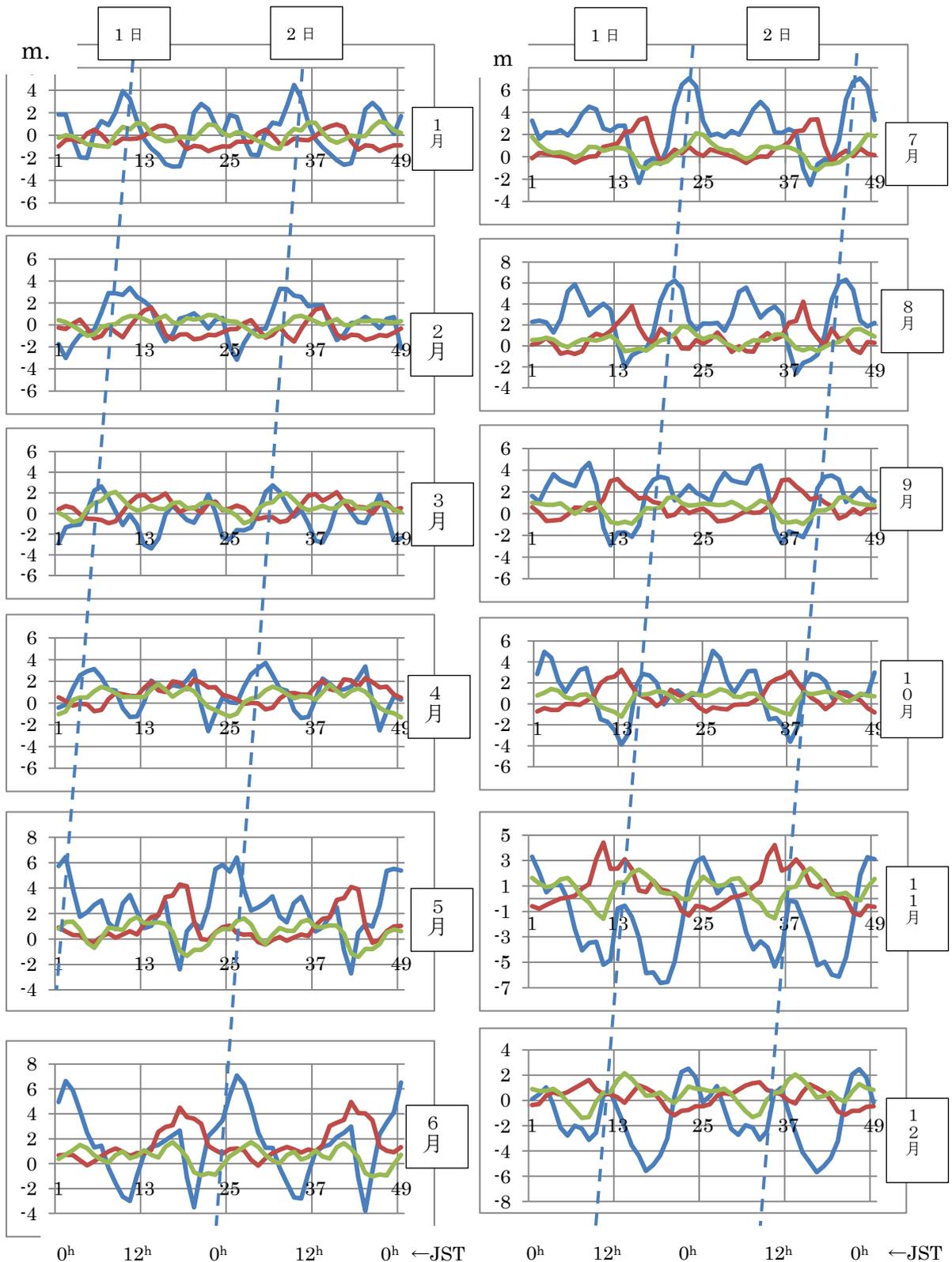


図 2. 2013 年 1 月から 12 月まで 1 日及び 1 月毎の位相推移である。青線は標高、赤線は緯度、緑線は経度。高調波で波形は複雑なるも、基本波の位相は半年で 0.5 日、1 年で 1 日の進みとなっている。このことは、位相が恒星時に同期していることを示す。標高の上下変動は地球半径の変化を示す。振幅が大きい処は、基本波と卓越した第 2 高調波の位相が一致しているためであろう。

図 1.を漫然と見ればノイズの様にも見える。しかし、この変動が毎日、同じパターンで繰り返すとなれば、それは誤差などではなく、天体運動の一環と考えるべきだ。そこで、図 2 で明らかとなった日周変動成分を消去するため、生データをちょうど一日分平均し、表 2.を作成した。

### 3.季節(年周)変動及び経年変動

表 2.データの一日平均値と、その変化分の一例メートル換算値

第 1 欄は日付、2 欄は緯度の秒位、3 欄は経度の秒位、4 欄は標高、 $\Delta$ 付の欄はそれぞれの変化分をメートルに換算した値。

日月年	$\varphi''$	$\lambda''$	h	$\Delta\varphi$	$\Delta\lambda$	$\Delta h$
↓	35°46'	139°54'	m.	m.	m.	m.
301114	14.764	36.931	28.418	1.29	0.43	-0.08
11214	14.756	36.921	28.414	1.03	0.17	-0.09
21214	14.762	36.925	28.456	1.14	0.35	-0.04
31214	14.744	36.933	29.180	1.33	-0.17	0.68
41214	14.754	36.925	28.573	1.13	0.127	0.07
51214	14.753	36.915	27.794	0.87	0.10	-0.71
61214	14.764	36.931	28.418	1.29	0.43	-0.08
71214	14.756	36.921	28.414	1.03	0.17	-0.09
81214	14.762	36.925	28.456	1.14	0.35	-0.04
91214	14.744	36.933	29.180	1.33	-0.17	0.68
101214	14.754	36.925	28.573	1.13	0.127	0.07
111214	14.753	36.915	27.794	0.87	0.10	-0.71
121214	14.753	36.929	27.916	1.22	0.09	-0.58
131214	14.755	36.923	27.873	1.08	0.15	-0.63
141214	14.744	36.930	27.901	1.24	-0.19	-0.60
151214	14.745	36.927	27.433	1.17	-0.14	-1.07
161214	14.752	36.925	26.797	1.12	0.06	-1.70
171214	14.759	36.932	26.556	1.31	0.27	-1.94
181214	14.763	36.930	25.925	1.26	0.40	-2.58
191214	14.770	36.924	26.496	1.09	0.61	-2.00
201214	14.774	36.926	26.235	1.15	0.73	-2.27
211214	14.740	36.927	26.677	1.17	-0.31	-1.82
221214	14.774	36.926	26.235	1.15	0.73	-2.27
231214	14.740	36.927	26.677	1.17	-0.31	-1.82
241214	14.761	36.936	27.332	1.39	0.32	-1.17
251214	14.762	36.930	27.641	1.25	0.37	-0.86
261214	14.757	36.930	28.162	1.25	0.21	-0.34

図2は'09年3月から'14年12月までの経度、緯度及び標高の変動を示す。これを見ると経、緯度が東北東に長期変動していることが分かる。この変動は、地球自転の永年変動が齎していると推定している。

2011年3月11日に東北・関東沖地震が発生した。この前後に異常地殻変動が記録された。この際、平面(緯度・経度)には事前変動が全くなく、地震予知のためには**水平変動の監視を行っても、予**

**知不可**であることが分かる。しかし**標高測定値には明らかな事前変動が記録された**。変化は約30日前から始まり、15日経過した処で1.2m低下、更に7日経過したところで1.2m低下、都合2.4m低下したところで地震が発生した、その後標高は急激に回復している。この際、図をみるとハンテイングを伴いながらの回復であったことが分かる。周期は約30日。”3.11地震”の様な大地震では地球が長い周期で減衰振動するようだ。

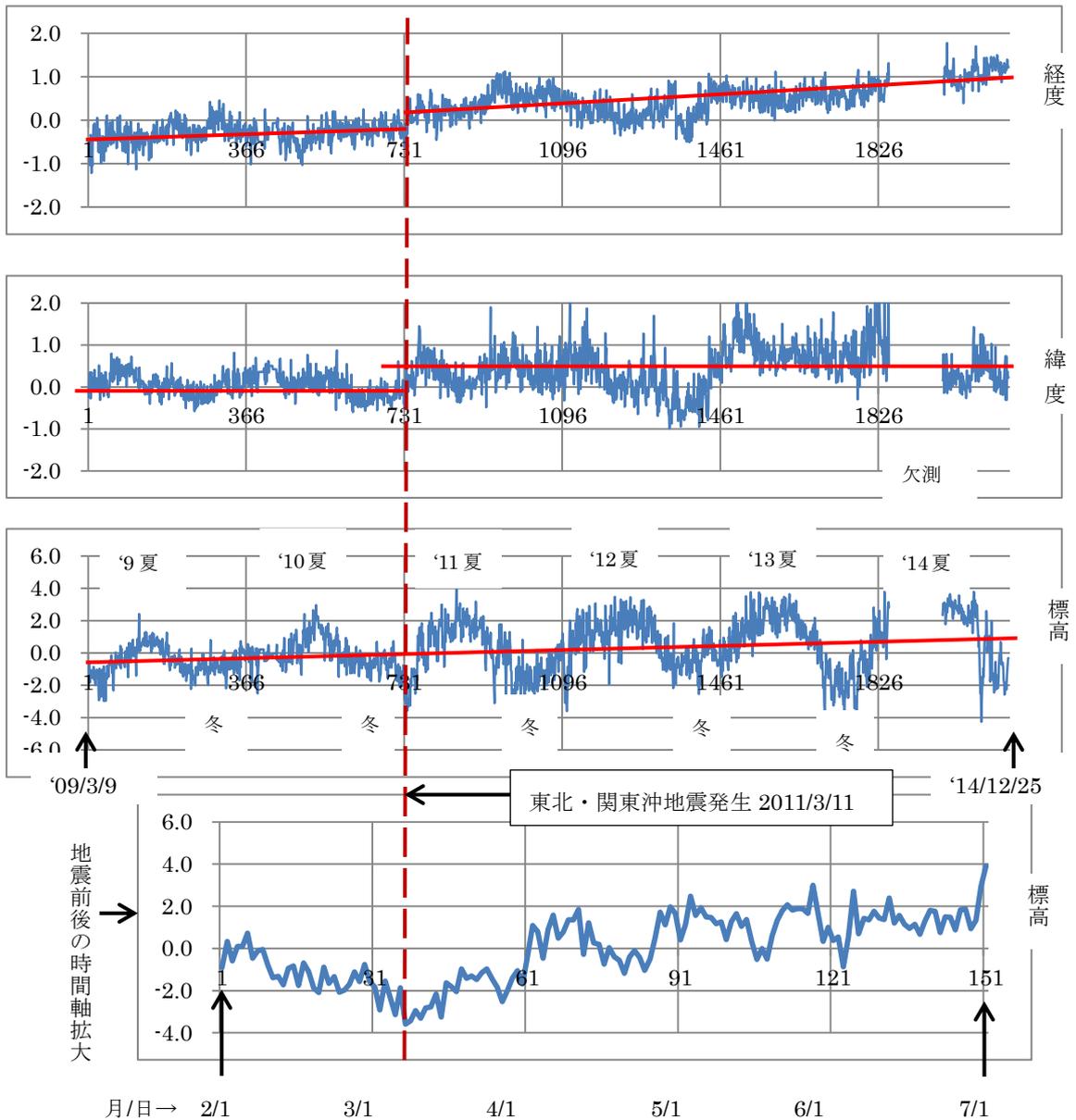


図2. 緯度・経度・標高の年周変動及び経年変動。

時間軸数値は観測開始からの通日である。赤線傾斜が経年変化のトレンド。地震の前後で波形が変わっていることが注目される。変化は今も続いているようだ。標高には明らかな**季節変動**が見える。

#### 4. あとがき

過日、表1の観測点より北に50km程離れた茨城県坂東市で同じGPS観測を行っている協力者H.K氏のデータと比較したところ、ほぼ同様な日周変動を示していることが分った。また西に500km程の地点、滋賀県守山市のI.M氏からデータの提供があったので、同日同時刻測定値について比較を試みた。期間は'13年1月から'14年12月まで2年間である。その結果、季節変動が、想定どおり振幅・位相共に小野のグラフとほぼ同様なパターンであった。と云うことは、この報告で述べた地球の定常変動が、事実であることの一証拠と考える。

さて、緯度・経度・標高に明瞭な日周変動が検出されたことは天体力学、地球物理学上重要な意味をもつ。従来は、地球の半径<sup>\*5</sup>を定数として定義していたが、これが定数では不都合なこと。夏と冬では地球の形が変わること。また、自転の永年減速で地球半径が永年変化しているらしいことも見えた。このことは今、世界で喫緊な課題として議論されている**地球温暖化とも関係**していると思う。気象学的見地から検討の要がある。理由は太陽光の受光効率が地球表面で変わるからである。太陽光は赤道上空、即ち地球を扁平に見る方向から到来しており、扁平率が小さくなり、地球が丸みを増せば、陽射しが良くなるからだ。この影響は定性的に両極付近で大となるだろう。実際にどれほど温暖化に寄与しているかは解らないが、シミュレートして見る必要がある。

次に、地殻が日周変動していることは、**毎日地殻が歪の応力を受けている**ことである。従ってこれが地震の際トリガーになることが十分考えられる。また本文に記したように**大地震の前に地殻の異常変動記録が得られれば**、予知できる可能性があるがあるので指摘しておく。

最後にGPS単独測位は、市販の受信機とパソコンがあれば専門家でもできる。データ解析もExcelで出来る。ただ、地震や気象との関連を調べるには長期に渡るデータの蓄積が必要で、継



続観測ができる組織と、少々の予算が必要である。

そこで、提案したい、全国の中学、高校でクラブ活動の一環としてGPS測位観測に取り組むことができる。さすれば観測を長く将来世代に引き継ぐことができる。そして、どうしてこのような変化が観測されるのかを、フレッシュな頭脳で考えて欲しい。頭の体操になるし、それが未知現象の解明に繋がれば素晴らしい。

この一文が、若き多くの頭脳に触れ、前進の契機になることを切に期待する。

---

#### \*1 “3.11地震、M9.1”

2011年3月11日14時46分発生

\*2 閏(うるう)秒の挿入、地球自転の永年減速により一様な時刻系原子時に対し世界時が遅れるが、その調整。国際天文学連合が決定し、世界一斉に実施される。

\*3 受信機:DG-100 (Gloval Sat.製) メモリ内臓で約100,000余点の記録可。電池内臓でポータブル。

\*4 電波の伝播経路に電離層、水蒸気、突発的に発生するデリンジャー等で測位誤差が発生するがその補正。正確な補正は困難。

\*5. 地球の半径 地球は回転楕円体であり半径は赤道付近で長く、両極を結ぶ軸で短い。そこで測地学では 長半径  $a$  として  $a=6378.137\text{km}$  扁平率として  $f=1/298.257222101$  (WGS84) と定義した。

#### 参考文献

1. 「地球回転」 若生安二郎編  
恒星社恒星閣 1979 現代天文学講座
2. 「天文学の辞典」 恒星社恒星閣 1979