

# 天文と地球物理の懸け橋

—江刺地球潮汐観測施設—

大江 昌 嗣\*

## 1. はじめに

月や太陽による起潮力によって、海水の干満が生じる事は、ニュートンの昔から知られており、海岸でよく体験することである。同じ様に、固体地球も潮汐現象を呈し、月・太陽の引力場で変形しながら自転を続けている。この地球潮汐による脹らみの振幅は、約 30 cm にも達する。その変形の影響は、空間に対する地球形状軸の方向の変化（才差・章動）として観測されると共に重力・傾斜の変化を通して、また地面の歪の変化として観測される。こうした事から、地球潮汐は、地球回転・極運動と並んで、地球の力学的特性を決めるための基本的な観測の対象の一つとなっている。

緯度観測所では、1929年に早くも石本式シリカ傾斜計を導入し、1966年には、赤金鉱山及び所内地下室において、それぞれ、地球潮汐による傾斜及び重力の変化の観測を開始した。その後、傾斜変化の場所による違いを見るために、細倉鉱山でも観測を行った。これらの観測を通して得られた事は、地球潮汐の観測は温度変化等の擾乱の影響を受けるという事と、特に傾斜変化がその地点の地形や坑道の形状及び海洋潮汐の影響など比較的局地的な効果を大きく反映するという事であった。重力、歪、傾斜の各潮汐成分は、本来同一の現象を違った角度又はディメンジョンから捉えているに過ぎないのであるが、局地効果の現れ方は、この順序に大きくなる。言わば、

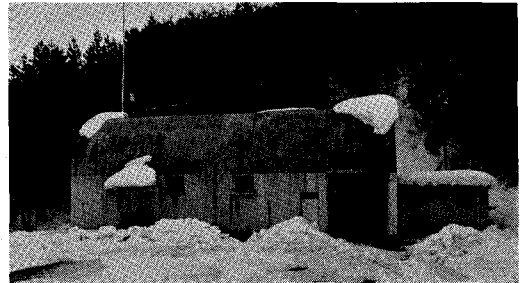


図 1 江刺地球潮汐観測施設外観

傾斜変化が最も近視眼的であると言える。従って、これらの観測を組み合わせて、同一の場所で行う事がどうしても必要になってくる。

このような事から、緯度観測所では、地球潮汐を総合的に、より精密に観測することを目的として、江刺市阿原山に 1978年3月、江刺地球潮汐観測施設を建設した(図 1)。

## 2. 観測施設

観測坑道が掘られている阿原山は、標高 782 m のなだらかな山で、北上山系の古生層に貫入した古期花崗閃緑岩体で出来ている。坑道は、山の北部斜面に南へ水平に約 150 m 掘り込まれた。この場所の選定は、前地象観測課長細山氏を中心とした精力的なボウリングや地質調査によるものであった。図 2 に示すように、施設は、

ESASHI EARTH TIDES STATION

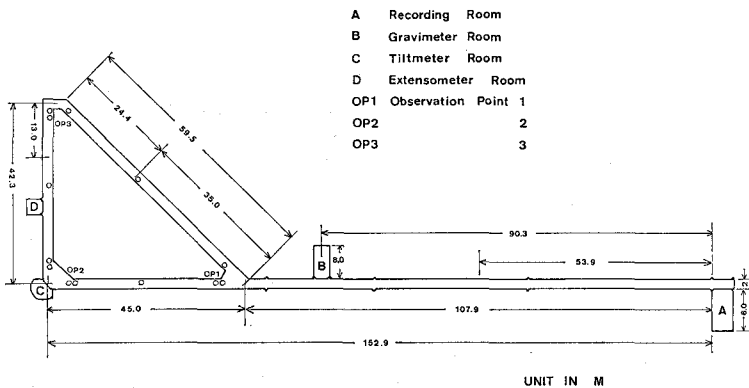


図 2 江刺地球潮汐観測施設配置図

\* 緯度観測 Masatsugu Ooe: A Bridge between Astronomy and Geophysics—the Esashi Earth Tides Station—

南北の約 108 m の直線導坑と等辺が約 45 m の直角二等辺三角形の観測坑、及びそれに付随する 3 つの観測室から成っている。観測坑に対する地面の被りの厚さは、40~60 m である。導坑には 5 ヶ処に断熱用扉が設けられ、坑内温度は重力計室前で平均 10.45°C、年間の変化幅は 0.05°C 以内となっている。全坑道からの湧水量は平均 27.3 l/分であり、時々 20~50 l/分の間で変る。

また、坑道内部の岩石の構造を調べるために、秋田大学の狐崎助教授を中心としたグループの好意により、弾性波探査や地質調査が行われた。その結果から、坑道はほぼ一様な花崗閃緑岩である事が確かめられた。ただ、一部に破碎帯が現われ、コンクリート巻き立てをした所もあるが、その影響は今のところ顕著ではない。

2.1 観測機器

1978 年 8 月にラコステ・ロンバーク重力計 G 型が重力計室に、1979 年 6 月に、石英管伸縮計が NS, EW, NW の 3 成分、水管傾斜計の NS, EW の 2 成分が直角二等辺三角形の観測坑にセットされ、それぞれ観測を開始した。石英管伸縮計と水管傾斜計は、当所工作室で製作したものである。こうした特殊測定器は、ほとんど自作するのが現状である。重力計についての説明は、測地学の専門書に譲る事にして、ここでは、伸縮計と傾斜計について述べておこう。

1) 石英管伸縮計

これは、石英管とそれを支えるフレームと変位検出部とから成っている。石英管は外径 30 mm で基本の長さが 1500 mm のものを溶接して約 36 m (NS と EW 成分) 又は 51 m (NW 成分) としたものである。これらは、フレームから 2 本のステンレス線でタスキ状に吊ってある。石英管の一端は花崗石基台に固定され、他の一端は自由端として、坑道との相対的な水平変位が測定される。自由端の変位検出には、差動トランスを用い、そのボビンを、観測基台に設置した移動台に固定し、マイクロメーターによって零点の調整と感度の検定が出来るようにしている (図 3)。これらの伸縮計には、その中間

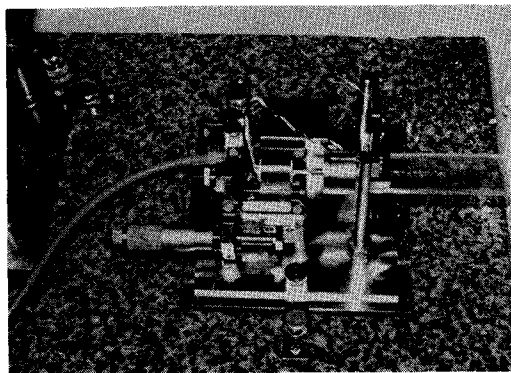


図 3 石英管伸縮計の自由端と検出部

点でも変位の測定が出来るように検出部を設けた。

2) 水管傾斜計

水管傾斜計は、互にガラス管で連結した 2 つの容器とその中に入っているフロートとから成っている。容器には、半分位まで、気泡を抜いた蒸留水が入れられ、その中にフロートが浮べられる。フロートは、上下方向のみに自由度を持つように 2 枚の薄いリーフパネ (平行パネ) で弱く支えられている。平行パネは、原理的に変位の直線性が高く、その特長を生かすために、弾性的に優れた銅ベリリウムで作られた。

2 つの容器は、約 36 m 離れた基台上に固定されている。地面の傾斜変化によって、容器に対する水面の高さが変わると、フロートも水面の変位に比例して上下する管である。フロートの変位検出には、石英管伸縮計と同様に差動トランスが用いられている。

2.2 観測から期待される情報と精度

天体による起潮ポテンシャルは、球面調和関数で表わした場合の 2 次項が最も大きいのであるが、今それを  $W_2$  とし、それによる重力変化、南北方向の歪及び傾斜をそれぞれ  $\Delta g$ ,  $\epsilon_{00}$  及び  $I$  とすれば、標準地球モデルによる理論値は

$$\Delta g = -\delta_2 \frac{\partial W_2}{\partial r},$$

$$\epsilon_{00} = \frac{1}{gr} \left( l_2 \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + h_2 \right) W_2,$$

$$I = \frac{1}{gr} \gamma_2 \frac{\partial W_2}{\partial \theta}$$

で与えられる。但し、 $g$ ,  $r$  及び  $\theta$  は、それぞれ、観測地点の平均重力加速度、地心距離及び余緯度である。また、 $h_2$  と  $l_2$  は 2 次の Love 数と志田数であり、もう一つの Love 数を  $k_2$  とすれば  $\delta_2 = 1 + h_2 - \frac{3}{2}k_2$ ,  $\gamma_2 = 1 + k_2 - h_2$  である。

パラメーター  $k_2$ ,  $h_2$  及び  $l_2$  は、地球の変形の時易さを、それぞれ、ポテンシャルの変化、高さの変化及び長さの変化から見たものである。最近の J. Wahr (1979) による理論値は、緯度 35° で半日周期に対して  $k_2 = 0.302$ ,  $h_2 = 0.609$ ,  $l_2 = 0.085$  である。これらの値からは、 $h_2 - \frac{3}{2}k_2 = 0.16$  及び  $k_2 - h_2 = -0.3$  が導かれるから、上記の重力変化  $\Delta g$  のうち約 13%、傾斜変化  $I$  のうち約 42% がそれぞれ地球の変形効果を反映し、歪変化は 100% それを反映する事が期待され、観測的に興味を持たれるところである。

ところで、江刺で行われている地球潮汐観測について、重力、歪及び傾斜の変化量は、それぞれ、220  $\mu$ gal,  $3 \times 10^{-8}$  strain 及び  $7 \times 10^{-8}$  rad の程度である。上に述べた事から見て、大ざっぱに言えば、そのうち重力は 29  $\mu$ gal, 歪は  $3 \times 10^{-8}$  strain, 傾斜は  $3 \times 10^{-8}$  rad の変化量

が地球変形を反映するという事になる。しかし観測値には大気・海洋・地形等による種々の影響が含まれており、問題はそう簡単ではない。これに対して、現行の観測における1時間サンプリングの誤差は、それぞれ、 $1\mu\text{gal}$ 、 $1\times 10^{-9}$  strain 及び  $3\times 10^{-9}$  rad の程度であるから、今後の解析のための精度としては、まずまずであろう。

重力の変化の  $1\mu\text{gal}$  は、土地の上下変化の 2.5 mm に相当する。また、歪及び傾斜変化の  $1\times 10^{-9}$  strain 及び  $3\times 10^{-9}$  rad はそれぞれ 1000 km で 1 mm の伸縮及び 3 mm の上下変化に相当する。このような事から、これらの測定値は、地殻変動と地球回転・極運動とを結び付けるだけでなく、地震発生についての情報を与えるものと期待される。

観測値には、これらの情報の他に、

- 1) 脈動、雑微動による短周期 (0.1~10 秒) のノイズ、
- 2) 温度や気圧等の変化による測定器及び坑道・山体への擾乱、
- 3) 地震や入坑等による擾乱

などの影響が含まれる。これらを常にモニターするために、次のような補助観測及び解析を実施中である。

- 1) 地動の連続観測。
- 2) 坑内温度、気圧の精密多点観測の実施。
- 3) テレメータによる観測状態の監視。

この外にも重要な事は、測定装置の検定がある。データに一貫性を持たせ、その絶対量を知るために、次のような方法を取っている。

- a) 重力計；ベルギー国際地球潮汐センターとの器械定数の比較、重力絶対測定が行われた世界の数ヶ所の点での目盛ダイヤル更正、目盛ダイヤルによる約月2回の検定。
- b) 歪計及び傾斜計；レーザー干渉装置による検定用マイクロメーターの更正と、そのマイクロメーターによる約3月に1回の検定。

これらの目標誤差は1%以内である。

### 3. データ伝送と処理

当初は、データの記録を打点レコーダーとペン書きレコーダーで行っていたが、1979年12月に電話回線によるテレメータ装置を導入し、それに伴ってデジタルカセットテープによるデータ集録装置を設置した(図4)。

伝送データ数は30チャンネルで、伝送速度は1200 bit/sec、有効桁数は符号+12 bit/ch、即ち1チャンネル当りの送信間隔は1.1秒である。各測定装置からの出力が0~5Vの範囲になるように調整し、テレメータの送信器に入力する。データは、送信側と受信側の両方でモニター用の打点レコーダーに落とし、受信側ではデジタルカセットに集録する(図4)。サンプリングは、1分と10分が選択出来る。

カセットによるデータは、モニターの記録を参照しながら編集し、種々の解析を行う。

### 4. 今後の問題

今後必要な事が色々残っている。例えば、大気及び海洋潮汐荷重の精密補正、地形効果における精密解、局地的な地下構造を反映した地球潮汐モデル、天文観測による潮汐・章動項との相互一致、等々である。読者諸氏の御支援を仰ぐ次第である。

最後にスタッフを紹介させていただこう。

中井新二……重力観測と地質構造理論、地球潮汐データ処理・解析の超ベテラン。佐藤忠弘……精密測定のエキスパート、測定装置製作担当、目下潮汐変形の研究に熱中。佐々木恒……本業は地震屋、当観測施設の建設に大貢献、装置のメンテナンスに一役買う。佐藤範雄……電算機の事なら飯よりも好き、データの処理を一手に引き受けて張り切っている。坪川恒也……電気の事ならなんでもござれ、電子装置、データ集録装置担当。最後に私、一同と共に日本の天文・地球物理学の発展に寄与できればと願うものである。

図4 観測データ伝送装置(受信側)、デジタルカセット及びモニター用記録計が付けられた

