

気象異変による地球自転速度の急変

飯島重孝*

1. まえがき

1963年1月、2月にわたって地球の自転速度が段階的に大きくなり、3月に入って間もなくほぼ旧状に復した。これは東京天文台の写真天頂筒による時刻観測の結果を標準電波の秒信号—人工的な—様時計—と比べて見出だされたものである。この速度上昇の量は1日当り約1万分の5秒($\approx 5 \times 10^{-9}$)と見積られる。このような変化は東京のほかワシントン、リッチモンド、オタワでの観測結果に非常によく一致して現われている。なおこのほかグリニッチ、パリー、アルジェ、ソビエツト圏の結果にも、多少の量の差は別として、一致した変化が認められた。この変化量の確定値は各国のデータが出揃った上で決定されるが、少くとも今回の急変は間違いのない事実といえよう。

地球の自転軸が地表を貫く点、地球上の瞬間北極の位置は、通常、ある平均極位置を中心として、北極から見下した面上で反時計式にまわってゆく。国際報時中央局(B.I.H.)の結果をみると、この平均極位置がこの1月、2月の時機に呼応して一方向へ推移した形跡が認められる。この程度の動きはそれ程珍らしいものではないが、丁度時機的に合致しているので自転速度変動のばあいと同じ原因によるものと考えられる。

丁度今年の1月、2月は稀にみる気象異変で、全地球的に地上気圧配置や上層の偏西風分布に大きな異状が記録された時機である。われわれはこの気象データの1月平均値を使って、上述の地球自転の異変を説明することを試みた。この結果今度の変動の大半を説明することに成功した。しかし今回のような気象異変は何故起きたのかという点については全く不明であって、これは今後の気象学や地球物理諸分野の総合した研究結果を俟つ以外仕方がない。

地球自転速度と気象との関連はいまに始まったことではない。われわれの現用している平均太陽時(UT 2)では自転速度の季節的变化が補正されている。この内年周的成分は偏西風の年変化によっているのである。しかし今回のような突発的な変化が確認され、これが気象異変からはっきり説明づけられたことは最初のケースといえよう。今度の変化量そのものは、絶対値としては驚くに当たらないが、その起り方が非常に珍らしいのである。今回の異変を正しく認識して戴くために、ここでは地球自

転速度変動の歴史を少しくさかのぼり、又暦表時や原子時を簡単に紹介してから主題にはいたいと思う。

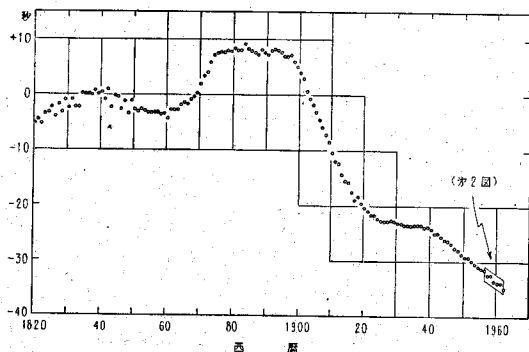
2. これまでの自転速度変動の概況

現用の平均太陽時は地球の自転運動に基づいている。これは原理的には地球の自転の角度を示すもので、自転速度が一樣なばあいに限り一樣な時刻を示す。しかし自転速度は厳密には必ずしも一定ではなく、2種類の大きな変動—永年的な減速と不規則的な長周期変動—がかなり以前から認められて来ていた。つまり月や太陽、諸惑星の公転運動の観測値が、それらの理論値に比べて次第に加速し変動してゆく事実である。これは公転運動の理論式の中の時間の変数へ、変動する平均太陽時の時間単位を用いたため、結局これらの喰い違いの大部分は地球自転速度の変動に帰せられることが判った。

永年的な減速は月や太陽の引力で惹起される海水の潮汐に基づく。海底や入り組んだ海岸線との摩擦で大潮の位置が時間的に遅れ、これに働く引力が地球の自転にブレーキをかける結果である。又不規則変動は地球内部の高温の流体核の乱流運動が、地球の外殻部との間で角運動量のやりとりをするためと考えられている。

結局公転運動の理論は正しかったことが確認された、そして太陽の運動(地球の公転運動)の理論を骨組みとして、これが観測結果と合致するような時間系が新しい天文時として定義された。これが暦表時である。これは理論的に一樣不変な時系で、具体的には月の位置観測を用いて決定される。

この不変の暦表時に比べて世界時(平均太陽時)の変動を調べることができる。第1図は1820年以降の変化を示すもので、1日当りの変化は小さくてもこれを時刻として長年累積すれば、図に示すように数10秒の時刻差となって現われる。それでも図の中央で傾斜のもっと



第1図 暦表時からみた世界時(平均太陽時)の進み遅れ

* 東京天文台
S. Iijima: A sudden change in the rate of rotation of the Earth due to the meteorological anomaly in January to February in 1963

も大きい部分は速度変化にして、1日
 当たり約千分の4秒位にも達している。
 この程度未満の速度変化が、ある時は
 ⊕にある時に⊖に起りながら、全体
 として拋物線状に遅れが増大してゆ
 く。前者が不規則変動、後者が永年の
 減速によるものである。

3. その他の短周期変動について

第1図は年平均の観測結果を長年に
 わたって眺めた結果であるが、その後
 1年の中の細かい変動が十分な精度で
 調べられるようになった。これは主と
 して人工時計の発達によるものであ
 る。まず、地球自転速度の季節的変化
 が、時刻観測と水晶時計群の比較を用
 いて検出された。現在ではさらに原子
 周波数標準の実用化によって、相対的
 ながら人工的な一様時系がほぼ確立され
 ている。これによってきめられた自転速度の季節変化は

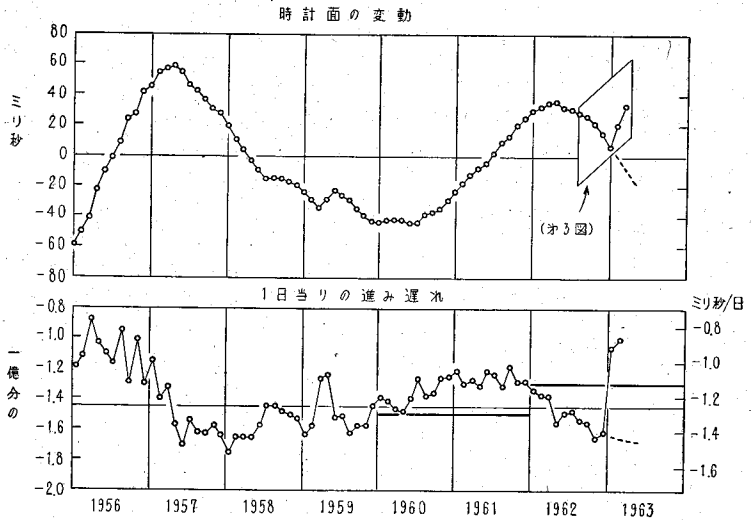
$$\Delta S = 22^{\text{ms}} \cos \theta - 12^{\text{ms}} \cos \theta - 6^{\text{ms}} \sin 2\theta + 7^{\text{ms}} \cos 2\theta$$

で、 ΔS は世界時へ加えるべき時刻の修正値の符号で表
 わされている。最初の2項は年周変化で、偏西風の相対
 角運動量の年変化で説明され、あとの2項は半年周変化
 で、これは太陽の引力による地球潮汐に基く。地球の形
 が歪み、結局慣性性能率がその公転軌道上で半年周期で変
 るためである。速度変化に換算すると前者は1日当たり約
 1万分の4秒の年周振幅、後者は約1万分の3秒の半年
 周振幅であって、合計して1日当たり約1万分の5秒の速
 度変化を年毎に繰返している。

このほか地球上の北極の位置が刻々に移ってゆくいわ
 ゆる極変化の現象がある。これは自転の速度変化ではな
 いが、観測地点の天頂が天球に対して変動するため、時
 刻観測の結果にいわゆる経度変化として時刻の変動が現
 われる。この経度変化と上述の季節変化の変動を、生の
 時刻観測へ補正し年平均化した世界時が1956年以降使
 われている。これをUT2世界時とよんでいる。

このUT2世界時を人工的な一様時計と比較すれば、
 地球自転速度の残余の変動成分を調べることができる。
 第2図上はこの結果を示すもので、これは丁度第1図右
 下の平行四辺形で囲まれた部分に該当している。この図
 では一定の歩度を差引いて変動部分をほぼ平になるよう
 画いてある。これは世界の一流天文台11箇所を観測を
 用いて計算した結果である。図にみる5~6年周期の変
 化はなお未知のものである。

原子周波数標準としてセシウム原子の $F, m: (4.0) \Rightarrow$
 (3.0) の転位周波数が、1956年中頃から実用され始め
 た。その後月の位置観測との比較によって、この採用周



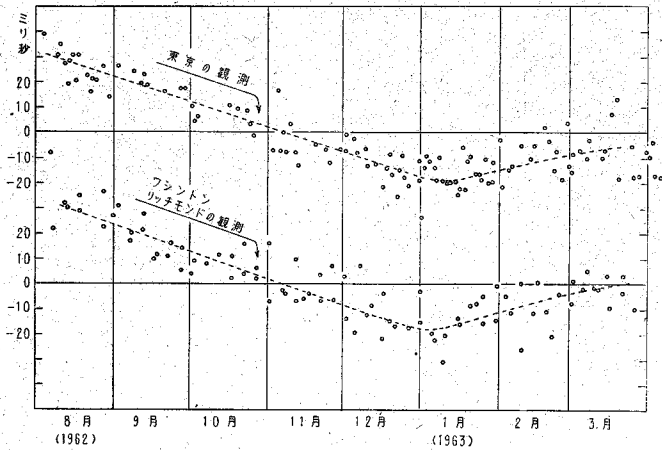
第2図 世界時 (UT 2) の変動, 最近数近数年の動き
 (セシウム標準 -1.25 ms/d と比較)

波数は暦表時の1秒間に9,192,631,770サイクルと一応
 決められた。いま水晶時計の原発振子の周波数を、この
 採用値に対して常に正しく保てば、水晶時計は暦表時の
 時刻を刻むわけである。現在の標準電波の秒信号はこの
 ような方式の水晶時計を基にして、常に一様な刻みの秒
 信号が、世界的に同期を保って発信されている。しかし
 暦表時の刻みは現在の平均太陽時の刻みとかなり喰違っ
 ている。標準電波の秒信号の示す時刻も依然として現用
 の平均太陽時に合わせないからである。そこでセシウム
 標準の周波数から一定値だけずらした、平均太陽時の
 年平均の刻みに近い一定歩度が年毎に採用される。

第2図下は上の図を1日当りの進み遅れに換算して
 示したもので、基準は暦表時、現実にはセシウムの
 $9,192,631,770 \text{ c/s}$ である。右半の太い水平線はその年
 々の標準電波の設定周波数を示す。つまり1960~61年
 はセシウム標準から -150×10^{-10} 、1962~63年は -130
 $\times 10^{-10}$ だけずらせた値に合わせて発信されている。こ
 のズレの量をオフセット値と呼んでいる、各年末にこの
 翌年値が B.I.H. から通報される。図中の丸印を連結し
 た細かい変動は主として時刻観測の誤差に由来するもの
 である。上の図の周期的な動きに対応する下の図の全体
 としてのゆるやかな変化に注目して戴き度、1日当り
 にして約1万分の2秒位の速度変化が数年にわたって起
 きていることが判る。

4. 今回の速度異常

第3図は東京天文台及びワシントン海軍天文台 (リッ
 チモンド観測所のデータを含む) の写真天頂筒による観
 測結果を示し、白丸は各一夜 (約15星の観測) の値であ
 る。この一夜当りの観測精度は、標準偏差にして ± 4



第3図 写真天頂筒による世界時 (UT2) の観測結果
標準電波の秒信号 (セシウム標準から -130×10^{-10}) と比較

〜5 ミリ秒、これが世界の一流水準である。図中のバラッキはこの標準偏差による。図でみるように今年の年初頃に UT2 世界時の鮮かな折れ、つまり自転速度の急増がみられる。

この第3図は前掲第2図上の図にある平行四辺形で囲まれた部分に対応している。第3図の折れは、第2図では非常に急峻な折れとしてプロットされる。第2図下の1日当りの進み遅れで示すと、この部分の変化は図の右端の急激な跳ね上りに対応する。変化量の絶対値はそれほどでもないが、その急激な起り方は近年稀にみるものである、ついでに同図中央部、1959 年前半のやゝ顕著に跳ね上がった所をみて載き度い。これは実は“1959 年7月異変”と呼ばれて、大きな太陽爆発の起きた時期に近い。パリー天文台長のダンジョン博士は、地球自転速度の急変が、この太陽爆発を原因として7月に起きた、と主張して論争をまき起したものである。しかしわれわれの結果では、図でみるように、この急変はすでに6月前に終了していることが判る。

今回の急変はその変化の様子が、非常によく 1959 年のばあいと似ている。約2ヵ月位で又旧状に復している点である。しかしその変化量は前回を上まわる模様である。

5. 同じ時機の瞬間北極の動き

地球上の北極位置が刻々変化するため、これが時刻観測へ経度変化として変動をもたらすことはさきに触れた。しかしもっと顕著なのはこれによる緯度の変化である。地球上の瞬間北極の位置は、北緯 $39^{\circ}08'$ にある数カ所の国際緯度観測所で測られた緯度観測の結果を使って算出される。現在はこれが国際極運動事業 (I.P.M.S.) と呼ばれ、水沢の緯度観測所がその中央局を引受けている。しかし一方、国際報時中央局 (B.I.H.) は、独立に世界中の緯度観測の結果を集めて、極位置の暫定値を求

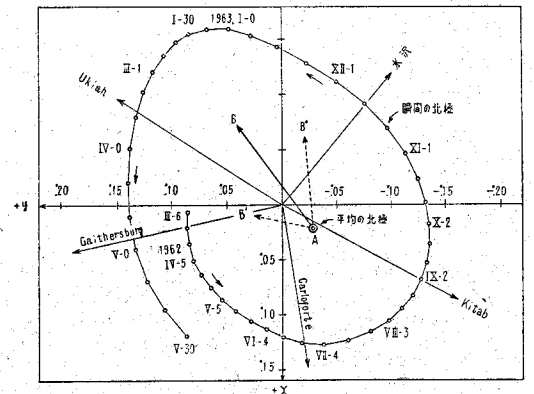
め公表している。これは報時用に経度変化を急ぎ必要とするためである。

第4図はこの B.I.H. の公表した瞬間極位置の動きを示すもので、各黒丸は10日間隔の値、又図中ローマ数字は月を、その後の算用数字は日付を示している。丁度北極の真上から見下した図で、瞬間北極は反時計式に動いている。5本の放射状矢印は現在の I.P.M.S. 傘下で $39^{\circ}08'$ 圏上の緯度観測所の方向を示している。0°1 は地上で約 3m に対応する。図中 A で示した位置は 1962 年中頃の平均北極位置と推定され、瞬間北極位置はこの A 付近を中心としてほぼ円軌道を描いている。しかし 1963 年の 1~2 月頃の瞬間北極の動きの中心は、図中の B の近くと推定される。つまり平均北極が A から B の矢印の方向へ動いた模様である。

後述のように、平均の北極位置は地球の慣性主軸と、大気などの相対運動による相対角運動量軸とで決まるが、今回の気象異変がこれらの主軸方向に変化をもたらしたものとみられるのである。

6. 1 月、2 月の気象異変について

今年の1月、2月の地上気圧分布は極めて珍しいケースであるといわれている。第5図は北半球の地上気圧偏差図で1963年1月の平均値を示す。これは過去20年の1月の総平均値からの偏差をとったものである。全体として中緯度帯の気圧偏差が強い負となり、逆に北極附近の高緯度帯が強い正となっている。しかもこれら偏差の絶対値は20ミリバール (mb) を越えている所もある。この程度の偏差が2~3日間現われることは珍しくないが、それが1カ月もほとんどそのまま存続して、図に示すような月平均値となっていることが極めて珍しいとされている。結局地球大気は、その平均的な状態に比べて、全体として北極の方へ移動したことになる。気圧の1mbは水柱に換算すると約1cmに概当する。第



第4図 地球上の平均北極位置の推移 (A→B)

5図の数字の mb を水層の厚さ cm で置換えて考えれば、この大気異状分布の程度うなずかれるかも知れない。しかし実情はもう少し複雑である。それは海上の低気圧部では、アイソスタシー効果によって、その部分の海水の水位が上昇することである。例えば第5図で太平洋上に広範囲な負の気圧偏差が横たわっている。このため、この区域の水位は、赤道方面から海水を吸いよせて上昇する。

いずれにしても、第5図のような地上気圧配置によって、大気及び海水を総合して、全体として極の方向へ移動したことに変わりはない。これによって自転軸に関する慣性率率は低下する。地球の自転はいわばこれだけ身軽になったわけである。これが自転速度を上昇させた一つの原因である。

地球上、殊に上層部では南半球北半球を問わず全体として偏西風が卓越している。これは赤道近くから極方向へ向う気圧勾配(極に向って低くなる)といわゆるコリオリ力とによるもので、西風の強さはこの両者の積に比例する。第5図のような地上気圧偏差は、当然上層部での気圧勾配を弱め、従って偏西風が平年値に比べて弱くなるのが考えられる。第6図は1963年1月平均値の500 mb 層の風速の東西成分を示したもので、⊕は西風を ⊖ は東風を示している。図でみるように、北緯 25° 及び 35° 帯では両体として平年値(点線)とほとんど変わらないが、45° 帯及び 55° 帯で平年値に比べてかなりの低下がみられる。なお 65° 帯及び 75° 帯では逆に平年値より大きくなっているが、この部分は角運動量として余りきかない部分である。

結局偏西風の角運動量は全体として平年より1割余の低下が計算された。地球に対する偏西風の相対角運動量

の低下は、その分だけ地球本体へ還元されたことを示す。つまり自転速度はそれに対応して上昇するわけである。これが自転速度を上昇させた第2の原因である。

7. 自転速度変化及び平均極移動の計算について

いま地球に固定した座標系を考え、原点を地球の重心に、 x, y, z 軸をそれぞれ経度 0° の方向、東経 90° の方向、及び北極の方向にとる。 A, B, C をそれぞれ各軸に関する慣性率、 $\omega_x, \omega_y, \omega$ をそれぞれ各軸に関する角速度成分、 p, q, r をそれぞれ各軸に関する風のもつ相対角運動量の成分とする。又 f, g, h をそれぞれ y, z 軸、 x 軸、 x, y 軸に対する慣性乗積とおけば、角運動量保存の式は適当な省略の下に次のような形で書くことができる。

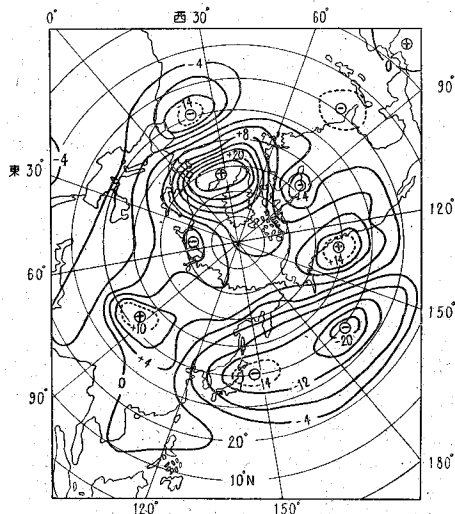
$$\begin{cases} \frac{d}{dt}(A\omega_x - g\omega + p) + (C\omega + r)\omega_y - (B\omega_y - f\omega + q)\omega = 0 \\ \frac{d}{dt}(B\omega_y - f\omega + q) - (C\omega + r)\omega_x + (A\omega_x - g\omega + p)\omega = 0 \\ \frac{d}{dt}(C\omega + r) = 0 \end{cases}$$

自転速度の変動はこの第3式から求められる。いま C, ω, r の変化をそれぞれ $\Delta C, \Delta\omega, \Delta r$ と書けば、

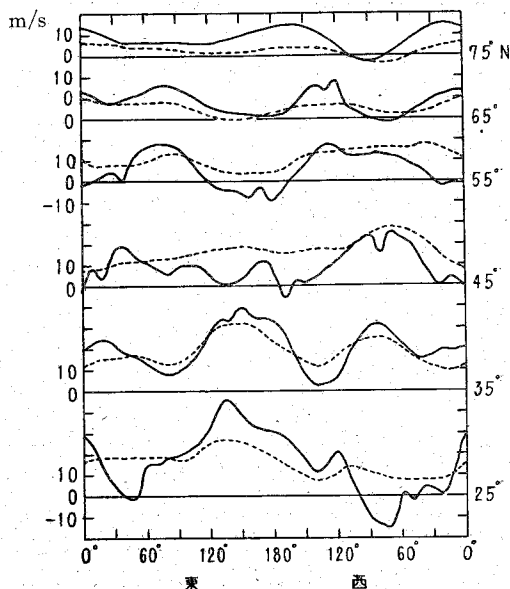
$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = -\frac{\Delta C}{C} - \frac{\Delta r}{C\omega}$$

結局速度変化 $\Delta\omega/\omega$ を求めるには、 z 軸に関する慣性率及び偏西風の相対角運動量の変化を気象データの平年値からの偏差を使って具体的に計算すればよい。

第1, 第2式は地球の自由章動、つまり極運動を表わすもので、いま $\omega_x/\omega, \omega_y/\omega$ をそれぞれ l, m とおけば、 $(l, m, 1)$ は瞬間極位置の方向余弦を示す。この $l,$



第5図 北半球地上気圧偏差図(単位 mb) (1963年1月の平均値)



第6図 500 mb 層の偏西風の分布(—は東風) (— 1963年1月平均 1月の平年値)

m に関するこの2つの式の解は、 $A=B$ のばあいについて

$$\begin{cases} l = \lambda + (l_0 - \lambda) \cos \Omega t \\ m = \mu + (m_0 - \mu) \sin \Omega t \end{cases}$$

となる。ここに Ω はチャンドラー周期 (約 1.2 年) の角速度、 l_0, m_0 はそれぞれ l, m の初期値である。又 λ, μ は平均極の位置を示すもので次式で与えられる。

$$\begin{cases} \lambda = \frac{-g}{C-A} + \frac{p}{\omega(C-A)} \\ \mu = \frac{-f}{C-A} + \frac{q}{\omega(C-A)} \end{cases}$$

結局これらの式は、瞬間の北極位置が、 λ, μ で規定される平均極を中心として、第4図の例にみるように、反時計式に円軌道を書くことを示している。(l, m は第4図の $x, (-y)$ に対応している) いま λ, μ, f, g, p, q の変化をそれぞれ Δ をつけて示せば、平均極位置の動きは

$$\begin{cases} \Delta \lambda = \frac{-\Delta g}{C-A} + \frac{\Delta p}{\omega(C-A)} \\ \Delta \mu = \frac{-\Delta f}{C-A} + \frac{\Delta q}{\omega(C-A)} \end{cases}$$

となる。これには気象データの平年値からの偏差を使って $\Delta f, \Delta g, \Delta p, \Delta q$ を計算すればよい。このばあいの $\Delta \lambda, \Delta \mu$ はそれぞれ第4図での $x, (-y)$ に対応する。この $\Delta p, \Delta q$ の計算の材料にはさらに風の南北成分の分布データが考慮された。

具体的計算結果は、速度変化について、地上気圧偏差から1日当り1万分の +1.02 秒、偏西風の低下から1万分の +2.34 秒、合計して1日当り約1万分の 3.4 秒の速度上昇が算出された。一方平均極の移動量につい

ては、 $\Delta \lambda$ として -0.012 , $\Delta \mu$ として -0.056 であって、この内風の南北方向成分の偏差がもっとも大きく関与している。この結果を第4図の太線 $A \rightarrow B'$ で示している。同図の $A \rightarrow B''$ は毎年みられる平均的な傾向を示すもので、これと今回の異変に基づく $A \rightarrow B'$ を併せ考えれば、 $A \rightarrow B$ 方向の平均極推移はかなりよく説明されたことになる。

8. あとがき

この気象データからの具体的な計算には、南半球に関するデータが全く入手できなかったので、いくつかの仮定を置いている。気圧偏差や偏西風分布の帯平均に関してはほとんど南北対称に近いとの理由から、速度変化の計算には、北半球の計算結果を2倍している。一方平均極の移動に関係する f, g, p, q などの量は気圧偏差や風力分布のきき方が南北で正負反対であり、かつ緯度のみならず経度に関するやゝ複雑な重量係数がかかる。結局南半球の計算は、北半球で行なった計算の +1 倍乃至 -1 倍と考えられる。ここでは常識的に0倍、つまり南半球の影響は皆無として $\Delta \lambda, \Delta \mu$ の計算の最終結果とした、南半球の気象データも今後国際協力の下に集約されることを切望する次第である。

今回の気象異変は、人工的には全く不可能な大規模な実験を、はからずも提供してくれたわけである。これを機会に気象変化の地球自転に及ぼす影響の大きさを改めて再認識させられた。この気象異変を緒として地球科学に関する多くの未知の分野が解明されてゆくことを願うものである。

終りに気象に関する貴重なデータや御教示を戴いた気象庁予報部の根本順吉氏に厚く感謝する。

天文学研究連絡委員会

第6期の委員による第1回の会議は5月15日午後日本学術会議会議室においてひらかれ、席上藤田良雄氏が委員長に選出され、畑中、末元、古在の3氏が幹事に指名された。また、学術会議宇宙空間特別委員会には畑中氏が代表委員として推薦された。

天文研連委としてのさしあたっての仕事は、来年8月25日から9月3日まで、西独ハンブルグ市でひらかれる予定の第12回 IAU 総会のための準備である。IAU への新会員、ハンブルグ総会への IAU 会員以外の招待者の推薦などのしめきりは来年春までで、これらのことは次回の委員会でとりあげられることになる。

しかしながら、IAU 各委員会の委員長は Draft Report にのせる報告を今年中に提出しなければならないので、各委員長あてに日本での仕事は秋までには報告しなければならない。各委員長に日本の仕事を報告する責任者を

一応次のようにきめたので、関係分野の研究者は報告もれのないよう注意されたい。

4 (暦) 塚本, 6 (電報) 広瀬, 7 (力学) 古在, 8 (位置) 奥田, 9 (器械) 広瀬, 10 (太陽活動) 長沢, 12 (太陽大気) 末元, 14 (分光基礎) 小尾, 15 (彗星物理) 宮本, 16 (惑星物理) 宮本, 17 (月) 広瀬, 19 (緯度) 奥田, 20 (小惑星彗星衛星) 広瀬, 21 (夜光) 古畑, 22 (流星) 広瀬, 23 (星図) 清水, 24 (視差) 清水, 25 (測光) 大沢, 26 (重星) 古畑, 27 (変光星) 古畑, 28 (銀河系) 高窪, 29 (スペクトル) 藤田, 30 (視線速度) 大沢, 31 (時) 虎尾, 33 (銀河系力学) 清水, 34 (星間物質惑星状星雲) 高窪, 35 (内部構造) 一柳, 36 (大気) 上野, 37 (星団) 高瀬, 40 (電波) 畑中, 41 (天文史) 藪内, 42 (測光重星) 古畑, 43 (電磁流体力学) 高窪, 44 (大気圏外観測) 畑中。