

## 今、宇宙と大地の狭間で\*

内藤 勲 夫\*\*

日本が世界に誇る技術の一つにベアリングがあると言う。ベアリングの性能はその完全球率に依存するとのことである。球に近いほど表面摩擦が小さいからであろう。さて、今、宙に浮いている完全球率100%の“融けつつある”氷の球を両手で覆って回転させるとしよう。なにしろ表面がつるつるなので大変まわしにくい。ところが、もし球ではなく地球のようにわずかに扁平な回転楕円体であったらどうであろうか。たぶん、いろいろ試みているうちに楕円体の長軸のまわりにまわせば比較的容易にまわせることに気付くに違いない。楕円体のでっぱり部分を利用することができるからである。もっとも、この場合、短軸のまわりほどスムーズには回転しないのだが、それはともかく、このとき片方の手はあたかもシベリアの高気圧がヒマラヤ山脈に及ぼす山岳トルクのように作用しているはずである。言い換えれば、現実の地球には扁平率に比例する赤道面内の軸のまわりの大気によるトルクが存在するわけで、これを「地球回転」では扁平率トルク（あるいは遠心力トルクまたは慣性トルク）と呼んでいる。この大気による慣性トルクが地球に回転を与えやすい気圧分布は東西方向に波数1となる場合で、北半球では東西方向に波数1の陸の分布が卓越しているため、特にこの気圧分布が卓越することはよく知られている。その結果、シベリアの高気圧はヒマラヤ山脈などによる山岳トルクとこの慣性トルクなどを通じて固体地球に角運動量を伝達し、その不規則変動成分は地球の自由振動の一つであるチャンドラー・ウォブルの主要な励起源となり、またその季節変化成分は年周極運動を引き起こしている。このように大気は固体地球に対して自転軸のまわりのみならず赤道面内の軸のまわりにもトルクを及ぼしているわけであるが、筆者の知る限り、この慣性トルクについては「大気力学」の教科書で全く触れられていないようである。これはちょうど自転速度

変動の存在が知られていてもそれを無視してきたのと同じである。つまり、今までの気象学ではこの近似の範囲内でモデルの精度を上げることが当面の目標であったのである。

ところが、最近この辺の事情に変化の兆しが現われてきたように思える。準二年振動と言った長い時間スケールのみならず40~50日振動やそれより短い時間スケールの大気変動までが自転速度変動に“反映している”ことが明らかになったからである。マッデン等の研究を初めとする多くの研究によると、この大気の40~50日振動はどうか赤道に限られたものではなく、中緯度もしくは地球全体に及ぶ気配さえ感じられる。もっとも、このことは「地球回転」の立場からは自明の理(?)であったのだが、だからと言って、筆者はここで上述の慣性トルクが40~50日振動と関係しているなどと(方向違いなことを)言おうとしているのではない。今まで大気力学モデルに全く取り入れられることのなかった「地球回転」の考え方が遅ればせながら取り入れられようとする兆しが見えてきたことを若い読者に知らせたいのである。すでに明らかのように、そもそも、極運動や自転速度変動は大気や海洋あるいは流体核などの角運動量が地殻・マントルにわずかに漏れた結果生じたものであるから、「地球回転」は長い間、言わば、地球科学の各分野の“落ち穂拾い”をしては一桁精度の高い位置天文観測につつま合わせをしてきた分野であった。ところが、宇宙からまるごと地球をモニターする時代を迎えた今、地球科学の各分野からその“汎球的”精度の高さが重視されることとなり、まず初めに気象学において大気角運動量保存の従来の考え方の“見直し”に役立てられようとしているわけである。それには大気大循環モデルの精密化が進んだことに加え、研究の興味と必要性が気候変動に移ってきたことも大きな要因となっているようである。実は、こうした傾向は「地球回転」にとって極めて歓迎すべきことなのである。なぜなら、筆者は、かねがね、「地球回転」の最大の関心事である“チャンドラー・ウォブル

\* A meteorological field now sandwiched in between astrometry and geodesy.

\*\* Isao Naito, 緯度観測所.

の励起源さがしゲーム”の決着などは大気・海洋系の Inter-Annual Variations の解明にかかっていると考えていたからである。そして、たとえ、大気・海洋系の寄与は小さいと言う結論に終わったとしても、それはそれで、地球の新たなダイナミックスの解明に大きな Impacts を与えるはずである。

このように気象観測や大気力定モデルの汎球的精度がようやく「地球回転」のそれに追いついたのであるが、今、「地球回転」はさらに一桁その汎球的精度を上げ(つまり、デシメートルからセンチメートルへ)再び、地球科学の他の分野に差を付けようとしている。VLBI (超長基線電波干渉測距システム)などによる地球の計測が数年前からスタートしたからだ。しかも、VLBI は、従来の銀河系内の星の“光”に代わって、銀河系外の電波源天体 (QSO) を不動点 (慣性座標系) としているため、天候に依らず観測可能であることから、従来に比べ格段の高時間分解能の観測を可能とするばかりでなく、息の長い“回転する”地球の計測を可能とする“ものさし”なのである。その結果、「地球回転」の研究目標も徐々に地球内部に移されることとなり、そのためには外力となる大気の影響を可能な限り精密に評価しておく必要も生じてきた。大気運動の影響が地球内部の性質や運動の検出にとってノイズ (?) となるからである。そこで、この新しい手法による「地球回転」の観測データの蓄積にあわせて、「地球回転」に効果をもつ大気角運動量データも蓄積しようと言う話が IUGG と IAG の下のワーキング・グループでここ数年進められてきた。これは、地球規模の風のデータの整備・充実によって、自転軸のみならず赤道面内の軸のまわりの風による相対角運動量の見積もりも可能になったことによる。ソース・データは気象庁数値予報課、ECMWF、それに NMC などが数値予報の初期値としてルーチン的に算出している全球客観解析値で、現在、この三つのソース・データに基づく見積もり値の比較・検討がなされているところであるが、「地球回転」の立場から見ると、気象庁データに基づく結果が一番尤もらしい値を示しているようである。なぜこのような結果になったのか今のところ明らかではないのだが、筆者の気象庁へのリップ・サービスではないことは確かである。

ところで、現在までの研究で、「地球回転」の数日から数年までの時間スケールの非潮汐変動は主に大気の影響によることが知られているが、さらに長い数年から数十年

の気候変動の時間スケールの「地球回転」の変動についてはほとんど解明されていない。気候変動の立場から考えると海洋変動や極氷の変動に帰せられる可能性が大きいと言うことになるが、従来の局所的な Reference に基づく海面変動の観測データではこれを実証することが極めてむずかしいのである。そこで、上述の VLBI のものさしで局所的な References を Global Reference に結合して、地球規模の海面変動ばかりでなくその原因あるいは結果となる極氷の形状変化まで検出しようとする研究が進められている。そのためには、もう少し小まわりのきく宇宙技術や衛星によるアルチメトリも動員しなければならぬが、それはともかく、こうした宇宙技術を利用したものさしは気圧に換算して 1 mb の精度で地球上の“水の循環”も計ることができるわけで、「地球回転」と気候の数十年程度の時間スケールの変動は気象学・海洋学・陸水学・雪氷学、それに測地学を加えた共同作戦で解明されることとなろう。上述した大気角運動量データの蓄積はまずこの作戦の展開に必要な準備的作業なのである。

最後にもうひと言述べたいことがある。それは VLBI などの宇宙からの電波を用いた手法の最終的な精度が大気の屈折による電波経路の超過距離の補正精度にかかっていると言うことである。しかも、その効果は上述の海面変動などのモニターにとって都合の悪い垂直成分に最も大きな誤差をもたらすのである。水蒸気は乾燥空気より軽いのが大気中で一様な分布を保つことがなく、その結果、乾燥空気のように地上の観測値だけで上空の密度を推定することが極めて困難で、従って、この超過距離の補正値を推定するためにはどうしても高層気象観測データを必要とする。そこで、いろいろ考えたあげく到達した結論は前述の全球解析値などと地上の観測値を上手に組み合わせて補正値を推定するというものである。この手法の最大の長所は地球上の如何なる場所でも“国際規格”の補正値を得ることが可能なことで、その真価は必ずや後世の地球力学の解析で確認されるものと筆者は考えている。そんなわけで、近い将来、この補正のためのソース気象データとしても気象庁の全球解析値がアメリカやヨーロッパとの“データ摩擦”の種となるのではないかと、日本製のベアリングを装着した車の貿易摩擦を見るにつけ、筆者は今から心配している (?) ところである。