

大気潮汐論確立のこぼれ話

加藤 進*

1. はじめに

1960年初期、大気潮汐の基礎が確立した。幸い著者はこれに貢献することができた。著者以外に Lindzen 氏等がいる (Kato 1980)。いまでは古典理論と呼ばれるもので、今でも大気潮汐理論の基礎として、関連観測データの解析、数値 simulation の設計など研究全般に利用されている。これ以前は大気潮汐論には面白かったが間違った理論しかなかった。主な理由には、観測の不備に加え、この時まで、ラプラスの潮汐方程式を解くことができる計算機がなかったからだろう。でもかなり昔から大気潮汐論研究は行われていたのも確かだ。

著者が1962-1964年に暮らしていたシドニーの街でたまたま立ち寄った古本屋で、みつけた1900年代出版(そう記憶しているが)の一冊の啓蒙書に「半日大気潮汐共鳴論(以下共鳴論)」の話が載っていた。この半日大気潮汐共鳴理論はそのころまでに広く知られていたらしい。調べてみたが、1882年、有名な物理学者 Kelvin 卿がこの説を唱えた。面白いことに、この共鳴は地球の回転速度を正しくコントロールし、太陽時を正しく維持させる、つまり太陽時をロックしているという説を出したことも分かった。この理論は以後広く受け入れられ、有名な流体力学者 G. I. Taylor (1936年) や C. L. Pekeris (1939年) 等がこの説を発展させた (Kato 1980)。だが残念ながら、この理論は誤った仮定に基づいていたことが第二次大戦後のロケット、人工衛星による大気温度の観測で判明した。この理論は瓦解した。この共鳴理論では成層圏の温度を実測値より異常に高く仮定していた。この誤った値は古く行われた観測結果を用いていた。以上の研究の歴史は拙著にも簡単に述べられている (Kato 1980)。

要するに、戦後、大気温度のロケットや人工衛星による正しい観測が行われ、加えて電子計算機が出現した結果、やっと本格的な大気潮汐理論研究の環境が整ったと言えそうだ。

2. 大気潮汐古典論の完成への著者の歩み

電子計算機は1960年代はじめに広く導入された。電子計算機発展の中心は米国だったが、京都大学にも、はじめて電子計算機 KDCI が1960年出現した。無論、現在の計算機とは比較できない幼稚なものであったが、このお陰でラプラスの潮汐方程式の級数解を解くことが可能になった。著者は運よく KDCI の利用、開発の責任者に命じられた電子工学教室の新米講師で、教授、助教授の下で専ら計算機運用の雑用責任者だった。夕方になると教授、助教授がすべて帰宅した後、計算機室に残り、独り雑用の始末に深夜まで働く生活を続けていた。そのころの計算機は一旦停止すると、十分機械が冷えるまで、再稼働できないもので、それを見守ることが私の仕事であった。システムは十分冷やさず再稼働すると故障のおそれある危険なシステムだった。まだ30歳代はじめの独身者であったので、夜間勤務を楽しめる立場にもあった。それは独り勝手に計算機を使う特権者であったからだ。

潮汐方程式の固有値、固有関数を求めるのが最初の著者の問題だ。まず誰も試みていなかった1日周期の潮汐を解くことだった。解の精度を高めて、固有値は12桁まで、固有関数の級数項は100項まで求めてみた。其の点で困難が起こった。それは、固有値にマイナスが現れた。当時、広く読まれていた参考書 (Wilkes 1949) に述べられていた解説に「固有値は海洋潮汐の深さに対応する」と書かれていた。そのころまで半日潮汐の解だけは一応分かっていたが、其の固有値はポジティブだった。著者はこれは解き方のエラーと考えた。たしかに計算する級数項が少ないときは固有値の符号が変わったりした。何か数学的な問題があるので

* Susumu KATO, 京都大学名誉教授。

kato@rish.kyoto-u.ac.jp

© 2014 日本気象学会

ないか、こんな気がして、親しかった数学者を訪ね相談した。彼は有名な東大の数学者小平邦彦の名も付くワイル・ストーン・ティッチマッシュ・小平の理論があることを教えてくれた。小平先生ご自身の論文もコピーした(小平 1948)。この「二階常微分方程式の固有値問題について」の難解な論文を理解する積りはなかったが、ラプラスの潮汐方程式には特異点があり、それがどう固有値に影響するかをこの論文が教えてくれないかと考えた。ラプラス潮汐方程式の特異点は方程式の分母 $(f^2 - \cos^2 \theta) = 0$ で起こる。ここに f は $(\omega/2\Omega)$ 、 ω は潮汐波の周波数、 Ω は地球自転数、 θ は co-latitude、余緯度つまり90度マイナス緯度だ。このため、半日潮では極が特異点になるが、1日潮では $\theta = 60$ 度で起こる。小平先生の論文は、極での特異点は論じているが、極以外での特異点の存在は考慮されていない。ここで私に行き止まりが来た。すでに計算は完了したが、ここで一旦論文公表は先延ばしにすることにした。これが著者による1日大気潮汐の negative mode 発見のいきさつである(Kato 1966a, b)。さて、丁度この頃、電離層研究施設が創設され、計算機ソフトエンジニアから電離層の助教授に任命された。また上述したように、1962年から2年間オーストラリア連邦のCSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) 研究所 Upper Atmosphere Section に招かれた。この2年間専ら電離層電気力学の研究に従事し、大気潮汐論の研究から遠ざかった。潮汐方程式のこの難問を2年間そのままにして置いた。でも、帰国するまでに著者には negative mode の意味がはっきり分かってきた。この mode は垂直に伝播できない大気潮汐波の存在を意味する、つまりこの波の垂直波数は虚数であることすなわち evanescent 波を意味する。後にさらに分かったが、この negative mode は半日太陽時より長い周期の潮汐波を含む planetary scale 波全般に存在できることが判明した(Kato 1980)。

帰国直後、米国での大気潮汐研究状況に詳しい九州大学の澤田竜吉氏から米国で1日大気潮汐論の研究が盛んになっていることを聞かされた。時は来た！JGR (Journal of Geophysical Research) 誌にはじめて投稿することを思いついた(Kato 1966a, b)。一大決心だ。なぜなら当時1ドルが360円の為替レート。記憶によれば、JGR 誌のページ・チャージは100ドル。論文が約10ページ。費用は高額になる。でも幸い世は「宇宙科学の時代」を迎えていた。研究室長の

林辰蔵教授は支払いをOKした。投稿原稿のコピー1部をシカゴ大学のC. O. Hines教授に送った。彼はかなり以前から、京大のわれわれグループの研究に興味を示し、われわれと研究交流が行われていた。われわれ京大地磁気グループは、静穏日地磁気変化(Sq)は、地球磁場の影響下での電離層潮汐運動で電流が駆動されるとする「電離層潮汐ダイナモ理論」(Kato 1980)の立場から、電離層潮汐運動を推定する研究を進めていた。彼は著者の1日大気潮汐理論の論文を大至急に出版することを薦めた。このとき、上述した数学的難問を他の関連論文で紹介した(Kato 1966c)が、どこからも応答はこなかった。でも、1973年秋、UCLA (University of California, Los Angeles) の気象教室の客員教授に招かれたとき、若い気象学教授がこの難問に興味を持ち、著者に議論を申し込んできた記憶がある。このときポールダーにあるNCAR (National Center for Atmospheric Research) を訪問し、澤田氏のかつての先生 Haurwitz 教授(正確ではない記憶によれば、澤田氏は Haurwitz 先生の許で lunar tide の研究でニューヨーク大学から Ph.D. を得た)にお目にかかり1日大気潮汐の negative mode の議論をした(Kato 1966c)。これを今でも懐かしく思い出す。

3. 静かな潮汐論古典論完成の到来

1日周期潮汐論は速やかに広まり理解された。地上での気圧日変動は半日成分が主であるが、電離層の潮汐が起こす地磁気 Sq 成分では1日成分が主である。この違いはこれまで謎であったが、1日潮汐波の negative mode の仕業であることも明らかになった(Kato 1980)。だが著者が関心を持った上記の数学的課題に本格的に光が当たったのは数年後だった。1970年、この課題を論じた Hall 氏の論文による(Hall 1970)。論文がドイツ語の論文であったこととわれわれには馴染みの無いゲッチンゲンの科学アカデミーの報告誌だったのでわれわれの注意を引かなかったのだろう。かくして古典潮汐理論完成が静かに到来した。われわれにとってすばらしい時代がきたのだ。

以上述べた古典潮汐論完成のこぼれ話のはもはや半世紀以前の話だが、著者が常に思うことは、科学研究はいかにすばらしい姿にみえても、観測事実に合わないものならば、潔く捨て、新しい道を開拓するのが人間の英知だということだ。おわりに余計な付け加えだが、最近マスコミを騒がせている新細胞発見をめぐる

スキャンダルは決して起こってはならないと思っている。

参 考 文 献

- Hall, P., 1970: Die Vollständigkeit des Orthogonalsystems der Hough-Funktionen. Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen II Mathematisch-Physikalische Klasse Nr. 7, 1-10.
- Kato, S., 1966a: Diurnal atmospheric oscillation 1. Eigenvalues and Hough functions. J. Geophys. Res., 71, 3201-3209.
- Kato, S., 1966b: Diurnal atmospheric oscillation 2. Thermal excitation in the upper atmosphere. J. Geophys. Res., 71, 3211-3214.
- Kato, S., 1966c: Diurnal and semi-diurnal atmospheric tidal oscillation, eigenvalues and Hough functions. Rep. Ionos. Space Res. Japan, 20, 448-463.
- Kato, S., 1980: Dynamics of the Upper Atmosphere (T. Rikitake ed.). Center Academic Publ., Japan, D. Reidel Publ. Co., 165-199.
- 小平邦彦, 1948: 二階常微分演算子の固有値問題について. 数学, 1, 177-191.
- Wilkes, M. V., 1949: Oscillations of the Earth's Atmosphere. Cambridge University Press, London, 74pp.