

## 大気潮汐の研究について

——日本気象学会賞受賞記念講演——

沢 田 竜 吉\*

ささやかな私の仕事に対し、過分のごほうびをいただき、ありがとうございました。この際、大気潮汐の仕事のあらましを申し上げて、ごあいさつにかえたいと存じます。

ご承知のように、大気中には種々の周期的現象がありますが、日変化は其中でもとりわけはっきりしたものの一つで、気圧、気温、地磁気などはそのよい例でございます。しかしながら、これらの日変化の様子をよく見ますと、1日周期の変化のほか、半日変化のものもあることに気がつきます。例えば気温の日変化を見ましても、その曲線はきれいな正弦曲線ではなく、かなりゆがんだものであります。この中から1日周期の正弦曲線を取り除きますと、半日周期のものが明瞭に浮かび上がり1日周期のものにまさるとも劣らないくらいの大きさのものであることがわかりましょう。また、気圧は午前・午後ともに10時頃に極大となり、4時頃に極小となることはすでによく知られていることで、これは気圧が大気全体の質量を示す量であることを考えますと、大気が全体として半日周期の振動をしていることを示すものであります。このような振動が高層にもおよんでいることは地磁気の変動にも明瞭にあらわれております。100kmくらいから上層の空気は電離しており、その結果、種々の電氣的性質を帯びていますが、このような気層が大規模に運動しますと、地球磁場の磁力線を横切ることになり、そこに電磁力が生じ、それがまた地球磁場を変化させることになるのでございます。したがって地磁気が1日および半日周期の変化を示すことは、逆にこのような高層の大気が大規模な周期的運動をしている証拠となるのです。

大気全体としての振動ということを申しましたが、一般に振動という現象を調べる上に必要な要素は、先ず第1に振動する物体がどのような構造のものであるかということ、次に振動を生ずる外力がどのようなものかとい

うことであります。

大気の振動の場合にこれらを当てはめて見ますと、大気の構造とそれを振動させる外力ということになります。大気の構造を表わす要素はいくつかありますが、その一つは空気の成分でございます。地上から高さ数十kmくらいまでは空気の成分はほとんど一定と考えてよいようで、したがっていわゆる空気の平均分子量も一定とみなせます。もちろん、オゾンが20数kmの高さを中心としてかなりたくさん分布していることはよく知られているとおりですが、その絶対量は酸素や窒素などの主成分にくらべれば問題にならない少量のもので、平均分子量にはほとんど影響を与えないものなのです。しかしながら数十kmから上空、特に100km前後から上では酸素分子は原子に分裂する傾向が強くなり、空気の平均分子量は急激に変化してまいります。その上、分子や原子が電離し、イオンや電子がたくさん存在するにいたるなど、事情はかなり複雑なものと考えられております。しかし大気構造を表わす最も重要な要素は気温分布で、これには鉛直方向と水平方向とがあります。さらにまた100kmくらいから高層にゆくにつれて単位体積についての空気分子の数、すなわち分子密度が急速に減少する結果、空気分子同志の衝突も少くなり、分子が自由に運動し得る距離も大きくなってまいります。そうして分子運動による運動量の輸送が活潑になってゆき、いわゆる分子粘性の現象が著しくなってまいります。いかえますと、高層では分子粘性が高さと共に次第に増大してゆくということでございます。百数十kmか200kmくらいから上ではこの粘性を無視することはできないものなのです。なお、これは分子粘性についてであり、このほか渦粘性を考える必要もありますが、渦粘性が分子粘性にくらべて大きいのはせいぜい数十kmまでで、それから上は分子粘性とほぼ同じ程度になるらしいと推定されております。

\* 気象庁予報部予報課

次に、大気の振動を生ずる外力は何かと申しますと、太陽の引力と日射、および月の引力であります。このほかに地球の重力があり、さらに高層の電離した気層に対しては地球磁場の影響も忘れてはなりません。これらのうち日射については、大気中の各高度における熱の吸収・放射の状況はまだ明確にはわかっておりませんので、いまのところでは数量的に扱うことはできません。太陽は24時間で地球を一廻りしますが、月の方は約24時間50分かかって地球を一廻りいたします。そのために、太陽の影響による振動は24時間、12時間、……という周期のもので、月の引力によるものは24時間50分、12時間25分、……という周期の振動となります。はじめに申し上げましたのはすべて太陽によるものを指していたのでありますが、月によるものも、周期がいく分長いこと、振幅が小さいことを除外すれば、全く同じことがいえるのです。

さて、このような外力のもとに生じている振動はもちろん大気全体をゆすぶっているわけですが、私たちが直接に観測し得るものは、前にも申しましたように、地表面における気圧変化や地磁気の変化などであって、大気全体の様子などはとても観測し得るわけのものではございません。

私の仕事はいままでに申し上げてきた事柄を逆に調べてゆこうということでございます。すなわち、実際に観測される気圧や地磁気その他の半日周期の変化を生ずるためには大気の構造がどのようなものでなくてはならないかを決定することです。もちろん、それと同時に超高層における風の半日変化などもその副産物として推定されるようになるものです。

こうしてひとたび大気の構造が決定されますと、種々の周期の外力が加わった場合に大気がどのような振動を生ずるか、したがって地表面の気圧がどのような変化をするかを調べることができるようになります。これはやや長期の変動を調べる上に基礎的なより所の一つを与えるものと思っております。

しかしながら問題はなかなか複雑でございます。振動する物体の構造がわかっている際に、任意の外力による振動の模様を計算することは比較的簡単ですが、振動の模様の、しかもその一部だけを知っているだけでは振動物体の構造を一義的に推定することはできません。そこで実際には出発点として大気の真の構造に近い状態がわかっていないと求める解は無限に存在することになってその中から一つの解を選び出すことができないのです。

第二次大戦以来、ロケットなどによる超高層の観測は実にめざましく、昔から他のいろいろな方法、例えば音の異常伝播、流星、オゾン層などの現象を利用して推定して来た大気構造に関する知識を急速に深めております。いまや私たちは大気振動の計算の出発点としてこれらの結果を利用することができるのです。私たちの課題

はロケットの1地点における観測値をより所とし、これを少しずつ修正しては一々そのような構造の大気が振動した場合に地表面の気圧がどのような変動を示すか、電離層内の風がどのように吹き、それが地磁気の変化にどう現われるかを注意深く検討しながら、地球全体の、真実にできるだけ近い大気構造を探り当てようというわけなのです。

大気潮汐は地表面から大気上限にいたるまでの大気全体の振動の問題であり、その境界条件もエネルギーの源も一応はつきりしておりますので、その理論的取り扱いも数理物理学の一つの典型と申してよいでしょう。しかしながら実際に当っては次にのべますような、いくつかの困難な課題に直面するのであります。

第一に大気中における熱の出入に関する知識はまだ十分なものではありません。したがって引力ばかりでなく同時に熱も重要な役割を演ずると見られる太陽による潮汐を数量的に扱うことができません。また、電離層内の潮汐には地球磁場による電磁力が加わりますから、そこでは流体力学の式に気圧傾度による力の外に電磁力を加える必要がありますが、これを考慮した大気全体の振動はまだはつきりしてはおりません。地表面における境界条件もまだ問題を残しております。山脈の影響は一応しらべられておりますが、大気と同じ周期で海面もまた潮汐振動を行っていることが将来は当然考慮されるべきものでございます。また、上限の境界条件にしても、現在の理論では百数十kmないし200kmあたりから重要になる粘性を考慮しておりませんから、いまの所ではせいぜい百数十kmくらいまでの大気が考えられているにすぎません。なお、大気の水平構造はどのような影響を与えるかについては、今までの所では地上気圧の変動に関する限りは余りひびかないことがわかっておりますが、高層における振動にははたしてどうでありましょうか。しかしながら、これを考慮に入れると、問題は一段と複雑なものとなってまいります。

最後にこの問題についての各国の状態を展望いたしますと、ドイツのゲッティンゲン大学では地磁気のパーテルス教授の所でケルツやジーベルトなどが相当な仕事をやっております。イギリスではウォルクス等の研究が光っております。アメリカではハーバード大学とMITの天文学者たちによる研究が盛んでございます。ニューヨーク大学ではハウルイツ教授の下に一般に振動を研究の課題としており、最近では電離層内の風の研究なども調べられております。私のささやかな仕事もハウルイツ先生の指導のもとで始まったものですが、問題の大きさからながめると、まだほんの入口に立っているに過ぎません。

終りにあたり、今後みなさまのご理解とご支援を得まして、この問題をいまま少しく調べてゆきたいと存じております。ありがとうございました。