

## アポロ8号軌道のよりよき理解のために

畑 中 至 純\*

昨年暮に人間を乗せた米アポロ8号宇宙船が月をまわって帰って来た偉業は、人類の目を大きく開かせたことでコロンブスがアメリカ大陸を発見した偉業と並んで、歴史上の一時期を画するものとみなす人が少なからずいる。

期待と不安の交錯した6日と3時間が過ぎたとき、誰れもが安どの胸をなでおろした。そしてはじめて新聞をゆっくり読んでみることができた。筆者もその一人であったが、客観的事実たる記事だけでは科学的理解にまで至らないようだ。そこで天体力学に出てくる基本的な公式を使って、どの程度理解できるかを試みてみようと思った。天体力学の式で扱えるのは、アポロ8号の軌道に関することで、宇宙船が地球のまわりをまわるときは二体問題、月へ向う途中は三体問題、そして月をまわる間は二体問題で考えようとした。しかし三体問題は難しいから考えないで、地球と月の引力圏を考えることにより、月へ向う途中の軌道を二体問題で近似することにした。新聞に出ている程度のデータから、そんなにくわしくやっても仕方がないし、科学的理解を助けるためだけにこの辺で十分である。問題をこのように考えてしまうと基本的な公式、たった一つで誰れもが科学的理解にまで至り得ることである。

それでは昭和43年12月28日の朝日新聞朝刊に載っていたアポロ8号飛行日誌を引用しながら理解を深めよう。

「打ち上げ後11分30秒、地球をまわる待機軌道に乗る。近地点 183 km 遠地点 191 km 軌道傾斜 32.5 度」。地球の赤道半径を 6378 km とすると、この軌道は  $a$  (軌道の長半径) が 6565 km,  $e$  (離心率) が 0.0006 なる楕円軌道 (新聞では長円軌道) である。宇宙船の速度を知るには二体運動の式

$$V^2 = \mu \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

で十分。  $V$  は速度,  $r$  は二体間の距離,  $\mu$  は二体の質量によって変わるある定数である。地球の重心のまわりをそれよりはるかに質量の小さい宇宙船がまわり、他の摂動を考えないとすれば、この運動は二体運動になるからで、 $\mu = 3.987 \times 10^6$  (単位は km, kg, sec にとる),  $r = a$  (円軌道と考える) より、速度は円運動として秒速 7.79 km であることがわかる。

「2時間55分後、月への軌道に乗る。秒速 7.82 km から 10.82 km に加速」。興味があるのは、地球から飛び出すときどのような軌道で飛び出したかである。秒速 7.82 km の軌道が円軌道であるとすると、 $a$  は 6520 km になり、ここから放物線軌道に乗せて月に向けるとすると、前の式を使って ( $r = 6520$ ,  $a = \infty$ ) 秒速 11.06 km

にしなければならぬ。従って 10.82 km に加速というのは、 $e$  の大きな楕円軌道にしたことを意味する。もし不幸にして月と逆の方向に飛び出して行ったとしても、非常につぶれた楕円を描いてから再び出発点まで、即ちほおっておいても地球へ戻って来る軌道である。

「55時間39分後、月の引力圏にはいる。地球から 32 万 km 飛び、秒速は 0.99 km まで下がった」。地球・月間の距離を 38 万 km とし、月の質量を地球のその 0.0123 倍とすると、万有引力の法則から二つの引力の等しい所は地球から 34.2 万 km 離れた所になる。32 万 km の地点なら地球の方の引力がまだ大きいのが月の引力も無視できない。減速したのは、地球の重心を一つの焦点とする楕円軌道を描くアポロ8号が地球から遠く離れたため (ケプラーの第2法則) と考え、月の引力による加速を無視すると、32 万 km で秒速 0.99 km になった事実から、宇宙船の飛ぶ軌道の  $e$  が求まる。やはり前の式から求められ、 $e = 0.975$  となる。いかにいびつな楕円であることが理解できる。

「69時間12分後、秒速 2.54 km を 1.63 km に減速、月をまわる長円軌道に乗る。近月点 112 km, 遠月点 313 km, 軌道傾斜 12 度」。月の引力と月の速度によって秒速 0.99 km から 2.54 km (月に対して) まで加速されていたと考えよう。近・遠月点の距離から  $a = 1950.5$  km が求まる (月の半径を 1738 km とする)。近月点での速度は例の式から秒速 1.67 km, 遠月点では 1.50 km,

「73時間35分後、秒速を 40 m 程減速、近地点 112.6 km, 遠地点 114.8 km のほぼ円型の軌道に移った」。  $a$  は 1852 km となる。円軌道と考えれば、秒速は 16.3 km。月をまわる宇宙船の高度が変わらないとして、この高度から月を飛び出す速度は、式より脱出速度で 2.30 km/秒 (月と宇宙船との二体運動では  $\mu$  を  $4.904 \times 10^8$  とする)。そこで次を見よう。

「89時間19分後、10周後、ロケットを噴射、秒速約 1 km 加速して秒速 2.6 km で地球への軌道に乗る」。脱出速度より大きいのが、このときは飛び出すときの軌道が双曲線軌道になる。しかし高度がより低い所から飛び出すには、2.3 km より大きい速度を要するから、月を脱出するときの高度がわからない限り、放物線軌道か双曲線軌道かはわからぬ。一方月を少し離れば地球の引力圏に入ってしまうので、軌道は変えられてしまう。とにかく地球を飛び出すときのような楕円軌道ではなさそう。

「146時46分後、秒速 11 km で大気圏に再突入」。地球の引力により速度を増したアポロ8号は、地球を飛び出したとはほぼ同じ速度で地球に戻ってきた。再突入回廊の狭き領域については簡単な式だけからではわからない。大気との摩擦が問題だからである。

\* 東京天文台