

教材 1:

宇宙と地上と無重力(“微小重力”)

1. 宇宙と地上と無重力(“微小重力”)

現在地球軌道上を日夜高速で飛行する国際宇宙ステーション(International Space Station; ISS)やかつてのスペースシャトルなど、宇宙フライトによって得られる重力環境を“無重力”状態、“無重量”状態等と言い表すことが一般的である。ただ厳密に定量的にみた際、地球表面での重力(1g)と比べ実際 ISS における重力加速度は場所により 10^{-6} (百万分の一)g から 10^{-4} (一万分の一)g の範囲にあり、そのため学会などでは、“微小重力”(microgravity; マイクログラビティ)という用語が特に用いられている。なお、マイクロ(μ)とは基準となる単位から 10^{-6} (百万分の一)倍を示す国際単位系(SI)での一つの接頭辞である。(例; $m \Rightarrow \mu m$ (百万分の一 m), $g \Rightarrow \mu g$ (百万分の一g))

以下本資料ではそれら同義語の内、ヒトが感覚的に知覚する“無重力”という場合を除き、わずかながらも重力が依然として存在する(残留重力)という環境を表す上で“微小重力”(microgravity; マイクログラビティ)という表現を基本的に用いる。

次に、“微小重力”は高度数百 km のポイントに達したため、即ち地球表面から高度を上げて地球からより離れたことにより、結果地球から及ぼされる引力が小さくなったためであるとした理解例も時に見られるが、当然ながらそれは誤りである。

“微小重力”は“宇宙”(飛翔体が大気から受ける動力学的な影響を十分無視できる程の高度、すなわち海拔 100km、それをカーマン・ライン(Kármán line)とも別称して、便宜上それ以遠を指す)においてのみ得られる特殊な環境ではない。実際、地球表面あるいは対流圏内の地球近傍においても“微小重力”環境は、例えば遊園地などのフリーフォール(自由落下)施設や主に研究・開発用に作られた落下塔(drop tower facilities)、あるいはまた自由落下運動の一種である“航空機の重力に任せた放物線飛行”(parabolic flights; パラボリックフライト)、さらには高度 100km 以上に打ち上げる小型ロケット等により、数秒から数十秒、そして数分といった短時間ではあるが作るすることができる。

パラボリックフライト例; 「無重力での現象」 2012/05/30 に公開 (パフォーマー; 池谷幸雄さん)



<https://www.youtube.com/watch?v=AZfUxgaRWJE>

次に地球軌道上を飛行し続ける宇宙機(例えば、ISS)、別の言い方をすれば地球周回軌道上を自由落

下し続けている物体では、長期間にわたって安定的に微小重力環境を維持可能である。軌道上フライト宇宙機でみられる“微小重力”環境の成立過程を正しく理解するため、ここで以下のようなレビューを試みましょう。

今、仮に想像上ながら地表数百 km の高さを持つ建築物があったとする。その頂上の高さからある物体を何の力も加えずに落下させれば、それはその建造物の真下へ地表に向かって正に鉛直方向へ落ちて行き、次に地表と平行になる向きで物体に力を加えて打ち出せば、最終的にその建造物の真下からある程度離れた地点にその物体は落下することとなる。そのようにしてさらに打ちだし速度をより増していけばさらに遠くに離れた地点に落下することとなる。そのようにして実際、例えば地表からの高度が 320km の軌道上では、およそ 27,740km/h の速度で地表と平行に物体を打ち出したなら、その物体(宇宙機)はとうとうその軌道上を飛行し続けることとなる。これは地球表面が平面ではなく曲面であり、その打ち出された物体は現実に地表に向かって落ち続けているものの、その高速であることにより地球表面の湾曲と平行していつまでもたっても地表に落ちることがない経路をたどり続けることとなるためである。即ち、自由落下を継続した状態になったと捉えることができる。

また、ニュートンによって発見された万有引力の法則(2 物体間には常に、それらの質量の積に比例し、距離の 2 乗に反比例する引力がはたらく)に従って、ある物体が地球から離れれば離れるほどそれにかかる万有引力はその隔てた距離の 2 乗に反比例して小さくなるが、実際地球表面における重力(1g)の 10^{-6} (百万分の一)のレベルまで達するにはおよそ 637 万 km(地球一月間の距離のほぼ 17 倍)、地球から宇宙に向かって離れることが必要となる。

付け加えると、地球から宇宙空間へ宇宙機が実際飛び出した際、その小物体に万有引力を及ぼす主要な物体は、地球、太陽、月の大質量をもった天体となる(三体問題)が、それらの作用する力が丁度差し引き釣り合うポイントが宇宙空間に全部で 5 つ存在することが知られている。それは 18 世紀この発見と理解に大きく貢献した科学者の名前を冠してラグランジュ点(Lagrangian points; ラグランジュ・ポイント)と呼ばれる。