

Microgravity Science

微小重力環境での物質科学実験 物理現象の本質をとらえる

地上ではすべての物体に重力が働いており、これがさまざまな物理現象に影響を与えています。一方、スペースシャトルや国際宇宙ステーションで得られる微小重力環境では、この重力の影響が除かれ、地上では作れない材料を製造したり、地上では観測しにくい現象をとらえたりすることができます。

実験室としての国際宇宙ステーション

微小重力環境を利用した実験は、1950年代後半から米国で始められました。これは落下施設における自由落下、またはロケットや航空機による放物線飛行で得られる微小重力環境を利用したものです。その後、アポロ計画やソユーズ計画を経て1980年代に入り、スペースシャトルによる実験が行なわれるようになりました。日本でも1990年代前半から小型ロケットおよびスペースシャトルを利用し、複合材料の製造、半導体の結晶成長、流体実験などの微小重力材料実験を行なっています。

落下施設や航空機で得られる微小重力の時間は数秒から20秒程度、ロケットは数分、スペースシャトルは1週間から2週間程度です。これらよりもっと長期間、安定した微小重力環境でいろいろな物理現象を調べようとすれば、宇宙ステーションでの実験が必要です。

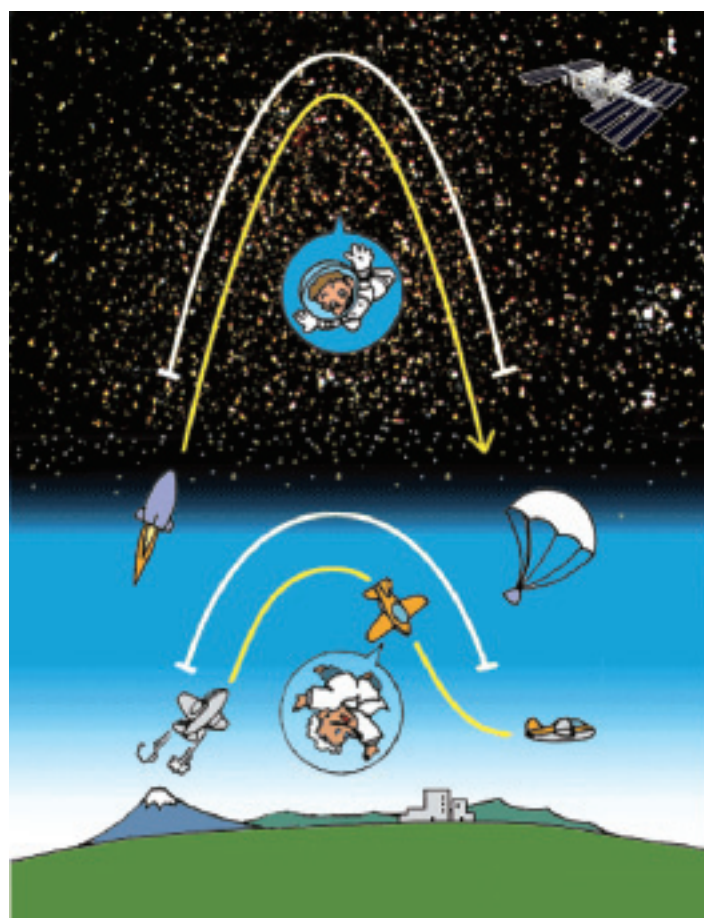


図1 ロケットや飛行機で微小重力状態をつくる

微小重力環境の魅力

—地上では考えられない環境で何が起こる?—

宇宙ステーションは、そこに働く重力と、地球をまわっているために生じる遠心力がつりあって、地上の100万分の1程度の微小重力環境になっています。このような重力の影響がほとんど無い“微小重力環境”では、こんなことが起こります。

1) 熱対流がなくなる

水を火にかけたり、部屋でストーブを焚いたりしたとき、水や空気が上下に流れる現象(熱対流)が見られます。こうした熱対流は、加熱によって水や空気の密度が変化したところに重力が作用して生じる現象です。しかしながら、微小重力下では重力の影響がないため、熱対流は発生しません。そのために、流れの無い静かな状態で結晶成長過程を観察したり、歪みのない半導体や合金材料を作ることができます(図2)。

2) 沈降したり浮上したりしない

地上では液体中に密度の異なる物質があると、液体に比べて密度の大きな物質は沈降し、密度の小さな物質は浮上します。また、水と油のように密度に差のある液体を混ぜると、地上では分離してしましますが、微小重力下では混じり合った状態が保たれます。つまり、微小重力では、密度の違うものを一度混ぜてしまうと、そのままの状態を続けることができます。この状態で固めれば、地上ではできなかった材料が作れます(図3)。

3) 静水圧がない

地上では液体や固体に重力が作用し(静水圧)、自重による変形(圧縮)がおこります。そのために、結晶をつくる場合、結晶が成長するにつれて変形してしまいます。しかし、微小重力下では、このような変形はおこらず、歪みのない高品質の結晶が得られます。また、非常にやわらかい材料を製造する場合にも有効です。

4) 無接触で浮遊する

地上で金属などの材料を融かしたり、結晶成長させたりする場合、容器(るつぼ)に入れて加熱することが必要です。しかし、微小重力下では容器に入れなくても、浮遊させた状態で材料を融解・凝固させることができます。そのため容器から不純物が混入したり、容器に接触している部分で熱膨張のちがいに、結晶の欠陥が生じたりすることはありません。また、融点が高く、容器に入れることが難しい物質を浮かせて融かし、融点や表面張力などの特性を計ることができます。これらは地上で材料を加工する場合に重要な情報です(図4)。

このような長所に加え、地上では重力の影響によって隠されている物理現象が、微小重力環境であるがために現れるようになります。

1) マランゴニ対流

マランゴニ対流は液体表面の表面張力の差によって生じる対流であり、半導体材料であるシリコン結晶を作るときや、パソコンの放熱に利用されるヒートパイプにも発生し、結晶の品質や放熱性能に影響を与えています。しかし、地上では重力が作用して生じる熱対流(浮力による対流)に隠れてしまい、マランゴニ対流の影響を観察することは困難です。したがって、マランゴニ対流の研究には、宇宙実験が役立ちます(図5)。

2) 濡れ性

濡れとは固体と液体が接触した面(界面)に関する現象で、固体と液体のなじみ易さを言います。たとえば清浄なガラス固体にアルコールをたらすと広がってしましますが、水銀をたらすと広がらずに盛り上がります。この場合、アルコールは濡れがよく、水銀は濡れが悪いといえます。微小重力環境では、自重による変形がないために、入れ物との濡れが良い液体は壁を伝って外に這い出す現象が見られます。したがって、微小重力環境での材料製造には濡れ性は考慮しなければならない要素です。

3) 界面張力

浮遊する液体の表面にある原子や分子は、内部から均等に引っ張られています。これを界面張力(気体と液体の界面の場合は表面張力)と言います。地上でも磁場などを利用して液体を浮遊させることができますが、自重で下に膨らみます。しかし、微小重力環境で浮遊させた液体は歪みの無い球形の液滴になりますから、それを利用して球形の材料を作ることができます(図6)。

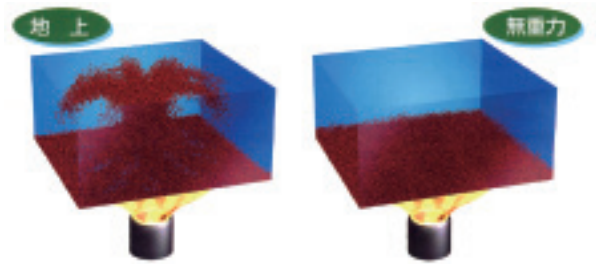


図2 地上と宇宙の熱対流のちがいを

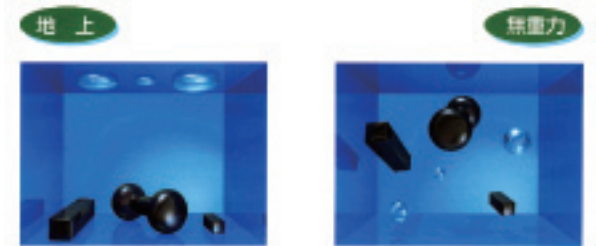


図3 沈降と浮上



図4 宇宙での無接触浮遊

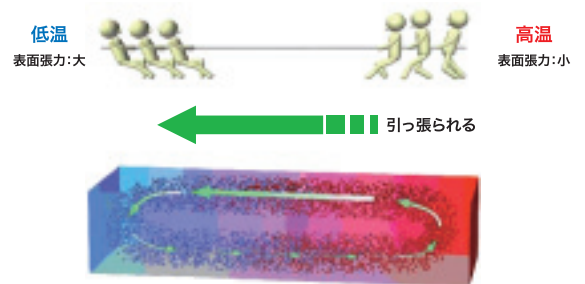


図5 マランゴニ対流



図6 スペースシャトル内で作った球状の水とその中の水中花