

# ■ 超重力場物質制御 グループの発足に際して



超重力場物質制御グループ ■ 真 下 茂 ■

## 1 はじめに

地上 ( $1g = 9.8m/s^2$ ) でも水中の泥のようにマクロ粒子は沈降するし、1万gレベル以上の超遠心機を用いて液体中のブラウン粒子を分離することもできる。では、さらに高い重力場下では凝縮物質中でどのような現象が起こるのであろうか？このような強い重力場は自然界では白色矮星や中性子星など極めて希にしか存在しないが、誰もが思い浮かべる疑問ではなかろうか。図1が示すように二成分以上からなる固体は、圧力場下ではアンビルなどからの接触力による応

力均衡によって格子間が一様に縮むのに対して、加速度場下では各原子に選択的に直接かかる体積力（ボディフォース）によって重い原子は加速度方向に変位し、図1-cのような特殊な結晶状態が程度の差あれ実現する。もし、その一次元の力が化学ポテンシャルの項に打ち勝つと重い原子が加速度方向に移動（拡散）することになる。

一方、近年、スペースシャトルやスペースラボが実現するようになって、微小重力場を用いた物質プロセスの研究がさかんに行われている。しかしながら、これと対をなす強い重力場も、当然、物質科学の

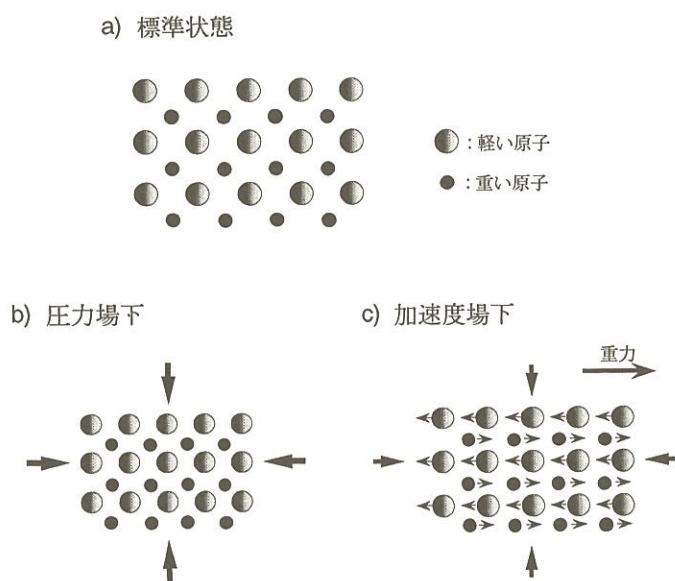


図1 二成分系固体の標準状態 (a)、圧力場下 (b) および加速度場下 (c) の結晶状態のイメージ図。

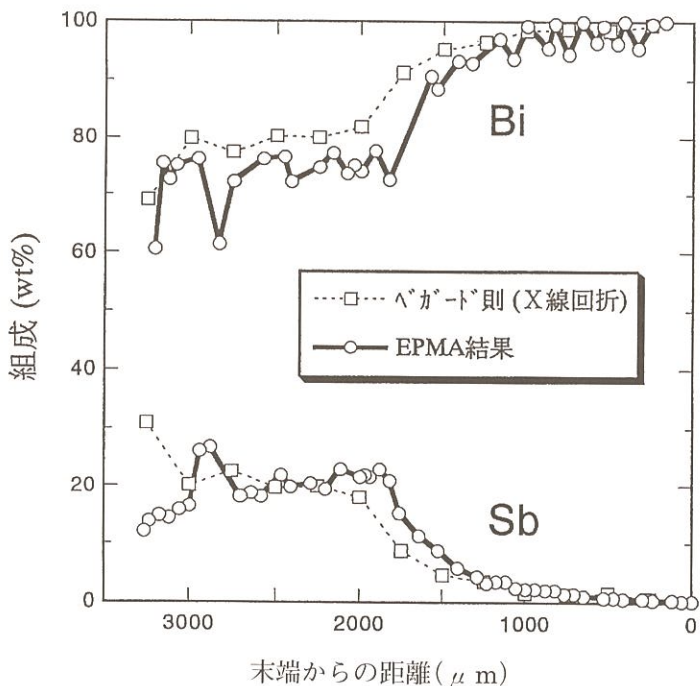
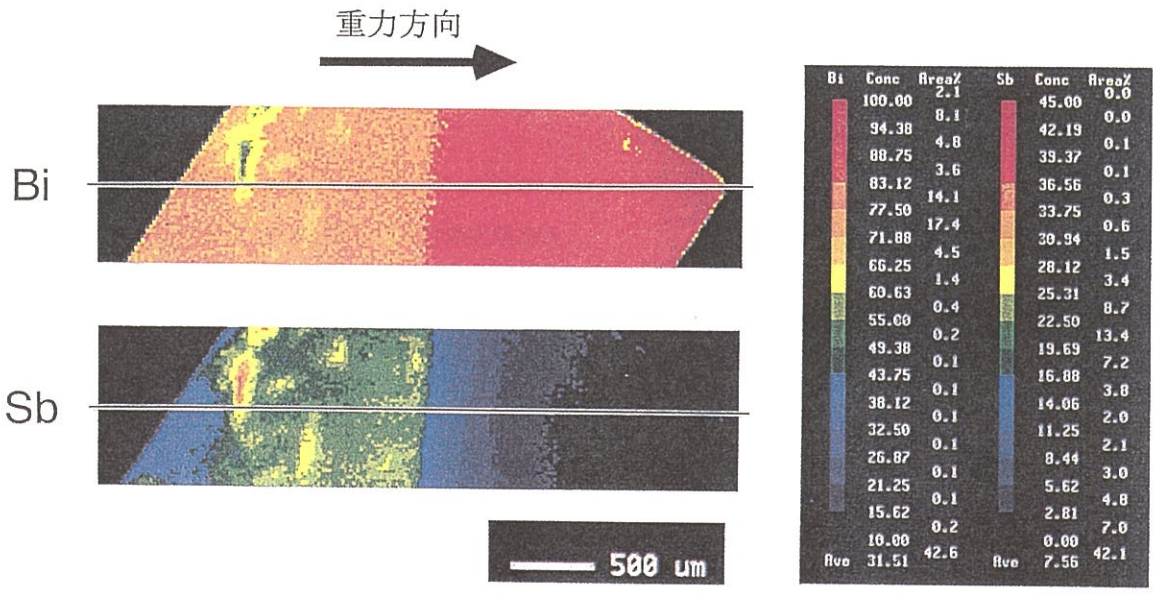


図2 Bi-Sb系 (70:30 モル%) で100万gレベルの超高重力場下の原子の沈降によって実現した組成の傾斜構造 (EPMAとX線回折による) (実験条件: 最大>100万g, 220-240°C, 85時間)。

状態因子として重要であるが、このような視野に注目する研究者は少なく、世界的に未踏の分野として残っている。微小重力場実験では主に対流やマクロな沈降などを抑える二次的な効果を用いるのに対して、超高重力場実験では熱エネルギーに匹敵する一次元の外力を原子や分子に与えることにより、原子の沈降や構造変化など、原子スケールで直接的な効果が期待できる。また、温度や圧力が構成物質粒子の集団の統計的質量として定義されるのに対して重力場は、磁場と同

様、原子や分子など粒子で定義でき、粒子単位にかかる力を決めることができることも指摘しておきたい。

本研究は、このように誰もが疑問に思う普遍的な問題でありながら、サイエンティフィックにはほとんどわかっていない物質の超高重力場下の物理・化学現象を解明し、新しい物質プロセスを開拓しようという野心的なプロジェクトである。

## 2 物質の超高重力場実験<sup>1, 2)</sup>

筆者が強い重力場の世界に魅(引)かれたのも、微小重力場の応用が注目され始めたころ、反対の強い重力場では固体中でどのような現象が起きるのかという上記の漠然とした疑問からであった。筆者は、先ず、多成分凝縮物質中の原子の沈降のセルフコンシステントな拡散方程式を提案し<sup>3, 4)</sup>、この理論を指針として高重力場下の物質科学の実験を開始するために、最大100万gを越える超高重力場を高温で発生できる超遠心機<sup>5)</sup>を製作した。このレベルの超遠心力実験になると原子量の差が数10の物質系の場合、加速度場による原子間のポテンシャルエネルギーの差は熱エネルギーの数倍にも達する。我々は、先ず、全率固溶系のBi-Sb系<sup>6)</sup>で最大2桁以上の濃度差の原子スケール傾斜構造、次いで三相固溶系のIn-Pb系で傾斜構造と相変態を観察し、置換型溶質原子の沈降を初めて実現した。

実験例として、Bi-Sb全率固溶系(30:70モル%)の例を図2に示そう。これは100万gレベルの超高重力場処理した試料断面のEPMA観察結果と微小領域X線回折による格子定数の変化からベガード則を用いて得られた組成分布である。原子量の大きなBiの濃度がその方向に向かって増加し、原子量の小さなSbが減少している。右側の高重力領域で、原子濃度の変化が著しく、Sbでは2桁以上に達している。顕微鏡写真<sup>8)</sup>によると、重力の強い領域では重力方向に結晶が成長しており、重力場の結晶成長への効果を示唆していて、大変興味深い。その大きさは長さ数mm以上、幅数100mm以上に達しており、その中で濃度の傾斜が形成していることは格子定数の変化と共に原子スケールの傾斜構造であることを示している。また、最近、三相固溶系のIn-Pb系では、組成の傾斜構造の他、相変態も観察された。

重要なことは、これまでに報告されているAu原子の沈降<sup>7-9)</sup>が不純物レベルで格子間型溶質の拡散であったのに対して、これらの系では組成レベルで置換型溶質の拡散であるということである。これによって組成や構造の変化が可能になるわけである。また、これらの系で沈降プロセスの解析の結果、実験結果と突き合わせて見積もった沈降の拡散係数は、置換型溶質であるにもかかわらず、普通の化学ポテンシャルによ

る拡散係数に比べて桁違いに大きいことがわかってきた。これまで固体中の拡散では置換型溶質の拡散機構は空孔機構によることがほぼ結論されているが、この事実は空孔機構以外の拡散メカニズムが存在することを示唆しており、拡散の観点からも興味深い結果である。

## 3 物質科学への可能性

筆者らは、この他、In-Pb、In-Sn、Bi-Snなどの合金系やSnI<sub>4</sub>などの分子性結晶、有機物で組成の傾斜構造を観察しており、温度の条件さえ整えば、ほとんどの合金系はもちろん化合物でも原子の沈降が起こることがわかってきた。従って、超高重力場によって組成の制御が可能であり、先ず考えられる応用として、元素、同位体の分離・濃縮をはじめ、原子スケールの傾斜構造・複合構造・不定比構造や特殊な接合面の形成が上げられる。非平衡合金、混晶半導体、不定比化合物、層間化合物、化合物固溶体などが対象となる。

一方、100万gレベルの超高重力場ではエネルギーは物質系によっては10<sup>-2</sup>から10<sup>-1</sup>eVに匹敵する。ちなみに、100T(テスラ)の超強磁場では最大10<sup>-2</sup>eV程度、10GPaの超高圧力では最大10<sup>-1</sup>eVレベルのエネルギーに対応するので、このレベルの超高重力場ではそれに匹敵またはそれ以上のエネルギーレベルに相当し、図1で示唆されるような結晶の一次元性の特異な歪とも関連して分子・結晶構造等の配列・配向、結晶成長、さらに、化学結合や相平衡、結晶構造、電子構造の変化が期待される。事実、Bi-Sb系では結晶成長を観察しており、また、分子性結晶や有機物では分解反応を見出している。沈降や分解反応は化学ポテンシャルや凝集エネルギーと密接に関係し、さらに、その場観察実験が実現すれば結合や構造の変化を直接探ることが可能になるはずである。

このような強い加速度場はこれまで生化学の分野でブラウン粒子の濃縮やDNAの分子量の測定などに用いられてきたが、原子の変位、移動という観点から物質科学へ応用しようというアプローチは見られなかった。サイエンスの世界では同じ現象でも新しい問題意識、見方を導入することにより新しい展開が見られることがあるが、筆者は加速度場を原子変位の駆動力としてとらえ、凝縮物質の新しい物理パラメータとして

展開することにより新しい分野が拓けることを期待する。

#### 4 むすび

超高压の分野では、発生圧力が地球の中心部（300万気圧以上）にも達し、水素の金属化が実現しようとしているのに対し、100万gレベルの超高重力場下の物質の世界は不思議にも未だ処女地のままであり、研究すべき課題は無限にあると云ってよい。しかしながら、どれだけの成果が期待できるのかと云われると、神のみぞ知るで、全てこれからの実験にかかっていると云わざるを得ない。従って、この研究は新しい現象の発見の可能性もおおいにあるが、成果がほとんど出ないかも知れない。また、本テーマは原子・分子レベルの現象が対象であるので、原研の他の多くのプロジェクトのように核物理や放射線物理・化学などとは直接関係がなく、原研向きではないかもしれない。筆者は、おそらくこの辺の事情を承知の上で、研究の新規性を買ってもらって本テーマが選ばれたと勝手に推察している。従って、責任の重さはあまり気にせず、新しい発見の可能性の方を信じて、ひたすら新しい課題に挑戦していきたいと考えているところです。

今後、温度および加速度領域を拡大することにより、対象物質を合金に限らず、化合物半導体、分子性結晶、高分子などへ広げるとともに、同位体の沈降や分子・結晶化学的な変化も積極的に探っていきたいと考えている。強い重力場下の現象に興味を引かれた方々のご意見やご批判を歓迎します。

#### 文献

- 1) 真下 茂：まてりあ， Vol. 37(1998)202.
- 2) 真下 茂：応用物理， Vol. 69(6),(2000)671.
- 3) T. Mashimo,; Phys. Rev. A38(1988)4149.
- 4) T. Mashimo,; Philos. Mag. A70(1994)739.
- 5) T. Mashimo, S. Okazaki, and S. Shibazaki: Rev. Sci. Instr. 67(1996)3170.
- 6) T. Mashimo, S. Okazaki, and S. Tashiro,; Jpn. J. Appl. Phys. 36(1997)L498.
- 7) S.J.C. Rushbrook, and L.W. Barr J. Nucl. Materials, 68/78(1978)556.
- 8) L.W. Barr, and F.A. Smith: Phil. Mag. 20 (1969) 1293.
- 9) T.R. Anthony: Act. Met. 18(1970)877.