

4. Bi・Sn・Pb を使った合金の融点に関する研究

静岡市立高等学校 科学探究科
3 年 稲垣伸 油上慧吾 平野秀幸

1 要旨

融点が高い Bi、Sn、Pb を使った合金を作り、融点が変わる傾向を調べる。

2 研究目的

TV 番組でお湯に溶ける金属を見て衝撃を受けた。調べてみるとそれは Bi、Sn、Pb、Cd を使ったウッド合金というものだった。そこで、私たちは低融点合金の融点が変わる仕組みを知りたいと思い、実際に低融点合金を作ってその傾向を調べてみることにした。Cd は人体に対する毒性が高いため実験に用いないこととした。

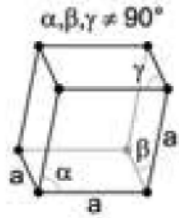
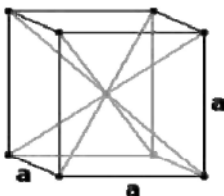
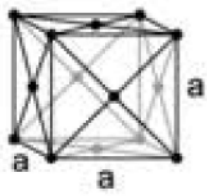
3 合金について

合金とは複数の金属を混ぜたものである。合金には複数の状態があり、固溶体、共晶、金属間化合物といったものがある。ここで、今回の実験に関係する「固溶体」「共晶」の説明をする。

- ・固溶体 二種類の元素が互いに溶け合い、1 つの結晶として成立している。溶媒原子の代わりに溶質原子が置き換わる置換型と、原子半径の小さい元素が金属結晶格子の原子間の隙間に侵入する侵入型がある。原子半径の差が 15% 付近では置換型になり、金属同士の合金の場合は置換型である。
- ・共晶 結晶レベルでは、各元素は独立している。

4 使った金属の紹介

今回の実験では 3 種類の金属を使用した。以下に、それらの基本データを記載した。

	Bi	Sn	Pb
原子半径	143 pm	145 pm	154 pm
原子量	209 g/mol	119 g/mol	207 g/mol
融点	272 °C	232 °C	327 °C
結晶構造	三方晶 	体心立方格子 	面心立方格子 
使用した金属			

5 研究方法

実験で使った合金はすべて以下の手順で作り、融点も以下の方法で作成した。

(1) 合金の作成方法

- ① 電子天秤で金属を量りとり、るつぼに入れる。
- ② ①をガスバーナーで加熱し、融けた金属をガラス棒でかき混ぜる。
- ③ ②を、水が入ったビーカーに入れて水冷し、急速に固める。

(2) 融点の測定方法

融点を測定するにあたり、学校内の設備でいかに正確に測定するかとても苦労した。ホットプレートを使用する方法と油浴を利用する方法を検討したが、どちらも問題点が多く、最終的に、次の「銅板を使った方法」で融点を測定することにした。

- ① 銅板と熱電対温度計をクリップで止める。(図1)
- ② 金網に銅板を乗せ、その間に蒸発皿を置いて加熱する。蒸発皿内部の空気を使って銅板を徐々に暖める。(図2)
- ③ 銅板の上に試料を乗せ、ピンセットでつまんで銅板にこすり、試料が融けて銅板に付着するところを融点とする。(図3)



図 1



図 2



図 3

6 実験 1

表 1 のように様々なモル比の合金を作成し、融点を測定した。

(1) 結果

表 1

Bi	1			1	2	1	1	2	3	1
Sn		1		2	1	1	3	3		
Pb			1						2	2
融点 (℃)	258	222	325	124	136	136	146	130	121	182

Bi	1	2	2					
Sn				1	1	2	3	3
Pb	1	3	1	1	2	1	1	2
融点 (℃)	119	151	158	185	201	176	200	161

(2) 考察 1

表 1 の結果をグラフ 1 に表した。Sn/Pb 合金では 3 : 2、Bi/Sn 合金では 1 : 2、Pb/Bi 合金では 1 : 1 のモル比の合金の融点が最も低くなったことがわかる。この結果から、この割合の時に合金内におけるそれぞれの金属間の結合エネルギーが最も弱くなっていることが予想される。しかし、なぜこれらのモル比で融点が低くなるのか、なぜ合金ごとに異なるモル比で融点が低くなるのか疑問が生じる。

そこで、まず、表 2 にモル比 1 : 1 の合金の融点を示し、原子半径の観点からそれぞれを比較検討することにした。置換型合金をイメージすると、金属の原子半径の差が大きいほど合金の結晶構造が不安定になり、金属間の結合エネルギーが低くなって融点が下がるのではないかと予想できる。なお、表中の「融点降下率」は、合金の融点が、金属単体の融点から何%下がったかを計算した値である。

表 2 より、Pb を含む合金では、原子半径の差が大きいほど Pb の融点降下率が大きいと言える。しかし、Sn を含む合金では、原子半径の差が小さい方が Sn の融点降下率が大きくなっており、原子半径の差が融点降下与える影響は小さいのではないかと考えることにした。

グラフ 1

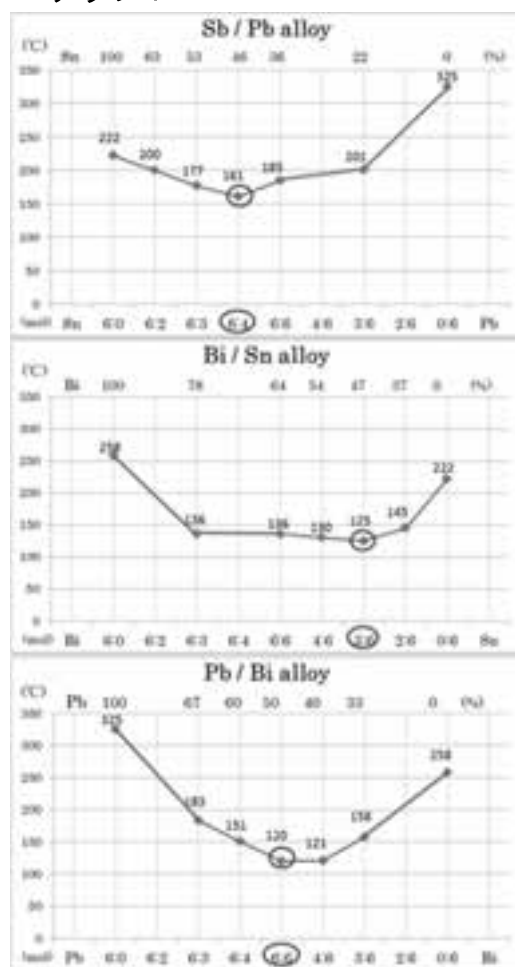


表 2 1 : 1 合金での比較

	Bi / Sn (1:1)		Sn / Pb (1:1)		Bi / Pb (1:1)	
	Bi	Sn	Sn	Pb	Bi	Pb
合金の融点 (°C)	136		185		119	
単体の融点 (°C)	258	222	222	325	258	325
融点降下率	47.3% ↓	38.7% ↓	16.7% ↓	43.1% ↓	53.9% ↓	63.4% ↓
原子半径 (pm)	143	145	145	154	143	154
原子半径の差 (pm)	2		9		11	

ここで、表 2 から、Bi を含む合金の融点降下率が大きいことに気が付いた。Bi/Sn 合金と Sn/Pb 合金を比較すると、Sn の融点降下率は Bi/Sn 合金の方が大きく、同じ傾向が Sn/Pb 合金と Bi/Pb 合金についても見られる。よって、結晶格子の観点から実験結果を考察することにした。Sn は体心立方格子、Pb は面心立方格子、Bi は三方晶である。Sn、Pb は立方体の結晶構造をとるので形が似ており、合金にしても安定した構造が保たれるので融点降下率はあまり大きくならないと考えられる。一方、Bi は三方晶であり立方体の形とはかけ離れている。Bi を含む合金は不安定で融点が低くなりやすいと考えられ、Bi を含む合金の融点降下率が、Sn、Pb との合金の融点降下率よりも大きいことをうまく説明できる。

(3) 考察 2

考察 1 より、二種類の金属から成る合金の融点の降下には結晶構造が関係しているのではないかと推測された。そこで、それぞれの合金において最も融点が低くなったモル比について、同様に比較して表 3、4 にまとめた。

表 3 3 : 2 合金での比較

	Sn / Pb (3:2)		Sn / Bi (3:2)		Pb / Bi (3:2)		Pb / Sn (3:2)	
	Sn	Pb	Sn	Bi			Pb	Sn
合金の融点	161 °C		130 °C		実験データなし		151 °C	
単体の融点	222 °C	325 °C	222 °C	258 °C			325 °C	222 °C
融点降下率	27.5% ↓	50.5% ↓	41.4% ↓	49.6% ↓			53.5%	32.0%
原子半径	145 pm	154 pm	145 pm	143 pm	154 pm	143 pm	154 pm	145 pm
半径の差	9 pm		2 pm		11 pm		9 pm	

表 4 2 : 1 合金での比較

	Sn / Pb (2:1)		Sn / Bi (2:1)		Pb / Bi (2:1)		Pb / Sn (2:1)	
	Sn	Pb	Sn	Bi	Pb	Bi	Pb	Sn
合金の融点	176 °C		124 °C		182 °C		201 °C	
単体の融点	222 °C	325 °C	222 °C	258 °C	325 °C	258 °C	325 °C	222 °C
融点降下率	20.7% ↓	45.8% ↓	44.1% ↓	51.9% ↓	44.0% ↓	29.5% ↓	38.2% ↓	9.5% ↓
原子半径	145 pm	154 pm	145 pm	143 pm	154 pm	143 pm	154 pm	145 pm
半径の差	9 pm		2 pm		11 pm		9 pm	

表 3、4 から、表 1 と同様に Bi を含む合金の融点降下率は Sn、Pb との合金の融点降下率よりも大きいことが分かった。以上から、結晶構造が似ている金属同士の合金の融点は下がりにくく、結晶構造が似ていない金属同士の合金の融点は下がりやすいと言える。

7 実験 2

実験 1 より、Bi の割合が高いと融点降下率が大きくなる傾向が見られたので、金属の種類を 3 種類に増やしても同様の傾向が見られるかどうか実験することにした。3 種類の金属から成る合金を様々なモル比で作成して融点を測定し、表 5 にその結果を示した。

Bi の割合が高い⑧⑨の合金は、他の合金より低い融点を示したと言えるだろう。しかし、同様に Bi の割合が高い①の合金の融点が、単体の融点そのものが低い Sn の割合が高い③の合金の融点よりも低いので、Bi の割合が高いことだけが融点の降下に影響しているとは言い難い。

そこで、Bi の割合が全体の 1/3 である合金①⑤⑥⑧⑨に注目して検討すると、Bi の割合だけでな

表 5

	Bi	Sn	Pb	融点 °C
①	1	1	1	101.7
②	1	2	3	135.5
③	1	3	1	96.9
④	1	3	2	138.6
⑤	2	1	3	146.4
⑥	2	3	1	94.5
⑦	2	3	2	93.9
⑧	3	1	2	95.4
⑨	3	2	1	95.5

く、Sn と Pb の混合比も融点降下に関係しているように見えることに気が付いた。結晶構造の違いが融点降下に影響すると言えるのは2種類の金属から成る合金の時だけなのか、それとも、結晶構造はそもそも融点降下に関係しないのか、あるいは、結晶構造ではなく何らかの他の要因が融点降下に関係していることも考えられる。

2種類の金属から成る合金の融点降下の仕組みについても明らかにすることができなかったことから、3種類の金属から成る合金の融点降下の原因について深く考察することは困難であった。

8 感想

最初は TV 番組で知ったから作ってみたいという単純な動機であり、合金とはただ金属が混ざっているだけという発想しかなかった。しかし実験と勉強を重ねていくうちに、合金の内部に不思議があると感じるようになった。今後は、2種類の金属について融点降下の規則性を見つけない。そして、いずれは3種類の金属についても融点降下の規則性を見出したい。

9 参考文献

世界で一番美しい元素図鑑 (創元社)

ウエスト固体化学入門 (講談社サイエンティフィック)

フォトサイエンス化学図録 (数研出版)

10 謝辞

静岡工業技術研究所 油上保さん、河部昭雄さんにはたくさんのご教示をいただきました。深く感謝申し上げます。