



2020. 7. 30

# 化学の肝

「化学基礎」編 東大の化学①

3章 化学結合 イオン結合性と共有結合性

## 1 イオン結合性と共有結合性

今回は、**イオン結合性と共有結合性**について深掘りします。

しつこいようですが、再度確認します。

物質を化学結合の視点で4つに分類するとしたら、どのように見分ければよいのでしょうか？

忘れた人は「化学の肝3-1『物質の分類』」で復習してください。

「化学の肝3-1『物質の分類』」で述べた見分け方の内容は、できるだけ曖昧さを排除し、わかりやすくするために示したものです。

しかし、実際の結合について学んでみると、皆さんは次のようなことに気がついているかもしれません。

実際の結合は、完全なイオン結合や完全な共有結合ではなく、電気陰性度等の兼ね合いによって、その中間的な結合になっていることが結構ある。（「化学」は、数学のように白黒がハッキリとしているはずだ、と思っている人もいますが、結構ファジーなところがあるのです。私は、それも化学の魅力の一つだと感じています。）

それでは、本題に入ります。

たとえば、イオン結合による物質の例として、NaClとAgClについて、金属元素（Na、Ag）と非金属元素（Cl）の電気陰性度の値を見てみると、次のようになります。

Na	Cl	差	Ag	Cl	差
0.9	3.5	$3.5 - 0.9 = 2.6$	1.9	3.5	$3.5 - 1.9 = 1.6$

ここから何が言えるでしょう。

そうですね。NaClのほうが電気陰性度の差が大きいので、イオン結合性が大きいと言えます。

つまり、

**「電気陰性度の差が大きいほど、イオン結合性が大きい」**ということです。

一口に、イオン結合性と言っても、バリバリイオン結合性！のものとそうでないものがあるということです。そして、それは、「電気陰性度」の値でおおよその判断ができ、一般的には、**「電気陰性度の差が2.0以上の元素の組み合わせの場合、典型的なイオン結晶が生じる」**と考えていいようです。

表 Paulingの電気陰性度（Pauling発表初期のデータ）

	1	2		11	12	13	14	15	16	17	18
1	H 2.1										He —
2	Li 1.0	Be 1.5				B 2.0	C 2.5	N 3.0	O 3.5	F 4.0	Ne —
3	Na 0.9	Mg 1.2				Al 1.5	Si 1.8	P 2.1	S 2.5	Cl 3.0	Ar —
4	K 0.8	Ca 1.0	...	Cu 1.9	Zn 1.6						
5				Ag 1.9							

次に、原子間が共有結合で結びついている分子について考えてみます。下表に極性の大小や電荷の偏りを基準にザックリと物質を並べてみました。

結合を学習してわかるように、一口に共有結合あるいは分子と言っても、分子内に電荷の偏りが生じないH<sub>2</sub>などの無極性分子から水素結合するHFやH<sub>2</sub>O、NH<sub>3</sub>まで、極性の大小や電荷の偏りにはさまざまな状態が

あることがわかります。たとえば、 $\text{H}_2$ と $\text{HCl}$ を比較すると、(分子のなかまの中では) $\text{HCl}$ はよりイオン結合性が大きい分子だと言えます。

	分子のなかま			イオン結晶のなかま	
	無極性分子	極性分子	水素結合する分子	電気陰性度の差が大きいイオン結合	電気陰性度の差が小さいイオン結合
具体例	$\text{H}_2$	$\text{HCl}$	$\text{HF}$	$\text{AgCl}$	$\text{NaCl}$
極性電荷の偏り	無	小	←—————→		大

以上のことをまとめると、今回の結論は次のようになります。

「電気陰性度の差が大きいほど、イオン結合性が大きく、電気陰性度の差が小さいほど、共有結合性が大きい」

## 2 東大化学の問題にチャレンジ

次の問題は、2012年度の東京大学「化学」の第2問のⅡの問題です。高校3年生であれば、習っている内容ばかりなので解けるはずですが、チャレンジしてみてください。習っていない人は、リード文に目を通し、最後のオの問題にチャレンジしてみてください。のちほど、オについてのみ解説します。(ア～エについては、進路指導室の資料やネット等で正答例を調べてみてください。)

I 次の文章を読み、問ア～オに答えよ。必要があれば以下の値を用いよ。なお、文中のエネルギーは、いずれも $25^\circ\text{C}$ 、1気圧( $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ )における値の絶対値とする。

元 素	Na	Cl	Ag	Cs
原子量	23.0	35.5	107.9	132.9

$$\sqrt{2} \cong 1.41, \sqrt{3} \cong 1.73, \text{アボガドロ定数} : 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$$

イオン結晶は、陽イオンと陰イオンのイオン結合によりできている。イオンの半径は、イオン結晶の単位格子の大きさとイオンの充填様式から計算できる。図2-1に代表的なイオン結晶である塩化ナトリウム( $\text{NaCl}$ )、塩化セシウム( $\text{CsCl}$ )の結晶構造を示す。 $\text{NaCl}$ 、 $\text{CsCl}$ の単位格子は立方体であり、その1辺の長さはそれぞれ、 $0.564 \text{ nm}$ 、 $0.402 \text{ nm}$ である。

ある結晶がイオン結晶であることは、結晶の格子エネルギー(イオン結合をすべて切断し、イオンを互いに遠く離して静電的な力を及ぼしあわない状態にするのに必要なエネルギー)の理論値 $U_A$ と、図2-2より熱化学的に求められる実験値 $U_B$ がよく一致することにより示される。図2-2に示す $\text{CsCl}$ の $U_B$ は、 $\text{CsCl}$ (固体)の生成熱( $433 \text{ kJ/mol}$ )、 $\text{Cs}$ (固体)の昇華熱( $79 \text{ kJ/mol}$ )、 $\text{Cs}$ (気体)の第一イオン化エネルギー( $376 \text{ kJ/mol}$ )、 $\text{Cl}_2$ (気体)の結合エネルギー( $242 \text{ kJ/mol}$ )、 $\text{Cl}$ (気体)の電子親和力( $354 \text{ kJ/mol}$ )により、ヘスの法則を用いて熱化学的に求めることができる。

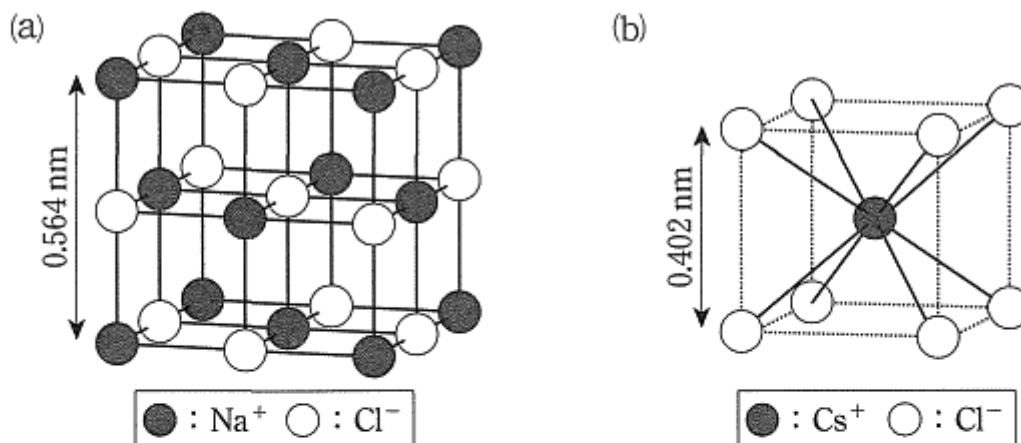


図 2—1 (a) NaCl, (b) CsCl の単位格子

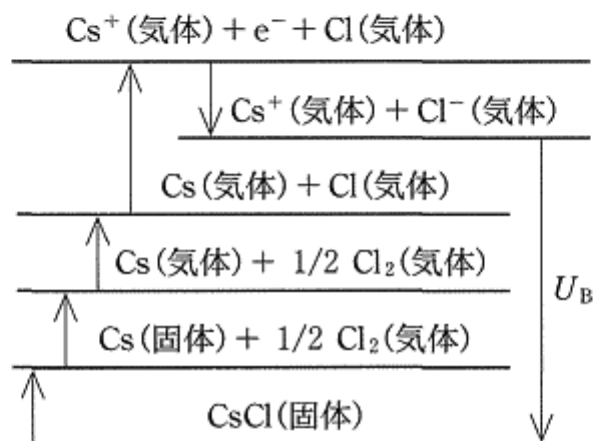


図 2—2 CsCl の格子エネルギーの実験値  $U_B$  を求めるための熱化学的關係

〔問〕

- ア セシウムイオン( $\text{Cs}^+$ )の半径は  $0.181 \text{ nm}$  である。図 2—1 を用いてナトリウムイオン( $\text{Na}^+$ )の半径を計算せよ。ただし、図 2—1 (a), 図 2—1 (b) の塩化物イオン( $\text{Cl}^-$ )の半径の値は同じとする。
- イ 金属ナトリウム( $\text{Na}$ )の密度は  $1.00 \text{ g/cm}^3$  であり、体心立方格子をとる。 $\text{Na}$  の金属結合半径と  $\text{Na}^+$  の半径はどちらが小さいか、計算式を示して答えよ。
- ウ  $\text{Na}$  の金属結合半径と  $\text{Na}^+$  の半径に差が生じる理由を 40 字以内で述べよ。
- エ 図 2—2 に示す  $U_B(\text{kJ/mol})$  を計算せよ。計算の過程も示せ。
- オ イオン結晶のなかでも、周期表の両端の元素からできている  $\text{NaCl}$  や  $\text{CsCl}$  では、 $U_A$  と  $U_B$  の値がよく一致する。一方、塩化銀( $\text{AgCl}$ )では  $U_A$  と比較して  $U_B$  が大きく異なる。この理由を 40 字以内で述べよ。

東京大学の問題はどうか。（今回の問題は、東大化学としては標準レベルの問題です。）

ア～オのうち、ア～エは授業で学んだことを生かせれば解ける問題です。（ア、イ：結晶の構造（イについては数的処理にひと工夫必要です）ウ：電子配置 エ：熱化学）

しかし、オについては「ああ、この問題やったことがある」という人はいないかもしれません。また、「格子エネルギーなんて習ってないから解答できるわけがない」と感じた人がいるかもしれません。（そもそも高校化学のレベルを越えた内容を答えさせる問題が出題されることは原則ありません。）

しかし、「格子エネルギー」について知らなくてもオは解けるんです。

「格子エネルギー」について知らなくてもオが解けるというのは、なぜか？

答えのヒントが問題文にあるからです！

それでは、そのヒントはどこにあるのでしょうか？

ヒントの一つは、リード文にあります。

「ある結晶がイオン結晶であることは、結晶の格子エネルギーの理論値  $U_A$  と熱化学的に求められる実験値  $U_B$  がよく一致することにより示される。」

とあり、さらにオの設問文にもヒントがあります。

「周期表の両端の元素からなる NaCl や CsCl では  $U_A$  と  $U_B$  の値がよく一致する。一方、塩化銀では  $U_A$  と比較して  $U_B$  が大きく異なる。この理由を 40 字以内で述べよ。」

このことを論理的に解釈すると、

「NaCl や CsCl では、 $U_A$  と  $U_B$  の値がよく一致する。このことは、NaCl や CsCl がイオン結晶であることを示している。」（⇒ NaCl や CsCl はイオン結合性が大きい）

「塩化銀では  $U_A$  と  $U_B$  の値が大きく異なる。このことは、AgCl がイオン結晶であることを示しているとは言えない。」（⇒ 塩化銀は、NaCl や CsCl と比べると共有結合性が大きい）

ということになります。

さらに、問題文の

「周期表の両端の元素からなる NaCl や CsCl では」

に着目すると、

周期表の両端の元素（希ガスを除く）⇒ 陽性大の元素と陰性大の元素 = 電気陰性度の差の大きい元素となり、今回学んだ「電気陰性度の差とイオン結合性、共有結合性の関係」に考えが至るはずで。

そこで、以上の内容を 40 字以内で解答としてまとめると、たとえば、次のようになります。

「塩化銀は NaCl よりも構成元素間の電気陰性度の差が小さく、共有結合性が大きいから。」

最後に、次のことについて確認しておきます。

- ・オの問題は、格子エネルギーについて学んでいなくても解答できる。
- ・高校教科書のレベルを越えた内容については、問題文で説明されているので、それをしっかりと読んで理解すればよい。
- ・問われているのは、高校生として理解しておくべき内容である「電気陰性度の差とイオン結合性、共有結合性の強弱の関係」なので、十分解答が可能である。

出題されている文章の内容が高校化学のレベルを越えていても、解答にあたっては、高校化学の内容を身に付けていれば解答できるというのが東京大学の問題です。

以上のことから、少なくとも、2012 年度の東京大学「化学」の第2問のⅡの問題は、高校化学の内容と論理的に思考する力があれば完答できるということです。その際に大切なのは次の点です。

- ① 高校化学の内容がほぼ完璧に身に付いている。
- ② 設問で与えられた文章を読み解く力（読解力）が身に付いている。  
※初見でみる説明を論理的に読み解く力、実験操作による条件の変化を的確に処理する力など
- ③ 計算力を含め、問題を処理するスピードが身に付いている。

以上のことは、ほかの難関大学と呼ばれる大学でも同様ですが、東大理科の場合には、次の点も大切です。

- ④ 途中過程をどの程度記すかなどを含め、論理的な表現力を踏まえた答案の作り方が身に付いている。（解答用紙がレポート用紙のような様式なので。（設問毎の解答欄がない。））

### 3 「大学入学共通テスト」の問題作成の方針について

最後に1点補足しておきます。

大学入試センターが示した理科の「大学入学共通テスト問題作成方針」に、次のような内容があります。

「問題の作成に当たっては、受験者にとって既知ではないものも含めた資料等に示された事物・現象を分析的・総合的に考察する力を問う問題や、観察・実験・調査の結果などを数学的な手法を活用して分析し解釈する力を問う問題などとともに、科学的な事物・現象に係る基本的な概念や原理・法則などの理解を問う問題を含めて検討する。」

下線部に示されているように、実は共通テストでも「受験者にとって既知ではないものも含めた資料等に示された事物・現象を分析的・総合的に考察する力を問う問題」が出題されるということです。

つまり、初めて見る内容の文章を読み解く読解力やそれを総合的に考察する力は共通テストでも必要だということですから、日頃からそのような力を鍛えておくことが皆さんには求められているということになります。