3.4 イオン性化合物

反対電荷のイオン(例えば、 Li^+ と F^- や Al^{3+} と O^{2-})は静電力により互いに引き合い、化合物の大きな部分を占めるイオン性化合物を形成します(Fig. 2.2 及び 3.11 参照)。

Fig. 3.11 Li^+ と F^- より LiF の生成。ここで Li^+ について $n_+ = 1+$ 、 F^- について $n_- = 1-$ ； d は Li^+ および F^- イオンの中心間距離です。

まず化合物が、イオン性かどうか予想の仕方を考えてみましょう。Fig. 3.10 の電荷についての指針を拡張して、次のようなことが言えます：

1. 金属(Fig. 3.10 の青色の元素)は殆ど、常に正電荷のイオンを作り、イオン性化合物を形成します。
2. 非金属(Fig. 3.10 の黄色の元素)は金属と組み合わされた場合のみ、イオン性化合物の1原子負電荷イオンになります。
3. 半金属(Fig. 3.10 の緑色の元素)がイオンを形成する場合、電荷の予測は困難です。
4. 周期表で2つの元素が離れるほど、反応でイオン性化合物を形成しやすくなります。

これらの指針の例として、 Mg^{2+} と Br^- 及び K^+ と S^{2-} はイオン性化合物形成の適切な組み合わせです。一方、非金属塩素は半金属ホウ素と結合しますが、化合物 BCl_3 はイオン性と考えません。

正及び負イオンを組み合わせるとイオン性化合物を形成させると、電気的に中性の物質となります。従って、イオン性化合物の式が予測出来ます。イオンとその電荷がわかると、正電荷の数を負電荷の数に等しくなるように組み合わせます。例えば、アルミニウムが酸素と相互作用し、化合物が出来る場合を取り上げます(Fig. 3.12)。アルミニウムは3A族の金属で3個の電子を失って Al^{3+} カチオンを形成します。

Fig. 3.12 アルミニウムと酸素は白色粉末を生成します、酸化アルミニウム、 Al_2O_3 。空気中でアルミニウム金属を被覆する物質と同じです。酸化物が金属上に透明な、超薄膜で金属を被覆します。金属を腐食から守り、航空機の構造材料、家具、台所用品に利用します。赤い宝石ルビーは一部の Al^{3+} が Cr^{3+} で置換された酸化アルミニウムの一つの形です。ルビーの色は遷移金属イオンによります。

例題 3.4 イオン性化合物

例題 3.5 イオンから生成する化合物の式を書く

問題を解く鍵と考え方

3.1 イオン及びイオン性化合物の式

例題 3.5 イオン性化合物

イオン性結晶格子

イオン性化合物は普通、固体で、塩化ナトリウムのように拡がった三次元の網目状に、イオンが配列しています(Fig. 3.13)。この正、負イオンの規則正しい配列を**結晶格子(crystal lattice)**と名づけます。

Fig. 3.13 の結晶格子を良くみると、各ナトリウムイオンは6個の塩素イオンに囲まれ、各塩素イオンは6個のナトリウムイオンに囲まれています。水素の試料に H_2 分子が、水の試料に H_2O 分子があると云う意味では、明確な NaCl 分子は存在しません。分子は含まないが、イオン性化合物は構成イオンの比は決まっており、式で表されます。例えば、 NaCl はFig. 3.13の格子のナトリウムイオンと塩素イオンの最も単純な比を示しており、1:1です。1個の Na^+ イオンと1個の Cl^- イオンの組み合わせが塩化ナトリウムの**化学式単位(formula unit)**となります。

Fig. 3.13 塩化ナトリウムの結晶の模型。イオン間の線は化学結合を意味せず、単に空間での Na^+ と Cl^- の関係を示す線です。

イオン性化合物の性質

イオンで出来ている化合物は、結晶格子のイオンの電荷やその配置により理解される特性を持っています。各イオンが多く反対符号の最近接イオンに囲まれ、各イオンがその割り当てられた位置にきちんと置かれています。室温では、各イオンはその平均位置の周りで僅かに振動しています。イオンをもっと速く動か

し、その近傍のイオンによる束縛から逃れるためには大きなエネルギーが要ります。従って、イオン性化合物は室温では固体で、融かすにはかなりの高温が必要です。その上、融点はイオン上の電荷と相関があります。例えば、+1 と -1 イオンからなる NaCl は 801°C で融けます；3+ と 2- の Al_2O_3 はもっと高い温度、2072°C で融けます。(Closer Look: イオン性化合物とクーロン則を参照。)融点の高いことは役に立つ性質です。例えば、 Al_2O_3 は高温に耐える耐火煉瓦、セラミック等の材料として用いられています。他のイオン性酸化物、酸化ジルコニウム(ZrO_2)との組み合わせで、酸化アルミニウムは 1400°C までの温度に耐える非常に細い繊維として用いられ、そして熔融金属に添加され、金属の強度を向上させます。

イオン性固体ではイオンが固定された位置にあります。固体が融けるとイオンは動き出します。イオン性固体は普通、電気を通しませんが、熔融イオン性化合物は電気を通します。これは電流が電荷粒子のある場所から他への移動であることによります。金属線では荷電粒子が電子で、イオン性液体ではそれらがイオンです；しかし効果は同じです。Fig. 3.14 は熔融イオン性化合物に電極(electrode)と呼ばれる 2 つの電気伝導体を入れた効果を示しています。電球が明るくなるのは熔融物質中のイオンの移動によって電気回路が成立するからです。

Fig. 3.14 熔融塩の電導性。イオン性化合物が固体の時、電気を通しません。(a) 塩が融解すると、イオンは自由に動いて熔融塩に浸かった電極に移動します。(b) 電球の点灯は電気回路の成立を示します。

多くのイオン性固体は水に溶けます。日常、飲む水や世界の大洋は、低濃度ですが多くのイオン性物質を含んでおり、それらは我々を取り巻く環境の固体物質から溶けだしたものです(Tab. 3.3)。カルシウムイオンのような、ある種のものには必須の栄養素です。大洋は水に溶解する NaCl のような物質をもっと高濃度で含みます。

イオン性物質を溶かすということは、各イオンが結晶格子中でそれを取り囲んでいる反対電荷のイオンから離れることを意味し、これにはエネルギーを必要とします。しかし、水は特にイオン性物質を溶かし易く、それは水そのものが正電荷の部分と負電荷の部分を持つからです。従って、水分子はその負電荷部分に正イオンを引きつけ、正電荷部分に負イオンを引きつけます。イオン性化合物が溶解すると、各負イオンに対して水分子はその正電荷部分に向けて取り囲み、そして各正イオンは水分子の負電荷部分によって取り囲まれます(Fig. 3.15)。

Fig. 3.15 NaCl の水への溶解過程の模型。結晶は水溶液中で解離して、 Na^+ と Cl^- を生成します。水分子を纏ったこれらのイオンは自由に移動します。このような溶液は電導性で、溶けた物質を電解質と呼びます。

溶解したイオン性化合物から出来た水に包まれたイオンは、溶液中を自由に動き回ります。通常、イオンの運動は無秩序で、溶解したイオン性物質のカチオンとアニオンは、溶液中で均一に分布しています。もし二つの電極を溶液に入れて、バッテリーに繋ぐと、カチオンは溶液の中を負電極に向かって動き、アニオンは正電極に向かって動きます。もし電球を Fig. 4.14 のように回路に挿入すると、電球は光り、その回路が成立していることを示します。その水溶液が電気を通すような化合物を電解質(electrolyte)といいます。水に可溶性イオン性物質の全ては、良い電解質です。

イオン性物質では各イオンは、それ自身特有の性質を持ち、元の原子の性質とは異なります。例えば、ナトリウムイオン Na^+ はナトリウム原子 Na とは異なる性質を持ち、塩素イオン Cl^- は塩素原子 Cl 又は塩素分子 Cl_2 のどちらとも非常に違っています。人は毎日、食塩のナトリウムイオンと塩素イオンを食べます。しかし、決してナトリウムを食べたいとは思わないでしょう。ナトリウムは口の中で唾液と激しく反応する金属です。また、塩素(Cl_2)も食べないでしょう。塩素は黄緑色の気体で公共水道の殺菌剤として用いられています。このイオンと原子や分子との違いは必然的な結果で、化合物はその元になる元素の性質とは非常に異なった性質を持っています。次の章でイオンの化学反応、特に溶液中でのイオンの反応を明らかにします。

練習問題 3.6 化学式