高校化学 L01 第 25 講 水素結合と特殊な性質

この講でできるようになること

- 水素結合を、分子間にはたらく引力として説明できる。
- 水や HF で水素結合が生じる理由を、部分電荷と非共有電子対から説明できる。
- 水素結合と沸点の関係を説明できる。
- 氷が液体の水より密度が小さい理由を、水分子の配置から説明できる。

水素結合とは何か

強く偏った結合をもつ分子どうしの引力

第 24 講では、共有結合で電子の分布が偏ると、原子に δ^+・δ^-の部分電荷が生じることを学んだ。
本講で扱う代表的な水素結合では、F、O、N に直接共有結合した H が δ^+側となり、近くの分子にある F、O、N の非共有電子対をもつ部分との間に引力がはたらく。

水素結合

F、O、N に直接共有結合した H の δ^+側と、近くの分子の F、O、N の非共有電子対をもつ部分との間にはたらく、比較的強い分子間の引力を**水素結合**という。

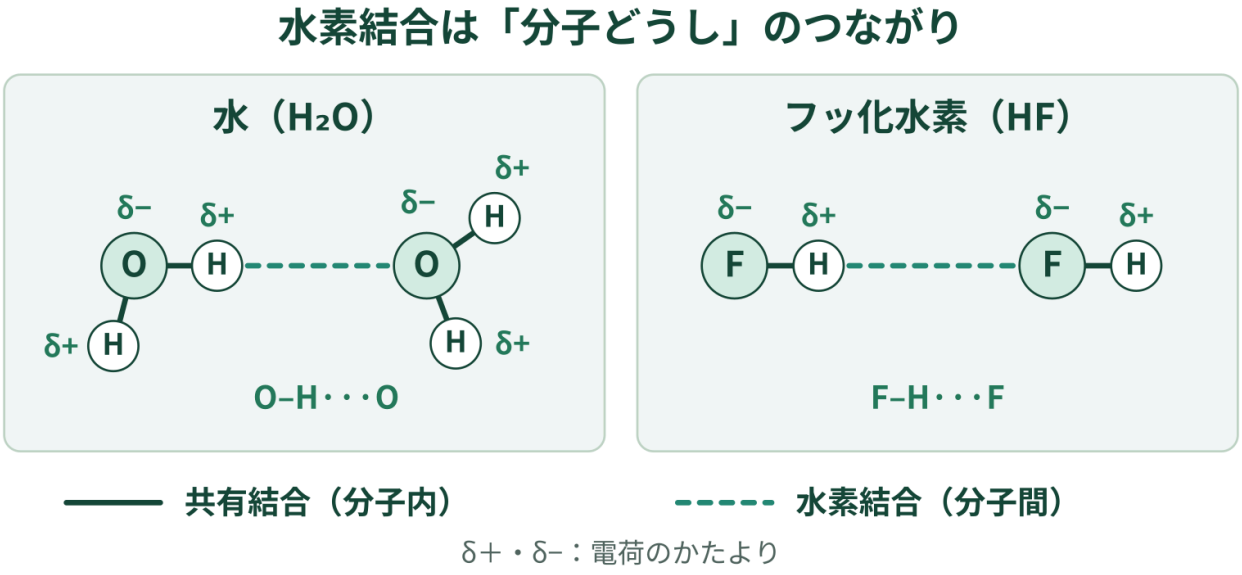

図 1　水とフッ化水素の分子間の水素結合（模式図）

実線と点線を区別する

水では、分子内の O-H が共有結合であり、別々の水分子の間には O-H···O の関係で水素結合が生じる。
HF でも、分子内の F-H は共有結合であり、別々の HF 分子の間には F-H···F の関係で水素結合が生じる。
図の実線は分子内の共有結合、点線は分子間の水素結合を表す。
水素結合は分子間力の一種であり、通常、これらの分子内共有結合より弱い。

©ミライコーチング

H を含むだけでは水素結合とは限らない

本講で扱う代表例では、H_2O、HF、NH_3は分子間で水素結合を形成する。
一方、CH_4や HCl は H を含むが、本講で扱う代表的な水素結合を形成しない。
H を含むことだけで、水素結合の有無を決めることはできない。

水素結合と沸点

分子を離すためにより多くのエネルギーが必要になる

液体が沸騰するときには、分子どうしを引き離して気相へ移す必要がある。
水素結合がある物質では、分子どうしを引き離すときに水素結合にも逆らう必要がある。そのため、比較する条件がそろっていれば、沸点が高くなる要因となる。
同じ圧力で比べると、H_2Oや HF は、水素結合を形成しない同族の水素化物から予想される傾向より高い沸点を示す代表例である。

水や HF にも分散力ははたらく

H_2Oや HF では水素結合が重要だが、分散力がなくなるわけではない。
これらの分子にも分散力ははたらき、そのうえで水素結合という分子間の引力も加わっている。

氷では水分子がすき間の多い構造をつくる

氷と液体の水では配置が異なる

通常の圧力では、氷の中の水分子は水素結合によって、すき間の多い立体的な構造をつくっている。
氷が融けると、この規則的で開いた構造の一部がくずれ、水分子がより詰まって配置されるようになる。

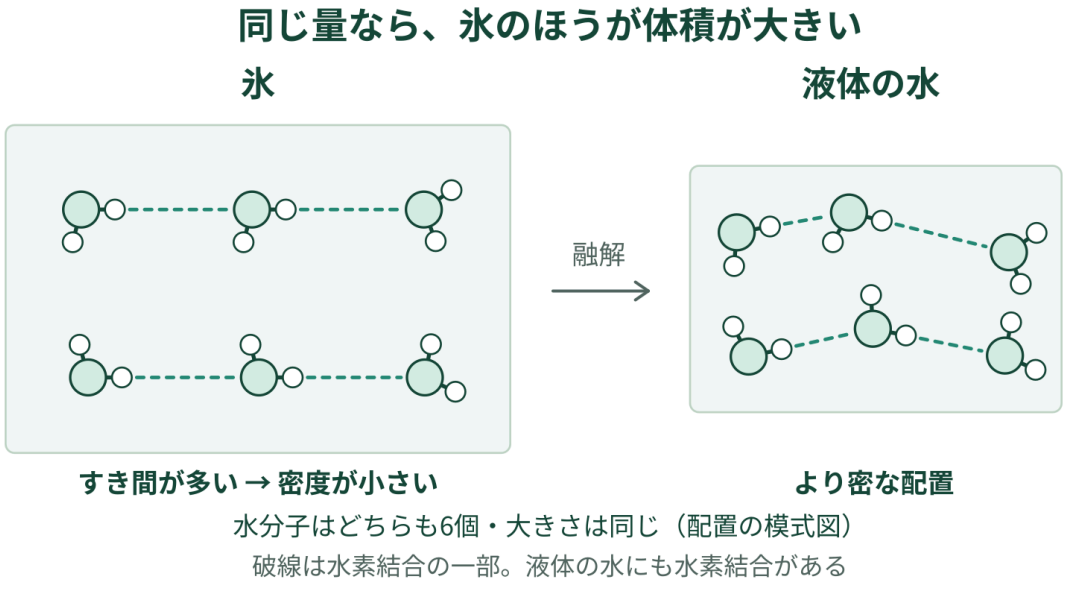

図 2　氷と液体の水の配置の模式比較

氷の方が密度が小さい

約 1 気圧で融解付近の氷と水を比べる。
同じ質量なら、氷ではすき間の多い構造をとるため、液体の水より体積が大きい。
密度は

$$\text{密度} = \frac{\text{質量}}{\text{体積}}$$

であるから、同じ質量で体積が大きい氷の方が密度は小さい。
そのため、氷は液体の水に浮く。
融解によって水分子そのものが小さくなったり、水分子の数が減ったりするわけではない。

液体の水にも水素結合は残る

融解しても水素結合がすべてなくなるわけではない

氷では、水分子が水素結合によって比較的規則正しく配置されている。
融解すると、その規則的な構造の一部がくずれて水分子が動きやすくなるが、液体の水でも水素結合は存在する。
液体中では、水分子が動く中で水素結合が切れたり、新たにできたりしている。

状態変化と分子間力

分子間の結び付きが変化しても水分子は保たれる

純水を約 1 気圧で加熱する場面を考える。



図 3　融ける氷（左）と沸騰する水（右）のイメージ

氷が融けると、水分子の規則的な配置が変化する。
水が沸騰すると、水分子どうしの引力に逆らってH_2O分子が気相へ離れていく。
どちらの場合も、分子内の O-H 共有結合を切ってH_2やO_2をつくる化学分解ではない。

例題

例題 1

水分子どうしの模式図で、分子内の O-H を実線、ある水分子の $H\delta^+$側と別の水分子の O 側との間を点線で表している。

1. 実線と点線は、それぞれ何を表すか答えよ。
2. 水が沸騰するとき、水分子そのものが保たれる理由を、分子内結合と分子間力を区別して説明せよ。

©ミライコーチング

解答・解説

1.
実線は、水分子内の **O-H 共有結合**を表す。
点線は、別々の水分子の間にはたらく**水素結合**を表す。
2.
水が沸騰するときには、主に水分子どうしの水素結合などの分子間力に逆らって、H_2O分子が互いに離れる。
分子内の O-H 共有結合を切断する変化ではないため、水分子そのものはH_2Oのままである。

例題 2

約 1 気圧で融解付近にある同じ質量の氷と液体の水を比べる。
1. 氷と液体の水では、どちらの体積が大きく、どちらの密度が小さいか答えよ。
2. 氷が水に浮く理由を、水素結合による水分子の配置と関連付けて説明せよ。

解答・解説

1.
同じ質量では、**氷の方が体積が大きく、密度が小さい**。
2.
氷では、水素結合によって水分子がすき間の多い立体的な構造をつくる。
一方、融解するとその開いた構造の一部がくずれ、水分子がより詰まって配置される。
そのため、同じ質量なら氷の方が体積が大きく、密度が小さいので、水に浮く。

演習問題

演習 1

次の分子について考える。
- H_2O
- HF
- NH_3
- CH_4

本講では、F、O、N に直接共有結合した H の δ^+側と、近くの分子の F、O、N の非共有電子対をもつ部分との間に生じる代表的な分子間水素結合を扱う。
1. この条件で、分子間に水素結合を形成する代表例をすべて選べ。
2. H を含むだけでは水素結合を形成すると判断できない理由を説明せよ。

演習 2

HF と HCl の沸点を同じ圧力で測定すると、HF の方が高いという結果が得られた。HF では分子間に水素結合が形成され、HCl では本講で扱う代表的な水素結合は形成されないものとする。
1. HF の沸点が高い主な理由を、分子間力から説明せよ。
2. HF 分子内の F-H と、別々の HF 分子間の F-H⋯F は、それぞれ何を表すか答えよ。

©ミライコーチング

演習 3

約 1 気圧で融解付近にある氷が融けると、同じ質量で体積が小さくなる。
1. この体積変化を、氷と液体の水における水分子の配置から説明せよ。
2.「氷が融けると水分子そのものが小さくなるので体積が減る」という説明が正しいか答えよ。

演習 4

氷と液体の水について答えよ。
1. 液体の水にも水素結合は存在するか答えよ。
2. 氷と液体の水では、水分子の配置や動きにどのような違いがあるか説明せよ。

演習 5

水の状態変化と分子間力について答えよ。
1.「水が沸騰すると、O-H 共有結合が切れてH_2とO_2になる」という説明が正しいか答え、沸騰で何が起こるか説明せよ。
2. 水素結合を形成するH_2O分子にも分散力がはたらくか答えよ。

演習問題の解答・解説

解答 1

1.

分子間に水素結合を形成する代表例は、
- H_2O
- HF
- NH_3

である。
CH_4は、本講で扱う代表的な分子間水素結合を形成しない。

2.

本講で扱う代表的な水素結合では、H が F、O、N に直接共有結合していることが重要だからである。
単に分子中に H が含まれているだけでは、この条件を満たすとは限らない。

解答 2

1.

HF では分子間に水素結合が形成されるため、HCl より分子どうしを引き離すために大きなエネルギーが必要になる。
そのため、同じ圧力で比較すると HF の方が高い沸点を示す主な要因となる。

2.

HF 分子内の F-H は**共有結合**である。
別々の HF 分子の間の F-H···F は、分子間にはたらく**水素結合**を表す。

©ミライコーチング

解答 3

1.

氷では、水素結合によって水分子がすき間の多い規則的な構造をつくっている。
融解すると、この開いた構造の一部がくずれ、水分子がより詰まって配置される。
そのため、同じ質量でも体積が小さくなる。

2.

正しくない。
融解によって変化するのは主に水分子どうしの配置であり、水分子そのものの大きさが小さくなるわけではない。

解答 4

1.

存在する。
液体の水でも水分子どうしの間に水素結合が形成される。

2.

氷では、水分子が水素結合によって比較的規則正しく、すき間の多い構造をつくっている。
液体の水では、その規則的な構造の一部がくずれて水分子が動きやすくなっている。
液体中でも水素結合は存在し、水分子の運動に伴って切れたり新たにできたりしている。

解答 5

1.

正しくない。
水の沸騰では、分子内の O-H 共有結合を切ってH_2やO_2をつくるのではない。
水素結合などの分子間力に逆らって、H_2O分子どうしが離れ、液相から気相へ移る。

2.

はたらく。
分散力は無極性分子だけでなく極性分子にもはたらくため、水素結合を形成するH_2O分子にも分散力ははたらく。