

# 高等学校 理科（化学基礎）学習指導案

指導者 内海 良一

日時	2018年12月3日（月） 第6限（14：20～15：10）
場所	第2化学教室
学年・組	高等学校第1学年4組（男子22名，女子19名）
単元	酸と塩基
目標	1. 酸・塩基の定義を理解する。 2. 酸・塩基の強弱と電離度との関係を理解する。 3. pHについて，水の電離やイオン積と関連づけて理解する。 4. 中和反応の定義と，中和反応における量的関係を理解する。 5. pHの測定と中和滴定に関する実験技能を習得する。 6. 塩の水溶液の液性について，加水分解反応を用いて科学的に説明できる。

## 指導計画（全14時間）

第一次	酸と塩基の定義	1時間
第二次	酸と塩基の強弱	1時間
第三次	水の電離と水素イオン濃度	3時間
第四次	中和と塩	1時間
第五次	中和滴定	4時間
第六次	塩の水溶液の性質	3時間（本時はその1時間目）
第七次	リフレクション	1時間

## 授業について

「化学基礎」ではこれまでに、「物質の分離・精製」，「原子の構造と元素の周期表」，「物質と化学結合」，「物質と化学反応式」について学んできた。

「酸と塩基」の単元では，ブレンステッド・ローリーの定義（以下ブレンステッドの定義）や，水のイオン積，中和滴定，塩の加水分解など多くの知識・概念を学んでいく。その中でも塩の水溶液の液性が加水分解反応に起因することは学習者にとって特に難解である。教科書には，塩の水溶液の液性に関しては「強い方の性質が出る。例外は $\text{NaHSO}_4$ 。理由は次の電離により水素イオンが生じるため $\text{NaHSO}_4 \rightarrow \text{Na}^+ + \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ 。」等の記述が見られる。これは塩の水溶液の液性について，実験結果を基に規則性を見いださせる指導方法である。しかし加水分解反応を基に，液性を説明するための「本質的な問い」とはならない。緩衝作用など重要な化学的現象を考察する際に必要な化学平衡の概念へ転移できず，「永続的理解」にはあたらない。

今回取り扱うリン酸二水素イオンやリン酸水素イオンは血液にも存在し，炭酸水素イオンとともに，血液のpHの恒常性にも関係している。本時はアレニウスの定義に基づく電離式から，ブレンステッドの定義に基づく電離式に改め，一定のルールを定めて，加水分解反応について考察する機会を設けることとした。

## 本時の目標

1. pHメーターを用いて，塩の水溶液のpHを測定できる。
2. 塩の水溶液の液性をイオン反応式を用いて説明できる。

本時の評価規準（観点／方法）

1. pH メーターを適切に取り扱うことができる。  
(行動観察, ワークシートの記述)
2. 塩の水溶液の液性がイオン反応式を用いて説明できる。  
(思考・判断・表現／ワークシートの記述)

本時の学習指導過程

指導過程	学習活動	指導上の留意点・評価
導入 (5分)	リン酸やリン酸塩が日常生活で用いられている例を示す。食品加工や恒常性にも関係している。	
展開1 (10分) 課題の提示	本時の課題の提示 リン酸, およびリン酸塩の水溶液の液性をイオン反応式を用いて説明する。 リン酸は三価の酸であり, 水酸化ナトリウムとは3段階に反応する。 $H_3PO_4 + NaOH \rightarrow NaH_2PO_4 + H_2O$ $NaH_2PO_4 + NaOH \rightarrow Na_2HPO_4 + H_2O$ $Na_2HPO_4 + NaOH \rightarrow Na_3PO_4 + H_2O$ リン酸とその塩の水溶液の液性を予想してみよう。	リン酸の三段階の中和の式が書ける。【知識・理解】
予想	期待される予想 $H_3PO_4$ , $NaH_2PO_4$ , $Na_2HPO_4$ 酸性 $Na_3PO_4$ 中性	
生徒実験 (15分)	溶液の液性を調べてみよう。 1 pH メーターの校正 2 pH 測定 ( $H_3PO_4$ , $NaH_2PO_4$ , $Na_2HPO_4$ , $Na_3PO_4$ ) 3 水溶液回収, 片付け	pH メーターが適切に使用できる。【実験技能】
期待される結果	$H_3PO_4$ pH 1.6 酸性 $NaH_2PO_4$ pH 4.7 弱酸性 $Na_2HPO_4$ pH 9.7 弱塩基性 $Na_3PO_4$ pH 12 塩基性	
展開2 (15分) 協働的な学び	リン酸水溶液, リン酸塩の水溶液の液性が測定した結果になることについて, イオン反応式を用いて説明する。 説明のルール 1 塩は電離してナトリウムイオンと対の陰イオンに完全に電離する。 2 イオン反応式に用いることができるのは, $H_3PO_4$ , $H_2PO_4^-$ , $HPO_4^{2-}$ , $PO_4^{3-}$ , $H_2O$ である。	○リン酸のブレンステッドの定義に基づく電離式を書く。【知識・理解】 ○ホワイトボードを用いて, 説明する。【思考・判断・表現】
終結 (5分)	塩の加水分解: イオンが水と反応し, 他のイオンや分子を生じる反応	
備考	教科書: 高等学校化学基礎 (第一学習社), 協調学習テキスト「5 酸と塩基の反応」 準備物: ワークシート「リン酸塩の水溶液」 リン酸, リン酸塩の水溶液, pH メーター等	

## 【実験】リン酸塩の水溶液の性質

**目的** リン酸とその塩の水溶液の pH を測定し、それらの液性について考察する。

**原理** リン酸は 3 価の酸であり、3 段階に電離する。また、水酸化ナトリウムとは 3 段階に反応し、2 種類の酸性塩と 1 種類の正塩を生じる。

リン酸の電離	水酸化ナトリウムとの反応
$\text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
$\text{H}_2\text{PO}_4^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
$\text{HPO}_4^{2-} \rightarrow \text{H}^+ + \text{PO}_4^{3-}$	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

$\text{NaH}_2\text{PO}_4$  (リン酸二水素ナトリウム),  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (リン酸水素二ナトリウム)

$\text{Na}_3\text{PO}_4$  (リン酸三ナトリウム)

**準備 器具** pH メーター ビーカー (500mL) 洗ビン キムワイプ  
**薬品等**  $\text{H}_3\text{PO}_4$  水溶液 (0.1mol/L)  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  水溶液 (0.1mol/L)  
 $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (0.1mol/L)  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  (0.1mol/L)

### 注意事項

- 1 廃液は定められた容器に捨てること。
- 2 pH メーターの電極は破損しやすいため慎重に扱うこと。
- 3 電極を校正用の緩衝液に浸けた後は、電極の先を蒸留水でよく洗浄すること。  
(洗浄が不十分だと緩衝液が混ざってしまい、使えなくなる。)
- 4 安全めがねを着用すること。

### 方法

- 1 pH メーターの電源を入れ 5 分間待つ。
- 2 pH メーターを校正する。(pH 7.0, pH 4.0 の 2 点校)。緩衝液が付着した部分は、次の緩衝液に浸ける前に十分洗浄すること。
- 3  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , の 0.1mol/L の水溶液の液性について、予想して、結果の表に記入。

### 予想と結果

	$\text{H}_3\text{PO}_4$	$\text{NaH}_2\text{PO}_4$	$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	$\text{Na}_3\text{PO}_4$
予想	酸性・中性・塩基性	酸性・中性・塩基性	酸性・中性・塩基性	酸性・中性・塩基性
pH (測定結果)				

**自己評価** pH メーターを適切に使うことができた。

( とてもそう思う      そう思う      そうは思わない      全くちがう )

## 考察

1 ブレンステッドの定義に基づいて、リン酸の3段階の電離式を示せ。

2 4種類の水溶液の液性を下のルールに基づいて説明せよ。

(1) すべてのナトリウム塩はナトリウムイオン  $\text{Na}^+$  と、対となる陰イオン ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  など) に完全に電離する。

(2) イオン反応式に用いることができるのは  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  である。

3 pH より  $\text{H}_3\text{PO}_4$  の電離度を求めよ。また、リン酸水溶液をモデルで示せ。同様に  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  水溶液,  $\text{HPO}_4^{2-}$  水溶液,  $\text{PO}_4^{3-}$  水溶液の解離度 (電離度と同様に反応が進行した割合を示す。) を求め、いずれか1種類の溶液をモデルで示せ。ただし、pH は小数第1位を四捨五入し、整数値とせよ。

年 組 番 名前	班番号
実験日時 年 月 日 曜日 限	気 温            °C    気圧 hPa
共同研究者	

## 実践上の留意点

### 1. 授業説明

新学習指導要領では、「主体的な学び」、「対話的な学び」、「深い学び」の三つの観点から学習過程を質的に改善していくことが求められている。また、日常生活との関連も重視され、日常生活における科学的に探究する場面において、科学的な見方・考え方をはたらかせることによって「深い学び」につなげる実践も求められている。

素材として用いたリン酸水素二ナトリウムや、リン酸二水素ナトリウムなどのリン酸塩は、生体内では炭酸水素塩とともに、恒常性の維持に寄与している。また、pH 調整剤などの食品添加物として用いられるなど、日常生活との関連は深い。これらの物質との関わりを大切にしながら、化学の体系を学ぶとともに、目の前の現象を科学的に説明するための機会としたい。具体的には、塩の水液性の性質は、水と塩から生じるイオンとの相対的な酸・塩基の強さにより決まることを考えさせたい。

実際の授業では pH メーターの校正に時間が掛かり、考察するための時間が十分確保できず、塩の水溶液の液性について説明することができなかった。そのため、一通りの単元の学習を終えて、リフレクションの時間に改めて考察する時間を設けることにした。リフレクションの問いは次の通りである。

- 3 種類の水溶液 ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) の液性を下のルールに基づいて説明せよ。
- 1 塩は電離してナトリウムイオンと対の陰イオンに完全に電離する。
  - 2 イオン反応式に用いることができるのは  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  である。

上記の問いに対する生徒の解答は 3 種類に分かれた。10 ある班の内、3 つの班が**解答 1** (授業者が意図した正解) であった。また、2 つの班が**解答 2** で、**解答 1** とほぼ同じであるが、「 $\rightleftharpoons$ 」が書けていない。残りの 5 つの班が**解答 3** であった。**解答 3** はルールに適合しておらず、加水分解を説明するためのイオン反応式としては適切ではない。

解答 1	(1) $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \rightarrow \text{Na}^+ + \text{H}_2\text{PO}_4^-$ $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$ (2) $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$ $\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{OH}^-$ (3) $\text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow 3\text{Na}^+ + \text{PO}_4^{3-}$ $\text{PO}_4^{3-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HPO}_4^{2-} + \text{OH}^-$
解答 2	(1) $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \rightarrow \text{Na}^+ + \text{H}_2\text{PO}_4^-$ $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$ (2) $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$ $\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{OH}^-$ (3) $\text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow 3\text{Na}^+ + \text{PO}_4^{3-}$ $\text{PO}_4^{3-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HPO}_4^{2-} + \text{OH}^-$
解答 3	(1) $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$ (2) $\text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{OH}^-$ (3) $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{Na}^+ + \text{HPO}_4^{2-} + \text{OH}^-$

これまで、加水分解について、酢酸ナトリウムの水溶液が塩基性を示す理由を次に示す 2 段階のイオン反応式で指導してきた。



しかし、いくら指導しても次のように記述する生徒が少なからずいる。



まさに、**解答 3** と **解答 4** は同じで、加水分解と電離の区別がついていないと思われる。この原因は、第 1 学年では化学平衡を正式には取り扱わないため、平衡状態にある反応系がイメージでき

ず、電離と同様に一方向の矢印しか書くことができない点にあると思われる。「加水分解のときに  $\rightleftharpoons$  を用いる意味はよく分からないが、とりあえず今はオキソニウムイオンや水酸化物イオンが出るように反応式をつくっておけば良い」と考えているようである。

「弱酸から生じる陰イオンに対して水はブレンステッドの酸としてはたらき、その結果水酸化物イオンが生じるため塩の水溶液は塩基性となる」という考え方は、化学平衡の概念が活用できるようになって初めて受け入れることができるようになると思われる。第3学年になって、電離平衡を学んだ段階で、改めて塩の加水分解について考察する機会を設けたいと思う。

## 2. 研究協議より

- ・pHメーターを使用するのは二度目であるが、pHメーターの校正にかなりの時間を要した。なぜ校正が必要なのかについて、十分な理解が得られていないのだと思われる。
- ・時間配分を工夫して意見交換や議論のための時間を確保する必要がある。
- ・pHの測定結果に多少のばらつきが見られた。校正に問題があるのかどうか分からないが、データのばらつきに対して、授業者として何らかの見解を示す必要がある。
- ・授業の雰囲気、生徒の反応は良い。楽しそうに実験し、議論していた。
- ・議論の中で、加水分解に気付く生徒もいた。積極的に教科書や資料集を活用するように働きかけてはどうだろうか。