

反応速度・化学平衡の指導方法の研究

- 塩化コバルト()を用いた実験と平衡のモデルによる実感を持った理解を目指して -

〇〇〇立〇〇〇〇高等学校 〇〇 〇〇 (化学)

1 はじめに

自然界で見られる状態変化，溶解，浸透圧などの現象は，平衡の概念を使って説明することができる。また，化学 で学習した酸・塩基，酸化・還元，沈殿等の化学反応も，化学 で化学平衡の考え方を学ぶことにより，より深く理解することができるようになる。

平衡状態とは，微視的には正反応と逆反応が絶え間なく続いているにもかかわらず，反応系全体で正反応の速さと逆反応の速さが等しくなっているため，変化が「認識できない」状態である。従って，平衡状態を実感をもって理解させるためには，まずこの「認識できない」状態を認識させることが大切である。

塩化コバルト() (図1)は，塩化コバルト紙やシリカゲルなどに水分の指示薬として添加される物質で，次の点で反応速度・化学平衡の優れた教材として活用できる。

- ・ 塩化コバルト()が触媒として働く反応の活性錯体は特有の色を持つため，触媒自体の変化を見ることができる。
- ・ 結晶および水溶液で，さまざまな可逆的な変化が観察できる。温度の違いで可逆的に色が変わるサーモクロミズム(図2)や，溶媒の違いで色が変わるソルバトクロミズム(図3)は，美しい色の変化を伴う現象で，実験・観察に適している。

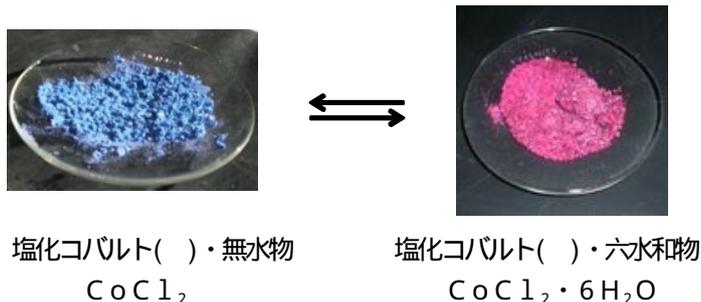


図1 塩化コバルト()

そこで，塩化コバルト()を使った実験と，単純化した平衡モデルを用いて，化学 の授業の中で，平衡という生徒にとって高校で初めて学ぶ概念を，実感を持って理解させるための教材と方法について研究した。

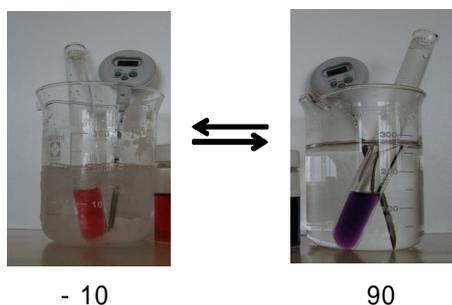


図2 塩化コバルト()水溶液のサーモクロミズム



図3 塩化コバルト()のソルバトクロミズム

2 研究方法

反応速度・化学平衡を，生徒に実感を持って理解させるためのポイントとして，次の(1)～(6)が上げられる。

- (1) 触媒とは何か，どのような仕組みで反応速度を変えるのかを理解する。
- (2) 濃度・温度と反応速度の関係を理解する。
- (3) 正方向にも逆方向にも変化がおこる反応があることを理解する。
- (4) 閉鎖された系では，可逆反応は平衡状態に達することを理解する。
- (5) 平衡移動の原理を理解する。
- (6) 質量作用の法則が意味する，平衡時の反応物と生成物の濃度のつり合いを理解する。

以上の点について，

- ・ 高校化学 の内容やレベルに準じた教材構成を基本にするが，課題研究や発展的な学習の題材としての利用も考える。
 - ・ 生徒実験，演示実験，モデル，映像など様々な方法により，原理・現象をより実感を持ち理解できる教材を考える。
 - ・ 数式や，法則に当てはめることだけで理解させようとするのではなく，日常的な感覚で理解できる教材を考える。
- という視点で研究を進めた。

3 研究内容

- (1) 塩化コバルト()を用いた「触媒とは何か，どのような仕組みで反応速度を変えるのかを理解する」授業の実践

触媒とは「それ自体が変化することなく化学反応の速度を変える物質」と定義される。しかし，触媒自体にまったく変化が起こっていないわけではない。触媒とは「反応物と相互作用して，触媒がない場合よりもより進みやすい別の反応経路を作って反応を進める物質」である。反応後元の物質に戻り，繰り返し触媒作用を示すことができるため，触媒自体は変化していないかのように見える。

触媒が働く機構はさまざまであり，分かっていないことが多いが，現代の化学工業を触媒なしに語ることはできないことから，授業では積極的に触媒の面白さやその有用性を生徒に伝えたいと考えた。

ここでは，塩化コバルト()触媒が反応中間体に変化すると色が変わることを利用して，触媒が働くとき触媒は反応中間体を作る，つまり反応物と相互作用することを実感させた。

ア 用具・教材

2 mol/L 過酸化水素水 0.21 mol/L 酒石酸ナトリウムカリウム水溶液
塩化コバルト()・六水和物 温度計

イ 実験方法

酒石酸ナトリウムカリウム水溶液を 90 に温める。

酒石酸ナトリウムカリウム水溶液を 100mL ビーカーに 20mL 取り，過酸化水素水を 8 mL 加える。(触媒なしでは反応は起こらない。)

酒石酸ナトリウムカリウム水溶液を，別の 100mL ビーカーに 20mL 取る。塩化コバルト()・六水和物結晶を葉さじで少量入れると，ピンク色になる。(触媒溶液の色)のビーカーに過酸化水素水を 8 mL 加える。反応が起こり，溶液が緑色に変わり(反応中間体の色)，反応の終了とともに溶液の色は再びピンク色に戻る(図 4)。

反応が終了した のビーカーに過酸化水素水を入れると，再び反応が起こり溶液は緑色に変化する(図 4)。(触媒は繰り返し反応中間体を作ることができる。)

ウ 実験結果

反応開始	反応中			反応終了	
					
酒石酸ナトリウムカリウム水溶液と塩化コバルト()	過酸化水素水を加えると、反応液の変色と気体の発生が始まる。	気体が激しく発生している時、反応液は緑色になる。	気体の発生が少なくなり、反応液がピンク色戻っていく。	気体の発生が止まり、反応液はピンク色に戻る。	反応終了後の溶液にさらに過酸化水素水を加えると、反応液は再び緑色になり(左)、反応が終了するとピンク色(右)に戻る。

図4 反応の様子と触媒の色の变化

エ まとめ

気体の発生と溶液の美しい色の変化が連動する。反応時間も1～2分程度であり、演示に適した教材である。

反応後の触媒が繰り返し触媒作用を示すことから、触媒は変化後再びもとの物質に戻ることで、反応により消費されないことが分かる。

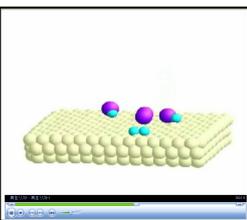
この実験だけでは、反応中間体がどのような化学組成や構造を持つ物質なのかを説明できない。色の変化だけでなく、原子レベルでの変化も意識させる必要がある。

例えば理科ねっとわーくの『触媒から学習する化学反応の世界』中のコンテンツ「水素とヨウ素の反応(触媒あり)」(図5)は、白金触媒上のヨウ素と水素の反応の動画で、白金触媒表面の白金原子と反応物の反応中間体形成や、触媒による反応の場の提供、反応後の触媒の復元などを視覚的に捕らえさせることができる。このようなデジタル教材で具体的に触媒のイメージを与え、生徒の理解を促した。

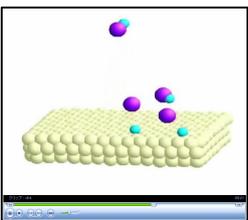




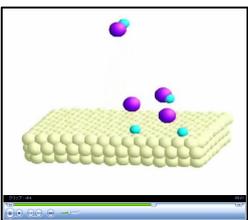
ヨウ素分子
水素分子
白金触媒



反応物の分子が白金触媒に引き寄せられ、原子に分かれる。



水素原子とヨウ素原子が白金触媒上を動き回り、反応する。



ヨウ化水素が生成し、白金触媒から離れていく。

図5 理科ねっとわーく 触媒から学習する化学反応の世界

出展：独立行政法人科学技術振興機構（JST）の理科ねっとわーく デジタル教材「触媒から学習する化学反応の世界」（製作・著作：文部科学省）より、転載許可を得て掲載しています。無断で複製・転載することは禁じられています。

(2) 塩化コバルト()を用いた「濃度・温度と反応速度の関係を理解する」実験の研究

濃度・温度と反応速度の関係を調べる教材として、ヨウ素酸カリウムと亜硫酸水素ナトリウムの反応がある。時計反応という反応の面白さに加え、反応速度が亜硫酸水素ナトリウムの濃度にきれいに比例する。魅力的な教材だが、実際は複雑な反応による呈色である。

一方，(1)で用いた，塩化コバルト()触媒下での酒石酸ナトリウムカリウムの過酸化水素による酸化も，反応の仕組みはよく分かっていないが，反応中間体の消失を素反応の終了と考えれば，素反応の反応時間が測定できる。この反応を濃度・温度と反応速度の関係を求める実験教材として検討した。

ア 用具・教材

過酸化水素水 0.21mol/L 酒石酸ナトリウムカリウム水溶液
塩化コバルト()・六水和物 温度計 ストップウォッチ

イ 実験方法

(ア) 過酸化水素濃度と反応速度の関係

酒石酸ナトリウムカリウム水溶液は濃度一定で 90 に温める。過酸化水素水は 0.50mol/L ~ 3.0mol/L の 6 種類の濃度を用意する。(表 1)

酒石酸ナトリウムカリウム水溶液を 6 個の 100mL ビーカーにそれぞれ 20mL ずつ取り，それぞれに塩化コバルト()・六水和物の結晶を少量(薬さじ小さじ 1 杯程度)入れ溶かす。これに各濃度の過酸化水素水を 8.0mL 加える。

過酸化水素水を加える瞬間から，反応液の色がピンク色に戻り，気体の発生がほぼ見られなくなるまでの時間を反応時間として測定する。

(イ) 温度と反応速度の関係

30 ~ 90 に暖めた酒石酸ナトリウムカリウム水溶液に，2.0mol/L 過酸化水素水 8.0mL を加え反応時間を測定する。(表 2)

ウ 測定結果とデータ処理

(ア) 反応速度と濃度の関係 (酒石酸ナトリウムカリウム水溶液 90)

表 1 過酸化水素の濃度と反応速度

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
使用した過酸化水素水濃度 [mol/L]	0.50	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
反応開始時の過酸化水素濃度 [mol/L]	0.14	0.29	0.43	0.57	0.71	0.86
過酸化水素の平均濃度 [mol/L]	0.071	0.14	0.21	0.29	0.36	0.43
反応時間 [s]	220	120	105	85	70	60
反応速度 $\times 10^{-4}$ [mol/L · s]	6.5	24	41	67	102	143

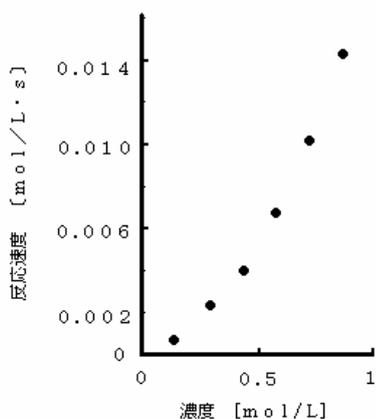
反応後の溶液に過酸化水素水を加えると再び反応が起こることから，測定しているのは過酸化水素の濃度がほぼ 0 になるまでの反応時間であると考え，反応速度を計算した。例えば (f) の反応速度と過酸化水素の平均濃度は次のように求めた。

$$\text{反応速度 [mol/L} \cdot \text{s]} = \frac{\text{過酸化水素の濃度減少 [mol/L]}}{\text{反応時間[s]}} = \frac{0.86 - 0}{60 - 0} = \frac{0.86}{60} = 0.0143$$

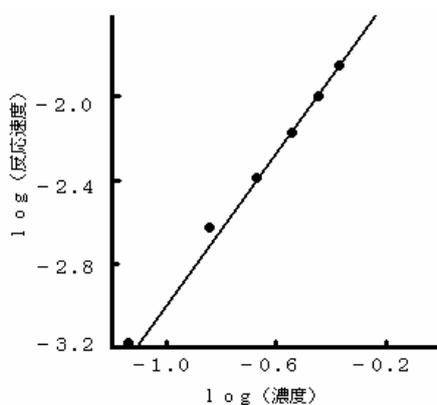
$$\text{過酸化水素の平均濃度 [mol/L]} = \frac{\text{反応開始時の過酸化水素水濃度} + 0}{2} = \frac{0.86}{2} = 0.43$$

(a) ~ (e) についても同様に反応速度を計算し，表 1 の結果を得た。

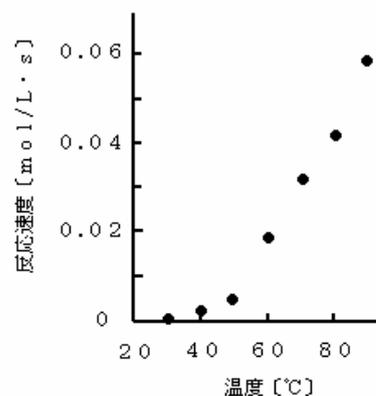
表 1 の過酸化水素の平均濃度と反応速度の関係をグラフ 1 にすると、反応速度と過酸化水素濃度の関係は二次曲線に近い。そこでさらに反応次数について考察した。反応速度式 $v = k[H_2O_2]^n$ の両辺の対数を取る。 $\log v = n \log [H_2O_2] + \log k$ 横軸に $\log [H_2O_2]$ 、縦軸に $\log v$ をプロットすると、グラフの傾きが過酸化水素の反応次数 n 、切片が速度定数の対数 $\log k$ になる(グラフ 2)。



グラフ 1
濃度 - 反応速度(90)



グラフ 2
濃度対数 - 反応速度対数(90)



グラフ 3
温度 - 反応速度

(イ) 反応速度と温度の関係

表 2 反応温度と反応時間 (反応開始時の温度は、過酸化水素水を加えた瞬間の温度を計算により求めた。)

酒石酸ナトリウムカリウム水溶液の温度()	90	80	70	60	50	40	30
反応開始時の温度 ()	71	64	57	50	43	36	27
反応時間 (s)	17	24	31	53	200	570	4680

エ まとめ

(ア) 反応速度と濃度の関係

グラフ 1 はきれいな二次曲線になった。また、グラフ 2 の傾きはほぼ 2 (実験値 1.8~2.0) である。反応速度が濃度に比例する時計反応に加え、反応速度が濃度の二乗に比例する実験教材としての授業への利用が期待できる。ただし、反応速度が過酸化水素濃度の二乗に比例すると結論付けるにはさらに綿密な測定が必要である。

室温では反応速度が小さく、高温では厳密な温度管理が難しいため、現在の実験方法では測定値の再現性は望めない。しかし、本研究で行った全測定で、濃度 - 反応速度、温度 - 反応速度の関係ともに、グラフ 1~3 と同じ形のグラフが得られた。

混合から触媒の色が消失するまでの時間を反応時間としたが、温度が低い場合や、過酸化水素濃度が小さい場合、反応の終焉が判断しにくいいため、誤差が大きくなる。

濃度の対数と反応速度の対数のプロットで反応次数を求める方法は、やや発展的なデータ処理方法である。課題研究等に適した教材である。

(イ) 反応速度と温度の関係

表 2 およびグラフ 3 より、温度の上昇とともに反応速度は増大した。

(3) 塩化コバルト()を用いた「正方向にも逆方向にも変化がおこる反応があることを理解する」ための実験の研究と開発

一般的に、化学反応は一方向に進むものと認識されている。私たちの生活している空間が閉鎖系でないことや、化学平衡が正逆いずれかに偏っていることが多いためである。しかし、本来化学反応は正逆いずれの方向にも進むものである。平衡の前提には反応の可逆性があるので、このことはきちんと教える必要がある。

ここでは、塩化コバルト()のサーモクロミズムとソルバトクロミズム使い、正・逆両方向に変化が起こる反応があることを印象付けることを目的とした実験を研究・開発した。

ア 用具・教材

0.4mol/L 塩化コバルト()水溶液 12mol/L 濃塩酸 塩化ナトリウム
塩化コバルト()アセトン飽和溶液 熱湯 寒剤(氷+食塩)

イ 実験方法

(ア) サーモクロミズムを用いた可逆反応の実験

塩化コバルト()水溶液は赤色で、 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ を多く含む(図6)。

塩化コバルト()水溶液に、駒込ピペットで少量ずつ濃塩酸を加える。溶液は紫色を経て青色になる。色が変わらなくなったら加えるのをやめる。この青色の溶液は $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ を多く含む(図6)。

塩化コバルト()水溶液に濃塩酸を加える。 と の中間の紫色になった時点で塩酸を加えるのをやめる。この溶液は、 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ と $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ を含む(図6)。

の紫色の溶液を、2本の試験管に5mLずつ取る。一本は熱湯で温め、もう一本は寒剤で冷やし、変化を観察する(図7左)。

で温めた試験管と冷やした試験管を入れ替え、変化を観察する(図7中・右)。

(イ) ソルバトクロミズムを用いた可逆反応の実験

試験管に塩化ナトリウム大さじ1杯と青色の塩化コバルト()アセトン溶液5mLを入れる。

に水を静かに入れるとアセトン層が赤くなる。振るとアセトン層は再び青くなる。この変化が繰り返し観察できる(図8)。

塩化コバルト()アセトン溶液は飽和溶液を使う。水は洗ピンを使い少量ずつ加える。

ウ 結果

(ア) サーモクロミズムを用いた可逆反応の実験



赤 紫 青



を冷やす 温める 冷やす 温める 冷やす 温める
(低温 赤) (高温 青) (青)試験管を入れかえる(赤) (青 赤) (赤 青)

図6 標準色サンプル

図7 サーモクロミズムを用いた可逆反応の観察

正反応と逆反応により反応物と生成物の濃度が決まっていく様子。
 時間の経過とともに系内の反応物と生成物の濃度がどのように変化するか。
 十分に時間が経過すれば、正反応と逆反応の反応速度は必ず等しくなる。その結果、
 系内の物質の濃度が見かけ上変化しなくなる。

平衡状態に達した後も、正反応と逆反応は依然起こり続けていること。

～ は、平衡状態を理解する上でも必要不可欠な認識である。このワークシートは、平衡状態に対するイメージを持った理解を目指すうえでも効果があると考えられる。

ア 教材(ワークシート)

$A \rightleftharpoons B$ という反応系を想定した。手作業で1秒毎の濃度を計算させた(図9)。

イ 作業の内容

反応開始時のAの濃度 $[A]_0$
 反応開始時のBの濃度 $[B]_0$
 正反応の速度定数 $k_{正}$
 逆反応の速度定数 $k_{逆}$

Aの減少(Bの増加)速度 $v_{正} = k_{正}[A]$

Bの減少(Aの増加)速度 $v_{逆} = k_{逆}[B]$

反応開始時の濃度を
 $[A]_0 = 50, [B]_0 = 50$
 速度定数を

$k_{正} = 0.4, k_{逆} = 0.2$ とした。

1秒後の濃度 $[A]_1, [B]_1$ を、次のように計算する。(表3)
 以後1秒毎に、濃度が変化する様子を調べる。

平衡状態とは何か

t	[A]			[B]		
始め t=0	$[A]_0 =$			$[B]_0 =$		
1	A減少 (A → B)	A増加 (B → A)	=	B減少 (B → A)	B増加 (A → B)	=
2			=			=
3						
4						
5						

図9 ワークシート

表3 ワークシートの計算例

t	[A]			[B]		
0	$[A]_0 = 50$			$[B]_0 = 50$		
1	$[A]_1 = [A]_0 - k_{正}[A]_0 + k_{逆}[B]_0$			$[B]_1 = [B]_0 + k_{正}[A]_0 - k_{逆}[B]_0$		
		正反応による Aの濃度減少	逆反応による Aの濃度増加		正反応による Bの濃度増加	逆反応による Bの濃度減少
	$= 50$	$- 0.4 \times 50$	$+ 0.2 \times 50$	$= 50$	$+ 0.4 \times 50$	$- 0.2 \times 50$
	$= 50$	$- 20$	$+ 10$	$= 50$	$+ 20$	$- 10$
	$= 40$			$= 60$		
2	$[A]_2 = [A]_1 - k_{正}[A]_1 + k_{逆}[B]_1$			$[B]_2 = [B]_1 + k_{正}[A]_1 - k_{逆}[B]_1$		
	$= 40$	$- 0.4 \times 40$	$+ 0.2 \times 60$	$= 60$	$+ 0.4 \times 40$	$- 0.2 \times 60$
	$= 40$	$- 16$	$+ 12$	$= 60$	$+ 16$	$- 12$
	$= 36$			$= 64$		

ウ 生徒の活動と結果

AとBの濃度の変化は表4のようになる。電卓を使い，大半の生徒が1時間の授業の中でワークシートを完成し，考察まで終えることができた。

表4 可逆反応の時間による濃度変化

t	Aの濃度変化			Bの濃度変化				
	A減少	A増加	[A]		B減少	B増加	[B]	
0			50.000				50.000	
1	50.000	- 20.000	+ 10.000	40.000	50.000	- 10.000	+ 20.000	60.000
2	40.000	- 16.000	+ 12.000	36.000	60.000	- 12.000	+ 16.000	64.000
3	36.000	- 14.400	+ 12.800	34.400	64.000	- 12.800	+ 14.400	65.600
4	34.400	- 13.760	+ 13.120	33.760	65.600	- 13.120	+ 13.760	66.240
5	33.760	- 13.504	+ 13.248	33.504	66.240	- 13.248	+ 13.504	66.496
6	33.504	- 13.402	+ 13.299	33.402	66.496	- 13.299	+ 13.402	66.598
7	33.402	- 13.361	+ 13.320	33.361	66.598	- 13.320	+ 13.361	66.639
8	33.361	- 13.344	+ 13.328	33.344	66.639	- 13.328	+ 13.344	66.656
9	33.344	- 13.338	+ 13.331	33.338	66.656	- 13.331	+ 13.338	66.662
10	33.338	- 13.335	+ 13.332	33.335	66.662	- 13.332	+ 13.335	66.665
11	33.335	- 13.334	+ 13.333	33.334	66.665	- 13.333	+ 13.334	66.666
12	33.334	- 13.334	+ 13.333	33.334	66.666	- 13.333	+ 13.334	66.666
13	33.334	- 13.333	+ 13.333	33.333	66.666	- 13.333	+ 13.333	66.667
14	33.333	- 13.333	+ 13.333	33.333	66.667	- 13.333	+ 13.333	66.667
15	33.333	- 13.333	+ 13.333	33.333	66.667	- 13.333	+ 13.333	66.667

エ まとめ

ワークシートにより次の効果が得られた。

実際に反応速度式にモデルを当てはめて計算することで，速度定数が反応物の濃度減少(生成物の濃度増加)の割合を表すことが実感でき，反応速度式の意味を再確認できた。

可逆反応では平衡状態に至る過程で，正反応で反応物が減り生成物が増加する，逆反応で生成物が減り反応物が増加することが確認できた。また，可逆反応全体では，濃度の変化は正反応と逆反応の差で決まることが実感できた。

時間の経過につれ，反応物・生成物ともに濃度の変化量が小さくなり，特定の濃度に近づく。つまり平衡状態に達することがわかる。実際にはこのモデルのような単純な反応は少ないかもしれないが，反応速度式が高次になると濃度の変化が感覚的にとらえにくくなり，計算の難しさが理解を妨げる。あえて単純なモデルで計算を行うほうが，平衡状態に至るまでの物質の濃度の変化を把握しやすい。

[A]，[B]の変化の規則性に気づき，それを数列式で表そうとする生徒が出てきた。3年理系3クラス，いずれのクラスでも数人の生徒が数列式を作った。また，自分では数列式を作れない生徒も，その意味を理解することができた。

規則性を数列で表す作業の中から， $t =$ においてこれらの数列が収束することを予想し，収束値すなわち平衡時の[A]，[B]を計算により求める生徒がいた。

数式を苦手とする生徒にとって，ワークシートで具体的に式の示す値を計算することは式の意味を理解する助けになった。

(6) 平衡モデルを使った「質量作用の法則が意味する、平衡時の反応物と生成物の濃度のつりあいを理解する」授業の実践

質量作用の法則とは、温度が同じであれば(平衡定数が等しいから)平衡時の反応物の濃度の係数乗の積と生成物の濃度の係数乗の積の比がいつも一定になることを表す(この比が平衡定数)。従って同じ物質の原子を含む系においては、反応物と生成物の反応開始時の濃度が異なっても、平衡時の濃度は同じになる。これをクラス全体で計算し、結果を比較することで質量作用の法則を理解させた。

ア 教材 (4)と同じワークシートを用いた。

イ 作業の内容

(4)と同じ作業を行う。初期条件より平衡時の濃度がどのように決まるのかを考えさせるため、クラスを(a)~(d)の4グループに分け、表5の4つの条件で平衡時の濃度を計算する。これを比較することにより、質量作用の法則が表す平衡時の量の関係を理解させた。

ウ 生徒の活動と結果

各グループで計算した結果を全体でまとめる(表5)。平衡定数が平衡時の反応物と生成物の濃度の比を決めることを整理した(図11)。

表5 初期条件を変えた計算結果

	(a)	(b)	(c)	(d)
$[A]_0$	100	0	50	100
$[B]_0$	0	100	50	0
$k_{正}$	0.4	0.4	0.4	0.4
$k_{逆}$	0.2	0.2	0.2	0.8
平衡時の[A]	0.33	0.33	0.33	0.67
平衡時の[B]	0.67	0.67	0.67	0.33
平衡定数	2	2	2	1/2

反応開始時の濃度が異なっても、速度定数が同じであれば同じ平衡状態に達した(表5 (a)~(c))。

反応開始時の濃度が同じでも、速度定数が異なれば異なる平衡状態に達した(表5 (a)・(d))。

結果を表5にまとめていく過程で、正反応・逆反応の速度定数と、平衡時の反応物と生成物の濃度比に関係があることに生徒が気づき、速度定数と平衡定数の関係を理解した。

エ まとめ

(4)で学んだ、速度定数が大きいほど反応が起こりやすく正反応と逆反応の反応速度の差が平衡時の物質の濃度を決めていくことと今回の結果を関連させ、速度定数が反応の勢いを表し、正反応の勢いと逆反応の勢いがつりあった状態が平衡状態であることを理解した。

$k_{正} = 0.4$, $k_{逆} = 0.2$ のときの平衡時の濃度が $[A] = 0.33$, $[B] = 0.67$ になったところで、直感的に正反応と逆反応の勢いの比がつり合いの位置を決めることに気づく生徒もいたが、今回、(d)グループで、 $k_{正} = 0.4$, $k_{逆} = 0.8$ のとき、平衡時 $[A] = 0.67$, $[B] = 0.33$ になることで、さらにその確信を強めた。

平衡定数とは可逆反応の正反応と逆反応の釣り合いの位置を表す。すなわち、平衡定数とは $k_{逆}$ と $k_{正}$ の比であり、平衡時の $[A]$ と $[B]$ の比であることが理解できた。この認識はその後の計算演習の際、その解法を理解するのに非常に役立った。

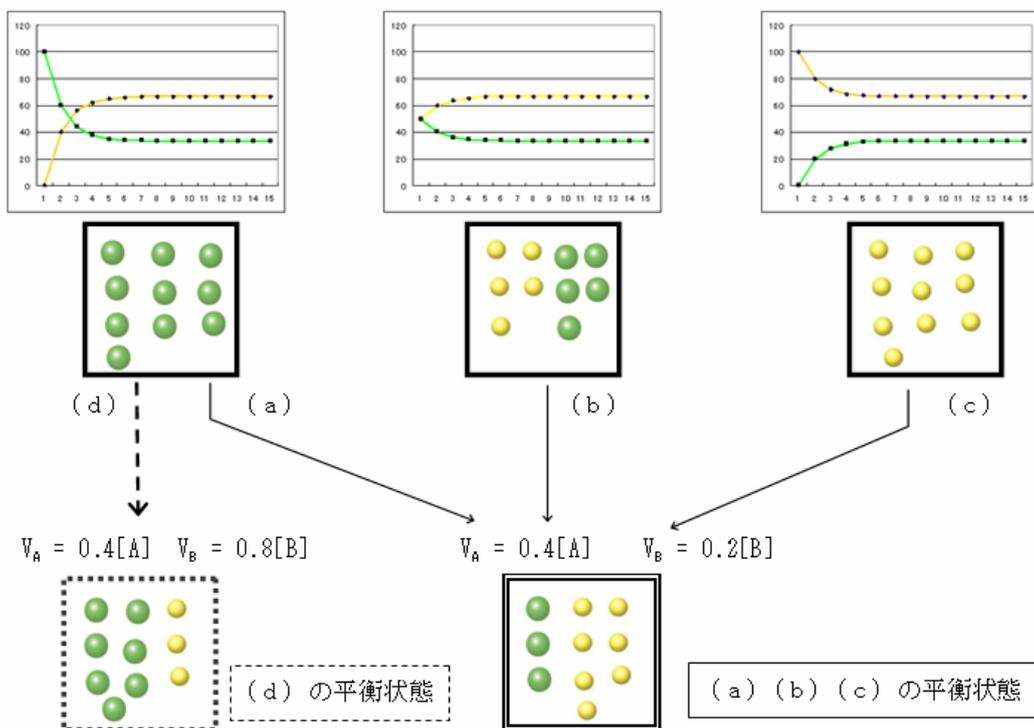


図 11 平衡状態の量の関係をまとめるプレゼンテーション画面

4 おわりに

授業をしていると、物質の性質や変化をより深く理解するためには平衡概念の理解が重要であることをしばしば感じる。一方、化学平衡は大変難しい分野で、いまだに自分の認識が曖昧であったり、理解が不十分であることに気づくことが多い。

化学平衡の分野に限らないが、何年化学を教えていても、私自身が毎年新しいことに気づき、学ぶ喜びや楽しさを化学から感じることができる。この化学の面白さを、授業を通して生徒に伝えたい。さらには、彼らに学ぶ喜びや楽しみを得る機会を投げかけられる授業をしたいと思う。

今回教科研究の機会が与えられ、わかりやすく教えるための教材探しや、生徒の躓きを意識した授業展開、なにより自分自身の研究の大切さに改めて気づくことができた。これをきっかけに今後も研究を続け、より良い授業を目指していきたい。

最後になりましたが、本研究を進めるにあたりいろいろとご指導・ご助言をいただいた教育庁教育振興部指導課の 先生、先生、先生、先生、前指導課 先生、先生、及び教科指導員の 先生、先生、教科研究員の先生方に心より御礼申し上げます。

<参考文献・参考URL>

- 日本化学会編，実験による化学への招待(1987)，丸善株式会社
- 渡辺啓，化学平衡の考え方(1998)，裳華房
- 斉藤勝裕，反応速度論 - 化学を新しく理解するためのエッセンス(1998)，三共出版
- 日本化学会編，楽しい化学の実験室 (1995)，東京化学同人
- 古川知己，身近な物質の定量実験と反応速度実験の教材化(1989)，千葉県高等学校教科研究員研究報告書
- 佐藤友久， H_2O_2 による酒石酸イオンの酸化における Co^{2+} の働き(1991)，化学と教育第39巻第2号
- 独立行政法人科学技術振興機構(JST)，理科ねっとわーく <http://www.rikanet.jst.go.jp>