

理科 化学 学習指導案

1. 単元及び題材 物質の状態とその変化 『多くのデータを使って考える』
使用教科書：高等学校理科用 改訂版化学（104 数研 化学/313）

2. 単元の見通し

- （1）物質の状態とその変化を日常生活や社会と関連付けながら、状態変化、気体の性質、固体の構造を理解するとともに、それらの観察、実験などに技能を身に付ける。
- （2）物質の状態とその変化について、観察、実験などを通して探究し、物質の状態とその変化における規則性や関係性を見いだして表現する力を身に付ける。
- （3）物質の状態とその変化に主体的に関わり、見通しをもったり振り返ったりするなど、科学的に探究しようとする態度を身に付ける。

3. 教材観

これまで、知識・技能の習得をめざす単元ごとの指導と並行して複線的に、「対偶で考える」「図をかいて考える」「三段論法で考える」など、科学的な思考（あるいは考察）方法の体系的な指導を行ってきた。今回は次の段階として、分子量、沸点、蒸発熱の関係性を題材として、「データをグラフ化して考える」ことを通して、相関関係と因果関係の違いに注意して考察することの重要性を知るきっかけとする。

蒸発および蒸発熱について、分子運動論的な立場からの説明は教科書に記載がある。しかし、沸点と蒸発熱の関係（トルートンの規則）は教科書には記載がない。そこで、沸点と蒸発熱のデータを多数提供し、そのデータ処理から沸点と蒸発熱の関係性を考察する課題は、学習内容の深化とともに、思考力の養成にも役立つ課題と考えられる。

*トルートンの規則とは

多くの液体について 1mol あたりの蒸発エンタルピー変化 ΔH_v と沸点 T_b の比 $\Delta H_v / T_b$ はほぼ一定で $80 \sim 90 \text{ J/(K}\cdot\text{mol)}$ の間にあるという関係のこと。F. T. トルートンにより経験的に見出された（1884）。この関係は、液体の蒸発に伴うエントロピーの増加が、それぞれの沸点において比較すればほぼ一定値を示すことを意味する。（出典 理化学辞典第4版）

（若干の熱化学的説明）

沸点 T_b

1mol あたりの蒸発エンタルピー変化 ΔH_v

1mol あたりの蒸発エントロピー変化 ΔS_v

1mol あたりの蒸発ギブスエネルギー変化 ΔG_v （ $= \Delta H_v - T \Delta S_v$ ）

沸点においては、気液平衡状態にあるから $\Delta G_v = 0$ である

$\Delta H_v - T_b \Delta S_v = 0$ 故に $\Delta H_v / T_b = \Delta S_v$

トルートンの規則は、沸点における蒸発エントロピー変化 ΔS_v は物質の種類に無関係にほぼ同じ値であることを意味する。（いわば、ラウールの法則的な意義）

4. 生徒観

（省略）

5. 指導観

単元を通して理論的な側面が強く、直接的な観察、実験だけでは補いづらい部分について、1人1台端末を活用して、多数のデータを分析する活動などを行い、探究の過程における「結果の処理」や「考察・推論」などに焦点を当てた指導を行う。

6. 単元の評価規準

知識・技能	思考・判断・表現	主体的に学習に取り組む態度
物質の状態とその変化について、状態変化、気体の性質、固体の構造の基本的な概念や原理・法則などを理解しているとともに、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本操作や記録などの基本的な技能を身につけている。	物質の状態とその変化について、観察、実験などを通して探究し、物質の状態とその変化における規則性や関係性を見いだして表現している。	物質の状態とその変化に主体的に関わり、見通しをもったり振り返ったりするなど、科学的に探究しようとしている。

7. 単元の指導と評価の計画（全10時間）

評価の観点（○：形成的評価 ◎：総括的評価）

時	主な学習活動	評価の観点			主な評価規準・評価方法
		知	思	主	
1 ～ 3	- イオン結晶の種類や表し方・特徴的な性質・構造、構造とイオン半径の比の関係について理解する。 - 分子と共有結合について復習し、分子間力のファンデルワールス力と水素結合について学ぶ。 - 結晶格子の模型をつくり、金属結合の結晶格子について、種類や密度、アボガドロ定数との関係を理解し、計算方法を体得する。	○			〔知①〕（練習問題への取組みの様子） NaCl 型、CsCl 型、ZnS 型の結晶格子について、配位数、単位格子中の原子数などを算出することができる。 〔知②〕（練習問題への取組みの様子） 結晶格子の配位数、単位格子中の原子の数、充填率を求めたり、アボガドロ定数から原子量の算出をしたりすることができる。 〔思①〕（ワークシート） 結晶格子の模型の作成を通じた考えや計算の過程などを表現している。
4 ～ 6	- 気体分子の熱運動の考え方から大気圧について理解し、その測定の原理を学ぶ。 - 融点・沸点が物質の種類、とくに結合の種類によってどのように異なるかを、分子間力や化学結合の強弱から考察する。 - 水の沸騰に関する実験を行い、気液平衡の概念を理解し、蒸気圧、蒸気圧と沸騰の関係、物質の状態図について学ぶ。		○	◎	〔思②〕（観察、Google Forms による回答） データの分析を通して相関関係の強弱を読み取っている。 〔思③〕（観察、ワークシート） データの分析を通して相関関係の強弱を読み取っている。 〔主①〕（ワークシート） 探究を通じた自己の学びを振り返ることができている。

7 ～ 10	● ボイルの法則・シャルルの法則に関する実験を行い、温度や圧力が変化した場合の気体の体積の変化について考える。 ● 気体の状態方程式を導き、これを利用して気体の分子量の測定を行う。 ● 混合気体の圧力について理解する。 ● 実在気体のふるまいについて考察する。	○	◎	◎	〔知③〕（練習問題への取り組みの様子） ボイル・シャルルの法則を使うことができる。 〔思④〕（ワークシート） 圧力や温度を変えたときの気体の体積の変化を予想し、ボイル・シャルルの法則を導くことができる。 〔主②〕（ワークシート） 探究を通じた自己の学びを振り返ることができている。
--------------	---	---	---	---	---

※知識・技能と思考・判断・表現の観点における総括的評価は、定期考査においても行う。

8. 本時（第5時）の展開

（1）本時のねらい

49種類の分子性物質について、分子量・沸点（K）・蒸発熱（kJ/mol）のデータをもとに、1人1台端末を活用して協働的にグラフを作成する活動を通じて、「分子量と沸点の関係」と「沸点と蒸発熱の関係」を考える。共同作業によりグラフ化をすることで、グラフ作成途中においても、グラフの傾向を把握して次の点を予測しながら進められるようになる。多くのデータから散布図を作り、散布図から考えられることをまとめてゆく過程を体験し、今回の散布図からわかることは「相関関係」であることを理解する。

（2）本時の評価規準

- ・各軸の目盛りを読み取りプロットができる。【知】
- ・グラフ全体を俯瞰して相関関係の強弱をグラフから読み取ることができる。【思】
- ・多数のデータを処理することの意味を見いだし、そのことを振り返ることができる。【主】

（3）本時の準備物

教科書、Chromebook、プロジェクター

（4）1人1台端末の活用について

Google Jamboard はウインドウ内のホワイトボードに付箋を貼るなどの機能をもつ GWS（Google Workspace）のアプリである。直観的には「付箋を用いたブレインストーミング」や「KJ 法」のためのアプリと言える。Jamboard には、ホワイトボードに背景を設定したり、付箋以外にテキストや簡単な図形を描いたりする機能がある。また、複数のユーザで共有し、同時に書き込みができる。今回は、ホワイトボードにグラフ用紙の背景を設定し、付箋をグラフ上のプロットに見立てることで、Jamboard をグラフ作成アプリとして使用する。付箋に ID を記入することで、各プロットがどの物質のデータなのかがすぐわかる場所はスプレッドシートで作るグラフよりも優れているといえる。

Google Forms はアンケートやテストなどに用いることのできる GWS のアプリである。今回は、散布図作成後の最初の考察について選択肢の形式として利用した。集計結果をその場で Feedback できる点を1人1台端末のメリットとして授業に取り入れることとした。

(5) 本時の学習過程

時間	学習内容・学習活動	指導上の留意点	評価規準（評価方法）
8分 導 入	分子量、沸点、蒸発熱の意味を復習する。	Chromebook を忘れた生徒には代替機を貸し出す。	
15分 展 開 1	グラフ作成の準備をする。 - Chromebook を起動し、Google Classroom から Jamboard を開く。 - Jamboard の基本操作・方法を確認する。 Jamboard をクラス全員で共同で編集しながら、「分子量－沸点の散布図」と「沸点－蒸発熱の散布図」をそれぞれ作成していく。 付箋には、それぞれの物質に付された記号を入力し、種類ごとに色をかえて、データ点とみなしてプロットしていくようにする。	プロジェクターで映した Jamboard での作成過程の様子を観察しながら、適宜データ位置の修正を促す。 付箋の色について、色覚の特性に配慮する。	【知】 各軸の目盛りを読み取りプロットができる。（取り組みの観察）
17分 展 開 2	完成したグラフを確認する。 グラフからわかることを個人で考え、「分子量が大きいのは、沸点が高いことが原因と言える」「沸点が高いのは、分子量が大きいことが原因と言える」等の質問に Google Forms で回答する。 Forms の集計グラフを見て、みんなの考えと自分の考えの差異を認識し、必要に応じて自分の考えを修正する。 化学では原因を分子・原子に求めるのが前提なので、分子量－沸点には（水素結合を除けば）因果関係が成立するが、沸点－蒸発熱には因果関係がない（それぞれ分子間力とは因果関係がある）ことを理解する。	あえてよく似た質問を並べて投げかけることで、個人の考えをゆさぶるようにする。 クラス全体の意見の傾向を見せることでさらに考えをゆさぶりながら、少数意見も重要であることを伝える。	【思】 グラフ全体を俯瞰して相関関係の強弱をグラフから読み取ることができる。 （取り組みの観察、Forms の集計グラフ、ワークシートの記述）
10分 ま と め	CO₂ 濃度－地球の平均気温の散布図などを見て、資料の読み取りの際に相関関係と因果関係の違いに注意して考察することの重要性を理解する。 49 種類の物質のグループ（希ガスや炭化水素など）分けの基準を考える。 活動を振り返り、その内容についてまとめる。	様々な身近な具体例を示して考えを深められるようにする。	【主】 多数のデータを処理することの意味を見だし、そのことを振り返ることができる。 （ワークシートの振り返り）

「観点別評価の判断基準」の設定

判断基準 評価規準	A 十分満足できる	B おおむね満足できる
思考・判断・表現	グラフ全体を俯瞰して相関関係と因果関係の違いを判断し、表現することができる。	グラフ全体を俯瞰して相関関係の強弱をグラフから読み取ることができる。



Cと評価した生徒に 対する指導の手立て
比例の関係を表すグラフがどのようなものであったか、確認させるなどして、グラフ全体の傾向を判断できるようにする。

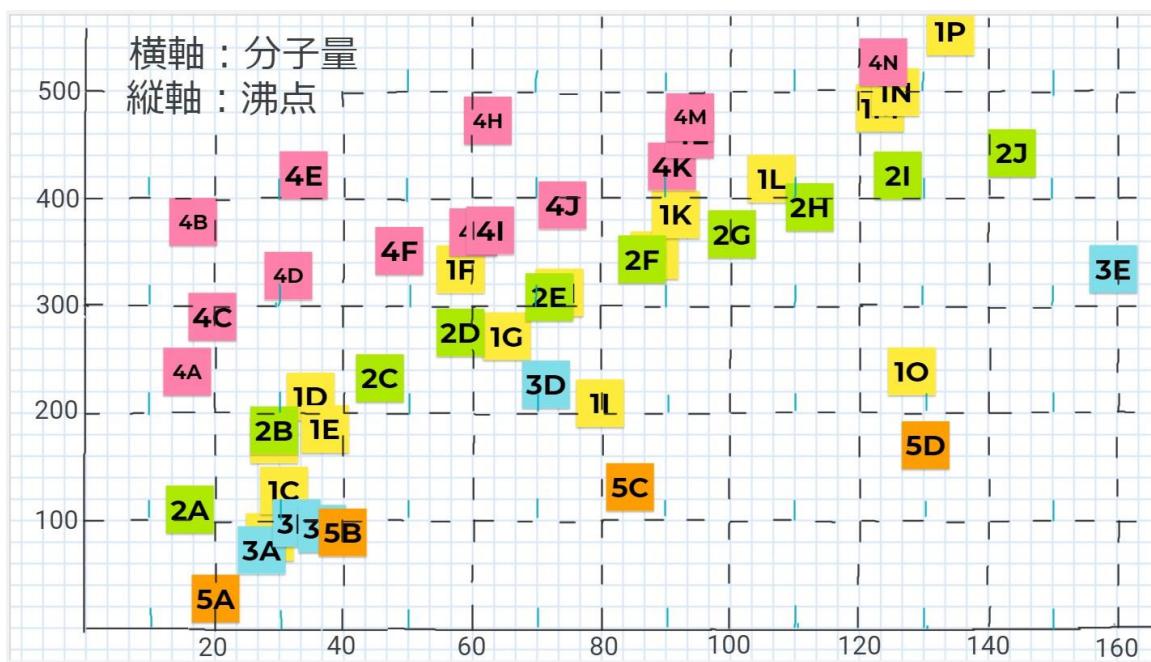
判断基準 評価規準	A 十分満足できる	B おおむね満足できる
主体的に学習に取り組む態度	多数のデータの処理に適したグラフの効用を見だし、そのことを振り返ることができる。	多数のデータを処理することの意味を見だし、そのことを振り返ることができる。



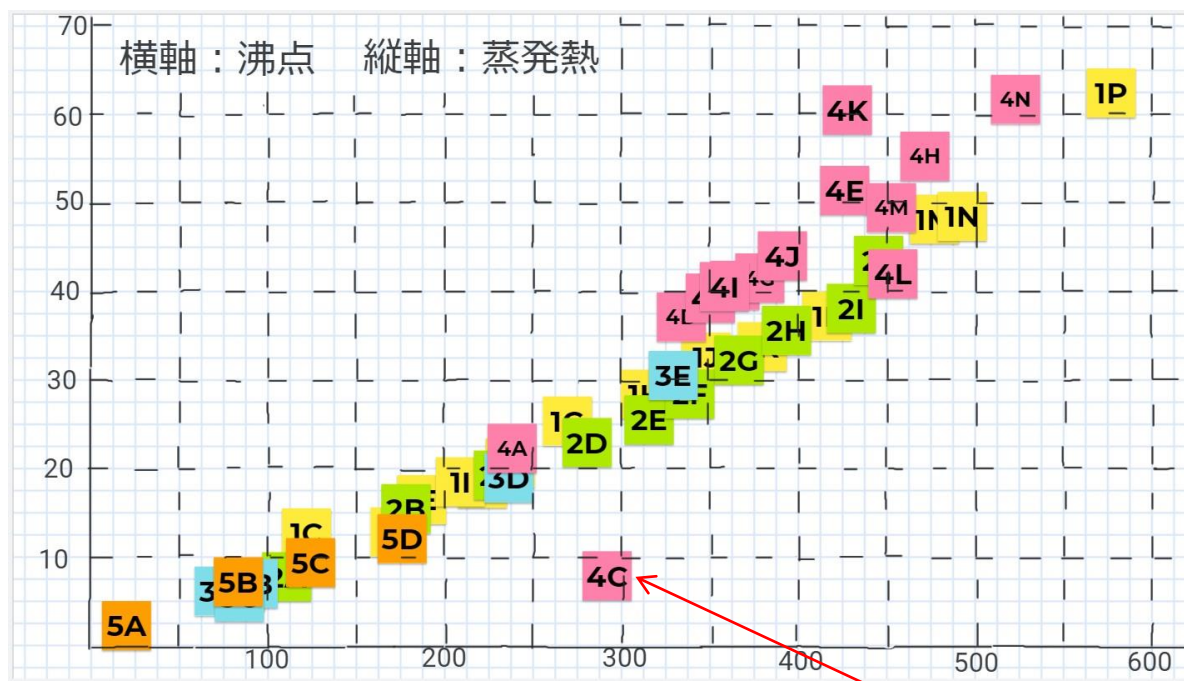
Cと評価した生徒に 対する指導の手立て
資料を読み取る際の注意点について振り返るよう促す。

9. 補足

Jamboard の完成グラフ



グラフ 1 分子量－沸点の散布図



グラフ 2 沸点－蒸発熱の散布図

フッ化水素（4C）の異常について

沸点－蒸発熱グラフは強い相関関係を示すが、フッ化水素が特異なプロットとして注目を集める位置にある。これは HF は沸点付近の気体は水素結合により (HF)_n の多量体として存在しているからと考えられる。

下の表の様に蒸発熱の代わりに標準蒸発エンタルピーを採用し、沸点との散布図を作れば、HF も他の物質と同様の位置にプロットがくる。教材作成段階では HF のみエンタルピーの値を掲載することも検討したが、高校段階でエンタルピーを扱うことができないので、特異点のまま教材とした。

フッ化水素の化学量

沸点	蒸発熱	標準蒸発エンタルピー変化 (at25℃、1013hPa)
2 0℃	7. 5 KJ/mol	28. 7 kJ/mol

No	付箋 種類	記号 表示	物質名	分子式	分子量	沸点 (K)	蒸発熱 (kJ/mol)	G1 担当者	G2 担当者
1	2 緑	2A	メタン	CH ₄	16	111	8		
2	4 桃	4A	アンモニア	NH ₃	17	240	23		
3	4 桃	4B	水	H ₂ O	18	373	41		
4	4 桃	4C	フッ化水素	HF	20	293	8		
5	5 橙	5A	ネオン	Ne	20	27	2		
6	1 黄	1A	一酸化炭素	CO	28	81	6		
7	1 黄	1B	エチレン	C ₂ H ₄	28	169	14		
8	3 水	3A	窒素	N ₂	28	77	6		
9	2 緑	2B	エタン	C ₂ H ₆	30	184	15		
10	1 黄	1C	一酸化窒素	NO	30	121	14		
11	4 桃	4D	メタノール	CH ₃ OH	32	338	38		
12	3 水	3B	酸素	O ₂	32	90	7		
13	4 桃	4E	過酸化水素	H ₂ O ₂	34	424	54		
14	1 黄	1D	硫化水素	H ₂ S	34	212	19		
15	1 黄	1E	塩化水素	HCl	37	188	16		
16	3 水	3C	フッ素	F ₂	38	85	6		
17	5 橙	5B	アルゴン	Ar	40	87	7		
18	2 緑	2C	プロパン	C ₃ H ₈	44	231	19		
19	4 桃	4F	エタノール	C ₂ H ₅ OH	46	351	39		
20	1 黄	1F	アセトン	C ₃ H ₆ O	58	329	29		
21	2 緑	2D	ブタン	C ₄ H ₁₀	58	272	22		
22	4 桃	4G	1 プロパノール	C ₃ H ₇ OH	60	370	41		
23	4 桃	4H	エチレングリコール	C ₂ H ₄ (OH) ₂	62	471	57		
24	4 桃	4I	硝酸	HNO ₃	63	356	40		
25	1 黄	1G	二酸化硫黄	SO ₂	64	263	25		
26	3 水	3D	塩素	Cl ₂	71	239	20		
27	2 緑	2E	ペンタン	C ₅ H ₁₂	72	309	26		
28	1 黄	1H	ジエチルエーテル	C ₄ H ₁₀ O	74	308	27	(例示)	
29	4 桃	4J	1 ブタノール	C ₄ H ₉ OH	74	390	44		
30	1 黄	1I	臭化水素	HBr	81	206	18		
31	5 橙	5C	クリプトン	Kr	84	121	9		
32	2 緑	2F	ヘキサン	C ₆ H ₁₄	86	342	29		
33	1 黄	1J	酢酸エチル	CH ₃ COOC ₂ H ₅	88	350	33		
34	4 桃	4K	グリセリン	C ₃ H ₅ (OH) ₃	92	427	60		
35	1 黄	1K	トルエン	C ₇ H ₈	92	384	34		
36	4 桃	4L	アニリン	C ₆ H ₅ NH ₂	93	458	42		
37	4 桃	4M	フェノール	C ₆ H ₅ OH	94	455	49		
38	2 緑	2G	ヘプタン	C ₇ H ₁₆	100	371	32		
39	1 黄	1L	o-キシレン	C ₈ H ₁₀	106	417	37		
40	2 緑	2H	オクタン	C ₈ H ₁₈	114	399	35		
41	4 桃	4N	安息香酸	C ₆ H ₅ COOH	122	523	62		
42	1 黄	1M	ニトロベンゼン	C ₆ H ₅ NO ₂	123	484	48		

43	1 黄	1N	ナフタレン	$C_{10}H_8$	128	491	49		
44	2 緑	2I	ノナン	C_9H_{20}	128	424	38		
45	1 黄	10	ヨウ化水素	HI	128	238	20		
46	5 橙	5D	キセノン	Xe	131	166	13		
47	1 黄	1P	アセトアニリド	$C_6H_5NHCOCH_3$	135	578	63		
48	2 緑	2J	デカン	$C_{10}H_{22}$	142	447	43		
49	3 水	3E	臭素	Br_2	160	332	31		

次の文章がグラフからわかることとして当てはまるかどうかを4段階で答えましょう。
黒ペンで○をすること。

- 1：よく当てはまる、2：まあ当てはまる、
3：あまり当てはまらない、4：まったくあてはまらない

分子量－沸点のグラフからわかること	
分子量が大きい物質は沸点が高い傾向にある。	1 ・ 2 ・ 3 ・ 4
沸点が高い物質は、分子量が大きい傾向にある。	1 ・ 2 ・ 3 ・ 4
分子量が大きいのは、沸点が高いことが原因と言える。	1 ・ 2 ・ 3 ・ 4
沸点が高いのは、分子量が大きいことが原因と言える。	1 ・ 2 ・ 3 ・ 4
沸点－蒸発熱のグラフからわかること	
沸点が高い物質は、蒸発熱が大きい傾向にある。	1 ・ 2 ・ 3 ・ 4
蒸発熱が大きい物質は、沸点が高い傾向にある。	1 ・ 2 ・ 3 ・ 4
蒸発熱が大きいのは、沸点が高いことが原因と言える。	1 ・ 2 ・ 3 ・ 4
沸点が高いのは、蒸発熱が大きいことが原因と言える。	1 ・ 2 ・ 3 ・ 4