

化学の原典の教材化 ーパスツールによる光学異性体の分離実験と その教材化ー

巻本 彰一・福田 佑樹*

Materialization of the Original Source of Chemistry
ーSeparation of Optical Isomers by Pasteur and Its Teaching Materialsー

Shoichi MAKIMOTO and Yuuki FUKUDA *

Accepted June 19, 2019

抄録：パスツールは、ラセミ体の酒石酸ナトリウムアンモニウム水溶液から D-体、L-体の結晶を自然分離で析出させ、それらの結晶の形は互いに左右対称であることを利用して光学異性体の分離を行った。この光学異性体の分子同士は互いに鏡像異性体であるが、それぞれの分子が結合した結晶もまた結晶面が左右対照であるので、パスツールの分離実験を教材として生徒に体験させることは、光学異性体の存在を身近に感じさせることができ、価値が高いと思われる。しかし、当該の綺麗な結晶を析出し成長させるのには結晶化の技術と時間がかかる欠点があった。今回、温度等の条件をコントロールすることによって結晶成長の時間を短縮し、また目視で結晶を分離できる程度まで改良することができたので、実験方法を紹介する。

索引語：パスツールの自然分離実験、結晶成長、酒石酸ナトリウムアンモニウム、光学異性体、鏡像異性体

Abstract: Pasteur spontaneously separates crystals of D-form and L-form using racemic sodium ammonium tartrate aqueous solution, with resulting crystal forms that are symmetrical to each other with separate optical isomers. The molecule of the optical isomer is an enantiomer, but the crystal to which the molecule is bound is also a crystal plane with left/right control. For this reason, it is important that students conduct Pasteur's separation experiment. However, there are drawbacks in that it takes time and skill for crystallization to precipitate and grow such beautiful crystals. This study proposes an experimental method to shorten the crystal growth time by controlling conditions such as temperature; this method has the potential to be improved such that crystals can eventually be separated visually.

Key Words: Pasteur's separation experiment, crystal growth, sodium ammonium tartrate, optical isomer, enantiomer

* ナビオコンピュータ株式会社

1. はじめに

光学異性体である分子の立体的な構造は生化学の分野では非常に重要である。光学異性体は、不斉炭素を1つもつ化合物では1対の鏡像異性体のみであるが、不斉炭素を2つ以上持つ化合物ならば2対以上の鏡像異性体ができる。1対の鏡像異性体の密度、融点などの物理的性質は同じであるが、通常生理活性は一方にしかなく、他方はそれに何も影響がないか、もしくは毒にしかならないことが多い。よく「右手と左手の関係」といわれる一対の鏡像異性体の関係を理解することは、立体化学の基礎であり、その発展の端緒となったパスツールの歴史的な実験を追体験することにより、鏡像異性体の立体的な形を実感を伴って理解できる^{1, 2)}、と思われる。

「高等学校学習指導要領解説理科編」³⁾の「(4) 有機化合物の性質と利用」の「イ 官能基を持つ有機化合物」では、不斉炭素原子を1個含む化合物を取り上げ、光学異性体にも触れる、とある。そこで教科書では不斉炭素原子を含む化合物や分子模型が取り上げられているが、乳酸やアラニンの例が記載されているだけでページ数も1頁程度とあまり大きく取り扱われない。また、鏡像異性体については立体的な形を平面に投影された図が示されるだけなので、立体的な形の実感が伴わず理解しにくいと思われる。

パスツールの実験で用いられた酒石酸は図1のように炭素数4のジカルボン酸であり、ヒドロキシ基も併せてもつヒドロキシ酸でもある。この分子は2つの不斉炭素原子を持つため、2対の鏡像異性体を持つはずであるが、その内の1対は分子が対称面を持つために回転させると同一の物質となり、メソ体である。それらは、(R), (S) 命名法によると、(2R,3R)-(+)-酒石酸 (L-酒石酸) と (2S,3S)-(-)-酒石酸 (D-酒石酸) および (2R,3S) のメソ酒石酸の3種類となる。なお、高等学校『化学』でも酒石酸の立体異性体について、各異性体の命名はしていないが、立体配置について触れている教科書もある⁴⁾。

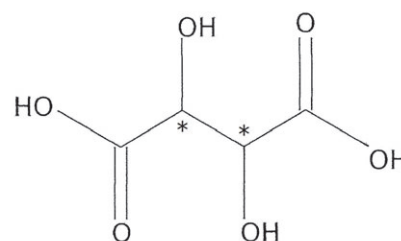


図1 酒石酸の構造式

*印は不斉炭素原子を表す。

さて、D-体、L-体の物質の生理活性を調べようとする、もとがラセミ体 (D-体、L-体の等量混合物) の場合、それをD-体、L-体に分割する必要があるが、両者は平面偏光を旋光させる以外の物理的性質が同じため、通常それぞれに分離することは非常に難しい。興味深いことに、酒石酸ナトリウムアンモニウムはラセミ体の塩溶液であっても、27℃以下で結晶化させることで自然に分離して、D-酒石酸ナトリウムアンモニウム (D-酒石酸塩と略す) とL-酒石酸塩がそれぞれに結晶化する。パスツールはそれぞれの結晶の形は、互いに鏡像の関係にあることを見だし、それぞれの結晶を別々に水溶液にしたところ「旋光性は逆」である、という特徴を見いだした⁵⁾。理想型として知られる両者の結晶の形⁶⁾を図2に示す。

パスツールは酒石酸を炭酸ナトリウムまたは濃アンモニア水を用い、それぞれ中和して酒石酸ナトリウムと酒石酸アンモニウムを作り、それらを1:1に混合して酒石酸ナトリウムアンモニウムを調製しているが、このパスツールの実験を追試して教材とする試みはいくつかある。

中崎の方法⁶⁾は、酒石酸を炭酸ナトリウムで中和して酒石酸ナトリウムを作り、そこに等量の酒石酸を加えた後にさらに濃アンモニア水で中和して酒石酸ナトリウムアンモニウムを調製している。これは、パスツールの実験方法を再現しようとする、溶解度の低い酒石酸水素ナトリウム⁷⁾や酒石酸水素アンモニウム⁸⁾が調製中にできるので溶け残りができ、混合したときにモル比が1:1からず

れやすいことによる。三宅の方法¹⁾は、アンモニアのかわりに炭酸アンモニウムを用いて、温度を 60℃ 近くまで上げることで溶け残りをなくそうとしているが、発泡しやすいことやろ過時に結晶が急激に析出しやすい欠点がある。村田の方法²⁾は、パスツールの実験方法と同じ方法で行っているのですが、再現実験としてはよいが、溶解度が低い塩ができるため溶け残りができることは変わらない。それゆえ、村田²⁾はラセミ溶液からの D-, L-酒石酸ナトリウムアンモニウムの自然分割は行っていない。パスツールと全く同じ方法を用いるラセミ溶液からの D-, L-酒石酸ナトリウムアンモニウム塩の自然分割には、かなりの実験操作の技術がない限り、適していないと思われる。しかし、D-体、もしくは L-体のみを試料として結晶化を始めることで、D-体、L-体の基準の結晶を作成するのならよい方法かもしれない。

これらの報告はそれぞれ一長一短があるので追試を行い、酒石酸塩の D-体、L-体のみの溶液から分別するための基準の結晶を取り出すことができ、またラセミ溶液から自然分割で結晶を析出させ、目視で正確に結晶が分離できる教材を目指して改良することにした。2つの分子同士が鏡像関係にあると、それぞれの分子同士が結合して固体となった結晶も形が鏡像関係にある。酒石酸の1対の鏡像異性体の結晶は、理想的に作成すると、図2に示したように小面の形が対称的となるので、生徒に鏡像異性体の存在を身近に感じさせることができる。

化学の原典の教材化に関してであるが、教科書は客観的に内容を述べているが、逆にそのことが生徒に文言を「単に覚える知識」とさせている可能性が常にある。教科書では一言で書かれている専門用語や反応名でも、多くの先人がそれらの発見や成立にかかわっており、それらの文言の中に多くの人の熱き思いが隠されている。それゆえ、化学の原典となった事象を教材化することは、単に理解を促すためだけの実験より、発見者の生き様をもみせてくれるよい教材となると考えられる。ここで取り上げる化学史的に面白いパスツールのラセミ溶液からの酒石酸塩結晶の自然分離は、探求活動としても十分に価値がある。そこで、先人らの追試から、結晶作成の時間がかかる点、結晶が一度に析出したり綺麗な結晶が得にくかった点などを改良した結果、当初の目的を達したと考えられる実験方法が開発できたので紹介する。

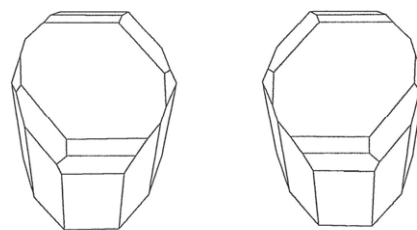


図2 酒石酸ナトリウムアンモニウムの結晶面：D-体(左)、L-体(右)

2. 結晶作成

D-酒石酸塩、L-酒石酸塩の結晶作成、およびラセミ溶液から自然分晶させる方法は、3種類の方法^{1, 2, 6)}を追試してみたが、中崎の実験例⁶⁾が一番うまく結晶化ができるようだったので、それを改良して行うこととした。結晶の分別基準となる D-酒石酸塩の結晶は、D-酒石酸を溶解して水溶液とし、それを中和してから結晶化した。また、L-酒石酸塩の結晶は L-酒石酸を用いて始める以外は D-酒石酸塩の結晶作成と同様である。ラセミ溶液からの自然分晶させる場合は、最初に D-酒石酸と L-酒石酸を同量量り、乳鉢で混合してラセミ体を作り、それを使用して溶液を調製し、中和してから結晶化した。

器具・試薬

ビーカー (100mL, 200mL, 300mL, 500mL), メスシリンダー, 三角フラスコ, ゴム栓, ガラス棒, 電子天秤, 薬さじ, 薬包紙, ガスバーナー, 金網, 三脚, マッチ, 漏斗, 漏斗台, ろ紙, 乳鉢, 乳棒, ホールピペット

<実験操作>

- ① 200mL のビーカーに水 40mL を加え, そこに酒石酸 12.5g (0.083mol) を加えて攪拌した。
- ② ①のビーカーに無水炭酸ナトリウム 8.9g (0.17mol) を少しずつ加えながら攪拌した。
- ③ ②のビーカーにさらに酒石酸 12.5g (0.083mol) を加えて攪拌した。
- ④ ③のビーカーに, ドラフト内で, 濃アンモニア水 25mL (0.375mol) を少しずつ加えて攪拌し, この溶液を暖かい (約 50℃) うちにろ過した。
- ⑤ ろ過した溶液を 26℃以下の部屋にビーカーに蓋を直接しないで放置し, 自然蒸発によって水を蒸発させていくことで結晶を析出させた。自然蒸発とともにアンモニアも蒸発するので, 不足分を補うために, 2日に1度ほど 0.5mL 濃アンモニア水を補充した。
- ⑥ 適当な大きさまで結晶が成長したら, ビーカー内の上澄み液を別のビーカーに静かにデカンテーションで移して, ビーカーの底に残った結晶をろ紙上に指でつまみ出した。取り出した結晶は, 表面に付いた溶液を乾かないうちに丁寧に拭き取った。
- ⑦ ⑥で別なビーカーに移した上澄み液に約 0.5mL のアンモニア水を補充し, 再び放置するとさらに結晶が出るので, ⑥と⑦の操作を数回繰り返した。

操作時の注意点や結果を示す。①の操作では酒石酸の溶解は吸熱反応なので, 溶解に伴い温度が下がり溶けにくくなるので, 40℃程度の湯浴中で温めながら溶かすとよい。D-酒石酸やL-酒石酸の場合は 40mL に完全に溶解するが, ラセミ混合物は溶けにくく温めても溶け残りがでる。しかし, 完全に溶けなくても, ②の操作で炭酸ナトリウムとの中和に伴ってイオン化して溶解するので, 次に進んで問題ない。

②の操作では酒石酸と炭酸ナトリウムとの中和反応を起こすので, 一度に加えると吹きこぼれる。ようすを見ながら少しずつ加えていくと, 反応の途中で白色沈殿が生じ, 糊状になる。これは溶解度の低い酒石酸水素ナトリウム⁷⁾が生じたためと考えられる。さらに炭酸ナトリウムを加えていくと, この生成物は次第に溶け, 炭酸ナトリウムを全て溶かすとほぼ無色透明な溶液となる。少し溶け残り溶液が白濁していても次に進んでよい。

③では酒石酸が過剰となるので, 再び酒石酸水素ナトリウムが析出し, 溶液は白濁し糊状になる。このときビーカーの底に未反応の酒石酸が固まって残らないようによく攪拌しておくとし, 次の④の操作で, ドラフト内で攪拌する作業時間を短くすることができる。

④これ以後の操作はドラフト内で行う。アンモニア水を加えていくと, 発熱しつつ沈殿は溶けだし, 20mL ほど加えたところで沈殿は全て溶け, 無色透明な溶液となる。その後, 残りのアンモニア水を全て加え攪拌する。ろ過の操作では, ろ過中に温度が下がって酒石酸塩が飽和すると, ろ過の刺激によってろ紙やビーカーの底に微少な結晶が大量に析出する (図 3)。これを防ぐためにはろ過中の溶液の温度を約 50℃に保つようにするとよい。また, 結晶面が確認できない結晶は, 取り出した後, 再度溶解して繰り返し再結晶の材料として用いることができる。酒石酸と炭酸ナトリウムやアンモニ

ア水との中和反応で発熱するため、スムーズに実験が進んだ場合はろ過前の溶液の温度は 40℃～50℃程度になっているが、もし温度が下がっている場合は、ろ過前やろ過中に湯浴で約 50℃に温めるとよい。酒石酸ナトリウムアンモニウムは 59℃を超えると分解するので、過熱には注意する。

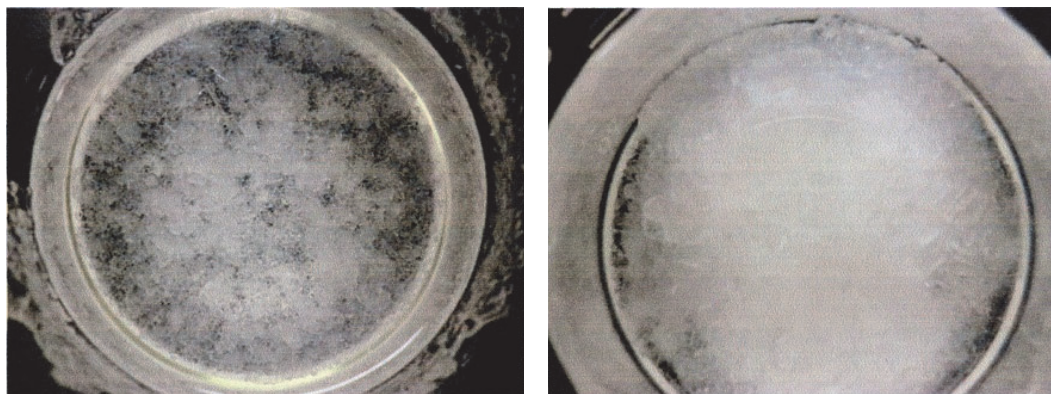


図3 結晶面が不明瞭の結晶作成例：結晶が絡み合って成長したため結晶面が確認できない例（左），過飽和状態の溶液から急激に結晶が析出した例（右）

⑤の操作では、忘れずに、2日に1度ほど 0.5mL 濃アンモニア水を補充する必要がある。

⑥上手くいけば1日～2日でビーカーの底に酒石酸塩の結晶が析出してくるので、基準となるD-体、L-体の大きな結晶を作成する場合は、5mm程度の大きさになったところで一旦取り出し、接種法を用いてさらに結晶を成長させるとよい。ラセミ溶液からのD-体、L-体の自然分別の場合は、そのままビーカーの底に放置して結晶を成長させると3日～5日で重さ 0.5g で 7mm～10mm程度の大きさに成長する。この程度の大きさになれば、肉眼で結晶面を確認してD-体、L-体の判別も充分可能になる。しかし、ビーカーの底でこれ以上結晶を成長させると結晶同士が絡み合ってしまう、かえって結晶面が確認しにくくなる。結晶の表面の溶液を拭き取らずに放置しておくと、表面に付いた溶液から微少な結晶が析出して、結晶の表面が白く濁る。

⑦上澄み液を移さずにピンセットなどでつまみ出そうとすると、ピンセットがビーカーに触れる刺激がきっかけとなって、溶液から急激に小さな結晶が析出する。また酒石酸塩の結晶はもろく、ピンセットでつまみ上げると表面が欠けることがあるので、使用しないほうがよい。恒温槽を使用していない場合は、朝と昼の温度差で溶解度が変化するので、温度が高いと結晶の表面が溶け出して角が丸くなり、結晶面が確認しにくくなるので、気温の低い朝のうちに取り出すとよい。

3. 接種法による結晶の成長

ビーカーの底での結晶成長は、ビーカーの底に接している面が成長できないし、1週間くらい経過後はビーカーの底で結晶同士が絡まりすぎて結晶面が確認しづらくなる。ラセミ溶液から結晶を分別するための基準とするD-体、L-体の結晶は大きい方がよいので、種となる結晶を飽和溶液に吊す接種法によってさらに大きな結晶とした。種となる結晶は、酒石酸塩の溶液を自然蒸発で1～2日放置した物で、5mm程度くらいの大きさで、できるだけ透明度が高く結晶同士が絡まったり、ひびが入っ

ていない物を用いた。

器具・試薬

ビーカー（100mL, 200mL, 300mL, 500mL），メスシリンダー，三角フラスコ，ゴム栓，ガラス棒，電子天秤，薬さじ，薬包紙，ガスバーナー，金網，三脚，マッチ，漏斗，漏斗台，ろ紙，乳鉢，乳棒，ホールピペット，0.3mm ϕ ステンレス線

<実験操作>

- ① 2章の実験操作⑥で，ビーカー内の上澄み液と底に残った結晶はデカンテーションで分離しているので，結晶をろ紙上に指でつまみ出し，表面に付いた溶液を乾かないうちに丁寧に拭き取り，種結晶とした。
- ② 約10cmに切断したステンレス線の先端をピンセットでつまみ，ガスバーナーで先端の1mm～5mm程を赤熱し，種結晶の側面に押し当て，先端の1mm程度で結晶の表面を融かした。（図4左）

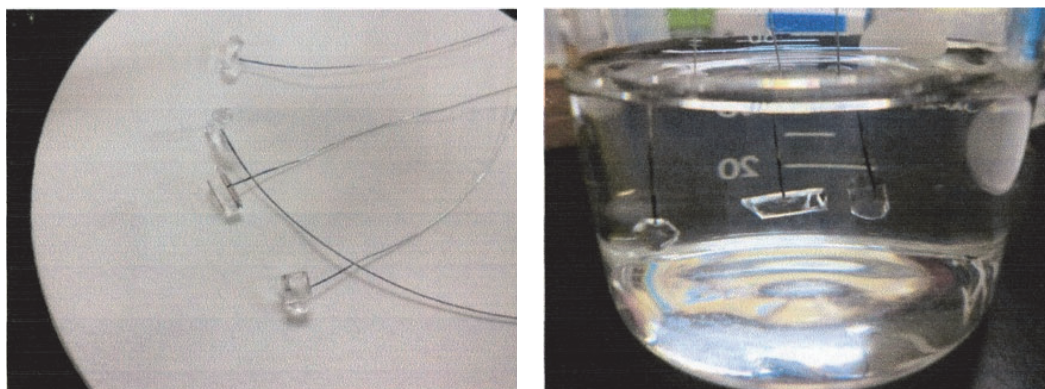


図4 種結晶の作成例と成長：バーナーで熱したステンレス線をつけた種結晶（左），溶液中に吊した種結晶（右）

- ③ 100mL ビーカーに，前述の実験操作⑥でデカンテーションした上澄み液を入れ，0.5mL 程アンモニア水を補充した。そこに種結晶を吊すが，種結晶は表面に微少な結晶が付着している場合があるので，数秒ほど水の入ったビーカーに浸けて表面の結晶を洗い流してから，種結晶を吊した。26℃以下の部屋にビーカーに直接蓋をしないで放置し，自然蒸発によって水を蒸発させた（図4右）。
- ④ 2～3日に一度ビーカーの底に析出した結晶を取り除くために種結晶を取り出した。上澄み液を別なビーカーに移し，0.5mL 程のアンモニア水を補充して，数秒間水で洗った種結晶を吊した。

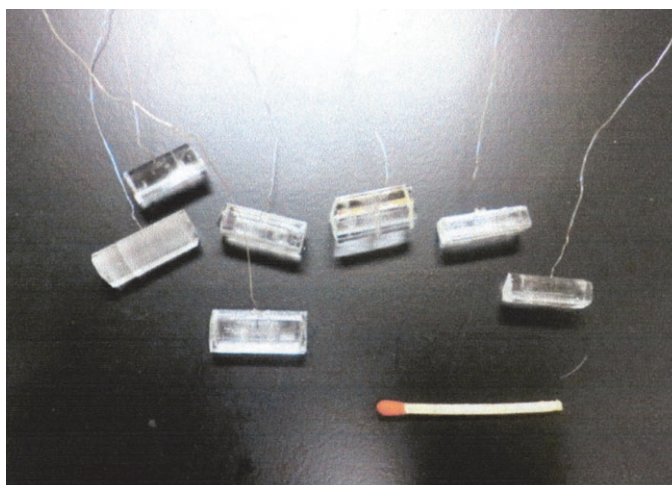


図5 接種法によって成長させた結晶

- ⑤ 5日～1週間結晶を成長させてろ過した溶液を26℃以下の部屋に直接ビーカーに蓋をしないで放置し、自然蒸発によって結晶を析出させた（図5）。

操作時の注意点や結果を以下に示す。②の操作で、吊すのに針金を使うと酸で溶け出すため、ステンレス線を用いている。ステンレス線はホームセンター等で安価に手に入る。③では、大きなビーカーを用いると、大量の溶液が必要となることと、蒸発の速度が速いため、成長が早すぎて結晶の透明度が下がりやすかった。酒石酸塩の結晶はもろいので熱したステンレス線の先端を種結晶の側面に強く押し当てるとひびが入る。種結晶を溶液に吊す時は、通常では重力で種結晶が下になるが、種結晶が小さいと溶液に落ちてしまうことがある。ある程度の大きさに成長するまでは、ステンレス線の先端を釣り針状に曲げておくとよい。この方法だと5日～1週間でもかなり大きく理想的で綺麗な結晶に成長させることができる（図6）。このようにして、D-酒石酸塩とL-酒石酸塩の基準となる結晶を大きく成長させて形を接種法で確認しておく、ラセミ溶液から自然分晶したD-酒石酸塩とL-酒石酸塩の結晶面を判別しての分離の精度を上げることができる。

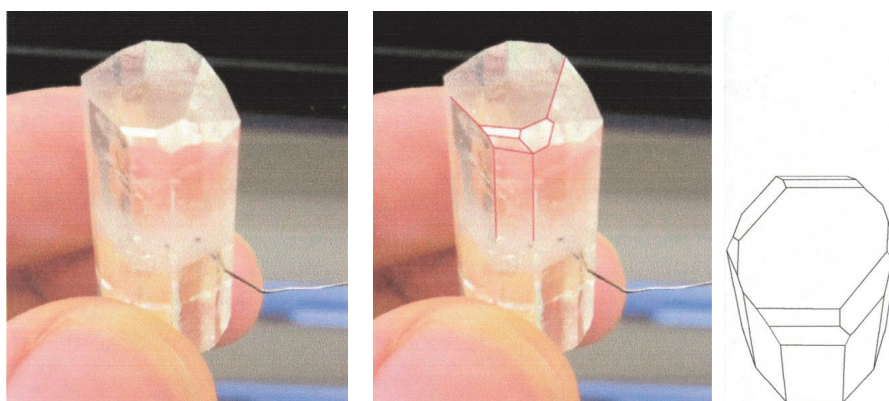


図6 接種法によって成長させた理想的なL-体の結晶

4. 自然分離した結晶の分別と旋光度測定

ラセミ混合物の結晶（一水和物）はD-体とL-体が合わさって完全像の結晶を作るが、温度が27.7℃以下では作らずD-体とL-体が分離してそれぞれの結晶を作る⁹⁾。これは、ラセミ混合物の結晶（一水和物）と比べ、ほんのわずか分子間、分子内の水素結合が異なっており、D-体もしくはL-体のみの光学活性体の方が結晶格子における水素結合が強いため、と報告¹⁰⁾されている。それゆえ、温度管理が楽なように、また多くの結晶を得るために、実験に用いる試料は、前述2章の結晶作成で、D-酒石酸12.5gとL-酒石酸12.5gを粉碎混合してラセミ溶液を調製することから始めた。それゆえ、それ以後の実験操作では2倍の使用量で実験を行っている。

さて、実験操作⑦で結晶を取り出すと、結晶面の確認しやすい結晶を1回につき5g程度取り出すことができるので、上澄み液から結晶化を繰り返すと合計で60g弱の結晶を取り出せた。取り出した結晶の重さは1個あたり0.05g～1.5g、長さ5mm～20mm程度の大きさであった。D-体とL-体の判別であるが、図6のL-体の場合は図の手前を主面と考えると右上側に六角形の不斉小面がくる（図

では指で隠れているので見えないが、底側にも主面の対角線上で左下に不斉小面がある)。一方、D-体の場合は左上側（底側では主面の対角線上で右下にある）に来ることを利用して結晶の分離を行った。また、この分離はルーペや光学顕微鏡を用いなくても、肉眼で結晶面を確認して分離することができた。60gの結晶のうち4割にあたる24.37gの結晶は、結晶面によるD-体とL-体の判別が困難だったが、残りの6割の結晶は結晶面から15.53gのD-体と17.76gのL-体の結晶に分離することができた（図7）。

図7では、左下の結晶はD-体、右下のものはL-体と識別したもので、左上のものは結晶面から識別できなかったものである。天然に多く存在するL-体の方が結晶面が確認しやすいものが多く、D-体の結晶よりもやや多く分離することができた。

この結晶分離の正確さの確認であるが、鏡像異性体の関係にあるD-体とL-体は、物質質量、密度、融点、沸点などの物理的性質は等しいので、それらの物性で両者を比較することができない。しかし、光学的性質は異なり、自然光は光路に垂直なあらゆる面で振動する波からなるが、偏光板のようにある振動面を持つ光だけを通過させた光、すなわち平面偏光がおのおのの溶液を通過するとその振動面を回転させるという光学的性質は両者で逆の方向を示す。D-体は偏光面を左に回転させる左旋性であり、L-体は右に回転させる右旋性である。そこで、D-体とL-体の結晶の分離が成功しているかどうかを確認するために、日本分光の旋光計DIP-4用いてナトリウムD線光の波長で旋光度を測定した。



図7 取り出した結晶の分離

＜実験操作＞

- ① D-体に分離した結晶から3～5個ずつ、重さ1g～2g程度になるように取り、結晶の溶解に時間がかかるため、乳鉢上ですりつぶして粉末状にした。
- ② 10mLのメスフラスコに入れ、水を加えて溶かし、10mLの溶液とした。
- ③ 旋光度計で旋光度を測定し、L-体に分離した結晶についても同様にして旋光度を測定した。

D-体とL-体に分離した試料について、①～③を5回繰り返しておのおの旋光度を測定した結果を表1に示す。

表1 分離した結晶の旋光度，比旋光度

D-体			L-体		
試料の重さ (g)	旋光度	比旋光度	試料の重さ (g)	旋光度	比旋光度
1.49	− 0.330°	− 22.1°	1.34	+ 0.297°	+ 22.2°
1.74	− 0.390°	− 22.4°	2.06	+ 0.456°	+ 22.1°
1.52	− 0.339°	− 22.3°	1.77	+ 0.386°	+ 21.8°
1.90	− 0.434°	− 22.8°	1.40	+ 0.319°	+ 22.8°
1.84	− 0.415°	− 22.6°	2.28	+ 0.512°	+ 22.5°

旋光度，試料溶液の濃度（g/mL），試料セルの長さ（dm），比旋光度には（1）式の関係がある。

$$\text{比旋光度 } [\alpha]_t^\lambda = \text{旋光度} / (\text{濃度} \times \text{セル長}) \quad (1)$$

ここで t は温度（℃）， λ は測定波長である。旋光度測定では，セル長は 0.1dm で測定したので，測定した旋光度を比旋光度に換算した。酒石酸ナトリウムアンモニウムの比旋光度の値は，中崎⁶⁾ が D-体については $-22.0^\circ \sim -23.0^\circ$ と L-体については $+22.0^\circ \sim +23.0^\circ$ と報告している。表 1 より，実験から求めた比旋光度の値は，中崎が報告した値⁶⁾ とよく一致していると思われる。また，この旋光度の測定には，1 回につき 3 ～ 5 個の結晶を用いているので，そのなかに一つでも他方の結晶が紛れ込むと求めた比旋光度の値は大きく外れるはずである。比旋光度の結果は D-体と L-体の分離が全て正確に行われたことを示していると考えられる。

5. 結晶の保存

酒石酸ナトリウムアンモニウムの結晶は 4 水和物として結晶するが，空气中に放置すると 1 ～ 2 日ほどで結晶水を失って風解して表面が白くなる（図 8）。結晶面を確認しにくくなるので，取り出した結晶を保存しておく場合はシャーレに入れてラップをかけるだけでも一週間程度ならほとんど変化がない。D-体と L-体の分離実験を一週間かけて結晶をためてから旋光度を測定するくらいは充分である。しかし分離の基準とするための接種法で成長させた結晶を長期間保存する場合は，ラップ等で密閉するだけでは不十分である。その場合はクリアラッカーや透明のニスで表面を塗装すると空气中に放置してもほとんど変化しない。但し，あまり厚く塗装してしまうと，あとで結晶面が確認しづらくなる。



図 8 風解した酒石酸ナトリウムアンモニウムの結晶

6. 考察

この実験では，パスツールが実際に光学分割を行った酒石酸ナトリウムアンモニウムを用いて実験を行ったが，自然分割した結晶は，ルーペや光学顕微鏡などを用いなくても，結晶面の光の反射から肉眼でも問題なく結晶面を確認することが可能であった。取り出した結晶のうち 6 割弱を結晶面の左右を区別して D-体と L-体に分離した後，旋光度を測定することで分離の正確さを確認できた。今回測定した旋光度の値は，試料セル長が 0.1dm だったので $\pm 0.3^\circ \sim \pm 0.5^\circ$ 程度であった。測定に用いるセル長を 1.0dm にすると $\pm 3^\circ \sim \pm 5^\circ$ 程度偏光面が回転するので，偏光板を用いた簡易な偏光度計でも右旋性か左旋性かは観察することができる。

問題点としては、もし過去に再結晶などで結晶を取り出す実験を一度も行ったことがなければ、酒石酸塩の結晶をきれいに析出させるのはなかなか難しく、操作や結晶の析出させ方に慣れるまでは、何回も繰り返して実験を試みる必要がある。また、この酒石酸塩の作成は濃アンモニア水を使用するため、溶液の調製にはドラフトを使用しなければならず、大人数で一度に実験をさせるのが困難である。また、自然蒸発によって結晶化させている間も、アンモニアの蒸発のため濃アンモニア水を補充する必要があり、結晶化を繰り返すとかなりの量の濃アンモニア水を消費する。また時間も1週間程度は必要のため、理科クラブなどのある程度化学史や化学的な実験に興味を持つグループで行うことが適していると思われる。

しかし、酒石酸ナトリウムアンモニウムの結晶作成を教材として考えた場合、接種法によって基準となるD-体とL-体の結晶を作成することと、ラセミ溶液から自然分割したD-体とL-体の結晶をおのの結晶形を確認して分離することは十分に可能である。酒石酸塩は非常に美しい結晶を作るので、きれいな結晶を析出させるという目的でも興味関心を持って取り組みやすい内容であり、光学異性体の概念を示したという歴史的な面白さもある。また、結晶を成長させるだけでなく、パスツールの歴史的な分割実験を追体験することで光学異性体の立体的な配置が実感でき、旋光度など立体化学の基礎的な内容を理解することができる。それゆえ、パスツールの実験は光学異性体の理解を深めるための探求学習教材として利用することができる。

参考文献

- 1) 三宅征夫「教材としてのパスツールのラセミ酸塩の自然分割」『化学教育』, 25, 1977, pp.325-328.
- 2) 村田吉彦「パスツールが発見した光学異性体 D, L-酒石酸ナトリウムアンモニウムの合成」『化学と教育』 55, 2007, pp.348-349.
- 3) 文部科学省「高等学校学習指導要領解説 理科編・数理編」実教出版, 2010.
- 4) 齋藤烈ら『化学』啓林館, 2013, p. 310.
- 5) R.J.Fessenden 著, 成田吉徳訳『基礎有機化学』化学同人, 2000, p.182-183.
- 6) 中崎昌雄「酒石酸ナトリウムアンモニウム塩の結晶形についてーパスツールの“自然分割”実験とその追試ー」『化学の領域』 33, 1979, pp.951-962.
- 7) 国産化学株式会社 HP (2019 年 4 月 10 日閲覧), <http://www.kokusan-chem.co.jp/sds/D007330-1.pdf#search=%27%E9%85%92%E7%9F%B3%E9%85%B8%E6%B0%B4%E7%B4%A0%E3%83%8A%E3%83%88%E3%83%AA%E3%82%A6%E3%83%A0%27>
- 8) Chemical Book com.HP (2019 年 4 月 10 日閲覧), https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_JP_CB8214368.htm
- 9) Robert. M. Secor, “Resolution of Optical Isomers by Crystallization Procedures.” Chem. Rev. 63 (3), 1963, pp.297-309.
- 10) Kuroda, R. and Mason, S. F. “Crystal structures of dextrorotatory and racemic sodium ammonium tartrate.” J. Chem. Soc., Dalton Trans., 1981, p.1268.