

仙台市天文台における化学実験教室の実践(1)

——光学活性物質のリモネンをテーマとして——

*笠井 香代子・**紅 智 尋

Practice of the Chemical Experiments Study in the Sendai Astronomical Observatory
——Focusing on a optically-active Limonene——

KASAI Kayoko and BENI Tomohiro

要 旨

平成21年度より、宮城教育大学と仙台市天文台の連携企画の一つとして、理科実験教室「スペースラボ in 仙台市天文台」の実践を行っており、宇宙や天文に関するテーマによる2時間半の実験教室を仙台市天文台で開催した。今回は、平成21年度と22年度の2年間にわたって実施した分子のキラリティをテーマとした化学実験の実践結果について報告する。

Key words： 化学実験 (Chemical Experiment)
天文台 (Astronomical Observatory)
キラリティ (Chirality)
リモネン (Limonene)
分子模型 (Molecular Model)

1. はじめに

リモネンは、オレンジやみかんなどの柑橘類の果皮に含まれる不飽和炭化水素化合物であり、柑橘類様の香気の原因となる物質の一つである。これは炭化水素化合物のため水にはほとんど溶解せず、粉碎した柑橘類の果皮より水蒸気蒸留で留出させるか、あるいは有機溶媒で抽出して単離する。このようにして得られた油状成分は、通常オレンジ油として市販されており、その含有物の90%以上がリモネンである。このオレンジ油は各種溶剤や香料などとして用いられるほか、ポリスチレンをよく溶かすことより、近年では発泡スチロールのリサイクルに用いられている。

図1に示した構造式のように、リモネンには不斉炭素が一つあるためにキラリティを持ち、右旋性の*d*-体はオレンジ油の主成分である。左旋性の*l*-体はハッカ油に含まれる一成分であり、さらに*d*-体と*l*-体のラセミ体(等量混合物)である*dl*-体は、テレピン油やしょうのう油に多量に含まれている。*d*-リモネンはオレンジやレモン様の香気、*l*-リモネンはテレピン油様のにおいを持つので、においによって容易に識別することができる。キラリティに関する研究は2001年にノーベル化学賞受賞の対象になっており、ノーベル財団の公式HPにリモネンのキラリティとそのおいについての説明が掲載されている¹⁾。

* 宮城教育大学理科教育講座

** 宮城教育大学大学院教科教育専攻理科教育専修

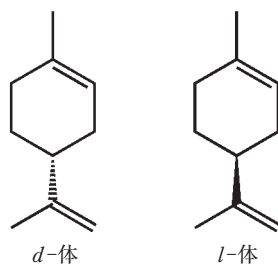


図1 リモネンの構造式

リモネンは柑橘類という身近な食物に含まれており、その香気や発泡スチロールに対する溶解性などにより、児童生徒の興味関心を喚起するのにふさわしい教材としての実験例が報告されている²⁾。さらに、化学教育にとどまらず、環境教育、図画工作、家庭科などの教科横断的な試みのできる教材であることが指摘されている³⁾。

我々はリモネンのキラリティに注目し、天文分野と化学分野を融合した実験教室を仙台市天文台で行った。このリモネンを天文台での実験教室の教材として採用したのは、地球上の生命体に含まれるタンパク質がL-アミノ酸のみで構成されている理由として、宇宙空間に存在する偏光によりL-アミノ酸のみが含まれる隕石が原始時代の地球に飛来したためであるという説が提唱されており、この天文分野における最新のトピックスと、化学分野における分子のキラリティとを融合した新規化学教材の開発が期待できるからである。今回は、平成21年度と22年度の2年間にわたって実施した分子のキラリティをテーマとした化学実験教室の実践結果について報告する。

2. 実験教室「スペースラボ in 仙台市天文台」の実践

以下に実践内容の概要を記す。まず柑橘類のいいにおいのする *d*-リモネンと不快なおいのする *l*-リモネンを、参加者自身でそのにおいの違いを比較し、これが分子のキラリティに由来することを説明した。次にキラリティを持つ正四面体の分子模型を組み立て、鏡像異性体どうしが重なり合わないというキラリティの概念を説明した。身近なキラリティの例として右回りと左回りのかざぐるまを製作した後に、簡易旋光計により、*d*-リモネンと *l*-リモネンの旋光度をそれぞれ測定した。最後に *d*-リモネンが発泡スチロールを

溶かすことを利用して、スタンプの製作を行った。

2-1. リモネンの鏡像異性体のおいの比較

まず、中身が見えない箱の中に市販の *d*-リモネンを入れ、参加者ににおいをかいでもらい、箱の中身を推測してもらった。大部分の参加者はオレンジやミカンなどの柑橘類が入っていると回答したが、柑橘類のいいにおいのものは果実そのものではなく、*d*-リモネンという物質であることを示すことにより、化学への興味関心を喚起させることができる。次に、*l*-リモネンのおいをかいでもらい、オレンジ様の香気を持つ *d*-リモネンと、どちらかと言えば不快なおいである *l*-リモネンは明らかに違う物質であることを認識してもらった。

2-2. 分子模型の組み立てとかざぐるまの製作

この *d*-リモネンと *l*-リモネンのおいの違いが、分子構造のうち、同じ化学式や結合様式を持つものでも、立体的な配置が異なり、互いの鏡像異性体が重なり合わないキラリティによることを説明した。これを視覚的・空間的に理解してもらうために、分子模型の組み立てを行った。最も代表的な分子のキラリティの起源は4つの異なる置換基を持つ四面体炭素、すなわち不斉炭素であり、リモネンは前述のようにこの不斉炭素を一つ持っている。原子を「たま」、結合を「ボンド」とした、分子模型として最も広範に用いられている HGS 分子構造模型（丸善）を用い、黒い正四面体の炭素を中心として、4つの異なる色のたまをボンドで結合させて模型を組み立てた。参加者が2つの鏡像異性体を区別できるために、図2のように3つの色の配列が右回りと左回りの図をテキストに掲載した。さらに、2つの模型をこの図の色の配置にあわせてそれぞれ置いた後に模型を交換しても、図の色と模型の色の配置が合わないことを確認してもらった。

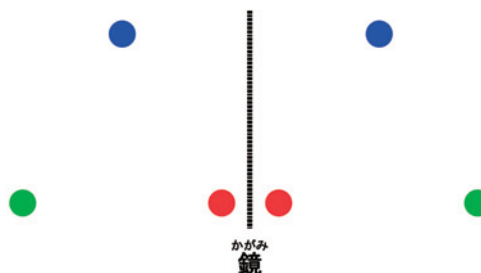


図2 不斉炭素の分子模型の底面図

次に、小学生を中心にした参加者に理解してもらうために、身近なキラリティであるかざぐるまを製作した。折り紙をかざぐるまの本体、スプーンストローを軸、プラスチック製ようじ（ピック）を留め具として用いて、風が当たると右に回るものと左に回るものの両方を製作した。方法を図3に示す。□のように、三角に折った4つの角の右に・、左に×の印をそれぞれ付け、×に穴をあけると右回り、・に穴をあけると左回りのかざぐるまになる。

2-3. 旋光度の測定

d-体と*l*-体の一对の鏡像異性体は、沸点や融点、溶解度、鏡像異性体の関与しない化学反応などに対しては同一の性質を示すが、偏光面を互いに逆方向に同じ角度で回転させる光学的性質により区別できる。リモネンの比旋光度は、それぞれ*d*-体が $[\alpha]_D^{20} = +124.2^\circ$ 、*l*-体が $[\alpha]_D^{20} = -124.2^\circ$ である。そこで、市販の*d*-リモネンと*l*-リモネンを用いて、旋光計により旋光度をそれぞれ測定した。

旋光度の測定の前に、2枚の偏光板を用いた偏光の実験を行った。通常の光は光源を中心にしてあらゆる方向に振動しているが、偏光板を通過すると一定の方

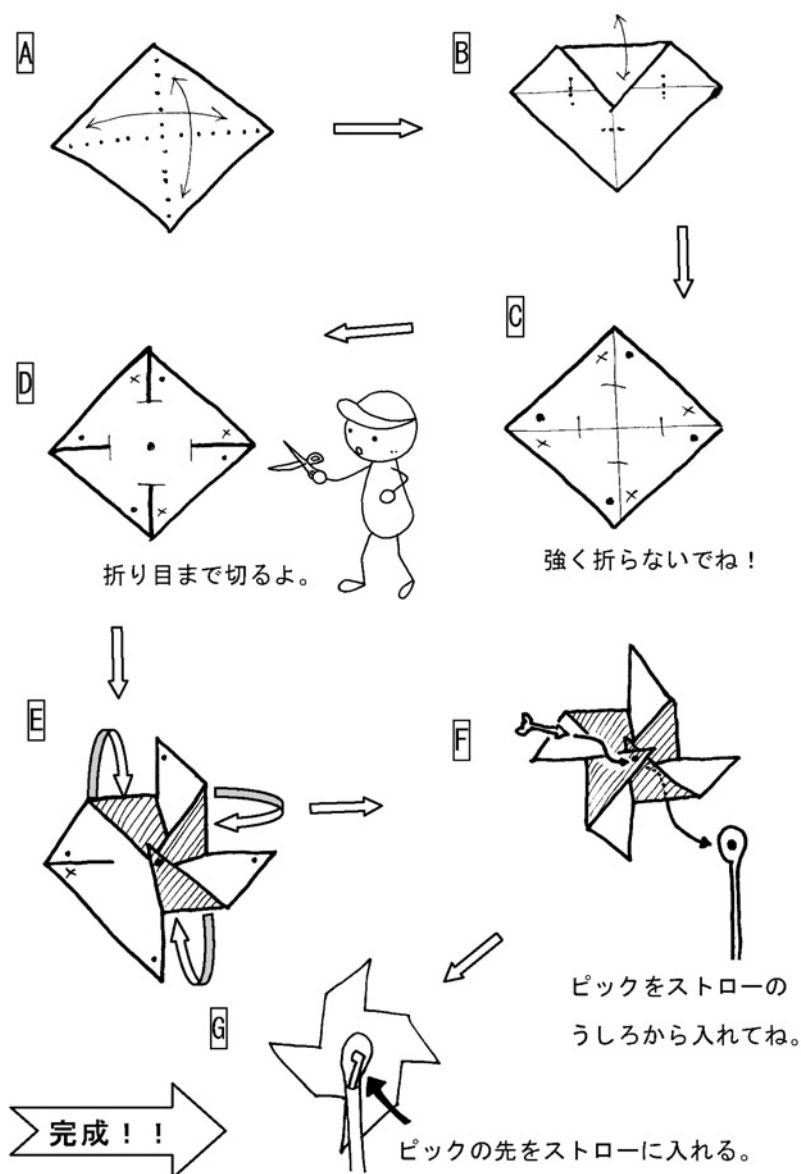


図3 かざぐるまの作り方

向のみに振動する偏光になる。この偏光に対して平行になるように第二の偏光板を置くと、偏光は通過することができず、図4のように2つの偏光板が直交していると、偏光は遮られ、通過できない。

この現象を体験するために、2枚の偏光板（50×50mm）を参加者に渡し、2枚の偏光板を重ね合わせて回しながら光を観察すると、暗くなったり明るくなったりすることを確認してもらった。

次に、旋光計のしくみを説明した。図5のように、2枚の偏光板の間に光学活性物質を入れると、偏光が振動する平面である偏光面を一定角度回転させる性質を持つ。旋光計はこの旋光度を測定する装置である。

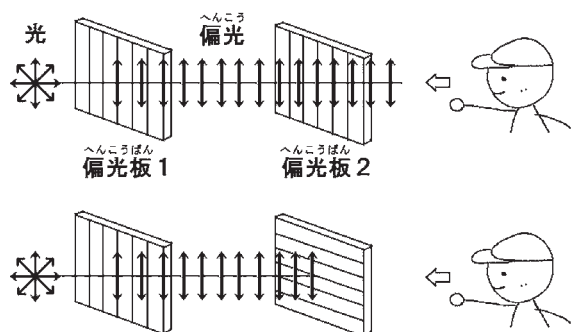


図4 偏光と偏光板

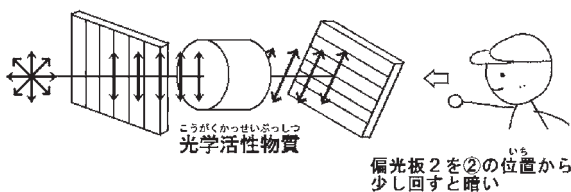


図5 光学活性物質による偏光面の回転

今回用いた旋光計（ナリカ）は、通常光学活性を示すグルコースやフルクトースなどの水溶性固体試料を水溶液にして測定することを想定して、内径18mmの専用サンプル管が用意されている。一方、リモネンの場合には液体であるため、溶液にせずそのまま旋光度を測定できる。しかし、このサンプル管では大量の試料を必要とするため、内径8mmの小型試験管をリング状のアダプターに通すことで旋光計に取り付けられるように工夫した。この小型試験管にリモネン2mLを入れると、試料の長さが約4cmとなり、旋光度の実測値は約35°であった。この旋光計では偏光の光源として赤色と緑色の発光ダイオードを備えており、今回

は観察しやすい赤色発光ダイオード（ピーク波長630nm）を用いた。前述のリモネンの比旋光度の文献値はナトリウムD線（波長589.6nm）を用いたものであり、この旋光計による比旋光度にそのまま当てはまるわけではないが、今回の測定では比旋光度が約100°となった。

さらに、この実験が早く終わった参加者には、*d*-体と*l*-体を等量混合すると、旋光度はどうなるかを実験してもらった。一対の鏡像異性体の等量混合物をラセミ体というが、この場合は旋光度が相殺されるので0°となり、光学活性を示さなくなる。



図6 旋光度の測定の様子

2-4. 光学活性物質である生体物質の起源と天文学

これまでの実験の考察を行いながら、化学と天文学の融合として、最近の天文学におけるトピックスである生体物質の宇宙起源説について説明した。

2010年4月6日に、国立天文台より、オリオン大星雲において太陽系の大きさの400倍以上の大きさの円偏光が存在していると発表された^{4), 5)}。この発見は、通常では右旋性と左旋性が等量存在するラセミ体のアミノ酸に、宇宙に存在するこのような偏光が照射されることによって選択的に一方の鏡像異性体のアミノ酸に偏り、原始地球に隕石とともに飛来したのではないかという説を支持するものである。この説を簡単に説明し、化学と天文学、生物学という分野を融合した自然科学への興味関心を喚起するきっかけとした。

2-5. リモネンスタンプの製作

はじめに、リモネンがオレンジに含まれているということを再確認し、リモネンの実と皮をそれぞれ用意

した2つの風船に接触させる実験を行った。リモネンがゴムを溶かすという性質を利用し、リモネンがオレンジのどの部分に含まれているのかを参加者にわかってもらうための実験である。実を付けた風船は全く割れないのに対し、皮を付けた風船は割れてしまう。この実験から、リモネンが皮の部分に多く含まれているということが確認できる。

そこで、参加者にオレンジとピーラーを配布し、皮を剥いたのち、絞り器を使ってオレンジの皮の絞り汁を取り出してもらった。その絞り汁をつまようじや綿棒につけ、約5cm四方の発泡スチロールに参加者各々が絵や文字を書き、スタンプを製作した。できたスタンプはインクにつけて、テキストに押したほか、ビニール袋に入れて持ち帰ってもらった。



図7 リモネンスタンプの製作の様子

3. 実践結果

参加者のアンケート結果を以下に示す。

3-1. 平成21年度 スペースラボ in 仙台市天文台 第2回 「宇宙からやってきた生命の源 ～右手の分子と左手の分子～」

実施日：平成21年10月17日（土） 14：00～16：30

参加者：小3 1名、小4 3名、小6 1名、

中1 1名、中3 1名 計7名

参加者評価：（参加者4名アンケートより）

・今日の内容で印象に残ったことは何ですか？

オレンジがなくても、リモネンでオレンジのようなにおいが出せる。(+)–リモネンと (-)–リモネンでにおいがちがう。

オレンジオイル（リモネン）で、発泡スチロールが

溶けること。

偏光板を使ってのリモネンを通して見た時の光の見え方の実験

はんこを作ったこと

・説明の理解度

簡単：0名、やや簡単：3名、やや難しい：0名、
難しい：1名

・理解度に関する自由記述

なぜ鏡にうつしたような形であんなにちがうに
おおいのかをくわしくおしえてほしい。

もっとみづかなものにたとえてほしい

「旋光度のはかり方」で、最も暗いところの記録の
しかたがわからなかった。

模型をつくることによって、(+)-リモネンと (-)-
リモネンの違いがわかった。

・その他の自由記述（抜粋）

理科はあまり好きではないが、楽しめた。

リモネンに (+) と (-) があることを初めて知った。
実際に匂いをかいでみたり、分子模型を組み立てて
みることによって、楽しんで学習できた。また、宇
宙にある偏光にも興味を持てた。

3-2. 平成22年度 スペースラボ in 仙台市天文台 第1回「オレンジから宇宙と生命のふしぎを 探ろう」

実施日：平成22年8月29日（日） 14：00～16：30

参加者：小1 1名、小3 2名、小4 1名、

小5 7名、小6 5名

中1 1名、中2 1名 計18名

参加者評価：（参加者17名アンケートより、抜粋）

・今日の活動は楽しかったですか？

とても楽しかった：14名、まあまあ楽しかった：2
名、あまり楽しくなかった：0名、全然楽しくなかつ
た：0名、無回答：1名

・今日の内容でいちばん楽しかったことは何ですか？

分子模型作り：1名、かざぐるま作り：1名、旋光
度測定：7名、スタンプ作り：11名

・説明の理解度

とてもわかりやすい：13名、まあまあわかりやすい：
3名、少し難しい：1名、とても難しい：0名

・次にやってみたいことや、ご意見・ご感想などをお
書き下さい。

リモネンが風船や発泡スチロールを溶かすことがわかり、おどろいた：3名

スポイトやピーカーを使い、リモネンをさわれてとても楽しかった

リモネンは科学の進歩で重要なキーワードだと思った

リモネンになぜ(+)と(-)の2つがあるのかを知りたい

宇宙の誕生について知りたい

リモネンスタンプを家でもやってみたい

スタンプの文字を逆に書けなくて残念だった

これからも小中学生向けの活動が増えてほしい

オレンジを食べてみたかった

これらのアンケート結果によると、オレンジという身近な食品から、宇宙や生命の謎を考える実験内容に対して、おおむね好意的に評価されていた。参加者は、オレンジや発泡スチロールなどのような身のまわりのものを扱うことに興味があるのと同時に、旋光度の測定のように、小中学校では通常体験できないような実験内容にも強い興味関心を持っていることが明らかとなった。

4. さいごに

これまでリモネンをテーマとした化学教育実践において、家庭科や環境教育分野との融合を試みた例は報告されているが、天文学との融合の例は我々が知る限りではほとんど報告されていない。平成23年度より段階的に実施されている新学習指導要領・生きる力では、思考力・判断力・表現力等の育成を重視し、教科等を横断した課題解決的な学習や探究的な活動の充実が求められており、これまでにあまり試みられていない分野と融合した新規の化学教材がますます注目されるであろう。

謝 辞

本研究の一部は、独立行政法人科学技術振興機構(JST)「平成22年度科学コミュニケーション連携推進事業 機関活動支援」の助成を受けて行われたものである。

参考文献

- 1) The Official Web Site of the Nobel Prize, The Nobel Prize in Chemistry 2001, Popular Information (2001).
http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2001/popular.html
- 2) 柴一実・山崎敬人・秋山哲・西井章司・森本泰史(2003). 小学校理科における学び文化の創造(3)—環境学習教材としてのリモネンを中心として— 広島大学 学部・附属学校共同研究紀要, 31, 181-190.
- 3) 村山淳子・山本勝博(2006). 化学の不思議さや面白さが体感できる柑橘類の果皮を用いた教材化の試み 化学と教育, 54, 664-667.
- 4) 自然科学研究機構 国立天文台(2010). SIRPOL Press Release, 「宇宙の特殊な光から地球上の生命の起源に新発見」.
http://optik2.mtk.nao.ac.jp/~fukue/pr2010-0406/index_j.html
- 5) T. Fukue & M. Tamura & R. Kandori & N. Kusakabe & J. H. Hough & J. Bailey & D. C. B. Whittet & P. W. Lucas & Y. Nakajima & J. Hashimoto (2010). Extended High Circular Polarization in the Orion Massive Star Forming Region: Implications for the Origin of Homochirality in the Solar System, Origins of Life and Evolution of Biospheres, 40, 335-346.

(平成23年9月30日受理)