

仙台市天文台における化学実験教室の実践 (3)

——カロテノイドをテーマとして——

*笠井香代子・**遠藤 一樹

Practice of the Chemical Experiments Study in the Sendai Astronomical Observatory (Ⅲ)
— Focusing on carotenoids —

KASAI Kayoko and ENDO Kazuki

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実験教室を仙台市天文台で開催している。今回は、平成24年度に実施したカロテノイド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)
カロテノイド (Carotenoid)
リコペン (Lycopene)
薄層クロマトグラフィー (Thin-Layer Chromatography)

1. はじめに

カロテノイドは動植物に広く分布し、その多くが炭素数40個から成るポリエン色素である。緑黄色野菜に多く含まれる鮮黄色の β -カロテンや、トマトや熟した果実に含まれる赤色のリコペンは、カロテノイド炭化水素の代表的な化合物であり、水に不溶で脂肪を溶かす有機溶媒によく溶ける (図1)。

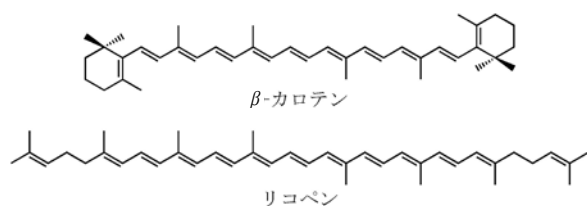


図1 カロテノイドの構造式

カロテノイドは動植物を鮮やかに彩る色素の1つであり、これらの生命の生理的機能に重要な役割を果たしている。例えば、光合成においては、クロロフィルとともにカロテノイドが必須であり、光エネルギーを吸収して光化学反応の主体であるクロロフィルにエネルギーを受け渡す光捕集・増感剤として、また、過剰な光による障害を防ぐ光障害防御剤としての機能を持っている。動物は植物が合成したカロテノイドを食物から摂取し、それを代謝して様々な目的に使用している。例えば、一部のカロテノイドは動物の体内でビタミンAに変わりうるプロビタミンA活性をもち、視覚色素としての役割を果たしている¹⁾。

先述の β -カロテンやリコペンは、野菜や果物といった身近な食品に含まれており、主にクロマトグラ

* 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

フィーにより比較的容易に分離できるために、大学での授業や実験教室などでの教材として広く採用されている^{2)~4)}。

当研究室では、平成19年に中・高校生を対象とした実験教室「楽しいみんなの実験室：トマトから赤い色素を取り出そう」(化学への招待 日本化学会東北支部第157回、7月28、29日)を開催した。ここでは、まず薄層クロマトグラフィーにより、パセリ、ニンジン、トマトに含まれるカロテノイドを分析・確認した。さらに、赤色のリコペンを単離するために、トマトから粗リコペンを有機溶媒で抽出し、カラムクロマトグラフィーにより精製した。このリコペンの単離においては、リコペンの溶液から有機溶媒を蒸発させて濃縮するために、水流アスピレーターで減圧しながらロータリーエバポレーターを使用した。この実験教室は宮城教育大学の化学実験室で行ったため、ロータリーエバポレーターを使用することは容易であったが、このような理化学機器を十分に用意できない中学校や高校などで、この実験を同様にを行うことは困難である。さらに、身近な食品から色鮮やかな色素を取り出せる本教材は、児童・生徒や一般市民の興味関心を喚起する優れた教材であるが、これを実験教室や科学コミュニケーション活動などでさらに広範に実践するためには、水道設備などの整った実験室だけではなく、教室や会議室などのような会場でも行えるような実験法を開発することが不可欠である。

宮城教育大学と仙台市天文台の連携企画の一つとして、本学理科教育講座の教員により、宇宙や天文に関する理科実験教室「スペースラボ in 仙台市天文台」を平成21年度から開催している。我々はこれまでに、天文学と化学を中心とした分野横断的教材を開発し、この実験教室において実践を行ってきた。化学分野においては、オレンジオイルの主成分である光学活性物質のリモネンをテーマとした「オレンジから宇宙と生命のふしぎを探ろう」⁵⁾などを平成21年と22年に、大気に包まれた地球上とは全く異なる太陽系の惑星や宇宙空間がどのような環境であるかを実感するため、真空と低温を主なテーマとした「宇宙空間を体験しよう」⁶⁾などを平成21年、23年、24年にそれぞれ実施した。今回は、天然色素の単離という本格的な有機化学実験を、実験室以外の会議室などで行うことを目的の1つとして、平成24年に実施したカロテノイドの分離・単離実験を

主な内容とする化学実験教室の実践結果について報告する。

2. 実験方法

2-1 薄層クロマトグラフィー(Thin-Layer Chromatography, TLC)による野菜の色素の分離

ニンジン、パセリ、トマトの3種類の野菜を使用した。これらの野菜は、それぞれ黄橙色、緑色、赤色と異なる色をしているが、いずれも緑黄色野菜であり、黄色の β -カロテンを比較的多く含んでいる。さらに、トマトの赤色はリコペンによるものである。これらの色素物質を、TLCによって分離する実験を行った。

まず、ニンジンはおろし金ですりおろし、パセリはすり鉢で細かくした。生食用のトマトやホールトマトは水を多く含み、有機溶媒による色素の抽出の際の妨げとなるため、料理用の乾燥トマトをコーヒーミルで砕いて使用した。これらの試料を5mLのサンプルびんに入れ、ジクロロメタン0.5mLを加えた。ふたを閉めてサンプルびんをよく振ると、ジクロロメタンに色素が溶けて着色溶液となった。

この3種類のジクロロメタン溶液を、TLCアルミシート(Silica gel 60 F₂₅₄, 層厚0.2mm, Merkを10×3cmにして使用)に毛细管を用いて付着させ、ジクロロメタン-ヘキサン溶液(1:4)で展開した。すると、ニンジンとパセリから黄色の β -カロテンが、トマトから赤色のリコペンが分離され、それぞれ黄色と赤色のスポットとして観察することができた。トマトの β -カロテンは、ジクロロメタン溶液を薄層プレートに多く付着させると観察できることもあった。

2-2 分取用薄層プレートによるトマトの色素の単離実験

トマトに赤色のリコペンが含まれることがわかったので、さらに多くの乾燥トマトを用いて、分取用薄層プレートにより精製し、純リコペンを得る単離実験を以下のように行った。

(1) 乾燥トマト2個(5~6g)を電動コーヒーミルに入れ、細かく粉碎し、5mLサンプルびん4つに分けて入れた。これは、4人1組の班で実験教室を実施することを想定しているためである。

(2) それぞれにジクロロメタン1.5mLを加え、ふたを

閉めてサンプルびんをよく振ると、ジクロロメタンに色素が溶けて着色溶液となった。

(3) このジクロロメタン溶液を、パストゥールピペットの先端部を用いて、分取用薄層プレート (Silica gel 60 F₂₅₄, 層厚 2 mm, Merk を 10 × 6 cm にして使用) に付着させた。

(4) ジクロロメタン-ヘキサン溶液 (1 : 4) で展開し、赤色のリコペンを精製・分離した (図 2)。

(5) 展開後、濃赤色のリコペンの部分のシリカゲルをナイフ (刃をヤスリで削り、切れないようにしておく) で削り取り、5 mL サンプルびんに入れ、ジクロロメタン 1 mL を加えた (図 3)。

(6) パストゥールピペットの先端に綿をつめて、スタンドに固定し、5 mL サンプルびんを受器として用意した。(5) の溶液をパストゥールピペットに滴下していき、自然ろ過を行い、赤色の純リコペンのジクロロメタン溶液を得た (図 4)。

(7) (6) の溶液の入ったサンプルびんから、「簡易エバポレーター」(次節で述べる) でジクロロメタンを蒸発させ、純リコペンの赤色固体を得た。

この実験教室では、多くのガラス器具や有機溶媒を使用し、着色した溶液を扱うため、参加者には白衣、保護メガネ、手袋を着用させた。また、事前の準備を入念に行い、必要最小限の薬品量を確認した。これらの安全策により、大きなトラブルもなく、無事に実験教室を終了することができた。

2-3 「簡易エバポレーター」の開発

溶液から溶媒を蒸発させて除去し、濃縮するために用いられるロータリーエバポレーターは、化学実験全般において広く使用される機器の 1 つである。系全体を減圧にして、溶液を入れたフラスコを回転させながら湯浴などで加熱し、突沸することなく溶媒を短時間で蒸発させることができる。溶媒の蒸気は冷却器により凝縮して回収される。

このロータリーエバポレーターを使用するには、湯浴などの加熱器具、冷却装置、減圧装置などとともに上下水道の設備が必要である。我々は本格的な有機化学実験を広く児童生徒などに実践するため、通常の教室や会議室でも使用できる「簡易エバポレーター」を目指し、エアーポンプとグリル鍋の砂浴の組み合わせ

を検討した。

減圧装置としては、吐出と吸引が兼用できるコンパクトエアステーション (アズワン、CAS-1) を使用した。これに 200 mL の吸引びんを耐圧ゴム管で接続し、氷冷して溶媒を回収できるようにした。さらに、試料

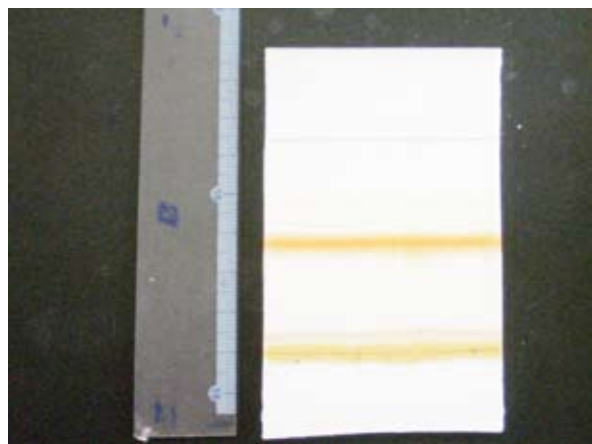


図 2 展開後の薄層プレート



図 3 展開した薄層プレートよりリコペンの赤色に着色したシリカゲルを削り取る



図 4 シリカゲルを濾過により除去して純リコペン溶液を得る



図5 簡易エバポレーター



図6 4つのサンプルびんの溶液を同時に濃縮できる

溶液を入れる容器を加熱する器具としては、家庭用調理器具ミニグリル鍋（TWINBIRD、EP-4164）に海砂（Wako, 425~850 μ m）を入れた砂浴を使用した（図5）。加熱側は分岐のコネクターとゴム管、ゴム栓などを適宜組み合わせ、同時に複数の容器から溶媒を蒸発できるようにした（図6）。

この簡易エバポレーター装置により、前節で述べた実験操作（7）で、4つの5 mL サンプルびんに入った数 mL のジクロロメタン溶液からジクロロメタンを除去する操作を数分で行うことができた。さらに、この装置でより多量の試料溶液の濃縮でも使用できるかを検討したところ、約30 mL のジクロロメタンを10~15分で除去することができた。

3. 実践結果

平成24年度 スペースラボ in 仙台市天文台第1回「太陽の光を『食べる』—野菜の色を取り出そう—」で

の参加者のアンケート結果を以下に示す。

実施日：平成24年9月22日（土・祝） 13：30~16：30

実施場所：仙台市天文台 1階会議室

参加者：小学3年生2名、4年生2名、5年生8名、
6年生3名 計15名

性別：男性3名、女性12名

参加者評価：（参加者14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：0名、あまり楽しくなかった：0名、全然楽しくなかった：0名
- ・今日の活動の説明はわかりやすかったですか？
とてもわかりやすかった：11名、まあまあわかりやすかった：3名、すこしむずかしかった：0名、とてもむずかしかった：0名
- ・まえにも今日のような活動に参加したことがありますか？
参加したことがある：2名、今日がはじめて：12名
- ・また、やってみたいですか？
とてもやってみたい：14名、まあやってみたい：0名、あまりやりたくない：0名、ぜんぜんやりたくない：0名
- ・いままでも、今日の活動でやったようなことは好きでしたか？
とても好きだった：12名、わりと好きだった：1名、あまり好きではなかった：1名、きらいだった：0名
- ・今日の活動に参加して今日やったようなことが好きになりましたか？
とても好きになった：12名、好きになった：2名、あまり好きになれなかった：0名、きらいになった：0名
- ・次にやってみたいことや気がついたこと、今日の感想など、自由にかいてください。
いろいろな器具を使い、2つの実験をしたことが、とても勉強になりました。今度は友達を誘って参加したいと思います。
トマト以外（パセリなど）の色をとりだしてみたいです。（同様の回答3名）
今日初めてわかったのがあって、勉強になりました。とても楽しかったので、また来たいです。

理科は苦手だったけど、今日ので楽しくなった。

いろんなことがわかってよかったです。

一番おもしろかったのは、パセリの緑の中から黄色のベータカロテンが出てきたことです。

参加者のアンケートでは、14名中の全員が「とても楽しかった」「また、とてもやってみたい」という回答であり、満足度がたいへん高い結果となった。身近な食品を扱う実験が子どもにとっても親しみやすい内容であったと思われる。特に、アンケートに回答した14名中12名が女子児童であり、また、実験教室などの科学コミュニケーション活動をしたことのない参加者が14名中12名と多いのが、「スペースラボ in 仙台市天文台」での他の実験教室でのアンケート結果と大きく異なる点であった。食品を扱う活動は、男子よりも女子の興味関心を惹きつけるようである。最近では、女子児童生徒を対象とした理数学習支援活動が注目されているが、これらのテーマ設定などにも参考になると思われる結果であった。

4. さいごに

今回は、植物に含まれる天然色素の分離という、大学の有機化学実験の教科書に掲載されている内容を、小学生を参加対象とした実験教室において実施した。実験用のエアポンプと家庭用のグリル鍋などを組み合わせ合わせた「簡易エバポレーター」は、上下水道の設備を必要とせず、一般の教室や会議室などのような会場で使用できるため、より高度な化学実験教室を広範に企画・実践することが可能となった。今後は出前実験や被災地支援などへの活用も大いに期待できる。

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24年度 科学技術コミュニケーション推進事業 活動実施支援」の助成を受けて行われたものである。

参考文献

- 1) 三室守・高市真一・富田純史 (2006). カロテノイド-その多様性と生理活性-. 裳華房.
- 2) L. F. Fieser & K. L. Williamson 著 磯部稔 他 訳 (2000). フィーザー/ウィリアムソン 有機化学実験 原書 8版. 丸善.
- 3) Robert D. Curtright & Randy Emry & John Markwell (1999). Student Understanding of Chromatography: A Hands-On Approach, *Journal of Chemical Education*, **76**, 249-252.
- 4) James V. McCullagh & Nicholas Ramos (2008). Separation of the Carotenoid Bixin from Annatto Seeds Using Thin-Layer and Column Chromatography, *Journal of Chemical Education*, **85**, 948-950.
- 5) 笠井香代子・紅智尋 (2011). 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 - 宮城教育大学大学紀要, **46**, 91-96.
- 6) 笠井香代子・後藤真歩 (2012). 仙台市天文台における化学実験教室の実践 (2) - 真空・低温実験を中心にして - 宮城教育大学大学紀要, **47**, 101-116.

(平成25年 9月30日 受理)