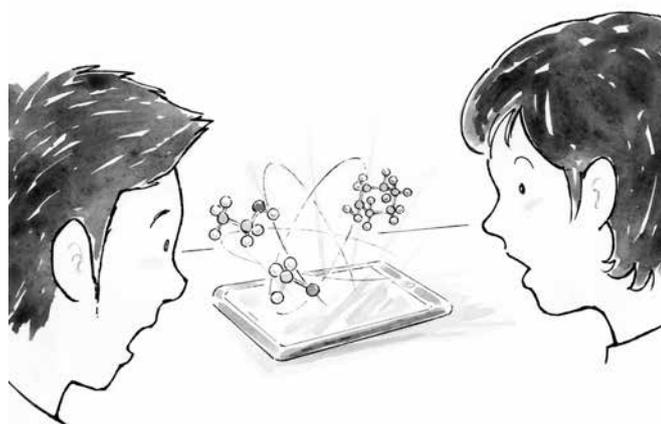




AR分子模型で学ぶSDGs

——拡張現実ARを活用した3D分子モデルの構築



はじめに —SDGsとAR—

2017年、ドイツのボンで開催された国連の政策会議で、「持続可能な開発目標」(Sustainable Development Goals; SDGs) 実現に向けたAugmented Reality (AR) テクノロジーの先駆的な導入の試みが紹介された (Hills-Duty, 2017)。スマートフォンを植物にかざすと、アプリがその植物を識別して名前を表示する。この技術に応用すると、農家がスマートフォンを植物にかざすことで、その植物の健康度や収穫時期、梱包・出荷のタイミング等についての情報を得ることができ、AR農業が実現できる可能性がある。このように、SDGsをテーマとしたARテクノロジーの発展は、SDGsの目標実現の具体的な手段にまで及んでおり、SDGsとARとのつながりは近年

急速に注目が集まっている。

SDGsでは「持続可能な開発目標」として17の目標が掲げられ、このうち目標13「気候変動に具体的な対策を」では、地球温暖化などの気候変動に対処するため、温暖化の直接的な原因となっている温室効果ガスの削減に特に力点を置いている。この温室効果ガスの中でも、地球温暖化に最も大きな影響を及ぼしているのは二酸化炭素(CO₂)であり(全国地球温暖化防止活動推進センター, 2021, 小杉, 2014)、温室効果はCO₂の分子振動によってもたらされる(日本地球化学会, 2021)。

そこで、ARテクノロジーを用いて3次元(3D)表示の振動するCO₂分子モデルを構築することで、学生にSDGsや環境問題を考える契機を提供し、さらにはARテクノロジーへの興味関心の惹起につなげることを着想した(図1)。

現在、教育現場でもARテクノロジーを用いた様々な

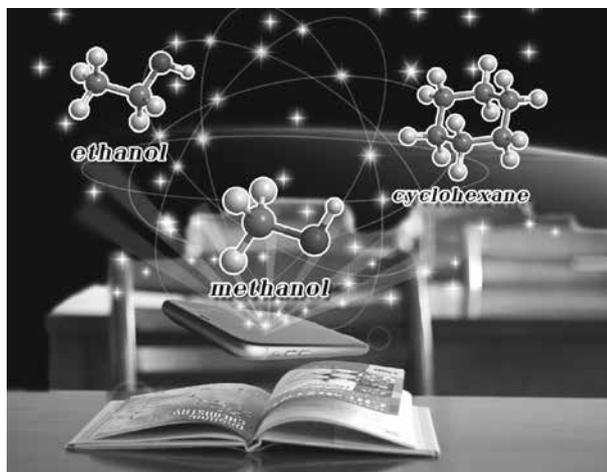


図1 拡張現実 (AR) を活用した3D分子モデルのイメージ図

教材開発が進んでいる。ARを活用した分子モデルについても、これまでいくつかの実践例が報告されている(奥村, 2013, 2016, 坂本ら, 2015, 宇野ら, 2016, 兎山ら, 2017, 武田ら, 2020)。しかしながら、いずれのAR分子も形が変形しない静止画であり、分子振動まで考慮されていないため、温室効果ガスの削減を主要な目標としているSDGsの目標13「気候変動に具体的な対策を」と関連付けて学ぶにはさらなる工夫が必要となる。

そこで本稿では、SDGsの目標13に関連するCO₂の分子振動の仕組みについて言及し、筆者がこれまで行ってきたAR分子模型教材の構築成果や講義での実践的導入、そして今後の課題について述べたい。

2.

SDGsの目標13「気候変動に具体的な対策を」と二酸化炭素

異常気象の増加、気候の温暖化、海水面の上昇、など様々な気候変動のうち、SDGsが最も力を入れている目標実現の一つが温室効果ガスの削減である(環境省, 2019)。温室効果ガスとは、地球に温室効果をもたらすガスの総称である。地表が太陽光によって温められ、それにより発生する熱を大気中の温室効果ガスが吸収することで大気が温められ、地球は一定の温度に保たれてい

る(地球環境研究センター, 2010)。地球上で生物が生きていく上で、この温室効果は必要不可欠なものであるが、産業革命以降の人間の活動により、温室効果ガスが過剰に排出される状況が続いている。過剰な温室効果ガスは必要以上に熱を蓄えるため、その結果地球の温度が上昇することとなる。

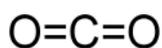
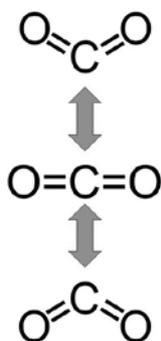
温室効果ガスとしてCO₂、メタン、一酸化二窒素、フロン類などが挙げられるが、温室効果ガスの中でも、地球温暖化に最も大きな影響を及ぼしているのはCO₂であり、地球温暖化の6割は、CO₂の増加による影響とされている(全国地球温暖化防止活動推進センター, 2021)。このため、過剰に排出されるCO₂の削減についての取り組みが世界的に行われている。しかしながら、なぜCO₂が温室効果をもたらすのかという点については、十分に認知されていないのが現状である。

3.

二酸化炭素の分子振動

CO₂の温室効果を理解するためには、CO₂という分子について学ぶ必要がある。図2にCO₂の分子式を示す。分子を初めて学ぶのは中学校であり、中学生は教科書に書かれたこのような二次元平面的イラストから三次元的な分子をイメージしなければならない。

立体的な分子を学ぶ方法として、球(原子)と棒(化学結合)を用いた分子模型が市販されているが、これらの分子模型は分子の特徴のすべてを必ずしも再現できていない。分子を構成する原子同士は、既存の分子模型では棒でつながっているが、実際は棒のように剛直ではなく、バネでつながり方が実態に即している。原子同士がバネでつながっているため、力を加えられることで(すなわち温められることで)、より激しく振動する(ジャパンセンサー株式会社, 2021)。これを分子振動と呼び、CO₂の温室効果の起源となっている。CO₂の分子振動の一例を図3に示す。このように、直線状のCO₂は分子振動により「く」の字型に屈曲するため、直線型と「く」の字型を交互に行き来する振動運動をする(任田, 2021)。本研究では、ARテクノロジーを用いてこのような振動す

図2 二次元表示された従来の分子式 (CO₂の構造式)図3 CO₂の分子振動

るCO₂分子モデルを構築するため、まずはARを用いた3D表示のCO₂分子モデルの構築を行った。

4.

ARとは

ARとは「Augmented Reality」を略したもので、日本語では「拡張現実」または「拡張現実感」と呼ばれている。ARは、スマートフォンなどのカメラを通して見える現実の空間に、3Dデータや動画などのデジタル情報を重ね合わせて表示する技術のことで、ゲームやデジタル広告、医療など様々な分野で活用され、年々その利用が拡大している。ARは認識方法によって大きく「ロケーションベースAR、ビジョンベースAR」の2種類に分類される(表1)。

ビジョンベースARはさらに、マーカー型とマーカーレス型に分けられる。また、ロケーションベースARとマーカーレス型ARを組み合わせることもできる。本研究では、マーカー型のビジョンベースARを作成した。

表1 認識方法によるARの分類

種類		認識方法
ロケーションベースAR		GPS機能により取得した位置情報を認識
ビジョンベースAR	マーカー型	ARマーカーと呼ばれる正方形のコードを認識
	マーカーレス型	空間に存在する画像や物体を認識



図4 ARの仕組み

5.

ARの仕組みとその応用

ARが現実空間に、3Dデータや動画などのデジタル情報を表示させる仕組みは図4の通りである。ロケーションベースARは、スマートフォンなどに内蔵されたGPS機能により、位置情報を取得してARを表示する。GPSの精度に依存しているため、電車の車内などで使用すると、正しく表示できない欠点がある。

マーカー型のビジョンベースARは、ARマーカーと言われる二次元の正方形のコードをあらかじめ用意し、スマートフォンなどのデバイスで読み込むことでARを表示する。マーカーレス型のビジョンベースARは、現実空間に存在する画像や物体を認識することでARを表示する。特定のマーカーが不要だが、空間に存在する画像や物体を認識するため、高度な技術が必要とする。

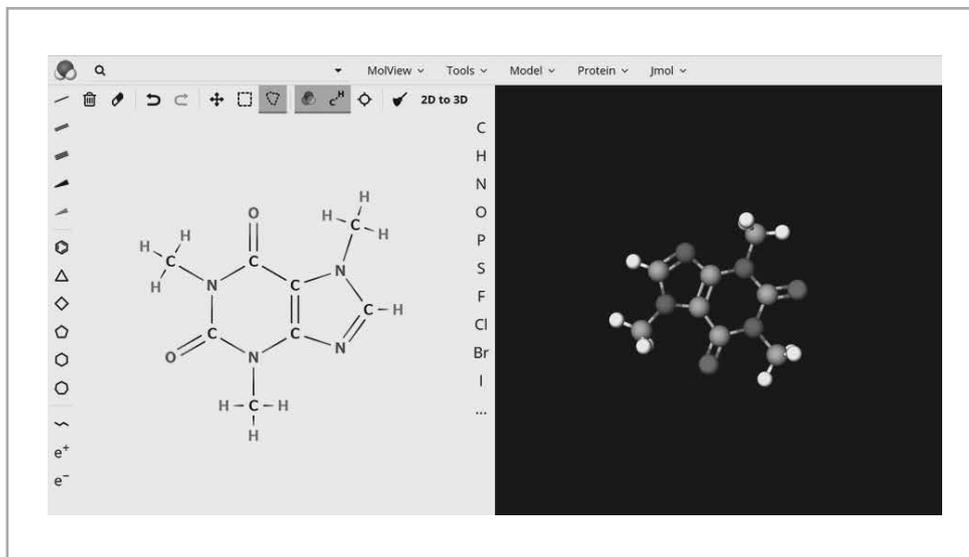


図5 MolViewの起動画面(デフォルトのカフェイン分子が表示)

6.

ARを活用した3D分子モデルの構築

分子振動するAR分子モデルを構築する準備のため、本研究ではまずARを活用した3D分子モデルの作成を行った。分子の構築には、WebアプリケーションであるMolView¹⁾を用いた。MolViewは、WindowやMacなどOSに依存せず、またiPadやスマートフォンなどのタブレット端末からも利用が可能な分子モデル描画ソフトである。操作画面を図5に示す。起動時には、カフェインの化学式(左)とその3D分子モデル(右)が表示されている。使い方は以下の通りである。まず、新規の分子を描画するため、デフォルトで表示されているカフェイン分子を消す。次に、画面左側の白い画面に分子を描画する。パレットには、よく使う構造式やC,H,N,Oなどの元素記号が並んでいる。様々なパーツを配置することで分子を描画し、最後に“2D to 3D”というボタンを押すと、右側に3D分子モデルが出現する。この画像はPNG形式で保存可能である。

MolViewを用いて3D分子モデルを作成した結果を図6に示す。本研究では、CO₂に加えて、アルコール類の代表であるメタノールとエタノール、及びシクロアル

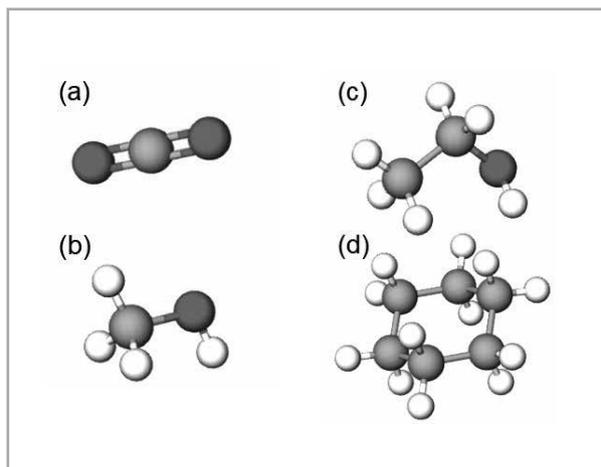


図6 作成した3D分子モデル

(a) CO₂、(b) メタノール、(c) エタノール、(d) シクロヘキサン

カンの代表であるシクロヘキサン²⁾の3つの分子を採用した。図で灰、赤、白の複数の球が表示されているが、それらはそれぞれ炭素、酸素、水素原子に対応する。これらの球が、化学結合を表す棒でつながっている。図6(a)のCO₂を見ると、真ん中にある灰色の炭素原子が、両脇にある二つの酸素原子(赤)と結びついている。炭素原子と酸素原子を結びつける棒が二重になっているが、これは二重結合(図2)を表している。CO₂以外の分子で

は、球同士の結びつきは一本の棒で表されており、単結合を表している。図6 (b) のメタノールは燃料などの用途で用いられる分子であり、図6 (c) のエタノールは消毒やお酒の成分などでなじみ深い分子であるが、これらの二つの分子はどちらも酸素 (赤) と水素 (白) のつながり (OH基) があり、アルコール類に分類される。

7.

AR分子モデルの開発

作成した3D分子モデルをAR分子として表示するため、ar de AR (あるである)²⁾ というWebアプリケーションを用いた (ar de AR, 2021)。ar de AR によりAR分子を閲覧するためには、はじめに公開リーダーを読み取って所定のWebサイトにアクセスする必要があるが、端末に特別なアプリケーションをインストールする必要がないこと、WebベースでARを表示できること、パソコンやスマートフォンなど端末の制限がないこと等の優れたメリットがある。ユーザー側のメリットに加えて、開発側のメリットとして、AR分子を作成するための特別なプログラミングを必要としない点も、特徴として挙げられる。

本稿では、4章で述べたマーカー型のビジョンベースARをar de ARを用いて作成した。作成法の概略を図7に示す。ARコンテンツを表示するためには、ARマーカーとコンテンツの2つを作成する必要がある。ar de ARでは、ARマーカーをカメラで撮影して作成する方式がデフォルトの設定となっているが、ここでは予め用意されたARマーカーである“プリセット”を用いて作成した。作成法は次の通りである。ar de ARはWebアプリケーションであるため、はじめにar de ARのWebサイトにログインする。次に、ログイン後の画面 (図7 (a)) にある“プリセット” (ARマーカー) を選ぶ。このARマーカー画像は後で差し替えるので、任意のものでよい。ここでは英大文字の“A”を選んだ (図7 (b) および (c) の①)。選択後、ホーム画面に戻る (図7 (c) の②) と、新しいマーカーとコンテンツの項目がマイページのリストに現れる (図7 (d))。ARマーカー (図7 (d) ①) とコンテンツ

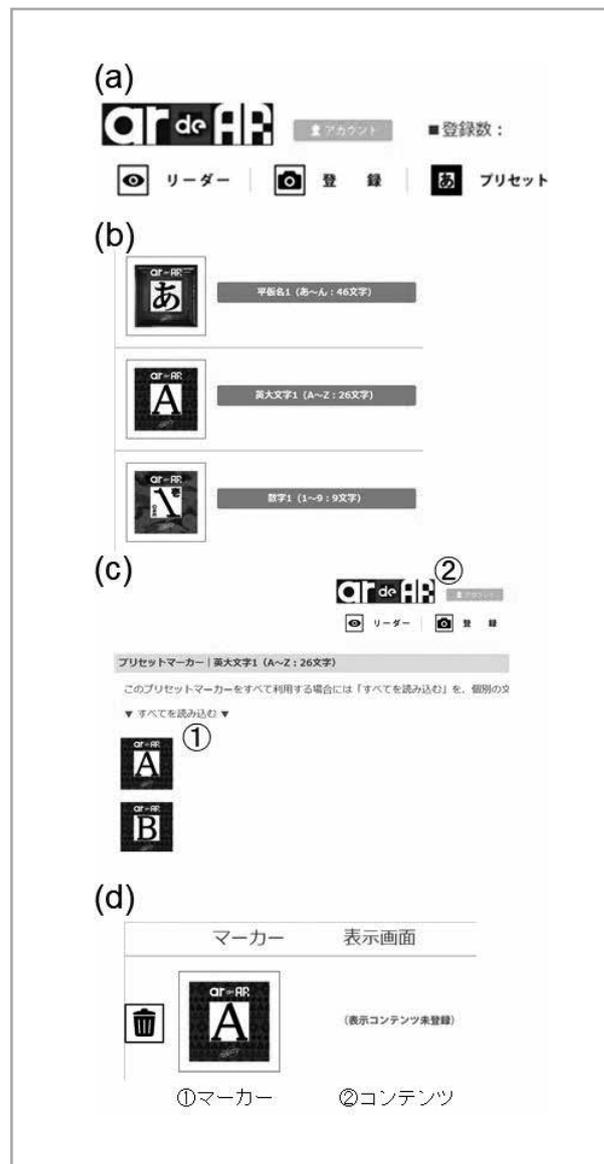


図7 AR分子モデルの作成法 (I)

(a) ログイン画面、(b) プリセットの選択候補一覧、(c) プリセット英大文字の選択候補一覧、(d) 新しく作成したマーカー①とコンテンツ②からなる項目

(図7 (d) ②) をそれぞれ選択することで、事前に用意した分子モデルのファイルに差し替えることができる。例えばARマーカーを選択すると図8 (a) の画面に切り替わるので、クラウドのアイコンを選択することで差し替えができる (図8 (a-c))。コンテンツについても同様である。以上のようにして作成したCO₂分子の項目を図8



図8 AR分子モデルの作成法 (II)

(a-c) ARマーカーの差し替え、(d) 作成したCO₂分子モデルの項目

(d) に示す。

CO₂分子の他に、メタノール、エタノール、シクロヘキサンのAR分子モデルも同様にして作成した。図9に公開リーダー(a)と各分子のARマーカー(b-e)を示す。ARマーカーは、視認性を考慮して分子ごとに異なる背

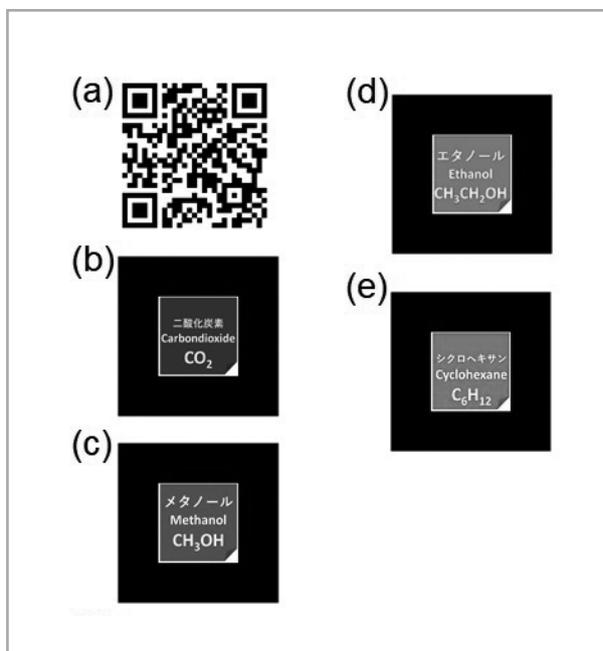


図9 ARマーカーの例

(a) 公開リーダーと作成したARマーカー、(b) CO₂、(c) メタノール、(d) エタノール、(e) シクロヘキサンのARマーカー

景色を用いた。

スマートフォンやタブレット端末などのカメラで公開リーダー(a)を読み取り、所定のWebサイトにアクセスした後で、端末を(b)-(e)のマーカーにかざすと、3D分子が出現する。

8. AR分子モデルの表示

開発したAR分子モデルを表示する手順を以下に述べる。はじめにスマートフォン等のカメラで公開リーダー(a)を読み取る。その後、分子の名称と構造式を記載したARマーカー(b-e)にスマートフォンをかざすことで、AR分子モデルが出現する仕様となっている。

使用法は以下の通りである。はじめに、スマートフォンやタブレット端末で、Webブラウザを通して公開リーダー(図9(e))にアクセスする(リクエストに従い、カメラの使用を許可する)。これにより初期設定が完了す

る。次に、図9(a)~(d)のARコードにスマートフォンをかざすと、3D分子モデルが出現する。今回はある角度から眺めた3D分子のみを表示させたが、眺める角度を細かく変化させた画像を動画として保存し、コンテンツとすることで、3D分子を回転させながら表示させることも可能である。以上のように、特別なアプリを必要とせず、WebベースでAR分子模型を表示できるため、ARを簡便に体験することができる。

9.

AR分子の講義での活用

作成したAR分子模型を、実際の講義でも活用した。2年次生を対象とした情報教育科目で、「拡張現実ARの社会活用事例の調査」というテーマで、ARの概要を説明する際に、実際に体験できる活用事例として、筆者が制作したAR分子模型を講義資料にも掲載し(図10)、学生に

紹介した。このように実際に目の前に3Dに浮かび上がる3D分子模型を体験したことは多くの学生にとって初めてであり、授業後のアンケートでは、約7割の学生がARに興味を持つことができ、約8割の学生からは今後ARを実際に体験してみたいという肯定的な回答が得られた。また、アンケートの自由記入欄には、実際に体験した3D分子模型に興味を引かれた学生から、「授業内で、実際に自分で作成したARを表示させてみたい」等の積極的なコメントが寄せられた。

10.

今後の課題と展望

本稿では、温室効果ガスの削減を主要な目標としているSDGsの目標13の理解を深めるため、ARを活用することで三次元のCO₂分子がスマートフォン上で出現するAR分子模型を構築した。パソコン上で閲覧できる

3 ARの活用事例 ~AR分子模型の教材開発~

ARの活用事例として、本節では科学教材の作成を行った結果を紹介する。分子を初めて学ぶのは中学校であり、中学生は教科書に書かれた従来の二次元平面的な分子表示(図4)から三次元的な分子をイメージしなければならない。

$$\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ | \\ \text{H} \end{array}$$

図4 二次元表示された従来の分子式(メタノールの構造式)

立体的な分子を学ぶ方法として、原子を球、化学結合を棒で表した分子模型(図5)が市販されているが、これらの模型は分子の特徴のすべてを必ずしも再現できていない。



図5 従来の分子模型

特に、分子を構成する原子間の化学結合は、模型では棒を用いるために間隔が固定されているが、実際の化学結合は棒のように剛直ではなく、(堅い)がネでつく方が、実態に即している。しかしながら、このような振動する分子模型は、現在市販されていない。

実際に作成したAR分子模型を図6に示す。図6の二次元バーコードを、スマートフォンのQRコードアプリで読み込むと、教科書では静止画であるメタノール分子が動く様子を確認することができる(初期設定でウェブブラウザがカメラへのアクセスを要求するので、その承認をする必要がある)。

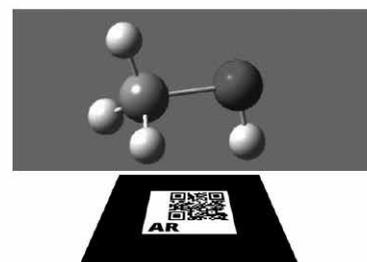


図6 AR分子模型の再生。はじめに、スマートフォンのカメラでARコードを読み取る。すると、スマートフォンのカメラをかざすとAR分子が出現し、振動する。

4 ARの社会活用の調査

3節で紹介した他にも、AR技術は既に様々な分野に活用されている。そこで今回は、新聞に掲載されたAR技術の社会活用例について調査を行う。調査に用いるデータベースは、目白大学生が利用できる新聞データベース「ヨミダス歴史館」(図7)を用いる。

新聞データベース

・新宿キャンパスの学生・教職員
下記リンクをクリックしてご利用ください。

[新日新聞DB](#)
[朝日新聞DB](#)
[読売新聞DB](#)
[毎日新聞DB](#)
[読経II ビジュアル \(3アクセス\)](#)
[ヨミダス歴史館 \(100アクセス\)](#)
[\[拡張\]](#)

[毎朝 \(1アクセス\)](#)

図7 目白大学図書館のウェブサイトから、各種の新聞データベースが活用可能。

ヨミダス歴史館とは、明治からの読売新聞記事 1,400 万件以上がネット上で読めるデータベースのことである。このデータベースは毎日更新されているので、年間 30 万

図10 ARについて講義した際の講義資料

分子模型については、3D分子模型(本間ら, 2007)や振動する分子模型(分子振動, 2021)などの報告例があるが、パソコンに特別なソフトウェアをインストールする必要があるなど、利用にはやや敷居が高いものであった。これに対してARを活用した本分子モデルは、手元にスマートフォンが一台あれば分子を簡単に描出できるため、幅広い年齢層をターゲットとして分子振動についての理解を深め、ひいてはSDGsの目標13についての興味を引き出すことができるという点でもユニークな試みであると言える。

今回はマーカー型のビジョンベースARによりARを表示したが、今後は空間に存在する画像や、物体を認識できるマーカーレス型の画像認識ARの作成にも取り組む予定である。また、本稿で扱ったCO₂以外にも、メタン及び一酸化二窒素などの温室効果ガスについても、AR分子モデルを構築する予定である。さらに、分子振動をARアニメーションとして取り入れることで、温室効果と分子振動とのつながりをよりわかりやすく伝えるAR分子モデルの構築にも取り組みたい。

これに加えて、基本的な分子についてもすべてAR分子化し、振動するAR分子のデータベースをWeb上に構築する予定である。これにより、より汎用的で利用価値のある、AR分子モデルの新たなデータベース基盤を提供できると期待している。

謝辞

本稿は、目白大学特別研究費科学研究費助成事業(振動するAR分子模型教材の開発とデータベース構築)の研究助成のもと行われました。

註

- 1) MolView (2021)「MolView」, <https://molview.org/>
- 2) ar de AR (2021)「あるである」, <https://ar.ymw.ne.jp/>

参考文献

Hills-Duty, R. (2017)「United Nations Conference Enhanced By AR And Gaming Technology」,
<https://www.vrfocus.com/2017/03/united-nations-conference-enhanced-by-ar-and-gaming-technology/> (2021/

7/26)

宇野健・佐々和洋・林治尚・中野英彦(2016)「スマートフォン対応のAR分子グラフィックス表示アプリケーションの開発」,『J. Comput. Chem.』, Vol. 14, pp.196-198.

奥村英樹(2013)「AR教材の分類とその特徴に関する一考察」,『四国大学紀要』, Vol. 41, pp.1-11.

奥村英樹(2016)「AR等の新しい技術を教育現場に普及させるための視点に関する一考察」,『四国大学紀要』, Vol. 47, pp.21-28.

環境省(2019)「おしえて!地球温暖化」,
<https://www.env.go.jp/earth/earth/ondanka/oshiete201903.pdf> (2021/8/15).

小杉隆信(2014)「地球温暖化対策としてのCO₂排出削減、適応および気候工学の経済モデルによる評価」,『政策科学』, Vol. 21, pp.163-177.

児山祥徳・深谷和義(2017)「Augmented Reality (AR)を用いた小学校教員のための自然観察教材の開発」,『椋山女学園大学教育学部紀要』, Vol. 10, pp.63-71.

坂本真人・黒木高德(2015)「AR技術を用いた分子式の視覚化の試み」,『宮崎大学工学部紀要』, Vol. 44, pp.247-250.

ジャパンセンサー株式会社(2021)「赤外線、黒体、放射率について」,
<https://www.japansensor.co.jp/products/thermo/more-about> (2021/8/15).

全国地球温暖化防止活動推進センター(2021)「温暖化の原因は?」,
<https://www.jccca.org/faq/15919> (2021/8/15).

武田伊織・山岸賢司(2020)「AR技術を用いた分子構造表示システムの開発」,『情報処理学会第82回全国大会講演論文集2020』, Vol. 1, pp.543-544.

地球環境研究センター(2010)「二酸化炭素の増加が温暖化をまねく証拠」,
http://www.cger.nies.go.jp/ja/library/qa/4/4-1/qa_4-1-j.html (2021/8/15).

任田康夫(2021)「FT-IRの原理と温室効果ガスの赤外吸収スペクトル測定」,
<https://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~rck/tohda.pdf> (2021/9/5).

日本地球化学会(2021)「温室効果とは?地球の温暖化とは?」,
<http://www.geochem.jp/qanda/answer/004.html> (2021/8/15).

分子振動(2021)「分子振動データ集メニュー」,
http://www.ecosci.jp/mva/vib_menu.html (2021/8/13).

本間善夫・川端潤(2007)『パソコンで見る動く分子辞典』, 講談社.