

# ICTを活用した地域の熱環境に関する探究学習のための教材化

飯野直子\*<sup>1</sup>

## Teaching materials for inquiry-based learning on the local thermal environment using information and communication technology

Naoko Iino

(Received September 30, 2021)

The purpose of this study is to present the possibility of the various data and information provided by the public organizations as teaching materials for inquiry-based learning about the local thermal environment. It is possible to learn proactively by recognizing the global environmental problems for own problems. Therefore, it is necessary to have both of the global and the local viewpoints. First, we summarize the websites that the observation data and related publications about greenhouse gases, especially carbon dioxide, are provided. In order to recognize that global warming is own problem for each student, we recommend the activity that measure the carbon dioxide concentrations in their surrounding with a simple measuring instrument. We present our observation results obtained by using a simple measuring instrument in Kumamoto City. Next, we describe the useful websites as teaching materials that provide the graphs and the climate change monitoring reports of each prefecture about the temperature and precipitation. Finally, we show the teaching materials useful to learn the land use that is one of the factors of the heat island phenomenon. Land cover maps of the world and Japan based on satellite data are able to see easily on the websites that use Geographic Information System. In addition, the teaching materials that we developed for the thermal environment in Kumamoto by using satellite data have been providing through the internet.

キーワード：地球温暖化, ヒートアイランド現象, 二酸化炭素, 気象データ, 衛星データ, 教科横断

### 1. はじめに

近年、大雨が誘因の自然災害が毎年のように発生したり被害が甚大化したりしている。その要因の一つとして地球温暖化があげられている。中学校理科においては、平成20年告示の学習指導要領 [1] から第3学年の「生物と環境」で新規項目として「地球温暖化」を扱うことが明記され、平成29年告示の学習指導要領 [2] でも引き続き「生物と環境」で「気候変動」について触れることになっている。また、地球温暖化は社会科や総合的な学習の時間でも扱われており、児童生徒にとってなじみのあるテーマである。しかし地球規模の問題として扱われるため、児童生徒に身近な問題として捉えさせることが難しい側面がある。

平成29年告示の小中学校学習指導要領 [3, 4] や平成30年告示の高等学校学習指導要領 [5] では「主体的・対話的で深い学び」の実現が求められている。

深い学びでは、各教科等の見方・考え方を働かせながら各教科等の学習で習得した知識・技能を日常生活における課題に適用し、探究的に学習することが重要であると考えられる。「温暖化」は、教科横断的な現代的課題であり、深い学びの学習課題に適していると考えられる。また、GIGAスクール構想の下で1人1台端末が実現してきている。児童生徒自身がICTを活用して、信頼できる情報やデータを収集し、地球レベルの温暖化に加えて、児童生徒自身にとって身近な地域の温暖化について探究することにより、自分事としての主体的な学びが期待されるとともに情報活用能力の育成にも資すると考えられる。

ここでは、中学校第3学年の理科学習を軸に、科学的なデータや情報を用いて身近な地域の温暖化について探究的に学習する際に資料教材として利用可能な、公的機関によるデータや情報、著者らが解析処理して教材用に提供しているコンテンツや教材化に関する検討についてまとめる。

\*<sup>1</sup> 熊本大学大学院教育学研究科

## 2. 大気中二酸化炭素濃度

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次報告書 [6] では、気候の現状として、人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことは疑う余地がないこと。大気圏、海洋圏、雪氷圏、生物圏において、広範囲かつ急速な変化が表れているという見解が示されている。また、よく混合された温室効果ガスの濃度増加は、人間活動によって引き起こされたことに疑う余地がないとも述べられ、2019年の大気中二酸化炭素の年平均値は410 ppmに達したことが示されている。中学校第3学年「生物と環境」に該当する理科教科書のページをみると、確認した5社中3社 [7-9] で図1 [10] のような地球全体の大気中二酸化炭素濃度の経年変化のグラフや季節変動を除いた長期的傾向のみのグラフが掲載されているが、大気中二酸化炭素濃度が増加してきたことを示す程度の扱いである。

気象庁の温室効果ガスWeb科学館 [11] では、図2のような、日本国内で気象庁が観測している大気

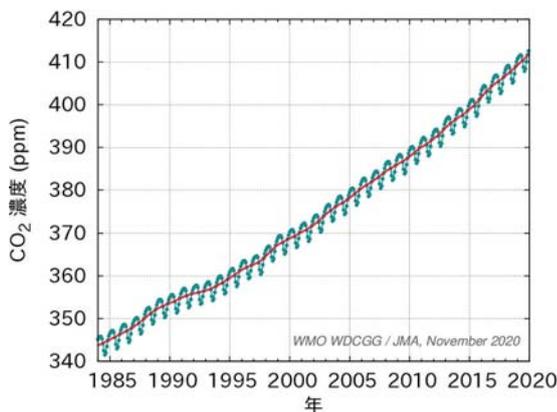


図1 地球全体の大気中二酸化炭素濃度の経年変化  
(出典：気象庁ホームページ [10])

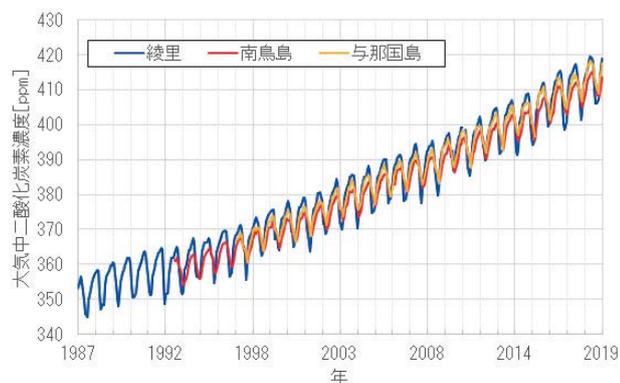


図2 綾里、南鳥島、与那国島における大気中二酸化炭素濃度の経年変化（気象庁の数値データより作図）

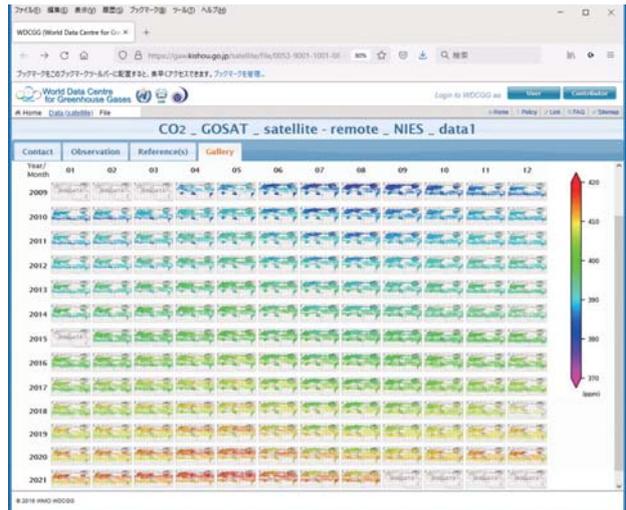


図3 GOSATの観測した世界の二酸化炭素濃度分布 [14]

中二酸化炭素濃度の経年変化のグラフや数値データ（例えば、綾里は [12]）が提供されていたり、二酸化炭素濃度の季節変動の要因やほぼ同緯度に位置する与那国島と南鳥島で観測された二酸化炭素濃度の違いが、陸域生物圏の活動や人為起源の影響、季節による大気の流れの特徴などから解説されている。自国で測定された二酸化炭素濃度の経年変化や二酸化炭素濃度に影響する要因などを具体的に知ることによって、生徒の関心が高まることが期待できる。さらに、このサイトでは、世界各地で観測された大気中二酸化炭素濃度データをもとに、数値シミュレーションを用いて世界中の二酸化炭素濃度を推定した情報も提供されており、緯度・経度2度の空間分解能で、各地域における1985年以降の二酸化炭素濃度の変動（地上と上空6 km）を見ることが出来るページ [13] もある。生徒が各自の端末を使って世界地図上をクリック/タップすることで表示されるグラフで、自分が住んでいる都道府県付近の二酸化炭素濃度の経年変化をみたり、陸上と海上の違いや北半球と南半球の違い、緯度による違い、世界の諸地域の違いなどを探究的に調べることができる。

また、日本の温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT) が観測した、実測に基づく世界の二酸化炭素濃度分布や経年変化をみることが出来るページ [14, 15] もある。例えば、図3に示す気象庁のページ [14] では、2009年4月以降の各年の月別の画像が一覧表示されるため、季節変化や経年変化が一目でわかる。各画像をクリック/タップすると拡大表示されるため、地域による違いを詳しくみることもできる。国立環境研究所のページ [15] では、二酸化炭素濃度に加えて、月別メタン平均濃度の分布とその経年変化もみることが出来る。

以上述べてきたページのデータや情報および気象庁の温室効果ガス Web 科学館 [11] からリンクされている, その他のページも利用して, 温室効果ガスに関する基礎知識や世界規模や国・都道府県レベルの大気中二酸化炭素濃度の現状や経年変化について学んだうえで, 生徒にとって身近な地域を簡易的な二酸化炭素測定器を用いて探究的に調べる活動を設定することによって, 主体的な課題設定や探究, 解決活動が行われ深い学びにつながると期待される。

著者らは 2012 年秋以降, 二酸化炭素濃度の簡易測定器 (T&D 社製 CO<sub>2</sub>・温度・湿度データロガー TR-76U) を用いて, 熊本大学黒髪北キャンパス内の百葉箱など熊本市内で連続測定を行ったり熊本市内の市街地で徒歩による移動測定を行ったりしてきた。測定結果を検討した結果, 簡易測定器による測定値は, 気象庁による綾里などでの実測値や数値シミュレーション [13] で表示される熊本県付近の地上の値と比べて明らかに大きな値を示すが, 図 4 の熊本市内で簡易測定器で測定した大気中二酸化炭素濃度と気象庁による測定結果の経月変化のグラフに示すように, 簡易測定器による測定でも「季節変化」を捉えることができている。また, 季節変化の特徴を詳しくみると, 気象庁による綾里など清浄地域(バックグラウンド地域)における観測結果では, 光合成の盛んな夏季に二酸化炭素濃度が低く, その後秋から春にかけて穏やかな上昇傾向がみられる一方, 熊本市内の観測結果 (図 4 の青線: 月平均値, 赤線: 月最低値) では, 夏季に二酸化炭素濃度が最も低くなったあと, 冬季に大きなピークがみられ, その後春から夏へと減少していく様子が見える。冬季のピークには, 光合成活動の低下だけでなく, 化石燃料消費の増加といった人為的要因も関係していると考えられる。なお, 冬季にピークがみられるという特徴は, 名古屋市 [16] や神奈川県内 [17] における公的機関による測定結果にみられる特徴と同様である。簡易測定器でも二酸化炭素濃度の都市部の季節特徴を捉えていると思われる。図 5 は熊本市内 3 か所に設置した簡易測定器による大気中二酸化炭素濃度の経時変化を示している。日の出前に二酸化炭素濃度が最大となり, 日中に減少して夕方以降に再び濃度が上昇する, 典型的な「日変化」が捉えられている。興味深いこととして, 図 5 中に黄色枠で示した日は濃度がほぼ一定である。天気図を確認したところ, ちょうど寒冷前線が通過していた。寒冷前線の東進に伴う強風によって大気がよく混合されたため, 夜間の濃度上昇がみられなかったと考えられる。「場所や周辺環境による違い」として, 簡易測定器を用いて熊本市内市街地を徒歩で移動測定した結果を図 6 [19] に示す。大気中二酸化炭素濃度を経路のラインの色の違いで表

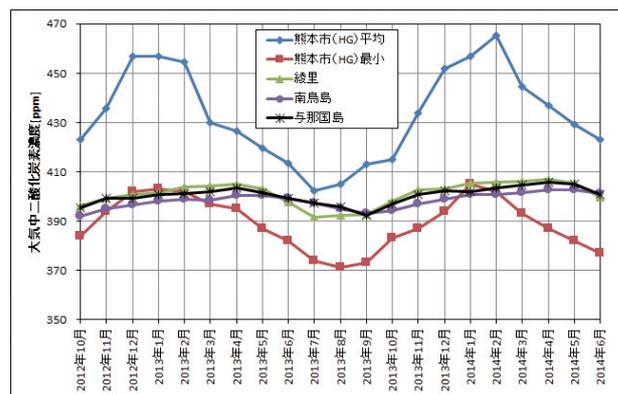


図 4 簡易測定器で測定した熊本市内の大気中二酸化炭素濃度と気象庁が綾里・南島島・与那国島で観測した大気中二酸化炭素濃度の経月変化。

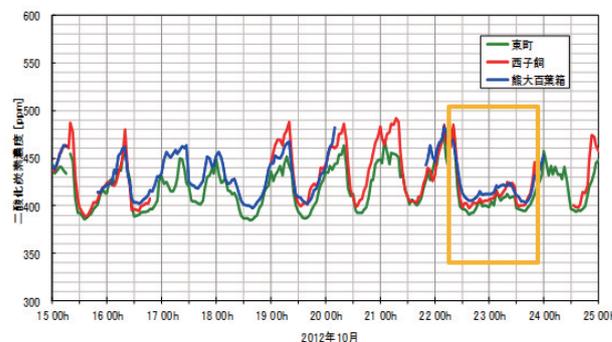


図 5 簡易測定器で測定した熊本市内 3 か所の大気中二酸化炭素濃度の経時変化。



図 6 簡易測定器を用いた熊本市内市街地の大気中二酸化炭素濃度移動測定の結果 [19]。

示している。樹木が多い熊本城 (図 6 中の A) や風通しのよい橋の上 (図 6 中の D) では濃度が低く, 交通量が多い道路で, 信号待ちをする複数の路線バスが停止していた交差点付近 (図 6 中の C で赤色の場所) で特に濃度が高くなる様子が捉えられている。簡易測定器を用いた測定結果の詳細やその教材化については, 紀要論文 [18] や報告書 [19] で報告している。

### 3. 気温と降水量

中学校第3学年「生物と環境」に該当する理科教科書のページでは、世界の年平均気温の変化 [7, 8, 20] や北半球の気温の推移 [9]、日本の年平均気温の変化 [21] のグラフが示されているが、前述した地球の大気中二酸化炭素濃度の経年変化のグラフと同様に、年々上昇していることを示す程度の扱いである。温暖化を自分事として捉えて主体的な学びにするためには、気温についても生徒に身近な地域のデータを教材として用いることが有用であると考えられる。ただし、地域のデータを用いる場合は、地球温暖化の影響だけでなく、都市の温暖化（ヒートアイランド現象）の影響も含んだ「温暖化」について扱うことになることを認識することが重要である。中学校社会科（地理的分野）の教科書では、関東地方の気候の特徴としてヒートアイランド現象が取り上げられている（例えば、[22, 23]）。そのため、ヒートアイランド現象は大都市だけの問題として生徒に認識されている可能性がある。地球の気温の推移や日本の大都市の気温の経年変化に加えて、居住する都道府県の気温データの経年変化をみることで、身近な地域においても地球温暖化や都市の温暖化の影響がみられることに気付かせることができるため、自分事の問題として関心が高まり、主体的に深く学び考えることが期待される。

しかし、中学校理科の学習時間内に生徒が表計算ソフトを使ってグラフを作成したり、教員が事前に様々な地域のグラフを作成して資料教材を用意したりすることは負担が大きい。国立環境研究所が運営する気候変動適応情報プラットフォームのなかの観測データのページ [24] が教材として有用であると思われる。このページに表示される地図上で、関心のある都道府県をクリック/タップすると都道府県の気象官署における平均気温、降水量、真夏日（日最高気温が30℃以上の年間日数）、猛暑日（日最高気温が35℃以上の年間日数）の経年変化のグラフと長期変化傾向を簡単に見ることができる。ただし、このページではグラフが表示されるだけで、気候変動に関する解説はない。また、ヒートアイランド現象にみられる特徴の一つである熱帯夜（正式な定義は「夕方から翌日の朝までの最低気温が25℃以上になる夜」であるが、熱帯夜の統計には1日の最低気温が25℃の日が便宜的に使われることが多い）のグラフは提供されていない。そこで、まずは気象庁が毎年公表している気候変動監視レポート（世界と日本の気候変動および温室効果ガス等の状況）[25] や日本の各地方における気候変動についての監視レポートやリーフレット [26] で気候変動につ

いて学んだあと、社会科（地理的分野）の「日本の様々な地域」の学習内容と関連させながら、生徒の居住地と国内各地を比較しながら探究するとき、ページ [24] で簡単に表示できる様々な都道府県の各種グラフや、ページ [26] でリンクされている各地方の監視レポートに掲載されているグラフや情報を利用するとよいだろう。ちなみに、気象庁の地方毎の気候変動監視レポートには、都道府県の気象官署のグラフに加えて、特別地域気象観測所のグラフも掲載されているため、県内の複数の地域を比較して考察することも可能である。また、気候変動監視レポートには降水量の変化傾向や大雨発生頻度、顕著な自然災害に関する情報も掲載されている。気象庁のサイトには大雨や猛暑日など（極端現象）の長期変化についてのページ [27] もある。これらの情報は「地域の自然災害」に関わる学習の教材としても有用であると思われる。

### 4. 土地被覆・植生分布・地表面温度分布

ヒートアイランド現象の要因の一つである、土地利用・土地被覆を調べたい場合に、生徒や教員がデータの処理や解析をしなくても、インターネット上で地理情報システム（GIS）を用いて情報を提供しているサイトを教材として利用することができる。国土地理院の地理院地図 [28] で、地図の種類「その他」の中にある「世界の土地被覆」では、NASAの地球観測衛星 Terra と Aqua に搭載されている MODIS データから作成された、土地被覆（GLCNMO）と植生（樹木被覆率）分布をみることができる。西日本レベルのズームまでで、経年変化もわからないが、世界中の土地被覆と植生（樹木被覆率）を一元的に調べることができる。JAXAのALOS利用推進研究プロジェクトの高解像度土地利用土地被覆図ホームページ [29] では、日本の陸域観測技術衛星ALOS（だいち）・ALOS-2（だいち2号）および米国Landsat-8、欧州Sentinel-2のデータから作成された、高分解能の日本全国の土地利用土地被覆図をみることができる。都道府県レベルのズームが可能で、経年変化（2006-2011年のデータによる ver.16.09, 2014-2016年のデータによる ver.18.03, 2018-2020年のデータによる ver.21.03）を調べることができる。熊本県付近を最大ズームした画像を図7に示す。Water, Urban, Rice paddy, Crop など12項目で詳しく分類されている。ただし、土地利用の経年変化を調べる際に注意しなければならない点がある。各 version の作成で使用された衛星データやその組合せが異なるため、例えば図7の白枠で囲った、熊本県の北部や宇土半島では、(a)2014-2016年の ver.18.03 と (b)2018-2020年の

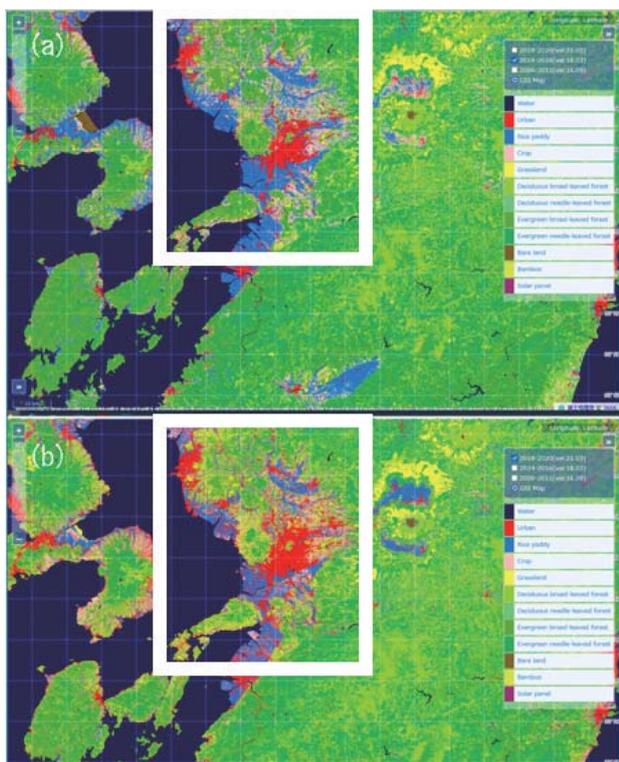


図7 ALOS 利用推進研究プロジェクトのページ [29] の高解像度土地利用土地被覆図(熊本県付近を最大ズーム)。(a)2014-2016年のデータによる ver.18.03, (b)2018-2020年のデータによる ver.21.03.

ver.21.03 を比べると、黄色で分類表示されている Grassland (草地) が急に増加したようにみえるというように、画像を見比べただけでは真の土地利用の変化かどうか判断が難しい場合がある。

著者らは Landsat-5/TM や Landsat-8/OLI, Terra/ASTER データを用いて都市の熱環境に関する解析を行い、熊本の植生分布図や地表面温度分布図、土地被覆分類図などを作成してきた。先に土地被覆分類図を使って土地利用の経年変化をみる際の注意点を述べたが、長期にわたる変化をみるために土地被覆分類図を作成する場合は、衛星の運用状況によって異なる衛星の観測データを使用せざるを得ないため、分類結果に影響がでることは避けられない。また、著者らは陸域に雲が少ない春のデータを使用しているが、Landsat 衛星や Terra 衛星が同じ場所を観測する回帰日数は 16 日であることや農地は地表面状態の時間変化が大きい(例えば、植え付けの前後であったり、水田に水が入っているか否か)ため、同じ季節のデータを使用して適切に分類を行ったとしても、観測のタイミングによって分類結果に影響がでる場合がある。そこで著者らが教材化を行う際は、いったん水田、畑地、ビニールハウスに分けて土地被覆分類を行ったのちに、これら3項目は農地として同じ色付けで表示して画像化したり、市街地と住宅地のみを抽出したうえで異なる年の画像を重ね合わせた画像を作成したりすることによって、より生徒にわかりやすい都市化の進展を学習するための教材開発を行ってきた [30]。九州本土や熊本の植生分布画像や地表面温度分布画像、土地被覆分類画像など、著者らがこれまでに作成した教材用の画像を衛星データにみる都市の熱環境のホームページ [31] で公開・提供している (図 8)。

### 5. おわりに

本稿では、中学校第3学年理科の「生物と環境」の学習活動で有用であると思われる公的機関のデータや資料の教材化について述べてきた。本単元のなかで「地球温暖化/気候変動」に関する学習に配当される時数を考慮すると、生徒自身に科学的な生データを処理・解析させて考察させることは難しいと思われるが、本稿で示した、科学的なデータに基づく解析結果や知見、解説を公開している公的機関の刊行物やホームページを教材として利用して理解を深めたり、公的機関によって公開されている処理済みのグラフや解析処理済みの画像といったコンテンツに生徒がICT機器を使ってアクセスし、グローバルとローカルな視点をもって探究的に調べる活動を行うことで、科学的なデータに基づく理解や思考力、判断力が培われると考える。

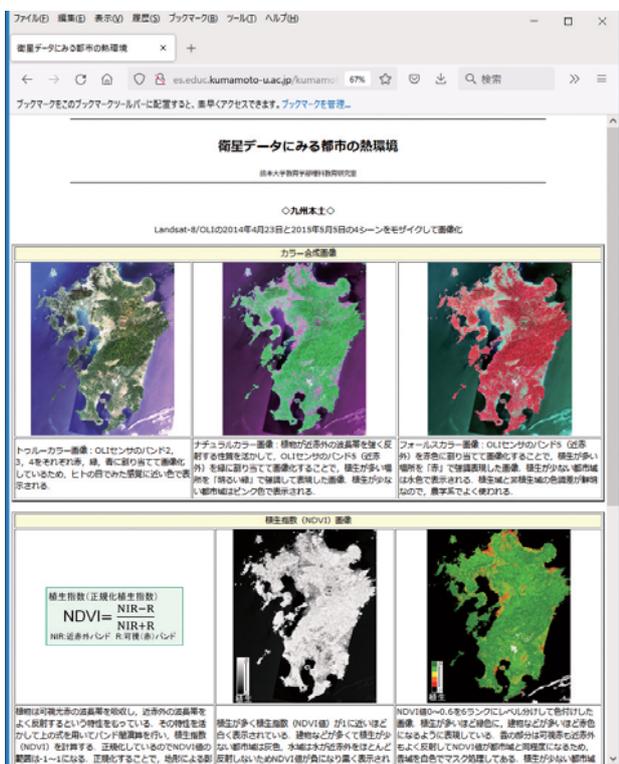


図8 衛星データにみる都市の熱環境のホームページ[31]

高等学校理科で「地球温暖化/気候変動」について扱う「地学基礎」「地学」は選択科目であるため、全員が履修することは期待できない。しかし、2022年度入学生から必修となる「地理総合」の「C 持続可能な地域づくりと私たち」や「総合的な探究の時間」において、中学校までの「地球温暖化/気候変動」に関する学びを深めることができると思われる。特に「総合的な探究の時間」で教科横断的に課題に取り組む中で、表計算ソフトや解析ソフトを使って科学的データの処理・解析を行うことも可能であろう。公的機関のサイトでは様々なオープンデータがわかりやすく提供されていたり、衛星データの解析も無料で行うことができる環境が整ってきている。今後は高等学校において、生徒自身が科学的なデータの処理・解析を行いながら探究的に学習をすすめるための教材化を検討していきたい。

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 21K02928, 15K00924, 21700791 の助成を受けたものです。

### 引用・参考文献および URL

- [1] 文部科学省, 中学校学習指導要領解説理科編, 大日本図書, 2008.
- [2] 文部科学省, 中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説, 理科編, 学校図書, 2018.
- [3] 文部科学省, 小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 東洋館出版社, 2018.
- [4] 文部科学省, 中学校学習指導要領 (平成 29 年告示), 東山書房, 2018.
- [5] 文部科学省, 高等学校学習指導要領 (平成 30 年告示), 東山書房, 2019.
- [6] 文部科学省・気象庁記, IPCC AR6/WG1 報告書 政策決定者向け要約 (SPM) 暫定訳, 2021.  
[https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC\\_AR6\\_WG1\\_SPM\\_JP\\_20210901.pdf](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WG1_SPM_JP_20210901.pdf)
- [7] 霜田光一ほか, 中学校 科学 3, 学校図書, 2021.
- [8] 室伏きみ子ほか, 自然の探究 中学校理科 3, 教育出版, 2021.
- [9] 大矢禎一ほか, 未来へひろがるサイエンス 3, 啓林館, 2021.
- [10] 気象庁 二酸化炭素濃度の経年変化 (地球全体の二酸化炭素の経年変化) : [https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2\\_trend.html](https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html)
- [11] 気象庁 温室効果ガス Web 科学館 : [https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/info\\_tour.html](https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/info_tour.html)
- [12] 気象庁 二酸化炭素濃度の観測結果 (綾里) : [https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/obs/co2\\_monthave\\_ryo.html](https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/obs/co2_monthave_ryo.html)

- [13] 気象庁 各地域における二酸化炭素濃度の変動 : [https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/tour/tour\\_c5.html](https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/tour/tour_c5.html)
- [14] 気象庁 CO<sub>2</sub>\_GOSAT\_satellite-remote\_NIES\_data1 (Gallery) : <https://gaw.kishou.go.jp/satellite/file/0053-9001-1001-08-08-9999>
- [15] 国立環境研究所 Recent Global CO<sub>2</sub> : <https://www.gosat.nies.go.jp/recent-global-co2.html>
- [16] 中島寛則, 名古屋市における二酸化炭素濃度に関する一考察, 名古屋市環境科学研究所報 38, 17-21, 2008
- [17] 塩沢俊克・大塚定男・相原敬次, 神奈川県内の大気中二酸化炭素濃度の現状, 神奈川県環境科学センター研究報告 28, 73-77, 2005.
- [18] 飯野直子・大隈美央・金柿主税, 簡易測定器による大気中二酸化炭素濃度測定, 熊本大学教育学部紀要第 65 号, pp.237-241, 2016.  
[https://kumadai.repo.nii.ac.jp/?action=repository\\_uri&item\\_id=29721&file\\_id=21&file\\_no=1](https://kumadai.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=29721&file_id=21&file_no=1)
- [19] 飯野直子, 科学研究費助成事業 研究成果報告書, 2018 : <https://kaken.nii.ac.jp/ja/file/KAKENHI-PROJECT-15K00924/15K00924seika.pdf>
- [20] 有馬朗人ほか, 理科の世界 3, 大日本図書, 2021.
- [21] 梶田隆章ほか, 新しい科学 3, 東京書籍, 2021.
- [22] 矢ヶ崎典隆ほか, 新しい社会 地理, 東京書籍, 2021.
- [23] 加賀美雅弘ほか, 社会科 中学生の地理, 帝国書院, 2021.
- [24] 国立環境研究所 A-PLAT 気候変動適応情報プラットフォーム<気候変動の観測・予測データ>観測データ <https://adaptation-platform.nies.go.jp/map/observation.html>
- [25] 気象庁 気候変動監視レポート : <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/index.html>
- [26] 気象庁 日本の各地域における気候の変化 : [https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/gw\\_portal/region\\_climate\\_change.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/gw_portal/region_climate_change.html)
- [27] 気象庁 大雨や猛暑日など (極端現象) の長期変化 : [https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/index\\_extreme.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/index_extreme.html)
- [28] 国土地理院 地理院地図 /GIS maps : <https://maps.gsi.go.jp/>
- [29] 宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター 高解像度土地利用土地被覆図ホームページ : [https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc\\_jindex.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc_jindex.htm)
- [30] 飯野直子・小田真莉絵・山中美季・金柿主税, 熊本の熱環境に関する教材開発, 熊本大学教育学部紀要第 62 号, pp.299-309, 2013.  
[https://kumadai.repo.nii.ac.jp/?action=repository\\_uri&item\\_id=28102&file\\_id=21&file\\_no=1](https://kumadai.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=28102&file_id=21&file_no=1)
- [31] 熊本大学教育学部理科教育研究室, 衛星データにみる都市の熱環境 : <http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/kumamoto/heatisland/>

URL は 2021 年 9 月 30 日に閲覧確認。