

地球温暖化防止のための環境教育に関する研究 (1)

—CO₂濃度計測を取り入れた環境教育プログラム—

A Study on the Environmental Education for Solving the Global Warming Problem
~The Environmental Education Program using Density Measurement of CO₂~

伊藤 雅一 間島 大仁 岡村 聖 龍崎 忠

ITO Masakazu MASHIMA Hirohito OKAMURA Kiyoshi RYUZAKI Tadashi

Abstract: As for global warming solution, greenhouse gas curtailment is expected. COP3 adopted the Kyoto Protocol in 1997. Environmental education is one way to solve an environmental problem. In this paper, in cooperation with the junior school, the junior high school and the high school, the CO₂ intensive measurement experiment corresponding to the global warming based on environmental education execution is conducted, and the practical program of environmental education is verified.

Keywords: Global Warming Solution, Environmental Education Method

1 研究の目的

2005 年 2 月、地球温暖化防止対策を定めた京都議定書が発効した。日本は、CO₂排出量を、2012 年までに 1990 年比 6%削減することを約束しており、今後一層、地球温暖化防止に向けた取組みが求められることとなる。その実効ある取組みには、各主体の環境配慮の向上が不可欠であり、その具体的な配慮を促すための環境教育の充実が必要とされる。環境教育については、1993 年制定の環境基本法で法制上の位置付けが明確化されるとともに、同法に基づいて策定された環境基本計画においては、「参加」を促すための重要な施策として位置付けられた。さらに、2003 年 7 月には、「環境保全のための意欲の増進及び環境教育の推進に関する法律」が参議院本会議で可決、成立した。

以上のような背景のもとで、近年、小・中学校、高等学校では、各教科に環境教育の視点が組み込まれるとともに、「総合的な学習の時間」を活用して環境教育への具体的な取組みが進められてきている。地球温暖化防止をテーマとした事例も多い。しかし、地球温暖化の原因とされる CO₂などの温室効果ガスは、実際に見ることも、手に取ることもできないことから、身近な環境問題として実感しにくい。そのため、地球温暖化防止のための環境教育には、CO₂などの排出とその削減行動に対する実感を深め、ライフスタイルの変革を促していくことができるようなプログラムの開発が求められていると言える。

本論の目的は、大学と小・中学校、高等学校との連携による研究授業の実践を通じて、CO₂濃度計測を取り入れた参加体験型の環境教育プログラムの実践的方法を提示し、今後の課題を検討することにある。

2 CO₂濃度計測システム

中学校、高等学校との連携による環境教育実践に当たっては、CO₂濃度計測システム⁽¹⁾(以下「計測システム」という。)を用いたが、その概要は以下のとおりである。

(1) 計測方法

① 大気濃度計測 ; 気球の下部に二酸化炭素固体電解質センサー (以下「アナライザー⁽²⁾」)

- という。)を取り付け、高度 400m～500m程度に係留させて高度分布観測を行う方法
- ② 地上濃度計測;二酸化炭素固体電解質センサーをコンパクト化した簡易測定器(以下「デテクタ⁽³⁾」という。)を用いて行う方法

(2) 環境教育教材としての特徴

CO₂濃度の計測には、エネルギー消費量から間接的に計測する方法等がある。本研究で用いた計測システムを環境教育教材として捉えた場合、次のような特徴があると考えられる。

- ① 実際に CO₂濃度を観測し数値で捉え、その濃度変化を児童・生徒に目に見える形にすることで、地球温暖化を身近な環境問題として実感することができる。
- ② CO₂濃度計測という「体験」を中心に据えることで、児童、生徒が主体となった参加型の学習プロセスを取り入れることができる。
- ③ 地域環境を CO₂濃度によって予測・評価し、その原因を主体的に考える機会を提供すること等により、問題解決志向型の学習が可能となる。
- ④ CO₂濃度の計測からデータの分析、解釈に至る一連のプロセスは、理科の知識に加えて、現代社会、数学等の教科の知識も求められることになるため、特に「総合的な学習の時間」で用いる教材としての活用可能性が高い。
- ⑤ アナライザーを用いた計測方法は、従来の光学式の測定方法等と比較すると、導入コストが低廉であり、財政的見地からも学校教育への導入可能性がある⁽⁴⁾。

3 環境教育プログラムの開発プロセス

(1) テスト計測による計測マニュアルの整備 (2003 年度)

計測システムを利用した環境教育プログラムの具体化を図るため、2003 年度は、環境教育で用いる計測システムの運用テストを繰り返し、測定技術の向上とシステムの改良を行いながら、計測マニュアルの整備を進めた。その概要は、以下のとおりである。

① 大気濃度計測

2003 年 8 月 2 日、名古屋産業大学において気球を用いた大気濃度計測の実験を行った。計測の仕組みは図 1 に示すとおりである。計測マニュアルを作成するため、実験の実施順序の確認及び写真による記録を行った。

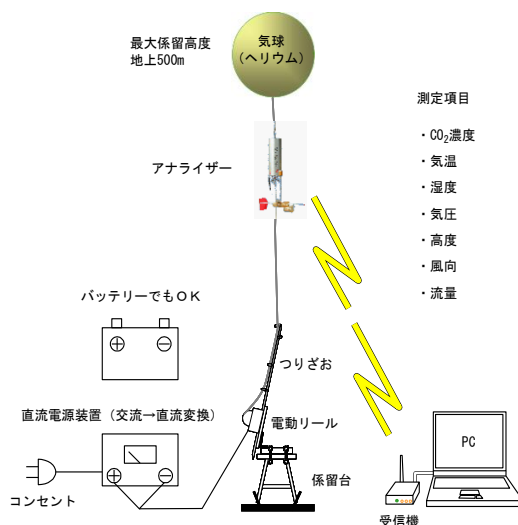


図 1 大気濃度計測の仕組み

② 地上濃度計測

2003年10月9日、デテクタを用いた地上濃度計測（図2）の実験を行った。また、計測データをもとにCO₂濃度分布マップの作成を試みた。

実験に当たっては、名古屋産業大学を中心とする南北1.2km、東西1.6kmのエリアを100m四方に区切った192地点を対象に計測を行った。計測に当たっては、4～5名程度のグループを編成し、①計測場所を案内するナビゲーター②計測者③記録者④計測地点の撮影者、以上の4つの役割を設定した。また、学校現場でのCO₂濃度の計測実験を想定し、計測時間については、中学校の1時限分である50分とした。なお、CO₂は大気中に微量に含まれるものであるため、複数のデテクタを同時に使用する場合、デテクタごとの計測値にバラツキが生じる。このため、データ把握に当たっては、計測値そのものをデータとして利用するのではなく、同一地点でデテクタごとの基準値を計測し、補正式（計測値／基準値）を用いて、各デテクタの計測値を基準化した。

図3は、大学周辺地域を対象としたCO₂濃度マップの作成例である。この図は、計測エリアを20m四方に区切り直し、400地点での計測データをもとにGIS⁽⁵⁾を用いて作成したものである。気象条件や土地利用等との関係性を考慮することで、CO₂濃度から地域環境評価が可能になるのではないかと考えられる。

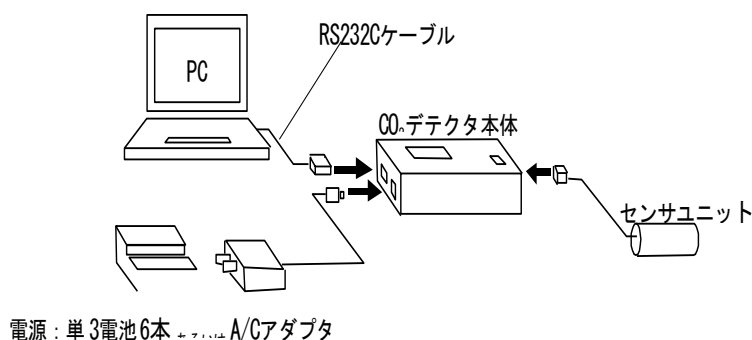


図2 地上濃度計測の仕組み

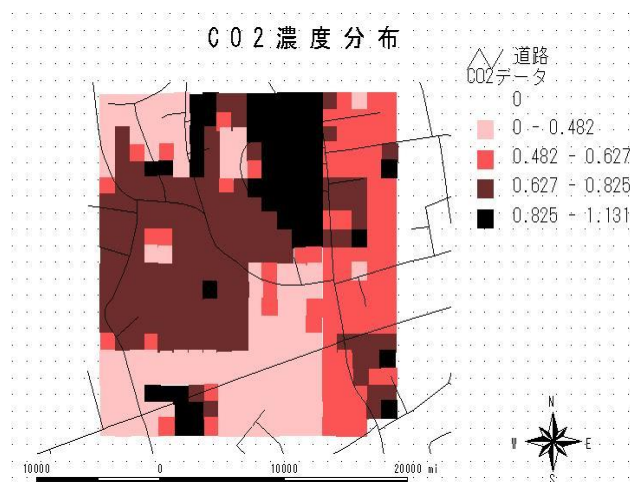


図3 大学周辺地域のCO₂濃度マップ

(2) 共同研究校での CO₂ 濃度計測実験 (2003 年度)

次に、CO₂ 濃度計測を取り入れた環境教育プログラムの学校現場への適用可能性を検討するため、愛知県尾張旭市と三重県津市の教育委員会を通じて共同研究校を募集し、中学校の教諭及び生徒の参加を得て計測実験を行った。なお、2003 年度における共同研究校は、①三重大学教育学部附属中学校、②尾張旭市立西中学校、③津市立橋北中学校の 3 校であり、その概要は以下に示すとおりである。

① 三重大学教育学部附属中学校

津市内の国公立の小・中学校の教諭を対象として、2003 年 9 月 11 日、三重大学教育学部附属中学校（三重県）で計測実験を行った。その狙いは、学校での環境教育の担い手となる教諭の反応を把握するためであったが、校庭で実験を行ったため、そこでクラブ活動を行っていた生徒も興味を示し、結果的に多数の生徒の参加も得ることができた。実験に参加した教諭からは、CO₂ 濃度の測定方法についての詳しい説明が求められると同時に、CO₂ 濃度と気圧、気温、風向等との関連性について多くの質問を受けた。参加者の多くは理科担当教諭であったことから、気象に関する発展的学習の可能性を探ろうとしたものであると捉えられる。また、生徒は、実験のプロセスそのものに関心を示した。実験を通じて、児童、生徒が主体となった参加型の学習プロセスを取り入れることの重要性を再確認することができた。生徒が手軽に扱うことができるデテクタを用いて、CO₂ 濃度の計測に関する生徒の関心を高め、その後、気球を用いた計測データの収集、分析、解釈を通じて、問題解決志向型の発展的学習を進めていくような授業形態が効果的ではないかと考えられる。

② 尾張旭市立西中学校

2003 年 11 月 21 日、尾張旭市西中学校（愛知県）において、理科担当教諭との連携のもとに、2 年生を対象とした「選択理科」の 2 時限分を利用して、計測実験を中心とした研究授業を行った。参加した生徒は 38 名であった。このときは、時間的制約から、地球温暖化問題とその原因である CO₂ 濃度に関する生徒の関心と理解を深めることを目的とした参加型の学習プロセスを取り入れることに主眼を置いた。具体的には、①地球温暖化の現状と対策に関する特別授業を行った後、②8 つのグループを編成したうえで、デテクタを用いた地上計測実験を行った（写真 1）。



写真 1 西中学校での地上濃度計測

グループの役割分担としては、テスト計測での 4 つの役割（①ナビゲーター②計測者③記録者④計測地点の撮影者）に加え、CO₂ 濃度と気温との関係を把握するため、⑤気温の計測者を設けた。また、計測に当たっては、定められた地点を単に調べるのではなく、CO₂

濃度の最も高い地点と最も低い地点を探すよう課題を示すことで、生徒が互いにコミュニケーションを取りながら、学校周辺の環境状態を考慮して調査地点を選択できるよう配慮した。

また、実験の翌々週（12月5日）の授業では、計測データを利用して、西中学校の理科担当教諭の指導により、生徒が中学校周辺地域のCO₂濃度マップを作成した。

③ 津市立橋北中学校

2003年11月28日、津市立橋北中学校（三重県）において、課外授業として実験を行った。参加した生徒は、16名であった。授業内容としては西中学校と同様の形態を取り、座学による特別授業の後にデテクタによる計測実験を行った。

（3）CO₂濃度計測を取り入れた環境教育の実践（2004年度）

2003年度の活動成果を踏まえ、2004年度は、愛知県及び三重県における小・中学校、高等学校6校でCO₂濃度計測を取り入れた研究授業を行うとともに、授業で使うテキストの作成を進めた。その概要は、以下のとおりである。

① 津市立栗真小学校

対象；5年生18名、科目；総合学習、授業時間；6時間

② 津市立大里小学校

対象；6年生49名、科目；総合学習、授業時間；6時間

③ 津市立橋北中学校

対象；1年生25名、科目；選択理科；授業時間；10時間

④ 尾張旭市立旭中学校

対象；1～3年生、科目；課外授業

⑤ 三重県立久居高等学校

対象；1年生5名、科目；総合学習、授業時間；10時間

対象；2年生19名、科目；総合学習、授業時間；15時間

⑥ 名古屋市立若宮商業高校

対象；2年生39名、科目；環境経済、授業時間；11時間

4 CO₂濃度計測を取り入れた環境教育プログラムの実践例

（1）津市立橋北中学校での実践例

津市立橋北中学校における環境教育プログラムの概要は、以下のとおりである。

① 授業のテーマ

身近な場所のCO₂濃度を計測することによって、地球温暖化等の環境問題について考える。

② 授業の狙い

CO₂大気濃度観測システムを使って、学校内や学校周辺のCO₂濃度を実際に計測し、その結果を分析することを通して、地球温暖化等の身近な環境問題に興味・関心を持つとともに、地球環境への問題意識を高めていく機会とする。

③ 授業の構成及び日程（1年生選択理科：金曜日3限目11:00～11:50）

i) オリエンテーション及び基礎的学習：3時間

第1週（10月22日） 元南極観測隊員 石崎教夫氏の環境に関する講演（全校行事）

第2週（10月29日） オリエンテーション

- 第3週（11月05日） 地球温暖化の背景と現状
- ii) CO₂濃度の計測実習：4時間
- 第4週（11月12日） CO₂濃度の計測実習①
- 第5週（11月19日） 〃 ②
- 第6週（11月24日） 気球によるCO₂濃度の計測実習
- 第7週（11月26日） CO₂濃度の計測実習③
- iii) 計測データの分析及び結果の考察：3時間
- 第8週（12月10日） 計測データの分析～CO₂濃度マップの作成①
- 第9週（12月17日） 〃 ②
- 第10週（1月14日） 計測結果の考察

（2） 生徒の環境意識からみた環境教育プログラムの評価

上記（1）の環境教育プログラムは、CO₂濃度を数値で捉え、その濃度変化を目に見える形にすることで、地球温暖化問題に対する生徒の実感を高めることを主眼に置いた。そのため、研究授業のオリエンテーション時に、環境問題に対する生徒の関心度や理解度、学習意欲、さらには環境活動に対する参加意欲等を把握するための事前アンケート調査を実施した。また、研究授業の終了後には、生徒の環境意識からみた環境教育プログラムの評価を行うため、事後アンケート調査を実施した。これらのアンケート調査については、現在、集計中であるため、その結果に基づく環境教育プログラムの評価については、別稿に譲る。

（3） CO₂濃度マップによる地域環境評価

CO₂濃度を計測することで、例えば、校庭と自動車道路付近の濃度の違いなど、2点間程度の濃度差、すなわち、地域のCO₂濃度を線として認識することが可能になる。また、計測データを地図に書き入れたCO₂濃度マップを作成することで、土地利用などの影響をも考慮した形、すなわち、地域のCO₂濃度を面として認識することが可能になる。そこで、環境教育プログラムの中に、計測データを分析するための教材として、CO₂濃度マップの作成を取り入れた。

CO₂濃度は、排出源の影響のみならず、気象条件によって大きく変わってくる。したがって、CO₂濃度マップの科学的理解には、四季を通じた常時観測によってデータを収集、蓄積することが必要になる。その一方で、CO₂濃度の常時計測には測定機材の整備や授業時間の制約などの課題を解決していくことが求められる。実際に、平成16年度は、計6枚でCO₂濃度測定を取り入れた研究授業を实践したが、CO₂濃度マップ作成に必要な地上観測を行った時間が最も多かったのは、津市立橋北中学校と三重県立久居高校の3時間であった。

そこで、津市立橋北中学校における計測事例を取り上げ、気象条件の違いによってCO₂濃度マップがどのように変化するかを検証し、地域環境評価ツールとしての有効性を検討した。

橋北中学校では、11月12日と11月22日と11月26日の3日間、学校周辺のCO₂濃度を地上計測した。なお、計測に先立って、生徒には、学校周辺の土地利用を考慮して、CO₂濃度がどのように変化するかを予測させることにより、土地利用とCO₂濃度との関係性を意識できるよう配慮した。

CO₂濃度計測が行われた3日間の気象条件及び、その時の計測データをもとに作成したCO₂濃度マップは、以下のとおりである。

① 気象条件

CO₂濃度の地上計測を行った3日間の主な気象条件は、表 1-1 から表 1-3 に示すとおりである。

表 1-1 第1回計測時の気象条件 曇り時々雨
平成16年11月12日

時刻	現地気圧 hPa	気温 ℃	相対湿度 %	風向	風速 m/s	降水量 mm
11時	1012.2	18.4	80	北西	6.3	--
12時	1011.7	18.2	77	北	1	0

表 1-2 第2回計測時の気象条件 晴れ
平成16年11月22日

時刻	現地気圧 hPa	気温 ℃	相対湿度 %	風向	風速 m/s	降水量 mm
11時	1023.2	16.6	50	北西	7.5	--
12時	1022.6	17.1	47	北西	7.1	--

表 1-3 第3回計測時の気象条件 晴れ後曇り
平成16年11月26日

時刻	現地気圧 hPa	気温 ℃	相対湿度 %	風向	風速 m/s	降水量 mm
11時	1021.5	13.8	54	南東	1.2	--
12時	1019.8	14.9	53	南東	2.6	--

② CO₂濃度マップ

3日間の計測データを用いてCO₂濃度マップを作成した。図 5-1 から図 5-3 は、校庭で基準値を計測し、補正式(計測値/基準値)を用いて、各計測ポイントの濃度変化(5区分)並びに風向、風力を二次元の平面上にプロットしたものである。また、図 6-1 から図 6-3 は、擬似3次元表示により、各計測ポイントの濃度変化(5区分)と風向、風力のデータを合成したものである。

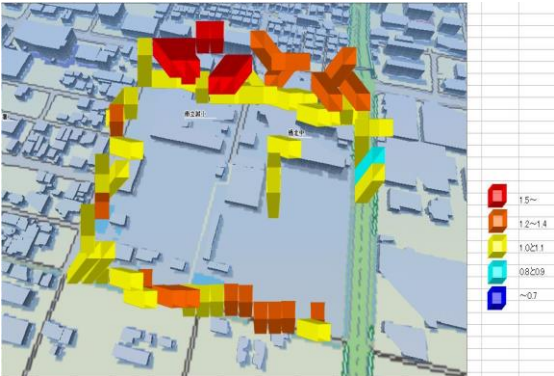
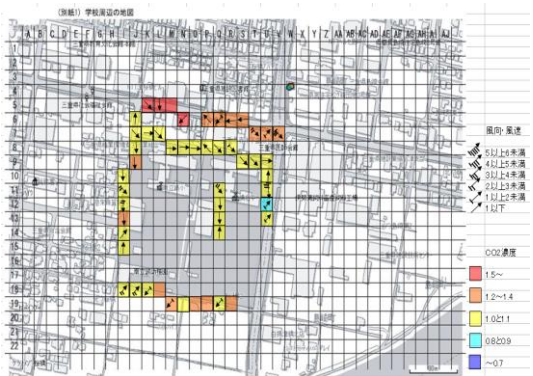


図 5-1 CO₂ 濃度マップ（第 1 回計測時）

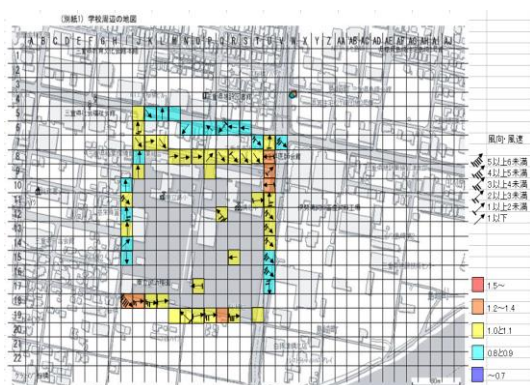


図 5-2 CO₂ 濃度マップ（第 2 回計測時）



図 5-3 CO₂ 濃度マップ（第 3 回計測時）

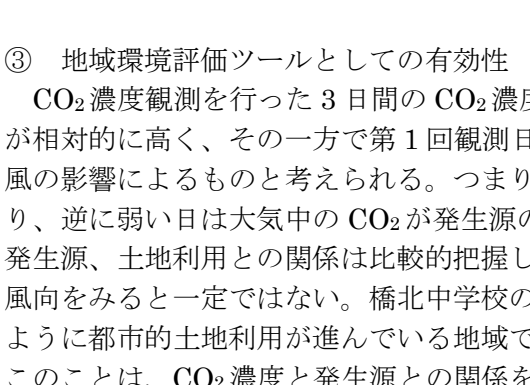


図 6-1 CO₂ 濃度マップ（第 1 回計測時）

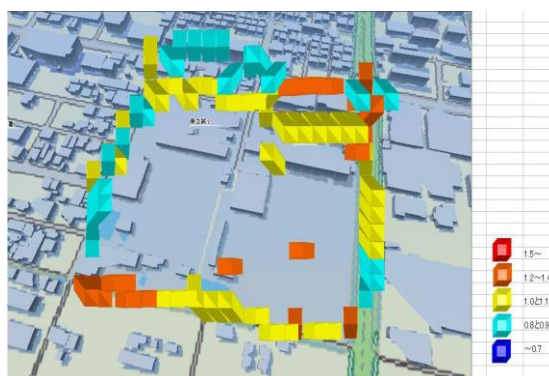


図 6-2 CO₂ 濃度マップ（第 2 回計測時）

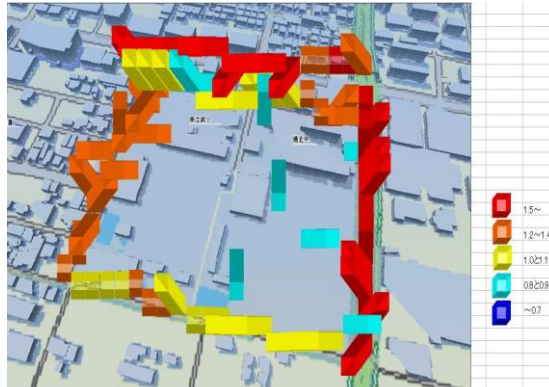
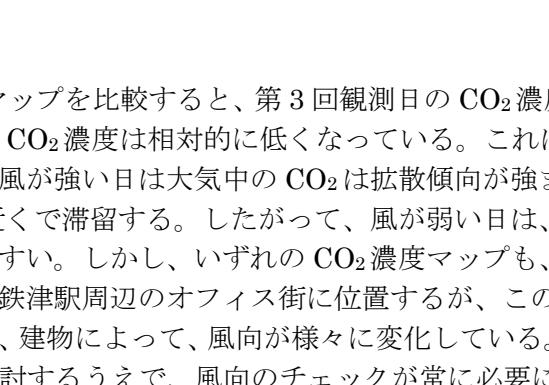


図 6-3 CO₂ 濃度マップ（第 3 回計測時）



③ 地域環境評価ツールとしての有効性

CO₂ 濃度観測を行った 3 日間の CO₂ 濃度マップを比較すると、第 3 回観測日の CO₂ 濃度が相対的に高く、その一方で第 1 回観測日の CO₂ 濃度は相対的に低くなっている。これは風の影響によるものと考えられる。つまり、風が強い日は大気中の CO₂ は拡散傾向が強まり、逆に弱い日は大気中の CO₂ が発生源の近くで滞留する。したがって、風が弱い日は、発生源、土地利用との関係は比較的把握しやすい。しかし、いずれの CO₂ 濃度マップも、風向をみると一定ではない。橋北中学校の近鉄津駅周辺のオフィス街に位置するが、このように都市的土地利用が進んでいる地域では、建物によって、風向が様々に変化している。このことは、CO₂ 濃度と発生源との関係を検討するうえで、風向のチェックが常に必要になることを示している。

その一方で風が強い日は、CO₂ 濃度マップから、CO₂ 濃度と発生源、土地利用との関係を把握することには、一定の限界があることを物語っている。広いエリアで大気の循環が生じていることを考えると当然のことではあるが、CO₂ 濃度マップを利用して地域環境評価を行うことには適していない。むしろ、風の弱い日の CO₂ 濃度マップとの比較を通じて、CO₂ 大気拡散のメカニズムを理解させるための教材として活用することが望ましいのではないかと考えられる。

以上から、CO₂ 濃度マップについては、一定以下の風速のときは、CO₂ 濃度から地域環境評価をすることが可能になる。その一方で、一定以上の風速のときは、CO₂ 濃度から地域環境を評価することには限界がある。この場合、CO₂ の大気拡散のメカニズムを知るた

めの教材として活用することが有効的である。

なお、CO₂濃度マップについては、風向、風速の影響を視覚的にも理解できるよう擬似 3 次元表示法を用いて作成したが、今後、GIS の 3 次元表示の手法を積極的に活用した環境情報コンテンツの開発が必要とされる。

5 今後の課題

CO₂濃度計測を中心とした環境教育プログラムの開発に向けては、今後は特に地球温暖化に対する児童・生徒の科学的理解を深める観点から、以下の点を中心に検討を加えていきたいと考えている。

- ① CO₂濃度の常時計測を取り入れた環境教育プログラムの開発
- ② CO₂濃度マップの作成など計測データの多角的な考察を可能にする環境情報コンテンツの開発
- ③ 児童・生徒の発達段階に応じた環境教育指導計画の作成

【注釈】

- (1) 株式会社ユー・ドムと国立環境研究所が共同開発したシステム。
- (2) アナライザーは、気球に搭載し、上昇していく過程で、大気中の二酸化炭素、気温、湿度、気圧を測定するもので、センサー内部の測定状況等を無線伝達により地上局へ送る仕組みとなっている。
- (3) デテクタは、寸法が縦 90×横 140×厚さ 45 (mm) と持ち運びが容易で、内蔵のマイコンで CO₂センサから取り込んだ濃度を LCD ディスプレー表示する仕組みとなっている。
- (4) CO₂濃度の鉛直分布およびその時の気象条件から、CO₂フラックス（地表と大気の間でどれだけ CO₂が放出あるいは吸収されるかを示す量）を比較的安価に概算することが可能である。
- (5) ArcView GIS 3.2a を使用した。

【参考文献】

- (1) 名古屋産業大学環境教育研究プロジェクト・株式会社ユー・ドム (2004)『CO₂大気濃度観測システムを利用した環境教育に関する調査研究 (中間報告)』、名古屋産業大学・名古屋経営短期大学環境経営研究所
- (2) 間島大仁 (2004)「GIS を用いた CO₂濃度マップ製作による地域環境評価」、平成 15 年度卒業研究概要集 257P-258P、名古屋産業大学
- (3) 間島大仁、伊藤雅一、岡村聖 (2004)「地球温暖化防止のための環境教育に関する方法論的研究-CO₂濃度計測を中心とした環境教育プログラム」『日本環境共生学会 2004 年度学術大会発表論文集』6P-10P
- (4) 尾張旭市理科部会 (2004)「身近な自然環境を大切にする理科教育-大気中の CO₂濃度の測定を通して」愛知県小中学校理科教育研究発表会資料、6 p
- (5) 山田圭介 (2005)「環境教育教材としての CO₂濃度マップの有効性」、平成 16 年度卒業研究概要集 41P-42P、名古屋産業大学