

高解像度の航空写真を用いた CO₂ 濃度マップの作成プロセス

Making map of CO₂ concentration with the help of aerial photos

岡村 聖・村上健太郎・伊藤雅一・坂本 剛・岩瀬真寿美

OKAMURA Kiyoshi, MURAKAMI Kentaro ITO Masakazu, SAKAMOTO Go and IWASE Masumi

Abstract: This study revealed making map of CO₂ concentration with the help of aerial photos for teachers who take care of experience learning based on measurement of CO₂ Concentration. This also summarized the main points of the discussion method for the map of CO₂ concentration.

Keywords: map of CO₂ concentration, environmental education, aerial photos

1. はじめに

筆者らは 2003 年度から愛知県、三重県、岐阜県の小・中学校、高等学校等と連携し¹⁾²⁾³⁾、環境保全のような効果が表面化するまでに多くの時間を要する取組みに対して、短期間の体験でもその変化を実感し意欲的に取り組むことができる人材を育てるためのプログラム開発を念頭に、CO₂ 濃度測定を取り入れた体験学習プログラムの開発・改訂及び実践を行っている。

また、筆者らの所属する名古屋産業大学と台湾苗栗県政府環境保護局⁴⁾は 2015 年 3 月 3 日に環境教育に関する協定を締結した。翌 4 日から 13 日にかけては、苗栗県内の 16 の小中学校・高等学校で研究授業を実施し、300 名を超える児童・生徒や教員が CO₂ 濃度測定を取り入れた体験学習プログラムに参加した。この体験学習内容を踏まえて「苗栗県小・中学校科学コンテスト」に応募した新英小学校は金賞(1 席)を授賞⁵⁾する等、CO₂ 濃度測定を取り入れた体験学習は台湾苗栗県内の小中学校・高等学校が主体的に取り組む環境教育として、普及・拡大していくことが見込まれている。

CO₂ 濃度測定を取り入れた体験学習の基盤は、CO₂ 濃度マップの作成と考察であり、伊藤と岡村(2009)に詳しい。しかしながら、執筆された当時は学校周辺の高解像度の航空写真が容易に入手できる状況にはなく、これを使って CO₂ 濃度マップを作成するためのプロセスについては記述されていない。

そこで本報では、CO₂ 濃度測定を取り入れた体験学習を担当する教員の実務への役立ちを念頭に、高解像度の航空写真を用いた CO₂ 濃度マップの作成と考察を行うためのプロセスを示す。

2. CO₂ 濃度測定を取り入れた体験学習の準備

2.1. 概要

CO₂ 濃度測定を取り入れた体験学習では、CO₂ 濃度測定を通して、CO₂ そのものの特徴や性質等を学びながら、実感を持って CO₂ を排出しない行動に取

組めるような学びを提供することが目的である。CO₂ 濃度測定によって地球温暖化を調査するのではない、ということに特色がある。

この体験学習は、学校周辺を調査対象として、次の流れで進められる。

- グループ毎に、風向風速と CO₂ 濃度測定を行う。
- グループ毎の測定値を統合して、CO₂ 濃度マップを作成する。
- CO₂ 濃度マップを考察する。

2.2. 体験学習の準備

CO₂ 濃度測定を取り入れた体験学習のために必要なものを次に示す。

表 1 CO₂ 濃度測定を取り入れた体験学習のために必要なもの

物品	必要数
CO ₂ 濃度測定器	グループ数(光合成実験も行う場合は+2 台)
アルカリ単 3 電池×6 本あるいはモバイルバッテリー(測定器の電源仕様による)	グループ数
風向・風速測定するもの(糸等風になびくもの)	グループ数分
方角がわかるもの(方位磁石や GPS)	グループ数分
表計算ソフトがインストールされたパソコン	1 台
パソコンを大画面で表示するもの(プロジェクターや液晶テレビ)	1 台
学校周辺の地図	児童・生徒の人数分

CO₂濃度測定器はグループの数分だけ必要である。4~6名単位でのグループワークを想定している。5.2節にある光合成実験を行う場合は、更に2台必要である。この体験学習のために、日本では名古屋産業大学環境教育研究プロジェクトが所有する20台、台湾では育達科技大學日台環境教育センターが所有する10台を、小・中学校・高等学校に貸出できる体制を整えている。

その他の物品は各学校で所有しているもの、あるいは、入手しやすいものである。

CO₂濃度測定を取り入れた体験学習では、学校周辺のメッシュ地図を使う。表計算ソフトの枠線をメッシュとして利用するために、ここでは、教育機関で最も普及している Microsoft Excel を使う。

2.3. 学校周辺地図の作成

2.3.1. 学校周辺地図の表示

近年、インターネットを通して高解像度の航空写真が無料で利用できる。ここでは Google Map を、使用許諾契約を順守の上、利用する。

全画面表示の Google Map を使って学校周辺を開き、スケールバーを20mにする(図1)。



図1 学校周辺地図の表示例
(地図データ©2015Google)

2.3.2. 航空写真のキャプチャ

PrintScreen キーでキャプチャをとり、画像ソフトの Paint 等に貼付け、航空写真の画像ファイルを保存する(図2)。

2.3.3. 表計算ソフトへの航空写真の読み込み

表計算ソフトに航空写真の画像ファイルを読み込む(図3)。

2.3.4. 地図上のスケールバーの長さの確認

表計算ソフトを使ってスケールバーと同じ大きさの線を引き、長さを記録する(図4)。

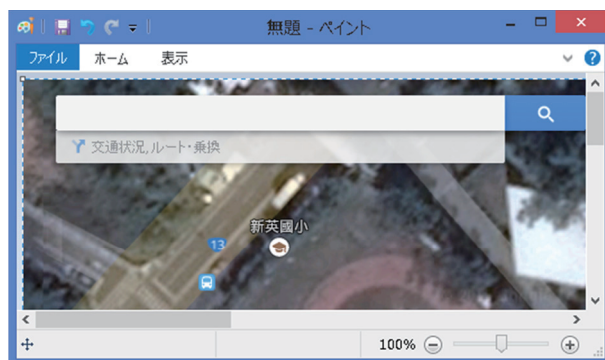


図2 航空写真のキャプチャ
(画像©2015CNES/Astrium 地図データ©2015Google)

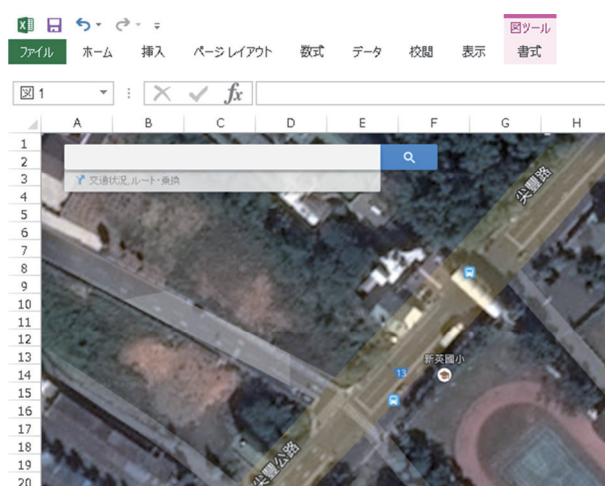


図3 表計算ソフトへの航空写真の読み込み
(画像©2015CNES/Astrium 地図データ©2015Google)

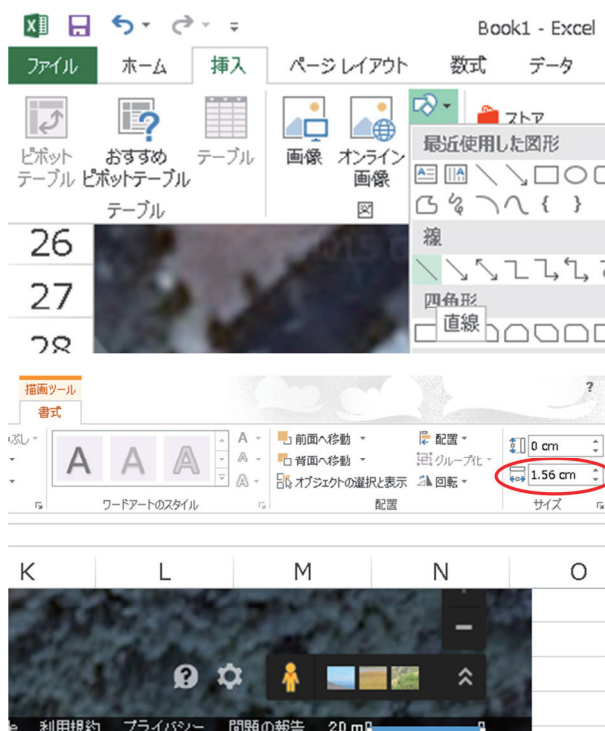


図4 地図上のスケールバーの長さの確認
(画像©2015CNES/Astrium 地図データ©2015Google)

2.3.5. セル幅長さの確認

表計算ソフトの配置メニューの中の「枠線に合わせる」に設定する (図 5 左)。これにより、表計算ソフトで線を描くと、線の始点と終点が枠線に一致するようになる。セル幅と同じ線を引き、その長さを記録する (図 5 右)。



図 5 セル幅長さの確認 (ここでは 1.91cm)
(画像©2015CNES/Astrium 地図データ©2015Google)

2.3.6. 全セル幅の変更

新規作成時の表計算ソフトのセル幅は 72 ピクセル (画素) である。「セル幅長さ (cm) × 72 (ピクセル) ÷ スケールバー長さ (cm)」の比例計算により、地図のスケールバーの長さをピクセルで算出する。その算出値 (ここでは、59 ピクセル) で全セル幅を変更する (図 6)。



図 6 全セル幅の変更
(画像©2015CNES/Astrium 地図データ©2015Google)

2.3.7. 全セル高さの変更

セル幅と同様に、全セル高さを 59 ピクセルに変更する (図 7)。



図 7 全セル高さの変更
(画像©2015CNES/Astrium 地図データ©2015Google)

2.3.8. 枠線に合わせた長方形の作成

CO₂ 濃度マップ作成の時には、CO₂ 濃度の濃淡を表す色や風向風速を表す矢印を地図に重ねる必要がある。表計算ソフトでは、グラフィックソフトのように濃淡の色や矢印をそれぞれレイヤー (透明なシート) として重ねたり編集したりすることが出来ない。セルサイズの四角形や矢印を複数作成して地図の前面に表示することは可能であるが、授業の流れの中で扱うには煩雑すぎる。このため、濃度の濃淡をセルの塗りつぶし、矢印をセルの入力文字として扱うことで煩雑さを軽減すると共に、それらの表示を上から隠さない様に航空写真を半透明化する。

航空写真写真ファイルを削除して、ほぼ同じ大きさの長方形を作る (図 8)。自動的に枠線に合わされた長方形になる。

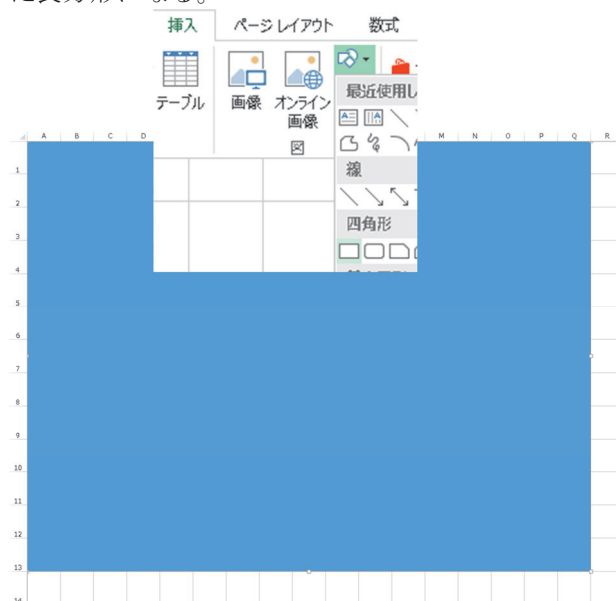


図 8 枠線に合わせた長方形の作成

2.3.9. 航空写真ファイルによる長方形の塗りつぶし

長方形を航空写真ファイルの画像で塗りつぶす (図 9)。



画像の挿入



図 9 航空写真ファイルによる長方形の塗りつぶし

2.3.10. 透明度の設定

透明度を 50%程度にする (図 10)。

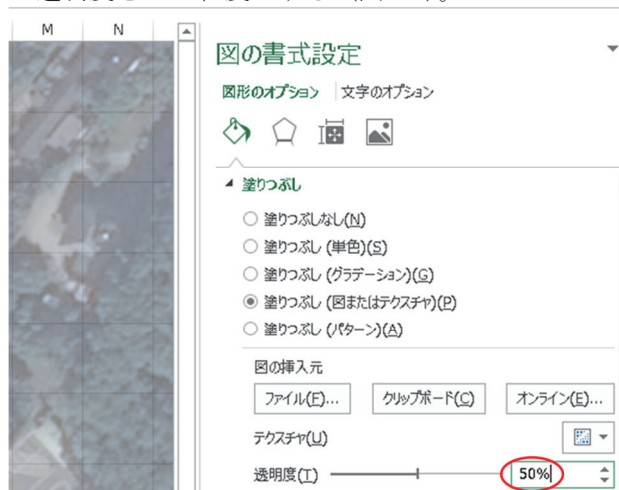


図 10 透明度の設定

(画像©2015CNES/Astrium 地図データ©2015Google)

2.3.11. 横置き印刷用紙 1 枚のサイズに合わせるためのページ設定

学校周辺の航空写真を横置き印刷用紙 1 枚のサイズに合わせるために、ページを設定する (図 11)。

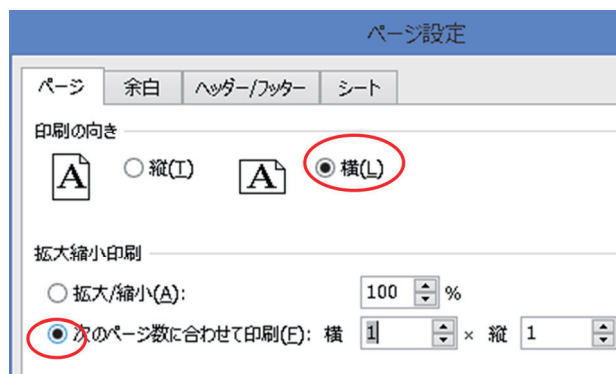


図 11 横置き印刷用紙 1 枚のサイズに合わせるためのページ設定

2.3.12. 航空写真の垂直中央への配置

バランスを整えるために、航空写真を垂直中央に配置する (図 12)。



図 12 航空写真の垂直中央への配置

2.3.13. ヘッダーとフッターの設定

ヘッダーとフッターに、学校名・日付・氏名欄等を設定する (図 13)。

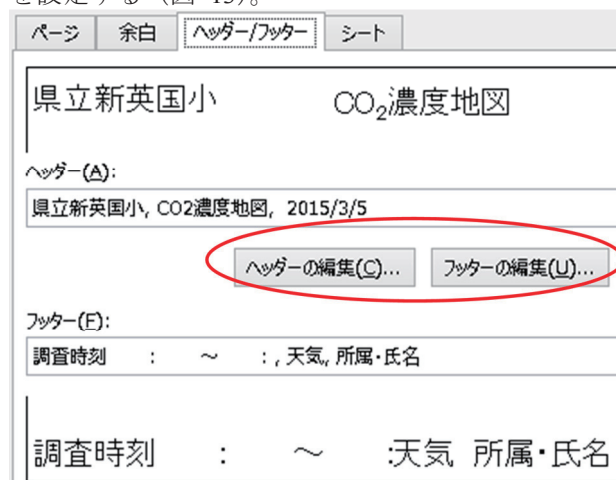


図 13 ヘッダーとフッターの設定

2.3.14. 枠線と行番号の設定

表計算ソフトに表示された航空写真を印刷範囲として設定する。また、パソコン画面と印刷結果を一致させるために、枠線・行列番号の印刷を設定する(図 14)。

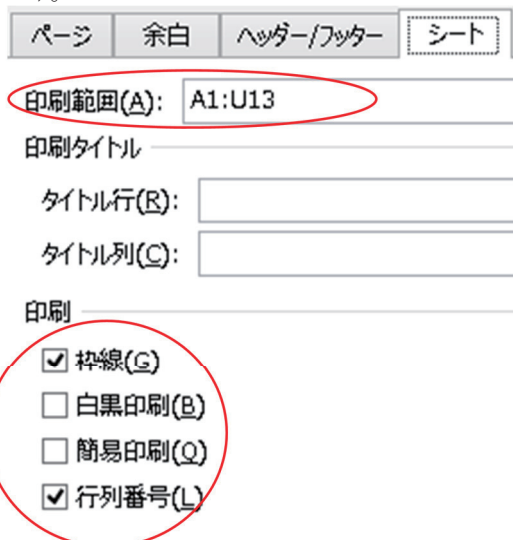


図 14 枠線と行番号の設定

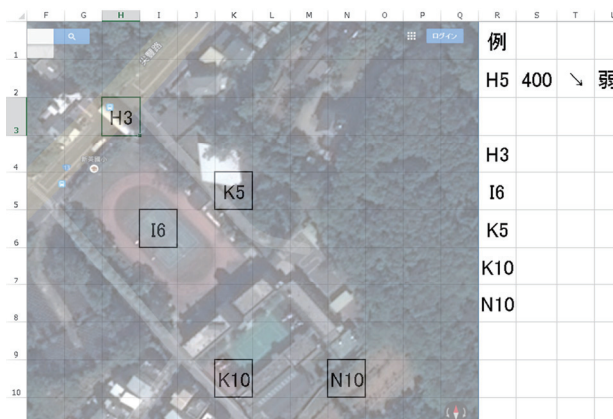


図 16 測定地点の選定

(画像©2015CNES/Astrium 地図データ©2015Google)

3.3. 風向風速の測定 (グループ毎)

糸等風になびくもの、及び、方位磁石や GPS を使って、風向 (北↓ 北西↘ 西→ 南西↙ 南↑ 南東↘ 東← 北東↙ 無・)、及び、風速 (無・弱・強) を調べる (図 17)。



図 17 風向風速の測定

3. CO₂濃度測定

3.1. CO₂濃度測定器の簡易校正

体験学習の授業が始まる前に、風通しが良く、呼吸等の直近の排出源の影響を受けない場所に CO₂濃度測定器を並べ、測定器の説明書に従って簡易校正を行う (図 15)。簡易校正が終わったら、各測定値にバラつきがないかのチェックを行い、問題が無ければ測定器はこの場所に置いたままにする。調査の際に、グループはここで測定器を受け取る。



図 15 CO₂濃度測定器の簡易校正

3.2. 測定地点の選定

航空写真を参考に、各グループが担当する CO₂濃度測定地点を決める (図 16)。時間の節約のために、できる場合は、体験学習の前に測定地点を決めておく。

3.4. CO₂濃度測定 (グループ毎)

風向風速の測定結果を参考に、風上に向かって CO₂濃度を測定する (図 18)。測定者やグループメンバーの口から出る CO₂の影響を受けない様に注意する。



図 18 CO₂濃度の測定

行して光合成実験を継続し、適宜 CO₂ 濃度変化の画面を確認すると時間を効率的に使うことができる。



図 23 光合成実験の様子

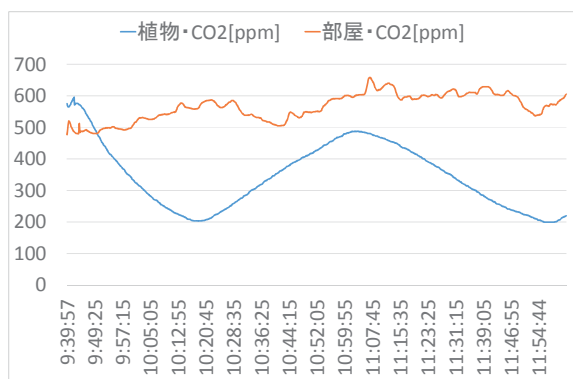


図 24 光合成実験による CO₂ 濃度の変化

5.3. CO₂ 濃度と排出源

CO₂ 濃度と排出源の関連性のポイントは次の通りである。

- 植物は、夜、排出源である (図 24)。
- 物には C (炭素) が含まれているので、燃やす場所は全て排出源である (図 25 左上)。
- 電車や PC の利用は CO₂ を直接排出しないが、発電所から CO₂ が排出されることになる (図 25 右下)。

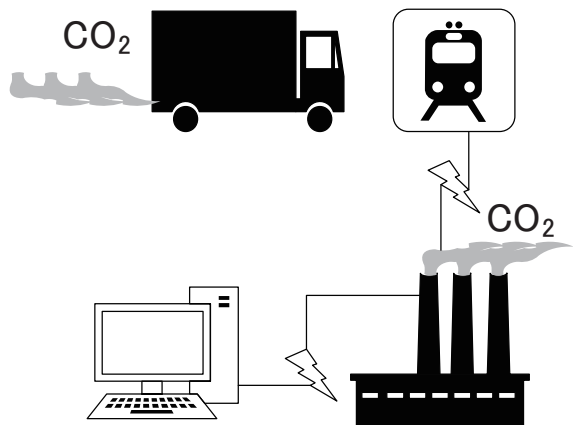


図 25 CO₂ 濃度と排出源

5.4. CO₂ 濃度と風

5.4.1. 大気塊の上昇・下降と対流のイメージ

大気塊の上昇・下降と対流のイメージは次の通りである。

- 周囲より暖かい大気塊は相対的に軽いため上昇する。また、周囲より冷たい大気塊は相対的に重いため下降する (図 26)。
- 大気は切れ目無くつながっているので、移動した塊の部分に向かって移動する。我々は対流の一部を風として感じる。CO₂ は風と共に運ばれる (図 27)。

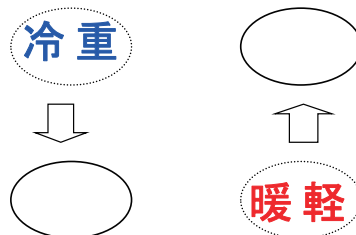


図 26 大気塊の上昇と下降

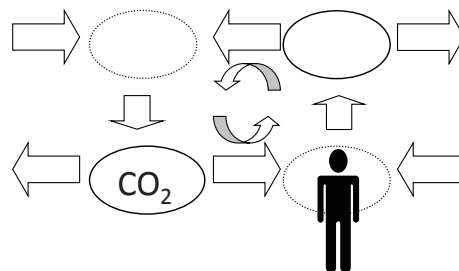


図 27 CO₂ と対流

5.4.2. 大気中を広がる CO₂ のイメージ

大気中を広がる CO₂ のイメージは次の通りである (図 28)。

- 大気は地表から上空 11km 程度にかけて常に対流していて、それより上には容易に逃げ出さない。
- 広い地球にとって、大気は薄い膜のような厚みである。
- 排出源の有無に関わらず、CO₂ は薄い膜の中を通して地球全体に広がる。

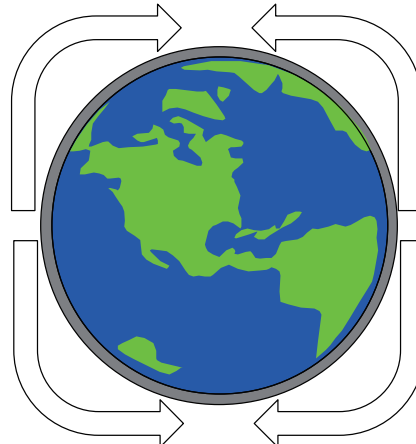


図 28 大気中を広がる CO₂ のイメージ

5.4.3. 排出源の風上と風下

CO₂ 濃度と排出源の風上と風下の関連性のポイントは次の通りである (図 29)。

- 排出源の風上では、近くても、CO₂ 濃度は低い可能性がある。
- 排出源の風下では、遠くても、吸収源が近くにあっても、CO₂ 濃度は高い可能性がある。

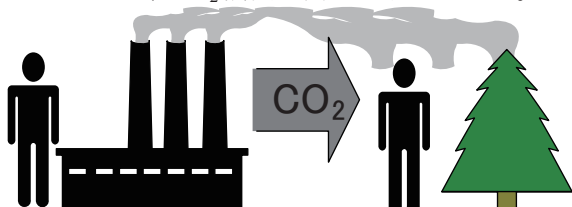


図 29 排出源の風上と風下

5.4.4. 吸収源の風上と風下

CO₂ 濃度と排出源の風上と風下の関連性のポイントは次の通りである (図 30)。

- 吸収源の風上では、近くても、CO₂ 濃度は高い可能性がある。
- 吸収源の風下では、遠くても、排出源が近くにあっても、CO₂ 濃度は低い可能性がある。

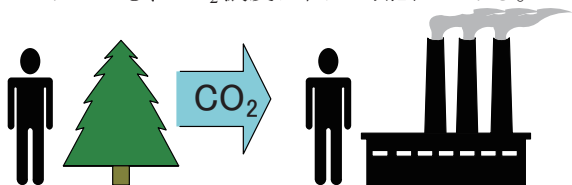


図 30 吸収源の風上と風下

5.4.5. CO₂ 濃度が高くなる場合

次のような場合、CO₂ 濃度が高くなる可能性がある。

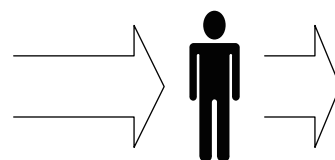
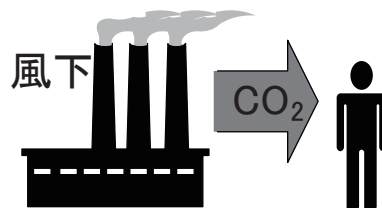
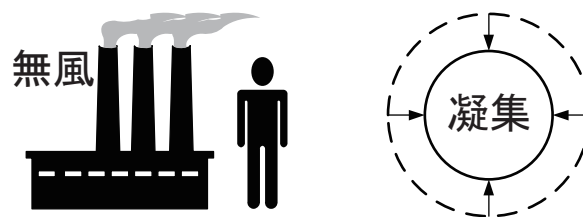
- 無風状態の排出源の近傍では、CO₂ 濃度が高くなる可能性がある (図 31 左上)。
- 風により大気塊の凝集がおこれば、排出源が無くても CO₂ 濃度が高くなる可能性がある (図 31 右上)。
- 排出源の風下では、排出源から運ばれた大気塊の影響で、CO₂ 濃度が高くなる可能性がある (図 31 中)。
- 風の収束 (出るよりも入る方が多い状態) がおこれば、排出源が無くても CO₂ 濃度が高くなる可能性がある (図 31 下)。

5.4.6. CO₂ 濃度が低くなる場合

次のような場合、CO₂ 濃度が低くなる可能性がある。

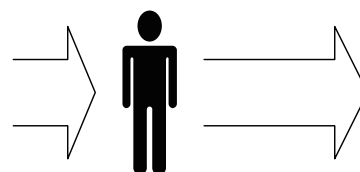
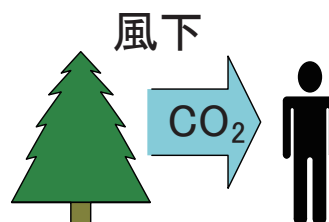
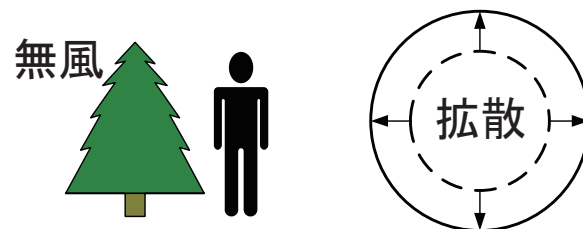
- 無風状態の吸収源の近傍では、CO₂ 濃度が低くなる可能性がある (図 32 左上)。
- 風により大気塊の拡散がおこれば、吸収源が無くても CO₂ 濃度が低くなる可能性がある (図 32 右上)。
- 吸収源の風下では、吸収源から運ばれた大気塊の影響で、CO₂ 濃度が低くなる可能性がある (図 32 中)。

- 風の発散 (出るよりも入る方が少ない状態) がおこれば、吸収源が無くても CO₂ 濃度が低くなる可能性がある (図 32 下)。



風の収束

図 31 CO₂ 濃度が高くなる場合



風の発散

図 32 CO₂ 濃度が低くなる場合

5.5. CO₂ 濃度マップによる考察と地球温暖化に関する知識の関連付け

CO₂ 濃度マップは、風により刻々と変化する大気のある状態を切り取ったものである。従って、CO₂ 濃度に影響を与える要因である植物・排出源・風の中では、風の影響が圧倒的に大きい。風の影響は多くの現象の組み合わせでおこる複雑系であり、CO₂ 濃度マップを科学的に解釈することは極めて難しいが、説明できること・できないことの線引きをしながら考察を深めていくと、次のように CO₂ 濃度と地球温暖化に関する知識を関連付けることができる。

- 実感に乏しかった地球温暖化に関する知識を、自分たちの調査を通じて、身近な生活に関連付けて深めることができる。
- CO₂ 濃度が、みどりが多い場所で高く、道路で低くなる場合もある。
- 風が CO₂ を運ぶことで離れた場所の影響が出たのだとわかる。
- 人間活動による排出源がない北極や南極でも、すなわち地球全体でも同じことが起こっているという認識につながる。

6. おわりに

本報では、CO₂ 濃度測定を取り入れた体験学習を担当する教員の実務への役立ちを念頭に、高解像度の航空写真を用いた CO₂ 濃度マップの作成と考察を行うためのプロセスを示した。

謝辞：本研究は名古屋産業大学環境経営研究所の研究助成および科学研究費補助金基盤研究 (C) 「二次的な自然環境における CO₂ 濃度客観評価による環境教育プログラムの開発」(代表：岡村 聖, 研究課題番号 24501115) の一環として行ったものである。

補 注

- 1) 筆者らは、2003 年度より、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 濃度測定を取り入れた参加体験型の環境教育プログラムの開発研究に取り組んでいる (例えば、岡村ら、2014)。2014 年度は、共同

研究校・機関の協力を得て、表 3 の通り活動した。

- 2) 2005 年度より研究連携校等をステーションとした CO₂ 濃度の常時測定ネットワークシステムを構築している。本年度のステーションの構成は表 2 の通りである。
- 3) 「CO₂ 濃度常時測定ネットワークシステム」
< <http://CO2.nagoya-su.ac.jp/CO2/top.asp> >
(2015/03/29 アクセス)
CO₂ 濃度のリアルタイム変化、日変化、月変化、年変化を WEB 公開中である。公開からの閲覧数は 24000 アクセスを超えている。
- 4) 「台湾苗栗縣政府環境保護局」
< <http://www.mlepb.gov.tw/> >
(2015/03/29 アクセス)
- 5) 「苗栗県小・中学校科学コンテスト受賞校一覧」
<<http://9years.mlc.edu.tw/scienceFiles/admin/199/55scifair-e.pdf>> (2015/03/29 アクセス)

参考文献

- 伊藤雅一・岡村聖 (2009) 『みんなで作る CO₂ 濃度マップー地球温暖化と私たちの暮らし』リバナエ出版 164pp.
- 岡村 聖・村上健太郎・伊藤雅一・坂本剛・岩瀬真寿美 (2014) 「有菌土と無菌土が CO₂ 濃度に与える影響」『環境経営研究所年報』第 13 号 pp.48-53.

表 2 CO₂ 濃度常時測定ネットワークシステムに参加している学校、企業等

分類	設置場所
高校	三重県立久居農林高校
	愛知県立稲沢高校
	岐阜県立岐阜農林高校
	私立菊華高校
	名古屋市立若宮商業高校
大学	名古屋産業大学
	台湾育達科技大學
企業	ユー・ドム(水戸市)
	ユー・ドム(東京都新宿区)

表 3 CO₂ 濃度測定を取り入れた環境教育の実践 (2014 年度)

分類	実施対象	科目等	実施時期	時間数	備考
大学	台湾育達科技大學・台湾体育運動大学	交換留学生授業 (6 名)	7/3~7/24	4 時間	
高校	愛知県立起工業高校	総合学習 (3 年生・23 名)	4/24	2 時間	
	名古屋市立若宮商業高校	エコライフ (2 年生・21 名)	6/19~12/9	4 時間	名古屋市環境局と連携して実施
	岐阜県立加茂農林高校	課題研究 (3 年生・10 名)	8/18~2/7	14 時間	名古屋産業大学主催高大連携フォーラム発表の企画及び実施協力
	岐阜県立岐阜農林高校	課題研究 (3 年生・8 名)	7/25~3/26	8 時間	文部科学省スーパーサイエンスハイスクール事業として実施

表 3 CO₂ 濃度測定を取り入れた環境教育の実践 (2014 年度) (続き)

分類	実施対象	科目等	実施時期	時間数	備考
高校	三重県立久居農林高校	課題研究 (3 年生・6 名)	10/4~2/7	9 時間	名古屋産業大学主催高大連携フォーラム発表の企画及び実施協力
	三重県の中・高校生	第 14 回地域が応援するキャリアアップセミナー (56 名)	10/4	6 時間	三重県教育委員会事業として実施
	愛知県立緑丘商業高校	総合学習 (3 年生・12 名)	11/7~11/14	4 時間	
	私立菊華高校	考える環境 (3 年生・9 名)	12/12	4 時間	
	愛知県立稲沢高校	課題 (3 年生・4 名)	2/7	4 時間	名古屋産業大学主催高大連携フォーラム発表の企画及び実施協力
	台湾大同高校	特別授業 (1~2 年生、51 名)	3/13	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
中学校	台湾建台中学校	特別授業 (2 年生、48 名)	8/18	2 時間	日台環境教育センター事業として実施
	台湾大雅中学校	特別授業 (1~2 年生、20 名)	8/19	2 時間	日台環境教育センター事業として実施
	台湾公館中学校	特別授業 (2 年生・36 名)	3/4	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
	台湾致民中学校	特別授業 (2 年生・36 名)	3/5	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
	台湾頭屋中学校	特別授業 (1 年生・22 名)	3/9	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
	台湾啓新中学校	特別授業 (1~2 年生・40 名)	3/10	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
	台湾苗栗中学校	特別授業 (3 年生・35 名)	3/11	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
	台湾頭份中学校	特別授業 (2 年生・35 名)	3/12	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
小学校	台湾鹿峰小学校	特別授業 (5~6 年生、30 名)	8/19	2 時間	日台環境教育センター事業として実施
	瀬戸市立下品野小学校	理科 (6 年生・67 名)	1/20~1/23	4 時間	コンソーシアムせと事業として実施
	台湾中興小学校	特別授業 (5~6 年生・44 名)	3/4	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
	台湾建功小学校	特別授業 (6 年生・36 名)	3/5	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
	台湾龍昇小学校	特別授業 (5 年生・16 名)	3/6	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
	台湾南庄小学校	特別授業 (1~6 年生・32 名)	3/6	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
	台湾頭屋小学校	特別授業 (5 年生・41 名)	3/9	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
	台湾文華小学校	特別授業 (5 年生・25 名)	3/10	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
	台湾成功小学校	特別授業 (5~6 年生・42 名)	3/11	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
	台湾新興小学校	特別授業 (5~6 年生・42 名)	3/12	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
	台湾新英小学校	特別授業 (4~5 年生・28 名)	3/13	2 時間	苗栗縣環境保護局事業として実施
一般	台湾苗栗県の小・中学校、高校の教員	環境教育国際フォーラム (54 名、65 名)	10/14、3/3	4、6 時間	環境教育の教員研修として実施
	台湾苗栗県環境ボランティア	環境教育研修 (15 名)	3/9	2 時間	苗栗県環境教育施設西湖渡假村で実施