

学校周辺の CO₂ 濃度調査に基づく 環境教育実践マニュアル

2019 年 12 月

名古屋産業大学環境教育研究プロジェクト

目次

はじめに	1
1 身近な地域の CO ₂ 濃度データを利用した環境教育	2
1-1 環境教育の目的	2
1-2 環境教育の発展段階	2
1-3 学習支援システムの開発	3
2 生活環境圏における CO ₂ 濃度の動態	6
2-1 複雑かつ多様に変化する生活環境圏の CO ₂ 濃度	6
2-2 CO ₂ 濃度の変化パターン	6
2-3 CO ₂ 濃度の分布パターン	8
3 セカンドステップの環境教育の進め方とその留意点	11
3-1 CO ₂ 濃度調査の実施方法	12
(1) CO ₂ 濃度調査の実施条件	12
(2) CO ₂ 濃度調査の実施方法	12
3-2 CO ₂ 濃度マップの作成方法	14
3-3 CO ₂ 濃度データ検索システムの活用方法	16
3-4 CO ₂ 濃度マップの解釈	21
3-5 CO ₂ 濃度分布図作成システムの活用方法	24
3-6 CO ₂ 濃度分布図の解釈	32
3-7 学習評価	34
4 国際交流学習の実施	38
4-1 CO ₂ 環境教育の海外移転と国際交流	38
4-2 生活環境圏における CO ₂ 濃度の動態比較	39
4-3 国際交流学習の実施	42
参考1：ファーストステップの環境教育プログラム	43
参考2：セカンドステップの学習教材	46
参考3：学習目標に基づく学習到達度評価に関するアンケート調査票	53

はじめに

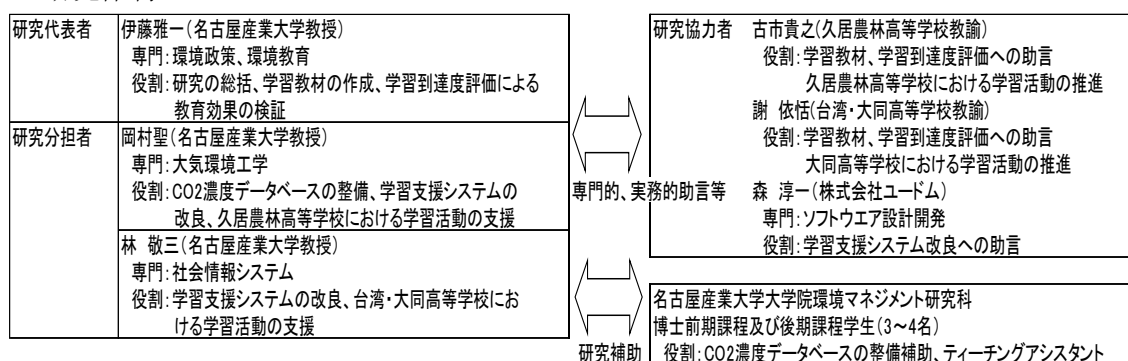
名古屋産業大学環境教育プロジェクトでは、2003 年度より、人間生活の直接的な影響を受ける生活環境圏の CO₂ 濃度に着目し、地域の CO₂ 濃度調査に基づく環境教育プログラムの開発と実践に取り組んできた。

生活環境圏における CO₂ 濃度は、複雑かつ多様に変化する。この点は CO₂ 濃度に影響を与える地域的要因を探究するうえでは有効な教材となるが、その考察に対して科学的な理解を促そうとすると、CO₂ の動態を把握するための継続的なデータ収集と分析が不可欠となる。このため、2006 年度より学校等に「CO₂ 濃度測定局」を開設し、常時測定データを収集・蓄積するとともに、その膨大なデータを処理するための学習支援システムを開発し、環境教育に適用してきた。

このマニュアルは、生活環境圏に開設した CO₂ 濃度測定局の定点データ、そして学校周辺の CO₂ 濃度調査を通じて収集する面データ、以上の 2 つの CO₂ 濃度の実測データを活用し、CO₂ 濃度調査の継続的な実施を通じて、CO₂ 濃度と地域環境との関係性を探究する学習活動を支援するために作成したものである。具体的には、生活環境圏における CO₂ 濃度の動態に関する研究成果を紹介するとともに、環境教育の進め方とその留意点、学習成果となる CO₂ 濃度マップの解釈や学習評価の方法などを解説している。

なお、このマニュアルは、科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)基盤研究(C)「生活環境圏における CO₂ 濃度の動態把握に基づく探究的な環境学習活動の教材開発(JSPS KAKENHI JP 17K01051)」の助成金の交付を受けて作成したものである。

■研究体制



1 学校周辺の CO₂ 濃度調査に基づく環境教育

1-1 環境教育の目的

2015 年 12 月にフランスのパリで開催された COP21 では、「京都議定書」に代わる温室効果ガス削減の新たな枠組みとして「パリ協定」が採択され、翌 2016 年 11 月に発効した。国際社会共通の長期目標として、世界の平均気温を産業革命以前と比べて 2℃未満、できれば 1.5℃未満とする目標達成に向けた大幅な CO₂ 削減が求められている。このため、今後は、家庭部門を中心とする民生部門の大幅な CO₂ 削減も避けて通れない課題となる。その課題解決には、CO₂ の排出源、吸収源に対する人々の環境意識を高め、エネルギー消費の抑制に加え、低炭素の地域づくりに向けた自立的かつ多面的な環境行動を実践に移す社会的状況を創出していくことが望まれる。

異常気象の頻発などを背景に、多くの人々が地球温暖化防止に高い関心を示している。その一方で、大気中の CO₂ は実際に見ることも手に取ることもできないため、身近な環境問題として実感しにくい。家庭部門における CO₂ 削減は、産業部門など他部門に比べて進んでいないのが現状である。

学校周辺の CO₂ 濃度調査に基づく環境教育（以下「CO₂ 環境教育」という）の目的は、①学校周辺の CO₂ 濃度調査を通じて CO₂ 濃度を可視化し、②CO₂ 濃度の地域分布や大気のメカニズムを理解するとともに、③CO₂ 濃度と身近な地域環境との関係性を探究したうえで低炭素地域づくりに役立つ行動を考える、以上の探究的な環境学習活動の機会を提供することにある。

1-2 環境教育の発展段階

CO₂ 環境教育は、2つのステップの環境教育によって構成される。

ファーストステップの環境教育は、小・中学校、高等学校を対象として、可搬型 CO₂ 濃度測定器(写真 1-1)を利用して、学校周辺の CO₂ 濃度調査を通じて「一時測定データ」を収集し、CO₂ 濃度の地域分布を可視化した CO₂ 濃度マップを作成するものである。この環境教育では、CO₂ 濃度の調査体験を通じて、CO₂ の性質や特性を知ることに加え、気象や地域環境が CO₂ 濃度にどのような影響を及ぼしているのかを探究し、実感を持って理解することを支援している。

その一方で、人々が生活を営む生活環境圏の CO₂ 濃度は、気象や人為の直接的な影響を受け、複雑かつ多様な日変化を示す。この点は、児童・生徒が CO₂ 濃度に影響を与える地域的要因を探究するうえでは有効な教材となるが、その考察に際して科学的な理解を促そうとすると、CO₂ 濃度の動態を把握するための継続的なデータの収集と活用が不可欠となる。このため、セカンドステップの環境教育では、高等学校を主な対象に CO₂ 濃度測定局(写真 1-2)を開設して「常時測定データ」を収集し、ファーストステップの環境教育に応用することにより、CO₂ 濃度の動態に対する科学的理解を促すとともに、生徒による主体的で探究的な環境学習活動を支援している。

セカンドステップの環境教育の基盤となる CO₂ 濃度測定局は、CO₂ 濃度、気温、湿度、気圧の各センサを百葉箱に格納したもので、測定データはモニタリングソフトウェアを用いて PC に 3 秒間隔で収集・蓄積されている。各測定局における CO₂ 濃度データの年間収集量は、約 1,000 万件となる。同測定局は、2017 年 6 月末現在、日本国内に 23 局、台湾・苗栗県内に 5 局、基隆市内に 1 局、計 29 局が開設されている。



写真 1-1 可搬型 CO₂ 濃度測定器



写真 1-2 CO₂ 濃度測定局

1-3 学習支援システムの開発

セカンドステップの環境教育では、学習支援システムとして、CO₂ 濃度測定局の収集・蓄積データをモニタリングする「CO₂ 濃度常時測定ネットワークシステム（図 1-1）」を開発し、インターネットを経由してデータを公開している。モニタリング画面では、CO₂ 濃度測定局で測定された CO₂ 濃度、気圧、気温(参考値)、湿度(参考値)が 10 秒間隔で更新されるとともに、過去データについても直近の 1 日単位、1 か月単位、1 年単位のデータがグラフ表示されるようになっている。



図 1-1 CO₂ 濃度常時測定ネットワークシステムのモニタリング画面

また、CO₂濃度測定局の常時測定データを利用した学習支援システムとして、「CO₂濃度データ検索システム」を開発し、過去データから、類似した気象条件下のCO₂濃度変化パターンを抽出、参照することで、CO₂濃度データのより多面的な分析、解釈を支援している。

検索システムの入出力画面は、図 1-2 に示すとおりである。検索システムの入力画面には、検索条件として、環境教育を実施した日の天気及び風向・風速を入力する。検索結果には、入力条件に応じたCO₂濃度の時別平均値（平均濃度）と平均風速（平均風速）の日変化及び風向が表示される。また、参考データとして、入力条件を考慮しないCO₂濃度の時別平均値（CO₂濃度）と平均風速（風速）の日変化及び風向が表示される。

以上の2つの学習支援システムを活用することで、CO₂濃度測定局で収集される膨大なデータの処理とこれに基づくCO₂濃度の動態理解を支援している。

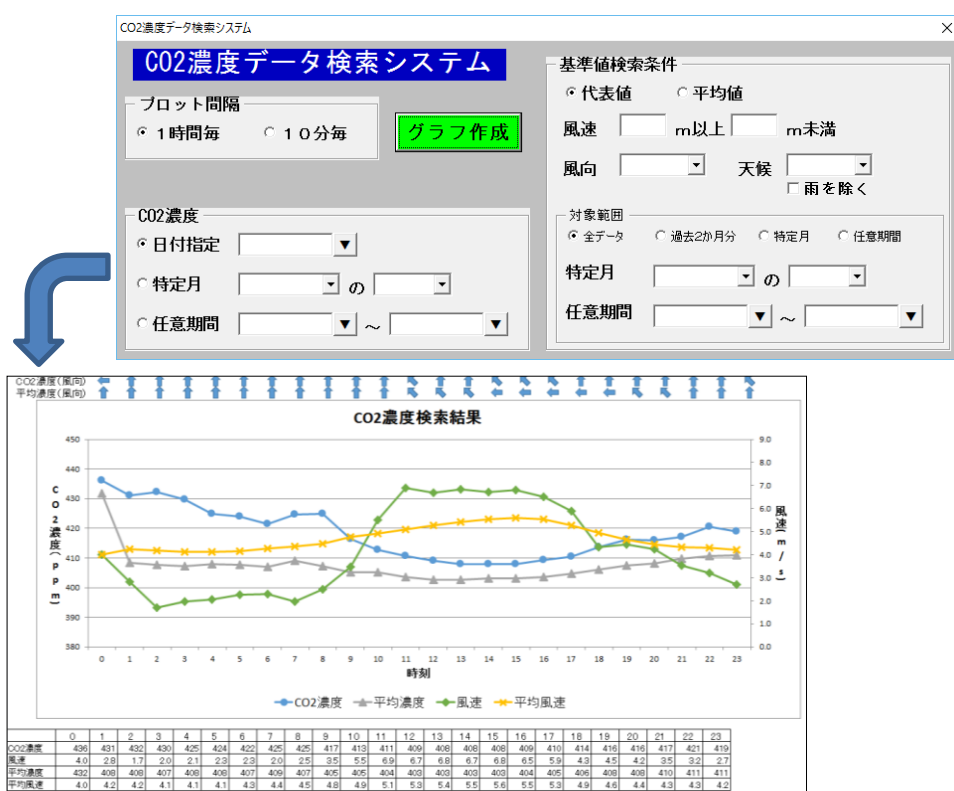


図 1-2 CO₂濃度データ検索システムの入出力画面

さらに、定点で測定されたCO₂濃度データと風向・風速データのみを用いて、測定地点に至るCO₂の経路を風上方向に略式かつ視覚的にたどることができる学習支援システムとして、Microsoft ExcelとフリーソフトウェアGraph-Rを利用する「CO₂濃度分布図作成システム」を開発した。

CO₂は大気へ排出された後の寿命が長いため、風に乗って移動している間に他の化合物に変化することがない。定点で測定されたCO₂濃度はその近傍の土地利用によってのみ決まるわけではなく、むしろ離れた場所から運ばれてきた大気による影響の方が大きい。風向

からは方角の、風速からは移動距離の手がかりが得られるため、定点から風上にさかのぼることで、測定された CO₂ 濃度がどのような場所から運ばれた大気の影響を受けているか、簡易的に推定することが可能である。

入力画面では、年、月日、曜日、時刻、天気、天気の抽出条件を指定する（図 1-3）。出力画面には、風向・風速・風の発生率を 3 次元展開した CO₂ 濃度分布図（図 1-4 左）及び風配図（図 1-4 右）が表示される。



	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	年	月日	曜日	時刻	天気	CO ₂ 濃度	風速	風向	作図
2	2011	1/1	土	0:00	曇	409	4	北西	
3	2011	1/1	土	1:00	曇	413	4.2	北西	
4	2011	1/1	土	2:00	曇	410	2.7	北西	
5	2011	1/1	土	3:00	曇	412	2.1	北北西	
6	2011	1/1	土	4:00	曇	409	1.9	北北西	
7	2011	1/1	土	5:00	曇	407	2.3	北西	
8	2011	1/1	土	6:00	曇	414	1.4	北北西	
9	2011	1/1	土	7:00	曇	418	1.4	西北西	
10	2011	1/1	土	8:00	曇	423	3.1	西	
11	2011	1/1	土	9:00	曇	415	1.4	北西	

図 1-3 CO₂ 濃度分布図作成システムの入力画面

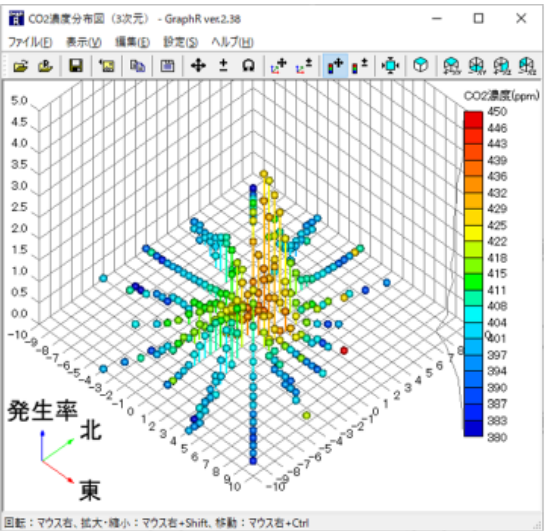


図 1-4 CO₂ 濃度分布図作成システムの出力画面

2 生活環境圏における CO₂ 濃度の動態

2-1 複雑かつ多様に变化する生活環境圏の CO₂ 濃度

図 2-1 は、名古屋産大学地点(愛知県尾張旭市)に開設された測定局の 1 か月間(2010 年 7 月)における CO₂ 濃度データの日変化である。同一月の同じ時刻であっても、40~80ppm 程度の濃度差が生じているなど、複雑かつ多様な日変化を示していることがわかる。

生活環境圏で測定される CO₂ 濃度は、地域成分と変動成分によって構成される(図 2-2)。地球成分を含めた地域成分は、地域の空間を代表するもので、全球観測によって測定されたバックグラウンド濃度(地球成分)に地域の代表的な吸収源、排出源、気象現象が反映される。また、変動成分は、測定地点近傍のみの空間を代表するもので、局所的な影響が反映される。生活環境圏の CO₂ 濃度は、地域成分の安定的な影響に加え、変動成分による局所的な影響を受けることによって複雑かつ多様な変化を示す。

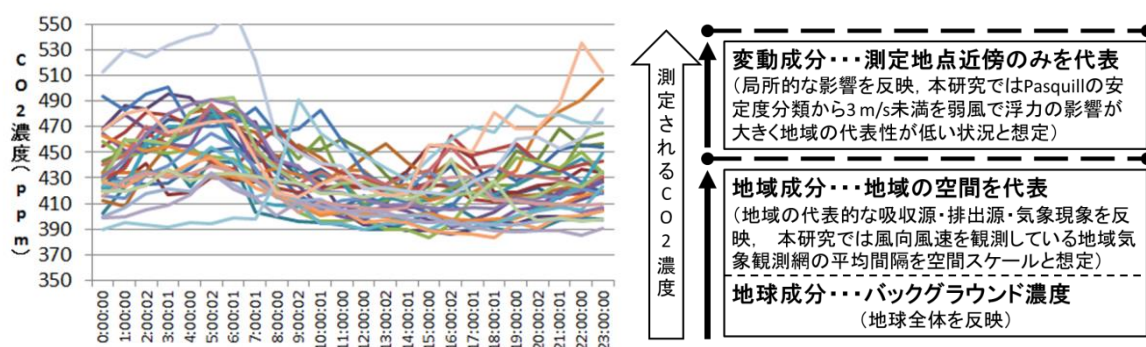


図 2-1 生活環境圏における CO₂ 濃度の日変化

図 2-2 生活環境圏で測定される CO₂ 濃度

2-2 CO₂ 濃度の変化パターン

ここでは、東海 3 県の CO₂ 濃度測定局で測定された CO₂ 濃度の時別平均値(以下、「CO₂ 平均濃度」という)、3m/s 以上の風速状況における CO₂ 濃度の時別平均値(以下、「CO₂ 安定濃度」という)の 2 つの指標を用いて、生活環境圏における CO₂ 濃度の基本的な動態を解説する。

図 2-3 は、名古屋産業大学地点(愛知県尾張旭市)、三重県立久居農林高校地点(三重県津市)、岐阜県立岐阜農林高校地点(岐阜県本巣町)に開設された CO₂ 濃度測定局の収集データ(2011 年~2013 年)を基に、CO₂ 平均濃度と CO₂ 安定濃度の日変化を例示したものである。各測定局における CO₂ 濃度変化パターンの比較を容易にするため、午前 9 時を基準値とした差分ベースの日変化を検証している。生活環境圏の CO₂ 濃度は測定地点によっても異なる動きを示すが、東海 3 県の 3 測定地点における CO₂ 平均濃度は、ほぼ相似した変化パターンに収斂し、次のような共通傾向を示すようになる。

まず CO₂ 平均濃度の日変化は、午前 6 時前後に相対的に高い傾向を示し、午後 3 時前後に相対的に低い傾向を示す。CO₂ 濃度の変動幅は、春から夏にかけて拡大し、夏から翌春にかけて縮小する。図中、横線は CO₂ 濃度の変動幅(3 局の平均値)を、左縦線は CO₂ 濃度

が日変化の中で相対的に高い時間（3局の平均値）を、右縦線は CO₂ 濃度が日変化の中で相対的に低い時間（3局の平均値）を示す。この 2 つの破線によって形作られる四角形の大きさは、主として日射による対流発生に伴う風速の増加と、植物活動による CO₂ 吸収量の増加によって変化する。生活環境圏における CO₂ 濃度の季節変化を表す一つの指標となる。

また、CO₂ 安定濃度の変動幅は、大気拡散により CO₂ 平均濃度に比べて縮小する。図中の横線は、3 局平均での CO₂ 濃度の特別変動幅が 10ppm 以下で推移している時間帯を示す。大気が安定する冬は一定の時間変動幅の範囲内で推移するが、春から夏にかけて濃度差が拡大し、夏から翌春にかけて縮小する。

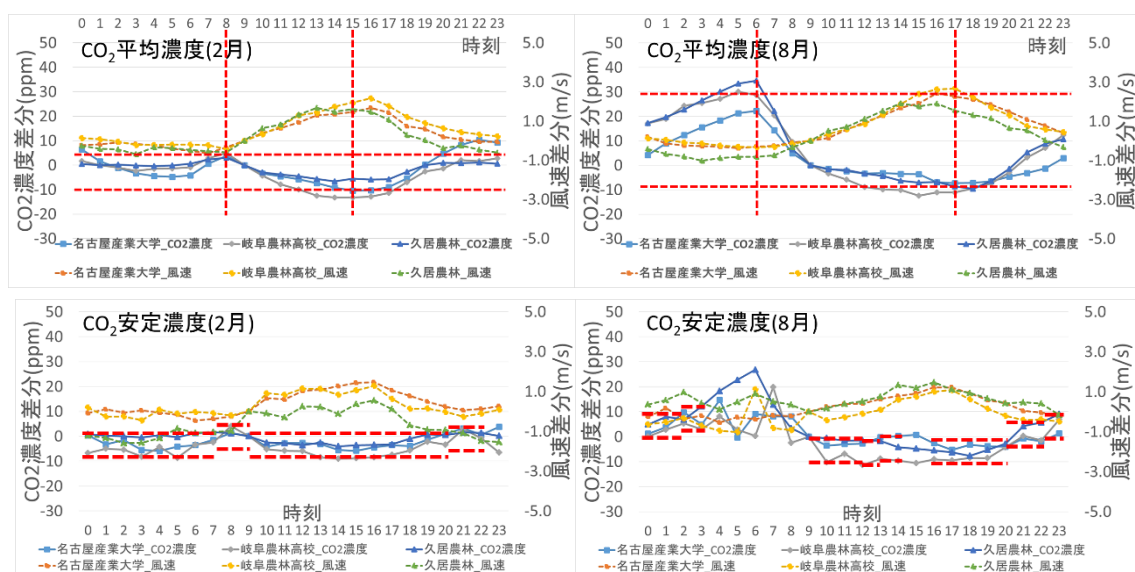


図 2-3 東海 3 県の生活環境圏における CO₂ 濃度の日変化

次に、年間を通じて発生率の高い風向時の CO₂ 安定濃度の日変化を検証した結果が表 2-1 である。この表から、3 測定地点における共通傾向として、午後 1 時から午後 2 時の間に CO₂ 濃度が最小値を示し、しかも一定の濃度を示すようになることが分かる。発生率の高い風向時の CO₂ 安定濃度の日変化のなかで最小値を示す濃度は、地域成分が反映された CO₂ 濃度を評価する尺度、すなわち「CO₂ 基準濃度」と定義することができる。具体的には、名古屋産業大学地点は、北方向～北西方向からの風向時に 402 ppm、久居農林高等学校地点と岐阜農林高等学校地点は、北西方向～西方向からの風向時に、それぞれ 393 ppm、407 ppm の値を示しており、この濃度が「CO₂ 基準濃度」となる。

以上から、CO₂ 安定濃度は、その地点にとって安定的に示される濃度であるのか、あるいは局所的な変動成分の影響を受け、限定的に示される濃度であるのかを評価する判断材料となる。また、CO₂ 安定濃度の日変化のなかで下限値を示す時間帯の CO₂ 濃度(CO₂ 基準濃度)は、地域成分の影響を評価するうえでの判断材料となる。

表 2-1 発生率の高い風向時の CO₂ 安定濃度の日変化

	時刻	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
名古屋産業大学	CO ₂ 濃度	412	411	411	411	411	411	412	412	410	408	406	404
	風速	4.1	4.1	4.1	4.0	4.0	4.1	4.1	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9
久居農林高等学校	CO ₂ 濃度	401	399	399	398	398	399	399	400	399	397	396	395
	風速	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	5.0	5.2	5.5	5.7	5.8
岐阜農林高等学校	CO ₂ 濃度	419	416	415	415	415	416	415	415	414	411	409	409
	風速	4.2	4.1	4.2	4.1	4.2	4.1	4.2	4.3	4.5	4.8	5.1	5.3
	時刻	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
名古屋産業大学	CO ₂ 濃度	403	402	402	402	402	404	406	408	409	411	411	411
	風速	5.2	5.5	5.7	5.9	5.8	5.5	5.0	4.7	4.5	4.3	4.2	4.1
久居農林高等学校	CO ₂ 濃度	393	393	393	393	393	395	397	398	399	400	400	399
	風速	5.9	6.0	5.9	5.8	5.5	5.2	5.0	4.9	4.8	4.7	4.7	4.8
岐阜農林高等学校	CO ₂ 濃度	408	407	407	408	408	410	412	415	417	418	418	420
	風速	5.5	5.6	5.8	5.7	5.6	5.2	4.8	4.6	4.3	4.2	4.2	4.2

CO₂濃度の単位: ppm

風速の単位: m/s

2-3 CO₂濃度の分布パターン

CO₂濃度と地域環境との関係を探知しようとする場合、CO₂濃度の空間分布とその時系列変化を地域全体の空間情報として把握することが必要になる。

ここでは、名古屋産業大学周辺地域を対象に、2015年5月から1年間にわたって実施したCO₂濃度調査(図2-4)の収集データを用いて、生活環境圏におけるCO₂濃度空間分布の基本的な動態を解説する。なお、名古屋産業大学周辺の土地利用状況(図2-5)としては、北西方向には樹木が多い公園が隣接し、その背後地には低層の住宅地が広がっている。北東方向には神社の社寺林があり、その背後地には大規模な公園が広がっている。また、南東方向には都市的土地利用が進んだ市街地が、南西方向には田畑が隣接し、その背後地には住宅地が広がっている。

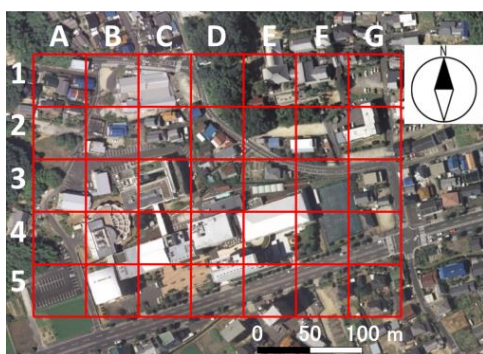


図 2-4 CO₂濃度の測定地点



図 2-5 調査地点周辺の土地利用状況

(国土地理院の電子地形図(タイル)に縮尺と方位記号及びメッシュを追記して掲載)

CO₂濃度調査の結果を反映させたCO₂濃度マップの作成例を図2-6及び図2-7に示す。図中、各メッシュの矢印は風向を、各メッシュ右の数値はCO₂濃度を、下の数値は風速を

示す。

まず、図 2-6 は、風速の強弱による空間分布の違いを表したものである。風速が強い調査日は、測定地点全体の CO₂ 濃度が相対的に低く、全体的な濃度の色も緑に近いが、風速が弱い調査日は、全体的な濃度が橙色から赤色に近く、測定地点全体の CO₂ 濃度は相対的に高くなっていることが分かる。風速の影響としては、近傍の気象台の観測標準に基づく風速が CO₂ 濃度に基本的な影響を与える。また、地表面で測定される風速は、建物等によって不規則な変化を示し、CO₂ 濃度に付随的な影響を与える。

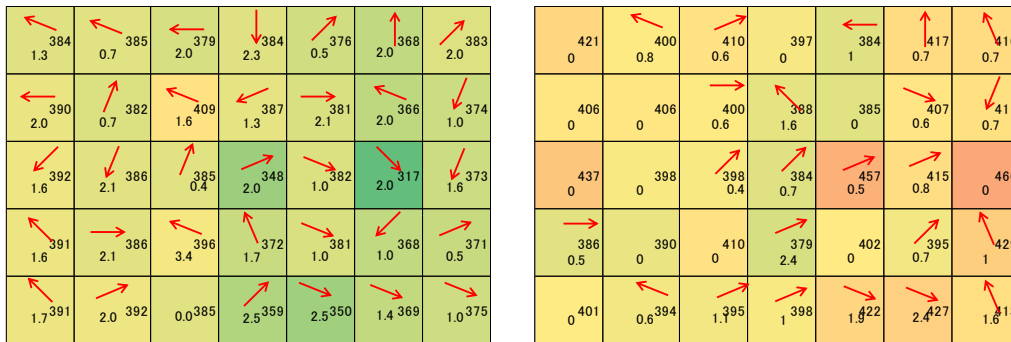
また、図 2-7 は、風向が異なる調査日の空間分布を比較したものである。風向が北北西時(風上は樹木が多い公園)は、全体的な濃度の色も緑に近く、CO₂ 濃度は相対的に低い状況にあるが、風向が南南東時(風上は都市的土地利用が進んだ市街地)は、全体的な濃度が橙色から赤色に近く、CO₂ 濃度も相対的に高くなっている。風速が強いときの CO₂ 濃度の空間分布は、主に風速の影響を受けるが、風速が弱いときは、風速の影響に加えて、風向の影響、特に近傍の土地利用(排出源、吸収源)の局所的な影響を受けやすくなる。

なお、天候の影響としては、日射の影響等により、晴天時は、曇天時、雨天時と比べて CO₂ 濃度が低くなる傾向を示す。

以上から、風速が強いときの CO₂ 濃度マップは地域成分の安定的な影響が反映された空間分布を、風速が弱いときの CO₂ 濃度マップは地域成分の影響に加え、CO₂ の吸収源、排出源の局所的な影響、すなわち変動成分の影響が反映された空間分布を示すようになる。

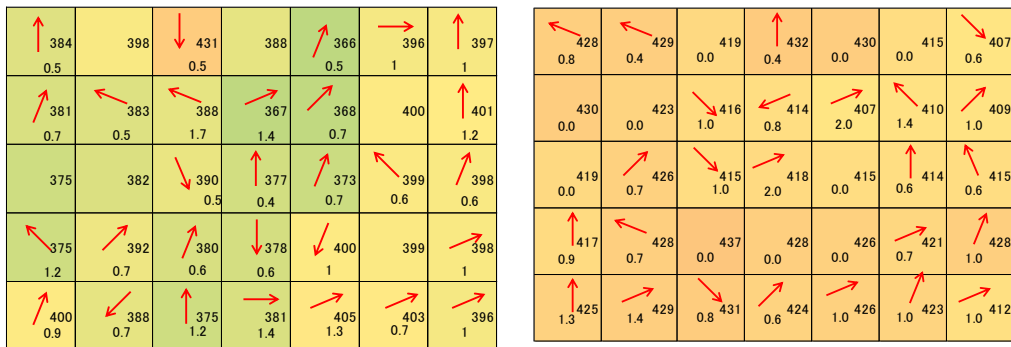
また、図 2-8 は、GIS(地理情報システム)を用いて、CO₂ 濃度測定局の 14 時時点のデータを基準値とし、風速 3m/s 以上の調査日の CO₂ 濃度マップ、すなわち CO₂ 安定濃度が反映された CO₂ 濃度マップを集約したものである。左図は年平均の CO₂ 安定濃度の分布パターン、右図は季節平均の分布パターン例として、北西方向からの風向の発生率が高い秋季の CO₂ 安定濃度の空間分布を示したものである。CO₂ 基準濃度が反映された空間分布パターンとなる。

年平均、季節平均の CO₂ 安定濃度の空間分布は、ほぼ相似した一定の分布パターンに収斂されるとともに、地域の代表的な吸収源や風通しなどの影響が安定的に反映されるようになる。このため、CO₂ 濃度マップから、地域の代表的な吸収源、排出源の影響を探究しようとする場合、CO₂ 安定濃度の日変化の中で下限値が安定的に示される時間帯(午後 2 時前後)を対象に CO₂ 濃度調査を継続的に実施し、CO₂ 安定濃度、さらには CO₂ 基準濃度が反映された CO₂ 濃度マップを蓄積していくことが必要となる。



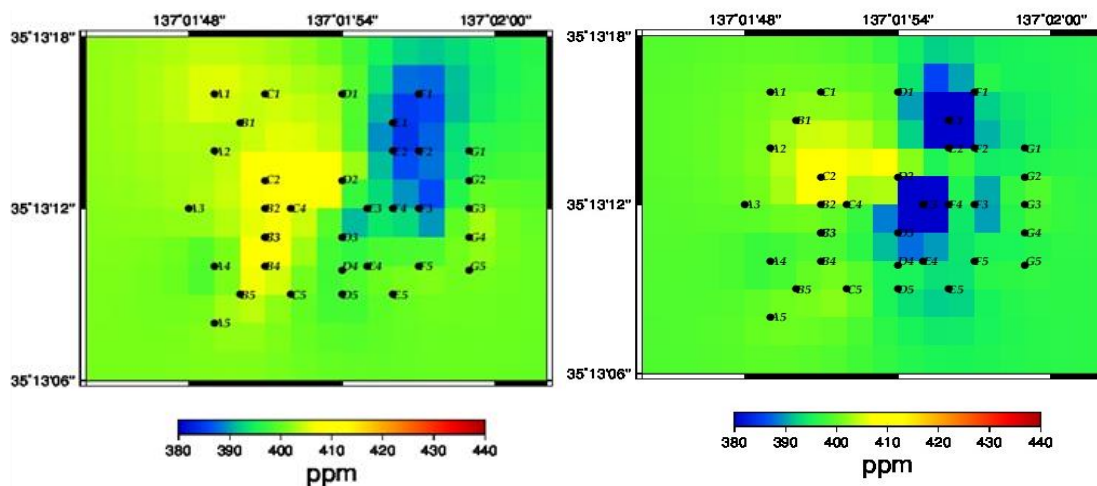
(2015 年 9 月 11 日 風速：7.2 m/s 風向：西北西) (2015 年 10 月 16 日 風速：1.3 m/s 風向：北)

図 2-6 風速別にみた CO₂ 濃度空間分布の違い



(2015 年 5 月 8 日 風速：1.9 m/s 風向：北北西) (2015 年 10 月 23 日 風速：2.4 m/s 風向：南南東)

図 2-7 風向別にみた CO₂ 濃度空間分布の違い



(2015 年 5 月～2016 年 4 月までの年平均)

(2015 年 9 月～11 月までの秋季平均)

図 2-8 CO₂ 安定濃度の分布パターン

3 セカンドステップの環境教育の進め方とその留意点

セカンドステップの環境教育では、生活環境圏における CO₂ 濃度の基本的な動態の理解を促したうえで、「課題設定」、「情報収集」、「整理分析」、「まとめ・表現」という一連の探究的な学習プロセスを繰り返すことによって、課題研究としての発展的な学習へと繋げていくことを目指している。

授業プログラムは、表 3-1 に示すとおりである。①オリエンテーション、②学校周辺の CO₂ 濃度調査、③CO₂ 濃度マップの作成、④CO₂ 濃度測定局のデータ検索、⑤CO₂ 濃度マップの解釈、⑥学習成果の発表によって構成される。また、上記の②から⑤を繰り返し実施することで、探究的な環境学習活動の充実を図ることが可能となる。

表 3-1 授業プログラム

	学習目標	学習内容
①	・基礎的な知識や関心を確認する	オリエンテーション：50 分 ○低炭素地域づくりや CO ₂ 濃度の動態に関する知識習得
②	・測定に必要な技能を身につけることができる ・調査を協力して行うことができる	学校周辺の CO ₂ 濃度調査：50 分 ○基礎知識の学習と測定機器の使い方を練習する ○調査班の仕事分担、調査活動方法を確認する ○学校周辺の CO ₂ 濃度調査を行う
③	・CO ₂ 濃度マップを作成することができる	CO ₂ 濃度マップの作成：30 分 ○エクセルを使用し、収集したデータから CO ₂ 濃度マップを作成する
④	・CO ₂ 濃度測定局のデータ検索を行うことができる ・風速、風向、天候と、CO ₂ 濃度との関連性を考えることができる	CO ₂ 濃度測定局のデータ検索：20 分 ○CO ₂ 濃度測定局のデータ検索システムの使い方を学ぶ ○CO ₂ 濃度測定局のデータ検索システムから必要なデータを抽出する
⑤	・CO ₂ 濃度マップを解釈することができる ・CO ₂ 濃度マップから CO ₂ 濃度と地域環境との関係性を把握し、その原因や理由を考えることができる	CO ₂ 濃度マップの解釈：40 分 ○作成した CO ₂ 濃度マップと、検索システムのデータから各教科で学んだ知識を活用して CO ₂ 濃度のデータ解釈を行う ○学校周辺の代表的な排出源、吸収源に着目して、CO ₂ 濃度と地域環境との関係性を探求する
⑥	・今までの学習をまとめ、発表することができる	学習成果の発表：10 分 ○学習成果を発表する ○CO ₂ 濃度の実測データから低炭素地域づくりに役立つ環境行動について意見交換を行う

以下では、学校周辺の CO₂ 濃度調査を継続的に実施し、探究的な環境学習の充実を図っていくうえでの留意点を解説する。

3-1 CO₂濃度調査の実施方法

(1) CO₂濃度調査の実施条件

- 生活環境圏における CO₂ 濃度の動態を踏まえ、以下の条件のもとで CO₂ 濃度調査を実施する。
 - ・ CO₂ 濃度の日変化の中で下限値を示す時間帯(午後 2 時から午後 4 時)に調査を行う。
 - ・ 調査対象エリアには、地域の代表的な排出源、吸収源が含まれるよう配慮する。
 - ・ 可搬型 CO₂ 濃度測定器は、起動時に一定の測定誤差(±30ppm)が生じるため、CO₂ 濃度測定局で測定された CO₂ 濃度(測定誤差は読み値の±1.5%前後)を基準値として活用することで測定精度を確保する。
 - ・ CO₂ 濃度の季節変化を考慮し、年間の授業時間に応じて週単位、隔週単位、または月単位で定期的に調査を行う。
- 以上により、CO₂ 平均濃度の日変化を考慮した CO₂ 濃度マップに加え、CO₂ 安定濃度、CO₂ 基準濃度が反映された CO₂ 濃度マップを作成、蓄積することで、生活環境圏で測定される CO₂ 濃度の地域成分、変動成分の影響を検証することが可能となる。

(2) CO₂濃度調査の実施方法

- 調査に当たっては、最低 3 名のグループを編成する (CO₂ 濃度測定係、風向・風速測定係、記録係)。
- 各調査ポイントで CO₂ 濃度、風向・風速を 30 秒間測定し、最頻値を記録する。
- 調査項目は、①時刻、②風向、③風速、④CO₂ 濃度とする。なお、調査対象エリアの設定に際して、GPS を用いて緯度・経度の調査を実施する。
- 注意事項は、以下のとおりである。
 - ・ 話ながら測定をすると人の呼吸が CO₂ 濃度に影響を与えるので注意する。
 - ・ CO₂ 濃度測定器、風向風速計は、風上方向に向ける。
- 調査エリアの設定
 - ・ 学校周辺を 50m ほどの間隔のメッシュで区切り、各地点で調査を行う。
 - ・ 調査エリアは 1 時限 (50 分) で測定可能な範囲を設定する。

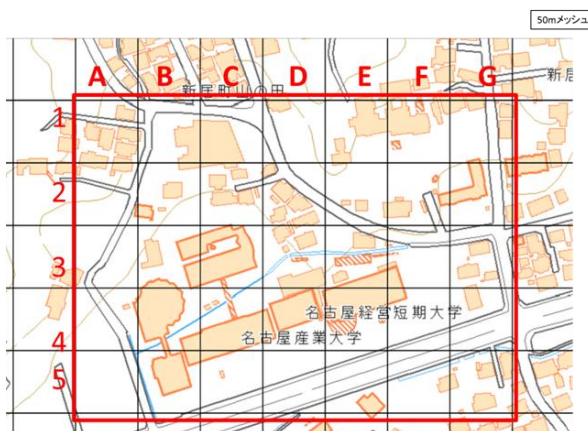


図 3-1 調査対象エリアの設定例

➤調査に必要な測定機材等

- ・CO₂濃度測定器、風向・風速計、GPS、データ記入シート、時計

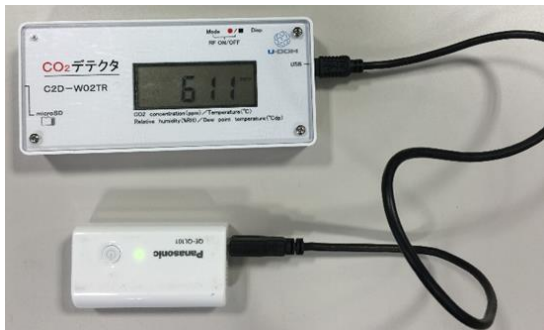


写真 3-1 可搬型 CO₂濃度測定器



写真 3-2 風向・風速計



写真 3-3 GPS



写真 3-4 CO₂濃度調査の様子

表 3-2 データ記入シート

CO₂濃度記録用紙[illegible]

3-2 CO₂濃度マップの作成方法

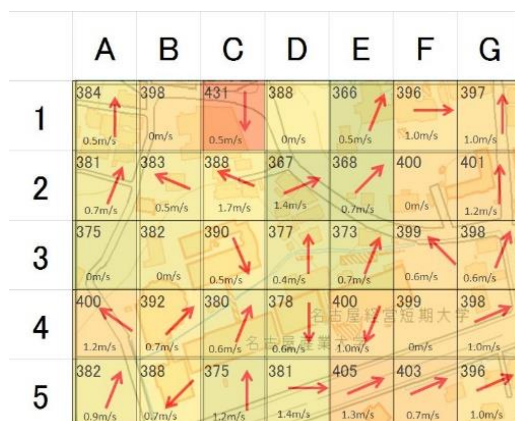


図 3-2 CO₂濃度マップ作成例

- ・校庭の中心で測定した基準値を常時測定データの値で補正する。校庭の基準値が 380ppm で、常時測定データの値が 400ppm であれば、各ポイントで測定した CO₂ 濃度にそれぞれ 20ppm を足し算する。
- ・測定地点（例：A1 であれば上記図の一番左上）の CO₂ 濃度を各セルに入力する。

	A	B	C	D	E	F	G
1	384	398	431	388	366	396	397
2	381	383	388	367	368	400	401
3	375	382	390	377	373	399	398
4	400	392	380	378	400	399	398
5	382	388	375	381	405	403	396

図 3-3 CO₂濃度を入力した CO₂濃度マップ

- ・測定地点の風向、風速を各セルに挿入する。

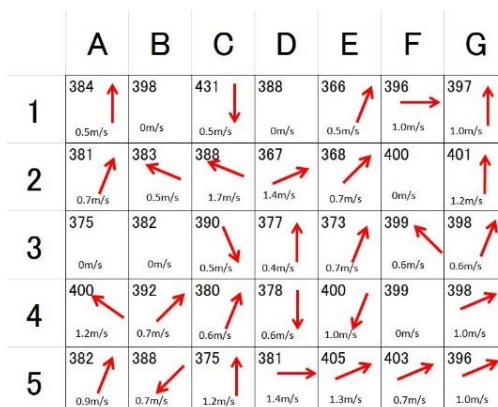


図 3-4 風向、風速を入力した CO₂濃度マップ

- CO₂ 濃度を測定した各セルを範囲選択し、エクセルの機能を使用して濃度の色付けを行う。
- 条件付き書式の選択画面(図 3-5)で、ホームタブ→条件付き書式をクリックし、赤、黄、緑のカラースケールをクリックする。
- CO₂ 濃度マップに色付けがされる。濃度が高い箇所は赤色、中間は黄色、低い箇所は緑色となる。



図 3-5 条件付き書式の選択画面

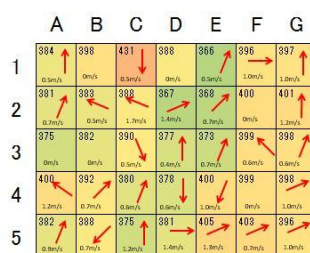


図 3-6 色付けがされた CO₂ 濃度マップ

3-3 CO₂濃度データ検索システムの活用方法

➤CO₂濃度データ検索システムの利用に当たって

必要環境：

Excel2007以降、Access2007以降

ファイルの説明：

CO₂濃度データ検索システム_64bit_ver2：検索システム

測定データ 10.mdb：データベースファイル

➤ファイルの実行方法

CO₂濃度データ検索システム_64bit_ver2.xlsmを開く。

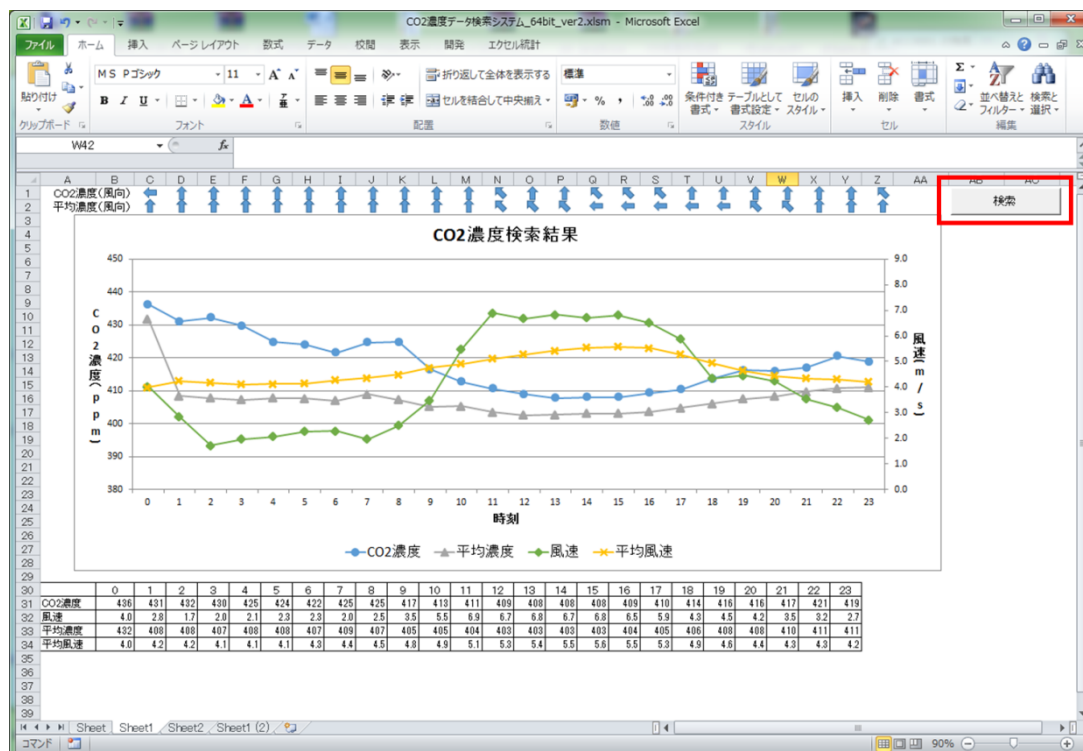
①マクロを有効にする。

下記の警告が表示されたら、コンテンツの有効化をクリックしてマクロを有効にする。



②検索システムを使う

「検索」をクリックして検索システムを起動する。



検索システムが起動したら、上記の画面が表示される。

①グラフのプロット間隔を設定する。1時間毎か、10分毎間隔を選択できる。

②グラフを作成する。

③表示したいCO₂濃度の範囲を設定できる。左側のチェックボックスで表示したい範囲をクリックして設定する。

- ・日付指定・・・特定の日の24時間のCO₂濃度を表示します。▼ボタンをクリックすると、カレンダーから特定の日付を選択できる。
- ・特定月・・・特定年、特定月の24時間のCO₂濃度を表示します。1ヶ月ごとの24時間のCO₂濃度変化を見る際に使用する。
- ・任意期間・・・表示したい期間を任意に設定できる。例えば、2013年2月1日から3月24日までなど、月をまたいで濃度を見たい際に使用する。

④基準値検索条件・・・風速や風向、天候で条件設定したときのCO₂濃度変化を見ることができる。

- ・代表値・・・1時間ごとの毎時0時00分00秒のCO₂濃度値を代表値として表示する。
- ・平均値・・・3秒ごとのデータを1時間ごとに平均化して表示する。
- ・風速・・・風速で条件を設定することができる。例えば、3m/s未満のときのCO₂濃度をみたいときは、「m以上」には何も入力せず、「m未満に」、「3」と入力すると、3m/s未満のときのCO₂濃度が表示される。
- ・風向・・・特定の風向の時のCO₂濃度を表示する。16方位で設定ができる。
- ・天候・・・特定の天候の時のCO₂濃度を表示する。晴れや曇りなどが設定できる。
- ・雨を除く・・・雨の日を除いたデータを使用してCO₂濃度を表示することができる(CO₂濃度測定を用いた環境教育は雨天時に実施しないため、このオプションが付加されている)。

対象範囲・・・

- ・全データ・・・データベースに入っている全てのデータを使用する。
- ・過去2ヶ月分・・・直近2ヶ月分のデータを使用する。
- ・特定月・・・特定年、特定月のデータを使用する。
- ・任意期間・・・任意に設定する範囲のデータを使用する。

【使用例①】

2015 年 5 月 5 日の CO₂ 濃度と風速の日変化と、風速が 3m/s 以上、風向が西、天気が晴れの時の CO₂ 濃度と風速の日変化をみたい場合は、以下の通りに入力する。

①日付指定の▼をクリック

CO₂濃度データ検索システム

CO₂濃度データ検索システム

プロット間隔
☒ 1時間毎 ☐ 10分毎 **グラフ作成**

CO₂濃度
☒ 日付指定 ▼ ☐ 特定月 ▼ の ▼ ☐ 任意期間 ▼ ~ ▼

基準値検索条件
☒ 代表値 ☐ 平均値
風速 m以上 m未満
風向 ▼ 天候 ▼
☐ 雨を除く

対象範囲
☒ 全データ ☐ 過去2か月分 ☐ 特定月 ☐ 任意期間
特定月 ▼ の ▼
任意期間 ▼ ~ ▼

⇒年月日が入力される(年月日はテキストエリアに直接入力も可)。形式は YYYYMMDD。

YYYY・・・西暦4桁、MM・・・月を2桁、DD・・・日を2桁。

日付選択 ①年 ②月

2016 年 1 月

日	月	火	水	木	金	土
						1 2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

③日にち

②基準値検索条件に、検索条件を入力する

⇒風速の「m 以上」に 3、風向は西、天候は晴れを入力または選択する。

CO₂濃度データ検索システム

CO₂濃度データ検索システム

プロット間隔
☒ 1時間毎 ☐ 10分毎 **グラフ作成**

CO₂濃度
☒ 日付指定 20150505 ▼ ☐ 特定月 ▼ の ▼ ☐ 任意期間 ▼ ~ ▼

基準値検索条件
☒ 代表値 ☐ 平均値
風速 3 m以上 m未満
風向 西 ▼ 天候 晴れ ▼
☐ 雨を除く

対象範囲
☒ 全データ ☐ 過去2か月分 ☐ 特定月 ☐ 任意期間
特定月 ▼ の ▼
任意期間 ▼ ~ ▼

③グラフを作成する

⇒グラフ作成ボタンをクリックする。

CO₂濃度データ検索システム

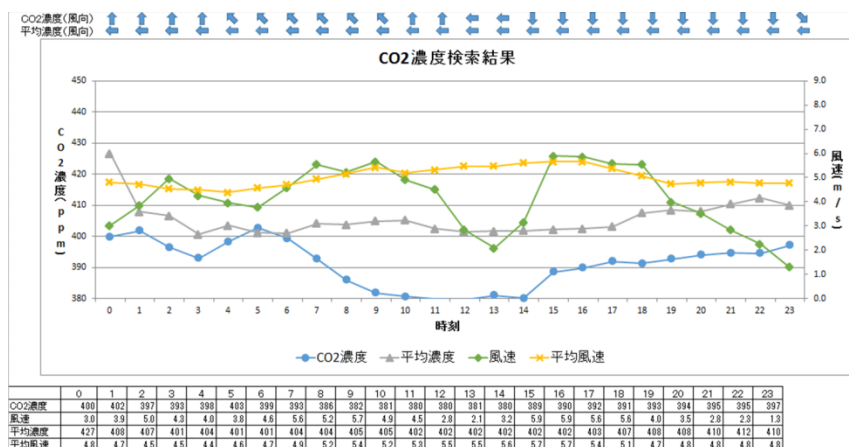
CO₂濃度データ検索システム

プロット間隔
☒ 1時間毎 ☐ 10分毎 グラフ作成

CO₂濃度
☒ 日付指定 20150505
☐ 特定月 月 の 日
☐ 任意期間 月 ~ 月

基準値検索条件
☒ 代表値 ☐ 平均値
 風速 m以上 m未満
 風向 天候
☐ 雨を除く
 対象範囲
☒ 全データ ☐ 過去2か月分 ☐ 特定月 ☐ 任意期間
 特定月 月 の 日
 任意期間 月 ~ 月

⇒グラフが作成される。



【グラフの見方】

グラフには、CO₂濃度、平均濃度、風速、平均風速の4つの折れ線グラフと、風向の矢印が表示される。それぞれのグラフ、図は以下を表している。また、グラフの下には実際の濃度、風速の数値が表示される。

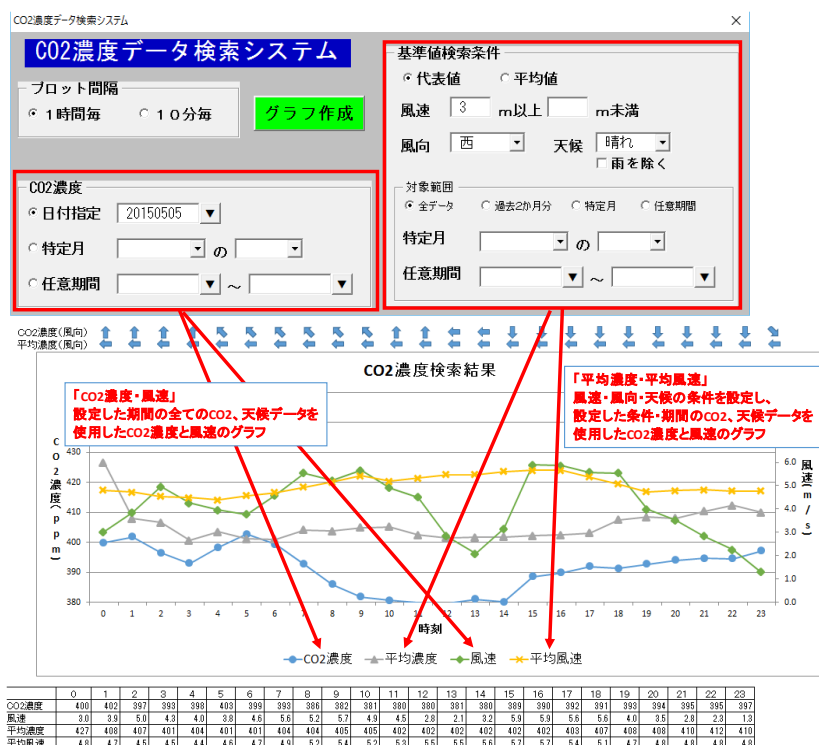
CO₂濃度・・・ 検索システム左側の設定条件に合致した CO₂ 濃度が表示される。上記の使用例の場合、2015年5月5日の CO₂ 濃度が表示される。

平均濃度・・・「基準値検索条件」の設定条件に合致した CO₂ 濃度が表示される。この場合、上記の「CO₂濃度」で設定した年月日は無効となり、過去の全データから条件に合致する CO₂ 濃度データを検索し、1時間ごとのデータとして表示される。

風速・・・上記の「CO₂濃度」で設定した時の風速が表示される。使用例の場合、2015年5月5日の1時間ごとの風速が表示される。

平均風速・・・「基準値検索条件」で設定したときの風速が表示される。使用例の場合、風速 3m/s 以上、かつ風向が西、天候が晴れの時の CO₂ 濃度データを検索し、1時間ごとのデータとして表示される。

風向・・・「CO₂ 濃度」と、「基準値検索条件（平均濃度）」それぞれの1時間ごとの主たる風向が表示される。



【使用例】

特定月の風速が 3m/s 未満の時のグラフを作成する場合、例えば、過去データの 3 月の、風速が 3m/s 未満の時の CO₂ 濃度変化をみたい場合は、以下の通りに操作する。

- ①「CO₂ 濃度」で「全期間」、「3 月」を選択する。
- ②「基準値検索条件」で、「m 未満」に 3 を入力する。
- ③「対象範囲」のチェックボックスに特定月を選択、「全期間」の「3 月」を選択する。
 (②の「CO₂ 濃度」で月を選択すると、この部分は自動で選択される。)
 「全期間」を選択すると、過去の全ての年の指定した月のデータが使用される。年を指定したい場合は、全期間ではなく、選択メニュー内から表示したい年を指定すること。
- ④グラフ作成ボタンをクリックすると、グラフが作成される。

CO₂濃度データ検索システム

CO₂濃度データ検索システム

プロット間隔
☒ 1時間毎 ☐ 10分毎 **グラフ作成** ④

CO₂濃度
☐ 日付指定
☒ 特定月 全期間 の 3月 ①
☐ 任意期間 ~

基準値検索条件
☒ 代表値 ☐ 平均値
 風速 m以上 3 m未満 ②
 風向 天候
☐ 雨を除く
 対象範囲
☐ 全データ ☐ 過去2か月分 ☒ 特定月 ☐ 任意期間
 特定月 全期間 の 3月 ③
 任意期間 ~

3-4 CO₂濃度マップの解釈

学習成果となる CO₂ 濃度マップは、生活環境圏における CO₂ 濃度の日変化及び空間分布の基本的な動態を踏まえ、表 4-1 に示す「データ解釈シート」を用いて段階的に解釈を行っていくことになる。

まず「CO₂ 濃度の基準値」については、CO₂ 濃度調査の開始時刻の①CO₂ 濃度測定局の常時測定データ、②気象台の気象データ(気温、風向、風速)、③CO₂ 濃度データ検索システムを活用し検索した調査日と同様の気象条件下の過去データ(調査月の時別平均値)、以上の 3 種類のデータを参照する。調査する時間帯や季節によって、CO₂ 濃度マップを解釈するうえで基準値となる CO₂ 濃度が異なることを確認する。

図 4-1 は、名古屋産業大学地点に開設した CO₂ 濃度測定局の収集データを活用し、CO₂ 濃度データ検索システムによる検索例(9 月)である。CO₂ 濃度調査を実施した午後 2 時から午後 3 時の時間帯の主たる風向は北風、平均風速は約 4m/s、CO₂ 平均濃度、CO₂ 安定濃度は 410ppm 前後の近似した値を示しており、これが CO₂ 濃度マップを解釈するうえでの基準値となる。

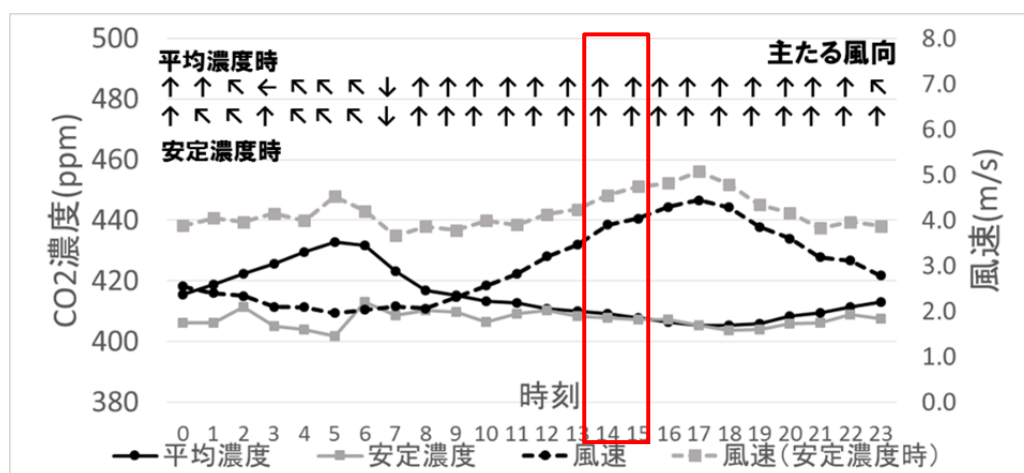


図 3-7 CO₂ 濃度データ検索システムの検索例

次に、「風速の影響」、「風向の影響」について解釈を行う。具体的には、①気象台の風速・風向データ、②CO₂ 濃度マップに記載された各測定地点の風速・風向データ、③調査日と同様の風速・風向時の CO₂ 濃度検索データを参照する。風が強い時(風速が 3m/s を超えている時)は、気象台の観測標準に基づく風速が CO₂ 濃度に基本的な影響を与える。その一方で、風が弱い時(風速が 3m/s 未満の時)は、気象台の観測標準に基づく風速に加え、地表面で測定した風速が CO₂ 濃度に付随的な影響を与えるようになる。影響を受けやすくなる(図 2-6、図 2-7 参照)。

以上の風向・風速の影響を検討したうえで、「排出源の影響」、「吸収源の影響」についての解釈を加える。

「排出源の影響」及び「吸収源の影響」については、①CO₂濃度マップに記載された各測定地点の測定データ(CO₂濃度、風向・風速)、②地図データ(風上の主な土地利用)を参照する。特に、風が弱い場合は、近傍の排出源、吸収源の影響を受けやすくなることに留意して解釈を行う。また、セカンドステップの環境教育では、探究的な学習活動の最初の課題として、「学校周辺でCO₂濃度が高い地点、低い地点はどこか。その理由は何か。」を設定することで、問題意識をもって調査活動に取り組めるように配慮している。このため、「排出源の影響」及び「吸収源の影響」の解釈に当たっては、事前の予想に対する検証を行うとともに、その後の調査では、生徒自らが考え、設定した調査課題の検証を支援することで、CO₂濃度と地域環境との関係性を探究するスパイラル学習の深化を図ることを目指す。

「地域環境の影響」については、①CO₂濃度検索データ(類似した気象条件下の特別平均値)、②CO₂濃度マップに記載された各測定地点の測定データ(他の調査事例)を参照する。つまり、「風速の影響」、「風向の影響」、「排出源の影響」及び「吸収源の影響」を踏まえて、総合的解釈を行うとともに、CO₂濃度の過去データの検証やCO₂濃度マップの集約、比較等を通じて(図 2-8 参照)、CO₂濃度と地域環境との関係を探究する。

表 3-3 データ解釈シート

CO2濃度調査 日時 年 月 日()、時 00分～ 時 00分、天候				調査地点	
評価項目	参照データ	調査データ	データ解釈の基本的視点		備考(作成資料)
1. CO2基準濃度	(1)近傍のCO2濃度測定局の常時測定データ (2)近傍の気象台の気象データ(気温、風向、風速)	CO2 ppm 気温 °C 風向 風速 m/s CO2 ppm	・CO2濃度の日変化は、午前6時前後から減少し、午後4時前後から増加に転じる。 ・CO2濃度には季節変化が見られる。CO2の変動幅は、春から夏にかけて拡大し、夏から翌春にかけて縮小する。		□CO2濃度変化パターン図(Na.1) □CO2濃度変化パターン図(Na.2)
2. 風速の影響	(1)近傍の気象台の風速データ (2)CO2濃度マッピングデータ(測定地点の風速データ) (3)CO2濃度検索データ(類似した風速時の特別平均値)	風速 m/s 風速 m/s CO2 ppm	・観測標準に基づく風速(気象台で測定される風速)がCO2濃度に基本的な影響を与える。 ・地表面で測定される風速は、建物等によって不規則な変化を示し、CO2濃度に付随的な影響を与える。 ・風速が強くなると、CO2濃度の日変化は、CO2濃度が減少を示す時間帯が短くなり、CO2濃度の変動幅も大気拡散により縮小する。		
3. 風向の影響	(1)近傍の気象台の風向データ (2)CO2濃度マッピングデータ(測定地点の風向データ) (3)地図データ(主な土地利用) (4)CO2濃度検索データ(類似した風向時の特別平均値)	風向 風向 CO2 ppm	・観測標準に基づく風向(気象台で測定される風向)がCO2濃度に基本的な影響を与える。 ・地表面で測定される風向は、建物等によって不規則な変化を示し、CO2濃度に付随的な影響を与える。 ・風上の主な土地利用によってCO2濃度への影響が異なる。		□CO2濃度マッピング(Na.1) □土地利用図(航空写真) □CO2濃度変化パターン図(Na.3)
4. 排出源の影響	(1)CO2濃度マッピングデータ(排出源付近のCO2濃度、風向・風速) (2)地図データ(主な土地利用)	CO2 ppm 風向 風速 m/s	・風速が強い場合のCO2濃度変化は、主に風速が影響する。 ・一方、風速が弱い場合、風速の影響に加え、風向の影響、特に近傍の排出源の影響を受けやすくなる。		□CO2濃度マッピング(Na.1) □土地利用図(航空写真)
5. 吸収源の影響	(1)CO2濃度マッピングデータ(吸収源付近のCO2濃度、風向・風速) (2)地図データ(主な土地利用)	CO2 ppm 風向 風速 m/s	・風速が強い場合のCO2濃度変化は、主に風速が影響する。 ・一方、風速が弱い場合、風速の影響に加え、風向の影響、特に近傍の吸収源の影響を受けやすくなる。 ・CO2濃度の季節変化は、主に陸域の植物活動の影響によるものと推定されており、夏季には吸収源の影響が大きくなり、冬季には影響があまり見られなくなる。		□CO2濃度マッピング(Na.1) □土地利用図(航空写真)
6. 地域環境の影響	(1)CO2濃度検索データ(類似した気象条件下の特別平均値) (2)CO2濃度マッピングデータ(他の調査事例)	CO2 ppm 風向 風速 m/s	・上記の視点を踏まえて総合的な解釈を行う。 ・CO2濃度の過去データの検証や、CO2濃度マッピングの比較等を通じて、CO2濃度と地域環境との関係を探求する。		□CO2濃度変化パターン図(Na.4)～ □CO2濃度マッピング(Na.2)～

3-5 CO₂濃度分布図作成システムの活用方法

➤CO₂濃度分布図作成システムの利用に当たって

必要環境：

Excel2007以降、Graph-R（株式会社エスネクスト製のフリーソフトウェア）

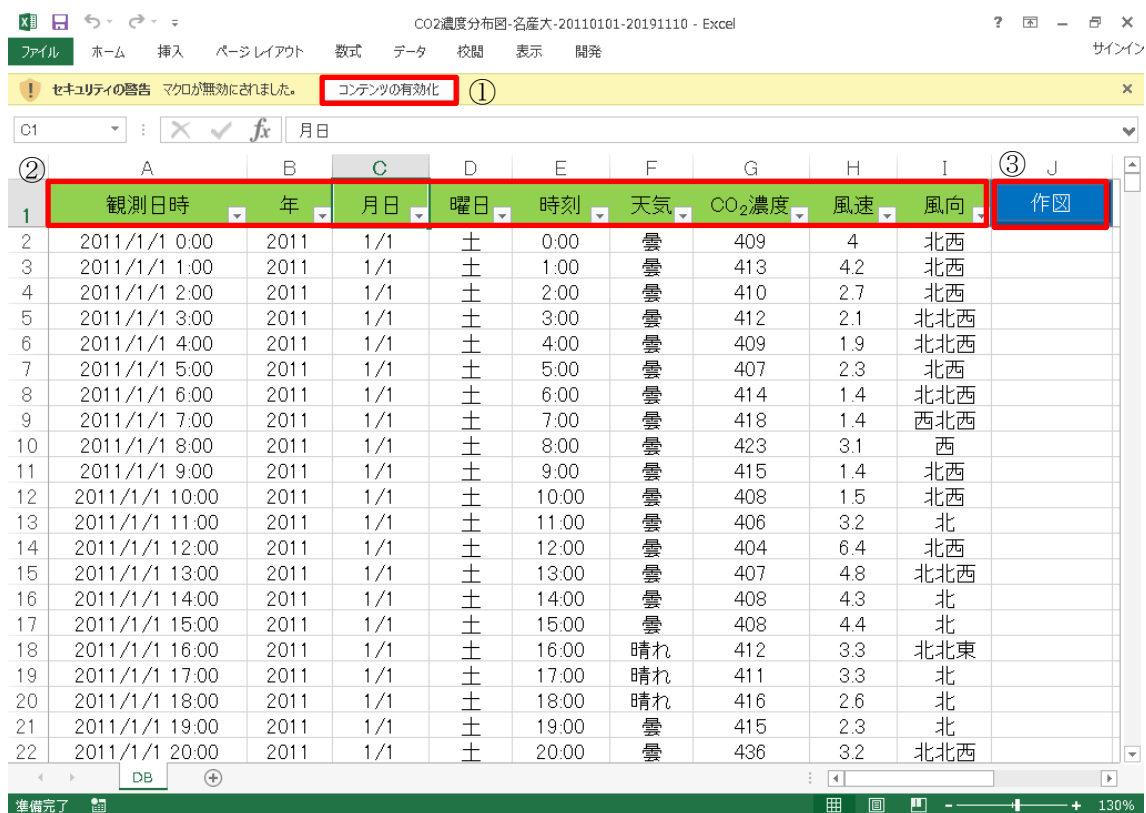
ファイルの説明：

CO₂濃度分布図-名産大-20110101-20191110.xlsm（名産大、及び、20110101-20191110の記載については、各測定局の名称と測定期間が対応）

GraphR.exe（<https://www.graph-project.com> から取得可能）

➤ファイルの実行方法

任意のフォルダに CO₂濃度分布図-名産大-20110101-20191110.xlsm 及び GraphR.exe を保存した後、CO₂濃度分布図作成システム-名産大-20110101-20191110.xlsm を開く。



① マクロを有効にする。

セキュリティの警告が表示されたら、コンテンツの有効化をクリックしてマクロを有効にする。

② CO₂濃度分布図の作成条件を設定する

Excel のオートフィルタ（1行目の▼ボタン）を使って、CO₂濃度分布図の作成条件（観測日時、年、月日、曜日、時刻、天気、CO₂濃度、風速、風向）を設定する。抽出対象のデ

ータ数が多いとコンピュータの負荷が高くなるため、ゆるい条件（抽出対象および非対象の両方のデータを含む条件）でデータ数を絞り込んでから、細かい条件を設定する。

- 観測日時（A 列）・・・抽出データの対象年月日時刻を指定できる。例えば、2018 年度の冬季の様に、2018 年 12 月、2019 年 1 月・2 月のデータが必要で、2018 年 1 月・2 月、2019 年 12 月のデータが不要な場合等、細かい条件の指定が必要な場合にのみ本フィルタを使用する。
- 年（B 列）・・・抽出データの対象年を指定できる。
- 月日（C 列）・・・抽出データの対象月日を指定できる。
- 曜日（D 列）・・・抽出データの対象曜日を指定できる。
- 時刻（E 列）・・・抽出データの対象時刻を指定できる。
- 天気（F 列）・・・抽出データの対象天気を指定できる。
- CO₂ 濃度（G 列）・・・抽出データの CO₂ 濃度範囲を指定できる。
- 風速（H 列）・・・抽出データの風速範囲を指定できる。
- 風向（I 列）・・・抽出データの風向を指定できる。

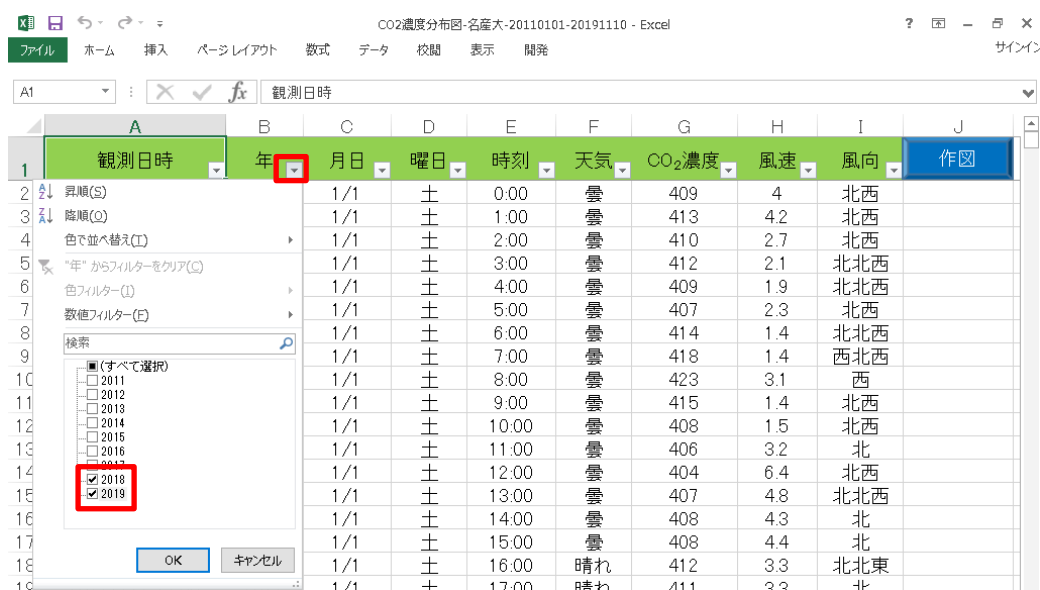
③ CO₂ 濃度分布図を作成する

作図ボタンをクリックすれば、風向・風速・風の発生率を 3 次元展開した CO₂ 濃度分布図及び風配図（風向の発生率）が作成される。

【使用例】

2018 年度の冬季（12 月～2 月）、平日、13 時～16 時、晴、の場合の CO₂ 濃度分布図を作成したい場合は、以下の通りに指定する。

① 年（B 列）の▼ボタンをクリックして、2018 と 2019 を選択する



② 月日（C列）の▼ボタンをクリックして、1月、2月、12月を選択する

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled "CO2濃度分布図-名産大-20110101-20191110 - Excel". The active cell is A1, and the formula bar shows "観測日時". The spreadsheet has columns: A (観測日時), B (年), C (月日), D (曜日), E (時刻), F (天気), G (CO₂濃度), H (風速), I (風向), and J (作図). A dropdown menu is open for the "月日" column, showing a list of months from 1 to 12. The 1st, 2nd, and 12th are selected, indicated by red boxes around the checkboxes.

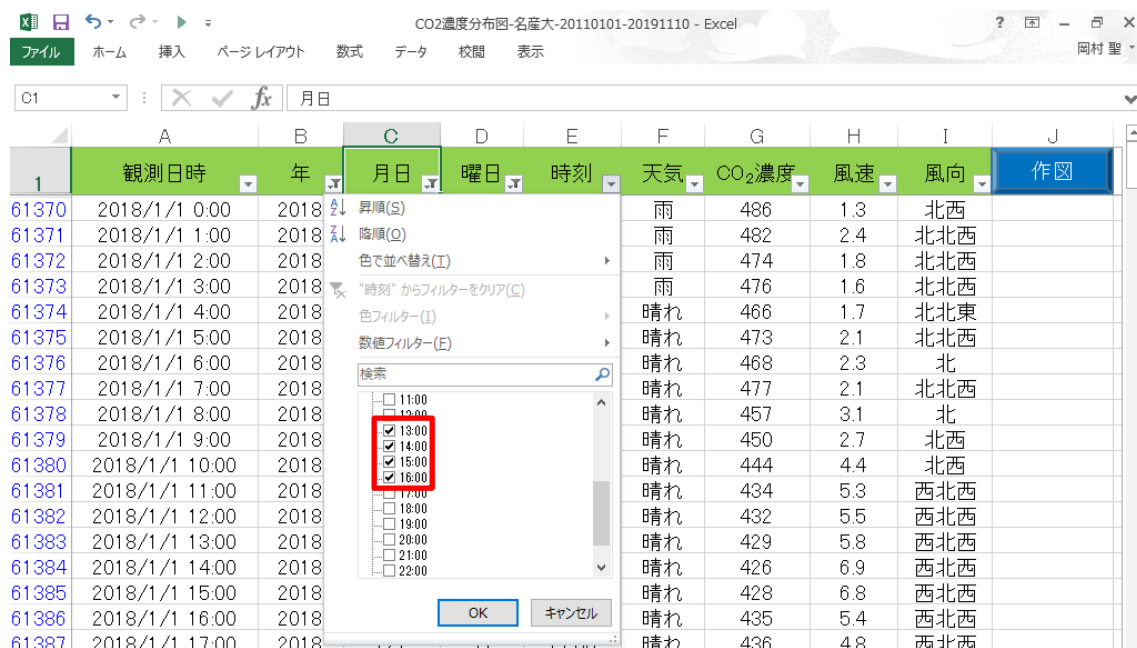
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	観測日時	年	月日	曜日	時刻	天気	CO ₂ 濃度	風速	風向	作図
61370	2018/			月	0:00	雨	486	1.3	北西	
61371	2018/			月	1:00	雨	482	2.4	北北西	
61372	2018/			月	2:00	雨	474	1.8	北北西	
61373	2018/			月	3:00	雨	476	1.6	北北西	
61374	2018/			月	4:00	晴れ	466	1.7	北北東	
61375	2018/			月	5:00	晴れ	473	2.1	北北西	
61376	2018/			月	6:00	晴れ	468	2.3	北	
61377	2018/			月	7:00	晴れ	477	2.1	北北西	
61378	2018/			月	8:00	晴れ	457	3.1	北	
61379	2018/			月	9:00	晴れ	450	2.7	北西	
61380	2018/			月	10:00	晴れ	444	4.4	北西	
61381	2018/			月	11:00	晴れ	434	5.3	西北西	
61382	2018/			月	12:00	晴れ	432	5.5	西北西	
61383	2018/			月	13:00	晴れ	429	5.8	西北西	
61384	2018/			月	14:00	晴れ	426	6.9	西北西	
61385	2018/			月	15:00	晴れ	428	6.8	西北西	
61386	2018/			月	16:00	晴れ	435	5.4	西北西	
61387	2018/			月	17:00	晴れ	436	4.8	西北西	

③ 曜日（D列）の▼ボタンをクリックして、月～金、を選択する

The screenshot shows the same Excel spreadsheet, but now the dropdown menu for the "曜日" column is open. It shows a list of days of the week: 月 (Monday), 火 (Tuesday), 水 (Wednesday), 木 (Thursday), 金 (Friday), 土 (Saturday), and 日 (Sunday). The days from Monday to Friday are selected, indicated by red boxes around the checkboxes.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	観測日時	年	月日	曜日	時刻	天気	CO ₂ 濃度	風速	風向	作図
61370	2018/1/1	0:00		月	0:00	雨	486	1.3	北西	
61371	2018/1/1	1:00		月	1:00	雨	482	2.4	北北西	
61372	2018/1/1	2:00		月	2:00	雨	474	1.8	北北西	
61373	2018/1/1	3:00		月	3:00	雨	476	1.6	北北西	
61374	2018/1/1	4:00		月	4:00	晴れ	466	1.7	北北東	
61375	2018/1/1	5:00		月	5:00	晴れ	473	2.1	北北西	
61376	2018/1/1	6:00		月	6:00	晴れ	468	2.3	北	
61377	2018/1/1	7:00		月	7:00	晴れ	477	2.1	北北西	
61378	2018/1/1	8:00		月	8:00	晴れ	457	3.1	北	
61379	2018/1/1	9:00		月	9:00	晴れ	450	2.7	北西	
61380	2018/1/1	10:00		月	10:00	晴れ	444	4.4	北西	
61381	2018/1/1	11:00		月	11:00	晴れ	434	5.3	西北西	
61382	2018/1/1	12:00		月	12:00	晴れ	432	5.5	西北西	
61383	2018/1/1	13:00		月	13:00	晴れ	429	5.8	西北西	
61384	2018/1/1	14:00		月	14:00	晴れ	426	6.9	西北西	
61385	2018/1/1	15:00		月	15:00	晴れ	428	6.8	西北西	
61386	2018/1/1	16:00		月	16:00	晴れ	435	5.4	西北西	

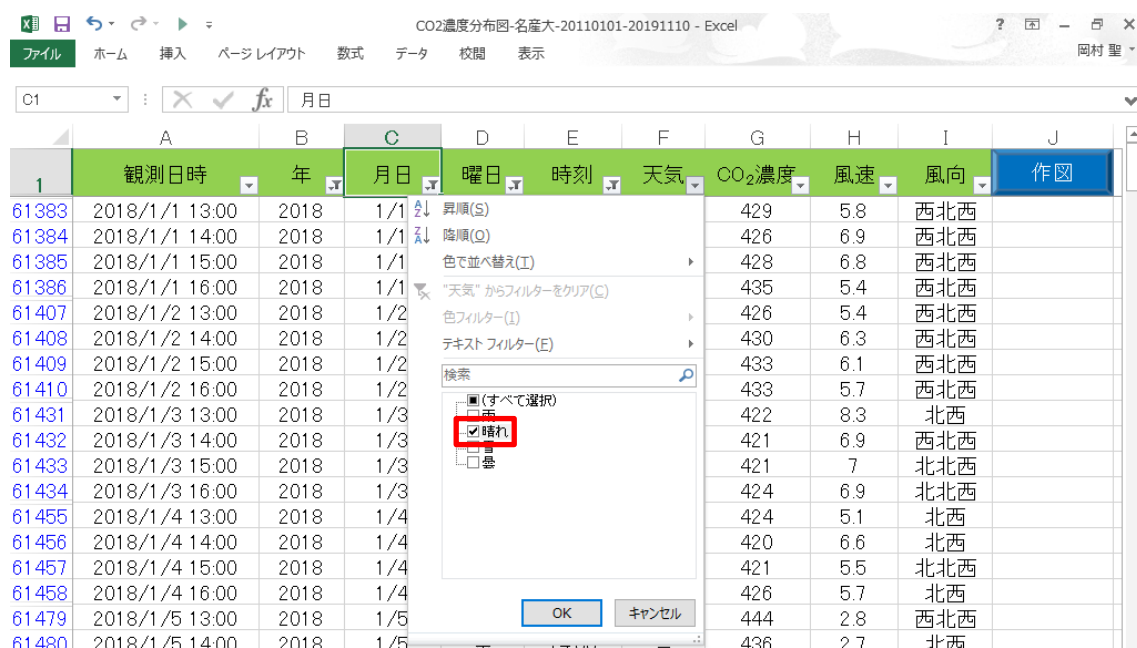
④ 時刻 (E 列) の▼ボタンをクリックして、13:00~16:00、を選択する



CO2濃度分布図-名産大-20110101-20191110 - Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	観測日時	年	月日	曜日	時刻	天気	CO ₂ 濃度	風速	風向	作図
61370	2018/1/1 0:00	2018	1/1	昇順(S)		雨	486	1.3	北西	
61371	2018/1/1 1:00	2018	1/1	降順(Q)		雨	482	2.4	北北西	
61372	2018/1/1 2:00	2018	1/1	色で並べ替え(I)		雨	474	1.8	北北西	
61373	2018/1/1 3:00	2018	1/1	"時刻" からフィルターをクリア(C)		雨	476	1.6	北北西	
61374	2018/1/1 4:00	2018	1/1	色フィルター(L)		晴れ	466	1.7	北北東	
61375	2018/1/1 5:00	2018	1/1	数値フィルター(E)		晴れ	473	2.1	北北西	
61376	2018/1/1 6:00	2018	1/1	検索		晴れ	468	2.3	北	
61377	2018/1/1 7:00	2018	1/1	☐ 11:00		晴れ	477	2.1	北北西	
61378	2018/1/1 8:00	2018	1/1	☒ 13:00		晴れ	457	3.1	北	
61379	2018/1/1 9:00	2018	1/1	☒ 14:00		晴れ	450	2.7	北西	
61380	2018/1/1 10:00	2018	1/1	☒ 15:00		晴れ	444	4.4	北西	
61381	2018/1/1 11:00	2018	1/1	☒ 16:00		晴れ	434	5.3	西北西	
61382	2018/1/1 12:00	2018	1/1	☐ 17:00		晴れ	432	5.5	西北西	
61383	2018/1/1 13:00	2018	1/1	☐ 18:00		晴れ	432	5.5	西北西	
61384	2018/1/1 14:00	2018	1/1	☐ 19:00		晴れ	429	5.8	西北西	
61385	2018/1/1 15:00	2018	1/1	☐ 20:00		晴れ	426	6.9	西北西	
61386	2018/1/1 16:00	2018	1/1	☐ 21:00		晴れ	428	6.8	西北西	
61387	2018/1/1 17:00	2018	1/1	☐ 22:00		晴れ	435	5.4	西北西	

⑤ 天気 (F 列) の▼ボタンをクリックして、晴れ、を選択する



CO2濃度分布図-名産大-20110101-20191110 - Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	観測日時	年	月日	曜日	時刻	天気	CO ₂ 濃度	風速	風向	作図
61383	2018/1/1 13:00	2018	1/1	昇順(S)			429	5.8	西北西	
61384	2018/1/1 14:00	2018	1/1	降順(Q)			426	6.9	西北西	
61385	2018/1/1 15:00	2018	1/1	色で並べ替え(I)			428	6.8	西北西	
61386	2018/1/1 16:00	2018	1/1	"天気" からフィルターをクリア(C)			435	5.4	西北西	
61407	2018/1/2 13:00	2018	1/2	色フィルター(L)			426	5.4	西北西	
61408	2018/1/2 14:00	2018	1/2	テキスト フィルター(E)			430	6.3	西北西	
61409	2018/1/2 15:00	2018	1/2	検索			433	6.1	西北西	
61410	2018/1/2 16:00	2018	1/2	☒ (すべて選択)			433	5.7	西北西	
61431	2018/1/3 13:00	2018	1/3	☐ 雨			422	8.3	北西	
61432	2018/1/3 14:00	2018	1/3	☒ 晴れ			421	6.9	西北西	
61433	2018/1/3 15:00	2018	1/3	☐ 曇			421	7	北北西	
61434	2018/1/3 16:00	2018	1/3				424	6.9	北北西	
61455	2018/1/4 13:00	2018	1/4				424	5.1	北西	
61456	2018/1/4 14:00	2018	1/4				420	6.6	北西	
61457	2018/1/4 15:00	2018	1/4				421	5.5	北北西	
61458	2018/1/4 16:00	2018	1/4				426	5.7	北西	
61479	2018/1/5 13:00	2018	1/5				444	2.8	西北西	
61480	2018/1/5 14:00	2018	1/5				436	2.7	北西	

⑥ 観測日時（A列）の▼ボタンをクリックして、2018年12月、2019年1月・2月を選択する

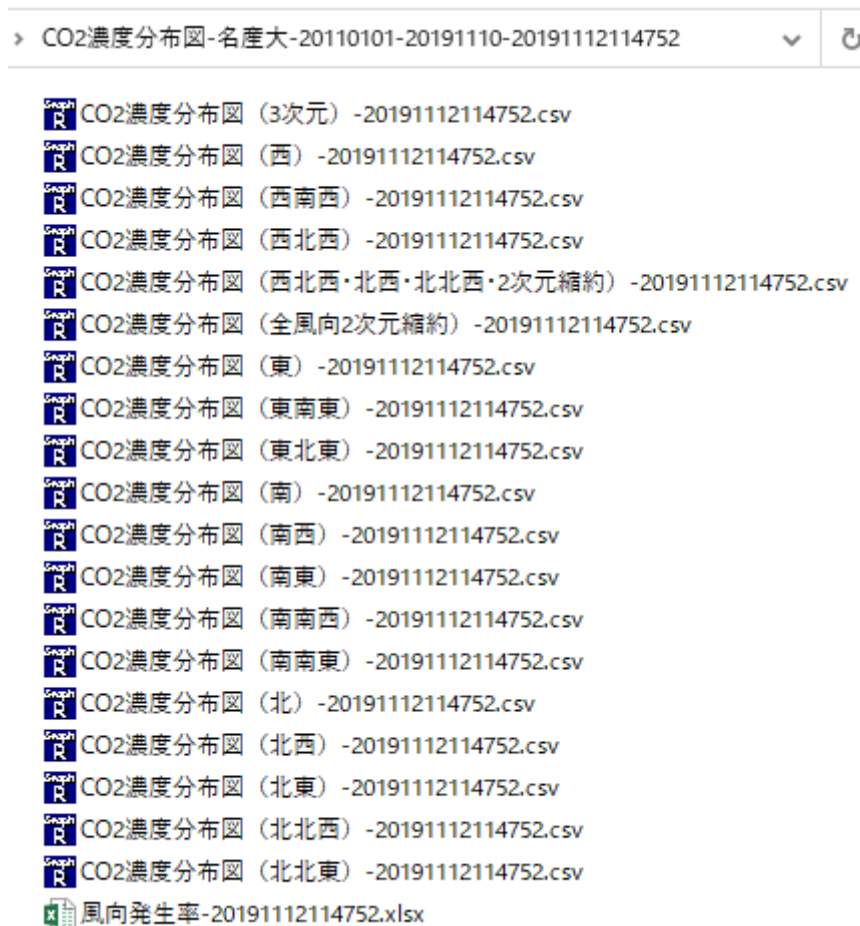
観測日時	年	月	日	曜日	時刻	天気	CO ₂ 濃度	風速	風向	作図
8	8	1/1	月	13:00	晴れ	429	5.8	西北西		
8	8	1/1	月	14:00	晴れ	426	6.9	西北西		
8	8	1/1	月	15:00	晴れ	428	6.8	西北西		
8	8	1/1	月	16:00	晴れ	435	5.4	西北西		
8	8	1/3	水	13:00	晴れ	422	8.3	北西		
8	8	1/3	水	14:00	晴れ	421	6.9	西北西		
8	8	1/3	水	15:00	晴れ	421	7	北北西		
8	8	1/3	水	16:00	晴れ	424	6.9	北北西		
8	8	1/4	木	13:00	晴れ	424	5.1	北西		
8	8	1/4	木	14:00	晴れ	420	6.6	北西		
8	8	1/4	木	15:00	晴れ	421	5.5	北北西		
8	8	1/4	木	16:00	晴れ	426	5.7	北西		
8	8	1/5	金	16:00	晴れ	432	2.9	西北西		
8	8	1/9	火	13:00	晴れ	434	3.8	西北西		
8	8	1/9	火	14:00	晴れ	436	6.1	北西		
8	8	1/9	火	15:00	晴れ	434	8	西北西		
8	8	1/9	火	16:00	晴れ	433	6.1	北西		
8	8	1/10	水	13:00	晴れ	442	4	南南西		

⑦ CO₂濃度分布図を作成する
⇒作図ボタンをクリックする。

観測日時	年	月	日	曜日	時刻	天気	CO ₂ 濃度	風速	風向	作図	
69495	2018/12/5	13:00	2018	12/5	水	13:00	晴れ	422	6.6	北北西	
69496	2018/12/5	14:00	2018	12/5	水	14:00	晴れ	418	4.9	北北西	
69497	2018/12/5	15:00	2018	12/5	水	15:00	晴れ	419	6.5	北北西	
69615	2018/12/10	13:00	2018	12/10	月	13:00	晴れ	409	5	北西	
69616	2018/12/10	14:00	2018	12/10	月	14:00	晴れ	410	5.3	北西	
69617	2018/12/10	15:00	2018	12/10	月	15:00	晴れ	411	3.9	西北西	
69618	2018/12/10	16:00	2018	12/10	月	16:00	晴れ	418	6.7	西北西	
69663	2018/12/12	13:00	2018	12/12	水	13:00	晴れ	412	9.9	北北西	
69664	2018/12/12	14:00	2018	12/12	水	14:00	晴れ	415	8.5	北西	
69665	2018/12/12	15:00	2018	12/12	水	15:00	晴れ	408	6.8	北北西	
69666	2018/12/12	16:00	2018	12/12	水	16:00	晴れ	407	4.8	北西	
69687	2018/12/13	13:00	2018	12/13	木	13:00	晴れ	406	2.9	北東	
69688	2018/12/13	14:00	2018	12/13	木	14:00	晴れ	409	3.5	北北西	
69689	2018/12/13	15:00	2018	12/13	木	15:00	晴れ	412	2.4	北北西	
69711	2018/12/14	13:00	2018	12/14	金	13:00	晴れ	407	7.2	北北西	
69712	2018/12/14	14:00	2018	12/14	金	14:00	晴れ	405	7.5	北北西	
69713	2018/12/14	15:00	2018	12/14	金	15:00	晴れ	424	7.7	北北西	
69714	2018/12/14	16:00	2018	12/14	金	16:00	晴れ	407	6.8	北西	
69783	2018/12/17	13:00	2018	12/17	月	13:00	晴れ	418	6	西北西	
69784	2018/12/17	14:00	2018	12/17	月	14:00	晴れ	416	6.8	西北西	
69785	2018/12/17	15:00	2018	12/17	月	15:00	晴れ	420	6.3	西北西	
69786	2018/12/17	16:00	2018	12/17	月	16:00	晴れ	418	4	北北西	

⇒CO₂濃度分布図が作成される。

- CO₂濃度分布図の作成日時が付与された 1 フォルダと 20 ファイルが自動生成されると共に、図も自動生成される。Graph-R で csv ファイルを開けば、いつでも図を復元できる。



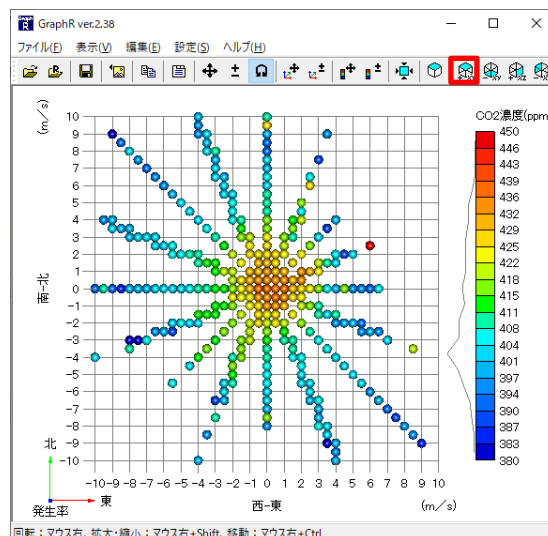
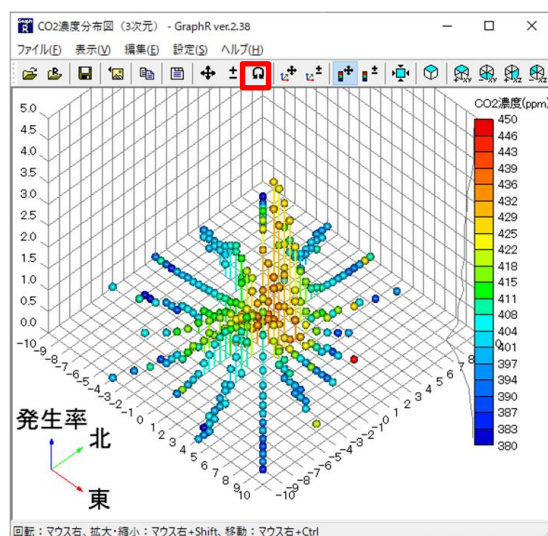
【図の見方】

① CO₂濃度分布図（3次元）

CO₂濃度と風速・風向及びその発生率との関係性を可視化した 3 次元散布図である。左の横軸は東西方向の風速を示し、奥が西側、手前が東側である。右の横軸は南北方向の風速を示し、奥が北側、手前が南側である。東西南北の中心から遠いプロットほど、その風向を風上とした強い風が吹くことを示す。また、縦軸は風向・風速の発生率を示す。

左図は南東方向から見た立体図である。回転ボタンをクリックしてから任意の方向の矢印キーを押すことで、自由に回転して注目点を見やすくできる。

右図は縦軸を真上から見た平面図である。平面図ボタンをクリックして風の発生率を非考慮にすることで、CO₂濃度と風向風速の関係のみを抽出することができる。

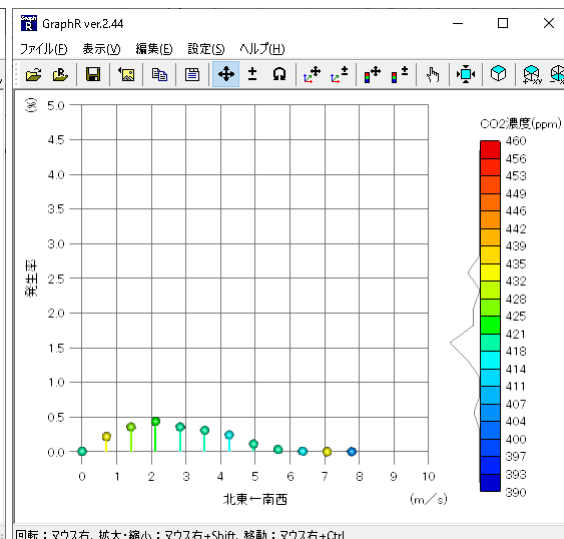
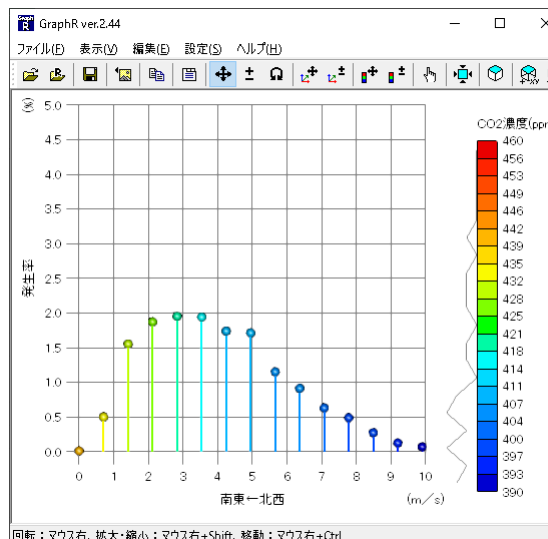


② CO₂ 濃度分布図 (北～北北西までの 16 方位)

CO₂ 濃度分布図 (3 次元) から注目する風向の断面を抜き出したものである。縦軸は風向・風速の発生率、横軸は風速を示す。

左図は CO₂ 濃度分布図から北西断面を抜き出したものである。北西から南東に向かう風の強さと CO₂ 濃度の関係がわかる。

右図は CO₂ 濃度分布図から南西断面を抜き出したものである。南西から北東に向かう風の強さと CO₂ 濃度の関係がわかる。

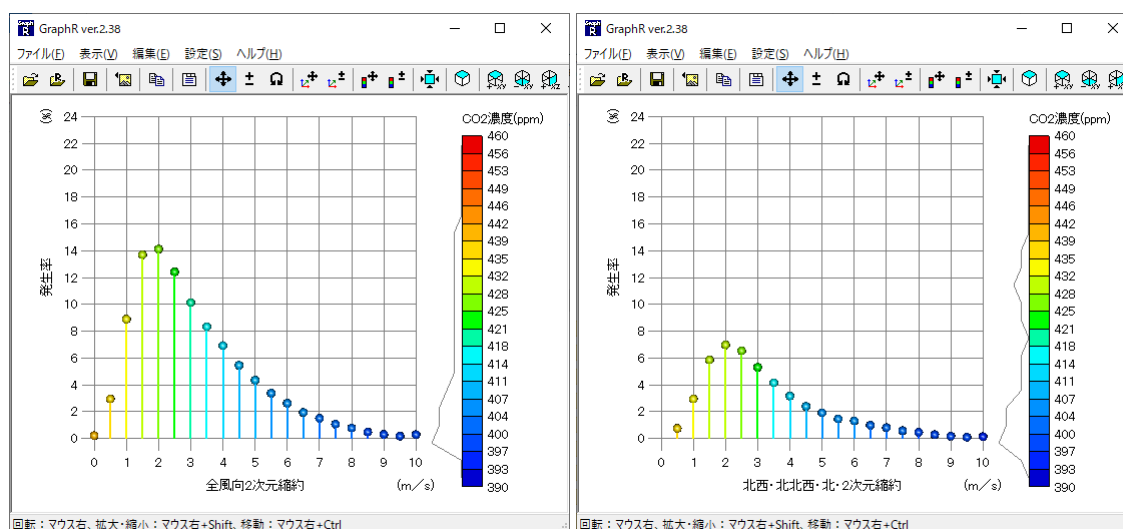


③ CO₂ 濃度分布図（全風向及び主要 3 風向に対する 2 次元縮約）

CO₂ 濃度分布図（3 次元）から抜き出した全風向及び主要 3 風向の断面について、2 次元縮約したものである。縦軸は風の発生率、横軸は風速を示す。

左図は全風向について、風の強さ別に CO₂ 濃度を平均することで 2 次元縮約したものである。16 風向から測定地点に向かう風の強さと CO₂ 濃度の関係がわかる。

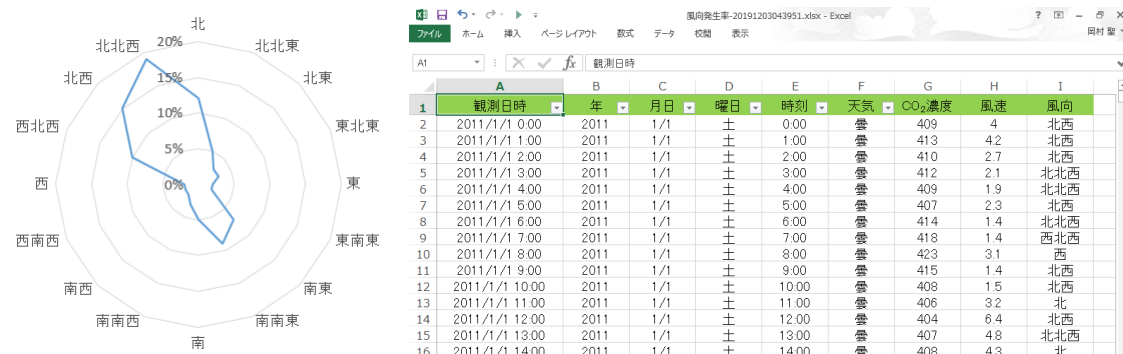
右図は主要 3 風向について、風の強さ別に CO₂ 濃度を平均することで 2 次元縮約したものである。ここでは、北西・北北西・北から測定地点に向かう風の強さと CO₂ 濃度の関係がわかる。



④ 風配図（風向発生率）

左図は風配図（風向発生率）を示す。発生した全ての風を、風速の大小を問わずに、風向で分類したものであり、測定地点を代表する風向の性質をすることができる。

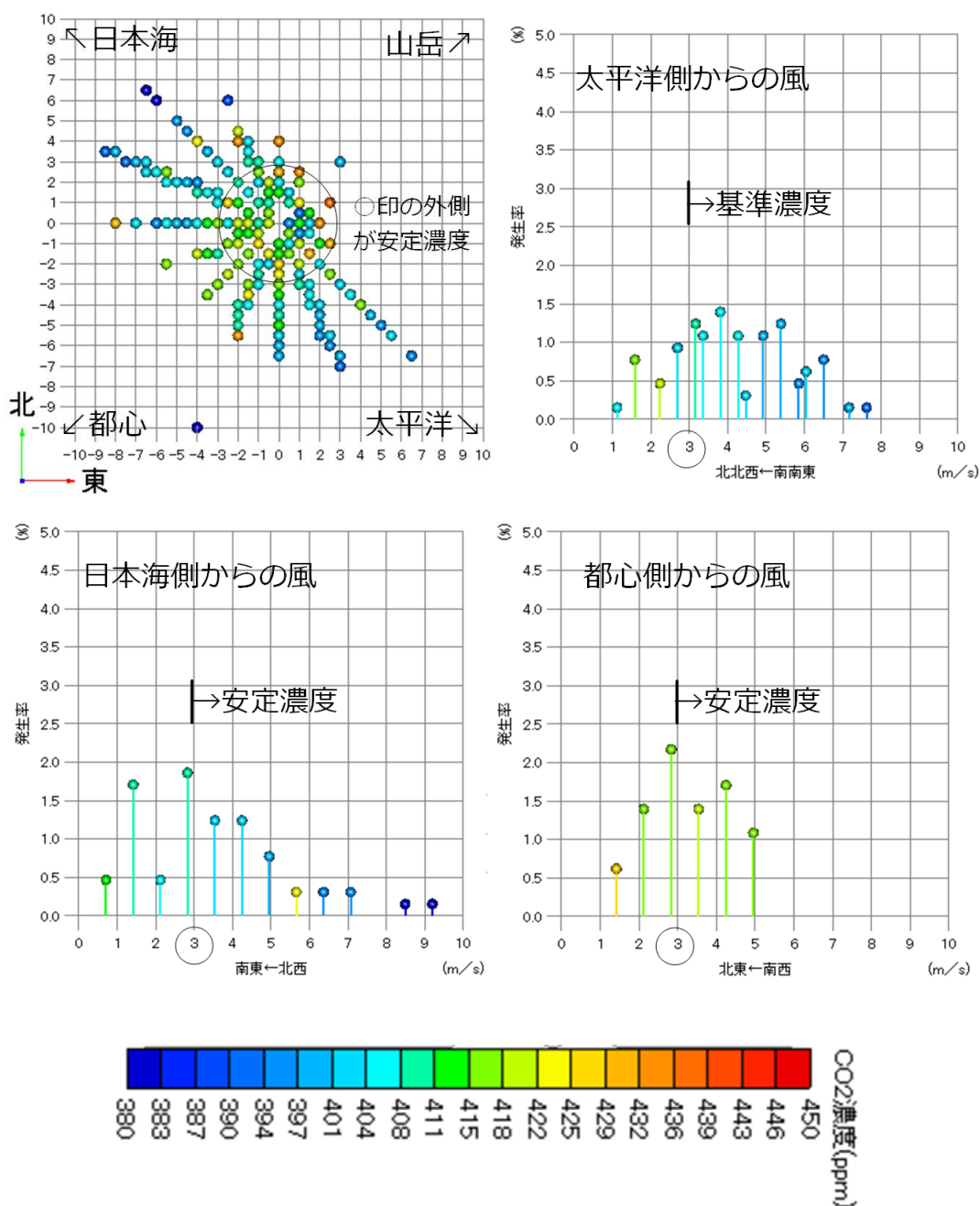
右図は CO₂ 濃度分布図を作成するために抽出された全データである。風配図は Excel により作成されるが、同一ファイル内の「抽出条件」というワークシートには、CO₂ 濃度分布図を作成する際に抽出された全データが格納されている。CO₂ 濃度分布図を作成した際のデータの抽出条件が不明になった場合は、本ワークシートにより確認可能である。



3-6 CO₂濃度分布図の解釈

先述した「CO₂安定濃度」は、風速が 3m/s 以上時の CO₂ 濃度の平均値のことであり、地域気象観測網の平均間隔程度（21km）の空間代表性があると想定される。また、「CO₂基準濃度」は、発生率の高い風向時の 14 時前後の CO₂ 安定濃度のことであり、日最小値を示す傾向があることから、地域の基準となる CO₂ 濃度と想定される。

図は名古屋産業大学地点の 2011 年～2017 年にかけての 14 時における夏季の CO₂ 濃度分布図から、注目する面を抜き出したものである。



夏季は太平洋高気圧に覆われることが多く日本全体に渡って気圧差が少ないため、局地的な気圧差による局地風が様々な風向で発生する。太平洋高気圧が東寄りに位置し、時計回りに吹き出される南東系の風が支配的な場合が主風向であり、他の風向の同程度の風速に比べて太平洋起源の大気の影響で CO_2 濃度が相対的に低い傾向があると考えられる。

太平洋高気圧が西寄りに位置し時計回りに吹き出される北西系の風が支配的な場合も発生率が比較的高く、日本海までの距離が短いこともあり、南東系と同様に、同程度の風速では日本海起源の大気の影響で CO_2 濃度が相対的に低い傾向があると考えられる。

南西系の風は、日変化の中で海陸の気圧差が少ない 9 時以降から南東系の広域海風が入り込む前の 15 時までの時間帯に、伊勢湾と内陸部の気圧差による小規模海風が支配的な場合に発生することが多く、同程度の風速では排出源が多い名古屋都心周辺を通過した大気の影響で CO_2 濃度が相対的に高い傾向があると考えられる。

北東系の風は中部山岳が連なっているため吹きにくい。

以上の様に、 CO_2 濃度分布図作成システムを利用すれば、 360° 方向から測定地点に至る CO_2 の移動経路を風上方向に略式かつ視覚的にたどることができ、複雑かつ多様に変化する生活環境圏における CO_2 濃度への理解が深まる。

3-7 学習評価

セカンドステップの環境教育の実施に当たっては、生徒を対象としたアンケート調査（表 3-4）を通じて、学習目標（表 3-1）に基づく学習到達度評価を実施している。この調査では、学習目標に対して、「思う」、「少し思う」、「あまり思わない」、「思わない」の 4 段階評価を求めている。

ここでは、2016 年 9 月から 11 月に日本の高等学校 2 校（三重県立久居農林高校、愛知県立緑丘商業高校）、台湾・苗栗県の高等学校 3 校（大同高校、竹南高校、国立苗栗農工職業学校）で実践したセカンドステップの環境教育の学習評価の事例を紹介する。

アンケートの調査結果を表 3-5 に示す。回答した生徒は日本では 22 人、台湾では 107 人、計 129 人であった。なお、CO₂ 濃度マップの作成に関する学習目標については、利用可能な PC の配置に制約があり、すべての生徒が実際のデータ処理を行うことができなかったため、アンケート調査対象から除外した。

日本と台湾のアンケート回答結果の差の検定には χ^2 検定を用いた。また、「思わない」と回答した生徒は全ての学校で 0 人だったため、表 3-5 からは除外した。

日本 2 校のアンケート集計結果をみると、問 8 を除く各設問に対する「思う」、「少し思う」と回答した肯定的回答の割合は、86.3%～100%であった。また、台湾 3 校では、すべての設問で 85.7%～99.1%という高い肯定的回答率を示した。

アンケート調査の回答を設問別に見ていくと、問 1 の「授業に関心を持つことができたか」については、日本の場合、22 人の生徒のうち、9 人（40.9%）が「思う」、11 人（50%）が「少し思う」と回答した。また、台湾の場合、107 人の生徒のうち、77 人（72%）が「思う」、27 人（25.2%）が「少し思う」と回答した。授業に対する関心は、その後の継続的な学習活動に繋がるものであるが、「あまり思わない」を選択したのは、日本の生徒が 2 人（9.1%）、台湾の生徒が 3 人（2.8%）であった。

また、問 2 の「授業内容を理解できたか」に対する日本の生徒の自己評価は、5 人（22.7%）が「思う」、14 人（63.6%）が「少し思う」と回答した。また、台湾の生徒は、47 人（43.9%）が「思う」、56 人（52.3%）が「少し思う」と回答しており、台湾の生徒がより積極的な理解を示す傾向にあった。学習内容が理解できたかどうかは、学習指導計画上、問 3 から問 8 までの学習到達度の総合的な自己評価と捉えることができる。ただし、その自己評価には、環境教育プログラムの教育効果に加え、日本と台湾の文化や国民性の違い、生徒の環境意識や学校環境教育の違いなどによって差異が生じると考えられる。このため、生徒の自己評価には、学習指導計画以外の要素が反映されていることに留意が必要となる。

問 3 から問 8 は、CO₂ 濃度と地域環境との関係性を継続的に探究するためのスパイラル学習を構成する学習目標となる。これらの学習目標に対する学習到達度は、授業の進行に従って、応用する知識や情報が増加することから低減傾向を示すと考えられる。その回答傾向を見ると、日本の生徒は、CO₂ 濃度調査の学習目標に対する肯定的回答の割合が最も高く、授業の進行に伴い肯定的回答の割合が低くなっていた。生徒は探究的な学習活動の最初のス

テップを体験したが、CO₂濃度調査の継続的な実施に必要な技能の基礎は身に付けることができたと考えられる。また、CO₂濃度測定局のデータ検索、CO₂濃度マップの解釈や学習成果の発表については、最初の学習でCO₂濃度の動態を理解することには自ずと限界があることから、学習活動を継続することで段階的に到達度を高めていくことになる。台湾の生徒も、日本の生徒と同様の回答傾向を示したものの、問8の学習成果の発表に対する自己評価が高い点、問4のCO₂濃度調査を生徒同士で協力して行うことができたに対する自己評価が高い点が特徴的であった。特に問8の学習成果の発表については、日本では口頭で、台湾では母国語の違いによるコミュニケーションの齟齬を避けるため、模造紙に整理し発表を行ったことから、生徒の達成感が高まり、肯定的回答の割合が高くなったと考えられる。

次に、問9の自由記述欄での回答を求めたところ、日本2校では4件、台湾3校では53件の回答があった。これらの回答で示された意見を内容別に整理したところ、6項目に分類（表3-6）された。各項目の意見数を集計した結果は表3-7に示すとおりである。なお、集計にあたって、1つの回答に複数の意見が含まれる場合は意見ごとに分類したため、表3-7の合計数は問9の回答数と一致しない。回答が最も多かったのは、日本、台湾ともに「CO₂の知識理解の深化」で、日本は4件、台湾は23件であった。次いで「操作時間の延長」が14件、「測定地点の増加」が11件などであった。このうち、「CO₂の知識理解の深化」や「測定地点の増加」に関する意見としては、「工場周辺でCO₂濃度を測ってみたい」、「測定する地域をもっと広く、時間も長くすれば、更に深く勉強できると思う」、「植物や土壌の影響を測定してみたい」、「CO₂や風速を測るのはとても楽しく、もう一度やってみたいと思った」、「データをまとめたことにより、更に興味や関心がわいてきた」など、探究的な学習を継続して行いたいという学習ニーズが反映された意見が多くみられた。

なお、日本と台湾の生徒のアンケート調査結果を比較すると、台湾の生徒は、各設問で「思う」と積極的に回答した割合が相対的に高い状況にあり、自由記述についても、積極的に意見が述べられていた。特に問8の「学習した内容をまとめることができたか」の肯定的回答率は、台湾が92.4%であったのに対して、日本では61.9%と低い値を示した。日本で探究的な学習活動を進めるうえで、「まとめ・表現」に対する学習支援の強化が必要とされることを示唆していると考えられる。

また、生徒が学習活動に対して主体的、継続的に取り組むうえで、まずはCO₂濃度調査に必要な技能の基礎を身に付けることが不可欠となるが、生徒の自己評価から、今後の継続的な学習活動の条件を整えることができたといえる。

表 3-4 学習到達度調査のアンケート項目

問 1	授業内容に関心を持つことができたと思いますか。
問 2	授業内容を理解することができたと思いますか。
問 3	学校周辺の CO ₂ 濃度調査で測定に必要な技能を身につけることができたと思いますか。
問 4	学校周辺の CO ₂ 濃度調査を、生徒同士で協力して行うことができたと思いますか。
問 5	CO ₂ 濃度測定局のデータ検索で、CO ₂ 濃度測定局のデータ検索を行うことができたと思いますか。
問 6	CO ₂ 濃度測定局のデータ検索で、気象(風向・風速、天候)と CO ₂ 濃度との関係性を考えることができたと思いますか。
問 7	CO ₂ 濃度マップを解釈することができたと思いますか。
問 8	学習した内容をまとめることができたと思いますか。
問 9	ご意見、ご感想、改善点などご自由にご記入ください。

表 3-5 学習到達度調査の国・地域別集計結果 (N=129)

問1	思う	少し思う	あまり思わない	合計	p値
日本	9人 (40.9%)	11人 (50%)	2人 (9.1%)	22人 (100%)	
台湾	77人 (72%)	27人 (25.2%)	3人 (2.8%)	107人 (100%)	
合計	86人	38人	5人	129人	P < 0.05
問2	思う	少し思う	あまり思わない	合計	p値
日本	5人 (22.7%)	14人 (63.6%)	3人 (13.6%)	22人 (100%)	
台湾	47人 (43.9%)	56人 (52.3%)	4人 (3.7%)	107人 (100%)	
合計	52人	70人	7人	129人	0.056
問3	思う	少し思う	あまり思わない	合計	p値
日本	5人 (22.7%)	16人 (72.7%)	1人 (4.5%)	22人 (100%)	
台湾	82人 (76.6%)	24人 (22.4%)	1人 (0.9%)	107人 (100%)	
合計	87人	40人	2人	129人	P < 0.001
問4	思う	少し思う	あまり思わない	合計	p値
日本	10人 (45.5%)	12人 (54.5%)	0人 (0%)	22人 (100%)	
台湾	74人 (69.8%)	30人 (28.3%)	2人 (1.9%)	106人 (100%)	
合計	84人	42人	2人	128人	0.053
問5	思う	少し思う	あまり思わない	合計	p値
日本	7人 (33.3%)	13人 (61.9%)	1人 (4.8%)	21人 (100%)	
台湾	44人 (41.9%)	46人 (43.8%)	15人 (14.3%)	105人 (100%)	
合計	51人	59人	16人	126人	0.248
問6	思う	少し思う	あまり思わない	合計	p値
日本	5人 (22.7%)	16人 (72.7%)	1人 (4.5%)	22人 (100%)	
台湾	51人 (48.1%)	51人 (48.1%)	4人 (3.8%)	106人 (100%)	
合計	56人	67人	5人	128人	0.090
問7	思う	少し思う	あまり思わない	合計	p値
日本	9人 (40.9%)	11人 (50%)	2人 (9.1%)	22人 (100%)	
台湾	35人 (33%)	62人 (58.5%)	9人 (8.5%)	106人 (100%)	
合計	44人	73人	11人	128人	0.753
問8	思う	少し思う	あまり思わない	合計	p値
日本	3人 (14.3%)	10人 (47.6%)	8人 (38.1%)	21人 (100%)	
台湾	42人 (39.6%)	56人 (52.8%)	8人 (7.5%)	106人 (100%)	
合計	45人	66人	16人	127人	P < 0.001

表 3-6 学習到達度調査の自由記述内容の分類例

回答内容	分類
CO ₂ の影響をより深く知ることができた	CO ₂ の知識理解の深化
測定の時間を延ばしたら影響要素がもっと見つかるかもしれない	操作時間の延長
測定器の操作に慣れることができなかった	測定器の操作方法
生徒に資料を探させるのは、直接図表を見せるよりいいと思う	データ検索への評価
測定する地域をもっと広く、時間も長くすれば、更に深く勉強	測定地点の増加
お互いの意見交換をもっと増やしてほしい	ディスカッションの増加

表 3-7 学習到達度調査の自由記述の回答結果

	日本 2 校	台湾 3 校
CO ₂ の知識理解の深化	4	23
操作時間の延長	0	14
測定器の操作方法	0	1
データ検索への評価	0	1
測定地点の増加	0	11
ディスカッションの増加	0	3
合計	4	53

4 国際交流学習の実施

4-1 CO₂環境教育の海外移転と国際交流

CO₂環境教育は、学校周辺の地域環境をフィールドとし、国際社会が削減に取り組んでいる CO₂ 濃度を教材化している。このため、日本における環境教育の成果を海外に移転することで、「地域性」と「グローバル性」を同時に認識させる環境教育への発展を目指している。

台湾では、名古屋産業大学と育達科技大学との学術交流の一環として、2012 年に現地の小・中学校、高等学校で環境教育の実践に着手した。また、2013 年には「みんなで作る CO₂ 濃度マップ～地球温暖化と私たちの暮らし」の華語翻訳版を台湾で共同出版し、台湾政府教育部、苗栗県政府教育処、新北市政府教育処を通じて、台湾の小・中学校、高等学校に寄贈している。さらに、2014 年 10 月には、苗栗県環境保護局と育達科技大学が共催し、CO₂ 環境教育をテーマとした第 1 回環境教育国際フォーラムを開催するとともに、2015 年 3 月には名古屋産業大学と苗栗県環境保護局が交流協定を締結し、CO₂ 環境教育の普及に取り組んできている。

これまでの苗栗県における主な取組成果としては、県内の小・中学校、高等学校 23 校で環境教育を実践し、870 名の児童・生徒が受講するとともに、学校教員や環境ボランティアを対象とした環境教育国際フォーラムを 4 回にわたって開催してきた。また、環境教育の基盤となる CO₂ 濃度測定局は、苗栗県環境教育センター、育達科技大学、国立聯合大学の 3 地点に開設している。さらに、苗栗県における CO₂ 環境教育の普及活動と並行して、日本国内では、名古屋産業大学、三重大学、三重県教育委員会等が連携し、三重県下の中学校、高等学校の生徒を対象に、2014 年より、赤塚植物園（三重県津市）が所有する里山の CO₂ 濃度、植物、土壌生物等を体験的に学ぶ環境学習セミナーを継続的に開催してきた。その中で、2015 年からは、テレビ会議を通じて、日本の久居農林高等学校、高田高等学校と苗栗県の大同高等学校の生徒が CO₂ 濃度調査の成果を互いに発表し、意見交換する国際交流学習を実施している(写真 4-1)。



写真 4-1 国際交流学習の様子

4-2 生活環境圏における CO₂ 濃度の動態比較

国際交流学習は、CO₂ 濃度から、それぞれの国・地域の気候・気象、地域環境の違いや代表的な排出源、吸収源を自覚し、グローバルな視野から低炭素地域づくりに役立つ行動を考える機会となる。

ここでは、台湾の苗栗県環境教育センター地点(以下「COE53 地点」という)及び名古屋産業大学地点(以下「NSU 地点」という)の CO₂ 濃度測定局で測定された直近 2 年間(2015 年～2016 年)の常時測定データを用いて、日本と台湾の生活環境圏における CO₂ 濃度の動態を概説する。

まず COE53 地点（苗栗県）と NSU 地点(愛知県)の気候を比較したものが表 4-1 である。CO₂ 濃度の変化に大きな影響を与える風速・風向等の状況は大きく異なっていることが分かる。愛知県では、平均風速が 3m/s、測地日射量が 14.5MJ/m² であり、夏には南東からの弱い風が吹き、冬には北西からの強い風が吹く。一方、苗栗県では、平均風速が 1m/s、測地日射量が 10.7MJ/m² であり、夏に南からの強い風が吹き、冬に北東からの弱い風が吹く。COE53 地点は、山林に囲まれた谷間にあるので、年間を通じて風が弱く、NSU 地点と比べて、変動成分の影響をより強く受ける CO₂ 濃度が測定される可能性が高いことが分かる。

表 4-1 苗栗県(台湾)と愛知県(日本)の気候

	苗栗県	愛知県
2016年測地平均気圧	974 (hPa)	1008.4(hPa)
2016年測地平均温度	22(°C)	17(°C)
2016年測地平均風速	1(m/s)	3(m/s)
2016年年間降水量	1910(mm)	1686(mm)
2016年測地日射量	10.7(MJ/m ²)	14.5(MJ/m ²)
2016年測地平均湿度	86(%)	65%
主たる風向・風速:夏	南（風強い）	南東（風弱い）
主たる風向・風向:冬	北東（風弱い）	北西（風強い）

図 4-1 は、各測定局における CO₂ 濃度変化パターンの比較を容易にするため、COE53 地点及び NSU 地点の CO₂ 平均濃度を算出し、午前 9 時を基準値とした差分ベースの日変化を検証したものである。なお、風速の時別平均値は、CO₂ 濃度測定局近傍の気象台の観測データを用いている。

COE53 地点における CO₂ 平均濃度の日変化は、NSU 地点と同様、午前 6 時前後に相対的に高い傾向を示し、午後 3 時前後に相対的に低い傾向を示す。また、COE53 地点におけ

る CO₂ 濃度の変動幅は、NSU 地点と比べて大きくなっているが、これは日没から日の出までの時間帯における風速が 1m/s 前後で推移していることから、夜間に植物から排出される CO₂ が測定地点付近で滞留し、局所的な影響を及ぼしていることによるものと考えられる。

図 4-2 は、CO₂ 安定濃度の時別平均値の日変化を示したものである。CO₂ 安定濃度の変動幅は、大気拡散により CO₂ 平均濃度に比べて縮小し、NSU 地点と同様の傾向を示す。

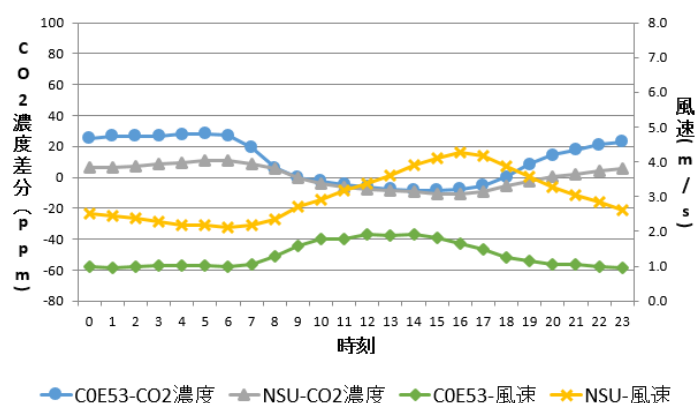


図 4-1 CO₂ 平均濃度の日変化 (2016 年の年平均)

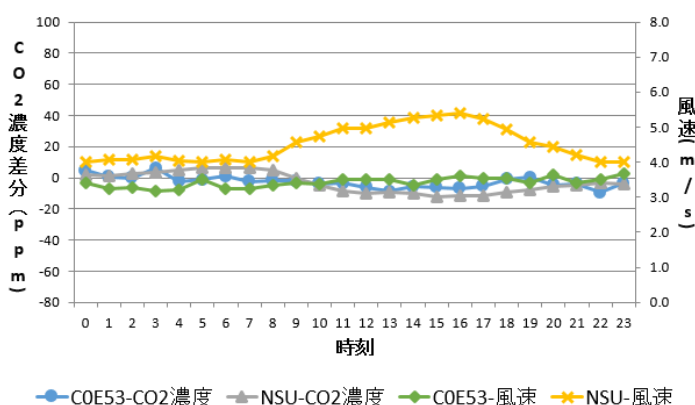


図 4-2 CO₂ 安定濃度の日変化 (2016 年の年平均)

次に、図 4-3、図 4-4 は季節別にみた CO₂ 平均濃度、CO₂ 安定濃度の日変化を示したものである。季節別にみた CO₂ 平均濃度(図 6-3)は、2 月は 2 地点でほぼ同様の日変化パターンを示すが、5 月、8 月、11 月は異なる様相を示している。台湾の四季は、日本と比べて夏が長く、冬が短い。このため、2 地点ともに CO₂ 平均濃度の日変化には季節変化が見られるものの、5 月、8 月、11 月は、上述した風速や植物活動の影響に加え、四季の違いによって、COE53 地点における CO₂ 濃度の変動幅が NSU 地点と比べて大きくなっていると考えられる。

また、季節別にみた CO₂ 安定濃度(図 6-4)は、2 地点ともほぼ同様の变化パターンを示し、13 時から 18 時までの時間帯は概ね 10ppm 以下の変動幅の内で推移している。また、大気が安定する 2 月は一定の時間変動幅の範囲内で推移するが、大気が不安定になる 8 月は時

間変動幅が大きくなっていることが分かる。

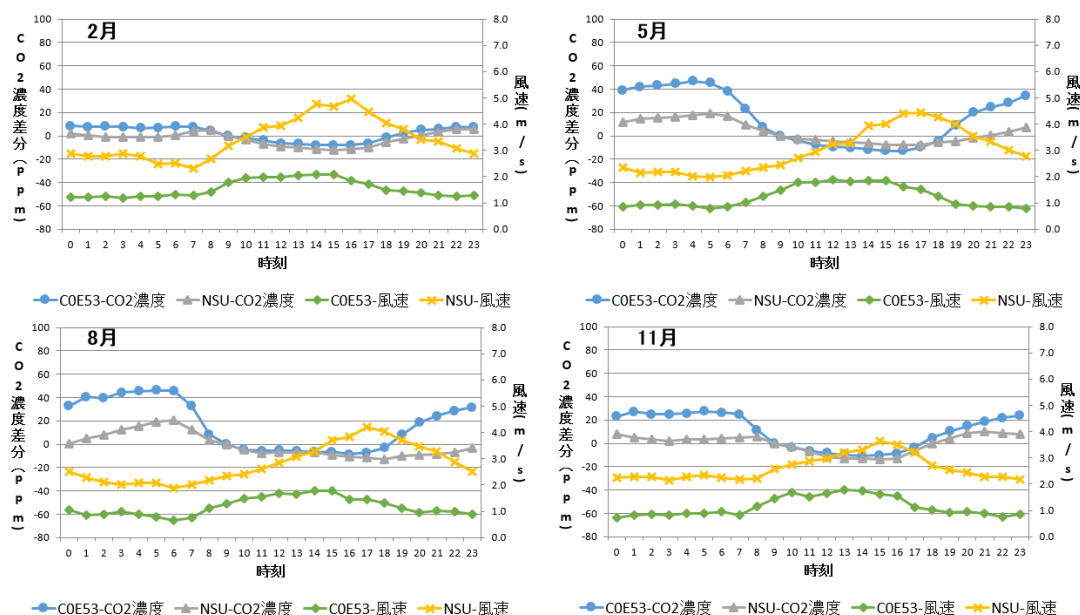


図 4-3 季節別に見た CO₂ 平均濃度の日変化

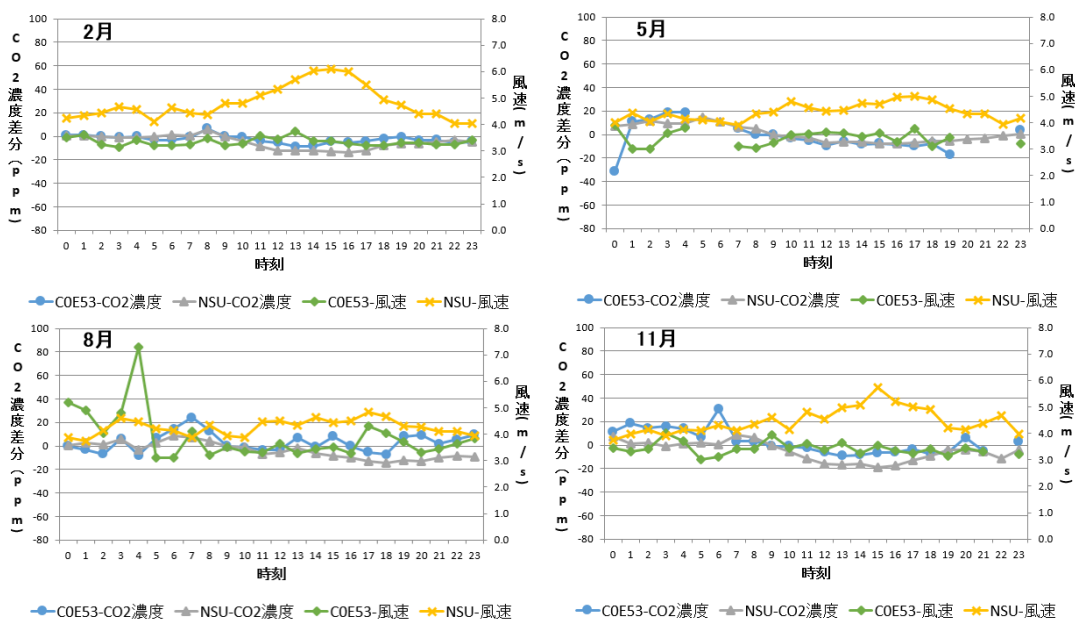


図 4-4 季節別に見た CO₂ 安定濃度の日変化

以上から、COE53 地点における CO₂ 濃度の基本的な動態としては、次のような傾向を示す。

- 1) COE53 地点における気候特性を考慮すると、NSU 地点と比べて、変動成分の影響をより強く受ける CO₂ 濃度が測定される可能性が高い。
- 2) CO₂ 平均濃度の日変化は、NSU 地点と同様、午前 6 時前後に相対的に高い傾向を示し、

午後 3 時前後に相対的に低い傾向を示す。

- 3) 月別にみた CO₂ 平均濃度には、台湾の四季に応じた季節変化が見られる。
- 4) CO₂ 安定濃度の変動幅は、NSU 地点と同様、大気拡散により CO₂ 平均濃度に比べて縮小する。
- 5) また、月別にみた CO₂ 安定濃度の日変化は、大気が安定する冬は一定の時間変動幅の範囲内で推移するが、大気が不安定になる 8 月は時間変動幅が大きくなる。

4-3 国際交流学習の実施

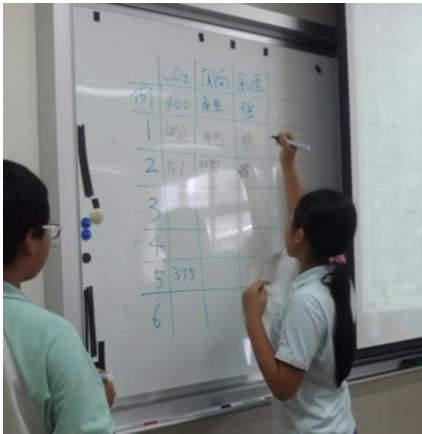
国際交流学習については、2015 年からテレビ会議システムを利用した交流学習を既に実施している。今後の国際交流学習の実施に当たっては、グローバルな視点から、CO₂ 濃度の動態に対する多面的理解を促す教材開発を行い、CO₂ 削減に向けた国際理解を下支えする環境意識の醸成に取り組むとともに、その学習到達度についても評価を行う予定である。

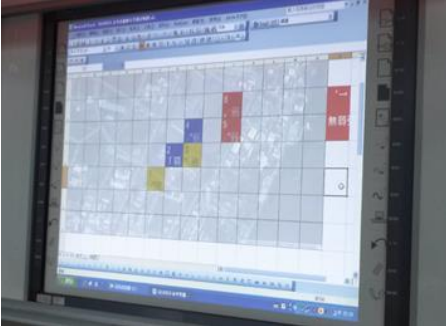
参考 1：ファーストステップの環境教育プログラム

ファーストステップの環境教育は、可搬型の CO₂ 濃度測定器を用いて学校周辺の CO₂ 濃度調査を行い、その収集データを活用して CO₂ 濃度マップを作成し、CO₂ 濃度と地域環境との関係性を探究するものである。授業プログラムは、参考-1 に示すとおりである。①オリエンテーション、②学校周辺の CO₂ 濃度調査、③CO₂ 濃度マップの作成と考察によって構成される。この環境教育では、CO₂ 濃度の調査体験を通じて、CO₂ の性質や特性を知ることに加え、CO₂ の排出源や吸収源の影響、CO₂ の空間移動などについて実感を持って理解することを支援している。

参考-1 ファーストステップの環境教育の進め方(小学校)

テーマ	地球温暖化と私たちの暮らし～CO ₂ 濃度マップの作成	
実施学年・人数	小学校 5 年生・6 年生	
実施時間	100 分	
実施場所	教室及び運動場	
活動のねらい	・ 二酸化炭素の測定により、学校周辺の二酸化炭素の濃度を知り、日々の暮らしと二酸化炭素との関係を考える。 ・ 地球温暖化の主な原因である二酸化炭素はなぜ増えているか、なぜ止めなければならないか、どうやって止めるか、その理由を探る。	
評価の観点	・ 学校周辺の二酸化炭素の高い所、低い所は、風向・風速や人間の生活、活動と繋がっていることが分かる。	
準備物	アンケート調査用紙、校区地図、記入用紙、CO ₂ 濃度測定器、パソコン、GPS、ティッシュ	
活動の流れ		
過程及び時間	児童の活動	支援事項・留意点など
10 分	・ 環境問題に関する意識調査のアンケートに記入する。	・ 「環境問題に関する児童・生徒の意識調査（小学校）」によるアンケート調査する。
30 分	・ 今日の学習活動を確認める。校区地図、記入用紙を見ながら測定の方法や注意事項を聞く。	・ 準備物の確認と使い方を説明する。 ・ 測定方法 時間の問題で、1 グループ 1 か所で測定すること。 測定したデータの記入方法 ①CO₂ ②方位 濃度 ③風の強さ

20 分		・CO₂測定器の使用に当たって、できるだけ顔から離すように伝える。策定される数値は細かく変化するので、同じ場所で1分間に多く示された数字がその場所の濃度となることを知らせる。 ・GPS は、風向に向かって10歩程度歩くと、方位がGPSの表示画面に示されることを伝える。 ・風の強さについては、軽いティッシュを用いて、ティッシュの揺れる程度により、判断すると伝える。 ・児童の安全のため、必ず大人が付き、危険のないように見守る。
20 分	・5グループに分かれて、学校の周辺で測定する。 ・測定したデータを集約し、二酸化炭素濃度マップを作成する。 	・測定する時、方位の判断はよく間違うので、児童に詳しく説明する。 ・記録用紙を基に作成する。 ① CO₂ 濃度測定器に表示されたデータを紙に記入する。 ② 風向・風速を書き入れる。 ③ 図で色分けして、濃度レベルを区別する。 - 一番高い所は赤色 - 次はピンク - 次は黄色 - 次は水色 - 一番低い所は青色

5 分		
15 分	• 他のグループを測定したデータを自分のマップ用紙に記入する。 • 各グループを収集した CO₂ 濃度マップをまとめ、CO₂ 濃度差の原因を児童に対して質問、または説明を行う。	• 児童・生徒に積極的に発言させる。また、児童・生徒の思考や発見を誘発することを支援する。

参考 2：セカンドステップの学習教材

学校周辺における CO₂ 濃度の調査とデータ活用

1 活動のねらい

- ・ 学校周辺の CO₂ 濃度を調査し、CO₂ 濃度の時系列変化や空間分布を理解する。
- ・ 気象や土地利用、人間生活の影響を受けた CO₂ 濃度データを活用して、CO₂ 濃度と都市環境との関係性を探求し、低炭素地域づくりに役立つ環境行動を考える。

2 CO₂ の性質と濃度

(1) CO₂ の温室効果

- ・ CO₂ は無色・無臭、不燃性で、空気に比べ約 1.5 倍の重さを持つ。
- ・ CO₂ は、地上からの放出熱が宇宙へと拡散することを防ぐ「温室効果ガス」として働く。
- ・ 現在の大気中には、およそ 400ppm(0.04%)前後の濃度で CO₂ が含まれる。
- ・ 産業革命以前は 280ppm の濃度であったと推定されている。
- ・ CO₂ 濃度が増加したのは、主に化石燃料の大量消費が要因と言われている。

(2) グローバルスケールの CO₂ 濃度

- ・ グローバルスケールの CO₂ 濃度は、地球スケールの長期的な変動を把握するためのデータ。現在、世界各国で観測が行われている。
- ・ これらの観測は、厳格な濃度校正やデータ処理等がされている。また、周辺の水平空間を代表する濃度観測をするため、地上約 20m の高さで観測されている。
- ・ グローバルスケールの CO₂ 濃度は、年々増加傾向にある。2013 年 5 月には、アメリカの観測で 400ppm を超えた。

(3) 生活環境圏を対象としたローカルスケールの CO₂ 濃度

- ・ その一方で、生活環境圏(学校周辺)の CO₂ 濃度には、気象や土地利用、人間生活の影響が反映されている。
- ・ 本講義が対象とするローカルスケールの CO₂ 濃度は、CO₂ の排出源、吸収源を具体的に理解するなど、低炭素地域づくりを目的に、身近な地域における短期的な変動を把握するためのデータとなる。
- ・ 日本では、2012 年 8 月に「都市の低炭素化の促進に関する法律」が施行されており、現在、地方自治体においては、都市レベルの CO₂ 削減に向けて「低炭素まちづくり計画」の策定、実践などに取り組まれている。

3 CO₂濃度の調査とデータ処理

(1) CO₂濃度の調査方法

- ・各調査ポイントで CO₂ 濃度、風向、風速を 30 秒間測定し、最頻値を記録する。

・調査項目

- ①時刻、②風向、③風速、④CO₂ 濃度

・注意事項

- ・喋りながら測定をすると、呼吸の影響を受けて CO₂ 濃度が上がることに注意する。
- ・風向風速計の測定方法に注意する。風が向かってくる方向に風向風速計を向ける。

・調査エリアの設定

- ・学校周辺を 50m ほどの間隔のメッシュで区切り、角マス目の中で調査を行う。
- ・調査エリアは 1 時限 (50 分)、3~4 班で回れる範囲。
- ・1 班当たり最低 3 名~ (CO₂ 濃度測定係、風向風速測定係、記録係)。

・測定に必要なもの

- ・CO₂ 濃度測定器
- ・風向・風速計
- ・データ記入シート
- ・時刻がわかるもの (腕時計など)

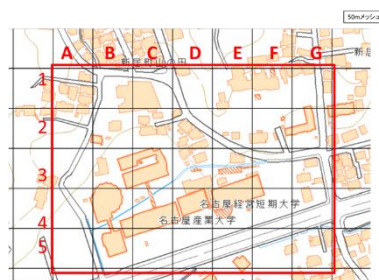


図 調査対象エリア例

(名古屋産業大学周辺・50m メッシュ)

(2) CO₂濃度のデータ処理

・CO₂ 濃度マップの作成方法

- ・校庭の中心で測定した基準値を常時測定データの値で補正する。

- ・校庭の基準値が 380ppm で、常時測定データの値が 400ppm であれば、各ポイントで測定した CO₂ 濃度にそれぞれ 20ppm 足し算する。

- ・測定地点 (例: A1 であれば上記図の一番左上) の CO₂ 濃度を各セルに入力する。

- ・測定地点の風向、風速を各セルに記入する。

1	384 0.5m/s	398 0m/s	431 0.5m/s	388 0m/s	366 0.5m/s	396 1.0m/s	397 1.0m/s
2	381 0.7m/s	383 0.5m/s	368 1.7m/s	367 1.4m/s	368 0.7m/s	400 0m/s	401 1.2m/s
3	375 0m/s	382 0m/s	390 0.3m/s	377 0.4m/s	373 0.7m/s	399 0.6m/s	398 0.6m/s
4	400 1.2m/s	392 0.7m/s	380 0.6m/s	378 0.6m/s	400 1.0m/s	399 0m/s	398 1.0m/s
5	382 0.9m/s	388 0.7m/s	375 1.2m/s	381 1.4m/s	405 1.3m/s	403 0.7m/s	396 1.0m/s

図 風向、風速を入力した CO₂ 濃度マップ

	A	B	C	D	E	F	G
1	384 0.5m/s	398 0m/s	431 0.5m/s	388 0m/s	366 0.5m/s	396 1.0m/s	397 1.0m/s
2	381 0.7m/s	383 0.5m/s	368 1.7m/s	367 1.4m/s	368 0.7m/s	400 0m/s	401 1.2m/s
3	375 0m/s	382 0m/s	390 0.3m/s	377 0.4m/s	373 0.7m/s	399 0.6m/s	398 0.6m/s
4	400 1.2m/s	392 0.7m/s	380 0.6m/s	378 0.6m/s	400 1.0m/s	399 0m/s	398 1.0m/s
5	382 0.9m/s	388 0.7m/s	375 1.2m/s	381 1.4m/s	405 1.3m/s	403 0.7m/s	396 1.0m/s

・CO₂濃度が入力されたセルを範囲選択し、エクセルの機能を使用して濃度の色づけを行う。

・この状態で、エクセルのホームタブ→条件付き書式をクリックし、赤、黄、緑のカラースケールをクリックする。

・CO₂濃度マップに色付けがされる。濃度が高い箇所は赤色、中間は黄色、低い箇所は緑色となる。



図 条件付き書式の選択画面

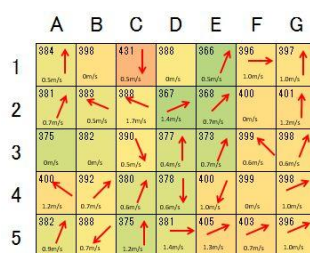


図 色付けがされた CO₂ 濃度マップ

4 CO₂濃度測定局のデータ処理

(1) CO₂濃度測定局の収集データ

・CO₂濃度測定局で収集されるデータには、CO₂濃度、温度、湿度、気圧がある。

・データは3秒に1回測定され、1日ごとにエクセルで閲覧できるファイルにまとめられる。

(2) CO₂濃度のデータ処理

・データベースの作成方法

・CO₂濃度データ検索システムのデータベース作成機能を使用する。

・必要なもの：CO₂濃度測定局からのデータ（1日ごとのcsvファイル）、最寄りの気象台からの10分ごとの気象データ

・フローチャートに沿ってデータ処理を行う。

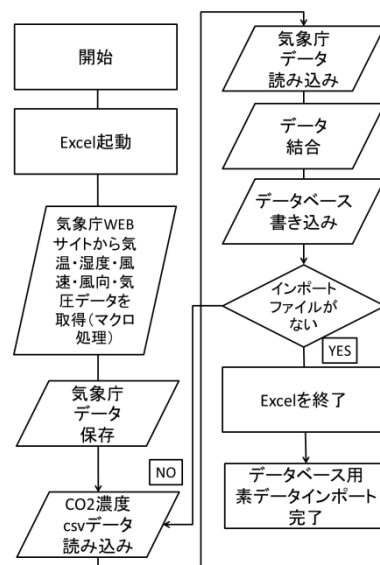


図 データベース作成フローチャート

(3) CO₂濃度データ検索システムの活用方法

・CO₂濃度データ検索システムでは、期間を区切ってCO₂濃度の日変化をみることができる。

・また、上記に加え、気象別に条件をつけ、CO₂濃度の日変化をみることができる。

・上記を組み合わせ、年別のあるいは月別のCO₂濃度変化をみることで、CO₂濃度の季節変動をみることができる

- ・気象別にみることで、風速や風向、天候がCO₂濃度変化に与える影響を考察する。
- ・例：過去の7月の、CO₂濃度、風速の日変化が知りたいときは、CO₂濃度→特定月を選択→全期間を選択→7月を選択し、グラフ作成をクリックする。

CO₂濃度データ検索システム

CO₂濃度データ検索システム

プロット間隔
☒ 1時間毎 ☐ 10分毎

グラフ作成

CO₂濃度
☐ 日付指定
☒ 特定月 全期間 の 7月
☐ 任意期間 ~

基準値検索条件
☒ 代表値 ☐ 平均値
 風速 m以上 m未満
 風向 天候
☐ 雨を除く

対象範囲
☒ 全データ ☐ 過去2か月分 ☐ 特定月 ☐ 任意期間
 特定月 全期間 の 7月
 任意期間 ~

図 CO₂濃度検索システム 検索条件設定例

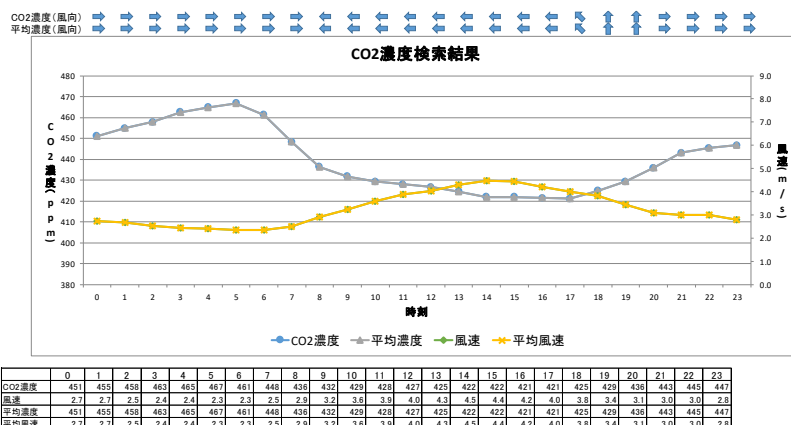


図 CO₂濃度検索システム 検索結果

5 データ解釈の基礎

(1) 学校周辺で測定される CO₂ 濃度

①CO₂濃度の実測データ

- ・学校周辺で測定される CO₂濃度は、気象や土地利用、人間生活の影響を受け、複雑かつ多様に変化する。

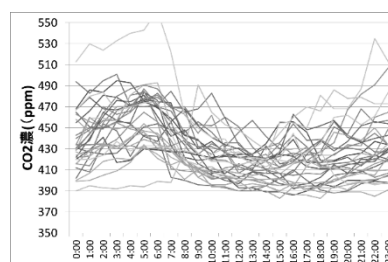
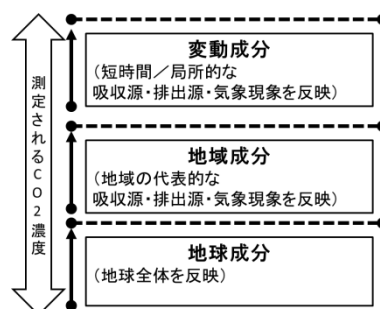


図 学校周辺における CO₂濃度の日変化

②CO₂濃度の成分

- 学校周辺で測定される CO₂ 濃度は、地球成分、地域成分、変動成分によって構成される。地球成分及び地域成分は CO₂ 濃度に安定的な影響を与え、変動成分は CO₂ 濃度に一時的、局所的な影響を与える。



③CO₂濃度の日変化

- CO₂ 濃度の時別平均値は、一定の日変化パターンを示し、季節変化が見られる。CO₂ 濃度の変動幅(日間の最大値と最小値の差)は、植物活動の影響等を受け、春から夏にかけて拡大し、夏から翌春にかけて縮小する。

図 学校周辺で測定される CO₂ 濃度の成分

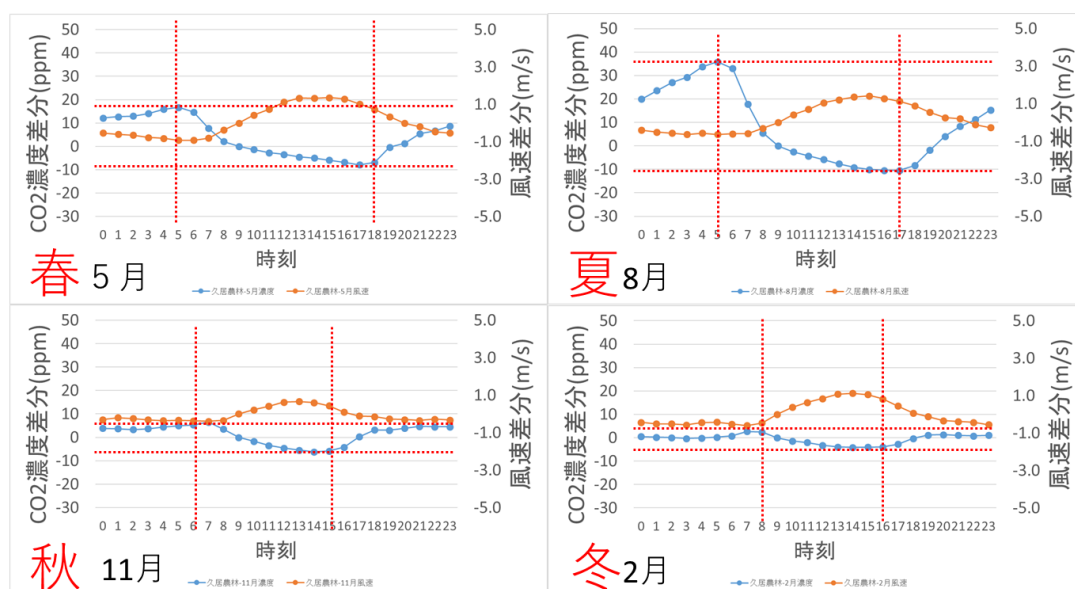
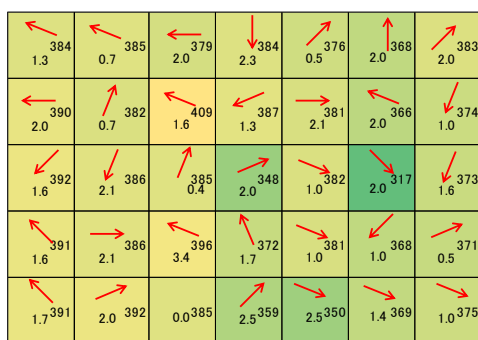


図 CO₂ 濃度時別平均値 (四季)

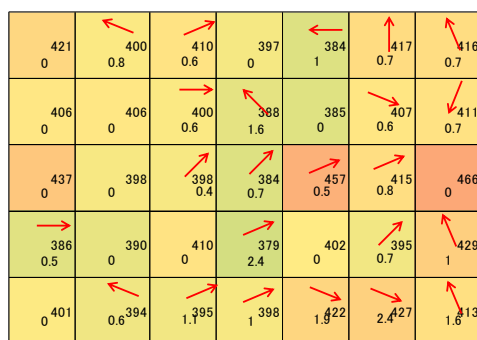
(2) CO₂ 濃度に影響を与える地域的要因

①風速の影響

- 近傍の気象台の観測標準に基づく風速が CO₂ 濃度に基本的な影響を与える。地表面で測定される風速は、建物等によって不規則な変化を示し、CO₂ 濃度に付随的な影響を与える。
- 風速が強くなるほど、大気拡散の影響を受けて CO₂ 濃度は低減し、より安定的な日変化を示す。



9月11日 基準値：385ppm



10月16日 基準値：398ppm

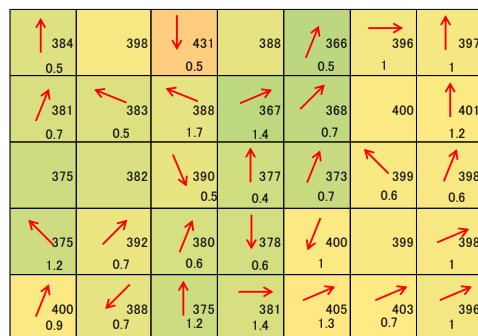
天気：晴れ 風速：7.2m/s 風向：西北西

天気：晴れ 風速：1.3m/s 風向：北

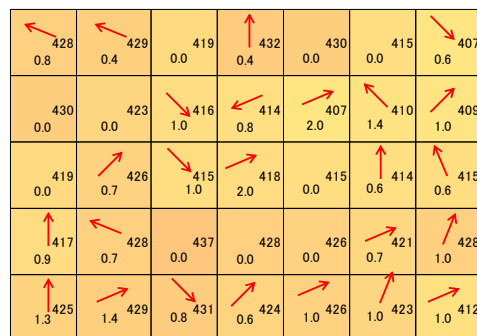
図 風速の影響（風速 7.2m/s と 1.3m/s）

②風向の影響

- ・風速が強い時の CO₂ 濃度は主に風速の影響を受けるが、風速が弱い時は、風速の影響に加え、風向の影響を受けやすくなる。
- ・CO₂ は風の影響を受けて空間を移動し、風上の土地利用や人間生活の影響によって CO₂ 濃度は異なる様相を示す。



5月8日 基準値：390ppm



10月23日 基準値：412ppm

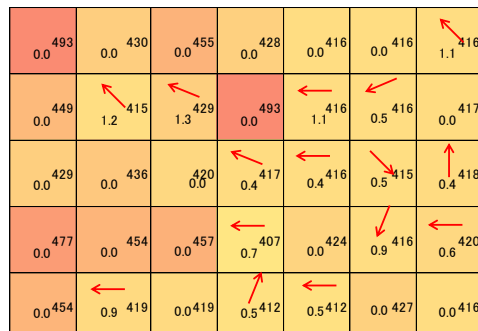
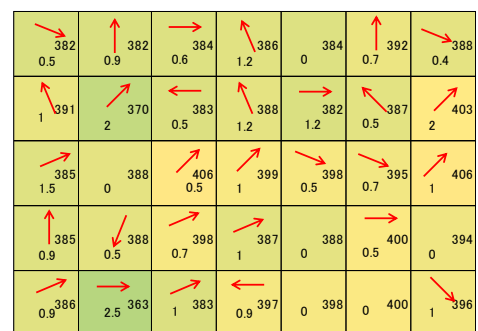
天気：晴れ 風速：1.9m/s 風向：北北西

天気：晴れ 風速：2.4m/s 風向：南南東

図 風向の影響（北北西と南南東）

③天候の影響

- ・晴天時は、日射による気流発生(風速の増加)と、植物活動による CO₂ 吸収量の増加等により、曇天時、雨天時と比べて CO₂ 濃度が低くなる傾向を示す。



3月4日 基準値：406ppm

8月21日 基準値：420ppm

天気：晴れ 風速：1.5m/s 風向：北

天気：曇り 風速：1.5m/s 風向：北北西

図 天候の影響（晴れと曇り）

(3) CO₂濃度のデータ解釈と探求的な学習活動

- ・上記(1)～(2)を踏まえ、各教科で学んだ知識を活用して CO₂濃度のデータ解釈を行う。
- ・学校周辺の代表的な排出源、吸収源に着目して、CO₂濃度と地域環境との関係性を探究する。
- ・CO₂濃度の実測データから低炭素地域づくりに役立つ環境行動を考える。

参考 3：学習目標に基づく学習到達度評価に関するアンケート調査票

CO₂濃度データを活用した環境教育に関するアンケート調査

学校名 () 年 組 (男 ・ 女)

【記入上の注意】

*回答は、選択肢の番号(1. 2. 3. ...)を○で囲むか、□の中に記入してください。

問1 一連の授業を受けて、あなたは、授業内容に関心を持つことができましたと思いますか。
当てはまる番号一つに○をつけてください。

1. 思う 2. 少し思う 3. あまり思わない 4. 思わない

問2 一連の授業を受けて、あなたは、授業内容を理解することができたと思いますか。
当てはまる番号一つに○をつけてください。

1. 思う 2. 少し思う 3. あまり思わない 4. 思わない

問3 一連の授業を受けて、あなたは、学校周辺の CO₂濃度調査で測定に必要な技能を身につけることができましたと思いますか。当てはまる番号一つに○をつけてください。

1. 思う 2. 少し思う 3. あまり思わない 4. 思わない

問4 一連の授業を受けて、あなたは、学校周辺の CO₂濃度調査を、生徒同士で協力して行うことができましたと思いますか。当てはまる番号一つに○をつけてください。

1. 思う 2. 少し思う 3. あまり思わない 4. 思わない

問5 一連の授業を受けて、あなたは、CO₂濃度測定局のデータ検索で、CO₂濃度測定局のデータ検索を行うことができましたと思いますか。当てはまる番号一つに○をつけてください。

1. 思う 2. 少し思う 3. あまり思わない 4. 思わない

問 6 一連の授業を受けて、あなたは、CO₂濃度測定局のデータ検索で、気象(風速、風向、天候)と CO₂濃度との関連性を考えることができたと思いますか。当てはまる番号一つに○をつけてください。

1. 思う 2. 少し思う 3. あまり思わない 4. 思わない

問 7 一連の授業を受けて、あなたは、CO₂濃度マップを解釈することができたと思いますか。当てはまる番号一つに○をつけてください。

1. 思う 2. 少し思う 3. あまり思わない 4. 思わない

問 8 一連の授業を受けて、あなたは、学習した内容をまとめることができたと思いますか。当てはまる番号一つに○をつけてください。

1. 思う 2. 少し思う 3. あまり思わない 4. 思わない

問 9 その他、一連の授業についてご意見、ご感想、改善点などありましたらご自由にご記入ください