

CO₂濃度閲覧システムの開発と3次元散布図を用いたCO₂濃度分布パターンの分析

Development of a CO₂ concentration browsing system and the analysis of distribution patterns of CO₂ concentration with 3D scatter plot

岡村 聖*・向 君茹**・伊藤雅一*・林 敬三*

OKAMURA Kiyoshi, SIANG Jyunru, ITO Masakazu and LIN Jin San

*名古屋産業大学現代ビジネス学部 **名古屋産業大学大学院環境マネジメント研究科

Abstract: In this study, we developed a CO₂ concentration browsing system which was accessible by the Internet at anytime and anyplace. Next, we use it to analyze distribution patterns of CO₂ concentration with 3D scatter plot.

As a result, the seasonal distribution patterns of CO₂ concentration in the living environment were reproduced by the similar shapes although they were represented by different colors annually.

Keywords: CO₂ concentration, distribution patterns, 3D scatter plot, browsing system

1. はじめに

筆者らは気象や人為の影響を受けて複雑かつ多様に変化する生活環境圏のCO₂濃度に着目し、地域のCO₂濃度調査に基づく環境教育（以下「CO₂環境教育」という）のプログラム開発とその実践に継続的に取り組んでいる（例えば、伊藤・岡村，2009）。また、生活環境圏のCO₂濃度データは地域環境評価の基礎データになりうると考え、その動態を明らかにするための研究を行っている（高木ら，2017aとb）。

その他の生活環境圏のCO₂濃度に着目した研究では、桑原ら（2014）が茨城県日立市に設置された測定局のデータを用いて、CO₂濃度の高低を色分けし、風向・風速の位置を2次元表現したCO₂濃度分布図により季節変動を分析した研究がある。この手法は定点で測定された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簡略かつ視覚的にたどることが可能な面展開であることから、CO₂環境教育においてCO₂濃度の動態把握を行う上で実用性の高い手法であると考えられる。ただし、この2次元表現で色分けされたCO₂濃度からは、発生率が高い風向・風速によるものなのか、低い風向・風速によるものなのかの区別ができない。時別値の季節平均を年ごとに比較するような用途では、発生率の低い風向・風速ではデータ数が少なく代表性が低いCO₂濃度を示す可能性がある。

そこで、本研究では桑原ら（2014）が考案した2次元表現に風向・風速の発生率を加えた、3次元CO₂濃度分布図を作成することで風向・風速の発生状況を考慮したCO₂濃度分布パターンを、CO₂環境教育のフィールドである名古屋産業大学地点（以下「名産大地点」という）と台湾苗栗県環境教育センター地点（以下「台湾地点」という）を対象に分析する。

また、本研究による分析手法を探究的な環境学習活動の様々な場面で活用することを念頭に、国内外

のCO₂環境教育連携校の教室はもとより、CO₂濃度調査中の屋外でも容易にデータ検索ができるように、インターネットに接続されたあらゆる端末（学校のPCやタブレット等）上で利用可能なCO₂濃度閲覧システムの開発も行う。

2. 方法

2.1. CO₂濃度閲覧システムの開発

2.1.1. CO₂濃度閲覧システムの概要

CO₂濃度閲覧システムの利用イメージを図1に示す。

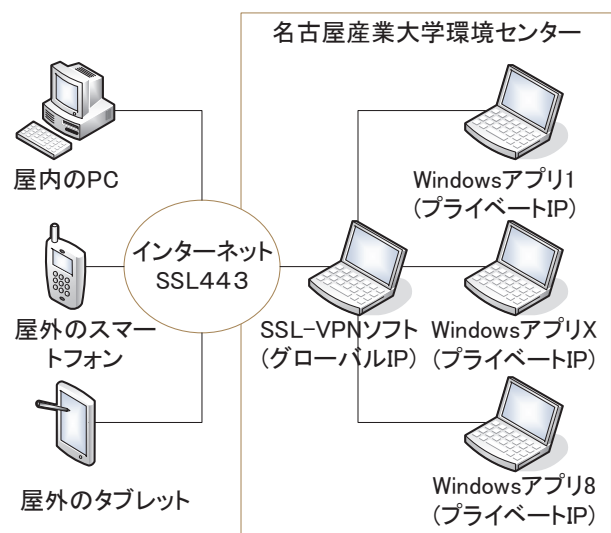


図1 インターネット経由でのCO₂濃度閲覧システムの利用イメージ

システムのサーバー側は、名古屋産業大学環境センターに配置された9台のWindows10 PCで構成される。1台はグローバルIPアドレス（インターネット上に重複の無いIPアドレス）を割り当てたPCで、

SSL-VPN ソフトウェア (Ericom Secure Gateway) がインストールされている。残り 8 台はプライベート IP アドレス (LAN 内でのみ重複なくアクセス可能な IP アドレス) を割り当てた PC で、リモート接続ソフトウェア (Ericom AccessNow) 及び Windows アプリケーション (Microsoft Excel 上で動く CO₂ 濃度データ検索システム及び 3 次元グラフ作成ソフト Graph-R) がインストールされている。各サーバーにグローバル IP アドレスがそれぞれ割り当てられていれば、システム利用端末 (クライアント) からインターネットを介したアクセスが可能であるが、グローバル IP は在庫枯渇の状況であり、全てのサーバーに割り当てることが不可能である。そこで、SSL-VPN ソフトウェアを用いることにより、1 台のグローバル IP アドレスを持つサーバーを経由して任意のプライベート IP アドレスを持つ複数台のサーバーにアクセスさせる。

システム利用端末は、インターネットに接続された任意の PC やスマートフォン・タブレットである。これらに標準搭載されている HTML5 対応ブラウザから、安全な SSL443 通信を使って事前設定なく、サーバー側にインストールされた Windows アプリケーションが利用可能である。ただし、1 台の HTML5 対応ブラウザ画面で、1 台のプライベート IP を割り当てた PC の Windows10 環境を占有利用するため、現段階では、同時接続可能なシステム利用端末は 8 台である。筆者らが実践している CO₂ 環境教育では、6~8 グループでグループワークすることが多いため 8 台に同時接続できれば特に問題は無いが、必要な場合、同時接続可能な PC を増やすことは可能である。

インターネットに接続された任意の PC・スマートフォン・タブレットに標準搭載されている HTML5 ブラウザからリモート接続ソフトウェア経由で Windows10 環境を利用するシステムにした理由は、①必要なものはインターネットに接続された HTML5 ブラウザだけであるので、PC 教室等の屋内や CO₂ 濃度調査中の屋外においてシステム利用端末を準備しやすいこと、②Windows10 環境は教育機関をはじめ最も広く普及している PC 環境であり多くの利用者にとって操作しやすいこと、③Microsoft Excel 上で動くソフトウェアとして筆者らが開発した、過去データから特定の気象条件下の CO₂ 濃度日変化パターンを参照できる「CO₂ 濃度データ検索システム」を、HTML5 用のソフトウェアとして再開発することなく利用可能であること、④Windows 環境で利用可能な豊富なフリーソフトウェア (例えば、本研究における分析で利用する 3 次元グラフ作成ソフト Graph-R) が利用可能であること、⑤上述した③と④のようなソフトウェアに読み込ませる CO₂ 濃度データや気象データのデータベースをサーバー側で常に最新に出来ること、⑥上述した③と④のようなソフトウェアを学校等の Windows 環境で利用す

る場合、必要なソフトウェアがインストールされていなかったり、コンピュータ管理者による事前設定が必要であったり、予期せぬエラーがおこったりする可能性があること、等のためである。

2.1.2. CO₂濃度閲覧システムの利用

CO₂ 濃度閲覧システムを利用するためには、システム利用端末の HTML5 ブラウザから、<https://220.151.51.82/AccessNow/start.html> に接続する。初めて接続する場合等、セキュリティに関する警告が出る場合は、詳細を表示した上で (図 2 の丸印をクリック)、新たに表示される CO₂ 濃度閲覧システムへのリンク (図 3 の赤印) から接続する。

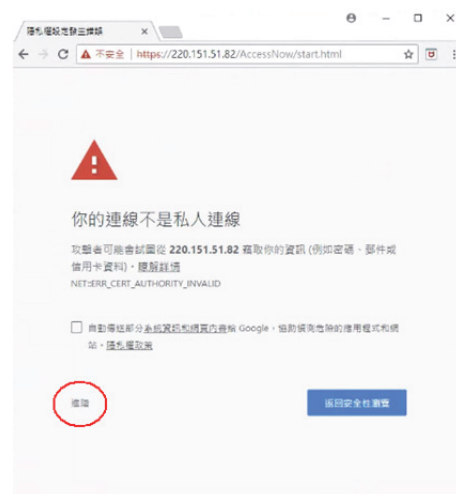


図 2 セキュリティに関する警告が出る場合

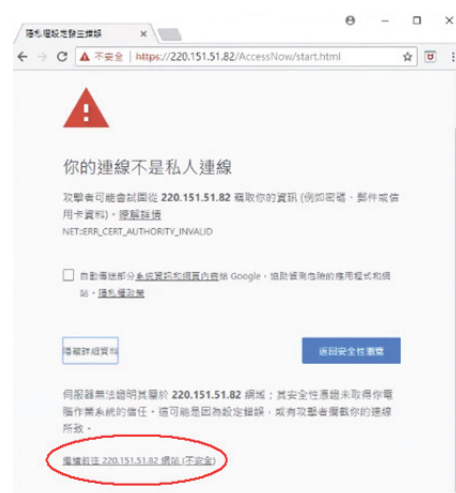


図 3 新たに表示される CO₂濃度閲覧システムへのリンク

CO₂ 濃度閲覧システムへのログイン画面を図 4 に示す。接続先を選択するために、設定ボタンをクリック (図 4 の丸印) した上で表示される接続ボタン (図 5 の赤印) をクリックする。接続先指定フィールド (図 6) に CO₂-11~CO₂-18 までの 8 台の接続先のいずれか一つを入力して、「×」ボタンをクリックする。再び CO₂ 濃度閲覧システムへのログイン画面

(図 4) が表示されるので、CO₂ 濃度閲覧システム管理者から提供されるユーザー名とパスワードを使ってシステムにログインする。

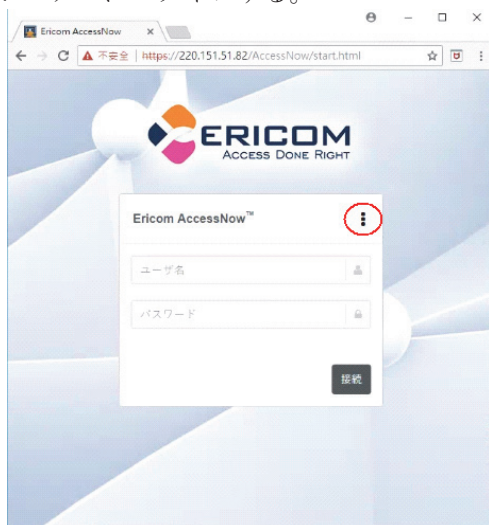


図 4 CO₂ 濃度閲覧システムへのログイン画面と設定ボタン



図 5 接続ボタン



図 6 接続先指定フィールドと「X」ボタン

システム利用端末のブラウザ内に現れる Windows10 環境 (図 7) のデスクトップ上にある CO₂ 濃度常時測定地点を示すフォルダから、CO₂ 濃度日変化パターンを参照できる CO₂ 濃度データ検索システムや 3 次元グラフ作成ソフトウェア Graph-R が利用できる。必要に応じて、画面右上の箱マークのボタンからシステム利用端末と CO₂ 濃度閲覧システムの間でファイル転送可能である。

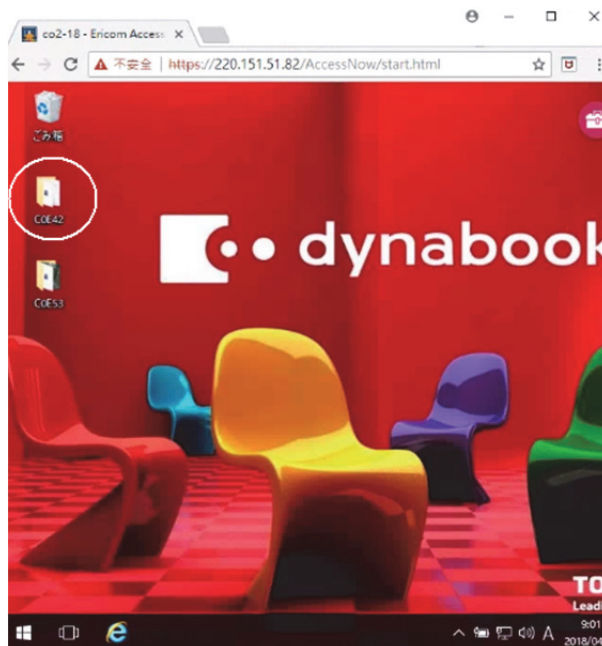


図 7 ブラウザ内の Windows10 環境

2.2. 3 次元散布図を用いた CO₂ 濃度分布パターンの分析

2.2.1. 分析対象地点

分析対象は CO₂ 濃度測定局が設置されている名古屋産業大学地点及び台湾苗栗県環境教育センター地点の 2 地点である (図 8)。



図 8 名古屋産業大学地点及び台湾苗栗県環境教育

センター地点の位置図（地図データ©2018 Google、SK telecom、ZENRIN）

名古屋産業大学地点の周辺図を図 9 に示す。名古屋守山区の東隣の尾張旭市に位置し、北西方向には樹木が多い城山公園が、北東方向には洞光院や多度神社の社寺林が、南東方向には市街地が、南西方向には田畑が、それぞれ広がっている。



図 9 名古屋産業大学地点の周辺図（画像 ©2018 Google、地図データ©2018 Google、ZENRIN）

苗栗県環境教育センター周辺図を図 10 に示す。台湾北中部の苗栗県にある西湖リゾート内に位置している。台湾では、2011 年に環境教育法が施行された経緯で、2013 年に環境教育実施指定場所として西湖リゾートが選定された。台湾初の環境教育が実施できるリゾート施設であり、環境教育の場として優れた自然環境を有している。

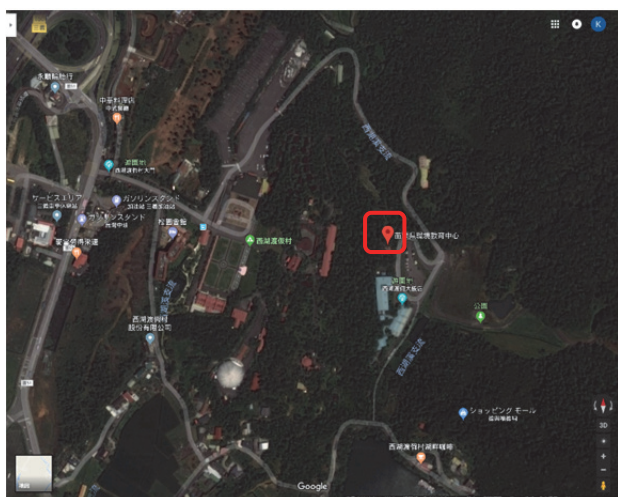


図 10 台湾苗栗県環境教育センター地点の周辺図（画像 ©2018 Google、地図データ©2018 Google）

2.2.2. データベースの整備

3 次元 CO₂ 濃度分布図作成用データベースの項目は、①観測日、②時刻、③CO₂ 濃度 (ppm)、④天気、

⑤風速 (m/s)、⑥風向 (°)、⑦風の東西成分 (m/s)、⑧風の南北成分 (m/s) の 8 項目の特別値であり、分析対象期間は 2015 年 6 月 1 日～2017 年 5 月 31 日の 2 年間である。

①～③については、常時 CO₂ 濃度測定システムで取得される 3 秒間隔のデータから、特別値として整理する。④～⑥のデータについては、気象庁及び中華民国交通部中央氣象局が公開している特別データを用いる。ただし、⑥については 16 方位で取得されている風向データを表 1 に示すように角度に変換して使用する。これは風向・風速データを式 (4.1) と (4.2) を使って⑦東西成分 (x 成分)、⑧南北成分 (y 成分) に分解して面展開を容易にするためである。

表 1 16 方位から角度への変換

16 方位	角度	16 方位	角度
北	0 度	南	180 度
北北東	22.5 度	南南西	202.5 度
北東	45 度	南西	225 度
東北東	67.5 度	西南西	247.5 度
東	90 度	西	270 度
東南東	112.5 度	西北西	292.5 度
東南	135 度	北西	315 度
南南東	157.5 度	北北西	337.5 度

$$\text{風の東西成分} = \text{風速} * \sin(\text{風向}) \quad (1)$$

$$\text{風の南北成分} = \text{風速} * \cos(\text{風向}) \quad (2)$$

2.2.3. Graph-R を用いた 3 次元 CO₂ 濃度分布図の作成と分析

季節による海陸温度の違いや地形の影響等を受けて 10km オーダー程度以上の広がりを持った特定の地域・地方に発生する風のことを局地風という（日本気象学会, 1998）。局地風の中でも、当該地域を代表するような季節別に吹く主たる風向時の風の影響を知ることは地域環境を考える上で重要である。気象庁の地域気象観測網（アメダス）は局地的な気象の監視を目的として約 21 km の平均間隔で風向・風速が観測されており、また台湾の中央気象局でも同等の観測がなされている。

そこで、本研究では、3 次元グラフ作成ソフト Graph-R を用いて 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（以下「3 次元 CO₂ 濃度分布図」という）を、特に 6～8 月の夏季、及び、12 月～2 月の冬季の期間に注目して作成・分析する。

作図用データセットとして、前節で示されたデータベースを用いて、①東西グリッド位置 (X)、②南北グリッド位置 (Y)、③風の発生率 (Z)、④CO₂ 濃度のグリッド平均値をそれぞれ 1681 行分 (41×41) 出力する。ただし、③と④については、当該グリッドに属する風の発生が無い場合は値がないため、当

該行を削除してファイルサイズを小さくする。

3 次元 CO₂ 濃度分布図における CO₂ 濃度はグリッド毎の平均値である。本研究の全ての CO₂ 濃度分布



図 11 CO₂ 濃度の色分け (380ppm~450ppm)

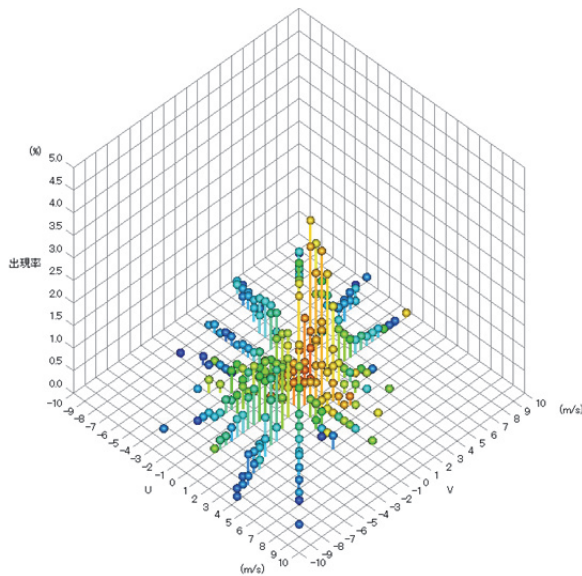


図 12 名産大地点の 3 次元 CO₂ 濃度分布図 (2015.6 ~2017.5 の 2 年間平均)

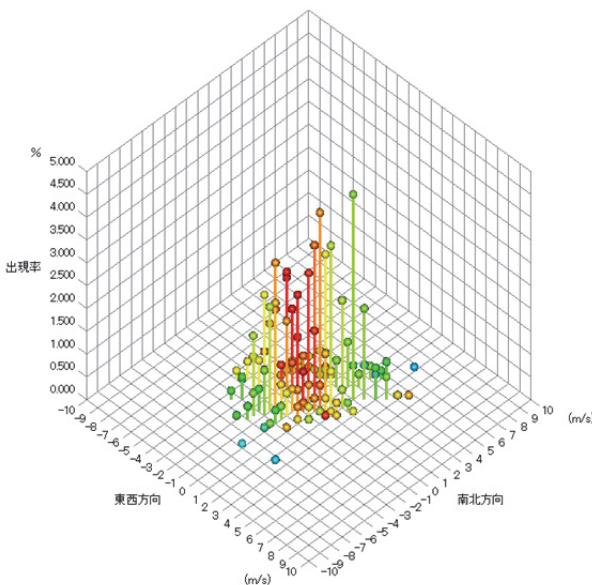


図 13 台湾地点の 3 次元 CO₂ 濃度分布図 (2015.6 ~2017.5 の 2 年間平均)

図で使用される CO₂ 濃度の色分けを図 11 に示す。低濃度 (380ppm) から高濃度 (450ppm) まで 20 階調の色分けとする。

3 次元 CO₂ 濃度分布図の XY 面は、横 41×縦 41 のグリッドで構成され、1 グリッドは 0.5m/s の風速の幅を示している。具体的には、東西成分については、右端のグリッドは 9.75m/s~10.25m/s、中心グリッドは -0.25m/s~0.25m/s、左端のグリッドは -9.75m/s ~-10.25m/s の幅を示す。南北成分についても同様である。例えば、5m/s の北西風の場合は、東西成分は -3.5m/s、南北成分は 3.5m/s であり、左端及び上端からそれぞれ 13 番目にあるグリッド (第 2 象限内) に属するデータとなる。風の発生率は、図中に発生する風向・風速の総数を分母として、グリッド毎に算出される。

図 12 は名産大地点、図 13 は台湾地点の 3 次元 CO₂ 濃度分布図 (2015 年 6 月~2017 年 5 月の 2 年間平均) をそれぞれ示す。図 12 と図 13 は南東方向から見た立体図であり、左の横軸は東西方向で奥が西側、手前が東側、右の横軸は南北方向で、奥が北側、手前が南側を示す。東西南北の中心に近いプロットほど風速は弱い。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いていることを表す。また、縦軸は風向・風速の発生率を示す。

立体図は全容を概観したり、Graph-R 上でグラフを自由に回転させて注目点を見やすくしたりする用途には適しているが、紙面上では平面図がわかりやすい。次章以降の CO₂ 濃度分布図では、任意に回転させた立体図から注目する平面を切り出して示す。

3. 結果と考察

3.1. 主たる風向時の季節別の CO₂ 平均濃度分布

図 14~17 は主たる風向時の季節別の CO₂ 平均濃度分布を示す。ただし、回転する角度によっては東西と南北の軸が重なって軸ラベルの表示が乱れる場合がある点に注意が必要である。

夏季については 2015 年 6 月~8 月及び 2016 年の 6 月~8 月、冬季については 2015 年 12 月~2016 年 2 月及び 2016 年 12 月~2017 年 2 月の 2 年間で CO₂ 濃度の時別平均の対象とする。主風向の風向・風速の発生率をわかりやすくするため、横軸が最も高い発生率の風向に重なるようにして CO₂ 濃度分布図を作成する。

各左図は 3 次元分布において、主風向と重なる方向を横軸、風の発生率を縦軸とした鉛直分布図である。横軸では、中央に近い点線部が主風向の風速成分がゼロであり、その右側が主風向側となるように設定している。各右図は 3 次元分布において、縦軸を南北方向風速成分、横軸を東西方向風速成分として上から見た平面分布図であり、ブロック矢印は主風向を示す。

図 14 と 15 は名産大地点の主たる風向時の夏季と冬季の CO₂ 平均濃度分布図である。名産大地点は台

湾地点より風速が大きいので、大気拡散により CO₂ 濃度が低い傾向がある（青色から水色が多い）。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

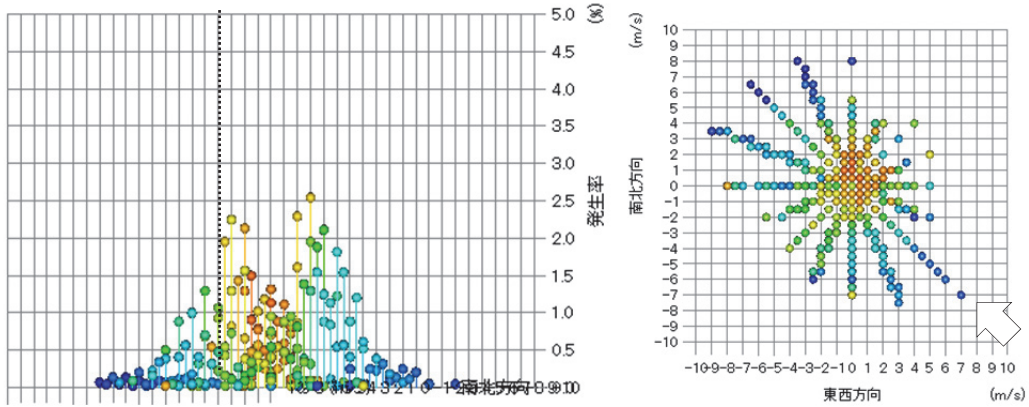


図 14 名産大地点の南西から見た夏季 CO₂ 平均濃度分布（2 年間）

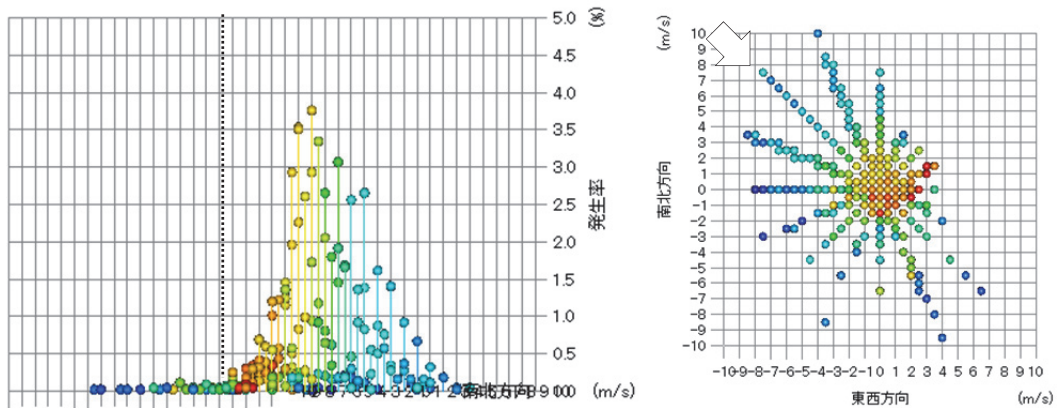


図 15 名産大地点の北東から見た CO₂ 平均濃度分布（2 年間）

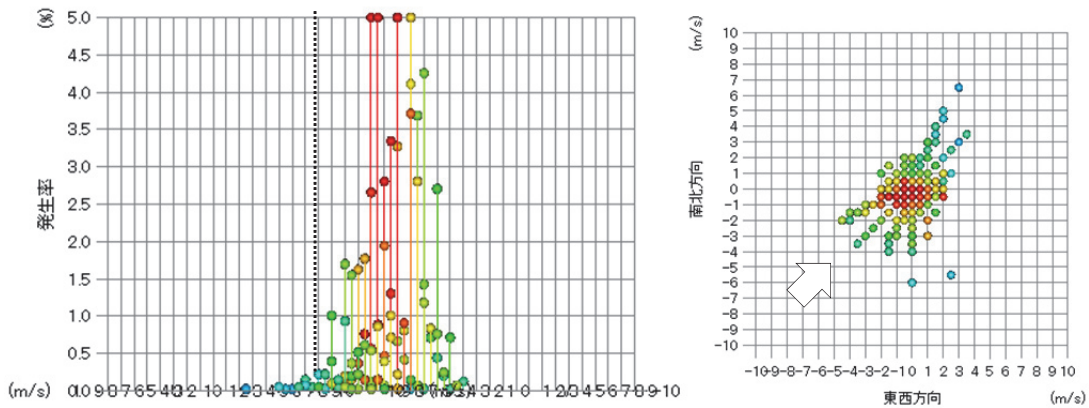


図 16 台湾地点の北西から見た夏季 CO₂ 平均濃度分布（2 年間）

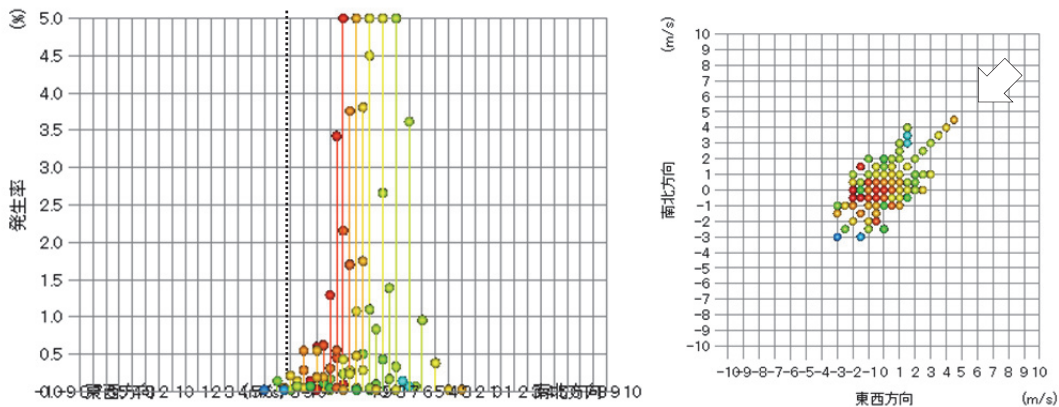


図 17 台湾地点の南東から見た冬季 CO₂ 平均濃度分布 (2年間)

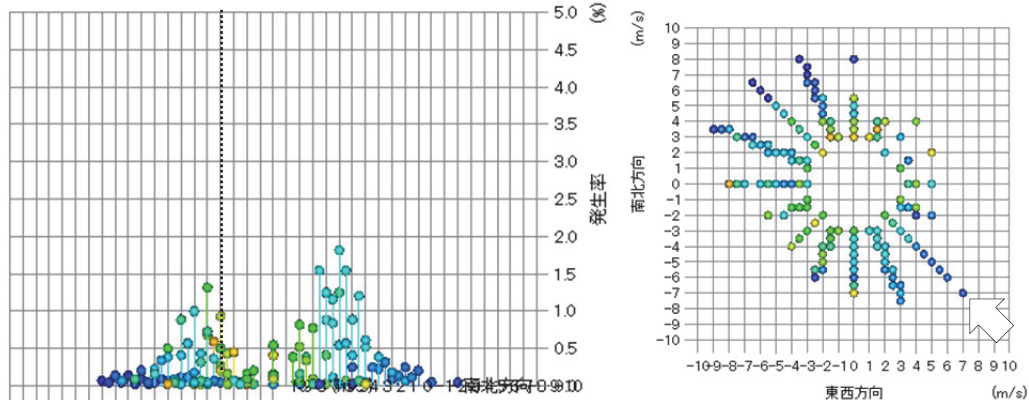


図 18 名産大地点の南西から見た夏季 CO₂ 安定濃度分布 (2年間)

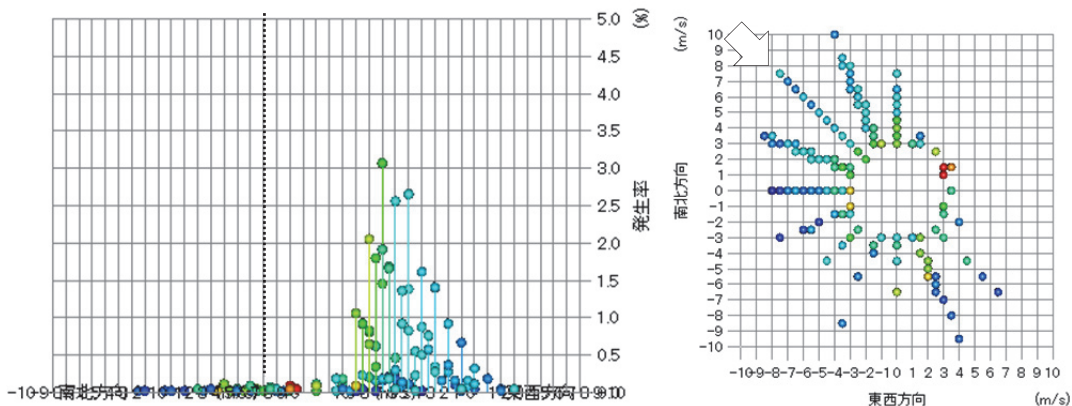


図 19 名産大地点の北東から見た冬季 CO₂ 安定濃度分布 (2年間)

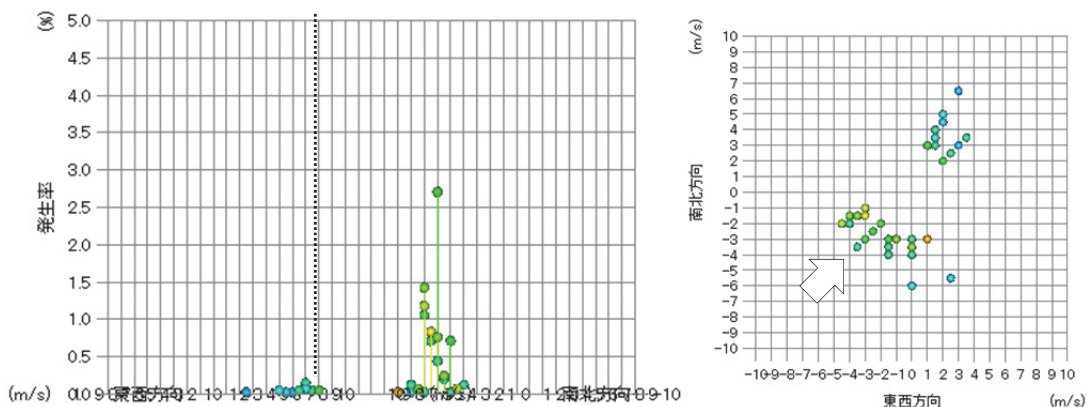
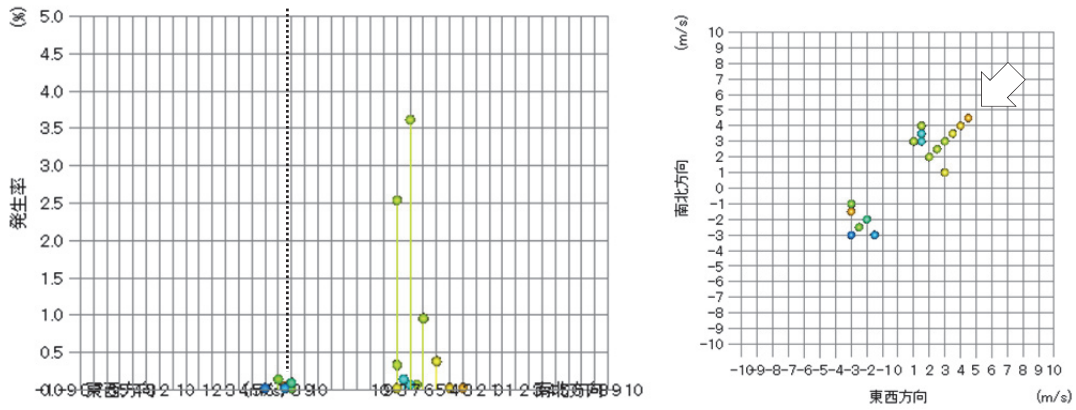


図 20 台湾地点の北西から見た夏季 CO₂ 安定濃度分布 (2年間)

図 21 台湾地点の南東から見た冬季 CO₂ 安定濃度分布 (2 年間)

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。このため、主風向の反対側 (図 14 左図の左半分) の風の発生率は主風向側よりもやや低いものの、主風向の風速成分ゼロの線 (点線) による線対称に近い分布形であり、CO₂ 濃度範囲も同程度 (青色から緑色が多い) である。一方、冬季はシベリア高気圧から吹き出す北西系の強い風が支配的であるため、風の発生率は主風向側 (図 15 左図の右半分) に偏っており、主風向の以外の風の発生率は極めて低い。

図 16 と 17 は台湾地点の主たる風向時の夏季と冬季の平均 CO₂ 濃度分布図である。台湾地点の風速は 3m/s 未満に集中しているため、大気拡散が少なく CO₂ 濃度は高い傾向がある。また、台湾地点は夏に風が強く、冬に風が弱いため、冬季の分布図は夏季より全体的に CO₂ 濃度が高い (黄色からオレンジ色が多い)。なお、夏季には主風向と反対側 (図 16 左図の左半分) に、CO₂ 濃度が低い (青色から緑色が多い) 部分があるが、これは台風等移動性の低気圧により、台湾北東にあるの海洋上の大気が山脈を経由して運ばれた影響と考えられる (気象庁 WEB サイト過去の天気図より)。

3.2. 主たる風向時の CO₂ 安定濃度分布

本節では高木ら (2017a) が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した 3m/s 以上の風速状況における CO₂ 濃度の特別平均値である「CO₂ 安定濃度」の分布を分析する。

図 18～図 21 は主たる風向時の季節別の CO₂ 安定濃度分布を示す。前節の CO₂ 平均濃度分布と同様に、夏季については 2015 年 6 月～8 月及び 2016 年 6 月～8 月、冬季については 2015 年 12 月～2016 年 2 月及び 2016 年 12 月～2017 年 2 月の 2 年間の CO₂ 濃度の特別平均の対象とする。

図 18 と 19 は名産大地点の夏季と冬季の CO₂ 安定濃度分布を示す。名産大地点は台湾地点より風が強いので、拡散により CO₂ 濃度が想定的に低い。3m/s 未満の風速状況における CO₂ 濃度を特別平均から排除した結果、CO₂ 濃度は概ね 408ppm (水色) 以下である。前節でも述べたように、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 CO₂ 濃度が相対的に低い傾向 (青色から水色が多い) が示唆される。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 CO₂ 濃度が相対的に低い傾向 (青色から水色が多い) が示唆される。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 (森ら, 1994)、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 CO₂ 濃度が相対的に高い傾向 (緑色から黄色が多い) が示唆される。北東系の風は中部山岳が連なっているため吹きにくく、夜間に山風や陸風として弱い風が吹く程度で発生率は低い。

一方、冬季はシベリア高気圧から吹き出す北西系の強い風が支配的であるため、風の発生率は主風向側 (図 19 左図の右半分) に偏っていて、CO₂ 濃度範囲は夏季の主風向と同程度 (青色から緑色が多い) で日本海起源の大気の影響が示唆される。また、主風向以外の風の発生率は極めて低い。

図 20 と 21 は台湾地点の夏季と冬季の CO₂ 安定濃度分布を示す。3m/s 未満の風速状況における CO₂ 濃度を特別平均から排除した結果、CO₂ 濃度は概ね 425.5ppm (黄色) 以下である。夏季は相対的に風が強いので、冬季よりも 3m/s 以上の風の発生が多い。夏季と冬季共に、風向・風速の発生率が 0.2 以上となるのは主風向のみである。

3.3. CO₂ 基準濃度分布

高木ら (2017b) は、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を、地域の成分が反映された CO₂ 濃度を評価する尺度、すなわち「CO₂ 基準濃度」と定義した。一般に 13 時から 16 時の時間帯は上空 1km 程度まで混合層が発達

するため、地表面から上空まで高く拡散されることで CO₂ 濃度が最小値を示す傾向がある。本研究では 13 時から 16 時までの CO₂ 安定濃度のうち、主風向（風向の発生率が高い上位 3 風向）のみを特別平均の対象としたものを「CO₂ 基準濃度」として扱って分析を行う（図 22～図 25）。前節と同様に、夏季については 2015 年 6 月～8 月及び 2016 年 6 月～8 月、冬季については 2015 年 12 月～2016 年 2 月及び 2016 年 12 月～2017 年 2 月の 2 年間で CO₂ 濃度の特別平均の対象とする。

図 22 と 23 は名産大地点の夏季と冬季の CO₂ 基準濃度分布図である。夏季と冬季ともに、CO₂ 濃度範囲は概ね 395ppm から 415ppm（青色から黄緑色）で

ある。前節でも示したように夏季は高気圧に覆われ弱風が多く、主風向以外の様々な風向の局地風が発達するため、風の発生率は 3.1%、風速は 5m/s 程度が最大値である。弱風ほど発生率が高い、直角三角形の様な分布形である。

冬季はシベリア大陸に強い高気圧が常時位置し北西の季節風が卓越する傾向があることから、風の発生率は 5%と夏季よりも高く、風速は 8m/s 程度が最大値である。5m/s 程度の発生率をピークとした重心が左側の鋭角三角形の様な分布形である。

図 23 と 24 は台湾地点の夏季と冬季の CO₂ 基準濃度分布図である。CO₂ 基準濃度分布図では、CO₂ 濃度範囲は概ね 410ppm から 420ppm（緑色から黄緑

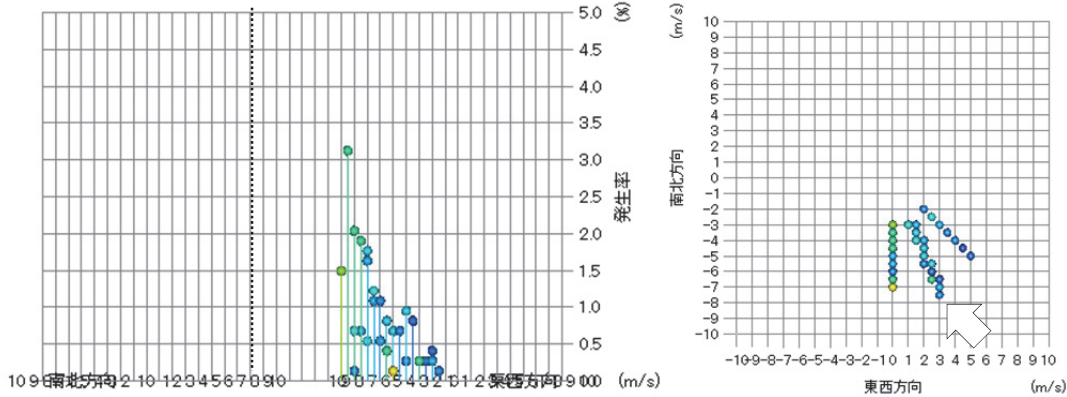


図 22 名産大地点の南西から見た 13 時から 16 時までの夏季 CO₂ 基準濃度分布（2 年間）

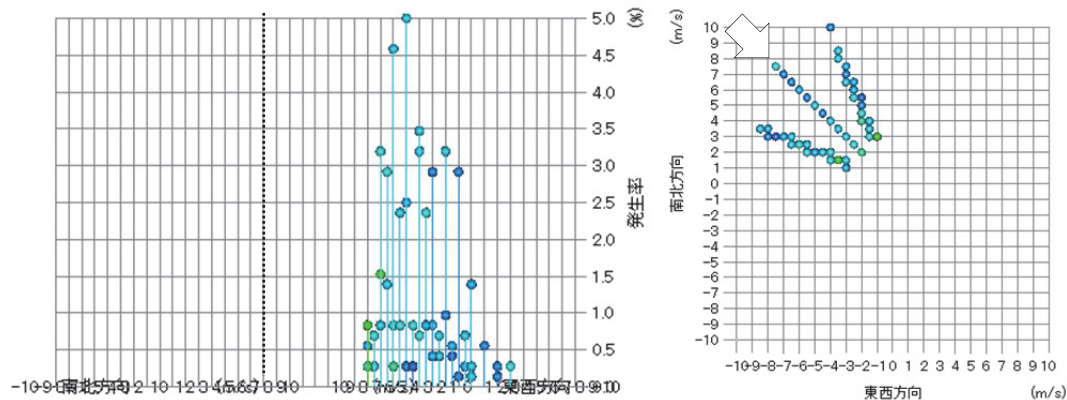


図 23 名産大地点の北東から見た 13 時から 16 時までの冬季 CO₂ 基準濃度分布（2 年間）

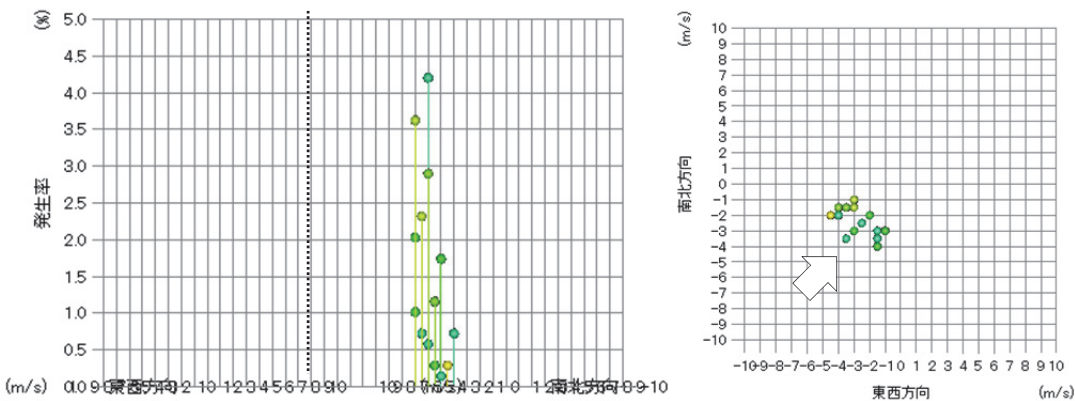


図 24 台湾地点の北西から見た 13 時から 16 時までの夏季 CO₂ 基準濃度分布（2 年間）

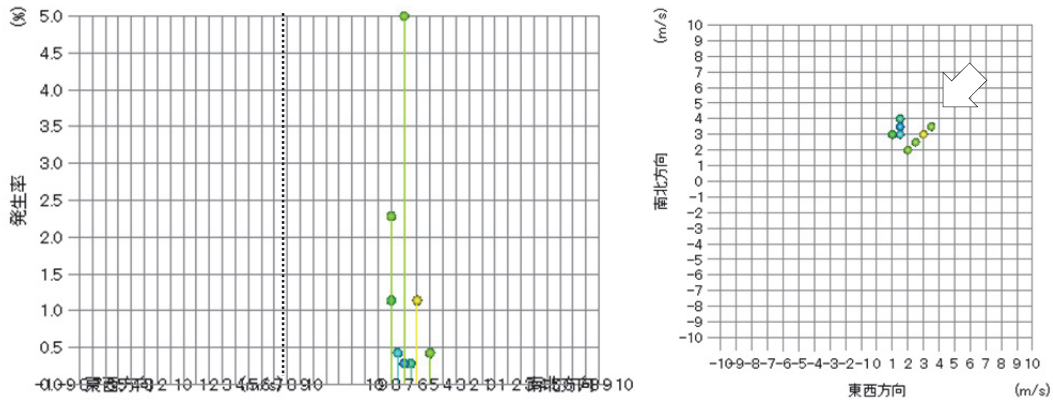


図 25 台湾地点の南東から見た 13 時から 16 時までの冬季 CO₂ 基準濃度分布 (2 年間) (色)、風速範囲は 3m/s から 5m/s 程度で風の発生率 4.3% をピークとした裾が広がらない短辺が底辺の直角三角形の様な分布形である。冬季の分布は夏季の分布と類似しているが、台湾地点では夏季よりも冬季に風が弱いことから、風の発生率が 0.5% から 5% の範囲の分布は相対的にまばらである。

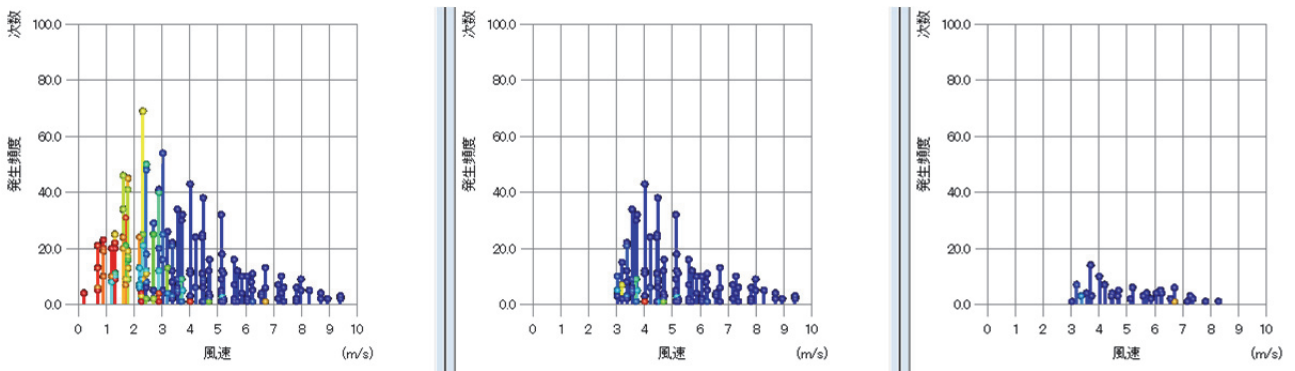


図 26 名産大地点の夏季の 2 次元縮約 CO₂ 濃度分布図 (1 年目) (左: 平均、中: 安定、右基準)

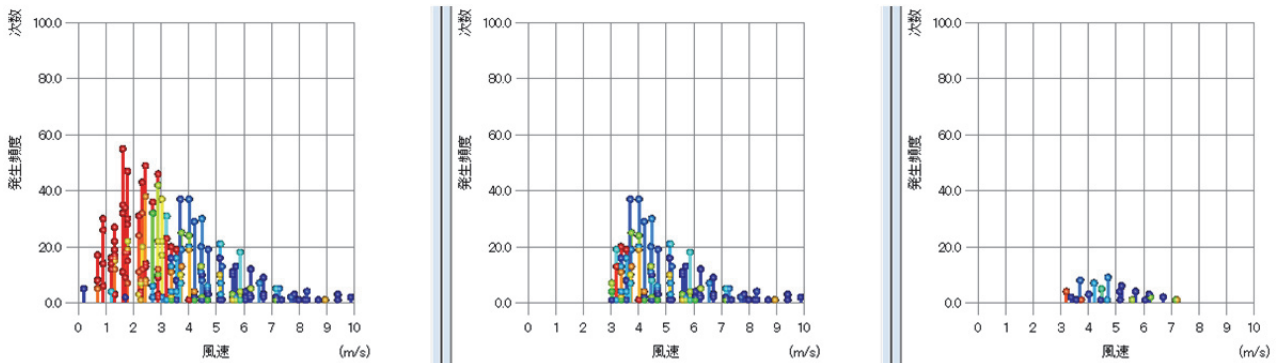


図 27 名産大地点の夏季の 2 次元に縮約した CO₂ 濃度分布図 (1 年目) (左: 平均、中: 安定、右基準)

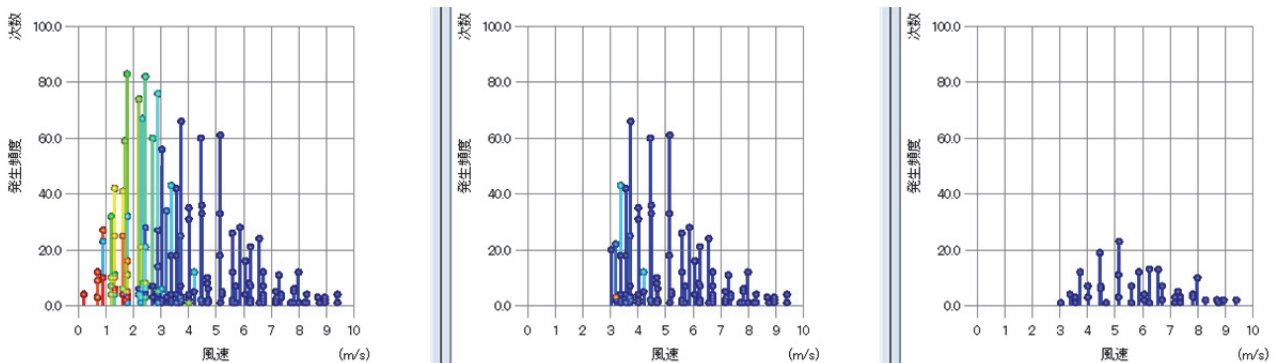


図 28 名産大地点の冬季の 2 次元に縮約した CO₂ 濃度分布図 (2 年目) (左: 平均、中: 安定、右基準)

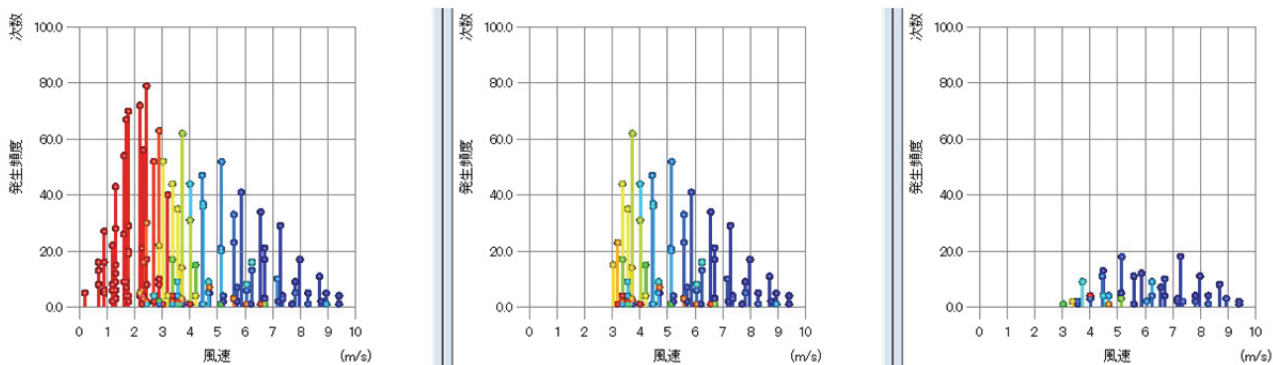


図 29 名産大地点の冬季の 2 次元に縮約した CO₂ 濃度分布図 (2 年目) (左 : 平均、中 : 安定、右基準)

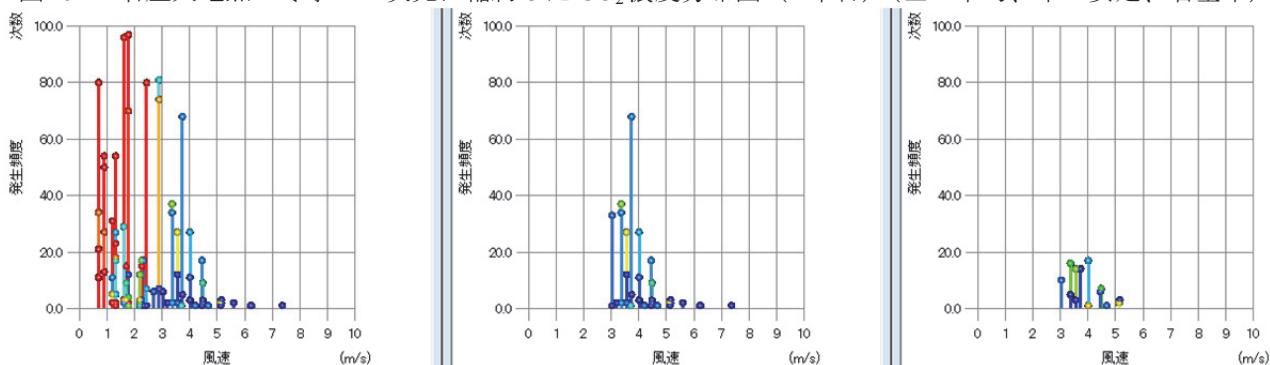


図 30 台湾地点の夏季の 2 次元に縮約した CO₂ 濃度分布図 (1 年目) (左 : 平均、中 : 安定、右基準)

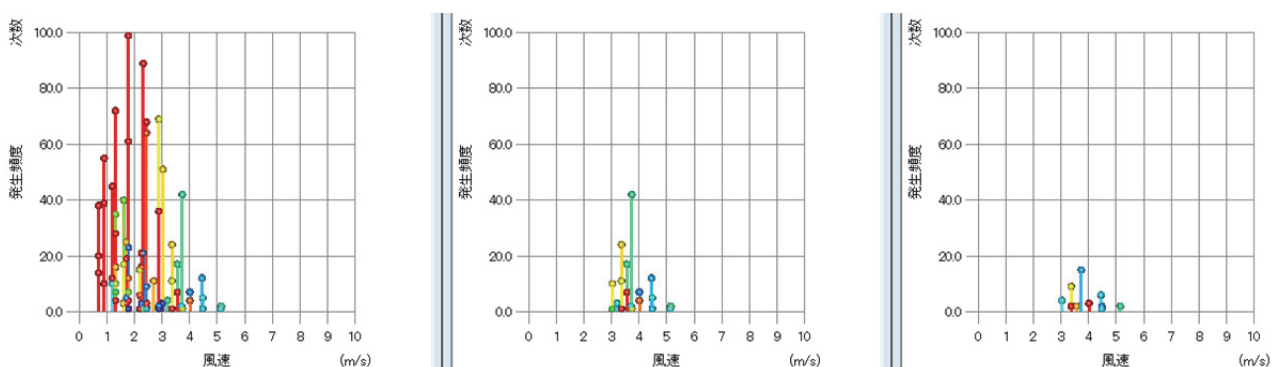


図 31 台湾地点の夏季の 2 次元に縮約した CO₂ 濃度分布図 (1 年目) (左 : 平均、中 : 安定、右基準)

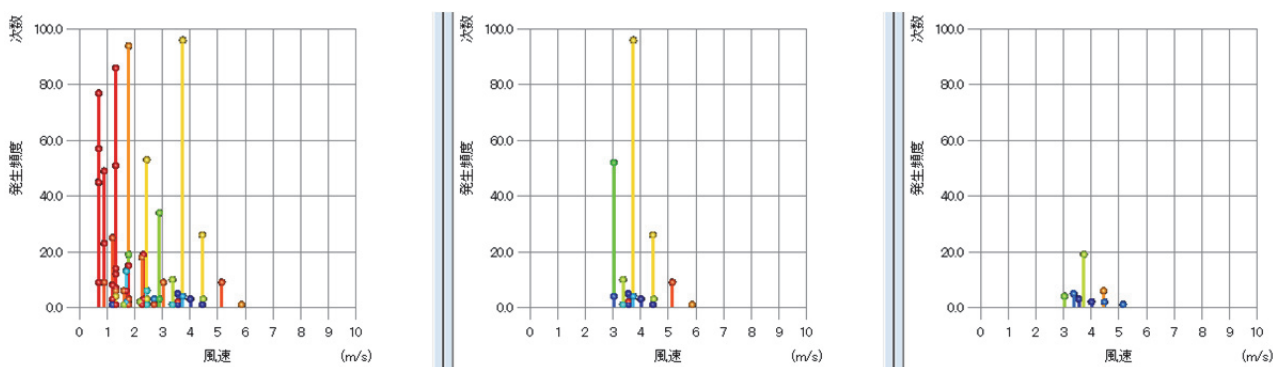


図 32 台湾地点の冬季の 2 次元に縮約した CO₂ 濃度分布図 (2 年目) (左 : 平均、中 : 安定、右基準)

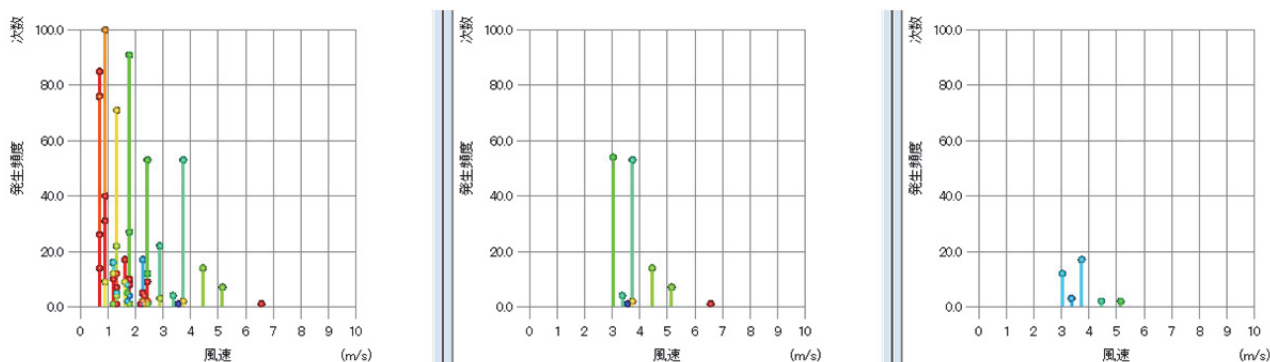


図 33 台湾地点の冬季の 2 次元に縮約した CO₂ 濃度分布図 (2 年目) (左: 平均、中: 安定、右基準)

3.4. 3 次元 CO₂ 濃度分布図の縮約表現

3 次元 CO₂ 濃度分布図では、360 度に広がる風向、風速の強弱、風の発生率を同時に可視化し、様々な角度から見ることで、複雑な分布の中の特徴的な部分を直感的に把握することができる。一方、情報が多すぎるため分布図の全体的な特徴を端的に抽出することが難しい。そこで本節では、3 次元の CO₂ 平均濃度分布図と CO₂ 安定濃度分布図については 16 風向を 1 面に、3 次元の CO₂ 基準濃度分布図については主風向 3 風向を 1 面に、それぞれ重ね合わせて 2 次元表現に縮約することで、3 次元 CO₂ 濃度分布図の全体的な特徴を端的に抽出することを試みる。先述したように、CO₂ 安定濃度とは、3m/s 以上の風速状況における CO₂ 濃度の特別平均値のことで、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 CO₂ 濃度のことである (高木ら, 2017a)。また CO₂ 基準濃度とは、主風向のみを特別平均の対象とした CO₂ 安定濃度の中の日最小値のことで、地域環境評価の基礎と想定される CO₂ 濃度である (高木ら, 2017b)。一般に 13 時から 16 時の時間帯は上空 1km 程度まで混合層が発達するため、地表から上空まで高く拡散されることで CO₂ 濃度が日最小値を示す傾向がある。本研究では 13 時から 16 時までの CO₂ 安定濃度のうち、主風向 (風向の発生率が高い上位 3 風向) のみを特別平均の対象としたものを CO₂ 基準濃度として扱う。

図 26~33 (左から CO₂ 平均濃度、CO₂ 安定濃度、CO₂ 基準濃度) は 1 年目及び 2 年目の季節ごとの 2 次元に縮約した CO₂ 濃度分布図である。24 時間を CO₂ 濃度の特別平均の対象とする CO₂ 平均濃度及び CO₂ 安定濃度と、13 時から 16 時までを CO₂ 濃度の特別平均の対象とする CO₂ 基準濃度を比較しやすくするため、発生率を発生頻度に変更した点も 3 次元 CO₂ 濃度分布図と異なる。

名産大地点では、色豊かな CO₂ 分布図となる。名産大地点の 3m/s 以上時の CO₂ 濃度は低く、CO₂ 安定濃度分布図と CO₂ 基準濃度分布図は紺色が主体的である。また、冬季は風が強いので、CO₂ 安定濃度分布図は長くて細い三角形になっている。CO₂ 安定濃度分布より 13 時~16 時の時間帯の主たる風向 (名産大地点は北、北北東、北東) の条件で抽出された

CO₂ 基準濃度分布は、極めて安定した分布状況になっており、地域のベースとなる CO₂ 濃度分布状況を示していると考えられる。

台湾地点では、夏季は風が強く、拡散により CO₂ 濃度が低い。また、高い CO₂ 濃度は 3m/s 以下に集中している。2 年目の夏季の風向・風速の発生頻度は 1 年目の夏季より低く、CO₂ 濃度は高い。冬季はさらに風が弱く、全体的に夏季より CO₂ 濃度が高い。

名産大地点と台湾地点の共通的な傾向としては、①風の発生頻度の高低には季節差はあるものの夏季も冬季もそれぞれ似たような分布形を示す、②CO₂ 濃度の高低には 1 年目と 2 年目で違いがあるが、風の分布形の再現性は高く、また弱風から強風に向けての CO₂ 濃度の変化幅は概ね同じ、等があった。

名産大地点と台湾地点の地域的差異としては、①名産大地点は風通しが良く拡散しやすいため、CO₂ 濃度は相対的に低い、②名産大地点の CO₂ 平均濃度と CO₂ 安定濃度分布図は風速 3m/s 前後をピークに風速が大きい方に裾が広がる三角形となり、CO₂ 基準濃度分布図は暗い紺色となっている、③台湾地点の地形は山に囲まれた谷間であり、風通しがわるく弱風が集中し CO₂ が滞留しやすいため、CO₂ 濃度は相対的に高い、④台湾地点の CO₂ 平均濃度分布図と CO₂ 安定濃度分布図は弱風部を上底とした台形を表し、CO₂ 基準濃度分布図は明るい緑色、青色となっている、等があった。

年毎に CO₂ 濃度のレベルが少し違うが、2 次元に縮約した CO₂ 濃度分布図は似たような形になる。CO₂ 平均濃度分布図から 3m/s 未満の CO₂ 濃度データを取り除いたものが CO₂ 安定濃度分布図であり、安定した CO₂ 濃度分布形が得られた。そして CO₂ 安定濃度分布図から主風向 (台湾地点は南、南東南、東南) かつ 13 時から 16 時の時間帯の CO₂ 濃度を抜き出したものが CO₂ 基準濃度分布図であり、さらに安定した CO₂ 濃度分布形が得られた。季節別の分布形は、1 年目と 2 年目共に、ほぼ相似形となることから色と形で地域の変化が把握できると考えられ、CO₂ 分布評価図になり得ると言える。

4. まとめ

2 次元に縮約した CO₂ 濃度分布図で平均濃度・安

定濃度・基準濃度を比較すると、季節別の CO₂ 分布状況は 2 年連続で繰り返して表れており、再現性が高い。今後、経年変化を蓄積していくことで、地域環境評価図になり得ることが示唆された。

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)「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」(代表：伊藤雅一，研究課題番号 17K01051) の一環として行ったものである。

参考文献

- 伊藤雅一・岡村聖 (2009) 『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』リバネス出版 164pp.
- 桑原祐史・山田貴弘・今井友桂子・神澤雅典 (2014) 茨城県を対象とした生活環境圏における CO₂ 濃度観測データの補正方法と地域性の検討. 応用測量論文集, Vol.25, 15~23.
- 高木祥太・伊藤雅一・岡村聖 (2017a) 生活環境圏における CO₂ 濃度の変化パターン～環境情報としてのデータ解釈の可能性に着目して, 環境情報科学. 46 (2), 62~70.
- 高木祥太・伊藤雅一・岡村聖 (2017b) 生活環境圏における CO₂ 濃度の分布パターン～地域環境評価の基礎となる CO₂ 濃度の動態に着目して, 環境情報科学学術研究論文集. 31, 311~316.
- 日本気象学会 (1998) 『気象科学辞典』 東京書籍 637pp.
- 森博明・小川博・北田敏廣 (1994) 濃尾平野における海陸風の特徴と広域海風の出現条件, 天気. 41, 379~385.