

I-30 茨城県日立市を対象とした CO₂ 濃度計測システムの応用利用による季節変動分析Seasonal Variation Analysis of CO₂ Density using CO₂ density measurement system in Hitachi-City, Ibaraki Pref.桑原祐史¹・宮部紀之²・斎藤修³・小柳武和⁴・安原一哉⁵

Yuji KUWAHARA, Noriyuki MIYABE, Osamu SAITO, Takekazu KOYANAGI and Kazuya YASUHARA

抄録：著者らは、既往の研究において、人間生活の影響を比較的強く受ける生活環境圏を対象とした CO₂ 濃度計測システムを構築、茨城県内3市の時間、週間、月および季節毎の濃度値変動を分析してきた。しかし、濃度値は風向・風速の影響を受けるため、データ解釈を深めるためには、相互の関係を分析しておくことが重要となる。本研究では、日立観測ステーション(茨城大学工学部設置)の計測データを対象として、2008年-2009年前半に観測された CO₂ 濃度と風向・風速との関係を分析することにより、次の2つの結果を得た。1)風向、風速および CO₂ 濃度、3つの計測データを2次元プロット図に描画する工夫をし、月毎に見受けられる日立市の特性を整理した、2)風向に着目すると、土地利用の影響と推察される濃度値の高低が確認され、特に、風速が大きい場合には遠方に分布する土地利用の影響を観測できる事が確認された。

Abstract: The present paper proposes a measurement system of CO₂ density using the newly developed wireless sensing tag. An attempt was made to carry out the continuous measurement in 2008 in Hitachi-city, Koga-City, and Moriya-City of Ibaraki Prefecture. However, analysis of the correlation becomes particularly important since the wind direction and velocity may influence on the measured density value. Therefore, we analyzed the relationship between wind direction, velocity and CO₂ density determined using measurement data observed in 2008 and 2009. The results obtained from this analysis were as follows: (1) We proposed the method of expressing wind direction, velocity and CO₂ density in the 2-dimensional chart. (2) It was confirmed that the land use of each wind direction appeared on the 2-dimensional figure. Especially, it was confirmed to receive the influence of the land use distributed far away when the wind velocity was strong.

キーワード：CO₂ 濃度、生活環境圏、定点観測、風向・風速、CO₂ 濃度計測システム

Keywords : CO₂-density, living environment sphere, fixed-point observation, wind direction and velocity, CO₂ density measurement system

1. はじめに

近年、地球温暖化に起因すると考えられる現象が異常気象、氷山の後退・海面上昇といった顕著なものとして現れてきており、その対策が急務となっている。原因物質と考えられている温室効果ガスとして、CO₂ はメタンとともに注目されており、近年、グローバル規模での CO₂ 濃度観測体制が整えられつつある。中でもハワイのマウナロア観測所での観測は歴史が長く、全球を代表するデータとして広く利用されているとともに¹⁾、2009年には GOSAT 衛星(愛称「いぶき」)が打ち上げられ、CO₂ やメタンの分布、排出と吸収といった収支の地域性について観測が進んでいる現状にある²⁾。

しかし、グローバルスケールでの地上観測に焦点を当

てると、その観測は、地域における人為的な影響を極力排除し、平均的な濃度の傾向を捕らえることを目的としていることから、生活環境圏から離れた離島や山中で計測が行われるケースが多い。このため、人間生活によって時々刻々と局所的に変化することが報告されている CO₂ 濃度の変化を把握するためには生活環境圏における観測システムが重要となり³⁾⁻⁶⁾、現在までの研究において著者らは観測システムの構築を進め、茨城県内3市の時間、週間、月および季節毎の濃度値変動を分析してきた⁷⁾⁻¹⁰⁾。しかし、濃度値は風向・風速の影響を受けるため、データ解釈を更に深めてゆくためには、計測された CO₂ 濃度と風向・風速との関係を分析しておくことが重要と考えた。

そこで、本研究では、気象・土地利用の詳細など、グラントウールの情報が得やすい日立観測ステーション(茨

1 : 正会員 博士(工学) 茨城大学 准教授 広域水圏環境科学教育研究センター

(〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1, Tel :0294-38-5261, E-mail :kuwahara@mx.ibaraki.ac.jp)

2 : 正会員 修士(工学) (株)NTT データ CCS (〒136-8503 東京都江東区亀戸 6-41-10)

3 : 正会員 博士(工学) 株式会社 福山コンサルタント (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東 3-6-18)

4 : 正会員 工学博士 茨城大学 教授 工学部 都市システム工学科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

5 : フェロー会員 工学博士 茨城大学 名誉教授 茨城大学地球変動適応科学研究機関(ICAS)産官学連携研究員

(〒310-8512 水戸市文京 2-1-1)

城大学工学部設置)の計測データを対象として、2008年-2009年前半に観測されたCO₂濃度と風向・風速との関係を分析し、得られた傾向を把握するとともに、CO₂濃度計測システムのデータ解釈面で留意すべき点を整理することを目的とした。

2. 研究の着目点

(1) 既存のCO₂濃度計測システムと風向・風速計

CO₂濃度の測定は株式会社ユー・ドム製「CO₂ デテクタシリーズ」の設置型測定器(型式:C2D-E01)を使用した¹¹⁾。測定器は表-1に示す感度を有する赤外線センサを用いている。また、測定器は気温・湿度・大気圧を計測するセンサも有している。また、都市スケールの大気観測では、微小なCO₂排出源の分布や風向条件によって測定値が左右されるため、ローカールスケールの風の影響を考慮することが重要である¹²⁾。このため、本研究では有限会社ダイワシステム製ワイヤレス(無線)風向・風速データ管理システム Model「WPWS-2210-15」をCO₂測定器に併設し、データの同時計測を行った。風向・風速計は表-2に示す性能を有する。風速は1/10(m/s)、風向は5(°)単位まで計測され、5分毎にデータがPCに蓄積される¹³⁾。研究で使用したデータは、CO₂濃度測定器を図-1に示す吸気が可能な百葉箱に格納し、そのほぼ直上に風向・風速計を設置したシステムで取得した。システムは茨城県日立市に所在する茨城大学日立キャンパスS3棟屋上に設置した。設置場所は、全方位の風が受けやすく、周辺のビルや道路からのCO₂排出の直接的な影響を受けにくい点等を考慮して選定している⁹⁾。

(2) 確認された濃度分布の地域性と課題

既存の研究における計測データの分析を通して生活環境圏におけるCO₂濃度分布の地域性に関して確認された知見は下記の5点である。

1) ひたちなか市内での計測によると、濃度値は地形効果の影響を受ける(低標高地点で高く、近傍高標高地点で低い)傾向がある⁷⁾。

2) 日立観測ステーションでの計測によると、ウィークデーより週末の濃度値が低い傾向にある⁹⁾。

3) 日立観測ステーションでの計測によると、夜明け前および日没後にCO₂濃度が高く、日中に低い傾向がある。これは光合成の影響があると考えられる⁹⁾。

4) 日立観測ステーションでの計測によると、全球平均の濃度変動は春-夏期に低く、秋-冬期に高い、という季節変動の傾向が明確には現れない⁹⁾。

5) 日立市内での計測によると、1級国道沿線に点在するポケットパーク近傍でCO₂濃度が下がる傾向がある⁹⁾。

CO₂濃度の地域性について上記の知見を得ることができたが、特に、4)および5)については季節や時間で変化する地域レベルでの風の影響を考慮することにより、土地利用および緑地の影響や効果をより深く考察できるものと考えられる。なお、既存研究では、風速が低い場合には、風で運ばれるCO₂の量が減少し、市街地と推察される領域から排出されるガスの影響がデータに現れるとの報告がある¹⁴⁾。また、計測された濃度値を風向毎に円グラフに整理

表-1 CO₂濃度測定器の各種センサの概要⁹⁾

| 測定項目 | 範囲 | 備考 |
|---------|----------------|---------------------|
| 二酸化炭素濃度 | 0~9,999ppm(※1) | 測定精度: ±30ppm ±読み値5% |
| 気温 | -40~+120°C | 測定器内の通過大気温度 |
| 湿度 | 0~99%RH | 測定器内の通過大気湿度 |
| 大気圧 | 800~1,100hPa | 外気圧(オプション) |

(※1)但し、5,000~9,999ppmは拡張測定範囲となり、表記精度外となる

表-2 風向・風速計の概要⁹⁾

| | |
|----------|--|
| 測定範囲 | 風向:16方位(22.5°) 風速:0~60m/s |
| 分解度 | 風向:数値5° 図形22.5° 風速:0.1m/s |
| 対応OS | Win NT(66MHzで32Mb以上) Win 95・98・2000・Me・Xpの場合は16Mb以上 |
| プリンター | Win環境で動作 |
| インターフェース | |
| 記憶容量 | 32Kb |
| 通信速度 | 9600Ps(データ吸上げ時) |
| インターフェース | シリアル通信(RS232C) |
| 送・受信距離 | 約40m(無障害) |
| 無線方式 | 微弱電波 |
| 電源 | 風向・風速発信器(太陽電池) インターフェース(アルカリ電池 単3×2) |



図-1 CO₂濃度測定システムの外観(日立ステーション)⁹⁾

すると、計測地点を取り巻く都市の影響が推察されるとの報告がある¹⁵⁾。このため、本研究ではこれらの知見を参考とし、分析の第1段階として、風向、風速およびCO₂濃度の3つの計測データの関係を図化する工夫をするとともに、地形および土地利用データを解釈の援用情報とし、風向・風速とCO₂濃度の関係を組み合わせて考察することとした。

日立観測ステーションでは、風向・風速およびCO₂濃度の測定は、定点設置の機器で行っている。このことから、風向、風速とCO₂濃度の高低が示す傾向が把握できれば、定点観測ではあるものの、1) 360°方位の濃度値変動を把握することができる、2) 風速に基づき計測データをサンプリングすることにより、濃度値の高低が示す要素をある程度の範囲で区分できる可能性がある、といった効果が想定される。

3. CO₂濃度値の加工・編集

(1) 風向・風速データの2次元表現の方法

風向風速データは、月別の傾向を分析することを考慮して1時間平均を扱うこととした。時間平均を求め際には計測値の平均化が必要となるが、風向は360

進法で取得されるため、観測値をそのまま平均することは不可能である。そこで、風向を x 成分・y 成分に分解し、ベクトル平均を用いることにした。まず、1 時間毎に平均化された風向および風速データを、極座標系における偏角および動径と捉え、データの座標とし、風向風速分布のモデルを作成することを検討した。具体的に、風向データは図-2 に示す様に、北を 0° とし、右回りに角度が与えられている。これを三角関数の計算を行いやすい角度表記、即ち東を 0° とし、左回りに角度を計算する表記に変換する必要がある。この変換は、風向風速計の風向を θ 、変換後の風向を θ' とすると式-(1) によって行うことが可能であり、これによって風向データを極座標によって表記することが可能となる。

$$\theta' = -\theta + 90^\circ \quad \dots \text{式(1)}$$

しかし、極座標のままでは平均化が行えないため、次にデータを図-3 のように x 成分、y 成分に分解して 1 時間毎の平均風を計算した。次に、平均化したデータを CO₂ 濃度測定器のデータと観測時刻を合わせて結合させた。最終的に、月毎のデータを図-4 に示すデータ表に整理した。

(2) 2次元プロット図への展開

図-4 に整理したデータを、X 成分、Y 成分をそれぞれ風向風速座標の x 成分、y 成分に割り当て、図-5 に示す形で GIS エンジン上に表示した。投影された図は、原点を中心に、偏角によって風向を示し、動径によって風速を示した。また、プロットした色表現により CO₂ 濃度値の違いを表現した。この図で全体傾向を確認した後に、試行検討を通して 1メッシュ 0.5(m/s) のグリッドを発生させ、そこに含まれる CO₂ 濃度値の平均を求めた。以上の手法によって 2008 年-2009 年の各月における風向・風速と CO₂ 濃度値との関係をまとめたものを図-6(2008 年)および図-7(2009 年)に示す。但し、CO₂ 濃度測定器および風向・風速計のいずれかに、動作不良・データ不備・欠落があった 2008 年 7 月-2008 年 9 月に関しては結果の解釈に問題があるために、本研究のケースから除外した。

(3) 月毎の 2次元プロット図から読み取れる傾向

考察は、2008 年の夏季を除くデータ(7 月-9 月)および 2009 年冬季から春季のデータを対象とした。以降の考察は、この範囲で得られた知見として理解頂きたい。

1) 各月の風向・風速が示す傾向

北東～南東方向の風に関しては、全ての年・月のデータが比較的類似した分布を示している。しかし、北西～南西方向の風は、11 月～1 月等、冬季に卓越しており、風速が大きい傾向がある。これは、日立天気相談所(日立市役所観測点)が公開している 2008 年および 2009 年の風向・風速データが示す傾向と一致している¹⁶⁾。

2) 各月の CO₂ 濃度の方位毎の特徴

方位 0° ～90° (北→東) では、風速によらず CO₂ 濃度

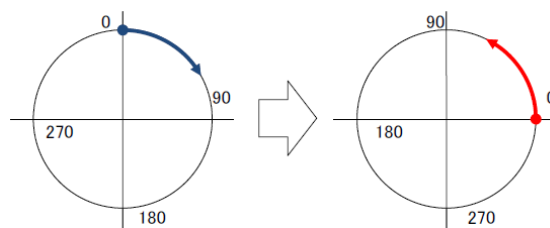
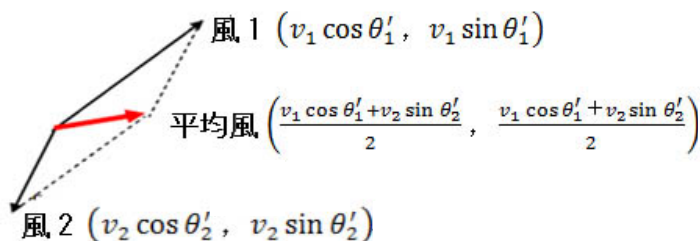


図-2 角度表記変換の概念



注) θ'_1, θ'_2 : 風1および風2の風向(極座標表現)
 v_1, v_2 : 風1および風2の風速

図-3 ベクトル平均によるデータの平均化

| 時刻 | 風速 | 風向x | 風向y | 濃度 |
|----|------|-------|-------|------|
| 0 | 1.95 | -1.92 | 0.28 | 3538 |
| 1 | 2.92 | -2.78 | 0.59 | 3540 |
| 2 | 3.30 | -3.25 | 0.46 | 3516 |
| 3 | 3.35 | -3.28 | 0.59 | 3521 |
| 4 | 2.64 | -2.89 | 0.49 | 3535 |
| 5 | 3.62 | -3.62 | 0.74 | 3536 |
| 6 | 2.95 | -2.79 | 0.71 | 3539 |
| 7 | 3.10 | -2.92 | 0.96 | 3530 |
| 8 | 3.23 | -3.13 | 0.45 | 3474 |
| 9 | 4.26 | -4.14 | 0.61 | 3445 |
| 10 | 4.66 | -4.59 | 0.42 | 3431 |
| 11 | 3.29 | -3.21 | -0.12 | 3421 |
| 12 | 3.49 | -3.12 | 0.60 | 3400 |
| 13 | 2.18 | -2.07 | 0.20 | 3394 |
| 14 | 0.20 | 0.19 | 0.22 | 3400 |
| 15 | 3.42 | -2.79 | 2.02 | 3477 |
| 16 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 3415 |
| 17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3510 |
| 18 | 0.25 | -0.24 | 0.00 | 3556 |
| 19 | 4.25 | -2.10 | 2.76 | 3460 |
| 20 | 3.42 | -2.79 | 2.02 | 3477 |
| 21 | 3.04 | -2.92 | 2.21 | 3480 |
| 22 | 2.19 | -1.86 | 1.11 | 3492 |
| 23 | 0.15 | -0.14 | 0.04 | 3546 |
| 24 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 3526 |
| 25 | 0.01 | -0.01 | 0.00 | 3519 |
| 26 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3510 |
| 27 | 0.02 | -0.02 | -0.01 | 3598 |
| 28 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 3569 |
| 29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3524 |
| 30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3526 |
| 31 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3526 |
| 32 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3526 |
| 33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3534 |
| 34 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3535 |
| 35 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3504 |

図-4 整理されたデータ表の一例

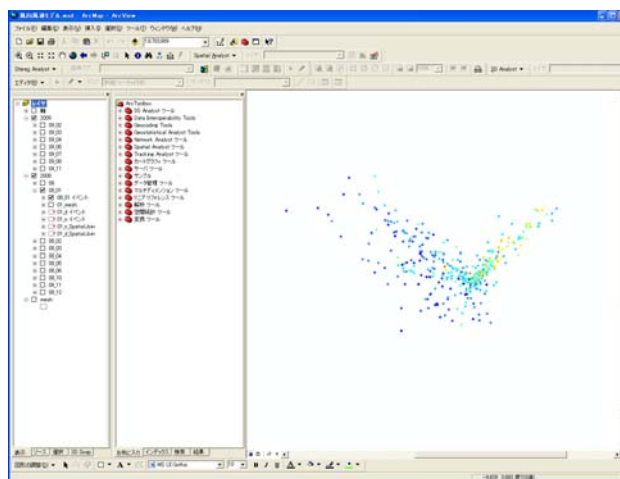


図-5 GIS エンジン上にプロットした計測データ群

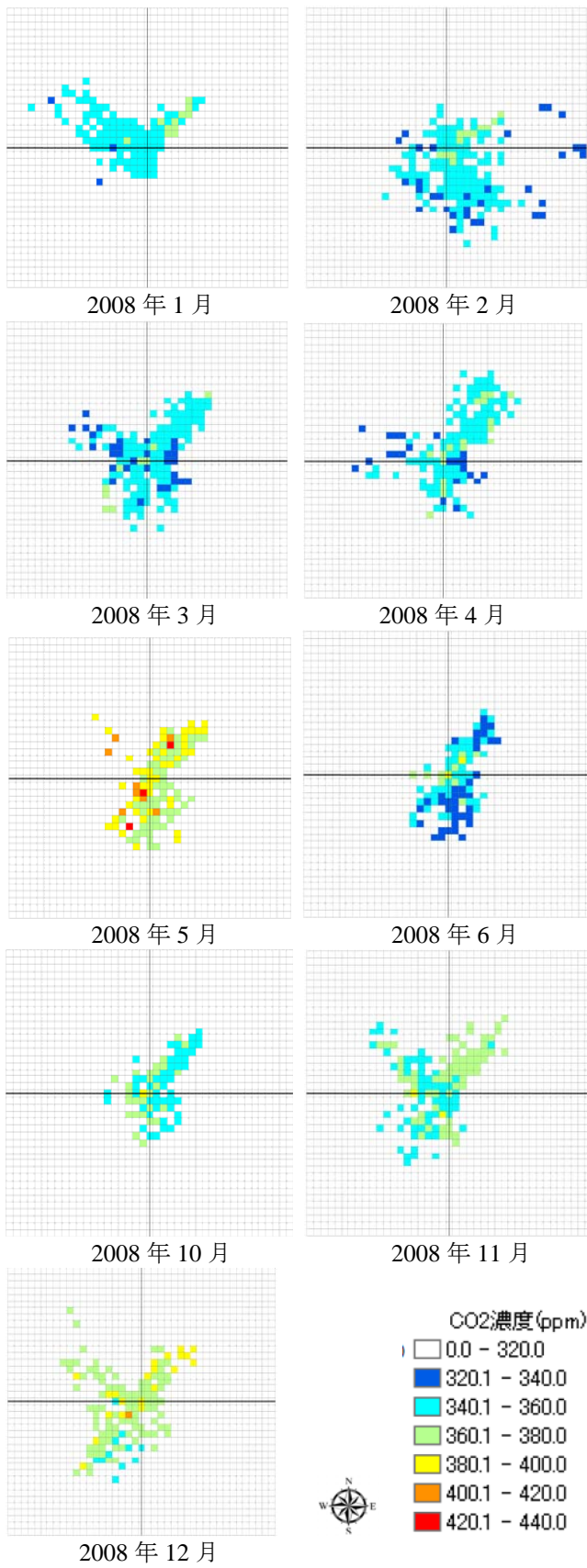


図-6 風向・風速-CO₂濃度値の関係(2008年)

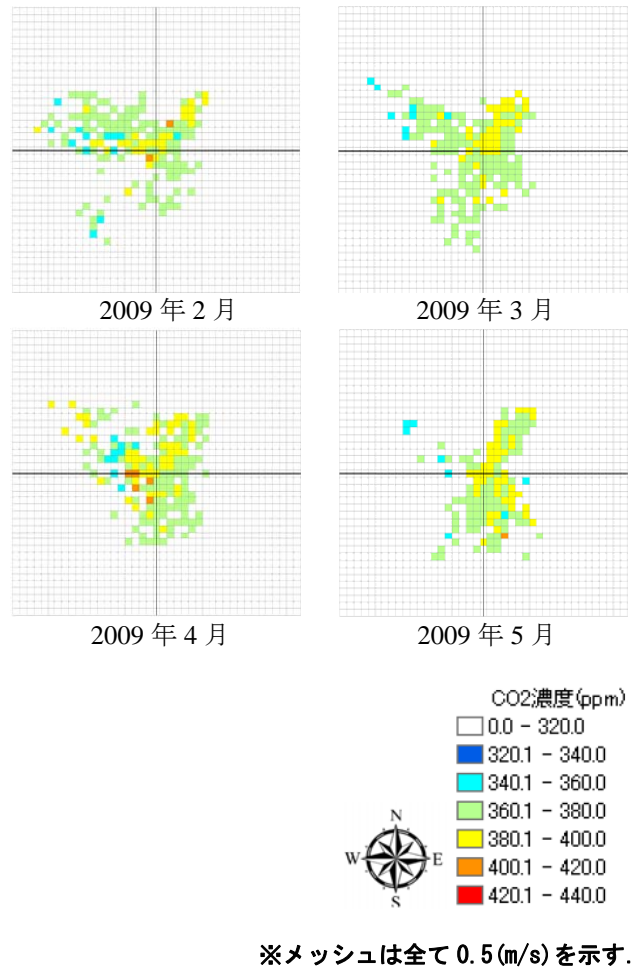


図-7 風向・風速-CO₂濃度値の関係(2009年)

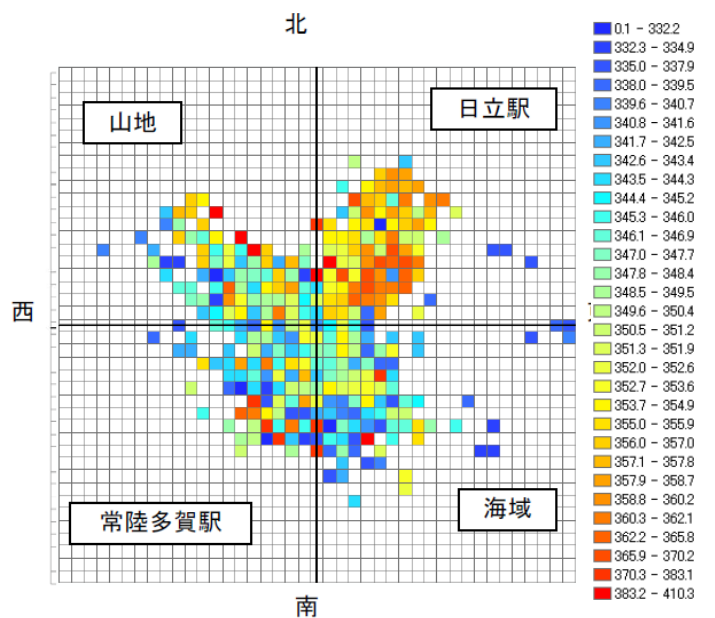


図-8 風向・風速-CO₂濃度値の関係(2008年計測の統合)

が同程度、または、風速が大きくなる程濃度が若干高くなる傾向が伺える。次に、方位 90° ~ 270° (東→南→西) では、特に卓越した傾向は見受けられないが、風速が大きくなる程、若干 CO₂ 濃度が低くなる傾向が見受けられる。方位 270° ~ 360° (西→北) では、風速が大きくなる程 CO₂ 濃度が低くなる傾向が伺える。風向と風速の違いにより、計測される CO₂ 濃度の傾向が異なることは、神奈川県における既存の計測事例でも見受けられた傾向であり¹⁵⁾、土地利用との関連が推察される。

3) 観測データの年間平均(2008年)

観測データの平均的な特徴を確認するために、年間有効計測データが多かった 2008 年のデータを対象として、各月別のデータを一つの 2 次元プロット図に集約した。結果を図-8 に示す。図より、各月のプロット図の考察で記述した特徴がより顕著に見受けられた。

- 1) 風向が 0° ~ 90° (北-東) の場合、他の方位と比較して CO₂ 濃度が高い傾向が見受けられる。
- 2) 90° ~ 180° (東-南) の場合、風速が大きくなる程、CO₂ 濃度が低くなる傾向が見受けられる。
- 3) 180° ~ 360° (南-西-北) の場合、多少のばらつきは見受けられるが、風速が大きくなる程、CO₂ 濃度が低くなる傾向が見受けられる。

データ計測で得られた上記 3 点の特徴を確認するために、次章で地形および土地利用データを用いて考察を進める。

4. 地理情報の生成と CO₂ 濃度との関係

(1) 使用データと加工・編集

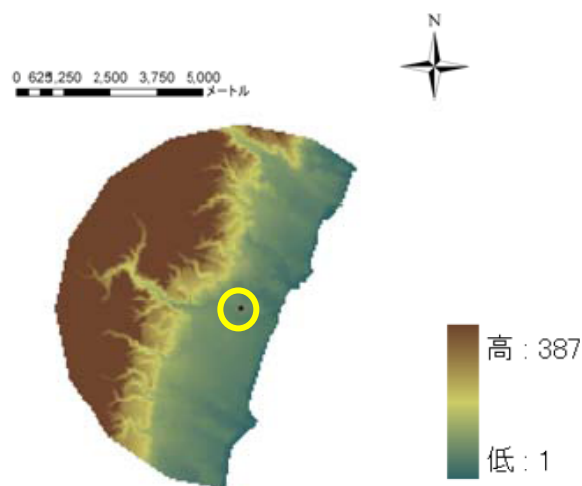
CO₂ 濃度計測システムの今後の展開として、都市計画区域以外の山間部への設置も想定している。このため、全国を網羅している地理情報を対象とした。具体的には、地形特性の把握のために国土地理院発行数値地図 50m、土地利用の把握には国土交通省国土計画局作成土地利用細分メッシュデータ(H18年, 100mメッシュ)、を採用した。

日立市を十分に含む領域になるよう加工・編集作業を進めた後に、CO₂ 濃度を計測した日立観測ステーションを中心とした半径 5km の領域を抽出し、地形および土地利用の特徴を考察することとした。なお、計測点より 5km の範囲の設定で十分か否かについては議論の余地があるが、日立市西側に位置する常陸太田市との境界を形成する山岳部は 5km を取ることによって十分に含まれることを確認したため、本検討ではこの半径を設定した。作成したデータを図-9 および図-10 に示す。まず、図-9 に示す標高図を見ると、日立市は西側に山岳部、東側は太平洋に面しており、両土地利用に挟まれた北東-南西方向に細長い平地が広がっていることが確認できる。図-10 に示す土地利用図を見ると、中心から北東方向および南西方向に市街地、東側に太平洋、西側に森林が分布している。

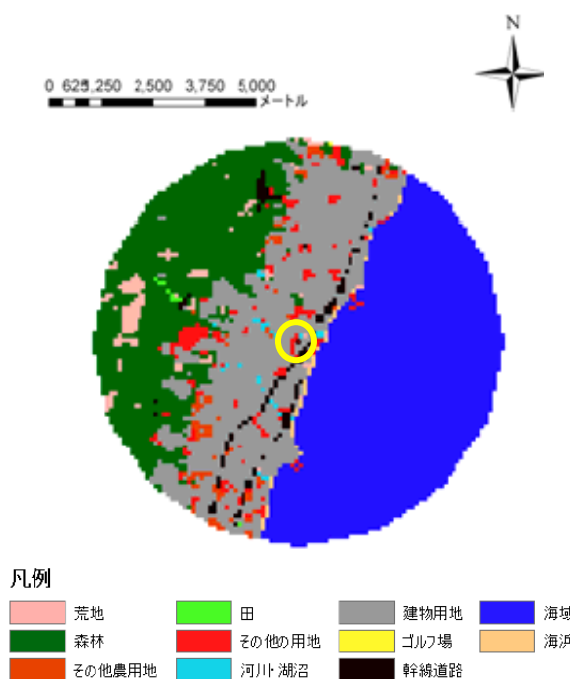
(2) CO₂ 濃度と地形・土地利用との関係

図-8 で見られた方位別の CO₂ 濃度の傾向と、地形および土地利用図の特徴を比較すると、日立観測ステーションの北東方向には市街地が広がっている。地形図等で確

認すると、観測点から少々離れた 1~3km 範囲に日立駅近傍の中心市街地および大規模な工場が複数存在しており、その影響が図-8 等に示したデータに現れていることが伺える。また、南~南西は平地であり、かつ、市街地である。この特徴は北東方向と類似しているが、CO₂ 濃度に関しては北東方向と比べて低い傾向にある。この地域にも大規模な工場や常陸多賀駅近傍の中心市街地が位置するものの、本研究の観測期間のデータでは濃度が低い傾向を示した。本研究は、施設単位での CO₂ 排出量算定を行っていないため、原因を断定することはできないが、CO₂ 排出量が少ない種の工場群が分布している、または他地域



図中○印(黄色)の中心：日立観測ステーション
図-9 標高図(数値地図 50m)



図中○印(黄色)の中心：日立観測ステーション
図-10 土地利用図(土地利用細分メッシュ)

からの CO₂ 流入量が少ないことが原因として推察される。南西～北西には森林、東～南東には海域が分布している。冬季は南西～北西の風が卓越することから CO₂ 濃度が低くなり、かつ、風速が大きくなる程 CO₂ 濃度が低くなる。以上の傾向に土地利用分布の方向性が関連していることが伺えた。

(3) システム展開時の留意点

本研究の分析は、2008年および2009年に計測された風向・風速および CO₂ 濃度値のうち、欠損等の無い期間のデータを対象として進めた。また、分析の過程では、膨大な量のデータを年・月毎に平均化することにより2次元プロット図を作成し、考察を進めた。このため、CO₂ 濃度の変動特性の考察を更に深化させることや、計測されたデータを加工・編集するソフトウェア面での対応等、いくつかの課題が残される。具体的には以下の3点であり、CO₂ 濃度計測システムの更なる多点計測展開を進める際に配慮して行くことを考えている。

- 1) 風向・風速データの欠損が多めであることから、CO₂ 濃度の時間平均を求める際に有効データ数にばらつきが生じた。機器のメンテナンス等、データ取得率の向上を目指したい。
- 2) 時刻によるデータのサンプリングは行っていない。光合成の影響を受ける日立市等では、厳密には時間帯別にデータのサンプリングを行い、2次元プロット図を確認することも重要と考えられる。
- 3) 2次元プロット図の1メッシュに含まれるデータ数にばらつきがある。試行検討を通してメッシュ毎にデータ数を調整する方法を考案する必要がある。

5. まとめ

本研究の成果は以下の2点である。

- 1) 風向、風速および CO₂ 濃度の各計測結果を2次元プロット図に集約する方法を検討し、2008年および2009年の日立観測ステーションのデータを対象とした(データ欠損や機器の不具合期間を除く)特徴を整理した。
- 2) 具体的には、土地利用分布を反映していると推察される CO₂ 濃度を風向別に確認することができた。特に、風速が大きいデータには、計測点より遠方の土地利用の影響を受けていると推察される CO₂ 濃度が示されていることが確認された。

これらの成果は、定点設置の観測で得ることができた 360° 方向を対象とした計測結果であり、風向・風速に基づく図化やサンプリングを行うことにより、多くの地域性を見出せる可能性を示唆している。この点は、CO₂ 濃度計測システムで取得されたデータによって、街の緑化の効果の現況を定量的かつ長期的に把握してゆくことに寄与するものと考えられ、システムを構成するソフトウェア面でのサブシステムの意味を有するものである。

観測ステーションの増加と長期観測期間の実現に伴い、計測データはますます増加して行くことになる。今後、本論で述べた課題を1つずつ検討・解決し、蓄積された貴重

なデータの有効利用を更に進めて行きたい。

謝辞：本研究は、科学技術振興調整費(戦略的拠点育成)事業のフラッグシッププロジェクト(茨城大学担当分である持続可能な温暖化対策研究)の一環として行われたものである。記して深甚なる謝意を表します。また、日立ステーションの計測器設置と百葉箱作成には、茨城大学伊佐治進技術員そしてものづくり教育研究支援ラボの皆さまに多大なご協力を頂いた。また、センサのメンテナンスに関しては株式会社ユー・ドム様に貴重なコメントと協力を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁：気候変動監視レポート 2008 世界と日本の気候変動および温室効果ガスとオゾン層等の状況について、2008。
- 2) GOSAT プロジェクト パンフレット：独立行政法人国立環境研究所地球観測センター、2010。
- 3) 伊藤雅一・間島大仁・岡村聖・坂本剛：地球温暖化防止のための環境教育に関する研究(2)-CO₂ 濃度常時測定ネットワークシステム-、環境経営研究所年報 vol.5, pp.38-47, 2006。
- 4) 岡村聖・伊藤雅一・龍崎忠・坂本剛：地球温暖化防止のための環境教育に関する研究(2)-CO₂ 濃度常時測定ネットワークシステム-、環境経営研究所年報, pp.38-47, 2006。
- 5) 早福正孝・古明地哲人・岩崎好陽・小峰美奈子：二酸化炭素濃度の地域格差に関する検討、東京環境科学研究年報, pp.231-236, 2002。
- 6) 坂本友子・由比頭之介：北部九州の都市における道路沿い大気中二酸化炭素濃度の分布と要因、九州女子大学紀要 第33巻4号, pp.31-40, 1997。
- 7) 齋藤修・桑原祐史・安原一哉・宮部紀之：茨城県 CO₂ グリッド構想に関する検討、(社)土木学会 情報利用技術論文集, Vol.17, pp.219-224, 2008。
- 8) 齋藤修・宮部紀之・桑原祐史・安原一哉：CO₂ グリッドを応用した簡易気象観測システムの実現と地盤防災への適用性、(社)地盤工学会 環境地盤工学シンポジウム発表論文集, No.8, pp.377-380, 2009。
- 9) 宮部紀之・桑原祐史・齋藤修・安原一哉・小柳武和：生活環境圏を対象とした CO₂ 濃度システムデータ利用による変動分析、(社)土木学会 情報利用技術論文集, Vol.18, pp.85-94, 2009。
- 10) 齋藤修・桑原祐史・村上哲・安原一哉：センサ IC タグを核としたアンビエントネットワークの地盤技術への適用、地盤工学会誌, Vol.58, No.5, pp.10-13, 2010。
- 11) 株式会社 U-DOM：http://www.udom.co.jp/ (2010.5.20 参照)
- 12) 河村 武・橋本 道夫：環境科学 III 測定と評価、朝倉書店 1990。
- 13) 株式会社シロ産業：http://www.webshiro.com/ (2009.4.18 参照)
- 14) 青森大学環境システム研究室 Web ページ, http://www.aomori-u.ac.jp/staff/fujii/ (2010.5.20 参照)
- 15) 大塚定夫・藍原敬次・塩沢俊克：神奈川県の大気中二酸化炭素濃度の現状について、神奈川県環境科学センター業務報告, pp.73-77, 2005。
- 16) 日立市の気象データベース(気象観測データ：日立市役所観測所), http://www.jsdi.or.jp/~hctenso/HC_clim/, (2010.5.22 参照)

(2010.5.28 受付)