

CO₂濃度変動の観測および問題点

An Observation of Atmospheric CO₂ Variations and its Problems

岡田 久子*・多田 毅*・沢本 正樹**

By Hisako OKADA, Tsuyoshi TADA and Masaki SAWAMOTO

The aim of this study is to show the methods to measure and estimate a local atmospheric CO₂ variations. At first, we use an apparatus which is over 10 times cheaper than other apparatuses used in other reports, and show that the daily variations of CO₂ are affected by vegetation. Secondly, the relationship between a satellite-derived vegetation index and the seasonal CO₂ variations is investigated.

Keywords: CO₂, photosynthesis, respiration, decomposition, NDVI

1. はじめに

地球規模環境問題への関心から CO₂循環についてさまざまな研究がなされている。しかしそれらの多くは、グローバルスケールを対象とした大循環モデルが中心で、それを構成する要素であるメソスケール（地域規模）での CO₂濃度の変動については、ほとんど議論されていない。そこで本研究は、地域的な CO₂濃度分布の変動を推定する技術を確立することを目的としている。

今回は、メソスケールでの CO₂濃度の変動を把握するための前段階として、各種環境下において CO₂濃度を測定し、その変動の様子が植物活動に依存していることを確認する。そして、メソスケールでの環境評価に威力を発揮する衛星リモートセンシングを用い、植生指数 NDVI と CO₂濃度変動の関係を探る。

2. CO₂濃度の測定

大気中の CO₂濃度の測定は、気温や降水量といった気象条件の測定に比べ、測器が高価かつ扱いにくく、これまであまり行われていない。本研究では、比較的安価な環境測定用 CO₂計（富士電機製，ZFP5）を使用した。分析部分には、CO₂の振動一回転帯による赤外線吸収を利用した非分散型赤外分析計（Non-Dispersive Infra-Red Gas Analyzer; NDIR）が用いられている。なお、データは電圧で出力され、付属の CO₂濃度検量線によって CO₂濃度に変換される。測定に当たっては、基準濃度の CO₂ガスによる校正を毎回行い絶対濃度の信頼性を向上させた。

測定は、1994 年 12 月より仙台市青葉山の東北大学工学部、土木・建築棟屋上において始められ、現在は同地点および宮城県鳴子町の東北大学川渡セミナーセンター内で連続観測を行っている。また 1996 年 9 月 11 日・12 日

*学生会員 東北大学大学院工学研究科
(〒 980-77 仙台市青葉区荒巻字青葉)

**フェロー 工博 東北大学大学院教授 工学研究科

両日に、川渡の各種植生下において、CO₂濃度および日射量・気温などの気象データも含めた集中観測を行った。以下、集中観測の結果を中心にCO₂濃度変動の特徴について考察する。

3. CO₂濃度変動の特徴

3.1. 集中観測の結果に見られる日変化の特徴

CO₂濃度の集中観測では、東北大学農学部付属川渡農場の水田（稲の上約0.5m）、セミナーセンター内の林（地上高約1m）、およびその林の樹冠が見渡せる東北大学理学部附属木星観測施設鉄塔（地上高約15m）において、CO₂濃度および日射量・気温・湿度を測定した（図-1）。また気象データについては、気象庁 AMeDAS の川渡観測所のデータも利用した。CO₂濃度は先に述べた装置3台で10分毎に測定した。両日とも快晴で雲はほとんど無く、風も微風であった。結果を図-2に示す。

いずれの地点でも、日中CO₂濃度が低く夜間にCO₂濃度が高いという日変化を示す。これは、日中は植物の光合成活動によりCO₂が大気から取り込まれ、夜間には植物の光合成活動が停止し呼吸活動や土壌有機物の分解によりCO₂が大気に放出されるという、植物活動が原因である。

まず、水田と鉄塔での結果を比較すると、ちょうど日没および日の出の頃を境にCO₂濃度の大小が逆転する。このことは、CO₂フラックスの向きが日中は植物の光合成活動により大気から水田の方を向いており、一方夜間には植物の呼吸活動のために水田から大気の方を向いていることを意味する。また、水田の夜間のCO₂濃度が極端に高くなることについては、この観測を行った日によく晴れた風の弱い日には、地表面の放射冷却によって接地気層が安定となり、空気鉛直混合が抑制されるので、植物の呼吸および土壌有機物の分解によって放出されるCO₂が大気下層に蓄積されやすくなることが考えられる。

次に、林内と鉄塔での結果を比較すると、日中に鉄塔すなわち樹幹の上空の方が濃度が低いという結果となった。林内の測定場所は、地上1mの地点で木々の葉の茂っているところよりも下に位置する。そのため、日中でも土壌有機物の分解によってCO₂が放出され、木々の光合成活動の影響を受けにくくなる。夜間は地表面近くという理由から水田のように極端に高いCO₂濃度を示すと思われたが、上空大気とほとんど同じ濃度であった。水田、鉄塔、林内それぞれの気温を見ると、水田-鉄塔の関係は日中地表面の方が高く、夜間は放射冷却によって地表面の方が低くなっているが、林内-鉄

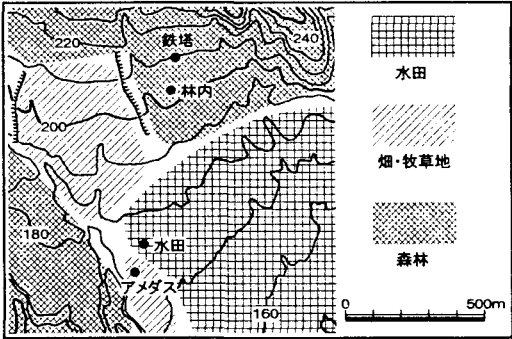


図-1: 観測地点

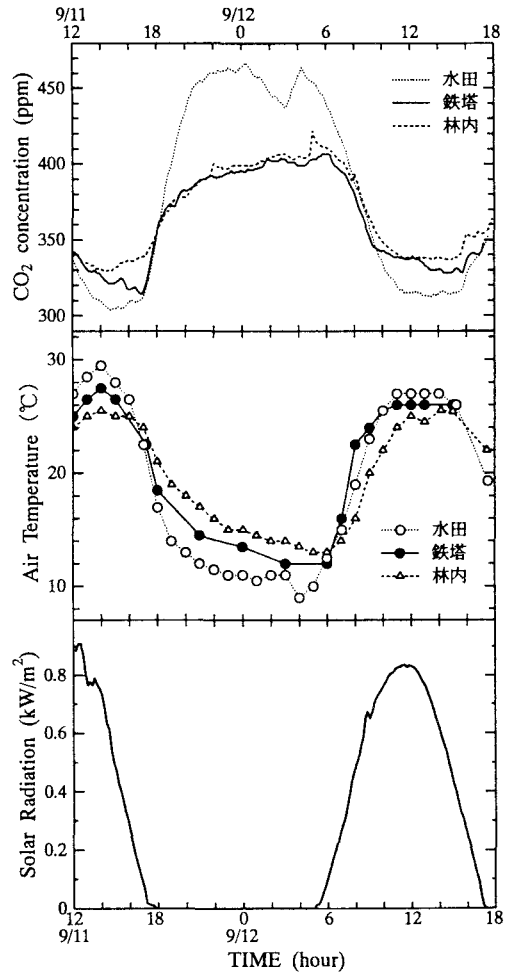


図-2: CO₂濃度・気温・全天日射量の日変化
1996年9月11日～12日（宮城県鳴子町川渡）

塔の関係を見ると、日中林内の方が気温が低く、夜間林内の方が高くなっており、このことから水田と林内では大気の状態が異なり夜間のCO₂濃度変動に異なる結果を与えたと考えられる。林内におけるCO₂の動きを把握するためには、ちょうど樹冠のあたりでのCO₂濃度も測定する必要がある、今後の課題である。

最後に、日射量、気温とCO₂濃度の関係を見てみると、9月11日の方が12日よりも日中の最大日射量および最高気温はともに高い。そして、CO₂濃度の最低値は11日の方が低いことから、日射量や気温が少し違うだけでも植物の光合成活動は影響を受けるということがわかる。

3.2. 季節変化の特徴と衛星データの利用

図-3は、青葉山において観測された1996年7月から10月の各月毎に平均されたのCO₂濃度の日変化である。CO₂濃度は7月に最も低くその後上昇している。植物は春から7月ごろにかけて活発に成長しその後衰えていくと考えられその様子と一致する。また、一日のCO₂濃度の最大値は7月には6時ころであるが、10月には7~8時になっており、日の出時間が遅くなるにつれ植物の光合成活動によるCO₂の取り込みの開始時間も遅れていることがわかる。またCO₂濃度が1日の最低濃度から再び増加し始める時間についても、7月は夕方近くまで低い濃度であるが、10月ではその凸型が下に鋭く、日中最低濃度に達するとすぐ再び増加をはじめている様子がわかる。これらは、日の出・日の入り時刻や気温の違いにより植物の光合成活動の開始・終了時刻が影響を受けること、また季節による植物の繁殖状況の違いが光合成活動によるCO₂の取り込み量に影響を与えることが原因として考えられる。

ところで、植物の活性状況の季節変化を評価するには、衛星リモートセンシングの利用が有効である。そこで、衛星データの中で植物の活性度に相関のある植生指標 (NDVI) を利用して、大気中のCO₂濃度との関係を検討する。Tucker ら⁵⁾は、大気中のCO₂濃度の月ごとの変化とNDVIの間に線形関係があることを示している。図-4には、青葉山において観測されたCO₂濃度の月毎の平均値と同地点周辺の約10km四方に相当するNDVIの関係を示す。NDVIが大きく植物が繁殖している時にはCO₂濃度は低く、NDVIが小さくなるにつれてCO₂濃度が高くなっていく傾向がわかる。また、東北大学理学部により毎月観測されている仙台空港上空におけるCO₂濃度を利用させていただき、NDVIとの関係を示すと図-5のようになる。図より、NDVIとCO₂濃度には明らかに相関のあることがわかる。

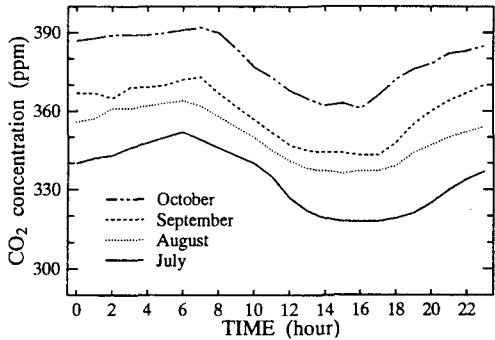


図- 3: 月毎のCO₂濃度の日変化

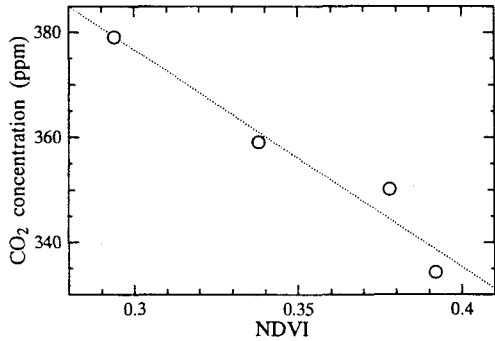


図- 4: CO₂濃度とNDVIの関係 (仙台市青葉山)

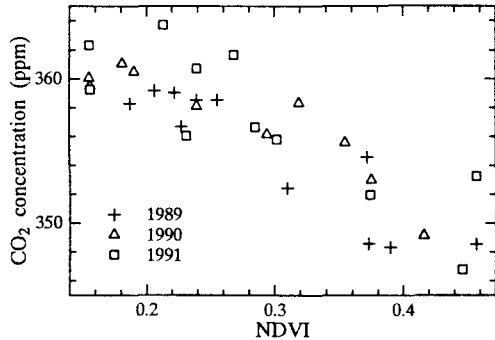


図- 5: CO₂濃度とNDVIの関係 (仙台空港上空)

4. 結論および問題点

川渡で行った集中観測の結果から、CO₂濃度の日変化が、植物の光合成活動によるCO₂の吸収と植物の呼吸活動および土壌有機物の分解によるCO₂の放出によって引き起こされている様子がある程度説明できた。しかし林の中などは複雑な微気候を形成しており、CO₂の収支を詳しく把握するためには、鉛直方向に沢山の測定点を設けるなどして検討する必要がある。

本研究においてCO₂濃度を測定する本来の目的は、各種植生上のCO₂濃度変動の様子を把握してそれぞれの代表値を決定し、地域的広がりを持ったCO₂の動きを解明することである。しかし当初予想していた以上にCO₂濃度は、地域的にはほとんど同じ場所でもまわりの環境によってかなり異なり、また鉛直方向でも異なるため、その代表的挙動を決定するためには、測定方法や測定場所についてさらに検討する必要がある。

一方、東北大学理学部により観測されている仙台空港上空での観測データを利用して、CO₂濃度とNDVIとは高い相関関係があることが再確認された。この結果を利用して、著者ら⁶⁾はNDVIからCO₂濃度変動を推定する簡単なモデルを提案した。しかし、継続的なデータが少ないために、他の地点でも適用できるようなモデルは確立されていない。

現在、グローバルスケールでのCO₂循環を解明するために、世界で申し合わせた多くの地点でCO₂濃度の継続的な観測が行われているが、いずれの場合も人間の手の加わらない自然の残された地域または航空機を利用した上空で行われている。これらはバックグラウンド濃度と呼ばれ局所的な影響は含まれにくい。しかし、本研究で目指すメソスケールでのCO₂の分布を把握するためには、もう少し地域的・局所的な情報も含まれたデータが必要である。そのための測定方法を確立し、衛星データなどを利用したモデルを開発することが今後の課題である。

謝辞：本研究において、東北大学理学部、中澤高浩教授には貴重なデータを提供していただいた。また観測を行うに当たり、東北大学川渡共同セミナーセンターおよび同農学部付属農場の敷地を使用させていただき、東北大学理学部、大家寛教授には同木星観測施設鉄塔を使用させていただいた。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Tanaka,M., T.Nakazawa and S.Aoki: Atmospheric carbon dioxide variations in the suburbs of Sendai,Japan, *Tellus*, vol.37B, pp.28-34, 1985.
- 2) 田中正之: 二酸化炭素, 大気汚染物質の動態(磯野謙治 編), 東京大学出版会, pp.49-84, 1979.
- 3) Bert Bolin: 炭素のサイクル, 生態系としての地球-バイオスフェア(サイエンティフィック アメリカン 編), 共立出版, pp.99-117, 1975.
- 4) 原園芳信ら: 接地境界層における大気微量気体のフラックス測定法と評価法, 農業環境技術研究所報告, 第13号, pp.166-226, 1996.
- 5) C.J.Tucker, I.Y.Fung, C.D.Keeling and R.H.Gammon: Relationship between atmospheric CO₂ variations and a satellite-derived vegetation index, *Nature*, vol.319, pp.195-199, 1986.
- 6) 岡田久子, 多田 毅, 沢本正樹: 仙台近郊におけるCO₂濃度変動の観測および推定の試み, 第51回土木学会年次学術講演会講演概要集 共通セッション, pp.194-195, 1996.