

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—

A Study on the Environmental Education for Solving the Global Warming Problem (2)
~The Network System of Regular Measurement of CO₂ Density~

岡村 聖 伊藤 雅一 龍崎 忠 坂本 剛
OKAMURA Kiyoshi ITO Masakazu RYUZAKI Tadashi SAKAMOTO Go

Abstract: Environmental education can be one way to solve a problem with global warming. In this paper, in cooperation with the junior school, the junior high school and the high school, the environmental education using measurement of CO₂ density in 2005 is reported and the network system of regular measurement of CO₂ density is outlined.

Keywords: Global Warming Solution, Environmental Education Method

1. はじめに

2005年11~12月にかけてカナダのモントリオールで開催された京都議定書第1回締約国会議(COP/MOP1)により、京都議定書の運用ルール、例えば先進国の排出量取引、他国で行った温室効果ガス削減事業の削減分を自国の目標達成に加算できる「共同実施」や「クリーン開発メカニズム(CDM)」など、が正式に決まった。温室効果ガスの削減プランが具体化されて、議定書により義務付けられた先進国の温室効果ガス排出削減目標の第1約束期間(5年間)がいよいよ2008年から始まる。

日本の削減目標は1990年比6%であるが、2003年までの排出量は逆に1990年比で8%増加し、実質的な目標は14%に膨らんでいる。わが国では、6%のうち4.4%を森林吸収分も含めて国内で削減し、残りをCDMなどで達成する方針である。

省エネ法や地球温暖化対策推進法が改正され¹⁾、温室効果ガス排出量の報告義務など事業所に対する規制が強化されたことで、産業部門については具体的な数値に基づく計画的な削減が期待できる。一方、家庭部門から排出される家電やマイカー使用に伴う温室効果ガスの排出量を当事者が直接的に規定することは、環境家計簿の作成など任意の取り組みに任せられている状況であり、その動向の予測は難しい。

温室効果ガスの濃度を安定化させるためには、大気への排出量を吸収量と同じ量にまで減らさなければならないため、将来的には京都議定書の目標を上回る削減が求められる。そのためには、温室効果ガスの排出を抑えたライフスタイルを確立していく必要がある。小・中・高等学校における系統的な環境教育がその礎を築くと考え、筆者らは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実践的方法について継続的に研究を続けている(伊藤ら、2005)。

本論では、共同研究校及び教育委員会との連携のもと2003年度より取組んでいるCO₂大気濃度観測システムを利用した環境教育に関する調査研究について、2005年度の環境教育の実践状況および2005年度の主たる研究成果であるCO₂濃度常時測定ネットワークシステムの概要を報告する。

2. CO₂濃度測定を取り入れた環境教育の実践(2005年度)

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を行っている。2005年度は、共同研究校及び教育委員会教員の協力を得て2004年度に使用したテキストの改訂を行い、それをもとに愛知県及び三重県における小・中学校、高等学校11校でCO₂濃度測定を取り入れた研究授業を行った。概要は以下のとおりである。

- (1) 高等学校の環境教育の実践 (4校; 63時間)
- ① 三重県立久居高等学校 (科目; 総合的な学習の時間、月曜日 6限、17時間)
 - ② 名古屋市立若宮商業高等学校 (科目; 環境経済、水曜日 5、6限、8時間)
 - ③ 菊華高等学校 (科目; 菊華講座、水曜日 5、6限、32時間)
 - ④ 愛知県立緑ヶ丘商業高等学校 (科目; 課題研究、金曜日 5、6限、4時間)
- (2) 中学校の環境教育の実践 (3校; 14時間)
- ① 津市立橋北中学校 (科目; 選択理科、月曜日 5、6限、4時間)
 - ② 津市立南が丘中学校 (科目; 選択理科、月曜日 5、6限、6時間)
 - ③ 津市立橋南中学校 (科目; 選択理科、月曜日 5、6限、4時間)
- (3) 小学校の環境教育の実践 (4校; 24時間)
- ① 津市立大里小学校 (科目; 総合的な学習の時間、金曜日 5、6限、6時間)
 - ② 津市立南立誠小学校 (科目; 理科、月曜日 2、3、4限、6時間)
 - ③ 津市立養正小学校 (科目; 理科、月曜日 2、3、4限、6時間)
 - ④ 津市立片田小学校 (科目; 理科、月曜日 3、4限、6時間)

久居高校、橋北中学校及び大里小学校の連携授業については文科省科研費から、若宮商業高校、南立誠小学校、養正小学校及び片田小学校の連携授業については文部科学省 SPP 事業からそれぞれ助成を受けた。

2005年度は2004年度の共同研究校の6校よりほぼ倍増し、取組みは順調に発展していると考えている。一方で、共同研究校の増加に対応する新たな環境教育の担い手が必要である。そこで、愛知県地球温暖化防止活動推進センターと連携した環境教育の担い手育成事業も行った。

- (4) 環境教育の担い手育成事業
- ① 環境教育の進め方、観測実験の方法等の概要について研修 (2005.8.)
 - ② OJTによる環境教育の実地研修 (見学および授業補助、2005.11~12、若宮商業高校)

3. CO₂濃度常時測定ネットワークシステムの構築

(1) 既存の大気中のCO₂観測の状況

気候変動に関する政府間パネル (IPCC)の第3次報告書によると、現在の地球上の炭素収支は、図1のように概略される。

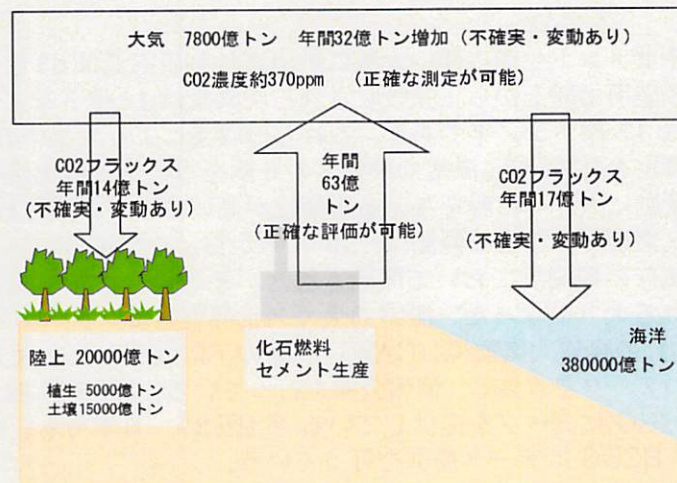


図1 炭素収支の概念図 (IPCC (2001) 第3次報告書をもとに作図)

表1 日本における代表的な温室効果ガス定常観測²⁾

| Station Name | Submitter | Latitude | Longitude | Altitude | Parameter | Data Period |
|-------------------|-----------|-----------|------------|----------|---|-------------------|
| Cape Ochi-ishi | NIES | 43° 09' N | 145° 30' E | 45 m | CO ₂ CH ₄ | 1995.8 - 2002.12 |
| Memambetsu | MRI | 43° 55' N | 144° 12' E | 32.9 m | N ₂ O | 1982.12 - 1983.7 |
| Ryori | JMA | 39° 02' N | 141° 49' E | 260 m | CO ₂ CH ₄ N ₂ O CFCs CCl ₄ CH ₃ CCl ₃ CO O ₃ | 1987.1 - 2006.1 |
| Tsukuba | MRI | 36° 03' N | 140° 08' E | 26 m | CH ₄ | 1985.6 - 2002.6 |
| Tsukuba | MRI | 36° 03' N | 140° 08' E | 26 m | CO ₂ | 1986.4 - 2000.2 |
| Tsukuba | JMA | 36° 03' N | 140° 08' E | 25 m | O ₃ | 1988.8 - 2006.2 |
| Kisai | Saitama | 36° 05' N | 139° 33' E | 13 m | CO ₂ | 2001.1 - 2003.12 |
| Mt. Dodaira | Saitama | 36° 00' N | 139° 11' E | 840 m | CO ₂ | 1992.4 - 2003.12 |
| Urawa | Saitama | 35° 52' N | 139° 36' E | 10 m | CO ₂ | 1991.4 - 2001.3 |
| Hamamatsu | Shizuoka | 34° 43' N | 137° 43' E | 35 m | CO ₂ | 1998.10 - 2001.12 |
| Mikawa-Ichinomiya | Aichi | 34° 51' N | 137° 26' E | 50 m | CO ₂ | 1993.4 - 2005.3 |
| Nagoya | Nagoya | 35° 09' N | 136° 58' E | 35 m | N ₂ O | 1995.5 - 1997.12 |
| Takayama | AIST | 36° 08' N | 137° 25' E | 1420 m | CO ₂ | 1993.9 - 2004.12 |
| Yonagunijima | JMA | 24° 28' N | 123° 01' E | 30m | CO ₂ CH ₄ CO O ₃ | 1997.1 - 2006.1 |
| Hateruma | NIES | 24° 03' N | 123° 48' E | 10 m | CO ₂ CH ₄ N ₂ O | 1993.10 - 2002.12 |
| Minamitorishima | JMA | 24° 17' N | 153° 59' E | 8 m | CO ₂ CH ₄ CO O ₃ | 1993.1 - 2006.1 |

表2 大気中のCO₂観測の分類

| 観測項目 | 観測方法 | 観測の意義 |
|-----------------------|---------|---|
| CO ₂ 濃度 | 地上・海上観測 | 世界規模の観測網を構築することで、地球全体のCO ₂ 濃度の上昇を監視する役割がある。 |
| | 上空観測 | 地上・海上観測と同様な意義がある。また、数値計算において二酸化炭素収支推定を行う際の初期条件の質と量を確保する上で重要なデータである。 |
| | 航空機観測 | 上空観測と同様な意義がある。上空CO ₂ 濃度の地球規模水平分布の観測には、東南アジア等地上観測の空白域を補う役割がある。高層の大気の流れに乗って全球規模で輸送されるCO ₂ の動態を調べる上で重要である。 |
| CO ₂ フラックス | タワー観測 | 特定地点の森林生態系の炭素吸収・固定量を正確に測定できる。 |

化石燃料の消費やセメント生産に伴い大気に排出される炭素量は63億トン/年、植物の光合成や呼吸などの差引で陸上から正味吸収される炭素量は14億トン/年、海洋から正味吸収される炭素量は17億トン/年であり、これらの収支により大気中の炭素量は年間32億トン増加すると算定されている。温室効果ガスの6割を占める二酸化炭素のこの増加が、地球温暖化や気候変動に大きく影響を与える可能性が高いことが指摘されている。

大気中の二酸化炭素濃度の精密な観測は、1958年から、ハワイ島のマウナロア山の中腹にある米国海洋大気庁の観測所において開始された。その後、世界各国で、二酸化炭素濃度の観測が開始されるようになった。温室効果ガス世界資料センター(WDCGG)は、世界気象機関(WMO)の全球大気監視(GAW)計画の下に設立され、大気や海洋で測定された温室効果ガスのデータを収集し、情報公開を行っている。2005年12月の時点で66ヶ国317地点がWDCGGにデータを提供している²⁾(図2)。日本でも、表1のような定常観測が実施され、WDCGGにデータ提供を行っている。



図2 世界各国の温室効果ガスの定常観測ステーション²⁾

表2は、現在実施されている大気中のCO₂観測の分類を示す。次に、それぞれの観測方法を詳しく述べる。

① CO₂濃度の地上・海上観測

地表付近のCO₂濃度を定点で常時測定する方法である。図2で示す世界各国の温室効果ガスの定常観測ステーションのほぼ全てでこの観測を行っている。基本的には人為的な影響の少ない地点で継続的に測定されていて、地球規模のCO₂濃度の上昇を監視する役割を持つ。例えば、気象庁は綾里（岩手県大船渡市）、南鳥島（東京都小笠原村）、与那国島（沖縄県与那国町）の3カ所で、温室効果ガス（二酸化炭素・メタンなど）の観測を行っている。図3はマウナロア（ハワイ）、綾里、南極点のCO₂濃度の経年変化を示す。この図から、継続的なCO₂濃度の上昇傾向が確認できる。本研究で推進するCO₂濃度常時測定はこの分類に属する。

② CO₂濃度の上空観測

気球などにより、CO₂濃度の鉛直分布を測定する方法である。この観測により得られるCO₂濃度の鉛直分布は、地球規模のCO₂濃度の上昇を監視するだけでなく、数値計算により二酸化炭素収支推定を行う場合に、初期条件を設定する上で貴重なデータとなる。筆者らは、気球による上空CO₂濃度測定を取り入れた環境教育の実践を継続的に行っている（伊藤ら、2005）。

③ CO₂濃度の航空機観測

航空機により、上空のCO₂濃度を水平方向および鉛直方向に対して測定する方法である。例えば、日航財団らは1993年より月2回のペースで民間航空機により継続的な測定を続けている⁴⁾。この観測により得られるCO₂濃度の水平分布は、東南アジア、南アメリカ、南アフリカ、シベリアなど地上観測の空白域を補うデータとして貴重なデータである。また、これらのデータにより、北半球の中緯度帯で発生するCO₂が高層の大気の流れに乗って南半球に向けて運ばれることが示された⁴⁾。

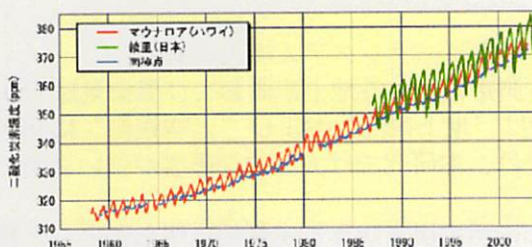


図3 マウナロア（ハワイ）、綾里、南極点のCO₂濃度の経年変化³⁾



図4 旅客機による上空温室効果ガスの長期継続濃度観測（1993年より）⁴⁾

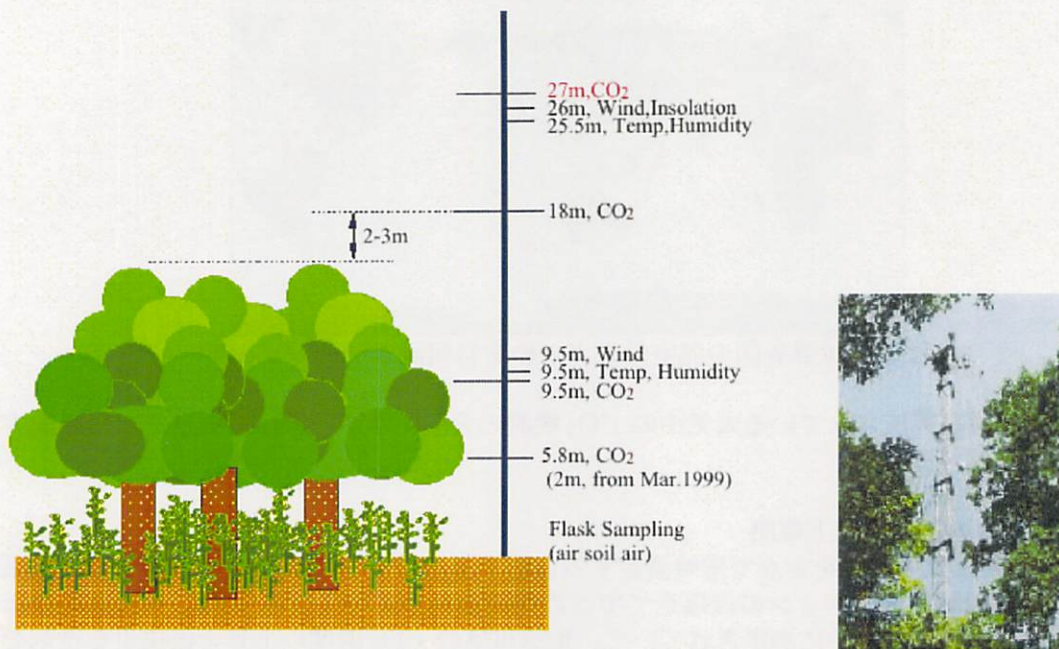


図5 高山でのCO₂フラックスのタワー観測⁵⁾

④ CO₂フラックスのタワー観測

森林内にタワーを設置し、大気と森林間の正味のCO₂フラックス（CO₂交換量）の測定を行う方法である。現在主流の手法では、CO₂フラックスは0.1秒毎に濃度変動を測定することによって得られる。これにより、特定地点の森林生態系の炭素吸収・固定量を正確に測定できる。

地球上の炭素は大気、海洋、陸上植生、地圏という貯蔵庫に蓄積・存在している（図1）。炭素収支に関係する各項目の中で、化石燃料消費とセメント生産にともなう放出量、大気中のCO₂濃度についてはかなり正確に評価あるいは観測することが可能である。一方、IPCC報告書で示されたフラックスについては±50～±100%誤差があるといわれ、とりわけ森林生態系炭素吸収・放出における役割が不明とされている（山本，1999）。

また、炭素はこれらの貯蔵庫の間で気体、無機炭素、有機炭素と形を変えながら、出入りし、循環している。これらの相互の交換量の出入りの差、すなわち正味の交換量をフラックスという。大気中二酸化炭素濃度の将来推移を予測する上で、各貯蔵庫間の炭素の出入りの定量的解明が大変重要である。緯度、樹種、気象条件等の多様性を考慮すると、将来の気候変動予測のためには全地球的な森林の正確なCO₂収支が必要であり、タワー観測のネットワーク網（FLUXNET）構築が推進されている（山本，2003）。

例えば、表1の高山におけるCO₂フラックスのタワー観測は、世界でも数少ない貴重な長期観測データを取得している（図5）。

（2）小・中・高等学校間CO₂濃度常時測定ネットワークシステム導入の意義

本研究で実施してきたCO₂観測（携帯型CO₂測定器による地上観測および係留気球CO₂測定器による上空観測）は、表2の分類の中では“地上観測”および“上空観測”に相当する。表1に示す既存のCO₂観測と大きな違いは、本研究では人為的な影響が強い場所での観測を主とする点にある。

表2に示す既存の各観測は、基本的には図1に示す炭素収支を定量的に明らかにし、精度の高い将来的な気候変動予測を行うための有用な知見を得ることに目的がある。図1に示すとおり、化石燃料の使用やセメント生産に伴う人為的な温室効果ガス排出量は正確に

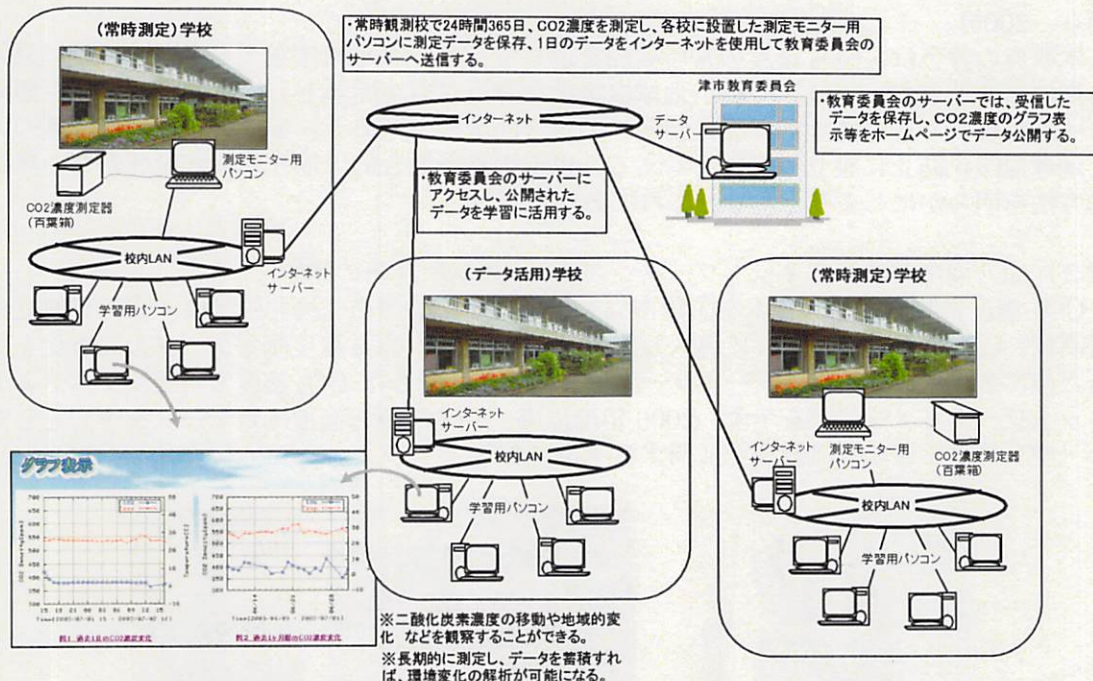


図5 CO₂濃度常時観測システムのネットワークイメージ図

評価可能であるため、地球全体のCO₂濃度の上昇を追っていくには、局所的な排出の影響を2重にカウントしないように注意して観測を行う必要がある。また、局所的な人為影響をCO₂濃度の観測データから除去することは簡単ではない。

これと関連して気象観測所の適正配置に関する最近の報告がある。近藤は地球温暖化の気候学的な気温上昇量は、これまで言われているほど大きくないということ田舎観測所データの掘り起こし作業と現地調査から示した。近年、都市化や陽だまり効果の影響を受けて、気象観測所の周辺環境は悪化したため、その測定データから広域における自然状態を知ることが困難になってきている。適切な観測所の周辺環境はどうあるべきかを研究し、望ましい観測所の指定と、今後の気候変動をモニターしていくことが重要な課題である⁶⁾。

現在公開されているCO₂濃度の測定結果は、我々にとって身近ではない場所で実施されたものである。このことは観測されたCO₂濃度を身近に感じることができない理由の一つであろう。筆者らは、環境教育ツールとしては、気候変動予測を行うための有用な知見を得るという制約なしに測定されたCO₂濃度データに意義がある、と考えた。CO₂は大気に排出された後の寿命が長いために、風に乗って移動している間に、ほかの化合物に変化してしまう、といったことがない特徴を持つ。従って、常時観測によりCO₂濃度をモニターすることで、①植物の光合成によるCO₂の吸収、②植物の呼吸および落ち葉の腐敗に伴うCO₂の放出、③自動車などCO₂排出源の影響、といった地域環境を評価する上で重要な情報を、CO₂濃度の短期的な日変化、長期的な季節変化からダイナミックに実感することができる。また、④常時測定データをインターネット経由で公開することにより、測定を行わない他校での学習にも活用ことができ、地域特性が異なる学校相互の環境学習を通じた交流を図ることも可能になる。これらから、CO₂濃度測定システムは環境教育の教材として適正が高いと考えている。

筆者らが2003年度に中学生を対象に実施した環境意識調査によると、ごみ問題と並んで地球温暖化問題に高い関心を示す一方で、その防止に向けた具体的な行動をしていないと答える生徒が多かった。その主な理由としては、地球温暖化防止のための体験型の学習機会に乏しいこと、地球温暖化の主な原因となっているCO₂は、手にとって見ることのできる「ごみ」とは異なり、無色無臭で「排出」に対する実感が持てないことが考えられた(伊

藤ら、2005)。

本研究の特色は、CO₂ 濃度の常時観測を通じて、i) CO₂ 濃度をデータとして目に見える形にすることで、児童・生徒が地球温暖化を身近な環境問題として実感する、ii) 観測データの分析を通じて地球温暖化問題への科学的理解を深める、iii) 科学的理解に基づいて地球温暖化防止に役立つ行動を考える、以上の点を総合的に取り入れた環境教育の実践的方法を明らかにしようとするところにある。

(3) CO₂ 濃度常時測定ネットワークシステム 7 の試験運用の開始

CO₂ 濃度常時測定システムを①津市立大里小学校、②津市立橋北中学校、③三重県立久居高校、④名古屋産業大学、に導入した。また、4 校の CO₂ 濃度測定データの共有化を図るために名古屋産業大学にデータサーバー設置した。図 5 は CO₂ 濃度常時観測システムのネットワークイメージ図を示す。2006 年度以降、4 校の CO₂ 濃度測定データを中心とした小・中・高等学校の交流授業を展開する予定である。



写真 1 CO₂ 濃度常時測定システムの概要 ; (a) CO₂ 濃度常時測定装置、(b) 百葉箱設置の様子、(c) CO₂ 濃度校正用ガス、(d) データ収集用 PC の画面例

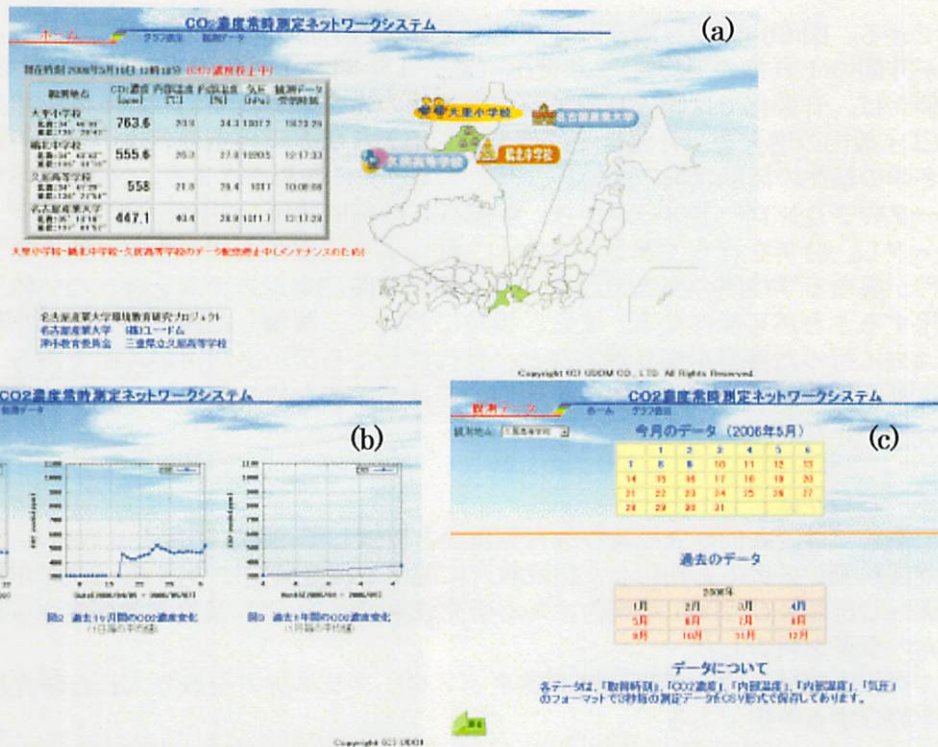


図6 小・中・高等学校間 CO₂濃度常時測定ネットワークシステムの WEB ページ; (a) 4校の速報 CO₂濃度の表示ページ、(b) 左から CO₂濃度の時間変化、日変化、月変化の表示ページ、(c) 過去の観測データのダウンロードページ

写真1は、各校に設置した CO₂濃度常時測定システムの概要を示す。写真1aは、CO₂濃度測定用のセンサー部である。既存の研究授業で使用している携帯型 CO₂測定装置の常時測定用バージョンである。これを、百葉箱内にいれて校内の風通しの良い場所に設置した(写真1b)。⁹⁾百葉箱の中は、局所影響を緩和するために簡易的なファンモーターにより通風させている。CO₂濃度の測定データを、インターネット経由で公開し、データを共有していくためには、教育利用の範囲のデータ品質が求められる。写真1cで示すような、市販の標準ガス(CO₂濃度 380ppm程度)を用いて定期的な校正を行うことで、これを実現する。写真1dは CO₂濃度の測定データ収集用の PC の画面例である。測定器(写真1a)と PC とは RS-232C ケーブル(最大長 15m、上位規格品を使用すれば 150m 程度の確保も可能)で接続するため、インターネット接続環境に応じて自由度の高い PC 設置が可能である。測定データ収集用ソフトウェアの奨励 PC 環境は、Windows98 以上、128MB 以上のメモリ容量、500MHz 以上の CPU 速度であり、1 年間の連続測定で 1GB の観測データ量を消費する。求められるスペックは高くないため、1999 年以降に販売された PC であれば動作する。本研究では、名古屋産業大学・名古屋経営短期大学情報センターの協力を得て、PC 演習用教室更新時に不要になった PC を活用している。CO₂濃度測定用ソフトウェアは、CO₂濃度、センサー部の温湿度、気圧を 12 時間分の履歴グラフでリアルタイムに表示するとともに、3 秒間隔で測定データをハードディスクに保存する。また、リアルタイムにインターネット上で速報データを公開するためにサーバーへ 1 分間隔で CO₂濃度データを自動送信する機能、および、3 秒間隔のフル測定データを 1 日に 1 回サーバーへ転送する機能を持つ。

図6は、試験運用中の小・中・高等学校間 CO₂濃度常時測定ネットワークシステムの WEB ページ¹⁰⁾を示す。図6aは4校の CO₂濃度常時測定校の速報データ表示である。ここでは、現在、各校周辺の CO₂濃度がどの程度なのか、ということを知ることが

できる。図 6b は CO₂濃度の日変化（過去 24 時間の 1 時間毎の平均値）、月変化（過去 1 ヶ月間の 1 日毎の平均値）、年変化（過去 1 年間の 1 月毎の平均値）の表示ページである。例えば、日変化では晴天日の午前中の植物の光合成が活性化される様子や交通集中による CO₂ 放出の増大を、月変化では晴天日、雨天日など気象条件の違いを、年変化では夏季や冬季の植生の活動状況の違いを、ダイナミックに確認できよう。図 6c に示す過去の観測データのダウンロードページから、各校が 3 秒毎に蓄積している CO₂濃度データをダウンロードし、分析を行うことができる。これにより、現在までの各校単独の学習から、地域特性が異なる学校間の交流学習や、CO₂濃度常時測定システムを持たない他校での学習に活用することが可能になる。また、授業において、蓄積した過去のデータを利用して先輩が過去に行った考察を振り返るなど、世代にわたるデータ活用が可能である。今後の研究により、地球温暖化防止という世代間の連携が必要な取り組みにとって、有用な提案を行っていききたい。

5. おわりに

本論では、共同研究校及び教育委員会と連携して 2003 年度より取り組んでいる CO₂ 大気濃度観測システムを利用した環境教育に関する調査研究について、2005 年度の環境教育の実践状況および 2005 年度の主たる研究成果である CO₂濃度常時測定ネットワークシステムの概要を報告した。

次報告では、CO₂濃度常時測定ネットワークシステムを取り入れた研究授業の実践結果を報告する予定である。

補 注

- 1) 「環境省 | 温室効果ガス排出量・算定・報告・公表制度について」
<<http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/>> (2006/03/25 アクセス)
- 2) 「World Data Centre for Greenhouse Gases (WDCGG)」
<http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg_j.html> (2006/03/01 アクセス)
- 3) 「気象庁 | 二酸化炭素 (CO₂)」
<<http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/hp/2-2-1co2.html>> (2006/03/01 アクセス)
- 4) 「日航財団 | 大気観測」
<<http://www.jal-foundation.or.jp/html/taikikansoku/toppage.htm>>
(2006/03/01 アクセス)
- 5) 「独立行政法人産業技術総合研究所 | 大気環境評価研究グループ」
<<http://unit.aist.go.jp/emtech-ri/24ae-sg/Atmos/AtmosTop/Atmos.html>>
(2006/03/01 アクセス)
- 6) 「日本気象学会 | 第 26 回メソ気象研究会要旨」
<<http://secure1.gakkai-web.net/gakkai/knt/msj/kaikoku/>>
(2006/03/01 アクセス)
- 7) 株式会社ユー・ドムが開発したシステム (例えば、羽山ら、2006)。
- 8) システムの試験運用期間終了後、データサーバーを名古屋産業大学から三重県津市教育委員会へ移設する予定であるため、図 5 ではデータサーバー設置場所を津市教育委員会としている。
- 9) 気象観測所の設置にあたっては、取得される気象データがなるべく広い範囲の情報を代表することができるように、「もしも植栽、生垣、温室などがなく、露場が芝生のみで覆われていたとすれば、1~2 階建ての建物から 2.5 m 程度離れていることが望ましい」とされている⁹⁾。しかしながら、実際の教育現場での設置には様々な制約があり、この条件を満たすことは難しい。ここでは、測定データの教育的利用を第一義と考え、なるべく風通しが良いところに百葉箱を設置することを心がけた。
- 10) 名古屋産業大学 WEB ページ<<http://www.nagoya-su.ac.jp/>>より表示可能。

参考文献

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001 : Climate Change 2001 : The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 881pp.
- 伊藤雅一、間島大仁、岡村聖、龍崎忠 (2005) 「地球温暖化防止のための環境教育に関する研究 (1) —CO₂ 濃度計測を取り入れた環境教育プログラム—」『環境経営研究所年報第4号』 pp.15-27.
- 羽山 耕司, 橋本 道也, 神澤 雅典, 伊藤 雅一 (2006) 「CO₂ 測定システムの開発と環境教育への応用」『平成 18 年度電気学会全国大会講演論文集』 pp.39-40.
- 山本 晋 (1999) 「森林による CO₂ フラックス野外観測による大気と陸面間の熱・物資交換の研究」『大気環境学会誌』 Vol. 38、pp.133-144.
- 山本 晋 (2003) 「フラックス野外観測による大気と陸面間の熱・物資交換の研究」『大気環境学会誌』 Vol. 38、pp.133-144.