

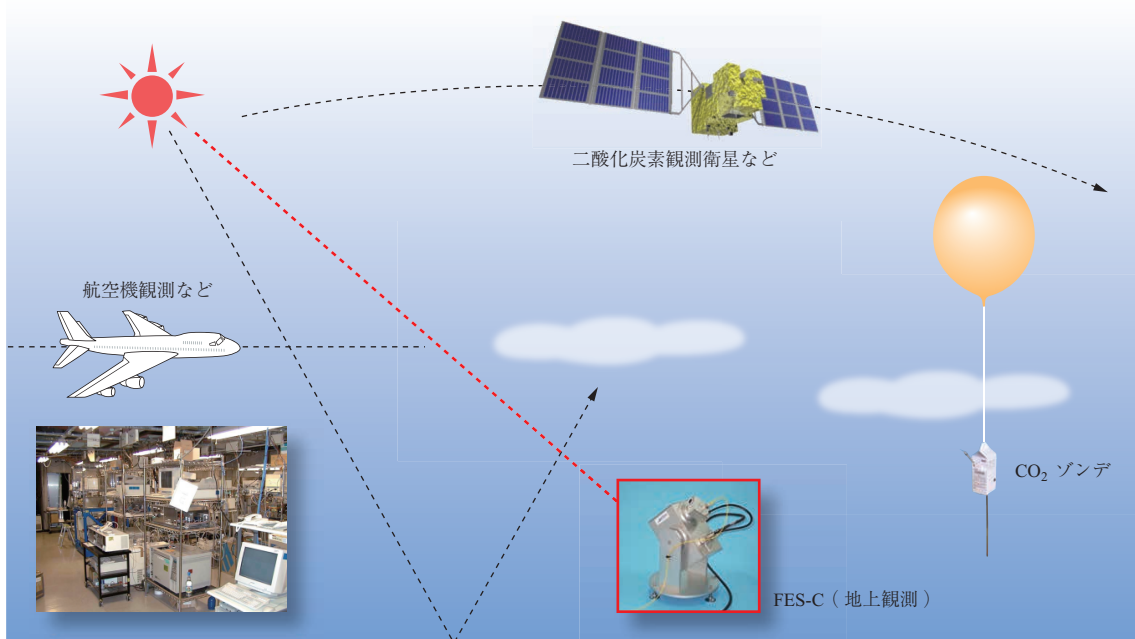
地球温暖化の大敵を監視

地球規模の正確な二酸化炭素計測を目指した 二酸化炭素ゾンデと二酸化炭素鉛直カラム濃度計の開発

二酸化炭素 (CO₂) の大気濃度計測は、将来の炭素収支を予測することにつながり、国際的な温暖化防止戦略に大きく寄与する。明星電気株式会社では、より正確な計測手法の確立を目指して二酸化炭素ゾンデと二酸化炭素鉛直カラム濃度計の開発に取り組んでいる。

明星電気 株式会社
技術本部 気象グループ

清水 健作



代表的な二酸化炭素の観測手法

大気中の CO₂ 濃度計測の現状

1980年代後半、地球温暖化の原因としてCO₂の増加が提唱され、大気中のCO₂濃度を長期的に計測することによってこのことは裏付けられた。

地球規模で大気中のCO₂濃度の計測を行うと、国際的な温暖化防止戦略に役立つ地球温暖化将来予測モデルを得ることができる。その際、都市・工場などの

CO₂が排出される地域や、森林・海洋部などのCO₂吸収能力が高い地域といったさまざまな環境で、かつ、数多くの場所で計測できることが重要である。

現在、世界の約100か所で計測が行われているが、主な計測方法はCO₂を物質に吸着させる化学的な方法である。しかし、その計測地点の分布は先進国に偏っており、熱帯地域や発展途上国での計測地点は極めて少ない。その理由は、高価な消耗品や熟練した計

測員を必要とすること、計測システム全体として電気や道路などのインフラを含めた初期投資額が大きいことにある。

ほかの計測方法としては光を利用する方法がある。従来型光学式装置は、設備が高価であり、太陽光を利用するため晴天時のみの計測が可能で、しかも長い計測時間を必要とする。

一方、光学式計測装置を用いて気球や衛星を使っての計測も行われている。気球にゾンデと呼ばれる小型のCO₂自動計測器と、計測したデータを無線で発信する装置とを取り付けて上空へ飛ばす方法がある。この方法は、上空に行くに従い温度・気圧が低下し機器の校正を必要とし、校正時間が長いため計測点が少ないのが課題である。また、気圧が低いとCO₂が吸収する光の量が減り、精度が悪くなるという課題もある。

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」は、太陽光近赤外線を利用してCO₂を計測する専用気象衛星である。このような衛星観測は世界をくまなく高密度で計測できるという利点がある半面、雲がある地域の計測はできない。特にCO₂の大きな吸収源である大森林地帯では、樹木が発する水蒸気によって雲が生じやすく晴天である場合がまれであるため、計測頻度が極めて少ない。また、晴天域であっても工場や自動車の排気ガスなどから発生するエアロゾルと呼ばれる大気中の浮遊物質や巻雲（繊維状の雲）などによって計測精度が大きく低減する。



FES-C と二酸化炭素ゾンデを用いた実証機試験の様子

従来型装置を改良した計測機器の開発

明星電気株式会社 (MEISEI) では、これら従来型の計測装置の課題を解決するために、二つの計測機器の開発を行ってきた。

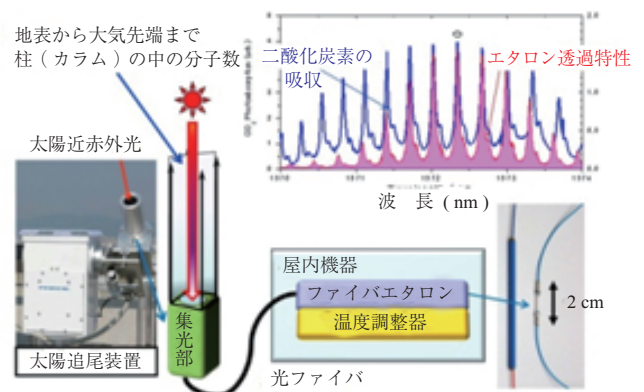
一つは、衛星観測の弱点をカバーして地上から大気先端までのCO₂量をエアロゾルなどの影響を受けにくい安価な光学フィルタを利用して計測する装置である。この計測装置は地上に設置したフィルタに届く太陽光を利用しているため、装置上空のCO₂の積算データを計測する。これを、二酸化炭素鉛直カラム濃度計 (Fiber Etalon Solar measurement for Carbon dioxide : FES-C) と呼んでいる。

もう一つは、天気に影響されず、気圧が低い条件でも高精度で地上から上空 10 km までの間を 300 m ごとに計測できる二酸化炭素ゾンデである。

ここでは、これら計測機器の開発と、それらを用いて行われた計測事例について紹介する。

(1) 鉛直カラム濃度計

FES-C の開発は、2011 年から 2013 年にかけて、独立行政法人科学技術振興機構 (Japan Science and Technology Agency : JST) の委託を受け実施した。波長選択が可能なファイバエタロンは温度に応じてその透過波長が変化するという光学特性をもっている。ファイバエタロンを温度制御することによって、CO₂の吸収・非吸収波長の強度を計測しその差から濃度を計算する。FES-C の特長として、フーリエ変換分光器などの従来機器に比べて導入・運用コストが安く、設置が容易、自動計測が可能といった点が挙げられる。さらに、計測時間が短いためエアロゾル



FES-C のシステム概念図

や巻雲の影響が少なく、またわずかな雲の切れ間から太陽が見えるだけでも計測可能である。

(2) 二酸化炭素ゾンデ

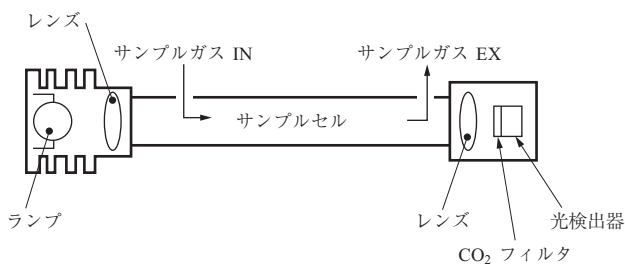
二酸化炭素ゾンデの開発は、2008年から2010年にかけて JST の委託を受けて行った。

大気中の CO₂ 濃度の検出には、非分散赤外線吸収法 (NDIR)、固体電解質センサ、光音響方式などの方法があるが、今回は NDIR 分析計を採用した。ほかの方式に比べ、次のような利点がある。

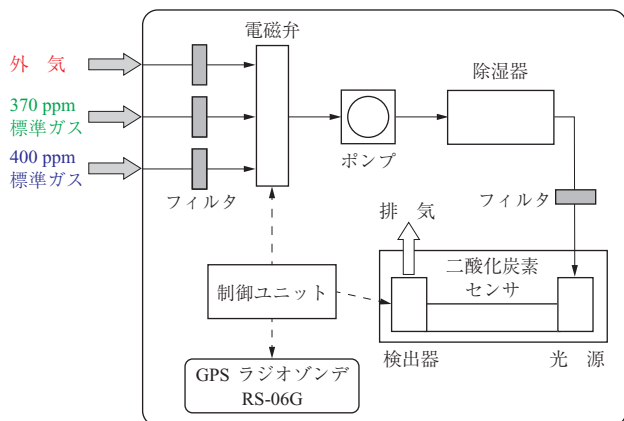
- ① 操作が比較的簡単である。
- ② 校正作業以外に保守整備がほとんど必要ない。
- ③ 価格帯が非常に広く (8 ~ 400 万円) 要求される精度に応じて選ぶことができる。

CO₂ 分子は、波長 4.26 μm の赤外線を選択的に吸収する性質をもっている。CO₂ 分子が高濃度で存在するとより強く吸収することになり、この性質を利用したのが NDIR である。

具体的には赤外光源と光検出器を両端に固定した筒の中に計測する外気を流すという方法で計測する。およそ 370 ppm と 400 ppm に校正した CO₂ を搭載し、外気とそれらのガスを切り替えながら計測することによって、高度 10 km まで 300 m ごとの CO₂ 濃度を 1 ppm 程度の精度で得ることが可能になった。



二酸化炭素センサ ブロック図



二酸化炭素ゾンデ ブロック図

実証実験

開発された計測機器は、現在、フィールドでの評価試験を実施中である。ここではインドネシア・カリマンタンで行われた泥炭火災 CO₂ 計測プロジェクトについて、大都市 (東京) 近郊での二酸化炭素ゾンデによる CO₂ 高度分布の計測結果の一例を紹介する。

(1) 泥炭火災による CO₂ の排出量計測

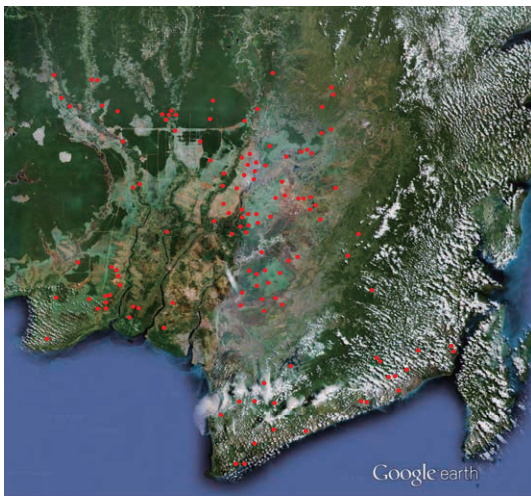
2011年に住友商事株式会社から委託を受け、FES-C を用いてインドネシア・中央カリマンタン州で森林泥炭火災に伴う CO₂ 排出量を計測した。カリマンタンなどの熱帯雨林の下には「泥炭」と呼ばれる地層が広がっている。この地域で、焼き畑などによって表層の森林が消失し、土壌の乾燥が進むと泥炭火災が発生して CO₂ が大気中に大量に放出される。この量は日本の年間総排出量を超えるほどである。

この泥炭火災による CO₂ 計測プロジェクトでは、主風向に沿う形で FES-C を 2 台展開し、約 3 か月間にわたって連続したデータの取得を試みた。泥炭の無い地域での森林火災に伴う CO₂ 排出量は、その焼失面積から発生量を推定することが可能である。しかし、カリマンタンにおいては、森林火災が活発に起こっているエリア以外に、CO₂ 発生源として泥炭火災さらに微生物による有機物分解がある。このような地域では焼失面積だけで CO₂ 排出量を算出するのは困難であり、また「いぶき」によるカラム濃度計測も、雲や火災による煙などに阻まれ有効でない。

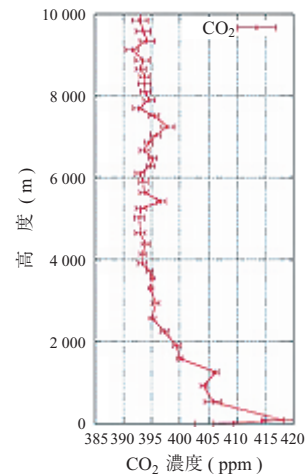
FES-C を用いた継続的な計測によって、森林泥炭火災に伴う CO₂ 鉛直カラム量の変化を長期的、



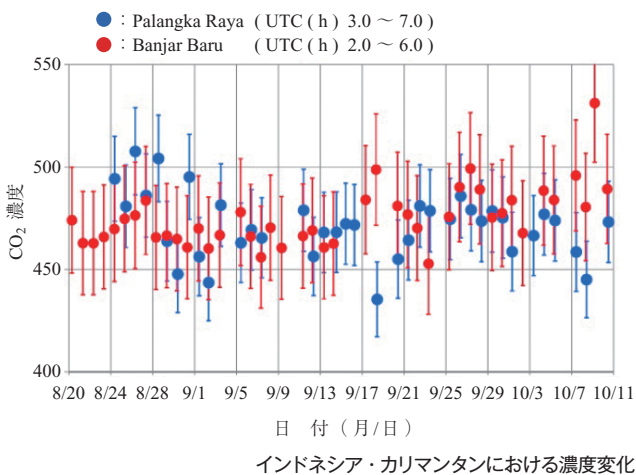
泥炭火災と観測



火災スポット衛星画像



二酸化炭素ゾンデ プロファイル



インドネシア・カリマンタンにおける濃度変化

観測技術衛星「いぶき」ではカラム濃度しか計測することができないが、この二酸化炭素ゾンデによって得られる CO₂ の高度分布データと気象シミュレーションの風データを組み合わせることによって、その CO₂ がどこから発生したものを特定することも可能である。さらに、「いぶき」や従来型のフーリエ変換分光器などの計測機器は、太陽光を利用するために昼間しか計測できないが、この CO₂ ゾンデは夜間でも使用できるため、大都市や森林などの CO₂ の吸収・排出に関する 1 日の変化を計測することもできる。

今後の展開

現在、MEISEI で開発した二酸化炭素ゾンデと FES-C を使用して、衛星や航空機による計測結果との比較や森林などの CO₂ 吸・排出量の計測、フィールドでの実証実験が行われている。

今後は、二酸化炭素ゾンデ、FES-C および数値シミュレーションを組み合わせた CO₂ の排出量推定ソリューションの提供や、CO₂ 計測衛星の校正・検証やそのほかのシステムとの相互データ参照を含めて国際的な温暖化防止戦略に大きく貢献するデータ、システム提供を目指していく。

問い合わせ先

明星電気株式会社
技術本部 気象グループ
電話 (0270) 32-1119
URL : www.meisei.co.jp/

連続的に捉えることができた。しかし、2 か所の計測点だけから広域にわたる CO₂ 排出量の正確な把握を行うことは困難である。併せて行った数値シミュレーションの解析によって、2 000 km² の領域の CO₂ 排出量を定量的に捉えるためには、16 機の FES-C の設置が必要となることが分かった。

(2) 大都市近郊での CO₂ 高度分布計測

下図に、茨城県守谷市で行った二酸化炭素ゾンデによる計測結果を示す (2011 年 11 月 14 : 30 放球)。気球は約 4 m/s で上昇し、高度 300 m ごとに計測していく。高度 2.5 km 程度までの大気境界層より下では、濃度が大きく上昇している。一方、大気境界層より上では濃度変化は少なく、地上での CO₂ 発生の影響をほとんど受けていない。このように二酸化炭素ゾンデによって、地上付近での CO₂ の様子を明確に捉えることができる。