

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 19 日現在

機関番号：21401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18180

研究課題名(和文) ドローン(UAV)を用いた北日本上空における温室効果ガスの鉛直分布観測

研究課題名(英文) Measurement of atmospheric greenhouse gases using unmanned aerial vehicle (UAV) for profiling vertical distribution over Northern Japan

研究代表者

井上 誠 (Inoue, Makoto)

秋田県立大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号：00599095

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大気中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)濃度を観測するためのドローンを開発し、秋田県大潟村上空においてCO<sub>2</sub>の鉛直分布観測を実施した。2018年から2019年までの約1年間の飛行観測結果をまとめ、夏季には上空よりも地上でCO<sub>2</sub>濃度が低く、それ以外の季節では濃度の鉛直勾配が小さくなる傾向であることが明らかになった。そのようなCO<sub>2</sub>濃度の鉛直分布の季節性には、地上の植生分布が深く関わっていることが示唆された。また、大潟村上空でドローンによる水平観測も実施してCO<sub>2</sub>濃度の水平分布データと気象データの解析を行い、各観測日におけるCO<sub>2</sub>濃度分布の形成要因を調べた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

上空の温室効果ガス濃度の鉛直分布を高精度で計測する方法は、観測機材を搭載して行う航空機観測やゴム気球に測器を吊り下げて行う観測等に限定されているのが現状である。ドローンを用いて地上から高層にかけての温室効果ガスの鉛直分布を計測した例は非常に少なく、世界的にも珍しい試みである。本研究により高精度で濃度を観測することが実証されれば、手軽にCO<sub>2</sub>を測る方法としてUAV観測が普及し、地域スケールのCO<sub>2</sub>濃度分布や変動要因の解明につながる。また、将来、CO<sub>2</sub>以外の温室効果ガスや微小粒子状物質PM<sub>2.5</sub>、一酸化炭素等の大気汚染物質もUAVで観測できるようになり、大気観測の応用範囲が広がることが期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a simple measuring system prototype that uses an unmanned aerial vehicle (UAV), and observed the vertical concentrations of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) above the ground in Ogata Village, Akita Prefecture, Japan, from February 2018 to February 2019. These results showed that CO<sub>2</sub> concentrations were lower around the ground in summer, and the CO<sub>2</sub> vertical gradient in other seasons was smaller than that in summer. This seasonality may be profoundly related to vegetation condition around the flight observation site. In addition, we examined the formation processes of the CO<sub>2</sub> horizontal distribution using the daily meteorological data in Ogata Village.

研究分野：気象学、大気化学

キーワード：温室効果ガス ドローン 二酸化炭素 鉛直分布 北日本 観測手法

### 1. 研究開始当初の背景

温室効果ガスは、地球環境や気候に大きな影響を及ぼす重要な大気物質である。主要な温室効果ガスの1つである二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の増加を抑制することが課題となっているが、化石燃料の燃焼や森林等の土地利用の変化によってCO<sub>2</sub>は増加し続けており、地球の平均気温が今後も上昇すると予測されている。温暖化が進むと、夏季の熱中症患者の増加や熱帯域に限られていた感染症の拡大により人間の健康にも影響を及ぼすことが懸念される。夏季の森林は光合成によって大気中のCO<sub>2</sub>を吸収すると考えられているが、上空のCO<sub>2</sub>濃度の鉛直分布を詳しく知るために、これまで航空機や気球等を用いた観測が行われてきた。しかし、これらの観測方法はコストが高く大掛かりであることから、週数回程度の高い頻度で観測することは難しい。観測が実施できる場所も限られるため、市街地・森林スケールでの温室効果ガス分布の詳細については今もよく分かっていない。大気分野において、これらに代わる安価で手軽な温室効果ガスの鉛直分布観測手法の開発が求められている。

### 2. 研究の目的

地表面付近の大気中の物質は地表面の状態(例えば、コンクリートが覆う都市域・森林・水田等)によって変化に富んでおり、それより上空では変化は小さいと考えられるが、CO<sub>2</sub>の鉛直分布に関する知見は乏しいのが現状である。そこで、CO<sub>2</sub>観測のためのドローンシステムを開発し、高頻度観測を実施して秋田上空のCO<sub>2</sub>濃度の鉛直・水平分布及びその季節性の特徴を明らかにすることが本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

#### (1) 秋田県立大学で開発したCO<sub>2</sub>観測用のドローンシステム

本研究で使用するUAVは、DJI社製のMatrice600である。CO<sub>2</sub>濃度の観測にはLI-COR社製のLI-840A CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O アナライザーを用いた。外気吸引用の電動ポンプ、データを蓄積するためのロガーは、市販品を使用した。これらを搭載するために、UAVの下部にアルミ材と樹脂を用いて専用のマウントを設計した(図1)。



図1 CO<sub>2</sub>観測用ドローンシステム

#### (2) 観測方法

##### 鉛直分布観測

秋田県立大学大瀧キャンパス上空において、ドローンを用いたCO<sub>2</sub>濃度の鉛直分布観測を2018年2月以降月1回以上の頻度で行った。まず、飛行前にLI-840Aの暖機運転を行ったうえでCO<sub>2</sub>濃度の異なる2種類の標準ガス及びN<sub>2</sub>ガスの測定を行い校正用の値を得た。その後ドローンを飛行させ、上空500mから下降しながら任意の高度で30秒間ホバリングしてCO<sub>2</sub>濃度を観測した。観測高度は500m、400m、300m、200m、100m、10mである。なお、150m以上の空域の飛行と目視外飛行に関しては、国土交通省の許可を事前に得ている。

##### 水平分布観測

大瀧キャンパスにおいて、2019年12月~2020年11月の期間にCO<sub>2</sub>水平観測を実施した。暖機運転と標準ガス測定の実施後、ドローンを各高度(50m、100m、200mまたは150m)まで飛行させ、上空9地点(図2のA~I)でホバリングし、各地点におけるCO<sub>2</sub>濃度の30秒間平均値を算出した。

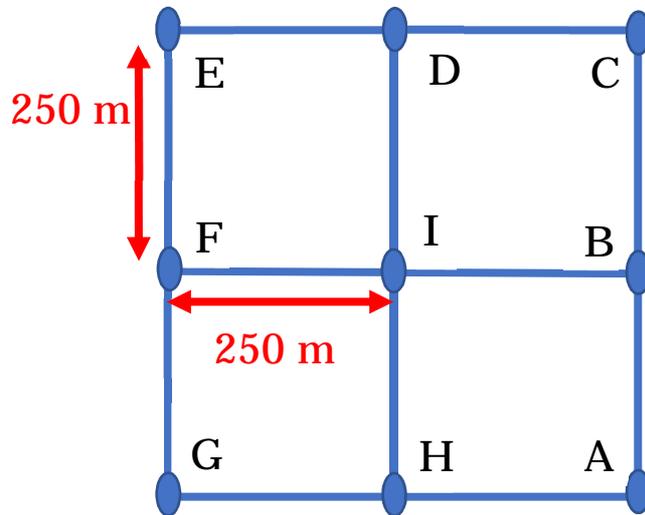


図2 上空のCO<sub>2</sub>水平分布の観測地点(A~I)

#### 4. 研究成果

##### (1) 鉛直分布観測

秋田県立大学で開発したドローンシステムを用いて、月1回以上の頻度で飛行観測を実施し、大潟村の地上から上空500mまでのCO<sub>2</sub>濃度の鉛直分布データを取得することに成功した。2018年2月から12月までの月別・高度別の観測結果を図3に示す。夏季には上空より地上付近でCO<sub>2</sub>濃度が低くなるという傾向にあり、寒候期にはCO<sub>2</sub>の鉛直勾配が小さくなるという特徴がみられ、気象庁のシミュレーション結果とも似た季節変動が確認できた。これには、季節による植生分布、光合成活動の違いが深く関わっている可能性がある。

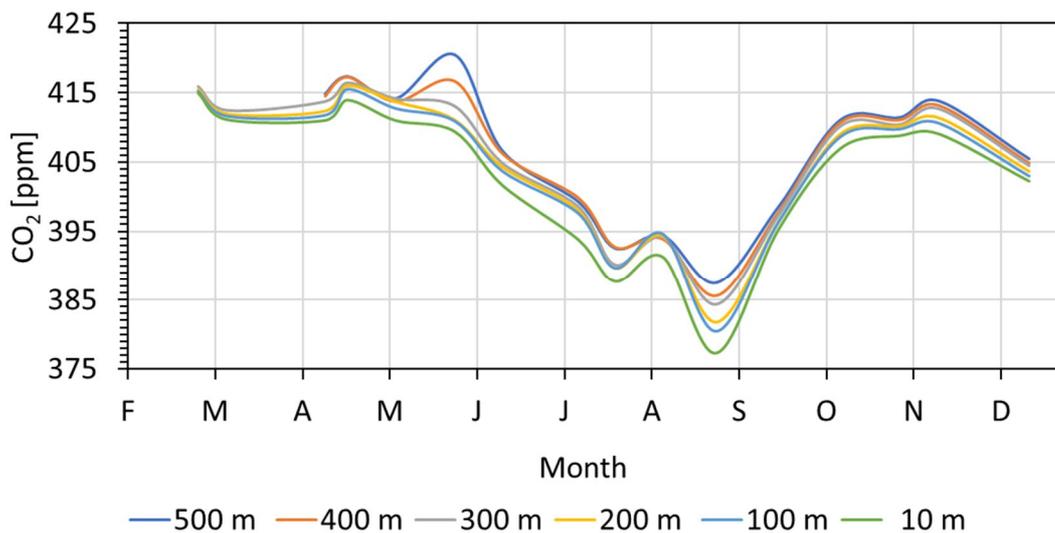


図3 各高度におけるCO<sub>2</sub>濃度の季節変動

##### (2) 水平分布観測

ここでは、2019年12月19日と2020年1月15日の観測結果を示す。12月19日における9地点のCO<sub>2</sub>濃度平均値はどの高度もおおよそ417ppm程度であった(図4)。9地点におけるCO<sub>2</sub>濃度の標準偏差は、いずれの高度も0.15ppm以下であり小さかった。また、1月15日におけるCO<sub>2</sub>濃度平均値は404~406ppm程度であり、12月19日に比べると低かったが、標準偏差は0.2ppm以下であった(図省略)。大潟村のアメダスデータより、12月19日は西寄りの風であり、100~200mの高度では、500m×500mの水平スケールの変動幅が1ppm以内と小さかったことから、この日は大陸からのような空気塊が輸送され、CO<sub>2</sub>濃度が高くなった可能性がある。また、1月15日は北東寄りの風であり内陸部からの流入があることが示唆された。今後ドローンによるCO<sub>2</sub>観測を継続し、さらなる濃度分布の特徴・要因を解明することが期待される。

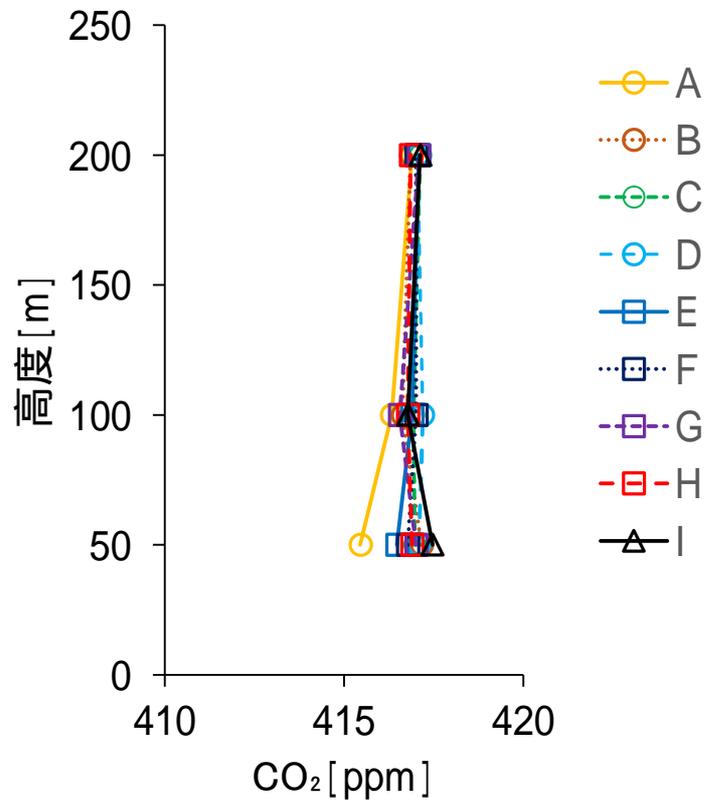


図4 各高度におけるA~I地点のCO<sub>2</sub>濃度分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Chiba Takashi, Haga Yumi, Inoue Makoto, Kiguchi Osamu, Nagayoshi Takeshi, Madokoro Hirokazu, Morino Isamu	4. 巻 10
2. 論文標題 Measuring Regional Atmospheric CO2 Concentrations in the Lower Troposphere with a Non-Dispersive Infrared Analyzer Mounted on a UAV, Ogata Village, Akita, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Atmosphere	6. 最初と最後の頁 487 ~ 487
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/atmos10090487	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 間所洋和, 井上誠, 永吉武志, 千葉崇, 芳賀ゆうみ, 木口倫, 佐藤和人	4. 巻 56
2. 論文標題 二酸化炭素の鉛直プロファイルを現地観測するドローンシステムの試作開発と飛行試験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 37 ~ 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.56.37	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nomura Kohei, Madokoro Hirokazu, Chiba Takashi, Inoue Makoto, Nagayoshi Takeshi, Kiguchi Osamu, Woo Hanwool, Sato Kazuhito	4. 巻 -
2. 論文標題 Operation and Maintenance of In-Situ CO2 Measurement System Using Unmanned Aerial Vehicles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 19th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS) (査読付きプロシーディングス)	6. 最初と最後の頁 992 ~ 997
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/ICCAS47443.2019.8971523	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 井上誠・木口倫	4. 巻 88
2. 論文標題 秋田県立大学における大気研究の紹介	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本気象学会東北支部だより	6. 最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Nomura K., Madokoro H., Chiba T., Inoue M., Nagayoshi T., Kiguchi O., Woo H., Sato K.
2. 発表標題 Operation and Maintenance of In-Situ CO2 Measurement System Using Unmanned Aerial Vehicles
3. 学会等名 19th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊勢貴之, 井上誠, 千葉崇, 小館正嗣, 木口倫, 森野勇
2. 発表標題 非分散型赤外分析計LI-840Aによる二酸化炭素濃度データの精度評価
3. 学会等名 第71回気候影響・利用研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Inoue M., Haga Y., Nagayoshi T., Madokoro H., Takakai F., Kiguchi O., Morino I.
2. 発表標題 Measurement of atmospheric carbon dioxide using unmanned aerial vehicle for profiling vertical distribution over Akita
3. 学会等名 14th iCACGP Quadrennial Symposium / 15th IGAC Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Haga Y., Chiba, T., Inoue, M., Kiguchi, O., Nagayoshi, T., Madokoro, H., Ise, T., Abe, M., Morino, I., Sasakawa, M., Machida, T.
2. 発表標題 Regional atmospheric CO2 concentration detected by NDIR onboard a UAV in the lower part of neutrally atmospheric boundary layers in Ogata, Akita, Japan
3. 学会等名 International Symposium on Agricultural Meteorology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上誠
2. 発表標題 オゾン層の現状と温室効果ガス観測の取り組み
3. 学会等名 あきた地球環境会議(CEEA) 環境問題研修会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>[その他]</p> <p>(1) 報道関連情報  AKT秋田テレビ Live News あきた、「ドローンを用いた温室効果ガス観測に成功」, 2019.10.18  秋田魁新報, 1面, 「ドローンでCO2観測」, 2019.10.19  北羽新報, 1面, 「県立大 大気観測・解析グループ 国内初、ドローンで観測」, 2019.10.19  毎日新聞, 20面, 「温室効果ガスをドローンで観測 国内初、低コスト実現 県立大チーム」, 2019.10.20  日本経済新聞, 35面, 「秋田県立大、ドローンで温暖化ガス観測 国内初」, 2019.10.22  朝日新聞, 19面, 「CO2濃度 ドローンで観測 県立大研究チーム 国内初成功」, 2019.10.22  国立環境研究所 環境情報メディア 環境展望台, 「秋田県立大など、ドローンを用いた温室効果ガスの観測に成功」, 2019.10  日経産業新聞, 11面, 「ドローンで温暖化ガス観測 秋田県立大が国内初」, 2019.10.30  ABS秋田放送 渡部絢也の音の見えるラジオ, 「ドローン」, 2019.11.21  機関紙あきた経済 経済日誌, 「ドローンでCO2濃度観測」, 2019.11</p> <p>(2) アウトリーチ活動情報  井上誠, オゾン層の現状と温室効果ガス観測の取り組み, あきた地球環境会議(CEEA) 環境問題研修会, 秋田県北部市民サービスセンター, 2018.11.11</p> <p>(3) ホームページ情報  researchmap 井上誠  <a href="https://researchmap.jp/met/">https://researchmap.jp/met/</a>  秋田県立大学 生物環境科学科のページ 井上誠  <a href="https://www.akita-pu.ac.jp/bioresource/DBE/lecture_inoue.html">https://www.akita-pu.ac.jp/bioresource/DBE/lecture_inoue.html</a></p>
---

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------