

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K01129

研究課題名(和文)都市の二酸化炭素は何からどれくらい出ているのか？

研究課題名(英文)How much does a city exhaust CO2？

研究代表者

菅原 広史 (Sugawara, Hirofumi)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群)・応用科学群・教授

研究者番号：60531788

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：都内(渋谷区)に設置した観測サイトにおいて、二酸化炭素の排出量を常時観測した。排出量には朝と夕にピークをもつ日変化パターンが見られ、これは化石燃料消費量から推定される排出量の日変化パターンと整合的であった。

観測された二酸化炭素排出量を、同時に測定した炭素同位体および酸素濃度を用いて、発生起源別に分類した。都市ガス起源の二酸化炭素排出量は、やはり朝夕にピークが見られた。ガソリン起源の排出量は朝のピークが顕著である一方で夕方のピークは必ずしも明確ではなかった。これらの起源別排出量は化石燃料消費量から推定される排出量と整合的であり、本研究で開発した起源別分離の手法が妥当であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

市街地は温室効果を引き起こす二酸化炭素の一大排出エリアである。二酸化炭素については様々な排出削減策がとられているが、それらが実際にどの程度効率的に行われているのかを調査する術がこれまでなかった。本研究では、大気中の二酸化炭素を測定し、それがどの発生源(都市ガスの燃焼、あるいは自動車での排出)から排出されたものかを明らかにする新たに手法を開発した。この手法を発展させれば、排出削減策の実効果を定量的に評価することが将来可能になる。

研究成果の概要(英文)：Carbon dioxide flux was measured continuously in Shibuya Tokyo Japan. The flux showed diurnal pattern which has the peaks in morning and evening, and the pattern was consistent with the emission inventory based on the fossil fuel consumption.

We developed new methodology which dissolves the total measured flux into the component flux from each emission source (gas fuel and liquid fuel combustion). The methodology uses carbon isotope and oxygen concentration. The dissolved flux from gas fuel combustion showed diurnal pattern similar to the total flux. The flux from liquid fuel combustion showed morning peak but not for the evening peak. These pattern was consistent to the inventory analysis and the developed methodology was proved for its accuracy.

研究分野：気象学

キーワード：二酸化炭素 都市

1. 研究開始当初の背景

現在、CO₂ 排出量は化石燃料消費の統計値から推定されている。しかし、この推定には大きな不確かさがある。最近 10 年間の全球規模での消費統計の誤差は 0.5Gt/yr と見積もられ (Le Quére et al., 2015)、これは日本の年間炭素排出総量 (0.35Gt、2014 年) に匹敵する。世界で最も信頼できるレベルの統計を行っている日本ですら、都市において CO₂ 排出量を実測すると、消費統計による推定値に明らかな見落としや過大評価がみられる (Hirano et al., 2015)。温室効果ガスの排出を削減するには、実際の排出量を明らかにすることが必要である。ところが、この消費統計と実測の不一致は無視できない大きさである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ガソリン・都市ガス・生物の 3 種類の CO₂ 排出源について、排出源別の CO₂ 排出量を直接計測する微気象・大気化学的手法を開発することである。この手法は乱流計測、同位体分析、濃度計測を組み合わせるものである。これまで前例がない全く新しい方法である。

提案手法の原理は、乱流計測により測定された総輸送量を同位体比と酸素濃度を使って、排出源別に案分するものである。まず市街地の建物上において乱流計測を行い、渦相関法を用いて CO₂ の総輸送量を測定する。同時に大気中での炭素同位体比と酸素濃度の測定を行う。炭素同位体比からは大気中の炭素の起源が化石燃料の燃焼によるものか、植物・人間の呼吸によるものなのかがわかる。また、酸素濃度からは化石燃料のうち、ガソリン、天然ガスのどちらが燃焼して生成された二酸化炭素なのかがわかる。ガソリンは自動車、天然ガスは家庭でのガス消費に対応する。したがって、計測された総輸送量を案分することにより、排出源 (自動車、家庭、生物) ごとの排出量を求めることができる。この測定では 1 時間ごとの排出量測定が可能である。

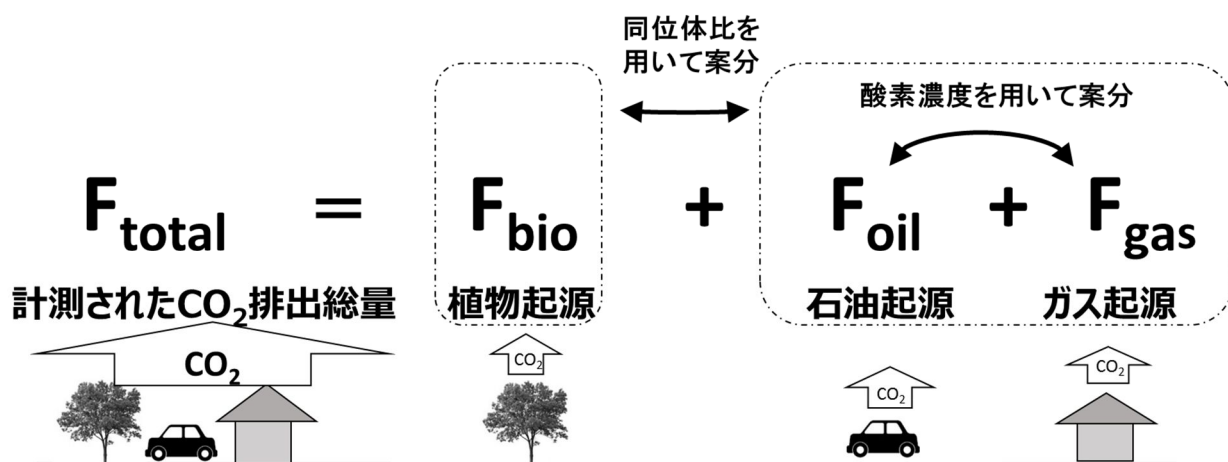


図1 起源別の二酸化炭素排出量推定の概念図。

3. 研究の方法

本研究では東京都渋谷区の既存の観測サイトにおいて連続観測を行った。周辺は中低層住宅街であり、工場や発電所等の大規模排出施設はない。大気中での二酸化炭素輸送量(総排出量)を30分ごとに渦相関法により実測した。同時に炭素同位体、酸素濃度を実測した。炭素同位体を用いて二酸化炭素総排出量のうち生物呼吸による寄与分を除去し、さらに酸素濃度を用いて都市ガスと石油起源の排出量に案分した。得られた起源ごとの排出量の妥当性を化石燃料の消費量データを用いて検討した。総排出量の測定においては、大気安定度の影響や大気中貯留量の推定など基礎的な検討も行った。また、分光センサーによる観測サイト周辺での植生量の調査も行った。

4. 研究成果

二酸化炭素の排出量には朝と夕にピークをもつ日変化パターンが見られ、これは化石燃料消費量から推定される排出量の日変化パターンと整合的であった。

観測された二酸化炭素排出量を、同時に測定した炭素同位体および酸素濃度を用いて、発生起源別に分類した。炭素同位体からおよそ2割程度の生物起源の二酸化炭素排出が推定されたが、その起源についてはサイト周辺の植生量(面積率にして9%)と人口密度を検討した結果、人間呼吸であると判断できた。起源分離された排出量についてみると、特に冬季に顕著な日変化パターンが見られた(図2上段)。都市ガス起源の二酸化炭素排出量は、総排出量と同様に朝夕にピークが見られた。ガソリン起源の排出量については、朝のピークが顕著である一方で夕方のピークは必ずしも明確ではなかった。これらの起源別排出量は化石燃料消費量から推定される排出量(図2下段)とおおむね整合的であり、本研究で開発した起源別分離の手法が妥当であることが示された。

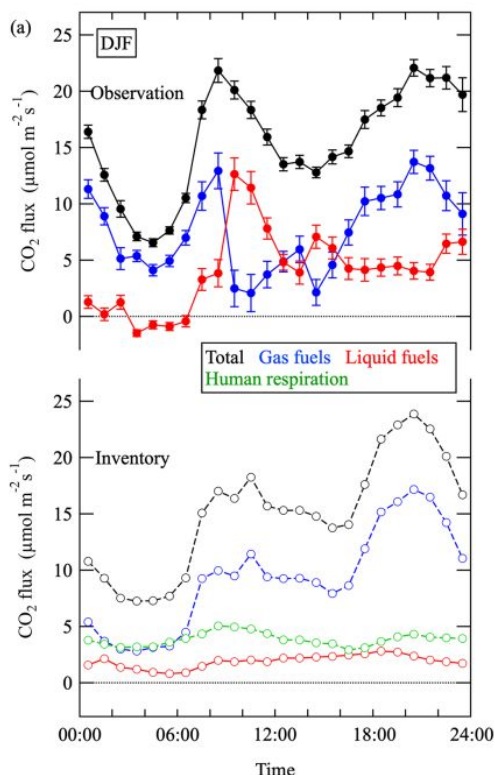


図2 冬季における起源別二酸化炭素排出量の日変化。上段が実測値で下段は化石燃料消費量統計からの推定値。Total: 総排出量(黒)、gas fules: 都市ガス起源(青)、liquid fules: ガソリン起源(赤)、

Human respiration: 人間呼吸起源(緑)。本助成の成果として投稿した学術論文(Ishidoya et al., 2020)より。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3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 Kaneyasu Naoki, Ishidoya Shigeyuki, Terao Yukio, Mizuno Yusuke, Sugawara Hirofumi	4. 巻 4
2. 論文標題 Estimation of PM2.5 Emission Sources in the Tokyo Metropolitan Area by Simultaneous Measurements of Particle Elements and Oxidative Ratio in Air	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Earth and Space Chemistry	6. 最初と最後の頁 297 ~ 304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsearthspacechem.9b00314	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 Sugawara Hirofumi, Kondo Junsei	4. 巻 36
2. 論文標題 Microscale Warming due to Poor Ventilation at Surface Observation Stations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Atmospheric and Oceanic Technology	6. 最初と最後の頁 1237 ~ 1254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/jtech-d-18-0176.1	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 Ishidoya Shigeyuki, Sugawara Hirofumi, Terao Yukio, Kaneyasu Naoki, Aoki Nobuyuki, Tsuboi Kazuhiro, Kondo Hiroaki	4. 巻 20
2. 論文標題 Exchange ratio for net turbulent flux observed in an urban area of Tokyo, Japan, and its application to an evaluation of anthropogenic CO ₂ emissions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 5293 ~ 5308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-20-5293-2020	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 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Y. Terao, H. Sugawara, S. Ishidoya and N. Kaneyasu
2. 発表標題 Simultaneous atmospheric observation of CO ₂ flux, 14CO ₂ , O ₂ and CO ₂ concentrations and aerosol components in Tokyo for partitioning of CO ₂ flux into emission sources.
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Kaneyasu, S. Ishidoya, H. Kondo, Y. Mizuno and Y. Terao
2. 発表標題 Estimation of PM2.5 emission source in Tokyo Metropolitan area by simultaneous measurements of particle elements and oxidative ratio in air.
3. 学会等名 The 11th Asian Aerosol Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石戸谷重之、菅原広史、寺尾有希夫、高根雄也、兼保直樹
2. 発表標題 代々木街区での都市ガス消費と自動車起源の人工排熱量の分離推定に向けた二酸化炭素フラックスおよび酸素/二酸化炭素交換比の同時観測
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅原広史、小川陽平、石戸谷重之、寺尾有希夫
2. 発表標題 都市におけるCO2フラックスの支配因子に関する観測的研究
3. 学会等名 日本気象学会2019年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirofumi Sugawara
2. 発表標題 Turbulent flux measurement for urban CO2 emission -Partitioning eddy flux into emission sources-
3. 学会等名 10th International Conference on Urban Climate (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yohei Ogawa
2. 発表標題 Long term measurement of heat and carbon dioxide flux in Tokyo
3. 学会等名 10th International Conference on Urban Climate (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takane, Y., K. Nakajima, Y. Kikegawa, H. Sugawara, S. Ishidoya, Y. Terao, K. Yamaguchi, N. Kaneyasu, and M. Hara
2. 発表標題 Off-line urban building energy model reproducibility against 'observed' anthropogenic heat and electricity consumption
3. 学会等名 European Geosciences Union General Assembly 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高根雄也, 中島虹, 亀卦川幸浩, 菅原広史, 石戸谷重之, 寺尾有希夫, 山口和貴, 兼保直樹, 原政之
2. 発表標題 現地観測から推定された人工排熱と電力消費量に対するoff-line都市気候・建物エネルギーモデルの再現性
3. 学会等名 日本気象学会2020年度春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Terao, Y., Tohjima, Y., Ishidoya, S., Ouchi, M., Osonoi, Y., Mukai, H., Machida, T., Sugawara, H., Kaneyasu, N., and Niwa, Y.
2. 発表標題 Atmospheric observations of CO ₂ , 14CO ₂ and O ₂ concentrations to capture fossil fuel CO ₂ emissions from the Greater Tokyo Area
3. 学会等名 European Geosciences Union General Assembly 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究 分担者	石戸谷 重之 (Ishidoya Shigeyuki) (70374907)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究グループ長 (82626)	
研究 分担者	寺尾 有希夫 (Terao Yukio) (20469745)	国立研究開発法人国立環境研究所・地球環境研究センター・主任研究員 (82101)	

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
---------	---------