

令和 3 年 5 月 28 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03362

研究課題名(和文)大都市中心部からのメタン放出量の連続測定

研究課題名(英文)Continuous measurements of methane emissions from an urban area

研究代表者

植山 雅仁(Ueyama, Masahito)

大阪府立大学・生命環境科学研究科・准教授

研究者番号：60508373

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,190,000円

研究成果の概要(和文)：大阪府堺市中心部の高度に都市化された区域と大阪府立大学校内の郊外地域を対象として、渦相関法によりCH₄フラックスを連続測定した。CH₄濃度を移動観測できる車載観測システムを開発し、CH₄濃度の空間分布からCH₄排出の点源の有無を評価した。その結果、都市域はCH₄の大きな排出源となっており、下水処理場などの大きな点源や下水管、ガス管のリークによると思われる点源が排出に寄与している可能性が示された。計測された年間排出量は、堺市による排出インベントリーで想定される値の2倍以上であり、都市域にはこれまで想定されていなかったCH₄の大きなミッシング・ソースがあることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

都市域のCH₄フラックスを直接的に測定した例は、世界的に見ても数例の報告しかない。3年にわたるデータを蓄積させ、都市内の点源から考えられていたよりも大きなCH₄排出が生じていることを明らかにできた点が、本研究の学術的な意義である。行政による排出インベントリーが実際のCH₄排出量を過小評価している可能性を示せた点は、温室効果ガス削減を社会目的に掲げる日本において社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：For investigating CH₄ emissions from urban area, we continuously measured CH₄ flux at two urban landscapes in Sakai, based on the eddy covariance method. The spatial variabilities in CH₄ concentrations were also measured within the city based on a mobile measurement for evaluating CH₄ emission hotspots. Based on the three years study, we conclude that the urban areas are a significant CH₄ source. The mobile measurements suggested several CH₄ point sources: gas leaks from natural gas networks, sewage pipes, gas-powered air conditioners, and moats. Since the measured annual CH₄ source was more than twice the expected source by the local government, indicating that there are large missing sources in the urban area.

研究分野：微気象学

キーワード：メタンフラックス 一酸化炭素フラックス 温室効果気体 渦相関法 都市 連続観測 移動観測

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

2015年にパリ協定が採択され、国際的な枠組みのなかで温室効果気体の排出量の削減が急務となっている。削減量の算定のためには都市域からの温室効果気体排出量の現状把握が必須であるが、用いられている統計値（排出インベントリ）には大きな不確実性があることや、時空間の解像度が非常に粗いことが問題となっている。とりわけ、CH₄放出量については技術的な問題から連続測定が容易でなく、場所の問題から計測を都市で実施することが難しい。このため、著者らが知る限り、現在、世界でもヨーロッパの3つの観測事例（Gioli et al., 2012; Pawlak et al., 2016; Halfter et al., 2016）しかない。これらの限られた直接観測が示唆することは、都市域にCH₄放出の大きなミッシング・ソースが存在するという点である。GOSATを始とする衛星観測による全球スケールの温室効果気体収支の評価には時空間分解能の高い都市域からの排出量データが先見情報として不可欠であることから、都市域のCH₄放出量の動態解明は人為起源の排出量の算定のみならず、全球の温室効果気体収支の高精度評価に不可欠な課題である。そこで、本研究では、大都市域からのCH₄排出量の時空間変動の定量化と変動要因の解明に取り組む。

2. 研究の目的

大都市域からのCH₄放出量を直接観測により定量化し、その時空間変動に影響する要因を明らかにする。都市域からのCH₄放出量を長期観測するための基盤を構築し、高精度観測を維持するためのノウハウを蓄積し、研究期間中には以下の2課題を明らかにする。すなわち、1) 研究期間の3年間にわたって渦相関法を用いて都市スケールのCH₄放出量を連続測定し、CH₄放出量の日変化、週内変化、季節変化、年次変化を明らかにし、2) 移動観測システムの開発と都市内のCH₄濃度の空間分布とその要因を明らかにする。特に、研究対象地域内に排出インベントリで十分に評価できていないミッシング・ソース（例えば、ガス管からのリーク、下水由来のCH₄発生、低温時のガソリンの不完全燃焼）が存在しないかを明らかにする。

3. 研究の方法

CH₄放出量の測定は、大阪府堺市中心部の高度に都市化された区域（図1a）と、大阪府立大学校内の郊外地域（図1b）を対象として行った。堺市は大阪第2の都市であり、政令指定都市である。これまでの研究から、堺市中心部の対象地域は年間で3~5 kg C m⁻²のCO₂放出源、郊外地域では1.2 kg C m⁻²のCO₂放出源であることが分かっている（Ueyama and Ando, 2016）。

時空間的に不均一性が高いと考えられる都市域のCH₄フラックスを定量評価するために、乱流理論に基づいた渦相関法を用いた（図1）。この手法は大気中のガスの濃度変動を高精度に計測することで、風上方向に測定高度の10倍程度の空間代表性を持つガスの輸送量を評価することが出来る。本研究では、レーザー分光方式のCH₄ガス分析計（LI-7700A, Li-Cor）によりナノモルオーダーのCH₄濃度変動を正確に計測することで、都市域からの30分ごとのCH₄放出量を高精度に連続計測した（Takano and Ueyama, 2021）。堺市役所高層館屋上の電波塔（図1a; 地上111 m）と大阪府立大学校内の建屋（図1b; 地上16 m）に、渦相関法の計測に必要な測器を取り付けた。渦相関法による観測は、2018年10月に開始し、分析計が不調であった時期を除いて、研究期間にわたって連続的に実施された。CH₄フラックスと同時にCO₂フラックス、COフラックス、水蒸気フラックス、顕熱フラックス、日射量、気温、湿度などの一般気象についても同時に計測した（Ueyama and Ando, 2020; Ueyama et al., 2021）。

CH₄・CO₂濃度を移動観測できる車載観測システムを開発し（図2）、渦相関法による計測が代表する地域を含む堺市内を移動観測し、CH₄濃度の空間分布からCH₄排出の点源の有無を評価した（Takano and Ueyama, 2021）。移動観測の経路を3経路設定し、それぞれ、1)堺市内の全体的な濃度分布の評価、2)渦相関法の代表地域内を網羅的に走行することによる点源評価、3)下水処理場や製油所などの点源を重点的に評価する経路とした。

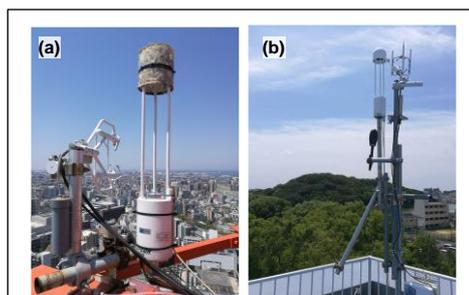


図1. 渦相関法に関わる機器
堺市中心部(a)、郊外地域 (b)



図2. ガス濃度の移動観測システム

4. 研究成果

堺市中心部からの CH₄ フラックスは、日中に排出が大きくなり、夜間に小さくなる明確な日変化を示すことが分かった (図 3)。また、下水処理場が位置する西側を代表した計測となる条件で、CH₄ フラックスは大きくなり、その他の地表面を代表する場合は、放出量は小さくなった (Takano and Ueyama, 2021)。いずれの条件でも、都市域は CH₄ の大きな排出源となっていることが明らかになった。排出量のオーダーは、国内の温帯湿原で計測されるピーク時の CH₄ 放出量 (Ueyama et al., 2020) と同程度の放出が、一年にわたって観測されており、想定より大きな CH₄ 排出量であった。季節変化に着目すると、7~9 月の夏季に他の季節と比べてわずかに CH₄ 排出量が大きくなる結果が得られた。一方、CH₄ フラックスには、CO₂ フラックスで見られたような平日と休日の顕著な差は観測されなかった。年間放出量は、下水処理場を含んだ地表面を代表する場合で 26 g CH₄ m⁻² yr⁻¹ の放出量、その他の地表面を代表する場合で 18 g CH₄ m⁻² yr⁻¹ の放出量であった。これらの値は、堺市による排出インベントリーで想定される値 (8.4 g CH₄ m⁻² yr⁻¹) の 2 倍以上であり、都市域にはこれまで想定されていなかった CH₄ の大きなミッシング・ソースがあることが明らかになった。

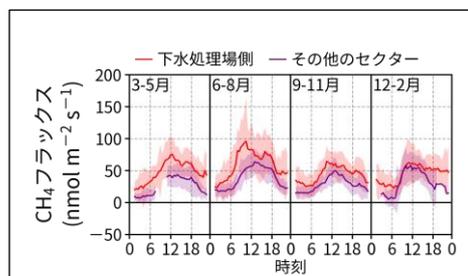


図 3. 都市中心部における CH₄ フラックスの平均日変化パターン

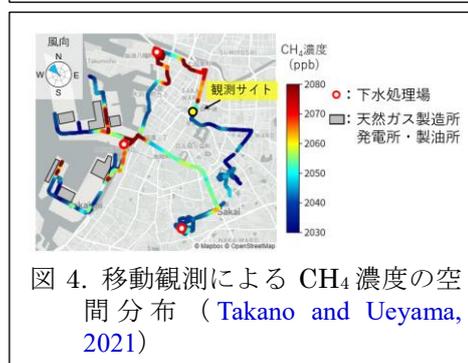


図 4. 移動観測による CH₄ 濃度の空間分布 (Takano and Ueyama, 2021)

大阪府立大学校内の郊外地域において、都市中心部と同様に CH₄ 排出が季節を通して観測された。特に、排水処理施設がある地表面を代表する条件で、大きな CH₄ 排出が観測された。この排水施設は地下で下水管と繋がっており、排水施設内の CH₄ 濃度が 43 ppm と大気濃度の 20 倍以上となり、この下水管とつながった排水施設が CH₄ の大きな点源になっていることが分かった。

CH₄ 濃度の移動観測から、沿岸部の下水処理場、天然ガス製造所、製油所付近で高濃度の CH₄ が観測され、これらが大きな CH₄ 排出源であることが示唆された。渦相関法による観測では、これらの施設が存在する方向から風が吹いたときに、高い CH₄ フラックスが観測されており、移動観測とフラックス観測の結果とは整合した (図 4)。下水処理場に代表される大きな排出源に加えて、都市内には、小さな点源 (例えば、反復測定により路面上で濃度が何度も高くなる地点) や、古墳の堀周辺、水田周辺、下水用マンホールなどの CH₄ 濃度が局所的に高くなる地点があることが分かった (Takano and Ueyama, 2021)。いっぽう主要幹線道路などの交通量の多い路面上で、CO₂ 濃度のように高くなるといったことは、CH₄ 濃度に関しては顕著でなかった。

以上の 3 年間の CH₄ フラックスの連続観測と CH₄ 濃度の移動観測を踏まえると、都市域は排出インベントリーで考慮できていない大きな CH₄ 排出源が存在すると結論付けることができる。下水処理場や製油所などの点源は、排出インベントリーでも考慮されている。一方で、観測されたフラックスの強度がインベントリーよりも大きくなったことから、インベントリーではこれらの排出強度を過小評価している可能性がある。また、路面上やマンホール周辺で CH₄ 濃度が高くなったことから、そもそも排出インベントリーで考慮できていない項目からの CH₄ 排出がある可能性が示された。これらの排出源は、下水管からの排出 (Foley et al., 2009; Guisasola et al., 2008)、都市ガス配管からのリーク (Jackson et al., 2014; Phillips et al., 2013) などが考えられる。都市域が大きなミッシング・ソースとなっていることは、ロンドンの研究 (Halfter et al., 2016) などでも指摘されているが、今回の研究から、日本においても CH₄ のミッシング・ソースが存在する可能性が強く示唆された。今後は、フラックス観測と濃度の多点観測を繋ぐ、大気中のガス濃度計測からマスバランスを利用した広域の CH₄ 収支を連続的に評価する観測が必要であると考えられる。また、同位体を用いた CH₄ 排出起源の評価を行うことで、ミッシング・ソースの起源を評価できるものと考えられる。

引用文献

- Foley, J., Yuan, Z., Lant, P., 2009. Dissolved methane in rising main sewer systems: field measurements and simple model development for estimating greenhouse gas emissions, *Water Science and Technology* 60, 2963-2971
- Gioli, B., Toscano, P., Lugato, E., Matese, A., Miglietta, F., Zaldei, A., Vaccari, F. P., 2012. Methane and carbon dioxide fluxes and source partitioning in urban areas: The case study of Florence, Italy. *Environmental Pollution* 164, 125-131.
- Guisasola, A., de Haas, D., Keller, J., Yuan, Z., 2008. Methane formation in sewer systems. *Water Research*

42, 1421-1430.

- Helfter, C., Tremper, A. H., Halios, C. H., Kotthaus, S., Bjoergegren, A., Grimmond, C. S. B., Barlow, J. F., Nemitz, E., 2016. Spatial and temporal variability of urban fluxes of methane, carbon monoxide and carbon dioxide above London, UK. *Atmospheric Chemistry and Physics* 16, 10543-10557.
- Jackson, R. B., Down, A., Phillips, N. G., Ackley, R.C., Cook, C. W., Plata, D. L., Zhao, K., 2014. Natural gas pipeline leaks across Washington, DC, *Environmental Science and Technology* 48, 2051-2058.
- Pawlak, W., Fortuniak, K., 2016. Eddy covariance measurements of the net turbulent methane flux in the city centre – results of 2-year campaign in Łódź, Poland. *Atmospheric Chemistry and Physics* 16, 8281-8294.
- Phillips, N. G., Ackley, R., Crosson, E. R., Down, A., Hutyra, L. R., Brondfield, M., Karr, J. D., Zhao, K., Jackson, R. B., 2013. Mapping urban pipeline leaks: Methane leaks across Boston, *Environmental Pollution* 173, 1-4.
- Takano, T., Ueyama, M., 2021. Spatial variations in daytime methane and carbon dioxide emissions in two urban landscapes, Sakai, Japan. *Urban Climate* 36, 100798.
- Ueyama, M., Ando, T., 2016. Diurnal, weekly, seasonal, and spatial variabilities in carbon dioxide flux in different urban landscapes in Sakai, Japan. *Atmospheric Chemistry and Physics* 16, 14727-14740.
- Ueyama, M., Ando, T., 2020. Cooling effect of an urban park by enhanced heat transport efficiency. *Journal of Agricultural Meteorology* 76, 148-153.
- Ueyama, M., Taguchi, A., Takano, T., 2021. Water vapor emissions from urban landscapes in Sakai, Japan. *Journal of Hydrology*, in press.
- Ueyama, M., Yazaki, T., Hirano, T., Futakuchi, Y., Okamura, M., 2020. Environmental controls on methane fluxes in a cool temperate bog. *Agricultural and Forest Meteorology* 281, 107852.

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 Takano, T., Ueyama, M.	4. 巻 36
2. 論文標題 Spatial variations in daytime methane and carbon dioxide emissions in two urban landscapes, Sakai, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Urban Climate	6. 最初と最後の頁 100798
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.uclim.2021.100798	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 Ueyama, M., Ando, T.	4. 巻 76
2. 論文標題 Cooling effect of an urban park by enhanced heat transport efficiency	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Agricultural Meteorology	6. 最初と最後の頁 148-153
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2480/agrmet.D-20-00022	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 Ueyama, M., Taguchi, A., Takano, T.	4. 巻 598
2. 論文標題 Water vapor emissions from urban landscapes in Sakai, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Hydrology	6. 最初と最後の頁 126384
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 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 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Takano, T., Ueyama, M.
2. 発表標題 Year-round measurements of methane fluxes in urban area
3. 学会等名 iLEAPS/IGAC-Japan 合同研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takano, T., Ueyama, M.
2. 発表標題 Year-round measurements of methane and carbon dioxide fluxes in two urban landscapes
3. 学会等名 AsiaFlux2019 -20th Anniversary Workshop- (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 植山雅仁・高野倫未
2. 発表標題 都市のメタンフラックス観測と濃度の移動観測
3. 学会等名 陸域生態系モニタリング研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高野倫未・植山雅仁
2. 発表標題 都市中心部および郊外地域におけるメタンフラックスの連続測定
3. 学会等名 日本農業気象学会全国大会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高野倫未・植山雅仁
2. 発表標題 都市域における温室効果気体収支の評価
3. 学会等名 2018年度日本農業気象学会中国四国支部・近畿支部合同大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高野倫未・植山雅仁
2. 発表標題 堺市郊外地域におけるメタンおよび二酸化炭素交換量の連続測定
3. 学会等名 農業気象学会全国大会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野倫未・植山雅仁
2. 発表標題 都市域におけるメタンおよび二酸化炭素交換量の時空間変動の評価
3. 学会等名 日本農業気象学会全国大会2021
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>大都市域からの熱・水蒸気・二酸化炭素・メタンの放出量の高精度評価に関する研究 http://atmenv.envi.osakafu-u.ac.jp/research/research_urban/ Eddy covariance data at urban areas in Sakai http://atmenv.envi.osakafu-u.ac.jp/data/sakai_data/</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
研究分担者	高橋 けんし (Takahashi Kenshi) (10303596)	京都大学・生存圏研究所・准教授 (14301)	

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