

極寒の地域でも使用可能な PM_{2.5} 測定用の自動温度制御断熱ボックスを開発

～アラスカなどの北極圏から南極まで今後の測器展開と寒冷地 PM_{2.5} 定常観測の発展に期待～

ポイント

- ・極寒の寒冷地でも PM_{2.5} を連続測定可能な自動温度制御断熱ボックスを開発（-25℃で動作確認）。
- ・冬季札幌の大気環境で検証し、夏季アラスカ森林火災時にも高濃度 PM_{2.5} を観測することに成功。
- ・今後、極寒になる北極圏や南極など多様な寒冷環境における PM_{2.5} 観測のネットワーク展開に期待。

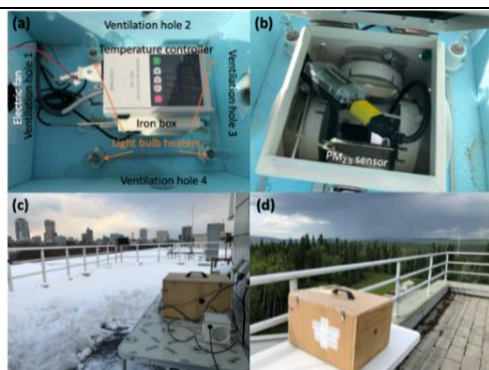
概要

北海道大学北極域研究センターの安成哲平准教授、同大学院工学院修士課程の若林成人氏（研究当時）、同低温科学研究所の的場澄人助教、名古屋大学の松見 豊名誉教授（宇宙地球環境研究所）らの研究チームは、パナソニック製の小型 PM_{2.5} センサー*1 を搭載した、寒冷地でも動作温度環境を自動で保つことが可能な自動温度制御断熱ボックスを開発しました（以下、PM_{2.5} 測定装置）。室内及び低温室における動作確認・検証実験や、冬季札幌・夏季アラスカでの現地観測による、現地の独立した PM_{2.5} 観測データとも比較検証を行うことで非常に寒冷な環境や、森林火災のような高濃度 PM_{2.5} 環境下における PM_{2.5}*2 測定にも、開発した装置が十分実用的であることを確認しました。

北極圏では、夏季森林火災から冬季気温の逆転層形成による大気汚染*3 まで、通年を通じて PM_{2.5} の測定が求められていますが、これまでは厳冬期の観測が非常に困難でした。本研究で開発した寒冷地仕様の PM_{2.5} 測定装置は、温度コントローラーの設定温度より少し低くなると、装置内部がヒーターで自動で温められ、外部が極寒でも内部を PM_{2.5} センサー動作環境に保つことができるため、冬季や通年で寒冷な場所で PM_{2.5} 観測を安定かつ継続して行うことが可能になります。また、開発実験では、防水ファンによる強制通風が必須であることがわかりました。北海道大学低温科学研究所の -25℃の低温室実験では、ヒーターが正常に動作し、通風口 2 つの条件で内部の温度環境をプラスに保つことも確認しました。さらに、2019 年 2 月に北海道大学工学部屋上で観測を行い、環境省国設局「国設札幌」で測定された PM_{2.5} の 1 時間値（確定値）の変動と比較したところ、本研究の PM_{2.5} 測定結果の 1 時間平均値と変動が整合的であることも確認できました。2019 年 6 月からは、アラスカ大学フェアバンクス校（UAF）国際北極圏研究センター（IARC）に同 PM_{2.5} 測定装置を設置し、夏季（6-7 月）アラスカの森林火災時の高濃度 PM_{2.5} 変動を捉えることに成功しました。

今後、冬季に寒冷になるアラスカやグリーンランドなどの北極圏及び南極など通年で寒冷な場所でも、安定に PM_{2.5} の継続観測を行うことが可能となり、PM_{2.5} 測定が希薄な極寒の地域での観測展開が大いに期待されます。

なお、本研究成果は、2022 年 3 月 10 日（木）公開の Journal of Environmental Management 誌に掲載されました。



PM_{2.5} 測定装置（自動温度制御断熱ボックス+小型 PM_{2.5} センサー）の詳細 (a,b) と冬季札幌 (c) 及び夏季アラスカ (d) での観測の様子

【背景】

世界中では多くの地域に大気汚染が存在し、2010年には屋外の大気汚染で約330万人が亡くなったと推定されています（Lelieveld et al., 2015）。PM_{2.5}は様々な大気汚染微粒子の混合質量濃度として健康影響評価の指標となっており、その環境基準もWHO（WHO, 2006）や日本などで制定されています。しかしながら、世界中ではPM_{2.5}観測が希薄な地域が未だ多く存在しています（Lary et al., 2014の図1参照）。

様々な地域でPM_{2.5}を測定するには、例えば、パナソニック製のPM_{2.5}を精度良く測定できる安価なLED式小型センサー^{*1}（Nakayama et al., 2018）が有効です。ただし、その動作環境は0℃以上を推奨しており、寒冷な地域では安定した測定が困難です。しかし、北極圏では、夏季森林火災から冬季気温の逆転層形成による大気汚染^{*3}まで、通年でのPM_{2.5}の測定が求められています。そこで、本研究では、季節的・通年で極寒になる寒冷地域で安定してPM_{2.5}センサーを使用するために、測定時の温度環境を自動で適した温度に保つことのできる自動温度制御断熱ボックスの開発を行いました。

【研究手法】

開発した自動温度制御断熱ボックス（以下、断熱ボックス；470 × 370 × 290 mm）は、25Wと60Wの白熱電球ヒーターを2つずつ内側に取り付け、その内側に通風口付きの鉄箱入りPM_{2.5}センサー^{*1}を設置した仕様となります（p.1 図 a,b）。本研究では、断熱ボックスの動作を正常に行うことができ、また、PM_{2.5}センサーを組み込んだ場合に、PM_{2.5}センサー単体で測定した場合（e.g., Nakayama et al., 2018）と同様に測定できるようにするため、2つのタイプの室内実験を行いました。ヒーターは温度コントローラーで自動制御され、5℃より少し低くなるとヒーターが点灯する設定にしました。

1つ目の実験では、PM_{2.5}の最適測定状態を確認するため、断熱ボックスの通風口のサイズを4種類用意したほか、通風口の数を2つもしくは4つにした場合及び防水ファンによる強制通風の有無の影響評価をする実験を行いました。2つ目の実験では、低温環境下（北海道大学低温科学研究所の-25℃の低温室）でヒーター動作・内部温度確認実験（強制通風有り）を断熱ボックスの通風口を2つ及び4つにして検証しました。その後、2019年2月の冬季に、北海道大学工学部の屋上で断熱ボックス有り・無しのPM_{2.5}センサーを並べて大気環境下で比較検証し（p.1 図 c）、環境省国設局「国設札幌」のPM_{2.5}の1時間値と比較を行いました。2019年6月には、同装置をアラスカ大学フェアバンクス校（UAF）の国際北極圏研究センター（IARC）に設置し（p.1 図 d）、夏季アラスカ森林火災時のPM_{2.5}濃度変動を捉えるべく追加的観測を行いました。

【研究成果】

実験の結果、断熱ボックス内のPM_{2.5}センサーは、通風口を開けただけでは、外のPM_{2.5}の状態を再現できず（穴のサイズに依らない）（図 1a）、防水ファンで外気を強制的に取り込むことで即座に大気環境のPM_{2.5}を内部に反映できることがわかりました（穴の個数に依らない）（図 1b）。-25℃の低温室実験では、通風口4つだと少し零下になるものの（図 1d）、2つであれば0℃以上を維持することができました（図 1c）。これらの結果を元に、その後の屋外観測では、防水ファンによる強制通風をするとともに、通風口2つで測定を行いました。2019年2月に北海道大学工学部屋上で測定したPM_{2.5}から算出した1時間平均値は、国設局「国設札幌」のPM_{2.5}の1時間値（確定値）と時系列変動で整合的でした（図 2a）。また、1時間という短時間のPM_{2.5}変動であっても両地点で良い直線的相关性があることが確認できました（図 2b）。2019年6月には、アラスカで同装置による観測を開始し、夏季のアラスカ森林火災時の非常に高濃度のPM_{2.5}変動も捉えることに成功しました（夏季のた

め PM_{2.5} 測定装置は、雨風よけ通風ボックスとして機能) (図 3)。現地の観測ステーション (NCORE) の変動とも整合的でした (図 3)。室内実験及び屋外観測 (札幌・アラスカ) の結果より、本 PM_{2.5} 測定装置で低濃度から高濃度まで、また、低温環境でも十分実用的に利用できることを確かめました。

【今後への期待】

今後、更なる寒冷環境での検証は必要ですが、本研究で開発した寒冷地仕様ポータブル PM_{2.5} 測定装置は、将来的にアラスカ、グリーンランドなどのような季節的・通年での北極圏や南極などの寒冷地域での安定した PM_{2.5} 定常観測ネットワークの展開に大いに役立つことが期待されます。

また、本研究で開発・検証したプロトタイプの PM_{2.5} 測定装置は、いくつかアップデートを行い、株式会社タナカで商用版として研究者だけでなく一般の方でも入手できるようになっています (PM_{2.5} センサー部分は別途入手が必要です)。また、森林火災など越境大気汚染を通年で捉えるべく、国内では北陸以北の長岡市、弘前市、函館市などに設置展開中で、今後、北極圏地域など海外でも更なる展開を予定しています。

【謝辞】

本研究は、ArCS (JPMXD1300000000)・ArCS II (JPMXD1420318865)、日本学術振興会科学研究費補助金 (16K06551, 19H01976)、北極域研究共同推進拠点 (J-ARC Net) 共同推進研究、及び北海道大学低温研共同研究からの支援を受けて行われました。また、株式会社タナカに自動温度制御断熱ボックス作製にご協力いただきました。その他、米国アラスカ州 DEC 及び環境省が取得・管理する PM_{2.5} データを使用させて頂き、UAF/IARC (及び同所属であり北極域研究センター海外研究員の岩花剛氏)、名古屋大学技術職員の岡本 渉氏と山崎高幸氏、村尾直人氏 (研究当時：北海道大学工学研究院准教授) には本研究を進めるにあたってご協力いただきました。

論文情報

論文名	Developing an insulation box with automatic temperature control for PM _{2.5} measurements in cold regions (寒冷地における PM _{2.5} 測定用の自動温度制御断熱ボックスの開発)
著者名	安成哲平 ^{1,2} , 若林成人 ³ (研究当時), 松見 豊 ⁴ , 的場澄人 ⁵ (¹ 北海道大学北極域研究センター, ² 北海道大学広域複合災害研究センター, ³ 北海道大学大学院工学院, ⁴ 名古屋大学宇宙地球環境研究所, ⁵ 北海道大学低温科学研究所)
雑誌名	Journal of Environmental Management (環境管理の専門誌)
D O I	10.1016/j.jenvman.2022.114784
公表日	2022 年 3 月 10 日 (木) (オンライン公開)

お問い合わせ先

< 論文内容全般について >

北海道大学北極域研究センター 准教授 安成哲平 (やすなりてっぺい)

T E L 011-706-9632 F A X 011-706-9623 メール t.j.yasunari@arc.hokudai.ac.jp

U R L <https://www.arc.hokudai.ac.jp/>

< PM_{2.5} センサーについて >

名古屋大学 名誉教授 松見 豊 (まつみゆたか) (宇宙地球環境研究所)

T E L 052-747-6412 メール matsumi@nagoya-u.jp

U R L <https://researchmap.jp/read0055996>

配信元

北海道大学総務企画部広報課（〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目）

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

名古屋大学管理部総務課広報室

T E L 052-789-3058 メール nu_research@adm.nagoya-u.ac.jp

【用語解説】

- *1 パナソニック製の小型 $PM_{2.5}$ センサー…内部の下部ヒーターで上昇流を作り、波長 625 nm の LED 光を使用して気流中の粒子特性をフォトダイオード検出器で検出し、 $PM_{2.5}$ 濃度へ換算する（換算用の補正係数は 1.3 を使用；最小粒子検出サイズは $0.3\mu m$ ）（Nakayama et al., 2018）。現在、パナソニック株式会社から商用版が販売されているが、研究用のものとは最小粒子サイズは異なる。
- *2 $PM_{2.5}$ …主に $2.5\mu m$ ($1\mu m=0.001 mm$) より小さい様々な大気汚染微粒子の総称（厳密には、測定時に空気力学径が $2.5\mu m$ で捕集効率 50%になる大気汚染微粒子のこと）
- *3 北極圏の夏季森林火災から冬季気温の逆転層形成による大気汚染…北極圏では、夏季森林火災（e.g., Yasunari et al., 2018, 2021；過去のプレスリリースも参照）や、冬季気温の逆転層形成時に高濃度 $PM_{2.5}$ などの大気汚染（e.g., Tran and Mölders, 2011）が見られることがこれまでの研究から報告されている。

【参考図】

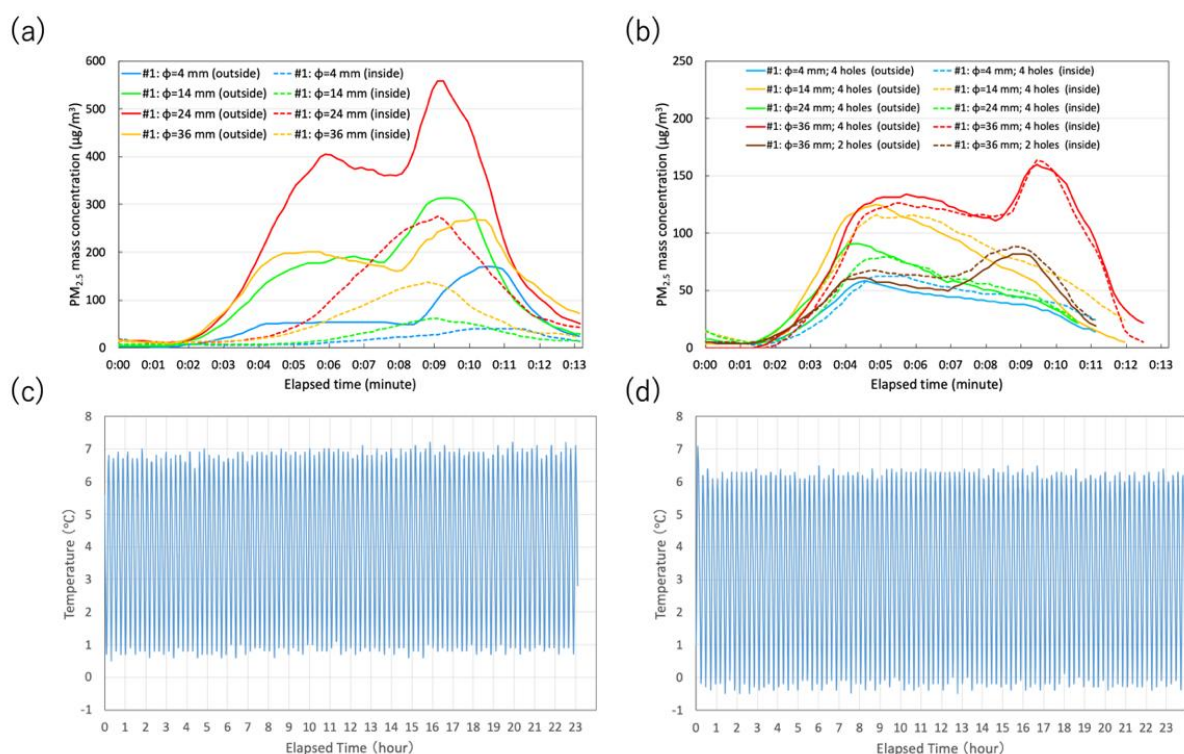


図 1. 自動温度制御断熱ボックス有無（無：実線；有：破線）による $PM_{2.5}$ センサーを使った室内 $PM_{2.5}$ 測定実験（線香の煙を使用）（a: 強制通風無し「断熱ボックスは通風口 2 つ」；b: 防水ファンによる強制通風有り「断熱ボックスは通風口 2 つもしくは 4 つ」；通風口サイズ ϕ は 4, 14, 24, 36 mm を使用）及び $-25^{\circ}C$ の低温室での温度実験（c: 通風口 2 つ；d: 通風口 4 つ）

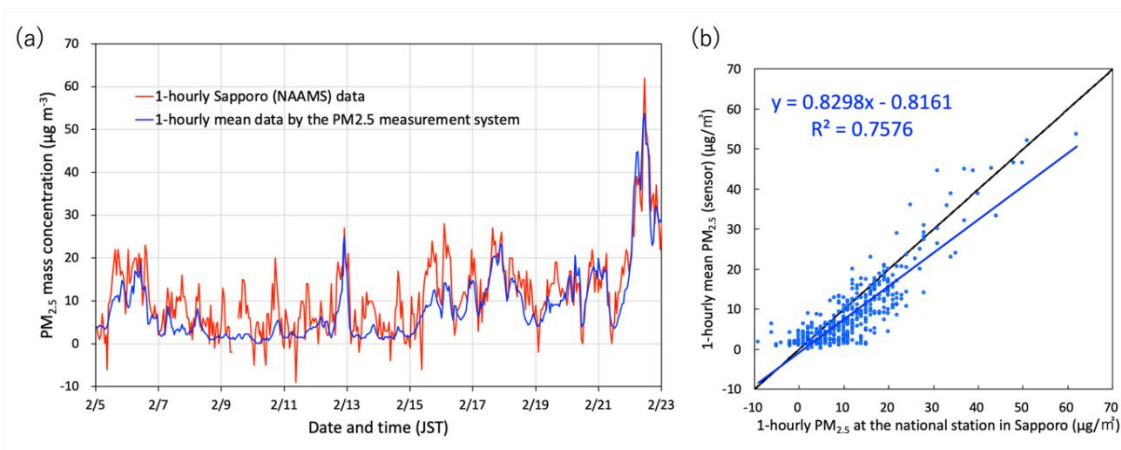


図 2. 2019 年 2 月の札幌での寒冷地仕様 PM_{2.5}測定装置による PM_{2.5}観測（1 時間平均値）と国設札幌（1 時間値；確定値）の PM_{2.5} との比較（a: 時系列「時刻は国設局を基準にプロット」；b: 散布図）

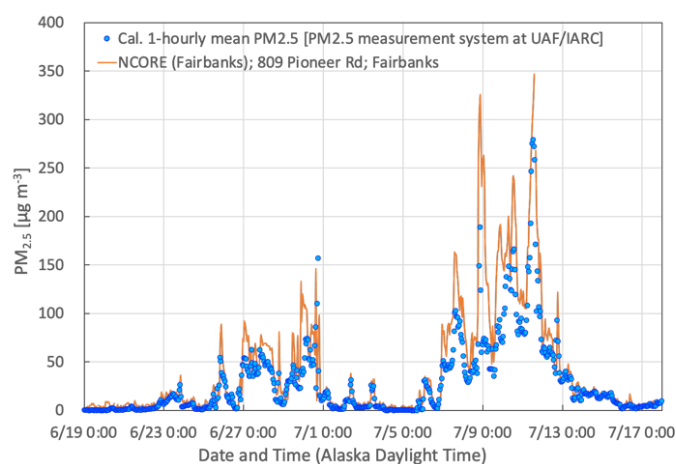


図 3. 2019 年夏季（6-7 月）のアラスカ UAF/IARC における森林火災時を含む本研究による PM_{2.5}観測（1 時間平均値）と現地観測ステーション（NCORE；1 時間値）による PM_{2.5} との時系列変動の比較

【関連する研究成果】

「雪融けの早さが北海道に大気汚染をもたらす可能性を発見！－東ユーラシアの早期雪融け・昇温・乾燥長期化が大規模森林火災の発生要因に－」2018 年 4 月 26 日プレスリリース

URL https://www.hokudai.ac.jp/news/180426_pr.pdf

「北極域の森林火災と西欧熱波を同時誘発させる気候パターンを初めて特定～北極域とその周辺で起こる夏季森林火災と熱波同時発生予測手法の発展とその高精度化への期待～」

2021 年 5 月 18 日プレスリリース

URL <https://www.hokudai.ac.jp/news/2021/05/post-843.html>