

低コスト型 PM_{2.5} センサーの長期観測データを用いた補正頻度の検討

Study on Correction Frequency for Low-Cost PM_{2.5} Sensors Using Long-Term Observation Data

二見真理¹, 弓場彬江¹, 桐山悠祐¹, 南波裕太², 佐々木博行¹, 佐藤啓市¹, 柴崎みはる³

Mari Futami*, Akie Yuba, Yusuke Kiriyama, Yuta Namba, Hiroyuki Sasaki, Keiichi Sato, Miharuru Shibasaki

【和文要約】

本研究では、低コストセンサー (Low Cost Sensor; LCS) の PM_{2.5} 質量濃度の長期観測における補正頻度の検討を目的として、7 種 8 台の LCS と近傍の公定法機器 (Reference Grade Monitor; RGM) との長期比較試験を実施した。補正方法は、線形回帰から得られた回帰直線から補正係数を得る一般的な方法を用いて、2 通りの補正頻度を比較した。全期間の最初の 2 週間分の観測値から得た補正係数で全観測期間の LCS 観測値を補正する方法 (全期間同一補正) と、季節ごとの初めの 2 週間分の観測値から得た補正係数で各季節の LCS 観測値を補正する方法 (季節補正) である。東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (Acid Deposition Monitoring Network in East Asia; 以下、EANET) の LCS 技術資料に記載の Tier III 基準 (LCS/RGM 比率 0.70~1.30) で評価した。その結果、季節補正では、全機種で全期間平均値が基準値を満たし、全期間同一補正に比べ観測値の精度が向上した。ただし、補正係数を算出する 2 週間の PM_{2.5} 質量濃度が低濃度である場合は機種によっては基準値を超過する季節もみられたことから、補正係数を算出する期間の濃度レベルや期間代表性に留意する必要がある。

キーワード : PM_{2.5} 大気観測 ローコストセンサー LCS Low Cost Sensor 補正

1.はじめに

PM_{2.5} は空気中に浮遊する粒子状物質のうち空気動力学粒径が 2.5 μm 以下の粒子を 50%カットした粒子であり、粒子径が非常に小さく、肺の深部まで到達しやすいという特徴を有する。2021 年、世界保健機関 (World Health Organization, WHO) では、WHO 世界大気質ガイドラインを改訂し、従来よりも低濃度においても健康影響の懸念があると示し、PM_{2.5} 質量濃度のガイドラインの値を年平均値 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ から 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に引き下げた¹⁾。現在においても PM_{2.5} は公衆衛生上の重要な管理対象項目であり、日本では、人の健康保護の観点から環境基準が定められ、標準測定法と等価性が認められた PM_{2.5} 自動測定器 (公

定法機器、Reference Grade Monitor; RGM) により 1 時間値単位での観測が行われている。

近年、大気常時監視で利用している公定法機器と比べて、小型で安価な低コストセンサー (Low-Cost Sensor : LCS) の利用が広がっている。小型、安価、省エネルギーであるという利点から、多点同時観測による大気汚染物質の発生源の面的把握²⁾や自動車等に設置するモバイル型での地域環境マップの作成や個人暴露量の観測による大気汚染の人間への影響など³⁾、従来の常時監視システムでは把握しにくい有用な情報を得られる手段として活用されている。

また、アメリカ合衆国の環境保護局 (United States Environmental Protection Agency ; U.S. EPA) では 2014 年に LCS におけるガイドブックを出版し、2022 年

1 一般財団法人日本環境衛生センターアジア大気汚染研究センター

Asia Center for Air Pollution Research, Japan Environmental Sanitation Center

2 新潟市環境対策課

Environmental affairs division, Niigata city office

3 一般財団法人日本環境衛生センター東日本支局

East Branch Office, Japan Environment Sanitation Center

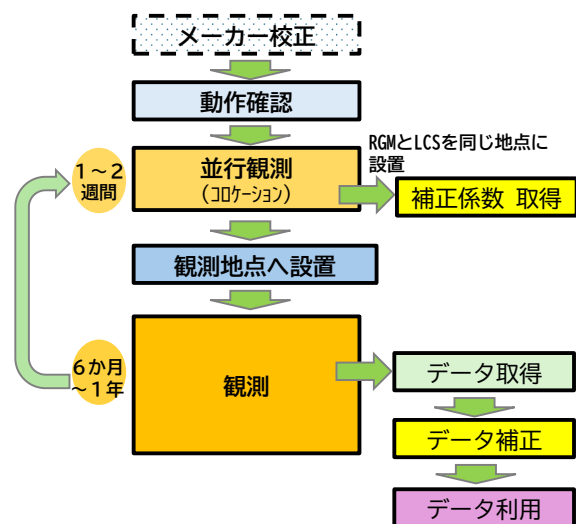


図1 LCS 観測における補正およびデータ利用までの手順
USEPA (2024) および EANET (2025) を元に作成

には新たに利用者の幅を広めた The Enhanced Air Sensor Guidebook⁴⁾ (以下、EASG) を公表した。さらに世界気象機関 (World Meteorological Organization; WMO) においては、2018 年、2021 年および 2024 年に LCS に関する報告書を刊行している⁵⁾⁶⁾⁷⁾。日本を含む東アジア 13 か国が参加する東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (Acid Deposition Monitoring Network in East Asia; 以下、EANET) でも、一般財団法人日本環境衛生センターアジア大気汚染研究センターが技術的な役割を担う EANET ネットワークセンターが執筆のリードをとり、2025 年 11 月に LCS 関連資料である Guidelines for establishing a Hybrid Air Quality Monitoring Network (HAQMN) In The EANET Region⁸⁾ および Technical Manual for Hybrid Air Quality Monitoring With Low-Cost Sensors⁹⁾

(以下、TMLCS) を電子出版するなど、近年、世界的に LCS を大気汚染の観測に活用する取り組みが盛んになっているが、現在普及している LCS は、家庭向けから本格的な観測用まで多様であり、観測値の精度も様々である。

PM_{2.5} 測定用の多くの LCS の測定原理は公定法機器とは異なり、光散乱方式が用いられている。その特徴として、散乱強度が粒径に依存するため、粒子径が小さいほど検出感度が低く、装置によっては粒径約 0.3 μm が検出下限とされている¹⁰⁾。また、高湿度条件における観測値の過大評価や粒子組成の変化に伴う応答変化など、環境条件の影響を受けることが知られており¹¹⁾¹²⁾¹³⁾、これらは特に季節依存性や地域依存性が高い。このように、LCS の観測値は RGM と一致しない要因があることから、その一致性を向上させるために LCS 観測値の補正が必要であり、その手法として観測対象地点と同一環境条件下で LCS と RGM の並行観測を行うことが推奨される⁴⁾⁷⁾⁹⁾。図1に表す通り、LCS 観測値を補正するための並行観測の基本的手順は EASG や TMLCS に記されており、同一地点に LCS と RGM を設置して並行観測を行い、その比較結果から得られる補正係数を用いて LCS の補正値を算出する方法である。補正係数の取得のために行う並行観測の頻度は、6 か月～1 年ごと、雨季や乾季などの季節に合わせて実施することが推奨されている。日本における RGM と LCS との観測値の関係には、季節的な変動が示唆されている¹⁴⁾ ことから、日本で LCS による観測を行う場合には季節ごとの補正を考慮する必要がある一方、高頻度な並行観測を行うことは実際の運用において難しい面もある。季節毎のように高頻度の補正を行

表1 長期比較試験に用いた低コストセンサー (LCS) の概要

種類	観測地点	データ取得 間隔	観測期間	長期欠測期間 (10日以上)
機種A		1分毎	2024年4月11日～2025年11月5日	なし
機種B *1		1分毎	2024年4月12日～2025年11月27日	なし
機種C *2	一般財団法人 日本環境衛生センター	1分毎	2024年4月12日～2025年11月30日	2024年7月6日～2024年7月31日 2025年10月24日～2025年11月12日
機種D	東日本支局 屋上 (地上 18.7m)	1分毎	2024年4月12日～2025年11月27日	なし
機種E	神奈川県川崎市 川崎区四谷上町10-6	1分毎	2024年10月1日～2025年11月27日	2025年3月3日～2025年3月24日 2025年8月19日～2025年8月31日
機種F		5分毎	2024年11月29日～2025年9月6日	2025年2月12日～2025年3月10日
機種G		1分毎	2025年5月27日～2025年11月27日	なし

*1 機種 B のみ 2 台設置のため、機種 B-1 および機種 B-2 と区別

*2 試験器 (未発売)

うことの必要性は、季節変動の大きさと関係するが、日本における複数機種のLCSを用いた大気観測や四季を考慮した報告事例は限られている。

本研究では、PM_{2.5} 観測における LCS の活用に向け、長期間の観測値の特徴および日本の四季を考慮した補正頻度の検討を行うことを目的として、LCS と近傍大気観測局の RGM との長期間の比較試験を実施した。

2.方法

2.1 観測地点と観測機器

表 1 に示す通り、川崎市にある一般財団法人日本環境衛生センター東日本支局の屋上（地上 18.7

m）に複数種類の LCS を設置し、2024 年 4 月以降順次～2025 年 11 月末の期間、観測を行った。本研究では、RGM と LCS の同一地点での並行観測は行わず、EASG に示される代替案である近傍の RGM と比較する方法を採用した。LCS 観測地点から約 400m の距離にある大師測定局に設置された RGM（表 2）の観測値と長期比較試験を行い、これを並行観測に準じた評価として扱った。RGM 観測値は大気汚染物質広域監視システムそらまめくん（<http://soramame.env.go.jp>）を利用し、速報値（1 時間値）を入手した。

2.2 LCS PM_{2.5} 観測値の補正方法

2.2.1 LCS 観測値の集計方法

表 2 比較対象として利用した公定法機器（RGM）と測定地点の概要

測定所名	所在地	観測の高さ	データ取得 間隔	局種別	管理者
大師測定局	川崎区東門前2-1-1 (2025年1月末まで) *1 川崎市川崎区台町26-7 (2025年2月以降) *2	地上約6.3m*1 地上約3m*2	60分毎*3 (速報値)	一般局	川崎市

*1 *2 大師測定局は、2025 年 1 月末に直線距離約 94m の南南西の方角へ移転。移転前後の地点と LCS 観測地点（表 1）の距離はそれぞれ約 440m、約 390m。

*3 出典：環境省大気汚染物質広域監視システムそらまめくん（<http://soramame.env.go.jp>）

表 3 LCS PM_{2.5} センサーにおける Tier 分類の概要（TMLCS より引用）

Tier	Monitoring Purpose	MNB Requirement	Use Cases
Tier I	Use for Information	Low (±50–100%)	General spatial patterns, public awareness, education, community science
Tier II	Supplemental Monitoring	Moderate (±30–50%)	Hotspot Detection, spatial analysis, network optimization, urban source mapping, project evaluation
Tier III	Research and Regulatory Support	High (≤ 30%)	Scientific studies, exposure assessments, regulatory support

※ MNB は Mean Normalized Bias（平均正規化バイアス）を示す。

※ Tier が高いほど、要求される測定精度・信頼性が高いことを示す

表 4 東アジアにおける対象大気汚染物質の推奨 Tier 分類（TMLCS より引用）

Objective	Target pollutant		
	PM _{2.5}	O ₃ , NO ₂ , CO	Others (VOCs, SO ₂)
Use for Information	Tier I	Tier I	Tier I
Supplemental Monitoring	Tier II	≥ Tier I	≥ Tier I
Research and Regulatory Support	Tier III	≥ Tier II	-

-: VOCs and SO₂ sensors are unstable and underdeveloped in East Asia conditions (high concentrations, high humidity, high temperature). We would not recommend Tier III for LCS of VOCs and SO₂.

LCS の各機種で観測された $\text{PM}_{2.5}$ の 1 分値または 5 分値 (表 1 参照) から 1 時間平均値を算出した。算出のための 1 分値または 5 分値のデータ数には基準を設けていないが、ほとんどの 1 時間値は 1 分値または 5 分値の欠損はなく完全であった。さらに算出した 1 時間値から日平均値を算出した。日平均値は、1 時間値が 17 個以上ある日のみを有効値とした。なお、スパイクデータ等の異常値検出のスクリーニングは実施せず全データを使用した一方、故障の場合は欠測処理を行った。

2.2.2 LCS 観測値の補正方法

EASG および TMLCS に記載の手法に基づき、LCS と RGM との長期比較試験で得られた 1 時間値のうち、336 個 (2 週間分相当) を用いて補正係数を算出した。RGM 観測値 (x) と LCS 観測値 (y) の線形回帰から得られた原点を通る回帰直線の傾きを補正係数 (a) とした。

さらに、式 (1) を用いて補正 LCS 値 (y^*) を求めた。

$$y^* = y / a \quad \dots (1)$$

2.2.3 LCS 観測値の補正頻度

EASG および TMLCS の両手順書では、補正係数を算出する頻度である並行観測の頻度は、季節ごと、6 か月ごと、年ごとが推奨されている。本研究では、LCS と近傍 RGM の長期比較試験を並行観測の代替えとして用い、LCS の補正頻度として図 2 に示す方法 1 及び方法 2 の 2 通りを選定した。方法 1 は全観測期間の最初の 2 週間分の 1 時間値 336 個 (24 時間

$\times 14 \text{ 日} = 336$) から得られた補正係数 (a_1) で全期間の LCS 観測値を補正する「全期間同一補正」であり、方法 2 は各季節 (春季: 3 月～5 月・夏季: 6 月～8 月・秋季: 9 月～11 月・冬季: 12 月～2 月) の始まりの 2 週間分の 1 時間値 336 個から得られた補正係数 ($a_2-1, a_2-2, a_2-3 \dots$) で対象期間の LCS 観測値を補正する「季節補正」である。これらの補正頻度が異なる 2 通りの方法で得られた補正 LCS 値を RGM 観測値と比較し評価した。

2.3. 補正 LCS 値の評価基準

本研究の補正 LCS 値の評価方法は、TMLCS に記載の Tier システム (表 3、表 4) のうち、 $\text{PM}_{2.5}$ の最高精度の Tier III を基準とした。Tier III の基準は、平均正規化バイアス (Mean Normalized Bias: MNB) で示され、補正 LCS 値と RGM 観測値の偏差が $\pm 30\%$ 未満であることが求められる。本研究では、補正 LCS 値と RGM 観測値の日平均値の比率 (補正 LCS/RGM) の平均値が $0.70 \sim 1.30$ の範囲を満たすことを評価基準とした。比率の計算では、各 LCS の検出下限値付近である $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満を除外した。なお、比率が 1 のときは、補正 LCS 値=RGM 観測値となり、比率が 1 より大きいときは補正 LCS 値が過大評価、比率が 1 より小さいときは補正 LCS 値が過小評価を意味する。

3. 結果

3.1 全期間同一補正方法による補正 LCS 値の評価

図 3 は、方法 1 による補正係数 (a_1) を用いて算

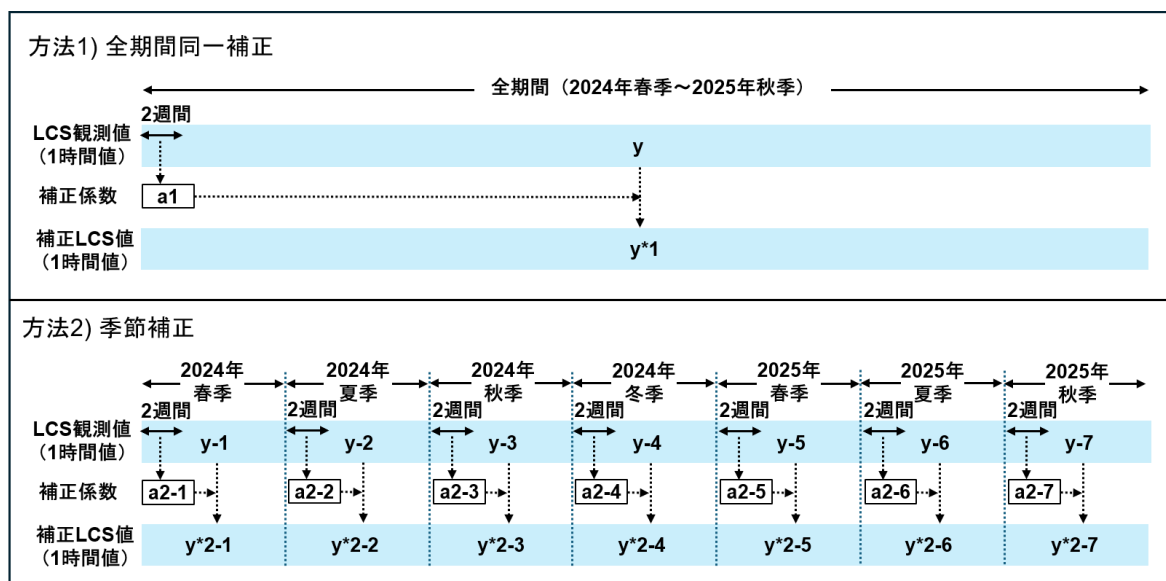


図 2 本研究で用いた LCS 観測値の補正頻度の比較

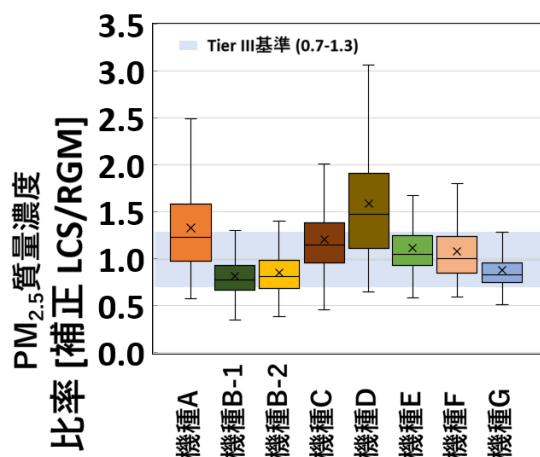


図3 PM_{2.5} 質量濃度の全期間同一補正 LCS/RGM の全期間値の比較

箱は 25%タイル値、75%タイル値、箱内の線は中央値、ひげは分布の範囲（外れ値を除く）、×は平均値を表す
LCS 補正値は観測開始時 2 週間で得られた補正係数を用いて算出した

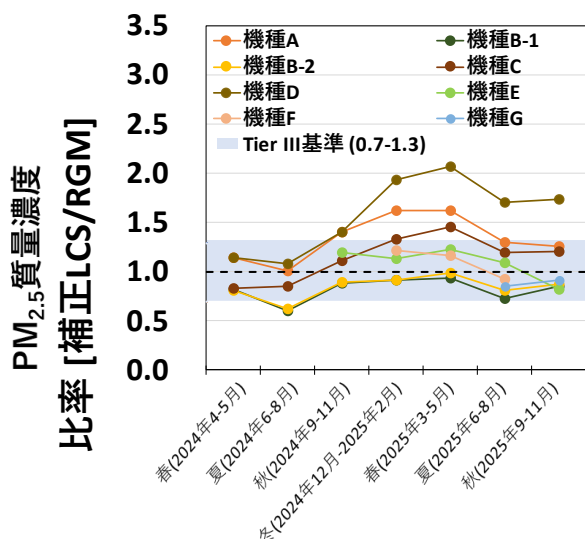


図4 PM_{2.5} 質量濃度の全期間同一補正 LCS/RGM の季節平均値の推移

LCS 補正値は観測開始時の補正係数を用いて算出した

出した補正 LCS 値と RGM 観測値の日平均値の比率（補正 LCS/RGM; 以下、比率）の全期間データを箱ひげ図に示した結果である。×印は平均値、中央の線は中央値を示す。また、箱の上端と下端は 75 パーセントと 25 パーセントをそれぞれ示し、ひげの上端と下端は外れ値を除いた最大値と最小値をそれぞれ示す。機種 B-1、B-2 および機種 C、E、F、G の比率の平均値は、それぞれ 0.81、0.85、1.20、1.12、1.08、0.88 となり、TMLCS の Tier III の基準（0.70～1.30）を満たした。ただし、機種 G は試験期間が半年であることに留意する必要がある。一方、機種 A、機種 D の比率の平均値は、それぞれ 1.33、1.59 となり、基準を超過した。

図 4 には、全期間同一補正方法で得られた比率について、季節ごとの平均値の推移を示す。各季節のデータ完全度（観測期間に対する有効値数の割合）が 30%以上である場合を季節ごとの平均値の評価対象とした。機種 B-1、B-2、E では季節変化が小さく長期的に安定した観測を行うことができた。ただし、機種 B-1、B-2 は全期間を通じて過小評価の傾向があり、特に低くなった 2024 年夏季の比率はそれぞれ 0.60、0.63 となり Tier III の基準を超過した。機種 E はすべての季節で Tier III の基準を満たしたが、2025 年春の比率の平均値 1.23 と 2025 年秋の値 0.83 は、0.40 差があることから、補正 LCS 値が過大評価から過小評価に大きく変化したことがわかる。

機種 A では、2024 年春季および夏季は Tier III の基準内であったが、2024 年秋季から 2025 年夏季は Tier III の基準を超過し、2024 年冬季と 2025 年春季は 1.67 と特に高い比率を示した。機種 C についても、2024 年春季から秋季は Tier III の基準内であったが、2024 年冬季および 2025 年春季は Tier III の基準を超過し、機種 A と同様に 2024 年冬季と 2025 年春季で 1.33、1.45 と高い比率を示した。季節ごとの変化に加え、センサーの経年劣化等で LCS 観測値が高くなったことにより、比率が変化することが示唆された。機種 D については、2024 年秋季の比率 1.40 以降、全期間の終わりまで Tier III の基準を超過した。特に 2025 年春季には 2.01 と他の機種と比較して著しく高い値を示した。機種 D は、2024 年秋季の終盤（2024 年 11 月 29 日）に PM_{2.5} センサーの交換を実施しており、センサーの個体差やロット差が要因である可能性が高いことが考えられ、センサーを交換した際には補正係数を改めて算出する必要があることが示唆された。

機種 F および G は、すべての季節で Tier III の基準を満たしたが、観測期間が短いことから、季節ごとの評価を行うことが難しかった。

以上の通り、機種 A、C のように季節ごとにあるいは経年的に比率が変化する場合は、補正頻度を増やす必要性が示唆された。また、機種 D のようにセンサー交換を行った場合には、補正係数を再設定する必要性が高いことが改めて明らかとなった。3.2 項では、季節ごとに補正したときの補正 LCS 値を評価した。

3.2 季節補正方法による補正 LCS 値の評価

図 5 および図 6 は、方法 2 による季節補正 LCS 値

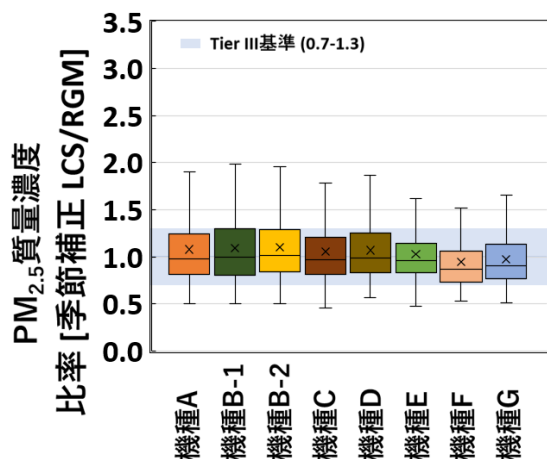


図5 PM_{2.5}質量濃度の季節補正 LCS/RGM の全期間値の比較

箱は 25%タイル値、75%タイル値、箱内の線は中央値、ひげは分布の範囲 (外れ値を除く)、×は平均値を表す
LCS 補正値は季節ごとの補正係数を用いて算出した

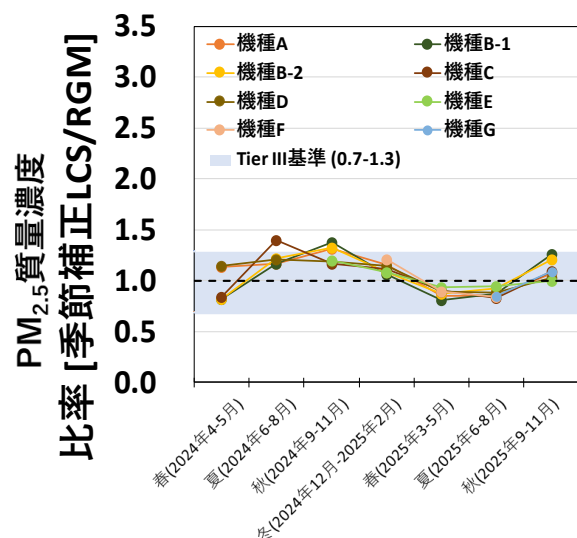


図6 PM_{2.5}質量濃度の季節補正 LCS/RGM の季節平均値の推移

LCS 補正値は、季節ごとの補正係数を用いて算出した

を用いて、図3および図4と同じ方法で比率を示した。図5に示すように、季節補正方法では、機種A、B-1、B-2、C、D、E、F、Gの比率の全期間の平均値は、それぞれ1.08、1.09、1.10、1.05、1.07、1.03、0.94、0.97であった。すべての機種でTMLCSのTier IIIの基準(0.70~1.30)を満たしており、図3で示した全期間同一補正方法で得られた比率の範囲が0.82~1.59であったのに対し、大幅に改善された。ただし、同じ季節補正方法でも、図6の季節平均値の推移では、Tier IIIの基準を超過した季節がみられた。機種D、E、F、Gでは、すべての季節の比率がTier IIIの基準を満たした一方で、機種A、B-1、B-2、Cでは、それぞれ2024年秋季1.31、2024年秋季1.38、2024年

秋季1.33、2024年夏季1.40と基準を超過した。この要因として、2024年夏季の最初の2週間(6月1日~14日)および2024年秋季の最初の2週間(9月5日~18日;9月はRGM値が9月5日開始であるため)は低濃度の観測値が多く、各期間における観測値の中央値は、それぞれ7.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、6.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と低かった。LCSの測定精度が低い領域で得られた観測値を補正係数の算出に用いることになり、補正係数の算出の精度が悪くなった可能性が考えられた。当該期間の補正係数(a2)は、機種A、B-1、B-2、Cでそれぞれ0.74、0.52、0.34、0.81であり、LCS観測値は補正前の段階でより低濃度側に分布し、検出下限値付近の観測値も多く含まれていた。

以上より、特に経年変化や季節変動で補正係数が変化しやすい機種においては、変化が大きい時期に合わせて補正頻度を増やすことが望ましいと考えられる。一方で、補正係数算出のための並行試験の実施時期については、観測期間の代表性やPM_{2.5}濃度レベルに留意する必要があると示唆された。

4.まとめ

LCSでのPM_{2.5}質量濃度の長期観測の運用に向け、LCS観測の補正頻度の検討を目的として、7種8台のLCSと近傍局のRGMとの長期比較試験を行い、LCS(y)とRGM(x)の回帰直線の傾きを補正係数として算出された補正LCS値とRGM観測値との比率について、補正頻度が異なる2つの方法で評価した。本研究の評価には、EANETのTMLCSに記載のTier IIIの基準(LCS/RGMの比率が0.70~1.30)を用いた。補正頻度の異なるLCS値の評価から、これまで明らかではなかった複数機種の長期的な観測値の変化を捉えることができた。補正LCS値/RGM観測値の比率は、機種によって異なり、機種B-1、B-2のように、全期間同一の補正係数(a1)を用いた場合においても、比率の変化が小さい機種がある一方で、機種A、Cのように季節ごとにあるいは経年的に値が変化する機種もあった。また、季節ごとの補正係数(a2)を用いた場合は、すべての機種の比率の全期間平均値が1に近づき、機種ごとの分布の幅も小さくなった。

以上より、本研究から、全期間に対して同一補正係数(a1)を用いる方法よりも、季節ごとに補正係数(a2)を更新する方法を用いることで、多くの

機種⁴⁾の補正 LCS 値が RGM 値に近くなることが明らかとなった。

図 1 に示す基本的な並行観測^{4) 9)}では、LCS と RGM を同地点に設置する必要があるため、日本の四季に対応して 3 か月ごとに並行観測を行うことは、現実的な運用として難しい。そのため、TMLCS で示されるような近傍 RGM との定常的な比較を行うことで、LCS 観測値の妥当性を継続的に監視でき、補正係数の更新が必要な時期を適切に判断できると考えられる。また、補正方法としては、本研究で採用した線形回帰に加え、相対湿度の影響を補正する手法¹²⁾、粒子組成による吸湿成長を考慮する手法^{15) 16)}、機械学習による補正¹⁷⁾など、さまざまな手法が報告されている。

今後は、対象とする機種や設置環境、観測期間に応じて、適切な補正手法をさらに検討していく必要があると考える。

参考文献

- 1) World Health Organization (WHO) (2021) : WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide, World Health Organization
- 2) Singh, T. et al. (2023) : Very high particulate pollution over northwest India captured by a high-density in situ sensor network. *Scientific Reports*, 13, Article 13071
- 3) 松見豊, 中山智喜 (2019) : 小型環境計測器が開く新しい大気環境科学. *地球環境*, 24(1), pp93-104
- 4) United States Environmental Protection Agency (2022) : The Enhanced Air Sensor Guidebook
- 5) World Meteorological Organization (2018) : Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition: overview of topic and future applications (WMO-No.1215)
- 6) World Meteorological Organization (2021) : An Update on Low-Cost Sensors for the Measurement of Atmospheric Composition (WMO-No. 1215)
- 7) World Meteorological Organization (2024) : Integrating Low-Cost Sensor Systems and Networks to Enhance Air Quality Applications (GAW Report No. 293)
- 8) Network Center for EANET (2025) : Guidelines for Establishing a Hybrid Air Quality Monitoring Network (HAQMN) in the EANET Region
- 9) Network Center for EANET (2025) : Technical Manual for Hybrid Air Quality Monitoring with Low-Cost Sensors
- 10) Hagan, D. H. and Kroll, J. H. (2020) : Assessing the accuracy of low-cost optical particle sensors using a physics-based approach. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(11), pp6343-6355
- 11) Crilley, L. R. et al. (2018) : Evaluation of a low-cost optical particle counter (Alphasense OPC-N2) for ambient air monitoring. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(2), pp709-720
- 12) Barkjohn, K. K. et al. (2021) : Development and application of a United States-wide correction for PM_{2.5} data collected with the PurpleAir sensor. *Atmospheric Measurement Techniques*, 14, pp4617-4637
- 13) Rai, A. C. et al. (2017) : End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring *Science of the Total Environment*, 607-608, pp691-705
- 14) Nakayama, T. et al. (2018) : Development and evaluation of a palm-sized optical PM_{2.5} sensor. *Aerosol Science and Technology*, 52(1), pp2-12
- 15) Malings, C. et al. (2020) : Fine particle mass monitoring with low-cost sensors: Corrections and long-term performance evaluation. *Aerosol Science and Technology*, 54(2), pp160-174
- 16) Patel, M. Y. et al. (2024) : Towards a hygroscopic growth calibration for low-cost PM_{2.5} sensors. *Atmospheric Measurement Techniques*, 17(3), pp1051-1060
- 17) Park, D. et al. (2021) : Assessment and Calibration of a Low-Cost PM_{2.5} Sensor Using Machine Learning (HybridLSTM Neural Network): Feasibility Study to Build an Air Quality Monitoring System. *Atmosphere*, 12(10), Article 1306

Summary

To examine an appropriate correction frequency for long-term measurement of PM_{2.5} mass concentration using Low-Cost Sensors (LCSs), a long-term comparative study was conducted using eight LCS units of seven different models and a nearby reference grade monitor (RGM). The effects of correction frequency on measurement accuracy were evaluated. Two correction frequencies were evaluated using a commonly applied correction method in which correction coefficients are derived from linear regression analysis. The first approach applied a single correction coefficient derived from observations collected during the initial two weeks of the study period, to the entire observation period (single-period correction). The second approach applied season-specific correction coefficients, each

derived from observations collected during the first two weeks of a given season, to the corresponding seasonal data (seasonal correction). The corrected LCS measurements were evaluated using the Tier III criterion described in the technical manual for LCSs by the Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET NC, 2025), defined as an LCS/RGM ratio of 0.70–1.30. The results showed that, under the seasonal correction approach, the mean LCS/RGM ratio over the entire observation period satisfied the Tier III criterion for all sensor models, and measurement accuracy was improved compared with the single-period correction approach. However, for some sensor models, the mean ratio in specific season exceeded the criterion, likely because the correction coefficients were derived from a correction period which $\text{PM}_{2.5}$ concentrations were relatively low. These findings suggest that both the concentration level and the representativeness of the period used to derive correction coefficients should be carefully considered.