

2. 方 法

SPM の調査場所として、コペンハーゲン、オスロ、ストックホルム、ヘルシンキ、ロバニエミの北欧5都市を選んだ。ロバニエミ以外の都市では面測定を行い、測定はそれぞれ28箇所、18箇所、15箇所、35箇所で行った(図3)。調査は2016年7月に実施した。一方2018年9月に訪れたロバニエミでは天候の関係もあり面測定ができなかったので、ロギング測定のみを行った。

SPM の測定には、柴田科学(株)のデジタル粉塵計LD-3Bを用いた。同時に測定場所の風向・風速・気温・湿度を測定した。本研究室におけるSPMの具体的な測定方法は既報の通りである[3]。

ヘルシンキでは2016年7月の面測定に先立ち2016年4

月から5月にかけて、フィンランド気象研究所(FMI)のご好意で、北欧の気象系の研究所で主に用いられているPM測定装置Grimm aerosol spectrometer 1.108と、日本から持参した本学所蔵の柴田科学(株)デジタル粉塵計LD-3Bとの平行稼働実験を行った。場所はヘルシンキ大学構内にあるFMIの測定小屋である。

3. 結果および考察

大気中に浮遊する固体の大気汚染物質(PM)のうち、直径が $10\mu\text{m}$ 以下のものを浮遊粒子状物質(SPM)と呼ぶ。日本の大気環境測定のうちPMに関してはSPMをターゲットとして行われてきた。その環境基準は「1時間値の1日平均値が 0.10 mg/m^3 以下であり、かつ、1時間値が 0.20 mg/m^3 以下であること。(48.5.8告示)」である[4]。

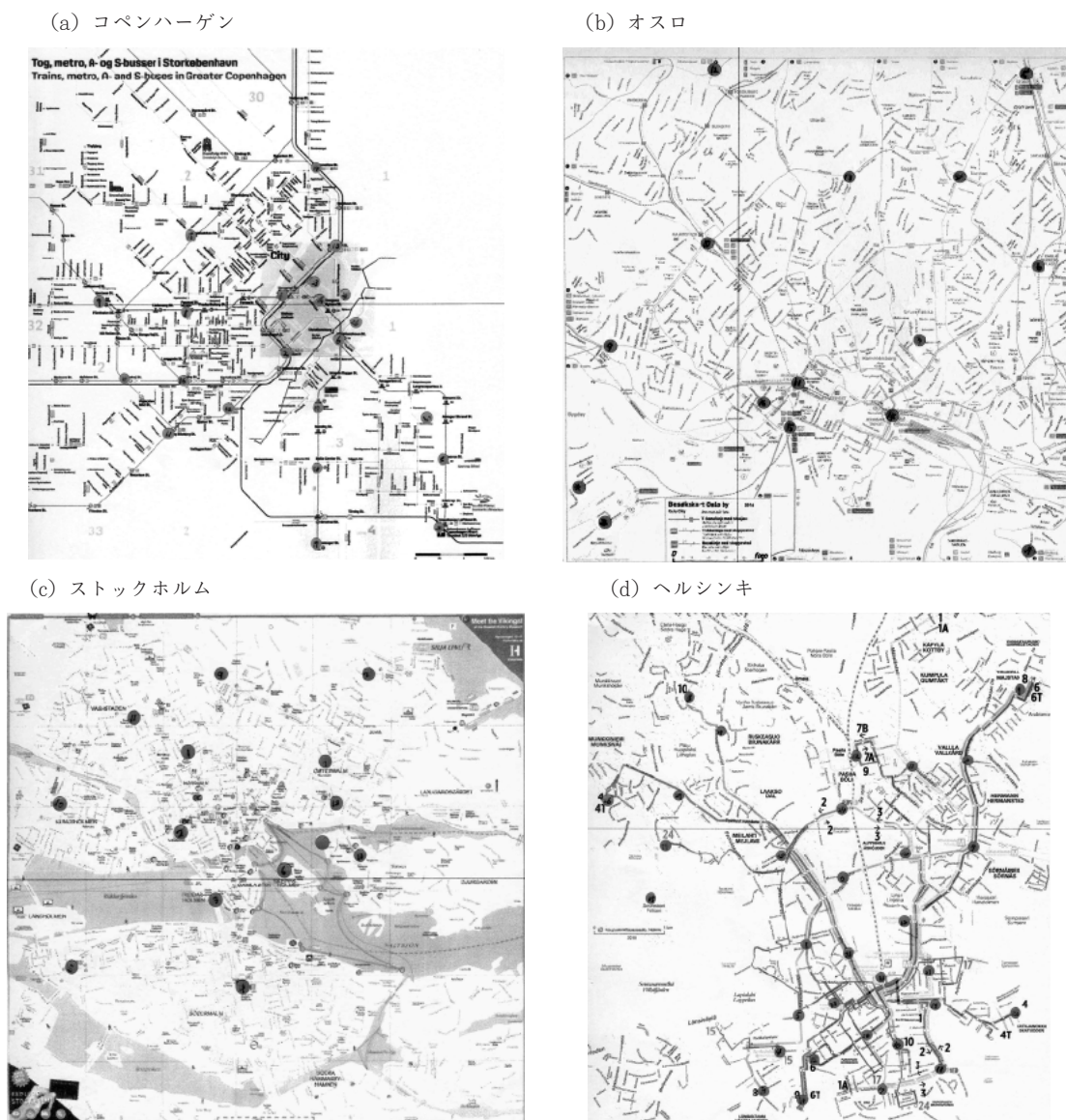


図3 北欧諸都市でのSPM測定場所

表1 各国のPM₁₀, PM_{2.5}の環境基準 [参考文献 [4], [7] などから筆者作成]

(μg/m ³)	PM ₁₀		PM _{2.5}		設定年
	年平均	24時間平均	年平均	24時間平均	
中国 (主要 76 都市, 一級)	40	50	15	35	2016
日本		100 (SPM)	15	35	1972, 2009
WHO	20	50	10	25	2005
アメリカ		150	15	35	1997, 2013
EU	45	50	25		2008

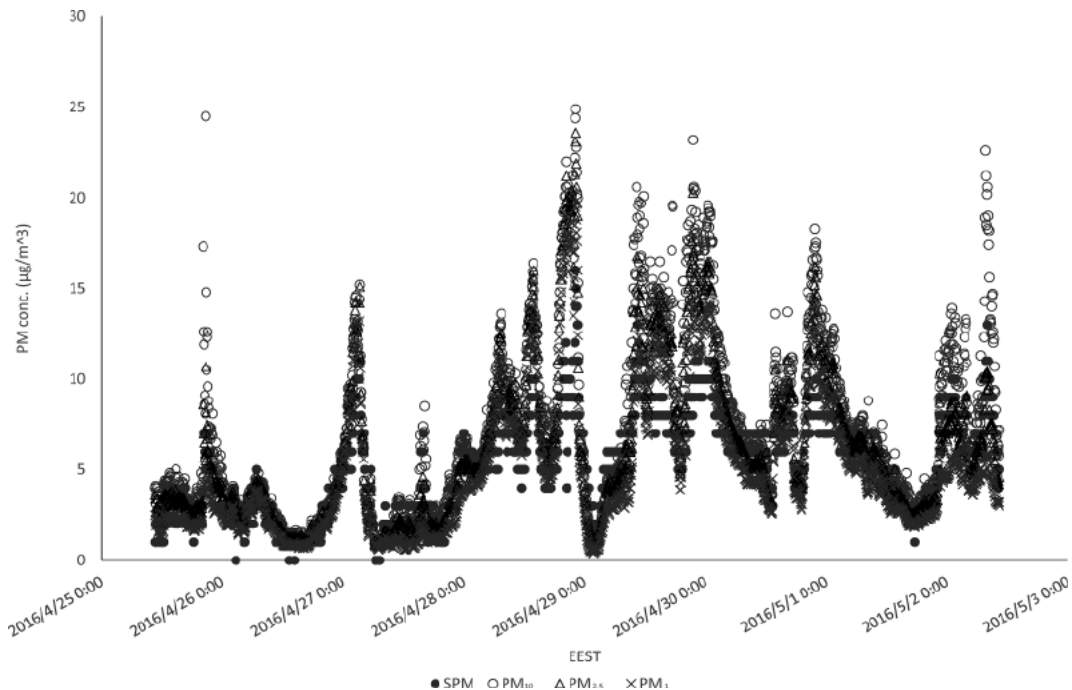


図4 LD-3BとGrimmを用いた平行稼働実験結果(2016年4,5月ヘルシンキ)

表2 SPM (LD-3B), PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁ (Grimm) データ間の相関

	SPM	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁
SPM	1			
PM ₁₀	0.908778	1		
PM _{2.5}	0.891292	0.970817	1	
PM ₁	0.860721	0.93745	0.992482	1

しかしながら、SPMを大気汚染物質としている国は日本だけ(少なくとも主要国では日本だけ)であり、国際学会などでSPMと言ってもほとんどの研究者は知らないのが現状である。そこで、SPMとPM₁₀, PM_{2.5}との対応を示すことが必要となってくる。なお、PM₁₀とは浮遊粒子状物質のうち、捕集効率が50%となる空気力学的粒子径が10μmとなる粒子のことであり、PM_{2.5}も同様に定義されている[5]。そこでSPMを同様に定義すると、PM_{7.0}くらいに相当するといわれている[6]。環境基準が制定され始めたころは、黒煙や総浮遊粒子物質量(TSP)に関心が集まっていたが、1987年にPM₁₀に関する環境基準がアメリカで制定されたところから、より小さい浮遊粒子に関心が寄

せられるようになってきた。各国のPMの環境基準を表1にまとめた。PM_{2.5}は北京オリンピック時の大気汚染で世に知られるようになった。粒子径が小さいほど健康影響が大きいであろうことは想像に難くないが、測定は難しくなる。今後はPM₁₀だけでなく、PM_{0.1}など超微小粒子(ultrafine particulate)にも研究が進められていくであろう。

FMIでGrimm aerosol spectrometer 1.108と、デジタル粉塵計LD-3Bとの平行稼働実験を行った。前者はPM₁₀, PM_{2.5}, PM_{1.0}を同時測定できる装置であり、LD-3BはSPM専用測定機である。測定結果を図4に示した。なおこの図の横軸は、東ヨーロッパ夏時間(EEST, UTC+3)である。また、両者とも5分おきの1分値を求め、比較したところ、表2に示すようにSPMは特にPM₁₀と高い相関(R²=0.91)を示した。この結果により、FMIの研究者たちにSPMは概ねPM₁₀と同様に振舞っていることを示すことができた。

北欧4都市での2016年7月の測定結果を表3に示す(測定場所は図3)。どの都市もSPM値は低く、測定時間や場

表3 北歐4都市 SPM 測定結果 (2016年7月)

City	measurement period	measurement points	SPM average ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SPM max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SPM min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	standard deviation
Copenhagen	2016/07/01-04	28	14.7	24.7	8.0	5.1
Oslo	2016/07/04-06	18	17.6	41.0	5.0	8.7
Stockholm	2016/07/06-08	15	11.8	24.0	6.0	4.7
Helsinki	2016/07/13-14	35	15.0	27.0	7.5	5.1
Beijing	2016/02/06-07	Fixed point measurement	90.4	287.0	10.5	106.6

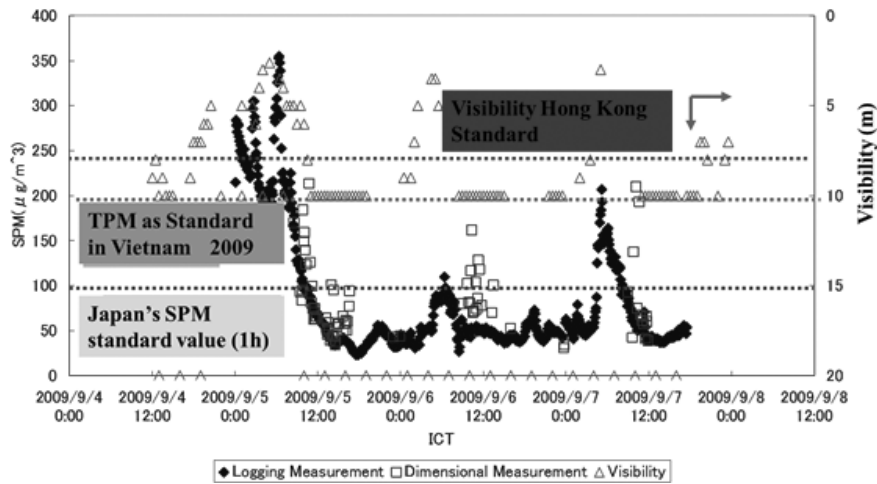


図5 2009年9月ハノイ(ベトナム)でのSPM測定結果と視程距離の関係^[8]

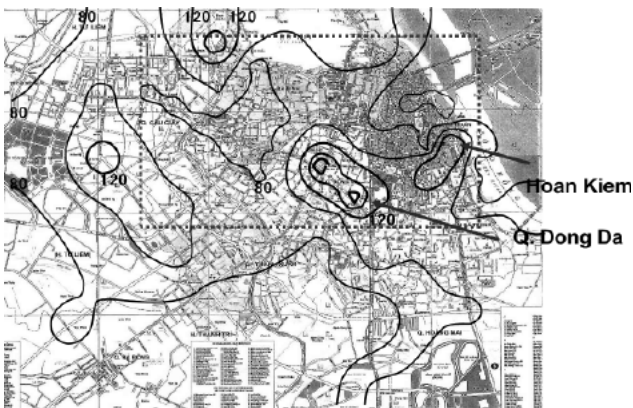


図6 2009年9月ハノイ(ベトナム) SPM測定結果のコンターマップ^[8]

所によるばらつきも小さかったため、コンターマップを作成するに至らなかった。表3には比較のため、同年2月に行った北京での定点測定値(北京駅前)を加えた。SPMの平均値も最大値も比較の対象にならないことが明らかである。さらに比較のため図5に2009年ハノイでの調査結果を示した^[8]。この時は経時測定も行えたので、日変化なども測定できている。また、図6に面測定結果からコンターマップを起こしており、市場など繁華街でSPM濃度が上がっている様子がうかがえる^[8]。

本研究室で調査に訪れた多くのアジアの都市では、SPM (PM_{2.5}, PM₁₀) 濃度の低減を目指してたとえば以下のように原因とその対策を考えている。

- 1) 排気ガスや大気汚染に関する新しい政策の導入
- 2) 交通規制
- 3) 排気ガスの改善のため日本車の中古車の導入(ウラジオストック, ジャカルタなど)
- 4) 幹線道路の舗装(プノンペンなど)
- 5) 燃料の改善(北京など)
- 6) 天候の影響

FMIの研究者らによると、フィンランドではヘルシンキ郊外で週末に高いPM₁₀の値を示し、この原因が伝統的なサウナで用いられる薪と考えられており、ノルウェーでは冬季にスパイクタイヤ由来のPMが問題視されている。また、フィンランド、スウェーデン、ノルウェーでは南風(南西風)が強いときにPMが越境してくると考えられている(日本に黄砂が飛んで来たり、シベリアの山火事で北海道のSPM値が跳ね上がった^[9]と同様の現象であろう)。ただし、これらのイベントが発生していない時はPM値がごく小さいため、都市住民の関心も集めていない。現地の研究者からは「問題がないとされているのになぜ測定するのか」と尋ねられた。公的データは蓄積されているが、その公開は需要がないのか進んでいない^[10]。

表4 世界の大気汚染・PM_{2.5}濃度ランキング, 国別順位〔WHO 2018年版^[11]より筆者抜粋〕

順位	国名	都市部のPM _{2.5} 年間平均濃度(μg/m ³)
1	ネパール	99.5
2	カタール	91.7
3	サウジアラビア	86.7
4	エジプト	79.6
5	ニジェール	73
7	インド	68
15	中国	51
57	ベトナム	30.1
65	タイ	26.6
72	カンボジア	24.9
73	韓国	24.7
97	メキシコ	20.9
159	日本	11.8
174	デンマーク	10.3
180	ノルウェー	7.8
183	オーストラリア	7.3
186	フィンランド	6.5
187	スウェーデン	6.1
188	アイスランド	5.9
189	ブルネイ	5.8
189	ニュージーランド	5.8
	世界平均	39.6

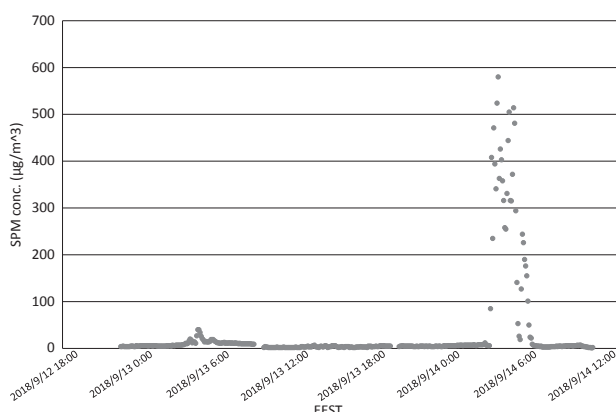


図7a 2018年9月 ロバニエミ (フィンランド) のSPM測定結果

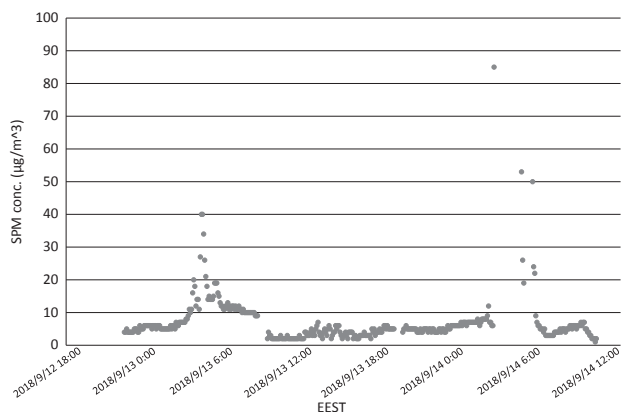


図7b 2018年9月 ロバニエミ (フィンランド) のSPM測定結果 その2

世界保健機関 (WHO) や世界銀行などでは、環境関連のデータの蓄積や公開を行っている。大気汚染の国別比較のため都市部のPM_{2.5}年間平均濃度の上位および下位の国々と関係各国を抜粋して表4にまとめた^[11]。都市部のPM_{2.5}年間平均濃度の高い国から並べたので、今回調査の対象とした北欧の国々は189箇国中、スウェーデン187位 (濃度の低いほうから4位)、フィンランド186位 (同様に5位)、ノルウェー180位 (同様に11位)、デンマーク174位 (同様に17位) と大変低い値であった。このデータは本研究における測定結果と矛盾しない。北欧の研究者や都市住民たちが、PM値が小さく問題がないため関心をほとんど寄せていない状況も理解できる。

2018年9月にはフィンランドの北極圏への入り口にあたるラップランドの中心首都ロバニエミを訪れSPMの測定を行った。雨天のため面測定は行えず、宿泊先にて経時測定を行った。その結果を図7aに示す。このグラフも横軸はEESTである。

2018年9月14日の未明 ホテル周辺にて花火 (爆竹の類) で大騒ぎをしている数名の若者のグループがいた。朝になってデータを回収すると、装置が壊れたかと思うほどの大きな値、約600 μg/m³が記録されていた (このSPM計の最大測定値が760 μg/m³程度である)。そこで、縦軸のフルスケールを100 μg/m³に変えて作図したのが図7bである。ハノイでの日変化のような規則性は見当たらず、一時的に40 μg/m³程度の値を示した時間帯があるものの、それ以外の時間帯は概ね10 μg/m³程度であった。

北極圏に存在するブラックカーボンは地上付近ではロシアから、上空ではアジアから来るものが多い^[12]という報告がある。また、大気汚染に関してはアジアの国々が上位に並ぶが、地球は球体であるので実はフィンランドはロシアとアジアに近い国である (一般的に用いられているメルカトル図法の世界地図は距離を正確に表していない)。そのためロバニエミを調査先に選んだ。ロバニエミは、サンタクロースの村へ向かうため世界中から一定数の観光客が通年訪れる町であり、第二次大戦後アルヴァ・アアルトが主導して街づくりが行われたことでも有名である。今回の調査の時点では、SPM濃度は低い値を保っており、ロシアやアジアの影響を受けている様子は見られなかった。

4. おわりに

本報告の一つの大きな成果は、FMI所有のGrimmと本学のLD-3Bの平行稼働実験ができたことである。実際にFMIで使われている装置Grimmから得られたデータの中で特にPM₁₀とSPM値との高い相関を示した。

今回面測定した北欧4都市は、2007年きれいな都市に

もランクインする都市である^[13]。インタビューを行った住民は口をそろえて自分の町の環境が良いことを話してくれた。一方、現在のPMや大気汚染指数(AQI)のような値には関心をあまり示さなかった。実際に調査した結果からも“きれいな大気”であることが確認された。FMIの研究者たちは、たとえば中国から日本への大気汚染物質を含む空気の長距離移動には大変高い関心を示してくれた。これは過去に西欧～中欧あたりから北欧へPMやSO_xが流入した被害の経験があるからであろう。

PMの問題は地域の問題であると同時に地球規模で考えなければならない問題でもある。今後もPMを中心とした大気環境に関心をもち続け、生活者の視点から環境問題の解析や国際比較を行っていく。

謝 辞

この研究の一部は、昭和女子大学研究助成金の援助を得て行った。また、この研究の一部は19th Biennial International Congress ARAHE および日本環境学会第44回研究発表会において発表した。

SPMとPMの相関を求める際にお世話になったフィンランド気象研究所(FMI)のHilkka Timonen先生、Minna Aurela博士に御礼申し上げる。

【参考文献】

- [1] EANET: <https://www.eanet.asia/jpn/>
- [2] 中山榮子, メルボルン(オーストラリア)における浮遊粒子状物質(SPM)の現状, 昭和女子大学紀要「学苑」, **885**, 2-9 (2014)
- [3] 中山榮子, アジア各都市におけるSPM簡易測定法の開発, 昭和女子大学大学院生活機構研究科紀要, **18**, 1-9 (2009)
- [4] 環境省, 大気汚染に係る環境基準:
<https://www.env.go.jp/kijun/taiki.html>
- [5] 国立環境研究所, SPM, PM2.5, PM10, …, さまざまな粒子状物質:
<http://www.nies.go.jp/kanko/news/20/20-5/20-5-05.html>
- [6] 環境省, 微小粒子状物質の粒径について:
<https://www.env.go.jp/council/former2013/07air/y078-02/mat03.pdf>
- [7] 国際環境経済研究所(IEEI), ゼロからわかるPM2.5のはなし: <http://ieei.or.jp/2013/08/special201307002/>
- [8] 中山榮子, いくつかのアジアの都市における浮遊粒子状物質(SPM)の現状—ジャカルタとハノイ—, 昭和女子大学紀要「学苑」, **849**, 50-60 (2011)
- [9] たとえば, 産経ニュース2018年4月27日, 北海道でPM2.5濃度上昇 ロシア極東の森林火災影響か:
<https://www.sankei.com/life/news/180427/lif1804270035-n1.html>

[10] たとえば, Air Quality in Europe サイト内の Comparing Cities の Current situation にはオスロとストックホルムのデータは示されていない:

http://airqualitynow.eu/comparing_home.php

[11] 世界の大気汚染・PM2.5濃度ランキング, 国別順位, WHO 2018年版:

https://memorva.jp/ranking/unfpa/who_whs_pm2.5_urban.php

[12] 国立環境研究所, 北極に運ばれるブラックカーボンはどこからくる?:

<https://www.nies.go.jp/whatsnew/20170925/20170925.html>

[13] Gigazine, 世界の最もきれいな都市トップ25:

https://gigazine.net/news/20070518_world_cleanest_and_dirtiest_cities/

Websiteの最終アクセスはすべて2019年5月22日である。

(なかやま えいこ 環境デザイン学科)