中国・大連市の大気環境に関する研究

于　暁東[1]・二渡　了[2]

[1]非会員　北九州市立大学大学院博士前期課程　国際環境工学研究科（〒808-0135福岡県北九州市若松区ひびきの1-1）
E-mail: 772168601@qq.com
[2]正会員　北九州市立大学教授　国際環境工学部環境生命工学科（〒808-0135福岡県北九州市若松区ひびきの1-1）
E-mail: futawatari@kitakyu-u.ac.jp

中国・大連市では，$PM_{2.5}$が主要な汚染物として大気環境に影響を与えている．本研究では，大連市の大気観測項目の変化特徴について分析した．大気観測項目（$PM_{2.5}$，PM_{10}，NO_2，SO_2，CO，O_3）と気象観測項目（気温，湿度，気圧，風速，降水量）の日データを基に，それらの変化や相互の関連性について検討した．その結果，$PM_{2.5}$，PM_{10}，NO_2，SO_2，COの濃度は秋と冬が高く，O_3の濃度は春と夏が高い．SO_2濃度の年間変化では季節による変動が明確であり，$PM_{2.5}$，PM_{10}，NO_2，CO，SO_2は冬季の暖房に関係がある．大気観測項目相互の相関では，$PM_{2.5}$とPM_{10}，NO_2，COの相関が高く，原因としては同じ汚染源であるためと考えられる．SO_2，O_3との相関は小さい．

気象の観測項目と大気の観測項目の関連性の分析結果では，温度とSO_2の相関は負相関であり，O_3とは正相関である．気圧とSO_2の相関は正相関であり，O_3とは負相関である．風速，湿度，降水量と大気の観測項目は明確な関係がなかった．温度，気圧とSO_2，O_3は関係がある．気象の日データを基に月平均値を求めた．その平均値と大気データの月平均値の相関図によると，温度と$PM_{2.5}$，PM_{10}，NO_2，SO_2，COの相関は負相関であり，気圧と$PM_{2.5}$，PM_{10}，NO_2，SO_2，COの相関は正相関であった．

Key Words : *air pollutants, meteorology, particulate matter2.5, temperature.*

1. はじめに

⑴背景

中国では高度の経済発展に伴って大気汚染問題が顕在化している．大気汚染は，人間の健康に甚大な脅威をもたらしている．大連市は遼中南と環渤海工業経済圏の中核都市の一つである．工場や自動車交通などの増加に伴って，大気汚染状況は年々悪化している．2013年の《新環境空気質量標準》を実行して以来，$PM_{2.5}$は主要な汚染物として，大連市の大気環境に影響を与えている．大連市政府は，様々な大気汚染の改善政策を実行したが，さらなる改善方法の提案が重要な課題である．

既存研究として，気象データの月平均値と大気データの月平均値を用いて，気象と大気に関する研究がある[1)]．また，大気と気象の関連性に関する研究は多く行われており，Elminir[2)]のPM_{10}とNO_2，SO_2，CO，O_3の濃度に関係する研究では，風速が小さいときに汚染物の拡散条件が悪く，濃度が高いと述べている．2000年には，陳輝[3)]が北京市のSO_2と気象の相関性の研究を行い，風速が小さいときにSO_2の濃度が高いことを示した．

⑵目的

本研究では，大連市を対象として，大気の観測項目（$PM_{2.5}$，PM_{10}，NO_2，SO_2，CO，O_3）の日データと気象の観測項目（気温，湿度，気圧，風速，降水量）の日データを収集し，大連市の大気環境状況を分析する．大気汚染の要因を検討し，今後の大気汚染防止方策を提示することを目的とする．

2. 調査方法

インターネットを通して，公的な発表を基に大気観測項目の日データと気象観測項目の日データを収集し，分析する．

大気の日データは，2014年から2016年の《中国・大连市环境监测总站》が公表したデータである．データとしては，10地点（甘井子，周水子，星海三站，青泥洼桥，傅家庄，七贤岭，旅顺，金州，开发区，双D港）において24時間連続で測定されたデータの日平均値を用い，さ

らに10地点で平均した大連市データとして公表されている値を利用した．気象の日データは2014年から2016年の《Weather Underground》が公表したデータであり，そのデータは市内中心部の一つの地点で測定されており，30分間を単位として更新され，24時間の12個データの平均値を日データとして分析する．

3. 分析結果

(1)大気観測項目の月平均値の年間変化図

大気観測項目の日データを用いて，各月の平均値を求めた．それらの年間変化図を**図1～6**に示す．$PM_{2.5}$，PM_{10}，NO_2，SO_2，COの濃度は10月～4月の濃度が高く，5月～9月は濃度が低い．O_3の濃度は5月～9月が高く，10月～4月は濃度の低い月である．O_3と他の観測項目の濃度変化には明確な違いがあり，O_3の汚染源と他の項目の季節変化を伴う汚染源は異なると考えられる．3年間の月平均値では，各大気観測項目とも大きな違いはない．

図-1 $PM_{2.5}$の月平均値の年間変化図

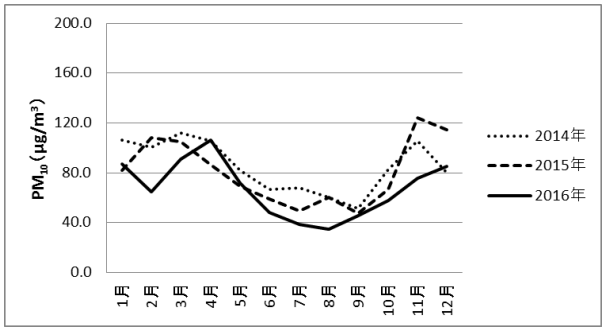

図-2 PM_{10}の月平均値の年間変化図

図-3 NO_2の月平均値の年間変化図

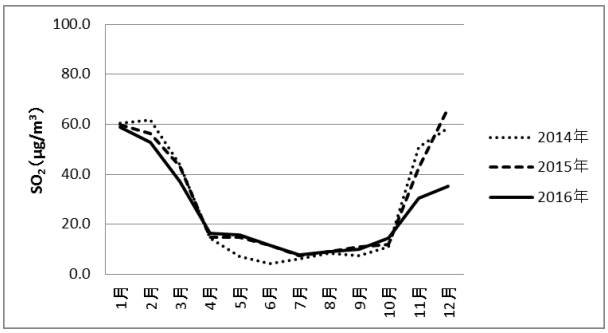

図-4 SO_2の月平均値の年間変化図

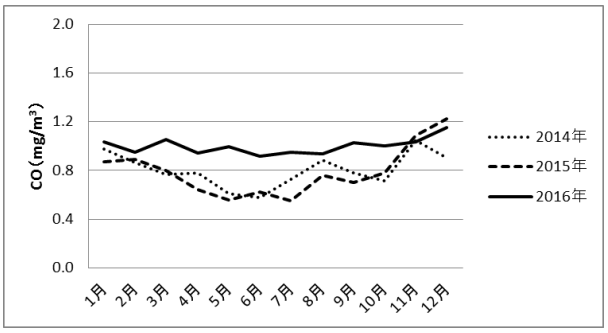

図-5 COの月平均値の年間変化図

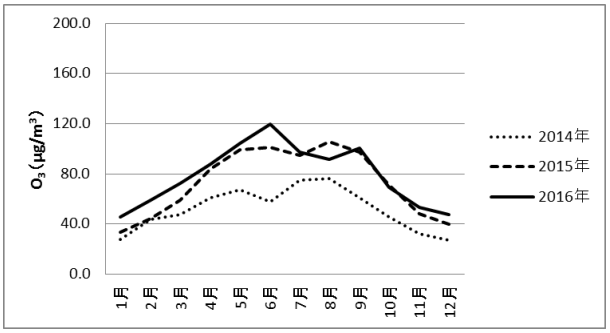

図-6 O_3の月平均値の年間変化図

(2) $PM_{2.5}$と他の観測項目の月別相関

次に，大気観測項目の日データを用いて，各月別に$PM_{2.5}$と他の観測項目との相関図を作成し，相関係数を求めた．**表1～3**にそれらの月別の相関係数を示す．これらを見ると，当然ながら年間を通して，PM_{10}との相関係数が高く，NO_2とは冬季にやや相関が高い．SO_2との相関係数は小さく，COとは相関が高い月があった．O_3とは年間を通して相関係数が小さい．$PM_{2.5}$ とPM_{10}，NO_2，COとの相関が高く，同じ汚染源の可能性があると考えられる．3年間の月別相関係数では大きな違いはなかった．

表-1 $PM_{2.5}$と他の観測項目の月別の相関係数（2014年）

年月	PM_{10}	NO_2	SO_2	CO	O_3
2014. 1	0. 8712	0. 6132	0. 2329	0. 8190	0. 2741
2014. 2	0. 9698	0. 8197	0. 2311	0. 7295	0. 1447
2014. 3	0. 9055	0. 5077	0. 1521	0. 7692	0. 0034
2014. 4	0. 8551	0. 4599	0. 5030	0. 5456	0. 0061
2014. 5	0. 7132	0. 1657	0. 2142	0. 2469	0. 1536
2014. 6	0. 9637	0. 3945	0. 6431	0. 6073	0. 4006
2014. 7	0. 9581	0. 1706	0. 0596	0. 6106	0. 3039
2014. 8	0. 9464	0. 0016	0. 0929	0. 4377	0. 5652
2014. 9	0. 8375	0. 0531	0. 1488	0. 3502	0. 4676
2014. 10	0. 8741	0. 6746	0. 2343	0. 8497	0. 0044
2014. 11	0. 9742	0. 5241	0. 1215	0. 7733	0. 0003
2014. 12	0. 9656	0. 7369	0. 3968	0. 8497	0. 3792

表-2 $PM_{2.5}$と他の観測項目の月別の相関係数（2015年）

年月	PM_{10}	NO_2	SO_2	CO	O_3
2015. 1	0. 9631	0. 5336	0. 1289	0. 8334	0. 3595
2015. 2	0. 3569	0. 5996	0. 3001	0. 7723	0. 2404
2015. 3	0. 7075	0. 6378	0. 3514	0. 7670	0. 0179
2015. 4	0. 6419	0. 4918	0. 6040	0. 7747	0. 2009
2015. 5	0. 6367	0. 3615	0. 4517	0. 2453	0. 2360
2015. 6	0. 8002	0. 0948	0. 0556	0. 2638	0. 2099
2015. 7	0. 9441	0. 1620	0. 2601	0. 4916	0. 1252
2015. 8	0. 9738	0. 0057	0. 1514	0. 4633	0. 4576
2015. 9	0. 9289	0. 2536	0. 1144	0. 5638	0. 0754
2015. 10	0. 9457	0. 3998	0. 4165	0. 8378	0. 2369
2015. 11	0. 9831	0. 2301	0. 0170	0. 3929	0. 0084
2015. 12	0. 9932	0. 7275	0. 3197	0. 8479	0. 3305

表-3 $PM_{2.5}$と他の観測項目の月別の相関係数（2016年）

年月	PM_{10}	NO_2	SO_2	CO	O_3
2016. 1	0. 9776	0. 6958	0. 4036	0. 8426	0. 5664
2016. 2	0. 9458	0. 2271	0. 3285	0. 5185	0. 0207
2016. 3	0. 5755	0. 3830	0. 2774	0. 4823	0. 0022
2016. 4	0. 5302	0. 4782	0. 3071	0. 7234	0. 0371
2016. 5	0. 7380	0. 0341	0. 1948	0. 4156	0. 4042
2016. 6	0. 9267	0. 0033	0. 0915	0. 4662	0. 4523
2016. 7	0. 9177	0. 0354	0. 0099	0. 7129	0. 4206
2016. 8	0. 5262	0. 0146	0. 0003	0. 1718	0. 0478
2016. 9	0. 8768	0. 0609	0. 0108	0. 5093	0. 2805
2016. 10	0. 9789	0. 4220	0. 2874	0. 5901	0. 1714
2016. 11	0. 9035	0. 3917	0. 0959	0. 7644	0. 0235
2016. 12	0. 9961	0. 6029	0. 4821	0. 8634	0. 0650

⑶日データと月平均値による相関図

$PM_{2.5}$と他の観測項目の日データの1年間の相関図を**図-7～11**に示す．$PM_{2.5}$とPM_{10}，NO_2，SO_2，COの相関は正相関であり，PM_{10}との相関が高い．NO_2，SO_2との相関はあまり高くはなかった．O_3とは明確な関係はない．

次に，各月の日データを用いて月平均値を求め，$PM_{2.5}$と各測定項目の月平均値の相関を求めた．**図12～16**に相関図を示す．日データを用いた相関図と比較すると，分布形は異なるものの，相関係数には大きな違いはなかっ

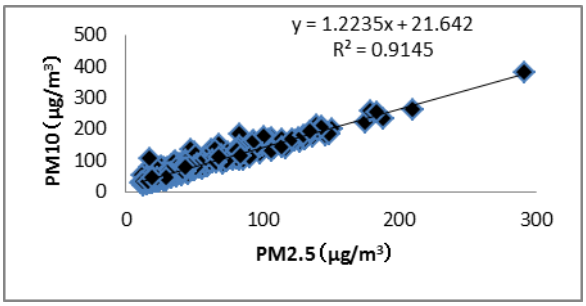

図-7 $PM_{2.5}$とPM_{10}の日データの年間相関図（2014年）

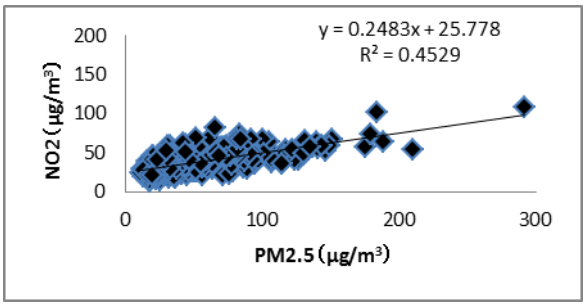

図-8 $PM_{2.5}$とNO_2の日データの年間相関図（2014年）

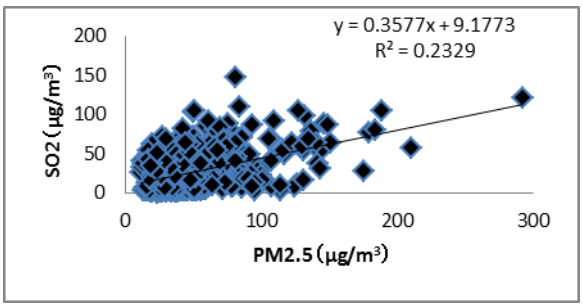

図-9 $PM_{2.5}$とSO_2の日データの年間相関図（2014年）

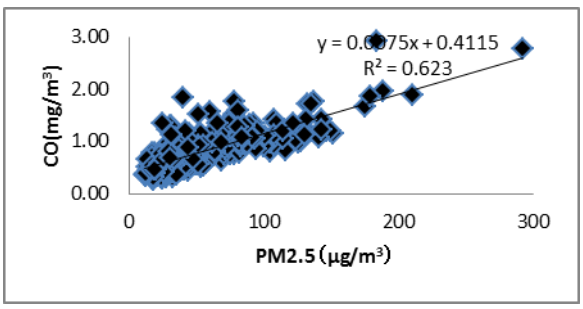

図-10 $PM_{2.5}$とCOの日データの年間相関図（2014年）

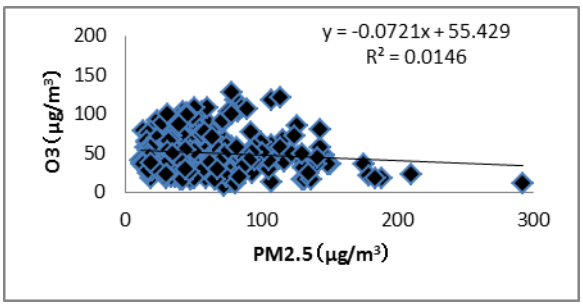

図-11 $PM_{2.5}$とO_3の日データの年間相関図（2014年）

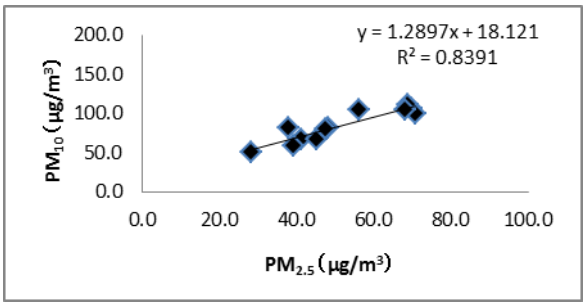

図-12 $PM_{2.5}$とPM_{10}の月平均値の年間相関図（2014年）

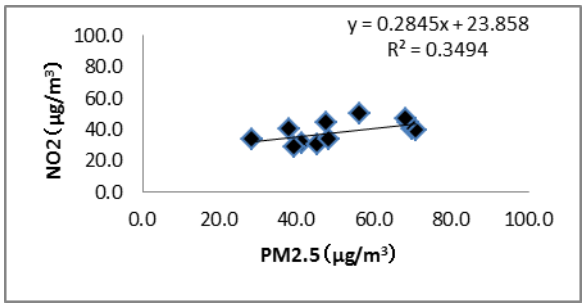

図-13 $PM_{2.5}$とNO_2の月平均値の年間相関図（2014年）

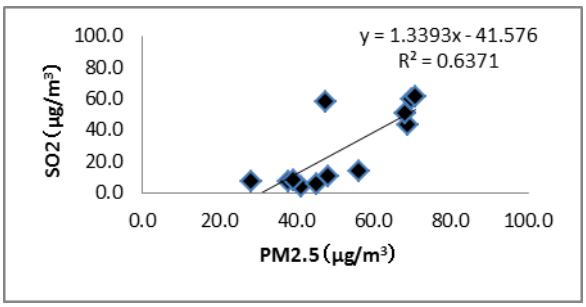

図-14 $PM_{2.5}$とSO_2の月平均値の年間相関図（2014年）

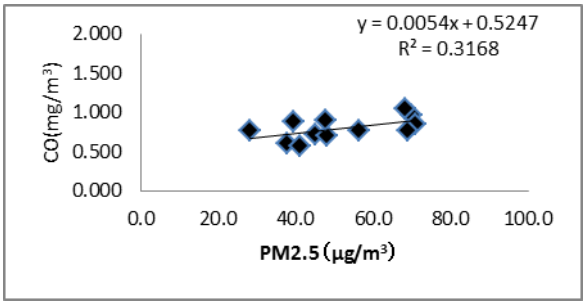

図-15 $PM_{2.5}$とCOの月平均値の年間相関図（2014年）

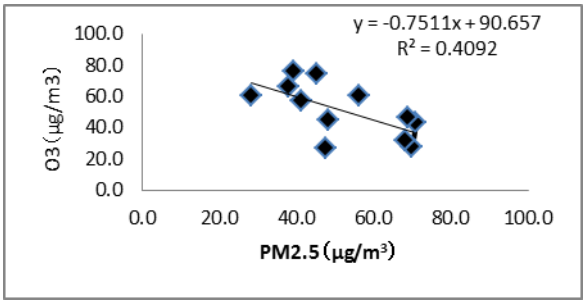

図-16 $PM_{2.5}$とO_3の月平均値の年間相関図（2014年）

た．なお，2015年，2016年の日データの年間相関係数と月平均値の年間相関係数は，2014年の値と比べて大きな違いはなかった．

(4) 気象観測項目と大気観測項目の関連性

まず，気象の日データと大気の日データの相関図によると，温度とSO_2の相関は負相関であり，O_3との相関は正相関である．気圧とSO_2の相関は正相関であり，O_3との相関は負相関である．風速，湿度，降水量と大気の観測項目は明確な関係がなかった．温度，気圧とSO_2，O_3は関係がある．気象日データを基に月平均値を求めた．その平均値と大気の月平均値の相関図によると，温度と$PM_{2.5}$，PM_{10}，NO_2，SO_2，COの相関は負相関である．気圧と$PM_{2.5}$，PM_{10}，NO_2，SO_2，COの相関は正相関である．大気の日データと気象の日データと月平均値との相関係数の結果には大きな違いがある．

次に，気象観測項目及び大気観測項目の日データを用いて、各月別に相関を求めた。

表-4や**表-5** のように$PM_{2.5}$，PM_{10}と気温，湿度の相関は冬季のほうが他の季節より相関係数が強く，風速との相関は冬季のほうが強い．**表-6**のNO_2と気温は冬季と春季の相関は他の季節より強く，湿度とは冬季と夏季の相関は他の季節より強く，風速とは夏季の相関が弱い．SO_2と風速の相関は冬季のほうが強く，湿度とは春季の相関が強い（**表-7**）．**表-8**のCOと気温の相関は夏季のほうが他の季節より弱く，湿度とは冬季の相関が高い．風速とは秋季と冬季の相関が強く．O_3と気温は春季と夏季の相関が強く，風速とは冬季の相関が強い（**表-9**）．

表-4 $PM_{2.5}$と気象データの月別相関係数

年月	気温	湿度	気圧	風速	降水量
2014.1	0.0026	0.5022	0.0230	0.1742	0.0025
2014.2	0.3736	0.5030	0.0315	0.3320	0.0135
2014.3	0.2501	0.1431	0.1714	0.0229	0.0371
2014.4	0.1851	0.0185	0.1917	0.1105	0.0814
2014.5	0.0907	0.0137	0.0309	0.0582	0.0122
2014.6	0.1806	0.0194	0.0331	0.3171	0.0079
2014.7	0.0377	0.0001	0.0836	0.0022	0.0282
2014.8	0.0055	0.0136	0.0555	0.1265	0.0505
2014.9	0.1225	0.1305	0.0904	0.0964	0.0001
2014.10	0.0800	0.0520	0.0290	0.1589	0.0367
2014.11	0.1421	0.3594	0.0765	0.1292	0.1246
2014.12	0.2794	0.3956	0.2262	0.1225	0.0026

表-5 PM_{10}と気象データの月別相関係数

年月	気温	湿度	気圧	風速	降水量
2014.1	0.0017	0.3732	0.0208	0.1471	0.0022
2014.2	0.3198	0.4011	0.0384	0.2810	0.0211
2014.3	0.3026	0.0426	0.1706	0.0016	0.0127
2014.4	0.1445	0.1410	0.2136	0.0835	0.1690
2014.5	0.2425	0.0418	0.1598	0.0152	0.0402
2014.6	0.1807	0.0479	0.0193	0.3355	0.0024
2014.7	0.0212	0.0022	0.0278	0.0129	0.0310
2014.8	0.0038	0.0000	0.0201	0.0754	0.0422
2014.9	0.0773	0.0212	0.0261	0.0593	0.0062
2014.10	0.0632	0.0065	0.0055	0.0277	0.0627
2014.11	0.1521	0.3245	0.0710	0.1270	0.0821
2014.12	0.2730	0.3284	0.2719	0.0605	0.0033

表-6 NO_2と気象データの月別相関係

年月	気温	湿度	気圧	風速	降水量
2014.1	0.0037	0.3334	0.0789	0.4026	0.0101
2014.2	0.4477	0.3910	0.0486	0.4520	0.0003
2014.3	0.1904	0.0120	0.1145	0.1372	0.0001
2014.4	0.2429	0.0642	0.3870	0.5238	0.1135
2014.5	0.2670	0.2250	0.0130	0.3164	0.1509
2014.6	0.0832	0.1895	0.0017	0.4750	0.0140
2014.7	0.0742	0.3015	0.0752	0.1831	0.0847
2014.8	0.0218	0.0603	0.0565	0.0231	0.0000
2014.9	0.0158	0.0723	0.0043	0.1154	0.0171
2014.10	0.0066	0.0644	0.0011	0.4253	0.0896
2014.11	0.0670	0.3237	0.0082	0.5431	0.0306
2014.12	0.2127	0.4768	0.0955	0.4353	0.0004

表-7 SO_2と気象データの月別相関係数

年月	気温	湿度	気圧	風速	降水量
2014.1	0.0118	0.0916	0.0533	0.2692	0.0002
2014.2	0.0035	0.0028	0.0580	0.2847	0.0812
2014.3	0.0001	0.1257	0.0244	0.1259	0.0188
2014.4	0.1588	0.2650	0.2374	0.0297	0.1076
2014.5	0.3580	0.4318	0.1404	0.0002	0.0589
2014.6	0.2752	0.2553	0.0948	0.2364	0.0160
2014.7	0.0432	0.1804	0.0250	0.0152	0.0704
2014.8	0.0808	0.0006	0.1066	0.0147	0.0180
2014.9	0.0098	0.0913	0.0008	0.0074	0.0001
2014.10	0.0419	0.0615	0.0231	0.0740	0.0964
2014.11	0.0005	0.1082	0.0433	0.5931	0.0268
2014.12	0.1826	0.2982	0.0087	0.4886	0.0024

表-8 COと気象データの月別相関係数

年月	気温	湿度	気圧	風速	降水量
2014.1	0.0004	0.4800	0.0590	0.2496	0.0014
2014.2	0.2757	0.3352	0.0374	0.3783	0.0215
2014.3	0.3050	0.1076	0.2466	0.0665	0.0012
2014.4	0.3454	0.0587	0.2035	0.3028	0.0160
2014.5	0.0051	0.0893	0.0375	0.0008	0.0136
2014.6	0.1943	0.0178	0.0278	0.3075	0.0002
2014.7	0.0007	0.0617	0.0009	0.0117	0.0241
2014.8	0.0489	0.0425	0.0118	0.0130	0.1389
2014.9	0.0320	0.0449	0.0071	0.0414	0.2067
2014.10	0.0544	0.0615	0.0573	0.3021	0.0261
2014.11	0.0544	0.3697	0.0068	0.2891	0.0446
2014.12	0.2991	0.4368	0.2389	0.1695	0.0038

表-9 O_3と気象日データの月別相関係数

年月	気温	湿度	気圧	風速	降水量
2014.1	0.0028	0.2633	0.0097	0.4361	0.0070
2014.2	0.0607	0.0677	0.0306	0.0935	0.0393
2014.3	0.2863	0.0242	0.1845	0.3735	0.0599
2014.4	0.1631	0.0227	0.0252	0.1753	0.0550
2014.5	0.0004	0.0012	0.0005	0.1674	0.1209
2014.6	0.5080	0.2681	0.1205	0.0223	0.0000
2014.7	0.0064	0.0820	0.0598	0.0571	0.0000
2014.8	0.1228	0.0008	0.0157	0.0250	0.0934
2014.9	0.3136	0.0594	0.2583	0.1015	0.0012
2014.10	0.4825	0.0317	0.1562	0.0001	0.0023
2014.11	0.0408	0.0975	0.0192	0.1217	0.0342
2014.12	0.1352	0.5707	0.0021	0.6567	0.0182

4. まとめ

分析結果から，以下の点が明らかとなった.

①大気観測項目の月平均値の変化では，3 年間で大きな違いはなかった.

②$PM_{2.5}$と PM_{10}, NO_2, SO_2, CO の関係性は秋季と冬季が強く，春季と夏季が弱い．O_3とは春季と夏季が強く，秋季と冬季が弱い．汚染源の違いと考えられる.

③秋と冬の場合は，$PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2, SO_2, CO の濃度が相対的に高く，つまり，大気の汚染が大きい.

④大気観測項目と気象観測項目の月別相関は，冬季が他の季節より強い．気象項目は季節の変動によって，汚染物質に違い影響を与える.

以上のように，$PM_{2.5}$と他の観測項目の関連性の分析結果では，冬季，O_3以外の汚染物質は濃度が高く，夏季にはO_3の濃度が高い．汚染源の違いの他には，冬季、暖房の影響が大きいと考えられる．大気と気象関連性の分析結果でも，冬季に，他の季節より相関が高い．今後は大連市の石炭の使用量等について調査し，大気汚染の要因を分析する．大連市の大気汚染防止対策を検討する.

参考文献

1）范明霞：包头市空气质量评价及其治理对策，pp.25-28，2009.

2）安俊琳，王跃思，李昕，孙扬，申双和，石立庆：北京大气中NO,NO2和O3的浓度变化的相关性分析，2007.

3）陈辉： 北京冬季二氧化硫污染和气象条件的关系 气象与环境研究资料， pp.287-295，2000.

4）董伟：大连市环境状况公报，2014.5.31.2015.5.31.2016.5.31 https://www.zhb.gov.cn/tech/hjbz/bzwb

5）Weather Underground，2014-2016，https://www.wunderground.com/

6）胡越：包头市空气质量状况及其与气象条件的关系，pp.8-15，2011-2015

（2017.8.25 受付）

STUDY ON ATMOSPHERIC POLLUTION IN DALIAN CITY, CHINA

Xiaodong YU and Tohru FUTAWATARI

$PM_{2.5}$ is the main pollutant which has a great impact on the atmospheric environment in Dalian City, China. In this study, the characteristics of atmosphere in Dalian are analyzed. The mutual relevance of atmosphere ($PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2, SO_2, CO, O_3) and meteorology (air temperature, humidity, air pressure, wind velocity and precipitation) have been examined on the basis of data. As a result, the concentrations of $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2, SO_2 and CO are high in autumn and winter, and the concentration of O_3 is high in spring and summer. The annual change of SO_2 concentration has obvious relationship with seasonal fluctuations and concentrations of $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2, SO_2 are mainly related to winter heating. The cause of this phenomenon is due to the same pollution source but has no relationship with SO_2 and O_3.

According to the analysis result of the relation between the meteorological observation and atmospheric observation subjects, the temperature is negatively related SO_2 and positively related to O_3. Atmospheric pressure is positively related to SO_2 and negatively related to O_3. Wind speed, humidity, precipitation has nothing to do with atmospheric observation items. Temperature and atmospheric pressure are related to SO_2 and O_3. According to the correlation diagram between the monthly mean value of data of atmosphere and meteorology, the temperature and $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2, SO_2, CO are negatively correlated, and the pressure and $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2, SO_2, CO are positively correlated.