

Summary of the doctoral thesis “Study on the winter air particulate pollution in Ulaanbaatar, Mongolia”

Department of Earth and Environmental Sciences
Graduate School of Environmental Studies
Nagoya University
Minrui Wang

After the dissolution of the Soviet Union, Ulaanbaatar, the capital city of Mongolia, has growing rapidly since 1990s. Both population and the urban functions become intensely concentrated in Ulaanbaatar from 1990 to 2016, the population of Ulaanbaatar had increased from 560 thousand to 1.4 million, contained about 50% of the population of Mongolia. Because of the growing population, the ger districts, which distributed in the suburb of Ulaanbaatar, had been spreading wider in recent years, and the number of vehicles had an explosive increase as well. The rapid growing population without followed by sufficient urban infrastructures has caused a series of both social and environmental problems. The atmospheric pollution in winter is one of the most serious environmental problems that threaten the public health of citizen, and effect on the infant mortality. In this study of thesis, according the study on (1) characteristics of winter air particulate pollution in Ulaanbaatar by lidar measurements; (2) effect on winter air particulate pollution from surface inversion layer in Ulaanbaatar by radiosonde data analysis, we indicate both the geographical and meteorological matters that influence the urban air particulate pollution in Ulaanbaatar’s winter.

(1) Study on the characteristics of winter air particulate pollution in Ulaanbaatar by lidar measurement

Unlike to mostly of the air polluted cities, as an inland city, Ulaanbaatar has a very high latitude and an elevation about 1313m. About half of a year in Ulaanbaatar is winter, which strongly influenced by Siberian High. Therefore, the temperature from late October to early March is usually under 0°C, especially for the three months from December to February, the temperature could be lower than -20°C. Furthermore, the city is surrounded by mountains that with elevation more than 2000m, with the narrow urban area that about 50km in east-west direction, and only 20km in north-south direction. This topographical factor provides suitable conditions for the long time existence of substantially stable atmosphere in winter.

In this study, by analyzing lidar data, the surface meteorological data, and the surface weather charts, we checked out the beginning of air particulate pollution, the development of mixed layer and the characteristics of surface wind’s variation.

In October 2010, the temperature rapidly decreased more than 15°C throughout the

month. The Siberian High started to cover Ulaanbaatar and its surrounding areas from 10 October, and the temperature first dropped below 0°C. The house heating in living areas (with more than 80% of coal stoves) started from this day, resulting to the beginning of heavy air particulate pollution. At the same time, very high attenuated backscatter coefficient was detected from surface to about 300m in lidar profile. The degradation of temperature also led to the stable atmosphere, for the daily maximum height of mixed layer which used to around 1000m in early October, turned to around 650m in late October. On the other hand, the wind velocity from October 2010 to January 2011 was so low that had never exceeded 4m/s, even lower than 1m/s during nighttime. The PM_{2.5} concentration showed a trend to become extremely high (>800µg/m³) when weak wind blew from north or north-northeast, because of the wide spread ger districts in the north of the measurement point. The very stable atmosphere allowed the surface inversion layer presenting throughout the day, which trapped the emitted air particulate pollutants in the ground level, resulting in high concentration of PM_{2.5}.

(2) Study on the effect on winter air particulate pollution from surface inversion layer in Ulaanbaatar by radiosonde data analysis

As known from study (1), the atmosphere during winter from 2010 to 2011 in Ulaanbaatar was substantially stable, resulting in the high concentration of emitted air particulate pollutants. In order to verify the generality of this process, we analyzed the surface meteorological data and radiosonde data from March 2008 to April 2014 to check out the thickness of surface inversion layer and the intense of temperature inversion. Then we indicated their relationship with PM_{2.5}, PM₁₀ and visibility.

After investigating the time series of PM_{2.5} and PM₁₀, we successfully confirmed the same characteristics which we found in 2010's winter from study (1). Moreover, the surface inversion layer in Ulaanbaatar remained existing from late September to early April every year, and reached the peak of both thickness and intense in the period of every December to January (monthly mean thickness >600m, temperature inversion >12°C). Furthermore, we found a high positive correlation ($R=0.77$, $p=0.003$) between the temperature inversion (ΔT) and the monthly mean PM_{2.5} concentration.

In Ulaanbaatar's winter, when the development of diurnal mixed layer height suppressed by the degradation of temperature, the thickness of surface inversion layer conversely kept increasing. Around January it was frequently seen that the surface inversion layer was thicker than the mixed layer. In autumn or early spring (late September or early April, for example), the surface inversion layer appeared intermittently with the date, and the temperature inversion was just 2~3°C. However, around January the surface inversion layer remained existing almost every day, and the temperature inversion occasionally

exceeded 15°C. These characteristics are largely related to the endemic geographical and meteorological factors of Ulaanbaatar, which contribute to the intense of urban air particulate pollution much more exceedingly than other air polluted cities like Beijing, and Shanghai.



主論文『モンゴル・ウランバートルの冬季における
大気微粒子汚染に関する研究』の要約

名古屋大学
大学院環境学研究科
地球環境科学専攻
王 敏睿

モンゴルの首都・ウランバートル市では、ソ連の解体以後、経済体制の変化と都市化に伴って、極端な人口集中が起こっている。1990年に約56万人であった人口は、2016年には140万人近くに達し、全国の人口の約半分を占めるようになった。人口の急激な増加と共に、ウランバートル市の東西及び北方の谷筋に存在する「ゲル地区」と呼ばれる無計画な低層の住居地域が顕著に拡大しており、また自動車(特に自家用車)の数も爆発的に増加している。さらに、社会基盤の整備不足や、外来移住者と元来の居住者の貧富差などが一連の社会及び環境問題を起こしている。その中でも特に冬季の大気汚染は深刻な国家問題の一つであり、現在も市民の健康に多大な悪影響を与え続けている。そこで本研究では、以下のように2つの副研究、(1) 地上ライダーを用いた冬季大気混合層内における大気汚染に関する研究と(2) ラジオゾンデデータ解析による冬季接地逆転層が大気汚染の統計的特徴及び大気微粒子汚染への影響を合せて実行することにより、ウランバートル市冬季の大気汚染に及ぼす気象学的・地理学的影響を解明することを目的とした。

(1) 地上ライダーを用いた冬季大気混合層内における大気汚染に関する研究

世界中のほとんどの大気汚染問題を抱える都市と異なり、ウランバートル市は高緯度に位置する標高の高い(約1313m)内陸都市である。その地理的位置から、一年の約半分が冬季であり、またシベリア高気圧の影響を強く受ける。そのため、10月下旬から翌3月上旬までの長期間にわたって、日平均気温が0℃を下回り、特に12月から翌2月までの約3ヶ月間、日平均気温が-20℃以下に達する。さらに、都市全体は東西方向を除いて標高2000m以上の山に囲まれており、都市域は東西方向に50km、南北方向に20km程度の細長い形状となっている。この盆地地形によって、冬季のウランバートル市では非常に安定した大気が長期間にわたって滞留しやすい環境となっている。

そこで、本研究では、2010年10月から2011年1月を対象に、国立環境研究所(NIES)がウランバートル市モンゴル国家気象水文研究所(NAMEM)に設置したライダーの観測データと、NAMEMが提供する地上気象観測データ及び気象庁(JMA)の地上天気図を合わせて解析することで、冬季の大気汚染の発生時期や都市大気混合層の発達状況、地上風の時間変化と分布特徴を調べた。

2010年10月には、上旬から下旬にかけて、ウランバートル市の日平均気温が15℃以上急激に低下した。10月10日を境に、ウランバートル市及びその周辺地域は強いシベリア高気圧に覆われるようになり、日平均気温は0℃を下回った。この気温の低下によりウランバートル市の居住区域で一斉に暖房(80%以上は石炭ストーブ)が使われ始めた結果、大気微

粒子を中心とする深刻な大気汚染が発生した。10月10日以降、地表面から高度約300mまでの間に強い減衰後方散乱係数がライダーで観測されるようになった。また、気温の低下により、大気はより安定な状態になり、大気混合層の日最大高度は上旬の1000m前後から下旬の650m前後まで低下した。一方、2010年10月から2011年1月まで、地上の最大風速は4m/s以下で、特に夜間には1m/sをも下回っていた。観測点の北側にゲル地区が広く分布しているため、北～北北東の弱い風が観測される時に、PM2.5の濃度が極めて高い値(>800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を示す傾向があった。このように十分安定した大気状態によって接地逆転層が終日存在し続けるようになり、地上で排出された大気汚染物質は高く舞い上がらず、そのまま地上付近に溜まり、地上のPM2.5濃度の上昇へと繋がった。

(2) ラジオゾンデデータ解析による冬季接地逆転層の統計的特徴及び大気微粒子汚染への影響

副研究(1)で明らかになったように、2010～2011年冬季のウランバートル市では大気が極めて安定しており、地上(主にゲル地区)で排出される大気汚染物質が地上付近に滞留することにより大気汚染へと繋がった。そのプロセスの一般性を検証するために、2008年3月から2014年4月における地上気象データとラジオゾンデデータを解析し、接地逆転層の厚さ及び気温逆転の強度を調べた。また、それらとPM2.5、PM10、視程との関係を解明した。

PM2.5、PM10及び視程の時系列を調べたところ、副研究(1)で示された2010年冬季の特徴は解析期間のすべての年において確認された。また、ラジオゾンデデータから解析された冬季の接地逆転層は、ウランバートル市において、毎年9月下旬から翌年の4月上旬まで存在し、12月から1月には厚さ、強度ともにピークに達した(月平均厚さ600m以上、逆転気温差12 $^{\circ}\text{C}$ 以上)。さらに、月平均の気温逆転とPM2.5濃度の間に、高い正の相関($R=0.77$ 、 $p=0.003$)が確認された。

冬季のウランバートル市では、地上気温が低下すると大気混合層の成長は抑えられるが、逆に接地逆転層の強度は増していく。1月前後には、接地逆転層が大気混合層よりも厚い場合が多くなる。秋季や春季の初め(9月下旬や4月上旬)では、接地逆転層は断続的にしか現れず、気温の逆転も2～3 $^{\circ}\text{C}$ しかない。1月前後にはほぼ毎日存在する上に、気温の逆転が15 $^{\circ}\text{C}$ を超える場合もある。これらの特徴はウランバートル市固有の地理的状況及び気象状態と深く関わっており、北京や上海など、他の大気汚染を抱える都市よりも、地上の大気汚染の強度に大きく寄与している。