

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Study on the winter air particulate pollution in Ulaanbaatar, Mongolia

(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)

氏 名 王 敏 睿

論 文 内 容 の 要 旨

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を超えず、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℃以上)。さらに、月平均の気温逆転とPM2.5濃度の間には、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℃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℃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。