

## モンゴルの大気汚染調査

森茂龍一・濱田英介・下津義博<sup>1</sup>Ilchgerel DASH<sup>2</sup> and Pusantsogvoo MUNKHBAATAR<sup>2</sup>

## Research of Air Pollution of Mongolia

Ryuichi MORIMO, Eisuke HAMADA, Yoshihiro SHIMOTSU<sup>1</sup>,Ilchgerel DASH<sup>2</sup> and Pusantsogvoo MUNKHBAATAR<sup>2</sup>

(Accepted September 30, 2016)

**Abstract** The capital city of Ulaanbaatar in Mongolia has a rapid economic growth since the 1990's. However, air pollution has reached a serious level with industrial development. Especially, the exhaust gas emitted from Gers (traditional Mongolian tents) and vehicles has recently become a major environmental problem in Ulaanbaatar city (UB). But there is no fundamental data on air pollution in UB. Therefore the investigation of air pollution would be important and useful for environmental protection data in Mongolia. In this research, volatile organic compound(VOCs) were analyzed and particulates was measured in the air polluted areas in the capital city. Then, the result was visualized. Among the VOCs ingredients, benzene and 1,3-Butadiene in particular showed high concentrations compared with Japanese environmental standards. The total values of VOCs increased from 2010 to 2011. In addition, the concentration of VOCs in winter was higher than that in summer.

**Keywords** [Air pollution, Volatile Organic Compounds, Ulaanbaatar, Mongolia]

## 1 序論

モンゴルは中央アジアに位置し人口は約 300 万人であり、面積は日本の約 4 倍である。国土は北部が大森林地帯、中部は草原、南部はゴビ砂漠と変化に富んでいる。首都のウランバートル (UB) には人口の約半分近い 135 万人が生活しているが、残りは地方の小都市の住民や遊牧民である。モンゴルは、遊牧の文化と都市化された 2 つの異なった文化を有しているユニークな国である。数千年におよぶ遊牧民の生活は優れた自然循環型文化であるが、近代化された首都は、旧ソビエト連邦の都市計画に沿って造

られた欧米型の消費社会型文化である。UB 市は、東経 106 度 55 分 12 秒、北緯 47 度 55 分 12 秒のモンゴル国の東北部に位置し、標高 1350m にある盆地で周囲は 1500m の山に囲まれている。気候はステップ気候であり、年平均気温は 1.3°C で年間の降水量は 280mm で夏季は乾燥状態である。トーラ川を中心に東西 20km、南北に 4km の帯状に広がった都市である<sup>1, 2)</sup>。

モンゴルは 1991 年の民主化以来、羊や山羊等に代表される牧畜業や豊富な地下資源により、毎年 10% を越す経済成長を遂げ急激な社会構造の変化が生じている。このような急激な経済発展の影響で首都の

1 NPO 法人ひむかおひさまネットワーク

NPO Himukaohisama Network

2 国立モンゴル科学技術大学

Mongolian University of Science and Technology, Department of Chemical engineering

ウランバートルの人口は、1990年から2004年の約15年間に55万から99万人に急激に増加し、現在でも増加している。経済成長のスピードは、人々の伝統的な生活も変え、首都には、約10万台に及ぶ自動車があり、首都の主要道路は1日あたり約6万台の自動車が道路を占拠し慢性的な渋滞が発生している。自動車は、新車も見られるようになってきたが、ほとんどは日本や韓国の中古車が多い。特に日本の中古のハイブリッドの自動車は、モンゴル政府の免税効果とガソリン価格の高騰により近年急増している。

モンゴルの冬期の気温は $-20$  から $-30^{\circ}\text{C}$ であり、遊牧民はゲルの中で家畜の糞を熱源として使用する循環型の生活であるが、首都の近郊に定住化した移動式住居(ゲル)で生活する元遊牧民の熱源は石炭である。このゲル地区(約14万世帯)の人口増加と石炭燃焼、小型ボイラーそして石炭を燃料とした火力発電所からの煤塵等により首都の大気は、劣悪な大気状況となっている<sup>3)</sup>。UB市の火力発電所は、現在4基あるが第1火力発電所は老朽化のために稼働していない。電気集塵機は、第2、3火力発電所には設置されておらず、第4火力発電所のみを設置されている。このような状況下でUB市は、2007年に冬季の石炭燃焼による大気汚染の実態把握のため環境保護局大気質課を創設し、窒素酸化物や硫酸酸化物そして一酸化炭素等の定点での測定を開始した<sup>4)</sup>。しかし、揮発性有機化合物(VOCs)等の大気汚染物質のモニタリングや調査等を行われていなかった。

そこで本研究ではUB市における大気中VOCsの動態分析を2008年から行った<sup>5, 6)</sup>。

これらの分析結果をもとにUB市における基礎的な大気汚染の分析データを作成し、得られた知見をもとに市民の環境意識の向上を図るために環境評価の情報をわかりやすく発信することを本研究の目的としている。

## 2 実験

### 2.1 大気中揮発性有機化合物(VOCs)の測定

2009年から夏季と冬季の年2回、VOCs濃度の測定をUB市内中心部の4ヶ所の定点において実施した。大気中のVOCsを測定するためにテドラーバッグ(3L)にミニポンプ(柴田科学製MP-Σ300N)で1分間に3Lの流量で30分間大気を捕集した。モンゴル国内にはGC/MSを保有していないために捕集した大気は、帰国後ただちにガスクロマトグラフ質量分析計(島津製作所製GC/MS-QP5050A)を用いイオン化電圧70eVで選択イオン検出法(SIM法)により測定した。測定は、有害大気汚染物質測定方法マニュ

アル(環境省水・大気環境局大気環境課)に準拠して行った。ガスは、標準ガス(44種揮発性有機化合物)と内部標準ガス(トルエン-d-8)を用いた。

VOCsの市内での分布状況を把握するためにppbレベル揮発性有機物モニター測定装置(RAE Systems PGM-7240)を用い、UB市内20ヶ所を定点として2009年7月から2012年1月まで1ヶ月に1回の頻度で測定した。

### 2.2 積雪及び大気粉塵中化学成分の測定

2006年12月22日から24日までの3日間、UB市内7地点で積雪のサンプリングを実施した。サンプリングした雪は、ろ紙(アドバンテック製 定量分析用 No.5C)を用いて雪の中の残留物を除去した。雪に含まれる無機金属イオンの測定は、ICP分析装置(日本ジャーレル・アッシュ製 IRIS)を用い測定した。雪のイオン分析は、イオンクロマトグラフ(ダイオネクス社製 DX-100)により陽イオン( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ )と陰イオン( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )を測定した。pHは現地で測定した。

大気中の粉塵は簡易型のミニポンプで排気ガスを吸引しポアサイズ $5\mu\text{m}$ のテフロンろ紙上(住友電工製 ポアフロン WP500-50)に捕集した。雪の中の残渣物の化学分析のために卓上型蛍光X線分析装置(SII ナノテクノロジー社製 SEA1200VX)を用い測定した。大気中の粉塵濃度は、ピエゾバランス式粉塵計(KANOMAX MODEL 3521)により測定した。

### 2.3 大気中水銀の測定

大気中水銀は、市内の4地点で夏季と冬季に石英管ガラスに石英ウール、捕集吸着材80mg程度を充填した捕集管を用いミニポンプ(柴田科学製MP-Σ300N)で0.5L/minの流量で30分間大気を吸引した。捕集管中の水銀は、金アマルガム捕集加熱気化冷原子吸光法により測定した。

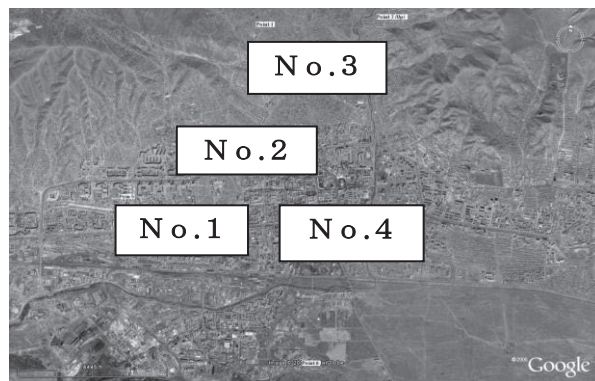


Fig. 1 Sampling location of the air in UB city<sup>7)</sup>.

### 3 結果および考察

#### 3.1 揮発性有機化合物 (VOCs) の状況

Fig. 1<sup>6)</sup> に大気をサンプリングした4地点を示す。No. 1はUB市内の主要道路(エンフタイバン大通り)の交差点、No. 2はサークルロード、ゲル No. 3はゲル地区バス停、No. 4は、スフバートル広場前である。

2010年8月と2009年12月にテドラーバッグに捕集した大気中の揮発性有機化合物(VOCs)をガスクロマトグラフ質量分析計(GC/MS)で測定した結果をTable 1に示す。参考のために表の右端に日本の環境基準値を記載した<sup>8)</sup>。

Table 1の測定結果から明らかなようにほとんどのVOCs濃度は、日本の国内環境基準より高いことがわかる。VOCsの主な発生源としては、工場や塗料そして自動車の排気ガス等がある。UB市内には大きな工場はなく、郊外に小規模な皮製品やカシミアの製造工場がある程度である。この他にUB市内の主なVOCs固定発生源としては、自動車修理工場やガソリンスタンド等である。したがってTable 1に示す高濃度のトルエン、ベンゼン、1,3-ブタジエン等のVOCsは、自動車の排気ガスや自動車修理工場及びガソリンスタンド等に由来するものが多いと考えられる。トルエンは、ガソリンのアンチノック剤として添加されている。モンゴルのガソリンは、多くが中国から輸入され、中国のガソリン中のトルエンやベンゼンの含有量は、日本のガソリンより約1.5倍程度高い。

村上らは、ガソリン車とディーゼル車の排気ガス中の芳香族有機化合物を調査した結果、ガソリン車は、トルエン、ベンゼン等の芳香族が多く、ディーゼル車は、ホルムアルデヒド、1-ブテン、1,3-ブタジエンが排出されたと報告している<sup>9)</sup>。UB市の車は約75%が乗用車、15%がトラック、7%がバスであり、主要道路(エンフタイバン大通り)の1日あたりの交通量は約6万台であると言われている。これらの結果から判断するとUB市の大気中のVOCsは、自動車の排気ガスに由来するものが大きいと考えられる。Table 1の測定結果によると夏季と冬季のVOCs濃度の一番大きな違いは、トルエン濃度が冬季よりも夏季の方が高いことである。この要因のひとつとしてUB市内では、ここ数年ビルの建築ラッシュが続いており、住宅用建材や有機溶剤系塗料中のトルエンが飛散している可能性が高いと推察される。特にUB市は、冬季の気温が-20から-30°Cとなるためにコンクリートが固まらないのでビル等の建築工事は、

Table 1 Analytical results of the air by GCMS at 4 points in the UB city for (a) Aug. of 2010 and (b) Dec. of 2009.

(a) Aug. of 2010	No1	No2	No3	No4	Japan Limit $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Chloroethene	0.15	0.21	0.21	0.10	10
1,3-Butadiene	0.04	2.60	2.60	0.04	0.04
Dichloromethane	1.70	1.30	1.10	1.60	150
Acrylonitrile	2.60	3.30	1.40	0.95	2
Chloroform	1.70	1.60	1.50	1.70	0.4
1,2-Dichloroethane	2.30	2.10	2.60	2.30	0.4
Benzene	6.20	11.0	12.0	6.80	3
Trichloroethene	0.20	0.20	0.20	0.20	200
Tetrachloroethene	1.30	0.56	0.20	0.33	200
Toluene	280.00	250.00	260.00	270.00	-
m, P-Xylene	11.00	4.20	13.00	3.20	-
o-Xylene	5.20	2.10	5.60	0.45	-

(b) Dec. of 2009	No1	No2	No3	No4	Japan Limit $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Chloroethene	0.15	0.31	0.25	0.22	10
1,3-Butadiene	2.50	7.00	3.30	1.20	0.04
Dichloromethane	0.97	1.30	1.60	1.50	150
Acrylonitrile	2.40	1.30	2.70	0.30	2
Chloroform	1.60	1.50	1.50	1.30	0.4
1,2-Dichloroethane	2.50	2.30	2.60	2.40	0.4
Benzene	20.00	27.00	21.00	16.00	3
Trichloroethene	0.20	0.20	0.20	0.20	200
Tetrachloroethene	0.20	0.20	0.20	0.20	200
Toluene	55.00	50.00	41.00	45.00	-
m, P-Xylene	5.80	6.20	5.20	4.70	-
o-Xylene	5.70	6.20	5.30	4.90	-



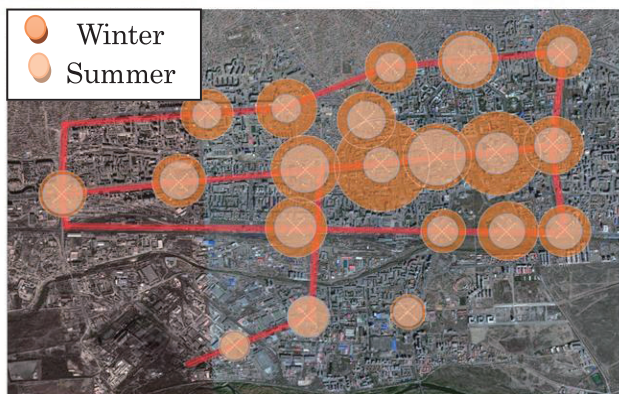


Fig. 2 Seasonal variations of VOCs concentration in summer and winter.

10月から3月までの冬季の期間は禁止されている。ここで市内のVOCs濃度を測定するためにppbレベル揮発性有機物モニター測定装置を用い、UB市内20ヶ所を定点として2009年7月から2012年1月まで、1ヶ月に1回の頻度で測定を行った。

夏季(2011年4月29日～9月27日)と冬季(2011年10月31日～2011年3月30日)の市内20ヶ所での測定データを積算し、UB市の地図にマッピングした結果をFig. 2に示す。

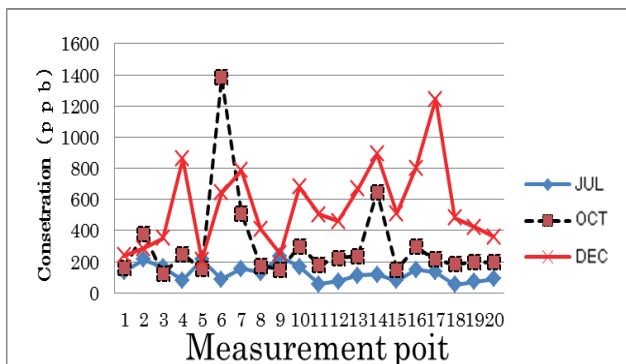


Fig. 3 Monthly variations of VOCs concentration in UB city.

図から明らかなように夏季よりも冬季の方がVOCs濃度高いことがわかる。Sasakiら<sup>10)</sup>は関東地区の季節別VOCの濃度変化は、秋季および冬季の方が春季及び夏季よりも濃度が高くなる傾向があると指摘している。その主な理由として、秋季から冬季は大気が安定していること、また、夏季はVOCが分解されやすい事を挙げている。UB市の主要道路(片側4車線)であるエンフタイバエン大通りのVOCs濃度が最も高く、郊外の幹線道路は低いことがわかる。市内中心部は、自動車整備工場等の小規模な工場はあるが、大きな工場は皆無であるのでUB市のVOCs濃度は、自動車の排気ガスが主な発生源である

と考えられる。Fig. 3に市内20ヶ所における2010年の7月、10月、12月の月別のVOCs濃度の変化を示す。

Fig. 3から明らかなように10月からVOCs濃度が高くなる傾向にある。これは、UB市の気温が9月下旬から低下し10月にはゲル地区での暖房用の石炭燃焼開始や火力発電所の熱源を利用したセントラルヒーティングシステムが稼働をする時期と一致する。したがって石炭燃焼によるスモッグと自動車の排気ガスの相乗効果により冬季VOCs濃度は高くなっている。

Fig. 4に市内20ヶ所で測定した2010年と2011年のVOCs濃度を積算しマッピングした結果を示す。

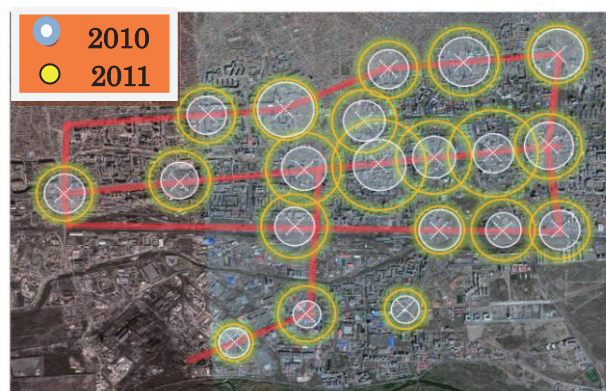


Fig. 4 Comparison of the total VOCs concentration in 2010(white circle) and 2011(yellow circle).

Fig. 4からどの測定地点においても2011年の方がVOCs濃度は高濃度である。この結果は、UB市の急激な経済発展と人口増加により郊外に住宅やビルが建設された結果、市民の居住地域が郊外へ拡大していることと関連している。以上のことからUB市内の大気から高濃度のVOCsが検出された主要な要因としては、車の排気ガスや石炭燃焼によるスモッグ、そして夏季においては、ビル建築等に使用される住宅用建材や有機溶剤系塗料の影響が大きいと考えられる。トルエン、ベンゼン、1,3-ブタジエン等のVOCsは、発がん性のリスクの高い物質であり、さらにディーゼルエンジンやガソリンエンジンの排気ガスに含まれるPM10やPM2.5等の微小な粒子状物質は、呼吸器疾患等の健康被害を誘発する可能性が高いと言われている、したがってUB市においては、今後、自動車の排気ガスの規制が重要な課題である。

### 3.2 積雪及び粉塵の分析結果

我々は、2006年度から冬季のUB市で現地調査を実施しているが、この間の積雪量は高緯度の割には

多くなく毎年 20~30cm 程度堆積している。Fig. 5 に市内 7ヶ所でサンプリングした (a) 雪と (b) 試験管で溶けた雪の写真を示す。

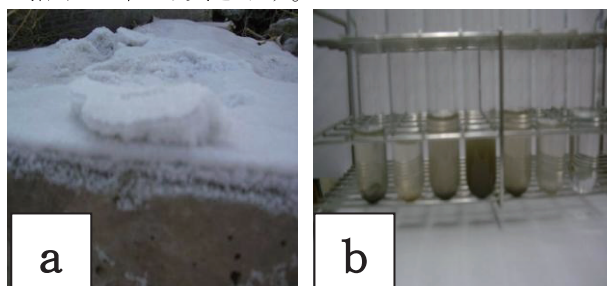


Fig. 5 The photographs of the sampling snow (a) and the dissolved snow in the test tube (b).

Fig. 5(b) の写真から試験管内で溶けた雪は、黒く変色している。冬季の UB 市は、ゲル地区の石炭燃焼と火力発電所の煤煙の影響で大量のスモッグが発生しているため、変色した雪の中の物質は、石炭燃焼灰に起因すると考えられる。これらのサンプリングした試料をイオンクロマトグラフで分析した結果を Table 2 に示す。陽イオンは、カルシウムやアンモニウムイオンが、陰イオンは硫酸や塩素イオンがそ

Table 2 Analytical results of snow in UB city by ion chromatography.

No	F	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Total	pH
					(mg/L)	
1	1.17	4.53	6.02	31.49	44.20	7.8
2	0.75	2.01	2.73	4.84	12.32	6.6
3	1.57	17.95	2.69	119.80	145.01	7.3
4	1.52	21.37	4.87	131.41	163.17	7.4
5	0.95	3.62	4.93	21.57	36.06	6.8
6	1.93	24.13	3.14	162.71	197.90	7.7
7	1.00	49.49	6.51	51.93	115.93	7.4

No	Na	NH <sub>4</sub>	K	Mg	Ca	Total
						(mg/L)
1	3.21	3.46	3.06	2.00	32.24	43.97
2	2.31	0.80	0.33	1.47	6.61	11.52
3	15.33	9.24	10.35	11.17	99.67	145.76
4	12.36	10.29	7.23	16.56	107.17	153.61
5	2.76	2.98	1.32	2.17	21.20	30.43
6	18.80	18.80	9.53	20.25	104.78	172.17
7	33.87	43.55	13.84	4.88	43.24	139.38

れぞれ高濃度で検出された。

No. 6 の試料は、ゲルの密集地でサンプリングしたもので硫酸イオンは 162mgL<sup>-1</sup>、カルシウムイオンが 104 mgL<sup>-1</sup> と高濃度であり、市内の他の No. 3、No. 4 地点でも高濃度の硫酸とカルシウムイオンが検出され、ほとんどが 100 mgL<sup>-1</sup> 以上の高濃度であった。これは、石炭燃焼による粉塵起源の CaSO<sub>4</sub> が大気中に浮遊したものが雪に混ざりながら湿性沈着したものと推察される。pH は 6.8~7.7 の範囲であるが、これはアンモニウムイオンと硫酸イオンが中和したために酸性領域よりも pH は高くなったと考えられる。

積雪をろ過した溶液の ICP 分析による結果を Table 3 に示す。

Table 3 Analytical results of the snow by ICP analysis.

sample	Element (mg/L)		
	As	Hg	Cd
No 1	0.5290	0.0000	0.9320
No 2	0.2240	0.0290	0.6960
No 3	0.0510	0.0570	0.0620
No 4	0.5920	0.0000	10.6100
No 5	0.0000	0.0000	0.2300
No 6	0.0000	0.0000	0.2805
No 7	0.0000	0.0000	0.1290

4 地点の溶液からヒ素、2 地点から水銀、全地点でカドミウムを検出した。

なお、守富は、火力発電所からの石炭燃焼による排出微量元素として水銀、ヒ素、カドミウム等があることを報告している<sup>11)</sup>。

市内 5 地点における粉塵濃度測定の結果、2010 年の冬季の粉塵濃度は 0.01~0.41 mg/m<sup>3</sup> 範囲で平均粉塵濃度は 0.23 mg/m<sup>3</sup> であった。一方、2011 年の夏季の粉塵濃度は 0.01~0.07 mg/m<sup>3</sup> 範囲で平均粉塵濃度は 0.05 mg/m<sup>3</sup> であった。冬季と夏季では、冬季の方が粉塵濃度は高く、最も高い粉塵濃度はゲル地区の 0.41 mg/m<sup>3</sup> であった。Fig. 6 に冬季のゲル地区付近で大気中の粉塵を簡易型のミニポンプで 30 分間で 3L/min 吸引し、テフロンろ紙上に捕集した写真を示す。

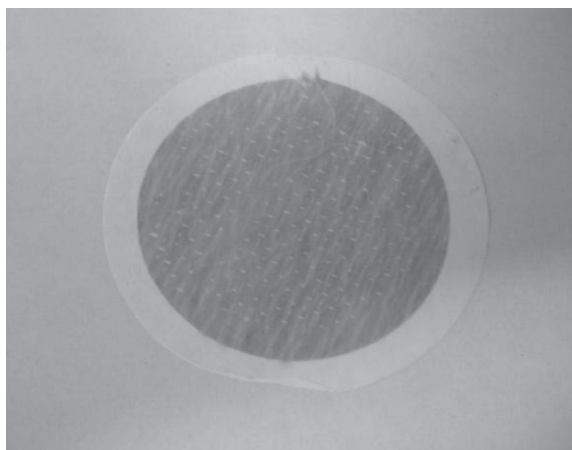


Fig. 6 The photograph of the particulates attracted in the filter.

この粉塵の写真から相当量の粉塵が大気中に存在していることがわかる。雪を溶解し濾過した残渣物の化学分析を卓上型蛍光 X 線分析装置を用いた。その結果、 $\text{SiO}_2$  は 25~27wt%、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  は 17~19 wt%、 $\text{CaO}$  は 14~16 wt%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  は 19~23 wt%であった。一般的な石炭灰の成分はおおよそ  $\text{SiO}_2$  は 45~74 wt%、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  は 16~38 wt%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  は 0.6~22 wt%、 $\text{MgO}$  は 0.2~2.8 wt%、 $\text{CaO}$  は 0.1~14.3 wt%である<sup>12)</sup>。したがって冬季は、積雪に石炭燃焼灰が湿性沈着している。

2009年の大気中の水銀濃度は、冬季においてゲル地区では 3.3 ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )、UB市の中心街では 5.7 ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )であった。2010年の夏季の水銀濃度はそれぞれ 2.0 ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) と 3.3 ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )であった<sup>13)</sup>。大気中の水銀の大部分はガス状水銀で数%の粒子状水銀が存在する<sup>14)</sup>。日本の平成 24 年度環境省の水銀モニタリングの結果は年平均で 2.1 ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )である。この数値を比較してみてもモンゴルの冬季の水銀濃度は高いことがわかる。モンゴルの冬季の気温は  $-20^\circ\text{C}$ 以下であり、長時間の測定は困難を極める。富安ら<sup>15)</sup>は、長期の水銀モニタリングとして地衣類を用いた方法を提案している。UB市の道路には街路樹としてマツが植栽されている。このマツの葉を冬季と夏季に採取してマツの葉に含まれる水銀濃度を測定した。その結果、マツの葉の水銀濃度も冬季が高いことがわかった。

石炭の品質によって燃焼灰に含まれる成分も変化する。UB市で使用されている石炭の化学分析を行う必要がある。モンゴルは石炭資源に恵まれた国であるが、モンゴルの石炭は水分や揮発性成分が多く燃焼効率があまり良くないと言われている。そのためゲルでの石炭燃焼量は増える傾向にある。その結果、冬季のUB市の朝夕は、約 14 万世帯のゲル地区からの石炭燃焼灰と火力発電所からの燃焼灰によ

りスモッグに覆われている。石炭燃焼にともなう健康被害は中国では大きな環境問題となっているが、今後、UB市においても呼吸器系の健康被害が危惧される。

一般的に通常の気温は、地表から遠ざかるにつれて低下する。しかし、UB市は、冬季は晴天日が多く、風も穏やかであり、かつ盆地の中心に位置しているためまわりの山の斜面との熱交換により冷却された空気が留まる地形性の逆転層<sup>16)</sup>が生じていると考えられる。そのため、冬季においては、火力発電所やゲル地区からの石炭の煤煙がUB市の上空を覆い (Fig. 7)、さらに地上付近では、自動車からの排気ガスも滞留しており冬季のUB市の大気環境は劣悪なものとなっている。

以上の結果から冬季のUB市の大気汚染は、石炭燃焼によるロンドン型と自動車の排気ガスによるロサンゼルス型の両方の特徴を有していることが明らかになった。



Fig. 7 The photograph of UB city in winter.

#### 4 総括

モンゴルの首都ウランバートルの大気の調査を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 大気中からは、主に自動車の排気ガスに由来する高濃度のトルエン、ベンゼン、1,3-ブタジエン等のVOCsを検出した。UB市の主要道路のVOCs濃度は高く、人口増加により郊外へと拡散している。
- 2) 冬季の石炭燃焼により粉塵濃度は、ゲル地区で  $0.41\text{mg}/\text{m}^3$  と高く、また、積雪中の残渣物 (石炭燃焼灰) からは、重金属のヒ素、水銀、カドミウムが検出され劣悪な状況にある。

(本論文は、平成 24 年 5 月 19 日に第 72 回分析化学討論会の環境影響評価と分析化学のセッションにおいて発表したものを基に作成した。)



## 謝辞

水銀の測定及び水銀に関する知見については、鹿児島大学学術研究院理工学域理学系の富董卓滋教授、鹿児島大学廃液処理センターの濱田百合子助教にご協力いただきました。心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) <http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/mongolia/data.html>
- 2) <http://ja.wikipedia.org/wiki/>
- 3) JICA, prospective Urban Development in Ulaanbaatar, 2007
- 4) 地球環境部環境管理第一課、ウランバートル市における大気汚染対策能力強化プロジェクト、pp. 2, 2009
- 5) R. Morimo, E. Hamada, P. Munkhbaatar, Ilchgerel Dash, Y. Shimotsu, Y. Iwakiri, M. Kawasoe : IFOST, Environmental protection and Conservancy, pp. 656-657, 2008
- 6) 森茂龍一, 濱田英介, 下津義博, 川添雅晴 : 第71回分析化学討論会予稿集, pp. 29, 2010
- 7) Google Earth (Google)
- 8) 吉原利一 : 環境科学, ohmsha, pp. 258, 2010
- 9) 村上雅彦, 横田久司 : 東京都環境科学研究所年報, pp. 49 (2004)
- 10) K. Sasaki, T. Kinoshita, K. Ishii, K. Sakamoto : J. Jpan. Soc. Atmos. Environ., 44, 3, pp. 136, 2008
- 11) 守富 寛 : 地球環境, 13, 193, 2008
- 12) V. K. Jha, M. Matuda, M. Miyake : J. Ceram. Soc. Japan, 116(2), pp. 167, 2008
- 13) 森茂龍一, 濱田英介, 下津義博, P. Munkhbaatar : 大気環境学会九州支部第15回研究発表会講演要旨集, pp. 17-18, 2015
- 14) 福崎 紀夫 : 地球環境, 13, pp. 181, 2008
- 15) 富董卓滋, 濱田百合子, 坂元隼雄 : J. Jpan. Soc. Atmos. Enviro. Vol. 51 No2, pp. 20-28, 2016
- 16) 川本克也, 葛西栄輝 : 環境の科学と工学, 共立出版, pp. 42, 2003