

モンゴル・ウランバートル市のPM等大気汚染について Air-pollution Survey(PM) in Ulaanbaatar city, Mongolia

武本行正¹, 粟屋かよ子¹, 高橋正昭¹, 宮崎 真², 石川 守²

1 四日市大学環境情報学部, 四日市大学大気汚染調査研究会

2 北海道大学 大学院地球環境科学研究院統合環境科学部門自然環境保全分野

キーワード: 大気汚染, 浮遊粒子状物質, 観測値, 粉塵計, 環境教育

A b s t r a c t

In recent years, in Mongolia metropolitan Ulaanbaatar city, the inflow of the person from the nomadic area around the wide area becomes remarkable, and the population of the city increases rapidly by twice to about 1,200,000 and the ger colony is expanding into the hills of the neighborhood of the city north side and the west side.

A hot-water heating is supplied through the plumbing to each of the homes in winter from the thermal power plant and the boilers at the general collective housing such as the central part of the city.

However, in the ger area, the black smoke becomes the straight cause of the air pollution in the city, because each family burns coal with an indoor stove in the ger district in winter.

In winter season, the diffusion left untransported by the atmospheric inversion layer which is formed in the sky of the city basin. In municipal area, the exhaust gas of the ejection by cars and the thermal power plants also contributes to the compound air pollution (PM, SO₂ and NO₂). Those smoke and gas give the serious damage to the health of inhabitants.

In WHO (the World Health Organization), in the capital in the world, it is describing that the ger area in Ulaanbaatar city is specifically worst pollution status in PM10 concentration.

1. はじめに

近年、モンゴル国首都ウランバートル市では、広範囲の周辺の遊牧地域からの人の流入が顕著となり、市の人口が 120 万人へと約 2 倍に急増し市北側と西側の周辺丘陵地にゲル集落が拡大している。中心部など一般的な集合住宅では、火力発電所や集合ボイラーから冬場に各家庭への配管を通して温水暖房が供給される。しかしゲル地区では電気は供給されるがやはり石炭をストーブで燃やして暖を取ることから、その黒煙が市内の大気汚染の直接的な原因となっている。冬季においては、市域は盆地のうえ上空で形成される大気逆転層によっても拡散が滞留し、火力発電所の排煙や自動車の排ガスなどと共に複合的な大気汚染(PM, SO₂ and NO₂)をもたらし、住民の健康に深刻な被害を及ぼしている。

2. ウランバートル市の粒子状物質(PM)大気汚染の現状

冬季調査を2012(平成24)年3月10日に実施し、PMの測定に粉塵計として、光散乱式デジタル粉塵計(柴田科学製LD-3K2)を用いた。測定感度は、1CPM(Count Per Minute)=1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ のSPM値とした。厳密にはPM10値とSPM値(10 μm で100%カットするもの)は異なるが、本粉塵計は日本仕様であるので、モンゴルのPM10に類似のものとして計測した。

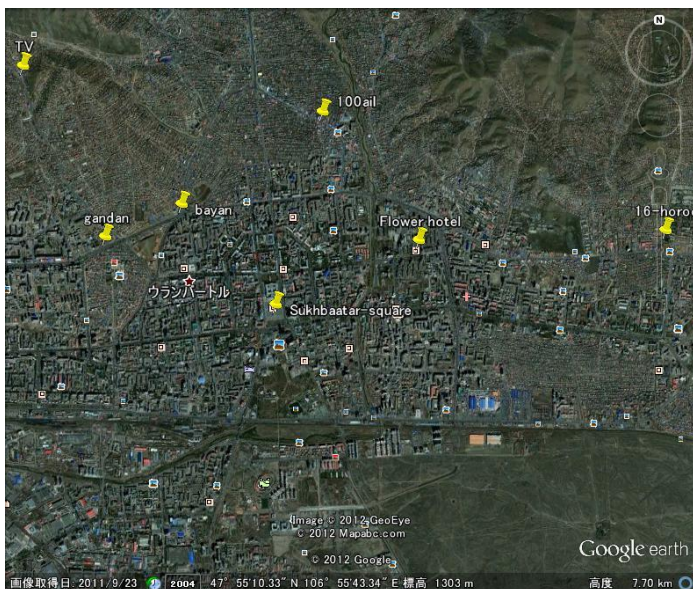


図1-a. 2012年3月の測定地点

測定地点は、図1にある6ヶ所である。図中のスフバートル広場は市の中心を示すものとして加えたもので、測定はしていない。

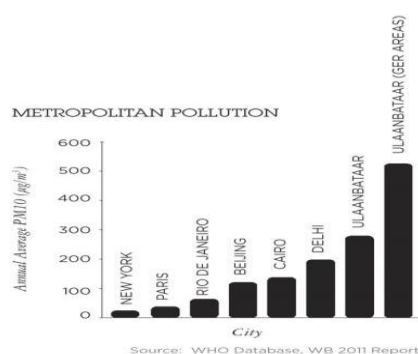


図1-b. WHOの調査(2011年)

なお、WHO(世界保健機関)では、世界の首都ではUB市(ウランバートル市を略している)の特にゲル地区を世界最悪のPM汚染状況と述べている(下記は上図の説明文)。

”Despite comparatively less-polluted summers when indoor heating is unnecessary, the intense winter pollution raises the annual average PM10 concentration so high that Ulaanbaatar ranks second out of over 1,000 cities in a list of the most PM10-polluted cities on the planet, according to a 2011 WHO survey—far worse than Beijing, Mexico City, or Bangkok. Only Ahwaz, Iran has a higher annual PM10 concentration.”

表 1 は測定地点の緯度・経度・標高である。

表 1. 測定地点の緯度・経度・標高

Air pollution survey (PM) in Ulaanbatar on 10 March, 2012

No.	Name	Lat.	Lon.	Altitude
1	16-horoo	47°55'31.24"N	106°58'22.35"E	1340m
2	100 ail	47°56'12.02"N	106°55'27.02"E	1315m
3	Bayan	47°55'40.33"N	106°54'14.56"E	1308m
4	Gandan	47°55'29.04"N	106°53'35.65"E	1330m
5	TV tower	47°56'26.67"N	106°52'55.33"E	1385m
6	Flower H.	47°55'27.41"N	106°56'16.29"E	1326m

表 2. 各測定地点での PM 値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No.	Time	Air temp.	PM-daytime	Time	Air temp.	PM-night	
1	15:15	-13	73	22:20	-25	479	
2	16:00	-13	119	22:00	-25	277	
3	16:25	-13	107	21:40	-25	544	
4	16:40	-13	146	21:20	-24	143	doubtful
5	16:55	-13	107	20:50	-22	427	SO2:0.1ppm
6	13:20	-11	30	22:40	-25	260	

Above PM-value x 0.001 is converted into mg/m^3 value

測定地点の結果は、やはり昼と夜間では異なり、夕方からのゲル地区での煮炊きや暖房用の石炭燃焼による東部・北部・西部の汚染が顕著である。表 2 の各測定地点での PM 値では、夜間のガンダン寺すぐ北の幹線道路沿いの計測時、機材が凍結のため高濃度域にもかかわらず昼よりも低くなり 143 の値となり、実際はこの 3 倍程度あったと推測される。その後の計測では、車内の暖房で温めたので測定値は有効である。これらの PM 値の最高値は 3 番の地点：バヤン地区での 544 である。0.5 mg/m^3 あるので、モンゴルの環境基準の 5 倍も汚染 (PM10 で 1 日平均値が 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) されている。表 3 にモンゴルでの各汚染物質の環境基準値を示した。夜/昼の比は 7～8 倍から 2～3 倍と地区によって異なるが、ゲル地区では高くなる。なお、1～2 月はこの数倍も汚染が酷かった旨、現地のモンゴルの方々には述べている。

表3. モンゴルでの各汚染物質の環境基準値

Хүхэрлэг хий (SO ₂)*	10 минутын дундаж 20 минутын дундаж 24 цагийн дундаж Жилийн дундаж	мкг/м ³	500 450 20 10
Нүүрстөрөгчийн дутуу исэл (CO)*	30 минутын дундаж 1 цагийн дундаж 8 цагийн дундаж	мкг/м ³	60000 30000 10000
Азотын давхар исэл (NO ₂)*	20 минутын дундаж 24 цагийн дундаж Жилийн дундаж	мкг/м ³	85 40 30
Озон (O ₃)*	8 цагийн дундаж	мкг/м ³	100
Тоос (Нийт жинлэгдэгч бодис)*	30 минутын дундаж 24 цагийн дундаж Жилийн дундаж	мкг/м ³	500 150 100
Том ширхэглэгт тоосонцор (PM 10)*	24 цагийн дундаж Жилийн дундаж	мкг/м ³	100 50
Нарийн ширхэглэгт тоосонцор (PM 2.5)*	24 цагийн дундаж Жилийн дундаж	мкг/м ³	50 25
Хар тугалга (Pb)*	24 цагийн дундаж Жилийн дундаж	мкг/м ³	1 0.5
Бенз-а-пирен (C ₂₀ H ₁₂)*	24 цагийн дундаж	мкг/м ³	0,001

なお、24 цагийн дундаж は日平均を、Жилийн дундаж は年平均を示す。

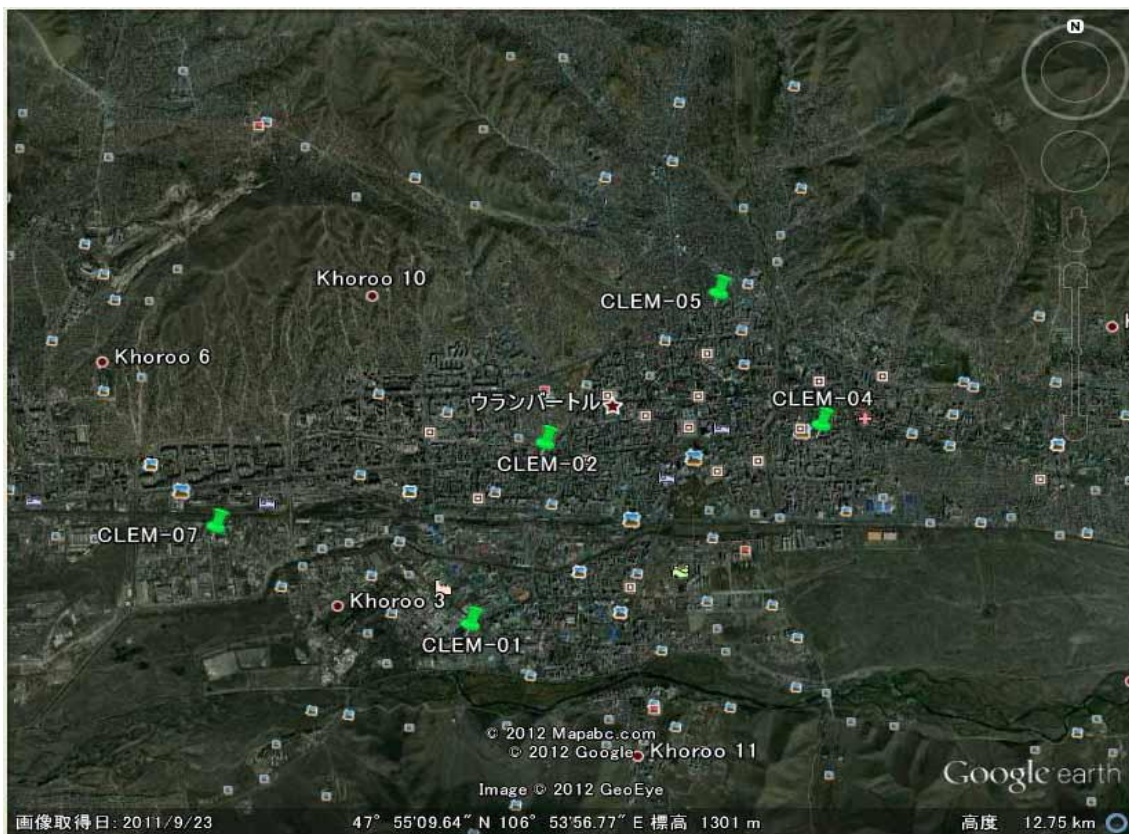


図2. 国設局(CLEM)の測定地点

図2にある国設局(Central Laboratory for Environment Monitoring)の連続観測装置6地点(内1 2 4 5 7を示す)は、2010年夏から稼動しており、フランス製の常時観測機材を購入している。CLEM-05は図1の100ailとbayanの中間地点に位置する。このCLEM-05地点は北側がゲル地区、南側がアパート地区である。



図3. 2012年3月1日～10日のPM10の測定地点別の日平均濃度(モンゴル国設局)

図3のCLEM-05(y B 5 100ail)では、3月10日は日平均濃度は $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、表2の測定地点100ailとbayanでのPM値の昼夜平均が $262 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であるので、ほぼ同等と納得のいく国設局のデータである。さて、次に、最悪の1月のデータを見てみる。

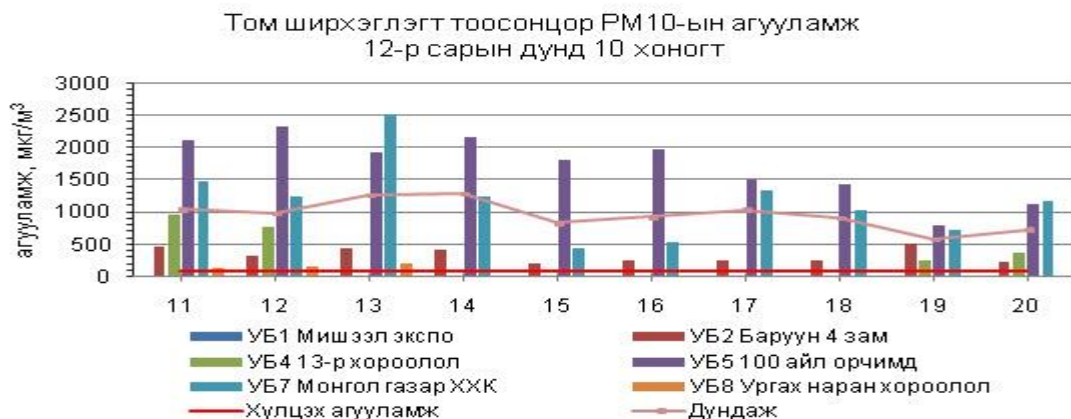


図4. 2012年1月11日～20日のPM10の測定地点別の日平均濃度(モンゴル国設局)

図4のCLEM-07(y B 7 Mongol gazar ХХК)では、1月13日は日平均濃度は $2500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、一方、CLEM-05(y B 5 100ail)では、1月中旬6日連続で日平均濃度が $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 付近で推移している[図の表題が1 2-р(r) cap(sar : 月)になっているが、作画時に1月に修正し忘れたことが判明]。図2の地点で見ると、CLEM-07はウランバートル鉄道駅の操車場の南西部であり、ゲル地区から1km程度以上離れているため、そう高濃度にはならないが、この13日は風向きや気象条件によりゲル地区の排煙が流れてきたようだ。

3. ウランバートル市の SO_x, NO_x 大気汚染の現状

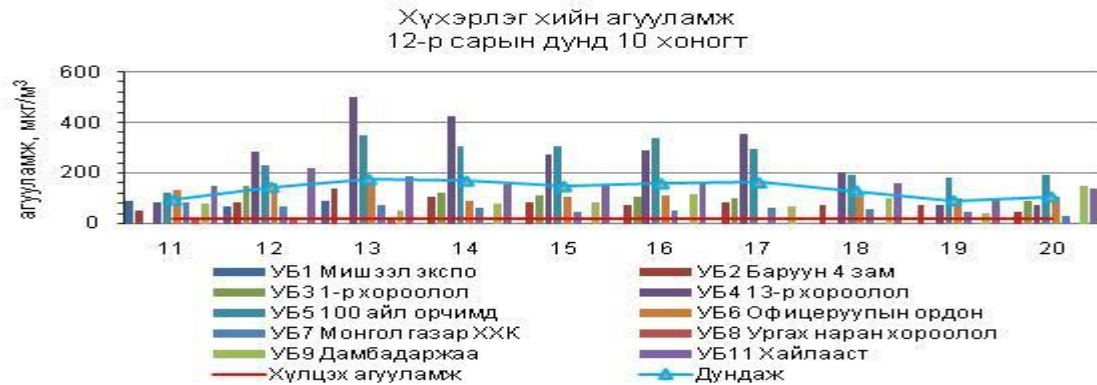


図 5. 2012 年 1 月 11 日～20 日の SO₂ の測定地点別の日平均濃度 (モンゴル国設局)

同様に、SO₂ について最も悪化したケースと考えられる 1 月で検討する。図 5 の CLEM-04 (y B 4 13-r khoroolol (13 地区)) では、1 月 13 日は日平均濃度は 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で (SO₂ で 0.18ppm)、一方、CLEM-05 (y B 5 100ail) では、1 月中旬 13 日～17 日連続で日平均濃度が 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.11ppm) 付近で推移している [図の表題も 1 2-p cap になっているが、1 月の誤り]。図 2 の地点で見ると、CLEM-04 はウランバートル市の中心部のすぐ東で、相撲会館付近に位置する。我々が宿泊したフラワーホテルの南にあり、東西のメインルートのエンプタイン通り (Peace Ave.) 沿いにある。特に、500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ではモンゴルの環境基準値日平均 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の 25 倍の凄さである。SO₂ の 0.18ppm は日本の四日市での 1965 年の磯津地区の年平均 0.083ppm の 2 倍に相当する。日本の経験では、0.03ppm で気管支喘息年間累積受信率が 30% (四日市市内国民保険加入者の内) となった。モンゴルでは夏季は大気汚染はそう大したことはないので、年平均にするとかなり低い。

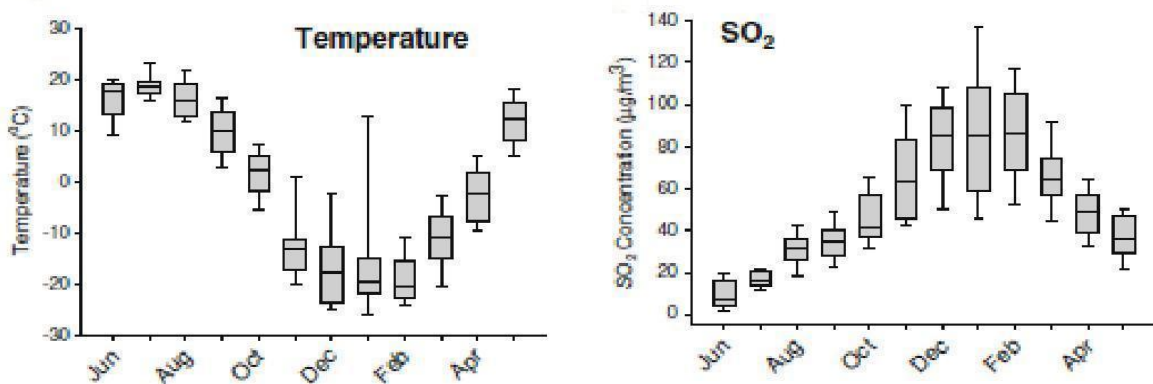


図 6. 2009 年 6 月～2010 年 5 月の気温と SO₂ の月平均濃度推移 (UB 市サイト # 1)

(Air Qual Atmos Health, Aug. 2011, R. W. Allen et al. より引用)

図6のUB市大気質庁(Air Quality Department of the Capital City) サイト#1 (AQDCC01) は図1の gandan 寺の真南でエンフタイワン通り (Peace Ave.) 沿いにある。国設の CLEM02 も約90m 離れてここにある。ここサイト#1の年平均値は図から判明するように $50.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で0.018ppm程度である。モンゴルのSO₂の年平均環境基準値は $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、かなり厳しい(日本の三重県の年平均環境基準は0.02ppm)。サイト#1の2010年1月は $40\sim 130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、エンフタイワン通りはそれほど高濃度ではない。

次にNO₂についてデータを見てみよう。



図7. 2012年1月11日～20日のNO₂の測定地点別の日平均濃度(モンゴル国設局)

図7の CLEM-04(y B 4 13-r khoroolol)では、1月中旬7日連続で日平均濃度 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上を記録している[図の表題も同じく12-р сарын дунд 10 хоногтになっているが、1月のミス]。

一方、CLEM-08(y B 8 Orgakh naran khoroolol)では、1月11日～13日のNO₂の日平均濃度 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上を計測している。ここは、市の中心部から10km程東へ行ったエンフタイワン通り (Peace Ave.) 沿いにあり、車の排ガスが汚染源である。

4. ウランバートル市の SO_x, NO_x, PM大気汚染と発生源

国設局の連続観測装置6地点(1 2 4 5 7 8)は、2010年夏から稼動し、フランス製の常時観測機材によりデータが収集されており、例として(株)数理計画の前田氏がこのデータをまとめているので、援用させていただくと、2010年10月～2011年9月での年平均値はCLEMの全地点で、SO₂, NO₂, PMとも環境基準を超過している。

表4. 各汚染物質の2010年10月～2011年9月での年平均値(前田による)

Annual (Average)	Standard MNS4585	CLEM Station ID					
		01	02	04	05	07	08
SO ₂ (ug/m ³)	10	(26)	31	(12)	53	20	18
NO ₂ (ug/m ³)	30	(40)	93	(49)	42	37	31
PM-10 (ug/m ³)	50	(152)	189	(120)	355	209	86
PM-2.5 (ug/m ³)	25		154	(49)			
Data Count Ratio							
SO ₂		(40%)	90%	(45%)	97%	88%	90%
NO ₂		(46%)	88%	(46%)	98%	75%	80%
PM-10		(47%)	80%	(17%)	92%	66%	89%
PM-2.5			92%	(45%)			

()内はやや測定に欠損値があるので、参考値である。

表4でのNO₂の年平均最大値はCLEM02の93 μg/m³ (=0.046ppm)であるが、この地点は市中心部のエンフタイワン通り(Peace Ave.)沿いにあり、車の排ガスが汚染源である。一方、ゲル集落に近いCLEM05では年平均値が42 μg/m³ (=0.021ppm)でNO₂の汚染はそうでもない。SO₂の年平均最大値はCLEM05の53 μg/m³ (=0.02ppm)であり、ゲル集落からの冬季の排煙の影響が見られる。

大気汚染の発生源は、寄与割合別に示すと(市大気質庁による)

- ・約17.7万ある家庭での石炭ストーブ(household stoves)……………50%
- ・約20万台以上ある自動車からの排ガス(vehicle exhaust emission)………20%
- ・3ヶ所ある火力発電所からの排煙(three power plants)……………10%
- ・約1400程ある中小規模のボイラー(small & medium size boilers)…6%
- ・その他の源(砂塵粉塵、ガソリン販売所、廃棄物処理場、ゲル地区未舗装道路)…14%

であるので、特に冬季のゲル地区での石炭ストーブ対策が重要である。すでに、PM対策としては、国家の大気汚染低減委員会が生石炭の使用を削減する方策を実施しつつある。一方、SO_x, NO_x汚染への対策はまだまだであり、脱硫装置の導入や自動車の交通流対策・バイパス道路建設などインフラ整備によるであろう対策も必要である。

5. おわりに

近年、モンゴル国首都ウランバートル市は、世界で一番寒い首都と言われ、ゲル地区を中心に石炭(夏季や炊事では木材)を室内のストーブで燃やして暖を取ることから、その黒煙が市内の大気汚染の直接的な原因となっている。特に冬季においては、市域は盆地のうえ上空で形成される大気逆転層によっても拡散が滞留し、中小ボイラーや火力発電所の排煙、自動車の排ガスなどと共に複合的な大気汚染(PM, SO₂ and NO₂)をもたらしている。住民の健康にも深刻な被害を及ぼし、肺病による死亡の 34%、肺および心臓病による死亡の 24%、全死亡数の 8.2%がPM等大気汚染に関連しているとの報告がある。

我々の冬季現地調査でも、排ガスと寒さにより喉をやられてしまい、夜間の測定には身体上の限界があることが判明した。おわりに、モンゴル科学技術大学の加茂義明教授と数理計画の前田浩之氏には、各種データや貴重な現地情報等で便宜を図っていただいた。記して感謝申し上げます。

参考文献：

- 1) 武本行正, 矢口芳枝, 谷崎智子：大気汚染調査と環境教育、四日市大学環境情報論集, Vol. 12, No. 2、43 頁～61 頁 (2009(平成 21)年)
- 2) 武本行正, 鈴木博, 高橋正昭：「公害防止管理者試験【大気】短期合格テキスト&問題集」, 日本能率協会マネジメントセンター, 1 頁-318 頁(2011 年)
- 3) 武本行正, 栗屋かよ子, 千葉賢：四日市地域の一斉大気汚染調査 (NO₂) について、四日市大学環境情報論集, Vol. 15, No. 1, 23 頁-35 頁(2011 年)
- 4) 武本行正, 高橋正昭, 鬼頭浩文：道路近傍の NO_x 拡散現象の数値解析について、四日市大学環境情報論集, Vol. 15, No. 1, 11 頁-22 頁(2011 年)
- 5) Sarath Guttikunda : ” Urban Air Pollution Analysis for Ulaanbaatar” , World Bank Consultant Report, Washington DC USA (June 2007)
- 6) Christa Hasenkopf : ” Clearing the Air” , World Policy Journal articles (Spring 2012)
- 7) R. W. Allen, E. Gombojav, B. Barkhasragchaa, T. Byambaa , O. Lkhasuren, O. Amram , T. K. Takaro & C. R. Janes : ” An assessment of air pollution and its attributable mortality in Ulaanbaatar, Mongolia” , Air Qual. Atmos. Health, Springer(August 2011)
- 8) D. Munkhtsog DOLTSON(ウランバートル市大気質庁長官)：ウランバートル市における大気汚染削減方法、JICA フォローアップセミナー (大気) , UB市大気質庁(March 2012)
- 9) 前田浩之：「ウランバートル市大気汚染対策能力強化プロジェクト」の紹介、JICA フォローアップセミナー (大気) , 数理計画(March 2012)
- 10) 加茂義明：Нүүрсний бичил элементийн найрлага ба түүний шаталтаас үүсэх хорттой нэгдэлд хийсэн судалгаа [邦訳：石炭の微量元素成分と石炭燃焼に伴い発生する有害化学物質の分析] , 科学論文集, Scientific Trans., No. 3/83, pp. 124-133, モンゴル国立科学技術大学(2006)