

ウランバートル市ゲル地区の浮遊粒子状物質 排出削減ポテンシャルのシナリオ分析

Enktsolmon OTGONBAYAR¹・松本 亨²

¹非会員 北九州市立大学大学院 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: u3dac001@eng.kitakyu-u.ac.jp

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: matsumoto-t@kitakyu-u.ac.jp

ウランバートル市ゲル地区の浮遊粒子状物質排出削減ポテンシャルのシナリオ分析を行った。まず、7つ対策を対象として費用効率性を評価した結果、①DHS、②SAH+電気ヒーター、③電気ヒーター、④SAH+改良型ストーブ、⑤改良型ストーブ、⑥SAH+従来型ストーブ、⑦アパートへの移転の順に、高いことがわかった。次に、①、②、⑦について、インフラ増強コストを加味して評価を行った。年間の対策導入シナリオを、SAH+電気ヒーター16,000世帯、DHSへの接続4,200世帯、ゲル世帯のアパートへの移転6,000世帯と設定し、10年間で合計26,200世帯に対して対策を導入するとして評価した。その結果、約5.67億ドルの費用を要し、2024年にはTSPとPM10の排出削減量が100%近くになるとの結果となった。

Key Words : Air pollution, Cost-effectiveness analysis, Ulaanbaatar, Solar Air Heat (SAH)

1. 序論

モンゴルの首都ウランバートル市は、世界一大気汚染問題が深刻だとされている都市である^{1,2)}。ウランバートル周辺の大気汚染物質の測定結果によると、PM10、PM2.5の年平均濃度は、それぞれ150~250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と75~150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、モンゴル大気環境基準の3~6倍、WHO基準比7~15倍超過している。主な汚染物質は、SO₂、PM10、PM2.5であり、その主要な発生源はゲル地区の暖房用石炭ストーブである。ウランバートル市の人口の約60% (18万4千世帯) がゲル地区に居住しており、冬期ゲル地区の各世帯では、暖房のために年間約4トンの石炭と3.18トンの薪が燃やされている³⁾。著者らはこれまで、ウランバートル市の主要な大気汚染の発生源であるゲル地区の石炭ストーブの大気汚染物質削減対策を対象に、改良型ストーブ利用者に対するアンケート調査や室内大気汚染観測を実施し、それをもとに、費用便益分析を実施した⁴⁾。また、ゲル地区の小集落(ホロー) 別人ロデータを用い、詳細な将来予測も試みた⁵⁾。本研究では、新たに太陽熱空気加熱(Solar Air Heat: SAH)を組み合わせたシナリオや地域熱供給システム(District Heating System: DHS)を考慮し、燃料消費削減量や対策コストの比較で費用対効果を分析することで、その費用効率性を評価する。さらに、私的費用のみならず社会的

費用を考慮することで、ゲル地区の地域別最適オプションを見出し、それをシナリオとして浮遊粒子状物質の削減ポテンシャルを推計する。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

(1) 既往研究

関連研究としては、世界銀行の一連の調査^{2,7)}がある。そこでは、2023年までの大気汚染物質(TSP)削減のための様々な対策とその効果が検討されている。しかし、ストーブ及び燃料の改善、電気ヒーター、アパートへの移転は取り上げているが、従来の政策との連続性が考慮されており、大きな変革を伴う対策は含まれてない傾向にある。つまり、本研究で取り上げるようなDHSの拡張、さらにSAHとの組み合わせシナリオについては考慮されていないことが大きな相違である。

前述した著者らの費用便益分析⁴⁾では、2011年3月から実施されているエネルギー効率を高めた改良型ストーブプロジェクトを対象として、作業時間及び燃料消費量・費用の削減、室内汚染の改善による医療費や薬等の費用削減が便益として評価した。アンケート調査の結果、石炭消費量の削減率が約30%であることがわかった。また、改良型ストーブの問題点として、従来のストーブより鍋を置く面積が小さいため調理するには不便であり、

人数が多い家族は電気ストーブを併用していること、改良型ストーブの利用方法は前のストーブと異なるので、利用説明を守らない場合一酸化炭素に暴露する可能性があること等も同時に明らかとなった。

(2) 本研究の方法

ゲル地区の短中期の大気汚染削減対策に関して、まず、以下の7ケースと無対策ケースの計8ケースを評価対象として費用効果分析を実施する。

- ・従来型ストーブ（無対策ケース）
- ・改良型ストーブ
- ・電気ヒーター
- ・SAH+従来型ストーブ
- ・SAH+改良型ストーブ
- ・SAH+電気ヒーター
- ・DHSへの接続
- ・ゲル地区世帯のアパートへの移転

各対策の燃料消費量の削減によるSPMとPM10排出量を推計し、費用については各対策のイニシャルコストとランニングコスト（燃料費）を推計対象とし、各削減対策のTSPとPM10排出量削減量と対策コストを比較することで、費用効果性について分析を行う。

その後、ここで見出した費用効率性の高い対策を対象に、ゲル地区の地域別最適オプションを見出し、2024年までの対策シナリオを作成し、その浮遊粒子状物質の削減ポテンシャルを推計する。

3. 個別対策の費用効率性の評価

(1) 対策の概要

ゲル地区の大気汚染対策の短中期の削減対策として、改良型ストーブ、電気ヒーター、SAHと改良型ストーブ、従来型ストーブ、電気ヒーター等と組み合わせ、DHSへの接続、アパートへの移転の7つの対策に加え、従来型ストーブ（無対策ケース）について、ゲル地区の150,000世帯を対象として、2016～2025年までに各削減対策が年間15,000世帯ずつ導入されるとの計画をもとに、費用効果分析を行った。なお、この間の人口及び世帯数の変動は考慮しない。

ゲル地区の従来型ストーブを改良型ストーブに転換する対策は、2011年3月からゲル地区の大気汚染低減制限地域のゲル世帯に対して実施され、77%の補助金を利用して導入された⁶⁾。改良型ストーブはエネルギー効率を向上させる完全燃焼ストーブであり、大気汚染物質の排出量が従来型ストーブに比べ少ないことで選択された経緯がある。

石炭ストーブの代わりに電気ヒーター利用する対策は、ゲル地区の世帯に政府が提案している対策の一つである。

ゲル地区において暖房に電気ヒーターを利用することは、大気汚染物質の排出量削減には効果が高いが、一方で暖房のための電気料金は石炭の燃料費より高くなるため、ゲル地区において電気ヒーターを利用している世帯の電気料金（18:00～9:00の時間帯）を50%割引く政策をとっている。また、電気ヒーターをゲル地区世帯に供給するためには、暖房用に必要となる電力需要が増加するため、その緩和のために本給では、カナダ等の諸国において実施されているSAHプロジェクトと電気ヒーターを組み合わせる対策を設定することとした。

このSAHプロジェクト⁸⁾とはカナダ天然資源省等で推進されているで、建築物の壁等を利用して熱を吸収し、暖めた空気を室内に取り込むことで暖房用エネルギーの代替とするシステムである。住宅の他、商業施設、工場や農業用乾燥施設等における利用が想定されている。空き缶を利用した簡易システムも全世界で提案されており、こちらは大変安価で製造可能なことが立証されている。SAHプロジェクトのRETScreenSAHプロジェクトモデルの計算では、燃料消費量が14%削減されるという結果が得られた。

世帯単位の暖房に主眼を置いた大気汚染対策以外の対策として、DHSへの接続が考えられる。DHSは、各世帯における暖房用燃料消費が不要となり、集中的な大気汚染対策が可能となるため効率性の面では有利となる可能性がある。しかし、現在はゲル地区はDHSの計画外地域であり、ゲル地域の住民がDHSにアクセスすることはできない。各世帯のDHSへの接続コストは、ウランバートル市及び農村部の200世帯のエコ地域プロジェクト⁹⁾における、世帯あたりインフラ費用の計算結果を用いて推計した。

ゲル地区の世帯をアパートに移転させる対策は、長期的に優位な対策となる可能性がある。ゲル地区の住民の所得から考えると、実際にはこの速度（15,000世帯/年）でアパートに移転することは困難であると考えられる。政府の対策としては、10%の未払いと20年間のローンが提案されている。または都市計画では、ゲル地区と土地をアパートに交換するプロジェクトが実施されている。

(2) 燃料消費及び汚染物質排出量削減量の推計

2011年統計データ¹⁰⁾をもとに、ゲル地区162,872世帯の

表1 ストーブ種別の排出係数（emission factor）と年間燃料消費量

	Fuel type	Fuel usage (t/year)	TSP	PM10	SO2	Nox	CO
Ger stove	Coal	3.49	5.4	3.3	7.5	2.4	173
	Wood	3.27	3.82	3.82	0.01	1.2	69.2
Wall stove	Coal	4.49	3.4	2.1	6.7	1.9	173
	Wood	2.99	3.82	3.82	0.01	1.2	69.2

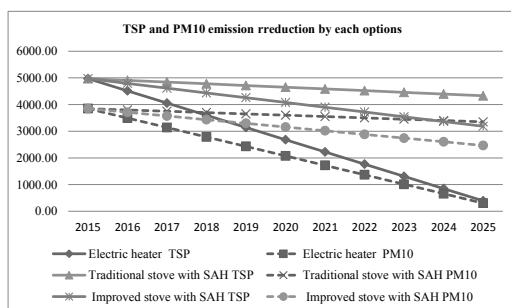


図1 各対策のSPMとPM10の排出削減量

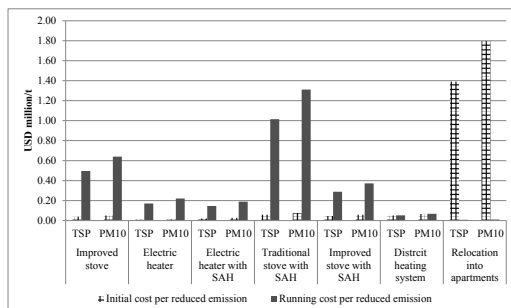


図2 各削減対策の削減量あたりのインシヤル／ランニングコスト

大気汚染物質排出量をストーブ種別（壁ストーブ57%，ゲルストーブ43%）に推計した。推計には，ストーブ別燃料消費量と燃料別排出係数³⁾を用いた。世帯の年間燃料消費量は，ゲルストーブで3.49トンの石炭と3.27トンの薪，壁ストーブで4.49トンの石炭と2.99トンの薪である。その結果，総排出量はTSPで4,907トン，PM10で3,847トンと推計された（表1）。

そこから，2016～2025年までの間，各削減対策がゲル地区の年間15,000世帯（10年間で150,000世帯）に導入されることを想定し，排出削減量を推計した。SPMとPM10の排出削減量は，以下の計算で算出した。

排出削減量＝石炭削減量(t)×排出係数(kg/t)/1,000＋薪削減量(t)×排出係数(kg/t)/1,000

ストーブ種別の排出係数（emission factor）と年間燃料消費量は表1のとおりである。

改良型ストーブの場合は，年間の配付数と，従来型ストーブに対する石炭消費削減率（25%）⁶⁾を用いて，燃料消費の削減量を推計した。SAHの場合は，RETScreenSAHプロジェクトモデルを用いてウランバートル市のゲルを対象として計算した結果では，燃料消費量が14%削減されるという結果が得られたので，それを用いて従来型ストーブ，改良型ストーブ，電気ヒーターと組み合わせる場合の燃料消費量の削減量を推計した。SAHのエネルギー削減量の計算結果を，表2に示す。

電気ヒーター利用，DHSへの接続，ゲル地区世帯のア

パート移転の対策の場合は，ゲル地区世帯は石炭を利用しないため，大気汚染物質の排出量をゼロと計算した。

図1に，各対策のSPMとPM10の排出削減量を示す。

(3) 対策費用の推計

費用について，各削減対策に対してゲル地区世帯あたりのインシヤルコストと，年間の燃料費節減を考慮した暖房費用のランニングコストを2015～2025年の期間で推計した。コスト計算には補助金，インフラ改善投資は含まれていない。各削減対策の項目別コスト推計結果を，表3に示す。

(4) 費用効率性の評価結果

SPMとPM10排出量削減のための対策コストから，費用効果性の評価を行った。図2に，各削減対策の削減量あたりのインシヤル／ランニングコストを示す。なお詳細は先行研究に記す¹¹⁾。

これによると，電気ヒーターならびにSAH＋電気ヒーターのケースの費用効率性が高いことがわかる。後者の方がより効率性が高い。また，DHSについても同様に費

表2 SAHのエネルギー削減量の計算結果

Heating system, Solar air heater with electric heater				
Project verification		Base case	Proposed case	Energy saved
Heated floor area for building	m ²	43	43	
Heating load for building	W/m ²	100	85.69	
Total heating	MWh	11.83	10.14	14%
Fuel type		Electricity	Electricity	
Seasonal efficiency		100%	100%	
Fuel consumption - annual	MWh	11.83	10.14	MWh
Fuel rate	USD/kWh	0.044	0.044	USD/kWh
Fuel cost	USD	520.60	446.09	

表3 各削減対策の項目別コスト推計結果

Options	A per households					150,000 households over 10 yr			
	Fuel consumption MWh/year	Fuel rate USD/kWh	Fuel cost USD/year	Initial cost USD	Running cost USD million	Initial cost USD million	Running cost USD million	Initial cost USD million	Total cost
1 Heating system	11.83	0.04	520.60	300.00	780.90	45.00	825.90		
2 Electric heater SAH+electric heater	10.14	0.04	446.09	650.00	669.13	97.50	766.63		
3 Improved stove	3.00	2.33	78.00	62.00	378.15	300.00	567.23	45.00	612.23
4 SAH+ Traditional stove	3.44	2.67	78.00	62.00	433.61	250.00	650.42	37.50	687.92
5 SAH+ Improved stove	2.58	2.29	78.00	62.00	343.39	550.00	515.09	82.50	597.59
6 District heating system			41.80	3.00	24.00	1560.00	240.00	234.00	474.00
7 Relocation into apartments	43.00	987.01	41.80	3.00	24.00	42441.43	36.00	#####	#####

用効率性が高い。ただし、この計算における費用は、各世帯で要する費用のみを計上しており、これらの対策のための都市のインフラ増強は含まれていない。具体的には、ゲル地区全体に電気ヒーターを普及させるためには、電力需要が増大するため発電設備への大規模な投資が必要である。また、DHSの普及世帯を増加させるためには、同様に、熱需要に対応する供給源と配管の増強の必要性が生じるが、ここでは含まれていないことに注意が必要である。

ゲル地区世帯のアパートへの移転については、費用効率性が高いとはいえないが、家庭の生活環境全般が変化することによる環境以外の多面的効果が生じ、生活環境全般にわたる広範なメリットが見込まれる。

4. インフラ増強を考慮したシナリオ分析

(1) インフラ増強を考慮した費用効率性の評価

3章の結果に基づき、効果の高いと考えられる3つの対策、すなわちSAH+電気ヒーター、DHSへの接続、ゲル地区世帯のアパートへの移転に対して、4章ではインフラ増強を評価範囲に含める。

各削減対策に対して、設備投資（イニシャルコスト）と、燃料費節減を考慮した暖房費用（ランニングコスト）を30年間で推計した。コスト計算には、補助金は含まない。各削減対策の、イニシャルコストとランニングコストの推計結果を表3に示す。DHSへの接続対策に対して、世帯あたりのネットワーク建設コストは8,250ドルで最も高いが、イニシャルコストを含めた総コストでは10,150ドルであり、最も少ない結果となった。このコストは配管の長さにより異なるため、ゲル地区をDHSに接続するためのコストを、都心部からの距離別別に推計した。

具体的には、蒸気配管をゲル地区の道路の地下に埋設することを想定し、都心部（ゲル地区とそれ以外の境界）を原点として延長距離500メートル毎にコストを推計した。ゲル地区世帯は、470～590m²のハシャー（khashaa）と呼ばれる土地を国から供給されて、戸建や

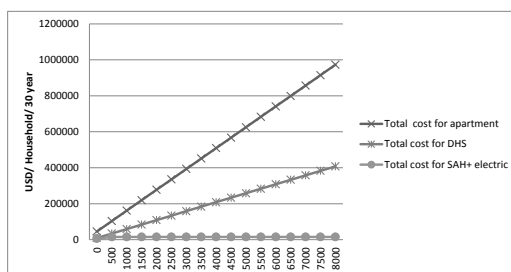


図3 距離と世帯あたりコストの関係

表4 年別対策別導入世帯数の設定

	Number of household				Total cost million USD			
	Ger area	Relocation into apartment	DHS	SAH +electric heater	Relocation into apartment	DHS	SAH+ electric	Total options
2,015	185,000	6,000	4,200	16,000	279.47	42.63	245.33	567.43
2,016	192,400	6,000	4,200	16,000	279.47	42.63	245.33	567.43
2,017	200,096	6,000	4,200	16,000	279.47	42.63	245.33	567.43
2,018	208,100	6,000	4,200	16,000	279.47	42.63	245.33	567.43
2,019	216,424	6,000	4,200	16,000	279.47	42.63	245.33	567.43
2,020	225,081	6,000	4,200	16,000	279.47	42.63	245.33	567.43
2,021	234,084	6,000	4,200	16,000	279.47	42.63	245.33	567.43
2,022	243,447	6,000	4,200	16,000	279.47	42.63	245.33	567.43
2,023	253,185	6,000	4,200	16,000	279.47	42.63	245.33	567.43
2,024	263,313	6,000	4,200	16,000	279.47	42.63	245.33	567.43
		60,000	42,000	160,000	2,794.74	426.30	2,453.28	5,674.32
Total		262,000					5674.32	

ゲルに居住している。そこで、500メートルの配管で20世帯に供給可能とし、都心部から8 kmまで計算した。ゲル地区開発計画¹²⁾によると、ゲル地区世帯の土地をアパートと交換して立てる計画では面積あたり世帯数の変換率（＝アパート／ゲル）1.3とあるため、アパートの場合の500メートルあたり世帯数は26世帯と計算した。なおコストには、イニシャルコスト・ランニングコスト両方を含む。

図3に、距離による世帯あたりのコストを示す。その結果、都心部から1,500メートルまでの世帯あたりの総コストが840,147ドルであり、アパートに移転するより少ないため、1,500メートル以内のゲル地区世帯をDHSに接続することは可能であると考えられる。SAH+電気ヒーター対策の世帯当たりの総コストは15,333ドルであり、都心部から1,500メートル以上のゲル地区世帯は、SAH+電気ヒーターを利用することが最適といえる。ただし、この対策は世帯に要するランニングコストが高いため、

表3 各削減対策のイニシャルコスト・ランニングコストの推計結果

	Investment cost						Running cost			Total cost USD/ household /30 year
	Public cost USD/ household		Individual cost USD/ household	Total cost USD /household	Lifetime year	Total cost USD/ household/30 year	Total cost USD /year	Lifetime running cost USD/ household/ 30 year	Household's saving cost USD/ household/ 30 year	
	Heat transfer, design construction	Thermal, electricity capacity								
Relocation to apartment	572	872	44,415	45,859	30	45,859	24	720	14,406	46,579
Connecting DHS	7,378	872	1,180	9,430	30	9,430	24	720	14,406	10,150
SAH+electric heater	2,000	3,760	650	6,410	10	1,950	446	13,383	1,743	15,333
Traditional stove (Current heating)	0	0	150	150	10	450	504	15,126	0	15,576

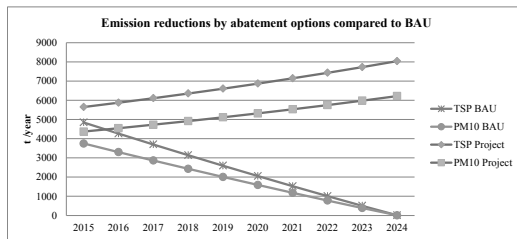


図4 TSP, PM10の排出削減量の推計

表5 距離帯別の配管導入コストの推計

	Pipe cost USD/m	Apartment to DHS household/500m	DHS household/ 500m	Total cost Relocation apartment	Total cost DHS	Total cost SAH+ electric
0	0	0	0	45859	9430	6410
500	590.22	26	20	103788	34336	15576
1000	590.22	26	20	161718	59241	15576
1500	590.22	26	20	219647	84147	15576
2000	590.22	26	20	277577	109052	15576
2500	590.22	26	20	335506	133958	15576
3000	590.22	26	20	393435	158863	15576
3500	590.22	26	20	451365	183769	15576
4000	590.22	26	20	509294	208674	15576
4500	590.22	26	20	567223	233580	15576
5000	590.22	26	20	625153	258485	15576
5500	590.22	26	20	683082	283391	15576
6000	590.22	26	20	741012	308296	15576
6500	590.22	26	20	798941	333202	15576
7000	590.22	26	20	856870	358107	15576
7500	590.22	26	20	914800	383013	15576
8000	590.22	26	20	972729	407918	15576

補助金政策を導入しないと普及は困難であると考えられる。なお、348MWの新たな火力発電所が建設中であり、これにより新たに約87,000世帯に対して蒸気を供給可能となる¹³⁾。

ウランバートル市のゲル地区開発計画では、ゲル地区世帯の土地をアパートと交換することで、アパート、戸建て、学校、幼稚園、オフィスビル等の建設用地を確保する政策がある¹²⁾。それを見越して蒸気配管の交換・増強工事が行われており、また、アパートへの移転が増える予想される。

(2) シナリオ分析による削減ポテンシャルの推計

ウランバートル市は、全部で9区に分かれ、区がさらに152ホローに分かれている。これらのホローは、ゲル地区と呼ばれ住宅としてはゲルのみ立地する地域と、ゲルが存在しない地域に分かれる。アパートが立地する地域はゲル地区に囲まれて存在している。ホロー別世帯数データから、ゲル地区の世帯数データを利用し、ゲル地区の世帯数の増加率を算出した（都心部から遠く離れた3区の世帯数は含まない）。2012年の統計データ⁹⁾をもとに、ゲル地区の世帯数185,000世帯、年平均増加率4%として、2015～2024年までの世帯数を予測し、3種の対策を導入する世帯数を、以下のシナリオのもの設定した。

まず、ゲル地区世帯のうちDHSに接続する1.5km以内の世帯数を、地図より約42,000世帯と推計した。これを年間4200世帯×10年間でDHSに接続するとした。1.5km以上離れたゲル地区世帯では、SAH+電気ヒーターの対

策として年間16,000世帯に導入されるとし、ゲル地区世帯のアパートへの移転は年間6,000世帯と想定し、10年間で合計260,000世帯に対して3種の対策が導入されるとした。これら3種の対策の組み合わせをプロジェクトケースとし、一方で、削減対策を実施しないケースをBAUとして、両者を比較した。TSPとPM10の排出削減量は、3章の計算結果を用いた。プロジェクトケースは、電気ヒーター、DHSへの接続、アパート移転対策それぞれ、ゲル地区世帯の内部では石炭を消費しないため、大気汚染物質の排出量をゼロと計算した。

図4に、TSPとPM10の排出削減量を示す。10年間でTSPとPM10の排出削減量はほぼ100%となることがわかる。なお、この考え方はゲル地区の大気汚染対策としての評価であり、都市全体を考えると発電所での石炭消費はなお存在する。

5. まとめと今後の課題

ウランバートル市ゲル地区の浮遊粒子状物質排出削減ポテンシャルのシナリオ分析を行った。

ウランバートル市ゲル地区の大気汚染対策として、実施可能な7つ対策を対象として費用効率性を評価した。その結果、削減量当たり総コストでは、①DHS、②SAH+電気ヒーター、③電気ヒーター、④SAH+改良型ストーブ、⑤改良型ストーブ、⑥SAH+従来型ストーブ、⑦アパートへの移転の順に小さい、つまり費用効率性の高い対策であることがわかった。なお、ここではインフラ増強コストを含まない。

次に、費用効率性、実現可能性双方を考慮し、上記①、②、⑦について、インフラ増強コストを加味して評価を行った。その結果、都心部から1.5km以内のゲル地区についてはアパート移転よりコストが低くなるため、可能性があると判断された。そこで、年間の対策導入シナリオを、SAH+電気ヒーター16,000世帯、DHSへの接続4,200世帯、ゲル世帯のアパートへの移転6,000世帯と設定し、10年間で合計26,200世帯に対して対策を導入するとして評価した。その結果、約5.67億ドルの費用を要し、2024年にはTSPとPM10の排出削減量が100%近くなるとの結果となった。

以上のような結果から、都心部に近いゲル地区世帯に対しては、DHSの普及対象地域を拡大し、接続世帯を増やすことが望ましいと考えられる。一方で、都心部から遠いゲル地区世帯の場合は、アパート移転、あるいはSAH+電気ヒーターが望ましいといえる。アパート移転の方がランニングコストは小さいため、イニシャルコストの補助に対する効果的な政策が導入されることで、普及は可能だと考えられる。SAH+電気ヒーターについても、普及のためには夜間の電気料金を割引制度の導入等

の効果的政策が望まれる。

今後の課題としては、今回評価対象としていない都市全体の大気汚染排出量を含めることである。つまり、DHSや発電所設置によって発生する大気汚染である。さらに、環境面以外の多面的な便益、すなわち生活環境の改善を含めて費用便益分析を行うことも次なる課題といえる。

参考文献

- 1) World Bank (2009): Authors' illustration based on data from the China Environment Yearbook 2009 for Chinese cities, AMHIB study for UB, and WHO Air Quality Guidelines - Global Update 2005 for other cities
- 2) World Bank (2009): Air Monitoring and Health Impact Baseline Study (AMHIB),
- 3) The Air Quality Department of the Capital City Capacity Development Mongolia (2012): Project for Air Pollution Control in Ulaanbaatar City Mongolia, Progress Report 3, pp.25-26
- 4) オトゴンバヤル エンフツォルモン, 松本 亨, Khaltai Galimbek (2013): 現地調査に基づくモンゴル国ウランバートル市の大気汚染対策の費用便益分析, 土木学会論文集 G (環境) Vol. 69, No. 5, p.I_259-I_265
- 5) Enkhtsolmon OTGONBAYAR and Toru Matsumoto: Environmental and Economic Assessment on Air Pollution Abatement option in Ulaanbaatar Considering Income Level by Region, Poster presentation at The Second European Conference on Sustainability, Energy & the Environment (ECSEE2014). Brighton England
- 6) Air Quality Agency of the Capital City: <http://www.airquality.ub.gov.mn/> (2013.5.31 参照)
- 7) World Bank (2011): Air Quality Analysis of Ulaanbaatar Improving Air Quality to Reduce Health Impact, pp. 21-25, 36-68
- 8) Minister of Natural Resources Canada (2015): RETScreen International Clean Energy Decision Support Centre, Clean Energy Project analysis
- 9) Atmor of Mongolia report (2012): 200 世帯のための地下インフラネットワーク, pp.10-11 (モンゴル語)
- 10) National Statistical office of Mongolia (2010): Mongolia statistical yearbook, pp.82-89, pp301-31
- 11) オトゴンバヤル エンフツォルモン, 松本 亨 (2015): ウランバートル市ゲル地区の大気汚染対策に関する費用効果分析, 日本環境共生学会第 18 回 (2015 年度) 学術大会発表論文集 (印刷中)
- 12) Legal Information System: <http://www.legalinfo.mn/annex/details/5857?lawid=9138> (2015.7.20 参照)
- 13) Development Bank of Mongolia: <http://www.dbm.mn/> (2015.8.1 参照)

(2015.8.28 受付)

SCENARIO ANALYSIS ON TSP AND PM10 EMISSIONS REDUCTION POTENTIAL IN GER AREA OF ULAANBAATAR

Enkhtsolmon OTGONBAYAR and Toru MATSUMOTO

We conducted cost-effectiveness analysis of air pollution abatement measures in residential sector of ger area in Ulaanbaatar, Mongolia. This study compared seven options that combination of solar air heater (SAH) with improved stove, traditional stove and electric heater, and connection to the district heating system (DHS), and relocation of ger area households into apartments, taking into account direct benefits (fuel savings), and investment costs. The fuel cost savings and reduction of total suspended particulate (TSP) and particulate matter (PM10) emissions during the investment timeframe estimated each measures. Cost effectiveness analysis helps to prioritize options that achieve emissions reduction in ger area.