

ウランバートル市ゲル地区の大気 汚染対策の効率性に関する研究

環境資源システムコース

2011MAC001

オトゴンバヤル エンフツオルモン

目次

- ▣ 研究概要
- ▣ 研究目的
- ▣ 研究方法
- ▣ 改善ストーブ利用に関するアンケート調査
- ▣ 大気汚染対策の費用便益分析
- ▣ 室内大気汚染測定による費用効果分析
- ▣ 結論
- ▣ 今後の課題

ウランバートル市の大気汚染状況



"Location"	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	Exceedance ratio to AQSs	
			"Mongolia"	WHO
Central city areas	150-250	75-150	3-6	7-15
Ger areas	350-700	200-350	7-14	17-35

2013年1月9日



ウランバートル市の大気汚染源



ゲル地区による大気汚染

- ▣ 都市人口の約60%がゲル地区に住んでいる（18万世帯）
- ▣ ゲル自宅では石炭ストーブが使用されている
- ▣ 厳しい気象条件による冬季の10月から4月にかけてゲル地区の各世帯では暖房のために年間4.2トンの石炭と3.18トンの薪が燃やされている
- ▣ ウランバートル市は盆地状の地形であり、大量燃焼による排気ガスが大気の下層域にたなびいてスモッグが発生している
- ▣ 主な汚染物質は浮遊粒子状物質（PM10, PM2.5）SO₂である



Fig.1. ゲル地区



Fig.2. 従来の石炭ストーブ

三つのゲル地区の状況



市内中心部のゲル地区



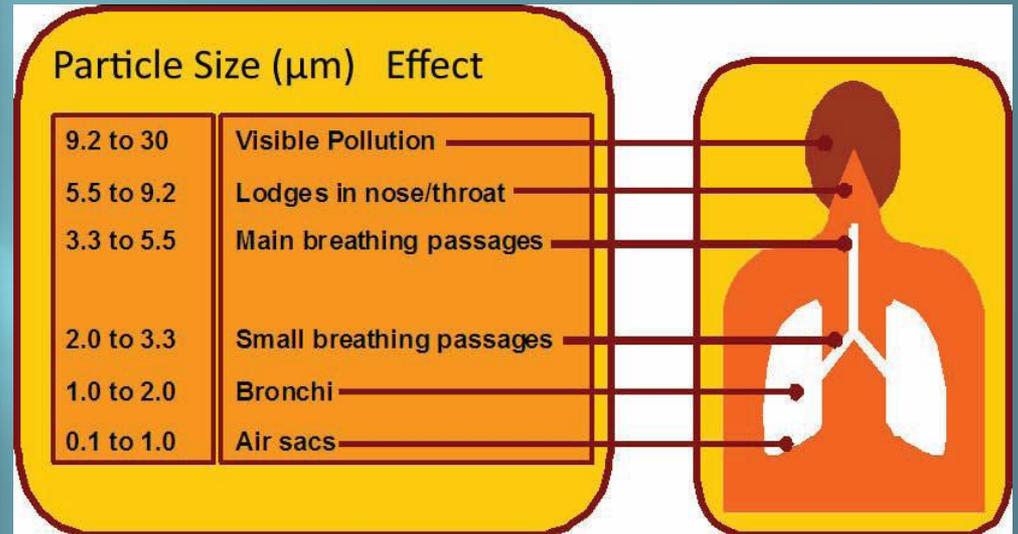
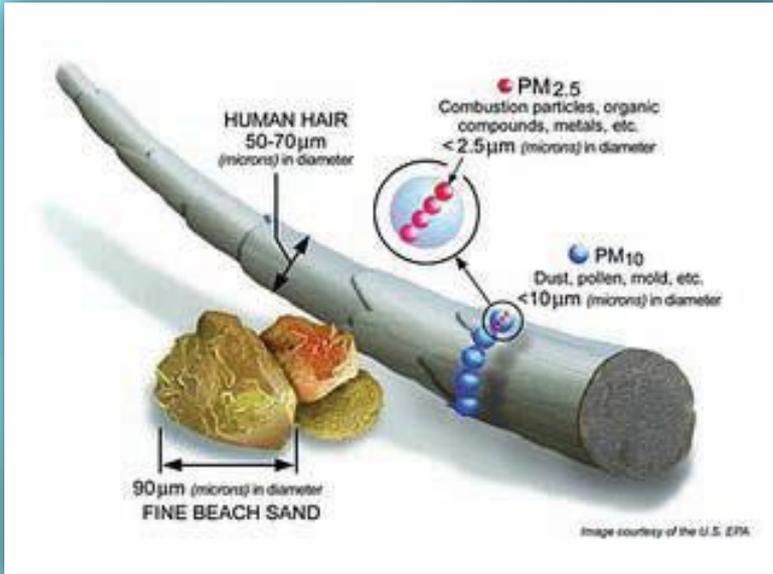
フリンジのゲル地区



中間層のゲル地区

粒子状物質の健康影響

PM2.5とPM10の大きさを人間の髪の毛や海浜砂の相対



Source: Air Monitoring and Health Impact Baseline Study

ウランバートル市では年間
約22,000人心血管疾患、
約76,000人呼吸器疾患で入院している

一人は一日5箱のタバコを吸うと同じ量の汚染物質を吸気している

研究目的

本研究では、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プロジェクトを対象に、石炭消費削減量や室内大気汚染の現地調査を踏まえ費用便益分析を実施することで、その費用効率性を評価することである。具体的には改善ストーブ、電気ヒーター、グリーンハウス等の各プロジェクトを対象に分析する。

ウランバートル市の大気汚染削減対策

実施されている削減プロジェクト:

- ▣ 改善ストーブ
- ▣ 石炭ストーブの代わりに電気ヒーターを使用する
- ▣ クリーン石炭技術
(石炭からクリーンな固体燃料を製造する)
- ▣ エネルギー効率の高い建物 “グリーンハウス”
- ▣ ゲル地区世帯のアパート移転
- ▣ ヒーターボイラーの交換

研究方法

ゲル地区の短中期の大気汚染対策プロジェクトを対象として、費用便益分析を実施する。

1. 直接的な便益のうちの燃料費節減を明らかにするために改善ストーブ利用者にアンケート調査を行った。
2. 費用については対策の投資コスト、便益は燃料費の削減と健康便益について比較することでCBAを実施した。
3. 改善ストーブの室内大気汚染の削減効果を見るために、室内大気環境の測定を実施し、PM排出量削減と対策コストから、費用効果分析を行った。

アンケート調査

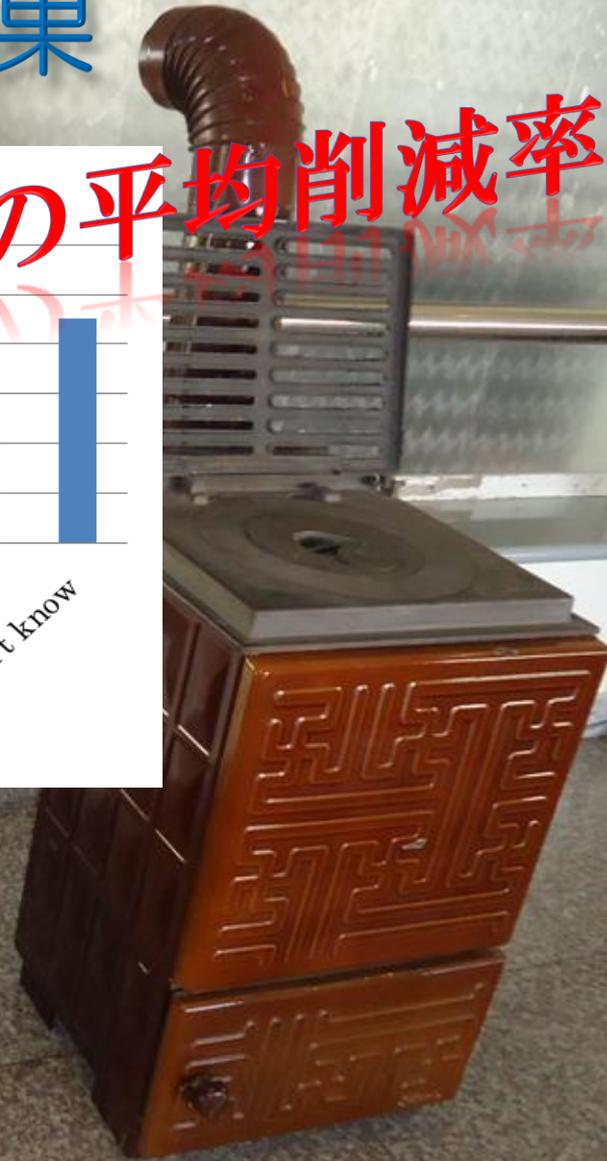
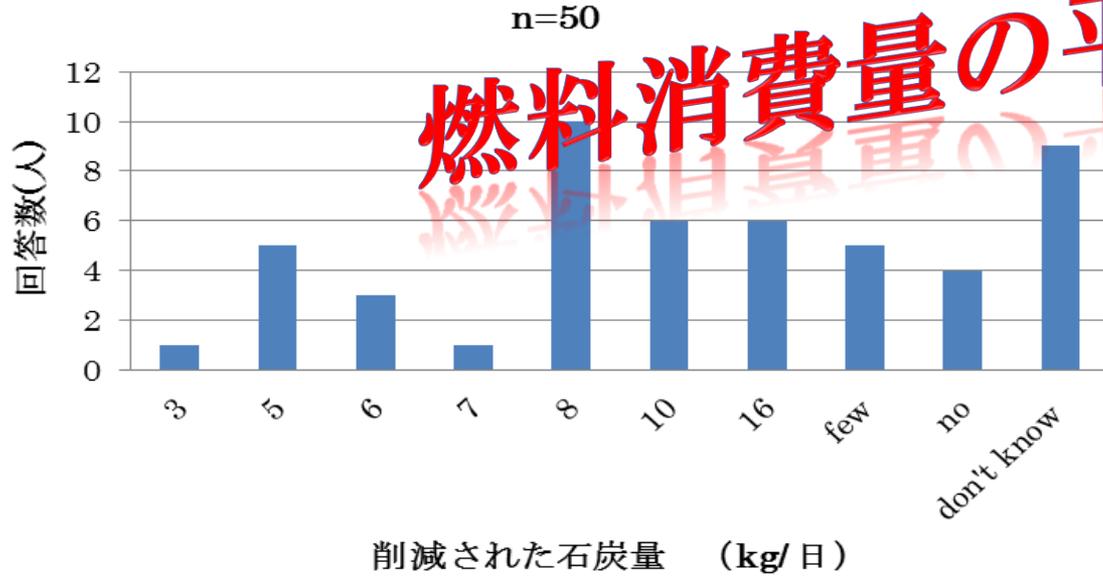
2012年3月12日～2012年3月18日

- ▣ ゲル地区の改善ストーブを使用している50世帯からアンケート調査を行った
- ▣ アンケート調査の項目:
 1. 改善ストーブを使用するために消費者が支払った金額
 2. 削減された石炭量 (一日、一ヶ月)
 3. 節約された石炭費用
 4. 改善ストーブの利点
 5. 改善ストーブの弱点
 6. 改善ストーブを使用する理由
 7. 改善ストーブ使用による室内汚染の変化の有無→これによる健康被害状況の変化、医療費(往診、薬)の変化
 8. 改善ストーブの利用がウランバートル市の大気汚染を削減できると思いますか
 9. 石炭の代わりに改善燃料を使ったことがありますか
 10. 改善ストーブと改善燃料を一緒に使えば大気汚染の削減に効果があると思いますか



アンケート調査の結果

燃料消費量の平均削減率30%



アンケート調査の結果

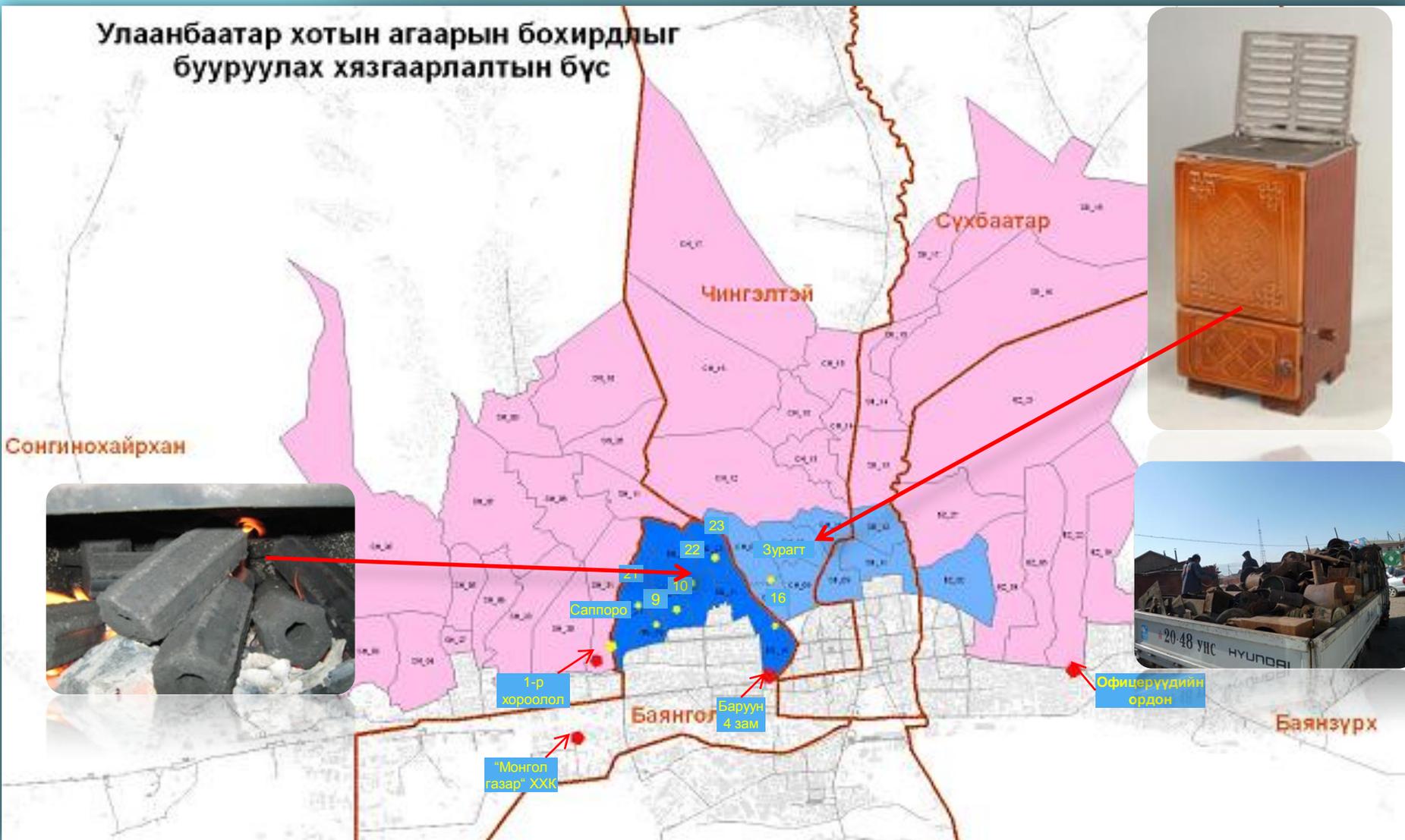
- 改善ストーブの便益として、保温時間が長いため、従来型のストーブでは1日に4~5回火を維持するために燃料を補充する必要がある作業が、改善型では2回で済む。そのため、作業時間及び燃料消費量・費用の削減、室内汚染の改善による医療費や薬等の費用削減。
- 改善ストーブの問題点として、従来のストーブより鍋を置く面積が小さいため調理するには不便であり、人数が多い家族は電気ストーブを併用していること、改善ストーブの利用方法は前のストーブと異なるので、利用説明を守らない場合一酸化炭素に暴露する可能性があること、煙突を掃除する必要があることがわかった。
- 消費者は、改善ストーブの便益を理解しており需要は大きいですが、普及促進策の適用地域が限定されているため、ゲル地区全体に供給が進んでいないことも明らかとなった。

費用便益分析

- ゲル地区の伝統的なストーブを改善ストーブに転換する対策は、2011年3月から2012年の間にゲル地区の大気汚染低減制限地域97,877世帯に対して実施された。改善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ストーブに比べ少ないことで選択された。
- 石炭ストーブの代わりに電気ヒーター利用する対策は、2011年3月からゲル地区の774世帯を対象に検討されている。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。ここではモンゴルにおいて実施されている風力発電プロジェクトと電気ヒーターを組み合わせた対策について費用便益を分析した。
- エネルギー効率の高い建物は、熱損失を軽減させるために断熱材を利用しており、暖房システムは電気ヒーターを設置するのが通常である。本分析では、ゲル地区世帯の所得を考え、上水と汚水タンクの設置されている30m²の住宅として住居費を推計し、年間600世帯がグリーンハウスに移転するとして推計した。

大気汚染低減制限地域

Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг бууруулах хязгаарлалтын бүс



グリーンハウス



健康便益の推計

PMによる健康便益（健康被害の低減）を各削減対策の削減量から推計するために、人口加重平均PM濃度を利用した。各削減対策により得られる健康便益は、世界銀行が2009年に実施したウランバートル市の大気汚染による早死及び病気の対策への支払意思額（WTP）の調査結果を用いて、以下の式で推計した。

$$E = \left\{ \frac{RR - 1}{RR} \right\} \times f_p \times POP$$

ここで、

E: 死者数及び疾患等健康影響を受ける事例数

RR: 汚染の2つのレベルの間で健康への影響の相対リスク

f_p : 健康影響の発生率

POP: 人口

また、RRは以下の式で求めた

$$RR = \exp \left\{ \beta \times (D - Dt) \right\}$$

D: メッシュ列PWE

Dt: PWEの閾値

β : PMにおける暴露反応係数

➤ ウランバートルの人口加重平均PM濃度及び削減対策による削減量 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	PM ₁₀	PM _{2.5}
Present situation (2011-2012)	465.75	282.96
16% reduction by improved stove	7.32	9.65
6.8% reduction by electric heating	3.11	4.10
0.33% reduction by relocation into Green house	0.15	0.20

費用便益推計

- 純現在価値（NPV）について、投資コストと直接的な便益（燃料費節減）、健康便益を見積もり、11%の割引率で2011～2026年の期間で計算した。純現在価値は、以下の式で表わされる

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{Bt - Ct}{(1+r)^t}$$

➤ 各対策のコスト項目

	Public investments			Individual investments		
	Generation capacity	Infrastructure	Subsidies	Stoves	Home improvements	Energy savings
Improved stove			+	+		+
Electric heating + wind energy	+	+	+	+		+
Relocation into Green house			+		+	

ここで、

- Bt：t年次の便益
- Ct：t年次の費用
- t：年次
- r：社会的割引率

➤ 15年間の純現在価値、平均排出削減量、投資コスト

	NPV (million US\$)	avg reduction over 15yr period (%)	Investment cost US\$ million
Improved stove	133.81	16	25.57
Electric heating + wind energy	-2.83	6.8	133.03
Relocation into Green house	-80.65	2.6	189

費用便益分析の結果

- 97,877世帯の改善ストーブのNPVは1.3億ドルと推計された。ゲル地区から発生する汚染物質の15年間の削減量は、PM10は約55,672トン、PM2.5は約41,296トンであり、大気汚染削減による便益が大きいことがわかった。
- 12,500世帯の電気ヒーター利用する場合のNPVは -283万ドルとなり、直接的な便益がマイナスとなった。しかし、ゲル地区から発生する汚染物質の削減量は15年間でPM10は約23,630トン、とPM2.5で約17,517トンであり、電気ヒーター導入世帯である12,500世帯については削減量が一番多い。また石炭を利用しないことで、燃料の購入、点火、家庭の清掃等の時間の節約と、風力発電所の場合は温室効果ガスの削減効果が高いと考えられる。
- 9,000世帯のグリーンハウスへの移転のNPVは-8,065万ドルであり、これも直接的な便益はマイナスとなった。しかし石炭利用しないことで燃料の購入、点火、家庭の清掃等の時間の節約における便益と、さらに室内汚染の改善、家庭環境の変化等のメリットが考えられる。ゲル地区から発生する汚染物質の削減量は、15年間で平均2.7%削減、PM10で約1,134トン、PM2.5で約840トンの削減であり、3つのケースの中で大気汚染物質の削減量は最も少ないが、長期的なメリットが見込める。

室内大気汚染測定による費用効果分析

- ▣ 改善ストーブの効果と燃料（石炭とセミコークス）の効果を見るために、ゲル地区の戸建てとゲルの室内大気質への影響を比較分析するために、PM2.5, PM10, COを測定した。
 - 具体的には、ゲルと戸建ての別に、改善ストーブと石炭、伝統的なストーブと石炭、伝統的なストーブとセミコークスの組み合わせで、24時間測定を計6回実施した。
 - 測定は2013年1月11日~1月17日の6日間である。

測定調査の対象

ウランバートル市内中心部のゲル地区の地図
黄色点は測定調査の地域



ウランバートル市の大気汚染低減制限地域の改善ストーブを配布されたゲル地区のバヤンズレフ区第13ホローのゲルと一戸建てを調査対象とした。

測定装置



ゲルの測定器配置



アパートの測定器配置



測定器の仕様

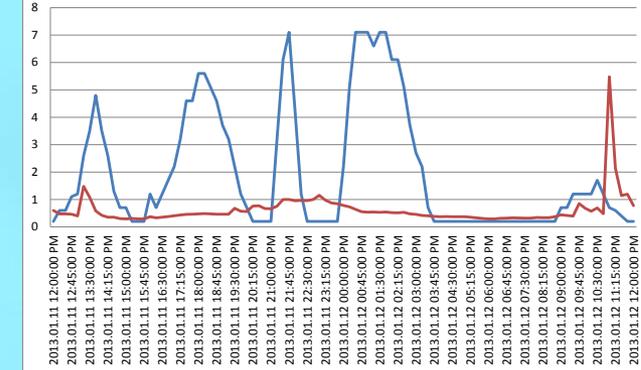
	Name of equipment	Responsibility	Serial number / Type	Measuring range
1	U12	Indoor air quality	H08-002-02	Indoor: Temperature: -20° to 70°C (-4° to 158°F) RH: 5% to 95% RH Outdoor: Temperature: -40° to 50°C (-40° to 122°F) in water or soil -40° to 100°C (-40° to 212°F) in air
2	Carbon Monoxide	CO measure	H11-001	1. 0 - 125 ppm: 0.2 - 124.3 ppm 2. 0 - 500 ppm: 1 - 497.1 ppm 3. 0 - 2000 ppm: 4 - 1988 ppm
3	Telaire	CO2 measure	tel-7001	0-2500ppm
4	Ocs-20A	Electronic scale		0.4-50kg/20g
5	DUSTTRAK 8530	Aerosol measure	SN8530123516	Measure aerosol concentrations corresponding to PM1, PM2.5, Respirable, PM10 or size fractions Aerosol concentration range 0.001 to 400 mg/m3



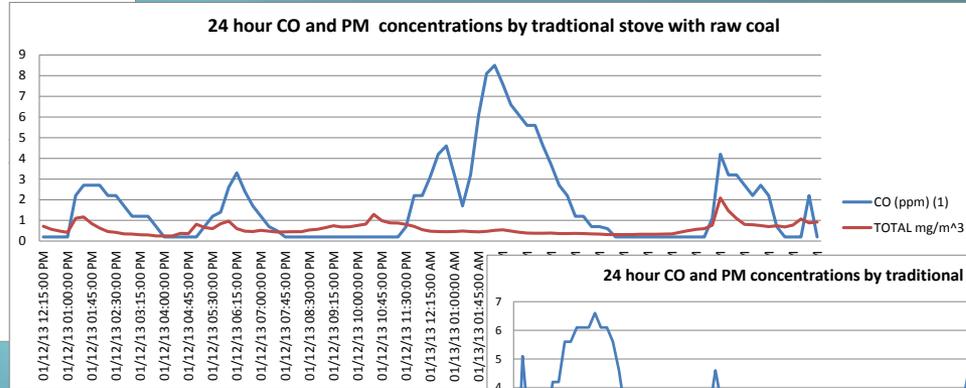
生石炭とセミコークス

ゲルと戸建ての測定結果

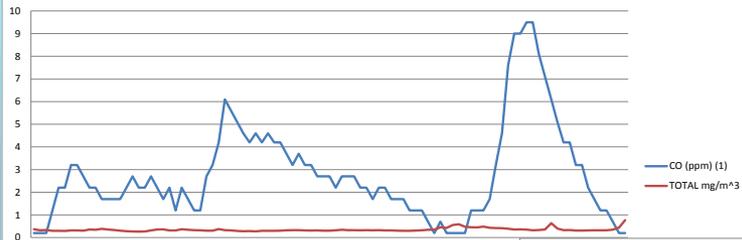
24 hour CO and PM concentrations by improved stove with raw coal



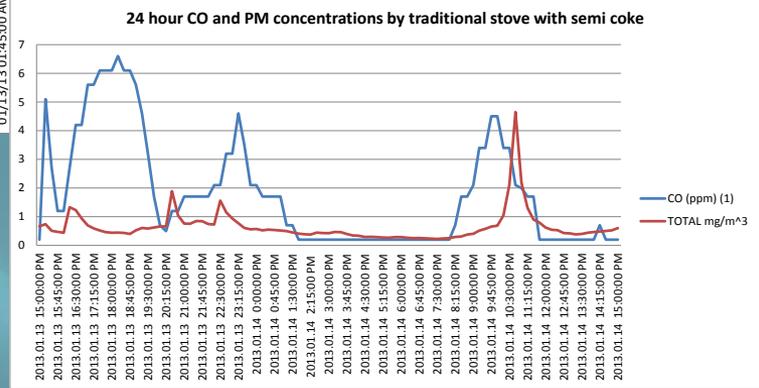
24 hour CO and PM concentrations by traditional stove with raw coal



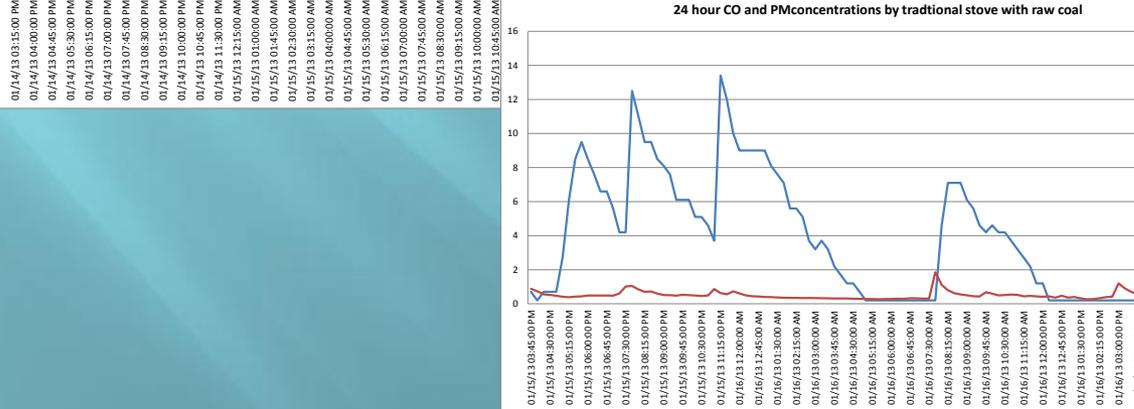
24 hour CO and PM concentrations by improved stove with raw coal



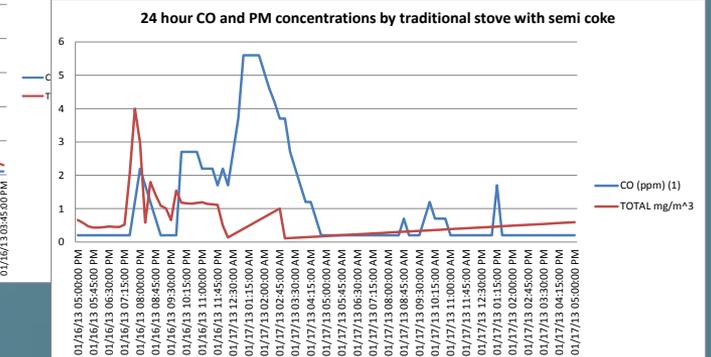
24 hour CO and PM concentrations by traditional stove with semi coke



24 hour CO and PM concentrations by traditional stove with raw coal



24 hour CO and PM concentrations by traditional stove with semi coke



測定調査の分析

- ゲルと戸建ての室内空気質に対するストーブと燃料による影響の分析では、COを時間平均濃度の最大値とストーブに燃料を入れてからの8時間の平均濃度で、PMは24時間の平均濃度を用いて評価した。

	Stove type	Average indoor temperature, °C	Average outdoor temp, °C	Relative humidity,%	CO ppm		TSP, mg/m ³	PM10, mg/m ³	PM2.5 mg/m ³	Amount of fuel, kg
					Max 1 hour	8h	24h	24h	24h	
Ger	Improved stove (raw coal)	22	-25.9	24.1	7	3.04	0.566	0.546	0.515	15.7
	Traditional stove (raw coal)	19.6	-26.7	24.8	7.4	3	0.591	0.577	0.55	17.6
	Traditional stove (semi-coke)	22.3	-18.7	28.3	6.1	3.33	0.643	0.622		
Small House	Improved stove (raw coal)	22.7	-18.1	33.7	9.02	3.3	0.348	0.337		
	Traditional stove (raw coal)	26	-21.9	31.5	9.62	7.8	0.504	0.484		
	Traditional stove (semi-coke)	21.8	-20.5	36.3	5.5	2.54	0.597	0.588		

CO	30 minute average	ppm	48.6
	1 hour average		24.3
	8 hour average		8.11
TSP	30 minute average	mg/m ³	0.5
	24 hour average		0.15
PM10	24 hour average	mg/m ³	0.1
PM2.5	24 hour average	mg/m ³	0.05
Indoor air temperature		°C	18-22
Indoor air relative humidity		%	30-60

測定結果

- ▣ ゲルと戸建ての各ストーブのCO濃度は国家基準より少ないが、PM濃度は基準より3~6倍ぐらい超えていた。
- ▣ ゲルでは、伝統的なストーブにセミコークスを利用したPM濃度は0.64mg/m³で一番高い。改善ストーブのPM濃度は、ゲルと一戸建ての場合は0.34mg/m³と0.56mg/m³であり、伝統的なストーブより少ない。

改善ストーブの費用効率分析

- PM排出量削減と対策コストから、費用効果分析を行った。
- PM排出量 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ を削減するのに要するコストは、ゲルと戸建ての改善ストーブ利用では65.2US\$と15.1US\$という結果が算出された。

	Stove type	TSP, mg/m^3	Difference in PM emissions of traditional stoves and improved stoves, mg/m^3	Improved and traditional stove price US\$	Difference in price of traditional stoves and improved stoves, US\$	Cost to reduce PM emission by 0.01%
Ger	Improved stove (raw coal)	0.566	0.025	234	163	65.2
	Traditional stove (raw coal)	0.591		71		
Small house	Improved stove (raw coal)	0.348	0.156	330	237	15.19
	Traditional stove (raw coal)	0.504		93		

結論

- 本研究では、ウランバートル市ゲル地区の大気汚染対策のうち、比較的短期間で実施可能な3つ対策を対象として費用便益分析を行った。その結果、改善ストーブは、比較的低コストでゲル地区からのPM排出量を約16%削減でき、費用効率の高い対策であることが示された。
- 室内大気環境の測定では、改善ストーブと伝統的なストーブ及び、石炭とセミコークスの比較分析から、COは基準以下であるが、PMは基準より約3~6倍超えていることが明らかになった。PMは、改善ストーブより伝統的なストーブが多いが、燃料に関しては石炭よりセミコークスから発生するPMの方が多結果となった。
- 改善ストーブの費用効果分析では戸建てに改善ストーブ利用した方が費用対効果が高い。

今後の課題

- 室内大気環境への影響を費用便益分析の枠組みに乗せることと、より長期的な対策を分析に含めることである。後者のためには、人口や所得の将来予測や、都市成長管理を含め、よりダイナミックな分析とする必要がある。

ご清聴ありがとうございました

