

C-3 東アジアにおける民生用燃料からの酸性雨原因物質排出対策技術の開発と様々な環境への影響評価とその手法に関する研究

(2) バイオブリケット技術の民間移転と普及方策に関する研究

② バイオブリケットの普及による健康影響に関する研究

独立行政法人 国立環境研究所

大気圏環境研究領域大気反応研究室	畠山 史郎
京都大学大学院工学研究科	内山 巖雄、村山 留美子、平野 元康
埼玉大学大学院理工学研究科	坂本 和彦 (平成12年～14年度)
仏教大学社会学部	溝口 次夫
<研究協力者> 中国重慶医科大学	周 燕榮
<研究協力機関> 中国重慶市環境保全局	
中国鞍山市衛生局 鞍山市防疫センター	

平成12～16年度合計予算額 36,182千円
(うち、平成16年度予算額 6,991千円)

〔要旨〕

中国では今後も石炭が主要なエネルギー源となるが、多くの石炭が未処理のまま使用され、大気汚染や酸性雨の原因となっている。これに対し排出硫黄分を抑制するために効果的と期待されるバイオブリケット(BB)の製造技術の民間移転と普及が重要であるが、BB普及のためには環境汚染低減効果を汚染濃度のみでなく、健康の改善についても定量的に示す必要がある。本研究は上記の目的のために重慶市南川地区、鞍山市を対象地域としBB使用群と原炭使用群を設定し、環境汚染物質濃度の測定と共に健康影響の改善を調査する事を目的とした。またエアロゾル簡易型サンプラーの実用化研究とBBの有効性、および中国学生の環境意識に関する研究を行った。

汚染物質濃度測定の結果より、BBの使用によって原炭使用よりも、SO₂やフッ化物の有意な排出抑制効果が確認されたが、多環芳香族炭化水素やVOC類は使用形態の影響が大きかった。

短期(1週間)の健康影響調査から鼻咽喉系の急性炎症症状が、原炭を使用する場合よりも有意に少ない、または改善することが明らかとなった。長期(18か月)の健康影響調査では、BBの使用により咳、痰、鼻水の耳鼻咽喉系自覚症状について有意に改善されることが示された。また血液検査では、DNA損傷の改善、非特異的免疫能の改善などが示唆された。エアロゾル簡易サンプラーは成分分析のためには、さらにろ紙の軽量化が必要であるが、十分実用性のあるものが開発できた。また、環境保全意識に関して中国の学生は他の国の学生とほとんど同様の認識を持っているが、異なったところも見られた。中国は古くから「少欲知足」を重んじる国と聞いているが、その思想を実行に移すべきであろう。

今回の調査は、過去の調査方法を改善し、バックグラウンド濃度が等しく、燃焼装置が同型である同一地域にて対照群を設定したことにより、BB使用と原炭使用による健康影響について、過去の報告よりも信頼できる結果を得ることができた。

[キーワード] バイオブリケット、二酸化硫黄、個人暴露量、健康影響、血液検査

1 はじめに

現在中国では、経済の高度成長によるエネルギー消費量の増加に伴い、石炭の生産、消費量が急ピッチで増加し、一次エネルギーの約 60%以上を石炭に依存している。多くの石炭は高硫黄分（約 2～6%）、高灰分にもかかわらず、地方の中小炭鉱には適切な石炭クリーン化技術がなく、選炭も十分に行われずに未処理のまま利用され、これに起因する大量の二酸化硫黄（SO₂）、及び粉じん等により大気汚染や酸性雨の顕在化、それらによる生態系の破壊、農林業の経済的損失、建造物の腐食などの環境汚染問題が深刻となっている¹⁾。またこれらの環境汚染によって西南地域の都市部（重慶や貴陽市）では、呼吸器系疾患の発症率も極めて高く、大気汚染との関係が憂慮されている²⁾。

これらの石炭の使用は工場のみではなく、一般家庭やオフィスの小さなボイラー、飲食店の燃料としても盛んに使用されている。低煙突源の民生用石炭燃焼からの汚染物質は、住民居住地域における亜硫酸ガス、VOC 類、粉塵、フッ化物などに大きく寄与するため、それらの排出抑制は環境対策、住民の健康保護の立場からも急務である。特に一般家庭では、北部の寒冷地域で暖房用に使用している場合を除いてほとんどが十分な屋外排気装置を持っていない。室内汚染を考慮した場合、民生用として期待される、バイオマス（バインダー）と硫黄固定剤（消石灰）と原炭から製造するバイオブリケットの使用が有効であると考えられるが、その製造技術の民間移転と普及が重要である。しかし、価格が原炭に比較してやや割高になるために、この利用を普及促進させるためには環境汚染低減効果を汚染濃度の改善のみでなく、同時に健康の改善への効果についても定量的なものとして示し、普及のための一つの動機付けとする必要がある。

2. 研究目的

過去の調査では、重慶市郊外の農村地域におけるバイオブリケットの試用により一定の健康影響の改善を認めたが³⁾、調査期間が 9 ヶ月と短く、また環境汚染物質の室内濃度測定、あるいは個人暴露量の評価が不十分であった。そこで、①二酸化硫黄の汚染が著しく、酸性雨地域として知られている四川省重慶市の郊外にある南川地区を調査地域とし、過去の調査より長期間（約 18 か月）のブリケット炭の使用前後の健康影響調査、及び環境汚染物質の個人暴露量の調査も加味した評価、②中国北部に位置する遼寧省鞍山市において、バイオブリケットを長期間使用した場合の呼吸器症状に関するアンケート調査および、短期間使用した場合の前後の耳鼻科健診による急性上気道炎症所見の調査、③中国等の開発途上国でも使用可能な粒子状物質補集用の簡易サンプラーの開発と実用化研究、④石炭に変えてバイオブリケットを使用することの良否および環境保全に関する中国学生の意識について、の 4 項目についての研究をおこなうことを目的とした。現地調査においては重慶医科大学、鞍山市衛生局、同防疫センターの協力のもと、全員が協力して実施したが、①、②は主に内山、坂本のグループが、③、④は主に溝口のグループが行ったので、それぞれの成果を分けて報告する。

【重慶市南川地区と鞍山市における健康調査と環境測定調査】

3. 研究方法

(1) 南川市における調査

①健康影響調査の対象と方法

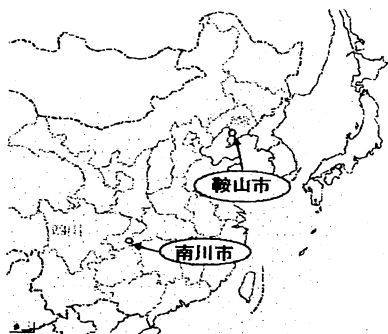


図1 中国における調査地域

重慶陪陵南川地域に位置する南川市は、中国中西部の四川省にあり（図1）、直轄市となった重慶市から車で約3時間の郊外田園都市であり、民生用石炭は近郊の南桐炭鉱から産出する硫黄分の多い原炭を使用している。ここにバイオブリケット工場が建設され、バイオブリケットの供給が見込めるために調査地域として準備を進めてきたが、調査当時工場が稼働していなかったため、従来型のブリケット（バイオマスは使用していないが、硫黄固定型であるため、バイオブリケットにやや劣るか、ほぼ同等の二酸化硫黄暴露量の低減効果がある）を用いて調査を行うこととした。

南川市 Tiecun 村にブリケット利用家庭の女性 72 人（平均年齢 36.1 ± 5.9 歳、以下 B 群）、対照群として Wenfeng 村に原炭利用家庭の 74 人（平均年齢 36.3 ± 4.7 歳、以下 C 群）を無作為に選択し協力を依頼した。

2001年3月に調査開始前、2002年3月に開始後（12ヶ月後）、9月に終了時（18ヵ月後）の3回に健康調査（健康、生活状態に関する面接調査、問診）、血液検査をおこなった。これらの検査の中で、6つの血液検査項目（COMET%、MDA、GSH-PX、SOD、SA、LYS）を中心に解析した。

COMET%はDNA損傷の指標で、この値が高いほどDNA損傷が強い。MDAはフリーラジカルによって生成された物質が多いほど高い値を示し、GSH-PXとSODはフリーラジカルの除去能力を示し、これらの指標は、抗酸化機能を示している。SAは非特異的であるが炎症性疾患の動態指標として使われる。LYSは非特異的免疫機能の指標である。

また、大気汚染物質として、二酸化硫黄と一酸化炭素について、TOXIC gas monitor（PGM-35）を用いて、両対象群の3家庭の台所にて、調査時に10分間測定した。

② 環境汚染物質の補足測定調査の対象と方法

①の調査終了後、2003年3月1日～3月6日に上記の両村のそれぞれ3家庭を対象として、発がん性に関連のあると思われる粒子付着性多環芳香族炭化水素（PPAH）と、揮発性有機化合物（VOC）の測定を行った。PPAH濃度測定は、各家庭の台所、居間、屋外の3箇所にPPAHエアロゾルモニター（PAS2000CE、米国、Ecohem社）を設置し、朝から夕方にかけて連続測定を行った。VOC濃度は、各家庭の台所、居間、屋外の3箇所にVOCパッシブサンプラー（シグマアルドリッチジャパン株式会社スペルコ事業部製）を設置し24時間測定した。VOCパッシブサンプラーの測定は群馬県に依頼した。

また、2004年3月上旬に上記南川市の一家庭において、日本製バイオブリケットを使用した実験を行った。カマド付近（Stove）、台所、室外のCO、SO₂、NO₂濃度を測定するため、各地点にパッシブドリチューブ（GASTEC）およびパッシブサンプラー（Handy SONOx, Green blue Co.）を6hr及び24hr設置した。室内（カマド上部、台所）のガスおよび粒子状の硫黄化合物、フッ化物はミニポンプ（MP-2N, 柴田科学）にて捕集した。また、台所での滞在時間が長い主婦にも胸元付近に

パッシブサンプラーを装着してもらい（24 hr）、SO₂、NO₂暴露濃度を調査した。

パッシブサンプラーの捕集フィルターとアルカリ含浸フィルターを 0.3% H₂O₂ で超音波抽出し、SO₄²⁻、NO₃²⁻は陰イオンクロマトグラフ（以下 IC、DX-100, Dionex Co.）にて、F⁻は標準溶液（NaF）を既知濃度添加し、さらに TISAB(10)溶液（Wako Co.）によりイオン強度を調整してイオン選択電極（D-53、Horiba Co.）にて定量した。

（2）鞍山市における調査

①健康影響調査の対象と方法

鞍山市は中国北部の遼寧省の瀋陽市と大連市のほぼ中間に位置する鉄鋼の街として栄えている（図 1）。近郊で産出する原炭には硫黄分は重慶産のものよりやや少ないが灰分が多い。また厳寒地であるために、調理用のみではなく冬期は暖房用として原炭を多用する。暖房用にはかまどで暖めた温水をパイプで各部屋に送っており、汚染物質が排出されるのは主に台所である。

鞍山市においては、鞍山市産出の原炭（RC）を加工したバイオブリケット（BB）使用による長期的な健康影響調査と、短期的な急性炎症症状の有無についての調査をおこなった。

ア．長期間の影響調査

調査対象は、鞍山市郊外に居住する一般家庭の成人女性とし、調査期間中、BB を使用する群（B 群、43 名、45.1±8.3 歳）と、従来の原炭を使用する対照群（C 群、43 名、40.4±9.1 歳）とに無作為に分けた。2002 年 9 月より 18 ヶ月間、B 群、C 群の家庭において、燃料としてそれぞれ BB、原炭を使用してもらった。18 ヶ月経過後に、被験者に上気道系（咳、痰、涙、鼻水）の自覚症状について質問し、改善した、変化なし、悪化した、のいずれかで回答してもらった。

イ．短期間の影響調査

調査対象は、上記調査と同地域に居住する一般家庭の成人女性 10 名とした。また、調査期間は 2004 年 11 月～12 月の 2 週間とした。10 名中、半分の 5 名に、1 週間 BB を使用してもらった後、原炭（RC）を 1 週間使用してもらい、使用開始前、BB 使用後、原炭使用後の 3 回、鼻咽頭系の診察を訓練された同一の医師がおこない、炎症所見について調べた（以下 A 群）。診断部位は鼻腔内の鼻道、鼻中隔、鼻甲介、咽部の咽頭、咽頭壁、咽頭突起、扁桃腺とし、炎症症状などの異常の有無について、診断した。医師には解析に使用する項目については説明せず、診断結果に医師の先入観が入らないようにした。

また、残りの 5 名には、1 週間原炭を使用してもらった後、BB を 1 週間使用してもらい、使用開始前、原炭使用後、BB 使用後の 3 回、上記と同様の調査を行った（B 群）。

② 短期間の影響調査における環境測定

調査対象は短期的影響調査に参加した 10 軒とした。BB を使用している 5 軒（B 群）と原炭を使用している 5 軒（以下 C 群）の台所において、SO₂、CO、PPAH の室内濃度と、VOC パッシブサンプラーによる個人暴露濃度を測定した。また、調査期間中、測定対象の民家の住人（1 軒につき夫婦 2 名）に対し、居場所、燃料添加回数について、生活行動調査をおこなった。調査期間は、2004 年 11 月 21 日～27 日の 7 日間であった。

4. 結果と考察

(1) 南川市における調査

①健康影響調査時の大気汚染物質濃度の測定結果について

2001年3月から2002年9月までおこなったブリケットと原炭の使用による健康影響調査時におこなった、SO₂、CO濃度測定の結果を表1に示した。

表1 台所におけるSO₂とCO濃度の平均値

調査時期	SO ₂ (ppm)		CO (ppm)	
	C群	B群	C群	B群
ブリケット使用前	8	4.8	35.5	40.5
使用12か月後	14.1	1.1	47.2	42
使用18か月後	3.6	0.9	35	19.5

B群におけるSO₂濃度はブリケット使用後大きく減少しているのに対し、原炭を使用しているC群のSO₂濃度はB群に対していずれの時期も濃度が高い値を示した。ただし、CO濃度に関しては、両群の濃度に差はあまり認められなかった。

②健康影響調査時における住民への血液検査等の測定について

健康影響調査時におこなった血液検査のうち、COMET%、MDA、GSH-PXの結果を表2に示した。

表2 影響調査前後のCOMET%、MDA、GSH-PXの測定結果

目	群	ブリケット使用前		使用12か月後		使用18か月後	
		N	$\bar{X} \pm S$	N	$\bar{X} \pm S$	N	$\bar{X} \pm S$
COMET% (%)	B群	18	8.8 ± 1.5	15	6.7 ± 3.2	12	6.7 ± 3.0 [▽]
	C群	18	9.2 ± 3.2	15	8.3 ± 3.3	13	8.8 ± 3.3
MDA (nmol/L)	B群	67	3.5 ± 1.2	62	2.6 ± 0.7 [▽]	51	2.5 ± 1.3 [▽]
	C群	72	3.4 ± 1.1	56	3.3 ± 1.1*	64	3.5 ± 1.4*
GSH-PX (unit)	B群	72	72.0 ± 37.2	62	69.8 ± 14.0*	51	69.7 ± 19.7*
	C群	72	61.9 ± 17.9	57	58.1 ± 14.4	65	62.4 ± 12.5

注) *: B群の結果がC群の結果と比較し、p<0.05で有意な差 ▽: 調査前と調査期間中(12ヶ月後、18ヶ月後)に比較した場合にp<0.05で有意な差

これら3つの指標は両群の調査前の値には有意差は見られなかった。COMET%、MDAの値はB群の値は調査後に有意に減少した。また、GSH-PXの値は12ヶ月、18ヶ月後のB群の値はC群の値より有意に高かった。

次に、SOD、SA、LYSの測定結果を表3に示した。これら3つの指標ではいずれもB群、C群の調査前の値は有意に異なっていた。SODはC群の値が12ヶ月、18ヶ月後が調査前と比べて高い値を示したが、B群の値は有意な変化は認められなかった。SAの値はB群は12ヶ月後、18ヶ月後の調査にて値が上昇したが、C群は12ヶ月後の調査では減少し、18ヶ月後には上昇した。LYSの値はC群は12ヶ月後、18ヶ月後の調査で値が上昇したが、B群は12ヶ月後の調査では減少し、18ヶ月後には上昇した。

COMET%について、B群における値が減少した原因は、ブリケット使用によりSO₂濃度をはじめ、有害な化学物質が減少したからと考えられる。また、LYSやSODの値の向上もDNA損傷を軽減したと考えられる。また、血中のフリーラジカルが高くなると、過酸化脂質やMDAを生産して、人体に有害であるが、このMDAの値がSODやGSH-PXの値、つまり抗酸化機能に影響する。表2、表3から、B群におけるMDAはブリケット使用により減少し、SODやGSH-PXの値は高い値を保っていた。このことから、B群の被験者の抗酸化機能が高まったと考えられる。

LYSの値はC群の値が、B群の値よりも低い値を示したが、この原因はC群の村の位置が主要道路に近く、山間部に位置するB群の村よりも屋外の大気汚染濃度が高い可能性も考えられる。B群における調査18ヶ月後のLYSの値の値が調査前の値よりも高くなっていることは、ブリケット使用によりSO₂濃度はじめ汚染物質濃度が減少し、非特異的免疫機能が向上した可能性が示唆される。

表 3 影響調査前後のSOD、SA、LYSの測定結果

項目	群	ブリケット使用前		使用12か月後		使用18か月後	
		N	$\bar{X} \pm S$	N	$\bar{X} \pm S$	N	$\bar{X} \pm S$
SOD (NU/ml)	B群	72	96.8 ± 15.8*	62	97.5 ± 13.0	51	99.9 ± 15.5
	C群	74	84.4 ± 18.2	57	98.1 ± 15.4 [▽]	65	93.9 ± 22.2 [▽]
SA (mmol/L)	B群	72	1.2 ± 0.3*	62	1.3 ± 0.2 [▽]	50	1.6 ± 0.4 [▽]
	C群	72	1.5 ± 0.3	57	1.3 ± 0.2 [▽]	65	1.6 ± 0.3 [▽]
LYS (μg/ml)	B群	87	35.2 ± 12.6*	65	29.4 ± 15.6 [▽]	61	55.7 ± 23.2 [▽]
	C群	93	26.8 ± 13.2	58	39.4 ± 15.6 [▽]	64	45.6 ± 20.5 [▽]

注) *: B群の結果がC群の結果と比較し、 $p < 0.05$ で有意な差 [▽]: 調査前と調査期間中(12ヶ月後、18ヶ月後)に比較した場合に $p < 0.05$ で有意な差

② 環境汚染物質の補足測定調査

ア. VOC類濃度測定結果について

2003年に各家庭における台所、居間、屋外におけるVOC類濃度では、B群の台所におけるベンゼン、トルエン、m, p-キシレンの濃度が、C群の濃度を上回っていたが有意差はなかった。また、その他の物質についてもB群の濃度がC群の濃度を上回る物質が多かった。これはB群におけるコンロの使用時間、バイオブリケットの使用量がC群より多かったためにVOCの排出量の総量が多くなったと考えられた。

イ. PPAH濃度の測定結果について

B群、C群の各1家庭ずつにおけるPPAH濃度の経時変化を、図1、図2に示した。図1に示した家庭の台所におけるPPAH濃度の平均値は約480 ng m⁻³であり、図2の家庭の台所におけるPPAH濃度の平均値は約180 ng m⁻³であった。また、B群におけるPPAH濃度のピーク値は4000 ng m⁻³を超える場合もあったが、C群ではPPAH濃度のピーク値は約2000 ng m⁻³を超える程度であった。これらから、平均値、ピーク値に関して、B群の家庭の方がPPAH濃度が高い値であったことがわかった。この理由としてはアに述べたようにTiecun村とWenfeng村でコンロの使用方法に違いがあり、ブリケッ

トの使用量が多かったためと推測された。

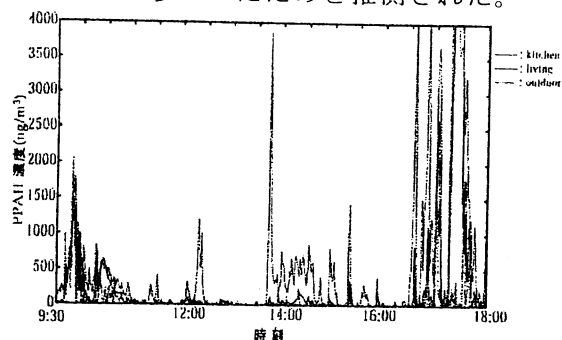


図1 B群の一家庭のPPAH濃度（3月5日）

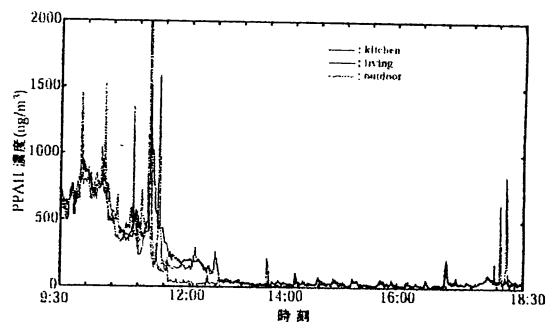


図2 C群の一家庭のPPAH濃度（3月1日）

以上の事からブリケット使用により、 SO_2 濃度は著明に減少する。このためブリケット使用が主に呼吸器系疾患の健康改善につながる結果を示したが、慢性的なPAH暴露により、住民の発がんリスクは改善されていない事が示唆され、今後ブリケットの燃焼方法などの工夫が必要となるかもしれない。

ウ．日本製バイオブリケット（BB）使用時の環境調査結果について

パッシブサンプラーによる SO_2 の室内濃度および個人暴露濃度を図2に示す。値は6時間及び24時間平均値である。原炭利用時と比較して、BB利用時のカマド付近や台所での SO_2 濃度、主婦への SO_2 個人暴露濃度が低減されることを確認した。このことは、カマド内で測定した SO_2 濃度の傾向を支持する結果となった。しかしながら、BB利用時でさえもWHOの空気質ガイドライン値（24時間平均値： 0.125 mg m^{-3} ）を上回る濃度であった。フッ化物濃度も同様にカマド付近で非常に高濃度が観測された。西南部地域の石炭や粘土のフッ素含有量は比較的高いことが知られており、それを反映する結果となった（図3）。しかし、BBを利用することで発生源付近濃度の低減が観測された。これは、これまでの室内モデル実験結果から⁴⁾、BBに硫黄固定剤として添加しているカルシウム分がフッ化物を固定するといった、脱フッ化効果による効果であることが示唆された。ただしフッ化物に関しては今後個人暴露濃度を含めた更なる調査が必要である。

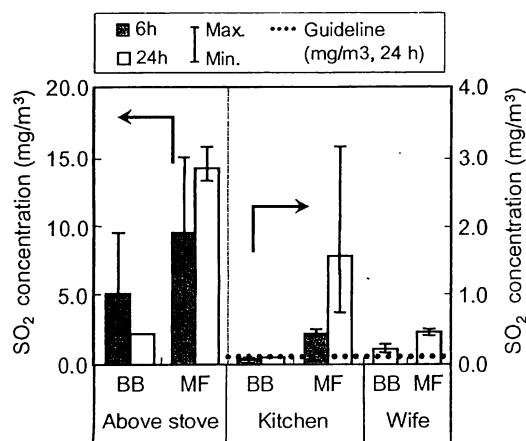


図2 コンロ上、及び台所の SO_2 濃度（6時間、12時間平均値）

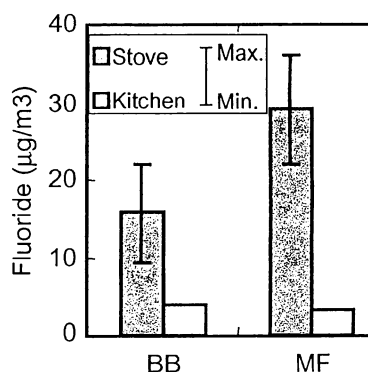


図3 コンロ上と台所のフッ化物濃度（6時間平均値）

(2) 鞍山市における調査

① 健康影響調査

ア. 長期間の影響調査について

図4に18か月間のBBと原炭の使用後のB群とC群の、咳、痰、鼻水の自覚症状の改善状況を示した。調査開始時には全員が何らかの自覚症状を有していたが、B群の被験者は、すべての項目において、自覚症状についての改善がみられた。一方C群では、すべての項目において、自覚症状に改善がみられた者はみられず、咳に関しては、すべての被験者が悪化したと回答した。B群の結果とC群の結果についてWillcoxonの順位和検定をおこなったところ、咳($p<0001$ 両側)、痰($p<0001$ 両側)、鼻水($p<0001$ 両側)に関して有意な差が認められた。これにより、バイオブリケットの使用が、咳、痰、鼻水の自覚症状を対照群に比較して有意に改善したと考えられた。涙に関しては有意差は認められなかったが、B群に改善傾向が認められた。

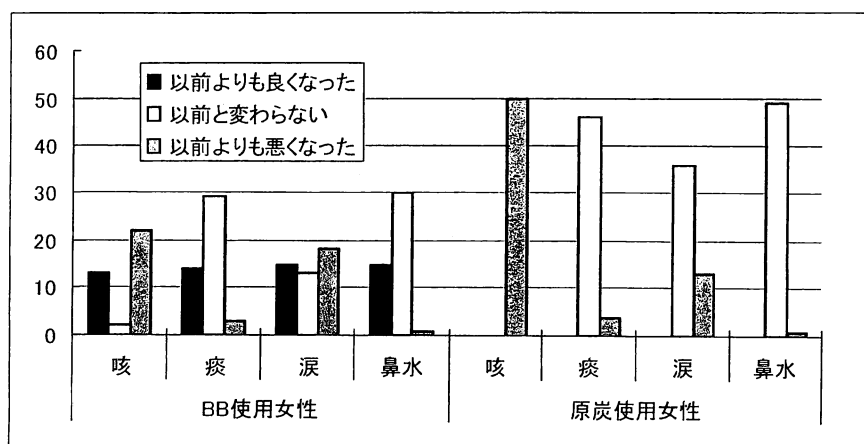


図4 調査終了時の呼吸器系自覚症状調査の結果

イ. 短期間の影響調査について

短期的な使用燃料の違いによる健康影響調査結果を表4に示す。

表4 燃料の違いによる短期的な暴露影響調査結果

	被験者	調査開始前	BB使用1週間後	原炭使用1週間後
A群	No.1	○	○	○
	No.2	×	○	○
	No.3	○	○	×
	No.4	○	×	×
	No.5	○	○	○
	被験者	調査開始前	原炭使用1週間後	BB使用1週間後
B群	No.6	○	×	○
	No.7	○	×	○
	No.8	○	×	○
	No.9	○	×	○
	No.10	○	×	○

注) 医師による耳鼻咽喉科検診をおこない、9項目中1項目でも陽性所見られた場合・・・×、陽性所見が見られなかった場合・・・○

診断した鼻咽喉の7つの部位において、一つでも炎症症状などの急性的な影響があった場合を異常あり(×)とし、診断部位のすべてに急性的な影響がなかった場合を異常なし(○)とした。原炭を使用することにより、B群では5名すべての被験者に鼻咽頭系への炎症症状ありと診断されていたが、BB使用1週間後にはすべての被験者に炎症症状の改善が認められた。A群では原炭使用により2人の炎症所見が認められた。調査開始前の診断に異常なしという診断が多く、BB使用による炎症症状の改善は1人であった。ただし、今回は調査開始時が冬季の始まりの時期であったため、暖房として石炭の使用が調査開始前は少量であった。したがって、調査開始前の所見に異常なしの診断が多かったものと考えられた。

全被験者のうち、BB使用により症状が改善した被験者は6名、悪化した被験者は1名いた。また、原炭使用により症状が悪化した被験者は6名、改善した被験者はいなかった。BBを使用しても症状が改善しない者が1名いたが、BBはSO₂の排出が抑制されているとはいえ、電気やガスほどクリーンなエネルギーではなく、感受性の高い被験者はBBを使用しても症状が悪化したり、改善しない場合もあると考えられた。また、感受性の低い被験者には、原炭を使用しても症状に変化のない場合もあると考えられた。多少の例外はあるが、燃料の使用前後の症状の変化について、符号検定をおこなった結果、BB使用時の症状の変化と原炭使用時の症状の変化には有意な差(p=0.0035片側)が認められた。以上より1週間という短期間のBB使用により鼻咽喉系の急性炎症症状の改善に対し有効であることを示した。

今回の調査では、医師の診断による影響調査をおこなったが、サンプル数が10と母集団が非常に少数であったため、今後はサンプル数を増やすことが課題である。Aでは18ヶ月間という長期的なBBの使用により、咳、痰、鼻水の自覚症状が改善することが明らかとなった。これらの耳鼻咽喉系への炎症症状については、BBによってSO₂の排出濃度の抑制され、被験者のSO₂暴露濃度が抑えられたためであると考えられた。今回の調査では同地域内での対照群を設置したことにより、バックグラウンド濃度が同一と考えられ、また、使用している燃焼装置が同型であることから、BBと原炭使用による差を比較することができ、過去の報告よりも信頼できる結果を得ることができた。

しかし、本研究では、SO₂が引き起こすと考えられる呼吸器系の炎症症状以外の健康影響についての調査をおこなうことはできず、発がん性に関する10年～20年単位の長期的な健康リスクに対するBBの有効性について、論じるまでには至らなかった。今後は、このようなリスクに対する疫学調査などもおこなう必要があると考えられる。

ウ．短期間の影響調査における環境測定

(7) SO₂濃度の測定結果

SO₂の濃度測定の結果を、図5に示した。本測定ではSO₂濃度の測定限界が60ppmである。C群の4軒の民家において、測定限界上限値を上回ったため、図5には60ppmとしてプロットした。また、図中のRC(RawCoal)は原炭使用を示す。

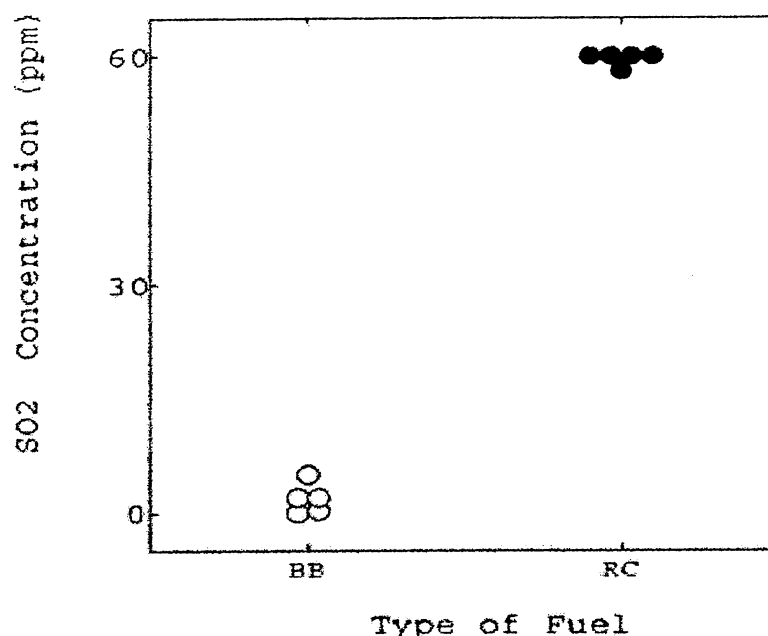


図5 SO₂の濃度測定結果

SO₂濃度は、BBを使用したB群は測定下限値（0.25ppm）～5ppmを示し、原炭を使用したC群は58～60（測定限界値以上）ppmを示した。両群の差が明らかなことから、SO₂の排出は原炭を使用したC群よりも、BBを使用したB群にて抑制されていることがわかった。今回、B群とC群の民家はともに同型の家屋を対象としているが、生活行動調査より、B群とC群の燃料の添加回数に大きな差はなく、BBによるSO₂排出抑制が明らかなものであると示していた。

(イ) 粒子付着性多環芳香族炭化水素（PPAH）濃度測定結果

鞍山市における、燃料の違いによるPPAH濃度の測定結果を表5に示す。

BB使用による各家庭の平均PPAH濃度は、63～1731 ng m⁻³であり、原炭使用による各家庭の平均PPAH濃度は153～2344 ng m⁻³であった。

また、測定時間内における最大値は、BB使用では832～6294 ng m⁻³、原炭使用では1129～7058 ng m⁻³であった。平均値や最大値からBB使用と原炭使用の結果には差は見られなかった。また、測定中の燃料の添加回数で平均値を除し、燃料一回の添加あたりのPPAH濃度平均値を求めたが、BBと原炭の燃料による差はみられなかった。

今回の測定をおこなった10軒では、燃焼装置は同型であったが、生活行動調査の結果から、燃焼装置の使用時に、やかんや鍋などで蓋がしていなかったり、隙間があった場合に、PPAH濃度が高濃度になった。このため、PPAH濃度の差には、燃料の違いよりも測定場所（測定家庭）における使用方法による違いの方が影響していると考えられた。

表5 鞍山市における燃料の違いによるPPAH濃度測定結果

	測定場所	平均値(ng m^{-3})	最大値(ng m^{-3})	燃料添加回数	平均値／燃料添加回数
BB 使用	No.1	432	3142	1	432
	No.2	1731	6294	2	866
	No.3	1033	6621	3	344
	No.4	480	832	1	480
	No.5	63	1827	1	63
原炭使用	No.6	361	1760	2	181
	No.7	591	3485	1	591
	No.8	2344	7058	2	1172
	No.9	835	1129	3	278
	No.10	153	1409	1	153

【エアロゾル簡易サンプラーの実用化研究】

2. 研究目的

ガス状物質の簡易サンプラーは古くから世界各地で利用されている。わが国では市街地あるいは道路周辺の調査に NO₂ 簡易サンプラーが現在でもよく用いられている。発展途上国では常時監視の目的で、SO₂、NO₂ などのパッシブサンプラーが有用されている。しかし、粒子状物質（エアロゾル）の簡易サンプラーはこれ迄、動力を用いたものが利用されているが、パッシブサンプラーはまだ開発されていない。発展途上国では電気を必要としない手軽でしかも安価なエアロゾルサンプラーの開発が望まれている。本研究はエアロゾルパッシブサンプラーの開発と実用化を目的としたものである。

以下にエアロゾルパッシブサンプラー実用化のためのサンプラーの検討、基礎実験およびフィールドテストを行ったのでそれらの結果と問題点などについて述べる。

3. 研究方法と結果

(1) サンプラーの選定と基礎実験

① サンプラーの選定とろ紙の調整

サンプラーはガス状パッシブサンプラーとして従来から利用されている分子拡散方式サンプラーを用いることにした（図 1-1）。エアロゾル捕集部は従来のものと異なり、捕集用ろ紙のみとし、ろ紙の選定を行った。6種類の捕集ろ紙のブランク重量の最も軽いものを選び「ポリ塩化ビニリデン樹脂」を材質とするろ紙を用いた。

ろ紙上への捕集量を多くするため、ろ紙を帯電させ、通常のろ紙との捕集量比較を行った（表 1-1）。帯電させたろ紙の方が約3倍捕集量が多いことが判明した。

② 基礎実験

東京都内で SPM 年間平均濃度が約 $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で通常の 2 倍以上ある地域を選んで、アクティブサンプラー（ローボリュームサンプラー）とパッシブサンプラーの同時並行運転を行った。その結果を図 1-2 に示した。

(2) フィールドテスト

本研究で開発した帯電ろ紙を用いた簡易サンプラーを用いて、エアロゾル濃度、粒子の性状の異なる東京、中国（重慶、鞍山）およびチリ（サンチャゴ）でエアロゾルを捕集した。図 1-3 に捕集したエアロゾル重量と捕集時間の関係を示す。この結果極めて、相関が高い ($y=0.982$) ことが判明した。

中国の工業都市、重慶市および貴陽市でエアロゾルパッシブサンプラーを用いてサンプリングを行った。その結果を表 1-2～1-3 に示す。表 1-2 はエアロゾルの捕集量であり、表 1-3 はその成分分析の結果である。また、図 1-4 に貴陽市の同一地点で行ったエアロゾルの捕集量と捕集時間との関係を示す。図 1-4 で見る限り、144 時間まではよい直線性が示されている。表 1-4 にチリ、サンチャゴ市で行った測定結果を示す。サンチャゴ市は貴陽市、重慶市に比べてエアロゾル濃度が低い、4 日間の測定結果は良好であった。

4. 考察

- (1) 捕集用ろ紙を帯電させたものと帯電させていないものの比較では明らかに前者が約 3 倍の捕集量となっているが、これが帯電効果かどうか、さらに明らかにする必要がある。
- (2) アクティブサンプラーとの比較で 10 日間程度ならば回帰直線も $R^2=0.987$ と良好な結果が得られたので、濃度換算が可能であると考えられる。
- (3) 表 1-3 では X 線分析によって、成分分析を行ったが、さらに精度よく分析するためにはろ紙のブランク量を如何に少なくできるかが課題である。

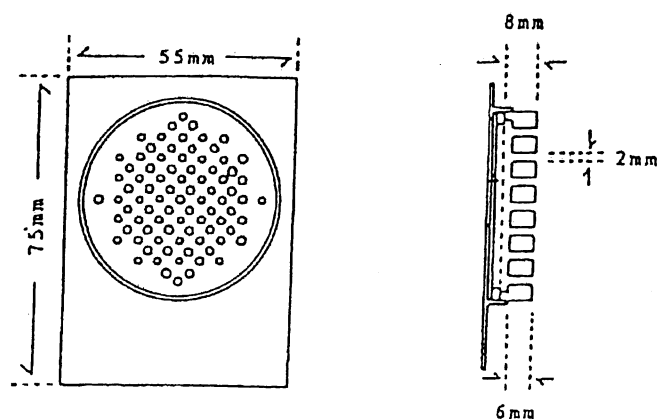


図 1-1 パッシブサンプラー概略図

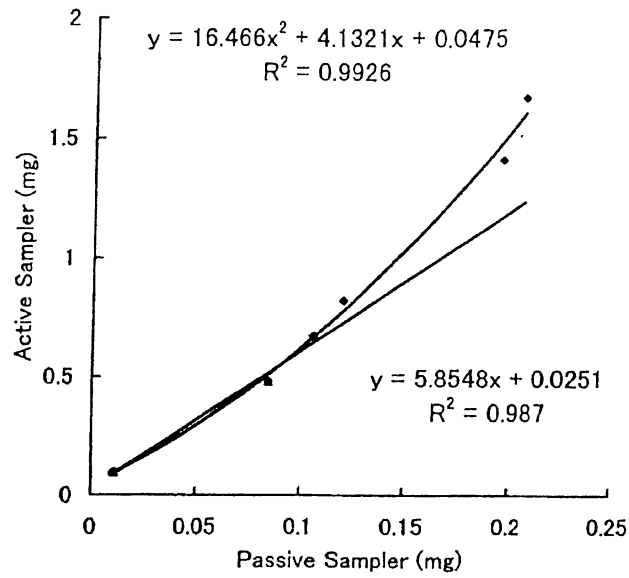


図 1-2 パッシブサンプラーとアクティブサンプラーの並行測定結果

mg

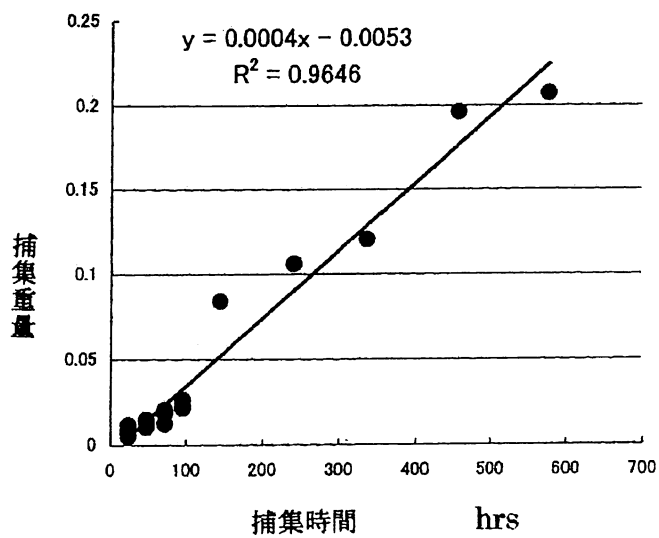


図 1-3 エアロゾル簡易サンプラーによる捕集時間と重量の関係
(東京、重慶、鞍山、サンチャゴ)

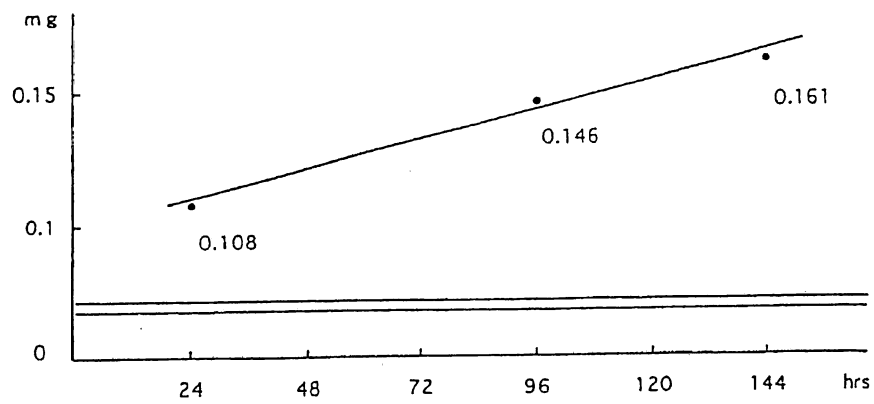


図 1-4 貴陽市でサンプリング結果

表 1-1 通常のろ紙と帯電させたろ紙との比較測定結果

暴露期間 \ エアロゾル重量	mg			mg		
	Ave.			Ave.		
1. 10/28 21:30~10/29 21:30	0.056	0.040	0.048	0.021	0.015	0.018
2. 10/29 21:30~10/30 21:30	0.097	0.077	0.087	0.010	0.047	0.029
3. 10/30 21:30~10/31 21:30	0.033	0.022	0.028	0.030	0.023	0.027
4. 10/31 21:30~11/ 1 21:30	0.035	0.051	0.043	0.024	0.016	0.020
5. 11/ 1 21:30~11/ 2 21:30	0.055	0.071	0.063	0.023	0.034	0.029

表 1-2 重慶市、貴陽市、各地点での測定結果

No	測定期間	後秤量(ng)	前秤量(ng)	差量(ng)	備考
9	9/1617:35-17 17:30	74.419	74.311	0.108	貴陽市
4	9/1617:40-20 17:40	62.297	62.151	0.146	
15	9/1617:42-22 17:44	68.450	68.289	0.161	
2	9/1617:00-17 16:05	62.785	62.380	0.405	重慶市 道路 AV.0.440
8	9/1617:00-17 16:05	66.973	66.499	0.474	
13		67.435	66.988	0.447	工場内 AV.0.489
10		66.500	65.970	0.530	
1	9/1514:50-18 8:00	75.572	75.176	0.396	重慶市「ルナ」 AV.0.386
12	9/1514:50-18 8:00	70.533	70.158	0.375	
5	9/1514:50-16 8:00	66.483	66.162	0.321	重慶市「ルナ」
3		61.475	61.093	0.382	工場敷地環境 AV.0.389
6		70.343	70.045	0.298	
11		77.366	76.878	0.488	

1) サンプラーは全て2mmφ、81穴を使用

表 1-3 エアロゾル粒子の成分分析結果

項目	地点名	貸陽市	道路	工場内	チベット	工場敷地内
	mg	0.161	0.474	0.530	0.396	0.382
	Yl%		中国重慶での採取試料			
F		100.0	99.6	99.4	99.5	99.2
Si		0.137	0.201	0.261	0.217	0.388
Al		トレス	0.0897	0.183	0.115	0.160
Ca		トレス	0.0579	0.0634	0.0466	0.0821
S		0.0193	0.0252	0.0590	0.0400	0.0593
Na		--	--	0.0139	--	0.0548
Mg		--	0.0200	--	0.0215	0.0425
Fe		--	トレス	トレス	0.0121	0.0255
K		--	トレス	トレス	トレス	0.0122
Cr		--	トレス	--	--	--
P		--	--	--	トレス	トレス

表 1-4 サンチャゴ市でのサンプリング結果

暴露期間 \	エアロゾル重量	mg
1. 3/27 15:20～ 3/28 15:20		0.004
2. 3/27 15:20～ 3/29 15:20		0.005
3. 3/27 15:20～ 3/30 15:20		0.011
4. 3/27 15:20～ 3/31 15:23		0.023

Sampling site : Av.Lavrain 9975, La Reina, Santiago, CHILE
Sampling date : 2000.3.27-31

【バイオブリケットの評価】

1. はじめに

中国では現在でも使用燃料の 70%以上が石炭である。石炭の埋蔵量から考えて当然のことである。しかし、南部地方の石炭の硫黄含有量は高く、これらが偏西風に乗ってわが国へ酸性雨となって飛来することは黄砂の飛来の例から見て明白である。そのために、石炭を原料とし、それに植物体（通常は廃棄される植物）、脱硫剤を加えてバイオブリケットを成型し、石炭に換えて使用し、酸性雨の飛来を防ぐと共に中国国内での健康影響を少なくしようというのが、本研究のメイ

ンテーマである。しかし、実際に使用してもらって、長所、問題点などを検討し、バイオブリケットの評価を行った。

2. 調査の方法と結果

バイオブリケット評価のための調査は、重慶市および鞍山市で長期間住宅地でバイオブリケットを使用してもらい、使用した人々からアンケート調査を行った。

アンケート調査の項目は表 2-1 に示す 7 項目である。その結果を表 2-2～8 示す。

表 2-1 アンケート調査の項目

1. 家庭での使用燃料
2. バイオマスブリケットの使い易さ
3. バイオマスブリケットの火力
4. バイオマスブリケット使用後の室内空気
5. バイオマスブリケットの価格
6. バイオマスブリケットの欠点
7. バイオマスブリケットの評価

3. 考察

すでにバイオブリケットを使用している住宅は 11%であり、85%は石炭を使用している（表 2-2）。使用したすべての家庭で、バイオブリケットは使いやすいと回答している（表 2-3）。また、火力も強く料理に適していると回答している（表 2-4）。また室内の空気が改善されたとも回答している（表 2-5）。欠点として、持続時間が短く灰分が多いと回答している（表 2-7）。しかし、対象とした重慶市郊外、鞍山市内での評価は非常によかった。

表 2-2 各家庭の使用燃料に関する解答の割合

燃料	使用	不使用	使用割合 (%)
原炭	85	15	85.00
天然ガス	7	93	7.00
バイオブリケット	11	89	11.00
電気	58	42	58.00
焚付け 薪	14	86	14.00
爆発性ガス	12	88	12.00

表 2-3 バイオマスブリケットの使いやすさに関する解答の割合

	度数	割合 (%)
使いやすい	63	96.92
使いにくい	0	0.00
知らない	2	3.08

表 2-4 バイオマスブリケットの火力に関する解答の割合

	度数	割合 (%)
強火である	57	87.69
弱火である	1	1.54
分からない	7	10.77

表 2-5 バイオマスブリケット使用後における空気質の変化に関する解答の割合

	度数	割合 (%)
改善した	34	52.31
悪くなった	3	4.62
変わらなかった	28	43.08

表 2-6 バイオマスブリケットの価格に関する解答の割合

	度数	割合 (%)
安い	65	100.00
高い	0	0.00
変わらない	0	0.00

表 2-7 バイオマスブリケットの不利な点に関する解答の割合

	Yes	No	割合 (%)
持続時間が短い	24	41	36.92
灰が多い	20	45	30.77

表 2-8 バイオマスブリケットに対する使用者の姿勢に関する解答の割合

	度数	割合 (%)
普及しない	0	0.00
原炭を使う	1	1.54
普及する	64	98.46

【環境保全に関する意識調査】

1. はじめに

20 世紀後半に先進諸国は豊かな生活、便利な生活そして快適な生活を目指して、高度な経済成長、飛躍的な科学技術の発展を成し遂げた。しかし、その代償として、われわれの身近な環境は言うに及ばず大陸的規模さらには地球の温暖化、成層圏オゾン層の破壊など地球規模の環境、自然に大きな影響を与えることになった。

21 世紀にはこの反省に立って、自然豊かな、健全な地球のあり方を考えることが必要である。そのためにどうするべきか、如何にあるべきかを、人の生き方を中心に考えることが重要である。

2. 調査の方法と結果

アジア、ヨーロッパ、北アメリカの8か国の学生の考え方、行動を調査し、また主な国とその都市の環境施設の設置状況を視察し、わが国との環境観の違いなどを評価した。表3-1に調査した国を示した。

表3-1 アンケート調査実施国

東および東南アジア	：日本，韓国，中国
近東	：トルコ
ヨーロッパ	：ドイツ，イギリス，スウェーデン
北アメリカ	：アメリカ合衆国

表3-1では、1か国100人以上の学生を対象とした。過去の同様の調査で100人以上の回答があるとほぼ平均的な結果が得られていることが確認できている。また、僅か8か国の調査ではあるが、先進国、中間国、および発展途上国を含んでおり、また東アジア、近東、ヨーロッパおよび北米大陸の国々を含んでいるので、全世界の平均的な学生の環境についての意識を評価できたものと考えている。

表3-2にアンケート調査の項目を示す。すべてで21項目の質問を行った。

表3-2 環境問題の認識と行動に関する調査

環境問題で最も重要なもの	宗教と環境観
地球環境問題の解決策	省エネルギーについて
世界の環境悪化の原因	省エネルギーの方法
京都議定書（COP3）について	自然エネルギーの利用
アメリカのCOP3からの離脱について	自動車のあり方
経済成長と環境保全は両立するか	持続可能な社会のために必要なこと
人口の増加と地球上の資源について	自然環境保護への参加と活動
循環型社会と環境保全	環境保全と物価
生活水準と環境保全	どうすれば環境がよくなるか
環境保全と生活レベル	これからのライフスタイル
科学技術のあり方	

21項目のアンケート調査の結果、中国の学生と他の7か国の学生との意識の違い3項目について図3-1～3に示す。図3-1は「現在最も重要な環境問題は何か」という質問であるが、他の7か国の学生が地球環境問題を重要視し、特に「地球の温暖化」と回答しているのに対して、中国の学生は国内の水質汚染、大気汚染が重要であると回答している。これは中国が現在、発展途上、経済成長の真只中にあり、水、大気の汚染が大きいことから当然であろう。

図3-2は持続可能な社会を構築するためには何が最も必要かという質問に対して、他の6か国がリサイクル社会の確立、ドイツは環境倫理観を持つことと回答しているのに対し、中国の学生は科学技術の発達と回答している。科学技術の考え方に差があるのかもしれない。

また、図 3-3 は生活水準について聞いているが、他の 7 か国の学生が生活水準を下げる必要があると回答しているのに対し、中国の学生は生活水準は下げられないと回答している。これも中国の現状から見れば当然かもしれない。

3. 考察

環境意識調査は、ほぼ予想した結果であるが、中国は古くから質素を重んじる国であるが、その辺がこのアンケート調査からは見えなかった。

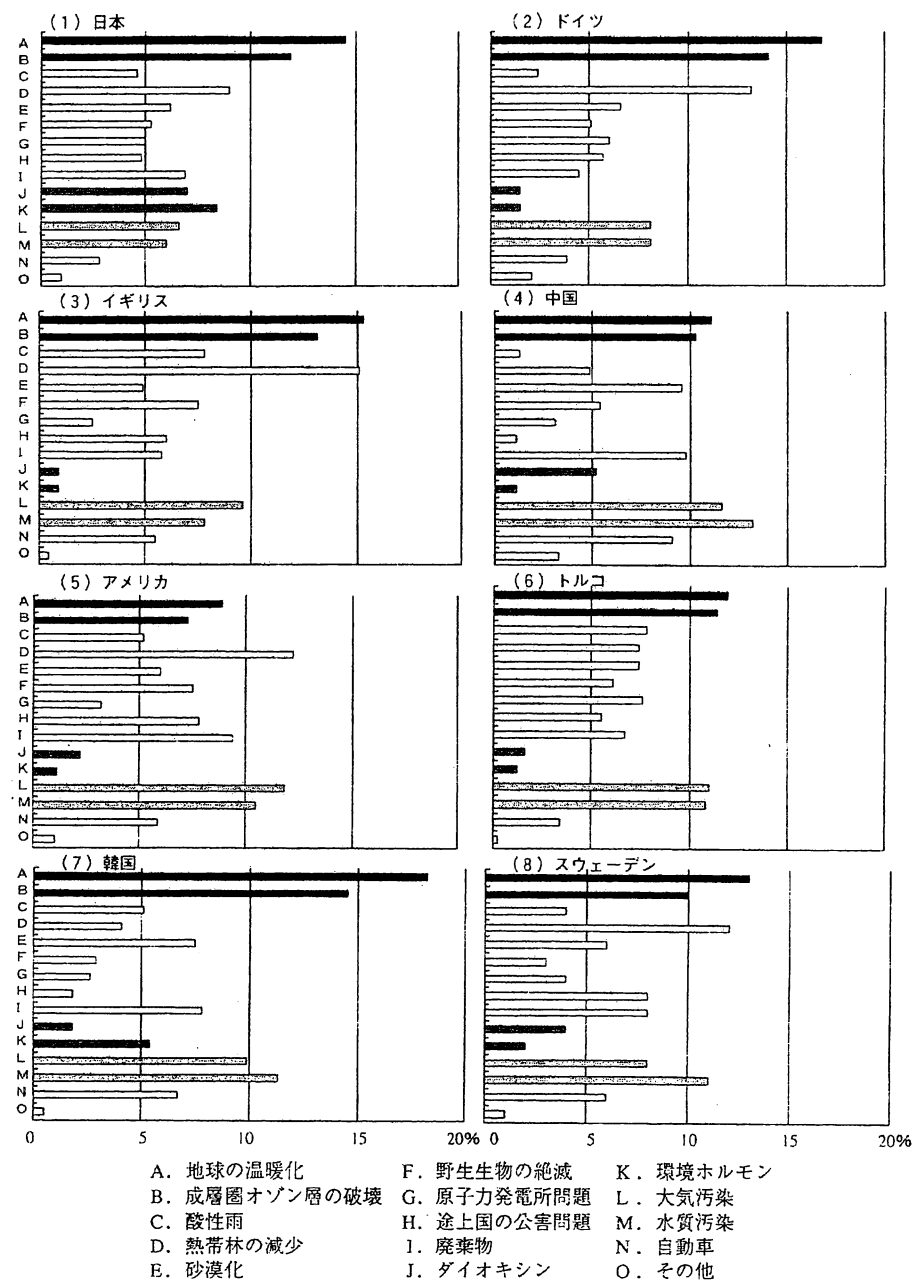


図 3-1 環境問題で最も重要なものは何だと思いますか

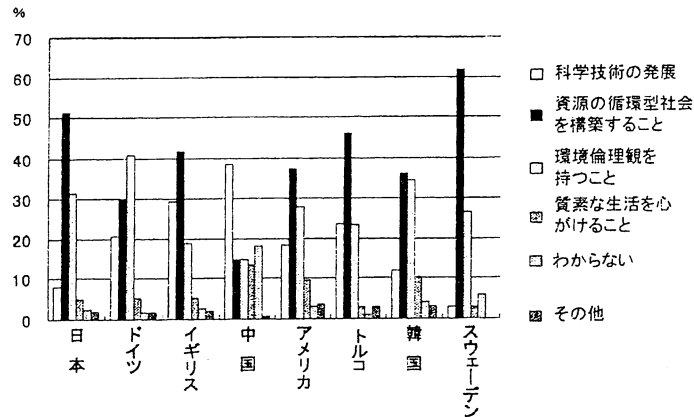


図 3-2 持続可能な社会のために何が必要か

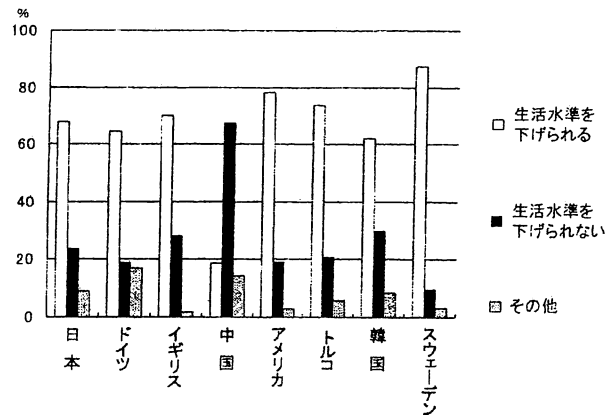


図 3-3 生活水準について

5. 本研究で得られた成果

本研究では、室内空気汚染物質濃度の結果より、BBの使用によって、原炭使用よりも、 SO_2 は約70～90%の排出抑制効果が確認され、フッ化物についても一定の抑制効果が認められた。一方では、BBを使用しても、PPAH濃度やベンゼン等のVOC濃度は燃料の種類よりも、コンロの使用方の違い、燃料の使用量による影響の方が大きいことが示唆された。

ブリケットの使用による SO_2 濃度の低減効果により、血液検査から住民の健康の改善、特に抗酸化機能や非特異的免疫機能の向上、DNA損傷の減少が示唆された。

また、短期的な健康影響調査から鼻咽喉系の急性炎症症状が、石炭を使用する場合よりもバイオブリケットを使用する方が有意に改善されることが明らかとなった。さらに、長期的な健康影響調査の結果から、バイオブリケットの使用により咳、痰、鼻水の耳鼻咽喉系自覚症状について有意に改善されることが示された。

今回の調査は、過去の報告でおこなわれた調査方法を改善し、バックグラウンド濃度が等しく、燃焼装置が同型である同一地域にて対照群を設定したことにより、BB使用と原炭使用による健康影響について、過去の報告よりも信頼できる結果を得ることができた。

これらの健康影響調査の結果により、BBのSO₂の抑制効果が、鼻咽喉系の症状の改善に大きく寄与していると考えられた。しかし、PPAHやベンゼン等のVOC濃度はBBを使用しても変化は見られないため、BB使用が、原炭使用によるすべての健康リスクに対し改善するものではないことが示唆された。

また、エアロゾル簡易サンプラーは成分分析のためには、さらにろ紙の軽量化が必要であるが、十分実用性のあるものが開発できた。

バイオブリケットの効果としては、天然ガス、電気の使用が中国の家庭でも進んでいるが、まだまだ、石炭を当分使用する必要がある。そのためには、バイオブリケットの実用化は極めて重要である。また環境保全意識に関して中国の学生は他の国の学生とほとんど同様の認識を持っているが、異なったところも見られた。中国は古くから「少欲知足」を重んじる国と聞いている。その思想を実行に移すべきであろう。「もったいない」の心を忘れてはならない。

これらのことから、エネルギー構成を石炭主体から換えることが困難な中国では、現段階での最善策として、代替品としてBBを使用することによって、住民のSO₂による呼吸器系への健康被害を防ぐことが重要であるが、今後は、BBのガス化の研究など、BBをさらにクリーンにする技術の早期実現が期待される。

6. 引用文献

- 1) 坂本和彦：中国の大気汚染と酸性雨、*MACRO REVIEW*、5、49~56（1992）
- 2) 溝口次夫：中国環境ハンドブック、サイエンスフォーラム、pp.88~93（1997）
- 3) 内山巖雄・溝口次夫他：東アジアにおける酸性雨原因物質排出制御手法の開発と環境への影響評価に関する研究—酸性雨原因物質排出制御の実用化と健康影響・評価に関する研究、地球環境研究総合推進費平成11年度研究成果報告集、（1999）
- 4) Yamada K. *et al.* : Proc. Of the 8th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry, 36, 127-128（2003）

7. 国際共同研究等の状況

重慶市では、重慶医科大学環境衛生学部の周燕栄教授を中心としたプロジェクトチームをカウンターパートにしているが、重慶医科大学では、このプロジェクトを大学の重要プロジェクトとして位置づけている。また、2002年3月に調査打ち合わせに訪問した際には、主任研究者の内山が重慶医科大学で特別講義を依頼され、わが国の環境問題のトピックスを講義した。さらに、2004年2月に調査打ち合わせに訪問した際に、重慶医科大学より、客員教授の称号を与えられ、今後国際共同研究を続けていきことが確認された。

また、鞍山市では、鞍山市環境衛生局が全面的に協力を約束し、同防疫センターが中心となって当方と打ち合わせを行い、現地の調査の準備、健康診断の実施を行い、埼玉大学、京都大学のスタッフが環境調査を分担して行った。特に防疫センターではこれまで、大気汚染の状況は把握しているが、健康との影響をどのように分析していくかのノウハウを持っておらず、我々との共同研究の成果を大いに期待している。このため、研究成果を中国語に翻訳し、現地での結果説明を行うなど、国際共同研究の実をあげている。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- ① 溝口次夫、皆川直人、王青躍、内山巖雄、坂本和彦、畠山史郎、乙間末広、伊藤正志：環境衛生工学研究、15, 3, 7-11 (2001)
「エアロゾルパッシブサンプラーの開発と実用化に関する研究」
- ② 溝口次夫：佛教大学社会学部論集第 34 号, p.77-86, (2001)
「人間活動における環境のプライオリティ」
- ③ 溝口次夫：佛教大学総合研究所紀要第 9 号, p.1-16, (2002)
「持続的社会構築のための環境意識とその行動に関する研究」
- ④ 溝口次夫、岡本りり子、カメロンマクロード他：環境衛生工学研究、16(.3), 155-160 (2002)
「持続的社会構築のための環境意識とその行動に関する研究」
- ⑤ 平野元康、内山巖雄、王青躍、坂本和彦、溝口次夫、周燕榮：環境衛生工学研究、17(3), 287-291 (2004)
「中国南川市における石炭のバイオブリケット化による健康影響に関する研究」
- ⑥ 溝口次夫：佛教大学総合研究所紀要、p.3-22, (2003)
「持続可能な社会のための形而上学的研究」
- ⑦ 溝口次夫：環境衛生工学研究、17(3), 185-190 (2003)
「持続的社会のためのライフスタイル」
- ⑧ 溝口次夫：佛教大学社会学部論集、第 37 号, 63-73 (2003)
「環境保全を考えるライフスタイル」
- ⑨ 溝口次夫：佛教大学社会学部論集、第 40 号, 107-121 (2005)
「宗教が環境保全に果たす役割」

<その他誌上発表(査読なし)>

- ① 溝口次夫：計測と制御、40(4), 260-267 (2001)
- ② 溝口次夫：やさしい環境講座、環境新聞社 (2004 年 12 月)
- ③ 溝口次夫：身近な環境問題、京都紫竹ロータリークラブ (2003)

(2) 口頭発表 (学会)

- ① 平野元康、番場洋子、内山巖雄、酒井亮二：第 43 回大気環境学会 (2002)
「微小粒子状物質の曝露による健康への急性影響評価手法の開発(1)」
- ② 番場洋子、平野元康、内山巖雄、酒井亮二：第 43 回大気環境学会 (2002)
「微小粒子状物質の曝露による健康への急性影響評価手法の開発(2)」
- ③ I. Uchiyama, Q. Wang, K. Sakamoto, T. Mizoguchi, S. Hatakeyama, Zeng Q. and Zhou Y.
国際ワークショップ：東アジアの環境問題 (2002)
“A study on effects of using bio-briquettes on health in Chongqing in China”

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催

①国際ワークショップ、東アジアの環境問題、(2002 年 8 月 9-10 日、仏教大学、参加者 100 名)

(マスコミ等への公表・報道等)

なし

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

中国では、バイオブリケット普及の 1 つの動機付けとして、各市の行政機関が注目しており、鞍山市に円借款による新たな大規模なバイオブリケット工場の建設計画が進められている。またわが国の中国環境協力都市選定の際には、重慶市における本プロジェクトの成果が認識され、重慶市は環境協力都市に指定された。