

アジア各国の生活時間情報を用いた室内空気汚染暴露評価—PM2.5について—

島田 洋子¹・柳 千絵²・松岡 譲³

¹正会員 摂南大学准教授 理工学部住環境デザイン学科(〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8)
E-mail:shimada@led.setsunan.ac.jp

²京都大学大学院修士課程 工学研究科都市環境工学専攻(〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

³正会員 京都大学大学院教授 工学研究科都市環境工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

既存の生活時間調査データを整備して、社会を構成する個人の多様性を反映したコホートと家庭内のエネルギー消費や環境負荷排出構造を反映した生活行動分類によってクロス集計された生活時間データを作成する統計的手法を提案し、その手法を、アジア地域における家庭内の燃料消費に起因する室内空気汚染物質による暴露評価へ適用した。居内空間を4つの微環境で構成されるとみなし、室内空気汚染物質のうち、特に健康影響が懸念されているPM2.5について、アジア11カ国（日本、中国、インド、韓国、タイ、モンゴル、ラオス、カンボジア、バングラデシュ、ブータン、パキスタン）のコホート別の暴露量を推定した結果、全体的に子どもと女性の暴露濃度が高く、中国の35～64歳の無職女性の暴露濃度がもっとも高く1752 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。微環境別の内訳をみると発生源が調理の微環境の占める割合が大きいことがわかった。

Key Words : indoor air pollution, PM2.5, exposure model, time use survey, Cross Entoropy Method

1. 序論

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第四次評価報告書¹⁾において、個人のライフスタイルおよび行動や消費パターンの変化が全ての部門を横断して気候変動の短中期(2030年まで)の緩和に効果があると指摘されているように、近年、地球規模あるいは地域の環境問題を解決するために家庭部門が担う役割の重要性が注目されている。家庭での資源とエネルギーの消費に起因する環境負荷の排出を削減するためには、個人のライフスタイルや人々の行動が環境負荷の排出にどのようにかわるのかを詳細かつ定量的に把握することがまず必要となる。本研究では、ライフスタイルの重要な決定要因の一つとして家庭での生活時間の使い方に注目し、個人の多様性を反映したコホート別の生活時間と家庭内のエネルギー消費を結びつけた解析を行う手法の開発を目指している。

家庭での生活行動別に費やされる時間の情報は、各国の政府機関によって実施されている生活時間調査(Time Use Survey)の報告から得ることができる。しかし、各国の生活時間調査は主として労働（有償労働と無償労働）、ジェンダー（女性の労働問題）、生活水準などの分析を

目的としているため、調査データの生活行動の分類やコホート分類が、コホート別の詳細な家庭内のエネルギー消費や環境負荷排出構造を考える上では不十分である。本研究は、このような状況を踏まえ、既存の生活時間調査データを整備し、社会を構成する個人の多様性を反映したコホートと家庭内のエネルギー消費や環境負荷排出構造を反映した生活行動分類によってクロス集計された生活時間データを作成する統計的手法を提案することを目的とする。さらに、その手法をアジア地域の家庭内におけるエネルギー消費に起因する室内空気汚染物質の1つである微小粒子状物質（PM2.5）による暴露量の計算へ適用した結果について検討する。

2. アジア地域の室内環境中PM2.5暴露評価モデル

アジア諸国をはじめとする発展途上国においては、家庭内で使用されるエネルギー源の大部分は石炭やバイオマス（薪、作物残差、動物の糞）などの固形燃料である。これらの燃料を住居内において調理や暖房のために燃焼することにより発生する粒子状物質（PM）、CO、NO_x、

SO_xが人々の健康に悪影響を及ぼす。特に、空気力学径が2.5μm以下の微小粒子状物質（PM2.5）は肺に奥深くまで入り呼吸器系疾患や循環器系疾患などを引き起こすことから、WHOは2005年に、大気汚染ガイドラインを改定しPM2.5の指針値を年平均10 μg/m³、日平均25 μg/m³と設定した²⁾。本研究はこのPM2.5に注目し、アジア各国の家庭内のエネルギー消費によって排出されるPM2.5による健康リスクに関する暴露評価を行う。

Duan³⁾は、人が一時的に滞在する空間で、その中で汚染物質濃度が一樣である空間を“微環境 (Microenvironment)”と定義した。さらに、住居内空間を有限個の微環境で構成されているとみなし、各微環境における汚染物質濃度と人が各微環境内に滞在する時間を使用し、次式に示す室内空気汚染物質による暴露量を評価するアプローチを提案した。

$$\bar{E}_a = \sum_m C_m \cdot T_m^a \tag{1}$$

ここで、
 $\bar{E}_a$: コホート a の室内空気汚染物質の一日平均暴露濃度(μg/m³)
 C_m : 微環境 m 中の汚染物質濃度(μg/m³)
 T_m^a : コホート a の微環境 m における滞在時間率(-)

$$\left(\sum_m T_m^a = 1\right)$$

式(1)における T_m^a の設定において、一日の詳細な行動分類による時間データをアンケート調査を実施することによって室内滞在時間の情報を得ようとする研究例^{4b)}は多い。しかし、このような研究アプローチでは、アジア各国を対象に評価を行い国際比較を行う場合には困難である。よって、本研究では、既存の生活時間調査の情報から、次章で説明する統計的手法を用いて、各微環境における滞在時間をコホート別に設定する。本研究では、表-1 に示すコホートを設定して用いた。コホート別に各微環境中での燃料消費によって発生する室内空気汚染物質による個人の暴露量をアジア各国について推定する。その際、居内空間が表-2 に示す 4 つの微環境で構成されるとして各微環境の用途や滞在時間を定義する。本研究では、アジア地域各国における入浴の実態に関する情報を入手できなかったため、微環境 B での滞在時間には入浴で使用する湯沸しの時間は考慮せず調理時に限定している。

室内の空気汚染では、各微環境中における燃料消費により発生する室内空気汚染物質のみによって空間が満たされると仮定し、定常状態を考えると各微環境中の一日平均室内空気汚染物質濃度は、式(2)によって算定できる。

$$C_m = \frac{S_m e_m}{(\nu + F_d) V_m} \tag{2}$$

ここで、

C_m : 微環境 m における室内空気汚染物質濃度(μg/m³)
 ν : 換気回数(1/hr)
 F_d : 除去率(1/hr)
 S_m : 微環境 m における一時間当たり燃料消費量(KJ/hr)
 e_m : 排出係数(μg/KJ)
 V_m : 微環境 m の体積(m³)

3. 生活時間情報の整備

本研究では、既存の生活時間調査情報を収集し、以下の手順で整備し、各微環境におけるコホート別の滞在時間を設定した。アジア 24 カ国の生活時間調査情報の収集結果を表-3 に示す。生活時間情報を整備するために必要な情報を収集できた国は、日本、中国、インド、韓国、タイ、モンゴル、ラオス、カンボジア、バングラデシュ、ブータンおよびパキスタンであるので、本研究ではこの 11 カ国を評価対象国とする。また、ほとんどの国で生活時間調査の対象者は 15 歳以上であるので、子どもの生活時間については別途推定することとし、後述する。

表-1 コホート分類

属性番号	性別	年齢	就業状態
1	男	0	-
2	男	1-4	-
3	男	5-14	-
4	男	15-24	有職
5	男	15-24	無職
6	男	25-34	有職
7	男	25-34	無職
8	男	35-64	有職
9	男	35-64	無職
10	男	65+	有職
11	男	65+	無職
12	女	0	-
13	女	1-4	-
14	女	5-14	-
15	女	15-24	有職
16	女	15-24	無職
17	女	25-34	有職
18	女	25-34	無職
19	女	35-64	有職
20	女	35-64	無職
21	女	65+	有職
22	女	65+	無職

表-2 住居内微環境

微環境	室内空気汚染物質の住宅内発生源	対応する滞在時間
A	調理	調理時間
B	給湯	調理時間
C	暖房	屋外気温が10℃以下のときの睡眠時間を除く住宅滞在時間
D	照明 (灯油・石油ランプ)	睡眠時間を除く住宅滞在時間。

(1) 生活時間調査の行動分類と微環境滞在時間の対応

各国の生活時間調査の行動分類はおおむね国連が提案している分類 International Classification of Activities for Time-Use Statistics (ICATUS) ²³⁾ に準じたものである。この分類による生活時間データを微環境滞在時間に対応させるために、睡眠時間 (is)、調理時間 (ic) 睡眠時間と調理時間を除く住居滞在時間 (ih)、住居以外の屋内滞在時間 (ie)、屋外滞在時間 (oo) の5つに設定した。分類に対応する表を作成した (表-4)。ICATUS の分類が複数の微環境滞在時間に対応する場合の処置として以下のようにした。「01 雇用者の労働時間」は各国の産業別従業者割合のデータ ²⁴⁾²⁵⁾ を用いて屋外での従事者割合 (農林水産業、建設業、鉱業等) と屋内での従事者割合を求めることにより分割を行った。「1512 食事時間」を住居滞在 (内食) と住居以外の屋内 (外食) へ分割するために各国の外食率のデータ ²⁶⁾³⁰⁾ を用い分割した。それ以外の行動分類については、均等に割り振った。

(2) コホート別微環境滞在時間データの作成

a) 大人のコホート別微環境滞在時間

各国の生活時間調査データは、表-3に示すように、本研究で設定しているコホートの一部の属性によるクロス集計表のデータのみが公表されている。各国の15歳以上の大人のコホート分類 (属性番号 a 、 $a=4\sim11$, $15\sim22$) の微環境滞在時間の種類 r の時間割合 $P_r(a)$ を設定を行いたい。全属性についてデータが存在し信頼性が高いのは日本の $P_r(a)$ の観測値 ⁹⁾ のみである。ただし、他の国については、集約された属性の時間種 r の時間割合の報告値が存在する。そこで、日本以外の評価対象国の $P_r(a)$ を、日本の $P_r(a)$ の報告値 ($Q_r(a)$ とする) と入手できている集約された属性の時間種 r の時間割合の報告値の情報を元に、Cross Entropy法 ³¹⁾ を用いて推計する。Cross Entropy法とは、情報の一部しかわからないデータについて、過去のデータや他の情報などを利用して詳細を推定する手法の1つである。求めようとしている推計値 $P_r(a)$ は、各評価対象国について表-5に示すような推計表を構成するものとする。ここで、

$$\sum_r P_r(a) = 1 \quad (3)$$

である。式(5)に示す目的関数 Φ を、以下の制約条件のもとで最小にする解を求める。

$$\Phi = \sum_a \sum_r \left[P_r(a) \ln \left(\frac{P_r(a)}{Q_r(a)} \right) \right] \quad (4)$$

制約条件

- ・ 式(3)
- ・ 評価対象国の報告値 (式(5))

$$\sum_{a \in A^i} P_r(a) = \tilde{P}_r^i \quad (5)$$

ここで、 i は報告値を特定する番号 (i の数は国によって異なる)、 A^i は報告値 i の属性の組合せである。

表-3 アジア地域の生活時間調査

地域	国	調査年	入手情報			
			クロス集計表	睡眠時間情報	調理時間情報	出典
日本	日本	2005	男女×年齢×就業	○	○	6)
中国	中国	2008	男女×地域 男女×年齢 男女×就業	○	○	7)
インド	インド	1998/1999	男女×地域	○	○	8)
台湾	台湾	2004	男女×年齢	○	-	9)
インドネシア	インドネシア	1998/1999	男女×地域	-	-	10)
マレーシア	マレーシア	2003	男女	-	-	11)
フィリピン	フィリピン	-	-	-	-	-
韓国	韓国	2000/2005	男女×地域	○	○	12), 13)
シンガポール	シンガポール	-	-	-	-	-
タイ	タイ	2001	男女×年齢 男女×地域	○	○	14)
ベトナム	ベトナム	-	-	-	-	-
北朝鮮	北朝鮮	-	-	-	-	-
その他東アジア	モンゴル	2000	男女×地域 男女×年齢	○	○	15), 16)
ラオス	ラオス	1997/1998	男女×年齢	○	○	17)
ミャンマー	ミャンマー	-	-	-	-	-
ブルネイ	ブルネイ	-	-	-	-	-
カンボジア	カンボジア	2003/2004	男女	○	○	18)
東ティモール	東ティモール	-	-	-	-	-
バングラデシュ	バングラデシュ	1975	男女×地域	○	○	19)
ブータン	ブータン	2006	男女×地域 男女×就業	○	○	20)
ネパール	ネパール	1998	男女×地域	-	○	21)
パキスタン	パキスタン	2007	男女×年齢×地域	○	○	22)
モルディブ	モルディブ	-	-	-	-	-
スリランカ	スリランカ	-	-	-	-	-

表-4 生活時間行動分類(ICATUS)と滞在時間

ICATUS分類	滞在時間
01 Work for corporations/quasi-corporations, non-profit institutions and government (formal sector work)	住宅以外の屋内 屋外
02 Work for household in primary production activities	屋外
03 Work for household in non-primary production activities	住宅以外の屋内
04 Work for household in construction activities	屋外
05 Work for household providing services for income	住宅以外の屋内
0611 Food management	調理時間
06112 Cleaning and upkeep of dwelling and surroundings	住宅滞在
06113 Do-it-yourself decoration, maintenance and small repairs	
06114 Care of textiles and footwear	
06115 Household management	
06116 Pet care	住宅滞在 屋外
0612 Shopping	住宅以外の屋内 屋外
0613 Working time in providing unpaid domestic services for own final use n.f.d.	
0620 Travel related to provision of unpaid domestic services	
0690 Unpaid domestic services n.e.c.	
07 Providing unpaid caregiving services to household members	住宅滞在 屋外
08 Providing community services and help to other households	住宅以外の屋内
09 Learning	住宅滞在 住宅以外の屋内
10 Socializing and community participation	住宅以外の屋内 屋外
11 Attending/visiting cultural, entertainment and sports events/venues	住宅以外の屋内 屋外
12 Hobbies, games and other pastime activities	住宅滞在
13 Indoor and outdoor sports participation and related courses	住宅以外の屋内 屋外
14 Mass media	住宅滞在
1511 Sleep and related activities	睡眠時間
1512 Eating and drinking	住宅滞在 住宅以外の屋内
1513 Personal hygiene and care	住宅滞在
1514 Receiving personal and health/medical care from others	住宅滞在 住宅以外の屋内
1515 Religious activities	住宅滞在
1516 Activities associated with resting, relaxing	住宅滞在
1520 Travel related to personal care and maintenance activities	住宅以外の屋内 屋外
1590 Personal care and maintenance activities n.e.c.	住宅滞在 住宅以外の屋内

b) 子どものコホート別微環境滞在時間

上述したように、各国の生活時間調査ではほとんど15歳以上を対象者としているので、子どものコホート（0歳、1～4歳、5～14歳の男女）別の微環境滞在時間データを作成するために、子どもの1日の生活行動を分類し微環境滞在時間と対応させた（表-6）。

子どもの睡眠時間は、国や性別による差異はほとんどないと考えられるので、幼児の生活のアンケート調査結果³²⁾から設定した。0歳児の1日の行動は、住居内で「睡眠」と「食事等の自宅内での行動」の2分類のみで男女とも同じであると仮定する。0歳児と1～4歳児の「台所滞在」の時間は、母親に背負われるなどして台所に滞在し、調理時の燃料燃焼による暴露を受ける時間と考えられるので、各国の母親世代として25～34歳女性の調理時間の全部を0歳児と1～4歳児の台所滞在時間、23を5～14歳児の台所滞在時間と仮定し設定した。労働時間は、0歳児と1～4歳児はゼロとし、5～14歳の子どものについては、日本と韓国は児童労働はゼロ、インド、タイ、モンゴル、カンボジア、バングラデシュ、ブータ

ンについてはILO, UNICEF, World Bankの合同プログラムUCW(Understanding Children's Work)による児童労働に関する労働時間（経済活動従事時間および家庭内労働従事時間）と産業部門別就業率のデータ³³⁾を基に設定した。UCWのデータがない中国、ラオス、パキスタンについては、ユニセフが定義している児童労働に従事しているとみなされる5～11歳の労働時間と12～14歳の労働時間の平均値（経済活動：1 hour/day, 家庭内労働：4 hour/day）³³⁾に、ILOの報告書³⁵⁾におけるアジア太平洋地域の5～14歳の2004年の児童労働率と業種別割合を乗じたものを設定した。それ以外の行動については残りの時間を均等に割り振った。学校滞在時間と学校以外の学習時間の設定には、各国の教育事情に関する情報³⁶⁾、ユニセフとUCWによる各国の就学率のデータ³³⁾³⁴⁾および東アジア5都市と日本における幼児の生活調査結果³²⁾³⁷⁾³⁸⁾を基に設定した。

4. 室内微環境中PM2.5暴露評価

3. で作成した評価対象国のコホート別微環境滞在時間データを使い、2. で示した室内空気汚染暴露評価モデルを用いて各国のコホート別の室内微環境中のPM2.5暴露量を求めた。

(1) パラメータの設定

式(2)を用いて各微環境中の一日平均室内PM2.5暴露濃度を計算するために必要なパラメータを設定する。燃料使用量は、室内での燃焼によりPM2.5が発生する燃料種はバイオマス、石炭、灯油、LPG、天然ガスであるので、これら5種類の燃料の各国の微環境別消費量を、金森ら³⁹⁾による用途（調理、給湯、暖房、冷房、その他）別のアジア各国の一人当たりの燃料消費量推計値（2005年）と各国の平均世帯人員数データ⁴⁰⁾を用いて設定した。図-1に、金森らによる各国の用途別バイオマス消費量推計値を示す。各国の各燃料種のPM2.5排出係数を表-7に示すように設定した。バイオマス燃料の種類毎の消費量は、各国の薪、木炭、作物残渣、動物の糞使用割

表5 推計表

大人の コホート 属性番号	微環境滞在時間分類 r				
	is	ic	ih	ie	oo
4					
.					
.					
.					
.					
.					
a			Pr(a)		
.					
.					
.					
.					
.					
22					

表-6 子どもの生活時間行動分類と滞在時間

子どもの生活時間行動分類		微環境滞在時間	コホート		
			0歳 男女	1～4歳 男女	5～14歳 男女
睡眠	睡眠	睡眠時間	○	○	○
	食事等の自宅内での行動	調理時間	○	○	○
学校滞在	台所滞在	睡眠時間と調理時間以外の自宅滞在時間	○	○	○
	学校滞在	住宅以外の屋内滞在時間		○	○
学校以外の学習	自宅	睡眠時間と調理時間以外の自宅滞在時間		○	○
	自宅外	住宅以外の屋内滞在時間		○	○
遊び	自宅内	睡眠時間と調理時間以外の自宅滞在時間		○	○
	自宅以外の屋内	住宅以外の屋内滞在時間		○	○
労働	屋外	屋外滞在時間		○	○
	経済活動：屋外	屋外滞在時間			○
	経済活動：自宅以外の屋内	住宅以外の屋内滞在時間			○
	家庭内労働	睡眠時間と調理時間以外の自宅滞在時間			○

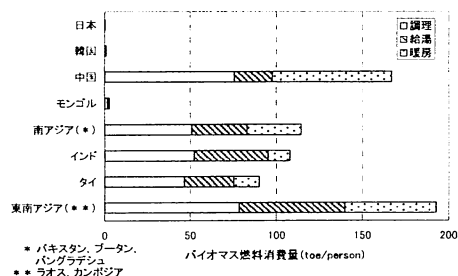


図-1 各国の用途別バイオマス燃料消費量推計値

合の調査データ^{47)~55)}を収集して計算した。部屋の体積は、各国の一戸当たり延べ床面積⁴⁹⁾を一戸当たり部屋数⁴⁰⁾で割り、部屋の高さを2 mであると仮定して算出した。換気回数は、調理と暖房による燃料燃焼が発生源の微環境A,B,Cでは20、照明が発生源の微環境Dでは15と仮定した。除去率は文献値⁵⁶⁾を参考に0.4/hrと設定した。

(2) 結果と考察

a) 全コホート平均暴露濃度

評価対象国の各微環境におけるPM2.5一日平均暴露濃度の全コホートの平均値の推定結果を表-8に示す。暴露濃度の平均値が最も高いのは中国で680 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。WHOのPM2.5のガイドライン以下となっているのは日本とモンゴルのみである。微環境別の内訳をみると、中国は発生源が暖房の微環境Cによる影響が強いが、発生源が調理用燃料の燃焼である微環境AとBの影響が大きいのは、ラオスとインドである。暴露濃度の低い日本、韓国、モンゴルを比較すると、韓国では微環境Cの暴露量が占める割合が大きい。調理のための燃料燃焼にかかわる微環境AとBは、日本と韓国はほぼ同じで、モンゴルが2国より大きい。

表-7 PM2.5排出係数

燃料種	排出係数 ($\mu\text{g}/\text{KJ}$)	出典
薪	180	42)
バイオマス 木炭	300	43)
作物残渣	274	42)
動物の糞	429	44)
石炭	524	45)
灯油 (調理・給湯)	119	41)
灯油 (暖房)	0	46)
灯油 (照明)	110	46)
LPG	2.37	41)
天然ガス	3.07	41)

表-8 各国の全コホート平均PM2.5暴露濃度推定結果

	PM2.5一日平均暴露濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	微環境A (調理)	微環境B (給湯)	微環境C (暖房)	微環境D (照明)	全体
日本	0.5	1.7	2.0	0.0	4.2
韓国	1.4	2.0	32.8	0.0	36.2
中国	157.9	46.3	477.5	1.6	683.3
モンゴル	6.2	1.2	7.6	0.2	15.2
パキスタン	139.0	87.8	138.2	1.0	366.0
ブータン	105.8	66.9	121.1	1.2	295.0
インド	167.4	136.5	9.2	5.9	319.1
バングラデシュ	119.9	75.7	0.0	0.6	196.3
タイ	52.5	32.1	0.3	0.0	84.9
カンボジア	89.7	70.0	0.0	0.4	160.0
ラオス	175.6	137.1	146.6	0.9	460.2

推定結果を既往文献による測定値および推定値と比較を行った。Dasguptaら⁵⁷⁾が2004年にバングラデシュでの住居内でPM10濃度を測定した結果、バイオ燃料使用世帯では242 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (調査世帯404世帯)、都市部のバイオマス以外の燃料使用世帯では133 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (46世帯)となり、全体の平均値は231 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。PM10とPM2.5の濃度比はPM2.5/PM10=0.5であるという報告²⁾から、この報告値をPM2.5に換算すると、約116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となる。本研究で推定した同国の全コホート平均値は196 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で(表-8参照)、Dasguptaらの値より大きい結果となっている。ただ、Dasguptaらによると、調査対象とする地域や世帯による偏差が大きく、特に貧困地帯では暴露濃度が2倍近くである報告もあるとしていることから、本研究における推計値はバングラデシュでの暴露の現状をおおむね示していると考えられる。また、Burkeら⁵⁸⁾は、アメリカのフィラデルフィアの住民を対象にした暴露評価において室内での喫煙による暴露を考慮しない場合の室内発生源によるPM2.5暴露濃度を6.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2001年)と推定している。アメリカは日本と同様に家庭での燃料燃焼による室内空気汚染の影響は少ないと考えられるが、本研究における日本の全コホートの平均値 (4.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) より大きい値となっている。この違いは、冬の暖房期間や暖房機器使用の違いが反映されている可能性があるが、本研究における推定がバイオ燃料を使用していない先進国の現状に対しても有効であることを示していると言える。

b) コホート別暴露濃度

各国のコホート別のPM2.5一日平均暴露濃度を比較すると、暴露濃度が高いのは35~64歳の無職女性 (中国、モンゴル、インド、タイ) または65歳以上の有職女性 (日本、韓国、パキスタン、ブータン、バングラデシュ、カンボジア、ラオス) である。最大値は中国の35~64歳の無職女性で1752 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。図-2に35~64歳の無職女性の国別PM2.5一日平均暴露濃度の推定結果を示す。排出源が調理による微環境AとBでの暴露濃度は、中国に次いでインドとラオスも高い。各国の0歳

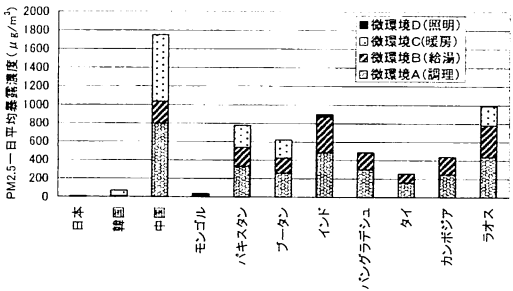


図-2 35~64歳無職女性のPM2.5暴露濃度推定結果

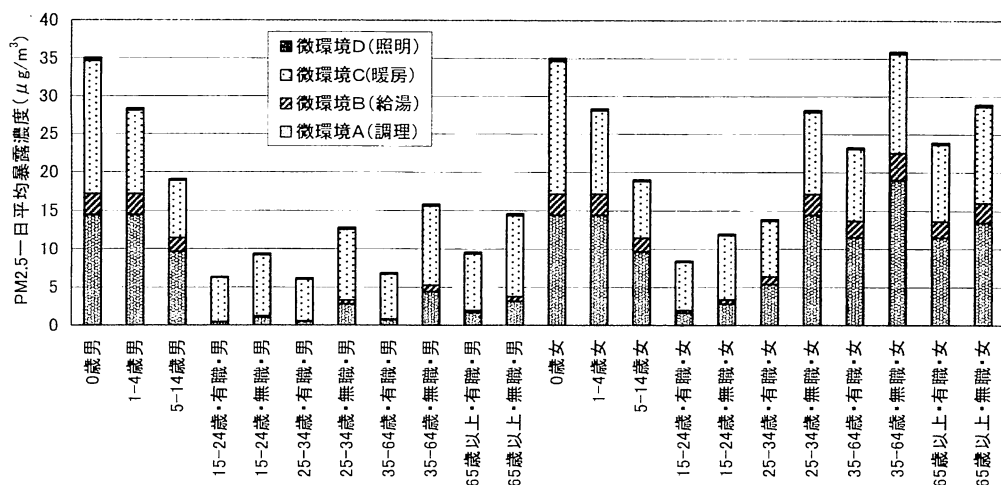


図-3 モンゴルにおけるコホート別PM2.5露濃度推定結果

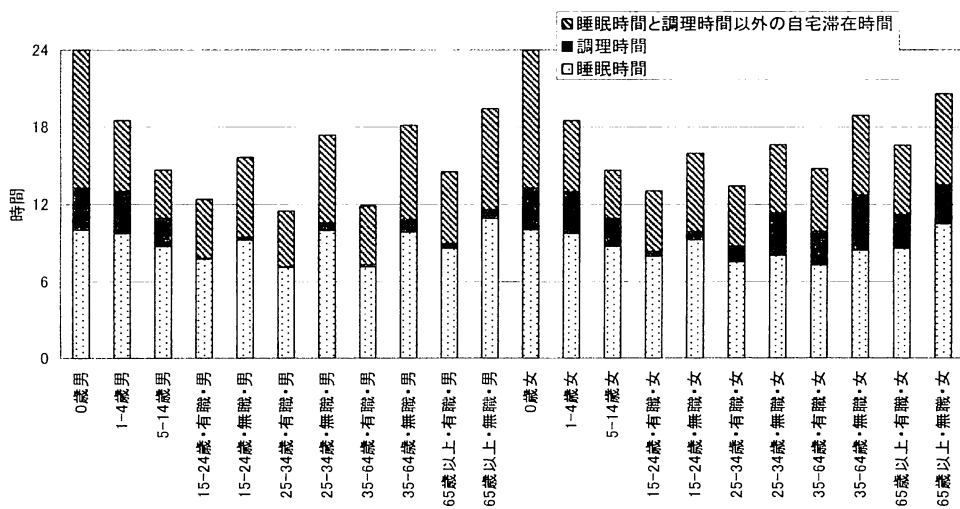


図-4 モンゴルにおける室内微環境別滞在時間推定結果

児, 1～4歳児の暴露濃度も高い推定結果となった。男性の暴露濃度は女性に比べて低いが、微環境における滞在時間、特に男性のコホート別の調理時間が国によって違うことから、暴露濃度にも国による相違があった。ここではモンゴルにおけるコホート別PM2.5一日平均暴露濃度の推定結果(図-3)を、コホート別の各室内微環境内滞在時間の推定結果(図-4)とともに示す。モンゴルでは、全コホートの平均暴露濃度はWHOのガイドライン以下であったが、コホート別の暴露濃度の推定結果をみると、0歳児, 1～4歳児, 25～34歳無職女性, 35～64歳無職女性, 65歳以上無職女性の暴露濃度がガイドラインを超えている。モンゴルでは15歳以上の大人のコホートで無職の人の調理時間、室内滞在時

間全体が有職の人より長く、暴露濃度の推定結果に反映されている。

5. まとめ

本研究では、既存の生活時間調査データを整備して、社会を構成する個人の多様性を反映したコホートと家庭内のエネルギー消費や環境負荷排出構造を反映した生活行動分類によってクロス集計された生活時間データを作成する統計的手法を提案し、その手法を用いてアジア地域における家庭内の燃料消費に起因する室内空気汚染物質による暴露量の試算を行った。個人の生

活行動の違いを時間の使い方に反映させ、室内空気汚染物質による暴露評価につなげることによって詳細な暴露影響評価が可能となった。今後は、今後のアジア地域の人々のライフスタイルや社会の変化、電化によるエネルギー消費構造の変化による将来予測が可能なツールへと展開させていく予定である。そのためには、アジア地域において、人々の生活は都市部と農村部による違いが大きいこと、国によって食事の方法や宗教的文化的な生活の相違大きいことから、生活時間の行動分類やコホート分類に反映できるようにする必要がある。また、今回入手できなかった国の生活時間調査データの収集も必要であるし、家庭で使用される燃料の種類や消費量の地域による違いや、今後の変化をみすえた暴露評価モデルの開発が重要である。

謝辞：本研究は科研費(21510052)の研究成果の一部である。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) IPCC: Climate change 2007: mitigation of climate change: contribution of working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Bert Metz et al. (eds), Cambridge University Press, 2007.
- 2) WHO: Air Quality Guidelines Global Update 2005, WHO Regional Office for Europe, 2006.
- 3) Duan, N.: MODELS FOR HUMAN EXPOSURE TO AIR POLLUTION, Environment International, 8, pp.305-309, 1982.
- 4) 塩津弥生, 吉澤晋, 池田耕一, 野崎淳夫: 生活時間調査による屋内滞在量と活動量 室内空気汚染物質に対する暴露量評価に関する基礎的研究 その1, 日本建築学会計画系論文集, 第511号, pp.45-52, 1998.
- 5) Gerharz, L. E. et al.: Applying indoor and outdoor modeling techniques to estimate individual exposure PM_{2.5} from personal GPS profiles and diaries: A pilot study, Science of the Total Environment, Vol.407, pp.5184-5193, 2009.
- 6) 総務省統計局: H18社会生活基本調査 調査票B集計表
- 7) 国家统计局社科司: 2008年時間利用調査資料集編, 中国統計出版社, 2009.
- 8) Rajiva, A. K.: POLICY IMPLICATIONS FOR GENDER EQUITY: The India Time Use Survey, 1998-1999, Proceedings of the International Seminar on Time Use Surveys, 7-10, Center for Development Alternatives, Ahmedabad, India, December 1999.
- 9) Directorate General of Budget, Accounting and Statistics (DGBAS), Taiwan (ROC) initiated "Social Development Trends Survey" Time Use Survey 2004.
http://win.dgbas.gov.tw/dgbas03/ca/eng_social/tables93.htm
- 10) Pilot Study on Time Use Survey, 1998/1999, BPS-Statistics Indonesia: the Centre for Time Use Research (CTUR)
<http://www.timeuse.org/information/studies/data/indonesia-1998-99.php>
- 11) Time Use Survey Malaysia 2003
- 12) 韓国放送(KBS): 2005年国民生活時間調査, 2006(ハングル).
- 13) Lee, Y.S. et al.: Time Use Patterns of Korean Farm Couples with a Focus on Gender Equity.
- 14) National Statistical Office Thailand: Time Use Survey 2001.
<http://www.nso.go.th>
- 15) NSO, UNDP: A PILOT TIME USE SURVEY, Ulaanbaatar 2000.
- 16) Jian, R., Bell, M.L.: A Comparison of Particulate Matter from Biomass-Burning Rural and Non-Biomass-Burning Urban Households in Northeastern China, Environmental Health Perspectives, 116(7), pp.907-914, 2008.
- 17) State Planning Committee, National Statistics Centre: THE HOUSEHOLDS OF LAO PDR Social and economic indicators Lao Expenditure and Consumption Survey 1997/98 (LECS 2), p.35, 1999.
- 18) 中山節子, 大竹美登利, 伊藤セツ: タイ・カンボジア・日本の行動者平均生活時間のジェンダー比較—新4大生活時間行動分類による考察—, 日本家政学会誌, Vol.56, No.12, pp.843-855, 2005.
- 19) Binswanger, H. P.(ed.): Rural household studies in Asia, pp.169-187, Singapore University Press, 1980.
- 20) Karma G.: Patterns of Time Use and Happiness in Bhutan: Is there a relationship between the two?, Visiting Research Fellow Monograph Series No.432, 日本貿易振興機構 アジア経済研究所, 2007.
- 21) National Planning Commission Secretariat, His Majesty's Government Nepal: NEPAL LBBOR FORCE SURVEY(NLFS), 1998.
- 22) Government of Pakistan Statistics Division: TIME USE SURVEY 2007.
- 23) United Nations: Guide to Producing Statistics on Time Use: Measuring Paid and Unpaid Work, 2005.
- 24) 総務省統計局: 平成17年国勢調査 (第2次基本統計)
- 25) 総務省統計研修所: 世界の統計2009, pp.108, pp.295-300, 総務省統計局, 2009
- 26) National Statistics Taiwan Statistics from Statistical Bureau
<http://eng.stat.gov.tw/>
- 27) 国際協力事業団企画部: 国別WID情報整備調査 モンゴル, 1998.
- 28) (財) 国際金融情報センター: ASEAN新規加盟4ヶ国の経済の現状と課題, pp.89, 2001.
- 29) 厚生省: 平成17年国民健康・栄養調査
- 30) Euromonitor international: Global market information database.
<http://www.euromonitor.com/>
- 31) Golan, A., Judge, G. and Miller, D.: Maximum entropy econometrics—Robust estimation with limited data, Series in financial economics and quantitative analysis, WILEY, 1996.
- 32) ベネッセ: 第3回幼児の生活アンケート調査, 2005.
http://benesse.jp/berd/center/open/report/youjiseikatsu_enq2005/index.shtml
- 33) UCF (Understanding Children's Work): Child labor survey database.
<http://www.ucw-project.org/cgi-bin/ucw/Search/Main.sql>
- 34) UNICEF: ユニセフ世界子ども白書2009.
http://www.unicef.org/publications/files/UNICEF_Annual_Report_2009_EN_061510.pdf
- 35) Hagemann, F., Diallo, Y., Etienne, A., Mehran, F.: Global child labour trends 2000 to 2004, ILO, 2006.
- 36) 外務省「諸外国の学校教育」
http://www.mofa.go.jp/mofaj/toko/world_school/index.html
- 37) ベネッセ: 第1回こども生活実態基本調査, 2004.
http://benesse.jp/berd/center/open/report/kodomoseikatsu_data/2005/index.shtml
- 38) ベネッセ教育研究開発センター: 幼児の生活アンケート東アジア5都市調査, 2006
http://benesse.jp/berd/center/open/report/youjiseikatsu_enq_eastasia2006/index.html
- 39) 金森有子, 松岡謙: エネルギーサービスの需給バランスを考慮した家庭部門のエネルギー消費量推計について, 地球環境研究論文集, Vol.18, pp.131-142, 2010.

We present a statistical approach to process detailed time use data from the existing survey data with other statistical information and applied this approach to analyze indoor PM_{2.5} exposure concentration in Asian countries. Processed detailed time use data is categorized by cohort classified by gender, age and employment status and by activities classified several categories corresponding to four microenvironments. The exposure to the indoor air pollution causes apparently health risks in developing countries where the most of the households use solid fuels (coal or biomass as wood, crop residues and animal dung). We estimated daily PM_{2.5} exposure levels for each cohort in eleven Asian countries. The result shows that daily PM_{2.5} exposures by cooking is very high in each country and the unemployed 35-64 years old women is highly effected by PM_{2.5} exposure, especially in China.

USING TIME USE DATA FOR ANALYSIS OF INDOOR AIR POLLUTION EXPOSURE IN ASIAN COUNTRIES - PM_{2.5} EXPOSURE CASE- Yoko SHIMADA, Chie YANAGI, Yuzuru MATSUOKA

- 40) Britannica: 2000 Britannica Book of the Year, 2000.
- 41) Zhang, J., K. R. Smith et al.: Greenhouse gases and other airborne pollutants from household stoves in China: a database for emission factors. Atmos. Environ., 34, pp.4537-4549, 2000.
- 42) Li, X., L. Duan et al.: Emission characteristics of particulate matter from rural household biofuel combustion in China. Energy Fuels, 21(2), pp.845-851, 2007.
- 43) Andreae, M. and P. Merlet: Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. Glob. Biogeo. Cyc., 15(4), pp.955-966, 2001.
- 44) Reddy, M. and C. Venkataratnam: Inventory of aerosol and sulphur dioxide emissions from India. Part III: biomass combustion. Atmos. Environ., 36(4), pp. 699-712, 2002.
- 45) Ge, S., X. Xu et al.: Emissions of air pollutants from household stoves: honeycomb coal versus coal cakes. Environ. Sci. Technol., 38(17), pp.4612-4618, 2004.
- 46) Fan, C. and J. Zhang: Characterization of emissions from portable household combustion devices: particle size distributions, emission rates and factors, and potential exposures. Atmos. Environ., 35(7), pp.1281-1290, 2001.
- 47) Barnes, D. F., K. Kuntz and W. F. Hyde: The Urban Household Energy Transition. Energy, poverty, and the environment in the developing world. World Bank, 2004.
- 48) ESMAP: Household Energy Use in Developing Countries. A Multi-country Study, Joint UNDP/World Bank ESMAP, 2003.
- 49) FAO: Review of Wood Energy data in RWEPDP Member Countries, 1997.
- 50) Kim, J.: Changes in consumption patterns and environmental degradation in Korea. Structural Change and Economic Dynamics, 13(1): p.1-48, 2002.
- 51) National statistics Bureau, Bhutan: Bhutan Living Standard Survey 2003, 2004.
- 52) National statistics Bureau, Bhutan: Bhutan Living Standards Survey 2007.
- 53) Pachauri, S.: An Energy Analysis of Household Consumption: Changing Patterns of Direct and Indirect Use in India. Springer, 2007.
- 54) World Bank Asia Sustainable and Alternative Energy Program: Mongolia Heating in Poor, Peri-urban Core Areas of Ulaanbaatar, 2009.
- 55) Xiaohua, W., D. Xiang and Z. Yuedong: Domestic energy consumption in rural China: A study on Shenyang County of Jiangsu Province. Biomass and Bioenergy, 22(4), pp.251-256, 2002.
- 56) Ozkaynak, H., J. Hue et al.: Personal exposure to airborne particles and metals: results from the Particle TEAAM study in Riverside, California. J. Exp. Anal. Env. Epidemiol., 6(1), pp.57-78, 1996.
- 57) Dasgupta, S., Huo, M., Khaliquezaman, M. et al.: Indoor air quality for poor families: new evidence from Bangladesh. Development Research Group Working Paper No. 3393, World Bank, 2004.
- 58) Burke, J. M., M. J. Zuilali and H. Ozkaynak: A population exposure model for particulate matter: case study results for PM_{2.5} in Philadelphia. P.A. Journal of exposure analysis and environmental epidemiology, 11(6), pp.470-489, 2001.