Original Paper

A Social Survey for Economic Valuation of Health Risk Reduction
in Shanghai

Noboru NOMURA

(Received May 21, 2010)

上海市における健康リスクの経済評価

野村 昇

In the procedure of the life cycle assessment complying with ISO 14000 series, impact assessment is required. For the integrated assessment of impacts, evaluation with economical values is frequently applied. Evaluating impacts of damages on human health, it is converted to economical value using method of environmental economics. One of the ways to determine the rates of conversion is to presume residents' willingness to pay to avoid the damages. These rates are estimated by analyzing data observed through social survey, but knowledge of the conversion rates in developing countries is not sufficient. We launched a social survey in Shanghai to analyze willingness to pay to decrease risks contracting asthma caused by air pollution. Five hundred subjects were sampled by multistage area sampling. Subjects were sampled from all of the districts of Shanghai. They were asked their willingness to purchase an air purifier to reduce risks to contact asthma with presented prices for the analysis of contingent valuation method, as well as their profiles. The answers were analyzed by fitting log-logistic distributions and factors that influence the willingness were examined.

Key Words

Contingent Valuation Method, Willingness to pay, Air pollution

1. はじめに

地球温暖化問題の重要性が増し、温室効果ガス排出量の削減が強く求められている。気候変動枠組み条約の京都議定書では、先進工業国へ温室効果ガス削減について合意がなされ、2008年からの5年間である第1約束期間もほぼ半分が経過した。京都議定書では国際的に協調をして約束を達成する仕組みである京都メカニズムも採択されている。その一つであるクリーン開発メカニズム (clean development mechanism; CDM) は、温室効果ガスの排出量の削減義務を負っていない発展途上国における排出量をベースラインと呼ばれる基準より削減するプロジェクトの実施を先進国が支援をし、削減された排出量をプロジェクト実施先進国の排出削減量にカウントするものである。CDMを実施する主目的は温室効果ガス削減であるが、最近は電力設備の向上による大気汚染物質排出量削減等の副次的便益 (cobenefit) を積極的に評価する機運が高まっている。副次的便益の評価には、供給価格に反映され

ていない環境負荷等の外部コストの評価が必要となる。

電力システムの外部コスト評価を目的としてEUにおいて行われたプロジェクトであるExternE¹⁾では、環境負荷を影響経路法 (Impact Pathway Approach; IPA) により分析している。この方法では、大気汚染による人間への健康被害の外部性を評価する場合は、発生量評価、拡散挙動解析、暴露応答解析、貨幣価値化の段階を踏んだ評価を行うことになる。発生量評価では、機能単位である発電電力量当たりの浮遊粒子状物質 (PM)、NO_x等の汚染物質排出量の評価が行われる。拡散挙動解析では、汚染物質の大気中への拡散や、NO_x、揮発性有機化合物 (VOC) により生成が促進されるオゾンの発生を推定し、各地点の有害物質濃度の上昇が推定される。暴露応答解析では、死亡率、罹患率の増大量が推定され、貨幣価値化ではこれの経済価値への換算が行われる。Hainoun et al.²⁾では、IPAによるシリアの電力システムの評価を行っている。また、ライフサイクルアセスメントにおいては、評価対象の比

較のためにインパクトを統合評価が有用であり、統合指標を貨幣価値で表すことも多い。日本版被害算定型影響評価手法³⁾ (Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling; LIME) でも IPA と同様な方法で“被害算定”を行い、貨幣価値換算された指標も提供されている。

これらの指標を構成する過程における貨幣価値換算において、人の健康被害については、死亡率、罹患率に関わるものの両方が評価されている^{1) 3)}。死亡率変化の貨幣価値換算では、人的資本法、ヘドニック法、表意選好法等が適用される。人的資本法は、健康被害による損失を評価するときに、健康についての被害により失われた所得に基づいて価値換算を行うものである。この方法では、死亡等のリスクを事象が発生したときに失われる所得を現在価値に割り戻す等の方法がとられている。これに対してヘドニック法では、財市場において汚染水準や健康リスクにより、地代、賃金等が変化することを分析することにより経済価値の推定を行おうというアプローチである。賃金についての分析は、環境負荷に限らず事故等のリスクを対象にしての分析も行われており、賃金リスク法を他のヘドニック法と分けて考える考え方もある⁴⁾。この方法は、市場で現に取引されているという意味で、現実の社会で評価されている経済的な価値を反映している一方で、環境負荷により価格が変動した部分を他の要因から分離することは容易ではなく、データ取得の面でも困難な点がある。

仮想評価法 (Contingent Valuation Method; CVM) に代表される表明選好法^{5) ~7)}では、多数の回答者に環境負荷の変化についてのシナリオを提示して選好を直接質問し、得られた回答を統計的に分析して支払意志額 (Willingness To Pay; WTP) に基づき経済価値の推定を行う方法であり、他の方法で推定が困難な評価対象についての適用が可能である。

一方、死亡に至らないまでも汚染起源の罹患について、Bickel and Friedrich¹⁾では、医療費等の“コスト”、労働損失等の“機会費用”、痛み等を含む“その他損失”の3種の評価対象を挙げて欧州における評価額についての情報をそれぞれ収集しており、入院1回2,000ユーロ、労働損失1日82ユーロ、服薬1日1ユーロ等の値が掲げられている。これらの貨幣価値換算においも、評価対象によってはCVMにより推定された値が用いられている。

発展途上国のなかでも経済発展の著しい国の都市の大気汚染は深刻な状況とされている。Pearce⁸⁾は、発展途上国におけるPM及び鉛への暴露の重大さを強調している。また例えば世界銀行による報告⁹⁾によると、中華人民共和国 (以下中国と記載) の上海市や北京市において浮遊粒子状物質 (SPM) の濃度は、WHOの基準である $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を大きく上回る上海で $246 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、北京で $377 \mu\text{g}/\text{m}^3$ とされている。従って、その評価は重要である。中国においても、大気汚染低減に対するWTPについての調査がいくつか行われている。Wang & Mullahy¹⁰⁾では、市当局が実施する大気汚染起因の死亡率減少プロジェクトに対してのWTPを重慶市で調査している。WTPの平均は14.3元、これより計算される確率的生命価値 (VSL; Value of Statistical Life) 推定値は34,458米ドルとされている。一方、

Hammit & Zhou¹¹⁾では都市規模の異なる3地点で、風邪、慢性気管支炎、死亡回避へのWTPを調査した。推定されたVSLは、地点、適用モデルにより差があるものの、15,000ドルから180,000ドルとされている。Wang, et al.¹²⁾では、北京市の大気汚染の改善について、汚染が50%減少することに対するWTPを調査し、WTPに影響を与える因子を分析している。Wang & Zhang¹³⁾でも、山東省済南市において大気汚染を改善することに対するWTPを調査し、先行研究^{10) ~12)}を含む調査について比較を行い、WTPと所得との比率、0.4%から4.1%であること、疾患に関係する対象についてWTPが高めであることが指摘されている。

しかしながら、先進国に比べて中国をはじめとする発展途上国においては、健康被害の貨幣価値についての十分な蓄積が行われている状態には達していない一方で、最近の著しい経済発展の状況から所得等の条件が変化してきており、継続的な分析が重要と考えられる。また、大気汚染の評価には、IPAを背景とした方法、環境改善プロジェクトを直接評価対象とする方法を評価する場合¹⁰⁾等、アプローチが複数有り、対象とされるエンドポイントも多様である。さらに、WTPに影響を及ぼす要因の分析も完全には解明されていない。本報では、以上のことを鑑みて、CDMの総合評価を念頭に中国上海市における大気汚染による健康被害に対するWTPについてのCVMによる評価を中心とした環境意識についての調査について報告する。

2. 調査対象と方法

2.1 調査対象世帯の抽出

調査は、上海市内における一般世帯の20歳から59歳までの居住者を対象として2008年9月から10月にかけて訪問面接法により実施した。対象世帯の抽出では、無作為抽出により上海市市内の居民委員会を選び、各居民委員会のなかから開始世帯を決定し、住居を順に直接訪問して回答を依頼する方法を用いている。調査のばらつきを抑えるため、一箇所からの抽出世帯数は10軒以内とした。調査に協力する世帯が得られたとき、質問の本体部分に入る前に世帯の構成員について質問を行い、調査対象年齢の構成員から無作為に1人を選び回答を依頼した。なお、報道機関、広告、調査会社関係者、過去半年以内に類似の調査を受けたひと、引っ越してから半年以内のひとは調査対象者から除外した。サンプル数は500件で、サンプリングにより上海市を構成する19の区全てから回答者を得ている。調査に先立ち、2008年1月に予備調査を実施して調査票の妥当性について検討を行い、修正をした調査票を本調査で用いている。

2.2 調査票の構成

調査では、大気汚染による引き起こされる健康リスクのうち、死亡率を変化させない喘息罹患に対するリスク低減と死亡率低下の両者に対する支払意志をCVMにより分析することを主目的とした。これは、LIMEにおいて大気汚染による健康被害についての係数が、この2種類について提供されている

ことを考慮したものである。本報では、このうち喘息罹患に対するリスク軽減についての分析について報告する。質問票では、CVMによる分析を行うための設問を中心に配置して、その前に環境問題及び大気汚染に関連する設問を配した。これは、分析を行うための回答を得る他に、CVMの設問の前提を回答者に思い起こさせることを目的としている。CVMの設問の後ろでは、世帯年収、職業等の回答者の属性と環境意識に関連した設問を質問した。

CVMの設問に入る直前の質問では、「あなたは喘息等の風邪等を除く呼吸器系の病気に罹っていますか。」と質問し回答を得た後、「あなたが住んでいる地域、働いている地域の環境についてどう思いますか？」と質問を行い、大気汚染に対する認識の選択肢を示し、健康被害について回答者が話題に注目するように配慮した。その後、CVMの設問を配置した。質問では、発電所等で発生する細かい塵で健康が害されることがあることを説明し、今後10年間に喘息にかかる確率が10%であると仮定を行った。そして、自宅の寝室に空気清浄機を設置して健康への影響を減らせる選択肢を示した。また、喘息の症状で咳が出始めたとき、薬で症状を止めることが可能であり、他への影響はなく、その薬は政府から無料で支給されたとした。

大気汚染に起因する被害が評価対象であるため、被害として大気汚染に起因して喘息になることとし、支払対象として空気清浄機を取り上げた。質問は、大気汚染により今後10年間に喘息になる確率が何もしない場合10%であると仮定を行い、これが空気清浄機を設置すると罹患率が8%ないし6%に減少するときのWTPを尋ねた。これらの確率は、ある程度現実味を感じる程度に大きめの値に設定した。

喘息に罹患すると、仕事、日常生活上の支障や通院のための時間的損失等の影響があると考えられ、発作の強弱も多様と考えられるため、ここでは対象の範囲を限定するために発作は薬で抑えられ、薬は無料で支給されると想定した。死亡率の変化については、明示すること自体が回答に影響を与える恐れがあるため、他の影響はないと表現に死亡率が不変であることが含まれると考えた。

大気汚染による被害を評価するに当たり、汚染自体を低減させる費用を負担するか否かを直接質問する方法も考えられる。例えば、地方政府が大気汚染を減少させるプロジェクトを実施し、その費用のために回答者を含む住民が負担するという質問方法もあり、先行研究^{10) 12) 13)}でもこの方法が用いられている。しかしながら、大気汚染の緩和という便益は公共財的性質を持ち、支払の有無により特定の集団だけが良い大気環境を享受するという排除性は想定できない。この様な場合に、自由意志での支払の有無を回答するCVMを直接的に用いるとフリーライダー的回答を誘発する可能性があり得るため、ここでは大気汚染物質の濃度の低減に対して支払意志の有無を直接質問するのではなく、被害を低減させる機器を購入する購入意志を尋ねる方法をとった。被害を低減させる機器による健康状態の改善を購入しないひとは享受できず、ただ乗りを前提とした回答によるバイアスが低減することが

期待される。購入意志を尋ねる対象として代替物への支出を質問することは、松岡ら¹⁴⁾でも「大気汚染から健康を守る様々な手段(マスク、飲み薬、うがい薬など)」への支払意志の有無を質問する方法で行われている。空気清浄機という特定の機器についての支払意志を質問することは、健康被害を低減する手段を一般的に質問する方法に比べ、回答者がより状況を想定しやすくなるという利点がある。一方で、特定の機器を例示することにより、機器に対する選好が回答に影響する危険性も発生する。空気清浄機を評価対象とするため、室内環境を快適にすることに対する選好による支払意志が働く可能性があるものの、質問の直前で呼吸器疾患と大気汚染に関連した質問を行っており、質問の流れからも機器を示した理由が大気汚染による被害の削減から明らかにしており、今回の支払意志の有無は健康に対する被害の減少によるものが大部分だと判断して分析を進めた。また、CVMの質問においては、回答者が質問の趣旨を理解した上で回答を行っていることが重要となる。今回の調査においては、調査員が回答者に面接形式で一問一答に質問を行っており、回答者による質問の意味の理解度は高いと推定される。

支払対象とした機器である空気清浄機の保有の有無については、他の機器も含めてCVMに関わる設問より後ろで尋ねたところ、保有世帯は調査対象となった世帯には存在しなかった。

2.3 支払意志額の質問方法

CVMによりWTPを尋ねる質問では、支払意志のある上限金額を直接質問する方法の他に、金額を提示してこれに対して支払の意志の有無を尋ねる二肢選択法が多用される。また、二肢選択法では一回の質問によりWTPが提示金額以上か、それ未満かという情報しか得られないため、情報量を増やすために1回目の回答を得てから金額を変更して再度支払意思を尋ねる二段階二肢選択法も多用される。二回目に提示する金額は、一回目に支払意志があると答えた回答者に対しては増大させ、支払意志無しと答えた回答者に対しては減少させることになる。今回の調査では調査項目が罹患率、死亡率というパラメータを持ち得るものであり、限られた回答者と質問数から少しでも多くの情報を得る試みとして選択肢を3つとして質問を行った。また、二段階二肢選択法に倣い質問は2回行い、2回目の質問では1回目の回答に基づき提示する金額を変更する方法を用いた。

質問を行うときに3つの選択肢を用いる方法は、Loomis et al.¹⁵⁾でも提案されている。Loomis et al.¹⁵⁾では、CVMによるデータにより推定されるWTPが高めになるバイアスを回避するための方法として三肢選択を提案している。そこでは、提示額よりWTPが小さい回答者が金額によっては支払意志があることを示すために二肢選択において支払うと回答する場合があり、これがバイアスの発生原因としている。これを避けるため、提示額を示したときに提示額以上に支払うという選択肢の他に、提示額より低い支払をする、支払をしないという合計3つの選択肢を準備することを提案している。一方、本

研究では調査に対する回答については信頼をし、回答から得られる情報量を増すことに着目して選択肢を構成した。喘息になる確率を6%, 8%にするために空気清浄機に要する費用を提示し、高い提示額 VH の支出を行い、罹患率が6%に低下すること（選択肢 CH）、低い提示額 VL の支出を行い罹患率が8%になること（同 CL）及び空気清浄機を購入せずに罹患率10%のまま（同 CZ）という3種の選択肢からの一番好ましいものを選択する形式とした。罹患率が6%となること（事象 AH）は、8%となること（同 AL）よりも好ましいことであり、これに対する WTP は AL に対するそれより小さくはない。

回答者が選択肢 CZ を選択した場合、事象 AH に対する WTP は VH より小さく、事象 AL に対しても WTP は VL より小さい。Fig. 1 にこの様子を示す。図中では、事象 AL に対する WTP の存在範囲を点線、事象 AH に対する WTP の存在範囲を実線で示した。回答者が CH を選択することは、事象 AH に対する WTP が VH 以上であることになる。このとき、事象 AL に対する WTP の存在範囲は一般には決まらない。回答者が選択肢 CL を選択した場合、直接的には小さい方の罹患率減少が起こる事象 AL に対して低い提示金額 VL 以上の WTP があることになる。一方、より低い罹患率となる事象 AH に対しては事象 AL より小さくない効用があるはずであるため、これに対する WTP も VL 以上となる。

Table 1 に提示した金額を人民元単位で示す。一回目の質問での提示額を VL1, VH1 と記した。提示金額は、最初に A1, B1, C1 の3種を用いて調査を開始し、調査途中で集計を行い回答分布を検討して提示額の修正を行った。修正は2回行い計

Fig. 1 Possible WTP value with each choice for trichotomous selection

9種類の質問票を用いた。回答者には、その時点で用いられている3種の調査票の内1つが割り当てられることになる。1回目の提示額に対する回答にもとづき、2回目の提示金額を回答者毎に分岐して提示した。1回目の設問で、選択肢 CH を選択した場合、事象 AH に対する WTP は、1回目の提示額 VH より高い。また、高い提示額を受容しているため、事象 AL への WTP も高いことが期待される。このため、VH, VL 共に1回目より高い金額 VH2h, VL2h を2回目の質問で提示した。1回目の設問に対して CZ を選択した場合、各罹患率に対する WTP は VL1, VH1 より低いため、VL, VH 共に1回目より低い金額 VL2z, VH2z を提示した。1回目に選択肢 CL を選択した場合、事象 AL に対する WTP は VL1 より大きい。このため、2回目の事象 AL に対応する提示額 VL2l は VL1 より大きくした。事象 AH に対する WTP の VH1 との大小関係はこの回答だけでは決まらないものの、AH に対する2回目の提示額 VH2l は、VL2l より大きくする必要がある。1回目の質問では VH1 は VL1 の3倍の金額を提示しており、また罹患率減少率が数値の上では事象 AH では AL の2倍になることを考慮して VH2l は VL2l の2倍となるように設定した。

3. 調査結果の分析

3.1 前提となる質問への回答結果

調査では、環境問題に対する認識についての質問を最初に行い、次に健康に関わる質問を行った後、CVMに関する設問に移る様にした。環境問題に関する設問では、地球温暖化問題についての知識とどの程度協力する意志があるかを尋ねた。「二酸化炭素等の温室効果ガスにより、地球温暖化問題が起こる可能性があることを聞いたことがありますか」と尋ねたところ、80%の回答者が聞いたことがあるとしていた。一方、2008年から2012年までの先進国の温室効果ガス排出量制限についての1997年に締結された京都議定書についての知識について、「削減対象の気体の種類を3種類以上知っている」、「その様な話があることは知っていた」、「初めて聞いた」の選択肢から選ぶ設問では、51%の回答者が初めて聞いたとしており、規制対象の気体を3種類以上知っているとしたのは5%であり、中国が排出量削減義務を持たないことも背景にあるのか、地球温暖化についての知識に比べ知られていなかった。地球温暖化問題の存在をマスコミ経由で知ったのは、4~5割であり、口コミは3割、学校で習ったのは5%以下であっ

Table 1 Bid value for the survey in RMB

		A1	B1	C1	A2	B2	C2	A3	B3	C3
First Bid	VL1	1,000	4,000	16,000	1,000	4,000	2,000	1,000	4,000	2,000
	VH1	3,000	12,000	48,000	3,000	12,000	6,000	3,000	12,000	6,000
Follow-up Bid	VL2l	2,000	8,000	32,000	2,000	8,000	4,000	2,000	8,000	4,000
	VH2l	4,000	16,000	64,000	4,000	16,000	8,000	4,000	16,000	8,000
	VL2h	2,000	8,000	32,000	2,000	8,000	4,000	2,000	8,000	4,000
	VH2h	6,000	24,000	96,000	6,000	24,000	12,000	6,000	24,000	12,000
	VL2z	500	2,000	8,000	500	2,000	1,000	250	1,000	500
	VH2z	1,500	6,000	24,000	1,500	6,000	3,000	1,500	6,000	3,000

Fig. 2 Support intensity for COP3

た。学校で習ったという回答の比率が低いのは、温暖化問題が最近20年弱に注目を浴びている問題であることも理由であると推測される。

次に、地球温暖化の緩和にどの程度協力できるかを質問した。協力の度合いと“経済的負担”“省エネルギー”のどちらを嗜好するかを分析するために、選択肢は「生活様式の変更、金銭的負担を含め、温暖化防止に積極的に協力したい。」「ある程度の生活上の不便、金銭的負担は享受できる。」「生活は変えたくないが、金銭的な負担はできる。」「金銭的な負担したくないが、省エネ等は可能である。」「中国には関係ない。」「自分には関係はない。」を準備した。回答分布をFig. 2に示す。協力を一切しないという5-6番目の選択肢を選んだ回答者は少なく、54%の回答者が「省エネ等は可能」を選んでいた。この傾向は、日本国内における同様な設問に対する

傾向¹⁶⁾と似ている。一方、同調査では省エネルギーより金銭的負担を好む回答は10%未満であったが、今回の調査では18%の回答者が金銭的負担を選択していた。また、全体的に日本より強い協力意志がある回答をする傾向が見られた。

3.2 支払意思額についての分析

喘息罹患を回避することについての経済価値評価を行うために、回答者の経済価値評価額にモデルを当てはめ金額及びこれに影響を与える要因を検討する。健康の経済価値換算を行うに当たって、ここではVSLの計算と同様の考え方をを用いる。死亡率 r の変化 Δr に対するWTPが v のときにVSLは、 $v/\Delta r$ として評価される。この考え方を適用すると、罹患率が10%から4%減少して6%となること（事象AH）に対するWTPがVHで与えられたとき罹患回避の経済価値はVH/0.04となり、罹患率が2%減少して8%になるWTPがVLで与えられたときの価値は、同様にVL/0.02となる。質問では、三肢選択を用いており、空気清浄機を購入することにより、10%であった喘息罹患率が8%あるいは6%になるものを購入するかを質問している。回答者が選んだ選択肢により、VLないしVHの存在範囲がFig. 1に示されたように決まる。これから、選ばれた回答に対応する罹患回避の経済価値の存在範囲がVH/0.02, VH/0.04により定められる。選ばれた選択肢により、VH, VLのいずれかによる範囲が定まる場合と、両方による範囲が定まる場合がある。両方の範囲が定まる場合は、いずれの範囲にも含まれる領域を経済評価額の存在範囲とした。データから得られた評価金額の存在範囲に基づいて、評価金

Table 2 Estimated parameters for models

Model	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Median	59,776.7	56,831.6	53,976.2	44,390.2	52,556.6	56,159.1	55,197.9
Log likelihood	- 630.7	- 615.3	- 619.1	- 617.9	- 583.3	- 586.0	- 587.8
AIC	1,265.5	1,248.6	1,244.1	1,241.8	1,202.6	1,195.9	1,191.7
a	- 5.44 (- 11.8)	- 5.02 (- 8.6)	- 4.79 (- 9.8)	- 5.13 (- 10.8)	- 3.73 (- 5.0)	- 3.84 (- 6.0)	- 4.24 (- 7.4)
b	0.49 (12.2)	0.51 (12.2)	0.51 (12.2)	0.51 (12.2)	0.57 (12.3)	0.56 (12.3)	0.56 (12.3)
I2c		- 0.31 (- 0.7)			- 0.46 (- 1.0)		
I3c		0.00 (0.0)			- 0.09 (- 0.2)		
I4c		- 0.59 (- 1.5)			- 0.45 (- 1.1)		
I5c		- 0.72 (- 1.8)			- 0.57 (- 1.3)		
I6c		- 0.79 (- 1.9)			- 0.81 (- 1.8)		
I7c		- 1.75 (- 3.6)			- 1.72 (- 3.3)		
I8c		- 2.27 (- 3.0)			- 2.04 (- 2.5)		
IA1c							
IA2c			- 0.24 (- 4.7)			- 0.28 (- 4.0)	- 0.28 (- 4.0)
Ed2c				- 0.32 (- 5.0)	- 0.83 (- 2.6)	- 0.80 (- 2.5)	- 0.74 (- 2.4)
Ed3c					- 1.24 (- 3.6)	- 1.23 (- 3.6)	- 1.11 (- 3.4)
Lpc					- 0.87 (- 3.1)	- 0.88 (- 3.2)	- 0.87 (- 3.2)
Po2c					- 0.65 (- 2.5)	- 0.64 (- 2.5)	- 0.56 (- 2.7)
Po3c					- 1.71 (- 5.3)	- 1.69 (- 5.4)	- 1.58 (- 5.7)
Po4c					- 0.21 (- 0.5)	- 0.21 (- 0.6)	
Fmc					- 0.26 (- 1.4)	- 0.24 (- 1.4)	
Mrc					- 0.54 (- 1.4)	- 0.49 (- 1.3)	
Chc					0.39 (1.1)	0.31 (0.9)	

額が x より小さい確率が対数ロジスティック分布

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{a + \sum c_i x_i + b \log x}} \quad (1)$$

に従っていると仮定してパラメータ a , b , c_i を最尤法により推定した。ここで、パラメータ b は金額が増加するに従い支払う回答者の割合が減少する割合を表すパラメータ、パラメータ a は分布の位置を決める定数項である。金額に対数をとっているため、 a は金額のスケールとなり、 b は分布の形を表す。 c_i は、説明変数の WTP への影響を表すパラメータで、小さい程大きい程支払意志が強くなる。

Table 2 にパラメータの推定結果を示す。なお、回答者の一部は世帯年収に対する回答を行っていないため、推定は関係する説明変数全てについての回答が得られている回答者によるデータを用いた。括弧内に示した値は推定値を対数尤度の二階微分から計算される漸近分散で除して求めた t 値である。また、 $-2 \cdot (\text{対数尤度}) + 2 \cdot (\text{パラメータ数})$ で定義される赤池情報量基準 (Akaike's Information Criterion; AIC) をモデルの適合度を確認するため記した。AIC の値が小さいほどモデルがデータに適合していると考えることができる。説明変数を導入せずに推定を行ったとき、10年間の喘息回避の経済評価金額は約 59,800 円となった。なお、調査時点での中国元の為替レートは約 16 円/元であるため、日本円に直すと 96 万円程度となる。経済評価金額は世帯年収等の経済的条件の影響を受けると考えられるが、世帯年収についての回答は、6 万円～8 万円という回答が最も多く、次いで 4 万円～6 万円という回答が多かった。提示されたシナリオに対する支払意志額は年収金額程度に相当する。

ここで用いている最尤推定量は、漸近的に対数尤度の二階微分からなる行列の逆行列を分散共分散行列とした正規分布に法則収束する。今の場合、

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial^2 L}{\partial a^2} & \frac{\partial^2 L}{\partial a \partial b} \\ \frac{\partial^2 L}{\partial a \partial b} & \frac{\partial^2 L}{\partial b^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 144.3 & 1,620 \\ 1,620 & 18,806 \end{pmatrix}$$

と計算された。ここで L は対数尤度関数を表す。モデル A1 のメジアンを推定されたパラメータ近傍で線形近似し、パラメータ a , b の分布の正規近似より計算される 95% 信頼区間は 39,920 円～79,630 円と推定された。今回の調査では、サンプル数が 500 であり誤差を小さくするのは困難であった。サンプル数を増加すれば、推定誤差は減少していくことになる。

3.3 世帯収入が支払意志額に与える影響の分析

モデル A2 以降は、どのような要因が支払意志額に影響を与えているかを分析するために説明変数を導入してモデルを当てはめたものである。説明変数には、世帯年収、学歴、呼吸器系疾患罹患経験の有無、性別、婚姻歴、子供の有無を取り上げた。係数が正であると (1) 式の形から支払を行うと回答する確率が減少することから支払意志が弱くなり、係数が負で絶対値が大きいほど支払意志が強いことになる。表中のメジアンの値は、独立変数の値を与え (1) 式の右辺を 1/2 とする金額 x を各データについて求め、そのメジアンを計算したものであ

る。

世帯年収は、選択肢を選ぶ形式で質問している。質問時に提示する選択肢は、年収 10 万円以下は 2 万円刻み、10 万円～20 万円は 5 万円刻みとし、他に 5 千円未満、20 万円以上の選択肢を設け、9 段階とした。年収 2 万円以上を選んだ回答者は少数だったため、高収入の 2 つの階級を合併して分析は 8 階級で行い、各階級に対応してダミー変数を導入し、これに対応したパラメータを $I1c \sim I8c$ とした。同定可能性を満たすために収入がもっとも少ない階級に対応する $I1c$ を零に固定して $I2c \sim I8c$ を推定した。各パラメータは、一番年収の少ない年収 5 千円未満の階層と比較した支払意志の強さを表し、(1) 式の形から値が小さい程支払意志が強いことになる。モデル A2 は、各階層別にパラメータを推定したもので、収入の少ないところでは値が零に近く、収入の増加に従い値が負で絶対値が大きくなっている。Fig. 3 に (1) 式中にある $a + \sum c_i x_i$ の収入に関わる部分の変化を示す。今回はサンプルの数が必ずしも多くないためか、 $I2c$ から $I8c$ までの内で統計的に有意になったのは $I7c$ 及び $I8c$ の 2 つであった。収入の増加に対して支払意志が強くなる傾向を少ないパラメータで推定を行い分析するために、収入を表すパラメータに線形の制約

$$I_{ic} = (IA1c) \cdot (i - 1)$$

を課して推定を行ったものがモデル A3 である。 t 値からパラメータ $IA1c$ は負で統計的に有意であった。このため、世帯年収が増加するに従い支払意志も強くなると考えることができる。収入が少ない階層のいくつかのパラメータ I_{ic} の値は、Fig. 3 に示した通り零に近い。このため、収入の低い 3 つの階層について値が零とした

$$I_{ic} = \begin{cases} 0 & i \leq 3 \\ IA2c \cdot (i - 3) & i \geq 4 \end{cases}$$

形になるモデルを推定し、モデル A4 とした。モデル A3 に比べ僅かながら AIC が減少しており、当てはまりが改善された。これより、世帯年収がある程度大きくなってから WTP が増大に転じると考えた方が自然であると解釈できる。

所得が多い程支払意志額が高くなることは、自然な結果だと考えられ先行研究^{10) 12) 13)}でも所得が高い程支払意志額が多いという結果が報告されている。Hammit & Zhou¹¹⁾でも一部

Fig. 3 Relationship between income and coefficients for WTP

の推定係数について統計的に有意でないとされるものの、係数の符号は同様な傾向を示していた。一方、Schläpfer¹⁷⁾では、所得依存性の不検出は、回答者が予算制約についての認識が弱いことを指摘しているが、ここでは所得依存性が検出されており、回答者がある程度真剣に回答していることが期待される。

3.4 その他の支払意志額に影響を与える要因の分析

他の説明変数に対するパラメータも含めて推定を行ったのがモデルA4及びモデルA5である。学歴については、最終学歴を「小学校、初級中学校」、「高級中学、職業学校」、「短期大学、大学」、「大学院」にその他を加えた選択肢を選ぶ形式で質問している。前3者に対応してパラメータEd1c, Ed2c, Ed3cを導入した。大学院を選択した回答者は10名以下であったのでEd3cに対応した分類に統合し、Ed1cを零に固定して推定を行った。Ed2c, Ed2cは負で有意であり、パラメータの値からは、学歴が高い程支払意志が強いという傾向が検出された。

回答者の健康状態と大気汚染についての認識は、支払意志に影響する可能性がある。健康状態に何らかの不安がある場合は、健康に関わる支出について積極的になるであろうと素朴な感覚からは予想される。一方、Alberini et al.¹⁸⁾ が分析を行ったように、各人が生命価値を経済価値換算し購入の有無を意志決定するという考え方にたつと、空気清浄機を購入することにより得られる生命の質と、空気清浄機を購入しない場合の生命の質との差を経済価値換算したものが、WTPの上限となる。この考え方だと、現在の健康状態が悪いことにより大気汚染による喘息罹患を回避することによる便益は、健康なひとのそれより少なくなる可能性もあり得ることになる。呼吸器系疾患の罹患歴は、CVMに関わる三肢選択の質問を行う直前で、現在罹患しているか、過去に罹患したことがあるかを質問している。疾患に罹っている回答者は3%弱であったが、過去に罹患した回答者を含めると20%程度の回答者が呼吸器系の病気に罹ったことがあるとしていた。現在罹患している回答者も含めて罹患経験がある回答者に対

するダミー変数を導入し、対応するパラメータをLpcとした。推定を行うとt値からパラメータは負で有意であり、呼吸器系疾患の罹患経験があると支払意志が強くなる傾向がある。大気汚染の現状についても、CVMに関わる設問の前に質問を行った。選択肢は、「大気汚染の問題はない。」、「大気汚染はあるが、段々良くなってきている。」、「更に悪くなってきている。」、「問題があり、良くも悪くもなっていない。」、「その他」から選択する形式とした。「その他」を選んだ回答者はいなかった。他のパラメータと同様に後三者に対してパラメータPo2c, Po3c, Po4cを対応させた。Po2c, Po3cは有意に負でありPo4cについては有意性は検出されなかった。大気汚染について、改善、悪化について変化があると考えた回答者について、問題がないか変化がないとした回答者に比べて支出意志が強いという傾向になった。

性別については、女性についてパラメータFmc、婚姻歴はMrc、子供の有無についてはChcを回答にもとづきダミー変数を設定しパラメータを推定した。いずれもt値から統計的に有意ではなく、支払意志に与える影響は検出されなかった。(1)式に従うモデルとしてデータにもっとも適合していたのは、モデルA7で、年収について収入についてはある程度増加してから支払意志額が増えていき、高学歴、喘息罹患経験有、大気汚染の状況に変化があると認識している方が、支払意志強くなる傾向が見られた。

CVMでは、質問法等が回答に影響を及ぼすバイアスが誤差要因として懸念されることがある。本調査では、Table 1で示した提示金額が異なる9種類の調査票が用いられているが、初期提示金額は金額順にA1, C2, B1, C1の4種類であり、例えばA2, A3はA1と同一である。C2, B1, C1と同一の調査票を用いられた回答に対して1となるダミー変数Frm2, Frm3, Frm4を導入し、他はモデルA1, A7と同様なモデルB1, B7の推定結果をTable 3に示す。提示額が他に比べて極端に高額であるC1の調査票を用いるとWTPが高めに出る傾向があるものの、推定のばらつきに比べると影響は小さい。モデルC1, C7は、モデルA1, A7と同様な推定を調査票C1を

Table 3 Estimated parameters with starting value type

Model	B1	B7	C1	C7	D1	D7
Median	53,636.3	54,688.0	56,040.7	51,920.1	53,174.6	55,710.7
Log likelihood	-626.5	-583.0	-608.5	-566.6	-605.9	-564.4
AIC	1,263.0	1,188.0	1,221.0	1,149.3	1,219.8	1,148.8
a	-5.46 (-11.4)	-4.29 (-7.3)	-5.29 (-11.4)	-4.06 (-7.0)	-5.30 (-11.1)	-4.06 (-6.9)
b	0.50 (12.2)	0.57 (12.3)	0.48 (11.9)	0.55 (11.9)	0.49 (11.9)	0.55 (11.9)
IA2c		-0.29 (-4.1)		-0.28 (-4.0)		-0.28 (-3.9)
Ed2c		-0.75 (-2.4)		-0.79 (-2.5)		-0.81 (-2.5)
Ed3c		-1.11 (-3.4)		-1.13 (-3.4)		-1.16 (-3.4)
Lpc		-0.91 (-3.3)		-0.90 (-3.3)		-0.91 (-3.3)
Po2c		-0.52 (-2.5)		-0.56 (-2.6)		-0.54 (-2.5)
Po3c		-1.56 (-5.6)		-1.56 (-5.6)		-1.54 (-5.5)
Frm2	0.23 (1.1)	0.23 (1.0)			0.23 (1.1)	0.23 (1.0)
Frm3	-0.27 (-1.3)	-0.26 (-1.2)			-0.27 (-1.3)	-0.26 (-1.2)
Frm4	-0.83 (-1.8)	-1.10 (-2.3)				

用いた以外のデータで推定したもので、D1, D7は同様のデータにB1, B7のモデルを適用したものである。AICの値についてはD1, D7がC1, C7より小さく好まれているが、その差は小さく尤度比検定でD1とC1を比較するとむしろC1が選択される。C7も同様である。調査票C1は、提示額の範囲を絞るために非常に高額な提示をしており、他の調査票に比べ分布がひずんでいる可能性がある。しかしながら、提示額による差がWTP推定値、モデルの係数に与える影響は推定誤差に比べ小さかった。一方、今回の評価対象は自分自身の健康に対する被害を低減させる機器の購入であり、その便益は回答者人に独占されるため、Warm growバイアス等は小さいことが期待されるが、より深いバイアスについての検討は今後の課題でもある。

4. 結 言

中国上海市において、環境意識の調査を行い、大気汚染に起因する健康リスクの減少に対する支払意思額の分析を行った。支払意思額についての設問では、多用されている二段階二肢選択法を拡張した、二段階三肢選択法を適用した。VSLの計算法と同じ考え方で推測すると、今後10年間の喘息罹患リスクを減少させるための経済価値の大きさは6万元程度となった。喘息罹患についての経済価値に換算した金額は、ライフサイクルアセスメントにおけるインパクト分析における定量化に有益な情報を与える。支払意思額は、世帯年収の影響を受けていた。世帯年収が増大するに従い支払意思は強くなるものの、収入が低いときには依存性は弱く、ある程度年収が多くなってから支払意思も強くなる傾向があった。また、支払意思額には年収の他に、学歴喘息罹患経験、大気汚染の状況についての認識が影響を及ぼしていた。

謝 辞

本研究の調査分析は、環境省による地球環境研究総合推進費（B-074）及び環境研究総合推進費（E1001）の支援により実施されました。研究の機会を与えられたことに謝意を表します。また、査読者の方々の貴重なコメントは、論文の修正において有益でした。記して御礼申し上げます。

文 献：References

- 1) Bickel, P., Friedrich, R., Externalities of Energy Methodology 2005 Update, Directorate-General for Research Sustainable Energy Systems(2005)
- 2) Hainoun, A., Almoustafa A., Aldin, M. S., *Energy*, **35**, 628-638 (2010)
- 3) 伊坪徳宏, 稲葉敦(編著), ライフサイクル環境影響評価手法—LIME - LCA, 環境会計, 環境効率のための評価手法・データベース, (産業環境管理協会), (2005) : Itsubo, N., Inaba, A. (Ed.), Raifusaikuru Kankyoeikyo Hyokashuhou, (Japan Environmental Management Association for Industry), (2005)
- 4) 古川俊一, 磯崎肇, 日本評価研究, **4**, 53 (2004) : Furukawa, S., Isozaki, H., *The Japanese journal of evaluation studies*, **4**, 53 (2004)
- 5) 栗山浩一, 公共事業と環境の価値, (築地書館), (1997) : Kuriyama, K., *Contingent Valuation Method: Theory and Practice*, (Tsukiji Shokan), (1997)
- 6) 竹内憲司, 環境評価の政策利用, (勁草書房), (1999) : Takeuchi, K., *Kankyouhyouka no Seisakuriyou*, (Keiso shobo), (1999)
- 7) 鷲田豊明, 環境評価入門, (勁草書房), (1999) : Washida T., *Kankyo Hyoka Nyumon*, (Keiso shobo), (1999)
- 8) Pearce D., *Energy Policy*, **24**, 627 (1996)
- 9) Soubbotina, T. P., Beyond economic growth: meeting the challenges of global development, World Bank, (2000)
- 10) Wang, H., Mullahy, J., *Science of the Total Environment*, **367**, 50 (2006)
- 11) Hammitt, J. K., Zhou, Y., *Environmental & Resource Economics*, **33**, 399 (2006)
- 12) Wang, X. J., Zhang, W., Li, Y., Yang, K. Z., Bai, M., *Environmental Monitoring and Assessment*, **120**, 153 (2006)
- 13) Wang, Y., Zhang, Y., *Journal of Environmental Management*, **90**, 1022 (2009)
- 14) 松岡俊二, 白川博章, 本田直子, 竹内憲治, 松本礼史, 国際東アジア研究センター Working Paper Series Vol.2002-10 (2002) : Matsuoka, S., Shirakawa, H., Honda, N., Takeuchi, K., Matsumoto, R., The International Center for the Study of East Asian Development Working Paper Series Vol. 2002-10 (2002)
- 15) Loomis, J., Traynor, K., Brown, T., *Journal of Agricultural and Resource Economics*, **24**, 572 (1999)
- 16) 野村昇, 日エネ誌, **88**, 140 (2009) : Nomura, N., *J. Jpn. Inst. Energy*, **88**, 140 (2009)
- 17) Schläpfer, F., *Ecological Economics*, **57**, 415 (2006)
- 18) Alberini, A., Cropper, M., Krupnick, A., Simon, N. B., *Journal of Environmental Economics and Management*, **48**, 769 (2004)