

都市温暖化対策の費用便益分析に関する一考察

山本勝彦*

はじめに

大阪が年々高温化の傾向にあることは、多くの住民が実感しているところである。年間気温等の気温実測データを見ると高温化は明らかであり、特に1980年代後半からは顕著になっている。これは、地球温暖化の進行だけでは説明できない。図-1に瀬戸内気候区の気温観測点の平均気温の推移を示す。一次回帰直線で近似し、その勾配をとると、表-1となる。全観測点で気温の上昇傾向が見られるが、明らかに大都市の上昇傾向が他の地点に比べて大きい。大まかに言って大阪、神戸の大都市では、23年に1℃、それ以外では、30～40年に1℃の気温上昇が見られる。これは、ヒートアイランドなどの都市温暖化のあらわれである。

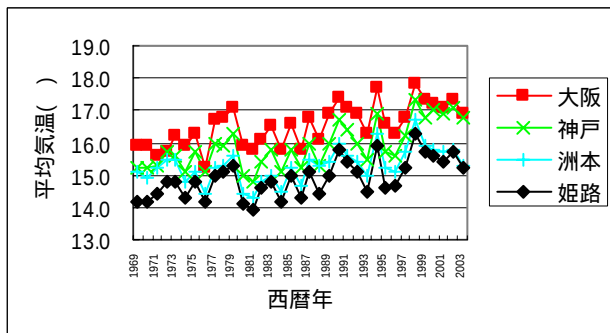


図-1. 瀬戸内気候区の平均気温の推移

表-1. 平均気温と年との勾配

	平均気温と 年との勾配
大阪	0.0439
神戸	0.0483
洲本	0.0267
姫路	0.0361

大阪府では、2002年にヒートアイランド現象に関する調査を実施した。この中で行われた住民意識調査では、行政の対策が「早急に必要」または「必要」とした回答が80%をこえ、「実施すべきと思う方策」では、「行政等による緑化推進等」に期待する意見が多くなっている¹⁾。年々の高温化を単なる自然現象と認識せず、行政施策によって緩和できるものとする住民が多いことを示している。こうした世論の動向の中で、大阪府は、2004年に「大阪府ヒートアイランド対策推進計画」を策定した。これは、2025年までに熱帯夜を現状より3割削減することなどを目標とし、

人工排熱の低減、土地建物表面被覆の改善、緑化の推進等を対策として掲げている。

一般に行政施策の選択、導入には、費用対効果の検討が必要である。その検討の一つとして費用便益分析がある。環境施策でこの分析を行うときは、後で述べるように、人間生活に対する影響の定量化に困難がともなうことが多い。都市温暖化が都市居住者に与える影響には、オフィスや工場での労働に対する影響、外出時の歩行に対する影響、寝苦しさなどがある。ここでは一つの試みとして、夏の夜の就寝時の冷房利用に着目し、費用便益分析の実施に資する知見を得ることを目的とする。

夜間冷房利用状況調査について

1. 夜間冷房利用状況調査について²⁾

先に述べた大阪府の2002年の調査と平行して、大阪大学が、民家の寝室における夜間の冷房利用状況の調査を行った。調査の概要を表-2に示す。調査対象の地域は、都市中心部(大阪市天王寺区鶴橋周辺)、郊外の住宅地(箕面市栗生外院周辺)、その中間地(吹田市桃山台周辺)として設定した。対象住宅は、それぞれの地域で任意に選択した。測定方法は、各住宅のエアコン吹出口に、図-2に示すように、測器「おんどとり」(ティアンドディ社製 TR-51)を設置した。この測器は、5分間隔で吹出口温度を測定し、内蔵したデータロガーに測定値を自動記録するものである。

表-2. 夜間冷房利用状況調査概要

調査対象地域	大阪市内(鶴橋周辺)、箕面市(栗生外院周辺)、吹田市(桃山台周辺)
対象住宅	各地区30軒(任意)
測定方法	寝室のエアコン吹き出し口に測器設置
測定期間	2002年8月18日～9月20日



図-2. 測器設置状況

2. 調査の結果

エアコン吹き出し口の測器から得られた測定データを図 - 3 に示す。この図の ON/OFF 判別線に示されたエアコンの 5 分ごとの利用状況を判断し、時刻の 0 分から 55 分までの利用時間の割合をその時刻の利用率とした。この時刻ごとのエアコン利用率と気温との関係を解析する。気温は、大阪管区気象台の気温測定値をもとに、本調査で別途行われた定点気温調査(各地域内の学校での気温観測:7 月 29 日~31 日、8 月 14 日~16 日の 2 期間にわたって行われた)により補正した値を用いた。こうして求めた気温とエアコン利用率の 3 地域での値をあわせ、時刻ごとに相関図にしたものが図 - 4 ~12 である。0 時から 4 時にかけて R^2 で 0.6 を超えるよい相関が得られる。このことから、夏の夜間、特に就寝時の気温とエアコン利用率の間に正の相関があることがわかる。

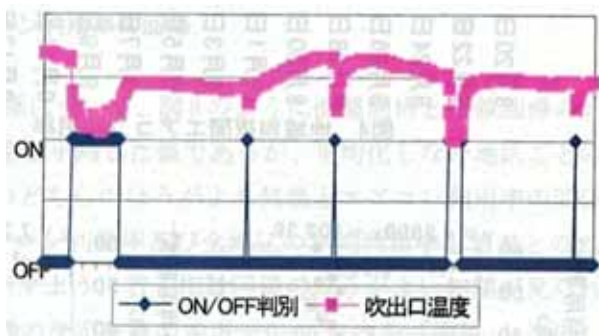


図 - 3 . 吹き出し口測定結果

都市温暖化の費用便益分析について

1. 費用便益分析について

費用便益分析(cost-benefit analysis)とは、公企業や公共団体が、ある投資計画に関して、その投資に要する費用に対し、もたらされる便益を評価するものである³⁾。環境政策の分野で言えば、環境負荷を 1 単位減らすのに費用 C がかかるとき、人々がその負荷 1 単位を除去する事業に C 以上の負担をしてもよいと考えるなら、その事業が可であるとするものである⁴⁾。この環境負荷を除去することに、人々が支払ってもよいと思う最大の金額を WTP(支払意志額 Willingness To Pay)という。WTP は、環境施策のもたらす「便益」の尺度と考えられ、これがその環境施策の実行に必要な費用を上回っているなら、その施策は実行が可能となる。費用便益分析は、新たな発生源規制導入時に、汚染による住民の健康リスクと、処理装置設置費用との比較や、大規模開発によりもたらされる効用と、開発にともなう環境破壊によるリスクの比較などに用いられてきた。環境施策の費用便益分析を行うには、その施策によって除去される環境負荷のリスクと、その施策を執行するに必要な費用を貨幣の額として計算する必要がある。一般には、この環境負荷によるリスクの計算には困難がともなう。岡は⁴⁾、シロアリ防除剤として使われていたクロルデンの禁止や、水俣病対策としての水銀規制の評価の例を挙げている。これらの計算には、発ガン性や知覚傷害の疫学調査にもとづき「損失余命」を指標として用いている。これを費用

便益分析で用いるには、死亡確率の減少に対する WTP(「確率的生命の価値」と呼ぶ)の設定が必要である。また、アメリカ合衆国環境保全局(EPA)は、大気浄化法(CAA:Clean Air Act)の 1990 年改正に当たって、1970 年から 90 年までの CAA の費用便益計算を行っている⁵⁾。この中で、総便益とされたものの 80% が、CAA 施行後の大気汚染改善による死亡削減(疫学調査による)に確率的生命の価値を乗じて求められたものである。これらの計算にはいくつかの困難をともなう。一つは、長期的な疫学調査が必要なことである。環境負荷が人体等に与える影響 - 多くの場合慢性的疾患 - の解明と、負荷の曝露の程度が異なる地域の長期的調査データがなければならない。二つには、確率的生命の価値の算出方法である。生命価値の計算方法には、賃金リスク法(Wage-Risk Method)、仮想市場法(CVM:Contingent Valuation Method)などがある。EPA 自身が指摘しているように、環境負荷で健康に影響を受けるのは、高齢者などの身体的弱者が多く、現役労働者の職場リスクの選択をもとにする賃金リスク法などの手法が、環境負荷のリスクを正しく反映しているかという問題がある。以上のことから、費用便益分析は、環境施策の選択に有効な手段ではあるが、その計算、特に便益をどう貨幣価値で表現するかの問題が大きいことが指摘できる。

2. 都市温暖化と費用便益分析

都市温暖化の対策としては、先に述べたように、人工排熱の削減、土地建物被覆の改善、都市緑化の推進等のメニューが考えられている。いずれにしても、高度に稠密化、集約化された都市域で行う対策であり、選択する施策によっては、莫大な経費を要することが予想される。そこで、都市温暖化対策の WTP を算出することができれば、執行可能な事業費の枠と施策効果との関係を求めることができる。

都市での高温化が人の健康に及ぼす影響については、日射病や熱中症による被害がある。1987 年 7 月、ギリシャのアテネでは、45 を記録する異常高温が 27 日間続き、暑さによる死者は、高齢者を中心に、657 人を数えた⁶⁾。また、1988 年 7 月、中国の上海で、38 を超える日が 18 日間続き、50 人が死亡し、約 1000 人が入院した⁶⁾。こうしたエピソードはいずれも急性的影響であり、気温上昇と慢性的疾患の疫学調査については、管見の限りでは見あたらない。したがって、このリスク算出を健康被害から計算するとすれば、大がかりな調査が必要となる。

一般の住民にとって、都市温暖化影響の回避行動は、エアコンの利用にほぼ限定されている。したがって、高温化による負荷の人体影響の解明や、慢性的疾患の疫学調査や、貨幣額への換算等の困難な計算を経なくても、エアコンの利用にどれだけの経費が費やされているかを計算すれば、それがリスク回避の WTP に相当すると考える。また、都市温暖化による負荷は、都市居住者全員に平等に及ぶ。一方、その対策費用については、個々のビル、建物での緑化等の対策への行政からの補助や、行政体の手による緑地建設など、行政体がその財政を活用して行うものが多い。したがって、環境施策の費用の算出は、比較的容易である。

以上のことから、都市温暖化は、環境施策の費用便益分析のわかりやすい例と考える。ここでは、先に述べたエアコン利用データから、大阪府域における就寝時の都市温暖化の負荷に対するWTPの試算を行うこととする。

就寝時エアコン利用の消費電力

1. 大阪府域の寝室のエアコン台数

大阪府域における就寝時のエアコン利用による費用を算出するには、寝室のエアコンが大阪府全域に何台あるかを算出する必要がある。大阪府域のルームエアコン普及率は、世帯ベースで97.3%である⁷⁾。大阪府域の寝室の数は、世帯種類ごとの世帯数のデータから推計した⁸⁾。単身者の世帯と、2人世帯及び3人以上の世帯のうち、夫婦と6歳未満の者の世帯については、寝室が1室とし、それ以外の世帯は2室とした(表-4)。こうして推計した寝室数とエアコン台数を乗し、大阪府域の家庭にある寝室のエアコン台数を、4,545,131台とした。

表-4. 大阪府域の寝室のエアコン数の推計

大阪府域の寝室の数の推計			
1人世帯	896,450	世帯	
2人世帯	845,291	世帯	
夫婦と6歳未満	190,510	世帯	
小計	1,932,252	世帯	……寝室1室とする
その他	1,369,502	世帯	……寝室2室とする
大阪府域のエアコン数			
寝室数×普及率	4,545,131	台	

2. ルームエアコンの消費電力について

ルームエアコンについては、6～9畳用定測単圧縮型ルームエアコンを想定した。定格を表-5に示す。消費電力については、JIS規格⁹⁾と、業界の基準¹⁰⁾より、外気温の関数として求めた。外気温は、冷房利用状況調査を行った2002年7月～9月の大阪管区気象台の測定値(図-13)をもちいた。

表-5. エアコンの定格

冷房能力	2.2kW
COP	5.43

3. 電気料金について

先に示した夜間冷房利用状況調査で得られた外気温と寝室のエアコン利用率との関係のうち、相関の高い0時～4時の寝室のエアコン利用による消費電力を求めた。これに、電気料金として、関西電力の「従量電灯A」の「120kWhから300kWhまで」の単価23.2円/kWhを乗して、3ヶ月間の電気料金を求めた(表-6)。

WTPの試算

「大阪府ヒートアイランド対策推進計画」は、対策の目標の一つに、住宅地域における熱帯夜日数を2025年までに3割削減することとしている。大阪管

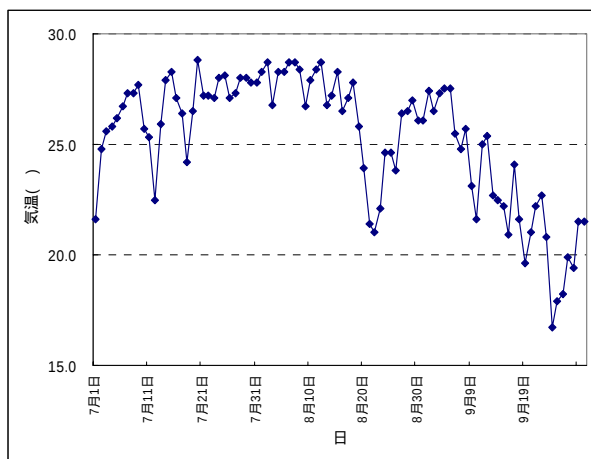


図-13. 2002年7月～9月の4時の気温
(大阪管区気象台)

表-6. 大阪府域の冷房期間の就寝時の
エアコン利用による電力消費

	消費電力量(kWh)	電気料金(円)
府域の寝室のエアコンによる電力消費(2002年)	2.34×10^8	54.2×10^8

区気象台局(大阪市中心部)で言うと、現状の熱帯夜日数(1998年～2002年の平均)が47日であることを33日程度に減らすことが目標である。1969年から2003年までの熱帯夜日数と、8月の午前4時の気温平均(いずれも大阪管区気象台局)の相関図を図-14に示す。ここで8月の午前4時の気温平均としたのは、夜間冷房利用状況調査が8月から9月にかけてであり、エアコン利用と外気温の相関が最も高いのが午前4時だからである。この相関関係から、気温と熱帯夜日数の回帰係数を求めた。この回帰係数は、t-検定の結果、1%の水準で有意(帰無仮説は1%水準で棄却される)であり、この回帰は有効であるといえる。この回帰係数を用いると熱帯夜日数3割減とは、8月の午前4時の平均気温を約0.8℃低下させることに相当することがわかる。

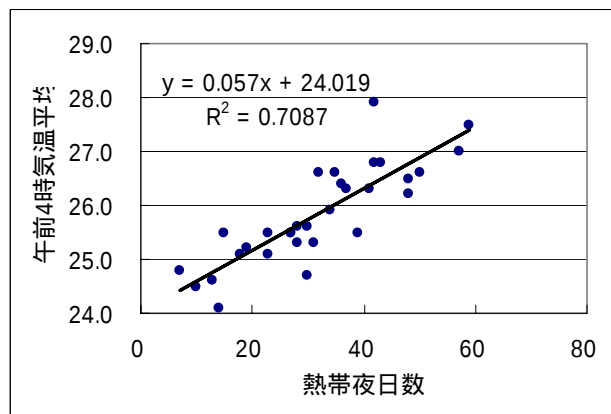


図-14. 熱帯夜日数と8月の午前4時の気温平均
(大阪管区気象台)

先に述べたエアコンの電気料金の計算と同様に、外気温を0.8℃低下させたときの消費電力、電気料金を計算すると、表-7となる。表-6の値との差 20.6×10^8 円が、大阪府計画の目標に相当する環境負荷を、夏季の就寝時において回避するため、府域の住民が現在負担している年間費用である。これは、夏季の就寝

時の環境負荷軽減対策に対する WTP に相当すると考える。

**表-7. 外気温が 1 低下したときの大阪府域
の寝室のエアコン利用による消費電力**

	消費電力量(kWh)	電気料金(円)
外気温を 1 低下させたときの府域の 寝室のエアコンによる電力消費(2002 年)	1.28×10^9	29.6×10^9
外気温0.8 低下による電力消費の差	0.89×10^9	20.6×10^9

まとめ

本報では、2002 年夏に行われた夜間冷房利用状況調査をもとに、エアコン利用が、現状では、都市温暖化の唯一の回避策であることから、夏季の就寝時の温暖化による負荷回避策に対する大阪府域住民の WTP を試算した。

今回の試算は、就寝時の負荷軽減のみについて行った。実際は、このほかに昼間のオフィスや工場、家庭でのエアコン利用、外出を控える等の温暖化回避行動をとっている。都市温暖化対策に対する WTP 全体を算出するには、これらすべての回避行動に住民が負担している金額を計算する必要がある。これについては、今後の課題としたい。

本稿の執筆に当たって、貴重な調査データの利用を快く承諾いただいた、大阪大学大学院工学研究科の鳴海大典助手に心から感謝いたします。また、拙稿にていねいに目を通して貴重な助言をいただいた、大阪府環境農林水産部循環型社会推進室環境管理課総括主査の奥田孝史さん、大阪府商工労働部能力開発課の島田記子さんに心から感謝いたします。

参考文献

- 1) 大阪府:緊急地域雇用創出特別基金事業に係るヒートアイランド対策に係る気温等調査等業務報告書 (2002)
- 2) 森藤奈央:ヒートアイランド現象の実態把握ならびに仮想住宅街区への対策導入効果に関する検討,大阪大学工学部卒業論文 (2002)
- 3) 岡野行秀,根岸 隆:公共経済学,有斐閣双書 (1973)
- 4) 岡敏弘:環境政策学,岩波書店 (1999)
- 5) USEPA: The benefits and costs of the Clean Air Act 1970 to 1990,<http://www.epa.gov/airprog/oar/sect812/index.htm> (1997)
- 6) 三浦豊彦:快適環境のフォークロア, (財)労働科学研究所出版部 (1993)
- 7) 総務省統計局:平成 11 年全国消費実態調査地域別統計表, (1999)
- 8) 大阪府都市建築部:平成 10 年住宅・土地統計調査大阪府独自集計結果報告(第一部), (1998)
- 9) 日本工業標準調査会:ルームエアコンディショナ (JIS C 9612), 日本規格協会 (1999)
- 10) (社)日本冷凍空調工業会:ルームエアコンディショナの期間消費電力量算出基準(JRA4046) (1999)

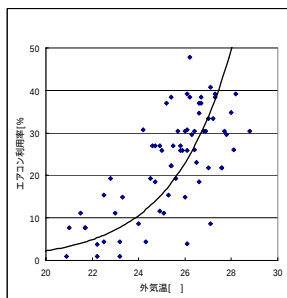


図-4.外気温とエアコン
利用率(22 時)

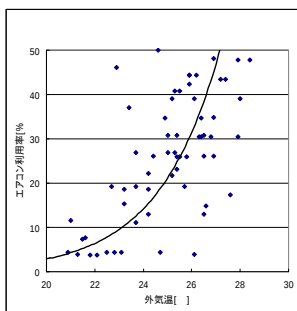


図-5.外気温とエアコン
利用率(23 時)

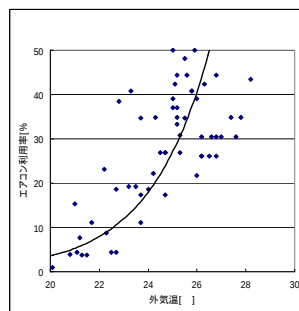


図-6.外気温とエアコン
利用率(0 時)

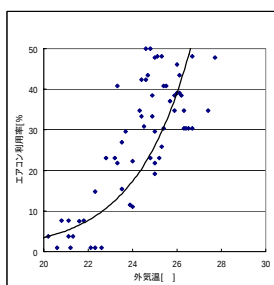


図-7.外気温とエアコン
利用率(1 時)

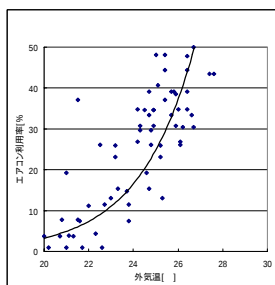


図-8.外気温とエアコン
利用率(2 時)

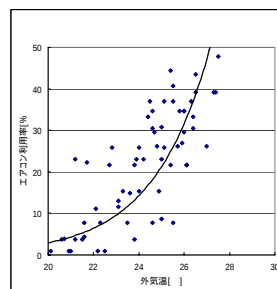


図-9.外気温とエアコン
利用率(3 時)

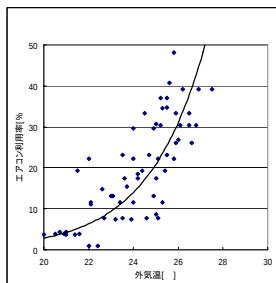


図-10.外気温とエアコン
利用率(4 時)

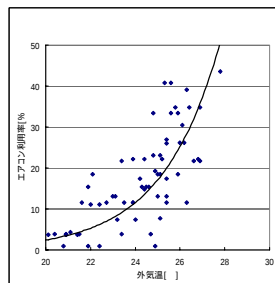


図-11.外気温とエアコン
利用率(5 時)

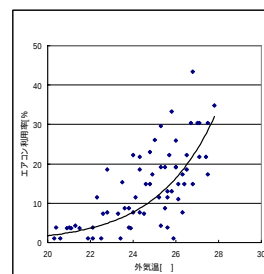


図-12.外気温とエアコン
利用率(6 時)

表-3.時刻ごとエアコン利用率と外気温の相関

時刻	勾配()	R ²
22	0.3862	0.4874
23	0.3983	0.5036
0	0.4081	0.6161
1	0.4067	0.6229
2	0.4048	0.6471
3	0.3986	0.6311
4	0.3978	0.6834
5	0.3898	0.5665
6	0.3731	0.5218

「勾配」とは、 $\ln(\text{利用率}\%) = a \times (\text{外気温}) + b$ としたときの a の値である。