

一般住宅の使用段階におけるエネルギー消費実態の評価手法

Evaluating energy consumption in residence stage of general residential houses

天野 耕二^{*} 寺田 幸司^{**} 佐野 裕隆^{***}

Koji AMANO^{*} Koji TERADA^{**} Hirotaka SANO^{***}

ABSTRACT: The energy consumption volume related to residential houses is reported to be 14% of the total energy consumption volume in Japan and the substantial increase is expected from now on. Factors related to the energy consumption on the residence stage of general residential houses are intertwistingly complicated. There is few case study of overall evaluation with regard to those various factors, although several individual evaluations have been done. We carried questionnaire survey objected to Kusatsu city residents to clarify various factors related to energy consumption characteristics in general residential houses. Analyzing those questionnaire results, 8 factors were extracted to explain 46% of fluctuation of the energy consumption volume on the residence stage. The contribution ratios of the 3 factors (number of person, number of air conditioning equipment, number of AV&IT devices) are significantly high, and those representative 3 factors could describe about 35% of the fluctuation of energy consumption volume on the residence stage of general residential houses.

KEYWORD: Residential house, Energy consumption volume, Carbon dioxide emission, Questionnaire survey

1. はじめに (研究の背景・既往の研究・研究の目的)

気候変動枠組み条約第3回締約国会議 (COP3) で採択された「京都議定書」において、日本は2008年から2012年まで5年間の温室効果ガスの排出量を1990年に比べて6%削減することが定められた。日本の二酸化炭素 (CO₂) 排出量は1995年をピークに減少に転じたものの、1999年度は前年度比2.1%増加との報告がされており、削減目標の達成は森林による吸収分を加えても非常に困難な状況にあるといえる。

建築関連 (建築新增改築+補修+運用) に関わるCO₂排出量は、日本のCO₂排出量 (1990年) の36%を占めており、そのうち約50%が住宅関連によるものとされている¹⁾。また、日本の最終エネルギー消費量の部門別割合 (1998年) を見ると、産業部門が47%と大きな割合を占めているのに対し、家庭部門は14%とその割合は小さいものの、1973年の消費量に比べると約2.1倍とその伸びはかなり大きく、今後も年平均伸び2%前後と高い水準で増加し続けるとの予測がされている¹⁾²⁾。その原因としては、核家族化による世帯数の増加や、床面積の増加、ライフスタイルの変化などが考えられる。以上のことから、家庭におけるエネルギー消費の実態を把握した上で、エネルギー消費およびCO₂排出を抑制する建築設計や環境政策を検討することが重要であると言える。

一般住宅に関わる環境負荷の研究事例は、住宅建設に伴うCO₂排出量の比較 (木造住宅 68.7kg-C/m²、非木造住宅 141.5kg-C/m² (海外波及・資本金形成含まず))³⁾ や、電化製品における待機時消費電力の調査 (家庭の

* 立命館大学理工学部

Department of Environmental Engineering, Ritsumeikan Univ.

** 立命館大学大学院理工学研究科

Graduate School of Environmental Engineering, Ritsumeikan Univ.

*** 財団法人日本環境協会

Japan Environment Association

電力消費量の9.4%が待機時消費電力)⁴⁾、建築関連のCO₂排出量の2050年までの予測⁵⁾、などがあるが、一般住宅の使用段階のエネルギー消費に伴う環境負荷排出の詳細な調査事例は少ない。その原因としては、住宅使用段階におけるエネルギー消費が、建築設計や電化製品などのハード面だけではなく、住居者のライフスタイルや環境負荷への意識、省エネ行動など、といったソフト面の要因も大きく影響しており、その複雑に絡み合ったメカニズムの解明が困難であるからであると思われる。また、建材のリサイクル、エコマテリアルの使用、断熱性能の向上、機器の省エネ化、太陽光発電やコジェネレーションの導入、などの定量的な評価は個別にはなされてきているが、これらの総合的な評価の事例は少ない。

そこで、本研究では一般家庭を対象としたエネルギー消費実態に関するアンケート調査を行い、ボトムアップでエネルギー消費の各要因についての評価を試みた。一般住宅の使用段階に関わる環境負荷の実態を解明した上で、その結果をデータベース化し、Life Cycle Assessment (LCA) などの評価に活用することによって、「エコハウス」や「環境共生住宅」などの環境配慮型住宅の形成促進や、住居者の環境負荷削減意識向上への有効な施策の提案を目指す。

2. 一般住宅エネルギー消費実態調査について

2.1 アンケート調査の概要

一般住宅エネルギー消費実態調査のアンケート調査概要を表1に示す。家庭におけるエネルギー消費量を対象としたため、自営業の世帯は調査対象外とした。また、上下水の使用量を特定できないことから、集合住宅の世帯は調査対象外とした。

アンケート項目は以下のとおりである。

(1) 住宅の仕様：建物構造（木造・非木造）、築年数、延床面積、断熱材の有無

(2) 住居者の属性：世帯人数、大人・子供の人数、就寝時間、年収、平日昼間滞在人数

(3) 日常使用機器の台数：エアコン、ヒーター（ストーブ含む）、床暖房、ホットカーペット、こたつ、扇風機、食器洗い機、炊飯器、コンロ、換気扇、冷蔵庫、電子レンジ、オーブン、電気ポット、温水器、太陽熱利用装置、風呂釜式浴槽・湯張り式浴槽、シャワー、浴室乾燥機、洗面台、洗濯機、洗濯乾燥機、風呂水利用装置、暖房便座トイレ・ウォシュレットトイレ・その他のトイレ、テレビ、ビデオ、オーディオ機器、ゲーム機、パソコン・ワープロ、掃除機、電話機、屋外散水栓、雨水利用装置、太陽電池、自動車、バイク

(4) 住居者の意識：省エネルギーに対する意識、環境問題に対する意識、電気・ガス・水道料金に対する意識、冷暖房の設定温度

2.2 分析方法

アンケート調査によって得られた1999年4月～2000年3月の電気・ガス・上下水使用量（金額データから使用量を算出）と、統計より得られた灯油使用量（1997年近畿地方）⁶⁾に、それぞれエネルギー消費量・CO₂排出量の各原単位を乗じ、足し合わせることで、対象世帯の年間エネルギー消費量・CO₂排出量を算出した。その結果、エネルギー消費量の平均は17.3〔Gcal/世帯・年〕（143.8〔Mcal/m²・世帯・年〕）、CO₂排出量の平均は916〔kg-C/世帯・年〕（7.62〔kg-C/m²・世帯・年〕）となった。統計では家庭におけるエネルギー消費量が10.4〔Gcal/世帯・年〕（1997年近畿地方）⁶⁾と比較的小さいが、この値の差は集合住宅によるものであると考えられる。

各アンケート項目と、世帯全体のエネルギー消費量及びCO₂排出量との関係を母平均の差の検定（ウエルチのt検定）や相関分析などによって明らかにした上で、影響の大きい項目については重回帰分析により、他の項目からの影響を取り除いて考察を進めた。結果は主にエネルギー消費量を表記する。

表1 アンケート調査の概要

実施場所	滋賀県草津市
調査対象	自営業の世帯を除く 一戸建て一般住宅
調査時期	2000年11月
調査方法	郵送
配布数	1500件
回収数	309件（20.6%）
有効サンプル数	187件（12.5%）
エネルギー消費量	平均 17.3Gcal/世帯・年 （標準偏差5.81）
CO ₂ 排出量	平均 916 kg-C/世帯・年 （標準偏差303）

3. 一般住宅エネルギー消費実態調査の分析結果

3.1 住宅の仕様

(1) 建物構造

木造軸組や 2×4 (ツーバイフォー) などの木造住宅と、鉄骨造 (S)、鉄筋鉄骨コンクリート (SRC)、鉄筋コンクリート (RC) などの非木造住宅に分けて検討を行った。日本で新設される戸建住宅のうち、80%が木造、20%が非木造であり、非木造のうち 88%が、鉄骨造である。(1997 年)⁷⁾。非木造住宅は木造住宅に比べると、建設時の環境負荷は高く (エネルギー消費で 1.3 倍⁸⁾ ~1.9 倍³⁾)、住宅の寿命 (耐用年数) が短い (残存率 50%の年数-木造 38.2 年、鉄骨造 32.8 年)⁹⁾ とされている。

本調査の結果、非木造住宅は木造住宅に比べ、世帯あたりのエネルギー消費量が多いことが確認されたが、非木造住宅の世帯人数は大きく、世帯人数で補正 (式 1) を行くと、その差はほとんど見られなくなった (表 2)。延床面積の差も考慮に入れると、非木造住宅より木造住宅の方が単位面積あたりのエネルギー消費量は若干多くなると考えられる。また、対象世帯の断熱材施工率は、木造で 67.3%、非木造で 80.0%であった。

表 2 建物構造における比較 (調査値)

	木造住宅	非木造住宅
サンプル数	151	36
構成比 (%)	80.7	19.3
エネルギー消費量 (Gcal/年)	17.17	17.93
(世帯人数3人に補正 (Gcal/年))	17.04	17.01
(延床面積あたり (Mcal/m ² ・年))	144.9	139.5
延床面積 (m ²)	125.8	140.1
世帯人数 (人)	3.05	3.33
築年数 (年)	17.0	14.2
断熱化率 (%)	67.3	80.0

(2) 築年数

対象世帯の平均築年数は 16.3 年であった。今回の調査では、築年数とエネルギー消費量に、ほとんど相関は見られなかった。新設住宅の延床面積が年々増加しているに関わらず、築年数によってエネルギー消費量に差が見られなかったのは、断熱性・気密性などの機能が向上してきているからであると推測される (表 3)。延床面積あたりのエネルギー消費量は、年々減少傾向となっている。

(3) 延床面積

対象世帯の平均延床面積は 128.7m²であった。150 m²程度まではエネルギー消費量との相関が見られるが、150 m²程度を超えると相関は薄れていく結果となった。新設の戸建住宅における延床面積の増加率は近年縮小傾向にあり (表 3)、延床面積の増加に伴うエネルギー消費量の増加は見られなくなると考えられる。しかし、集合住宅の延床面積については今だ増加傾向である。

表 3 延床面積、断熱化率、世帯人数の伸び率 (統計値)

	年平均伸び率 (%)		
	1970-80	1980-90	1990-97
新設戸建住宅延床面積 ⁷⁾	3.7	1.8	0.1
戸建住宅の断熱化率 ¹⁰⁾	38.3	12.6	7.3
世帯人数 ¹¹⁾	▲ 0.9	▲ 0.8	▲ 1.1

(4) 断熱材

対象世帯の断熱材施工率は 69.8%であった。断熱材が施工されている住宅はエネルギー消費量が 0.56 [Gcal/世帯・年] (世帯人数 3 人に補正した場合、0.90 [Gcal/世帯・年]) 少ないことから、住宅の断熱化・気密化が有効であることが再確認された。しかし、揮発性有機化合物によるシックハウス健康被害を防ぐため、換気機能などの改善が求められる。

3.2 住居者の属性

(1) 世帯人数

対象世帯の平均世帯人数は 3.10 人であった。世帯人数とエネルギー消費量 [Gcal/世帯・年] には他の要因に比べると強い相関 (相関係数 0.51^{**}) が見られ、その単回帰式は $y = 2.76x + 8.82 \dots$ [式 1]^{**}と表された (CO₂ 排出量 [kg-C/世帯・年] との関係式

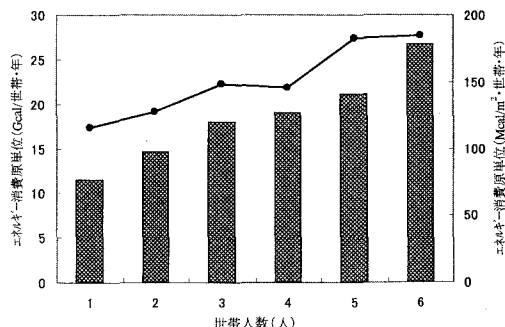


図 1 世帯人数とエネルギー消費原単位 (調査値)

は $y = 148x + 462$)。世帯人数が 0 人と考えた場合の住宅固有エネルギー消費量は 8.82 [Gcal/世帯・年]、延床面積あたりでも 99.6 [Mcal/ m^2 ・世帯・年] と大きなものになる (図 1)。核家族化の進行で今後も更なる世帯人数の減少が予想され (表 3)、世帯数の増加が家庭部門におけるエネルギー消費量増加の大きな要因となると考えられる。

(2) 平日昼間滞在人数

平日の昼間に滞在者がいる世帯のエネルギー消費量は、滞在者がいない世帯に比べ、1.03 [Gcal/世帯・年] (世帯人数 3 人で補正すると 0.70 [Gcal/世帯・年]) 多くなっていることがわかった。

また、平日昼間滞在人数と世帯人数が等しい常住世帯については、非常住世帯に比べると世帯あたりのエネルギー消費量は 3.93 [Gcal/世帯・年] 少ないと言う結果が出たが、常住世帯の世帯人数は平均 1.9 人と少なく、世帯人数 3 人に補正を行うとその差は 0.09 [Gcal/世帯・年] と、ほとんど変わらない結果となった。よって、常住世帯と非常住世帯とのエネルギー消費量の差の大部分が、世帯人数の差によるものであることが言えた。

(3) 就寝時間

住居者の全員が就寝する時間をその世帯の就寝時間とし、分析を行った。対象世帯の平均就寝時間は 23 時 40 分であった。就寝時間が遅いほどエネルギー消費量が大きくなる傾向が見られる (図 2)。また、就寝時間が遅い世帯は比較的世界帯人数が多く、特に中高生の在住率が高い傾向にある。中高生がいる世帯では全体に比べ就寝時間が 1 時間程度遅い。

(3) 年収

年収が多い世帯ほどエネルギー消費量は大きくなる傾向にあるが、世帯人数による影響がほとんどであり、年収によるエネルギー消費量への直接的な影響量としては極めて小さいと思われる (図 3)。

3.3 日常使用機器の台数

この節では特にエネルギー消費量への影響が大きかった項目についてのみ取り上げる。

(1) エアコン

対象世帯におけるエアコンの世帯普及率は 96%、台数普及率は 276% であった。エアコンの台数に対しての相関が予想された延床面積、築年数、世帯人数と言った項目には目立った相関が見られず、年収との相関が若干見られる程度であった。

エネルギー消費量はエアコン台数によってかなりの変動が見られる。また、世帯人数 3 人に補正した場合の結果も大きな変化はなく、エアコン台数がエネルギー消費量に与えている影響が非常に大きいことがわかった (図 4)。エアコンの普及台数は年平均 10% 前後の高い伸びで増加を続けており¹²⁾、一家に一台から各部屋に設置する方向に向かっている。世帯数の増加とあいて、今後更にエアコンによる環境負荷が増大し、また電力需要の

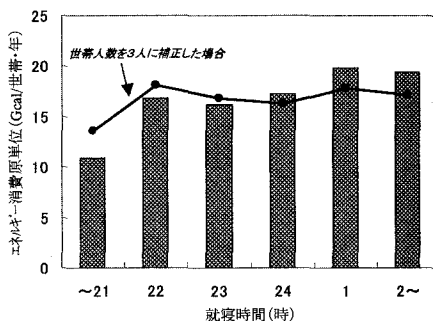


図 2 就寝時間とエネルギー消費原単位 (調査値)

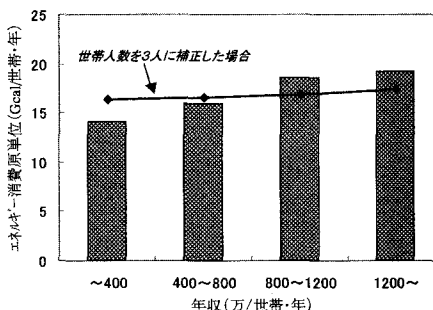


図 3 年収とエネルギー消費原単位 (調査値)

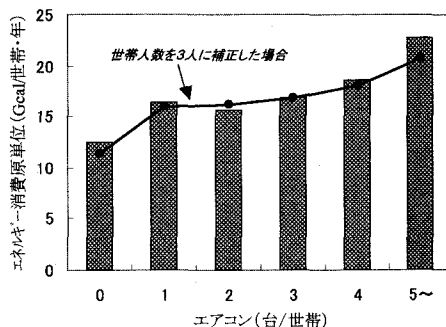


図 4 エアコンとエネルギー消費原単位 (調査値)

ピークにも深刻な影響を及ぼすと予想される。メーカー側の省エネ技術による成績係数（COP）の更なる向上などの対策が求められる。

(2) AV・IT 関連機器

本調査において、テレビ・ビデオ・オーディオ・ゲーム機・パソコン・ワープロをAV・IT 関連機器として分析を行った。世帯人数による影響が強く見られるが、一定の台数を超える世帯においてエネルギー消費量への影響が見られた（図 5）。家庭の電気消費量の 9.4%を占める待機時消費電力のうち、AV 機器が 53.2%、IT 機器が 16.8%、合わせて 70%をAV・IT 関連機器が占めているとの報告⁴⁾があり、待機時消費電力の削減への取り組みの重要性が高い機器であるといえる。また、今後 IT インフラの充実によりパソコンの普及が更に進むものと思われ、家庭の電気消費量を一層押し上げることが予想される。

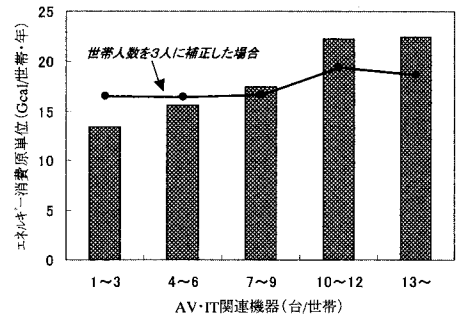


図 5 AV・IT 関連機器 と エネルギー消費原単位（調査値）

(3) 太陽熱利用装置

対象世帯における太陽熱利用装置の世帯普及率は 8.0%であった。太陽熱利用装置が設置されている世帯のエネルギー消費量は平均で 0.48〔Gcal/世帯・年〕（世帯人数 3 人に補正した場合、1.97〔Gcal/世帯・年〕）少ないことがわかった。

(4) 太陽電池

対象世帯における太陽電池の世帯普及率は 2.1%であった。太陽電池が設置されている世帯のエネルギー消費量は平均で 3.70〔Gcal/世帯・年〕（世帯人数 3 人に補正した場合、2.00〔Gcal/世帯・年〕）少ないことがわかった。しかし、これらの装置の環境負荷削減効果を評価する際には、装置の製造から廃棄に至るまでのライフサイクル全体を範囲に入れる必要がある。

3.4 住居者の意識

(1) 環境問題・省エネに対する意識

環境問題・省エネに対してどの程度意識しているかを問う質問項目であったが、回答にばらつきが少なく、エネルギー消費量への影響を詳細に把握することが困難であった。年収による意識レベルの違いが若干見受けられる程度であった。

(2) 省エネ行動について

本調査では実際に家庭で行っている省エネ行動について自由記述形式で回答を求めた。これらの省エネ行動の実施有無はエネルギー消費量との関係が見られた（表 4）。本研究においては、省エネ行動の実施項目数を省エネ行動ポイントとして簡便化し、分析を進めた。

表 4 省エネ行動 上位 10 項目（調査値）

省エネ行動	度数	エネルギー消費への影響量 (Gcal/世帯・年)	
		△プラス	▲マイナス
こまめに電灯を消す、人のいない場所の電灯を消す	57	▲ 0.47	
就寝時・外出時・長期に使用しない時はプラグを抜く	43	▲ 0.68	
風呂の水を洗濯や掃除に再利用	37	△ 0.13	
こまめに電化製品の電源を消す	26	▲ 0.57	
冷暖房は極力使わない	23	▲ 1.41	
テレビの主電源を消す	16	▲ 0.47	
冷暖房の設定温度をゆるめに設定	12	△ 1.79	
水の出しっぱなしをしない	10	▲ 1.14	
家族が風呂に続けて入る	8	▲ 3.69	
家族が同じ部屋で過ごす	7	▲ 5.37	

表 5 重回帰分析の結果

重相関係数 0.68^{**}, 決定係数 0.46

相関係数

寄与率

説明変数

unit

偏回帰係数
(Mcal/世帯・年)

標準
偏回帰係数

相関係数

寄与率
(%)

世帯人数	人	1476 ^{**}	0.30	0.51 ^{**}	15.5
エアコン	台	927 ^{**}	0.24	0.39 ^{**}	9.6
AV・IT機器	台	364 ^{**}	0.20	0.49 ^{**}	10.0
延床面積	m ²	22 ^{**}	0.17	0.22 ^{**}	3.7
就寝時間	時(23時=0)	616	0.12	0.26 ^{**}	3.2
断熱材施工の有無	有=1, 無=0	-1169	-0.09	-0.06	0.5
太陽電池の有無	有=1, 無=0	-6699 [*]	-0.15	-0.08	1.2
省エネ行動ポイント	point	-543 ^{**}	-0.16	-0.16 [*]	2.5
定数項		6135 ^{**}			

4. 重回帰分析を用いた各項目の影響量の検討

本調査においてエネルギー消費量との相関が比較的強く見られた 8 項目について、そ

れぞれ互いに及ぼしている影響量を取り除いて更に詳しく評価するために、重回帰分析を適用し検討を進めた。表5において、寄与率とは標準偏回帰係数と相関係数を乗じたものであり、一般住宅のエネルギー消費量の変動（分散）の割合を示している。寄与率が上位であった、世帯人数、エアコンの台数、AV・IT機器の台数、の3つの変数のみで、一般住宅のエネルギー消費量の変動を35%程度説明できることがわかった。また、偏回帰係数と変数を乗じ、足し合わせることで、一般住宅のエネルギー消費量を推定することができる。

5. まとめ

- ・家庭へのアンケート調査を実施することにより、一般戸建住宅の使用段階のエネルギー消費に及ぼしている諸要因の影響量を明らかにし、また、エネルギー消費量推定方法を検討することができた。
- ・一般戸建住宅の使用段階におけるエネルギー消費量は世帯人数による影響が大きく、他の項目についての検討を行う際は世帯人数の影響を取り除くことが必要である。
- ・世帯人数、エアコンの台数、AV・IT機器の台数、の3つの要因のみで、一般戸建住宅の使用段階におけるエネルギー消費量の変動の35%程度を説明できることがわかった。
- ・一般住宅の使用段階におけるエネルギー消費に関わる要因について検討を行うことで、住宅の環境負荷削減に関する評価手法への導入、また、住居者の環境負荷削減に向けた取り組みへの後押しとしての可能性を示すことができた。

6. 今後の課題

- ・全世界数の37%を占める集合住宅¹⁰⁾のデータも含めること、地域性をデータに反映させること、などによりデータベースや手法を一般化した上で、実際の評価に導入していく必要がある。
- ・今回の報告で言及していないエネルギー消費量の内訳（電気・ガス・上下水の各消費量）ごとの詳しい分析が必要である。
- ・本調査における住居者意識の調査は以下の点より、母集団全体の意識を表したのではなく、信頼性の低い結果であったと言える。調査方法・内容を見直した上で、再調査を行うことが必要である。
 - (1) 回答のある世帯は環境問題や省エネへの関心が比較的高いこと
 - (2) 回答は回答者一人の意識であるため世帯員全員の意識との隔たりがあること
- ・廃棄物などの環境負荷も対象に含めることにより、一般住宅に関わる環境負荷の総合的な評価を行うことも必要である。

<参考文献>

- 1) 日本建築学会地球環境委員会 LCA 指針策定小委員会：建物の LCA 指針案、1998.11
- 2) 財団法人 日本エネルギー経済研究所：第 31 回エネルギー経済シンポジウム資料-VI、1998.12
- 3) 伊加賀俊治、外岡豊、本藤祐樹：建物のライフサイクルアセスメント用データベースの構築（その 3）、第 3 回エコバランス国際会議講演集、p365-368、1998.11
- 4) 大橋博之、田中昭雄、中上英俊：家庭における待機時消費電力の実態調査、第 17 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集、p209-214、2001.1
- 5) 伊加賀俊治、村上周三、加藤信介、白石靖幸：我が国の建築関連 CO₂ 排出量の 2050 年までの予測ー建築・都市の環境負荷評価に関する研究ー、日本建築学会計画系論文集、第 535 号、p53-58、2000.9
- 6) 株式会社 住環境計画研究所：家庭用エネルギー統計年報 1997 年
- 7) 建設省建設経済局：建築統計年報 1997 年
- 8) 社団法人 資源協会：家庭生活のライフサイクルエネルギー、株式会社 あんぼるめ、1994
- 9) 小松幸夫、加藤裕久、吉田俤郎、野城智也：わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告、日本建築学会計画系論文報告集、第 439 号、p101-110、1992.9
- 10) 株式会社 住環境計画研究所：家庭用エネルギーハンドブック 1999 年、省エネルギーセンター、1999.3
- 11) 自治省行政局：住民基本台帳人口要覧 平成 10 年（1998 年）
- 12) 経済企画庁調査局：家計消費の動向 1998 年