

高知県のある中山間地域における 住宅の室内環境とエネルギー消費量の分析

田島 昌樹^{1*} 河田 浩太郎²

(受領日：2016年5月11日)

¹ 高知工科大学システム工学群
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

² 高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻社会システム工学コース
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

* E-mail: tajima.masaki@kochi-tech.ac.jp

要約：高齢者のエネルギー使用量は在宅時間が長いことから平均値よりも多いと言われており、高齢化率が高い高知県においても、重要な課題の一つである。くわえて高知県では住宅のエネルギー消費量や室内環境に関するデータがほとんどなく、これらの蓄積も求められている。そのため本稿では高知県内で人口減少と高齢化が進んでいる中山間地域にあるS地区を対象とし、住宅に関して建築環境工学的視点からの現状把握を目的として、エネルギー消費等に関するアンケート調査（50件のうち12件が詳細な光熱費データを取得）と室内環境に関する実測調査（高知市を含み夏期4件、冬期5件）を行った。調査から、高知市と比較して、冷房のエネルギー消費が少なく、暖房と給湯のエネルギー消費が多い結果を得た。また室内環境の実測から夏期は高知市よりもエネルギー消費が少ないながら涼しく暮らすことができ、冬期については、高知市の倍以上の暖房エネルギー消費があるにもかかわらず室温は低く、一定の課題がある結果となった。高知市と比較して夏に涼しく、冬に寒いというS地区の気候特性を考慮した断熱対策が望まれる。

1. はじめに

高齢者のエネルギー使用量は在宅時間が長いことから平均値よりも多い¹⁾と言われており、高齢化率が高い高知県においても、重要な課題の一つであると考えられる。くわえて高知県では住宅のエネルギー消費量や室内環境に関するデータがほとんどなく、これらの蓄積も求められている。筆者らは高知県の住宅に関するデータの収集を行っており、本稿では人口減少により高齢化が進んでいる高知県内の中山間地域にあるS地区を対象とし、住宅に関する現状把握を目的として実施した、エネルギー消費と室内環境に関する調査の結果を報告する。S地区は省エネルギー基準の地域区分における6地域であり²⁾、近隣の高知市が7地域である蒸暑地域とされているのに対して、東京などの日本の多くの

大都市と同じ温暖地域に分類されている。そのため高知県内の地域条件あるいは気候条件による室内環境の差異についても比較検討することを目的として、高知市内の住宅についても実測を行った。

2. アンケート調査

2.1 調査概要

アンケート調査の概要を表1に示す。調査項目として、夏期における冷房の使用法、冬期における暖房の使用法、給湯設備の使用法、家電・照明機器の使用法、住宅の属性（築年数、大きさ、構造など）、改修・建て替えへの意識、および回答者の属性、など複数の設問を設定した。調査方法は住宅1軒ずつの訪問による聞き取りとした。エネルギー消費にかかる調査項目として電気料金などの光熱費を設定し、検針伝票や領収書など、明細の保管が

表 1. 住まい方に関するアンケート調査の概要

項目	内容
実施期間	2015年8月～2015年12月
調査方法	訪問聞き取り調査
調査項目	(1) 夏期の冷房の使用方法、(2) 冬期の暖房の使用方法、 (3) 給湯機器の使用方法、(4) 家電・照明機器の使用方法、 (6) 改修・建て替えへの意識、(7) 光熱費、(8) 回答者属性
調査件数	50件(57件配布)、光熱費データ取得件数12件

表 2. エアコン設定温度と冷房全般の満足度の p 値

全体の p = 0.008 n = 45		冷房全般の満足度			
		満足	やや満足	どちらともいえない	やや不満
エアコン 設定温度	26～28℃	0.004	0.01	0.04	0.02
	22～25℃				

ある場合のみ1年間の光熱費のデータを取得した。全57件を対象に調査を実施し、うち50件の有効回答(有効回収率87%)を得た。また光熱費のデータは12件の住宅で取得できた。

2.2 住宅および回答者の属性

住宅および回答者の属性に関する集計結果を図1～5に示す。回答者の性別は、全体50人のうち男性18人、女性32人で女性が多く、年代は60代以上が過半数を占める結果となった。住宅の形態は戸建が100%で、築年数は35年以上の住宅が48%を占める結果となった。高知県の住宅・土地統計調査³⁾によると、築年数35年以上の住宅は全体の33%であることから調査対象は15ポイント高い値となった。また平均世帯人数は3.2人で、当該地区の国勢調査(2010/10/1現在)⁴⁾による2.5人と比較すると、0.7人多い結果となった。住宅の属性については、床面積の平均値が125.5m²となり、高知県の平均値⁵⁾である115.3m²と比較すると約10m²大きい値となった。高知県の平均値と本調査で得た結果を比較すると、築年数や回答者年代などから、当該地区において高齢化が進んでいることが示唆される結果となった。

2.3 冷房・暖房の使用に関する分析

図6に夏期の冷房時のエアコンの設定温度と満足度に関する分析結果を、図7にエアコンの設定温度と購入年の分析結果を示す。また設定温度と満足度、および設定温度とエアコンの購入年との関連性について χ^2 検定を行い、得られたp値を表2および3に示す。

表 3. エアコン設定温度とエアコンの購入年の p 値

全体の p = 0.05 n = 31		エアコンの購入年	
		10年以内	10年以上前
エアコン 設定温度	26～28℃	0.01	
	22～25℃	0.02	

図6では、冷房全般の満足度について、エアコンの設定温度が26～28℃では「満足」と「やや満足」の回答が多く、22～25℃では「どちらともいえない」および「やや不満」の回答が多い結果となった。有意確率(p値)は0.008となり両者には有意な関連があるといえる結果となった(表2)。設定温度と満足度の関係は、満足の項目に最も有意差が見られ、設定温度が高いと満足度も高い傾向にあることが示された。アンケートでは満足度の要因に関する設問があり、温熱環境(温度的な快適さ)を要因とする回答が最も多く、冷房の設定温度を26～28℃にした場合に快適さをより実感している結果となった。図7では、エアコンの設定温度と購入年について、26～28℃に設定している家庭ではエアコンを「10年以内に購入」した回答が多く、22～25℃に設定している家庭に比べて、その割合が多い。有意確率は0.05となり両者には有意な関連があるといえる(表3)。設定温度を26～28℃に設定している家庭では、機器を10年以内に購入したケースが多く、機器の効率が冷房の満足度に寄与していることが示唆される。

冬期の暖房の使用方法与満足度に関する分析も行ったが、各家庭で使用している暖房機器の種類が多様であったため冷房のような顕著な傾向は確認で

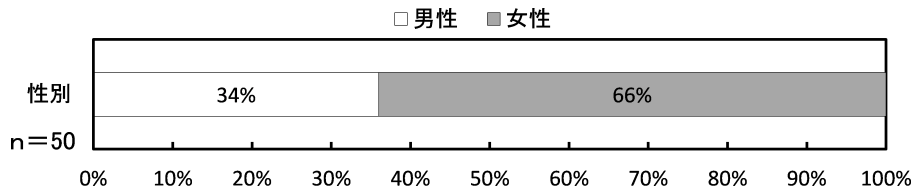


図 1. 回答者の性別の単純集計結果

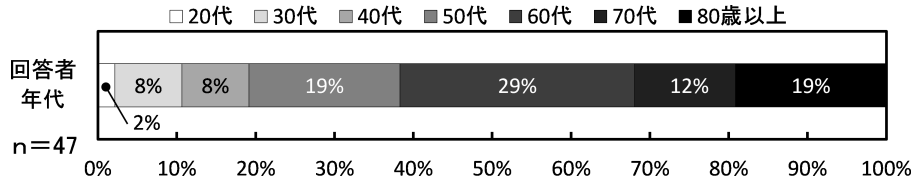


図 2. 回答者年代の単純集計結果

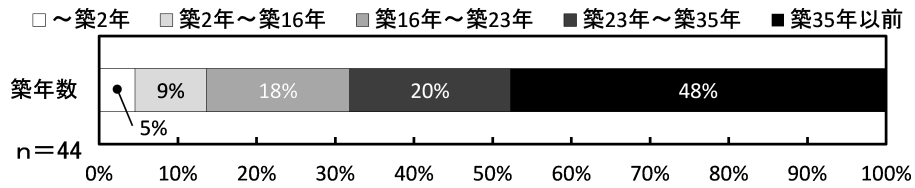


図 3. 築年数の単純集計結果

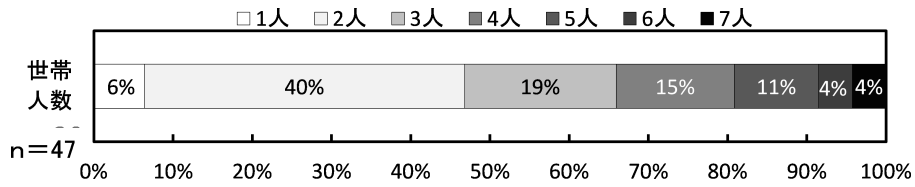


図 4. 世帯人数の単純集計結果 (平均値: 3.2 人)

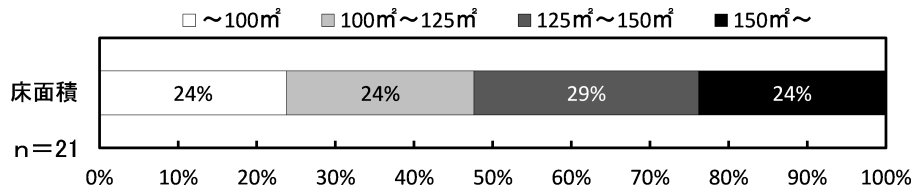


図 5. 床面積の単純集計結果 (平均値: 125.5㎡)

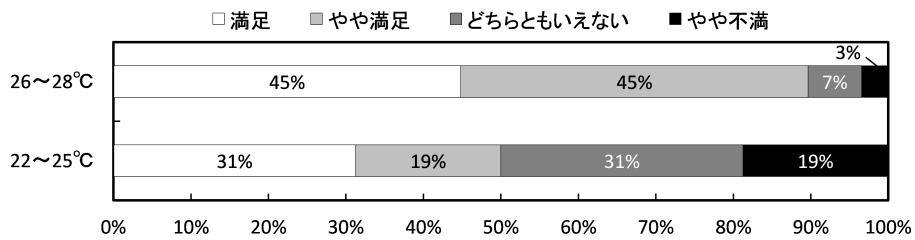


図 6. エアコンの設定温度と冷房全般の満足度 (夏期)

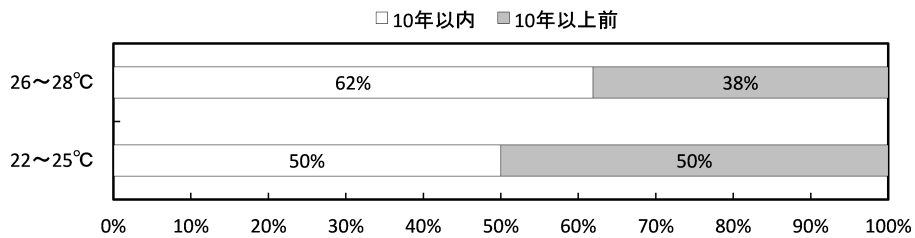


図 7. 夏期のエアコンの設定温度と購入年

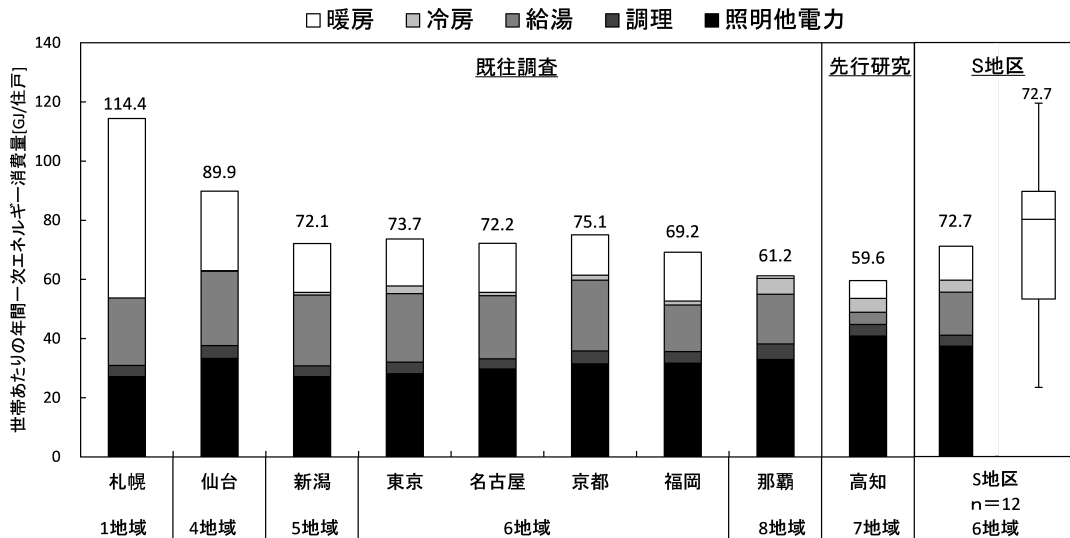


図8. 世帯あたりの年間一次エネルギー消費量
箱ひげ図の数字は平均値を表す

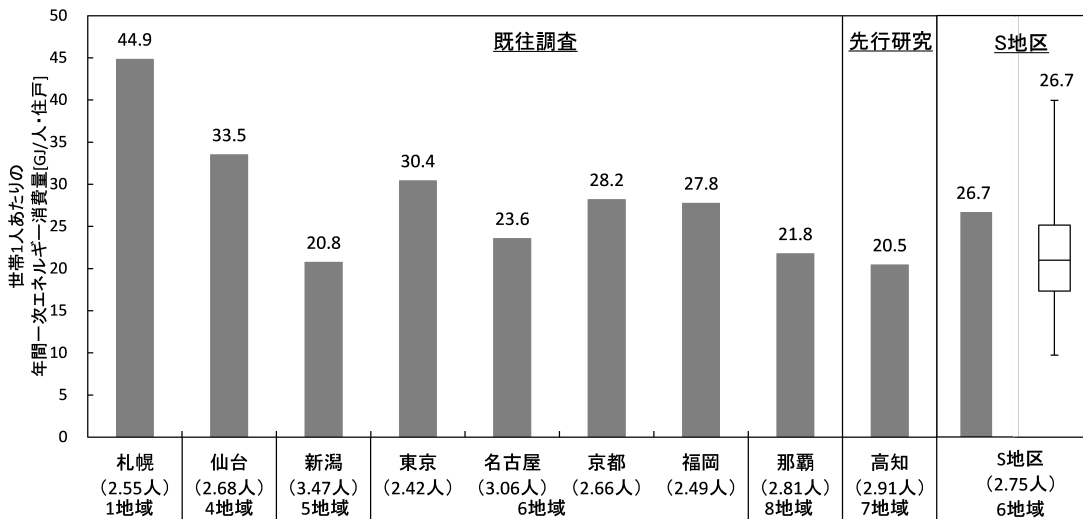


図9. 1人あたりの年間一次エネルギー消費量
箱ひげ図の数字は平均値を表す

きなかった。しかしながら使用している暖房機器によっては、後述する室内環境に留意が必要な結果となっている。

3. エネルギー消費量に関する分析

調査で得られた12件の光熱費データから年間一次エネルギー消費量を算出した。結果を図8に示す。図8には筆者らによる高知市を対象とした先行研究の結果⁶⁾、および全国を対象とした既往調査⁷⁾の値も併せて示している。なお図中の数字は世帯あたりの年間一次エネルギー消費量の平均値を表し、S地区については、調査対象住宅におけるエネルギー消費の分布が把握できるよう箱ひげ図でも

表した。当該地区と同じ他の6地域と比較すると平均値には大きな差は見られなかったが、当該地域の最大値は1地域の平均値を超える消費量となり家庭間の差が大きい結果となった。用途別については、高知市(7地域)のデータより暖房と給湯の値が大きく、全体では約2割多くなっている。また他の6地域と比べると暖房が小さく、冷房が大きい結果となった。

図9に年間一次エネルギー消費量を世帯人数で割った値を示す。先行研究⁶⁾では世帯人数が不明な住宅があったこと、また既往調査⁷⁾では世帯人数は明記されていなかったため各都道府県の国勢調査⁸⁾による平均世帯人数で算出した。一人当たりのエ

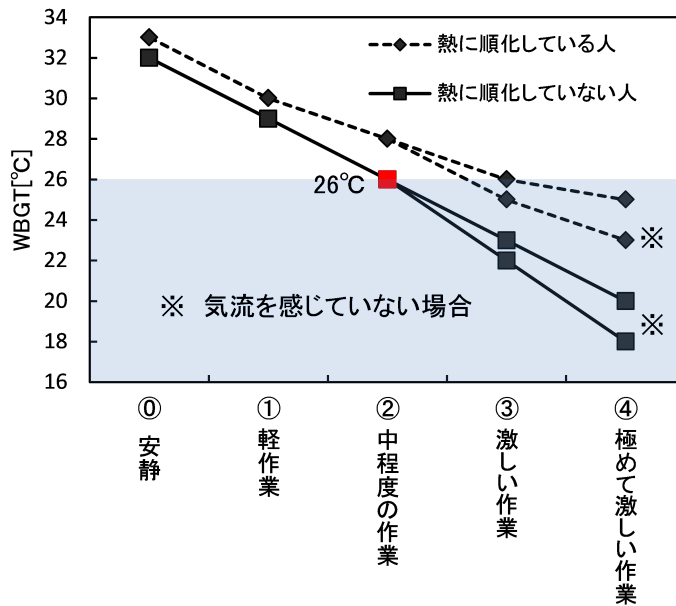


図 10. WBGT 指数に基づく作業者の熱ストレスの評価 (文献¹⁰⁾ を元に筆者らが作成)

エネルギー消費量も高知市よりも大きくなっており、最大値についても北海道並みの結果となった。

4. 室内環境の実測調査

4.1 測定概要

実測調査は夏期と冬期に行い、対象住戸のリビング、寝室、および非居室（トイレ、脱衣所など）に測定器を設置した。測定項目は、夏期は空気温度・相対湿度（測定器：RTR-53A）、二酸化炭素濃度（測定器：KNS-CO2S）、および WBGT（Wet Bulb Globe Temperature 湿球黒球温度、測定器：HI-2000SD）、およびエアコンの消費電力（測定器：KNS-WP-WL）とし 10 分間隔で記録した。また冬期は WBGT を除き夏期と同様の測定項目とした。室内環境の評価には建築物衛生法の衛生管理基準値⁹⁾と WBGT 指標を用い、熱中症の危険性を表す基準値¹⁰⁾として一般的な人が掃除などの家事（中程度の作業）に従事している場合の値となる 26°C を設定した（表 4 および図 10 参照）。測定結果は起居時と就寝時に分けて分析を行い、それぞれの時間帯は自立循環型住宅¹¹⁾の定義を参考として、起居時を 7 時～22 時、就寝時を 23 時～翌 6 時と設定した。

4.2 測定結果

(1) 夏期

夏期の測定対象住戸の概要を表 5 に、測定結果を図 11～13 に示す。B、C、および D 邸については夏期、冬期ともに実測を行った住宅である。D 邸は比較対象として高知市の住宅を設定した。図中にお

表 4. 建築物衛生法の衛生管理基準値⁹⁾*

項目	衛生管理基準値
二酸化炭素濃度	1,000ppm
温度	17～28°C
相対湿度	40～70 % RH

*本稿で対象とした評価項目のみを抜粋した

いて薄い青色で示す範囲は各基準値の範囲を表す。また図中の括弧内の数字は基準内割合を表し、図中の数字は各測定値の平均値を示している。

図 11 は夏期のリビングにおける起居時の空気温度であり、A、B、および C 邸の平均値はほぼ基準値内となっており、B 邸はエアコンを 18 時間以上使用しているため、25～75 パーセントの範囲が他の住宅と比較して狭い範囲にある。比較対象である高知市内の D 邸は、窓開けのみでエアコンを使用していないこともあり、8 割以上の時間帯で基準値を上回った。

図 12 に起居時の WBGT 値であり、D 邸では前述のようにエアコンを使用していないことから中央値が熱中症の危険性が危惧される 26°C を上回り、熱中症の危険性が高い結果となった。一方 S 地区の A、B、および C 邸については、8 割以上の時間帯で 26°C 以下となっており、高知市の D 邸では平均値が 26°C を上回っているのに対し、より熱中症の危険性が低い結果となっている。

図 13 は起居時の二酸化炭素濃度を示している。B 邸は最大値が基準値を超えている。この住戸は

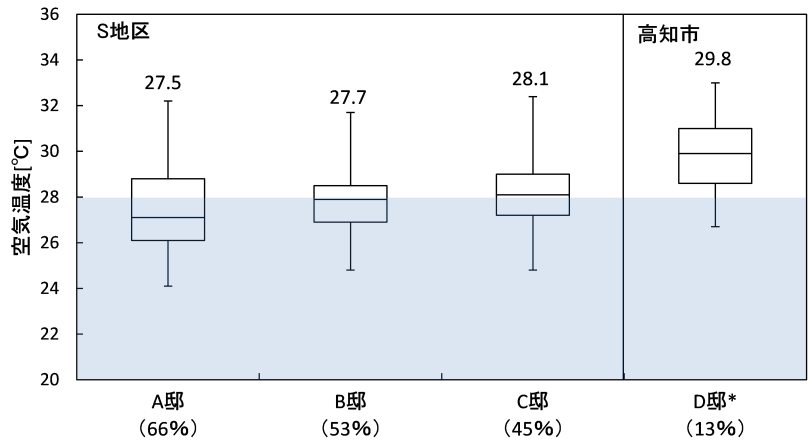


図 11. 起居時の空気温度（夏期、リビング）

図中の箱ひげ図上部の数字は平均値、括弧内は基準値内割合を示す

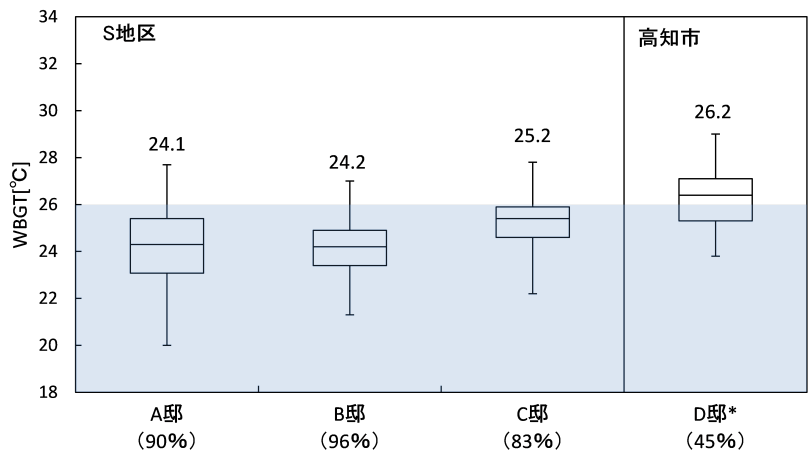


図 12. 起居時の WBGT（夏期、リビング）

図中の箱ひげ図上部の数字は平均値、括弧内は基準値内割合を示す

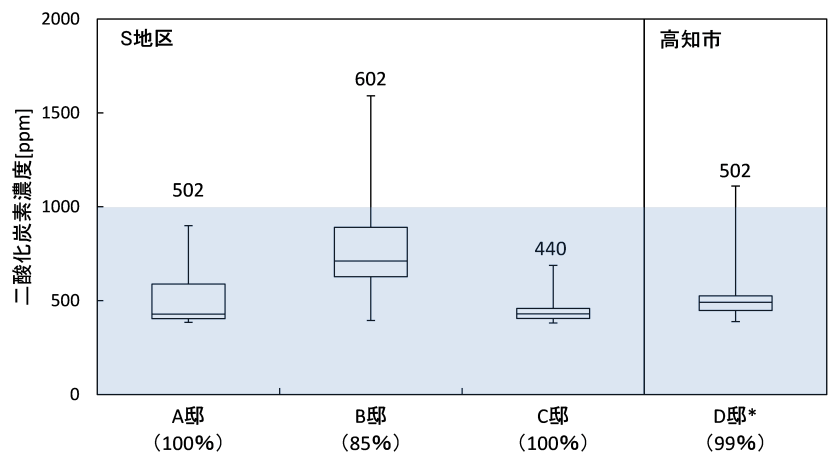


図 13. 起居時の二酸化炭素濃度（夏期、リビング）

図中の箱ひげ図上部の数字は平均値、括弧内は基準値内割合を示す

表 5. アンケート結果を含めた対象住宅の概要（夏期）

	A 邸	B 邸 ¹	C 邸 ¹	D 邸 ^{1,2}
測定期間	2015/8/14～9/1	2015/8/17～8/31	2015/8/20～9/8	2015/8/17～9/8
世帯人数	3人	2人	3人	4人
築年	2005年	1980年以前	1915年	1997年
延べ床面積	120m ²	82.6m ²	120m ²	120.4m ²
窓開けの時間	12～18時間	1時間未満	6～12時間	12～18時間
エアコンの設定温度	26℃	28℃	エアコン未使用	エアコン未使用
エアコンの使用時間	3～6時間	18～24時間	エアコン未使用	エアコン未使用
冷房全般の満足度	やや満足	満足	どちらともいえない	やや不満

¹B、C、D 邸については夏期、冬期共に実測を行っている

²D 邸は高知市（7 地域）で測定した住宅

表 6. アンケート結果を含めた対象住宅の概要（冬期）

	B 邸 ¹	C 邸 ¹	E 邸	F 邸	D 邸 ^{1,2}
測定期間	2015/ 12/22～12/30	2016/ 1/9～1/17	2015/ 12/22～12/30	2015/ 12/22～12/30	2016/ 1/9～1/17
世帯人数	2人	3人	2人	5人	4人
竣工年	1980年以前	1915年	1992年	1980年以前	1997年
延べ床面積	82.6m ²	120m ²	139.8m ²	138m ²	120.4m ²
窓開け時間	1時間未満	1～3時間	6～12時間	1時間未満	1時間未満
暖房機器	石油ストーブ	石油ストーブ	エアコン	エアコン	石油ストーブ
暖房機器の使用時間	12～18時間	6～12時間	12～18時間	3～6時間	6～12時間
暖房全般の満足度	やや満足	どちらともいえない	満足	やや不満	満足

¹B、C、D 邸については夏期、冬期共に実測を行っている

²D 邸は高知市（7 地域）で測定した住宅

1980年以前に建てられた住宅であり24時間換気設備が設置されておらず、また窓開けを一日に1時間未満であることから換気量が少なく、二酸化炭素濃度が比較的高くなったと考えられる。高知市内のD邸はやや基準値を超えているが、一日に12～18時間行われる窓開けにより、99%の時間は基準値内にある結果となった。A、およびC邸は窓開け時間も一日に6～18時間あることから基準値を超えることはなく良好な換気環境にある結果となった。

(2) 冬期

冬期の測定対象住戸の概要を表6に、測定結果を図14～16に示す。

図14は冬期起居時のリビングと非居室の空気温度であり、B、E、およびD邸ではリビングと非居室の平均値で7～8程の温度差が見られた。またC、およびF邸では非居室との温度差は小さいが、両室とも温度が低く、暖房をしているにもかかわらず基準内にほとんど入っていないため暖房が十分に効くような住宅性能が望まれる結果となった。

図15は就寝時の寝室と非居室の空気温度であり、高知市内のD邸の寝室を除き、当該地区の全ての住宅で、ほとんどの時間帯に基準内に入っておらず、中にはF邸の非居室のように平均でも10℃を下回る住戸もあった。

図16は起居時のリビングの二酸化炭素濃度である。B邸では石油ストーブを使用していることから基準値を大きく上回ったと考えられる。C邸では石油ストーブを使用しているが他の住宅と比較すると基準を大きく上回ることとはなく、室温も低いことから一定の換気を行っていることが推察される。E邸は最大値が大きく基準を上回っておりリビングにキッチンが附属していることから、調理等の換気が十分にできていないことが原因考えられる。F邸では基準内割合が99%で二酸化炭素濃度が基準値を大きく上回ることとはなかった。高知市内のD邸も含め、石油ストーブを使用している住宅の換気不足が示唆される結果となった。

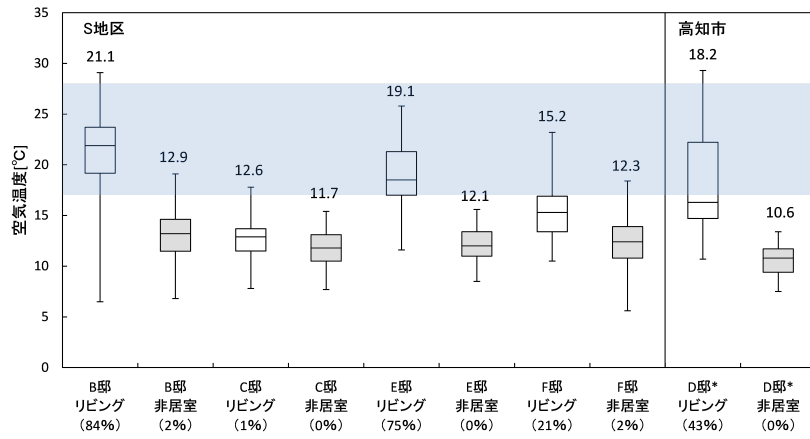


図 14. 起居時の空気温度（冬期、リビング・非居室）
 図中の箱ひげ図上部の数字は平均値、括弧内は基準値内割合を示す

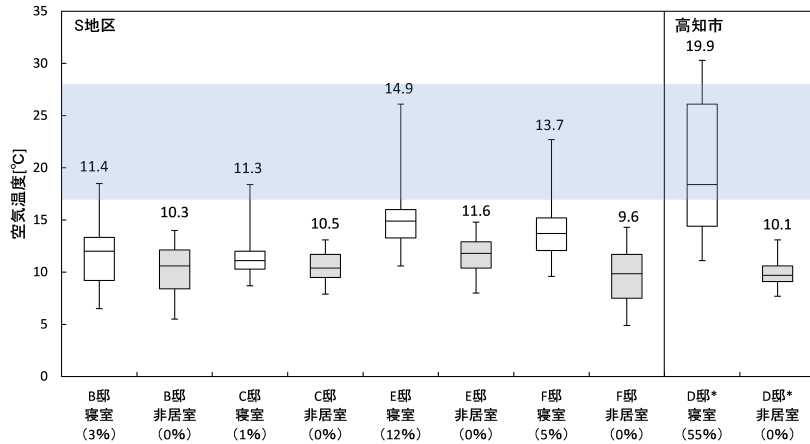


図 15. 就寝時の空気温度（冬期、寝室・非居室）

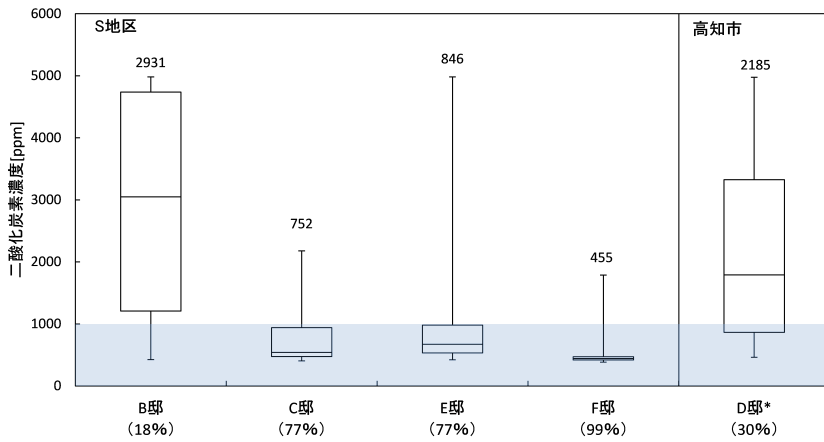


図 16. 起居時の二酸化炭素濃度（冬期、リビング）

5. おわりに

本稿では人口減少と高齢化が進んでいる高知県内の中山間地域にあるS地区を対象として住宅に関する現状把握を目的として、エネルギー消費と室内環境に関する調査を行った。

アンケートによるエネルギー消費に関する調査では、S地区の平均値は、別調査で得られた高知市のエネルギー消費量の平均値よりも多く、特に暖房と給湯のエネルギー消費が多い結果となった。

室内環境の測定から、夏期は高知市と比較した場合、室内温度もWBGTも低く、比較的快適な室内環境である結果となった。しかしながら冬期には居室と非居室の温度差が大きい住宅や、石油ストーブの使用による二酸化炭素濃度の上昇などの問題が散見された。

エネルギー消費量とあわせて考察すると、夏期は高知市よりもエネルギー消費が少ないながら涼しく暮らすことができるが、冬期については、高知市の倍以上の暖房エネルギー消費があるにもかかわらず室温は低く、一定の課題があると言える。

住宅の断熱性を増すことで、冬期の室内温度上昇と暖房用エネルギーの削減が期待でき、かつ夏期については日射遮蔽の効果もあることから、より涼しく暮らせることになるかと推定できる。高知市と比較して夏に涼しく、冬に寒いというS地区の気候特性を考慮した断熱強化が、省エネルギーと室内環境の向上の両立のために有効であると考えられ、県などの補助金を利用した省エネルギー改修が一つの手法として考えられる。

謝辞

本稿の調査および分析は、建築環境工学研究室平成27年度卒業生の市原亮、および西森優里、両氏の多大なる協力を得ており、記して謝意を表す。

文献

- 1) “環境省 環境白書 第2節 少子高齢化及び過疎過密問題と環境影響”, 2016.2.10. (URL=https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/honbun.php3?kid=212&serial=12085&bflg=1)
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所監修, “平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説(住宅)”, pp. 1070-1074, 2013.5.
- 3) 高知県住宅・土地統計調査, 2015.5.28.
- 4) “総務省統計局 国勢調査 2010年10月1日調

査”, 2016.1.7. (URL=http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/)

- 5) “総務省統計局 社会生活統計指標-都道府県の指標-2014”.
- 6) 多田のぞみ, 望岡真優, 田島昌樹, “全国を対象とした住宅の室内環境及びエネルギー消費量の事例調査 その2 エネルギー消費量の調査”, 日本建築学会四国支部研究報告集 第15号, 日本建築学会, pp. 99-100, 2015.5.
- 7) 澤地孝男ら, “用途別エネルギー消費量原単位の算出と推定式の作成”, 日本建築学会計画系論文集 第462号, pp. 41-48, 1994.8.
- 8) “総務省統計局 国勢調査 1990年調査”, 2016.1.22. (URL=https://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL02100104.do?tocd=00200521)
- 9) “厚生労働省建築環境衛生管理基準”, 2016.1.22. (URL=http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/)
- 10) “環境省 熱中症予防情報サイト”, 2016.1.22. (URL=http://www.wbgt.env.go.jp/wbgt.php)
- 11) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所監修, “自立循環型住宅への設計ガイドライン蒸暑地版”, 2010.8.

Analysis of Indoor Environment and Energy Consumption of Houses in a Hilly and Mountainous Area in Kochi Prefecture

Masaki Tajima^{1*} Kotaro Kawata²

(Received: May 11th, 2016)

¹ School of Systems Engineering, Kochi University of Technology
185 Tosayamadacho-Miyanokuchi, Kami, Kochi, 782–8502, JAPAN

² Infrastructure Systems Engineering Course, Graduate School of Engineering,
Kochi University of Technology
185 Tosayamadacho-Miyanokuchi, Kami, Kochi, 782–8502, JAPAN

* E-mail: tajima.masaki@kochi-tech.ac.jp

Abstract: Energy use of houses, in which elderly persons live, is considered as larger than average because their dwell time is longer than younger ages. In Kochi Prefecture, whose aging rate is higher than the Japan's average, the energy use is considered as one of the important issue. In addition, data on energy use and indoor environment in houses have not been obtained enough for evaluation. Hence, in S area, which locates in a hilly and mountainous area in Kochi Prefecture and has been one of aging society, inquiry survey on energy use and measurement of indoor air environment were handled. As a measurement result, the average energy use of cooling was smaller and heating & hot water were larger than average use in Kochi City. The indoor temperature and WBGT obtained in summer were lower and temperature obtained in winter was lower than obtained in Kochi City. Energy retrofit, especially on thermal insulation, is required from the viewpoint of indoor environment.