

# モデル都市における世帯と建物の構成にもとづく

## 集合住宅のエネルギー消費量の将来予測

建築環境工学研究室 尾崎由美

### Abstract

本研究は、数値シミュレーションを基に 2030 年の秦野市における集合住宅のエネルギー消費量を推計し、実効的な省エネルギー対策を検討する。将来に亘る世帯数およびその構成、ならびに空き家やストック住宅の推移を考慮して構造別・断熱水準別・住戸位置別に家庭用エネルギー消費量を推定することで、より詳細なエネルギー計画を行う。省エネルギー対策を含む将来の家庭用エネルギー消費量の推定は、ある地域のエネルギー計画において重要な役割を担うことになる。エネルギー消費量の推移には世帯数の増減が大きなウェイトを占めるが、設備の高効率化、断熱水準の高性能化およびライフスタイルの改善で、90年比で37.4%、現状推移との比で37.2%の削減が可能であることを示した。

### 1. はじめに

近年の住宅はエネルギーと資源の有効利用、および環境保全を目的として省エネルギーと高耐久化が推奨される一方で、空調機器や換気設備の普及により快適性・健康性も追及されている。しかし、間欠各室空調から終日全館空調への移行や、間欠局所換気から終日全館換気への移行にみられるように省エネルギーと快適性の両立は相反する場合もある。したがって、省エネルギーの実現のためには建築性能やライフスタイルの変化も鑑みたエネルギー計画が必要である。そこで、本研究では数値シミュレーションを基に、秦野市<sup>注1)</sup>をモデル都市として、家庭部門エネルギー消費量の将来予測を行う。さらに、実効的な省エネルギー対策について検討する。省エネルギー対策を含む将来の家庭用エネルギー消費量の推定は、ある地域のエネルギー需給計画において重要な役割を担うことになる。なお、本研究における予測年は、政府のエネルギー基本計画の目標年である2030年とし、対象を集合住宅とする。

集合住宅のエネルギー消費量は、既往の研究<sup>1)</sup>でも検討されているが、将来に亘る世帯数およびその構成、ならびに空き家やストック住宅の推移を考慮して構造別・断熱水準別・住戸位置別に詳細に推定した例は見当たらない。さらに本研究では、軽量構造および重量構造の双方に対して実現象に則り詳細に建築熱環境を予測し、成分別熱流（熱伝導・熱対流・熱放射）から

家庭用エネルギー消費量を計算しており、従来方法に比べ極めて高い計算精度である。

### 2. 研究概要

図 2.1 に、研究フローを示す。生活者スケジュール自動作成ソフト Schedule Ver.2（以下 Schedule）と建築の温湿度・熱負荷計算ソフト THERB for HAM（以下 THERB）を使用して家庭用エネルギー消費量を推定する<sup>2), 3)</sup>。Schedule は、NHK 国民生活時間調査を基に、年齢や性別ごとに標準的な生活スケジュールを作成するソフトである。THERB は、建築における熱・水分・空気移動を、伝導・対流・放射の成分別に建築物理に則り詳細に計算するソフトで、建築仕様・設備仕様・ライフスタイル（室内発熱・発湿を含む）に応じて室

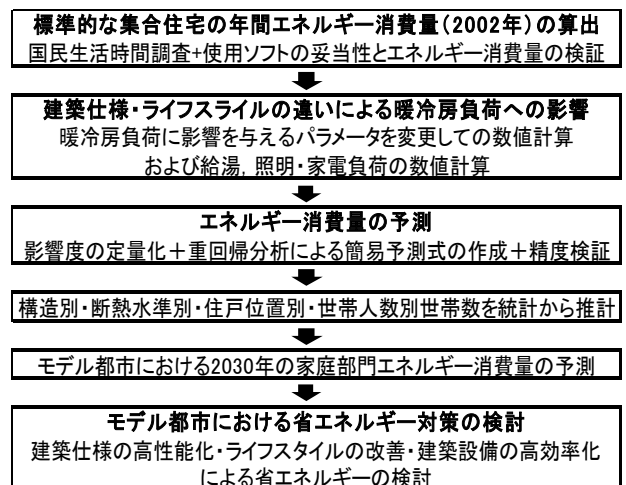


図 2.1 研究フロー

内の熱環境や熱負荷、および消費エネルギーを予測できる。気象条件、建築モデル、設備システム、生活スケジュールを入力条件として、建築温湿度や時刻別・期間別のエネルギー消費量が計算される。なお、2002年に全国を対象として行われた家庭用エネルギー消費の実態調査<sup>4)</sup>と比較することで、計算結果の妥当性についても検証する。

次に、暖冷房負荷、給湯負荷および照明・家電負荷に影響を与える世帯人数などのパラメータを変更して、各パラメータに対するエネルギー消費量について感度計算する。また、その結果を基に重回帰分析を行い、各パラメータが熱負荷に及ぼす影響度を定量化するとともに、暖冷房負荷の簡易予測式を立てる。

さらに、秦野市を対象として2030年の世帯人数別の世帯数および構造・階層・断熱性能・住戸位置別の住戸数を推定し、簡易予測式を使用して家庭部門エネルギー消費総量を算出する。それを基準ケースとして、建築仕様やライフスタイルなどの変更による実効的な省エネルギー対策を検討する。

### 3. 2002年における標準的な集合住宅のエネルギー消費量の算出と検証

#### 3.1 計算概要

図3.1と表3.1に、計算に使用した建築プランと計算条件を示す。建築プランには、建築・環境省エネルギー機構(IBEC)の集合住宅標準モデルを用いる。

建築構法は、鉄筋コンクリート(内断熱と外断熱)、鉄骨造(充填断熱)、木造(充填断熱)である。

いずれの構法も、1階・中間階・最上階における西側・中央・東側を住戸位置として検討する。

2002年の標準的な集合住宅の断熱水準は、無断熱と旧省エネ基準である。空調方法は間欠・各室空調で、設定温度は暖房22℃、冷房26℃とする。NHK国民生活時間調査を基に、「夫婦2人世帯」と「夫婦と子供の3人世帯」を対象として、平均的な空調室および空調時間を設定している。例えば、3人世帯における1日の空調積算時間は、暖房28時間、冷房14時間となる。冷房期間は7月1日から9月30日、暖房期間は12月1日から3月31日とする。以上の各条件の組合せ216(3×9×2×2×2通り)パターンについて、暖冷房負荷およびエネルギー消費量を計算する。なお、計算対象地



図3.1 平面図

表3.1 計算条件

計算条件	
建築プラン	建築環境・省エネルギー機構の標準プラン
住戸形態	集合住宅
建築工法	鉄筋コンクリート(外断熱)
	鉄筋コンクリート(内断熱)
	鉄骨造
住戸位置	最上階 西側・中央・東側
	中間階 西側・中央・東側
	1階 西側・中央・東側
断熱水準	無断熱
空調条件	旧省エネ 間欠各室空調
計算期間	冷房 7月1日～9月30日
	暖房 12月1日～3月31日
計算地域	秦野市
気象条件	拡張アメダス気象データ(標準年)
世帯構成	2人世帯(夫婦)
	3人世帯(夫婦、子供1人)
設定温度	冷房 26℃
	暖房 22℃
空調時間総計	冷房 2人; 10時間, 3人; 14時間
	暖房 2人; 21時間, 3人; 28時間

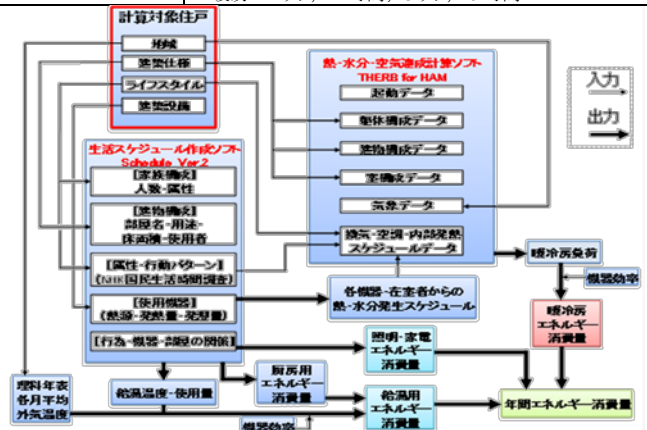


図3.2 数値シミュレーションの計算フロー

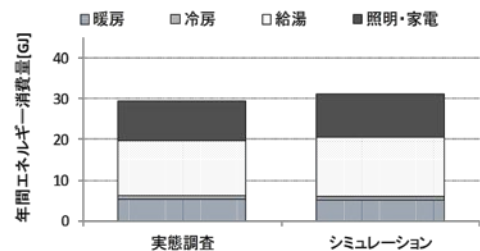


図3.3 実態調査と数値シミュレーションの比較

域は秦野市であるが、気象データには横浜市の拡張アメダス気象データ(標準年)を使用する。

#### 3.2 計算方法

図3.2に、数値シミュレーションの計算フローを示す。暖冷房負荷の計算にはTHERBを使用する。給湯負荷はScheduleで求められた使用水量に水の比熱・比重、および給湯設定温度と外気温度(暖房期間は日最高気温の月平均値、冷房期間は日最低気温の月平均値)の差を乗じて算出する。照明・家電用のエネルギー消費量はScheduleで算出する。なお、Scheduleで作成される人体・機器からの発熱・発湿スケジュールや空調時間などをTHERBに入力することで、暖冷房負荷にライフスタイルが反映させる。

#### 3.3 標準的な集合住宅のエネルギー消費量の算出

文献<sup>4)</sup>に基づいて、3.2で算出した結果を建築仕様・住戸位置・世帯構成などで加重平均し、2002年の標準的な集合住宅1戸あたりのエネルギー消費量を求める。

まず、統計データ<sup>5)</sup>「構造別、階数別の棟数と1棟内住戸数」から2003年の集合住宅における「構造別・階数別・住戸位置別住戸数」を算出する。住戸位置別住戸数を基に、構造別、断熱水準別、世帯人数別に加重平均を行い、標準的な集合住宅の年間暖冷房エネルギー消費量を求める。

構造別の割合においては統計データ<sup>5)</sup>から木造:RC造:S造=36%:56%:8%、断熱水準においては文献<sup>6)</sup>から2000年の住宅ストック占める断熱水準が無断熱:旧省エネ基準=35%:65%、世帯人数においては文献<sup>4)</sup>から2002年の集合住宅の平均世帯人数=2.7人とする。これらの割合で、暖冷房エネルギー消費量を構造、断熱水準、世帯人数別に加重平均する。なお、給湯、照明・家電エネルギー消費量については、2人世帯、3人世帯それぞれのエネルギー消費量を2.7人に加重平均する。

### 3.4 数値シミュレーションの精度検証

文献<sup>4)</sup>から、2002年に行われた実態調査では関東地区の集合住宅の暖房エネルギー消費量は平均5.5GJ、冷房エネルギー消費量は平均0.8GJであった。前節3.3の結果は、暖房エネルギー消費量5.20GJ、冷房エネルギー消費量0.93GJ、給湯エネルギー消費量14.54GJ、照明・家電エネルギー消費量10.56GJである。図3.3に、実態調査と数値計算の結果を示す。両者のエネルギー消費量(合計値)の誤差は約6%であり、数値計算は実態調査を概ね捕捉している。

## 4 構造・住戸位置・建築仕様・ライフスタイルの違いによる暖冷房、給湯、照明・家電負荷への影響

### 4.1 パラメトリック解析の概要

表4.1と表4.2に、建築仕様とライフスタイルのパラメータを示す。網掛けが基準条件である。この基準条件から、1つのパラメータのみを変更してTHERBとScheduleにより暖冷房負荷、給湯負荷および照明・家電負荷の計算をし、各パラメータと各負荷の関係について感度解析する。ここでは、前節3.3の結果から負荷に大差ない構造と住戸位置を除き、RC造とS造のそれぞれに対して、住戸位置別(1階妻側と中央、中間階妻側と中央、最上階妻側と中央)に数値シミュレーションを行う。なお、建築仕様の影響評価には、指標として熱貫流率(K値)あるいは熱損失係数(Q値)を用いる。

### 4.2 計算結果

一例として、表4.3にRC造・1階中央住戸のパラメトリック解析結果を示す。パラメトリック解析から以下が明らかになった。

#### 4.2.1 構造と断熱性能・ライフスタイル

断熱性能およびライフスタイルの違いによる暖冷房負荷の影響は、RC造とS造のいずれも同様の傾向を

表4.1 建築仕様のパラメータ

パラメータ	変更内容	K 値	
		RC 造	S 造
窓	単層ガラス	6.312	6.312
	複層ガラス	2.900	2.900
	複層 Low-e ガラス	2.500	2.500
外壁	断熱なし	3.536	1.400
	旧省エネ基準	1.222	0.700
	新省エネ基準	1.003	0.560
	次世代省エネ基準	0.738	0.400
天井	断熱なし	2.685	2.685
	旧省エネ基準	0.920	0.790
	新省エネ基準	0.616	0.505
	次世代省エネ基準	0.398	0.223
床	断熱なし	1.688	1.688
	旧省エネ基準	1.053	0.765
	新省エネ基準	0.601	0.543
	次世代省エネ基準	0.498	0.332

表4.2 ライフスタイルのパラメータ

パラメータ	変更内容
世帯構成	2人世帯(夫婦)
	3人世帯(夫婦+子供1人)
	4人世帯(夫婦+子供2人)
空調時間総計	暖房 20時間, 24時間, 28時間, 32時間, 36時間
	冷房 6時間, 10時間, 14時間, 18時間, 22時間
空調スペース	LDのみ (19.0m <sup>2</sup> )
	LDK+主寝室+子供部屋 (44.0m <sup>2</sup> )
	全館空調 (74.4m <sup>2</sup> )
設定温度	暖房 18℃, 20℃, 22℃
	冷房 26℃, 27℃, 28℃
換気回数	0.3回, 0.5回, 1回, 2回

表4.3 パラメトリック解析の計算結果(RC造1階中央住戸)

建築仕様	RC造・1階中央住戸		暖房負荷[GJ]		冷房負荷[GJ]	
	基準	変更内容	削減率	削減率	削減率	削減率
壁	無断熱	K 3.54	11.92	2.83	999	992
	旧省エネ基準	K 1.22	8.79	3.12		
	新省エネ基準	K 1.00	8.44	3.16		
	次世代省エネ基準	K 0.74	7.99	3.22		
床	無断熱	K 3.54	11.92	2.83	972	972
	旧省エネ基準	K 1.22	11.94	2.82		
	新省エネ基準	K 1.00	11.98	2.80		
	次世代省エネ基準	K 0.74	11.98	2.80		
窓	単層ガラス	K 6.31	11.92	2.83	980	980
	複層ガラス	K 2.90	9.92	3.04		
	複層 Low-e	K 2.50	9.37	3.11		
断熱性能	無断熱	Q 4.87	11.92	2.83	977	977
	旧省エネ基準	Q 3.38	8.84	3.09		
	新省エネ基準	Q 2.91	6.00	3.43		
	次世代省エネ基準	Q 2.11	5.50	3.50		
家族構成	2人世帯		2.25	3.32	1.00	1.00
	3人世帯		6.00	3.77		
	4人世帯		7.99	4.47		
	暖房20時間・冷房6時間		3.06	2.73		
空調時間	暖房24時間・冷房10時間		3.25	3.48	942	942
	暖房28時間・冷房14時間		3.60	3.77		
	暖房32時間・冷房18時間		3.91	4.17		
	暖房36時間・冷房22時間		3.80	4.34		
空調スペース	居間 19m <sup>2</sup>		1.08	3.31		
	居間・台所・居室 44m <sup>2</sup>		4.23	5.09	924	924
	全館 74.4m <sup>2</sup>		5.75	5.86		
暖冷房設定温度	暖房18℃・冷房26℃		1.36	3.17	1.00	1.00
	暖房20℃・冷房27℃		2.37	2.41		
	暖房22℃・冷房28℃		6.00	2.89		
換気回数	0.3回		2.14	3.99		
	0.5回		3.60	3.77		
	1回		6.00	3.43		
	2回		10.79	2.89		

示した。

外壁と暖房負荷の関係、および天井と暖冷房負荷の関係を見ると、無断熱から旧省エネ基準に変更した場合の削減率が大きい。これと比較すると、旧省エネ基準から新省エネ基準、あるいは新省エネ基準から次世代省エネ基準へ変更した場合の削減率は小さい。窓については、単層ガラス、複層ガラス、複層 Low-e ガラスの順に暖房負荷が削減されるが、単層ガラスから複層ガラスに変更した場合の削減率が著しい。一方、外壁と冷房負荷の関係を見ると、無断熱、旧省エネ基準、新省エネ基準、次世代省エネ基準の順に増加している。窓についても、単層ガラス、複層ガラス、複層 Low-e ガラスの順に冷房負荷が増加し、特に単層ガラスから複層ガラスに変更した場合の増加率が著しい。

ライフスタイルについては、世帯人数、空調時間、空調スペースが増えると暖冷房負荷も上昇する。なお、世帯人数と暖房負荷および冷房負荷の関係を比較すると、世帯人数に対する暖房負荷の感度は冷房負荷の2

～3倍である。世帯人数を2人から3人へ変更した場合の暖冷房負荷は、3人から4人へ変更した場合より著しく上昇している。

#### 4.2.2 住戸位置

1階・妻側住戸には、床の断熱水準と暖冷房負荷には相関は見られない。1階・中央住戸には、床の断熱水準と暖房負荷に正の相関が見られるが、増加率は1%以下と小さい。一方、外壁・窓の断熱水準は暖冷房負荷に大きく影響する。外壁面積の大きい妻側住戸は、中央住戸より断熱の影響が大きく、断熱強化により暖房負荷が著しく削減される。窓については、外被面積に占める窓面積の割合が相対的に増える中央住戸の方が、妻側住戸より断熱による暖房負荷の削減効果が大きい。一方、冷房負荷は、外壁（K値）・窓（K値）・

住戸（Q値）の断熱性能を上げることで増加する。ただし、暖房負荷に比べ冷房負荷は約1/10であることから、年間暖冷房負荷を抑制するためには、1階では外壁や窓の断熱水準の向上が有効であるといえる。

中間階においても1階と同様の傾向がみられる。特に、中間階では外壁の断熱水準の向上が暖冷房負荷の削減に有効であるといえる。

最上階においては、外壁や窓の断熱水準を強化しても、1階や中間階に比べて暖房負荷の削減効果が小さく、冷房負荷への影響も小さい。一方、天井の断熱は暖冷房負荷に大きく影響しており、最上階では天井の断熱水準の向上が暖冷房負荷の削減に極めて有効であるといえる。なお、住戸の断熱性能（Q値）と冷房負荷には相関が見られないが、無断熱から旧省エネ基準

表 5.1 構造別、住戸位置別の暖房負荷の重回帰分析の結果

構造	住戸位置	係数	切片 b	仕様							回帰係数			有意確率
				壁仕様 A <sub>1</sub>	天井仕様 A <sub>2</sub>	窓仕様 A <sub>3</sub>	空調時間 A <sub>4</sub>	床面積 A <sub>5</sub>	設定温度 A <sub>6</sub>	換気回数 A <sub>7</sub>	重相関係数	重決定係数	自由度調整済み決定係数	
RC造	最上階 妻側	偏回帰係数	-25.00	1.52	2.78	0.77	0.02	0.15	0.83	4.28	重相関係数	0.993	4.06E-20	
		標準化偏回帰係数	—	0.30	0.45	0.23	0.18	0.37	0.13	0.28	重決定係数	0.987		
		寄与率	—	15.5	23.1	11.7	9.4	19.2	6.5	14.6	自由度調整済み決定係数	0.983		
	最上階 中央	偏回帰係数	-21.76	1.12	3.19	0.72	0.01	0.11	0.71	4.62	重相関係数	0.996		6.46E-23
		標準化偏回帰係数	—	0.23	0.53	0.22	0.12	0.28	0.11	0.32	重決定係数	0.993		
		寄与率	—	12.7	29.6	12.1	6.5	15.4	6.2	17.6	自由度調整済み決定係数	0.990		
	中間階 妻側	偏回帰係数	-19.50	2.15	—	0.84	0.01	0.10	0.58	4.77	重相関係数	0.993		3.91E-18
		標準化偏回帰係数	—	0.50	—	0.32	0.11	0.39	0.14	0.48	重決定係数	0.985		
		寄与率	—	25.9	—	16.6	5.5	20.0	7.2	24.9	自由度調整済み決定係数	0.981		
中間階 中央	偏回帰係数	-15.46	1.51	—	0.77	0.00	0.06	0.43	5.09	重相関係数	0.996	2.22E-21		
	標準化偏回帰係数	—	0.41	—	0.34	0.07	0.27	0.12	0.60	重決定係数	0.993			
	寄与率	—	22.6	—	19.1	3.6	14.8	6.7	33.2	自由度調整済み決定係数	0.991			
S造	最上階 妻側	偏回帰係数	-20.32	2.01	3.14	0.72	0.01	0.10	0.64	4.49	重相関係数	0.996	4.13E-22	
		標準化偏回帰係数	—	0.15	0.58	0.23	0.11	0.28	0.11	0.32	重決定係数	0.991		
		寄与率	—	8.2	32.7	12.8	6.4	15.7	6.0	18.2	自由度調整済み決定係数	0.989		
	最上階 中央	偏回帰係数	-18.41	1.35	3.42	0.65	0.01	0.08	0.58	4.71	重相関係数	0.997	3.05E-24	
		標準化偏回帰係数	—	0.10	0.63	0.21	0.08	0.22	0.10	0.34	重決定係数	0.994		
		寄与率	—	5.8	37.9	12.5	4.7	13.2	5.7	20.3	自由度調整済み決定係数	0.993		
	中間階 妻側	偏回帰係数	-15.50	2.28	—	0.90	0.004	0.06	0.43	4.88	重相関係数	0.994	2.38E-19	
		標準化偏回帰係数	—	0.23	—	0.44	0.07	0.31	0.13	0.63	重決定係数	0.989		
		寄与率	—	12.7	—	24.5	3.7	17.1	7.3	34.8	自由度調整済み決定係数	0.986		
	中間階 中央	偏回帰係数	-12.57	1.30	—	0.80	0.002	0.04	0.33	5.09	重相関係数	0.997	2.49E-22	
		標準化偏回帰係数	—	0.14	—	0.42	0.04	0.21	0.11	0.71	重決定係数	0.994		
		寄与率	—	8.7	—	25.8	2.6	13.1	6.6	43.2	自由度調整済み決定係数	0.992		

表 5.2 構造別、住戸位置別の冷房負荷の重回帰分析の結果

構造	住戸位置	係数	切片 b	熱損失			天井仕様		空調時間 B <sub>3</sub>	床面積 B <sub>4</sub>	設定温度 B <sub>5</sub>	回帰係数		有意確率
				B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>				重相関係数	重決定係数	
RC造	最上階 妻側	偏回帰係数	20.92	-0.19	0.32	0.03	0.02	-0.69	重相関係数	0.926	7.51E-08			
		標準化偏回帰係数	—	-0.24	0.30	0.69	0.16	-0.31	重決定係数	0.858				
		寄与率	—	14.2	17.6	40.9	9.2	18.1	自由度調整済み決定係数	0.823				
	最上階 中央	偏回帰係数	20.84	-0.41	0.38	0.02	0.02	-0.68	重相関係数	0.931	3.92E-08			
		標準化偏回帰係数	—	-0.36	0.39	0.63	0.17	-0.33	重決定係数	0.867				
		寄与率	—	19.0	20.8	33.4	9.0	17.7	自由度調整済み決定係数	0.834				
	中間階 妻側	偏回帰係数	19.52	-0.33	—	0.02	0.02	-0.61	重相関係数	0.919	4.47E-07			
		標準化偏回帰係数	—	-0.33	—	0.62	0.19	-0.29	重決定係数	0.845				
		寄与率	—	22.9	—	43.7	13.0	20.4	自由度調整済み決定係数	0.810				
中間階 中央	偏回帰係数	19.21	-0.58	—	0.02	0.02	-0.6	重相関係数	0.930	1.35E-07				
	標準化偏回帰係数	—	-0.45	—	0.54	0.20	-0.3	重決定係数	0.865					
	寄与率	—	29.4	—	35.6	13.5	21.5	自由度調整済み決定係数	0.834					
S造	最上階 妻側	偏回帰係数	20.33	-0.40	0.35	0.02	0.02	-0.65	重相関係数	0.929	5.44E-08			
		標準化偏回帰係数	—	-0.30	0.35	0.67	0.17	-0.29	重決定係数	0.863				
		寄与率	—	16.7	19.6	37.7	9.7	16.3	自由度調整済み決定係数	0.829				
	最上階 中央	偏回帰係数	19.96	-0.51	0.40	0.02	0.02	-0.64	重相関係数	0.931	4.35E-08			
		標準化偏回帰係数	—	-0.34	0.43	0.62	0.18	-0.32	重決定係数	0.866				
		寄与率	—	18.1	22.8	33.0	9.3	16.8	自由度調整済み決定係数	0.833				
	中間階 妻側	偏回帰係数	19.15	-0.58	—	0.02	0.02	-0.58	重相関係数	0.923	2.84E-07			
		標準化偏回帰係数	—	-0.37	—	0.59	0.21	-0.27	重決定係数	0.853				
		寄与率	—	25.4	—	40.9	14.7	19.0	自由度調整済み決定係数	0.820				
	中間階 中央	偏回帰係数	18.36	-0.68	—	0.02	0.02	-0.56	重相関係数	0.927	1.99E-07			
		標準化偏回帰係数	—	-0.43	—	0.54	0.22	-0.31	重決定係数	0.858				
		寄与率	—	0.29	—	0.36	0.15	0.21	自由度調整済み決定係数	0.827				

にした場合は約15%削減されている。断熱により外気からの流入熱は緩和されるものの、室内から流出熱も抑制されるため、冷房に対しては両者のバランスを考慮した最適な断熱水準があると推察される。

#### 4.2.3 給湯、照明・家電

給湯、照明・家電負荷を比較すると、3人世帯は2人世帯よりそれぞれ約19%、約7%増加している。また、4人世帯は3人世帯よりそれぞれ約25%、約11%増加している。

### 5. エネルギー消費量予測式の作成

前章4のパラメトリック解析の結果を使用して、暖冷房負荷を目的変数、建築仕様やライフスタイルの各パラメータを説明変数として重回帰分析を行い、各説明変数の影響度を定量化する。さらに、暖冷房負荷の簡易予測式を作成して暖冷房エネルギー消費量を算出する。それに、世帯人数別の給湯、照明・家電エネルギー消費量を加算して、世帯当たりエネルギー消費量を計算する。簡易予測式は用途別（暖房と冷房）、構造別（RC造とS造）、住戸位置別（中間階妻側と中央、最上階妻側と中央）に16ケースを作成する。

#### 5.1 暖房・冷房負荷の予測式

式(1)と式(2)に示すように、暖房負荷「目的変数 ( $y_{heating}$ )」については外壁仕様、天井仕様、窓仕様、空調時間、床面積、暖房設定温度および換気回数を「説明変数 ( $A_{1\sim7}$ )」として、冷房負荷「目的変数 ( $y_{cooling}$ )」については熱損失係数、天井仕様、空調時間、床面積および冷房設定温度を「説明変数 ( $B_{1\sim5}$ )」として重回帰分析を行う。世帯人数の増加にともない空調時間、空調スペースは増える傾向にあり、多重共線性を避けるため世帯人数は説明変数から除いた。表5.1と表5.2に構造別、住戸位置別の暖房・冷房の重回帰分析結果を示す。

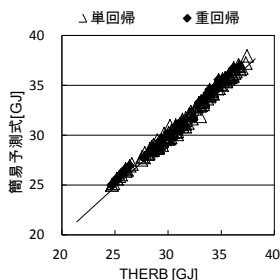


図 5.1 簡易予測式と THERB によるエネルギー消費量の計算結果

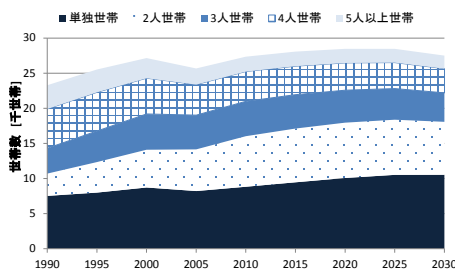


図 5.2 世帯人数別世帯数

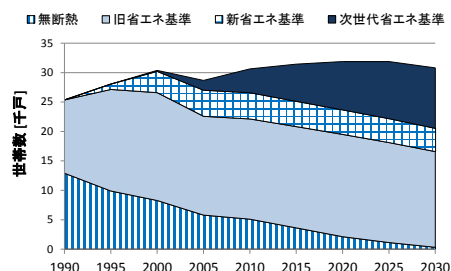


図 5.3 断熱水準別ストック数

$$y_{heating} = A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 + A_4 X_4 + A_5 X_5 + A_6 X_6 + A_7 X_7 + b \quad (1)$$

$$y_{cooling} = B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_4 X_4 + B_5 X_5 + b \quad (2)$$

### 5.2 予測式の精度検証

簡易予測式(1), (2)の精度を検証するため、パラメータ感度解析によるケーススタディを行う。図5.1に、RC造の簡易予測式とTHERBによるエネルギー消費量の計算結果を示す。簡易予測式はTHERBより若干大きくなる傾向にあるが、最大でも3.5%の誤差である。簡易予測式は暖冷房負荷の計算方法として十分な精度を有しており、手軽な計算ツールとして活用できる。

### 6. 秦野市の家庭部門エネルギー消費量の推計

秦野市を対象として将来の集合住宅家庭用エネルギー消費量を予測するには、秦野市における集合住宅の構造別・断熱水準別・住戸位置別・世帯人数別の世帯数の推移を予測する必要がある。図5.2と図5.3に、帯構成別世帯数<sup>注2)</sup>と断熱水準別ストック数<sup>注3)</sup>を示す。図5.2に示すように、集合住宅では単独世帯、2人世帯が2030年にかけて増加すると推計される。一方で、3人世帯は2010年頃から、4人世帯では2005年、5人以上世帯では1995年から徐々に減少する。

図5.4に、1990年～2030年の秦野市の集合住宅家庭用エネルギー消費量の推定値を示す。共用部のエネルギー消費量は文献<sup>7)</sup>から引用し、木造は1.27GJ/戸・

表 6.1 省エネ対策の内容

項目	ケース	内 容
基準	基準	自然に推移した場合
建築仕様	①	新省エネ基準以下の住宅のみ建設される。
	②	2010年以降、全ての新築住宅が新省エネ基準以上を満たす。 2030年に全ての旧省エネ基準の住宅の窓が複層ガラスに改修される。
	③	2010年以降、全ての新築住宅が次世代省エネ基準を満たす。 2030年に全住宅が次世代省エネ基準に改修される。
ライフスタイル	④	暖房設定温度22℃を20℃に変更する。 冷房設定温度26℃を27℃に変更する。 給湯設定温度を現状よりも1℃下げる。
	⑤	2030年に全住宅の暖房機器のCOPが3→6に向上される。 2030年に全住宅の冷房機器のCOPが3→6に向上される。 2030年に全住宅の給湯器のCOPが1→3に向上される。 2030年に全住宅の照明がLED蛍光灯に買い替えられる。
全対策	⑥	ケース②、④、⑤の対策を実施する。

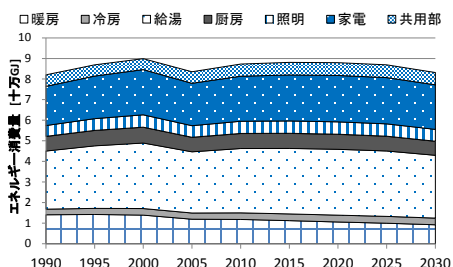


図 5.4 家庭部門エネルギー消費量の推移

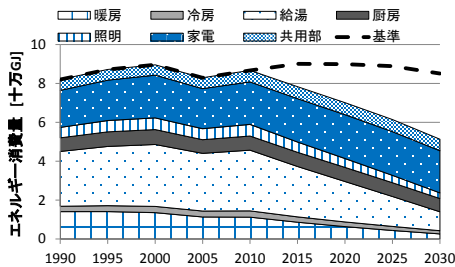


図 6.1 全対策を実施した場合のエネルギー消費量の推移

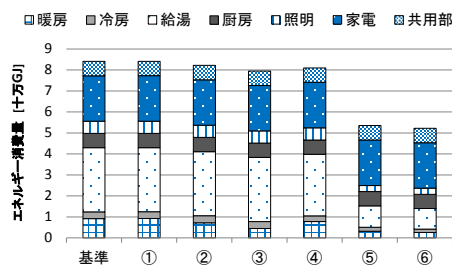


図 6.2 対策ケース別の2030年におけるエネルギー消費量

年、RC造とS造はいずれも3.2GJ/戸・年として加算した。2005年は集合住宅の世帯数が減少したため、家庭用エネルギー消費量も減少しているが、その後は緩やかに増加しており、2025年からは徐々に減少すると推定される。90年比では、暖房エネルギー消費量は住宅の断熱性が良くなることで減少していくが、それ以上に世帯数の増加により給湯用エネルギー消費量、照明・家電用エネルギー消費量などが増えるため、全体のエネルギー消費量は増加することが予想される。ただし、ここでは給湯、空調などの機器効率は現状のまま維持された場合を想定している。

## 7. 秦野市における省エネルギーの検討

前章6で求めた結果を基準ケースとして省エネルギー対策効果について検討する。表6.1に、建築仕様、ライフスタイル、建築設備に関する省エネ対策の内容を示す。図6.1に全対策（ケース⑥）を実施した場合のエネルギー消費量の推移、図6.2に対策ケース①～⑥の2030年のエネルギー消費量を示す。基準ケースおよび1990年と比較すると、ケース②～⑥はいずれも減少している。中でも、ケース⑤による空調・給湯用エネルギーの削減効果が大きく（建築性能の自然な向上を含む）、設備機器の効率向上が将来の省エネルギーに極めて重要なことが分かる。ただし、空調機器効率は、建築性能の向上やそれともなう暖冷房設定温度の緩和と相互に関連しており、省エネルギーには建築・設備・ライフスタイルの総合的な改善が必要であると考えられる。2030年のエネルギー消費量は、1990年に比べて最大で37.4%もの削減が可能であることを示した。

## 8. 結論

数値シミュレーションにより、エネルギー基本計画の目標年（2030年）までの集合住宅における家庭用エネルギー消費量の推移を予測し、省エネルギー対策効果について検討した。まず、数値シミュレーションと実態調査を比較することにより、家庭用消費エネルギーの予測方法の妥当性および計算精度について検討した。計算結果と調査結果の誤差は6%程度であり、数値シミュレーションの十分な精度を確認した。次に、集合住宅の構造別・断熱水準別・住戸位置別・世帯人数別の世帯数の推移を予測し、これに共用部の年間エネルギー消費量を加算することで都市における集合住宅の家庭用エネルギー消費量を詳細に算出した。その結果、2010年以降、新設着工数の減少や次世代省エネルギー基準住宅の普及にともない暖房エネルギー消費量は徐々に減少していくが、世帯数の増加による給湯、照明・家電エネルギー消費量の増加により、機器性能が現状のまま推移した場合は、家庭用エネルギー消費量は1990年比で1.4%の増加となることを示した。しかしながら、建築性能の向上と同時に、設備機器の高効率化とライフスタイルの改善が図られると最大で

37.4%もの省エネルギーが可能であることを明らかにした。

## 注

- 1) 秦野市  
将来の世帯人数別世帯数、住戸数の予測が可能であるため実在する自治体で、中規模郊外型都市である神奈川県秦野市を選定した。なお、秦野市は日本建築学会特別委員会「建築・都市将来モデル予測委員会（2009.4～2011.3）」において、民生部門エネルギーや都市環境の評価都市に選定されている。
- 2) 世帯数の将来推計  
人口問題研究所<sup>8)</sup>で推計している神奈川県将来推計世帯数に、神奈川県推計値に対する秦野市の人口比率を乗じることで秦野市の将来推計世帯数を算出する。本研究では、文献<sup>9)</sup>より、神奈川県住宅総数に占める戸建と構造別集合住宅の割合を乗じて世帯数を計算した。
- 3) 構造別・断熱水準別・住戸位置別・世帯人数別世帯数  
①ストック数 将来推計データに空き家率<sup>9)</sup>を考慮してストック戸数とした。  
②新設着工住宅数 文献<sup>9)</sup>より、1991年～2005年の5年ごとの秦野市の新設着工戸数が得られる。これを構造別に振り分ける。振り分ける割合は神奈川県新設住宅戸数を基に1991年から5年毎の構造別新設住宅数の比率を用いた。2015年以降の新設着工割合は2006～2010年と同じ比率とした。  
③解体戸数 ②より秦野市の新設着工戸数が得られたので、まず1995年の解体戸数を求める。1990年の住宅ストック数に1991～1995年の新設着工数を加算したものから、1995年時点での住宅ストック数を減じたものを1991～1995年の解体戸数とする。これ1995年以降も同様に求める。  
④断熱水準別着工住宅戸数 文献<sup>10)</sup>の新築着工戸数に占める新省エネ基準、次世代省エネ基準の割合を使用した。文献<sup>10)</sup>では、文献<sup>11)</sup>より得られた神奈川県における1992年～2004年度の新省エネルギー基準の着工戸数に占める比率を用いてロジスティック回帰分析を行い、新築着工戸数に占める新省エネ基準、次世代省エネ基準の割合を求めている。  
⑤断熱水準別ストック戸数 文献<sup>6)</sup>を参考に、1990年時点での住宅ストックに占める旧省エネ基準の比率を49.16%、無断熱の比率を50.9%とし、それ以降は、5年ごとに④で求めた断熱水準別着工住宅戸数を加算し、③で求めた解体戸数分を無断熱の住宅から順に減じることで断熱水準別住宅ストック戸数を推計した。  
⑥世帯人数別の断熱水準別世帯数 ②で求めた構造別・世帯人数別世帯数と⑤で求めた構造別断熱水準別ストック数の比率を掛け世帯人数別の断熱水準別世帯数を推計する。  
⑦住戸位置別の断熱水準別・世帯人数別戸数 文献<sup>9)</sup>から秦野市における1993年、1998年、2003年、2008年の構造別階数別戸数がわかるので、まず住戸階別の断熱水準別・世帯人数別戸数を推計する。2005年以降は2008年の比率を使用した。次に、文献<sup>12)</sup>から構造別・階数別の1棟当たりの平均の住宅数が得られたので、戸数を求めるために四捨五入する。それにより住戸位置（最上階妻側・最上階中央・中間階妻側・中間階中央）別住戸数を割り出す。2010年以降は2008年と同様に推移すると仮定した。構造別・断熱水準別・住戸所在階別・世帯人数別世帯数と住戸位置別住戸数の割合を掛け合わせて、構造別・断熱水準別・住戸位置別・世帯人数別世帯数を算出する。

## 参考文献

- 1) 例えば、西谷早百合、吉野博、村上周三、伊香賀俊治、河田志穂、中村佐和子：低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言（第7報）仙台市を対象とした住宅エネルギーの将来予測、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.993-994、2010
- 2) 空気調和衛生学会・住宅用エネルギーシミュレーション小委員会：生活スケジュール自動作成プログラム SCHEDULE Ver.2.0マニュアル、2000年3月
- 3) 尾崎明仁：熱・水分・空気連成を考慮した建築の温湿度・熱負荷計算、Technical Papers of Annual Meeting of IBPSA-Japan, pp.19-26、2005
- 4) 水谷健、井上隆、小熊孝則：住宅内における用途別エネルギー消費と住まい方の実態に関する研究、アンケート調査に基づく分析一、日本建築学会環境系論文集 第609号、pp117-124、2006年11月
- 5) 総務省統計局；H15住宅土地統計調査
- 6) 深澤大樹、他4人：住宅内のエネルギー消費量の都道府県別将来推計に関する研究（その4）都道府県別住宅断熱水準、日本建築学会学術講演梗概集、pp401-402、2004.8
- 7) 青勇志、山羽基、永井久也、祝京子、岩田剛；集合住宅共用部のエネルギー消費実態に関する研究 その1 中低層分譲マンション共用部の年間電力消費実態、日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）、2009年8月
- 8) 国立社会保障・人口問題研究所：都道府県別将来推計人口、市町村別将来推計人口、日本の世帯数の将来推計（都道府県別）、2007
- 9) 総務省統計局；平成5年住宅統計調査報告 第3巻都道府県編 その14神奈川県；平成7年3月発行総務省統計局；平成10年住宅・土地統計調査など
- 10) 井上玄規、尾崎明仁、梅宮典子、李明香、尾崎由美；民生家庭部門のエネルギー消費量の将来予測に関する研究 その2 エネルギー消費量の推移、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究会発表論文集、pp169-172、2011年3月
- 11) 住宅金融支援機構；個人住宅規模規格等調査報告 集大成版（昭和56年度～平成1年度物件調査）
- 12) 総務省統計局；H10住宅土地統計調査

◆ 討議[横山先生]

集合住宅プラン（修士論文に掲載されている中央住戸）は無窓室となっているので、住宅プランとして不適切ではないか。

- ◆ 回答：IBEC（建築環境・省エネルギー機構）の「次世代省エネルギー基準及び同解説」に、熱負荷計算用の集合住宅プランとして西側住戸が掲載されており、同プランの西側外壁を隣接住戸との境界壁に変更して掲載しました。しかし、中央住戸とする場合は、個室2が無窓室となるため、例えば個室2と個室3を合わせて1室と考え、扉あるいは簡易間仕切り等で仕切るべきであったと思います。

追記：個室2と個室3の間仕切りは、室から外気への熱損失に直接的には関係しないため、間仕切り仕様を変更しても熱負荷に及ぼす影響は少ないと考えられる。個室2と3を扉で仕切った場合の数値シミュレーションを行った。

表1、図1、図2に、最上階と中間階の中央住戸において、個室2と個室3を壁あるいは扉で間仕切った場合の年間熱負荷の計算結果を示す。間仕切り仕様の違いによる熱負荷への影響は、ほとんど見られない。

表1 住戸位置・間仕切り別暖冷房負荷[GJ]

	最上階中央		中間階中央	
	扉	壁	扉	壁
2人・無断熱・暖房	14.78	14.78	8.08	8.07
2人・旧省エネ・暖房	9.46	9.46	6.27	6.26
3人・無断熱・暖房	19.29	19.31	11.22	11.23
3人・旧省エネ・暖房	12.44	12.45	8.47	8.48
2人・無断熱・冷房	3.14	3.14	2.19	2.19
2人・旧省エネ・冷房	2.65	2.65	2.40	2.39
3人・無断熱・冷房	4.17	4.17	3.04	3.03
3人・旧省エネ・冷房	3.60	3.59	3.32	3.31

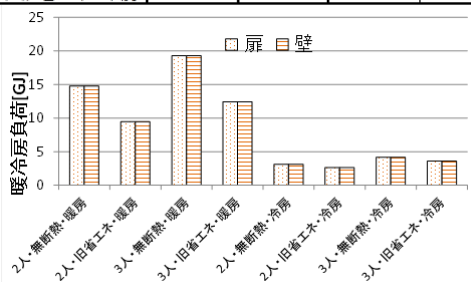


図1 最上階中央住戸の暖冷房負荷[GJ]

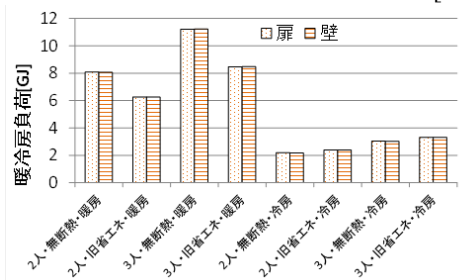


図2 中間階中央住戸の暖冷房負荷[GJ]

◆ 討議[横山先生]

今後、少人数世帯が増加することを考慮すると面積74m<sup>2</sup>は大きいのではないか。

- ◆ 回答：IBECの熱負荷計算用集合住宅プランを採用した理由は、①公的機関による省エネルギー計算のための例証プランであり多くの計算事例があるため②建物仕様が詳細に説明されており計算に適しているためです。この住宅プランの延床面積は74.45m<sup>2</sup>であり、実態調査の約60m<sup>2</sup>（あるいは、2003年住宅・土地統計調査による集合住宅の平均延床面積47.67m<sup>2</sup>）と比較すると大きいですが、空調対象となる居間、主寝室、個室、厨房の面積（表2参照）は、一般的な広さの範囲内と考えます。IBEC住宅プランは少人数世帯には広いが、空調面積は在室している室に限られるため、延床面積の広さが熱負荷（およびエネルギー消費量）へ及ぼす影響は少ないと考えます。

表2 空調スペースの面積[m<sup>2</sup>]

	居間	主寝室	子供部屋	厨房	合計
2人世帯	19.0	9.3	-	6.6	34.9
3人世帯	19.0	9.3	9.1	6.6	44.0

◆ 討議[横山先生]

建築性能の向上は、省エネルギー（空調用エネルギーの低減）に有効であるという結論が得られているが、建築的な平面あるいは断面計画において、省エネルギーに効果ある方策はないか。

- ◆ 回答：最上階住戸では、壁や窓の断熱より天井の断熱が暖冷房負荷低減には効果がありますが、1階住戸においては床の断熱は暖冷房負荷と相関はないため、効果はあまりありません。住戸位置によって、省エネルギー効果にどの仕様が効果的かパラメトリック解析と重回帰分析により定量化しています。

追記：空調用エネルギーには、貫流熱負荷、外気負荷（漏気による換気熱損失）、および日射熱取得が大きく影響する。貫流熱負荷と外気負荷は、建築外被（外壁、窓、屋根）の断熱・気密性能の向上により低減できる。一方、日射熱取得は、冬季は暖房負荷を減少するが、夏季は冷房負荷を増加させる要因となり、建築プラン（建物形状、室配置、外壁面積、開口の位置・面積、庇の有無、屋根の方位・傾斜角度など）が大きく影響する。ダイレクトゲインや通風などの自然エネルギーを利用したパッシブヒーティング&クーリング技術は、基本的に建築プランに基づいた方法であ

る。しかし、集合住宅は建築プランの自由度が少なく、また、一般にベランダが日射遮蔽するため、自然エネルギーの利用（日射熱取得の調整など）は困難である。したがって、集合住宅では外被性能の強化が主な省エネルギー対策となる。

◆ 討議[横山先生]

生活パターンの自動作成方法について、具体的に示してほしい。

- ◆ 回答：Schedule ソフトは、NHK 国民生活時間調査を基にして、日本人の標準的な行動データを作成します。例えば、主婦がある時間に住居内のどの場所でどのような行為をしているかといったものです。また、季節毎に入浴回数やシャワーの使用、さらには平日と休日の違いなどがスケジュール化されます。使用水量も出力されますので、給湯用エネルギー消費量を算出することができます。

追記：Schedule ソフトは、住宅のエネルギー計算用に生活スケジュールを自動生成するプログラムである。NHK 国民生活時間調査を基に、在室者の時刻別行為が数値データとしてデフォルトされている。今回使用した Schedule Ver.2 は、1990 年に調査された全国 67,898 人のデータから作成されている。行為者を 8 分類、1 日の行為を 28 分類し、休日と平日のそれぞれで行為率の高い順に平均時間量を積算して 24 時間の行動をモデル化している。つまり、Schedule により標準的な日本人の生活スケジュールを把握できる。

Schedule は、家族構成（性別・属性）と建物構成（室名・使用者・用途・面積）を入力条件として、生活スケジュールを作成する。この入力条件に応じて、各室における 15 分間隔の行為と使用機器が自動的に数値データ化される。使用機器は一般的なものであるが、追加・削除および設定データ（使用時間、消費電力量、発熱量、発湿量など）の変更が可能である。なお、生活スケジュールは、対象期間により行為時間や照明時間などが異なることから、季節別・曜日別に作成される。具体的には、冬・平日、冬・休日、春秋・平日、春秋・休日、夏・平日、冬・休日の 6 種類である。つまり、属性別の行為がモデル化され、季節別および休日・平日別にワークシートに出力される。行為別に代謝量（Met）もデフォルトされているため、人体からの発熱量も作成される。今回の計算とは関係ないが、喫煙本数から室内汚染物質の

発生量も計算できる。

その他、給湯については、行為別・季節別に使用温度と使用水量が出力される。なお、本研究では、使用水量に設定温度と外気温度（暖房期間は日最高気温の月平均値、冷房期間は日最低気温の月平均値）の差、比熱および比重を乗じて、給湯用エネルギー消費量を算出している。照明については、在室時間のみ点灯する方法と季節別に時間設定して点灯する方法があり、それぞれ床面積当たりの発熱量（照明容量ではなく、使用率を考慮した点灯容量）が計算される。さらに、家電について、在室者の行為に係わるテレビ、ドライヤーなどと、行為に無関係な冷蔵庫などの消費電力量がデフォルトされている。

◆ 討議[中尾先生]

膨大な数値シミュレーションを行い、暖冷房負荷の予測式を作成している。説明変数に気象条件が含まれていないが、気象が異なる寒冷地やその他の都市（大阪など）を対象とする場合はどのようにするのか。

- ◆ 回答：今回は特定地域（秦野市）を対象とした詳細な予測を目的としているため、気象条件にアメダス気象データ（横浜・標準年）を使用していますので、THERB の気象条件を変更することで同様な計算は可能です。

◆ 討議[中尾先生]

手法を紹介したということになるか。

- ◆ 回答：他の都市・地域でも同様の方法で将来の家庭部門エネルギー消費量の予測が可能であると考えます。

追記：本研究では秦野市を対象としたため、気象条件は説明変数にしていない。しかし、例えば気候区分別（省エネルギー基準の第 I 地域～第 VI 地域）に検討する場合は、各地域の代表的な気象データを使用して消費エネルギーを計算し、その結果を基に、重回帰分析に外気温湿度や日射量などを追加すれば、説明変数に気象条件も加わることになる。