秋田県を対象とした住宅内エネルギー消費量の将来推計

STUDY ON FUTURE ESTIMATION OF HOME ENERGY CONSUMPTION IN AKITA PREFECTURE

長谷川兼一 — * 1 松本真一 — * 1
細淵勇人 — * 2

Kenichi HASEGAWA — * 1 Shin-ichi MATSUMOTO — * 1
Hayato HOSOBUCHI — * 2

キーワード：

住宅内エネルギー消費量, 秋田県, 二酸化炭素排出量,
マクロシミュレーション

Keywords:

Home energy consumption, Akita prefecture, CO₂ emission, Macro simulation

Home energy saving is essential to prevent global warming, and it is not exception in the local city. Akita prefecture has drawn up 'Regional Promotion Plans for Combating Global Warming in Akita' in 2017, and declared the CO₂ reduction of 26.0% from 2013 levels by 2030 in the residential sector. The development of scenarios for energy saving should be useful to implement the new scheme of low carbon society. Authors have already built the simulation method to forecast home energy consumption in the future. This paper describes the prediction accuracy of our methodology and the possibility of CO₂ reduction level with the penetration of several energy saving technologies.

1. はじめに

近年, 地球温暖化やエネルギー資源の枯渇が問題となっている。2016年にパリ協定が発効され, 日本は新たに「地球温暖化対策計画」¹⁾を策定した。削減目標は, 民生家庭部門で二酸化炭素排出量を2030年時2013年比39.3%削減である。さらに, 今世紀後半には, 温室効果ガスの排出を実質ゼロにするために, エネルギーを地産地消する地域システムの実現を目指すこととした。

秋田県では, このような動向に合わせて, 平成28年度に「第2次秋田県地球温暖化対策推進計画」²⁾を策定したが, 各種対策の実効性を高めて, 確実に二酸化炭素をはじめとする温室効果ガス排出量を削減することが期待される。推進計画では, 2030年までの計画が網羅されており, 国の推計方法³⁾に倣って各種対策の温室効果ガス削減量が推計されている。2030年には基準年(2013年)比26.0%削減の目標が掲げられ, その内訳のうち民生家庭部門においても基準年比26.0%削減である。

筆者らは, 予てから伊香賀らの推計モデル⁴⁾を参考にして住宅・非住宅のエネルギー消費量の予測のためにマクロモデルを構築し, 秋田県での将来推計⁵⁾⁶⁾⁷⁾を試みている。温室効果ガス排出量の予測は不確実性が高いが, 低炭素社会の実現に向けたシナリオを検討するに当たっては, ライフスタイルや家族構成の変化, 温暖化による気象の変化に対応できる確度の高い将来推計が有効である。筆者らが作成したマクロモデルには, 暖冷房負荷の算定方法や家電機器の電力消費の予測に課題が残されていたが, 今回新たにモデルの推計精度の向上に取り組み, 妥当なモデルが構築できたため, 本報にて報告する。さらに, このモデルを用いて, 秋田県の民生家庭部門における住宅による二酸化炭素排出量を推計し, 温暖化対策に向けた省エネルギーシナリオ構築のための基礎的資料を提示する。

2. マクロモデルの概要

2.1 マクロモデルの構成

図1にマクロモデルの計算フローを示す。黒塗りは本論文において改良した項目を示す。モデルでは, 用途別(暖冷房用, 給湯用, その他用)に7家族類型別(2.5に示す), 3住戸形態別(戸建住宅・RC造集合住宅・木造集合住宅)のエネルギー消費量を市町村毎に算出し, 将来推計パラメータとなる断熱水準別住宅シェアと家族類型別世帯数を乗じることで, 秋田県全体のエネルギー消費量を算出する。すなわち, 家族類型毎の標準となるエネルギー消費原単位を推計し, それぞれに年代別世帯数を乗じるマクロな視点で構築されている。また, 秋田県のエネルギー消費特性⁸⁾を反映させるために, 対象市町村をDID(Densely Inhabited District, 人口集中地区)と非DIDに分類し, 暖冷房設定温度や熱源機器のエネルギー源割合などについて異なる予条件を設定⁹⁾している。

二酸化炭素排出量の推計では, 用途ごとにエネルギー源を分類し, 二酸化炭素排出係数^{注1)}を乗じた。2011年に生じた東日本大震災の影響により二酸化炭素排出係数は修正されているが, 本論文では, それ以降の二酸化炭素排出係数を一定として推計する。

2.2 拡張デグリーデー法による暖冷房負荷の算出方法

建物の暖冷房負荷を簡易に予測する手法として, 住宅の熱損失係数に暖冷房デグリーデーを乗じることにより, 暖冷房期間の総熱損失量を求める方法がある。しかしながら, この方法では外気温のみしか考慮していないため, 実用的な暖冷房の予測をするには限界がある。そこで, 本マクロモデルでは, 方位別日射量や内部発熱などの影響も考慮した拡張デグリーデー法¹¹⁾¹²⁾を適用する。

図2に拡張デグリーデー法による暖房負荷の計算フローを示す。本研究では, 冷房負荷の算定においては外気温の代わりに相当外

¹⁾ 秋田県立大学システム科学技術学部 教授・博士(工学)
(〒015-0055 秋田県由利本荘市土谷字海老ノ口84-4)

²⁾ 愛知工業大学工学部 講師・博士(工学)

¹⁾ Prof., Akita Prefectural Univ., Dr. Eng.

²⁾ Lecturer, Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.

気温を用いて予測精度の向上を図った。また、拡張デグリーデー法で算出した暖冷房負荷を、動的熱負荷計算による精解値と比較した場合、終日暖房の場合には良好な対応があることを確認できたが、間欠暖房や部分暖房では補正係数が必要¹¹⁾となる。本論文では、別途検証した補正係数^{6), 注2)}を使用し、各種の暖冷房運転に対応できるようにした。気象データには拡張アメダス気象データ¹³⁾を用い、県内25市町村^{注3)}における住戸形態別の暖冷房負荷を算出した。

2.3 給湯負荷の算出方法

生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver2.0¹⁴⁾を用いて行為別に使用頻度と水量を算出した。給湯設定温度と、計算対象地域の市町村毎の外気温との差より給湯負荷を求めた。

2.4 家電機器の電力消費の算出方法

暖冷房と給湯以外の用途を、照明・厨房・娯楽情報・家事衛生・その他に分類した。家族類型別に機器の使用時間、消費電力を SCHEDULE Ver2.0 を用いて求めた。既往研究⁵⁾⁶⁾では、機器効率をいずれの年度においても一定としていたが、最近の各種家電機器の普及状況を鑑み、所有台数や機器の定格電力などを収集した情報¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾をもとに年度毎に変動させ、将来のパラメータは変動を対数近似にて外挿した。

2.5 家族類型の設定

高齢単独世帯・その他単独世帯・高齢夫婦世帯・その他夫婦世帯・夫婦と子からなる世帯・ひとり親と子からなる世帯・その他世帯^{注4)}の7家族類型に分類した。

家族類型別世帯数の推移を図3に示す。2015年までを国勢調査の統計値¹⁸⁾、2020年から2035年までを人口問題研究所の推計値¹⁹⁾を用いた。2040年から2050年までは、2020年から2035年の人口問題研究所による推計値から作成した近似式に、推計する年代を代入して独自推計した。図を見ると、2005年に世帯数は最大となり、その後は減少傾向を示す。夫婦と子世帯、その他世帯が減少しているが、高齢世帯では顕著な減少傾向は見られない結果となった。これは秋田県の少子高齢化傾向を反映しているといえる。

2.6 断熱水準別の住宅数

住戸形態別住宅ストックにおける断熱水準別の住宅数を年代別に推計した。断熱水準は、無断熱、1980年基準、1992年基準、1999年基準とし、断熱水準別の住宅数は外岡らの手法²⁰⁾をもとに推計した。1990年時点の断熱水準別住宅ストックに、各年の着工住宅数を断熱水準別の割合を想定して足し合わせ、次年度の住宅ストックに反映させた。その際、図3のように世帯数により住宅ストックを定めるため、それを上回った場合は解体されるものと扱った。なお、2020年以降の新築住宅には、省エネルギー基準を適用した。

図4に、一例として戸建住宅に対する計算結果を示す。無断熱レベルの住宅は2030年頃には見られなくなるが、2050年時点においても、1980年レベルの断熱性能を有する住宅が半数を占める。現行の省エネルギー基準を満たす住宅は3割程度に留まっており、何らかの政策介入がなければ住宅ストックの高断熱化を推進することが困難だとも見て取れる。なお、本論文では、現行の省エネルギー基準を上回る高い断熱性能を有する住宅を推計には含めていない。また、断熱改修の普及についても想定していない。これらは、民生家庭部門の低炭素化には不可欠なパラメータであるが、今後の普及状況を見据えた上でマクロモデルに反映する必要がある。

図1 マクロモデルの計算フロー⁵⁾

図2 拡張デグリーデー法による暖房負荷の算出フロー

図3 家族類型別世帯数の推移

3. マクロモデルを用いた将来推計

3.1 マクロモデルの精度検証

図 5 に 1990 年から 2010 年までの秋田県全体の用途別民生家庭部門エネルギー消費量を、統計値²¹⁾と比較して示す。推計値と統計値との差は最大 6.4%(1990 年)である。また、既往研究⁶⁾の推計値と比較すると、1990 年で統計値との差を 2.6 ポイント改善することができた。2000 年以降については統計値と比較し±0.3%に収まっており、過去の実績値を比較する範囲においては十分な精度が得られているといえる。1990 年に差が大きい理由としては、その他の用途での差が大きいこと、当時の家電所有の状況が十分に反映されていないことが考えられる。しかしながら、2030 年以降の将来推計では 2013 年が基準となるため、本研究を進めるに当たっては支障がないと判断できる。

3.2 省エネルギーシナリオの設定

表 1、2 に本論文にて設定した 2 種類のシナリオの条件を示す。なお、BAU シナリオでは 2015 年の状態が継続すると想定した。

表 1 の県対策シナリオは、秋田県地球温暖化対策推進計画²⁾を基に作成した。住宅の断熱水準向上、高効率機器の普及、省エネ家電の普及、HEMS 導入によるエネルギー消費量の削減を反映した。なお、住宅性能の向上による二酸化炭素排出量の削減を推計するため、国民運動による削減対策は反映させていない。

表 2 の高効率機器導入シナリオは、表 1 に示した県対策シナリオに加え、機器の効率・普及率のさらなる向上と太陽光発電による発電分を反映させた。暖房機器の効率向上はトップランナー制度²²⁾を参考とした。太陽電池の普及率を実績²³⁾にもとづいて設定し、将来の普及率を線形に外挿²⁴⁾し、2050 年時に 20% に達するとした。また、発電量を既往研究²⁵⁾²⁶⁾を参考に算出した。発電容量 3.3kW の太陽光パネルが戸建住宅の屋根面に設置(一律、方位角 0°、傾斜角 30°)されると想定し、県内 25 市町村の日射量を用いて年間発電量を求めた。それらの発電量を市町村毎の世帯数で重み付け平均し、平均発電量^{注 5)}に全世帯数を乗じて総年間発電量を求めた。

3.3 推計結果

図 6、7 に高効率シナリオのエネルギー消費量と二酸化炭素排出量を、図 8、9 には、2030 年及び 2050 年の各シナリオのエネルギー消費量(推計値)と二酸化炭素排出量(推計値)の比較を示す。

図 3 に示した通り、秋田県は世帯数が減少するため、それに伴い BAU シナリオであってもエネルギー消費量は減少する。その割合は、2030 年時点で 2013 年比マイナス 29.8% となった。図 8 を見ると、暖房用エネルギー消費量が減少していることが確認でき、省エネルギー基準を満たす住宅が増加することの効果と考えられる。

図 9 の二酸化炭素排出量を見ると、BAU シナリオでは県の目標である 2013 年比マイナス 26.0% を達成できない。県対策シナリオの結果では、2030 年の二酸化炭素排出量は 2013 年比マイナス 40.1% であり、目標を十分に達成することが確認でき、県の推進計画の確実な実行に期待したい。さらに、高効率機器の導入が積極的に進めば、2050 年時点において、二酸化炭素排出量は 2013 年比マイナス 69.5% となる。

4. まとめ

秋田県での住宅内エネルギー消費量の将来像を示し、民生家庭部門での温暖化対策へのシナリオを検討するためにマクロモデルを

図 4 戸建住宅ストックの断熱水準の割合

図 5 推計値と統計値の比較

表 1 県対策シナリオの設定条件

対策内容	2030 年時点の達成目標 (以降はその履歴が継続すると設定)
省エネ基準への適合	・2020年の時点には新築住宅で100%、以降100%を維持 ・住宅ストックの30%が適合するように解体率等を設定、以降成り行き
高効率機器の普及	・高効率給湯器の累計導入台数2013年度比5倍として、以降対数近似 ・高効率照明の累計導入割合100%に到達、2030年までは線形に増加 ・トップランナー機器の置換が進み、各機器別の電力消費量が以下に削減、以降そのまま推移:テレビ:79.7%、炊飯器:96.5%、DVD:87.5%、冷蔵庫:80.4%、温水便座:72.2%
エネルギー管理	HEMS等の導入率が100%

表 2 高効率機器導入シナリオの設定条件

対策内容	2050 年時点の達成目標 (目標年までに段階的に導入)
高効率機器の普及	・高効率給湯機の導入割合 100% ・暖房機器の効率向上 電気COP*: BAUの設定 1.00 → 2030年 1.17; 2050年 5.05 ガスCOP: BAUの設定 0.82 → 2030年 0.86; 2050年 0.86 灯油COP: BAUの設定 0.85 → 2030年 0.86; 2050年 0.86
太陽電池の普及	発電容量:3.3[kW]、秋田県全体で戸建住宅の20%の世帯に普及

* 電気を熱源とする機器全てを含むと想定。

構築し、BAU シナリオに対する 2 つのシナリオの推計結果を示した。その結果、秋田県が掲げている 2030 年の二酸化炭素排出量の削減目標を達成するために、現行の温暖化対策推進計画にて達成可能であることが確認された。また、高効率機器を積極的に導入することにより、2050 年時点で、二酸化炭素排出量が 2013 年比マイナス 69.5% であることを示した。

今後は、既存建物の断熱強化の推進や断熱性能が高い住宅の浸透による効果などをパラメータとして付加して、秋田県が選択できる省エネルギーメニューの幅を広げる予定である。

あとがき 本論文は、齊藤正浩さん(当時、秋田県立大学)による

図6 高効率機器導入シナリオのエネルギー消費量

図7 高効率機器導入シナリオの二酸化炭素排出量

図8 エネルギー消費量のシナリオ間比較

図9 二酸化炭素排出量のシナリオ間比較

平成 28 年度 卒業論文をもとに、筆者らが加筆・修正を加えてまとめている。ここに記して深甚なる謝意を表します。

注

- 注 1) 全ての年において、都市ガス：0.0506kg-CO₂/MJ、LPG：0.0598kg-CO₂/MJ、灯油：0.0678kg-CO₂/MJとした⁹⁾。電力については、各年の排出係数を次の通りとした⁹⁾¹⁰⁾。1990年：0.112kg-CO₂/MJ、1995年：0.114kg-CO₂/MJ、2000年：0.118kg-CO₂/MJ、2005年：0.142kg-CO₂/MJ、2010年：0.119kg-CO₂/MJ、2015年以降：0.159kg-CO₂/MJ。
- 注 2) 連続全室暖冷房の場合の精解値と拡張デグリーデー法とは良好な対応が確認できた。間欠・部分暖冷房の場合には、暖冷房の稼働時間割合や面積割合を、連続全室の場合の結果に乘じることとしたが、精解値とに差が見られる。それを埋めるために、補正係数を予め作成し、マクロモデルの暖冷房負荷計算のモジュールに組み込んだ。
- 注 3) 各市町村のアメダス気象観測地点の気象データを用いるが、市町村によって観測地点がない場合がある。そのため、近傍の観測地点 10 地点を距離により選定し、距離の 2 乗の逆数による重み付け平均によりデータを内挿¹³⁾した。
- 注 4) 主に核家族以外の世帯を示し、三世帯世帯の割合が高い。ここでは、夫婦、子供、ひとり親（高齢者）として扱った。
- 注 5) 2020 年時点において 577.5MJ/(世帯・m²)となる。各年において各市町村の日射量と世帯数が異なるため、平均発電量も変化する。なお、本論文では積雪の影響は無視している。

参考文献

- 環境省：地球温暖化対策計画（2016 年 5 月 13 日閣議決定）
- 秋田県生活環境部温暖化対策課：第 2 次秋田県地球温暖化対策推進計画、2017 年 3 月。
- 首相官邸・地球温暖化対策推進本部：地球温暖化対策計画における対策の削減量の根拠、2016 年 5 月 13 日。
- 伊香賀俊治、三浦秀一、外岡豊、下田吉之、小池万里、深澤大樹、水石仁：住宅のエネルギー消費量と CO₂ 排出量の都道府県別マクロシミュレーション手法の開発、日本建築学会技術報告集、第 22 号、pp.263-268、2005 年 12 月。
- 齋藤彩加、長谷川兼一、松本真一、細淵勇人：秋田県を対象とした民生家庭部門のエネルギー消費量の将来予測 その 2 マクロモデルの構築とエネルギー消費量の将来推計、日本建築学会東北支部研究報告集、計画系、第 75 号、pp.197-200、2012 年 6 月。
- 高橋徹：秋田県における住宅内エネルギー消費量の将来推計・拡張デグリーデー法による予測暖冷房負荷の適用、秋田県立大学システム科学技術学部、卒業論文、2013 年 3 月。
- 内海禎一、長谷川兼一、松本真一：秋田県における民生部門の低炭素化

シナリオに関する研究 その 3 非住宅建築物の運用段階におけるエネルギー消費量の推計と実績値との比較、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 第 9 巻、pp.65-68、2017 年 9 月。

- 長谷川兼一、吉野博：農業地域と都市的地域の住宅のエネルギー消費特性に関する分析、日本建築学会技術報告集、第 53 号、pp.201-204、2017 年 2 月。
- 地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条、2010 年 3 月。
- 東北電力：2015 年度 CO₂ 排出実績について。http://www.tohoku-epco.co.jp/enviro/picup/co.html(2016 年 7 月 28 日)
- 松尾陽：期間熱負荷予測のためのデグリーデー法の拡張について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.505-506、1979 年 9 月。
- 社団法人北海道建築技術協会：北方型住宅の熱環境計画、2010 年 1 月。
- 日本建築学会：拡張アメダス気象データ 1981-2000、2005 年。
- 空気調和・衛生工学会 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生成プログラム、SCHEDULE Ver.2.0 マニュアル、2003 年 3 月。
- 内閣府：主要耐久消費財等の保有数量。http://www.esri.cao.go.jp/jp/stat/shouhi/shouhi.html。(2016 年 6 月閲覧)
- 経済産業省：省エネ性能カタログ 2011 年冬版、2015 年夏版。
- ecostPlus：http://www.ecost-plus.jp。(2016 年 7 月閲覧)
- 総務省：平成 22 年度 国勢調査。http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/index.html。(2016 年 6 月閲覧)
- 国立社会保障・人口問題研究所：日本の地域別将来推計人口。http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Mainmenu.asp。(2016 年 7 月閲覧)
- 深澤大樹、外岡豊、伊香賀俊治、三浦秀一、小池万里：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、日本建築学会大会学術講演会梗概集、D1、pp.401-402、2004 年 8 月。
- 経済産業省：都道府県別エネルギー統計表。http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec002/results.html#headline2(2016 年 7 月閲覧)
- 経済産業省 エネルギー資源庁：トップランナー制度、2015 年 3 月。
- 総務省統計局：平成 25 年住宅・土地統計調査。
- 長谷川兼一、松本真一、村上周三：住宅分野のエネルギー削減シナリオ作成のための高効率機器等の普及予測に関するデルファイ調査、日本建築学会技術報告集、第 38 号、pp.265-268、2012 年 2 月。
- 三浦秀一、佐賀武義：住宅における太陽光エネルギー導入のための地域別可能性評価に関する調査研究、日本建築学会東北支部研究報告集、計画系第 65 号、pp.127-132、2002 年 6 月。
- オーム社：太陽光発電システム設計ガイドブック、1994 年 8 月。

[2018 年 6 月 4 日原稿受理 2018 年 7 月 30 日採用決定]