

「家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査利用研究会」

「カーボンニュートラルに向けた

家庭部門 CO₂ 排出実態統計調査の活用」

シンポジウム (第 13 回 ESI シンポジウム)

参加ご案内

2050 年カーボンニュートラルに向けて、家庭部門の CO₂ 排出量を抑制するためには、多種多様な家庭の属性、エネルギー消費形態を把握し、その情報に基づき、的確な対策を検討し、早期に実行に移していく必要がある。環境省では、家庭からの CO₂ 排出量やエネルギー消費量の実態を把握するため、全国の世帯を対象に政府の一般統計調査として「家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査」(家庭 CO₂ 統計)を実施している。エネルギー・資源学会では、「家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査利用研究会」(家庭 CO₂ 統計利用研究会)を組織し、家庭 CO₂ 統計の約 1 万件/年の調査票データの提供を環境省から受け、委員それぞれの研究領域から多様な視点で分析し、意見交換や議論を進め、その成果を学会内外に提供している。本シンポジウムは、3 年目が終了した家庭 CO₂ 統計の概要、家庭 CO₂ 統計利用研究会の委員による分析事例について紹介するものである。貴重な調査データを、国や地方自治体、企業等の地球温暖化対策の企画・立案・実施にどのように活かしていくか、かつこの分野の学際的な知見の集積を高めていくために、今後どのような研究が必要か、等の検討に資する場としたい。

〔主 催〕 エネルギー・資源学会「家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査利用研究会」研究委員会
東京大学 生産技術研究所

エネルギーシステムインテグレーション(ESI)社会連携研究部門

〔共 催〕 東京大学 先端電力エネルギー・環境技術教育研究アライアンス (APET)

東京大学 エネルギー・資源フロンティアセンター (FRCER)

東京大学 生産技術研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター

東京大学 未来ビジョン研究センター (IFI)

〔テーマ〕 「カーボンニュートラルに向けた家庭部門 CO₂ 排出実態統計調査の活用」

〔日 時〕 2021 年 7 月 1 日 (木) 13:00~17:10

〔場 所〕 オンライン開催 (参加者に Zoom URL を開催 1 週間前にお知らせします)

〔定 員〕 300 名程度

〔参加費 (消費税込)〕 1,000 円, 学生は無料

〔支払方法〕 登録後に発送する請求書にて振込先を連絡

〔スケジュール〕 (登壇者, 発表タイトルは当日に向け変わることがあります. 敬称略)

- 13：00～13：10 **開会挨拶**
環境省 地球環境局 総務課 脱炭素社会移行推進室
- 13：10～13：40 **家庭部門の CO2 排出実態統計調査の概要と 3 年間の調査成果**
鶴崎 敬大 ((株)住環境計画研究所 研究所長)
- 13：40～13：50 **エネルギー・資源学会「家庭部門の CO2 排出実態統計調査利用研究会」の紹介**
岩船 由美子 (東京大学 生産技術研究所
エネルギーシステムインテグレーション社会連携研究部門 特任教授)
- 13：50～14：20 **再生可能エネルギー利用を考慮した住宅エネルギー消費の 6 用途分解**
田中 昭雄 (熊本県立大学環境共生学部居住環境学専攻 教授)
- 14：20～14：50 **機械学習とモデル解釈手法の SHAP を用いた光熱費の分析**
西尾 健一郎 ((一財)電力中央研究所 社会経済研究所兼
エネルギーイノベーション創発センター上席研究員)
- 14：50～15：00 (休憩)
- 15：00～15：30 **家庭の自家用車による輸送需要の将来推計**
星野 優子 (ENEOS(株)中央技術研究所 技術戦略室
技術戦略グループマネージャー)
- 15：30～16：00 **家庭 CO2 統計を活用したエネルギー最終需要モデルの高度化と精度向上**
下田 吉之 (大阪大学大学院工学研究科環境エネルギー工学専攻 教授)
- 16：00～16：30 **GIS による統計データの可視化と地域レベルのエネルギー消費量の推定**
上野 剛 ((一財)電力中央研究所
エネルギーイノベーション創発センター 上席研究員)
- 16：30～17：10 **パネルディスカッション：**
家庭部門のカーボンニュートラルを進めるために何が必要か？
司会：岩船由美子 パネリスト：講演者
- 17：10 **閉会**

〔申込方法〕 以下の ESI のホームページからお申し込みください (要事前登録).
<https://www.esisyab.iis.u-tokyo.ac.jp/symposium/20210701/sympo20210701.html>
※申込締切 定員に達した時点, または, 2021 年 6 月 29 日 (火)

〔問合せ先〕 ※登録後のキャンセル連絡、その他事務的連絡を含む
*一般社団法人エネルギー・資源学会 事務局
TEL 06-6446-0537 FAX 06-6446-0559 E-mail : gyoji@jser.gr.jp

エネルギー・資源学会「家庭部門のCO₂排出実態統計調査利用研究会」研究委員会
2021年度第1回シンポジウム（第13回ESIシンポジウム）@ オンライン

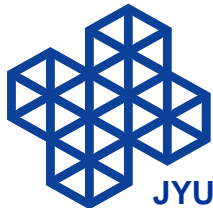
家庭部門のCO₂排出実態統計調査の概要と 3年間の調査成果



2021年7月1日

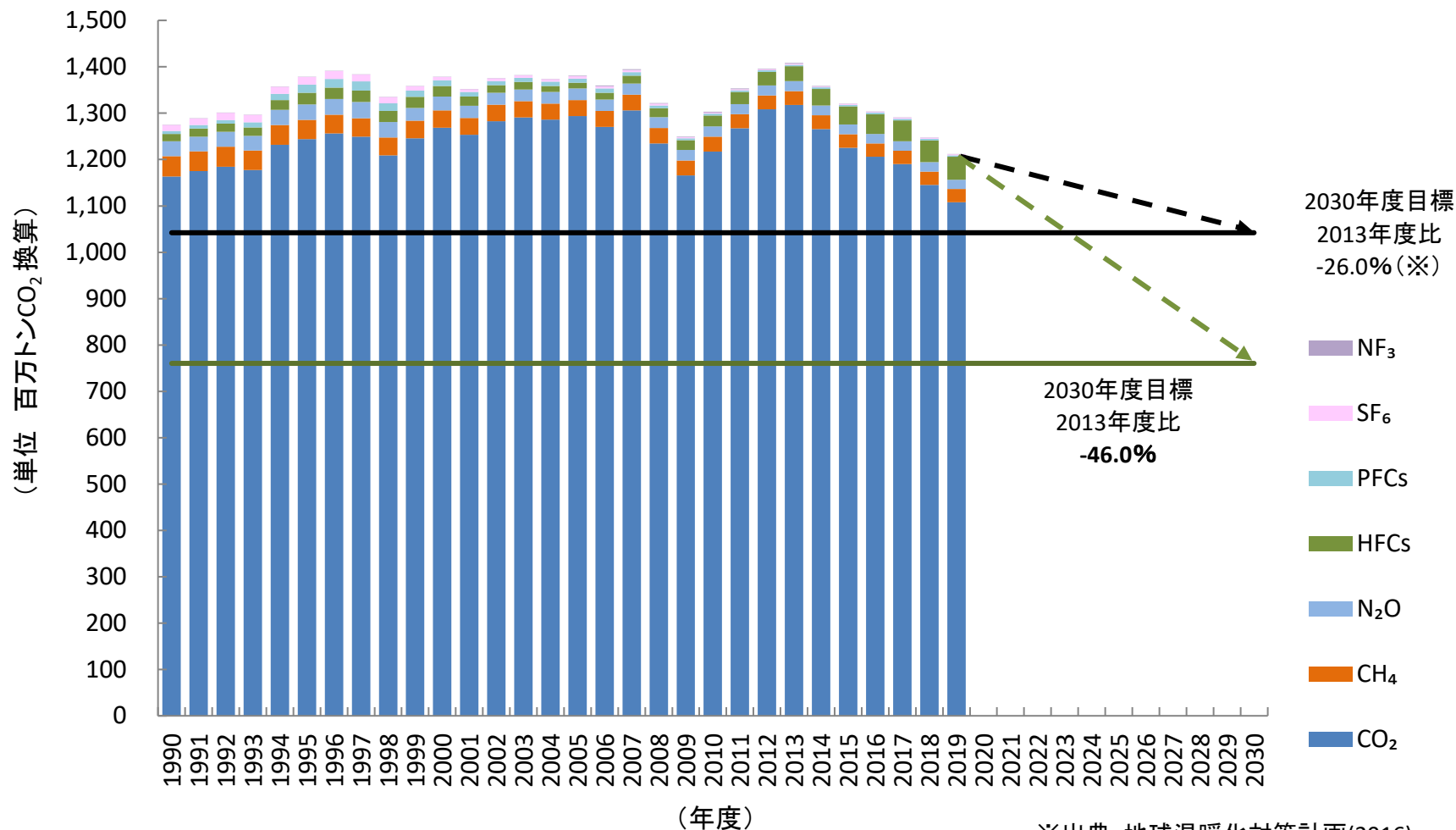
株式会社 住環境計画研究所
取締役研究所長 鶴崎 敬大

実施背景と概要



GHG排出実績と2030年度目標（新・旧）

各温室効果ガスの排出量の推移(2019年度)

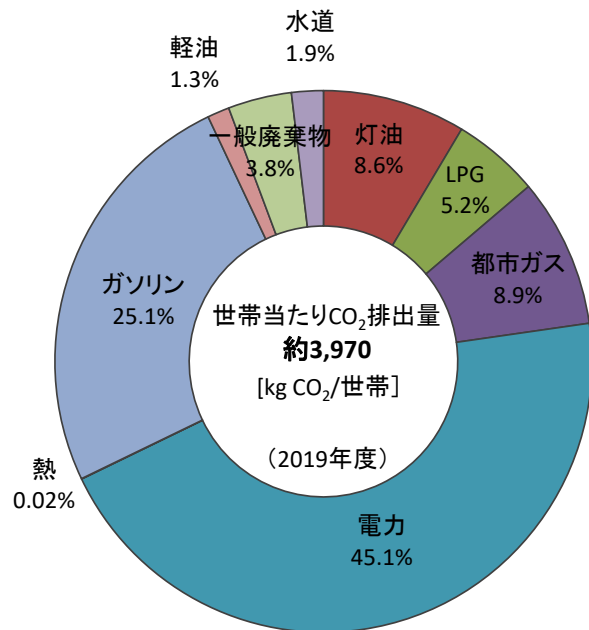


※出典: 地球温暖化対策計画(2016)

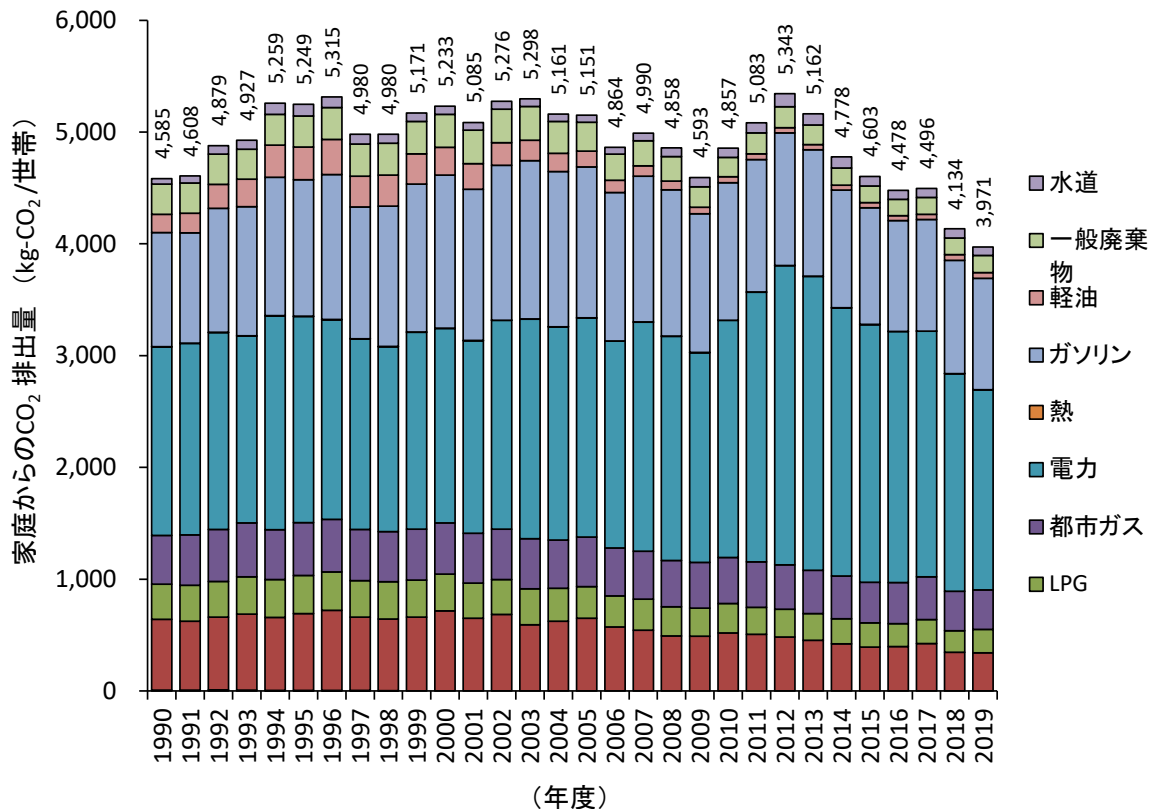
(出所) 国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ(1990~2019年度)」(2021年4月)の掲載図をもとに加工

家庭からのCO₂排出量（世帯当たり）

2019年度の家庭からのCO₂排出量 （燃料種別）



家庭からのCO₂排出量(燃料種別)の推移



※ 家庭からのCO₂排出量は、インベントリ上の家庭部門、運輸(旅客)部門の自家用乗用車(家計寄与分)、業務他部門の廃棄物(一般廃棄物)処理及び水道からの排出量を足し合わせたもの。

※ 電力及び熱のCO₂排出量は、自家発電を含まない、電力会社等から購入する電力や熱に由来するもの。

※ 一般廃棄物は非バイオマス起源(プラスチック等)の焼却によるCO₂及び廃棄物処理施設で使用するエネルギー起源CO₂のうち、生活系ごみ由来分を推計したもの。

※ 水道は、水処理施設で使用するエネルギー起源CO₂のうち、家庭寄与分を推計したもの。

（出典）国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ（1990～2019年度）」（2021年4月）

家庭部門のCO2排出実態統計調査：実施背景

- 家庭部門エネルギー消費構造の把握には、これまで様々な情報源からデータを収集し、それらをつなぎ合わせる必要があった。
- 詳細把握には多くの仮定や推計を要する。



- 家庭部門エネルギー消費構造を精緻に把握するためには、これらが一体的に調査した統計が必要となる。
- 政府統計として継続的に実施されることで、構造と経年推移が把握できる。

**「どこで」
「どのような世帯が」
「どのような使い方で」
「どのくらい消費している（排出している）」
を把握するための統計が必要。**

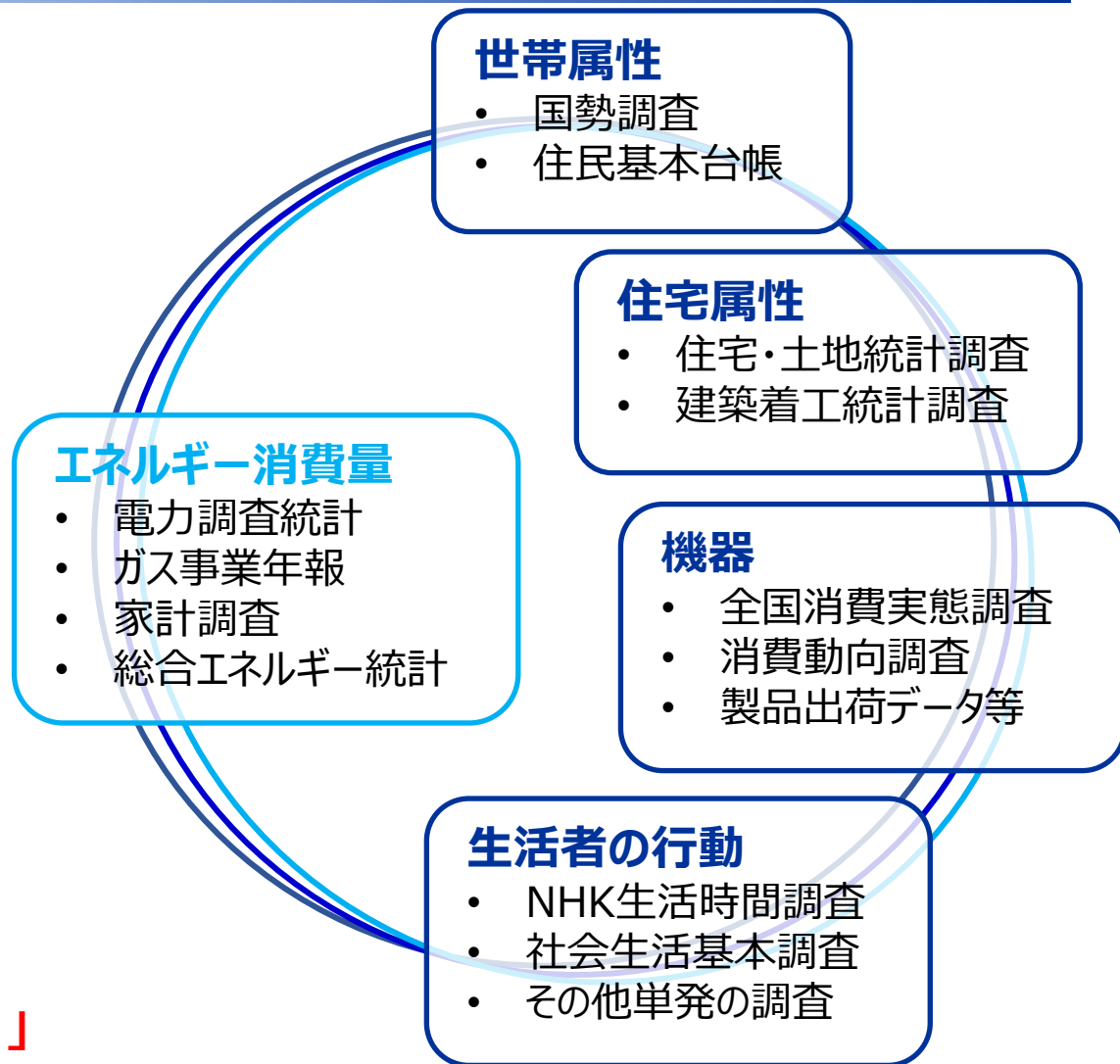


図. 家庭部門エネルギー消費構造の把握において必要となる項目と主な情報源

家庭部門のCO2排出実態統計調査：沿革

期間	実施内容
2010～2011	基本検討、予備調査
2012～2013	試験調査の実施 調査名：家庭からの二酸化炭素排出量の推計に係る実態調査 試験調査 対象地域：北海道、関東甲信 調査方式：インターネットモニター調査（IM調査） 調査規模：約3,000世帯
2014～2015	全国試験調査の実施 調査名：家庭からの二酸化炭素排出量の推計に係る実態調査 全国試験調査 対象地域：全国10地方（北海道、東北、関東甲信、北陸、東海、近畿、中国、四国、九州、沖縄） 調査方式：調査員調査とIM調査の併用（集計時は両調査を1:1で統合） 調査規模：16,400世帯
2016	全国試験調査の確報発表、本格調査の準備 他
2017～	本格調査の開始 調査名：家庭部門のCO2排出実態統計調査（略称：家庭CO2統計） 対象地域：全国10地方（北海道、東北、関東甲信、北陸、東海、近畿、中国、四国、九州、沖縄） 調査方式：調査員調査とIM調査の併用（集計時は両調査を1:1で統合） 調査規模：13,000世帯 ※当面は毎年実施

家庭部門のCO2排出実態統計調査：概要

調査方法	①調査員調査 ②インターネットモニター（IM）調査
調査対象	全国（10地方）の専用住宅に居住する主世帯
調査対象期間	4月～翌年3月 ※毎月調査を実施
調査世帯数	①調査員調査 6,500世帯 ②IM調査 6,500世帯
調査項目	<ul style="list-style-type: none">① 月別のCO2排出量を推計するためのエネルギー使用量等について（電気、ガス、灯油、ガソリン、軽油）② 太陽光発電について（月別の発電量、売電量、太陽電池の総容量）③ 世帯について（世帯員、平日昼間の在宅者、世帯年収）④ 住宅について（建て方、建築時期、所有関係、延床面積、居室数、二重サッシ・複層ガラスの窓の有無）⑤ 家電製品等について（テレビ・冷蔵庫・エアコン等の使用状況、家電製品に関する省エネ行動、使用場所毎の照明種類、照明に関する省エネ行動）⑥ 給湯について（給湯器の種類、冬と夏の入浴状況、入浴やお湯の使用に関わる省エネ行動）⑦ コンロ・調理について（コンロの種類、用意する食事の数、調理に関する省エネ行動）⑧ 車両について（自動車等の使用状況、燃料の種類、排気量、実燃費、使用頻度、年間走行距離、自動車に関する省エネ行動）⑨ 暖房機器について（保有状況、使用状況）

家庭CO2統計の公表状況

- 公表は2回
 - 速報値： 調査年度の翌年度 9 月（R2調査より10月を予定）
 - 確報値： 調査年度の翌年度 3 月（R2調査以降も同じ）

	速報値	確報値
公表時期 【H30調査の公表日】 【H31/R1調査の公表日】	9 月 【2019年9月30日】 【2020年9月29日】	3 月 【2020年3月19日】 【2021年3月26日】
ウェブサイト公表資料	①調査の結果の概要 ②調査の概要 ③資料編（図表Excel有） ④詳細分析 主要項目の経年比較のみ	①調査の結果の概要 ②調査の概要 ③資料編（図表Excel有） ④詳細分析
e-Stat 統計表	無し	有り
電気のCO2排出係数	前年度値	当該年度値

家庭CO2統計の公表資料の入手方法

①環境省の家庭CO2統計のページにアクセス

②統計表を入手したい場合は、ページ内のe-Statへのリンクをクリック

検索語：家庭CO2統計

URL：http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/kateiCO2tokei.html

The screenshot shows the '地球環境・国際環境協力' (Global Environment & International Environmental Cooperation) section. The main heading is '家庭部門のCO2排出実態統計調査（家庭CO2統計）' (Household CO2 Emission Status Survey). The page contains introductory text, a 'トピック' (Topics) section with links to reports from 2019 and 2020, and a '調査の概要資料と調査票' (Survey Overview Materials and Questionnaires) section with links to PDF and Excel files for various years. A '2. 調査の結果' (Survey Results) section is also visible, featuring a link to the '平成31年度 家庭部門のCO2排出実態統計調査（確報値）' (2020 Household CO2 Emission Status Survey (Preliminary Data)).



The screenshot shows the e-Stat search results page. The search criteria are 'ファイル' (File) and '環境省' (Ministry of Environment), resulting in 2,216 data items. The search results are displayed in a table with columns for 'データ種別' (Data Type), 'データベース' (Database), and 'ファイル' (File). The 'ファイル' column shows 2,216 items. The search results are filtered by '組織で絞込み' (Filter by Organization) to '環境省 [2,216]' (Ministry of Environment [2,216]). The search results are also filtered by '政府統計名で絞込み' (Filter by Government Statistics Name) to '家庭部門のCO2排出実態... [2,216]' (Household CO2 Emission Status...). The search results are also filtered by '統計分野（大分類）で絞込み' (Filter by Statistical Field (Major Classification)) to '組織で絞込み' (Filter by Organization), '政府統計名で絞込み' (Filter by Government Statistics Name), '提供統計名で絞込み' (Filter by Provided Statistics Name), '提供周期で絞込み' (Filter by Provided Cycle), '調査年で絞込み' (Filter by Survey Year), and '調査月で絞込み' (Filter by Survey Month).

家庭部門のCO2排出実態統計調査	公開（更新）日
平成29年度 家庭部門のCO2排出実態統計調査[737件]	2019-03-05
平成30年度 家庭部門のCO2排出実態統計調査[737件]	2020-03-19
時系列統計表[5件]	2021-03-26
平成31年度 家庭部門のCO2排出実態統計調査[737件]	2021-03-26

家庭CO2統計の集計方法

表. 地方別都市階級別集計世帯数 (2019年度)

地方	都市階級①	都市階級②	都市階級③	合計
北海道	355	320	224	899
東北	287	378	267	932
関東甲信	743	755	127	1,625
北陸	335	321	179	835
東海	327	523	127	977
近畿	429	565	93	1,087
中国	303	425	161	889
四国	333	198	266	797
九州	434	320	227	981
沖縄	162	292	184	638
全国計	3,708	4,097	1,855	9,660

調査員調査及びインターネットモニター調査の結果を調整係数 (α_{ij}) と世帯分布補正係数 (C_{ikl}) を用いて下式によりそれぞれ算出し、両調査の結果にそれぞれ0.5を乗じて統合。

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \sum_m C_{ikl} \cdot \alpha_{ij} \cdot X_{ijklm}}{\sum_k \sum_l \sum_m W_{ikl}}$$

$$\alpha_{ij} = \frac{N_{ij}}{n_{ij}}, \quad C_{ikl} = \frac{W_{ikl}}{\sum_j \alpha_{ij} \cdot n_{ijkl} \cdot}$$

$\hat{\mu}$	あるエネルギー種の全国平均消費量	i	地方10区分
X	あるエネルギー種のある世帯での消費量	j	都市階級3区分
C	世帯分布補正係数	k	建て方2区分
α	調整係数	l	世帯類型(単身・2人以上)2区分
N	調査対象世帯数 (平成22年国勢調査(標本設計時の母集団情報))	m	世帯
n	集計世帯数		
W	調査対象世帯数(平成27年国勢調査)		

家庭CO2統計の調査票情報の二次利用状況

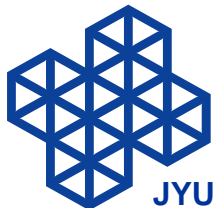
表 家庭CO2統計調査票情報の提供等に関する申請件数

年度	合計	環境省 (委託事業)	他の省庁	地方公共 団体	大学・ 研究機関	学会
2016	2	2				
2017	6	3			3	
2018	6	1			5	
2019	6	2		1	3	
2020	7	3		2	1	1
2021	1				1	
合計	28	11	0	3	13	1
(%)	(100)	(39)	(0)	(11)	(46)	(4)

(注1) 2021年度は6月15日時点

(注2) 全国試験調査を含む

3年間の調査成果



経年変化

[t-CO₂/世帯・年]

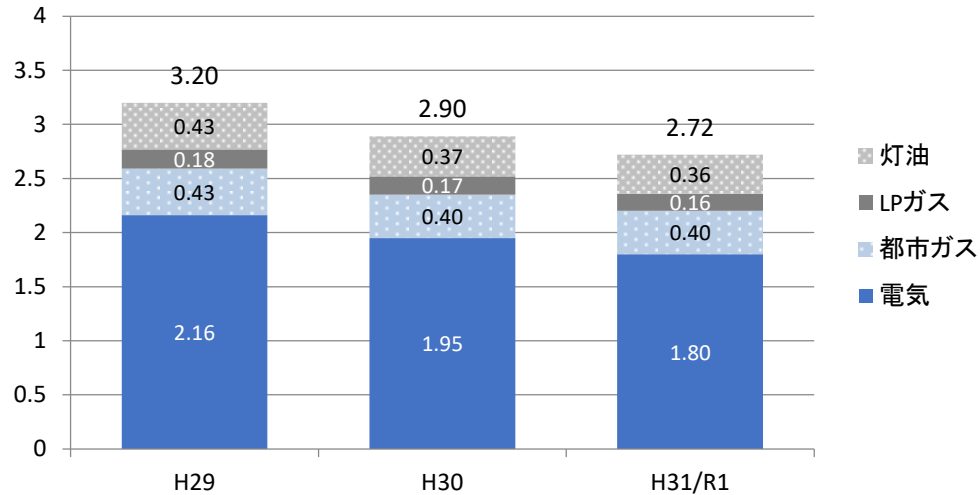


図. 世帯当たりCO₂ 排出量の推移

[GJ/世帯・年]

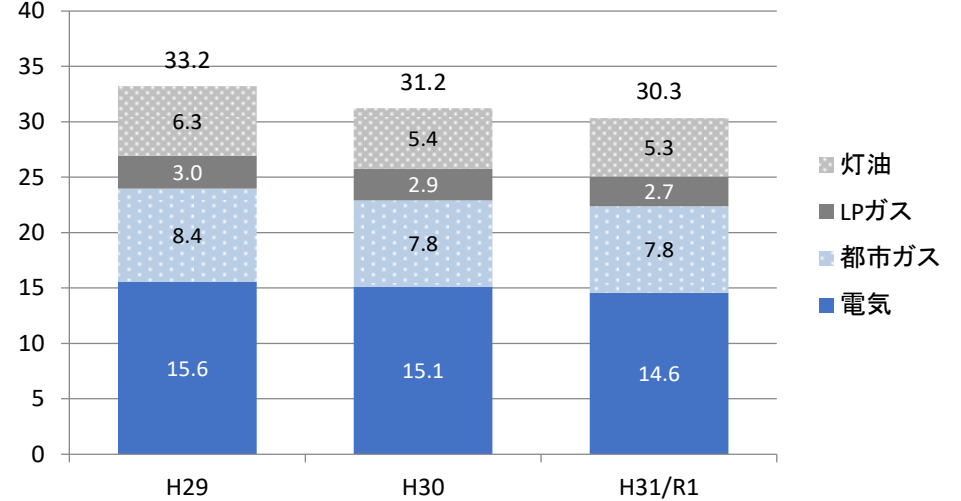


図. 世帯当たりエネルギー消費量の推移

(注) 電力2次換算

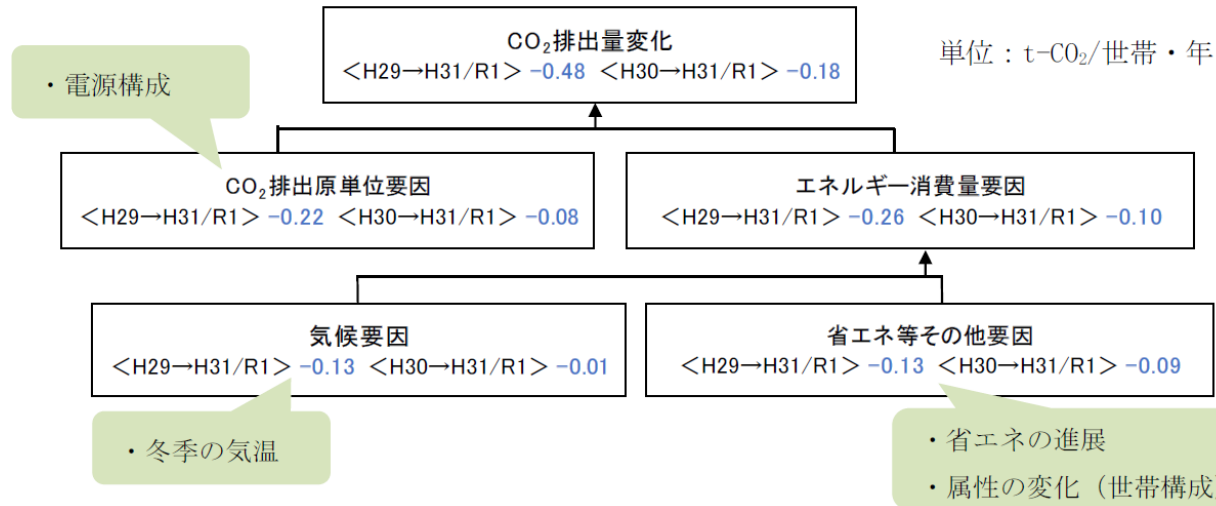


図. 世帯当たり年間CO₂排出量の変化要因

(出所) 環境省、平成31（令和元）年度家庭部門のCO₂排出実態統計調査（確報値）、2021年3月

© 2021 Jyukankyo Research Institute Inc.

属性別エネルギー種別(2019)

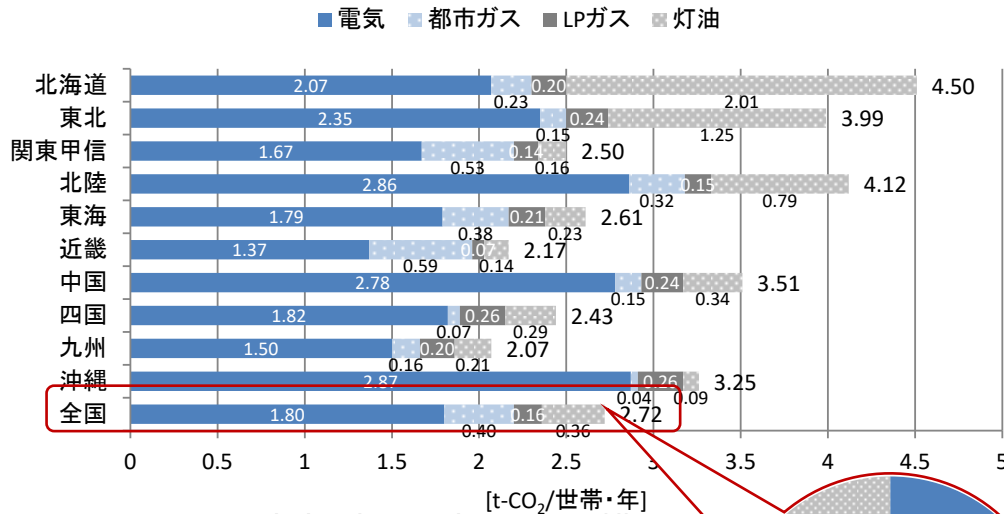


図. 地方別世帯当たりCO₂排出量

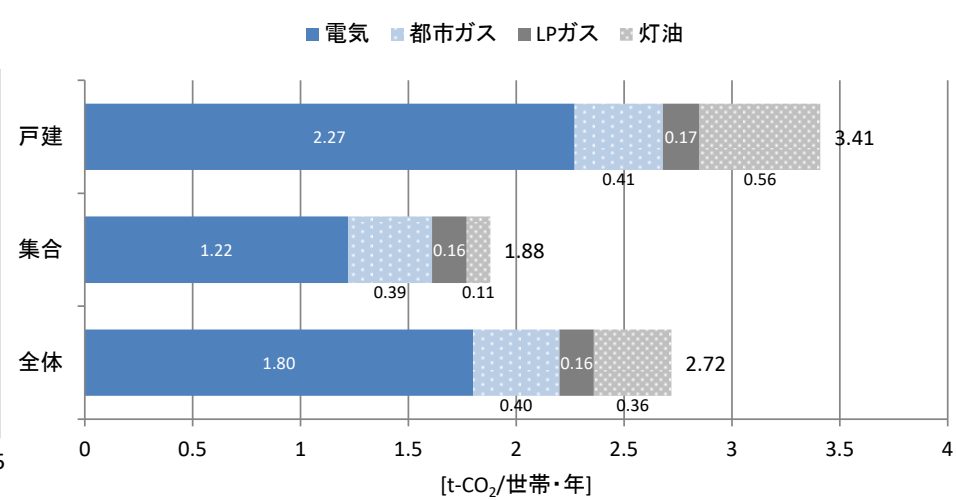


図. 建て方別世帯当たりCO₂排出量

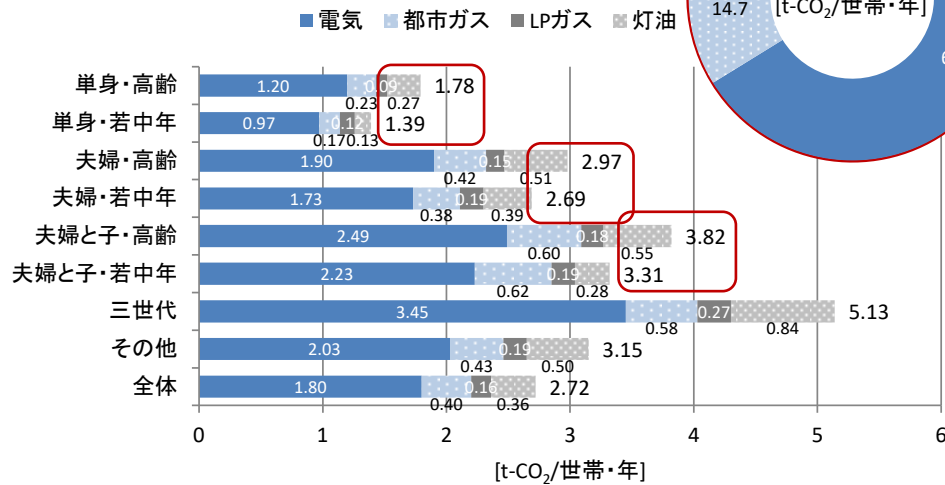


図. 世帯類型別世帯当たりCO₂排出量

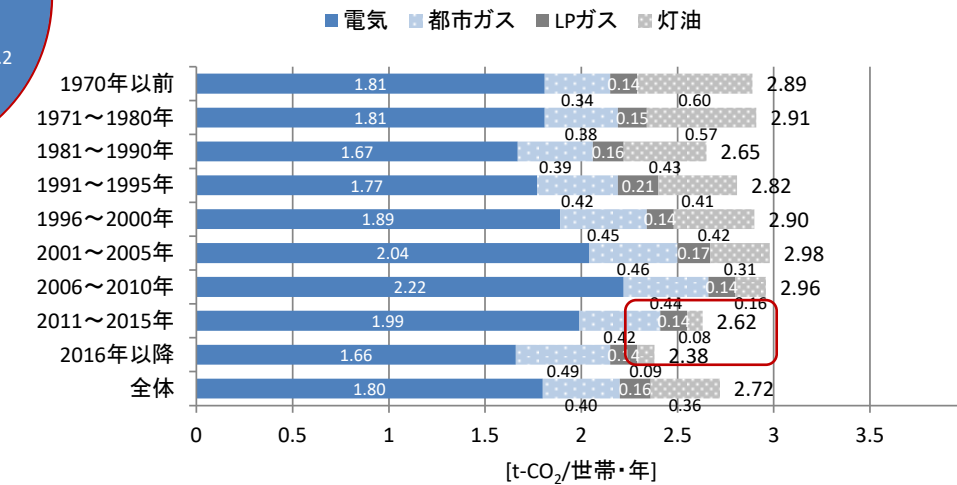


図. 建築時期別世帯当たりCO₂排出量

(出所) 環境省、平成31(令和元)年度家庭部門のCO₂排出実態統計調査(確報値)、2021年3月



属性別用途別(2019)

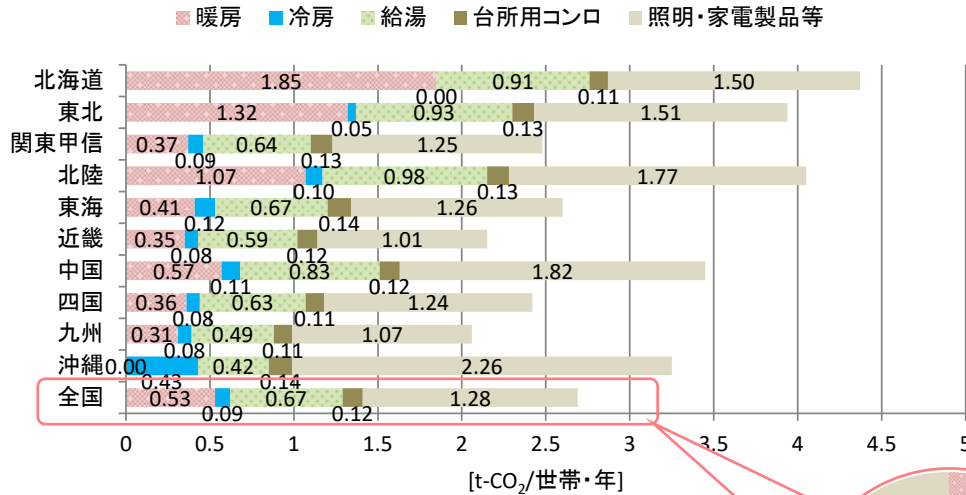


図. 地方別世帯当たり用途別CO₂排出量 (参考)

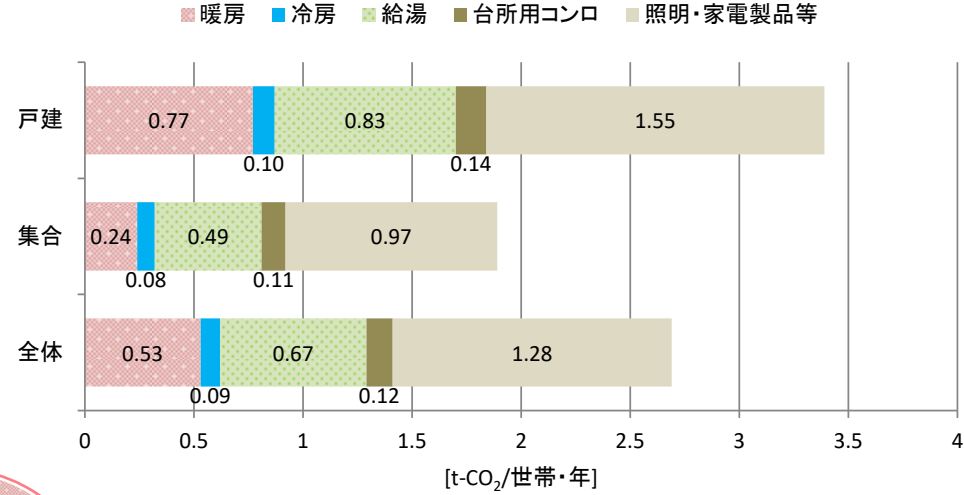


図. 建て方別世帯当たり用途別CO₂排出量 (参考)

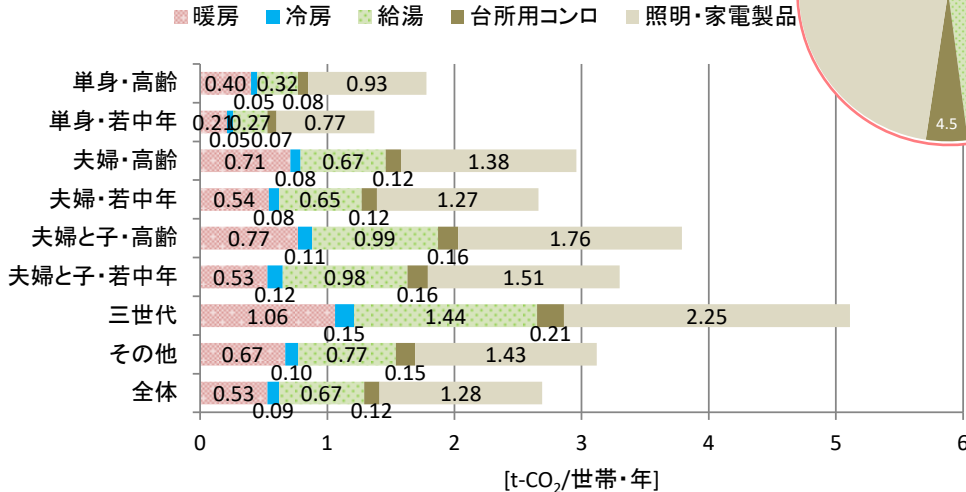
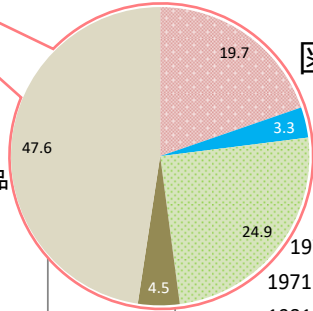


図. 世帯類型別世帯当たり用途別CO₂排出量 (参考)

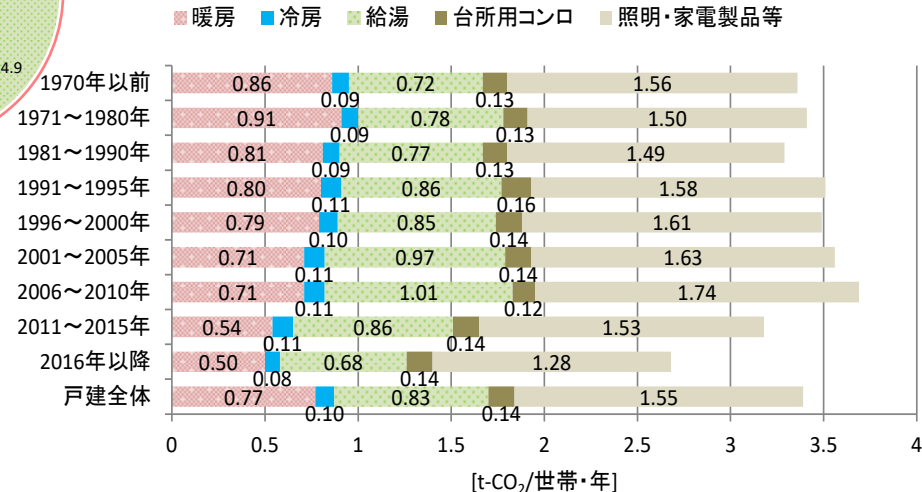


図. 建築時期別世帯当たり用途別CO₂排出量 (参考)

(出所) 環境省、平成31(令和元)年度家庭部門のCO₂排出実態統計調査(確報値)、2021年3月



最近の住宅におけるCO2削減技術の使用状況 (2019)

	2016年以降の住宅	全世帯の平均
すべての窓が二重サッシまたは複層ガラス	52.0%	23.7%
電気ヒートポンプ式給湯器	27.7%	14.8%
LED照明 (居間)	82.7%	55.6%
製造時期が2016年以降の冷蔵庫 (1台目)	43.4%	18.1%
太陽光発電システム	17.5%	7.0%
太陽光発電システム容量 (使用世帯)	5.87kW	4.60kW
家庭用エネルギー管理システム	8.3%	2.1%



(出所) 環境省、平成31 (令和元) 年度家庭部門のCO2排出実態統計調査 (確報値)、2021年3月

冷蔵庫・照明・窓・コンロ(2019)

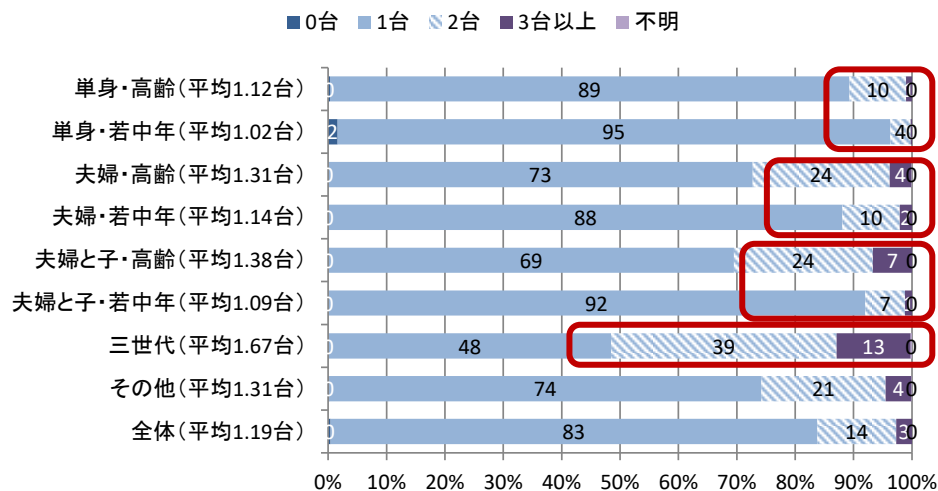


図. 世帯類型別冷蔵庫の使用台数

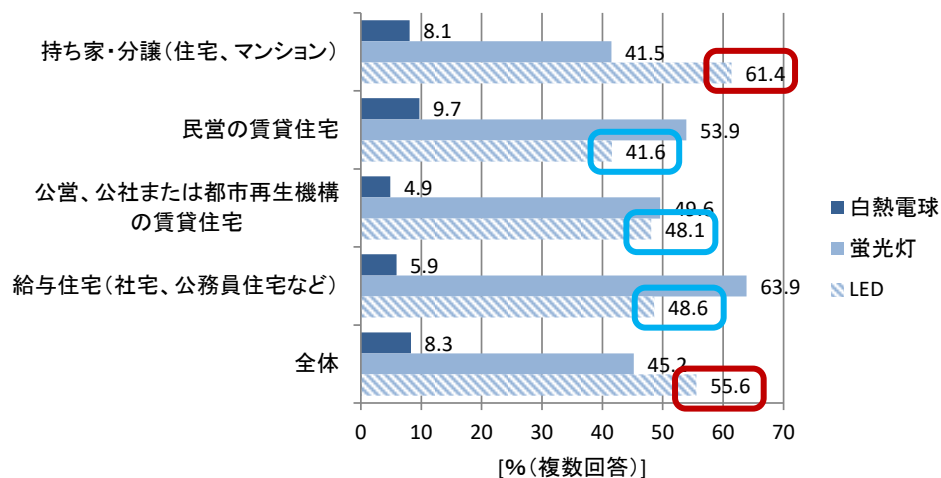


図. 住宅の所有関係別使用している照明の種類(居間)

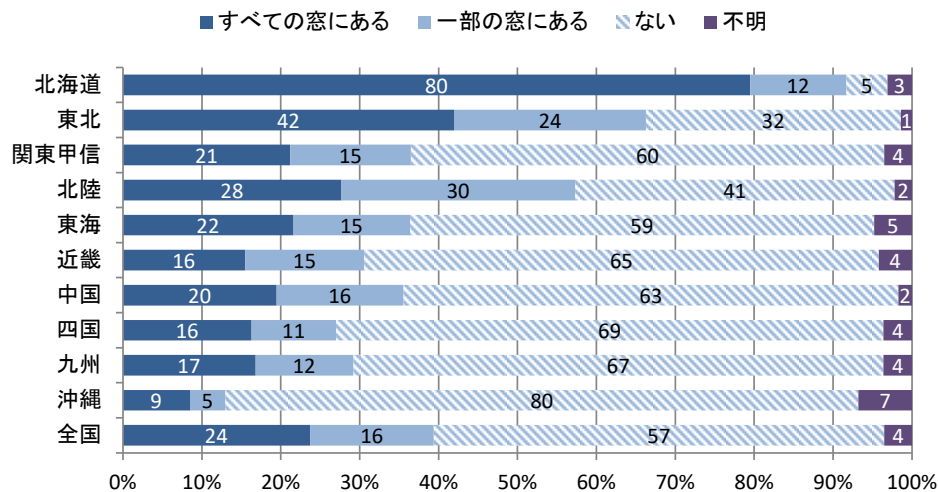


図. 地方別二重サッシまたは複層ガラスの使用状況

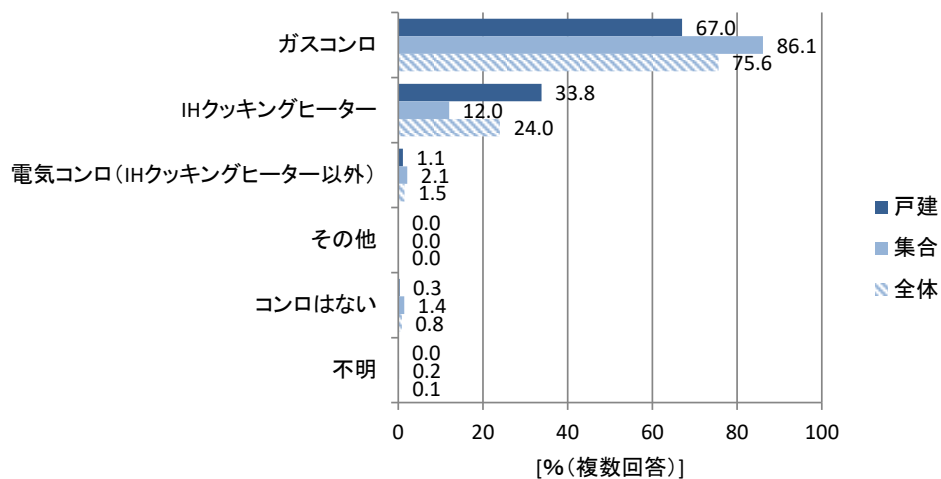


図. 建て方別台所用コンロの種類

暖房・給湯(2019)

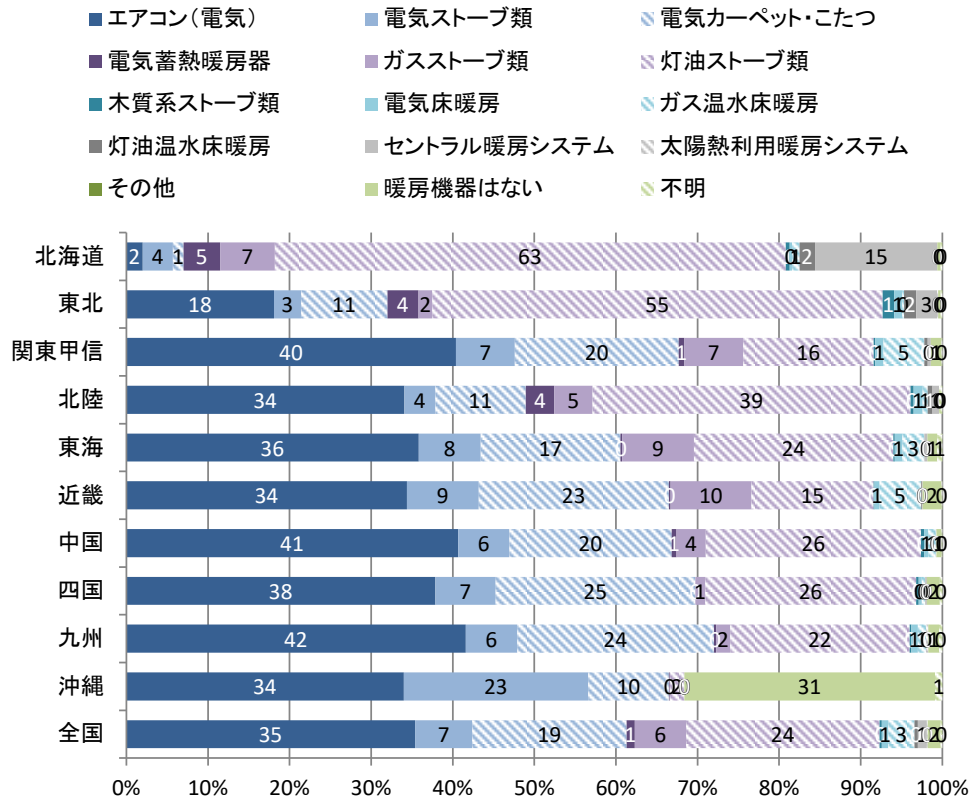


図 地方別最もよく使う暖房機器

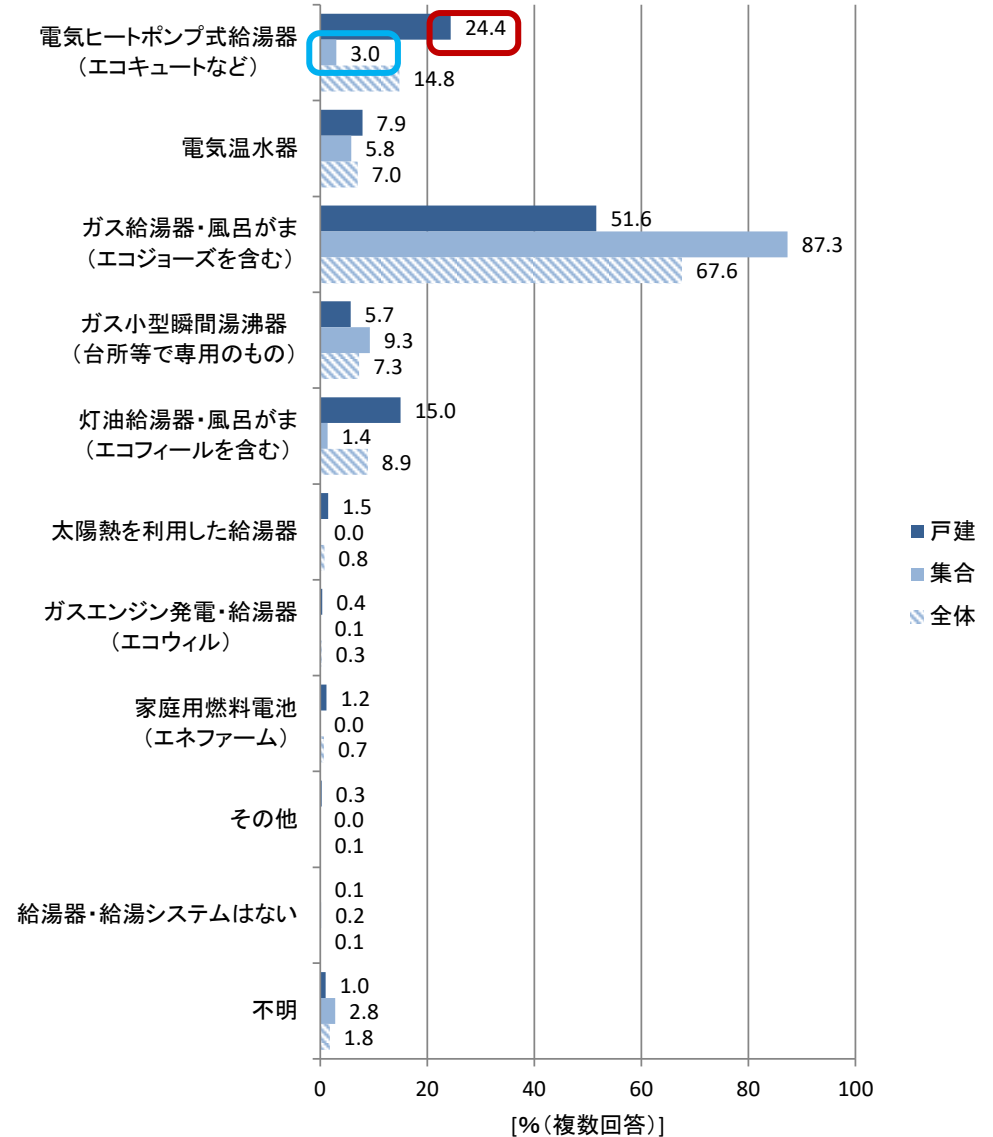


図 建て方給湯器・給湯システム



世帯当たりCO2排出量の分布(2019)

- 世帯当たりCO2排出量は、広範囲に分布する。
- 世帯属性を絞り込んでも、ある程度の分散が残る。 → 行動の差異

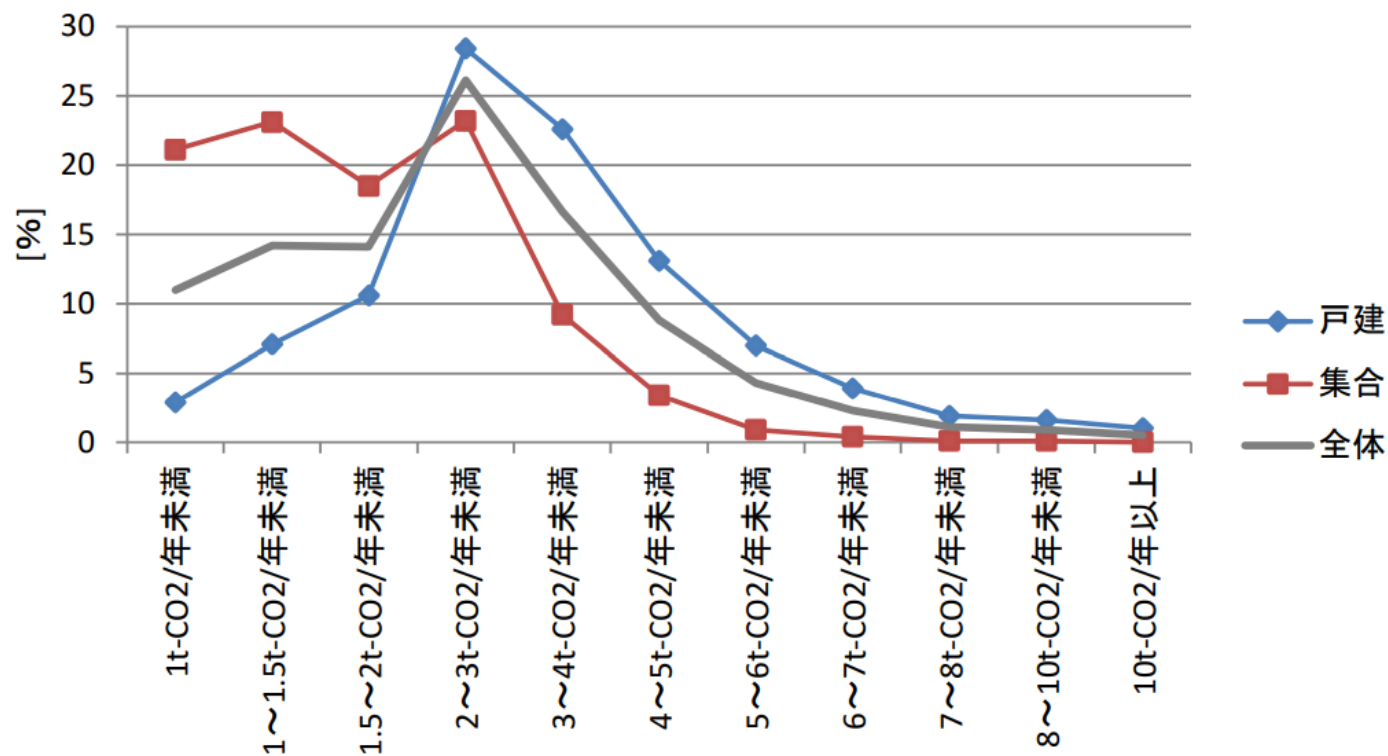


図 1-40 建て方別世帯当たり年間 CO₂ 排出量（電気・ガス・灯油の合計）の世帯分布

(出典) 環境省、平成31（令和元）年度家庭部門のCO₂排出実態統計調査（確報値）資料編、2021年3月

省エネルギー行動の実施率とCO2排出量(2019)

- 省エネルギー行動の実施率が80%超の世帯では、全体の平均よりCO2排出量が17%少ない。

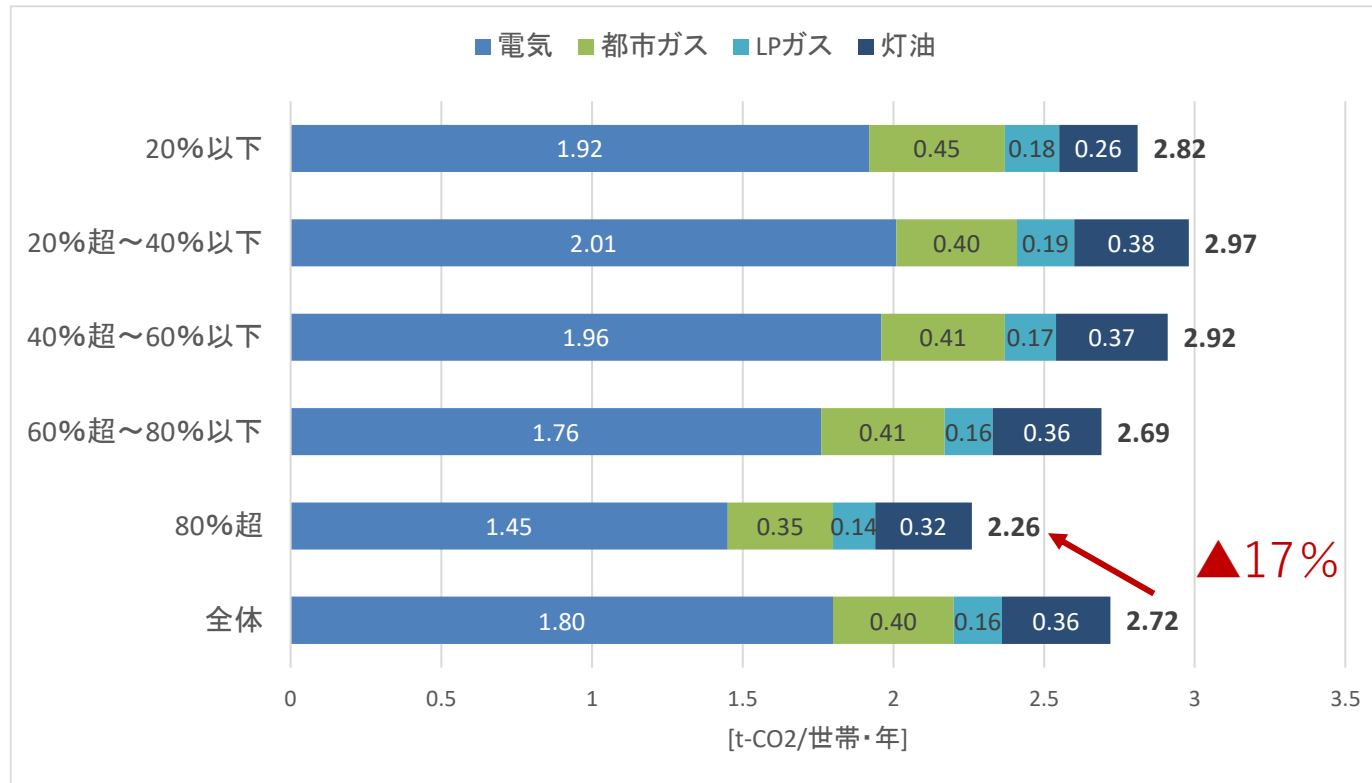
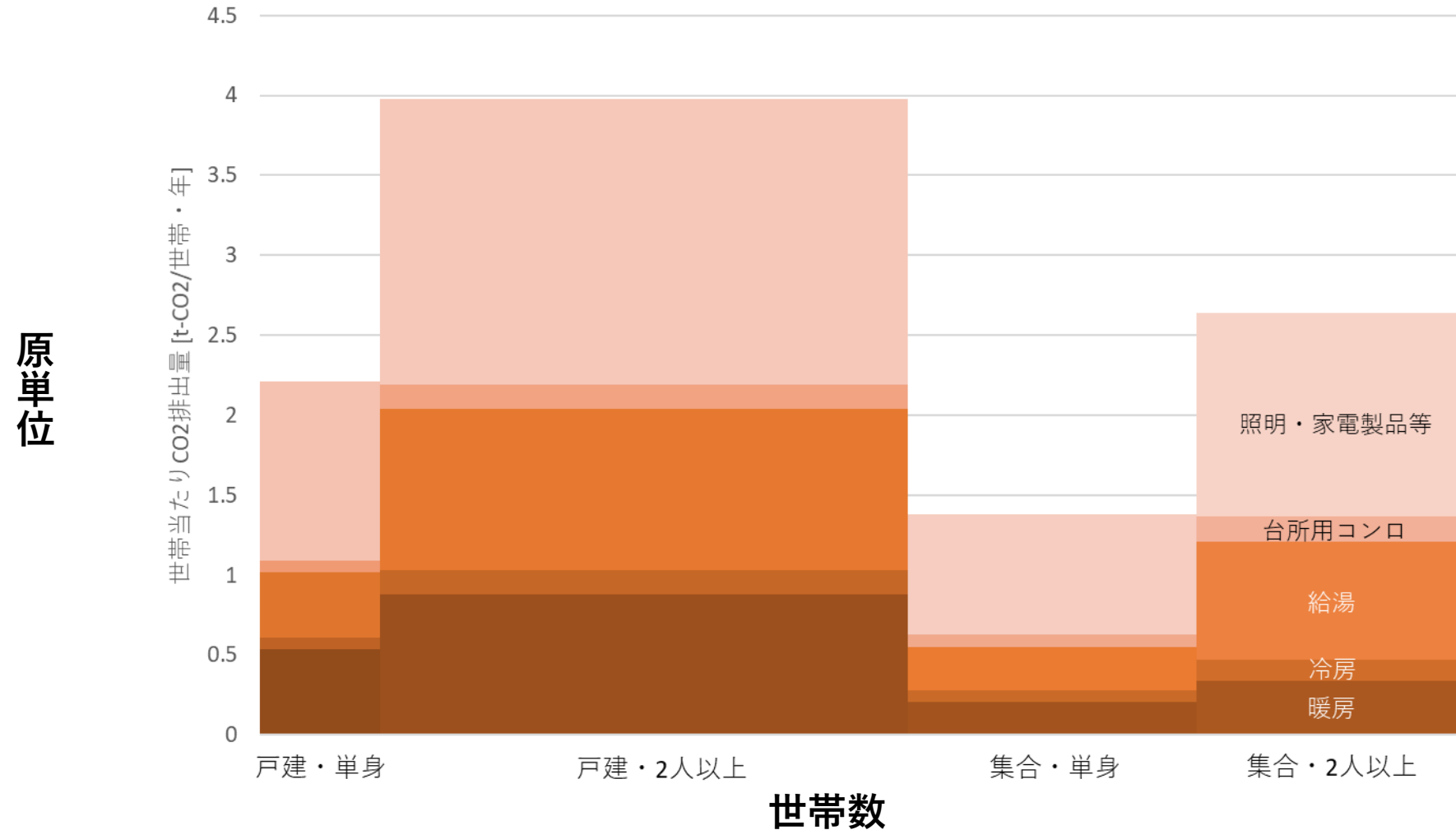


図 省エネルギー行動の実施率別世帯当たり年間エネルギー種別CO2排出量
(注) 18項目の省エネルギー行動の実施率

(出所) 環境省、平成31(令和元)年度家庭部門のCO2排出実態統計調査(確報値)、2021年3月

用途別CO2排出量の構成 (2018)

家庭部門排出総量：約1.5億トン

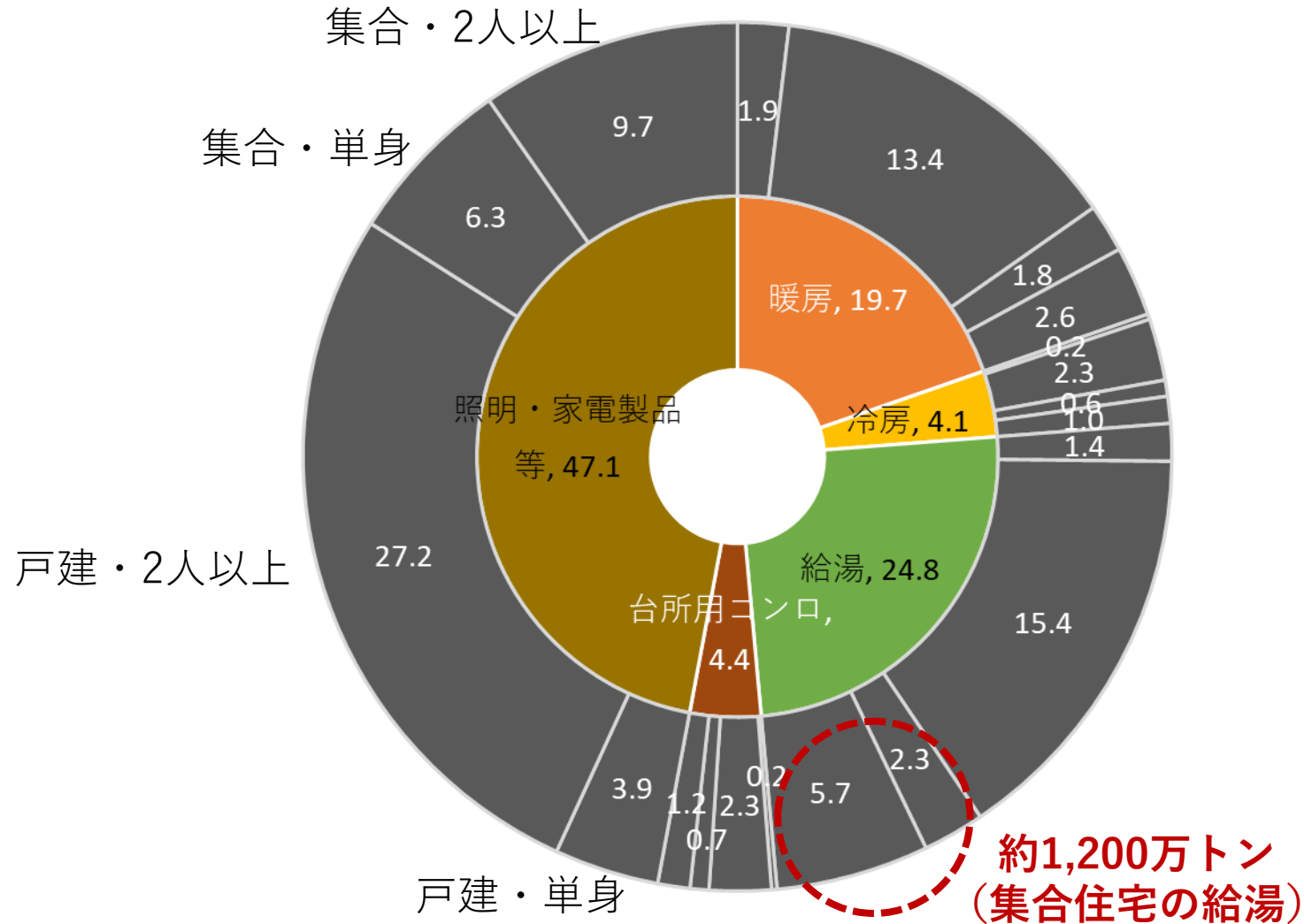


(出所) 環境省、平成30年度家庭部門のCO2排出実態統計調査（確報値）、2020年3月

(注) 面積はCO2排出量を表している。

建て方別 世帯類型別 用途別CO2排出構成比 (2018)

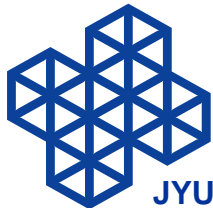
家庭部門排出総量：約1.5億トン



(出所) 環境省、平成30年度家庭部門のCO2排出実態統計調査(確報値)、2020年3月

(注) 外円の凡例は、「戸建・単身」「戸建・2人以上」「集合・単身」「集合・2人以上」の順。

今後の計画



家庭CO2統計の今後の計画

- 調査票の改訂（調査項目の見直し）
 - 定期的に見直しを実施（R2年度改訂分は次スライド）
 - ①H29～31(R1) ②R2～
 - 次期改訂に向けた検討
 - ✓ 再エネ電気の利用、断熱性能…
- e-Stat DBの登録
- 都道府県別推計の検討

R2（2020）年度調査における調査票改訂

1. 機器

- 家庭用蓄電池システムの使用状況（有無）【追加】〈4月票〉
- 自家発電(CGS)機器の使用状況／売電有無【追加】〈4月票〉
- 台所用コンロの種類【変更】〈夏季票〉
 - ✓ 「IHクッキングヒーター」、「電気コンロ（IHクッキングヒーター以外）」を、「電気コンロ」に集約
- セントラル暖房システムの種類【変更】〈冬季票〉
 - ✓ 熱源（エネルギー種）から、システムの種類へ変更
- 犬・猫などのペットの保温ヒーターの使用有無【廃止】〈夏季票〉
- 電動オートバイ・スクーターの使用台数【廃止】〈夏季票〉
- 暖房機器、給湯機器、台所用コンロ、車両の種類【重複廃止】〈4月票〉

2. 省エネルギー行動

- 省エネルギー行動実施理由【追加】〈4月票〉
- 省エネルギー行動実施状況【追加】〈夏季票〉
 - ✓ 冷蔵庫を開けたままにしたり、むやみに開閉しないようにしている
 - ✓ エアコンの室外機の吹き出し口に物を置かないようにしている
 - ✓ 冷房時にすだれやブラインドなどで日射を遮るようにしている
- 省エネルギー行動実施状況【廃止】〈夏季票〉
 - ✓ モデム・ルータ等の必要のない時はオフにしている

- 集計結果の利用だけでは家庭CO2統計のポテンシャルを活かせない。
- 研究者による調査票情報の分析と報告が継続することを望む。



「家庭部門のCO2排出実態統計調査」利用研究会の紹介

東京大学生産技術研究所
エネルギーシステムインテグレーション
社会連携研究部門

岩船由美子



概要

- 環境省が実施している「家庭部門のCO2排出実態統計調査」の調査票データの提供を受けて、委員それぞれの研究領域から多様な視点で分析し、意見交換や議論を進め、その成果を学会内外に提供。
- 委員長 岩船 由美子
- 参加メンバー 24団体36名（2021年6月時点）



可能となること

- 各種世帯属性と種別・用途別エネルギー消費量の相関分析
 - 家電が新しいと電力消費量は小さい？
 - EVを保有している世帯の特徴は？
- エネルギー需給シミュレーションにおけるデータ設定、モデルの妥当性検証
 - 世帯人数別・建て方別種別エネルギー消費量 等
 - ボトムアップシミュレーションの結果検証
- 将来の家庭部門のエネルギー消費量予測
 - 世帯類型が変わったら将来のエネルギー消費量はどうなる？
- 季節的・経年的なエネルギー需給分析
- 特定の属性世帯（地域・世帯類型）におけるエネルギー需要分析
 - 高齢世帯のエネルギー消費量の特徴は？
- 温暖化対策等の環境政策の定量的な評価
 - トップランナー政策の効果は？



研究成果

#	発表機会	発表番号	タイトル	発表者
1	第39回研究発表会 (2020年7月29日)	9-1	人口減少に着目した家庭の自家用車による輸送需要の将来推計	○星野 優子, 森田 圭(ENEOS)
2		9-2	家庭CO2統計の個票データを用いた給湯機器の保有実態などに関する基礎検討	○西尾 健一郎, 中野 一慶(電力中央研究所)
3		9-3	家庭CO2統計を用いた機器保有状況の予測手法に関する検証	○向井 登志広, 田中 拓朗(電力中央研究所)
4		9-4	家庭CO2統計に基づく需要能動化を考慮した住宅PVシステムの定量評価	○大竹 宏明, 新富 凌太, 井上 裕史(三菱総合研究所)
5		9-5	家庭CO2統計を用いた住設機器・自家用車の電化ポテンシャルおよびCO2排出削減効果の推計	○岩船 由美子, 河合 俊明, 森 裕子(東京大学)
6		9-6	建物の省エネ化とEV化およびPV導入による地域民生部門低炭素化の定量評価	○森 俊介(科学技術振興機構), 桐山 恵理子(東京工業大学), 篠原 百合恵(キヤノン)
7		12-1	社会統計に基づく住宅のエネルギー消費原単位の推計	○鷺津 明由(早稲田大学), 中野 諭(日本福祉大学)
8		12-2	単身・高齢者世帯地域別CO2排出原単位の経験ベイズ推定	○田中 昭雄(熊本県立大学)
9		12-3	家庭エネルギー需要とCO2排出実態の基礎分析	○山崎 政人(関西ビジネスインフォメーション), 外岡 豊(埼玉大学)
10		12-4	家庭CO2統計に基づくCO2排出要因による世帯類型化	○新富 凌太, 大竹 宏明, 井上 裕史(三菱総合研究所)
11		12-5	Patterns in Japan households data associated with energy consumption profiles	○Delage Remi, 中田 俊彦(東北大学)
12		12-6	家庭CO2統計データの分析効率化ツールプロトタイプ構築	○上野 剛, 高橋 雅仁, 篠原 靖志(電力中央研究所)
13	第37回コンファレンス (2021年1月27日)	13-1	乗用車によるCO ₂ 排出量の経年変化とその要因の分析	○橋本 陸(東京大学), 兪 善彬(九州大学), 吉田 好邦(東京大学)
14		13-2	家庭部門のエネルギー消費量の地域特性に関する統計分析	○長谷川 兼一(秋田県立大学), 外岡 豊(埼玉大学)
15		13-3	機械学習を用いた家庭部門のエネルギー消費実態に関する分析	○中村 仁明(三菱UFJリサーチ&コンサルティング), 下田 吉之(大阪大学)
16		13-4	自家用車の保有状況と走行距離に関する個票データを用いた家庭部門の輸送需要の長期予測	○星野 優子, 森田 圭(ENEOS)
17		13-5	Cluster analysis of Japan households' energy consumption per resources	○Delage Remi, 中田 俊彦(東北大学)
18		13-6	家庭CO ₂ 統計を活用したZEHと一般住宅の評価	○田中 昭雄(熊本県立大学)



研究会参加のメリット

- データ利用申し込み手続きの簡素化
- 企業単独で調査票データにアクセスできる

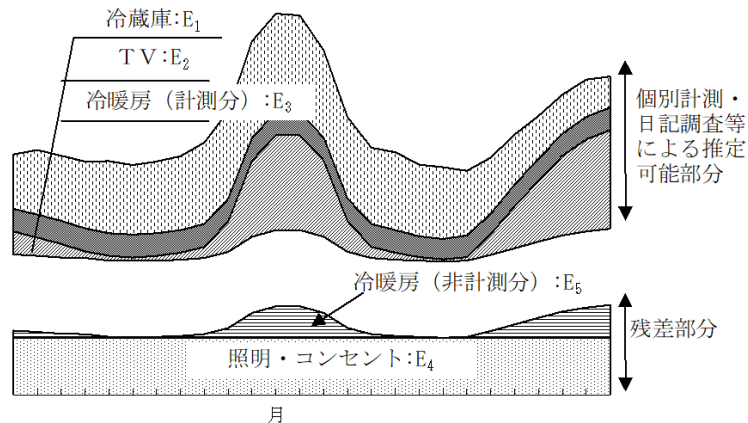


ご清聴ありがとうございました。



再生可能エネルギー利用を考慮した住宅 エネルギー消費の6用途分解

光熱費分析による用途分解法の例：ロードカーブ法（仮称）



内容

- 研究の背景
- 研究内容
- 分解手法等
- 分解例
- まとめ

熊本県立大学 環境共生学部
田中 昭雄

1.研究の背景

2015年パリ協定（Paris Agreement：第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21））

2020年10月 「2050年カーボンニュートラル」宣言

2021年5月 「改正地球温暖化対策推進法」成立

- 非ZEH住宅のカーボンニュートラル化が必須

2. 研究内容・分解手法

1. 再生可能エネルギー利用量の推定

2. エネルギーの用途別分解

代表的な用途分解法

1. 直接計測法
2. 積上法（コンピュータシミュレーション含む）
3. 光熱費のロードカーブ（LC）法（仮称）分析

表 既存研究との比較

文献	分解手法	購入エネルギー + E_r						再生可能エネ	
		冷房 c	暖房 h	給湯 w_u	融雪 s	調理 コンロ d	その他 o	発電 自家消費 E_r	太陽熱給湯 w_r
住環境計画研究所	LC	○	○	○	-	○		-	-
エネルギー経済研究所	LC	○	○	○	-	○		-	-
環境省	LC	○	○	○	-	○	○	-	-
田中他（2016）	※	-	-	-	-	-	-	△	△
田中（2019）	LC	○	○	○	-	○	○	○	○
本報	RSVD	○	○	○	○	○△	○	△	△

○：推定，-：非推定，△：デフォルト式

LC：負荷季節変動パターン解析

RSVD：特異値分解の正則化解

※：コンピュータシミュレーション，重回帰分析等

[表記方法]

- エネルギー量は全て最終エネルギー消費量でMJfと記す
- 「地域」は省エネルギー法の地域区分I～VIII地域
- 利用データ：家庭CO2統計，都民のくらしむき，気象データ

3.再生可能エネルギー利用量推定法

推定式(デフォルト式)の作成

作成法

- 1.環境省「家庭部門のCO2排出実態統計調査」分析
(試験調査、H29年調査、H30年調査 個票データ)
- 2.シミュレーション等

(1) 太陽電池発電自家消費量 E_r

$$E_r = (0.0111 \ln(E_u) + 0.0665) \cdot I \cdot PV \cdot 3.6$$

E_u : 購入電力量[MJ/月]

I : 1月当たり水平面全天日射量[MJ/m²・月]

PV: 太陽電池定格容量[kW]

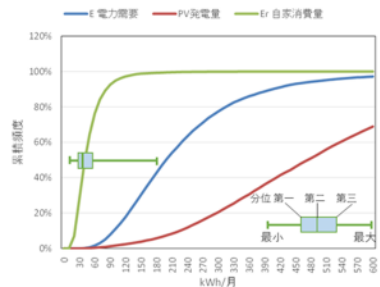
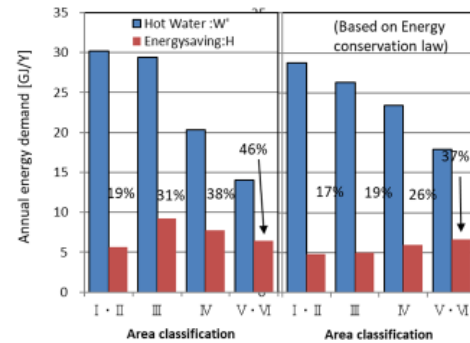


図 電力需要・発電量及び自家消費量累積頻度分布

(2) 太陽熱給湯利用 w_r



$$w_r = \begin{cases} 0.52FI, & \text{地域 I, II} \\ 0.82FI, & \text{地域 III} \\ 0.68FI, & \text{地域 IV} \\ 0.52FI, & \text{地域 V} \sim \text{VIII} \end{cases}$$

F : 世帯員数[人]

I : 水平面全天日射量[MJ/m²]

田中昭雄,石原修:住宅用太陽エネルギー利用設備の省エネルギー効果に関する研究,太陽エネルギー,41-6(2015),41-48.

4 用途分解法

正則化した特異値分解法 (RSVD: Regularized Singular Value Decomposition Method)

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\mathbf{K}^T$$

\mathbf{Y} : エネルギー観測値ベクトル
 \mathbf{X} : 説明変数ベクトル
 \mathbf{K} : 用途係数ベクトル

$$\mathbf{K}^r = \arg \min_{\mathbf{K}} \left\{ \|\mathbf{X}\mathbf{K}^T\|_2^2 + \alpha \|\mathbf{K}\|_2^2 \right\}, \quad \alpha \geq 0$$

α : 罰則の強さを調整するパラメータ

用途係数ベクトル \mathbf{K}

\mathbf{K}^r の 要素 k_i

$$k_i = y_i / x_i$$

i : 用途

y : エネルギー消費量

x : 説明変数

説明変数ベクトル \mathbf{X}

変数名	[単位]
<i>CDD</i> : 冷房度日 (DD_{22-24})	[°C・日]
<i>HDD</i> : 暖房度日 (DD_{14-14})	[°C・日]
<i>WDD</i> : 給湯度日 (DD_{40-40})	[°C・日]
<i>SD</i> : 降雪日数	[日]
<i>I</i> : 水平面全天日射量	[MJ/m ²]

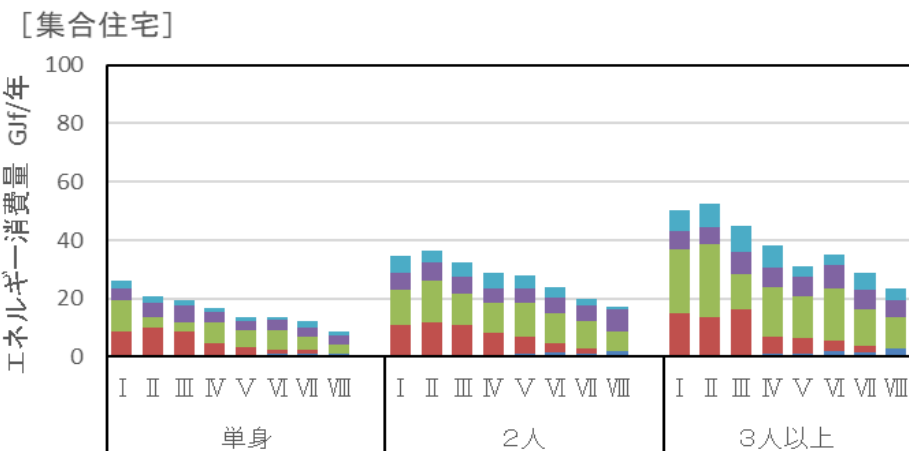
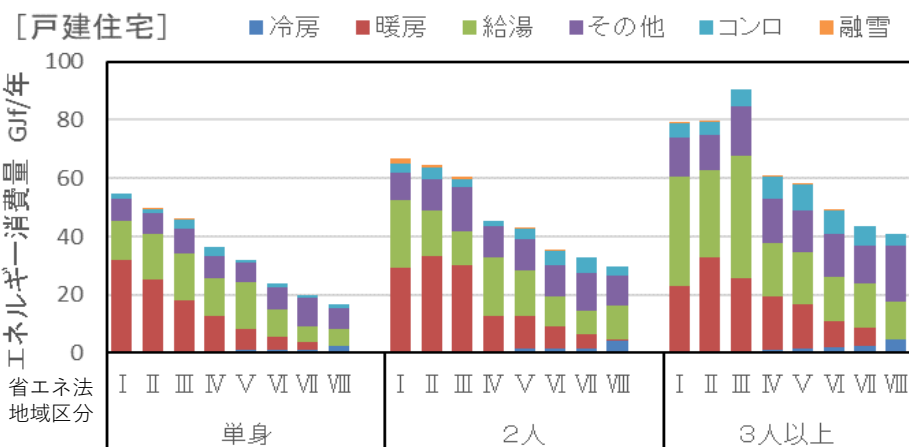
5.用途分解例

(1) エネルギー消費の地域、住宅タイプ、世帯員数の影響

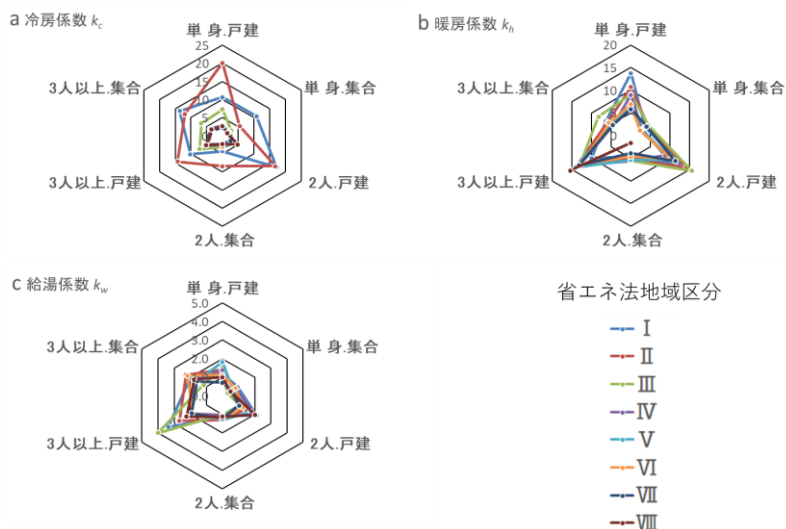
分析世帯
家庭CO2調査H30年度調査

I地域：都市タイプ2

II～VIII地域：都市タイプ1



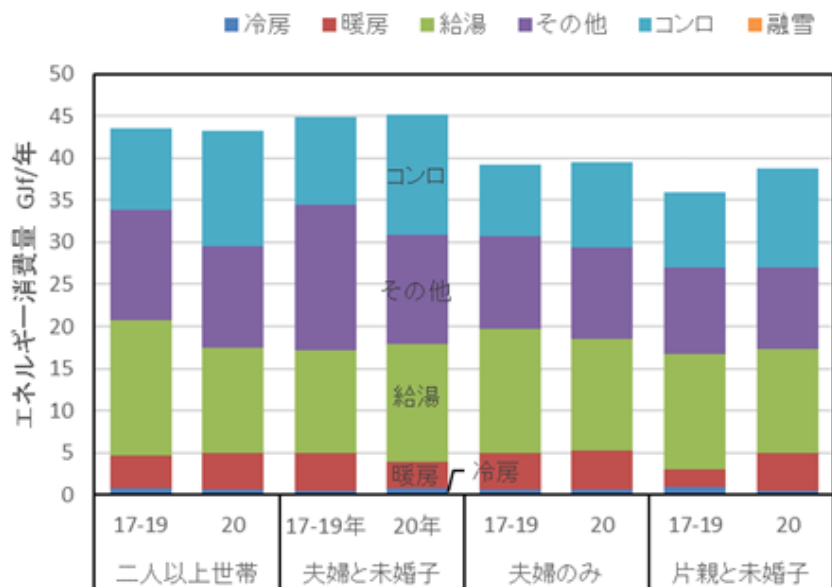
(2) 用途別エネルギー係数



(2)COVID-19パンデミックの影響

エネルギー消費の大幅な変化なし
用途構成には変化

東京都民のエネルギー消費は微減
「片親と未婚子世帯」は8%増加



ほぼ全世帯で
厨房コンロと暖房需要増加
給湯需要は減少

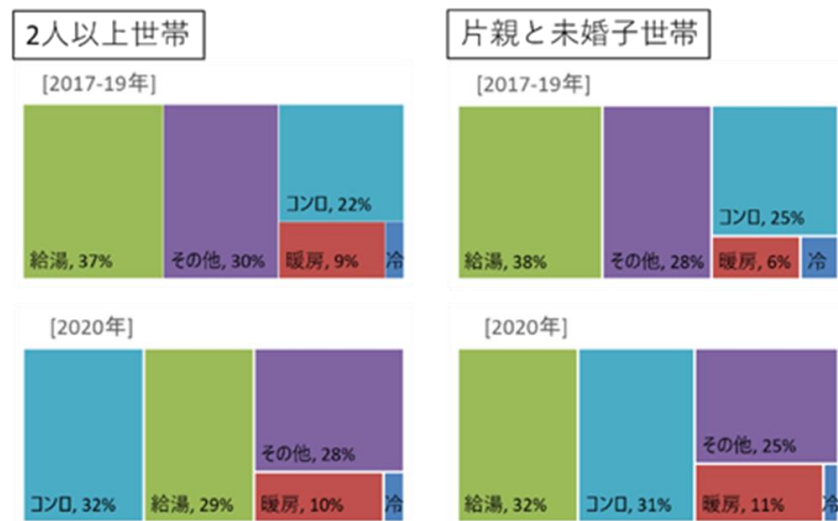



図 用途構成

図 東京都民の世帯属性別原単位

まとめと今後の課題

- 提案手法：住宅最終エネルギーの6用途分解法と再生可能エネルギー2種の利用量推定式
- 用途分解法：正則化した特異値分解法
- 分解6用途：冷房, 暖房, 給湯, 厨房コンロ, 融雪, その他
- 再生可能エネルギー2種
：太陽電池発電自家消費量, 太陽熱給湯利用量
- 用途分解法 (RSVD法) の特徴と課題
 - ・光熱費の支出と実消費時間の不整合解消
 - ・観測データ(光熱費、行動調査、その他属性調査, 気象) の誤差にロバスト
 - ・気候条件を統一して評価可能
 - ・未観測情報も状態推定可能
 - ・解の制約条件等決定の精緻化が必要
- 再生可能エネルギー推定式の特徴・課題
 - ・太陽光発電自家消費量の推定精度は安定
 - ・太陽熱利用量推定式の推定精度向上が必要

省エネ診断ツール, 統計個票の機械学習への応用が期待できる



機械学習とモデル解釈手法のSHAPを用いた 光熱費の分析

電力中央研究所 社会経済研究所／グリッド
イノベーション研究本部
西尾 健一郎
nishio@criepi.denken.or.jp

「カーボンニュートラルに向けた家庭部門CO₂排出実態統計調査の活用」
シンポジウム（第13回ESIシンポジウム）

2021年7月1日

 電力中央研究所

内容

1. 家庭CO₂統計への期待

2. 機械学習と モデル解釈手法のSHAPを用いた 光熱費の分析

詳細

西尾：家庭CO₂統計の個票データと機械学習を用いた建築時期別光熱費の実態把握,
エネルギー・資源学会論文誌, 42(3), 175-184, 2021.5.

https://doi.org/10.24778/jjser.42.3_175

1. 家庭CO₂統計への期待

公開されている集計表や関連報告書はとても有用である

「家庭からの二酸化炭素排出量の推計に係る実態調査 試験調査」を業務に活用した例

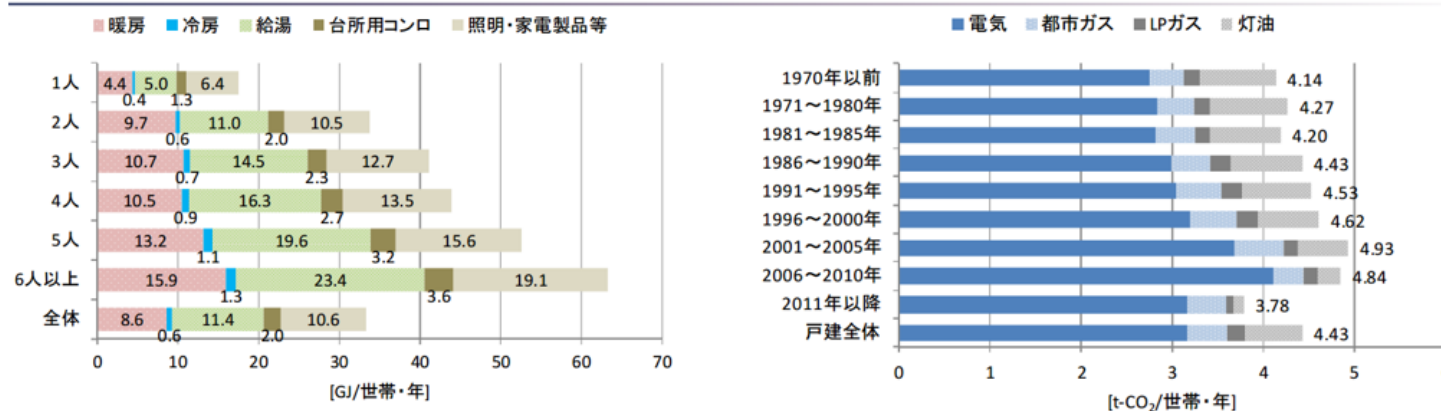


図 1-57 世帯人数別世帯当たり年間用途別エネルギー消費量 図 1-27 建て方別建築時期別世帯当たり年間エネルギー種別 CO₂ 排出量 (戸建)

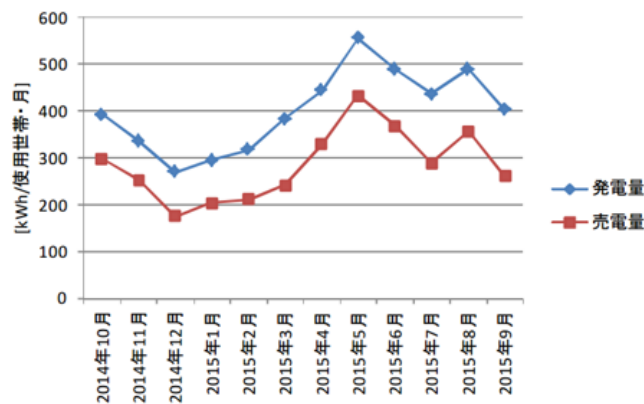
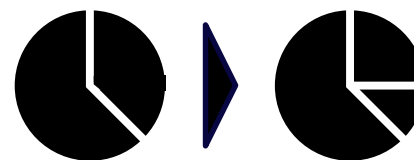


図 1-115 太陽光発電システムの月別発電量・売電量 (使用世帯当たり) 統合集計(参考値) (環境省、2016)

個票データにもポテンシャルがある

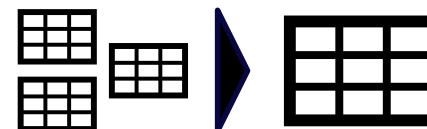
1. 統合・分割などの**柔軟なデータ処理**ができる

例
ガス機器のエネルギー源について、
都市ガスか液化石油（LP）ガスかを特定



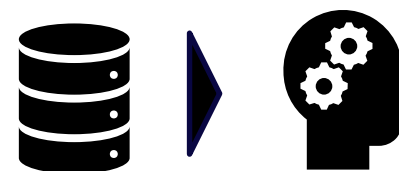
2. 公開情報にはない**詳細セグメント**での**実態把握**ができる

例
建て方・建築時期・世帯人数別の
機器シェアを直接特定



3. **統計解析**や**機械学習**ができる

例
約1万世帯のデータを活かして
エネルギー消費量や光熱費を推定



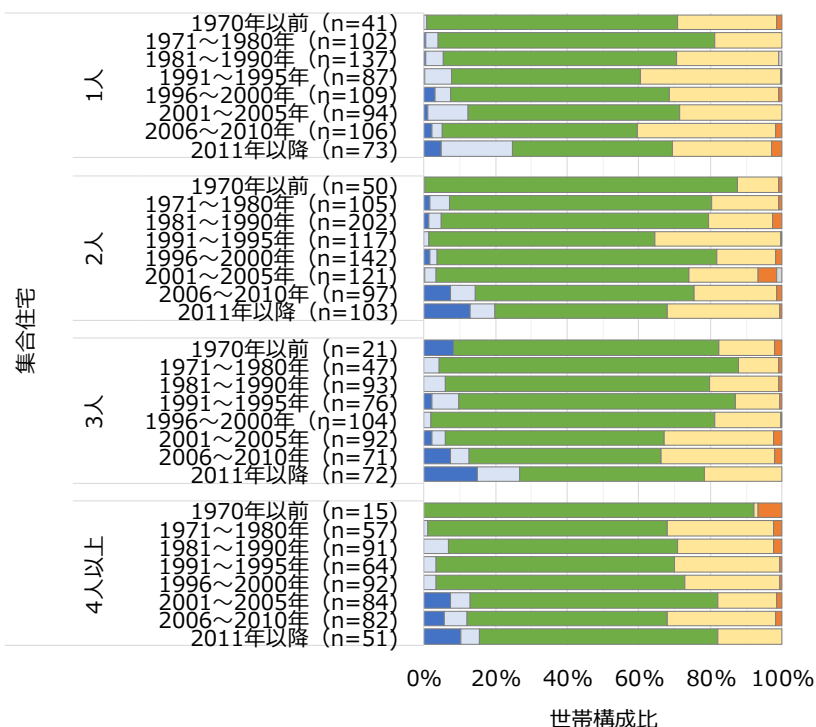
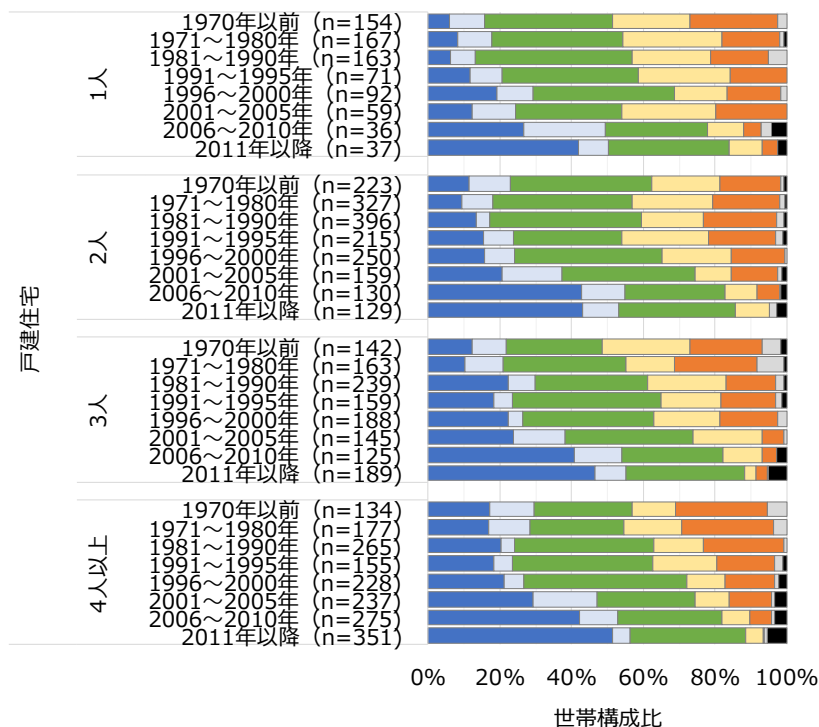
個票データの分析例 1 : 給湯機器の保有実態

■ カーボンニュートラルの実現に向けて、電化に期待が寄せられているが、住宅設備はロックインしがちであり早急な対応が求められる

戸建住宅：2011年以降に建築された住宅では、ヒートポンプ（HP）給湯機は5割程度に。発売前の2000年以前築の住宅を見ると、既築交換によりHP給湯機が設置済みなのは1~2割程度。受容性はあるだけに、いかにして普及を後押しできるか

集合住宅：2011年以降に建築された住宅でも、HP給湯機は伸び悩み。2000年以前築の住宅の既築交換率も極めて低調。交換が容易でないだけに、脱炭素化に向けては、新築時のHP給湯機の採用率を向上させていくことが不可欠

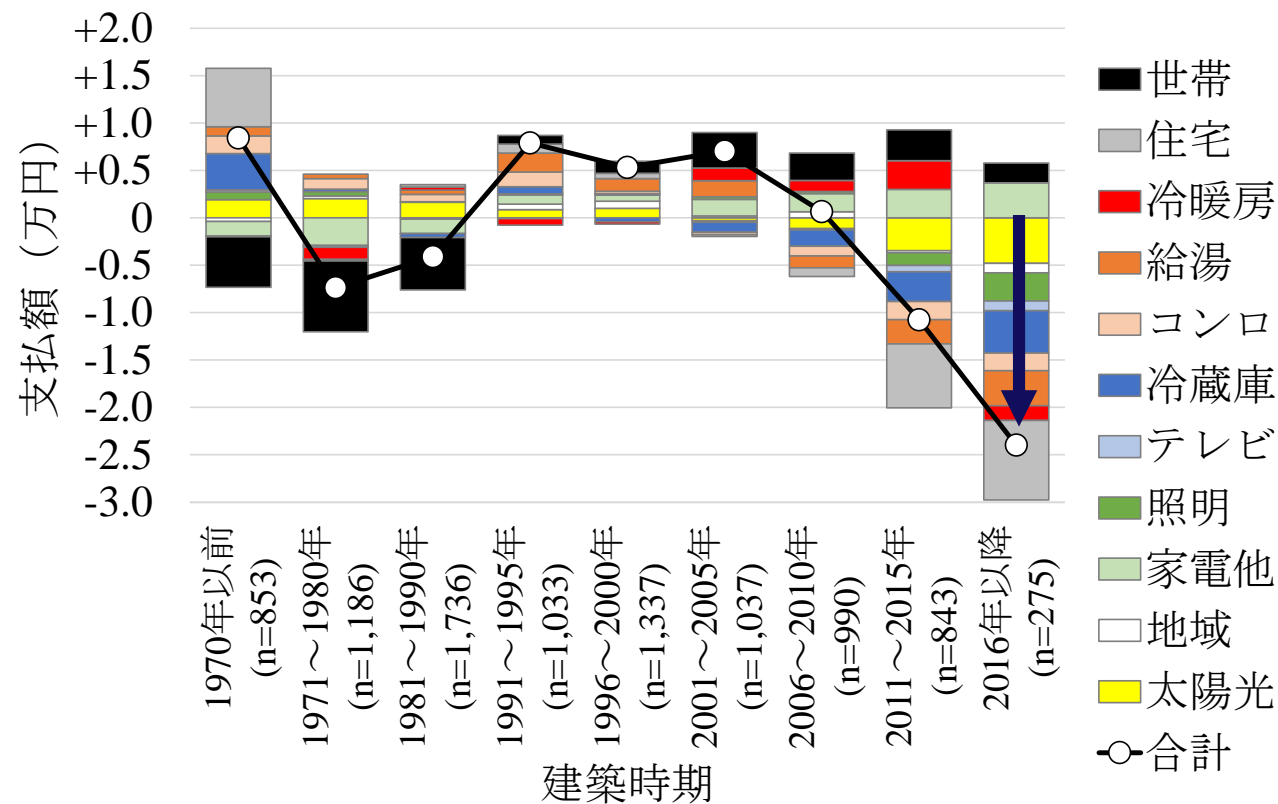
■ ヒートポンプ給湯機 ■ 電気温水器 ■ 都市ガス給湯器 ■ LPガス給湯器 ■ 灯油給湯器 ■ 太陽熱温水器 ■ コージェネレーション



西尾・中野：家庭CO₂統計の個票データを用いた給湯機器の保有実態などに関する基礎検討，第39回エネルギー・資源学会研究発表会 講演論文集，2020.

個票データの分析例2：光熱費の差異をもたらす要因

- 2016年以降に建てられた住宅で光熱費が抑えられているのは、住宅・冷蔵庫・給湯・太陽光・照明・テレビ・コンロ要因などによる



詳細は
次ページ
以降

2. 機械学習と モデル解釈手法のSHAPを用いた 光熱費の分析

研究の背景・目的

光熱費の実態把握

- 温暖化対策を検討する上で、CO₂削減効果が重要であることは言うまでもないが、**需要家の視点に立つと光熱費も関心事項**である
- 検討に資するデータとして期待されるのが、**環境省が平成29年度より実施している「家庭部門のCO₂排出実態統計調査」（家庭CO₂統計）**である
 1. 政府統計ポータルサイト（e-Stat）や環境省Webサイトにおいて、集計表や関連報告書が多数公開されている



<https://www.e-stat.go.jp/>



<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/kateiCO2tokei.html>

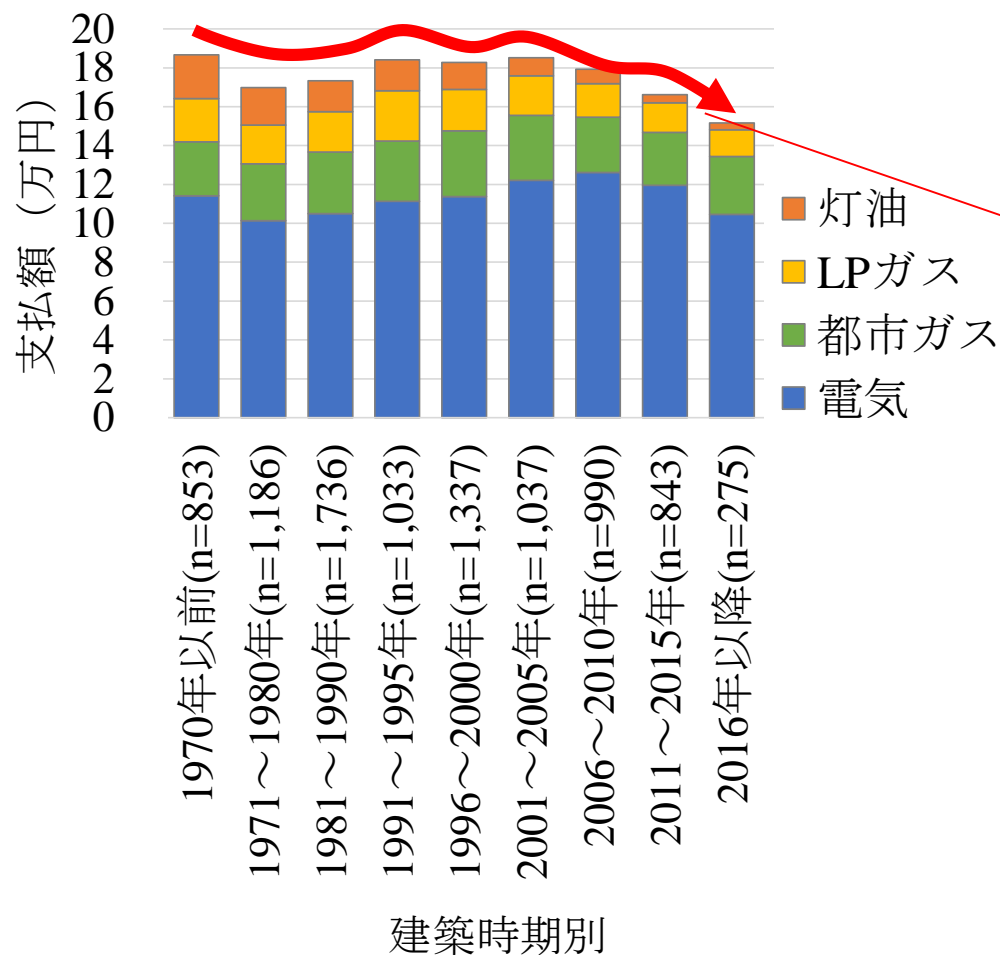
2. エネルギー・資源学会「家庭部門のCO₂排出実態統計調査利用研究会」では、**個票データを多様な視点で分析すること**としている

本研究

**平成30年度家庭CO₂統計の個票データを用いて、
建築時期による光熱費差異の要因を明らかにする**

建築時期別の光熱費

- 近年建てられた住宅では光熱費が抑えられているように見えるが、単純な分析（例：クロス集計）からは、その理由がよくわからない



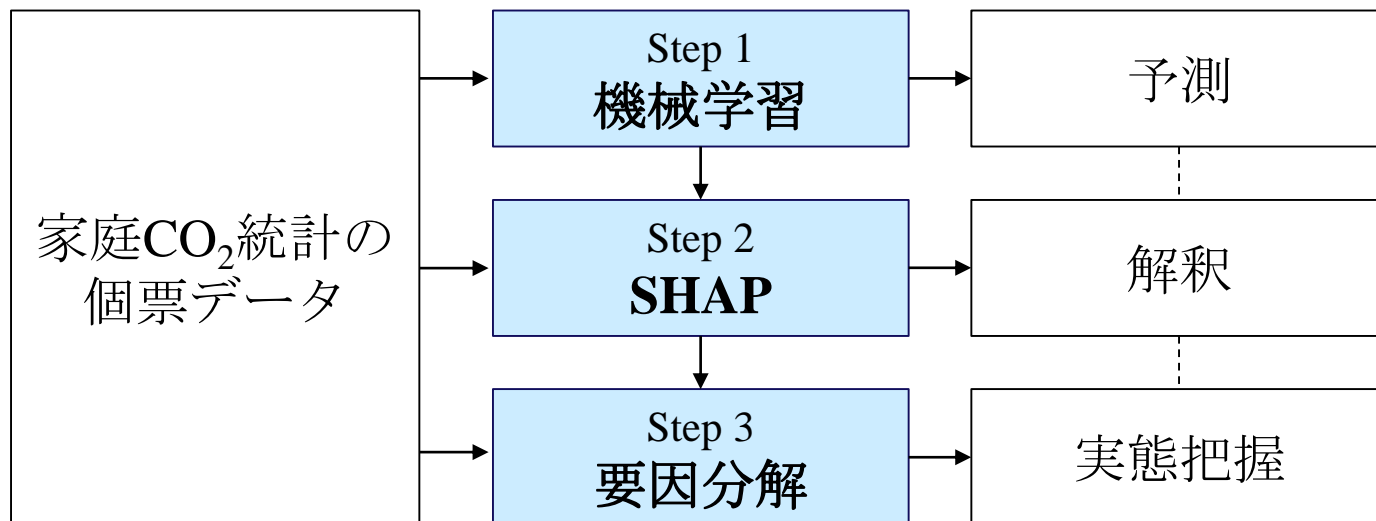
仮説の例
 住宅断熱性能が高い？
 省エネ製品が多い？
 太陽光発電が増えた？
 . . . ?

検証の方法
 積み上げ or
 重回帰分析 or
 .
 .
 .
 機械学習 (本研究)

手法

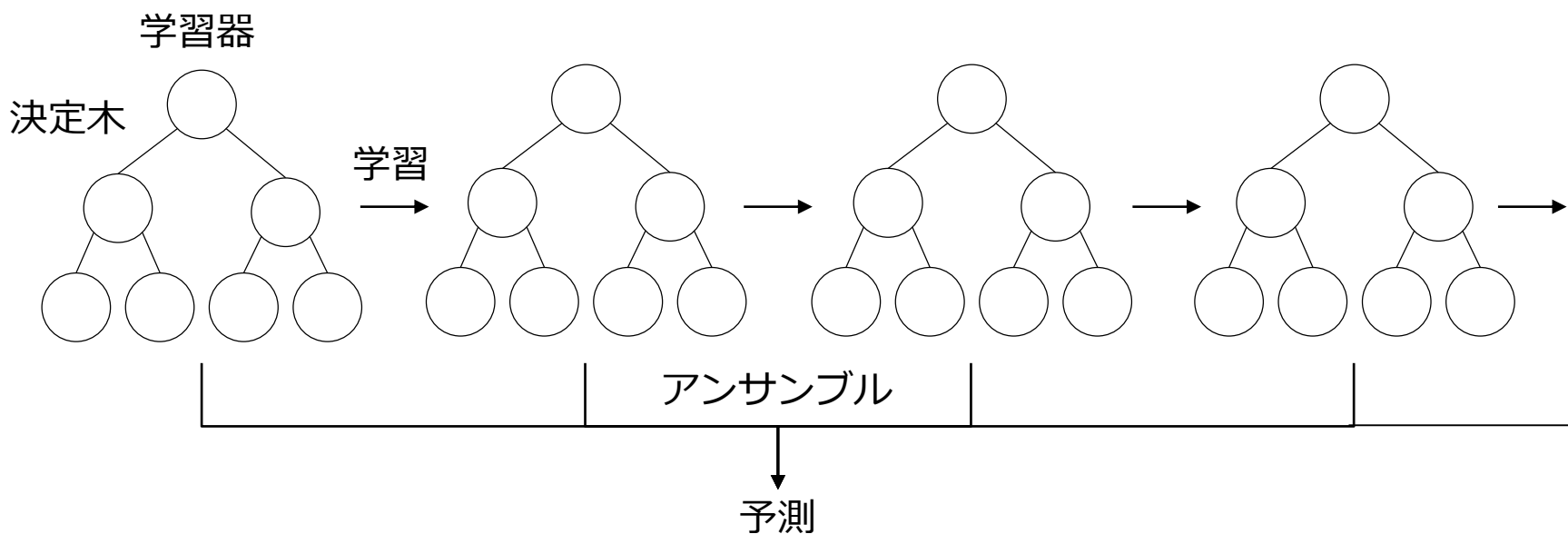
分析フロー

- データ分析の最新要素技術も活用して、光熱費の実態把握を行う



Step 1 勾配ブースティング木 (GBDT) とは

- **機械学習手法**の1つであり、**非線形性や相互作用を考慮しやすく**、**家庭CO₂統計と類似のデータでも良好な精度**が示されることが多い
 - ① **Gradient** : 勾配降下法により、誤差を最小化する
 - ② **Boosting** : 弱学習器を多く使うことで精度を上げるアンサンブル学習の1つで、目的変数と予測値の誤差を小さくしていく
 - ③ **Decision Tree** : 木構造により、分類や回帰をする



Step 1 GBDTモデルの構築

- 判断の加え過ぎで要因分解が部分的になってしまうのを避けるため、機械学習では**個票データの情報量を最大限活用**することにした

対象データ

平成30年度家庭CO₂統計の個票データのうち、建築時期不明の世帯を除く9,290サンプル

目的変数

光熱費支払額（万円／年）

- 2018年4月～2019年3月の電気・都市ガス・LPガス・灯油の合計（ガソリン・軽油は含まず）
- 太陽光発電の自家消費に伴う支払額の減少は反映されている（売電受取額は反映されない）
- 平均は17.7万円

特徴量

住宅・世帯属性や機器保有・利用状況など244個

- ガス機器は、都市ガス・LPガスで細分化
- 所在の10地域情報と共に、都道府県の代表地点の年間平均気温も投入
- 内容の重複度が極めて高いデータについては、情報量が多い方のデータを投入
- 欠損値の除外・補完処理はしない（それ自体が特徴として考慮される）

勾配Boosting木（GBDT）モデルの構築

予測精度の向上と過学習の抑制のため、交差検証によりパラメータチューニング

Step 1~3

特徴量とその要因分類

■ 世帯・住宅属性、機器保有・利用行動などとの関係を機械学習した

要因		特徴量
大分類	小分類	
世帯	世帯人数	世帯人数
	世代	世帯主の年齢, 世帯構成員の最低・最高年齢
	世帯年収	世帯年収
	在宅率他	平日昼間の在宅状況, 就業者人数比率
住宅	建て方	住宅の建て方
	所有関係	住宅の所有関係
	延床面積	延床面積
	窓状況	二重サッシまたは複層ガラスの窓の設置状況
冷暖房	建築時期	建築時期
	エアコン	エアコンの使用台数, 1・2・3・4・5目目エアコンの種類・製造時期
	暖房機器	主暖房機器, 各種暖房機器の使用台数, セントラル暖房・床暖房・太陽熱暖房の使用有無
	冷房行動	夏季平日の1台目エアコン使用時間, 1台目エアコンの冷房設定温度, ペットののための冷房使用状況
給湯	暖房行動	冬季平日の主暖房機器使用時間, 主暖房機器の暖房設定温度・強度, 暖房居室比率, 暖房の仕方, ペットののための暖房使用状況
	給湯機器	各種給湯機器の設置有無
	入浴行動	夏・冬季の湯はり・シャワー確率, 入浴の各種省エネ行動
	他行動	冬季の洗面・台所お湯使用確率, 入浴以外の各種省エネ行動
コンロ	コンロ機器	各種台所用コンロの設置有無
	調理行動	朝・昼・夜の調理確率, 調理の各種省エネ行動
冷蔵庫	台数	冷蔵庫の使用台数
	1台目仕様	1台目冷蔵庫の種類・内容積・製造時期
	2台目仕様	2台目冷蔵庫の種類・内容積・製造時期
	利用行動	冷蔵庫の各種省エネ行動

要因		特徴量
大分類	小分類	
テレビ	台数	テレビの使用台数
	1台目仕様	1台目テレビの種類・画面サイズ・製造時期
	2台目仕様	2台目テレビの種類・画面サイズ・製造時期
	3台目仕様	3台目テレビの種類・画面サイズ・製造時期
照明	利用行動	1台目テレビの平日使用時間, テレビの各種省エネ行動
	居間照明	居間における各種照明の使用有無, 居間主照明の種類
	他照明	食卓・台所・個室・その他場所における各種照明の使用有無
家電他	利用行動	居間照明の使用時間, 照明の各種省エネ行動
	洗濯乾燥	洗濯機・衣類乾燥機・浴室乾燥機の使用台数, 乾燥機能の使用確率
	食洗乾燥	食器乾燥機・食器洗い乾燥機の使用台数
	トイレ	温水洗浄便座・暖房便座の使用台数, トイレの各種省エネ行動
	水サーバー	ウォーターサーバーの使用台数
地域	その他	各種家電の使用台数, 家電の各種省エネ行動, ペット関連機器の使用有無, HEMSの導入有無, 電気自動車・プラグインハイブリッド車・電動オートバイ等の使用有無
	地域他	10地域区分, 契約電力会社, 都市階級, 都市ガス供給エリアの該当有無
	気温	都道府県代表地点の年間平均気温
太陽光	融雪機器	各種融雪機器の使用有無
	太陽光有無	太陽光発電の使用有無
	太陽光容量	太陽光発電の総容量

Step 3
要因に集約した上で
実態把握

Step 1&2
多数の特徴量を用いて
機械学習

Step 2

SHAP (SHapley Additive exPlanations) とは

- **複雑なモデルの予測の解釈手法**として2017年に提案されたもので、機械学習のブラックボックス問題への対応手段を与えてくれる

- **Shapley値は**、協力ゲーム理論で獲得利得を各プレーヤーに公平に分配する手法

例：

各条件下の利得	協力順 (全6通り) による限界利得	Shapley値 (全6通りの平均)																																																
<table border="1"> <tr><td>A</td><td>3</td></tr> <tr><td>B</td><td>4</td></tr> <tr><td>C</td><td>5</td></tr> <tr><td>A&B</td><td>6</td></tr> <tr><td>A&C</td><td>7</td></tr> <tr><td>B&C</td><td>9</td></tr> <tr><td>A&B&C</td><td>10</td></tr> </table>	A	3	B	4	C	5	A&B	6	A&C	7	B&C	9	A&B&C	10	<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr> <tr><td>A⇒B⇒C</td><td>3</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>A⇒C⇒B</td><td>3</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>B⇒A⇒C</td><td>2</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>B⇒C⇒A</td><td>1</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>C⇒A⇒B</td><td>2</td><td>3</td><td>5</td></tr> <tr><td>C⇒B⇒A</td><td>1</td><td>4</td><td>5</td></tr> </table>		A	B	C	A⇒B⇒C	3	3	4	A⇒C⇒B	3	3	4	B⇒A⇒C	2	4	4	B⇒C⇒A	1	4	5	C⇒A⇒B	2	3	5	C⇒B⇒A	1	4	5	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr> <tr><td>2</td><td>3.5</td><td>4.5</td></tr> </table>	A	B	C	2	3.5	4.5
A	3																																																	
B	4																																																	
C	5																																																	
A&B	6																																																	
A&C	7																																																	
B&C	9																																																	
A&B&C	10																																																	
	A	B	C																																															
A⇒B⇒C	3	3	4																																															
A⇒C⇒B	3	3	4																																															
B⇒A⇒C	2	4	4																																															
B⇒C⇒A	1	4	5																																															
C⇒A⇒B	2	3	5																																															
C⇒B⇒A	1	4	5																																															
A	B	C																																																
2	3.5	4.5																																																

- これを応用したSHAPは、各特徴量がモデル予測値に及ぼす影響へと分解

加法的 (additive) な特徴帰属手法

特性例：ローカルな正確性

$$f(x) = g(x') = \phi_0 + \sum_{i=1}^M \phi_i x'_i$$

元の予測モデル 元の入力値 単純化した入力値 出力値への影響

単純化した説明 (explanation) モデル 全てがオフの場合の出力値

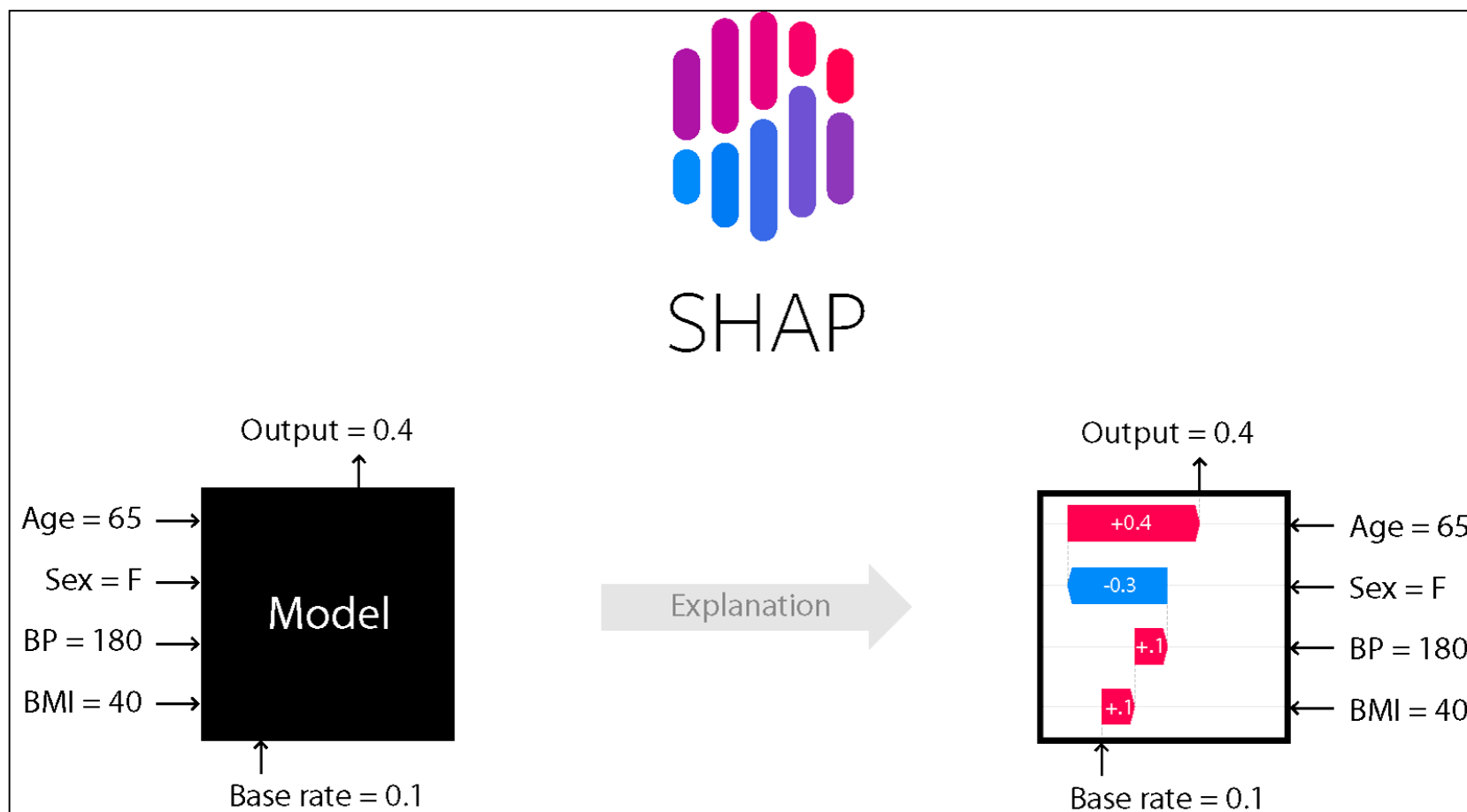
M ← 単純化した入力値の数

- ローカル (ミクロ) な解釈からグローバル (マクロ) な解釈までを一貫してできる
- 木構造モデルでは計算負荷を抑えられる

Step 2

SHAP (SHapley Additive exPlanations) とは

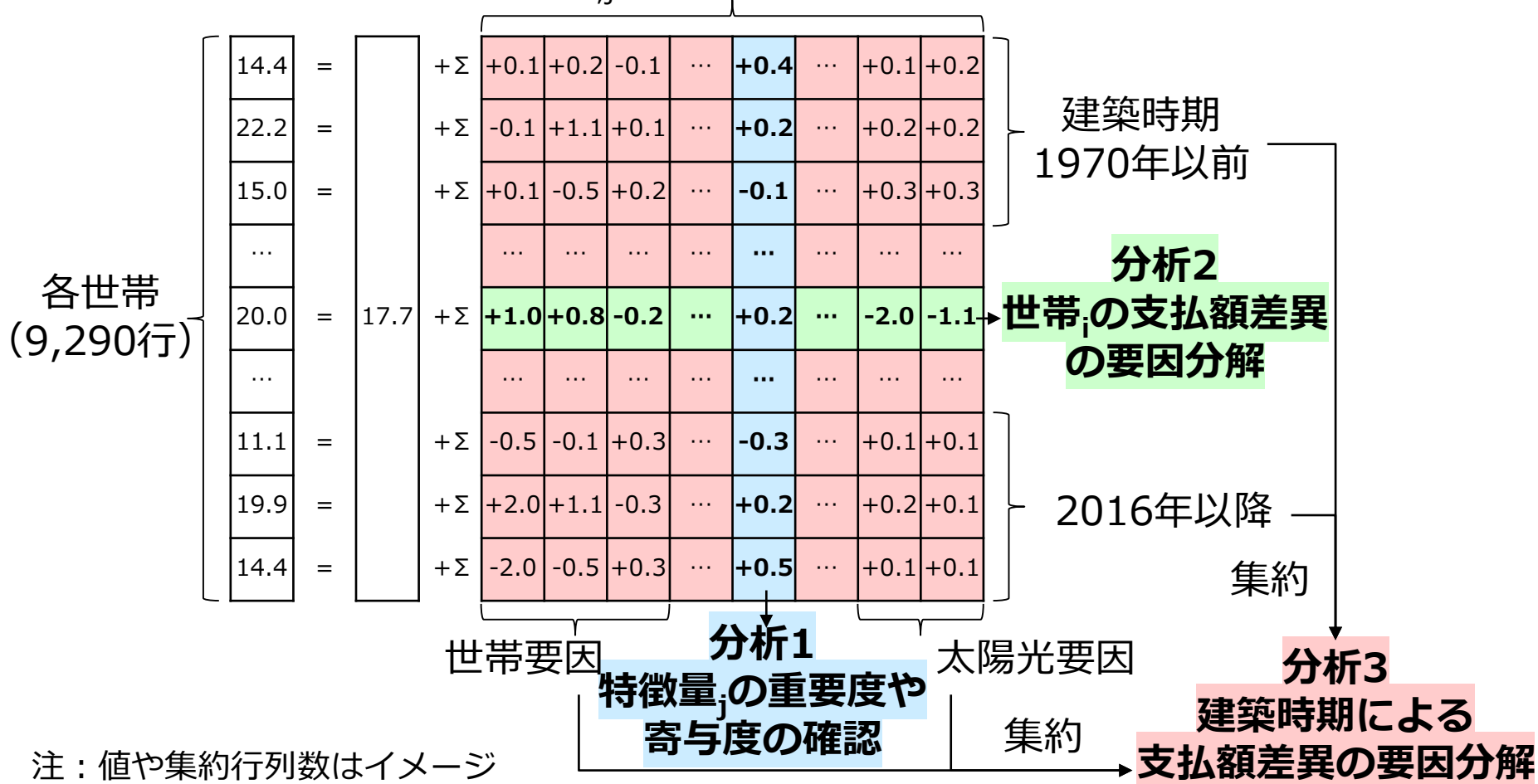
- **複雑なモデルの予測の解釈手法**として2017年に提案されたもので、機械学習のブラックボックス問題への対応手段を与えてくれる



画像出所 <https://github.com/slundberg/shap>

Step 2&3 モデル説明から要因分解へ

- 予測支払額の規定要因を、様々な角度から考察できる
 予測値_i 平均値 SHAP_{i,j} 各特徴量 (244列)



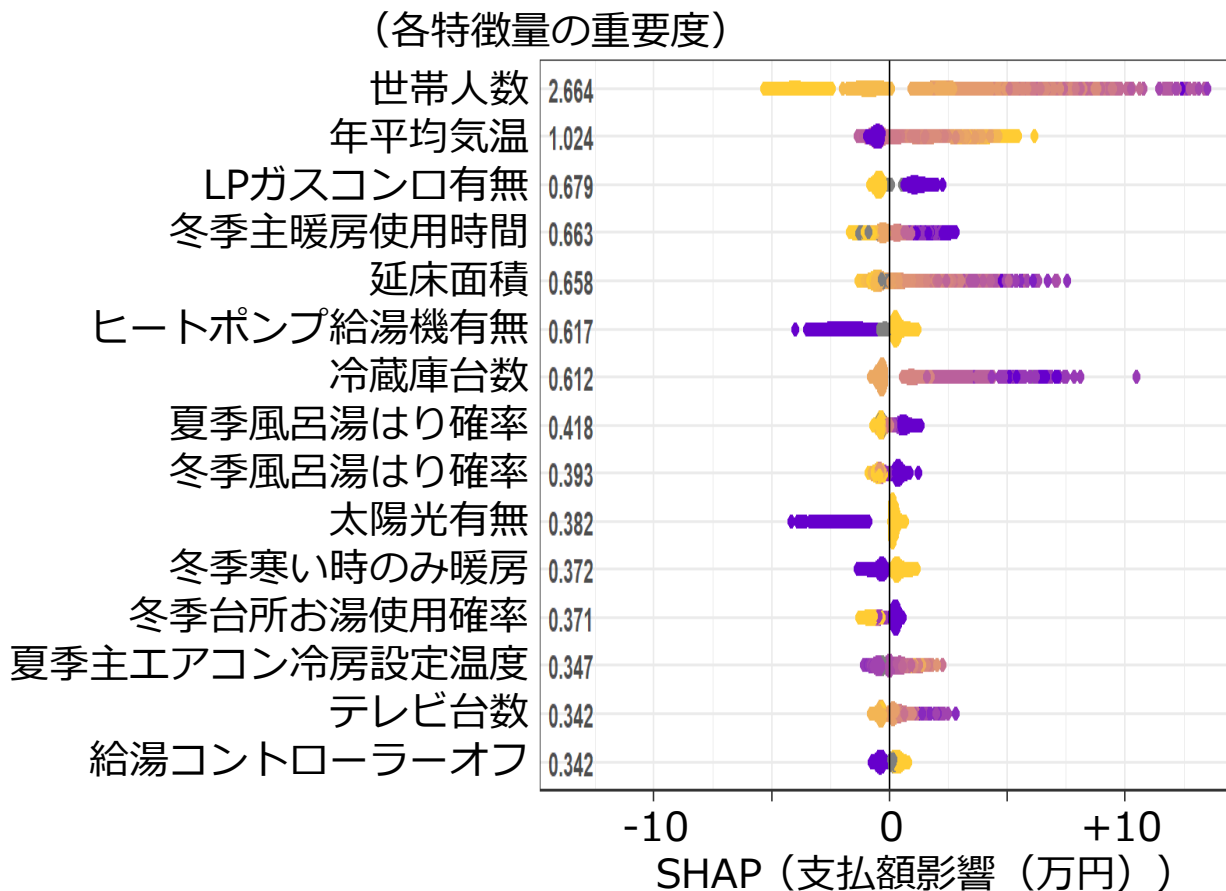
注：値や集約行列数はイメージ

分析①

特徴量の重要度や寄与度の確認

特徴量（上位15個）の重要度

- 支払額を予測する上で、どの特徴量が重要かを確認できる

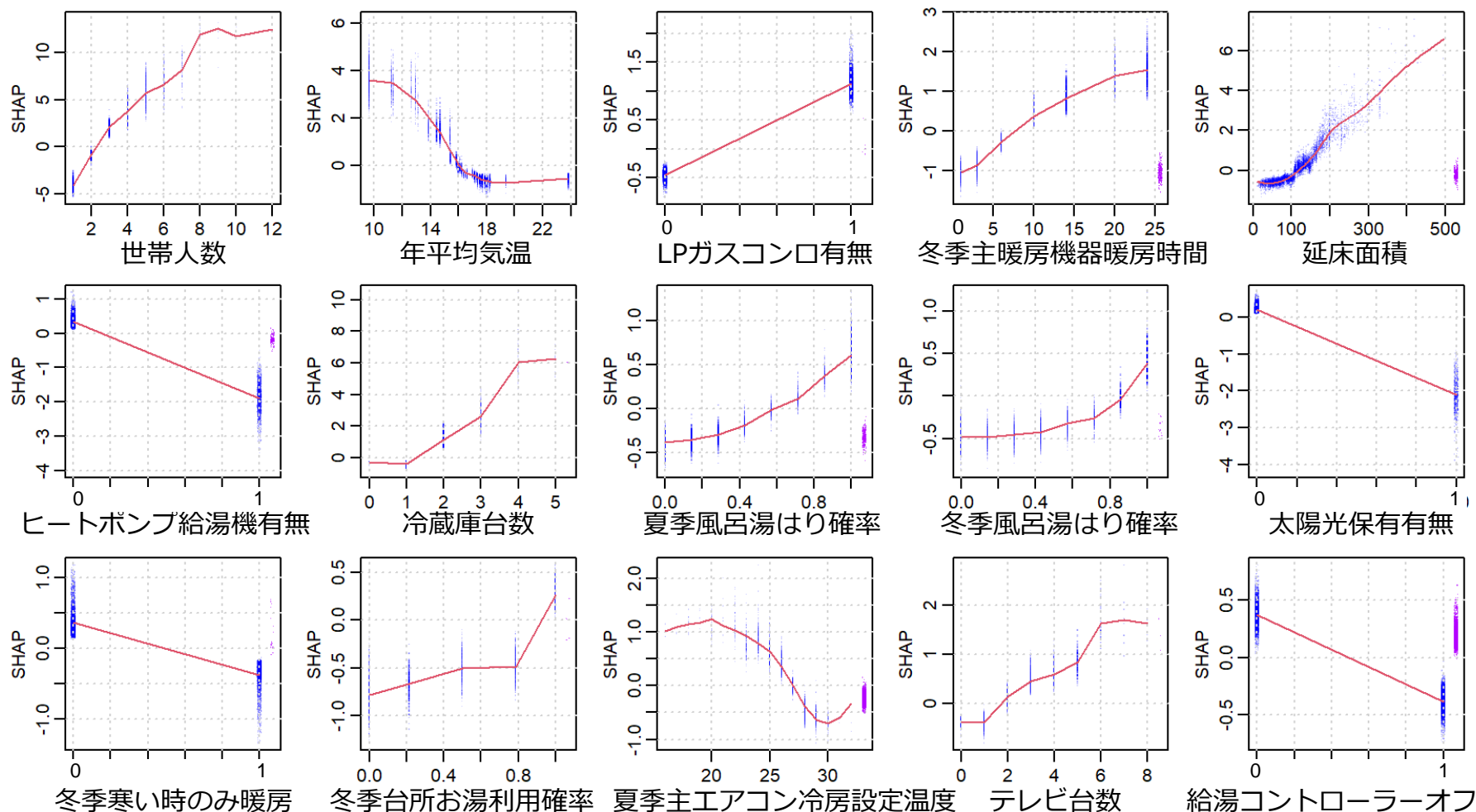


例
 世帯人数が多いほど支払増
 年平均気温が低いほど支払増

各特徴量の水準：低 高

特徴量（上位15個）の寄与度

■ 特徴量がどのように寄与していたかを確認できる（例：非線形性）



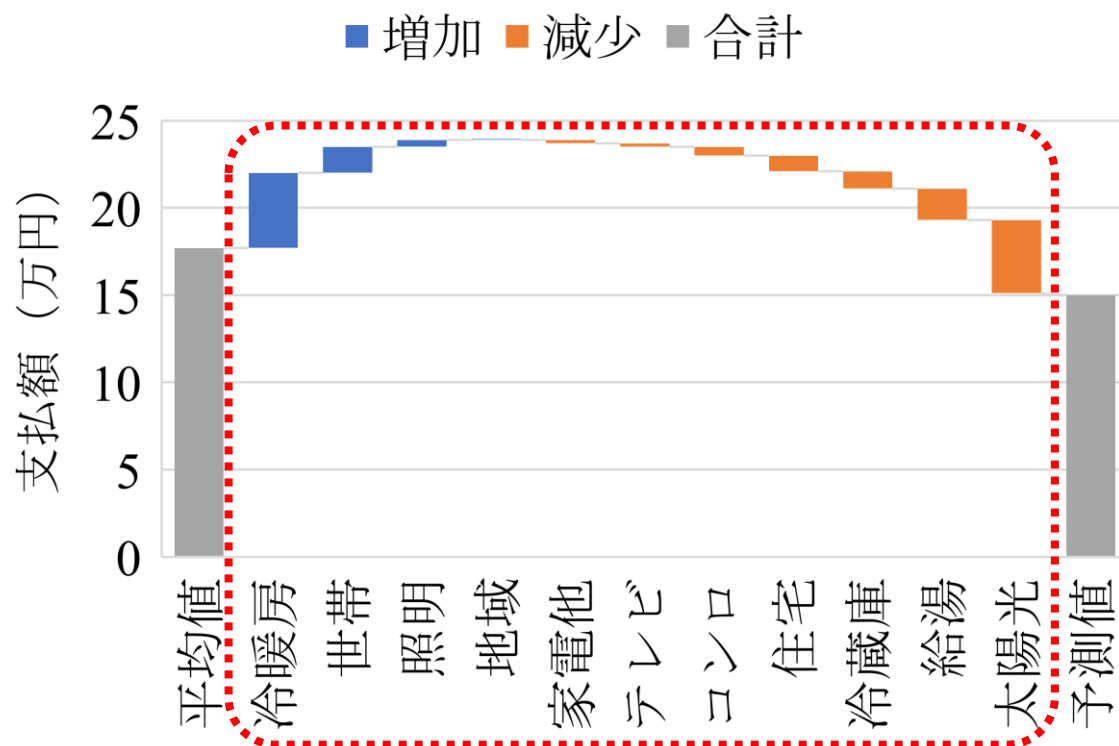
注：縦軸は支払額影響（万円）、横軸は各特徴量の値、右端は欠損値、青点は各サンプル、赤線は平滑曲線

分析②

世帯の支払額差異の要因分解

平均値との差異の要因分解例

- 予測支払額が平均を上（下）回る理由を、世帯ごとに説明できる

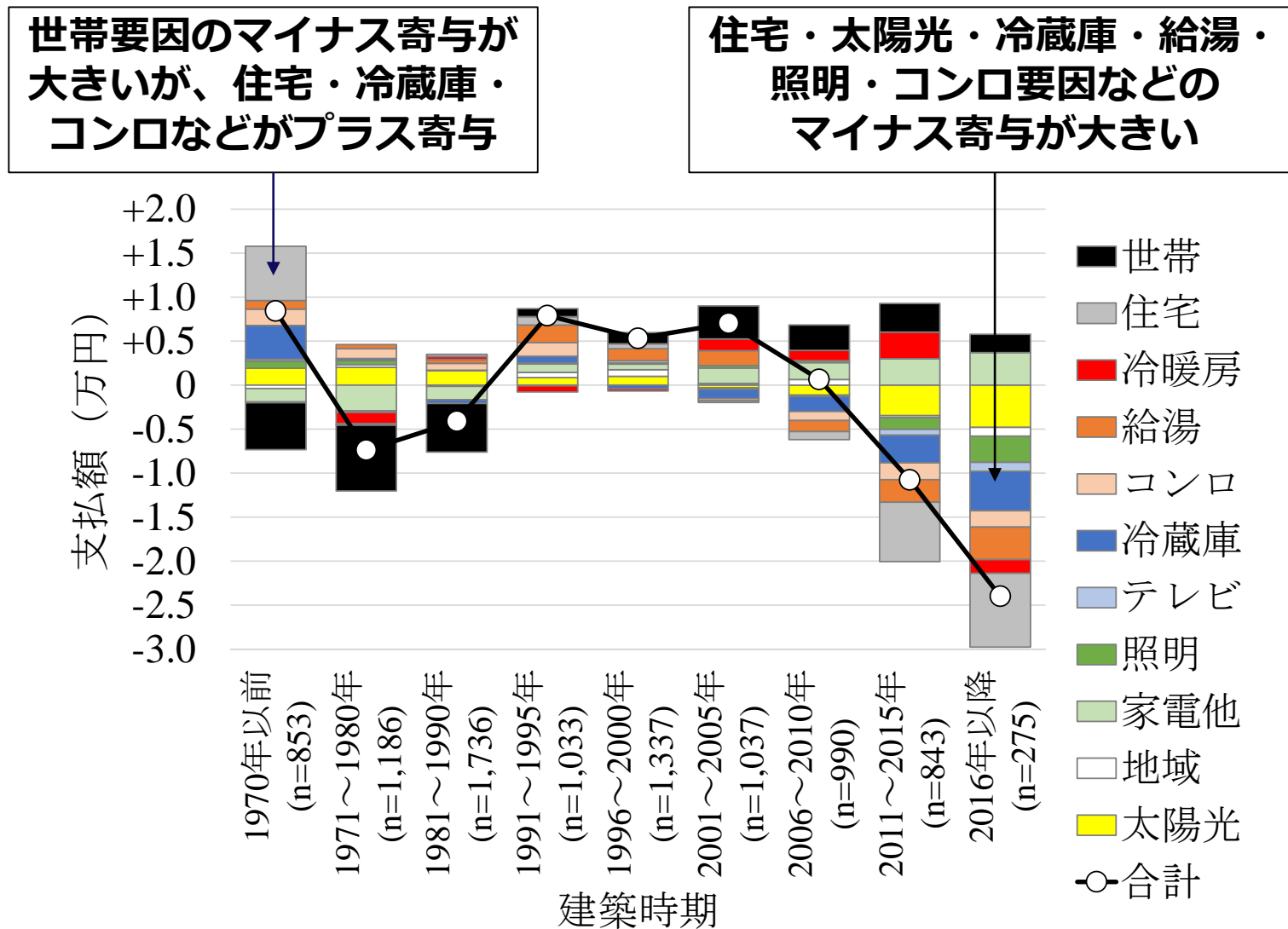


省エネ情報提供に活用できれば、周囲比較にとどまらず、省エネ余地の気づきへ

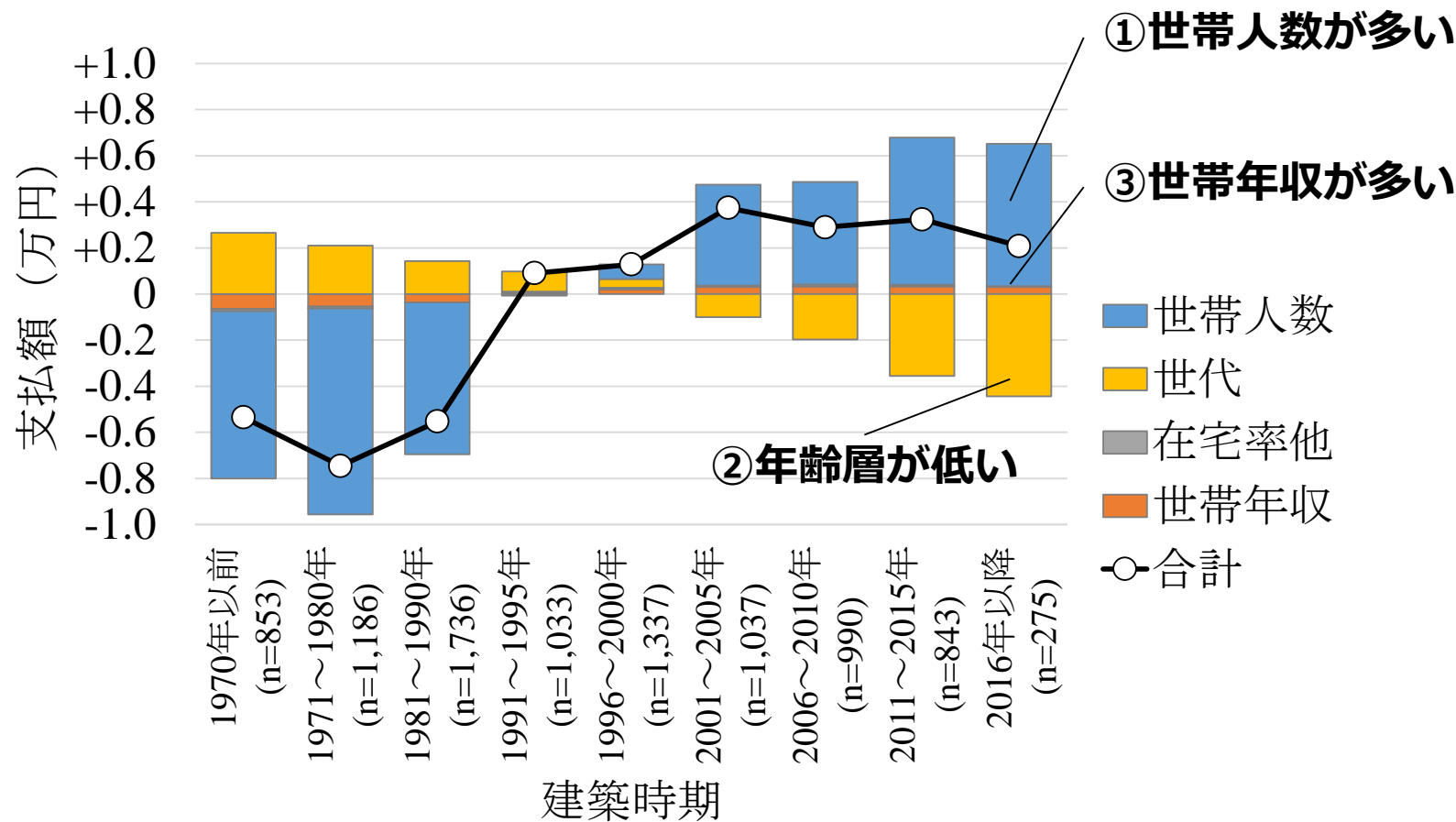
分析③

建築時期による支払額差異の要因分解

光熱費支払額の差異の要因分解（全体像）

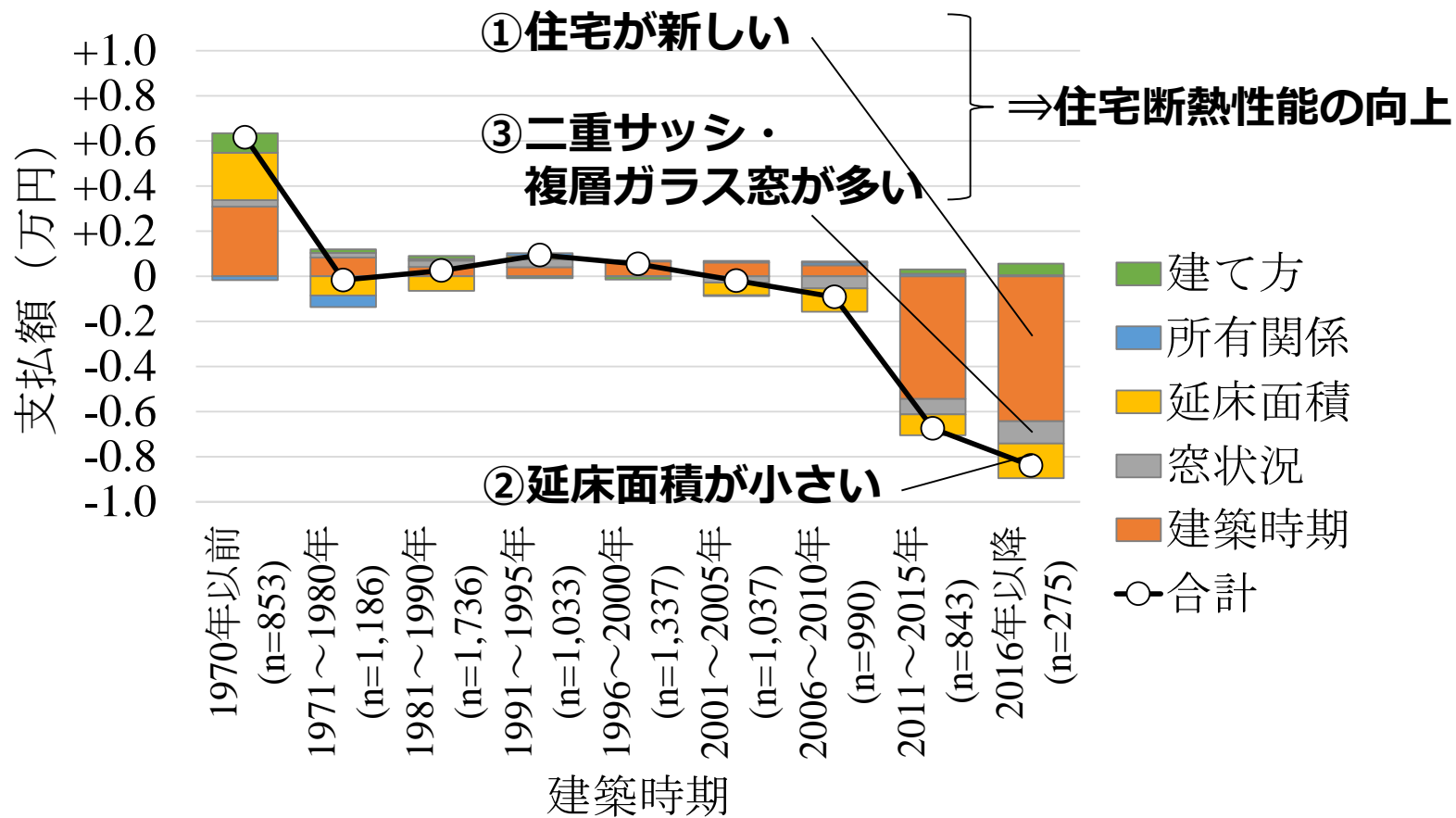


世帯要因



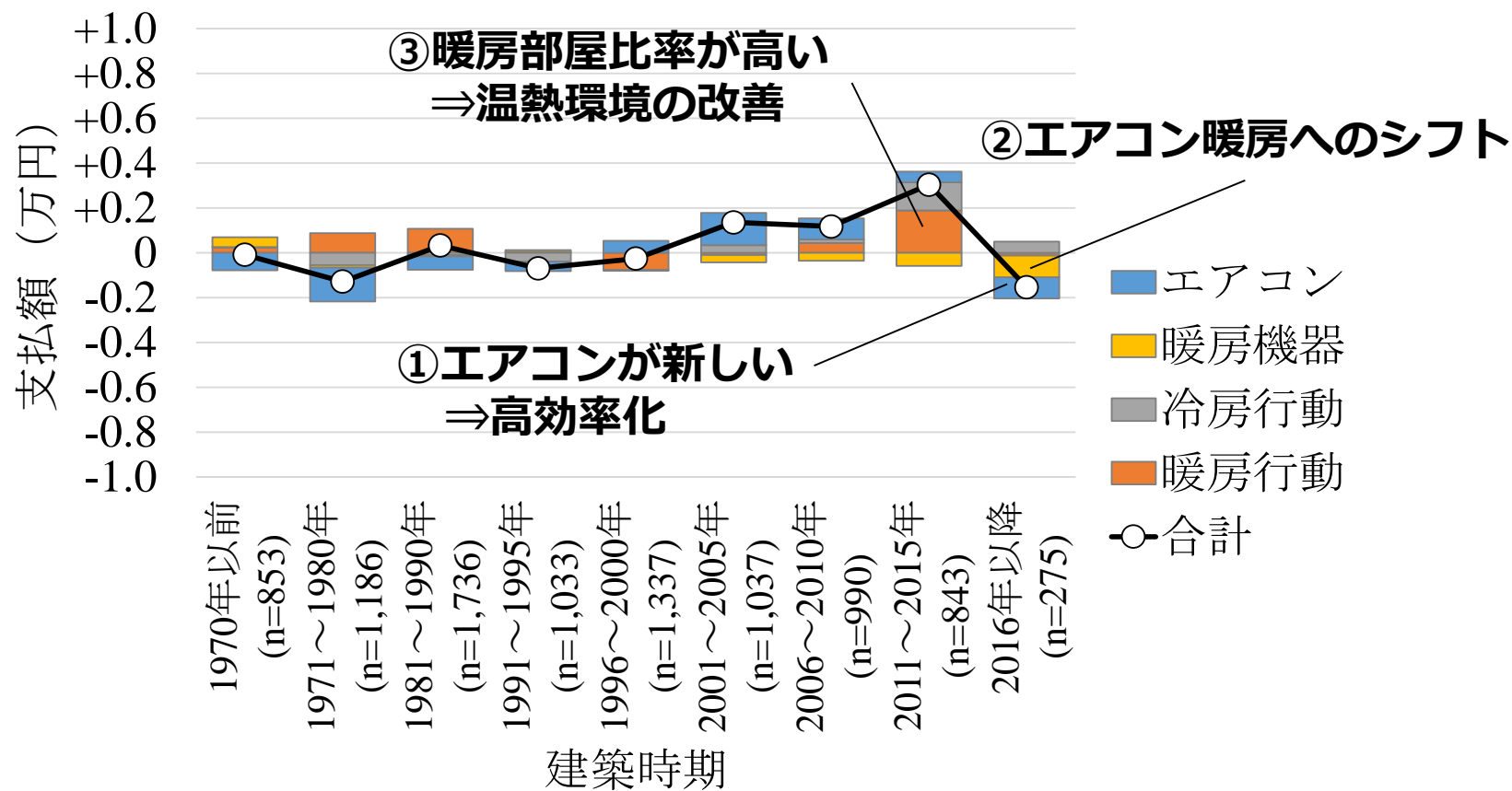
注 図中の説明は、近年の住宅における主な傾向を示したもの

住宅要因



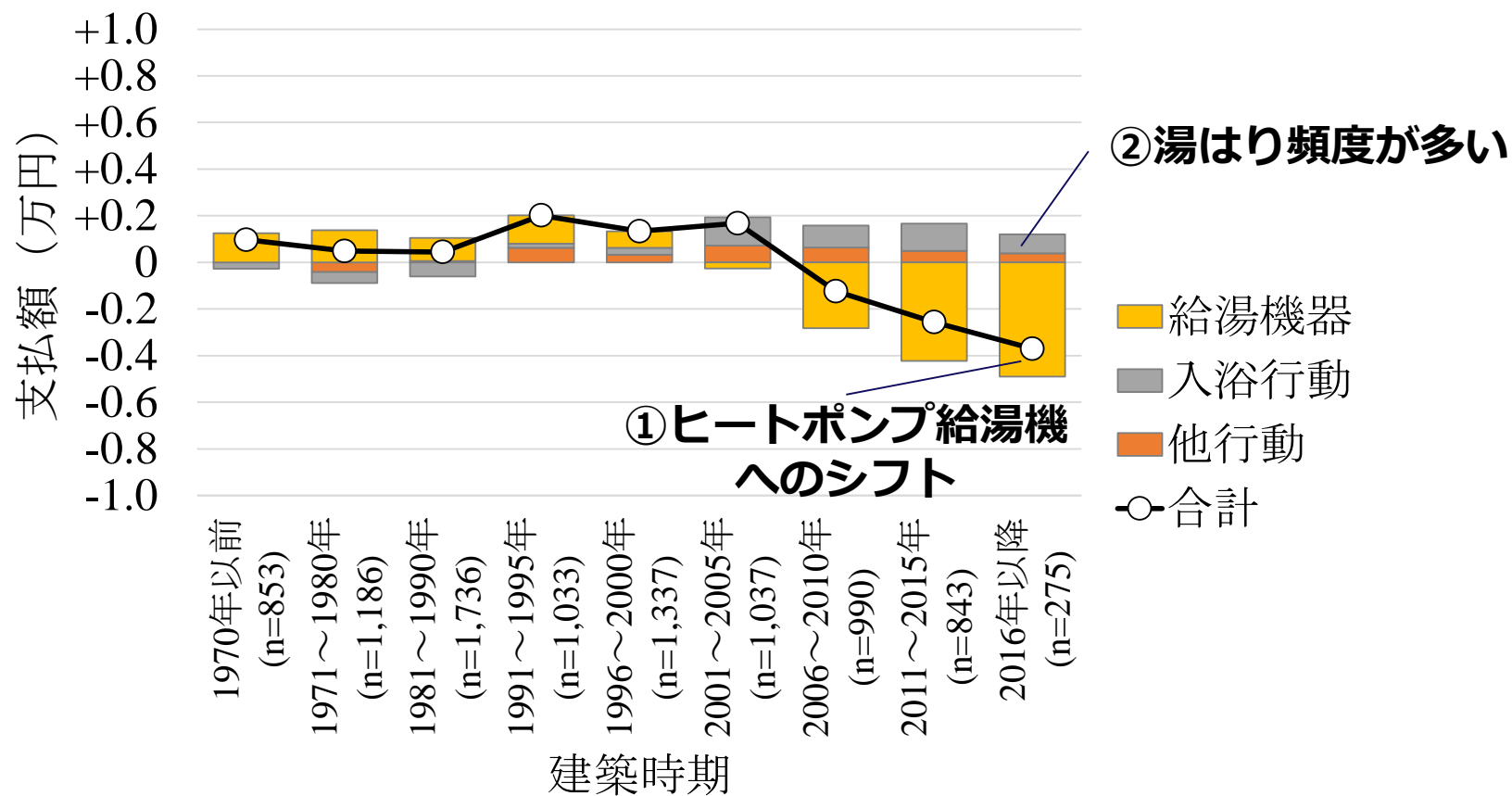
注 図中の説明は、近年の住宅における主な傾向を示したものの

冷暖房要因



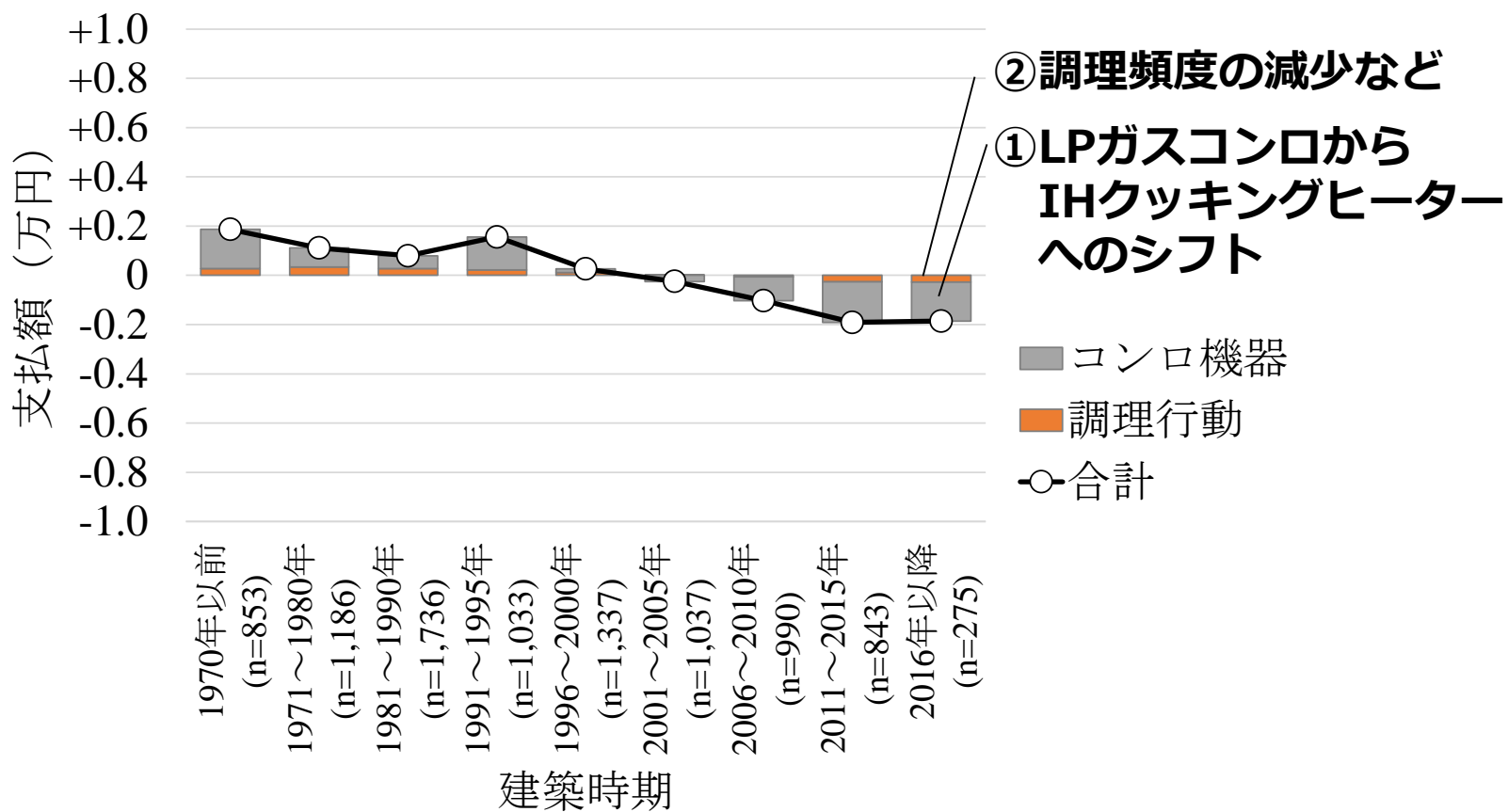
注 図中の説明は、近年の住宅における主な傾向を示したもの

給湯要因



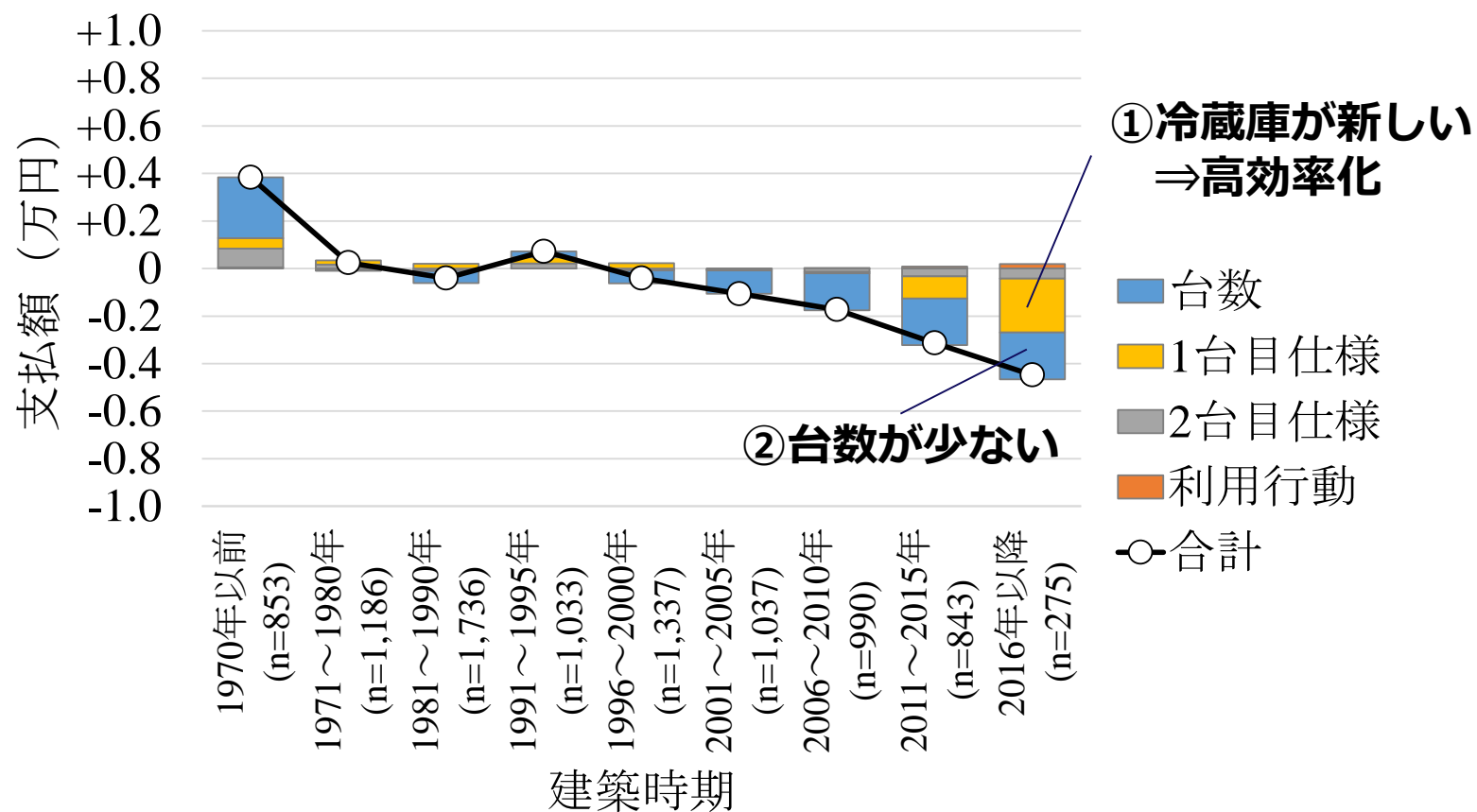
注 図中の説明は、近年の住宅における主な傾向を示したものの

コンロ要因



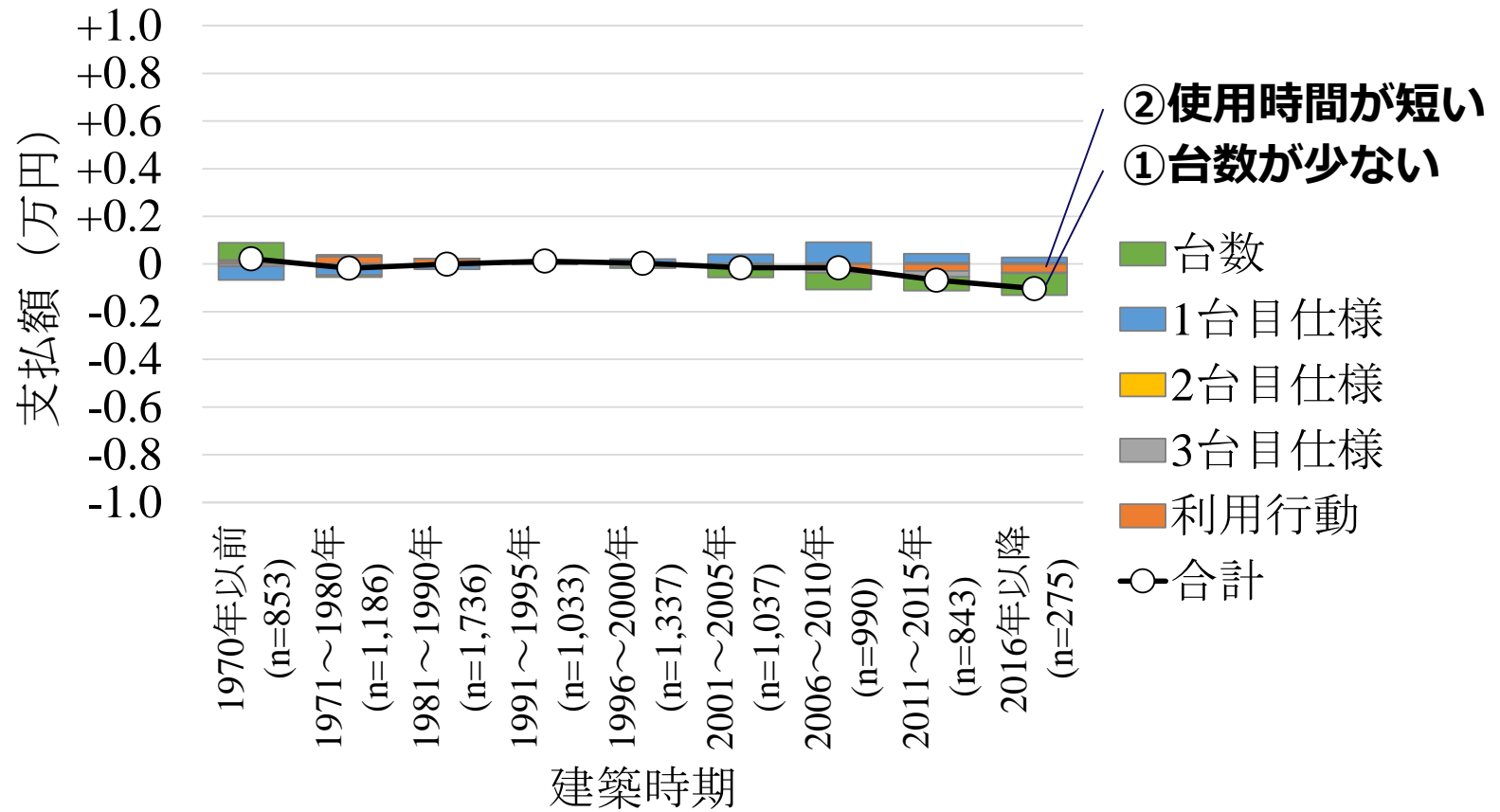
注 図中の説明は、近年の住宅における主な傾向を示したものの

冷蔵庫要因



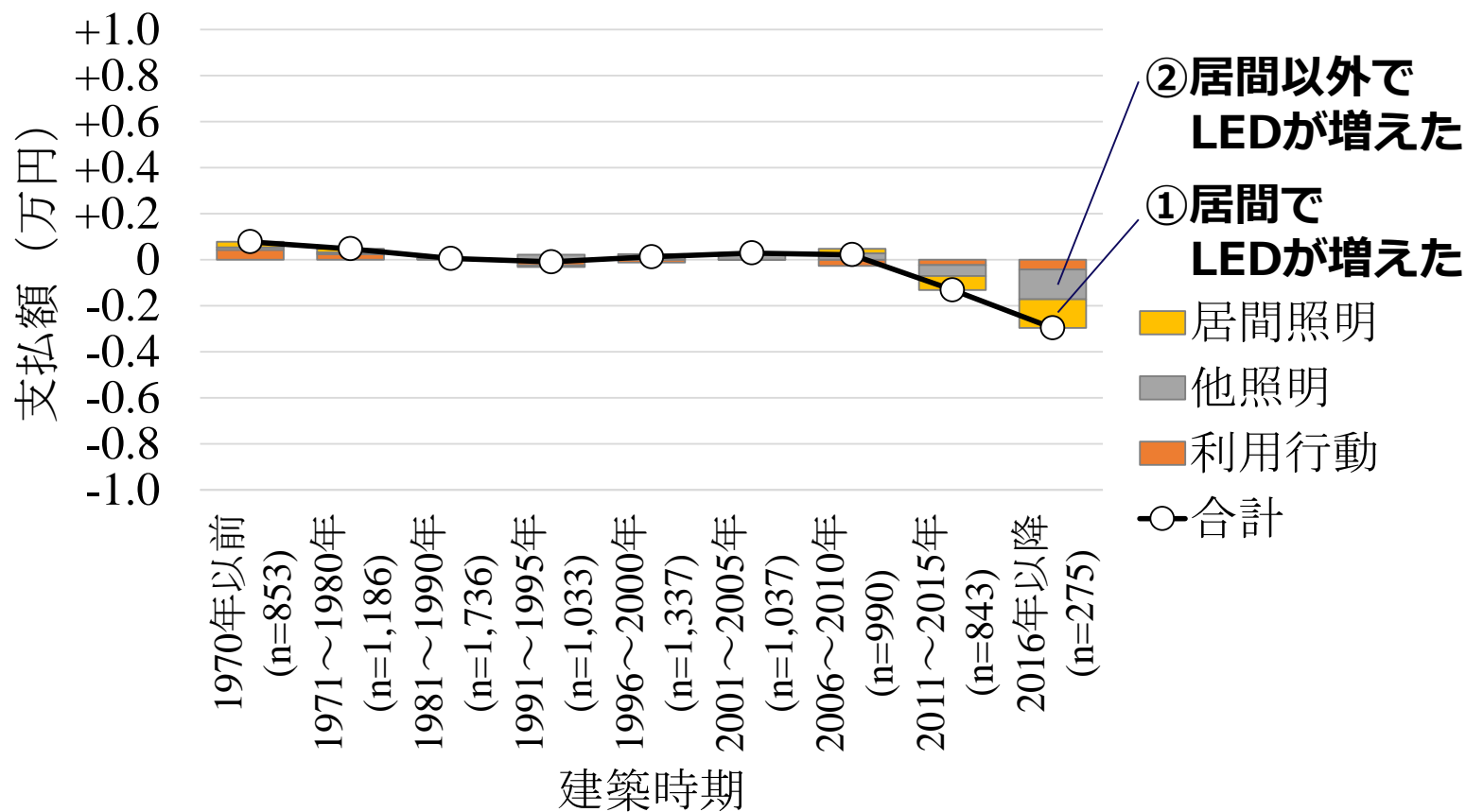
注 図中の説明は、近年の住宅における主な傾向を示したものの

テレビ要因



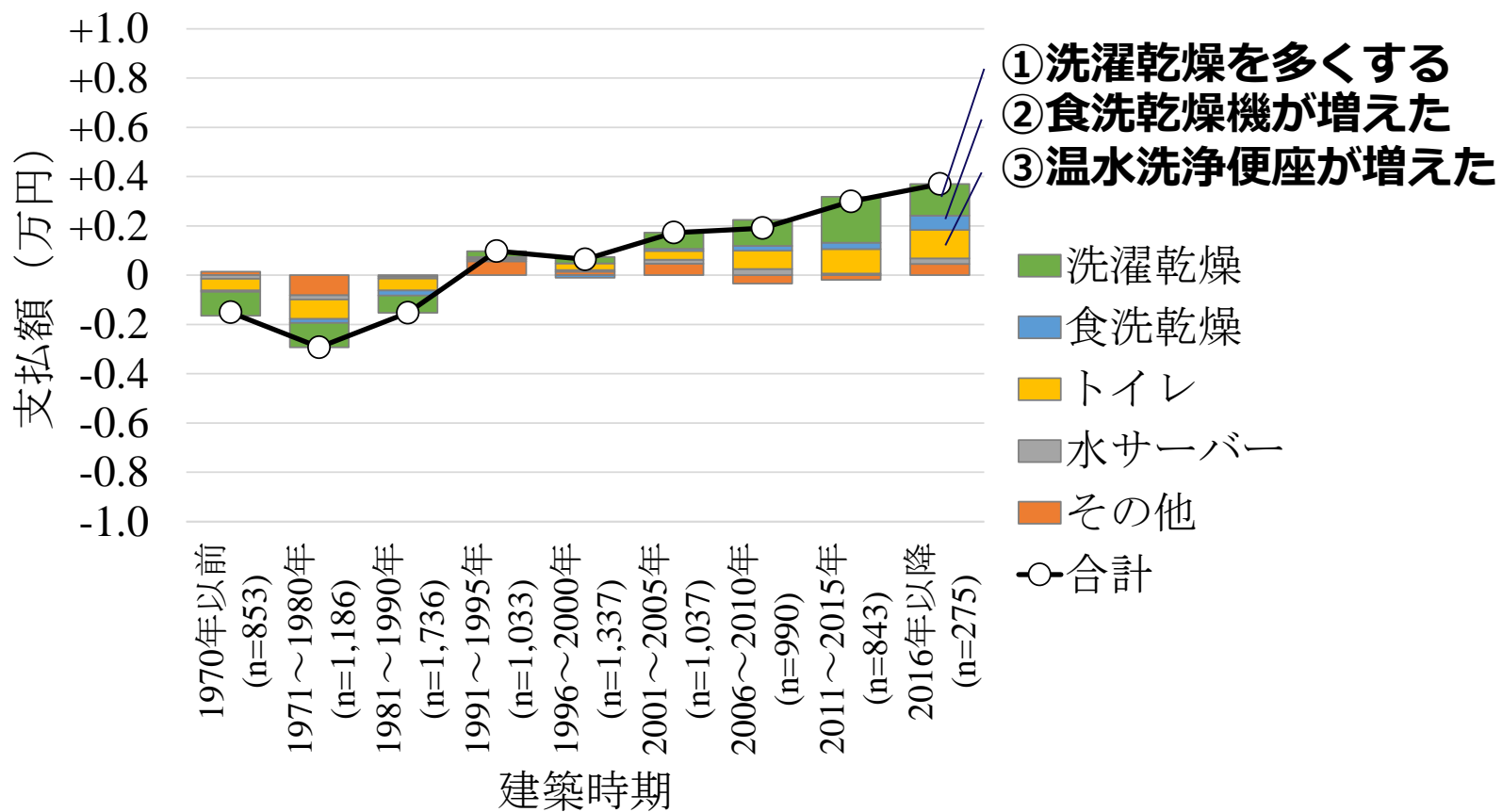
注 図中の説明は、近年の住宅における主な傾向を示したもの

照明要因



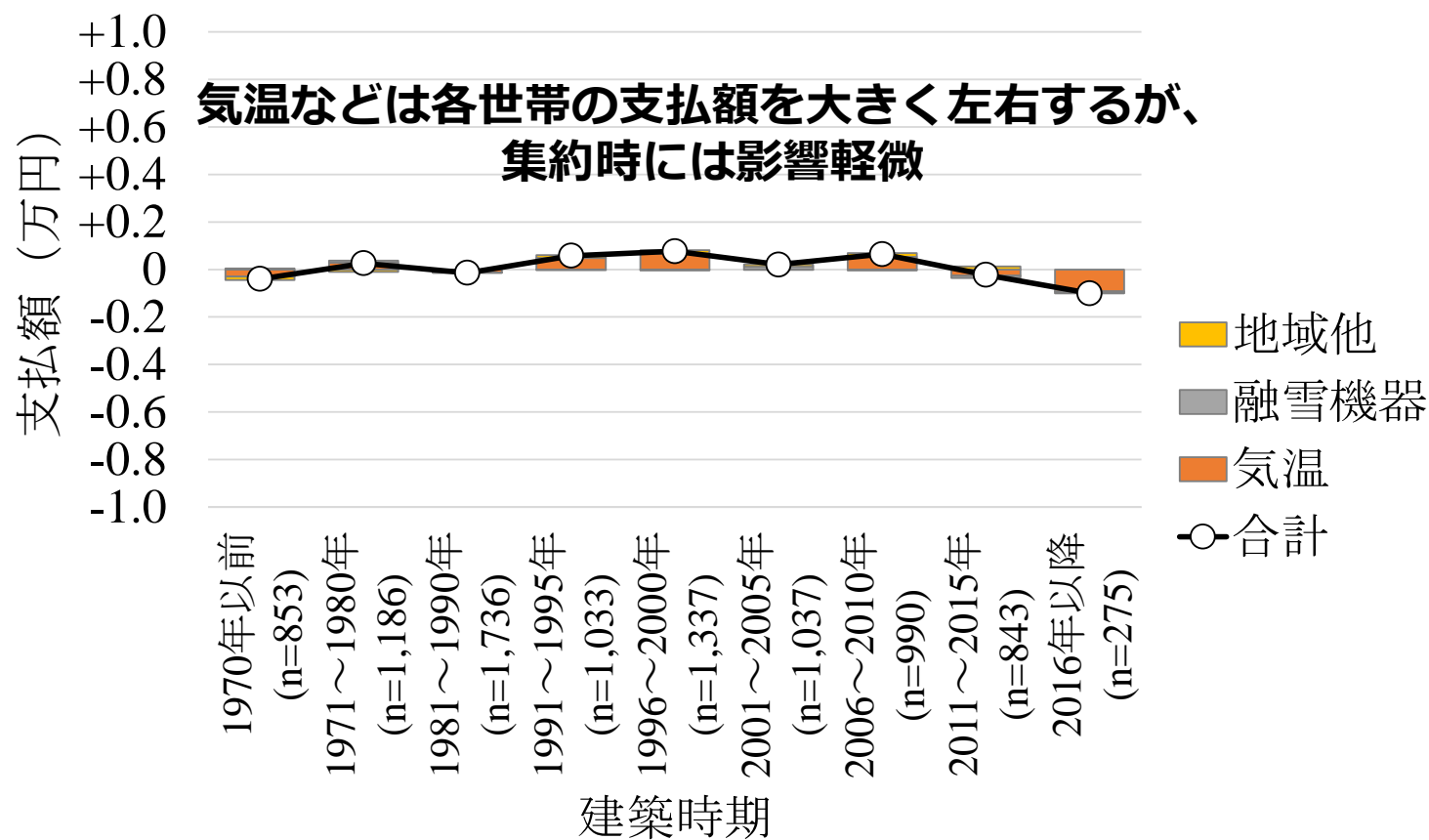
注 図中の説明は、近年の住宅における主な傾向を示したもの

家電他要因



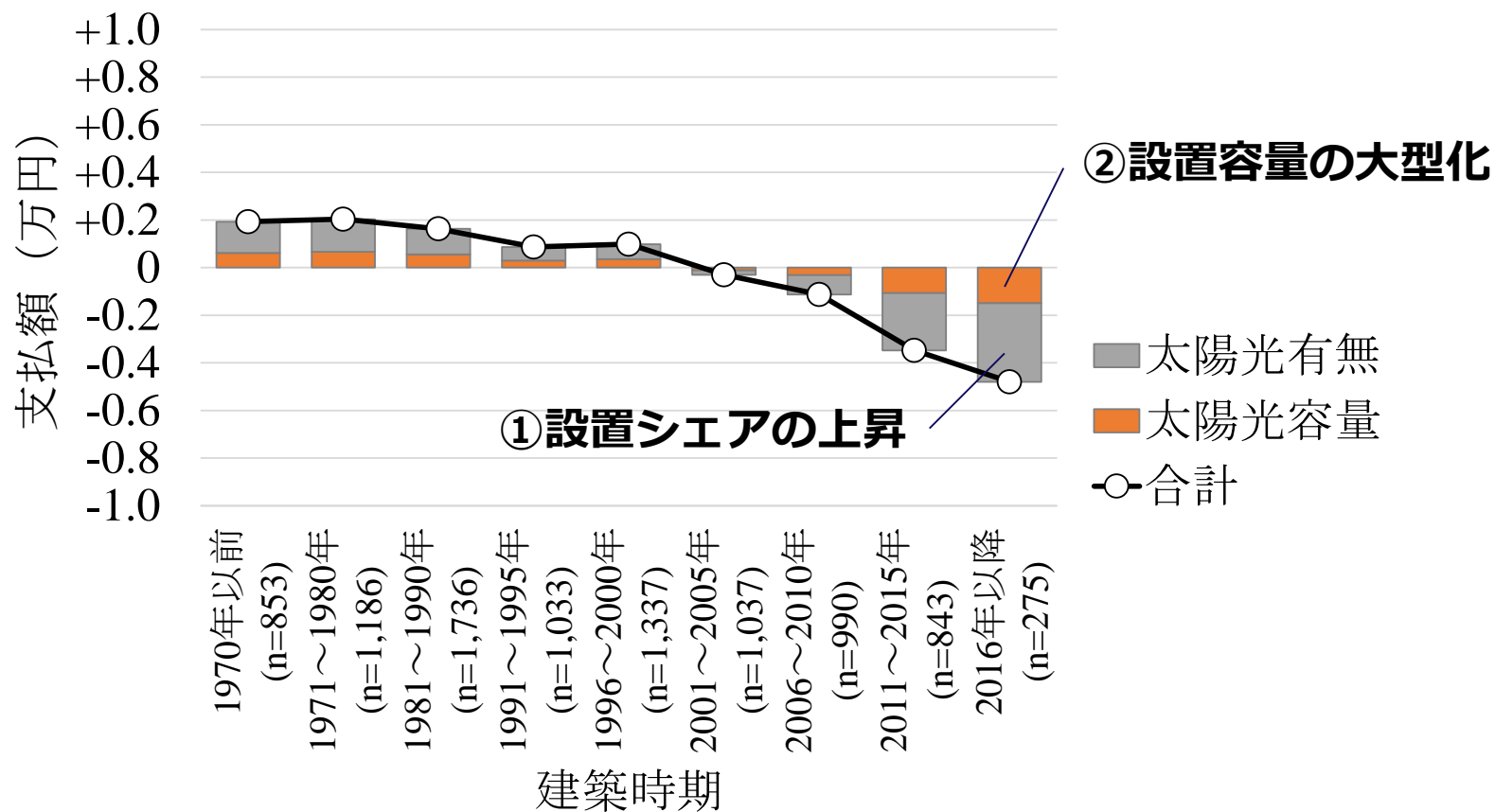
注 図中の説明は、近年の住宅における主な傾向を示したもの

地域要因



注 図中の説明は、近年の住宅における主な傾向を示したもの

太陽光要因



注 図中の説明は、近年の住宅における主な傾向を示したものの

まとめ

まとめ

- 平成30年度家庭CO₂統計の個票データ約1万件を用いて、**近年建てられた住宅で光熱費が抑えられている要因**を明らかにした

手法

- Step 1 機械学習手法の**勾配ブースティング木**により、精度の高いモデルを構築
- Step 2 モデル解釈手法の**SHAP**により、特徴量の寄与度をマイクロレベルで同定
- Step 3 SHAPを活用した**要因分解**により、マクロレベルで実態把握

分析に一貫性や柔軟性をもたせやすく、大規模データや最新要素技術との相性もよい

分析結果

- ✓ **住宅断熱性能の向上**に加えて、**ヒートポンプ機器の普及**や、**LPガスコンロからIHクッキングヒーターのシフト**などにより光熱費が抑えられていること、**冷蔵庫・照明の高効率化**などの効果も着実に現れていることが確認できた
- ✓ 暖房行動や給湯行動の変化により**サービス水準が向上**していることが示唆され、省エネの進展と同時に、**リバウンド効果**や**ライフスタイルの変化**などについても今後注視が必要であることが示唆された

本研究では光熱費や建築時期に注目したが、これに限らず実態把握のニーズに応じていく



家庭の自家用車による輸送需要の将来推計

2021/7/1

「家庭部門のCO2排出実態統計調査利用研究会」「カーボンニュートラルに向けた家庭部門CO2排出実態統計調査の活用」シンポジウム（第13回ESIシンポジウム）

ENEOS株式会社 中央技術研究所 技術戦略室
技術戦略G 星野優子

この報告は、以下2つの内容を再構成したものです

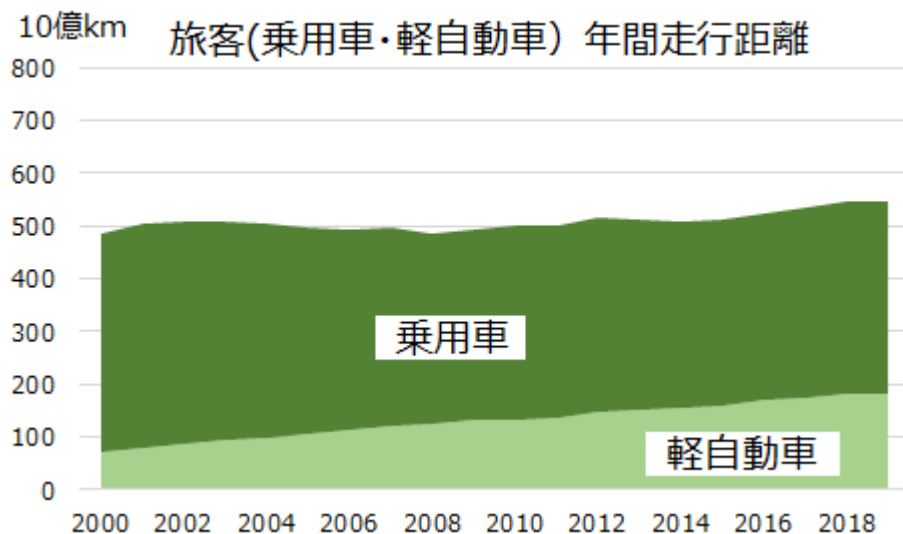
2020/7/29,第39回エネルギー・資源学会研究発表会：星野優子・森田圭「人口減少に着目した家庭の自家用車による輸送需要の将来推計」

2021/1/27,第37回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス：星野優子・森田圭「自家用車の保有状況と走行距離に関する個票データを用いた家庭部門の輸送需要の長期予測」

はじめに

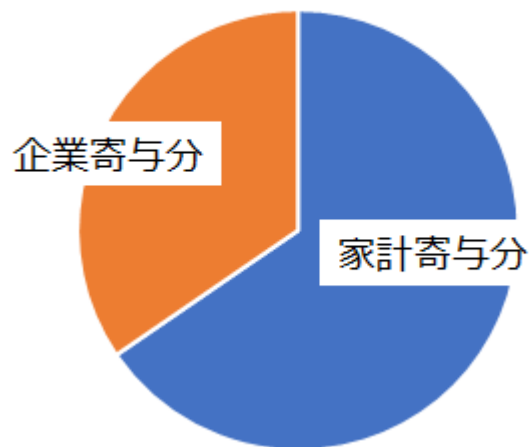
- 運輸部門における省エネ、省CO₂対策及びその効果を検討するベースとなるのが、**将来の輸送需要の見通し**である

- 環境省・家庭部門CO₂排出実態統計調査(以下、**家庭CO₂統計**)の**2017年度の個票データ**を用いて、**世帯属性、地域特性を踏まえた**家庭の自動車による走行実態を捉えたモデルを作成し、**市区町村別の人口予測をもとに家庭の自家用車による地域別輸送需要の2040年までの将来予測を試みる**



出所：EDMCエネルギー・経済統計要覧より作成

旅客(乗用車自家用)ガソリン消費量



出所：総合エネルギー統計(2019年度)より作成

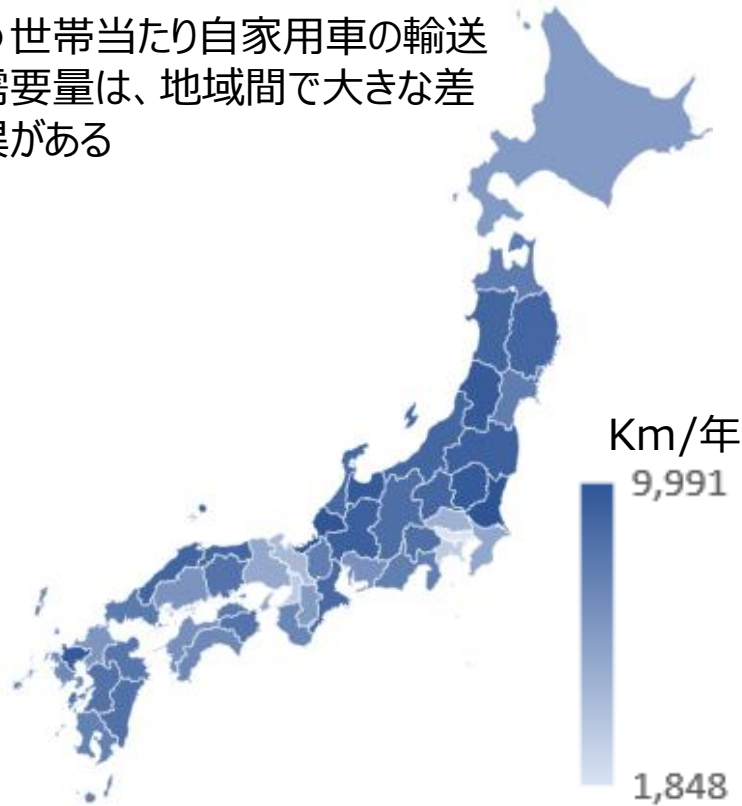
地域間で異なる人口減少が将来の輸送需要に与える影響は？

⇒ 地方圏では、自動車走行距離は長めであるため、地方圏での人口減少は自家用車の総走行距離を大きく減少させる要因になることが予想される

⇒ 都市部への人口集中・世帯数の増加は、都市部での自家用車の総輸送距離の増加要因になることが予想される

世帯当たり走行距離(2015年度)

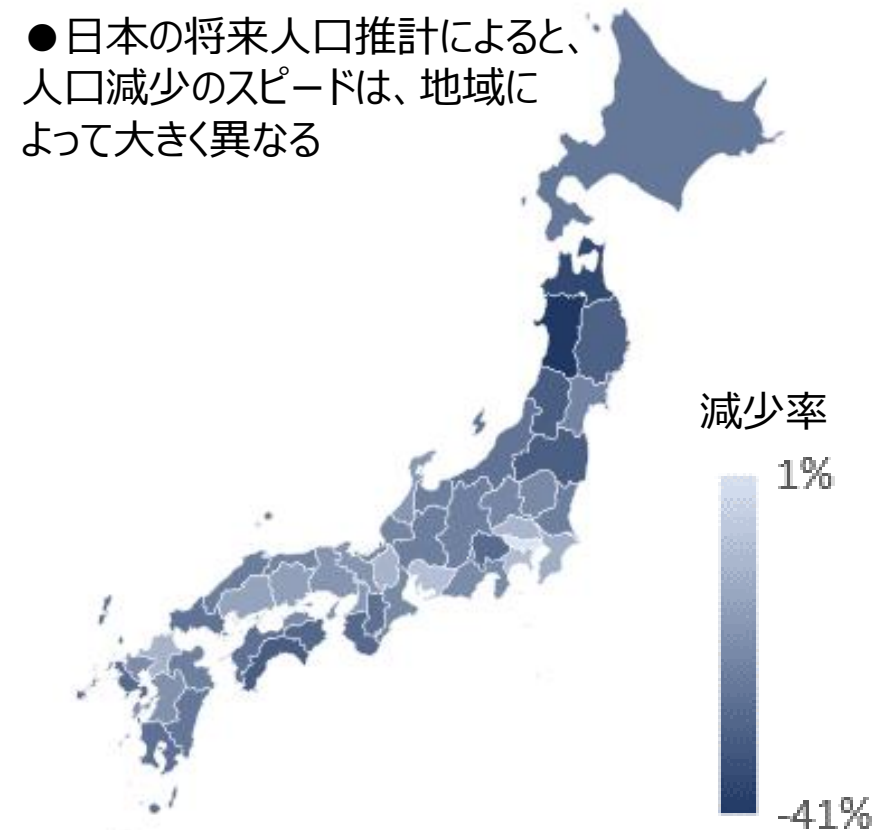
- 世帯当たり自家用車の輸送需要量は、地域間で大きな差異がある



データ出所：国交省「燃料消費統計」より旅客自家用（家計寄与分）推計値から作成

人口の減少率(2015-2045年度)

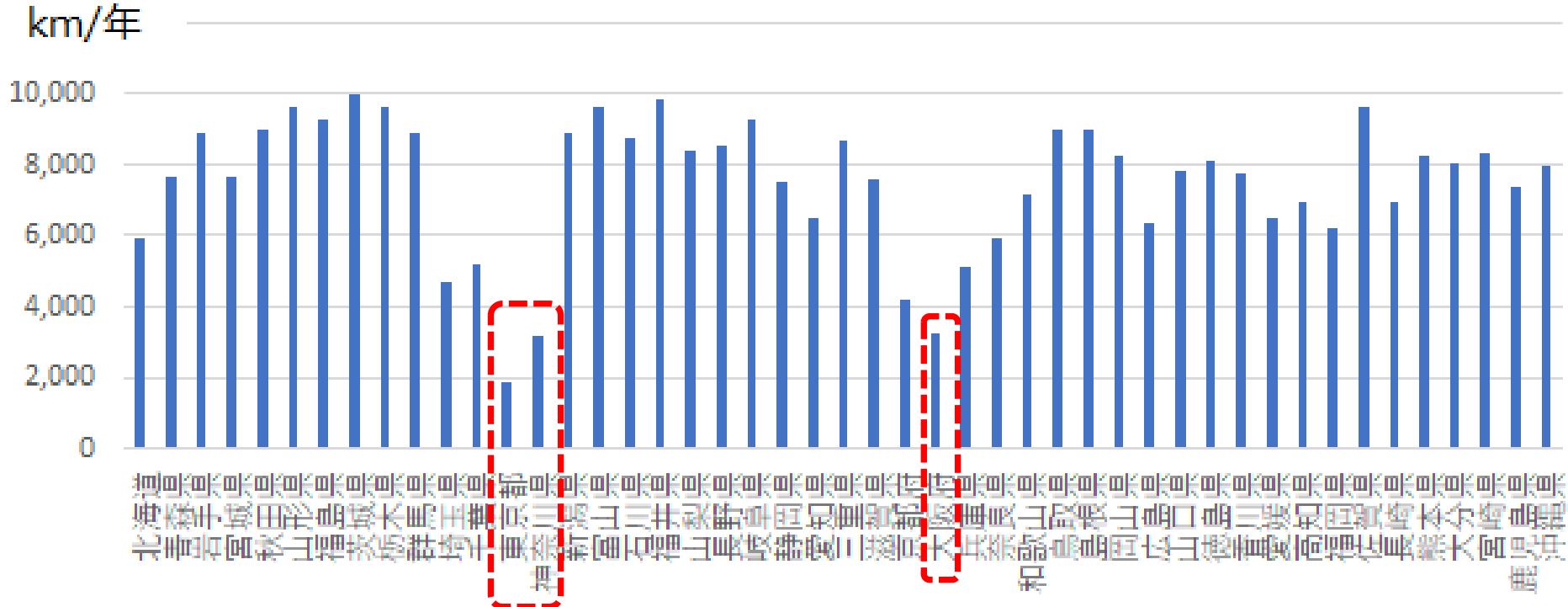
- 日本の将来人口推計によると、人口減少のスピードは、地域によって大きく異なる



データ出所：社会保障人口問題研究所の将来人口推計より作成

世帯当たり自家用車の輸送需要量は、地域による差が大きい

– 都道府県別にみた世帯当り平均年間走行距離(2015年度)

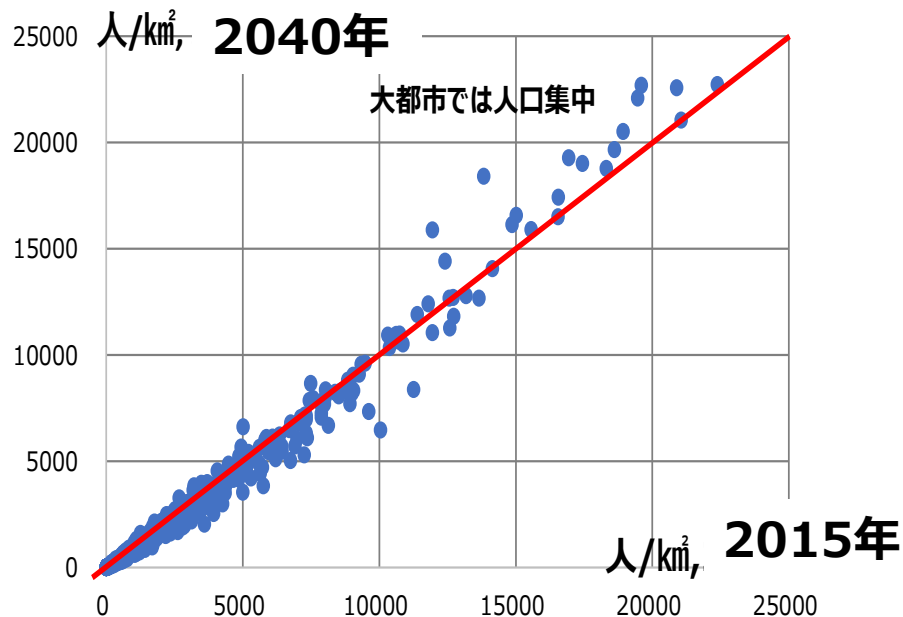


出所：国交省「燃料消費統計」より燃料別都道府県別25車種別走行距離の旅客自家用（除くバス）(2015年度)，経産省「総合エネルギー統計」より家計使用のシェア0.62を乗じることで，家計寄与分を推計した家計寄与分, 著者ら推計

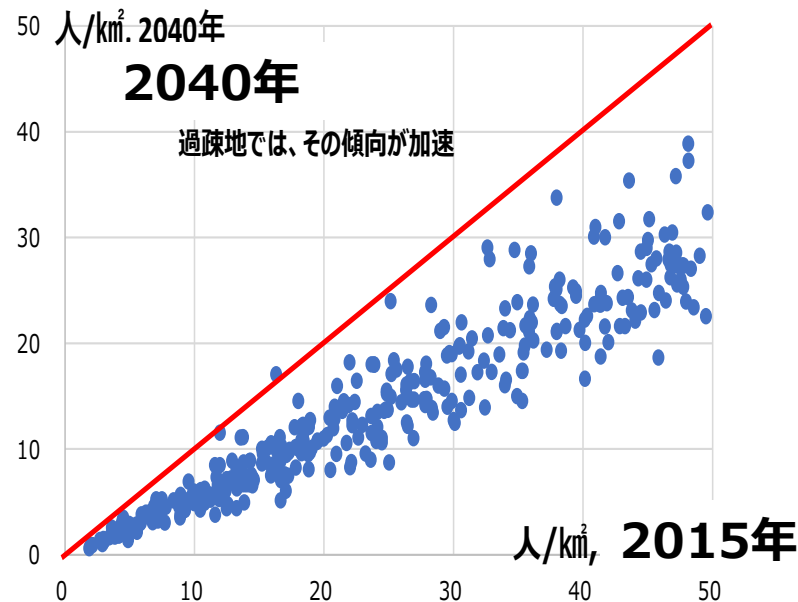
地域的な差を生んでいる要因として、人口密度（公共交通機関の利用度）のほか、様々な世帯属性の地域差が影響していると考えられる

市区町村別の人口密度の将来予測(2015,2040年)

全市町村+東京都23区



人口密度50人/km²以下の市町村



出所：国立社会保障人口問題研究所、「日本の将来人口推計」中位推計値より作成

人口の減少スピードは、人口密度が低い市町村ではより早く、人口密度が高い市区町村ではよりゆっくり、少数の大都市では、人口増加が続くと予想されている

⇒ 以下では、市区町村別の人口密度と、各世帯の自動車による年間総走行距離の関係をを用いた将来予測を試みる

自動車関連の質問項目

IV. お宅での車両の使用状況についてお伺いします。

問22 お宅での自動車、オートバイ・スクーター（二輪車）の使用有無をお答えください。使用している車両に関しては台数もお答えください。

※主に事業用に使用するものを除きます。ただし、通勤は含めてください。

種類	使用 【一つに〇】	有の場合	使用台数 【数値を記入】
自動車	1 無 2 有	→	台
ガソリンを使用するオートバイ・スクーター (原動機付自転車を含む)	1 無 2 有	→	台
電動オートバイ・スクーター (電動アシスト自転車を除く)	1 無 2 有	→	台

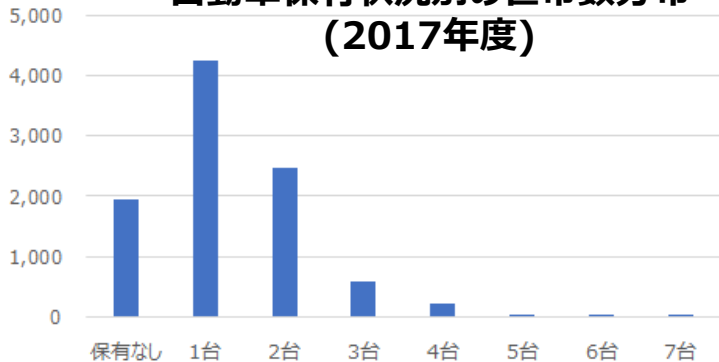
問23 自動車の種類、排気量、実際の燃費、使用頻度、およびその年間の走行距離をお答えください。

※排気量については車検証などをご確認ください。

		1台目	2台目	3台目
(注) ↓ 下に向かってお答えください。				
種類 【一つに〇】	ガソリン車 (ハイブリッド含む)	1	1	1
	ディーゼル(軽油)車 (ハイブリッド含む)	2	2	2
	電気自動車	3	3	3
	プラグインハイブリッド車(注)	4	4	4
	その他 (LPG車、燃料電池車等)	5	5	5
排気量 【一つに〇】	660cc以下(軽自動車)	1	1	1
	661~1000cc	2	2	2
	1001~1500cc	3	3	3
	1501~2000cc	4	4	4
	2001~3000cc	5	5	5
	3001cc以上	6	6	6
実際の燃費 【一つに〇】	1Lあたり8km未満	1	1	1
	1Lあたり8~12km	2	2	2
	1Lあたり12~16km	3	3	3
	1Lあたり16km以上	4	4	4
	わからない	5	5	5
使用頻度 【一つに〇】	毎日	1	1	1
	週5~6日	2	2	2
	週3~4日	3	3	3
	週1~2日	4	4	4
	週1日未満	5	5	5
年間の走行距離	【数値を記入】	1年間に □□□00 km	1年間に □□□00 km	1年間に □□□00 km

(注) 家庭用電源等から充電できるハイブリッド車のことを言います。

世帯数 自動車保有状況別の世帯数分布 (2017年度)



出所：環境省「家庭CO₂統計」より作成

自動車保有台数3台未満の世帯は全体の97%を占める

分析の枠組み：データ 「環境省 家庭CO₂統計」

平成29年度 家庭部門のCO₂排出実態統計調査 調査の概要（確報値）

1 調査の目的

我が国においては、国連気候変動枠組条約に基づき、温室効果ガスの排出・吸収量目録（以下「インベントリ」という。）の提出とともに、インベントリの精緻化が求められているところである。また、地球温暖化対策計画（平成28年5月13日閣議決定）においては、2030年度の温室効果ガス総排出量について、2013年度比26.0%削減することが目標として掲げられており、家庭部門では、約4割削減することが目安とされている。

このような背景を踏まえ、本調査は、家庭部門の詳細なCO₂排出実態等を把握し、地球温暖化対策の企画・立案に資する基礎資料を得ることを目的とした。

2 調査の根拠法令

本調査は、統計法（平成19年法律第53号）に基づく一般統計調査として実施した。

3 調査の対象と選定方法

(1) 地域的範囲

全国

(2) 属性的範囲

店舗等併用住宅以外の住宅に住む主世帯

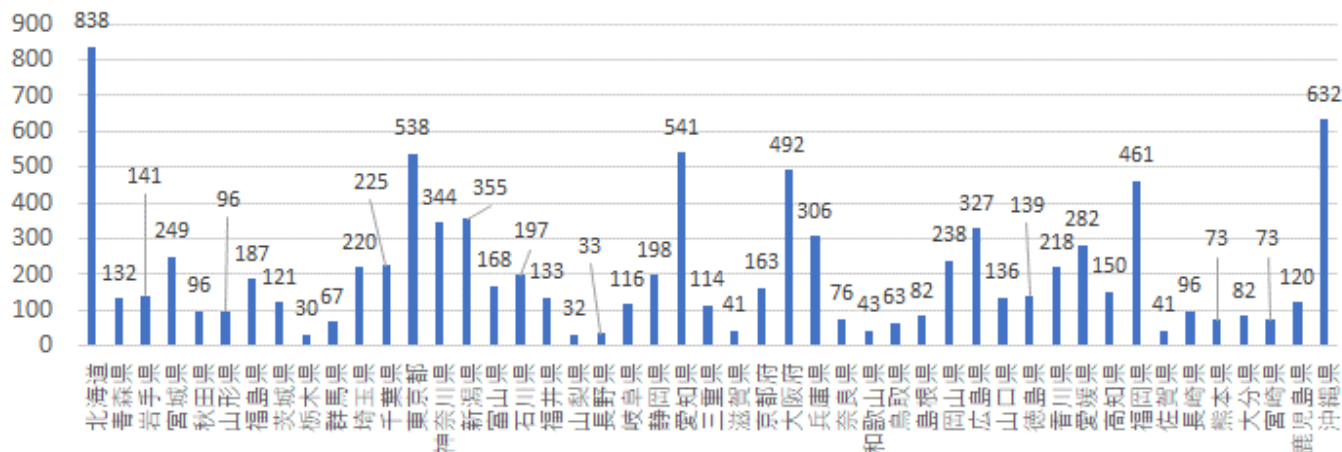
(3) 調査世帯数

13,000（母集団数：約50,000,000）

（注）母集団は店舗等併用住宅以外の住宅に住む主世帯

都道府県別の調査対象世帯数

調査対象世帯数



出所：環境省「家庭CO₂統計」より作成

分析の枠組み：データ 「環境省 家庭CO₂統計」

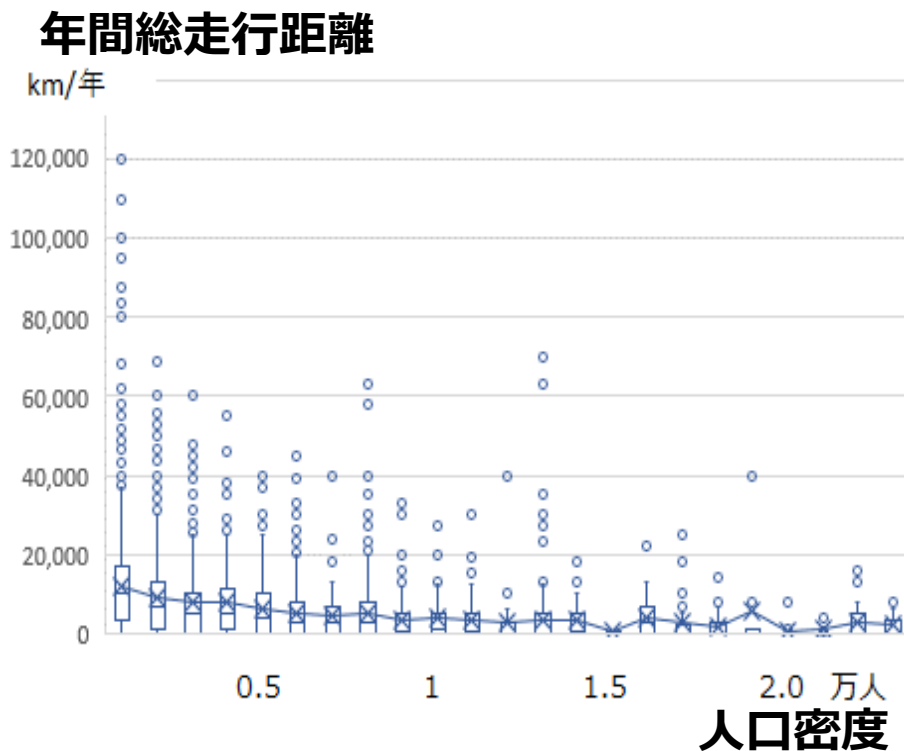
全国計	世帯数			世帯当たり年平均走行距離			平均世帯年収			世帯人員数			世帯員平均年齢		
	1台目	2台目	3台目	1台目	2台目	3台目	1台目	2台目	3台目	1台目	2台目	3台目	1台目	2台目	3台目
ガソリン車 (含ハイブリッド)	7,309	3,221	818	8,504	5,634	4,056	561	637	733	2.9	3.5	4.2	48	45	48
ディーゼル車 (含ハイブリッド)	155	56	16	10,873	5,982	6,144	675	660	704	3.2	3.2	3.6	48	50	49
電気自動車	30	10	3	11,420	6,780	5,000	552	801	1,000	2.6	3.2	4.3	50	50	44
プラグインハイブリッド車	33	3	2	11,364	9,000	4,350	762	917	940	2.8	3.0	5.5	49	50	35
その他 (LPG車、燃料電池車等)	12	8	5	2,033	2,838	3,820	459	970	901	2.4	4.4	4.2	42	33	32
その他 (不明)	17	18	10	6,712	1,328	1,500	495	433	614	3.1	3.4	3.7	47	45	49
車所有なし	1,949	-	-	-	-	-	407	-	-	2.0	-	-	55	52	50
全車種計															
北海道	687	242	33	8,741	5,215	4,539	511	592	766	2.6	3.1	3.6	50	45	47
自動車保有無し	151	-	-	-	-	-	347	-	-	1.8	-	-	58	-	-
東京	273	30	5	6,100	4,193	4,620	775	892	1,152	3.0	3.4	3.4	48	44	46
自動車保有なし	265	-	-	-	-	-	567	-	-	2.2	-	-	52	-	-
愛知	459	212	52	8,035	5,315	3,792	636	753	864	2.9	3.5	4.3	48	45	46
自動車保有なし	82	-	-	-	-	-	449	-	-	1.8	-	-	55	-	-
大阪	276	46	10	6,501	4,343	3,310	590	620	653	2.9	3.5	3.6	49	44	42
自動車保有なし	216	-	-	-	-	-	386	-	-	2.1	-	-	54	-	-
その他地域	5,652	2,759	751	8,910	6,613	4,513	549	630	722	2.9	3.5	4.2	48	45	48
自動車保有なし	1,100	-	-	-	-	-	369	-	-	1.9	-	-	55	-	-

出所：環境省「家庭CO₂統計」より作成

- 全国では、79%の世帯が少なくとも1台以上の自動車を保有しているのに対し、東京都、大阪府では51%、56%と概ね半分にとどまる。一方、北海道では82%、愛知では85%が自動車を保有している。
- 2台以上所有している世帯は、全国では35%、愛知県では39%であるのに対し、東京都では6%、大阪府では9%
- 愛知県では、自動車保有の比率、世帯当たり年平均走行距離ともに大きくなっていることがわかる。
- 自動車保有世帯の平均世帯年収は、非保有世帯に比べ、全国平均で38%、東京都で37%、大阪府で53%大きい
- 自動車保有世帯の世帯人員数は、非保有世帯に比べ、全国平均で45%、大阪府で37%、愛知県で59%多い
- 自動車保有世帯の世帯平均年齢は、非保有世帯に比べ、全国平均で6歳、北海道で8歳、東京都で4歳若い

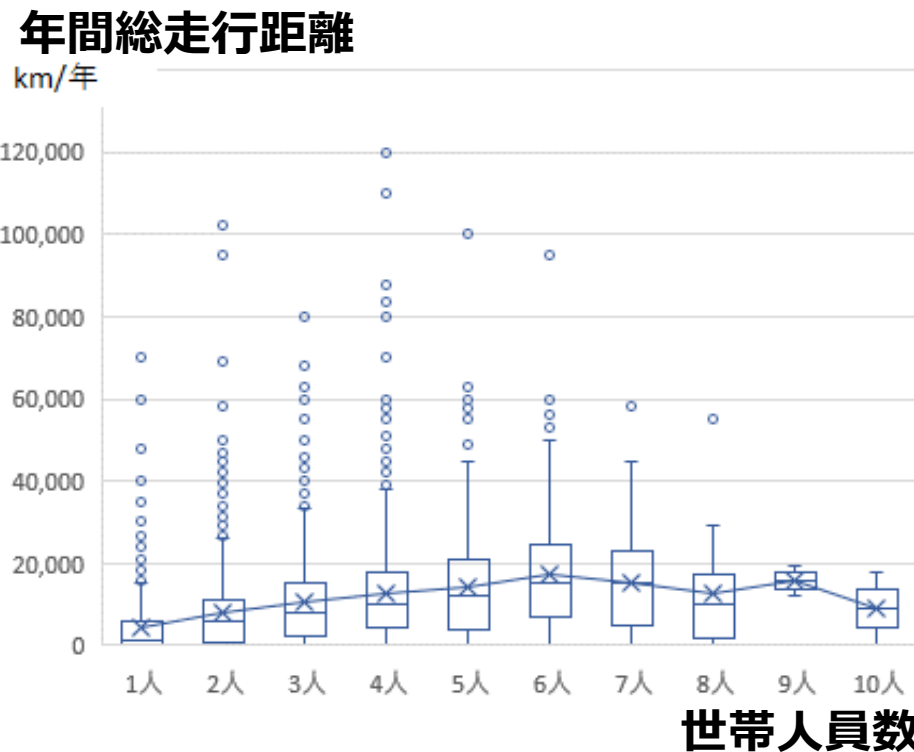
居住地の人口密度と世帯当たり年間総走行距離

世帯人員数と世帯当たり年間総走行距離



注：○は四分位範囲の1.5倍を越える外れ値を示す
出所：環境省「家庭CO₂統計」より作成

人口密度が低くなるにつれ、世帯当たり年間走行距離は長くなる傾向

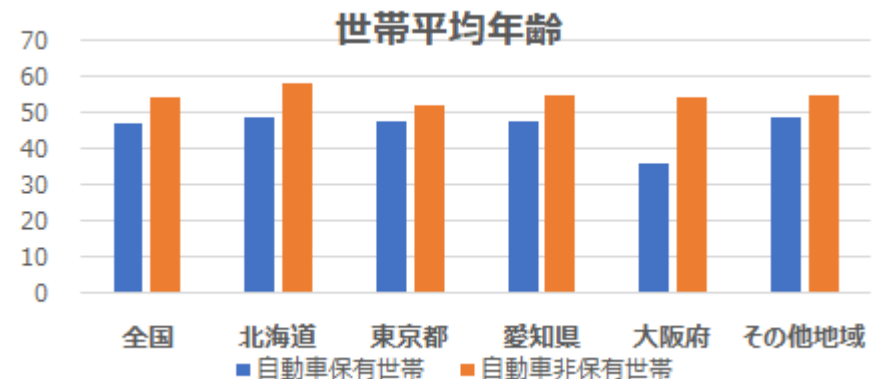
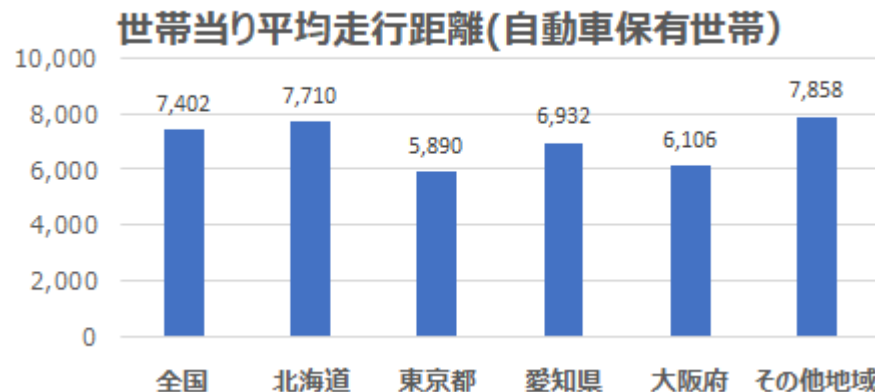
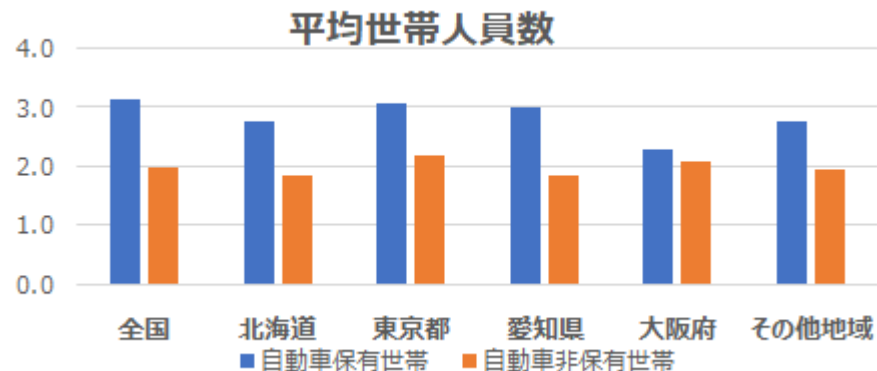
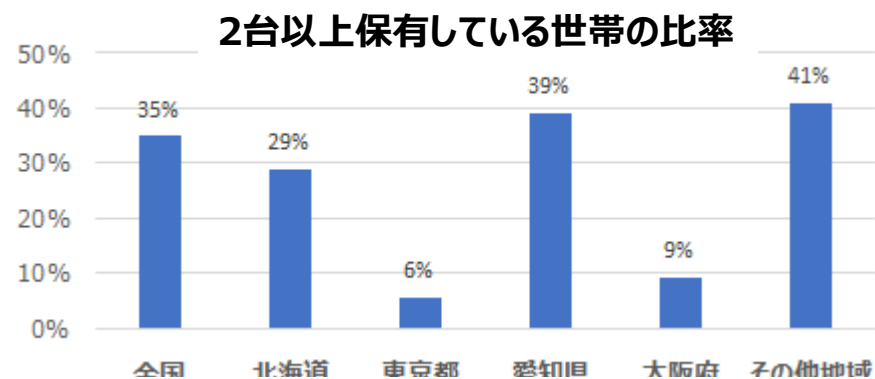
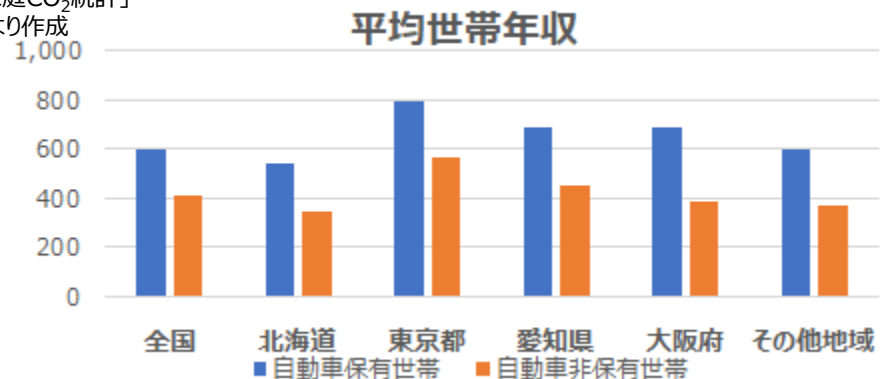
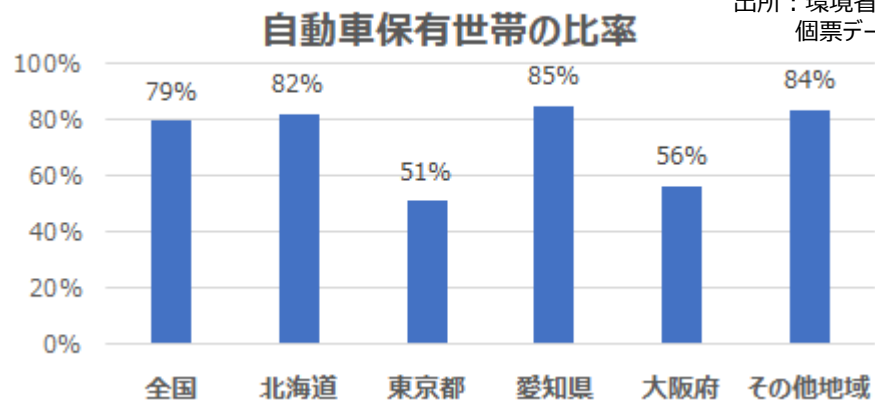


注：○の各点は四分位範囲の1.5倍を越える外れ値を示す。世帯人数が10人以上の1世帯は含まず
出所：環境省「家庭CO₂統計」より作成

(世帯人員6人までの世帯) 世帯人員数の増加につれて年間走行距離も伸びる傾向

分析の枠組み：データ：「環境省 家庭CO₂統計」地域別比較

出所：環境省「家庭CO₂統計」
個票データより作成



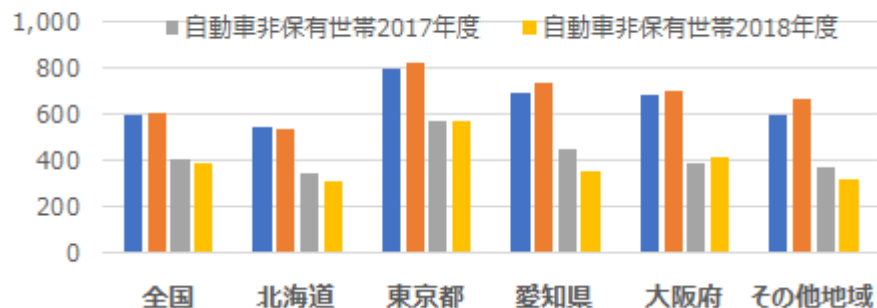
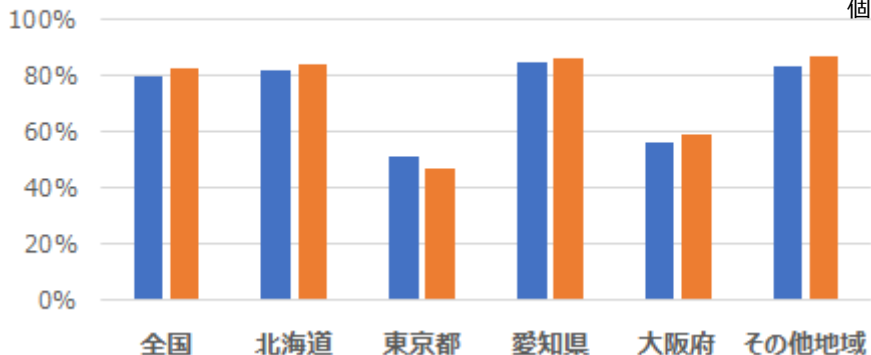
分析の枠組み：データ：「環境省 家庭CO₂統計」

自動車保有世帯の比率

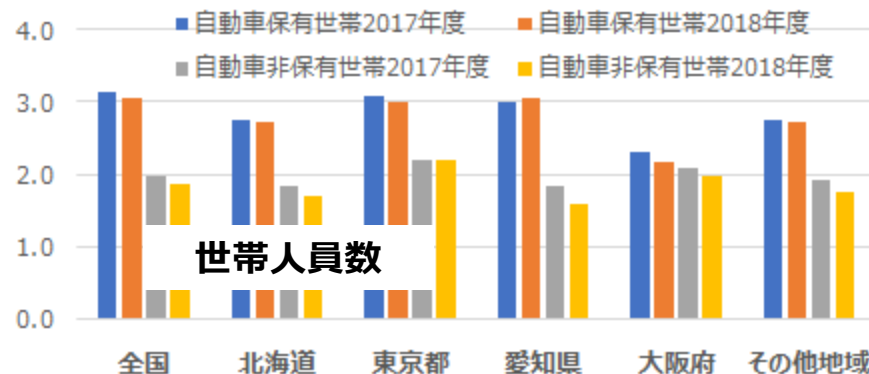
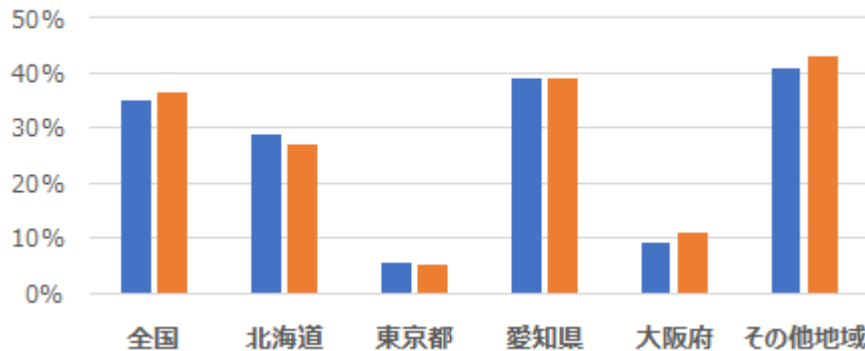
出所：環境省「家庭CO₂統計」
個票データより作成

世帯年収

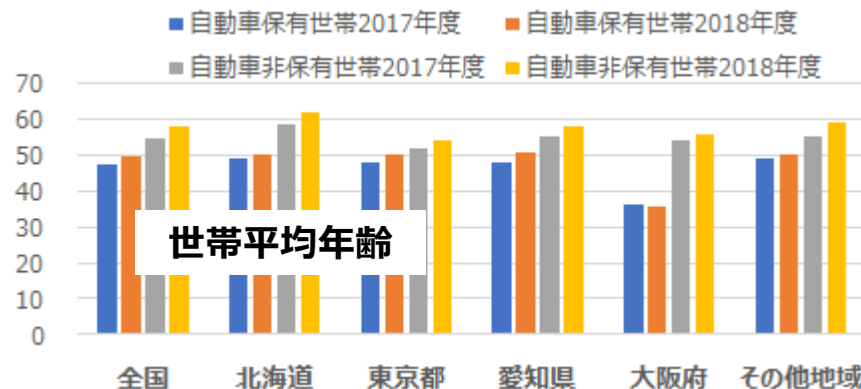
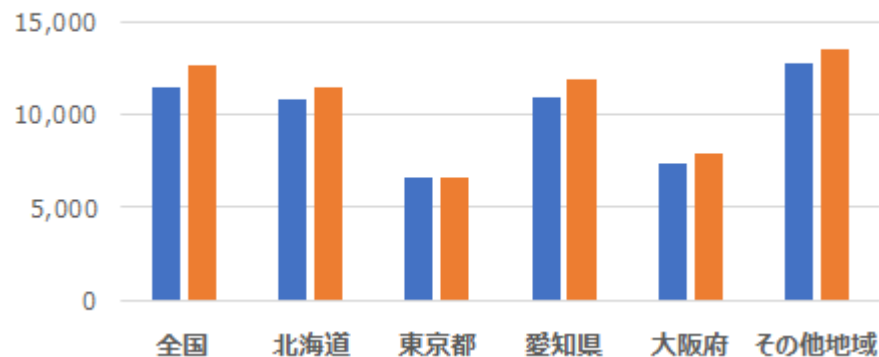
■自動車保有世帯2017年度 ■自動車保有世帯2018年度
■自動車非保有世帯2017年度 ■自動車非保有世帯2018年度



複数台保有している世帯の比率



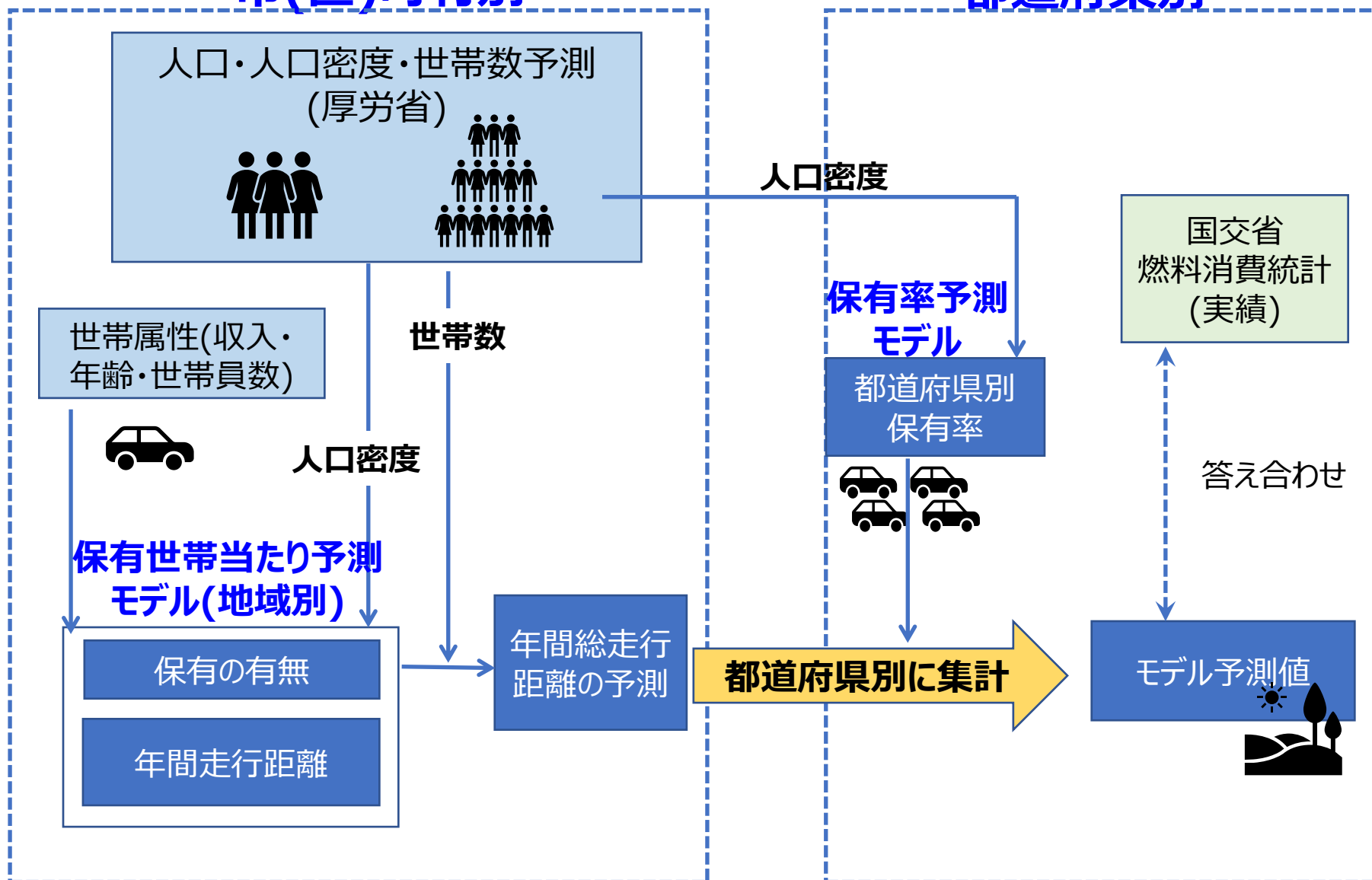
世帯当たり平均走行距離



2040年までの総輸送需要の予測手順

市(区)町村別

都道府県別



分析の枠組み：モデル

世帯当たりの年間走行距離の決定を、

⇒ 自動車を保有するかどうかという意思決定と、保有する世帯の走行距離について、2段階に分けてモデル化する(Heckman2 段階推定)

説明変数間の相関係数

	人口密度	世帯収入	世帯人員	平均年齢
人口密度	1			
世帯収入	0.09	1		
世帯人員	-0.03	0.36	1	
平均年齢	0.00	-0.28	-0.51	1

第1段階：自動車の保有の有無 d_i

保有有り：1，保有無し：0

$$d_i = \begin{cases} 1 & z_i > 0 \\ 0 & z_i \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$z_i = \beta_0 + \beta_P P_i + \beta_I I_i + \beta_A A_i + v_i \quad (2)$$

P_i ：居住市区町村の人口密度，
 I_i ：世帯収入， A_i ：世帯員平均年齢

$$v_i \sim N(0, \sigma_v^2), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

第2段階：保有世帯における年間走行距離 y_i

$$y_i = \begin{cases} \gamma_0 + \gamma_P P_i + \gamma_I I_i + \gamma_J J_i + \alpha M_i + v_i & d_i = 1 \\ 0 & d_i = 0 \end{cases} \quad (3)$$

P_i ：居住市区町村の人口密度，
 I_i ：世帯収入， J_i ：世帯人員数
 M_i ：第1段階で推定した逆Mills比※

$$u_i \sim N(0, \sigma_u^2), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

※逆Mills比は、自動車保有の有無でサンプルを分割することから生じる分布の歪みを補正するための説明変数

推定結果：第1段階) 自動車保有の有無に関する推定結果



	全国	北海道	東京	東京・神奈川	愛知県	大阪	その他
定数項	1.191	1.443	0.563	0.556	2.048	0.278	1.260
人口密度	-0.00010	-0.00028	-0.00008	-0.00008	-0.00018	-0.00008	-0.00011
世帯収入	0.00087	0.00096	0.00086	0.00090	0.00061	0.00117	0.00084
世帯平均年齢	-0.077	-0.114		-0.029	-0.088		-0.084
サンプル数	9505	838	538	882	541	492	6752
決定係数	0.147	0.083	0.143	0.142	0.127	0.128	0.083
対数尤度	-4193	-361	-332	-542	-197	-304	-2759

注：説明変数はいずれも片側5%で有意。各地域について最も説明力の高いモデルの推定結果を示す

出所：環境省「家庭CO₂統計」個票データを用いた分析結果より作成

●**居住市区町村の人口密度の係数は、いずれもマイナスで有意な説明力を持つ。**
 ⇒ 人口密度が高い市区町村では**公共交通機関への依存度も高く自動車保有が少なくなる**のに対し、人口密度が低い地域では**移動にあたってはより自動車に依存**することを反映

●**世帯収入の係数はすべてプラスで有意な説明力を持つ**

●**世帯平均年齢については、東京、大阪以外の地域では、マイナスで有意な説明力を持つ**

推定結果：第2段階) 世帯当たり年間走行距離モデル

	全国			北海道			東京			東京・神奈川		
	モデル(1)	モデル(2)	モデル(3)	モデル(1)	モデル(2)	モデル(3)	モデル(1)	モデル(2)	モデル(3)	モデル(1)	モデル(2)	モデル(3)
	全世帯	自動車保有世帯		全世帯	自動車保有世帯		全世帯	自動車保有世帯		全世帯	自動車保有世帯	
	最小二乗法		Heckman の二段階 推定	最小二乗法		Heckman の二段階 推定	最小二乗法		Heckman の二段階 推定	最小二乗法		Heckman の二段階 推定
定数項	4759	7425	10673	5072	7874	12523	1325			3368		
人口密度	-0.678	-0.692	-0.287	-3.159	-3.151	-1.889				-0.189	0.219	-0.439
世帯人員数	2332	1947	1527	2614	2089	1361						
世帯収入							3.047	6.852	4.627	3.390	4.735	6.620
逆MILLS比			-9509			-12843			4046			9057
サンプル数	9505	7556	7556	838	687	687	538	273	273	882	482	482
決定係数	0.167	0.108	0.121	0.139	0.104	0.128	0.041	0.017	0.008	0.070	0.010	0.025
対数尤度												

地域別にパラメータを推定

	愛知県			大阪			その他地域		
	モデル(1)	モデル(2)	モデル(3)	モデル(1)	モデル(2)	モデル(3)	モデル(1)	モデル(2)	モデル(3)
	全世帯	自動車保有世帯		全世帯	自動車保有世帯		全世帯	自動車保有世帯	
	最小二乗法		Heckman の二段階 推定	最小二乗法		Heckman の二段階 推定	最小二乗法		Heckman の二段階 推定
定数項	5822	6988	6114	787	5262	8537	3726	6281	7874
人口密度	-1.050	-0.922	-1.188				-1.137	-1.151	-0.989
世帯人員数	1747	1436	1510	1320	727	539	2022	1681	1608
世帯収入	4.619	4.921	5.814				5.207	4.866	3.859
逆MILLS比			4463			-4352			-3842
サンプル数	541	459	459	492	276	276	6752	5652	5652
決定係数	0.236	0.173	0.172	0.060	0.010	0.033	0.174	0.131	0.131
対数尤度	-5638	-4794	-4794	-4993	-2834	-2830	-71604	-60034	-60032

注：愛知モデルの逆Mills比，大阪の世帯人員数の係数以外は，片側5%で有意出所：環境省「家庭CO₂統計」個票データを用いた分析結果より作成

逆Mills比は，自動車保有の有無でサンプルを分割することから生じる分布の歪みを補正するための説明変数

⇒ 愛知県では，有意でないことから説明変数に含めない

推定結果：世帯当たり年間走行距離モデル 主なパラメータ

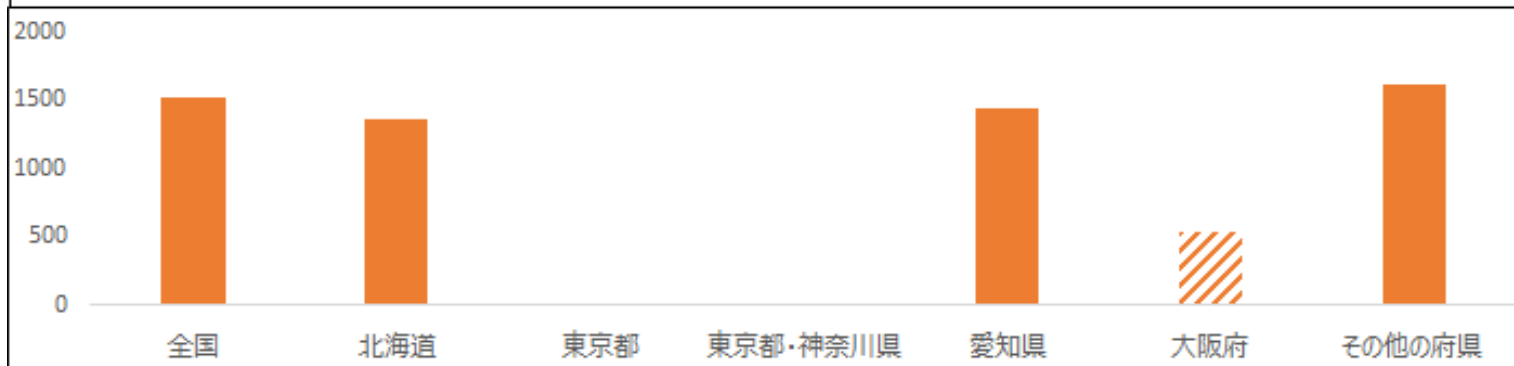
東京都、神奈川県、大阪府では、**人口密度**や**世帯人員数**は説明力を持たない

北海道、大阪府では、**世帯年収**は説明力を持たない

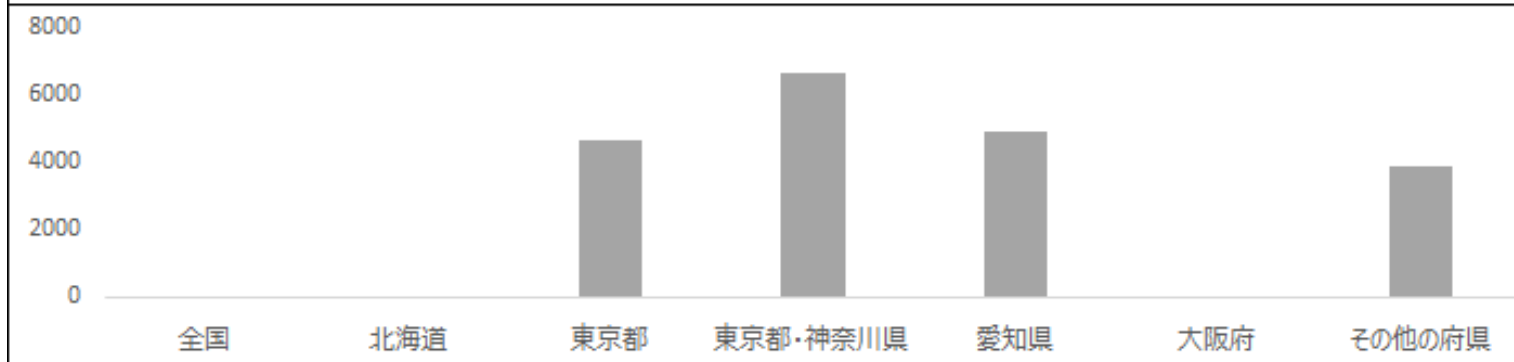
居住する
市区町村の
人口密度
のパラメータ



世帯人員数
のパラメータ



世帯年収
のパラメータ



出所：環境省「家庭CO₂統計」個票データを用いた分析結果より作成

2040年までの総輸送需要の予測手順

●各市(区)町村における予測対象 t 年の自動車保有世帯あたり年間走行距離 \bar{y}_t

$$\bar{y}_t = \gamma_0 + \gamma_P \bar{P}_t + \gamma_J \bar{J}_t + \gamma_I \bar{I}_t + \alpha \sum_i M_i / n \quad (4)$$

\bar{P}_t : 居住市(区)町村の人口密度の予測, \bar{J}_t : 世帯人員数の予測 ← 社人研「人口・世帯数予測」

\bar{I}_t : 世帯収入の予測 ← 現時点の水準で固定

$\sum_i M_i / n$: 対象地域の各サンプル世帯についての第1段階で推定された逆Mills比の平均値
 $i = 1, \dots, n$, ただし n は, 対象地域のサンプル世帯数

●都道府県ごとの年間総輸送需要の予測値 \bar{W}_t

$$\bar{W}_t = \sum_{z=1}^k (\bar{y}_{zt} \times \bar{H}_{zt}) \times \bar{R}_z \quad (5)$$

\bar{y}_{zt} : 各市(区)町村別に自動車保有世帯当たり年間走行距離の予測

\bar{H}_{zt} : 市(区)町村別の世帯数の予測 ← 社人研「人口・世帯数予測」

\bar{R}_z : 都道府県別の自動車保有率の予測値

$$\ln(R_z / (1 - R_z)) = 4.1465 - 0.4140 \times \ln \bar{P}_z \quad (6)$$

(9.28) (-5.43) ← 社人研「人口・世帯数予測」

()内は t 値, サンプル数: 47, 修正済み決定係数: 0.38

\bar{P}_z : 都道府県別の人口密度の予測

年間総走行距離の予測から、モデルのパフォーマンスを確認する手順

モデルを用いた市区町村別の推計値を都道府県別に集計し、以下 2 つの値

- **国交省「燃料消費統計」の年間総走行距離の都道府県別実績値**
 - **個票データの世帯当たり年間総走行距離に世帯数を乗じた都道府県の平均値**
- と実績期間について比較して、モデルの説明力、有用性を確認した**

年間総走行距離の予測パフォーマンス（2015年の実績推計）

モデルを用いた市区町村別の推計値を都道府県別に集計し、**燃料消費統計の都道府県別実績値と比較**して、モデルの説明力を確認した

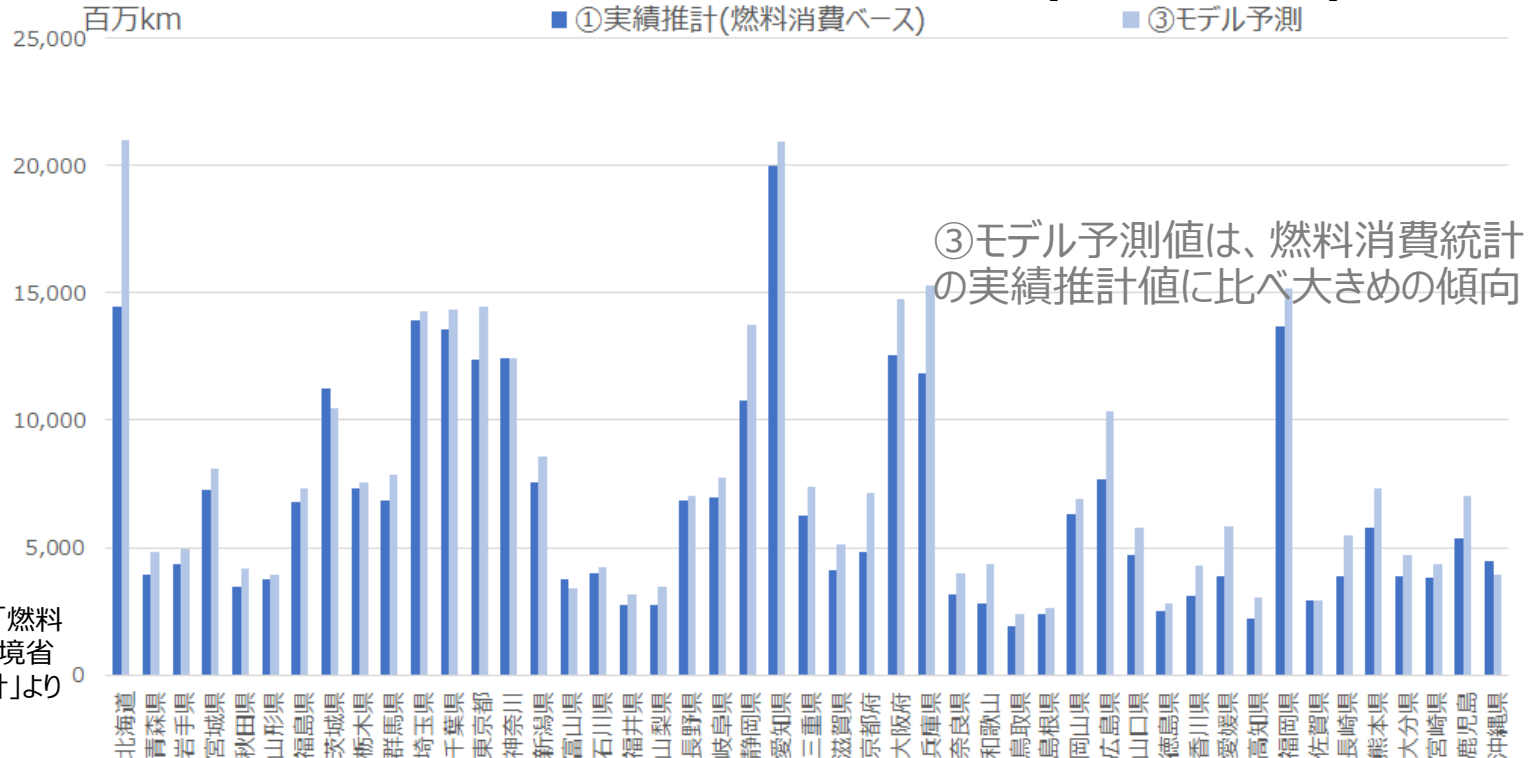
●モデル予測値は、燃料消費統計の実績推計値に比べ大きめの傾向がみられる

⇒（燃料消費統計の実績推計値は、旅客用の自家用車の総走行距離のうち家計寄与分を、総合エネルギー統計における家計と企業の旅客用燃料消費カロリーの比率値を参考に推計）

・**家庭寄与分の実績推計に用いた家計寄与の割合の想定が影響している可能性**もある

⇒ 地域による差については、全体としては概ね傾向を捉えているが、北海道など誤差が大きい地域も

都道府県別の年間総走行距離 モデル予測値と実績値(燃料消費統計)の比較

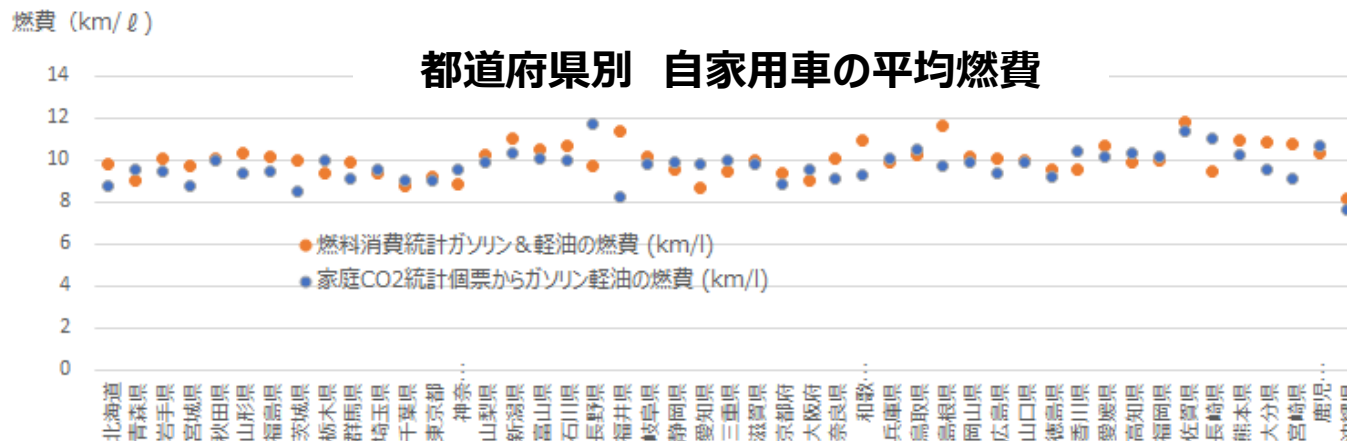


出所：国交省「燃料消費統計」、環境省「家庭CO2統計」より作成

※家庭CO₂統計と燃料消費統計の比較

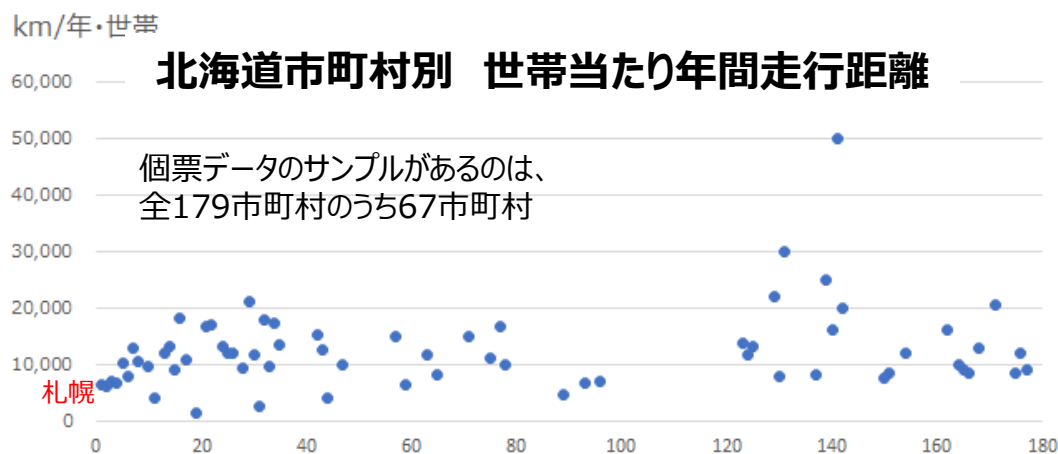
北海道の誤差の要因は、はっきりわからない

- 燃費：大きな違いみられない（2017年度）



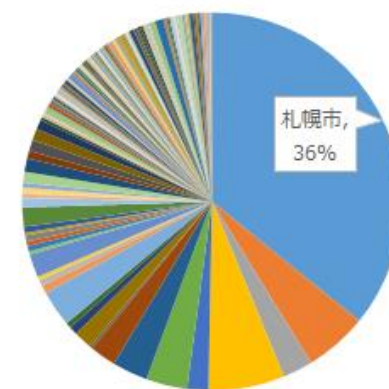
出所：燃料消費統計、家庭CO₂統計より作成

- 年間走行距離：道内では、札幌市の年間走行距離が短い



出所：家庭CO₂統計より作成

北海道市町村別世帯数(2015年度)



出所：社会保障人口問題研究所より作成

年間総走行距離の予測パフォーマンス（2015年の実績推計）

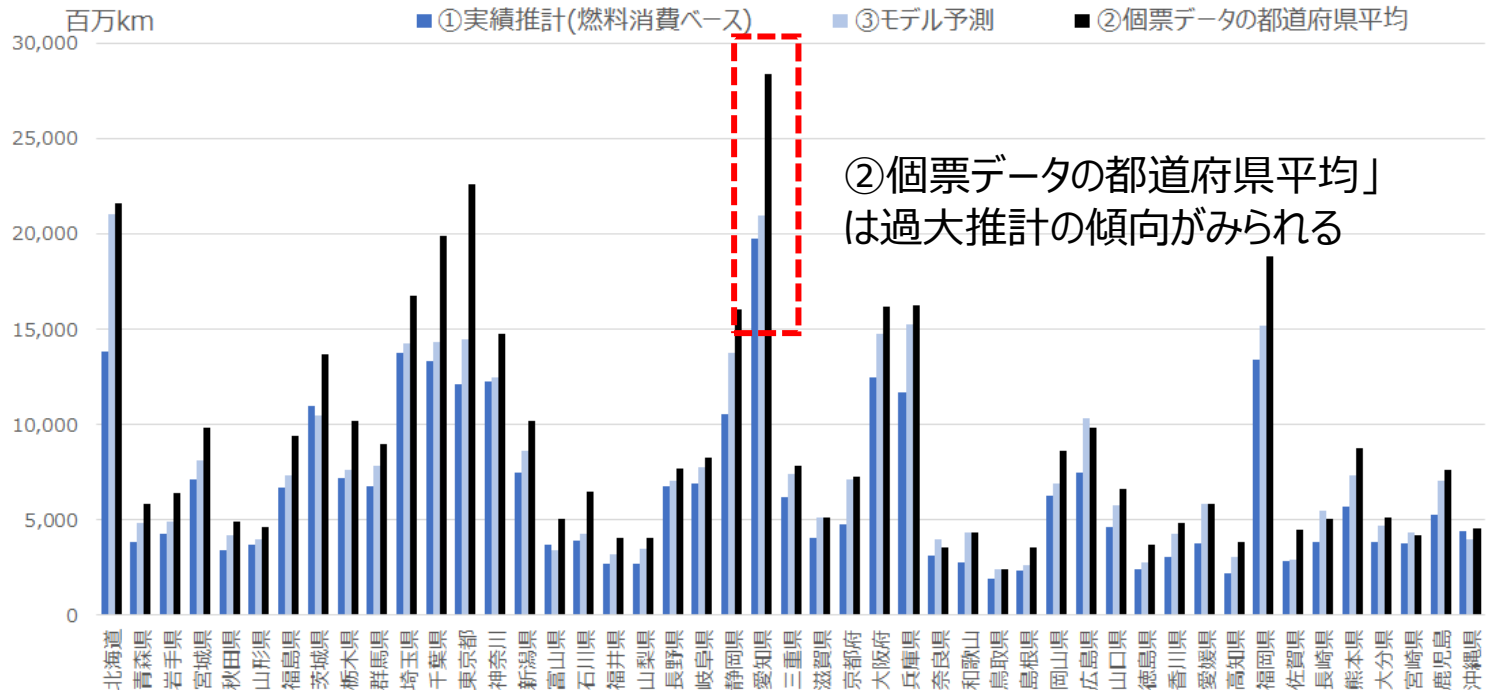
モデルを用いた市区町村別の推計値を都道府県別に集計し、燃料消費統計の都道府県別実績値と、**個票データの都道府県平均を比較**して、モデルの有用性を確認した

●「②個票データの都道府県平均」は、**過大推計の傾向がみられる。**

⇒ **個票データは、必ずしも各都道府県の全市町村のサンプルを網羅できていない**ので、個票データが得られた市区町村だけの走行距離の平均値は、都道府県平均として参照するのに十分な代表性を持たない可能性がある

⇒ **モデル予測値は、すべての市区町村を対象にした推計値をもとに都道府県合計値を求めていることから、個票データのサンプルの偏りを補正できる可能性がある**ことを示す結果になっている。

都道府県別の年間総走行距離 実績値(燃料消費統計),個票データの都道府県平均、モデル予測



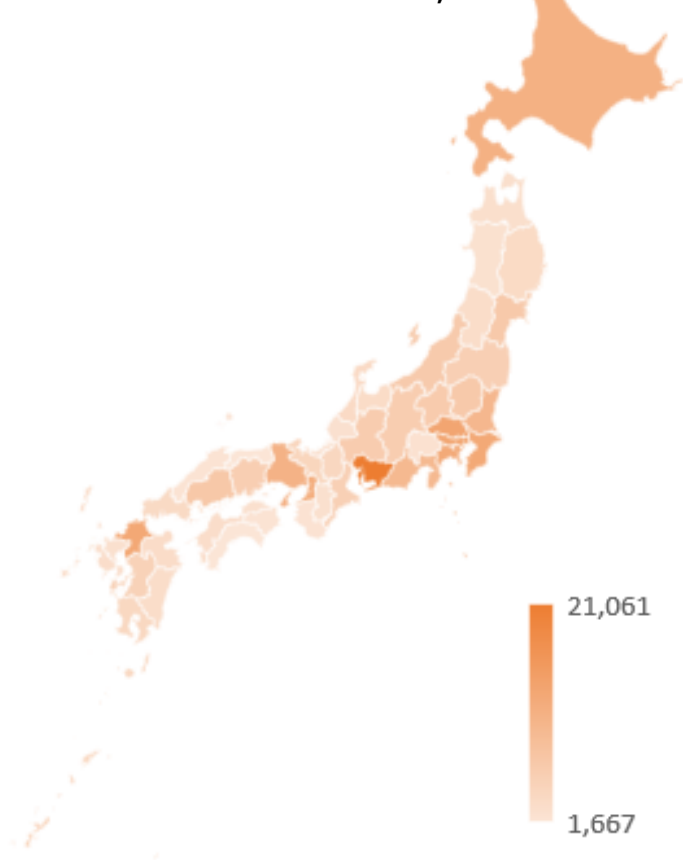
出所：国交省「燃料消費統計」、環境省「家庭CO2統計」より作成

2040年までの総輸送需要の推計

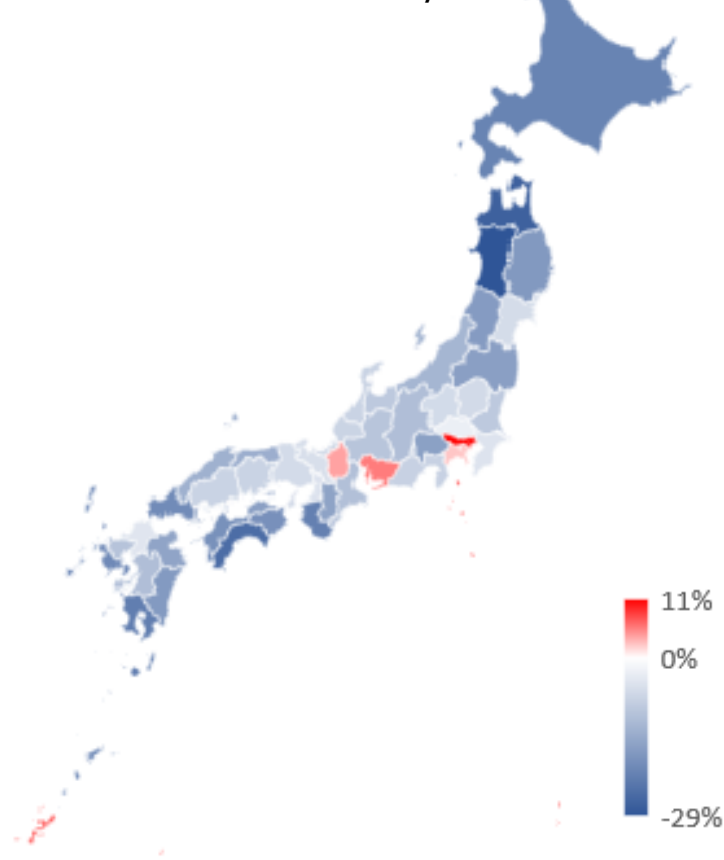
◆基本モデルを用いて、市区町村別の年間総走行距離を予測し、地域別別合計を求めた

※ただし、世帯数の予測値については、厚労省の推計は都道府県別予測のみなので、別途、市区町村別人口予測の伸びを用いて市区町村別の世帯数の予測値を作成して用いている

都道府県別年間総走行距離
百万km,2040年



都道府県別年間総走行距離増減率
2040/2015

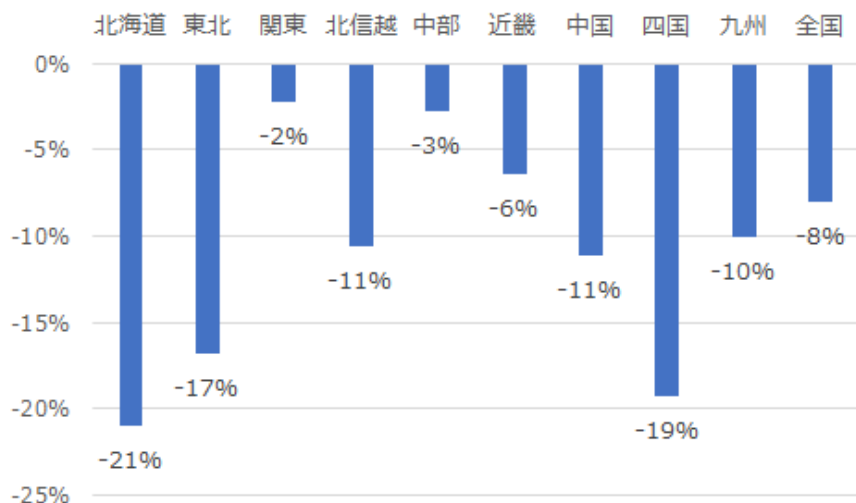


2040年までの総輸送需要の推計

◆基本モデルを用いて、市区町村別の年間総走行距離を予測し、地域別別合計を求めた

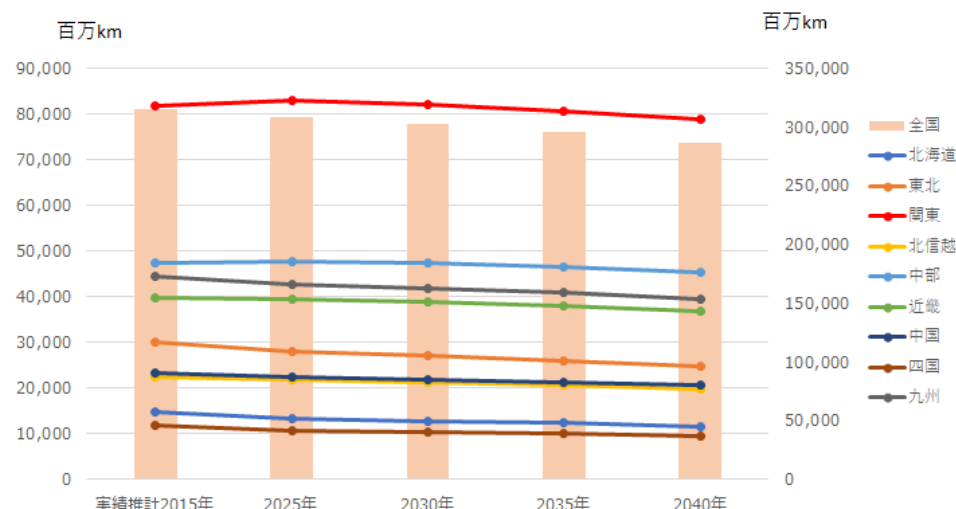
※ただし、世帯数の予測値については、厚労省の推計は都道府県別予測のみなので、別途、市区町村別人口予測の伸びを用いて市区町村別の世帯数の予測値を作成して用いている

全国・地域別の年間総走行距離の見通し (2040年の対2015年比)



出所：燃料消費統計の実績値をベンチマークにしたモデル予測値より作成

全国・地域別の年間総走行距離の見通し (2015実績～2040年)



●年間総走行距離の将来見通しは、(-)走行距離の長い地方での世帯数減少、(+)**人口密度の減少による走行距離の増加**や(+)**大都市部での世帯数の増加**などの複合的要因による

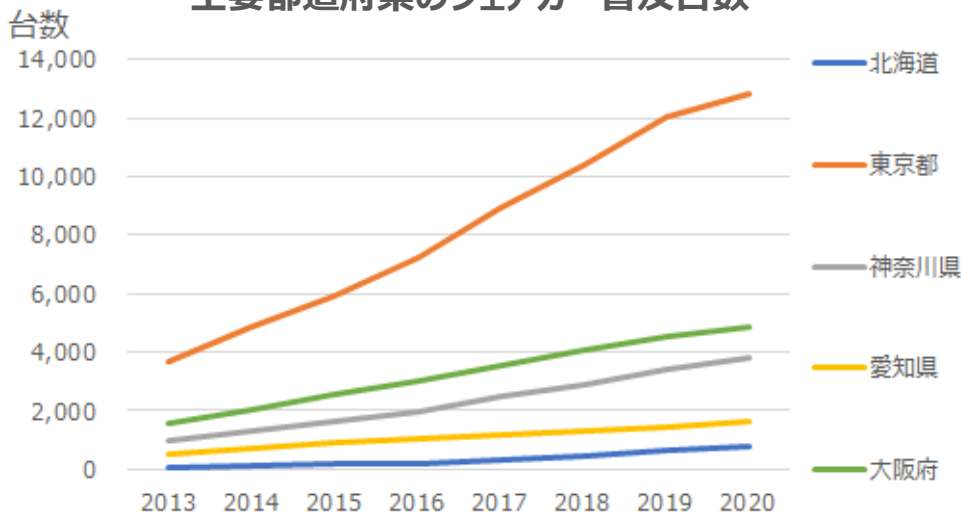
⇒ 関東、中部、近畿など大都市圏では、世帯数の増加の影響から減少幅は小さくなる

⇒ 北海道、東北、四国では、走行距離の長い地方での世帯数減少から、減少幅は大きい

その他の論点：シェアカーの普及動向

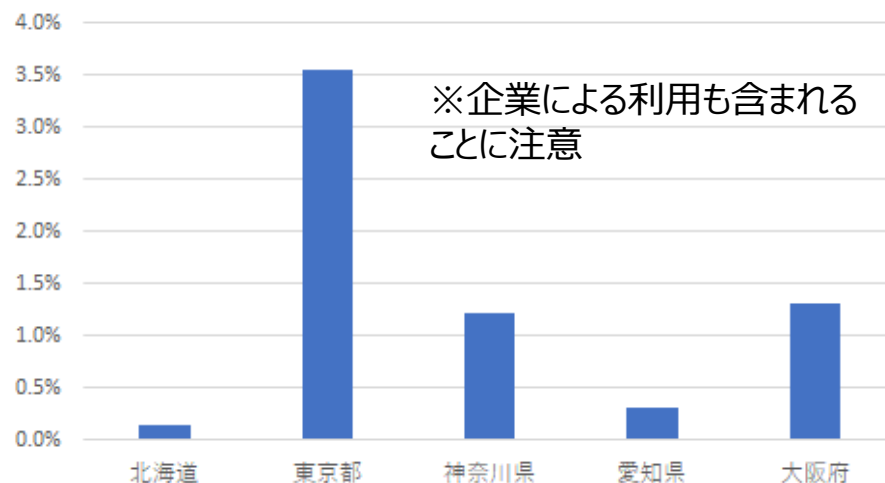
- 急速に普及しているシェアカーによる走行距離は、家庭CO2統計には含まれていない
⇒ 現状では、最大でも東京都で家庭CO2統計の走行距離の3.5%程度と考えられ、シェアカーによる走行距離を含めないことによる、家庭の自動車輸送需要の過小評価の程度は限定的

主要都道府県のシェアカー普及台数



Carsharemap.jp カーシェアリング・ステーション統計情報より
https://carsharemap.jp/info/research/station_statistics/2020/01/

2020年度時点でのシェアカーによる走行距離の家庭CO2統計の走行距離に対する比(推計)



出所：間瀬(2020)より、シェアカーの年間走行距離を40,000kmと想定し、前述までの結果を用いて推計・作成

間瀬貴之； 乗用車の電動化とカーシェア普及による波及効果の評価方法について－電動車分析用産業連関モデルの開発－，電力中央研究所研究調査資料 Y19507

まとめ

個票データの情報を元にマクロの輸送需要の将来推計を行う手法を検討

- 環境省の「家庭のCO2実態調査」の個票データを用いて、市町村別の人口や世帯属性の変化が、家庭における自動車による輸送需要に与える影響を踏まえて、2040年までの総走行距離の見通しを試みた

- 個票データは、各都道府県の全市町村のサンプルを網羅できていないのに対し、モデル予測値は、すべての市区町村を対象にモデルを当てはめた市町村別の推計値から都道府県合計値を求めていることから、個票データのサンプルの偏りを補正できる可能性がある

予測の結果

- 家庭部門の総走行距離は全国計では2040年に2015年比で8%減少する結果となった。同期間に総人口は13%減少すると予測されていることから、**総走行距離は人口減少のスピードよりもゆっくりとしか減少しないことを意味している。地方での人口密度の減少による総走行距離の増加や、大都市部での世帯数の増加などが要因として考えられる。**

今後の課題

- 今回の予測には、第一報(星野・森田(2020))を基に、地域別・自動車保有の有無を考慮した改良モデルを用いたが、モデル変更により予測結果も変わった。今回用いた2017年度だけでなく、多年度のデータも利用するなど、モデルの予測精度の向上は引き続き課題である
- シェアリングやその他自家用車以外の交通手段との代替関係を踏まえた検討も課題



家庭CO₂統計を活用したエネルギー最終需要モデルの高度化と精度向上

2021年7月1日

大阪大学 大学院工学研究科

下田 吉之



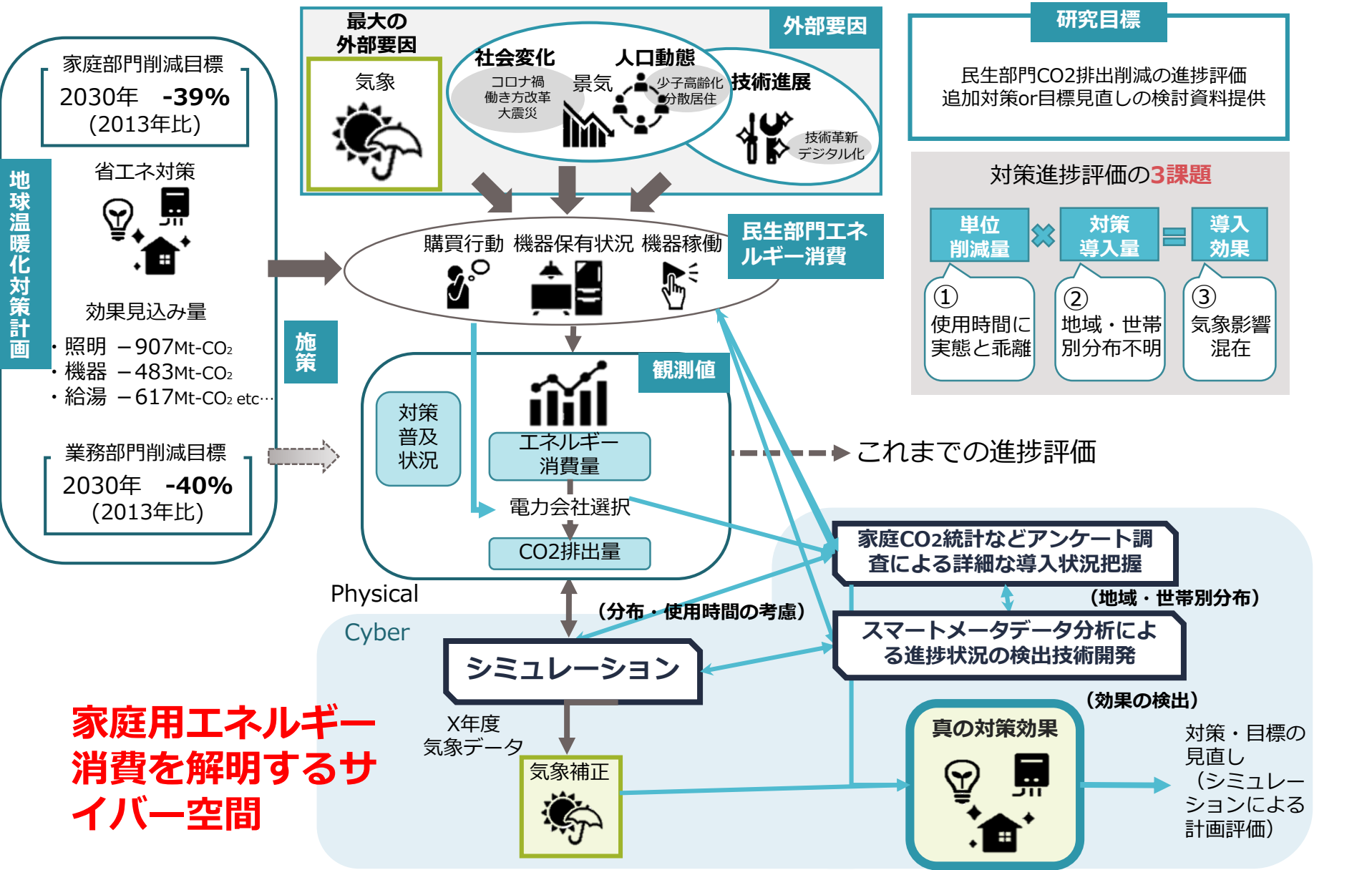
研究の目的

- **シミュレーションの入力条件を決めるための家庭CO2統計利用。**
 - 機器保有状況のばらつきの再現

- **統計調査対象世帯に需要モデルを適用**
 - 需要モデル精度検証(ばらつきの再現)
 - 統計とモデル間の誤差要因分析

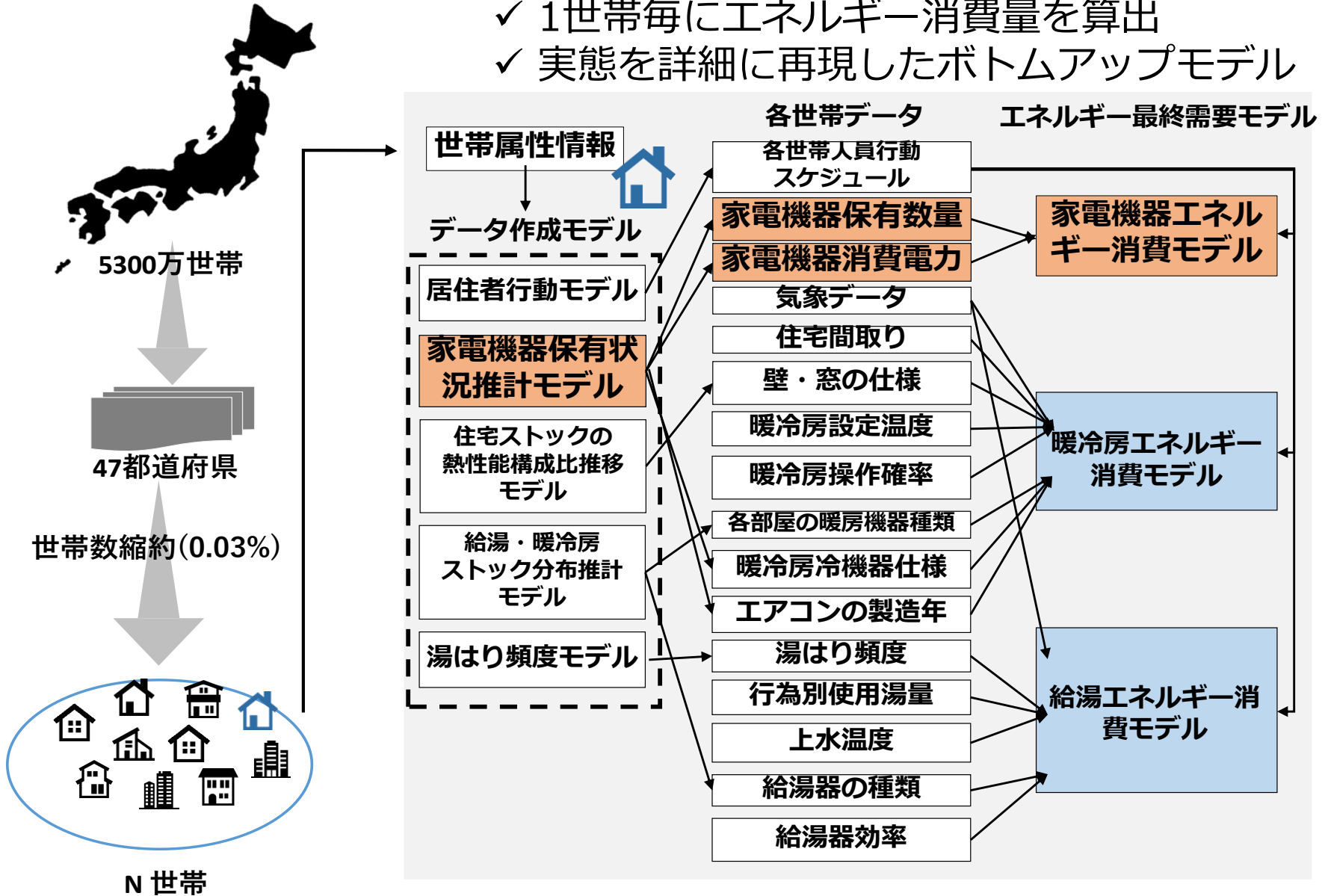
- 本研究の内容は的場他：家庭CO2統計とエネルギー最終需要モデルを用いた世帯間エネルギー消費差異の成因に関する研究（エネルギー・資源学会論文誌41巻5号）で発表済みです。

研究の全体像



TREES (Total Residential End-use Energy Simulation)

- ✓ 1世帯毎にエネルギー消費量を算出
- ✓ 実態を詳細に再現したボトムアップモデル



家庭CO2統計の活用

◆ 家庭部門のCO2排出実態統計調査 [家庭CO2統計]:環境省

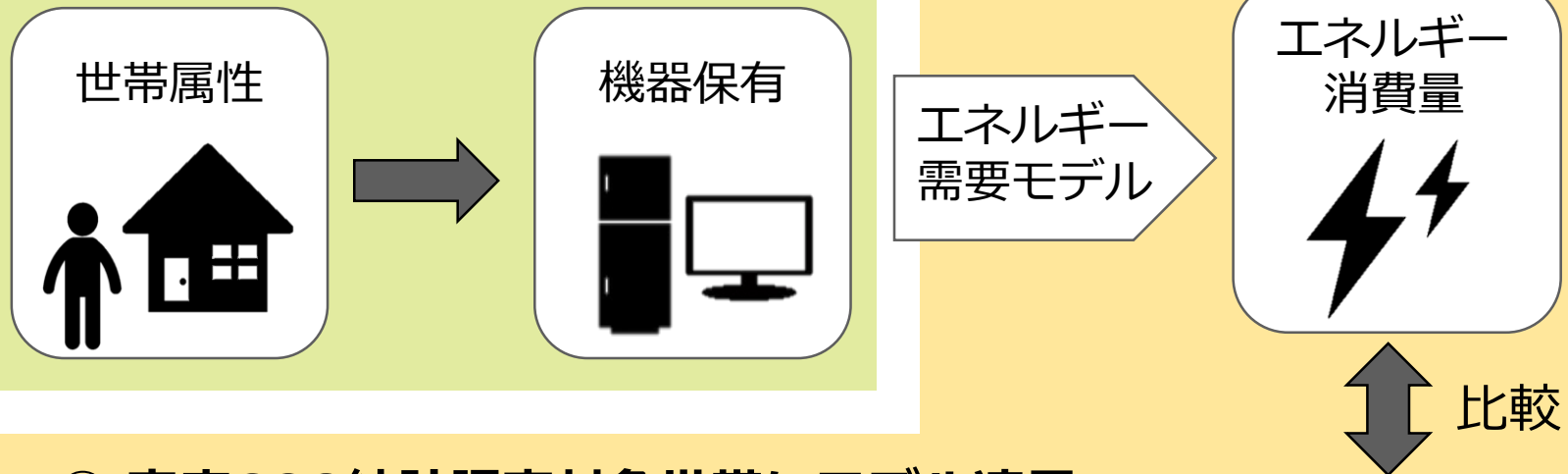
対象地域：日本全国

調査時期：2014年10月～2015年9月の毎月

調査世帯数：16402世帯（集計世帯数：11632世帯）

調査内容：世帯属性、機器保有状況、エネルギー使用量等

① 機器保有状況ばらつき再現



② 家庭CO2統計調査対象世帯にモデル適用

- モデルの精度検証
- 世帯間の消費差異発生要因の明確化

家電機器保有状況予測モデル開発

各世帯における機器保有状況の把握

① 機器保有状況ばらつき再現

世帯属性情報

- **地域情報**

居住エリア
都市規模



- **居住者情報**

世帯人数、家族構成
世帯年収、世帯主年齢

- **住宅情報**

住宅形式、住宅所有
延べ床面積、建築時期



機器保有状況

- 保有台数
- 製造時期
- サイズ
- (種類)



対象機器：テレビ・冷蔵庫

手法：多項ロジスティック回帰分析

$$\log \frac{p_i}{p_0} = \alpha_i + \beta_{i1}x_1 + \beta_{i2} + \dots + \beta_{in}x_n$$

結果 | 機器保有状況予測モデル

◆ 冷蔵庫保有台数回帰分析

	偏回帰係数	p値		偏回帰係数	p値
北海道	0.53	***	高齢者あり	0.60	***
近畿	-0.25	*	三世帯	0.75	***
四国	0.21		世帯年収_1000万円以上	0.28	**
九州	0.28	**	世帯主年齢_40代以下	-0.87	***
大都市	-0.18	*	居室数_6室以上	0.54	***
小都市	0.28	***	集合	-0.93	***
世帯人数_1人	-1.39	***	建築時期_1970年以前	0.43	***
世帯人数_2人	-0.58	***	延床面積_120.150m2	0.26	**
世帯人数_5人以上	0.27	*	延床面積_150.200m2	0.63	***
子供の数_0人	0.56	***	延床面積_200m2以上	1.13	***

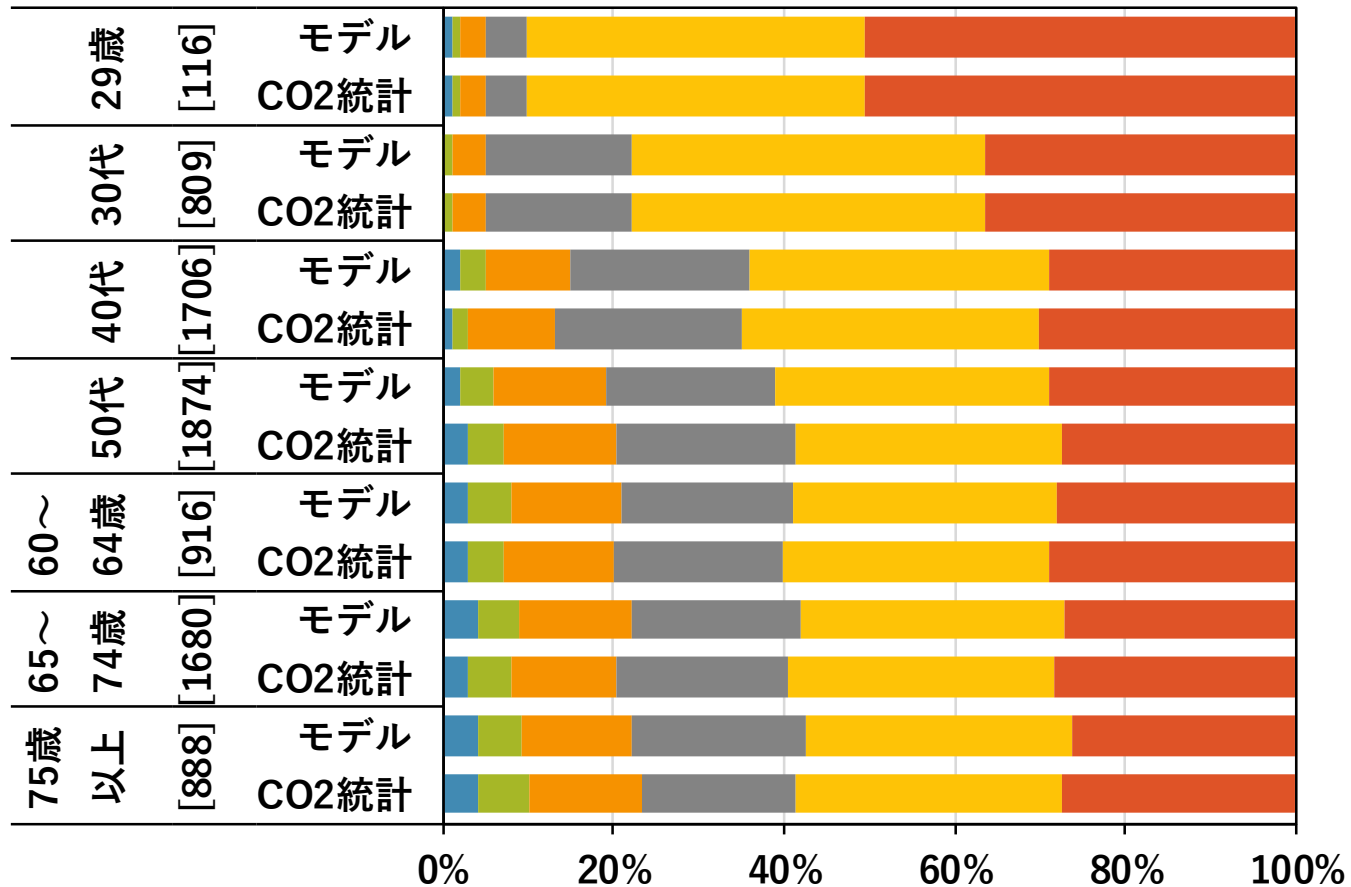
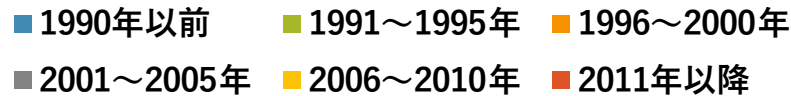
保有台数が増加する傾向にある要因

- 世帯人数が多い
- 高収入
- 延床面積が大きい



設置可能な部屋数や
同時に使用する人数に
より変化

世帯主年齢別冷蔵庫1台目製造時期



(※[]内数字:カテゴリーサンプル数)

結果 | 機器保有状況予測モデル

◆ テレビ製造時期回帰分析

	2001~2005年		2006~2010年		2011年~	
	偏回帰係数	p値	偏回帰係数	p値	偏回帰係数	p値
(Intersept)	0.84 ***		2.62 ***		2.06 ***	
沖縄	0.16 *		0.15 *		0.18 *	
十歳未満あり	0.2 *		0.24 **		0.19 *	
世帯年収_250万円以下	-0.15 *		-0.16 **		-0.05	
世帯年収_250.500万円	-0.15 *		-0.2 ***		-0.16 **	
世帯主年齢_39歳以下	-0.02		0.12		0.11	
世帯主年齢_65.74歳	-0.02		-0.06		-0.11 *	
世帯主年齢_75歳以上	-0.05		-0.13 **		-0.11 *	
賃貸その他	0.1		0.14		0.24 ***	
建築時期_1981.1990年	-0.17 **		-0.05		-0.06	
建築時期_2001年.2005年	0.38 ***		0.22 **		0.21 **	
建築時期_2006年.2010年	0.08		0.32 ***		0.14	
建築時期_2011年以降	0.02		0.17		0.37 ***	
延床面積_40.60m2	-0.17 *		-0.06		-0.05	

製造時期が古い傾向にある要因

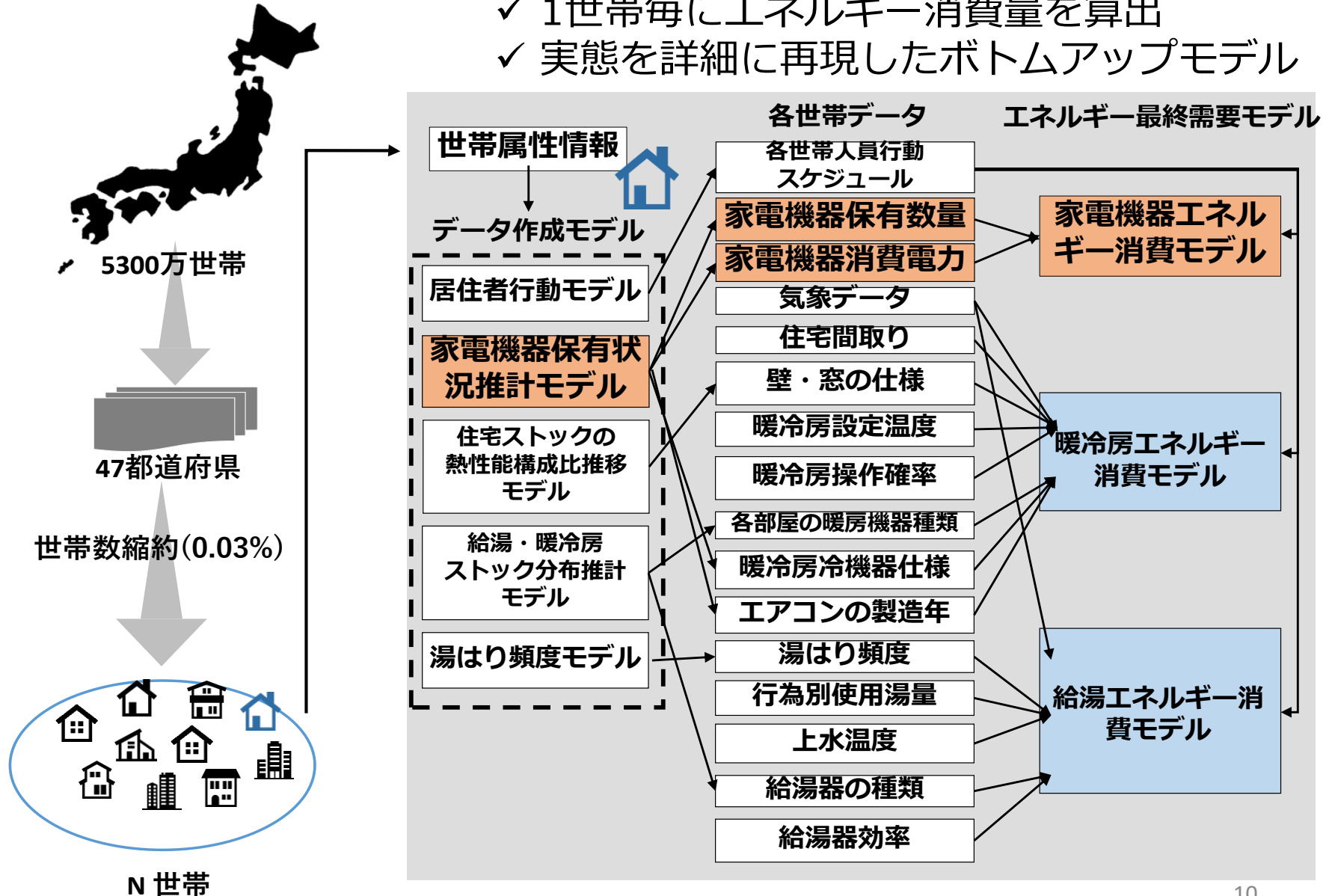
- 低収入
- 高齢者(65歳以上)の存在
- 住宅の建築時期が古い



機器買い替えに消極的
買い替えのタイミング
の有無(引越し等)

TREES(Total Residential End-use Energy Simulation)

- ✓ 1世帯毎にエネルギー消費量を算出
- ✓ 実態を詳細に再現したボトムアップモデル

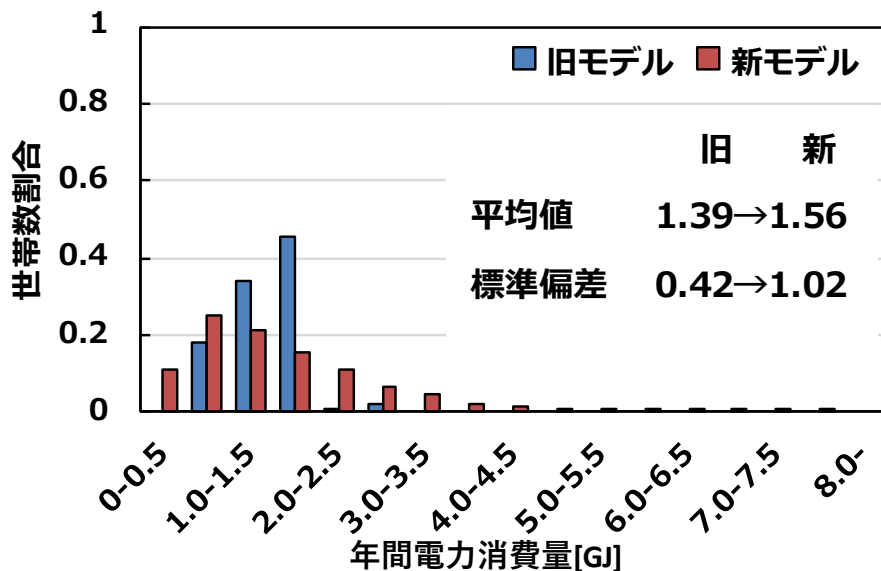


機器保有考慮による効果

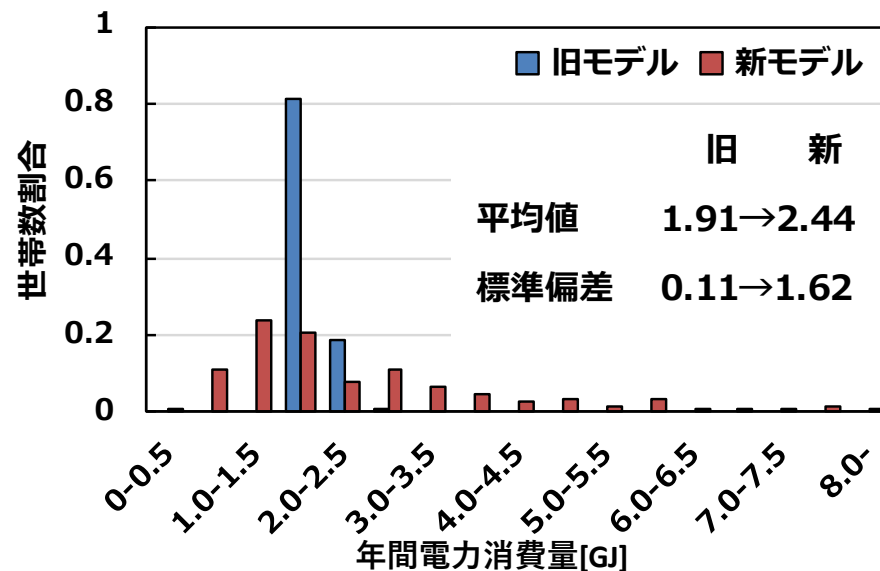
旧モデル：都道府県別ストック平均効率

新モデル：機器保有状況予測モデルによる予測性能

テレビ



冷蔵庫



多消費世帯の特徴

- 保有台数多い
- 製造時期古い



以前に比べて

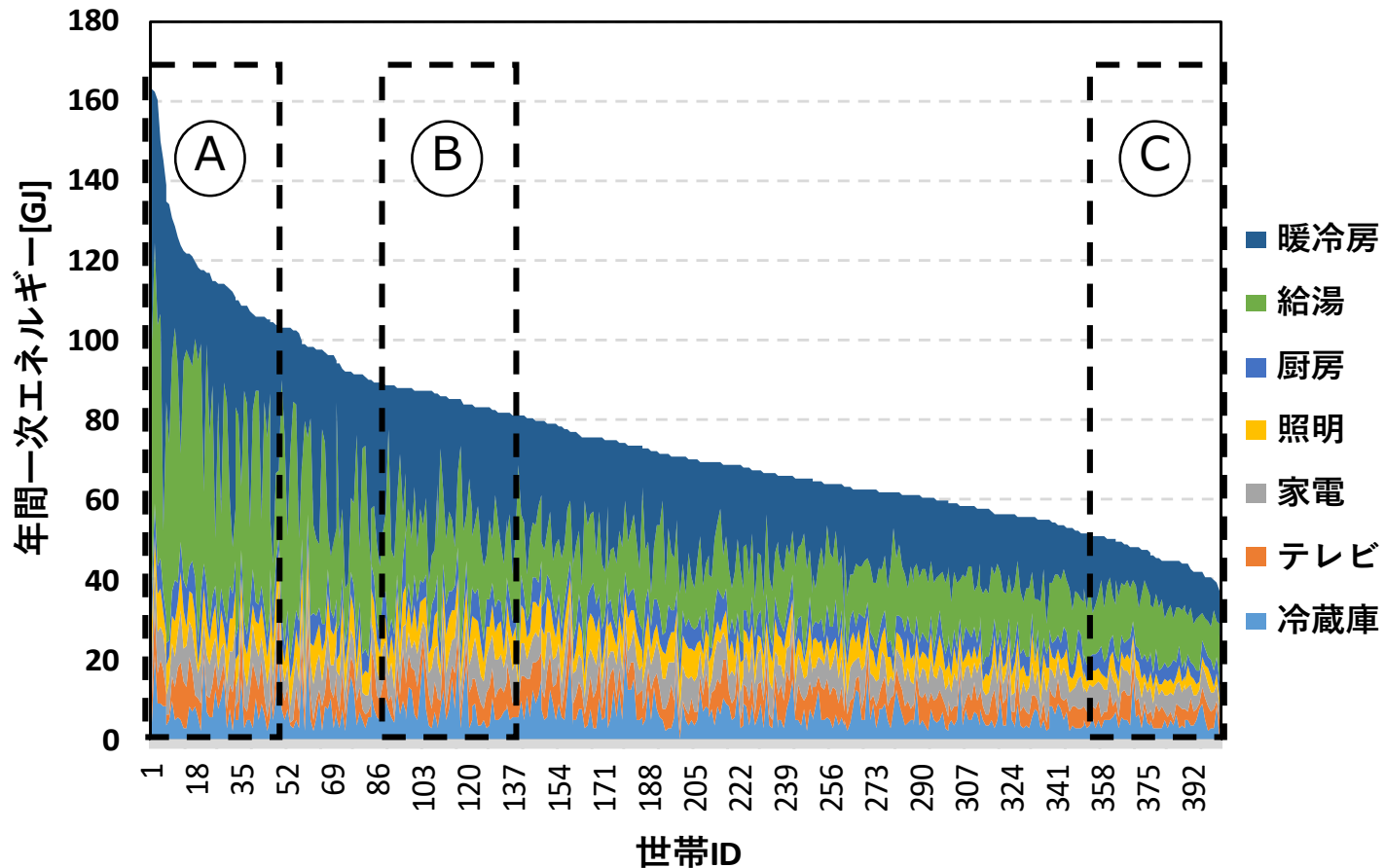
機器消費電力のばらつきを再現可能となった

多消費世帯の特徴

年間一次エネルギー消費量内訳(消費量の大きい世帯から降順に並び替え)
➡世帯IDのより小さい世帯を**多消費世帯**と定義

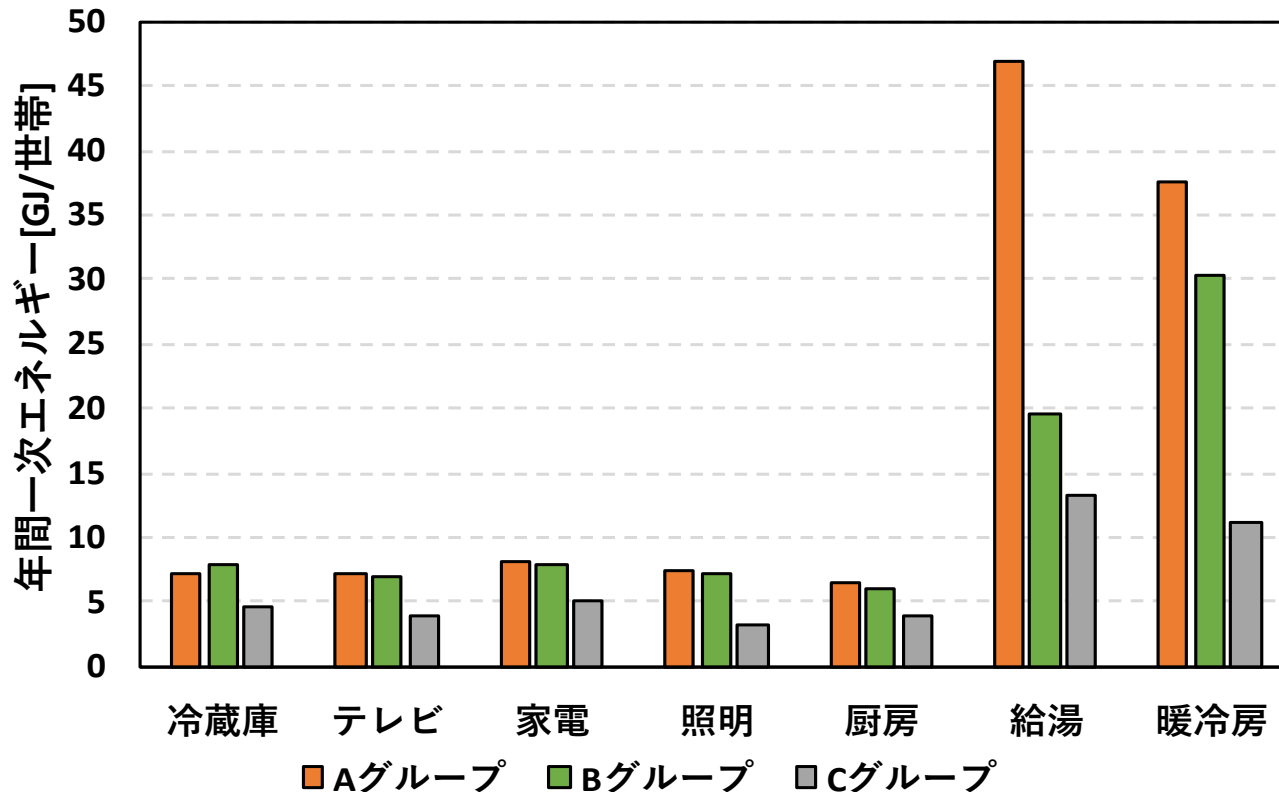
対象：近畿地方2652世帯
4人世帯のみ抽出(403世帯)

Ⓐ	上位45世帯
Ⓑ	上位91~135世帯
Ⓒ	下位45世帯



多消費世帯の特徴

◆ 各グループ用途別エネルギー消費量の世帯平均値



Aグループ

- すべての用途でエネルギー消費量大
- 給湯用途の影響大 (電気温水器)

Bグループ

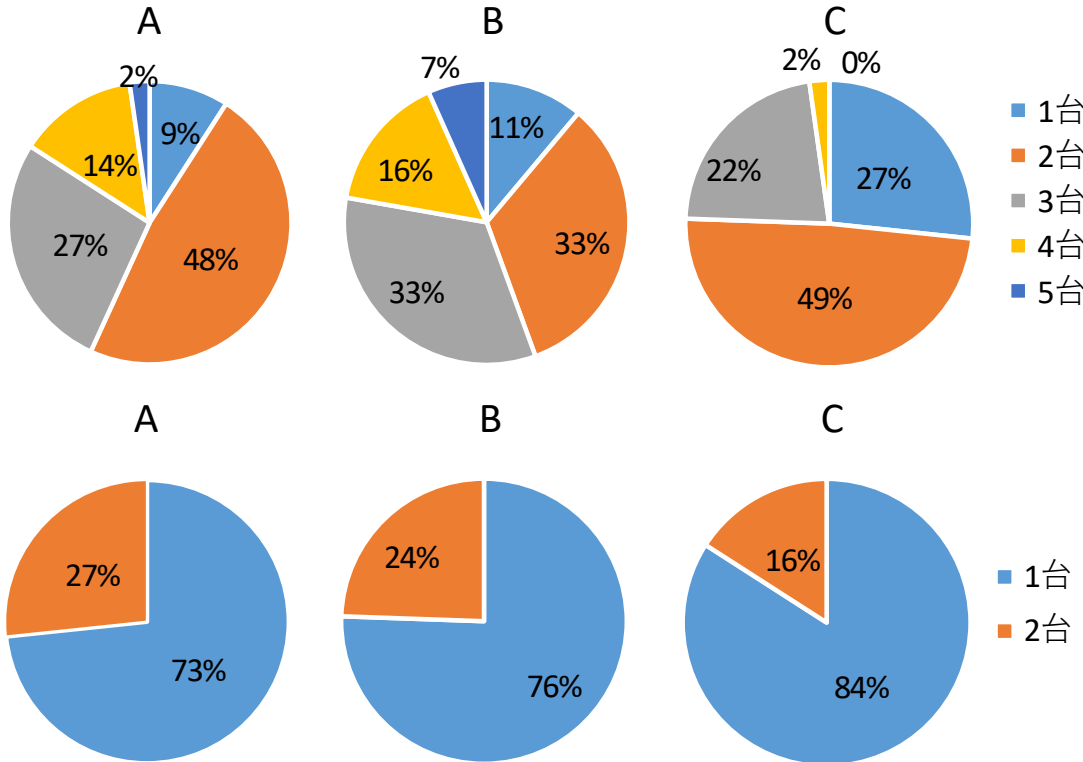
- 給湯以外はAと大きな差はなし
- 機器の保有や使用により占める割合大

Cグループ

- すべての用途でエネルギー消費量小

多消費世帯と機器保有数量の関係

◆ テレビと冷蔵庫のグループ別世帯平均保有数量



テレビ

✓ A,Bグループ

半数前後の世帯で
保有台数3台以上

✓ Cグループ

7割以上の世帯は2台以下

冷蔵庫

✓ A,Bグループ

2割以上の世帯が2台保有

- 基本的に24時間稼働
- 電力消費量が大きい

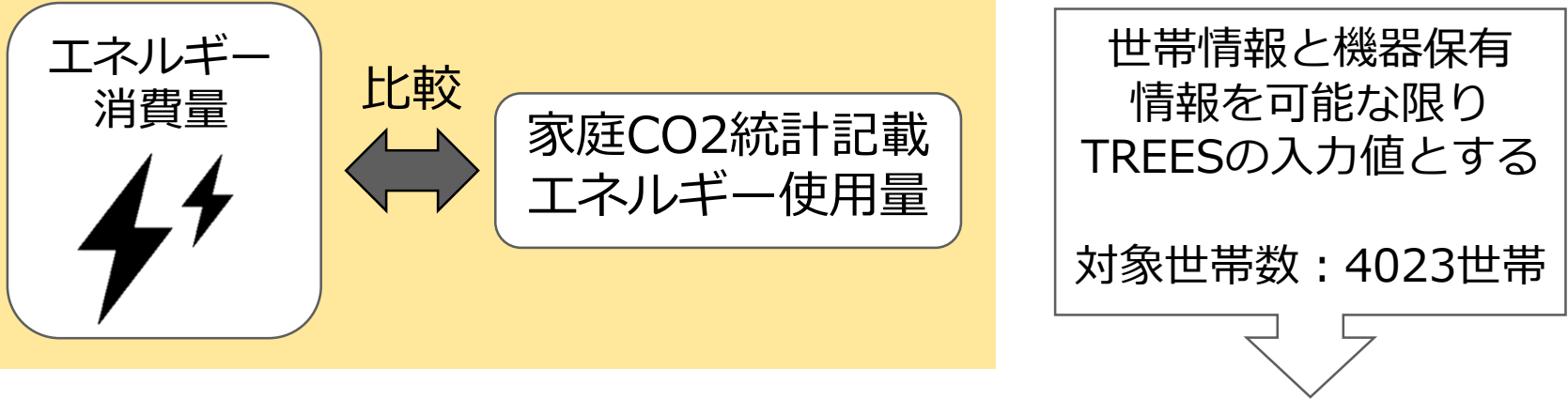
全国の冷蔵庫2台所有を解消すると...

45.3PJ/年 **削減**

➡我が国の家庭部門全エネルギー消費量の**1.5%**に相当

計算条件

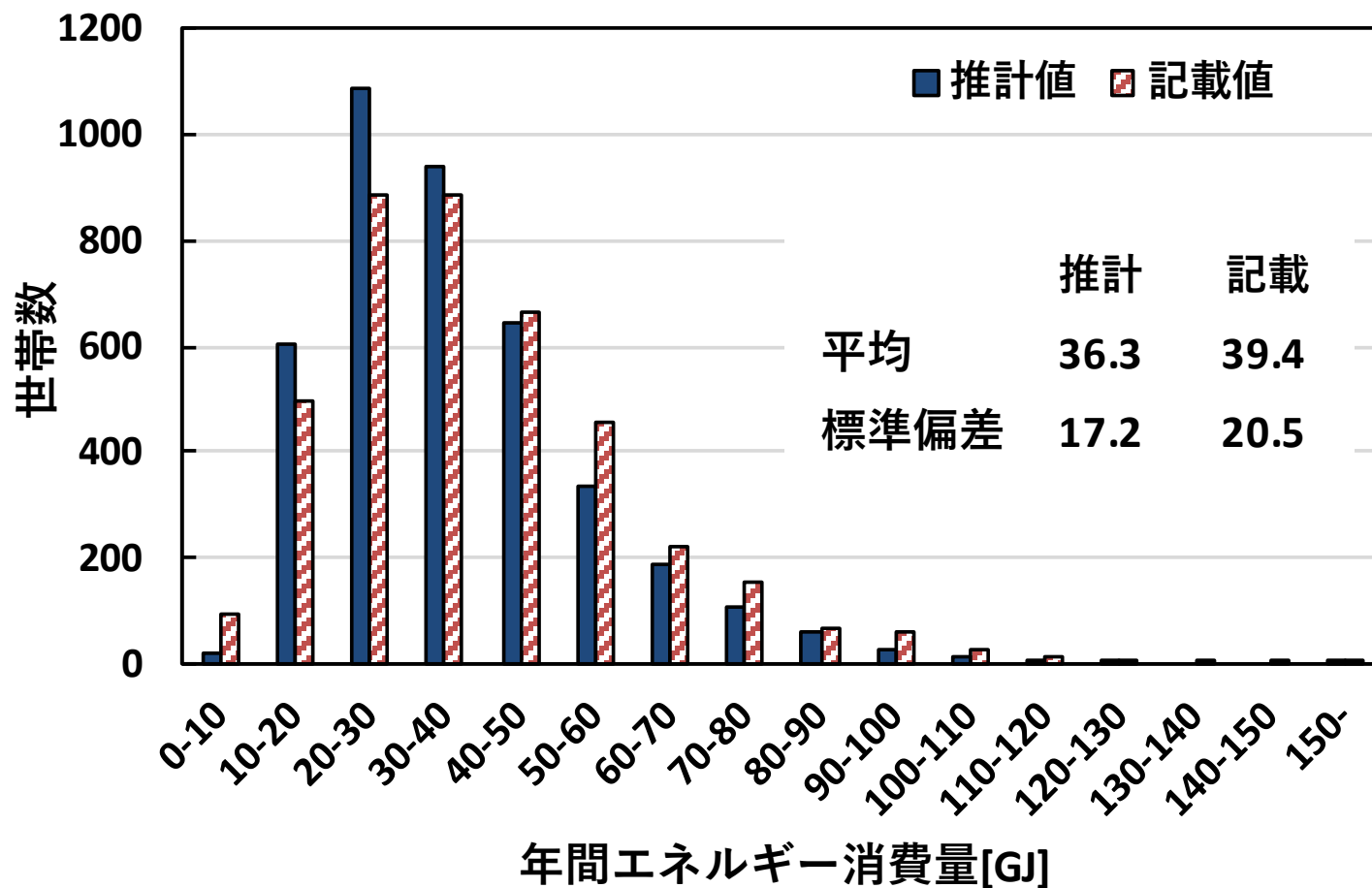
② 家庭CO2統計調査対象世帯にモデル適用



項目	TREES入力値
テレビ・冷蔵庫	回答された保有状況(台数・製造時期・サイズ)
エアコン	エアコンモデルにより推計
その他機器	機器ストックモデルにより推計
コンロ・給湯器使用種類	使用コンロ,使用給湯器として回答した種類
暖房機器	最もよく使用すると回答した種類
断熱性能, 湯はり頻度	各推計モデルにより推計

結果 | 分布のばらつき再現

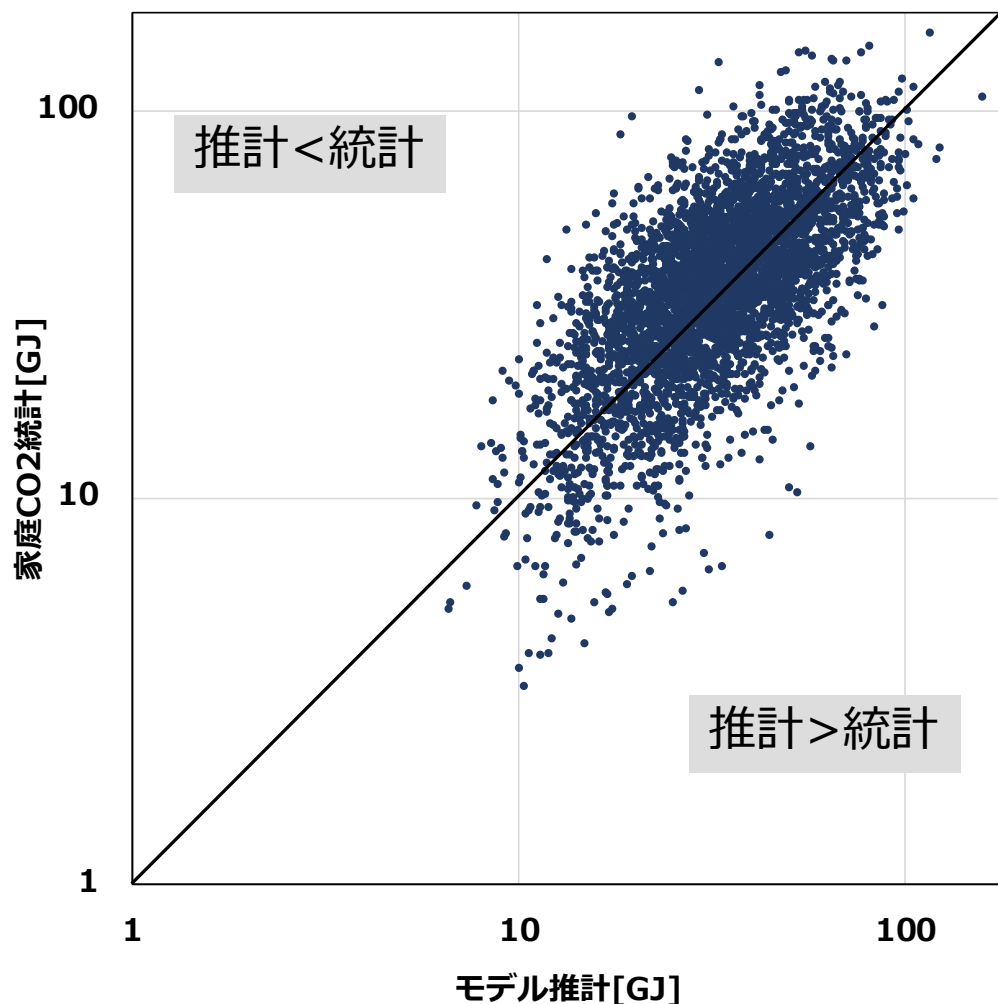
推計結果はCO2統計記載値より平均値・標準偏差ともに小さい
⇒【要因】家庭以外のエネルギー消費(融雪・農業用)が含まれている



全体的なばらつきは概ねよく再現できている

結果 | 世帯毎の一致性

世帯単位でも精度よく推計可能

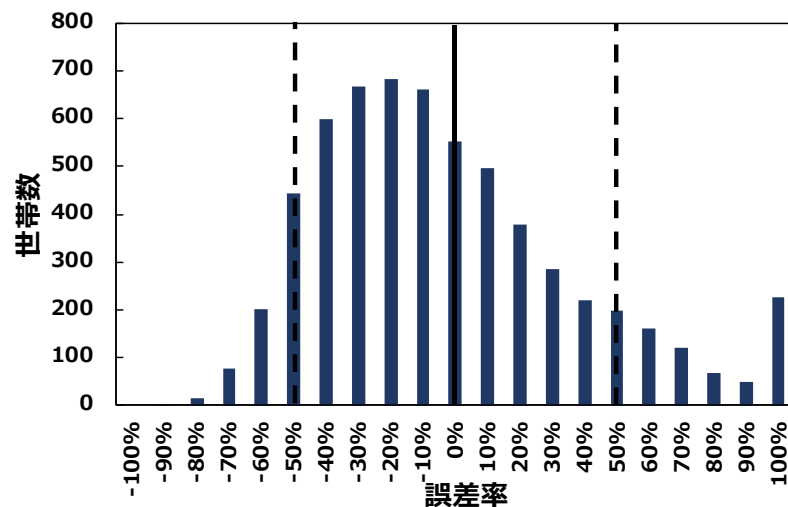


指標

$$\text{誤差率}[\%] = \frac{\alpha - \beta}{\beta} \times 100$$

α : TREESによる推計値
 β : 家庭CO2統計記載値

⇒約8割の世帯が
誤差率±50%以内



仮説 | 3つの誤差要因

誤差要因の評価により明らかにしたいこと

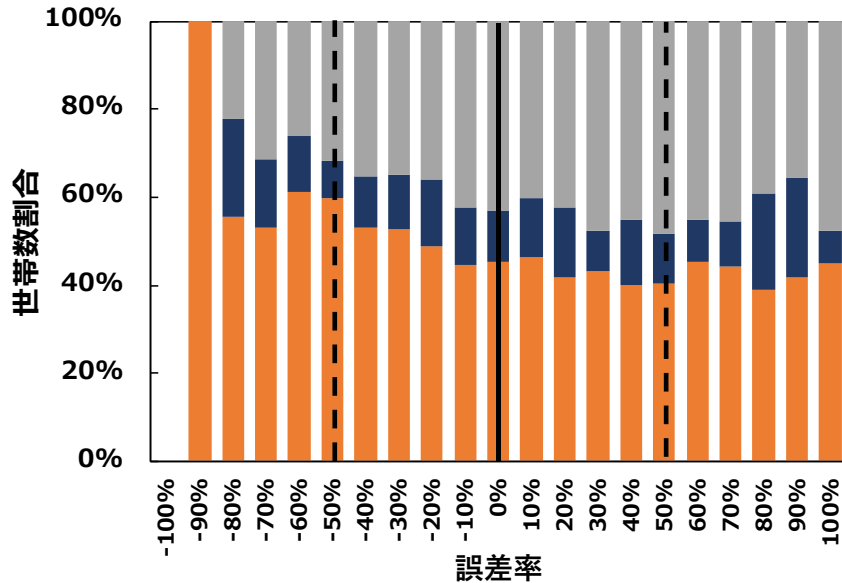
シミュレーションモデルによるエラー
または
モデルでは表現しきれない実社会の非合理的なエネルギー消費の実態

- ① **燃料系機器による過小推計の可能性**
…エネルギー源(電気・石油・ガス)と誤差率の関係
- ② **居住者行動による差**
…個人の意識や習慣の違い
- ③ **モデル未考慮機器の存在**
…保有率増加傾向にある,使用状況不明機器

考察 | 誤差要因①

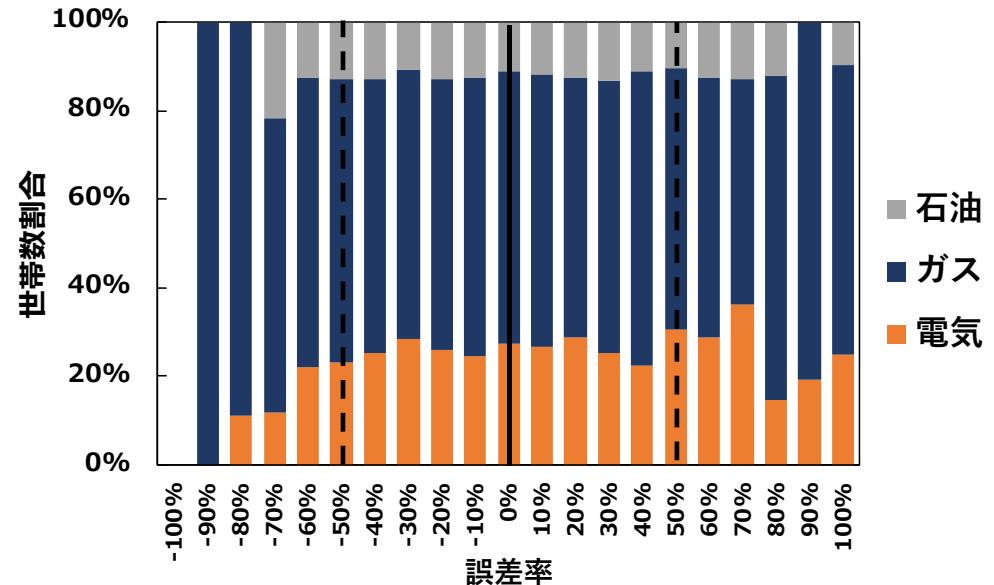
誤差率別機器のエネルギー源割合

暖房機器



← 推計<統計 ■ ■ 推計>統計 →

給湯機器



← 推計<統計 ■ ■ 推計>統計 →

◎ 機器の燃料種による顕著な差は見られない

➡ 誤差の大きな要因は

暖房・給湯の使用機器におけるモデルのエラーではない

考察 | 誤差要因②

誤差率によるグループ分け

- A. 過小推計(誤差率-50%以下) 212世帯
- B. 誤差小(誤差率±50%以内) 3283世帯
- C. 過大推計(誤差率+50%以上) 528世帯

家庭CO2統計アンケート情報

◆湯はり日数

夏季/冬季 1週間のうち浴槽に湯をはる日数[回/週]

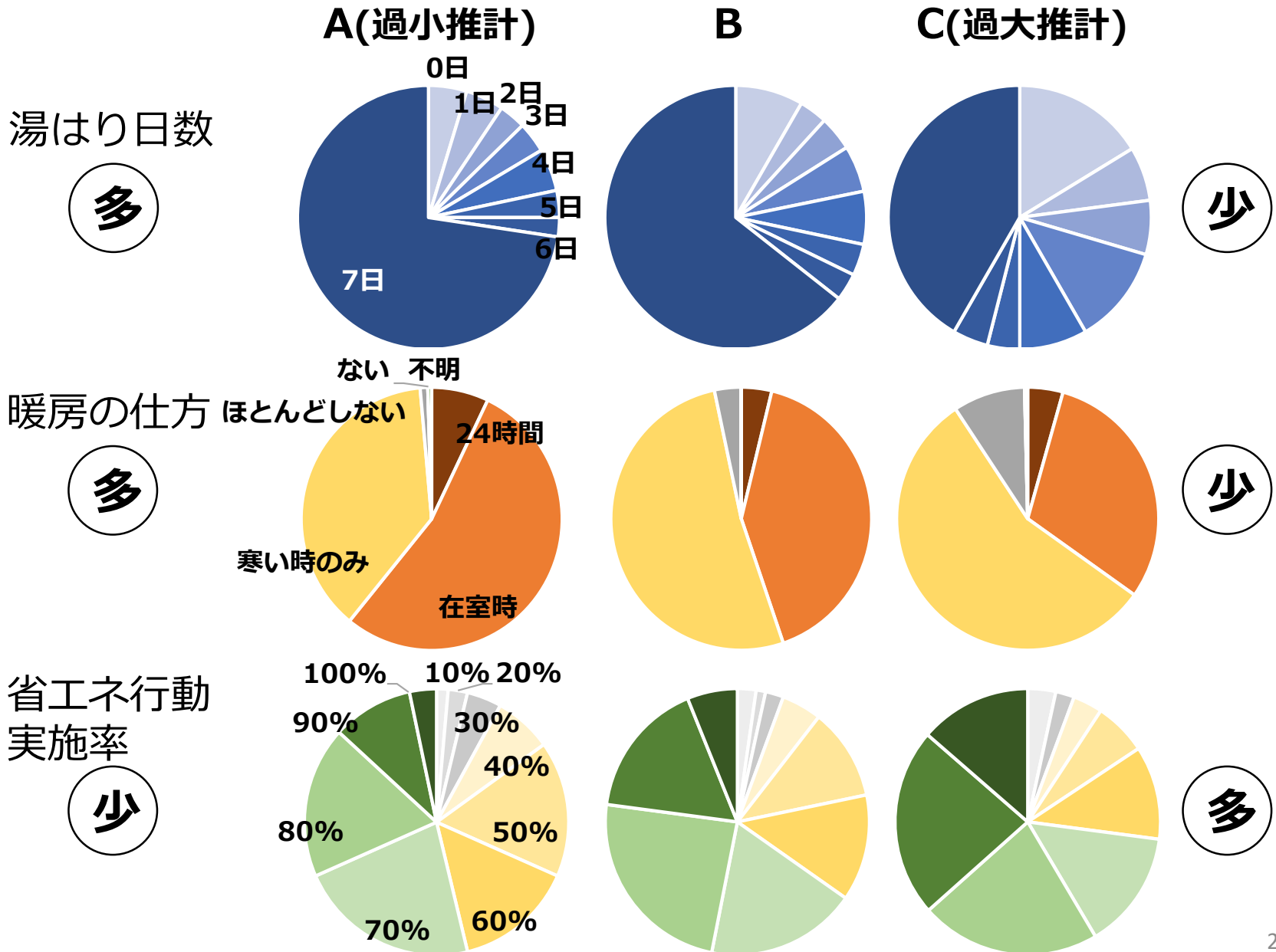
◆暖房の仕方

(1: 24時間暖房する 2: 在室時は暖房する 3: 寒いと感じた時のみ暖房
4: ほとんど暖房しない 5: 暖房機器はない 6: 不明)

◆省エネ行動実施率

入浴やお湯の使い方、照明・家電の使い方等 全18項目
各項目について(実施している/実施していない/該当しない/不明)
実施している項目数の割合

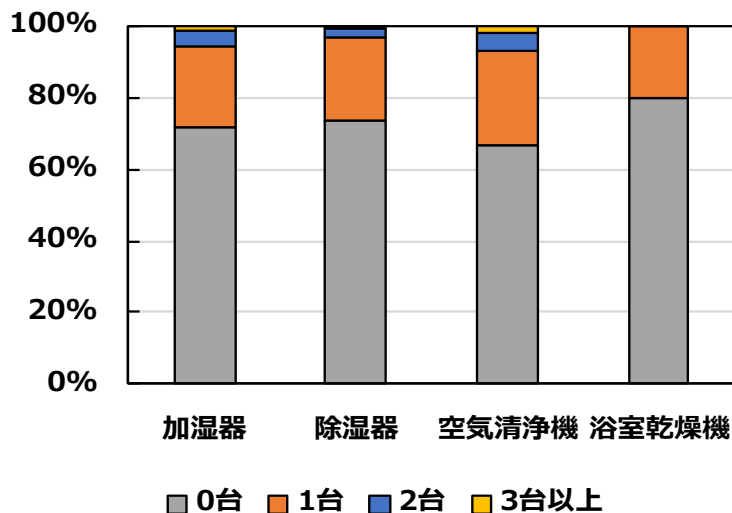
考察 | 誤差要因②



考察 | 誤差要因③

◎家庭CO2統計において調査対象であるTRRES未考慮機器

種別	機器名
住宅機器	食器乾燥機
生活家電	浴室乾燥機, 空気清浄機, 加湿器, 除湿器
デジタル機器	インターネットルーター
調理機器	ガスオーブン, ウォーターサーバー



保有率は2~3割と高くはない

- ⇔ ・長時間コンセントに接続されている可能性
- ・正確な使用状況は不明

➡今後さらに調査, 検討が必要

検証結果

- ① **燃料系機器による過小推計の可能性** ×
➔ 誤差率と機器のエネルギー源に特徴的な傾向なし
- ② **居住者行動による差** ○
➔ 多消費世帯は総じて消費を増やす行動を多く取る傾向
モデルでは表現しきれない**最大の誤差要因**
- ③ **モデル未考慮機器の存在** △
➔ 未特定分になる可能性
今後さらに使用状況の調査、検討が必要

⇒本研究で示したように、家庭CO2統計は世帯間のエネルギー消費の差異発生要因の解明に必要な要素が揃っているところに大きな意義。



GIS による統計データの可視化と 地域レベルのエネルギー消費量の推定

電力中央研究所
エネルギーイノベーション創発センター
上野 剛

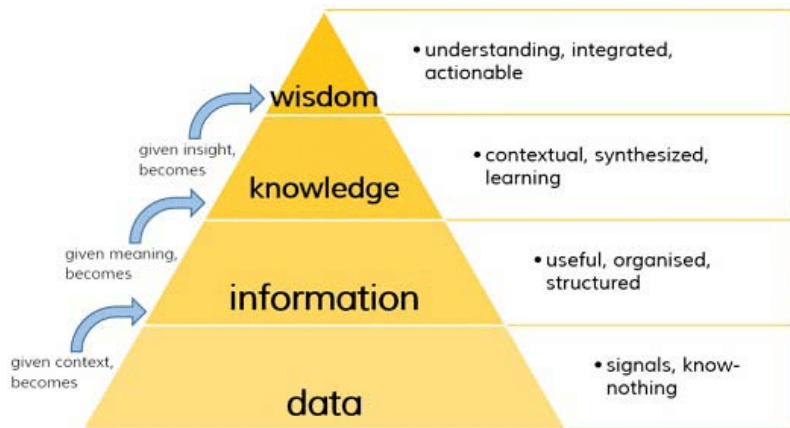
家庭部門のCO₂排出実態統計調査利用研究会
「カーボンニュートラルに向けた家庭部門CO₂排出実態統計調査の活用」シンポジウム
2021年7月1日

 電力中央研究所

CO₂統計データ活用のための分析・コミュニケーション 効率化ツールプロトタイプ^oの構築

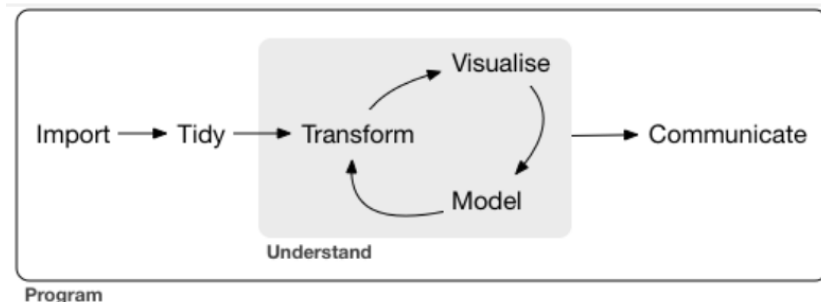
背景と目的

- ◆ 多くの研究者がデータを有効に活用するにはどうしたら良いか?
 - 研究者同士がデータの使い方や分析方法の議論をするためのプラットフォーム
 - 効率的な分析のための初期データ概要把握ツール



DIKWピラミッド

出典: Research Gate, Soloviev, K., 2016



dataからwisdom獲得までの筋道

出典: R for Data Science

背景と目的

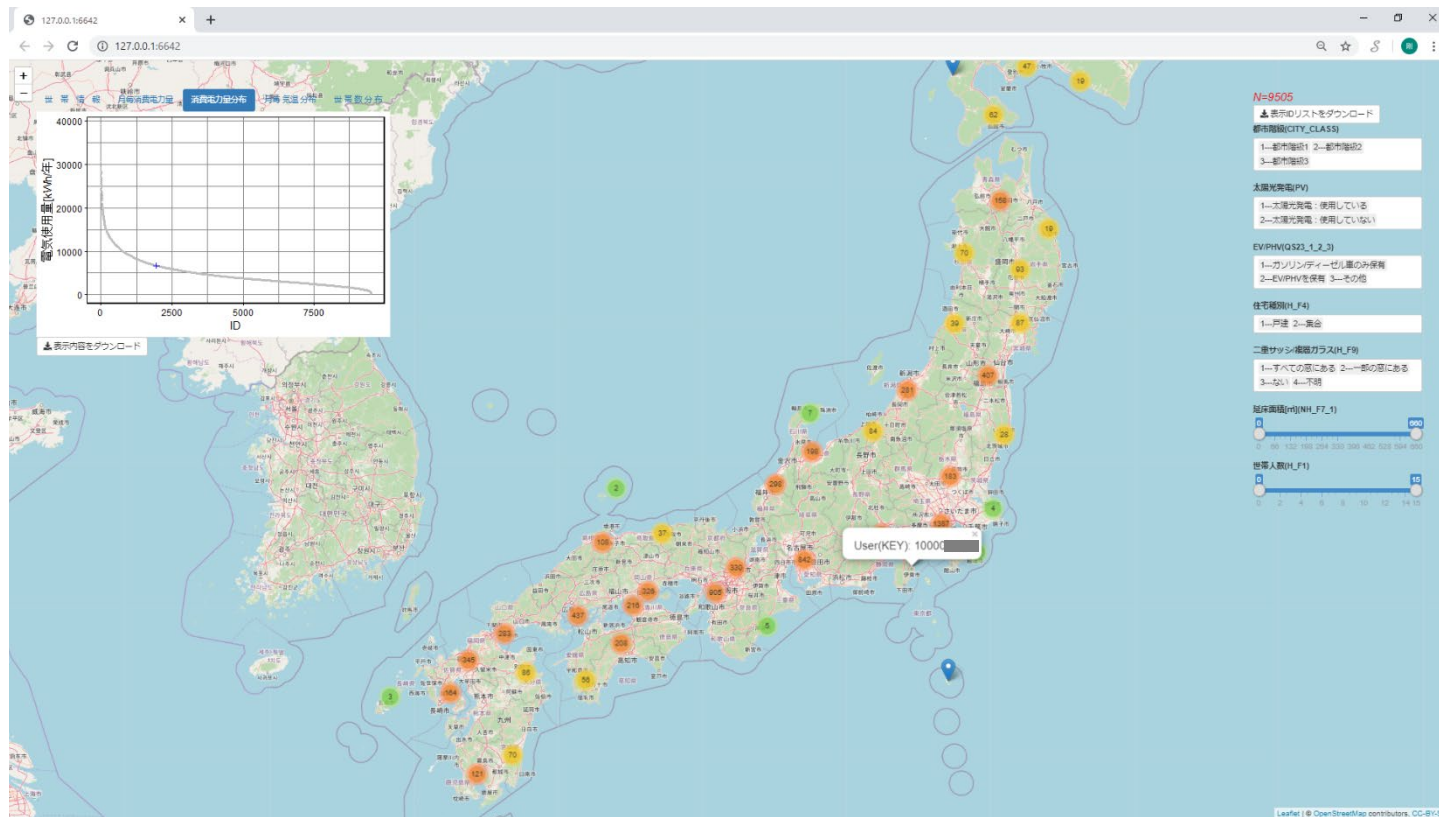
◆ 法律(統計法・著作権法・個人情報保護法)の遵守は重要

- データの取り扱いやソフトウェアのライセンスを守るのが大前提。
- 調査票の利用は、あくまで許可を受けた各個人の物理的管理区画内での利用。
- 本発表では、考え方の提案としてプロトタイプを構築し、研究者間の議論の糧としたい。

◆ 家庭用CO₂統計データを、もっと効率的に利用(分析)するためには？

- 地図上表示による位置情報の把握
- 簡易フィルタ機能による初期データスクリーニング
- 外部データベース連携による使い勝手の向上

ツールプロトタイプのUI



ツールプロトタイプのUI

世帯条件でのフィルタリング 対象世帯の数が変わる

延床面積や住宅種別等の属性でフィルタリング

対象世帯情報のグラフ表示

対象世帯をクリック

月毎消費量や全体の中での順位等が表示される

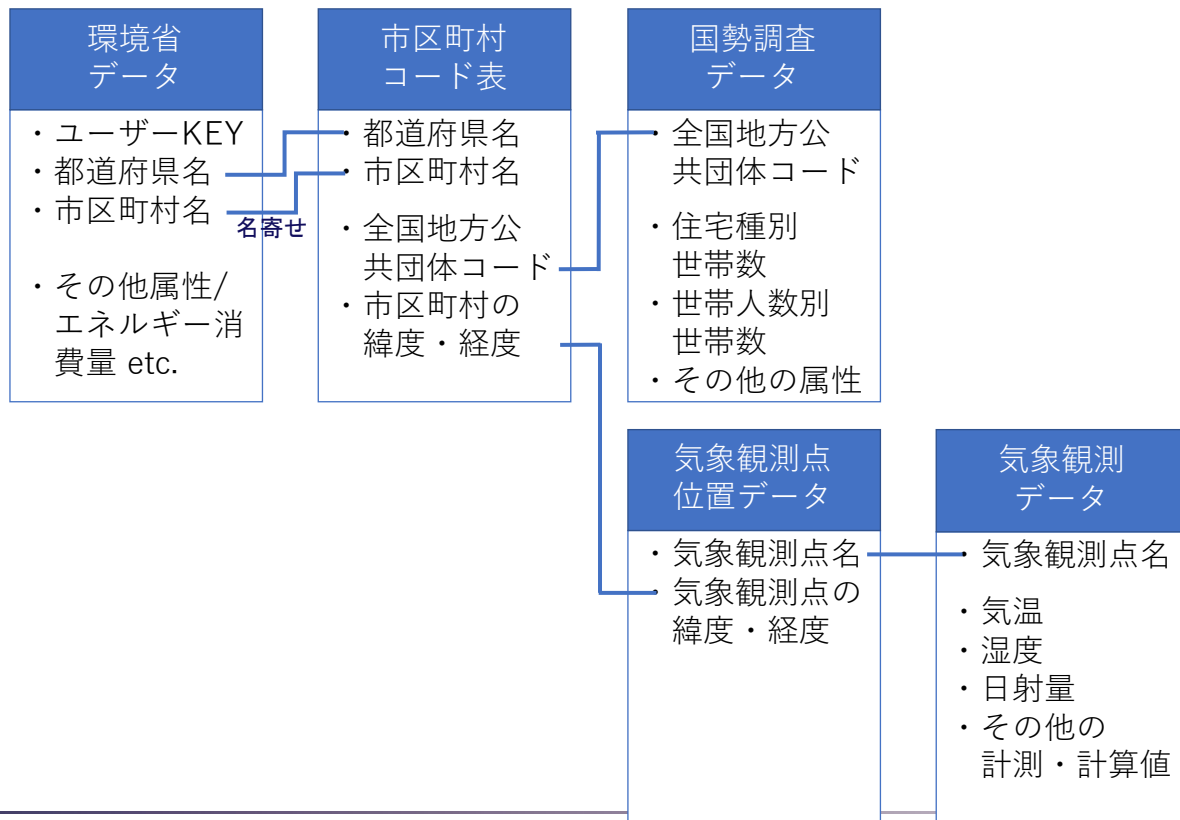
国勢調査結果とリンク

対象世帯のある市区町村の特徴として、国勢調査のデータを表示

気象データとリンク

対象世帯のある市区町村から最も近いアメダス気象地点を取得し、気象観測データを表示

ツールで利用したデータベースと関係



広がると何ができるか？

◆他の(オープン)データベースとの連携

➤ 国勢調査：人口・世帯数

➤ 経済センサス調査：事業所数・就業者数

◆善意のデータ提供者からのデータとの連携

⇒個別のデータからは見えなかった新たな知見を取得

寄り道：Ecobee社の取り組み-DYD



Donate your data

Sharing anonymized data from your ecobee smart thermostat can help scientists advance the way to a sustainable future.

JOIN NOW

◆ Ecobee(業界2位)/ DYD(Donate Your Data)

➢ オプトイン式でユーザーからデータを寄付してもらう

◆ Time Series データ [5分刻み]

➢ 設定温度、実際の温度湿度

➢ 近隣の外気温度湿度

➢ 空調熱源の実稼動時間[5分の中の秒数] など

◆ 属性データ

➢ 地域、世帯人数、延床面積、建築年数 など



ECOBEE: Smart Thermostat

もっと寄り道：米国の停電情報ウェブサイト

◆ <https://poweroutage.us/>

PowerOutage.US Regions About Products FAQ

10k - 50k Outages
50k - 100k Outages
>100k Outages

State Name: Indiana
Customers Tracked: 2,971,923
Customers Out: 393

PowerOutage.US Regions About Products FAQ

Rockbridge

County of Virginia

Customers Tracked	Customers Out	Outage %
8,834	1,994	22.57%

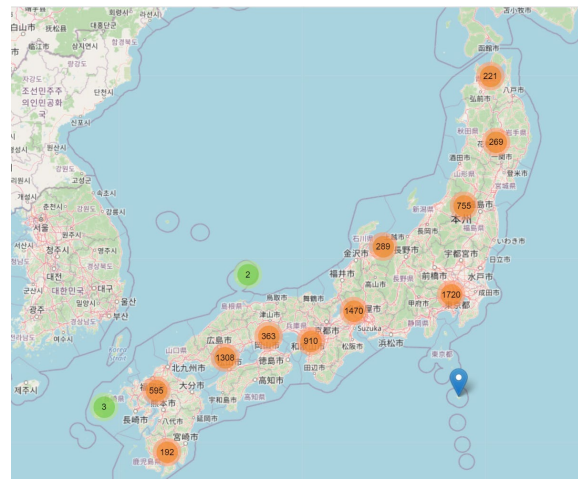
Electric Providers for Rockbridge

Provider	Customers Tracked	Customers Out	Last Updated
BARC Electric Cooperative	2,124	709	6/14/2021, 12:45:06 PM
Dominion Energy	6,678	1,285	6/14/2021, 12:40:14 PM
Shenandoah Valley Electric Cooperative	32	0	6/14/2021, 12:45:09 PM

©2021 - Bluefire Studios LLC | Privacy Policy | Terms Of Use | Using GMT+9 Timezone Site v0.9.1

GISデータの扱いは意外と簡単

- ◆ html出力だけならプログラム15行程度
 - CO₂統計データ読み込み
 - 各市区町村の緯度経度情報と紐づけ
 - 地図上に落とし込み
 - htmlファイルとして出力
- ◆ インタラクティブなGUI(前出ツール)も400行程度

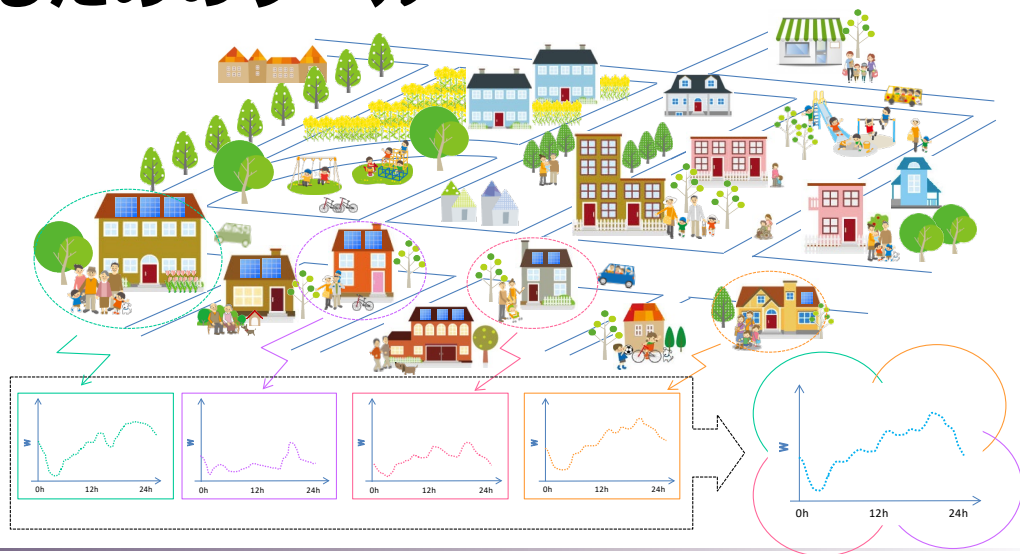


- ◆ R  R Shiny/leaflet/tidyverse
- ◆ Python  Dash/folium/pandas

需要シミュレーションツールによる 地域レベルの家庭用ガス・灯油消費量の算出

需要シミュレーションツールとは

対象地域の需要家の多様性や地域特性を考慮し、
住宅・事業所を含む地域全体の
需要をシミュレーションするためのツール
を開発する



ツールの想定利用用途

◆ 小売事業者

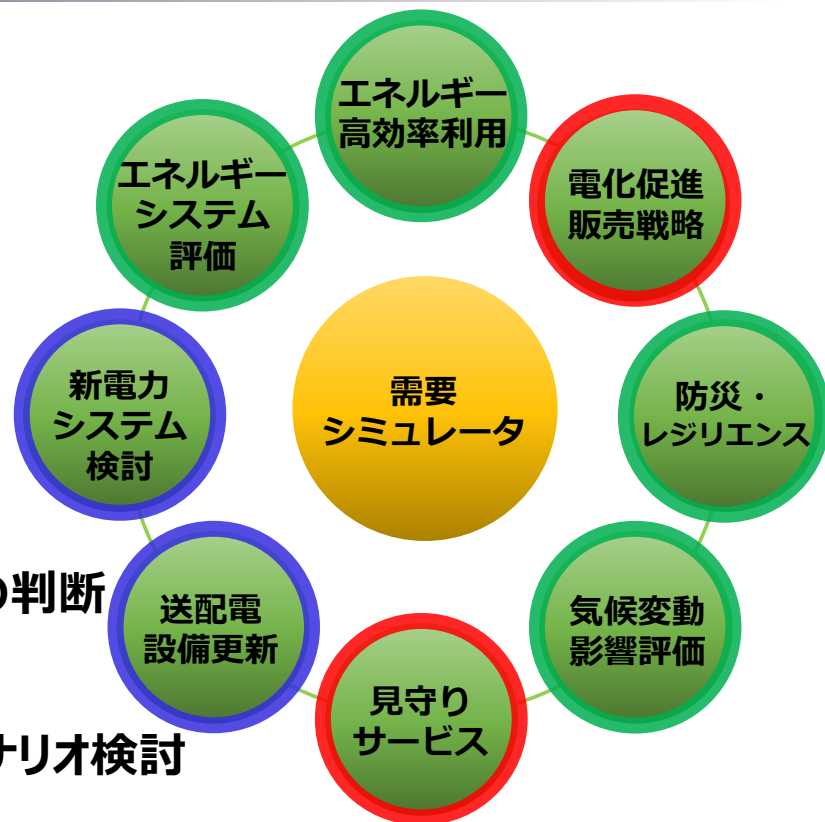
- 販売戦略の意思決定に利用
- 地域ごとの販売電力量の推定
- 地域特性に応じた顧客サービス提供

◆ 送配電事業者

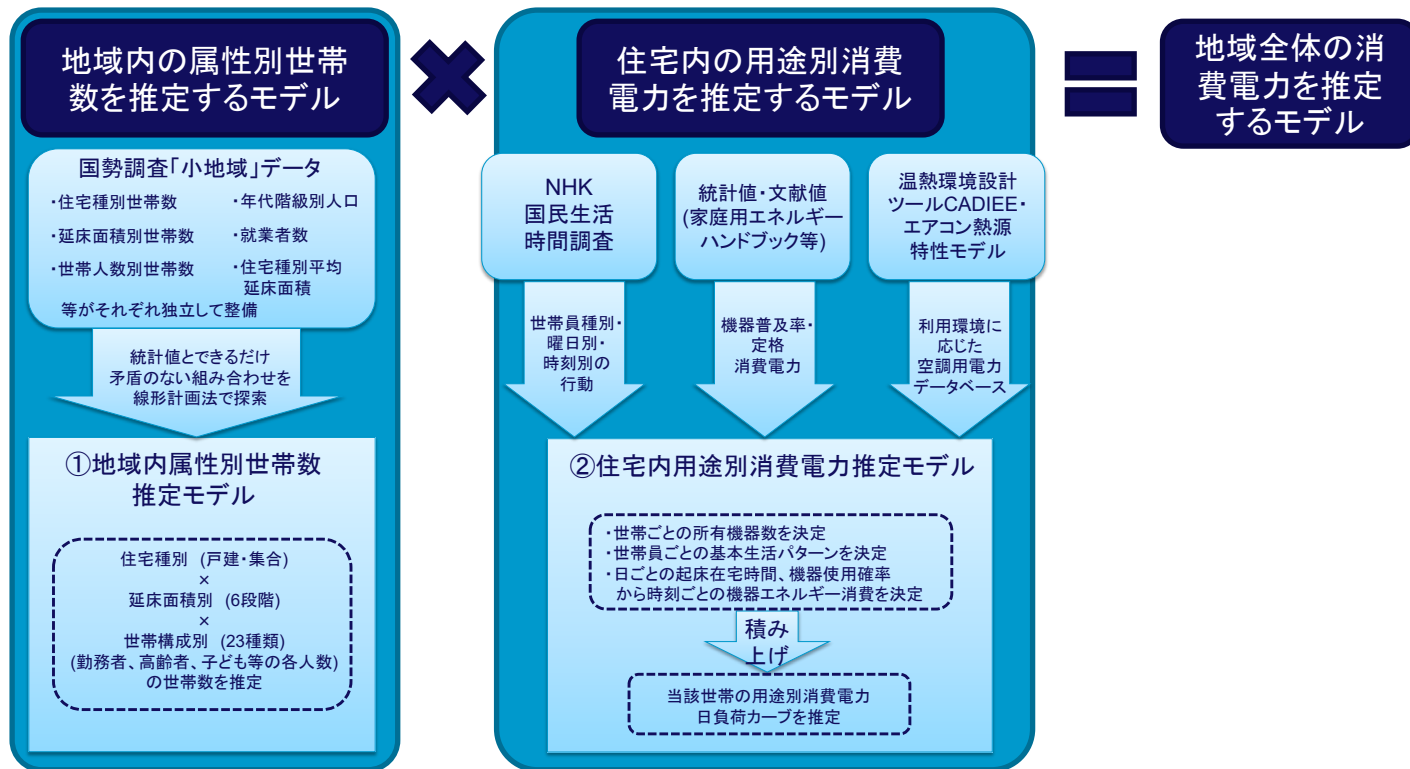
- 負荷カーブやピーク値を推定する
- 配電システムの適切な設備計画を行うための判断
- 運用時の電圧・潮流管理業務の合理化のための判断

◆ 国や地域自治体

- エネルギーの効率利用やCO₂排出量削減へのシナリオ検討



住宅モデルの概要



地域の特徴に応じた気象条件・断熱等級

◆ 気象条件

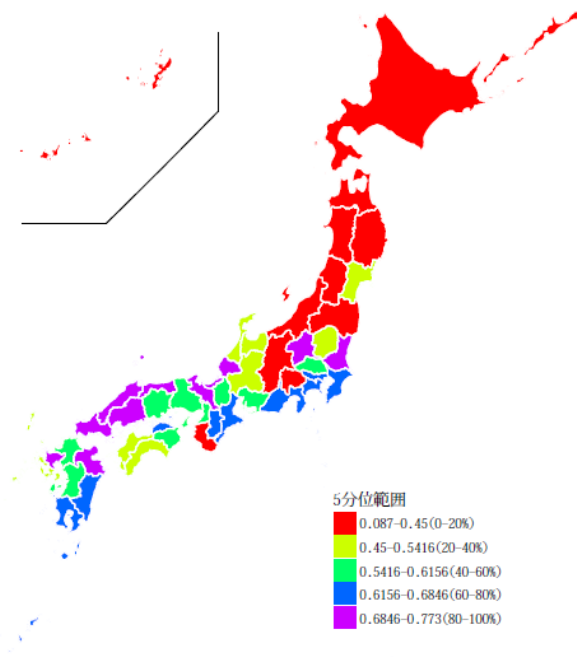
- 拡張AMeDAS 気象データ(842地点) を利用することで、地域の特徴を表現
- 当該小地域と、AMeDAS 気象地点の緯度経度から直線距離を計算し、最も近い地点の値を利用して計算

◆ 断熱性能

- 地域によって求められる断熱性能が異なる
- 当該地域の省エネ基準(1~8 地域) にあわせた断熱性能の住宅モデルを作成し、熱負荷計算を行う

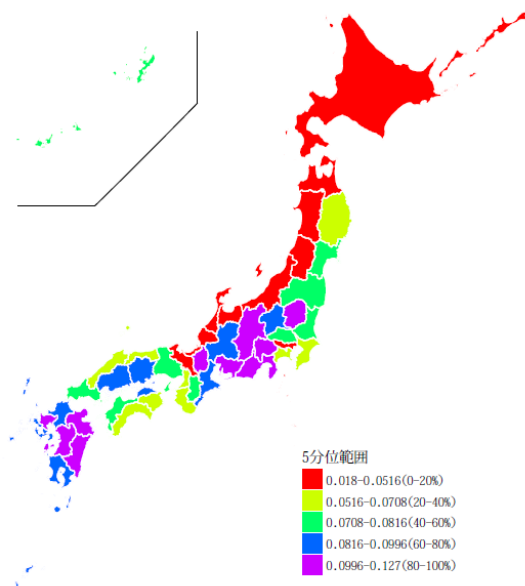
◆ 暖房へのエアコン利用率

- 当所が行ったウェブアンケート調査(約3000 件) の結果を利用
- 都道府県別に暖房へのエアコン利用率を算出
 - 右の図(暖房利用率)に分かるように、東北のエアコン暖房利用率が低い等の特性がデータベースとして整備されている

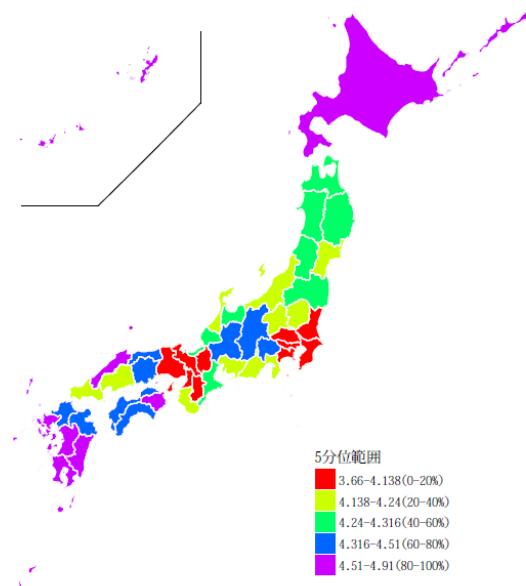


PVの普及率と平均容量

- ◆ 市区町村別にPV 普及率と容量を算出
- ◆ 「再生可能エネルギー発電設備 電子申請サイト」のデータベースを利用

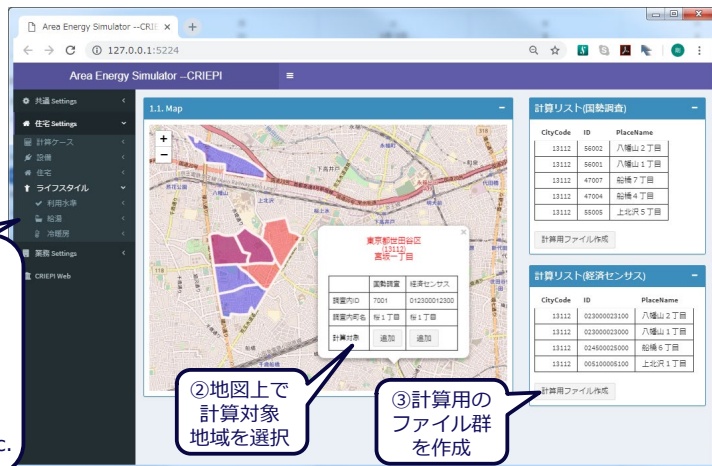


普及率: 日本海側の地域で低い。
Ave:5.8%



導入容量: 首都圏、京阪神地域で小さい。
Ave:4.45kW

入出力UI



①サイドバーで計算条件を入力

- 計算地域範囲
- 住宅設備の普及率
- 利用するエネルギーのデータ年度 etc.

②地図上で計算対象地域を選択

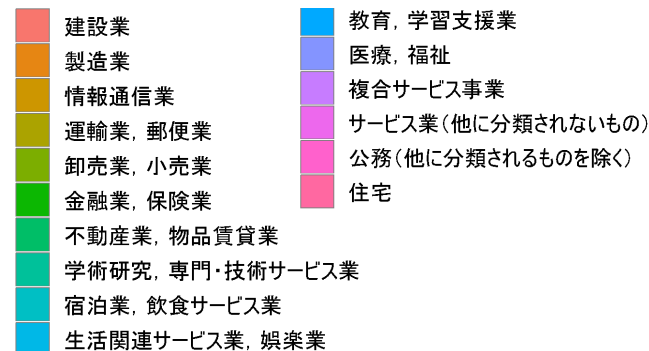
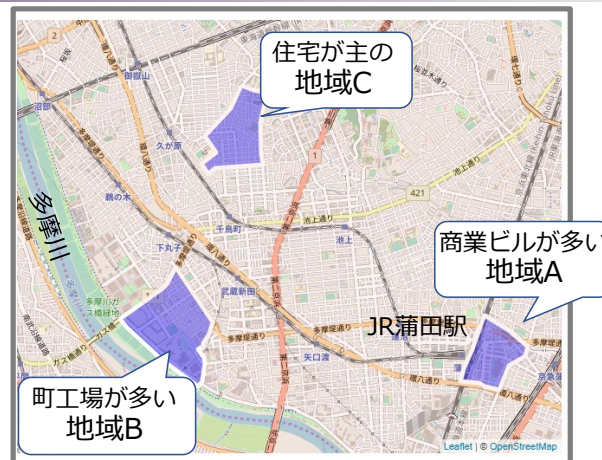
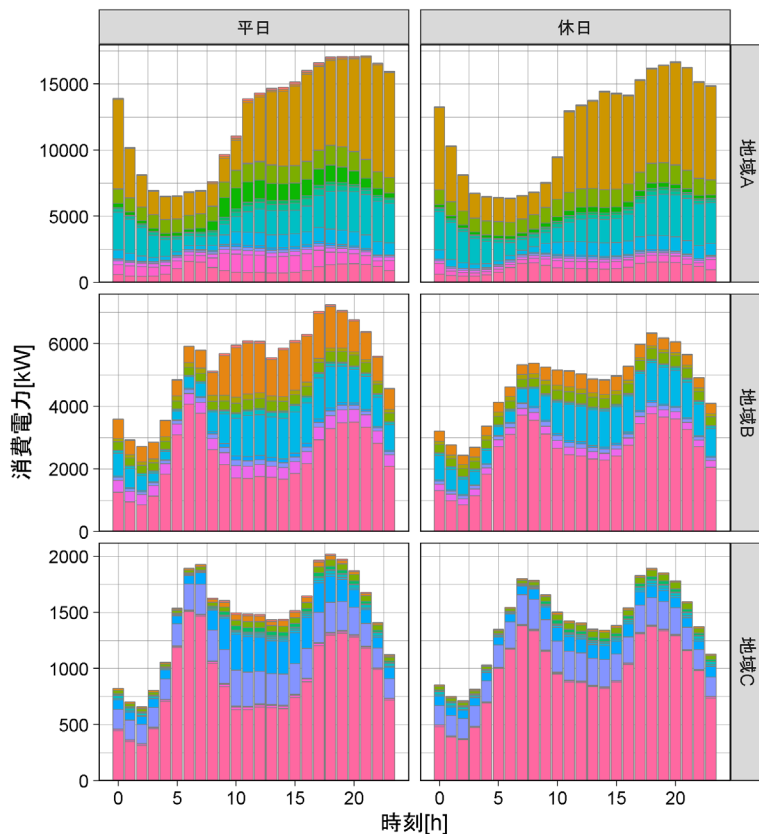
③計算用のファイル群を作成

※サイドバーで表示上の設定を変更

- 表示する業種区分
- 利用するマップ etc.



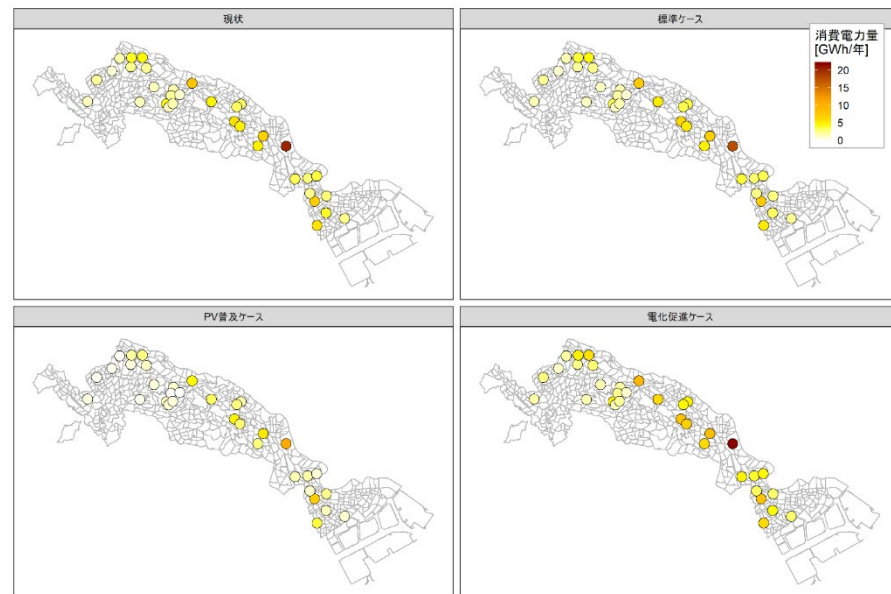
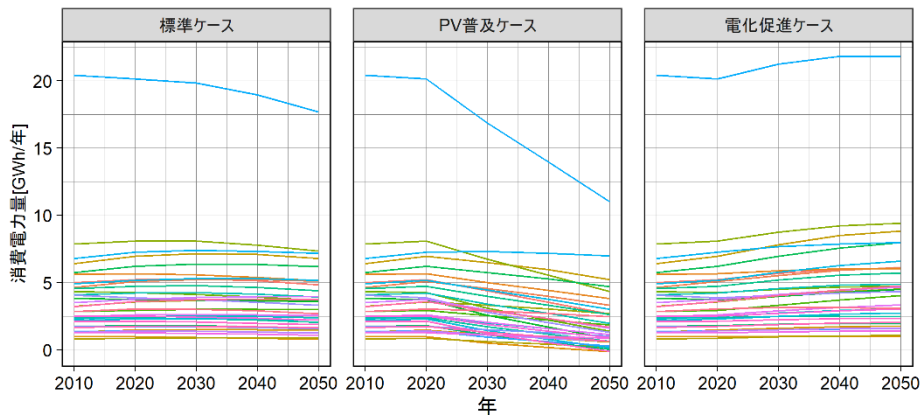
試算例：特性の異なる地域の日負荷曲線の比較(2月)



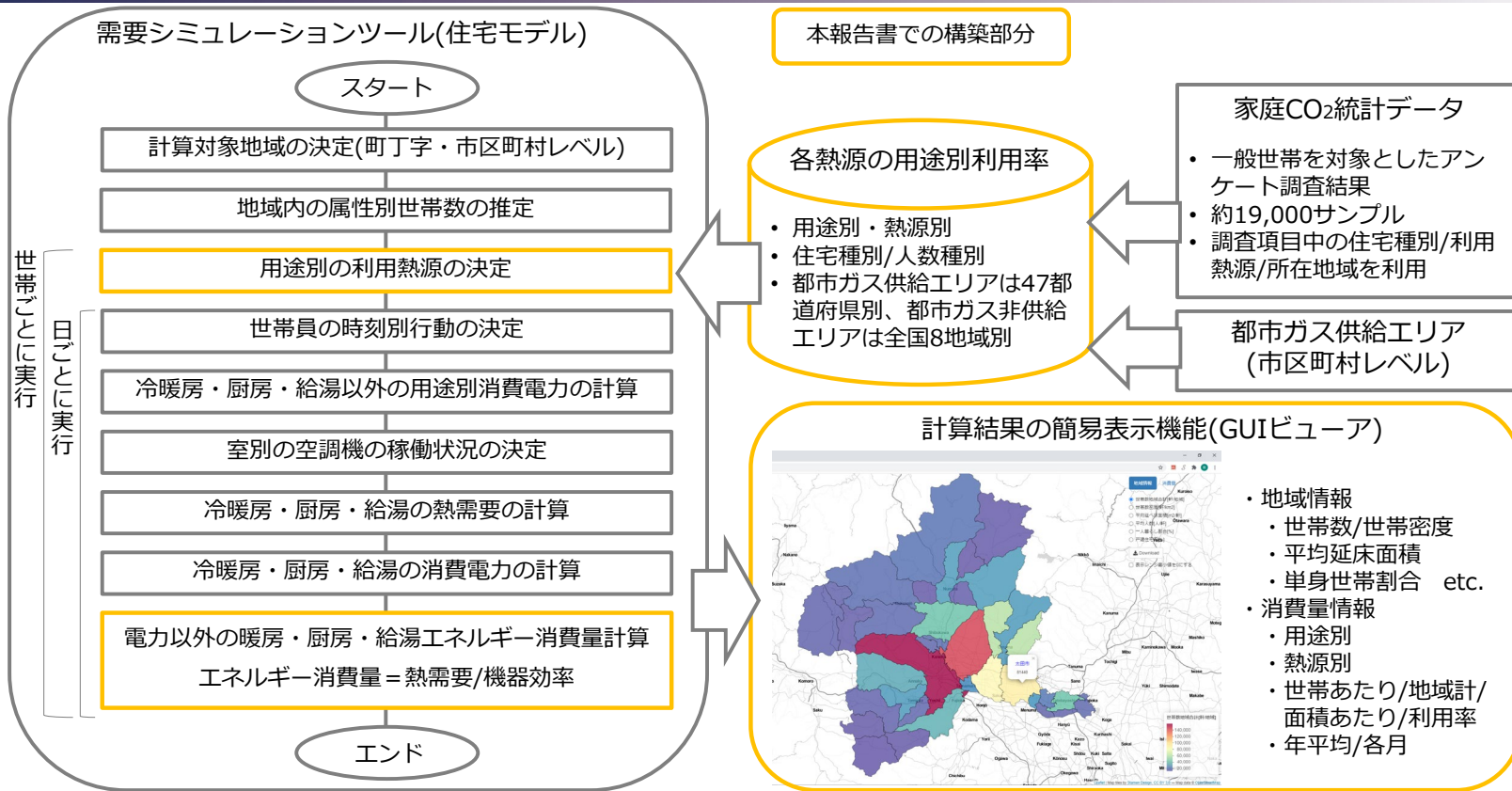
500mメッシュ人口推計データを用いた将来シナリオ検討

- ◆ 川崎市内の34市区町村を対象
- ◆ 2050年までの500mメッシュ人口推計データ(総務省統計局)を元に、各地域の住宅用消費電力量を推計

※色の差は各地域を表す

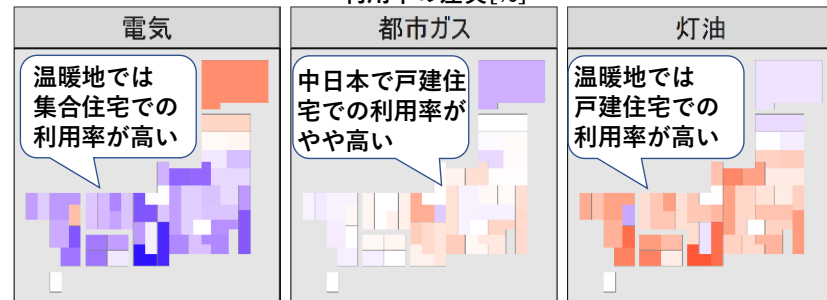
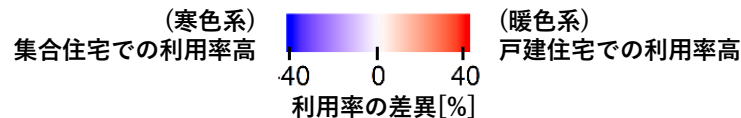
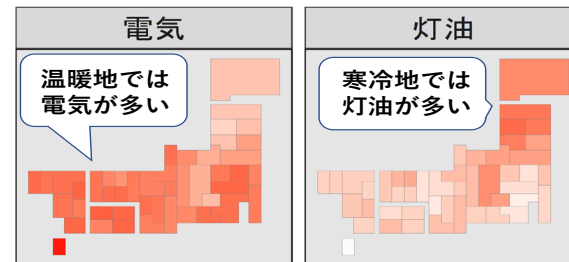
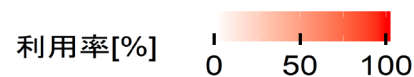


需要シミュレーションツールへのガス・灯油計算機能の追加



家庭CO₂データを用いた地域毎の熱源別利用率の推定

対象地域	日本全国
利用したデータの調査年度	平成29年度 平成30年度
調査世帯数	両年とも13,000世帯
有効回答世帯数	9,505世帯(平成29年度) 9,996世帯(平成30年度)
調査方法	調査員・インターネットモニタ調査
調査項目	地域情報(都道府県、都市階級)、 居住者情報(世帯人数等)、住宅 情報(住宅形式等)、利用機器(保有台数用途別の最頻利用熱源 等)、エネルギー消費量 等
特記事項	各サンプルに重みづけ係数が付与

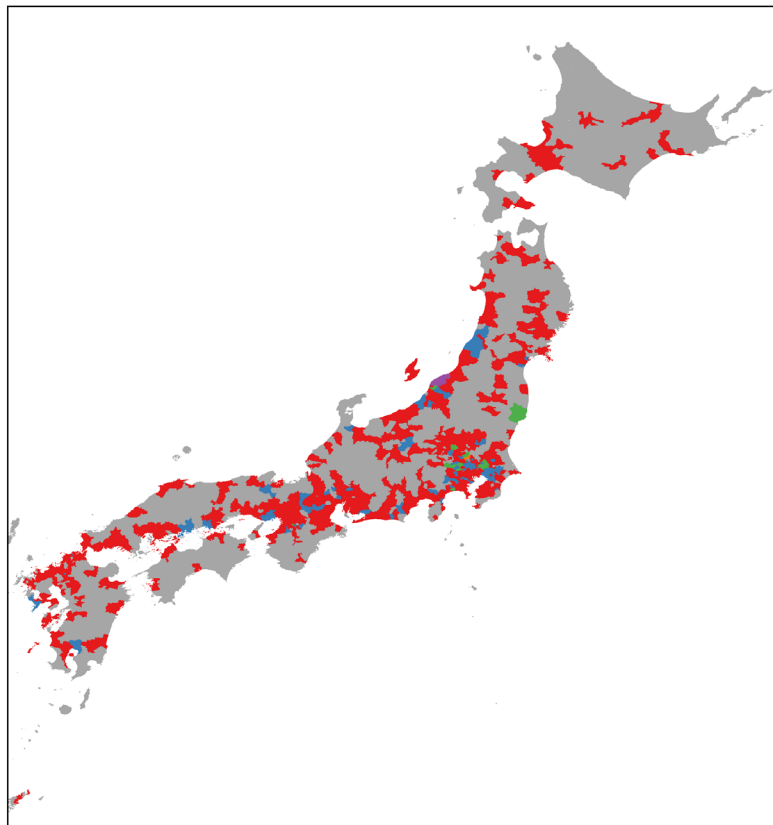


都市ガス供給エリア(市区町村レベル)のデータベース化

一般ガス導管事業者一覧

🏠 をクリックすると各社ホームページへリンクします。

🏠	東京ガス株式会社
	https://www.tokyo-gas.co.jp/
	東京都港区海岸1-5-20
	0570-002-211 (ナビダイヤル)、03-3344-9100 (お客さまセンター) (海外・IP電話用)
供給区域	<p>【東京都】</p> <p>東京23区、八王子市、立川市、武蔵野市、三鷹市、府中市、昭島市、調布市、町田市、小金井市、小平市、日野市、東村山市、国分寺市、国立市、狛江市、東大和市、清瀬市、東久留米市、武蔵村山市、多摩市、稲城市、西東京市</p> <p>【神奈川県】</p> <p>横浜市、川崎市、相模原市、横浜狭山市、平塚市、鎌倉市、藤沢市、茅ヶ崎市、逗子市、三浦市、大和市、海老名市、座間市、南足柄市、綾瀬市、三浦郡葉山町、高座郡寒川町、中郡大磯町、足柄上郡中井町、足柄上郡開成町</p> <p>【千葉県】</p> <p>千葉市、木更津市、成田市、佐倉市、八千代市、君津市、富津市、四街道市、袖ヶ浦市、八街市、印西市、白井市、富里市、印旛郡湊々井町、印旛郡栄町、香取郡多古町、山武郡芝山町</p> <p>【埼玉県】</p> <p>さいたま市、総合市、川口市、行田市、所沢市、羽生市、鴻巣市、深谷市、上尾市、草加市、蕨市、戸田市、鶴巻市、和光市、新座市、久喜市、八潮市、三郷市、蓮田市、白岡市、北足立郡伊奈町</p> <p>【群馬県】</p> <p>前橋市、高崎市、藤岡市、渋川市、邑楽郡千代田町、邑楽郡邑楽町、邑楽郡明和町</p>

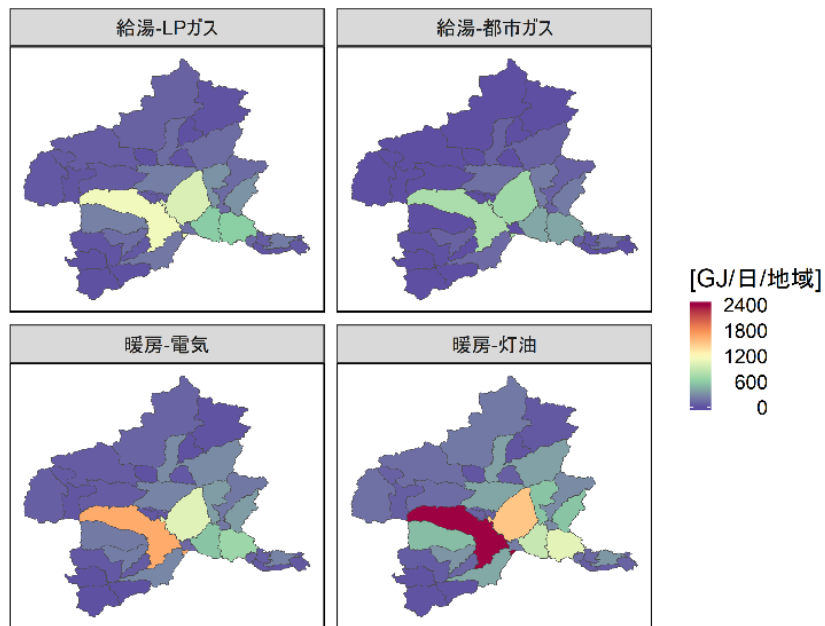


市区町村ごとの
一般ガス導管
事業者数

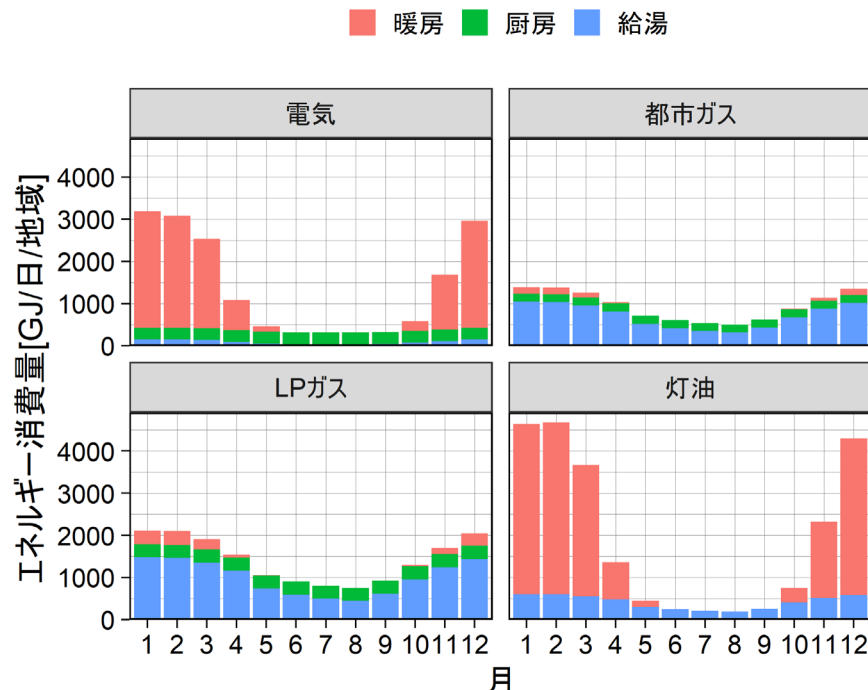


日本ガス協会ウェブサイト:
一般ガス導管事業者供給エリ
ア(市区町村レベル)から作成

群馬県を対象とした地域毎のエネルギー消費量の試算



1日あたりのエネルギー消費量
(市町村合計値、年平均、代表用途・熱源)



1日あたりのエネルギー消費量
(群馬県前橋市の月別推移)

計算結果の簡易ビューアの開発

大項目	中項目	表示・出力項目
地域情報	世帯数	地域合計/密度
	延床面積	世帯あたり平均
	人数	世帯当たり平均/単独世帯割合
	住宅種別	戸建住宅率
消費量	用途種別	暖房・給湯・厨房
	熱源種別	電気・都市ガス・LPガス・灯油
	表示単位	世帯あたり/地域計/面積あたり/利用率
	対象月	年平均/各月

