

- 高橋 若菜
- 歌川 学
- 三宅 徹治
- 今出 善久
- Bernadett Kiss
- 張 喬
- 山崎 彩貴
- 楊 寒 編



カーボンニュートラルな 栃木県をめざして

～日本の盲点・エネルギー効率改善を考える～

**Center for the
Multicultural
Public
Sphere**

Working Paper 2022 No.5

はじめに

現在、地球温暖化による気候変動の進行とその影響の深刻さは、報道や災害の発生などで栃木県内でも身近に感じるようになってきています。地球温暖化の主要な原因とされる温室効果ガス、特に二酸化炭素の削減が急がれています。そこで昨年3月に「宇都宮の持続可能なエネルギー」という冊子で、宇都宮市には二酸化炭素を排出しない再生可能エネルギーに高いポテンシャルがあるが十分活用されていないことについて報告したところです。

一方、栃木県では昨年3月に「2050年カーボンニュートラル実現に向けたロードマップ」が策定されました。また、県内では宇都宮市が9月に「宇都宮市カーボンニュートラルロードマップ」、那須塩原市では3月「那須塩原市気候変動対策計画」などが策定され、カーボンニュートラル実現のためのより具体的な道筋が示されてきているところです。さらに11月には環境省が進めている脱炭素先行地域に宇都宮市と那須塩原市が選定され、その先行的な取組みが認められました。

本報告書は、これらの栃木県および宇都宮市のロードマップと那須塩原市の気候変動対策計画を、宇都宮大学国際学部の学生たちが主体的に読み解き、異なる分野の専門知を持つ宇都宮大学の教員、NPOメンバーや産業総合研究所の専門家と協働しながら、主にエネルギー効率改善の観点からの検討と提言をまとめたものです。シナリオ計算では、省エネや再エネの既存技術でカーボンニュートラルを達成できることが判明しました。とりわけ、建物の断熱性能の向上を含む省エネ対策、再エネ熱、都市緑化のさらなる活用に、高い可能性があります。これらの多くは、ロードマップでは見逃されていますが、県内全体を通して有効な提言といえるでしょう。ここで重要なのは、省エネ・再エネ設備などのハード的な対策のみではなく、対策推進を後押しするための積極的な情報提供の仕組みや補助金制度の整備などソフト的な対策を両輪で進めることです。さらに、それらを後押しするための情報の可視化や意思決定への参画も大切です。行政、事業者、市民が協働してカーボンニュートラルに取り組めるようにするうえで、必須といえるでしょう。

この報告書がカーボンニュートラルの達成に少しでも参考となれば幸いです。

NPO 法人うつのみや環境行動フォーラム
再生可能エネルギー部会 今出善久

謝辞

本報告書は、「地方都市のカーボンニュートラル移行戦略とガバナンスに関する社会共創型国際・学際的研究～スウェーデンのモデルケースからの栃木への考察」プロジェクトの一環で執筆されたものです。このプロジェクトは、カーボンニュートラルに向けて苦心する日本の地方都市を応援することを目的として、宇都宮大学とルンド大学の研究者と大学院生、外部専門家、NPO 法人、および行政や各種団体との幅広いパートナーシップを通じて行われている、研究・教育・社会貢献の三位一体型のプロジェクトです。

研究の全体構想は、高橋若菜（宇都宮大学国際学部教授）が Bernadett Kiss（ルンド大学講師）との緊密な連携により行いました。CN シナリオ検証は、歌川学（産業技術総合研究所主任研究員）が主導しました。三宅徹治（NPO 法人うつのみや環境行動フォーラム再生可能エネルギー部会）、今出善久（同左、エネルギー管理士）はエネルギーに関連する知見の提供や社会実験の設計の協力・実施を行いました。また、宇都宮大学の地域デザイン学部の大森宣暁教授（交通工学）、共同教育学部の瀧本家康助教（気候学）にもインタビューや講義を引き受けいただきました。

教育との融合については、ルンド大学側では、国際産業環境経済研究所環境管理・政策修士コースの「Sustainability Solution in Context (SSC)」モジュール（Håkan Rodhe 博士 主担当、Bernadett Kiss 博士アドバイザー、Adriana Fernández、Azusa Lindwall, Maëlle Soulis, Silvia Kim）が関わりました。宇都宮大学側では、国際学部専門科目の「地球環境政策論」、「環境と国際協力演習」、および地域創生科学研究科の「環境問題とガバナンス」（いずれも高橋若菜教員）の各受講生たちが関わりました。

社会との共創については、宇都宮市環境政策課、栃木県環境森林部気候変動対策課、NPO 法人うつのみや環境行動フォーラム、一般社団法人日本野鳥の会等と協働しました。国際ワークショップには宇都宮市環境政策課課長の武田勝行様、同課の中村瑠美様、栃木県環境森林部気候変動対策課課長補佐の高嶋英機様、(公財) 日本野鳥の会理事長、NPO 法人オオタカ保護基金代表の遠藤孝一様にご登壇いただきました。

フィールド調査では、那須塩原市気候変動対策局気候変動対策課課長の相楽尚志様、平山遼様、水土里ネット、那須野ヶ原土地改良区連合専務理事の星野恵美子様、栃木県気候変動対策課カーボンニュートラル推進担当の田中晴隆様にも大変お世話になりました。

本報告書は、令和4年度栃木県大学地域連携事業「宇都宮市のローカル SDGs 情報可視化・応援プロジェクト」(=UU3S プロジェクト) の活動の一環であり、栃木県、日本学術振興会科学研究費補助金 (18KT0001)、宇都宮大学基盤的教育研究費から助成を受けて作成することができました。また本プロジェクトは、2023年3月15日、日本経済新聞社による「NIKKEI 脱炭素アワード 2022」の研究部門の奨励賞をいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

宇都宮大学国際学部教授
高橋若菜

目次

はじめに	1
謝辞	2
目次	3
図表目次	5
略語一覧	7
用語一覧	9
1. カーボンニュートラルと本報告書の目的	11
1.1 はじめに～気候危機とカーボンニュートラルへ向かう世界と日本	11
1.2 地方都市への着目と本報告書のねらい	12
1.3 研究の方法	13
1.4 本研究のねらい	14
2. 栃木県、宇都宮市、那須塩原市のシナリオ	19
2.1 はじめに	19
2.2 CO ₂ 排出量	19
2.3 カーボンニュートラルに向けた計画と取り組み	21
2.4 各分野のポテンシャル	26
2.5 まとめ	30
3. 省エネ・断熱	32
3.1 はじめに	32
3.2 断熱性能について	32
3.3 断熱と健康	34
3.4 省エネ・断熱のための提案	37
3.5 おわりに	43
4. 再エネ熱	45
4.1 はじめに	45
4.2 仕組み	45
4.3 効果	46
4.4 現状とポテンシャル	49
4.5 地中熱フィールドワーク	53
4.6 導入を妨げる課題	54
4.7 再エネ熱普及のための効果的な政策・対策	55
4.8 おわりに	57
5. NbS	58
5.1. はじめに	58

5.2	宇都宮市の緑地の現状.....	59
5.3.	提案① 屋上緑化.....	60
5.4.	提案② 敷地緑化.....	61
5.5.	提案③ 路面緑化.....	64
5.6.	提案④ 駐車場緑化.....	66
5.7.	NbS を求める声.....	68
5.8.	おわりに.....	69
6.	考察と提言.....	71
6.1	栃木県、宇都宮市、那須塩原市のシナリオ.....	71
6.2	省エネ・断熱.....	72
6.3	再エネ熱.....	72
6.4	NbS（自然に根ざした解決策）.....	73
6.5	まとめ.....	74
	おわりに.....	75
	参考文献.....	76

図表目次

図 1.2	先進各国と日本・栃木県・宇都宮市の CO ₂ 排出削減率（1990～2021）	11
図 1.1	一人当たりの CO ₂ 排出量の推移（1947 年～2021 年）	11
図 2.1	栃木県（2018）：CO ₂ 排出量(万 t) エネルギー由来 1,478 万トンの内訳	20
図 2.2	宇都宮市（2019）：CO ₂ 排出量(万 t) エネルギー由来 353 万トンの内訳	20
図 2.3	那須塩原市（2019）：CO ₂ 排出量(千 t) エネルギー由来 796 千トンの内訳	21
図 2.4	栃木県 CO ₂ 排出削減目標	22
図 2.5	宇都宮市温室効果ガス削減目標	24
図 2.6	那須塩原市の各部門の排出目標	25
表 2.1	各再エネの導入目標	26
図 2.7	栃木県における最終エネルギー消費量削減のシナリオ	28
図 2.8	栃木県における CO ₂ 削減のシナリオ	28
図 2.9	宇都宮市における最終エネルギー消費量削減のシナリオ	29
図 2.10	宇都宮市における CO ₂ 削減のシナリオ	29
図 2.11	那須塩原市における最終エネルギー消費量削減のシナリオ	29
図 2.12	那須塩原市における CO ₂ 削減のシナリオ	30
図 3.1	断熱地域区分	32
図 3.2	住宅の外皮平均熱貫流率（UA 値）基準の国際比較	33
図 3.3	住宅の断熱化と居住者の健康への影響に関する全国調査	34
図 3.4	住宅の断熱化と居住者の健康への影響に関する全国調査	35
図 3.5	東日本の冬季死亡増加率	36
図 3.6	住宅省エネ 2023 キャンペーンサイト	37
図 3.7	鳥取県における自治体独自の断熱基準設定事例	39
図 3.8	アプリ「Energikollen」	40
図 3.9	とちぎ省エネ家電購入応援キャンペーン	42
図 4.1	「液体式ソーラーシステム」のイメージ	45
図 4.2	「太陽熱温水器」のイメージ	45
図 4.3	ヒートポンプシステム	46
図 4.4	空気熱源ヒートポンプのイメージ	47
図 4.5	安定した地中温度を利用するメリット	48
図 4.6	CO ₂ 排出削減量の試算例	48
図 4.7	ランニングコストの試算例	49
図 4.8	栃木県の再エネ熱の導入ポテンシャル	49
図 4.9	宇都宮市の再エネ熱の導入ポテンシャル	50
図 4.10	那須塩原市の再エネ熱の導入ポテンシャル	50

図 4.11	中国の一般家庭のバルコニーで太陽熱システムが設置された様子	51
図 4.12	スウェーデンの一般家庭の庭で地中熱ヒートポンプの設置を行っている様子	51
図 4.13	島根県邑南町地中熱融雪設備の融雪状況（左）と瑞穂駐車場で地中熱設備を導入した後の様子（右）	52
図 4.14	宇都宮市大谷町にある地中熱を使ったいちごハウス（左）と宇都宮駅東口にある宇都宮シンフォニー病院の様子（右）	52
図 4.15	「ユウケイ武道館」館内と採熱管の様子	53
図 5.1	NbS イメージ図	58
表 5.1	宇都宮市の緑被率・緑視率・緑地率の比較	59
図 5.2	屋上緑化による省エネ効果	61
図 5.3	日なたと日陰の温度差	62
図 5.4	雨庭イメージ図	63
図 5.5	緑の少ない宇都宮市中心部の航空写真	64
図 5.6	鹿児島市電外観	64
図 5.7	緑化の事前と事後の温度差	65
図 5.8	LRT 導入ルート	66
図 5.10	「京のみどりの駐車場パートナー」で作られたみどりの駐車場	68
図 5.11	緑への満足度	68
表 5.1	第2次宇都宮市緑の基本計画の目標達成状況	69
図 5.13	京都市役所分庁舎 壁面緑化の様子	70

略語一覧

略語	概説
CO ₂	Carbon Dioxide 二酸化炭素：温室効果ガスの一種で地球温暖化の主な原因の一つとされている。
COP	Coefficient of Performance 成績係数：エアコンなどのエネルギー消費効率を表す指標の一つで、消費エネルギーに対する施される冷房、または暖房エネルギーとの比率。数値が大きいほど効率が高い
CN	Carbon Neutral カーボンニュートラル（用語参照）
EU	European Union 欧州連合
GDP	Gross Domestic Product 国内総生産
IUCN	International Union for Conservation of Nature 国際自然保護連合: 1948年に世界的な協力関係のもと設立された、国家、政府機関、非政府機関で構成される国際的な自然保護ネットワーク
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change 気候変動に関する政府間パネル: 人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988年に国連環境計画（UNEP）と世界気象機関（WMO）により設立された組織
LED	Light Emitting Diode 発光ダイオード：半導体の一種でエネルギー消費が少ない光源
LRT	Light Rail Transit 次世代型路面電車システム：各種交通との連携や低床式車両（LRV）の活用、軌道・停留場の改良による乗降の容易性などの面で優れた特徴がある次世代の交通システム
LP ガス	Liquefied Petroleum Gas 液化石油ガス：気体燃料であるプロパンやブタンなどを液化したもの。プロパンガスはLPガスの一種
NbS	Nature-based Solutions 自然に根ざした解決策：社会課題に効果的かつ順応的に対処し、人間の幸福と生物多様性による恩恵を同時にもたらし、自然の、そして人為的に改変された生態系の保護、持続可能な管理、回復のための行動
QOL	Quality of life 生活の質、私たちが生きる上での満足度をあらわす指標のひとつ
UA 値	外皮平均熱還流率（ユーエイ値）：住宅の内部から床、外壁、屋根（天井）や開口部などを通過して外部へ逃げる熱量を外皮全体で平均した値。数値が小さいほど熱の出入りが少なく、断熱性能が高い
ZEB	net Zero Energy Building ネット・ゼロ・エネルギー・ビルディング（ゼブ）：外皮の高断熱化及び高効率な省エネルギー設備を備え、再生可能エネルギー等により年間の一次エネルギー消費量が正味ゼロまたはマイナスの建築物

ZEH	net Zero Energy House ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス（ゼッチ）：外皮の高断熱化及び高効率な省エネルギー設備を備え、再生可能エネルギー等により年間の一次エネルギー消費量が正味ゼロまたはマイナスの住宅
再エネ	再生可能エネルギー：太陽・地球物理学的・生物学的な源に由来し、自然界によって利用する以上の速度で補充されるエネルギー全般（IPCC の定義による）。「太陽光」「風力」「水力」「地熱」「太陽熱」「大気中の熱その他の自然界に存する熱」「バイオマス」など
再エネ熱	再生可能エネルギー熱：非化石エネルギー減で、自然界に存在する熱エネルギー。例えば：地中熱、太陽熱、温泉熱、バイオマスなどが含まれる
省エネ	省エネルギー：同じ社会的・経済的効果をより少ないエネルギーで得られるようにすること

用語一覧

用語	概説
アクション リサーチ	研究者と個々の問題の当事者が、問題のメカニズムや解決策を、実践→研究→実践というように表裏一体をなして循環的に進め、得られた知見を社会に還元し現状を改善することを目的とした、実践的研究である
エネルギー 効率	投入したエネルギーに対して、回収（利用）できるエネルギーとの比を指す
エネルギー 効率の改善	得られるサービスの質や量を変えずにエネルギー使用量を減らし、エネルギー効率の向上を図ることをさす。狭義には、空調や照明、生産設備に省エネ機器を利用することを指す。広義には、省エネ機器の利用に加え、施設運営の工夫やエネルギー効率のよい再エネの利用などを進めることなどを含む。本報告書では、広義の解釈を用いる
ガバナンス	公的あるいは私的な諸個人や諸機関が、共通の事柄を管理する方法の総和である。それは継続的なプロセスであり、そのプロセスを通して、対立するもしくは多様な利害が調整され、協力的行動がとられうる。それは履行を強制できる公的制度やレジームを含み、また人々や諸機関が合意したか、あるいは利益になるとする非公式のアレンジメントを含む
カーボンバ ジェット	地球温暖化による気温上昇をある一定の数値に抑えようとした場合、その数値に達するまでにあとどのくらい二酸化炭素を排出しても良いか、という「上限」を表す
カーボンニ ュートラル	二酸化炭素をはじめとする人為的な温室効果ガスの「排出量」から、植林、森林管理などによる「吸収量」を差し引いて、合計を実質的にゼロにすること
クリティカ ル・シンキ ング	物事や情報を無批判に受け入れるのではなく、多様な角度から検討し、「マイサイド・バイアス（自分の信念が正しいとってしまうこと）」に陥らずに、本質を見抜き、論理的・客観的に理解するような思考方法
ジェンダー	生物学的な性別（sex）に対して、社会的・文化的につくられる性別のこと
多文化公共 圏	年齢やジェンダー、宗教や言語、職業、国籍などを問わず、多様な人々が、自由闊達に議論し合意形成を行うことができる場所
断熱	熱が伝わりにくく、逃げにくくすること。住宅においては建物の内側や外側に断熱材を施工する。また、熱損失が最も多いのは窓であり、窓の断熱は非常に効果的とされる。
デカップリ ング	Decoupling 分離：温室効果ガスの排出やエネルギー消費などの環境負荷の削減と経済成長が両立すること

モバイルラボ	異なる専門分野の学際的研究者グループが、地域の文脈の中で現象とその論争を研究する研究手法であり、準備や議論、データ収集・分析、フィールドワークの実施、その後のまとめまでを共同プロセスで行っていくものである。
--------	---

1.カーボンニュートラルと本報告書の目的

1.1 はじめに～気候危機とカーボンニュートラルへ向かう世界と日本

2021年、IPCCは近年急速に進む温暖化は、人間の活動によるものと断定した（IPCC、2021）。森林火災、干ばつ、豪雨、水害など地球温暖化による気候変動の様々な事象は、すでに世界中で頻発している。2022年は、パキスタンの国土の三分の一が水害の被害に遭うという甚大な被害もあったことは広く報道されている。今後温暖化が進めばその悪影響は、さらに激化し、極めて深刻になると科学的に予測されている。深刻な気候危機を目前に、2015年には、パリ協定が採択された。気温上昇を1.5度に抑えるべく、各国が目標を設定し定期的に見直すことを世界各国が合意した。そのために世界が排出できるCO₂量（＝カーボンバジェット）は、2018年時点の試算は残り10年程度ともされた。しかしながら、その後も世界全体として、急速な排出削減が進んだわけではない。2022年、IPCCは「閉じゆく窓」という報告書を公表し（UNEP, 2022）、国連グレイテス事務局総長は、「人類には選択肢があるが、協力するか減びるかだ」と警告した。とりわけ、一人当たりの排出量が多い国々は、特別な責任を負っているとされる。

ではどの国がより重い責任を持っているのであろうか。2019年の世界のCO₂排

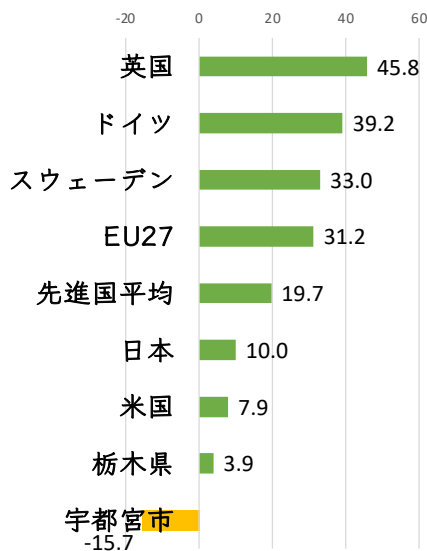


図 1.2 先進各国と日本・栃木県・宇都宮市のCO₂排出削減率（1990～2021）

出典:Our World in Data based on the Global Carbon Project (2022) および栃木県・宇都宮市各種データより作成

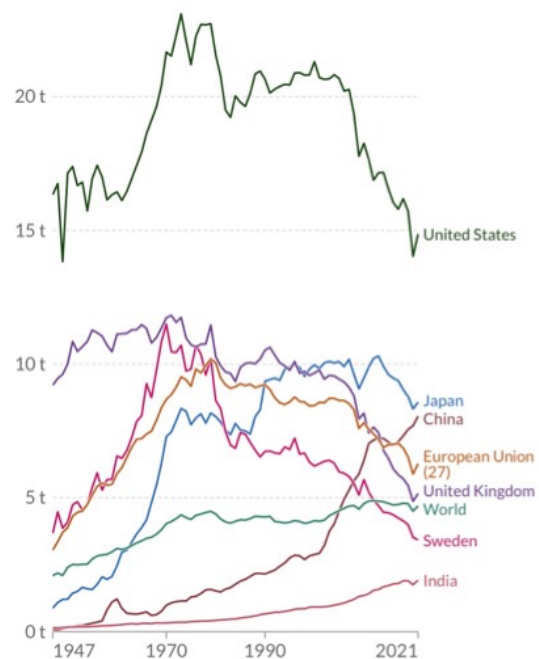


図 1.1 一人当たりのCO₂排出量の推移（1947年～2021年）

出典:Our World in Data based on the Global Carbon Project (2022)

排出量は、国別で言うと1位は中国、2位はアメ

リカとなる。一方、一人当たりの排出量でいうと順位は変わる。図 1.1 が示す通りアメリカが歴史的にずっと高どまりし、近年減少しつつあるが 2021 年も 14.86t である。それよりは少ないが、日本も先進各国の中では比較的に多く、2010 年代に入り少し下がったとはいえ、2019 年で 8.57t である。ここに 1995 年では世界平均を下回っていた中国 (8.05t) が近づいている。他方、1990 年時点では 9.24t と、日本 (9.36t) とほぼ同程度であった EU は、この 20 年ほどで順調に減らし続け、2019 年は 6.28t と中国と逆転した。なお、1970 年代から CO₂ 排出削減が始まり、1990 年時点で、現在の EU と変わらない 6.74t まで減らしていたスウェーデンは、その後 30 年でさらに削減を進め、2021 年には一人当たりの CO₂ 排出量は 3.42t と、世界平均の 4.4t をも下回り、順調に下がり続けている。

図 1.2 は、京都議定書の基準年である 1990 年から 2021 年 (栃木県は 2018 年) までの、先進各国と日本・宇都宮市の CO₂ 排出削減率を示したものである。英国は 45.8%、ドイツは 39.2%、スウェーデンは 33.0%、EU 諸国では 31.2% などと順調に削減が進んでいることが読み取れる。これらの国々では、GDP 成長は続いていることから、経済と環境のでカップリングが生じているといえる。

他方、先進各国に比べて、日本は下げ止まりにある。とりわけ栃木県は削減割合が 3.9% と低く、宇都宮市に至っては 15.7% 増加している。実は日本は、70 年代から 80 年代にかけて省エネが大幅に進み、GDP の成長も続いていた。世界よりデカップリングが先んじて始まった日本は、当時は環境先進国と言われた。しかし、失われた 30 年と言われる近年は、経済が低迷しただけでなく温室効果ガス削減も進まなかったのである。

1.2 地方都市への着目と本報告書のねらい

2015 年にパリ協定が採択され、批准をした日本政府は 2030 年に温室効果ガスを 2013 年比 46% 減という目標を掲げた (環境省、2021)。これに伴い、各自治体は、それぞれにカーボンニュートラルに向けて取り組むことを求められるようになった。自治体といっても、規模はそれぞれである。日本の大都市は、人口や産業、富が集積し、温室効果ガスの排出量も多く環境負荷が高い一方、カーボンニュートラル (CN) への変革のための情報や知識、人材や資金も集積している。東京都が太陽光発電を新規住宅に義務付けたように、地域独自の取り組みを進めることができるだけのキャパシティを有している。

一方、CN 戦略形成にせまられているのは、地方都市も同様である。日本における人口の約 68% は、人口 50 万以下の都市に居住し、温室効果ガスの大きな排出源ともなっている。地方都市の多くは、車依存が高く運輸部門を中心に排出も多い。人口減少が続き、産業・業務・家庭部門全般に渡り、インフラの老朽化が進んでいるケースも多く、エネルギー効率も相対的に低い。未利用エネルギーのポテンシャルは高く、言い換えれば、削減ポテンシャルも高い。その一方で、暑熱環境の悪化、洪水など災害の頻度も増しており、気候変動適応への圧力も増している。

このような背景のもと、2020 年代に入り、CN 宣言を行う地方自治体が増加している。

2023年2月28日時点では、45都道府県にわたり871自治体が表明し、栃木県および県内の13市町が含まれる（環境省、2023）。これらの多くは2030年50%程度の削減目標を掲げ、ロードマップの策定などにも着手している。先駆的な取組を行う一部自治体も登場している一方で、情報や知識、財源等が不足している自治体も少なくない。CNに向けての削減オプションは限定的で、市民や事業者等へさらなる削減を呼びかけるものの、実現性は高くなく、計画作りに苦心している都市も多い。また、メガソーラーに代表されるように、CNをめざして導入された再エネが自然環境の破壊につながるようなケースも多発しており、地域発展と齟齬があるケースも少なくない。以上を踏まえると、地方都市におけるCNへの移行を戦略的に考案することは、喫緊の課題であり、重要性も高い。

環境省は脱炭素先行地域事業に着手し、選定された先行都市に交付金を供与し「実行の脱炭素ドミノ」のモデルを目指している。これまで（2023年3月まで）に2回選定が行われ、栃木県からは、宇都宮市・芳賀町、那須塩原市が選定された（環境省、2022）。2022年11月までに同事業に選定された46自治体のほとんどは、2050年CN、2030年目標は半減に設定している。

一方世界に目を向けると、より意欲的な目標設定をする国や地域もある。EUでは、100都市が「2030年までに気候ニュートラル・スマートシティ」を目指している。気候・人口規模や産業構成も社会インフラも多様な100都市が、2030年までに気候ニュートラル・スマートシティを達成させ、2050年までに欧州の全てが追随できるような実験・イノベーションの拠点となることを目指すものである（EU, 2022）。日本よりも20年前倒しでCNを達成させようとするこのような先駆的事例から、我々はいかに学び、日本の地方都市の文脈に沿った方法でCNへの持続可能な移行を達成させられるだろうか。

こうした問題関心をもとに、本研究では、CNに向けて順調に移行を遂げているスウェーデン南部のモデルケースを参考として、栃木県におけるCN移行戦略と、持続可能で実効性があるCN移行戦略を生み出すためのガバナンスのありようについて検討することを目的とした。

1.3 研究の方法

日本の地方都市のCNへの持続可能な移行を追求する上で、本研究が重視しているのが、モバイルラボであり多文化公共圏を通じたアクションリサーチ（社会実験を伴う実践的研究）である。

- ・モバイルラボとは？：異なる専門分野の学際的研究者グループが、地域の文脈の中で現象とその論争を研究する研究手法であり、準備や議論、データ収集・分析、フィールドワークの実施、その後のまとめまでを共同プロセスで行っていくものである。個々の研究者の研究経験や、他のステークホルダー（市民、行政等）の個人的・組織的な経験は、研究対象への理解の深さを伴う。一方で、チーム活動としてのモバイルラボは、チームの結束を高め、研究者自身による研究対象の理解を継続的に向上させながら、互いに学

び経験を交換し、共通の価値を見出し、あるいは理解を促進させるプラットフォームを提供する。このような異分野交流は、学問的・文化的な隔たりを越える上でも重要な経験となる (Kiss and Salk, 2021)。

- ・多文化公共圏とは？：気候危機をはじめとする諸課題への対応には、国家や自治体、企業などによる事業の推進もさることながら、多様な立場の当事者や支援者の方々の「横社会への連携」が大切になる。異なる出自、世代、ジェンダーを含め、多様な人々や文化の交流は、他者への尊厳と寛容性を育む効果を有する。「多文化公共圏」とは年齢やジェンダー、宗教や言語、職業、国籍などを問わず、多様な人々が、自由闊達に議論し合意形成を行うことができる場所であり、世界中のどこにでも形成しうる (高橋、2023)。
- ・アクションリサーチとは？：研究者と個々の問題の当事者が、問題のメカニズムや解決策を、実践→研究→実践というように表裏一体をなして循環的に進め、得られた知見を社会に還元し現状を改善することを目的とした、実践的研究である (レヴィン、2017)。本研究においては、研究者・NPO・大学・行政担当者・政治家・企業や業界団体、市民、子どもや保護者等多様なアクターが、年齢やジェンダー、所属等にとらわれず協働できる多文化公共圏を設け、社会的アクターへのインタビュー、幅広いステークホルダー間のワークショップと主要なアクターによるプレゼンテーション、議論、アンケートの実施とその解析内容をめぐるさらなる議論の実施などを循環的に進め、多様な次元での熟議を巻き起こす。

一連のモバイルラボおよび多文化公共圏を通じたアクションリサーチを実施することで、現実と乖離せず、遠く離れた地域の個別事象が互いに関連付けられ理解される。共通性や相違点について適切に認識をしたうえで、その地域にあった文脈で異なる方法で CN 戦略を適用することが可能となる。

なお、本研究では、CN という目標をそれ単体として捉えるのではなく、SDGs のいずれかと齟齬がなく逆に相乗効果があるような、持続可能な変革を強く意識している。この志向に即して重点を置く考え方は、①分野横断型、②需要主導型である。CN を単なる個別技術の積み上げとして理解するのではなく、③既存の取組間のシナジー効果や、④多様な主体の幅広い連携、など社会的な文脈を意識し全体性や構造を重視している。

1.4 本研究のねらい

以上の目的に照らし合わせて、本研究では、以下のフェーズで進めているところである。

フェーズ1 「宇都宮の持続可能なエネルギー～驚きの再生可能エネルギーのポテンシャル報告書」(2021年10月～2022年3月、2022年3月公表、8月改訂)



宇都宮市がカーボンニュートラルを達成するうえで鍵となるのが、持続可能なエネルギーである。そこで、NPO 法人うつのみ

や環境行動フォーラム再エネ部会が、宇都宮で初めての「持続可能なエネルギー」報告書を作りたいと高橋研究室に持ちかけ、2021年度「地球環境政策論」「環境と国際協力演習」をベースとしてプロジェクトが開始された。必ずしもエネルギー工学について専門的に学んできていない学生たちが、再エネとはどういうものか、から調査をはじめ、地元の事業者や研究者などの専門家や NPO 法人との意見交換や実地見学を通して、市民目線でまとめた。

具体的には、幅広い社会共創のもと、公的データを解析し、世界や日本、栃木県や宇都宮市の再エネ利用割合や、そのポテンシャルを可視化した。その結果、再エネは太陽光発電に限らず、太陽熱、風力、水力・小水力、バイオ、地熱、地中熱など多くの種類が身近にあること、それは驚くほどポテンシャルが高いにもかかわらず活用されていないことが判明した。一方で、再エネの前に省エネもポテンシャルが高く、経済的にも合理的であると明らかにされた。2022年度は、2021年度末に作成した「宇大生と NPO が考えた宇都宮の持続可能なエネルギー」報告書の発信にも努めた。

報告書を外部に発信した 2022 年 4 月 19 日の多文化公共圏フォーラムには、行政や専門家も含め多くの来場があった。報告書は行政や宇都宮市長にも提出し、3C キッズカレッジや宇都宮市環境大学においても活用された。宇都宮市長からは丁寧なお礼の手紙があり、メディアでも重ねて取り上げられ、栃木県議会でも本報告書の内容が質疑応答で言及されるなど、大きな反響を得た。同時に、省エネや再エネを実装化していくために、さらに調査をしてほしいという要望も、幅広い市民や行政・政治家の方々からも受けた。

フェーズ2 「カーボンフリーの快適な都市をめざして～スウェーデンのモデルケースから宇都宮市への考察」: 2022年9月～11月、翻訳版をあわせて2023年2月報告書を公表

2022年8月、3年ぶりにスウェーデンにて現地調査を行った高橋が、欧州の地方都市が押し並べてカーボンニュートラルに向けて、大きな変革を遂げている様子に衝撃を受けていたところ、ルンド大学から、日本の地方都市を顧客に、カーボンニュートラルにむけての戦略策定プロジェクトを共にしないかというお誘いがあった。これをきっかけとして、宇都宮大学とルンド大学が協力する形で、ルンド大学の大学院生たちが、顧客となる宇都宮市の

カーボンニュートラルの地域戦略について提言を行なった。具体的には、以下の手順で進めた：

- ① ルンド大学大学院生たちは、文献調査やインタビュー調査などを通じて宇都宮市のCN戦略の特徴を踏まえた上で、スウェーデンのベンチマーク自治体で採用されているCN戦略・施策のうち、宇都宮市の参考となりそうな先進的な事例をモバイル・ラボを通じて調べ、多文化公共圏フォーラム（宇都宮市、大学、NPO、市民団体・市民等が参加）を通じて議論を行う。
- ② 多文化公共圏フォーラムでの議論や、その他の宇都宮市のステークホルダーへのインタビュー等を踏まえた上で、スウェーデンのCN戦略の宇都宮市への移転可能性について、提言を行う。

この内容は、「Carbon-Free Utsunomiya-Building a Cleaner City: Insights from Swedish Model Cases（カーボンフリーの快適な都市をめざして～スウェーデンのモデルケースから宇都宮市への考察）」という報告書としてまとめられ、日本語（仮訳）をつけて公開されている。

同報告書では、モビリティ、エネルギー効率、気候への適応（自然に根ざした解決策：NbS）、産業と企業の連携について、それぞれ参考になりそうな取り組みの具体例が紹介されている。とりわけモビリティやNbSについては、人口30万人のハード面ソフト面について、イノベティブな施策が含まれる。これらの施策の移転可能性を、宇都宮大主催の社会共創型ワークショップ（多文化公共圏フォーラム）で検証したところ、全体に好意的に受け止められた。

一方で、同報告書において、日本の盲点として指摘されたのが、エネルギー効率改善であった。ルンド市における断熱などのエネルギー効率改善プロジェクトや、ヨーテボリの河川冷熱を使った地域冷房システムなど、エネルギー効率がよい方策が複数紹介され、エネルギー効率の改善を進める利点が強調された。「宇都宮市では、発電に重点を置き、エネルギー効率をおろそかにしてきたようだ」として、より「意欲的な取り組み」を行うことが推奨された（Fernández et al,2022,p.23）。

さらに、スウェーデンで先進的な取り組みが成功している要因として、ガバナンスの重要性も示唆された。つまり、住民参加型のプロセスが、トップダウンとボトムアップの両者を通じて構築され、データの検証を通じて迅速に施策が展開されていったことが重要であると指摘された。このように「市民を巻き込み、継続的に対話を行うことは、市民のニーズや懸念を理解するだけでなく、市民がアイデアや解決策で貢献するためにも不可欠」という（Fernández et al,2022,p.30）。あらゆるタイプの住民にアプローチする重要性、特に高齢



化が進む宇都宮では高齢者の声を聞く重要性が強調された。

フェーズ3 「カーボンニュートラルな栃木県をめざして～日本の盲点・エネルギー効率改善を考える～」(本報告書：2023年3月公表)

フェーズ2におけるスウェーデン側からの提言では、上述の通り、日本の盲点はエネルギー効率とされた。これは、学生たちをはじめ本プロジェクトに関わる多くのメンバーも実感していたことであった。そこで、フェーズ3では、エネルギー効率改善をテーマとして、さらに深掘りをする事とした。

エネルギー効率改善と一口に言っても、多様であるが、本報告書では、3つのテーマを取り上げることとした。第一に、省エネ機器や断熱などのエネルギー効率改善である。栃木県は、夏は暑く、冬季の夜中や朝の冷え込みが強く、寒暖の差が大きい。いわゆる内陸性の気候である栃木県では、断熱はとりわけ重要である。また全般に施設や機器の老朽化が進んでいるが、その更新時にエネルギー効率のよいものに交換することは重要であろうと考えられる。そこで、断熱と省エネ機器に重点を置くこととした。

第二に、エネルギー効率が高い地産地消型の「再エネ熱」である。エネルギー需要のうち電気を利用するのは実は半分以下であり、熱は熱のまま利用の方が効率が高いことは自明である。加えて、冬季の日照時間が多い栃木県においては、太陽熱は大変有望であるし、地産地消の地中熱や地下水冷熱もポテンシャルが高いことがわかっている。このような再エネ熱は、日本全体での盲点と考え、とりわけ太陽熱と地中熱を中心に検討をすることとした。

第三に、NbS である。たとえば、地面をアスファルトで覆うのではなく芝生などのグリーンで覆えば、表面温度は大幅に下がる。あるいは屋上や壁面を緑化したり、高木で日陰を演出したりすれば、冷房エネルギー需要を減らすことができる。またアスファルトの多くは雨水を吸収できないが、NbS は雨水を吸収しゆっくり排出させる効果があるため、豪雨の頻度が増している近年、NbS は水害などの防災対策としても有効である。加えて、生物多様性の保全やコミュニティ形成など、NbS には多様な便益がある。このように、複合的な観点から便益が高い方策として、NbS も取り上げることとした。

以上に見たように、「省エネ・断熱」「再エネ熱」「NbS」の3分野に着目して、フェーズ3では、以下の手順を進めた：

- ① フェーズ2に参加した宇都宮大学の学生たちが、さらに、専門家による講義を聴講し、現地調査を重ねながら、栃木県や宇都宮市、那須塩原市のカーボンニュートラルロードマップの内容をクリティカルシンキングにより吟味する。その上で、エネルギー効率改善、すなわち「省エネ・断熱」「再エネ熱」「NbS」の3つを進めた場合の、2030年および2050年の削減効果を、産業総合研究所の歌川が提供するシナリオ計算に基づいて把握し、そのポテンシャルを提示する。さらに、「省エネ・断熱」「再エネ熱」「NbS」の意義や具体的な提案を行う。これらを多文化公共圏フォーラム(栃木県、宇都宮市、大学、

NPO、市民団体・市民等が参加)において発表し、幅広い参加者たちと議論を行う。

- ② 多文化公共圏フォーラムでの議論や、その他の専門家たちとの更なる協議を行った上で、スウェーデンの CN 戦略の宇都宮市への移転可能性について、提言を行い、報告書にまとめる。

それでは最後に、本報告書の構成を示しておくでしょう。はじめに、本章では、問題関心や目的、方法論を示した。続く第 2 章においては、栃木県、宇都宮市・那須塩原市のカーボンニュートラル施策の外形や、シナリオ分析を行い、「省エネ・断熱」「再エネ熱」「NbS」の 3 つを進めた場合の、2030 年および 2050 年の削減効果を示した。続く第 3 章では「省エネ・断熱」、第 4 章では「再エネ熱」、第 5 章では「NbS」を取り上げ、それぞれに現状やポテンシャルを整理した上で、具体的な提案も行っている。最後に第 6 章として、全体的な考察を行った。

2. 栃木県、宇都宮市、那須塩原市のシナリオ

2.1 はじめに

栃木県は2020年12月に「2050年までにカーボンニュートラル実現を目指す」ことを宣言し、2022年3月に「2050年カーボンニュートラル実現に向けたロードマップ」を策定した。本章では、『栃木県』と2022年に環境省が定める「脱炭素先行地域」に選出された『宇都宮市』、『那須塩原市』が策定するロードマップと資料をもとに、それぞれの現状（CO₂排出量）とシナリオ（カーボンニュートラルに向けた計画と取り組み）を分析したあと、再エネ、省エネ・断熱、再エネ熱、NbSの導入ポテンシャルを見ていく。

2.2 CO₂排出量

まず、それぞれの地域における現状について、CO₂排出量とその内訳から見ていく。CO₂の排出量にはエネルギー由来のものと非エネルギー由来のものが含まれる。エネルギー由来のものは燃料の燃焼や、他社から供給された電気または化石燃料の使用に伴い排出されているものを指す。非エネルギー由来のものは工業プロセスの化学反応や廃棄物の焼却、肥料の使用、家畜の飼育に伴い排出されているものを指す。本節では、全排出量の8~9割を占めるエネルギー由来のCO₂量を取りあげ、産業・交通・業務・家庭の4つの部門に着目して紹介する。

1) 栃木県

2018年度における栃木県のCO₂排出量の総量は1,744万トンであり、そのうちの約8割がエネルギー由来のものとなっている。産業が533万トンで3割を占めており、次に交通が436万トン、サービス・オフィスを目指す業務部門が257万トン、家庭分野で252万トンが排出されている。（図2.1）また電力と化石燃料の使用比率は同程度である。基準年度である2013年と比較すると、全体で10.4%の減少となっている。

産業分野の排出については、ものづくり県であるため、その9割を製造業が占め、その中でも栃木県内の約9,000の事業所の約2%にあたる大規模排出事業者(条例に基づく温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度の対象事業者で温室効果ガスを相当程度排出するもの)が全体の約8割を排出している。交通分野について、栃木県は全国有数の車社会となっており、人口百人あたりの自動車保有台数は68台で、全国2位の数値である。反対に乗合バス輸送量は10人¹であり、全国32位である。また自動車においても環境への負荷が大きいガソリン車が全体の約8割を占めており、バスやトラックも電動車はわずかである。電動車の利用者が増えないことに伴って、急速充電等のインフラ設備も整っていない。業務分野

¹ 人口一人当たり、年間10回程度利用することに相当する。

については、事業所等でのエネルギー別のCO₂排出割合は電力が8割を占め、新築ビルの省エネ基準適合義務化をおこなっているが、既存のビルについての適応はないため、部分的な省エネに留まっている。家庭分野についてはエネルギー別の排出割合は電力が7割を占めており、コロナ化に応じたテレワークの増加により、電力消費量の増加が懸念され、家庭でも自家で電力を生産し、その電気を消費することが推奨されている。

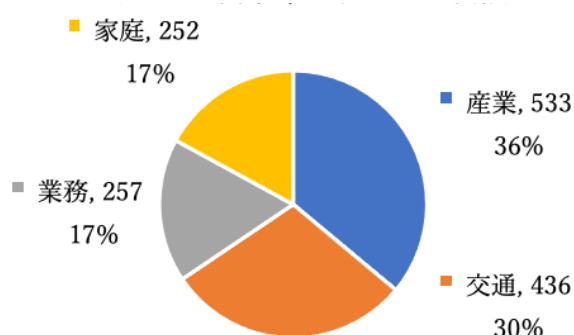


図 2.1 栃木県 (2018) :CO₂排出量(万 t) エネルギー由来 1,478 万トンの内訳

出典：栃木県 (2022.3) 『2050 年カーボンニュートラル実現に向けたロードマップ』より作成

2)宇都宮市

2019 年度における宇都宮市の CO₂排出量の総計は 359 万トンであり、そのうちの 8 割強がエネルギー由来のものとなっている。排出の多い部門順に産業・交通・業務・家庭であり、栃木県と同じような内訳になっている。(図 2.2) 2013 年度との比較では全体で 6.9%の減少となっている。特徴としては、やはり交通の部門での割合が高く移動手段のほとんどを自動車に依存していることが一因であると考えられる。

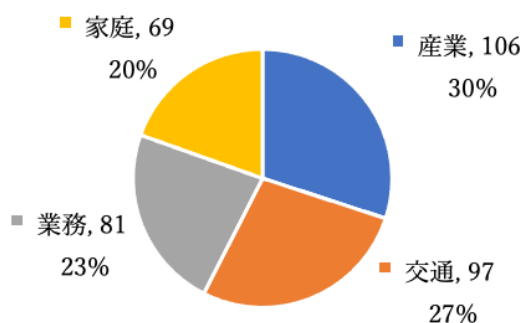


図 2.2 宇都宮市 (2019) :CO₂排出量(万 t) エネルギー由来 353 万トンの内訳

出典：宇都宮市 (2022.9) 『宇都宮市カーボンニュートラルロードマップ』より作成

3)那須塩原市

2019 年度における那須塩原市の CO₂排出量の総計は、908 千トンであり、そのうち約 9 割がエネルギー由来のもので、排出の多い部門は順に交通・産業・家庭・業務である。栃木

県や宇都宮市とは異なり、交通部門での排出が最も多くなっている。(図 2.3) 2013 年度と比較すると、全体で 1.7%ほどの減少となっているが、2013 年度では産業部門が最多であったのに対し、2019 年度では交通部門が最多となっており、構造の変化が見られた。

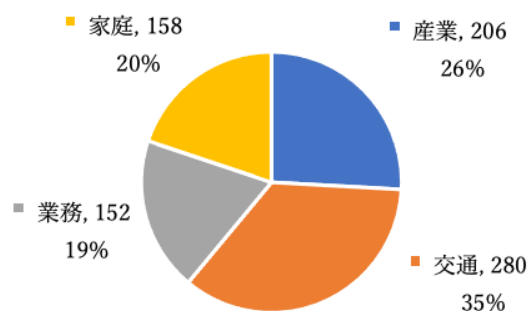


図 2.3 那須塩原市 (2019) :CO₂排出量(千 t) エネルギー由来 796 千トンの内訳

出典：那須塩原市 (2022.3)『那須塩原市 気候変動対策計画』より作成

2.3 カーボンニュートラルに向けた計画と取り組み

日本では 2021 年 10 月に、2013 年を基準年度として 2030 年には 46%削減し、2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、カーボンニュートラルを目指すことを閣議決定した。栃木県、宇都宮市、那須塩原市ではカーボンニュートラルに向けてどのような計画を立て、どのような取り組みを行っているのかを見ていく。

1) 栃木県

栃木県では分野別での排出量目標を定め、2013 年と比較して 2030 年には 50%削減し、2050 年でのカーボンニュートラルを目指している。2030 年までは既存技術の最大限活用により削減を行い、その後は革新的技術の実装によるさらなる削減をすることを目標としている。具体的には 2030 年において産業分野では 42%減、交通分野では 46%減、業務分野では 68%減、家庭分野では 72%減としている。(図 2.4)

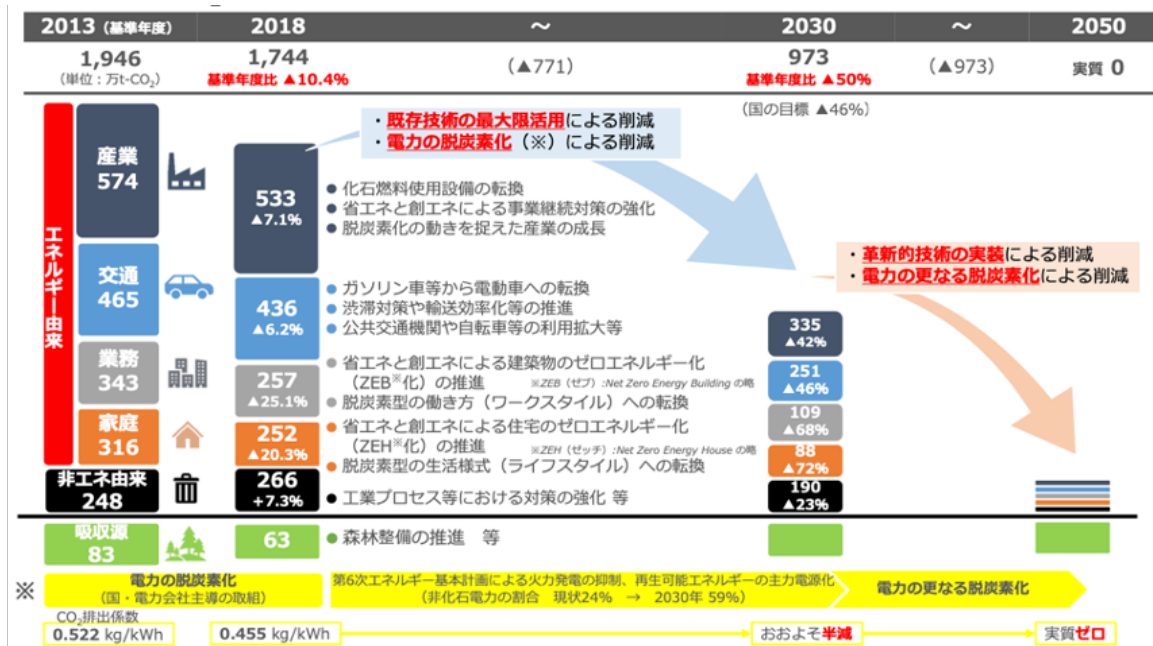


図 2.4 栃木県 CO₂排出削減目標

出典：栃木県（2022）

重点的な取り組みとして、①脱炭素社会に資する産業の創出や技術力の向上を図る、②促進地域を設定し再生可能エネルギーを最大限導入する、③先行モデル地域を創出する、④県庁内で率先して 2030 年度に 80%削減を目指す、の 4 つが挙げられている。

部門別で見ると、2030 年で 68%減と高い削減目標が設定されているのは業務部門であり、ZEB の推進、脱炭素型の働き方（ワークスタイル）が目指されている。その業務部門の削減の半数以上は「省エネ設備等の導入」「エネルギー転換」により達成されるものとされ、この鍵を握るのが、9.3 万もの事業者である。栃木県では 99.8%が中小企業とされ、これら「中小企業等の設備導入の促進」は重要である。しかしながら、これを具現化させるための対策はどれほど効果的かは慎重な吟味が必要である。例えば、栃木県では「脱炭素社会づくり促進事業(事業者向け補助金)」を中小企業向けに提供し、エネルギー効率の良い「ボイラー、工業炉、自家発電設備、照明設備、照明、空調、コージェネレーション設備」導入を促している。しかし、計画では対象事業者数は 20 件にとどまり、全体の事業者数の 0.02%しか実質的に支援を受けることができない。さらに支援上限は 100 万円（ボイラーは 300 万円）、自己負担率は 3 分の 2 にのぼるため、エネルギー診断士の今出は、中小企業のエネルギー診断の経験をもとに、より強いインセンティブが必要ではないかと述べている。

業務部門よりさらに、高い削減割合が設定されているのは、72%の家庭部門である。ここで強調されているのは、「断熱リフォームの促進」と「COOL CHOICE とちぎ県民運動の展開」であり、生活様式（ライフスタイル）の転換が促されている。しかし、「断熱リフォームの促進」については、栃木県では補助金はない。一方、省エネ機器の導入については、栃木県は、2023 年 2 月末まで、省エネ家電の購入でポイントを購入者に付与する「とちぎ

省エネ家電購入応援キャンペーン」を行っている。その予算規模は4億5,000万円であり3万円×1.5万人が想定されている。栃木県の人口は190万人であるため、全人口の0.8%が対象者となりうる。ただし、第3章で述べるように、その利用は限定的である。

次に、エネルギー効率の高い再エネ熱の利用について検証しておこう。栃木県のCNロードマップにおいては、「とちぎ再生可能エネルギーMAXプロジェクト」が展開され、水力、畜産バイオマス、木質バイオマス、太陽光など複数の再エネ利用を推奨する記述があるものの、業務部門の具体目標としてはビル等への太陽光発電導入の促進」が明記されているのみで、記述がない。同様に、家庭部門においても、「住宅への太陽光発電導入の促進」が明記されているのみで、再エネ熱利用推奨への言及はない。また「2022年度全国の地方自治体における地中熱に活用できる補助金・融資制度」(地中熱利用促進協会, 2022)によれば、27の都道府県と45の市町村で地中熱を対象とした補助金が設けられているものの、栃木県および県内の自治体では導入されていない。

NbSに関連しては「吸収源対策」の一環として、森林利用のプロセス「伐って・使って・植えて・育てる」を構築する取り組みとして、「とちぎ元気な森づくり」がある。とちぎ森づくり県民税を導入して森林整備を行おうとするものである。「都市部等における緑化」も「吸収源対策」の柱の一つに位置付けられており、「木の役割を再認識する機運の醸成」することが推奨されている。ただし、これらの対策が、NbSとして、防災などの適応策にも生物多様性保全にも重要であるというような言及はほとんどない。また、栃木県としては、都市部等の緑化の実装化に向けた具体的なインセンティブ政策は設けていない。

2)宇都宮市

宇都宮市では、栃木県とは異なり、産業、交通、業務、家庭部門などの部門別目標は公開されていないが、市民・事業者・行政の各主体が“我が事”として取り組むため、主体別の削減目標を設定している。そのキーワードとされたのが、「かえる・つくる・育てる」の3つのアクションである。これらの実践を通じ2030年に50%削減、具体的には市民は60%減、事業者は45%減、行政は75%減、2050年にカーボンニュートラルを目指すとされている(図2.5)。ここで強調されているのは、「脱炭素型ライフスタイルへの変革と一人ひとりの積極的・主体的な行動実践」であり、啓蒙的な政策が中心となっている。

重点的な取組としては、①LRTを活用した「スマート&ゼロカーボンムーブプロジェクト

ト)、②地域新電力を利用した「再生可能エネルギー最大限導入・活用プロジェクト」、③LRT 沿線からモデル地区を創出するまちづくりプロジェクトを定めている。これらは、市民の環境問題に対する意識改革を促進し、これまで

以上の再生可能エネルギーの普及や脱炭素モデル地区の創出などを目指そうとするものである。

一方、栃木県では削減目標割合が高かった業務・家庭部門における省エネに関しては、市民部門のなかで、「暮らしやすく、環境にやさしい住まい」をめざして、「新築・改修は ZEH や LCCM 住宅に、建築資材には地元産木材を活用して、外壁を断熱リフォーム、窓は二重窓に」、「照明は LED、給湯空調設備や電化製品は省エネ性能の高いものを」とするなど、「大胆にかえる」ことが推奨されている。宇都宮市では、「家庭におけるエネルギー消費量」を 2030 年までに 43%削減することをめざす。この目的に沿う政策として、都市整備部住宅政策課は、窓断熱や太陽熱温水器設置などの改修工事を含む「宇都宮市住宅改修補助制度」がある。しかし、この制度は、全世帯の 6 割（宇都宮市総合政策部政策審議室，2022）に当たる持ち家だけが対象となっており、たとえば賃貸アパートなどの 4 割の住民は対象外である。また持ち家世帯数は約 13 万世帯であるが、制度の対象となるのは年間 330 件と、対象世帯数の 0.25%にとどまり、さらに第 3 章で後述するように周知度も低い。

続いて、エネルギー効率の高い再エネ熱の利用については、上述の「宇都宮市住宅改修補助制度」において「太陽熱温水器設置」も対象と含まれている。しかし、地中熱などの再エネ熱については、上述の通り、宇都宮市でも、何らの補助金等は設置されていない。

NbS に関しては、緑化推進に向けた助成制度なども設けられているが、第 5 章で後述するように、その対象はごく一部の指定地域に限られており、地域全体での取組みとはなっていない。

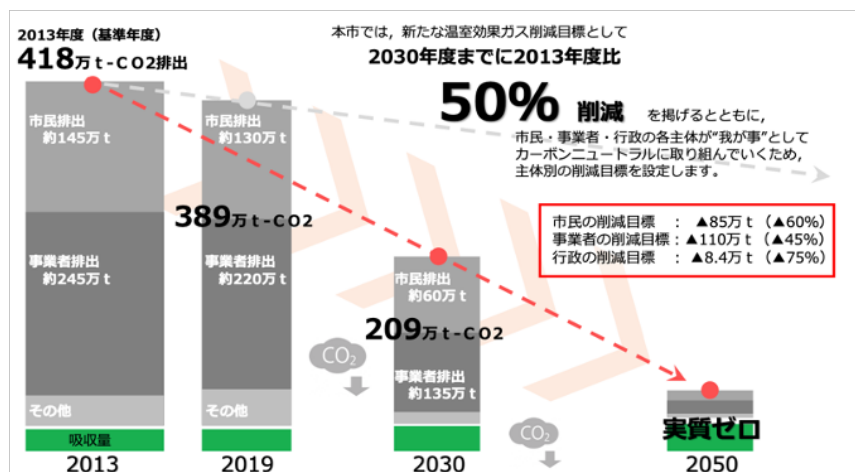


図 2.5 宇都宮市温室効果ガス削減目標

出典：宇都宮市（2022）

3)那須塩原市

那須塩原市では、2013年に「那須塩原市地球温暖化対策実行計画」を立て、2017年にその見直しを行った。また、2019年には国より1年早く「2050年CO₂排出量実質ゼロ宣言」を行い、2020年に気候変動対策局を設置し「那須塩原市気候変動適応計画」を策定した。

2022年には「那須塩原市気候変動対策計画」を策定し、「脱炭素先行地域」に選ばれた。2022年に出された計画では、産業、業務、家庭、運輸、廃棄物、農業の諸部門別での削減量の目標を定めており(図2.6)、2030年に50%削減、2050年にはカーボンニュートラルを目指している。このうち家庭部門は49%減、業務その他部門は57%減となっている。2030年に向け

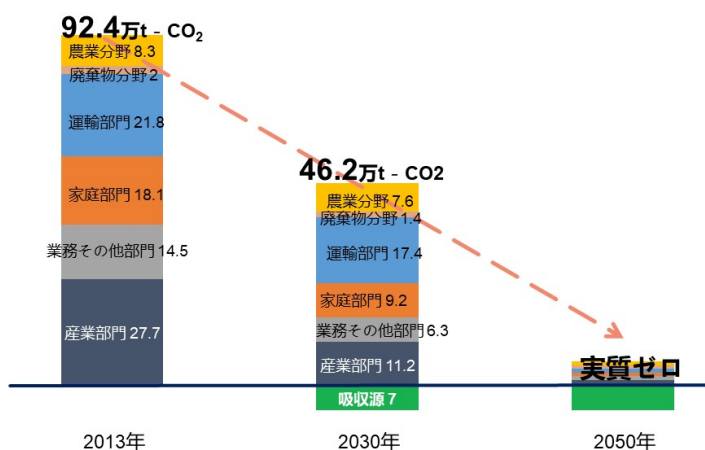


図 2.6 那須塩原市の各部門の排出目標

出典：那須塩原市(2022)より作成

た重点プロジェクトとして、①地域新電力の設立、②脱炭素先行地域の構築、③運輸部門からの温室効果ガス排出量削減対策、④気候変動の影響の把握と理解促進の4つが掲げられている。

これらの達成において重要視されているのは、再生可能エネルギー利活用の促進である。栃木県や宇都宮市とは異なり、3自治体で唯一、各種再生可能エネルギーの導入数値目標が定められ(表2.1)、エネルギーの地産地消が目指され、また再エネ電気と再エネ熱の両方に言及されていることも特筆に値する。しかしながら表2.1を見ると、2020年度の導入容量は太陽光発電が圧倒的に多く、太陽光への依存が大きいことがわかる。反対に再エネ熱の導入については、温泉熱を除いては、追加導入要領の数値目標は設定されていない。また再エネ熱導入のための助成金は見当たらない。

表 2.1 各再エネの導入目標

再生可能エネルギーの種類		現時点の導入容量 【令和 2(2020)年度】	令和 12(2030)年度 までの追加導入容量	令和 32(2050)年に向けて 最大活用を目指す 導入ポテンシャル
再エネ電気	太陽光	208 千kW	57 千kW	280 千kW
	中小水力	1.4 千kW	0.28 千kW	6.2 千kW
	バイオマス	1.2 千kW	(導入を検討)	3.9 千kW
	地熱	—		15 千kW
	陸上風力	—		137 千kW
再エネ熱	温泉熱	—	50 千 GJ	140 千 GJ
	バイオマス	—	(導入を検討)	9.1 千 GJ
	地中熱	—		7,100 千 GJ

出典：那須塩原市（2022）

なお「再生可能エネルギーの利活用の促進」と並び、重視されているのは、「省エネルギー設備の普及促進」である。これについて、那須塩原市としてできることに、「建築物の ZEB や ZEH の普及促進、地域新電力会社によるエネルギーの地産地消、水素エネルギーの利活用促進」などが掲げられている。また、市民や事業者に「照明など機器や設備の買換え時に高効率なものを選択、住宅や事業所の新築・改築時に、エネルギー効率の高い建築物を選択」することなどを推奨している。しかしながら、これらを実装化するための「実行計画」については具体的な施策は乏しい。断熱リフォームについては特段助成金等は設けられていない。一方、「省エネ家電等購入促進事業」は、2022 年 11 月、那須塩原市が脱炭素専攻地域に選定された直後より実施されている。これは独自の助成に加え、栃木県の「とちぎ省エネ家電購入応援キャンペーン」に一定額上乘せする場合もある。同制度の予算規模は総額 1,000 万円規模となっている。那須塩原市の全世帯数は 47,454 世帯であるので、仮に助成金最小金額の 5,000 円を各世帯が応募できるとするならば、最大で全世帯の 4%が補助金を受けられる計算となる。

NbS に関連しては「吸収源対策」の一環として、「住宅の庭地や事業所の敷地を緑化」することが市民や事業者に期待されている。ただし、この対策が、NbS として、防災などの適応策にも生物多様性保全にも重要であるというような言及はほとんどない。また、那須塩原市としては、都市部等の緑化の実装化に向けた具体的なインセンティブ政策は設けていない。

2.4 各分野のポテンシャル

以上に見たように、栃木県、宇都宮市、那須塩原市は、2030 年半減、2050 年カーボンニュートラルをそれぞれ目指しており、計画を策定し、環境省の脱炭素先行地域に選定される

など、意欲的に取り組んでいることがわかった。このうち宇都宮市はモビリティシフトについて重点プロジェクトを行うなど特徴的な取り組みもある。しかし、省エネは強調されているものの、市民や事業者が省エネや再エネ熱の導入、NbSを進めることを後押しするような具体的な促進は、部分的に補助金がある程度で、より後押しをするような具体策は乏しいことが判明した。第1章において述べられたように、断熱、再エネ熱利用、NbSといったエネルギー効率改善は、日本の盲点であるが、これは栃木県にもあてはまる。

では、「省エネ」「再エネ熱の導入」「NbS」は、温室効果ガスの削減にどれほど貢献するポテンシャルがあるのだろうか。本節では、共著者の1人、歌川（産業総合研究所）による3つの将来シナリオを確認するとしよう。

「シナリオ1」は、省エネ・断熱対策を行うシナリオである。このシナリオ1では、基本的に現在商業化済みの省エネ技術の導入を前提としている。具体的には、新築断熱、更新時の省エネ機器普及、省エネ車購入などの実施が含まれる。2030年の購入電力は第6次エネルギー基本計画の火力割合41%、残りは再エネとし、東京電力管内の火力構成は維持されると想定する。電力消費あたりCO₂は0.22kg-CO₂/kWhとする。加えて、新築相当の建物に太陽光発電が設置されており、また企業と家庭の10%が再エネ100%電力購入を選択していると想定する。

「シナリオ2」は、省エネ・断熱対策（シナリオ1の想定）に加えて、2030年までに業務・家庭の50%に太陽熱、50%に地中熱利用のエアコンおよびヒートポンプ給湯を導入することを想定したものである。「地中熱・太陽熱の利用拡大シナリオ」と位置付けられる。

「シナリオ3」は、省エネ・断熱対策+地中熱・太陽熱の利用拡大（シナリオ2の想定）に加え、さらに、「NbS」の導入が進むというシナリオである。市街地中心部の緑化によって、業務部門や家庭部門における冷房の必要な日・時間が減少すると想定している。

シナリオ1 = 省エネ・断熱対策

シナリオ2 = 省エネ・断熱対策+地中熱・太陽熱の利用拡大

シナリオ3 = 省エネ・断熱対策+地中熱・太陽熱の利用拡大+ NbS 対策

このシナリオをグラフ化したものが、図2.7および図2.8である。これらによれば、栃木県において、2030年の最終エネルギー消費量は、「シナリオ1」では2018年比で36.2%減、「シナリオ2」では38.8%減、「シナリオ3」では39.3%減である。すなわち、再エネ熱を入れれば、2.6%の追加削減があり、再エネ熱とNbSを導入できれば0.5%さらなる削減効果があることが明らかである。同様に、CO₂排出量に着目すると、「シナリオ1」の場合、2030年には、2013年と比べ63.7%も削減できる。「シナリオ2」の場合、2013年のCO₂排出量67.9%を削減できる。「シナリオ3」の場合、2013年のCO₂排出量68.1%を削減できる。2050年には、2018年比最終エネルギー消費量70%を削減でき、既存技術のままで、CO₂排出量99%も削減できる。

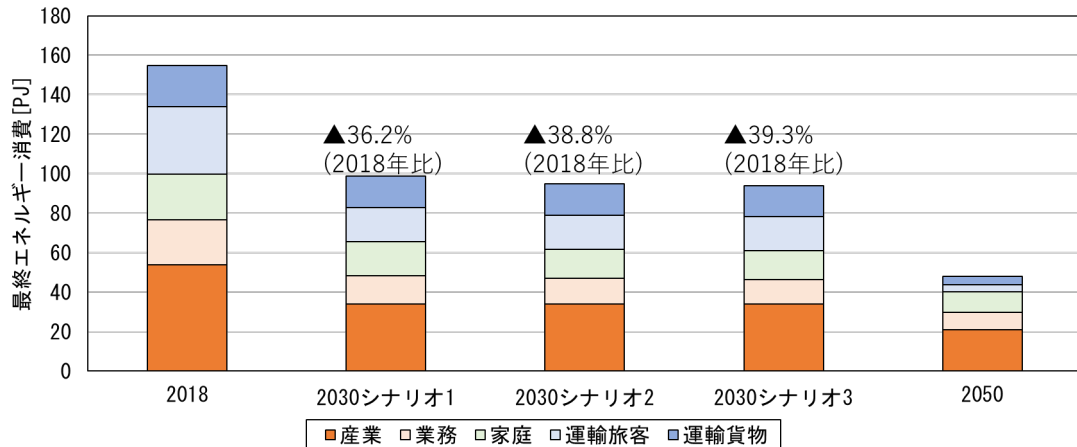


図 2.7 栃木県における最終エネルギー消費量削減のシナリオ

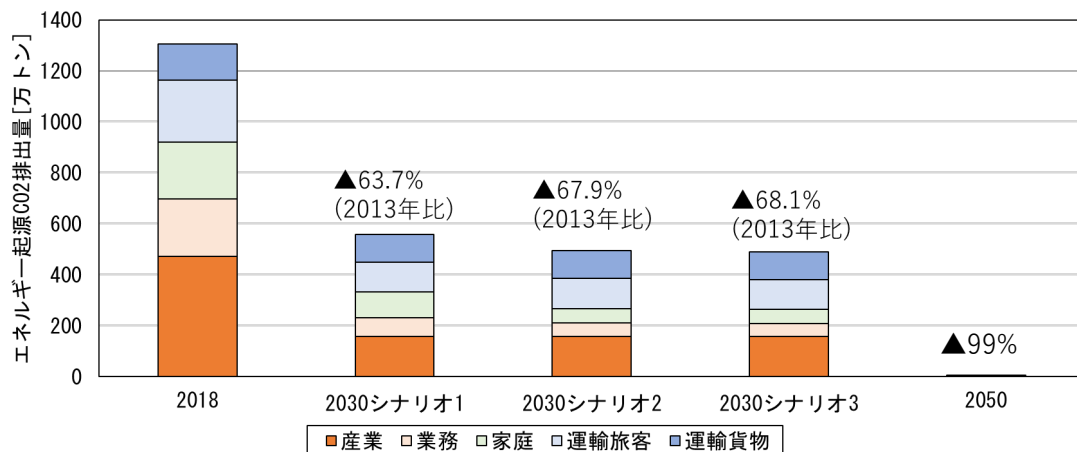


図 2.8 栃木県におけるCO₂削減のシナリオ

図 2.9 から図 2.12 のように、宇都宮市や那須塩原市においても、似たような削減効果がみられる。宇都宮市において、2030 年の最終エネルギー消費量は、「シナリオ 1」では 2018 年比で 34.1%減、「シナリオ 2」では 37%減、「シナリオ 3」では 37.6%減である。那須塩原市において、2030 年の最終エネルギー消費量は、「シナリオ 1」では 2018 年比で 34.2%減、「シナリオ 2」では 37.4%減、「シナリオ 3」では 37.6%減である。同様に、CO₂排出量に着目すると、宇都宮市において、「シナリオ 1」の場合、2030 年には、2013 年と比べ 57.3%も削減できる。「シナリオ 2」の場合、2013 年の CO₂排出量 61.8%を削減できる。「シナリオ 3」の場合、2013 年の CO₂排出量 62.2%を削減できる。那須塩原市において、シナリオ 1」の場合、2030 年には、2013 年と比べ 57.4%も削減できる。「シナリオ 2」の場合、2013 年の CO₂排出量 62.7%を削減できる。「シナリオ 3」の場合、2013 年の CO₂排出量 62.8%を削減できる。

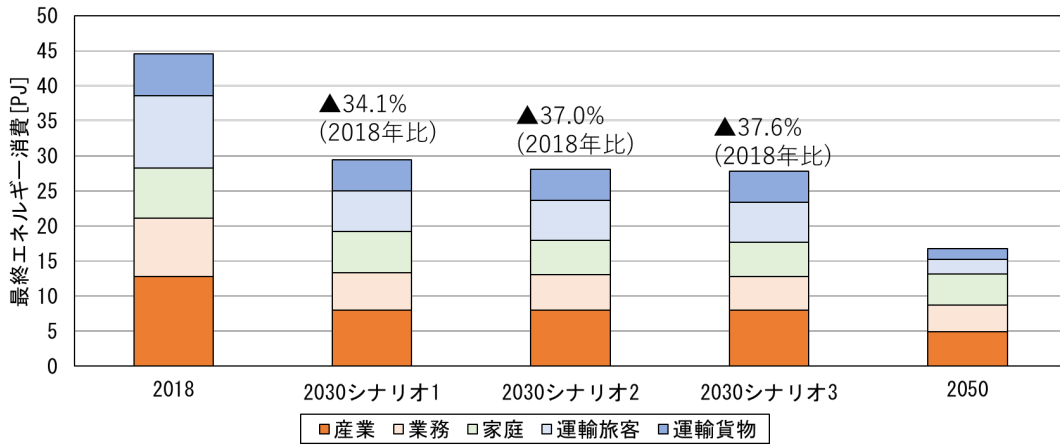


図 2.9 宇都宮市における最終エネルギー消費量削減のシナリオ

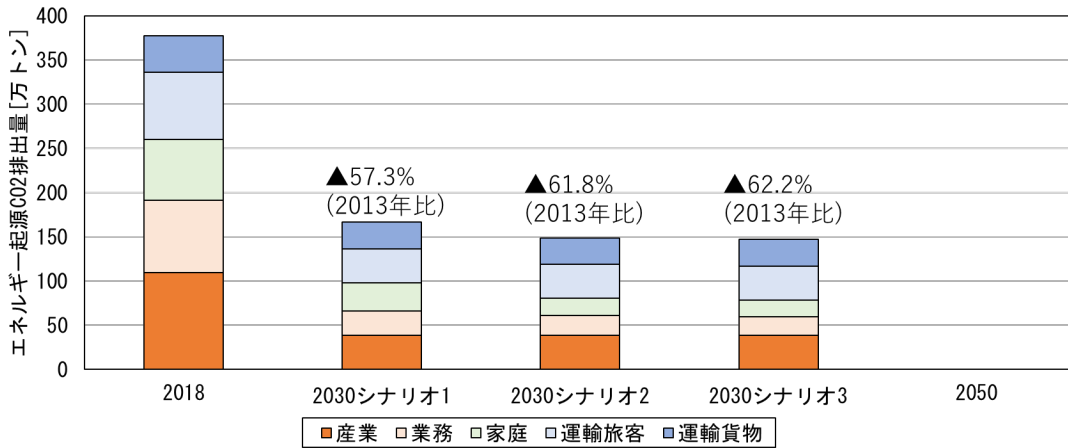


図 2.10 宇都宮市における CO₂削減のシナリオ

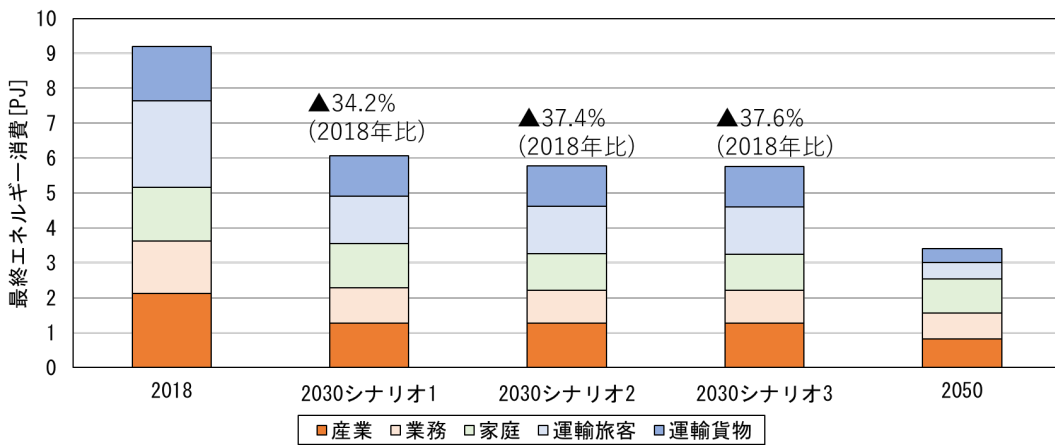


図 2.11 那須塩原市における最終エネルギー消費量削減のシナリオ

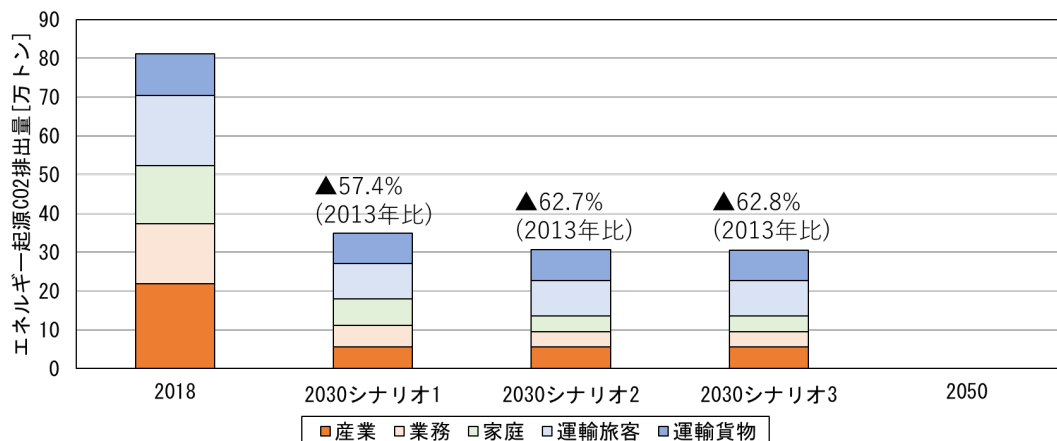


図 2.12 那須塩原市における CO₂削減のシナリオ

前述したように、栃木県のカーボンニュートラルロードマップでは、2030年まで業務分野（68%減）や家庭分野（72%減）を中心とし、産業分野（42%減）、交通分野（46%減）を含め全社会のCO₂排出量50%減を目指している。歌川の試算から見ると、省エネ・断熱、再エネ熱、NbSの対策をすればするほど、エネルギーの使用量やCO₂の排出量を減らすことができる。カーボンニュートラルの目標を実現する可能性もより高くなる。シナリオ2と比べ、シナリオ3の追加削減は小さくなった。NbSの追加削減が小さいのは太陽熱や地中熱の強化でCO₂が既に大きく削減されたためと考えられる。なお、本節では、NbSの効果、業務や家庭部門の冷房負荷削減による省エネルギー効果とCO₂削減に限って計算したが、NbSがもたらすのはCO₂排出削減効果だけではない。5章で後述するように、ヒートアイランドの緩和、炭素固定、生物多様性の保全、豪雨対策など多様な便益をもたらすことに留意する必要がある。

2.5 まとめ

栃木県、宇都宮市のロードマップと那須塩原市気候変動対策を通して、それぞれの取り組みを確認した。各自治体は2030年には2013年比で半減、2050年にはカーボンニュートラル達成をめざし、「ロードマップ」を策定している。しかし、その実現可能性については、まだ未知数である。第1章で述べたように、エネルギー効率改善は、日本の盲点とされるが、栃木県、宇都宮市、那須塩原市のいずれにも当てはまることを指摘しておきたい。

栃木県、宇都宮市、那須塩原市のCNに向けたロードマップや計画においては、「2030年に50%削減、2050年にはカーボンニュートラル」という同一の目標が掲げられていることが判明した。いずれの自治体も、業務・家庭部門の2030年の削減目標値を高く設定しており、とりわけ省エネの重要性には言及している。また、省エネ家電等への買い替え時の支援については、栃木県や那須塩原市では補助金が設けられている。しかしながら、その規模は限定的で、対象者総数に比べて利用可能者数は極めて少ないため、実効性は低い。さらに、

栃木県の担当者によると、制度を設けてもあまり利用されない現状があるという。その背景には、補助金情報が市民に周知されていないか、もしくは、使い勝手が悪いなどの課題があると思われる。このため、助成金等の利用者の声や費用効果を発信するなど、わかりやすい情報公開があれば、事業者・市民の省エネ取組みの普及につながると勘案される。また新規建物については、いずれの自治体も ZEH や ZEB を推奨している。加えて、各自治体は、自家消費型の太陽光発電や省エネの促進を推奨している。しかしながら、その支援先は、新築住宅が多く、大半を占める既存住宅に対する対策は十分ではない。特に建物の断熱によるエネルギー効率の改善は大きな盲点となっている。現行政策では、高齢者世帯や低所得世帯など、相当数の世帯が取り残される恐れがある。

続いて、再エネ熱についてである。再エネ熱（太陽熱・地中熱・バイオマス熱ほか）は、ポテンシャルが高いことがデータ上明らかになっている。熱の利用は全国のエネルギー消費の過半を占めており、熱消費のゼロカーボン化のためには再エネ熱が必要不可欠なエネルギー源である。しかし、これまでのところ、再エネ普及への公的支援の対象は主として再エネ発電に向けられており、再エネ熱利用は現段階で導入はほとんどない。栃木県、宇都宮市、那須塩原市のいずれの自治体も、再生可能エネルギーの導入について力を入れている部分が多いが、特に太陽光発電へ主軸を置いたものであり、再エネ熱独自に関しての補助金などの取組みは確認できなかった。他県と比べても、再エネ熱の取組みにはほとんど力が入っていないことが改めて明らかにされたといえよう。

最後に、NbS について言えば、栃木県や那須塩原市においても、「都市部等における緑化」は「吸収源対策」の柱の一つに位置付けられている。ただし、これらの対策が、NbS として、防災などの適応策にも生物多様性保全にも重要であるというような言及はほとんどない。また、いずれの自治体も、都市部等の緑化の実装化に向けた実効的なインセンティブ政策はほとんど設けていない。

しかしながら、第4節のシナリオ分析からは、以上に述べたようなエネルギー効率改善により、CO₂削減の大きなポテンシャルがあることが改めて確認できた。具体的には、省エネ・断熱対策が十分に普及すれば、栃木県では2030年には2013年比で63.7%削減できることが判明した（宇都宮市は57.3%、那須塩原市は57.4%）。さらに、再エネ熱を入れれば、栃木県では2030年には2013年比で67.9%も削減できることが判明した（宇都宮市は61.8%、那須塩原市は62.7%）。さらにNbSを導入すれば、0.4%程度の削減の上乗せになるが、削減だけでなく、吸収源や生物多様性の保全、防災など多面的な機能があることも重ねて付記しておきたい。いずれにせよ、省エネ・再エネの既存技術のみで、2050年には県全体では99%（宇都宮市と那須塩原市は100%）達成できることが明らかとなった。

次章からは、省エネ・断熱、再エネ熱、NbSの3分野において、自治体の現状や政策を整理したうえで、未来への可能性を分析し、我々の提案を述べていく。

3. 省エネ・断熱

3.1 はじめに

エネルギー効率改善において、まず欠かせないものは省エネルギーであると考えます。省エネとは、エネルギーを効率よく使うことを意味し、家電の無駄な使用を抑えることや省エネ機器を利用すること、断熱性能の高い住宅を選ぶことなどが挙げられる。私たち一人一人が生活の中で省エネに取り組むことも重要だが、その中でも特に大きなポテンシャルを有すると考えられるのは断熱である。断熱住宅では、部屋内外の熱の移動を遮断して外気温が室内に伝わりにくくすることで、夏涼しく、冬暖かい住宅を実現させることができる。冷暖房の無駄な使用を抑えることができるため、エネルギー効率改善を目指すにあたって大きなポテンシャルを有しているのではないだろうか。

3.2 断熱性能について

1)断熱性能の地域区分

省エネ住宅の断熱性能は、地域によって異なり「断熱地域区分」として定められている。北海道など寒冷な気候ほど数値が小さい地域に区分され、沖縄など暖かい気候ほど数値が大きい地域に区分される。栃木県では、日光市や那須塩原市などは4地域、宇都宮市をはじめとする多くの市町村は5地域に区分される（図3.1）。

地域区分	都道府県名
1、2	北海道
3	青森県 岩手県 秋田県
4	宮城県 山形県 福島県 栃木県 新潟県 長野県
5、6	茨城県 群馬県 埼玉県 千葉県 東京都 神奈川県 富山県 石川県 福井県 山梨県 岐阜県 静岡県 愛知県 三重県 滋賀県 京都府 大阪府 兵庫県 奈良県 和歌山県 鳥取県 島根県 岡山県 広島県 山口県 徳島県 香川県 愛媛県 高知県 福岡県 佐賀県 長崎県 熊本県 大分県
7	宮崎県 鹿児島県
8	沖縄県

※：1地域と2地域、または5地域と6地域の市町村区分は告示等でご確認ください。

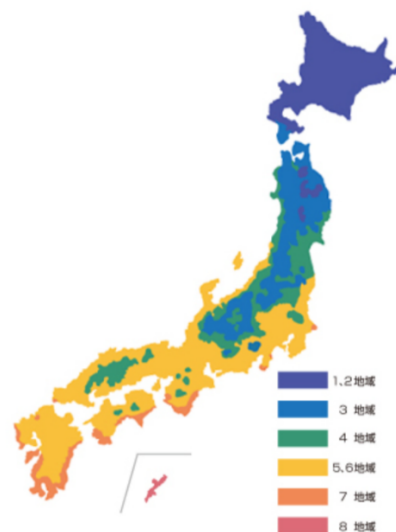


図 3.1 断熱地域区分

出典：アキレス株式会社

2)現在の日本の断熱性能

そもそも現在の日本の断熱性能は諸外国と比べるとどれくらいなのだろうか。図 3.2 は住宅の断熱レベルを表している。横軸は数値が大きいくほど寒冷な気候を示し、縦軸は数値が小さいほど断熱性能が高いことを示している。

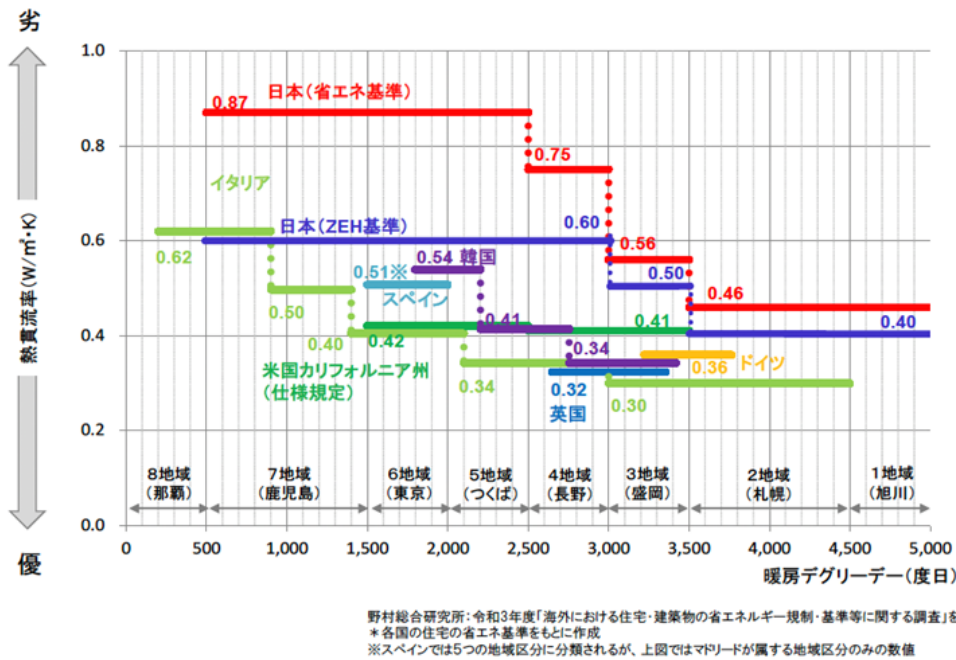


図 3.2 住宅の外皮平均熱貫流率 (UA 値) 基準の国際比較

出典：国土交通省 p.35 (2021)

先述したように、栃木県は4地域、5地域に区分される。同じ気候区分の米国カリフォルニア州(仕様規定)と比べると、日本(省エネ基準)とは約二倍も断熱性能に差があることが分かる。他の気候区分においても日本(省エネ基準)は諸外国と比べてかなり低い。また、日本のZEH基準(ZEHの判断基準)と諸外国を比較したとしても低い現状にあり、現行の日本の断熱基準は十分であるとはいえない。なお、ZEH基準についての詳細は後述する。

3)断熱等性能等級

断熱等性能等級とは、省エネ性能を表す等級のことを示したものであり、国土交通省が制定している。等級ごとにUA値(外皮平均熱還流率)が定められており、UA値が小さいほど断熱性能が高いことを表す。等級が上がることでUA値(外皮平均熱還流率)は小さくなる。2022年4月1日までに5つのランクが設定されていたが、2022年10月より、新たに等級6、7が創設された。2025年4月以降にはすべての新築住宅に対して等級4(図3.2中の省エネ基準)が義務付けられることになるが、それでも十分であるとはいえず、等級6、7を採用してやっとヨーロッパと同等の基準に達する。

また、断熱等性能等級が高ければ高いほど快適な住まいを実現できるわけだが、建築費用の面でも課題が残る。誰もが等級の高い断熱住宅を選択できるよう、補助金の拡充も必須である。

3.3 断熱と健康

1) 私たちの身体と気温変化

健康と気温には実は深いつながりがある。例えば、室温が安定している住宅では血圧の変動が小さいことが指摘されており、外気温にかかわらず、室内の温度を一定に保つこと、室内の日中と夜の温度変化をできるだけ小さく抑えることは健康のためである。また、スマートウェルネス住宅等促進調査委員会によれば、就寝中に寝室の寒さを自覚すると睡眠の質が低くなることが分かっている。国民の5人に1人が抱えていると言われている睡眠障害も、断熱が不十分であることによる室温の低さが1つの要因になっていると考えられている。5大疫病と言われている糖尿病も、部屋上下の温度差が大きいと不快感が増加しそのストレスがインスリンの作用を不足させ、糖尿病の発症に結びついてしまうと考えられている。(図3.3)

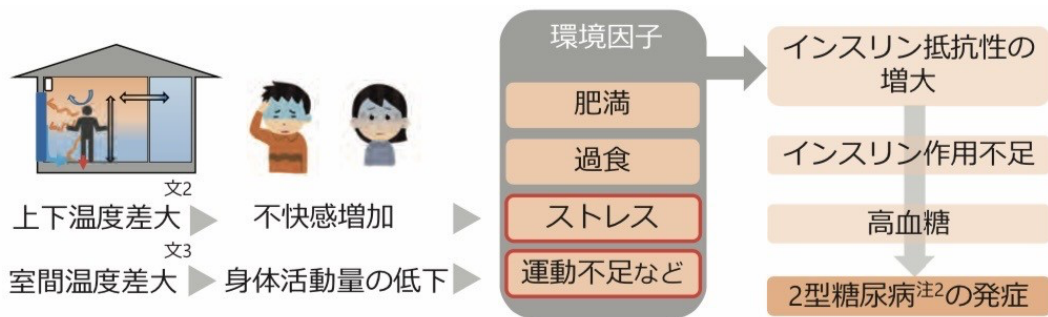


図 3.3 住宅の断熱化と居住者の健康への影響に関する全国調査

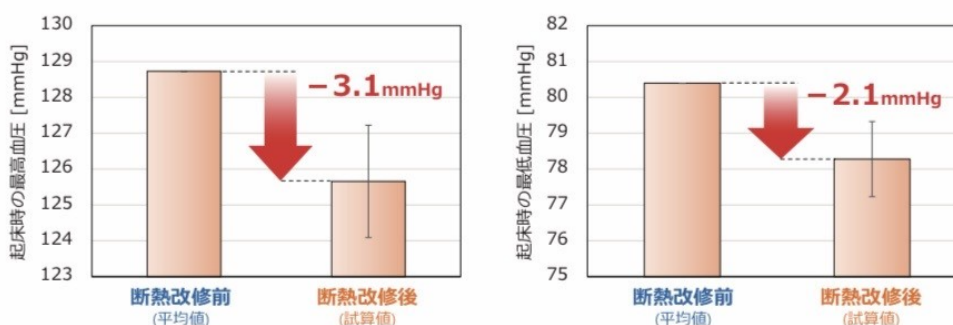
出典：一般社団法人日本サステナブル建築協会（2022）

世界保健機構（WHO）は、居住者の健康を保つために冬季の室温を 18°C以上にすることを推奨している。しかし実際は、栃木県の冬のリビングの平均室温は 15°C台と全国的にも常に低い数値で、温かさを確保できていないことがわかる。もし十分な断熱改修ができれば、朝の最高血圧と最低血圧が有意に低下し、低下の度合いはハイリスクな人ほど大きくなると考えられている。(図3.4) また、東京工業大学の海塩渉氏によれば、断熱性能の向上と適切な暖房使用は最高血圧を低下させるだけでなく、脳血管疾患と虚血性心疾患などの循環器疾患の予防ができる。日本高血圧学会によれば、日本ではトイレや脱衣所などの暖房が見落とされやすく、特に高血圧患者は暖房に配慮すべきだと指摘している。

得られた知見: 断熱改修により血圧が低下

血圧	断熱改修による家庭血圧の変化量 (95%信頼区間)			
	単変量モデル	P値	多変量モデル*	P値
朝の最高血圧, mmHg	-2.6 (-4.3 to -1.0)	0.001	-3.1 (-4.6 to -1.5)	<0.001
夜の最高血圧, mmHg	-1.5 (-3.2 to 0.1)	0.069	-1.8 (-3.4 to -0.2)	0.029
朝の最低血圧, mmHg	-1.8 (-2.9 to -0.7)	0.001	-2.1 (-3.2 to -1.1)	<0.001
夜の最低血圧, mmHg	-1.3 (-2.4 to -0.1)	0.028	-1.5 (-2.6 to -0.4)	0.006

※多変量解析により、ベースラインの血圧、年齢の変化量、BMIの変化量、外気温の変化量を調整



▶ 断熱改修により、朝の最高血圧・最低血圧が有意に低下

図 3.4 住宅の断熱化と居住者の健康への影響に関する全国調査

出典：一般社団法人日本サステナブル建築協会（2022）

2) 学生の声

では、実際に宇都宮市に住む人々は何を感じているのだろうか。宇都宮大学国際学部で開講されている地球環境政策論の授業にて、学生のニーズや現状を調査するためのアンケートを実施した。「自宅の現状に対する満足度、変更を希望するところについて、お知らせください」という項目では、

- ・エアコンをつけても足が寒い
- ・二重窓をつければいいと思う
- ・床暖房と断熱機能のある壁が欲しい
- ・隙間風がひどく暖房を強く設定しなければならない
- ・断熱が不十分のため、消費量や支払いが増えそう
- ・冬場の電気代が高い

などの声があがった。

「次に買い換えるタイミングについて、理由を含め、お知らせください。」という項目では、

- ・現在金銭的に余裕がないため、使える限りは大学卒業までは買い換えないと思う。
- ・賃貸なので勝手にエアコンを買い換えることはできない。卒業して引っ越すならお金があるなら買い換えるかもしれない。

・現状特に大きな問題なく稼働していてまだ使える物を買替えるのは正直、気が進まない。

などの声があがった。

3) 学生の声から分かること

学生の声から現在の住宅環境に満足できていない学生が多数であることが分かった。理由として、学生が住むアパートなどは家賃が安い代わりに断熱性が低いことが考えられる。また断熱性が低い分、エアコンなどの暖房機器を使用時は設定温度を高めにするのが必然となり、光熱費が高騰するという学生にとっては非常に負担の大きい負の連鎖も起きている。さらに、学生の選ぶ物件は賃貸であるため備え付けられている古いエアコンなどの使用効率の低い家電を省エネ家電に自由に買い替えることもできないという問題がある。

このように学生は寒い冬の間、部屋の暖かさを優先させるか光熱費を安く抑えるかというジレンマを抱えながら生活しているのである。

4) 栃木県の死亡増加率

ここでは前章の学生たちが普段どのような環境で生活しているのかを栃木県の気候と共に見ていく。栃木県は年間の平均気温が平地で 12°C~14°C と比較的温暖な気候だ。しかし、冬季は放射冷却の影響と男体おろしなどの季節風により気温が下がるため、12月と1月では1日の最高気温と最低気温の差が 10°C~14°C とかなり大きくなる。また、厚生労働省が10年間に渡って実施した人口動態統計を東京新聞が集計した結果、2011年4月からの10年間で冬季の死亡増加率が全国で最も大きいのは栃木県であることが判明した(図3.5)。

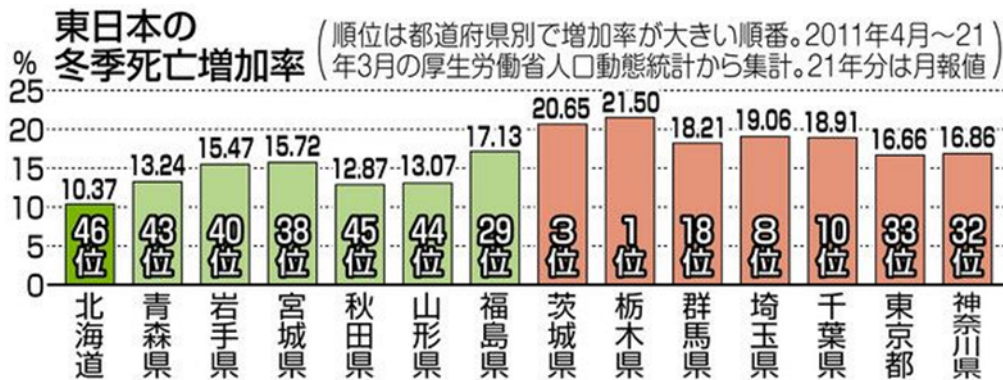


図 3.5 東日本の冬季死亡増加率

出典：東京新聞（2022年3月26日）

図 3.5 にある通り、栃木県の冬季死亡増加率は 21.50% であり、この数値は北国でありながら冬季死亡増加率 10.37% である北海道の 2 倍を超える数値である。これに対して慶応大学の伊香賀俊治教授は冬季死亡増加率が小さい地域ほど断熱住宅普及率が高い傾向があり、北海道は平均 8 割を超えているのに対し、関東を含む多くの都道府県は 3 割未満に留まると分析している。

3.4 省エネ・断熱のための提案

提案① 補助金制度の見直しと普及

私たちは、省エネ・断熱の普及のためには、設備導入におけるコスト面の障壁があると考えた。そこで、国の補助金制度を確認してみたところ、2023年現在、「住宅省エネ 2023 キャンペーン」というものがある（図3.6）。



	新築の補助額 (上限)	リフォームの補助額 (上限)
① こどもエコすまい	100万円/戸 (1申請/戸・世帯)	工事内容と世帯属性に応じて、5万円※～60万円/申請 (世帯等属性に応じて30万～60万円/戸)
② 先進的窓リノベ	対象外	工事内容に応じて、5万円～200万円/申請 (200万円/戸)
③ 給湯省エネ	設置する給湯器に応じて、5万円または15万円/台 (戸建：2台/戸 共同住宅等：1台/戸)	

図 3.6 住宅省エネ 2023 キャンペーンサイト

出典：こどもエコすまい支援事業事務局（2020）

これは、「こどもエコすまい」、「先進窓リノベ」、「給湯省エネ」という三つの事業によって、断熱など、家庭部門の省エネを推進するための補助金制度である。この事業の予算と補助額上限は、細かい条件などはあるものの、こどもエコすまい事業が 1500 億円、一申請あたり上限 100 万円、先進的窓リノベ事業が 1000 億円、一戸当たり 200 万

円、給湯省エネ事業が300億円、一台当たり15万円と決められている。また、交付申請期間は2023年3月から予算上限に達するまでと設定されていた。コスト面の障壁という観点であるため、この予算は十分かどうかという疑問が浮かんだが、それを判断するには、実際の申請件数など詳しいデータが必要であり、いまのところ予算が十分であるかは判断できないと考える。

制度の認知問題

しかし、予算に加えてもう一つ問題として考えられるのは、それらの補助金制度がどれだけ認知されているかという問題である。日本建材・住宅設備産業協会によって、2019年に約3万人を対象として実施された断熱リフォームに関するアンケートによれば、リフォーム実施者が全体の約半分、そして断熱リフォーム実施者は約1割であった。さらに、断熱リフォームを実施した人のうち、補助金や税制優遇などは、約4分の1のみが利用していたという結果だった。アンケート結果の資料において、リフォーム時や新築時などの断熱を「認知してもらうタイミングでしっかり案内していくことも実施率を高める助けになる」と考察されており、これらの制度の普及があまり進んでいないのではないかと考えられる。いざ断熱を導入しようとするれば、ハウスメーカーやリフォーム業者から情報を得て補助金を利用するかもしれないが、元からコスト面が理由で検討すらできずに寒い部屋で我慢している人に補助金の情報が届くことはあるのだろうか。そういった人々にも情報を届け、より多くの人に省エネ設備を導入してもらうことが重要である。よって、その制度を広く認知してもらうための新たな取り組みが必要であると考えられる。

提案②断熱基準の見直し

また、上記の補助金制度で想定されている基準は、国の省エネ基準レベルとZEHレベルであることがわかった。先述したように、日本の断熱基準は欧米と比べて非常に低く、快適な生活に必要なレベルに達していない。2019年の経済産業省資源エネルギー庁ZEH委員会の資料によれば、ZEHの定義は、「外皮の高断熱化及び高効率な省エネルギー設備を備え、再生可能エネルギー等により年間の一次エネルギー消費量が正味ゼロまたはマイナスの住宅」である。こちらの基準は、省エネ基準レベルよりは高断熱基準であるものの、やはり欧米レベルには及ばないものだ。よって、日本の断熱基準は、見直しが不可欠であると考えられる。

自治体独自の基準

しかし、国で基準の見直しを行うことができればよいが、先述の栃木県の冬季死亡増加率の高さからもわかるように、地域によって必要な基準も異なると考えられる。よって、基準の見直しは、自治体独自でも行う必要があると考えられる。その先行事例として、鳥取県で県独自の断熱基準を設定した「NE-STな家」という事例がある。「NE-ST」とは「居心地が

よく、安心できる場所。巣箱。」の意味があるようだ。図 3.7 は、それについての鳥取県の資料で、国の基準と鳥取県の基準、そして参考となる欧米の基準が示されている。これを見ると、ZEH 基準ですら冷暖房費削減率は約 10%であり、「冷暖房費を抑えるために必要な最低限のレベル」に達していないことがわかる。つまり、快適な生活どころか、省エネへの貢献も小さいということになる。一方、鳥取県の基準は欧米レベルに匹敵するものであり、快適な生活を維持しながら、省エネに十分貢献できるものだ。

	国の省エネ基準	ZEH	とっとり健康省エネ住宅性能基準「NE-ST家」		
			T-G1	T-G2	T-G3
備考	次世代基準 (H11年)	2020年標準 政府推進	冷暖房費を抑えるために必要な最低限のレベル	経済的で快適に生活できる推奨レベル	優れた快適性を有する最高レベル
断熱性能 UA値*1	0.87	0.60	0.48	0.34	0.23
気密性能 C値*2	-	-	1.0	1.0	1.0
冷暖房費削減率	0%	約 10% 削減	約 30% 削減	約 50% 削減	約 70% 削減
世界の省エネ基準 (UA 値) との比較					
<small>*1_UA 値：建物外表面から外部に逃げる熱量を示す指標。値が小さいほど熱が逃げにくく、断熱性、省エネ性が高い。 *2_C 値：建物の床面積当たりの隙間面積を示す指標。値が小さいほど気密性が高い。</small>					

図 3.7 鳥取県における自治体独自の断熱基準設定事例

出典：鳥取県（2022）

このような鳥取県の事例のように、栃木県でも自治体独自の基準を設定することを提案したい。基準を高く設定し直し、それを義務化することで、より多くの建物が高断熱性能な家にリフォームされることにつながる。それにより、基準以下の断熱性能の建物が減っていくことで、自己判断で断熱の導入が難しいアパートや寮、あるいは親の決定が第一である実家などに住む学生も、暖かく快適な部屋に住めるようになると思われる。

提案③断熱の可視化

断熱性能の提示

人々の断熱への意識を高めるには、住宅購入時に、不動産会社による住宅の断熱性能の紹介を義務付けることが必要だと考える。ドイツを始めとする EU 加盟国では、「エネルギーパス」と呼ばれる「家の燃費」を示す証明書の表示が義務化されている。これは、建築物の断熱性能や快適な室内温度を保つために必要なエネルギー量を示すもので、消費者がエネルギー性能を考慮して住宅を選択することを可能にしている。日本においてもドイツの協力を受け、一般社団法人日本エネルギーパス協会が設立され、エネルギーパスの発行が行われているが、あくまで任意の制度にとどまっている。

また、国土交通省は人々の省エネ性能への関心を高め、より省エネ性能の高い住宅を選択してもらうことを目的として、住宅の省エネ性能と合わせ国のルールに基づき算出された年間の光熱費を不動産ポータルサイト等へ表示情報を提供する「目安光熱費表示制度」

の導入を発表している。しかし、これも任意の制度であり、新築住宅のみを対象にしている。断熱性能を含め、住宅の省エネ性能を表示することで、これまで住宅選びの際にあまり重要視されてこなかった省エネへの意識が高まることが期待できるが、任意の制度では一般に広く普及することが困難であると感じる。日本においても、断熱性能の提示は義務化したほうが効果的なのではないかと考える。そして、不動産広告による断熱性能の表示で終わるのではなく、消費者に分かりやすく説明することも必要だと考える。海外の事例を参考に、断熱および省エネ性能を不動産広告に表示したうえで、住宅を選ぶ際に不動産会社からの十分な説明が行われることで、断熱に対する意識の改革につながるのではないだろうか。



図 3.8 アプリ「Energikollen」

出典：スマートフォンアプリ「Energikollen」

競争キャンペーン

スウェーデンのルンド市において、家庭のエネルギー効率改善への取り組みとして、スマートフォンアプリ「Energikollen」を提供したという事例がある。これは、アプリの中で居住者のエネルギー使用量を可視化し、月々の使用量に基づくランキングを作ること

で、住民同士の競争を促し、エネルギー消費量の削減を図るというシステムである（図 3.8）。

自宅のエネルギー使用量を他の住宅と比較して評価することが可能になれば、エネルギー消費量の少ない家庭を参考に、自宅におけるエネルギー効率の改善を試みる住民が増えることが期待できる。実際に、ルンド市ではアプリの導入により、利用者の意識が向上し、エネルギー使用量の削減に成功したという結果が出ている。このように、人々の競争を促す仕組みは住民のエネルギー使用量削減のインセンティブとなりやすいのではないかと考える。この仕組みを利用し、栃木県でも住民のエネルギー使用量を数値として可視化することができれば、自宅のエネルギー効率を客観的に捉え、見直すことが可能なのではないだろうか。エネルギー使用量の確認がスマートフォンで簡単にできる点も、省エネに対する人々の意識と行動の変化を促すうえで重要であり、有効な手段であると考えられる。

提案④省エネ家電促進

「しんきゅうさん」

省エネ家電の買い替えの際に役立つツールとして、環境省が運営している「しんきゅうさん」という省エネ製品買い替えナビゲーションがある。これは、現在使用している家電と購入予定の家電を比較し、消費電力や電気代、CO₂排出量について、新旧の家電にどれほど差あるのかを分かりやすく示してくれる。例えば、初期費用は安いが性能が低い家電 A と、初期費用は高いが高性能の省エネ家電 B を比べたとする。安く手に入れた A より、購入金額は高いが性能も高い B の方が、電気代を含めた 10 年間の総コストが安く済む場合もある。家電の購入を検討している際に、この「しんきゅうさん」を用いることは省エネ家電の普及にも効果的である。しかし、現在これはサイトやアプリでのみ利用可能である。店舗での利用も可能にすることで、「しんきゅうさん」を知らない市民に対しても家電買い替えのサポートになるのではないだろうか。

アドバイザーによる情報提供

家電量販店では、性能に差がある家電が多く売られている。買い替えを検討するために店頭に行っても多様多様な家電製品が並んでおり、どれを購入すべきか迷った経験がある人は多いのではないだろうか。このように、技術面において専門ではない市民が、最適技術を妥当な価格・費用対効果で導入できるようにするためには、公的・中立の情報提供を行うアドバイザーの配置も重要である。店舗で、そして市でアドバイザーを配置することで、家電を購入しに来た人々に対してだけでなく、家庭や企業に対しても省エネ家電購入を促すことができると考える。

ポイント制度の導入・普及

栃木県では、県民の省エネ家電購入を促進するために「とちぎ省エネ家電購入応援キャンペーン」が 2022 年 10 月 24 日から 2023 年 2 月 15 日の期間に実施された。



購入対象期間・申請受付期間
2022年10月14日(金)～2023年2月15日(水)

対象製品		ポイント交付額
品目	統一省エネラベル 省エネ性能	1 合計5万円以上10万円未満の購入 1万円分のポイント交付
エアコン 	☆☆☆☆ ★4以上 (旧基準)	2 合計10万円以上15万円未満の購入 2万円分のポイント交付
ノハハ 	☆☆☆☆ ★3以上 (新基準)	
冷蔵庫 	☆☆☆☆ ★3以上	3 合計15万円以上の購入 3万円分のポイント交付
LED照明器具 	☆☆☆☆ ★4以上	
対象製品一覧 >		対象店舗一覧 >

図 3.9 とちぎ省エネ家電購入応援キャンペーン

出典：栃木県（2022）

このキャンペーンは、温室効果ガスの削減とエネルギー価格の高騰による家庭のエネルギー費用の負担を軽減することを目的としており、省エネ性能が認められたエアコン、冷蔵庫、LED 照明機器が対象とされ、購入した製品の金額に応じてキャッシュレスポイント、もしくは商品券などが付与される。

那須塩原市の例

那須塩原市では、県のキャンペーンと併用可能な「省エネ家電等購入補助」が行われており、県のキャンペーンよりも多くの製品を対象に定めている。さらに、那須塩原市独自の取り組みとして、平成 29 年度より、「なすしおぼらエコポイント制度」が創設された。これは、環境家計簿の記入や市主催のイベントへの参加など、対象となるエコアクションを行うとポイントが付与され、100 ポイント集めた方には 500 円分のクオカードが贈られるという取り組みである。

これらのキャンペーンは消費者にとって嬉しい取り組みであると同時に、省エネ家電の普及にも効果的であると考えられる。しかし、下野新聞の記事によると、県のキャンペーンは申請受付期間終了の約 1 か月前の段階で、申請額が県の確保した予算の 4 割にも満たないことが明らかになっている。これらの活用が進んでいない大きな原因としては、キャンペーンの存在が十分に認知されていないことが考えられる。省エネ家電に買い替えた方が、長期的な視点では光熱費の削減につながることを消費者に知ってもらうことが求められる。情報の周知方法に改善が必要だが、このような省エネ家電の購入でポイントが付与される取り組みの活用が進めば、省エネ家電の普及に大きな効果が期待できる。

3.5 おわりに

1) 省エネ住宅普及に向けた新たな動き

栃木県は県内における ZEH 住宅建築、リフォーム数の向上に向け、設備導入に必要な費用の一部を補助することを決めた。この決定により促進事業費として約 1 億 5 千万円が 2023 年度予算に盛り込まれることになる。現在 ZEH は大規模ハウスメーカーを中心に普及が進んでおり、経済産業省の発表では 2020 年度の ZEH 化率はハウスメーカーの新築注文戸建て住宅で 56.3%、一般工務店で 9.4%と両者の普及率に開きがあることが分かっている。こうした現状を踏まえて栃木県では、一般工務店向けにセミナーや勉強会を開催することで、技術力の向上や導入の理解促進も図ろうとしている。

また、県は太陽光発電にも力を入れている。今後は新築住宅に限らず既存住宅も補助の対象として 1 億 800 万円を支援することで県内における一戸建て住宅の太陽光発電の設置率を現状の約 12.7%から 2 倍の 25%に増やすことを目標に掲げている。

これらの設備導入資金の活用と 2025 年から始まる新省エネ基準の省エネ基準「断熱等級 4」の適合義務化によって栃木県内の住宅断熱レベルが向上することでヒートショック等による県内の冬季死亡増加率が低下することが期待されている。しかし、欧州と同レベルの断熱効果がある断熱等級 6、7 を普及させるとなると現状の予算では十分とは言い難いだろう。

2) 今後の展望

日本の断熱基準の低さは大きな問題点である。冬の寒さによる住宅内での健康被害は、温暖とされる関東地域で多く発生しており、栃木県で生活する我々にとっても身近な問題である。このように、断熱性能の高い住宅を選ぶことは省エネルギーのためだけではなく、私たちの生活と結び付けて考えることもできる。自分のため、そして家族のためにも断熱性能の高い住宅を選ぶことができる状況が大変望ましい。そのためには、大前提として、日本の断熱基準の早急な見直しが必要であり、その上で補助金制度の拡充や情報の周知が必須である。また、鳥取県に見られるような先進的な取り組みを行っている自治体に倣い、栃木県でも独自の断熱基準を設定することで、省エネルギーへの取り組みや健康被害の防止、生活の質の向上に繋がるのではないだろうか。

4. 再エネ熱

4.1 はじめに

「再生可能エネルギー」と聞いて最初に思い浮かべるのは、太陽光発電や風力発電など、電気をつくる方法であるかもしれない。しかし、それらのほかにも再エネは存在している。2019年度の調査によると、栃木県内の最終エネルギー消費においては4割が電力、それ以外の6割は熱や燃料等の電力以外で構成されており、電力以外のエネルギー消費量に占める再エネの割合が少ない(経済産業省,2022)ことが問題視されている。ここでは、再エネ熱利用に焦点を当て、その導入状況とポテンシャル、そして導入を妨げる要因とその解決策について見ていく。

4.2 仕組み

1) 太陽熱

太陽熱利用システムは、「再生可能エネルギー」のひとつであり、「太陽の熱を使って温水や温風を作り、給湯や冷暖房に利用するシステム(経済産業省,n.d.)」である。太陽熱は現在、戸建住宅とホテル、病院、福祉施設など業務建物で使用されている。

代表的な太陽熱利用システムの種類としては主に、「液体式ソーラーシステム」と「太陽熱温水器」がある。

「液体式ソーラーシステム」とは、「集熱器で集めた太陽熱で、高温に達した不凍液等の熱媒を循環させ、蓄熱層内の水を温めてお湯にする(図4.1)」ことである。「熱を集める集熱器とお湯をためておく蓄熱槽が分かれているため屋根への負担も少なく、太陽光発電パ

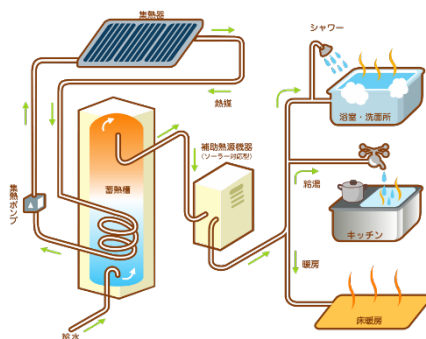


図4.1 「液体式ソーラーシステム」のイメージ

出典：ソーラーシステム振興協会

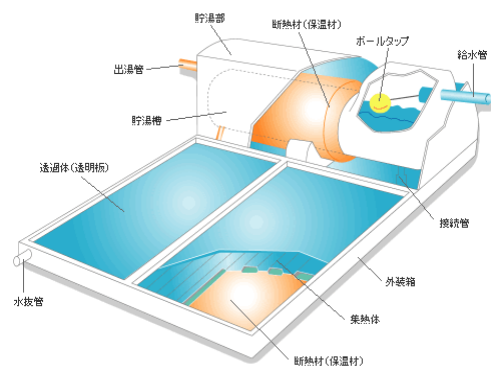


図4.2 「太陽熱温水器」のイメージ

出典：ソーラーシステム振興協会

ネルとの併設も可能」である。

「太陽熱温水器」とは、図4.2のように、太陽熱パネルの集熱部と貯湯部(タンク)を屋根において、太陽光の熱エネルギーを利用し、水をお湯へと変える設備である。

2) 地中熱

地中熱は、太陽及び地球内部からの熱に由来する再生可能エネルギーである。環境省 (n.d.)によると、地表近辺では気温の影響により地温は変化するが、地下「深さ 10m くらい」の所の地温は、年平均気温はほぼ等しくなり、「四国九州の南部で 20℃、北海道で 10℃、東京や大阪では 17℃程度」である。つまり、地温は夏季には気温より低く、冬季には気温より高くなる。

地中熱の利用方法は主に「ヒートポンプシステム」である。つまり、「大地とヒートポンプを組み合わせた冷暖房・給湯システム(環境省, n.d.)」である。

図 4.3 のように、「ヒートポンプシステム」には 2 つの方式がある。一つは「クローズドループ方式」である。こ

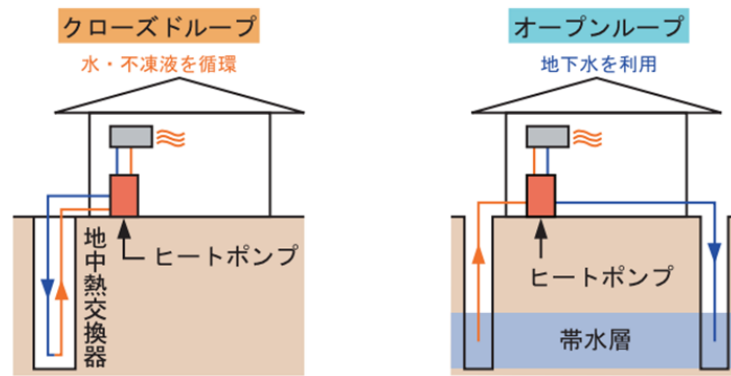


図 4.3 ヒートポンプシステム

出典：環境省 (2021)

れは深度 20~100m 程度の地中熱交換器に不凍液等を循環させ、ヒートポンプで熱交換させるもので、設置場所を問わない。もう一つは「オープンループ方式」である。これは井戸から揚水した地下水をヒートポンプで熱交換させるもので水質が良く、地下水障害の恐れがない場合に適用できる(環境省, 2021)。

地中熱の利用は主に住宅・ビルなどの冷暖房・給湯、プール・温浴施設の給湯、道路等の融雪、農業ハウスの冷暖房などである。

4.3 効果

1) 太陽熱の効果

① 経済効果

一般家庭のエネルギー消費量のうち、熱利用である給湯と暖房は全体の 50%以上を占めている(日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット, 2022)。太陽熱利用システムを導入すれば、一般的な LP ガスシステムと比較すると、給湯の燃料代の 40%を削減することができる。

家庭用の太陽熱設備の設置価格は 30~90 万円である。投資コストは 7.5~12 年で回収できる。また、太陽熱は設備に必要な屋根面積が約 4 m²と小さいことも特徴であり、これは屋

根太陽光発電の設備に必要な屋根面積の約 5 分の 1 である(穴田, 2022)。

② 効率効果

エネルギー効率が高いことも、太陽熱利用の大きな特徴といえる。太陽熱利用設備の効率は 40～60%で、太陽光発電のエネルギー変換効率の 7～18%より高い。単位面積当たりの供給エネルギーは 600kWh/m²であり、太陽光発電の 130 kWh/m²の 5 倍弱である(穴田, 2022)。

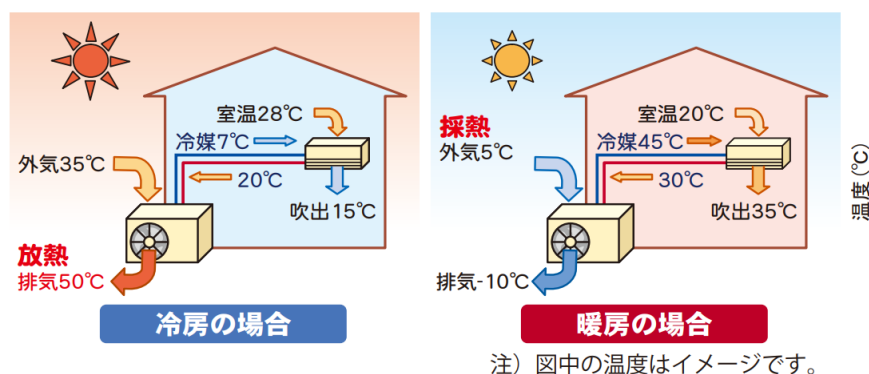
2) 地中熱の効果

① 省エネ効果

地中熱利用ヒートポンプを導入すると、冷暖房などの熱を交換するシステムが高効率化し、省エネルギーの効果が得られる。これは、地中熱の温度が通年で安定しており、地中熱と外気との夏冬の温度差があること、また、熱源温度が同じ場合でも、同じ容積の空気に対して水は約 3500 倍の熱を蓄える、つまり小さな容量でより多くの熱を蓄えることなどによるものである。このことから、地中熱ヒートポンプは熱効率が高く、従来の空気熱源ヒートポンプと同等以上の成績係数(COP)が期待できる。さらに、天候によらず、安定的にそのメリットを得ることができる。

② 冷暖房時の節電効果

空気熱源ヒートポンプシステムでは、屋外の空気を熱源にしているために、夏は 35℃を超えるような暑い外気から温度を下げ、冬は 5℃程度の冷たい外気から温度を上げなければならない(図 4.4)。



注) 図中の温度はイメージです。

図 4.4 空気熱源ヒートポンプのイメージ

出典：環境省 (2021)

一方、地中熱ヒートポンプシステムでは、外気温に比べ夏は 15～20℃の、冬は 10～15℃の安定した地中熱を利用することで、空気熱源ヒートポンプシステムで同じ温度の熱を作り出す際よりも少ない電力で済むため、節電が可能になる(図 4.5)。

③ CO₂削減効果

消費電力の削減は、電力使用による CO₂排出削減につながる。図 4.6 にあるように、オフィスビルにおける年間の CO₂排出量を試算すると、地中熱ヒートポンプは、空気熱源ヒートポンプに比べ 25%の削減が見込まれる。

また、積雪寒冷地などで暖房や油焚ボイラーと地中熱ヒートポンプを比較すると、油焚ボイラーに比べ

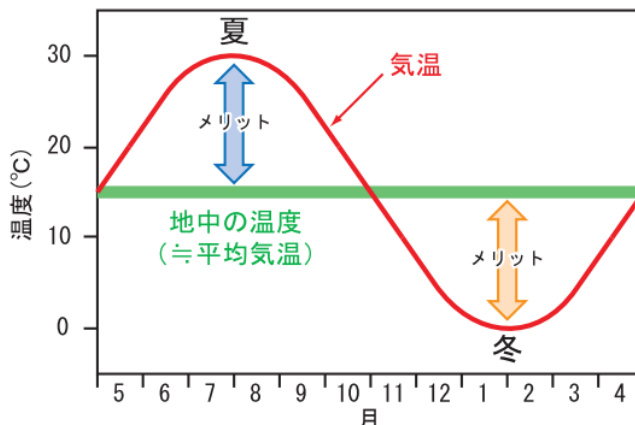
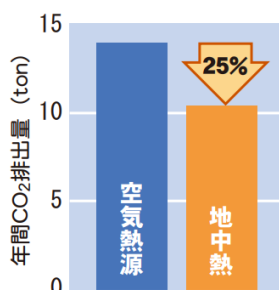
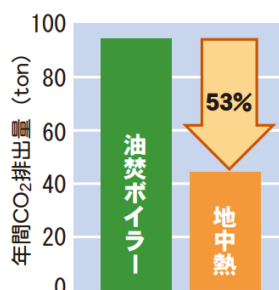


図 4.5 安定した地中温度を利用するメリット

出典：環境省（2021）



試算条件:冷房能力40kW、暖房能力45kW、平日のみ1日10時間運転、消費電力はメーカー各社平均値、CO₂排出係数は東京電力調整後係数（2017年度）



試算条件：A重油ボイラー出力93kW、地中熱ヒートポンプ暖房能力95kW、150日×22時間運転、消費電力・燃料消費量はメーカーカタログ値、電力のCO₂排出係数は北海道電力調整後係数（2017年度）

図 4.6 CO₂排出削減量の試算例

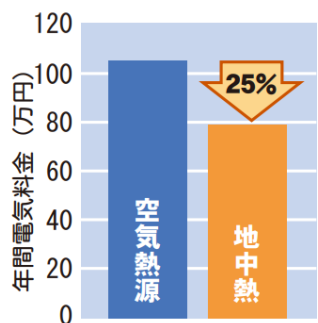
出典：環境省（2021）

53%の削減が見込まれる。

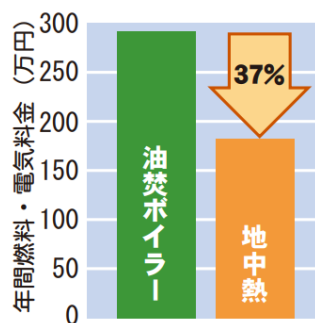
④ 電気代・燃料代の削減効果

図 4.7 にあるように、空気熱源ヒートポンプを地中熱ヒートポンプシステムに切り替えた場合のランニングコストをオフィスビルの例で試算すると、年間の電気料金は 25%の削減が見込まれる。

また、暖房や融雪利用における油焚ボイラーの場合は、燃料代と電気料金の合計で 37%の削減が見込まれる。



試算条件：冷房能力40kW、暖房能力45kW、平日のみ1日10時間運転、消費電力はメーカー各社平均値、電力は東京電力低圧電力



試算条件：A重油ボイラー出力93kW、地中熱ヒートポンプ暖房能力95kW、150日×22時間運転、消費電力はメーカーカタログ値、電力は北海道電力エネとくスノープラン

図 4.7 ランニングコストの試算例

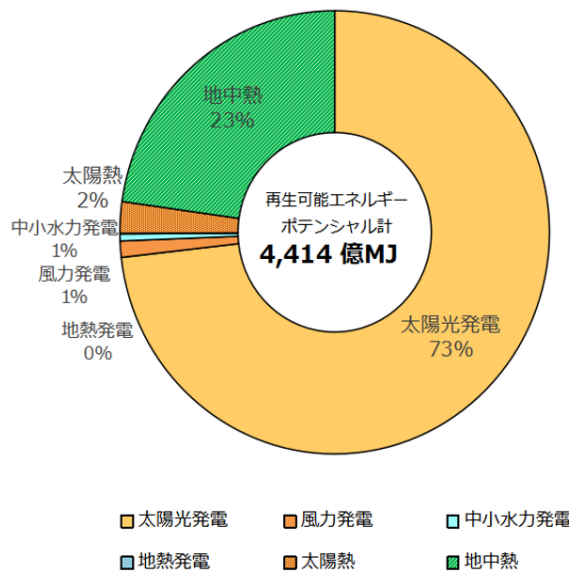
出典：環境省（2021）

4.4 現状とポテンシャル

1) 栃木県における再エネ熱の現状とポテンシャル

栃木県では、太陽熱、地中熱を含め再エネ熱の導入量はごく一部に限られている。たとえば、2019年度末まで、栃木県の地中熱ヒートポンプの設置件数は30～49件程度であり（環境省，2021）、太陽熱の普及率は5%程度である（穴田，2022年）。

しかしながら栃木県内では、再生可能エネルギーの導入ポテンシャルは現在のエネルギー消費量の約6倍であり、その中で、地中熱と太陽熱の導入ポテンシャルは全体の4分の1を占めている。これは全県エネルギー需要量の1.5倍を提供できる計算である（図4.8）。



2) 宇都宮市における再エネ熱のポテンシャル

「スーパースマートシティ」の実現を目指す宇都宮市では、2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、脱炭素社会を構築することを目的として再生可能エネルギー

図 4.8 栃木県の再エネ熱の導入ポテンシャル

・「導入ポテンシャル」のうち、再エネ電力（太陽光、風力、中小水力、地熱）は発電電力を熱量換算した値とし、再エネ熱（太陽熱、地中熱）は、「REPOS(リーボス）」における設備容量を集計する。

ギーの導入に積極的に取り組んでいる。

宇都宮市における再生可能エネルギーの導入量の中では、太陽光発電が圧倒的に多いが、太陽熱や地中熱の導入量はいまだに僅かとなっている。しかし宇都宮市内では、太陽熱や地中熱の導入ポテンシャルは全体の83%を占めている。したがって、再エネ熱の導入が期待できるといえる(図4.9)。

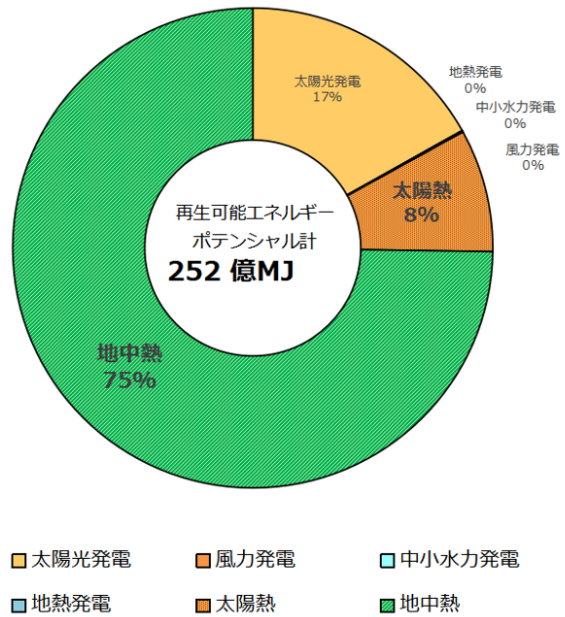


図 4.9 宇都宮市の再エネ熱の導入ポテンシャル

3) 那須塩原市における再エネ熱のポテンシャル

那須塩原市の再エネ導入は宇都宮市と同じく、僅かである。しかし一方で、再エネの導入ポテンシャルを見れば、地中熱(63%)、太陽熱(6%)のポテンシャルが高く、全体の69%を占めている(図4.10)。

・太陽光の導入ポテンシャルは「住宅用等」と「公共系等」の2種類のデータがあるが、ここでは、市町村単位で算出されている「住宅用等」を用いる。
 ・「導入ポテンシャル」のうち、再エネ電力(太陽光、風力、中小水力、地熱)は発電電力を熱量換算した値とし、再エネ熱(太陽熱、地中熱)は、「REPOS(リーポス)」における設備容量を集計する。

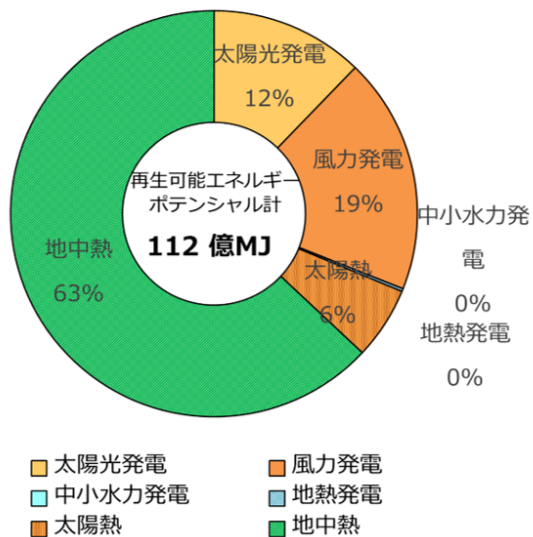


図 4.10 那須塩原市の再エネ熱の導入ポテンシャル

・太陽光の導入ポテンシャルは「住宅用等」と「公共系等」の2種類のデータがあるが、ここでは、市町村単位で算出されている「住宅用等」を用いる。
 ・「導入ポテンシャル」のうち、再エネ電力(太陽光、風力、中小水力、地熱)は発電電力を熱量換算した値とし、再エネ熱(太陽熱、地中熱)は、「REPOS(リーポス)」における設備容量を集計する。

出典：環境省(2022)

事例紹介：再エネ熱の導入

中国では、太陽熱の利用が普及している。2006年には既に世界の集熱器設置台数の69%を占めていた。そのうちの75%は、都市部の集合住宅や一戸建て住宅に数千台規模で設置されている小型の自然循環式集熱器であった。2008年には、中国国務院は「家電下郷※」財務政策を打ち出した。太陽熱温水器はその対象となり、中国農村地域における太陽熱温水器の需要が一層拡大してきた。

※家電下郷：農村地域の家電普及率上昇を促進するため、カラーテレビ、冷蔵庫、携帯電話、太陽熱温水器などの家電製品について、農業戸籍を持つ家電購入者へ13%の補助金を提供するという政策である。

○太陽熱の利用－中国



図 4.11 中国の一般家庭のバルコニーで太陽熱システムが設置された様子

○地中熱の利用－スウェーデン

また、欧州では地中熱の導入が普及している。例えば、図 4.12 のように、スウェーデンでは35万個ものヒートポンプが一般住居と商業施設に導入されている。地中熱の導入はコスト削減にも繋がっており、スウェーデンのある家庭では、一年の冷暖房費が導入前は5000ドルだったが、導入後は970ドルと大きく冷暖房費の削減に成功した。



図 4.12 スウェーデンの一般家庭の庭で地中熱ヒートポンプの設置を行っている様子

出典：Kelsey Hand (2017)

○日本国内の地中熱導入－島根県邑南町

日本国内においても、地中熱の導入が進んでいる地区もある。例えば、島根県邑南町では、

トンネルや駐車場など場所で地中熱交換器を設置して、融雪している。地中熱利用融雪方式の導入は市民の外出に大きな便宜をもたらしながら、地域脱炭素の実現にも役立っている。これからも、島根県邑南町は地中熱の導入を拡大していく予定である（図 4.13）。



図 4.13 島根県邑南町地中熱融雪設備の融雪状況（左）と瑞穂駐車場で地中熱設備を導入した後の様子（右）

出典：藤田（2023）

○日本国内の地中熱導入－宇都宮市



図 4.14 宇都宮市大谷町にある地中熱を使ったいちごハウス（左）と宇都宮駅東口にある宇都宮シンフォニー病院の様子（右）

宇都宮市では、地中熱の使用がわずかとなっているが、農業や病院などで導入されている例が存在している。例えば、宇都宮市の大谷では、いちごのハウス栽培にも地中熱が利用されている。従来のハウス農業では、化石燃料を大量に燃やして、CO₂を排出していたが、自然にある地中熱を活用し、環境にやさしい栽培方法である。このエネルギーの地産地消が評価され、グッドデザイン賞も受賞した。また、宇都宮駅の東口にある宇都宮シン

フォニー病院では、地下水を活用し、地中熱エネルギーによって病院の冷暖房に活用している。

4.5 地中熱フィールドワーク

栃木県の再エネ熱導入の現状を知るため、2022年12月に宇都宮市内で地中熱を利用した冷暖房設備の見学のため、宇都宮市西川田にある「ユウケイ武道館」でのフィールドワークを行った（図4.15）。

現地に向かってすぐ、武道館内会議室にて栃木県職員の方から地中熱の技術や県での取り組み事例、他地域での普及状況などについての説明を30分程度受けたのちに、武道館外に設置されている採熱管のようすや施設内の見学を行った。



図 4.15 「ユウケイ武道館」館内と採熱管の様子

撮影：高橋この葉（2022年12月14日）

見学を行ったのは12月中旬で、外は非常に温度が下がっていたこともあり、武道館内では地中熱による暖房がよく効いていることを期待していたが、地中熱設備が導入されているはずの廊下も道場内もとても寒く感じ、地中熱の恩恵があまり感じられなかったことは残念に思った。

市内施設での地中熱導入事例を実際に確認できたとともに、多くの課題を発見した。

まず一点目に、この武道館においては、すべての冷暖房を地中熱利用分で賄っておらず、残りの供給は既存の冷暖房設備から行っていることが分かった。この課題については、再エネ利用率を向上させるために、地中熱に加え、太陽熱利用との併用などといった工夫を行うことが出来ると考えた。

二点目に、県内の行政・事業施設で地中熱や太陽熱の導入事例が少ないことが挙げられる。県職員の方からは、県庁での CO₂排出量がほかの事業者と比べても多いという結果が出ていることから、県有施設での再エネ化を目指しているという方針について説明があったが、その事例については未だに少数である。また、県では 2021 年、事業者向けに「脱炭素ガイドブック」を作成したが、太陽熱・地中熱利用の導入事例は「上級編」に分類されており、現状、栃木県内での再エネ熱利用は、事業者の手に届きにくい手法となっていることが明らかになった。県内の再エネ熱採用事例は行政・事業部門ともに少ない現状に対しても、課題が残ると考える。

4.6 導入を妨げる課題

宇都宮市における、太陽熱や地中熱を始めとした再エネ熱の導入が進展しない原因について、以下のように考察できる。

1) 情報へのアクセス

太陽熱、地中熱といった再エネ熱への知識や情報の普及は、自治体、企業、政府など様々なレベルで、全体的に不足している傾向にある。政策決定に携わる自治体は、再エネ熱に関して正確、潤沢な情報を有するプロフェッショナルではないことがほとんどである。そのような情報を手に入れるためには、自らが情報収集を行ったり、専門家からの協力を得たりする必要があるが、これには多くの時間とコストがかかる。それゆえ、自治体から企業への情報提供はあまり望めず、また、再エネ熱に関する情報や技術を有し、それを消費者に提供できる企業は多くない。市民にも、再エネ熱に関する情報が十分に届いている状況とは言い難い。このように、再エネ熱に関する情報が全体的に不足している状況が、ますますその普及を停滞させるという悪循環を生み出している。

例えば太陽熱に関しては、それを利用した設備として太陽熱温水器がある。しかし現在主流である太陽光発電と比べ、太陽熱温水器を扱うのはほとんどが中小メーカーである。ゆえに、広報という面において、その訴求力はどうしても大手より劣ったものになる可能性がある。

また、地中熱に関しては、2021 年に経済産業省の「エネルギー基本計画（案）」、環境省の「地球温暖化対策計画（案）」、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略（案）」の 3 政策に対して、地中熱利用促進協会、ソーラーシステム振興協会、日本木質バイオマスエネルギー協会の 3 団体で構成される再エネ熱利用促進連絡会によってパブリックコメントが提出された。これにより太陽熱、地中熱を含めた再エネ熱に関する意見が反映されたが、一般には未だ十分に浸透していない。自治体、企業、市民といった各レベルで、再エネ熱全体に対する認識は依然として薄いといえる。

2) マイナスイメージ

太陽熱の導入を阻害する要因に関しては、一部メーカーによる不適切な販売が過去に行われたことが少なからず影響していると考えられる。まず1990年代に太陽熱温水器の強引な訪問販売が行われており、それに加え、2000年代に入っても同様の事例が発生している。そのため、太陽熱や太陽熱温水器といった言葉やその製品自体に、消費者からマイナスな印象を抱かれている部分があるのではないだろうか。

3) 導入コスト

再エネ熱システム導入のためのコストは、太陽熱利用システムであれば、家庭用で数十万、業務用では数百万円の規模になる。地中熱利用システムであれば、地域によってその導入コストには差があるとはいえ、住宅用であっても数百万円に及ぶ。また、再エネ熱利用システム導入の補助制度に関してだが、太陽熱利用への補助金はごく一部の自治体にしかない一方で、地中熱利用への補助金は国、県からのものが複数ある。しかし、補助制度を加味して考えても、一家庭で支払い可能な額を考えれば、太陽熱利用システム、地中熱利用システム導入のコストは、導入を阻害する要因として大きいといえよう。

特に地中熱に関しては、初期費用が高いため日次の電気料金を低減することは可能であるが、投資回収年数が長くなる。前述したような国や県の補助金制度を用いることで、投資回収年数を短縮すること自体は可能である。しかし、元々の導入コストが高価であるため、補助制度を用いたとしてもコスト低減には限度があるという点と、栃木県における補助金制度が設けられていないといった点から、導入コスト低下への見込みはあまりないというのが現状である。

4.7 再エネ熱普及のための効果的な政策・対策

では「再エネ熱の導入を妨げるもの」で浮かんだ課題に対し、考えられる効果的な政策や対策は何であろうか。ここでは「導入コストの負担」、「市民への政策浸透」、「市民、企業自治体の行動」に焦点を当てて考察を行う。

1) 導入コストの負担

導入を妨げる課題としてまず、「導入コストの負担」が挙げられる。ここでは太陽熱と地中熱それぞれについて考察する。

○太陽熱

太陽熱に関しては、政策的位置づけを高めることが求められる。現在、注目度の低い太陽熱に対する補助金制度はあまり見受けられない。太陽熱の政策を強化し、国レベルで政策的位置づけを高めることが必要である。さらに、市民が自発的に太陽熱を導入するために、誰でもアクセス・利用しやすい補助金を導入する等、国レベルの支援でコストを抑えることが考えられる。

○地中熱

地中熱については初期費用の低減が求められる。太陽熱のような補助金制度の強化以外には、特に技術を標準化させ、地中熱がより普及することで更なるコストの低下が見込まれる。

2) 政策を民間に浸透させるために

さらに、「政策が市民や企業者などに浸透していない」という課題も挙げられた。この課題については、太陽熱と地中熱ともに言及する。

重要なことは、あらゆる政策に熱に関する提言を組み込むことだ。どちらとも、導入するかしないか以前に、そもそも市民や企業者等が知らないことが多い。市民や企業者など幅広いアクターに再エネ熱の関連政策や正確な情報にアクセスしやすいシステムを構築し、提供することが求められる。

さらに、建築会社に対し、新築住宅には必ず太陽熱または地中熱を導入する、リフォーム時に導入を義務づける、等、まず導入を視野に入れてもらうことが再エネ熱利用の拡大に効果的だと考えられる。

3) 市民、企業・自治体の行動

市民だけでなく、企業や自治体も再エネ熱に関する情報が少ないことも課題である。この課題に対しては何ができるだろうか。

○市民

市民は、再エネ熱に関心を持つことが求められる。再エネ熱の仕組みやポテンシャルを知り、自治体や公的機関、企業から情報提供を求めることが大切である。

○企業・自治体

企業自治体は、市民に情報提供するにあたって、有識者から再エネ熱に関する専門的かつ正確な情報を求めることが必要だ。その上で情報にアクセスしやすいシステムをつくりあげ、市民の注目を集めるような広告や宣伝を打つことが求められる。

さらに、既に導入した方の声や実績を公開することも、再エネ熱の導入効果やメリットを可視化につながり、より多くの市民が再エネ熱設備を導入することを招くであろう。

4) 導入事例

導入事例とそれによる効果だが、データが十分に出ているのが太陽熱のみであるため、今回は太陽熱の導入事例を紹介する。

○太陽熱

太陽熱システムは主に太陽光などと合わせたハイブリッドの形で、埼玉県や熊本県、鹿児島県等で太陽熱を利用した業務用の装置が導入されている。

特に鹿児島県指宿市の社会福祉施設、「介護老人保健施設ヴァンベールみどりの風」では、既設給湯設備としてLPガス温水ヒータを利用しているが、給湯燃料コストの削減と施設運営における環境負荷低減を目的として、真空ガラス管形（ヒートパイプ形）太陽集熱器80パネル（228 m²規模）の太陽熱利用システムを導入した。その結果、2019年度の実績としてLPガスの使用は53%削減され、年82.8 tのCO₂排出削減に成功している（穴田,2022）。

4.8 おわりに

本章では、再エネ熱、特に太陽熱利用と地中熱利用について、その導入状況とポテンシャル、そして導入を妨げる要因とその解決策について考察を行った。県内には再エネ熱利用のポテンシャルが存在するものの、依然として導入量が増加しておらず、その要因については情報不足やマイナスイメージ、コストの問題が挙げられた。この課題を解決するためには、コスト削減のための行政の支援、行政や企業からの専門的かつ正確な知識の提供が重要ではないかと考えた。

また、成功した熱利用の導入事例について見ていくと、再エネ熱を単体で導入するのではなく、太陽光などほかの方法と合わせた形で導入していることが分かる。エネルギーの脱炭素化に向けては、まずもって消費エネルギー量自体を減らす断熱・省エネを行い、高効率の再エネ熱を利用しながら、電力は太陽光など再エネ発電で行う、といった組み合わせの工夫が重要となると考える。



図 栃木県内太陽熱利用システムを活用した施設「日光アイスアリーナ」の様子

5. NbS

5.1. はじめに

Nature-based Solutions(NbS)は気候変動対策の緩和と適応の両面において活用が期待される方法であり、国際的にも注目されている。NbS とは「社会課題に効果的かつ順応的に対処し、人間の幸福と生物多様性による恩恵を同時にもたらし、自然の、そして人為的に改変された生態系の保護、持続可能な管理、回復のための行動」(IUCN,2021)と定義されている(図 5.1)。



図 5.1 NbS イメージ図

出典：国際自然保護連合(IUCN)

栃木県においては、特に宇都宮市の市街地に緑の導入ができていない現状がある。そのため、この章では宇都宮市に焦点を当て、NbS 導入の現状を明らかにしたうえで、海外や国内の NbS の導入事例を参考に、宇都宮市で実現可能性のある NbS を 4 つ提案する。

5.2 宇都宮市の緑地の現状

1) 緑地の現状

まず初めに、宇都宮市の緑地についてのデータを見ていく（表 5.1）。宇都宮市（都市整備部 景観みどり課）が発行している「（仮称）第3次宇都宮市緑の基本計画素案」によると、宇都宮市全域の緑被率は67.0%（R1,2）であり、中心市街地では15.2%（R1,2）となっている。また、緑地率においては市域全域で53.4%（R3）であり、市街化区域では10.7%（R3）となっている。

同資料によると、緑被率は「航空写真のデータを用いて、樹林地や芝生等で覆われた区域『緑被』が、市域面積に占める割合」であり、緑地率は「法律や条例等により担保性が高い『緑地』が、市域面積に占める割合」と定義されている。この緑被率や緑地率については、各自治体または調査団体によって基準等にばらつきがあり、統一されたものではないため他の自治体、地域との正確な比較が困難である。

表 5.1 宇都宮市の緑被率・緑視率・緑地率の比較

指標		初期値	現状値
緑被率	市域全域	63.2 (H20)	67.0 (R1,2)
	中心市街地	10.1 (H20)	15.2 (R1,2)
緑視率	中心市街地	14.1 (H22)	14.3 (R3)
緑地率	市域全域	54.6 (H20)	53.4 (R3)
	市街化区域	11.2 (H20)	10.7 (R3)

出典：「（仮称）第3次宇都宮市緑の基本計画素案」（2021）より作成

2) 市街地における緑地化の取り組み

「（仮称）第3次宇都宮市緑の基本計画素案」によれば、宇都宮市の市街地における緑地化のための具体的な取り組みの一つとして、道路の緑化が挙げられる。街路樹の整備、管理を行うことで緑地を維持するという取り組みである。加えて、公共施設の緑化にも取り組んでいる。また、市民との協働による緑化の取り組みについても述べられている。中心市街地にて、ハンギングバスケットやプランターの設置を行っており、中心市街地外においては下草刈りなどの緑地保全活動が実施されている。

宇都宮市ではその他に、「緑地協定制度」という制度もある。これは市民が自ら地域の緑地化について目標を定め、協定を結び、市が認可するという制度であり、豊郷台などの地域で行われている。

3) 取り組みにおける問題点

先述したように、宇都宮市では緑地化に向けた施策がいくつか行われており、緑の基本計画の定期的な策定なども行っており、将来の緑豊かな宇都宮市のビジョンはよく示されているように感じる。しかし、現状としては宇都宮市としての緑地化への取り組みに積極性が足りていないように感じられる。例えば、中心市街地若しくは市街化区域において、宇都宮市としての取り組みがあまり無く、ほとんどが市民主導のものとなっていることである。市民の参画という点では有意義であるものの、市民の主体性によって緑地化の結果が大きく変わってしまうことが考えられる。宇都宮市として、緑地協定制度の導入範囲の拡大を行う、事業者と連携を結ぶなど、街路樹の整備等以外にも具体的に、主体的に取り組めることがあるのではないだろうか。

5.3. 提案① 屋上緑化

提案の一つ目として屋上緑化を紹介する。屋上を緑化することによってさまざまな効果が期待できる。例えば、緑化土壌の断熱作用、屋内の温度上昇抑制、それによる省エネ効果だけでなく、植物の蒸散作用によって屋外空間の温度上昇を緩和する効果などがある。よって、屋上緑化は室内環境の改善や経済的な効果、快適な屋上空間の創造、そして都市全体の環境改善効果をもたらすことができる。国土交通省が行った実験をもとに屋上緑化の効果について詳細に述べる。

1) 緑化土壌の断熱作用による真夏の屋上の温度の違い

国土交通省屋上庭園にて、2007年8月16日に行われた「屋上緑化空間の温度測定」のデータによると、緑化していない屋上タイル表面の温度は日中に50°C以上に達しているが、植栽基盤下面は30°C以下を保っている。また、タイル部は昼間に熱を蓄積し、夜間に大気中に放出するため、ヒートアイランド現象の一因を作っているといえる。よって屋上を緑化することによってこのような現象を防ぐことができる。

2) 省エネ効果

屋上を緑化することによって空調を稼働させる際のエネルギーがどのくらい削減されるのかについてその算出を紹介する。算出に際して、建物が実際に使用されていると屋内側の状況が変化することや、測定室外からの影響を受けることなどの多くの変動要因を考慮して、一定の条件を満たしたモデルルーム(30 m²)を想定したシミュレーションが行われた。結果として、図 5.2 のように、屋上を緑化することによりエネルギーを約 4%削減(モデルルーム一室あたり 7Mcal/日)することが可能と算出された。この値は、一日当たり約 42 円

の電力料金の低減となる(空調機器の成績係数(COP)を 4.0、1kWh の電力料金を 21 円とした場合)。

3) 屋上緑化の助成金について

J-グリーン株式会社 (n.d.)によると、助成金制度は全国的に行われており、緑豊かな生活環境づくりを目指して、屋上や壁面などに緑化工事を行う民間の建築物に対する助成金が各自治体で交付されている。助成金の対象、内容及び条件は、それぞれの自治体によって大きく異なるという現状である。ちなみに宇都宮市では現在緑化に関する助成金の交付は行われていない。

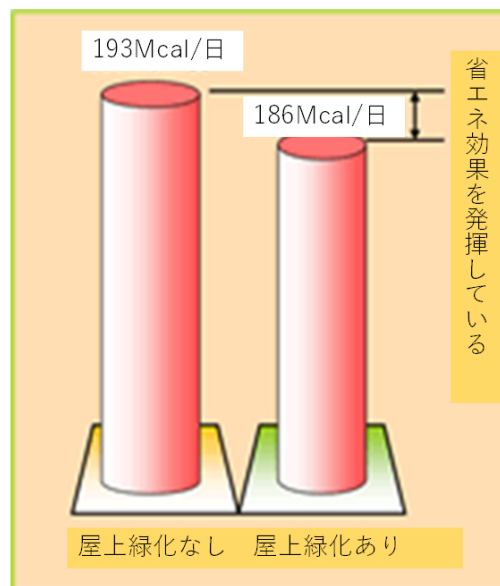


図 5.2 屋上緑化による省エネ効果

出典：国土交通省屋上庭園 (n.d.)

5.4. 提案② 敷地緑化

敷地緑化とは、道の両脇に街路樹を植え、地面を芝生化するなどの緑の面積を増やす方法である。敷地の緑化をすることによって、私たちの暮らしをより過ごしやすくすることが可能になる。

1) 導入効果

緑を取り入れることによって、地表面の温度を下げられるということが、環境省 (2012) の調査によりわかっている。具体的な活用事例としては、学校の従来の土の校庭を芝生の校庭にすることで表面温度が 8°C 低くなっていることがわかった。また、街路樹の活用もなされている。歩行空間に街路樹を植えて、木陰をつくることで太陽からの日射を遮断する涼しい空間が生まれる。同じ歩道であっても、直射日光にさらされる場所と街路樹によって日陰がつくられる場所とでは約 20°C もの差が生まれた。歩道や車道などの路面では、太陽からの日射によって蓄熱されることで路面表面温度が上昇して高温になる。これは、歩行者にとって大きな熱ストレスとなり、熱中症の危険性も高まる (図 5.3)。

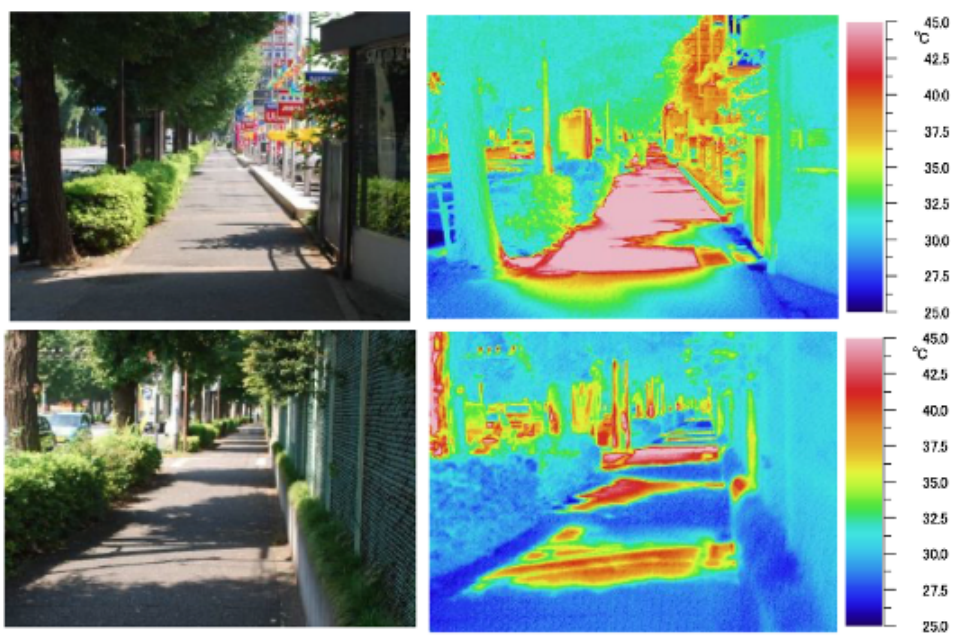


図 5.3 日なたと日陰の温度差

出典：環境省

2) 雨水管理としての効果

こうした敷地緑化は、雨水管理とも関連して活用することも可能である。栃木県宇都宮市は 2020 年に「宇都宮市総合治水・雨水対策推進計画」を策定し、「流す」「貯める」「備える」の三つの柱に基づく治水・雨水対策の推進に取り組んでおり、河川や下水道の整備、公共施設における貯留・浸透施設の設備、ハザードマップの周知等を盛り込んだ計画となっている。しかし、雨水対策においては緑の導入によって路面や屋根などの不浸透面であっても降った雨水を植物が吸収し、その後ゆっくりと地中に浸透させることが出来る。まさに植物の「天然のダム」効果を活用したものであるといえよう。実際に緑化の導入と雨水管理を関連付けて行っている例が日本でも見られる。京都府京都市の「雨庭」は、道路にあふれる雨水を雨庭によって一時的に貯め、雨水流出の抑制に役立っている。これは、近年都市部で問題となっているヒートアイランド現象や豪雨による被害への対策として有効である。また、景観を美しく保つことにも貢献し、四季によって異なる植栽を植えることで景観向上にもつながっている。雨庭では、雨水を地中に浸透させやすくするために、植栽の周りに砂利などを敷き詰めた「州浜」を採用して砂利の隙間に雨水を一時的に溜めている。その後、貯留された雨水はゆっくりと地中に浸透していく（図 5.4）。

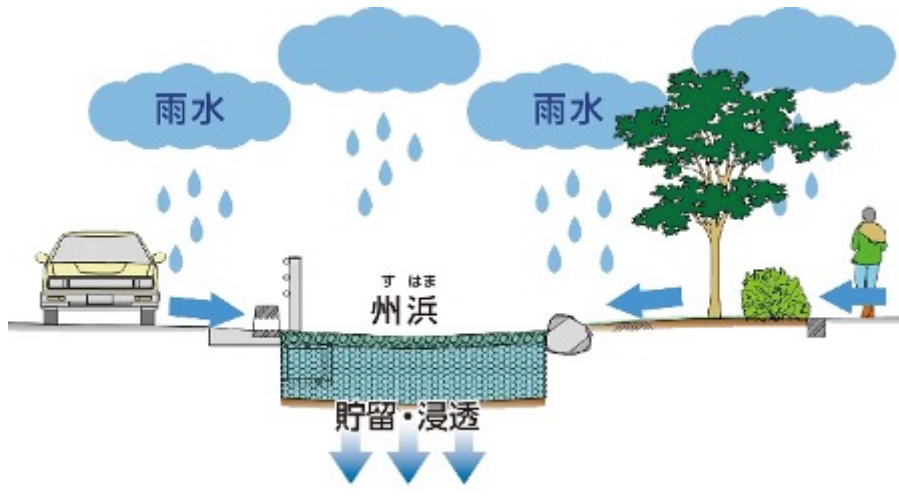


図 5.4 雨庭イメージ図

出典：京都市情報館（2022）

3) 雨水管理の海外事例

また、海外の事例にも雨水管理と緑化を組み合わせたものがみられる。スウェーデン、マルメ市 Augustenborg 地区では、長年地域が悩まされてきた洪水問題に対処するため「開放型雨水システム」を採用している。これは、従来の下水道システムのオーバーフローを防ぐために街中に設置された水路や池にも雨水を集めることで余分な雨水のみが下水道システムに流れる仕組みである。このシステムの導入にあたって、もとは住民のレクリエーションの場として緑地が増やされたが、これが雨水の浸透にも役立つ効果を発揮している (Climate ADAPT Case studies, n.d.)。

このように、敷地緑化は年々深刻化していく夏季の高温や都市部のヒートアイランド現象に対処するための温度抑制効果のみならず、台風や豪雨災害が日本国内をはじめ世界でもみられるようになった昨今、雨水管理にも活用できることが事例からわかった。また、こうした気候や自然災害への対策に加えて景観向上やレクリエーションの場の創出にもつながり、市民の生活により豊かさをもたらす政策として新たに注目するべきであるといえる。

5.5. 提案③ 路面緑化

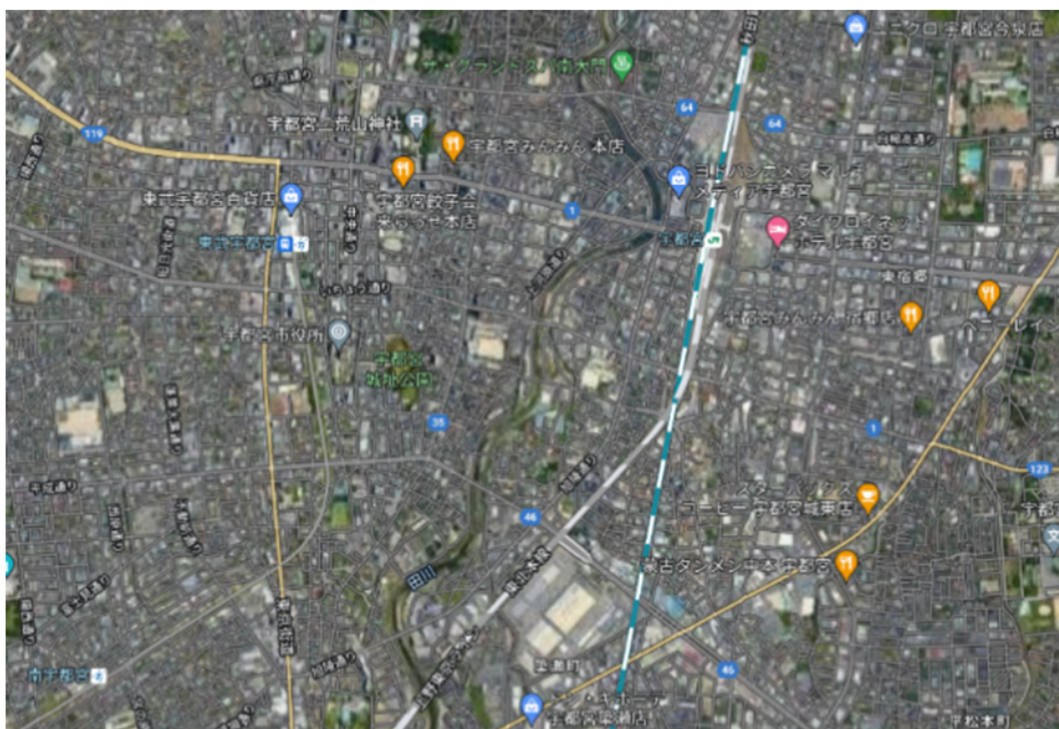


図 5.5 緑の少ない宇都宮市中心部の航空写真

出典：Google Map（閲覧日 2023 年 1 月 12 日）

路面緑化とは道路交通を芝生で覆うことで緑被率や緑地率の向上に貢献していくものである。以上に述べられていたように、宇都宮市中心部の緑被率は 15.2%であり、宇都宮市全体の緑被率 67.0%（宇都宮市調査・2020）に比べると異常に低いことが分かる。これらの要因には建物や、地上における有料パーキングの増加によってかつて緑であったはずの土地がみるみるコンクリートで埋め尽くされていったことと同時に、近年の LRT や交通渋滞緩和に向けての道路の拡張整備も相まって、道路が占める面積の上昇も緑被率の低下につながる事態となってしまったことが挙げられる。そのような現状を緩和していく打開策としてのグリーンインフラ、路面緑化の推進が挙げられる。

1) 導入効果

以下からは、実際に全国で初めて軌道敷の緑化に成功した鹿児島市電の事例（鹿児島市, 2022）をとりあげながら、路面緑化のメリットについて記述していく。（図 5.6）



図 5.6 鹿児島市電外観

出典：鹿児島市（2022）

①ヒートアイランド現象の緩和

路面緑化はコンクリートの占有率の減少に直接的に影響を与えると同時に、ヒートアイランド現象の緩和に大きく貢献する。これは夜間にコンクリートから放出される熱の量が減るのに加えて、土壌の水分蒸発や芝生の蒸散作用で周囲の温度が下がる仕組みが働いている。実際に鹿児島市電で見られた成果としては、夏の晴天時の地表面温度を芝生軌道整備の事前と事後で測定したところ、緑化した軌道敷内で17~18°C、緑化した中央分離帯で24°C低くなり、芝生軌道には路面温度の上昇を抑える効果があることが明らかとなった。(図5.7)

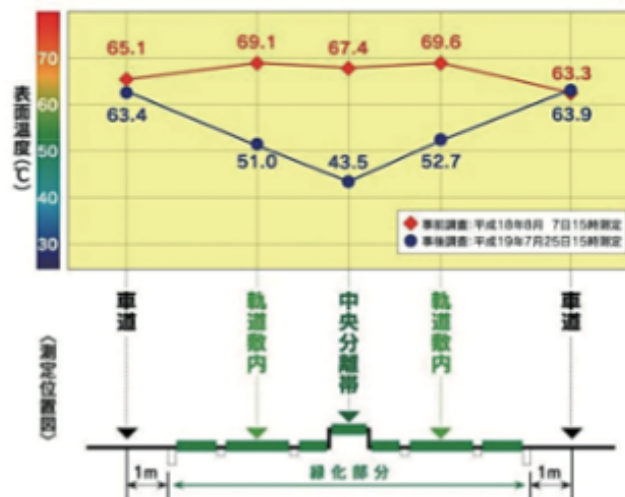


図 5.7 緑化の事前と事後の温度差

出典：鹿児島市（2022）

②沿線沿いの騒音の低減

芝生などに代表される緑化基盤には吸音効果があることが同市電の調査によって実証された。実際の検査によると、電車通過時の騒音レベルは、軌道敷の緑化を行った地点で4dB（デシベル）²、軌道敷緑化と軌道改良した地点で9dB³の低下が見られた。これらの計測はいずれも深夜の静寂な時間帯に行われたため計測値の誤差は少ないと言える。また、電車による1日の平均騒音レベルは、軌道敷の緑化を行った地点で平均3dB⁴、軌道敷の緑化と同時に軌道改良を行った地点で5dB⁵の低下が見られ、騒音低減の効果が実証された。

③集中豪雨時の洪水抑制

緑面の下に設置する基礎土壌には、降雨時の水を一定程度治水する効果がある。宇都宮市では、2019年の豪雨災害で中心市街地が洪水被害に遭った他、例年夕立によるゲリラ豪雨

² 4dB 低減は、20m 離れた地点で聞こえていた音が、8m まで近寄らないと聞こえないほどに低減したことに相当。

³ 9dB 低減は、20m 離れた地点で聞こえていた音が、3m まで近寄らないと聞こえないほどに低減したことに相当。

⁴ 3dB 低減は、20m 離れた地点で聞こえていた音が、10m まで近寄らないと聞こえないほどに低減したことに相当。

⁵ 5dB 低減は、20m 離れた地点で聞こえていた音が、7m まで近寄らないと聞こえないほどに低減したことに相当。

など夏季に発生する降雨が顕著に見られる地域であり、雨水管理が欠かせない地域といえる。路面緑化には、治水によって雨水が余分に流出しないようにする効果があり、洪水被害をはじめ予期せぬ被害を未然に防ぐ最適な対策手段である。

2) 宇都宮駅西口側の LRT 整備事業における導入効果

本事業を展開していく上で期待されるのが、中心市街地における緑被率の向上である。2020 年度の宇都宮市の中心市街地における緑被面積は 48.5ha であり、2008 年度の 32.3ha に比べて 16.2ha 増加し、割合で 5.1%の増加が達成された（（仮称）第 3 次宇都宮市緑の基本計画素案）。加えて現在宇都宮市では、現時点で開通予定の宇都宮駅東口～本田技術研究所北門間の 14.9km に及ぶ沿線整備に加え、宇都宮駅西口～大谷観光地付近間の約 8.1km に及ぶ延伸事業を展開中である。これら延伸事業と前述の緑化事業の組み合わせを行っていけば、緑被率の大幅な増大が見込まれ、景観の向上など様々なプラスの効果期待できる。そこで、これら二大事業を同時並行で行っていった場合の導入効果を、前述の鹿児島市電にて実証された導入効果の数値を基に算出した。

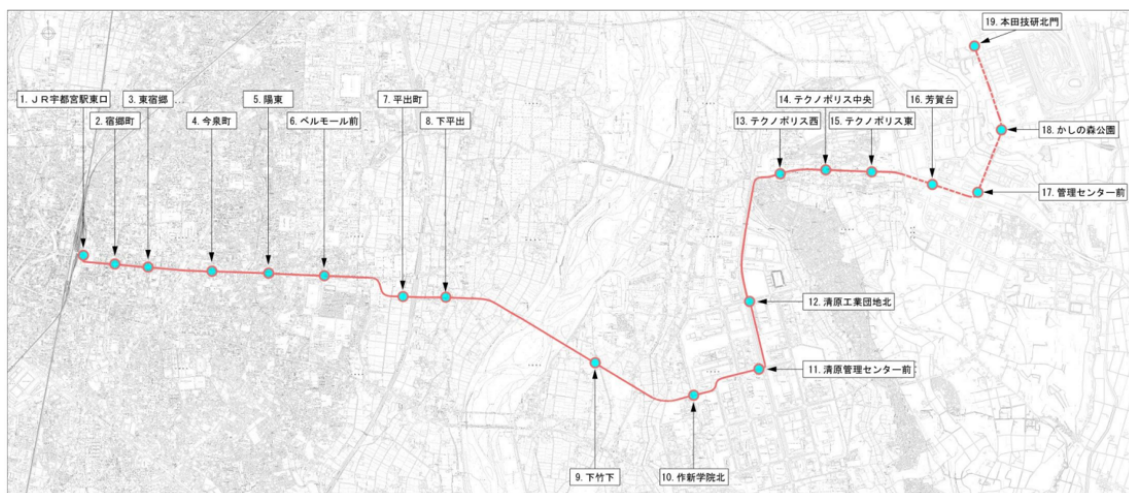


図 5.8 LRT 導入ルート

出典：宇都宮市（2022）

鹿児島市電では、8.9km に及ぶ緑化整備を行った末、35000 m²の緑化に成功した。これを 8.1km の宇都宮市の延伸事業で同様に取り入れていった場合は、31853 m²の緑化が期待される。これは中心市街地の緑被率の約 1%向上に寄与する。

5.6. 提案④ 駐車場緑化

1) 宇都宮市の現状

続いて、4 つ目の提案「駐車場緑化」についてである。宇都宮市の市街地の航空写真を見ると、緑が少ないことがわかった。また、それを拡大して細かく見ると、緑が少ない部分の

多くを駐車場が占めていた（図5.9）。宇都宮市中心市街地の実態に関する研究（山島，2017）では、宇都宮市には1,300か所以上の駐車場があり、月極駐車場とコインパーキングで多くを占め、形態としては平面式のもものが90%以上を占めていると



図 5.9 宇都宮市中心部の駐車場の分布（黒く塗られた部分は駐車場）

出典：山島（2017）

いう。特に中心部の駐車場面積は約4割となり、中心部は駐車場によって埋め尽くされている現状にある。また、空き地となった場所が平面の駐車場と化している現状も見られ、近年、市街地の駐車場は増加傾向にあり、これ以上増えるとまち全体の魅力が失われてしまうとされている。これらの状況を踏まえ、宇都宮の市街地では駐車場緑化の可能性があるといえる。

2) 駐車場緑化の導入方法

駐車場緑化は平面駐車場でも立体駐車場でも導入することができる。例えば、平面駐車場では外周部や分離帯に木を植えたり、駐車区画を緑にしたりする方法が考えられる。立体駐車場では、壁面に蔓性の緑を這わせたり、外構部に木を植えたりすることで緑の導入が可能になる。これらの方法を組み合わせて用いることで市街地の緑を増加させることができるのではないかと。今後の空き地の駐車場化の際には駐車場に緑を導入するには、“敷地の○○%以上を緑にする、○本以上の木を植えるなどの条件”を定めることで、緑を増やすことができるだろう。

また、京都市ではコインパーキングなどの駐車場を運営している事業者と駐車場緑化に関する協定を結ぶパートナー制度「京（みやこ）のみどりの駐車場パートナー」の取り組みも行われている。このパートナー制度は、事業者には毎年度100㎡以上の駐車場の緑化を行い良好に管理してもらう、年度末の緑化活動が100㎡未満の場合、京都市の都市緑化事業への協賛をしてもらうという内容である。これまでにこの制度によって、駐車場の一角に緑地を設けたものや、緑化ブロックを使用して駐車スペースを緑化したものだけでなく、高木

や低木を組み合わせで植栽された駐車場など合計 19 件のみどりの駐車場が完成している。
 (図 5.10)



図 5.10 「京のみどりの駐車場パートナー」で作られたみどりの駐車場

出典：京都市情報館（2022）

5.7. NbS を求める声

これまで宇都宮市での様々な NbS の活用法を提案したが、私たち学生以外にも街に緑を増やして欲しいという声あげられている。令和 3 年の宇都宮市のアンケート調査によると市民の緑の満足度について都市部の市民は街に緑が「少ない」という回答が半数以上であることが分かった。郊外部では緑が「少ない」と感じる声は都市部よりは目立ってはいないが、緑が「多い」という回答は 2 割程度しか得られていない。この調査では特に都市部の緑の量について少ないと感じる市民が多くいることが注目に値すると考える（図 5.11）。

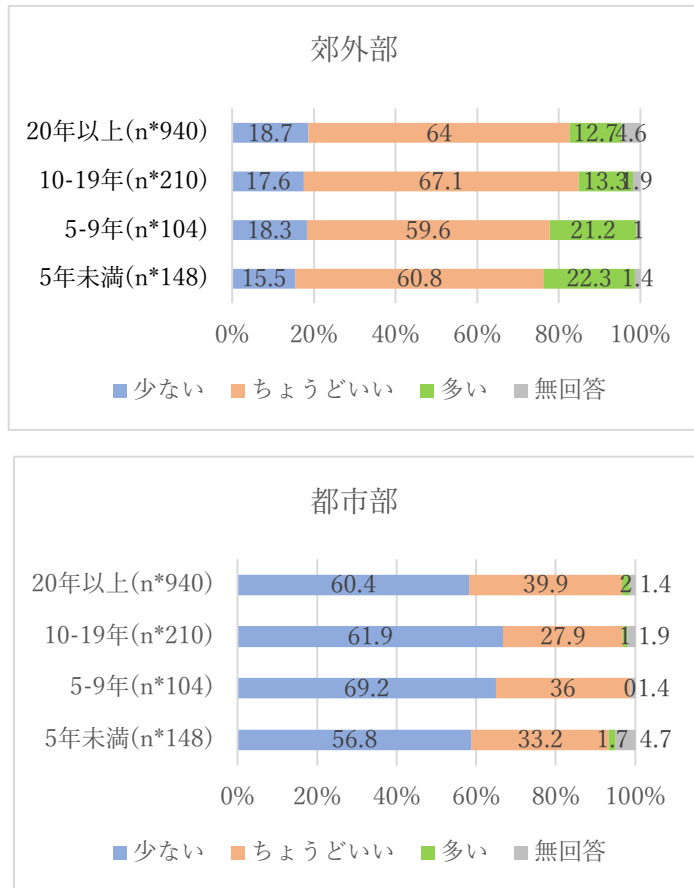


図 5.11 緑への満足度

出典：宇都宮市（2022）

表 5.1 第 2 次宇都宮市緑の基本計画の目標達成状況

	指標	初期値	目標値 (R4)	現状値
緑比率	市域全域	63.2 (H20)	初期値を維持	67.0 (R1.2)
	中心市街地	10.1 (H20)	初期値以上	15.2 (R.1.2)
緑視率	中心市街地	14.1 (H20)	20%	14.3 (R3)
緑地立		54.6 (H20)	初期値を維持	53.4 (R3)
	市域全域	11.2 (H20)	17.6%	10.7 (R3)
市民一人当たりの 公園面積	市街地	10.44 (H21)	13m ² /人	11.42 (R3)
緑の量に満足して いる市民の割合	都市部	21.2 (H21)	28%	34.1 (R2)
	郊外部	57.0 (H21)	60%	63.8 (R2)
	自宅周辺	45.2 (H21)	50%	54.4 (R2)

出典：宇都宮市（2022）

それを踏まえて、同年に出されている 2011 年の第 2 次宇都宮市緑の基本計画で立てた目標の達成状況のデータ（表 5.1）を見ると、中心市街地における緑被率の目標値が「初期値以上」となっており、目標値が曖昧であることが分かる。また、緑の量に満足している市民の割合を見ると、都市部の満足度の目標値が 28%と半分以下であることが分かる。上記で挙げたように街に緑が少ないという市民の声を反映させるためには、より高い目標値が設定されるべきであり、街中の緑を増やすためには全体として具体的かつ高い目標値の設定が必要とされるのではないかと考える。

5.8. おわりに

ここまで、「屋上緑化」、「敷地緑化」、「路面緑化」、「駐車場緑化」の 4 つの提案を紹介した。今回は取り上げなかったが、緑のカーテンや緑の壁を作るといった「壁面緑化」の手法も、屋上緑化のように省エネ・空気の浄化などの効果を得ることができる（図 5.13）。



図 5.13 京都市役所分庁舎 壁面緑化の様子

撮影：山崎（2023年2月5日）

これまで示したように、緑には「生態系の維持」、「景観の向上」、「防災」の効果以外にも「エネルギー消費の抑制」、「ヒートアイランドの抑制」の効果もある。また、緑が街にあることで「地域のつながり」ができ、私たちの「生活の質（QOL）の向上」にもつながる。

確かに宇都宮市・栃木県では郊外部に多くの緑が存在している。しかし、それらの緑が簡単に切られ、市街地となったり、太陽光が設置されてしまったりしている現状もあり、筆者が現在参加している里山保全活動の周辺の林も少なくなってきた。そのため、緑を増やすことだけでなく、その緑をどのように継続的に整備・管理していくかを考えることも重要である。宇都宮市が緑に関する施策を実施する上では、経路依存に陥ることがないように、従来のインフラや建設プロジェクトとは異なる関係者（より積極的な市民参加や、生物学者など新しいタイプの専門家の関与など）やプロジェクト管理のアプローチが必要であり、自治体はこれまでとは異なる方法で取り組む必要が今後出てくるだろう。

私たちは緑の多い都市は魅力の多い都市であると考えている。今回紹介した事例を用いて、街中の緑をもっと増やしてみようかどうか。

6. 考察と提言

本報告書では、栃木県及び「脱炭素先行地域」に選出された宇都宮市と那須塩原市のカーボンニュートラルロードマップを分析し、その実現シナリオを検討した。その結果、すでに実用化されている省エネ・再エネ技術を最大限活用することでカーボンニュートラルな社会を実現できることが分かったのは大きな成果である。

今回の研究では、大学・研究所・NPO・行政が情報を可視化させ、議論を深めることで、課題の発掘と解決の可能性を見出すことができた。イノベティブで魅力的なカーボンニュートラルな社会を実現するには、より多くのアクターの参加、とりわけ市民参加を大切にしたい情報交流の場と行動をつなぐ機能をもつことこそが重要で、そのための行政の役割は大きい。

以下、分野ごとに考察と提言をまとめる。

6.1 栃木県、宇都宮市、那須塩原市のシナリオ

栃木県、宇都宮市、那須塩原市のいずれにおいても、2050年のカーボンニュートラルに向けて、計画やロードマップを策定している。ただし、力点は再エネとりわけ太陽光発電の導入に置かれている。省エネや断熱については、啓蒙活動が中心であるが、支援策などは十分に市民に知られていない。再エネ熱に関する補助金等は見当たらない。NbSの重要性は、栃木県・宇都宮市・那須塩原市のいずれにおいても意識されていない。

しかしながら本研究では、新たなエネルギーや新技術の開発に依存しなくても、LED、高性能断熱住宅、高効率なヒートポンプを組み合わせた再エネ熱利用、EV車などの今の時点で既に存在している技術を軸に計画的に普及することに大きなポテンシャルがあることが分かった。実際にシナリオ計算を行うと、省エネ・断熱、再エネ熱利用拡大、NbSを導入した場合、CO₂排出量は、2013年と比べ、2030年に栃木県全体の68.1%、宇都宮市では62.2%、那須塩原市では62.8%を削減でき、さらに、2050年にはカーボンニュートラルがいずれの自治体においてもほぼ達成可能であることが判明した。

すなわち、機器等の更新時にエネルギー効率の良い製品に変えることで、エネルギー消費を大幅に抑えることが可能となる。ここで重要なのは、省エネ設備導入に伴う費用追加は、多くの場合導入後のエネルギー削減効果が比較的短い時間でカバーできるということである。このような有効性を幅広く周知し、支援制度利用促進を図ることが重要であろう。

提言

- ①カーボンニュートラルを目指す上での、省エネ・断熱、再エネ熱利用拡大、NbSの導入の政策的位置づけを高める。
- ②市民のニーズや懸念を理解するだけでなく、市民がイノベティブなアイデアや解決策を提案できるように、行政等が幅広い市民や事業者、NGO等を巻き込み継続的に対話を行

い、迅速に施策に反映させることができるような計画や仕組を整える。NGO や大学はこのような社会共創を進める上で大きな役割を果たすことができる。

6.2 省エネ・断熱

カーボンニュートラルの目標に向けて重要なのは、まずはエネルギーの消費量を減らす、省エネルギーであり代表例として断熱が挙げられる。省エネ・断熱の章では、日本の断熱基準は世界に比べると十分ではなく、住宅内の温度差は私たちの健康へも影響を与えると示した。また、栃木県・宇都宮市・那須塩原市において、それぞれ補助金制度などの省エネ・断熱に対する施策は存在するものの、認知度が低い状況にあり、十分に利用されてはいないことがわかった。

地域に住む人々が、世界と自分たちの省エネ・断熱の状況について知り、住宅に断熱や省エネ家電を取り入れる際には適切な情報を容易に得ることができ、その制度を利用することができるような仕組みづくりを行っていく必要がある。また、実際に選択肢を持たず困っている人々の意見を取り入れる場を設け、政策に反映できるようにしていくことが重要である。

提言

- ① 省エネ・断熱に関する情報が分かりやすく整理され、市民や事業者など幅広いアクターに知らされるとともに、実行に向けての支援のための相談ができるアドバイザーを設置する。
- ② 省エネ家電の導入に当たっては機器の選択を支援するアプリの提供と連携した補助金やポイント制度の分かりやすい情報を容易に知ることができる仕組みを作る。
- ③ EU などですでに実施されている施策を参考に、建物の断熱性能提示の義務化、居住者のエネルギー利用量を可視化できるアプリ等の導入を行う。
- ④ 国の定める断熱基準は諸外国に比べ大幅に低い。鳥取県で実施されているような自治体独自の上乗せした断熱基準を導入する。
- ⑤ 高齢者世帯、賃貸住宅人居住する世帯を含め、あらゆる生活者による「今住んでいる家が寒い」「光熱費が高い」といった生の声が行政プロセスに反映されることは重要である。市民、行政、事業者が対話・コミュニケーションを行い、新たなアイデアが生み出されるような共創の場を作ることは有意義である。

6.3 再エネ熱

再エネ熱は、栃木県、そして県内の宇都宮市や那須塩原市いずれも高いポテンシャルを持っているが、導入状況は極めて少ない。特に一般家庭での導入はほぼなかった。住宅への再エネ熱の利用こそ、カーボンニュートラル実現に向けて日本の盲点だと言えよう。

このような状況をもたらす要因として、まずは太陽光発電等の再エネ導入と比べて、再エ

ネ熱の政策的位置づけが低いこと、自治体や企業から市民への情報提供が少ないこと、結果として市民は再エネ熱の有効性に関する情報が入手できていないことがあげられる。

それに加え、過去には一部の太陽熱設備メーカーによる強引な訪問販売によるクレームの発生もあり、市民は自宅での再エネ熱利用に対しマイナスイメージを持ち、関心も薄い。さらに、栃木県では、再エネ熱の利用に関する補助金制度は設けていないため、導入コスト低下への見込みもなく、導入件数が少ないのも必然であろう。

再エネ熱はポテンシャルが極めて高く、エネルギー効率も費用対効果も高いはずが、普及していないことに鑑み、何がボトルネックかを可視化させることが重要である。そのために、政策的位置付けを高めると共に、現行の補助金に加え、技術の標準化、市場の活性化などが進められることが重要である。

提言

- ①再エネ熱の導入を促進するには、国レベルで、政策的位置付けを高めることが必須である。とりわけ、産業が衰退していることから、産業育成を含めた抜本的な政策強化が必要となる。
- ②市民が自発的に住宅用再エネ熱を導入できるようにするには、コストの低減が必須である。技術の標準化によるコスト低減、市民でも利用しやすい補助金制度の提供が求められる。
- ③再エネ熱の導入を推進するため、市民や事業者など幅広いアクターに再エネ熱の関連政策や正確な情報にアクセスしやすいシステムを提供する。
- ④すでに導入した方の声や実績を公開することは、再エネの導入効果やメリットを可視化に繋がる。市民、行政、事業者が対話・コミュニケーションを行い、新たなアイデアが生み出されるような共創の場を作ることは有意義である。

6.4 NbS（自然に根ざした解決策）

NbS は、気候変動の抑制や適応の両面において有効な施策として、海外では大きく注目されているが、栃木県や宇都宮市、那須塩原市では、その政策的位置付けはほとんど見当たらなかった。宇都宮市では、市街地の緑が極端に少ないとの声が大きいが、緑化目標値は緩く、「緑が少ない」と感じている市民の声が反映されていないことが挙げられた。

一方、NbS の効果について海外や国内の導入事例を参考に、宇都宮市で実現可能性のある方策を検討すると、NbS 導入によって、街に緑が増え、景観の向上に寄与するだけでなく、エネルギー消費の抑制やヒートアイランドの抑制、防災、QOL の向上にもつながるものであり、カーボンニュートラル実現のためにも極めて有効な策であることがわかった。

特に宇都宮市中心部への NbS 導入はポテンシャルが大きい。今回紹介した事例のように宇都宮市でも緑が増え、人々が緑とともに快適に暮らすことができる空間が形成されてほしいと考える。そのためには、多様な人々の意見やアイデア、解決策を取り入れることができる多文化公共圏の創出が望ましく、そのような対話の場があることにより多くの主体を巻き込んだ施策の実現が可能になる。また、ルンド大学の報告書によれば、一部の自治体職

員が自ら仲介役となり、既存の部署を超えたつながりを作り共同で問題解決に取り組むようになった結果、多くのアクターとの共同の解決に至った例もある。このように、栃木県や宇都宮市、那須塩原市においても、課題解決にあたっては分野を超えた連携が重要である。

提言

- ①宇都宮市の緑地協定制度を全市展開する、他自治体のような緑化助成金を導入するなど、屋上緑化や敷地緑化などを促進させる政策ツールを導入する。
- ②宇都宮市のように都市化の進んだ地域においては、都市開発の際に、路面緑化や駐車場緑化などのその地域にあった緑化の方法を導入する。その際は、緑化に伴う多面的な便益を可視化させ情報共有する。
- ③市民、行政、事業者が対話・コミュニケーションを行い、新たなアイデアが生み出されるような共創の場を作ることは有意義である。

6.5 まとめ

全体シナリオ、省エネ・断熱、再エネ熱、NbSのそれぞれの観点から現状・課題・提言を示した。全てに共通することとして、多様な人々の意見を取り入れる場が必要であるという考えが得られた。市民と行政、事業者が交流する対話の場を創出することにより、人々のニーズや懸念を理解するだけでなく、新たなアイデアや解決策を得ることが可能になる。そのような新たな施策が成功するには試行錯誤が必須であり、失敗と課題もつきものである。それらを恐れて新しいことに取り組まないのではなく、まずやってみて失敗から新たな方策を生み出し改善していく、トライアンドエラーを行っていくこと、そしてそれを社会全体が受容することこそが重要である。

カーボンニュートラルに向けた課題解決とは、私たちが今ある生活を手放し何かを我慢しなければいけないということではない。今の生活をより環境負荷の少ない持続可能な形態へと変革させることは、快適で豊かな社会を育むことでもある。

本報告書で取り上げた、省エネ・断熱、再エネ熱、NbSは、栃木県・宇都宮市・那須塩原市だけではなく、他県や他の地方都市にも応用可能な、普遍性の高い施策といえる。こうしたカーボンニュートラルに資する施策の追求が多様なコミュニケーションを通じて日本全体に広がり、日本の地方都市が元気になっていくことを願っている。

おわりに

2020年国のカーボンニュートラル宣言を受け、全国各地でカーボンニュートラル宣言、そしてその実行計画であるロードマップが発表されている。言わばカーボンニュートラルの都市間競争が始まったともいえる。地方のエネルギー資源と消費にはそれぞれ特徴があり地域が主体的に進めていくことが求められている。

今般、栃木県と「脱炭素先行地域」に選定された宇都宮市と那須塩原市を対象に宇都宮大学国際学部の学生が中心に NPO が支援する形でそれぞれのカーボンニュートラルロードマップを調査分析し、実行上の課題・提言を行ったのが本報告書である。

産総研の歌川先生には、各地域のカーボンニュートラル実現度を技術面から検証いただき、現有技術でカーボンニュートラルは実現できる見通しは得られた。ただし、その実現は行政・企業・市民の行動変容が前提になっており、より多くの関係者が行動を起こすことが求められている。

カーボンニュートラルロードマップをより実効性のあるものにしたいとの思いから若い学生目線で、この大きな社会課題にチャレンジした。現行制度が活かされていない、情報が伝わっていない、今ある資源をもっと有効につかうべき、といったはっとするような指摘も含まれている。断熱住宅の重要性では、省エネだけでなく健康への影響も調査し、栃木県の冬の室内温度が他県に比べて低く、冬季死亡率が東日本で最も高いとの指摘は驚きでもある。このように、専門家だけに任せるのではなく、幅広い視点から、課題解決を試みる有効性を体験することができた。

2050年カーボンニュートラル実現への道のりは決して楽なものではないが、我慢だけでなく行動変容により、より快適にQOLを高めながら進んでいけるよう本報告書が活かされることを願っている。

NPO 法人うつのみや環境行動フォーラム顧問
再生可能エネルギー部会 三宅徹治



図 授業風景 (左)

ワークショップ風景 (右)

参考文献

<第1章>

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.

United Nations Environment Programme (2022). Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies. Nairobi. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>

環境省 (2021) 『地球温暖化対策計画』(2021年10月22日閣議決定)

環境省 (2023) 『2050年 二酸化炭素排出実質ゼロ表明自治体 2023年2月28日時点』
<https://www.env.go.jp/content/000115115.pdf>

環境省 (2022) 「脱炭素専攻地域 (第2回) 選定結果について」2022年11月1日、
<https://policies.env.go.jp/policy/roadmap/assets/preceding-region/2st-DSC-kekka.pdf>

European Union (2022) “EU Missions: Climate-Neutral and Smart Cities: List of Applicant Cities” updated on 31 March 2022, https://research-and-innovation.ec.europa.eu/system/files/2022-03/list_of_public_eligible_applicant_cities-v7.pdf

Bernadett, Kiss, Carl, F. Salk (2021) “Mobile research labs to explore nature-based solutions in Japanese cities - a way to bridge disciplinary divides?” 宇都宮大学国際学部附属多文化公共圏センター年報 13, 145-154.

高橋若菜 (2023) 「はじめに」『宇都宮大学国際学部附属多文化公共圏センター年報』第15号.

クルト・レヴィン (2017) 『社会的葛藤の解決』ちとせプレス. (Lewin, K (1946) Action research and minority problems. Journal of Social Issue, 2, 34-46)

Fernández,A., Lindwall,A., Soulis,M., and Kim,S (2022)” BUILDING A CLEANER CITY- INSIGHTS FROM SWEDISH MODEL CASES” ,LUND UNIVERSITY IIIIEE

<第2章>

環境省 地球温暖化対策計画 (令和3年10月22日閣議決定) (最終閲覧日: 2023/02/15)
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/211022.html>

栃木県 (2022) 「2050年カーボンニュートラル実現に向けたロードマップ」

https://www.pref.tochigi.lg.jp/d02/carbonneutral/documents/20220329roadmap_hontai.pdf

地中熱利用促進協会 (2022) 「2022年度地中熱関連の補助金・融資制度一覧」
<http://www.geohpaj.org/archives/10312>

宇都宮市 (2022) 「宇都宮市カーボンニュートラルロードマップ」

https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/028/927/cnroadmap.pdf

総務省統計局 (2019)「平成 30 年住宅・土地統計調査住宅及び世帯に関する基本集計結果の概要」https://www.stat.go.jp/data/jyutaku/2018/pdf/kihon_gaiyou.pdf
宇都宮市総合政策部政策審議室 (2022)「平成 30 年住宅・土地統計調査結果報告書」
https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/_res/common/opendata/1021178/2018-houkokusyo.pdf
那須塩原市 (2022)「那須塩原市 気候変動対策計画」
https://www.city.nasushiobara.lg.jp/material/files/group/60/80_gian_R0403_35_keikaku.pdf
那須塩原市 (2023)「省エネ家電等購入促進事業のお知らせ」(最終閲覧日:2023/02/15)
<https://www.city.nasushiobara.lg.jp/soshikikarasagasu/kikohendotaisakukyoku/simin/15356.html>
宇都宮市 (2023)「事業者向け脱炭素化促進事業補助金」(最終閲覧日:2023/02/15)
<https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/kurashi/kankyo/ondanka/1030368.html>

<第 3 章>

アキレス株式会社(平成 27 年 4 月以降)「断熱地域区分」
<https://www.achilles.jp/product/construction/insulation/knowledge/chiikikubun/>
(最終閲覧日 2023 年 2 月 8 日)
国土交通省(2021)「今後の住宅・建造物の省エネルギー対策のあり方(第三次報告案)及び建築基準制度のあり方(第四次報告案)について」p.20
<https://www.mlit.go.jp/common/001426769.pdf> (最終閲覧日 2023 年 2 月 8 日)
さくら事務所ホームインスペクション (2022)「断熱等性能等級とは?「断熱性」を比較する基準と新設の等級 6・7 も解説」
<https://www.sakurajimusyo.com/guide/27788/> (最終閲覧日 2023 年 2 月 8 日)
こどもエコすまい支援事業事務局(2022)「住宅省エネ 2023 キャンペーン」
<https://jutaku-shoene2023.mlit.go.jp/> (最終閲覧日 2023 年 1 月 27 日)
こどもエコすまい支援事業事務局(2022)「住宅省エネキャンペーン | キャンペーンについて」
<https://jutaku-shoene2023.mlit.go.jp/about/> (最終閲覧日 2023 年 1 月 27 日)
一般社団法人日本建材・住宅設備産業協会(2021)「断熱リフォーム消費者アンケート結果(2019 年)」
<https://www.kensankyo.org/business/dannetsureform/questionnaire/2019/> (最終閲覧日 2023 年 1 月 27 日)
一般社団法人日本建材・住宅設備産業協会(2021)「断熱リフォーム消費者アンケート結果(2019 年度版)(PDF 形式)」
https://www.kensankyo.org/business/dannetsureform/common/data/kensankyo_survey_2021-0329.pdf (最終閲覧日 2023 年 1 月 27 日)
経済産業省(2019)「ZEH の定義(改訂版)〈戸建住宅〉(PDF 形式)」
[zeh_definition_kodate.pdf\(meti.go.jp\)](zeh_definition_kodate.pdf(meti.go.jp)) (最終閲覧日 2023 年 1 月 27 日)
こどもエコすまい支援事業(2022)「こどもエコすまい支援事業の内容について(PDF 形式)」
[kodomo-ecosumai_detail.pdf\(mlit.go.jp\)](kodomo-ecosumai_detail.pdf(mlit.go.jp)) (最終閲覧日 2023 年 1 月 27 日)
鳥取県ウェブサイト(2022)「NE-ST とは」
<https://www.pref.tottori.lg.jp/item/1223549.htm#itemid1223549>

(最終閲覧日 2023 年 1 月 27 日)

鳥取県ウェブサイト(2022)『NE-ST』パンフレット (PDF 形式)

[NE-ST2022.pdf \(tottori.lg.jp\)](#) (最終閲覧日 2023 年 1 月 27 日)

一般社団法人日本サステナブル建築協会(2022)「住宅の断熱化と居住者の健康への影響に関する全国調査第 6 回報告会講演資料」

<https://jsbc.or.jp/document/index.html> (最終閲覧日 2023 年 2 月 5 日)

池田拓哉 (2021 年 2 月 1 日) 朝日新聞デジタル【「県民に油断がある」脳卒中での死亡割合、高い理由】

[「県民に油断がある」脳卒中での死亡割合、高い理由：朝日新聞デジタル \(asahi.com\)](#)

(閲覧日 2023 年 2 月 5 日)

早川由紀美(2022 年 3 月 26 日) 東京新聞「冬の寒さで死亡増加、関東にリスク 栃木は北海道の 2 倍超 住宅断熱の遅れ要因と専門家」

<https://www.tokyo-np.co.jp/article/167739> (最終閲覧日 2023 年 2 月 5 日)

日本エネルギーパス協会(2015)「エネルギーパスとは？」

<http://www.energy-pass.jp/energypass/> (最終閲覧日 2023 年 2 月 1 日)

国土交通省 住宅の省エネ性能の光熱費表示検討委員会 (2021)「住宅の省エネ性能の光熱費表示検討委員会とりまとめ」

<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/content/001403301.pdf> (最終閲覧日 2023/02/17)

Fernández,A., Lindwall,A., Soulis,M., and Kim,S (2022)“ BUILDING A CLEANER CITY-INSIGHTS FROM SWEDISH MODEL CASES” ,LUND UNIVERSITY IIIIEE

『とちぎ省エネ家電購入応援キャンペーン』事務局 (2022)「とちぎ省エネ家電購入応援キャンペーン」

<https://tochigi-shoene.jp/index.php> (最終閲覧日 2023 年 2 月 1 日)

那須塩原市(2023)省エネ家電等購入促進事業のお知らせ

<https://www.city.nasushiobara.lg.jp/soshikikarasagasu/kikohendotaisakukyoku/simin/15356.html> (最終閲覧日 2023 年 2 月 1 日)

那須塩原市(2022)みんなで取り組もう!! なすしおばらエコポイント制度

<https://www.city.nasushiobara.lg.jp/soshikikarasagasu/kikohendotaisakukyoku/simin/4221.html> (最終閲覧日 2023 年 2 月 1 日)

下野新聞 (2023 年 1 月 14 日)「栃木県の省エネ家電買い替え支援、申請が 4 割未満」

<https://www.shimotsuke.co.jp/articles/-/690398>

(最終閲覧日 2023 年 2 月 1 日)

環境省【省エネ製品買替ナビゲーション「しんきゅうさん」】

<https://ondankataisaku.env.go.jp/shinkyusan/> (最終閲覧日 2023 年 2 月 14 日)

<第 4 章>

経済産業省 資源エネルギー庁. (2022). ホーム>統計・各種データ>エネルギー消費統計 >都道府県別エネルギー消費統計調査>調査の結果 (都道府県別エネルギー消費統計)

https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec002/results.html (閲覧日 2023 年 2 月 15 日)

Kelsey Hand. (2017). *Geothermal Around the World: Sweden*. DANDELION ENERGY.

<https://dandelionenergy.com/geothermal-sweden>

日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット. (2022). *EDMC/エネルギー・経済統計要覧* (理工図書, Ed.).

環境省.(n.d.).地中熱とは?.ホーム>政策>政策分野一覧>総合環境政策>報告書>地中熱とは?. https://www.env.go.jp/water/jiban/post_117.html (閲覧日 2023年2月3日)

環境省.(2021).地中熱利用システム.<https://www.env.go.jp/content/900545109.pdf>

環境省.(2022).自治体排出量カルテ.
https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/tools/karte.html (閲覧日 2023年1月26日)

環境省 (2021) 「地中熱利用システム 2021年版」
<https://www.env.go.jp/content/900545109.pdf> (閲覧日 2023年3月2日)

穴田 和喜. (2022). *太陽熱利用の基礎と利用の現状 ~2050カーボンに向けた展望~*.

経済産業省 資源エネルギー庁. (n.d.). 太陽熱利用システム. ホーム> 政策について> 省エネルギー・新エネルギー> あったかエコ太陽熱> 太陽熱利用システム.
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/attaka_eco/system/index.html
(閲覧日 2023年1月26日)

藤田浩司. (2023). 脱炭素専攻地域づくりに向けた地中熱利用の期待.

<第5章>

IUCN (2021)「自然に根ざした解決策に関する IUCN 世界標準. NbS の検証, デザイン, 規模拡大に関するユーザーフレンドリーな枠組み」初版. IUCN

The International Institute for Industrial Environmental Economics-Adriana Fernández, Azusa Lindwall, Maëlle Soulis, Silvia Kim,(2022),
CARBON-FREE UTSUNOMIYA BUILDING A CLEANER CITY INSIGHTS FROM SWEDISH MODEL CASES

<宇都宮市の現状>

宇都宮市都市整備部景観みどり課(2021)「(仮称)第3次宇都宮市緑の基本計画素案」

宇都宮市都市整備部緑のまちづくり課(2011)「第2次宇都宮市緑の基本計画」

宇都宮市 緑地協定制度 (2020)

<https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/kurashi/machi/midori/1005690.html>
(最終閲覧日 2022/02/06)

<屋上緑化>

国土交通省「熱環境の改善効果」
https://www.mlit.go.jp/crd/park/shisaku/gi_kaihatsu/okujyo/heat.html(参照 2023.01.20)

J-グリーン株式会社「屋上緑化/駐車場緑化の助成金(全国版)」
<https://jgreen-eco.com/merit/w-country/#w-country>(参照 2023.02.01)

宇都宮市ホームページ (2022) 「令和4年度 補助金等の概要」
<https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/shisei/johokokai/zaisei/1010668.html>
(参照 2023.02.05)

<敷地緑化>

環境省「ヒートアイランド対策ガイドライン平成20年度版 対策技術等データシート」
[chpt3.pdf \(env.go.jp\)](#)(2023年2月6日閲覧)

宇都宮市 (2021)「宇都宮市総合治水雨水対策推進計画 概要版」
https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/027/039/gaiyouban.pdf (2023年2月6日閲覧)

京都市情報館 (2022)「京都市：『雨庭』とは…」
<https://www.city.kyoto.lg.jp/kensetu/page/0000291580.html>(2023年2月6日閲覧)

Climate ADAPT Case studies, (2022), Urban stormwater management in Augustenborg, Malmö
<https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/urban-storm-water-management-in-augustenborg-malmo> (2023年2月6日閲覧)

<路面緑化>

東邦レオ「軌道敷緑化」(最終閲覧：2023/2/5)
<https://greeninfrastructure.jp/solution/car-track-lane/>

宇都宮市,芳賀・宇都宮基幹公共交通検討委員会(2022)「資料3 JR宇都宮駅西口側のLRT事業者に向けた検討状況と今後の進め方について」
https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/006/078/200217siryous3.pdf

鹿児島市(2022)「鹿児島市電軌道敷緑化整備事業」(最終閲覧：2023/2/5)
<https://www.city.kagoshima.lg.jp/kensetu/kensetukanri/kouenryokuka/machizukuri/machizukuri/shiden.html>

国土交通省「ヒートアイランド現象の緩和」(最終閲覧：2023/02/17)
<https://www.mlit.go.jp/crd/park/joho/dl/toshi-midori/data/02.pdf>

<駐車場緑化>

宇都宮市(2022)「駅東側の工事完了の見通し,開業予定等について」第34回芳賀・宇都宮基幹公共交通検討委員会資料
https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/006/078/34siryous2.pdf (閲覧日 2023年2月17日)

山島哲夫(2017)「宇都宮市中心市街地の駐車場化の実態に関する研究」
http://www.kyowa-u.ac.jp/laboratory/pdf/ronso18_01.pdf

京都市情報館(2022)「京のみどりの駐車場パートナー制度について」
<https://www.city.kyoto.lg.jp/kensetu/page/0000288018.html> (閲覧日：2023/02/08)

東京都環境局(2018)「駐車場緑化ガイド」
https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/nature/green/parking_plant_guide.files/parking_plant.pdf

国土交通省 都市局 公園緑地・景観課(2016)「緑による建物の魅力アップガイド」
<https://www.mlit.go.jp/common/001156188.pdf>

<NbSを求める声>

宇都宮市(2022)「(仮称)第3次宇都宮市緑の基本計画 素案」(最終閲覧日：2023年2月6日) [soan1.pdf](#)

宇都宮市(2022)「(仮称)第3次宇都宮市緑の基本計画 素案」(最終閲覧日：2023年2月6日) [soan4.pdf](#)



編集 : 宇都宮大学国際学部 地球環境政策論・環境と国際協力研究室
NPO法人うつのみや環境行動フォーラム 再生可能エネルギー部会

著者 : 高橋若菜、歌川学、Bernadett Kiss、今出善久、三宅徹治、張喬、
山崎彩貴、楊寒、安納稜太、井上菜摘、閻子瑩、遠藤千智、草野羽音、
小玉竜久、小林直登、齋藤涼、高橋この葉、千葉成南美、塚原綾子、
苔米地美空、中新井円、人見俊輝、藤田雅、本間菜々子、松村優花、
三浦優希、増渕弘子、

発行 : 宇都宮大学国際学部 高橋若菜研究室

発行年月 : 2023年3月

連絡先 : 〒321-8505 栃木県宇都宮市峰町350
TEL:028-649-5174
E-mail:takahashioffice.uu@gmail.com

<http://cmps.utsunomiya-u.ac.jp>
事業>UU3Sプロジェクト>刊行物に掲載