

レジリエントなサステナブルシティの構築 —エネルギー自治の観点から—

松野 正太郎¹・竹内 恒夫²・杉山 範子³

¹非会員 名古屋大学特任講師 大学院環境学研究科 (〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町)
E-mail:matsuno.shotaro@e.mbox.nagoya-u.ac.jp

²非会員 名古屋大学教授 大学院環境学研究科 (〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町)
E-mail:tsuneo_takeuchi@nagoya-u.jp

³非会員 名古屋大学特任准教授 大学院環境学研究科 (〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町)
E-mail:n.sugiyama@nagoya-u.jp

本研究では、都市エネルギーレジリエンスのための施策（予防、順応、転換）のレジリエンス評価（指標：レジリエンス価値、CO₂削減量、レジリエンス設備投資額）を、名古屋市を対象に行った。また、欧米調査、自治体・市民アンケートなどを踏まえ、緩和・適応・レジリエンスに共通する「転換」施策である自立・分散型エネルギーシステムへの転換の制度設計案を作成し、名古屋市・豊田市を対象として、そのフィージビリティスタディを行った。その中で、地域内の事業場ごとの排熱量・自家発電電力量を CO₂ 排出量データから推定する手法及び GIS を用いた排熱の供給範囲の推計手法を開発した。これらをもとに「施策分析型『政策モデル』」を提示した。

Key Words : *energy resilience, distributed energy, autonomous energy, sustainable city, policy model*

1. 本研究の背景と目的

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災は、我が国のエネルギー政策や物流システムのあり方等、社会のあり方そのものを問いかける契機となった。そもそも、レジリエンスの概念については気候変動の文脈では「社会・生態システムが同じ構造や機能を維持できるように混乱を吸収する能力、自己組織化の能力」と捉えている (IPCC, 2007)¹⁾。また、水災害、熱中症や農作物高温障害等の気候変動に伴うとみられる災害が顕在化しており、様々なリスクに対応しうるレジリエントな都市づくりが求められるようになってきた。また、大規模自然災害への対応として国土強靱化政策基本法が 2013 年 12 月に制定され、同月に政府は「国土強靱化推進大綱」²⁾ (2013 年 12 月) を策定した。このようなことから、環境政策の新たな展開として、人為的な気候変動や大規模自然災害による環境（エネルギー、資源・水循環、生態系、健康など）へのリスクに対応する「環境レジリエンス」政策の確立が急務となってきている。本稿では、このような背景の下、人為的な気候変動や大規模自然災害による都市環境（エネルギー、資源・水循環、生態系、

健康など）へのリスクに対応する地方自治体の「環境レジリエンス」政策の確立に向け、特に、地域における「エネルギー自治」の観点から排熱利用・太陽光発電・自家発電等電力利用に着目し、レジリエントなサステナブルシティの構築に向けての政策モデルを提案することを目的とする。

2. 本研究の内容

IPCC 第 5 次評価報告書第 3 作業部会報告、国土強靱化政策大綱、専門家からのヒアリング等からエネルギーレジリエンスに関する予防・順応・転換の施策や指標を設定し、定量的なレジリエンス評価を試みた。緩和・適応・レジリエンスに共通する施策である自立・分散型エネルギーシステムへの転換のあり方に関し、欧米自治体の事例調査、自治体アンケート調査等を行い、制度設計案を作成し、名古屋市・豊田市を対象として、GIS の活用等により、そのフィージビリティスタディを行った。施策の受容性等を検証するため、自治体担当者、エネルギー事業関係者等からなる都市エネルギー自治研究会の開催、市民を対象とした Web アンケートを実施した。

3. エネルギーレジリエンス施策とその評価

ここでは、エネルギーレジリエンスの位置付けを明らかにするとともに、名古屋市を対象としてエネルギーレジリエンス施策の評価を実施した。

(1) エネルギーレジリエンスの環境政策における位置付け

大規模自然災害によるリスクに対応するエネルギー分野の施策（エネルギーレジリエンス施策）は、「予防」（ネットワーク等の強化等）、「順応」（損傷施設の早期復旧等）、「転換」（分散型エネルギーへの転換等）に分類される。気候変動の緩和策、気候変動の適応策、国土強靱化策（エネルギー分野）に共通するのは「分散型エネルギーへの転換」である。IPCC 第 5 次評価報告書・第 2 作業部会報告（2014）においては「極端な気象現象による電気、電気を使う水供給・医療・緊急サービスなどのインフラネットワークと重要なサービスの機能停止のリスクへの対応」として「転換」が重視された。気候変動の緩和策、気候変動の適応策、国土強靱化策（エネルギー分野）に共通し、トリベネフィットとなるのが「分散型エネルギーへの転換」である（図-1）。また、エネルギーレジリエンス施策を評価する指標として、ここでは、「レジリエンス価値」、「CO₂削減量」、「レジリエンス設備投資額」を設定した。

(2) エネルギーレジリエンス施策の評価

名古屋市内の家庭・業務部門を対象にして、予防、順応、転換の各施策について、レジリエンス価値、CO₂削減量、レジリエンス設備投資額の指標を用いて数量的評価を試みた。レジリエンス価値は、東日本大震災における電力、ガス、水道のライフライン復旧日数、火力発電所の復旧日数、計画停電日数・時間などのデータ（表

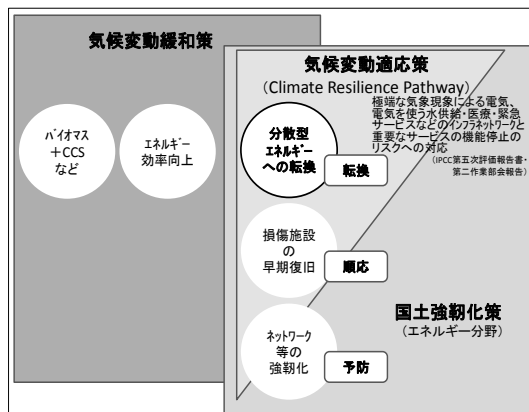


図-1 気候変動緩和策、同適応策及び国土強靱化策（エネルギー分野）における「分散型エネルギーへの転換」の位置づけ

-1 の参考データ）をもとに、予防（配電多重化などによるライフライン復旧日数短縮等）、順応（火力発電所の復旧日数短縮による計画停電時間の短縮）、転換（分散型エネルギーシステム導入による送電線破損に伴う停電復旧日数の短縮、給湯エネルギーの排熱による都市ガス代替）について数量シナリオを設定し、それぞれ、計画停電対応コスト又は節約される都市ガス料金を乗じて、それぞれの経費（価値）を算出した。CO₂削減量は、分散型エネルギーシステムへの転換量に応じて算出した。レジリエンス設備投資額は、東日本大震災における東北電力の復旧設備投資額（22-24 年度に 2120 億円、火力発電所（約 340 万 kW）、46 基の鉄塔、105 線路の送電線、75 か所の変電所、約 3 万 6 千基の電柱など）から東北電力の発電電力量当たり及び管内人口当たりの復旧設備投資額を算出し、名古屋市内の家庭・業務の電力消費量、人口にそれぞれあてはめた（kWh 当たりでの投資額 484 億円、人口当たりでの投資額 564 億円）。試算の結果、「レジリエンス価値」は「転換」が「予防」「順応」の合計より大きく、「CO₂排出量」は「転換」によって名古屋市全体の 15%程度が削減され、設備投資額は「予防」「順応」の合計と「転換」が同程度となった（表-1）。

4. 自立・分散型エネルギーシステムの制度設計

ここでは、前節のエネルギーレジリエンス施策のうち、転換策にあたる自立・分散型エネルギーへの移行のための制度設計案を作成し、名古屋市・豊田市を対象としてそのフィージビリティスタディを実施した。

(1) 自立・分散型エネルギーシステムへの転換の制度設計案の作成

海外の事例調査によれば、再生可能エネルギー、コージェネレーションなどの分散型エネルギーを中心とした自治体や組合によるエネルギー事業が増えてきており、エネルギーに関する自治体の役割として「供給者」が重視されてきていることがわかった。中部地方の 6 県・256 市町村へのアンケートでは、「エネルギー政策は国と自治体が分担すべき」が 37%、「自治体がエネルギー事業を行うべき」が 20%、名古屋市・豊田市の市民へのアンケートでは、「地域のエネルギーは地域レベルで決定すべき」が約 6 割あり、「地方自治体のエネルギー市場参入はよいこと」が 46%、「地方自治体が行うべき」が 36%であった。これらを踏まえ、（公営）分散型エネルギー事業の制度設計案を作成した（図-2）。

表-1 名古屋市の家庭・業務部門を対象とした予防・適応・転換施策のレジリエンス価値、CO₂削減量、設備投資額（試算）と参考データ

	予防	順応	転換
数量シナリオ	① 配電多重化などによって停電90%復旧日数を1日短縮(5日→4日) ② PE管導入などによって都市ガス停止復旧日数を5日短縮(25日→20日)	③ 火力発電所復旧日数を127日→90日(計画停電時間を10h(2.5回×4h)→7h) -	④ 家庭・業務総電力消費量の4割を分散型電源(コジェネ・自家発電・太陽光)からの小売りで賄うことによって送電線破損による停電復旧日数2日短縮(5日→3日) ⑤ 家庭・業務総電力消費量の4割を分散型電源からの小売りで賄うことによって計画停電時間を10h(2.5回×4h)→5h ⑥ 家庭・業務総給湯用エネルギー量に相当する熱量を水道管を経て工場・ごみ焼却場・コジェネの排熱から得る(断水復旧期間(14日間)を除く)
レジリエンス価値算定式	① (家庭総電力消費量(kWh)×個人停電対応コスト(1431円/kWh)+業務総電力消費量(kWh)×中小事業者停電対応コスト(7497円/kWh))×(24h/8760h) ② 家庭・業務総給湯用エネルギー量(MJ)×10日×4.3円/MJ	③ (家庭総電力消費量(kWh)×個人計画停電対応コスト(1431円/kWh)+業務総電力消費量(kWh)×中小事業者計画停電対応コスト(7497円/kWh))×(3h/8760h) -	④ (家庭総電力消費量(kWh)×個人停電対応コスト(1431円/kWh)+業務総電力消費量(kWh)×中小事業者停電対応コスト(7497円/kWh))×(24h/8760h)、 ⑤ (家庭総電力消費量(kWh)×個人計画停電対応コスト(1431円/kWh)+業務総電力消費量(kWh)×中小事業者計画停電対応コスト(7497円/kWh))×(5h/8760h) ⑥ 家庭・業務総給湯用エネルギー量(MJ)×((都市ガス停止復旧日数-断水復旧日数)/365日)×4.3円/MJ
レジリエンス価値(百万円)	① 18,355	③ 22,943	④ 36,709 ⑤ 38,239
総計(百万円)	② 1,614		⑥ 2,905
CO ₂ 削減量(千トン)	① -	③ -	④⑤ 1,020
総計(千トン)	② -		⑥ 1,370
予防・順応/転換の設備投資額	電力関係復旧設備投資費:484億円～564億円(kWh当たり、人口当たりの東北電力の復旧設備投資額を算出し、名古屋市にあてはめた)		コジェネ70万kW設備投資額(熱導管費を除く)約500億円

火力発電所復旧日数(「東日本大震災におけるエネルギー施設(火力・水力・送変配電・ガス)の被害状況と今後への展開について」(25年2月 土木学会エネルギー委員会 新技術・エネルギー小委員会)の発電所ごとの復旧月数の合計を発電所数で除した日数)	127日
東日本大震災:停電90%復旧日数(東北電力管内)	5日
東日本大震災:断水復旧日数(仙台市水道局)	16日
東日本大震災:都市ガス停止復旧日数(仙台市ガス局)(パイプライン・主要導管網の被害は軽微)	25日
東日本大震災:1家庭当たり計画停電回数(東京電力)	2.5回
東日本大震災:計画停電1回当たり時間(同上)	4時間
計画停電対応コスト(大口) (「停電コストに関する調査報告書」(平成26年1月 一般社団法人電力系統利用協議会))	1919円/kWh
計画停電対応コスト(中小事業者)(同上)	7497円/kWh
計画停電対応コスト(個人)(同上)	1431円/kWh

(2) 名古屋市・豊田市を対象とした制度設計案のフイージビリティスタディ

名古屋市・豊田市を対象に、工場・ごみ焼却場・コジェネからの排熱の水道管を通じた家庭等への供給事業及び工場等の自家発電・ごみ発電・コジェネ・太陽光発電からの電力の買上・宅送による小売事業について、それぞれの数量的可能量、事業性等の検証を行った(表-2)。水道水温が40℃程度になることについては、市民アンケートでは、「冬場だけ利用したい」が51%、「年間を通じて利用したい」が35%であった。なお、前節エネルギーレジリエンス施策の評価で扱った「転換」の分

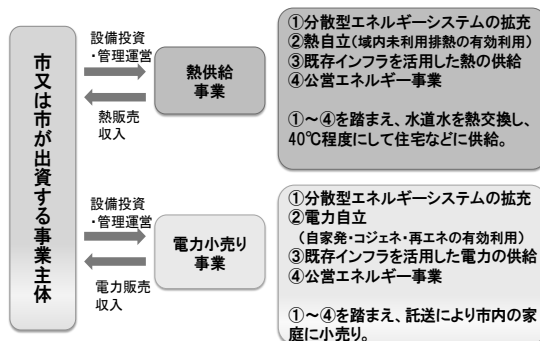


図-2 制度設計案

表-2 名古屋市と豊田市における熱供給事業及び電力小売り事業の試算

	各種排熱の水道管を通じた供給事業			自家発余剰電力等の買上・小売事業		
	総排熱量 TJ	熱供給量TJ (総排熱量の半分 と仮定)	事業性 (年間収益: 百万円)	自家発電 余剰電力 買上量 GWh	太陽光発電 電力買上量 GWh	事業性 (年間収益: 百万円)
名古屋市	1,471	735	30	621	129	1,269
		市内家庭灯油 消費量の12.3%		市内家庭 電力消費量の20.5%		
豊田市	565	282	681	444	54	1,768
		市内家庭灯油 消費量の18.1%		市内家庭電力消費量の80.0%		

散型エネルギーには、これらに加え、名古屋市内に 70 万 kW 相当（日本ガス協会の 2030 年の県別の予測量から推定）のコジェネ導入を前提にしている。

(3) GIS を用いた排熱供給エリアの予測手法の開発

主に焼却場の廃熱を有効利用するために、水道管ネットワークを利用して、熱供給可能な範囲を推計する手法を開発した。熱のカスケード利用の到達ポテンシャルを評価することで、地域エネルギー自給率増加への貢献を検討した。

エネルギーの効率的な利用を推進するために、排熱の利用は重要である。本手法では、水道管ネットワークを介した焼却場の排熱を利用した熱のカスケード利用の検討を行った。水道管ネットワークのデータについては、上下水道局に提供頂いたデータを ESRI 社の ArcGIS 上で編集したものを用いた。焼却場で排出された熱をカスケード利用することを想定し、構築したデータよりネットワーク分析を用いて熱の到達範囲を推計した。図-3 に名古屋市南区における熱量利用可能量の推計結果を示す。

(4) エネルギーレジリエンスにおける施策分析型「政策モデル」

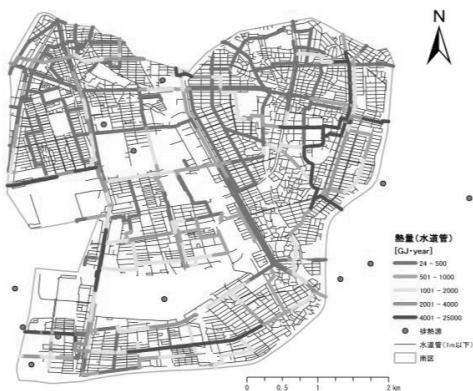


図-3 名古屋市南区における排熱利用分布（半分を利用可能と想定）

本研究で実施した分散型エネルギー事業のフィージビリティスタディ、各レジリエンス施策の評価（指標：レジリエンス価値、CO₂削減量、所要設備投資額）などを踏まえ、都市のエネルギーレジリエンスを高めるための環境政策を自治体のポリシーメーカーが企画・立案・推進する際のステップとして、「施策分析型『政策モデル』」として提示した（図-4）。

5. まとめと政策的意義

本研究を通じ、「環境レジリエンス」の重要な分野であるエネルギーに関し、予防・順応・転換の各エネルギーレジリエンス施策について、はじめて、レジリエンス価値、CO₂削減量及び設備投資額を指標にして、名古屋市の家庭・業務部門を対象に、その数値的評価を試みたところ、緩和・適応・レジリエンスに共通する転換策である分散型システムへの転換が高い評価となった。そこで「自立・分散型エネルギーシステムへの転換」のための制度設計案（公営の排熱供給・電力小売事業）を作成し、名古屋市・豊田市を対象にフィージビリティスタディを行い、事業性があることもわかった。併せて、事業場ごとの排熱量、地域内の自家発電からの電力調達量などを温対法に基づき公表されている事業場ごとの CO₂ 排出量及びエネルギーバランス表（全国）から比較的簡易

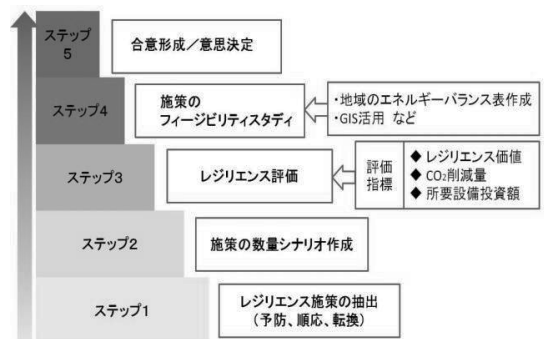


図-4 施策分析型『政策モデル』

に推計する方法及び事業場・ごみ焼却場からの排熱を、上水道管を通じて家庭に供給する際の温水が供給されるエリア・供給量について GIS を用いて推計する方法を開発できた。

また、レジリエント評価の高いエネルギーレジリエンス施策である分散型エネルギーへの転換は、緩和策でもあり、適応策でもあることがわかった。新たな環境政策の分野となるべき環境レジリエント政策は、エネルギーレジリエンスの分野においては、現下の気候変動策の閉塞感を突破する役割をも果たすものであることが明らかになった。このことより、都市のエネルギーレジリエンスを高めるための環境政策を自治体のポリシーメーカーが企画・立案・推進する際のステップとして、「施策分析型『政策モデル』」として提示することができ、政策的貢献を行うことができた。

謝辞：本稿は、環境省環境研究総合推進費（1-1304）「「レジリエントシティ政策モデル」の開発とその実装化に関する研究」のサブテーマ2「「エネルギー自治」の確立に向けた制度設計，合意形成手法の検証」の平成25年度及び26年度の成果の一部を取りまとめたものである。ここに、環境省をはじめ、本研究に協力いただいた皆様にお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) IPCC : Climate Change 2007, the Fourth Assessment Report (AR4) of the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2007.
- 2) 国土強靱化推進本部：国土強靱化政策大綱，pp.11-22, 2013.

(2014. 7. 11 受付)

ESTABLISHING RESILIENTLY SUSTAINABLE CITY -WITH THE OBJECT OF AUTONOMOUS ENERGY-

Shotaro MATSUNO, Tsuneo TAKEUCHI and Noriko SUGIYAMA

In this study, resilience for urban energy system which was constructed of prevention, adaptation and conversion were evaluated in Nagoya city. Based on this evaluation, the institutional design for converting distributed energy system as a measure of conversion was drawn and moved feasibility study toward in both Nagaya and Toyota city. In this process, method of measurement of exhaust heat and private-owned generation of electricity from the amount of CO₂ was developed. In addition, method of estimation of heat supply area with GIS was also developed. Finally, we could propose the policy model with measures analysis of resilient cities with integration of these studies.