

持続可能な都市化のためのネクサスアプローチ Design-led Nexus Approach for Sustainable Urbanisation

巖 網林^{*1}

Wanglin YAN

Professor, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University



Abstract

The article reviews the stages and potentials of urbanization through the lens of food-water-energy nexus for sustainable urban development. The design-led nexus approach by the M-NEX project of the SUGI Food-Water-Energy Nexus program was introduced for decarbonization and sustainable urbanization. It concludes that cities owe responsibilities to reduce carbon emissions while the carbon zero goals could be achieved by revitalizing built-up land and space uses intensively. The design-led approach provides the tools and indicators for investigating the potentials, designing solutions, and evaluating performance.

●**Keywords:** Urbanisation stages, Nexus approach, Sustainable Development, FEWprint

*慶應義塾大学 環境情報学部 教授

1. 緒言

21世紀は都市の世紀だといわれている^{1) 2)}。都市は地球表面3%の土地を用いて世界56%の人に暮らしの場を提供し、現代文明を作り上げている。一方、都市は世界エネルギー消費の70%、CO₂排出の80%を占めている。過度な都市集中とエネルギー消費は地球温暖化や地球生態系の劣化をもたらしている。都市時代をさらに進展させるためには、これらの負の遺産を治し、持続可能なみちへ軌道修正をしなければならない。しかし、現代社会はセクターや部門にグループされることが多い。それぞれがよく努力されているが、全体から見ると必ずしも効率がいいというわけではなく、さらなる展開を妨げている。これを打破するために、セクターや分野間のつながりを重視するネクサス思考が提唱されている^{3) 4)}

ネクサス思考は1970年代に遡る^{5) 6)}が、本格的に注目されたのは2011年のボンネクサスカンファレンス以降であった³⁾。都市化による資源供給の高まりや気候変動に伴う災害リスクの増大に対処するために、食糧・エネルギー・水で代表されるように、取り組み間のトレードオフを避け、相乗効果を上げ、持続可能な方法を探さなければならない。この提唱を受けて、ヨーロッパ連合 (EU) はアーバンネクサスプロジェクトを立ち上げ、都市空間の適正利用、気候変動適応、都市生活と健康という3つの報告を発表し、ネクサスによる都市管理のイノベーションの可能性を提示した^{7) 8) 9)}。その知見を体系化し、実用化を図るためにベルモントフォーラムが、持続可能な都市化グローバル・イニシアティブ／食糧・水・エネルギー・ネクサス (SUGI-NEXUS) 事業を発足した (<https://jpi-urbaneurope.eu/calls/sugi/>)。SUGI-NEXUSは都市の食糧・水・エネルギーのネクサスに対し、さまざまな資源とアクターをつないで、質の高い都市生活へのアクセスを加速することが目的であった。筆者はSUGI-NEXUSに「可動型ネクサス：デザイン先導による都市食糧・エネルギー・水管理のイノベーション」(M-NEX) (m-nex.net) を提案し、採択され、ネクサスアプローチによる脱炭素型都市づくりやまちづくりに取り組んできた。本稿はそこでの成果をもとに、持続可能な都市化のための先導型のネクサスアプローチを紹介する。

2. 持続可能な都市化の課題

都市は複雑な社会生態システムである。この考えのもとで、都市発展は生命体のように「成長」、「安定」、「衰退」、「再生」を繰り返し、それぞれ都市化 (urbanization)、郊外化 (suburbanization)、逆都市化 (deurbanization)、再都市化 (reurbanization) という4つの段階を経るといふ。これはつまり図1に示す都市発展の段階論の仮説で、1980年代にL・H・クラークによって提唱され、欧米を中心に研究され、日本にもよく議論された (山田 1986)。一方、都市化を支える基盤、特に食糧、エネルギー、水をどのように持続させるかについて、あまり議論されなかった。都市化は生産力を発展し、人類に多大な福祉をもたらしたが、持続可能性の観点からみると環境にマイナスな影響も多く残した。持続可能な都市化のためにはこれらの発展段階を再考し、あらたな価値創造の可能性を見出さなければならない。

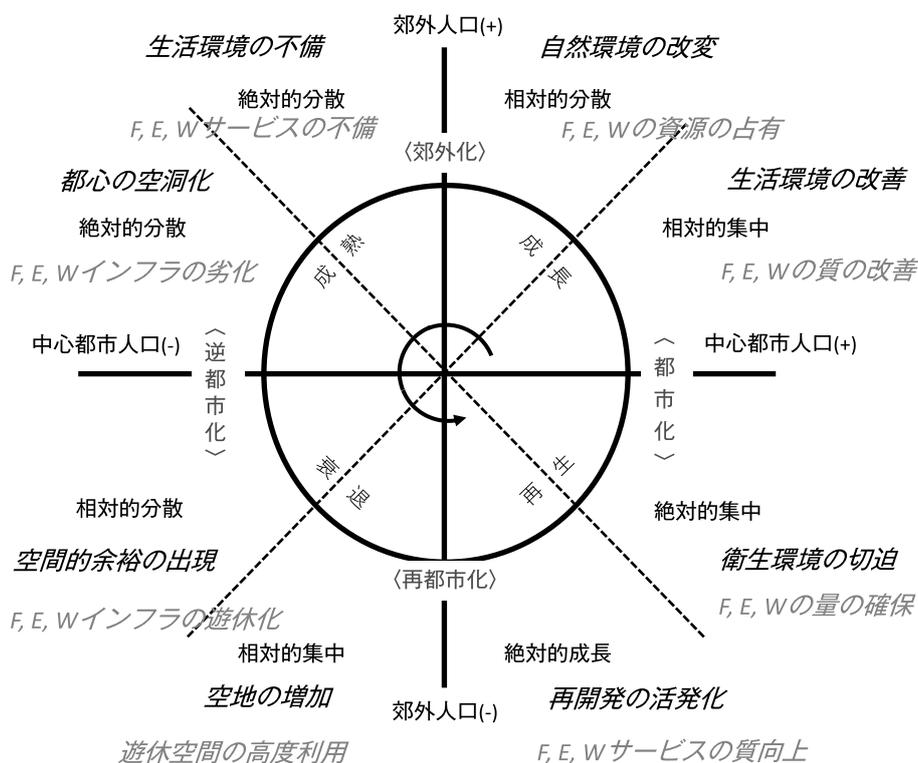


図1 都市発展の段階と食糧・エネルギー・水ネクサスの変化 (文献10,11,12をもとに筆者作成)

都市化：若者が生活改善を求めて農村から都市に集まる。また農村では農業技術が進展し、余剰人口が生まれた。都市もまた工業化のために大量の労働人口を求めていた。このプッシュとプルの2つの力が都市集中を招き、食糧、エネルギー、水の消費需要を高めた。

郊外化：中心市街が過密状況になると、よい住環境を求めて人々は郊外に移住する。それで都市は急速に郊外へ膨張する。中には厳正な都市計画のもとで計画的に開発したまちもあれば、市場に押されて無計画に作られたまちも多い。それは農業インフラの上に作られたため、もとの食糧生産、水涵養機能が失われる。また自然エネルギーシステムが崩れて都市気候が発達する。

逆都市化：都市住民は自然環境に接することが少ない。また一般に人間関係が希薄である。これらに不満を持つ一部の人が大都市から逃れて地方中小都市へ逆流する。この現象は1970-1980年代のアメリカ、ヨーロッパで観察され、逆都市化あるいは反都市化と呼ばれた。日本ではこれが顕著とは言えないが、地方創生政策のもとでUターン、Iターン、Jターンが起きていることは確かである。パンデミックでこの動きが加速するか注目されている。

再都市化：人口の郊外流出、地方流出は都市中心を空洞化させるマイナスな側面があるが、都市改造に余地をもたらしたプラスの側面もある。それで都市再生が始まる。新しくなった中心市街に惹かれて、高所得層あるいは郊外生活、とりわけ食などの日常生活に不便を感じる高齢者層らが都市中心に回帰する。これで中心市街の人口が再び増加に転じ、高所得層や新規ビジネスに適したサービスが始まる。

都市発展の段階論は工業化が先行した欧米の都市を背景に提案されたもので、日本やアジアにも当てはまるとは限らない。特に1990年代以降のグローバル化、デジタル化の影響は当時なかったことであった。日本は20世紀末から超成熟社会に突入し、少子高齢化が進む。全国人口が減少するものの、図2に示すように、東京は長年一極集中に悩まされた。背景には政府と東京都がバブル崩壊後、都市再生に着手し、東京の国際競争の向上に力を入れたためとも思われる。もう1つは郊外に移住した団塊の世代が高齢期に入り、再び都心に回帰する動きがあった。さらに働き改革が盛んになり、共働きや子育て世代が職住近接を重視するようになったと考えられる。

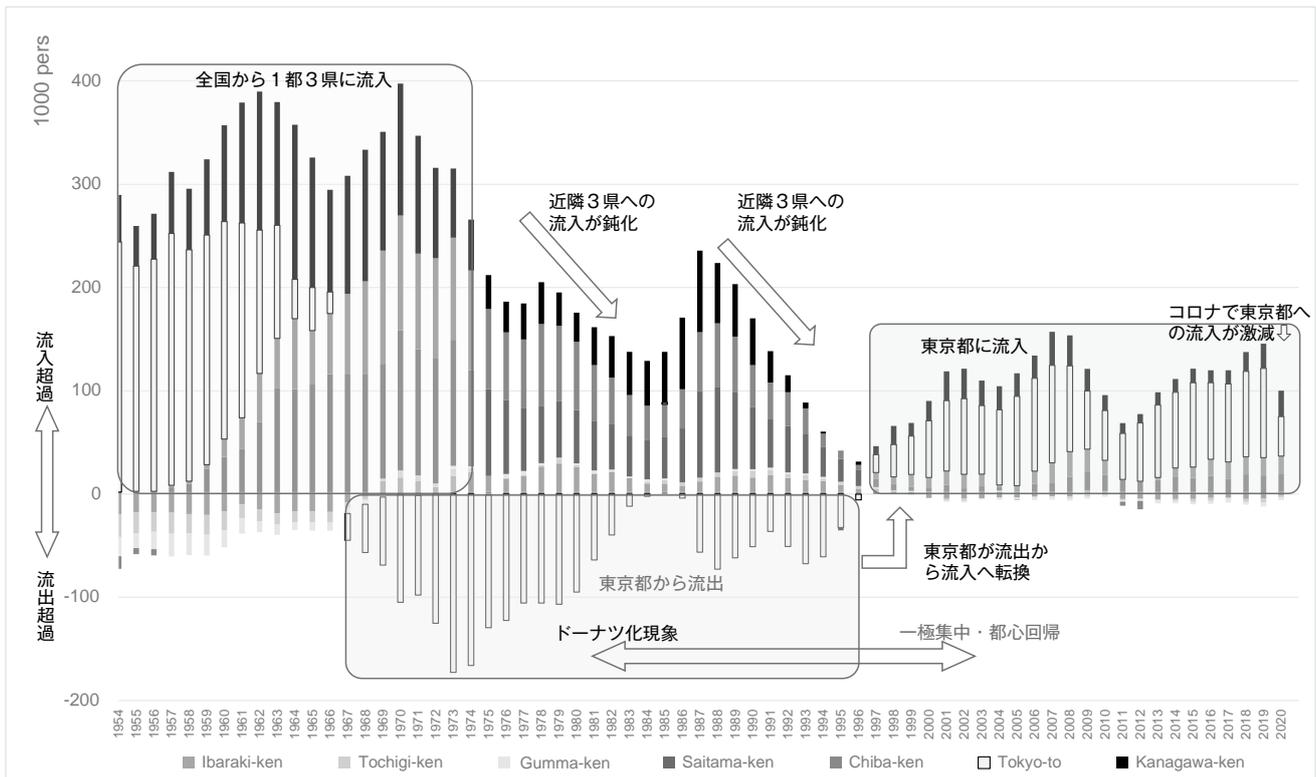


図2 首都圏の人口流入と流出 (e-STATをもとに筆者作成)

パンデミックで2020年の東京流入超過が激減したが、いつまで続くかはまだ読めない。情報革命でテレワークや地方分散を言われ続けてきたが、大都市集中の流れが変えることはなかった。Webサイトの数、発明の数をもても都市は圧倒的に多くの産出を見せている¹⁾。都市は人・物・情報の集積地として相変わらず重要で、むしろ知識創造のハブとして益々期待され、そのパワーなしには社会の持続可能な発展は考えられない。こうした中、都市化はそこで生涯を過ごす人に衣食住を約束し、持続可能かつ生きがいのあるWell-Beingを約束しなければならない。これらは都市を地理経済システムとしてみる従来の都市発展の段階論になかったミッションである。

2021年に国連人間居住 (UN-Habitat) が『世界都市報告書2020』を発表し、“持続可能な都市化は、貧困、不平等、気候変動など、地球規模の課題との闘いを支える経済的、社会的、環境的価値を生み出すものであると認識し、持続可能な都市化を持続可能な発展全体の中核に引き続き位置することを再確認した”¹³⁾。世界はパンデミックに苦しめられているが、都市化はより良い復興や持続可能な発展に移行するための世界的な取り組みに不可欠なものである。都市やまちが、適切な計画と管理、十分な資金があれば、経済的、社会的、環境的、その他の定量化できない価値を生み出し、全ての人々の生活の質を大幅に向上させることができ、それこそ、持続可能な都市化の価値であると力説されている。ここからも“多様なアクターが対話を通じて行動し、縦割りベースのアプローチからネクサスアプローチへ移行する”というSUGI-NEXUSの持続可能な都市化グローバルイニシアチブの重要性が理解できる。

3. ネクサスアプローチによる持続可能な都市化

ネクサス思考には自然環境に投資すること、資源利用効率を上げること、誰一人取り残さずにサービスを届けるという3つの原則がある。都市は人間活動密度が高いため、域内需要が自然供給容量を超え、オーバーシュートになることが多い。それらの都市は外部から資源移入で成り立っている。代表的なものは食糧 (F)、エネルギー (E)、水 (W) である。FEWの生産、輸送、消費、廃棄に伴うCO₂排出は都市全体排出の70%に相当すると言われている¹⁴⁾。従って、脱炭素や持続可能性の肝要は域内供給を増やし、域外から移入を減らすことにある。

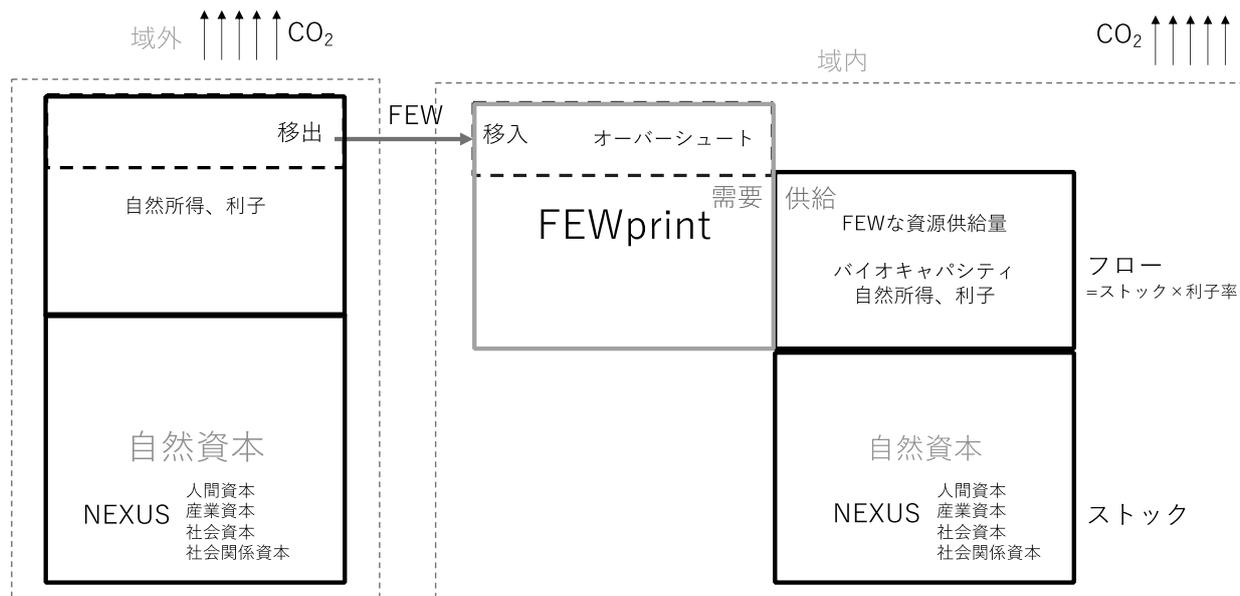


図3 持続可能な都市化の仕組み (筆者作成)

食糧、水、エネルギーは自然界において、もともと密に関連するもので、互いに資源とサービスを成している。都市は従来、生産と消費の集積地として考え、食糧、エネルギー、水などの生態的生産を積極的に考えてこなかった。そして、都市において食、エネルギー、水はそれぞれの部署によって運営されることが多い。政府は食糧、エネルギー、水の安定供給に奔走し、業者は良質のサービス提供に腐心する。住民は料金さえ払えばいつでも自由に使えるのが当たり前のことと思われる。気候変動、異常気象、人口減少の時代に向かう中、この前提が崩れかけている。2030年の脱炭素46%、2050年のカーボンゼロを実現しようとする、現体制の徹底的見直しも含めて、連携、共同、協力を取り入れない限り無理と見られる。それによってセクター間やプロジェクト間のトレードオフを避け、ネクサス効果を創出することが期待できる。

一方、都市には多様な土地、建物、技術、部門が隣り合わせており、いわば、ネクサスの宝庫とも言える。そこには資源がないというわけではなく、十分に活用されていないだけである。この発想をもとに、都市ネクサスの可能性を付録表1に整理してみた。もっともわかりやすい例でいえば、屋上にソーラーをつければエネルギーの地産地消が可能になり、蓄電池も導入すれば自立エネルギーシステムになる。郊外において残されている農地に市民農園を開設し、地産地消を行うこともよくみられる。これらは生産者と消費者が地理的に接近している利点を生かした営みである。若者が地方に戻り、食、エネルギー、水の資源を生かしたイノベーションを起こすことが多い。地域に固有の食、エネルギー、水資源を生かした環境共生を推進すれば、地方にも新しいチャンスをもたらすことが期待されている。つまり、逆都市化は食糧、エネルギー、水から新しいサービスと価値を生み出す。これらの可能性を現実のものにするためには、発想の転換と支援技術が必要である。これまでのネクサス思考やネクサスアプローチは概念の提示やシステム分析が多く、都市デザインや都市再生に直接使える手法はなかった。M-NEXプロジェクトは都市再生やまちづくり支援を目的に、デザイン先導型ネクサスアプローチを開発した^{15) 16)}。

4. デザイン先導のネクサスアプローチ

デザイン先導のネクサスアプローチは図4に示す枠組みで構成されている。都市において食、エネルギー、水はセクター別に運営されているが、建物スケールと都市スケールにおいて生産・供給・消費が展開され、需要・供給・アクセス・廃棄をサイクルし、食生活・食環境の充足に至ると考えた。デザイン先導のアプローチはまず建築物あるいは都市街区に着目し、セクターや要素を横断的に捉える。そして地理空間的に需要・供給・アクセス・廃棄のギャップを分析する。最後に自然生態システムの原理に基づいて都市デザインのソリューションを提案する。具体的な提案は土地条件、社会特徴に依るが、食生活や食環境といっただれにも関心を示すテーマを入り口にするといよい。他にも付録表1のさまざまなオプションを検討できる。最終的にスマートシティやコンパクトシティなどの政策目標につないでいき、FEWprintというツールで脱炭素の効果を可視化し、前後比較する。

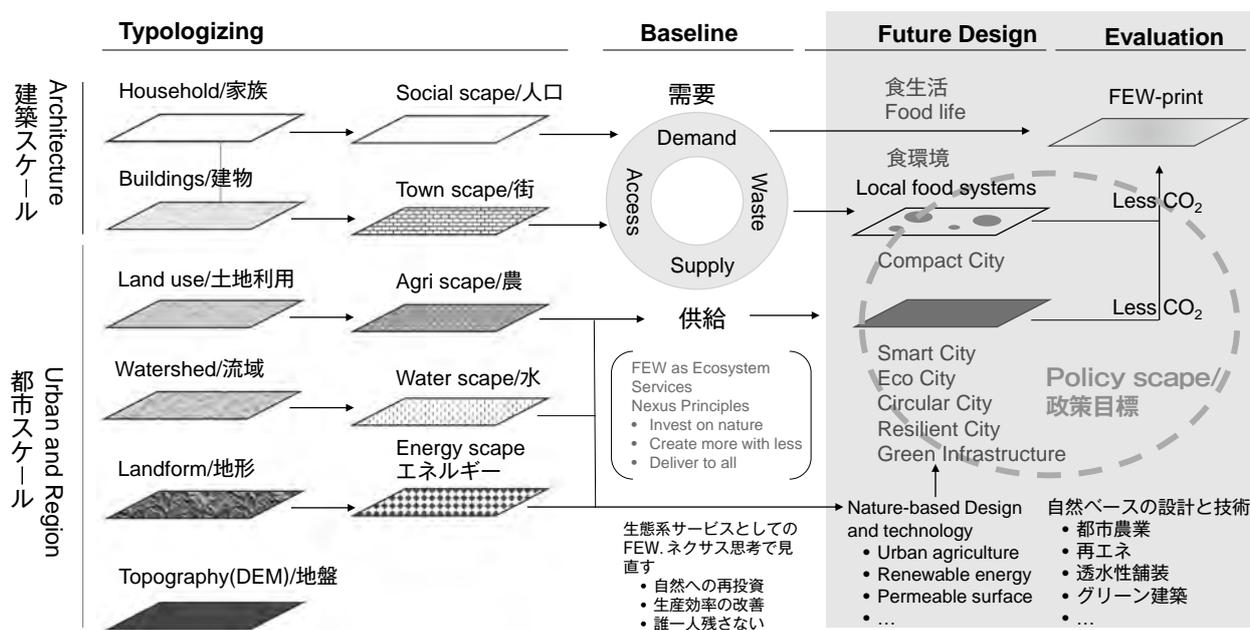


図4 F-E-Wを通してみた脱炭素型持続可能なまちづくりの枠組み(筆者作成)

FEWprintは建物、街区レベルにおける食、エネルギー、水、廃棄物による空間占有と資源利用を面積で表した指標である。同類の指標の中に、エコロジカルフットプリント(EF)¹⁷⁾というものがある。EFは人間の資源占有を生産に必要面積とそれに伴うCO₂排出を吸収のために必要な森林面積の合計で表したもので、世界的に知られている。実面積が勘定できない場合、カーボンフットプリント(CF)のみを評価するものも多い。EFもCFもセクター別や商品費目別の積み上げ計算がメインで、ネクサス効果は評価されない。また統計データをもとにするため、国や都道府県レベルで計算して、環境教育に利用されることが多。

FEWprintは建築レベル、街区レベルのデザイン現場での使用にとくに重視している。対象空間における消費需要と資源種別とCO₂排出強度を入力して現状評価を行う。同じ手順を現況維持(B.A.U)、漸進的変化、劇的な変革といったシナリオに適用すれば、デザイン案による空間の使い方の違いとそれに依るCO₂削減の効果を定量的に算定することができる。同指標を用いて世界6都市のCO₂排出現況を評価した事例は文献に掲載されており、詳しくは文献18を参照されたい。ツールの使い方に興味ある方はm-nex.netからツールおよび論文をダウンロードして試すとよい。同じ手法を東京都・神奈川県を小地域単位で評価した結果を図6に掲載した。都心地区の人口密度の高い地区はFEWprintが高く、その土地の100倍以上にも上り、大きな環境負荷を持っていることがわかる。郊外地区は密度が低いため、FEWprintが相対的に少ないが、一般の郊外団地も一般に数10倍ほどの環境負荷をもたらしている。そのポテンシャルを再評価し、食糧、水、エネルギーの資産地消を増やし、同時にCO₂排出を減らして、カーボンゼロ目標の実現に貢献することが求められる。

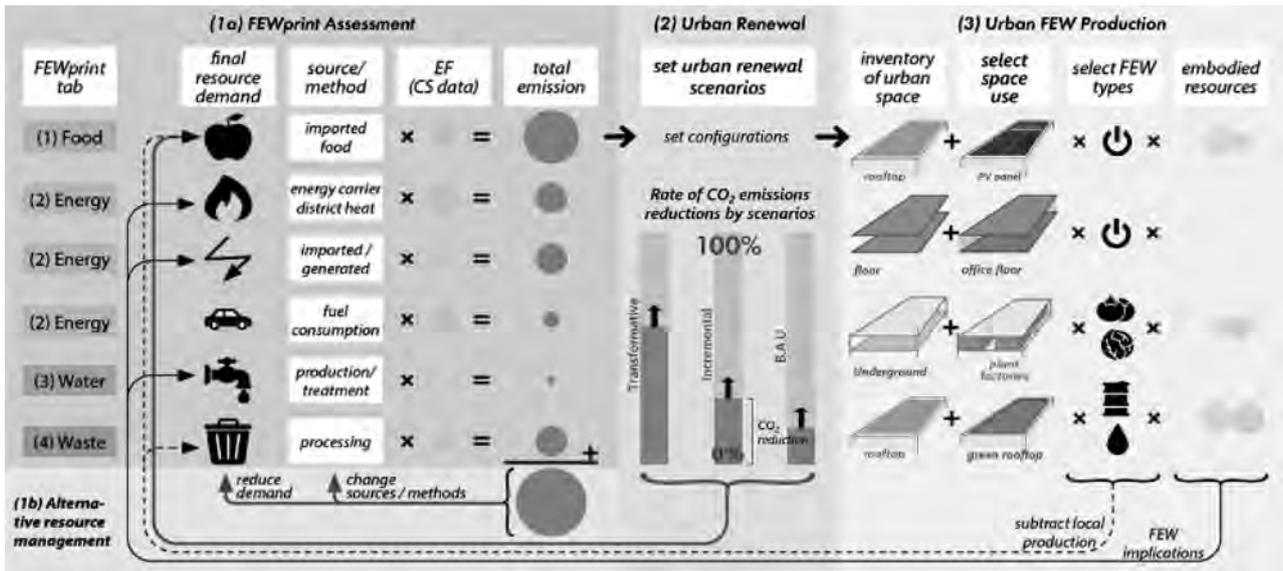


図5 都市デザイン支援のための評価ツールFEWprint(M-NEXチーム作成)

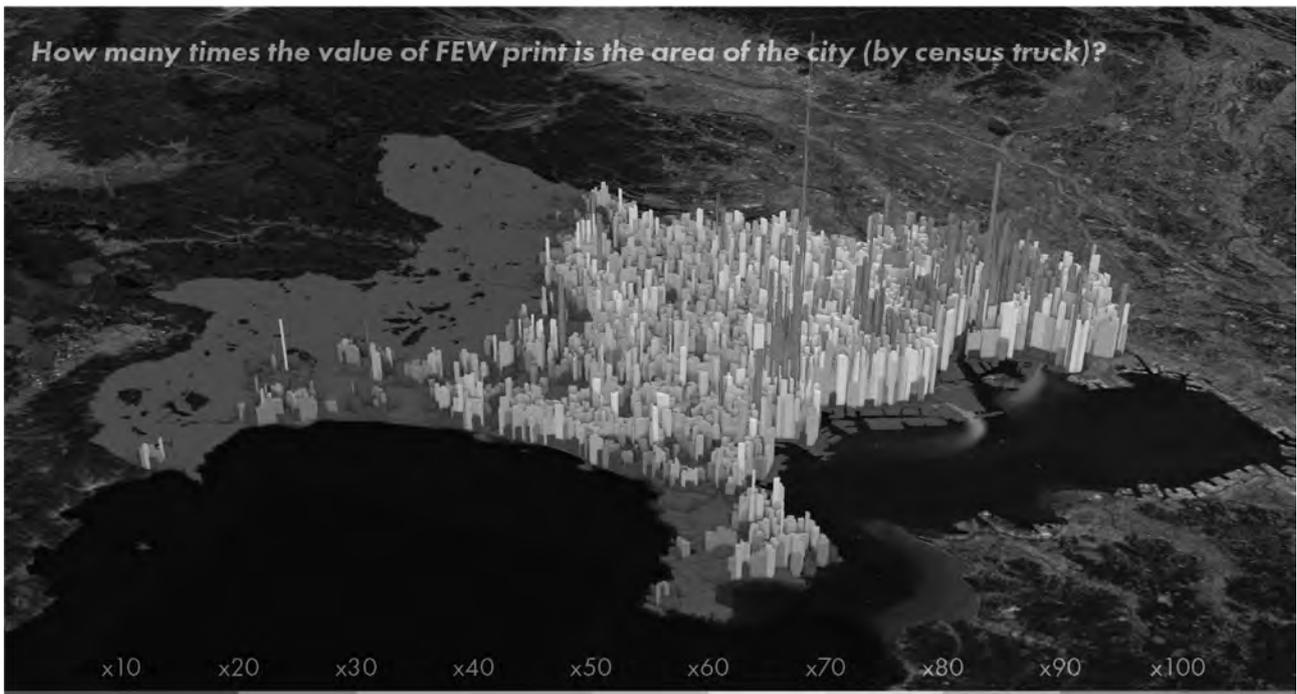


図6 東京都・神奈川県の小地域別FEWprint試算(厳研究室作成)

5. 結言

持続可能な都市化は国際社会の最重要課題とされているが、実現の道のはいまだ厳しい。最大のネックは既存の部門別や事業別の枠組みに縛られることが多く、横断的に物事を捉えることができない。ネクサス思考やネクサスアプローチは広く提唱されて10年以上が経っているが、いまだ概念の提示やマテリアルフローの分析が多く、都市の計画やデザインの現場に应用されることが少ない。本稿で紹介したデザイン先導型のネクサスアプローチは最新の国際研究プロジェクトの成果である。発表論文における国際比較¹⁷⁾や国内都市における建物レベル、街区レベル、地域レベルの実用からみて、この手法の有効性は確かである。いまは連携、協働、共創の必要性は社会的に広く認識されており、それを支援するツールとしてネクサス思考やネクサスアプローチが時期の得たもので、広く使われることを期待したい。

参考文献

- 1) Nature. 2010. "The Century of the City." *Nature* 467 (Oct 21): 900.
- 2) Lawson, Laura. 2016. "Sowing the City." *Nature* 540: 522-24.
- 3) Hoff, Holger. 2011. "Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011 Nexus Conference." Stockholm Environment Institute, no. November: 1-52.
- 4) Newell, Joshua P., Benjamin Goldstein, and Alec Foster. 2019. "A 40-Year Review of Food-energy-water Nexus Literature and Its Application to the Urban Scale." *Environmental Research Letters: ERL [Web Site]* 14 (7): 073003.
- 5) Sachs, I. (1980). Developing in harmony with nature: Consumption patterns, time and space uses, resources profiles and technological choices. *Canadian Journal of Development Studies*, 1(1), 154-175.
- 6) Sachs, I. (1988). Work, food and energy in urban ecodevelopment. *Economic and Political Weekly*, 23(9), 425-434.
- 7) Urban Nexus. (2013a). Health and quality of life in urban areas. Urban nexus WP3 synthesis report. *Urban Nexus*. Retrieved from <http://www.ectp-ceu.eu/images/stories/PDF-docs/Health%20and%20Quality%20of%20life%20Synthesis%20Report%20WP3.pdf>
- 8) Urban Nexus. (2013b). Competing for urban land. Nexus synthesis report. *Urban Nexus*. Retrieved from <https://www.mistraurbanfutures.org/en/publication/competing-urban-land-synthesis-report-urban-nexus>
- 9) Urban Nexus. (2013c). Urban climate resilience. Synthesis report. *Urban Nexus*. Retrieved from <https://www.mistraurbanfutures.org/en/project/urban-nexus>
- 10) Klaassen, L. H., and J. H. P. Paelinck. 1980. "Long-Run Energy Policies in an Economic Setting." In *Economic—Environmental—Energy Interactions: Modeling and Policy Analysis*, edited by T. R. Lakshmanan and P. Nijkamp, 117-48. Dordrecht: Springer Netherlands.
- 11) Klaassen, L. H., and J. Van Der Meer. 1987. "URBAN CHANGE AND PUBLIC TRANSPORT." *International Journal of Transport Economics / Rivista Internazionale Di Economia Dei Trasporti* 14 (2): 123-32.
- 12) 山田洋之. 1986. "大都市圏の成長と空間構造—都市発展の段階論を中心として—." 地域学研究.
- 13) UN-Habitat. 2020. "世界都市報告書2020 持続可能な都市化の価値 Key Findings and Messages." UN-Habitat. <https://unhabitat.org/World%20Cities%20Report%202020>.
- 14) Ramaswami, Anu, Armistead G. Russell, Patricia J. Culligan, Karnamadakala Rahul Sharma, and Emani Kumar. 2016. "Meta-Principles for Developing Smart, Sustainable, and Healthy Cities." *Science* 352 (6288): 940-43.
- 15) Yan, Wanglin, and Rob Roggema. 2019. "Developing a Design-Led Approach for the Food-Energy-Water Nexus in Cities." *Urban Planning* 4 (1): 123-38.
- 16) Yan, Wanglin, Andy van Delbsteen, Greg Keeffe, Geoffery Thün, and Rob Roggema. 2021. "Developing and Implementing the Design-Led Nexus Approach for Sustainable Urbanisation." In *CITIES 20.50—Creating Habitats for the 3rd Millennium: Smart-Sustainable—Climate Neutral*. Proceedings of REAL CORP 2021, 26th International Conference on Urban Development, Regional Planning and Information Society, 251-60. CORP—Competence Center of Urban and Regional Planning.
- 17) Rees, Williams E., Mathis Wackernagel, and Phil Testemale. 1998. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*.
- 18) Caat, Pieter Nick ten, Martin J. Tenpierik, Tithi Sanyal, Nico M. J. D. Tillie, Andy A. J. F. van den Dobbelsteen, Geoffrey Thün, Sean Cullen, Shun Nakayama, Theodora Karanisa, and Stewart Monti. 2022. "Towards Fossil Free Cities - Emission Assessment of Food and Resources Consumption with the FEWprint Carbon Accounting Platform." *Cleaner Environmental Systems* 4 (100074): 100074.

付録

表1 都市化による食糧・エネルギー・水ネクサスへの影響(著者作成)

カテゴリ	開発・生活行為	従来のマイナスイ見方 (-)	未来志向の見方 (+)
F	露地農業	F: 生産性の低下、耕作放棄 E: 働き手の現象、機械利用増加 W: 土壌汚染、土壌侵食	F: オーガニックへの需要増加 E: バイオマス資源の利用促進 W: 雨水浸透機能の促進
	施設農業	F: 単一品種 E: 化学肥料、化石燃料の消費 W: 雨水吸収の減少	F: 高い生産性 E: ソーラーシェアリング W: 雨水、地下水の有効利用
	都市農業	F: 単品種 E: エネルギー消費 W: 排水	F: 高生産性 E: 再エネ利用可能 W: 水の循環利用可能
	有機農業	F: コスト高 E: 人手がかかる W:	F: 健康食品の需要増 E: 再エネ利用可能 W: 雨水収集
	食品加工	F: 食品廃棄増 E: 加工用エネルギー増 W: 廃水の増加	F: 食品加工業の発達 E: 消費者に近い流通拠点 W: 水の循環利用技術の採用
	食材流通	F: 食品ロス E: 長距離輸送、CO ₂ 排出 W: 仮想水(Virtual Water)	F: クール便、鮮度維持 E: 電気自動車、貨物電車による輸送
	食材販売	F: 食品廃棄 E: 輸送エネルギー W:	F: だれにも届ける E: 最適店舗配置 W: 店舗の水循環利用
	食品廃棄	F: フードロス E: 処理コスト増 W: 廃水処理	E: バイオマス利用
	食環境	E: アクセシビリティ依存	F: 食材の入手が便利
	食生活 (内食)	F: 食材へのアクセス 他: 内食減	F: 料理道具が発達
	食生活 (中食)	E: 売店へのアクセス F: 食品ロス	他: 料理時間の節約
	食生活 (外食)	E: お店へのアクセス F: 食品ロス	他: コミュニケーション
E	ソーラーファーム (地上)	F: 食料生産減 W: みどり減少、水涵養減少	E: 再エネ増
	ソーラーファーム (屋上)	F: 屋上菜園と競合	E: 再エネ増
	ウインドファーム	騒音懸念	E: 再エネ増

	バイオフィーム	W: 水の循環処理	F: 新農業、新食材 E: 再エネ増
	水力発電	W: 来水の安定	E: 再エネ増
	太陽熱利用	E: PVと競合 他: 屋上景観	E: 再エネ利用増 W: 温水提供
W	ダム建設	F: 農地の減少 W: 水質の悪化 他: 自然景観の変化	F: 釣り、養殖 W: 安定供給、洪水調節 E: 水力発電
	地下取水	他: 地盤沈下	E: ヒートポンプ W: 水資源の地産地消
	雨水回収	E: 水槽の清掃	F: 菜園の灌水 E: 節水 W: 洪水調節
	水滴養林整備	E: 林業機械によるCO ₂ 排出	F: 果実 E: バイオマス、CO ₂ 吸収 W: 雨水浸透、洪水調節
総合	宅地開発	F: 農地減少、就農者減少 E: 都市ヒートアイランド W: 吸水・透水力の低下 他:	F: 消費需要の集中・拡大 E: 消費需要の集中・拡大 E: 集中供給効率のアップ W: 消費需要の集中・拡大
	業務地区の開発	E: 都市ヒートアイランド E: 移動の増大、消費の集中 W: 吸水・透水力の低下	F: 就業者の食需要の増加 E: 集中供給で効率アップ W: 消費需要の集中・拡大
	工業開発	F: 農地の減少、就農者の減少 E: 都市ヒートアイランド W: 産業用水、排水の増加	F: 就業者の食需要の増加 E: 移動・輸送の増大 E: 集中供給で効率アップ
	コンパクトシティ	F: アクセスの格差の拡大 E: 集中供給への偏り W: 高層化による水圧アップ	F: 消費需要の集中 E: 集中供給で効率アップ W: 集中供給で効率アップ
	エコシティ	F: E: みどりの維持コスト W: 景観が優先されがち 他:	F: 地産地消の推進 E: 再エネ拡大、UHI緩和 W: 水・緑の保全 他: 自然景観の整備
	グリーンインフラ	他: 維持コストの増加	F: 地産地消の促進 E: ヒートアイランド緩和 W: 吸水、透水能力増大