

## 都市・建築分野における「シナジーとトレードオフ (S&T)」 ～統合的解決を目指して～

株式会社NTTファシリティーズ総合研究所  
EHS&S研究センター 上級技師  
塚田 敏彦

### LEEDにおけるS&T

初めて目にする専門用語が並ぶLEED AP (CASBEE 建築評価員に相当する米国の認証システムの専門家資格) のテキストの中に、「クレジットのシナジーとトレードオフ (S&T)」という節があり、興味深く読んだのは2010年頃のことです。LEEDは「持続可能な敷地 (SS)」「材料と資源 (MR)」「水利用 (WE)」「エネルギーと大気 (EA)」「室内環境 (IEQ)」など建物の環境性能を評価する大項目と、下位の100に近い小項目クレジットで構成され、合計得点で建物を格付けするシステムです。その評価項目相互には、正や負の影響をもたらす関係が複数あります。

テキストでは、シナジー事例として窓からの昼光利用を高めて、「室内環境 (IEQ)」における「昼光利用と質の高い眺望」項目の要求事項を満たすことが、「エネルギーと大気 (EA)」における「エネルギー性能の最適化」項目の要求事項達成に役立つこと、トレードオフ事例として「室内環境 (IEQ)」における「換気効率の向上」の要求事項を満たすことが、「エネルギーと大気 (EA)」における「エネルギー性能の最適化」項目の要求事項達成を難しくすることが紹介されています。また屋上緑化をすることは、「持続可能な敷地 (SS)」における「オープンスペースの拡大」の得点となるだけでなく、「雨水の流出管理」「ヒートアイランド現象の緩和」「生物生息地の保護または復元」項目の得点につながるシナジーがあります。予算の中で高性能かつ多くの「便益」を得るために、統合的な設計をすることをテキストでは推奨しています。

上記はLEEDにおける評価項目の事例ですが、関係する要素間の負の影響を緩和しつつ相乗効果を高める最適化は、多くの場面で行われています。S&Tについて調べると、多少の相違が分野の違い等ではありますが、シナジーは相乗効果であり、2つ以上の要素が相互作用により、互いにwin-winの関係になるだけでなく各要素の総和が足し算以上になること、トレードオフは天秤ばかりの両側の関係のように、同時に向上が不可能な一得一失関係にあることが本義だと思われます。本コラムでは都市・建築分野を主とした各種のS&Tについて紹介します。

### 日本建築学会大会発表論文におけるS&T

2020年5月時点で日本建築学会の大会発表論文をキーワード検索すると、シナジーは2001年以降4件、トレードオフは1986年以降40件あり (構造系13件、防災系10件、環

境系9件、都市・建築系8件)、相互関係を持つ複数性能の最適化研究の論文名などに使われています。

構造系の最近の論文には、2013年の豊田ら<sup>1)</sup>による免震構造の設計法に関する基礎的研究があります。建物の安全性・修復性・経済性をそれぞれ、免震層の最大変位がクリアランスに達する地震の大きさ(安全性)、免震層の最大変位がクリアランスに達する寸前の各階層間変位の平均値(修復性)、不動産の現在価値から免震層に必要なクリアランスの確保による面積や、免震装置等の費用増分を差し引いた金額(経済性)と定義して、安全性と修復性・経済性のトレードオフ関係の分析が試みられています。

環境系では、2005年の島崎ら<sup>2)</sup>による環境共生住宅の評価項目間のトレードオフ関係の把握に代表されるように、建物の省エネルギー化のために、建物形状(アスペクト比、方位)、断熱性、窓(方位、面積)、構造種別(木造、RC造)、太陽集熱器や太陽光発電装置(設置面積)等をパラメータとした、トレードオフ関係の分析が大会発表論文に限らず多数報告されています。近年では高断熱化など建物のパッシブデザイン、高効率設備技術の採用、働き方の工夫、再生可能エネルギー利用等により、建物のZEB化・ZEH化と室内温熱環境の快適性確保(知的生産性向上・脳卒中や熱中症予防)が、我慢の省エネと言われるトレードオフ関係にならないだけでなく、災害対策や医療費削減になる「便益」も評価されて、積極的に推進されています。実績例としては、資源エネルギー庁による①ZEB補助事業では、2015~19年度に累計195件が採択され、②ZEHビルダー/プランナー実績報告新築注文戸建住宅のZEH(『ZEH』、Nearly ZEHの合計)は、2018年度着工数が、約54,000戸<sup>5)</sup>になっています。

都市・建築系の最近の論文には、2015年の町永ら<sup>3)</sup>による喫煙所の最適配置の研究があります。喫煙所の近接性は、喫煙者と非喫煙者の満足度にとってトレードオフの関係にあります。大学構内の隣接する2棟の校舎における屋外喫煙所の配置検討では、動線や建物開口部からの離隔距離(各7m、6mに設定)を確保の上、喫煙所設置数と近接性の最適化分析をした結果、需要に合わせて喫煙所を複数分散配置することの合理性(1か所では2棟の間に設置され、喫煙者の集中により煙濃度が高いので臭気の影響範囲が広がり、2か所では2棟の両端設置となり、煙濃度が低いので1か所当たりの影響範囲は狭くなる)が確認され、喫煙所配置における設置数を含めた慎重な検討の必要性を提唱しています。

環境・防災系の論文には、2008年の大野<sup>4)</sup>による森林植生における環境と防災のトレードオフがあります。森林は地下水の窒素等水質浄化作用がある他、多孔質の土壌を形成することで雨水を容易に地中に浸透させ、貯留量を高めることで水源涵養にプラスに働きますが、林冠部での雨水の遮断と蒸発、体内貯留と蒸散により、雨水の地中への流入を妨げています。こうした貯水機能は洪水時にプラスに作用しますが、湯水の緩和にはマイナスに働き、後者を環境と防災におけるトレードオフの関係として紹介しています。

## 気候変動対策における S&T

2015年に締結されたパリ協定では、産業革命前からの世界の平均気温上昇を2度未満に抑えるとともに、1.5度未満の達成を目指しています。気候変動対策には温室効果ガスの排出量の削減と吸収による温暖化の「緩和」策と、起き始めている影響に対して運用で軽減を図る「適応」策があり、両者のシナジーを最大化しつつトレードオフを最小化する統合的施策が推奨されています。

緩和策には供給エネルギーや建物・輸送の低炭素化、森林・土地利用によるCO<sub>2</sub>吸収源拡大、CO<sub>2</sub>回収・貯留等があり、適応策には渇水・治水対策、農作物の高温障害対策、ライフスタイル変容、生態系の保全等があります。緩和と適応のS&T事例を以下に紹介します。

- ①ライフスタイル変容による、建物の仕様・運用や移動方法・材料の低炭素化（国産材使用、緑化、公共交通利用、エコカー、シェアリングの促進）
- ②食糧・エネルギー・水等における、地域での自給・有効利用を高めた低炭素化、渇水対策
- ③都市の低炭素化のための高密度・コンパクト化において、緑や水辺のネットワーク確保等による生態系の回復・保全

本コラム中で既に「便益」（ベネフィット）という用語が使われていますが、気候変動対策分野ではシナジーの類義語となるコベネフィット（共通・副次的便益）や、マルチベネフィットも良く使われています。

IPCC WG3 AR5の技術サマリー（2014年）では、エネルギーの安定的確保、大気質向上、気候変動緩和の3対策を個別に実施するよりも、3対策を統合した方がコベネフィットにより費用は少なくなると紹介されています。具体的には大気のPM（粒子状物質）濃度低減のための工場での脱硫・脱硝等の排出対策と、CO<sub>2</sub>排出削減のための燃料転換や省エネ対策を個別に行うよりも、各国におけるPM濃度やCO<sub>2</sub>排出量を考慮した対策選定が現実的である（PM濃度が高くCO<sub>2</sub>排出量も多い場合は、省エネや燃料転換を含めた対策が効果的であり、PM濃度が高くCO<sub>2</sub>排出量が多くない場合は、脱硫・脱硝等の対策を中心に行うのが安価で効果的）とのことです。

IPCC特別報告書「気候変動と土地」においても、土地関連セクターの対策のコベネフィットとトレードオフ事例が紹介されています。農業における生産性向上への取り組みは、コベネフィットとして気候変動の緩和、適応、砂漠化防止、土地劣化防止、食料安全保障のすべてに良い影響を大きなスケールで及ぼすことができます。一方でバイオマスエネルギーの推進や植林の拡大は、有効な気候変動緩和策ですが、トレードオフとして①食料のバイオマスエネルギーへの転用、②バイオマスエネルギー作物生産や植林の新たな土地の確保といった食料安全保障を不安定化させる要素があります。土地に関する対策を大規模に実施するためには、トレードオフを十分に検討し、マイナスの影響を防止する必要があると特別報告書では説明しています。

## SDGsにおけるS&amp;T

2015年に国連で採択されたSDGsは、2030年を目標に世界を持続可能なものに変革していくための国際的合意であり、17のゴール、169のターゲット、232のインディケーターで構成されています。SDGsの指標は極めて広範で普遍的であり、効果を上げるには統合的な活用が特に重要となるため、各指標の相互関係の分析や、運用組織によるローカライズ・課題の明確化と実践が、SDGs未来都市等により始まっています。前述の気候変動対策は、SDGsのゴール13に位置づけられ、最近では他のゴールとのS&Tを含めて考えるようになっていきます。SDGs指標のS&T分析状況を以下に紹介します。

Pradhanら<sup>5)</sup>は、国連統計部が公表している世界各国の統計情報を使用し、SDGsの目標間のS&T関係を分析しています。分析において17ゴールの相関関係を表す「シナジーペア、トレードオフペアのトップ10」におけるシナジーペアの1位は、ゴール11（都市）とゴール13（気候変動）で、気候変動における都市の役割の高さが推察されます。シナジーペア10組中で最も多く出るゴールはゴール1（貧困）で、ゴール3（保健）、4（教育）、5（ジェンダー）、6（水）、10（不平等）と5組のゴールとペアになっています。トレードオフペア10組中で最も多く出るゴールはゴール12（生産・消費）で、ゴール1（貧困）、2（飢餓）、3（保健）、4（教育）、5（ジェンダー）、6（水）、10（不平等）と6組のゴールとペアになっています。これらは貧困撲滅のために、保険、教育、ジェンダー、水、不平等のゴール達成が効果的であり、生産・消費の達成に向けて、貧困、飢餓、保険、教育、水、不平等への配慮が不可欠であると解釈できます。

地球環境戦略研究機関（IGES）においても、SDGsの指標間の相関性が分かるデータ分析と可視化ツールを用いて気候変動対策とSDGsの関連性を分析しています<sup>6)</sup>。これによると日本が自主的に定めた約束草案はSDGsにおける12ゴールと19ターゲットとの関係性が認められ、ターゲット7.3（エネルギー効率改善）は多くの他のターゲットとシナジーの関係がある一方で、ターゲット8.1（経済成長）、8.2（生産性の向上）等とはトレードオフの関係になります。こうした分析結果を踏まえて、シナジーの最大化、トレードオフについては最小化からシナジー化への転換の検討が重要であると言われてしています<sup>7)</sup>。

2019年の日本建築学会大会梗概集に、村上ら<sup>8)</sup>が市区町村データをもとにした、ローカルSDGs47指標のS&Tの関係性を報告しています。ゴール11（都市）の分析結果では、人口の多い自治体が他の自治体と比べて、他のゴールとS&Tの相関が高いため、人口の多い自治体ほど、都市や公共施設の整備を行うことで、他のゴール達成への貢献が示唆されたと述べています。また多くの都道府県において、ゴール16（平和）が他のゴールとシナジーの割合が高く、ゴール8（雇用）、ゴール15（陸上資源）が他のゴールとトレードオフの割合が高くなっていると述べています。例えばゴール15において、「森林面積割合」が他の指標とトレードオフ関係に該当する割合が多く、これは都市整備等により、生活の質を向上させるほどに森林面積が減少する傾向にあるためと考察しています。

### 新型コロナウイルス感染症対策における S&T

厚生省から示された「新しい生活様式」に基づき、3密回避（密集、密接、密閉）、手洗い、身体的距離確保、マスク着用、外出控え、換気、咳エチケット、テレワーク等の取り組みによる成果と影響が種々出ています。第一波の最中は、健康と経済がトレードオフの関係のように議論されました。建築分野では日本建築学会等から各種対策が公開され、米国建築家協会<sup>9)</sup>と国際 WELL ビルディング協会<sup>10)</sup>からは詳細なチェックリストが出ています。種々の対策には、これまでの社会トレンドや規範に対して、重複するもの、新規に加わるもの、抑制や見直しとなるもの等があります。

重複するトレンドには、デジタル化、リモート社会化、ロボット化、センシング高度化、及びそれらを通じた在宅勤務や働き方改革推進等があり、これらは相互にシナジーの関係と言えそうです。

新規で抑制的傾向が強い対策には、移動の制限があります。今までにも移動の省力化としてリモートや Web 化が進んでいますが、遠隔地への移動や外出の極端な制限は、経済に負の影響を及ぼしています。一方で移動の制限は大気汚染や CO<sub>2</sub> 排出量の削減になり、コロナ対策としては気候変動対策とシナジーの関係で正の影響を及ぼすことになるため、移動の制限は対象により正・負、2つの側面があります。

新規の見直し事項として、ディスタンスングによる収容計画があります。推奨されている離隔距離を確保するには、飲食店、集会施設、オフィス等、座席配置や収容人数への影響が大きく、当面は運用調整で対応していますが、コロナ禍の影響が長期に及べば、規範としている建築計画の見直しが必要になるかもしれません。オフィスでは、テレワークによる出社人数減少とディスタンスングによる低い在席密度が、結果的に整合している（シナジー？）組織が多いのではないのでしょうか。

国連開発計画では「CLIMATE, COVID-19 AND PLANETARY HEALTH」と題して、「世界各地でコロナ対策を強化して、気候変動対策や生態システムのレジリエンス対策とともに、シナジーを発揮する機会です。国連開発計画はパートナーとともに SDGs、パリ協定、仙台防災枠組を加速することにより、増大する世界的危機や社会的弱者のレジリエンス構築に取り組んでいます。」と発信しています。

### おわりに

10 年来、気にかけていたシナジーとトレードオフについて、都市・建築分野における環境と持続可能性を中心に、この機会に纏めることができました。特に SDGs は指標が広範で相互関係が複雑なため、分析結果の図や表のみによる理解は難易度が高いと思います。本コラムで繰り返しているように、トレードオフの緩和とシナジーを高める統合的解決が重要です。2030 年に向けて多くの組織で更に進む SDGs の運用においては、個別の運用主体による指標の具体化やローカライズとともに、統合的解決を図ることが重要です。

## 参考文献

- 1) 豊田陽平ら：免震構造の安全性・修復性・経済性のトレードオフ関係を考慮した設計法に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2013
- 2) 島崎祐輔：環境共生住宅性能評価項目の抽出とその多目的最適化, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2005
- 3) 町永凌ら：迷惑施設としての喫煙所の最適配置, 日本建築学会学術講演梗概集, 2015
- 4) 大野啓一：「環境」「防災」と森林植生, 日本建築学会総合論文誌, 2008
- 5) Prajal Pradhan et al : A Systematic Study of Sustainable Development Goal Interactions, 2017
- 6) Sustainable Development Goals Interlinkages and Network Analysis, IGES Research Report, 2017
- 7) 竹内和彦：地球規模課題のローカルな統合的解決を目指す「地域循環共生圏」, 月間資本市場, 2019
- 8) 村上凜人ら：ローカル SDGs を用いたシナジー/トレードオフの関係性の把握, 日本建築学会大会, 2019
- 9) Re-occupancy Assessment Tool V1.0, The American Institute of Architecture
- 10) STRATEGIES FROM THE WELL BUILDING STANDARD TO SUPPORT IN THE FIGHT AGAINST COVID-19, IWBI

(2020年7月1日 塚田 敏彦)

※掲載された論文・コラムなどの著作権は株式会社NTTファシリティーズ総合研究所にあります。これらの情報を無断で複写・転載することを禁止いたします。また、論文・コラムなどの内容を根拠として、自社事業や研究・実験等へ適用・展開を行った場合の結果・影響に対しては、いかなる責任を負うものでもありません。

ご利用になりたい場合は、「お問い合わせ」ページよりご連絡・ご相談ください。