

屋上緑化のための基本的視点と今後の課題

京都府立大学人間環境学部教授 下村孝

はじめに

ビルの屋上は、土地に余裕を持たない都会に残されたほぼ唯一の植栽可能な平面空間といえる。そして、人の立ち入りが可能な屋上部分の緑化義務を定めた東京都の条例改正（東京における自然の保護と回復に関する条例）や、都市緑地保全法の改正に伴う「緑化施設整備計画認定制度」の施行により、屋上緑化への関心が急速に高まっている。昨年5月、筆者の所属する日本緑化工学会が京都で開催したシンポジウム「21世紀の環境共生を目指して 屋上緑化と壁面緑化 建築空間を取り巻く緑化の理論と手法」にも全国から会場定員を超える参加申し込みがあったのも、その現れといえる。

ところで、長年、都市における建築物の緑化に関わり、前述の東京都条例改正のための委員会（東京都ビル緑化検討会）の座長を勤めた奥水肇明治大学教授（日本造園学会会長）は、屋上の緑を次のように分類している。「現在、造園業者が手がけているルーフガーデンに対し、屋根業者がつくっているような薄層軽量の土壌にセダムなどの多肉植物を植える屋上緑化はグリーンルーフです」¹⁾。ルーフガーデン（roof garden）やルーフトップガーデン（rooftop garden）は日本語の屋上庭園に当たる英語として広く知られ、過去数十年にわたって各種の先行事例が知られている。一方、グリーンルーフ（green roof）は、まさしく、ここ10年ほどの間にわが国で注目を集めてきた、ドイツの環境共生型住宅に見られる「緑化屋根」を指した表現と受け取ることができる。奥水氏は同じ論考の中で、この緑化屋根が、東京都条例で対象外とされた傾斜屋根や湾曲した屋根にも適応でき、新しい建築デザインの可能性を広げることができるのでは、と期待を述べている。このように、緑化屋根は屋上に緑を持ち込む新しい技術として、わが国では、まさしく、緒に着いたばかりであり、解決しなければならない技術的課題やそれ以前の方法論・あり方論にも課題は多い。

ここでは、これまで実績がある屋上庭園を含めて、屋上に緑を持ち込む屋上緑化について、都市における花と緑の役割や緑化材料の研究に係わってきた立場から、基本的な考え方と課題をとりまとめてみたい。なお、本稿は講演を行う1カ月以上前に、準備中のメモの一部を取りまとめたものであり、不要・冗長かつ不備が混在することをお断りしておく。また、法令・支援体制や工法などについては、それぞれ、町田誠氏と柴田忠裕氏の論考で詳しく触れられるので、ここでは概ね、割愛した。

1. 屋上緑化の歴史

1.1 古代メソポタミア

古代メソポタミアのピラミッドは、周囲に階段のあるテラスを重ねた塔の構造を持っていた。そのテラスに高木や灌木の植栽がされていたと推定されている。紀元前 2113 年にはじまるウル(Ur)第三帝国時代に建造され、B.C.556-539 年に再建されたナナ(Nanna)のピラミッドは現存し、当時の屋上庭園の様子を示す図が大英博物館に保存されている。

次いで古く有名な屋上庭園は Hanging Garden (架空庭園, 空中庭園)であろう。新バビロニア王国(前 700 年~)のネブガドネザル二世(前 7-6 世紀)が首都バビロンの王宮のテラスに築いたといわれるが、現存しない。これには、遠くメディア(現イラン)から嫁いできた、王妃アミュティスが、緑の乏しい平坦地のバビロンで、緑豊かな故郷を懐かしみ沈んでいるのを見かねて、壇状のテラスに、泉水、樹木でその地の景観を写したとの由来が伝えられている。屋上庭園における安らぎと癒しの効果の古代版である。記録をたどると、庭園の様式は、高さ 25m ほどの建造物が 5 段のバルコニー状のフロアで構成され、各バルコニーにある大型の花壇には大量の土と多くの植物が植えられていたとされる。必ずしも、hanging garden (架空庭園)という英語は当てはまらず、現代の言葉で言えば人工地盤上の植栽であり、roof garden の先駆けと呼ぶにふさわしい事例と言える。当時のバビロニアでは、都市開発により、緑の減少が深刻な問題となっており、都市域では、宮殿においても、このような窮余の策がとられたとすれば、生態系の持ち込みの場として屋上を利用するという点での、現代に通じる事例として興味深い。灌水用の水は近くを流れるユーフラテス川から汲み上げられたと考えられているが、給水システムは不明である。砂漠の屋上庭園における灌水管理のあり方など、ここにも現代の屋上庭園に通じる課題を抱えていたといえる。

1.2 古代ローマ

期限 79 年のベスピアス火山の噴火によって地下に保存された古代ローマの遺跡からも、屋上庭園の歴史が読みとれる。発掘されたヴィラのテラスに植栽がなされており、そのテラスを支える逆 U 字型の石のアーチは連結して、夏の酷暑をしのぐ洞窟を形成している。これは、まさに現在の省エネルギーを目的とした屋上庭園に通じるものといえる。ローマ帝国のヴィラはルネサンス後のイタリアにも引き継がれた。15 世紀にメディチ家の当主は財を顕示するために、諸外国から集めたエキゾチックな園芸植物をヴィラの屋上であるテラスに豊富に植え付けた。

1.3 北米南部アステカ王国

1519年にスペイン人コルテスに征服されたアステカ王国にも、屋上庭園が造られていた。征服者コルテスがスペイン王チャールズ1世に送った手紙には、1階又は2階建ての住宅の屋上にフラワーガーデンが造られていたことが記述されている。そして、歴史学者 Prescott は著書「メキシコ征服史」(1843)の中で、それらのフラワーガーデンの中にパルテールの形状をとるものがあったことを記述している。

これら同様の建造物屋上に作られた庭園の歴史はロシア、ドイツなど、様々な国にも見ることができるが、紙幅の都合で割愛する。

1.4 緑化屋根

一方、民家の屋根に土を積み、草本植物を植える試みがノルウェイやアメリカ合衆国にも見られた。ノルウェイでは近代的な暖房システムが普及するまで、極寒の冬をしのぐために、断熱材としての土を屋根に置き、その流亡を防ぐために草本植物を植え付けた。現代社会ではすでにほとんど姿を消したと言われているが、わが国の茅葺き屋根同様、わずかに現存する例もあるらしい。

米国やカナダのロッキー山脈東方に広がる大草原地帯 (the Great Plains) でも、同様の緑化屋根の手法が採られ、18世紀後半くらいまで広く普及していたとされている。そして、それらの小屋の住民の中には、友人や知人に屋根に播く花の種子を送って欲しいと手紙を書いた者もいたとの説もある。

1993年、ドイツ・シュトゥットガルトで開催された IGA'93 の会場には、Wohnen 2000 (Living 2000) という省エネ、環境配慮の生活様式を実現するためのモデル展示がお御割れていた。そこでは、つる植物による壁面緑化の他に、セダムや草本植物のパレットを屋根に置く緑化屋根や、システム化された緑化屋根を持つモデル住宅が展示されていた(図1)。現在、わが国で関心を集めている薄層植栽基盤を用いた緑化システムの原型もここで見ることができるのであろう。

1.5 近代のビル屋上緑化

1.5.1 屋上劇場

エアコン設備の無い時代の夏に、涼をとるために屋上を利用したユニークな事例として、アメリカの主要都市に出現した屋上劇場があげられる。涼風を受けてオペレッタや音楽ショーを楽しむ舞台は大きな成功を収めたらしい。19世紀末のニューヨーク・ブロードウェイには無蓋の屋上庭園とスライド式のガラス窓を持つ有蓋の屋上庭園があわせて9箇所設置されていたという。客席を確保するために、コンテナ植えの植栽が置かれる程度のものが多かった。しかし、1895年建造のオスカー・ハマースタイン(ミュージカルファンには懐

かしい名前であろう)のオリンピアミュージックホールは60×30mの劇場がガラスですっぽりと覆われ、冷却と騒音防止のためにその表面は絶え間なく水が流れていたという。円蓋の下にも、小型のグロットや物見台が置かれ、小山を伝う水が白鳥が泳ぐ長さ10m余の池に注いでいたとの記述がある。

その後も、このような屋上劇場は数多く造られたが冷房設備の普及と共に姿を消し、1920年代にはほぼ皆無となった。

1.5.2 現代の屋上緑化 緑化事例の見られる屋上空間

30年間、屋上庭園の研究を続けてきた、T. Osmundson²⁾はアメリカの事例から、Roof garden を設けているビル(構造物)または空間を次のように例示している。

Underground buildings (地下ビル), Office building (オフィスビル), Hotels (ホテル), Residences (住宅), Bridges (橋), Connected podiums (ビルに附属する腰壁), Building edges (ビルの縁)。この他にも、病院や百貨店などに屋上庭園が造られているし、わが国の場合は浄水場施設などの人工地盤にも緑地が作られるケースが見られる。また、限られた時期にしか公開されないが、東京赤坂にあるサントリーホールの屋上には美しくデザインされた屋上庭園が造られ、高層マンションを、見越しての新しい緑の都市景観の要素となっている(図-2)。

これら、わが国の屋上緑化の事例は、柴田忠裕氏の別項で詳しく紹介されている。

2. 屋上緑化の役割

屋上緑化の役割には環境の調節の側面、景観形成要素としての側面、生態系の創出の側面、そして、人の肉体と精神に及ぼす影響という多様な側面があると考えられている。これまでに解説されてきた屋上緑化の効用は次のようにまとめることができるだろう。

2.1 環境の調節

a. 冷暖房効率の向上

屋上を緑化することによる環境の調節は、屋上下室内の冷暖房効率の向上があげられている。これは、緑化用植栽基盤と植物による太陽熱の遮断および植物による蒸散と植栽基盤からの蒸発双方による熱エネルギーの奪取によるとされている。また、暖房効率の向上には、植物と植栽基盤の被覆による保温効果が期待されている。

また、屋上に植栽された樹木やパーゴラの植物は緑陰を提供し、その他の植栽も蒸発散による冷涼化に寄与することが期待される。

b. 雨水放出量の調節

大都市の平地は道路と建造物が7~8割を占め、残りが公園や河川などの水面そして空

ごくわずかの空地となっている。従って、大都市に降る雨の少なくとも7~8割は屋根や舗装平面に打ち付けるために、大地に浸み込むことは無く、そのまま下水に流れ込む。下水の整備が進んだ大都会でも、集中豪雨時には許容量以上の雨水が下水に流れ込むために、道路の浸水や床下浸水を生むことになる。また、舗装したの大地が水を蓄えることができないために、夏の湯水期には街路樹やその下木が枯死することになる。上述した屋上緑化可能空間が植栽基盤を持つことになると、少なくとも、一時的な雨水の貯留装置としての機能を果たすことが期待されている。

2.2 生態系の創出

屋上という無機的な空間に緑化を施し、豊かな緑を生育させ植生を作り出すことに成功すれば、そこに昆虫や小動物が住み着き、新しい生態系を創出することも可能となる。絵に描いた餅のようだが、現実に成功している事例を見いだすことは可能であり、この側面への期待は大きい。

2.3 景観形成の要素

大都市は、様々な高さで聳えるビル群で成り立っている。それぞれのビルの中には、住居や仕事場さらには病気療養の場などがあり、人々の生活がある。その人たちが眺める外部景観のかなりの部分をビルの壁面と屋上が占める。多様な形状・色彩の無機質な構造物がほぼ無秩序に並ぶわが国の都市景観は、少なくともヨーロッパの古都市には見られない、「独自の」景観であろう。それらの壁面や屋上が柔らかく美しい緑の空間として散在することによって景観の無粋さが緩和されるのかも知れない。屋上緑化と壁面緑化が新しい都市デザインの重要な要素となりうるという期待¹⁾がもたれるゆえんであろう。

2.4 人の精神と肉体に及ぼす影響

屋上緑化の効用として、癒しやアメニティー効果が取り上げられている。これは、公園や緑道、アトリウムなど、都市緑化施設の持つ効用と類似のものである。しかしながら、緑が人の心を癒したり、安らげたりすることにだれもが異論を唱えないままに、その理由や実態の説明は、通り一遍に流され、十分に理解されないままの合意が成り立っているように筆者は考えている。そして、癒しや安らぎの効果というフレーズが、そのまま、屋上緑化の必要性の説明にも利用されている。後述するように、屋上緑化の必要性には、経済性や効果の点から、異論も聞かれている。屋上緑化の必要性を説得力を持って説明するために、癒し、安らぎの効果を、客観的な根拠を示して分かりやすく説明することは極めて重要である。そこで、ここでは項目を改めて、都市の緑の必要性に詳しく立ち至って説明

したい。

3．都市の緑の必要性

3.1 緑が人間生活に及ぼす影響

アメリカを中心に、花と緑が人におよぼす影響は幅広く研究されてきた。しかし、上にも述べたように、建築・造園分野への紹介は十分では無いかも知れない。ここでは、都市における緑の効果を中心に研究事例を紹介する。

a．アメニティーの創出³⁾

緑の少ない都市では、屋上の他に、室内にも緑を持ち込む手法が工夫されている。筆者らは、これらの緑がどのような意味を持つのかを調査した。大阪市内のショッピングセンターで、インテリアグリーン（IG）の利用目的とその達成度を調べたところ、観葉植物は商品、店舗のイメージアップを主たる目的で導入され、一応の成果を挙げていたが、アメニティー効果（安らぎを求める）はそれを上回る効果をあげていた。また、IGの管理に携わる人々は、気分転換などという肯定的評価を与え、煩わしいなどの否定的評価は皆無に近かった。一方、IGを置いていない店でも、置きたいと考える人たちがおり、その場合、置きたい理由はアメニティー効果が販売促進を遙かにしのいでいた。都市の室内空間にある緑は、そこで働く人々の安らぎに欠かせない要素として受け取られていた。

b．作業、労働によるストレスの減少⁴⁾

都市の大企業のオフィスで働くサラリーマンとOLに職場環境についてアンケートを行った。回答者は職場環境の中で、社員食堂やリフレッシュルームの不備と共に、緑の量の少なさに不満を唱えた。そして、安らぎのある快適な職場環境となるには視野に入る緑の量として30%が必要と回答し、70%を超える人がアトリウムの導入に賛成した。

c．仕事場における精神疲労に対する植物の影響⁵⁾

ビル内オフィスの近未来に想定される無窓の職場環境の適否を知ると共に、予想されるマイナス要因の軽減の要件を探るために実験を行った。机に座って軽作業（ピーズ通し）を行い、効率と作業中および後の疲労度や被験者の反応を測定した。無窓によって作業効率は落ちるが、植物、絵画、外部の景色を中継するビデオなどによって効率は向上した。その際に絵画と植物の評価が高く、特に植物は疲れにくく、疲れを取りやすくする効果があった。

3.2 窓から見える緑：手術後の回復促進⁶⁾

ペンシルバニア病院（200床）で胆嚢摘出手術をした患者を、性別、年齢、喫煙の有無、体重などで片寄りのないようにして、窓からレンガ塀しか見えない患者（レンガの患者）

と落葉樹の緑が見える患者（緑の患者）の23組46名を比較した。緑の患者はレンガの患者に比べ鎮痛剤の要求度が低く、看護日誌の評価も高かった。さらに、退院までの日数は緑の患者がレンガの患者より1日（7：8日）少なかった。

胆嚢除去手術後の患者の退院までの日数と看護日誌の評価

ベッドに寝たままで窓の外が見える	煉瓦の壁	落葉樹
手術から退院までの日数	8.70	7.96日
看護日誌の評価 否定点	3.96	1.13
手術後使用した鎮静剤作用の強さと回数（別表）		

いずれも統計的に有為な差

3.3 道路から見える緑と通勤時のストレス軽減と回復促進⁷⁾

約1時間の自動車通勤を想定して、車窓の景色の影響をバーチャルリアリティによる実験で調査したところ、自然の景観を見る方が、人工の景観を見るよりもストレスが少なかった。また、電車通勤の場合、混雑した地下鉄に乗るとストレスホルモンが分泌され、通勤途中のストレスは帰宅後にも尾を引いた。

3.4 緑の必要性の本質論

上に見た結果はいずれも、緑の少ない都市にあって、身近に触れることの緑が人の精神または肉体の健康にとっていかに重要であることを示している。「癒し」「安らぎ」という言葉で都市緑化の必要性を訴える時に、訴える側が確信を持たないと、その訴えは空疎で説得力のあるものとはならない。そのために、このようなデータに基づく研究成果を身につける必要がある。

また、では、なぜ、緑が人に安らぎや癒しを与えるのかを理解することも重要である。これについては、哲学と、環境心理の双方から説明がなされているが、本稿では割愛して講演の中で解説する。

3.5 高層ビルでの生活への不安

都会の（超）高層マンションでの生活に関して、子供や主婦の心身への影響を危惧する報告がある。そこでは、窓を通しての景観の違いや大地への接地機会の減少、ビル自体の揺れなどが影響を及ぼすことが述べられている。高層ビルに生活する人たちにとって、身近にアクセスできる緑や庭園という意味でも屋上緑化・庭園が必要とされているということにも視点を広げる必要があるだろう。

4．屋上緑化の課題

4.1 屋上の緑化の制限要因と派生する問題

a．積載荷重と基盤の薄層化

建築基準法施工例によれば、学校や百貨店以外の建造物の屋上では、積載荷重はかなり軽量であり（表-1）、既存建築物に新たに緑化を施す場合の重要な課題となっている。「学校または百貨店」以外の屋上は、床の構造計算用では、積載荷重が $180\text{kg}/\text{m}^2$ である。一般に屋上には「ソーラーパネルおよび空調」施設室外機などさまざまな施設があり、概ね 50% が利用可能となるようであるが、残りすべてに 180kg の積載荷重を載せることは認められない。全面に荷重をかける場合は、地震力計算用の $60\text{kg}/\text{m}^2$ にまで荷重を落とす必要がある。この積載荷重が限定条件となり、基盤の薄層化と植物材料を狭い範囲におしとどめているというのが現状である。現在、開発・販売されている薄層の植栽基盤なども、自重が 40kg 前後のものが最軽量の部類に属するようである。しかし、これに植物を植え付けるとその重量がかかることになり、さらに、常時保持される水分がかかることを考えると、この重量制限下で、まともな植生を維持することは困難となる。例えば、上記薄層基盤の空隙に水を体積比 20% 含むと 20kg が加算されて、すでに 60kg の「地震荷重」を達成してしまう。その結果、保持する水分を極力抑えたと共に、水分要求性の低いシバやセダムによる「緑化」が主要なターゲットとなるのであろう。

このような緑が人の癒しや安らぎに効果を持つのだろうか、そんな疑問が出されても不思議はない。

表-1 建築基準法施工令85条によりとりまとめた建築物各部の積載荷重*

構造計算の対象 室の種類		床の構造計算用	大梁・柱または基礎の構造計算用	地震力計算用
(a)住宅の居室、住宅以外の建築物における寝室または病室		180	130	60
(d)百貨店または店舗の売場		300	240	130
(e)劇場・映画館、演芸場・観覧場・公会堂、集会場その他これらに類する用途に供する建築物の客席または集会場	固定席	300	270	160
	その他	360	330	210
(g)廊下・玄関または階段		(c)から(e)までに掲げる室に連絡するものにあつては、(e)の「その他」の場合の数値による。		
(h)屋上広場またはバルコニー		(a)の数値による。ただし、学校または百貨店の用途に供する建築物にあつては、(d)の数値による。		

*建築基準法施工例から一部省略して作成。単位は kgf/m^2

b．屋上の風と乾燥

ビルの屋上は地上と違い、風を遮るものが少なくなるために、予想以上の強風に曝され

る。そのことが、中高木の植栽に大きな障害となる。また、乾燥は雨水依存の植栽システムの実現を困難にしている。このことが、乾燥に強い植物を選ぶ傾向をますます助長する。

4.2 モノカルチャーの屋上緑化

a. セダム利用の流行と問題点

屋上緑化が課題となって、緑化用資材やシステムの開発研究が熱心に進められている。先述した緑化屋根 (green roof) はドイツでも約 20 年におよぶ研究の積み重ねがあり、システムとして確立している。その中で、植物材料としてセダムが用いられることが少なく

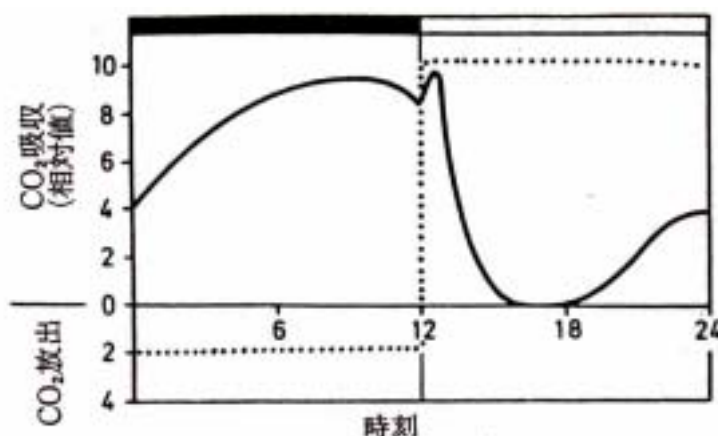


図-3 CAM 植物 (——) と C₃ 植物 (-----) での CO₂ 交換の日変化の模式図¹⁰⁾
 図版掲載は能勢昭博氏と九州大学出版会の好意による。

表-2 CAMとC₃, C₄ 植物を区別する生態学的数値 (Black, 1973) 10)

	CAM	C ₃	C ₄
蒸散比	18~100 (暗) 150~600 (明) いずれも Ting のデータ	250~350	450~950
最大光合成速度 (mgCO ₂ /dm ² /用面積/h)	1~4*	40~80	15~40
最大生長速度 (g 乾物重/dm ² /日)	0.015~0.018	4~5	0.5~2

*報告されている最大速度 11~13

表-3 CAM を有することが知られている顕花植物の科¹⁰⁾

アガベ科	トウダイグサ科
ザクロソウ科	フクロソウ科
ガガイモ科	シソ科
キク科	ユリ科
パインアップル科	カタバミ科
サボテン科	ラン科
ベンケイソウ科	コショウ科
ウリ科	スベリヒユ科
ディディエラ科	ブドウ科

ない。この事から、わが国でも、薄層植栽基盤にセダムを植え付けたシステムの開発競争が進んでいる。しかし、このセダムと総称されるベンケイソウ科 Sedum 属の植物

は、一般の植物に比べるとやや特異な光合成特性を有しており、その性質から見ると、屋上緑化の目的の一部には不向きな植物であると言わねばならない。すなわち、セダム属の植物の

中には CAM 型と呼ばれる光合成を行う種が少なからず含まれているのである。しかし、このことは既に、セダム利用の推進者であった幾人かの研究者によって、利用には注意が必要であるとの文章も公表されている^{8,9)}。しかし、セダム属植物の CAM 型光合成については触れておらず、この事実が造園、建築の分野で具体的に認識されているとは言い難い。以下に、問題点を理解するための簡単な説明を試みたい。

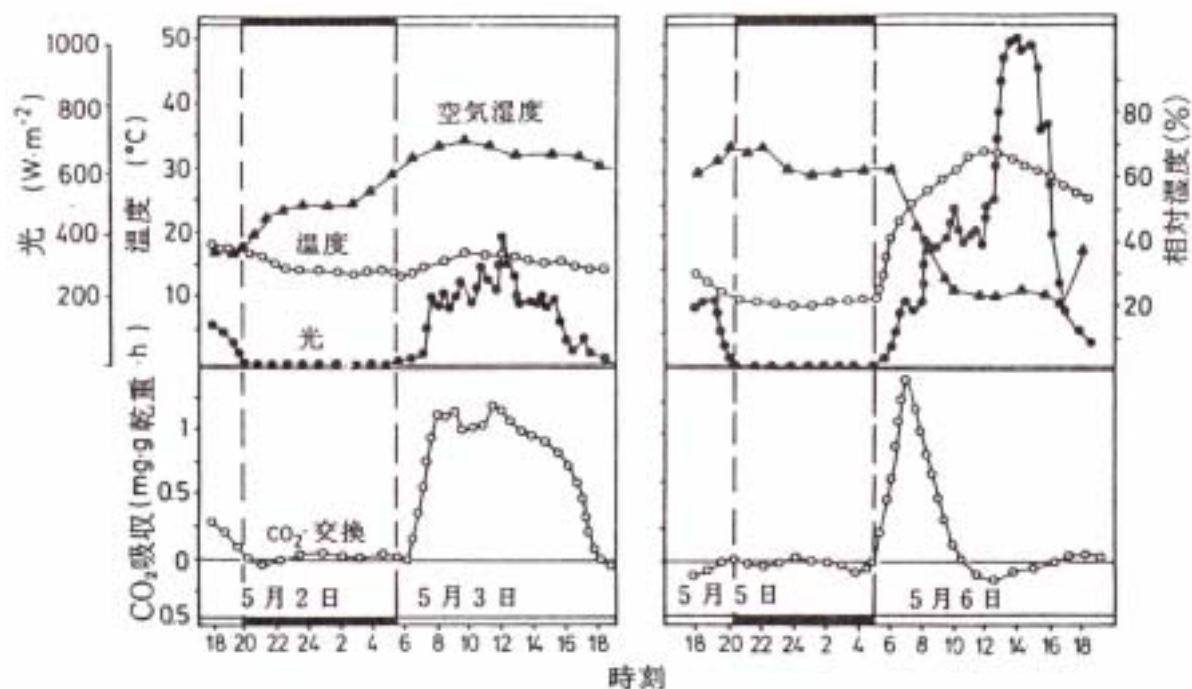


図-4 冷涼な日と暖かい日に観察された *Sedum acre* での CAM (ダルムシュタットの植物園で観察, Kluge 1978 より)¹⁰⁾ 図版掲載は能勢昭博氏と九州大学出版会の好意による。

b. CAM 植物の光合成特性：日中には気孔を閉じ蒸散を行わない

CAM 植物は乾燥に耐えるために太陽の当たる日中は気孔を閉じている。従って、蒸散も行わない(図-3)し、蒸散効率も低い(表-2)。このことは、「緑化屋根の蒸発散によって周辺温度を下げる」という屋上緑化のメリットを説明できないのである。

CAM 型光合成を行う植物は表-3 に示す科に含まれており、ベンケイソウ科にはセダム属が含まれる。また、セダム属の中で次の種が何らかの形で CAM 植物であることが明らかにされている¹⁰⁾。*Sedum confusum*, *S. pachyphyllum* (アツバベンケイ), *S. rubrotinctum* (ニジノタマ), *S. spectabile* (*Hylotelephium spectabile*, オオベンケイソウ)(以上は、CAM であることを確認, Holdsworth, 1971), *S. praealtum* (CAM の特徴である有機酸の日変化が見られる, Wood, 1952), *S. acre* (ストレス下で CAM 誘導 (Kluge, 1977b), *S. telephium* (*Hylotelephium telephium*, ムラサキベンケイソウ : H.

telephium telephium の基本種), *S. telephoides* (CAM の特性を調査, Pouhani et al, 1973)。これらは古い資料なので、これ以降にも CAM であることが明らかにされた種があるかも知れない。とにかく、これら 8 種が CAM であるとされているのであるから、同様の形態や生育特性を有するそれ以外の種も CAM を有する可能性が高い。このことは CAM 型光合成の権威である Kluge と Tin の次の言葉からも想像に難くない。「ベンケイソウ科の植物の殆どは CAM を有すると推察される。もし間違っても *Sedum. acre* で認められたように (Kluge, 1977b) ある環境の下で CAM を有するようになるものと考えられる」¹⁰⁾。ここに名指しされた *S. acre* は緑化屋根の材料として利用もされている。その *S. acre* の光合成特性を調べた実験は皮肉にも屋上緑化への利用への可否を考える場合に象徴的な結果を導き出した。すなわち、*S. acre* は日中の温度が 25 未満の日には通常的光合成を行う植物 (C3 植物) と同様に気孔を開けて CO₂ を吸収するが、暖かい日に気温が 25 を超えると気孔を閉じて、CAM 型光合成植物の特性を示したのである (図-4)。すなわち、緑化屋根付近で植物の蒸散による温度低下をもっとも期待する条件下で、この植物は気孔を閉じて蒸散を止めてしまうというのである。

セダムや草本類を屋根緑化に用いるドイツでは、基本的に緑化屋根の植物に蒸散による熱エネルギー奪取効果を期待していないと考えるのが筋ではないだろうか。そのあたりの状況説明は、下の「建通新聞」の田中氏の記事が妥当な所であろう。「出来の悪いセダム緑化」⁹⁾というより、セダムそのものがわが国の屋上緑化では植物材料として「資質に欠ける」のであり、それを優れた材料として推奨することにこそ問題があると言わねばならないだろう。

4.3 屋上緑化における樹木の役割？

東京都の条例以前は、緑化すべき地上部の面積 20%には「樹木の植栽を指導」していた。今回の改正で緑化すべき面積として加えた屋上部分については、「ヒートアイランド現象の緩和には体積のある樹木が望ましいが、困難な場合には芝、草花などの植栽も認める」、としている。実際、上に見たように、積載荷重、乾燥、風など、屋上では樹木の植栽に不利な条件が重なっている。また、樹木は寿命が長く、年を経るごとに地上部と地下部が増大するために、将来をも見越したシステムを屋上に準備することが求められる。そのため屋上緑化では、樹木の役割と必要性を地上での植栽以上に慎重に検討する必要がある。

屋上緑化が屋上庭園として機能する場合に、樹木はデザイン要素として欠くことはできない。しかし、緑陰や修景、目隠しなどの機能は樹木以外の植物材料でも用を足すことができる。例えば、緑陰や目隠しなどの機能は、パーゴラやトレリスに仕立てたつる植物で代替が可能である。樹冠 10m の高木が作る緑陰はすばらしいが、その樹木を支える屋上植

栽には建築設計への計画盛り込みと膨大なコストが伴う。その植栽基盤を分散するためにより小径の樹木を使って緑陰を代替することは人の憩うスペースが樹幹で邪魔されたりして困難である。例えば、樹冠 2m の樹木 6 本 ($5^2 \times 1/2^2 \times 6 = 6.25$) で代替することを考えると分かりやすい。つる植物は、分散して植え、パーゴラやトレリスの必要な部分に枝を誘引して緑陰やスクリーンを演出することができる。また、パーゴラやトレリスは脚の部分を屋上コンクリート部分の各所にしっかり固定できるため、風に対する備えも万全である。緑でつつまれた「目神山の住宅」で知られる建築家の石井修氏もインタビューに答えて、同様の見解を示している¹¹⁾。

4.4 景観要素としての屋上緑化

筆者の住む京都は高さ 51m の巨大な京都駅ビルの建造によって京都駅の南と北の景観が分断されてしまった。京都市内最高の高さを誇る、駅ビルの最上階の「広場」からの眺望も遮られ、盆地である京都を取りまく緑が視界から消えた。新幹線京都駅の南西にある P.H.P.ビルの優れた屋上緑化も厚いガラスに遮断されて、広場からは美しい姿を見ることができない(図-5)。一方、京都駅から地下鉄に乗って北に 20 分で北大路駅に着く。この駅の上にある VIVRE は 2~4 階までのテラス部分に「屋上緑化」を取り入れている。樹木は中木のコニファーやクスなど、そして低木のツゲとサツキなどに限られ、ヘデラ、ピンカヤシバザクラのグラウンドカバーが平面をカバーする程度の緑量であるが、東に比叡山、妙・法山、大文字山、西に舟形山などを望むことができる。4 階から見ると 3 階、2 階の緑を取り込み、さらに近隣の植物園や下鴨神社の緑など伝い、遠方の東山や北山に至る緑の回廊が形成されている(図-6)。その途中に点在する町中の緑が救いである。京都よりも高いビルが林立する大都会では、屋上や壁面の緑が回廊の要素となるのではないだろうか。そのためにも適当なボリュームを持った緑の屋上が必要なのではないだろうか。

4.5 屋上緑化への反論

屋上緑化には多様な機能と役割が期待されている。その内、断熱効果という点では、外断熱や熱線反射という工学的手法で対応できるとの反論がある。緑化側からは、外断熱を施さない緑化屋根でも断熱屋根より積極的な断熱効果をあげるとの「反撃」がなされている。この点では、今後のデータを示しての論戦が必要であろう。以下に、反論と反撃の要点をまとめて、屋上緑化の課題を整理してみたい。

5 . 屋上緑化をめぐる議論

上述した建築サイドからの疑問は、建通新聞 9 月 10 日から 18 日まで 7 回に渡り掲載された田中俊六・東海大学工学部教授による「寄稿・ヒートアイランドを救えるか - 屋上緑

化考(1)～(7)」¹²⁾に述べられている。総数 7000 字余りの論考の中で、田中氏は、屋上緑化の断熱効率、灌水用水量、夏の涼しい乾燥したヨーロッパの夏と猛暑の日本の夏、蘚苔類やセダムによる緑化の景観上の問題などに関連して疑問を呈し、屋上緑化の有効性を否定している。これに対し、緑化工学会の中で屋上緑化の研究成果を発表し、『屋上緑化のすべてがわかる本』を著している山田宏之・和歌山大学システム工学部助教授が、「『屋上緑化考』の考察」¹³⁾と題する寄稿で反論を行っている。現在と今後のわが国における屋上緑化のあり方を考える上で、重要な論点も含まれているので、それぞれをとりまとめて、筆者の感想を述べてみる^{注)}。

5.1 断熱効率

田中

断熱の十分でない工場や商業施設の屋根では効果が顕著。ある程度の断熱が行われている鉄筋コンクリートのオフィスビルなどでは効果は微少。

真夏に日射を受ける日射反射率（アルベード）が 25% 程度のコンクリート屋根

最大実効温度差は 28K (deg) 程度、100mm 程度の断熱材を用いた屋根構造の熱貫流率を 0.3 (Kcal/m²・h・K) とすると、屋根からの流入熱量はその積で約 7.8Kcal/m²・h (空調実務一般で用いられる最大冷房負荷計算法による)。

散水屋根や植栽屋根の実効温度差は 10K 程度、その熱貫流率を 0.5～0.8(Kcal/m²・h・K) とすると貫流熱量は 5～8 Kcal/m²・h で両者にほとんど差がない。冷房負荷全体から見れば誤差の範囲。断熱材のコストは屋上緑化施工費用の 3～4 万円/m² よりはるかに安く、維持費も微少。必要ならば断熱材を厚くするか、防水層上に熱劣化防止を兼ねた断熱板を用いることも可能。

さらに、屋根表面への直接日射を防止する日射遮蔽ブロックの設置、屋根面の白色塗装で実効温度差をさらに低下させることが可能。屋根からの熱貫流を屋上緑化より安く軽減する方法はいくらもあり、屋上緑化に熱負荷軽減に関する費用対効果の優越性は認められない。

山田

緑化屋根における最大実効温度差を散水屋根と同じとみなすのは、出来の悪いセダム緑化であれば納得可能。セダム緑化は屋上緑化の特殊な一形態に過ぎず、屋上緑化の代表のように扱うのは的を得ていない。都市基盤整備公団の技術センターでの盛夏における土壌基盤 1500mm での測定例では、緑化部分では熱負荷が最大となる晴天時の正午前後に温度差がゼロないしマイナスになることが多い。熱流測定結果も同じくゼロに等しく、通常の断熱材との差が 5～8 倍。屋上緑化は断熱の範疇を越えて、冷却剤として機能している。

汎用装置である屋上緑化が、断熱の専用装置である酸化チタン屋根に劣らないことを田中氏が証明。

筆者の感想

現実に薄層基盤にセダムや芝を張るといふ屋上緑化が求められているという現実がある。セダムを利用せざるを得ないとされる、低コスト・低メンテの屋上に、特殊な一形態以外の屋上緑化が、どのように可能で、どのように成果をあげているのかが具体的に示されていないために、有効な反論とはなっていない。技術センターでの試験はどのような緑化だったのかも示されていない。

5.2 ドイツと日本の気象条件と屋上緑化の機能

田中

屋根緑化先進国ドイツは普通は冷房が不要。内部発熱が多い建物や屋根面積が大きな低層建築などで冷房設備が必要となる時に屋上・壁面の緑化、自然換気・通風効果などで冷房設備の設置を回避できれば、費用対効果は非常に大。日本ではいずれ、冷暖房設備が必要。パッシブシステムの効果は負荷軽減分のみに限られ、経済効果が限定的とならざるを得ない。屋上に本格的日本庭園を造る場合などは別。屋上緑化では芝生や草花などできるだけ強い植物をできるだけ軽量の培地に育てることが求められる。ドイツなどで、乾燥に強い蘚苔(せんたい)類や多肉植物、さまざまな野草が選抜・市販。日本でも、屋上緑化に向けた芝生や保水性に優れた軽量の培地などを開発。ヨーロッパのように夏涼しく、適度に乾燥している国々と、梅雨を中心に夏にかけて高温多湿で、時として強烈な日射による旱魃(かんばつ)に見舞われ、害虫の種類、数も圧倒的に多い日本とは緑を健全に維持管理する手間、費用はまったく違ったものとならざるを得ない。

住民が環境共生的な活動で自主的に管理することができればよいが、造園業者に管理委託すればその費用は非常に高いうえ業者も衆人監視下で殺虫剤の使用もままならない。

また、屋上に高木を植えるような場合は根の伸長によって防水層を痛めることもあり、台風時に倒壊しないような培地構造、排水装置などには特別な工夫と経験が必要とされる。

山田

この点での反論はない。

5.3 屋上緑化の灌水

田中

ある研究では東京の区部での緑被率を 30%程度と 1 万 ha まで増やすと、日照りが続けば 40 万 t の灌水が必要となるという試算もあり、このためにダムの新設が必要になれ

ば新たな環境破壊を引き起こす可能性さえある。

山田

屋上緑化を「屋上庭園」の延長としてとらえる限り、懸念は現実になりかねない。都市公園技術センター。名護市役所他で無管理ないし粗放管理で維持できる屋上緑化も存在する。環境対策型の屋上緑化も存在する。もし、灌水が必要なタイプであっても雨水貯留や中水利用で間に合う話。新たなダム建設はナンセンス。

筆者の感想

屋上庭園は灌水を必要とするタイプであるとしているが、今後求められるのは、人の目を楽しませ、人の心を癒し安らがせる緑化、すなわち庭園ではないのだろうか。それを例外的に見るのは、屋上緑化の効用の多様性の中に癒しを強調する立場とは矛盾する。また、「灌水が必要な」屋上緑化の対策に雨水貯留、中水利用で間にあるとの楽観的な判断がなされているが、その技術は未確定ではないだろうか。果たして、屋上緑化に関して、このような研究がどれだけ進行しているのか筆者は寡聞にして知らない。また、上で、セダム緑化が特殊な一形態としていたが、ここで述べている、「無管理ないし粗放管理できる屋上緑化」は代表的なものなのだろうか。これでは田中氏の反論を有効に反撃することにはならないだろう。

5.4 外来種持ち込みへの疑問と景観への懸念

田中

ドイツなどでは乾燥に強く粗放的な管理が可能な蘚苔類や多肉植物の利用が進んでいるとされているが、これでは蒸発冷却の効果がほとんどなく、不用意に外来植物を導入すると生態系に影響することはすでに指摘されている。写真などを見るとこれらの蘚苔類は種類もさまざまで、色彩も鮮やかであるが、日本人の感じる緑の感覚とはだいぶ違う。

山田

反論無し

筆者の感想

蒸発冷却効果の問題は、セダムの CAM 特性に関連して上述した。その他、芝や草本類など、葉面積の少ない植物の蒸散量など、正確な測定に基づく冷却効果の実証なども求められている。現在、学会に発表される緑化屋根の冷却効果を見るものには、植物の蒸散を切り離して測定することを省略した研究も少なくない。そのことがこのような反論にも有効な対応を困難にしていると思われる。また、現実的にセダム緑化システムの開発には、輸入種子を使ったものも見られるため、このような反論には対応できないと思われる。建築の世界から、緑化の世界にこのような疑問がつけられたことへに対して、正確な説明が求められていると言えよう。

5.5 議論のまとめに代えて

田中氏はこのほかにも、東京都の条例改正に絡んで、東京に緑を持ち込むことが蒸発散による湿度の上昇を招き、夏の蒸し暑さを助長するなどの疑問を投げかけている。

今回の田中氏の反論は、屋上緑化推進側にとっては、総じて傾聴に値する意見ということができる。これら、建築環境工学の側からの疑問を精査して正確かつ説得力のある回答を見いだす努力が緑化側には求められている。そのことにより広い範囲の理解を得るようになることが、屋上緑化の推進に有益であろう。なお、筆者は、屋上緑化に関する両者の意見の中に重要な論点が欠けていると感じている。それは、屋上緑化の利点である「人の心に癒しと安らぎを与える空間を屋上に持ち込むという視点」である。山田氏の反論の中に、「酸化チタンコートした金属板などで覆ってしまうと、その空間は人の立ち入れない非利用空間となってしまう。---そんな目のくらむような深い空間に好きこのんで出ていくような人間がいる訳がない。屋上は---屋根と違うのは、人の利用を想定している点にある」「屋上緑化の---本当の目的は都市化により失われた自然地表面の再生であり、それによって屋上を人間にとって快適な利用空間に変えることなのである」という件(くだり)があり、さすがに、緑化分野の研究者の反論という認識を持った。しかし、あえて言うと、これらの言葉だけでは、断熱効率と経済効率を基準として屋上緑化に疑問を呈する人たちを納得させることはできないということも確かである。

終わりに代えて(「まとめ」を継いで)

本稿で、項を改めて、「3.都市の緑の必要性」を論じたのは、そのことを懸念してのことである。屋上緑化への関心を高めるきっかけとなった東京都の条例改正の読み方として、筆者は人の出入り及び利用可能な屋根の緑化面積を定めたことに要点があると理解している。ここに力点を置くと、そこに実現する緑化の目的は「都市化により失われた自然地表面の再生であり、それによって屋上を人間にとって快適な利用空間に変えること」であり、そこに実現する緑の空間は「人の目に触れ、利用される」ことを前提としたものとなるべきである。そして、そうであればこそ、工学的断熱手法以上の大きなメリットを付加するのである。それが癒しであり、安らぎでもある。これらのメリットを人に与える緑化の有り様が考慮されねばならないのではないだろうか。モノカルチャーの緑化屋根は癒しや安らぎを与えうるのであろうか。改めて考えられなければならないだろう。

筆者は少なくとも人の出入りする屋上には緑化屋根でなく、屋根の上の庭園を目指したいと考える。

引用文献および注

- 1 . 輿水肇 , 2001 , 戦略的緑化で緑の復権を , 建築ジャーナル , 10月号 : 46-48
- 2 . Osmundson, T.,1999, Roof Garden, W.W.Norton & Co. Inc., pp.318
- 3 . 下村孝他 , 1988 , 商業空間におけるインテリア材料としての観葉植物の利用と役割 , 造園雑誌 , 51(5):114-119
- 4 . 三和銀行 1888 「オフィスのアメニティー調査」
- 5 . 佐藤仁人・田中千絵美他 , 1988 , 無窓居室の視環境に関する研究 , 日本建築学会学術講演梗概集 , p.75-76
- 6 . Roger, S. Ulrich,1984,View through a window may influence recovery from surgery Science ,224:420-421 (April 27)
- 7 . Parsons, R., Tassinary, L. G., Ulrich, R. S., Hebi, M. R. and M. Grossman- Alexander, 1998, The view from the road: Implications for stress recovery and immunization. Journal of Environmental Psychology, 18:113-140
- 8 . 近藤三雄 , 1999 , セダムによる緑化屋根は慎重に , 環境緑化新聞 , 12月15日
- 9 . 山田宏之 , 2000 , 都市環境と緑第3回 無管理型の屋上緑化を目指して(2) , 環境緑化新聞 , 4月15日
- 10 . M.クルーゲ・I.P.ティン(能勢昭博・訳) , 1993 , 砂漠植物の整理・生態 , 九州大学出版会 , pp.242
- 11 . 船瀬俊介 , 2000 , 屋上緑化 , 築地書館 , p.174
- 12 . 田中俊六 , 2001 , 寄稿・ヒートアイランドを救えるか - 屋上緑化考(1)-(7) , 建設通信新聞 , 9月12-18日
- 13 . 山田宏之 , 2001 , 検証寄稿「屋上緑化考」の考察 , 環境緑化新聞 , 10月15日(第449号)

注

ところで , 上に紹介したのは , 田中氏の疑問(文献12)と山田氏の反論(文献13)を筆者がとりまとめた抄録であり , 筆者の誤解や理解不足で正確に内容を伝え得ていないかも知れないが , その際の文章上の責任はすべて筆者にある。関心をお持ちの方は , 原典に当たっていただくことをお願いしたい。

筆者紹介

1947年 11月 11日大阪生

1982年 大阪芸術大学専任講師

1986年 同助教授

1997年 京都府立大学人間環境学部教授

日本緑化工学会評議員，日本造園学会評議員，日本農業教育学会評議員

主な著書

グラウンドカバープランツ（共著），1987，ワールドグリーン出版

最先端の緑化技術（共著），1989，ソフトサイエンス社

花グラウンドカバー（共著），1991，ソフトサイエンス社

ランドスケープ体系4・ランドスケープと緑化（共著），1998，技報堂

ランドスケーププランツ 景観設計植物（共同監修），1999，ワールドグリーン出版

応用植物科学 栽培実習マニュアル（共著），2000，養賢堂

図-1 IGA'93 の Wohnen2000 会場

A : 壁面緑化と緑化屋根を施した住宅展示 ; B : 仮設トイレの屋根に置かれたセダムのパネル
植栽 ; C : 屋上緑化のシステムと植物材料の展示

図-2 東京赤坂サントリーホール屋上庭園と外部景観

図-3 CAM 植物 (-----) と C_3 植物 (-----) での CO_2 交換の日変化の模式図¹⁰⁾ 図版
掲載は能勢昭博氏と九州大学出版会の好意による。

図-4 冷涼な日と暖かい日に観察された *Sedum acre* での CAM (ダルムシュタットの植物園
で観察, Kluge 1978 より)¹⁰⁾ 図版掲載は能勢昭博氏と九州大学出版会の好意による。

図-5 京都駅ビルから見た PHP 屋上庭園と東寺の塔。厚いガラスを通すために彩度が低下し
てグレーに見える。

図-6 北大路 VIVRE 屋上から見た比叡山。植物園や住宅の緑が回廊を形成している。

この頁は、緑化工技術、2002、第 23 集、日本緑化工協会、p 1-18 の原稿を元に作成したもの
であり、写真原稿は省略した。