

屋上緑化

～都市環境の改善に向けて



大沼あゆみ研究会 5期生
経済学部 4年 4組
田中久美

『一人ひとりが、緑の地球とささやく水の記憶を潜在意識の中に持っている』

by ヘレン・ケラー

序章

第1章 屋上緑化について

- 1-1 屋上緑化とは
- 1-2 屋上緑化の歴史
- 1-3 都心部の緑の減少
- 1-4 緑の必要性～屋上緑化のメリット
- 1-5 屋上緑化の問題点

第2章 屋上緑化の現状分析

- 2-1 屋上緑化の普及率
- 2-2 現在行われている対策
- 2-3 現状の問題点
 - (1) 法律の問題点
 - (2) 根本的な問題点

第3章 ドイツにおける屋上緑化

- 3-1 ドイツにおける屋上緑化の成功例
 - (1) なぜドイツなのか
 - (2) なぜ成功したのか
- 3-2 下水道料金の割引の政策
- 3-3 屋上緑化の持つ保水効果・防災効果
～日本ではこの効果がどう期待できるのか

第4章 日本の屋上緑化の普及率上昇にむけて

- 4-1 日本とドイツの相違点
- 4-2 費用便益分析モデル
 - (1) 前提
 - (2) ドイツと日本の現状の費用便益分析モデル
 - (3) ドイツの成功例を日本でどう生かすか
～解決案とそのシミュレーション
- 4-3 結論

終章

参考文献・参考URL

序章

高度経済成長の過程で産業化と都市化が進んだことにより、日本の大都市をとりまく環境はめまぐるしく変化してきた。特に東京を代表とする大都市では大規模な土地開発や建築物の高層化によって、ここ数年で街並みが大きく変貌した。緑地も急速なスピードで失われ、それをとりまく生態系も変化してきている。1950年代に入ってからはその減少の規模は小さくなったものの、市街地の拡大に伴い、現在も引き続き農地や樹林地などが失われ続けている。私自身が生活する中でも、森や山が壊されてマンションや住宅地が次々と作られ、身近なところで緑地が減少していきていることを目の当たりにする機会が多い。このような緑地の減少は、大気環境の悪化や、ヒートアイランド現象などの都市環境問題を引き起こす一因にもなっている。

身近な緑地や緑の存在は、やすらぎや安心感を与えてくれる。緑の持つ役割はそのような心理的効果だけに留まらず、空気の浄化・騒音防止・保水・防災効果など都市環境の改善に役立つ物理的な効果も証明されている。緑は、私たちが生活していく上でなくてはならないかけがえのないものである。それゆえ豊かな緑地の保全・再生、自然とバランスのとれた環境共生型の都市づくりが求められている。しかし、大都市において公園など公共空間の地上の緑を大幅に増加させることは難しい状況にあるため、近年では建築物緑化による都市の緑の増加に期待がかかっている。その有力な手法の一つとして、「屋上緑化」が注目されている。

日本では現在、屋上緑化の普及率向上のために、条例による補助金や義務化などのさまざまな対策がとられている。しかし現状では目標とされる屋上緑化の普及率には及ばない。本論文ではその原因とされる現状の法律および根本的な問題点を整理し、屋上緑化の普及率を上げる効果的な解決案を考えていきたい。

本論文の流れとして、都市部における緑の減少の現状と緑の必要性を論じ、その対策に屋上緑化が有効であることを論じる。その後、屋上緑化の現状の問題点を示した上で、モデル分析ではドイツと日本の屋上緑化の現状の費用便益分析を行う。そして両国を比較し、ドイツの屋上緑化導入の成功例を参考にしながら解決案を提案し、実際に日本でその案を導入した場合のシミュレーションを行う。その結果を参考に日本が現状で改善すべき点を改めて考察する。

第1章 屋上緑化について

1-1 屋上緑化とは

屋上緑化とは、建築物の屋上あるいは敷地内のスペースに防水・防根を施し、人工的に草花や樹木、芝などの植栽基盤を造成して行う緑化のことである。屋上緑化には、屋上庭園、屋上芝生広場、屋上農園、緑化屋根など、さまざまな緑化形態が含まれる。

屋上緑化はその種類として大きく二つに分けられる。

(1) 集約型緑化

一つは集約型緑化 (intensive Greening) である。これは草本類に加え、木本類をバランスよく配置した立体的緑化のことで、人の出入りなどを意識する場合に作られることが多い。近年の日本ではこの手法で地上に庭園や緑地・公園をつくる例が増えている。この場合の植物の使い方は、頻繁な維持管理が必要な地上で行う緑化と似ていて、集約的な管理によってコストがかかる。培土は 30~50 cm 程度と厚くなり、層も多層になる。荷重は 200 kg/m² 程度のため、耐荷重性能や灌水方法について検討が必要となる。景観を重視し、屋上緑化が屋上庭園と結びつく日本ではこの手法が好まれる傾向にある。

(2) 粗放型緑化

もう一つの種類は粗放型緑化 (extensive Greening) で、このタイプの緑化はドイツでさかんに行われている。培土は 10 cm 程度と薄く、荷重も 40~100 kg/m² 程度と軽量であり、既存建物や折板屋根にも設置が可能である。粗放型緑化といえば、日本の場合は主に芝やセダムなどの草本類による薄層の平面的緑化のことをさすが、ドイツの場合は雑草やハーブを混ぜた状態のままに自然そのままに任せた緑化のことをさす。

粗放型緑化は集約型緑化とは違い、気候に合った植物を自然に近いかたちで植栽されるため初期費用や維持管理費も含めてコストが安い。

(集約型緑化)



(粗放型緑化)



1-2 屋上緑化の歴史

文明の歴史の中で古く有名な屋上庭園は、紀元前600年頃の古代メソポタミアの都、バビロンの空中庭園といわれている。これは新バビロニア王国のネブガドネザル二世が首都バビロンの王宮のテラスに築いたと言われている。メディア王国から嫁いできた王妃アミュティスが緑豊かな故郷を懐かしみ沈んでいるのを国王が見かねて、王妃を慰める為に、王妃の故郷をイメージした泉水、樹木でその地の景観を再現させたとの由来が伝えられている。しかしそれを根拠付けるような遺跡は現在まだ見つかっていない。

日本における近代建築の、現存する最古の屋上緑化の事例としては昭和9年に造られた朝倉彫塑館がある。これは彫塑家である朝倉文夫が自らのアトリエを設計・改修した際に屋上に設けた庭園である。

戦後、屋上緑化が本格的に行われだしたのは昭和30年代後半からであり、日本橋高島屋、国際文化会館などが有名である。日本橋高島屋における屋上緑化はデパートでの屋上緑化の先駆けとなった事例である。これ以後デパートの屋上は、よりフリーなスペースとして買い物をしにきたお客に対して開放されるかたちでさかんに利用されるようになる。

高度経済成長期になると屋上緑化は、土地の有効活用や都心の緑の面積の減少に影響を受け、オフィスの敷地内などで社員の憩いの場として屋上緑化が実施され始める。コマツビルやアークヒルズなどが事例にある。また、近年の技術を利用した屋上緑化ではアクロス福岡や丸ビル、森ビルなどが有名である。



(バビロンの空中庭園)



(日本橋高島屋1962年)



(アクロス福岡)



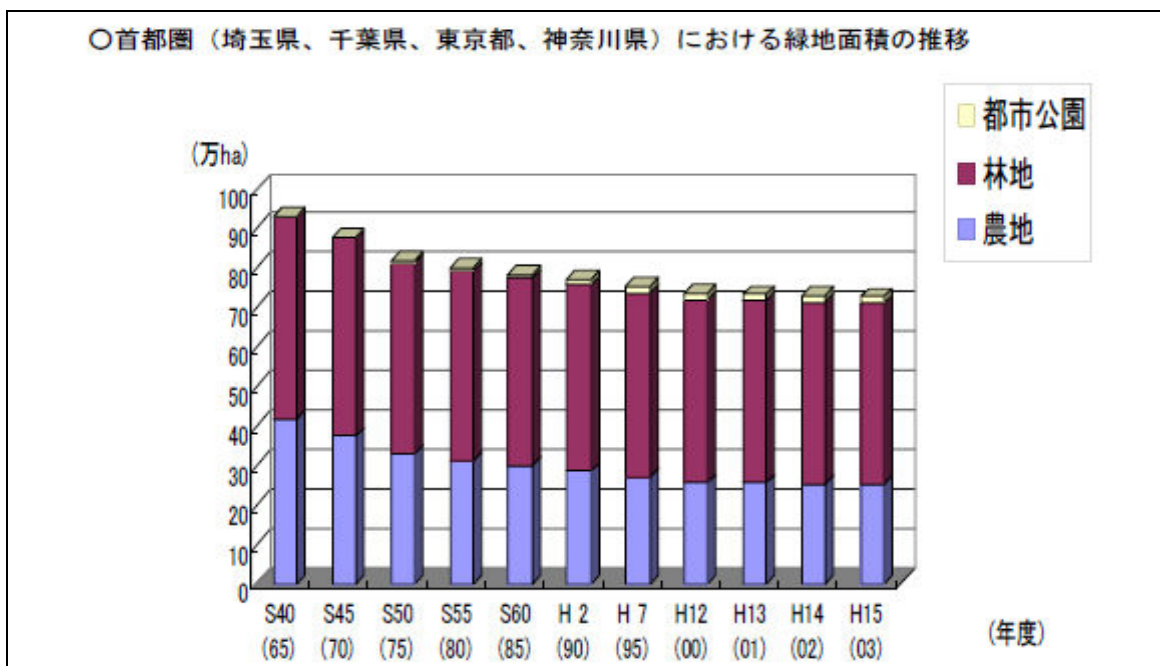
(丸ビル)

1-3 都心部の緑の減少

高度経済成長期以降、首都圏における緑地面積の減少は特に顕著である。

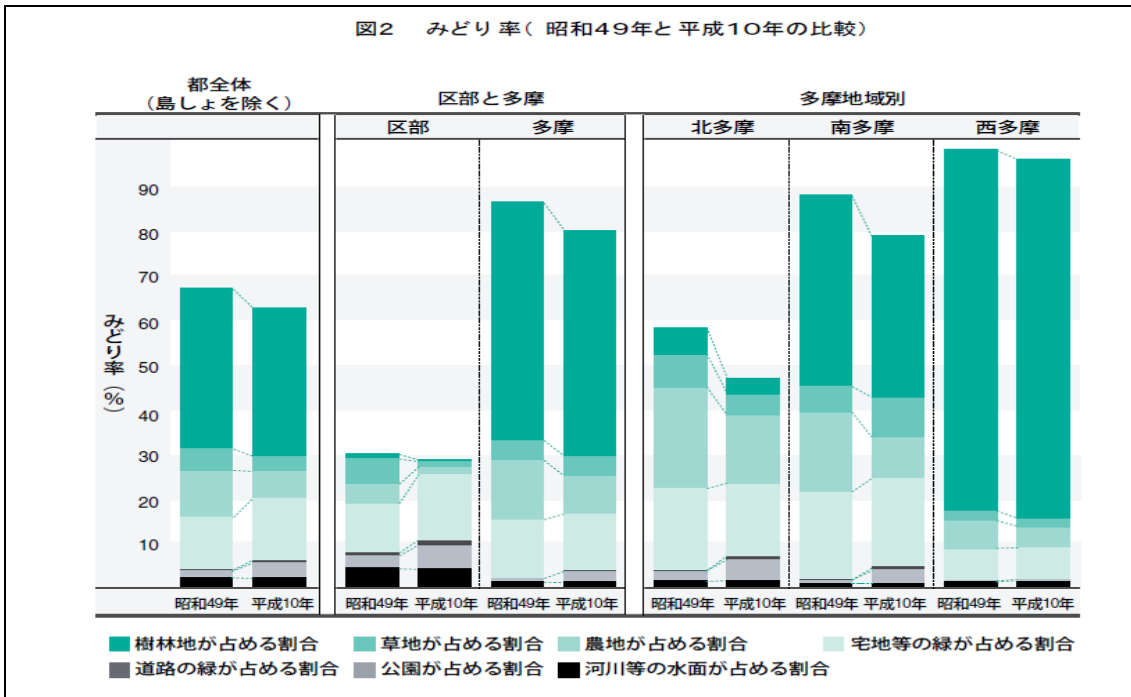
グラフ1によると、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県において1965年～2003年の約40年間の間に都市公園が約1.6ha増えた一方で、農地・林地が約21.9万ヘクタールも減少した。この減少分は山手線の内側の面積の約34個分に相当する。

また、緑地合計（農地・林地・都市公園）では約22%減少した。過去20年間の間で見ると、農地・林地は6.6万ヘクタール減少した。



グラフ1（出典：東京都環境局）

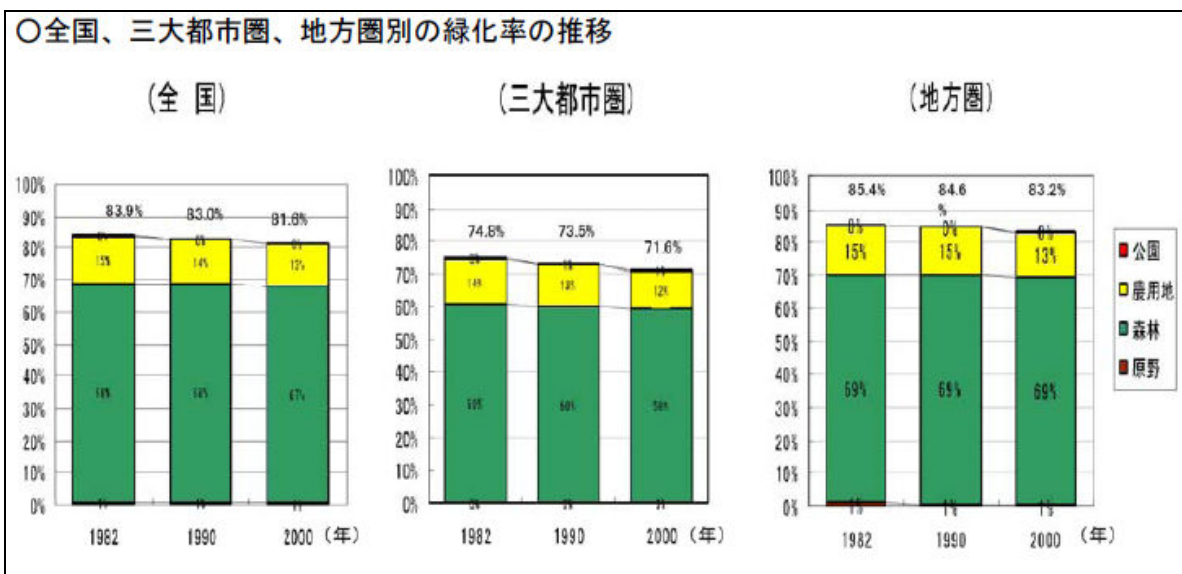
次に、東京都に着目してみる。ここではより詳しい指標であるみどり率を利用したデータを用いる。みどり率とは、ある地域における、樹林地、草地、農地、住宅内の緑（屋上緑化を含む）、公園、街路樹や、河川、水路、湖沼などの面積がその地域全体の面積に占める割合のことを言う。グラフ2によると、東京都のみどり率は現在27%であるが、これまでの約30年間の間で6%も減少している。



グラフ 2（出典：東京都環境局）

また、全国的に見ても、緑比率は1982年～2000年の約20年間の間で減少している。緑比率とは、ある地域における、緑で被われた土地の面積を、その地域全体の面積に占める割合のことを言う。

都市公園は増加しているが、緑地の大部分を占める森林や農地用が減少しているため、全体としては減少傾向にあることがグラフ3から分かる。



グラフ 3（出典：国土交通省国土計画局）

1-4 緑の必要性～屋上緑化のメリット

人間が生活していく上で、緑の存在はかけがえのないものである。都市の緑の存在効果とメリットを、物理効果、生態的效果、生理・心理効果、その他に分けて考えてみる。

表1. 都市の緑の存在効果

大分類	地上の緑	屋上の緑
物理効果	<ul style="list-style-type: none"> 1、空気浄化効果 2、ヒートアイランド軽減効果 3、緑陰の熱遮蔽効果 4、防風効果 5、雨水貯留（浸透）効果 6、騒音低減効果 7、防火・防熱効果（防災効果） 	<ul style="list-style-type: none"> 1、空気浄化効果 2、ヒートアイランド軽減効果 3、緑陰の熱遮蔽効果 4、防風効果 5、雨水貯留（浸透）効果 6、騒音低減効果 7、防火・防熱効果（防災効果） 8、建築物の保護効果
生態的效果	<ul style="list-style-type: none"> 1、鳥類の誘致、繁殖効果 2、昆虫類の誘致、繁殖効果 3、その他生物の誘致、繁殖 	<ul style="list-style-type: none"> 1、鳥類の誘致、繁殖効果 2、昆虫類の誘致、繁殖効果
生理・心理効果	<ul style="list-style-type: none"> 1、リラックス効果 2、リフレッシュ効果 3、景観向上効果 4、植物発揮成分による効果 	<ul style="list-style-type: none"> 1、リラックス効果 2、リフレッシュ効果 3、景観向上効果 4、植物発揮成分による効果
その他の効果	<ul style="list-style-type: none"> 1、オープンスペースとしての効果 2、環境教育効果 	<ul style="list-style-type: none"> 1、宣伝効果 2、環境教育効果

（出典：財団法人都市防災美化協会、平成16年）

都心部において地上の緑を大幅に増加させることは用地取得などの観点から難しい状況にある。しかし、表1を見ても分かるように、屋上の緑は地上の緑とほぼ同様かそれ以上の効果があると見込める。

以下、屋上の緑についての詳細を見ていく。

<物理的効果>

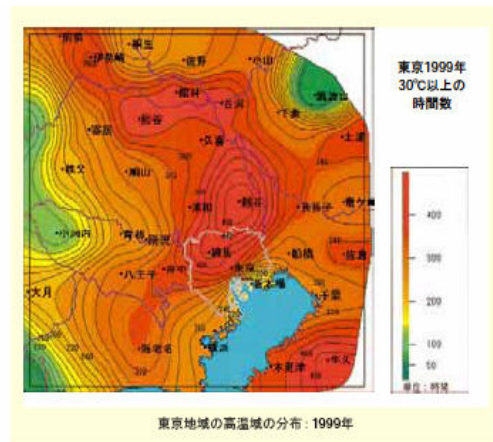
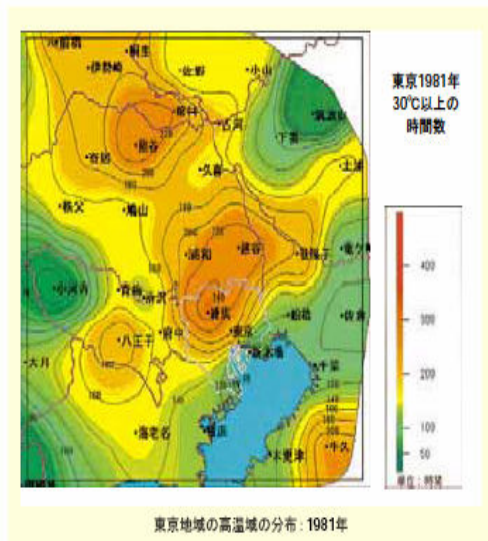
(1) 空気浄化効果

緑には、CO₂、窒素酸化物 (NO_x)、硫黄酸化物 (SO_x)、S P M (大気微粒子) の塵などを吸収する効果がある。例えば NO_x については、樹木 4m 程度の高木 1 本で年間 0.35kg 程度吸収することが分かっている。また、NO_x と並ぶ大気汚染物質である SO_x に対しても、高木 1 本で年間 0.04kg 程度吸収する。ディーゼル車の排気などで問題となっている S P M についても、高木 1 本で年間 0.016kg 程度の吸収が期待できる。道路脇の樹林帯では年間 20kg/ha 程度捕捉しているという報告 (注1) もあり、一種のフィルターとして機能していることが分かる。また、土壌による吸収効果も期待できる。

(2) ヒートアイランド現象の軽減効果

ヒートアイランドとは、大都市圏の都心部において局地的に気温が上昇する現象のことを言う。これは様々な原因で生じる減少である。冷房などの空調、比熱の大きいコンクリートとアスファルトによる熱吸収、窓の反射の輻射熱などによって昼間は蓄熱されるとともに、夜間の地面からの放熱が小さくなり、上空の方が先に気温が下がって地表近くに比較的高温の空気の塊が取り残されるという逆転層が生じる。そして逃げ場を失った高温の空気塊が等圧線で表すと島のように残るためヒートアイランド現象といわれる。ヒートアイランド現象は、太陽熱を受けた地表面と大気との熱交換に人工排熱が加わって生じた問題と考えられる。

過去100年の気温変化を見てみると、地球全体では平均気温が 0.6°C 上昇しているが、東京都では 3°C も上昇している (グラフ4参照)。

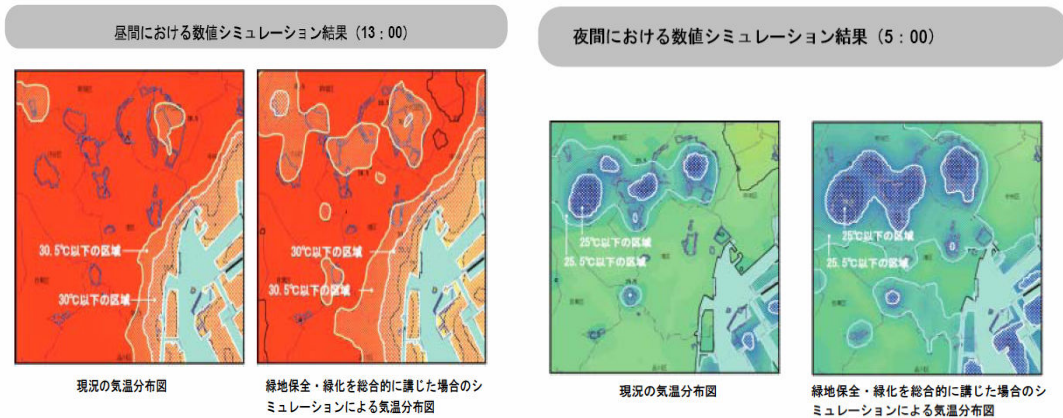


●東京地域における30℃超延べ時間の広がり
出典：「ヒートアイランド現象の実態解析と対応のあり方について」2000年 ヒートアイランド対策手法調査検討委員会

グラフ4（出典：国土交通省）

しかし、国土交通省のシミュレーションによると、東京都心部のみどり率を27%→40%にした場合、日平均気温、日最高気温、日最低気温ともに約0.3℃低下するとされている。これは東京における平均気温上昇の10年分に当たる。

また、熱帯夜（最低気温25℃以上）が約0.3時間減少し、熱帯夜となる地域が現在より972ha（現在と比べて10%減）が減少する。そして、真夏日（最高気温30℃以上）となっている区域が約276ha（現状と比べて3.3%減）減少する、とのシミュレーション結果が発表されている。（グラフ5参照）

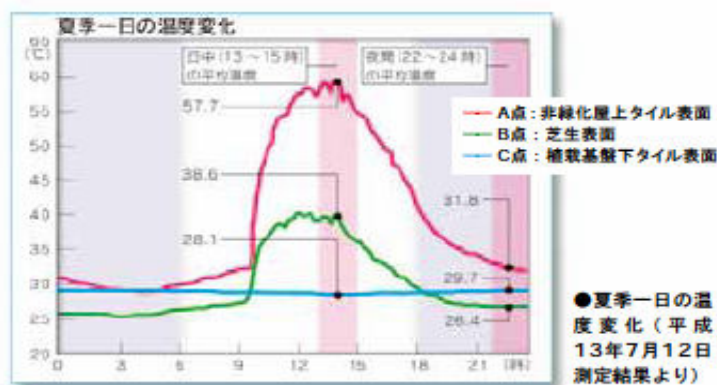


グラフ5（出典：国土交通省）

このようなヒートアイランド現象が起こっている都市空間の中に、土や植物で覆われた緑地空間が形成されると、今度は逆にそこには局所的に低温な地域が形成される。これをクールスポット（クールアイランド）と呼び、都市の緑地の持つ環境改善効果のうち最も顕著なものの一つである。

(3) 緑陰の熱遮蔽効果

建築物の緑化された部分が太陽からの熱を遮断する。これにより夏は建築物の温度が上りにくくなり、冬は熱を逃がしにくくなる。省エネ効果も期待できる。むき出しのビルの屋上は80℃にもなる場合があるが、屋上緑化によって、その表面温度を25℃～30℃程度に抑えることができる。クールスポットの形成にも役立つ。(グラフ6参照)



グラフ6 (出典:国土交通省)

(4) 防風効果

樹木や草木が建物を覆い、建物を守ることににより、防風効果が見込まれる。

(5) 雨水貯留(浸透)効果

雨水貯留(浸透)効果とはすなわち、保水効果のことである。植物そして土壌による雨水の流出の緩和、貯蓄効果があげられる。

(6) 騒音低減効果

樹林による騒音低減効果は最大で25デジベル/100m程度(注2)である。植物形態にもよるが、屋上緑化では屋上歩行の騒音の低減効果も期待できる。

(7) 防火・防熱効果(防災効果)

都市型洪水、火災が広がるのを防ぐ。都市化の進行は土地の雨水浸透能力を奪っていき、瞬間的な大雨に対する耐久性が低下してくる。このようにして引き起こされる都市型洪水の被害も(5)で述べたように、屋上緑化には雨水の流出の緩和、貯蓄効果の2つの効果によって抑制効果が期待できる。以後、この内容は3-3にて詳しく扱う。

(8) 建築物の保護効果

紫外線や酸性雨から建物を守ることににより、建物の耐久性が上がる。

<生態的効果>

都市の中に住む小動物や昆虫の貴重な生息空間となる。

<生理・心理的効果>

(1) アメニティ効果

安らぎや疲労回復などの生理・心理的効果や、労働環境の改善、憩いの場としての役割がある。病院や保養施設の屋上に緑化を行うことによって園芸療法などの効果も期待できる。

(2) 景観向上

緑の少ない都市部での景観の向上にも役立つ。

<その他の効果>

(1) 宣伝効果

環境に対する取り組みを積極的に行うことによる企業のイメージ向上、デパートなどの商業用ビルの屋上に屋上庭園を造ることによる集客効果などが見込める。

(2) 環境教育効果

小学校の屋上にビオトープを作り環境教育に役立てる、体験的総合教育の実践の場にする、などの利用方法がある。

1-4 屋上緑化の問題点

(1) コストが高い

屋上緑化を行う際、初期費用（建設費）、維持管理費ともにコストがかかるという問題点
 が大きい。2004年度の日本における屋上緑化の平均的な施設コストは、セダムや芝な
 どを植栽する平面緑化で20,000円/㎡前後であり、維持管理費は1,000～3,000円/㎡前後
 である。また、樹木などを配置する本格的な立体緑化となると施設コストは40,000～50,000
 円/㎡前後で、維持管理費は2,000～4,500円/㎡前後といわれている。

個人や民間の企業がまだまだ屋上緑化を行いつらい環境にあるといえる。

表2：屋上緑化のコスト例

コスト\種類		セダム・芝など草本 類による緑化	草本類に木本類 を加えた緑化	ビオトープ緑化
建設費（円/㎡）		20,000円程度～	30,000円程度～	40,000円程度～
維持管理 費	水道使用量 (m^3/m^2 * 年)	0円(無灌水方式を 採用した場合)	天水を効率よく 利用できれば0.2 ～0.4 m^3/m^2 程 度。	植物への灌水0.2～ 0.4 m^3/m^2 程度に水域 からの蒸散量0.9～ 1.0 m^3/m^2 が加わる。
	電気使用量 (kwh/年)	0円	灌水制御を自動 にした場合でも、 施設全体で100k wh/年程度以 下。	小川などを流す場 合、水循環のための 灌水ポンプが必要に なる。小川の大きさ によっても異なるが、 300Wくらいは必要。 この場合で、電気使 用量は2700kwh/年 程度。
	植栽および 設備管理	施設内清掃(4回)、 除草(2回)、施肥(1 回)	施設内清掃(4回 以上)、灌水装置 点検(4回)、除 草(2回以上)、 剪定・刈り込み (1～2回)、施肥 (1回)、病虫害 防除(1回)	施設内清掃(4回以 上)、灌水装置点検 (4回)、除草(2回以 上)、剪定・刈り込み (1～2回)、施肥(1 ～2回)、病虫害防除 (1回)

(出典：財団法人都市防災美化協会、平成16年)

(2) 建築物の水漏れ、重量による耐震性低下への懸念

近年の緑化ブームによって正しい知識を持たない業者が増加している。そのような業者によっては防水、防根の処理をしっかり行わず、その結果屋上から水漏れが起こる危険性がある。正しく屋上緑化が施設されたとしても、毎年、年に数回は防水、防根の処理そして排水口の詰まりを防ぐなどの点検を行う必要がある。

また、築年数の長い建築物などに屋上緑化を施す事で屋上の重量が増し、耐震性が低下する懸念がある。

(3) 虫の害

屋上という特殊な空間に人工的な緑化を施しているために、何かの要因で病虫害が発生すると地上部以上に大量発生につながることが多い。定期的な消毒が必要であるが、周囲の環境に配慮する必要がある。

(4) 土ぼこり

培土が土ぼこりとなり周辺に撒き散らされる恐れがある。建築物の屋上は地上部以上に風が強いということを認識し、植栽の選択を行わなくてはならない。また、防ぎようのない強風の場合は防風ネットを用意する必要もある。

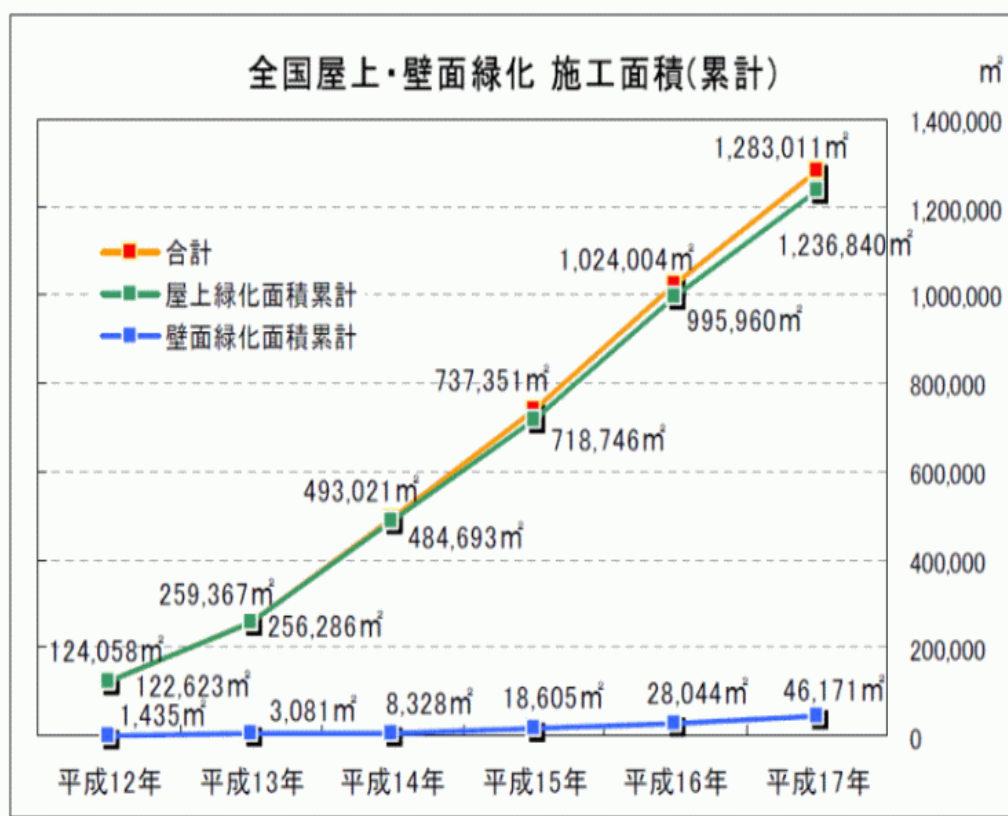
第2章 屋上緑化の現状分析

2-1 屋上緑化の普及率

グラフ7を見てみると、近年の屋上緑化の普及率は全国的に増加傾向にあることがわかる。

屋上緑化面積（平成12～17年合計）が合計5ha（50,000㎡）以上の都道府県は、報告面積の多い順に以下の6都府県であった。

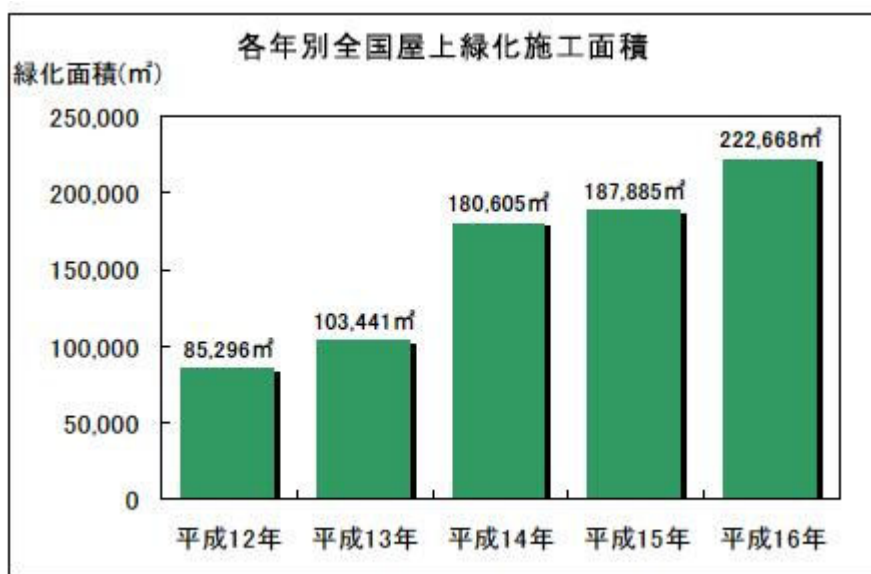
- ①東京都（約39.5ha）
- ②神奈川県（約15.9ha）
- ③大阪府（約9.6ha）
- ④愛知県（約9.4ha）
- ⑤兵庫県（約7.1ha）
- ⑥埼玉県（約5.9ha）



グラフ7（出典：国土交通省）

また、平成12年から16年の5年間に施工が報告された屋上緑化は、合計3,280件、約78ha（779,895）㎡である。（グラフ8参照）

報告された施工面積は、施工年が最近であるほど多くなっており、平成12年分は約8.5ha（85,296㎡）であったものが、平成16年分は約22ha（222,668㎡）と、5年間で2.5倍以上の増加となっている。



グラフ8（出典：国土交通省）

全国で最も普及率の高い東京都では「緑の都市計画」（※）として、2000年（平成13年）～2015年（平成27年）の間の15年間で1,200haの屋上緑化整備が目標とされている。しかし実際は平成16年の段階で約46haしか増加していない。増加傾向にあるものの、目標には及んでいないことが分かる。

表3：東京都の屋上等緑化面積の施行実績

項目	H12年	H13年	H14年	H15年	H16年	期間合計
屋上等緑化の計画建築物数	290	369	376	434	399	1868
屋上等緑化面積（㎡）	41137	72877	89413	119967	138185	461579

（出典：東京都環境局）

2-2 現在行われている対策

(1) 助成金

各自治体によって金額や基準は異なるが、ほとんどが1㎡あたり1~2万円、上限が20~40万円までである。

例えば、渋谷区では、300㎡以上の敷地に建築する新築および既存建築物の屋上・ベランダ・壁面について同区が定める緑化基準（義務化）の20%の面積を超える部分に対して助成金が支払われる。屋上緑化は4,000円/㎡（上限40万円）、ベランダ・壁面緑化2,000円/㎡（上限10万円）。また、屋上緑化などあっせん制度として屋上緑化希望者に施工業者を紹介、通常工費より2割引とする。

(2) 固定資産税の減税

平成13年度より、国土交通省は「緑化施設設備計画認定制度」を開始。緑化重点地区内で、敷地面積1,000㎡以上・緑化面積20%以上の場合には課税標準を5年間で半分に免除する。

(3) 日本政策投資銀行による低金利融資

平成11年度より、屋上緑化施設を備える建築物の建築費に対して低金利融資を行うことにより、普及促進をはかっている。融資比率は対象工事費の40%以内で、対象の物件は述べ床面積2,000㎡以上であり、緑化面積が屋上面積の50%以上、または緑化面積が500㎡以上であること。主として住宅を建設する事業は対象外である。

(4) 東京都では緑化義務の条例（2000年～）

東京都では、「東京における自然の保護と回復に関する条例」として、敷地面積1,000㎡以上の民間施設、および250㎡以上の公共施設に、新築時等の機会に、原則として敷地面積から建設面積を差し引いた面積の20%以上について緑化を義務化した。

渋谷区でも「渋谷区みどりの確保に関する条例」として300㎡以上の敷地においては新築および増改築の建築物に対して緑化計画書の作成と届出および緑化完了届けを義務化している。

(5) その他の法律

屋上緑化に特に力を入れている東京都では、以下の建築物緑化に関する諸計画がある。

①「緑の政策大綱」1994年

緑の諸施策の基本方向と目標。市街地における永続性のある緑地割合を3割以上確保することを目標としている。

②「緑の東京計画」 2000年（※）

東京都では、「緑の東京計画」として、2000～2015年度の15年間で都区部のみどり率を29%から32%へ向上させることを目標としている。特にあらたな緑空間として屋上緑化が期待されており、同計画の中、15年間で1200haの屋上緑化整備が目標とされている。

③「東京構想2000」 2000年

条例による屋上緑化基準設定が提唱されている。

④「東京都環境基本計画」 2002年

環境行政の基本計画。地上部分に加え屋上緑化・壁面緑化を行う。駐車場緑化も奨励。

⑤「東京らしいみどりをつくる新戦略」 2003年

2025年までに区部のみどり率29%をおおむね2割増加を目標。大型建築物の緑化基準強化等。

⑥「ヒートアイランド対策取組方針」 2003年

庁内関係部署による総合的対策方針。屋上緑化、敷地内緑化の積極的推進がうたわれている。

⑦「ヒートアイランド対策大綱」 2004年

敷地内の緑化推進等。

また、国家レベルでは以下の諸計画がある。

①「地球温暖化対策推進大綱」 2002年

既存の民間緑地保全、建築物の屋上、壁面などの新たな緑化空間の創出の積極的推進を提唱。

②「生物多様性国家戦略」 2002年

生物多様性に関する条約に基づく国家戦略。民有地における緑の創造、屋上緑化、壁面緑化推進を提唱。

③「美しい国づくり政策大綱」 2003年

大規模建築敷地に対する緑化規制導入を提唱。

2-3 現状の問題点

前章で現在行われている対策を述べたが、それだけではなぜ屋上緑化の普及率が目標まで及ばないのか、その問題点をあげる。

(1) 法律の問題点

①統一された法律がない。

現状では、屋上緑化についての義務や助成金の制度が都や市、区レベルでの条例しか作られておらず、なおかつその内容にもばらつきがあり、公平性に欠く。

②緑化義務の条例が公平性に欠く。

東京の屋上緑化義務を示す条例においての屋上とは建築物の屋根部分で人の出入り及び利用可能な部分をいう。屋上に柵がない場合、建物緑化の対象とならず、緑化義務は発生しない。現状では緑化計画書提出義務のある施設全体の4割に満たない施設でしか行われておらず、残りの6割のうち4割は建物緑化の対象とならない施設である（注3）。

また、この条例は新築時等の機会に限定されている。

③政府による政策の目的

政府による対策の目的は景観の向上とヒートアイランド現象への効果のみを強調しすぎているのではないか。2-2（5）でも扱ったように、現在積極的に屋上緑化を導入する最大の目的としてヒートアイランド効果緩和の効果が期待されている。しかし1-4（2）で扱ったように、屋上緑化を行うことだけでヒートアイランド現象を防ぐことは不可能である。

(2) 根本的な問題点

屋上緑化を行うにはコストが大きな負担となることは上記で述べた。しかし、一番の問題は、屋上緑化を行う主体がコストに見合う便益が得られているのか実感しにくい点にある。ここで示す屋上緑化することによって得られる個人の便益とは省エネ効果・アメニティ効果・資産価値の向上・企業イメージの向上などであるが、これらの効果の大部分は金銭でははかりづらい価値が多い。それに対して、社会的便益とはヒートアイランド現象の緩和・大気浄化・保水効果・防災効果である。この問題点を解決するためには、社会的便益が増えた分をもっと個人に還元できるような社会的なシステムが必要である。

第3章 ドイツにおける屋上緑化

この章では「環境先進国」と呼ばれるドイツの屋上緑化を成功例としてとりあげる。

3-1 ドイツにおける屋上緑化の成功例

(1) なぜドイツなのか～背景

ドイツは他国に先駆けて、環境問題全般に対して積極的に取り組んでいる国である。緑豊かな街づくりをはじめとし、都市交通、ゴミのリサイクル、新エネルギーの導入、環境教育など多方面に力を入れてきた。それゆえ、「環境先進国」と呼ばれる国となった。

緑化に関しては、緑豊かな街づくりとして、ドイツ全体では1980年代から屋上緑化ブームが起こった。背景としてこの年代はちょうど、国内の環境汚染対策が本格化し、国民の環境意識が高まりをみせた時期であった。

現在、ドイツ全国には屋上・壁面緑化の企業が1,000社近くある。屋上緑化市場が成熟しているといえる。2001年度には、ドイツ全体で1,350haの屋上緑化された。ドイツにおける屋根全体の14%近くが屋上緑化されているといわれる。

(2) なぜ成功したのか～コストと法律

一番にあげられることは、屋上緑化をするほうが結果的にコストも安くなるということである。カールスルーエ市公園局の資料を参考にしたモデル計算によると、新築、屋上面積1,000㎡、耐用年数40年として、一般的な屋根と緑化した屋根のコスト比較した場合、コストの合計が砂利を敷いた一般的な屋根は36,500ユーロだったのに対して、緑化した屋根は34,000ユーロ（注4）であった。

なぜ屋上緑化を行うほうがコストを安くできるのかというと、ドイツでは各地の自治体で屋上緑化設置義務、補助金、雨水処理費用の減免措置が実施されていることが大きい。そしてこれらの措置によって屋上緑化の需要が増加したことにより市場が拡大し、価格が低下した。屋上緑化を専門とする企業の存在などによって技術が向上したことも、価格低下につながった。また、そもそもドイツで主に行われている緑化は維持費のあまりかからない粗放型緑化である。そのため施設費は平面緑化で2,000円～10,000円/㎡程度と、日本に比べて安くなっている。



(ドイツ流の粗放型緑化～雑草や季節の花を混ぜている)



(ドイツの屋上緑化～風力発電と屋上緑化を組み合わせている例)



(ドイツの屋上緑化～セダムによる緑化)

3-2 下水道料金の割引の政策

ドイツでは各自治体で様々な措置が行われているが、その中でも最も注目すべき対策が建築物や土地には下水道料金の割引を行う雨水処理費用の減免措置である。この措置によって屋上緑化を行う主体がそれに見合う便益を得ている。

例えば、フライブルク市では1997年に「分割下水道料金」体系を導入した。かつての下水道料金は、建築物がある敷地内でどれだけの雨水がマンホールを通じて流れているのかには関係なく、その建築物が消費する水道水の量に比例して計算されていたが、新しい「分割下水道料金」として、下水道料金の徴収が汚水料金と降水料金（雨水料金）に分けられた。

このシステムによって汚水料金はこれまで通りに水道水の消費量に応じて計算されるが、それは以前の料金よりも低く設定され、降水料金の計算には敷地内に降る雨水がそのままマンホールに流れている土地の面積が使われるようになった。つまり、もし屋外の敷地が緑化されており、雨水がすべて地中にしみこむ場合には降水料金は無料に、屋根が前面緑化されている場合は建築物におおわれている土地の降水料金も無料になる。土地が砂利など面積の半分以上が裸出している場合には降水料金は20%、敷石の場合は60%払うことに決められた（注5）。この料金体制が導入され、フライブルクでは新築の建物や駐車場の緑化がさらに増加した。

下水道料金の割引は、フライブルク市以外にもケルン、ボン、マンハイム、キーセンなどの自治体でも行われている。

	下水道料金(ユーロ/m ³)	下水道料金の割引率(%)
ケルン	1.09	30~90
ボン	1.52	50
マンハイム	0.69	50
ギーゼン	0.6	50

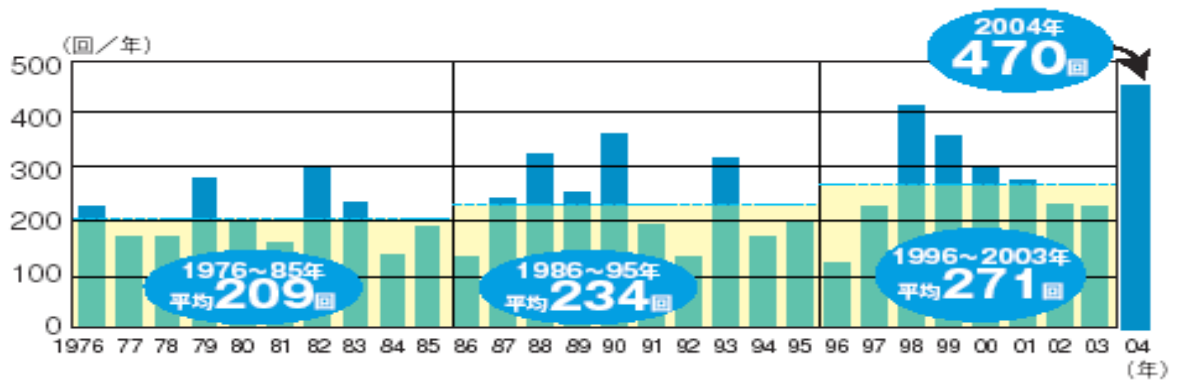
表4（出典：「環境先進国ドイツの今」）

このように、ドイツでは下水道料金体制を見直すことによって屋上緑化を促進させるインセンティブをつくり出すことで屋上緑化の普及率を上げることに成功した。

3-3 屋上緑化の持つ保水効果・防災効果～日本ではこの効果がどう期待できるのか

2-3(2)で屋上緑化の持つ保水効果・防災効果について触れたが、あえてなぜここで再びこの効果に着目するのかを示す。

近年、特に夏季の東京都内における集中豪雨が多発している。都市部では夕立によって地下街などに水が浸入する都市型洪水が多発するようになった。これは、保水能力のないアスファルトの舗装が増えたことにより、大量の水が下水管に一気に流れ込むことが大きな原因である。

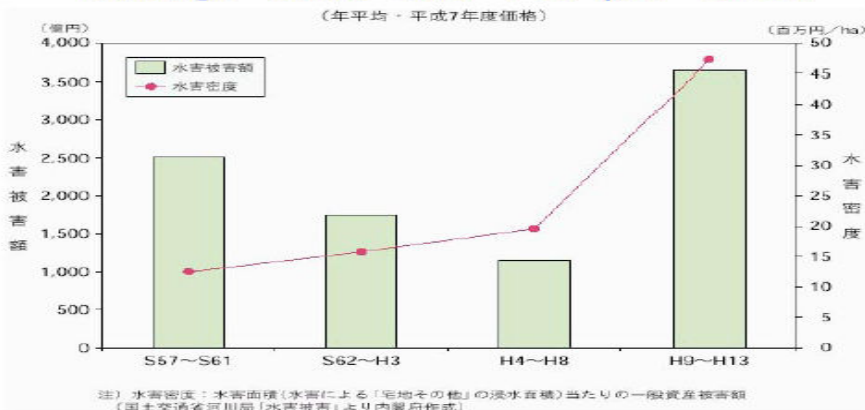


グラフ10 (出典：気象庁)

都市型洪水が原因となる浸水によって交通機関やライフラインがその被害を受けると、都市の経済は深刻なダメージをうける。

例えば、2000年度の東海豪雨の被害額は約6700億円にも及んだ。

資産水害被害額・水害密度の推移 Damage cost and its per area



グラフ11 (出典「図解 よくわかる自治体の防災・危機管理のしくみ」)

東京においては1993年の台風で880戸が床上浸水、丸の内線・銀座線・東西線が浸水し、14時間以上も運転が停止し、110万人以上に影響が出た。1999年の水害では死亡者を出す人災となった。



写真8-1 平成5年台風11号による丸の内線浸水状況
写真提供：東京地下鉄株式会社

都市型洪水を防ぐことは、災害によって引き起こされる経済的なダメージや人災を防ぐことにつながる。安全な生活を保障することは何よりも優先されるべきことである。また、都市型洪水により一気に大量の水がマンホールに流れることにより、処理場の許容量を越した未処理の水がそのまま川や海に放流され、環境汚染を引き起こす危険もある。

この対策として、屋上緑化が有効と考えられる。屋上緑化を行うことにより、その保水効果から降水時の50～90%の雨水が保水され、都市の急激な環境変化を抑える。保水された雨水は屋上緑化により、植物によって徐々に放散され、土壌により徐々に蒸散される。都内のビルの屋上を50%緑化すると124万トンの保水能力があるといわれている。

すなわち、この屋上緑化の持つ保水効果が日本（特に都心部）において発揮されれば、都市型洪水による災害も未然に防ぐことが可能である。

第4章 日本の屋上緑化の普及率上昇にむけて

4-1 日本とドイツの相違点

(1) 環境に対する意識の違い

ドイツは環境に対する取り組みが熱心な国である。それを国民性という言葉でくくってしまうのはやや強引であるが、ドイツの様々な環境への取り組み例を見ると、少なくとも日本人一人一人の自覚や意識がより高いことがうかがえる。

(2) 緑化に対する意識の違い

日本とドイツで比較してみると、緑化に対する意識も異なる。日本はせっかくだからと見た目が美しく、コストをかけて行う集約型屋上緑化が好まれる傾向にあるのに対し、ドイツはコストをかけない粗放型屋上緑化が全体の90%以上を占めている。何度も述べているが、粗放型屋上緑化は初期費用と維持管理費ともにあまりかからずに済む緑化のことである。さらにドイツにおける粗放型緑化とは、始めに気候に合った種類の種子を植えたあとは、雑草が生えてきたとしても自然そのままの状態にしておく緑化のことを指すため、日本人が思い浮かべるいわゆるそれとはおよそ異なるものである。また、ドイツにおいては屋上緑化を専門とする企業が多く、技術力も高いことから、初期費用が日本に比べて6分の1以下で済む。

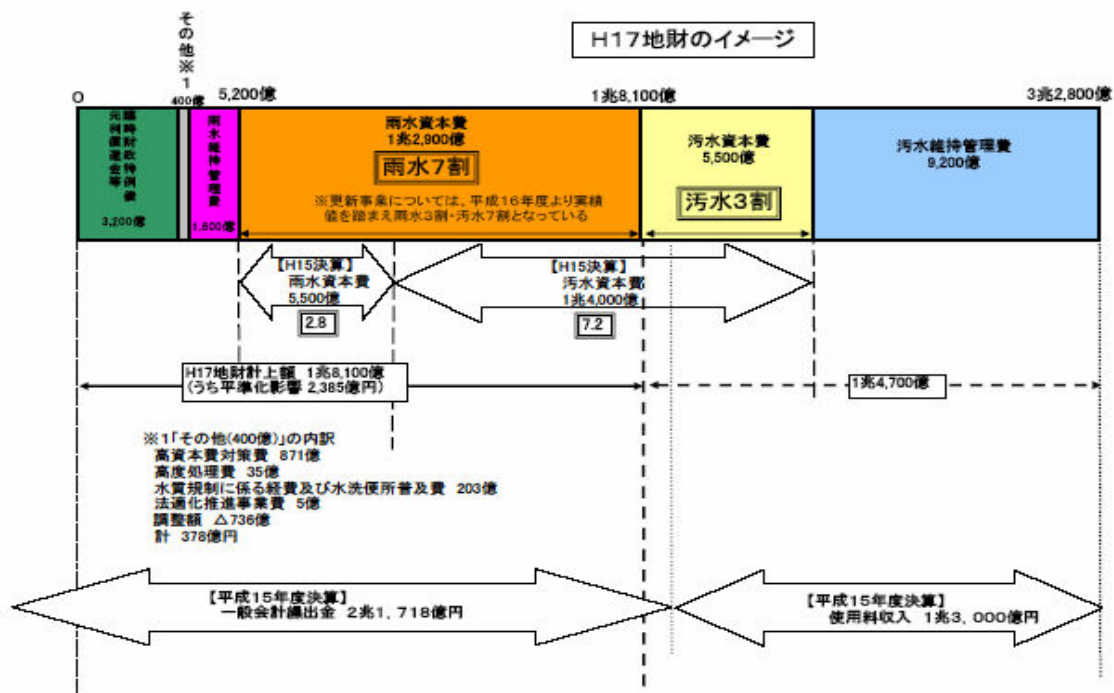
屋上緑化を行う際に最大の問題となるのはコストである。屋上緑化を行う目的によって、(例えば景観向上などを望まないケースなどでは) コストをかけないドイツ流の粗放型屋上緑化の普及を進めていくことも大事である。

(3) 目的として重きを置く要素の違い

日本はヒートアイランド緩和対策、景観向上が主なものに対して、ドイツは景観向上、冬の寒さ対策、建物の保護、保水効果に重きがおかれている。屋上緑化を行うことのメリットを今一度認識しなおす必要がある。

(4) 下水道料金システムの違い

日本の下水道料金は汚水私費・雨水公費の原則に基づいている。これは、汚水は使用量に比例するが、雨水は公費負担(税金)というものである。地財の中でも雨水を処理するための費用が大きくかかっていることが分かる。



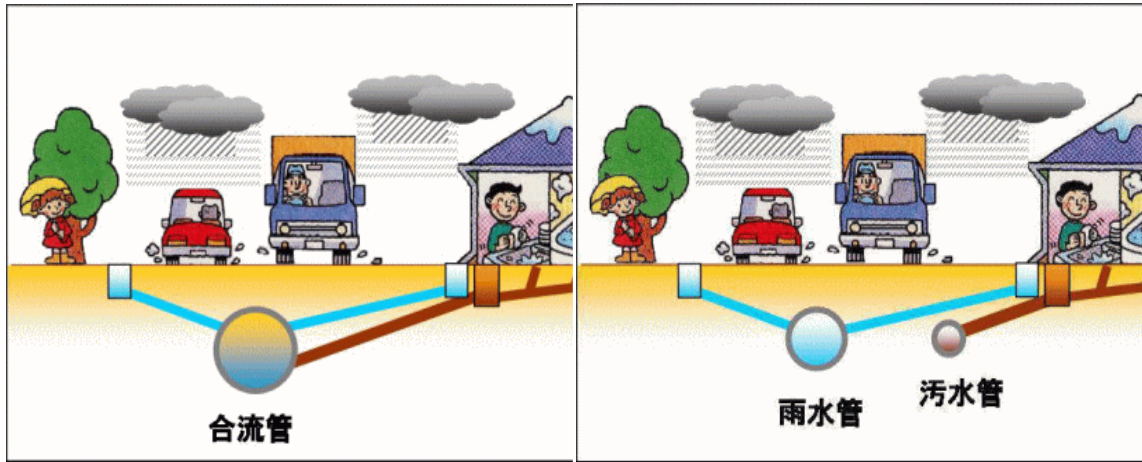
グラフ9 (出典:「今後の下水道財政の在り方に関する研究会」)

一方で、ドイツの多くの自治体では分割下水料金体系を導入している。これは、汚水は使用量に比例するが、雨水は敷地面積に比例するものである。雨水料金は保水効果に応じて割引されるため、雨水料金を節約するために個人が緑化を導入するインセンティブになる。このように節約を促す法律が積極的に作られているのも、ドイツは日本に比べて年間の降水量が三分の一ほどのため水を貴重な資源ととらえており、その保全の対策に力を入れているためである。

ドイツで分割下水料金体系を取り入れている都市は、主に雨水と汚水をそれぞれ別の管で集める分流式下水道方法を利用している。この方法の場合、雨水料金と汚水料金を別々に徴収しやすいうえに、大雨が降った時にも未処理の汚水が川や海に放流されることがないという利点がある。一方、日本の大都市では主には汚水と雨水を一緒に一本の管で集める合流式下水道の方法が取り入れられている。合流式下水道の方法は一般的に建設費が安いという利点があるが、処理場の許容量を越した未処理の汚水が放流され、環境汚染を引き起こす危険がある。

合流式下水道

分流式下水道



(出典：京都市上下水道局 HP)

(5) 気候の違い

ドイツは日本に比べて年間を通して気温が低く、降水量が少ない。これらの点を見るとドイツは日本よりも緑化を行いやすい気候であり、維持管理費かかかりにくく、有利である。そして、セダムなどの維持管理の必要のない植物はドイツの気候に合った植物であるため、そのまま日本に導入することでドイツ同様の効果を期待するのは難しいとも考えられる。

(6) 屋上緑化に期待できる効果のちが

以上の相違点を考慮しながらも、ドイツで行われている対策が日本に導入される事によってドイツとは異なる効果が期待できる点がある。

ドイツでは屋上緑化の普及によって水資源の保全が期待できるが、日本は水資源の保全だけにとどまらず、都市に起こる特殊な災害の防災効果にもつなげることができる。

これらの相違点を考慮したうえで、モデル分析を行う。

4-2 モデル分析～費用便益分析モデル

(1) 前提

計画期間 $t = 0, 1, 2 \dots T$ における純便益の現在価値は

$$N = \sum_{t=0}^T \rho^t N_t$$

によって計算できる。

$\rho = 1/(1+\delta)$ が割引因子、 $\delta > 0$ が割引率である。

$N_t = B_t - C_t$ は t 期における純便益の水準である。

また、今回のモデルでは、

- ・ 割引率は 0.03 (3%) とした。
- ・ 敷地面積 1,000 m²、耐用年数 40 年、新築の建築物を前提とした。
- ・ 屋上緑化を行うことによって得られる心理的効果や宣伝効果などのその他の効果を e としたが、それらの評価は個人によって異なるため金銭換算を行わないことにした。
- ・ 1 ユーロ = 150 円と換算した。

$$\sum_{t=0}^{39} \rho^t C_m^B x$$

$$= 600,000 + 1,476,109 + 154,753 + 33 + e, -3,000,000 - 1,238,027$$

$$= e - 2,007,132$$

$$G - P = e + 2,311,992$$

よって $G - P > 0$ が成り立つ。

Pの純便益よりGの純便益のほうが大きくなる。

(3) ドイツの成功例を日本でどう生かすか ～解決案とそのシミュレーション

ここで、両国の現状として具体的な金額を示した①と②を比較し、ドイツから学ぶことのできる解決案をもう一度整理する。

I、日本は補助金が安い。法律による措置が少ない。

ドイツから学ぶ解決案として…
補助金の増額。下水道料金の割引を行う。

II、日本は初期費用（建設費用）が高い。

ドイツから学ぶ解決案として…
ドイツ流の粗放型緑化（※）を導入する。屋上緑化の技術力を向上させる。
（※）ここで示すドイツ流の粗放型緑化とは、始めに気候に合った種類の種子を植えたあとは、雑草が生えてきたとしても自然そのままの状態にしておく緑化のこと。

III、日本は維持管理費が高い。

ドイツから学ぶ解決案として…
ドイツ流の粗放型緑化を導入する。屋上緑化の技術力を向上させる。

以上をふまえ、これらの解決案を実際に行った場合のシミュレーションを行う。

③[解決案 I をもとにした日本の場合のモデル

～補助金の増額を行い、さらに不足分を下水道料金割引によって補うシミュレーション]

仮定 1 建設費（初期費用）に対する補助金の金額を増加させる。

（ドイツ同様の割合にした）

仮定 2 毎年、下水道料金割引（a 円/年）を行うとする。

- ・ P : 一般的な屋根
- ・ G : 緑化した屋根（芝による平面的緑化）…20,000 円/m²
- ・ a : 下水道料金割引…1 m²あたり a 円/年
- ・ b : 省エネ効果（ヒートアイランド効果）…1 m²あたり 54 円/年
- ・ d : 二酸化炭素吸収…1 m²あたり 0.0014 円/年
- ・ e : 心理的効果や宣伝効果などその他の効果…金銭換算なし
- ・ t : 時間 (year)
- ・ ρ : 1/ (1+0.03)
- ・ S : 緑化を行うことによる補助金…1,000 m²で 4,000,000 円とする。

・ 建設費（初期費用） P : なし G : $C_c^B x$

・ 修繕と維持費用 P : $\rho^{14} C_m^A x + \rho^{29} C_m^A x$

（15年ごとに修繕すると仮定、10,000 円/m²）

G : $C_m^B x$ (1 m²あたり 2,000 円/年)

・ 緑化することによる便益 B : a+b+d+e

$$P : N_{40} = -\rho^{14} C_m^A x - \rho^{29} C_m^A x$$

$$= -6,611,178 - 4,243,464$$

$$= -10,854,642$$

$$G : 4,000,000 + a + b + d + e - C_c^B x - \sum_{t=0}^{39} \rho^t C_m^B x$$

$$= 4,000,000 + \sum_{t=0}^{39} \rho^t \times a \times x + \sum_{t=0}^{39} \rho^t \times 54 \times x + \sum_{t=0}^{39} \rho^t \times 0.0014 \times x + e - C_c^B x -$$

$$\sum_{t=0}^{39} \rho^t \times 2,000 \times x$$

$$= 4,000,000 + \sum_{t=0}^{39} \rho^t a x + 1,285,644 + 33 + e - 20,000,000 - 47,616,430$$

$$= \sum_{t=0}^{39} \rho^t a x + e - 62,330,753$$

仮定1 だけだとPとGの便益の差は $e + 51,476,111$ 、まだ $G - P > 0$ は成り立たない。

そこでさらに仮定2として、 $G - P > 0$ が成立するための a の値を求めると、

$$a = 2,163 \text{ 円}$$

にすると、GのほうがPよりも $e + 21,058$ 円、純便益が上回る。

④[解決案ⅡとⅢをもとにした日本の場合のモデル

～ドイツ流の粗放型緑化を行い、さらに不足分を下水道料金割引によって補うシミュレーション]

仮定1 ドイツ流の粗放型緑化によって9,000円/㎡まで初期費用(建設費)が低下したとする。

仮定2 維持管理費は、点検と施肥を年に2~3回行うとする。1㎡あたり400円/年。

仮定3 毎年、下水道料金割引(a円/年)を行うとする。

- ・ P : 一般的な屋根
- ・ G : 緑化した屋根(ドイツ流の粗放型緑化) …9,000円/㎡
- ・ a : 下水道料金割引…1㎡あたりa円/年
- ・ b : 省エネ効果(ヒートアイランド効果) …1㎡あたり54円/年
- ・ d : 二酸化炭素吸収…1㎡あたり0.0014円/年
- ・ e : 心理的効果や宣伝効果などその他の効果…金銭換算なし
- ・ t : 時間 (year)
- ・ ρ : 1/(1+0.03)
- ・ S : 緑化を行うことによる補助金…1,000㎡で400,000円とする

・ 建設費(初期費用) P : なし G : $C_c^B x$

・ 修繕と維持費用 P : $\rho^{14} C_m^A x + \rho^{29} C_m^A x$

(15年ごとに修繕すると仮定、10,000円/㎡)

G : $C_m^B x$ (1㎡あたり400円/年)

・ 緑化することによる便益 B : a+b+d+e

$$P : N_{40} = -\rho^{14} C_m^A x - \rho^{29} C_m^A x$$

$$= -6,611,178 - 4,243,464$$

$$= -10,854,642$$

$$G : 400,000 + a + b + d + e - C_c^B x - \sum_{t=0}^{39} \rho^t C_m^B x$$

$$=400,000 + \sum_{t=0}^{39} \rho^t a x + \sum_{t=0}^{39} \rho^t \times 54 \times x + \sum_{t=0}^{39} \rho^t \times 0.0014 \times x + e - C_c^B x - \sum_{t=0}^{39} \rho^t \times 400$$

× x

$$=400,000 + 1,285,644 + 33 + e - 9,000,000 - 9,523,286$$

$$= \sum_{t=0}^{39} \rho^t a x + e - 16,837,609$$

仮定 1 と 2 だけだと P と G の便益の差は $e - 5,982,967$ 、
 まだ $G - P > 0$ は成り立たない。

そこでさらに仮定 3 として、 $G - P > 0$ が成立するための a の値を求めると、

$$a = 252 \text{ 円}$$

にすると、G のほうが P よりも $e + 16,703$ 円、純便益が上回る。

4-3 結論

今回モデル分析に利用した値（屋上緑化の初期費用や維持管理費、補助金、修繕の頻度）に関しては、緑化にもさまざまな種類があることや、周囲の環境によって変化する可能性があること、そして心理的効果や宣伝効果などのその他の効果は金銭換算していないことを考えるとやや強引な仮定であるため、必ずこのような数値になるとは言えない。しかし、屋上緑化を行う際の一例としてある程度の目安になると考えられる。

ドイツの現状（①）は、緑化を行った場合の純便益が、緑化を行わない場合の純便益を上回る結果となったのに対して、日本の現状（②）は緑化を行わない場合の純便益が緑化を行った場合の純便益をはるかに上回っている。これはドイツに比べて日本では初期費用（建設費）と維持管理費が大きくかかることと、初期費用に対して出される補助金の金額が少ないためである。

そこでその対策として、両国の現状として具体的な金額を示した①と②を比較し、ドイツから学ぶことのできる解決案を提案し、緑化を行う場合のほうが行わない場合より純便益を上回るためのシミュレーションを行った。

③では仮定1として日本の補助金の割合をドイツの補助金と同様の割合にし、仮定2として仮定1では足りない金額を下水道料金の割引として補うかたちで求めた。その結果、補助金は4,000,000円まで増額し、下水道料金の割引は1㎡あたり年間2,163円（敷地1,000㎡だと月額180,250円）にすることで目標の純便益の数値に達した。参考までに日本の家庭の水道料金の平均価格は1ヶ月あたり約2,500円であり、1㎡の汚水処理には約200円かかる。屋上緑化の保水能力を考慮したうえでも2,163円という価格はやや実現可能性に欠ける数値ではある。しかし、これほどの補助がなければ日本における屋上緑化はまだまだコストが高く、屋上緑化を行う主体の負担が大きい状態であることがわかる。

また、④ではドイツにおいて広く行われているドイツ流の粗放型緑化を日本に導入した場合のシミュレーションとして、仮定1では初期費用、仮定2では維持管理費をおさえ、さらに足りない金額を下水道料金の割引として補うかたちで求めた。その結果こちらは下水道料金の割引は1㎡あたり年間252円（敷地1,000㎡だと月額21,000円の割引）となり、③に比べると実現可能性は高い。しかし、このようなドイツ流の粗放型緑化が日本人の好みの感覚に馴染むかどうかという問題点がある。

終章

日本において屋上緑化の普及率が目標値よりも伸び悩んでいる原因として、緑化を行う主体がコストに見合う便益がえられていないということが最大の問題点であると述べた。本論文では、ドイツの屋上緑化の成功例を参考にし、補助金の増額や下水道料金の割引、そしてドイツ流の粗放型緑化を導入することによって個人の便益を増やし、屋上緑化導入のためのインセンティブを高めるようなシミュレーションを行った。もちろん今回のモデルで導き出された補助金や下水道料金の割引の金額は大きいと、実現可能なものとは言い切れないが、それほどの補助がなくては屋上緑化を行うコストに見合う便益を得ることができないという日本の現状が改めて理解できる。

まず現状で改善すべき点は、法律の公平性を保つ為に補助金や義務の内容を一律化すること、初期費用を安くするような技術向上を促進させること、あるいは初期費用や維持管理費のかからない植物の屋上緑化を日本でも普及させることである。もちろん、全ての屋上で維持管理費のかからない植物を植えることを勧めているわけではない。人目につくようなビルの屋上では景観を重視し、集客効果や企業イメージの向上につとめるために集約型緑化を行うことの価値は高いだろうし、普段は人がほとんど立ち入らないようなビルの屋上では、ドイツ流の粗放型緑化を行うことにより費用を削減することの価値が高いと考えられる。つまり、屋上緑化を行う目的に応じて、様々な緑化の形態を選択肢として考慮しながら取り組むことが大事なのである。

今後は日本においても屋上緑化の市場拡大によって技術力が向上し、初期費用が低下することが、屋上緑化普及率の向上に向けて一つの重要なポイントとなると考えられる。そして忘れてはならないことは、屋上緑化には金銭で換算できないような価値も沢山あるということである。一人一人が環境への意識が高まることによって、これらの価値が見直され、屋上緑化の価値がそれ相応に評価されることを期待したい。

参考文献、参考URL

- ◇ 松田雅央「環境先進国ドイツの今」2004年
 - ◇ 今泉みね子「ここが違う、ドイツの環境政策」2003年
 - ◇ 伊藤彩子「東京都における屋上緑化政策の分析と今後の展開に関する研究」2003年
 - ◇ 財団法人都市防災美化協会「大都市における都市緑化の現状と将来展望」2005年
 - ◇ 財団法人都市防災美化協会「大都市における屋上緑化の有効性に関する調査研究」2004年
 - ◇ 船瀬俊介「屋上緑化完全ガイド」2003年
 - ◇ 鍵屋一「図解 よくわかる自治体の防災・危機管理のしくみ」2003年
 - ◇ J.M. コンラッド「資源経済学」2002年
 - ◇ 国土交通省 <http://www.mlit.go.jp/>
 - ◇ 気象庁 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
 - ◇ 東京都観光局 <http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/>
 - ◇ 東京都下水道局 <http://www.gesui.metro.tokyo.jp/>
 - ◇ 京都市上下水道局 <http://www.city.kyoto.jp/suido/main.htm>
 - ◇ 今後の下水道財政の在り方に関する研究会
http://www.soumu.go.jp/c-gyousei/gesuido_zaisei/
 - ◇ Goya Ngan 「Green Roof Policies」 <http://www.gnla.ca/library.htm>
-
- ◇ 注1、2 「大都市における屋上緑化の有効性に関する調査研究」 より引用
 - ◇ 注3 「東京都における屋上緑化政策の分析と今後の展開に関する研究」 より引用
 - ◇ 注4 「環境先進国ドイツの今」 より引用
 - ◇ 注5 「ここが違う、ドイツの環境政策」 より引用