令和１年度

特殊緑化に関する研究発表会

令和1年11月13日

公益財団法人 都 市 緑 化 機 構
特 殊 緑 化 共 同 研 究 会

― 目　次 ―

□講演次第 1

□講演要旨

○発表１「壁面緑化の利用者選好評価に関する基礎的研究」 5
田中　稲子　横浜国立大学大学院　都市イノベーション学府　准教授

○発表２「ハイブリッドターフの変遷・種類とその利活用」 9
飯島　健太郎　東京都市大学総合研究所・環境学部併任　教授

○発表３「都市河川における絶滅危惧植物ミズキンバイの保全」 13
大澤　啓志　日本大学 生物資源科学部 生命農学科 教授

○発表４「数値シミュレーションを用いた都市緑化のヒートアイランド緩和効果の検討」 17
村上　暁信　筑波大学大学院システム情報系　教授

○発表５「バイオ炭とCAM植物を利用した低コスト型屋上緑化技術の開発」 21
松岡　達也　東京大学大学院　農学生命科学研究科　緑地創成学研究室

○発表６「都市のグリーンインフラ技術の２つの提案「グリーントレンチ」と「アウトドアオフィス・ガーデン」 25
豊田　幸夫　都市緑化機構特殊緑化共同研究会情報活用部会部会長

○発表７「都市化による緑地土壌の変化」 29
高橋　輝昌　千葉大学大学院　園芸学研究科　准教授

○発表８「ヘデラ・ヘリックスとヘデラ型イミテーショングリーンの大気汚染物質の表面吸着特性」 33
浅井　俊光　東京農業大学 地域環境科学部　地域創成科学科 准教授

○発表９「基礎からわかる緑化の防水」 38
綿引 友彦　田島ルーフィング㈱　営業開発部１課 課長代理

□過年度発表会の講演要旨

・平成30年度　特殊緑化技術に関する研究発表会　講演要旨 43
・平成29年度　特殊緑化技術に関する研究発表会　講演要旨 45
・平成28年度　特殊緑化技術に関する研究発表会　講演要旨 47
・平成27年度　特殊緑化技術に関する研究発表会　講演要旨 49
・平成26年度　特殊緑化技術に関する研究発表会　講演要旨 51
・平成25年度　特殊緑化技術に関する研究発表会　講演要旨 53
・平成24年度　特殊緑化技術に関する研究発表会　講演要旨 55
・平成23年度　特殊緑化技術に関する研究発表会　講演要旨 57
・平成22年度　特殊緑化技術に関する研究発表会　講演要旨 59

令和１年度　特殊緑化に関する研究者発表会

日時：令和 1 年 11 月 13 日（水）　13：30～17：35
会場：田島ルーフィング 8 階会議室（東京都千代田区岩本町）

次　第

13：00　受付
13：30　開　会
開会挨拶　輿水　肇　公益財団法人　都市緑化機構　理事長
主旨説明　藤田　茂　　特殊緑化共同研究会　運営委員長

13：35～14：00　発表１「壁面緑化の利用者選好評価に関する基礎的研究」
発表者：田中　稲子　横浜国立大学大学院　都市イノベーション学府　准教授

14：00～14：25　発表２　「ハイブリッドターフの変遷・種類とその利活用」
発表者：飯島　健太郎　東京都市大学総合研究所・環境学部併任　教授

14：25～14：50　発表３「都市河川における絶滅危惧植物ミズキンバイの保全」
発表者：大澤　啓志　日本大学 生物資源科学部 生命農学科 教授

～休憩　10 分間～

15：00～15：25　発表４「数値シミュレーションを用いた都市緑化のヒートアイランド緩和効果の検討」
発表者：村上　暁信　筑波大学大学院システム情報系　教授

15：25～15：50　発表５「バイオ炭と CAM 植物を利用した低コスト型屋上緑化技術の開発」
発表者：松岡　達也　東京大学大学院　農学生命科学研究科　緑地創成学研究室

15：50～16：15　発表６「都市のグリーンインフラ技術の２つの提案
「グリーントレンチ」と「アウトドアオフィス・ガーデン」」
発表者：豊田　幸夫　都市緑化機構特殊緑化共同研究会情報活用部会部会長

～休憩　10 分間～

16：25～16：50　発表７「都市化による緑地土壌の変化」
発表者：高橋　輝昌　千葉大学大学院　園芸学研究科　准教授

16：50～17：15　発表８「ヘデラ・ヘリックスとヘデラ型イミテーショングリーンの大気汚染物質の表面吸着特性」
発表者：浅井　俊光　東京農業大学 地域環境科学部　地域創成科学科 准教授

17：15～17：35　発表９「基礎からわかる緑化の防水」
発表者：綿引 友彦　田島ルーフィング㈱　営業開発部 1 課 課長代理

17：35　閉会挨拶　後藤　良昭　特殊緑化共同研究会

講演要旨

壁面緑化の利用者選好評価に関する基礎的研究

田中稲子（横浜国立大学）　鶴見裕之（横浜国立大学）
東野友哉（同上（当時））　真鍋誠司（　　同上　　）

大学教育研究施設を対象としたコンジョイント分析によるアンケート調査を用いて、壁面緑化の利用者選好評価を行った。施設利用者・非利用者の両者の選好評価および支払意思額に緑被率が大きく影響すること等が明らかになった。

1. はじめに

壁面緑化は、建物の日射遮蔽効果やヒートアイランド現象の緩和など、建築や都市に対する多様な環境調整効果が期待される技術であり、これまで様々な研究がなされてきた[1) 2) 3)]一方で、年別全国壁面緑化施工面積(国土交通省 2015 年発表)は 2011 年以降減少傾向にあるが、導入費用の他、維持管理の手間や費用が一因と考えられる。また、壁面緑化の多様な環境調整効果は総合的に示されることがないため、費用対効果が施主に分かりにくいこともその一因と思われる。壁面緑化や窓面緑化（以降、窓面緑化も含めて壁面緑化と称す）の普及に向けては、壁面緑化のようにBtoBtoC(Business to Business to Consumer)のサービスにおいては、技術提供者が、建物利用者（Consumer）の捉える壁面緑化の価値を把握し、施主にその価値やそれに繋がる緑化計画を適切に示せることが重要と考える。

そこで、本研究では建物利用者に着目して、壁面緑化の利用者選好をコンジョイント分析によって評価することで、多様な環境調整効果に対して利用者から潜在的に見出される価値を把握し、利用者の評価に効果的な壁面緑化の施工や維持管理の方向性を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

2-1　評価方法

本研究では、壁面緑化に対する建物利用者の選好度を定量的に把握するために、コンジョイント分析によるアンケート調査を実施する。コンジョイント分析は主に商品開発などに用いられる調査手法であるがパクら[4)]はコンジョイント分析によるアンケート調査に基づき、集合住宅購入時における住宅の諸性能に対する購入者の選好度を定量的に把握した。また、萩島ら[5)]は様々な環境性能を考慮した建築物の環境性能評価にコンジョイント分析を利用する際の手法を検討するなど、近年、同分析手法は建築や都市の環境性能評価や不動産評価等に用いられている。また、本調査対象にあたる建物利用者は施工費等を直接支払う対象ではない。しかしながら、前章で述べたように壁面緑化が BtoBtoC のサービスであるため、建物利用者の支払意思額が施工費等を支払う対象者である施主に反映されると捉えることができる。

2-2　対象施設

建物の用途によって壁面緑化の施工目的や要求効果は異なると思われるが、本研究では大学教育研究施設を対象として利用者選好評価を行う。他用途については本研究成果を踏まえ次の課題としたい。ここで、評価対象は横浜国立大学の建築学棟とした（参考図 1)。窓面緑化を含む壁面緑化が設置されており[6)]、壁面緑化に期待される効果をより多様に設定可能となる。また、壁面緑化設置後 9 年間運用されていることから、アンケート調査対象となる学生・教職員にとって対象施設のイメージを共有しやすく、施設内部の利用者を回答者に含めることが可能と考える。

2-3　評価モデルと直行表の作成

壁面緑化は施工パターンによって、利用者にもたらす効果だけでなく、施工・維持管理費は大きく異なる。そこで、コンジョイント分析の対象となる壁面緑化の評価モ

表 1 壁面緑化の環境調整効果

	物理的効果	心理的効果
室内に対する効果	・熱環境（遮熱） ・光環境（グレア防止） ・音環境（遮音） ・風環境（防風）	・視線保護 ・癒し効果
屋外に対する効果	・熱環境 （クールスポット） ・光環境 （照り返し防止）	・景観向上
建物自体に対する効果	・省エネルギー ・外装表面保護	---

表 2 壁面緑化の分類[注 1)]

分類	種別
施工方法	直接付着
	ワイヤー登攀
	植栽パネルはめ込み
植物種	常緑種
	落葉種
緑被率	高
	低
窓面緑化	あり
	なし

表 3 直交表 $L_8(2^4 \times 3^1)$

カード NO.	因子列				
	施工方法	緑被率	植物種	窓前緑化	維持管理費
1	付着	低	常緑	なし	50万
2	付着	高	落葉	あり	100万
3	パネル	低	落葉	なし	100万
4	パネル	高	常緑	あり	50万
5	ワイヤー	低	落葉	あり	50万
6	ワイヤー	高	常緑	なし	100万
7	付着	低	常緑	あり	100万
8	付着	高	落葉	なし	50万

表 4 アンケート調査票の概要

設問番号	内容	
Q1	回答者属性（職業、所属、性別、年齢）	単回答
Q2	対象施設の利用頻度（4段階）	単回答
Q3	最も利用頻度高い対象施設内の室（図書室、製図室、研究室など8室）	単回答
Q4	壁面緑化カードの評価（順位法：8枚のカードに順番づけ）	

※年間維持管理費と学費負担等を参照できる情報を①～⑧の①下端にそれぞれ記載した[注 2)]

図 1 順位法によるアンケート調査票の概要

デルの作成にあたり、まず、壁面緑化のもたらす多様な環境調整効果を文献[1)-3),6),7)]に基づき物理的効果および心理的効果に分類した上で、それらの効果を享受する対象者や便益が異なるという観点から、壁面緑化する施設の室内、屋外、建物自体へもたらす影響別に整理した。

ここで、表 1 に示す個々の環境調整効果は単一の技術的構成要素からもたらされているものではないため、環境調整効果を直接対等に比較しても、壁面緑化の施工や維持管理の方向性を示すことには繋がりにくい。このため、これらの環境調整効果をもたらす壁面緑化の技術的構成要素を抽出して、コンジョイント分析の「属性」と「水準」を設定する。これに先立ち、壁面緑化の施工技術やコスト等について特殊緑化技術者へのヒアリング調査(2016 年 10 月および翌年 2 月に実施)、及び文献[7)]等に基づく調査を行った。その結果、壁面緑化の施工方法は外観、費用、効果に差が出るように 3 種類に区分した（表 2)。実際の施工方法は多様であるが、ヒアリング調査からは機能や外観・費用等の特性はこの 3 種類のいずれかに集約されることが分かった。

コンジョイント分析で用いる直交表は、壁面緑化の効果として構成要素の違いが明確となるよう、試調査を通して水準を設定した（表 3)。以上により作成した調査票（表 4、図 1）を用いて、2017 年度に学生を対象として、毎回、約 4 分の壁面緑化の効果や用語等の解説後、アンケート調査を行った（対象施設利用者 17 名、非利用者 271 名)。

3. 順位法による利用者選好評価

3-1 部分効用値

全属性の水準ごとの部分効用値を表 5 に示す。施工方法については、対象施設利用の有無に関わらず補強資材である植栽パネル、ワイヤーの値が付着より高かった。対

象施設利用者の方がワイヤーの部分効用値が高いが、ワイヤーが窓面緑化に用いられることが起因していると思われる。窓面緑化の部分効用値からは、対象施設利用者と非利用者で 0.333 と-0050 の違いがあり、施設内部の利用者にとってより効用があると評価されていることが分かる。また、対象施設利用の有無に関わらず、緑被率の高い方が効用があることが分かる。植物種は屋外からのみ関わりをもつ対象施設非利用者の方が、対象施設利用者と異なり常緑種の部分効用値が高く、冬季も外観を緑に保つことができる常緑種が好まれる傾向が見られた。

表 8 部分効用値の比較

（a）対象施設利用者

属性	水準	部分効用値
施工方法	付着	−0.436
	パネル	0.314
	ワイヤー	0.123
緑被率	低	−0.824
	高	0.824
植物種	落葉	0.066
	常緑	−0.066
窓面緑化	あり	0.333
	なし	−0.333
維持管理費	100万	−0.132
	50万	0.132

（b）対象施設非利用者

属性	水準	部分効用値
施工方法	付着	−0.400
	パネル	0.388
	ワイヤー	0.012
緑被率	低	−0.563
	高	0.563
植物種	落葉	−0.175
	常緑	0.175
窓面緑化	あり	−0.050
	なし	0.050
維持管理費	100万	−0.288
	50万	0.288

表 9 寄与率の比較

（a）対象施設利用者

	レンジ	寄与率
施工方法	0.750	0.217
緑被率	1.647	0.476
植物種	0.133	0.038
窓面緑化	0.667	0.193
維持管理費	0.265	0.076
合計	3.461	1.000

（b）対象施設非利用者

	レンジ	寄与率
施工方法	0.788	0.268
緑被率	1.125	0.383
植物種	0.350	0.119
窓面緑化	0.100	0.034
維持管理費	0.575	0.196
合計	2.938	1.000

3-2 寄与率

表 5 の部分効用値から各属性の寄与率を算出した（表 9)。対象施設利用者、非利用者に関わらず、共に緑被率の寄与率が最も高い値を示した。これは、壁面緑化は表 1 に示すように空間的に幅広い環境調整効果を持つことが特徴であるため、これらの効果が総合的に大きくなる緑被率の重要度がどの主体からも高かったものと思われる。さらに、主に外観に影響を与える施工方法が緑被率に次いで寄与率の高い属性となっている。また、対象施設利用者において植物種の寄与率が 0.038 と最も低く、緑化された建物内部の利用者にとって壁面緑化の評価に植物種は殆ど影響しないことが示唆された。一方、非利用者ではその寄与率は 0.119 であり、窓面緑化に次いで低い寄与率であるが、対象施設非利用者にとって植物種（常緑種、落葉種）の影響は季節毎の外観の違いとして認識されたと考えられる

4. 支払意思額に関する考察

支払意思額(Willingness to Pay : WTP)とは、各属性の水準を好ましいと考える水準へと調整するために回答者が支払ってもよいと考える金額である。本コンジョイント分析から得られた部分効用値、寄与率から WPT を算出した（図 3)。まず、緑被率に対する WTP は、対象施設利用者の場合（図 3(a)）は 311 円/年、対象施設非利用者の場合（図 3(b)）は 98 円/年と算出された。実際の壁面緑化の維持管理費は施工方法によって異なるが、調査対象施設と同様の規模の場合、一人当たり 0～100 円/年である。この差を考慮すると、本研究の条件においては、対象施設利用者は壁面緑化の維持管理費を現状よりも約 3 倍支払うだけの価値があるとみなしているため、施工後に壁面緑化のメンテナンスに力を注ぐことが対象施設利用者に対して効果的といえる。

また、表 6 では主に外観に影響を与える施工方法は、対象施設利用の有無に関わらず、緑被率に次いで寄与率の高い属性であったが、施工方法に対する WTP は対象施設利用者の評価では 142 円/年、非利用者の評価では 69 円/年と差が見られた。これは、3.1 で述べたように、対象施設利用者の方がワイヤーをより高く評価していたことから、対象施設非利用者よりも約 2 倍支払うだけの価値があるとみなしたものと思われる。ここで、前述と同様に年間の維持管理費（0～100 円/年･人）と比較すると、対象施設利用者は WTP をやや高く設定しているが、非利用者にとっては実際に掛かる費用ほどの価値は感じられていない結果であった。施工方法に対する対象施設利用者および非利用者の部分効用費が正の値となる補強資材を用いた施工方法に着目すれば、緑被率を調整しやすい方法であるため、対象施設利用者だけでなく、施設周辺の通行人

などの施設非利用者に対する評価も上げられる可能性はある。初期投資額に関わる壁面緑化の施工面積と運用期間次第では、維持管理によって緑被率を維持することが対象施設の施主にとっては有効な手法となる可能性はあると考えられる。

表 6 の寄与率からは窓面緑化は利用者と壁面緑化との関わり方によって価値の見出し方の異なる属性であることが示されたが、支払意思額は対象施設利用者の場合で 126 円/年、非利用者の場合で 9 円/年となり、対象施設利用者にとって窓面緑化の効用は十分にあることが示された。

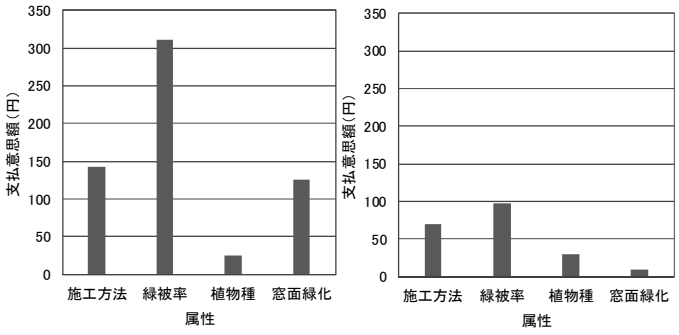


図 4 支払意思額の比較

5. まとめ

本研究における大学教育研究施設の壁面緑化に対する利用者選好評価からは、対象施設利用者だけでなく、施設周辺を通行する程度の非利用者についても総合的に緑被率の重要度が高く見出された。特に、施設利用者は、施工方法、窓面緑化についても WTP が年間維持管理費よりも高い値が示され、これらの属性から派生する室内や屋外への環境調整効果を広く価値として評価する傾向が見られた。窓面緑化の部分効用値も勘案すると、利用者は非利用者よりも室内への環境調整効果に価値を見出していると思われる。一方で、非利用者は主に緑被率に裏付けられる屋外からの外観を重視する傾向があるため、壁面緑化を導入する際にメンテナンスを重視し高い緑被率を保つことが施主にとって費用対効果が高いことを示唆するものである。

※本報は既報[11]に基づき作成されたものである。

謝辞

本評価モデルの作成にあたり、イビデングリーンテック株式会社(当時)・直木哲氏には壁面緑化の施工・維持管理技術に関する様々なご助言を賜りました。また、本研究は公益財団法人都市緑化機構からの調査研究助成(H29 年度)を受けて行われました。ここに記して感謝の意を表します。

注釈

注 1) 試調査では、植物種の分類である「常緑種」および「落葉種」のうち、実際の対象施設には季節毎に異なる花が咲く「落葉種」が含まれることを踏まえて、「種子植物」を加え 3 種類を植物種として設定した。しかしながら、直行表が複雑になり回答者の負担も増すことから、本調査においては表 4 に示す「常緑種」と「落葉種」の 2 種類とした直行表を作成した。

注 2) 例えば「年間維持管理費 100 万円」に対する注記として、「大学の年間支出の 0.005%に当たります。また、これは学生一人あたりで換算すると年間学費約 55 万円のうち 100 円に相当します。」と明記した。

参考文献

1)藤堂香織,小椋大輔,鉾井修一,甲谷寿史:壁面緑化による室内及び屋外の熱環境への負荷低減効果の予測に関する研究,日本建築学会環境系論文集 No.631, pp.1109-1116, 2008
2)小倉慎介,田中稲子,福多佳子,田村明弘,大野茂,屋祢下亮:窓面の緑化による日射遮蔽効果の検証 その 4,日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅰ, pp.1079-1080, 2011
3)山口翔平,田中稲子,張晴原:窓面緑化の緑被分布が室内執務者の作業のしやすさ・印象評価に与える心理的影響,日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅰ, pp.615-616, 2016
4)パクミンソン,萩島理,全貞ユン,ほか 3 名:集合住宅の環境性能に関する消費者選好の韓国と日本の比較研究,日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅰ, pp.1185-1186, 2008
5)萩島理,谷本潤,高園洋行:環境性能を考慮した建築物の総合評価のための重み決定法に関する諸検討,日本建築学会環境系論文集 No.587, pp.63-69, 2005
6)屋祢下亮,田村明弘,田中稲子,深尾仁,吉田聡:窓面の緑化による日射遮蔽効果の検証 その 1 各種つる植物の生育特性評価,日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅰ, pp.873-874, 2010
7)下村孝,梅干野晃,輿水肇:立体緑化による環境調整,ソフトサイエンス社, 2005
8) 東野友哉,田中稲子,鶴見裕之,真鍋誠司:コンジョイント分析による壁面緑化の利用者選好評価,日本行動計量学会第 45 回大会抄録,2017.8
9)守口剛,佐藤忠彦,里村卓也,樋口知之,鶴見裕之,佐藤栄作:ブランド評価手法ーマーケティング視点によるアプローチー, 朝倉書店, 2014
10)岡本眞一:コンジョイント分析ーSSPS によるマーケティング・リサーチー, ナカニシヤ出版, 1999
11)東野友哉,田中稲子,鶴見裕之,真鍋誠司:大学教育研究施設の壁面緑化の利用者選好評価に関する研究,日本建築学会技術報告集 25 巻 61 号,pp.1197-1201,2019.10

ハイブリッドターフの変遷・種類とその利活用

飯島健太郎 （東京都市大学 総合研究所）

要旨：近年、注目されつつあるハイブリッド芝は、「天然芝の改良基盤システム」として効果的な利活用が期待されている。主な構造として、スティッチタイプ、基盤強化タイプ、カーペットタイプ、人工地盤対応型薄層タイプとして、各種技術を整理した。用途とともに効果的な導入に向けて、あらためて対策が不可欠であることを述べた。

1. はじめに

芝生は景観的要素のみならず、その中で人の利活用に供することこそ意味を持つ。わが国でも、「見る芝生」から「使う芝生」へと大きく転換点を迎えた。そしてゴルフ場、競技場、公園緑地、園地、駐車場など、その用途とともに求められるターフの質も様々である。

各芝生用途の特徴的なインパクトからそのターフの損傷の度合もまた多様である。とりわけ競技場では、ターフの損傷をいかに軽減して稼働率を向上させるのかは常に課題となっており、未稼働時の地中温度調整やグローライトなど効果的な養生回復手法も多く研究され、また事業化もされてきた。一方、競技中ターフをいかに傷めないかについても常に重要な課題となり、近年ハイブリッド芝が注目されている契機となったとも考えられる。

本報では、ハイブリッド芝の種類と特徴、用途とその期待、さらにはハイブリッド芝をとりまく維持管理上の課題について概観した。

2. ハイブリッド芝とその種類

ハイブリッド芝とは、「天然芝の改良基盤システム」であると解説されている。すなわち天然芝とその地下部で根を補強するためのツールの組み合わせがハイブリッド芝であるという詳細な説明もある。その点で昨今開発されている様々なハイブリッド芝の目的は、ほぼ一致していると言えよう。

一方、そうした目的のみであれば、従前からハイブリッド芝は存在していたと考えられる。すなわち、天然芝の保護を目的とした多くの敷設資材が公園緑地やゴルフ場などにも導入されてきており、「芝生保護材」と称して樹脂製（再生プラスチック、オレフィン系樹脂など）、製品によっては耐荷重 200t／㎡の性能を有しており、保護材＋客土、サンドクッション、透水シートの層構造などにより敷設されている。それらをさらに応用したのが天然芝の駐車場、グラスパーキングであり、国内でもいたるところで見られるようになった。その保護性能に関しては、利用方法や利用頻度、何より敷設現場の環境によって成果も様々である。こうした芝生保護材は強度があり保護性能が優れているが、言うまでもなく危険が伴うためインパクトのある競技場の敷設には向かない。よって従前の芝生保護材とは別の次元からハイブリッド芝の開発が推進されたと考えられる。すなわち競技場に求められる競技性能と安全性、これをクリアしつつ天然芝の保護を図るという狙いが、従前のハイブリッド芝とは異なる点である。

各ハイブリッドの構造や特徴の詳細は他報にゆずるが、現在開発されているハイブリッド芝の分類と特徴**（表−1）**を以下に列挙する。

⑴スティッチタイプ

天然芝に人工芝繊維を縫い込み、そのまま維持する。既存の天然芝グラウンドにソーイングマシンを用いて、パイルを直接打ち込んで天然芝の根を保護する。このタイプは、オランダ、イギリス、イタリアなどで開発されている。競技場のハイブリッド芝としては最も導入例の多いタイプと考えら、すでに欧州では主流となっている。日本では「ノエビアスタジアム神戸」が最初に導入、Jリーグやラグビーの日本代表戦で実績がある。

⑵強化基盤タイプ

基盤を繊維等の特殊な混合物でつくり、そこに天然芝を生育させる。芝床補強型ハイブリッド芝で、表面に人工芝は存在しない。人工繊維、天然コルク、砂を混合した床土を敷き、芝草種子を組み合わせたもので、クッショ

ン性を高めて芝の根を絡ませて生育を促す。釜石鵜住居復興スタジアムにおいて導入。

(3)カーペットタイプ

基盤面上に網目状の人工芝を配置し、その上に天然芝を生育させる。基布に編みこまれた人工芝パイルに天然芝を育成し、その根系が絡みつくことで強化している。育成済みのロール状で搬入され、従前の砂のフィールド等に敷設し、根系はその砂部分まで達する。日産スタジアムで採用されている。

(4)人工地盤対応薄層タイプ

基布と模擬葉(パイル)、培地が一体となった薄層基盤に天然芝を生育させる。50mm 前後の薄層であることが特徴であり、多様な人工面に敷設可能である。主として基盤設置後に播種養生する方法であるが、予めターフ状態を形成した基盤を設置することもある。

表-1 ハイブリッド芝の種類と特徴

種類	特徴と製品例	導入例
スティッチタイプ	天然芝ピッチに人工芝繊維を縫い込み、そのまま維持する。競技の基準に基づき、人工芝と天然芝の割合を調整。 ・DESSO GRASSMASTER(オランダ) ・SIS-GRASS(イギリス) ・FB Ultra HD fine fibrillated yarn(イタリア)	ユペントススタジアム、ミレニアムスタジアム、ランボー・フィールド、アリーナ・ヒムキ、ネルソン・マンデラ・ベイ・スタジアム、ジュゼッペ・メアッツァ・スタジアム、スタッド・ド・フランス、フォルクスワーゲン・アレナ、パルク・デ・プランス、ロンドン・スタジアム、トゥイッケナム・スタジアム／ボーダフォン・アリーナ、セント・ジョーンズ・パーク、ルジニキ・スラジアム、モルドビア・アリーナ、ロストフ・アリーナ、サマラ・アリーナ、スパルタクスタジアム、iPro スタジアム
強化基盤タイプ	基盤を繊維等の特殊な混合物でつくり、そこに天然芝を生育させる。表面に人工芝はない。事実上、地上部に人工芝は無いため、天然芝 100%となる。 ・AIR FIBR(フランス) ・StaLok(アメリカ) ・Fibresand/Loksand(イギリス)	スタッド・ジェフロワ＝ギシャール、パルク・OL、スタッド・サン・シンフォリエン、スタッド・ジャン・ブウイン・アンジェ、ロアゾン・パルク、スタッド・ド・ベロドローム、スタッド・デュ・ムストワール、スタッド・ド・トゥールーズ、ヌーヴォ・スタッド・ド・ボルドー、アルジェ・ナショナル・スタジアム、スタッド・ピエール・マウロイ／AAAMI パーク、モーゼス・マヒダ・スタジアム
カーペットタイプ	基盤面上に網目状の人工芝を配置し、その上に天然芝を生育させる。競技の基準に基づき、人工芝と天然芝の割合を調整。 ・Mixto(イタリア) ・Xtra Grass(オランダ) ・XtremeGrass(アメリカ) ・ECLIPSE(アメリカ) ・HERO(オーストラリア)	ヤン・プレイデル・スタジアム、アムステルダム・アレナ、エスタディオ・サン・マメス、ゲラムコ・アレナ／リコー・アリーナ、カッサム・スタジアム、ヘルレ・ドーム／―／グレートアメリカンボールパーク／メルボルン・クリケットグラウンド
人工地盤対応型薄層タイプ	基布と模擬葉、培地が一体となった薄層基盤に天然芝を生育させる。用途に応じて人工芝と天然芝の割合を調整。 ・都市大方式(日本)	東京都市大学(試験施工)、愛知学院大学(導入例)

※体育施設編集部(2018):RWC2019 開幕まで 1 年、スタジアムの芝生対策／ハイブリッド芝とは、体育施設、47(13)に筆者が一部改変、加筆

3. ハイブリッド芝の用途

前述のとおり、目下ハイブリッド芝の用途として注目されているのは競技場であり、日本でも導入が始まっている(**表-2**)。とりわけインパクトの強い競技場の天然芝ピッチにおける課題解決が期待されており、ゲーム中のトラ

クションの維持、すなわちスライディングや踏み込みといったインパクトに対して損壊やズレを抑制するといった点でハイブリッド芝の一定の短期的効果が認識されているようである。従前の天然芝に比較して、その保護性能から芝生グラウンドとして利用面での具備すべき性能として期待がもたれている。

しかしその展開には、各競技において公認されるべき基準を満たす必要があり、製品としての人工葉部分（人工樹脂）の構造も目的に合わせて調整しなければならないなど課題は少なくない。天然芝自体がそうであるように、主催団体（FIFA、J リーグ、ラグビー協会、陸連など）やスタジアムによっても、ハイブリッド芝の導入を許可する際の考え方が異なるようだ。例えば、J リーグスタジアムでのハイブリッド芝の導入の場合は、人工芝の割合は5%以内、全面均一であることが求められる。

競技場におけるハイブリッド芝はその開発とともに前述のとおり海外での施工実績が目立つが、同時に海外では学校の校庭、グラウンド等での導入も始まっているようである。わが国の従前の芝生用途は景観的要素が強く、芝生に踏み入る主な用途としての大半は競技場やゴルフ場に限られていたと言っても良い。

近年になって、あらためて公園緑地の芝生空間、学校の校庭の芝生化といった芝生の中に入ってレクリエーションに供するべく利用が推進されるようになり、そうしたわが国の動向において、各利用場面での芝生損耗予防の観点からもハイブリッド芝の敷設が期待される。

表-2 国内のハイブリッド芝導入スタジアム、または導入が決定されているスタジアム

スタジアム	用途	ハイブリッド芝の方式	備考
釜石：釜石鵜住居復興スタジアム	フットボール専用	強化基盤タイプ	2018 年開場、メインスタンドのみ屋根設置
東京：味の素スタジアム	多目的	スティッチタイプ	2001 年開場、屋根設置は全周
横浜：日産スタジアム	多目的	カーペットタイプ／バミューダグラス「セレブレーション」	1998 年開場、2018 年大規模改修、屋根設置は全周
神戸：ノエビアスタジアム	フットボール専用	スティッチタイプ／ケンタッキーブルーグラス、ペレニアルライグラス等	2001 年開場、開閉式屋根
大分：大分銀行ドーム（昭和電工ドーム大分）	多目的※	カーペットタイプ	2001 年開場、開閉式屋根

体育施設編集部（2018）：RWC2019 開幕まで 1 年、スタジアムの芝生対策／ハイブリッド芝とは、体育施設、47（13）に、加筆修正。

4. ハイブリッド芝の課題

従前の天然芝からハイブリッド芝にするメリットは何か。冒頭で述べた「天然芝の改良基盤システム」であること、すなわち天然芝の根の補強ツールとして効果を持つことであり、短期的にトラクション維持に貢献することなどである。しかしハイブリッド芝がインパクト利用に対して必ずしも万能ではないという点についても認識を共有する必要がある。スタジアムがある以上、その稼働率を高めつつ常緑で天然芝ピッチを形成したいというのは共通のニーズであるが、ハイブリッド芝にすれば通常の天然芝ピッチより多く利用できるとはならない。

海外で開発されたハイブリッド芝が導入されている多くの海外の気候風土に対して、わが国はトランジションゾーンであるため、常緑にするべく暖地型芝草か寒地型芝草のいずれかのみで通年にわたって維持することは困難である点が大きな相違点となる。

一方、四方にピッチまでの距離が近い観客席があるスタジアムでは慢性的な日照不足に陥り、それを補うべく屋根の開閉、グローライトによる育成が行われ、それ以外にも地温コントロール、ファン、施肥とともに、究極的には部分張り替えも視野に入れた維持管理が行われている。草種選択の観点からは、大型屋根のかかるスタジアムでは、暖地型芝草では日照が完全に不足するため寒地型芝草で通年利用が模索されるが、夏季の高温多湿に弱いという短所がある。比較的強健なケンタッキーブルーグラスは寒地型の中では光要求度が大きくまた生長

が遅い、ライグラス類は生育が早いが特に高温に弱い、トールフェスクは低日照に耐えるものの株立ちで横に這う性質ではないためダメージを受けた後の回復に問題があるなど通年利用には課題が残る。よってわが国の場合には、WOS（ウインター・オーバー・シーディング）による更新作業が有効ということになるが、ハイブリッド芝仕様におけるWOS技術が確立しているわけではない。

すなわちハイブリッド芝の導入によって様々な維持管理が不要になったり軽減されたりするわけではなく、むしろハイブリッド芝という構造に対応する新たな維持管理技術の確立が急務である。地域や施設特有の日照条件などを加味した芝種の選定、暖地型芝草と寒地型芝草の更新技術、肥培養生、サッチの除去と目砂の更新、人工葉とのバランスにおける天然芝の刈込高の設定、天然芝への影響が無いように倒伏した人工葉の起立作業、サッカーの場合などゴール前、センターサークル、ラインズマン走路など損耗が激しい部分の養生や部分張替えなども含め、ハイブリッド芝のタイプ別に対応が迫られることだろう。

ハイブリッド芝の耐用年数の考え方も現時点では不明であり、人工芝部分の耐用年数として捉えるのか、あるいは天然芝部分も含めた損耗状況によって張替え検討するものなのか、恐らくハイブリッド芝のタイプ別でも対応が異なるであろう。競技場の場合には先にも触れた基準があるため、損耗によって人工芝部分の比率が増えてしまった場合には、直ちに修復対応が必要となる。

加えて、競技場のみならず芝生グラウンドや学校の校庭、園地など芝生地も多岐にわたり、そのインパクトも用途により大きく異なる。何よりも立ち入って利用できる芝生地の総量が少ない中で、これらの芝生空間が慢性的に過剰利用となりがちであることもわが国の特徴である。

敷設される環境（気候条件、日照条件、降雨条件、風環境など）は様々であり、人工芝のように一様にどこでも敷設できるものではないことは引き続き認識が必要である。これまで損耗予防から見た芝生地の適正利用の研究が緻密に行われ、天然芝の管理指針に大いに活かされている。一方、競技場に限らず、公園緑地、園地、さらには人工地盤上の芝生園地なども含め効果的な利用促進（用途の幅、利用可能期間の拡大）が課題であり、用途本位の観点からはその必要性に鑑み従前の維持管理技術に加え、構造的改良手法であるハイブリッド芝の導入を適材適所で検討し、敷設環境条件に応じた適正な維持管理技術を確立していくことが重要である。

参考文献

1) 飯島健太郎（2019）：ハイブリッドターフの変遷・種類とその利用方法、芝草研究、48（1）、pp.2-5

2) 北村文雄監修／近藤三雄・伊藤英昌・高遠　宏編（1994）：公共緑地の芝生　～アメニティターフをめざして～、ソフトサイエンス社

3) 近藤三雄・小沢知雄（1977）：芝生地の収容力に関する基礎的研究(I)、踏圧―土壌硬度に対する芝生地の植群の抗抵性からみた収容力について、造園雑　誌 40(3)、pp.11-23

4) 近藤三雄・安藤成子・小沢知雄（1979）：芝生地　の収容力に関する基礎的研究(II)、新宿御苑をケーススタディーとした芝生地の利用実態　調査について、造園雑誌 43(1)、pp.12-19

5) 近藤三雄（1980）：芝生地の収容力に関する基礎　的研究(III)、利用者の行動ならびに芝生の損傷度に基づく収容力の算定について、造園雑誌 43(4)、pp.3-11

6) 近藤三雄編（2003）：芝生の校庭　－21 世紀はスクールターフの時代－、ソフトサイエンス社

7) 中原久和・柳　久編（1994）：サッカー場の芝生造成と管理　～国際的なレベルの競技用芝生を目指して～、ソフトサイエンス社

8) 日本芝草学会編（1988）：新訂　芝生と緑化、ソフトサイエンス社

9) 小倉喜光（2015）：芝生の管理革命、ブイツーソリューション

10) 体育施設編集部（2018）：RWC2019 開幕まで 1 年、スタジアムの芝生対策／ハイブリッド芝とは、体育施設、47（13）、pp.4-11

11) 涌井史郎（2017）：ハイブリッド芝の展望と課題、芝草研究、46（1）、p.3

都市河川における絶滅危惧植物ミズキンバイの保全

大澤啓志（日本大学生物資源科学部）

要旨

治水のために河床掘削工事が実施された柏尾川（横浜市他）では，事前の生態調査に基づくミズキンバイの保全対策が実施された。フトンカゴで隣接遊水地に仮移植し，工事終了後に河川内に再移植した。10 年後の分布調査で本保全対策は一定の効果を確認したが，一方でツルヨシの被圧が顕在化していた。

１．はじめに

人口集中域を流れる都市河川は治水が不可欠となる一方，都市の骨格を成すオープンスペースとして，レクリエーション機能や生態系保全機能も求められる。国内の水辺環境の劣化が進む今日，特に希少植物が生育する河川の場合は，治水事業に伴う河川内のハビタットの消失に対しての再形成が課題である。神奈川県東部を流れる柏尾川の治水事業において保全対策が講じられた絶滅危惧植物ミズキンバイ（*Ludwigia peploides* (Kunth) P. H. Raven subsp. *stipulacea* (Ohwi) P. H. Raven）について，調査－施工－モニタリング－評価の流れを報告する。

柏尾川は相模湾に注ぐ境川の支河川で，横浜市南部・鎌倉市北部他に跨る流域面積約 84 km² の都市河川である。調査区間の川幅は 17～30 m，河床勾配は約 1/1,150，両側はコンクリート護岸であるが，河川内には土砂の堆積により中洲・寄洲が所々に発達している。1960 年代以降の流域内の急激な都市化により洪水常襲河川となり，1979 年に境川が総合治水対策特定河川の指定を受け，柏尾川でも様々な洪水対策事業が行われてきた。一方で中心市街地に接しており，平時は都市住民の貴重なオープンスペース（憩いの場，散策・ジョギング，子供の水遊び・生き物捕り等）となっており，多様な緑や生物の存在も河川環境の重要な要素となっている。

２．柏尾川における 2000 年前後のミズキンバイの生育分布 [4)]

柏尾川において 1998～2006 年の隔年でミズキンバイの分布調査を行ったところ，河川部の合計群落規模は 1,002～1,617 m² の範囲で，平均 1,392 m²（n=5）であった。各調査年とも比較的安定して生育がみられたのは境川合流点から 7.5～11.0 km の範囲であり，上流側で生育量が高まる分布傾向は調査期間を通じて変らなかった（図１：2002・2004 年のみ例示）。

河川域におけるミズキンバイ地域個体群を構成する個々の群落規模は必ずしも一定ではなく，概ね全体の 75 %は 40 m² 以下であった（図２）。一方，200～300 m² 超の大規模な群落も各年少なくとも 1 つは認められ，100 m² 超の比較的規模の大きな群落も各年複数は存在した。当河川でのミズキンバイの地域個体群は，多数の小規模な群落と少数の非常に大規模な群落が存在する構造であることが示された。また，年による各群落規模の消長が顕著であり，調査年により規模の大きな群落の位置が多くは異なっていたとともに，小規模な群落でも消失や新規形成が多く認められた。各調査年による合計群落規模の変動（1,002～1,617 m²）は，これらによるものである。このように，本種は個々の群落の形成・増減・消失を繰り返しながら，河川内で位置を変えつつ全体として柏尾川での地域個体群を維持していることが明らかになった。

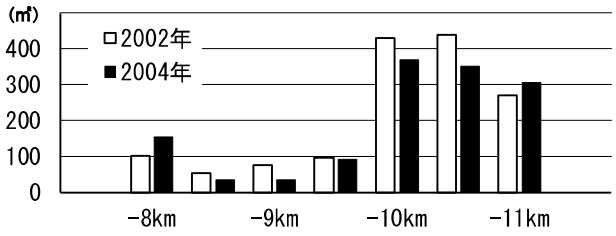


図１　2002・2004 年の 0.5km 間隔での群落規模

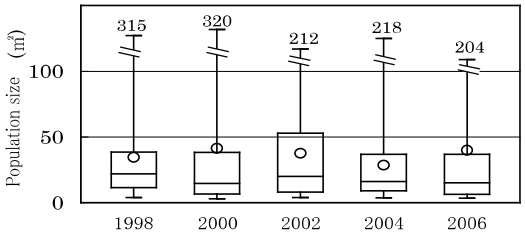


図２　河川域の個々の群落規模の箱ひげ図

３．ミズキンバイの攪乱依存性[1,2]とイトトンボ類のハビタット形成[3]

柏尾川のミズキンバイ群落に対し，群落構造調査による種組成区分，及び中洲における経年的な空間占有種の把握を行った。その結果，ミズキンバイが洲の大半を優占する初期段階から，次第に他種が侵入し中心部の凸地をオオイヌタデやオオブタクサが，また水際部ではヒメガマやクサヨシが優占する後期段階に移行することが示された（図３）。本種は，まず中洲・寄洲に他種に先駆けて侵入・定着し，夏季の強い日差しの下で旺盛な成長力により優占群落を形成するのが特徴的であった（写真１）。新しい洲への定着は切れ藻が大きな役割を果たすほか，多数の結実による種子散布も想定された。しかし，ヒメガマ，オオイヌタデ，オオブタクサ等のより草丈の高い植物に対しては光をめぐる競争で弱者となり，遷移が進むにつれて空間を明け渡していき，増水等の攪乱により他種の生育が困難な水際部分に生育の中心を移していた。そこでは陽光となる水面上に浮葉を広げる特徴的な群落景観を示していた。このように河川において不定期に形成される洲への早い定着と，その後の自然遷移の間で平衡的に成立する水際空間に適応的に生育しており，ミズキンバイは攪乱依存的な性質を強く有していることが明らかにされた。このため，河川内での増水による適度な攪乱がその生育地の確保には必要と言える。

次にミズキンバイの生育分布とイトトンボ類生息の関係を明らかにするため，2001 年夏期に一定時間内の捕獲調査を行った。柏尾川周辺の緑地は主に住宅内の植木や街路樹程度であり，極めて都市的な環境の中を流れているにもかかわらず，イトトンボ類は高い生息数を示した。ミズキンバイの分布域と非分布域で比較したところ，７月はセスジイトトンボ，８月はアジアイトトンボの捕獲数に有意な差が認められた（図４）。ただし，アオモンイトトンボでは有意差は認められなかった。これらの種は止水域を好むとされるが，ミズキンバイ群落は水際から水面に茎葉を伸ばして水面下に茎が複雑に絡まった空間を形成する。すなわち，ミズキンバイ群落周辺の流れの非常に緩やかな空間が，イトトンボ類幼生のマイクロハビタットとなっていると推察された（写真２）。ミズキンバイの保全が単なる絶滅危惧植物 １ 種の保護にとどまらず，河川空間の生態系保全（都市河川のコリドー機能も含む）に結びつくことが示された。

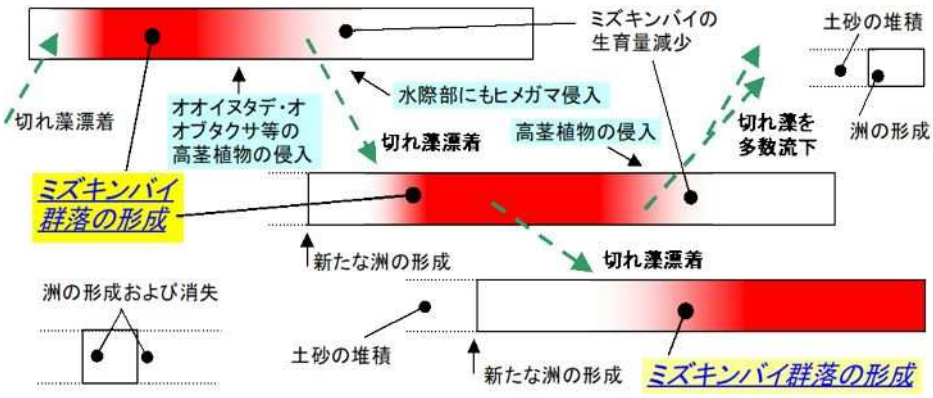


図３　柏尾川におけるミズキンバイ群落の消長の動態模式図

写真１　初夏から秋季への群落拡大状況

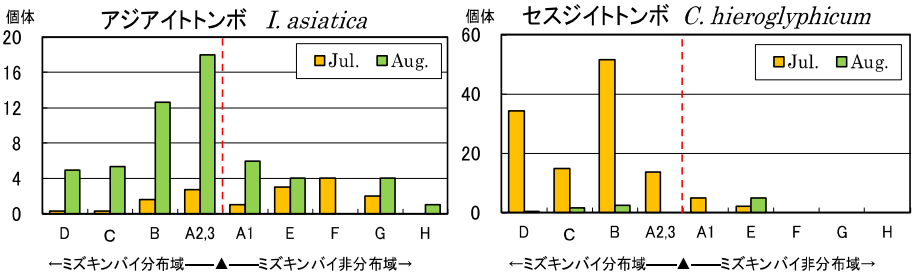


図４　ミズキンバイ群落の有無によるイトトンボ類の捕獲個体数の差異

写真２ ﾐｽﾞｷﾝﾊﾞｲの茎に産卵するｾｽｼﾞｲﾄﾄﾝﾎﾞ

４．河床掘削工事における保全対策[5]とその後の生育状況[6]

柏尾川では，2006 年～2009 年度に総合治水対策特定河川事業の一環で河床を約 1 m 掘り下げる掘削工事が行われた。それに先立ち，本河川でのミズキンバイの保全に向けてフトンカゴ・ユニット（L 1 m×W 1 m×H 0.5 m）を用いて群落の根域を土ごと柏尾川に隣接する遊水地（金井遊水地）に移植し（約 550 ユニット），工事終了後に再移植する保全対策が実践された（写真３）。その際，流量計算で河道断面に余裕がある個所に本種の新たなハビタットとして，掘削工事終了範囲に 2008 年度まで順次，フトンカゴ・ユニットの設置による洲の形成が行われた。本種の攪乱依存性を鑑み，再移植に用いたフトンカゴ・ユニットで固定的に群落保全を図るのではなく，再移植後は河川内でハビタットが動的に変化するに任せるという方針で事業は進められた。

モニタリングとして 2017 年及び 2018 年に河川沿いを全域踏査し，ミズキンバイ群落の分布位置，群落規模を記録した。2018 年は加えて，ミズキンバイと同様なハビタットを持つと考えられたツルヨシとキシュウスズメノヒエについても調査を行った。この調査では 2 ヶ年の平均が約 360 m² であり，2000 年前後当時（平均約 1,400 m²）と比較して育量は 1/4 程度に大きく減少していた（表１）。河床掘削工事の直接的な影響によるものかは直ぐには判断出来ないが，河川流程上における群落が形成されやすい区間（分布域の上流側）には大きな変化は無かった（図１・図４）。また，当時との水文的な条件の変化はほとんど無いことを鑑みると，水際部の空間をめぐる他種との競争が現在の生育量の規定要因としてより強く働いていることが想定された。

ミズキンバイの分布区間内においては，ツルヨシが突出して高い生育量を示し，外来種キシュウスズメノヒエもミズキンバイより多くなっていた（表１・図４）。ツルヨシについては，9.5～10.0 km 区間での詳細な調査（洲の水際に沿って各優占群落が開放水面に接する全長を記録）でもヒメガマとともに高い割合で水際部の空間を占めていた（図５）。2000 年前後で行われたミズキンバイの生態調査時にはツルヨシは確認されておらず，それから 15 年程が過ぎる間に柏尾川中流部に侵入・定着したと考えられる。柏尾川では，上流側のツルヨシ群落から流下するように匐枝を流れの中に伸ばし，洲の水際前面に栄養繁殖株を点々と定着させている様が観察されている。かつては洲の側面の水際にもミズキンバイ群落は普通に認められており，ツルヨシがこれらの空間を広く占有したことが，生育量が 1/4 程度にまで減少した主要因の一つと考えられる。

写真３　根域の土ごとフトンカゴにミズキンバイを移し，河床掘削工事期間中は遊水地に仮移植した

表１　各調査年における合計群落規模

種名	ﾐｽﾞｷﾝﾊﾞｲ	ﾐｽﾞｷﾝﾊﾞｲ		ｷｼｭｳｽｽﾞﾒﾉﾋｴ	ﾂﾙﾖｼ
調査年	1998-2006隔年平均	2017	2018	2018	2018
群落数	38.6	69	57	86	37
合計群落規模(㎡)	1,392	350	372	517	1,548

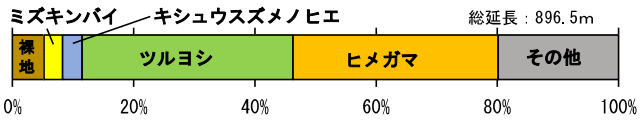


図５　優占群落別の水際部占有延長割合

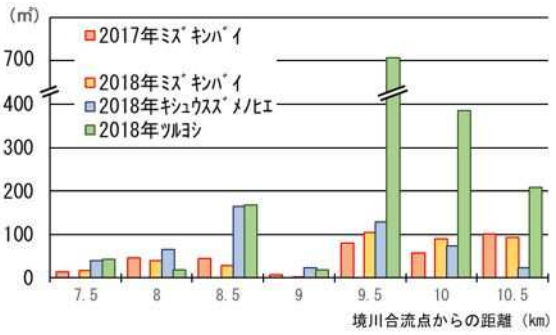


図４　対象種３種の河川流程上の群落規模

５．おわりに

ツルヨシの繁茂の他にも，ミズキンバイの減少要因として考えられるものに，掘削工事後の経時に伴う低水路内への土砂堆積が挙げられる。掘削工事によってそれまでの堆積土砂は一旦全て除去されたものの，以降約 10 年が経過する中で堆積土砂によって洲が発達し，現在，一部の区間では流路の固定化が生じていた（写真４）。大規模な寄洲の形成により流路幅が狭まると新たな洲が生じにくくなり，潜在的なハビタット量の減少に結び付くためである。さらに洲が固定化されることでツルヨシやヒメガマ等のより大型の種が水際部の空間を占有するようになり，現在，ミズキンバイの多くは洲の末端部でのみ群落を維持している状況であった。

しかしながら，堆積土砂が生じるメカニズムである土砂の移動すなわち流砂系は，河川の本質である。同時に，流域内の健全な人間社会の形成のために，利用と管理や制御の対象となってきたのも都市河川の宿命である。本種の生育量を増加させる当面の方策は，現在繁茂しているツルヨシの抑制的管理であり，また浚渫等による堆積土砂の定期的な除去である。ただし，特に攪乱依存性を有する絶滅危惧植物のハビタットの保全に，どこまで人為介入が妥当なのか，といった課題が残る。より大規模な増水攪乱により堆積土砂が一度に吐出され，遷移の引き戻しが生じた河川環境になるのを，ミズキンバイは気長に待っているのかもしれないためである。

絶滅危惧種の保全においては，単なる個体の延命に止まる「個体の保護」から，必要な面積と質の伴った「生育・生息空間の整備」，さらには「健全な地域個体群の維持」を上位目標に置くことが求められる [7]。本事例では対象種の生態的特徴がある程度事前に調査・把握されていたため，治水事業において保全対策を講じることができた。そこでは当初より「健全な地域個体群の維持」が標榜されていた中，生育量は減少させているものの，時空間的に群落の消長を伴いつつ今日まで河川中流部に広くミズキンバイが生育し続けていることが明らかにされた。これは当該保全対策が一定程度有効であったことを示している。しかし，同様なハビタットを持つ競争種の侵入・繁茂や流砂系に伴う経時的な土砂堆積と課題も多い。都市河川における絶滅危惧種の保全には，順応的な対応を続けていく姿勢が要るのだろう。

引用文献

1) 大澤啓志・勝野武彦・片野準也（2001）都市河川に生育するミズキンバイの生態的特徴，日本緑化工学会誌 26(3)，188-197.
2) 大澤啓志・勝野武彦（2002）都市河川におけるミズキンバイ群落の経年的動態，日本緑化工学会誌 28(1)，37-42.
3) 大澤啓志・勝野武彦（2003）都市河川における絶滅危惧植物ミズキンバイの分布とイトトンボ類の生息状況の関係，日本緑化工学会誌 29(2)，343-351.
4) 大澤啓志・勝野武彦（2007）神奈川県柏尾川における 1998～2006 年のミズキンバイ個体群の動態，日本緑化工学会誌 33(1)，37-41.
5) Osawa, S. and Katsuno, T. (2009) A Mitigation Project for the Vulnerable Plant Species *Ludwigia peploides* ssp. *stipulacea* Using Gabions in an Urban River. The 11th landscape Architectural Symposium of China, Japan and Korea, Chi. Soc. Landscape Architecture, 290-296.
6) 大澤啓志・釜淵嵩大（2019）横浜市柏尾川における河床掘削工事後の絶滅危惧植物ミズキンバイの生育分布，日本緑化工学会誌 45(1)，177-180.
7) 大澤啓志・春田章博（2019）絶滅危惧種の保全と生態工学，亀山章監・倉本宣編『絶滅危惧種の生態工学』，地人書館，pp.37-41.

写真４　各時期の河川景観（左より 2000 年頃，2007 年：河床掘削直後，2017 年：再び土砂が堆積）

数値シミュレーションを用いた都市緑化のヒートアイランド緩和効果の検討

村上暁信（筑波大学システム情報系）

要旨
都市緑地の創出や緑化の推進においては，定量的基準による誘導が多くの自治体で行われている。しかし緑の量に応じて効果が高まるわけではない。本稿ではヒートアイランド緩和機能を取り上げて，緑の量と効果の関係を検討する。

１．　都市緑化に期待されるもの

都市に存在するオープンスペースは良好な景観を形成し，アメニティを向上させることが期待されている。さらにそこが植物に覆われていれば地球温暖化の原因となる二酸化炭素を吸収し，ヒートアイランド現象の緩和に役立ち，生物多様性保全に寄与することも期待される。そのため都市のオープンスペースのデザインと空間活用は，都市の魅力や価値を高めるものとして高い関心が払われており，現在では都市に緑を増やすための様々な政策が講じられている。緑化地域制度では一定規模以上の開発に際して，定められた比率以上の緑化をすることが義務付けられているし，また東京都の自然保護条例をはじめとする各地の条例でも緑化が義務付けられている。緑化に対する補助金も整備されているほか，緑化を条件に容積率規制の緩和を認める制度も展開されている。しかし，このようにして創出された都市の緑は本当に役に立っているのだろうか？

算定方法や基準値，用語は異なっているが，都市に緑を増やす取り組みでは緑被面積や植物に被われた部分の比率を指標としている点は共通している。主に緑被率と呼ばれる指標である。緑被率を基準として用いているということは，「緑化された面積が大きければ大きいほど緑の効果が高まる」という理解が背景にあるといえる。しかし，本当に面積が増えたら増えた分だけ効果が得られるのだろうか？

本稿ではこのような問題意識のもとに，都市における緑の創出と，創出された緑の機能について検討してみたい。緑には様々な効果があると期待されているが，その中でもヒートアイランド緩和機能を取り上げて緑の役割について考えていく。ヒートアイランド緩和機能は昨今の都市緑化の意義を説明する際に筆頭に挙げられるものといえる。

２．　緑のヒートアイランド緩和機能

緑のヒートアイランド緩和効果は，緑が存在することによる顕熱負荷の変化（減少量）を評価することで検討できる。そこで，緑がある場合（現状）と無い場合において地表面温度がどのように変化するかを東京都港区（青山・赤坂地区）の中心街区を対象に計算した（図１）。ここでは梅干野らが開発した3D-CAD対応型の熱収支シミュレータ[補注1)]を使って，複数タイプの市街地を3D-CAD上で再現し，緑がある場合（現状）と緑が無い場合の表面温度分布を求め，その差を表示している。評価の指標としてヒートアイランド・ポテンシャル（以下HIP）を用いている。HIPは梅干野らが提案した指標であり[補注2)]，次式で定義される。

$$HIP\ 〔℃〕 = \frac{\int_{全表面} (T_s - T_a)\,ds}{A}$$

Ts：表面温度（℃），Ta：外気温（℃），ds：微小面積（㎡），A：街区の水平投影面積（㎡）

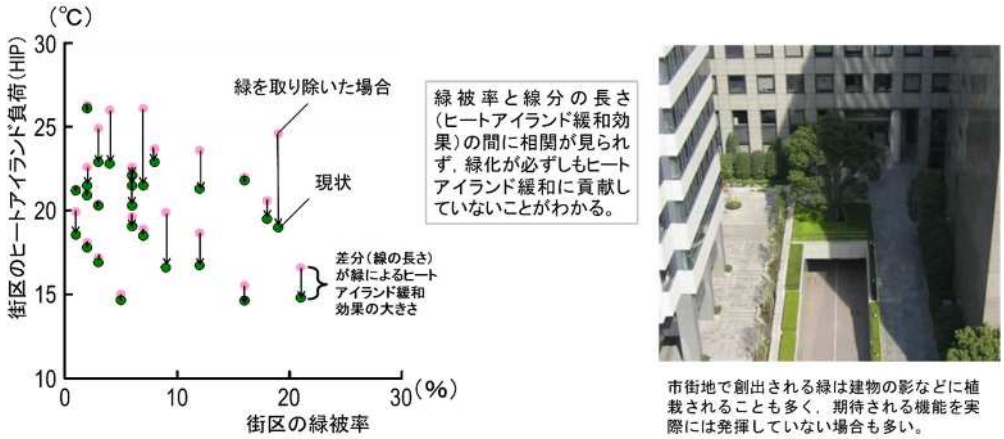


図１　緑被率とヒートアイランド緩和効果（12:00）
対象街区における緑被率とみどりのヒートアイランド緩和効果の関係を分析したものである。横軸が緑被率，縦軸がヒートアイランドを引き起こす度合い（顕熱負荷）であり，現状と緑を全て除いた各街区の結果をプロットしている。矢印の長さが，各街区のみどりがヒートアイランドを緩和させている効果を表している。

HIPは街区内の全表面から大気側に対してどの程度の顕熱負荷を与えるかを温度の次元で示したものであり，敷地の平均的な表面温度と外気温との差として定義されるものである。

図１では，現状と緑を取り除いた場合のそれぞれのHIPをプロットしている。両者の間の矢印の長さを，緑のヒートアイランド緩和効果とみなすことができる。しかし矢印の長さにはばらつきが大きく，緑被率とHIPの低下量の間には相関がみられない。緑被率が低くてもHIPの低下が大きい（ヒートアイランド緩和効果が高い）街区もあれば，緑被率が高くてもHIPの低下がほとんどみられない街区，すなわちヒートアイランド緩和効果が低い街区もみられる。緑被率とヒートアイランド緩和効果の間には相関がないことから，緑が多ければ多いほどいいということは成り立たないと言える。緑被率が高いにもかかわらずヒートアイランド緩和効果が低くなる理由は，もともと建物の日影になっていて，表面温度も高くないところに樹木が植栽されているためである。日影に植栽しても周辺の表面温度分布には影響しない。樹木にヒートアイランド緩和効果を発揮させるためには，効果を発揮できる場所に樹木を植栽しなければならないのである。しかし，都心の高密な市街地で建物が高層化するようなところであれば建物の日影も多くなる。日影になっている空地に樹木を植栽してもヒートアイランド緩和という点では機能を発揮しない。オープンスペースで環境を改善するためには，緑化をはじめとする介入をどこで行うべきかという，場所への配慮が欠かせない。

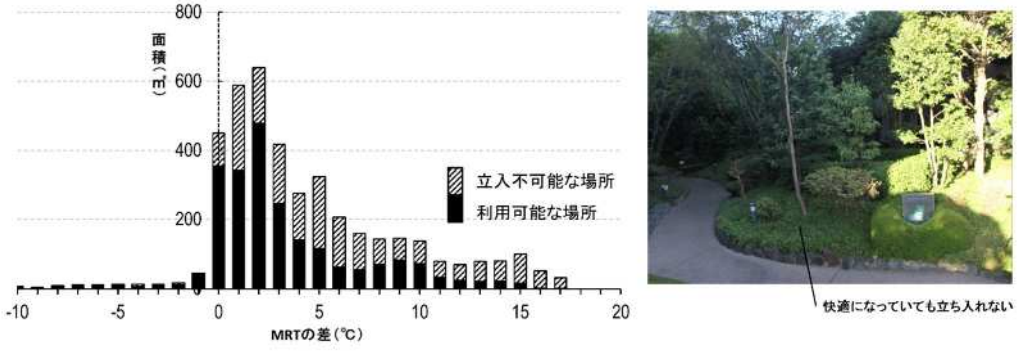


図２　緑化によるMRT低減効果
対象街区の一つを取り上げて，みどりの有無によるMRTの差を集計したものである。横軸の値がMRTの差であり，値が大きいほど熱的に快適な空間を創出していることを示す。しかし値の大きいものは立ち入れない場所，すなわち利用不可能な場所が多くを占めている。快適な空間が創出されても，役に立っていない場合が多いことがわかる。

３．　快適な都市空間の創出

ヒートアイランド対策の考え方にはもう一つの視点がある。ヒートアイランドを引き起こさ

ないように改善するだけでなく，熱的に快適な空間を提供するというものである。図２は，緑が熱的快適性に影響する放射環境の改善に役立っているかを，図１で検討した街区のひとつについて検討した結果である。シミュレーションによって得られた３次元の全表面温度分布図から地上1.5mの位置の平均放射温度（MRT）を計算し，さらに緑を取り除いた場合の計算結果との差を算出した。値が大きいほどMRTが低下し，快適性が向上していると評価できる。ここで注意が必要なのは，計算された場所全てが人が立ち入れる場所というわけではない，ということである。植込みなどが設置された場合，公開空地であっても人は立ち入ることができない。そこで図２ではMRTの改善分について，利用できる場所と利用できない場所に分けて表示をしている。図２からは，MRT改善を大きく示している場所（熱的に快適になった場所）は，大半が人が立ち入れなくなっていることがわかる。緑化によって熱的快適性が向上しているが，その多くは人が立ち入れない場所なのである。人が立ち入れない場所の快適性を向上させるために緑化が行われ，そのような緑の比率が緑被率として都市開発の質を判断する材料として使われているのである。

オープンスペース整備の目的のひとつにアメニティの向上があるが，それはその空間を使う人にとってのアメニティという意味である。従ってデザインにおいては常に人の利用を想定しなければならない。利用する人にとっていかに空間をデザインすればどのように快適にすることができるのかを検討し，デザインに反映していく必要がある。

このような視点に立った実践例として，パッシブデザインをテーマに掲げた住宅地開発事業「パッシブタウン黒部」（富山県黒部市）がある。「パッシブタウン黒部」では，屋外に快適な生活空間を創出するために設計段階から数値シミュレーションを活用してデザイン案を評価するとともに，評価結果をもとにして，より快適な空間を作るための改良を繰り返している。建築及び屋外空間だけでなく，生活者がどのように空間を利用するか，樹木が成長によって空間がどのように改変されるのか，という点まで検討することにより，シミュレーションを用いた環境評価をランドスケープ・デザインだけでなく維持管理計画の立案に活用している。適切なランドスケープ・デザインを実践していくためには，環境評価シミュレーションの積極的な活用，設計者と環境技術者の協働が益々求められていくであろう。

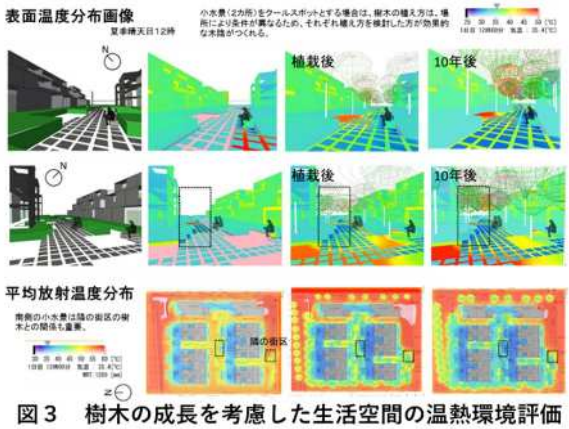


図３　樹木の成長を考慮した生活空間の温熱環境評価
（パッシブタウン黒部モデル）

４．　ベストミックスの追求

オープンスペース整備において目指すべき環境改善の中身はひとつではない。ここで取り上げたヒートアイランド緩和はひとつの要素に過ぎず，他にも多様なものがある。それぞれに効果を適切に評価して，実際に改善が得られる空間整備を模索していくことが重要である。その際に，ひとつの地区で全ての側面における環境改善を実現する必要はない。地区ごとに効果を発揮し易い機能は異なるであろうし，発揮が求められる機能も異なるであろう。しかしそれは，

ひとつの機能を満たせば十分であるという意味ではない。多様な機能を発揮できる方法を模索する必要がある。ランドスケープ・デザインにおいては多面的な評価の視点を持ち，常に環境改善のベストミックスを検討していく必要がある。そのためにも機能を客観的に評価し，デザインに展開していく姿勢が求められる。環境シミュレーション技術や３次元での都市環境の再現技術などは大変有力なツールとなるであろう。

また環境の改善だけでなく，利用者にとって快適な空間の整備を目指していく必要がある。そのためには対象とする空間の利用を的確に把握し，適切に利用を誘導する必要がある。しかし利用者がどのような空間を望むのか，どのような空間が市民にとって快適なのかについては固定した空間像があるわけではない。そのため，市民も含め，ステークホルダーを巻き込んで，実現すべき空間の姿を議論し，具体化していくプロセスが重要となる。

その際にも市民と協働しつつ，効用に基づくデザインを展開していく必要があるため，今後は環境技術者が空間設計・計画に主体的に関わっていく必要がある。環境技術者は設計案や計画案を客観的に評価することに留まることなく，自ら主体的に設計や計画を提示して，設計者やプランナー，市民と協働していく姿勢が求められる。

【補注】

１）　梅干野晃，浅輪貴史，中大窪千晶(2004)，「3D-CADと屋外熱環境シミュレーションを一体化した環境設計ﾂｰﾙ」，日本建築学会技術報告集，20，195-198

２）　梅干野晃，浅輪貴史，村上暁信，佐藤理人，中大窪千晶(2007)，「実在市街地の 3D-CADﾓﾃﾞﾘﾝｸﾞと夏季における街区のﾋｰﾄｱｲﾗﾝﾄﾞﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ　数値シミュレーションによる土地利用と土地被覆に着目した実在市街地の熱環境解析 その 1」，日本建築学会環境系論文集，612，97-104

バイオ炭と CAM 植物を利用した低コスト型屋上緑化技術の開発

松岡 達也（東京大学大学院 農学生命科学研究科）

要旨

屋上緑化において植物体の生育を良好に保つ方策として、CAM 植物の混植とバイオ炭の混合が挙げられる。各効果が発揮される条件の策定を目指して栽培実験を行った結果、CAM 植物の混植は乾燥条件でのみ誘導されること、バイオ炭混合は体積比 15%以上で良好な効果を示すことが示された。

１．はじめに

１－１．屋上緑化に蜜源植物を導入する利点と課題

都市域における放花昆虫は、花粉媒介を通じて周囲の樹木や草本の結実を補助し、健全な生態系の保全に貢献する。この働きを支えるために、公園や街路に加えて、屋上緑化においても放花昆虫の蜜源となる植物の導入が期待されている。

屋上緑化は「集約型」「粗放型」の 2 種類に分類され、商業施設や百貨店の屋上部でみられる景観を意識したものは集約型屋上緑化に分類される[1)]。集約型屋上緑化では、十分な厚さの土壌を用いて緑化が施され、頻繁な維持管理が行われることが特徴として挙げられる。一方で、薄層土壌を用いて、最低限の管理のもとで行われるものは粗放型屋上緑化に分類される。粗放型屋上緑化では建築物の荷重制限に合わせて設計できるほか、集約型屋上緑化と比較して低コスト下で緑化面積を確保できるため、近年注目を集めている[1)]。しかしながら、土壌厚が薄く、潅水頻度の少ない粗放型屋上緑化は土壌が乾燥する傾向にあるため、乾燥耐性の高い芝やセダム等が単一で用いられる場合が多い。よって、粗放型屋上緑化において、蜜源植物を含む多様な植物種を導入可能にする栽培技術の開発が求められている[2)]。

その一つとして、複数の植物種を用いた混植が挙げられる。既往研究から、いくつかの植物種を混植することで植物体の生育が改善されることが報告されており[3)]、混植種としてセダムの有効性が示されている[4) 5)]。

１－２．セダムとバイオ炭の応用可能性について

筆者らの研究から、セダムを混植することで土壌水分量が増加し、蜜源植物の生育が良好に保たれる場合があることが明らかにされている[6)]。セダムは土壌が湿潤した条件では他の植物種と同様に C_3 型光合成を行う一方で、土壌が乾燥すると CAM（Crassulacean Acid Metabolism）型光合成を行う（CAM 化）[7)]。CAM 化により葉の気孔が夜間でのみ開くようになることから、セダムの蒸散量が低く抑えられ、混植時の土壌水分量の増加に寄与すると考えられている[6)]。

屋上緑化において土壌水分量を向上させる他の方策として、バイオ炭の利用が挙げられる。バイオ炭はバイオマスを炭化して作られるものであり、土壌に混合することで保水量が向上することが分かっている[8)]。さらに、バイオ炭として屋上緑化に利用することで、未利用バイオマスの有効活用に貢献できる可能性がある[9)]。

１－３．本研究の目的

粗放型屋上緑化に蜜源植物を導入するためには、植物体の生育が良好に保たれる土壌水分環境を策定する必要がある。そこで、本研究では CAM 植物の混植とバイオ炭の混合の各々について、植物体の生育が良好に保たれる栽培条件の解明を目指して栽培実験を行った。具体的には、下記 2 点に焦点を当てて実験を行うことで、研究目的の達成を目指した。

① CAM 植物の混植の効果を検証するため、バイオ炭を用いて保水量を調整し、混植時に正の効果が誘導される土壌水分環境の解明を目指した。

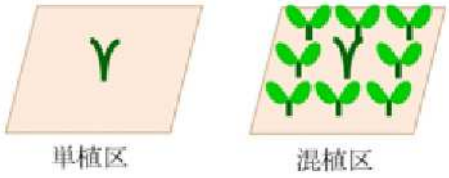
② バイオ炭の混合率を変えて栽培実験を行うことで、バイオ炭の混合条件の違いが植物体の生育に及ぼす影響の解明を目指した。

２．研究方法

２－１．植物体の栽培

植物体は東京大学大学院農学生命科学研究科附属生態調和農学機構の温室内で栽培した。植物体の栽培には小型のプラスチックプランターを用い、土壌厚は 10 cm とした。栽培には、赤玉土および木炭の混合土壌を用いた。バイオ炭の混合率は、体積比 0 %、15 %、30 %、60 %の 4 種類とした。木炭は粒子サイズが 2 mm 未満で統一されるよう、予めふるいに掛けたものを用いた。有機物としてココナッツ繊維を用い、赤玉土の体積比 20 %分を置き換えた。プランターの底面に網目 2 mm のナイロンシートを敷き、その上で混合土壌を厚さ 10 cm となるように敷き詰めた。

実験に用いた蜜源植物は、セダム混植の効果が期待されるオジギソウおよび匍匐性ローズマリーの 2 種とした[10]。また、セダムとして顕著な混植の効果が期待されるシロバナマンネングサを用いた[6]。混植実験は 2018 年 7 月 26 日から 9 月 18 日の間に行った。実験期間中、潅水は 8 月 11 日までは 4 日毎、それ以降は 8 日毎に行い、潅水量はプランターあたり 10 mm 降雨分に相当する 1200 ml とした。植栽パターンは図-1 の通り、蜜源植物を 1 個体のみを植える単植区と、シロバナマンネングサを周囲に植える混植区の 2 種類とした。よって、蜜源植物が 2 種類、バイオ炭の混合率が 4 種類であることから、設定した植栽区は合計 16 種類であった。また、繰り返しは各植栽区 6 回とした。



図－１．植栽区の配植パターン

２－１．測定内容

実験期間中に土壌水分量および保水量を継続的に測定した。土壌水分量は、針状のセンサーのついた測定器を用い、蜜源植物の周囲 4 点の測定値の平均値を比較した。測定は潅水日の前日に行った。保水量は既往研究の手法[3]を参考にし、潅水前と潅水 30 分後の重量変化より評価した。筆者の予備実験の結果から、潅水後 30 分経過することで、プランター底面から水の流出がみられなくなったことから、この実験条件とした。

３．結果と考察

３－１．CAM 植物の混植の効果が誘導される条件について

オジギソウ、ローズマリーの両種とも、バイオ炭を加えない条件では混植区の方が単植区と比較して葉の枯死率が低く、生育が良好に保たれていた（図-2)。また、バイオ炭を混合しない場合、セダムの混植による土壌水分量の最大改善度は 80 %以上であった（表-1)。一方で、両種ともバイオ炭を加える条件では、その混合率によらず単植区と混植区の間で生育に大きな差はみられず（図-2)、土壌水分量の最大改善度も 30 %を下回った。

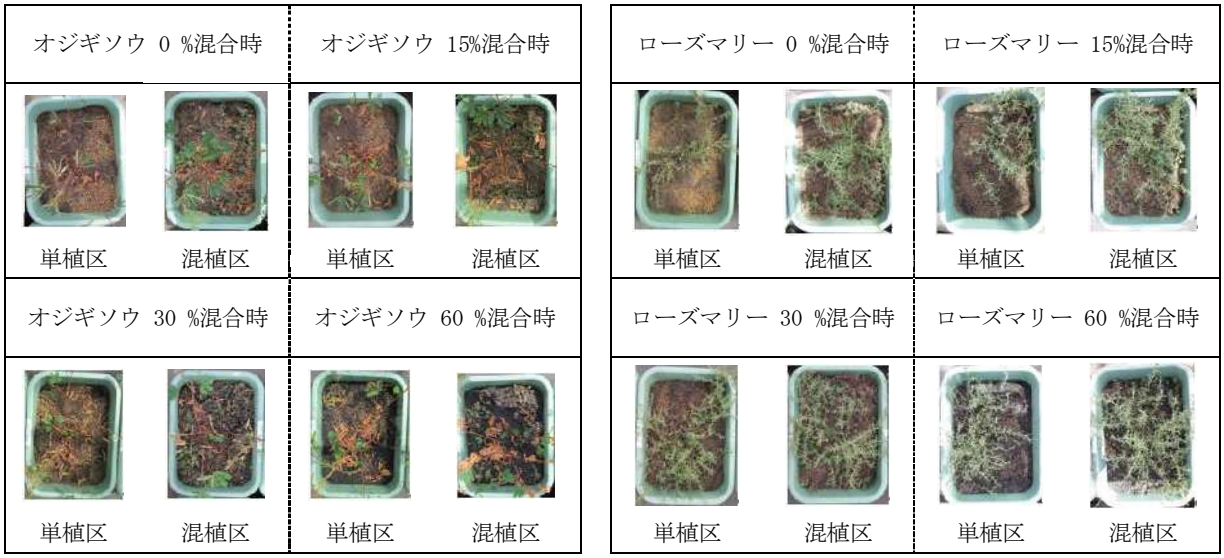
セダムを含む CAM 植物の CAM 化は乾燥条件下で誘導されることから[7]、本研究においてもバイオ炭を混合せず、土壌が乾燥した条件でのみ混植による蒸発散量の抑制がみられ、結果的に土壌水分量が増加したと推察された。

３－２．CAM 植物の混植の効果が誘導される条件について

オジギソウ、ローズマリーの両種とも、単植時の植物体の生育はバイオ炭の有無によって大きな違いはみられなかった（図-2)。一方で、バイオ炭混合により植物体サイズが大きくなる傾向がみられた。また、バイオ炭混合により、非混合時と比較して保水量が増加した。しかし、その

最大増加率はいずれの混合率においても 35 %～40 %であり、混合率による大きな違いはみられなかった（表-2)。

バイオ炭混合によって植物体の生育が大きく変化しなかった理由として、植物体の成長が及ぼす負の影響が推測される。バイオ炭混合により保水量が増加することや、有機物が増加することから、バイオ炭を加えない条件と比較して植物体が大きく成長したと推察された。よって、植物体サイズが大きくなった結果、蒸発散を過剰に行うようになり、それに伴って必要な土壌水分量も増加したと推察された[11)]。また、保水量の改善度がバイオ炭混合率によって変化しなかったのは、既往研究と比較して実験期間が長く、土壌が乾燥した結果として、赤玉土の保水量が増加したためと考えられる。



図－２．混植区における蜜源植物の様子

表－１．混植による土壌水分量の最大改善度(%)

炭混合率(%)	オジギソウ	ローズマリー
0	82	100
15	26	26
30	12	16
60	17	18

表―２．バイオ炭混合による保水量の最大改善度(%)

炭混合率(%)	オジギソウ	ローズマリー
15	35	36
30	40	39
60	38	39

４．結論

本研究から、① CAM 植物の混植の効果は土壌が乾燥した条件で誘導されること、② 栽培期間が長い場合、15 %以上のバイオ炭混合では最大保水量が変化しないこと、バイオ炭混合時の生育と成長のバランスを考慮する必要があることが示された。

今後は、植栽基盤を実際の屋上緑化に近い形で再現し、年単位での長期的な実験を行う等、CAM 植物およびバイオ炭混合の有効性について詳細な検証が必要であると考える。

５．引用文献

1) Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K.K.Y., Rowe B. (2007) Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. BioScience, 57(10), 823-833

2) MacIvor, J.S. and Lundholm, J. (2011) Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate. Ecological Engineering 37(3), 407-417

3) Lundholm, J., MacIvor, J. S., MacDougall, Z. and Ranalli, M. (2010) Plant species and functional group combinations affect green roof ecosystem functions. PLoS ONE 5 (3): e9677

4) Nagase, A. and Dunnett, N. (2010) Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs effects of watering and diversity. Landscape and Urban Planning 97: 318-327

5) Butler, C. and Orians, C.M. (2011) Sedum cools soil and can improve neighboring plant performance during water deficit on a green roof. Ecological Engineering 37: 1796-1803

6) Matsuoka, T., Tsuchiya, K., Yamada, S., Lundholm, J. and Okuro, T. (2019) Value of Sedum species as companion plants for nectar-producing plants depends on leaf characteristics of the Sedum. Urban Forestry and Urban Greening 39: 35-44.

7) 松岡達也・土屋一彬・大黒俊哉 (2017) 屋上緑化に用いられるセダム類の葉の形質の違いが蒸発散量に及ぼす影響, 日本緑化工学会誌 43(1): 115-120

8) Cao, C.T.N., Farrell, C., Kristiansen, P.E. and Rayner, J.P. (2014) Biochar makes green roof substrates lighter and improves water supply to plants. Ecological Engineering 71: 368-374

9) 麥田隼希・土屋一彬・松岡達也・山田晋・大黒俊哉 (2018) 屋上緑化の雨水流出抑制機能に植物種の違いとバイオチャーの利用が与える影響, 日本緑化工学会誌 44(1): 69-74

10) 松岡達也 (2018) 屋上緑化における混合栽培による生態系サービス型屋上緑化技術の開発, 大林財団奨励研究実施報告書(2018)

11) Nagase, A. and Dunnett, N. (2008) The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. Landscape and Urban Planning 103(2):230-236

都市のグリーンインフラ技術の２つの提案

「グリーントレンチ」と「アウトドアオフィス・ガーデン」

豊田幸夫（エコ＆ヒーリングランドスケープコンサル）

要旨

今年６月に「グリーンインフラ推進戦略」が国土交通省より通知された。そこで、都市のグリーンインフラを考慮とした緑化技術で、特に豪雨対策と樹木の活性化を図った技術と、省エネと社員の健康を考慮した緑化計画を提案したい。

１．グリーンインフラと自然の持つ多面的な機能

１－１．グリーンインフラとは

「グリーンインフラ」とは、社会資本整備や土地利用等のハード・ソフト両面において、自然環境が有する多様な機能（生物の生息の場の提供、良好な景観形成、気温上昇の抑制等）を活用し、持続可能な魅力ある国土づくりや地域づくりを進めるもの。（＊国土交通省 HP より引用）

１－２．環境要素と自然の持つ多面的な機能と向上例

自然界は生物的環境要素である「野生生物」と、非生物的環境要素である「土壌」「水」「大気」「太陽の光」の５つの要素から成り立っている。また、野生生物においては分解者（微生物等）、生産者（植物）、消費者（動物）、高次消費者（人間等）の生態系ピラミッドを形成しているのと同時に、非生物環境要素を含めて物質循環システムが働いている。

生態系が機能する豊かな自然環境は、潤いや安らぎ感をもたらすほか、経済活動や日常生活によって生じる廃棄物や廃熱などの環境への様々な負荷を低減化し、清浄な空気やきれいな水をつくりだすなど多面的な機能がある。動植物のみならず、土壌微生物の多様性に配慮した緑化が強く望まれる。

また、自然環境が有する多様な機能を活用にするには、土壌と土壌微生物、植物からなるみどりの機能の向上が重要となる。

＜表１＞自然の持つ多面的な機能例

生存環境機能	生物の生息・生育の場の供給、食料や薬草の供給、飲み水や生活用水の供給、建材や家具などの生活資材の供給、自然エネルギー供給等
環境改善機能	潤いのある良好な生活環境の形成、ヒートアイランド現象の緩和、雨水貯留・浸透の場、二酸化炭素削減、微粉塵の吸着、緑化による省エネ等
分解・浄化機能	水質浄化、空気浄化、廃棄物削減等
防災・減災機能	防火林、防風林、防雪林、調整池、防火用水、避難緑地等
療法・健康機能	植物療法、グリーンセラピー、コミュニティ形成、散歩道、運動広場等
再生・遷移機能	里山の再生、森づくり、多自然型護岸等

＜表２＞都市のみどりの機能の向上例

Ａ．緑地の量の拡大・質の向上	緑地の創出・再生、屋上・壁面緑化、駐車場緑化
Ｂ．樹冠の最大化・適正化	適切な剪定・管理による緑陰の確保
Ｃ．植栽基盤の最大化・連続化	雨水の浸透・貯留、ヒートアイランド現象の緩和
Ｄ．植栽基盤の改良・改善	通気・透水管の敷設、土壌改良、落葉マルチ
Ｅ．多種多様な植栽	生物多様性、潤いのある環境、健康につなぐ緑の創出

２．グリーントレンチ

２－１．グリーントレンチとは

「グリーントレンチとは、土壌への雨水貯留・雨水浸透と、樹木の活性化を考慮した通気・透水管を敷設した植栽基盤の緑地のこと（＊豊田)」。都市のグリーンインフラでは、土壌と土壌微生物、それに植物が備わって効果がある。

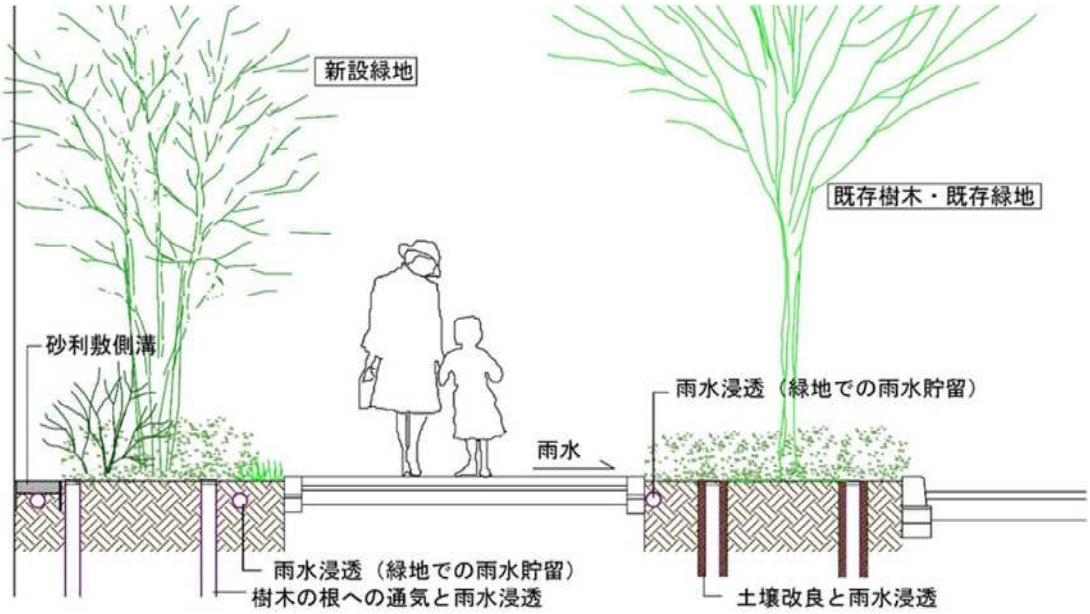


図１　グリーントレンチのイメージ

２－２．土地利用別浸透能評価と緑地

土地利用別浸透能評価を見ると、下記のように緑地の違いによって数値は異なる。浸透能は植生により大きく差が出る。裸地のまま放置せずに、できるだけ浸透能を高めることが必要。

＜表３＞土地利用別浸透能評価　（＊東京都雨水貯留・浸透施設技術指針より引用）

土地利用	浸透能（mm/hr）	評　価
畑　地	１３０～	良　好
林　地	６０～	
芝　地	５０～	
植　栽	１４～１００　（５０）	
草　地	１８～２３　（２０）	
裸　地	１～８　（２）	不　良
グランド	２～１０　（２）	
造成地	２～５０　（２）	

①面積が小さな狭い植栽ます

②浸透能が低い基盤

③表層が裸地の緑地

２－３．土壌改良工法

土壌改良工法には、全面土壌改良工法、部分的土壌改良工法、縦穴式改良工法などいろいろな工法がある。縦穴式土壌改良工法では、通気・透水管には半割の節なしの竹を使用したり、合成樹脂透水管、パーライト入りパイプなどを使用する。縦穴式土壌改良工法での通気・透水管が簡易な浸透トレンチとなることになる。

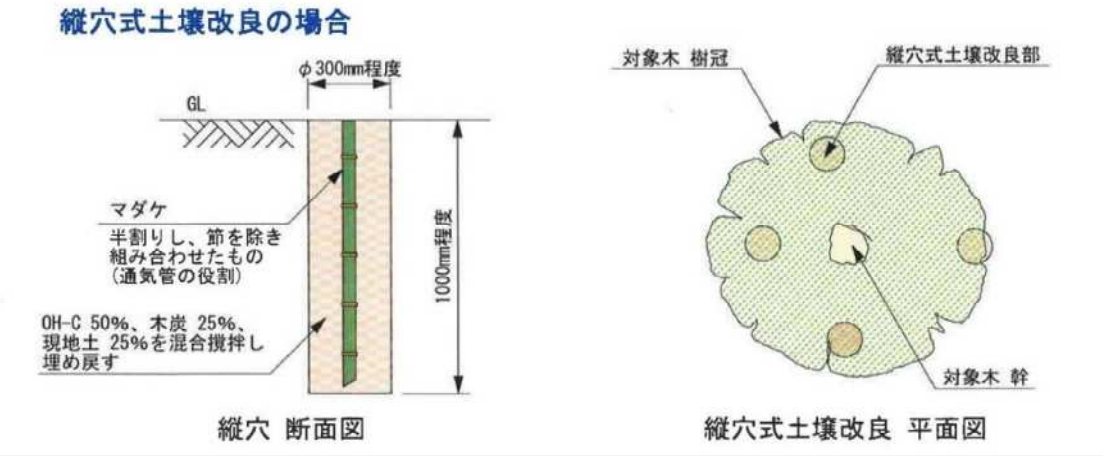


図２　縦穴式土壌改良工法例　（＊ダイトウテクノグリーン資料より引用）

２－４．グリーントレンチの機能・効果例

雨水浸透・貯留効果	● 緑地が、植栽基盤に敷設する通気･透水管により雨水浸透施設に。 ● 既存の街路樹や公園などの緑地が雨水浸透施設になり、雨水流出抑制が図られ、都市の下水処理への負担が軽減される。
樹木の活性化効果	● 樹木の根に酸素と水を供給することにより樹木の樹勢が回復する。 ● 土壌の物理性、化学性、生物性の改善となる。
生物多様性	● 土壌微生物の多様性につながる。
環境改善効果	● 樹木が健全になることにより、緑の環境改善、潤いのある環境に。 ● 樹木が健全に生育し、都市のヒートアイランド現象緩和になる。 ● 汚れた雨水を緑地できれいにする。 ● 緑の緑地は微粉時や花粉などを吸着し、飛散を少なくする。
その他経済効果	● 大規模な工事が不要で、建設コストが軽減、速やかな改善が可能。

２－５．緑地のグリーントレンチ

表層をグランドカバープランツ類で被い、浸透能の高い植生の緑地とするとともに、通気・透水管を敷設して、雨水浸透施設にすることが考えられる。さらに、植栽基盤の連続化・最大化を図り、樹木の健全な生育と浸透面積の拡大が望まれる。また、緑地は過度の除草、落葉除去をせずに土壌微生物の多様性を図りながら、土壌の浸透能を高めることが大事である。

２－６．落葉を利用して浸透能を高める

土壌には植物の生育の基盤となるとともに、土壌の団粒構造による雨水の貯留、土壌微生物などによる水や分解・浄化などいろいろな機能がある。土壌の物理性や化学性の改善のみならず、土壌微生物の多様性に配慮した土壌とする必要がある。また、表層が植物や落葉で被われていると、浸透能の高い緑地となるとともに、小生物や土壌微生物などの多様性につながる。

３．アウトドアオフィス・ガーデン

３－１．ＺＥＢ（ゼロ・エネルギー・ビル）化と働き方改革への対応

深刻な環境問題に対して、我が国では２０２０年までにＣＯ２排出量を２５％削減することを目指している。さらに、経済産業省は「２０３０年までに、新築建築物全体でＺＥＢ（ゼロ・エネルギー・ビル）化を実現する」というビジョンを提言。それに伴い、設備、建築のみならず、建物の配置計画やランドスケープ計画の適正化が求められるようになっている。

また、環境問題や景観のみならず、自然との共生、健康・コミュニティの形成、働き方改革、災害への備え・構えなどの課題に対応した計画・技術が必要とされる時代になっている。

３－２．アウトドアオフィス・ガーデン

「アウトドアオフィス・ガーデン」とは、照明や空調を必要としない、自然光と自然の風を感じる屋外でのミーティングやオフィスワークができる日除けと、ハーブや四季を感じる花木・草花の空間。リフレッシュとコミュニティ形成が図れる場。自然・緑と親しめる空間。

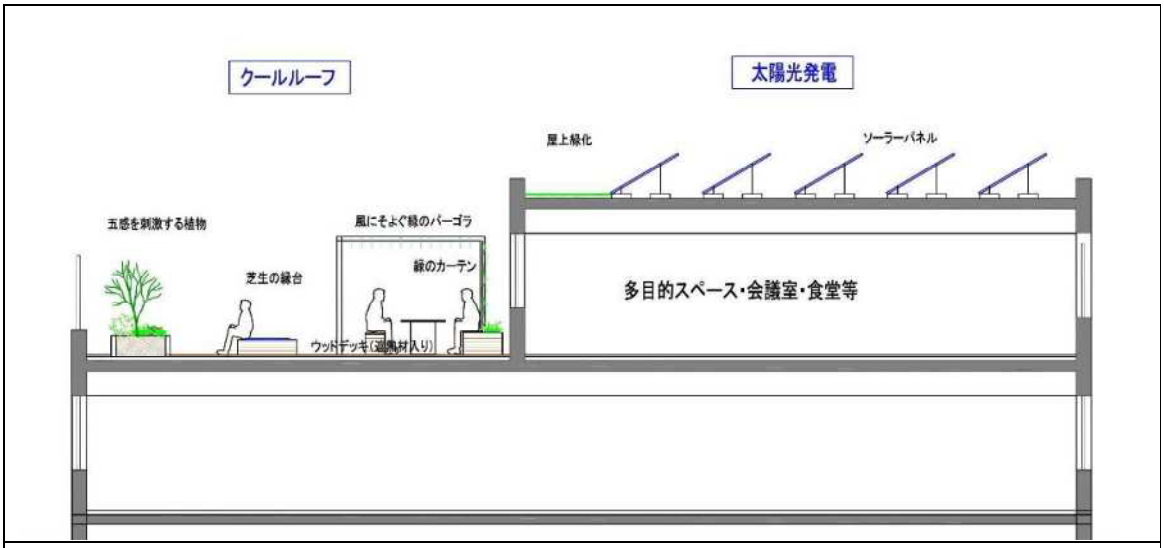


図３　屋上のアウトドアオフィス・ガーデン断面イメージ

３－３．屋上のアウトドアオフィス・ガーデンの特徴

- 室内のエネルギーの軽減、クールルーフを考慮した屋上緑化
- 社員のリフレッシュの場、コミュニティの形成、健康を考慮した施設となる。

３－４．屋上のアウトドアオフィス・ガーデンの施設例

- 日除けとベンチ、テーブル
- 寝転んだり、ヨガや気功などの運動ができる芝生または芝生の縁台
- 四季折々に自然に親しめる植栽とリラックス効果のあるハーブ、五感を刺激する植物。
- ５時以降にパーティーなどもできるように照明とコンセント
- 社員の交流も兼ねて、維持管理への参加を募集と援助
- 案内板等

４．おわりに

「人間は自然生態系の一部」であるという認識のもと、人と自然、人と人、人と健康がつながる緑をつくり、育て、安全・安心で、持続可能な社会をつくり、共に生きたい。

以上

都市化による土壌の変化

高橋輝昌(千葉大学)

要旨

都市緑地は大気中の汚染物質を緑地生態系内に取り込んでいる。都市緑地の土壌では主に道路に由来の粉塵によって酸が中和されている。また、土壌の化学的性質の変化に伴い、植物体の元素濃度が変化し、分解特性が変化することによって緑地生態系の物質循環特性も変化しているようである。

1. 都市緑地の大気汚染緩和機能

都市域では人口の集中によりエネルギー消費量が増加し、コンクリートやアスファルトによる被覆面積も増加し、大気汚染が発生しやすい環境にある。

都市緑地の持つ機能の一つに、大気汚染の緩和機能がある。図 1 には、都市緑地(都市林)が大気汚染物質の影響を緩和するしくみが 4 つにまとめられている(三沢 1982)。この図によれば、緑地の風上で発生した大気汚染物質は(1)都市緑地による風の攪乱で拡散・希釈され、(2)緑地を構成する植物に吸着・吸収され、(3)緑地内の清浄な空気によって希釈され、(4)緑地内で風が弱まることにより重力に逆らえなくなって沈降し、緑地の風下側に透過するときにはかなり減少している。

緑地の植物によって吸着された大気汚染物質は降雨によって洗い流されたり、植物遺体(落葉・落枝や剥離した樹皮など)とともに地面に落ちる。植物の葉面から吸収された大気汚染物質も植物体を構成した後、やがては植物遺体として土壌に供給される。このように、大気汚染物質は土壌に供給され、緑地生態系に取り込まれる。

2. 道路由来の粉塵の性質

大気汚染物質には様々な種類があるものの、公害対策によりほとんどの観測地点で環境省の定める環境基準を達成している(環境省 2019)。大気汚染物質の多くは化石燃料を燃焼させることで発生する。一部の大気汚染物質は化石燃料以外に由来する。

古いデータではあるが、1983 年度から 1992 年度までに札幌市に降った雨水の pH の頻度分布図を図 2 に示す(真田ら 1994)。最頻値は 1988 年頃まで 4.6 程度であったが、それ以降には 4.2 程度に下がっている。スパイクタイヤは道路を削り粉塵を発生されることから社会問題を引き起こした。1989 年には北海道脱スパイクタイヤ推進条例が公布・施行されている。スパイクタイヤの使用が減少した時期に降雨の pH が下がったことから、道路由来の粉塵には、酸を中和する性質があると考えられる。現在ではスパイクタイヤが使用されていないが、車両が道路を通行することによる道路からの粉塵は発生し続けていて、都市緑地にも供給され続けている。

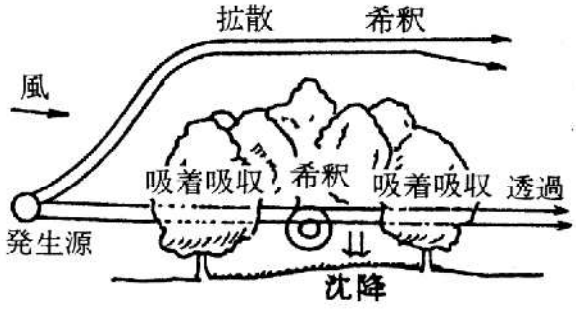


図1 都市緑地による大気汚染の緩和のしくみ(三沢 1982)

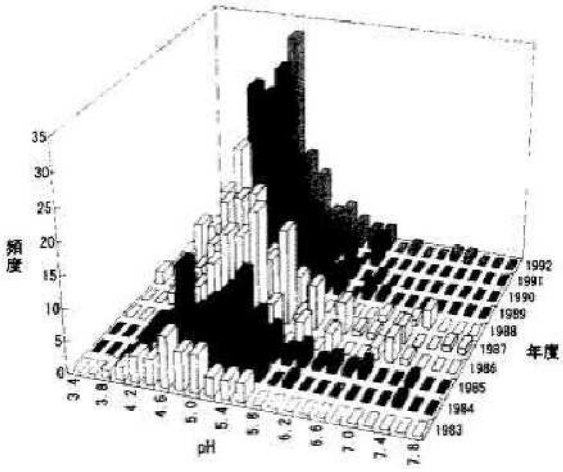


図2 降雨pHの年度別頻度分布(真田ら 1994)

3. 皇居の土壌の変化

1.、2.でみてきたような大気汚染物質の緑地への供給は、緑地にどのような変化をもたらすだろうか。筆者はかつて、皇居東御苑に土壌を移植して造成された雑木林において、土壌移植の 14 年後に土壌調査を行う機会を得て、都市化が緑地におよぼす影響に関心を持つこととなった。そのきっかけとなった調査結果(高橋ら 2001)を以下に紹介する。

3-1. 皇居東御苑に復元された二の丸雑木林

皇居東御苑にある「二の丸雑木林」は、開発によって失われつつあった武蔵野の雑木林を皇居内に復元・保全することを昭和天皇が発願され、1982 年から 1985 年にかけて造成された樹林である。二の丸雑木林の造成には、当時としては画期的な雑木林の表層土壌を移植する工法(表土移植工法)が用いられた。この工法は開発が予定されていた神奈川県内の雑木林の表層土壌をおよそ 10 cm の厚さでできるだけ非攪乱のまま採取し、皇居東御苑の雑木林造成予定地に敷き詰め、植物を植栽するものである。表層土壌の移植は 1982 年から 1983 年にかけて行われた。移植された土壌に含まれる植物の根系や種子、土壌生物には、造成された雑木林をより早期に自然に近い状態に復元することが期待されており、概ね期待どおりの成果を得られた。

3-2. 造成後14年間での二の丸雑木林土壌の変化

二の丸雑木林への表層土壌移植がはじまってから 14 年たった 1996 年に、筆者は二の丸雑木林内に 3 つの土壌断面をつくり、また、神奈川県相模原市内の二の丸雑木林の土壌採取地に近い雑木林内(武蔵野林)にも 2 つの土壌断面をつくり、両者の(二の丸雑木林と武蔵野林の)土壌の諸性質を比較した。また、二の丸雑木林内を 10 m メッシュ(縦横 10 m 間隔)に区切りメッシュの交点 89 か所の表層土壌(土壌深 0 ～ 10 cm)を採取して採取地点ごとの pH を測定した。

二の丸雑木林に移植された土壌と武蔵野林の土壌断面から得られた土壌の性質を比較すると、二の丸雑木林では pH が概ね 1 高く、有機物濃度が低くなっていた(データ省略)。二の丸雑木林の表層土壌の pH の分布を調べたところ、図 3 のようになった。日本の森林土壌は概ね酸性であり、武蔵野林でも 6 未満である。武蔵野林が生態的に安定している(土壌の性質がほぼ一定に保たれている)と考えられることから、二の丸雑木林に移植された当時の表層土壌の pH も概ね 6 未満であったと推察される。しかし、図 3 をみると pH が 6.0 未満である部分は二の丸雑木林中心部のわずかな面積にとどまっている。二の丸雑木林の東部分と西部分には pH が 7 より高い土壌もみられる。

皇居がある東京都千代田区は交通量の多い大きな道路が多い。したがって、二の丸雑木林への道路粉塵の供給も相当多いと考えられる。pH が高まった一因として、土壌に含まれる交換性塩基の増加(データ省略)が挙げられる。交換性塩基には土壌の pH を高めるはたらきがあることから、道路粉塵には交換性塩基が多く含まれ、土壌の pH を高めていると考えられる。二の丸雑木林で土壌有機物濃度が下がった原因としては、pH が高まったことによって土壌生物の活性が高まり有機物の無機化が促進されたことや、二の丸雑木林と武蔵野林の植物生育量(土壌への落葉落枝の供給量)が異なることなどが考えられるが、定かではない。土壌 pH は元素の動態や植物の養分吸収特性、様々な生きものの活性に影響をおよぼすことが知られている。都市化が緑地土壌に及ぼす影響は単なる「酸の中和」にとどまらず、緑地生態系の物質循環全体に及ぶと考えるべきである。

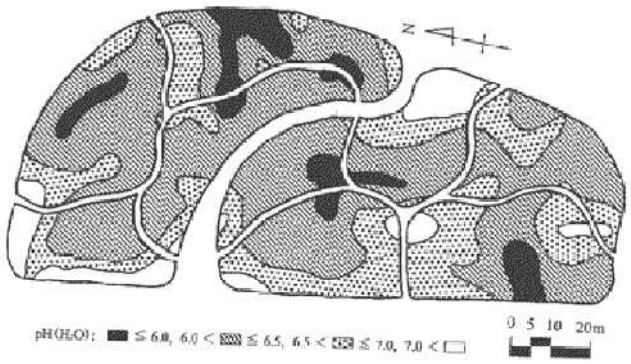


図3 皇居東御苑二の丸雑木林表層土壌のpH(H_2O)の分布(高橋ら 2001)

4. 都市化による土壌の酸の中和

3.で紹介したとおり、皇居東御苑では都市化(による道路粉塵の増加)が、緑地土壌の酸を中和する可能性が示された。この現象をより広い範囲で確かめるため、都市化の程度が様々な地域の樹林地で土壌の性質を比較し、都市化が緑地土壌に及ぼす影響を調べた(Takahashi et al. 2015)。以下にその概要を紹介する。

4-1. 都市化の指標としての道路面積率

筆者らは、3.までに述べた既往の報告や調査から、道路からの粉塵が土壌の化学的性質を変化させる原因であろうと考えていた。そこで、粉塵の発生源である道路の面積に着目し、調査対象となる緑地がある自治体(市、区)の面積に占める道路面積の割合を「道路面積率」として、都市化の指標とした。植生や土壌の性質が緑地によって大きく変わらないように、調査地を多摩川周辺のコナラを主要な植生とする落葉広葉樹林に限定して 10 か所選定した。調査地がある自治体の道路面積率は 4.6 %から 15.9 %であった。各調査地から表層土壌を採取し、土壌の化学的性質を測定して、都市化の程度(道路面積率)との関係について検討した。

4-2. 都市化による緑地土壌の変化

各調査地土壌の交換性塩基の量と組成を図 4 に示す。多少の例外があるものの、都市化の進行(道路面積率の増加)に伴って、交換性塩基合計は増加していた。また、交換性塩基全体に占める交換性カルシウムの割合は都市化の進行に伴い増加する傾向にあった。道路面積率と pH の関係(図 5)をみると、道路面積率の増加に伴い pH が高まっており、交換性塩基の増加によって pH が高まったことが改めて示された。pH と土壌の炭素濃度(有機物濃度の指標)の関係(図 6)をみると、pH が高まるにつれて、炭素濃度が高まっており、3.でみた二の丸雑木林とは異なる傾向であった。

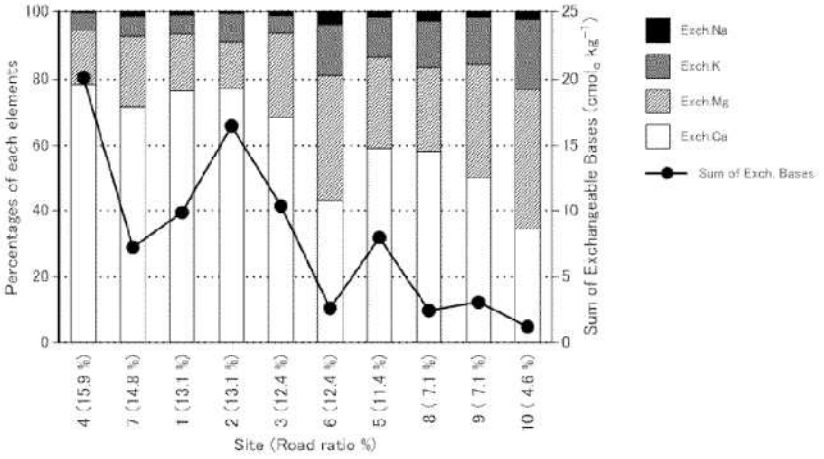


図4 交換性塩基合計と交換性塩基の組成(Takahashi et al. 2015)

土壌の酸が中和されて土壌の有機物濃度が高まるしくみとしては、(1)地表の落葉層からの腐植物質の生成が盛んになって鉱質土壌への有機物供給量が増え、土壌有機物濃度が高まった、(2)都市の大気環境や土壌の性質の変化が植物の養分吸収特性を変化させ、土壌に供給される落葉落枝の分解特性を変化させて、結果的に土壌有機物濃度が高まった、などが考えられた。

現在、土壌の酸の中和が土壌有機物濃度を変化させるしくみについて、研究している。

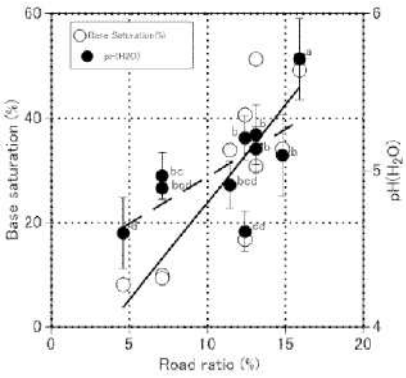


図5 道路面積率とpH(H₂O)・塩基飽和度の関係(Takahashi et al. 2015)

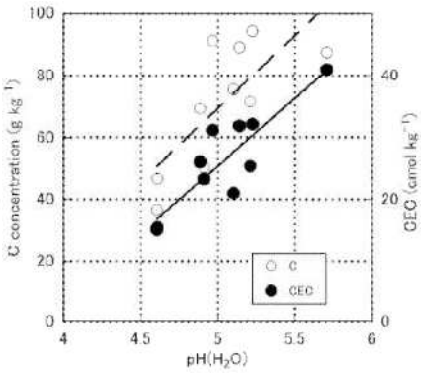


図6 pH(H₂O)と炭素濃度・陽イオン交換容量(CEC)の関係 (Takahashi et al. 2015)

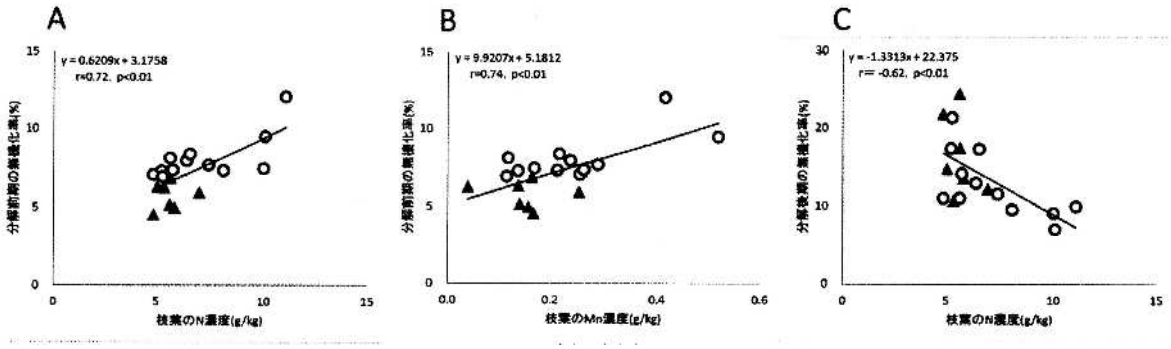


図7 分解前期(A, B)と後期(C)における枝葉の元素濃度と枝葉に含まれる炭素の無機化率の関係(人見ら 2019)

5. 都市化による緑地生態系の物質循環の変化と土壌の変化

3.で述べたように、都市化による土壌の酸の中和は単に土壌の化学的性質の変化にとどまらず、緑地生態系の物質循環全体に影響をおよぼすことが予想される。筆者らが現在行っている、都市化による土壌の変化が都市林の物質循環特性に及ぼす影響に関する研究の一端(人見ら 2019)を紹介する。

5-1. 都市化による枝葉の元素濃度の変化

筆者らは、千葉県内の都市緑地(樹林地)と都市化の影響をほとんど受けていない群馬県の山岳地の森林に共通して生えていたアカシデの枝葉を採取し、元素濃度を比較した。その結果、枝葉の窒素とマンガンの濃度が都市緑地で高かった(データ省略)。いずれも都市化によって大気からの供給量が増える元素であると推察された。

5-2. 枝葉の元素濃度の変化による分解特性の変化

5-1.で採取した枝葉を乾燥・粉砕して土壌と混ぜ、培養して土壌中の微生物に分解させた。二酸化炭素発生量を、培養期間によって前期(分解されやすい有機物が分解される期間)・中期・後期(分解されにくい有機物が分解される期間)に分け、それぞれの期間に発生した二酸化炭素量と枝葉の元素濃度の関係について検討した。その結果、全炭素に占める二酸化炭素にまで分解される炭素の割合(無機化率)は分解前期には窒素やマンガン濃度の高い枝葉で高く、分解後期には窒素濃度の低い枝葉で低くなった(図 7)。都市化の影響によって有機物(植物体)の分解特性が変化しているようである。

引用文献

人見拓也・稲見安希子・高橋輝昌(2019) 山地域と都市域におけるイヌシデ(*Carpinus tschonoskii* Maxim.)のマンガンを含む元素組成と枝葉の分解特性の比較, 日本緑化工学会誌, 45(1), 15-20.

環境省(2019) 平成 29 年度 大気汚染状況について, http://www.env.go.jp/press/106609.html (閲覧日 2019 年 10 月 24 日)

三沢 彰(1982) 沿道空間における環境緑地帯の構造に関する基礎的研究, 千葉大学園芸学部学術報告, 30, 87 - 174.

真田 勝ら(1994) 札幌市羊ヶ丘における過去 10 年間の降水の pH について, 日本森林学会北海道支部論文集, 42, 261 - 263.

高橋輝昌・生原喜久雄・峰松浩彦(2001) 表土移植工法により造成された皇居東御苑雑木林土壌の理化学的性質の変化, 日本緑化工学会誌, 27(2), 430 - 435.

Takahashi, T., Y. Kanzawa, T. Kobayashi1, D. Zabowski and R. Harrison (2015) The effects of urbanization on chemical characteristics of forest soil in Tamagawa basin, Japan, Landscape and Ecological Engineering, 11(1), 139-145.

ヘデラ.ヘリックスとヘデラ型イミテーショングリーンの NO_3^-・SO_4^{2-}吸着能の比較

浅井俊光　東京農業大学 地域環境科学部 地域創成科学科

要旨

生の植物（ヘデラ）と同様の形姿のイミテーショングリーンを屋外に長期間設置し，その葉面に吸着する大気汚染物質（NOx，SOx）量を測定した。その結果，全実験期間を通してヘデラ，イミテーショングリーンともに SO_4^{2-}よりも NO_3^-の単位葉面積当たりの吸着量が大きいこと，寒候期よりも暖候期において吸着量が大となることが明らかとなった。さらに，NO_3^-の単位葉面積当たりの吸着量については，概ねポリエステル製イミテーショングリーン（PL）区＞ポリエチレン製イミテーショングリーン（PE）区＞ポリエステル-ポリ塩化ビニルコーティング製イミテーショングリーン（PL-PVC）区＞ヘデラ区の順となり，生体や耐候性を高めた製品ほどその吸着量が小さくなった。一方，SO_4^{2-}の単位葉面積当たりの吸着量については，暖候期と寒候期の差は小さく，寒候期ではヘデラ区の値はPL区に次いで大きくなることが明らかとなった。

1. 研究背景及び目的

近年，植物の生育に十分な照度が得られる屋外空間においてもイミテーショングリーンを設置したり，建造物の外壁にイミテーショングリーンを取り付け，「(代替) 緑化」と称する事例[8]が散見されるようになった。「緑化」とは単に緑や花をその場所に設置することではない。人々に季節感や安らぎの場を提供し，さらには，都市環境を浄化し微気象を整える等，環境や人体へ与える効果は多岐にわたるものである。故に，イミテーショングリーンではなく生の植物を植栽する意味があると一般的に言われてきた。

しかしながら，イミテーショングリーンによる代替緑化と生の植物で緑化した場合で，その効果がどのように異なるのかについては，近藤ら[5]の視覚疲労の回復効果の比較実験や山田[8]によって暑熱環境の改善能力の違いが一部指摘されているものの，実測値に基づいたデータは少なく，未だにイメージや感覚的に論じられることも多いのが事実である。特に，環境浄化効果については，植物体の生長や共生菌との相互作用[3]によってもたらされる恩恵であり，既に三沢ら[6]によって代表的な街路樹の $^{15}NO_2$ の葉部による吸収・転流量の測定実験がなされている。その一方で，藤井ら[1]の一連の研究によると，比較的短時間の実験結果ではあるが，植物体の表面に湿性・乾性沈着するNOxの量は，体内に吸収する量よりも多いという結果が報告されている。換言すれば，生物・非生物を問わず，汚染物質を吸着可能な特定の物体が存在すればよいということであり，イミテーショングリーンの浄化能力は一概に皆無であるとは言い難いのも事実である。

そこで，本研究では生の植物と同様の形姿のイミテーショングリーンを実際に屋外に長期間設置し，同条件下において，その葉面に吸着する大気汚染物質量を測定し続け，その効果の度合いを明らかにし，双方の特性や適切な使用法等についても考察を深めることを目的とした。

2. 実験方法

(1) 実験場所及び実験区，供試植物について

実験期間については，藤田[2]により年間の NO_3^-，SO_4^{2-}吸着量は暖候期，寒候期[4]によって大きく変動することが報告されていることから，2014年8月1日～9月29日（平均気温25.0±4.1℃，平均湿度65.6±18.9%）を暖候期とし，11月1日～12月19日（平均気温11.0±4.5℃，平均湿度58.1±24.2%）を寒候期とした。暖候期・寒候期ともに12回，合計24回の測定を行った。また，実験場所は周辺に遮蔽物が無い，東京農業大学（世田谷区桜丘1-1-1）内の11号館屋上を選出した。

実験区については，壁面緑化に多用され同形状のイミテーショングリーンの種類が多いヘデラ・ヘリックス（*Hedera helix* L.）を供試植物に用いたヘデラ区を設定し，比較対象として，ヘデラを模したポリエチレン（PE）製のイミテーショングリーンのPE区，ポリエステル（PL）製イミテーショングリーンのPL区，ポリエステル（PL）に耐候性を高めるためのポリ塩化ビニル（PVC）処理を施したイミテーショングリーンのPL-PVC区を合わせ，それぞれの供試植物・材料を15Lの黒土が充填された植栽用プランターに設置し，計4つの実験区を設定した。なお，ヘデラ区に関しては，他の実験区と比較して1株当たりの葉数が少なく，

2つのプランターに4株ずつ，合計8株植栽し，茎葉部を園芸用ネットに固定した。一方，イミテーショングリーンの実験区は1つのプランターに3種類のイミテーショングリーンを，それぞれ2本ずつ下端部を黒土に挿し上部を園芸用ネットに固定した（写真-1）。

因みに，本実験の供試材料に選定したイミテーショングリーンの製造・販売コストについては，耐候性の高い順にPL-PVC製（屋外用）＞PL製（屋外・屋内用）＞PE製（屋内用）となっている。また，各イミテーショングリーンの表面構造については，PE製のイミテーショングリーンは，吸水性はないものの全面に微細な凹凸加工がなされている。PL製のイミテーショングリーンはPL繊維製の布で作成され，部分的な塗装（写真-1 左下部）がなされており，塗装箇所のみ撥水性がある。PL-PVC製のイミテーショングリーンはPLで成型され，全面がPVCにてコーティングされており，撥水性が高い（写真-1）。

（2）大気汚染物質の測定方法

対象とする大気汚染物質は，人体に対する影響が懸念されている窒素酸化物（NOx），硫黄酸化物（SOx）とし，これらのイオン化した状態であるNO_3^-とSO_4^{2-}をイオンクロマトグラフィ（東亜DKK製：IA-300）にて定量した。なお，雨水や各種の粒子状物質によって直接付着したNO_3^-とSO_4^{2-}についても含めるものとした。測定後，葉部をスキャナーで撮影し，画像処理ソフトウェア（アメリカ国立衛生研究所開発：Image J）を使用して葉面積を測定した。この葉面積でNO_3^-，SO_4^{2-}の測定値を除すことによって単位葉面積あたりの吸着量を算出し，比較を行った。

実験区からの各供試植物・材料の葉の採取については， ヘデラ区からは3枚，脇芽の部分から葉柄ごと無作為に採取し，実験開始後に新たに新葉展開したものは採取しないよう留意した。なお，本稿ではイミテーショングリーンの葉部に相当する箇所を便宜的に「葉部」とし，ヘデラ区の葉部と区別しないものとする。イミテーショングリーンに関しては，PE区からは3枚，PL区からは5枚，PL-PVC 区からは1枚を無作為に葉柄ごと採取し，これを3反復行った。サンプル採取枚数の根拠については，それぞれの供試植物・材料の葉面積がなるべく均等になるようにし，測定に使用するイオンクロマトグラフィによる検出限界を下回らないようにするために調整した結果である。

さらに，採取時間については，全ての測定日で午前10時30分に統一し，PE区，PL区，PL-PVC区に関しては著しい供試材料の形状変化を防ぐために，測定に用いた葉部は測定後に元の場所へ戻したが，一度測定に用いた葉部を再測定には使用せず，すべての実験区において同一サンプルを採取（重複）しないよう留意した。測定日に採取した葉部については，超純水を50mL注いだサンプル瓶に切断面が超純水に触れないように留意して入れ，超音波洗浄機（SHARP製：UT-204）にて，葉面の洗浄を行い吸着する汚染物質の抽出を行った。なお，プレテストを行ったところ90分間で表面に吸着した測定対象物質が，超純水中に溶脱されたため，洗浄時間は90分間に設定した。なお，ヘデラ区に関しては植物体内からの溶出の可能性も考えられる[1)]，そのため，プレテストでは90分以上（120分）の洗浄も行った。しかし，NO_3^-，SO_4^{2-}共に測定値が検出限界値以下となったことから，本報による洗浄方法では，植物体内からの溶出の影響は少ないものと推察された。また，全ての供試植物・材料は実験開始前に超音波洗浄機を使用し超純水にて90分間洗浄した後，供試した。

3. 結果と考察

全実験期間の各実験区の単位葉面積あたりのNO_3^-，SO_4^{2-}の葉面吸着量（$\mu g/cm^2$）を表-1に，各実験区の一定期間内の葉面吸着量の積算値（$\mu g/cm^2$）を図-1，2に示す。

暖候期の測定日毎の単位葉面積当たりのNO_3^-吸着量に着目すると，他の実験区と比較してPL区，PE区において吸着量が大となる測定日が多かった（表-1）。さらに，実験期間中の単位葉面積当たりの吸着量の積算値としてみると，PL区＞PE区＞PL-PVC区＞ヘデラ区の順で吸着量は大となり，最大値のPL区（16.441$\mu g/cm^2$）と最小値のヘデラ区（3.026$\mu g/cm^2$）では13.415$\mu g/cm^2$もの差があった（図-1）。

これに対し，寒候期の単位葉面積当たりのNO_3^-吸着量に着目すると，他の実験区と比較してPL区，PL-PVC区において吸着量が大となる測定日が多かった（表-1）。さらに，積算値としてみると，PL区＞PL-PVC区＞PE区＞ヘデラ区の順で吸着量が大となり，暖候期と比較してPL-PVC区の値がPE区を上回る等，大小関係が変化し，その値についても最大値のPL区（7.838$\mu g/cm^2$）と最小値のヘデラ区（1.727$\mu g/cm^2$）では6.111$\mu g/cm^2$と差が小さくなった（図-2）。

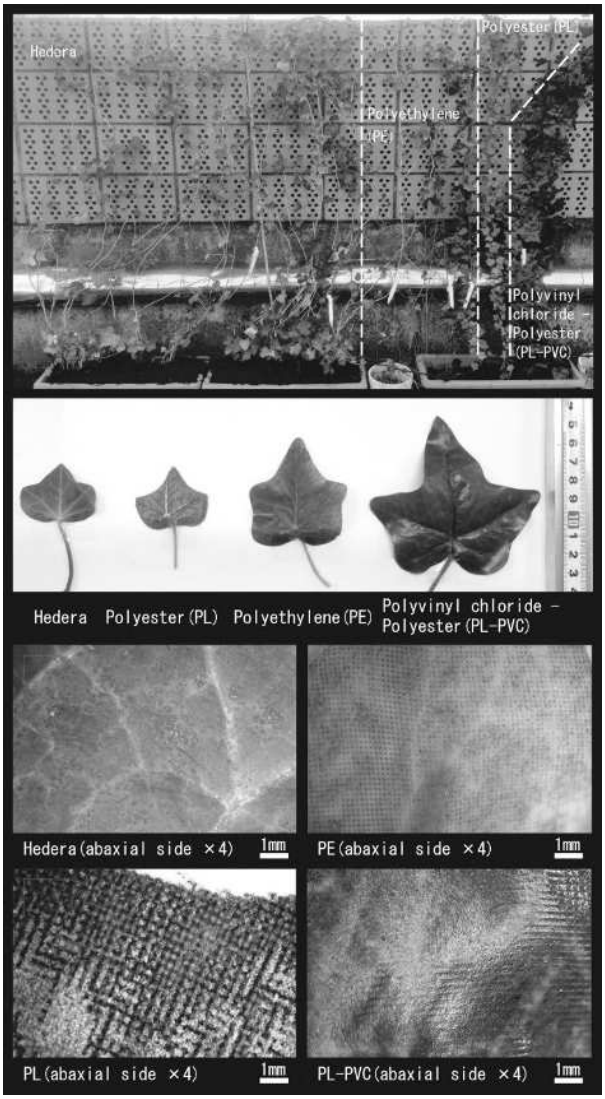


写真-1　実験区全景および供試植物・材料の表面構造

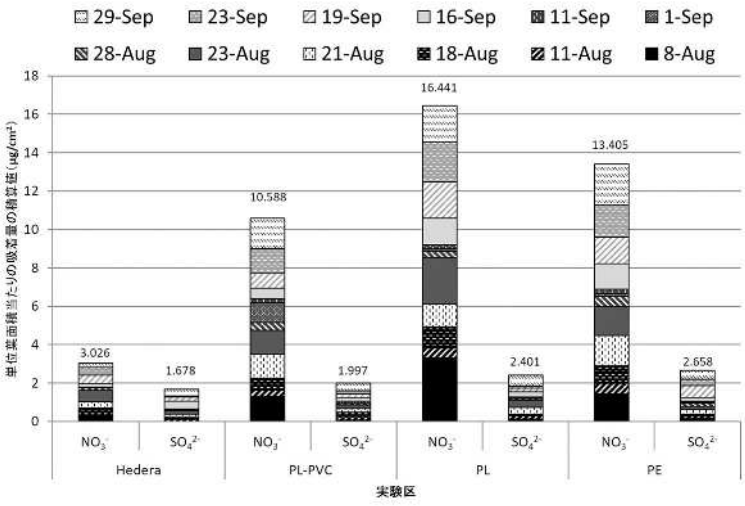


図 1　暖候期の単位葉面積当たりの NO_3^-，SO_4^{2-}吸着量の積算値（$\mu g/cm^2$）

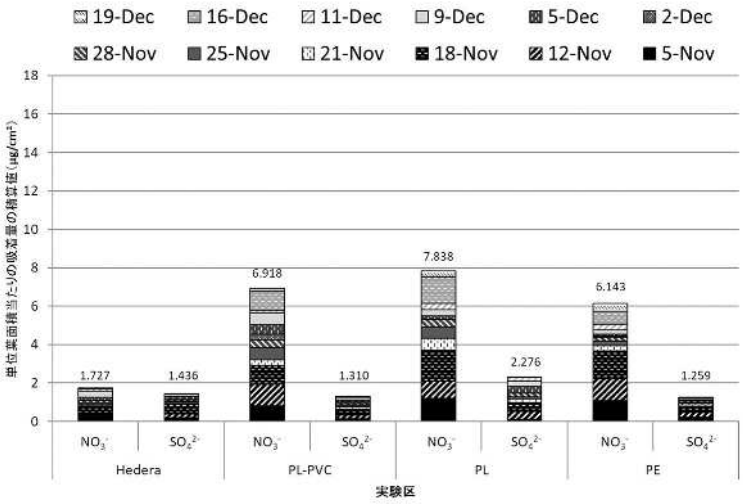


図 2　寒候期の単位葉面積当たりの NO_3^-，SO_4^{2-}吸着量の積算値（$\mu g/cm^2$）

また，暖候期と寒候期では，PL 区で 48%，PL-PVC 区で 65%，PE 区で 46%，ヘデラ区で 57% まで寒候期の積算吸着量が減少していることも明らかとなった。一方，暖候期の測定日毎の単位葉面積当たりの SO_4^{2-}吸着量に着目すると，9 月 19 日と 29 日の測定日のみ，他の実験区と比較して PL 区，PE 区において吸着量が大となった（表-1）。さらに，積算値としてみると，PE 区＞PL 区＞PL-PVC 区＞ヘデラ区の順で吸着量は大となったが，最大値の PE 区（2.658 $\mu g/cm^2$）と最小値のヘデラ区（1.678 $\mu g/cm^2$）では 0.980 $\mu g/cm^2$ とその差は NO_3^-吸着量と比較して小さかった（図-1）。

これに対し，寒候期の単位葉面積当たりの SO_4^{2-}吸着量に着目すると，11 月 12 日の測定日のみ，他の実験区と比較して PL-PVC 区と PL 区において吸着量が大となり，暖候期の SO_4^{2-}吸着量よりも，さらに実験区間の差が小さくなることが明らかとなった（表-1）。さらに，積算値としてみると，PL 区＞ヘデラ区＞PL-PVC 区＞PE 区の順で吸着量が大となった。しかし，最大値となった PL 区（2.276 $\mu g/cm^2$）に次いでヘデラ区（1.436 $\mu g/cm^2$）が高い値となり，暖候期の SO_4^{2-}吸着量では最大値となった PE 区（1.259 $\mu g/cm^2$）が最小値となる等，大小関係が大きく変化した（図-2）。また，暖候期と寒候期とを比較すると，PL 区で 95%，PL-PVC 区で 65%，PE 区で 47%，ヘデラ区で 86%まで寒候期では積算吸着量が減少していることも明らかとなった。

以上の結果から，実験期間中の単位葉面積当たりの吸着量は全実験区において，常に NO_3^-＞SO_4^{2-}という結果となることが明らかとなった。また，NO_3^-と SO_4^{2-}共に最も単位葉面積当たりの吸着量が大きいのは PL 区であることが明らかとなり，次いで PE 区，PL-PVC 区，ヘデラ区であった。しかし，全ての実験区において

表 1　各測定日の単位葉面積当たりの NO_3^-, SO_4^{2-}吸着量（$\mu g/cm^2$）

Season Type	Test Plants / Material	8-Aug		11-Aug		18-Aug		21-Aug	
		NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}
Warm Season	Hedera	0.322 a	N.D.	0.010 a	0.112 a	0.375 a	0.100 a	0.319 a	0.152 a
	PL-PVC	1.294 a	0.077 a	0.330 b	0.140 a	0.618 ab	0.267 a	1.243 a	0.196 a
	PL	3.302 b	0.126 a	0.521 b	0.172 a	1.106 b	0.077 a	1.176 a	0.346 a
	PE	1.444 a	0.161 a	0.518 b	0.099 a	0.924 ab	0.124 a	1.589 a	0.224 a
		23-Aug		28-Aug		1-Sep		11-Sep	
		NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}
	Hedera	0.594 a	0.187 a	0.134 a	0.077 a	0.023 a	0.027 a	N.D.	N.D.
	PL-PVC	1.263 b	0.174 a	0.413 ab	0.096 a	1.025 b	0.090 a	0.213 a	N.D.
	PL	2.447 c	0.373 a	0.327 ab	0.089 a	0.104 a	0.058 a	0.205 a	0.028 a
	PE	1.518 b	0.181 a	0.511 b	0.168 a	0.140 a	0.037 a	0.240 a	0.052 a
		16-Sep		19-Sep		23-Sep		29-Sep	
		NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}
	Hedera	0.186 a	0.405 a	0.441 a	0.204 a	0.402 a	0.067 a	0.220 a	0.347 a
	PL-PVC	0.535 a	0.206 a	0.773 ab	0.195 a	1.290 b	0.154 a	1.591 b	0.402 ab
	PL	1.404 b	0.279 a	1.884 b	0.190 a	2.062 c	0.096 a	1.903 b	0.567 b
	PE	1.343 b	0.188 a	1.376 ab	0.624 b	1.686 bc	0.323 a	2.116 b	0.477 ab
		5-Nov		12-Nov		18-Nov		21-Nov	
		NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}
Cool Season	Hedera	0.339 a	0.197 a	N.D.	0.191 a	0.462 a	0.472 a	0.088 a	0.062 a
	PL-PVC	0.821 ab	0.137 a	1.093 a	0.176 b	0.990 ab	0.308 a	0.307 ab	0.142 a
	PL	1.205 b	0.111 a	0.882 a	0.414 b	1.609 c	0.453 a	0.615 b	0.201 a
	PE	1.072 b	0.223 a	1.159 a	0.235 ab	1.443 bc	0.340 a	0.268 ab	0.111 a
		25-Nov		28-Nov		2-Dec		5-Dec	
		NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}
	Hedera	0.083 a	0.102 a	0.113 a	0.075 a	N.D.	0.032 a	0.171 a	0.165 a
	PL-PVC	0.620 b	0.066 a	0.404 a	0.089 a	0.300 b	0.090 a	0.482 b	0.108 a
	PL	0.598 b	0.107 a	0.388 a	0.192 a	N.D.	N.D.	0.196 ab	0.339 a
	PE	0.232 a	0.061 a	0.209 a	0.094 a	0.039 a	0.013 a	0.105 ab	0.047 a
		9-Dec		11-Dec		16-Dec		19-Dec	
		NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}
	Hedera	0.324 a	0.127 a	0.100 a	0.013 a	0.047 a	N.D.	N.D.	N.D.
	PL-PVC	0.634 b	0.140 a	0.150 a	0.054 a	0.998 ab	N.D.	0.119 a	N.D.
	PL	0.330 a	0.262 a	0.328 a	0.195 a	1.382 b	0.002	0.305 a	N.D.
	PE	0.217 a	0.061 a	0.316 a	0.074 a	0.687 ab	N.D.	0.396 a	N.D.

＊異なるアルファベット間は5%水準で有意（Tukey HSD）

寒候期の吸着量は減少し，特に NO_3^-の積算吸着量は PL 区と PE 区で暖候期の 5 割程度まで減少した。一方，SO_4^{2-}の積算吸着量も PE 区において，暖候期の 5 割程度まで減少したが，PL 区やヘデラ区の吸着量の減少の割合は小さかった。これらの理由として，我が国において SO_4^{2-}は冬季の関西，日本海側を除き，年間を通して湿性沈着量の変化が少ないことが特徴である[2)]。本研究の結果は SO_4^{2-}の沈着量の季節変化を反映しているものと考えられる。また，供試試料による吸着量の差の原因については，繊維状の素材で製作されている PL 区や凹凸加工のある PE 区において（写真-1）湿性沈着的な付着がし難くなったものと推測された。一方，ヘデラ区では全実験期間を通して，寒候期の SO_4^{2-}吸着量等が相対的に小さい結果となったが，ヘデラ区はワックス層やクチクラ層，PL-PVC 区は PVC 処理によって撥水効果が高まり，雨水による洗脱作用[1)]により，結果的に各測定日の葉面吸着量が減少したものと推測された。

このことから，PL-PVC 区や生の植物であるヘデラ区においては，溶脱する NO_3^-, SO_4^{2-}を植栽基盤で捕捉し，環境中への流出を防ぐ等の対策が必要であると推測される。なお，ヘデラ区に関しては，葉部でのガス状 NO_2 の直接的な吸収効果[6)]もあるため，今後，これらの関係性も考慮した実験も必要であるといえる。一方 PVC 処理の施されていない繊維製や凹凸加工のあるイミテーショングリーンは環境中への流出が少ない点が特性ともいえるが，これを換言すれば「汚れている」状態であり，そもそも屋外用ではなく，耐候性が低い製品でもあるため，定期的な交換や光触媒[7)]等による自浄効果の付加が必須であることが推測された。

4. 結論

本実験の結果，全実験期間を通して生体であるヘデラ，イミテーショングリーン共に SO_4^{2-} よりも NO_3^- の単位葉面積当たりの吸着量が大であり，また暖候期において寒候期よりも吸着量が大となり，既往の研究結果とも一致した。さらに，NO_3^- の単位葉面積当たりの吸着量については，若干の大小関係の変化はあるものの，概ね PL 区＞PE 区＞PL-PVC 区＞ヘデラ区の順となり，生体や耐候性を高めた製品ほどその吸着量が小さくなるという結果となった。一方，SO_4^{2-} の単位葉面積当たりの吸着量については，暖候期と寒候期の差は小さく，寒候期ではヘデラ区の値は PE 区や PL-PVC 区よりも上回ることが明らかとなった。

また，吸湿性の高い繊維状の PL や凹凸加工のされた PE 製のイミテーショングリーンでは劣化（汚れ）対策が必須であり，撥水効果があり耐候性の高い PL-PVC 製のイミテーショングリーンや生体のヘデラでは吸着されなかった NO_3^- や SO_4^{2-} が環境中に流出している可能性が高く，流亡対策が必須となるものと推測された。ただし，本実験で得られた結果は測定時に付着していた単位葉面積当たり吸着量の比較によるものである。ヘデラ区に関しては，ガス状 NO_2 の直接的な吸収効果[6]があり，日照等の環境条件や茎部の伸長，葉部の肥大生長，品種間差等によって，その除去能が変化することが予測されるため，今後の課題としては，より長期的な視点で吸収・吸着効果の関係性を明らかにする必要があるといえる。

補注及び引用文献

1) 藤井修二，車熙運，鍵直樹，柳沢樹里，松下隆（2005）：植物による大気中窒素酸化物の吸着効果及び雨水の影響，日本建築学会環境系論文集 589，31-36.
2) 藤田慎一（2004）：ガス状・粒子状物質の沈着に関する研究．大気環境学会誌，39（3），107-118.
3) 今中忠ら（2000）：植物による環境負荷低減技術．㈱NTS，49-89 pp.
4) 国土交通省気象庁．“天気予報等で用いる用語”http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/yougo_hp/toki.html（参照：10 月 1 日）
5) 近藤三雄，鳥山貴司（1989）：室内等の緑による VDT 作業がもたらす視覚疲労の回復効果に関する実験的研究，造園雑誌 52（5），139-144.
6) 三沢彰，二葉恵美，N.ニザール，立本英機（1993）：街路樹による NO2 の吸収と葉からの転流について，日本緑化工学会誌 19（2），133-137.
7) 村田義彦，飛内圭之（2001）：光触媒を利用したセメント系材料の NOx 除去性能測定法に関する研究，日本建築学会構造系論文集 550，1-6.
8) 山田宏之（2013）：都市環境とみどりフェイク緑化の見分け方～大阪マルビル壁面緑化の検証～，環境緑化新聞 712.

オリジナル短報

町田健太，浅井俊光，水庭千鶴子（2017）：ヘデラ・ヘリックスとヘデラ型イミテーショングリーンの大気汚染物質の表面吸着特性，日本緑化工学会誌 42（2），550-555

基礎からわかる緑化の防水

田島ルーフィング株式会社
営業開発部　綿引　友彦

要旨
特殊緑化共同研究会 技術情報分科会では、屋上緑化普及のために、ハンドブック「知っておきたい屋上緑化の防水の基礎知識」の作成を進めている。本講では、屋上緑化の実務者に向けた小冊子の編集主旨とアウトラインを紹介する。

１．章　ハンドブックの概略

１－１．節　主旨

屋上緑化を前提とした防水工法が一般化したのは、防水工法・耐根層・植栽基盤が一体として防水仕様に組み込まれた 1990 年初頭である。以来多くの工法が生まれているが、根本的な原理について語られる機会は少ない。ハンドブックは、すべての記述を屋上緑化を前提とし、原理原則を紹介することで、個々の場面で応用が効くような内容とする。

１－２．節　内容

１）項　防水のしくみ
- ・屋根と防水の違い　勾配屋根と陸屋根の違い
- ・防水材の条件　防水に適した素材とは

２）項　防水の工法
- ・工法・仕様の種類　歴史からひも解く防水工法の種類
- ・仕様の種類　防水機能を維持するしくみ

３）項　防水の納まり
- ・防水納まりの 3 原則とは　立上り高さ、端部固定、水切りの設置
- ・雨水排水の 3 原則　下地で勾配、保護 1/100、露出 1/50 以上、1 平面２系統排水

４）項　防水改修
- ・撤去とかぶせ　防水改修の条件

５）項　今後の課題
- ・全面緑化　欧州に見習う究極の屋上緑化
- ・高耐久防水　80 年耐用の高耐久防水で本格庭園を

２．章　防水のしくみ

２－１．節　屋根と防水の違い

雨漏りは　①水の入り口　②水の通り道　③水を動かす力　の３つが揃ったときに発生する。漏水を防ぐには、3 つのうち１つをなくせばよい。その方法として、斜めに屋根をかけ、重力の力で雨水を流す「勾配屋根」と、雨水の入り口を防水層で塞ぐ「陸屋根」がある。本講では前者の形態を「屋根」後者を「防水」と呼ぶ。

１）項　屋根のしくみ

瓦やスレート板などの不透水性の屋根材を、一定の重ねを設けて葺くのが屋根である。屋根材と屋根材は接着していない。そのため、①水の入り口　②水の通り道　は存在するが、③水が建物の中に入ろうとする力（毛細管現象と呼ばれる力）よりも、重力に導かれる力のほうが強いため雨水は内部に侵入しない。勾配が緩いと毛細管現象がおこり、微細な空間に雨水が入り込み、漏水が発生する。

2）項　防水のしくみ

不透水性の被膜を陸屋根に施し、①水の入り口 を塞ぐのが防水である。一旦雨水を貯留しなくてはならないため、個々の材料は高い水密性能を持って連続していなければならない。

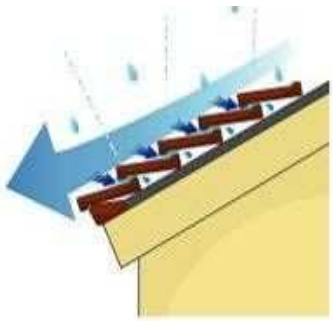
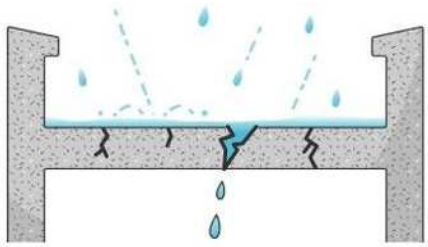


図 1 勾配屋根



部 2　陸屋根

3）項　防水材の条件

耐水性を有する素材は無数に存在する。その中で建築の防水材として採用されているアスファルト、塩ビ、ウレタンにはどのような特性があるのか。

・現場で加工が可能…材料、施工器具が搬入可能で、人手での施工が可能。
・屋外での耐久性…紫外線・赤外線・高温・低温状態でも一定の耐久性を有する。
・耐荷重性を有する･･･メンテナンス程度の歩行では損傷を受けない。

4）項　納まりの原則

防水材を施工するだけでは、満足する防水性能は得られない。納まりが適切でないとせっかくの防水施工も水泡に帰してしまう。

・適切な位置（水上で仕上げ面より 150 ㎜以上）まで均一に立上げる。
・立上り端部は確実に固定し、水切りを設ける。
・排水勾配は躯体で取り、露出防水で 1/50 以上、保護防水で 1/100 以上とする。
・1 平面で２系統の排水経路（ルーフドレン）を設ける。

２－２．節　防水の歴史

多種多様な防水仕様・工法だが、歴史をたどることで系統だった理解が容易になる。ここでは、アスファルト防水、塩ビシート防水、ウレタン塗膜防水の誕生について触れる。

1）項　縄文時代

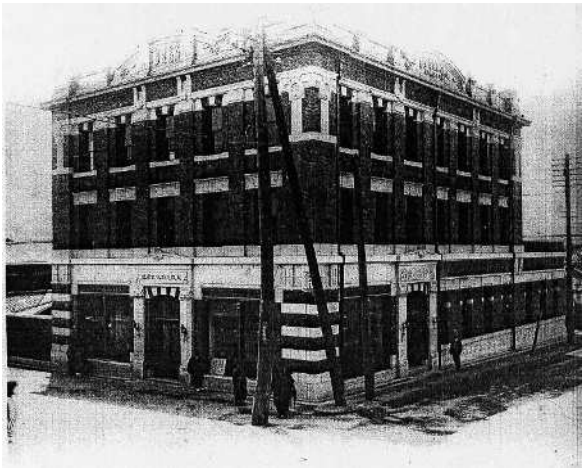
函館の縄文遺跡からは、アスファルトが付着した矢じりや土器が発掘されている。秋田で採掘された天然アスファルトが、交易品として海を渡り耐水性のある接着剤として使用されていたことが判明している。

2）項　日本書紀…燃土燃水（アスファルト・原油）の記載

668 年（天智天皇 7 年）には「越の国より燃土、燃水を献る」との記録があり、この頃には産出していた燃土燃水を朝廷に献上していたことが伺える。越の国とは、新潟県胎内市黒川近辺が有力視されている。

3）項　防水工事の記録

「建築雑誌 明治 39 年 5 月号」(1906 年)によると、1905 年（明 38）に竣工した大阪瓦斯株式会社事務所でアスファルト防水が採用されたとの記録がある。



構造概要　三階建の部分煉瓦壁厚階下にて三枚地形杭打外部化粧煉瓦並に花崗石積軒蛇腹以上總體銅板張各階床荷持柱小屋共木製ショールームはモルタール製タイル敷き屋上は三階建の部分亞鉛板葺き平家の部分はグラベルルーフ式上部を運動場とす窓硝子は總體プレートグラス一枚ものを使用
内部造作は無節檜材ラック塗仕上げ二階各室は檜角柱を立て不透明硝子を嵌め込み間仕切とす

上；写真１　大阪瓦斯株式会社事務所
右：写真２　防水仕様（構造概要記録より）
出典：「建築雑誌」明治 39 年 5 月号

4）項　シート防水と塗膜防水の誕生

1951 年（昭 26）桜木町駅構内にて発生した車両火災をきっかけに、難燃性の屋根材が求められ、翌年に本国有鉄道（国鉄）の車両屋根材として採用されたのが塩ビシート防水の始まりである。その後、大阪万博での採用をきっかけに認知度が高まった。

一方、塗膜防水は 1958 年（昭 33）の酢酸ビニル樹脂系によるものから始まった。その後、アクリル樹脂系（1960 年）、クロロプレンゴム系（1963 年）が登場し、ウレタンゴム系塗膜防水は 1966 年（昭和 41 年）に実施工された。

３．章　今後の課題とまとめ

３－１．節　今後の課題

欧州、特にドイツでは当たり前のように屋上全面に緑化が施されている。わが国ではなかなかそのような光景を目にすることはできない。いくつかの理由が挙げられるが、より緑の効能を享受し防水層の耐久性を向上させるためには全面緑化が望まれる。推進力となるのは。開口部や立上り際のディティールである。欧州に比べ多雨で強い雨が降るわが国では、開口部・立上り際での速やかな雨水浸透が必須である。防水層の端部固定と合わせ、浸透を則す専用部材の開発が望まれる。

３－２．節　まとめ

多岐にわたる膨大な防水工法・仕様を現場ごとに理解し把握するのは根気のいる作業である。具体的な防水仕様や工法の詳述は、個々の防水材製造所のカタログや施工者が作成する施工要領書を参考に判断すればよい。

緑化関係者が行わなくてはならないのは、防水工法・仕様の選択が屋上緑化の施工・維持にに即したものかどうかの判断である。

ハンドブックが目指しているのは、「なぜ、その工法が選ばれたのか？　なぜ、そのような納まりになったのか？」を判断するために必要な原理原則の理解である。

過年度発表会の講演要旨

■平成３０年度　特殊緑化に関する研究者発表会講演要旨

日時：平成30年11月28日（水）　13：30～17：35

会場：田島ルーフィング8階会議室（東京都千代田区岩本町）

発表１　シンガポールの緑政策と都市緑化

飯島 健太郎（東京都市大学総合研究所）

緑豊かなガーデン・シティを目指してきた都市国家・シンガポールでは、2010 年以降、特殊緑化の推進が目覚ましい。その背景には建築環境を対象とした新たな政策的後押しが切り札となっている。グリーンビルディング・マスタープランを中心とした緑政策と都市緑化の現状について概観したい。

発表２　薄層緑化構造を用いた植生の長期間維持の実例

田島　常雄　（田島ルーフィング㈱　会長）

筆者は、軽量屋上緑化システムについて「芝生」と「セダム」を、設置24年に渡って経過観察を実施している。

今回の報告は、平成28年度（2016年）～30年度（2018年）にかけての緑化状況の推移について、年管理内容と併せて報告した。

発表３　都市型水辺ビオトープの水質制御の実証試験

大澤　啓志　（日本大学 生物資源科学部 生命農学科 教授）

硝酸イオンを吸着・除去する水質浄化装置の有無による、都市型ビオトープ池の水生昆虫相及び水質 や藻類の繁茂状況の影響を検討した。4 年間のモニタリングの結果、本装置設置によって夏期の富栄養 化が抑制され、藻類発生の抑制効果及びトンボ相の多様度指数が高くなることが示された。

発表４　屋上緑化におけるCAM植物の混植による他種の生育促進効果のメカニズムの解明

松岡　達也　（東京大学大学院農学生命科学研究科緑地創成学研究室）

本研究では、屋上緑化において他種の生育状態を改善するとされる CAM 植物の混植の効果を、植物 の生育特性ごとに検証した。温室内でプランターを用いた混植実験を行った結果、混植の効果は CAM 植物の生理学的特性や植物の生育型に依存することが示された。

発表５　雨庭の雨水流出抑制効果の評価について

平野　尭将　（清水建設株式会社　技術研究所）

京都学園大学太秦キャンパスの2つの雨庭を対象に雨水流出抑制効果を判断するために貯留浸透機能の 定量評価を試みた。その結果，土地被覆や雨庭の構造等の違いにより，その効果に差が生じる可能性が示 唆された

発表６　色温度及び照射時間の異なる高光束密型 LEF 光源下における Tifway の生育

浅井　俊光　（東京農業大学 地域環境科学部　地域創成科学科 准教授）

我が国のスポーツターフに多用されている交雑種品種 Tifway（以下，ティフトン 419）に対して，5,000K と 2,700K の 2 つの色温度の LED ランプを用いて光合成光量子束密度（PPFD）と照射時間を変えて補光し，生育量の推移を調査した。その結果，7 日ごとの草高の伸長量については，2,700K の処理区において上方へ 伸長する傾向が認められた。一方，5,000K の補光は上方への伸長は抑制されるものの，2,700K の補光より も地表面に近い位置に多くの葉を展開することが明らかとなった。実験終了時の各処理区の乾物重量につい ては，総重量では処理 5（5,000K・800μmol・8h）＞処理 4（5,000K・800μmol・4h）と 8（2,700K・800μ mol・4h）＞処理 2（5,000K・400μmol・4h）と 7（2,700K・400μ

mol・4h）と処理 3（5,000K・800μmol・ 2h）＞処理 1（5,000K・無補光）と 6（2,700K・無補光）の順となり，地上部，地下部の乾物重量において も，概ね同様の結果となった。さらに，2,700K の 600nm 付近の長波長を主とした補光は，節間の長い（約 40 ～60mm）節が増加する傾向があった。一方，5,000K の 450nm 付近の短波長を主とした補光は，節間が短い（約 30mm～40mm）節を増加させる傾向があり，緻密なターフ形状を形成する効果が高いものと推測された。

発表７　公園の要素×デザインを取り入れた室内緑化事例

辻永　岳志　（株式会社パーク・コーポレーション　プランツコーディネート室　リーダー）

「日常に公園の心地よさを」をコンセプトに活動する parkERs（パーカーズ）のデザイン思考と緑 化事例について説明する。植物が単なる装飾ではなく、コンセプトとストーリーを持たせ公園の要素 を感じられる空間にすることで、植物の価値をより高めることができる。

発表８　都市におけるビオトープの現状と維持管理

櫻井　僚　（㈱静岡グリーンサービス）

都市空間におけるビオトープにおいて、植生への管理は行われるが、池の中などの堆積物の除去などはあまり行われていない。長期にわたり堆積した泥やそれに繁茂した水草等を除去し、都市緑地としての景 観面と、ビオトープとしての機能を両立するため、これらの問題点を見極め、改善していく必要がある。 弊社施工事例を基に維持するための改修工事と維持管理の事例を紹介する。

発表９　屋上緑化に適した、高耐久防水のしくみ

綿引 友彦　（田島ルーフィング㈱　営業企画部 広報企画室）

漏水から生活空間を守るためには、防水層の定期的な改修が欠かせない。とはいえ、屋上緑化を施した防水層の改修は、植栽の撤去、復旧に多くの手間と費用が掛かってしまう。このような事態を避けるひとつの方法として、躯体と同等以上の寿命を持つ高耐久性の防水が求められる。

■平成２９年度　特殊緑化に関する研究者発表会講演要旨

日時：平成29 年11月29日（水） 13：00～18：00

会場：田島ルーフィング4階会議室（東京都千代田区岩本町）

発表１　官民学連携による緑地創生と管理運営/都筑区の早渕川・老馬谷ガーデンプロジェクトの事例

飯島 健太郎（東京都市大学総合研究所）

2017 年３月，早渕川沿いの幅8m，長さ180m の長大な空き地が，地域の方々が集う緑地として誕生した．「早渕川・老馬谷ガーデン」と命名された本緑地は，都市緑化よこはまフェア・18 区連携事業・都筑区花いっぱい運動などの事業を中核として実現，まちづくりに関わる官民学の10 年にも及ぶ検討を礎としている．市有地を活用した本緑化プロジェクトのために行政上の手続きを区が調整，地域のNPO とともに東京都市大学の学生が連携して緑地の造成を担った．本プロジェクトにより，まちのにぎわい，防犯，健康，環境対策をその役割として掲げ，管理運営を模索するものである．

発表２　都市樹木 これからの設計・維持管理を考える

細野哲央（千葉大学大学院園芸学研究科）

筆者はこれまでに人と都市化された環境で生育する樹木との間に生じる課題解決を目的として調査・研究結果を進めてきた。それらの結果に基づき，健全な樹木の育成，都市に樹木を植える理由，リスク管理，市民連携の観点から，これからの都市樹木に求められる設計・維持管理の在り方を論じた。

発表３　屋上緑化の雨水排水遅延効果

石原 沙織 （千葉工業大学創造工学部建築学科）

屋上緑化には様々な効果が期待されているが、降雨時に雨水を貯留し排水を遅延させるのもその一つである。本稿は土壌や植物の各因子を変数とし、実験的に雨水排水遅延効果を明らかにしたものである。

発表４　野和花緑化に向けたカワラナデシコの生態研究

大澤啓志（日本大学生物資源科学部）

西口美菜子（日本大学生物資源科学部）

沼津千本原，三保の松原，天橋立でのカワラナデシコの生育実態より，松林 - 海浜景観における境界部が基本的なハビタットの一つであることが示唆された。津波被災海岸林での動態より，本種は攪乱依存性を有し，ダイナミックに生育規模を拡大・縮小させつつ個体群を維持してきたことが示唆された。

発表５　都市型商業施設の屋上庭園における環境配慮の取組み

株式会社石勝エクステリア 川崎 鉄平

対象地は都市型商業施設の屋上庭園であり、周辺緑地との景観の連続性や生態系ネットワークを図るよう豊かなみどりを創出している。「景観や生態系に配慮した緑化計画」「安全性に配慮した緑化技術」「環境に配慮した緑地管理」といった技術を取り入れ、来訪者へ快適な環境を提供している。

発表６　基盤造成型壁面緑化における蒸発散量の測定

安部 翔平（イビデングリーンテック㈱）

基盤造成型壁面緑化に対する適切な灌水量を設定することを目的として、壁面緑化から蒸発散により失われる水分量を測定した。また、測定により得られた蒸発散量を元に緑化パネルへの適切な灌水量を検討した。現状では検証が不十分であるため、今後も引き続き検証する必要がある。

発表７　遮光条件下における斑入りマサキの生育特性および葉色の変化について

浅井俊光 東京農業大学 地域環境科学部 地域創成科学科

3 種類の斑入りマサキを屋外にて6 段階（0%、20%、35%、50%、65%、80%）の遮光条件下で11 ヶ月間の生育実験に供した。その結果、徒長現象と葉色の変化は黄金マサキ＞金マサキ＞銀マサキの順に強く発現し、黄金マサキと金マサキは20%～30%の遮光条件下でも徒長現象が発現することが明らかとなった。

発表８　大阪府内における熱帯・亜熱帯性観葉植物類の帰化生育現況に関する研究

山田宏之（大阪府立大学大学院生命環境科学研究科）
前田 良（セキスイハイム近畿（株））

本研究では，都市内に広く帰化，定着していると考えられる4 種の熱帯性，亜熱帯性の観葉植物を取り上げ，大阪府内の都市（大阪市），近郊（羽曳野市），郊外（河内長野市）地域での生育分布調査を行い，地域別や用途地域ごとの分布状況を比較し，種ごとの分布特性を把握・解析した.

発表９　防水層の保護、荷重条件など屋上緑化をする上での基礎知識

綿引友彦（田島ルーフィング株式会社 営業企画部 広報企画室）

都市空間に潤いを与え、省エネルギーに貢献する屋上緑化。環境意識の高まりと共に、多くの新築物件で、豊かな緑が形成されている。今後は、新築のみならず既存建築での積極的な採用が望まれるため、本稿では屋上の防水改修を行った後に、屋上緑化を実践するための基礎知識を紹介する。

■平成２８年度　特殊緑化に関する研究者発表会講演要旨

日時：平成28 年10月19日（水） 13：00～18：00

会場：田島ルーフィング4階会議室（東京都千代田区岩本町）

発表１保健衛生学から見た緑素材・緑地の利活用／特に産業保健を対象に

発表者：飯島　健太郎　東京都市大学総合研究所・環境学部併任　教授

緑地の効用を保険衛生学的な類型に基づいて整理している。今回、産業保健分野を対象に検討した。産業保健活動の中でも労働環境と疲労対策、ヒューマンエラーや事故防止などの観点から、知覚対象としての効用から物理化学的な環境改善効果など緑素材・緑地の有効性が認められた。

発表２屋上緑化における主要植栽植物のCO2固定及びPayback Timeの算出

発表者：黒沼　尊紀　千葉大学大学院 園芸学研究科　花卉園芸学研究室 博士後期課程3年

本研究は、CO_2に関わる屋上緑化の環境改善効果および環境負荷を定量化し、CO_2 payback timeを算出することを目的に行った。また、主要植栽植物のCO_2固定能と生理形態的特徴の関係を調査した。その結果、屋上緑化は6.4～16.9年で製品製造時のCO_2排出量をペイバックすることが示された。

発表３薄層緑化構造を用いた植生の長期間維持の実例

発表者：田島　常雄　田島ルーフィング㈱　会長

屋上緑化は都市住環境を改善する技術であるが、コストが高く年間50 万㎡程度に留まる。ヨーロッパで普及している安価な薄層緑化が日本において長期間保たれた例は少ない。薄層緑化の「芝生」と「セダム」を25 年間観察した実例と、維持作業のモデルを提案する。

発表４窓面緑化が執務者の不快グレアに及ぼす影響

発表者：東野　友哉　横浜国立大学大学院　都市イノベーション学府　建築都市文化専攻

建築環境工学研究室　修士1年

室内執務者にとって適切な窓面緑化の緑被状態を示すために、窓面内の分布の偏り等に着目して被験者実験を行った。本研究で定めた範囲内において緑被率を上げることで室内の好ましさが向上することが確認され、緑被分布の偏りを調節することで安息性や快活性を向上させる可能性も示唆された。

発表５仙台平野津波被災海岸林におけるマツ類の動態

発表者：大澤　啓志　日本大学 生物資源科学部 生命農学科 教授

宮城県岩沼市の津波被災海岸林において，UAV を用いた残存マツ高木の毎木分布の実態把握より，漸層的な植生変化とマツ高木が残存し始める要因を考察した。また，2014 年時のマツ類の実生分布より，実生密度が高くなる浜堤付近ではクロマツの天然更新による造林が可能であることを示した。

発表６ セイフティグリーンウォールについて

発表者：前田　正明　特殊緑化共同研究会　交通インフラ緑化分科会長

近年、環境や健康の観点から、自転車の利用が増えてきている。半面相対的には減少しているが自転車事故が問題になっている。特に自転車対歩行者の事故は、過去10 年間で1.3倍になっている。そのようなことから、国土交通省では、交通安全対策基本法（昭和45 年制定）の規定により作成される「交通安全基本計画」において、交通安全施策の一つとして位置づけられている「自転車利用環境の総合的整備」に基づき、自転車の交通事故を削減するため、歩行者・自転車・自動車を分離した「自転車通行空間（自転車道、自転車専用通行帯等）の整備」をしている。しかしながら、幅員のない道路では、決して安全とは言えない道路もある。そこで、交通インフラ分科会では、そのような道路あっても安全に且つ、環境に配慮できる道路空間を創出するために、セイフティーグリーンウォール（以後ＳＧＷ）の開発を目指した。

発表７都市の緑をミツバチで活かす取り組み

岡田　信行　株式会社オルト都市環境研究所　代表

現在の都市は、コミュニティの再生、地域経済の活性化、都市環境の改善など、様々な課題を抱えている。 都市でミツバチを飼育する取り組みは、これらの課題に対応した様々な主体や活動をつなぎ、取り組みの相乗効果を高めることを意図して実施している。

発表８屋上等特殊空間域における亜熱帯植物の導入の可能性

発表者：仲村　優志　東京農業大学農学研究科造園学専攻修了

昨今の気候変動や天変地異に因り都市部の緑地においては様々な機能性が求められるようになり、局地的な高温多雨環境が継続する空間域では亜熱帯植物の導入も考えられ、限られた屋上等の緑化空間においては景観の向上を求めるばかりでなく、様々な有用性を備えた植物の利活用も求められる。

発表９韓国の最近の都市緑化とランドスケープの紹介

発表者：豊田　幸夫　特殊緑化共同研究会　副運営委員長

9 月に韓国屋上事例視察会において、見学してきた事例を紹介したい。ソウル新市庁舎壁面緑化、ザハ・ハディド氏設計の東大門デザインプラザ、世宗市の屋上緑化、線路跡地の京義線森の道公園、高架道路を改修して復活した清渓川、ソウル駅7017 プロジェクト（高架道路の改修計画）。

■平成２７年度　特殊緑化に関する研究者発表会講演要旨

日時：平成27 年11 月13 日（金） 13：00～18：00

会場：田島ルーフィング（管理本部）4 階会議室（東京都千代田区岩本町）

発表１ 芳香性植物の嗜好性と利用実態および食材としての印象に関する研究

発表者：小澤 直子 千葉大学大学院園芸学研究科

岩崎 寛 千葉大学大学院園芸学研究科 准教授

ヒトがストレスを抱える現代社会において必要不可欠とされる「ストレスの軽減」「健康維持・増進」「未病の予防」に対し、「芳香（香り）」の持つヒトへの効果が期待されている芳香性植物に焦点をあてた。その利用について年代による分岐点が存在し、食材利用には消費者の認知度の高さが影響することがわかった。

発表２ 保健衛生学からの見た緑素材・緑地の利活用／特に母子保健・学校保健を対象に

発表者：飯島 健太郎 横浜桐蔭大学 医用工学部 生命医工学科 准教授

緑地の効用を保健衛生学的な類型に基づいて整理している。今回、特に母子保健と学校保健分野を対象に検討した。予防医学へのプロセスには、乳児期・幼児期からの健全な成長発達も重要な課題であり、緑地の利活用の観点からの効果も散見される。屋上緑地や室内緑化、壁面緑化もその一端を担っている。

発表３ 絶滅危惧植物と地域の発展 ～ハナノキを事例に～

発表者：佐伯 いく代 筑波大学大学院 人間総合科学研究科 准教授

ハナノキは、日本固有のカエデの仲間で、本州中部地方の限られた湿地にのみ生育する絶滅危惧植物である。本発表では、ハナノキの分布、生態、保全状況などについて紹介し、地域とのつながりについて考察する。

発表４ 二子玉川ライズⅡ-a 街区ルーフガーデンにおける在来種緑化の取り組み

発表者：渡邊 敬太 箱根植木株式会社

二子玉川ライズⅡ-a 街区の再開発事業では、多摩川流域の自然景観を再現するために、多摩川流域系統の植物を、遺伝的多様性を持たせて用いるという課題が与えられた。遺伝的な地域性と遺伝的多様性に課題を残しつつも、植生を最小単位として、現在多摩川流域に生育する系統の植物を用いて自然景観を再現するところまでは実現した。

発表５ 都市屋上緑化の可能性と有効活用の研究

発表者：伊藤 麻理 UAo 株式会社 代表取締役

都心の最大の遊休地「屋上」は、都内での総和として港区ほどの面積になる。屋上利用には様々な規制があり、その利用はなかなか進まない。弊社では「旧耐震ビル頂部」に建築を行う事で、有効利用する技術開発を進めており、その研究成果を共有する。

発表６ 街のサウンドスケープとして都市域に鳴く虫を誘致する

発表者：徳江 義宏 日本工営㈱ 中央研究所 開発研究部

大澤 啓志 日本大学 生物資源科学部 植物資源科学科 准教授

都市域における生態系サービスのひとつとして、「鳴く虫」の声が果たす役割は重要である。「鳴く虫」のうち直翅目のクツワムシ、およびセミ類について、都市域で生息を規定する環境要因について検討した。

また、人々との関わりの創出を目的として、セミ類を対象とした学習プログラムを実施した。

発表７ 日本の近代建築と屋上緑化

山田 宏之 大阪府立大学大学院 生命環境科学研究科 緑地環境科学専攻 教授

日本において明治40 年代以降建てられた近代建築物屋上において、本格的な屋上庭園が造成され始めた。ホテルやデパートの屋上に設けられた庭園は、近代における新しい形の庭園

文化を創出したものと考えられ、これら先駆的な屋上庭園が都市文化に与えた影響について考察する。

発表８ 芝草による沿岸地域の環境修復・緑化の可能性について

発表者：杉浦総一郎 東京農業大学大学院 農学研究科造園学専攻

Zoysia matrella Merr.（コウライシバ：以下Z.m）に異なる濃度のNaCl 溶液を175 日間施用した。Z.m 体内のイオンやグルコースの上昇など塩分適応に関する特徴が確認され、Z.m 体内のNaCl 含有量（DW）から推定値で1a あたり最大約6.5Kg のNaCl を土壌中から吸収することを算出した。

発表９ 緑を用いた屋上の再生-西武池袋本店「食と緑の空中庭園」の事例から

発表者：庄司 悦雄 株式会社日比谷アメニス

2015 年4 月29 日にリニューアルオープンした、西武池袋本店の屋上は、４０年以上を経過した既存建物の屋上という制約の多い条件下であるにも関わらず、豊かな緑と多くの壁面緑化を導入し、多くの集客を集め、成功を収めている。ここでは、その改修に至る経過から、限定的な条件下で緑化を実現した技術などについて、その概要を紹介する。

■平成２６年度　特殊緑化に関する研究者発表会　講演要旨

日時：平成２６年１１月７日（金） 13：00～18：30

会場：東邦レオ5F 会議室（東京都豊島区北大塚1-15-）

発表１「グラウンドサーフェイスから見たスポーツ傷害と人工芝・天然芝」

発表者：飯島 健太郎 横浜桐蔭大学 医用工学部 准教授

グラウンドサーフェイスとしての人工芝について、特にスポーツ障害の観点からの問題点について整理した。また良質な管理下の天然芝は適度な支持力（反発力）を持ちつつ、根圏層を含む膨軟な土壌層が加速度を吸収し、怪我の予防に貢献していると考えられる。

発表２「京町家に代表される「坪庭」の涼気生成ならびに構成要素と快適性との関係に関する実証的研究」

発表者：孫 瑩軒（東京農業大学大学院造園学専攻）

本研究では，住居空間の有効利用や熱環境改善効果等の視点から注目されている京町家の「坪庭」の構成要素と快適性の関係性を実証し，人間の体感評価を含めて，総合的に把握することを目的とした。

その結果、①坪庭の構成要素の相違が住居空間の温熱環境に変化を与えることを把握した。②坪庭をとりこんだ京町屋の室内から戸外に連続する空間における夏と冬快適指数に変化があることを把握した。

その他、坪庭の存在と京町屋の住居空間における温熱環境についての知見が把握できた。

発表３「改良イワダレソウを用いた太陽光パネル周辺緑化事例の報告」

発表者：吉岡 威 特殊緑化共同研究会（内山緑地建設株式会社）

雑草対策をおこなわない、雑草を生やさないという従来の考えでは管理コストが上昇する。そこで、植生を維持しながら雑草を抑制し、コストの縮減や発電効率改善が可能な改良イワダレソウを用いた太陽光パネル周辺緑化を実施した。新たな太陽光シェアリングの事例として概要を紹介する。

発表４「韓国屋上緑化事例視察会報告」

発表者：綿引 友彦 特殊緑化共同研究会（田島ルーフィング株式会社 営業本部）

2014 年9 月3～5 日に実施された、（公）都市緑化機構 特殊緑化共同研究会有志による韓国屋上緑化事例視察会について、防水、植栽基盤、土壌、植物、デザインの様々な視点から捉えた韓国の最新屋上/壁面緑化事情を報告する。

発表５「日本緑化建築試論」

発表者：北村 知佳子 KAJIMA DESIGN

2010 年に書いた試論である。環境意識の高まりと緑化技術の進歩から、緑を纏う建築作品に大きな関心が寄せられていたことが背景にあった。本試論は日本の緑化建築を題材とし、建築家が植物という「他者」をどう捉えてきたか、言説の収集と原点への遡行による思想史的概観を試みたものである。

発表６「都市公園における近隣住民の利用行動と健康増進の関連性について」

発表者：大塚 芳嵩 千葉大学大学院園芸学研究科 博士後期課程2 年

岩崎 寛 千葉大学大学院園芸学研究科 環境健康学領域 准教授

都市公園における利用行動と公園利用者の健康関連QOL の関連を検証するため、都内の6つの公園を対象に近隣住民に対してオンラインアンケート調査を実施した。この結果、散

歩、自然観察、会話などの特定の利用行動を実施することで健康増進が図れる可能性が示された。

発表７「大型重量計による単木蒸散量の計測と樹木の形態・生理的特徴に基づく分析」

発表者：清野 友規 東京工業大学大学院 博士課程1 年

都市における樹木の単木スケールの蒸散量の個体差とそれを生じる要因を明らかにするため，短期間での複数の供試木の計測を可能とする吊り下げ式重量計を開発し，実験圃場においてコンテナ植栽の孤立樹木11 種(平均樹高5.2m)の夏季晴天・灌水日における蒸散量の計測と比較分析を行った。

発表８「窓面緑化による日射遮蔽効果に関する研究～年間熱負荷解析による考察～」

発表者：田中 稲子 横浜国立大学 都市イノベーション研究院 准教授

佐藤 大樹 大成建設株式会社

福田 大空 大成建設株式会社

窓面緑化システムの計画を検討するため、窓面緑化されたRC 造の建物を対象に年間を通した熱負荷解析を行った。落葉種ケースでは年間熱負荷はわずかに減少するが、常緑種ケースでは暖房負荷の増加に繋がること等が知見として得られた。

発表９「野和花咲きし 都かな」

発表者：七海 絵里香 日本大学大学院生物資源科学部植物資源科学科

大澤 啓志 日本大学大学院生物資源科学部植物資源科学科准教授

都市緑化の質が求められる中、古くから日本人に鑑賞・利用されてきた野和花の緑化への利用を措定し、奈良・平安期の和歌集において緑化活動の内容の把握、野和花が生育するような半自然草地を創出するための技術の検討、pH が野草類の発芽に及ぼす影響について調査した。

発表１０「組込みシステムを活用した環境制御コントローラの開発」

発表者：久保田 光政 特殊緑化共同研究会（ダイトウテクノグリーン株式会社）

従来のよく使われている安価な潅水コントローラの問題点を改善すべく新商品開発を模索した結果、組込みシステムを活用した潅水コントローラが完成した。センサ入力、外部コントロール出力、データロガー機能を有し、プログラムを書き換えることも出来るため、オーダーメードの環境制御コントローラとしても使用され始めている。

■平成25年度特殊緑化に関する若手研究者・企業関係者の合同発表会講演要旨

日時：平成２５年１２月６日（金） 10：00～17：20

会場：田島ルーフィング会議室（東京都千代田区岩本町）

発表１「鉄道軌道敷緑化技術の現状と課題」

発表者：飯島 健太郎 桐蔭横浜大学 医用工学部 准教授

近年、地方都市を中心に芝生軌道が普及しつつある。そこで軌道緑化による多様な環境効用、安全上の効用とともに軌道緑化を実現するための技術的特徴と課題について整理した。また国内外の軌道緑化事例の紹介とともにわが国の軌道緑化実現の政策的背景、工法、維持管理上の課題等についてまとめた。

発表２「「命山」～歴史の中の避難・防禦・災害対策としてののり面空間の造成と緑化対策～」

発表者：飯塚 隼弘 東京農業大学 地域環境科学部 造園科学科 博士研究員

静岡県袋井市が2016 年度完成をめざし，造成を進めている「平成の命山」。これは，東日本大震災を受け，新たな水害対策が迫られる中，先人たちの残した史実にならい実現したものである。津波避難タワーより費用も安く，日頃は公園として開放するとしている。本研究は，この命山をはじめ，日本における，防禦・災害・避難対策としてののり面空間，そこで用いられてきた緑化手法，樹草種について考察することを意図とした。

発表３「特殊緑化共同研究会参加のすすめ － 若手技術者！いつ参加するの？」

発表者：橘 大介 （公財）都市緑化機構 特殊緑化共同研究会 調査研究部会 部会長

本報告では、著者が特殊緑化共同研究会で取り組んできた調査研究業務等を通して得られた知見の一部を紹介する。またこのような成果を得る過程や報告書作成などを若手技術者とともに実施することで人材育成に努めてきたので、併せて特殊緑化共同研究会に造園業界の若手技術者を送り込むことの意義についても述べる。

発表４「利用者の心身への効果を考慮した屋上緑化について」

発表者：岩崎 寛 千葉大学大学院 園芸学研究科園芸学部 准教授

利用時間の限られた都市勤務者にとって、夜間の屋上緑化空間がストレス緩和に効果があること、また高齢者施設における屋上緑化空間は、高齢者のアクティビティケアの場として有用なこと、また屋上庭園における園芸作業が回想療法として有用なことがわかった。

発表５「都市緑化の熱的効果の計測と解析―体感気候とヒートアイランド緩和の視点から―」

発表者：弓野 沙織 東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻 博士課程後期1 年

都市緑化に関するこれまでの計測・解析例から、都市緑化が体感気候、ヒートアイランド緩和にどのような影響を及ぼしているか紹介する。夏季日中の放射環境の改善が体感気候に大きく影響するため緑化はとても有効であるが、風速の低減効果等、マイナスの影響も生じるため事前の計画・評価が重要である。

発表６「田瀬理夫の作品におけるエコロジカルなランドスケープデザインの特徴について」

発表者：田中 秀樹 日本大学大学院生物資源科学部植物資源科学科博士前期課程2 年

大澤 啓志 日本大学大学院生物資源科学部植物資源科学科准教授

エコロジカルなランドスケープデザインの実践者として注目されている造園家 田瀬理夫氏の代表的な４作品の設計図面とヒアリングから、その具体的なデザイン手法を分析・整理した。その結果、いずれも、失われつつある周辺の自然環境やランドスケープの秩序の再生が意図されていた。

発表７「湾岸エリアにおける環境圧の実態とその対策について」

発表者：直木 哲 特殊緑化共同研究会（イビデングリーンテック株式会社）

湾岸エリアはオリンピックを控え注目されているが、緑化を進めるにあたり今一度臨界地・埋立地としての環境圧を把握しておくことが重要である。臨界値緑化に関する研究は昭和40年代に主に行われた。その主要ポイントと最近の事例、台風による潮風害、液状化についても併せて述べる。

発表８「屋上緑化可能建築の配置からみた高密度都市における空中緑地の構成」

発表者：寺内 美紀子 信州大学 工学部 建築学科 准教授

近年、都市熱環境の悪化改善や生物多様性の確保を目的として、様々な屋上緑化の施策を導入する自治体が増えている。しかし高密度な都心部においては、今後大規模な緑地が新たに創出されるとは考えにくく、残された空間として屋上緑化が、地域的すなわち面的に広がることが有効と考えられ1)、環境改善や景観形成の点でも期待される。そこで本研究では、地域的に屋上緑化がなされた場合の緑地の集合を「空中緑地」と定義し、東京都の代表的な街区の集合と言える路線商業に囲まれた街区群を対象とし、既存状態から屋上緑化が可能な建築（以下、緑化可能建築）を抽出する。また構成的特徴を捉え、それらの分布および配置を検討することから、高密度都市における屋上緑化を利用した空中緑地の構成を明らかにすることを目的とする。

発表９「植物工場にかかわる諸問題と研究開発の現状」

発表者：丸尾 達 千葉大学園芸学研究科・園芸学部 教授

植物工場には太陽光型植物工場と人工光型植物工場があるが、農業人口の高齢化、担い手の減少、温暖化など気象環境の不安定化等を考えると今後必要不可欠な技術である。専用品種の開発も含め、研究開発を必要とする分野は多岐にわたり、アジアを対象とした国際的研究開発が求められている。

発表１０「上海における緑地の現状」

発表者：伊東 伴尾 前：高原建築諮詢有限公司

筆者が18ヵ月滞在し見聞した上海緑地現況報告。1990年代以降から緑地が急速に増加しているが、自然環境と建設事情による材料と施工方法に課題が多い。しかし最近、緑量重視から品質への変化もみられる。一方、上海及び周辺には魅力的な、中国庭園や租界地時代の外国庭園と緑豊かな街路空間がある。

発表12「地表面被覆の違いと発電量の関係性分析」

発表者：菊池 佐智子 茨城大学 地球変動適応科学研究機関 ICAS 研究員

2012年7月に明治大学農学部に設置したPVグリーンシステムの分析結果を報告する。対象とした72日間のデータから、地表面温度とパネル裏面温度の差の平均は、緑化面で－0.04℃、コンクリート面で＋0.17℃となり、パネル裏面温度と発電量には、負の相関関係が存在することを確認した。

■平成24年度 特殊緑化技術に関する研究発表会 講演要旨

日時：平成２４年１２月７日（金） 13：00～18：00
会場：田島ルーフィング会議室（東京都千代田区岩本町）

○発表１「屋上緑化された都市住宅作品の外形構成 ～建築デザインの考察～」
安森　亮雄 宇都宮大学 大学院工学研究科 地球環境デザイン学専攻准教授

都市における高密度な住宅地では、敷地内外に十分な緑地が確保しにくいことや近年の環境負荷への配慮を背景として、屋上緑化により積極的に自然環境を取り込む住宅がみられる。こうした住宅では屋上緑化を街並に表出させたり、住宅内部に緑を取り入れるために大きな開口を設けるなどの特徴的な外形がみられ、屋上緑化を活かした住宅の外形構成が成立している。そこで本研究では屋上緑化された都市住宅作品において、屋上緑化された住宅が、周囲の地面、外形全体、屋根や階などの部位といった、外形の部分と全体の表現において成立していることを示すものと考えられる。

○発表２「卓上に配置した観葉植物と癒し効用」
飯島 健太郎 横浜桐蔭大学 工学部 電子情報工学科 准教授

小型の観葉植物を素材として、①室内に植物がない状態、②室内の前方に植物がある場合、③卓上に植物がある場合の心理調査を行った。その結果、植物が卓上にある場合に顕著な心理的ストレス軽減傾向を示した。その作用要因となる印象の変化についてもSD 調査やアンケートから検討した。
SD 法の官能評価では植物の存在が空間の印象に影響がある事を追認、印象としてポジティブ方向に推移する傾向にあった。アンケート調査からは植物が部屋にある場合では空間として良い印象を与えること、卓上に植物を置いた場合ではその植物に所有意識が生まれ、愛着が湧く傾向にありこの事がストレス尺度の軽減効果の増大に寄与したと考えられる。

○発表３「近代日本社会における都市の芝生空間の意味論的考察」
高久 聡司 東洋大学 生命科学部 非常勤講師

本稿は、なぜある時には芝生が否定され、別の時には受容されるのかという差異を明らかにするため、芝生空間に対する市民の受容（芝生の情緒的効果）に着目し、その転換点である1900 年前後、1970 年代前後を中心として近代日本社会における都市の芝生空間の意味の変遷を明らかにする。

○発表４「都市域における生物多様性に配慮した緑化に関する研究－ビオトープ・パッケージの開発と造成とその評価を通して－」
藤瀬　弘昭 東京都市大学大学院環境情報学研究科元大学院生
田中　章 東京都市大学環境情報学部 教授

本研究では生態系を総合的に評価する手法であるHEP（Habitat Evaluation Procedure）を応用し、屋上緑化の生物多様性を、簡易的に、定量的に評価可能な手法を開発することを目的とした。HEP を応用し屋上緑化の生物多様性を評価する手法を開発し、本評価手法を用いて、東京都、神奈川県に位置する屋上緑化を5 つ評価した。その評価結果と、生物多様性の保全・復元効果があるとされる緑化形態との比較を行った結果、相関関係が見られ、本評価手法の妥当性を検証することができた。

○発表５「多彩な花空間における誘致昆虫相の実態とその要因 －晴海アイランド・トリトンスクエア・ガーデンを事例として－」
七澤 寛 東京農業大学大学院農学研究科 都市緑化技術研究室博士前期課程

本研究では、晴海アイランド・トリトンスクエア・ガーデンという600種類内外の宿根草等を混植した人工地盤上の緑化空間の昆虫相及び訪花昆虫と植栽植物の関係性を究明することにより、生物誘致を目的とした事業実施の際に指針となるような知見を得ることを目的とする。晴海アイランド・トリトンスクエア・ガーデンで採集された昆虫類の中では訪花昆虫が6割ほどを占めていたが、花弁が数百種類も植栽されているのにも関わらず、利用している植物は限られていた。また食物となる蜜源・花粉源植物数種類が同時期に開花している場合でも、ある特定の種類にだけ集中して訪花していることが観察された。

○発表６「コケ植物による放射性物質の吸着・集積能に関する調査研究」
金子　亮太 東京農業大学大学院造園学専攻 博士課程前期2 年

本調査では、コケ植物による放射性物質の吸着・集積能の実態調査ならびに、捕染の可能性について検証を行った。その結果、コケ植物による放射性物質の吸着・集積能は、芝生や土壌、落葉よりも高く、また種類の違いによる放射性物質の吸着・集積能の違いも確認することができた。コケ植物による放射性物質の吸着・集積能は高く、スナゴケ（*Racomitrium canescens Hedw.*）壁面緑化資材を利用した捕染手法の有用性が示唆された。

○発表７「都市農村交流体験と連動した里山樹種による都市緑化の可能性」
七海 絵里香　　日本大学大学院博士後期課程1 年
大澤 啓志　　日本大学生物資源科学部 准教授

都市緑化においては、住民が緑化地に特別な愛着を持たせることも重要であり、その工夫として里山樹種による緑化に加え、苗木供給元の農村との交流を試みた。4 年間の都市農村交流プログラムを通じ、参加者は緑化の意識向上そして農村地域への理解・興味の深化が示された。

○発表８「屋上緑化と両立可能な太陽光発電システムの検討」
菊池　佐智子 東北大学大学院・生命科学研究科 助教
太陽電池は周辺の温度変化による出力変動が大きい。そこで、屋上の暑熱環境を緩和する屋上緑化上に太陽電池を設置し、日射量、発電電圧および周辺環境の計測を始めた。本発表では、2012 年夏期の実測データを中心に、これまでの研究成果を報告する。
その結果、芝生緑化を施工することにより、パネル下の温度を低減できること、コンクリート面に設置したパネルと比較して、発電効率の抑制を緩和することが示された。

○発表９「大型重量計を用いたケヤキの蒸散特性の計量化」
浅輪 貴史 東京工業大学 総合理工学研究科 准教授

本研究では、樹木の熱環境緩和効果の数値モデル化に向けて、大型重量計を用いることで実大サイズの単木樹木の蒸散量を計量化する方法を提示し、夏季における気象条件、土壌含水状態と、ケヤキの蒸散特性との関係を明らかにした。
大型重量計を用いたケヤキの重量計測値から風の影響を除去する方法を提示し、ケヤキの蒸散量を±100g/h の精度で計測できることを示した。また夏季におけるケヤキの蒸散特性を示し、土壌含水率の低下による水分ストレスの影響により、蒸散量が1/3 にまで減少するといった生理特性を含む蒸散特性の結果が得られた。

■平成23年度 特殊緑化技術に関する研究発表会 講演要旨

日時：平成２３年１２月９日（金） 13：00～18：30
会場：田島ルーフィング会議室（東京都千代田区岩本町）

○発表１「園芸療法の心理的効用と高齢者施設における導入可能性」
飯島 健太郎 横浜桐蔭大学 工学部 電子情報工学科 准教授

訪問介護員研修生を対象に園芸療法の心理的効用調査と高齢者施設への園芸療法の導入可能性についてアンケートを実施した。簡単な園芸作業を体験した研修生はPOMS 診断により心理的ストレスの低減効果があった。また高齢者施設における園芸療法の導入に対して肯定的な意見であった。

○発表２「生物多様性を目的とした屋上緑化の改修後における動植物の変化」
永瀬 彩子　千葉大学大学院園芸学研究科 助教
野村 昌史　千葉大学大学院園芸学研究科 准教授
蔵品 真侑子 千葉大学大学院園芸学研究科修士課程

８年間無管理無灌水だった生物多様性を目的とした屋上緑化の改修を行い、動植物の変化を調査した。改修後初期は、動植物相は大きく変化し、エディブルガーデンは生物多様性創出効果に貢献することが示された。

○発表３「粗放型薄層屋上緑化システムの雨水流出遅延効果の定量化」
菊池佐智子 東北大学大学院・生命科学研究科 助教
輿水　肇　明治大学農学部 教授

経済性，施工性の観点から今後の緑化拡大に貢献する粗放型薄層屋上緑化システムを供試材に雨水流出遅延効果を計測した．使用した緑化システムの流出係数は，水分条件が乾燥時では0.30，飽和時であっても0.48 となり，ゴルフ場の流出係数0.50 より小さく，屋上緑化の流出遅延効果が明らかになった。

○発表４「日本における『のり面緑化』の起源と変遷に関する技術的考察」
飯塚 隼弘 東京農業大学大学院農学研究科 造園学専攻

本研究では、世界においてその技術工法の豊富さを誇る日本ののり面緑化（広義の斜面への植栽行為）技術について、さまざまな潮流の歴史的系譜を探り、その起源と変遷を明らかにし、これらを体系的にまとめることを意図している。

○発表５「華さそふ 都に植ゑし 秋の七草」
七海 絵里香 日本大学大学院生物資源科学研究科
大澤 啓志　日本大学生物資源科学部 准教授

古くから日本人が生活の中に取り込んできた人里植物の緑化植物としての利活用を措定し、万葉時代における秋の七草の生育立地および農村環境における萩の生育特性についての調査を行なった。その結果、秋の七草の生育立地として、「野」すなわち灌木が混生するような半自然草地の重要性が示唆された。

○発表６「学校緑化の促進を目指した"CASBEE学校"の紹介とその課題」
藤田暁子 明治大学農学部卒
輿水　肇 明治大学農学部 教授

建築環境総合性能評価システムCASBEE は，建築物の環境性能を評価し格付けする評価手法であり，住宅・一般建築，都市・まちづくりは完成後，数回の改訂が行われている．本稿では，2010年9月に完成したCASBEE 学校の課題を抽出し，学校緑化を促進するための改訂の方向性を検討した。

○発表７「日積算受熱日射量分布を用いた熱環境緩和のための緑化手法」
佐藤 理人 東京工業大学大学院 特別研究員

本稿では，密集市街地の総合設計制度が適用されている街区をケーススタディとして，街区計画を行う際に日積算受熱日射量分布を用いることで，建物と緑との相互影響を考慮しながら夏季における熱環境緩和に有効な緑化を計画できる手法について提案する。

○発表８「樹種と季節の違いに着目した単木落葉樹の日射遮蔽に関する数値解析-樹木の日射遮蔽効果を活かした熱・光・紫外線環境設計支援ツールの開発-」
熊倉 永子 東京工業大学総合理工学研究科 博士課程

熱・光・紫外線環境設計支援ツールの開発を目的とした、樹種と季節別の日射遮蔽効果を予測する数値モデルの構築に向け、5 樹種の樹木のCG モデルを用いて直達日射透過率について解析した。その結果、分岐構造と太陽位置の違いにより直達日射透過率の差が最大50%あることが明らかになった。

○発表９「窓面緑化の室内における視環境への影響」
田中 稲子 横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院 准教授

窓面を覆うような壁面緑化について、可視光の遮蔽による室内の光環境および視環境への影響を印象評価実験により把握した。窓面が緑化されることで室における明るさ感や開放感が減少するものの、因子分析の結果「くつろぎ」の印象は増すこと等が明らかとなった。

○発表10「芝生地の放射性物質による汚染のメカニズムと芝生地の除染方法」
水庭 千鶴子 東京農業大学 地域環境科学部 造園科学科 講師

本研究では原発事故により放射性物質汚染が各地で広まったことを受け、緑地の特に芝生地を対象に、汚染メカニズムを明らかにし、芝生地の除染方法について、地表部のサッチ層を取り除く方法を提案した。これにより芝生地の機能を損なわず短期での芝生地の再生が可能となった。

■平成22年度 特殊緑化技術に関する研究発表会 講演要旨

日時：平成２２年１２月９日（木） 13：00～18：30
会場：田島ルーフィング会議室（東京都千代田区岩本町）

○発表１「生物多様性を目的とした屋上緑化のための植栽設計・管理」
永瀬 彩子 千葉大学大学院園芸学研究科 助教
野村 昌史 千葉大学大学院園芸学研究科 准教授

生物多様性を目的として施工され8年間無管理無灌水だった屋上緑地の動植物の調査を行った。多くの高木は活力が低かったが、密植した低木の生長は良好だった。雑草地には草食性の昆虫類が多く定着していたが、吸蜜植物を残し、大型雑草を除去するなど選択的除草が必要である。

○発表２「集合住宅における屋上園芸を核としたコミュニティ形成と住民意識」
御手洗 洋蔵 東京農業大学大学院 農学研究科 農学専攻博士前期課程

本研究では、マンション屋上で園芸活動に取り組んでいる住民のコミュニティ形成に対する意識と屋上園芸の実態について調査した。その結果、屋上を住民たちで、ともに管理するコミュニティガーデンとして利用することにより、コミュニティ形成に対する住民意識の高まることがわかった。

○発表３「CASBEEにおける建築緑化評価指標の充実と開発」
高橋 萌　　前 明治大学 農学部

建築緑化の視点で、建築物の環境性能を評価するため、現況調査を行い、緑環境を構成する敷地内緑化、屋上緑化の評価項目を追加したCASBEE 改良案を作成した。妥当性を検証し、改良案が緑環境の性能を定量化するだけではなく、今後の建築緑化の意義把握に有効となることが示唆された。

○発表４「パトリック・ブランの『垂直の庭』における配植手法と設計理念」
深水 崇志 千葉大学大学院 園芸学研究科 風景学研究室博士後期課程

パトリック・ブランが制作する「垂直の庭」について、文献調査や植物配置図の分析を行った。それにより熱帯雨林の風景や階層構造、生態系における生物間の相互作用といったものを、垂直の庭」の中に再現しようとする、ブランの設計理念と配植手法が明らかになった。

○発表５「在来植物を用いた壁面部緑化」
大澤 啓志 日本大学 生物資源科学部 植物資源科学科 准教授

歴史的風土都市・鎌倉市に生育するケイワタバコに着目し、切り通し等を想定してフトン籠側面での生育試験を行った。自生地における壁面岩盤への固着様式を調べるとともに、鎌倉市域での本種群落分布の把握を行った。また、壁面部緑化に適した在来ツル植物種の検討も行った。

○発表６「根の肥大生長を対象とした建築材料の耐根性評価手法」
石原 沙織 東京工業大学 建築物理研究センター 博士後期課程

建築物に接して植栽がなされる場合、植栽域周辺材料は根に対する抵抗性（耐根性）を有する必要がある。本研究は、耐根性を事前に評価する手法として、根の挙動を機械的な力に置換した模擬根を作製し、木本類植物を対象とした耐根性評価手法について検討したものである。

○発表７「グランドカバープランツを利用したファイトレメディエーション」
浅井 俊光 東京農業大学 地域環境科学部 助教

本研究ではグランドカバープランツによるカドミウム（Cd）の吸収・除去を行うこと目的とし、様々なプレテストの結果などからアジュガ、キショウブ、ハナショウブ、ペレニアルライグラス、トールフェスクを供試植物に選出し、そのCd 吸収能・耐性の度合いについて明らかにした。

○発表８「軽量プラスチック資材を利用した屋上水辺緑化の試み」
笹田 勝寛 日本大学 生物資源科学部 生物環境工学科 准教授

本報告では屋上緑化と水辺ビオトープを複合させ、屋上における水辺緑地空間の創出することを目的に、軽量プラスチック資材上にコケ植物を生育させた浮島製作の試みについて、植生基盤としての評価と温熱環境緩和機能の評価に着目した試験の結果を報告する。

○発表９「Storm water対策を目指した実験雨パターンによる屋上緑化の雨水流出シミュレーション」
菊池 佐智子 明治大学 研究知財戦略機構

実際の市街地構造における屋上緑化の雨水貯留、流出抑制効果の有効性を検証するため、東京都千代田区飯田橋を中心する17 街区をケーススタディに流出シミュレーションを行った。想定した3 種の降雨イベントから、総雨水流出量の低減と降雨初期の流出抑制に効果を発揮することが示唆された。

○発表10「ドイツ南西地域の環境緑化事例」
飯島 健太郎 横浜桐蔭大学 工学部 電子情報工学科 准教授

ドイツ南西部の環境緑化を視察した。地域環境の健全化のために徹底した土地利用計画と緑地保全整備指針のもと大小様々な空間に緑が創出され、またそのネットワーク化が図られている。さらに特殊緑化がその緑のネットワークの一部を形成し、有効に緑化機能を果たしている。

令和1年度　特殊緑化に関する研究発表会

日時：令和1年11月13日（水）　13：30～17：35
場所：田島ルーフィング（管理本部）8階会議室（東京都千代田区岩本町）

事務局：公益財団法人　都市緑化機構　特殊緑化共同研究会
〒101-0051東京都千代田区神田神保町3-2-4田村ビル2F
URL：https://www.urbangreen.or.jp
TEL03-5216-7191　FAX03-5216-7195