

平 成 2 3 年 度

特殊緑化技術に関する研究発表会

平成23年12月9日



**財団法人 都市緑化機構
特殊緑化共同研究会**

目次

□議事次第	1
□講演要旨	
○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」	3
飯島 健太郎 横浜桐蔭大学 工学部 電子情報工学科 准教授	
○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」	13
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	
○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」	23
菊池佐智子 東北大学大学院・生命科学研究科 助教	
奥水肇 明治大学農学部 教授	
○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」	27
飯塚 隼弘 東京農業大学大学院農学研究科 造園学専攻	
○発表5「華さそふ 都に植ゑし 秋の七草」	34
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	
○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」	38
藤田暁子 明治大学農学部卒	
奥水肇 明治大学農学部 教授	
○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」	42
佐藤 理人 東京工業大学大学院 特別研究員	
○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-	46
熊倉 永子 東京工業大学総合理工学研究科 博士課程	
○発表9「窓面緑化の室内における視環境への影響」	50
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	
○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」	54
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	

平成 23 年度 特殊緑化技術に関する研究発表会

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）

次 第

13：00 開 会

開会挨拶 小川 陽一 財団法人 都市緑化機構 専務理事

主旨説明 藤田 茂 特殊緑化共同研究会 運営委員長

13：10～13：40 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」

発表者：飯島 健太郎 横浜桐蔭大学 工学部 電子情報工学科 准教授

13：40～14：10 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」

発表者：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

14：10～14：40 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」

発表者：菊池 佐智子 東北大学大学院・生命科学研究科 助教

14：40～15：10 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」

発表者：飯塚 隼弘 東京農業大学大学院農学研究科 造園学専攻

15：10～15：40 発表 5 「華さそふ 都に植ゑし 秋の七草」

発表者：七海 絵里香 日本大学大学院生物資源科学研究科

休憩 10 分間

15：50～16：20 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」

発表者：藤田 暁子 明治大学農学部卒

16：20～16：50 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」

発表者：佐藤 理人 東京工業大学大学院 特別研究員

16：50～17：20 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-

発表者：熊倉 永子 東京工業大学総合理工学研究科 博士課程

17：20～17：50 発表 9 「窓面緑化の室内における視環境への影響」

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研究院 准教授

17：50～18：20 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」

発表者：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

18：20 閉会挨拶 佐藤 忠継 特殊緑化共同研究会 情報活用部会長

講演要旨

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（桐蔭横浜大学 工学部）

要 旨

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。

1. 研究目的

高齢社会において最も重要な課題は、いかに活力ある元気な高齢者人口の増大を図るかである。心身の健全性を維持するためには、楽しみや充実感のある活動とともに適度な運動が日常生活に散りばめられていることが望ましい。近年、高齢者施設においては様々なレクリエーションプログラムが導入され、スタッフの付き添いのもとに入居者の参加を促し、充実感をもたらす配慮をしつつ生活の質の向上が図られている。

中でも「園芸療法」は、適度な日常運動とともに達成感や交流などの心理的効用も認められている。園芸療法の特質は、風景や香りなどの受動的感覚体験を興味付けによって能動的体験に移行させ、かつその際に動作体験に発展させる点にある^{1,2)}。換言すれば、無理なく心理的・身体的なリハビリテーションを図る可能性を秘めているのである。

筆者らの所属する研究室では、大学院生と学部生が学園隣接の特養介護施設「緑会緑の郷」に通い、園芸作業を通じて入居者との交流を図っている(写真・1～3)^{3, 4)}。会話や表情から心理的効用が、また作業に伴う僅かな動作が身体的リハビリテーション効果につながっていることを学生や施設スタッフは肌で感じている。こうした「園芸療法」の EBM(Evidence Based Medicine)を目指すべく、隣接病院の作業療法士の指導や施設の生活リハビリ室スタッフの支援を受けながら研究を推進している。園芸作業に伴う上肢のリハビリテーション効果では、握力、ピンチ力、手指の可動域の維持改善、心理的効用では、会話分析、アミラーゼ検出方式のストレスチェッカー、各種心理テストに簡易痴呆診断も加えて検証している^{5,6)}。

心理的・身体的効用の可能性のある園芸療法は、入院患者や施設入居者のみならず健康高齢者が健康増進や老化予防のために導入することも期待されている。併せてその実施場所は、対象者の身体的状況や運営条件に応じて、入居施設屋内外から自宅の庭、さらには公園緑地にまでその可能性が期待される場所である。しかし実態としては、医療・福祉の厳しい制約の下にある現場では極めて限られた条件で実施運営しているケースが多い。すなわちスタッフの不足により希望者すべての実施が難しく一部の対象者に限られていたり、当初から屋外レクリエーションのスペースが計画されておらず、結果として空間的に魅力の乏しい場所で実施していることも少なくない。しかし園芸療法の効果を高めるためには、その作業特性のみならず作業環境への配慮も重要である。

本報では、園芸作業の心理的効用とその空間条件（屋内・屋外）の影響について検討し、かつ高齢者施設入居者に対する園芸療法の可能性について考察することを目的として一連の調査研究を行った。なお調査対象者は、調査時点では園芸療法に対する理解は少ないが、今後福祉の現場での活躍を目指す幅広い年齢層の研修生であることが特徴である。



写真-1 屋外の園芸活動に向う施設入居者



写真-2 花の手入れをする施設入居者



写真-3 水やり作業をする施設入居者

※屋外空間に出るまでは身体の苦痛を訴えていたが、ジョウロを手にした瞬間からスムーズな足取りとともに積極的に水遣りを行う姿も見られる

2. 研究内容と方法

2.1 園芸作業の心理的効用とその空間条件

園芸作業による心理的効用について空間条件の違い、すなわち屋内、屋外の場合における心理状況の違いについて調査した。

対象者は、神奈川県指定訪問介護員養成研修2級課程の受講生とした。この研修は、（独）雇用能力開発機構神奈川センタ（公共職業訓練）から受託を受けて、緑成会緑の郷・介護研修課において開講している約3ヶ月間にわたる養成講座である。研修期間のうちの1日9:00～16:00を「園芸療法の理論と演習」としている。

調査対象は2006年から2008年にかけて実施された4期生分の講座とした。具体的には、2006年10月20日（男性9名、女性15名、18～53歳、平均35.4歳）、2007年3月13日（男性7名、女性9名、23～60歳、平均42.1歳）、同年7月6日（男性6名、女性11名、24～61歳、平均44.2歳）、2008年7月11日（男性8名、女性8名、15～34歳、平均26.9歳）を対象とした。

講義の後に実施した実技（園芸作業）を通じて心理的効果に関する調査を行った。講義は園芸療法に関する内容であり、実技である園芸作業は多肉植物を用いた2号ポットへの簡単な挿し木作業とした（写真-4）。心理調査の手順は、図-1のとおりである。なお各講座において、同様の園芸作業を各々屋内と屋外の順番を変えて行うグループを設け実施した（写真-5、6）。園芸作業を行った際のおよその気温は、2006年10月20日は屋外23℃、屋内25℃、2007年3月13日は屋外13℃、屋内19℃、同年7月6日は屋外36℃、屋内27℃、2008年7月11日は28℃、屋内25℃となった。POMS診断用紙記入時の様子を写真-7に示した。

心理調査は、一時的な気分を尺度化する感情プロフィール検査（POMS診断）を用い、6つの感情尺度、すなわち緊張・不安(T-A)、抑うつ・落込み(D)、怒り・敵意(A-H)、活気(V)、疲労(F)、混乱(C)による評価を行った。本検査は、被験者がおかれた条件による一時的な気分・感情の状態（あるいは一時的かつ変動的な気分）を測定できるという特徴があり、神経症、アルコール依存等の疾患による気分・感情の変調、がん患者のQuality of Life、産業ストレス・疲労などの広い範囲の健康問題の評価に用いられている⁷⁾。また日本語版POMSについては⁸⁾、医療関係者だけでなく、看護・福祉・

A グループ 座学(30 分)→POMS 診断→座学(120 分)→ 園芸作業（屋外 30 分）→POMS 診断→ 園芸作業（屋内 30 分）→POMS 診断	B グループ 座学(30 分)→POMS 診断→座学(120 分)→ 園芸作業（屋内 30 分）→POMS 診断→ 園芸作業（屋外 30 分）→POMS 診断
--	--

図-1 園芸作業と調査実施のフロー



写真-4 簡単な園芸作業

※2号ポットへの多肉植物数種の挿し木作業



写真-5 屋内における園芸作業の様子

※桐蔭学園講義室内における作業



写真-6 外における園芸作業の様子

※桐蔭横浜大学構内学生広場での作業



写真-7 POMS 診断用紙の記入の様子

※園芸を行った約 30 分間の一時的な気分として回答を求めている。

教育関係の専門家、産業医、雇用決定担当者、スポーツ医学研究者・指導者、フィットネス関係者などヒトの健康に関わるあらゆる人々の使用を意図している。具体的使用方法として、①個人の結果の正常値との比較、②健康リスクを有する集団とリスクがない集団との比較、③個人名または集団に繰り返し実施して変化の傾向を測定することなどがあり、本研究では変化の傾向を探ることを狙いとしている。6つの尺度を導くための設問等については次のとおりである。

「T-A(Tension-Anxiety)」は、「気がはりつめる」、「不安だ」などの9項目から成り、

緊張および不安感をあらわす。この得点の増加は、もっとリラックスすべきということを示す。

「D(Depression-Dejection)」は、「ゆううつだ」などの 15 項目から成り、自信喪失感を伴った抑うつ感をあらわす。うつ病や抑うつ神経症（気分失調症）では有意な増加が認められる。

「A-H(Anger-Hostility)」は、怒りと他者への敵意の尺度であり、「怒る」「すぐ喧嘩したくなる」など 12 項目を含む。この尺度が高い場合、不機嫌であったり、イライラがつづいていることを示す。

「V(Vigor)」は、元気さ、躍動感、活力をあらわし、「生き生きする」などの 8 項目から構成される尺度である。従って、他の 5 つの尺度とは負の相関が認められる。この得点の低下は、活力が喪われていることを示唆する。

「F(Fatigue)」は、「ぐったりする」など 7 項目から成り、意欲減退、活力低下をあらわす。従って、この尺度の得点増加は、強い疲労感を示すと言える。F 尺度は V 尺度と負の相関があるが、因子分析では同一因子の対極をなすものではなく、両者は同じことがらを正反対に示すものではない。

「C(Confusion)」は、「頭が混乱する」などの 7 項目から構成され、当惑、思考力低下をあらわす。この得点の増加は、自覚的な認識・思考障害を示すといえる。

また本検査は「過去 1 週間」について尋ねることを基準としつつも、「現在」、「今日」あるいは「この 3 分間」などと気分を評価する期間を変更することも可能であり⁷⁾、本研究のように同一日に複数回検査を実施する際にも有効な調査法である。

2.2 園芸療法に関するアンケート

心理テストを伴った講義、実技を終えた後に同受講生を対象に高齢者施設における園芸療法導入の可能性に関するアンケート調査を行った。

受講生の属性（性別、年齢、出身）などの基本的な情報に加え、自身の園芸に関する興味、経験、さらには高齢者施設における園芸作業活動導入の可能性に関する考え、その内容（ガーデニングの内容や素材）、活動場所（施設内外、自宅、公園緑地）や頻度（毎日～月に 1 回）に関する調査を行った。また受講生自身の感覚として、園芸作業を行う空間としての「屋内」、「屋外」の良否についての回答と自由意見を求めた。

なお前述の POMS 診断ならびにアンケート調査については、調査対象者に調査の目的ならびに評価方法について十分説明をした上で、同意が得られた対象者のみ提出をお願いした。いずれの調査においても氏名の記入は求めず、同時に個人の評価に関する言及は一切行わないものとした。

3. 研究結果と考察

3.1 園芸作業の心理的効用とその空間条件

4 回にわたる調査で回収された POMS 診断用紙は計 73 枚となった。そのうち記入の誤りなどで無効となった用紙が 7 枚あったため、66 枚のデータが分析対象となった。

結果を概観すると、2007 年 7 月グループを除いて、作業前初期値は TA、D、AH、V、F、C 要素が 10～15 付近を示す受講生であった(図-2～図-5)。この数字は、年齢ならびに性別を加味した上でも健常値の範囲を示しているものであった。2007 年 7 月グループの初期値は、基準値に比較してストレス尺度が極端に低い、属性などからその要因に言及することは出来ていない。

以下に各調査日別に結果を述べる。

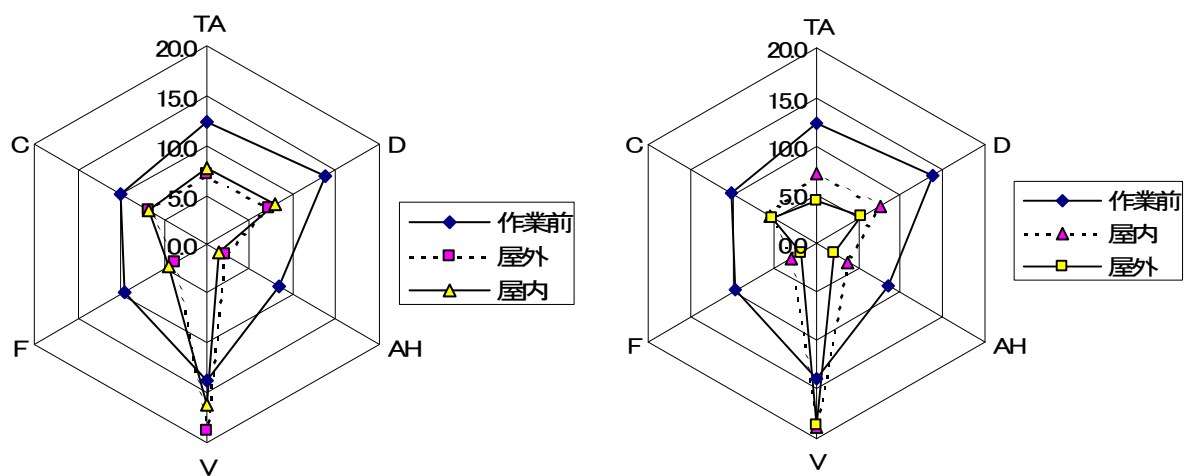


図-2 園芸作業前と作業後の POMS 診断結果 (2006 年 10 月 20 日実施)

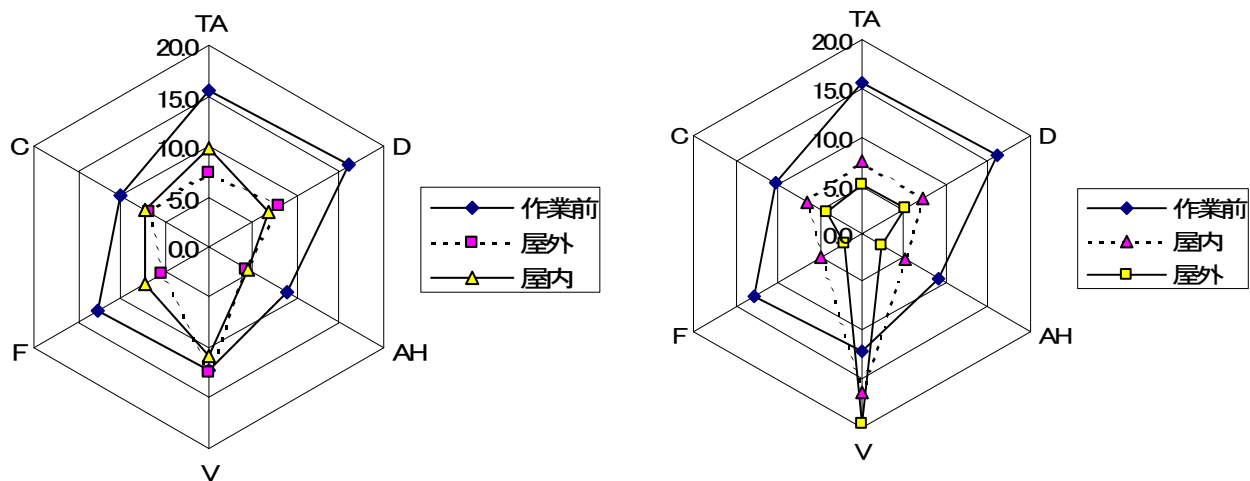


図-3 園芸作業前と作業後の POMS 診断結果 (2007 年 3 月 13 日実施)

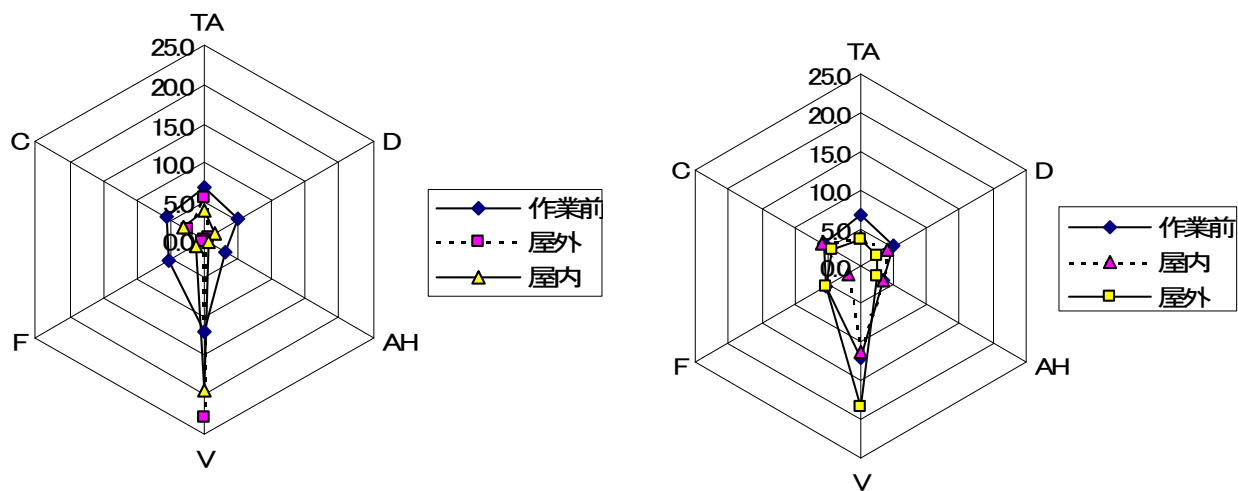


図-4 園芸作業前と作業後の POMS 診断結果 (2007 年 7 月 6 日実施)

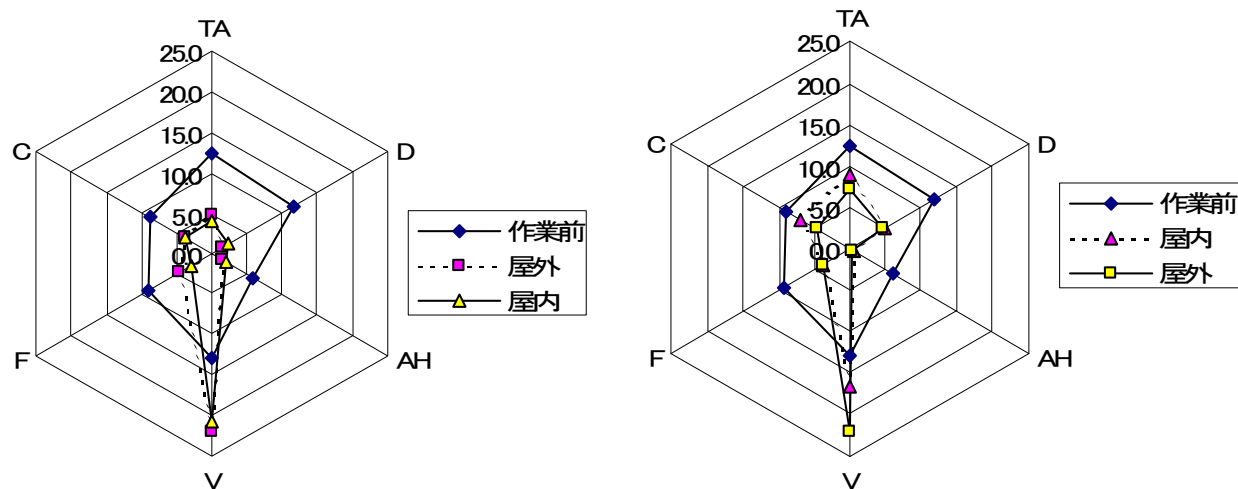


図-5 園芸作業前と作業後の POMS 診断結果（2008 年 7 月 11 日実施）

2006 年 10 月グループでは、作業後には、T-A、D、A-H、F、C 要素は 5 前後まで軽減する方向に、また V 要素では 20 付近に活性化する方向に推移した。屋外作業と屋内作業の順序の違いについては、「屋外作業 → 屋内作業」ではほとんど変化が無いのに対し、「屋内作業 → 屋外作業」では、さらにストレス尺度が 2～3 程度軽減される方向に推移した。

2007 年 3 月グループでは、T-A、D、A-H、F、C 要素は 5 前後まで軽減する方向に推移した。屋外作業と屋内作業の順序の違いについては、「屋外作業 → 屋内作業」ではほとんど変化が無いのに対し、「屋内作業 → 屋外作業」では、さらにストレス尺度が 2～3 程度軽減される方向に推移した。このグループでは、V 要素が「屋内作業 → 屋外作業」のみ 20 付近に活性化する方向に推移した。

2007 年 7 月グループでは、作業前の初期値が、TA、D、AH、V、F、C 要素が 5 前後でありストレス尺度が小さく、V は 10～15 程度であった。作業後には T-A、D、A-H、F、C 要素などのストレス尺度はわずかに小さく推移したが、いずれも作業前の初期値のストレス尺度が小さく、後の屋外作業と屋内作業の順序の違いについての効果を見出すには至らなかった。

2008 年 7 月グループでは、T-A、D、A-H、F、C 要素は 5 前後まで軽減する方向に、また V 要素では 25 付近に活性化する方向に推移した。なお屋外作業と屋内作業の順序の違いについての際立った影響を見出すには至らなかった。

以上、全体的には、園芸作業前に比較して、作業後には、T-A、D、A-H、F、C 要素は 5 前後までに軽減する方向に、また V 要素では 15～20 付近に活性化する方向に推移した。

一方、園芸の屋外作業と屋内作業の順序の違いについて詳細に検討を加えた結果、「屋外作業 → 屋内作業」ではほとんど変化が無いのに対し、「屋内作業 → 屋外作業」では、さらにストレス尺度が軽減される方向に推移しており、屋外作業の効果の大きさを示す結果となった。こうした傾向は、2006 年 10 と 2007 年 3 月グループで顕著であった。夏季となる 2007 年 7 月と 2008 年 7 月グループでは、空調下の快適な環境下での園芸作業という意味での効果があると考えられ、空間的特質の違いとしての

屋外作業と屋内作業の効果の差異を見出すには至らなかった。

なお今回の調査では、性別や年齢別の傾向について検討するには至っていないが、そうした性質を超えた環境の影響が心理検査に現れていると考えられる。

3.2 園芸療法に関するアンケート

園芸療法に関するアンケートは、2007年3月グループ、2007年7月グループ、2008年7月グループで実施した。両グループの属性として性別とともに幅広い年齢層を対象としているが、いずれのグループも園芸が好きかという設問に対して、「かなりそう思う」「ややそう思う」という回答で大半を占めており、園芸を好む傾向については共通していた（図-6）。ただし園芸を好まないという回答も若干数は認められた。

また大きな違いは、2007年3月グループと2008年7月では普段園芸を行っている割合が多く、2007年7月グループでは普段園芸を行っている割合がそれぞれ多いという点であった（図-7）。

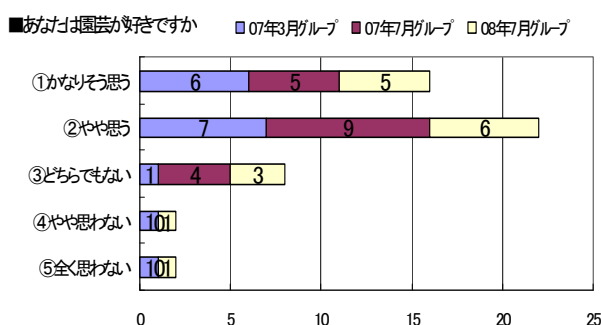


図-6 調査対象者の園芸の好みの程度

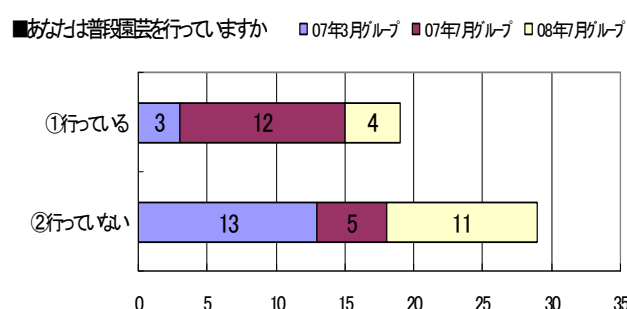


図-7 調査対象者の日常の園芸活動の有無

そこで両グループの比較はせず、まとめて園芸療法の可能性に関するアンケート結果を示した。

まず高齢者施設入居者のレクリエーションとして園芸はおすすめかという設問に対しては、「かなりそう思う」「ややそう思う」という回答で全数を占めた（図-8）。この結果は、訪問介護員研修生の視点からも高齢者に対する園芸療法の一定の効果への理解が得られているものと考えられる。

どのような園芸内容を提供したいかという設問に対しては、「花」、「野菜」が上位を占め、次いで「ハーブ」、「花壇」などの回答があった（図-9）。すなわち観賞と収穫（利用）という園芸の目的（楽しみ）を重視した結果であると考えられる。

主にどこで作業をしたいかという設問に対しては、「施設の屋外」の回答が圧倒的多数を占めた（図-10）。なお、施設の屋上、近所の公園、対象者の家などの屋外での園芸活動の有効性についても否定されるものではなく、要介護高齢者などを施設外に移動して活動を展開することの難しさを示唆している結果と考えられる。

どのくらいの頻度で作業したいかという設問に対しては、「週に1回」という回答が多数を占め、次いで「週に2～3回」であった（図-11）。必ずしも回数が多ければよいというものではなく、毎日が望ましいという回答は極めて少なかった。この結果についても、園芸活動を毎日実施することの有効性を認めつつも支援体制の難しさを示唆した結果になっていると考えられる。

■高齢者施設入居者のレクリエーションとして園芸をおすすめですか

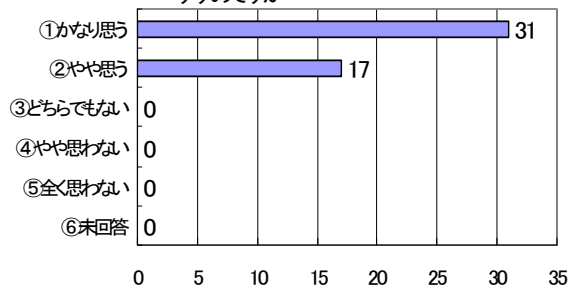


図-8 高齢者施設への園芸レクリエーション導入の適否

■どのような園芸内容を提供したいですか

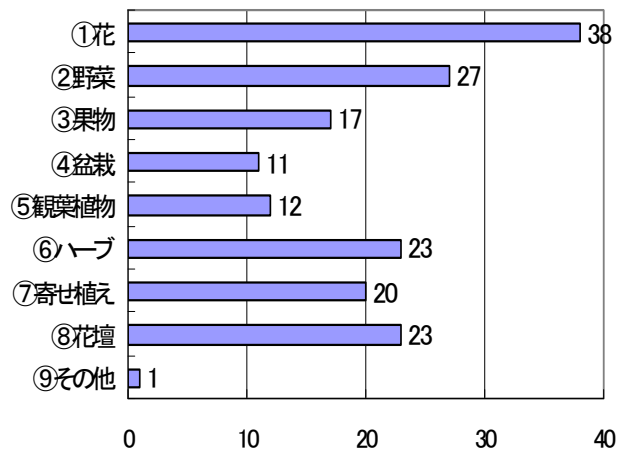


図-9 高齢者施設の園芸レクリエーションとして相応しい園芸素材

■主どこで作業したいですか

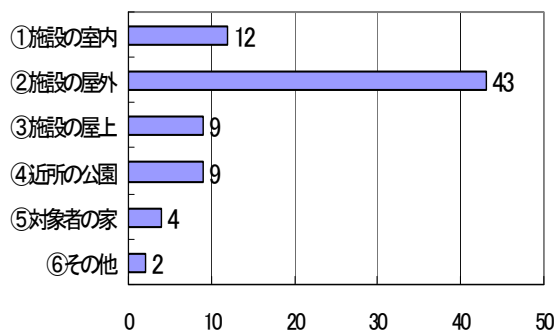


図-10 高齢者施設の園芸レクリエーションとして相応しい活動場所

■どのくらいの頻度で行いたいですか

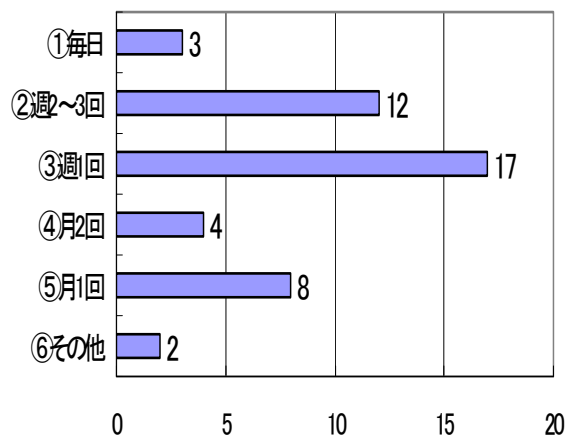


図-11 高齢者施設の園芸レクリエーションとして相応しい活動インターバル

■屋内と屋外での作業どちらが気分がよかったですか

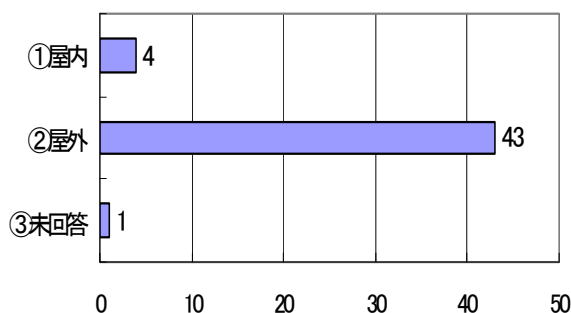


図-12 調査対象者自身の経験に基づく園芸レクリエーションを行う空間としての屋外と屋内の好み

最後に、調査日に行われた園芸作業を通じて、「屋内」と「屋外」での作業はどちらの方が気分がよかったかという設問に対しては、圧倒的に「屋外」という回答が多かった（図-12）。

またその理由についての自由回答を求めたところ、「開放的」、「風を感じる」、「頭が

すっきり」、「あたたかい」、「風や木々のざわめき」、「すがすがしい」、「陽の光」、「他の花の発見」、「青空」など、空間に存在する自然素材を中心とした要素への気づきとそれに伴う快適感に関する語が挙げられた。

4. まとめ

訪問介護員を目指す研修生を対象として、園芸作業による心理的効用について、屋外と屋内という環境条件の違いとともに検討を行った。その結果、調査対象者は園芸作業前の検査についても健常値を示していたが、全体的に園芸作業前に対して作業後の心理的ストレス指標が軽度に移る傾向が認められた。すなわち緊張・不安、抑うつ・落ち込み、怒り・敵意、疲労、混乱といった気分に関する指標が、作業前よりも作業後に軽度に移ったことが明らかとなった。なお本報では福祉の仕事を目指す受講生という立場で、既往¹⁾の園芸療法の心理的効用を追認することとなった。その効果が屋内における園芸作業よりも屋外での園芸活動において顕著になる傾向が認められ、この成果は新たな知見となった。

さらに高齢者施設への園芸療法の導入に関するアンケートによれば、福祉業務の専門性を有する訪問介護員を目指す研修生という立場から見て、施設の入居者に対する園芸療法の提供は肯定的な意見が大半を占めた。そのメニューとしては花、野菜、ハーブなどを材料にすることが望ましいという回答が多く、園芸の目的である観賞や収穫（利用）への楽しみを主眼においた評価と考えられる。活動場所としては、施設の屋外が大半を占めており、園芸活動を通じて屋外に出る機会を提供することに意義を見出していると考えられた。そうしたことから、自由回答の中で、「開放的」、「風を感じる」、「頭がすっきり」、「あたたかい」、「風や木々のざわめき」、「すがすがしい」、「陽の光」、「他の花の発見」、「青空」など、他の自然要素の存在やそれに伴う心地良さを表す語にも現れていた。

一方、作業頻度は毎日ではなく、週に1回が望ましいという回答が多く、また実施場所は施設が望ましいという回答が多い点については、ある程度の頻度で園芸活動を行うことの有効性と共にその環境条件である空間への配慮の重要性は感じつつも、実際の施設運営の現状から効果的な園芸療法の展開が難しいことを示唆する回答であると考えられる。



写真-8 車椅子対応型の立体花壇

※車椅子に座ったままで花壇への花苗の植えつけや植え替え作業が可能。



写真-9 スロープのユニバーサルデザイン

※スロープの勾配や脱輪防止などの基本的な整備のほかに両側の植栽により高低差に伴う恐怖感の軽減やハーブ植栽により香りを楽しめるデザインとなっている。



写真-10 都市公園に整備された園芸療法施設

※車椅子対応型花壇が整備され複数人で花壇を囲んでの園芸療法の実施が可能となっている。

園芸療法の効用は、作業活動に伴う身体的リハビリテーション効果や達成感などの心理的効用のほかに、そうした活動を行う空間の快適性が動作を無理なく誘発していく重要な要素になると考えられる。そうした観点からは、これまでのような純粋な作業療法すなわち室内のトレーニングのみでは、同じ動作であっても効果を最大化させるににくいケースもあると考えられる。そこで今後、安全上そして運営上の様々な課題を解決しながら、屋外という開放感を得られやすい空間での活動により療法の効果を最大化させていく仕掛けも必要となろう。

近年では、園芸療法を想定した施設の開発（写真-8、9）とともに、そうした施設が都市公園にも設置されるようになってきた（写真-10）。今後、こうした園芸療法施設の整備とともに、老人介護施設入居者をはじめとする単独で園芸を行うことが困難な対象者が、近隣の公園緑地を活用して園芸療法を実践できる仕組みづくりが望まれるところである。

文 献

- 1) 松尾英輔(1998): 園芸療法を探る／癒しと人間らしさを求めて、グリーン情報
- 2) 松尾英輔(2002): 日本における園芸療法／その発展と課題、日本における園芸療法の実際(グリーン情報編)、pp.75-80
- 3) Shuichiro YAMAGUCHI・Toshiyuki GUNJI・Tadashi NIWA・Shiro WAKUI・Kentaro IJIMA(2004):Description and Results of the Horticulture Therapy at ‘Midorinosato’ which is Special Nursing Home for the Elderly, 8th International People-Plant Symposium Proceedings, pp.28-29
- 4) 涌井史郎・油井正昭・飯島健太郎(2005):特養介護施設「緑の郷」における園芸活動プログラム導入とその評価 桐蔭論叢 12 号、pp.75-80
- 5) Momoko Yoshizawa・Shiro Wakui・Masaaki Yui・Kentaro Iijima(2006): A study on physical and psychological effects of horticultural therapy for elderly people, TOIN International Symposium on BME, p.83
- 6) Momoko Yoshizawa・Shiro Wakui・Kentaro Iijima(2007): A study on effect of horticultural therapy for hand and finger rehabilitation in the elderly, TOIN International Symposium on BME,p.105
- 7) 横山和仁・下光輝一・野村忍編(2002): 診断・指導に活かす POMS 事例集、金子書房
- 8) 横山和仁・荒記俊一(1994): 日本語版 POMS 手引、金子書房

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

氏名 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

要旨

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。

1. 研究の背景と目的

2001 年、東京都で屋上緑化が義務化されてから、屋上緑化面積は飛躍的に増加してきた。しかし、施工後に様々な問題が出てくることが多く、今後、屋上緑化の改修は、大きな課題となってくると予想される。一方、近年、生物の多様性に対する関心は高まってきているが、生態系創出を目的とした屋上ビオトープに関する研究は少なく（島田ら、1995、養父ら、1997）、植栽設計や管理方法等課題は多い。収穫などを楽しむことができるエディブルガーデンは、ハーブや昆虫の食草食樹を積極的に用いることにより、生物多様性への貢献も期待できる（Nagase et al., 2011; 豊田, 2005）。そこで、本研究は、2010 年 4 月に改修された千葉大学西千葉キャンパス（千葉県千葉市）のビオトープ及びエディブルガーデンの屋上緑化の事例をもとに、改修前後で動植物がどのように変化したのか調査を行い、生物多様性を目的とした屋上緑化の改修における指針を示すことを目的とした。

2. 研究方法

2-1 実験場所の概要

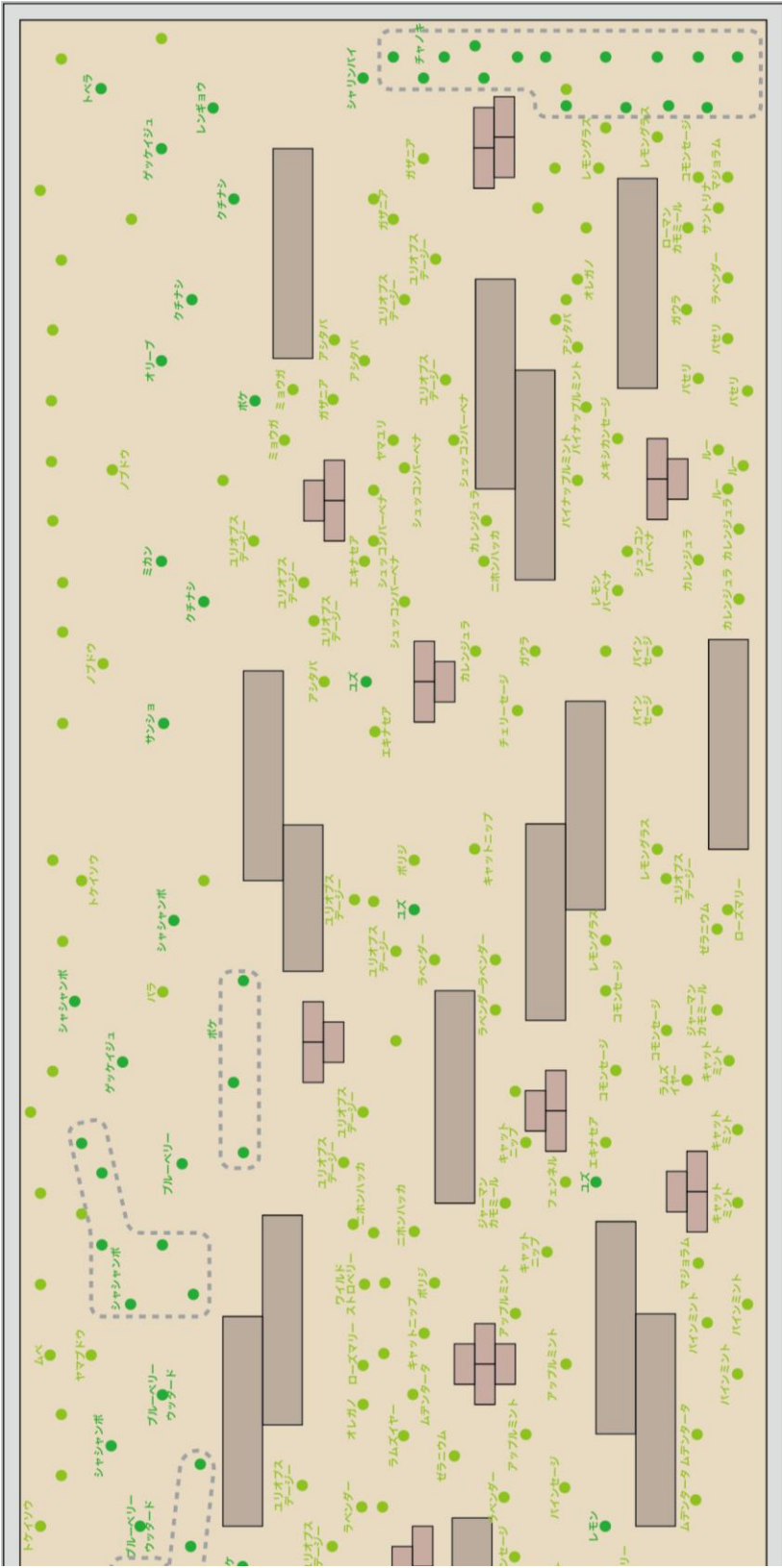
2002 年、千葉大学西千葉キャンパス（千葉県千葉市）の 9 階屋上に 150m² のビオトープ及び 57m² の芝生地が施工された。ビオトープの改修前の詳細は永瀬ら (2010) に記されている。芝生地には、ネムノキとヤマモモが植栽されていた。両方共に施工後 8 年間無灌水、無管理であったため、改修前はセイタカアワダチソウ、ススキなど大型雑草が優占していた。2011 年 4 月改修時に行われた作業は下の通りである。

① ビオトープの改修

ビオトープでは、樹木の入れ替え及びノシバの芝張りが行われた。取り除いた種は、エノキ、エゴノキ、クロガネモチ、ハナミズキ、ヒサカキ、ベニバナトキワマンサク、ベニカナメモチである。生け垣として使用されていたヒサカキ、ベニバナトキワマンサク、ベニカナメモチはすべて取り除かず、生育が良好だった一部のものは残した。自生種を中心とした 13 種の草本（シャガ、オミナエシ、カタバミ、ツワブキ、フジバカマ、トクサ、ギボウシ、リュウノヒゲ、デイリリー、ホトトギス、ヤブラン、ノシラン、エビネ）が新しく植えられた。

② エディブルガーデンの施工

芝生地に植栽されていた樹木及び芝はすべて除去され、エディブルガーデンが施工された。エディブルガーデンの周囲には、防風のために 1.2 m の高さのトレリスを設置し、つる植物を植えた。植生図を図 1 に示す。エディブルガーデンの樹木及び草本は植栽するエリアを決めた後、ランダムに植えた。また、雑草の侵入を防ぎ、蒸散を減少させるために 1 cm のマルチング（保水性レンガフジ）を敷いた。また、足場の確保とアクセントとなるデザインを目的として枕木とレンガを敷いた。

[illegible]

2-2 調査方法

2011年4月から11月にわたり、ビオトープ及びエディブルガーデンにおいて、月2回、雑草の侵入種を調査した。雑草は調査の後、1ヶ月に1度全面的に除草された。同様に月2回、エディブルガーデンに植栽したハーブの開花状況を調査した。1個体でも開花がみられた場合には、その種は開花しているとした。2011年10月29日に植栽した植物のすべての生育調査(樹高、樹冠幅)を行った。無脊椎動物類は、月1回の調査により、種数を把握した。調査時に眼で見て発見した昆虫類をリストアップする見取り法や、草地や樹木の枝等を捕虫網によってスweepingする採集法によって調査した。無脊椎動物類は、風がない晴れた午前中に行った。2010年、同様に行われた動植物の調査結果と比較し分析を行った。

3. 結果と考察

3-1 植栽した植物の生長

ビオトープの樹木の生育調査結果を表1に示す。植栽した植物はほとんどの植物が良好に生長していたが、ジンチョウゲ10個体すべてが枯死した。ジンチョウゲは移植が難しいと言われており、定着できなかった可能性が高い。また、ハマヒサカキは1個体のみ枯死し、カラタチ及びイボタノキは枯死には至っていないものの生育が悪かった。改修前にストレスを示し、生長が悪かった種は、灌水装置を導入後も回復しなかった。しかし、これについては長期的な調査が必要である。

エディブルガーデンでは、ヤブキタチャ、イチジクが枯死した。ヤブキタチャは風が強い場所に植えられた場所で枯死した個体が見られたため、風によるストレスを示したと考えられる。一方、風が弱い場所に植栽されたヤブキタチャは良好に生育し開花も見られた。また、イチジクは温暖な気候が適しているため、強風にさらされる屋上の環境には適応できなかったと考えられる。屋上でイチジクを栽培する場合には、風のあたらない場所に植栽するなど工夫が必要である。

ハーブ類の開花期間を表3に示す。植栽されたハーブ類は、9種で開花がみられなかったものの、他の種は長期間開花していた。特に、チェリーセージ、アシタバ、センテッドローズゼラニウム、ポリジは、5か月以上の開花期間を示した。また、夏季には、開花している種が少なくなるため、夏開花しているオレガノなどは吸蜜植物として貴重である。また、秋から冬にかけて長期間開花するセージ類も、花が少ない冬季に彩りを添える種として活用できる。

表1 木本の樹高および樹径 (ビオトープ)

新規導入	種名	科	樹高* (cm)	樹冠幅* (cm)	生存個体数**
○	ムクゲ	アオイ科	121.9±0.6	52.5±3.5	2
○	クチナシ	アカネ科	58.6±4.7	39.5±5.8	10
○	ハクチョウゲ	アカネ科	63.3±7.6	45.8±5.0	10
○	アジサイ	アジサイ科	122.5±11.9	76.5±45.9	4
○	ガクアジサイ	アジサイ科	71.75±26.8	38.0±24.2	4
○	ノリウツギ	アジサイ科	114.0	102.5	1
	ヤツデ	ウコギ科	91.0	93.5	1
	ビヨウヤナギ	オトギリソウ科	100.0±7.07	73.3±27.2	2

	クスノキ	クスノキ科	440	232	1
○	ジンチョウゲ	ジンチョウゲ科	—	—	(10)
	アベリア	スイカズラ科	103.8±24.3	101.8±21.8	20
○	ブッドレア	フジウツギ科	123.5±13.4	88.5±7.7	2
○	カンツバキ	ツバキ科	51.4±5.8	42.2±10.0	10
○	ヤブツバキ	ツバキ科	193.5±9.2	81.0±9.9	28
	サザンカ	ツバキ科	55.0±9.9	107.0±2.8	7
	ハマヒサカキ	ツバキ科	115.8±30.4	57.3±21.4	4(1)
○	サカキ	ツバキ科	180	80	1
○	ヤマボウシ	ミズキ科	246.5±14.8	144.5±4.9	2
	ドウダンツツジ	ツツジ科	97	112	1
○	サツキ	ツツジ科	36.3 ±10.1	45.3 ±13.7	15
	カナメモチ	バラ科	119.0	69.5	1
	ユキヤナギ	バラ科	115.8 ± 30.4	57.3 ± 21.4	5
○	シャリンバイ	バラ科	68.1 ± 11.1	65.6 ± 17.4	10
	コナラ	ブナ科	252.5 ± 77.1	196.5 ± 2.12	2
	アラカシ	ブナ科	249	146	1
○	ウバメガシ	ブナ科	180.5± 10.2	44.1± 6.32	10
○	ヤマハギ	マメ科	120	137	1
	マルバハギ	マメ科	159.0± 8.5	159.3 ±93.0	2
	ベニバナトキワマンサク	マンサク科	180.8 ±22.5	83.7± 29.8	8
○	カラタチ	ミカン科	177.0± 5.7	71.8 ± 29.3	2
○	フィリアオキ	ミズキ科	51.0±3.4	39.5±5.8	10
○	ナンテン	メギ科	47.1 ±8.7	40.7 ±11.2	10
○	イボタノキ	モクセイ科	162.6 ±6.1	40.5± 7.0	10
	キンモクセイ	モクセイ科	256	96	1
	レンギョウ	モクセイ科	207	194	1
○	カラタネオガタマ	モクレン科	209.0± 15.6	68 ±29.0	2
○	イヌツゲ	モチノキ科	169.4 ±6.3	77.9± 15.2	10
	ヤマモモ	ヤマモモ科	339 ± 92.6	264.7 ±124.2	3
	クロマツ	マツ科	163.0	84.5	1
○	ロウバイ	ロウバイ科	200±28.3	76.5±23.3	2

*Mean±Standard Deviation

** 枯死した個体がある場合のみ()で枯死した個体数を示した

表 2 ハーブの開花期間

		3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
レモンダラ	イネ科	開花日なし								
エキナセア	キク科									
ローマンカモマイル	キク科									
カレンジュラ	キク科									
サントリナ・シルバー	キク科	開花日なし								
ヤロウイエロー	キク科									
ジャーマンカモマイル	キク科									
ユリオプスデージー	キク科									
レモンバーベナ	クマツヅラ科	開花日なし								
ラムズイヤー	シン科	開花日なし								
コモンセージ	シン科									
チェリーセージ(レッド)	シン科									
バインナップルセージ	シン科									
メキシカンセージ	シン科									
シソ	シン科	開花日なし								
キャットニップ	シン科									
ブルーキャットミント	シン科									
アップルミント	シン科	開花日なし								
オレガノ	シン科									
スイートマジョラム	シン科									
スベアミント	シン科	開花日なし								
バインナップルミント	シン科	開花日なし								
ブラックペパーミント	シン科									
ラベンダー	シン科									
レモンバーム	シン科	開花日なし								
ローズマリー	シン科									
日本ハッカ	シン科									
ミウガ	ショウガ科									
スイートフェンネル	セリ科									
パセリ	セリ科									
アシタバ	セリ科									
ワイルドストロベリー	バラ科									
センテッド・ローズゼラニウム	フクロウ科									
ルー	ミカン科									
ボリジ	ムラサキ科									

3-2 雑草の変化

エディブルガーデン及びビオトープで見られた雑草を表 4 に示す。改修前と同様に、ススキとセイタカアワダチソウが優占していた。改修前に生育していた種は改修後もすべて確認された。このことから、大型雑草が優占してしまうと、雑草混合土壌を除去したとしても、しばらくは優占が続くことが示された。無脊椎動物の夏場の高温時に隠れ場所、冬場の越冬場所として、ススキなど一部残しておくことが望ましいが、大型雑草は定期的に除去することが重要である。また、改修前と比較すると確認された雑草の種数が 22 種から 49 種に増加している。改修後に侵入した種は、数個体程度と少なく、分布は樹木の根本付近などに限られているため、新規に植栽した植物と共に入ってきた可能性が高いと考えられる。新規に移入したアメリカセンダングサ、キツネノマゴなどは、訪花昆虫の吸蜜源となるため、今後も生物多様性を考慮した雑草の管理が望まれる。

表 3 雑草の変化

2010年	2011年	
○	メマツヨイグサ	アカバナ
○	ヘクソカズラ	アカネ
○	スズメノヤリ	イグサ
	エノコログサ	イネ
○	ススキ	イネ
○	チガヤ	イネ
	メヒシバ	イネ
	ヘラオオバコ	オオバコ
○	カタバミ	カタバミ
	カヤツリグサ	カヤツリグサ
○	ヒメクグ	カヤツリグサ
	アメリカセンダングサ	キク
	アメリカカタサブロウ	キク
	アレチノギク	キク
○	ウラジロチチコグサ	キク
○	オオアレチノギク	キク
○	オニタビラコ	キク
	オニノゲシ	キク
○	セイタカアワダチソウ	キク
	ダンドボロギク	キク
	ノボロギク	キク
	ハキダメギク	キク
○	ハハコグサ	キク
○	ハルジオン	キク
○	ハルノノゲシ	キク
○	ヒメジョオン	キク
○	ヒメムカシヨモギ	キク
	ヨモギ	キク
	キツネノマゴ	キツネノマゴ
	タチイヌノフグリ	ゴマノハグサ
	トキワハゼ	ゴマノハグサ
	マツバウンラン	ゴマノハグサ
	トウバナ	シソ
	ホトケノザ	シソ
	スベリヒユ	スベリヒユ
	イヌタデ	タデ
	オオヤブタデ	タデ
	ツユクサ	ツユクサ
	アカメガシワ	トウダイグサ
	エノキグサ	トウダイグサ
	コニシキソウ	トウダイグサ
	スギナ	トクサ
○	ドクダミ	ドクダミ
○	オランダミミナグサ	ナデシコ
	ハコベ	ナデシコ
○	マンネングサ	ベンケイソウ
○	カラスノエンドウ	マメ
○	ミソハギ	ミソハギ
○	ネジバナ	ラン
22	49	

3-3 昆虫類の変化

ビオトープ及びエディブルガーデンで確認された昆虫のリストを表4に示す。昨年の調査では36種の昆虫類がリストアップされたが、今年度の調査では44種の昆虫が確認された。このうちビオトープでは30種、エディブルガーデンでは24種がみられ、どちらにも見られた種は10種であった。

新たに確認された種は、新しく導入した植物に因るところが大きい。例えば、エディブルガーデンではフェネルを植栽したことにより、これを寄主として利用しているアカスジカメムシが誘引された。またハナアブやヒラタアブが今年度から確認されるようになったのは、多様な花を植栽したことや幼虫の餌となるアブラムシ類の個体数が多くなったことが考えられる。また、他にも8種のチョウ類がエディブルガーデンで今回始めて確認された。さらに、植物導入に際し、人為的に持ち込まれた可能性が高い種としてはヒロバネカンタンなどが挙げられる。これらは導入した植物体もしくは培地に卵が産みつけられていた可能性が高い。

また、オオカマキリが新たに確認された。ショウリョウバッタやクビキリギスなど大型種が確認できなくなった原因として、捕食性昆虫であるオオカマキリの存在も挙げられる。卵囊も見られたことから次年度以降も高次消費者としての立場を担っていくことになるであろう。

昨年までは確認された種が今年度確認できなくなった原因として、改修時に表土を除去したことにより産下卵が失われたことも考えられた。他にも地表性昆虫等で昨年度は見られたのに今年度確認されていない種も存在するが、今年度はピットホールトラップなどの調査を実施していないので、次年度以降はこうした調査も加え、より詳細に無脊椎動物相の生息状況を把握していく予定である。

表 4 昆虫相の変化

種名	学名	科名	2010	2011	
			ビオトープ	ビオトープ	エディブル
トンボ目					
1	コシアキトンボ	<i>Pseudothemis zonata</i>	トンボ科		○
2	シオカラトンボ	<i>Orthetrum albistylum</i>	トンボ科	○	
3	ウスバキトンボ	<i>Pantala flavescens</i>	トンボ科	○	
ハサミムシ目					
4	ハサミムシsp.	<i>Anisolabis maritima</i>	ハサミムシ科	○	
バッタ目					
5	ヒロバネヒナバッタ	<i>Megaulacobothrus latipennis</i>	バッタ科		○
6	ショウリョウバッタ	<i>Acrida cinerea</i>	バッタ科	○	
7	オンブバッタ	<i>Atractomorpha lata</i>	オンブバッタ科		○
8	ツチイナゴ	<i>Patanga japonica</i>	イナゴ科	○	○
9	カナタタキ	<i>Ornebius kanetataki</i>	カナタタキ科	○	○
10	クビキリギス	<i>Euconocephalus thunbergi</i>	キリギリス科	○	
11	ツユムシ	<i>Phneroptera falcata</i>	キリギリス科	○	○
12	ホシササキ	<i>Conocephalus maculatus</i>	キリギリス科	○	○
13	ヤブキリ	<i>Tettigonia orientalis</i>	キリギリス科	○	○
14	エンマコオロギ	<i>Teleogryllus emma</i>	コオロギ科	○	○
15	シバズ	<i>Pteronemobius mikado</i>	コオロギ科	○	○
16	カンタン	<i>Oecanthus longicauda</i>	コオロギ科		○
カマキリ目					
17	オオカマキリ	<i>Tenodera aridifolia</i>	カマキリ科	○	
カメムシ目					
18	アカスジカメムシ	<i>Graphosoma rubrolineatum</i>	カメムシ科		○
19	オオモンシロナガカメムシ	<i>Metochus abbreviatus</i>	ナガカメムシ科	○	
20	マルカメムシ	<i>Megacopta punctatissima</i>	マルカメムシ科		○
21	ミドリグンバイウンカ	<i>Kalitaxilla sinica</i>	グンバイウンカ科		○
22	アワダチソウグンバイムシ	<i>Corythucha marmorata</i>	グンバイムシ科	○	
23	アブラゼミ	<i>Graptopsaltria nigrofuscata</i>	ゼミ科		○
24	セイタカアワダチソウヒゲナガアブラムシ	<i>Uroleucon nigrotuberculatum</i>	アブラムシ科	○	
25	ソラマメヒゲナガアブラムシ	<i>Megoura crassicauda</i>	アブラムシ科	○	
コウチュウ目					
26	ヒメシギカミキリ	<i>Callidiellum rufipenne</i>	カミキリムシ科		○
27	クリイロクチキムシ	<i>Borboressthes acicularis</i>	クチキムシ科	○	
28	コメツキムシsp.	<i>Elateridae</i>	コメツキムシ科	○	
29	アオドウガネ	<i>Anomala albopilosa</i>	コガネムシ科		○
30	コアオハナムグリ	<i>Gametis jucunda</i>	コガネムシ科		○
31	セマダラコガネ	<i>Blitopertha orientalis</i>	コガネムシ科	○	○
32	ゾウムシsp.	<i>Curculionidae</i> sp.	ゾウムシ科	○	
33	ナナホシテントウ	<i>Coccinella septempunctata</i>	テントウムシ科	○	○
34	ナミテントウ	<i>Harmonia axyridis</i>	テントウムシ科	○	○
35	ヒメカメノコテントウ	<i>Propylaea japonica</i>	テントウムシ科	○	○
36	サンゴジュハムシ	<i>Pyrrhalta humeralis</i>	ハムシ科		○
37	キアシルリツツハムシ	<i>Cryptocephalus fortunatus</i>	ハムシ科	○	
ハエ目					
38	ナミホシヒラタアブ	<i>Eupeodes corollae</i>	ハナアブ科		○
39	ボソヒラタアブ	<i>Episyrphus balteatus</i>	ハナアブ科		○
40	アシブトハナアブ	<i>Helophilus virgatus</i>	ハナアブ科		○
41	ナミハナアブ	<i>Eristalis tenax</i>	ハナアブ科		○
チョウ目					
42	ナミアゲハ	<i>Papilio xuthus</i>	アゲハチョウ科	○	○
43	キアゲハ	<i>Papilio machaon</i>	アゲハチョウ科	○	○
44	アオスジアゲハ	<i>Grahinum sarpedon</i>	アゲハチョウ科	○	
45	クロアゲハ	<i>Papilio protenor</i>	アゲハチョウ科	○	
46	モンシロチョウ	<i>Pieris rapae</i>	シロチョウ科		○
47	アカタテハ	<i>Vanessa indica</i>	タテハチョウ科		○
48	ヒメアカタテハ	<i>Vanessa cardui</i>	タテハチョウ科		○
49	ツマグロヒョウモン	<i>Argyreus hyperbius</i>	タテハチョウ科	○	
50	ウラナミシジミ	<i>Lampides boeticus</i>	シジミチョウ科		○
51	ベニシジミ	<i>Lycaena phlaeas</i>	シジミチョウ科		○
52	ヤマトシジミ	<i>Pseudozizeeria maha</i>	シジミチョウ科		○
53	イチモンジセセリ	<i>Parnara guttata</i>	セセリチョウ科	○	○
54	チャバネセセリ	<i>Pelopidas mathias</i>	セセリチョウ科	○	
55	オオスカシバ	<i>Cephonodes hylas</i>	スズメガ科		○
56	ホシホウジャク	<i>Macroglossum pyrrhosticta</i>	スズメガ科		○
57	マエアカスカシノメイガ	<i>Palpita nigropunctalis</i>	ツトガ科	○	
ハチ目					
58	コガタスズメバチ	<i>Vespa analis</i>	スズメバチ科		○
59	クマバチ	<i>Xylocopa appendiculata</i>	ミツバチ科	○	○
60	セイヨウミツバチ	<i>Apis mellifera</i>	ミツバチ科	○	○
61	クロヤマアリ	<i>Formica japonica</i>	アリ科		○
62	クロオオアリ	<i>Camponotus japonicus</i>	アリ科	○	
63	アミメアリ	<i>Pristomyrmex punctatus</i>	アリ科	○	

4. まとめ

本研究により、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。一般的に、生物多様性のための緑化は、自生種を主として植栽した池があるビオトープというイメージが強い。しかし、ハーブや果樹を多用したエディブルガーデンは、生物多様性創出効果が期待できるだけでなく、花期が長く、見た目にも美しい、人々が植物を活用できるという利点がある。エディブルガーデンは環境教育の場としても適しており、学校などの屋上緑化における推進が望まれる。本研究では、初期の調査結果にとどまったが、今後もビオトープとエディブルガーデンの違いに注目しながら、長期的に生物相の変遷を調査することにより、生物多様性のための屋上緑化の設計、管理に対する知見の蓄積が必要である。

参考文献

永瀬 彩子・野村 昌史 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、特殊緑化技術に関する研究発表会要旨集 pp3-10、都市緑化技術開発機構

Nagase, N., Kurashina, M., Nomura, M. (2011) Planting Design and Vegetation Management for Promoting Biodiversity at a University Campus – Example of Butterfly –, *Acta Horticulturae*, (In Press)

島田正文、中村忠昌、柳井重人、丸田頼一（1995）建築物の緑化と昆虫類の生息に関する基礎的研究、第9回環境情報科学論文集 pp35-40

豊田幸夫（2005）エコ・ヒーリング・ランドスケープ、鹿島出版会

養父志乃夫（1997）市街地ビル屋上におけるビオトープの形成に関する実証的研究、環境システム研究 25、1997 年 10 月

謝辞

改修の際、設計・施工に関し、多大なるご協力をしてくださった豊田幸夫さん、施工、管理、調査などの作業に参加した千葉大学園芸学部緑地環境学科永瀬研究室の学生と千葉大学工学部デザイン学科渡邊研究室の学生に感謝いたします。

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), 奥水肇(明治大学・農学部)

要旨

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。

1. はじめに

日本の下水道普及率は、諸外国と比べて高く、今まで屋上緑化による雨水貯留とそれに基づく流出遅延・抑制に関する議論は遅れていた。しかし、気候変動による異常気象、東南アジアに多い局所的集中豪雨の頻発は、日本特有の降雨イベント・パターンに対応した屋上緑化の雨水流出・流出遅延の定量データが必要となってきた。

そこで、粗放管理と植物生育の両立を目的とした雨水貯留ではなく、雨水の河川および下水への流出抑制・遅延を目的とした供試材として、各種屋上緑化施工メーカーが建物屋上・屋根面への荷重制限対策として開発した発泡スチロール製貯排水ボードと人工軽量土壌を組み合わせた薄層軽量型の基盤が有効と考えた。そして、この土壌厚で生育可能な芝・セダム類を植栽した粗放管理型薄層屋上緑化システムの雨水流出量を計測し、雨水流出遅延効果の定量化を試みた。本緑化システムの流出特性の定量化は、局所的集中豪雨の流出抑制対策や浸水被害ハザードマップ作成のみならず、都市の新たな水循環モデルの構築に活用できる屋上緑化の基礎データとして有用と考えられる。

2. 研究の方法

2-1. 実験材料および準備状況

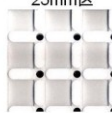
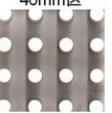
供試体は、発泡スチロール製貯排水ボードを施工した緑化システムのうち、養生期間中、植物の安定した生育が確認できた 25mm, 30mm, 40mm の貯排水ボード(表-1 参照)を使用した緑化システム(以下、供試パネル)とした。この供試パネルには、屋上緑化の荷重制限対策として開発された各種軽量土壌の中から、貯排水能が有機物や肥料分に影響を受けない石炭灰素材のリサイクル人工軽量土壌を充填している。植栽層には、屋上緑化に多く使用されている芝草種の中からケンタッキーブルーグラス“ミッドナイトⅡ” *Poa pratensis* を選定し、実験開始直後から均一な緑化となるよう、ソッド(播種量 15.0g/m²)を張った。供試パネル(縦 500×横 500×厚さ 75mm)は、各区 2 連準備し、明治大学農学部ガラス室内で水分条件を一定に保ちながら、適宜灌水し、1 週間に 1 回高さ 20mm に刈り込む養生を行った。

2-2. 滴下実験

2010 年 1 月 18 日から約 2 ヶ月経過した同年 3 月 6 日から、降水が表面流や溢水を発生させることなく、パネルを浸透し、排水管を通過して、流量センサで計測できる降雨強度決定を目的とした予備実験を行った。人工降雨装置 DIK-6000-S(大起理化株式会社製)を使用し、実際の屋上面を想定して勾配を 1% に設定したジュラルミン製コンテナ(縦 500×横 500×深さ 100mm)に供試パネルを設置し、排水管としたゴムホース、塩ビ管を通して流量センサにつなげた(写真 1 参照)。降雨強度を降雨装置の限界値である時間 150mm(実降雨量 146.02mm/hr)に設定し、1 日 1 回、18 時から 1 時間滴下させ、3 区 2 連の供試パネルの流出量を計測し、実験風景を観察した。その結果、設定した降雨強度では、パネル表面で表面流が発生し、ジュラルミン製コンテナとゴムホースの連結部からの溢水が生じ、正確な流出量が計測できないことを確認した。そこで、浸水被害が発生した降雨パターンを集計・分析した菊池ら(2009)¹⁾の結果を参考に、降雨強度を時間 75mm(実降雨量

74.2mm/hr)に変更して、降雨回数、時間を同条件に1つの供試パネルにおいて3～4回の連続計測を行った。本実験は、6月25日から全6区が2反復し、パネル内が水分過多で大半の区が枯死した8月5日まで継続した

表-1 貯排水ポットの出特性(菊池ら, 2010a, b)

	25mm区	30mm区	40mm区
表面			
厚さ(mm)	25.0	30.0	40.0
流出開始時間(min.)	4	5	9
最大流出量(L/min)	0.374	0.463	0.431

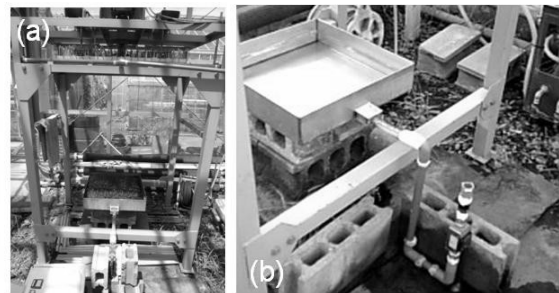


写真-1 実験装置(a)前方から、(b)横から撮影

2-3. 測定機器と測定方法

流量は、供試パネルから流出してきた試験水の気泡や水圧に影響を受けないよう、水流が下から上に向かう部分に流量センサ(キーエンス製, FD-SS2A)を取り付け、データログ(キーエンス製, TR-V500)につなげ、1/600 分間隔で測定、記録した(写真-1 参照)。

2-4. 流量特性の評価

ログに記録された流量は、表計算ソフト Microsoft Excel に取り込み、VBA(Visual Basic for Application)で作成したマクロを用いて、菊池ら(2010a, b)^{2,3)}の方法と同様に、1 分間の相加平均値(以下、1 分間当たりの流量と表記する)を算出した。解析の対象範囲は、滴下実験後、緑化パネルからの流出量が一定となる時間を明らかにした大野ら(2006)⁴⁾の結果に基づき、降雨停止 3 時間後までに計測された流量とした。緑化システムの流出特性の評価には、降雨開始後、供試パネルからの流出が始まり、流量センサに流量増加が見られた直前の時点を示す「流出開始時間(min)」, 単位時間当たりの流量が一定となった時点を示す「ピーク流量到達時間(min)」, 流量減少が見られた時点を示す「ピーク流量終了時間(min)」と「ピーク流量(L/min)」, 「累積流量(L)」, 「流出係数」を指標として用いることとした。

また、屋上緑化の雨水流出遅延効果は、緑化システム内の水分条件の違いにより、大きな差が出ると言われている(財団法人都市緑化技術開発機構, 2003)⁵⁾。それは、効果を期待したい降雨イベント前に晴天が続き、緑化システムの水分条件が乾燥状態であれば、雨水流出遅延効果は大きくなるが、降雨イベント前から連続的な降雨があり、緑化システムの水分条件が飽和状態ならば、その効果は小さくなるということである。そのため、本実験では、降雨滴下実験前後の供試パネルの計量と同パネルからの流出量を詳細に測定し、降雨や灌水による水分条件を考慮した緑化システムの流出特性を議論した。

2-5. 降雨と灌水の取り扱い

供試パネルは、ガラス室内で養生しているため、灌水を行わないと芝生が枯死する恐れがある。しかし、パネル内水分量の違いに伴う流出量の変化を把握するため、人工降雨装置下に設置する前には、パネル内の水分量をできる限り乾燥状態に近づけておく必要がある。人工降雨装置には、一度に1つの供試パネルしか設置できないことから、予備実験開始日以降の2010年3月6日以降の灌水は、降雨装置下に設置する1つの供試パネル以外の5つの供試パネルに行った。灌水の方法は、プラスチック製コンテナの下部に開けた穴から排水されるまでとした。供試パネルの乾燥が著しく芝生が枯死すると判断した場合は、その都度、同様の方法にて灌水し、芝生が枯死することのないように注意した。

3. 結果

供試パネル内の水分条件の違いに着目するため、降雨装置設置前に灌水を行わず、供試パネル内の水分条件が乾燥状態に近く、流出遅延効果が最も大きいと予想される期間 1 の 1 回目(以下、E 区)と連続降雨滴下後、供試パネル内の水分条件が飽和状態に近く、流出遅延効果が最も小さいと予想される期間 2 の最終回(以下、S 区)のデータを採用した。比較対象には、緑化パネルを設置せず、ジュラルミン製コンテナだけの区と集約管理型屋上緑化システムを想定して、黒土とパーライトの混合割合を 7 : 3 に設定し、芝草(トールフェスク)を植栽した屋上緑化システム(村山ら, 1997)⁶⁾の流出係数、流出遅延時間から算出した流量(それぞれ、O 区、M 区と表記)を用いた。

パネル内の水分条件が乾燥状態の E 区、飽和状態の S 区という仮説を検証するため、E 区、S 区の有意差検定を行い、流出特性とした「流出開始時時間(min)」や「ピーク流量(L/min)」等が異なることを確認した。作成した流出ハイドログラフからは、E 区、S 区平均の累積流量と M 区を基準としたときの低減率 $\%[(M \text{ 区累積流量})-(E \text{ 区または } S \text{ 区平均の累積流量})]/(M \text{ 区累積流量}) \times 100$ を算出した。

3-1. 緑化システム別の流出特性

1) 25 区

E、S 区別に流出・累積ハイドログラフを作成し、流出特性を読み取り、E 区の累積流量 6.34L、S 区の累積流量 12.4L と、E 区低減率 57.3%、S 区低減率 16.4%を算出した(図-2(1)参照)。

2) 30 区

E、S 区別に流出・累積ハイドログラフを作成し、流出特性を読み取り、E 区の累積流量 4.48L、S 区の累積流量 12.8L と、E 区低減率 69.8%、S 区低減率 13.6%を算出した(図-2(2)参照)。

3) 40 区

E、S 区別に流出・累積ハイドログラフを作成し、流出特性を読み取り、E 区の累積流量 4.12L、S 区の累積流量 13.09L と、E 区低減率 72.2%、S 区低減率 11.8%を算出した(図-2(3)参照)。

3-2. 緑化システムの流出特性

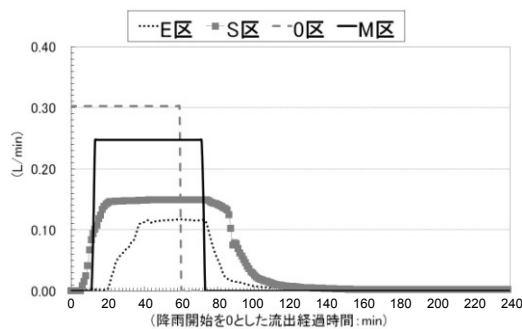
図-2 の流出・累積ハイドログラフから、25 区、30 区、40 区の S 区は流出開始時間(min)、ピーク流量到達時間(min)等流出特性がほぼ近い数値を示したことから、パネル構造の違いは、パネル内の水分条件が飽和状態になると、流出特性が一定になることが考えられた。そこで、25、30、40 区の S 区の 1 分間当たりの流量を用いて、平均値の差の検定を行ったところ、有意水準 0.05 で有意差がないことを確認した。パネル構造、すなわち、緑化システムの流出特性を比較するため、25、30、40 区の S 区を平均化し、25、30、40 区の E 区と S 区平均、M 区の流出ハイドログラフを作成し、流出特性を読み取った(図-2(4)参照)。

まず、供試パネル内の水分条件が乾燥状態に近く、流出遅延効果が最も大きい E 区について、緑化システム構造間での流出特性を比較した。想定した時間 75mm という降雨強度では、40 区の流出開始時間が最も遅く、以下 25 区、30 区となった。40 区では流出開始から 37 分が経過した 62 分後、25 区では流出開始から 23 分が経過した 43 分後、30 区では流出開始から 55 分が経過した 60 分後にピーク流量に到達した。ピーク流量は、40 区が最も小さく、次いで 30 区、25 区となった。このピーク流量を用いて、特定都市河川浸水被害対策法で用いられている降雨量に対する流出雨量の割合(特定都市河川浸水被害対策法研究会, 2004)⁷⁾を示した流出係数を算出したところ、40 区と 30 区は 0.30、25 区では 0.39 となった。

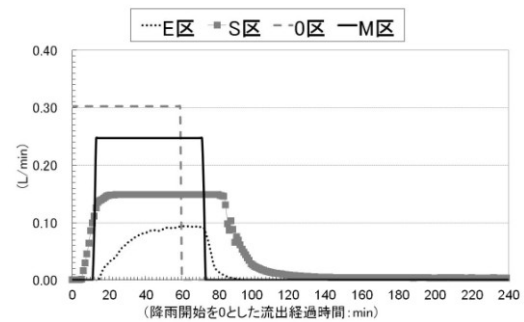
次に、E 区の中で流出開始時間、ピーク流量到達時間が最も遅く、流出係数も小さくなった 40 区と、水分条件が飽和状態に近い S 区、比較対象とした屋上緑化システム M 区の流出特性を比較した。流出開始時間では、40 区が最も遅く、以下 M 区、S 区となった。ピーク流量到達時間では、M 区では流出開始から 1 分が経過した 14 分後、S 区では流出開始から 18 分が経過した 24 分後となった。ピーク流量は、40 区が最も小さく、次いで S 区、M 区となった。このピーク流量を用い

て、同様の方法で流出係数を算出したところ、S区は0.48となった。

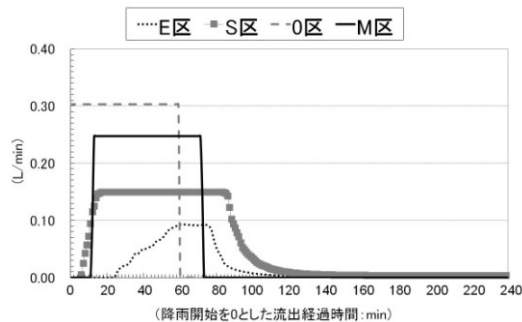
(1) 25 区



(2) 30 区



(3) 40 区



(4) 25, 30, 40 区の E 区, S 区, M 区

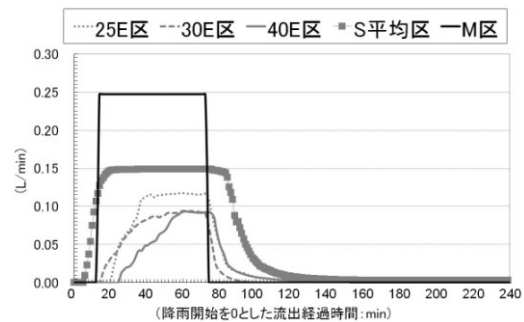


図-2 流出ハイドログラフ

4. 考察およびまとめ

本緑化システムは、村山ら(1997)⁶⁾の緑化システムと比較して、流出開始時間とピーク流量到達時間の遅延とピーク流量を低減させ、特にパネル内の水分条件が乾燥状態に近いときに顕著であった。得られた流出係数 0.30~0.39 は、特定都市河川浸水被害対策法の土地利用形態ごとの流出係数⁷⁾と比較すると、ゴルフ場の 0.50 より小さく、人工的に造成され植生に覆われた法面の 0.40、山地の 0.30 と近くなり、本緑化システムは、想定した降雨イベントであれば、雨水を一時的に貯留浸透させ、浸水被害防止を目的とした設置は有効であることが示唆された。今後は、本システムの土壌の物理的特性と植栽層の重量計測から、貯排水ボード、土壌層、植栽層の雨水流出抑制への寄与割合を考察し、緑化システム全体の雨水貯留・流出特性を明らかにする。

補注

本稿は、平成 23 年度日本造園学会大会の発表論文(菊池・興水：局所的集中豪雨を想定した貯排水層の異なる屋上緑化システムの流出特性)の一部を加筆修正したものである。

引用文献

¹⁾ 菊池ら(2009)：実降雨パターンと浸水被害の分析に基づく屋上緑化適地の評価に関する研究：JILA72(5)，431-436. ²⁾ 菊池ら(2010a)：局所的集中豪雨を想定した各種屋上緑化用貯排水ボードの雨水貯留特性評価：JILA73(5)，693-696. ³⁾ 菊池ら(2010b)：浸水常襲地区における屋上緑化用貯排水ボードの雨水管理施設としての可能性：日本建築学会大会学術講演梗概集，F-1，945-946. ⁴⁾ 大野ら(2006)：メキシコマンエングサおよび芝生薄層緑化からの蒸発散量：JILA69(5)，431-436. ⁵⁾ (財)都市緑化技術開発機構編(2003)：知っておきたい屋上緑化の Q&A：鹿島出版会，pp.159. ⁶⁾ 村山ら(1997)：屋上緑化の雨水流出抑制効果について：第 28 回日本緑化工学会研究発表要旨集，319-322. ⁷⁾ 特定都市河川浸水被害対策法研究会(2004)：特定都市河川浸水被害対策法の解説：大成出版社，pp.253.

日本における「のり面緑化」の起源と変遷に関する技術史的考察

飯塚隼弘（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後期課程）

要旨

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。

1. 研究の背景及び目的

我が国、日本は国土の約 7 割が背梁山脈をはじめとする山地で占められ、これに加えて世界有数の多雨地帯でもある。このことから毎年のように前線性豪雨に見舞われ、古来より土砂崩れ等、山地に起因する災害が起りやすい環境におかれていたといえる。度重なる災害の教訓からか、古くから斜面安定の重要性が叫ばれ、斜面地対策が各地においてとられてきた。そして、その際に植栽技術による斜面安定が行われてきたことは、日本における治山事業の歴史を辿ると随所に確認することができる。

ただし、古くから脈々と培われてきた日本の緑化工、のり面緑化の技術の起源と変遷に関わる記述を辿ると、その資料、文献はあまりにも過少なことに気付かされる。学識者による体系的な研究もまた皆無である。

本研究では、日本ののり面緑化工技術の大きな潮流を掴み、その起源と変遷を探り、現在、確認されている事例より更に遡った事例の発見に努め、この変遷史をまとめることを目的としている。

なお、本稿は、その研究の最終稿ではなく、現時点の研究途上の成果をとりまとめた中間報告的なものである。

2. 本研究における「のり面緑化」の定義及び調査の対象範囲

本研究におけるのり面緑化は「自然斜面あるいは様々な施設空間に人工的に造成された切土・盛土のり面に対して、地盤の安定や崩壊防止あるいは水食・風食による土壌の侵食を防止し、さらには修景効果を上げるために、草本・木本の播種あるいは株・苗木・成木を植栽することによって行う緑化」¹⁾と定義し、対象とする空間は山体あるいは土木工事等によって生ずる斜面（のり面）全体を扱うこととしている。

また、本研究における調査対象とする年代範囲の設定としては、1949（昭和 24）年までを調査対象とし、過去の事例については出来る限り古い事例を調査することとした。1949（昭和 24）年を調査範囲の終点としたことは、これ以降ののり面緑化工法の展開に関して関係する図書でも詳細に述べられていることを鑑みた。

3. 「のり面緑化」に係る既往の知見

緑化工の始まりについては、これまでその変遷や源流が語られるとき、多くの緑化関連文献で 1655（明暦元）年に備前藩池田光政公が、赤坂、津高、次野（いずれも現岡山県下）で、藩費による治山工事を行ったとき、山腹斜面に野芝を植えたのが始まりとされている。その工事の際、同藩の番頭であった熊沢蕃山（1619－1691）が、その花崗岩のはげ山が広がっていた岡山周辺でマツの種子を播かせ、現在の筋工に該当する「山巻工」および「石巻工」などを施工、溪間に石堰堤などを築設した²⁾という記録が残されている。この他、1660（万治 3）年に淀川水源の砂防のために、山城・大和・伊賀の 3 カ国に対し、木の根の掘り取りを禁じ、また土砂留めとして苗木の植栽の令を発布したもの、次いで 1666（寛文 6）年に発布された「諸国山川掟」にて水源山地の草木根の掘り取り禁止と、同時に上流の樹木の少ない山地に苗木を植えさせる事業が各地方において行われるようになった、というものである。

その他の緑化関連文献³⁾、および資料でも治山・砂防工事等に積極的に植物を導入し始めたのは、日

本においては 16 世紀に入ってからというのが、ほぼ定説とされてきた。

4. 調査の結果及び考察

1) 原始・古代における植栽による斜面被覆の萌芽的事例

縄文・弥生・古墳時代の竪穴住居の内、特に機密性、保温性に優れているという理由から主に寒冷地である北海道、東北地方に多く存在した土葺住居がある。この土葺住居の構造として、宮本らによる復元作業の際に「土葺材は、竪穴を掘り上げた表土混じりの土を叩き締めないで盛り上げることによって、土が自然に固まり、雑草が生えて雨漏りを防ぐことができる。」と指摘している^{4) 5)}。このことから、当時、土中の埋土種子から何がしかの雑草が生えることを期待して土葺したことが十分伺え、植生による斜面被覆を行い、保護を行った事案の原点とも言えるものである⁶⁾。

また、国内に多数点在する古墳の墳丘においても、その墳丘斜面の葺石等で崩壊防止措置を行っていないものについて、これらの土層調査から「台地を削り取って封土を三段に築いた後に周堀が掘られ、堀り上げた有機質を含んだ黒褐色砂質土をもって墳丘を覆ったものであった」という報告書もあり⁷⁾、これもまた、雑草等の埋土種子を含んだ表土からの種子発芽、つまり植生による表層固定を期待した可能性も十分に伺える大変興味深いものである。

そしてこれらの時期にその植生として利用された草種の構成としては『万葉集』に詠まれていた芝草は山田らによれば、オヒシバ、メヒシバ、チカラシバ等のイネ科の雑草あるいはノシバ、コウライシバ、オニシバ、ギョウギシバなどであるとしていることから⁸⁾、同時期の古墳墳丘においてもそれらが混生していた様相であったものと推測するものである。

書物の中での記述として、斜面への植栽が記されているものとしては、日本における伝存最古の歴史書『日本書紀』巻七、景行天皇の代に「五十七年秋九月。造_二坂手池_一。即竹蒔_二其堤上_一。」との記述があり⁹⁾、これについて高橋は「大和国坂手池が築造され、この堤防を固めるために竹を植えたという記録」としている¹⁰⁾。有史間もない 1 世紀前後に既に植栽工の端緒があったことが伺え、おそらくこれが日本における斜面への人為の植栽に関する記述の初見といえるだろう¹¹⁾。

2) 藩政時代以前、飛鳥・奈良・平安時代における関連事例

藩政時代以前における日本の山体斜面などに対する植栽の記録は、主に造林に関するものであり、その目的は森林施業規則、山地の利用規則といった乱伐に対する予防手段を主体としているものが大半であった。これには 600 年代～850 年代にかけて法隆寺、東大寺に代表される空前の規模で建築ブームが起こり、畿内盆地に豪華な寺院、神社、宮殿、御殿などが次々と建てられたことが大きく影響している。このための材を供給する目的で乱伐が行われ、一部の地域では植生が完全に変わってしまい、この植生の変化が野火、洪水、土壌侵食といった災害をもたらすようになったという。これに対し朝廷が森林の保護と回復に向けて暫定的な措置を執った。この初見が 718（養老 2）年、養老律令の 2 つの条項である。山地での耕作を明確に禁止し、侵食や農地への水災害を防ぐべく、川の土手や堰堤に沿って植樹をすることを奨励している。このような措置を見る限り、総じてこの時代、既に森林の防災上の価値は、はっきりと認識されていたと言える。この他 812（弘仁 12）年の類聚三代格、十九禁制事のくだりに太政官符として、水源涵養の為、水辺山林の伐採を禁ず¹²⁾、との記載がある。これは水源涵養林に関する措置であり、平安時代に取り決められたものである。

また、この時期に特記することとして、山城国葛野川の大井堰は風光明媚な場所であり、しばしば行幸が行われ、このためこの堰が治水の観点のみではなく、遊幸の場所として重要な地であり積極的な修復が行われていた¹³⁾ という記事がある。緑化修景が行われていたという具体的な記述ではないが、災害予防のためだけの目的ではなく、この時代すでに美観を意識した工事が行われていた点に注目したい。

造林以外では、奈良時代の『令義解』巻六、718（養老 2）年の記録に「堤の上にニレ、ヤナギ、雑木を植栽し、堤防の維持に充てよ」⁹⁾ という一文がある。前文で朝廷における森林保護の暫定的な措置として養老律令をあげたが、同年において既に現代ののり面緑化工に関連すると思われる、樹種名も含め人為的に堤上へ植栽が施されていた様子が述べられている具体的な記録である。なお、抽出箇所の前

段には堤防の修繕に関する人員数にも触れている。特筆すべきは、使用樹種に関して、ニレ、ヤナギ、と双方水辺向けの植栽であり、当該時代に既に樹木の特性について精通していたことが伺える。

3) 戦国・江戸時代における関連事例

戦国・江戸期において、大規模な斜面への植栽工としては河川の護岸、水制の材として。また、羅城を守る土塁を強固とする目的で用いられていた。土塁とは、土居・堤・土手ともいい、古代では障子とも呼ばれていた。土塁は堀とともに墨線を形成し、城郭の防備壁であり、敵兵に対しての攻撃台（土塁上）としても機能していた。以下にそれぞれ事例を挙げて解説する。

①河川の護岸、水制の材

戦国時代に築堤された信玄堤に精緻かつ総合的な流水制御技術が用いられており、ここに人為的植栽による水源涵養および土留め工が行われていた記録があった。まず、釜無川の治水工事に際しての事前工事として、上流の流量を制御するため、山の樹木を保護・育成し、暴れ水が出ないようにしている¹⁴⁾。使用樹種は和紙の原料となるミツマタ、コウゾ、それに加えてウルシなどで、殖産を兼ねたとしている¹⁴⁾。また、笛吹川の上流に約 15 ヘクタールの田畑を潰して松を植えた「万力林」と呼ばれる水害防備林の設置も行っている¹⁴⁾。同様の備えとしての造林を釜無川、御勅使川、塩川などの上流地域に積極的に行っている¹⁴⁾。

そして「雁行の突堤」と言われる「霞堤」「築流し堤」について、この本土堤は姫笹を蓋って根を固め、その上に栗・榎・柳を植えた¹⁵⁾ という記録がある。この姫笹に関して、具体的な植物種の特定には至っていないが、当該地域の当時の植生からメダケもしくはネザサではないかと思われる。

加えてこの信玄堤に関して、1688（貞享 5）年 6 月の『御本丸様書上』によると、竜王川除場は良質の粘土で突き固めた竹林の本堤と石積みの前堤の二重堤防であり、石積堤の内外は松・柳を植え御林となっている¹⁴⁾、という記述がある。さらに釜無川と御勅使川の合流点となる信玄堤の本堤は、堤の大破による堤内への大被害を防ぐために、わざと堤高が低く抑えられている箇所では、破堤防止の為、竹木を植えることで、堤をできるだけ強固にしていた¹³⁾。また、1603（慶長 8）年開府の江戸の町が次第に発達したのにつれ、飲用水の不足から 1653（承応 2）年幕府が多摩川の水を引くことを決め、着手したのが玉川上水であった。この玉川上水は 1670 年に拡張、堤防植樹などの工事が行われている。小金井堤に桜の木が植えられたのは 1737（元文 2）年であるが、桜の実が、水の毒をのぞく能力があり、且つその根が堤防の土を固めて崩壊を防ぐ¹⁶⁾ との理由からであったという。

②日本農書全集収録『百姓伝記 防水集』・『川除仕様書』・『当八重原新田開発白書』にみる植栽による堤防・土手の保護

『百姓伝記』は成立年代・著者ともに明らかではないが、記事内容から 1680～1684 年の天和年間の成立で、著者は三河国（現、愛知県東部）に居住する武士もしくは一、二代前までは武士的生活をした事のある上層農民と考えられている。のり面緑化工関連記述は巻之七、『坊水集』に多く見られる。この『坊水集』には、堤防の作り方、その土質の選定法、蛇籠、牛柵などの水制類の造り方、分派川の締め切り方などの技術が述べられている。本書のなかで繰り返し堤防沿いにある芝、竹藪、樹木を大切にせよ¹⁷⁾ という指摘がある。また、堤防付近の屋敷林や水害防備林、竹藪などは日ごろから荒らさぬよう管理し、水防資材として使用、万一堤防を守りきれないようなときには、その樹木のあるところで洪水を越流させ、積極的に洪水を氾濫させ、土砂を林の中に堆積させよと、その重要性を指摘している¹⁸⁾。

次いで『川除仕様書』は小林丹右衛門により 1720（享保 5）年に著されたものである。治水工法の基本思想や、堤防の築き方、水制工の敷設の心得、水流の変更の仕方、洪水による破損への対応、松、竹などの堤防周辺を保護する植物育成の心得などについての記述もある¹⁷⁾。該当書中に登場するのり面緑化工関連記述は「堤防を補強する上置き・前付け・後付けの工事について。春は上置き・前付けをするのがよい。芝の根がよく張っているので土手が強くなる。」¹⁷⁾ とあり、具体的にのり面への芝による施工と、その効果について述べられている。このほか「溜池の土手には竹木はいっさいないようにするがよい。これもまた大木があれば風が当たって木の根がゆるみ、または木の根から水が通って土手が破損することがある。土手には斜面全体に芝を張るがよい」¹⁷⁾ という一文もあり、斜面の補強に芝の活着が

有効だという具体的な教えが書かれている。

最後に『当八重原新田開発白書』であるが、当該著書は黒沢加兵衛によって1660（万治3）年に完成された長野県佐久地方の四つの新田の一つ八重原新田の開発の経緯の記録で1722（享保7）年に著されたものである。この書の中で登場する君塚土手は水不足に悩む下八重原の人々の訴えによって築かれたものであり、この土手を補強するために、土手に切芝を重ね、杭で刺して補強している。この補強の形が田楽に似ていたため、君塚土手は「田楽土手」と呼ばれるようになったという¹⁷⁾。

また、前出の「川除仕様書」と本書が、ほぼ同時期に著されたものであることから、18世紀初期には、築堤・護岸に対して現代の緑化工に繋がる思想・技術が既にあったことが伺える。

③羅城を守る土塁

古代の山城において土塁は、集落をめぐる環濠の前後に盛られた所謂「たたき土居」と呼ばれ、崩壊を食い止めるために、堀を掘りあげた土をたたいて固めたものが設けられていた。土塁にはこの「たたき土居」と「芝土居」（柴土居）とがある。17世紀、江戸時代に築造された城はほとんどすべて土塁を有し、城郭の大小、使用場所などにより、高さ、厚さや傾斜が異なっており、高さ0.6～0.9 m位の小さなものから、7.2～9.0 mにも及ぶものがある。江戸時代の軍学者はその標準として、たたき土居は高さ5.4 m、馬踏3.6 m、土居敷14.4 mとしている。この場合、斜面の勾配は45度となる。外側の勾配が緩く、守に不利のとき、外側の勾配を50～60度位にする場合もあった。このような場合には、芝（柴）土居といい、地固めした塁壁に芝を張る方法を用いていた。

これに関連して、戦国時代（16世紀後半）の山城の土塁にも風雨除けに芝土居が用いられ、大雨によって張った芝生が流され見苦しい、と、その維持管理の大変さを示す記述¹⁹⁾もあった。

そして、安土城に始まるとされる近世城郭において土塁に頻繁に利用されたのは竹であった²⁰⁾。

また、藩政時代以前の土塁の事例として大きなものに御土居がある。これは豊臣秀吉による京都市改造の一つとして、1591（天正19）年に構築された土塁のことで、外側の堀とあわせて御土居堀とも呼ばれている。この土塁の上は竹を植えて盛土を保護しており、豊臣政権崩壊後、寛文10年（1670）に寛文新堤が完成し、堤防としての必要もなくなったため、御土居は寺社や公家に払い下げられ、取り壊されて住宅地などになったが、これらを除く部分の御土居は多くが残り、幕府によって竹林として管理されていたという。特記すべきは、ルイス・フロイス著書の『日本史』によると、秀吉がこの御土居に樹木（竹）を植えさせたのは美観のためであったという記述²¹⁾である。

加えて、御土居造成以前、戦国期の後北條氏の小田原城に関しては土塁に芝が貼られていたことを示唆する「芝土居」「芝を踏まず」などの記録があり²²⁾、元禄15（1702）年に御土居管理のために作成された「京都惣曲輪御土居絵図」（京都大学博物館蔵）²³⁾に描かれた御土居ののり部分が薄緑色に着色されている点、また、文禄4（1595）年、上柳原町が土居の「木竹散俵芝手二重目迄」の普請を行い銀552匁かかった。あるいは「惣構芝手土手高さ四尺八寸」という記述もある²⁴⁾。芝手とは、芝を伏せた土手の意であり、御土居（惣構）ののり面部分には芝生等の被覆緑化が施されていた可能性を示唆する事実がいくつか挙がってきたことも注目している。

これら土塁、土居に用いられてきた緑化用植物については、1854（嘉永7）年に著された『海國兵談』に「土居には香附子、麦門冬、荒芝、小笹を植べき爲也」の記述もあり、香附子とはハマスゲ（カヤツリグサ科）のことであり、麦門冬はジャノヒゲ、荒芝とはおそらくノシバのことを指すものであると推測される。このことから、現在ののり面緑化の主流を成す植物群がこの頃から既に多く用いられていたことが明らかとなったといえる。

4）明治期以降におけるのり面緑化工の展開

明治期以降の日本の「のり面緑化工」は、それまで藩政時代以前から培ってきた在来工法に加え、明治政府が招聘した外国人技術指導者により、各種の面で改革がなされたと言ってよい。日本へやってきた最初の西洋近代土木技術者はイギリスのブラントンで、1868（明治元）年に来日した。彼の来日目的は灯台建設であったが、測量学などの教鞭および日本最初の高等土木教育学校の設立に携わっている¹⁸⁾。その後、政府はオランダ人技術者数人を河川技術指導のために招聘している。1872（明治5）年にドー

ルン、リンドウ、1873（明治6）年にはエッセル、デ・レーケ、チッセンが来日した。彼らの残した足跡は極めて大きなものであり、ドーレンは、木津川筋不動川の砂防工に関して政府に意見書を提出した。その内容の中に、幼樹を斜面及び斜崖に植える。藁を岡の斜面に差し込み、これを覆う¹⁹⁾。というのり面保護工に関連するものがある。次にデ・レーケであるが、彼は来日以来、淀川、木曾川などの水源地を調査し、これまでの治山・砂防技術の改良に着手した。同年に現在の砂防工の基となったいわゆる「淀川水源砂防八則」が發布され、砂防工事が普及するようになり、この後、1878（明治11）年には、砂防事業が政府直轄事業となる。デ・レーケは当時実施されていた在来工法とオランダ式工法を参考にした各種の荒廃地復旧工法を創案している。これらは主に粗朶伏や編柵工の多用であった。山腹工では「連束藁網工」「柵留連束藁工」「柵留連続柴工」「積苗木工」「苗木植付」などで、これらの工種は1875（明治8）年に京都府下の木津川支流で試験施工され、1880（明治13）年には『砂防略解』として、各地の工事に広く普及させている²⁾。香田徹也編『日本近代林政年表』によれば、1881（明治14）年、農商務省山林局が設置され、それまで内務省一本であったのが、砂防行政は内務省土木局に、山林行政は山林局で行われるようになっていく²⁵⁾。この時期から苗木でマツ類やヤシヤブシ類、ハギ類が治山砂防用苗木として養苗されはじめ、特にヒメヤシヤブシ（ハゲシバリ）の使用は、滋賀県旧秦荘町の西川作平によって推奨され、明治20年代後半になって同県旧岩根村の龍野藤平によって苗木養成が積極的に始められている²⁾。また、荒廃山腹に植物を導入するに際し、地盤の安定と植物生育条件の改善に漸次留意するようになり、土留工などによる対応がなされるようになった。この時期、明治初頭から中盤にかけてオランダから導入された様々な技術に対して、市川義方は『水理真宝（明治30年）』の中で批判的な見解を述べ、のり面緑化工に係る砂防技術に関しても、彼我の自然環境条件の違いや経費などの問題から適当でない工法もあるという指摘をしていたこと²⁶⁾は大変興味深い。

明治末期以降の日本におけるのり面緑化工の展開は災害からの復旧と共に進歩していると言っても過言ではない。「明治43年の災害」（1910）と呼ばれる台風襲来、奇しくもこれが契機となり、翌年度から「第1期治水事業（1911～1925）」が始まり「荒廃林地復旧事業」の名のもとに、山腹工事が活発化した。この当時の山腹工事は、のり切りを行った後、積苗工・筋工による苗木植栽（ハギ類・ヤシヤブシ類・マツ類）が一般的な方式であった。これと期を同じくして、ヨーロッパへ留学していた東京帝国大学諸戸北郎教授が帰国し、『理水及砂防工学』を始め一連の著書を刊行し、その後の治山・砂防技術の分野に大きな影響を与えた。山腹工事は次第に進歩し、のり切りによる土層の安定、階段切りなどの工種が、経験的技術から科学的根拠をもとにした新技術として組み立てられている。

大正初期に入ると、各種の砂防工事が特定地方から各府県に拡大したこと、さらに筋工や積苗工に肥料（藁灰・焼土）が用いられたことも画期的である。

昭和初期において特記すべきは、農商務省が1927（昭和2）年に、工種の名称統一を行い、山腹工が26種に統合されたことであろう。継続事業として1936（昭和11）年から「第2期治水事業（1936～1948）」が計画され、荒廃地復旧工事が重点化される。1935（昭和10）年前後から第二次大戦の終戦前後にかけて、風水害が多発しこの災害復旧に力が注がれている。中でも1938（昭和13）年に神戸地方六甲山系に発生した山崩れに対して、復旧工法として、三枚芝の積苗工、萱筋工などが施工され、ヤシヤブシ類やクロマツが単植または混植され、過リン酸石灰などの化学肥料が使われるようになった¹⁵⁾。また、山腹水路工として張芝工を柳目串で固定する方式が採用されるなど、次第に技術が高度化していった。その後、1939（昭和14）年に当時農林省林業試験場技師である佐藤敬二博士によって「斜面混播法」が考案され、はげ山への早期かつ経済的な緑化を図るため、従来の大量の野芝使用をやめ、野生樹草種の実播によるものとして発表された。この試験地は岡山県児島半島旧鉾立村で、播種された種子はアカマツ、クロマツ、ヤマハンノキなど木本類8種、チカラシバ、トダシバ、オカルガヤなど草本類6種であった。この工法は災害地復旧という名目で世間へ普及していく。大戦後半から戦後しばらくして、頻発した台風災害によって、国土が多大な被害を受けると1948（昭和23）年に第一次治山計画が発足された。そして1949（昭和24）年、戦後間もないこの時期にアメリカからイネ科草本類の導入による土地保全技術が紹介され、同年11月、ケンタッキー31フェスクが同国より輸入された。これら牧

草類は当時農林省林業試験場職員、後の東京農業大学教授の倉田益二郎博士らの指導により各地の現場で盛んに用いられるようになった¹⁶⁾。

5. 総合考察

これまで断片的、かつ曖昧であった我が国ののり面緑化の変遷については、緑化関係の文献において、その起源が 17 世紀半ばとされてきたが、今回の調査で原始・古代においてもその端緒となりうる事例があったことがわかった。また、1 世紀前後あるいは 718 年には書物にも書き残されていたことがわかり、既知の見解をはるかに遡った時代にその足跡を確認し得たことは大きな成果といえる。

常々、背梁山脈を抱える日本においてさまざまな空間に生ずる傾斜面をいかに安定させるかが、時の為政者にとって大きな眼目であったといえる。その中で植栽による土留は相当の昔より通例となっていたようである。住居の屋根部分に対する保温、雨漏り防止のための処理、堤防の土留め目的の植栽、水源涵養のための堤防補強目的での植樹、武田信玄による治水工法に登場する姫笹および栗・榎・柳による堤防補強、豊臣秀吉による大規模な土塁の斜面安定と美観形成を兼ねる植樹、また戦国時代の山城を始め江戸時代の諸大名の城郭においても、芝で固定された土塁などいずれも大規模な、いうならば土木空間にその技法が導入されてきた。

そして、その過程は詳細に把握するに至っていないが、さまざまな変遷過程の中で、斜面地への植物の導入手法も工法として徐々に高められ、明治以前には、筋芝苗、飛芝留、飛沫留、實藁留、搔上留、築留、水落柴土堤留など、具体的な名称が付された工法として昇華されていったと思われる。明治期に入り、海外からの工法の導入も手伝って、それらが「のり面緑化工」という 1 つの大きなうねりとなり、急速に進展を遂げた。明治中期にそれぞれの技術は森林法、河川法、砂防法という治水 3 法の成立により集約され、災害地復旧に活用されていったことになる。また、これらに使用されている植物についても、今で言う緑化用植物とシバ、ササ、リュウノヒゲ、ハマスゲなどが用いられていることも明らかとなった。いずれにしても張芝が主体であったと考えられる。その工事に使用される植物材料がどのように供給されてきたのか大変興味のあるところである。これについては、元禄時代に大阪の難波名物のひとつに阿部野村の芝屋、地掘師という業種があったとされ、元禄 14 (1701) 年の『摂陽群談』には「阿部野芝 同村所々の培塿岸端より切採。民家に商之。庭上に仮山を構え、美景を楽しむ。人必ず設之。茎葉青くして如も叢生す。」と記述がある²⁷⁾。また「切芝」が江戸時代、縁日で開かれている植木市にて販売されている様が江戸期浮世絵に画かれていた²⁸⁾ ことなどから、かなり以前から現地周辺の植生を剥ぎ取り使用するだけでなく、営利栽培されていたものが使用されていたと推察されるのである²⁹⁾。

表-1 「のり面緑化」に係る主要関連事象の変遷史（未定稿）

「のり面緑化」主要関連事象		年代
土葺住居の屋根部分に植栽による保護の可能性	（『日本書紀』大和国坂手池築造の際、堤防強固のため竹植栽（577年（景光天皇代）））	古代
有機質を含んだ黒褐色砂質土にて古墳墳丘を固定。土壌シールドパンク工法の原点か（3000年代）	（『養老律令』土手堤への植栽勸行（718年））	古代
（『令義解』堤上に二し、ヤナギ、雑木の植栽（718年））	（『類聚三代格』水源涵養のため伐採禁止（812年））	奈良
（『類聚三代格』）「応禁制新撰水邊山林事」砂防史の始まり（821年）	（『信玄堤完成』「露堤」、堤上に姫芝で根固め。栗、榎、柳を植える（1559年））	平安
御土居 土葺上に竹植栽、土留め、美観目的（1591年）	（『戦国時代の山城・土塁に風雨除けに芝土居が用いられる（16世紀後半））	戦国
江戸時代の城郭の土塁勾配50～60度位の場合は芝生を張ることが標準とされる	（『熊沢蕃山が岡山の禿山にマツの種子播かせる（1656年））	安土桃山
（『定川水源の砂防・土砂留のため苗木の植栽令発布（1660年））	（『当八重原新田開発白書』土手に切芝を重ね杭で挿して補強する（1670年））	江戸
（『諸国山川探』砂防制度の初見（1666年））	（『玉川上水の拡張に伴い、堤防植栽などの工事が行われる（1670年））	
（『防水集』堤防治いにある芝、竹藪、樹木の保護を説く（1670年））	（『川除仕様書』治水工法の基本思想、堤防の築き方、水利工の敷設の心得、水流の変更の仕方、洪水による破損への対応、土手、竹などの堤防周りを保護する植栽育成の心得などの記載あり、土手の補強のため芝施工勸行（1738年））	
（『西中条村誌』12の砂留記録（1738年））	（『ヒメヤシヤシが禿山に初めて使用される（1845年））	
（『海國兵談』）土居には春附子、麦門冬、荒芝、小笹を植へべき也（1854年）	（『民部省達』土砂溢漏防止「砂防」用語の登場（1871年））	
（『河川技術指導のためオランダ人技術者ドゥルン来日、その後、同国より数人の技術者が来日（1872年））	（『水津川防不動川の砂防工に關する意見書、幼樹を斜面及び斜土に植える、藁を岡の斜面に差し込み、これを覆う（1873年））	
（『水理真法』市川義方がオランダから導入されたのり面緑化に係る砂防工法批判（1873年））	（『源定川水源砂防法案』8カ条、明治30年に公布される砂防法の起源（1873年））	
（『仮山林規則』森林法を目指す最初の法案（1875年））	（『京都府相楽郡給田村不動川で初の内務省直轄砂防工事（1875年））	
（『砂防略解』として山腹工の内、「連束藁網工」、「横留連束藁工」、「横留連束工」として山腹木工、「苗木植付」が試験施工を経て、各地の工事に普及（1880年））	（『木曾川に砂防堤を築く、わが国最初の高水工事（1886年））	
（『龍野藤平によりヒメヤシヤシの苗木養成が積極的に進められるようになる（明治20年代後半以降））	（『治水3法（森林法・河川法・砂防法）公布（1897年））	明治
（『明治43年の災害（1910年））	（『第1期治水事業（1911～1925）』）	
（『活発に行われた（1911～1925）』）	（『東京帝国大学諸戸北郎教授がヨーロッパより帰国。『理水及砂防工学』を著刊（1927年））	
（『農商務省により山腹工が26種に統合（1927年））	（『第2期治水事業（1928～1948）』）	
（『神戸地方六甲山系山崩れ復旧工法として、三枚芝の植栽工、営防工などが施工（1938年））	（『佐藤敬二により「斜面混植工」が考案される（1939年））	
（『アメリカよりケンタッキ・31・フェスクが輸入される（1949年））		昭和

引用文献

- 1) 東京農業大学造園科学科編 (2002) : 造園用語辞典第二版, 東京農業大学出版, pp. 420-421.
- 2) 村井宏・堀江保夫編 (1997) : 新編 治山・砂防緑化技術, ソフトサイエンス社, pp. 1-3.
- 3) 谷口伸二 (2008) : 最近の緑化工技術, 森林技術, No. 797, pp. 34-38.
- 4) 神宮司庁蔵版 古事類苑 兵事部 (1985) : 吉川弘文館, p. 1082.
- 5) 高田和徳 (2005) : 縄文のイエとムラの風景・御所野遺跡, 新泉社, pp. 61-65.
- 6) 飯塚隼弘・近藤三雄 (2011) : 原始・古代から近世にかけての広義ののり面緑化に使用されてきた芝草等の地被植生の種類について, 芝草研究 40 (1), pp. 45-51.
- 7) 茂木雅博 (1994) : 古墳時代寿陵の研究, 雄山閣出版, pp. 116-117.
- 8) 山田卓三・中嶋信太郎 (1995) : 万葉植物事典「万葉植物を読む」, 北隆館
- 9) 黒板勝美, 國史大系編集会編 (1965-67) : 吉川弘文館, 日本書紀前編, p. 224. 令義解, p. 224.
- 10) 高橋裕 (1960) : 日本土木技術の歴史, 地人書館, p. 13. p. 86.
- 11) 飯塚隼弘・近藤三雄 (2010) : 日本における「のり面緑化工」の起源と変遷について, 日本緑化工学会誌, 第 36 巻 (1), pp. 15-20.
- 12) コンラッド・タットマン (1998) : 日本人はどのように森をつくってきたのか, 築地書館, pp. 30-67.
- 13) 畑大介 (1994) : 堤防考古学の視点と課題, 帝京大学山梨文化財研究所研究報告第 5 集, pp. 95-112.
- 14) 中川雅史 (1999) : 信玄堤築堤について, 城郭史研究, 19 号, pp. 76-88.
- 15) 森林土木今昔物語 編集委員会 (2009) : 森林土木今昔物語, 「森林土木今昔物語」編集委員会発行, p. 15.
- 16) 倉田益二郎 (1959) : 緑化工概論, 養賢堂, p. 42.
- 17) 山田龍雄ほか編 (1979) : 日本農書全集, 農山漁村文化協会, 第 16 巻, pp. 267-335. 第 64 巻, pp. 70-71. 第 65 巻, pp. 5-58.
- 18) 大熊孝 (2003) : 洪水と治水の河川史, 平凡社, pp. 96-106.
- 19) 藤木久志 (2009) : 城と隠物の戦国誌, 朝日新聞出版, p. 102.
- 20) 竹井英文 (2002) : 城と竹木, 城郭史研究, 22 号, pp. 69-77.
- 21) 松田毅一・川崎桃太訳 (1981) : フロイス日本史 1, 中央公論新社, p. 147.
- 22) 西ヶ谷恭弘 (1993) : 戦国の城, 学習研究社, p. 135.
- 23) 京都惣曲輪御土居絵図 : 京都大学博物館蔵
- 24) 日本史研究会編 (2001) : 豊臣秀吉と京都, 文理閣, p. 103.
- 25) 香田徹也 (2000) : 日本近代林政年表, 日本林業調査会, pp. 102.
- 26) 大熊孝編 (1994) : 川を制した近代技術, 平凡社, pp. 161-164.
- 27) 椎原兵市 (1936) : 芝生の話, 庭園 18 (1), p. 30.
- 28) 太田記念美術館 (2009) : 江戸園芸花尽くし, 太田記念美術館, pp. 18-19.
- 29) 近藤三雄・飯塚隼弘 (2011) : 日本におけるスポーツターフの起源と経緯について, 日本造園学会技術報告集, 74 (6), p. 144.

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）

要旨

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。

1. はじめに

日本人は古くから様々な野生の植物を利用または観賞し、巧みに生活の中に取り込んできた。また、それらの植物が身近に生育することで、少なからず人々の季節感や生命観に影響を与えると考えられる。近年、在来種による緑化が注目されているが、これら古くから人との関わりの深い植物の積極的な活用は、文化的な景観を創り出し、良質な環境形成の重要な要素となりうる。その際、対象植物のみならず、その生育する環境とセットで捉える視点が求められる。万葉集の中で山上憶良が歌った「秋の野に咲きたる花を指折りてかき数ふれば七種の花」（第八巻 - 1537）、「芽子の花尾花葛花瞿麦の花女郎花また藤袴朝貌の花」（第八巻 - 1538）の中に詠まれ、日本の秋の景を代表する植物である「秋の七草」に着目し、その生育立地や生育特性に関する調査・研究を進めているので、報告する。それにより、都市緑化における古くから人との関わりの深い人里植物による景観形成に向けた基礎資料を提供するものである。

2. 万葉集から読み取れる秋の七草の生育立地¹⁾

2-1. 目的および調査方法

日本最古の歌集である万葉集の歌から、万葉集が編纂された時代（5世紀初め～8世紀²⁾）における秋の七草の生育立地を把握し、当時、秋の七草が主に生育していた環境を考察した。

対象植物は「秋の七草」、すなわち、ハギ、オバナ（ススキ）(*Miscanthus sinensis*)、クズ (*Pueraria lobata*)、ナデシコ（カワラナデシコ）(*Dianthus superbus*)、オミナエシ (*Patrinia scabiosifolia*)、フジバカマ、アサガオ（キキョウ）を対象とした。万葉集で詠まれたハギは、分類学的にはヤマハギ節の種類の総称とされ³⁾、さらに、そのほとんどがヤマハギ (*Lespedeza bicolor*) とされる⁴⁾。また、フジバカマとアサガオ（キキョウ）については、現代の植物学でいうフジバカマ (*Eupatorium fortunei*) とキキョウ (*Platycodon grandiflorus*) であるかは諸説あるが、今回は現代において秋の七草として最も広く認識され、また有力な説であるフジバカマ説とキキョウ説を採用した。

調査方法は、万葉集の中で秋の七草を題材にした歌を全て抽出し、その現代語訳も確認した。これは、秋の七草に限らず、万葉集に歌われた植物を最も網羅的に解説した大貫茂著「萬葉植物事典」⁴⁾から、秋の七草に関わる歌を全て並び出し、その中で対象植物の生育している場所が判断または推察できる歌からその生育立地を特定し、人間活動の強度を基にした立地の特性を考慮して「野」「山・岡」「庭」「街・里」「その他」に分類した。その結果を集計し、万葉集から読み取れる秋の七草の生育立地について考察を行った。

2-2. 結果と考察

秋の七草の内、ハギ、ススキ、クズ、オミナエシ、フジバカマ、キキョウは「野」に生育するものを詠んだ歌の割合が最も多く、生育立地が特定できる歌の約半数（ハギ、ススキ、クズ）がそれ以上（オミナエシ、フジバカマ、キキョウ）であった。すなわち、万葉集が編纂された当時、これ

らの6種は主に「野」を生育場所としていたと推察される。一方、ナデシコは他の植物とは異なり、「庭」の割合が多いことが明らかになり、本種は植える、蒔くなどして積極的に庭で栽培されていたと推察される。これは、ナデシコが当時の貴族階級の人々にことのほか愛された植物であったため⁴⁾と考えられ、18首中、2首を除き詠み人（主に貴族階級）が判っていることから裏付けられる。細かく見ると、ハギも「庭」の割合が比較的高く、最多の「野」のみならず、「庭」に植えて愛で楽しむことも多かったと考えられる。このハギは、生育立地毎の歌数が特定の分類区分に偏らず、

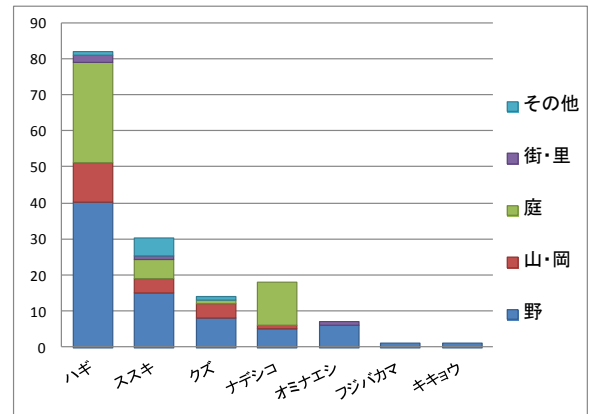


図1 生育立地の分類別歌数

「野」「山・岡」「庭」に幅広く生育するものが詠み込まれていた。ハギは万葉集に詠まれた植物の中で最も歌数が多い^{5) 6)}ことから、万葉歌人にとって親しみ深く、歌人の生活圏にごく普通に分布する身近な植物であったことが推察される。ハギは日当たりのよい丘陵地や山地に生育する⁸⁾植物であり、当時、明るい野山が多く存在していたことが示唆された。

人間活動の強度からの視点で見ると、今回の生育立地の分類では、「庭」が最も集約的な管理がなされる場所であり、「街・里」「野」となるにつれて人為的な管理圧が弱くなり、「山・岡」で最も疎となる。ナデシコとハギでは人が庭に植えたと考えられる歌もやや多く見られたが、七草を合わせると、「庭」が46首(30.1%)、「街・里」が4首(2.6%)、「野」が76首(49.7%)、「山・岡」が20首(13.1%)であり、秋の七草の生育立地における「野」の存在の重要性が示された。すなわち、秋の七草に代表される野草類は主に野に生育するものが観賞され、歌に詠まれていたと推察される。

3. 丘陵地性の農村環境におけるヤマハギ節の生育特性

3-1. 目的および調査方法

「萩」は、秋の七草の1つとして知られ、万葉集において最も多く詠まれた万葉植物⁵⁾であることから、日本人に広く観賞されてきた人里植物であるといえる¹⁾。前述の通り、万葉集に詠まれた「萩」のほとんどはヤマハギとされるが、一部に他のハギ類が含まれている可能性も指摘される⁴⁾。これら「萩」と総称される植物は、マメ科ハギ属の内、ヤマハギ節に分類される種群である⁷⁾。一般にヤマハギ節の生育立地は、日当たりの良い丘陵地や山地^{3) 8)}とされるが、今後、都市緑化として「野」のハビタットを形成するためには、人為的攪乱の状況に応じたより詳細な生育立地に関する知見の蓄積が必要である。特に、谷津田域における丘陵下部谷壁斜面下部の法面（裾刈り草地）は、農地への日照確保の必要上から定期的な草刈りが行われ、ススキやチガヤが優占する半自然草地の分布地となっており⁹⁾、多様な草本層植物が生育し、中でも草原性植物種が豊富であるとされる¹⁰⁾。この適度な人の干渉が入る裾刈り草地に着目し、現在も農業が盛んで、谷津田周辺の裾刈り草地が比較的多く存在する栃木県茂木町において、「萩」すなわちヤマハギ節の植物を対象に生育分布実態および生育特性を明らかにした。

調査は、栃木県芳賀郡茂木町、塩田川流域（面積約7.6km²）の内、全面的に休耕されたものを除く計15箇所の枝谷津で行った。谷津田の谷底部及び谷壁斜面下部をくまなく踏査し、ヤマハギ節の生育が確認された場合、位置、個体数、草丈（50cm単位での記録）等を記録した。その際、連続する生育箇所（概ね5m以内）を生育地パッチとして扱い、地形図より斜面の方向（8方位）を判断した。生育状態の調査と同時に、ヤマハギの生育地の植生調査を行い、生育環境について考察を行なった。調査は、2010年8月末～10月上旬に実施し、11月にも補足調査を行った。

3-2. 結果と考察

今回の調査では、ヤマハギ節としてヤマハギとキハギ(*L. buergeri*)の2種の生育が確認された。

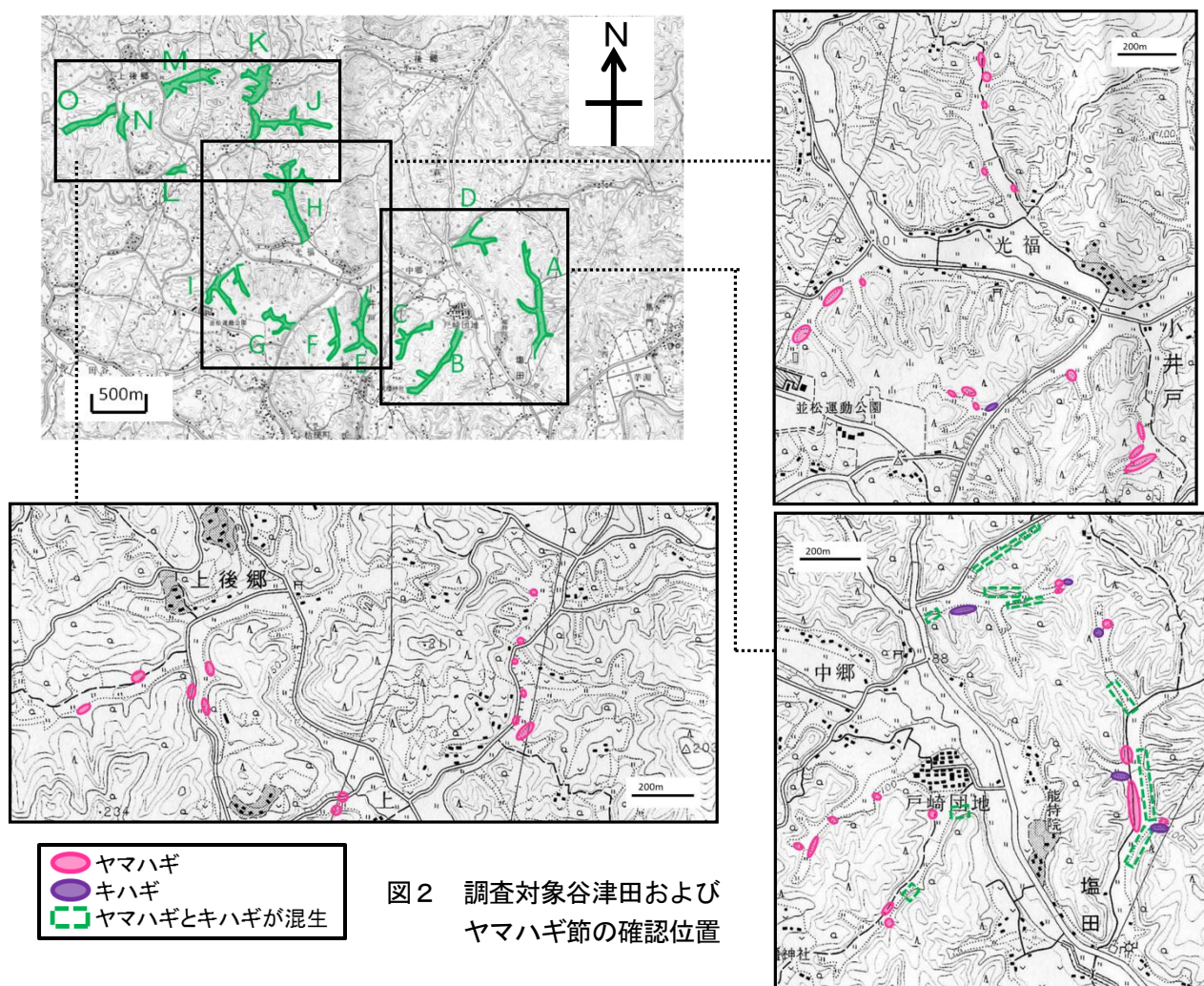


図2 調査対象谷津田およびヤマハギ節の確認位置

総個体数は、ヤマハギが 668 個体、キハギが 441 個体といずれも数百個体と多数であったが、その分布傾向は 2 種で大きく異なった。ヤマハギは、調査対象 15 の小流域内の枝谷津群に対し 14 谷津と広く生育していた。しかし、個々の谷津田での生育には多寡が見られ、必ずしも一様に生育しているわけではないことが明らかになった。それに対し、キハギは 4 谷津のみの確認であり、これは、本種は岩の多い所を好むとされ³⁾、また出現特化度で岩盤との間に極めて強い関連性が確認されたことから、岩盤の総量の多かった谷津田に偏在したためと考えられた。

谷津田の横断面方向でのヤマハギ節の生育確認位置について見ると、本地域では裾刈り草地部に限定されており、より草刈り頻度の高い谷底部の畦畔や高木の被陰下となる斜面中部の林内では全く生育が確認されなかった(図 3)。すなわち、管理強度の極めて強い農耕地、および管理強度の極めて粗放な樹林地の間が本種の主要な生育立地であることが確認された。一方、ヤマハギは植物社会学的にはススキクラスの種であり¹¹⁾、本研究における茂木での主要なヤマハギ生育地 31 地点での植生調査の結果(表 1)でも、その生育箇所にはススキクラスの植物種が多く含まれていた。すなわち、常在度が高いアズマネザサに続き、常在度Ⅳ～Ⅲとして、ススキ、ツリガネニンジン、ヒヨドリバナ、シラヤマギクが同所的に生育することが多く、常在度Ⅱ以下においてもオカトラノオ、ワレモコウ、ノハラアザミ、ノコンギク等、高茎の草本種で、かつ花卉の目立つ植物が多いのが特徴であった。しかし、ヤマハギの生育箇所にはコナラ、クリ、ガマズミ等、木本類の進入も多く確認された。このため、植生遷移に伴い、高木種の被陰により草原性の植物種の減少が今後危惧される。裏を返せば、ヤマハギの生育地は農村空間の草原性草本類の生育地としての指標となり得ると考える。例えば、本茂木地区では、絶滅危惧種Ⅱ類(VU)であるキキョウ¹²⁾は 4 箇所所で生育が確認されているが、いずれもヤマハギの生育地と重なっており、指標性の高さが示唆された。

本調査において、特にヤマハギでは、刈り跡のある個体のシュート数の多さが特筆された。ハギ類は地際の不定芽や宿根から芽を出す特徴があり^{13) 14)}、日照確保のための裾刈り草地の草刈りに

表1 ヤマハギ生育地の同所生育種の出現頻度

出現頻度(%)	1年草	多年生草本	木本	蔓
90-100				
80-90		アス・マネサ・サ		
70-80				
60-70		ススキ コハキ・ホウシ		オコ・コロ
50-60		ツリガネニンジン ヒヨドリバナ シラヤマギク	コナラ	ヘクサカスラ ヤマノイモ
40-50		ノダケ	クリ ガマズミ カシイチゴ	フジ クス
30-40	ヤクシソウ	オカラノオ ワレモコウ ハハラアザミ ノコンギク 効トウダイ	ヤマツツジ ネムノキ ヌルデ ナガバモミジイチゴ	ノドウ アオツツラフジ
20-30		アキカマツ トダシバ ミツバツチグサ ヤマハッカ キハナアキキリ イヌワラビ	ウツギ ハゼノキ コメウツギ ムラサキシキブ バコヤナキ ヤマザクラ	ミツバアケビ サルトリイバラ クマヤナキ
10-20	コナカサ チヂミザサ ヒメジョオン	オトギリソウ チダケサシ ナワシロイチゴ ワラビ キキョウ ヨモギ ドクダミ ホトキス チゴササ ヒメシダ カリヤス スキナ チツボ・スミレ	ツノハシバミ マルバ・アオダモ アカシデ テリハノイハラ ウリカエデ	エ・ヅル センニンソウ アケビ アカネ

N=31

注: ススキクラスの植物種は赤字で示した。

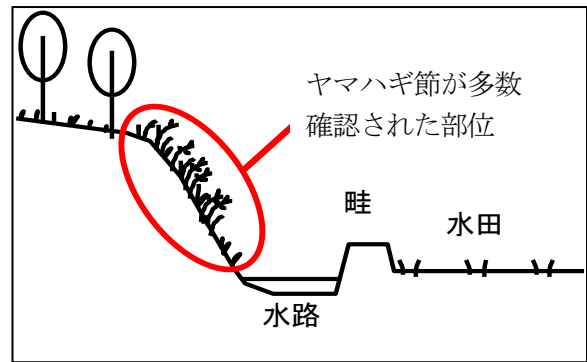


図3 調査地の草地形態の模式図

対し、耐性を有していると考えられた。すなわち、植物体上部の刈取りには萌芽で対応し、逆に刈取りによって周囲の植物からの被陰が軽減されることによって萌芽の成長が旺盛になると考えられる。シュート数が増加することで、1個体における着花数が増加し、夏季～秋季にかけての開花で草地在彩られてきたと考えられる。しかし、高さ 300cm を超える個体は少なく、管理放棄の年数がさらに経過すると灌木類が侵入し、ヤマハギより高い位置で展葉することでヤマハギの芽の伸長が阻害され¹³⁾、その個体数が激減すると推察される。

4. おわりに

「秋の七草」に代表される秋に開花する高茎の草本類のハビタットとして、「野」すなわち灌木が混生するような半自然草地在重要であると考えられる。そこは、人の活動が強過ぎても、かといって全く入らなくても成立し得ないハビタットであり、人の営みの周りに寄り添いつつも、しかし少し距離を置いて生育する在来野草類たちの暮らす場である。同時にそこは、住人が四季を感じ、時には食用や装飾用等の資源利用をし、生物の多様性の認知をする場でもある。ほどほどに管理が入り（粗放的な管理）、ほどほど・さまざまに資源利用され（単一目的でない非集約的な土地利用）、それ故に野草類の高い種多様性を持ち得る「野」のハビタットは、これからの都市の緑、都市の暮らし、都市の生物多様性を考える上で、一つのキー概念になるだろう。植物を植えることのみならず、これらのハビタットの確保・形成への視点が求められている。

「人との関わりの中で育まれてきた文化的な人里植物(秋の七草)で都市を緑化し(都に植ゑし)、街の風格・品格を醸す(華さそふ)」、これ明日の理(ことわり)なり。

参考文献

- 1) 七海絵里香・大澤啓志・勝野武彦 (2011): 万葉集にみる秋の七草の生育立地: 日本緑化工学会誌 37(1), 123-126.
- 2) 山田卓三・中嶋信太郎 (1995): 万葉植物事典「万葉植物を読む」: 植物名索引: 北隆館, pp.588-591.
- 3) 佐竹義輔・大井次三郎・北村四郎・亘理俊次・富成忠夫 (1982): 日本の野生植物 草本II 離弁花類, ハギ属: 平凡社, pp.204-206.
- 4) 大貫茂 (2005): 萬葉植物事典: クレオ, 249pp.
- 5) 八坂安守 (1972): 植物と文化 秋第六号: 八坂書房, 120pp.
- 6) 斎藤正二 (2002): 植物と日本文化, 秋草: 八坂書房, pp.140-151.
- 7) 大場秀章・西野嘉章 (1995): 動く大地とその生物: 東京大学出版会, 220pp.
- 8) 牧野茂太郎 (1982): 原色牧野植物大図鑑: 北隆館, 906pp.
- 9) 山田晋 (2011): 谷津田沿いの斜面地における半自然草地の分布と景観構造および局所立地条件との対応: ランドスケープ研究 74(5), 483-486.
- 10) 北川淑子・山田晋・大久保悟 (2006): 喜連川丘陵の裾刈り草地に生育する草本層植物の種多様性-栃木県芳賀郡市貝町を例として: 栃木県立博物館研究紀要, 自然 (23), 1-14.
- 11) 宮脇昭 (1978): 日本植生便覧: 至文堂, 850pp.
- 12) 生物多様性情報システム: 環境省: <http://www.biodic.go.jp/J-IBIS.html>
- 13) 岩田悦行 (1964): 山火事跡地に発達する「ハギ山」について-北上山地植生の研究(2): 岩手大学学芸学部研究年報 23(3), 13-26.
- 14) 上原敏二 (1961): 樹木大図説: 有明書房, 1203pp.

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(前明治大学・農学部), 興水 肇(明治大学・農学部)

要旨

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。

1. 研究の背景と目的

全国の自治体では, 都市緑化活動の中で, 学校緑化を地域の景観や防災, グリーンネットワークの拠点として位置づける傾向にある(相沢ら, 1998)¹⁾。国の補助基準の見直しや教育の多様化に対する計画・指針, 研究成果によって, 模範となる学校緑化の実例も増えつつある(浅井ら, 2002)²⁾。特に, 小学校における緑化は, ①自然教育, ②環境学習, ③情操教育, ④環境美化保全, ⑤景観形成など多種多様な機能効果が求められている。このことから, 一般の施設緑化と比較して, 学校緑化の特殊性は, 対象となる緑化を教材としており, その成育プロセスを教育対象としていることである(相沢ら, 1998)¹⁾。これまで, 学校緑化は土木工学的な発想で進められてきたため, 見た目の美しさや維持管理の容易さが重視され, 教育的な観点で議論されることは稀であった(長島ら, 2004)³⁾。教育的な側面から求められる学校緑化とは, 健全な自然の中での緑, 多様な植生, 動植物が共生する緑化と言われている(相沢ら, 1998)¹⁾。しかし, 多くの学校では, 限られた校地面積の中で, さまざまな機能を効果的に満たし, 緑豊かな教育環境を創出, 維持管理することは難しい。

そこで, 本稿では, 2010 年 9 月に発表された“CASBEE 学校”がどの程度, 自然, 緑を評価項目として取り入れているかを把握し, 学校緑化を促進するための改訂に向けた方向性を検討, その成果を報告する。

2. CASBEE 学校における緑に関する評価項目の課題抽出

2-1. CASBEE 学校における評価の現状^{4, 5)}

2001 年 4 月, 国土交通省住宅局の支援のもと, 産官学プロジェクトの一つとして開発された評価システム「CASBEE(建築環境総合性能評価システム, Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency)」は, 省エネルギーや環境負荷の少ない資機材の使用, 室内の快適性や景観への配慮なども含めた建築物の格付け手法である。評価対象のスケールを住宅, 建物, 都市・まちづくりに分け, それぞれ, ①建築物のライフサイクルを通じた評価, ②「建築物の環境性能(Q)」と「建築物の環境負荷(L)」の両側面から評価, ③環境効率の考え方にに基づき, 開発された評価指標「BEE(建築物の環境性能効率, Built Environment Efficiency)」で評価という 3 つの理念を有している。

学校施設における総合的な環境性能評価(CASBEE 学校)は, 低炭素社会の構築に向けて, 市町村などで多数所有する学校施設それぞれの環境性能がどのような状況にあり, どの学校施設からエコ化を進めるのが効率的か, どこにコストを配分すれば環境性能が向上するかといった検討の場面, すなわち, 企画段階での活用を想定して開発された。学校の実情に即した診断を行うため, ①「学校環境衛生基準」に基づき実施される教室等の環境測定結果等既存データを活用する, ②採点に当たり, 現地調査や図面確認を省略し, 規定値を採用する, ③学校施設の特徴(環境特性の異なる校舎・体育館, 全館空調の導入状況など)に対応する, という考え方が導入されている。CASBEE 学校の評価項目を見ると, 省エネルギー・省資源に関する項目が多く, 学校緑化の特性として挙げられた緑化を教材とする自然共生に関する項目が少ない(表-1

参照)。

表-1 CASBEE 学校の評価項目一覧

Q: 建築物の環境品質			LR: 建築物の環境負荷低減性		
Q1 室内環境	1. 音環境	①騒音、②遮音、③吸音	LR1 エネルギー	1. 建物の熱負荷抑制	①自然エネルギーの直接利用、②自然エネルギーの 間接利用
	2. 温熱環境	①室温制御、②湿度制御、③空調方式		2. 自然エネルギー利用	①空調設備、②換気設備、③照明設備、④給湯設備、 ⑤昇降機設備、⑥エネルギー利用効率化設備
Q2 サービス性能	3. 光・視環境	①昼光利用、②グレア対策、③照度、④照明制御	LR2 資源・マテリアル	3. 設備システムの高効率化	①モニタリング、②運用管理体制
	4. 空気質環境	①発生源対策、②換気、③運用管理		4. 効率的運用	①節水、②雨水利用・雑排水等の利用
Q3 室内環境(敷地内)	1. 機能性	①機能性・使いやすさ、②心理性・快適性、③維持管理	LR3 敷地外環境	1. 水資源保護	①材料使用量の削減、②既存建築躯体等の継続利 用、③躯体材料におけるリサイクル材の使用、④非構 造材料におけるリサイクル材の使用、⑤持続可能な 森林から算出された木材、⑥部材の再利用可能性向 上への取り組み
	2. 耐用性・信頼性	①耐震・免震、②部品・部材の耐用年数、③適切な更新、 ④信頼性		2. 非再生性資源の使用量削減	①有害物質を含まない材料の使用、②フロン・ハロン の回避
Q3 室内環境(敷地内)	3. 対応性・更新性	①空間のゆとり、②荷重のゆとり、③設備の更新性		3. 汚染物質含有材料の使用回避	①大気汚染防止、②温熱環境悪化の改善、③地域イ ンフラへの負荷抑制
	1. 生物環境の保全と創出	①地域性への配慮・快適性の向上、②敷地内温熱環境 の向上		2. 地球温暖化への配慮	①騒音・振動・悪臭の防止、②風害・砂塵・日照障害 の抑制、③光害の抑制
Q3 室内環境(敷地内)	2. まちなみ・景観への配慮			3. 周辺環境への配慮	
	3. 地域性・アメニティへの配慮				

また、エコスクールパイロットモデル事業(1997 年実施)には、省エネルギー・省資源型、資源リサイクル型、自然共生型など全 8 種類あり、2011 年 4 月現在、1235 校が認定されているものの、自然共生型事業は全体の 17%であることから、充実した学校緑化とは言い難い。以上から、CASBEE 学校の評価項目において緑化に関する評価項目をできる限り追加することは、学校緑化の意味・意義の議論へとつながることが期待される。

2-2. 学校緑化の形態と機能・役割の抽出方法

既往文献と現地調査を行い、学校緑化の形態は「周辺植栽」「校門から玄関への植栽」「中庭」「花壇」「校舎周辺」「グラウンド」「校庭芝生」「屋上緑化」「ビオトープ」の 9 項目、機能・役割は「地域の景観形成」「緑陰」「季節感」「環境教育の場」など 27 項目を抽出した。

2-3. 緑の専門家を対象とした学校緑化の形態と機能・役割の対応関係の調査方法

抽出した学校緑化の形態と機能・役割の対応関係とそれぞれの強さを定量的に把握するため、緑地学を専攻する学生 13 名を対象に、質問調査票を用いたアンケート調査を実施した。方法は、9 種の緑の形態それぞれに対応する機能・役割 5 項目を選択させ、その中から最も強い関係性を有する項目 1 つを選択させた。

2-4. CASBEE 学校における学校緑化の機能・役割の導入可能性の検討方法

現行の CASBEE 学校の評価項目において、抽出された 27 項目の機能・役割が評価できると仮定し、「すでに CASBEE 学校で評価可能(A 群)」「現行の CASBEE 学校の評価項目と何らかの関係性を有する(B 群)」「現行の CASBEE 学校の評価項目には該当しないが、可能であれば評価項目として追加したい(C 群)」「CASBEE 学校の評価対象とは全く関係ない・評価項目として追加する必要がない(D 群)」の視点で 4 グループに類別した。

2-5. 学校緑化の形態と機能・役割、CASBEE 学校との関連性把握の方法

1) 学校緑化の形態と機能・役割の関係性把握

9 種の緑の形態それぞれに対応すると選択された 5 つの機能・役割を 1 点、その中で最も強い関係性を有すると判断した機能・役割にプラス 1 点を配して、評価点の単純集計を行った。そして、2-4 で類別した 4 グループごとに現行の CASBEE 学校の評価項目に導入すべき緑の形態と機能・役割を明らかにした。

2) 数量化理論Ⅲ類を用いた学校緑化に求められる形態と機能・役割の特性把握

9 種の緑の形態それぞれに対応すると選択された 5 つの機能・役割を 1 点、選択されなかった機能・役割に 0 点を配した。これらの評価点を集計し、学校緑化に求められる機能・役割の特性を把握するため、数量化理論Ⅲ類を行った。

3. 明らかになった課題と評価項目の追加・検討

3-1. CASBEE 学校における学校緑化の機能・役割の導入状況

CASBEE 学校の評価項目を前述の A から D の 4 グループに類別したところ、A 群には「生物環境の保全と抽出(Q3-1)」「まちなみ・景観への配慮(Q3-2)」「敷地内温熱環境の向上(Q3-3.2)」など 7 項目、B 群には「まちなみ・景観への配慮(Q3-2)」「光・視環境(Q1-3)」「地域性への配慮・快適性の向上(Q3-3.1)」など 6 項目、C 群には「地域性への配慮・快適性の向上(Q3-3.1)」の 1 項目、D 群は該当する項目が存在しなかった。

3-2. 緑の形態と対応関係を有する緑の機能・役割

緑の機能・役割の単純集計から、「環境教育の場」が最も多くなった。緑の形態と機能・役割のクロス集計結果から、「ビオトープ」と「環境教育の場」との組み合わせが最も多くなった。

3-3. 学校緑化に求められる形態とその機能・役割

数量化理論Ⅲ類の結果、累積寄与率が 54.3%となった第 3 軸までを解析対象として、それぞれの軸で特徴的に反応する形態と機能・役割から軸の意味を解釈した。固有値が 0.54 と最も高かった第 1 軸は、「安全」「砂塵防止」「ぬかるみ防止」などの物理的機能に関する項目が正の方向に、「親しみ」「癒し」等の心理的機能に関する項目が負の方向に反応したことから、緑の形態ではなく、緑の有無が児童生徒の学校活動に影響を与えている判断し、「緑の存在意味」と解釈した。次に固有値が 0.51 と高くなった第 2 軸は、「周辺植栽」「騒音の緩和」「防風」など学校敷地外に関する項目が正の方向に、「校庭芝生」「運動意欲の増進」「雨水浸透能向上」など学校敷地内に関する項目が負の方向に反応したことから、緑の形態が学校内外の環境を調節していると判断し、「周辺環境の調整」と解釈した。そして、固有値が 0.42 となった第 3 軸は、「表面温度の上昇抑制」「夏季の日射遮蔽」「校舎周辺植栽」など児童生徒の活動に間接的に関係する項目が正の方向に、「コミュニケーションの促進」「動線の確保」「騒音の緩和」など児童生徒の活動に直接的に関係する項目が負の方向に反応したことから、児童生徒の活動と緑の形態の関係を示した軸と判断し、「児童生徒の活動」と解釈した。

以上から、学校緑化に求められる形態とその機能・役割の特性は、形態よりもその存在が重要であること(「緑の存在意味」)、学校だけではなく地域環境との連携が重要であること(「周辺環境の調整」)、そして、児童生徒の心身の成長に必要であること(「児童生徒の活動」)ということが明らかになった。これらの内容を現行の CASBEE 学校において、より重点的に評価できるよう、評価項目の追加とその配点の検討を行った。

3-4. 課題に対応した評価基準の定量化および配点の検討

1) 実測に基づく評価基準の定量化

既存の CASBEE 学校の評価項目に追加し、さらに客観的な評価をするため、9 種の緑の形態を空中写真から計測し、評価基準の定量化に向けた作業を行った。Google map から都内公立小中学校各 8 校とその周辺を画像処理ソフト Adobe photoshop に取り込み、ピクセル数を抽出し、校内配置図と対応させて面積に換算した。なお、校庭芝生と屋上緑化は小中学校への施工事例が少ないことから、対象とした都内公立小中学校各 8 校ではなく、小学校 26 校、中学校 21 校を対象に同様の方法を用いて、計測した。

2) 評価基準への点数の付与

計測対象とした小中学校の値は、小、中、高校の中でも積極的に学校緑化に取り組んだ小、中学校の代表値であることから、CASBEE 学校の評価対象のサンプルとして適当であると判断し、それぞれ正規分布を仮定して、1 から 3 点の評価点を配した。

3) CASBEE 学校への評価項目の追加

既存の CASBEE 学校の評価項目と学校緑化の機能・役割の対応状況から、A 群(すでに

表-2 緑の形態と評価項目および本研究で用いた定義

緑の形態	緑の形態に対応した評価項目	本研究で用いた定義
周辺植栽	接道緑化率(%)	校内で動線となっている通路から3m以内に存在する緑化帯の長さの合計(m)/対象とした通路の総延長(m) × 100
校門から玄関への植栽	校門から玄関までの緑化率(%)	校門から玄関までの間に存在する緑化帯の長さの合計(m)/校門から玄関までの実距離(m) × 100
中庭	児童生徒1人当たりの中庭面積(m ² /人)	中庭(花壇・ピオトープ等)の総面積(m ²)/児童生徒数(人)
花壇	(中庭に統一)	(中庭を参考)
校舎周辺	校舎周辺緑化率(%)	校舎および体育館外壁から3m以内に存在する緑化帯の長さの合計(m)/校舎および体育館の周長の合計(m) × 100
グラウンド	校庭植栽率(%)	校庭に植栽された樹木の樹冠投影面積の合計(m ²)/校庭面積(m ²) × 100
	グラウンド以外の緑被率(%)	グラウンドほか緑の形態に該当しない緑被面積の合計(m ²)/グラウンドを除いた敷地面積(m ²) × 100
校庭芝生	校庭芝生面積率(%)	校庭が芝生等により緑化されている面積(m ²)/校庭面積(m ²) × 100
屋上緑化	屋上緑被率(%)	屋上の緑被面積の合計(m ²)/屋上面積の合計(m ²) × 100
ピオトープ	(中庭に統一)	(中庭を参考)
(学校)	敷地緑被率	学校敷地内の全緑被面積(m ²)/学校敷地面積(m ²) × 100

CASBEE 学校で評価可能)に類別された評価項目のうち、評価基準が数値で示されているものについては、本研究の実測結果から得られた評価基準に変更した。B 群(現行の CASBEE 学校の評価項目と何らかの関係を有する)に類別された評価項目のうち、定性的表現が使用されているものについては、A 群と同様、本研究の実測結果から得られた評価基準に変更した。そして、C 群(現行の CASBEE 学校の評価項目には該当しないが、可能であれば評価項目として追加したい)に類別された評価項目については、本研究の分析および実測結果に基づき、新たな評価項目を追加し、評価基準を適用した。

4) CASBEE 学校改良(案)の検証

追加・変更した評価項目および評価基準によって、CASBEE 学校において、どの程度学校緑化の現状を加味した評価が可能になったかを検証するため、緑に関連する項目のみ使用して評価した BEE、すなわち緑の BEE を算出した。その結果、緑の BEE の値は、現行の CASBEE 学校では 0.4、CASBEE 学校改良(案)では 0.5 に変化し、緑の BEE を S ランクの BEE(3.0)で除し、100 を乗じた「緑の BEE の寄与率(%)」を算出したところ、13%から 17%に向上した。

4. まとめ

本研究の結果、緑の BEE の寄与率が 4%増加し、CASBEE に占める緑の評価を高めることに成功した。これは、定性的表現や現実には即さない評価基準であった CASBEE 学校に、学校緑化の有する意味・意義が最低限反映できたためと考えられた。今後は、本研究で調査分析の対象外とした校舎内の緑化(室内緑化)や屋上・壁面緑化に使用する植物種や量などを CASBEE 学校の評価項目に追加し、新たな評価基準を定めることで、緑豊かな教育環境の創出につながるだけでなく、児童生徒・周辺住民等学校に関わる人々に対する学校緑化の意味・意義が明確になることが期待される。

補注

本稿は、平成 23 年度日本造園学会関東支部大会の事例・研究発表会(ポスターセッション)にて発表した内容(藤田・興水：緑の機能効果および量の把握に基づく CASBEE 学校への一提案)の一部を加筆修正したものである。

参考文献

¹⁾相沢ら(1998)：学校緑化コンクールに見る小学校校地利用と緑化計画に関する研究：日本建築学会大会学術講演梗概集 F-1, pp.127-128. ²⁾浅井ら(2002)：学校緑化コンクール受賞校におけるその後の活動実態について、小中学校の緑化計画に関する研究(その 1)：日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, pp.37-38. ³⁾長島ら(2004)：学校緑化に対する環境教育からのアプローチ：仙台市立岩切小学校における事例を通して：宮城教育大学環境教育研究紀要、第 7 巻, pp.75-83. ⁴⁾文部科学省：CASBEE 学校・学校施設における総合的な環境性能評価手法：http://www.mext.go.jp/a_menu/shisetu/ecoschool/detail/1298014.htm (2011.11.28 閲覧). ⁵⁾文部科学省：エコスクールパイロットモデル事業事例集：http://www.mext.go.jp/a_menu/shisetu/ecoschool/detail/1301216.htm (2011.11.28 閲覧).

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）

要旨

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。

1. はじめに

密集市街地における緑化可能空間は限られており、緑の効果をより効率的に利用するための配置や形態を、特殊緑化を含めて検討できる手法が必要であるが、現状では具体的な緑化計画に応用可能な方法が不足している。例えば熱環境調整効果については、これまでも緑と人工被覆面の顕熱量の違い等を比較することで、緑による熱環境調整効果を評価した研究は多くみられる^{1)~3)}。しかしながら、実際の市街地において緑の熱環境調整効果を予測・評価する場合には、緑の形態や配置とともに周囲の建物の空間形態・構成材料を含めて議論することが重要である。

筆者らはこれまでに、3D CADを用いて実在する密集市街地の建物・地面・緑に関する空間形態や構成材料をベランダや庇等も含めて再現して、熱環境解析を行うことや、現状を実現可能なレベルで最大限緑化した場合について、数値解析により緑による熱環境緩和の可能性を予測・評価してきた⁴⁾。

本研究では、さらに図1に示すような東京都港区赤坂に位置する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、三次元の日積算受熱日射量分布を用いて、基本設計段階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計画を提案する手法を提示する。

そして現状と、図2に示すような手順で現状を実現可能なレベルで最大限緑化した案（最大緑化案）を作成した場合、街区内の建物形状・配置について、特殊緑化を施すことを念頭に改変した案（適正配置型（緑無）案）、適正配置型（緑無）案に、本研究で提案する手法を適用して高木植栽や壁面・屋上緑化等を施した案（以下、適正配置型（緑有）案）の4ケースの数値解析結果を比較して、本手法が大気への顕熱負荷の抑制や生活空間の熱放射環境の改善に寄与できることを示す。

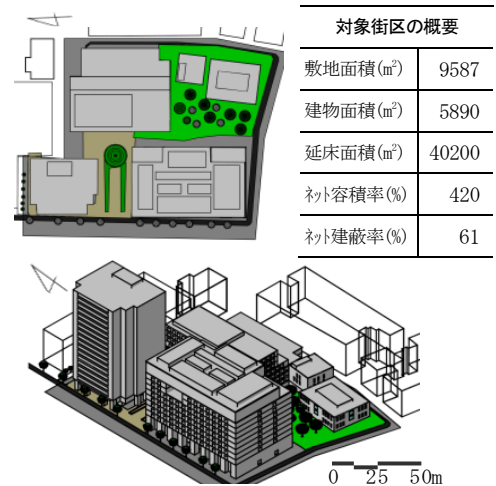
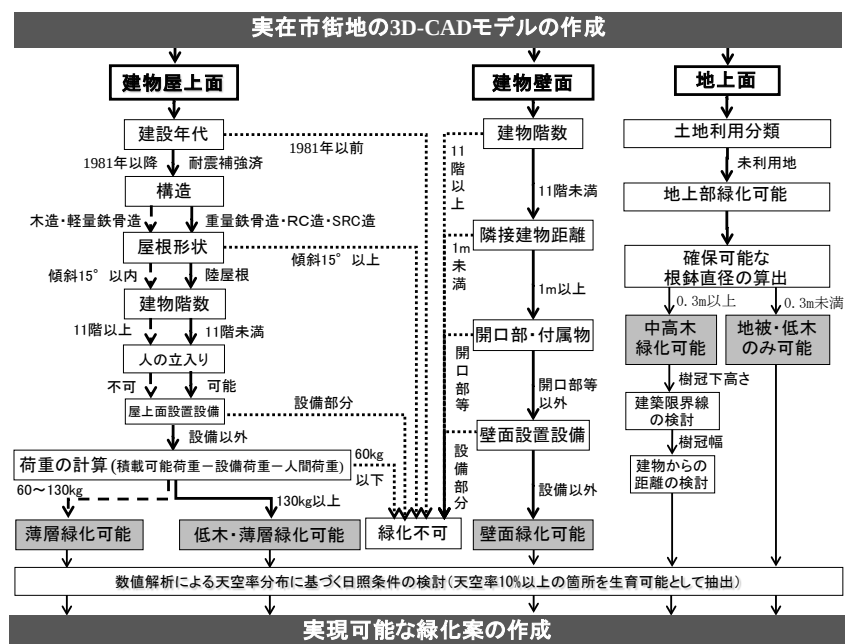


図1 対象街区の3D CADモデル



2. 日積算受熱日射量分布を用いた適正配置型緑化案の提案

本章では、建物の基本設計段階で、日積算受熱日射量分布を用いて熱環境緩和に有効な緑化位置を特定することで、夏季における大気への顕熱負荷と屋外空間の熱的快適性の双方に寄与する計画案を策定する手法を示す。これまでに日積算受熱日射量分布については太陽エネルギー利用の適地選定⁵⁾といった用途において利用されており、地表面の方位や傾斜面等を考慮した日積算受熱日射量分布を算出できるツールも開発されている。しかしながら、立体的な緑化空間を検討できるレベルで建物形状を3次元で再現した結果から、日積算受熱日射量分布を用いて熱環境緩和に有効な緑化位置を検討した事例はみられない。

そこで本研究では、緑化可能でかつ熱環境緩和に有効な緑化位置を示す。まず、建物ボリュームを検討する段階で表面温度が高温となる個所や緑化可能位置を特定する必要があるため、夏季晴天日を対象とした日積算受熱日射量分布図を作成する。そして表面温度の上昇が顕著にみられる概ね $5\text{MJ/m}^2 \cdot \text{day}$ を超える個所を熱環境緩和に有効な緑化位置として抽出する。また緑化可能空間抽出手法⁶⁾を用いて緑化可能で夏季の熱環境緩和に有効な緑化位置を決定する。

3. 日積算受熱日射量分布を用いた適正配置型緑化案の作成

次に前章で示した手法を基に具体的に作成した適正配置型(緑無)案及び適正配置型(緑有)案を示す。対象街区は、敷地西側は幅員約20mの幹線道路に接しているのに対し、敷地東側は道路幅員6mで斜線制限を受け、さらに公開空地を確保する必要がある。そこで敷地南側に高層建物を設置して敷地東側に低層建物を配置する建物ボリューム案を提示した。この建物のみ案を適正配置型(緑無)案とする。そして東京の夏季晴天日を想定した日積算受熱日射量分布を算出した結果、図3のような分布となった。

次に得られた日積算受熱日射量分布に基づき、日射量の小さい建物北側を中心に屋外設置機器類を配置して、その他の地上部を公開空地と設定した。そして公開空地のうち日積算受熱日射量が概ね $5\text{MJ/m}^2 \cdot \text{day}$ を超えた箇所について、樹冠下も屋外空間として利用可能な高木を植栽した。また10階以下の建物屋上には日積算受熱日射量が多いことや庭園として利用することを想定して屋上緑化を施し、高層建物屋上のみを屋外設置機器類の設置場所とした。開口部以外の壁面のうち、西側壁面について壁面緑化の生育が良好な10階以下に緑化を施すことを想定した。

以上の検討結果を踏まえ、図4に示すような適正配置型(緑有)案を作成した。これにより、適正配置型(緑有)案では日積算受熱日射量が多い箇所にのみ緑化することが可能となる。

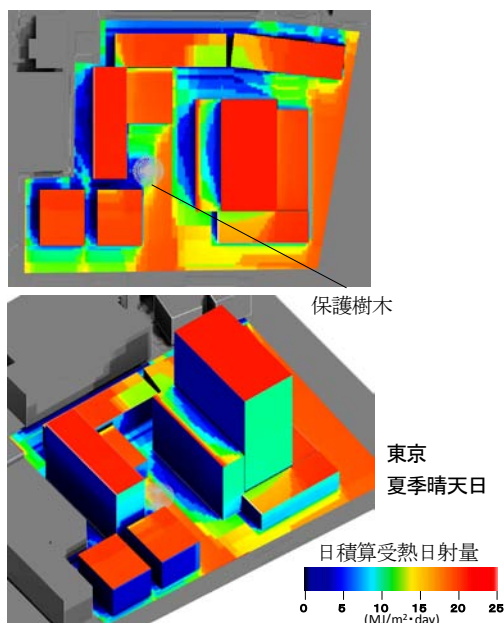


図3 提案街区の日積算受熱日射量分布

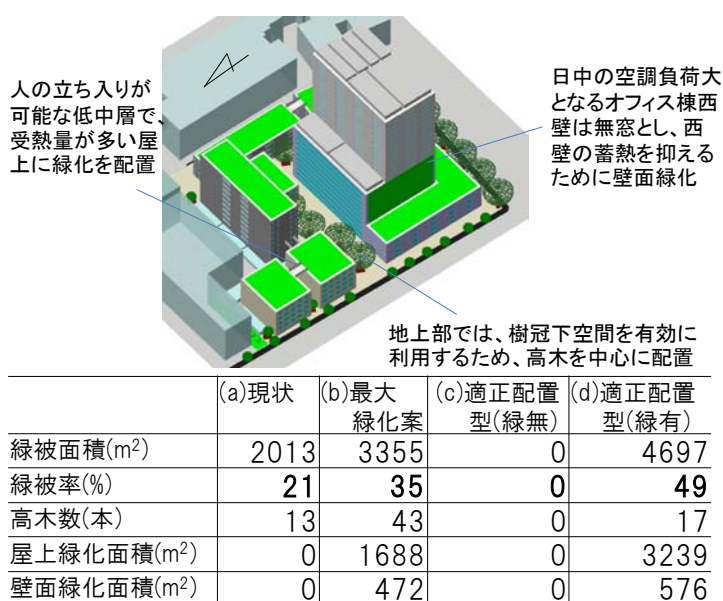


図4 提案街区の3D CADモデル及び緑量の比較

3. 現状及び最大緑化案と適正配置型案の予測・評価

3-1. 3D CAD 対応熱環境シミュレータの概要及び評価指標

数値解析に用いた 3D CAD 対応熱環境シミュレータ⁷⁾は、3次元に再現した建物及び2次元の地表面の全表面をメッシュ分割(本研究では 0.2m ^{補1)}し、それぞれに設定した質点において表面の熱収支計算(直達日射, 天空日射, 反射日射, 大気放射, 周辺地物との長波長放射の授受, 対流熱伝達)と各面断面方向の一次元非定常熱伝導計算を行い、表面温度を算出する^{補2) 補3)}。計算は4日間助走計算させ、5日目の結果を周期定常解として採用する。そして現状及び最大緑化案と、適正配置型(緑無)案及び適正配置型(緑有)案について、時系列の全表面温度分布と、大気への顕熱負荷を示すヒートアイランドポテンシャル^{補4)}及び屋外空間の熱放射環境を示す生活空間高さ(1.5m)の平均放射温度(MRT)分布^{補5)}により予測・評価する。

3-2. 時系列の全表面温度分布による表面温度低減効果の評価

以下では、4ケースの全表面温度分布、大気への顕熱負荷、屋外空間の熱的快適性について予測・評価した結果から、提案した緑化手法の有効性を検証する。

現状の12時における計算結果では、植栽部分や建物の日射遮蔽の影響を受けた個所で表面温度の上昇が抑制されているが、建物屋上面や敷地内の一部で表面温度が約 60°C に達した。また敷地南西に位置する10階建の業務用建物北側で、終日日射が遮蔽される空間にも植栽が施される等、必ずしも植栽によって表面温度上昇が抑制されていない。一方(b)最大緑化案では、現状よりも地上面、屋上面とも表面温度が低い傾向にあるが、屋上面の屋外機器面積が大きいことや建物による日射遮蔽空間にも緑化が施されており、効率的とは言えない。これに対し図5に示す(d)適正配置型(緑有)案では、(c)適正配置型(緑無)案において高温化する、建物屋上面や、公開空地部分の表面温度が $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 程度低くなっており、敷地全体の表面温度の上昇が抑えられていた。

3-3. 大気への顕熱負荷の評価

次に各ケースの大気への顕熱負荷をヒートアイランドポテンシャル(HIP)により評価した(図6)。適正配置型(緑無)案が全面アスファルト舗装面を想定した場合と同程度の約 30°C であるのに対し、適正配置型(緑有)案では全面芝地を想定した場合と同程度の最大約 14°C となり、大気への顕熱負荷が最大で半分以下となった。ただし夜間は適正配置型(緑有)案においても全面芝地より $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 高いHIPを示しており、壁面や地面の蓄熱の影響がみられた。

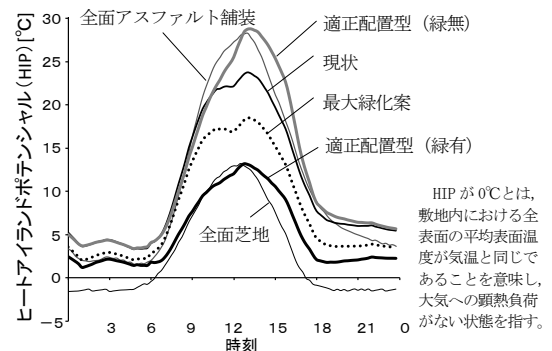


図6 HIPによる大気への顕熱負荷の評価

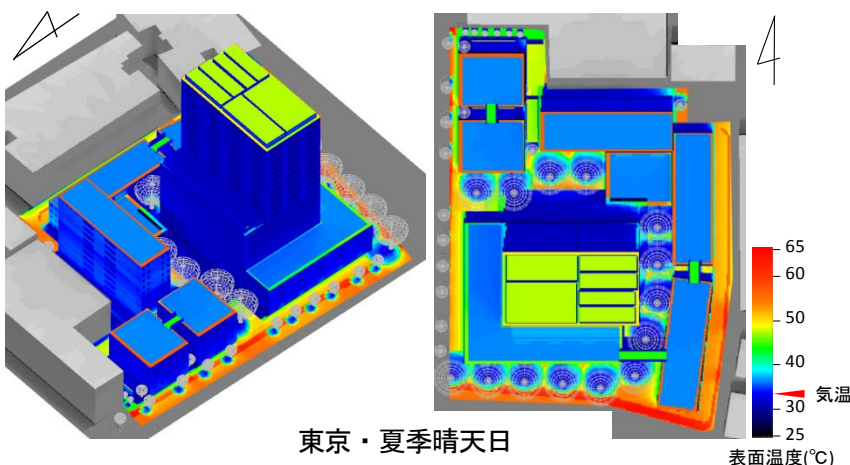


図5 適正配置型(緑有)の全表面温度分布(12時)

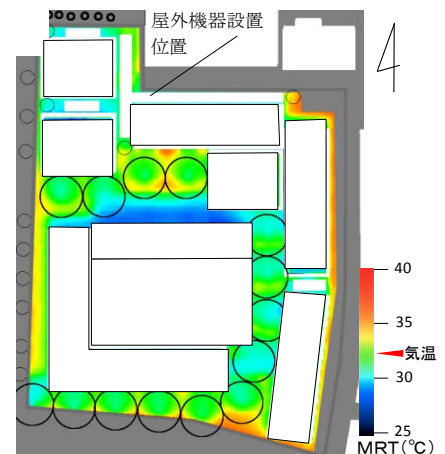


図7 地上高さ1.5mの平均放射温度(MRT)分布(12時)

3-4. 平均放射温度分布による屋外空間の熱的快適性評価

次に屋外空間の熱放射環境を高さ 1.5m の平均放射温度 (MRT) 分布を用いて評価する。適正配置型 (緑無) 案においては、高層建物の日射遮蔽の影響を受ける箇所を除き、MRT が気温よりも数℃高くなった。しかし図 7 に示す適正配置型 (緑有) 案では、高層建物の日射遮蔽箇所と高木による日射遮蔽箇所が重複する箇所がほとんどなく、適正配置型 (緑無) 案から適正配置型 (緑有) 案の MRT を引いた差画像においても、MRT が 3~5℃以上抑制された。また図 8 に示すように適正配置型 (緑有) 案は気温よりも 5℃以上高い MRT を示す個所が、現状や最大緑化案よりも 38℃を超える空間が大幅に減少した。

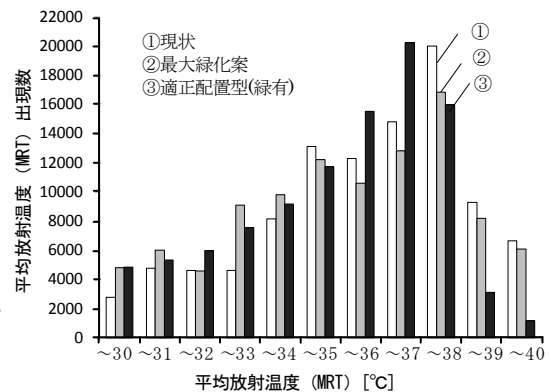


図 8 各ケースの平均放射温度 (MRT) 別出現数 (12 時)

4. まとめ

日積算受熱日射量分布を用いた熱環境緩和に有効な緑を適正に配置する緑化手法を提案した。そして実在街区を対象に、夏季晴天日を想定した現状、最大緑化案、適正配置型案 (緑無)、適正配置型案 (緑有) の 4 ケースを比較した結果、適正配置型案 (緑有) では、大気への顕熱負荷と屋外空間の熱的快適性が最大緑化案よりも大幅に改善されていることを示した。今後は提案した緑化手法について、実測による更なる妥当性の検証や、建物熱負荷の抑制効果や、維持・管理の側面も考慮した提案を行っていく。

* 本稿は、平成 23 年度日本造園学会全国大会発表論文「3D CAD による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に関する研究」を基に作成した。

補注

- 補 1) 本研究においては、日積算受熱日射量分布を計算した結果より植栽位置を特定し、熱環境緩和効果を考察することを目的としているため、植栽位置が特定しやすいように、メッシュサイズを 0.2m とした。
- 補 2) 建物内部の境界条件である自然室温、冷房時室温、地中温度については、梅干野ら⁸⁾と同様の方法を用いる。計算は街区単位で実施し、街区の周辺建物を熱収支計算に影響を及ぼす境界条件として計算範囲に含める。また樹冠表面温度の算出方法として、既往と同様に実測から得られた回歸式⁹⁾を用いて樹冠及び地被植物の表面温度を算出する。
- 補 3) 気象条件は、空気調和・衛生工学会方式による標準年気象データの東京のデータから、夏季晴天日として 8 月 5 日のものを使用する。
- 補 4) ヒートアイランドポテンシャルは梅干野らが提案した指標であり、ある街区または敷地内の全ての面から大気側に対してどの程度顕熱負荷を与えるかを示す指標であり、下式で定義される。

$$HIP[^\circ\text{C}] = \frac{\int_{\text{all surfaces}} (T_s - T_a) dS}{A}$$

T_s : 表面温度 (°C) T_a : 外気温 (°C)
 dS : 微小表面積 (m²) A : 敷地または街区面積 (m²)

- 補 5) 平均放射温度 (MRT) は熱的快適性を表す指標であり、ある点 (微小球と仮定) における MRT の算出式は下式の通りである。また天空放射温度は表面温度算出時の気象条件下で Brunt 式より算出する。

$$MRT = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^N F_i \cdot T_{si}^4} - 273.2$$

MRT : 平均放射温度 [°C]
 F_i : ある解析メッシュから微小面への形態係数 [-]
 T_{si} : 微小面の表面温度 [K] N : 参照する微小面の総数

引用文献

- 1) 三坂育正, 石井康一郎, 横山仁, 山口隆子, 成田健一 (2005): 軽量・薄層型屋上緑化技術のヒートアイランド緩和効果の定量評価に関する研究, 日本建築学会技術報告集(21), 195-198
- 2) 小野芳, 柳雅之, 工藤善, 手代木純, 奥水肇 (2006): 屋上緑化における植物の蒸発散量, 日本緑化工学会誌 32(1), 74-79
- 3) 竹林英樹, 森山正和, 西岡真稔, 君島健之, 鍋島美奈子, 加形護, 本田隆 (2008): 環境配慮型舗装の熱収支解析に基づくヒートアイランド緩和効果に関する研究: 日本建築学会環境系論文集 73(623), 77-83
- 4) 佐藤理人, 村上暁信, 梅干野晃 (2010): 3D CAD 対応熱環境シミュレーションを用いた密集市街地の緑化による熱環境の緩和に関する研究, ランドスケープ研究 73(5), 601-606
- 5) 日本太陽エネルギー学会 (2000): 新太陽エネルギー利用ハンドブック
- 6) 佐藤理人, 村上暁信, 梅干野晃 (2008): 3D-CAD モデルを用いた荷重・法規制・日照条件を考慮した緑化可能面積の抽出: 日本造園学会ランドスケープ研究論文集 71(5), 763-768
- 7) 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
- 8) 梅干野晃, 浅輪貴史, 高田真人, 円井基史 (2002): 土地利用と熱環境対策からみた都市街区におけるヒートアイランドポテンシャルの特徴: 日本建築学会計画系論文集(559), 63-70
- 9) 梅干野晃, 何江, 堀口剛, 王革 (1994): 芝生葉群層の熱収支特性に関する実験研究 屋上芝生植栽の熱環境調整効果 第 1 報: 日本建築学会計画系論文集(462), 31-39

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 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 博士課程
中大窪千晶 佐賀大学大学院 工学系研究科 講師
梅干野晃 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 教授

要旨

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。

1. はじめに

生活空間に植栽される樹木は、景観の向上に加え、夏季の暑い日差しを遮ることや、通路を分ける区画としての利用等、それぞれの立地における空間形態や用途に合わせ、特殊緑化技術を用いることにより様々な意図で植栽計画が可能になった。特に、都市建築空間では、反射指向性の強いガラス面等による光害や建物壁面からの紫外線の暴露、地表面温度の上昇による熱放射環境の悪化等が問題となっているため、建築空間の形態や、それを構成する個々の材料と、太陽放射との関係に配慮しながら木陰空間を活かした設計する視点も重要と考える。その一方で実務では、樹種の違いや、植栽後の生長や剪定等の変化に対する認識が、建築と造園、利用者の間で異なることにより、設計段階に意図した目的が見失われ、維持管理段階に無残に剪定された結果、樹木の形状の変化が生活空間の微気候へ影響を及ぼすこと等が指摘されている¹⁾。

そこで本研究では、都市建築空間における樹木の日射遮蔽効果を熱・光・紫外線環境から捉え、樹種、形状や着葉状況等の変化が与える影響を、数値解析によって定量的に予測することにより、都市緑化の計画・設計段階における樹種の選択や配置の検討、季節変化や生長に伴う形態の変化等の維持管理段階における再検討の支援を目指している。その中で本報では、熱・光・紫外線環境設計を支援するための枠組みについて述べ、CG で作成した樹木モデルを用いて、樹種と着葉状況の違いが樹木の日射透過に与える影響を数値解析から明らかにすることを目的とする。

2. 熱・光・紫外線環境設計支援ツール

木陰空間の放射環境の実態把握や数値モデル化に関する研究は、熱環境をはじめ、光環境や紫外線環境など、様々な波長域で、屋外での快適性や健康被害等の視点から行われている。例えば、樹木は夏季の強い日射を遮蔽することで樹影となった地表面温度の上昇を抑制し、人体に健康被害を及ぼす紫外線も吸収する。その一方で日光も遮るため、適度な明るさが保たれているか、木陰空間を光環境の視点からも捉えることが必要になる。図 1 に代表的な建築材料と葉 1 枚の分光特性を、全太陽放射エネルギー曲線に重ねたものを示す。全太陽放射を短い方から、紫外域、可視域、全波長帯に分けて考えると、各放射帯において葉や建築材料の分光特性だけでなく、各波長帯における直達成分と天空成分の割合も異なるため、都市建築空間における樹木の日射遮蔽効

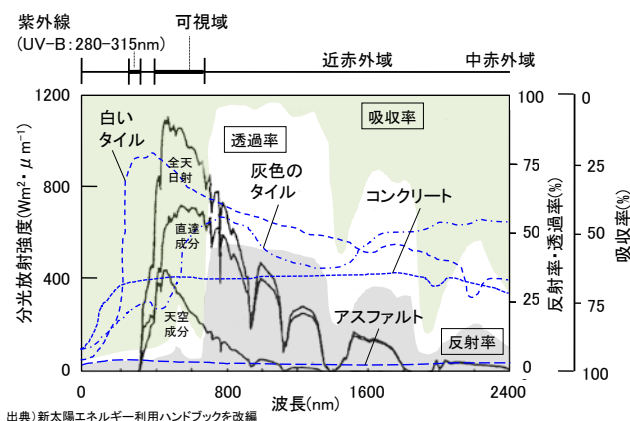


図 1 太陽放射と各種材料の分光特性

果を予測するためには、各波長帯でそれぞれの放射収支を解く必要がある。

そこで本研究では、既存の 3D-CAD 対応熱環境シミュレータ³⁾と、それを基に開発されている光環境シミュレータ⁴⁾、紫外線環境シミュレータを用いて、地表面の材料や空間の形態を検討すると同時に、屋外の快適性や健康に関する視点から、樹木の日射遮蔽効果を活かすことを支援する(図2)。これら3つのシミュレータによる計算は独立しているが、3D-CAD による建物や樹木等の空間形状の入力は共通したモデルを用いる。現在、樹木の日射遮蔽効果を予測する数値モデルは既往研究でも提案されているが、草本や森林のモデルを単木に適用したものや、単純な形状で再現したものが多く、樹種の違いや季節変化等に形態の変化に言及しているものはほとんど見られない。本研究では、図2に示すように、従来の緑化計画・設計や、維持管理段階における予測したい項目に合わせ、樹種の違いに加え、樹木の季節変化、生長等の形態の変化が与える影響が、数値解析の結果に反映される樹木の数値モデルを構築する。更に、これらの違いが、平均放射温度分布や紫外線分布などの定量的な結果として算出することにより、生活空間の快適性や健康に関する指標へつなげることで、設計者と住民などの空間の利用者とのコミュニケーションも促進することが可能となる。

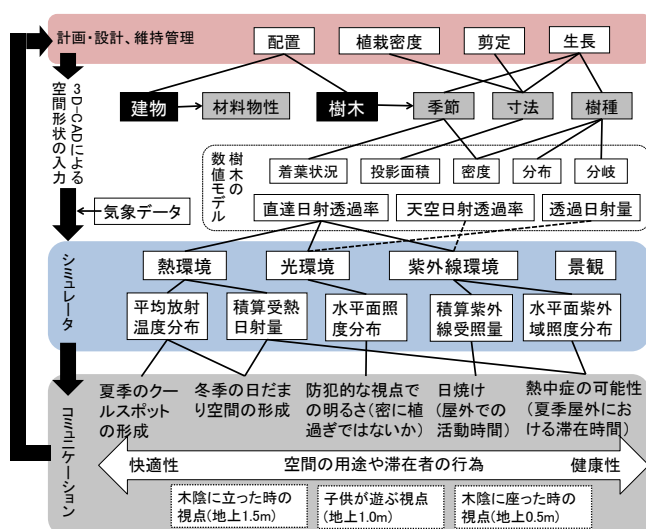


図2 熱・光・紫外線環境設計支援ツールの枠組

従来の緑化計画・設計や、維持管理段階における予測したい項目に合わせ、樹種の違いに加え、樹木の季節変化、生長等の形態の変化が与える影響が、数値解析の結果に反映される樹木の数値モデルを構築する。更に、これらの違いが、平均放射温度分布や紫外線分布などの定量的な結果として算出することにより、生活空間の快適性や健康に関する指標へつなげることで、設計者と住民などの空間の利用者とのコミュニケーションも促進することが可能となる。

3. 樹種別の樹木による日射遮蔽に関する数値解析

3-1. 直達日射透過率について

2のツールを構成する樹木の数値モデルを構築するにあたり、樹影となった地表面や建物壁面における放射環境において、熱・光・紫外線のいずれの波長域においても最もエネルギー量の大きい直達成分の樹木による透過に着目する。直達成分が樹冠へ入射すると、樹冠の隙間から直接地表面へ到達する分と、葉による透過や枝葉による反射分に分けられる。後者について本研究では、葉の透過率の相対的な差が小さい高木落葉樹を対象としていることや、樹影となった地表面や建物壁面の表面温度分布を算出する上では、影響が小さいことが既往研究⁵⁾により確認されていることから、葉による透過と枝葉による反射は考慮しない。そこで本研究では、太陽位置別の直達成分が樹冠の隙間から直接地表面へ到達し、それが樹影内に占める割合を直達日射透過率と定義し解析に用いる。また、この直達日射透過率とその分布は、樹種や着葉状況、剪定方法等の樹木の設計上、重要となるパラメータの変化を再現することを可能とする。

3-2. 樹木モデルのCGモデルを用いた解析方法

1) 樹木モデルのCGモデル

樹木のCGモデルを作成には、樹木の成長点における成長、消滅、休眠の確率分布の結果が、それぞれの樹形として反映されるDe ReffyeらのArchitectural model⁶⁾を基に構築され、様々な樹種のCGが作成可能なソフト(natFX)を、汎用3DCGソフト上で使用する。樹種は、夏季と冬季で着葉状況が異なる落葉樹を対象とする。街路樹として用いられている高木落葉樹の中で、樹冠形状や密度が異なるケヤキ(盃型)、イチョウ(円錐型)、プラタナス(卵型)、モミジバフウ(球型)、サクラ(円蓋型)の5樹種を対象とし、樹種別にランダムに生成される樹形の中で、無剪定で健康に生育し、夏季を想定した葉が繁茂したモデルと、冬季を想定した落葉したモデルを、各樹種50本ずつ同程度の樹冠体積と類似した樹冠形状のモデルを解析に用いる。

2) 解析対象の落葉樹の形態的な特徴

各樹種の幾何的形態の特徴を比較するため、汎用 3DCG ソフト上で、葉・幹・枝に分け STL 形式で出力した 3 次元形状データから、樹高、葉張り、樹冠体積を算出し、それぞれの 50 本の平均値と各樹種のばらつきを示すため、植物面積指数の変動係数を図 3 に示す。

単位樹冠体積当たりの葉と枝の表面積、枚数共に、イチョウが最も大きく 1.3 m^2/m^3 程度であり、樹冠内に小さな葉が散在している。プラタナス、モミジバフウ、サクラの単位樹冠当たりの表面積は 0.5 m^2/m^3 で同程度だが、プラタナスは 6 割程度で、葉の枚数も少ないことから、大きな葉が疎に分布している。サクラとモミジバフウの樹冠に占める葉の割合は 8 割以上で枝が少なく、葉の枚数はサクラの方が多。ケヤキとプラタナスは、単位体積当たりの葉と幹の表面積の割合は同

じ傾向だが、ケヤキの方が密で小さい葉が密集している。変動係数を見ると、いずれの樹種も 15% 程度かそれよりも小さい値であるため、一般的なばらつきと言える。

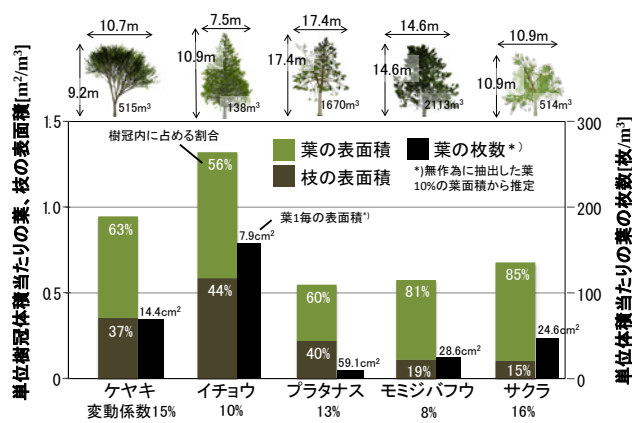


図 3 解析対象樹木の形態的な特徴

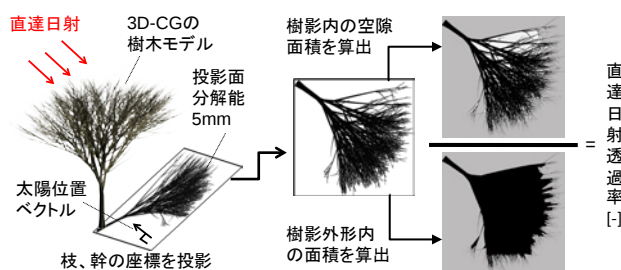


図 4 直達日射透過率の算出方法

3) レイトレーシング法を用いた直達日射透過率の算出方法

直達日射透過率は、図 4 に示すように、既往研究⁵⁾と同様にして、任意の樹木の CG モデルや太陽位置に対応するよう、レイトレーシング法を用い、太陽位置別に作成する樹木の投影面から算出する。太陽位置は、東京の最も高い夏至 (12 時、14 時、17 時) と最も低い冬至 (12 時、16 時) の値を用いる。作成した投影面の分解能は、解析に用いた樹種の葉の面積や枝の太さを考慮して 5 mm とする。

4. 解析結果と考察

4-1. 葉が繁茂した CG モデルを用いた直達日射透過率と夏至の太陽高度との関係

夏至の 12 時、14 時、15 時、17 時の太陽位置を用いて各樹種 50 本の直達日射透過率の平均値と、太陽高度との関係を図 5 左に示す。樹種により標準偏差は異なるが、太陽高度が高くなるほど直達日射透過率が減少するものが多い。その中で、(a) 直達日射透過率の太陽位置による変化は少ないが、個体差のばらつきが大きいケヤキ、プラタナス、(b) 太陽位置によってほとんど変化しないイチョウ、(c) 太陽位置によって 5% 程度変化するモミジバフウ、サクラの 3 つの傾向に分けられる。(a) は、大きな樹冠内に葉と幹・枝が 6:4 程度で散在するため、葉の傾斜角や分布位置に加え、枝も含めた樹冠内の全体の密度に依存して直達日射透過率が変化する。(b) は、樹冠内の葉、幹・枝の密度が 5 種の中で最も高く、太陽位置や個体差としての密度が変化しても、直達日射透過率にほとんど変化しないことから、樹冠内の葉・幹・枝が一樣分布していることが予想される。(c) は、図 3 の樹冠を構成する幹・枝の割合が小さいため、葉の傾斜角や葉の分布位置と太陽高度との関係で、太陽高度の減少に伴い直達日射透過率が増加すると予想される。これらを踏まえ、図 6 に示す各太陽位置での投影面積上に存在する全植物面積と、直達

日射透過率との関係を見ると、太陽位置別にみた樹冠内密度が高い方が直達日射透過率は減少するが、指数関数的に減少していることから、密度に加えて樹種ごとの葉・幹・枝の割合や、その分布構造と葉の傾斜角に対する直達日射の通過経路が影響していることが示唆される。

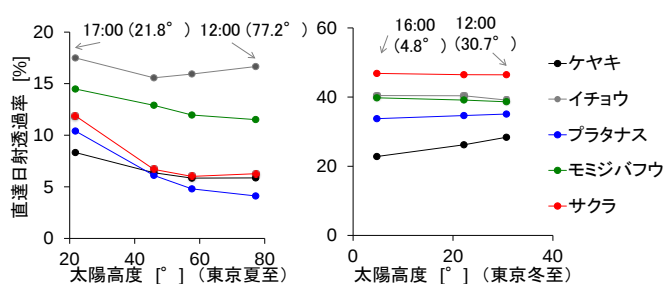


図5 直達日射透過率と太陽位置の関係
(左:夏至、右:冬至)

4-2. 葉が落葉した CG モデルを用いた直達日射透過率と冬至の太陽高度との関係

冬至の12時、16時の太陽位置を用いて各樹種50本の直達日射透過率の平均値と太陽高度との関係を図5右に示す。樹種ごとに直達日射透過率の値は異なるが、太陽位置に依存せずケヤキ以外の樹種はほぼ一定の値を示していることから、幹・枝の密度が樹冠全体に一樣分布していることが示唆される。樹種ごとの違いは、各樹種の樹冠密度が影響していることが示唆される。ケヤキは他の樹種と異なり、樹冠を構成する枝が全て上方へ向かって伸びているため、太陽位置が低くなると遮蔽物となる枝の表面積が大きくなり、直達日射透過率が減少する。これらを踏まえ、図7に示す全ての樹種、各太陽位置での投影面積上に存在する全幹・枝面積と、直達日射透過率との関係をみると、夏季よりは弱い指数関数的に直達日射透過率が減少することから、冬季も枝の樹冠内での分布と直達日射の通過経路が影響していると言える。

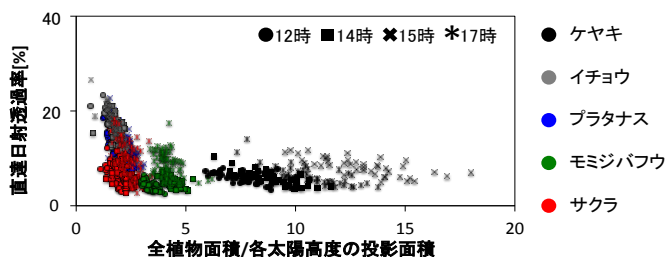


図6 直達日射透過率と樹冠内の形態 (夏至)

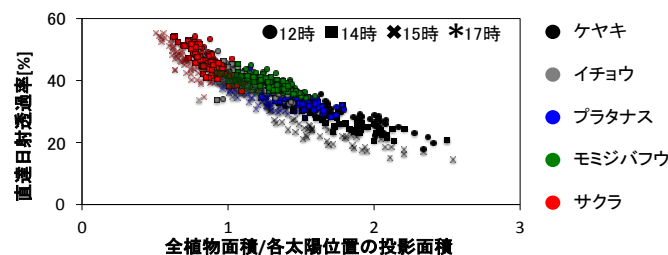


図7 直達日射透過率と樹冠内の形態 (冬至)

5. 総括

本報では、数値解析による高木落葉樹の日射遮蔽効果の予測を行うことによる、熱・光・紫外線環境設計支援の枠組みを提案した。それを構成する樹木の日射遮蔽モデルの構築に向けた検討として、直達日射透過率に着目し、5種類の樹木のCGモデルを用いて、樹種と着葉状況の違いを解析した。その結果、葉が繁茂したモデル、落葉したモデルの両方で、樹冠密度や距離よりも、樹種に依存する樹冠内の枝葉の分布と太陽位置の関係によって、直達日射透過率が異なることが明らかになった。今後は、樹種の他に、生長や剪定方法などの設計行為で用いられるパラメータとの関係を分析する。

6. 参考文献

- 1) 例えば小高ら他1名: 屋敷林を有する砺波散居に形成される夏季の微気候に関する実測調査研究: 日本建築学会環境系論文集 659, pp.75-81, 2011
- 2) Takashi A.ら他2名: Thermal design tool for outdoor spaces based on heat balance simulation using a 3D-CAD system: Building and Environment, Vol.43(12), pp.2112-2123, 2008
- 3) Kazuaki N.ら他2名: Development of support tool for thermal and luminous environmental design in outdoor and semi-outdoor living space using numerical analysis: Proceedings of 11th International Building Performance Simulation Association Conference, pp.1268-1275, 2009
- 4) 熊倉永子ら他2名: 木漏れ日に着目した単木落葉樹の日射遮蔽に関する数値解析: ランドスケープ研究 73(5), 573-576, 2010
- 5) 例えばDe Reffye, P.ら他3名: Plant Models Faithful to Botanical Structure and Development: Computer Graphics 22(4), 151-158, 1988

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)

要旨

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内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。

1. はじめに

緑のカーテンのように、夏季の日射による室内への熱の流入を低減することを主な目的として、建物外周にワイヤーやネットなど登はん補助材を敷設し、窓面を含む壁面を緑化（以降、窓面緑化と称する）する事例が近年増えている。窓面緑化の熱的な低減効果は確認されているものの、開口部が覆われ採光が妨げられることから、それを補う人工照明にかかるエネルギー消費量や室内の視環境としての快適性の観点からもその影響を把握し、窓面緑化の効果を総合的に判断できるような材料を整える必要があるだろう。

そこで、本研究では、常緑の窓面緑化が室内における視環境に及ぼす影響を把握することを目的とする。これまで、窓面緑化を予定する実空間を対象として、夏期および冬期の昼光が視環境へ及ぼす影響を被験者による印象評価実験により把握している¹⁾。このため、窓面緑化を導入した後の実空間において同様の被験者実験を行い、窓面緑化する以前の印象と比較することで窓面緑化による視環境への影響を考察する。なお、本報では、夏期における実験結果について報告するものとする。

2. 実験概要

2-1 実験室概要

(1) 対象建物

対象建物は神奈川県横浜市の丘陵地に位置し、南北面（建物南面は真南より 18.4° 西に傾く）に多くの開口部を持つ地上8階建てのRC造の建物である。2009年4月に改修され、建物の東西南面に鉄骨フレームが組み、そこにプランターと登はん補助材が設置された。



(a) 窓面緑化なし



(b) 窓面緑化あり

図1 室内からみた窓面の様子

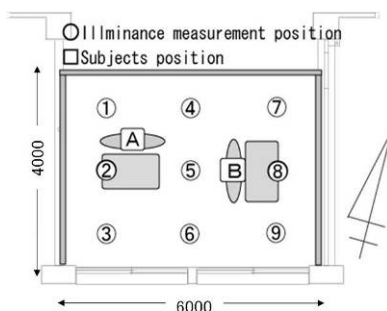


図2 実験室概要



図3 回答の様子（壁向き）

表1 実験条件と被験者の概要

窓面緑化	実験期間	年齢	被験者数（晴天日）
無	2009年 8/17～9/1	18～28 歳	19名（男性：15名/女性：4名）
有	2010年 8/20～9/2		20名（男性：8名/女性：12名）

登はん補助材は、窓面と袖壁にて緑化の疎密をつけるためのもので、プランターの前面から窓面の下端部までエキスパンドメタルを取り付け、窓面の前面はロープが張られたものである（図 1）。

（２）実験室

本研究で用いる実験室は、開口部全面が前方の建物等で覆われることのない、対象建物 6 階に位置する南側の居室とした（図 2）。南側の登はんロープ部は窓面から 1.1m の距離に敷設され、植栽（常緑、カナリエンシス）の成長に合わせて、窓面緑化無し（2009 年）および有り（2010 年）の条件として被験者実験を行った。ただし、緑化無しの条件においても、窓から登はんロープは見える状態であった（図 1(a)）。図 2 に示すように、実験室の大きさは東西 6m 南北 4m で、南面に窓 2 つを有し、1 面あたりの開口面積は 1.3m×2.5m である。窓から 2m 離れた地点に被験者が着座する事務机を設置し、窓側以外の壁面は無彩色（灰色の布）とした（図 3）。

2-2 印象評価実験の方法

表 1 に示す夏期の実験は、太陽高度がほぼ同一の期間において南中時刻前後の 11:00～13:00 間に行った。晴天時の緑化の有無による印象の比較を行う。

評価条件は、実験室の状態を窓面緑化の有無の 2 条件、および人工照明の状態を点灯・消灯の 2 条件とし、また被験者の視点方向は窓向き（図 2 の A）と壁向き（図 2 の B）の 2 条件とする計 8 条件とした。被験者は 8 条件ごとに、居室として十分な明るさが保たれた前室から実験室へ 2 名ずつ移動後、着座し約 1 分間待機した後、窓または壁に正対し印象評価を行った。評価は SD 法による 16 形容詞対で 7 段階評価とした。また、部屋のまぶしさ感、満足度についても 7 段階で評価を行った。

2-3 光環境測定概要

前節の印象評価実験と並行して、対象建物の屋上において全天空照度、全天日射量を測定した。また実験室の窓面緑被率、窓面輝度分布（高さ：1100mm、窓からの距離：3500mm）、室内水平面照度（1000mm グリッドで 9 点、高さ 700mm）を測定した。ここでは全天日射量を用いて天候を分類するものとし、横浜気象台発表の晴天日で 11:00～13:00 の全天日射量平均（夏季 759[W/m²]）以上を晴天日とし、このときの印象評価結果を以降の分析に用いた。

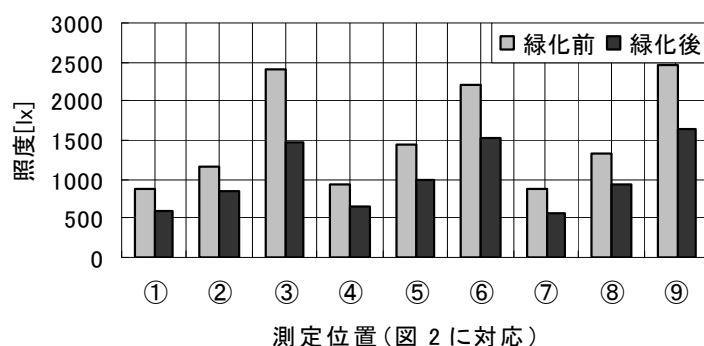


図 4 晴天日昼光のみの条件下の平均照度

表 2 晴天日における光環境実測結果

緑化条件	緑被率 [%]	窓面平均輝度値 [cd/m ²]	窓面最大輝度値 [cd/m ²]	全天空照度 [lx]
緑化なし	--	3545	11440	24185
緑化あり	34	2333	9862	27834

3. 光環境測定結果

緑化前後の照明消灯時の室内水平面照度の平均値を図 4 に示す。緑被率 34% の緑被条件において室内照度は全体で約 30% 低下した。また、晴天日の窓面の平均輝度は約 34% 低下し、窓面の最大輝度値には約 14% の低下がみられた（表 2）。

4. 印象評価結果

4-1 平均値プロフィール

印象評価の結果として図5に緑化前後の各評価条件の平均プロフィールを示す。窓向き消灯の条件で緑化後に「明るい」、「開放的」、「広い」側の評価が低くなった。開口部を植物が被覆したことが、評価が低い要因と考えられる。「活気がある」といった印象も緑化後に評価が低くなるが、猛暑により実験時に植物の活性度が低かった事が要因に挙げられる。特に窓面緑化では植物までの距離が近く、植物の状態に対する印象が評価に影響が現れやすいと考えられる。一方で、「やわらかい」、「くつろいだ」は緑化後に評価が高くなり、緑の効果が表れたものと考えられる。

また、視点方向壁向きの条件では緑化後は全体の評価が低かった。これは窓から受ける影響が少なくなったこと、また緑化で窓面や室内の明るさが低下し無彩色の壁面の印象が暗さによって助長されたことが考えられる。

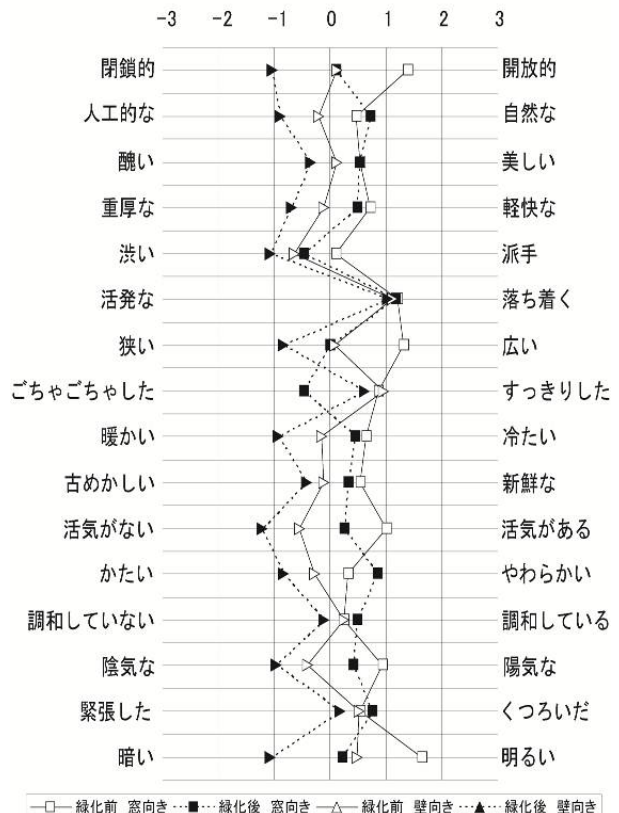


図5 SD法平均プロフィール

4-2 因子分析

SD法で評価を行った16形容詞対に対して因子分析を行った。表3に示すように、4つの因子が抽出され、各因子を「あかるさ因子」「自然因子」「くつろぎ因子」「すっきり因子」とした。

図6に各条件での因子得点を示す。「あかるさ因子」は緑化後に得点が低くなった。また、壁向きで得点が低くなり、各条件において照明を点灯すると得点は上昇する傾向がみられる。窓や照明から受ける視野内の明るさによる影響が大きいと考えられる。

表3 因子分析結果

回転後の因子行列(a)				
	因子			
	1:あかるさ	2:自然	3:くつろぎ	4:すっきり
陽気な⇔陰気な	0.77	0.25	0.36	
明るい⇔暗い	0.73	0.24	0.14	0.12
活気がある⇔活気がない	0.63	0.44	0.23	-0.32
冷たい⇔暖かい	-0.59	-0.2	-0.37	0.21
派手⇔渋い	0.52	0.38		-0.2
新鮮な⇔古めかしい	0.42	0.4	0.15	
自然な⇔人工的な	0.2	0.61	0.44	-0.3
開放的⇔閉鎖的	0.51	0.6	0.23	
美しい⇔醜い	0.27	0.59	0.4	
広い⇔狭い	0.52	0.57	0.29	0.12
軽快な⇔重厚な	0.41	0.48	0.38	
落ち着く⇔活発な	0.19	0.25	0.12	
くつろいだ⇔緊張した		0.2	0.68	
やわらかい⇔かたい	0.36	0.14	0.64	-0.29
調和している⇔調和していない	0.15	0.23	0.52	0.16
すっきりした⇔ごちゃごちゃした				0.55

因子抽出法: 主因子法 回転法: バリマックス回転 累積寄与率: 54%

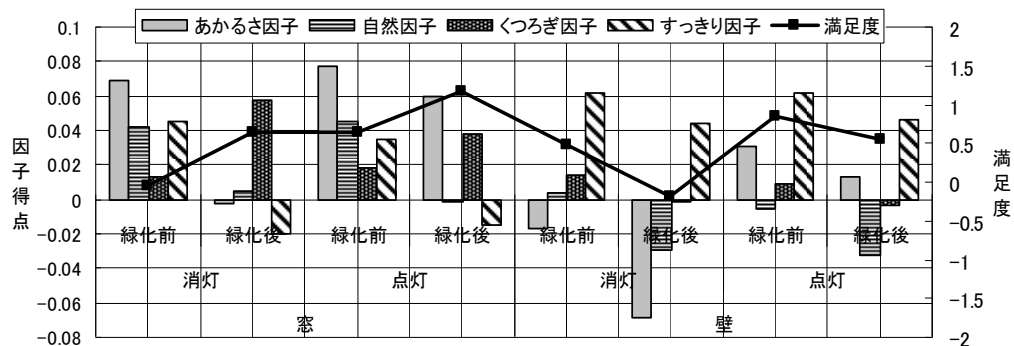


図6 各パターンにおける因子得点

「自然因子」もまた、壁向きで得点が低く、緑化後に得点がより低くなる傾向がみられる。窓面から受ける視覚的な影響が大きく、窓面が緑被されることによって特に「開放的」「広い」などの評価が低いことで得点が低くなることがわかった。また、「くつろぎ因子」は緑化後の窓向きの条件で大きく得点が高くなった。これは、緑被された窓面から受けた効果と考えられ、壁向きの条件では窓面から受ける印象が小さいため得点は高くならなかった。

4-3 まぶしさ感

図7に示したまぶしさ感の評価では、緑化の有無で昼光のみの条件において差が現れた ($p<0.05$)。表2の輝度値の低減からも分かるように、窓面が緑被されたことでまぶしさ感が緩和されたと考える。ただし、人工照明が点灯条件においては緑化後に若干まぶしさ感の平均値が低くなったが、有意差は見られなかった。

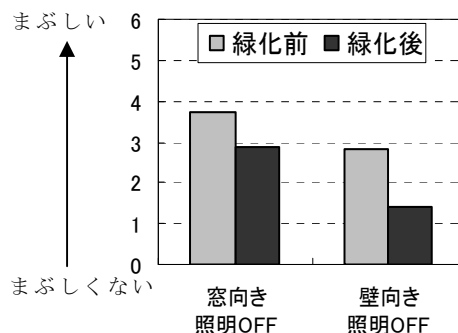


図7 まぶしさ感の違い

4-4 室における満足度

実験室全体の満足度（図6右軸）は、緑化ありの条件で窓向きの場合に評価が高く、壁向きの場合は評価が低くなった。窓向き条件では、まぶしさ感の緩和や植物によるくつろぎの効果から満足感が得られ、壁向きの条件では室内の暗さの影響から満足感が得られなかったと考えられる。

5. おわりに

夏期実験により、窓面緑化によって直射光が遮蔽されることにより窓面の輝度の低下がみられ、これに伴い、被験者による印象評価においてもまぶしさ感の低下がみられた。また、窓面緑化されることで、「くつろぎ」評価が高くなることも確認され、緑化された窓に正対する場合は部屋の満足度も高かった。しかしながら、今回の対象建物では緑化無しの条件で得られていた居室の明るさや開放感などが減少した。特に壁に正対する場合の印象は、緑化により室内の明るさが低減したことでより多くの印象評価が低下することから、照明などで適度に明るさを補う検討も必要である。また、植栽の生育状況も評価に影響を与えるため、窓面緑化された居室において、良好な視環境を保つためには、緑化設備設置後も維持管理を十分に行う必要がある。本研究では緑化の有無による印象の比較のみ行ったが、窓面の緑被率や緑化する建物の立地条件なども考慮し評価していく必要がある。

※本研究は大成建設（株）技術センターとの平成21～22年度共同研究「壁面緑化工法の研究開発」の一部として行われたものである。

■参考文献

1) 小倉慎介、田村明弘、田中稲子、福多佳子、深尾仁、屋柵下亮、昼光の季節変化による実空間における視環境評価への影響、日本建築学会学術講演梗概集(北陸)、D-1、pp. 469-470、2010

■以下の初出論文に基づき執筆

- ・小倉慎介、田中稲子、福多佳子、田村明弘、大野茂、屋柵下亮、窓面緑化による日射遮蔽効果の検証 その4 視環境への影響評価、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、D-1、pp. 1079-1080、2011
- ・大野茂、田中稲子、吉田聡、深井一夫、屋柵下亮、窓面の緑化による日射遮蔽効果の検証その2 つる性植物の経年生育特性の評価、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、D-1、pp. 1075-1076、2011
- ・福田大空、田中稲子、深井一夫、佐藤大樹、深尾仁、窓面の緑化による日射遮蔽効果の検証 その3 夏期・冬期における壁面緑化の日射遮蔽による熱環境特性、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、D-1、pp. 1077-1078、2011

放射性物質による汚染と芝生地の除染について

水庭千鶴子（東京農業大学 地域環境科学部 造園科学科）

要旨

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。

1. 背景及び目的

2011年3月11日に起きた東日本大震災を契機に東京電力福島第一原子力発電所で起きた事故により福島を中心に東日本全域に放射性物質が飛散した。放出された放射性物質は、その風向きによって拡散し、山の斜面や高層ビルなどに遮られて地表へ降下したり、拡散している途中で雲とぶつかり、雨（場所によっては雪）に混じって降り落ちてきたりした。そのため、拡散状況は福島第一原発からの距離だけではなく、地形や風向きなどにより異なり、このことがさらに事態の解明を一層困難にしている。放射性物質の分布は一樣ではなく、また目に見える物質ではないため、放射性物質から放出される γ 線あるいは β 線を検出する装置を用い、その線量を計測することで初めてその場所の線量の高低を知ることが出来る。

事故後、各地で放射線量が測定されてきているが、取り上げられるものとして、雨と共に降下した放射性物質は、雨が多く流れ込む側溝や雨水集積枡、家屋等の雨樋下等に多く残存していることがわかった。また、公園などでは、特にすべり台などの遊具付近および芝生地、剪定枝や落ち葉等のストックヤードなどで比較的高い数値がでており、公園などをよく利用する子供などへの放射線の影響を懸念する声が高まりつつある。

私達の生活環境の中で、芝生地は安全衛生面においても環境的機能においても優れた点を持つが、今回の放射線汚染事故を受けて、芝生地がグラウンドのような土の面や舗装面などよりも線量が2割程度高くなることがわかり、一般家庭の芝生、学校の芝生化した校庭の芝、公園の芝、競技場の芝など、さまざまなところから、高い線量の芝生地は剥ぎ取る、という行動が起きた。福島県内で唯一校庭の全面芝生化をしていた伊達崎小学校では、除染のため芝生を根こそぎはぎとる作業が実施された。しかし、なぜ芝生自体、線量が高くでるのであろうか。汚染のメカニズムを探ると共に、除染方法は検討し、実証実験を行った結果について報告し、今後の芝生地をはじめとする緑地における除染の対策案について基となる考えを提示する。

2. 試験地概要

本調査は、福島県福島市内の個人宅において芝生地の除染を目的として、その放射線量がどの程度低下するかを試験的に計測した。

福島市は、福島第一原発より約60 km離れており、事故時において、風下にあたり、直後に雨や雪が降ったため、場所によっては比較的高い線量の地域が見られる。試験地は東北新幹線福島駅より3 kmほど北西に位置する個人宅である。周辺も宅地が並ぶ住宅街に位置し、北側のみ道路に面し、他は住宅が隣接している。庭は家屋の南側に位置し、コウライシバ (*Zoysia matrella* L. Merr.) が東西方向に10.3 m、南北方向に3.7 m、ほぼ長方形の形に広がっている。周辺は東側に約2 mの高さの生垣、南側は低木のサツキツツジやアジサイ、さらに奥にはモミジなどが植栽されている。シバの管理は、年2、3回程度の刈り込み作業を市のシルバー人材に依頼をしており、今年は5月に一度、刈り込み作業を行ったという。試験日の時点では、草高3~4 cm程度に伸びていた。また、これまでエアレーションやサッチのかき出し、肥料、目土といった管理は特に行っていないということだった。芝生地として30年ほど経過しているが、適度に利用および管理が行われているようで、周辺部以外は雑草の混入はほとんどみられなかった。

3. 試験方法

試験は、2011 年 7 月 9 日に行った。まず始めに対象地の線量を測定し、地上より 10 mm 上部を家庭用一般電動芝刈り機で刈り込んだ（写真 1）。その後、熊手やレーキ等で地表部のサッチを回収した。さらに、芝のほふく茎が見える低さまで刈り込みばさみ等で本刈りを行い（写真 2）、その後屋外用集塵機で刈りカスおよび表面の土壌を回収した。作業終了後、肥料入り目土を 10 mm 厚になるよう敷均した。

放射線の測定は、芝生地のはぼ中央の場所を測定地とし、測定点を固定するため、鉄材入りシート（1 m×1 m）に測定点 9 点（ $\phi=70$ mm）を切り取り、芝生地表面の線量を測定することとした。測定は、作業実施前後、NaI シンチレーションサーベイメータ（TCS-161 Aloka 社製）を用い、地表面からの高さ 1 m で空間線量当量率（ μ Sv/h）を、GM 管サーベイメータ（JERSV-102 日本環境調査研究所製）を用い、地表面上の表面汚染値（cpm）の測定を行った。これらの他、刈り込みシバ、回収したサッチ、芝表面からの吸引土壌について、表面線量率を測定した。

さらにこの芝生を垂直方向にホールカッターで円柱形に直径 100 mm 深さ 80 mm 程度を採取した（写真 3）。これを 10 mm ごとに切り分け、土壌に含まれる放射線量をバイオイメージングアナライザー（BAS-2500 フジフィルム社製）を用い測定した。

4. 測定結果および考察

表 1 に測定点の作業前および作業後の空間線量当量率、表 2 に同じく表面汚染値を示した。作業前の空間線量当量率の平均値は 3.077μ Sv/h であり、比較的高い値であった。作業後には 0.914μ Sv/h となり、除染前と比較し 70% 低下した。また表面汚染値は、作業前は 3,128cpm、作業後は 217cpm となり、除染前と比較し 93% 低下した。表面汚染値は、バックグランド値の 400cpm を引いたネット値を示した。作業後は、事故後の放射性物質による汚染はほぼなくなり、自然放射線量と同程度になったと考えられる。この地表面の放射性物質による汚染がなくなったのにも係わらず、地上 1 m での線量当量率がまだ十分に下がっていないのは、周辺環境の建屋および植栽等にある放射性物質の影響が大きいと考えられる。

また、表 3 に刈り取り後のシバ、サッチ、表面土壌について、回収容量および重量、表面線量率を示した。刈り取り後のシバは、水気を含んでいるため、重量も容量も大きく、またそれぞれ線量のばらつきも見られた。また、刈り取り時に恐らくサッチ部分も多少回収されたため、高い線量が出ていると考えられる。サッチは、非常に線量が高く、このことは放射性物質が降下してから 4 ヶ月近く経過しているが、雨や乾燥などの水分変化が生じて放射性物質（恐らくセシウム 134 および 137）を捉え、雨などでは流れ出ないことがわかる。また、サッチの下に位置する土壌は、線量があまり高くない。これまで、土壌や泥などに多く放射性物質が蓄積されていたが、芝生地においては、この土壌上部にあるサッチ部分に放射性物質が捉えられ、下の土壌にはあまり移行していないことが明らかとなった。

この芝生を層ごとに深さ 50 mm まで 10 mm ごとに切り分け、バイオイメージングアナライザーで放射線量の有無および高低を測定した（写真 4）。測定は、各 10 mm の層ごとに乾燥させたものをチャック付きビニル袋に入れ、24 時間のコンタクトタイムで線量を画像化した。写真の上部は測定した袋ごとのサッチおよび土壌、下部は各写真画像に対応する線量の画像である。線量の画像は、線量が高い部分ほど赤く、低い部分は青く可視化されている。線量は 0~10 mm の深さにあったサッチ部分で顕著に高く、同じ深さの土壌部分はサッチと比較すると線量はかなり低いことが明らかとなった。すなわち、放射性物質はサッチに吸着されやすいことが示唆された。また土壌が深くなるにつれ、その線量は減少した。コウライシバの場合、サッチは地表に密に存在している。深さ 10~20 mm では、シバのほふく茎および根、特に細根が密に入り込んでいた。さらに、深さ 20~30 mm では、古いほふく茎があり、すでに更新が終わっているのか、表面が黒く、細根がほとんど見られなかった。その下は根および細根が多少あるが、黒く腐植化してい

るほふく茎や根が多くあった。

芝生地に放射性物質が降下したのは、3月中旬から下旬であり、その時期を考えるとシバの休眠期にあたり、いわゆる冬枯れしていた状態であった。本調査から、サッチ部分にほとんどの線量があることを考えると放射性物質は地上部のおよそ10mmにあるサッチにほとんど捉えられ、下の土壌層にはあまり移行していないことが明らかとなり、芝生地の場合、放射性物質に対する除染はサッチの回収のみで線量が大きく下がることが明らかとなった。

5. 総合考察

7月9日の除染作業後、4週間経過した8月6日時点において、シバを深く刈り込んだところにおいても芽出しがあり、新葉を展開しほぼ地表面を埋め尽くした。放射性物質で汚染された芝生地において、シバを根こそぎ剥ぎとることを行わず、シバの更新作業としてほふく茎を温存し、サッチを丁寧に取り除くことで線量が十分下がることが明らかとなった。芝生地の除染として、芝生更新作業であるサッチの除去を行うことで個人の住宅においても除染が可能となり、線量も十分低減させることができた。



写真1 電動芝刈り機作業



写真2 本刈り作業



写真3 芝生断面写真

表-1 芝生地の放射性物質の除染作業測定結果（空間線量当量率）

測定点	除染前	除染後
	空間線量当量率 (μ Sv/h)	
1	3.00	0.91
2	3.02	0.85
3	3.08	0.87
4	3.07	0.92
5	3.05	0.89
6	3.13	0.93
7	3.08	0.98
8	3.15	0.97
9	3.11	0.91
平均値	3.077	0.914
標準偏差	0.049	0.042

表-2 芝生地の放射性物質の除染作業測定結果（表面汚染値）

測定点	除染前	除染後
	表面汚染値(cpm)	
1	2600	170
2	2800	150
3	3000	112
4	3500	340
5	2600	240
6	3100	150
7	4600	60
8	2900	510
9	3050	220
平均値	3128	217
標準偏差	617	136

※表面汚染値(cpm)はネット値を表示した。

ネット値＝グロス値－バックグラウンド値(BG=400cpm)

表 3 回収廃棄物の量および放射線量

廃棄物種別	容量 (40L ポリ袋数)	重量 (kg)	表面線量率 (μ Sv/h)
刈り込み芝	3	15.1	7.0～11.9
回収したサッチ	1	4.3	11.5
芝表層吸引土壌	1	2.5	4.0

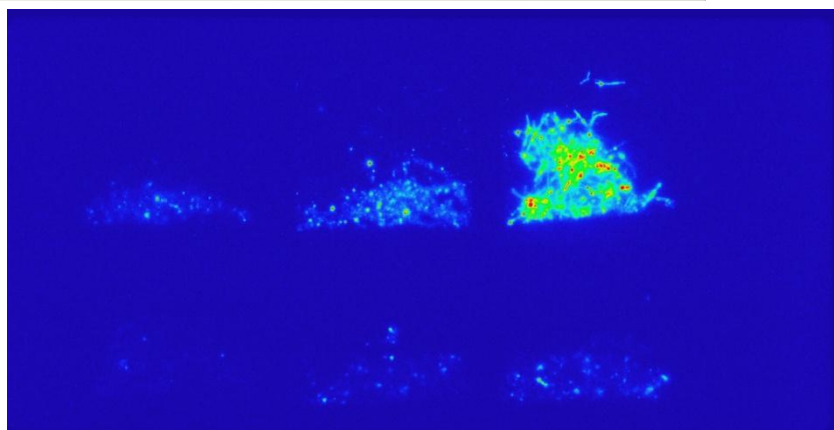
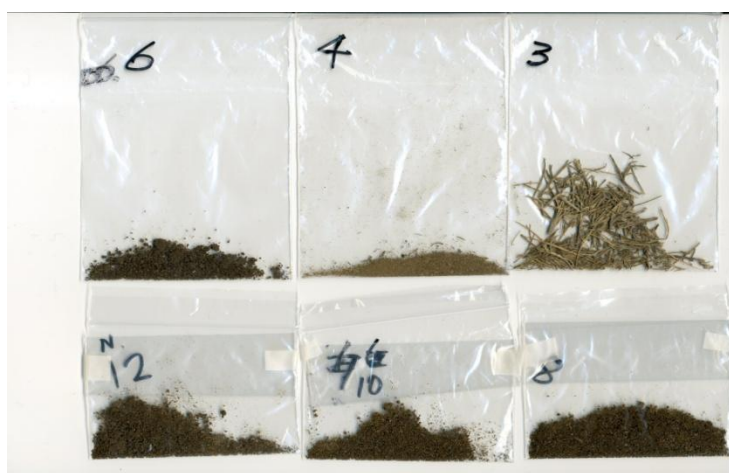


写真4 10mm 層ごとのサッチおよび土壌とその放射線量

上：上段右から 0～10mm のサッチ、0～10mm の土壌、10～20mm の土壌、下段右から 20～30mm、30～40mm、40～50mm の土壌の写真

下：上段右から 0～10mm のサッチ、0～10mm の土壌、10～20mm の土壌、下段右から 20～30mm、30～40mm、40～50mm の土壌の放射線量

参考：表面汚染値(cpm) (ネット値表記、バックグランド値 100)：0～10mm のサッチ(1800)、0～10mm の土壌 (300)、10～20mm の土壌 (100)、20～30mm の土壌 (100)、30～40mm の土壌 (50)、40～50mm の土壌 (0)

白黒画像では、線量の高い部分が白くなり、カラー画像では、線量が高い部分が赤色で、低い部分は青色で示される。

6. 参考文献

水庭千鶴子・茂木道教・赤堀 勉・近藤三雄：放射性物質で汚染された家庭の芝生の除染について―造園式芝生除染・更新工法の検証の試み―：芝草研究 Vol. 40. 1

平成23年度

特殊緑化技術に関する研究発表会

日時：平成23年12月9日（金） 13：00～18：30

場所：東京都千代田区岩本町3-11-13 田島ルーフィング8F会議室

事務局：財団法人 都市緑化機構

〒101-0021東京都千代田区外神田2-15-2新神田ビル8F

URL：<http://www.urbangreen.or.jp>

TEL03-5256-7161 FAX03-5256-7164