

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 28 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07663

研究課題名(和文) 建築物緑化の環境改善能の定量と環境影響評価手法の確立

研究課題名(英文) Quantitative analysis of environmental improvement due to green roof and assessment of its environmental impact.

研究代表者

渡辺 均 (Watanabe, Hitoshi)

千葉大学・環境健康フィールド科学センター・准教授

研究者番号：80301092

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)： 屋上緑化の効果についての科学的な解明は、建築物内外の温熱効果や工法など一部の研究成果に限定されている。本研究はシバやセダム等の屋上緑化向け植物の光合成能力の調査と炭素固定能の定量化、土壌中の炭素量の測定、大気粉塵(AMP)の土壌中への蓄積量を計測した。得られたデータを用いてCO<sub>2</sub> Payback Timeを算出したところ、12.2年で二酸化炭素削減効果が屋上緑化システム製造時の二酸化炭素排出量を上回ることが明らかとなり、屋上緑化は、二酸化炭素の削減に効果があることが初めて数値化され、その環境改善効果が示された。

研究成果の概要(英文)： Scientific explications of the effect of green roofs have been limited to studies of temperature differences between the interior and exterior of buildings, effects of heat, and construction methods. In this work, we have investigated the photosynthetic capacity of plants for green roofs, including quantification of the carbon fixation ability, measurement of carbon content in the ground, and estimation of the amount of airborne particulate matter accumulated in the ground. Calculation of the CO<sub>2</sub> payback time using the obtained data revealed that in 12.2 years, carbon dioxide emission would exceed the carbon dioxide reduction effect at the time of installation of the green roof system. The effect of green roofs on the reduction in carbon dioxide has been quantified for the first time in this study, and the environmental improvement effect of green roofs has been indicated.

研究分野：園芸学

キーワード：建築物緑化 炭素固定能 大気汚染物質 シバ類 二酸化炭素削減効果 CO<sub>2</sub> pay back time

### 1. 研究開始当初の背景

屋上緑化等の建築物緑化は、ヒートアイランド現象の緩和(Susca *et al.*, 2011)、建築物の空調負荷の低減(Sailor, 2008)、雨水の流出遅延(Getter *et al.*, 2007)、二酸化炭素の固定(Getter *et al.*, 2009)、大気浄化(Yang *et al.*, 2008)等の環境改善効果が認められ、施工が推奨されてきた。しかし、土壌中の栄養塩類の流出(渡辺ら, 2011)や緑化システム製造時から廃棄の過程に発生する環境負荷(Chenani *et al.*, 2015)も明らかにされている。

そこで、本研究では環境改善効果および環境負荷の両面から、総合的に建築物緑化の環境への影響を調査し、建築物緑化の効果を検証した。

### 2. 研究の目的

都市域で施工面積を伸ばしている建築物緑化(屋上緑化・壁面緑化等)ではあるが、その効果についての科学的な解明は、建築物内外の温熱効果や工法などの一部の研究成果に限定されている。本格的な屋上緑化の施工から約20年が経過し、また、これまでの我々の研究成果により、施工面積の最も多いシバによる屋上緑化では、経年的にサッチ層(シバが分解され土壌となった有機物層)が増加していることを明らかにした。

本研究はシバを含めた屋上緑化向け植物の光合成能力の調査と炭素固定能の定量化、土壌中の炭素量の測定、大気粉塵(AMP)の土壌中への蓄積量を計測した。本研究により、屋上緑化の新たな環境改善能を示し、ライフサイクルアセスメントへの適用可能な基礎データが収集され、屋上緑化におけるCO<sub>2</sub> Payback Timeの算出を試みた。

### 3. 研究の方法

1) 光合成速度の調査: 屋上緑化に用いられている芝およびセダム、タマリユウについて、個葉の光合成速度を調査し、環境改善能の定量化のための基礎的知見を得た。実験区; コウライシバ区(灌水:1回/日)、メキシコマンエングサ湿潤区(灌水:1回/日)、メキシコマンエングサ乾燥区(灌水:1回/7日) 測定方法および項目; 挿し芽した苗を2.5号ポリポットに植え付け、屋上で管理した。光合成測定装置(LI-6400)の測定は実験室内で行った。測定項目; ) 葉面積当りの光-光合成曲線および蒸散速度、土壌含水率(n=5以上)、測定条件は室温: 25、湿度: 50~70%、CO<sub>2</sub>: 400ppm、) メキシコマンエングサの葉面積当りの24h光合成(n=3) 測定条件; 日長明暗: 16/8h、PPFD: 1000 $\mu$ mol/m<sup>2</sup>·s、温度明暗: 25/20、CO<sub>2</sub>: 400ppm

2) 数種の屋上緑化植栽植物の炭素固定能の定量化: 1)の結果をもとに、炭素固定能について屋上での実測的な評価を行った。また、RGRやLAR等の植物の成長解析指標につ

いて調査し、養分の転流と炭素固定の関係など、各植物の炭素固定能を考察した。実験区; 芝3種 毎日灌水区タマリユウ1種 毎日灌水区 Sedum2種 毎日灌水&乾燥(1回/7日) 測定方法および項目; 挿し芽した苗を2.5号ポリポットに植え付け、屋上で1年間管理および調査する。測定項目: 炭素固定量と成長解析指標、緑度 乾燥重量(地上部・地下部) 葉面積、全CN量、写真撮影 測定頻度: 初期測定および最終測定: 30サンプル(2014年6月中下旬) 植物体および土壌 月測定: 12サンプル 植物体のみ 3) 土壌の物理性および化学性の解析: コウライシバが植栽された同一種類のパーライト系人工軽量土壌(グリニッチソイル)を使用した薄層基盤の屋上花壇を対象に施工1年目から20年目の現場を選定し、1年に3回、植物体及び土壌を採取し、芝および土壌の重量、土壌の物理性(容積・圃場含水量、サッチ層の増加量等)および化学性について全有機炭素測定装置を用いてCN比の分析を行った。

3) 大気汚染物質の調査: シバを施工した屋上緑化の土壌および植物体の大気汚染物質等の蓄積量を調査した。施工年数および施工場所の違い、および土壌を深さごとに分別し、大気汚染物質の蓄積量を調査した。

4) CO<sub>2</sub> Payback Timeの算出: 本研究とこれまでに得られたすべてのデータをライフサイクルアセスメント(LCA)解析ソフトに入力し、CO<sub>2</sub> Payback Timeを計算した。また、建築物緑化(屋上緑化)の新たな環境改善能を指標化した。

### 4. 研究成果

建築物緑化の環境改善能を定量化するため、緑化植物の生理生態的特性と炭素固定の定量化と植物の固定能力の違いを明らかにすることを目的に以下の実験を行なった。

1) 光合成速度の調査: 建築物緑化(屋上緑化)に用いられているシバおよびセダム、タマリユウについて、個葉の光合成速度を調査し、環境改善能の定量化のための基礎的知見を得ることを目的とした。実験植物は、コウライシバ、メキシコマンエングサ湿潤区、メキシコマンエングサ乾燥区を設けた。その結果、メキシコマンエングサは、湿潤区、乾燥区ともに誘導型CAM植物であることが示された。

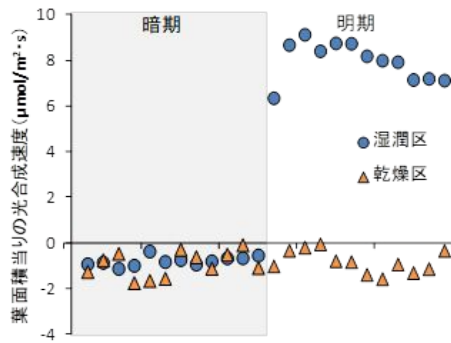


図 1 灌水条件の異なるメキシコマンネングサの光合成速度

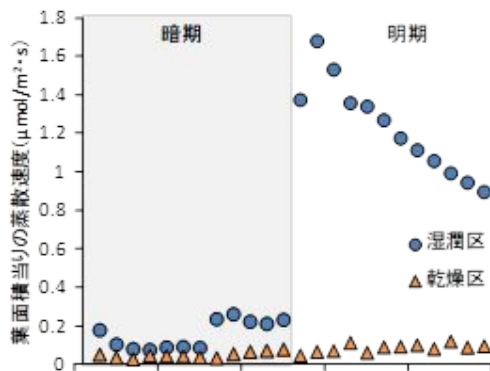


図 2 灌水条件の異なるメキシコマンネングサの蒸散速度

2) 数種の緑化植物の炭素固定能の定量化：シバ4種（コウライシバ、ヒメコウライシバ、ティフトン、トールフェスク）、タマリユウ1種、セダム2種（メキシコマンネングサ、キリンソウ）を用いて炭素固定能の定量化を行なった。セダムは、無灌水区、乾燥区と湿潤区を設けた。その結果、同じセダム類であっても、メキシコマンネングサは乾燥に伴い純同化速度と葉面積比が減少したことにより炭素固定能が減少した。一方、キリンソウは純同化速度の減少することによって炭素固定能が減少することが明らかになった。一年間あたりの炭素固定量を定量化したところ、シバ4種（コウライシバ、ヒメコウライシバ、ティフトン、トールフェスク）はタマリユウ、セダム2種（メキシコマンネングサ、キリンソウ）に比べ高くなった。タマリユウとセダム2種はシバより炭素固定量は低い が同程度であることが明らかになった。さらに、緑化土壌の物理性および化学性の違いが、緑化植物の炭素固定能とその量に影響を及ぼしていることが明らかになった。

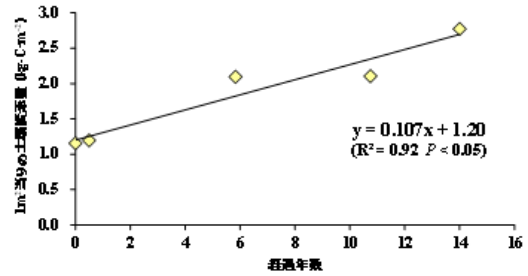


図 3 屋上緑化土壌中の炭素量の経年変化

さらに、セダムを含む屋上緑化主要植栽植物の生理形態的特徴と CO<sub>2</sub> 固定能を調査し、その関係性について数値化を試みた。その結果、湿潤かつ栄養条件に富んだ環境下において、広く用いられているセダム5種は、明期に C<sub>3</sub> 型のガス交換を示し、他の緑化植物と同程度もしくはそれ以上の光合成速度および蒸散速度を示すことが明らかとなった。また、このような生理形態的応答により、閉鎖環境下(湿潤かつ栄養条件に富んだ環境)では、セダム2種の CO<sub>2</sub> 固定能は C<sub>4</sub> 植物であるコウライシバよりも高い値を示した。これらのことから、セダムを植栽した屋上緑化は、湿潤かつ栄養条件に富んだ環境下において、C<sub>4</sub> 植物を含む他の緑化植物を植栽した屋上緑化と同等の環境改善能を有すると考えられた。一方で、現行の薄層型屋上緑化では、セダム2種はコウライシバよりも低い CO<sub>2</sub> 固定能を示した。これは、貧栄養条件下における成長速度が暖地型シバの方が、セダムよりも高かったためと考えられた。これらのことから、暖地型シバが CO<sub>2</sub> 固定能に優れる植栽植物であると考えられ、セダムは灌水区と低頻度灌水区で CO<sub>2</sub> 固定能および生理形態的特徴に違いがなかったことから、最低限の灌水管理で湿潤管理下と同等の CO<sub>2</sub> 固定能が期待できると考えられた。また、セダムを植栽した屋上緑化の CO<sub>2</sub> 固定能の向上のためには、灌水管理に加え、十分な施肥を行うことが重要であることが示された。

3) 大気汚染物質の調査：建築物緑化の環境改善能を定量化するため、異なる施工年(0年、5年、12年、15年)の同一仕様の屋上緑化システムの大気汚染物質の定量化を試みた。大気粉塵 (APM) は NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub> と並び、代表的な大気汚染物質とされている。わが国においても近年 PM<sub>2.5</sub> (APMのうち粒子径 < 2.5 マイクロメートルの微粒子) による健康被害が懸念されている。APM には金属元素が含まれており、屋上緑化の芝地土壌に蓄積された元素を定量化することで、屋上緑化による APM 捕捉効果を解明した。分析は Li, Na, Mg, Al, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Ag, Cd, In, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi, U を指標として、前年度にサンプリングし、調整済みの試料として植物体と土壌(有機土壌層と軽量土壌層)を用いて分析した。その結果、分析元素は統計処理によって、K, Cu, Zn, Pb が抽出され、特に Cu、

Zn、Pbは施工年数が経過するごとに有意に蓄積量が増加する傾向が確認され、大気浄化能力(APM補足効果)を有することが示された。また、Kは肥料として施用されることから、施工初期から高い傾向が示された。

表1 施工年数の異なる屋上緑化シバ地の有機土壌層におけるK, Cu, Zn, Pbの蓄積量

施工経過年数	有機土壌層							
	K (mg・m <sup>-2</sup> )		Cu (mg・m <sup>-2</sup> )		Zn (mg・m <sup>-2</sup> )		Pb (mg・m <sup>-2</sup> )	
0年目	4511 ± 65	a	137 ± 1	a'	165 ± 2	A	24 ± 0	A'
5年目	4903 ± 563	a	176 ± 22	a'	292 ± 43	A	33 ± 4	A'
12年目	5858 ± 1236	a	382 ± 79	a'b'	743 ± 154	B	66 ± 13	B'
15年目	9961 ± 769	b	539 ± 98	b'	1092 ± 148	B	86 ± 10	B'

4) CO2 Payback Timeの算出：本研究とこれまでに得られたすべてのデータをライフサイクルアセスメント(LCA)解析ソフトに入力し、CO2 Payback Timeを算出したところ、8.2年で二酸化炭素削減効果が屋上緑化システム製造時の二酸化炭素排出量を上回ることが明らかとなり、建築物緑化の中の屋上緑化では、二酸化炭素の削減に貢献することが初めて数値化され、その環境改善効果が示された。

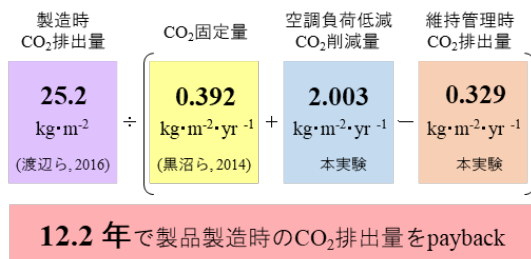


図4 CO2 Payback Timeの算出

<引用文献>

Susca *et al.*, 2016. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 159 (8 - 9): 2119-2126.

Sailor, 2008. A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and Buildings*, 40(8): 1466 - 1478.

Getter *et al.*, 2007. Quantifying the effect of slope on extensive green roof storm water retention. *Ecological Engineering*, 31(4): 225 - 231.

Getter *et al.*, 2009. Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environmental Science & technology*, 43(19): 7564 - 7570.

Yang *et al.*, 2008. Quantifying air pollution removal by green roof in Chicago. *Atmospheric Environment*, 42(31): 7266 - 7273.

渡辺ら, 2011. 数種の屋上緑化薄層基盤土壌からの栄養塩類の流出について, *日本緑化工学会誌*, 37(1): 78 - 83.

Chenani *et al.*, 2015. Life cycle assessment of layers of green roofs. *Journal of Cleaner Production*, 90: 153 - 162.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)  
Kuronuma, T., H. Watanabe (2017) Photosynthetic and transpiration rates of three Sedum species used for green roofs. *Environmental Control in Biology*. 55(3): 137-141. (査読有)

Kuronuma, T., H. Watanabe (2017) Relevance of carbon sequestration to the physiological and morphological traits of several green roof plants during the first year after construction. *American Journal of Plant Sciences*. 8: 14 - 27. (査読有)

Kuronuma, T., H. Watanabe (2016) Physiological and morphological traits and competence for carbon sequestration of several green roof plants under a controlled environmental system. *J. American Society for Horticultural Science*. 141: 583 - 590. (査読有)

[学会発表](計6件)

黒沼尊紀、石原竜彰、孔大徳、東島一成、渡辺均、薄層基盤型屋上緑化のCO2 payback timeの算出、園芸学会、2017.

黒沼尊紀、任倩玉、安藤匡哉、新藤聡、渡辺均、屋上緑化シバ地における窒素動態、園芸学会、2017.

任倩玉、黒沼尊紀、渡辺均、屋上緑化シバ地における炭素動態、園芸学会、2017.

渡辺均、黒沼尊紀、石原竜彰、孔大徳、東島一成、薄層基盤型屋上緑化システム製造時のCO2排出量、園芸学会、2016.

黒沼尊紀、渡辺均、石原竜彰、孔大徳、東島一成、屋上緑化植栽植物の炭素固定能、園芸学会、2016.

黒沼尊紀、矢守航、渡辺均、灌水直後のメキシコマンネングサの光合成速度および蒸散速度の推移、園芸学会、2016.

6. 研究組織

(1)研究代表者

渡辺 均 (Watanabe Hitoshi)  
千葉大学・環境健康フィールド科学センター・准教授  
研究者番号：80301092