屋上緑化薄層基盤軽量土壌の経年変化および栄養塩類の推移

黒沼尊紀*¹⁾・橋本早織¹⁾・千村隆太²⁾・横川晴昭¹⁾・
坂本一憲³⁾・渡辺 均²⁾

1) 千葉大学園芸学部 Faculty of Horticulture, Chiba University

2) 千葉大学環境健康フィールド科学センター Center for Environment, Health and Field Sciences, Chiba University

3) 千葉大学大学院園芸学研究科 Graduate School of Horticulture, Chiba University

摘要: コウライシバを植栽した屋上緑化薄層基盤軽量土壌の経年変化を調査した。芝の生育, 土壌物理性に経年的な変化は見られなかった。土壌有機物は施工後から増加する傾向にあり, 栄養塩類含有量は, ゴルフ場グリーンの土壌診断基準値とほぼ同等であった。また, 未使用の軽量土壌中の栄養塩類量は施工後の含有量より有意に高く, 施工後は経年的に減少した。追肥の有無による栄養塩類量の差は確認されなかった。これらのことから, 屋上独自の環境を考慮し, その管理目標に適した施肥管理を行う必要があることが明らかになった。

キーワード: 屋上緑化, 経年変化, 土壌分析, 栄養塩類, コウライシバ

KURONUMA, Takanori, HASHIMOTO, Saori, CHIMURA, Ryuta, YOKOKAWA, Haruaki, SAKAMOTO, Kazunori and WATANABE, Hitoshi : **Annual change and temporal change of fertilizer component in rooftop garden thin substratum light soil.**

Abstract : We examined the annual change in rooftop garden thin substratum light soil turfed (*Zoysia matrella* Merr.). There were no annual change about growth of the turf and physical properties of soil. Soil organic matter tended to increase and fertilizer components were equal to average level in golf field soil. Unused soil was significantly higher than the others and decrease with age. Fertilizer component showed no significant differences by with or without addition of fertilization. Therefore, we concluded that we have to cultivate turf by use of how to be better suited for rooftop garden.

Key words : rooftop garden, annual change, soil analysis, fertilizer component, *Zoysia matrella* Merr.

1. はじめに

近年, 都市におけるヒートアイランド現象の緩和や, 美しく潤いのある都市空間の形成等の観点から, 屋上緑化の普及が拡大している⁶⁾。それに伴い, 軽量かつ保水性・保肥性に優れた屋上緑化薄層基盤軽量土壌の研究・開発が進められている。また, これらの軽量土壌についての熱収支特性や土壌水分, 土壌厚などに関する報告がなされてきた^{5, 13, 16)}。しかし, 屋上緑化薄層基盤軽量土壌の化学性に関する研究例や, 屋上緑化における土壌の経年変化についての報告例は少ない。そのため, 屋上緑化における適正な施肥量に関する情報等の不足から, 芝を植栽した屋上緑化では地上の施肥管理と同様な管理が行われており, 数種の屋上緑化薄層基盤土壌に

については, 雨水や灌水によって, 施工初期から土壌中の栄養塩類が流出することが明らかとなっている¹⁵⁾。

これらのことから, 植栽する植物種やその植物の生育に合わせた屋上緑化向けの施肥管理体系の構築が望まれている。そこで本研究は, 近年の植栽種類別の施工面積が最も大きい, 芝を植栽した屋上緑化について⁶⁾, 屋上緑化薄層基盤軽量土壌における施肥管理体系の構築のための知見を得ることを目的として, 薄層基盤軽量土壌の経年変化および栄養塩類の推移を調査した。

2. 材料ならびに方法

2.1 芝および土壌採取現場概要

* 連絡先著者 (Corresponding author) : E-mail : kuronuma0205@gmail.com

〒277-0882 千葉県柏市柏の葉 6-2-1 6-2-1 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-0882, Japan

表 - 1 本研究で用いた施工経過年数、施工場所および管理状況

Table 1 Management conditions used in this study

施工経過年数	施工場所	施肥:化成肥料				施肥:有機質肥料				芝刈り	人の立ち入り	
		有無	成分 (N-P-K)	時期	施肥量	有無	成分 (N-P-K 有機質)	時期	施肥量			
2年目 ①	神奈川県大和市	なし	-	-	-	なし	-	-	-	なし	不可	
2年目 ②	千葉県千葉市中央区	不明	-	-	-	不明	-	-	-	不明	不可	
4年目	神奈川県横浜市西区	不明	-	-	-	不明	-	-	-	年4回	不可	
6年目 ①	神奈川県横浜市旭区	なし	-	-	-	なし	-	-	-	年5回	可	
6年目 ②	神奈川県横浜市中区	なし	-	-	-	なし	-	-	-	年1回	可	
8年目 ①	神奈川県大和市	有り	12-7-10	8月	20g/㎡	有り	3.1-4.5-0.9	60.4	6月	20g/㎡	年3回	不可
8年目 ②	東京都台東区	有り	12-7-10	8月	20g/㎡	有り	3.1-4.5-0.9	60.4	6月	20g/㎡	年3回	可
9年目	東京都墨田区	有り	12-7-10	8月	20g/㎡	有り	3.1-4.5-0.9	60.4	6月	20g/㎡	年3回	不可
10年目 ①	東京都渋谷区	有り	12-7-10	2月	20g/㎡	有り	3.1-4.5-0.9	60.4	6月	20g/㎡	年3回	可
10年目 ②	東京都杉並区	有り	20-6-10	2月	50g/㎡	なし	-	-	-	不明	不可	
12年目 ①	神奈川県大和市	有り	15-15-15	3月	20g/㎡	なし	-	-	-	年3回	不可	
12年目 ②	東京都渋谷区	有り	12-7-10	8月	20g/㎡	有り	3.1-4.5-0.9	60.4	6月	20g/㎡	年3回	不可

コウライシバ (*Zoysia matrella* Merr.) 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: 共同カイトック(株) と共同カイトック(株)製薄層基盤 (図 - 1) が用いられている施工現場を調査対象とした。同社製薄層基盤は、雨水貯水型薄層基盤であり、土壌コンテナ・貯水トレイ・灌水パイプから成る。また、センサ式自動灌水システムにより、貯水トレイの水量に応じて、自動的に灌水が行われる。各現場の土壌コンテナ (土壌厚) は、7.5cm であった。

コウライシバの生育および品質と屋上緑化薄層基盤軽量土壌の経年変化を調査するため、施工経過年数 2~12 年目の施工現場から、12 箇所を選び、植栽されているコウライシバと軽量土壌を採取した。施工経過年数が同じ施工現場は、それぞれに①、②と番号を付け区別した (表 - 1)。

2.2 コウライシバの生育調査

コウライシバは 2010 年 4 月、7 月、10 月の計 3 回採取し、クロロフィル含有量 (マッキンニー法¹⁰⁾) を測定した。

2.3 土壌採取法

各施工現場から任意の 5 地点を選び、軽量土壌を採取した。採取した軽量土壌は、風乾させふるいに通した後、分析を行った。軽量土壌の採取は 2010 年 4 月、7 月、10 月、2011 年 1 月、4 月の計 5 回行った。

2.4 土壌分析

軽量土壌の物理性を調査するため、三相分布 (実容積法) を測定した。軽量土壌の化学性を調査するため、pH、EC、硝酸態窒素 (ヒドラジン還元 - ナフチルエチレンジアミン法)、アンモニア態窒素 (ニトロプロジット法¹¹⁾)、可給態リン酸¹²⁾、交換性カリウム、交換性カルシウム、交換性マグネシウム⁴⁾、CEC、全炭素、全窒素を測定した。それぞれの項目について 3 反復測定を行った。

2.5 統計処理

各測定項目について施工経過年数毎に有意な差があるかを調べるために、Tukey の b 検定により多重比較を行った。

3. 結果および考察

3.1 施工現場の管理状況について

2 年目①、6 年目①、②以外の施工現場では、施肥管理が

図 - 1 雨水貯水型薄層基盤 (共同カイトック(株)製)

Fig.1 Rooftop garden thin substratum used in this study

図 - 2 施工経過年数毎のクロロフィル含有量

Fig.2 Chlorophyll content of each rooftop garden with different ages

* : 同じアルファベット間には 5% 水準で有意差なし

行われており、施肥の頻度は少ないものの、窒素・リン酸・カリウムの年間の施肥量は、ゴルフ場の慣行的な年間の施肥量¹⁴⁾と同程度であった (表 - 1)。

各施工現場での芝刈りの頻度に違いがあったが、ゴルフ場のグリーン等と比較すると、どの現場も実施回数は少なく粗放的な管理が行われていると考えられた。今回軽量土壌を採取した現場は、人の立ち入りがほとんどないか、施肥等により立ち入りが不可能であった (表 - 1)。

3.2 コウライシバの生育について

すべての現場で、コウライシバの枯死や明らかな生育不良は確認されなかった。クロロフィル含有量は、施肥の有無や経過年数による有意な差は見られなかった (図 - 2)。

芝は、ゴルフ場・公園・屋上など様々な場所で利用されて

おり、それぞれの用途により求められる品質も異なる。人の立ち入りが極めて少ない屋上緑化においては、芝の高い観賞性やスポーツ競技に関わる高度な品質を求める可能性は低く、より粗放的な管理下での緑地の維持が求められると考えられる。つまり、本研究で用いた屋上緑化薄層基盤軽量土壌では、施肥を行っていない環境下（2年目①、6年目①、②）や12年経過した環境下でも、緑地は維持されており（写真-1~3）、粗放管理型屋上緑化で想定される芝の品質は維持されていると考えられた。

3.3 土壌物理性について

土壌三相分布に経年的な傾向は見られなかった（表-2、図-3）。一般的な芝地では、人などによる踏圧によって、土壌の固結が起こるとされている。しかし、本研究の対象現場は人の立ち入りがほとんどないため、固相率の上昇は起こらなかったと考えられた。国土交通省の報告によれば、施工面積の4割弱の屋上緑化では、人の立ち入り利用を想定していない⁷⁾。このような、人の立ち入りを想定していない屋上では、エアレーションなどの土壌物理性の改善処理を行う必要性は低いと考えられた。また、土壌の固結は、芝の葉色に影響を及ぼすことが知られているが⁸⁾、踏圧の少ない屋上緑化では、土壌の固結による芝の生育悪化は起こりにくいことが示された。

図-3 施工経過年数毎の土壌三相分布

Fig.3 Three-phase structure of soil about each rooftop garden with different ages

表-2 施工経過年数毎の土壌三相分布および土壌有機物

Table 2 Three-phase structure of soil about each rooftop garden with different ages and soil organic matter

施工経過年数	固相率 (%)	液相率 (%)	気相率 (%)	総孔隙率 (%)	C (%)	N (%)	C/N
シバ生育基準値 ^{a)}	40~50	25~30	25~30	—	—	—	—
未使用	37.0 ± 2.6 ^{abc}	49.4 ± 2.3 ^a	13.6 ± 0.6 ^a	63.0 ± 2.6 ^{abc}	1.8 ± 0.0 ^a	0.1 ± 0.0 ^a	15.0 ± 0.3 ^b
2年目①	31.8 ± 2.3 ^{ab}	55.4 ± 2.6 ^{bcd}	12.8 ± 1.7 ^a	68.2 ± 2.3 ^{bc}	4.8 ± 0.1 ^d	0.3 ± 0.0 ^{de}	16.2 ± 0.3 ^c
2年目②	34.4 ± 1.2 ^{abc}	57.0 ± 1.4 ^{cd}	8.6 ± 1.6 ^a	65.6 ± 1.2 ^{abc}	5.8 ± 0.1 ^{efg}	0.4 ± 0.0 ^{fgh}	15.1 ± 0.1 ^b
4年目	38.9 ± 2.7 ^{bc}	53.2 ± 1.1 ^{abc}	7.8 ± 2.1 ^a	61.1 ± 2.7 ^{ab}	5.9 ± 0.2 ^{fgh}	0.4 ± 0.0 ^h	13.8 ± 0.1 ^a
6年目①	31.1 ± 1.6 ^{ab}	61.0 ± 1.1 ^{def}	8.0 ± 1.2 ^a	68.9 ± 1.6 ^{bc}	4.8 ± 0.1 ^d	0.3 ± 0.0 ^{cd}	18.0 ± 0.2 ^d
6年目②	36.8 ± 1.1 ^{abc}	54.9 ± 1.1 ^{abcd}	8.3 ± 0.9 ^a	63.2 ± 1.1 ^{abc}	4.0 ± 0.1 ^c	0.2 ± 0.0 ^{bc}	18.0 ± 0.3 ^d
8年目①	27.9 ± 1.2 ^a	63.6 ± 1.0 ^{ef}	8.6 ± 0.8 ^a	72.1 ± 1.2 ^c	6.6 ± 0.2 ^h	0.4 ± 0.0 ^{gh}	16.9 ± 0.3 ^c
8年目②	32.4 ± 0.9 ^{ab}	60.0 ± 1.0 ^{def}	7.6 ± 1.2 ^a	67.6 ± 0.9 ^{bc}	5.8 ± 0.2 ^{efg}	0.4 ± 0.0 ^{fgh}	15.1 ± 0.2 ^b
9年目	28.8 ± 0.6 ^a	64.5 ± 0.9 ^f	6.7 ± 1.2 ^a	71.2 ± 0.6 ^c	5.6 ± 0.1 ^{ef}	0.4 ± 0.0 ^{fgh}	14.7 ± 0.1 ^{ab}
10年目①	29.0 ± 3.5 ^a	59.9 ± 1.1 ^{def}	11.2 ± 2.6 ^a	71.0 ± 3.5 ^c	5.5 ± 0.2 ^{def}	0.4 ± 0.0 ^{fg}	15.0 ± 0.1 ^b
10年目②	43.0 ± 1.4 ^c	50.7 ± 0.8 ^{ab}	6.3 ± 0.9 ^a	57.0 ± 1.4 ^a	3.0 ± 0.2 ^b	0.2 ± 0.0 ^b	14.2 ± 0.2 ^{ab}
12年目①	31.6 ± 2.1 ^{ab}	57.7 ± 1.0 ^{cde}	10.7 ± 2.5 ^a	68.4 ± 2.1 ^{bc}	6.4 ± 0.2 ^{gh}	0.4 ± 0.0 ^h	14.7 ± 0.2 ^{ab}
12年目②	27.3 ± 3.6 ^a	60.6 ± 1.0 ^{def}	12.0 ± 2.8 ^a	72.7 ± 3.6 ^c	5.1 ± 0.2 ^{de}	0.3 ± 0.0 ^{ef}	14.9 ± 0.1 ^b

^{a)} ゴルフ場におけるシバの土壌診断基準値 ^{b)} 平均値±標準誤差 ^{c)} 同じアルファベット間には5%水準で有意差なし

写真-1 2010年7月26日の千葉県千葉市（2年目②）

Photo 1 Rooftop garden in Chiba city, Chiba, 2010/7/26

写真-2 2010年7月30日の神奈川県中区（6年目②）

Photo 2 Rooftop garden in Naka, Kanagawa, 2010/7/30

写真-3 2010年7月26日の神奈川県大和市（12年目①）

Photo 3 Rooftop garden in Yamato city, Kanagawa, 2010/7/26

3.4 土壌化学性について

1) 土壌有機物の増加

未使用の軽量土壌中の全炭素および全窒素は、施工後の軽量土壌と比較し、有意に低い値を示した（表 - 2）。また、全窒素－無機態窒素（硝酸態窒素＋アンモニア態窒素）＝有機態窒素と仮定したところ、有機質肥料の施用のない現場（2年目①、6年目①・②、10年目②、12年目①）であっても、土壌有機物は増加することが明らかとなった（表 - 2、図 - 4）。コウライシバは冬季に休眠し地上部が枯れ、それらがサッチとして堆積する。今回得られた結果は、そのサッチが分解し、軽量土壌中の有機物量が増加したためと考えられた。

また、C/N は経過年数による有意な差は見られず、20 以下で推移した（表 - 2）。概ね 20 以下であれば、有機物から速やかにアンモニア態窒素が放出するとされていることから⁹⁾、窒素飢餓と呼ばれる植物と分解微生物との窒素の競合は、起きにくいと考えられた。

これらのことから、コウライシバを植栽した屋上緑化薄層基盤軽量土壌では、窒素飢餓は発生しておらず、施工後は C/N を維持しながら、土壌有機物が増加することが明らかとなった。

2) 栄養塩類の経年的な減少

軽量土壌中の硝酸態窒素量は、未使用の軽量土壌の含有量が他の施工現場よりも有意に高い値を示し、経年的に減少した（図 - 5）。このような栄養塩類の傾向は、アンモニア態窒素でも同様に見られ、一部の施工現場の値を除けば、交換性カリウム、交換性カルシウムでも確認された（表 - 3）。未使用の軽量土壌には基肥が投入されており、施工初期の栄養塩類量と同等である。また、市販されている数種の屋上緑化薄層基盤土壌についても、栄養塩類の多くが、施工初期の数か月間に土壌中から溶脱することが報告されている¹⁵⁾。

これらのことから、屋上緑化薄層基盤軽量土壌への基肥量は一般的に過剰傾向にあり、その多くが植物体に吸収されず、施工初期から溶脱していると考えられた。そのため、栄養塩類の溶脱を考慮した基肥設計が必要であると考えられた。

図 - 4 施工経過年数毎の土壌有機物
Fig.4 Soil organic matter of each rooftop garden with different ages

図 - 5 施工経過年数毎の硝酸態窒素含有量
Fig.5 Soil nitrate nitrogen of each rooftop garden with different ages

* : 同じアルファベット間には 5%水準で有意差なし

表 - 3 屋上緑化土壌の土壌分析結果

Table 3 Result of chemical analysis for rooftop garden soil

施工経過年数	施肥	アンモニア態窒素 (mg/kg)	硝酸態窒素 (mg/kg)	可給態リン酸 (mg/kg)	交換性カリウム (mg/100g)	交換性カルシウム (mg/100g)	交換性マグネシウム (mg/100g)	CEC (meq/100g)
シバ生育基準値 ^{z)}	—	50以上	5以上	100～300	15～50	100～400	25～50	5～10
未使用	基肥	323 ± 14.0 ^{y)} e*	114.0 ± 3.6 d	159 ± 24.2 abc	322 ± 10.2 d	412 ± 21.7 d	19.1 ± 2.3 g	19.0 ± 1.1 abcd
2年目①	なし	208 ± 20.4 d	49.1 ± 4.2 c	348 ± 21.0 e	214 ± 16.1 abc	355 ± 16.6 d	32.8 ± 2.1 h	19.5 ± 0.7 abcd
2年目②	有り	160 ± 7.0 cd	40.1 ± 4.3 c	186 ± 12.7 bc	221 ± 20.5 abc	381 ± 12.6 d	13.9 ± 1.0 ef	22.0 ± 0.7 cd
4年目	有り	137 ± 20.2 abcd	12.2 ± 2.5 ab	231 ± 16.6 cd	146 ± 17.8 a	163 ± 9.3 ab	7.7 ± 0.6 bcd	19.5 ± 0.8 abcd
6年目①	なし	76 ± 7.0 ab	4.7 ± 0.5 a	106 ± 8.7 ab	191 ± 25.2 ab	137 ± 6.7 a	4.9 ± 0.6 ab	17.2 ± 0.6 a
6年目②	なし	154 ± 20.7 cd	1.4 ± 0.4 a	79 ± 6.0 a	308 ± 22.7 cd	220 ± 9.9 bc	7.5 ± 1.2 bcd	17.6 ± 0.7 ab
8年目①	有り	93 ± 10.8 abc	1.0 ± 0.2 a	155 ± 11.7 abc	138 ± 14.3 a	111 ± 18.8 a	3.3 ± 0.5 ab	17.0 ± 0.8 a
8年目②	有り	114 ± 11.8 abc	18.7 ± 4.6 b	290 ± 25.3 de	257 ± 18.5 bcd	280 ± 15.4 c	10.3 ± 0.7 cde	22.2 ± 0.9 d
9年目	有り	99 ± 8.1 abc	4.1 ± 0.6 a	186 ± 25.0 bc	144 ± 16.1 a	240 ± 10.9 c	7.5 ± 0.5 bcd	20.4 ± 0.8 abcd
10年目①	有り	92 ± 10.9 abc	2.8 ± 0.7 a	87 ± 7.4 a	319 ± 33.3 d	164 ± 7.5 ab	11.5 ± 0.7 def	21.3 ± 0.8 bcd
10年目②	有り	63 ± 7.1 a	11.1 ± 1.6 ab	481 ± 27.4 f	151 ± 12.5 a	492 ± 20.7 e	5.9 ± 0.3 abc	18.0 ± 0.6 abc
12年目①	有り	96 ± 23.0 abc	0.9 ± 0.2 a	121 ± 20.8 ab	210 ± 15.8 ab	223 ± 9.6 bc	15.4 ± 0.3 fg	22.4 ± 1.0 d
12年目②	有り	141 ± 7.3 bcd	11.2 ± 0.1 ab	144 ± 12.7 abc	182 ± 16.4 ab	125 ± 9.8 a	1.9 ± 0.8 a	19.0 ± 1.0 abcd

^{z)} : ゴルフ場におけるシバの土壌診断基準値³⁾

^{y)} : 平均値±標準誤差

^{x)} : 同じアルファベット間には 5%水準で有意差なし

3) 土壌中の栄養塩類量

本研究の屋上緑化における年間の施肥量は、ゴルフ場と同程度であった。このことから、屋上の軽量土壌中の栄養塩類量をゴルフ場のグリーンにおける土壌診断基準値³⁾と比較したところ、交換性マグネシウムを除くすべての栄養塩類は、半数以上の現場で基準値と同程度かそれより高い傾向が示された(表-3)。一方で、屋上の施肥管理状況とゴルフ場で推奨されている施肥管理法²⁾では、施肥頻度や一回当りの施与量が異なる。今回栄養塩類量に大きな差が見られなかったのは、屋上緑化薄層基盤軽量土壌が、ゴルフ場の土壌診断基準値よりもCEC(陽イオン交換容量)の値が高く、保肥性に優れていたためと考えられた(表-3)。

また、屋上とゴルフ場では、芝の求められる品質も異なることから、高い観賞性を求めない粗放管理型屋上緑化の場合、土壌中の栄養塩類量としては、過剰である可能性も考えられた。

4) 追肥による栄養塩類量の変化

追肥の有無による土壌中の各栄養塩類量を比較すると、アンモニア態窒素、交換性カリウムでは、追肥の有無で含有量に有意な差は見られず、一部の施工現場の値を除けば、硝酸態窒素、可給態リン酸、交換性カルシウム、交換性マグネシウムにおいても、追肥の有無による含有量に差はみられなかった(表-3)。また、追肥から軽量土壌のサンプリングまでの期間は、少なくとも1カ月程度あり(表-1)、植物体による栄養塩類の吸収も考えられるが、施肥後に栄養塩類の溶脱が発生することも報告されている¹¹⁾。このことから本研究でも、追肥後に栄養塩類の多くが軽量土壌から溶脱したため、追肥の有無による軽量土壌中の栄養塩類量に違いは見られなかったと考えられた。屋上緑化薄層基盤軽量土壌では、栄養塩類の溶脱を考慮した追肥(肥料の選択および施肥頻度、施肥量等)を行う必要があると考えられた。

4. まとめ

一般的に人の立ち入りの少ないコウライシバを植栽した屋上緑化では、土壌物理性の経年的な変化は見られず、軽量土壌の固結も発生しにくいことが明らかとなった。また、施工後サッチの堆積およびその分解により、土壌有機物量は増加することが示された。

屋上と地上(ゴルフ場等)では、求める芝の品質や生育環境も異なるが、ゴルフ場等での芝の管理手法を屋上に導入している事例は多い。このような芝を植栽した屋上緑化において一般的に行われている管理では、土壌中の栄養塩類量はゴルフ場と同程度であり、施工初期や追肥後の栄養塩類の溶脱も懸念された。

これらのことから、今後は軽量土壌の物理性および化学性の経年変化や栄養塩類の推移を考慮し、屋上独自の環境を加味し、求められる芝の品質に合致した施肥管理が望まれる。

謝辞: 本研究を行うにあたり、共同カイテック株式会社関係諸氏に多大なご協力を賜りました。ここに、感謝の意を表します。

引用文献

- 1) Anderson, J. M., Ingram, J. S. I. (1989) Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods, C. A. B. International, Wallingford, pp.42-43
- 2) 角田三郎(1988) 7.2.3 ゴルフ場の芝生管理, 新訂 芝生と緑化, ソフトサイエンス社, pp.303-322.
- 3) 角田三郎(1989) ゴルフ場の芝草管理(II), 芝草研究, 17(2): pp.199-213.
- 4) 亀和田國彦(1997) 原子吸光法, 土壌環境分析法編集委員会編, 日本土壌肥料学会監修, 土壌環境分析法, 博友社, pp.176-179.
- 5) 木村裕喜・瀬川正俊・金児晴信・長谷川秀三・森本幸裕(2003) 屋上緑化の薄層基盤における乾燥とコウライシバの生育, 日本緑化工学会誌, 29(1): 212-214.
- 6) 国土交通省 都市局公園緑地・景観課 緑地環境室(2011) 報道発表資料: 新たな屋上・壁面緑化空間が創出されていますー平成 22 年 全国屋上・壁面緑化施工実績調査についてー: 1-8.
- 7) 国土交通省 都市・地域整備局 公園緑地課緑地環境推進室(2007) 屋上・壁面緑化空間はどの程度創出されているのかー全国屋上・壁面緑化施工実績調査(平成 12 年~18 年)についてー, 調査の概要: 1-14.
- 8) 近藤三雄・小沢知雄(1977) 芝生の収容力に関する基礎的研究(I) 一踏圧ー土壌硬度に対する芝生地植群の抵抗性からみた収容力について, 造園雑誌, 40(3):11-23.
- 9) 妹尾啓史(2001) 6.土壌生物, 犬伏和之・安西徹郎編, 土壌学概論, 朝倉書店, p.48.
- 10) 水落勁美(1975) 生体内各種化合物分析法, 色素分析法, クロロフィル, 作物分析法委員会編, 栄養診断のための栽培植物分析測定法, 養賢堂, pp.368-389.
- 11) 村松紀久夫・仁王以智夫(1994) 芝用肥料の違いが降雨による溶脱と芝生の生育・荷重耐性に及ぼす影響, 日本土壌肥料学会雑誌, 65(5): 514-521.
- 12) 南條正巳(1997) トルオーグ法, 土壌環境分析法編集委員会編, 日本土壌肥料学会監修, 土壌環境分析法, 博友社, pp.267-269.
- 13) 田窪祐子・小口深志(2001) 人工軽量土壌を用いた屋上緑化における土壌厚と各種植生との関係, 日本緑化工学会誌, 27(1): 193-196.
- 14) 富森聡子・長屋祐一・田代豊・谷山鉄郎(1995) ゴルフ場排水中の肥料成分の流出特性と環境への負荷量, 日本作物学会紀事, 64(4): 682-691.
- 15) 渡辺均・山中典幸・横川晴昭・千村隆太(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.
- 16) 山口隆子・横山仁・石井康一郎(2005) 軽量薄層型屋上緑化システムにおけるヒートアイランド緩和効果, ランドスケープ研究, 68(5): 509-512.

(2012.7.5 受理)