

屋上等の薄層軽量緑化を可能とするセダム類の生理生態の解明に関する研究

A Study about Physiology and Ecology of Sedum for Sheet Roof Planting

飯島健太郎 * Kentaro IIJIMA

1. はじめに

このたびは、日本造園学会賞をいただき心より御礼もうしあげたい。本研究は、1997 年に東京農業大学でいただいた学位論文ならびにそれに続く一連の研究である。卒業論文、修士論文から続く一連の研究をまとめるにあたり懇切丁寧にご指導頂いた近藤三雄先生、審査員の進士五十八先生、濱谷稔夫先生、田邊猛先生、太田保夫先生には、改めて御礼を申し上げる次第である。

また研究をすすめる中にご助言を頂いた東京農業大学造園科学科の先生方、学会の諸先生方、そしてデータ整理や分析でお手伝い頂いた当時の学生の方に感謝申し上げるとともに、今回の受賞に際し学会賞選考委員会の先生をはじめ、学会事務局の方々には審査等において多くの時間と労力を頂いたことに御礼を申し上げたい。

こうした皆様のご指導ご鞭撻により今回の賞を頂ける研究としてまとめられたものと感謝している。

2. 研究の背景

都市のヒートアイランド現象の緩和から建築構造物への断熱効果、省エネ効果を狙いとして、屋上・壁面緑化が自治体の条例や工場立地法の一部改正などの政策的後押しを受けつつ展開している。しかし総量としての緑化面積の拡大が依然重要な課題となっており、既存建築物から工場の折板屋根のように耐荷重の小さい建築物を含む積極的な緑化の推進が不可欠である。こうした建築物に対する緑化の最大の課題は軽量化であり、その対策の一つは、「薄層基盤緑化」の導入である。薄層条件であるが故の限られた根圏でも生育可能な植物の導入とともに、ユニット化された基盤により施工性の向上と竣工即完成が可能となり、また部分的なトラブルに対してもユニットの交換により対応することができるなど、新たな緑化システムとしての一分野を形成してきた⁹⁾。本システムに多く導入されているのが多肉植物のセダム類である。

セダム類が最も有望視されていた特性は耐乾性である。基部から外れたシュートを転がしておいても数ヶ月にわた

り枯死しないほど乾燥には強い。石積みや側溝の目地やひび割れ部分に吹きだまつた僅かな土壌を根圏として生育していることもあり、慢性的な水ストレスに対する適応性がある。反面そうした場所でさえも季節的に旺盛な繁茂状態となる生育を示すなど、その生理生態は不明な点も多かった。そこで緑化利用に供することを目的として、セダムの生育と温度・光環境、環境ストレスと光合成反応、種子発芽特性と栄養繁殖に関する一連の研究に取り組んだ。

3. 温度と生育／越冬性の検討^{13), 14)}

セダム属植物は日本各地に分布するものの、種ごとの自生地は全土に及ぶ例は少ない。すなわち各種の分布域は、本州の東北以南、関東以西、和歌山以西などの地域に限定されている。特にマンネングサ類 (*Seda genuina* 亜属) は常緑種が多く、冬季の最低気温と各種の耐寒性が影響している。そこで7種のセダム類を供試植物として、日本クライメートゾーン8に相当する2地域(松山町 [8a: 年最低気温平均 -9.4 ~ -12.2℃], 津久井 [8b: 年最低気温平均 -6.7 ~ -9.4℃]) において生育試験ならびに越冬性に関する実験を行った。

その結果、直射光下で生育したセダムは、耐寒性に関して、①両地点で越冬するチチイロマンネングサ (*Sedum potosinum*)、コーカサスキリンソウ (*S. spurium*)、ツルマンネングサ (*S. sarmentosum*)、タケシマキリンソウ (*S. takesimense*)、②津久井で越冬するが、松山町では衰退するマルバマンネングサ (*S. makinoi*)、メキシコマンネングサ (*S. mexicanum*)、③両地域で衰退するタイトゴメ (*S. oryzifolium*) という3タイプに分類された。

一方、両地点においてメキシコマンネングサの施肥試験を行った結果、N、Pを施用することによって萌芽が助長され、松山町においても生育促進し越冬性が向上した。

なお、セダム各種の生育と季節的变化の一つとしては、シュート基部からの外れやすさとしても現れる。そこでセダム類4種の月別の引き抜き抵抗力について調査した。調査地は種類により海岸の生育地から都市部のコンクリート

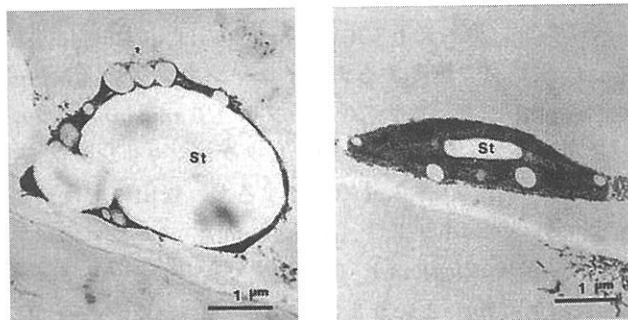
*1969 年横浜市生まれ、1992 年東京農業大学農学部造園学科卒業、1997 年東京農業大学大学院農学研究科農学専攻後期過程修了、博士 (農学)、現在桐蔭横浜大学工学部准教授

環境に5年以上の長期にわたって生育を持続している現場とした。その結果、メキシコマンネングサは周年安定した活着を示すのに対し、ツルマンネングサでは11～1月にかけては著しく引き抜き抵抗力を失いシュートが外れやすくなった。こうした季節的に茎部が外れやすくなる反応は、種子をもたないツルマンネングサの繁殖戦略としては有益であると推察されるが、緑化状態の永続性という観点からは課題となり、薄層基盤緑化においては活着を高めるような生育基盤の検討が不可欠となる。

4. 光強度と生育/生産性向上と耐陰性の検討⁶⁾

メキシコマンネングサやマルバマンネングサについて、葉数の増加、茎長の伸長、生体重量の増大という観点から大きい生産性を示す屋外の光条件について検討した。その結果、直射光下ではなく相対照度30%程度で生育は旺盛となり、相対照度5～10%以下では徒長し衰退した。また異なる光条件で生育したメキシコマンネングサを事例に顕微鏡学的観察を行った結果、湿潤な遮光下(相対照度10%)で生育したものは葉緑体にラメラ構造が認められるなど標準的な様相を示していたが、比較的乾燥した直射光下で生育したものは葉緑体にデンプン粒の顕著な発達認められるなど適応反応と思われる変化が現れた(図-1)。

一方、人工環境下における異なる照度条件での生育試験を行った結果、メキシコマンネングサは20 K lux で生育旺盛、3 K lux で僅かに生育、1 K lux で衰退、マルバマンネングサでは20～3 K lux で生育旺盛、1 K lux で僅かに生育反応を示すなど、マルバマンネングサの耐陰性が優れていることが明らかとなった。



無遮光下で育成

相対照度 10%下で育成

図-1 異なる照度条件下で育成したメキシコマンネングサの葉緑体

5. 水ストレス反応と耐乾性²⁾

セダム類は貯水機構を有しているため、給水停止状態にあっても直ちに致命的な水ストレス状態に陥ることはない。しかし水分を消耗する過程においては経時的に生体重量や葉厚を減少させながら葉内の水ポテンシャルの低下が進んでいた。

マルバマンネングサ、メキシコマンネングサ、タイトゴ

メを事例として、草丈2～3cmの苗を抜き上げ根を露出することで水ストレス状態を再現した。給水による再生を確認する方法で、給水停止後の経時的な生存状況を調査した結果、約3ヶ月間の生存が確認された。なお異なる温度条件(10℃、20℃、30℃)による反応を比較した結果、低温域である10℃の方が、水ストレス進行が早まる傾向があり、2ヶ月間で葉内水ポテンシャルは-2.0MPaに達していたのに対し、同時期的高温域(30℃)では-0.9MPaと軽度の水ストレスに留まっていた。すなわち高温域の方が水分不足を防ぐ方法で耐乾性が発揮されやすいことが推察され、そのメカニズムについては後の光合成反応からも関連が認められた。

6. 水ストレス反応と光合成タイプ³⁾⁻⁵⁾

多肉植物の耐乾機構の一つとしてCAM型光合成反応が知られる。セダム類については、*Sedum acre*においてCAM型光合成に関する研究があるが、わが国の緑化に多く導入されているマンネングサ類を対象としたCAM型光合成反応に関する研究は皆無であった。そこでメキシコマンネングサを事例として、光合成タイプの確認と温度・光条件との関係についての検討を行った。まず土壌が湿潤状態の場合には日中の明確なCO₂吸収反応が、また夜間には吸収停止状態となり典型的なC₃型光合成を営んでいた(図-2)。この時葉内のリンゴ酸含有量が夜間に蓄積するような反応は認められなかったことからnon-CAM状態である。一方、給水停止後の水ストレス状態(-1.5MPa、永久しおれ点相当)において高温域から中温域(30℃、25℃、20℃)では、葉内のリンゴ酸含有量が夜間に増大し、日中に消費する典型的なCAM型光合成反応を示した(図-3)。すなわち湿潤状態ではC₃型光合成、乾燥状態ではCAM型光合成を示す誘導型(可変的)CAM植物であることが明らかとなった。

なお15℃の低温条件では、永久しおれ点相当ではCAM型光合成は誘導されず、風乾状態に達してから誘導されるなど、乾燥適応機構としては高温域の方が迅速に発揮され

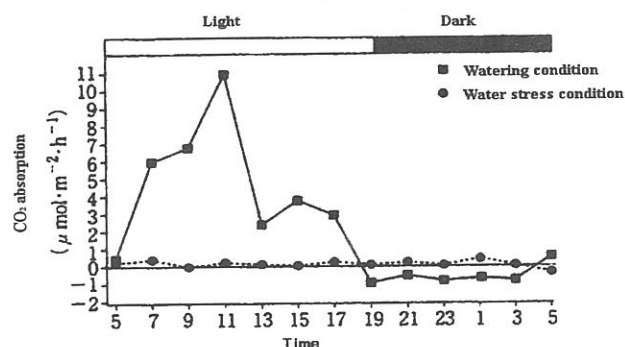


図-2 湿潤時と水ストレス時のメキシコマンネングサのCO₂吸収量の日変化

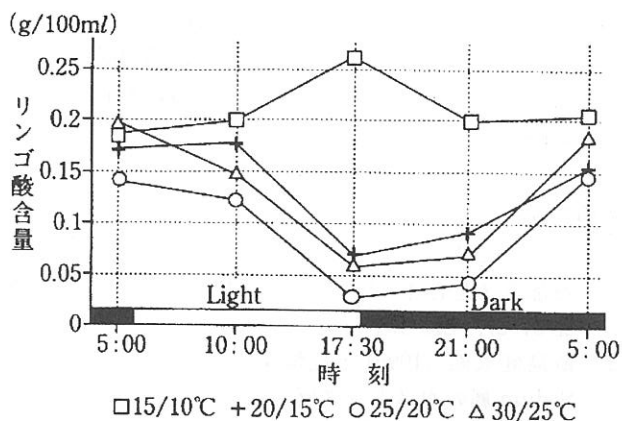


図-3 水ストレス状態におかれたメキシコマンネングサのシュート内のリンゴ酸含有量の日変化

ることが明らかとなった。

CAM 型光合成の誘導は光条件にも影響を受け、人工環境下において 20Klux では、乾燥時に CAM 型光合成を誘導するが、3Klux 以下の照度では土壌が風乾状態に達しても誘導しなかった。すなわち低照度条件下では耐乾性植物としての維持管理は困難であると推察される。

以上のように耐乾適応機構の一つとなる CAM 型光合成反応は、植栽地の光条件や季節に限定されることが明らかとなった。酷暑期には給水がかえって根腐れ等の衰退を招く反面、水ストレス状態におかれた場合には最も乾燥適応機構が働きやすい条件であり酷暑期の生育衰退を抑制する意味からも重要な光合成反応と考えられる。

7. 塩ストレスと耐塩性⁸⁾

セダム類 4 種の耐塩性を探ることを目的として、カットしたシュートを海水に浸水後、経時的に取り出して生存確認を行った。その結果、マルバマンネングサ、メキシコマンネングサ、ツルマンネングサは 24 時間後にはすでに枯損したのに対し、タイトゴメは 2～3 日間生存した。

次に同 4 種について、シュートをカットして数日間放置する方法で軽度の水ストレス状態（生体重量で 50% 減、葉内水ポテンシャル -1.0MPa 相当）を与え、これを同様に海水に浸水処理することで耐塩性を再度検討した。その結果、マルバマンネングサ、メキシコマンネングサ、ツルマンネングサは 1～2 日間の生存、タイトゴメは 4～5 日間生存するなど、水ストレス状態の場合には耐塩性が付与されることが明らかとなった。いずれもタイトゴメの耐塩性は優れていた。海岸性のタイトゴメにおいては、外れたシュートが水ストレスとなって吹き飛び、これが海流によって別の地域に流れついて根を下ろすということが少なくないと推察される。すなわち三浦半島に生息するタイプのタイトゴメは 3 倍体で種子が出来ないことから繁殖ならびに分布拡大のための生存戦略と考えることもできる。

8. 種子発芽特性¹⁵⁾

セダムの種子はグラムあたり数万粒とされるほど微細な種子で極めて扱いにくい。しかし苗の更新、遺伝子の多様性の保全、増殖のために種子発芽特性の解明が急務である。そこで種子発芽特性については、メキシコマンネングサとメノマンネングサ (*S. japonicum*) の 2 種について検討を行った。

まず予備試験から明発芽種子であった。種子が形成される 7 月の取播き条件においては、発芽日数や最終発芽率に差はあるもののメノマンネングサは低温から高温条件の幅広い気温に発芽が認められたが、中高温域では抑制傾向であり種子が形成される 7～9 月の播種は適さない。貯蔵種子の場合には、中温域では 1 週から 2 週で発芽を開始するが、低温域では一定の発芽数に達するためにはより日数を要した。種子の貯蔵環境については、常温・湿潤貯蔵は、12 ヶ月を超えて発芽不能になる可能性があるため避けるべきである。温暖な季節の播種は、常温・乾燥貯蔵によるものの方が早期に発芽する。なお本実験において常温乾燥ならびに低温条件で貯蔵した種子は 4 年間にわたって 50% 以上の発芽率を有していた。

メキシコマンネングサの取播き条件における発芽は中温から高温域では顕著に抑制される結果となった。貯蔵種子においても、低温条件で活発な発芽が認められる一方、中温域では発芽が著しく抑制された。ただし 25°C 条件においても、常温・乾燥貯蔵、または低温・湿潤貯蔵の種子では僅かに発芽が認められた。常温・湿潤貯蔵は 6 ヶ月を経過すると発芽不能となる可能性が高く、貯蔵環境としては適当ではない。なお本実験において常温乾燥ならびに低温条件で貯蔵した種子は 6 ヶ月にわたって 50% 以上の発芽率を有していた。

いずれの種も発芽には気温の影響を強く受け、取播きの場合、高温条件では発芽が抑制される。一方、貯蔵種子では、温度に対する許容範囲が広がり高温条件でも発芽が認められるようになった。両種の開花期は 4～5 月であり 7 月には種子が形成される。この酷暑期にただちに発芽しても、他の草種に被圧され衰退することが想定される。一方、他の草丈の高い草種が枯れ始める冷涼な季節に発芽を可能にするという性質は、季節的なニッチに対応したものと理解できる。

以上の種子発芽特性に配慮して増殖生産に役立てたり、播種工の適期を定めたりすることが可能となる。

9. 栄養繁殖／挿し木と葉挿し¹²⁾

前述のようにセダムは種子が形成されるものの繁殖はほとんど挿し木によって行われる。またタイトゴメなど 3 倍体で種子の出来ない種については栄養繁殖が増殖の有力な手段となる。挿し木繁殖は、挿し穂の調整時に切口からの

感染を防ぐことに留意すれば極めて容易に行える。マルバマンネングサ、メキシコマンネングサ、タイトゴメ、ツルマンネングサを事例とした月別挿し木実験を行った。その結果、挿し木後の不定根形成が旺盛な季節は、5～6月、9～10月である。不定根の形成が概ね認められない季節は12～2月挿しに、7月挿しにも減少する傾向が認められたが、耐乾性が故に枯損することはなかった。

同様に葉挿しに関する実験を行った。その結果、不定芽形成が活発な種類と僅かにしか認められない種類に分けられ、前者はマルバマンネングサ、ツルマンネングサ、後者はメキシコマンネングサ、タイトゴメであった。

マルバマンネングサやツルマンネングサは国内に広く分布が見られるが、いずれも匍匐性であることに加えて不定根形成や不定芽形成などの栄養繁殖性に優れていることが分布拡大には有利に働いていると考えられる。こうした栄養繁殖の特性を活用して、シュートや葉の蒔つけ工など新たな植栽工法の開発も期待される。

10. 結論

以上、セダムの生理・生態に基づいて緑化利用のための生育特性について実験的に検討を行った。今回、取り上げたセダム類各種については、その最大の生長をもたらすための環境は遮光条件で土壤水分も比較的豊富な条件である。しかし多くのセダム類の生息環境は岩場やコンクリート上の僅かな土壌を根圏として生育しており、慢性的な乾燥ストレスを被る条件である。こうした条件において他の草種による被圧を避けつつ、降雨時にはC₃型の光合成による迅速な伸長生長をもたらす、乾燥条件においてはCAM型光合成を誘導し水ストレスを緩和する方法で特殊な生育環境に適応している。また酷暑であるほど給水停止後の水ストレスの進行は軽減される一方、高温湿潤条件は蒸れによって株を衰退させることから、酷暑期には給水をいかに抑制するか、給水する場合にはその施用時刻に配慮することが致命的の衰退を防ぐための重要な管理手法となる。そうした乾燥適応機構が稼動している状態で、緑被状態を維持できる多くのセダム類は景観上有効な素材である。

以上のようにセダム類は生理的最適域と生態的最適域を大きく異にする典型的な植物であり、そのメカニズムをうまく活用することが新たな特殊緑化空間導入への重要な鍵となり、水平あるいは傾斜の超薄層基盤緑化から基盤設置型の壁面緑化への導入可能性をも示すものとなる^{10), 11)}。また種子発芽特性、栄養繁殖特性からもその成否はまず季節性があり増殖のためのヒントと同時に、シュート播きや葉播き工など新たな施工方法の可能性も示唆された。

以上のような特異な生理生態的特質を有する植物はセダム類のみならず多くの多肉植物にも認められ、今後特殊緑

化空間への導入が期待される^{1), 7)}。通常の緑化用植物の生育環境としては厳しい特殊緑化空間は、多肉植物の生態的最適域としてニッチと捉え、その生育特性を前提として導入し適切な管理を施すことが重要である。

引用文献

- 1) 飯島健太郎・近藤三雄 (1993) : 乾燥条件下におかれる都市緑化空間に導入可能性のある多肉植物 : 造園雑誌 57(2), 129-134
- 2) 飯島健太郎 (1995) : 乾燥条件下におかれた場合の Sedum 属の水ストレス反応について : ランドスケープ研究 58(5), 69-72
- 3) 飯島健太郎・近藤三雄 (1996) : メキシコマンネングサの光合成型ならびに生育に及ぼす土壤水分と気温の影響 : 東京農大農学集報 41(3), 156-163
- 4) 飯島健太郎・近藤三雄 (1998a) : 乾燥条件下におけるメキシコマンネングサの光合成反応と気温、照度との関係 : 東京農大農学集報 42(4), 274-286
- 5) 飯島健太郎・近藤三雄 (1998b) : 異なる照度条件下で育成したメキシコマンネングサの生育と耐乾性 : 東京農大農学集報 42(4), 287-294
- 6) 飯島健太郎・近藤三雄 (1999) : セダムの生育に及ぼす土壤水分と照度 : ランドスケープ研究 62(5), 503-506
- 7) 飯島健太郎・近藤三雄 (1999) : 新しい都市緑化/ガーデニング材料・多肉植物 : ソフトサイエンス社, 161pp.
- 8) 飯島健太郎・近藤三雄 (2000) : セダム属数種の塩ストレスについて : ランドスケープ研究 63(5), 439-442
- 9) Iijima, K. and Kondo, M. (2000) : Practical Use of Sedum from Garden Up to Urban Open Space : Journal of Japanese Institute of Landscape Architecture, International Edition 1, 80-83
- 10) 飯島健太郎・近藤三雄 (2001) : 多肉植物の生育特性を生かした壁面緑化技術 : 造園技術報告集 1, 58-61
- 11) 飯島健太郎・関憲一・岩間久継 (2001) : セダムを活用した土留め用ブロックの垂直面緑化技術 : 造園技術報告集 1, 62-65
- 12) 飯島健太郎・近藤三雄 (2001) : セダムの栄養繁殖に及ぼす気温、光条件の影響 : ランドスケープ研究 64(5), 533-536
- 13) 飯島健太郎 (2002) : 日本クライメートゾーン 8 に相当する 2 地点におけるセダムの生育と越冬性について : ランドスケープ研究 65(5), 461-464
- 14) 飯島健太郎 (2003) : セダム属各種の月別引き抜き抵抗力について : 日本造園学会関東支部大会事例・研究報告集 (21), 61-62
- 15) 飯島健太郎・涌井史郎・油井正昭 (2006) : メノマンネングサとメキシコマンネングサの種子発芽特性 : ランドスケープ研究 69(5), 455-460