

「小さな“Case”の大きな可能性」

—究極の水循環で90億人の食を守る—

京都府立桂高等学校 草花クラブ

はじめに

農業生産において、1kgの穀物を生産するのに1,000ℓの水が必要である。現在、世界の人口は60億人で2050年には90億人～100億人に達すると予測されている。しかし私達が利用できる農業用の水は限られており、水不足による食料不足の問題が一層深刻化することが予測されている。(日本の水資源 国土交通省 土地・水資源局 水資源部より)さらに、2003年京都で開催された第3回世界水フォーラムでこの問題は、早急に解決しなければならない問題として取り上げられた。

草花クラブは1990年よりアジサイの品種開発に取り組み始め、作出した品種を社会に役立てたいという想いから障害者施設での苗生産を行っている。2003年からは作出した品種の増大に伴い、障害者施設や作業所からの委託栽培の依頼や販売店からの需要が増加した。しかし、クラブとして活動を行うには限界があり新しい方法を模索する必要があった。

2004年6月、私達が作出したアジサイが展示された静岡県浜名湖花博覧会に見学に行った。そこで私達は、170年前植物輸送に使用されていたWardian caseを見つけた。

Wardian caseとはイギリス人Dr.Nathaniel Bagshaw Wardによって考案・開発された植物輸送器である。このCaseは後に、プラントハンターによって活用され、植物文化史において「種の革命的な出来事」と呼ばれたが、科学が発達するにつれ忘れ去られてしまった。

私達は、長期間水を与えずとも植物を維持できるのであれば、障害者施設でも細かい水管理をせずにアジサイの挿し木苗ができるのではないかと考え、このCaseを甦らせようと研究・製作に取り組んだ。また完成したCaseは植物維持機能を主としたWardian caseと異なり植物生産を主としている

ことからKatsura Nursery Caseと命名した。

経歴

草花クラブは1985年創部、1990年よりアジサイの品種開発に取り組みはじめ、1993年クラブ第1号の新品種「ニューバース桂」の作出に成功した。それ以降世界初の常緑性園芸品種「桂夢衣」(かむい)や世界最小のアジサイ「ピクシー桂の織姫」など11品種を作出し、本クラブ員によって農林水産省に品種登録を行っている。2000年からは、大手種苗会社からの全国販売を行っている。

また、2001年より地域や社会に貢献することを目的として、クラブで挿し木し発根した苗を障害者施設に供給し、製品苗になるまで栽培してもらうという委託栽培を行っている。さらに、障害者施設専用品種の開発(下葉取りなどの手間が省け、作業中に芽を折る心配が無く仮に折れたとしても分枝からも花がつくという「桂夢衣」など)及び月2回栽培指導のため訪問し、販売苗の共同栽培を行い出荷する「学・福・産」連携のシステムを作り上げた。2003年以降は、共同栽培を希望する障害者施設や、生産者・販売会社の需要が増加した。しかし、クラブとしての活動や栽培施設に限りがあり、障害者施設で挿し木から製品苗までの生産が可能なシステムの開発に迫られた。



共同植え替えの様子



施設の苗

研究のきっかけと目的

障害者施設での挿し木苗生産を行うにあたり、1834年に植物輸送器として使用されたWardian

caseに着目した。

本クラブでは生産容器としての利用を考え、

- ①栽培施設の無い屋外での使用できること
- ②障害者が簡単に栽培を行うことのできる構造にすること
- ③多くの人（地域）が利用でき、特殊な装置を使用せず構造もできるだけシンプルであること
- ④コストをかけず素材の利便性や環境に配慮し、廃材を使用すること（建築用の余剰材・間伐材を加工したもの）上記の4つの点を前提として製作・実験を行った。

しかしWardian caseの構造、特性について詳しく書かれた文献はなかったため書籍に記された簡単な絵図や記述をもとに製作をすすめた。その後、本クラブでの度重なる構造変更や予備テスト等の試行錯誤を経て、Katsura Nursery Caseを開発し障害者施設での実地テストを行った。

このCaseを製作する上で参考にした「プラントハンター」の筆者 京都大学国際日本文化研究センターの白幡教授に尋ねたところ、

- 歴史的にみても植物輸送に成功した事例の報告はたくさんあるが、このCaseが本当に最後まで密閉され植物が輸送されていたのかわかっていない。
- どれくらいの確率で植物輸送に成功したのか、どの植物に対して有効であったのかについても、研究した報告例は無い。
- どのような環境構造により維持できるのかということに対しても、記載された資料はなく、数値化されて証明してある事例に関してはまったくわかっていない。

という助言・指導をいただいた。また、植物輸送器・植物の鑑賞保護容器としての利用例はあるが、植物生産に利用した事例は、世界的に見ても知っている限り初めてであると言っていた。

本研究は、Katsura Nursery Caseが持つ、植物

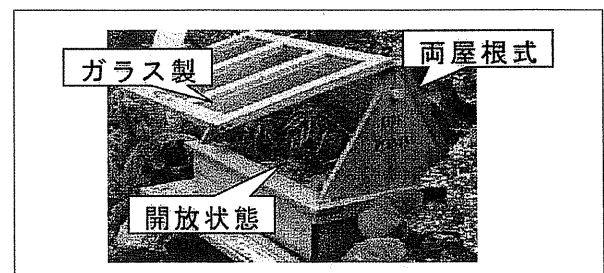
が蒸散する水を有効に循環利用し、長期間維持できるという機能を解明し、どのような植物に適しているのかを調査するとともに、新しい農業生産利用を目指した。

研究材料と研究方法

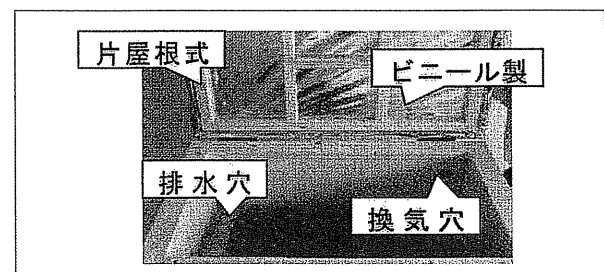
1. Wardian case内の環境解明実験

■研究の目的

障害者施設の屋外環境下での40日間に及ぶアジサイを使用した挿し木テスト（現地テスト）は成功した。しかし、成功したのは持ち込んだ2種類のKatsura Nursery Caseのうち密閉したほうのCaseであった。静岡県花博覧会の会場に展示されていたWardian caseは開放状態であったことから、高温期に完全密閉することは植物栽培の常識からは考えられず、本クラブではWardian caseの植物維持機能の秘密を解明することで、このWardian caseのもつ究極の水循環機能を引き出し将来の農業生産に活かすことを目的として実験と検証を行った。



花博に展示されていたWardian case



Katsura Nursery Case

「小さな“Case”の大きな可能性」
 一究極の水循環で90億人の食を守る—
 京都府立桂高等学校 草花クラブ

■研究機材の設定

A) 条件の異なるKatsura Nursery Case 3台

試験区A：植物あり・換気穴あり

試験区B：植物あり・密封

試験区C：植物なし・密封

※試験区Aの換気穴の直径は3cm 10個の換気穴を設定

上記の各試験区の共通条件

天板には90%の遮光・遮熱フィルムを張り、側面部には発砲スチロール製の断熱材を入れ、その上から遮光・遮熱フィルムを張り、外部からの熱を遮断した。

A) Katsura Nursery Case内温湿度測定：

電子式データロガー（30分計測）

B) 外気温湿度測定：自記記録温湿度計

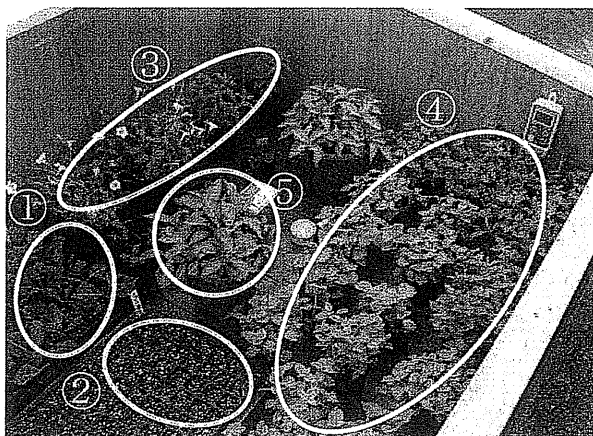
C) 供試植物：

①アジサイ挿し木苗（カムイ）

②キャベツセル播種

鉢物（③ペチュニア・④ミムラス・⑤アジサイ・

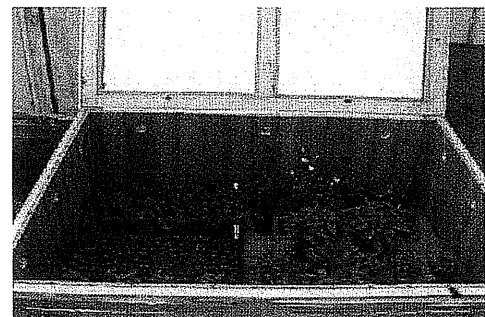
⑥イチゴ）



■実験を行うにあたっての予測

試験区A

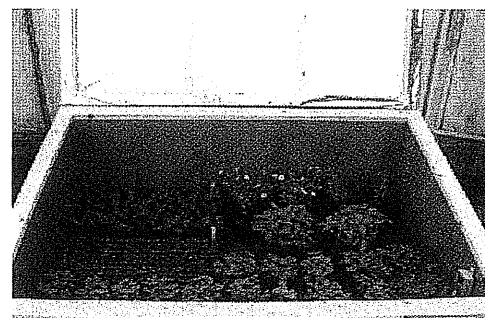
Caseに換気穴を開けたタイプのもので、換気穴を通じて温度の低い外部に排出され、同時に内部の水蒸気も暖かい空気と共に流出し、湿度が下降して内部温度が上昇することが予測される。（障害者施設で失敗したCaseのタイプと同様のもの）



試験区A

試験区B

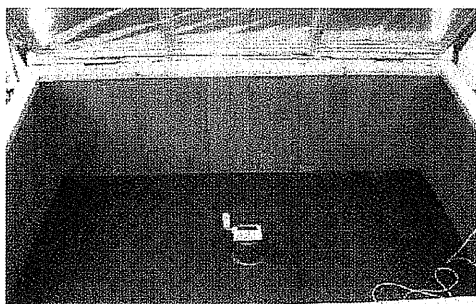
文献をもとに、障害者施設での利用を考え製作したKatsura Nursery Caseで、試験区Aに比べCase内の温度・湿度が安定し、内部の植物も長期間維持できると予測される。



試験区B

試験区C

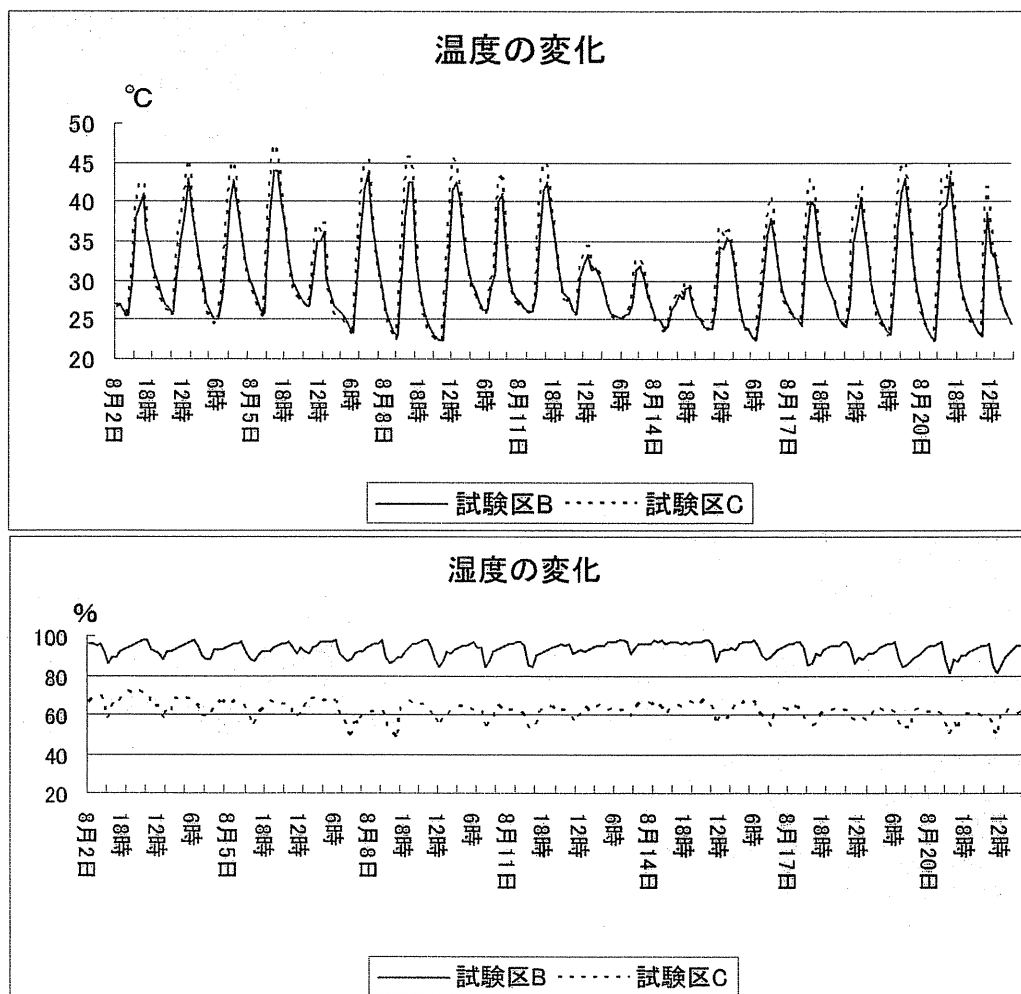
植物の無い密閉されたCaseで、湿度が温度の上昇と関係しているのであれば、一番温度が上昇し、乾燥することが予測される。



試験区C

2. 実験結果

- 植物の入っている試験区Bに比べて、植物の入っていない試験区Cの湿度は低く、温度はどの試験区よりも高い数値を示した。
- 換気穴の開いている試験区Aの温度が、2週間にわたって試験区Bの温度に比べ下回っていた。しかし、2週間を超えたあたりから、湿度が下がり始め試験区Bと同等または、試験区Cに近い温度を示し始めた。
- 試験区A・試験区Bの植物体のうち、ミムラス・



「小さな“Case”の大きな可能性」
 一究極の水循環で90億人の食を守る－
 京都府立桂高等学校 草花クラブ

Date	Time	試験区 A (℃)	試験区 B (℃)	試験区 C (℃)	試験区 A %RH	試験区 B %RH	試験区 C %RH
2005/08/02	14:00'00	39.6	41.1	42.6	85	89	67
2005/08/02	14:30'00	37.0	39.2	40.1	82	90	70
2005/08/02	15:00'00	35.7	38.3	38.6	81	92	63
2005/08/02	15:30'00	35.6	38.0	38.0	85	92	65
2005/08/02	16:00'00	34.7	36.8	36.4	86	92	66
2005/08/02	16:30'00	34.2	36.0	35.7	88	93	66
2005/08/02	17:00'00	33.9	35.6	35.1	89	93	68
2005/08/02	17:30'00	33.5	34.9	34.3	87	93	70
2005/08/02	18:00'00	32.9	34.2	33.4	87	93	71
2005/08/02	18:30'00	32.3	33.6	32.6	89	93	72

2005/08/12	14:30'00	32.4	31.3	31.6	89	93	63
2005/08/12	15:00'00	32.9	31.1	31.6	85	92	62
2005/08/12	15:30'00	32.9	31.1	31.7	87	92	62
2005/08/12	16:00'00	33.3	31.6	32.1	86	93	62
2005/08/12	16:30'00	32.7	31.2	31.7	85	93	62
2005/08/12	17:00'00	31.9	30.9	31.3	84	93	63
2005/08/12	17:30'00	31.6	30.9	31.1	87	94	63
2005/08/12	18:00'00	31.2	30.7	30.7	86	94	63
2005/08/12	18:30'00	30.5	30.3	30.1	86	94	64

イチゴなどのポット苗は枯死しており、特に試験区A内の枯死した植物体の土の乾燥が顕著であった。試験区Bも枯死が見られたが、試験区Aに比べポット内の土の乾燥はあまり見られなかった。

- 実地テストにおいて成功したアジサイについては、挿し木苗・鉢物ともに試験区Aのものは、少し萎れが出始めていたが、試験区Bに関しては、挿し木苗・鉢物とも良好な状態を保っており、実地テストの結果と併せてCaseへの高い適応性を示した。

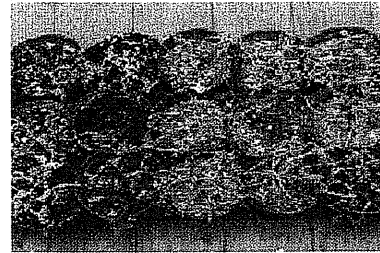
3. 実験結果の分析

上記の結果から、夏季の炎天下に設置したKatsura Nursery Caseは

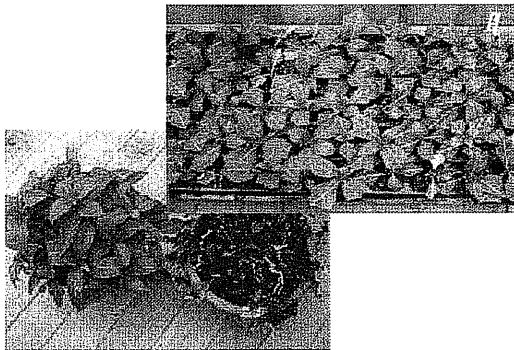
- 密閉することで長期間高い湿度を保ち、Case内に充満した水蒸気が外部から侵入する熱を吸収して、試験区内の温度の上昇を抑制したと考えられる。
- 試験区AのCase内温度が試験区Bの温度を約2週間にわたって下回っていた事については、障害者施設で当初設置したCaseに比べて、側面部の換気穴以外は遮熱処理を施した上に、底面部の排水穴も設けなかったことが原因だと考えられる。



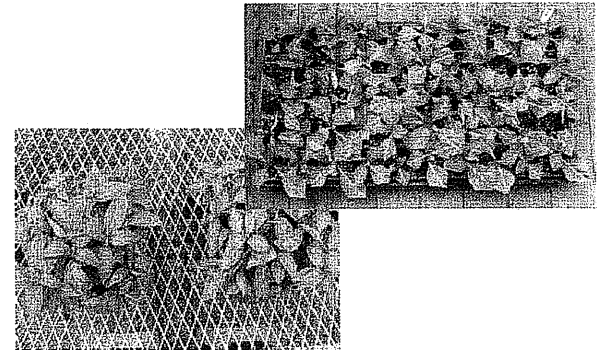
試験区Aのミムラス



試験区Bのミムラス



試験区Aのアジサイ



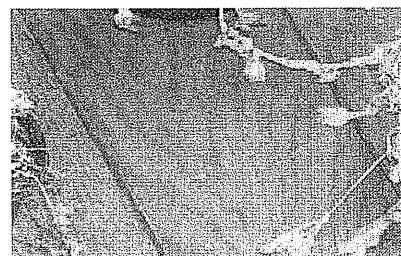
試験区Bのアジサイ

- Case内の密度の高い水蒸気は、植物体からの水の蒸発を抑えて保護するとともに、天板からCase内に進入した熱エネルギーを吸収し温度の上昇を抑える働きを持つことが解った。また、これらの機能は相乗効果として長期間灌水なしでも植物体を維持できる要因となっていると考えられる。
- 供試植物については、Caseの環境に適応した植物とそうでない植物とに分かれた。これは栽培植物の生育適温・成長速度などの性状が深く関係していると考えられる。特にアジサイなどの、比較的光を必要とせず、高温に強く成長速度が遅い植物などは高い適性を示した。逆に高温に弱く、日照量を多く必要とする草本植物については、枯死や徒長などの生育障害が発生した。文献には1800年当時、輸送されていた植物は、シダやゴムなどの観葉植物や、アジサイやマサキ・茶などの高温に強い樹木類などであると記されており、草本植物については記されていない理由もここに

あるのではと考えられる。

試験区A・試験区Bともに、土が乾燥し枯死した植物が見られたことは、Katsura Nursery Caseは30日～40日程度は植物を維持できても、文献に記載されている6ヶ月～一年間の維持は難しく、本来のWardian caseに比べ長期間植物を維持する機能が不完全であることがわかった。そこで本クラブでは、構造及び機能を詳細に見直し検証を行った。

- 測定中、高い湿度にも関わらず、底面及び側面部には、ほとんど水滴が見られなかった。また、枯死した植物は温度によるものではなく、ポット内



底面部

「小さな“Case”の大きな可能性」
 一究極の水循環で90億人の食を守る—
 京都府立桂高等学校 草花クラブ

の土壌が乾燥したことによるものであったことから、Case内の水分は私達の望む割合で循環していないのではと考えた。

- 天板の枠組みを構成する木材に腐食痕が見られた。特に腐食痕がみられた箇所は、直接Case内の湿度にさらされている内側の場所ではなく、外側に向かった遮熱フィルムに接している部分に見られたことから、天板に着いた水滴がCase内に戻らず木枠に吸収されていたと考えた。

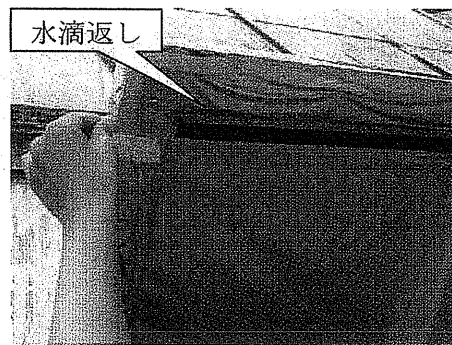


腐食痕

上記の点から、天板にできた水滴はCase内に還っておらず、還ったとしても植物に直接還元されていないことが判明した。そこで本クラブでは、そのことを踏まえてKatsura Nursery Caseの改良を行った。

■Katsura Nursery Caseの改良

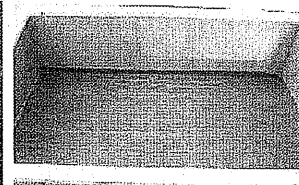
- 天板の内側にもう一枚、ビニールを張り木枠を挟んだ二重構造とすることで、フラットな面を作り水滴が側面を通じて落下するような構造にした。
- フラットにすることで、水滴が天板とCaseの合わさる縁から流れ出ると考え、Case内に落ちるように天板の内側の2箇所に水滴返しを付けた。
- 底面部については、鉢やセルトレーに直接水滴が落ちることはないと考えられたので水滴を還元するために鉢の底面部から吸水させるマットを敷いた。また、文献から当時のWardian caseは直接土を入れて植えつけられており、土壌を底面に敷いた。



天板の内側



試験区C



試験区B

4. 検証

改良したKatsura Nursery Caseが、当時のものと同様に長期間植物を維持できる機能を有しているかどうかについて検証を行った。

■検証機材の設定

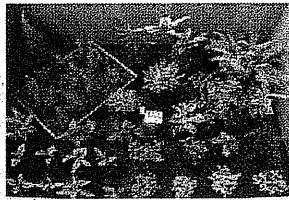
試験区A：底面部：変更なし 植物体：鉢植え
 試験区B：底面部：マット設置 植物体：鉢植え
 試験区C：底面部：土壌（70L） 植物体：地植え
 ※試験区Aはマット及び土壌からの水の還元が起こらなかった場合の対象区として設置した。

上記の各試験区の共通条件

天板内側にビニールを張り、水滴が落ちるようにし、水滴返しを付けCase内に水が戻るように構造変更した。



試験区A



試験区B

■供試植物の設定

各試験区に入れた植物体は、全実験及び文献から考え、木本類、シダ類及び観葉植物類などを主に使用した。また、試験区Cについては、当時行われていた方法を採用し、直接土壤に植えつける方法を選択し、他の試験区はポットのまま直接設置する方法で検証を行った。

■供試植物

[木本類]

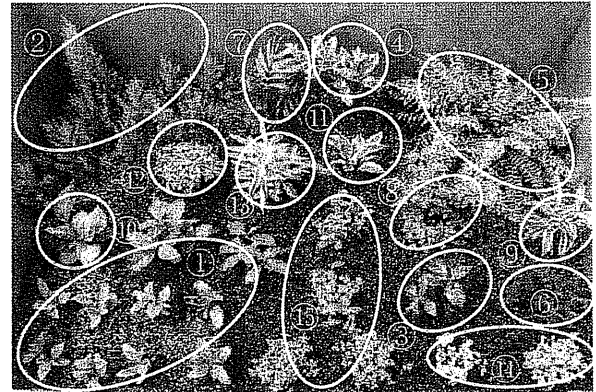
- ①アジサイ ②ゴールドクレスト ③コーヒーの木 ④マサキ

[シダ類]

- ⑤玉シダ ⑥シノブ

[草本類]

- ⑦テーブルヤシ ⑧アジアンタム ⑨ドラセナ
⑩ポトス ⑪オモト ⑫バジル ⑬コモンセージ



試験区C

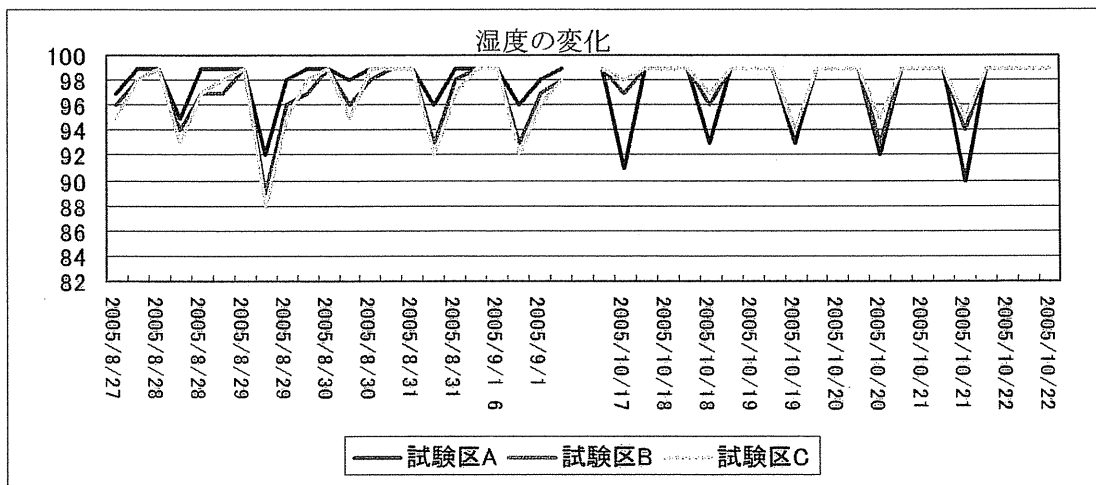
- ⑭レモンバーム ⑮ミント

5. 検証結果

改良後40日を経過した時点で、Case内の植物の状態および温度・湿度の測定データによる検証を行った。

●すべての試験区において、湿度が試験の開始当初から40日を経過した時点においても、安定した状態を保ち続けていた。

●Case内の植物は、試験区B・試験区Cともに乾燥状態のものは見られなかった。しかし、比較対象として設置した試験区Aの植物については、湿度が高い状態でも鉢土が乾燥する固体が発生した。



「小さな“Case”の大きな可能性」
—究極の水循環で90億人の食を守る—
京都府立桂高等学校 草花クラブ

- 試験区Aの底面部分は、天板・側面に水滴が着いているにもかかわらず、底面部分の鉢の周辺は乾燥していたが、他の試験区はマット・土壌とも湿潤な状態であった。各試験区内の温度は、試験区C・試験区B・試験区Aの順に最高気温が低く、最低気温が高い数値を示した。特に試験区Cについては、他の試験区に比べ気温の上昇が遅く、気温の下降が緩やかで低い数値を示した。

6. 検証結果の分析

検証結果で示した数値は、前実験と比較しても植物が長期間維持できることを示唆している。

- 同じ状態のCaseでありながら温度が違っていることについては、底面部に敷いた素材が関係しており、これらの素材も植物体を保護するために働いていることが判明した。
- 試験区Aの植物の一部が乾燥したことについては、水滴が落下しても、植物体までの移動ができず乾燥したと考えられる。このことから底面部に敷いたマット及び土壌は、植物体に水分を還元するのに必要だと判明した。

成果

これらの実験・検証によって、Wardian caseは密閉し高い湿度を保つことで、Case内の温度の上昇や植物からの蒸散を抑え、長期間灌水しなくとも植物を維持することができた。また、温度差によってできた水滴を植物に還元できる工夫を施すことによって、究極の水循環機能を引き出しKatsura Nursery Caseを完成させ、播種～収穫までの栽培に応用する目処を立てることができた。また、あらゆる地域での利用を考え、本クラブで製作したKatsura Nursery Caseは、構造がシンプルであり建築用の余剰材等を使用し、低コストで容易に製作することができた。

上記のことから、このKatsura Nursery Caseの植物生産への転用法の研究は、少量の水で生産ができ、現在水不足で農業用の水に苦難している世界の各地域で農業生産に利用できるという確信を持つことができた。

おわりに

文献には1800年代当時、生きた植物を密封したWardian caseに入れ、船の甲板に積み込み赤道付近などの直射光線の強い高温地域や潮風にさらされながらも、多くの植物が輸送されていたと記されている。Caseを密封することは、水の消費を抑えるだけで無く、植物にとって危険な潮水から保護するために必要であった。また、赤道付近などではCase内の温度の上昇や強光線を防ぐため、日覆いなどで遮光・遮熱していたと記載されている。しかし、この優れた輸送容器は文明が発達するにつれ、その原理の一部は観賞容器や栽培方法として残ったもの忘れ去られてしまった。私達はこのCaseの機能に着目し、現代の新しい素材を使い、少量の水での農業生産という新たな用途を与えて蘇らせた。この研究は、農業用の水に苦難している地域で農業生産ができるというだけでなく、生産する上で不可欠であり環境にも影響があるとされる農薬使用を軽減し、Caseを立体に設置することで少ない面積で生産性を向上させる等、多くの可能性を秘めている。

本研究は本クラブが長年育種し、開発してきたアジサイ品種の挿し木苗の生産を、障害者施設で行いたいというクラブ員達の願いから考えだされてきたものである。Wardian caseに至るまでは多くの栽培方法の研究や取り組みがあったが、障害者施設での挿し木は技術的に不可能であると考えていた。本研究はそれらの課題を解決するべく取り組んできた結果、たどり着いたものである。アジ

サイはシェード系の木本植物であり、本研究で製作したKatsura Nursery Caseは障害者施設での挿し木苗生産において十分に機能することが証明できた。

私達はこの実験が世界で問題となっている農業と水の問題について解決方法の一つとして多くの人に知っていただき、利用してもらえればと考えている。また、Katsura Nursery Caseを使用しての水稻苗生産の研究は私達の予想以上に良好な結果を得ることができ、Caseへの適応性を示した。現在、浸種・催芽を省き、より少ない水で水稻苗を生産する実験を行っている。その他にも、アラガシ・クヌギなどの木の実を用いて苗生産を行い森林再生へ利用することを考えて実験を継続している。

謝辞

京都大学国際日本文化研究センターの白幡洋三郎氏にはWardian caseに関する資料の提供及び「プラントハンター」の一部を本論文に記載することを許可していただきました。

有限会社笹井製作所 様にはKatsura Nursery Caseの材料（建築用余剰材）の提供及び製作指導をしていただきました。

深草福祉農園作業所 様には本論文に記載されている「現地テスト」や、場所提供等に協力していただきました。

以上、多くの方々のご協力とご支援により本論文を書き上げることができました。ここに心から感謝の意を述べさせていただきます。

参考文献

白幡洋三郎 「プラントハンター」 講談社メチエ
Newton 「水はなぜ生命を育むのか？」 2005年10月号
The Atlas of WATER （水の世界地図） 丸善株式会社
「稲作の起源」 講談社メチエ
「イネの作業便利帳 よくある失敗120」 農文協