

# ヘデラ属植物の耐寒性の究明に関する 実験的研究

成 富根\*・近藤三雄\*\*

(平成 13 年 5 月 31 日受付/平成 13 年 9 月 20 日受理)

要約：ヘデラ (*Hedera*) 属植物の低温臨界温度や最低致死温度を究明するためにヘデラ属 5 種を供試し、ハードニング処理の仕方によって人工ハードニングと無ハードニング、自然ハードニングの 3 通りの方法で人工環境気象室で生育実験を行った。その結果、今回、供試したヘデラ属植物の中では *H. helix* L. が最も低温に対する耐性に富むこと、ハードニング処理した場合の *H. helix* L. の低温臨界温度は  $-9 \sim -12^{\circ}\text{C}$ 、最低致死温度は  $-16^{\circ}\text{C}$  内外、*H. canariensis* Willd. の低温臨界温度は  $-3 \sim -6^{\circ}\text{C}$  内外、最低致死温度は  $-8^{\circ}\text{C}$  内外であること、また、ハードニング処理を施さなければ最低致死温度は *H. helix* L. で  $-10^{\circ}\text{C}$  内外、*H. canariensis* Willd. で  $-6^{\circ}\text{C}$  内外になることが明らかとなった。

キーワード：ヘデラ属、耐寒性、低温臨界温度、最低致死温度、ハードニング

## はじめに

ヘデラ属植物は道路のり面やさまざまな施設空間域の地被として、さらには建築物の緑化材料として世界中で最も多く利用されている植物である。その理由としては強健な性質と、いったん緑被してしまえば除草、刈込、施肥がほとんど不要となるなど維持管理の省力化が図れることが挙げられる。

ヘデラ属植物は世界中で 7 種認められているが、その原産地はいずれも暖温帯地域である。日本では 1960 年代からさまざまな緑化空間に導入され、北海道南部地域まで植栽されているが、それ以北の寒冷地域への導入も求められている。資料<sup>1)</sup>によれば日本では *helix* 種が基本種を含め 4 品種、*canariensis* 種が 2 品種、*colchica* 種の基本種等計 7 品種の分布が確認されているが、北海道南部においては *H. helix* L., *H. helix* “Gracier”, *H. colchica* Koch. の生存が一部で認められているに過ぎない。

緑化関係者に聞き取り調査した結果でも「帯広や札幌でも過去にヘデラ属を植栽したが、多くの場合、冬の寒さに耐えられず、枯損した」ということが指摘されている。

また、ヘデラ属植物の耐寒性については  $-15 \sim -20^{\circ}\text{C}$  までである<sup>2)</sup>などの指摘もされているが、その論拠も十分ではない。さらに、*H. helix* “Thorndale” を自然条件下及び人工冷凍装置を利用し馴化させた後、器官組織の生存温度を TTC テストによって実験した結果では最低  $-37.2^{\circ}\text{C}$  であること<sup>3,4)</sup>が報告されている。これは植物体本体から摘出した一部の組織のことであり、植物体全体の生存温度を解明することには至っていない。したがって、ヘデラ属植

物がどの程度の低温条件まで生育可能かどうか、つまり、その耐寒性の度合を究明することはヘデラ属植物のより広範な利用を考える上で極めて重要なことになる。

本実験においては、その手始めとして、ヘデラ属植物各種が、どの程度の低温状態になると被害が発現するか、さらには低温臨界温度（個体の半数が枯死に至る生存の臨界点となる低温 =  $T_{k50}$ ）<sup>5)</sup>、最低致死温度（全ての個体が枯死に至る低温）の 3 点の究明を意図した。なお、植物の耐寒性の度合は、栽培条件あるいは生育季節や生存を左右する低温に曝される前の生育温度環境の違い、つまりハードニングの程度によっても微妙に変化する。この点も含めて本研究においては低温臨界温度や最低致死温度を多角的に検証するために人工環境気象室でのハードニングプロセスの有無によって ①人工ハードニング実験 ②無ハードニング実験、ならびに屋外で真冬期まで栽培した ③自然ハードニング実験の 3 通りの実験を行った。

## 実 験

### 1. 人工ハードニング実験

#### (1) 実験目的

実験ポットで養生しておいた供試個体を人工環境気象室内に入れ、その後、段階的に温度を下げる、つまり、ハードニング処理を行い、被害が発現する温度、枯死に至る温度を確認する目的で行った。

#### (2) 実験方法

##### (A) 供試植物

供試植物は *H. helix* L., *H. helix* “Baltica”, *H. canariensis* Willd., *H. canariensis* “Variegata”, *H. rhombea* Bean の 5

\* 東京農業大学大学院農学研究科農学専攻

\*\* 東京農業大学地球環境科学部造園科学科

種類である。

排水層として砂利 1.5 kg, 川砂 0.5 kg, 土壌層として黒土 (関東火山灰表土) 1.5 kg を充填した 1/5,000 a のワグネルポットにヘデラの枝長 30~60 cm, 3 本立のポット苗を植え付け、東京農業大学研究棟屋上 (東京都世田谷区) にて 1999 年 6 月 8 日~同年 9 月 3 日まで 87 日間、養生したものを実験に供した。養生期間中、給水は気象条件と生育具合を見極めながら行った。1 回の給水量は 500 cc とした。

#### (B) 供試植物の被害・枯死の判定方法

実験中、人工環境気象室の温度が低下するに従い、発現すると予測される茎葉の被害症状の程度を視覚的にとらえるため、ヘデラの茎葉の外観から 6 段階の基準、つまり 0: 健全 (被害無し), 1: やや茎葉の一部に被害が見られる, 2: かなり被害がはっきり現れる, 3: 被害が非常に顕著となる, 4: 枯死寸前, 5: 枯死, を設け、継続的に観察調査した。

#### (C) 人工環境気象室と温度設定について

実験は写真 1 に示す人工環境気象室で行った。すなわち、養生が終わった供試植物を人工環境気象室に入れ、 $-20^{\circ}\text{C}$  まで  $2^{\circ}\text{C}$  刻みで 48 時間単位で温度を下げた。この温度は酒井<sup>2)</sup>の報告を参考に設定したものである。

人工環境気象室 (小糸工業社製) の寸法は縦、横、高さ 170 cm  $\times$  200 cm  $\times$  190 cm で、室内の照度は温度条件が  $-15\sim-5^{\circ}\text{C}$  の時は 5,000 LUX,  $-5\sim 20^{\circ}\text{C}$  の時は 15,000 LUX であった。また、この時、光合成有効光量束密度は  $-214\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$  で光周期 (photoperiod) は明・暗 12 時間切替え、湿度は 80% 内外とした。

所定の温度に達した供試植物は隣接する  $5^{\circ}\text{C}$  に設定した人工環境気象室内で解凍させた後、同大学研究棟の屋上にて再生状況を観察した (写真 2, 3)。

#### (3) 実験結果

実験中、人工環境気象室の温度が低下するに従い、発現する被害症状を基準に従って判定した結果を表 1 に示す。

人工環境気象室の設定温度が  $0^{\circ}\text{C}$  以下になると葉が凍結されたような状態となり、当初、想定したような低温に従って出現する被害症状やその進行度合は外観からはあまり判別できなかった。

外観からある程度、茎葉の一部に被害の発現が認められた温度は *H. helix* L. で  $-6^{\circ}\text{C}$ , それ以外の種類については  $-2^{\circ}\text{C}$  であった。

低温曝露の後、個体を解凍させ、屋外における新芽の再生状態 (写真 3) から供試植物ごとの各設定温度における個体の生存の有無を判定した結果を表 2 に示す。

*H. helix* L. については、 $-6^{\circ}\text{C}$  までは全数生存したが、それ以下の温度から被害が始め、 $-8^{\circ}\text{C}$  で 3 個体中 1 個体が枯死し、 $-10^{\circ}\text{C}$  では 3 個体中 2 個体が枯死した。そして、 $-12^{\circ}\text{C}$  になると全ての個体が枯死した。

*H. helix* “Baltica” については、 $-2^{\circ}\text{C}$  から被害が始め、 $-2, -6, -8^{\circ}\text{C}$  の各実験区でそれぞれ 2 個体が枯死した。なお、 $-4^{\circ}\text{C}$  実験区の供試植物はなんらかの原因で全ての個体が枯死した。

*H. canariensis* Willd. については、 $-2^{\circ}\text{C}$  から被害が出

始め、 $-2, -6^{\circ}\text{C}$  の実験区で 2 個体が枯死した。 $-4^{\circ}\text{C}$  の実験区の供試植物はなんらかの原因で全ての個体が枯死した。



写真 1 人工環境気象室 (小糸工業社 KG-266L-s 型) にての実験風景



写真 2 再生中のヘデラ属植物 5 種 (東京農業大学研究棟の屋上)



写真 3 新芽再生中の *H. helix* L.



表 1 視感による被害度の判定結果

| 実験区                                 | -2℃ | -4℃ | -6℃ |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|
| 供試植物                                |     |     |     |
| <i>H. helix</i> L.                  | 0   | 0   | 1   |
| <i>H. helix</i> “Baltica”           | 1   | 1   | 1   |
| <i>H. canariensis</i> Willd.        | 1   | 2   | 2   |
| <i>H. canariensis</i> “Variegata” 2 |     | 2   | 2   |
| <i>H. rhombea</i> Bean              | 1   | 1   | 1   |

注)被害度

0 : 健全、被害無し

1 : やや茎葉の一部に被害が見られる

2 : かなり被害がはっきりとして現れる

表 2 新芽の再生状態から見た各実験区の生存個体数

| 実験区                               | -2℃ | -4℃ | -6℃ | -8℃ | -10℃ | -12℃ |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 供試植物                              |     |     |     |     |      |      |
| <i>H. helix</i> L.                | 3   | 3   | 3   | 2   | 1    | 0    |
| <i>H. helix</i> “Baltica”         | 1   | 1   | 0   | 1   | 0    | 0    |
| <i>H. canariensis</i> Willd.      | 3   | 0   | 1   | 0   | 0    | 0    |
| <i>H. canariensis</i> “Variegata” | 2   | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    |
| <i>H. rhombea</i> Bean            | 0   | 0   | 1   | 0   | 0    | 0    |

注)表中の数値は3個体中の生存個体数を示す

*H. canariensis* “Variegata” については、-2℃の実験区で2個体が生存し、それ以下の温度区では全ての個体が枯死した。

*H. rhombea* Bean については、-6℃の1個体を除き、全ての個体が枯死した。

今回、供試した5種全てが-12℃になると枯死した。

## 2. 無ハードニング実験

### (1) 実験目的

ハードニングプロセスを経た実験で *H. canariensis* Willd. の場合は-6℃、*H. helix* L. の場合は-10℃まで、その一部が耐えることが認められた。本実験ではハードニングプロセスを経ずに一気に0℃から段階的に、-6℃、-10℃まで温度を下げた場合、また、-6℃、-10℃の低温に曝される時間の長短によって上記の2種がいかなる耐性を示すかを明らかにすることを目的に行った。

### (2) 実験方法

実験方法等については前述した人工ハードニング実験と同様の要領で行った。つまり、土壌、給水、人工環境気象室、光条件、光周期、湿度などを同じ条件、方法、装置で行った。供試植物は2000年3月3日から5月14日まで72日間養生した。

養生が終わった供試植物を人工環境気象室に入れ、温度が徐々に下がる段階的冷却経路と冷却速度の速い急速冷却

経路の2通りの内容の実験を行った。段階的冷却経路の実験においては、0℃から *H. helix* L. では-10℃、*H. canariensis* Willd. では-6℃にするために、1日単位で1℃、あるいは2日単位で2℃ずつ2通りの要領で10日間、6日間かけ段階的に下げ、その後、-10℃あるいは-6℃に曝す時間を1, 6, 12, 48時間の4段階とした。

急速冷却経路の実験においては、*H. helix* L. においては、0℃から-10℃にするために、1日で一気に、2日をかけ5℃刻みで、5日かけ2℃刻みの3通りの要領で温度を下げた。*H. canariensis* Willd. においては、0℃から-6℃にするために、1日で一気に、3日かけ2℃刻みの2通りの要領で温度を下げた。その後、*H. helix* L. においては-10℃、*H. canariensis* Willd. においては-6℃に曝す時間を1, 6, 12, 48時間の4段階とした。各実験区の供試植物は3個体とした。

### (3) 実験結果

ハードニングプロセスを経ずに一気に0℃まで温度を下げる、その後、*H. canariensis* Willd. においては-6℃、*H. helix* L. においては-10℃まで段階的あるいは急速に温度を下げた場合、1, 6, 12, 48時間の4段階に設定した曝露時間の長短にかかわらず、新芽の再生状態から判定した結果では、いずれの植物も全ての個体が枯死した。つまり、ハードニング処理を施した前述した実験の場合、曝露時間が48時間であったにもかかわらず *H. canariensis* Willd. であれば-6℃、*H. helix* L. であれば-10℃まで生存する個体が見られた。一方、ハードニング処理を行わなかった場合には低温に曝される時間が最短で1時間と短かったにもかかわらず同じ温度域でも生存する個体は見られず、全て枯死した。

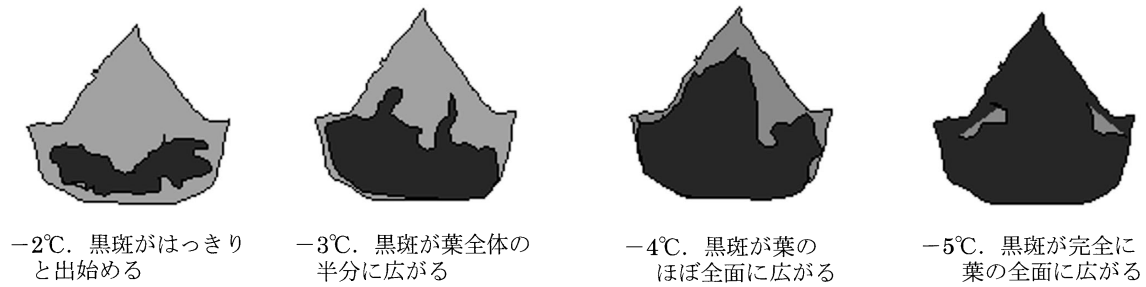
なお、本実験では、低温による細胞内凍結で組織が枯死した結果の外部形態への表出と考えられる黒斑が一定温度以下になると徐々に現れ、次第に葉全体に広がっていく現象が顕著に観察された。因みに *H. helix* L. は-2℃で黒斑が現れ、-4℃になると徐々に広がり、-8℃になると葉全体に広がった。

*H. canariensis* Willd. では写真4に示す通り-1℃で黒斑が現れ、-3℃になると徐々に広がり、-4℃になると葉全体に広がった。この状況を模式的に示すと図1の通りとなる。今後、この黒斑の現象と細胞内凍結との関係を細胞学的に究明することは、低温によるヘデラの被害のメカニズムを究明する1つのポイントとなることが示唆された。

## 3. 自然ハードニング実験

### (1) 実験目的

植物の耐寒性の度合、つまり低温臨界点は、それまでのような温度条件下で生育あるいは栽培されていたかという履歴によっても左右されることは先にも述べた。この点をより明らかにするために、本実験では真冬時まで屋外で栽培、つまり自然状態でハードニングされていたヘデラ属植物（露地栽培区：自然馴化区）の耐寒性、低温臨界点がどの程度影響を受けるのかを先に行った人工ハードニング処理の有無による実験結果、さらに、真冬時まで温室で栽

図 1 *H. canariensis* Willd. の葉の黒斑の出現状況模式

培していた苗（温室栽培区）と比較することによって検証することを意図した。

## (2) 供試植物

*H. helix* L. と *H. canariensis* Willd. 2 種を供した。露地栽培区（自然馴化区）の供試植物はそれぞれ 2000 年 3 月 3 日から 2001 年 2 月 8 日まで 342 日間大学研究棟の屋上で養生した。温室栽培区に供する植物は同期間まで温室栽培した当年幼苗を利用することにした。また、各実験区に供する植物はそれぞれ 4 個体とした。

## (3) 実験方法

実験方法については先に述べた実験と同様の要領で行った。屋外と温室で養生しておいた 2 種の供試植物を 2001 年 2 月 9 日に 2℃ で設定しておいた人工環境気象室に入れ、以下に示す所定の実験温度まで、まず 48 時間単位で 2℃ 刻みで下げた。その後、*H. helix* L. については −6, −8, −10, −12, −14, −16, −18℃ の 8 段階、*H. canariensis* Willd. については −2, −4, −6, −8, −10, −12℃ の 6 段階の低温条件下にそれぞれ 48 時間曝し、その後 5℃ に設定された別の人工環境気象室に移し、48 時間かけ解凍させた後、本学研究棟の屋上にて再生状況を観察した。

## (4) 実験結果

### (A) *H. helix* L.

露地栽培区（自然馴化区）においては、−10℃ までは 4 個体全てが、−12℃ では半数の 2 個体が、−14℃ では 1 個体のみが生存し、−16, −18℃ では 4 個体全てが枯死した。一方、温室栽培区においては、−8℃ までは 4 個体全てが、−10℃ では半数の 2 個体が生存していたが、−12℃ 以下の温度区では全ての個体が枯死した。この結果は先にを行ったハードニング実験とほぼ同様な傾向を示した。

以上の結果、露地栽培区、つまり、真冬時まで屋外で栽培され、自然ハードニングされた個体の低温臨界温度、最低致死温度は人工ハードニング、温室栽培された個体よりも 2℃ 以上明らかに耐性が強まる事が判明した（表 3）。

### (B) *H. canariensis* Willd.

露地栽培区（自然馴化区）においては、−4℃ までは 4 個体全て、−6℃ では 1 個体のみが生存していたが、−8℃ 以下の温度区では全ての個体が枯死した。一方、温室栽培区においては、−2℃ までは 4 個体、−4℃ までは半数の 2 個体が生存し、−6℃ 以下では全ての個体が枯死した。

写真 4 *H. canariensis* Willd. の −1℃ の黒斑の出現状況表 3 *H. helix* L. 新芽の再生状態からみた各供試植物の生存個体数

|         | 露地栽培区(自然馴化区) |    |     |     |     |     |     |  | 温室栽培区 |    |     |     |     |     |     |   |
|---------|--------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|--|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| 設定温度(℃) | −6           | −8 | −10 | −12 | −14 | −16 | −18 |  | −6    | −8 | −10 | −12 | −14 | −16 | −18 |   |
| 生存個体数   | 4            | 4  | 4   | 2   | 1   | 0   | 0   |  | 4     | 4  | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |

注)表中の数値は 4 個体中の生存個体数を示す

表 4 *H. canariensis* Willd. 新芽の再生状態からみた各実験区の生存個体数

|         | 露地栽培区(自然馴化区) |    |    |    |     |     |  |  | 温室栽培区 |    |    |    |     |     |  |  |
|---------|--------------|----|----|----|-----|-----|--|--|-------|----|----|----|-----|-----|--|--|
| 設定温度(℃) | −2           | −4 | −6 | −8 | −10 | −12 |  |  | −2    | −4 | −6 | −8 | −10 | −12 |  |  |
| 生存個体数   | 4            | 4  | 1  | 0  | 0   | 0   |  |  | 4     | 2  | 0  | 0  | 0   | 0   |  |  |

注)表中の数値は 4 個体中の生存個体数を示す

つまり、露地栽培区に比較して明らかに耐寒性が劣ることが判明した（表 4）。

### 結論と今後の課題

ヘデラ属植物の耐寒性を究明するため、事前にある程度の低温に曝すハードニング処理を変えた3通りの内容の実験を行なった。これらの結果からヘデラの種類間、また、ハードニング処理の仕方によっても耐寒性の度合は異なることが判明した。

利用頻度の高い *H. helix* L. と *H. canariensis* Willd. の2種について、本研究に得られた実験結果を基に、低温による細胞外凍結等により被害が顕著に発現する温度、低温臨界温度、最低致死温度の3点について総括する。

*H. helix* L. では、ハードニング処理した場合には、低温による被害が発現する温度は $-6^{\circ}\text{C}$ 、低温臨界温度は概ね $-9\sim-12^{\circ}\text{C}$ の範囲であること、最低致死温度は $-16^{\circ}\text{C}$ 内外であること、ただし、ハードニング処理をしないと $-10^{\circ}\text{C}$ でも枯死することが明らかになった。

*H. canariensis* Willd. については、ハードニング処理をした場合には、低温により被害が発現する温度は $-2^{\circ}\text{C}$ 、低温臨界温度は概ね $-3\sim-6^{\circ}\text{C}$ の範囲であること、最低致死温度は $-8^{\circ}\text{C}$ 内外であること、ただし、ハードニング処理しないと $-6^{\circ}\text{C}$ でも枯死することが明らかとなった。*H. helix* L. に比べると明らかに低温に対する耐性が劣ることが判明した。

今回の実験結果から言えば、ヘデラ属植物の最低致死温

度は酒井の指摘する $-15\sim-20^{\circ}\text{C}$ より少し高い温度域にあるようである。いずれにしても前述したように冬季の最低気温の極値平均が $-14$ あるいは $-23^{\circ}\text{C}$ になる札幌や帯広で植栽したヘデラが枯死したと指摘された事実をほぼ裏付ける結果と言える。

今回の実験は植物体の再生状態から枯死の判定を行ったが、今後は顕微鏡学的、細胞学的な判断で、より厳密に低温臨界温度、最低致死温度の検証が必要となる。また、ヘデラ属植物の低温に対する耐性は、土壌水分、栄養状態、冠雪の程度等の栽培条件や環境条件によっても左右される。これらの点についても今後の究明が必要となる。

### 参考文献

- 1) 日本植木協会, 1993. グラウンドカバープランツ, ワールドグリーン出版, 東京, 225-237.
- 2) 酒井 昭, 1985. 植物の寒冷適応, 学会出版センター, 東京, 349.
- 3) STEPONKUS, P.L. and LANPHEAR, F.O., 1967. Factors influencing artificial cold acclimation and artificial freezing of *H. helix* "Thorndale". *Proc. Amer. Soc. Hor. Sci.* **91**, 735-741.
- 4) STEPONKUS, P.L. and LANPHEAR, F.O., 1968. The role of light in cold acclimation of *H. helix* L., var "Thorndale" *Plant Physiol.* **43**, 151-156.
- 5) LEVITT, J., 1980. *Responses of plant to environmental stresses. Second ed., Vol 1. Chilling, Freezing and High Temperature Stress*, Academic Press, New York, 133-134.

## Experimental Studies on the Freezing Tolerance of genus *hedera*

By

Bugeun SEONG\* and Mitsuo KONDO\*\*

(Received May 31, 2001/Accepted September 20, 2001)

**Summary** : The experiments which analyze the lowest survival point and the lethal point of genus *hedera* have been held under hardening and non-hardening conditions. Three experimental categories have been prepared. First is the step down process, *ie.*, acclimatic freezing process and the second is the plunged process which started at  $20^{\circ}\text{C}$  and  $0^{\circ}\text{C}$ . The third is the semi-step down process which started at  $2^{\circ}\text{C}$ , used seasonal materials hardened during autumn and winter seasons. Freezing and thawing work were clone inside the artificial control chamber. The results and explanations are as follows. The most durable one is, *H. helix* L., down up to  $-9\sim-12^{\circ}\text{C}$ , in which the lowest survival point and lethal point is  $-16^{\circ}\text{C}$ . The lowest survival and lethal point of *H. canariensis* Willd., are  $-3\sim-6^{\circ}\text{C}$  and  $-8^{\circ}\text{C}$ .

**Key Words** : Genus *hedera*, Freezing Tolerance, Lowest temperature, Lethal temperature, Hardening

\* Department of Agricultural Science, Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture

\*\* Department of Landscape Architecture Science, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture