

【特 集】さし木技術の進展と将来展望

難発根性果樹カキのさし木

鉄村 琢哉^{*,1}

はじめに

中国原産の果樹であるカキ (*Diospyros kaki* Thunb.) は、さし木してもほとんど発根しないと言われており、栽培品種を接ぎ木して苗木生産されている。喬木性果樹のカキは、低樹高化による作業軽減等を目的とした種々の栽培技術の改良が行われており、その1つとしてわい性台木の利用も考えられてきた。しかし、わい性台木を増やすためには、実生を使った種子繁殖ではなく、栄養繁殖が前提となるため、さし木繁殖の困難なカキのわい性台木に関連する研究は、根ざし繁殖や中間台木としての利用が中心であった (大井上 1936 ; 磯田 1988 ; 山田ら 1988 ; 真子ら 2000 ; Koshita et al. 2007)。カキ園において、根から発生する新梢 (園芸科学的には「ひこばえ」と呼ぶが、一般的に「ひこばえ」は切り株から生えてくる新梢を指すので、今後はルートサッカーと記述) は容易に観察される。カキの根ざし繁殖は古くより試みられていたが、繁殖効率性に問題があり、実用化することはなかった。また、二重接ぎによる中間台木としてのわい性台木利用は、ある程度のわい化効果が得られたものの、根の部分は依然として実生であり、果実生産性等の問題もあることから、実用化レベルまでには至っていない。

一方、緑枝さし穂を使った実験も行われており、発根に成功している (塚本ら 1959 ; 町田・藤井 1969 ; 村田ら 1983)。しかし、材料が非常に若い実生であったり、黄化処理という煩雑な操作が必要であったりと、必ずしも実用化に直結したものではなく、カキのさし木繁殖は困難であるという認識は変わらなかった。その様な状況の中、1980年半ば頃からのバイテクブームの影響により、果樹の組織培養の研究も進み、カキについても苗木生産を目指した試験管内増殖 (茎頂培養) の試みが行われた。しかしここでも、シュートの増殖はできるものの、発根、それに続く鉢上げ・順化は難しく、マイクロプロパゲー

ションの実用化にはいくつものハードルを越える必要があった (鉄村ら 1991, 1993)。

試験管内発根の改良

著者らもカキシュートの発根培地の改良による発根率の向上を目指したが、満足できるような結果は得られなかった。ただ、シュート増殖に用いるサイトカイニンの種類がその後の発根に影響を及ぼすことがわかったため (鉄村 1991 ; Tetsumura 1997)、植物成長調整物質等を発根培地に添加するような外生処理方法の改良よりも、シュートの生理的状态を変える方が発根率向上に結びつくと考えられるようになった。そこで、試験管内で発生した根をシュートから切り分け、切り分けた根をサイトカイニンとオーキシンを含むMS培地に植え付けたところ、不定芽が分化して多数のシュートを得ることができた (写真-1, Tetsumura and Yukinaga 1996)。そして、それらのシュートと、根を発生した元のシュートの発根能力とを比較したところ、根から分化したシュート



写真-1 試験管内で発根したカキ‘次郎’根を切り取り、各種植物成長調節物質を含むMS培地上に置床し、発生したシュート

* E-mail: tetsumur@cc.miyazaki-u.ac.jp

¹てつむらたくや 宮崎大学農学部植物生産環境科学科

の方が発根能力は高いということがわかった (Tetsumura and Yukinaga 2000)。4品種を用いての比較であったが、もともと発根能力の低い品種の場合は、発根率が倍になり、高い品種の場合は、発根速度が速く (発根処理後、最初に根が観察される日数が短く) になった。一方、シュートそのものの見た目や成長速度は変わらず、また、カルスを経ずに直接、不定芽を分化した根の内鞘組織は変異を生じにくい場所 (Bhat et al. 1992) であるため、根から分化したシュートは生理的に発根能力が高くなったものの遺伝的に変異している可能性は低く、大量クローン増殖技術として根から分化したシュートの使用は適していると考えられた。

試験管外発根の試み

試験管内での発根率の向上に成功したので、次は試験管外、すなわちさし木試験を行った。試験管内増殖により得た‘次郎’および‘西村早生’の自根樹の地上部を伐採し、根を露出させてルートサッカーが容易に発生するようにし、実生台木接ぎ木樹からのさし穂と同様に材料を得た。実験当初、発根の困難な樹種のさし木手法に従い、さし穂をできるだけ長く調整し、半分に切った葉2枚を付けて、オーキシシン (IBA) 処理を行った後、簡易ミスト室でさし木したが、さし穂の材料の由来に関わらず、さし木して30日後には全て枯死してしまった。そこで、さし穂の長さを変えてさし木したところ、長さ3~4 cm、1芽1葉の葉芽さし穂の生存率は高く、また良好に発根し、その中でもルートサッカー由来のさし穂が発根率は最も高く、試験管内での実験と同じ結果になった (写真-2、Tetsumura et al. 2001)。この2品種の最適さし木時期は6月下旬であったが、7月下旬でも十分発根する場合 (Tetsumura et al. 2000) や、6月中旬と8月中旬は高発根率だが7月中旬は低い場合 (Tetsumura et al. 2011) など、クローンによって違いはみられたものの、一般的には入梅後の6月にさし木すると発根率は最も高い。さし穂基部へのIBA処理は必要条件ではあるものの、低濃度長期浸漬処理 (25 ppm, 24時間) と高濃度瞬間浸漬処理 (3000 ppm, 5秒間) で発根率に違いはないため (Tetsumura et al. 2001)、多くのカキさし木実験では簡便な瞬間浸漬処理が用いられている。

商業的なさし木繁殖を行う場合、さし穂採取用母樹を毎冬に地上部の低いところへ切り戻し、ヘッジとして維持することが推奨されている。ヘッジからは強勢な新梢が発生し (写真-3)、幼若性も維持されているも



写真-2 ルートサッカーから採取し、発根したカキ‘西村早生’葉芽さし穂



写真-3 毎冬、地上部40 cmの高さで切り戻し、強勢な新梢が発生しているカキわい性台木候補KD-1のヘッジ。左奥の物差しの長さは1 m。

のと考えられ、さし穂の発根能力も高いと考えられている (Hartmann et al. 1997)。一方、さし穂採取用母樹を試験管内増殖した苗から育成すると発根率が高まることも知られている (Howard et al 1989a, 1989b)。そこで、カキのさし木でも同様のことを試みた (Tetsumura et al. 2002)。「次郎」および「西村早生」では、試験管内増殖した苗より作成したヘッジ由来のさし穂は、ルートサッカー由来のさし穂と同等の発根率であったが、「平核無」では依然としてルートサッカー由来のさし穂の方が発根率は高く、ルートサッカーをさし穂として使用する優位性は逆転しなかった。もちろん、実生台木に接いだこれらの品種のヘッジ由来のさし穂の発根率は極端に低かった。

わい性台木のさし木

さし木によって増殖した‘西村早生’自根樹は、マイクロプロパゲーションによって得られた自根樹よりも小さかったものの、実生台木接ぎ木樹よりは大きく、わい化したカキ樹を作るにはわい性台木の利用が必要であることがわかった(鉄村ら 2003)。カキ園には、同じ様な肥培管理をしているにも関わらず、ごく稀に小さい樹が存在する。穂木は同じ品種なので、これは台木による影響だと考えられる。その台木は遺伝的にカキ樹を小さくする能力、すなわち、わい性台木の可能性がある。著者らはそのような樹を選び、地上部を伐採し、根から多くのルートサッカーを得た(写真-4)。また、自然にルートサッカーを発生している場合は、地上部を伐採することなくさし穂材料を得ることができた(写真-5)。ルートサッカー由来のこれらのさし穂の発根率は



写真-4 地上部を伐採し、根の周囲の土を取り除いた後に発生したカキわい性台木候補 KD-1 のルートサッカー



写真-5 岡山県農林水産総合センター内のカキ‘西条’系統保存園でわい化していた樹。矢印は自然に発生していたルートサッカー。

は予想通り高かったが、その発根能力にはクローン間差が存在した(Tetsumura et al. 2003)。そして、これらのさし穂を用い、最適なさし木時期の検討だけでなく、ルートサッカーにおける位置、さし木用土やさし木床の種類についても検討した。ルートサッカーの柔らかい先端部分と基部を除いて、上から順番をつけてさし木した結果、発根率に差はなく、1本のルートサッカーから多くの葉芽さし木苗を得られることがわかった(Tetsumura et al. 2000)。また、さし木用土は、果樹のさし木に一般的に使用されるピートモスと鹿沼土の1対1の混合土でも、さし木専用土(メトロミックス 360)でも高発根率が得られ、一方、さし木床は、樹木さし木用プラグトレー(200 ml/プラグ)でも網かご(20本/20L)でも発根率は同じだった(写真-6, Tetsumura et al. 2003)。ただ、メトロミックス 360を入れた樹木さし木用プラグトレーにさし木すると、発根した苗の根鉢はしっかりし、移植の際の取り扱いが楽であった(写真-7)。さし木用土についてさらに検討したところ、ボラ土へのさし木は発根率が低下し(Tetsumura et al. 2011)、バーミキュライトにさしても発根率は低かった(鉄村ら未発表)、複数の用土を混ぜることが必要なのかもしれない。

葉芽さし穂を用いたさし木はミスト室内で行っている。実験当初、寒冷紗で覆った屋根かけハウス内でミスト噴霧を行っていたため、高湿度を保てず、さし木直後に葉が巻いていた。そこでハウス全体をビニルで覆い、換気ファンにより40℃以下に保つようになれば、葉巻現象は無くなった。しかし、真夏の昼間は換気ファンが常時作動している状態なので、15分毎に30秒間ミストを噴霧しても相対湿度は50%近くにまで低下する。そのような環境条件下では、葉は萎れてしまい、一時的とはいえ、さし木には好ましい環境ではなかった。わい性台木候補の1つであるFDR-1は他のクローンと比較して発根率が低かったので何らかの改善を行う必要があった。そこで、寒冷紗下のガラス室内にビニルで完全密閉する部屋を作り、その中に細霧装置を導入した。細霧装置はミスト装置よりも細かい霧(フォグ)を噴霧するもので、ミストの水滴の大きさは50~100 μm程度なのに対し、フォグの水滴は2~40 μm程度とされている(Mee 1994)。この細かいフォグ水滴は空气中を漂うため、高い空中湿度を維持できる。ただし、密閉した室内では、凝集しながら徐々に落下する(施設園芸や畜舎等で用いられる細霧冷房は、空中湿度が低いいためフォグ水滴が落下する前に気化し、その気化冷却によって気温低下をもたらす)ため、頻りに噴霧する必要があるが、さし床付近はほぼ100%の相対湿度を



写真-6 さし床の種類。左：樹木さし木用トレー、右：網かご。用土は鹿沼土とピートモスの混合土 (1:1)。葉芽さし穂はルートサッカー由来の‘次郎’。



写真-7 プラグトレーにさし木し、発根したカキわい性台木候補 KD-1。さし木用土、左：鹿沼土とピートモスの混合土 (1:1)、右：メトロミックス 360。

維持でき、そこで FDR-1 のさし木を行うと発根率が向上した (Tetsumura et al. 2016)。基本的に、日中、1 分間休止と 30 秒噴霧を繰り返す設定としたが、使用する水量はミスト装置の 5 分の 1 であり、さし穂葉からのリーチングが減り、さし木 2 カ月後の調査時の葉色は濃かった。また、フォグ室内のさし木用土は、ミスト室内の用土のように過剰な水分を含むこともなく、藻類はほとんど発生しなかった。

一方、FDR-1 の発根率向上は発根処理に使用する IBA の濃度を 6,000 ppm に高めることによっても達成できた (Tetsumura et al. 2016)。多くの葉芽さし穂では、IBA 濃度 3,000 ppm で 5 秒間浸漬処理により、満足できる発根率

が得られており、発根処理に用いる植物成長調整物質の処理方法等に関する検討はほとんど行っていない。今後、FDR-1 のような低発根率を示すクローンの栄養繁殖が必要となった際は、その検討が必要であろう。

ルートサッカー由来のさし穂の高発根能力

ルートサッカーをさし穂にしてさし木すると高い発根率を得られることを示してきたが、カキ以外で行ったことはない。ニホングリ (*Castanea crenata* Siebold & Zucc.) で同様の実験を試みたが、地上部を伐採しても

ルートサッカーを発生することなく枯死してしまった。また、ルートサッカー由来のさし木苗からヘッジを作り、その新梢からさし穂を作ってさし木をしても、発根率が低くだけでなく、根数も少なく根長も短かった。また、さし木翌年においても生存率も低く成長も劣ったことから、充実したさし木苗を得るためにはルートサッカーから直接さし穂を作ることが重要であると確認されている (Tetsumura et al. 2009, 2011)。ルートサッカーの高発根性は、根が幼若性を維持している影響だと考えられるが、ルートサッカー由来のさし木苗を接ぎ木せずに生育させると、翌年には着花し開花後は結実するので、幼若期の長いことで有名なカキが、幼若期から1年で成木期になるとは考えられない (クローンによってはさし木した当年に新梢が発生し着花することすら確認されている)。

ルートサッカー由来および実生台木接ぎ木樹の新梢由来の葉芽さし穂基部の顕微鏡観察を行ったところ、さし木前の厚膜組織の発達の違いを確認できたが、そのことよりも発根処理後の形成層における細胞分裂速度の違いの方が根原体形成に大きく影響を及ぼしていると思われた (Tetsumura et al. 2001)。いずれのさし穂にもIBA処理を行っているのだが、ルートサッカー由来のさし穂の高い発根能力が、オーキシンに対する反応性が高いからなのか、あるいは内生オーキシン量が多いからなのか、それとも細胞分裂を引き起こす内生サイトカイニン量が多いことによるためなのかはいまだ不明であり、今後確かめていきたい。なお、ルートサッカー由来のさし穂の発根は、さし木2ヶ月以内にほぼ完了する。そのため今までの実験では、さし木2ヶ月後に全てのさし穂を掘り上げて発根調査を行っていた。ところが、さし床の下から根が確認できたさし穂から順次鉢上げする一方、未発根のものをそのまま放置しておいたところ、ヘッジ由来のさし穂については、さし木してから2ヶ月以降も少しずつ発根し、5ヶ月後には2ヶ月後の2~3倍の発根率となっていたことが最近わかった (鉄村ら未発表)。これらのクローンは、ある程度の発根能力をもつものの、ヘッジ由来のさし穂では発根するのが遅くなるものと思われた。これは、試験管内での結果と同じであり (Tetsumura and Yukinaga 2000)、今後の研究の方向性を示すものと思われた。

おわりに

著者らの実験に主に使用しているわい性台木であれ

ば、6月にルートサッカーを採取し、葉芽さし穂に調整し、その基部をIBA濃度3,000ppmの50%エタノール水溶液に5秒間浸漬した後、メトロミックス360を入れたさし木床に植え、遮光したミスト室内で2カ月間管理すれば、100%の発根率が得られる。現在、このわい性台木だけでなく、他のわい性台木でもさし木繁殖が試みられているが、少しずつ最適条件が異なっているようである。同じカキとはいえ、遺伝子型が異なるので、当然のことであろう。ただ、ルートサッカーを利用すれば発根率が高まるのは間違いないものと考えている。日本以外ではカキの台木にはカキではなく、イスラエルなどではアメリカガキ (*D. virginiana* L.)、中国やヨーロッパなどではマメガキ (*D. lotus* L.) が使用されており、これらの優良台木のクローン増殖を目的として、ルートサッカーが実験に供試されている。カキ属だけでなく、他の多くの属でもこの手法が試みられ、良い結果が得られることを期待している。

引用文献

- Bhat SR, Chitralekha P, Chandel KPS (1992) Regeneration of plants from long-term root culture of lime, *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swing. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 29: 19–25
- Hartmann HT, Kester DE, Davies FT, Geneve RL (2014) Hartmann and Kester's plant propagation: principles and practices (8th ed). Pearson Education Limited, Essex
- Howard BH, Jones OP, Vasek J (1989a) Long-term improvement in the rooting of plum cuttings following apparent rejuvenation. *Journal of Horticultural Science* 64: 147–156
- Howard BH, Jones OP, Vasek J (1989b) Growth characteristics of apparently rejuvenated plum shoots. *Journal of Horticultural Science* 64: 157–162
- 磯田竜三 (1988) ロウアシ (老鴉柿) の二重接ぎによる西条ガキのわい化樹養成について. 広島農業短期大学研究報告 8: 479–482
- Koshita Y, Morinaga K, Tsuchida Y, Asakura T, Yakushiji H, Azuma A (2007) Selection of interstocks for dwarfing Japanese persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) trees. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 76: 288–293
- 町田英夫・藤井利重 (1969) さし木における発根促進処理と不定根形成に関する研究. 東京教育大学農学

- 部紀要 15: 45–92
- 真子伸生・吉田安伸・本美善央・坂野 満・木村伸人・榑原正義 (2000) 中間台木によるカキの生育抑制. 愛知県農業総合試験場研究報告 32: 129–133
- Mee TR (1994) Understanding fog technology. Combined Proceedings International Plant Propagators' Society 44: 350–353
- 村田隆一・大石良平・沖嶋秀史 (1983) 西村早生柿のわい化現象の解明と利用に関する研究 (第3報) 強勢樹とわい性樹の黄化緑枝ざしについて. 滋賀県農業試験場報告 25: 71–75
- 大井上 康 (1936) 実生甲州百目柿の根挿に於けるCとNの注入の影響. 園芸学会雑誌 7: 205–206
- Tetsumura T (1997) Effect of types of cytokinin used for in vitro shoot proliferation of Japanese persimmon on the subsequent rooting of shoots. Acta Horticulturae 436: 143–148
- Tetsumura T, Yukinaga H (1996) High-frequency shoot regeneration from roots of Japanese persimmon. HortScience 31: 463–464
- Tetsumura T, Yukinaga H (2000) Comparative rooting of shoot tips of four Japanese persimmon cultivars vs. shoots regenerated from roots cultured in vitro. HortScience 35: 940–944
- 鉄村琢哉・田尾龍太郎・杉浦 明 (1991) サイトカイニンの種類がカキの *in vitro* 繁殖に及ぼす影響. 植物組織培養 8: 209–211
- 鉄村琢哉・田尾龍太郎・行永壽二郎 (1993) カキ '西村早生' 組織培養個体の順化に及ぼす要因とその圃場生育. 園芸学会雑誌 62: 533–538
- Tetsumura T, Tao R, Sugiura A (2000) Single-node stem cuttings from root suckers to propagate a potentially dwarfing rootstock for Japanese persimmon. HortTechnology 10: 776–780
- Tetsumura T, Tao R, Sugiura A (2001) Some factors affecting the rooting of softwood cuttings of Japanese persimmon. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 70: 275–280
- Tetsumura T, Tao R, Sugiura A (2002) Rooting of cuttings from micropropagated stock plants of Japanese persimmon. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 71: 382–384
- Tetsumura T, Tao R, Sugiura A, Fujii Y, Yoda S (2003) Cutting propagation of some dwarfing rootstocks for persimmons. Acta Horticulturae 601: 145–149
- 鉄村琢哉・小柳慶朗・伊藤早介・羽生 剛・河瀬晃四郎 (2003) 挿し木繁殖したカキ樹の初期生長. 園芸学研究 2: 73–76
- Tetsumura T, Haranoushiro S, Honsho C (2009) Improvement of rooting of cuttings of a dwarfing rootstock for kaki and its micropropagation. Acta Horticulturae 833: 177–182
- Tetsumura T, Tanaka Y, Haranoushiro S, Ishimura S, Honsho C (2011) Effects of stock plant, rooting medium, and time of cutting collection on rooting and growth of cuttings of a dwarfing rootstock for kaki. Combined Proceedings International Plant Propagators' Society 60: 621–625
- Tetsumura T, Ishimura S, Honsho C, Chijiwa H (2016) Improvement in rooting of cuttings of FDR-1, a dwarfing rootstock for kaki. Combined Proceedings International Plant Propagators' Society 65: (in press)
- 塚本正美・一井隆夫・沢野 稔・尾崎 武 (1959) 柿樹の挿木発根に関する研究 第1報 柿樹新梢の挿木発根に及ぼす黄化处理の効果について. 兵庫農科大学研究報告 4: 60–64
- 山田昌彦・角利昭・栗原昭夫・山根弘康 (1988) カキ (*Diospyros kaki* Thunb.) の根挿しにおける発芽・発根に及ぼす数種の要因の影響. 果樹試験場報告 E 7: 9–30