

ナシ萎縮病菌 *Fomitiporia torreyae* 接種による腐朽長とニホンナシの二次木部の関係

吉田明広・金子洋平*1・鈴木 健*2・押田正義

キーワード：ニホンナシ，ナシ萎縮病，二次木部，腐朽，接種

I 緒 言

ニホンナシに発生するナシ萎縮病は、主要品種である「幸水」をはじめ、程度に大小はあるものの多くの品種で側枝単位や主枝単位での枯死を引き起こし、甚大な被害をもたらしている。ナシ萎縮病の病原菌は担子菌の一種である *Fomitiporia torreyae* と明らかにされ、病徴として木材腐朽と春先の葉の縮葉症状が確認されている（中村，2005；塩田ら，2010；金子ら，2011；Ota et al., 2014）。しかし、その菌学的諸性質をはじめ発病要因や侵入経路は不明な点が多いため、対策の確立には至っておらず、生産現場から早急な問題解決を求められている。また、葉の縮葉症状には腐朽部に存在する病原菌が生産する病徴発現物質が関与している可能性が推察されており（金子ら，2014）、ナシ萎縮病の発病要因を解明して効果的な防除対策を確立するためには、腐朽に関する知見を蓄積することが必要である。これまでの調査によって、樹勢が弱まることで腐朽が伸長しやすいこと（金子ら，2015）、枝齢が経過した枝で腐朽の伸長量が多くなること（塩田ら，2016）、環状剥皮を行うと腐朽が抑制されること（吉田ら，2018）が明らかとなっているが、樹の組織構造に注目した調査は行われていない。また、押田（2015）は主枝分岐部や主幹等の樹の太い部位で腐朽を確認しており、樹の太さと腐朽拡大の関係が示唆されている。そこで本試験では、樹の構成要素である二次木部の大きさが人為的に接種したナシ萎縮病由来の腐朽組織の伸長に及ぼす影響について明らかにしたので報告する。

II 材料及び方法

1. 異なる樹齢の「幸水」幼木の主幹におけるナシ萎縮病菌接種部位の二次木部の大きさと腐朽長の関係（2016年）

2019年7月29日受領 (Received July 29, 2019)

2020年1月9日登載決定 (Accepted January 9, 2020)

*1 現 印旛農業事務所

*2 現 農林水産部担い手支援課

千葉県農林総合研究センター果樹研究室5号圃場（表層腐植質黒ボク土）に植栽した「幸水」33樹（1年生10樹，3年生6樹，4年生8樹，5年生9樹）を供試した。

ナシ萎縮病菌の接種は爪楊枝接種法（中村，2011）に基づいて実施した。2016年6月29日に台木接木部から約25cm上方の主幹部位に直径3mmのドリルビットで貫通させた後、その痕に菌を培養した爪楊枝を挿して接種した。接種源は、あらかじめナシ萎縮病菌（PD001株）をMA平板培地上でおよそ1週間培養した菌叢の上にオートクレーブ滅菌した爪楊枝を置き、25℃で3週間程度培養後、菌糸が蔓延したものをを用いた。接種した部分にはワセリンを塗布後、パラフィルム（（株）エル・エム・エス）とビニルテープを巻いて保護した。

解体調査は同年の11月2日及び7日に接種部位を中心として主幹を縦方向に切断し、写真1のような断面を得た。断面について腐朽が伸長した長さを接種位置から主幹の先端方向（ a_1 ）と基部方向（ a_2 ）にそれぞれ測定し、その最大長の合計値を腐朽長とした。接種時までに形成された二次木部（以下木部とする、 b_1 及び b_2 ）の水平方向の長さの和（以下木部の大きさとする）及び接種後に肥大し形成された二次木部（以下肥大部とする、 c_1 及び c_2 ）の水平方向の長さの和（以下肥大部の大きさとする）を測定した。以上の調査結果を基に腐朽長と木部の大きさ、肥大部の大

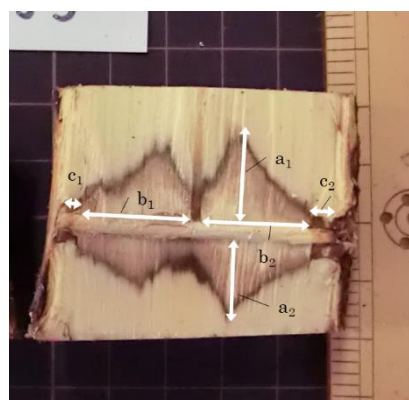
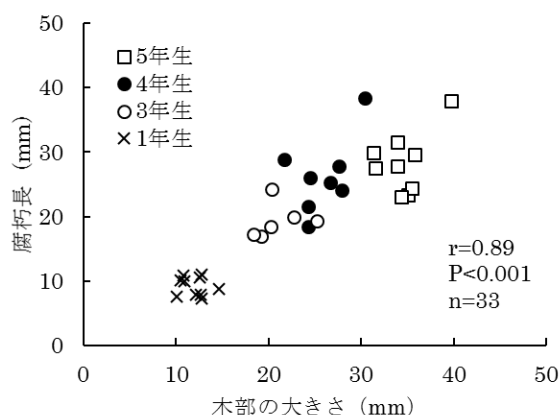


写真1 二次木部及び腐朽長の測定部位
（5年生「幸水」幼木）

注) a_1+a_2 : 腐朽長（上下方向の最大値の和）

b_1+b_2 : 木部の大きさ

c_1+c_2 : 肥大部の大きさ



第1図 異なる樹齢の「幸水」幼木の主幹におけるナシ萎縮病接種部位の木部の大きさと腐朽長の関係

きさとの相関関係を解析した。

施肥は化学合成肥料 (N:P₂O₅:K₂O=15%:15%:15%) を1回の樹当たり窒素成分量で33gとし、2, 5, 9月の3回施用した。新梢管理は放任とした。生育期間中は夏季の乾燥時に手かん水を実施し、その他の管理は慣行に従い実施した。

2. 「新水」側枝の異なる枝齢部位におけるナシ萎縮病接種部位の二次木部と腐朽長の関係 (2017年)

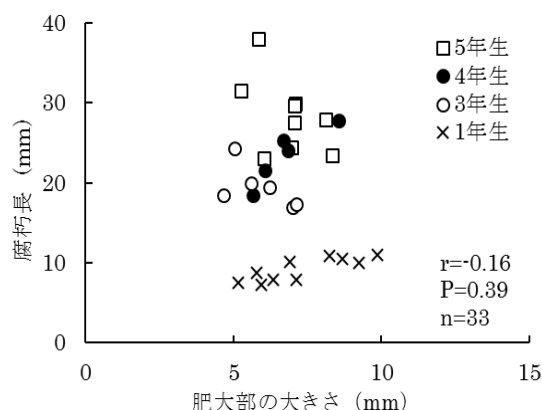
千葉県農林総合研究センター果樹研究室2号圃場 (表層腐植質黒ボク土) に植栽した成木「新水」 (樹齢20年以上 (推定)) の3年生側枝14本を供試した。2017年7月7日に3年生部位13か所、2年生部位11か所、1年生部位5か所の計29か所で試験1と同様の方法でPD001株の接種を行い、接種部位は各年次の枝の基部から10cm先端側の位置とした。

解体調査は同年の10月27日に接種部位を中心として側枝を縦方向に切断し、試験1と同様に実施した。

施肥は11月に有機質肥料 (N:P₂O₅:K₂O=12%:12%:6%) を樹当たり窒素成分量588g、4月に尿素 (N=46%) を樹当たり窒素成分量293g、9月に化学合成肥料 (N:P₂O₅:K₂O=15%:15%:15%) を樹当たり窒素成分量392gをそれぞれ施用した。新梢管理は夏季の摘心を慣行に従い実施した。果実は幼果時にすべて摘果した。その他の管理は慣行により実施した。

3. 複数品種の骨格枝におけるナシ萎縮病菌接種部位の二次木部の大きさと腐朽長の関係 (2017年)

千葉県農林総合研究センター果樹研究室2号圃場 (表層腐植質黒ボク土) に植栽した成木「新水」 (樹齢20年以上 (推定)) 1樹の主枝もしくは亜主枝3枝16か所、成木「ゴールド二十世紀」 (樹齢20年以上 (推定)) 1樹の主枝もしくは亜主枝11枝57か所、成木「87-82」 (樹齢20年以上 (推定)・来歴不明) の主枝もしくは亜主枝8枝34か所を供試した。2017年7月7日に主枝または亜主枝の各分岐部から50cm間隔の部位に直径6mmのドリルビットで貫通



第2図 異なる樹齢の「幸水」幼木の主幹におけるナシ萎縮病接種部位の肥大部の大きさと腐朽長の関係

させた後、その痕にPD001株を培養した直径6mmの円柱広葉樹材 (材質: ラミン) を接種した。接種源は、おが屑米ぬか培地 (コナラおが屑90gと米ぬか10gを水道水275mLに混合) を、オートクレーブ滅菌後、PD001株を接種し、培地内に蔓延させた状態で前述の円柱材を埋め込み、25℃で約1か月程度培養後、菌糸が蔓延した材を用いた。接種部位の保護は試験1と同様に実施した。解体調査は11月16~21日に接種部位を中心として縦方向に切断し、試験1と同様に実施した。また、施肥及び栽培管理は試験2と同様に実施した。

すべての解析はJMPver.5.0.1 (SAS Institute Inc.) を用いて実施した。また、解体後は試験区ごとに1~2サンプルをランダムに採取し、腐朽部位よりPD001株を再分離し、同一菌株であることを確認した。

Ⅲ 結 果

1. 異なる樹齢の「幸水」幼木の主幹におけるナシ萎縮病菌接種部位の二次木部の大きさと腐朽長の関係 (2016年)

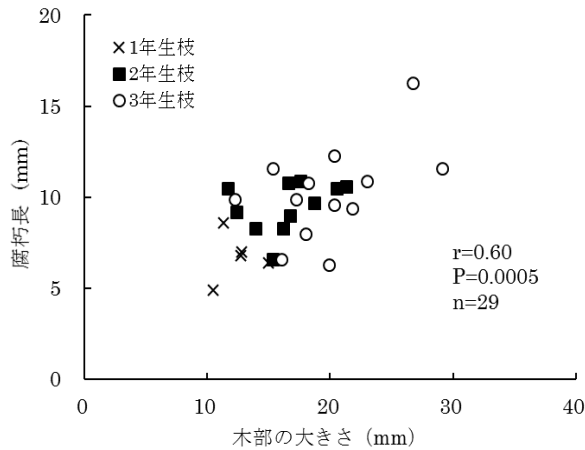
供試した33樹の解体調査によって得られた腐朽長と木部の大きさ、肥大部の大きさについて関係を調査した結果、木部の大きさとの間には正の相関関係が認められた

($r=0.89$, $P<0.001$, 第1図)。しかし、肥大部の大きさとの間には相関関係は認められなかった ($r=-0.16$, $P=0.39$, 第2図)。

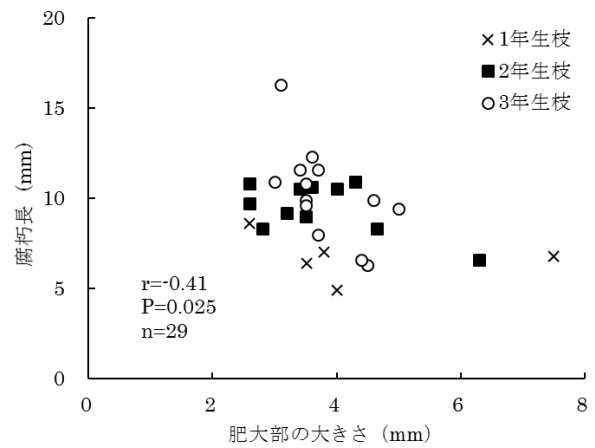
異なる樹齢のサンプルを観察した結果、腐朽



写真2 樹齢別主幹接種部の縦断面 (幼木)

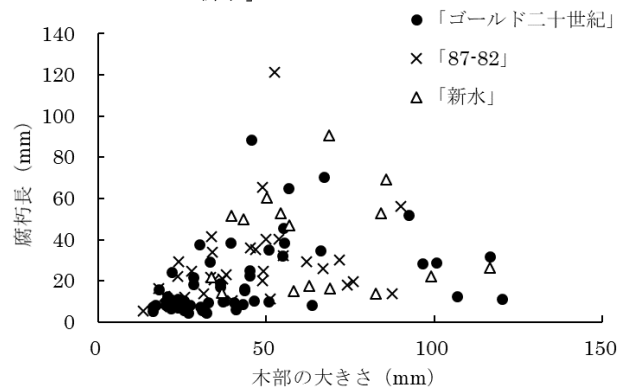


第3図 「新水」側枝の異なる枝齢部位におけるナシ萎縮病接種部位の木部の大きさと腐朽長の関係



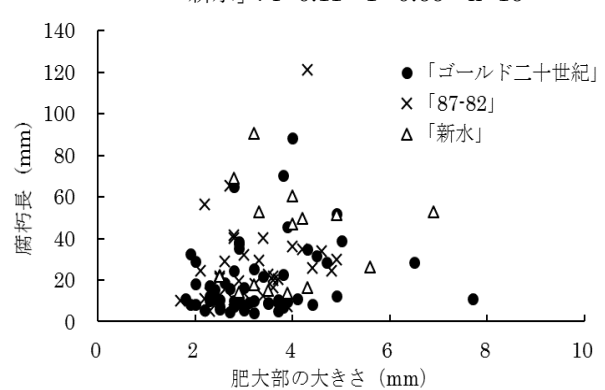
第4図 「新水」側枝の異なる枝齢部位におけるナシ萎縮病接種部位の肥大部の大きさと腐朽長の関係

「ゴールド二十世紀」: $r=0.38$ $P=0.003$ $n=57$
 「87-82」: $r=0.30$ $P=0.09$ $n=34$
 「新水」: $r=-0.04$ $P=0.89$ $n=16$



第5図 複数品種の骨格枝におけるナシ萎縮病接種部位の木部の大きさと腐朽長の関係

「ゴールド二十世紀」: $r=0.22$ $P=0.11$ $n=57$
 「87-82」: $r=0.25$ $P=0.16$ $n=34$
 「新水」: $r=0.11$ $P=0.66$ $n=16$



第6図 複数品種の骨格枝におけるナシ萎縮病接種部位の肥大部の大きさと腐朽長の関係

長の形状はいずれも樹皮及び髓付近では短く、離れるほど長くなる2つの山型が上下に伸長したものであった(写真2)。

2. 「新水」側枝の異なる枝齢部位におけるナシ萎縮病接種部位の二次木部と腐朽長の関係 (2017年)

供試した29か所の解体調査によって得られた腐朽長と木部の大きさ、肥大部の大きさについて関係を調査した結果、木部の大きさとの間には正の相関関係が認められた($r=0.60$, $P=0.0005$, 第3図)。さらに、肥大部の大きさとの間には弱い負の相関関係($r=-0.41$, $P=0.025$, 第4図)が認められた。

3. 複数品種の骨格枝におけるナシ萎縮病菌接種部位の二次木部の大きさと腐朽長の関係 (2017年)

供試した3品種合計107か所の解体調査で得られた腐朽長と木部の大きさ、肥大部の大きさについて関係を調査した結果、「ゴールド二十世紀」の木部の大きさと腐朽長には弱い相関関係が認められたが、肥大部の大きさと腐朽長の相関関係は認められなかった。その他の品種では木部

の大きさ及び肥大部の大きさと腐朽長の相関関係は認められなかった(第5図, 第6図)。また、いずれの品種でも木部の大きさが70mm程度以下では、木部が大きいほど腐朽は伸長するものの、腐朽が伸長しないサンプルも多く、ばらつきがみられた。また、70mm程度以上では、腐朽長は頭打ちとなり、多くのサンプルで腐朽長が短くなった。また、写真3のように二次木

の大きさ及び肥大部の大きさと腐朽長の相関関係は認められなかった(第5図, 第6図)。また、いずれの品種でも木部の大きさが70mm程度以下では、木部が大きいほど腐朽は伸長するものの、腐朽が伸長しないサンプルも多く、ばらつきがみられた。また、70mm程度以上では、腐朽長は頭打ちとなり、多くのサンプルで腐朽長が短くなった。また、写真3のように二次木

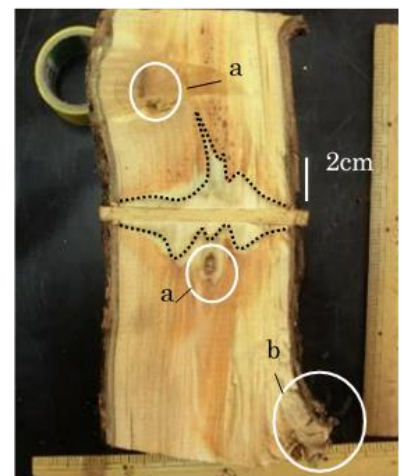


写真3 主枝接種部の縦断面
 (「新水」成木)

注) a: 節, b: 切り口
 破線の内側は腐朽した部位を示す

部内にある切り口による過去の傷痕や節の付近で腐朽が伸長していないことが観察された。

IV 考 察

はじめに、木部の大きさと腐朽長の関係について考える。塩田ら(2016)は「新水」の異なる枝齢でナシ萎縮病菌を接種した場合、枝齢が大きい部位ほど腐朽が伸長することを明らかにしている。また、本試験で「新水」1~5年生の幼木及び「新水」1~3年生の側枝に接種した場合、接種時の木部が太いほど腐朽が伸長することが明らかとなった。樹齢及び枝齢の異なるサンプルを用いた場合、樹齢を重ねることによる質的变化と量的変化の2点について考慮する必要がある。ニホンナシの二次木部の形成は肥大時期と停滞時期を繰り返して樹齢を重ねている(田村, 2013)。つまり、二次木部は不連続的に肥大しており、その点で二次木部が形成された年次により質的な差がある可能性が考えられる。

しかし、黒田・山田(1996)は広葉樹であるナラ類においてカシノナガキクイムシの穿入及び穿入孔から感染した腐朽菌による材変色は年輪に関わらず拡大していることを観察している。一方、ニホンナシの幼木では明確な年輪は観察できないが、二次木部における腐朽の伸長は肥大した時期の違いによる不連続性は認められず、連続的な2つの山型を上下に形成していることが観察できた。さらに、第1図及び第3図より、年次によって腐朽長を明確に区分することは難しい。つまり、樹齢を重ねた組織内における腐朽の伸長量は二次木部内の質的变化の影響を受けず、二次木部内の年々肥大して生じた量的変化により決定されるものと推察できる。以上から、塩田ら(2016)の結果と本試験の結果は同一の事象を示し、さらに枝齢の違いによる腐朽長の差は、二次木部の肥大による影響の結果であったと考えられる。

また、山田(2008)は、樹が病原菌に感染した場合、動的防御反応により断面では褐色の反応障壁を形成し、菌の拡大を防ぐことと、その反応は形成層に近い部位ほど強くなる傾向があることを報告している。さらに、森ら(1994)は樹種によっては樹皮に何らかの抗菌物質を含むことを報告している。ニホンナシ樹にナシ萎縮病菌を爪楊枝で接種した場合、樹皮に近い木部では、腐朽長が短く、離れるほど腐朽長が長く、さらに髄に近づくほど腐朽長が短くなることが吉田ら(2018)と同様に観察できたことから、樹皮による何らかの抑制が働いていることと矛盾しないと考えられる。つまり、木部が太くなることで樹皮からの物理的距離が広がり、抵抗力の届く範囲が二次木部の大きさに対して狭くなることで、腐朽が拡大しやすくなったと考えられる。

一方で、「ゴールド二十世紀」、「87-82」の成木の骨格枝に接種した場合、木部の大きさと腐朽長の相関関係は認められず、「新水」では側枝での調査結果よりも相関係数が大幅に低下した。これは、木部が大きくなっても腐朽が伸びていないサンプルが多く、腐朽長のばらつきが大きくなったことと、木部が70mm程度以上では腐朽が伸びるサンプルが減少したためである。つまり、成木の骨格枝の場合、枝が太くなっても腐朽が伸長しないことが観察された。成木に接種した場合、接種源の体積は側枝に接種した場合よりも大きいことから、成木に接種された菌数が多いと推察され、接種による腐朽の伸長を助長すると考えられた。しかし、実際に成木のサンプルを観察してみると部分的に腐朽長が抑制されており、その部位で木部内部に節や切り口による過去の傷痕等が確認できる場合がある。山田(2008)は受傷による動的防御機構により、受傷後に形成されるコルク層に抗菌活性を担うフェノール類が傷害部位で蓄積していること、スベリンやリグニンなどの難分解性の高分子化合物が沈着し物理性が変化していることを示唆しており、ニホンナシにおいても傷害部位で過去に抗菌物質の蓄積や高分子化合物の沈着が生じた可能性がある。つまり、主枝、垂主枝など長期間側枝を更新し続けた枝では、無数の切り口による過去の傷痕があり、その数だけ抵抗性物質を蓄積した可能性が考えられる。また、押田(2015)の解体観察では、主枝分岐部で主に腐朽が確認されている。主枝分岐部付近は通常の成木の樹形において側枝等を配置しておらず、枝のせん除による切り口が少ない。切り口が少ない部位において腐朽が多いことから考えても、切り口での抗菌物質の生産と蓄積は行われている可能性がある。ただし、腐朽の伸長を抑制する目的で栽培上不要な切り口を増やすことは他の病原菌等の感染リスクを増加させる可能性があるため、その点は留意する必要がある。

続いて肥大部と腐朽長の関係について考える。肥大部には接種後に発現した前述の動的防御機構により一定の腐朽の伸長抑制効果が期待されたため、幼木において肥大部の大きさと腐朽長の関係は負の相関関係になると予想したが、「新水」の側枝で弱い負の相関関係は認められなかった。これは、本調査における評価方法では木部の大きさと腐朽長に強い相関関係があることが影響していると考えられる。また、肥大部は樹皮の内側に近接しており、前述の動的防御機構の影響も同時に考える必要がある。これらの点については、継続して観察する必要がある。

以上より、幼木や成木の側枝では腐朽長は木部が大きくなるほど伸びやすくなることが明らかとなった。これは、物理的な距離が樹皮から離れるほど樹皮による抑制効果を受けにくくなることが原因として考えられる。また、肥

大部の大きさと腐朽長の関係は明らかにならなかった。さらに、成木の骨格枝では切り口や節等の過去の傷痕がある場合に腐朽の抑制が観察され、何らかの抑制物質の蓄積が示唆された。そのため、幼木等に人為的にナシ萎縮病菌を接種したモデル試験を行い、腐朽長を評価する場合には、二次木部の大きさととの関係を考慮して考察する必要があることが明らかとなった。

V 摘 要

樹体組織構造の二次木部の大きさがナシ萎縮病菌由来の腐朽組織の拡大程度に与える影響を評価するため、幼木の「幸水」及び成木の「ゴールド二十世紀」、「新水」、「87-82」を供して接種試験を行った。その結果、幼木や側枝を用いた場合、接種時の二次木部が太いほど腐朽長は伸びることが明らかとなった。また、成木の骨格枝では節や傷の周辺において腐朽長が抑制されることが観察された。

VI 引用文献

- 金子洋平・中村 仁・塩田あづさ・鈴木 健・服部 力・太田祐子・安田文俊・幸由利香・牛尾進吾 (2011) ナシ萎縮病菌 *Fomitiporia* sp. の同定及び定義付け. 日植病報 77: 168 (講要).
- 金子洋平・塩田あづさ・鈴木達哉・鈴木 健・幸由利香 (2014) 腐朽材組織の除去がナシ萎縮病の病徴発現に与える影響. 関東病虫研報 61: 60-63.
- 金子洋平・押田正義・塩田あづさ・鈴木 健 (2015) 摘葉がナシ萎縮病菌 *Fomitiporia torreyae* による材質腐朽菌に与える影響. 関東病虫研報 62: 60-62.
- 黒田慶子・山田利博 (1996) ナラ類の集団枯損にみられる辺材の変色と通水機能の低下. 日林誌 78: 84-88.
- 森 満範・土居修一・青山政和・兼俊明夫・林隆章 (1994) 樹皮抽出物の抗菌活性. 林産試験報 8(6): 12-17.
- 中村 仁 (2005) 農業技術体系果樹編第3巻追録第20号 pp. 329-331. 農山漁村文化協会, 東京.
- 中村 仁 (2011) 材質腐朽菌3種の果樹類における発生調査およびナシ枝に対する病原性の評価. 微探収報 24: 9-18.
- 押田正義 (2015) 萎縮病が発症したニホンナシ「幸水」樹の解体調査. 千葉農林総研研報 7: 95-99.
- Ota, Y., T. Hattori, H. Nakamura, Y. Terashima, S-S. Lee, Y. Miyuki and K. Sotome (2014) Taxonomy and phylogenetic position of *Fomitiporia torreyae*, a causal agent of trunk rot on Sanbu-sugi, a cultivar of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) in Japan. *Mycologia* 106: 66-76.
- 塩田あづさ・金子洋平・鈴木 健・中村 仁・服部 力 (2010) ナシ萎縮病は *Fomitiporia* sp. によって引き起こされる. 日植病報 76: 156(講要).
- 塩田あづさ・金子洋平・鈴木達哉・鈴木 健 (2016) 時期及び枝齢の違いがナシ萎縮病菌 *Fomitiporia torreyae* 接種で生じる腐朽伸長に与える影響. 関東病虫研報 63: 38-40.
- 田村文男 (2013) 農業技術体系果樹編第3巻追録第28号 pp. 基27-基30. 農山漁村文化協会, 東京.
- 山田利博 (2008) 微生物の感染と樹木の反応. 樹木医学研究 12: 91-97.
- 吉田明広・押田正義・金子洋平・鈴木 健 (2018) ナシ幼木に対する環状剥皮によるナシ萎縮病菌の腐朽長の抑制. 千葉農林総研研報 11: 23-28.

Relationship between Secondary Xylem and Decay Caused by *Fomitiporia torreyae* in Japanese Pear Tree

Akihiro YOSHIDA*, Youhei KANEKO, Takeshi SUZUKI and Masayoshi OSHIDA

Key words: Japanese pear, *Fomitiporia torreyae*, secondary xylem, decay, inoculation

Summary

We assessed the influence of the size of secondary xylem on the extension of decay caused by *Fomitiporia torreyae* in young ‘Kosui’ and mature ‘Gold Nijisseiki’, ‘Shinsui’, and ‘87-82’ Japanese pear trees. In lateral branches and young trees, wider secondary xylem at inoculation extended decay further. In framework branches, decay was inhibited near nodes and wounds.

*Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center; 180-1 Okanezawa, Midori, Chiba 266-0014, Japan