

宗教的景観の形成と維持 — 高野山奥の院の巨木林を中心として —

山 口 文 章

The Formation and Preservation of Religious Landscapes - A Study on the Okunoin Giant Tree Grove in Koyasan -

Bunsho Yamaguchi

はじめに

日本人は古代から樹木と深く関わってきた。建築資材、木工材料、和紙の原料、燃料など、日本の伝統文化を語るとき、樹木がいかに有益な存在であったかを知ることができる。

さらに、長期間にわたって育まれた巨樹・巨木は、大自然の象徴として人びとの精神文化を形成してきた。ご神木やご神体のように信仰対象として崇められることも多く、何百年という風雪に耐えた巨樹・巨木は人類の英知を越えた存在として多くの人びとを魅了してきたのである。

高野山奥の院（和歌山県伊都郡高野町）に位置するスギ巨木林は、昭和33(1958)年4月1日に和歌山県の天然記念物に指定された。さらに、昭和46(1971)年3月30日には国の特別母樹林に設定された国内屈指の優良林分である。

本研究では世界遺産高野山の本質である宗教的景観の形成と維持に重要な意義を持つ奥の院巨木林のうち、特別母樹林に指定されている立木の悉皆調査を行い、現代の林業の常識を逸脱した造林方法により成林したという画期的な仮説を生成することができた。さらに、奥の院巨木林における特徴的な森林施業も確認することができた。

本研究の成果が後世に受け継がれ、SDGsに代表される自然環境保全事業の一助となることを願ってやまない。

キーワード：宗教的景観、世界遺産高野山、巨木林、癒合特性、ツボ植え、焼き入れ

1. 高野山奥の院に位置する巨木林について

(1) 巨木林成立の背景

環境庁（現環境省）は、わが国における巨樹・巨木林を保全し、後世に引き継ぐため第4回自然環境保全基礎調査の一環として1988年から巨樹・巨木林調査を実施してきた（環境省自然観光局生物多様性センターHP「巨樹・巨木林調査のこと」）。本研究で用いた巨木の規定（地上130cmの幹の周囲が3m以上）はこの調査に基づいたものである。

高野山では伝統的な森林政策が厳格に実施されてきた。顕著な政策は、幕末に編纂された紀伊続風土記の「禁忌十則」中にみることができる（小川_山 1973・1977、仁井田 1970、山陰 2001）。それは、「利の有る竹木を植えることを禁ず」というもので、果樹竹木や漆などの営利を目的とした植林を禁じている。この禁則は、霊地にふさわしい植物景観の維持と山内人心の俗化・営利化を防ぐことを目的としたものである（小川_山 1973、山陰 2001）。高野山一山の所有者であり、千年以上の永きにわたって管理してきた宗教法人金剛峯寺山林部では、「森厳護持」という言葉で古の禁則を森林施業の原理として今に伝えている（金剛峯寺山林部 2001）。このように高野山における伝統的な森林政策は、主として森林保全に関するものであるが、その精神は宗教的景観の維持を目的とした信仰環境の保全といっても良い。

高野山上における造林事業の歴史的記録は次の通りである（小川_山 1973）。

- ① 長和年間（1012 ～ 1017）－祈親上人定誉がヒノキ苗を山内各所に植樹した。
- ② 永保元年（1081）－京極師実が検校維範上人に命じてヒノキ・コウヤマキを下種させた。
- ③ 天仁・天永年間（1108 ～ 1113）－最禪院隠岐上人が山内各所に植樹した。
- ④ 大治年間（1126 ～ 1131）－高野御室覚法親王がスギ・ヒノキ・コウヤマキを植樹された。
- ⑤ 文治年間（1185 ～ 1190）－検校理賢上人がヒノキ・マツ・コウヤマキの苗木を植えた。
- ⑥ 承元年間（1207 ～ 1211）－寂靜院貞堯上人が植樹した。
- ⑦ 承久年間（1219 ～ 1222）－蓮上院覚基上人がスギ・ヒノキ・モミ・ツガ・マツ・コウヤマキを下種した。
- ⑧ 文永年間（1264 ～ 1275）－検校兼助上人が熱心に植樹したので慧林と敬称された。
- ⑨ 応永年間（1394 ～ 1428）－宝性院宥快上人が植樹した。

また、江戸時代中期～後期にかけて、金剛峯寺で出納を管理した年預職が記した高野山の日誌である『日並記』には山林を管理する修理方が、伐採業務に従事する者に山札という入林許可証を発行して盗伐者と区別していた記録がある。これにより、古くから用途不明のままで霊宝館に収蔵されていた大量の山札（写真 1～4）が、江戸時代における高野山の森林政策を知る上で、重要な資料であることが判明したのである。山札には学侶方山奉行と行人方山奉行による署名と焼き印が表裏に施されており、当時の修理方が厳格に山林の伐採を管理していたことがうかがえる。

さらに、高野六木と呼ばれる六種の針葉樹すなわちスギ・ヒノキ・アカマツ・コウヤマキ・モミ・ツガの育成保護につとめたことも知られている（金剛峯寺山林部 2001、山陰 2001）。現在でも天然更新で森林を管理している天然性林や、伝統的な森林政策により保全されてきたスギを中心とした巨木林は禁伐林として保護されており（金剛峯寺山林部 2001）、本研究対象である奥の院特別母樹林はその象徴的な存在といえる。

(2) 和歌山県指定天然記念物（金剛峯寺山林部 2001、和歌山県教育委員会 1999・2021）

奥の院に位置する巨木林は、和歌山県を代表する天然記念物として指定されている。

名称：奥の院の大杉林（おくのいんのおおすぎばやし）

所在地：和歌山県伊都郡高野町高野山

指定年月日：昭和 33(1958) 年 4 月 1 日

所有者：宗教法人金剛峯寺

本数：1,843 本（昭和 48(1973) 年調査時）（金剛峯寺山林部 1973）

樹種：スギ、ヒノキ、モミ、ツガ、コウヤマキ、イチイ

(3) 国指定特別母樹林（金剛峯寺山林部 2001、金剛峯寺山林部 HP）

樹形、材質ともに優れた樹木を保護し、優良な種子・穂木を確保する目的で特別母樹林として国から指定されている。本研究は奥の院に位置する巨木林のうち、特別母樹林に指定されている立木すべてを調査対象とした。

指定番号：特 45-48

指定年月日：昭和 46(1971) 年 3 月 30 日

採種・採穂の別：採種

樹種：スギ

樹齢：約 200 ～ 600 年

所在地：和歌山県伊都郡高野町高野山 548-1、548-2、533-1、533-2

本数：768 本（昭和 46(1971) 年指定時点）

739 本（平成 12(2000) 年時点）（金剛峯寺山林部 2001）

716 本（令和 3(2021) 年時点）（金剛峯寺山林部 HP）

面積：5.00ha

所有者住所氏名：和歌山県伊都郡高野町高野山 132 宗教法人金剛峯寺

(4) 奥の院巨木林の特徴

奥の院巨木林の最大の特徴は、約 19.7ha（県指定天然記念物生育区域）という広大な面積に、人工林として成立したスギ巨木が多数分布していることである。スギは日本を代表する優良樹種であるが、現在、代表的な野生群落は九州屋久島にみられるのみである（小川_由 1977）。スギ人工林は日本全土に分布しており、その総面積は 4,437,592ha である（林野庁 2017）。そのうち、樹齢 100 年を超える林分は 82,482ha であり、全体の 1.9% を占めるのみである（林野庁 2017）。これらのことから、奥の院巨木林のように樹齢 200 年を超える個体で構成された広大な林分はさらに希少であり貴重である。

特別母樹林として指定された 716 本（令和 3(2021) 年時点）（金剛峯寺山林部 HP）は、県指定天然記念物に指定された 1,843 本（昭和 48(1973) 年調査時）（金剛峯寺山林部 1973）に含まれている。そのうち、スギの本数は 1,379 本であり、全体の 74.8% を占めている。それらの胸高周囲長を調べてみると、巨木に分類されるスギの本数は 979

本を数え、スギ全体の 71.0%を占めていることがわかる。

ここで、奥の院巨木林が人工林であるという根拠を示す必要がある。高野山では、古くから宗教的景観や信仰環境の保全を目的とした森林政策が伝統的に行われてきたことは既に述べた通りである。さらに、奥の院では祖霊信仰に由来する信仰形態のひとつとして植樹が行われてきた。その信仰形態は金剛峯寺山林部により献木という形で今に伝えられている。奥の院参道脇には献木の記念石碑がみられ、伝統的に先祖の霊に対する御供の一種として植樹が行われてきたことを証明している（写真 5）。これらの石碑から、明治 41(1908)年には奥の院周辺で活発な献木が行われていたことがわかる。

献木は高野山独特のものではなく、代表的なものとしては大正 9 (1920) 年に創建された明治神宮が良く知られている。明治神宮は明治天皇、昭憲皇太后を祭祀する神宮であるが、創建時には田畑や荒地であった 70ha もの土地に、全国から献木された 10 万本の苗木を数年にわたって植栽し、人びとが敬虔な祈りを捧げることができる精神性が深い信仰環境を生み出したのである（明治神宮 HP）。その他、東京八王子高尾山にも古くから複数の杉苗奉納石碑が多数存在することが知られている（文化庁日本遺産ポータルサイト HP）。

さらに、奥の院巨木林を構成するスギの DNA サテライトマーカー（STR）の解析により、日本全国のどこの地域の天然林に由来するかを遺伝子頻度から推定した結果、32 個体中、和歌山県に由来するものはわずか 2 個体で、島根、広島付近に由来するものが 15 個体と最も多いことがわかった（木村 2012）。さらに、その他の個体は関東、東北、四国など、さまざまな地域に由来することも明らかになった（木村 2012）。この結果は奥の院巨木林が太平洋側の気候下にありながら、日本海側にみられる耐雪性が高いスギの形質を持つ個体が多く含まれていることや（金剛峯寺山林部 2001）、高野山奥の院における伝統的な献木の伝承の記録とも矛盾しない。ここに奥の院巨木林が人工林か否かという議論の余地は残されていない。

以上のことから、奥の院巨木林は人工林として他に例をみない面積と本数を数百年間にわたって維持してきた貴重な森林であることがわかる。この貴重な森林を後世に伝えることは、宗教的景観や信仰環境の保全だけでなく、日本人の精神文化や自然環境の保全という点では人類共通の普遍的な価値につながることは明らかである。

2. 奥の院巨木林成立と維持に関する問題

(1) 巨木林の成立に関する問題

奥の院巨木林が現在のような貴重な人工林として成立した事実を考えるにあたり、いくつかの難解な問題が存在する。

①立木密度に関する問題

人工林を造林し、優良な木材を生産する上で最重要とされているのが個体の密度管理

である（丹下・小池 2016、堤・川名 1981）。個体の密度管理は植栽密度と、間伐による密度管理により行われる。

間伐を実施するにあたり基本的な原理となるのが樹型級により間伐の強度を決定する定性間伐と、林分全体の生長量をもとに本数を量的に調節する定量間伐である（堤・川名 1981）。現在では定性間伐と定量間伐を組み合わせられて実施されているが、その基本となるのが密度管理図や林分収穫表である（本多 1985）。しかしながら、既に発表されている密度管理図や収穫表は樹齢 100 年未満のものがほとんどである（森林総合研究所 1990）。和歌山県では他県ではみられない樹齢 150 年の林分の材積表や成長率表が公開されているが（和歌山県農林水産部 2017）、奥の院巨木林に関しては林齢が違いすぎるため参照するには適切ではない。

奥の院巨木林が存在する約 2 km に及ぶ参道付近は、航空写真でみると参道や地表が確認できない。これは巨木林の林冠が完全に閉鎖している状態で、林分の生育状況としては大変良いことを示している。しかしながら、実際の個体の密度をみると、林分全体に密度管理が行われたとは考えられない。つまり、部分的に超高密度の個体群が多いことが認められるのである。育林上での密度管理は、個体が成長するにつれて密度を下げ、個体間の生存競争を緩和するのであるが、奥の院巨木林に関しては、現在の密度管理理論が当てはまらない。

奥の院巨木林は現存する密度管理理論ではなく、独特な理論と手法により成林したことは明らかである。その理論と手法を解明することが、後述する更新の問題とともに最も重要であると考えられる。

②個体の癒合（合体木）に関する問題

巨木や老樹には複数の個体が癒合し、合体して生育するものがみられる（小笠原 1993）。これらは合体木や合着木と呼ばれており、主に自然界で発生したことが多い。世界自然遺産の屋久島では樹齢数千年を誇るスギが多く見られるが、これらの多くは複数の個体が癒合したものであることが知られている（小笠原 1993・1999）。また、これらはあくまでも自然界に発生したものであり、大面積の人工林ではまづみることができない。

しかし、奥の院巨木林には地上部の根株や幹部が合体した個体が多く見られる。さらに、合体した個体の一方が枯死、あるいは台風などの強風による倒木被害により、剥離した癒合部の木部を露出させたまま生育している個体も多い。地上部では癒合部分がみられないが、個体間の地面が盛り上がり、地下茎が癒合している可能性が高いものも多数確認できる。一般的に人工林では合体木や複幹化した個体は欠点とされ、樹型級が劣ることから間伐対象木として伐採されることが多い（堤・川名 1981）。これは上質の木材生産を重視するだけでなく、育林する上でも風などの外的要因に脆弱であることに由来する。つまり、生育が優良な林分とは、樹冠、幹、根の調和が保たれ、なおかつ独立した単木個体の集合体でなければならない（丹下・小池 2016、堤・川名 1981）。

現在の密度管理理論が奥の院巨木林には通用しないことは既に述べた。個体間の生存競争を緩和するはずの密度管理を行わず、形質・強度ともに優良とはいえない合体木を放置したままで成林させたという2点については奥の院巨木林成立を考える上で重大な問題である。

③露出した木部の炭化に関する問題

奥の院巨木林には根株や幹部が合体した個体が多く、一方の個体が倒木や枯死し、剥離した癒合部の木部が露出している個体が多いことは既に述べた。さらに、その露出した木部が黒色に炭化している例が多いことも問題として提起したい（写真6～9）。金剛峯寺山林部では落雷による焼損であると伝えられてきた。しかし、アメリカやアラスカの森林を対象にした落雷と林野火災発生の研究では、年平均の対地放電回数は0.020～0.035件/km²/月であり、そのうち林野火災の発生確率は0.03～0.05%であることが知られている（鈴木 2020）。本研究の対象とした特別母樹林面積5haに換算すると、1万年に3.5～10.5回の確率となる。発火に至らない発煙の確率は樹種により3%という報告もあるが、いずれにせよ海外の研究結果であることを差し引いて考えても特別母樹林内で落雷による火災被害が頻繁に発生したとは考えられない。さらに、落雷木には集団あるいは単木で枯損する 경우가多く（河辺ほか 2008、森林総合研究所 2019）、木部が露出・炭化した巨木が現在も多く生育し続けているということと矛盾する。

奥の院巨木林の露出した木部が炭化している原因が、落雷によるものではないと仮定すると、落雷以外の火災あるいはたき火による焼損などが考えられる。しかし、スギやヒノキに代表される針葉樹は特に火に弱く、樹皮を焦がす程度の加熱でも生理機能が低下し、枯死することが知られている（前田ほか 2013、森林保健センター 2013）。これは、針葉樹の場合には師管と導管からなる維管束が形成層として樹皮と木部の間に集中しているためである。このことから火災やたき火による焼損が炭化の原因とは考えられない。さらに、そもそも敬虔な信仰に由来する奥の院巨木林の根元で、たき火をするという愚行が高野山の聖域で行われたと考えるのは1200年間という永きにわたり求心力を失わなかった信仰の歴史と著しく矛盾する。

落雷や火災、たき火による焼損でないとすれば、木部が炭化している原因は何か、その木が枯損せずに奥の院巨木林の一部を構成し続けることができた理由は何か、これらの点についても奥の院巨木林の成立を考える上で大きな問題である。

(2) 巨木林維持に関する問題

奥の院巨木林を貴重な人工林として未来に引き継ぐことを考えるにあたり次のような問題が存在する。

①更新に関する問題

奥の院巨木林は林冠がほぼ閉鎖しているながら、林地全体の密度管理が行われていない

ため、部分的に超高密度な個体群がみられることは既に述べた。立木密度が均一でないことと、個体の樹高分布が約 20 ～ 50m と大きいため、閉鎖林分としては比較的地表の照度は低くない。しかし、直射日光が 1 日中ほぼ当たらない地表にスギ後継樹を植栽して成林させることは大変難しい。奥の院巨木林を未来に引き継ぐためにはこの点が最大の問題であろう。スギは耐陰性が高いことが知られているが（大場ほか 1983）、あくまでも陽樹であり、不利な環境であることはいうまでもない。これは日の当たらないところで樹木を育てるということであり、光エネルギーの獲得における生存競争で不利な状態を強いられ続ける環境下で優良なスギ後継樹の育林が成功する可能性は極めて低い。

奥の院巨木林は一斉林ではない。これは巨木の樹高や直径に大きな差があることから明白であるが、台風による倒木や危険木伐採などで採取された木材の年輪からも証明されている。つまり、奥の院巨木林は伐採されることなく更新し続けてきたことを意味している。

奥の院巨木林の存在は、江戸時代までは更新されてきたことを証明しているといっても良い。奥の院巨木林の更新については密度管理とともに大きな問題である。

②個体数の維持・保全に関する問題

奥の院巨木林の個体数は確実に減少している。主な原因は腐朽菌に由来する枯死と、台風などの強風に由来する倒木である。また、奥の院だけでなく金剛峯寺および壇上伽藍に位置する禁伐林区のスギ巨木も先枯れが多く見受けられる。

ここで、特筆すべきはスギの巨木の先枯れが急激に進んでいることである（写真 10 ～ 11）。樹木の腐朽は木材腐朽菌により発生するが、枝打ち痕や先枯れによる部分枯死などの傷が菌の主な侵入口であり、古い個体で樹勢が弱くなると抗菌性が低くなることなどが知られている（市原 2024、国土交通省 2019、東京都建設局 2021a・2021b）。奥の院巨木林では癒合した合体木の一方が倒木や枯死することにより、幹の木部が露出している個体が多いことは既に述べた。さらに、木部の中心や根が腐朽により空洞化している個体も少なくない。

また、古い個体では長年の生育に伴う土壌水分環境に影響を受けた根系腐朽が巨木倒木の主因であることが指摘されている（平野ほか 2021）。これは根系の機能を充実させて物理的な樹体支持能力を確保することが、古い個体の耐風性を高める上で重要であることを意味している。奥の院巨木林は数百年間も強風に耐えてきた実績がある。しかし、近年は先枯れ被害だけでなく、強風による先折れや倒木被害が増加している。古く巨大な個体であっても根系を充実させて耐風性を高める必要がある。

以上のことを考え合わせると、奥の院巨木林個体数の維持・保全には腐朽菌に由来する枯死や部分枯死の防止および台風などの強風に耐えうる根系の機能充実において問題が存在する。

3. 奥の院巨木林成立に関する研究目的

奥の院巨木林のうち、特別母樹林に指定されている立木の悉皆調査を行い、同林分の成立と維持に関する諸問題を解明することを目的とする。解明すべき諸問題は次の通りである。

- (1) 立木密度に関する問題
- (2) 個体の癒合（合体木）に関する問題
- (3) 露出した木部の炭化に関する問題
- (4) 更新に関する問題
- (5) 個体数の維持・保全に関する問題

4. 研究方法

(1) 調査期間

令和6(2024)年4月～12月

(2) 調査方法

特別母樹林に指定されている立木の悉皆調査を行う。調査内容は、次の通りである。

①個体確認

特別母樹林に指定されている立木の管理番号プレート確認、県指定天然記念物の管理番号プレート確認、および史跡金剛峯寺境内奥の院墓碑平面図による個体確認。

②位置確認と位置特定

存在が確認された特別母樹林指定個体の位置を史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図に特定する。

③個体の癒合状態と個体間隔の確認

個体が癒合している（合体木）、あるいは癒合した痕跡がある立木の癒合状態と、癒合個体の中心部同士の距離を測定する。

④露出した木部の炭化状態の確認

木部が露出した立木のうち、炭化が認められる個体の状態を確認する。

⑤胸高周囲の測定

胸高周囲をメジャーにより測定する。なお、本研究では環境省が実施している巨樹・巨木林調査の規定に従って地上高130cmを胸高とした。また、根上がりしている個体や樹幹下部が根の延長として極端に肥大している場合は幹部と根部の境を胸高とした。

⑥立木頂端部が目視できる個体の樹高測定

立木頂端部が目視できる個体については、レンジファインダー（レーザー距離角度計測器）により、水平距離、頂端部仰角および地際部俯角を測定し、三角関数により樹

高を算出した。なお、距離、仰角、俯角の数値により樹高を測定したため、傾斜木は実際の樹幹長より低く算出されている。

計測に使用したレンジファインダーの機種および仕様は次の通りである。

機種名： Kenko KLR-600M
 計測可能距離： 5 ～ 600m
 距離計測精度： ± 1 m (50m 未満)、± 2 m (50m 以上)
 倍率： 6 倍
 実視界： 5.6°
 レーザークラス： Class 1 Laser Product
 レーザー光波長： 905nm

5. 調査結果

調査結果は史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図（図 1-1 ～ 1-13）および奥の院特別母樹林胸高周囲長分布図（図 - 2）、奥の院特別母樹林樹高分布図（図 - 3）に示した通りである。なお、調査結果を調査内容別に要約すると次の通りとなる。

(1) 個体確認

特別母樹林に指定された立木の現存する総本数は 704 本であった。個体確認にあたっては、昭和 46 (1971) 年指定時に個体の幹に設置された管理番号プレートをもとに行った。プレート設置後 53 年が経過し、立木の成長にともないプレートが変形、破損して脱落する個体も確認された。プレートが確認できない個体については、和歌山県指定天然記念物の管理プレートにより個体の存在を確認した。さらに、すべてのプレートが脱落している場合は、金剛峯寺山林部が所有する特別母樹林管理平面図を参照した。特別母樹林立木のうち、県指定管理番号が確認された個体についてはその番号を紐付けて記録した。

奥の院特別母樹林に指定された立木の悉皆調査は指定時（昭和 46(1971) 年）以来 2 回目であるが、奥の院巨木林調査としては昭和 9(1934) 年に金剛峯寺山林部と大阪営林局により奥の院参道周辺の立木 1,886 本を悉皆調査した記録がある。これは昭和 33 (1958) 年に和歌山県の天然記念物後に指定される際に重要な基礎資料となった（大阪営林局 1934、金剛峯寺山林部 1934）。66 年前の調査結果と比較考察することは大変興味深いが、残念なことに調査時の個体の管理番号が設定されていないため個体を遡及して比較することは不可能である。しかし、奥の院巨木林全体の調査研究にあたっては、林分材積など林分全体を比較考察するに貴重な資料であることは間違いない。天然記念物としての調査は、指定時の昭和 46(1971) 年調査の後、昭和 48(1973) 年に立木悉皆調査が実施されている。それらの調査は指定時に立木に設置された管理番号プレートをもとに記録されているため、立木個体を遡及して調べることができる。

公表されている奥の院特別母樹林の立木個体総数は次の通りである。これをみると、

個体数は減少の一途をたどっており、最近ではさらに加速していることがわかる。

768 本（昭和 46(1971) 年指定時点）

739 本（平成 12(2000) 年時点）（金剛峯寺山林部 2001）

716 本（令和 3(2021) 年時点）（金剛峯寺山林部 HP）

704 本（令和 6(2024) 年本研究調査時点）

なお、今回確認された特別母樹林指定個体の樹種別内訳本数は次の通りである。

スギ： 689 本

ヒノキ： 14 本

コウヤマキ： 1 本

(2) 位置確認と位置特定

存在が確認された特別母樹林指定個体の位置は、史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図（図 1-1 ～ 1-13）に明記した通りである。

(3) 個体の癒合状態と個体間隔の確認

個体が癒合している状態を確認し、癒合程度により 5 種類に分類した。

A：単木

地上において、癒合状態がみられない独立した個体。

B：根部癒合

地上の根株部分や根上がり部分で癒合している個体。

C：幹部癒合

根株部分だけでなく、幹部が癒合している個体。

D：地下根部癒合

地上においては癒合状態がみられないが、個体間隔や複数個体の主根の伸び方と土面の盛り上がり具合から、地下の根部が癒合している可能性が高いと考えられる個体。

E：癒合痕確認

幹部や根部に、過去に癒合していたと考えられる痕跡がみられる個体。癒合個体の倒木や枯死により、幹の木部が露出している個体や、枯木の一部が癒合したまま残存している個体、完全に腐朽して幹部や根部に穴状の痕跡を残している個体などである。

癒合状態が確認された個体数の概要は次の通りである。

A（単木）： 316 本

B（根部癒合）： 172 本

C（幹部癒合）： 140 本

D（地下根部癒合）： 26 本

E（癒合痕確認）： 50 本 （合計 704 本）

さらに、A（単木）の個体に5 m以内の距離で立木が存在する場合、最近接個体との距離を計測した。何らかの癒合がみられるB～Dの立木のうち、別個体による癒合の特徴が顕著な立木については、癒合個体それぞれの中心同士の距離を計測した。E（癒合痕確認）については癒合個体が消失している場合が多いので、最も近い別個体との距離を計測した。癒合状態別に計測した近接個体数と、個体間の平均距離は次の通りである。

A（単木）：	97 本	318.7 cm
B（根部癒合）：	137 本	156.4 cm
C（幹部癒合）：	44 本	132.0 cm
D（地下根部癒合）：	23 本	257.4 cm
E（癒合痕確認）：	10 本	398.4 cm

(4) 露出した木部の炭化状態の確認

木部が露出した立木のうち、顕著な炭化が認められる個体の写真を撮影した。（写真6～9）木部の炭化は相当数の個体で確認できるが、炭化の程度（炭化層の厚さ）、炭化の範囲は様々である。露出した木部面に風雨の影響が少ない個体は炭化層が風化されずに良く残っている。

(5) 胸高周囲の測定

測定結果は奥の院特別母樹林胸高周囲長分布図（図 - 2）に示した通りである。特別母樹林指定個体704本の樹種別平均胸高周囲や巨木の規定に該当する個体数、最大胸高周囲個体など測定結果の概要は次の通りである。

①樹種別平均胸高周囲

スギ（689 本）	平均胸高周囲：	420.9 cm
ヒノキ（14 本）	平均胸高周囲：	209.7 cm
コウヤマキ（1 本）	胸高周囲：	330 cm

②巨木の規定（地上130 cmの幹の周囲が3 m以上）に該当する個体数

スギ：	689 本中 555 本
ヒノキ：	14 本中 2 本
コウヤマキ：	1 本中 1 本

これらの巨木本数を合計すると558本であり、特別母樹林指定704本のうち79.3%の個体が巨木に分類される。

③最大胸高周囲個体（写真12）

特別母樹林 No.209

胸高周囲：1029 cm 樹高：45.7 m 樹種：スギ

癒合状態：スギ2個体の幹部癒合

④癒合状態別最大胸高周囲個体（写真12～16）

A（単木）：	No.356 スギ	樹高 39.5m	胸高周囲 764 cm	（写真 13）
B（根部癒合）：	No.565 スギ	樹高 47.8m	胸高周囲 974 cm	（写真 14）
C（幹部癒合）：	No.209 スギ	樹高 45.7m	胸高周囲 1029 cm	（写真 12）
D（地下根部癒合）：	No.67 スギ	樹高 23.9m	胸高周囲 488 cm	（写真 15）
E（癒合痕確認）：	No.221 スギ	樹高 41.9m	胸高周囲 922 cm	（写真 16）

（6）立木頂端部が目視できる個体の樹高測定

レンジファインダーを使用して立木頂端部が目視できる個体について計測した数値により算出された結果は奥の院特別母樹林樹高分布図（図 - 3）に示した通りである。

奥の院特別母樹林の樹高測定に関する調査結果の概要は次の通りである。

測定対象個体数：151 本

平均樹高：38.3m

最高樹高：52.8m（No.716 スギ 写真 17）

6. 考察

（1）立木密度に関する問題について

①立木密度について

近年、地球規模での自然環境保全が重視される傾向にある。SDGs をはじめとする取り組みが官民一体となって進められている（環境省 2024）。森林保全についても温室効果ガス削減や水源かん養など、樹木だけが有する公益的機能が重視されるようになった（佐藤^明 2024、林野庁 2024）。

林野庁は日本林業の低迷を招いた一因とされている大面積皆伐一斉更新施業を反省し、より天然林に近い複層林施業や、収穫時には生育が良い個体から伐採するなすび伐り施業をめざしている（佐藤^明 2024、佐藤^清 1999）。この反省は高度経済成長時代に日本全土で培われた生産性・効率性・利益性を追求した産業改革を林業にも適用してきた国策林業方針の大転換に他ならない。これにより、林野庁では公益的機能の充実に目的とした森林施業策定にあたっては、伐期が 100 年以上の超長伐期施業が避けられない状況にある（家原 1990）。

1970 年代に強力に推進されてきた大面積皆伐施業の結果、国有林には 100 年生を超える人工林は存在しない（家原 1990）。そのため、林業経営の指標であり、立木密度や間伐時期、収穫材積の予想などを数値で示した収穫表は 85 年生林分までしか記載できないのが現状である。『近畿・中国地方のスギ、ヒノキ長伐期林分の実態解析と収穫予測』をみると、近畿地方において地位が最も高い林分のうち、85 年生のスギの適正立木密度は 570 本 /ha であるとされている（家原 1990）。奥の院特別母樹林は 5ha に生

育する704本の個体が指定されており、指定個体の立木密度は141本/haである。しかし、指定区域内には特別母樹林として指定されていない個体も生育しているため、数百年の林齢を考えると比較的高密度であることがわかる。

ここで重要なことは、現代林業経営の中心的概念である密度管理理論では奥の院巨木林成立の説明ができないことである。つまり、林分全体で立木本数を調節するとともに、高齢林になるほど密度を低くしなければならないという理論が奥の院巨木林の生態にはなじまないのである。

史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図(図1-1～1-13)をみると、約2kmの参道両側に位置する巨木の立木密度は場所により大きな差がある。周囲長が3メートルを超える巨木個体が1a(100 m²)の林地に9本生育している場合もある(No.92～100など)。局地的ではあるが、この林地の立木密度は900本/haとなることを考えると、奥の院巨木林成立には密度管理という概念が存在していないことは明らかである。つまり、現在の林業にはない独特の理論と手法により成林したと考えて良い。

② 巣植えとツボ植えについて

奥の院巨木林が人工林であることは既に述べた。さらに、スギだけをみても産地や樹齢が様々であることから、奥の院巨木林は一斉林ではないことは明らかである。つまり、同時期に一斉に植林されたのではなく、補植を何百年にもわたって続けてきたことを意味している。密度管理という概念がなく、局地的に超高密度で植林する手法に類似した手法に巣植えがある(佐藤^清1999、汰木1979)。これは1.2～1.4mを一辺とする三角形や四角形の頂点に植樹するというものである。この巣植えを造林地に疎らに配置するという点では奥の院巨木林と共通点がある。しかし、巣植えが同時に植栽する一斉造林であることや、森林経営の低コスト化および混交林化を目的としている点、さらには巣の中から1本の主林木を育成するという点で奥の院巨木林とは根本的に違った造林手法であることは明らかである。

国内で伝統的に行われてきた造林方法にツボ植えという手法がある。残念ながらツボ植えに関する資料を探したが見当たらない。ただ、全国各地の古老林業従事者には良く知られている伝統的な造林方法である。坪刈りという下刈り手法があることから坪植えという名称である可能性は高いが、関係する資料が確認できないため、ツボ植えとした。

ツボ植えの特徴は、次の通りである。

- i) 土壌に有機質が少ない場所や日照条件が極端に悪い場所など、地位が低いことにより生育が期待できない林地に用いられる。
- ii) 小さな面積に苗木間隔1m前後という超高密度で単一樹種を植栽する。
- iii) 下刈りや間伐など一切の造林施業を行わない無施業とする。

ツボ植えに関係する資料が見当たらない理由としては、成林する可能性が低い不成績林地に緊急避難的に用いられることが多い手法であることや、地位が低いため成林しても生育優秀な美林に至らなかったことなどが考えられるが推測の域を出ない。

奥の院地域を含む高野山一帯は豊富な降水量があることや、盆地でありながら水系の流出出口の岩盤が硬いため永年の水蝕に耐えて溪谷地形にならなかったことにより古くから湿潤状態であったことが知られている（小川_由 1973）。弘仁 7(816) 年に高野山が真言密教の根本道場として開かれた当時は、湿潤状態でありながらも比較的陸地化に適していた盆地西部に壇上伽藍が計画されたと推測されている（小川_由 1973）。さらに弘法大師空海入定後、御廟に近い盆地東部は僧坊や墓地などを建立するための埋め立て、排水、植樹などが行われたことにより湿潤状態から陸地化して現在のような仏教都市が成立したことが知られている（小川_由 1973）。つまり、奥の院一帯は巨木林が生育するには不利な環境であったと考えられる。

これらのことを考え合わせると、一斉造林という点と無施業ではなく禁伐であったという点を除いては奥の院巨木林造林に関しては広大な面積でツボ植えに類似する手法を行ったと考えて良い。

③独特の理論と手法に関する仮説について

奥の院巨木林がツボ植えという伝統的手法で造林されたと仮定すると、その時期はいつであったかが次の問題となる。特別母樹林指定時の概要をみると、樹齢は 200 ～ 600 年と推定されている（金剛峯寺山林部 2001）。これは室町時代から江戸時代に相当する時期であるが、むしろ 400 年以上の時間を費やして造林し続けてきたということが重要であろう。そう考えるとツボ植えという伝統的手法を取り入れたのではなく、奥の院巨木林が成立する背景や環境によりツボ植えに近い手法となっていたと考えた方が自然である。考えられる主な背景や環境は次の通りである。

- i) 奥の院地域の造林目的が宗教的景観や信仰環境の保全であり、伐採を目的としていなかったこと
- ii) 造林時期を通して墓地や参道が造成されたため、植栽場所が限られていたこと
- iii) 信仰形態としての献木が行われたため、限られた場所に植樹し続ける必要があったこと

以上のことを考え合わせると、奥の院巨木林成立時の立木密度に関する問題を解明するための仮説が生成できる。

【仮説 1】 奥の院巨木林の造林は墓地や参道の造成と同時に行われたため、限られた場所に植栽する必要がある、その結果ツボ植えに類似した手法で植林された。さらに、伝統的な信仰形態として献木が行われたため、数百年間にわたって補植し続けることになった。

(2) 個体の癒合（合体木）に関する問題について

①癒合の特徴について

奥の院特別母樹林巨木林 704 本の癒合状態は既に述べた。そのうち癒合状態がみら

れない単木立木は 316 本であり、全体の 44.9%であることがわかった。半数以上が癒合状態、あるいは癒合痕などから癒合形跡が認められたことになる。この癒合個体の生育割合は人工林ではもちろんのこと、天然林でもみられない。単木と判断された個体も全幹が完全に内部で癒合している場合や、地下根が癒合している可能性もあることを考えると、癒合個体の割合はさらに多くなる。

植物の癒合という特性は多様性という意味で優れている。植物が有する多様性が高い特性として、挿し木などにみられるクローン生殖特性と接ぎ木にみられる癒合特性がある。特に接ぎ木については紀元前から行われていたことが知られており、癒合特性は移動できない植物が種を保続するために持ち得た能力であるだけでなく、人類の農耕にとっても有効であったことは明らかである（尾形 2005）。国内でも平安時代には八重桜を庭に接ぎ木したことが知られており、植物の癒合特性は人間生活に多大な貢献をしてきたのである（七海ほか 2011）。また、植物の癒合は同種間や同属間での親和性が高く、さらに何らかの外圧が癒合を促進させることが知られている（佐藤_孝・斎藤 1981）。つまり、同種、あるいは同属の複数個体が近接した場所で成長した場合には個体同士が肥大成長する過程で圧迫し合って癒合する可能性が高いということである。国内に現存する巨木には樹木の癒合（合体木）が比較的多くみられることが知られているが、これらはすべて大自然によるものである（小笠原 1993・1999）。屋久島に生育するスギ合体木のように自然界で樹木の癒合が発生する場合には複数個体が近接した場所で活着するという偶然性が必須である。それでは人工林の場合はどう考えれば良いのかという問題が発生する。この問題を解明するにはツボ植えという施業が重要な鍵になる。

②ツボ植えと癒合の関係について

ツボ植えの特徴である同种植栽、超高密度植栽が樹木の癒合に有利であることは既に述べた。さらに地下の根系の癒合についても肥大成長と土圧などの物理的圧力により促進されることが知られている（佐藤_孝・斎藤 1981）。奥の院巨木林が生育する 19.7ha の区域の地目は山林ではなく、墓地である。このことは、もともと山林であった土地に墓碑を建立したのではなく、墓地の隙間に植林したことを示している。これは既に述べた伝統的信仰形態としての献木に関する歴史に矛盾しない。以上のことを考え合わせると、奥の院特別母樹林はツボ植えにより植栽された後、墓碑や参道の板石、参拝のための石段などで物理的な土圧が高かったことは明らかである。古くは天下の霊場高野山、現在は世界遺産高野山として参拝や観光の求心力はさらに増しており、令和 5(2023) 年度は 140 万人もの登山客が奥の院を訪れている（和歌山県地域振興部観光局 2024）。少なからず人間活動による物理的圧力が根系の癒合に影響していることも否定できない。

奥の院特別母樹林個体の癒合状態と癒合個体同士の中心距離を測定した結果の概要は既に述べた。この結果から個体間距離が近いほど密接な癒合状態となることがわかる。個体間距離が近い順に並べた癒合状態タイプは次の通りである。

C（幹部癒合）：	132.0 cm
B（根部癒合）：	156.4 cm
D（地下根部癒合）：	257.4 cm
A（単木）：	318.7 cm
E（癒合痕確認）：	398.4 cm

このうち、E（癒合痕確認）個体の測定値については、枯死した個体との距離が計測できないことから、癒合していない一番近い別個体との距離であるため無視して良い。この結果から生育する個体間の距離と癒合状態には明らかな相関関係がみられる。つまり、130 cm前後以内であれば幹部の癒合、150 cm前後以内であれば根部の癒合、それ以上の間隔がある場合には地下根部の癒合というように、個体同士が近いほど組織の深部まで癒合することを示しているのである。また、300 cm前後で単木個体として生育していることもわかる。

奥の院巨木林の半数以上の個体が癒合状態であることや、全国に存在する巨木に比較的多く合体木がみられることは、古い個体が癒合により生存能力を向上させた結果であろう。つまり、巨木にまで成長した個体は少なからず癒合による恩恵を受けてきたと考えられる。接ぎ木の一種である呼び接ぎは根や葉をつけたまま個体同士の幹部を癒合させる手法である。根系の腐朽が進む古い個体に呼び接ぎ苗を活着させて樹勢を復活させる医療施術はひろく知られている（越路・鈴木 2016）。癒合特性の象徴である接ぎ木は複数個体の優性能力をかけ合わせることを目的である。奥の院巨木林の成立には腐朽菌により根系の機能が衰えた高齢木が若い個体と癒合したことにより生命力を回復したと考えた方が自然である。このことについては更新という面から後に述べる。

③個体の癒合（合体木）に関する仮説について

以上のことを考え合わせると、個体の癒合（合体木）に関する問題を解明するための仮説が生成できる。

【仮説2】 墓碑や参道などにより適度な物理的圧力を土中で受ける環境において、ツボ植えという手法で高密度な植栽と補植が行われ続けた結果、個体の癒合が促進され奥の院巨木林成立に有利に働いた。

(3) 露出した木部の炭化に関する問題について

①露出した木部炭化の原因について

露出した木部炭化の原因が落雷による火災やたき火などによる焼損ではないことは既に述べた。確認された木部炭化個体の共通点としては木部だけが高温の燃焼により炭化していることがあげられる。これは明確な目的の下に行われた人為的な焼き入れ行為に起因することを意味している。それでは樹皮に損傷を与えずに露出した木部だけを炭化させた方法と目的は何かという問題が発生する。金剛峯寺山林部だけでなく、現在の林

業には生きている立木の一部を炎で炭化させるという施業は存在しない。そのため奥の院巨木林に多くみられる露出した木部に焼き入れを行って炭化させる方法と目的を断定することはできない。しかし、焼き入れの目的については比較的容易に推測できる。焼杉である。

焼杉とは外壁材としての耐久性能や防火性能を高めることを目的として杉板材の表面を燃焼により炭化させる伝統的建材加工技術である（岡村 2017、佐藤_正 2018）。焼杉同様、奥の院巨木林にみられる露出木部の焼き入れについては、腐朽菌や風雨に対する耐久・耐候性を向上させることが目的であると推測できる。針葉樹の木部は樹幹表面樹皮下で形成層としての役目を終えた死細胞が仮導管や木部繊維となって通水機能や樹体支持の機能を担う（黒田_克 2015）。そのため軽い焼損であっても枯死をまねく可能性が高い樹皮と違い、木部だけに限って高熱の燃焼により炭化させても枯死しないという理論は理解できるが、貴重な立木に実際行っていたことは驚愕の事実である。しかも、炭化した木部の風化状態に著しい差があることから同時期に行われたのではなく、長期間にわたり続けられてきたことは明らかである（写真 6～9）。また、植物の癒合特性の中心的な役割を担うのがカルスである。カルスは癒傷組織とも訳されるように、傷ついた植物がオーキシシン、サイトカイニンの2種類のホルモンによりカルスを誘導し、傷口を塞いだり再生したりするのである（池内ほか 2015、岩瀬ほか 2015）。しかし、針葉樹の場合には枝打ち痕のように小面積の樹皮は再生するが、癒合面が剥離したような大面積の樹皮は再生しない（写真 18）。

ただ、奥の院においてスギ立木に焼き入れを行った手法を推測しようとする新たな問題が発生する。比較的風化されずに炭化状態が保たれている個体を観察すると、極めて高い精度で木部だけを燃焼させていることがわかる（写真 6～9）。これは高温で細い炎により、露出した不規則な木部面だけに焼き入れを行ったことを示している。日本にはじめてガス灯が導入されたのは明治 5（1872）年であった（日本ガス協会 HP）。奥の院巨木林で焼き入れの施業を行うにあたり、携帯用ガスバーナーが普及していたとすれば問題ないが、それ以前から行われていたとすればその手法を解明するのは困難である。まずは年輪調査により炭化層の年代を推定することが肝要である。焼き入れ手法の解明については今後の研究を待ちたい。

②露出した木部の炭化に関する仮説について

以上のことを考え合わせると、露出した木部の炭化に関する問題を解明するための仮説が生成できる。

【仮説 3】 癒合した個体の一部が倒木や枯死することにより、治癒再生できない面積の樹皮が欠損した場合、露出した木部を焼き入れすることにより木部を炭化させて耐久性・耐候性を高めて腐朽菌や風化から保護した。

(4) 更新に関する問題について

①更新施業の特徴について

直射日光が1日中ほぼ当たらない地表で奥の院巨木林の後継樹を更新させることが最大の問題であることは既に述べた。さらに、奥の院巨木林が一斉林ではないことから数百年間も更新し続けてきたという事実がある。ツボ植えという手法が樹木の癒合特性を促進し、巨木林成立に有利に働いたことは既に述べた。これは樹木組織の若返りと考えて良い。動植物は生殖過程を経た世代交代により若返る。配偶子を形成し、新世代として生まれた個体は古い親個体が死滅しても種は保存されるのである。しかし、樹木に関しては生殖過程だけでなく、癒合特性に代表される成長過程で無性的に行われることが知られている（小笠原 1999）。

しかし、これはあくまでも上層木としてのスギ巨木が老化した根系などの組織を別個体との癒合により活性化させるという原理である。スギ巨木の近くにツボ植え補植された後継樹がうまく癒合できたとしても、あくまでも下層木としての存在でしかない。自然界では複数の個体が生存競争として樹高を高くし、枝を広く張って太陽光を獲得するが、奥の院巨木林では平均樹高 40m 前後という上層木が林冠を閉鎖しており、下層木が生存競争に加わるには絶望的に分が悪いのである。

しかし、奥の院特別母樹林をみると、明らかに樹齢が違う老若の個体が見事に幹を癒合させ、なかには巨木とともに林冠を形成しているのが確認できる（写真 19～21）。日照条件が悪い下層木でありながら巨木とともに成長を続けているという問題を解明するにもやはり樹木の癒合特性が鍵になると考えられる。

呼び接ぎという手法で根系組織を活性化する樹木医療施術については既に述べた（越路・鈴木 2016）。これは癒合することにより根系の通水機能が向上することを意味している。しかし根系癒合や幹部癒合は通水機能を有利にするだけではない。接ぎ木により癒合した個体は通水だけでなく空気中の炭素を固定した光合成物質を、自然界の個体と同様に移動させることが知られている（矢幡・須崎 1972）。また、根系だけが癒合した状態のアカマツの個体間で、マツノザイセンチュウという線虫が移動してマツ枯れがひろがることも明らかになった（田中ほか 2015）。さらに、線虫による感染が根系癒合アカマツの個体間距離 3m 以内で発生するという点に関しては、本研究の調査で明らかになった個体間距離が 3m 以内の場合に癒合割合が高くなるという結果と類似しており大変興味深い。

また、植物の生存競争といえば樹高と枝の伸張による太陽光の獲得競争を想像しがちであるが、地下では根系が水分・養分の獲得で地上以上に熾烈な競争が繰り広げている（佐藤_孝 1995）。植物の癒合特性が多様性に優れていることは既に述べた。奥の院巨木林のうち癒合状態にあるスギに限っては、地下においても地上においても生存競争ではなく生存協力による共生が行われていることを強調したい。奥の院巨木林は人工林でありながら、大自然の摂理である植物の癒合特性を存分に発揮して共生群落を構成しているのである。

これらのことから奥の院巨木林の下層にツボ植え補植された個体が上層木と癒合することにより古い個体の通水機能を向上させるかわりに、日照条件が有利な上層木から光合成物質を分け与えてもらっている可能性が高い。これにより、日当たりの悪い下層木であっても日当たりの良い上層木と同様に成長することを可能にしていると考えられる。

②更新に関する仮説について

以上のことを考え合わせると、更新に関する問題を解明するための仮説が生成できる。
【仮説4】 ツボ植えにより補植された個体の根系や幹部が癒合したとき、若い下層木は古い上層木の通水機能を向上させる。さらに、上層木は日照条件が有利な高度で生成された光合成物質を下層木に移動する。これにより、日当たりが悪い下層木の成長を促進することができる。

(5) 個体数の維持・保全に関する問題について

①個体減少の原因について

金剛峯寺や壇上伽藍の禁伐林区のスギ巨木に急激な先枯れの進行がみられることは既に述べた。かつて、先枯れの原因は酸性雨によるものであるという説が強く論じられたことがあるが、最近の研究結果では重大な因果関係はみられないことが知られている(小川_和 2007)。さらに、先枯れには樹冠頂端部の水ストレスが強く影響していることも報告されている(吉川・坂本 2004-2006)。樹木は葉の蒸散によって生じる吸水力が、細根から道管壁、仮導管壁の凝集力により樹冠頂端部まで水を届けている。しかし、樹高50m級の樹木では木部の負圧が真空圧であるマイナス8気圧前後となるため、樹冠頂端部は常に水ストレスによる乾燥状態にさらされることになり、光合成能力が低下する(鍋嶋・石井 2008、日本林業技術協会 1987、吉川・坂本 2004-2006)。これが先枯れの主な原因であり、日照条件では生存競争上最も有利な巨木の頂端部は常に水不足であるという矛盾が生じていることになる。先枯れのような枯死部からの腐朽菌侵入を阻止し、個体を保護するためにも根系機能を向上させて樹冠頂端部の水ストレスを緩和しなければならない。

奥の院巨木林の個体数が確実に減少していることは既に述べた。昭和46(1971)年に奥の院特別母樹林が指定されから50年間で52本の個体数が減少した。その後、現在までの3年間で12本もの個体が失われた。つまり、指定後の50年間は1年間で消失した個体数は平均1.04本であったが、直近3年間はその4倍ものペースで消失していることがわかる。消失理由が腐朽菌に由来する枯死と台風などの強風に由来する倒木であることは既に述べた。強風による倒木の場合も腐朽菌により巨木の幹の中心が空洞になることで極度に耐風性が低下したこと由来するケースが多い(市原 2024)。令和2(2020)年に岐阜県指定天然記念物であった樹高40m、胸高直径310cmを誇るスギ巨木が豪雨のなか倒木化した。倒木の主因は風でも雨でもなく、スギ巨木の地上部に対す

る地下部根系の生育不良、および土壌水分環境に影響を受けた根系腐朽と結論づけられている（黒田^慶ほか 2021、平野ほか 2021）。つまり、巨木の維持・保全のために重要なことは根系の生育を良好な状態に保つことと腐朽菌が侵入しないという2点に集約できる。そもそも樹木には菌の侵入を阻止する機能を備えている（山田 1998）。しかし、個体の老化によりその機能の低下は避けられない。さらに、奥の院巨木林の癒合個体欠損のように修復できない規模での木部露出や、先枯れの進行により樹冠頂端部から腐朽菌の侵入が発生すれば樹勢は致命的に衰えることになる。

根系が健全な状態であれば、良好な通水能力により樹冠頂端部の水ストレスを改善して先枯れの防止につなげることができる。さらに、広範囲の別個体と地下根系で癒合することにより物理的に巨木の支持力を向上させることができる。これらの点においてもツボ植えによる補植という手法が有効であることはいうまでもない。

②個体数の維持・保全に関する仮説について

以上のことを考え合わせると、個体数の維持・保全に関する問題を解明するための仮説が生成できる。

【仮説5】 ツボ植え補植を行って癒合を促進させることにより巨木林の根系が活性化し、物理的に樹体の支持力を向上させると同時に樹冠頂端部の腐食菌に対する抵抗力を高めることができる。また、焼き入れに類似した手法により腐朽菌の侵入を阻止して腐朽を遅らせることができる。これらを計画的に続けることにより奥の院の巨木林は現在の状態を維持することができる。

7. まとめ

本研究は宗教的景観の形成と維持を考える上で、高野山奥の院巨木林の成立と保全に関する問題を解明することを目的として、奥の院特別母樹林指定個体 704 本の悉皆調査を行い、考察を加えたものである。その結果、現代の林学の常識を逸脱した造林方法により成林したという画期的な仮説を生成することができた。これらの仮説が実証されれば奥の院巨木林の成立に関する問題はすべて解明されたことになる。生成された仮説は次の通りである。

【仮説1】 奥の院巨木林の造林は墓地や参道の造成と同時に行われたため、限られた場所に植栽する必要がある、その結果ツボ植えに類似した手法で植林された。さらに、伝統的な信仰形態として献木が行われたため、数百年間にわたって補植し続けることになった。

【仮説2】 墓碑や参道などにより適度な物理的圧力を土中で受ける環境において、ツボ植えという手法で高密度な植栽と補植が行われ続けた結果、個体の癒合が促進され奥の院巨木林成立に有利に働いた。

【仮説3】癒合した個体の一部が倒木や枯死することにより、治癒再生できない面積の樹皮が欠損した場合、露出した木部を焼き入れすることにより木部を炭化させて耐久性・耐候性を高めて腐朽菌や風化から保護した。

【仮説4】ツボ植えにより補植された個体の根系や幹部が癒合したとき、若い下層木は古い上層木の通水機能を向上させる。さらに、上層木は日照条件が有利な高度で生成された光合成物質を下層木に移動する。これにより、日当たりが悪い下層木の成長を促進することができる。

【仮説5】ツボ植え補植を行って癒合を促進させることにより巨木林の根系が活性化し、物理的に樹体の支持力を向上させると同時に樹冠頂端部の腐食菌に対する抵抗力を高めることができる。また、焼き入れに類似した手法により腐朽菌の侵入を阻止して腐朽を遅らせることができる。これらを計画的に続けることにより奥の院の巨木林は現在の状態を維持することができる。

これらの仮説の実証にはかなりの年月が必要である。しかし、数百年かけて現在の巨木林が成立したことを考えると50～100年単位で取り組むべきものであろう。

本研究結果考察のキーワードは癒合特性とツボ植えである。さらに、ツボ植えという手法には近い将来必ず訪れる伐期を定めない林業や、温室効果ガス対策のための林業における有効性と限りない可能性が充満していることは明らかである。ツボ植えには非科学的で生産性が低い印象がつきまとうが、その根底には植物の癒合特性を高め、複数個体の能力を統合して生命力を向上させるという自然中心の理論がある。ツボ植え自体が植物の癒合を目的とした伝統的手法であることを考えると、先人の山林施業従事者が経験的にその有効性と可能性を見いだしていたことに深い敬意を表したい。その結果、奥の院巨木林が数百年という年月をかけて、人工林でありながら癒合特性により共生群落を構成していることに感銘を覚えずにはいられない。

本研究で生成された奥の院巨木林の成立に関する仮説を総合して考えると新たな問題が発生する。それは、奥の院巨木林の成立が宗教的景観を形成するためであるならば、なぜ、傷付いた老木をツボ植え補植や焼き入れにより延命させるのか、という問題である。つまり、宗教的景観を形成するのは老木・巨木でなければいけないのか、伐採により更新した若齢林ではいけないのか、という疑問である。

奥の院は天下の霊場である。さらに、真言密教の最終目的である即身成仏と日本人の精神文化に深く根ざした祖霊信仰が融合した特別な霊場であり、1200年間もの永きにわたり求心力を失わなかった理由がそこにある。真言密教が高度な自然観を持ち、アニミズムに良くなじむ性格であることや、天下の霊場にふさわしい宗教的景観の形成を考えたとき、おそらく国内最古級の献木という信仰形態が発生したと考えられる。高野山では聖域で生育した立木を霊木の名で尊んできた歴史がある。金剛峯寺山林部では高野霊木という商標登録を行って、その精神を今に伝えている。霊木とは魂が宿る木という

意味であり、献木により植樹された個体は霊木に他ならない。つまり、宗教的景観の一部として植樹された霊木は聖域の大自然に育まれただけでなく、それ自体が宗教性を連綿と伝え続けてきたのである。そのため、霊木は伐採されることなく数百年という歴史を刻み、老木であればあるほど、巨木であればあるほど宗教的価値が高いといえる。これは高野山奥の院だけでなく、明治神宮や八王子高尾山、そして全国に位置する鎮守の森やご神木なども同様である。

これらのことから奥の院巨木林が宗教的景観を形成し、維持する上でかけがえのない存在であることは明らかであり、世界遺産高野山が眞言密教の根本道場として、その求心力を未来永劫に伝えていくための必須要素のひとつであることがわかる。

8. 提言

最後にこれからの奥の院巨木林の維持と保全施策に関する提言を述べる。既に述べた通りツボ植えによる補植を早急に開始すべきである。実施にあたっては綿密な準備と計画が必要である。計画の中心的手法はツボ植え補植と腐朽菌による腐朽の阻止である。ツボ植え補植は対象とする巨木の根系の損傷に注意しながら可能な限り個体間の距離を近くするよう心がけ、腐朽菌の侵入阻止を目的とした施策についても早急に検討すべきである。

ただ、拙速で連続性が低い計画ではなく、最低でも 50 年は継続して行うことが肝要である。50 年間でさらに 30% 程度の個体数が失われることが予想されるが、焦らずに大自然の摂理である植物の癒合特性により奥の院巨木林の生命力が向上するのを待たなければならない。

本研究では 50 年ぶりに奥の院特別母樹林の悉皆調査を行うことができた。今後は定期的な悉皆調査とツボ植えによる補植の生育状態確認の継続を求めたい。そのためには特別母樹林だけでなく、和歌山県指定天然記念物個体の確認と管理番号プレートの保全を急がなければならない。

今後、本研究の仮説の実証や継続的な調査研究により、奥の院巨木林が森厳護持の精神とともに未来永劫維持・保全されることを願うことしきりである。

謝辞

世界遺産高野山奥の院に位置する巨木林の成立に関する調査研究にあたり、深いご理解とご協力をいただいた金剛峯寺山林部に心より御礼を申し上げたい。さらに本研究を発表する機会を与えていただいた高野山大学添田隆昭学長をはじめ、密教文化研究所および査読いただいた先生方に重ねて御礼を申し上げる次第である。

The Formation and Preservation of Religious Landscapes

- A Study on the Okunoin Giant Tree Grove in Koyasan -

Bunsho Yamaguchi

Summary

This study aims to elucidate the issues surrounding the formation and preservation of the Okunoin Giant Tree Grove in Koyasan as a religious landscape. To achieve this, a comprehensive survey and analysis were conducted on all 704 designated trees within the Okunoin Special Mother Tree Forest. Based on the survey data, a series of novel hypotheses challenging conventional grove practices are proposed. These hypotheses are as follows:

【Hypothesis 1】 : The afforestation of the Okunoin Giant Tree Grove was contemporaneous with the construction of burial sites and pathways, necessitating planting within spatially constrained environments. The planting methodology employed is hypothesized to resemble the "Tsubo-ue" technique, which involves planting in small containers. Additionally, continuous replanting over several centuries, driven by traditional religious practices involving tree offerings, is posited to have played a significant role.

【Hypothesis 2】 : Moderate physical pressure exerted by surrounding burial monuments and pathways facilitated an environment conducive to high-density planting and replanting using the "Tsubo-ue" technique. This process led to the fusion of individual trees, which is hypothesized to have substantially contributed to the distinctive characteristics of the Okunoin Giant Tree Grove.

【Hypothesis 3】 : When fused trees fell or died, bark areas unable to regenerate were subjected to controlled burning. This process is hypothesized to have carbonized the exposed wood, thereby enhancing its durability and resistance to decay fungi and environmental degradation.

【Hypothesis 4】 : The fusion of root systems and trunks in re-planted trees is hypothesized to have enhanced the water transport efficiency of older, upper-layer trees. Additionally, photosynthetic products generated by the upper-layer trees, which benefited from superior light conditions, were likely transferred to the lower-layer trees, promoting growth within the shaded understory.

【Hypothesis 5】 : Replanting and fusion of trees through the "Tsubo-ue" technique not only strengthened the structural stability of the trees but also enhanced resistance to decay fungi at

the canopy level. Furthermore, the controlled burning process is posited to have served as a protective mechanism against fungal invasion, thereby delaying decay. Through the systematic continuation of these practices, it is hypothesized that the Okunoin Giant Tree Grove has maintained its present condition over an extended timescale.

The primary keywords for this study are "Plant healing properties" and "Tsubo-ue." Despite its traditional, seemingly unscientific, and low-productivity nature, the "Tsubo-ue" technique demonstrates significant potential for non-timber-oriented grove management and climate change mitigation strategies. The method leverages the natural principle of enhancing plant healing, integrating the physiological functions of multiple individuals to augment collective vitality. It is evident that this traditional technique was empirically developed by past generations of grovery practitioners, who recognized its value and potential.

Through the continued validation of the hypotheses proposed in this study and further research, it is anticipated that the Okunoin Giant Tree Grove will be preserved as a living testament to the sacred principles of grove stewardship and spiritual guardianship.

Key words : Religious Landscapes, World Heritage Site: Koyasan, Giant tree grove, Plant healing properties, “Tsubo-ue” Planting, Prevent decay by burning method

参考文献

- 文化庁「#88 霊気満山 高尾山「杉苗奉納石碑」」『日本遺産ポータルサイト』文化庁,
<https://japan-heritage.bunka.go.jp/ja/culturalproperties/result/4904/>
- 平野恭弘・南光一樹・土居龍成・西村 滯・杵山哲矢・谷川東子(2021)「2020年7月に倒木化した岐阜県大湫町神明大杉の根系状況」『根の研究 No.30-3』根研究学会, 65-75
- 本多静六(1985)『最新改訂 森林家必携』(財)林野弘済会, 810
- 市原 優(2024)「辺材腐朽菌による幹の腐朽が風倒木発生に与える影響」『森林総合研究所関西支所研究情報 No.151』森林総合研究所関西支所, 1-3
- 家原敏郎(1990)『近畿・中国地方のスギ、ヒノキ長伐期林分の実態解析と収穫予測』森林総合研究所
- 池内桃子・岩瀬 哲・杉本慶子(2015)「傷付いた植物はどのように修復・再生するのか」『植物科学の最前線 No.6』日本植物学会, 23-30
- 岩瀬 哲・池内桃子・杉本慶子(2015)「カルス形成の分子メカニズム」『植物科学の最前線 No.6』日本植物学会, 2-22
- 環境省(2024)『令和6年度版環境・循環型社会・生物多様性白書』環境省, <https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/r06/pdf.html>
- 環境省自然環境局生物多様性センター「巨樹・巨木林調査のこと」『巨樹・巨木林データベース』環境省, <https://kyoju.biodic.go.jp/>
- 河辺祐嗣・軽部勲夫・杉山正幸・松浦敦士(2008)「落雷によるヒノキ人工林の集団枯損被害」『樹木医学研究 第12巻1号』樹木医学会, 11
- 木村 恵(2012)「高野山スギ特別母樹林」『森林科学 第66号』日本森林学会, 32-33
- 国土交通省国土技術政策総合研究所(2019)「街路樹の倒伏対策の手引 第2版」『国土技術政策総合研究所資料 第1059号』国土交通省
- 金剛峯寺山林部(1934)『奥の院参詣道附近毎木調査野帖』
- 金剛峯寺山林部(1973)『奥の院大杉林調査報告書』総本山金剛峯寺山林部
- 金剛峯寺山林部(2001)『総本山金剛峯寺山林部50年の歩み』総本山金剛峯寺山林部, 80
- 金剛峯寺山林部「高野山の森林と歴史」『高野山真言宗・総本山金剛峯寺 HP』高野山真言宗・総本山金剛峯寺, <https://www.koyasan.or.jp/forest/>
- 越地 正・鈴木 清(2016)「酒匂川堤防松並木での呼び接ぎ事例」『樹木医学研究 第20巻2号』樹木医学会, 87-88
- 黒田克史(2015)「木部における柔細胞の役割、物質移動と心材形成」『木材学会誌 Vol.61 No.3』日本木材学会, 131-135
- 黒田慶子・多賀正明・村尾 満・宮嶋英好・森 靖雄(2021)「岐阜県大湫町神明神社における大杉倒壊の原因解明(1)」『樹木医学研究 第25巻2号』樹木医学会, 71-72
- 前田雄一・中村徳和・小山 敢・矢部 浩・土屋竜太(2013)「2004年に発生したスギ林火災の実態と7年経過後の生存木の現状－火災被害林の取り扱いのために－」『樹木医学研究 第17巻3号』樹木医学会, 102-112
- 明治神宮「杜(もり)・見どころ」『明治神宮 HP』明治神宮, <https://www.meijijingu.or.jp/midokoro/>

- 鍋嶋絵里・石井弘明 (2008)「樹高成長の制限とそのメカニズム」『日本森林学会誌 90 巻 6 号』日本森林学会, 420-430
- 七海絵里香・大澤啓志・勝野武彦 (2011)「造園樹木における接木技術の歴史および技術継承に関する研究」『ランドスケープ研究 No.74』日本造園学会, 405-408
- 日本ガス協会「ガスの記念日について」『日本ガス協会 HP』日本ガス協会, <https://www.gas.or.jp/about/jga/kinenbi/>
- 日本林業技術協会 (1987)「天然の揚水機」『森林の 100 不思議』日本林業技術協会, 94-95
- 仁井田好古 (1970)「巻之五十八 風俗土産上」『紀伊續風土記 (五)』(株) 歴史図書社, 406
- 大場貞男・浅沼晟吾・早稲田収 (1983)「人工庇陰下における最小要光量」『林業試験場研究報告 第 323 号』森林総合研究所, 139-142
- 小笠原隆三 (1993)「巨樹, 老樹における個体の合体および分解」『広葉樹研究 第 7 号』鳥取大学農学部広葉樹開発実験室, 49 - 80
- 小笠原隆三 (1999)『日本の巨樹・老樹ー巨樹・老樹と人間ー』西日本法規出版 (株), 182
- 尾形凡生 (2005)「接ぎ木の生理」『植物化学調節学会報 No.40』植物化学調節学会, 131-138
- 小川和雄 (2007)「大気環境変化と植物の応答」『平地のスギ枯損の原因はわかったのか』第 23 回気象環境研究会, 13-20
- 小川由一 (1973)「紀州路の植物と風俗をたずねて」『紀伊植物誌 (I)』紀伊植物誌刊行会, 352
- 小川由一 (1977)「後編 高野山の植物 (増補)」『紀伊植物誌 (II) 高野山の植物』紀伊植物誌刊行会, 136
- 岡村健太郎 (2017)「焼杉に関する研究」『住総研 研究論文集・実践研究報告集 No.44』住総研, 13-24
- 大阪営林局 (1934)『森林ノ王者高野山奥之院ノ杉林ヲ紹介ス』
- 林野庁 (2024)「第 2 部森づくりの理念と森林施業」『令和 6 年度森林総合管理士 (フォレスター) 基本テキスト』林野庁, 20-61
- 林野庁「人工林スギ齢級別 面積【計画対象森林】」『統計情報 (森林資源の現況 平成 29 年 3 月 31 日現在)』林野庁, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/4.html>
- 佐藤 明 (2024)『技術面から見たあるべき姿の育成複層林 / 福相林』森林総合研究所, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/rinsei/singikai/attach/pdf/070509si-5.pdf>
- 佐藤正倫 (2018)「木材或いは木質材料の表面層炭化方法」『特許公報 (B2) 特許第 6432053 号』日本国特許庁, 32
- 佐藤清太郎 (1999)「スギ単植え環境順応造林法及び広葉樹育成の実践と評価」『1999 年度宝ホールディングス (株) 助成事業報告』宝ホールディングス (株), 5-25
- 佐藤孝夫 (1995)「樹木の根系の成長に関する基礎的研究」『北海道林業試験場研究報告 第 32 号』北海道立林業試験場, 54

- 佐藤孝夫・斎藤 晶(1981)「クサギの根の癒合」『光珠内季報 No.48』北海道立林業試験場, 28-29
- 森林保健センター(2013)「火災による被害の特徴」『森林保健センター HP』森林保健センター, https://www.ffpri.affrc.go.jp/fic/s/taishou_kasai.html
- 森林総合研究所(1990)「近畿・中国地方のスギ、ヒノキ長伐期林分の実態解析と収獲予想」『平成元年度国有林野事業特別会計技術開発試験成績報告書』森林総合研究所, 49
- 森林総合研究所(2019)『写真で見る 林木の気象害と判定法』森林総合研究所, 44
- 鈴木 覚(2020)「落雷害研究の現状と展開方向」『日本森林学会誌 102 巻 3 号』日本森林学会, 212-220
- 田中一二三・保坂武宣・玉泉幸一郎(2015)「根系癒合を経由したマツ材線虫病への感染と被害拡大への影響評価」『樹木医学研究 第 19 巻 2 号』樹木医学会, 100-101
- 丹下 健・小池孝良(2016)『造林学』(株)朝倉書店, 180
- 東京都建設局(2021)『令和 3 年度 街路樹診断等マニュアル』東京都建設局, 102
- 東京都建設局(2021)「第七章 参考資料」『令和 3 年度 街路樹診断等マニュアル』東京都建設局, 103-158
- 堤 利夫・川名 明(1981)『新版 造林学』(株)朝倉書店, 234
- 和歌山県地域振興部観光局(2024)『観光客動態調査報告書 令和 5 年』和歌山県地域振興部観光局, 39
- 和歌山県教育委員会(1999)「高野山エリア(高野町)」『和歌山県文化財ガイドブック 上巻』和歌山県教育委員会, 202
- 和歌山県教育委員会(2021)『和歌山県文化財保存活用大綱』和歌山県教育委員会, 60
- 和歌山県農林水産部(2017)『和歌山県スギ・ヒノキ人工林の地位別林齢別上層樹高表、簡易林分材積表、成長率表』和歌山県農林水産部, 13
- 矢幡 久・須崎民雄(1972)「接木個体における物質移動に関する研究」『九州大学農学部学芸雑誌 No.26』九州大学農学部, 145-153
- 山田利博(1998)「菌の侵入に対するスギ生立木辺材の反応に関する研究」『森林総合研究所研究報告 No.375』森林総合研究所, 69-162
- 山陰加春夫(2001)「鎌倉時代の高野山の森林保護政策について」『総本山金剛峯寺山林部 50 年の歩み』総本山金剛峯寺山林部, 80
- 吉川 賢・坂本圭児(2004-2006)「水ストレスが樹幹木部の通水機能と葉の蒸散抑制に与える影響について」『科学研究費助成事業報告書 2004-2006』日本学術振興会
- 汰木達郎(1979)「スギ巣植林の生長」『九州大学農学部演習林報告 No.51』九州大学農学部演習林, 19-38

図 1-1 史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図（1/13）



図1-2 史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図(2/13)



図 1-3 史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図（3/13）



図1-4 史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図 (4/13)



図 1-5 史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図（5/13）



図1-6 史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図 (6/13)



図 1-7 史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図（7/13）

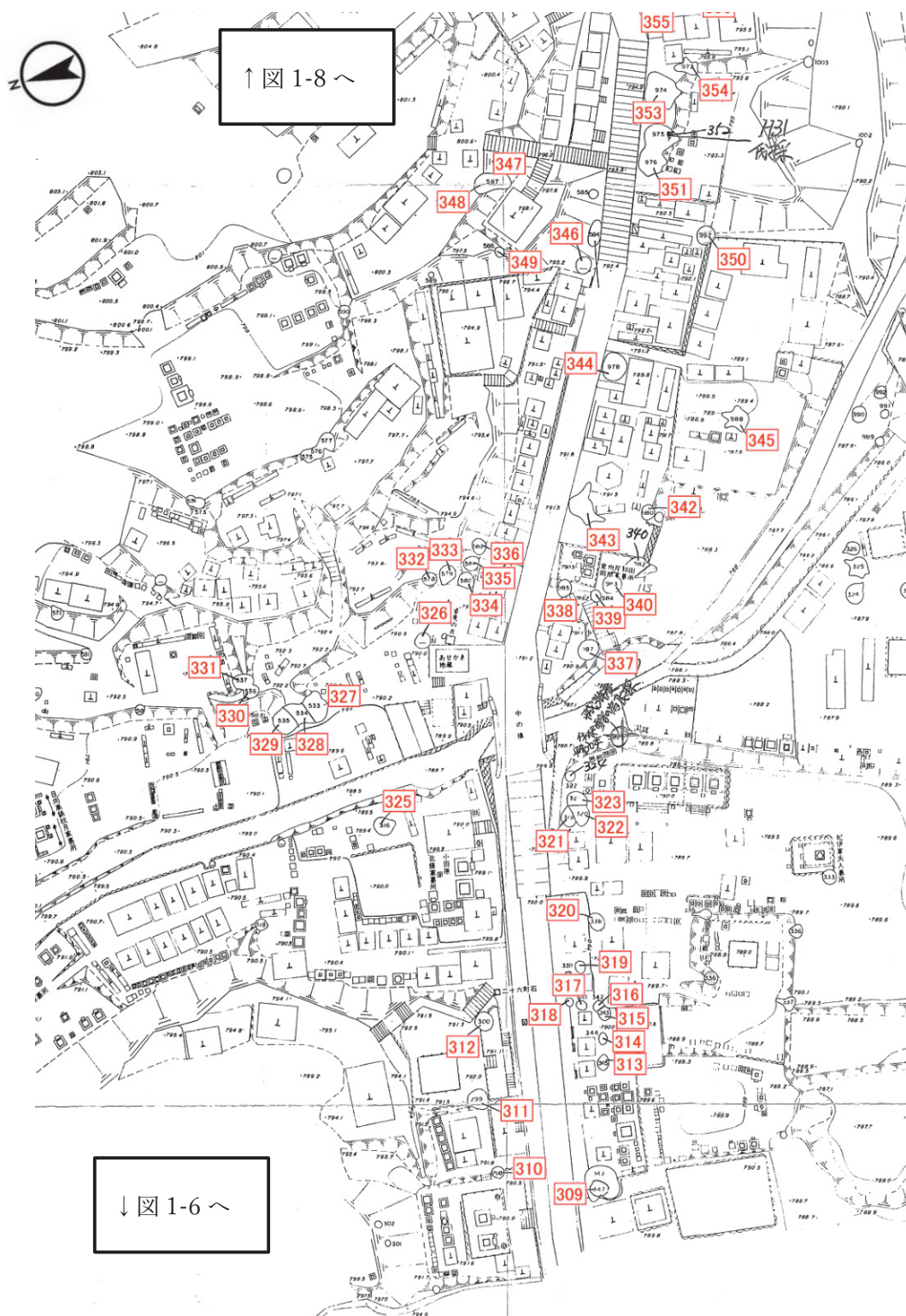


図1-8 史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図 (8/13)



図 1-9 史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図（9/13）

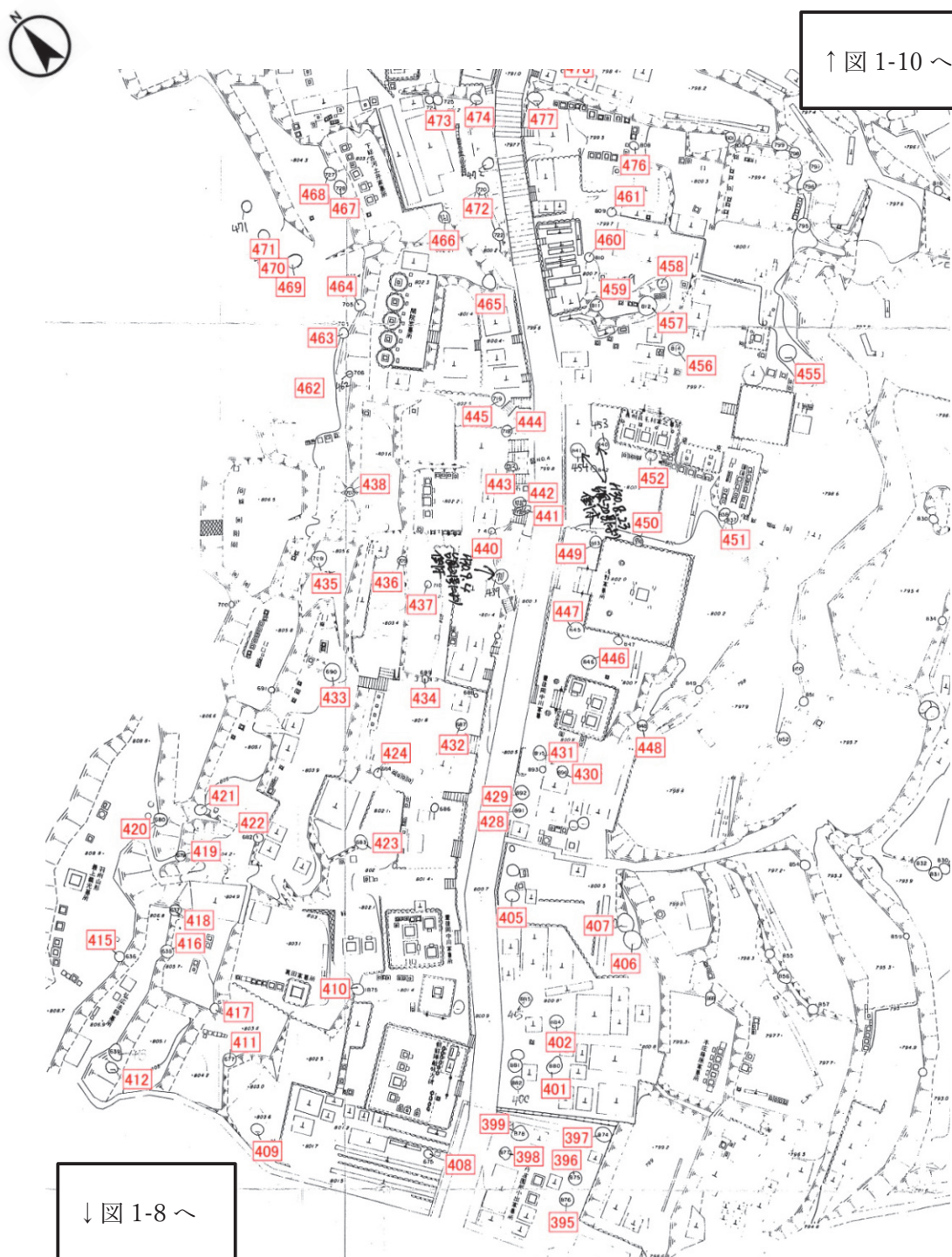


図 1-10 史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図 (10/13)



図1-11 史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図（11/13）



図 1-12 史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図 (12/13)



図 1-13 史跡金剛峯寺境内奥の院特別母樹林位置図（13/13）

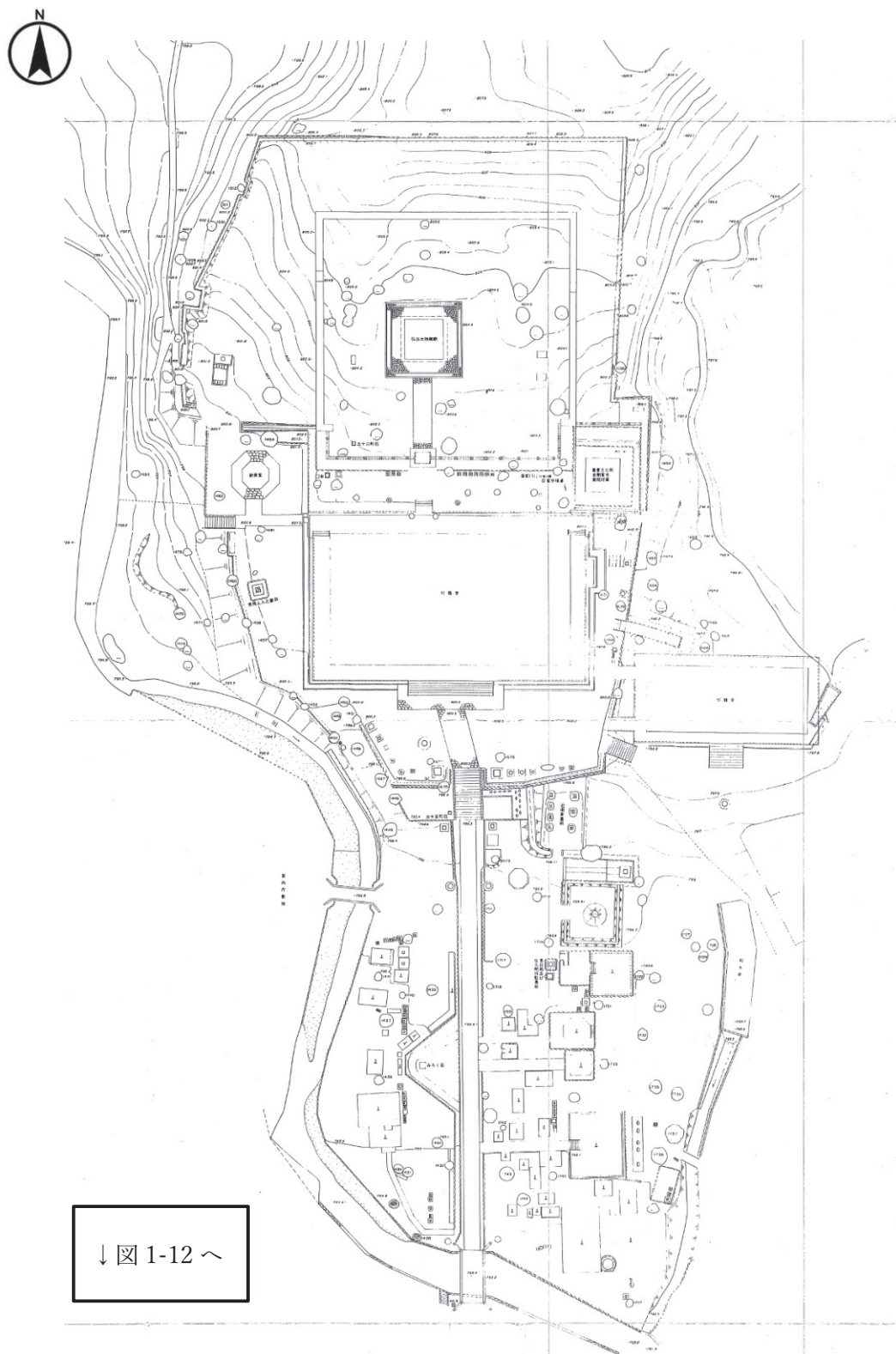


図-2 奥の院特別母樹林胸高周囲長分布図

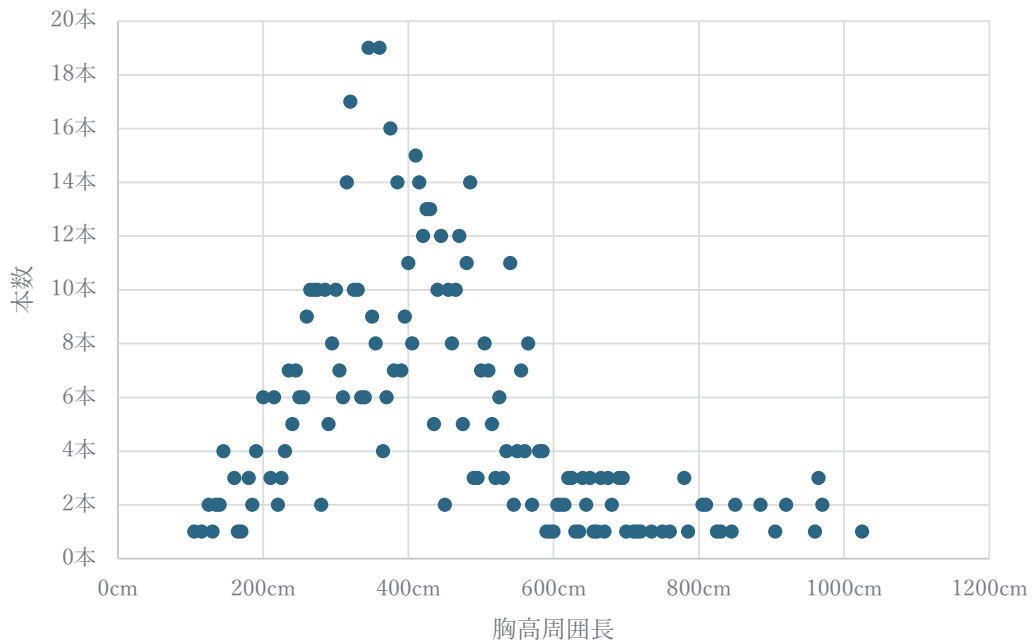


図-3 奥の院特別母樹林樹高分布図

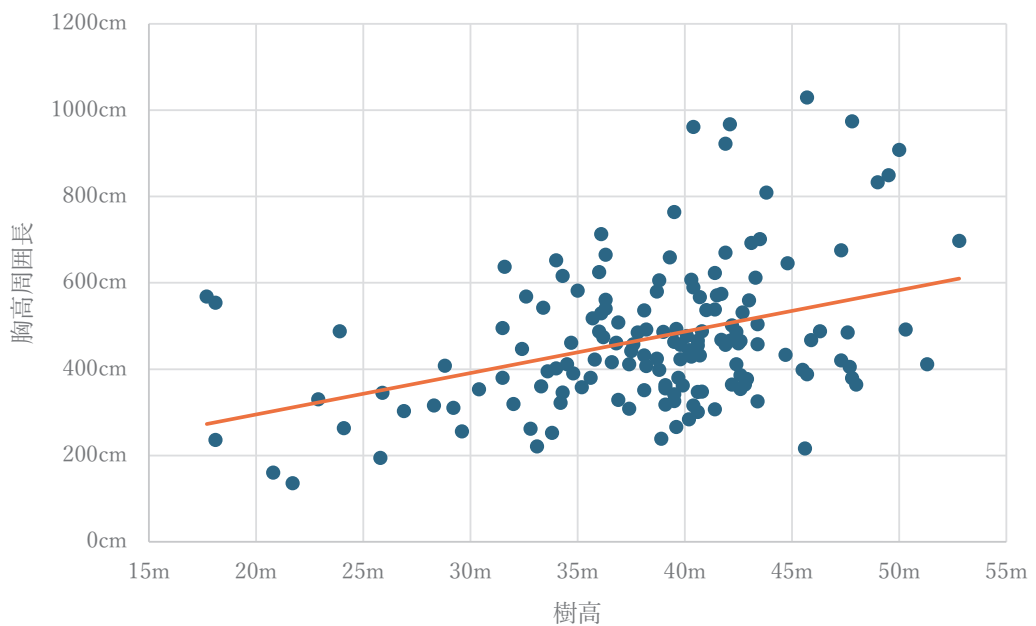




写真1 山札箱



写真2 山札



写真3 学侶方山奉行印面



写真4 行人方山奉行印面



写真5 献木の碑（明治41(1908)年建立）



写真6 癒合痕部炭化状況 (No. 124)



写真7 癒合痕部炭化状況 (No. 221)

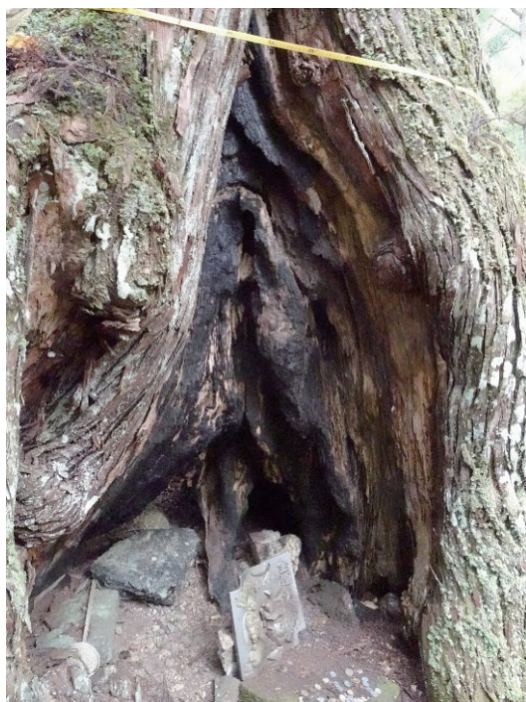


写真8 癒合痕部炭化状況 (No. 312)



写真9 癒合痕部炭化状況
(県指定 No. 1851)



写真 10 金剛峯寺前大杉林 2022 年 12 月 1 日撮影



写真 11 金剛峯寺前大杉林 2024 年 12 月 20 日撮影

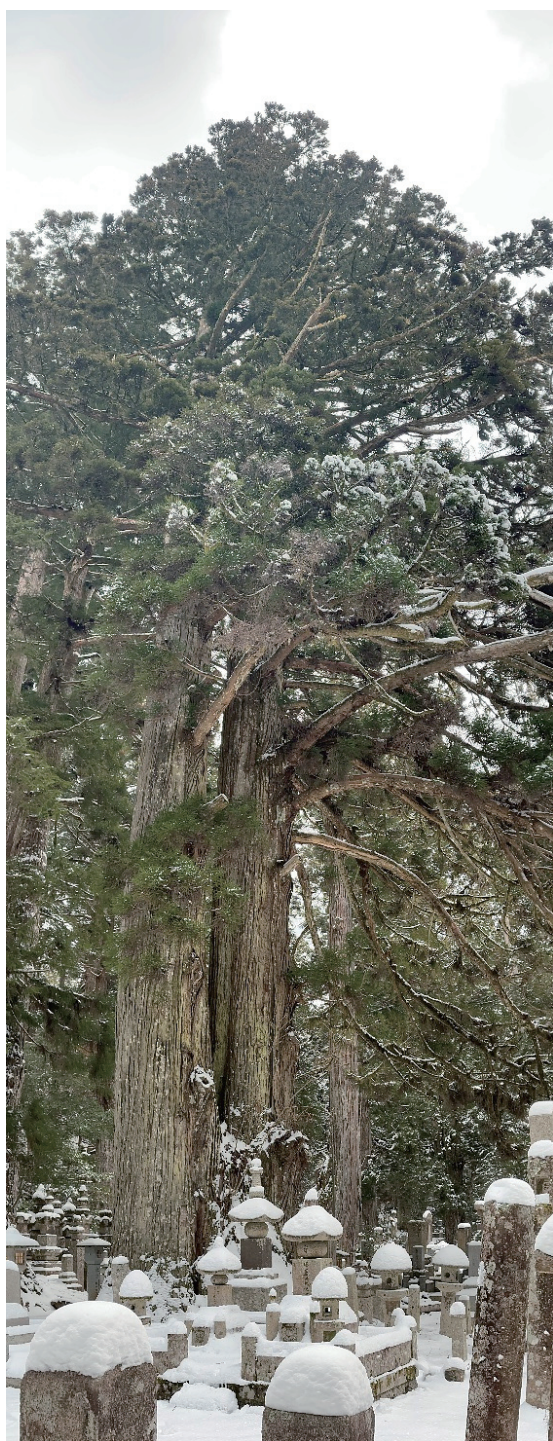


写真 12 最大胸高周囲個体
(No. 209 胸高周囲 : 1029 cm)

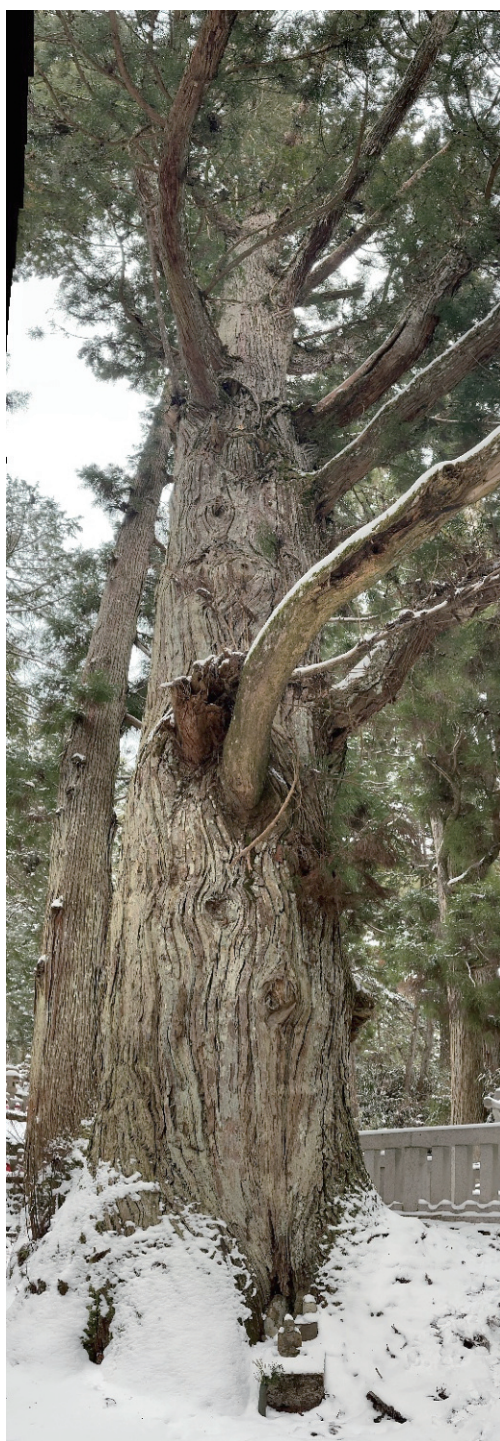


写真 13 癒合状態 A の最大胸高周囲個体
(No. 356 胸高周囲 : 764 cm)



写真 14 癒合状態 B の最大胸高周囲個体
(No. 565 胸高周囲：974 cm)



写真 15 癒合状態 D の最大胸高周囲個体
(No. 67 胸高周囲：488 cm)



写真 16 癒合状態 E の最大胸高周囲個体
(No. 221 胸高周囲 : 922 cm)



写真 17 測定木中最高樹高個体
(No. 716 樹高 : 52.8m)



写真 18 癒合個体倒木による樹皮欠損
(No. 344)



写真 19 樹齢が違う個体の癒合
(No. 113)



写真 20 樹齢が違う個体の癒合
(No. 235・236)



写真 21 樹齢が違う個体の癒合
(No. 305・306・307)