

応用研究論文

鳥海山の岩屑なだれにより埋没した樹木（埋もれ木）の研究

栗本康司¹，大山幹成²，斎藤一樹³，工藤佳世¹，足立幸司¹，高田克彦¹¹ 秋田県立大学木材高度加工研究所² 東北大学植物園³ にかほ市象潟郷土資料館

日沿道の延伸工事により発見された多数の埋もれ木のうち、樹皮直下の年輪を有する埋木スギを年輪年代学に従った解析を行ったところ、紀元前 466 年に発生した鳥海山の岩屑なだれにより埋没した樹木であることが明らかとなった。また、木材組織の観察による樹種識別から、クリ、コナラ節、ケヤキ、ブナ属、トチノキ、アサダ、スギを同定した。一方、鳥海山埋没のスギ（神代スギ）は、和室の内装材や工芸品として広く利用され、経験的に乾燥時の変形収縮が小さく、かなりの残存強度を有していることが知られている。出土した埋没スギを供試体とした化学組成分析および強度試験により、これらの要因を明らかにすることができた。このように出土地点や埋没年の明らかな埋もれ木は、学術的な利用のみならず地域の歴史と文化を物語る実試料として重要である。

キーワード：埋もれ木，鳥海山，岩屑なだれ，神代スギ，化学組成，強度特性

日本海沿岸東北自動車道（日沿道）の延伸工事（金浦一象潟）にともなう象潟インターチェンジ（IC）付近の工事現場で、多数の樹木が出土した。それらのうち、埋没スギを試料として年輪年代学的調査を行ったところ、紀元前 466 年の鳥海山の噴火（岩屑なだれ¹）により埋没した樹木（埋もれ木）と確認できた。

これら埋もれ木は、出土地点が明らかであるばかりでなく発掘からの時間も短いことから、地中に埋没した木材の劣化機構解明、長期年輪幅標準曲線²の構築、古気候復元³など、多くの学術分野で利用できる貴重な試料に位置づけることができる。

こうしたことから、にかほ市教育委員会では、国土交通省秋田河川国道事務所より埋もれ木の提供を受け、地域の歴史と文化を物語る実資料として研究や展示等の利活用を進めている。

一方、我々の研究グループでは、これら埋もれ木を試料として、年代推定や樹種識別、化学的・物理的特性の評価など、様々な調査研究を進めている。

現時点では、まとまった結果として公表するまでに至っていないが、これまでに行った研究の一部を以下に紹介する。

尚、本報では、岩屑なだれにより埋没した樹木を、「埋もれ木」の表記で用いる。

埋もれ木と神代木

通常、埋もれ木は、長い間土中に埋まっていた樹木のことを指し、腐朽の程度は軽く、珪化⁴もしていないものを指す。市場では「入手が大変に困難な天然木だ！」とすることを強調し、付加価値を高めるため、「木」に「神代」の文字を冠して流通させることがある。

銘木であるためには、材質に加え、独特の色をしていることや類まれな^{もくめ}全目、樹種などが、その価値を高める。また、スギの様に日本中どこにでもある埋もれ木であっても、形状が非常に大きいものは「神代スギ」として珍重される。

先に「長い間土中に埋まっていた樹木」と述べたが、神代と呼ぶには、何年以上埋まっていることが必要だ！というような定義はない。また、長い間土中に埋まっていた木材といえば、古代の遺構から出土した杭や柱のようなものも該当するが、人為的に加工した跡の残っている木材は、「出土木材」または「木製遺物」と呼び区別される。

埋もれ木の出土場所

今回、埋もれ木が多数発見されたにかほ市象潟町小滝は、鳥海山の山体崩壊で岩屑なだれによる土砂が押し寄せた縁部にあたる（図1）。発見された状態や材の形状から、埋もれ木は、立木のまま埋まったのではなく、上流から押し流され地形の落ち込んだ沢部に堆積したものと考えられた。



図1 鳥海山と埋もれ木の出土地点（象潟 IC 付近の工事現場で多数の埋没樹木が出土した）

最も大きな埋もれ木は、最大直径がおよそ 1.6 m、長さ 10 m あまりのケヤキで、地層に逆さに突き刺さった状態で確認された（図2）。こうした埋もれ木の掘り上げは重機を使って行ったが、作業中大きな損傷を受けることなく、また、現場での切断も限られた材に認められただけであった。

埋もれ木の発見は、平成 26 年 9 月頃から始まり平成 27 年 1 月頃まで続いたと思われる。この間に掘り上げられた埋もれ木は、工事現場の一角に集められて保管（図3）されたのち、平成 27 年 3 月に象潟郷土資料館に全量が運搬された。その後、同年 5 月に調査研究用の試料 46 体を秋田県立大学木材高度加工研究所（木高研）まで運搬した。



図2 象潟 IC 出口付近の工事で発見された埋没ケヤキと工事の様子



図3 工事現場に集積された埋もれ木の様子

木高研での調査試料

木高研での調査に用いた埋もれ木の樹種とおおよその形状を付録に示す。

埋もれ木は、乾燥に伴い表面割れや変形を生じることから、切り出したサンプルは可能な限り水浸して保存した。また、ケヤキ、クリ、トチノキ、スギの中で形状の大きな埋もれ木の一部は、帯鋸を用いて板状に加工し（図4）、天然乾燥した。

スギ埋もれ木の年輪年代学的解析

埋没林や埋没木は、過去に存在した森林が地滑り



図 4 製材途中の埋没ケヤキ（製材直後の材色は現生材と同じであったが、数分のうち深緑色に変色した）

などにより埋没し、今日まで地中に残存してきたものであり、過去の森林環境や古環境を解き明かす貴重な情報源である。本調査では、新たに見つかったスギ埋没木について、年輪年代学的解析を行い、それらの暦年代を明らかにした。また、長期年輪幅標準年輪曲線を構築するための試料とした。

年輪幅測定と年代測定

埋もれ木の中から 15 点のスギ材を選定し、樹幹から円盤標本を採取した。その後、各試料を帯鋸で切断し、オービタルサンダーで表面を研磨して年輪を可視化した。

年輪幅の測定は、年輪幅計測器を用いて 0.01 mm 単位で計測した。得られた年輪幅データのクロスデーティング（年代決定を行う方法）は、年輪考古学分野の常法（Baillie 1982）に従って行った。また、得られた標準年輪曲線と先行研究で構築された鳥海山埋没スギの標準年輪曲線（木村，荒川，及び中塚 2012）との間でもクロスデーティングを行い、暦年代を決定した。

埋もれ木の埋没年

得られた年輪幅データのクロスデーティングを試料間で実施したところ、15 点中 8 点の相対的年代関係を確定させることができた。8 点の年輪幅データをアンサンブル平均して、405 年長の標準年輪曲線を得た。また、最も新しい年輪を有する試料には、樹皮直下の年輪が残存していた。

次に、得られた標準年輪曲線を、先行研究の鳥海山埋没スギの標準年輪曲線とクロスデーティングしたところ、極めて同調性が高く、最外年輪（上記樹皮直下の年輪）が紀元前 466 年（ $t = 10.8$ ，オーバーラップ 405 年）という年代が得られた。このことから、今回新たに出土した一群の埋もれ木も、紀元前 466 年に発生した鳥海山の山体崩壊に起因する埋没木であることが確実となった。

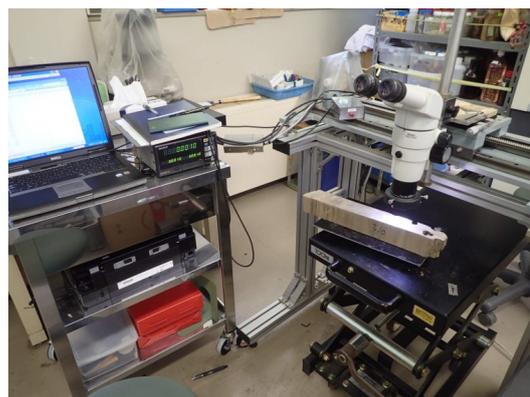


図 5 年輪幅測定器による年輪測定の様子

埋もれ木の樹種

これまで、鳥海山の北側に位置するにかほ市（旧仁賀保町）の冬師^{とうし}や釜ヶ台^{かまがたい}地区は、多くの埋没スギが掘り出されたことで知られている。埋もれ木の発掘は、昭和 50 年～60 年代の頃に盛んに行われ（図 6）、神代スギとして珍重されたことから、鳥海山の北側地域は、縄文晩期、スギを主とした森林であったとの印象がある。しかしながら、一部の銘木店などでは、ケヤキやコナラ節などの広葉樹も取り扱いその存在を知っていたが、学術的な情報はほとんどない。

一方、今回出土した埋もれ木の総数は大小合わせて 200 点以上であった。これらのうち 40 点程を選び樹種識別を行ったところ、針葉樹のスギに混じり、ケヤキ、クリ、コナラ類、トチノキ、アサダ、ブナ属など、多数の広葉樹が存在した。こうしたことからこのあたりは落葉広葉樹を主とした森林であったと推定した。

このように広葉樹が主体の多量の埋もれ木が出土したことの意義は大変に大きく、学術的な評価が望まれるところである。



図 6 冬師で出土したスギの埋もれ木（にかほ市象潟郷土資料館提供）

樹種識別と材の特徴

埋もれ木の樹種識別は、木材組織を肉眼および光学顕微鏡を用いた観察により行った。

供試木は、掘り出された埋もれ木の中で腐朽等が認められないものを選び、スライディングマイクロームを用いて 16~40 μm 厚の木口面、柾目面、板目面の切片を作製した。また、片刃カミソリを用いて三断面の徒手切片を作製した。

通常、樹木の木部は、仮道管、道管要素、木部繊維、放射柔細胞など様々な種類の細胞から構成されており、その種類や形態、配列は樹種に固有のパターンが存在する。このことから木材組織の形態的な特徴を光学顕微鏡レベルで観察することで、一般的に属レベルまで樹種を識別することができる (IAWA Committee 1989, 2004)。本研究では、この方法に基づき、森林総合研究所の日本産材木材データベース (<http://f030091.ffpri.affrc.go.jp/>) および東北大学植物園の標本データベースを用いて樹種識別を行った。また、分類群は APG 植物分類法 (Angiosperm Phylogeny Group III 2009) に従った。

以下に、樹種識別の結果とその根拠、およびそれぞれの材の特徴を示す。

ブナ科 クリ属 クリ.

環孔材。道管は単せん孔を有し、孔圏外道管は火炎状に配列していた。放射組織は単列（まれに 1~3 列）で、すべて平伏細胞で構成されており同性であった。一部の放射柔細胞、軸方向柔細胞、孔圏外道管内腔が黒色の内容物で充填されている様子が認められた。一部の孔圏道管ではチロースが認められた。材色は黒色であった。

ブナ科 コナラ属 コナラ節.

環孔材。道管は単せん孔を有し、孔圏外道管は火炎状、放射状に配列しており多角形を呈していた。広放射組織が存在していた。一部の放射柔細胞、軸方向柔細胞、孔圏外道管内腔が黒色の内容物で充填されている様子が認められた。材色は黒色であった。

ニレ科 ケヤキ属 ケヤキ.

環孔材。孔圏道管はほとんど単列であった。道管は単せん孔を有し、孔圏外道管は集団状で接線方向に配列し、小道管にらせん肥厚が認められた。放射組織の上下端の細胞は他の部分に比べ大きく結晶を含んだものも認められ、他は平伏細胞で構成されており異性であった。一部の放射柔細胞、軸方向柔細胞、小道管に茶色の内容物が認められた。材色は、深緑色であった。

ブナ科 ブナ属.

散孔材。単せん孔と横棒の少ない階段穿孔が認められた。放射組織は 11 列以上でほぼ同性であった。軸方向柔細胞は晩材部で顕著で、短接線状。材色は茶色であった。

ムクロジ科 トチノキ属 トチノキ.

散孔材。道管は単せん孔を有し、単独あるいは 2~4 個の複合管孔を構成しており、らせん肥厚が認められた。放射組織はすべて平伏細胞であり単列であった。層階状配列が認められた。放射柔細胞内腔に内容物が認められた。材色は茶色。肉眼ではリップルマークが認められた。

カバノキ科 アサダ属 アサダ.

散孔材。道管は放射方向に 4 個以上複合することが多く、単せん孔でらせん肥厚が認められた。軸方向柔細胞は、独立散在、短接線状。放射組織はすべて平伏細胞で同性、1~4 列。道管、放射柔細胞内腔に内容物が認められた。

広義ヒノキ科 スギ亜属 スギ.

針葉樹材。樹脂道および放射仮道管は認められなかった。分野壁孔はスギ型で、一分野に普通 2 個。樹脂細胞が晩材部に接線状に存在し、内腔には樹脂様の内容物が認められた。材色は茶色であった。

スギ埋もれ木の特性

鳥海山埋没の神代スギは、和室の内装材や工芸品として広く利用されてきた。こうした利用は、通常の遺跡から発見される「出土木材」と比較して変形収縮が小さく、かなりの残存強度を有していることが要因と考えられる。本節では、収縮や強度などの物理的特性を理解するため、埋没スギを供試木に化学組成の分析と曲げ試験を行った。

化学組成

供試体にはスギ埋もれ木 (E-5, 付録参照) を用いた。試料は、樹幹から約 10 cm の円盤を切り出したのち、髓を中心にして 2 cm 間隔で同心円状に材を小割りした。次に、小割りした材をウイレーミルで全量粉碎し 106~355 μm 画分を得た。その後、定法に従い木粉の化学組成を分析した。測定項目は、灰分、有機溶媒可溶分 (エタノール : ベンゼン = 1 : 2(v/v)), ホロセルロース (亜塩素酸ナトリウム法), α -セルロース (17.5%水酸化ナトリウム水溶液不溶部), リグニン (硫酸法) である。

スギ埋もれ木中のリグニンと α -セルロースを髓を中心とした距離別に示す (図 7)。尚, 図中の点線は、現生スギ材が示す一般的な値である。

木材主成分の一つであるリグニンは、辺材方向 (放射方向) での分布に大きな違いが認められなかったが、現生材を若干上回る値を示した。一方、 α -セルロースは、現生材よりも減少した値を示した。放射方向の分布を見ると、髓から辺材方向に増加し

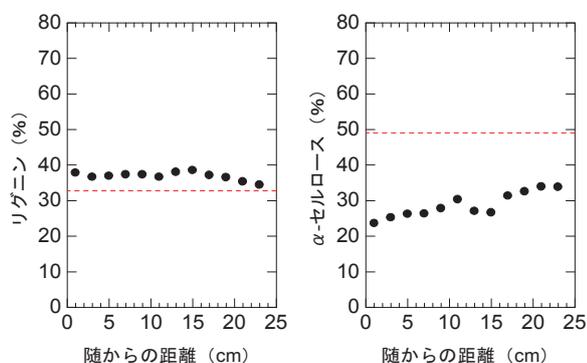


図 7 スギ埋もれ木のリグニンと α -セルロースの分布

ていく傾向であった。

通常の出土木材においては、セルロースとヘミセルロースは減少しリグニンが相対的に増加することが知られている。また、セルロースの減少は木材成分の劣化の指標とされる。

したがって、鳥海山のスギ埋もれ木では、リグニンの増加がわずかであり α -セルロースの減少も現生材の 50~80%程度に留まること、また、これらの変動が放射方向で緩やかであることが、材の変形収縮が小さく、かつ、かなりの残存強度を有していることの要因であると推定した。

物理的特性

先に述べた化学組成の結果から埋没スギの化学成分は比較的保持された状態であったことから、力学的性能も現生木に近い値に維持されていることが推測された。そこで、化学組成を測定した材と同じ供試木を用いて曲げ試験を行い、現生木と比較することで埋没の影響を考察した。

曲げ試験の試験体は、スギ埋もれ木 (E-5) を髓を通る接線方向に幅約 8 mm, 軸方向に高さ約 80 mm の薄板で切り出し、髓から樹皮に向けて 20 mm 毎に分割した。分割した試験片は天然乾燥後に気乾密度および収縮率を求めた。その後、気乾状態の試験片を用いて三点曲げ試験を行い、曲げヤング率および曲げ強度を求めた。また、比較として、天然生 (天然スギ) と人工林生 (造林スギ) を同様に試験した。

図 8 にスギ埋もれ木の半径方向の気乾密度、曲げヤング率および曲げ強度の変動を示した。比較として、天然スギおよび造林スギの現生木を示す。

スギ埋没木の気乾密度の半径変動は、現生木の天然スギとほぼ同様に髓から樹皮にかけて徐々に減少する傾向が認められた。平均値は 0.41 g/cm^3 であり、現生木との大差は認められない。

一方で、曲げヤング率に関しては、平均値としてのスギ埋没木は現生木と比較して約 20%低い値であった。これは、化学組成の分析結果から、細胞壁の強度を担うセルロースミクロフィブリル量がスギ埋没木で減少したことが要因の一つとして考えられる。半径方向の材質変動に関しては、スギ埋没木は髓付近で低く、20 年輪にかけて増加し、その後緩や

かに減少する傾向を示し、現生木の天然スギと同様の傾向であった。

髓から 20 年輪にかけては形成層の成熟に伴う材質変化であり、スギで一般的に認められる減少である。20 年輪以降の緩やかな減少については、生育環境が十分な造林スギの健全木では認められず、林内照度が低く、極度に被圧されることにより細胞壁の二次肥大成長が抑制される環境にある天然スギによく認められる現象である。曲げ強度に関しても、曲げヤング率同様に、スギ埋没木は平均値で現生木より約 20%低い程度であった。したがって、スギ埋もれ木は現生木に劣るものの、高い物理的性能を残していることが確認できた。

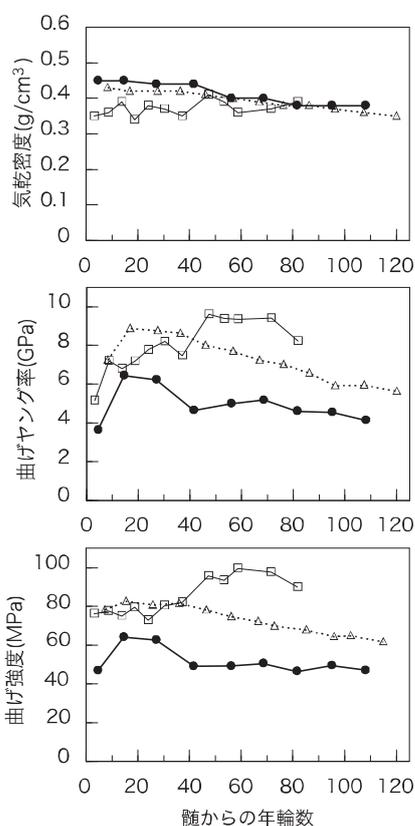


図 8 スギ埋もれ木および現生木の材質変動

● : スギ埋もれ木 ; △ : 天然スギ ;
□ : 造林スギ

以上は限られた供試体での結果であるが、2500 年前、山体崩壊により一瞬の間にパッキングされたスギ材の劣化は軽度であった。鳥海山の埋没スギが、神代スギとして天井板や建具などに用いられてきた

ことの理由が、このように化学組成や材質の面から裏付けることができよう。

埋もれ木の利活用

にかほ市の象潟郷土資料館では、地域の歴史と文化を物語る実資料として神代スギを展示している。特に、釜ヶ台地区から発見された木製のくさび 楔が打ち込まれた状態のスギ埋もれ木は、木口面に斧で削った跡が残る大変に貴重な資料である (荒川 2016)。

さらに、資料館では、これまでに神代スギ以外の樹種の入手が困難であったことから、出土した埋没ケヤキを屋外展示した。特に、平成 28 年 9 月 9 日に「鳥海山・飛島ジオパーク」が日本ジオパークとして認定されたこともあり、多数の来場者を集める人気のジオサイトとなっている。

また、平成 28 年 6 月から開催している企画展では、「景勝地・象潟の成り立ち」と題した展示を、埋もれ木を中心テーマにして行っている。象潟近辺の住民にとって古くから使われた神代スギは馴染みのある材料であるが、新たに堅さや材色の違いが大きい広葉樹の埋もれ木にも触れることで、地域の多様性を再認識する機会を提供できたものとする。



図 9 にかほ市象潟郷土資料館での企画展示の様子

謝辞

本研究の一部は、平成 27 年度秋田県ジオパーク研究助成事業 (秋田県ジオパーク連絡協議会) により行った。記して深甚な謝意を表す。

文献

Angiosperm Phylogeny Group (2009) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants APG III, *Botanical Journal of the Linnean Society* 161, 105-121.

荒川隆史 (2016). 「埋もれ木からわかること」『景勝地・象潟の成り立ち』3-4.

Baillie MGL(1982) *Tree-Ring Dating and Archaeology*. The University of Chicago Press, Chicago.

IAWA Committee (1989) IAWA list of microscopic features for hardwood identification, E.A. Wheeler, P Bass, P.E. Gasson eds. *IAWA Bull.* n.s.10, 219-332.

IAWA Committee (2004) IAWA list of microscopic features for softwood identification H.G. Richter, D. Grosser, I Heinz, P.E. Gasson eds. *IAWA J.* 25: 1-70.

木村勝彦, 荒川隆史, 中塚武 (2012) 「鳥海山の神代杉による縄文晩期をカバーする年輪酸素同位体比の物差しの作成と実際の運用」『日本植生史学会第27回大会要旨集』

観測が行われていなかった過去の時代の気候を復元する。従って埋没年の明らかな樹木は貴重な学術試料となる。

⁴ 土砂等に埋もれた樹木の木材組織にケイ酸を含んだ地下水が入り込むことによって樹木組織の原型を維持したまま木材の化学組成が二酸化ケイ素（シリカ）に置き換わること。

平成 28 年 11 月 30 日受付

平成 28 年 12 月 22 日受理

注

¹ 強い地震動や噴火が引き金となって火山体の一部が大規模に崩壊する山体崩壊が発生することがある。このとき、崩壊した火山体がふもとに向かって一気になだれ落ちる現象を「岩屑なだれ」と呼ぶ。

² 一定の地域内に生育する同一樹種の樹木は、気温や降水量など気象の影響を受け年輪幅が変化する。また、年輪幅の変動には成長の特性や周囲の樹木との競争など様々な情報が混在して取り込まれているため、標準化を行い環境要素だけを取り出す作業が必要となる。長期年輪幅標準曲線は、限られた生育期間を持つ樹木の年輪幅標準曲線を重ね合わせ長期に渡ってつなげた標準曲線である。

³ 古気候復元では、樹木年輪、サンゴ年輪、鍾乳石、アイスコア、泥炭堆積物、湖沼堆積物、海洋堆積物、古文書などの試料（資料）を使って、近代的な気象

付録

調査に用いた埋もれ木の概要

サンプルのID	樹種(同定済)	樹種(推定)	長さ mm	径 mm	備考
E-2	アサダ		3000	80-110	丸太
E-3	アサダ		480	90-45	丸太
E-4	ケヤキ		420	40-45	丸太
E-5	スギ		280	50-50	丸太(大山302)
E-6	ケヤキ		1600	800-900	丸太、E-10と同じ、切断面有り
E-7		トチノキ	2500	1100-1100	根+丸太
E-10	ケヤキ		4600	400-800	丸太、E-6と同じ、切断面有り
E-11		アサダ	3600	300-400	丸太
E-12	クリ		2600	350-500	丸太、黒色材
E-13	スギ		3800	500-700	丸太
E-14	ケヤキ		2600	400-550	丸太
E-15	ブナ属		2600	300-800	根+丸太
E-16	スギ		2500	450-500	丸太(大山314)
E-17	クリ		1300	560-650	丸太、黒色材、切断面有り
E-18	クリ		1800	400-450	丸太、黒色材
E-19	クリ		1700	350-500	丸太、黒色材
E-20	コナラ節		1600	200-450	根+丸太、黒色材
E-24	スギ		1400	400	丸太・短い(大山313)
E-26			1300	600	根・短い
E-27	スギ		1800	400-550	半丸太・短い(大山315)
E-29	スギ		2900	350-600	半丸太(大山301)
E-36	スギ		1300	350	丸太・短い(大山304)
E-41	スギ		1100	400	破断片(大山303)
E-42			2300	200-250	破断片、黒色材
E-48	スギ		1200	300	破断片(大山311)
E-53	コナラ節		4300	400	半丸太、黒色材
E-54			3200	400	半丸太、黒色材
E-55	トチノキ		1000	450-800	根
E-59	スギ		2600	500-650	丸太(大山307)
E-60	スギ		2000	400-450	半丸太(大山305)
E-63		クリ	2600	400	丸太、黒色材
E-64		スギ	700	300	丸太、本体は小さい
E-67	コナラ節		2800	550	半丸太、黒色材
E-70	スギ		3000	600-700	丸太(大山306)
E-72			3900	350	丸太、黒色材
E-73	スギ		2600	450-700	丸太、破断片(大山309)
E-81	スギ		1800	400	破断片(大山310)
E-84	スギ		1700	400-450	破断片(大山312)
E-92	スギ		2800	600-700	半丸太(大山308)
E-93	クリ		2900	400-450	半丸太、黒色材
E-95			2600	300	半丸太、黒色材
E-96			1300	450	破断片
E-100					半丸太、黒色材
E-106		コナラ節	2800	250-300	丸太、黒色材
201					黒色材、象潟でカットした試料
302	アサダ				象潟でカットした試料

Study on Buried Trees Resulting from a Debris Avalanche during 466 B.C. Sector Collapse at Mt. Chokai

Yasuji Kurimoto¹, Motonari Ohyama², Kazuki Saito³, Kayo Kudo¹, Koji Adachi¹, Katsuhiko Takata¹

¹ *Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University*

² *Botanical Gardens, Tohoku University*

³ *Kisakata Museum*

More than 200 buried trees were discovered at a construction site near the Kisakata exit, Kisaka-Nikaho Expressway, from September 2015 to January 2016. Among the trees, wood samples of 15 sugi (Japanese cedar) were used to determine the time of their burial and then to confirm that these were the trees that were buried under the debris avalanche deposit of the 466 B.C. sector collapse at Mt. Chokai. In addition to the sugi wood, six soft wood species were identified based on anatomical features. Chemical constituents and mechanical properties of the buried sugi wood were also investigated, and the characteristics were compared with those of recent sugi wood. The newly discovered buried trees are important materials not only within academic fields but also as regional resources.

Keywords: buried tree, Mt. Chokai, debris avalanche, jindai-sugi, chemical constitution, mechanical property