

短報

中田 誠¹・細尾佳宏^{1,3}・立石雅昭²・宮下純夫¹：平成19年新潟県中越沖地震後に出雲崎沖の海底に出現した
古木の樹種組成とその成因に関する推察Makoto Nakata¹, Yoshihiro Hosoo^{1,3}, Masaaki Tateishi² and Sumio Miyashita¹:
Species composition and estimated formation process of ancient wood pieces
that appeared at the sea bottom off Izumozaki after the Niigatoken Chuetsu-oki
earthquake in 2007

Abstract A large number of ancient wood pieces appeared at the sea bottom just after the Niigatoken Chuetsu-oki earthquake in 2007, off the town of Izumozaki, in Niigata Prefecture, Japan. Most of the wood pieces were formed at 7000–2000 cal BP. Half of the wood pieces had their edges well-ground, probably by water and sand. Among 54 wood samples, fourteen taxa, mostly of deciduous broad-leaved trees, were identified by observing microscopic characters. The identified taxa were thought to have grown near water, such as in ravines, near rivers, and in wetlands, in the cool-temperate (or partly warm-temperate) zone. The relatively warm climate in the area during the middle to late Jomon periods implied that these trees grew in the upper to lower streams of rivers. These ancient wood pieces were thought to have resulted from repeated huge natural disasters.

はじめに

2007年7月16日に新潟県中越沖を震源とするマグニチュード6.8の地震が発生した。この地震直後から、震源地に近い新潟県出雲崎町から柏崎市にかけての沖合の海底から大量の古木が出現し、底曳き網漁に甚大な被害をもたらしている。地元漁協が海底の清掃作業を行い、2007年10月初旬までに約300tの古木が出雲崎漁港に陸揚げされた。これらの古木については、山形大学理学部と(独)産業技術総合研究所活断層研究センターがそれぞれ3サンプルに対して放射性炭素による年代測定を行い、今から約6400～2900年前(暦年較正值)の完新世(縄文時代中～後期)のものであることが新聞等に公表された。今回と類似の現象として、1964年に発生した新潟地震後にも、震源地に近い新潟県北部の山北町沖の海底から丸みを帯びた古木が出現している(刀祢, 1965)。しかし、この時のサンプルは現在行方がわからず、詳細は不明のままである。

地震発生後に海底から大量の古木が出現する現象は、世界的に見て非常にめずらしい。地下浅部の古木含有層が強震動により液状化を起し、周囲の土砂よりも相対的に

比重の小さい古木が海底面に浮上したものと推測される。1923年の関東大地震のときにも、水田中から鎌倉時代の橋脚と考えられる木柱が現れた事例が報告されている(山崎, 1925)。しかし、出雲崎沖の海底における古木の産状や成因については、まだ明らかにされていない。

本研究は、新潟県中越沖地震後に出雲崎沖の海底に出現した古木の成因解明を目指しているが、ここでは樹種組成について調査した結果と、それに基づく古木の成因に関するいくつかの推察について報告する。出雲崎沖の海底に出現した古木に関しては、新潟大学のほかに山形大学、(独)産業技術総合研究所など多方面の研究者が注目し、宇宙線考古学、古地震学など、多様な視点から調査・解析が進められている。本研究の進展により、情報量が比較的少ない新潟県あるいはその周辺地域における古環境・古植生について、新しい知見を得られるものと期待される。

試料と方法

古木は新潟県出雲崎町から柏崎市にかけての沖合8～10km、水深75～100mの海底の、幅1～2km、長さ

¹ 〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050番地 新潟大学自然科学系(大学院自然科学研究科)

Graduate School of Science and Technology, Institute of Science and Technology, Niigata University, Ikarashi 2-8050, Nishi-ku, Niigata, Niigata 950-2181, Japan

² 〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050番地 新潟大学自然科学系(理学部)

Faculty of Science, Institute of Science and Technology, Niigata University, Ikarashi 2-8050, Nishi-ku, Niigata, Niigata 950-2181, Japan

³ 現所属：〒399-4598 長野県上伊那郡南箕輪村8304番地 信州大学ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点

Present affiliation: Fiber-Nanotech Young Researcher Empowerment Center, Shinshu University, 8304, Minami-Minowa Village, Nagano 399-4598, Japan

約 20 km の範囲に分布している (図 1)。新潟県農林水産部水産課と新潟県三島郡出雲崎町の出雲崎漁協の許可を得て、2007 年 7 月 25 日から 8 月 18 日にかけて出雲崎漁港の岸壁に集積されている古木 (図 2) の中から、さまざまな大きさや形状のものを含むように 48 個のサンプルを採取した (図 3)。また、山形大学理学部と (独) 産業技術総合研究所活断層研究センターが年代測定を行った前述の 6 個の古木も取り寄せて、合計 54 個の古木を形状測定と樹種同定に供した。

採取した古木は、直径 (長径・短径) と長さを測定した。また、古木には材の周囲が丸く円磨されたものが多く含まれていたため、Krumbein (1941) の円磨度印象図に従って古木の円磨度を分類するとともに、摩耗と木材の軸方向との関係を観察した。

古木の樹種同定は、木材の横断面、放射面、接線面における解剖学的特徴を観察することにより行った。古木から約 5 mm 立方の木材片を切り出し、スライディングマイクロトームで厚さ 30 ~ 50 μm の切片を作製した。切片を 1% サフラニンの 50% エタノール溶液で染色し、エタノール上昇系列で脱水した後、オイキット液 (Electron Microscopy Sciences) で封入した。そして、光学顕微鏡 (Olympus, BX-50) で木材組織を観察し、木材の解剖学的記載 (島地ほか, 1976; 佐伯, 1982; 古野・澤辺, 1994; 平井, 1996) と比較し、(独) 森林総合研究所の木材データベース (<http://f030091.ffpri.affrc.go.jp/index.html>) も利用して、種または属 (節) レベルで同定した。同定された樹種 (属・節を含む) の主要な生育地は、北村・村田 (1971, 1979) を参照して調べた。

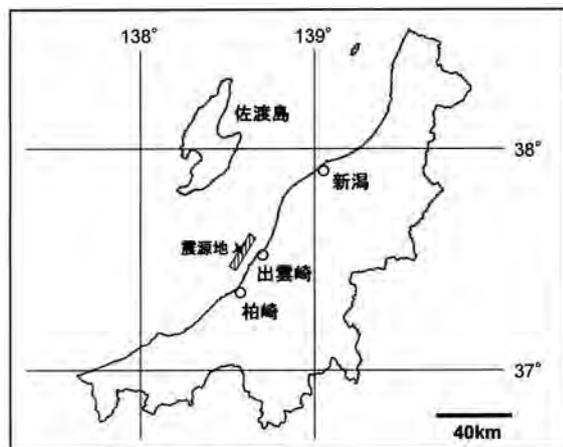


図 1 海底に古木の出現した海域。星印は中越沖地震 (2007 年 7 月 16 日) の震源。

Fig. 1 Location where ancient wood pieces appeared at the sea bottom. Star indicates the epicenter of the Niigataken Chuetsu-oki earthquake in 2007.

結 果

1. 樹種の同定結果

全 54 個の古木サンプルのうち、2 個は強度に炭化されていて、今回の方法では同定不能だった。残りの 52 個のうちには、6 種 (16 個)、2 節 (9 個)、6 属 (19 個) が同定され、樹種不明が 8 個だった (表 1)。種・節・属を同定した根拠は次のとおりである。

トネリコ属シオジ節：環孔材。孔圏道管は 2 ~ 3 列で、孔圏外では単独または 2, 3 個複合した小径の道管が散在する。放射組織は幅 1 ~ 3 列で、すべて平伏細胞からなる同性である。

トネリコ属トネリコ節：シオジ節によく似る環孔材。孔圏道管はほぼ 1 列で、径はシオジ節よりも小さい。

トチノキ：散孔材。穿孔は単一で、道管壁に螺旋肥厚が見られる。放射組織と道管は層階状に配列する。放射組織は単列のみで、すべて平伏細胞からなる同性である。

カエデ属：散孔材。穿孔は単一。放射組織は幅 1 ~ 7 列



図 2 出雲崎漁港の岸壁に集積された古木。
Fig. 2 Ancient wood pieces accumulated on the pier of Izumozaki fishing port.



図 3 樹種同定用の古木。
Fig. 3 Ancient wood pieces for the identification of species.

で多列のものが多く、すべて平伏細胞からなる同性である。

ヤマグワ：環孔材。穿孔は単一で、孔圏道管は1～3列である。放射組織は幅1～7列で、直立細胞、方形細胞、平伏細胞からなる異性である。

エノキ属：環孔材。孔圏道管は1～2列である。放射組織は幅1～12列で、直立細胞、方形細胞、平伏細胞からなる異性である。放射組織は鞘細胞をもつ。

ケヤキ：環孔材。孔圏道管はほぼ1列で、孔圏外では小径道管が単独で散在するか接線方向にかたまつて並ぶ。放射組織は幅1～8列で多列のものが多く、多列部は平伏細胞から、縁辺部は直立細胞と方形細胞からなる異性である。

ブナ属：散孔材。放射組織には多列放射組織と単列放射組織が混在する。広放射組織は幅が約20列で、直立細胞、方形細胞、平伏細胞からなる異性である。

ハンノキ属：散孔材。穿孔は階段状。放射組織はすべて平伏細胞からなる同性で、集合放射組織をもつ。

ヤナギ属：散孔材。穿孔は単一。放射組織は単列のみで、縁辺部に直立細胞と方形細胞をもち、中央部に平伏細胞をもつ異性である。

オニグルミ：散孔材。穿孔は単一。軸方向柔組織はおもに短接線状である。放射組織は幅が1～5列で、すべてが平伏細胞からなる同性である。

サワグルミ：散孔材。穿孔は単一。軸方向柔組織はおもに短接線状である。放射組織は幅が1～2列、ときに3列で、すべてが平伏細胞からなる同性である。

スギ：樹脂道はない。1年輪内での早材から晩材への移行が急である。放射組織は単列で、分野壁孔はスギ型である。

カラマツ属：早材から晩材への移行が急で、分野壁孔はトウヒ型である。単独または2～数個が接線方向に接続して散在する垂直樹脂道と、水平樹脂道がある。

樹種不明：木材組織の状態が悪く、同定が困難だった。いずれも散孔材または環孔材であり、広葉樹である。

2. 同定された樹種の生育型、生育地と年代

同定した試料52個のうち、針葉樹はスギとカラマツ属が各1個のみであり、樹種不明のものを含めて、他はすべて広葉樹だった(表1)。さらに、種または属(節)レベルで同定された広葉樹はすべて落葉性のものであり、常緑広葉樹は確認されなかった。広葉樹の中ではトチノキが8個で最も多く、次いでシオジ節が6個であり、冷温帯の深山の谷間や山間の湿地に生育する樹種が高い割合を占めていた。また、ヤナギ属、ハンノキ属、ケヤキなどの、冷温帯から暖温帯にかけての水湿地や川岸に生育する樹種も各3～4個とやや多かった。カエデ属も6個と多く、ヤマモミジのように山の谷間に生育する樹種が含まれている可能性があるが、本研究では種までは同定できなかった。また、

表1 古木の樹種組成と生育型、主要な生育地

Table 1 Species composition, growth form, and main growing habitat of ancient wood pieces

樹種	個数	生育型*	気候帯	主要な生育地**
シオジ節	6	落・広	冷温帯	山間の湿地(ヤチダモ)
トネリコ節	3	落・広	冷温帯	山地
トチノキ	8	落・広	冷温帯	深山の谷間
カエデ属	6	落・広	冷温帯	山地
ヤマグワ	1	落・広	冷温帯～暖温帯	山中
エノキ属	3	落・広	冷温帯～暖温帯	山地
ケヤキ	3	落・広	冷温帯～暖温帯	山中, 川岸
ブナ属	2	落・広	冷温帯	山地(ブナ)
ハンノキ属	3	落・広	冷温帯～暖温帯	水湿のある低地
ヤナギ属	4	落・広	冷温帯～暖温帯	水湿地, 川岸
オニグルミ	2	落・広	冷温帯～暖温帯	小川沿い
サワグルミ	1	落・広	冷温帯	山中の小川, 湿った場所
スギ	1	常・針	冷温帯～暖温帯	湿った谷間, 低山の尾根筋
カラマツ属	1	落・針	冷温帯	火山の山地(カラマツ)
不明	8	広葉樹		
合計	52			

* 落・広：落緑広葉樹, 常・針：常緑針葉樹, 落・針：落葉針葉樹

** シオジ節, ブナ属, カラマツ属については、それぞれヤチダモ, ブナ, カラマツの生育地を示した(判断の根拠は本文を参照)。

おもに小川沿いに生育するクルミ類(オニグルミ, サワグルミ)も合計3個含まれていた。それに対して、冷温帯の山地で最も代表的な樹種であるブナ属はわずか2個であり、ナラ類(ミズナラ, コナラなど)は樹種不明のものを含めて、今回のサンプルでは確認できなかった。

放射性炭素年代測定が行われた古木の樹種と暦年較正年代(信頼度95%範囲)は、シオジ節が6310～6020年前、樹種不明が5460～5040年前、オニグルミが5660～5330年前、ブナ属が3560～3380年前、ヤマグワが6410～6280年前、サワグルミが3210～2940年前だった(表2)。これに(株)数理設計研究所が測定した5個の古木の年代値(http://www.madlabo.com/mad/research/20070824_Izumozaki/index.htm#SEC9で公開)を加えて、古木の年代分布をみると、9000～8000

表2 古木の放射性炭素年代測定結果

Table 2 Results of radiocarbon dating of ancient wood pieces

試料番号	樹種	¹⁴ C年代 (yr BP)	暦年較正年代(cal BP) [信頼度95%範囲]	Labo-Code
IZM	シオジ節	5420 ± 43	6310–6020	MTC-09274*
IZM-m	不明	4573 ± 52	5460–5040	MTC-09273*
IZM-S	オニグルミ	4812 ± 52	5660–5330	MTC-09271*
CSW-A-01	ブナ属	3230 ± 30	3560–3380	IAAA-70650**
CSW-B-02	ヤマグワ	5550 ± 40	6410–6280	IAAA-70651**
CSW-C-01	サワグルミ	2910 ± 40	3210–2940	IAAA-70652**

情報提供：*山形大学理学部櫻井研究室, ** (独)産業技術総合研究所活断層研究センター

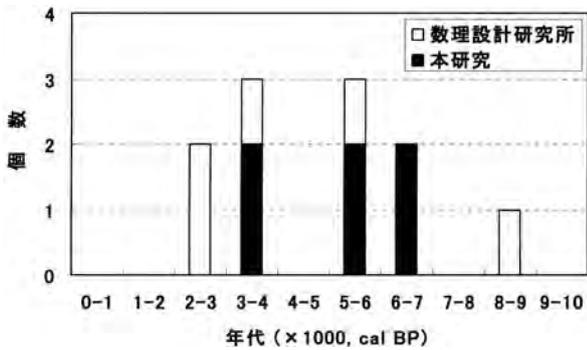


図 4 古木の暦年較正年代の分布. 信頼度 95% 範囲の中間値.
Fig. 4 Age distribution (cal BP) of ancient wood pieces. All data are expressed by mean value of 95% confidential limits.

年前のものが 1 個あったほかは、7000～5000 年前と、4000～2000 年前の 2 山型の年代分布を示していた (図 4)。なお、その後産総研が測定した 5 試料の年代は 5300～2600 年前の範囲にあった (金田平太郎, 私信)。

属・節レベルで同定されたもののうち、シオジ節としたものにはシオジとヤチダモが、ブナ属としたものにはブナとイヌブナが、カラマツ属としたものにはカラマツとグイマツが含まれるが、それらの組織構造が互いによく類似しており、識別が困難だった。しかし、これまでに測定されたほとんどの古木の年代が 7000～2000 年前 (縄文時代中～晩期) であり、その頃の気温は現在とそれほど大きく変わらないか、むしろ 6500～5000 年前は現在よりもやや温暖だったとされている (守田ほか, 1998)。さらに、新潟県を中心とした日本海側の地域が古木の供給源と考えられる (後述) ことから、シオジ節としたものの樹種はヤチダモ、ブナ属としたものはブナである可能性が高い。また、カラマツ属植物は最終氷期には日本に広く分布していたが (辻, 1995)、現在では中部山岳地方にカラマツがわずかに生育しているのみである。今回の同定結果の組成を見ると、カラマツと同所的に生育するような樹木はあまり見あたらなかった。しかし、後述するように出雲崎沖の海底古木の成因の 1 つとして火山噴火が関与した可能性があり、新潟県内でも上越地方の火山には現在でもカラマツの天然分布が見られるため、今回カラマツ属としたものの樹種はカラマツである可能性が高い。

3. 古木の形状

陸揚げされた直後の古木は多量の海水を含んで材全体が軟らかくなっていた。しかし、材の保存状態は全般に良好で、材の外側の劣化があまり進んでいないものが多かった。材の断面には年輪が明瞭に確認できるものが多かったが、炭化して年輪が不明のものも時々認められた。古木の多く

は軸方向に長く、長さ 1 m を超えるものがまれに見られたが、採取したサンプルの長さは 10～65 cm であり、20～40 cm のものが全体の約 60% を占めていた。

古木の直径 (長径) と円磨度をみると、長径は 11～20 cm のものが約 60% を占め、次いで 21～30 cm のものが約 20% を占めていた (図 5)。長径が 30 cm を超えるものは 2 個 (トチノキとカエデ属が各 1 個) しか含まれなかった。古木の樹種と長径の間には明確な関係は認められなかったが、10 cm 以下の比較的小さなものは、ヤナギ属、ハンノキ属、ケヤキ、エノキ属、オニグルミなど、おもに河川の中～下流域で生育していたと考えられる樹種が占めていた。しかし、古木の大きさに関しては、材が途中で折れたものや、強く円磨されて本来の材の一部しか残っていないものが多く、生育時の樹木サイズを推定することは困難だった。

古木は、円磨度 0.6～0.8 のよく円磨されたもの (紡錘形から楕円形、球形に近いものなど) が約半数を占めていた。とくに高い 0.8 の円磨度を示すものは、トチノキが 2 個、シオジ節・カエデ属が各 1 個、樹種不明が 1 個となっていたが、これらの樹種は円磨度 0.4～0.8 の広い範囲にまたがっており、樹種と円磨度の間に一定の関係は見いだせなかった。一方、円磨度が 0.3～0.4 の、あまり円磨されていないものが約 1/4 を占め、古木の形状には変異の幅が大きかった。なお、古木は一般に軸方向に長く、周囲が円磨されている場合は、軸方向の両端から摩耗が進んでいるものがほとんどであった。

今回の樹種同定結果では、トチノキ、シオジ節、カエデ属はそれぞれ 6～8 個が確認されたが、1～3 個と少数である分類群が高い割合を占めていた (表 1)。そのため、樹種と長径、円磨度の相互の関係については、一定の傾向を見いだすことはできなかった。

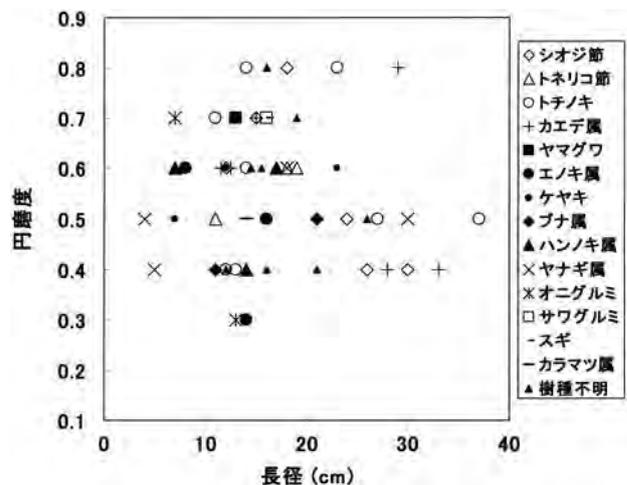


図 5 古木の直径 (長径) と円磨度.
Fig. 5 Largest diameter and roundness of ancient wood pieces.

考 察

海底に古い時代の樹木が出現する現象には、もともとその場所に生育していたものが海面上昇や地盤沈降によって埋没したものと、他の場所から運ばれて埋没したものの2通りが考えられる。前者については、後氷期の海面上昇によって形成された富山県入善沖の海底林がよく知られている(藤井・奈須, 1988)。一方、平成19年新潟県中越沖地震によって出雲崎沖の海底に出現した古木については、水深75~100 mの海底にあって、放射性炭素による測定年代のほとんどが7000~2000年前であった。新潟県に隣接する富山湾での完新世の海水準は(藤井, 1992)、7000~2000年前には現在の海水準の約±5 mの範囲内にあり、1個のみで測定された9000~8000年前でも、現在より海水準が約30~15 m低かったに過ぎない。さらに、完新世において陸地が75~100 mの海底にまで沈降するような大規模な地殻変動が当該地域からは報告されていないため、平成19年新潟県中越沖地震によって海底に出現した古木は、他の場所から運ばれて出雲崎沖の海底に埋没したものと考えられる。

木材化石群の組成やタイプを認識することにより、その生育環境や形成過程を推定することが可能である(Noshiro & Suzuki, 1989)。本研究では古木の年代と樹種の間に関係を見いだせなかったが、古木の樹種組成では、トチノキ、シオジ節(ヤチダモ)、カエデ属などの冷温帯性落葉広葉樹の個数が多く、また、冷温帯から暖温帯にまたがって分布するものも含まれていた。これらの中では、主に水辺の周辺(溪谷、河川、湿地等)に生育する樹種が高い割合を占めていた。関東平野における縄文時代後期・晩期に形成された木材に富む泥炭層の調査によって推定された古植生でも、ヤチダモ、トチノキ、カエデ属の多かったことが報告されている(鈴木・能城, 1987; 辻, 1989)。一方、縄文時代中~晩期は、気温が現在とそれほど大きく変わらないか、むしろ現在よりもやや温暖だった時期もあったとされており(守田ほか, 1998)、冷温帯性落葉広葉樹は山地(新潟県の現在の気候下では、標高200ないし300 mから1500 mくらいの範囲)に生育していたと考えられる。そのため、とくに個数の多かったトチノキ、シオジ節(ヤチダモ)、カエデ属は、河川の上流域から中流域にかけて生育していたと予想される。したがって、これらの樹種を含む多量の木材が海へ流出するには、火山噴火に伴う火砕流やその後発生した大規模な土石流など、大規模な自然災害が関与した可能性が高い。古木の大多数が数十 cmの長さになっていたことも、このような大規模な自然災害の関与を示唆している。さらに、様々な程度に炭化した木材が認められたことから、火山活動の影響を受けたものが少なからず含まれていると考えられる。そして、これらの

木材が河川を流下する間に、周辺に生育していた樹木を巻き込んでいったものと推測される。

古木の円磨度については、0.3~0.8のさまざまな形態のものが含まれていたことから、古木の成因には多様な履歴のものが含まれていると推測される。関東平野では、縄文時代中~後期に木本泥炭がさかんに形成されたことが報告されており(辻, 1995)、もしそのような泥炭層にいったん埋没し、表面が軟化した木材が再度地表面に露出し、そこで円磨されたとすれば、木材の軸と円磨の方向性の関係が不明瞭になると考えられる。しかし、本研究で測定された古木は一般に軸方向に長く、円磨されている場合は、軸方向の両端から摩耗の進んでいるものがほとんどであった。そして、0.6~0.8の高い円磨度を示すものが約半数を占めていたことから、枯損した樹木が比較的早い段階で河川を流下し、その間に石や砂とこすれあつて角が取れ、さらに海岸の浜辺で波に洗われて転がりながら、砂との摩擦によって円磨されたものが含まれていると考えられる。

出雲崎沖の海底から引き揚げられた古木の比重は1.09で海水の比重(1.03)にきわめて近く、水の中で砂に埋没させるのが難しいことが実験的に確認されている(和泉・納口, 2007)。海底に埋没する前の古木の比重はさらに小さかったと考えられ、このような木材が沖合8~10 km、水深75~100 mの海底まで移動するためには、強い物理的な作用が関与したはずである。一方、中低緯度の地域では、海底に露出した木材は海底生物によってすみやかに食害されて原形のなくなることが報告されている(藤井・奈須, 1988)。したがって、海水にきわめて近い比重の木材が原形を保ったまま沖合の海底に埋没するためには、河口や海岸付近から大洪水などによって大量の土砂とともに一気に押し出され、そのまま海底へと運搬される必要がある。新潟県の海岸沿いでは、対馬海流が海岸線と平行に南西から北東方向へ流れており、その流速が比較的弱いことから(川合, 1974)、古木の供給源は出雲崎よりも西側の地域であるにしても、海流に乗ってそれほど長距離を移動してきたとは考えられず、新潟県の上越地域から中越地域の範囲内と考えられる。これまでに筆者らが得た11個(私信を含めると16個)の古木の年代は9000~2000年前と非常に長期間に渡っていたこと(図4)を踏まえると、どこかの河川の流域(海岸に近い下流域か?)に長期間に渡って供給された木材が土砂に埋没されていた場所があり、それが後に大洪水などによって一気に海へ押し出された可能性が高いと考えられる。実際に、新潟県上越地方の平野の表層堆積物には、河川の流域を中心に複数回の火砕流や岩屑流を起源とする堆積物(地学団体研究会新潟支部, 1989; 早津, 1990)や、二次堆積物が広く分布している(新潟県教育委員会, 2007; 卜部厚志, 私信)。そのような成因を

考えた場合、古木の年代測定が今後さらに進めば、筆者らがこれまでに入手した古木の年代範囲を大きく超えるものが出てくる可能性がある。また、このような大規模な自然災害が繰り返し発生した可能性も考えられる。

おわりに

平成19年新潟県中越沖地震後に出雲崎沖の海底に出現した古木の成因には、大規模な自然災害が関与したと推察されるが、海岸で円磨されたと考えられる木材が存在すること、多量の木材が沖合の海底へ運ばれたという現象を結びつけるメカニズムをはじめ、不明な点はまだ多く残されている。今後は、樹種組成以外の情報によって古木の供給源を特定することや、より大量の古木について樹種と年代情報を合わせて蓄積すること、火山噴火や海流、古地震学的な検討も必要である。それによって、新潟県やその周辺地域における過去に発生した大規模な自然災害の履歴や、後氷期の自然環境の変遷を明らかにする上での貴重な情報を得られるものと考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、山形大学理学部の櫻井敬久教授・門叶冬樹准教授、(独)産業技術総合研究所活断層研究センターの杉山雄一センター長・金田平太郎博士には、古木の年代測定結果を本論文に引用することを承諾していただくとともに、年代測定に用いた古木サンプルの一部を提供していただいた。また、(株)数理設計研究所の玉置晴朗代表取締役にも、古木の年代情報を本論文に引用することを承諾していただいた。出雲崎漁業協同組合の若山昭一参事、新潟県水産海洋研究所の須貝憲明参事、新潟県農林水産部水産課には、古木の採取を始め、調査の遂行に際して便宜をはかっていただいた。千葉経済大学短期大学の内山隆教授、新潟大学災害復興科学センターのト部厚志准教授には、論文作成に際して貴重な助言をいただいた。新潟大学大学院自然科学研究科の院生諸氏には、樹種同定のためのプレパラート作製に協力していただいた。これらの方々にお礼申し上げる。

引用文献

- 地学団体研究会新潟支部、編。1989. 地学ガイド 新潟の自然。290 pp. 新潟日報事業社、新潟。
(独)森林総合研究所。木材データベース。http://f030091.ffpri.affrc.go.jp/index.html (2007年8月24日参照)。
藤井昭二。1992. 海底林と海水準変動—富山湾周辺を中心に—。アーバンクボタ No. 31: 60–65。
藤井昭二・奈須紀幸、編。1988. 海底林—黒部川扇状地入善

- 沖海底林の発見を中心として—。163 pp. 東京大学出版会、東京。
古野 毅・澤辺 功。1994. 木材科学講座2—組織と材質—。190 pp. 海青社、天津。
早津賢二。1990. 妙高火山。「新潟県 地学のガイド(上)」(天野和孝編著)、94–135. コロナ社、東京。
平井信二。1996. 木の大百科。642 pp. 朝倉書店、東京。
和泉 薫・納口恭明。2007. 中越沖地震における地盤液状化をエッキーで再現する。新潟県中越沖地震報告会配布資料、新潟大学研究支援部研究助成課、新潟。
(株)数理設計研究所。出雲崎の古木。http://www.madlabo.com/mad/research/20070824_Izumozaki/index.htm#SEC9 (2007年11月23日参照)。
川合英夫。1974. 日本海における海流像の変遷。「水産学シリーズ5 対馬暖流—海洋構造と漁業—」(日本水産学会編)、7–26. 恒星社厚生閣、東京。
北村四郎・村田 源。1971. 原色日本植物図鑑—木本編 I—。453 pp. 保育社、大阪。
北村四郎・村田 源。1979. 原色日本植物図鑑—木本編 II—。545 pp. 保育社、大阪。
Krumbein, W. C. 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology* 11: 64–72。
守田益宗・崔 基龍・日比野紘一郎。1998. 中部・東海地方の植生史。「図説 日本列島植生史」(安田喜憲・三好教夫編)、92–104. 朝倉書店、東京。
新潟県教育委員会。2007. 北陸新幹線関係発掘調査報告書 VII—用言寺遺跡 II—。103 pp. (財)新潟県埋蔵文化財調査事業団、新潟。
Noshiro, S. & Suzuki, M. 1989. Forest reconstruction from fossil wood assemblages in prehistory. *The Quaternary Research* 27: 313–329。
佐伯 浩。1982. 木材の構造: 走査電子顕微鏡図説。218 pp. (社)日本林業技術協会、東京。
島地 謙・須藤彰司・原田 浩。1976. 木材の組織。291 pp. 森北出版、東京。
鈴木三男・能城修一。1987. 関東平野の縄文時代の木材化石群集とそれが示す古植生の変遷。植物分類・地理 38: 260–274。
刀祢敏彦。1965. 粟島東方漁場朽木調査。新潟県水試だより No. 2: 2。
辻 誠一郎。1989. 開析谷の遺跡とそれをとりまく古環境復元: 関東平野中部部の川口市赤山陣屋跡遺跡における完新世の古環境。第四紀研究 27: 331–356。
辻 誠一郎。1995. 植生の地史的変遷。「生物—地球環境の科学: 南関東の自然誌」(大沢雅彦・大原隆編)、55–68. 朝倉書店、東京。
山崎直方。1925. 関東地震の地形学的考察。震災予防調査会報告 No. 100 乙: 11–54。

(2008年1月28日受理)