箱根の逆さ杉と南関東の大地震

大 木 靖 衛*

Fossil Cedar Trees of Lake Ashi as Fossils of Large Earthquakes in Southern Kanto District

Yasue ŌKI*

I. は し が き

箱根火山は、年5 cm の速さで北西に進みアジアプレートの下に沈み込んでいるフィリピン海プレートの最北端に位置している。フィリピン海プレートに載って箱根火山はそこで丹沢山地に衝突し、その一部は畳み込まれて本州地殻に付加されようとしている。このような複雑な環境で育った箱根の火山体には、さまざまな生い立ちの歴史が刻み込まれているに違いない。箱根芦ノ湖の「逆さ杉」と呼ばれる湖底木も、南関東を襲った「大地震の化石」であることが明らかになり、過去3,000年の南関東の地震史を綴る重要な証人となっている。

II. 逆さ杉とは

1) 湖 底 木

箱根芦ノ湖にある「逆さ杉」とは、杉が逆立ちし、梢が地面に突き刺さり空中に根を広げているような樹木ではない。明治時代以前には湖面から梢を出している湖底木の杉が多数あった。晴れた風の無い日には、外輪山の後ろから雪帽子をかぶった富士山が湖面に反射し「芦ノ湖の逆さ富士」が見えた。このようなときには湖面から梢を出す湖底木も水面に反射して逆さに見えた。逆さ富士に語呂あわせをしてこれを「逆さ杉」と呼んだ。芦ノ湖に遊覧船が就航するようになると濃霧の多い箱根では衝突の危険がある。遊覧船が逆さ杉に

突き当たらないようにと水面から深さ3~5mのところで切りとられた。それでも昭和30年代までは船上からのぞき込むと湖底の黒い影を認めることができた。現在は周囲からの排水で水質の汚染が進み、透明度が低下してしまい船上から湖底木を見ることはできない。

2) 逆さ杉の歴史記録

芦ノ湖に逆さ杉があることは大昔から知られていた。逆さ杉の最も古い記録は、箱根権現の成り立ちについて述べている鎌倉時代初期建久2(1192)年編集の『箱根山縁起并序』(箱根神社、1192)である。その中に村人を困らせる九頭竜の伝説があり、箱根権現の開祖万巻上人が貴い仏教の力で九頭竜を改心させ、改心した九頭竜を「せんだんきやらの木」と名づけられている逆さ杉の一つに結びつけたと記している。

逆さ杉の成因について考察した最初の人物は、元禄3(1690)年来日したドイツ人医師エンゲルフェルト・ケンペルである。ケンペルは元禄4年長崎から江戸に向かうとき箱根関所を通り、芦ノ湖の逆さ杉を見た。彼の「江戸参府旅行日記」の中でその成因について次のように述べている。「この湖の成因は確かに地震によるもので、そのために昔この土地が陥没したのである。その証拠として、人々は数え切れない杉の木のことを挙げている。深い湖底には珍しいほどの太さの木が生えていて、藩主の指示や意見で潜水して引き上げ運び出される。そのうえ日本ではこの種の木がこ

* 新潟大学積雪地域災害研究センター

* Research Institute for Hazards in Snowy Area, Niigata University

の箱根ほど背が高く、まっすぐで、見事に、そしてこんなにたくさんある所はほかにない。」(ケンペル, 1977)。このことから当時はかなり沢山の逆さ杉があったことがわかる。逆さ杉は文化8(1811)年に出版された箱根温泉案内書である『七湯の枝折』, 天保12年(1841)に完成した『新編相模国風土記稿』などにも記載されている。

3) 火山地質学的研究

明治維新とともに、わが国は急速に近代科学を吸収しはじめた。箱根火山の研究が石井八万次郎(1898)や平林 武(1898)たちによって進められた。両者の研究は次のとおりである。箱根火山には火山噴火によって直径12×10kmの大火口が形成された。この大火口に水がたまって第一期の火口湖となった。この火口湖の水は外輪山の東壁を破って相模湾に注いだ。次に火口内に中央火山が生まれ、火口内の水が須雲川へ流れ出る口を塞いだ。そのために中央火山体と大火口壁との間に第二期の半月形の湖が生まれた。湖の水はこれまでの須雲川には出られなくなったので、反対側の湖尻から早川となって相模湾に注いだ。早川は河床を深く刻み込んだため第二期の湖は干上がってしまった。干上がった火口底に杉や檜の森林が茂った。中央火山神山の北側山腹で大爆発が起きた。破碎された山体は土石流となって仙石原火口源に達し、谷をさえぎって第三期の湖「芦ノ湖」が生まれた。土石流に巻き込まれた樹木は化石となって神代木に、湖中に没した老杉は逆さ杉になったというのである。

芦ノ湖を地震による陥没湖、逆さ杉は、この陥没により水中に溺れた樹木としたケンペルの考えと、火山噴火の土石流によるせき止め湖出現で樹木が水没した、とする石井・平林両者の考えは違っている。箱根山を踏査した両地質学者は、芦ノ湖が神山の爆発で発生した土石流によるせき止め湖であることを初めて明らかにした。

昭和20から30年代に箱根火山を詳細に調査した久野 久(1952)は逆さ杉についてあまり関心をよせなかった。久野は仙石原をせき止め芦ノ湖を生んだ土石流は、会津磐梯山1888年の大噴火と同様な水蒸気爆発によって神山の北西山腹が崩壊し、

岩なだれ(神山山崩)となって仙石原のカルデラ床に流下したことを明らかにした。なお、この水蒸気爆発によって神山火山をつくったマグマの通路(火道)を満たしていた溶岩が地表に冠ヶ岳としてあらわれ、冠ヶ岳は典型的な岩栓(プラグ)であると主張した。

4) テフロクロロジー

芦ノ湖をつくった神山の水蒸気爆発の年代は町田(1964)によって縄文時代後期約4千年前と推定された。神山山崩堆積物を覆う富士火山灰は薄く、その中に富士の砂沢(ずなざわ)スコリヤ(3,000年前)と名づけられた縄文後期の火山灰(テフラ)が認定され、縄文後期であるから4千年前後であると位置づけられた。

5) 木原 均と逆さ杉

表の起源を遺伝子学的に追求したことで知られている木原 均(1893~1986)は昭和31(1956)年に京都大学から横浜の丘陵地に移り、財団法人木原生物学研究所を設立してから箱根に興味を持つようになった。木原は箱根一帯の自然植生がどのように変遷したかを研究した。箱根には現在杉の自然林はなく、芦ノ湖中や仙石原の地下に巨大な神代木として杉の自然林のあったことがわかっている。木原の逆さ杉の研究は、杉の自然林調査の一環としてはじめられた。

芦ノ湖形成の年代を求めるために、木原と共同研究者は昭和46(1971)年から潜水調査を開始した(木原生物研究所, 1974)。放射性炭素(^{14}C)法による年代測定を行なうために、芦ノ湖西岸から南岸にかけた8地点から湖底木を採取し測定した。その平均年代は1,600年前となった。水深32mの湖底に根をはった杉の巨木は画家でもあるダイバーによってスケッチされ、そこにかつては杉の大森林があったことを物語るように大地に根を張って立っていた(山下, 1975)。なお、当時すでに芦ノ湖の水質汚濁が始まっていたので、肉眼で湖底木の立っている状況は確認できたが写真をとることはできなかった。

木原たちは芦ノ湖誕生を縄文後期4,000年前であるという地質学者たちの推定は間違いで、放射性炭素法による年代測定によって1,600年前古墳

写真 1 箱根神山冠ヶ岳は溶岩尖塔

時代後期であると指摘し、注目を浴びた。テフラによる火山層序学的手法による年代が正しいか、近代分析技術によって計測された年代が正しいかとにぎやかな議論になった。

6) 神山の冠ヶ岳は溶岩尖塔である

箱根火山が活火山であることを示してくれる大涌谷噴気地帯の地熱調査をつづけていた筆者は、冠ヶ岳から噴気地帯の地形的膨らみがドーム状であることが気になった。ことに姥子温泉付近から望むと、冠ヶ岳は水蒸気爆発で生じた爆裂火口の中に盛り上げられたドームと識別された。冠ヶ岳はこのドームの屋根を突き破って立ち上がった溶岩尖塔とすべきであった（写真1）。

大木・袴田はこの仮説の真偽を確かめるために、芦ノ湖をつくった大涌谷山崩れ堆積物を中心に野外調査を試みた。芦ノ湖北端の逆さ川水門付近の露頭で、神山山崩れ堆積物を覆って発泡の悪い石質岩片と微細な炭化木片を含むテフラを識別した。同様な層序関係を持つ軽石質テフラにとり込まれていた直径15cmの炭化木を発見し、その年代測定をしたところ2,800年BPとなった。神山山崩れ中に巻き込まれていた杉木片は3,100BPであった。これらの年代測定結果は芦ノ湖を形成した神山の爆発が後期縄文時代であることを示唆し、町田のテフラによる火山層序学的位置づけと調和していた。

芦ノ湖逆さ杉の1,600年前という年代との矛盾がまだ残っていた。大木・袴田（1975）は、後期

縄文時代に形成された芦ノ湖に1,600年前頃湖畔に茂っていた巨大樹が立ったまま滑り込んだと解釈した。巨大樹が立ったまま移動した事件は箱根付近で発生した大地震によって引き起こされたと想像した。芦ノ湖の誕生年代の探索が、南関東神奈川西部で発生した大地震の問題へと広がりはじめた。

7) 大樹が立ったまま移動できるか

逆さ杉が大地震で生まれたとするならば、次の問題は直径1から2mにもなる大樹が立ったまま移動できるかどうかであった。大地震の災害報告は天地鳴動阿鼻叫喚の惨状の記録が主で、立ったままの木が整然と移動した記録は少ない。シェークスピアのマクベスでは、バーナムの森が動き出したという知らせを聞いてスコットランド王ダンカンに暗殺したマクベスが付和雷同し、ついに仇うちされてしまった。この物語に森林が立ったまま移動することが述べられている。もっとも、木が立ったまま移動することは通常有り得ないことの例として引き合いに出されたのである。

昭和5（1930）年北伊豆地震（M7.3）が起きた。震央は箱根の南10kmであった。このとき箱根カルデラ南縁の孫助山中腹から山津波が発生し、その末端部で根本周囲3m、高さ20mのモミの大樹が立ったまま山津波に押し流されて、220m移動したと神奈川県測候所『豆相地震報告』（1931）に述べられていた。この記載で、心配されていた地震山津波で大樹が立ったまま移動できるかとい

図 1 芦ノ湖から採取した逆さ杉の分布図 (大木ほか, 1985)
 ×: 木原生物学研究所 (1974), ○: 神奈川県温泉地学研究所

う問題は、移動できるということになった。

8) 逆さ杉は大地震の化石

逆さ杉が大地震の化石となるならば、芦ノ湖誕生以来3,000年間の大地震の編年ができるかもしれない。関東大地震のような大地震の発生周期については、まだ資料が不足している。逆さ杉の調査による南関東の地震編年研究が神奈川県と箱根町で認められ、昭和56 (1981) 年から58 (1983) 年の3年間にわたって、県温泉地学研究所と大涌谷自然科学館の共同調査が行なわれた (大木, 1985)。

芦ノ湖は南北4km 幅4km 最深40m (平均20m) の小さな湖である。逆さ杉など魚群探知機で探せばすぐに見つかると思っていたが、意外に困難であった。現在の芦ノ湖の透明度は6m で中

栄養湖に分類されている。潜水しても湖底木の産状はもはや観察できない。観光地としての開発がなかった明治時代では16m の透明度があり、湖面上からも逆さ杉はよく観察できた。

図1に示した30地点から湖底木を採取し、学習院大学木越研究室に送り ^{14}C 年代の測定を依頼した。湖底木は逆さ杉と総称されているが、神奈川県林試の鈴木・角田 (1981) によれば、スギ、モミ、バラ科の木、シキミ、不明の広葉樹などであった。図2は筆者らが採取した逆さ杉と、木原グループによって求められた逆さ杉の年代別頻度分布図である。測定値には±100年程度測定誤差があるので、図2では200年毎に区切り、この期間内にはいる試料の頻度をヒストグラムで示した。ヒスト

源を推定しているの、ここでは1,050年 BP の逆さ杉は元慶地震を指すものとしておく。芦ノ湖の北に広がる仙石原ゴルフ場の造成工事で、地すべり地塊の中から直径2.5mの神代杉が発見され、その年代は1,100年BPとなった(袴田・石村, 1987)。これも大地震で発生した地すべりに巻き込まれた大樹であろう。いずれにしても、逆さ杉の年代測定から過去の大地震を探ることが可能であることがわかる。このことから、南関東では500年から1,000年に一度の周期で関東地震クラスの大地震が発生していると考えられる。

10) 古墳時代初期の地震

1,600年BPは木原によって指摘された逆さ杉の年代である。図2ではこの年代の湖底木の数が多いことがわかる。小田原市と箱根町の境界付近にある長興山紹太寺入口で、土石流の中から樹径1.5mのモミの大樹が大正14年井戸掘さく中に掘り出された。このモミで本箱を作成した本間 亘氏から本箱を提供して頂き、その年代を測定したところ1,580年BPとなった(大木・小鷹, 1984)。芦ノ湖の逆さ杉の中の「おじょう杉」「たおれ杉」として記載されたものと同一年代を示している。石橋ほか(1979)は、伊豆半島下田の柿崎海岸弁天島において、高度1.6mの海岸段丘に付着していたカキ殻の年代測定を行ない1,580年BPを得て、その頃海岸段丘をつくった変動、つまり大地震のあったことを指摘した。箱根から60km離れた伊豆半島先端までをカバーするような地殻変動をともなった巨大地震が、古墳時代初期にあったのではなかろうか。今後の研究が期待される。

11) 弥生時代初期の地震

逆さ杉年代ヒストグラムのもう一つのピークが2,100年BP弥生時代初期にある。これと同時代の神代杉が、箱根から25km北の丹沢玄倉川上流で昭和57(1982)年、古い土石流堆積物中から発見された(大木ほか, 1988)。その年代測定の結果は2,140年BPである。丹那断層発掘調査でもこの頃の年代に丹那断層の変位があったことが明らかにされている(丹那断層発掘調査グループ, 1983)。

12) 縄文時代後期

今から3,100年ほど前は神山が大水蒸気爆発を起こし、仙石原に岩屑なだれが流下して芦ノ湖をつくった。その200年後に、水蒸気爆発の原因であったマグマが爆裂火口底を押し上げてドームをつくり、マグマはドームの天井を突き破って頭を出し、火砕流をともなった爆発的な噴火を起こした。この大事件はきっと南関東の大地震と関係があったと思うが、これを指示する証拠はなにも見つかっていない。

III. 地震と地すべり

1) 箱根カルデラ南部の地すべり地形

箱根火山に刻み込まれた大地震の傷跡が、カルデラ南縁部の箱根峠付近にある大規模な岩盤地すべりである。箱根峠から北にのびる畑引山の半島は、四つの地すべりブロック(H1~H4)からできている(図3)。古期外輪山のカルデラ壁は通常30°から15°の急傾斜を持つが、地すべり地帯の箱根峠から畑引山の斜面は8°以下の緩斜面になっている(図4)。

2) 二重山稜

箱根カルデラの縁が箱根峠付近で不明瞭になって、カルデラ縁が右ずれ600mのオフセット(図5)をなしていることに久野(1952)は注目し、それは箱根火山の下敷きになっている湯河原火山の山頂が頭を出しているためだと説明した。久野の指摘したカルデラ縁のくい違い部には横ずれ断層はなく、そこではカルデラ縁に平行する二重山稜が認められる。この複雑な地形形成については、カルデラ縁をなす山稜部が地すべりによって二重山稜となったと解釈するのがよい。久野が描いたカルデラ縁がオフセットする線は、カルデラ地形の恣意的境界線であって横ずれ断層はない(図3)。このような見方で空中写真を解析して見ると、カルデラ南部に4kmにおよぶ大規模岩盤地すべり地帯を識別することができた。久野によって湯河原火山とされた鞍掛山溶岩のK-Ar年代は21±2万年前となり、箱根火山の古期外輪山溶岩類に属していることが明らかになってきた。空中写真によって地すべり地形と判断される地塊は、

図 3 箱根カルデラ南縁部の大規模地すべり

1. カルデラ縁, 2. 滑落崖, 3. 断層崖, 4. 断層, 5. 地盤移動方向, 6. 土石流

図 4 箱根カルデラ壁の地形断面図

箱根峠および孫助山から芦ノ湖にいたる斜面は、地すべりによって他のカルデラ壁に比して著しく緩傾斜となっている。

このほか 20 カ所もある。須雲川右岸に須雲川と平行した断層が松田 (1972) によって推定されている。この断層は地すべりによって離れ山となった地塊の滑落崖を結んだものであり、実際にはつながった断層ではない。

北伊豆地震の山津波は地すべりブロックと基盤岩類との境界部で発生している (神奈川県測候所, 1931)。カルデラ壁に沿って分布するこれらの地すべりブロックの内カルデラ南部のものは活地すべりであり、大地震の際に移動すると思われる。

関東地震のときに辻村一家が遭難した山津波もその一つである。

IV. 九頭竜伝説

芦ノ湖は摺鉢状の外輪山に取り囲まれた湖である。私は初めて芦ノ湖を見たとき摺鉢の底にある湖だから嵐でも大波は立たない静かな湖だと思った。この湖に住むという九頭竜伝説を聞いたとき、この静かな湖にはそぐわない伝説だと思った。芦ノ湖の逆さ杉の調査が進み、それらが大地震の化

図 5 箱根カルデラ南縁部のカルデラリムのオフセット地形

石と推定されるようになると、九頭竜伝説は単なる作り話ではないと思うようになった。

九頭竜という名称は福井県の九頭竜川が有名である。急峻な山地から急勾配で流れ出す溪流が、大雨や雪解けで大洪水を起こすようすを超怪獣「九頭竜」と表現したものである。芦ノ湖の九頭竜も福井県の九頭竜川と同じく洪水を意味するものと考えられている。しかし、芦ノ湖は摺鉢の底の湖で九頭竜川のように激しく流れる水ではなく、洪水と結びつけるのは不自然である。芦ノ湖では箱根山縁起并序の伝説が述べているように、九頭竜は切っても切れない鉄の鎖によって逆さ杉と結ばれている。九頭竜は大地震によってカルデラの急斜面に発生した山津波と解釈すべきであろう。この山津波によって大樹が立ったまま芦ノ湖に移動し、湖底木逆さ杉に変わったのである。箱根神社の九頭竜伝説は、南関東が地震の国であることを象徴的に表現している説話ではなかろうか。私はこの結論に達したとき、心の底から逆さ杉の謎解きができたと思った。

1990～1991年にかけて、地質調査所山崎晴雄のグループが M7 地震予知の研究の一環として、芦ノ湖の物理探査と湖底堆積物のボーリング調査を実施した。その成果はまだ発表されていないが、過去の地震の歴史を明らかにする試みとして注目

したい。本小論で述べたカルデラ南部の大規模地すべりの研究は文部省科学研究費（一般研究 C 03804063）によって行なった。記して感謝の意を表する。野外調査に協力して下さった新潟大学積雪地域災害研究センター鈴木幸治、神奈川県温泉地学研究所杉山 茂両氏に感謝する。

文 献

- 袴田和夫・石村寿男（1987）：箱根仙石原産出の神代杉の ^{14}C 年代。大涌谷自然科学館報告，7，25-29。
 箱根神社（1192）：箱根山縁起并序。
 平林 武（1898）：箱根熱海両火山地質調査報文。震災予防調査会報告，16，4-78。
 石橋克彦・太田陽子・松田時彦（1979）：南伊豆，吉佐見，柿崎の隆起貝層の C14年代。地震2，32，105-107。
 石井八万次郎（1898）：箱根火山研究録。地質学雑誌，1，323-331，384-394，437-445，491-501。
 神奈川県測候所（1931）：豆相地震報告，67p。
 ケンペル，E. 著，斉藤 信訳（1977）：江戸参府旅日記。東洋文庫303，平凡社，383p。
 木原生物学研究所（1974）：箱根地域国有林の取扱いに関する基礎調査。東京営林局。
 久野 久（1952）：1/7.5万分の1熱海図幅地質説明書。地質調査所。
 町田 洋（1964）：Tephrochronology による富士火山その周辺地域の発達史（その1，2）。地学雑誌，73，293-308，337-350。
 松田時彦（1972）：1930年北伊豆地震の地震断層。星野通平・青木 斌編：伊豆半島。東海大学出版会，73-93。
 中村一明・松田時彦・守屋以智雄（1987）：火山と地震の国。岩波書店，338p。
 大木靖衛（1985）：箱根芦ノ湖の湖底木から見た小田原付近の巨大地震。月刊地球，7，426-430。
 大木靖衛・袴田和夫（1975）：箱根芦ノ湖誕生のなぞを探る。国土と教育，30，2-9。
 大木靖衛・小鷹滋郎（1984）：小田原市入生田長興山紹太寺産のモミ神代。神奈川県温泉地学研究所報告，15，117-122。
 大木靖衛・袴田和夫・伊東 博（1988）：箱根の逆さ杉。神奈川新聞社，180p。
 鈴木 清・角田賢造（1981）：箱根芦ノ湖の逆さ杉の樹種。神奈川県温泉地学研究所報告，13，58-62。
 丹那断層発掘調査研究グループ（1983）：丹那断層（北伊豆・名賀地区）の発掘調査。東京大学地震研究所集報，58，797-830。

（1993年3月6日受付，1993年4月22日受理）