

[資料] 歴史地震史料に見る天然ガス由来の火災

信州大学 繊維学部* 榎本 祐嗣
東海大学 海洋研究所 長尾 年恭
千葉大学 大学院理学研究院 李文超
東京電機大学 工学部 水原 和行
信州大学 繊維学部 山辺 典昭
(株)コンボン研究所 杉浦 繁貴・近藤 斎

Fire Disaster Derived From Natural Gas Field Noted in Historical Earthquake Literatures

Yuji Enomoto
Shinshu University, Fii-404, 3-15-1, Tokita, Ueda, Nagano, Japan
Toshiyasu Nagao
Tokai University, 3-20-1, Orido, Shimizu, Shizuoka, Japan
Wencho Li
Graduate School of Science, Chiba University, 1-33, Inage, Chiba, Japan
Kazuyuki Mizuhara
Tokyo Denki University, 5, Senjyu-Asahi, Adachi, Tokyo, Japan
Tsuneaki Yamabe
Shinshu University, 3-15-1, Tokita, Ueda, Nagano, Japan
Shigeki Sugiura
Genesis Research Institute, Inc., 4-1-35, Noritakeshin-machi, Nishi, Nagoya, Aichi, Japan
Hitoshi Kondo
Genesis Research Institute, Inc., 4-1-35, Noritakeshin-machi, Nishi, Nagoya, Aichi, Japan

By surveying historical earthquake materials, we found many witness records about earthquake lights. Among them, there are several earthquake historical records showing that flames erupted from the ground and in some cases spread to houses etc., leading to fires. We collected such testimonies, and showed that the epicenters of the related earthquakes were within the distribution area of natural gas. Especially in the 1828 Echigo-Sanjo, 1847 Zenkoji and 1855 Ansei-Edo earthquakes, it was clarified that the flame eruption in the areas showing natural gas surface signs caused great fire damage. Natural gas related fires are, therefore, a risk that should not be overlooked when considering future earthquake disaster prevention and mitigation measures

§1. はじめに

日本列島内陸には可燃性のメタンが主となる天然ガス田（経済性が見込まれる多量の天然ガス賦存域）が広く分布している。このほかにも、炭層や亜炭層、海成粘土層、有機質泥層（例えば諏訪湖底堆積物など）といった地層中にも少量ながら天然ガスが存在していて、そのような地層は日本

列島のいたるところにある[氏家(1994)]。このような地勢を有する地域で地震活動が発生すると、解放される巨大な地震エネルギーはメタンを賦活化させ、自然着火による火焰の噴き出し、さらには火災に至るリスクを生じる可能性があると考え、史料調査を行った。

関連する情報を調査したところ、関東、越後や

* 〒386-8567 長野県上田市常田 3-15-1 信州大学繊維学部 Fii-404
電子メール: enomoto@shinshu-u.ac.jp

北信濃など天然ガス賦存地域において起きた地震活動に伴って地中に賦存する天然ガスが原因した火災の噴出しに関する情報が散見された。そしてそれが原因となって民家などに延焼して火災が起きたと考えられる事例も明らかになった。

本稿で史料調査の結果を整理し、発生原因などを考察した。

§2. 地中からの火焰噴き出し

地下に賦存する天然ガス（おもに可燃性のメタン）が噴き出し、火災による被害が発生した記事は、1826年越後三条地震、1847年善光寺地震、1855年安政江戸地震にあった。図1にそれぞれの地震の震央を△で示した。これらの地震史料には地中からの火炎噴出しに関する記事が比較的多くあり、それぞれの地震ごとに§3～§5で取り上げる。本章では、火災には至らなかったものの5件の歴史地震に伴って地中から火炎が噴出したという記事を紹介する。

2.1 正嘉地震, 1257年10月9日20時頃（正嘉元年二十三日戌刻）

②-1（鎌倉）「所々地裂水涌出，中下馬橋辺地裂破，自其中火炎燃出，色青云々」『吾妻鏡（東鑑）』[武者(1932)所収].

2.2 元禄地震, 1703年12月31日午前2時頃（元禄六年十一月二十三日丑刻）

②-2（江戸）「元禄十六年十一月二十二日初夜電光大いに閃き，八ツ時に至りて声あり，雷の如し，地大いに震ひて窓戸忽ち挫け，屋舎総て激波を漂ふに似たり。地裂くること二～三寸乃至五～六尺の所あり。或は砂を吐き水を噴き火を発し，石垣崩れ屋舎覆る。」『日本震災凶謹』[東京大学地震研(1985)所収].

②-3（小田原）「七日の間地震止事なく昼夜十五六度に及ぶ後にハ上下共々庭に仮屋を作り本屋に不相居就中大破に及びしハ小田原の城下之本二三の郭石垣悉くゆり崩し城主も空地に幕をしつらひ野陣有し也右地震の前表に箒星の如き火柱夜出て消へず人々不思議と申習之也此時桜田御屋敷御玄関前切石の合せ目かハタハタ打合是より火出る程也」『元武公御年譜 五』[東京大学地震研究所(1989)所収].

2.3 金沢地震, 1799年6月29日16時過ぎ（寛政十一年五月二十六日申刻過ぎ）

②-4（金沢）「大樋口，地面之割れ目ヨリ焰出候所有」『政隣記』。これは森本断層上で起きたと考えられている [寒川 (1992)].

2.4 京都地震, 1830年8月19日16時頃（文政十三年七月二日申刻）

②-5（京都）「地面よりも光り物出現し，大抵昼のようになりしゆえ人々訝り...」『京都地震見聞記』[武者(1932)所収].

2.5 安政伊賀地震, 1854年7月9日2時頃（嘉永七年：安政元年六月十五日丑刻）

②-6（奈良）「同所（南大門）大地われ，火炎吹き出し，誠に恐ろしき事よし」『大阪地震記』[武者(1932)所収].

以上，下線は筆者らによる（以降の証言の下線も同様である）。図1の○印は上記②-1から②-5の記事のある地震の震央を示している。いずれも天然ガス田の分布域にある。これ地震震源域の地勢について簡潔に述べておく。

1257年正嘉地震や1703年元禄地震の主な被害地域であった鎌倉や江戸は後に述べる南関東ガス田が賦存する地域およびその付近にあたる。

1799年金沢地震で火柱が目撃された大樋を含む一帯は第四紀沖積層に構造的な天然ガスの徴候が知ら



図1 天然ガスに由来すると考えられる火焰発生（○）ならびに火災発生（△）が起きた歴史地震の震央。黒色塗の地域：天然ガス鉱床分布 [石油技術協会 (1983)].

Fig.1 Fire-out phenomena and the induced fire occurrence derived from natural gas fields associated with historical earthquakes. Dark colored area: distribution map of natural gas deposits.

れている。近くの河北潟（現在は埋め立てられている）周辺の民家井や農業用水井ではガス噴出がみられた〔地質調査所燃料部石油課(1961a)〕。京都地震では京都盆地北東部で建物倒壊被害が多かったが、その盆地の沖積層にメタン系天然ガスの兆候がある〔地質調査所燃料部石油課(1961a)〕。

また1854年安政伊賀地震では東大寺（南大門）の位置する奈良県北部地域で被害が大きかった。このあたりは吉野川に沿って走る中央構造線の北側の低地帯になっていて、第三紀層や第四紀層に天然ガスが賦存する〔地質調査所燃料部石油課(1961a)〕。

§ 3. 1828年越後三条地震に伴う天然ガス由来の火災

3.1 越後平野のガス田地層

越後平野（長岡平野）南部地域は、明治～昭和期に生産に成功した油田・ガス田があることから知られるように、天然ガスが湧出しやすい地質条件を有している（図2）〔加藤(2018)〕。

3.2 天然ガス噴出による火災

天然ガスが所々自然に湧き出す地勢の越後三条付近で、1828年12月18日8時頃（文政十一年十一月十二日卯下刻）、マグニチュード6.9と推定される地震が起きた〔河内(2002)；植竹ほか(2005)；矢田・ト部(2010)〕。このとき、以下に挙げるような地下からの火焰が原因で家屋の火災が発生、焼死者がでたという記事がある。

- ③-1 「近頃にては越後三条の地震には、大地割裂其處より火炎吹き出し潰れ、即死焼死人等も夥敷より承居り候」〔時雨の袖〕〔武者(1932)所収〕。
- ③-2 「又外へ逃出る者は大地の割口へ落込死るも有木の下大地の割し穴にて泣きさけぶ有誰有て早速助ける者もなしその内大地の割口より火燃へ出し御坊台所辺へ移り大火に成云々」〔越後国三條地震大變記〕〔武者(1932)〕。

上記記事③-2のなかの御坊とは三条の南にある東御坊（東本願寺・三条教区・三条別院）で、同寺の歴史・沿革によると、当時「北陸で随一の寺院」であって、1828年11月12日（文政十一年）、「三条大地震三条掛所建物全壊そのうえ類焼し残るものなし」と記されている。小泉蒼軒『懲震毖鑑』に、「三条町寺僧二人の少女ヲ失フ」とある絵図（図3）が「北陸で随一の寺院」であった東御坊の火災図であろう。

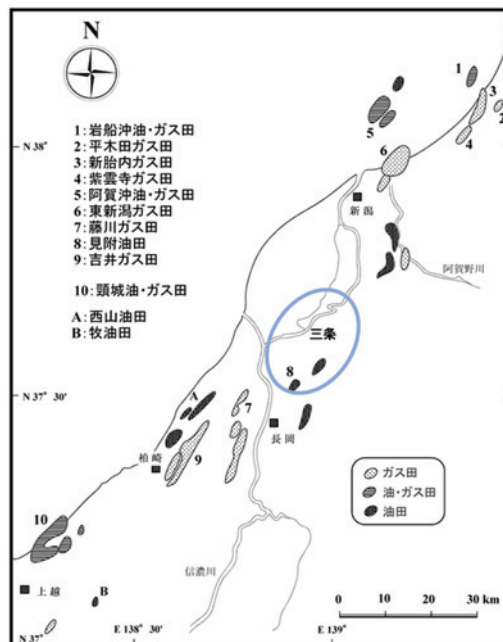


図2 越後平野の油・ガス田地層分布〔加藤(2018)〕に越後三条地震の推定震源域を加筆。

Fig.2 Geological Distribution of Oil and Gas Fields in the Echigo Plain and the Epicenter of the Echigo-Sanjo Earthquake.



図3 小泉蒼軒『懲震毖鑑』(1828)に描かれている三条町の寺院（東御坊）で起きた火災（本間イミ子氏提供）。

Fig.3 Fire at a temple (Higashi-Gobo) in Sanjo town: “Choshin-Hikan” (1828) written and drawn by Soken Koizumi.

§ 4. 1847年善光寺地震に伴う天然ガス由来の火災

4.1 長野県の油徴地・ガス徴地

長野県の北部、長野市、飯山市、上水内郡、北安曇郡、更科郡、東筑摩郡、小県郡などに広がる石油徴・ガス徴地は、図4aに示すように、糸魚川-静岡構造線と善光寺地震で動いた長野盆地西縁の断層帯に挟まれている〔地質調査研究所燃料部石油課(1961b)〕。すなわち、長野盆地西縁断層帯

の西側(筑摩山地)から東側の盆地地下にかけて、有機物を多量に含む中新世中期の黒色泥岩(浅川層)とその上位を覆う多孔質の凝灰岩(裾花凝灰岩層)が分布する(図4b)[赤羽ほか,(1992)].凝灰岩層は黒色泥岩を母岩とする石油や天然ガスの貯留層となっており、凝灰岩層が背斜状の構造をなして地表に露出している場所や、何らかの原因によって地下に伏在する凝灰岩層に達する亀裂が生じた場所では、この地層に含まれていた石油やガスが地表に湧出する可能性が指摘されている[例えば井島(1960);地質調査所燃料部石油課(1961b)].

4.2 善光寺地震に伴う火焰噴き出しの記事

4.2.1 善光寺界限

④-1「廿四日夜四ツ時方山鳴り震動し善光寺辺別而強くそれ地震といふより大山崩れ流水を押しめ水溢れ地中割れ鳴動なす黒赤の泥大地割目より吹出し火炎のぞき物燃上り御殿宝蔵寺中拾八ヶ町の人々旅宿人家々潰れに押潰され大地の割目へめり込」[『信州大地震一件之写』東大地震研石本文庫「新収日本地震史料 第5巻,別巻6-2」[東京大学地震研究所(1988)所収].

④-2「また山邊には地震に裂候割口より火気を吐き、乾候蘆藁等差出候得ば火燃立候旨」[『信州丁未茶談』[武者(1932)所収].

④-3「既に此椽(たるき)下も割裂、又隣家の前は割間より泥を吹き出したり、善光寺又飯山杯(など)は、家の下より火炎吹き出したりといふ」[『時雨の袖』[武者(1932)所収].

④-4「その節地震の様子承り候処、髪結申し聞く候に、地震の節他所より帰り候に真の闇空、飯綱山の方に火の如き雲出候間、不思議に存見つめて居り候処、其雲くるくると廻り消える否山鳴致し、直に大地震になり、大道へゆり倒され候」[『時雨の袖』[武者(1932)所収].

④-5「是なる山(善光寺より子丑にあたる薬山)の辺り地中のいかんが狂いけるや、半丁ばかりの間に地中より火を吹き出す.一と所には居(すえ)風呂桶を置いて吹き出す火をもって湯を沸かし、一と所には鍋・葉缶等釣りかけて物煮る事をなす.尚二か所には唯何となく六七尺の間にほかほかと燃え立れり」(図5)[『地震後世俗語之種』[小林(1985)所収].

④-6「火泥吹出候場所善光寺近辺甚敷所は軒端とひとしく吹出候由所に寄地裂け候所方火燃出いろり(か)の火のこく燃候所方火口杯へ燃付候所有之由」[『稻垣みずほ家文書』東京大学地震研究所(1988)所収].

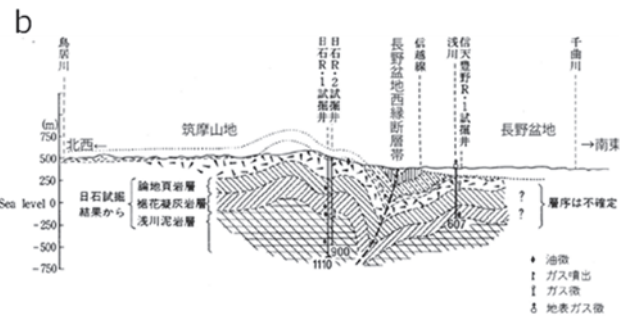
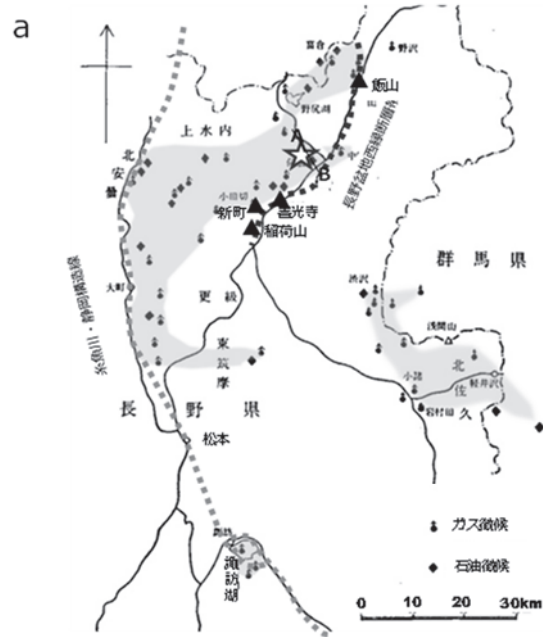


図4 a) 善光寺地震の起きた長野県北部の水溶性ガス田分布[地質調査所 燃料部石油課(1961)], 黒色点線: 糸魚川・静岡構造線, 赤点線: 長野盆地西縁断層帯, ☆: 善光寺地震震央, ▲: 火災発生箇所, b) 長野盆地西部・長野市豊野地区浅川付近の地質断面図: [赤羽ほか(1992)に加筆].

Fig.4 a) Distribution of water-soluble gas fields in northern Nagano prefecture where the Zonkoji earthquake occurred. ☆: Epicenter; Fire marks: locations where fires occurred, b) Geological cross-section of the western part of the Nagano Basin, near Asakawa, Toyono District, Nagano City.

4.2.2 松本あたり

④-7「一四月三日松本へ用事に付川東田より火の出る所見受(後略).」[『丸山家文書』[東京大学地震研究所(1988)所収].

④-8「一松本城下半丁程出川町村方スワ領神田村地境田地の中より地震後ふつつつと水湧出て此の田の中方火を出ス」[『信濃大地震記』東京大学地震研究所(1988)所収].

④-9「城下四五町隔り, 往還より三四町脇, 田の中, 地震にてわれ, 冷水出, 其水中にて青き火燃候由, 皆々見物に参候」[『鎌原洞山地震記事』[武者(1932)所収].



図5 a)噴出した火焰を煮炊きなどに利用する庶民、『地震後世俗語之種』(真田宝物館所蔵), b)荒地から噴き出す火炎『地震後世俗語之種』(真田宝物館所蔵)。

Fig.5 Burning flames from ground: peoples were using them for cooking etc.

これらの記事には火炎が勢い良く噴出したケース(例えば記事④-3), ほかほかと燃えるケース(記事④-5や図4)や勢いよく高く噴出したケース(記事④-6など)が読み取れるが, これは地中のガス溜の圧力の高低や賦存量の多寡, 割れ目の開閉が影響したと考えられる。また記事④-4 火の如き雲出てクルクル回って消えたとあるが, これは朝夕に見る赤い雲とは異なる。真っ暗闇(月齢22.9)のなかで見たのだから雲のように見えて渦巻いて消えていった火焰現象であろう。同じような記事が大正関東地震のときに上野山から新吉原の方向に目撃されていて「真っ黒な空間を大きな火の渦巻が右から顔を出し, 尾をひきつれて左に消える」という光景と類似している[三浦(1978)]。

4.3 善光寺地震に伴う長野県内各地の火災とその原因についての考察

この地震による火災は, 善光寺, 飯山, 稲荷山, 水内郡新町の4か所で発生した(図4に示す▲)。なかでも善光寺界限で起きた火災が甚大であった。街は三日二晩にわたって燃え続け, 十日の昼頃によく鎮火した。横沢町(図6の大勧進の左隣がヨコザワ丁)だけが焼け残り, ほか東西900m, 南北1,100mの区域にある2,194戸はすっかり焼けてしまい, 善光寺領分の住民1,457人, 旅人

1,029人のほとんどは焼死者であった[宮下(2018)]。

上記の④-3は, 「家の下より火炎吹き出した」とあり, また火焰の噴き出しは激しいところでは「軒端の高さにも達した」という(記事④-6)。よほど激しい火焰が立ち上り, それが大火を誘発したと考えられる。これに関して次のような記事がある。「其中, 大門町上手, 東横町中程, 東の門町中程の西側とも思しき三ヶ所よりを吹き出したり。折からの烈風に火の手八方に吹き懸けたり。(中略)続いて西の門町新道辺より火の手新たに燃上がり, 猛火は瞬く間に, 瑠璃を雙(なら)べ, 金銀を鏤(ちりば)め, 朱丹を交へたる大本願に移りたること悲しけれ。忽ち, 中衆, 妻戸をも焼き払ひて, 余燃烈しく二王門にぞ吹きかけた。これも瞬く間に, 二王尊を始め, 加羅仏の尊像と聞こえし毘沙門, 大黒の両天を煙にし, 左右の見世物, 芝居小屋の如きは, 恰も, 附木を燃す如き也。」[東松(1977)]。この記事には, 火災の始まりが善光寺門前界限の北よりの3か所から吹き出したと説明されている。この火災の様子は『地震後世俗語之種』(真田宝物館所蔵)に描かれていて, 当時強い南からの風が北の善光寺方面に吹いていた(図7)。この絵図から炎が善光寺側になびいていて強い風が北(図7の右側)に向けて吹いていた様子が見てとれる。さらに延焼の様子は通常とは違った不思議な現象が起きていたようだ。「不思議なることには, 昨夜よりして, 風は北にふきまくるに, 火の手は逆に南に燃ゆる有様にて, 忽ち, 風替わりてまた焼け失するなど, 殆んど何者の悪魔ありて火を弄に似たり」[東松(1977)]。この記事は, 風にあおられ火が風下にながされて延焼する通常の火事ではなかったことを示唆している。地中からのガスの噴き出しが南に移動したゆえではなかろうか。

§5. 1855年政江戸地震に伴う天然ガス由来の火災

5.1 火災が発生した江戸市中の地勢—南関東ガス田—

南関東ガス田は千葉県を中心に茨城県, 埼玉県, 東京都, 神奈川県に広がっていて, 安政江戸地震で大きく揺れた江戸市中はまさにこの南関東ガス田地帯にあたる。さらに上述した1257年正嘉地震の記事②-1の鎌倉もこの附近にある。

昭和26年(1951)11月から昭和29年(1954)3月にかけて実施されたメタンの調査によると「江東区の中央部から江戸川区の南部にかけての荒川河口付近一帯で高いメタン濃度が検出された。他にも葛飾区や港区の主に臨海部, 大田区でも, 東京都内の他の地区と比べややメタン濃度が高く

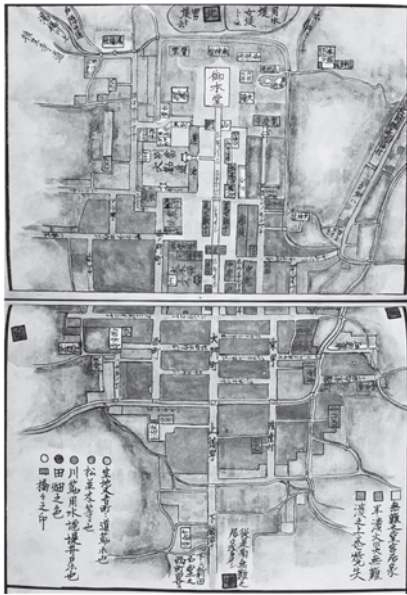


図6 善光寺門前一带で起きた火災焼失域：『地震後世俗話之種』（真田宝物館所蔵）。
Fig.6 Burnt area in front of Zenkoji temple.



図7 善光寺門前の町筋で起きた火災『地震後世俗話之種』（真田宝物館所蔵）。
Fig.7 A scene of the fire that broke out in the town street in front of Zenkoji Temple.

なる傾向があった。」[東京都地質調査業協会技術委員会(2014)]. この調査の行われた 1951 年発行の「関東地方総合地質図」には、天然ガス表面徴候が江東区や墨田区など 7 か所に記されている[兼子ほか(1951)].

5.2 「江戸大地震出火場所附」から見た災害状況

地震が発生したあと、災害を伝える瓦版が出回った。当時の社会を風刺した鯰絵なども多く出回ったが、なかには震災・火災の場所と状況を仔細に調べ、災害情報を伝えたルポルタージュもあった。図8の「銘細改版江戸大地震出火場所附版」もその一つで、隅田川を挟み江戸の東側（絵図の下側）から西（絵図の上側）を俯瞰し出火場所や地割れなどの被害状況そして被災した人を助ける

「御救い小屋」の場所を伝えている。出火場所の被害の大きさは番付として示されていて、一番の新吉原（今の台東区）の遊郭では630人の死者が出たと記されている。二番は今戸（台東区）あたり、そして三番目が“いけのはた かや丁”あたりで、いずれも絵図の右側にあたる隅田川近辺で被害が大きかった。

5.3 火炎噴き出しに関連した記事

地震が起きた時刻は夜中の10時頃、夕食どきの竈や七輪の火は消え、そろそろ寝静まるころ、なのになぜ激しい火災が江戸地中のあちこちで起きたのだろうか？ 史料を調べてみると、暗闇のなか地中から火が噴き出しを見たという記事がいくつもあった。それが原因して同時多発火災にいたったようだ。



図8 1855年安政江戸地震で起きた火災絵図：銘細改板「江戸大地震出火場所附」（個人蔵）。

Fig.8 Illustration map of the fire caused by the 1855 Ansei Edo earthquake.

⑤-1（地震時：下谷池の端）「今回（このたび）地震のとき地下より火気を発す，余が友下谷池の端に居れり，破驚地震といふほどに急ぎ外のかたへ立ち出るに亥子の方に当りて大に光を發す，但電の如ならず，その幅何十丈とも量りがたきが一面に火気たちて須叟（しゅゆ）に消る，これ地中の火気發したる光りならんといふ」『安政見聞録』[武者(1932)所収].

⑤-2 直前・地震時：牛込山伏町など「二日夜，地震の時，牛込山伏町の辺にて看し人の噂，辰の方に当たって晷二帖計りと見る火気，空中に上がりたりとぞ，又この時妻木氏某厠へ赴れしに，窓の障子の赤きに駭（おどろき）て，明て見るに，南の方にて，しかも程近きあたりに，太さ俗にいう中竹の位にて数丈の火気赤く見え鍋つるの如く曲りて折れたるを看たり是や世にいう火柱というものにやあらんと思ひ，怪しみ折から俄（にわか）に震出しりとなん，その外下谷茅町，根岸，靈岩島あたりにも，火の光ありしを見たるものありしとなむ」『武江地動の記』[武者(1932)所収].

⑤-3（地震時：行徳）「二日夜行徳の辺には地上より火燃出たり，近くより見れば見えず，また其先に火の燃るを見るのみ，芝森元町の坊正鈴木興右衛門も此（の）夜途中に於いて土中より火の出るを見たりとぞ」『武江地動の記』[武者(1932)所収].

⑤-4（地震時：江戸城）「○此夜地震の時飛物東南の方より飛来れり，其音甚しく光もあかしく見し人かたれり，又御城の石かきすれ合て火出けることすさまじかりしとぞ，又地震するとき忽ち火発せしは人家の火桶くつかへりて出火する（は）かりにはあらず，土中より自然に火発して火事と成こと有と成人いへり」[『藤岡屋日記57』[東京大学地震研究所(1985)所収].

⑤-5（地震時：江戸）「羽田燈明台に火を焚居たる者地震ゆり駈出して，江戸の方見たれハ，余程

太き火柱の如き火気高く立其外細き火は何筋も立たるなり（後略）」『安政地震雑記 全』

[東京大学地震研究所(1985)所収].

⑤-6（地震時：麻布）「麻布十番の名主与右衛門来りて惣（物カ）語所ハ，何処と申せしか地震の時地中より火打石にて打つ如き火多く立りしとなり，此火気火をさそいし故に火事なりしに，火事よといふと三十七八ヶ所のもへ出，本所深川斗りて十三ヶ所程出火有しとなり，新吉原出火あり，間もなく地震なりしなり，火の地より出しを三尺程上て左右へ散し由」見たる，まみ穴の坂の下なり，地の割れて稲妻の如き赤き火出て」『安政地震雑記』[東京大学地震研究所(1985)所収].

⑤-4にある「石かきすれ合て火出ける」は震動による石同士の摩擦発熱で隙間を縫って噴出した天然ガスが着火したと推測できる。

§6. 考察

「新収日本地震史料」（東京大学地震研究所）などの歴史地震史料を辿り8件の歴史地震、すなわち1257年正嘉地震，1703年元禄地震，1799年金沢地震，1830年京都地震，1854年安政伊賀地震に“地中からの火炎の噴出し”に関連した記事があり，さらに1828越後三条地震，1847年善光寺地震，1855年安政江戸地震については地中火炎噴出しが原因した火災が起きていた。これらの8件の地震の震源域はいずれも天然ガス田を賦存する地層が存在する地域にあった。

調べた史料には，割れ目から天然ガスが燃え出したという記事が多い。これは地震動によって地下水（灌水）に溶けていたメタンが脱泡し地下水圧が上昇，地層に割れ目ができ押し出されて噴出したと考えられる[堀江(2017)]. 液状化はメタンバブルを地表に運びやすくするし，メタンバブルは液状化を起きやすくするであろう[堀江(2017)].

このような地変は地震時に限らず，前兆すべり

が発生する地震直前にも起こりうることである [力武(1986)]. 実際, 本稿で紹介した記事(②-3, ④-4)には地震直前に火が噴き出した事象が含まれている.

火災が発生した 1828 越後三条地震, 1847 年善光寺地震, 1855 年安政江戸地震発生地域では共通して, 天然ガス表面徴候が確認されている. 通常天然ガス田は地下 1-5km の深さに賦存するが, 微小な亀裂などを伝って表面に滲出していたわけで, 地震活動に伴う地割れや断層運動などによって天然ガス主成分のメタンが賦活化して自然着火したと考えられる. どのような物理化学的作用で自然着火にいたったのか以下に考察する.

筆者らは岩石の破壊で生じた新生面にガス分子(メタン, 窒素, 二酸化炭素, 過熱水蒸気)が接触すると新生面から放出されるエキソ電子によりガス分子が負帯電することを実験的に確かめた [Enomoto et al. (2021)]. そして発生する静電気エネルギーがメタンの最小着火エネルギー 0.3mJ を越えると静電気着火する可能性があることを指摘した. すなわち歴史地震史料に見られた地中からの火焰噴出し現象は, 表層近くの地層に天然ガス溜まりがあり, 地震活動によって静電的に賦活化した天然ガスが火炎となって噴き出したことによると考えられる.

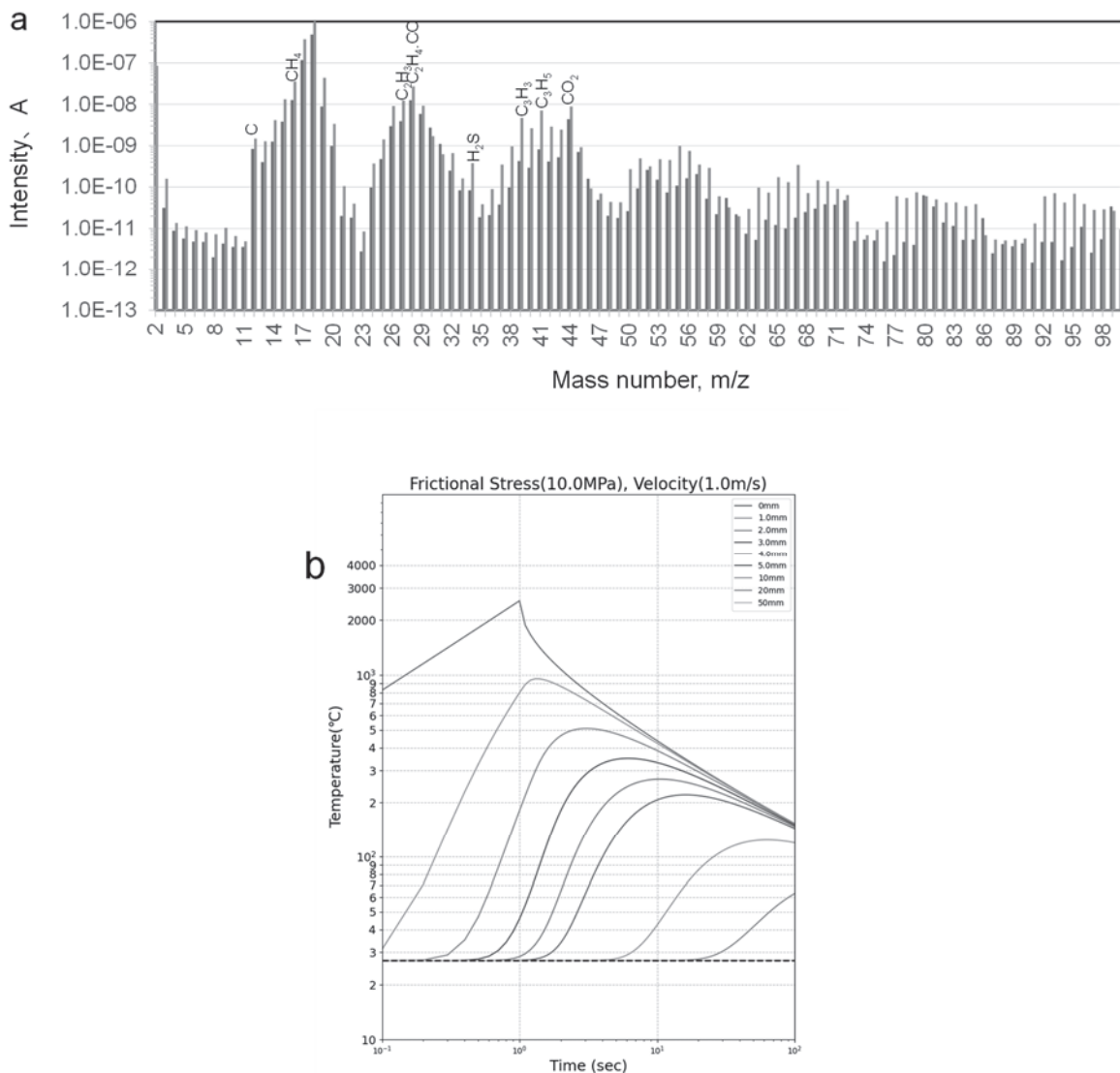


図9 a)長野県和田峠産岩石サンプル(流紋岩/凝灰岩/泥岩の混合)のTDS-MS分析,濃い灰色の棒グラフ:試料加熱温度,250°C:薄い灰色の棒グラフ:500°C, b)断層摩擦に伴う温度変化(断層速度1m/s,垂直応力,10MPa).

Fig.10 a) TDS-MS of rock sample (rhyolite/tuff mixture), collected in Nagano. Dark gray bars, 250°C : light gray bars, 500°C. b) Frictional temperature as a function of time elapse, calculated using Mackenzie and Brue's model [Mackenzie-Brune (1972)].

いま一つの可能性として、浅い地層にガス溜まりはなくとも天然ガス（メタンなど）を吸蔵した凝灰岩や泥岩が摩擦発熱をうけて吸蔵ガスが熱脱離するケースが考えられる。実際、長野県和田峠産の流紋岩に凝灰岩・泥岩が混じる岩石小サンプルの昇温脱離ガス質量分析（TDS-MS）を行った結果を図9aに示した[Enomoto et al. (2020)]. この分析結果から岩石サンプルに吸蔵されていたメタンや高次のアルカンが250°Cの加熱温度で熱脱離することが分かる[Enomoto et al. (2020)]. とこでで表面のずれを伴った地割れの開閉や断層すべりは摩擦発熱を伴う。地震による断層運動の速度・応力を模した摩擦実験が行われている[例えば堤(2009)]. その条件にほぼ合わせて McKenzie・Brune (1972)モデルに基づいて、断層すべりに伴う摩擦温度を数値計算してみた。図9bに計算結果を示したように、摩擦温度は摩擦界面付近でメタンの着火温度537°Cを超える。以上に述べた質量分析と数値計算から、地震に伴う地殻変動による摩擦発熱も岩石に吸蔵された天然ガスの熱脱離・加熱による燃焼反応を起こしうるメカニズムといえる。

なお1923年関東大地震のとき東京市中の低地帯で起きた火災域は1955年安政江戸地震の火災発生域とほぼ重なる[長尾(2022)]. しかし関東大地震は白昼の明るいときであったため、上述した歴史地震のような「地中からの火焰噴出し」が起きていたとしても見えなかった可能性があり、火災噴出しの直接的な証言はみあたらなかった。このため本稿では取り上げなかった。別の視点からの検討が必要であろう。

§7. まとめ

1855年安政江戸地震以前の歴史地震史料を調べ、地震活動に伴って「地中からの火焰噴出した」という記事を抽出した。とくに1828年越後三条地震、1847年善光寺地震や1855年安政江戸地震で起きた火災は地中から火が出て災害に至ったと判断できる証言が複数見つかった。これら地震の震源域はいずれも地下に天然ガスを胚胎し表面ガス徴候がみられる地域にある。地割れに伴う帯電したガスの静電気エネルギーの発生や断層面の摩擦に伴う発熱が要因となって自然着火したと考えられる。これらの要因はラボ実験で確かめられている。

地中メタンによる火災リスクは今後の防災対策にも考慮されるべき重要な知見であると考えられる。

謝辞

本稿をまとめるに当たり、絵図の利用を許諾いただいた本間イミ子氏ならびに真田宝物館、そして

貴重な情報をご教示いただいた新潟市立新津図書館森直美氏ならびに真田宝物館溝辺いずみ氏に厚くお礼申し上げます。また有益なコメントをいただいた小松原 琢氏ならびに編集担当者に感謝申し上げます。なお本研究は(株)コンポン研究所との共同研究として実施したもので、研究支援に謝意を表します。

対象地震:1257年正嘉地震,1703年元禄地震,1799年金沢地震,1828年越後三条地震,1847年善光寺地震,1854年安政伊賀地震,1855年安政江戸地震

文献

- 赤羽貞幸・加藤碩一・富樫茂子・金原啓司,1992,中野地域の地質.地域地質研究報告(5万分の1地質図幅),地質調査所,106pp.
- 荒川秀俊,1982,実録大江戸壊滅の日,教育社,297pp.
- 榎本祐嗣,1998,地震発光データベースと発光現象の特徴抽出,歴史地震,14,45-55.
- Enomoto, Y. Yamabe, T. Sugiura, S. Kondo, Y., 2021, Laboratory investigation of coupled electrical interaction of fracturing rock with gases, Earth, Planets, Space, 73:90.
- Enomoto, Y. Yamabe, T. Sugiura, S. Kondo, Y., 2020, Laboratory investigation for earthquake lighting due to landslide, Earth, Planets, Space 72:198.
- 堀江 博,2017,地下ガスによる液化現象と地震火災,高文研,255pp.
- 井島信五郎,1960,長野県上水内郡豊能町試掘地付近の地質,地質調査所月報,11,15-30.
- 加藤 進,2018,新潟地域における油・ガス田地層水の地球化学,石油技術協会,83,257-266.
- 加納靖之,2022,「銘細改版江戸大地震出火場所附」の地名マップ.
- 小林計一郎監修,1985,善光寺大地震図絵,銀河書房,270pp.
- 兼子 勝・金原均二・池辺展生・小池 清・石和田靖章,1951,関東地方総合地質図,1:400,000,地質調査所.
- 河内一男,2002,三条地震(1828)に伴う異常現象―「小泉蒼軒文庫」から―,歴史地震,18,74-76.
- Mckenzie, D. and Brune, J.N., 1972, Melting on fault

- planes during large earthquakes, J.R. Astron. Soc., **29**, 65-78.
- 寒川 旭, 1992, 地震考古学, 中公新書, 251pp.
- 長尾年恭, 2022, 巨大地震列島, ビジネス社, 168pp.
- 中村 操・茅野一郎・松浦律子, 2005, 安政江戸地震(1855)の江戸市中の焼失面積の推定, 歴史地震, **20**, 223-232.
- 三浦善一郎, 1978, 火の竜巻に恐れおののく, 大地震に生きる一関東大震災体験集一, 東京都品川区, 3-10.
- 宮下健司, 2018, 善光寺地震の被害状況とその対応, 会報ながの, **49**, 2-3.
- 武者金吉, 1932, 地震に伴ふ発光現象の研究及び資料, 岩波書店, 416pp.
- 武者金吉, 1957, 地震なまず, 東陽図書, 208pp.
- 力武常次, 1986, 地震前兆現象, 東京大学出版会, 232pp.
- 佐山 守, 2004, 安政江戸地震災害誌 附図 焼失および火災発生地(附家屋土蔵被害図).
- 石油技術協会, 1983, 石油鉱業便覧, 710pp.
- 地質調査所 燃料部石油課, 1961a, 日本南部の天然ガス, 地質ニュース, **83** (7), 21-24.
- 地質調査所 燃料部石油課, 1961b, 日本中部の天然ガス, 地質ニュース, **83** (7), 12-20.
- 堤 昭人, 2009, 高速すべり時における岩石の摩擦強度弱化の機構—摩擦熔融を伴わない場合について—, 地震, **61**, S527-S533.
- 東京大学地震研究所, 1982, 新収日本地震史料 2 巻別巻, 297pp.
- 東京大学地震研究所, 1985, 新収日本地震史料 第五巻別巻 2-1, 1253pp.
- 東京大学地震研究所, 1988, 新収日本地震史料 第五巻, 別巻 6-2, p819-1834.
- 東京大学地震研究所, 1989, 新収日本地震史料 補遺 別巻, 997pp.
- 東京都地質調査業協会技術委員会, 2014, 特集:東京の天然(地中)ガス, 技術ノート, **47**, 1-28.
- 東松露香, 1977, 地震の惨劇, 弘化四年善光寺大地震, 信濃毎日新聞社, 240pp.
- 植竹富一・中村亮一・宇佐美龍夫・渡邊健, 2005, 1828 越後三条地震の地変等の記事について, 歴史地震, **20**, 233-242.
- Urai, A. Takano, Y. Matsui, Y., Iwata, H. Miyairi, Y. Yokoyama, Y. Miyabara, Y. Ohkouchi, N. Park, H.D., 2022, Origin of deep methane from active faults along the Itoigawa-Shizuoka tectonic line between the Eurasian and North American Plates:13C/12C and 14C/12C methane profiles from a pull-apart basin at Lake Suwa, Earth Space Chem., **6**, 1689-1697.
- 氏家良博, 1994, 石油地質学概論, 東海大学出版会, 139pp.
- 矢田俊文・ト部厚志, 2010, 1828年三条地震による被害分布と震源域の再検討, 地質ニュース, **676**, 21-27.