

大西洋での津波

首藤 伸夫*

1. はじめに

大西洋には地震に起因する津波はまれであるが、1755 年リスボン地震での津波はよく知られている。リスボン地震は科学としての地震学の出発点となった。これで発生した津波は大西洋を横断し、遠地津波としてカリブ海東端の島々へも影響を与えた。

大西洋で多いのは地滑りによる津波である。原因は海底地滑り、崖崩落、火山島崩壊などである。最大の海底地滑りはアイスランドとノルウェーの間で発生して居る。火山島のカルデラ崩壊が 200m 以上の高さまで重さ 700 トンもの巨石を運び上げたのはアフリカ西岸での事である。

このように大西洋の北から南まで、様々な原因で津波が発生した。中には、人間活動が原因の津波もある。湖での津波で波峰線がくっきりと痕跡を残した例、大河の中流で地盤上昇し、発生した津波が上下流両方向に伝播した例など、珍しいものもある。

2. 最大の海底地滑り

アイスランド東岸からノルウェー西岸までの距離が 1,100km 程の広がりがあるが、この海域での話である。

1990 年初め頃には、ここで過去に 3 回の大地すべりがあったとされた。(Harbitz, 1992)²⁻¹⁾。

「まず、第一は、今から 30,000~50,000 年前に発生した。総幅 290km、総量 3,880km³ で、平均厚さ 114m である。

第二の地滑りは 6,000~8,000 年前のもの。海底深くに切り込んだ地滑りは、おそらく先



図 2-1 ストレッガー地滑りの位置²⁻²⁾

端の頭壁が後退するという形で発達したものであろう。大陸棚上 6~8km 程のところかストレッガと呼ばれる鋭い崖となっている。地滑り土砂は深海平原へと進み、この崖から 750km 以上へも伝わっている。

第三の地滑りは、第二地滑りの上部に止まっており、6,000 年前のものであろうとされ、第二のものに似ている。

第二、第三の地滑り量は合計 1,700km³。これには第一のもので動かされた物は含んでいない。」とされていた。

しかし、Bryna 他 (2005)²⁻²⁾ は、地質学的調査の結果として、表 2-1 に示すように 5 回の巨大津波を挙げている。この海域で過去に発生した巨大地滑りが、地質学的な調査から確認されたのである。

ストレッガで 3 回、その南西側の北海扇状地で 2 回、発生していたと考えられている。両文献で共通なのは、約 8,200 年前、ノルウェーの陸棚縁とノルウェー海盆の間に発生した巨大海底地滑りで発生したもので、これをストレッガ地滑りと云う。大陸縁辺部で過去 50 万年に数回発生して居た巨大地滑りの最新のもので、かつ又発見された中では最大

*東北大学名誉教授

であり、1970 年代から知られるようになった。

最近の研究によると、8,200 年前の地滑りでは、地滑りの痕跡からして、2,500～3,500km³もの堆積物を運んだとされる。これで津波が発生した。堆積物が見つかった事から推定される打ち上げ高は図 2-2 に示されて居る。ノルウェーの西海岸で打上高 10～12m、スコットランドで 4～6m、ジェットランドで 20～30m、フェローで 10m 以上であった。

ここでノルウェー西海岸のように幅を持った値となったのは、沿岸地形の効果であって、図 2-3 の例で説明される。すなわち、海側第一、第二の湖では堆積物が発見され第三の湖からは発見されなかった場合、第一、第二の湖間の砂丘（高さ 5m）は越えたが、第二、第三の湖間の砂丘（高さ 7m）は越えていないことになる。したがって、この図の例では打ち上げ高は 5～7m となる。

Harbitz (1992) は、この地滑りによる津波発生の数値シミュレーションを初めて行った

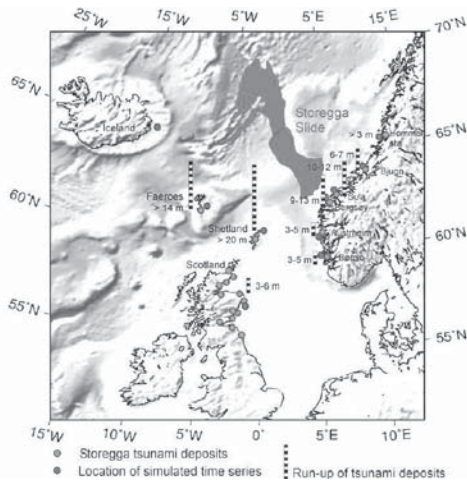


図 2-2 8200 年前のストレグガ津波高²⁻³⁾

のであるが、その初期条件などの設定のために次のように状況を説明する。

「ストレグガ地滑りでは総量 5,580km³もの堆積物が動いた。前壁は長さ 290km あり大陸縁から 100 km の所に位置していた。地滑り痕跡は全面積 34,000km²もあるのだが、下方へと 200～250km も続き、途中で幅が少し狭まりながら深さ 2,700m の大陸斜面の下へと降りてゆく。地滑り堆積物は、この地点より更に 500～550km 先でも見つかっている。実際にはもっと遠く 750km 以上にも届いて居ることであろう。現在判っている厚さは最大で 450m である。全痕跡の平均斜度は約 0.5° である。北西への堆積地での表面斜度は約 0.1° である。」

「第一地滑りでは、部分的に液化した土石流（間隙水圧で更に助長された）が卓越していたらしい。ほとんど固まらず、柔らかな粘土系の堆積物である。第二、第三地滑りは、もっと堅いものを含んでおり、緩やかな斜面（緩やかな所では 0.1°）の液層上を流れ下ったらしい。過剰間隙水圧のため、潤滑油の様な働きを下層がしたのである。

主として第二地滑りで発生した混濁流は広く認識されており、ノルウェー海盆の頭壁から 750km も離れた所でも厚い混濁流堆積物が発見されている。」

「この域での地震活動が最初の引き金であり、間隙水圧増加がこれを助け、そしておそらくガスハイドレートが水とガスに分離して更に加速したのであろう。その他、氷荷重も効いたかも知れない。」

表 2-1 過去 50 万年のストレグガ及び北海扇状地での巨大地滑り²⁻²⁾

地滑り名称	発生年	場所
Storegga Slide	8200 年前	Storegga
Tampen Slide	10 万年前 (若しくは若干古い)	主として North Sea Fan
R-Slide	30 万年前	Storegga
More Slide	40 万年前	North Sea Fan
S-Slide	50 万年前	Storegga

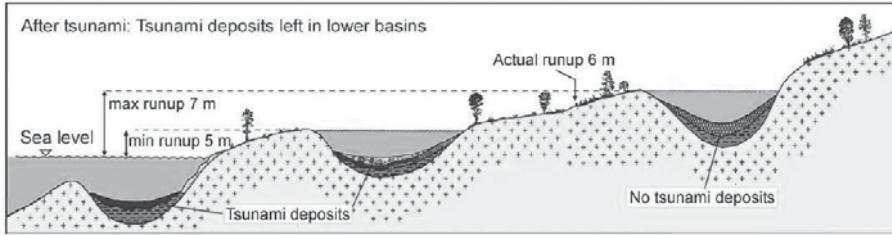


図 2-3 ノルウェー西海岸の津波痕跡値が幅を持つ理由²⁻³⁾

3. ハリファックス大爆発：人間の起こした津波

1917年12月6日の朝、カナダ・ハリファックスで、原子爆弾を除外すれば大きさが第1の爆発が生じ、それによって高さ18mとも云われる津波が発生した^{3-1, 3-2)}。

ハリファックスは図3-1に示すように、カナダ・ノバ・スコシア州の州都である。南北に細長い入江の西岸にあり、対する東岸はダートマスの街である。入江の長さは15km、幅は狭い所で0.5km、南側は大西洋で、北側には大きな袋状のベドフォード湾があり、泊地として使われていた。冬も凍らない自然の良港である。ここで火薬を積んだ貨物船が衝突して大爆発を起こし、爆風による被害に加え、それによる津波でも被害を被った。

事が起こったのは第一次世界大戦中である。北米からフランスやイギリスへの最短距離でもあるので、軍需物資輸送船は一旦ここに終結し船団を組んで欧州へと向かうのであった。ドイツ潜水艦対策の為である。ハリファックス港の入口は、ドイツ潜水艦の進入を防ぐため、夜間は潜水艦対策網で閉じられていた。

火薬満載のフランス船モンブラン号は、船団に合流しようとしてやってきたが、前夜は対策網の外側で待機し、6日の朝ベドフォード湾に向かって航行を始めた。このモンブラン号の甲板には火薬の原料である引火性の強いピクリン酸とベンゾール液のドラム缶が積まれていた。他の船倉にはTNT火薬が満載されていた。

モンブラン号が狭い水道を北上し始めた時、

ベドフォード湾から、ベルギーの貨物船イモ号が南下してきた。水路内には、他の不定期貨物船、タグボートなどで混雑しており、回避を避ける処置をしたものの、イモ号の先端がモンブラン号の右舷に突き込む。それを抜き離そうとしたときの火花で甲板上の荷物に引火した。12月6日朝8時45分のことであった。

消火しようとの努力も大火の前には空しく、やがて爆発すると見た船長は船員に退去を命ずる。燃え上がる大火と煙を見て、何事かと多くの市民が街路に集まり、又は窓際へ寄って来る。二隻の救命ボートから、避難中の船員が警告するが、喧噪の中では市民へ届かない。

そして午前9時4分、大爆発が起こった。モンブラン号は粉々に吹き飛ばされた。錨の軸の部分には500kgもあったのだが、3.2kmも南まで跳ばされた。

白煙の雲は3.6kmも立ち上った。爆発で生じた衝撃波は200km離れたBreton岬でも感知された。160ヘクタールもの地域が爆発で完全に破壊された。港の水は瞬時に蒸発し、その空間を埋めるかの様に津波が注ぎ込んできた。港のハリファックス側では高水位上18mにまで水位が上がった。

瞬時に1,600人が死亡し、9,000人が負傷した。うち、300人は後に死亡した。半径2.6km以内の建物12,000以上が破壊又は大被害を受けた。火事も発生した。

事が起こった時、東岸のTufts Coveにはミクマク族が住んでおり、その数は20家族未満であったが、津波ですべて消失した。犠牲

者の総数は判らないが、9 遺体数が回収されたと云われて居る。

この津波を Beenberg 他 (1993)³⁻³⁾ が数値計算で再現しようと試みた。この時最大の問題は初期波形の設定であるが、1960 年代に原子爆弾や大量火薬の海上・海中での爆発で発生する水波についての研究があり、その結果 (Van Dorn 他, 1968) が利用できる。

まず、最高水位 η_{\max} (ft 単位)、水位零となる距離 r (ft 単位)、火薬爆発力 y (ポンド単位) の間には

$$\eta_{\max} = 10 \cdot y^{0.54}/r$$



図 3-1 ハリファックスの位置 (グーグルマップ)

の様な関係がある。

水路の水深は 20m である。この深さで存在できる最大波高 η_{\max} は水深の 80% を越える事が出来ないから 16m が最大である。波の形は余弦関数と仮定する。火薬 2,900 トンの爆発力 1 トン当たり 2,000 ポンドで 5.8×10^6 ポンド。したがって、 η_{\max} から $r=1,564\text{m}$ での水位上昇が 0 となる。こうした仮定の下に得られた初期波形は図 3-3 で与えられ、計算結果の各地点での最大水位は図 3-4 の様になった。

東岸の Tufts Cove で最大の 16m となっており、集落破滅の事実と整合している。

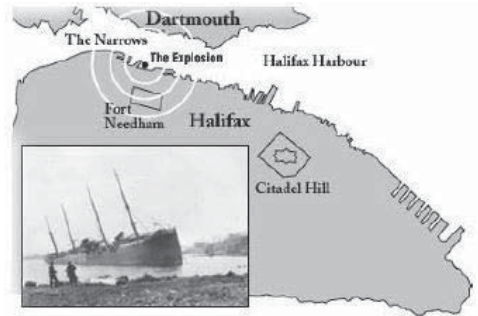


図 3-2 爆発地点と津波後のイモ号³⁻²⁾



図 3-3 初期条件³⁻³⁾

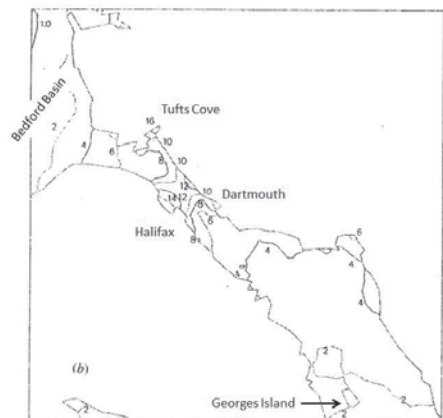


図 3-4 最高水位³⁻³⁾

4. グランドバンク津波

1929年10月24日、ニューヨーク市場で株価が大暴落をし、世界的な景気不況が始まった。

その直後、1929年11月18日午後5時32分(現地時間)、グランドバンクの南端(ニューファンドランドの280km南、図4-1の★印地点)の海底下推定20kmでM7.2の地震が発生した。地震はニューヨークやモントリオールでも感じられたが被害は生じなかった。

これが引き金となって200km³もの大海底地滑りが生じ、それは懸濁流となり、60～100km/hと推定される速度で、砂や泥を東方へ最長1,000kmもの遠くにまで運んだ。12カ所で海底電信ケーブルが破損した。

この地滑りが津波を発生させ、ニューファンドランドの南端バーアン(Burin)半島を中心に被害をもたらした。津波は、大西洋を横切り、ポルトガルやアゾレス諸島でも観測された。

この津波が関心と呼んだのは、

- 1) この100年間に大西洋で起きた極めてまれな破壊的な津波、おそらく最も破壊的な津波であったこと、

- 2) 地震そのもので起こされたのではなく、地震で誘発された海底斜面の崩壊によって起こされたこと、
 - 3) 地滑り津波としては、波源から遠く離れた大洋反対岸でも記録された遠地津波であること、
- による。(Fine 他。2005)⁴⁻¹⁾。

まず、懸濁流の規模を見てみよう。懸濁流は厚さ数百mで、少なくとも4時間、おそらくは11時間は続いた。地滑りの位置は震央と一致し、大陸棚表面の広さ2万km²にも及ぶ。完新世、更新世の泥土が、もっと粗い堆積物を巻き込んでいった。体積は200km³であった。カナダ最大の陸上地滑りとされて居る1894年Saint-Alban地滑りの500倍以上の地滑りであった。

他の海底地滑りと比べてのが、表4-1である。ここでも、格段の大きさとになっている。

この地滑りの直接の被害は海底電信ケーブルの破断であった。図4-2において、星印が震源で、その周辺の小さな黒点が破断箇所である。こうして他国との連絡は絶たれてしまった。

地震から約2時間半後、この地滑りで発生した津波が、バーアン半島南部を襲った(図4-3参照)。もともと北アメリカ東部では大きな地震は極めてまれであり、ニューファンドランドでは皆無と思われていたため、地震計も津波計も存在しなかった。

大波が3度来襲した。顕著な被害が生じたのは、半島先端のポイント・メイからポート・オ・ブラまでの南岸、延長約100kmの海岸で、住民数は約1万人、多くは漁業者であった。

津波高はバーアン、ポート・オ・ブラで約4.6m、ポイント・オー・ゴールで3m、タイラーベイで7.5m(ここでの遡上距離は1kmほど)であった。

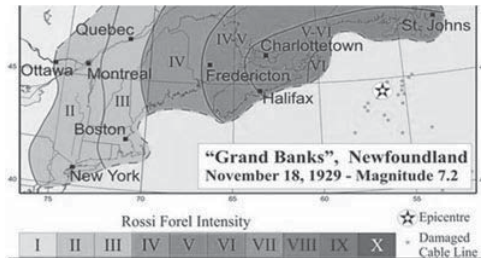
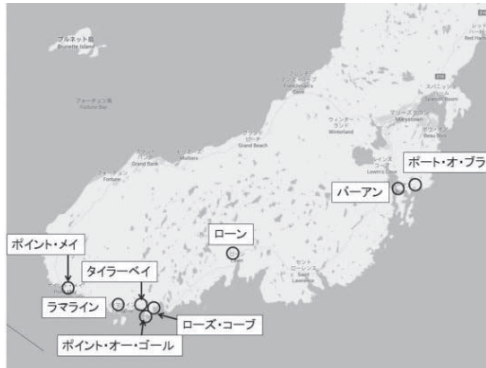
またいくつかの細長い湾の奥では、打ち上げ高が最高13mにも及んだ。すべての人的被害は津波によるものである。文献4-1によれば、バーアン半島で28～27名が溺死し、一人の若い女性が負傷し回復せずに1933年



図4-1 震源と地滑り⁴⁻¹⁾

表 4-1 海底地滑りの例 (文献 4-1 より作成)

年	場所	体積 (km ³)	推定者, 発表年
1929	グランドバンク	100~150	Piper et al., 1988, 1999.
1979	ニース, フランス	$8.7 \cdot 10^{-3} \sim 70 \cdot 10^{-3}$	Assier-Rzadkiewicz et al., 2000.
1994	スカグウェー, カナダ アラスカ湾	$0.8 \cdot 10^{-3}$ ~ $16.4 \cdot 10^{-3}$	Kulikov et al., 1996, Rabinovich et al., 1999, Thomson et al., 2001. Mader, 1997; Kowalik, 1997.
1997	モントセラト, カリブ海	$40 \cdot 10^{-3}$	Heinrich et al., 1998.
1999	パプアニューギニア	1 ~ 4	Titov and González, 2001.

図 4-2 海底電信ケーブル破断箇所⁴⁻²⁾図 4-3 主な津波襲来地⁴⁻³⁾

に亡くなったという。40以上の集落が被害を受け、家屋、船舶、家畜、漁具などが深刻な影響を受けた。28万ポンドの潮漬け鱈も失われた。1929年当時で百万ドル(2004年時点に換算すると2千万ドルに相当する)もの被害と想定された。カナダでの最悪の津波であった。津波はカナダ及び米国の大西洋岸で観測された。さらに津波は、大西洋を横切り、ポルトガルやアゾーレス諸島でも観測された。

当時の新聞などが伝える被害状況、住民の反応は、Le séisme de magnitude 7,2 et les tsunamis de 1929 sur les “Grands Bancs” (文献 4-2)によると次のようである。なお、これは表題はフランス語であるが、中身は英語である。これには、当時の写真9枚も掲載されて居る。

「津波が多くのビルディングを打ち倒し破壊した一方で、基礎から持ち上げ浮かせて運ばれたものもある。9×15mの広さを持つ雑貨店が60m内陸に運ばれ牧場に落ち着いたが、品物は全く無傷で棚にちゃんと入ったままであった。無事であったボートを使って、破壊された残骸にしがみついている人や漂流する家屋に閉じ込められている人を助けに行った。ある家ではすやすやと眠っている赤子を助けたが、その家族は一階で溺れ死んで居たのであった。ある人は海にのまれ、浮いている家に泳ぎ着いたのだが、それは自分の家であった。後にこの家は岸へと曳き戻され、元の位置に据え付けられた。」

ニューファウンドランド津波での犠牲者は27人、ほとんどが女性か子供であった。ニューファウンドランドがこの悲劇の中心であった。犠牲者はブリン半島の住民で、ポート・オ・ブラ、ケリーズ・コーブ(バーアン)、タイラーベイ、ローズ・コーブ、ラマラインの人々であった。

「児童として目撃したローン Anna Tarrant, ポイント・オー・ゴールの Aubrey King, グレート・バーアンの Sam Adams は大地の動くのを感じた。Annaは皿ががたがた言う

のを聞き、愛猫が戸棚に入り込んだと思った。Aubrey は愛馬が嘔んだのでびっくりした。Sam は地震の微動を人生の神秘として無視した。

セント・アンソニー（震源から北 570km）迄の人々は地震を感じた。レッド・ヘッド・コーブ（震源の北東 260km）の Kehoe 家では、ポットや鍋がストーヴの周りを踊るのを見て、ビックリした。」

「地震からほぼ半時間後、3 波（又は盛り上がり）が岸に押し寄せた。ポート・オ・ブラ Bras の様な細長い港では、海面上 10～13m の高さとなった。Sir William Coaker はセント・ジョーンズの彼のホテルの窓から見ていたが、湾の水が Narrows の方へと引いて、すっかり空になったのを認めた。（註:セント・ジョーンズは震源の東北東にあたり、その東側が海である。この湾は、入り口から西へ約 1.4km, そこから東南に 2.8km へと逆 L 字に近い形状をして居る。その曲がる地点付近が Narrows である。）」

こうした中で、津波を予測した人も居た (Hanrahan, 2009)⁴⁻³⁾。「ローズ・コーブでは、Prosper Walsh は振動は地震だと正しく認識し、津波が続くと予想した。トランプ遊びをして居たが、その場を離れ、できる限り多くの家を訪ね、人々に高所に行くようにと告げて回った。この御蔭で多くの命が救われた。」

被災の情報は、直ぐには外部へ伝わらなかった。各集落を繋ぐ道路は無かったし、バーアン半島から北へとニューファンドランドの他地域への道も無かった。二日前の嵐のため、島の他地域への地上電信線は破壊されていた。セント・ローレンスの電信局の建物は流され、港内を漂流していた。津波の翌日、冬の嵐が来襲し、気温は下がり、みぞれや雪も加わった。被災地の悲惨な状況は、被災後 2 日半経過して、PORTA という沿岸フェリーがやって来るまで、外部へは伝わらなかったのである。(Ruffman and Geo)⁴⁻⁴⁾。

セント・ジョーンズから、政府救援委員会、医者、看護婦を乗せた S.S.Meigle がバーアン

に到着したのは、11 月 22 日の午後であった。続いて、赤十字、英国政府、米国政府からの救援が始まった。(文献 4-2)。

大地滑りで海底の状況が変わり、津波と嵐でかき回され、前面の海は漁業の場では無くなってしまった。もともと、1926 年頃から、魚価は低迷し、国際的にも漁業は衰退しつつあった所への衝撃である。

この津波で沿岸漁業者の生活は大きな変化を見せた。救助委員会の活動で、「みんなが住宅を持つことが出来た。高台に、前のより小さい家を・・・」(文献 4-3)。

沿岸地帯の復活は一樣では無かった。セントローレンスを対象とした研究や、タイラーベイでの痕跡調査により、津波浸水域が決められた。タイラーベイでは集落の復活は無かった。その反面、セントローレンスでは、浸水域や今後の津波の可能性を無視して街が増えていったのである。(文献 4-4)

しかし、津波の記憶をつなごうとする動きもある。バーアン半島全域に、この事件を伝える豊かな口承、歌、伝説、詩、写真、神話があり、例えば、文献 4-5 などのように収集されている。

津波に関する教育もあり、そのサンプル「Natural Resources Canada 2011: Lesson Plan - Grades 9 to 12 Tsunami activity 9: Exploring the damages of the 1929 Grand Banks Tsunami」は https://www.catalystforscience.ca/pdf/10/ESS/NRCTsunami/Tsunamis9_E.pdf で入手出来る。

5. フィヨルドでの津波

5.1 岩壁崩落の分布

ノルウェー西部のフィヨルドでは、岩石大崩落は大災害の元である。それで発生する津波で、過去 100 年間に 170 人が死んだ。図 5-1 (Kveldsvik 他, 2006)⁵⁻¹⁾ に、それらの地点を示す。年代順にいうと、Skafjellet では 1731 年に、Tjellfjell では 1756 年に、Leon で

は 1905 年と 1937 年に、Tafjord では 1934 年に発生した。これらに加えて、Aknes では亀裂が進行しつつあり、近い将来の崩落が予想されている。

図 5-1 において、最南の Leon, 最北の Tjellefjell 以外の 4 地点が属しているフィヨルドを総称して Storfjorden という。写真 5-1 が、その状景である。

swath-bathymetry によって作成した地質図により、この Storfjorden で約 1 万年の間に発生した 200 あまりの岩崩れが確認された (Birkra 他, 2005)⁵⁻²⁾。平均して 50 年に 1 回程度発生したことになる。その滑り量 (単位百万 m^3) を横軸に、発生回数を縦軸にとって示したのが図 5-2 である。

5-2 Tafjord での 1934 年崩壊

Storfjorden の東端 6km ほどが Tafjord で、この峡谷も岩盤崩壊が良く発生して居る。そこの 1 万年間の崩壊発生回数を示すのが図

5-3 である。

最もよく知られているのは 1934 年に発生したものである。4 月 7 日午前 3 時 7 分、突然岩壁が崩壊し、2~3 百万 m^3 もの岩が落ち込んだ。図 5-4 に現在の海底地形を示す。ここに、1934 年に滑り込んだ跡がはっきりと浮かび上がっている⁵⁻²⁾。

この地滑りで大波が発生した。

湾奥の Tafjord では、大波が 3 波、次々と大きくなりながら押し寄せた。Tafjord と Fjora とで、40 名の命が失われた。41 名という文献もある。

実は、かなり前から高さ 730m の Langhamar 山に亀裂があり、広がりつつある事は知られてはいたのであるが、それへの備えは何もなされて居なかった⁵⁻³⁾。

図 5-5 は、測定された津波の痕跡高分布である。Harbitz et al. (1993)⁵⁻⁴⁾ の詳細な図を書き直した。最高の打ち上げ高は地滑り側の沿岸で 62m に達している。

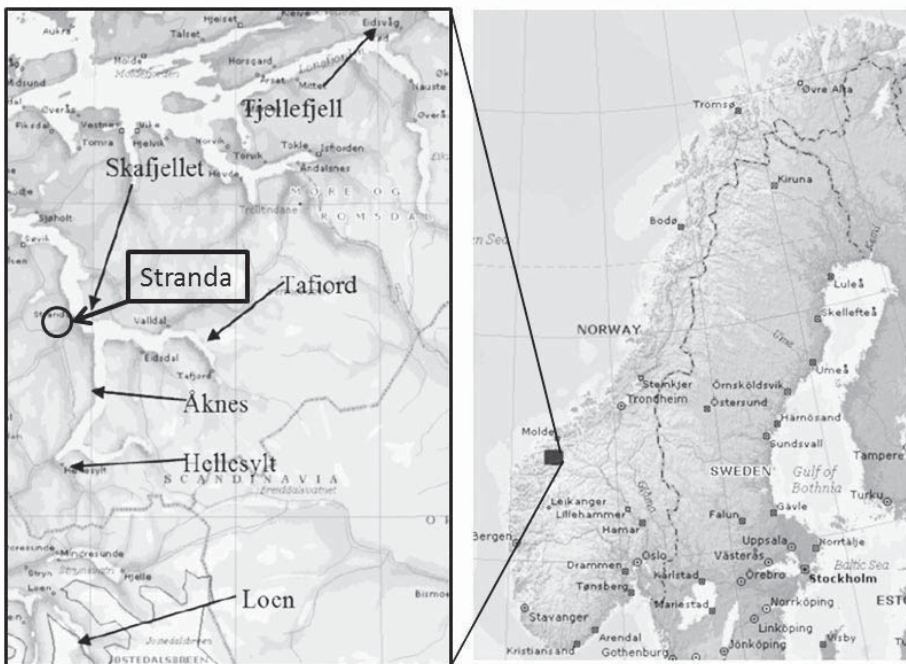


図 5-1 ノルウェー南西部の岩壁崩壊の地点⁵⁻¹⁾



写真5-1 Storfjorden (Google Earthより)

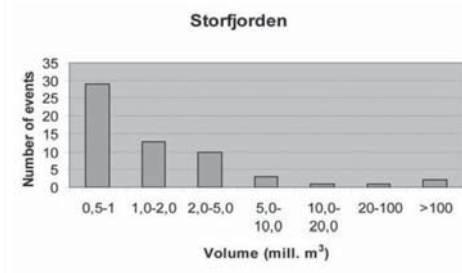


図5-2 Storfjorden での岩壁崩壊発生回数⁵⁻²⁾

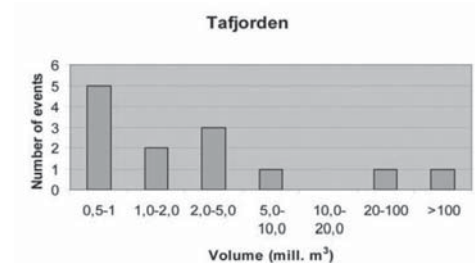


図5-3 Tafjorden での岩壁崩壊発生回数⁵⁻²⁾

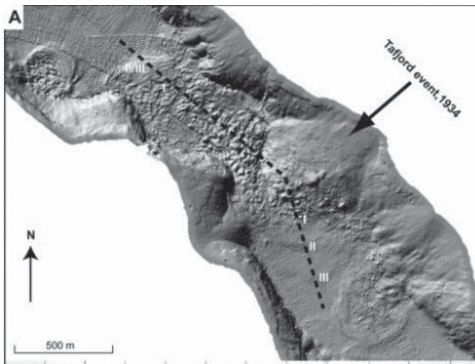


図5-4 1934年地滑り後の地形⁵⁻²⁾

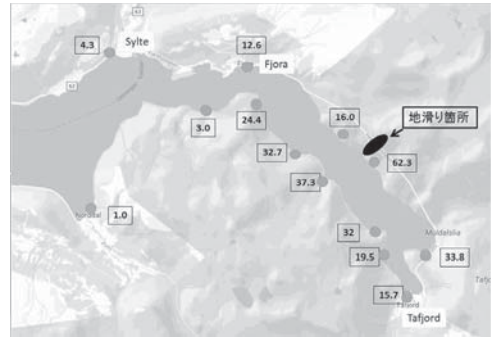


図5-5 1934年Tafjorden津波の痕跡分布図⁵⁻⁴⁾

5-3 亀裂の監視：Åknes・Tafjord プロジェクト (文献5-1)

Storfjorden 中程の Åknes 岩壁は、氷河期終了後何度か地滑りを起こして居た。歴史時代になってからも起きており、知られているものとしては、1800～1900年、1940年、1960年に西壁で生じた3回である。

1980年代後半に、Åknes ではその存在が

よく知られていた岩壁上のクラックが拡がりつつあると通報され、町が動いて最初の調査が行われた。写真5-2は地滑りの全体を見るもので、西側上端部は背後の地山から20～30mほど剥がれている。その東側にはほぼ水平なクラックがあり、幅は約1mである。地滑り面積は約80万m²、地上では35～40°でSSEに傾き、水面下では20°と緩やかに

なっている。

最初の報告の後、クラックを監視するためボルトが埋め込まれた。

2004 年には、Åknes・Tafjord プロジェクトが始まった。Åknes 斜面及び Tafjord のいくつかの斜面について、研究・監視および早期予報を目的とし、Stranda 市、Tafkpidem 市、ノルウェー地質調査所の 3 者が共同で行っている。

調査では、ライダー (LIDAR) 測量 (Light Detection and Ranging, Laser Imaging Detection and Ranging)、地質現地調査、地形調査、コアボーリング、動きの測定が行われている。

航空写真の比較から、1961～1983 年間には 62 地点で変位が 50cm 以上、1983～2004 年間では 73 地点が変位 50cm 以上と確認され、一番大きな滑りは西側側面の年間 10cm 程度であると判定された。

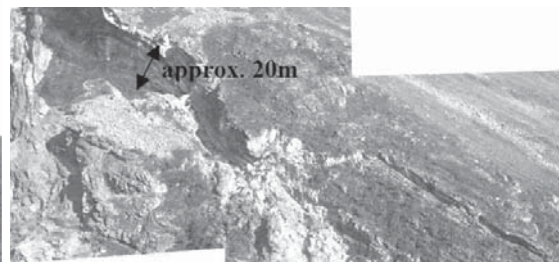
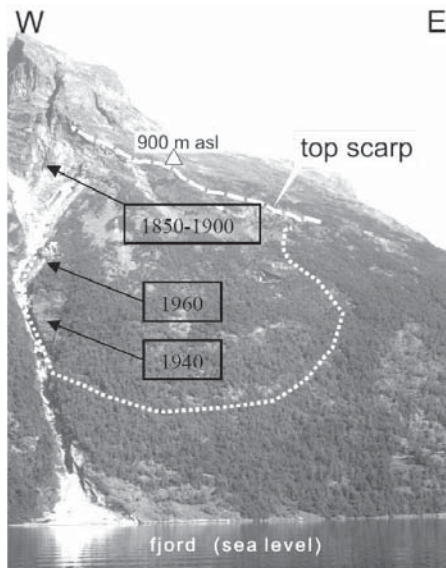
ボーリングなどの調査から、地滑りの断面形状が図 5-6 のように推定された。滑り面は

地表から約 60m の所にある。

以上の調査に加えて、3 千 5 百万 m^3 の岩が滑ったときに発生するだろう津波についても研究が行われた。

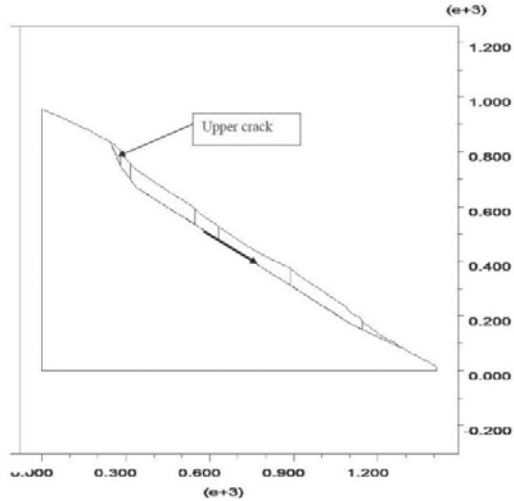
最高で 90m の水位上昇が生じ、最大打ち上げ高は 100m と推定された。フィヨルド奥の Hellesylt で打ち上げ高 25～35m、フィヨルド沿いの他集落では 2～40m となる。Hellesylt には発生後 5 分で津波が到達する。津波危険区域内には、年平均で 600 人から 1,200 人が滞在する。観光シーズンなら数千人が危険にさらされるであろう。

Stranda の Åknes/Tafjord センターでは、様々な計器を設置して監視しており、少なくとも崩壊開始の 72 時間前には警報を出そうと努めている。これだけの時間があれば Storfjorden 周囲の住民や自治体の 5,000 人が避難できるであろうとする。平和な時期のノルウェーでは、最大規模の避難となる。



左写真 5-2 Åknes 地滑り全貌⁵⁻¹⁾

上写真 5-3 亀裂の幅⁵⁻¹⁾

図5-6 地滑りの断面形状⁵⁻¹⁾

6. 波峰線を残した津波

カナダ・モンリオールの北西約85kmにあるラック・デ・セーズ・イル (Lac des Seize Îles, 英語名は Sixteen Islands Lake) は、南北の長さ5.5km、東西の幅は大きいところで2km足らずの湖である。島が16個あるので、こう呼ばれているのだが、実際には人の住めないほど小さな島がまだ2つほどあるという(文献6-1)。湖の面積は3.5km²、標高278mの高さに位置する。

この湖面に氷が張り詰めていたとき、津波が発生した(Leblanc 他, 2016)⁶⁻²⁾。津波の原因となった陸上での地滑りは、湖北端から400mほどの東岸で生じた。湖心に沿って深い溝があり、深い所で67m位だが、これは地滑り位置からはかなり離れている。地滑り前面は大体水深6mとほぼ平坦で、東岸から130m離れた所に水深20mの小さな凹みがあった。

この湖の表面が厚さ0.66mの氷に覆われていた2014年4月15日、地滑りが発生した。地滑り土は径1~2mの巨礫を含むものであった。地滑りの長さは94m、幅は汀線で55m、厚さは平均で6.5m、土量は30,500m³で、その先端は東岸から68mの所に達している。

地滑りが発生する前、この地方の気温が高く推移しており、そこへ激しい降雨が来た。地滑り上端の割れ目から雨が入って溜まり、地下水の浸透も増え、地滑りが発生したのである。

発生した津波の伝播状況は氷表面に残された割れ目(写真6-1)から推察できる。写真中程の東岸(写真では上側)から南方(写真の右方向)には500m、北側には450mまで、湖を覆った氷表面に割れ目が見える。地滑り突入地点付近からしばらく離れると、亀裂の間隔は10-15mと規則的で、南(写真では右側)の端では20mとなり、そこが23mの溝の始まる地点である。

地滑り突入地点の170m北側には小さな島があるが、この島が津波に影響した模様は無い。しかし、その左側にある、300m離れた次の島では、津波が回折した事が明らかである。このように、津波の波峰線が記録されたのであった。

図中の数字は浸水位で、氷が衝突して木の幹に出来た傷跡から測定された。

二人の目撃者が、氷で覆われた湖を波が伝わる様子を見ている。約2mの高さの波が伝わって行った。しかも西岸(写真では下側)からの反射波が東岸へ戻ったと云う。もう一

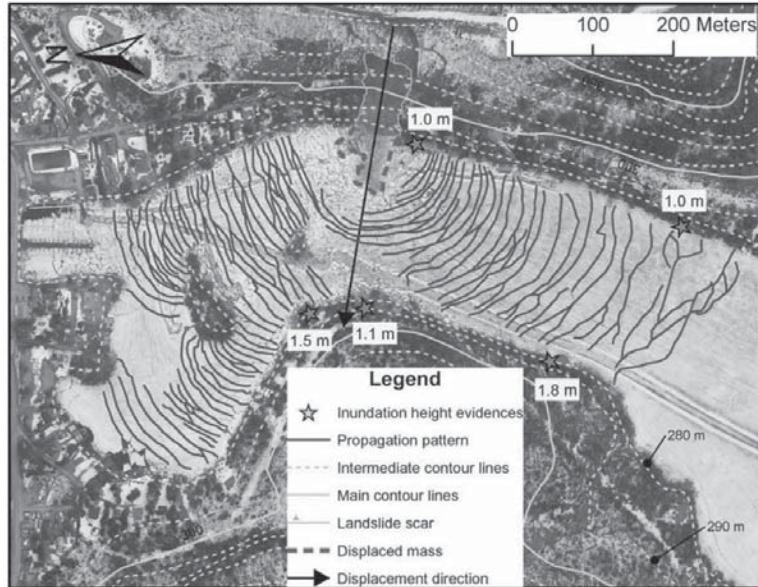


図 6-1 被害直後の航空写真。左が北。津波で氷表面に出来た亀裂。津波の影響で計 450m にわたり、氷が割れ、部分的に持ち上げられた。(文献 6-2 より)

人も、波が二つであったと云い、2 波目は反射に対応して居るらしい。波は 2.5~3.0m だったが、北端にあるマリナーに近づいた時に第 2 波は消え去った。

表面の氷を割ることで波は減衰して行ったが、その一方で割られた氷は沿岸の家屋やバンガロー、ボート・ハウス、ドックなどに大きな衝撃を与える原因となった。また、沿岸道路が長期にわたって閉ざされる事にもつながった。

7. ミシシッピー川で発生した津波

ニューオーリンズの北約 810km 付近で、ミシシッピー川が大きく湾曲している北岸にニューマドリッドは位置している。ここを中心に、ロッキー山脈の東側では最大のニューマドリッド地震が発生した。

まず、Lockridge 他 (2002)⁷⁻¹⁾によると、最初の地震 M7.7 は 1811 年 12 月 16 日 8 時 15 分 (2 時 15 分)、2 回目の大きな地震 M7.5 は 1812 年 1 月 16 日 8 時 15 分 (9 時 15 分)、3 度目の M7.7 は 1812 年 2 月 7 日 9 時 45 分 (3

時 45 分) と 3 回あり、この間身体に感じるものは 1,874 回もあった。(註：括弧付きで示した生起時間は文献 7-2 による)。

これらの地震で川や湖に波が発生した。スロッシングであろう。ミシシッピー川の場合、目撃談によると、「まずミシシッピー川はボートを砂の上に残して堤防から水が引き、水は集まって山の様に高くなった。ついで高さ 5~7m の水の壁が押し寄せ、ボートを係留地点から振り取り、一筋のクリークに集め、1/4 マイルほどを埋め尽くした。それから上昇したときと同じくらい激しく水は後退し、ポプラの木立が抜き去られた。沢山の魚が堤防上に残され、川はボートの残骸で覆われた。」⁷⁻¹⁾

「ミシシッピー川が逆流

2 月 7 日の地震の後、ボートの人々が『数時間にわたって川が逆流した』と報じている。ニューマドリッドの 15 マイル南で地盤上昇の結果、リールフット湖が出来、インディアン集落の住民が溺死した。この地盤変化が川を逆流させ、数千エーカーの処女林を滅ぼし、2 カ所に一時的ではあるが滝を作り出し

た。これらボートの人はかろうじて生き残り、この話しを語ったのである。」(文献 7-3)

この2月7日の地震について Lockridge 他 (2002)⁷⁻¹⁾ は次の様に記述する。

「ニューマドリッド直下で起きた地震は、この大河を押しとどめ、波を逆流させた。このため、あっという間に多くのボートが川をさかのぼる水に押し流され、沼の出口に運ばれ、地表に置き去りにされた。戻り流れは多数の樹木を倒し、川へと運び込んだ。高い堤防は削られ川へ落ち込み、砂州や中州は新しい水路のため形を変え、いくつかの島は全く無くなってしまった。この状況は図-2 のようであった。」として図 7-1 を示して居る。

この地震を知らずにミシシッピー川を航行した船の記録が文献 7-3 にある。

「オハイオ川ミシシッピー川の最初の蒸気

船運航が、10月20日にピッツバーグを出発してニューオーリンズへ向かっていた。……地震の前夜、船はニューマドリッドの200マイル東に碇泊して居た。……地震があったとも知らず、震源の方向に向かって行った。この船は蒸気船による旅を広告する目的を持っていたのだが、船を見た多くの人々には地震の原因だと思われてしまった。ケンタッキー州・ヘンダーソンでは煙突の立っている家は一つも無かった。オハイオ川に浮かんでいた船は地震の揺れを感じなかったが、多くの倒木、沈んだ島や壊れた堤防には悩まされた。12月18日にインディアン居住区に入ると、インディアンに追いかけられた。彼らは、“fire canoe” が地震を起こしたのだと、信じていたからである。」



Figure 2. Rough waves on the Mississippi River, New Madrid, Missouri Earthquakes of Feb. 7, 1812, and aftermath. Jan T. Kozak Collection: Images of Historical Earthquakes, National Information Service for Earthquake Engineering.

図 7-1 1812 年 2 月 7 日 ミシシッピー川の津波とその後⁷⁻¹⁾

8. 火山島フォゴ山の山腹崩壊

カーボベルデ諸島は、アフリカ・セネガル沖合のホットスポットである。そのうち南方のソタヴェント諸島はサンティアゴ・マイオ・フォゴ・ブラヴァ・ロンボ島の 5 島からなっている。カーボベルデの首都プライアはサンティアゴにあり、1832 年、ダーウィンの乗ったビーグル号が碇泊した所でもある。

このサンティアゴ島の北端では巨大な津波石が数多く発見されている (Ramalho 他, 2015)⁸⁻¹⁾。図 8-1 の黒点がそれである。

重量は 1~700Mg (ton) と様々であり、高さ 146m から 220m の間に分布している。98% は 160m 以上に存在する。これらの石は図 8-2 で高さ 150m 以上の丸印を記した層からはぎ取られ、表層上に津波石として持ち上げられた。

7 万 3 千年前の津波であることから、当時の海面が低かったことを考慮に入れると津波遡上高は 270m にはなったであろうと推測される。これに加え、西北端の Tarrafal 半島の沿岸では津波堆積物が確認されている。

これらの原因となった津波は、サンティアゴ島西方 55km のフォゴ島の火山山腹崩壊で発生したものである。フォゴ島 (476km²) は楕状火山で、直径約 25km のほぼ円形をし、中央に位置するフォゴ山は標高 2,829m である。東側に開けたカルデラは、南北におよそ 10km 東西 7km の大きさを持ち、巨大山腹崩壊 (Monte Amarelo collapse) の跡とされる。カルデラの北、西、南側は、100m ~ 800m の切り立った崖で取り巻かれている。フォゴ島の東側海底には地滑りによる大量の堆積物がある。図 8-3 で Collapse debris と記した部分である。その広がりには 650km² で、体積は 130 - 160km³、厚さは 100m - 400 m である。

発生年代は巨石に関しては ³He 年代測定から 7 万 3 千年前と推定されたが、Tarrafal 地点の沿岸堆積物の珊瑚からは 123.6 ± 3.9 千年前、崩壊後に流出した溶岩からは 86 ± 3 千年前と推定されている。フォゴ島の中央火口丘やその側面の地割れ火口の記録に残る噴火は、

1675 年, 1847 年, 1995 年, 2014 年などに発生している。(文献 8-2)。

Paris 他 (2011)⁸⁻³⁾ は、この津波を数値計算した。カルデラ東端の幅 8km の土塊が一体となって一気に駆け下るモデル、いくつかの分塊として連続して滑落するモデルなどの想定で行っている。

フォゴ島東端から東 30km での時間波形が図 8-4 に示されて居る。第 1 波が最大で、一体崩壊では波高 345~410m, 周期 150~200sec, その後波高が 80m より小さく周期も短い波が 4, 5 波続き、その後の 2 波は周期が 400sec と長く波高が 70~90m となった。

この津波はサンティアゴ島を西から東へと乗り越えた。一体崩壊での水深は 155~215m に達し、連続滑落でも 30~85m となった。

アフリカ・モロッコ沖合のカナリア諸島もホットスポットである。グラン・カナリア島の北部海岸アガエテ峡谷にも、高さ 41 ~ 188m の所に津波堆積物が存在する (Pérez-Torrado 他, 2006)⁸⁻⁴⁾。ただ、こちらにはサンティアゴ島で見られるような巨石はない。西に位置するテネリフェ島の 83 万年前のグイマル崩壊に伴う津波によると云われ、Giachetti 他 (2011)⁸⁻⁵⁾ が数値計算を行った。一体崩壊では 390 ~ 500m の津波、連続崩壊では 225 ~ 280m の津波となる。

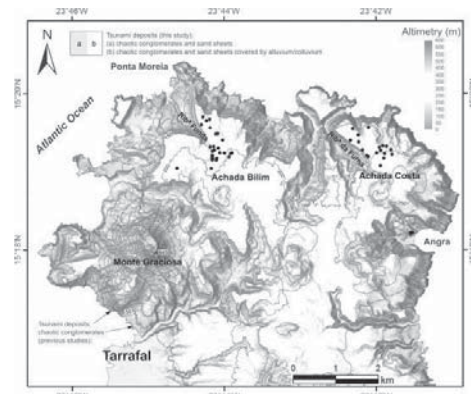


図 8-1 サンティアゴ島の津波石分布⁸⁻¹⁾

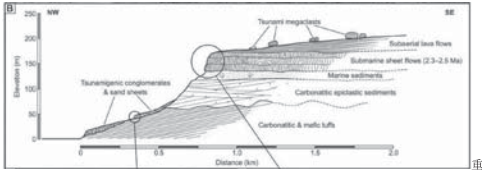


図 8-2 サンティアゴ島の地質断面図⁸⁻¹⁾

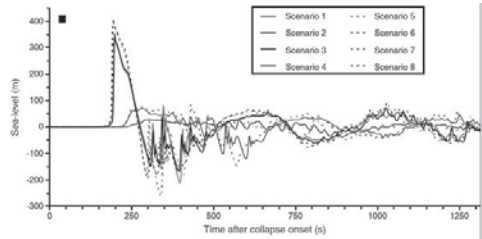


図 8-4 フォゴ島カルデラ崩壊での津波波形⁸⁻³⁾

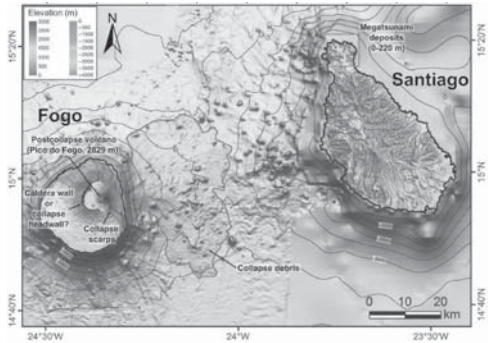


図 8-3 フォゴ島東方の海底堆積物分布⁸⁻¹⁾

ガリスポンのテージョ川を遡った。津波は3回来て、高さは6mから15mであった。避難していた人約1万人が犠牲となった。

当時リスボンの人口は27万5,000人であったが、最大で9万人が死亡したと云われる。

津波は、ポルトガル南部から東のスペイン、またモロッコなどアフリカ西海岸へも押し寄せた。さらに、この津波は、遠くイギリスやノルウェー、また大西洋を横断して西インド諸島など大西洋全域へも3回にわたって押し寄せた。

震源地は、ポルトガルの西南西沖、約200kmの海底。ジブラルタル海峡と地中海を結んだ線上に位置していて、ヨーロッパプレートが近接しているアフリカプレートと衝突して海溝型地震を起こす「アソーレス・ジブラルタル活断層地帯」であったという。

9-2. カディズ湾での過去の津波発生間隔 (Lario 他, 2011)⁹⁻³⁾

ポルトガル西前面のカディズ湾では、間隔が間遠ではあるが過去に津波が何度か発生して居た。1990年代以降、カディズ湾で発生した巨大エネルギー現象に付いての研究が進んだ。陸上部に関しては、河口域、沼地、砂嘴及び沿岸低地での、堆積物、化石、地形などの調査研究である。最近では海での調査も進み、南西イベリア地域海底でのタービダイト(乱泥流堆積物)も歴史津波の証拠として使われるようになった。これら陸上・海中の

9. 1755年リスボン地震

9-1. リスボンでの地震・火事・津波 (文献9-1, 9-2)

1755年11月1日9時半過ぎ、カトリック教では「諸聖人の日」にあたり、教会でミサが行われていた。その日は快晴で北東から微風が吹き、静穏な朝であった。

突然大地が揺れ、震動は1~2分続いた。少し時間をおいて第2の震動が始まり、2~3分続いた。最初の揺れより大きく、建物の天井が落ち、壁が崩れた。その後3回目の震動が3~4分続いた。揺れは全体で6分~8分続いたと云われる。

リスボン中心部では5m幅の地割れが出来、多くの建物が倒壊し、2万人が即死したという。

揺れの直後に教会の燭台に灯されていたローソクの火が倒れて燃えあがった。大火災の始まりである。火の手は市内各所で同時に上がった。火は折からの北東の風にあおられて6日間も燃え続ける大火災となり、町を焼き尽くした。

生存者は河川敷や港のドックなどの空き地に避難した。

地震から約40分後、引きで始まった津波

データから、カディズ湾では、1755 年リスボン津波以前の過去 7 千年間に地震による津波が 5 回起こっていたことが明らかとなった。

それぞれ 7,000 ~ 6,800 年前, 5,500 ~ 5,000 年前, 3,900 ~ 3,600 年前, 2,200 ~ 2,000 年前, そして 1755 年リスボン津波である。破滅的な大惨事は、1,200 ~ 1,500 年ごとに起こっていた。

9-3. 1755 年の津波 (Barkan ほか, 2009⁹⁻⁴⁾; NOAA⁹⁻⁵⁾)

9-3-1 ヨーロッパ及びアフリカ大西洋岸

図 9-1 に津波高の判っている地点を示す。表 9-1 にはリスボンの北、約 1,300km の英国南西部のコーンウォールからヨーロッパ大西洋岸での津波高を、表 9-2 にはアフリカ大西洋岸の津波高を示して居る。

これらの内、値の大きなものいくつかについて、その地形を調べてみる。まず、ポルトガルの首都リスボンは大きな河



図 9-1 ヨーロッパ・アフリカ大西洋岸のリスボン津波記録地点

口湖をもつテージョ川 (スペイン読みではタホ川) 沿いの都市である (図 9-2)。襲来した津波の高さは 15m となっている。

特に津波を増幅する地形とは思えず、この大きな津波高は波源に近かったからであろう。

リスボンから東南へ 350km 離れたスペイン領カディスでも 18.3 m と大きい (図 9-3a)。カディスの 1813 年の古図 (図 9-3b) には人工構造物がほとんど無く、1755 年当時の地形とほぼ同一と考えられる。湾長約 12km が津波増幅に影響したのか、津波は 3 波は来たと言うから共振が起きた可能性もある。

アフリカ西岸のタンジェでも、15.2m と増幅させるような地形は見当たらない。マデイラ諸島は、グーグルマップで探せるが、マデイラの地点が特定できず、大きな津波高 13.2m となった原因の推測は不能である。海底地形の詳細を知る必要がある。

表 9-1 ヨーロッパ大西洋岸の津波高

場所	打ち上げ高 (m)
コーンウォール	2-3.7
ラ コルナ	<1
ポルト	1
リスボン	5-15.2
ラゴス	11.5
オエイラス	>6
サン バンサンテ	>10
カディス	15-18.3
ジブラルタル	2

表 9-2 アフリカ大西洋岸及び前面の島

場所	打ち上げ高 (m)
セウタ	2
タンジェ	?-15.2
サフィ	>6
ポルト サント	3
マデイラ	4-13.2



図9-2 リスボン(グーグルマップによる)



図9-3a カディス(グーグルマップによる)



図9-3b カディス古図

9-3-2 アゾレス諸島

リスボンから西へ1,500kmにあるアゾレス諸島のテラセイラ島のアングラ・ド・エロイーズモで最大14.6mとなった。そこより9km東のポルト・ジュデウでは2.00mであった。この差はアングラ・ド・エロイーズモの入り組んだ地形にあるものと思われる(図9-4)。

9-3-3 カリブ海東端

ポルトガルから南西に伝播した津波は、カリブ海の東端に並ぶ小アンティル諸島に影響を及ぼした。ここまでの波源からの距離は、5,700km以上もある。

グアドループ島南岸のサン＝タンヌでの1755年リスボン津波の体験が残されている。

「11月1日、非常に奇妙な出来事が起こり、伝えられている。海岸のいくつかの場所で海がかなり引いた。サン＝タンヌでは、自然の港を取り巻く珊瑚礁の所まで引き、二つの航路を残すのみとなり、次いで物凄い勢いで寄せて来て、陸にのし上がった。村の教会の玄関に来て砕けたのである。」このように大きくなったのは、サン＝タンヌ港での地形に原因する共振であった事がRoger他(2010)⁹⁻⁶⁾によってたしかめられている。

NOAAの記録⁹⁻⁵⁾によれば浸水距離は600mであった。

ここで目を引くのはサバ島である。直径5km程度、陸地面積13km²の小さな火山島で、そびえるシーナリー山は高さ887m、海岸のほとんどは断崖絶壁となっている。主要な集落は島の南西部寄りの内陸部、標高260mの所に位置する。ここから南に下りたところに港がある。(文献9-7)。7mという津波高はここで記録されたに違いない。その他の場所は容易には近づけないからである。ここは津波来襲方向から言えば、裏側にあたる。島の両側から屈折・回折の効果で回り込んだ津波が会って、高さがほぼ倍になったものと推測される。



図9-4 アゾレス諸島テラセイラ島での津波高の記録地点(グーグルマップによる)

表9-3 カリブ海東端の津波高

場所	打ち上げ高 (m)
サン マルタン島	4.5
サバ	? - 7
アンチグア	3.6
グアドループ	3.2
ドミニカ	3.6
バルバロス	1.5 - 1.8
マルティニーク	0.9 - 1.8

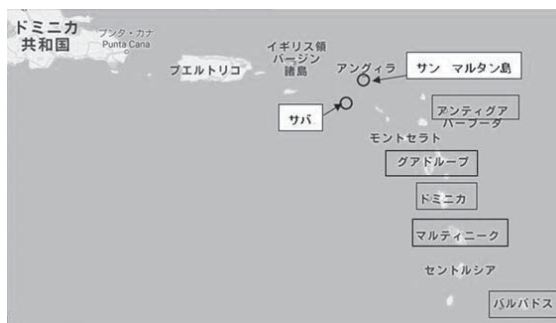


図9-5 カリブ海東端の列島で津波高記録のある島々(グーグルマップによる)

9-4 近代地震学の始まり⁹⁻²⁾

地震の発生したのが万聖節という特別な日であったため、ヴォルテール、ゲーテなどに深刻な影響を与えた。「なぜリスボンなのか？

なぜこの日なのか？ これは神の懲罰なのか？ 自然現象がたまたまその日に発生したのか？」⁹⁻⁸⁾ 一方、当時の宰相セバスティアン・デ・カルヴァーリョ・イ・メロ（後のポンバル侯爵）は都市の再建に励みながらも、国内の全 40 教区と太平洋上の自国の島々に、地

震や津波の実態、前兆現象などに関する質問状を送った。客観的に調査しようとしたのである。このため近代地震学の先駆者と評価されている。

それは地震、津波と火災の発生状況とそれらによる被害状況、さらに救援活動の実態を調べる 13 項目の質問から構成されていた。その内容は次の通りである。

地震に関しては、まず「地震は 11 月 1 日の何時に発生し、どれぐらい続いたか？」、「揺

れはどの方向が強かったか、建物が崩れた側はどちらか?」、「地面に亀裂は出来たか」、「新しい泉は出来たか?」、「11月1日以後に地震は再発したか、それは何時か、また被害の状況どうか?」、さらに「過去に地震を体験したか、その被害の状況はどうか?」である。

津波に関しては、「海、泉、川に何が起こったか?」、また「最初に海面は上昇したのか、それとも引いたのか、それは通常からどの程度上昇したのか、異常な上昇と引き潮を何回見たか、その時間はどのぐらいか?」であり、火災については「火災が発生しておれば、どのぐらい燃えていたか、その被害はどうか?」である。

被害に関した項目は、「死者はどのぐらいか、そのなかに著名な人はいるか?」、また「教区内での生存者はどのぐらいか、出来る限り報告せよ。その性別はどうか?」であり、さらに「教区内で崩壊した建物はどのぐらいか、そのなかに著名な建物はあるか、残っている建物の状態はどうか?」を質問している。

最後に救援活動として、「食料は不足していないか?」と「聖職者、軍隊、政府は地震直後にどのような措置をしたか?」であった。

同様の調査は、スペインでも実施されている。調査項目は「地震を体感したか?」、「その時刻は何時か?」、「どのぐらい続いたか?」、「地面、建物、泉、川の様子はどうであったか?」、「工場でどれだけの被害と損失があったか?」、「どれだけの人と家畜が死に、また負傷したか?」、「地震の発生前に、何か予兆があったか?」等という8項目で、国王名で全国の1,237の市と町に送っている。このような両国の調査によって、イベリア半島でのリスボン地震・津波の被害実態がほぼ明白となった。

これらの内容は、現在ではごく常識的な質問であるが、おそらく最初の地震調査としては、科学的で、かつ網羅的によく考えられている。そして、この質問状に寄せられた回答の分析が地震の発生とその被害を記録する始まりとなり、このことが近代地震学の誕生を導いたのである。

10. 1531年テージョ川地震

Baptista 他 (2009)¹⁰⁻¹⁾ は、ポルトガルの津波カタログを再整理している。1755年リスボン地震は古い順番に云えば5番目となっている。最初は The 60BC Portugal and Galicia tsunami, 次が The 382AD Cape St. Vincent tsunami, そして3番目に The 26 January 1531 Tagus Estuary tsunami となっている。リスボンはテージョ川に面しているので、この時の地震や津波は、リスボンに影響したはずである。

1531年1月26日朝4時から5時の間、強震がリスボンとテージョ峡谷で感じられた。リスボンの下町とその近郊で極めて強く、約千人が犠牲となった。リスボン下町と峡谷沿いの住宅が川からの水に浸かり、港の船が水の引いた後に残された。最大震度 X (MSK) はポルトガルの歴史の中では最も破壊的な地震である。震源はリスボンの北東で、テージョ川上流 Vila Franca de Xira 辺りであろう。断層は図 10-1 で VFXF と記されているテージョ川沿いと推定されて居る。(Baptista 他 (2014)¹⁰⁻²⁾

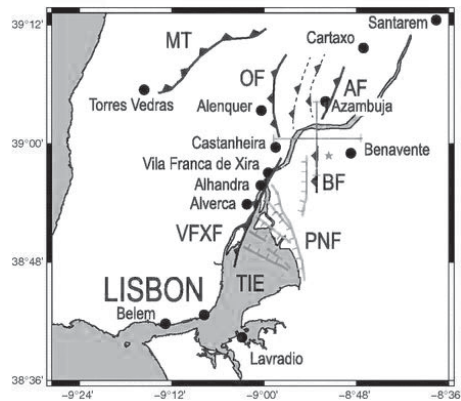


図 10-1 1531年地震断層¹⁰⁻²⁾

地震が続き、人々は大いに恐れた。古代ポルトガルでの最も偉大な著述家 Gil Vicente はジョン三世王に手紙を送り、「これは自然現象だと皆に説明する必要がある。『何かが起こる。又津波が来る』と地方の司祭達が云うのを直ぐ止めさせるように」と伝えた。1755 年リスボン津波の 220 年前にも地震と津波の関係に関係があると知る人は居たのであった。

この時の水の異常を 1554 年に王の年代記編者の一人 Resende が歌ったという (Miranda 他, 2012)¹⁰⁻³⁾。「火曜の朝、誰も見たことのないほどの大地震、・・・海でも感じた・・・風もないのに水が脹れた。船は地に着き、その竜骨は底に届き、いくつかは失われた。すべては真。」

そのほかにも、海での荒れ模様が「・・・多くの船が大きくなって荒れ狂う波の底に呑まれた・・・」(Laurent Surius, 1567;Babinet, 1861)と表現されている。

水の異常を観察した例の多くはエスチュアリー内部のものである。「海での荒れ模様は非常に大きかったのでリスボン港に停泊して居た船全部が壊れ、破壊された。テージョ川が中程で割れ、砂底が見えた」と云う人もある。

(Cuoto, 1778)。「船乗りが言うには、船が空に舞い上がるかと思えば岩に激突した。川は真ん中で割れ、そして閉じた。(Osorio, 1919)。」

上流の Vila-Franca-de-Xila の辺りでは、「船員の云うには、この川で空が開き、燃えさかる炉のようになり、大きな火炎とともに大雷を聞いた。(Osorio, 1919)。」

「キャラベル船に乗り、40 尋 (約 70m) の深さの所で釣人達は、水のない陸に居るのに気付いた。(Brito,1909)。」

Baptista 他 (2014)¹⁰⁻²⁾ は、この地震と津波を数値計算で再現し、この時の海面異常を説明しようとした試みている。地震の強弱分布から断層モデルを推定し、それによる津波や地盤変位を求め、海での異常の報告と比較する。

まず、津波を証言について分類すると、

- (1) 船が地に着いた。竜骨が底に着いた。
- (2) 多数の船が飲み込まれた。
- (3) テージョ川が中程で開き、水を分けて細道が出来、砂底が見えた。
- (4) 川が中程で分かれ、次いで閉じた。
- (5) Vila-Franca-de-Xila で川の水が湧かれて、閉じた。
- (6) Azambujer で水が引き、その下から陸が見えた。
- (7) 40 尋の所で釣をしていたキャラベル船が 3 時間も水の引いた陸に居た。
- (8) テージョ川が多くの派川、いくつもの小さな島々に分かれた。

となる。

これらを 数値計算と照らし合わせてみる。

(1) と (2) とは、船舶泊地で水がかなり引いたことを意味しているが、水の引きと河床の地震による上昇とが効いたと思える。

(3) ~ (6) は、設定地震での津波による水位低下や河口の地形からは説明出来ない。テージョ川の島々の地震による上昇と推測する。大きくて 1.4m 程の河底上昇は設定地震から妥当であり、記述にも適当である。この上昇量は地質学的にも受け入れられる。VFX 衝上断層の西南端が西南に沈み込む *mouchão da Póvoa* の南境界にあり、小島の上昇を起こすからである。

(7) は全く受け入れられない。40 尋 (88m) の深さは河口域には存在しない。その上、河口域外でもこれほど大きな津波があったという他の記述もない。この記述は信用できないと判断する。

これらに基づいて、津波の影響がポルトガル南岸、スペイン海岸では津波による影響が報告されていないことも併せて、テージョ川の河口域奥で起きた津波は外側の海には殆ど伝播しなかったとする。泊地の船にはかなり影響したが、リスボン下町にはそれほどではなかったというのが、結論である。

11. 終わりに

頻繁には津波の生じないと思って居た大西洋にも、大きな地震や津波があったことが判った。その記憶をつないで行くことは難しい。リスボンの災害について、「リスボンの街を一気に飲み込んだ地震後の大津波についても知識が乏しかった。3万人もの犠牲者を出した1531年の大地震と津波の記憶も薄れていた。このため、生存者の目撃談を読む限り、人々は身を守る手だてがとっさに思い浮かばなかったようである。」¹¹⁻¹⁾ 1531年の地震津波は、前節10で記したように、地震は大きかったが津波は狭い河口潟に止まり、リスボンには余り影響しなかった。このことと、200年という時間経過が先の経験を伝えなかったのであろう。

ところが、1929年グランドバンク津波の時、殆どの人とは違った認識を持った人が僅かではあったが存在した。「ローズ・コープでは、Prosper Walshは振動は地震だと正しく認識し、津波が続くと予想した。トランプ遊びをして居たが、その場を離れ、できる限り多くの家を訪ね、人々に高所に行くようにと告げて回った。この御蔭で多くの命が救われた。」(前節4. グランドバンク津波)。

何がこうした違いをつくったのであろうか。

参考文献

- 2-1. Harbitz, C.B.: Model simulations of tsunamis generated by the Storegga Slides, Marine Geology, Vol.105, pp.1-21, 1992.
- 2-2. Bryna, P., K. Berga, C. F. Forsberg, A. Solheim and T.J. Kvalstada: Explaining the Storegga Slide, Marine and Petroleum Geology Vol.22, pp. 11-19, 2005.
- 2-3. Bondevik, S., et al.: The Storegga Slide tsunami - comparing field observations with numerical simulations, Marine and Petroleum Geology Vol. 22, pp.195-208 2005.
- 3-1. Halifax Explosion Wikipedia, the free encyclopedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Halifax_Explosion
- 3-2. Halifax Explosion-A Devastated City, <https://www.awesomestories.com/pdf/make/141808>
- 3-3. REENBERG, DAY ID A.G., T. S. MURTY and A. RUFFMAN: A Numerical Model for the Halifax Harbor, Tsunami Due to the 1917 Explosion, Marine Geodesy, Vol.16, pp. 153-167, 1993.
- 3-4. Van Dorn, W. G., B. Le Mehaute and L. S. Hwang: Handbook of explosion generated water waves, Vol.1. State of the art, Rept. no. TC-130, Tetratex, Inc., Pasadena, CA, 1968.
- 4-1. Fine, I.V. et al.: The Grand Banks landslide-generated tsunami of November 18, 1929: preliminary analysis and numerical modeling, Marine Geology, Elsevier, 215, pp.45-57. (2005)
- 4-2. Natural Resources Canada: Le séisme de magnitude 7,2 et le tsunami de 1929 sur les "Grands Bancs", <http://www.earthquakescanada.nrcan.gc.ca/historichistorique/events/19291118en.php>
- 4-3. Hanrahan, M. (2009) : Report on the Newfoundland Tsunami of 1929, <http://www.seethesites.ca/media/47476/1929%20tsunami.pdf>
- 4-4. Ruffiman, A. and P. Geo: Atlantic Tsunami: "Like a River Returning", <https://maritimemuseum.novascotia.ca/research/atlantictsunamis>
- 4-5. The Tsunami of 1929, <http://www.heritage.nf.ca/articles/politics/tsunami1929.php>
- 5-1. Kvelsvik, V. et al. : Evaluation of movement data and ground conditions for the Aknes rock slide, International Symposium on Stability of Rock Slopes in Open Pit Mining and Civil Engineering, The South African Institute of Mining and Metallurgy, pp.279-299, 2006.

- 5-2. Birkra, L.H. et al. : Quantification of rock-avalanche and tsunami hazard in Storfjorden western Norway, western Norway, In: Seneset, K., Flaate, K. & Larsen, J.O. (eds.) . Landslide and Avalanches ICFL 2005 Norway. Taylor & Francis Group, London, 2005.
- 5-3. TAFJORD ACCIDENT Norrdal, http://www.gonorway.com/norway/counties/m%20C%20B%20re%20and%20romsdal/norrdal/763b75312bba169/vr/tafjord_accident
- 5-4. Harbitz, C.B. et al.: Numerical Simulations of Large Water Waves due to Landslide, J. Hydraul. Eng., 119 (12) , pp.1325-1342 , 1993
- 6-1 Lac-des-Seize-Îles,_Quebe, Wikipedia, the free encyclopedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Lac-des-Seize-Îles,_Quebec
- 6-2. Leblanc, J. et al: Observations of Coastal Landslide-Generated Tsunami Under an Ice Cover: The Case of Lac-des-Seize-Îles, Québec, Canada, in G. Lamarche et al. (eds.) , Submarine Mass Movements and their Consequences, Advances in Natural and Technological Hazards Research, Vol.41, pp.607-614, Springer International Publishing Switzerland 2016.
- 7-1. Patricia A. Lockridge, Lowell S. Whiteside and James F. Lander: TSUNAMIS AND TSUNAMI-LIKE WAVES OF THE EASTERN UNITED STATES, Science of Tsunami Hazards, Volume 20, Number 3, pp. 120 - 157 (2002) .
- 7-2. New Madrid earthquakes of 1811-12, ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, <https://global.britannica.com/event/New-Madrid-earthquakes-of-1811-1812>.
- 7-3. Strange Happenings during the Earthquakes, ニューマドリッド市のホームページ <http://www.new-madrid.mo.us/index.aspx> から, Home > Visiting > Tourism > Earthquakes of 1811-1812> Strange Happenings during the Earthquakes とたどって得られる。
- 8-1. Ramalho, R. S., G. Winckler, J. Madeira, G.R. Helffrich, A. Hipólito, R. Quartau, K. Adena, and J. M. Schaefer: Hazard potential of volcanic flank collapses raised by new megatsunami evidence, <http://advances.sciencemag.org>
- 8-2. フォゴ山, フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』
- 8-3. Paris R., T. Giachetti, J.Chevalier, H. Guillou, N. Frank : Tsunami deposits in Santiago Island (Cape Verde archipelago) as possible evidence of a massive flank failure of Fogo volcano, Sedimentary Geology 239, pp.129-145, 2011.
- 8-4. Pérez-Torrado Francisco J. , R. Paris, M. C. Cabrera, J.L. Schneider, P.Wassmer, J.C. Carracedo, A. R. Santana and F. Santana: Tsunami deposits related to flank collapse in oceanic volcanoes: The Agaete Valley evidence, Gran Canaria, Canary Islands, Marine Geology 227, pp.135- 149, 2006.
- 8-5. Giachetti, Thomas, R. Paris, K. Kelfoun, F. J. Perez-Torrado: Numerical modelling of the tsunami triggered by the Guimar debris avalanche, Tenerife (Canary Islands) : Comparison with field-based data, Marine Geology, 284, pp.189-202, 2011.
- 9-1. リスボン地震 (1755 年), フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』
- 9-2. 計盛 哲夫: 第 1 章 近代への出発点となったリスボン地震, —その応急対応と復興過程の教訓に学ぶ—, 「リスボン地震とその文明的意義の考察」研究調査報告書, (公財) ひょうご震災記念 21 世紀研究機構研究調査本部 ,pp.5~20, 2015.
- 9-3. Larioa, J. , C. Zazo, J.L. Goy, P.G. Silva, T. Bardaji, A. Cabero and C.J. Oabrio :Holocene palaeotsunami catalogue of SW Iberia, http://eprints.ucm.es/15701/1/2011_2_Holocene_tsunami_catalogue-Q_1.pdf
- 9-4. Barkan, Roy, U. S. Brink and J Lin: Far

- field tsunami simulations of the 1755 Lisbon earthquake: Implications for tsunami hazard to the U.S. East Coast and the Caribbean, *Marine Geology* 264, pp. 109–122, 2009.
- 9-5. NOAA 1755 Tsunami Event, https://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/results?EQ_0=456&t=101650&s=9&d=92,183&nd=display
- 9-6. Roger, J., S. Allgeyer, H. Hébert, M.A. Baptista, A. Loevenbruck and F. Schindelé: The 1755 Lisbon Tsunami in Guadeloupe Archipelago: Source Sensitivity and Investigation of Resonance Effects, *The Open Oceanography Journal*, 4, pp.58–70, 2010.
- 9-7. サバ島, フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』
<https://ja.wikipedia.org/wiki/サバ島>
- 9-8. 例 えば, *Nation & World*, A quake that changed history, Tuesday, Nov. 1, 2005。
- 10-1. Baptista, M. A. and J. M. Miranda: Revision of the Portuguese catalog of tsunamis, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, pp.25–42, 2009.
www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/25/2009/
- 10-2. Baptista, M. A., J. M. Miranda and J. Batlló; The 1531 Lisbon Earthquake: A Tsunami in the Tagus Estuary?, *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 104 no. 5, pp.2149–2161, October 2014.
- 10-3. Miranda, J., J. Batlló, H. Ferreira, L. M. Matias and M. A. Baptista: The 1531 Lisbon earthquake and tsunami, *PROCEEDINGS OF THE FIFTHTEENTH WORLD CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING, LISBON, PORTUGAL, 2012*.
- 11-1. 計盛 哲夫: 現場主義, 創造的な復興, そしてリーダーの役割 —リスボン自身の教訓に学ぶ三つの提言—, 「リスボン地震とその文明的意義の考察」研究調査報告書, (公財) ひょうご震災記念 21 世紀研究機構研究調査本部 ,pp.84~87, 2015.