

愛知県知多半島の新第三系師崎層群中には津波による堆積物 (Tsunamiite) および地震によって擾乱された堆積物 (Seismite) が存在する。これらに密接に関連して生じた碎屑岩脈から津波を起こした近地地震の震源方向が推定される。

1. はじめに

地層に非調和的に産出する碎屑岩脈は古くから多くの研究者の関心呼び、世界中の各地から沢山の論文が発表されている (Allen, 1982)。碎屑岩脈は日本でも沢山産出し、それらをまとめて記載分類した林 (1966, 1986) の古典的研究は高く評価される。彼はこれらの論文の中で碎屑岩脈を形体によって分類しただけでなく、成因による分類も試みている。それによれば日本の碎屑岩脈はその成因から次のように5つに分類されている。即ち①火山活動に関係した進入碎屑岩脈、②割れ目、節理などへクイックサンドが注入した注入碎屑岩脈、③割れ目、節理などの中へ碎屑性物質が重力で落ち込んだ沈積碎屑岩脈、④上下に隣接する地層中の裂け目へ未固結または半固結の状態で押し込まれた押し込み碎屑岩脈、⑤続成作用により変質した続成碎屑岩脈である。この内②のクイックサンドの形成には地震による振動との関係が議論される。また③の割れ目の中には synaeresis によるものや diastasis crack (Cowan and James, 1992) だけでなく、地震によって生じた地表や海底の地割れも含まれる。したがって揺変性層内褶曲や脱水構造といった未固結堆積物の地震動による変形構造と密接に関連した碎屑岩脈が存在すれば、それから地震の起こった時期や震源方向の記録を地層の中から読み取ることが可能である。

2. 師崎層群中の Tsunamiite, Seismite 付近の層序と岩相

師崎層群中で Tsunamiite, Seismite を含む礫浦海岩での層序全体については他の論文 (橘・他, 本特集) にくわしい記載がある。ここでは特に巨礫を含む砂岩・礫岩の対からなる Tsunamiite の上下の地層の模式柱状図を示し、岩相を簡単に記載す



歴史・先史津波と津波堆積物

知多半島中新統の Seismite, Tsunamiite に 伴う三種類の碎屑岩脈

山 崎 貞 治
志 岐 常 正
橘 徹

やまざき せいじ：大阪教育大学教養学科
しきつねまさ：元京都大学
たちばな とおる：瀬戸内環境地質研究会

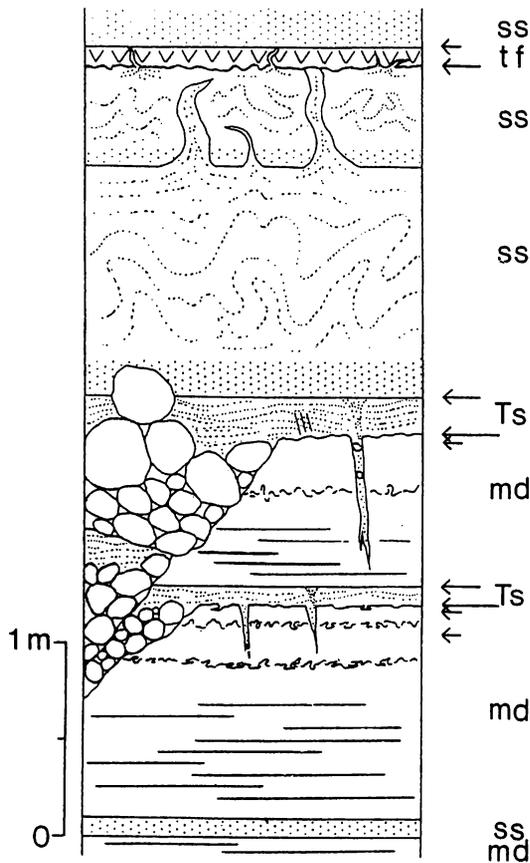


図1 Tsunamiite 付近の模式柱状図；Tsunamiite (礫岩・砂岩組み層) は泥岩を侵食しながら堆積している。またその中には脱水ピラー構造や小逆断層がある。砂岩は揺動変形され、上の層中へ岩脈となって入っている。泥岩中には沈積碎屑岩脈が多い。泥岩の上部は揺動変形が顕著である。md；泥岩相，ss；砂岩相，tf；凝灰岩相，Ts；Tsunamiite，←；地震活動の時期。

る (図1)。図1には揺動変形層内褶曲や脱水構造、碎屑岩脈から推定される地震の起こった時期も記入してある。

巨礫を含む Tsunamiite は図1に示したように、泥岩と砂岩の互層の間に挟まれて存在する。Tsunamiite とその上下の岩相は以下のようなものである。

1) 泥岩相；淡青色ないし灰紫色で微かに平行葉理が認められる。白色の薄い凝灰質の層を含む

が、この薄層は揺動変形が著しい。上に乗る Tsunamiite 付近では擾乱が著しく層理は消え、均質な岩相になる。この岩相には上から砂礫が落ち込んだ沈積碎屑岩脈が多い。所謂 background の堆積物で、この中に含まれる化石群集から 200m 以深の堆積深度が推定されている (Shiki and Yamazaki, 1996)。

2) 砂岩・礫岩相 (Tsunamiite)；礫岩とその上に乗る砂岩が対になったものである。礫径は多様であるが、最大 2m 以上に達する。礫種は片麻岩を主体としているが、すぐ下の泥岩に由来する偽礫や木片も含まれている。礫岩は下の泥岩中にできた溝状の凹地に厚く堆積しているが、溝状凹地から離れると礫は孤立状態にある場合もある。礫岩は礫支持構造であり、覆瓦構造、礫集団の構造と共に掃流による堆積物であることを示している。礫の間は上に乗る砂岩の構成粒子が充填しており、礫に引き続いて砂が堆積したことを示している。礫岩中には木片や浅海棲生物の破片状化石が含まれており、浅海域からの急激な流れで運搬されてきたことを示している (Yamazaki, et al., 1989)。

砂岩は礫岩を被うように堆積しているが、礫岩のない所では侵食された下の泥岩の上に直接乗る。砂岩と泥岩との境界は複雑な、入り組んだ模様をしており、砂岩中には泥岩の偽礫があったり、また逆に砂粒子が下の泥岩中に拡散滲透したりしている (図4, B)。砂岩は中粒砂を主体とし、低角度の斜交葉理が発達している。また砂岩は粒子支持構造をしており、射流による堆積物と判断される (Shiki and Yamazaki, 1996)。砂岩中には小さな地層内逆断層がみられる (図4, C)。また下の泥岩中にできた沈積碎屑岩脈からこの砂岩中への脱水によるピラー構造がある (図4, A)。このピラー構造は砂岩を被う薄い泥岩の層を乱すことなくこの砂岩層の上端で拡散し消えている。下の泥岩との境界面の模様や層内断層、ピラー構造の存在はこの砂岩堆積直後の地震による揺動を示している。

3) 塊状砂岩相；成層構造はなく、中粒塊状砂

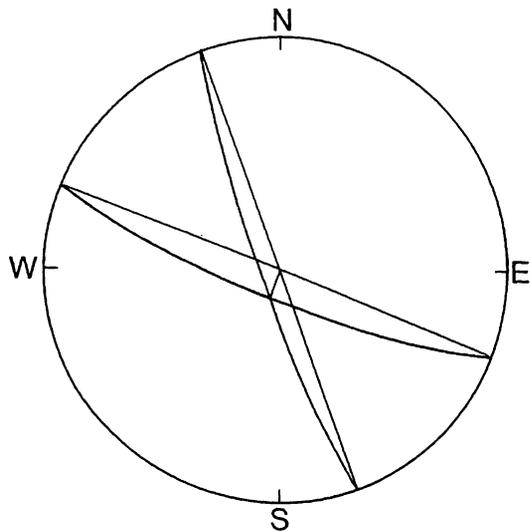


図2 共役的割れ目を充填した碎屑岩脈のステレオ投影図(上半球投影). 北西-南東方向の最大圧縮応力場を反映している. 地層を水平に補正し投影した.

岩で地層の中部から上部にかけて揺変による乱堆積構造が著しい. 上方へ細粒化する正級化構造が僅かに認められる. この岩相の上部では揺変による液状化が著しく, 上の地層中へ注入碎屑岩脈として貫入している. タービダイトのような集合運搬堆積物と思われる.

4) 凝灰岩相; シルト質の基質の中に細粒軽石片を多量に含む凝灰岩である. 斜長石, 普通輝石, 紫蘇輝石, 酸化角閃石の破片がみとめられ, デー

サイト質の降下火山灰がシルト質の泥の堆積場に堆積したものである.

3. 三種類の碎屑岩脈

愛知県知多半島に分布する第三系師崎層群中には地震・津波堆積物に関連して下記のような三種類の碎屑岩脈が認められる. 即ち, 1) 共役的な割れ目を充填した碎屑岩脈, 2) 堆積当時の海底にできた地割れを充填してできた碎屑岩脈, 3) 液状化した砂が上の地層中に貫入した碎屑岩脈である.

1) 共役的な割れ目を充填した碎屑岩脈; これは津波堆積物のすぐ下の堆積物中の割れ目を充填した砂質碎屑岩脈である. 岩脈の側壁は直線的であり, 岩脈の最大幅は約20cm, 水平面内での長さは数メートルに及ぶ. 割れ目を充填している物質がどこから注入されたのか, 露頭の関係で不明である. 地層を水平に補正すると, この岩脈はN20°W, 80°EとN69°W, 75°Nの共役的方向をもち, その交角約48°, 北西-南東方向N42°Wの最大圧縮応力によってできた地層内の割れ目を充填してできたものである(図2). この最大圧縮応力の方位は引き続いて起こった津波の原因となった近地地震を起こした構造的力学場の方位を反映しているものと思われる.

2) 堆積当時の海底にできた地割れを充填してできた碎屑岩脈; これは津波堆積物の堆積当時の

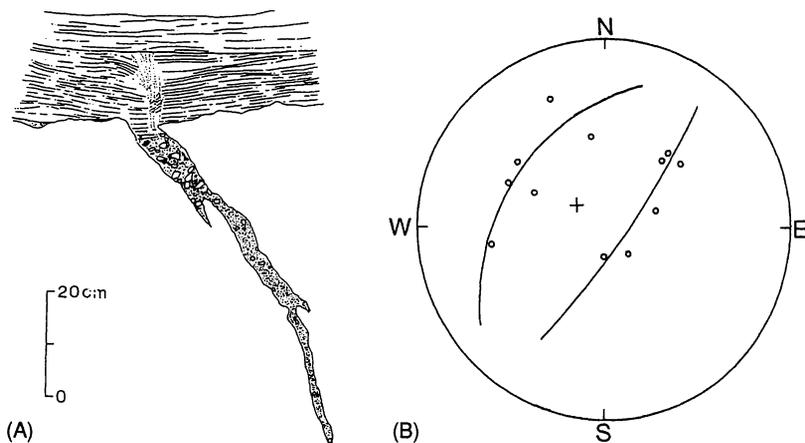


図3 Tsunamiite直下の沈積碎屑岩脈(A)とその極のステレオ投影図(上半球投影)(B). 岩脈は本震による地割れをTsunamiiteが充填したものであり, 脱水ピラー構造がその上部から発生している. 岩脈の極は2つの大円上に点示される. +は交わる大円の中心を示す. 地層を水平に補正し投影した.

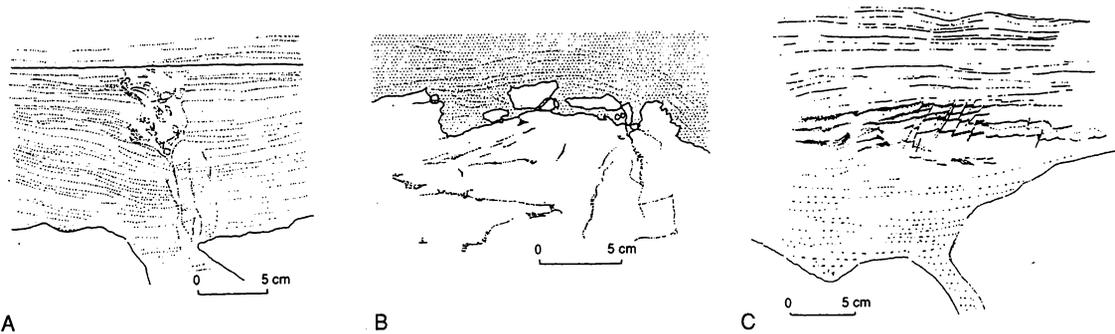


図4 余震を示す構造。(A) 碎屑岩脈上部からの脱水ピラー構造、(B) Tsunamiite直下の泥岩中へのTsunamiite砂の拡散浸透。(C) Tsunamiite内の小逆断層群。

海底に、津波発生の原因となった地震によってできた地割れを津波堆積物が充填してできたものと考えられる。碎屑岩脈の岩質は津波堆積物と全く同じもので、花崗岩質の砂と片麻岩質の礫を主体にしている。また津波堆積物と同様に、浅海棲動物化石の破片も含まれている。この岩脈のもとになった海底の地割れは、津波発生直前の地震による最大圧縮応力によって海底が割れたものであり、地震波P波の伝播方向と密接な関係にあるものと思われる。この岩脈は津波堆積物の直下から下へ延び、時には分枝しながらも下へ向けて細くなり、やがて尖滅する。岩脈の幅は津波堆積物の直下で一番広く、最大20cm位である。岩脈の水平面内の長さは露頭の関係で不明なものが大部分であるが、最大数メートルに及ぶものがある。垂直方向への長さは地層の傾斜を水平に補正して、数十センチメートルから2m近くに達する(図3, A)。また左横ずれのセンスを示すものも存在する。

この岩脈のもととなった地割れは一定の方向性をもっており、地層の傾斜を水平に補正して岩脈の方位をステレオ網に投影すると、その極が2つの交叉する大円上に点示される(図3, B)。1つはN35°E, 34°SEの点を極とする大円であり、もう1つはN35°E, 77°NWの点を極とする大円である。この2つの大円の交角は約70°である。地震に伴ってできる地表の地割れと地震との関係は1965年から1966年に起こった松代地震に関して詳しい研究がなされている(Nakamura and

Tsuneishi, 1966, 1967)。松代地震の場合には地割れは地面に垂直であり、地割れ群の直下に震源となった断層が推定されている。師崎層群中の津波堆積物直下の地割れは当時の海底面に垂直にできたものばかりではなく、当時の海底面にかなり斜に割れているものもある。しかしその割れ目の方向には規則性があり、その極は交叉する2つの大円上に点示される。この2つの交叉する大円の交わる中心方向はこの割れ目を作った応力場の最大圧縮応力場の方向を強く示唆している。この海底地割れを生じた最大圧縮応力は津波を発生させた地震と関連する可能性が高く、最大圧縮応力の方向は地震波P波の伝播方向、換言すれば震源方向を強く示唆している。つまりこの時の地震の震源は南東方向123°、伏角南東方向へ約70°の近地性地震であったことを示している。この震源方位は(1)の共役的割れ目を作った構造的応力場の最大圧縮応力の方位と調和的である。

この岩脈から上の津波堆積物の中へ脱水によるピラー構造が延びている。このピラー構造は津波堆積物の上を薄く被う泥岩層を乱しておらず、泥岩層の下で止まっている(図4, A)。これは松代地震の例にみられるように、津波堆積物が堆積した直後の地震による脱水作用を示しているものと思われる。

3) 液状化した砂が上の地層中に貫入した碎屑岩脈；これは津波堆積物の少し上の層準に見られるものである。地震により砂層が擾乱されて液状

化し、その上の地層中に貫入したものである。岩脈の側壁は、充填が壁岩の固結以前になされたかのように、不鮮明なものが多い。岩脈の幅は最大20cm程度であり、岩脈となっている碎屑物を供給した砂岩層に接する部分で一番広く、上へ向って細くなる。岩脈の貫入方位は一定しておらず、網状に貫入している。またシート状に進入しているものもある。この岩脈の形成は津波堆積物の堆積後の地震によるものであり、ここでは津波の原因となった地震とは別の事象によるものである。

4. 地震津波に関連した余震の証拠

津波を発生させた海底地震は余震を伴うのが普通である。したがって津波堆積物の中には余震の痕が記録されている。図5には余震によると思われる3つの記録を示した。

最初のもは海底地割れを充填した岩脈から津波堆積物の中へと立ち上がっている脱水によるピラー構造である(図4, A)。この脱水構造は岩脈の上端から立ち上がり、上にいくにつれて幅広くなる。脱水構造で乱された津波堆積物の上は厚さ1~2mmの薄い泥層で覆われているが、この泥層は全く乱されていない。またこの泥層の上に乗る砂岩層の中にはこのような脱水によるピラー構造はできていない。津波堆積物の下から立ち上がってきた脱水によるピラー構造がこの薄い泥層で遮断されたものとは考え難く、脱水によるピラー構造形成後にこの薄い泥層が堆積したと考えるのが自然である。1966, 1967年の松代地震で発生した地割れが引き続き余震で閉じた例が観測されている(Nakamura and Tsuneishi, 1967)。余震による揺動だけでなく、岩脈が閉じるような力が脱水によるピラー構造形成に関与していたのかもしれない。

図4, Bは津波堆積物である砂岩とその下の泥岩との境界面の一部を示している。泥岩の上面は津波堆積物を運搬してきた掃流によって侵食され、複雑な凹凸を示している。砂岩の下部には掃流によって剥ぎ取られた泥岩が偽礫となって含まれている。泥岩の上面近くには上に乗っている砂岩の粒子がその中に浸透している。これは岩脈と

呼ぶにはあまりにも不規則な形状をしており、一定の方向性もない。またボールピロー構造のようにまとまった形をしたものでもない。その幅も狭く、ほとんどが中粒砂1個か2個位の幅のものである。このような小規模な変形構造の1つとして揺動による重鉱物の落下構造が知られているが(Allen, 1982)、ここに見られる構造は、泥岩の中に分布する砂粒が縦、横、斜にと直線的ではあるが不規則に配列しているものであり、未固結の泥の上に堆積した砂が揺動によって泥の中へ落下、拡散したものとは考えにくい。またその形体は前述の海底の地割れを充填した岩脈とは全く異なっており、砂が堆積する以前にできていた海底の地割れの中へ、後で運ばれてきた砂が入り込んだとは考えにくい。この場合は偽礫ができる程度に固結した泥岩の上に砂が堆積し、その砂が固結する前に強い震動をうけて泥岩の上部に微細な割れ目ができ、その中へ上に乗っていた砂粒が入り込んでいったものと考えるのが自然であろう。つまりこれも津波堆積物である砂岩の堆積直後に地震のあった事を示している。

図4, Cは津波堆積物である砂岩の中に見られるごく小さな逆断層群である。

この逆断層群は津波堆積物の中部だけに見られるものであり、その直上にはこの種の変形構造はない。また津波堆積物の砂岩がトラフ状の凹地を充填して比較的厚くなった部分にできており、堆積後の揺動変形の1つと考えられる。

5. 津波の発生とその前後の地層の記録

津波堆積物とその直下の泥層中の揺変性構造、及びそれらに伴う岩脈群の形成を総合すると、津波堆積物の堆積した前後での次のような一連の事件が地層の中から読み取れる(図5)。A;地震により海底に堆積していた泥層が揺動されてその中の凝灰質層に揺変性構造が形成される。また海底付近の泥層は揺動により成層構造が消え、均質な岩相になる。B;近地性の巨大海底地震により海底に地割れが発生する。C;海底の地震により巨大な津波が起これ、津波の引き波による強い掃流

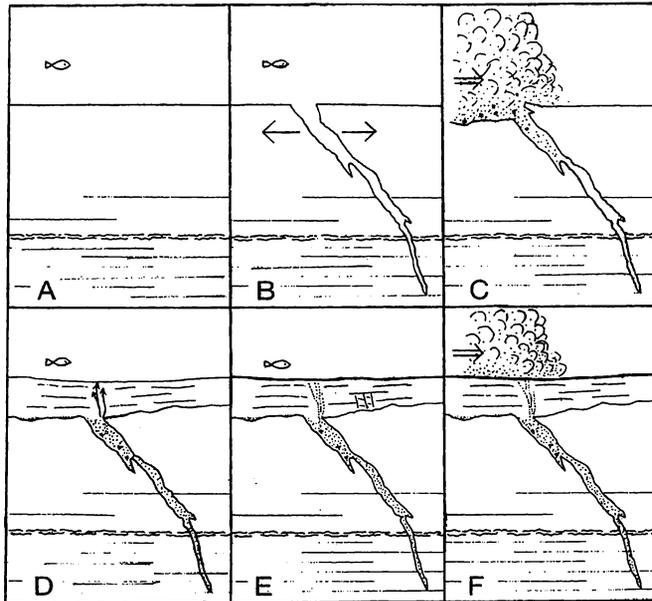


図5 津波の発生前後の出来事. 説明は本文参照.

が沖に向かって流れる。この掃流により、陸地や浅海の堆積物が深海底に運搬され、津波堆積物が堆積する。また海底にできた地割れは津波堆積物によって充填され、沈積碎屑岩脈ができる。D；引き続き余震により岩脈中から脱水が起こり、津波堆積物中に脱水ピラー構造ができる。また津波堆積物中に小さな逆断層群ができる。E；一連の地震活動が治まり、静かになった海底に泥が沈積する。F；引き続き事変により乱泥流が発生し、集合運搬されてきた砂が堆積する。

この研究を推進するに当たり、文部科学省科学研究費「水底・海底堆積物に見られる地震および津波痕跡の研究」(代表、都司嘉宣)及び「歴史資料、および地質痕跡調査に基づく海溝型巨大地震の再帰性に関する研究」(代表、都司嘉宣)の一部を使用させて頂いた。記して感謝したい。

参考文献

[1] Allen, J. R. L. (1982) : Sedimentary structures, their character and physical basis. Vol. I., 593p. and II., 663p. Elsevier Sci. Pub. Co., Amsterdam.
 [2] Cowan, C. A. and James, N. P. (1992) : Diastasis cracks

: mechanically generated synaeresis-like cracks in Upper Cambrian shallow water oolite and ribbon carbonates. *Sediment.*, **39**, 1101-1118.

[3] Hayashi, T. (1966) : Clastic dikes in Japan. *Japan. J. Geol. Geograph.*, **37**, 1-20.

[4] 林唯一 (1986) : 碎屑性岩脈—「日本の碎屑性岩脈 (1), 1966 (英文)」と「知多半島の中新統中の砂岩岩脈, 1957」—。林唯一著「堆積構造と関連論文」p164-171, 林唯一教授退官記念会。

[5] Nakamura, K. and Tsuneishi, Y. (1966) : Ground cracks at Matsushiro probably of underlying strike-slip fault origin, I - Preliminary report. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44**, 1371-1384.

[6] Nakamura, K. and Tsuneishi, Y. (1967) : Ground cracks at Matsushiro probably of underlying strike-slip fault origin, II - The Matsushiro earthquake fault. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **45**, 417-471.

[7] Shiki, T. and Yamazaki, Y. (1996) : Tsunami-induced conglomerates in Miocene upper bathyal deposits, Chita Peninsula, central Japan. *Sed. Geol.*, **104**, 175-188.

[8] 橋 徹, 志岐常正, 山崎貞治 (2002) : 知多半島礫ヶ浦に分布する中新統の津波および地震性堆積物の層序, 月刊海洋, 本特集。

[9] Yamazaki, T., Yamaoka, M. and Shiki, T. (1989) : Miocene offshore tractive current-worked conglomerates - Tsubutegaura, Chita peninsula, central Japan - in Taira and Masuda (eds.) "Sedimentary Facies in the Active Plate Margin", 483-494, Terra Sci. Pub. Co., Tokyo.

