

博士論文

三陸海岸における 2011 年津波堆積物の堆積様式と
古津波の履歴復元

(Sedimentary features of the 2011 tsunami layer and reconstruction of
paleo tsunami history at the Sanriku coastal area)

五島 朋子

要旨

日本は世界有数の地震国であり、これまでに数多くの地震・津波を経験してきた。日本海溝沿いでは 2011 年 3 月 11 日に東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0) の巨大地震が発生し、太平洋沿岸域を中心に甚大な被害を及ぼした。地震・津波の長期的な発生予測のためには、過去に発生した地震・津波の規模ならびに履歴の解明が必要である。しかしながら、近代計器観測は高々 100 年程度に過ぎず、その繰り返し・多様性を議論するために、歴史記録に加え、津波堆積物や活断層調査等の地質学的証拠が重要な科学的根拠として位置づけられている。

本論文では、岩手県宮古市田老沼の浜を調査地として選定し、ハンディージオスライサーおよび機械ボーリングによる掘削調査で得られた地質柱状試料、露頭、ピット掘削試料を用いて試料採取ならびに観察・分析を行った。調査地の表層を覆う 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波堆積物については、構成粒子の特徴を整理し、地形条件と併せてその堆積過程を議論した。さらに、採取した地質試料から過去のイベント堆積物を同定し、一部を歴史資料と対比しながら過去に襲来した津波・高潮の履歴復元を行った。

表層から 2.7 m~5.7 m の試料深度で掘削した柱状試料に基づき、本調査地に襲来した津波・高潮のイベント履歴復元と堆積年代推定を行った。地質試料中からは過去 2,000 年間の 17 層のイベント層が同定され、 ^{14}C 年代測定法に加え、最近約 100 年余りのイベントについては、 ^{137}Cs と ^{210}Pb 測定によりその堆積年代を推定した。さらに、歴史記録が残る 9 世紀以降のイベントについては、津波・高潮・洪水に関する史料と対比して可能性のあるイベントを列挙した。次に、イベント痕跡が検出された調査地点の海岸線からの距離を参考にして浸水域を推定し、S1 (2011 年東北地方太平洋沖地震津波)、S8 (堆積年代 AD 1500-1770: Oxcal プログラムで ^{14}C 年代を暦年補正した結果から推定された年代範囲)、S12 (AD 250-1400) が広い浸水域を有するイベントであった可能性を示した。このうち、S12 はその推定年代から 869 年貞観地震津波の痕跡である可能性があり、従来推定されていた当地震の波源 (福島沖から宮城沖にわたる波源) が海溝沿いにさらに北へ伸長される可能性を示唆した。

2011 年津波堆積物の堆積学的特徴と、それが形成された際の地形要因について考察を行った。調査地における 2011 年津波堆積物は角礫~亜角礫を多く含む礫質津波堆積物であり、陸上の海浜・河床・斜面域に存在する 3 種の礫 (給源粒子) が混在するもの

であった。様々な給源粒子が混在する堆積学的特徴は、谷内で斜面を遡上した津波が陸域の堆積物を侵食した後に再移動させたこと示しており、この特徴的な堆積相は同調査地内の古イベント層を津波堆積物として認定する際に活用できる。2011 年津波堆積物の構成粒子ならびに堆積学的特徴を、地質試料中の古イベント堆積物から見出すことで津波堆積物の同定を試みた。その結果、その堆積年代から貞観地震津波の痕跡の可能性がある S12 は 2011 年津波堆積物と構成粒子が類似しており、斜面の角礫を多く含むことから 2011 年と同様に高い遡上高を伴う津波であった可能性が示唆された。一方で、給源粒子 3 種の組成は必ずしもイベントごとに類似しておらず、各給源粒子を運搬する谷内における津波の挙動はイベントごとに異なっていた可能性を示唆した。このように、過去のイベント層について層準内の給源粒子の存在を調べることにより、各イベントの浸水像を知る手掛かりを得られることがわかった。

本調査地で観察された 2011 年津波堆積物の堆積学的特徴は、宮城県仙台平野で報告されている砂質津波堆積物とは大きく異なるものであった。これは、岩石海岸と海岸平野における地形ならびに給源粒子の相違に起因すると考えられる。仙台平野は平坦な海岸平野であり、給源粒子として淘汰の良い海浜砂が卓越する。そのため、堆積物の層厚は海岸線からの距離に従って概ね単調に減少する。一方で本調査地は、急傾斜の谷壁に周囲を取り囲まれる岩石海岸であり、海側の谷の入り口が狭いため谷全体が津波の受け皿となって高い遡上高が発生したと考えられる。ここでは、津波の複雑な挙動を反映し様々な給源粒子が混在するため、津波堆積物の層厚は場所ごとに大きくばらつく。

本研究で得られた成果は、太平洋沿岸域における堆積物調査とあわせて日本海溝沿いで発生する（巨）大地震の発生履歴やその震源域の推定に活用され、地震発生 of 長期評価等への寄与が期待される。また、調査地の広範囲において綿密に採取された 2011 年津波堆積物の粒子情報は、2011 年東北沖地震による津波シミュレーションの高度化に対する重要な基礎資料として活用が期待される。

Abstract

Japan is a seismically active country and people have experienced numerous damaging earthquakes and tsunamis. On March 11th, 2011, the Tohoku-Oki earthquake occurred along the Japan Trench and caused devastating earthquake and tsunami damages. Revealing magnitude and frequency of past earthquakes and tsunamis is important for the development of long-term hazard assessment. However, the duration of instrumental observation is at most ~100 years and much shorter than the recurrence interval of these earthquakes. To investigate the repetition and/or variability of large earthquakes, geological studies such as tsunami deposit and active fault research are very important.

In this study, I conducted tsunami-deposit survey in a lowland back marsh behind the beach ridge at 'Numanohama' in Taro, Miyako city, Iwate prefecture, by observing and analyzing the geological samples obtained from the Geo-slicer, machine boring, pit and outcrops. I then reconstructed histories of tsunamis and storm surges during the historical period. As for the 2011 tsunami deposit which covers the ground surface, I compiled the characteristic sedimentary features of the component of the 2011 tsunami layer and discussed the sedimentary process taking the topographic factors into accounts. I further identified event deposits and correlated some of them with historical tsunamis and storm surges documented in historical literature.

On the basis of geological samples with the length of 2.7-5.7 m from ground surface, I reconstructed histories of tsunami and/or storm surges which attacked to the survey site. I identified 17 event deposits during the last 2,000 years. Some of these event deposits could be correlated with historical earthquakes and/or storm surges documented in historical literature by using multiple dating methods: ^{14}C , ^{210}Pb and ^{137}Cs . I further estimated inundation area of past events on the basis of the distance from shoreline to the survey point, because the diatom analysis indicates that the coastal line has not changed during the recent 2,000 years. Events; 'S1' (probably the 2011 Tohoku-Oki tsunami deposit), 'S8' (AD1500-1770; calendar year age with 2σ interval from the Oxcal program), and 'S12' (AD 250-1400) showed the highest possible inundation events. Among these, the depositional age of S12 event can be correlated

with the 869 Jogan earthquake, implying that the source region of the Jogan earthquake may be extended further north than that estimated by previous studies.

I discussed about the sedimentary features and topographic factors in forming the 2011 tsunami deposit. The 2011 tsunami deposit included many sub-angular to angular gravel that usually deposit in beach, riverbed and slope. Difference in the sedimentary facies observed on coastal plain and in V-shaped valley is caused by their topographies. Gravel rich tsunami layer in Sanriku coastal area was formed by interaction of high run-up tsunami and high inundation. Understanding the sedimentary features based on criteria considered of erosion and deposition in tsunami, we can identify the detected event layer as tsunami-layer.

The sedimentary features of the 2011 tsunami deposit in a V-shaped valley at Sanriku coast were quite different from those of sandy tsunami layer which was observed at Sendai plain, Miyagi Prefecture. The sedimentary features of tsunami deposit in rocky coast and coastal plain is attributes to their topographical conditions. The thickness of tsunami deposits in coastal plain gradually becomes thinner landward because well-sorted beach sand are dominated as a source deposit. On the other hand, the survey site in this study is a rocky coast which is surrounded by steep slope wall rock, and recorded high run-up heights due to the local topography in a V-shaped valley. The thickness of tsunami layer is variable because the tsunami deposit consists of various source deposits reflecting complicated behavior of tsunami. I tried to identify old event layers as tsunami layers by using the sedimentary features and component particles of the 2011 tsunami deposit. As a result, the S12 event layer has similar characteristic sedimentary features to those for the 2011 tsunami-layer that includes abundant angular gravels originally deposited on the slope. This implies that the run-up height of the S12 tsunami might be also high enough to erode and transport slope deposits. On the other hand, the component of three types of source deposits (*i.e.*, marine, riverbed, and slope) was not necessarily similar to each other. This suggests that the behaviors of tsunami in a V-shaped valley were different for each event. We can know the inundated area of old-event by counting 'source deposit' included in the event layer.

The result obtained in this study would be utilized for estimating source region and histories of large earthquakes along the Japan Trench by combining with results of other tsunami deposit

survey along the Pacific coast, and contribute to development of long-term hazard assessment. Moreover, grain-size information of the 2011 tsunami layer which was widely and closely sampled at the survey site can be applied to improvement of tsunami inundation simulation of the 2011 Tohoku-Oki earthquake.

目次

要旨

目次

第1章はじめに・・・・・・・・・・・・・11

- 1-1. 津波堆積物調査研究の意義と研究史
- 1-2. 日本海溝沿いで発生した地震・太平洋岸に襲来した遠地津波
- 1-3. 津波堆積物としての堆積学的な認定基準
- 1-4. イベント堆積物の年代決定手法
- 1-5. 津波堆積物調査研究の問題点と本研究の意義
- 1-6. 本論の構成

第2章 調査地の地形と地質，調査手法・・・・・・・・・・21

- 2-1. 調査地の概要と地形・地質
- 2-2. 調査手法
 - 2-2-1. 試料採取
 - 2-2-2. 記載
 - 2-2-3. 粒度分析
 - 2-2-4. 珪藻分析
 - 2-2-5. 海生微化石分析
 - 2-2-6. 年代測定
 - 2-2-7. 帯磁率測定
 - 2-2-8. 層準対比
 - 2-2-9. 地形分類

第3章 イベント履歴の復元・・・・・・・・・・・・・32

- 3-1. 低地で採取されたイベント層の痕跡
 - 3-1-1. ジオスライサー試料 L5 の堆積相
 - 3-1-2. イベント層の測線上の対比

3-1-3.	粒度分布	
3-1-4.	海由来の層準を検出する-海生微化石-	
3-1-5.	イベント層の堆積年代	
3-2.	谷奥部にかけて採取されたイベント層の痕跡	
3-2-1.	層相	
3-2-2.	測線上のイベント層の対比	
3-3.	環境復元と歴史イベントとの対比	
3-3-1.	珪藻分析に基づく堆積環境復元	
3-3-2.	歴史イベントとの対比	
3-3-3.	イベント痕跡による谷内の浸水域の復元	
第 4 章	2011 年東北地方太平洋沖地震津波で形成された礫質津波堆積物	68
4-1.	特徴的な堆積構造	
4-2.	測線上の礫質津波堆積物の層厚と層相変化	
4-3.	ピット掘削試料からみる礫質津波堆積物の礫組成	
4-4.	津波堆積物の構成粒子の給源について	
4-4-1.	給源粒子	
4-4-2.	2011 年津波堆積部中の給源粒子の組成と運搬過程	
第 5 章	古津波堆積物の同定－2011 年津波で明らかになった特徴に基づいて－	100
5-1.	古イベント堆積物の粒径分布と給源粒子に基づく特徴	
5-2.	古イベント堆積物の粒径分布と給源粒子に基づく解釈	
5-3.	‘S12’イベントの津波堆積物としての認定	
5-4.	2011 年津波堆積物と 869 年貞観津波堆積物の深度方向の粒径変化からみる 谷内の給源粒子の動き	
第 6 章	総括	116
謝辞		

図リスト

- Fig. 1-1: Characteristic sedimentary structures in tsunami deposit
- Fig. 2-1: Map of Tohoku area and heights of the 2011-tsunami
- Fig. 2-2: Classification map of topography in survey area
- Fig. 2-3: Flow chart in this study
- Fig. 2-4: Sampling point and cross-section along the survey transect
- Fig. 2-5: Grade scale
- Fig. 3-1: Stratigraphy of geo-slice sample L5
- Fig. 3-2: Column stratigraphy along transect shown Fig. 2-4.
- Fig. 3-3: Characteristic sedimentary structures of event layers
- Fig. 3-4: Vertical changes in grain size distribution within event layers for seven geo-slices
- Fig. 3-5: Appearance level of Coccoliths
- Fig. 3-6: Vertical changes in ^{210}Pb (Excess) and ^{137}Cs in geo-slice sample L5
- Fig. 3-7: Correlations between event layer and historical event estimated by the deposition ages
- Fig. 3-8: Sedimentary facies drilled by machine boring (a, b, c)
- Fig. 3-9: Sedimentary facies of wall samples
- Fig. 3-10: Sedimentary facies of pit-samples
- Fig. 3-11: Depositional age along the transect
- Fig. 3-12: Correlation of event layer along the transect
- Fig. 3-13: Vertical changes in diatom assemblages in geo-slice sample L5
- Fig. 3-14: Vertical changes in diatom assemblages in geo-slice sample C2
- Fig. 3-15: Sedimentary environment in lowland
- Fig. 3-16: Sedimentary ages of column sample 'C2'
- Fig. 3-17: Reconstruction of inundated area of old-event from distance from the present shoreline
- Fig. 3-18: Distribution of the detected event by previous studies and this study
- Fig. 4-1: Sedimentary facies of the 2011-tsunami layer along the transect

Fig. 4-2: a-d; e-h; i-l: Sedimentary facies and grain size distribution of the 2011 tsunami layer, m-p; q-t: Sedimentary facies of the 2011 tsunami layer

Fig. 4-3: Grain size distribution of the 2011-tsunami layer

Fig. 4-4: Thickness of the 2011-tsunami layer along the transect

Fig. 4-5: Relationship thickness and other elements

Fig. 4-6: Photo and sketch of the pit sample (PP7)

Fig. 4-7: Component of each rock type and roundness of PP7 sample

Fig. 4-8: Sedimentary facies and imbrication of gravels in the PP5E-pit sample

Fig. 4-9: Topography map and sampling point of each source-deposit

Fig. 4-10: Component of each rock type and diameter range

Fig. 4-11: Distribution of roundness and diameter on each source deposit

Fig. 4-12: Gravel component and roundness (2011-tsunami)

Fig. 4-13: Roundness of each rock type (2011-tsunami)

Fig. 4-14: Rate of each source deposit in the 2011-tsunami layer

Fig. 4-15: Particle types included tsunami layer

Fig. 4-16: Topography type along coast

Fig. 4-17: Image of transportation of each source deposit in tsunami

Fig. 5-1: Close-up photo of event layers

Fig. 5-2: Features of each event layer

Fig. 5-3: Event type estimated by 'source deposit'-component of gravels in the event layer

Fig. 5-4: Correlation between history event and component of source deposit

Fig. 5-5: Sedimentary facies and grain size distribution of the 'S12' event

Fig. 5-6: Gravel component and roundness ('S12' - event)

Fig. 5-7: Roundness of each rock type ('S12' - event)

Fig. 5-8: Rate of each source deposit in the layer

Fig. 5-9: Rate of each source gravels along the transect

Fig. 5-10: Distribution of source gravels across the depth

Fig. 5-11: Detail distribution of source gravels across the depth

表リスト

Table 1-1: Historical tsunamis and storms documented in the literature

Table 1-2: Historical storm document in the literature (1403-1865)

Table 1-3: Inundated heights in Miyako city

Table 2-1: Sampling data

Table 3-1: Result of ^{14}C , ^{210}Pb and ^{137}Cs dating

Table 3-2: Result of ^{14}C dating

Table 3-3: Candidates of historical event and pre-historical event

Table 4-1: Component of the 2011-tsunami layer in PP7

Table 4-2: Rate of each rock type (Source deposit)

Table 4-3: Shape of each rock type (Source deposit)

1. はじめに

1-1. 津波堆積物調査研究の意義と研究史

津波堆積物調査は地層中に保存された津波痕跡から地震履歴を復元する手法であり、過去に発生した津波の発生履歴や規模（波源）の推定に役立つ研究手法としてこれまで用いられてきた（地震調査研究推進本部）。地震津波災害の記録を将来の災害発生予測に役立てるためには、過去発生した地震が今後も繰り返し起こるであろうという観点から、長期的な地震発生履歴の解明が重要であり、残存する歴史記録だけでなく、歴史記録から復元できる期間よりもさらに古い時代に遡って津波（地震）記録を見出す必要がある。例えば、これまで文部科学省により実施されてきた「東海・東南海・南海地震連動性評価研究プロジェクト」や「東北地方太平洋沖で発生する地震・津波の調査観測」で実施された調査研究の中では、対象地域の過去の津波履歴の解明や遡上域に関する評価に活用されている。869年貞観地震津波については、宮城県から茨城県にかけて発掘された津波堆積物の分布を再現する津波数値シミュレーションにより、その波源と浸水域の推定が行われている（Sawai *et al.* 2012; Sugawara *et al.*, 2012; Namegaya and Satake, 2014）。

過去の地層中から津波堆積物を適切に認定するためには、その認定基準を構築することが重要であり、これまで津波によって陸域に形成された堆積物の分布や堆積学的特徴を捉える研究が行われてきた。特に、ここ数十年間に発生したマグニチュード（以下、**M** と略記する）8～9クラスの巨大地震津波によって運搬されてきた津波堆積物の調査からはその堆積学的特徴に関する多くの知見が得られている。日本において初めて報告された津波堆積物は、1960年チリ地震津波により生じた海底地形の変化に関するものである（1960年チリ津波合同調査班、今野・他、1961）。その後、1993年の北海道南西沖地震津波や1998年パプアニューギニア地震津波でも、津波堆積物に特有の堆積構造が報告されている（Nishimura and Miyaji, 1999; Nanayama *et al.*, 2000; Gelfenbaum and Jaffe, 2003）。近年では、激甚な津波被害をもたらした2004年スマトラ島沖地震津波や2011年東北地方太平洋沖地震津波についても、堆積学（Moore *et al.*, 2006; Goto *et al.*, 2011; Jaffe *et al.*, 2012; Nakamura *et al.*, 2012）、微化石（Sawai *et al.*, 2009）、鉱物学

(Jagodziński *et al.*, 2012), 地球化学 (Chagué-Goff *et al.*, 2012; Szczuciński *et al.*, 2012) など, 多分野にわたる様々な手法で津波堆積物の特徴をとらえた。

1-2. 日本海溝沿いで発生した地震・太平洋岸に襲来した遠地津波

日本海溝は太平洋プレートが陸側の北米プレートの下へ年間約 8 cm の速度で沈み込む東北沖の海溝であり, 日本海溝沿いで発生する大地震は過去に幾度も津波を引き起こし太平洋沿岸に甚大な被害をもたらしてきた。近年では 1896 年明治三陸地震, 1933 年昭和三陸地震, 1968 年十勝沖地震, 2011 年東北地方太平洋沖地震などが挙げられる。これら日本海溝沿いで発生する近地津波に加え, 1960 年チリ地震津波などの遠地地震津波もまた太平洋沿岸に甚大な被害をもたらしてきた。

歴史時代に三陸沿岸に襲来した地震や津波に関する記録は史料に残されており, 三陸沿岸地震津波年表 (大船渡市立博物館, 1990), 日本被害津波総覧第二版 (渡邊, 1998) 津波痕跡データベース (東北大学) などによって整理されている。Table1-1~1-3 にこれらに基づき整理した三陸沿岸に襲来した津波・高潮の記録を示す。高潮記録については, 西暦 701 年からの記録が記述されている日本高潮史料 (荒川・他, 1961) を参照し, 東北地方沿岸に関する記録を抜粋したものを示した。

869 年に発生した貞観地震については, 平安時代に編纂された歴史書 (六国史の第六) である『日本三大実録』に, 「陸奥国地大震動, 流光如書隱映, (中略) 去海数千百里。浩々不辦其涯俟矣。原野道路。惣為滄溟。乗船不湟。登山難及。溺死者千許。資産苗稼。殆無子遺焉」とあり, 陸奥の国で大地震が発生し, その津波によって千人以上の溺死者が出たことを記している。「原野道路。惣為滄溟 (道路が海のようにってしまった)」という表現から, 浸水域は陸域の広範に及んだことが窺える。この津波に関する伝承は宮城県, 福島県, 茨城県にも残されており (渡邊, 2000, 2001), またこれらの記述を裏付ける地質学的証拠も津波堆積物調査により示されている (Minoura and Nakaya, 1990; 菅原・他, 2001)。869 年貞観地震時の津波堆積物は, それ以後の 915 年に東北地方に降灰した広域テフラ (十和田 a テフラ To-a) が年代の指標となり, 史料との対応が可能であった例である (Sawai *et al.*, 2015)。その他にも, 1454 年享徳の地震 (行谷・矢田, 2014; Sawai *et al.*, 2015) や 1611 年奥州慶長地震, 1677 年や 1763 年, 1856 年の青森沖の地震記録がある。特に, 史料によって波源が推定されている 1677 年, 1763 年,

1856 年の 3 地震（羽鳥，1988）は，1968 年十勝沖地震（三陸沖北部地震，M 7.9）の波源と類似することから，平均 97 年おきに繰り返し発生する地震とみられ，地震調査委員会によって 30 年間の M8 クラスの地震発生確率が 0.7-10% と見積もられている（Satake, 2015）.

遠地地震については，1700 年カスケード地震による津波（Satake *et al.*, 1996; Atwater *et al.*, 2005）が太平洋沿岸に到達し甚大な被害をもたらしたことが盛岡藩の『雑書』，盛合家『日記書留帳』，大内家『御用留』，『三保村用事覚』などの史料に記述されており（Atwater *et al.*, 2005），岩手県宮古市，大槌町では，それぞれ 2-3 m，3 m の津波高が推定されている（Satake *et al.*, 1996）. 一方で，三陸沿岸を襲った台風災害の記録も残されており（Table 1-2），1648 年の大風雨と高潮を伴った台風，1850 年の大風雨と洪水・高潮を伴った台風があり，1947 年カスリーン台風による岩手県宮古市内の浸水高は 4 m，1948 年アイオン台風によっては浸水高 5 m を記録したことが市内の浸水碑にも記されている（荒川・他，1961；宮古市教育委員会，1991）（Table 1-3）.

1-3. イベント堆積物の津波堆積物としての堆積学的な認定基準

柱状試料や露頭などを観察した場合，層相は大きく「平常時堆積物」と「イベント堆積物」のユニットに大別される．イベント堆積物は，津波や高潮および洪水により形成された異地性堆積物の総称である．湖沼や後背湿地の場合，泥や泥炭が平常時堆積物であり，海浜砂礫等の異地性堆積物がイベント堆積物となる．

イベント堆積物のユニット内では，下位から上位にかけて異なる層相を呈し，いくつかの小ユニットに分けられる場合がある．小ユニット中には，押し波や引き波によって形成される級化構造や逆級化構造，イベント層準内の偽礫の混在などが認められ，広域的に連続性のよいシート状の分布が認められることも多く，それと同様の堆積構造がこれまで多く報告されている（Dawson *et al.*, 1991; Foster *et al.*, 1991; Nishimura and Miyaji, 1995; Nanayama *et al.*, 2000; Moore *et al.*, 2006; Jaffe *et al.*, 2012；Sawai *et al.*, 2012; Naruse, 2012; 宍倉・他，2012; Fujiwara and Tanigawa, 2014）．津波堆積物に特徴的な堆積構造の詳細について以下に述べる．詳細を Fig.1-1 に図示した．

〔下部層との明瞭な侵食面 (Fig. 1-1a)〕 津波堆積物とその下位の平常時堆積物との境界は明瞭な侵食面が形成されることが多く、これは高エネルギーの津波により下位の層準が侵食された形跡とみられる (岡村・他, 2002)。

〔葉理 (Fig. 1-1b, c)〕 イベント層準内に平行葉理または斜交葉理が発達する場合がある。平行葉理は、速い流速を伴う津波の際に形成されるとされ、2004 年スマトラ沖地震津波の際にも観察されている (Switzer *et al.*, 2012)。

〔上方細粒化・粗粒化 (Fig. 1-1d, e)〕 上方細粒化・粗粒化はそれぞれイベント層準の下位から上位にかけて構成粒子の粒径が細粒化・粗粒化する構造である。Jaffe *et al.* (2012) は、上方細粒化（級化構造）の形成要因は、水中で粒子が浮流から沈殿する過程で、層準で上位に向かって徐々に細粒化するモデル (Suspension grading model) を示した。一方、上方粗粒化（逆級化構造）は層準内の小ユニット同士の境界で堆積物の運搬過程が変化したことを表わしており、傾斜面など地形の影響がある場合には遡上と戻り流れの両方の影響を受けやすく、結果的に複数枚の層が発達して上方細粒化と上方粗粒化を繰り返すような構造がみられると解釈される (Jaffe *et al.*, 2012)。

〔マッドシート・マッドドレープ（薄い泥層） (Fig. 1-1f)〕 イベント層準内に挟在する薄い泥層である。2011 年東北地方太平洋沖地震津波によって形成された陸域の津波堆積物の層準内でも観察された。流速がゼロになって沈殿したシルト粒子がシート状のマッドドレープを形成する。 (Fujiwara and Tanigawa, 2014)。

〔マッドクラスト・リップアップクラスト（偽礫） (Fig. 1-1g)〕 現地性堆積物が津波によって削剥され、その泥塊がイベント層に混在するもの。例えば、北海道の泥炭地において古津波堆積物中に偽礫が認められている (Nanayama *et al.*, 2006)。

〔調査地内の広域的な分布・層厚の変化〕 津波堆積物の調査地内の広域的な分布状況は津波堆積物の認定基準のひとつとして扱うことができる可能性がある (Abe *et al.*, 2012)。

このように、津波堆積物特有の堆積構造について、層準内の様々な堆積構造（葉理・級化・侵食面・偽礫や泥層の挟在など）が報告されているが (Nishimura and Miyaji, 1995; Moore *et al.*, 2006; Morton *et al.*, 2007; Takashimizu *et al.*, 2012; Fujiwara and Tanigawa, 2014), 津波堆積物と高潮堆積物を堆積学的に区別する基準はいまだ確立されていない。

例えば Nanayama *et al.* (2000)は、高潮堆積物が津波堆積物に比べて淘汰が悪いことを指摘し、Fujiwara and Tanigawa (2014)は千葉県沿岸で観察された 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の津波堆積物中には平行葉理が卓越していることを述べた。一方で、Morton *et al.* (2007)は、平行葉理は高潮堆積物に顕著な構造と述べている。このように現段階では、イベント層を検出したとしても、それが津波によるものと立証することは容易ではなく、それ以外の高潮や洪水などのイベントの可能性も検討する必要がある。

1-4. イベント堆積物の年代決定手法

津波堆積物の堆積年代を推定する際に用いられる手法は、代表的なものに ^{14}C 年代測定法、OSL 法（光ルミネッセンス；Optically Stimulated Luminescence）、 ^{137}Cs 、 ^{210}Pb 等がある。 ^{14}C 年代測定法では、堆積物中の木片・種・炭化物などの有機物を測定試料とし、数万年前までの年代値を得ることができるとされる。測定値の暦年較正年代の計算には、IntCal13 データベース（Reimer *et al.*, 2013）と、OxCalv4.2 較正プログラムソフト（Bronk Ramsey, 2013）を使用して、試料中の炭素量が示す ^{14}C 年代値を暦年代に較正することができる。OSL 法による年代測定は長石や石英が太陽光に露光され電子が励起された際に生じる発光現象を捉え、その発光強度から年間の線量率を評価することで年代値が得られる。OSL 法は一般的に数十年から数十万年前までの年代決定を得意とするが、十数年の精度で津波堆積物の堆積年代推定に用いた事例もみられる（Jacobs, 2008, 七山・他, 2009; Prendergast *et al.*, 2012）。 ^{137}Cs （半減期 30.1 年）は表層付近の堆積年代を推定するのに有効である。 ^{137}Cs による堆積年代推定は、堆積物中の ^{137}Cs 残存濃度値を調べ、大気圏核実験が盛んになった 1952 年以前とそれ以後に堆積したものを区別することができる（例；Ritchie and McHenry, 1990; Shimazaki *et al.*, 2011; Chagué-Goff *et al.*, 2012a; Ikehara *et al.*, 2014）。 ^{210}Pb による堆積年代推定は、堆積物中の天然放射性核種 ^{210}Pb （半減期 22.3 年）の過剰 ^{210}Pb が指数関数的に減少する減衰曲線を用いる。地質試料の堆積速度が一定であると仮定した場合、過去約 100 年の堆積速度を推定することができる（金井, 2000）。

得られた結果を深度方向に解釈するためには、OxCalv4.2 較正プログラムを用いたベイズ推定が有用である（Bronk Ramsey, 2013）。柱状試料が基本的に地層の逆転がないという堆積モデルを仮定すると、各深度で得られた堆積年代を暦年代に変換する際に確率的に誤差範囲をある程度まで絞り込むことができる。

1-5. 津波堆積物調査研究の問題点と本研究の意義

本研究で取り上げる内容と関連して、現在の津波堆積物調査研究の問題点は3つある。2011年東北地方太平洋沖地震前に、東北地方沿岸を対象地域として実施されてきた津波堆積物調査には、Minoura and Nakaya (1991)や文部科学省による「宮城県沖地震における重点的調査観測」(平成17年~21年)があり、常磐海岸や三陸海岸の一部において過去数千年間のイベント履歴が復元されてきたが、三陸沿岸北部や青森県にかけての沿岸域での津波堆積物調査の報告例は少ない。過去のイベントの波源を特定するためには、一部の調査地だけでなく太平洋沿岸の広範囲にわたる調査が必要であり、三陸沿岸において津波堆積物の調査例が少ないことは問題である。例えば、869年貞観津波について、福島県から宮城県で行われた津波堆積物調査から得られた地質学的データを用いて、Namegaya and Satake (2014)はその波源と浸水域を復元しているが、貞観津波の波源が北にどれだけ伸長していたか議論するために十分な地質学的調査は、岩手県以北ではほとんど行われていなかった。2011年東北地方太平洋沖地震の後、岩手県や青森県の太平洋岸における津波堆積物調査が行われるようになった。

二つ目の問題点は、津波堆積物の堆積構造や堆積様式に関する議論が十分に行われておらず、津波堆積物を認定する基準が明白でないことである。津波履歴を復元するにあたり、高潮堆積物や洪水堆積物はノイズであり、それらをどのように取り除くかが問題である。さらに、 ^{14}C 年代測定法を用いたイベント年代推定についても、時代によって大気中の炭素量の変動が大きいため、暦年較正年代の誤差範囲が多くなり(しばしば数百年に渡る)、数年~十数年単位で発生する歴史津波との対比が困難な場合がある(Reimer *et al.*, 2013)。

三つ目の問題点は、三陸沿岸で頻繁に観察されている礫質津波堆積物(例: Yamada *et al.*, 2014; Ishimura and Miyauchi, 2015)の形成過程についてほとんど議論されてきておらず、その堆積様式がモデル化されていないことである。津波高が地形による作用を受け得ることは、2011年東北地方太平洋沖地震津波の際に東北地方沿岸のリアス海岸地域で遡上高が平野部に比べて高くなったことから知られるが(Tsuji *et al.*, 2014)、地形により津波高が異なるのであれば、当然、津波時に侵食作用を受ける標高や、堆積作用の及ぶ場も異なる。これまで観察された津波堆積物については、その堆積相や構成粒子

について詳細な記載がされてきたにも関わらず、地形や津波時の侵食作用と堆積作用に注目した視点で津波堆積物の構成物を捉えた研究事例は少ない。

そこで本研究では、日本海構沿いで発生した地震津波の履歴解明を目的として、これまでに調査例が少なかった三陸沿岸域において、岩手県宮古市沼の浜を調査地として設定し、本地域に襲来した津波履歴の復元を目的として津波堆積物調査を実施した。また、検出したイベント堆積物の中で、近年の堆積年代を示したものを歴史イベントと対応するために、 ^{14}C 年代測定法だけでなく、数十年単位で年代推定が可能な元素 ^{137}Cs と ^{210}Pb を用いて近年約 100 年間のイベント発生年代推定を試みた。さらに、津波堆積物の認定について、先行研究で示されてきた認定基準（粒度変化、分布、層厚等）に加え、本調査地の地形分類に基づいた地点での平常時堆積物（礫）を「給源粒子」とよび、それらが 2011 年津波堆積物中に含まれる割合を調べた。リアス海岸特有の地形に基づく津波時の侵食と堆積の双方に注目してその堆積学的特徴を捉えることで過去の礫質イベント堆積物についても、津波堆積物としての認定が可能であることを示す。

1-6. 本論の構成

本論文は 6 章で構成されている。まず第 1 章では本論文で用いる津波堆積物調査研究の意義と研究史、津波堆積物調査法で用いるイベント堆積物の認定手法、年代決定手法を紹介する。また、津波堆積物調査研究の問題点を挙げ、それを解決するための本研究の意義を述べる。第 2 章で本研究の調査地と研究手法について述べる。第 3 章では、本調査地において採取した過去 500 年間の津波もしくは高潮堆積物とみられるイベント堆積物 (Goto *et al.*, 2015) の堆積年代と対応する歴史記録について議論する。また、それ以前のイベント堆積物の堆積年代ならびに堆積環境について議論する。第 4 章では、調査地で採取した地質試料をもとに、2011 年東北地方太平洋沖地震津波の際に形成された津波堆積物（以後、「2011 年津波堆積物」と記述する）の堆積構造の特徴を整理し、既往研究で報告されてきた堆積学的特徴と比較・検討を行う。また、2011 年津波堆積物の構成粒子について考察し、津波堆積物に含まれる特徴的な陸源粒子（礫）を、平常時における堆積場の特徴に応じて「給源粒子」と呼んで位置づけ、それに注目して 2011 年津波堆積物の特徴を示した。このことにより、三陸沿岸リアス海岸特有の津波堆積物の堆積様式を解明する。第 5 章では、調査地で観察された全てのイベント層について給

源粒子の組成を調べ，その特徴からイベントの特性を考察する．また，2011 年津波堆積物と古イベント堆積物の堆積構造を比較することで，古いイベント堆積物を津波堆積物として認定し，その堆積年代と歴史津波との対応について議論する．第 6 章で本研究を総括する．

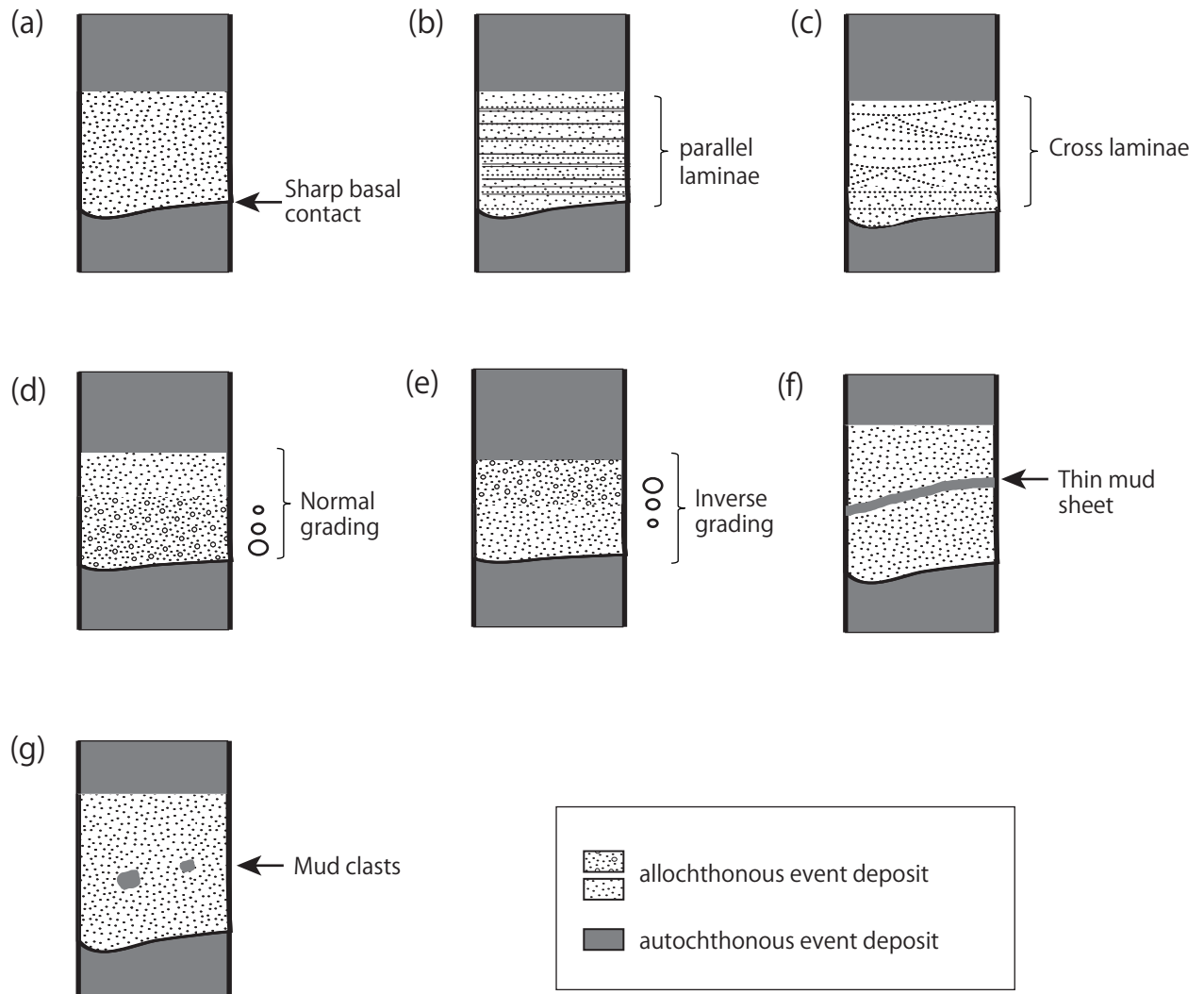


Fig. 1-1 Characteristic sedimentary structures in tsunami deposit
 Some characteristic features are identified in stratigraphy column. (a) Sharp basal contact, (b) Parallel laminae, (c) Cross laminae, (d) Normal grading, (e) Inverse grading, (f) Thin mud sheet, (g) Mud clasts

Table 1-1. Historical tsunamis and storms documented in the literature (Maximum tsunami height [m])

Date	Source region	Kuji	Otobeno	Taro	Miyako	Large tsunami	Magnitude
869/7/13	Tohoku-Oki	-	-	-	-	x	8.3-8.6
1454/12/12	Tohoku-Oki	-	-	-	-		-
1611/12/2	Sanriku-Oki	-	-	20-21	7-8	x	8.1
1677/4/13	Aomori-Oki	-	-	3	2-3		7 3/4 ~ 8.0
1700/1/28 *	Cascadia	-	-	-	3		~9
1763/1/29	Aomori-Oki	5	-	-	-		8
1793/2/17	Miyagi-Oki	-	-	-	0-2		8 1/4
1856/8/23	Aomori-Oki	-	-	4	3		8
1896/6/15	Sanriku-Oki	11.0-18.2	10.0	8.5-13.6	4.5-8.5	x	7.9
1933/3/3	Sanriku-Oki	3.3-8.7	10.2	5.6-10.1	2.0-7.2	x	8.1
1960/5/24 *	Chile	1.2	-	2	2.1		8.5
1968/5/16	Aomori-Oki	2.3-4.5	1.3	1.2-2.3	1.9-3.6		7.9
2011/3/11	Tohoku-Oki	10.7	16.5-34.1	14.8	8.2-11.1	x	9.0

* tsunami arrival at Japanese coast

Footnotes;

List of historical tsunamis and their heights at selected locations (See Fig. 1-1b).

Tsunami heights are based on Tsuji et al. (2011) for the 2011 Tohoku-Oki tsunami,

and Japan Tsunami Trace database (Iwabuchi et al., 2012,

<http://tsunami3.civil.tohoku.ac.jp>) for the other tsunamis. Magnitude was referred to

Tsuji and ueda (1995) for AD, Watanabe (1985) for magnitude and tsunami-heights.

Large tsunami is defined based on the tsunami height and magnitude . We selected

historical tsunamis with high tsunami and big magnitude (M>8.1).

Table 1-2. Historical storm document in the literature (-1865)

Date	Heavy rain	Heavy wind	Flood	High tide	Location
1648/8/31	x	x		x	Miyagi
1678/9/3	x		x		Iwate
1716/7/26	x		x		Iwate
1717/9/20	x	x	x		Aomori
1744/9/16	x	x	x		Aomori
1754/8/23	x		x		Iwate
1786/9/27	x	x	x		Iwate
1828/8/10	x	x	x		Miyagi, Iwate
1850/10/7	x	x	x	x	Iwate

Footnotes;

List of large storms recorded in historical documents after the 15th

century based on records of weather conditions, storm surges, and

floods from Arakawa et al. (1961).

Table 1-3. Inundated heights in Miyako City (1849-)

1947/1/15	4 m by Catherine typhoon
1948/9/16	5 m by Ione typhoon
1960/5/24	2.7 m by Chilean tsunami

Footnotes;

Disastrous storm and tsunami events in Miyako City after

1849 [from the Miyako City Education Committee (1991)].

2. 調査地の地形と地質，調査手法

2-1. 調査地の概要と地形・地質

岩手県宮古市田老乙部野沼の浜野営場跡地(以後, 沼の浜と呼ぶ)を調査地とした(Fig. 2-1). 本調査地は三陸復興国立公園に指定された旧キャンプ場跡地であり, 比較的人工改変の少ない状態が続いてきた. 三陸海岸の岩石海岸で急峻な谷壁に囲まれた沼の浜は, 沿岸の浜堤(現在, 礫浜)で外海と隔てられており, 浜堤裏の後背低地に葦原が生い茂る湿地帯が形成されている. このような後背低地ではイベント堆積物がその後の削剥作用を免れやすいので津波堆積物調査に適している (Atwater, 1987). なお, 本調査地での 2011 年東北地方太平洋沖地震による津波の遡上高は 16.5~34.1 m を記録した(都司・他, 2011).

調査地における地形分類図を Fig. 2-2 に示す. 本調査地は急峻な斜面に取り囲まれており, 浜堤, 後背低地, 河川, 谷底平野部, 斜面部(急斜面・緩斜面)に大きく分類される. 調査地沿岸部の岩体は, 白亜紀の珪長質火山岩類で, 西側(内陸側)に北上花崗岩類が分布する (GSJ, AIST, 20 万分の 1 日本シームレス地質図). 沿岸部では傾斜角の著しい谷壁が露岩し, 2011 年津波から 4 年経過した今でも, 遡上波の影響で標高約 10 m 以下の山肌には成木が生育していない. 東西方向に V 字を形成するこの谷内の河道は西から東の海浜方向へ向かい, 浜堤裏の後背湿地で湛水化し, 一部は伏流水として海へ流れ出る.

2012 年 7 月から調査を開始し, その日程は以下のとおりである. なお, 本調査地は三陸復興国立公園に指定されているため, 環境省の許可を得て調査を実施している.

[1 次調査] 2012 年 7 月: 流路沿いの露頭の地表面から約 1.5 m の深度までの泥炭層中に, 少なくとも 3 枚のイベント層らしき砂質粗粒層を幅約 2 m にわたり発見したため, 以深の地層中にもイベント痕跡が保存されて可能性があると考え調査地として選定した.

[2 次調査] 2012 年 11 月: 掘削予備調査. 11 月 24 日からの本掘削に備え, 調査地内でハンドオ-ガ-による予備調査を実施した.

[3 次調査] 2012 年 11 月: 掘削本調査 (ハンディージオスライサーを使用)

〔4 次調査〕 2013 年 7 月：2 回目の掘削調査（ハンディージオスライサーを使用），露頭およびピット調査を実施

〔5 次調査〕 2014 年 11 月：3 回目の掘削調査（オルコアボーリング・定方位簡易ボーリング）

〔6 次調査〕 2015 年 6 月：調査地周辺の岩体観察と平野部でのピット観察

2-2. 調査手法

2-2-1. 試料採取

ハンディージオスライサーならびに機械ボーリング掘削により採取した柱状地質試料は研究室へ持ち帰って分析を行った。露頭の観察地点やピット掘削地点については、現地観察を行い、深度ごとの土壌試料を研究室へ持ち帰った。試料採取から各試料に対する分析項目等、本研究の作業の流れを Fig. 2-3 に図示し、試料採取地点や採取方法の詳細をそれぞれ Fig. 2-4 および Table 2-1 にまとめた。

簡易掘削器であるハンディージオスライサー（Takada *et al.*, 2004）は矢板を地中に打ち込み、続いてシャッタープレート（蓋）を地中に差し込み、ウインチで引き上げて地層を板状に採取するものである。崩れやすい砂やシルトのサンプリングに適しており、定方位で堆積構造を乱さずに採取できる利点がある。本研究では、全長 1.5 m および 3.0 m の矢板を使用して L1～L15 の 15 地点において試料を採取した。

柱状試料の掘削方法について、C2 と C2' 地点については、機械ボーリングで採取した。機械ボーリングは、コアチューブ方式で 1 m ずつ採取し、ケーシング挿入とコア採取を繰り返し採取するものである。採取孔径は $\phi 116$ mm で、採取したボーリングコアは、1 m 毎に 2 つ割りした塩化ビニール製パイプで包んだ状態で現地から実験室へ持ち帰った。C1, C3, C4, C5 地点については、打撃式の定方位簡易ボーリングで採取した。掘削はコアチューブ方式のオールコアボーリングとし、内管（塩化ビニール製パイプ）に方位を付けることにより定方位使用として採取可能である。コアは 1 m ずつ採取した。掘削孔径は $\phi 90$ mm で、採取したボーリングコアを現地から実験室へ持ち帰った。持ち帰った柱状試料は、深度方向に半割した 1/2 を接写・観察用に、残りの 1/2 を微化石分析・年代試料・粒度分析に用いた。

ジオスライサーやボーリング掘削は機材の径が決まっているため、それを超える径の粒子を採取することは難しく、その場合、ショベルで任意のサイズで掘り進めることができるピット掘削は有用な観察手法となる。本調査では、地表面からピット孔を掘りすめ、2011 年津波堆積物より下位の土壌層が出現する深度まで掘削した。ピット断面の剥ぎ取り標本を作製するため、ピット表面はなだらかに傾斜させておき、掘削後にピット走向とピット面の傾斜をクリノメーターで計測した。ピット掘削については、ピット面の剥ぎ取り標本（幅約 40 cm×表層からの深度 40～70 cm）を作製した。ピット面の粒度分析用試料は、剥ぎ取り後のピット表面から土壌を採取袋に入れて実験室へ持ち帰ったものを用いた。ピット名 P-(number)は 5 次調査で採取したもの、PP-(number)は 6 次調査で採取したものである。剥ぎ取り作業は、奈良国立文化財研究所(1980)、池田(1987)を参考にした。

2-2-2. 記載

地質試料について目視記載を行った。試料の深度方向の断面を成形後に観察して記載した。記載に際しては、堆積構造（垂直方向の粒径変化、粒径の淘汰度、含有物、整合・不整合など）に留意し、層相ごとにユニット名をつけて（U-Sample name-(Unit number)）さらに小ユニット名をつけた。堆積物の色については、マンセル土壤色チャートを用いた。ピット試料は、剥ぎ取り標本を記載した。

2-2-3. 粒度分析

簡易掘削機ハンディージオスライサーとボーリング掘削、およびピット掘削で得られた地質試料を用いて粒度分析を行った。ジオスライサーは厚みが約 3 cm、ボーリングの径は 90～116 mm と採取時にケースの枠が決まっているため、採取できる礫径に限界があるため、ピット試料も分析試料に加えた。本研究では粒度の単位として Φ (ϕ) を用いる。 Φ スケールと mm の関係については Fig. 2-5 で示す。

ジオスライサーおよびボーリング掘削試料については、表層から深度方向に 2 cm 刻みで採取した試料を分析に用いた（分析試料：L2, L4, L5, L11, L12, L13, L14, L15, C1, C2, C3, C3）。2011 年津波堆積物の層相観察と粒度分析には、ピット面から取り出した 500～2,000 g の堆積物を用いた。両者とも、 4ϕ (1/16 mm) から -4ϕ (16 mm) の 1ϕ 間隔に試験用篩を用いて分け、 -4ϕ より細粒な粒子については予め湿式で篩分けを行い、乾

燥前重量から 4φ より粗粒の重量を差し引くことで、4φ より細粒の重量とした。特に、ボーリング試料 (C1, C2, C3, C4) では、-4φ (16 mm) より粗粒な粒径の礫については定規で短軸を計測して 1φ 毎の粒径に分類した。C 地点の 2011 年津波堆積物については、開き目が 4φ から -6φ の全 11 サイズの篩を用いて篩分けを行った。礫の測定については、礫径・礫種・円磨度 (Krumbein, 1941)・球形度 (Rittenhouse, 1943)、ならびに各地点の礫種の割合を記録した。なお、測定にあたっては粒径ごとに分けたサンプル袋から偏りなく取り出したものを使用した。計測個数は 15~200 である。

2-2-4. 珪藻分析

掘削地の過去の堆積環境を復元するために珪藻分析を行った。分析は、柱状試料の各深度から粗粒なイベント層準を避けて適量を取り出した堆積物を使用した。試料 1 cm³ に 10 %過酸化水素水を加え、1 晩放置して上澄みを捨て水洗した残渣を用いプレパラートを作製した。生物顕微鏡によって 600~1500 倍で観察した。計数は珪藻被殻が 200 個体以上になるまで行い、少ない試料についてはプレパラート全面について精査を行った。破片の計数は基本的に中心域を有するものと、中心域がない種については両端 2 個につき 1 個と数えた。種ごとの占有率、殻密度、殻の保存率についても算出した。分析は(株)古環境研究所に依頼した。

2-2-5. 海生微化石分析

石灰質ナノ化石 (*Coccolith*: 円石藻) は浮遊性であり、海洋における表層域の環境の変化に対して敏感に反応するため古環境復元に有用である。その化石はよく第四紀の化石層序の示準化石として用いられるが (Matsuoka and Okada, 1989)、陸域の堆積物中においても *Coccolith* の相対的な増加は海からの供給が示唆されるため、海由来のイベント堆積物の証拠として用いられる (Goto *et al.*, 2015)。岡村・山内 (1984, ナノ化石総合調査) や Goto *et al.* (2015) に基づきスメア・スライドを作成し、ナノ化石の産出頻度を調べた。

スメア・スライドの作成法は以下の通りである。

- ① 対象とする試料の中央部から新鮮な破断面を割り出す。
- ② 爪楊枝でマッチ棒の頭程度の試料を新鮮な面から取り出す。

- ③ 取り出した試料をカバーガラスの上に置き数滴の水で均一に拡散させる。
- ④ ホットプレート上でカバーガラスを乾燥させる。
- ⑤ 封入剤（エンテランニュー）でスライドガラスに固定する。

作成したプレパラートは偏光顕微鏡の倍率 400 倍で一律に検鏡した。産出頻度については、プレパラートごとの泥試料の濃集のばらつきを考慮して、1 枚のプレパラートにつき出来るだけ多くの視野数で個体数を確認し、1 視野あたりの *Coccolith* の平均産出個体数を 5 段階に分けて記録した。レベル 0（産出なし）、レベル I（1～4 個体）、レベル II（5～9 個体）、レベル III（10～14 個体）、レベル IV（15 個体以上）とした。

2-2-6. 年代測定

地質試料中から同定されたイベント堆積物の堆積年代推定のため、 ^{14}C 年代測定、 ^{137}Cs 及び ^{210}Pb による年代測定を用い、歴史時代については史料中に記述された歴史イベントとの対比を行った。 ^{14}C 年代測定に関しては、イベント層の直上と直下から植物片や木片、炭化物を採取し、それらの試料を超音波洗浄機で水洗いして 80°C で 24 時間乾燥させたものを（株）加速器分析研究所に分析依頼し、AMS（加速器質量分析）により、測定した。

暦年較正年代の計算には、IntCal13 データベース (Reimer *et al.* 2013) を用い、OxCalv4.2 較正プログラム (Bronk Ramsey, 2013) を使用した。表層付近のイベント堆積年代推定のために、堆積物中の天然放射性核種 ^{210}Pb （半減期 22.3 年）の過剰 ^{210}Pb を用いて過去約 100 年の堆積速度を推定し（金井, 2000），さらに ^{137}Cs （半減期 30.1 年）残存濃度値を用いて大気圏核実験が盛んになった 1952 年以前とそれ以後に堆積したものを区別した（例；Ritchie and McHenry, 1990; Shimazaki *et al.*, 2011; Chagué-Goff *et al.*, 2012a; Ikehara *et al.*, 2014）。 ^{137}Cs および ^{210}Pb 分析は（株）地球科学研究所へ測定依頼した。

2-2-7. 帯磁率測定

採取ケースが塩化ビニール製パイプ (PVC: vinyl chloride) のボーリング試料 (C1, C2, C3, C4, C5) については帯磁率測定が可能であったため、帯磁率計（機種名：SM30 ZH Instruments 製）を用いて測定した。帯磁率は、堆積物中の磁性鉱物の含有量や砂礫の粒径を反映するため、粒径の補助資料として掲載した。

2-2-8. 層準対比

各イベント層準の測線上の側方対比は、2011 年津波堆積物は調査地の広範囲にわたって表層に分布していたため、その層準を対比した。古イベント層準については、構成粒子とその組成に基づき対比した。

2-2-9. 地形分類

現地調査によって確認できた調査地内の海浜・谷底平野・斜面域・河川の堆積環境の違いから地形を分類した。また、斜面域については ArkGIS ソフト（Esri ジャパン製）を用い、地形標高データから傾斜度のラスタを作成したあと、ラスタ演算ツールを使って抽出条件を設定して特定の傾斜角度を描写した。

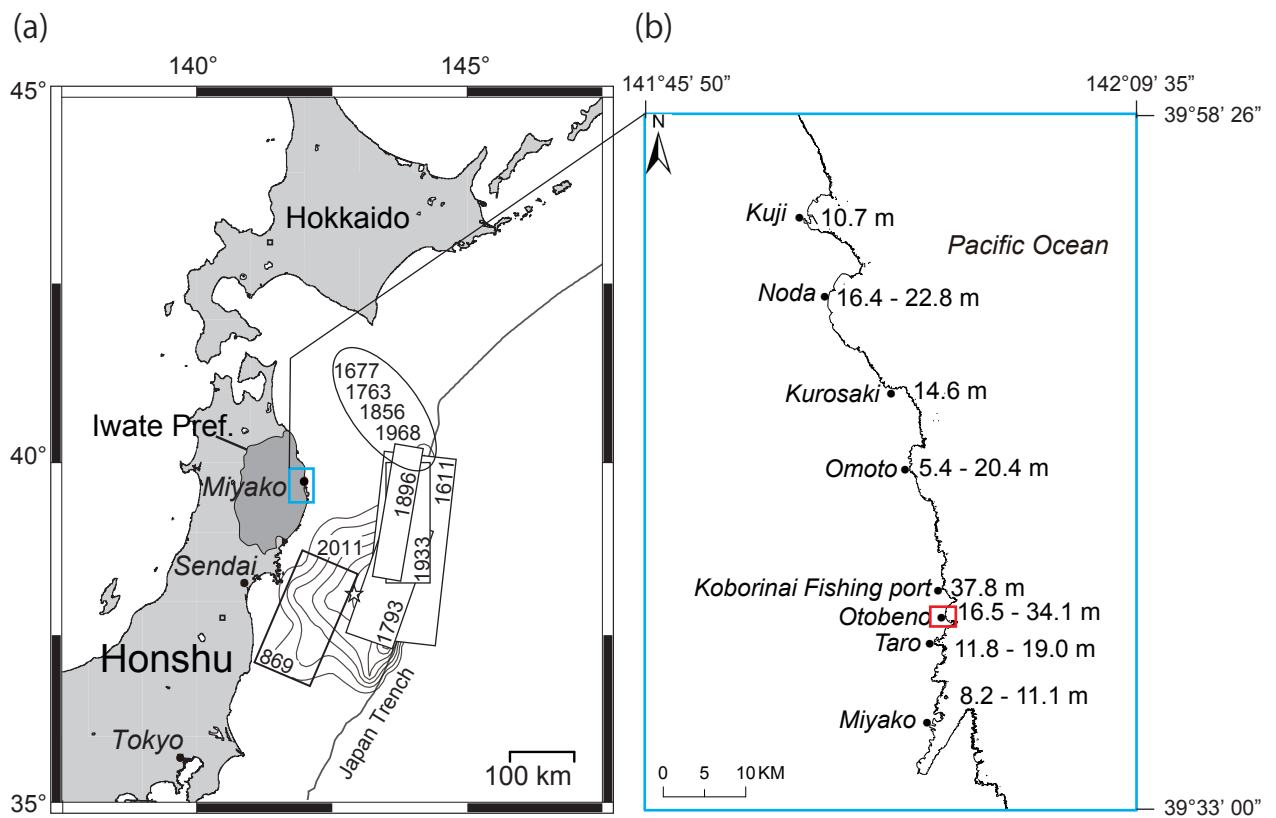


Fig. 2-1 Map of Tohoku area and heights of the 2011-tsunami

(a) Map showing the Sanriku coast, Iwate Prefecture and the sources of past major earthquakes after the 15th century along the Japan Trench. Fault models are marked: the 1611 Sanriku-Oki earthquake, the 1677, 1763, 1856 and 1968 Aomori-Oki earthquakes, the 1793 Miyagi-Oki earthquake (Hatori, 1987), the 1896 (Tanioka and Satake, 1996) and 1933 Sanriku-Oki (Kanamori, 1971) earthquakes and the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Satake et al., 2013). The contour interval of the 2011 Tohoku-Oki earthquake slip is 4 m. (b) Coastal area in Iwate prefecture. Numbers indicate the run-up heights of the 2011 Tohoku tsunami (Tsuji et al., 2011, 2014).

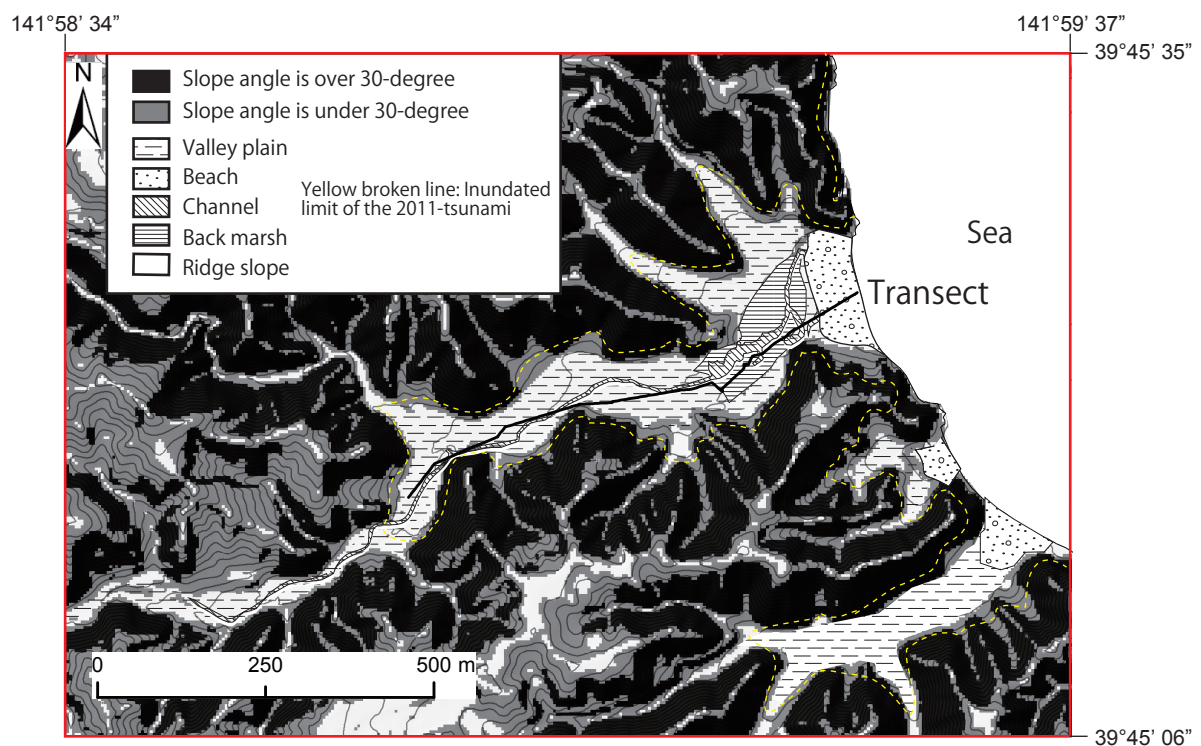


Fig. 2-2 Classification map of topography in survey area

Elevation data was draw by GSI 5m DEM data. Contour shows elevation every 5 m. Inundated limit refer to Haraguchi and Iwamatsu (2011).

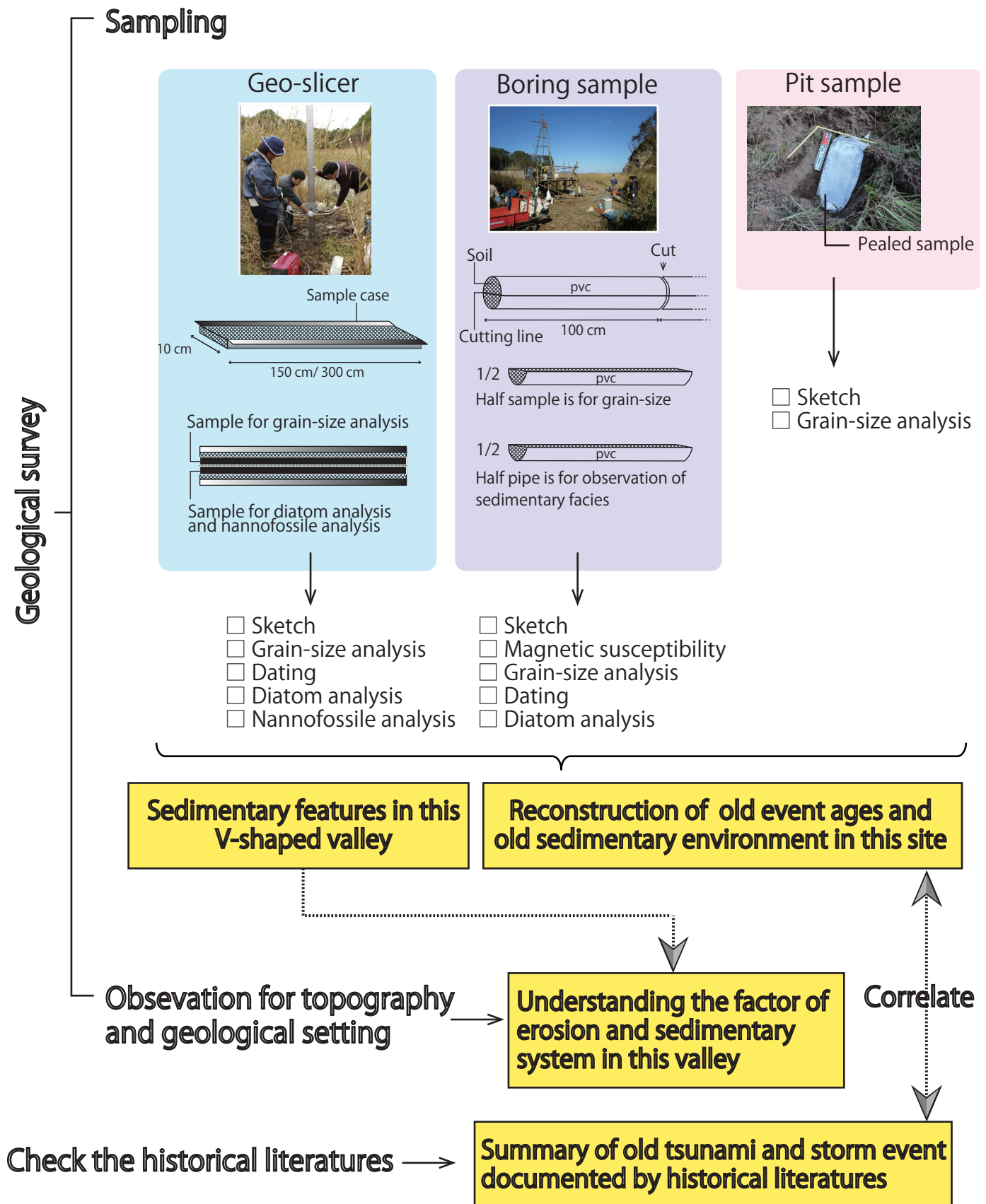


Fig. 2-3 Flow chart in this study
I analyzed geological samples based on this flow.

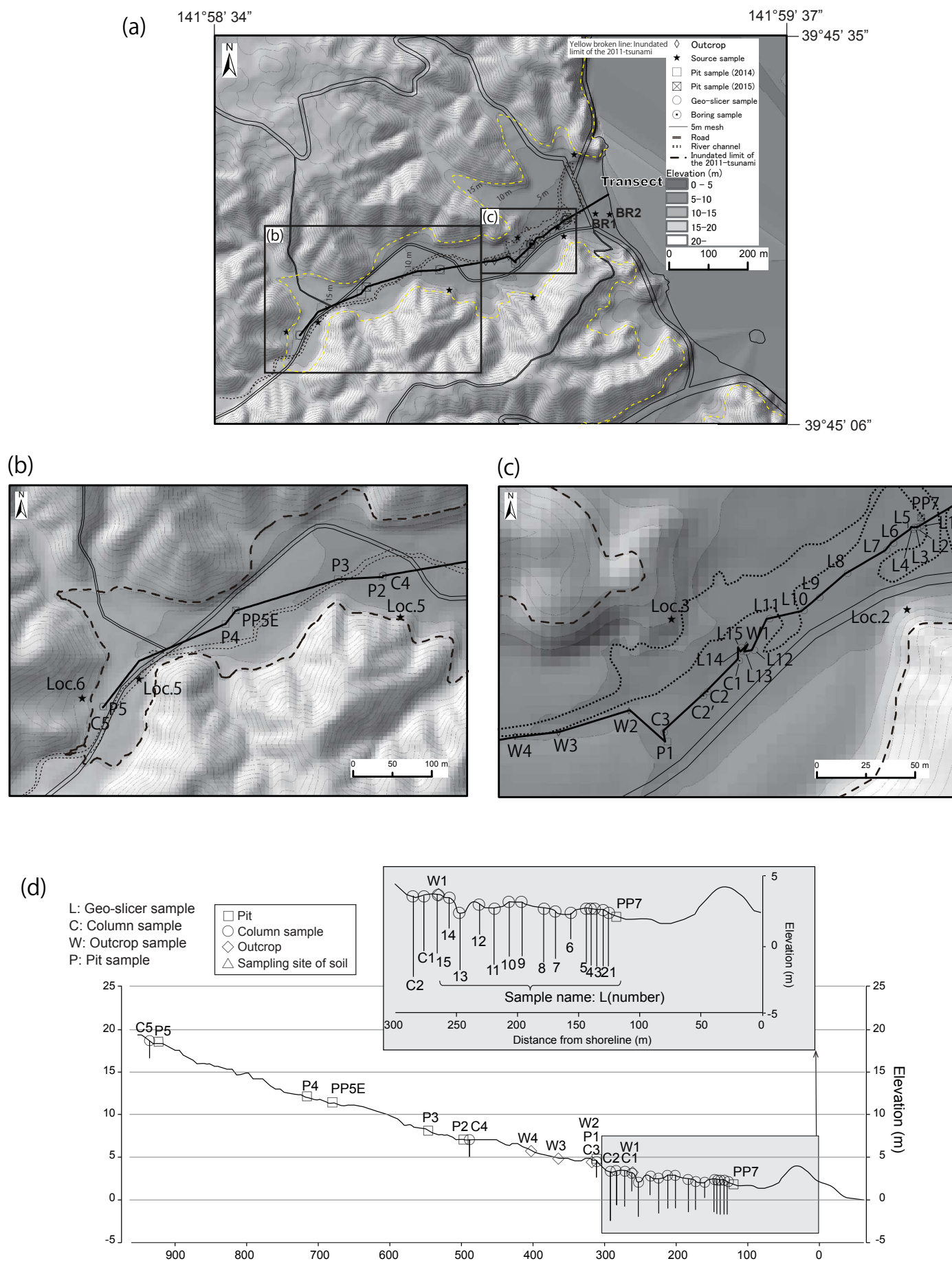


Fig. 2-4 Sampling point and cross-section along the survey transect

(a) Map of the survey valley. Elevation data was draw by GSI 5m DEM data. Contour shows elevation every 5 m. (b) Detail map of the inset left-side square in (a). (c) Detail map of the inset right-side square in (a).

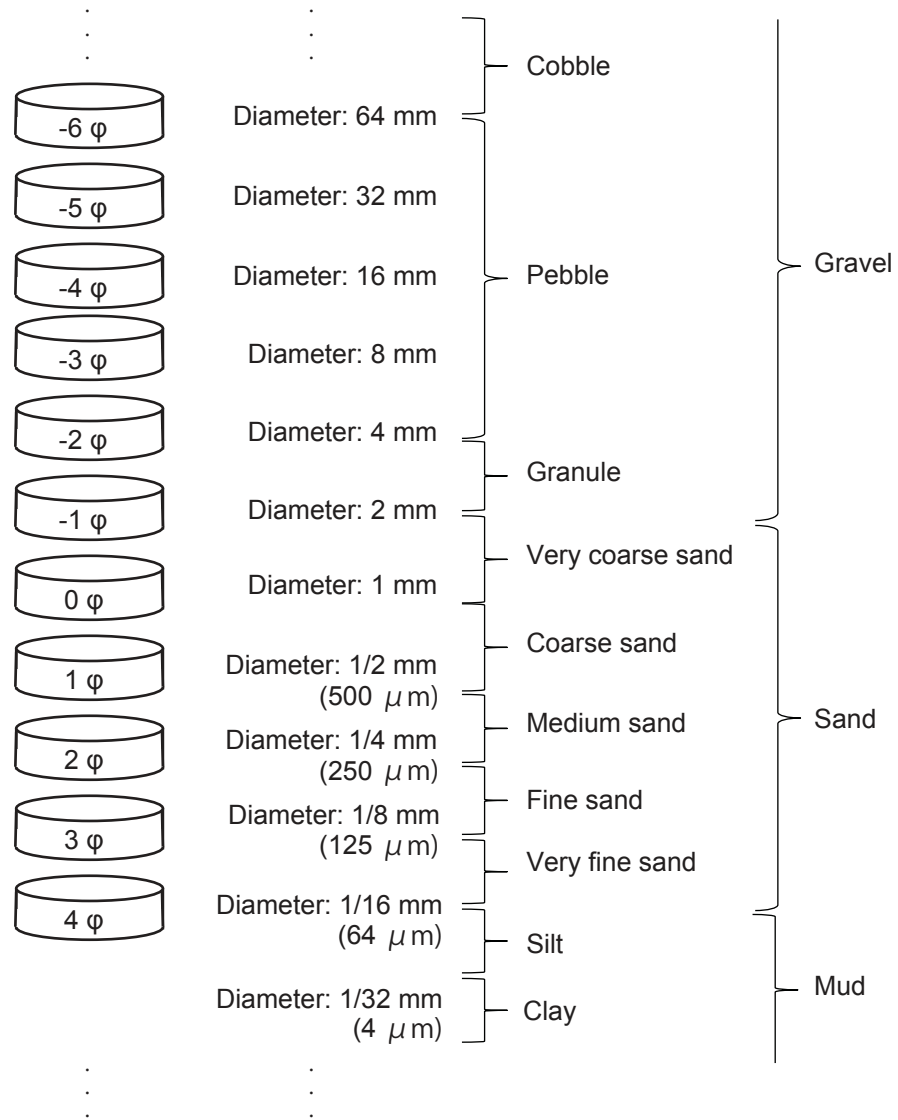


Fig. 2-5 Grade scale

$\phi = -\log_2 D/D_0$ D_0 is a reference diameter equal to 1 mm.

Right column shows an aggregate name based on size range.

Table 2-1. Sampling data

Sample name	Sample type	Sampling date (M/Y)	Sample length (cm)	Elevation (m)	Distance from shoreline(m)	Location
L1	Handy geo-slicer	11/2012	262	1.9	147.3	N39.756141 E141.987702
L2	Handy geo-slicer	11/2012	268	1.8	149.0	N39.756133 E141.987686
L3	Handy geo-slicer	11/2012	276	1.9	150.2	N39.756130 E141.987672
L4	Handy geo-slicer	11/2012	260	1.9	151.5	N39.756130 E141.987655
L5	Handy geo-slicer	7/2013	272	2.4	152.6	N39.756122 E141.987647
L6	Handy geo-slicer	7/2013	120	1.9	164.7	N39.756061 E141.987528
L7	Handy geo-slicer	7/2013	230	2.4	169.3	N39.756027 E141.987488
L8	Handy geo-slicer	7/2013	268	2.4	192.6	N39.755925 E141.987253
L9	Handy geo-slicer	7/2013	262	2.8	210.8	N39.755817 E141.987086
L10	Handy geo-slicer	7/2013	265	3.1	221.3	N39.755756 E141.986992
L11	Handy geo-slicer	11/2012	260	2.2	238.6	N39.755719 E141.986786
L12	Handy geo-slicer	11/2012	130	2.8	253.1	N39.755577 E141.986944
L13	Handy geo-slicer	11/2012	272	1.9	256.9	N39.755572 E141.986647
L14	Handy geo-slicer	11/2012	130	3.2	258.1	N39.755591 E141.986616
L15	Handy geo-slicer	7/2013	290	3.7	258.8	N39.755575 E141.986619
C1	Machine boring (purchussion type)	11/2012	389	3.2	259.0	N39.755611 E141.986669
C2	Machine boring (rolling type)	11/2012	568	3.2	262.0	N39.755530 E141.986611
C3	Machine boring (purchussion type)	11/2012	142	3.4	313.7	N39.755208 E141.986158
C4	Machine boring (purchussion type)	11/2012	171	7.3	493.9	N39.755033 E141.983916
C5	Machine boring (purchussion type)	11/2012	200	17.4	887.8	N39.753566 E141.979730
P1	Pit sample	11/2014	52	4.2	315.7	N39.755161 E141.986169
P2	Pit sample	11/2014	45	7.2	495.0	N39.755016 E141.983911
P3	Pit sample	11/2014	30	7.2	549.7	N39.754994 E141.983238
P4	Pit sample	11/2014	70	12.0	703.4	N39.754500 E141.981563
P5	Pit sample	11/2014	50	18.5	887.3	N39.753566 E141.979736
PP7	Pit sample	6/2015	40	-	143.0	N39.756175 E141.987700
PP5E	Pit sample	6/2015	55	-	665.0	N39.754650 E141.981722
W1	Outcrop	7/2013	120	3.4	257.0	N39.755603 E141.986664
W2	Outcrop	7/2013	120	4.2	322.6	N39.755308 E141.985961
W3	Outcrop	7/2013	100	5.0	359.6	N39.755211 E141.985539
W4	Outcrop	7/2013	100	5.0	380.0	N39.755197 E141.985281
C2'	Machine boring (rolling type)		537	3.2	262	N39.755530 E141.986611

3. イベント履歴の復元

3-1. 低地で掘削されたイベント層の痕跡

3-1-1. ジオスライサー試料 L5 の堆積相

4 次調査までに得られたジオスライサー試料中で検出された粗粒層を、1-3 で述べた堆積学的な認定基準に基づいてイベント堆積物と認定した。海岸から 150 m 離れた地点で採取した L5（全長 272 cm）の堆積相は、現地生の葦茎を含む泥炭層と 8 層の異地性の堆積物（イベント名：E1～E8）に明瞭にユニット分けできる（Fig. 3-1）。ユニット U5-01 は未分解植物片を多く含む層厚 4 cm の泥層である。最上部のイベント層（E1:U5-02）は層厚 12 cm の礫まじり砂層で U5-01 直下にある。このイベント層準は明瞭な上方細粒化構造を呈し、円礫と亜角礫、角礫を含む。下部ユニット（U5-02(2)）は下層と明瞭な侵食面を形成する。E2 イベント（U5-04）を覆う未分解植物を含む U5-03 は極細粒砂～細粒砂から成り、テフラや炭、雲母片を多く含み、層準下部はラミナを伴い下層との明瞭な侵食面を形成する。E2 は黄褐色を呈している。現地性のシルト層（U5-05）は未分解の植物片を多く含み、灰白色を呈する。E3 イベント層（U5-07）は層厚 2 cm の細粒砂層で下層と明瞭な侵食面を形成し、E2 と同様に層準内にテフラや炭化物、雲母片が多く含まれる。E3 直下は未分解植物を含むシルト質泥層（U5-8）である。E4（U5-09）は層厚 20 cm の粗粒砂層である。このユニットの上部（U5-09(2)）には偽礫（泥塊）、下位（U5-09(3)）には円礫を多く含み、下層との侵食面を形成し、上位に向かって $-1\phi\sim 2\phi$ の明瞭な上方細粒化構造を示す。E4 直下のシルト質泥層（U5-10）は U5-08 と同様に未分解の植物片を含む。E5（U5-11）は層準下位（U5-11(2)～(4)）にラミナを伴い、上方細粒化と上方粗粒化の両構造を有し、下層との明瞭な侵食面を形成する。この層準は、雲母片や花崗岩の亜角礫状の岩屑性粒子を多く含む。E5（U5-12）直下のシルト層は、目視で確認できるような植物片を含んでいない。E5 より下の層準に目立った植物片は同様に含まれていない。E6（U5-13）は層厚が 5～8 mm の薄い細粒砂層でラミナを伴い、下層と明瞭な侵食面を形成する。シルト層（U5-14）は植物片の分解が進んでいる層準である。E7（U5-15）は下位層と明瞭な侵食面を形成する岩屑性粒子からなる層である。下位から上位にかけて上方細粒化構造を示し、平行葉理とわずかな斜交葉理が発達し、偽礫が挟在している。層厚 8 cm のシルト層（U5-16）の下に

は E8 (U5-17) があり、この層は下層と明瞭な侵食面を形成して偽礫が混在する。この層準は上方細粒化を示している。最下層準 (U5-18) はシルト層である。

3-1-2. イベント層の測線上の対比

測線上で採取した各ジオスライサー試料中の古イベント層準同士の対比については特徴的な堆積構造と構成粒子に基づいて対比を行った。その結果、9つのイベント堆積物を測線上で対比することができた (Fig. 3-2)。対比の根拠は、例えばイベント層 E1, E4, E9 の3層は円礫を多く含むイベント層であり、E5 と E7 は歪角礫状の花崗岩礫を多く含むイベント層である。また、E5 以深のイベント間堆積物は植物の分解度がよい。L6 地点と L7 地点については、粗粒な堆積物が数十 cm の層厚を成しており (Fig.3-3a)、他の掘削試料との対比が難しかったため、対比線を引いていない。

3-1-1 でジオスライサー試料 L5 の詳細な記載図と層相を示したが、他のジオスライサー試料についてもそれと同様に層相は明瞭に粗粒層と現地性の湿地堆積物に分けることができる (附表の記載図参照)。

イベント E1 は調査地の広範囲で地表面に分布しており、全ての掘削地点で確認できた。イベント E2 は、ラミナと下位層との侵食面が特徴である。E3 は、層厚が 1~2 cm と薄く、下位層との明瞭な侵食面が特徴的で E3 直上に未分解植物を多く含んでいる。E4 は下位層との侵食面を有し、E1 と同様に層準下位に円礫を多く含み上位に向かって細粒化している。E4 は級化と逆級化構造を繰り返し、層準はいくつかの小ユニットに分けられる。E5 は E4 と同様の構造がみられ、いくつかの小ユニットに分けられる。E6 は層厚 1.5 cm の薄層で内陸へ約 150 m 追跡可能である。E7 は L2 地点および L5 地点で層準内が二つの小ユニットに分けられる。E7 も層準内がいくつかの小ユニットに分けられ、泥礫を含む。地点 L5 の E7 は上方粗粒化と細粒化を繰り返す。E8 は層厚が 7~25 cm と場所により層厚が異なるが、下層との明瞭な侵食面を有し偽礫を含む。E9 は L1, L2, L3, L4, L8 で観察された円礫を含む砂層で、下位との侵食面を形成している。E9 は L1 地点でも検出された特徴的な円礫層である (Fig. 3-3b)。

E1, E4, E5 は海岸から少なくとも 260 m の位置まで追跡可能であった。E2 と E3 は、一部のコアで海岸線から 220 m まで検出されたが、連続的に追跡できなかった。E6, E7, E8 は、海岸から 150 m の位置まで、E9 は海岸から 190 m の位置まで追跡できた。

最上部の E1 層は L3 地点や L5 地点では 15~20 cm の層厚を成した。一方で地点 L9 や L14 では層厚が 4~7 cm であった。

3-1-3. 粒度分布

Fig.3-4a は、イベント層の深度方向の粒径分布を示している。堆積学的特徴は粒度分布によく表れる。例えば、ジオスライサー試料 L2 の E4 イベントは、粒度分布から上方細粒化していることが明らかであり、層準の下位から上位に向かって $0\phi \sim -1\phi$ の割合が減少し、 0ϕ より細かい粒子の重量%が増加している。また、ラミナ構造を呈する部分（例えば L5 地点の E8 イベント、Fig.3-1）では、粒度分布が左右に揺れ動いており、深度方向の粒径変化が激しいことがわかる。Fig.3-4b によると、E1 と E4 イベントは、内陸に向かって細粒化傾向があるが、E5 ではそのような傾向はみられない。L2 地点においては、E1 イベントは $1\phi \sim -1\phi$ の粒径で収まっているが、L15 地点では $3\phi \sim 1\phi$ と、より細粒な径の範囲で変動している。このように内陸に向かって細粒化する傾向は、流速に応じた掃流や浮遊により粒子が運搬された結果生じるとされている（Jaffe *et al.*, 2012; Fujiwara and Tanigawa, 2014）。

3-1-4. 海由来の層準を検出する-海生微化石-

Coccolith の数をカウントした結果、個体数の増加が顕著な箇所とそうでない箇所があり、砂層と *Coccolith* 高産出層はよい一致を示している（Fig.3-5）。本調査地の谷は周辺を珪長質の火山岩類および花崗岩体に取り囲まれており、海成層は分布していない。このことから、陸域の周辺域から微化石が再堆積することは考えられないので、*Coccolith* の高産出層は、海からの新たな個体の供給を示している。よって、イベント層が洪水などの陸起源である可能性は低い。*Coccolith* の高産出層は平常時より多くの海水流入があったことを意味し、干満の影響を直接受けない低地環境においては、津波や高潮による海水流入を示唆する。

3-1-5. イベント層の堆積年代

ジオスライサー試料から採取した年代試料の測定結果を Table 3-1 に示した。ジオスライサー試料 L1 の深度 170 cm については 1,507yrCalBP (^{14}C 年代値)を示し、他の年代試料と比べて極端に古い年代を示したので考察からは外した。放射性炭素 14 年代試

料については 19 試料測定を行い、最深部は 522yrCalBP を示したことから、本調査地で採取した試料は少なくとも最近の約 500 年間に堆積したものとわかった。イベント堆積物を除くと、その堆積速度は 3 mm/yr である。

Fig.3-6a と Table 1-2b にはジオスライサー試料 L5 の ^{210}Pb の柱状図と土壌中の蓄積量を示した。土壌中の ^{210}Pb の蓄積量は堆積速度が一定と仮定するとその堆積時期を見積もることができる（例；Shimazaki *et al.*, 2011）。 ^{210}Pb の減衰曲線を柱状図の深度と比較するために、瞬時に堆積したと思われるイベント層の層厚を除いて仮の柱状図を作成した（Fig.3-6a 右側）。減衰曲線は E4 と E5 の間の深度 108 cm に位置する試料④は AD 1901 の堆積年代を示し、E3 と E4 の間の深度 60 cm の試料③は AD 1945 の堆積年代を示した。Fig.3-6b と Table 1-2c にはジオスライサー試料 L5 の ^{137}Cs の柱状図と土壌中の蓄積量を示した。 ^{137}Cs は試料①と②で検出され、試料③や④ではほとんど検出されなかった。試料③は E3 と E4 の間の深度に位置していて、上部の 2 イベント（E1 と E2 ）が少なくとも 1952 年以降に堆積していたことを示した。

Table 3-1 に示した各放射性炭素 14 年代測定による堆積年代推定と、 ^{210}Pb および ^{210}Pb の年代推定の結果を OxCalv4.2 を用いてベイズ推定を行った結果、各イベントの堆積年代について以下のような推定年代を得た（Fig.3-7a）。E2 は 1952 年以降、E3 は 1945 年付近、E4 は AD 1920～1950、E5 は 1730～1920、E6 は AD 1680～1810、E7 と E8 は AD 1500～1770、E9 は AD 1450～1650 となった。

3-2. 谷奥部にかけて採取されたイベント層の痕跡

前項では 3 次調査において低地で掘削されたジオスライサー試料から E1～E9 の 9 つのイベント層を復元した。本項で扱う地質試料は 5 次調査で掘削されたものであり、3 次調査のそれと区別するために、便宜上イベント名を地表面に近いものから S1 から昇順に名づけた。5 次調査では、海岸から 350～890 m 地点までの範囲で C1, C2, C2'（予備試料）、C3, C4, C5 の地質試料を得た。また、3 次調査で得たジオスライサー試料、露頭観察、ピット掘削の分析結果も 5 次試料と併せ、測線上のイベント層の追跡と堆積年代推定、堆積環境の推定、浸水域の復元を行った。

3-2-1. 層相

5 次調査までに得られたボーリング試料中で検出された粗粒層を本論 1-3 で述べた堆積学的な認定基準に基づいてイベント堆積物と認定した。ボーリング試料 C2 と露頭試料、ピット試料について堆積相を述べる (Fig.3-8)。

ボーリング試料 C2 のイベント S1(U-C2-(1))は下位 (U-C2-(2)) と明瞭な侵食面を成す層厚 4 cm の細粒～中粒砂層である。ユニット U-C1-(3)は層厚 2 cm の薄い中粒砂層で、下位 (U-C2-(4)) と明瞭な侵食面を成す。ユニット U-C2-(4)には未分解植物片が多く含まれる。S3 (U-C2-(5)) はやや黄褐色を呈した細粒砂層 (層厚 1 cm) で下層との境界は明瞭である。U-C2-(6)植物片を多く含むシルト層である。S4(U-C2-(7))は層厚 4 cm の淘汰よい中粒砂層であり、下層 (U-C2-(8)) のシルト層と明瞭な侵食面を形成する。S5(U-C2-(9))は層厚 3 cm の淘汰よい中粒砂層で下位 (U-C2-(10)) 明瞭な侵食面を成す。S7(U-C2-(11))はラミナを伴う細粒砂層から上位にむかって上方粗粒化し、内部にはラミナ、薄い泥層、偽礫が挟在する。下位 (U-C2-(12)) はシルト層である。S8(U-C2-(13)) は層厚 20 cm の上方粗粒化を示す砂層である。内部にはラミナや薄い泥層を伴う。U-C2-(14)は砂まじりシルト層で、下位は下層 (U-C2-(15)) のイベント S9 の上位から遷移的に土色が変わる。S9(U-C2-(15))は淘汰よい細粒砂層で内部には植物片を伴うラミナ構造がみられる。U-C2-(16)はシルト層、S10(U-C2-(17))は円礫からなる 14 cm の薄層で上下の境界 (U-C2-(16)と U-C2-(18)) とも明瞭な侵食面を形成している。S11(U-C2-(19)) はやや上方粗粒化の傾向を示すが淘汰よい細粒砂でラミナを伴う。U-C2-(20)は下位に細かい植物片を含む砂まじりシルト層である。S12(U-C2-(21))は礫 (角礫と円礫) に富む砂層で、層準内で上方細粒化と粗粒化を繰り返す。ラミナ構造や偽礫を含む。U-C2-(22)と U-C2-(23))は砂まじりシルト層でそれぞれラミナ構造を伴っておりイベント S13, S14 とした。U-C2-(24)は植物片に富むシルト層である。S15 (U-C2-(25)内) は極細粒砂層でラミナ構造がみられる。S16 (U-C2-(26)内) は砂まじりシルト層で下位にラミナ構造を伴う。S17 (U-C2-(27)内) は、泥質な部分と粗粒層をラミナ状に繰り返す層準である。U-C2-(28)は淘汰良い小礫から成る円礫層であるが採取時にコア口から落下したため、直上のユニット U-C2-(27)と連続しているのかは不明である。

露頭試料の W1 は低地掘削試料 L15 やボーリング掘削試料 C1 に近く (1 m 以内の距離)、堆積相も対比が可能であり S1, S4, S5, S7, S8 が検出された。露頭 W1 で比較

的層厚のある（10 cm）特徴的な砂層は流路沿いの露頭 W2 でも観察可能であった（Fig. 3-9a）。イベント S7 と S8 は薄い泥層が挟在する特徴的なラミナ構造が発達しており、W3 でも観察された。露頭 W4 についても同様の堆積構造が認められたが、W3 地点と約 50 m 離れていることから S7 もしくは S8 イベント層の候補とした（Fig.3-9）。

3 次調査で得たピット試料（P1～P5）は、その採取深度が地表面から 50～100 cm と浅いことから、主にイベント S1（2011 年津波堆積物）を観察した。海岸線から 315～887 m の範囲で採取したピット試料にはいずれも 2011 年津波堆積物が層厚 10～20 cm の層厚で認められた。いずれもイベント S1 を覆うようにシルト層が堆積しており、シルト層内には未分解の植物片や津波堆積物が一部土壌化して雑草が根を張っている様子が確認された。ジオスライサー試料と異なり試料幅が 30～40 cm 程度あるので、礫径の大きな粒子も観察可能で、層準内で上方細粒化の傾向がみられた。ピット試料 P4 については S1 の下位にシルト質砂層を挟み、もう一層のイベント層がみられ、このイベント層内は粗粒砂～中礫が含まれ、ラミナ層発達する特徴的な砂礫層である（Fig.3-10）。

3-2-2. 測線上のイベント層の対比

ジオスライサー試料、ボーリング試料、露頭観察、ピット掘削試料の全てのサンプルを用いて調査地内の測線上でイベント層の対比を行った。ボーリング試料 C1 および C2 の堆積相は、現地性の泥炭層と 12 層の砂質の粗粒層（イベント名：S1～S12）に分けられる。C3, C4, C5 は C1 や C2 と比べて掘削深度が 2 m 以内と浅く、また C1 や C2 と比べて標高の高い位置で得たものであり、陸域の侵食作用を受けているため欠けているイベント層があると考えられる。12 層のイベント層のうち、S1, S4, S5, S7, S8, S10 の 6 イベントは低地のジオスライサー試料中に検出されたイベント層と同様の特徴を有しており、それらと対比した。粗粒層の構成粒子は特徴的で、本論 3-1 で述べた低地のジオスライサーと対比可能であった（Fig.3-11, 3-12）。イベント層 S1 と S4 および S9 は、円礫を含むイベント層で、S5 と S7 は垂角礫状の花崗岩質の粒子を多く含む。

S1 は E1 イベントの 2011 年津波堆積物に相当し、測線上の全ての調査地点で観察され、最も標高の高い地点 C5 でも観察された（標高 18.5 m, 海岸からの距離 887 m）。S2 イベントは 3 次調査における掘削採取試料（低地掘削）の E2 イベントに相当し、L5 地点まで標高 2.4 m, 海岸からの距離 153 m）で明瞭に観察された。それより標高の高い場

所の C1 や C2 (標高 3.2 m, 海岸から 262 m) でも S1 と S3 の間に粗粒層がみられるのでこの S2 イベントの可能性はある。S3 イベントは低地掘削の E3 イベントに相当し、地点 C1 では低地掘削試料よりも明瞭でなく、パッチ状に特徴的な黄褐色を呈した粗粒層として認められた。S3 イベントは標高 3.2 m, 海岸から 262 m の位置までで検出された。S4 イベントは低地掘削の E4 イベントに相当し、露頭試料 W2 までで検出された(標高 4.2 m, 海岸から 316 m)。S5 イベントは E5 イベントに相当し、地点 C2 までで検出された(標高 3.2 m, 海岸から 262 m)。低地掘削で検出された E6 イベントはボーリング試料(C1~C4)では検出されなかったが、低地掘削試料とのイベント層の対比をわかりやすくするために便宜上 S6 イベントを設定した。S6 (E6) イベントは L2 地点(標高 1.8 m, 海岸から 149 m)までで検出された。S7 イベントは低地掘削試料の E7 に相当し、露頭試料 W4 の地点まで追跡可能であった(標高 5.0 m, 海岸から 887 m)。S8 イベントは低地掘削試料の E8 イベントに相当し、ボーリング試料 C4 までで検出された(標高 7.3 m, 海岸から 494 m)。S9 イベントは下層との明瞭な侵食面を有しないイベント堆積物であり、低地掘削試料ではこのイベントに相当するイベント層はない。S9 イベントは地点 C1 と C2 のみで検出された(標高 3.2 m, 海岸から 260 m 付近)。S10 イベントは低地掘削試料の E9 イベントに相当し、地点 C2 までで検出された(標高 3.2 m, 海岸から 262 m)。S11 イベントは S9 と同様に下層との明瞭な侵食面を有していないイベント層で、地点 C2 までで検出された(標高 3.2 m, 海岸から 262 m)。S11 や S12 イベントは現在の深度 0 m より深い深度で採取されており、低地掘削やピットおよび露頭試料からは検出されていない。S12 イベントは地点 C4 までで検出された(標高 7.3 m, 海岸から 494 m)。

3-3. 環境復元と歴史イベントとの対比

3-3-1. 珪藻分析に基づく堆積環境復元

第3次調査で得られたジオスライサー試料 L5 の珪藻ダイアグラムを Fig.3-13 に示した。これによると深度方向にいくつかの堆積環境の変化が示された。イベント層 E8 より下位のサンプル採取箇所 D10 で海-汽水生種の *Thalassiosira bramaputrae* が出現し、E4 と E5 の間ではそれほど多く産出せず、他の箇所でも産出頻度は 1%を下回っている。また、汽水泥質干潟指標种群の *Fragilaria brevistriata* は E8 の下位でのみ出現する。沼

沢湿地付着生指標种群の *Tabellaria fenestrata-flocculosa*, 陸生珪藻の *Achnanthes minutissima* が E4 イベント前後の D2~D6 で頻出する. これらの深度方向の珪藻分布に基づいて, 4 つの珪藻分帯に分けた. Zone1 では下位で淡水生種の *Fragilaria exigua* が優占し, 上位では *F. brevistriata* が優占する. これらの種から Zone1 は潮間帯の環境が示唆される. ただし, 堆積相がシルト質泥炭層であることから, 海岸線の前面に位置するような干潟環境でなく, 潮汐の影響を受けやすい後背地の湿地帯であったと推定される. Zone2 では *Fragilaria capucina* や *Achnanthes minutissima* などの淡水~陸生珪藻が優占する. Zone3 では *T.fenestrata-flocculosa* や陸生珪藻の *A. minutissima* が高率に出現し, 付着生種の基質となる水生植物が繁茂する浅い淡水域から湿った陸域の環境が示唆される. Zone4 では, 優占種がなくなり, 陸生珪藻, 流水性種がほぼ同じ割合を示す. 流水性の水域と湿った陸域の環境が示唆され, これらの環境が入れ替わる不安定な環境で, 現在の沼の浜とほぼ同じ環境が形成されていたとみられる. 珪藻の産出傾向の最も大きな変化は汽水から淡水環境へ堆積環境が移行する Zone 1 と Zone2 の境界, すなわち E8 イベントにある. E8 イベントは, 沼地がより海岸から隔離された状態に変化するためには, 地震性隆起もしくは津波等のイベントを機に沿岸の地形変化 (砂堆の形成など) が生じた可能性がある. E5 イベント (Zone2 と Zone3 の境界) でも, 沼地性の珪藻が増加する変化がみられるのでこれを機に同様の事象が発生した可能性がある.

次に第 5 次調査で得られたボーリング試料 C2 の珪藻分析について述べる (Fig. 3-14). C2 試料は L5 地点よりも約 120 m 内陸で採取したボーリング試料で, ジオスライサー試料 L5 よりも深部までイベント層が検出されている. ここでは E9 イベント以深 (ボーリング試料 C2 での S10 以深) の堆積環境を含めて復元した (Fig.3-14). C2 コアの下位から珪藻分帯を 5 つに分け, Zone1~Zone5 について解釈した. Zone1 (試料深度 470~570 cm) では, 沼沢湿地付着生種の *Epithemia adnata* が優占し, 流水不定性種の *Fragilaria exigua* が高率に出現していることから, 水の動きを伴う水草の繁茂する水域が示唆される. 汽水生種もやや産出していることから, 海水の直接的な影響はないが, 汽水域の影響を受ける環境下にあったことが推定される. Zone2 (試料深度 440~470 cm) では, Zone1 で高率に産出した *Epithemia adnata* は減少し, 河川性の *Achnanthes lanceolata*, 沼沢性の *Cocconeis placentula*, 汽水性の *Navicula peregrina*, 海水-汽水生種の *Thalassiosira bramaputrae* が増加傾向を示す. このことから流水域や海水の影響があり, 満潮時に河

口域の汽水~海水が遡上していたと考えられる。Zone1 の時よりも、相対的に海水準の上昇が推定される。Zone3 (試料深度 190~440 cm) では、河川性の *Achnanthes lanceolata*, 流水性の *Navicula halophiloides*, 海-汽水生の *Tabellaria fenestrata-flocculosa*, 陸生の *Achnanthes minutissima* が増加して安定期的にみられることから、流水域、止水域、湿った陸域がたびたび流路の動きによって変化していたと推定される。Zone4 (試料深度 130~190 cm) では、汽水-淡水生種の *Thalassiosira bramaputrae* がやや増加し、流水性種や陸生珪藻も共にみられることから湿った陸域であるが流水の影響も受ける低い汽水域の環境であると推定される。Zone5 (試料深度 90~130 cm) では、汽水-淡水生種の *Navicula schroeterii* が優占し、流水性種や陸生珪藻も伴うことから湿った陸域および流水の流れ込む塩分濃度の低い汽水域と推定される。

現在の調査地の潮間帯は平均潮位面の±1 m の範囲に収まっている (Fig.3-15)。C2 地点より若干標高の低い L5 地点の珪藻分析結果を併せて考察すると、いずれの柱状試料においても全深度で淡水珪藻が連続的に産出することから、本調査地点が過去約 2,000 年間、基本的に沼地の環境下にあったことがわかるが、汽水-海生珪藻も産出する深度もある。汽水-海生珪藻が産出する堆積相は淡水の環境下でありながら海水の影響も受ける潮間帯に堆積していたものと考えられる。現標高で、淡水種が深度方向に連続的に産出する S13 の直下から S9 直下は、現在の潮位面より下位に位置しており、堆積当時よりも相対的にやや沈降傾向にあると考えられる。

3-3-2. 歴史イベントとの対比

第 3 次調査で得られたジオスライサー試料 L5, および第 5 次調査で得られボーリング試料 C2 それぞれについて各イベント層の堆積年代を整理した。地層中から検出されたイベント層の一部は本調査地に襲来した津波もしくは台風の記録と歴史記録と照合することができる (Fig.3-7b, Fig. 3-16)。

ジオスライサー試料 L5 について (Fig. 3-7b), 表層の E1 イベントは明らかに 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の痕跡である。E2 イベントは ^{137}Cs が本イベント層準の下位までで検出されていることから 1952 年以降に発生したイベントであり、1960 年チリ地震津波か 1968 年十勝沖地震津波が候補となる。E3 イベントは、 ^{210}Pb を用いた年代推定より 1945 年以降であるので 1960 年チリ地震津波、1968 年十勝沖地震津波、および岩

手県に襲来した 1947 年カスリーン台風もしくは 1948 年アイオン台風の可能性がある (Table 1-3). 1920 年～1950 年の堆積年代が示された E4 イベントは, 1933 年昭和三陸地震津波と考えられ, その津波は 1947 年や 1948 年の台風よりも高い浸水高が記録されているものである (宮古市教育委員会, 1991). 1730 年～1920 年の堆積年代が示された E5 イベントは 1793 年宮城沖地震津波や 1856 年青森沖地震および 1896 年明治三陸地震の可能性がある. E6 イベントは堆積年代が 1680～1810 年と推定されており 1700 年の北米沿岸を震源とするカスケード地震津波, 1763 年青森沖地震津波, 1793 年宮城沖地震津波の可能性がある. E7 と E8 イベントは, その堆積年代の幅が広く推定されており (AD 1500～1770), 1611 年の三陸地震津波, 1677 年青森沖地震津波, 1700 年カスケード地震津波, 1763 年青森沖地震津波, 1648 年の台風のいずれかの可能性がある. E9 イベントは, その堆積年代が AD 1450～1650 年と推定され, これは 1454 年や 1611 年の東北沖の地震, もしくは 1648 年の台風のいずれかの可能性がある.

ボーリング試料 C2 については (Fig. 3-16), ジオスライサーL5 よりも深い深度まで (最長 570 cm) 掘削し, 深度約 500 cm で $1,950 \pm 20$ yrBP (20 BC-AD 120) の堆積年代を得た (Table 3-2). S5 以浅のイベントはジオスライサー試料 L5 で用いた ^{210}Pb と ^{137}Cs を用いた年代推定により詳細に年代値が求められているので, ここではその結果も考慮して考察を行った (^{14}C 年代測定結果は Oxcal プログラムを用いた暦年較正の標準偏差 2 ロを表記した). Fig.3-16 にボーリング試料 C2 の柱状図と堆積曲線を併せて示し, 可能性のある歴史イベントを列挙した (Table 3-3). S1 (ジオスライサー試料 L5 では E1 に相当する) は 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の堆積物, S2, S3, S4 はジオスライサーL5 を用いた堆積年代結果を参考にしてそれぞれ S2 (E2): AD 1960-1950 (候補: 1968 年十勝沖地震津波, 1960 年チリ地震津波), S3 (E3): AD 1945-1950 (候補: 1948 年アイオン台風, 1947 年カスリーン台風), S4 (E4): AD 1920-1950 (候補: 1933 年昭和三陸地震津波) となる. S5 (E5) は AD 1730-1920 (候補: 1896 年明治三陸地震津波, 1856 年青森県八戸沖の地震, 1850 年の台風, 1793 年宮城県沖地震津波) である. S6 は L5 試料の E6 イベントに相当し低地の数地点で観察されたイベント痕跡であり繰り返しになるが AD 1680～1810 年 (候補: 1700 年カスケード地震津波, 1763 年青森沖地震津波, 1793 年宮城沖地震津波) である. S7 (E7) は直下の 130 の地震津波) で (AD 1680 年以降) であり, L5 試料の堆積年代推定範囲 (AD 1500-1770) を考慮すると

AD1680-1770 となり、1763 年青森県八戸沖の地震、1700 年カスケード地震津波のいずれかの可能性がある。S8 (E8) および S9 は S9 直下の示した $410\pm20\text{yrBP}$ 以降 (AD 1436 以降) であるが、それより上位の年代値 ($730\pm20\text{yrBP}$) が逆転しているので、ジオスライサー L5 試料で E7 (S7) と E8 (S8) が AD 1500-1770 と推定されていたことを考慮して、AD 1770 を年代値の上限とした。よって S8 と S9 は AD 1500-1770 となり 1763 年青森県沖地震津波、1700 年カスケード地震津波、1677 年青森県沖地震津波、1648 年の台風、1611 年奥州の慶長地震津波のいずれかの可能性がある。S10 (E9) と S11 は $340\pm20\text{yrBP}$ から $410\pm20\text{yrBP}$ (AD 1470~1610) の堆積年代を示しており、この時期に発生したイベントに形成されたものである。S12 は $1,730\pm20\text{yrBP}$ から $620\pm20\text{yrBP}$ 以前 (AD 250-1400) で 869 年貞観地震津波の可能性がある。S10, S11 および S12 について高潮の記録に該当するものはない。S13 は $1,800\pm20\text{yrBP}$ から $1,730\pm20\text{yrBP}$ (AD 130~AD 380) に堆積しており、歴史記録の記述はなく西暦前半のイベントである。この他、S14 と S15 は $1,950\pm20\text{yrBP}$ から $1,830\pm20\text{yrBP}$ の間 (20 BC-AD 240) に、S16 と S17 は $1,950\pm20\text{yrBP}$ (20 BC-AD 120) 前後に堆積しており両者は紀元前~紀元後初期のイベントである。S16 および S17 は 20 BC-AD 120 の堆積年代を示し、紀元前~紀元後初期のイベントと推定される。ジオスライサー試料 L5, およびボーリング試料 C2 の柱状試料を用いた堆積年代推定の結果は整合的な結果が得られている。

3-3-3. イベント痕跡による谷内の浸水域の復元

現在、沼の浜の浜堤は陸域の低湿地帯を外海から遮断する役割を担っており、淡水沼地の環境が保たれている。珪藻分析の結果、過去約 2,000 年間においても、基本的に淡水生種優占の沼地の環境であったことがわかっており、当時から湿地帯の環境が浜堤による外海の遮断によって維持されてきたと推定される。ただし、本論 3-3-1 で述べたように珪藻分帯がイベント層を境に変化している傾向もみられることから、イベント直後もしくは次のイベントまでの長期間にわたる地殻変動により、相対的な海面変動が生じていた可能性もある。過去のイベント痕跡より谷内の浸水域を復元する際に留意しなければならないのは、現地形での古イベント痕跡の堆積面が先の理由により必ずしも過去のイベント層の堆積時の標高を表しているとは限らない、ということである。当時の谷内の浸水域を復元するために、珪藻分析により沼地環境が過去約 2,000 年間で基本的に

維持されていると推定されること．それにより海岸（浜堤）の位置が当時からそれほど変化していないと仮定し，イベント痕が保存されている現地点（海岸からの距離）を参考にして浸水域を復元することとした（Fig.3-17）．垂直方向の地殻変動量も考慮せず，現地形に沿って浸水させる．ただし，C2 地点と同じく深い深度で掘削した試料はそれより内陸部で採取されなかったために，層準対比が C2 地点まででしか観察されていない S13～S17 イベントについては浸水域を復元しなかった．S1 イベントはピット試料 P5 で確認されていることから，その掘削点（海岸から 887 m 地点，現標高 18.5 m 付近）までは少なくとも浸水したと推定される．これは原口・岩松（2011）で示された浸水域と整合的である．同様に各イベントについて以下の結果が得られた．S2（距離 153 m，標高 2.4 m），S3（距離 262 m，標高 3.2 m），S4（距離 316 m，標高 4.2 m），S5（距離 316 m，標高 4.2 m），S6（距離 149m，標高 1.8 m），S7（距離 380 m，標高 5.0 m），S8（距離 494 m，標高 7.3 m），S9（距離 262 m，標高 3.2 m），S10（距離 262 m，標高 3.2 m），S11（距離 262 m，標高 3.2 m），S12（距離 494 m，標高 7.3 m）．

以上の結果から，近年のイベントである 2011 年津波堆積物は，実際の浸水域に近いエリアで示された．過去のイベントについては，この 2011 年津波イベントを上回る浸水域は示されなかった．その理由として，陸域に堆積した痕跡はその後侵食作用を受けて削剥された可能性が考えられ，2011 年のイベントは近年のイベントであるがゆえに保存状態が良かったと思われる．しかしながら，現在の標高 5 m 以上の土地であってある程度の侵食を受けていると考えられる地点においても，比較的浸水域が広く示されたイベントがいくつかある．すなわち，

S4, S5・・・浸水高（現標高で）少なくとも 4.2 m

S7・・・浸水高（現標高で）少なくとも 5.0 m

S8, S12・・・浸水高（現標高で）少なくとも 7.3 m

S8 と S12 は現在の湿地帯のエリアよりも広く浸水域が示されており，S1 と同様に比較的大きいイベントであったと推定される．S12 はその堆積年代から 869 年貞観地震津波の可能性があり，少なくとも本調査地の谷の中流域までを浸水させた可能性がある．S8 は，その堆積年代から田老で 20~21 m の津波高の記録が残っている 1611 年奥州の慶長地震津波の可能性があり，S12 と同様のエリアを浸水させている．それらのイベントに次いで，高い浸水高が示された S4, S5, S7 は，堆積年代から田老で 8.5-13.6 m，お

よび 5.6~10.1 m の津波高が記録されている 1933 年昭和三陸地震津波と 1896 年明治三陸地震津波のイベントが含まれている可能性がある (Table 1-1)。

本調査で検出できたイベントを Fig. 3-18 にまとめた。既往研究を含めて東北沿岸で発見された 2,500 calBP 以降のイベントを図示した。これ以前のイベントについても東北地方沿岸で検出されている例があるが図示していない。本研究では現代に近い時代から連続的にイベント層が検出されたことにより、史料に記されているイベントと良い対比が可能だったことが特徴的である。

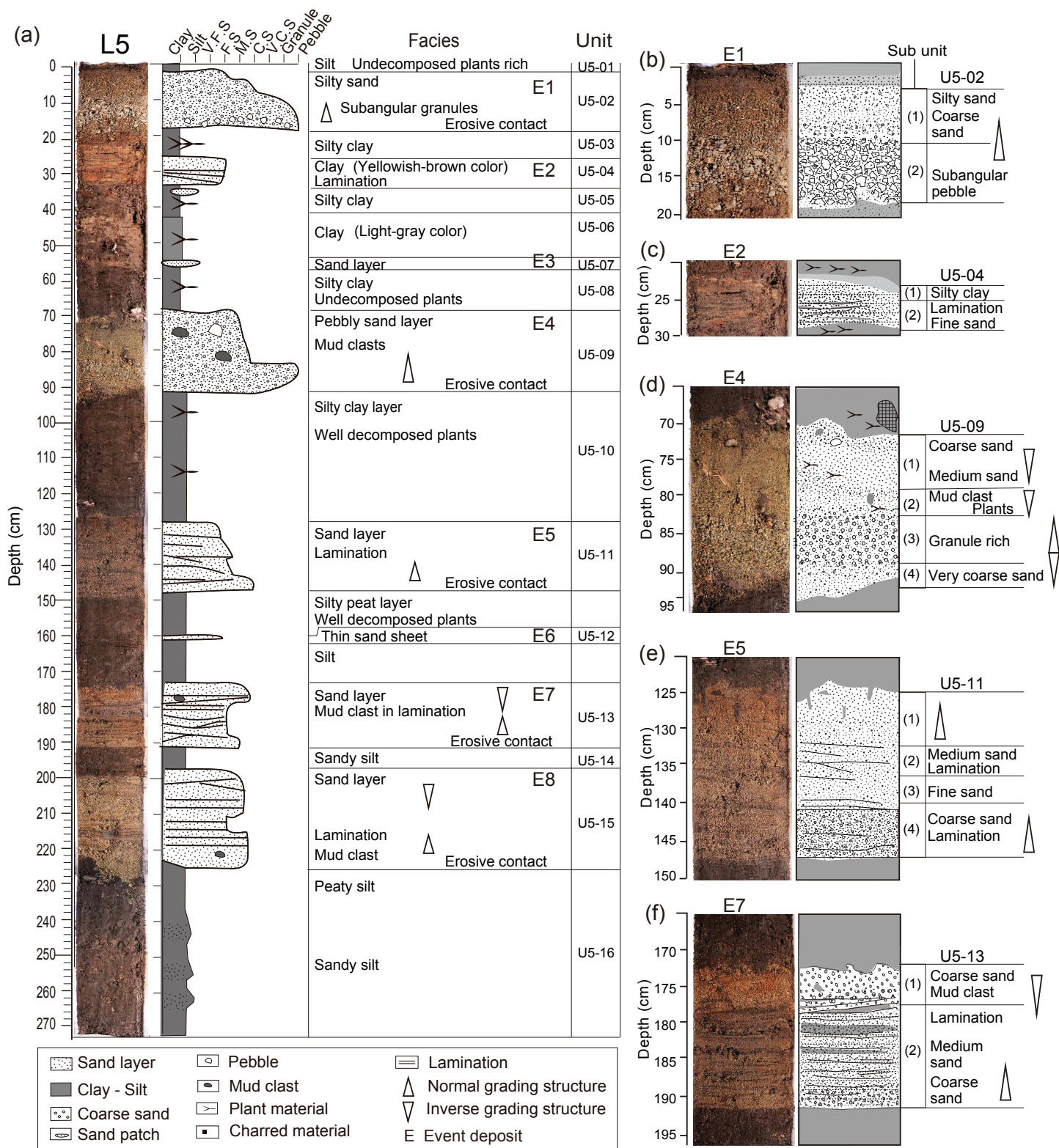


Fig. 3-1 Sedimentary facies of the 2011-tsunamilayer along the transect

(a) Stratigraphy of geo-slice sample L5. Words for grain size: V.F.S, F.S, M.S, C.S and V.C.S, are shortened form of the formal words: very fine sand, fine sand, medium sand, coarse sand and very coarse sand, relatively.

(b)-(f) Description of the facies and photograph of characteristic event layers in geo-slice sample 5.

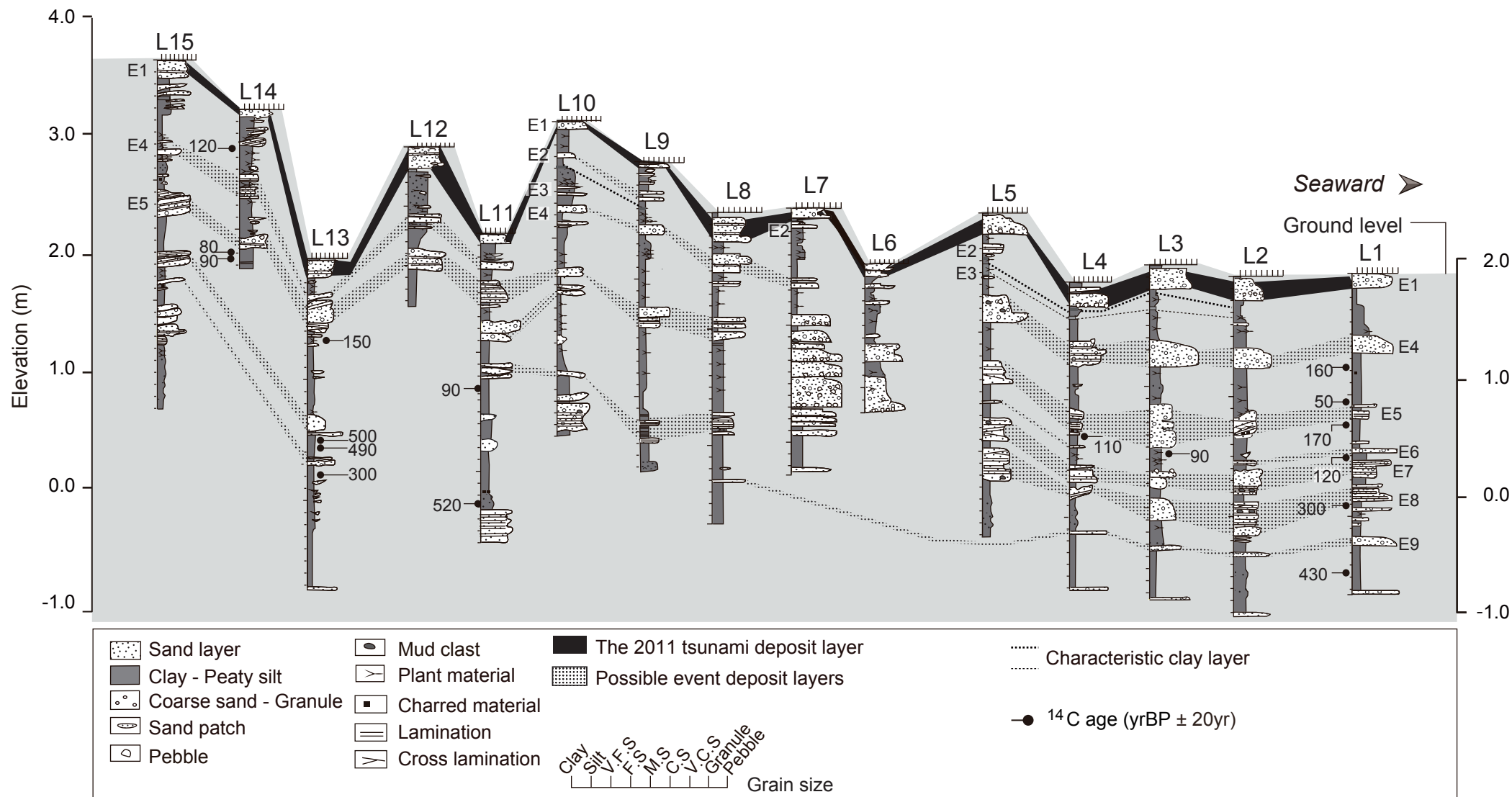


Fig. 3-2 Column stratigraphy along the transect shown Fig. 2-4.
Intervals between samples were arranged along the transect.

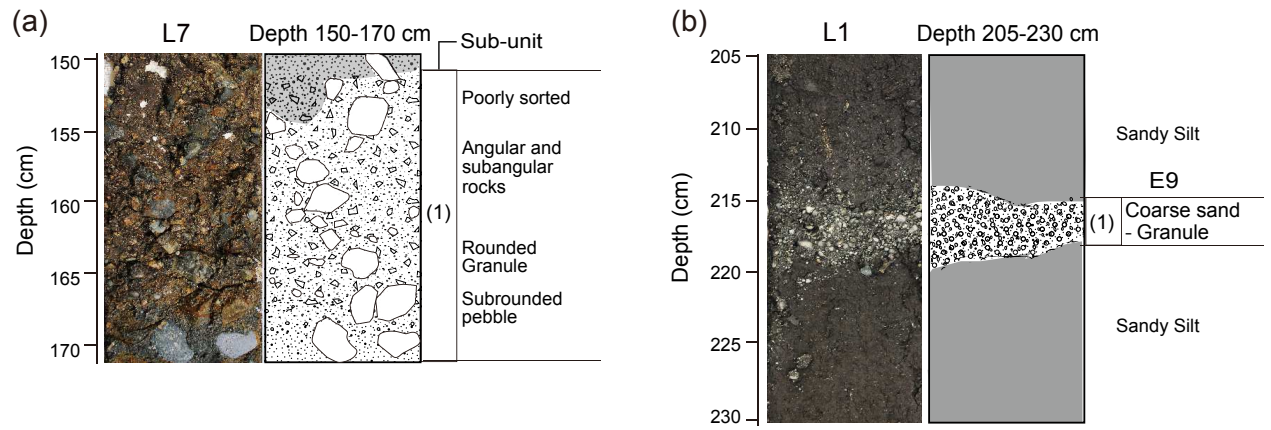


Fig. 3-3 Characteristic sedimentary structures of event layes.

(a)An event layer in geo-slice sample L7. (b) Layer E9 in geo-slicer sample L1.

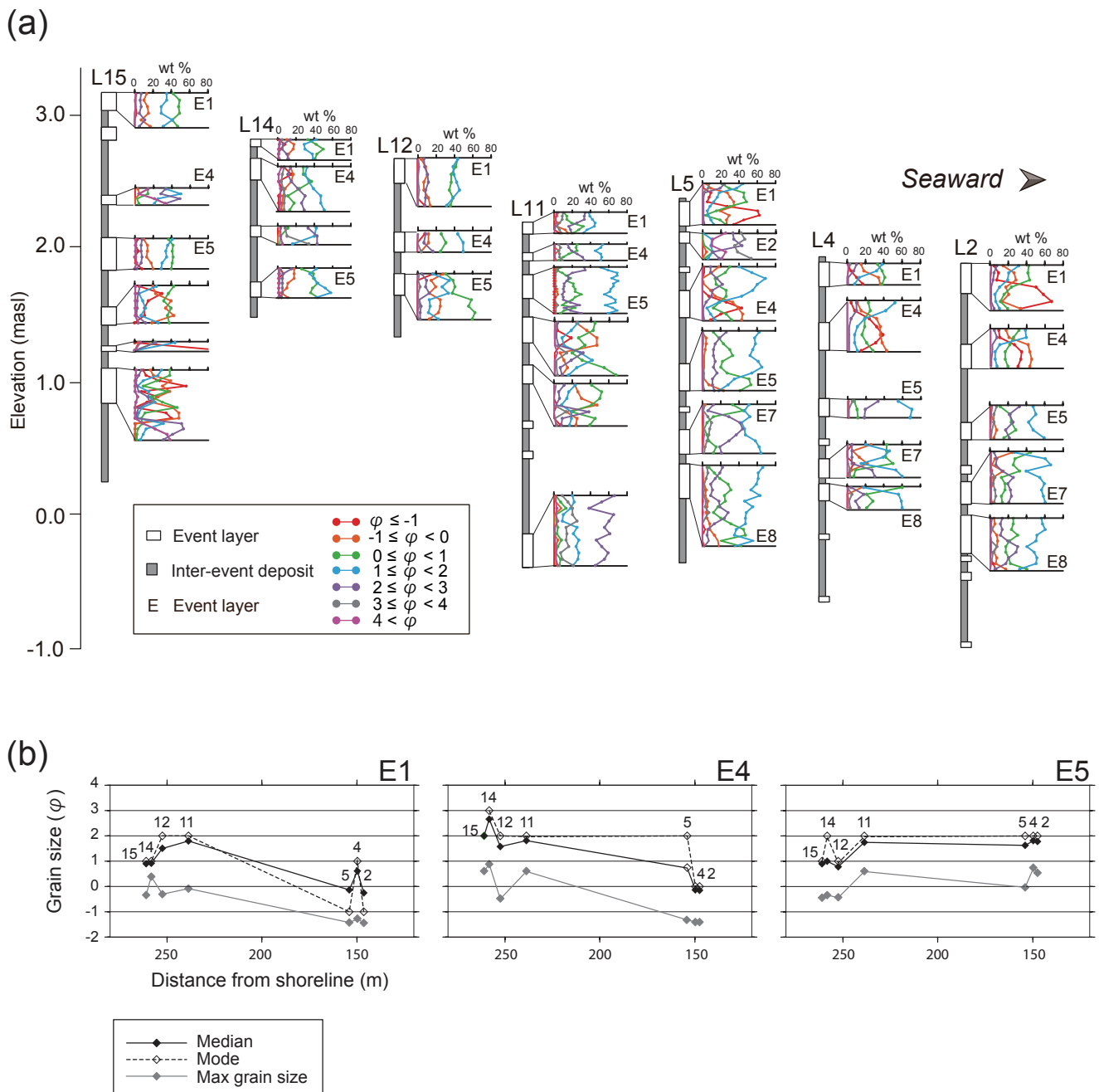


Fig. 3-4 Vertical changes in grain size distribution and the changes of grain-size along the transect. (a) Vertical changes in grain size distribution (weight percentage; wt) within event layers for seven geo-slices. The phi-scale indicates mesh sizes that were used for grain-size analysis. (b) Horizontal distributions along transect of the median, mode and maximum grain size for E1 (left), E4 (center) and E5 (right).

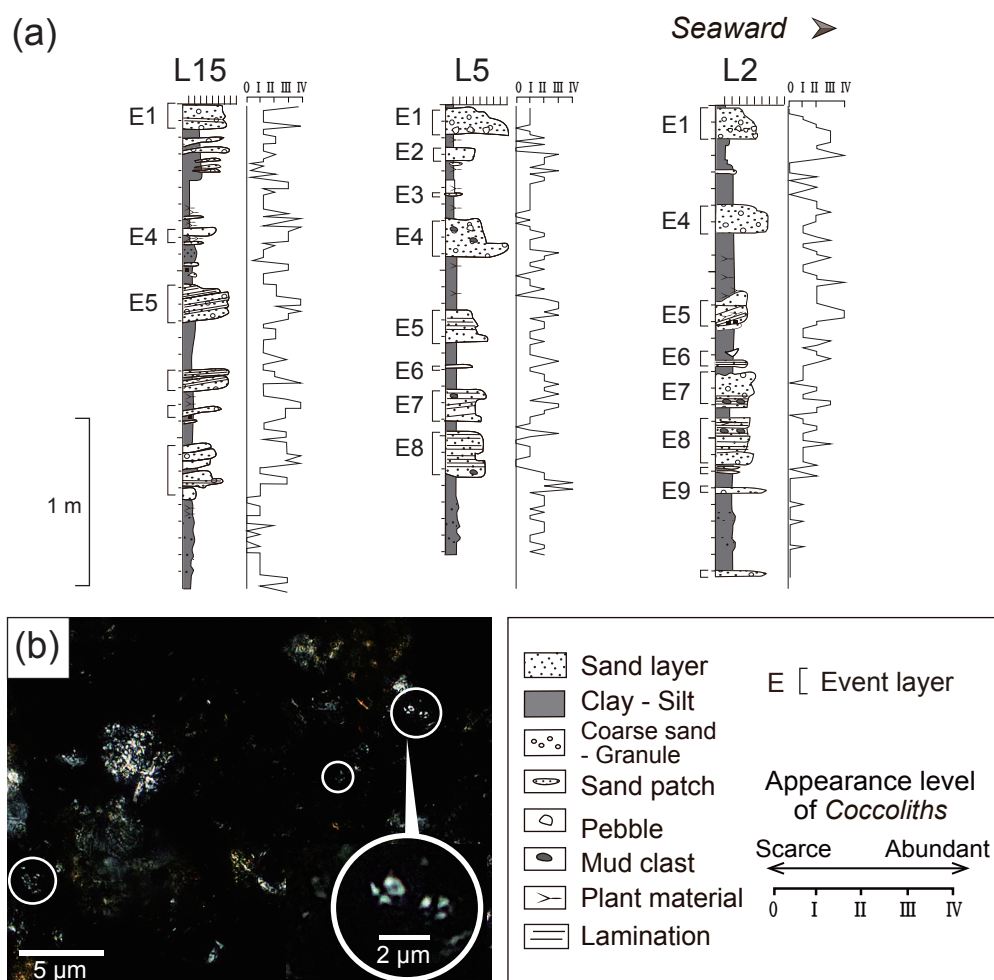


Fig. 3-5 Appearance level of *Coccoliths*.

(a) Vertical changes in the appearance level of Coccoliths in geo-slices L15, L5 and L2.
 (b) Photomicrograph of Coccoliths. Coccoliths appear white under polarized light due to the birefringence of calcite.

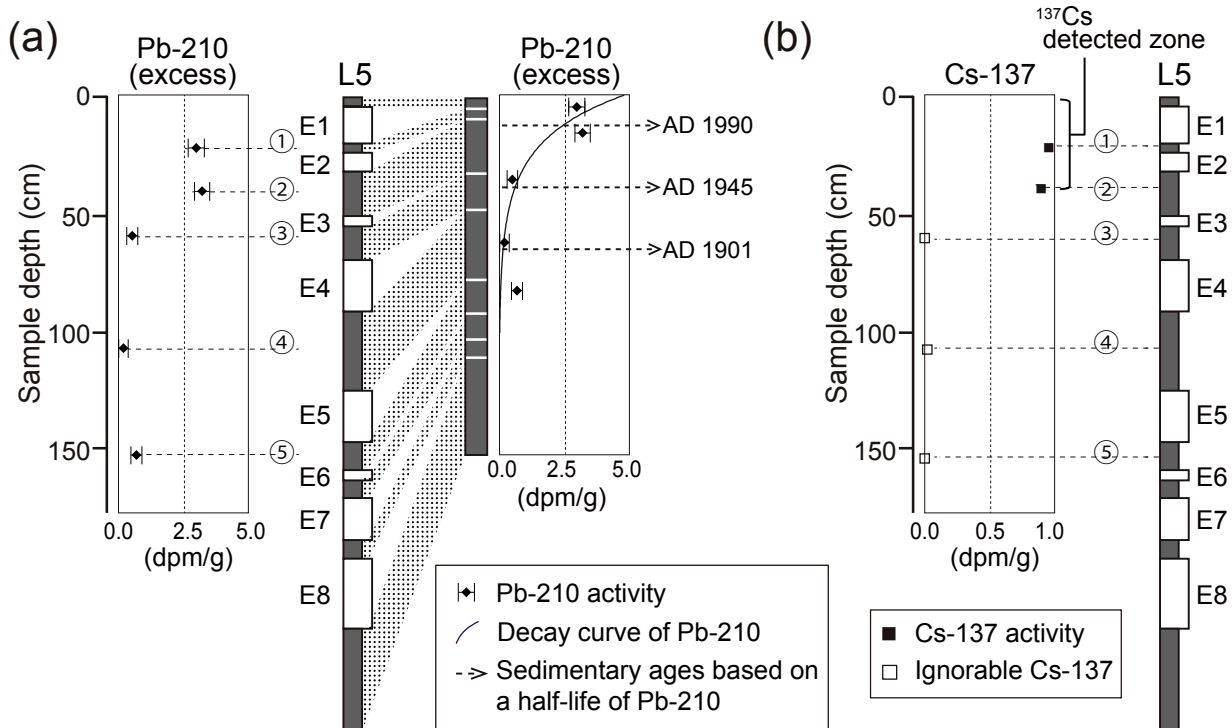


Fig. 3-6 Vertical changes in ^{210}Pb (Excess) and ^{137}Cs in geo-slice sample L5. (a) Left: vertical changes in ^{210}Pb (excess) in geo-slice sample L5. Right: vertical changes in ^{210}Pb (excess) in geo-slice sample L5 for hypothetical continuous stratigraphy after removing the intervening event layers. The solid curve and dashed lines show fitted exponential decay and estimated ages, respectively, based on the half-life of ^{210}Pb . (b) Vertical changes in ^{137}Cs density in geo-slice sample L5.

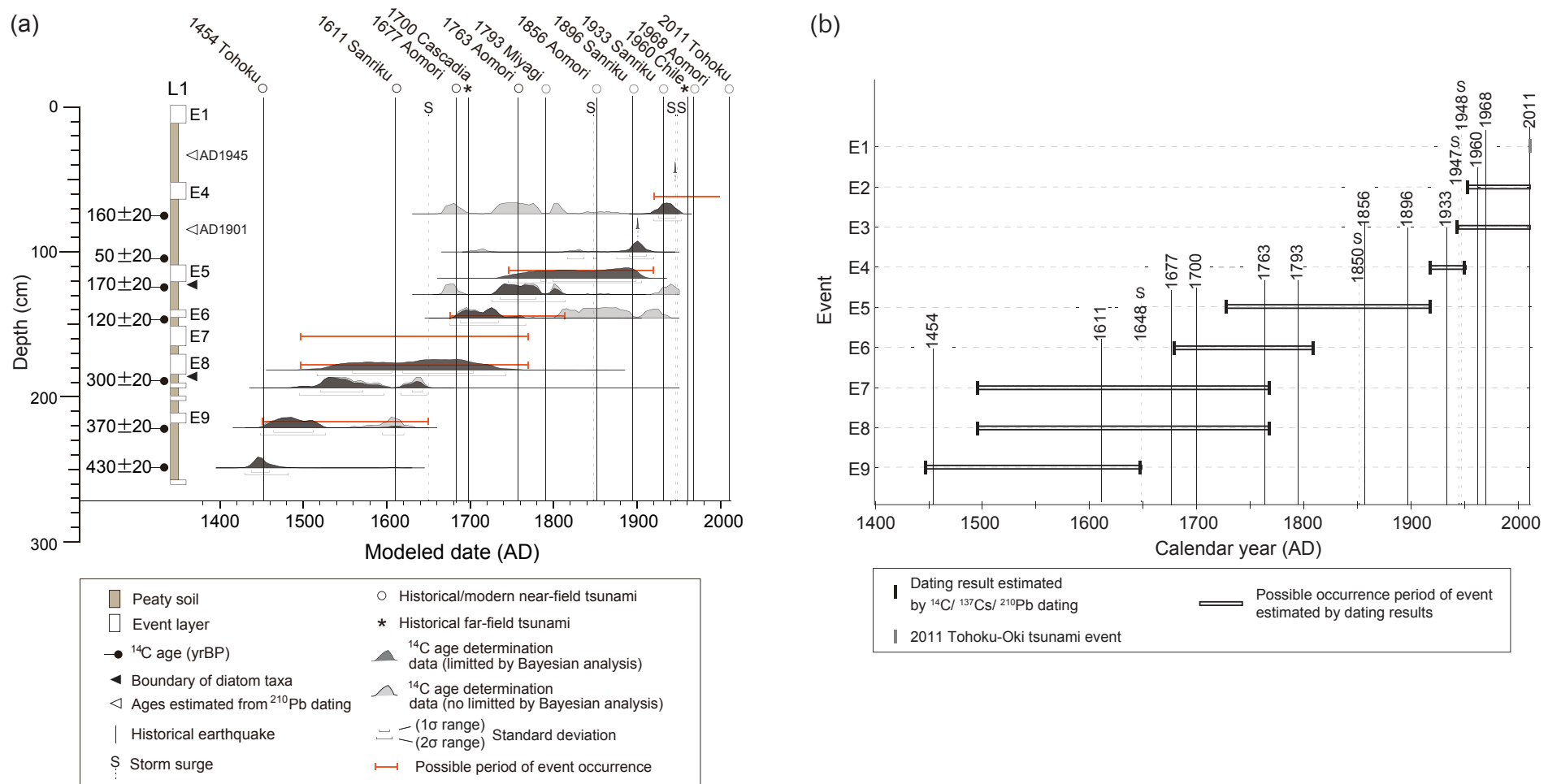


Fig. 3-7 Correlations between event layer and historical event estimated by the deposition ages. (a) Estimated probability distributions for the deposition ages of each event deposit. Using the OxCal program, we input three datasets to determine possible event ages: ^{14}C age data in geo-slice sample L1, depth of the boundary zones of diatom taxa (just below E8 and E5) and depth of disappearance of ^{210}Pb in geo-slice sample L5. Historical or modern earthquakes (solid lines) and storm surges (dashed lines) are also shown. (b) Estimated candidates for historical tsunami/storm events by collation of the estimated deposition ages of layers E1 through E9.

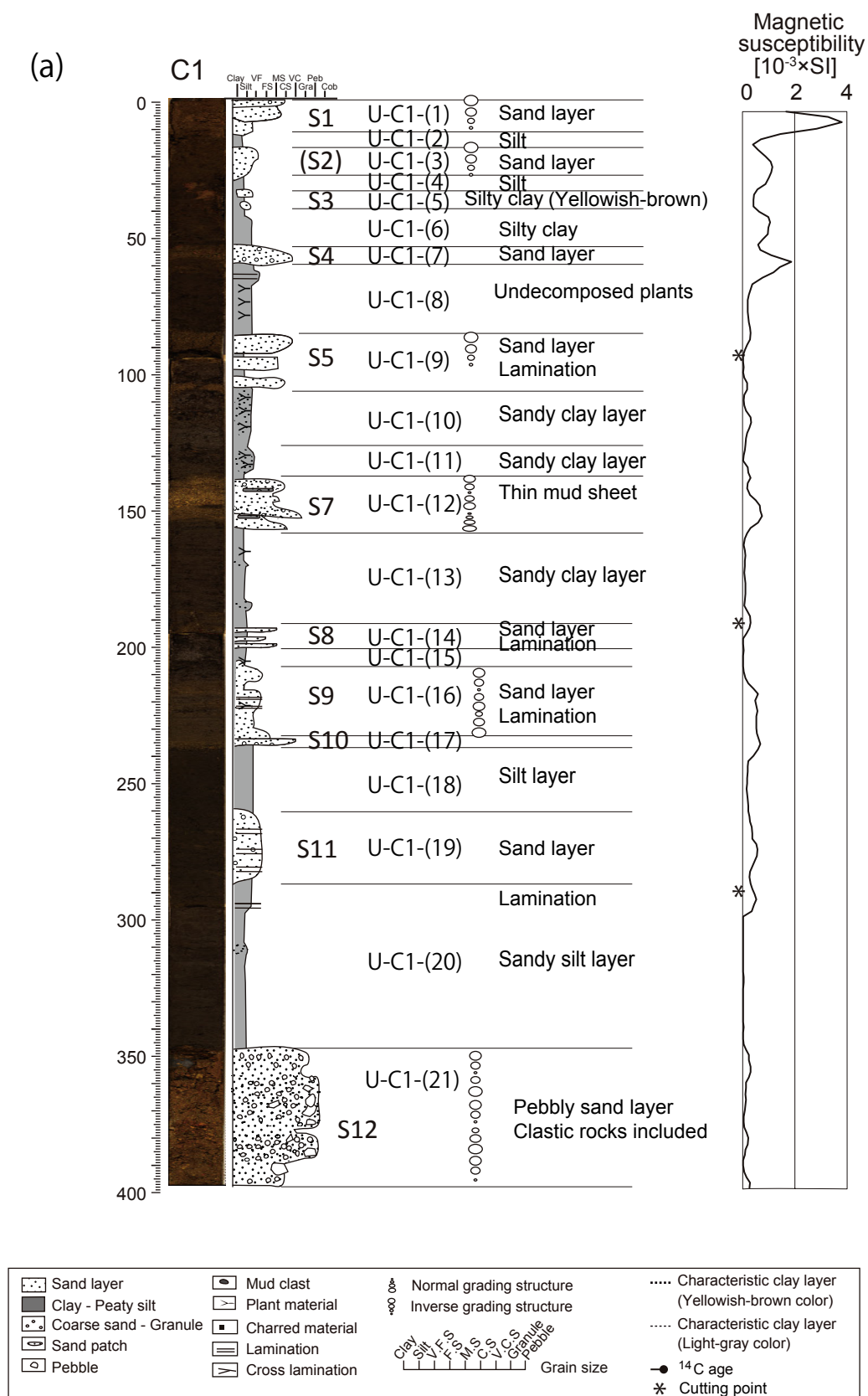


Fig. 3-8 (a) Sedimentary facies drilled by machine boring.
Sedimentary facies of column C1 sample.

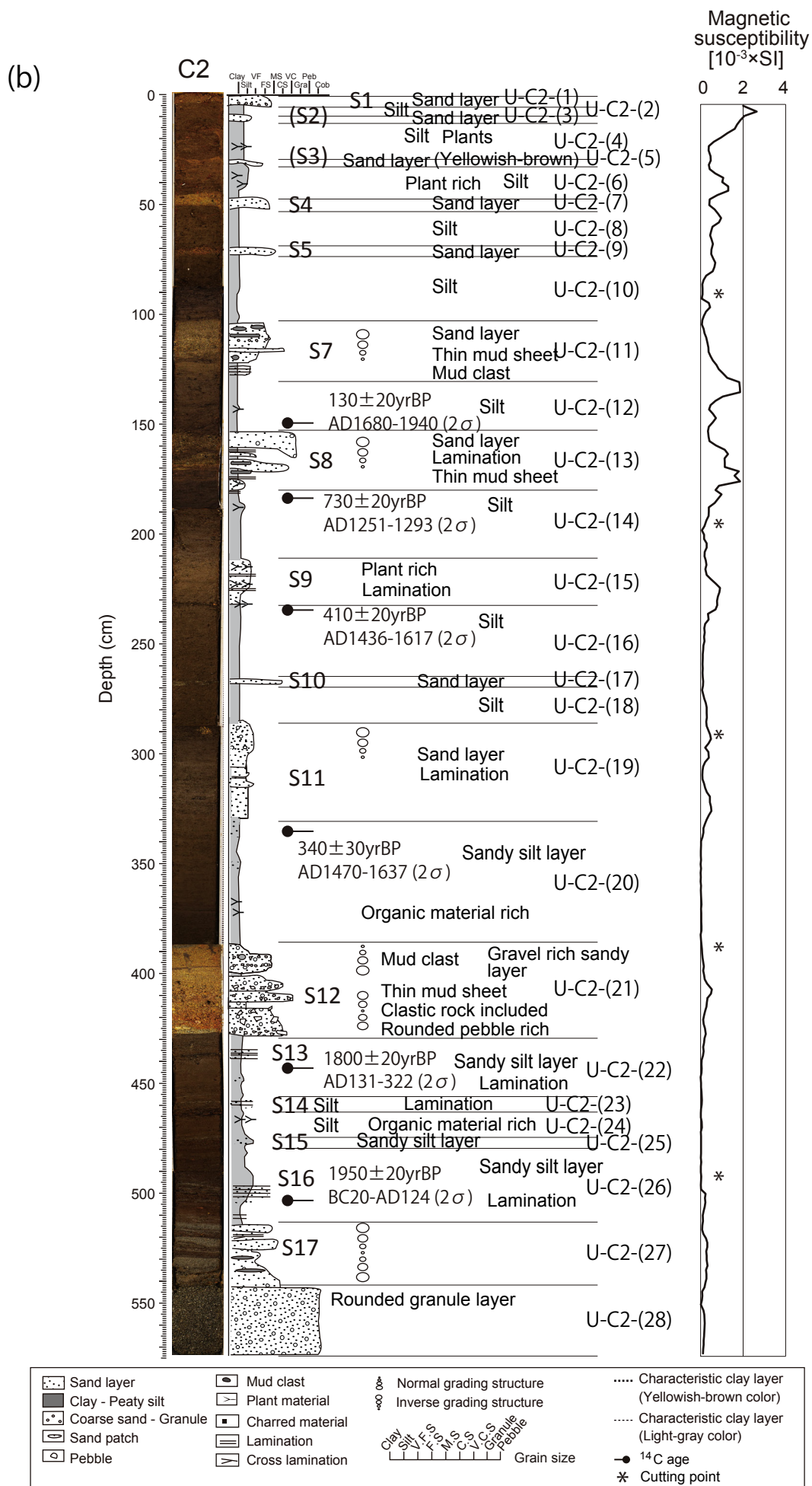


Fig. 3-8 (b) Sedimentary facies drilled by machine boring. Sedimentary facies of column C2 sample.

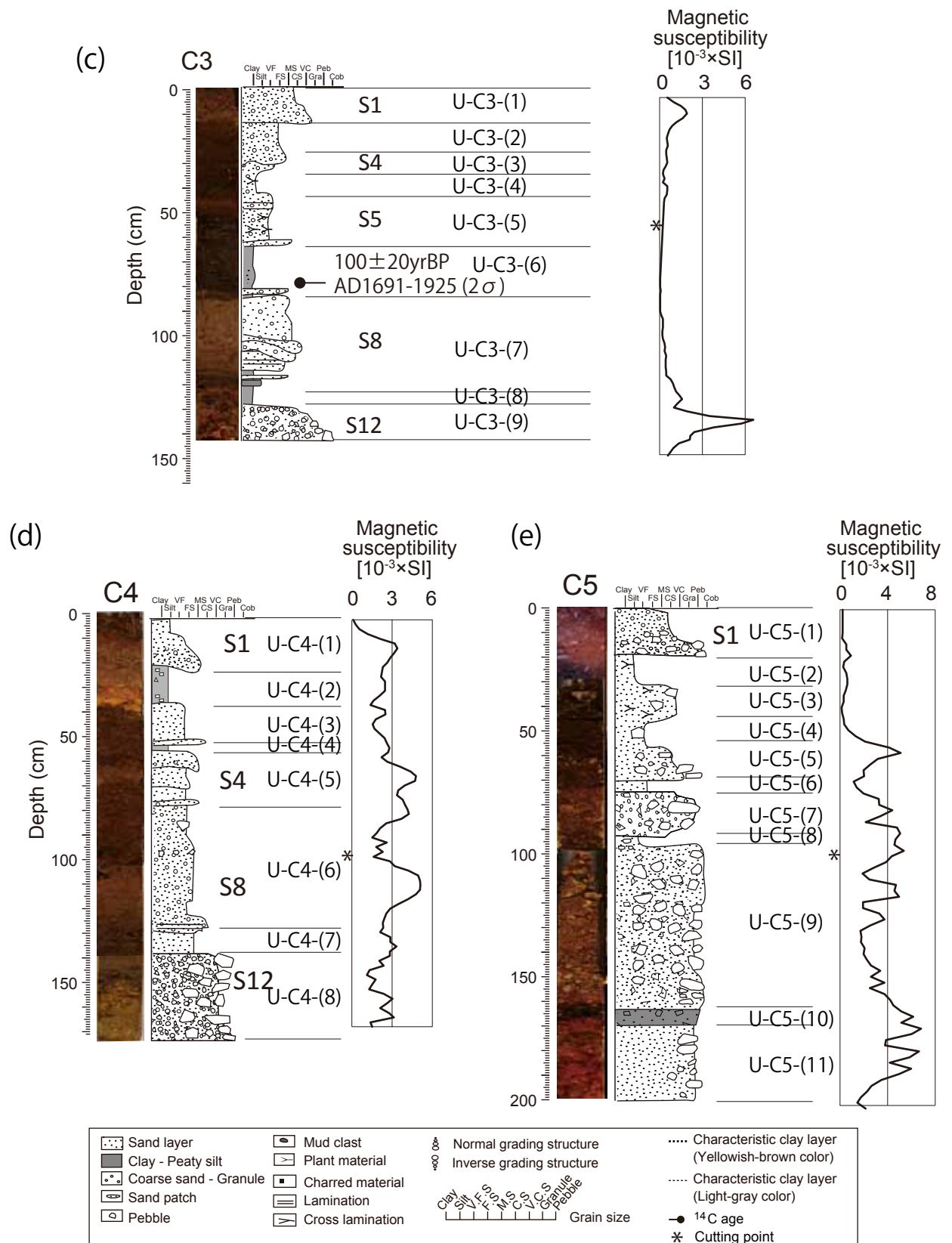


Fig. 3-8 (c-e) Sedimentary facies drilled by machine boring.
Sedimentary facies of column C3, C4 and C5 sample.

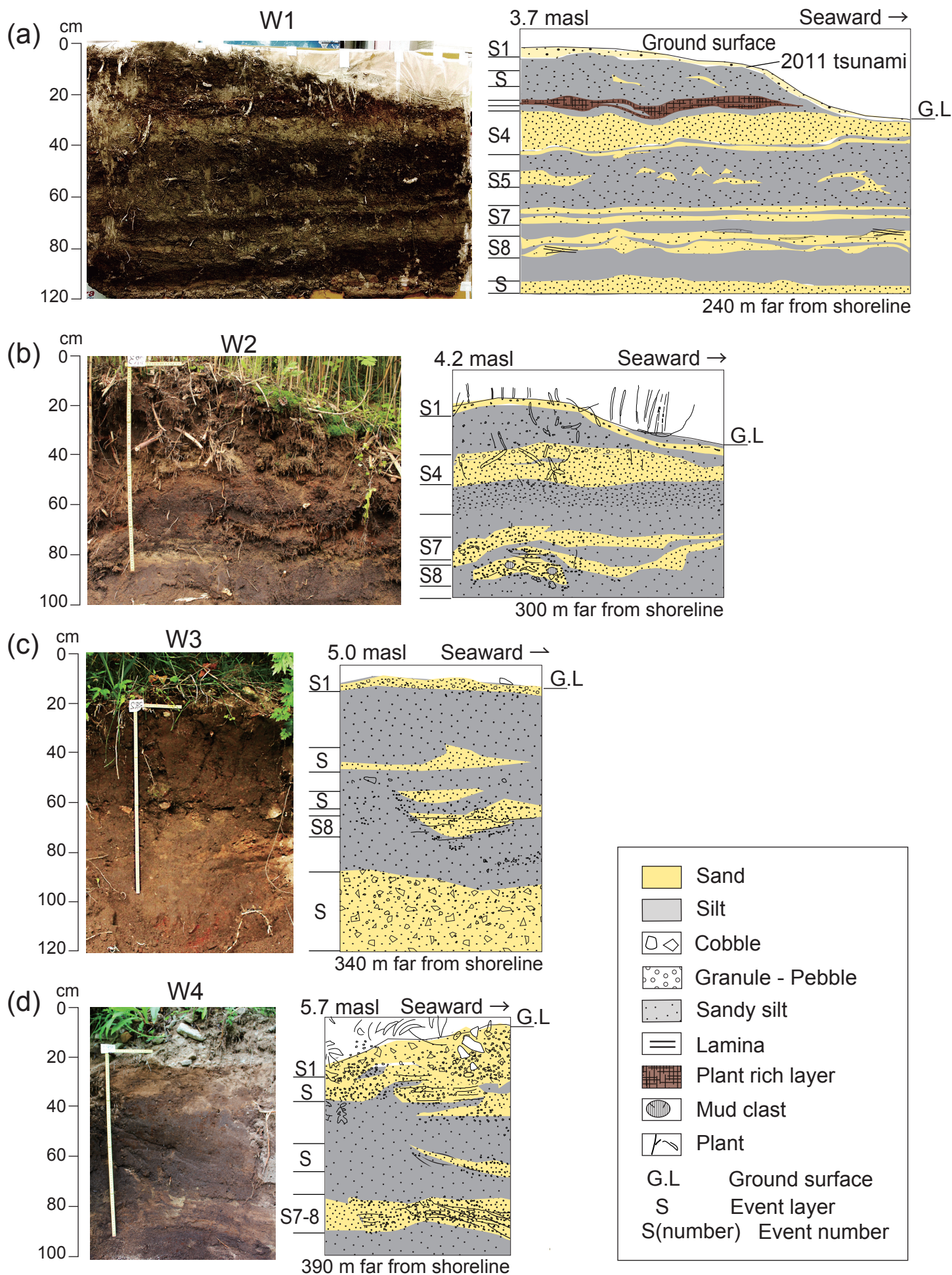


Fig. 3-9 Sedimentary facies of wall samples

(a) Sample 'W1' was peeled from the original wall surface by fixing agent. (b-d) Wall surface formed by pallet.

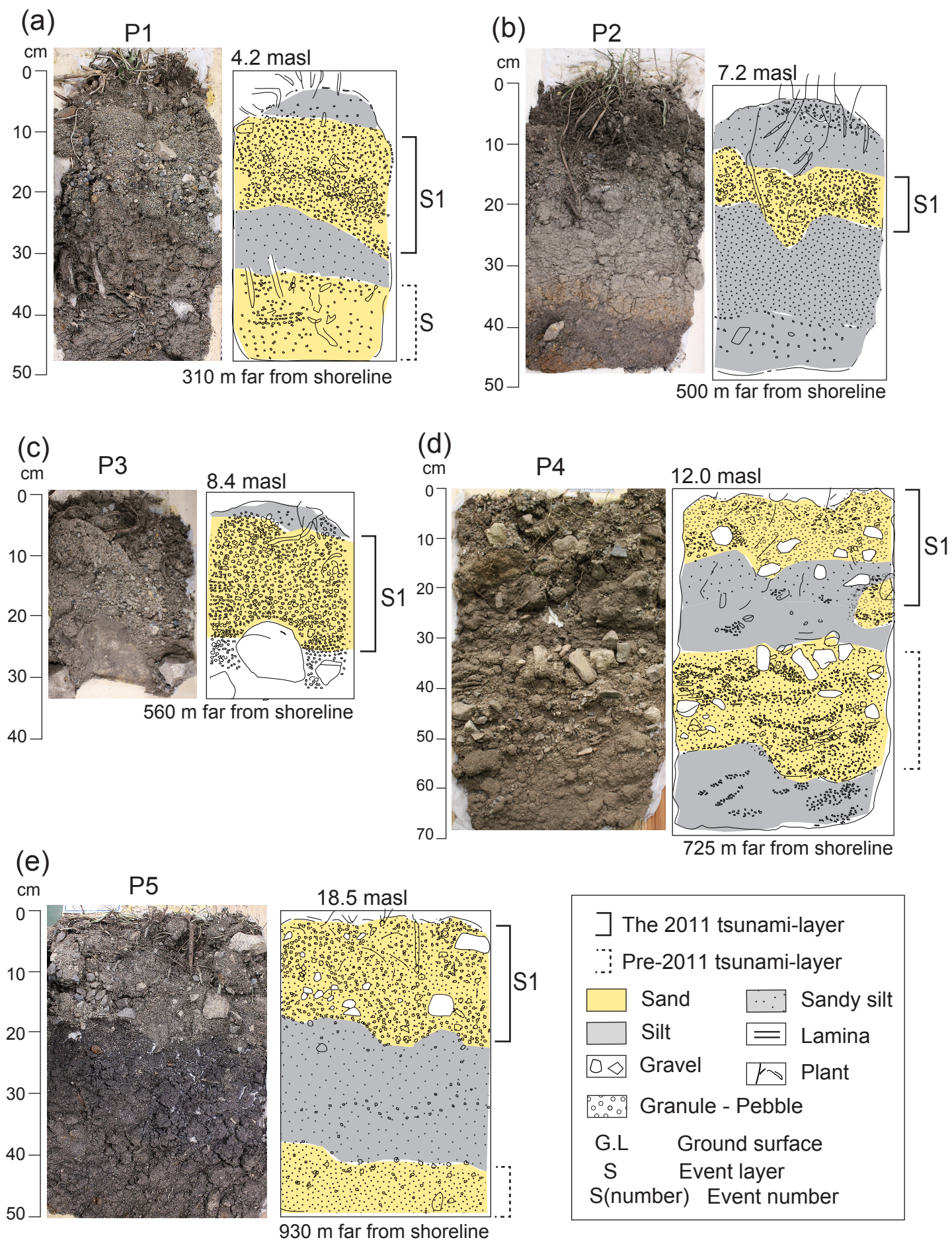


Fig. 3-10 Sedimentary facies of pit-samples. (a-e) Samples were a peeled by fixing agent.

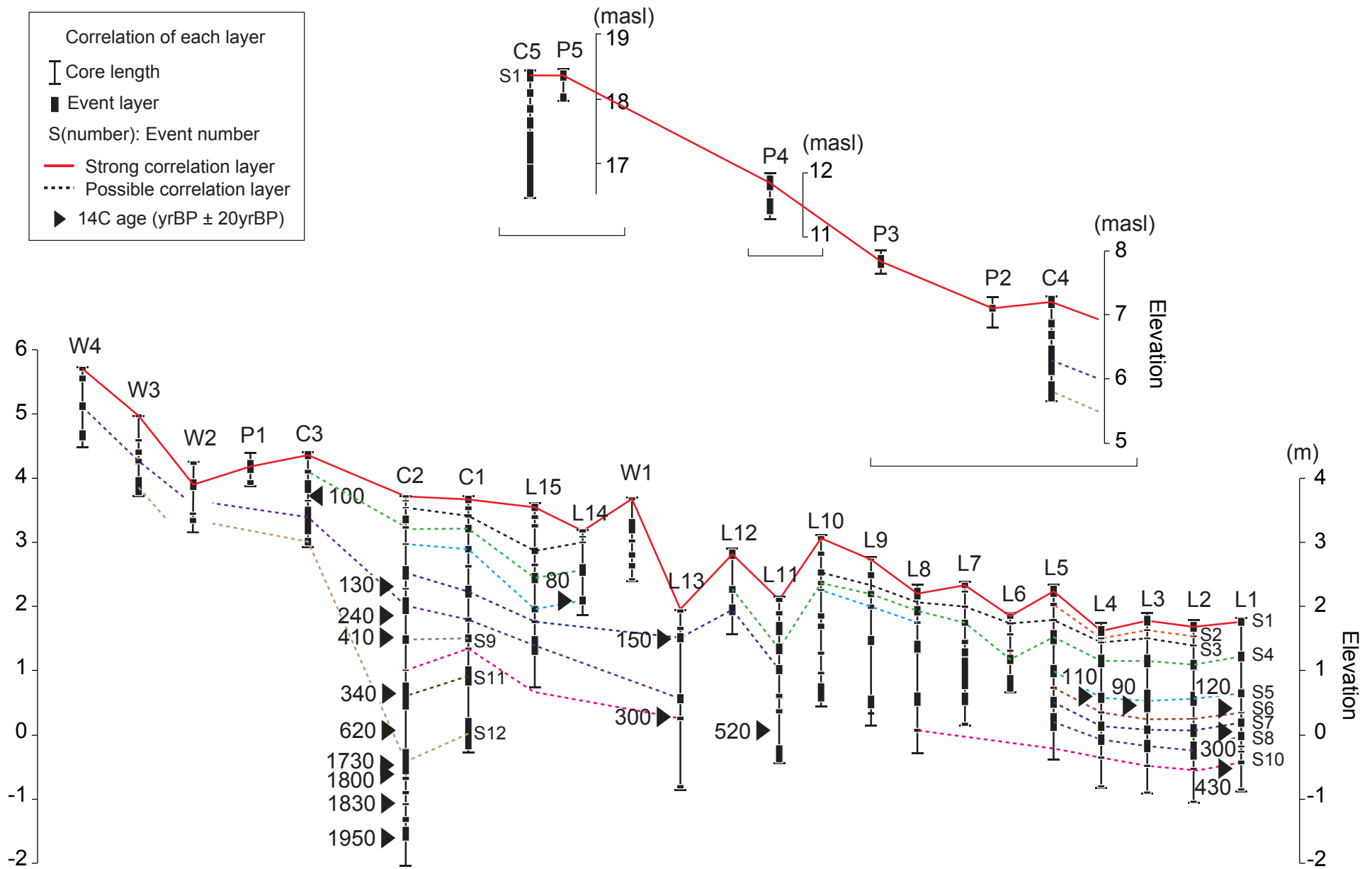


Fig. 3-11 Depositional age along the transect
Intervals between each samples were arranged along the transect.

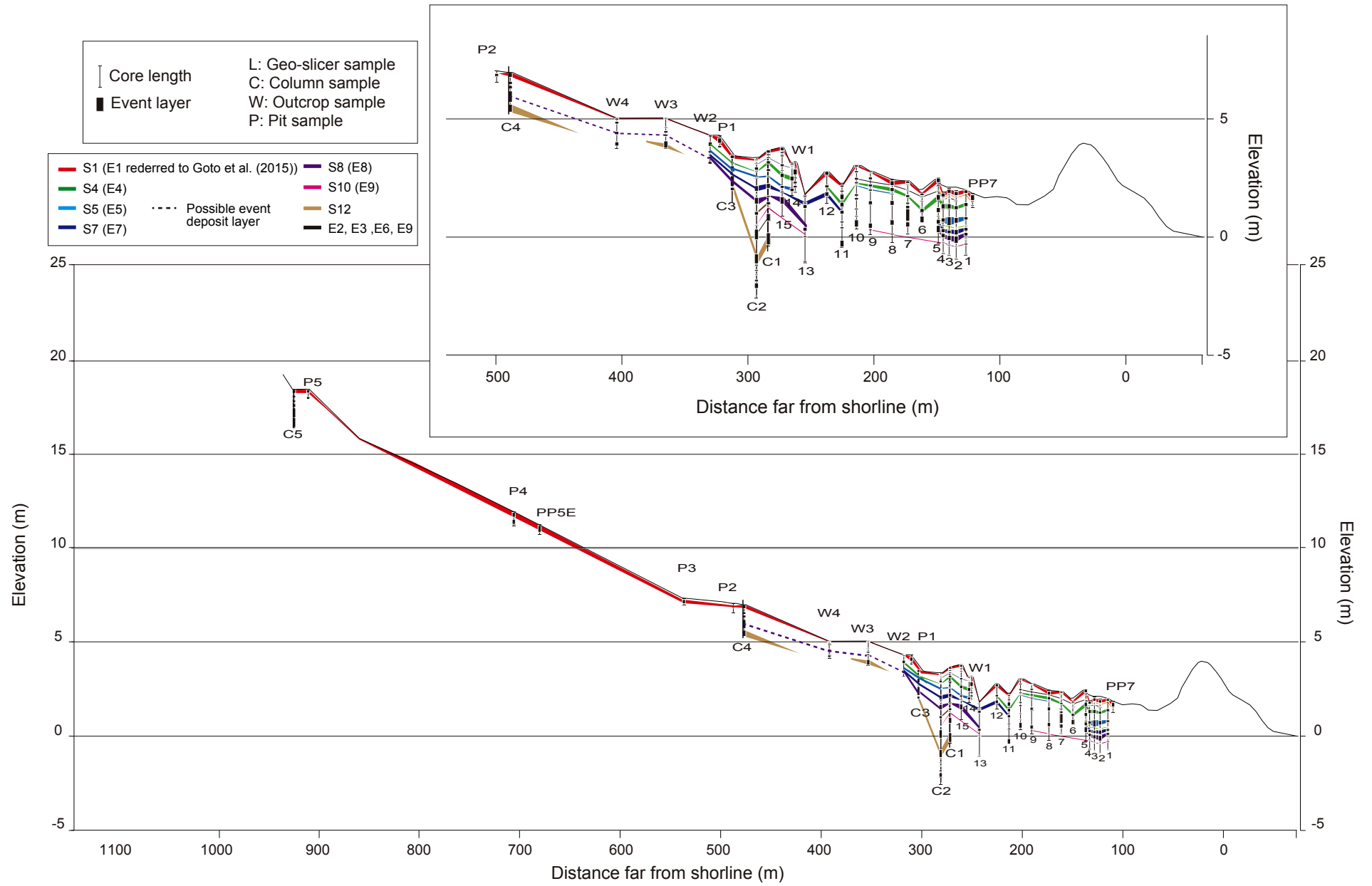


Fig. 3-12 Correlation of event layer along the transect

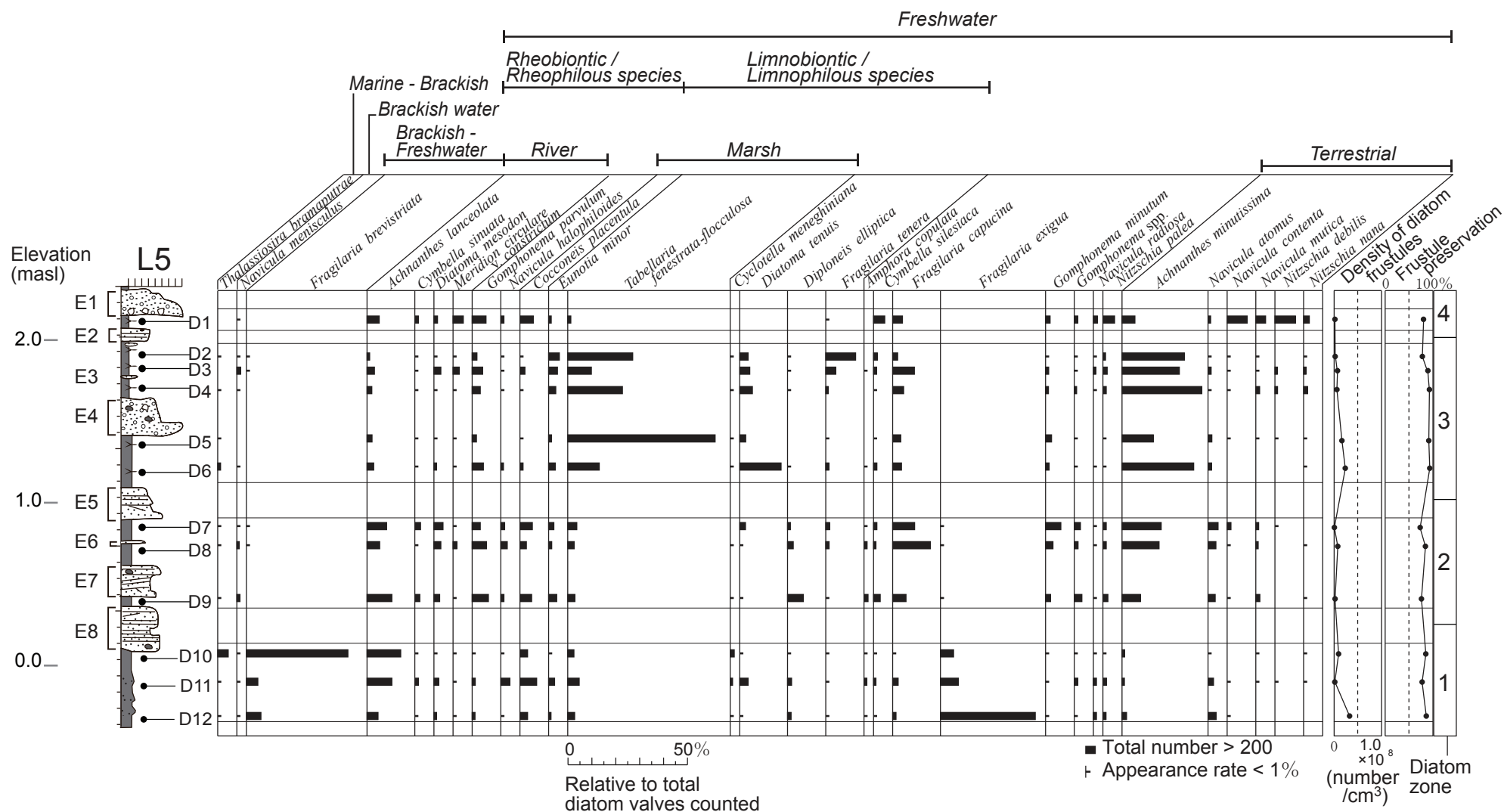


Fig. 3-13 Vertical changes in diatom assemblages in geo-slice sample L5. Diatom zones are indicated on the right. Living environments are shown above the diatom taxa.

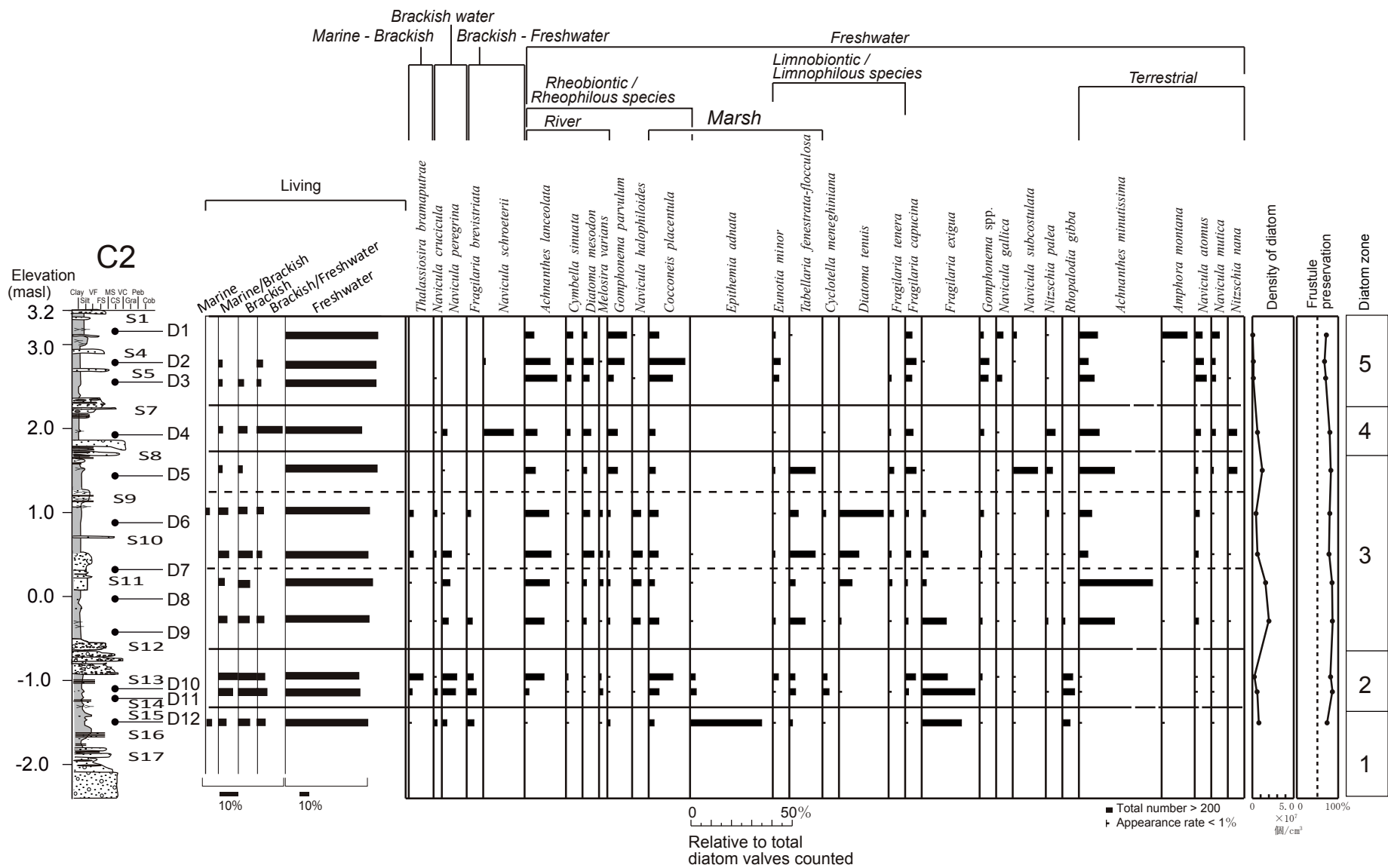


Fig. 3-14 Vertical changes in diatom assemblages in geo-slice sample C2. Diatom zones are indicated on the right. Living environments are shown above the diatom taxa.

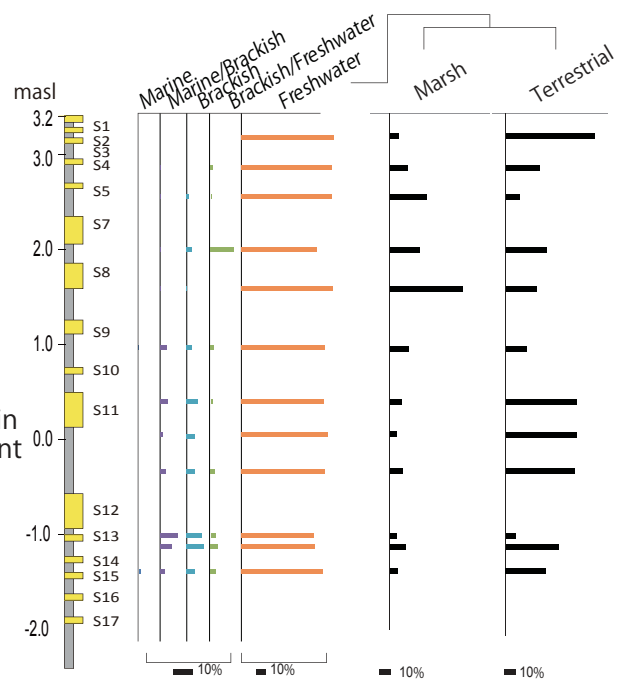
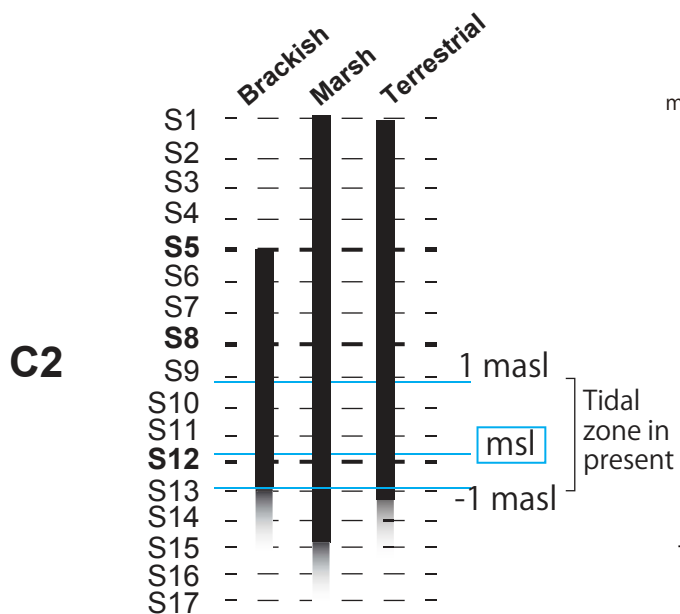
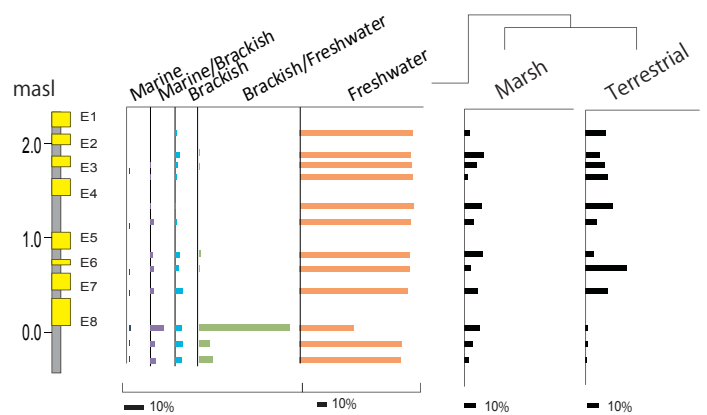
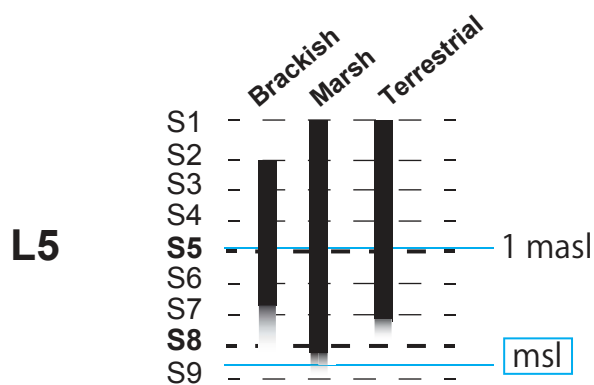


Fig. 3-15 Sedimentary environment in lowland

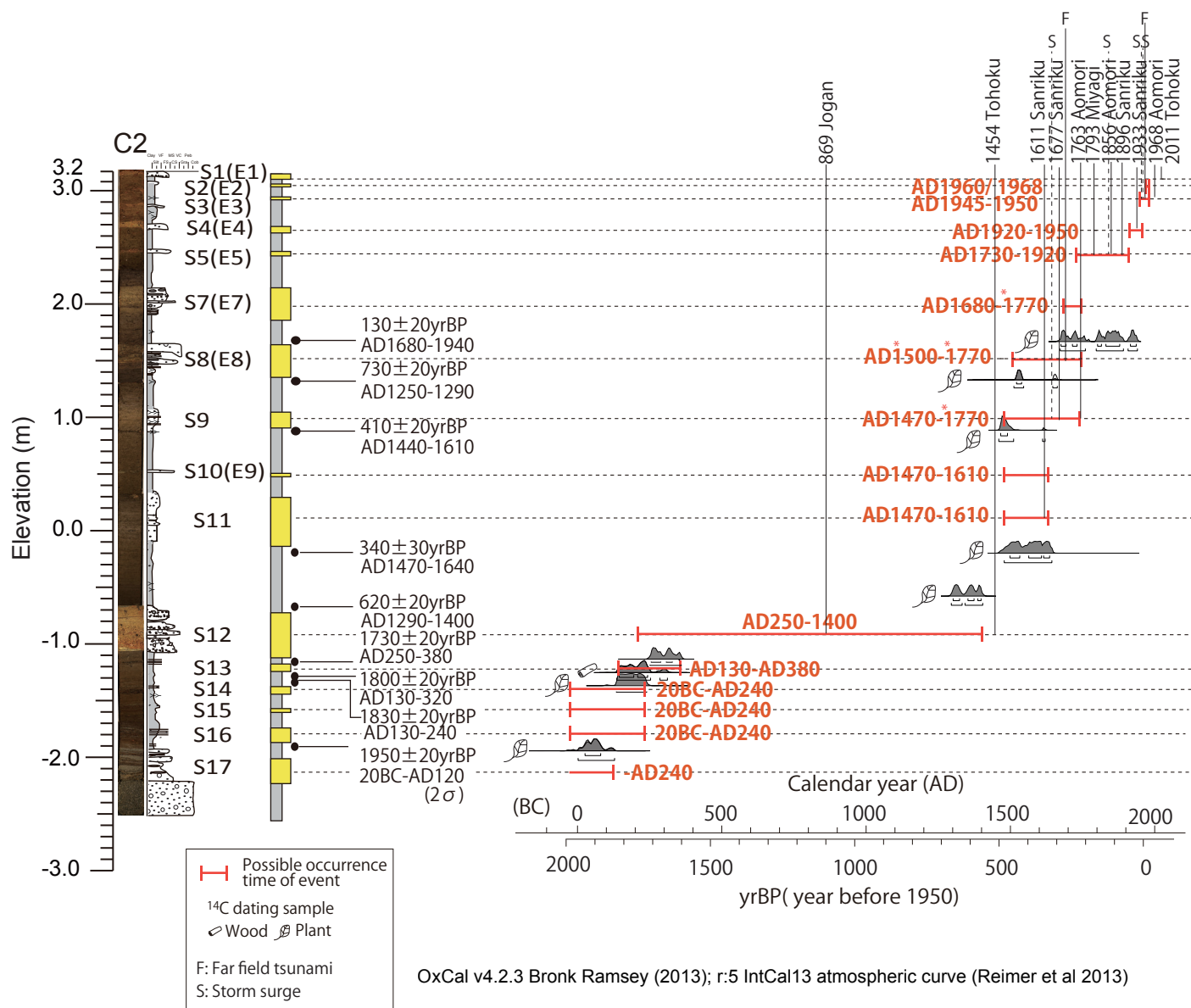
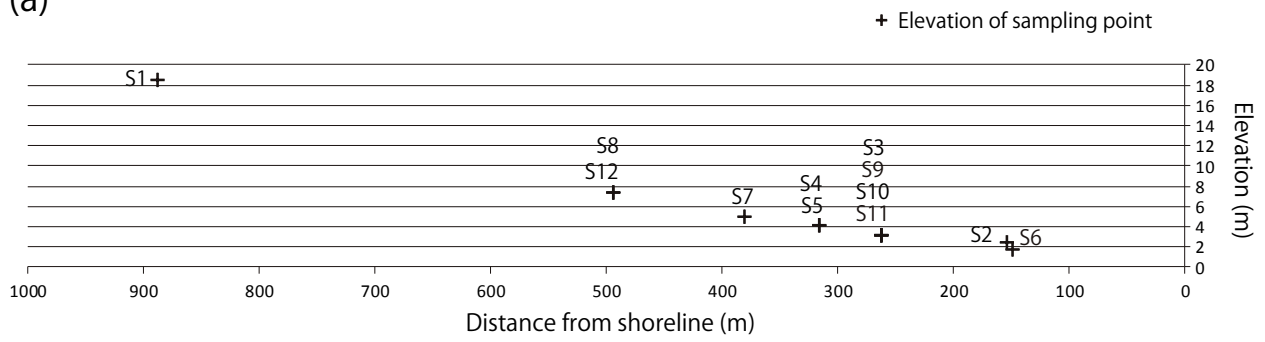
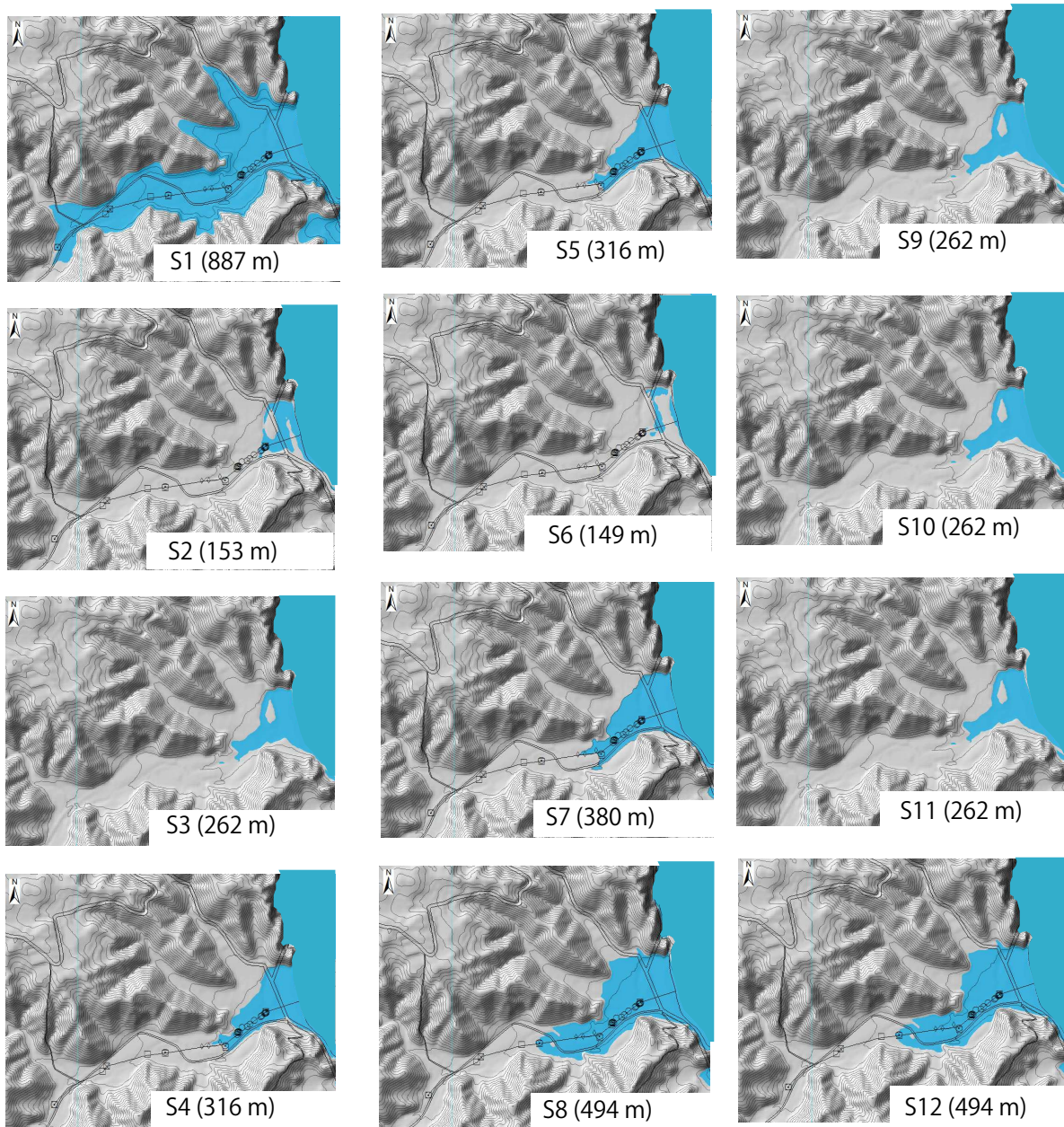


Fig. 3-16 Sedimentary speed and environment of column sample 'C2' .
Estimated probability distribution for the deposition ages of each event deposit by using Oxcal program.
E-(No.) is the event name that was named in Chapter4-1. *: Dating was refer to age that estimated at Chapter4-1.

(a)



(b)



(): Distance from shoreline

Fig. 3-17 Reconstruction of inundated area of old-event from distance from the present shoreline.
(a) Position of event layer detected. (b) Inundated area by each event.

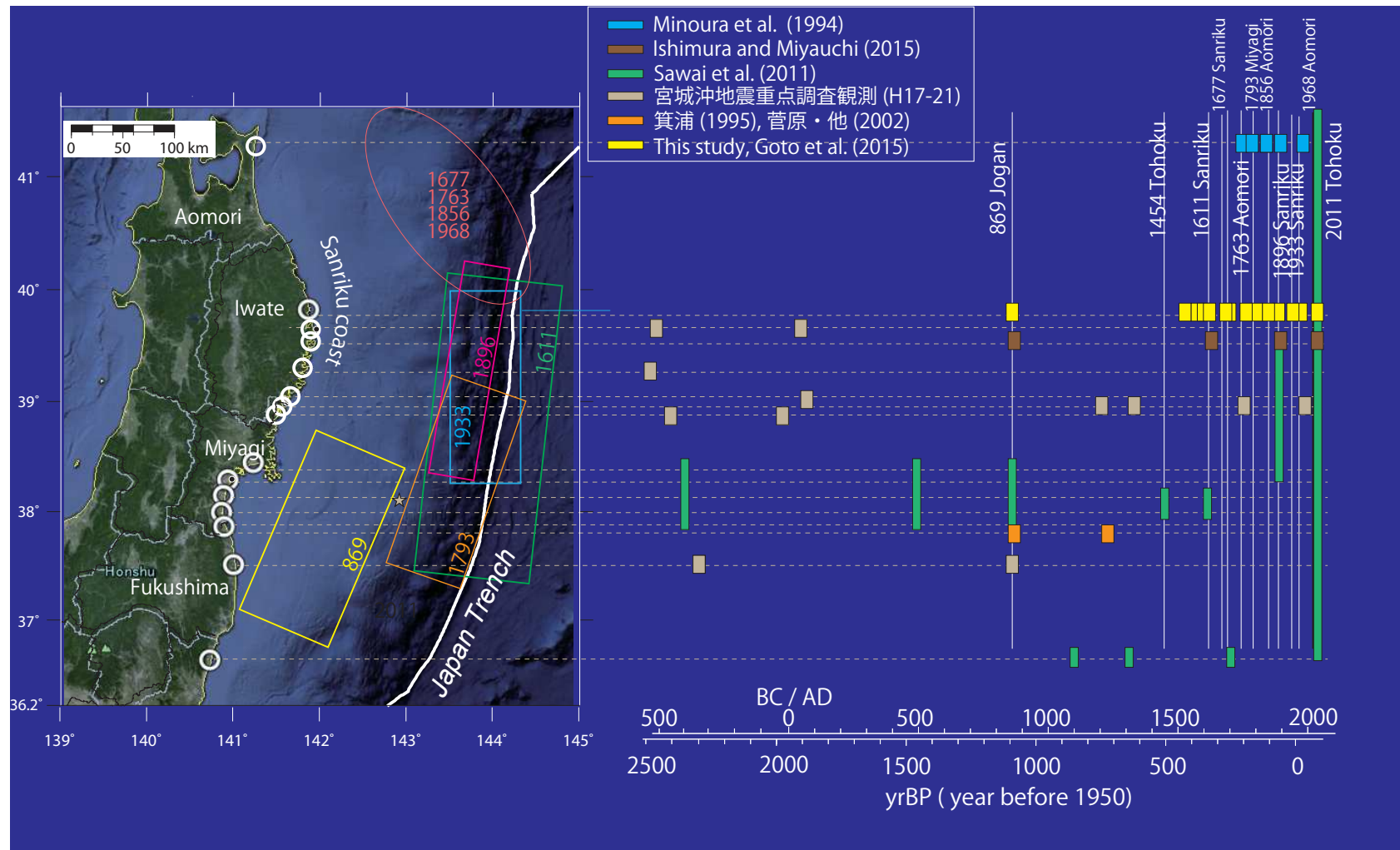


Fig. 3-18 Distribution of the detected event by previous studies and this study.

Yellow color shows events detected in this study. I could reconstruct historical events in chronological order. Other events were detected by some studies, for example, Tanigawa et al. (2014) found the event deposited 4,800-2,900 cal BP in coastal area at Misawa city, Aomori Prefecture.

Table 3-1. Result of ^{14}C , ^{210}Pb and ^{137}Cs dating

(a) C-14

Serial No.	Geo-slice No.	Depth (cm)	Sample type	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) AMS	Measured ^{14}C age (yrBP)	Conventional ^{14}C age (yrBP $\pm 1\sigma$)	Calibrated age (AD)	Modeled age (AD)	Lab. No. (IAAA-)
							2 σ range	2 σ range	
1	L1	77	Charred material	-17.91 ± 0.36	210 ± 20	162 ± 21	1670-1920	1920-1950	122920
2	L1	104	Charred material	-29.32 ± 0.26	130 ± 20	54 ± 21	1700-1920	1820-1920	122921
3	L1	126	Plant	-27.90 ± 0.30	220 ± 20	171 ± 20	1670-1920	1730-1810	122922
4	L1	142	Charred material	-26.97 ± 0.30	150 ± 20	119 ± 21	1680-1940	1680-1770	122932
5	L1	170	Charred material	-28.12 ± 0.38	$1,560 \pm 20$	$1,507 \pm 23$	430-620	-	122923
6	L1	184	Plant	-28.35 ± 0.33	360 ± 20	304 ± 21	1500-1650	1500-1650	122924
7	L1	220	Plant	-29.14 ± 0.29	440 ± 20	371 ± 21	1450-1630	1450-1620	122926
8	L1	248	Charred material	-27.70 ± 0.32	480 ± 20	433 ± 21	1430-1480	1430-1480	122933
9	L3	155	Seed coat	-24.97 ± 0.56	90 ± 20	94 ± 23	1690-1930	-	123828
10	L4	142	Wood fragment	-27.98 ± 0.46	160 ± 20	107 ± 24	1680-1930	-	123831
11	L11	135 - 140	Wood fragment	-28.42 ± 0.52	150 ± 20	92 ± 24	1690-1930	-	123836
12	L11	225 - 230	Charcoal	-28.06 ± 0.59	570 ± 20	522 ± 24	1330-1440	-	123840
13	L13	72 - 77	Wood fragment	-28.81 ± 0.61	220 ± 20	154 ± 24	1670-1950	-	123839
14	L13	145	Wood fragment	-27.43 ± 0.27	540 ± 20	498 ± 24	1410-1450	-	123841
15	L13	155 - 160	Seed	-27.43 ± 0.27	460 ± 20	494 ± 23	1410-1450	-	123843
16	L13	187 - 191	Plant	-31.21 ± 0.59	400 ± 20	297 ± 23	1500-1650	-	123842
17	L14	38	Wood fragment	-30.16 ± 0.33	210 ± 20	120 ± 20	1680-1940	-	122929
18	L14	125	Charred material	-27.83 ± 0.39	130 ± 20	81 ± 22	1690-1920	-	122925
19	L14	117	Charred material	-31.97 ± 0.29	210 ± 20	91 ± 20	1690-1920	-	122935

(b) Pb-210

Serial No.	Geo-slice No.	Depth (cm)	Weight (grams)	Pb-210 (total) (dpm/g)	Pb-210 (excess) (dpm/g)
1	L5	20	1.92	4.52 ± 0.29	2.99 ± 0.31
2	L5	38	2.02	4.54 ± 0.27	3.22 ± 0.29
3	L5	60	2.29	2.15 ± 0.18	0.53 ± 0.21
4	L5	108	1.84	1.56 ± 0.17	0.2 ± 0.19
5	L5	154	2.21	2.18 ± 0.18	0.69 ± 0.21

(c) Cs-137

Serial No.	Geo-slice No.	Depth (cm)	Cs-137 (dpm/g)
1	L5	20	0.98 ± 0.06
2	L5	38	0.86 ± 0.06
3	L5	60	ND
4	L5	108	0.09 ± 0.02
5	L5	154	ND

Footnotes

(a) All samples are calibrated to calendar years (error range: 2σ) using the OxCal 4.2.3 program and the IntCal13 database. The modeled age for each ^{14}C sample for geo-slice 1, except for serial sample No. L5 (^{14}C age for calibration: $1,507 \pm 23$ yrBP), was recalculated by Bayesian estimation (Bronk Ramsey, 2008; Bronk Ramsey and Lee, 2013). (b) Since more ^{210}Pb was detected in serial sample No. L5, this sample was excluded from the analysis.

Table 3-2. Result of 14C dating

(a) C-14

Serial No.	Geo-slice No.	Depth (cm)	Sample type	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) AMS	Measured ^{14}C age (yrBP)	Conventional ^{14}C age (yrBP $\pm 1\sigma$)	Calibrated age	Lab. No. (IAAA-)
							2 σ range	
1	C2	160	Plant	-26.28 ± 0.22	150 ± 20	132 ± 22	1677calAD-1940calAD	143557
2	C2	188	Charred material	-27.49 ± 0.49	770 ± 20	733 ± 23	1251calAD-1293calAD	142316
3	C2	197	Plant	-27.17 ± 0.20	280 ± 20	244 ± 22	1532calAD-1943calAD	143558
4	C2	243	Plant	-25.03 ± 0.61	410 ± 20	409 ± 24	1436calAD-1617calAD	142317
5	C2	333	Charred material	-29.91 ± 0.45	420 ± 20	342 ± 25	1470calAD-1637calAD	142318
6	C2	384	Plant	-24.47 ± 0.21	610 ± 20	620 ± 22	1294calAD-1398calAD	143559
7	C2	439-440	Plant	\pm	1790 ± 20	1726 ± 20	252calAD-383calAD	150267
8	C2	449	Wood fragment	-29.91 ± 0.45	1880 ± 20	1803 ± 24	131calAD-322calAD	142319
9	C2	483	Plant	-29.51 ± 0.45	1900 ± 20	1830 ± 20	129calAD-240calAD	150254
10	C2	520	Charred material	-26.49 ± 0.32	1970 ± 20	1950 ± 20	20calBC-124calAD	142320

(a) All samples are calibrated to calendar years (error range: 2 σ) using the OxCal 4.2.3 program and the IntCal13 database.

Table 3-3. Candidates of historical event and pre-historical event

Event layer	Candidates of historical event
S1 (E1)	2011 Tohoku-Oki
S2 (E2)	1968 Aomori-Oki 1960 Chile
S3 (E3)	1948 Ione typhoon 1947 Catherine typhoon
S4 (E4)	1933 Sanriku-Oki
S5 (E5)	1896 Sanriku-Oki 1856 Aomori-Oki 1850 storm surge 1793 Miyagi-Oki
S6 (E6)	1793 Miyagi-Oki 1763 Aomori-Oki 1700 Cascadia
S7 (E7)	1763 Aomori-Oki 1700 Cascadia
S8 (E8) / S9	1763 Aomori-Oki 1700 Cascadia 1677 Aomori-Oki 1648 Storm surge 1611 Sanriku-Oki
S10 (E9)	-
S11	-
S12	869 Jogan (Tohoku-Oki)
S13	AD130 - AD380 (This span was estimated by Oxcal program with 2σ range)
S14	20BC~AD240
S15	(This span was estimated by Oxcal program with 2σ range)
S16	20BC-AD120
S17	(This span was estimated by Oxcal program with 2σ range)

4. 2011 年東北地方太平洋沖地震津波で形成された礫質津波堆積物

4-1. 特徴的な堆積構造

表層を覆う 2011 年津波堆積物は、調査地における津波堆積物の堆積学的特徴を理解するうえで重要である。そこで 2011 年津波堆積物の層相を解釈するために、測線上の 2011 年津波堆積物の層相を記載し、併せて深度 2 cm 毎の粒度分析を実施した (Fig. 4-1, Fig. 4-2)。調査地で観察された 2011 年津波堆積物は、既往研究により報告されてきた津波堆積物に特徴的な堆積構造 (本論文 1.3 で既述) が観察された。全ての調査地点において下位層との明瞭な侵食面が認められ、例えば、L2 地点 (Fig. 4-2a) では平常時堆積物であるシルト層上部に明瞭な侵食面を伴って礫混じり砂層 (ユニット番号 U-L2-(2)) が堆積し、層準内には級化構造が認められた。深度方向の粒径変化は並列して図示した粒度分析結果からも読み取ることができ、ユニット下位には-1φ より粗粒 (2 mm 以上) の礫が 50 % 以上含まれ、上位に向かってより細粒な 1φ (0.5 mm) 以下の粒子の割合が増加する。L8 地点 (Fig. 4-2q) では、津波堆積物の層準は下位から大きく 3 つのユニットに分けられ、下位から極粗粒層 (U-L8-(4))、ラミナを伴う薄い砂泥互層 (U-L8-(3))、級化構造 (上方細粒化構造) を示す粗粒砂層 (U-L8-(2)) と垂直方向に変化に富む堆積構造が認められる。U-L8-(2) 内部にはマッドシート (薄い泥層) が挟在する。級化構造は L2, L4, L5, L12, P1, C3, C4, C5, P3, C5, 逆級化構造は L6, L13, C1 でそれぞれ顕著に観察された。特に、L7, L8, P2, P4, P5 では 1 イベント層準内で下位から表層に向かって級化構造から逆級化構造に遷移する層相が観察された。本論文 1.3 で述べたとおり、イベント層準内の垂直方向の粒度変化は、浸水時の水中の粒子が浮遊から沈殿する過程 (Jaffe *et al.* (2012) の Suspension grading model) を現しており、層準内に級化・逆級化を繰り返す構造のユニット境界面は、運搬過程が変化した遷移面を現していると考えられる。

4-2. 測線上の礫質津波堆積物の層厚と層相変化

調査地内の海浜の 2 地点 (浜堤トップ : 地点 BR1, 浜堤の前浜 : 地点 BR2) の礫径を調べたところ、粒径のピークは 1φ (径 0.5 mm) から-2φ (4 mm) である。一方で、本調査地で観察された 2011 年津波堆積物は-2φ よりも粗い粒子が多く含まれていた (例えば Fig. 4-3 中の L1, L2, L4, C3, C4 地点) ことから、津波堆積物を構成する粒子は海浜

礫以外にもあると考えられた。そこでまず、本調査地で採取した礫質津波堆積物の層相とその分布を調べるために以下の3点について観察を行った。

(ア) 測線上の層厚の変化

(イ) 層準内の礫の含有率と層厚の関係

(ウ) 層準内の最大礫径と層厚の関係

その結果、(ア) 層厚は測線上で3~23 cmとばらつきがある (Fig. 4-4)。(イ) 層準内の礫の含有率と層厚は、測線上で両者共に低い割合を示しており、やや相関が認められる (Fig. 4-5a)。ただし、C3 地点では-2φ (4 mm) 以上の礫が多く混在しているため礫の重量%が極端に高い割合を示したとみられる。(ウ) 最大粒径と層厚には明瞭な相関は認められない (Fig. 4-5b)。

以上のことから、本調査地の2011年津波堆積物は、粒径2 mm (-1φ) 以上の礫の含有率が高く、イベント層準内の礫の含有率が大きいほど層厚が厚くなる傾向にあることがわかった。

4-3. ピット掘削試料からみる礫質津波堆積物の礫組成

3-2 で海浜礫以外の粒径の大きな粒子が谷底平野の津波堆積物中に保存されていたことを踏まえ、津波堆積物に含まれる礫の産状についてより詳しく調べることにした。より正確に礫径を捉えるためにはジオスライサーで採取した柱状試料よりもピット掘削による観察が適当と考えられた。ジオスライサー容器のサイズは断面が3 cm×10 cmと限られているために、礫径が3 cmより大きい粒子はピット面でよく観察できる可能性がある。ピットPP7 地点 (浜堤裏の後背低地) とPP5E 地点 (谷中央部の低地) の2つのピットについて2011年津波堆積物の層相を記録した。PP7 では礫の含有率、PP5E では、含まれる礫の流向を調べた。

[ピット試料: PP7]

海岸線から約150 m離れた地点で採取したもので、ピット面を成形後に剥ぎ取り作業を行い、幅約30 cm、表層からの深度約40 cmのサイズの剥ぎ取り標本を得た (Fig. 4-6a)。層相について、以下の特徴が見られた (計測礫数: 203)。

- ・ 表層から 5 つのユニット層に分けられる（上層から U-PP7-(1)~(5)）．ユニット U-PP7-(2)と U-PP7-(3)の接地面が明瞭な侵食面を形成していることから，U-PP7-(2)は 2011 年津波堆積物の最下層準に相当する（層厚約 20~30 cm）．ユニット U-PP7-(1)も粗粒砂まじりの泥層であるので，2011 年津波堆積物の一部とみられる．
- ・ U-PP7-(4) は 2011 年の津波以前のイベント層とみられる粗粒砂層で，上位の 2011 年津波堆積物に一部削剥されている．
- ・ 2011 年津波堆積物は砂礫層で，礫が全体の 45%（重量%）を占めていた（Table 4-1, Fig. 4-7a）．礫の最大粒径（短軸）は 175 mm（-4phi 程度）であった．
- ・ 2011 年津波堆積物を構成している礫の岩種（礫種）とその割合を調べたところ，流紋岩が 53%，花崗岩が 19%を占めていた（Fig. 4-7b）．
- ・ 予察的に層準内の礫を形状に注目して，丸みを帯びた円礫～亜円礫とそれ以外（亜角礫～角礫）とに目視により分別したところ（Fig. 4-6bc），前者と後者の割合は重量%で，それぞれ 15%，85%であった（Fig. 4-7c）．

このことから，PP7 地点で観察された 2011 年津波堆積物の構成礫は主に亜角礫～角礫の礫質津波堆積物であり，岩屑の形状が角張っていることから，水による円磨作用をそれほど受けていない陸上起源の粒子と考えられ，津波堆積物中に相当量混在していることがわかった．しかし，このような礫質津波堆積物が観察できた一方で，本ピット試料の近くで掘削したジオスライサー試料（L2）中の 2011 年津波堆積物は，層準内の礫の含有率が 28%にとどまり，ピット試料に比べて礫の割合が小さかった．このことは，調査地内の近距離内でイベント堆積物の層相にバラつきがある可能性や，掘削器の容積に制限があったため採取法による差異とも考えられる．

[ピット試料: PP5E]

海岸線から約 650 m 離れた地点の試料で，ピット面を成形後に剥ぎ取り作業を行い，幅約 40 cm，表層からの深度約 60 cm のサイズの剥ぎ取り標本を得た（Fig. 4-8）．目視観察の結果，以下の特徴を読み取ることができる．

- ・ 表層から 2 つのユニットに分けられる（上層から U-PP5E-(1)，U-PP5E-(2)）．U-PP5E-(2)直下には土壌層（U-PP5E-(3)）があることを現地で確認しているので，

ユニット U-PP5E-(2)の砂礫層が 2011 年津波堆積物である。この層厚は約 50 cm で、U-PP5E-(2)と下位の土壌層は明瞭な侵食面を形成する。

- ・砂礫層 U-PP5E-(2)は、礫径数 cm 以上の亜角礫および亜円～円礫状の河床礫（花崗岩）を多く含む礫質堆積物である。
- ・ユニット U-PP5E-(2)（2011 年津波堆積物）に含まれる礫の長軸の流向を調べたところ（計測個数：15），計測した礫全てが東に傾斜しており，その流向は N40 °E から N88°E を示しており（平均：N24.8°E），礫は南東方向に傾斜していた（Fig. 4-8）。

各ピット試料で観察された 2011 年津波堆積物は水流を伴う津波イベントによって形成されたものであるので，層準内の礫の示す流向から当時の水流を復元できると考えられる。ピット試料 PP5E で観察された 2011 年津波堆積物中の礫が示した流向は，海岸への直線的な流向 N25°E とほぼ一致することから PP5E の層相は津波の南東方向からの押し波（海から内陸に向かう流れ）によって形成されたものであると推定される。本調査地谷内の 2011 年津波の挙動は，すでに Gusman *et al.* (2015, IPGP_abstract) により海から内陸へ向かう流向が再現されており，今回の地質学的に求められた結果と整合的である（附表）。得られたピット試料中で採取できる礫数には限りがあり，その流向を示すのに十分なサンプル数が得られない場合もあるが，今回のピット試料のように明らかに目視で礫がインブリケーションを示している場合には，地層に残された津波堆積物中の礫が，当時の流向の予察に有効であることがわかった。

得られた地質試料から当時の波の流速を推定すると，後背低地のピット掘削試料 PP7 と PP5E で観察された試料中の礫の最大粒径は，それぞれ 175 mm と 150 mm であり，Hjulströms (1935)の粒径と流速の関係を示したグラフから礫が移動し得る流速を求めると少なくとも 1.3 m/s 以上となる。Gusman *et al.* (2015) による津波の挙動シミュレーションによると，谷の入り口付近の 2011 年津波の流速は 6～10 m/s 弱である。実際の礫径から求めた流速が，シミュレーションによる流速よりも過小になった原因は，津波堆積物を採取した場合に採取地点で捉えられる礫径は限定されるためと考えられる。しかしながら，調査地点で最大粒径を捉えることにより，最小の流速を求めることは可能である。

4-4. 津波時の侵食・堆積作用からみる津波堆積物の形成過程

4-4-1. 給源粒子

前項までに 2011 年津波堆積物の特徴的な堆積構造と構成粒子について述べ、津波堆積物中には、その形状から給源が陸源と考えられる粒子が混在する可能性を述べた。平常時、調査地の陸域に堆積している礫粒子の分布をより詳細に把握することで、谷特有の堆積様式を明らかにできると考えた。そこで本項では、谷内の平常時の‘堆積の場’に着目し、谷および海浜に分布している堆積物の特徴を把握する。イベント堆積物を構成する粒子は、本来の堆積の場から移動して再堆積した異地性の粒子である。そこで、本来の堆積場に存在する礫粒子を本項以降で「給源粒子」と名付け、谷内の各地点の給源粒子を特徴付けた。

Fig.2-4 の地形分類図で示した通り、本調査地は急峻な斜面に取り囲まれており、大きく浜堤、河川、後背低地、谷底平野、斜面域（急斜面・緩斜面）に分類される。この中で、平常時に礫質堆積物が存在する場所は、河床、浜堤、陸域斜面上の崖錐や沖積錐が候補となる。浜堤裏の後背低地は葦原が生い茂った湿地帯で、平常時は細粒なシルトや泥炭が堆積しており、礫の堆積の場ではないので給源の考察の対象とはしない。また、同様に谷底平野部も、2011 年以前からキャンプ場や駐車場として一部整地して利用されており人工改変の影響（外部から持ち込まれた碎屑物の存在）を考慮して対象から外した。給源粒子の採取地点を、傾斜角とともに Fig. 4-9 に示した。Loc.1 から Loc.6 の 6 地点は谷の傾斜面に位置し、これらの斜面上の礫は谷の標高 5 m 以上に分布する。そのほか、海浜礫（浜堤のトップ）および標高 15 m 付近の河床から試料を採取した。傾斜角が 30 度以下の斜面を緩斜面（Gentle slope : Loc3, Loc4, Loc.6）、30 度以上の斜面を急傾斜面（Steep slope : Loc1, Loc2, Loc.5）とした。例えば、Loc.1 は採取地点の傾斜角が 61 度を成す急斜面で、風化して剥がれた母岩や谷壁上の小崖の堆積物を採取した。Loc.6 の緩斜面では崖錐斜面上の森林土壌を採取した。

海浜、傾斜面、河床の礫について、それぞれの礫種と形状を調べた。形状として、礫径・円磨度（Krumbein, 1941）・球形度（Rittenhouse, 1943）を記録した（Table 4-2, Table 4-3）。試料採取地点は以下のとおりである（Fig. 4-9）。

給源粒子 [斜面]・・・Loc.1, Loc.2, Loc.5（傾斜角 30°以上の急傾斜面）、
Loc.3, Loc.4, Loc.6（傾斜角 30°以下の緩傾斜面）

給源粒子 [河床]・・・Riverbed (河床)

給源粒子 [海浜]・・・Beach (Top) (海浜)

その結果、礫種については、給源粒子 [斜面] (Loc.1~Loc.6 の 6 地点) は全て採取地点付近に分布する母岩由来の岩屑であった。斜面 Loc.1~Loc.4 の 4 地点は沿岸域に分布する珪長質火山岩類 (灰白色を呈する流紋岩)、Loc.5 と Loc.6 は上流域に広く分布する北上花崗岩体由来の岩屑で、地質区分に調和的な結果が得られた (Fig. 4-10)。給源粒子 [河床] では、河川の中流~上流域に分布している花崗岩体の影響で花崗岩礫が多く含まれる。給源粒子 [海浜] は、谷内の岩体由来 (流紋岩・花崗岩) 以外にもチャート・頁岩・砂岩・玄武岩など多様な礫種が観察された。

次に、粒径については、給源粒子 [海浜] は波や風成作用によってすでに-3φより細粒 (径 8 mm 以下) に淘汰されているのが特徴的である (Fig. 4-11)。その他の地点は、粒径が-4φから-7φ (16~32 mm 程度) と粗粒な傾向にある。礫の形状について、球形度は各給源位置で差はみられず、円磨度についてのみ給源位置によって顕著な差異がみられる (Table 4-2)。給源粒子 [斜面] は円磨度 0.1~0.3 を示し、円磨作用をほとんど受けていない。給源粒子 [河床] は、礫種によりやや円磨度が異なり流紋岩 0.28、花崗岩 0.43 で、河川流の影響のため斜面上の礫よりも円磨されている。給源粒子 [海浜] は礫種にかかわらず円磨度が高く 0.8~0.9 を示した。以上の結果から、球形度は各給源位置で差がみられず、給源を識別する指標としてはふさわしくない。

給源粒子 [斜面] は、礫種に関わらず円磨度 0.1~0.2 の粒子が特徴的で、本調査地で平常時に谷内の標高約 5 m 以上の斜面上に多く存在する礫粒子であるので、浸水高の指標となる。その標高まで少なくとも浸水し、谷壁や斜面上で侵食が発生して新たに碎屑物が生成されたと解釈できる。給源粒子 [河床] は、礫種によって円磨度が変化することから (Table 4-3b)、他の給源と区別するためには花崗岩で円磨度が 0.4~0.5 の粒子が適当であり、浸水時に主に引き波によって上流域から海側へ運ばれる粒子である。給源粒子 [海浜] は、円磨度 0.8~0.9 の粒子が特徴的で、津波が陸域へ運搬した粒子である。本調査地で観察された 2011 年津波堆積物中の構成粒子中に、これら給源粒子がどれくらいの割合で含まれるかを調べるために、以下を指標にした。

給源粒子 [斜面]・・・礫種に関わらず円磨度 0.1, 0.2 の粒子

給源粒子 [河床]・・・花崗岩で円磨度が 0.4, 0.5 の粒子

給源粒子 [海浜]・・・礫種に関わらず円磨度 0.8, 0.9 の粒子

4-4-2. 2011 年津波堆積物中の給源粒子の組成と運搬過程

ボーリング掘削試料 C1, C2, C3, C4 の最上部に認められた 2011 年津波堆積物について、礫種と円磨度を調べた。各地点の礫構成と円磨度を Fig. 4-12 で示し、各地点の礫種別の円磨度を Fig. 4-13 に示した。

これらにより以下のことがわかる。

- ①主要な構成礫種はいずれの地点においても花崗岩と流紋岩である。チャートや頁岩は産出数が少ない。
- ②各地点の円磨度について、全地点で共通して突出する円磨度は見受けられないが、いずれの地点でも円磨度 0.9 の円礫が 10%を上回り (C2 と C4 では 20%以上)、C1, C2, C4 においては、円磨度 0.4 の亜角礫が 20%以上の割合でみられる。
- ③礫種別の円磨度について、花崗岩は、円磨度の低い角礫状のものから円磨度の高い円礫状のものまであらゆる形状のものが産出するが、特に 0.4 の亜角礫が突出する。流紋岩については、特に円磨度 0.1 の角礫と 0.9 の円礫が頻出する。チャートや頁岩はいずれの地点でも産出数が少ないため、その傾向を把握できない。

2011 年津波時の谷内の侵食・堆積過程を明らかにするために、以上の結果をすでに 3-4-1 で特徴づけた「給源粒子」に置き換えて津波時の粒子の運搬過程を考察した。C1～C4 の各地点に含まれる各給源粒子の割合を Fig. 4-14 に図示した。これによると、いずれの地点においても給源粒子 [斜面]、給源粒子 [河床]、給源粒子 [海浜] の 3 種は混在しており、給源粒子 [斜面] は各地点で最大 20%程度 (全礫数の割合)、給源粒子 [河床] は海側の C1 と C2 地点で少なくとも 30%以上、給源粒子 [海浜] は谷中央部の C3 と C4 地点で 30%以上の割合で観察された。3 種の給源礫が同時に産出することは、浸水による斜面上の礫の削剥と運搬、引き波による河床礫の上流から海側への再移動、押し波による海浜礫の移動があったことを示唆しており、実際 2011 年東北地方太平洋沖地震津波で観察された浸水高 (約 18 m) をよく裏付けている。

以上のことをふまえ、谷内の津波の挙動と給源粒子の移動の様子モデルを Fig. 4-15a に示した。谷内に平常時に存在する堆積場の粒子と、それらの粒子が移動する過程を示している。津波堆積物の構成粒子となる周辺域の堆積物の候補は「海起源堆積物」と「陸

起源堆積物」の 2 つに大別される。「海起源堆積物」は沿岸域の砂泥・礫および海面上の浮遊物が主なものである。「陸起源堆積物」は本調査地の地形分類の通り、陸域の谷底平野・河床・後背低地・斜面域の各起源の堆積物である。そのほか道路や駐車場に利用されたコンクリート片などの人工物も「陸起源堆積物」の候補となる (Fig. 4-15b)。本調査地で扱った「給源粒子」は、「海起源堆積物」の海浜礫と「陸起源堆積物」の谷底平野・河床・斜面域の礫である。2011 年津波堆積物は、三陸沿岸の急峻な谷地形特有の地形が作用し、これらが混在した特徴的な津波堆積物を形成していたと推定される。本調査地の谷底平野で観察された津波堆積物の礫質な岩相は、谷特有の地形の影響を強く受けて形成されたことがわかった。

4-5. 岩石海岸と海岸平野の津波堆積物の堆積様式の違い

三陸海岸の陸域の谷において礫質津波堆積物が形成される際、谷特有の平常時の堆積場が津波堆積物の構成物に影響することを述べてきた。一方、仙台平野のような海岸平野においては 2011 年津波堆積物が砂質津波堆積物として認められ、過去の津波堆積物中でも同様な堆積物が検出されている (例: Sawai *et al.*, 2015)。それら堆積相の違いは、地形による効果と考えられる。三陸海岸と仙台平野の地形を比較するために、斜面の傾斜角に注目して地形分類図を示した (Fig. 4-16)。傾斜度別の分類図によると、三陸沿岸には、海岸線の前面に傾斜角 30 度以上の急傾斜面が分布していることが一目でわかる。一方、仙台平野では、海岸線から 5 km 以上内陸でようやく傾斜面 20 度以下の丘陵地が分布する。これらの違いは、それぞれの地形の形成過程の違いにある。三陸海岸は、典型的なリアス海岸で、地盤の沈降と海面の上昇、急激な海水面の低下による侵食作用により形成された細い谷地形が発達する (小池・他, 2005)。仙台平野は、海退と河川の沖積作用で形成された海岸平野で、平野部は干拓されて広く水田地帯として利用される。三陸沿岸沼の浜で津波堆積物を構成していた粒子は、海浜・陸域斜面・河床がその給源となっていたが、仙台平野では津波の遡上エネルギーが高い状態で陸域に障害となるような地形が存在しないため、津波堆積物の構成粒子のほとんどが沿岸域および平野部の堆積物であったと考えられる (例: 原・他, 2014; 宍倉・他, 2012)。仙台平野においては砂質堆積物が数 km 内陸まで広域に散布され、その層厚は陸側に向かって概ね薄層化し、粒径は陸側ほど細粒であることが報告されているが (Abe *et al.*, 2012)、本章

で議論してきた三陸海岸でみられた礫質津波堆積物は、仙台平野のそれとは対照的に、特有の谷底平野地形における高い津波の遡上と浸水の結果もたらされたものである。谷幅が狭く、谷底平野が急峻な斜面にとり囲まれるようなV字谷では、遡上波が陸地に到達後すぐに陸斜面を駆け上がり、戻り流れの流速も押し波に匹敵するほど大きく、そのエネルギーは陸上の傾斜面の土砂移動に大きく寄与すると考えられる (Fig. 4-17)。本調査地では標高約 5~10 m 以上に斜面域が分布していることから、海浜礫とともに陸域の礫を含むイベント堆積物は、少なくとも標高 5 m まで浸水した津波であることを示唆する。津波堆積物中の粒子はいずれも元々の堆積の場で津波によって侵食されたのちに運搬されて再堆積したものである。すでに、早川・他 (2015) は谷内の侵食作用について、2011 年津波襲来時に、リアス海岸の急傾斜の谷壁が波で侵食された際、特有の侵食地形が作られていたことを高精度のレーザースキャンによる地形調査の解析によって明らかにしている。このようにV字谷特有の津波時の侵食・堆積過程は確かに存在しており、その堆積学的特徴は仙台平野で報告されていた砂質津波堆積物のそれとは対照的である。2011 年津波堆積物は陸源の礫を多く含んでいるものの、海浜礫も一定の割合以上含むことから洪水堆積物と識別が可能である。この堆積学的特徴は、同調査地内の古イベント層を津波堆積物として認定する際に活用できる。調査地の堆積の場と侵食の場に注目して陸域に形成された 2011 年津波堆積物を理解することで、本調査地で発掘された古いイベント層を本調査地特有の層相を有する津波堆積物の認定に活用することが可能である。まとめると、イベント堆積物中の給源粒子 [斜面] は浸水高の指標となり、給源粒子 [河床] は上流域からの運搬作用を示唆し、給源粒子 [海浜] は海からの遡上を示す指標となる。

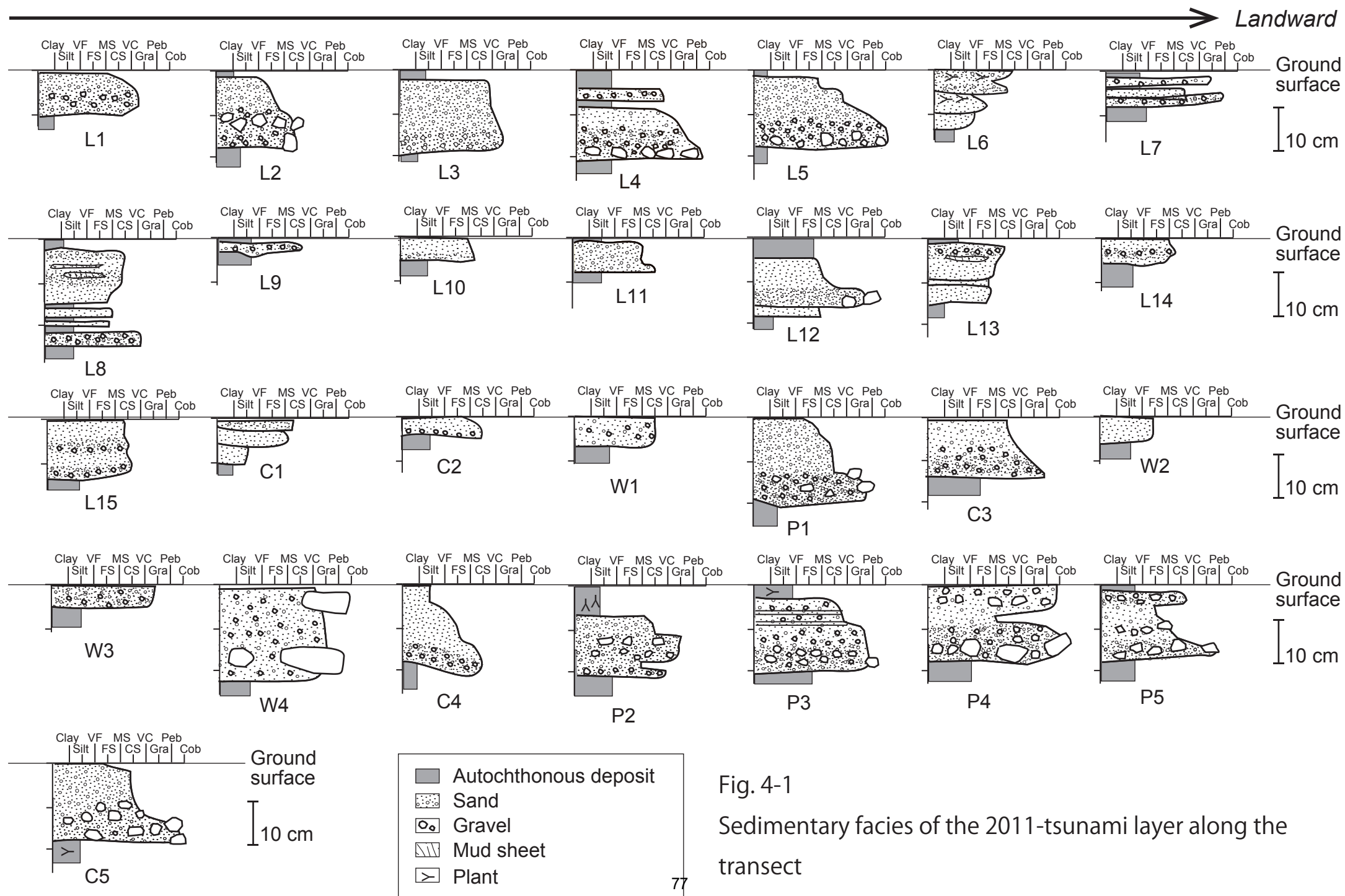


Fig. 4-1
Sedimentary facies of the 2011-tsunami layer along the
transect

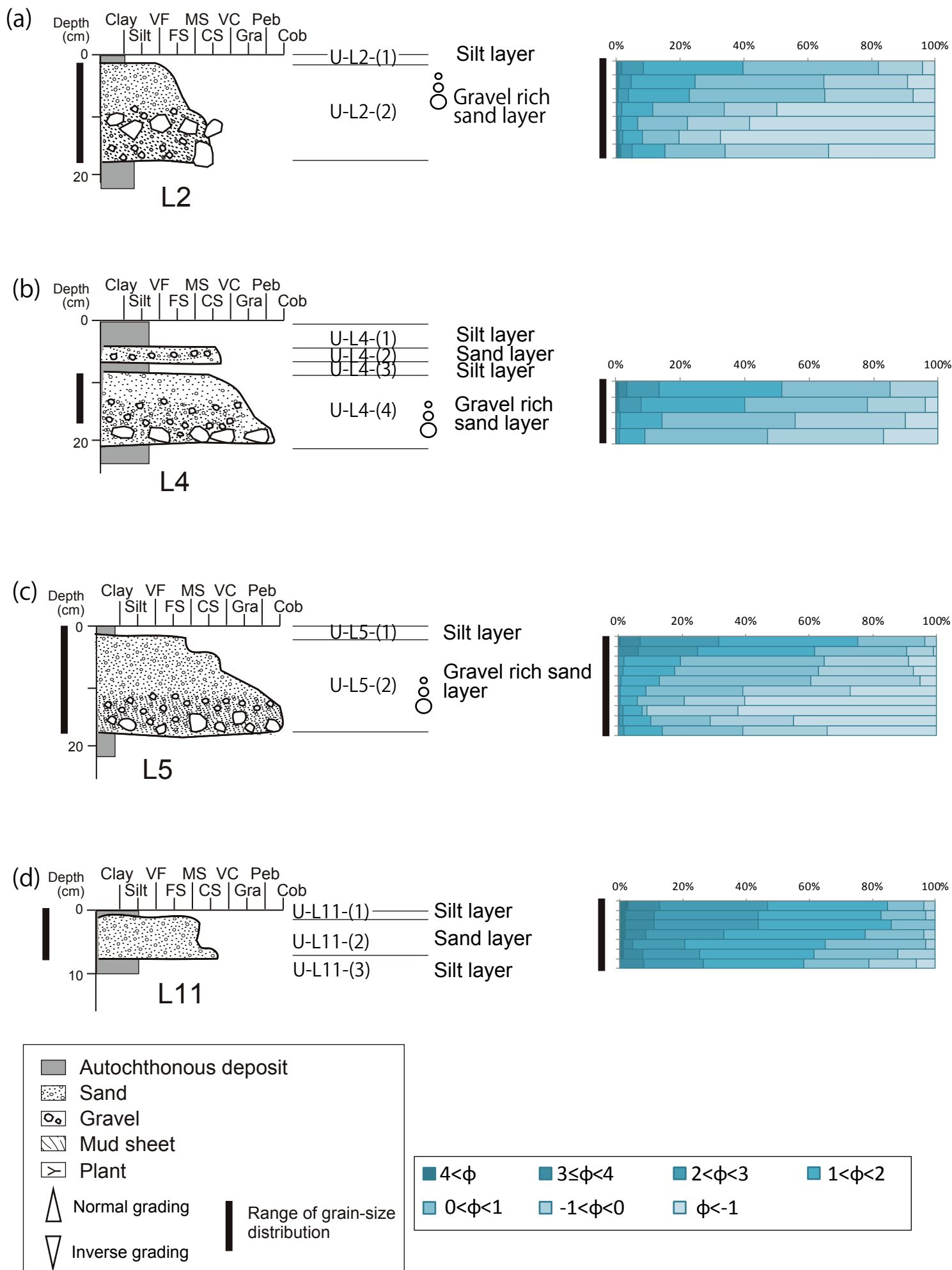


Fig. 4-2 (a-d) Sedimentary facies and grain size distribution of the 2011 tsunami layer

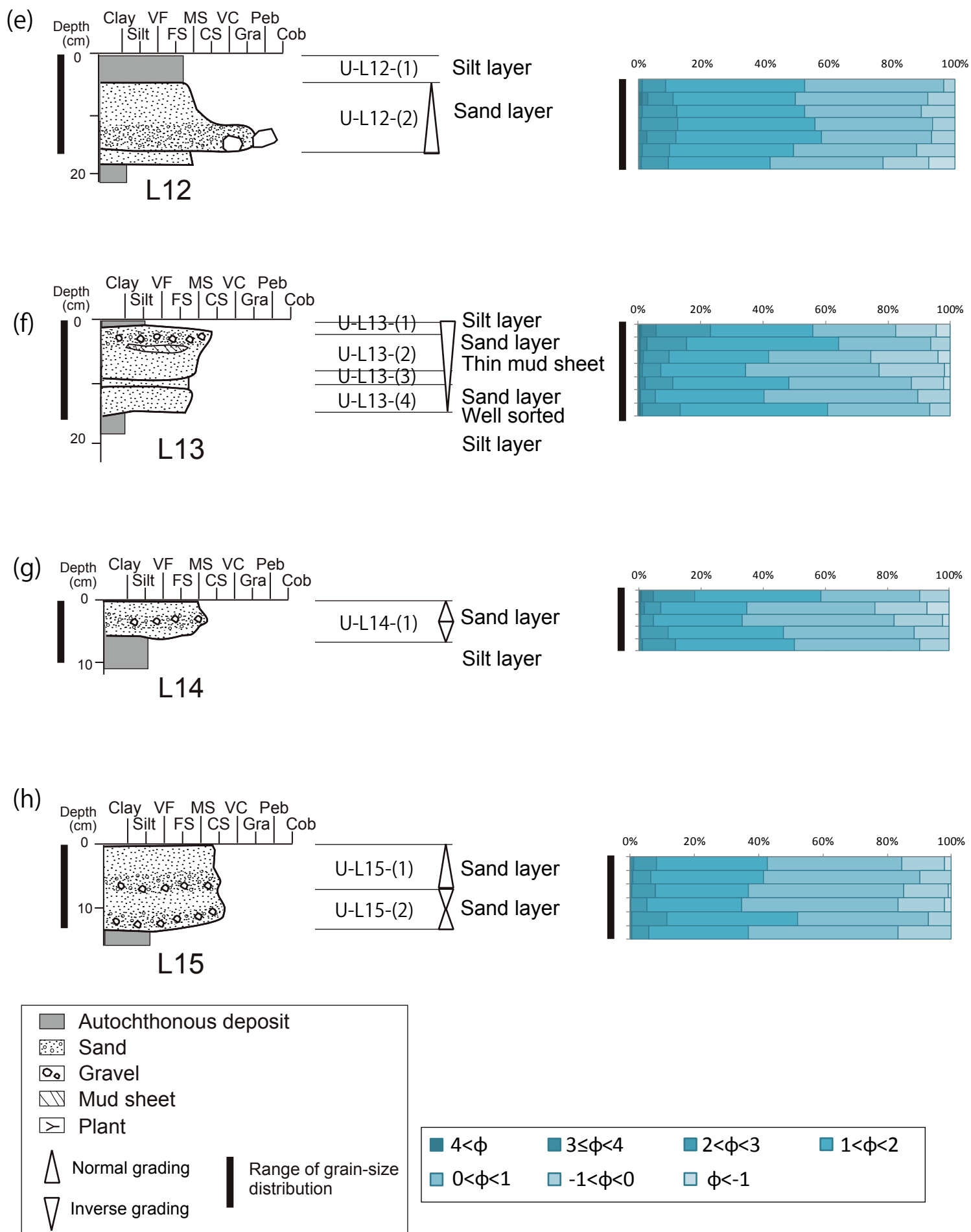


Fig. 4-2 (e-h) Sedimentary facies and grain size distribution of the 2011 tsunami layer

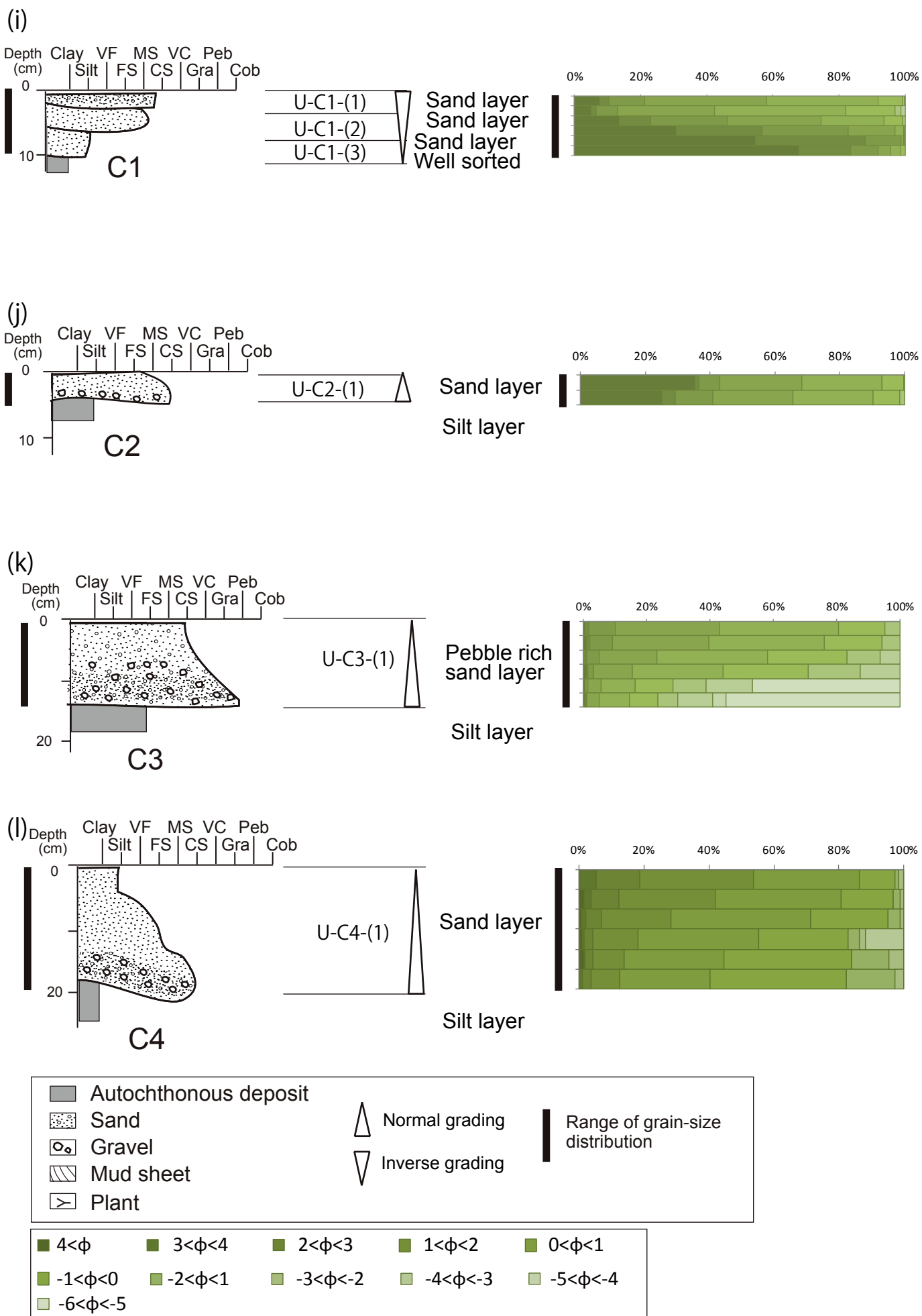


Fig. 4-2 (i-l) Sedimentary facies and grain size distribution of the 2011 tsunami layer

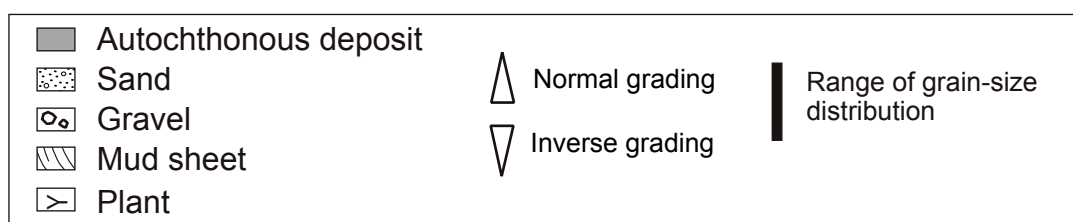
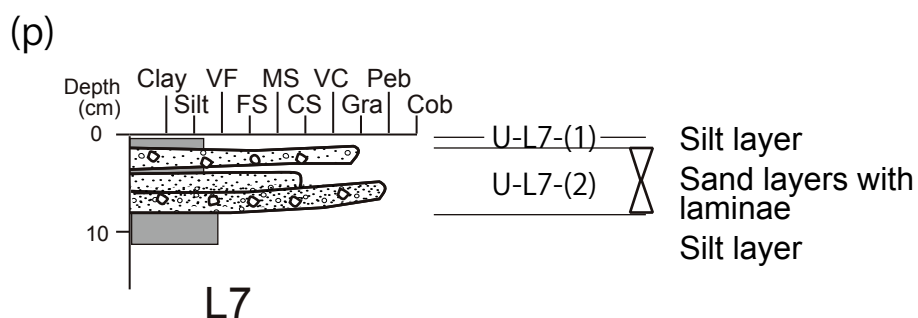
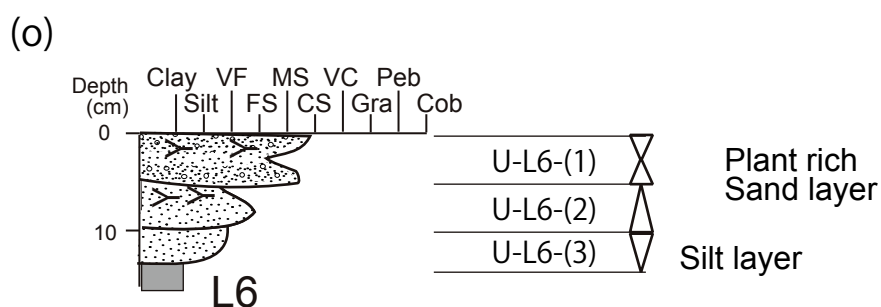
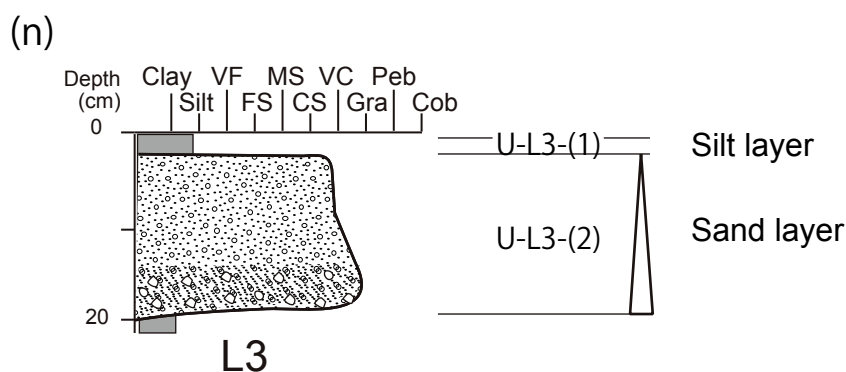
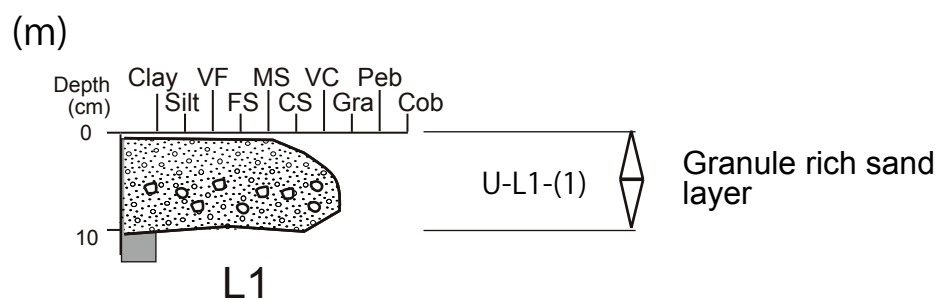


Fig. 4-2 (m-p) Sedimentary facies of the 2011 tsunami layer

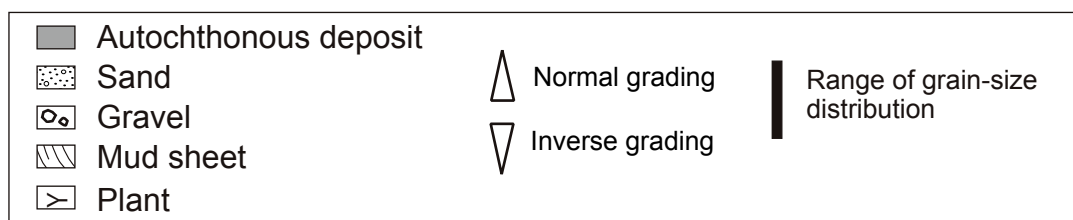
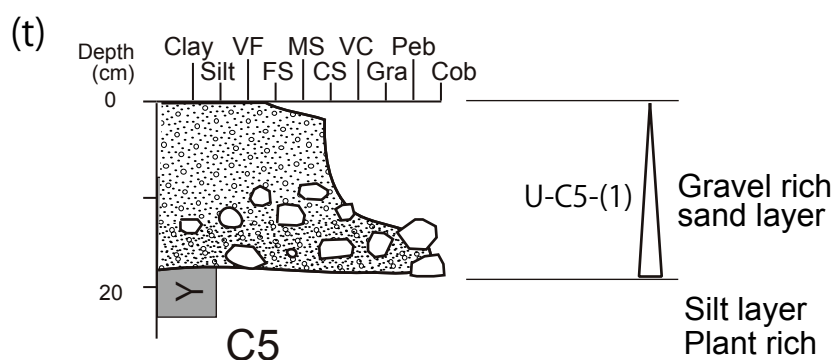
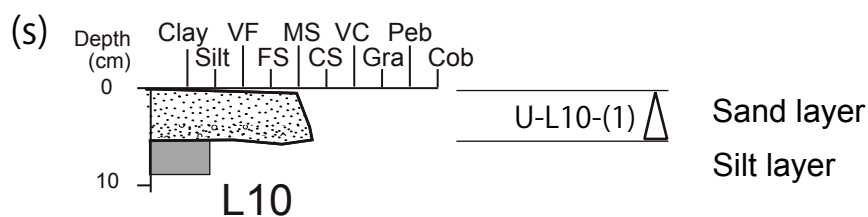
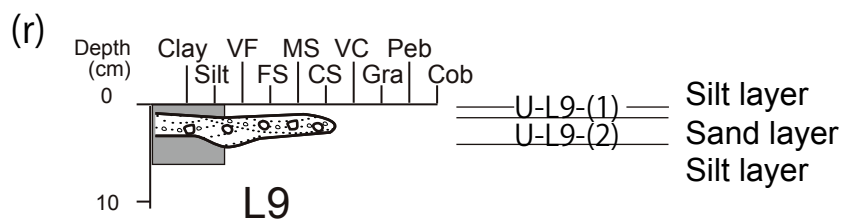
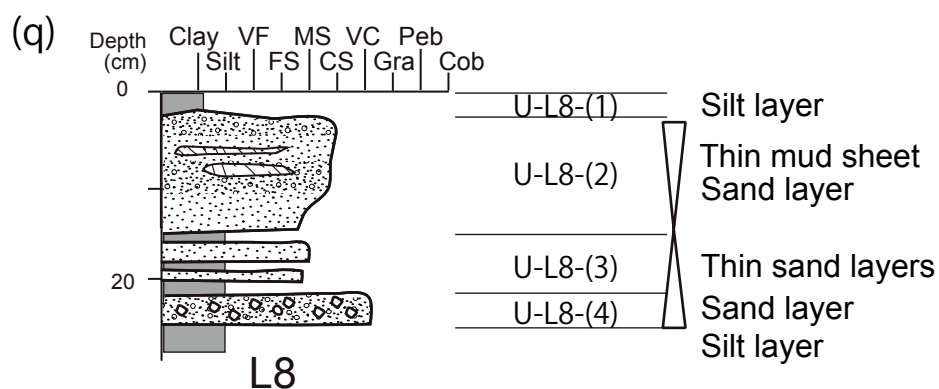


Fig. 4-2 (q-t) Sedimentary facies of the 2011 tsunami layer

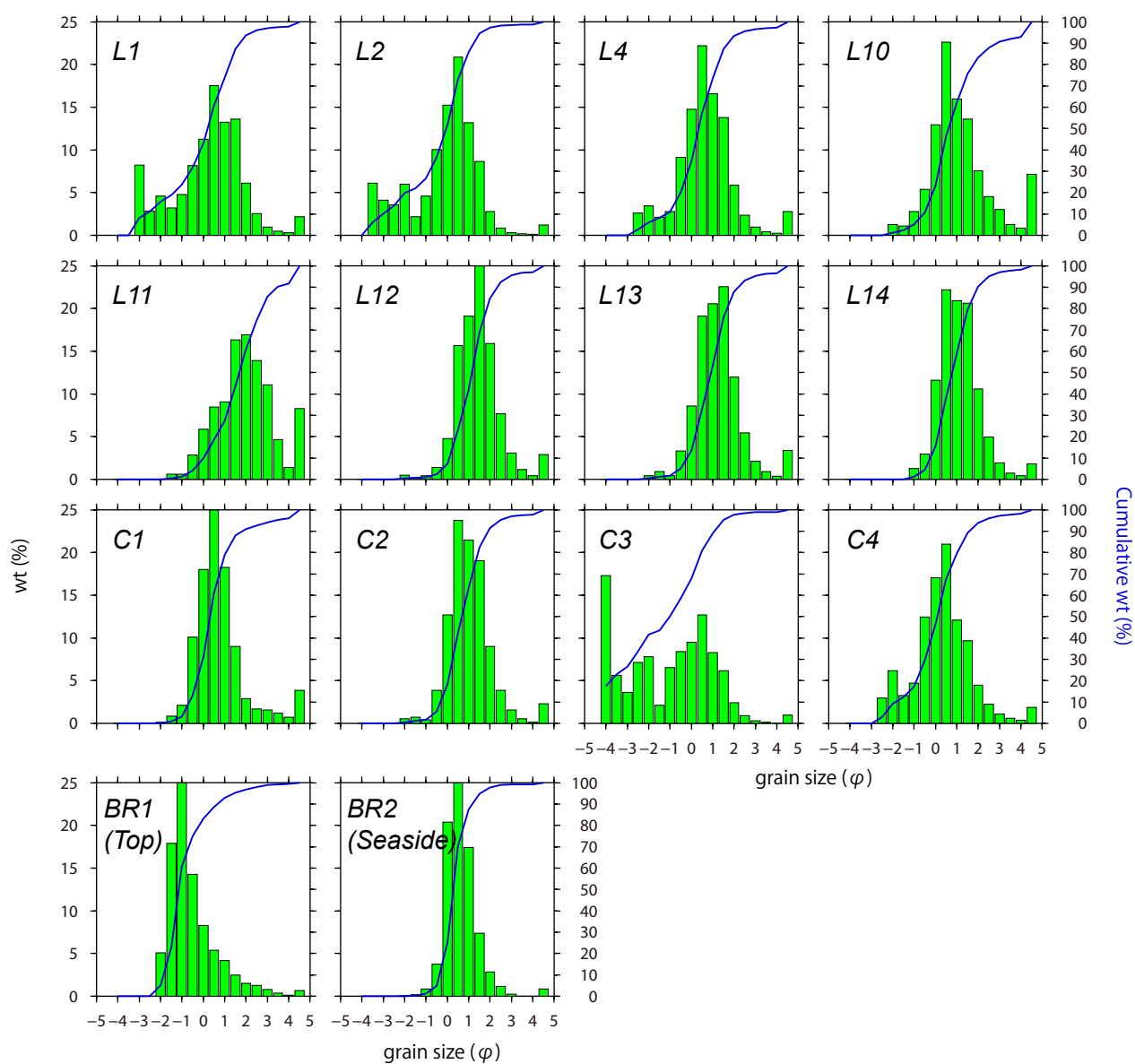


Fig. 4-3 Grain size distribution of the 2011-tsunami layer

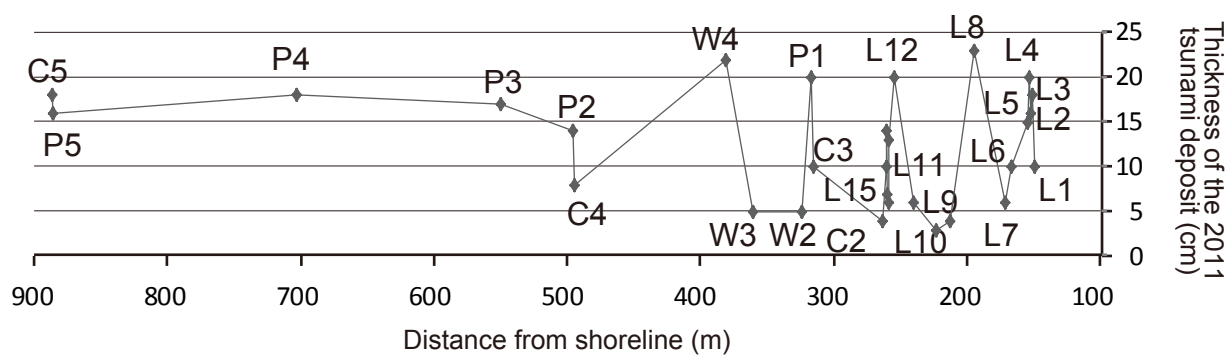


Fig. 4-4 Thickness of the 2011-tsunami layer along the transect

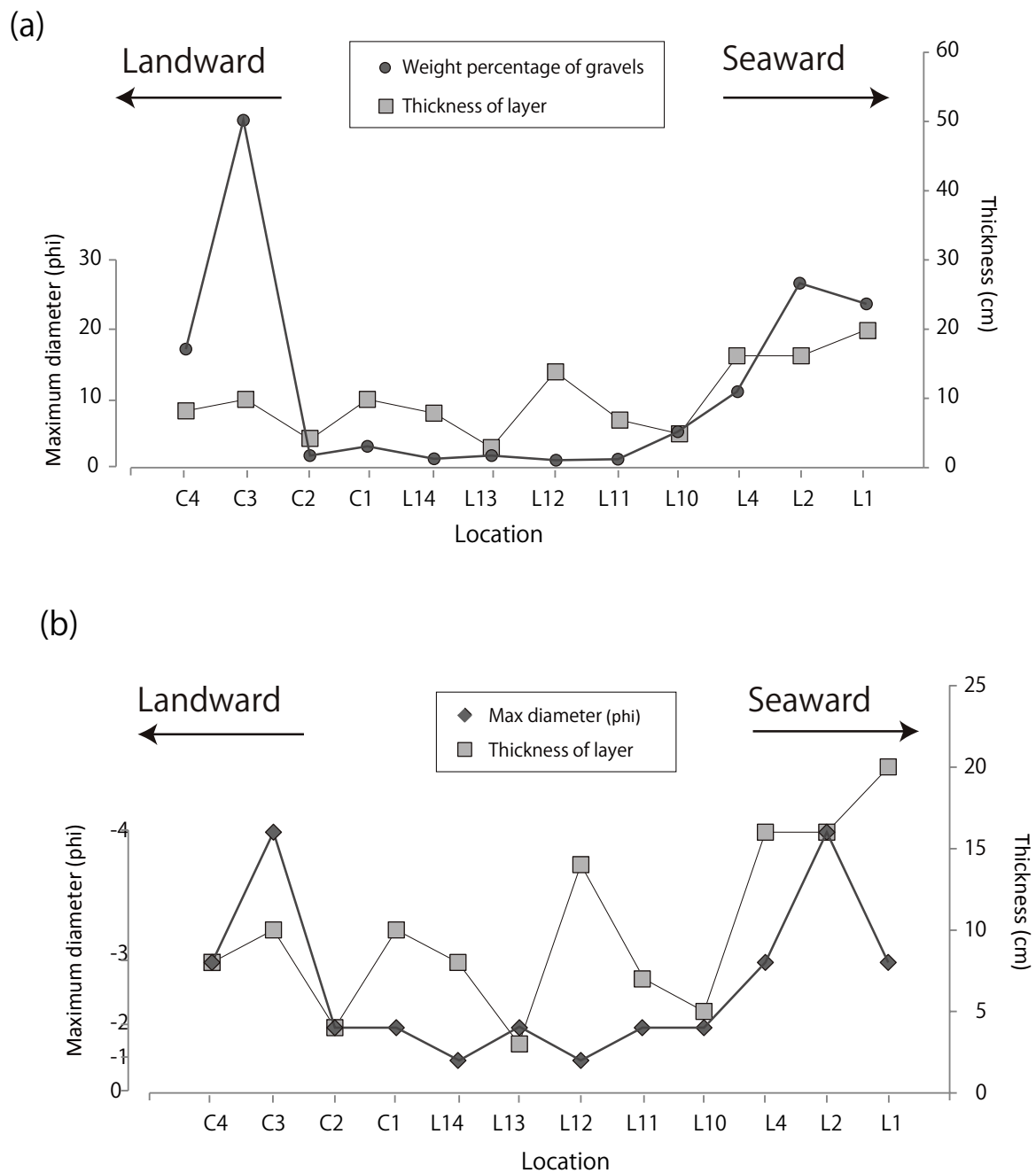
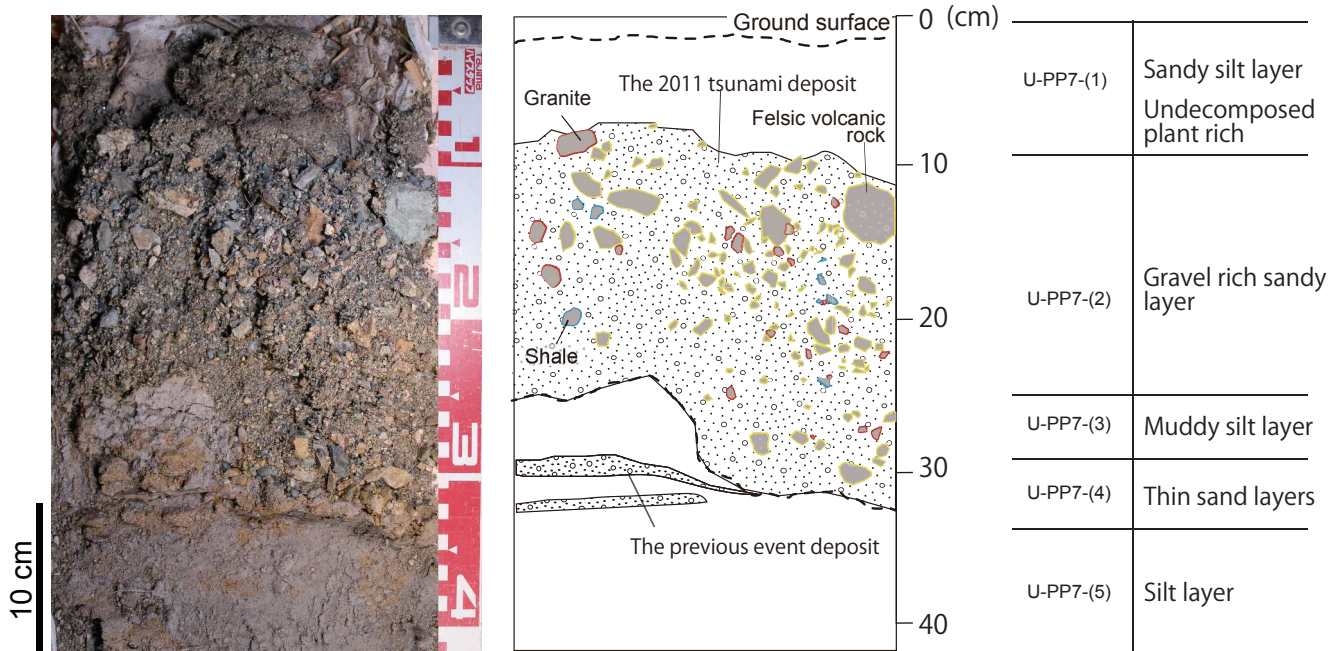


Fig. 4-5 Relationship thickness and other elements.

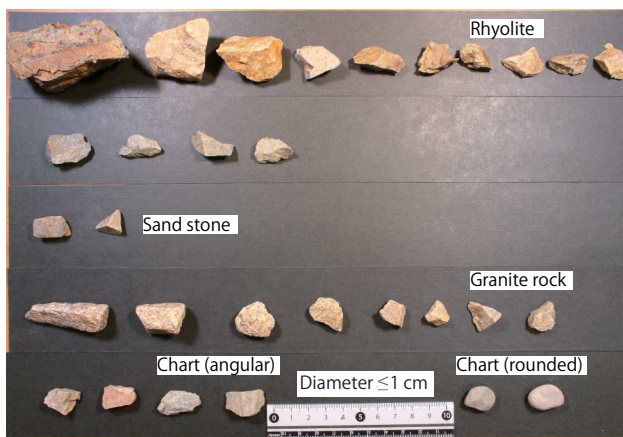
(a) Relationship of thickness and percentage of gravels included in the 2011-tsunami layer.

(b) Relationship of thickness and maximum diameter of gravels.

(a)

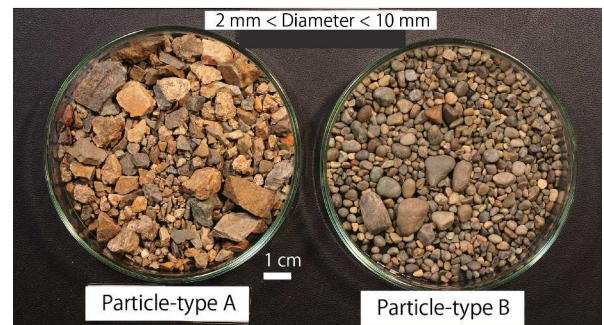


(b)



Gravels in PP7 pit sample
(Diameter ≤ 1 cm)

(c)



Gravels in PP7 pit sample
($2 \text{ mm} \leq \text{Diameter} < 1 \text{ cm}$)

Fig. 4-6 Photo and sketch of the pit sample (PP7)
(a) Peeled sample, (b) Typical gravels included in pit sample,
(c) Roughly-divided particles based on their roundness.

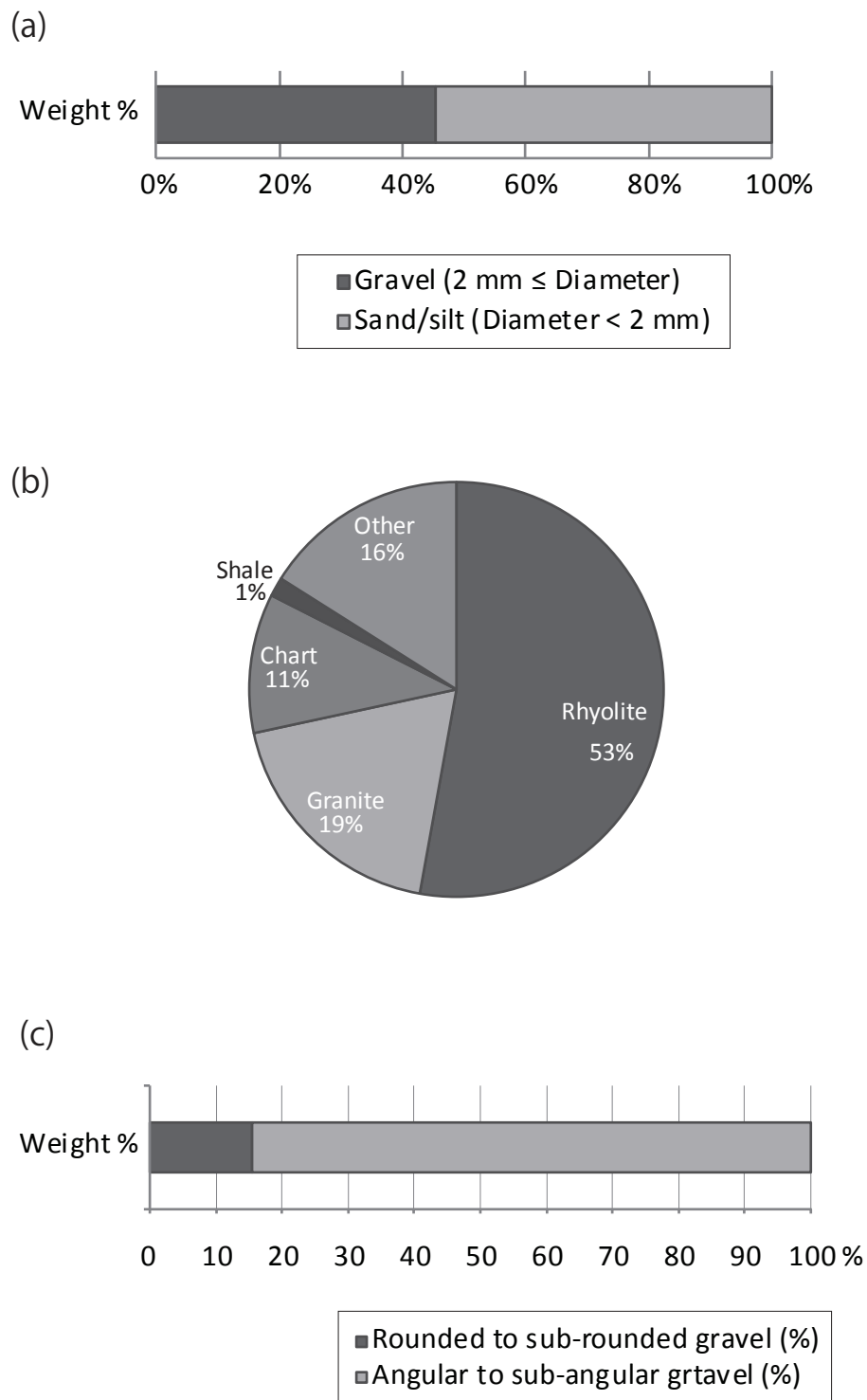
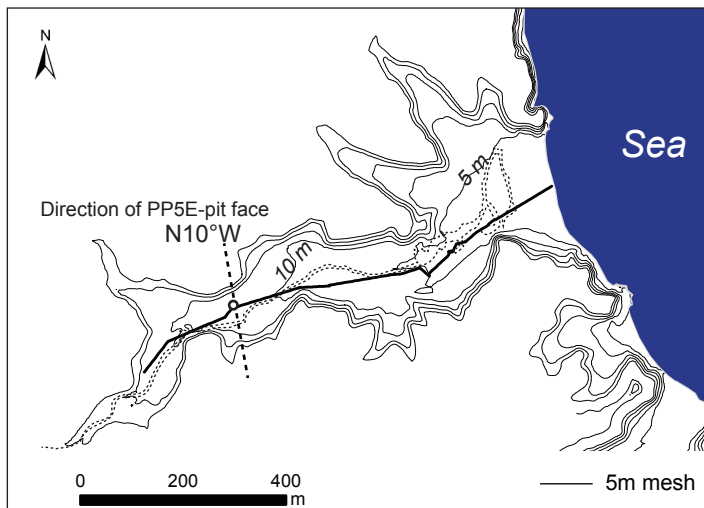
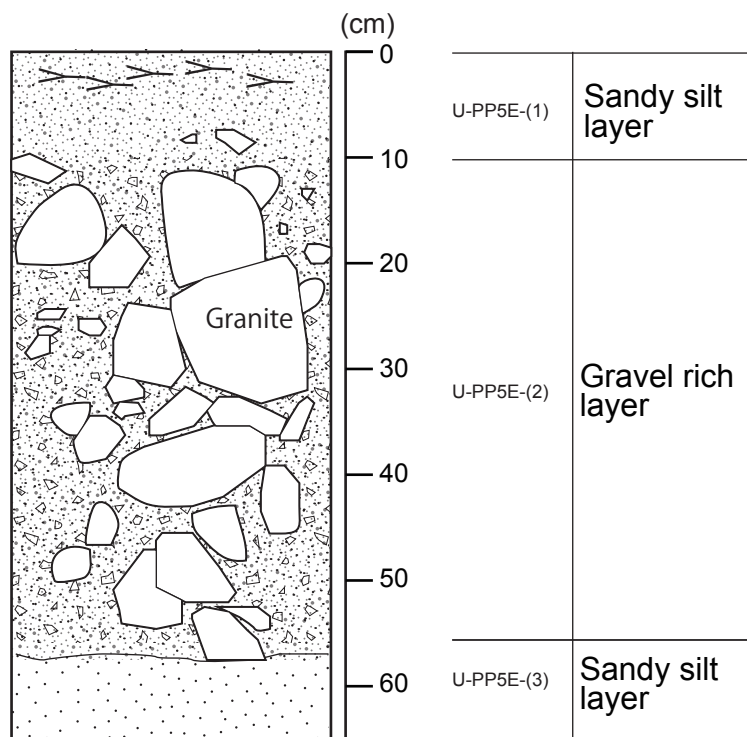


Fig. 4-7 Component of each rock type and roundness of PP7 sample
(a) Weight percentage constituent based on their particle size, (b) Rock type percentage,
(c) Weight percentage constituent based on their rounded degree.

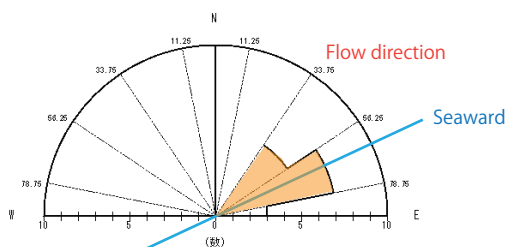
(a)



(b)

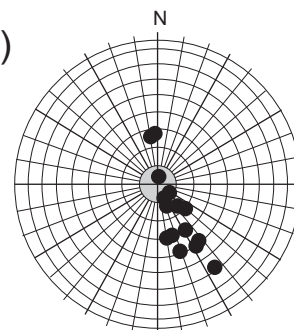


(c)



The 2011 tsunami

(d)



Schmitt net

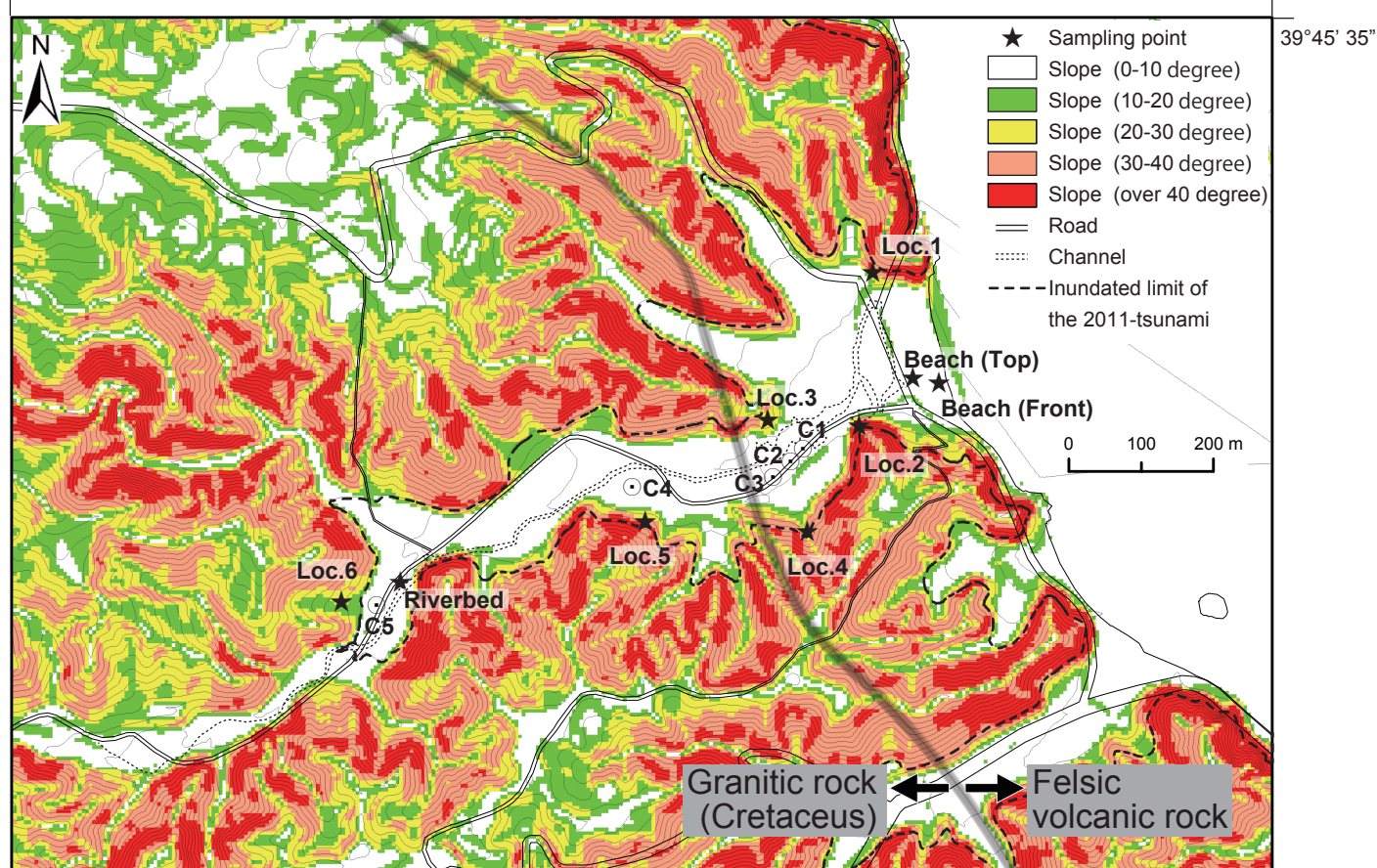
Fig. 4-8 Sedimentary facies and imbrication of gravels in the PP5E-pit sample

(a) Sampling point of pit 'PP5E'. Elevation data in (a) was draw by GSI 5m DEM data. Contour shows elevation every 5 m. (b) Sedimentary facies of 'PP5E'. (c) Flow direction of gravels included in 'PP5E'. (d) Projection of dip angle of gravels included in 'PP5E'.

(a)

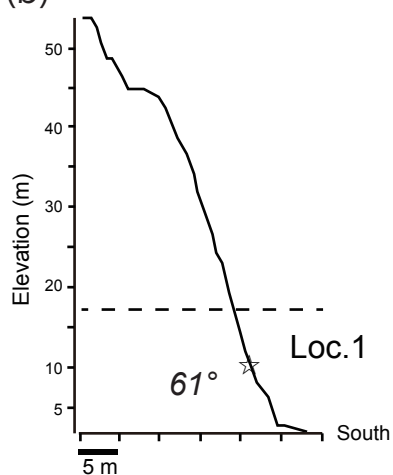
141°58' 34"

141°59' 37"

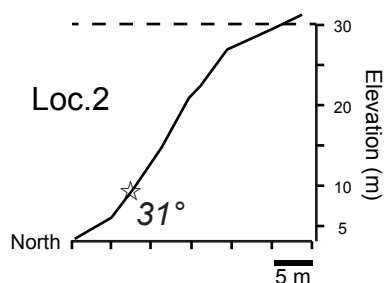


39°45' 06"

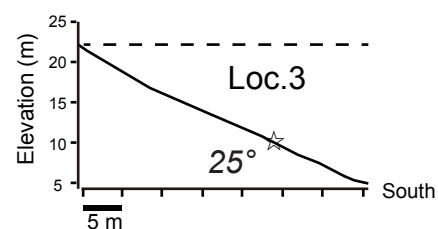
(b)



(c)

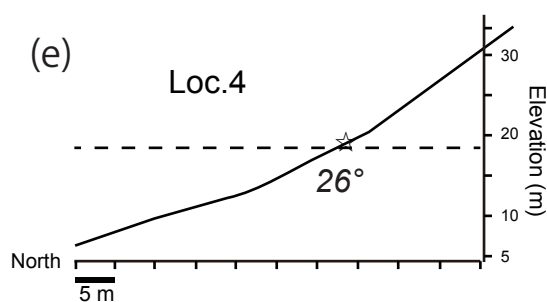


(d)

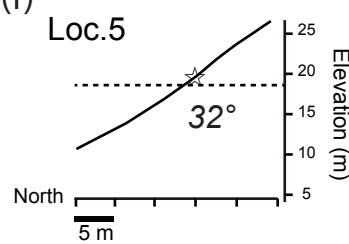


☆ Sampling point
 --- Runup height
 Inundated height

(e)



(f)



(g)

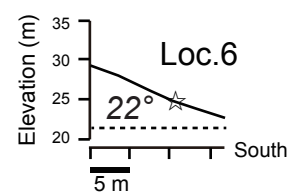


Fig. 4-9 Topography map and sampling point of each source-deposit

(a) Topography classification based on slope angle. (b-g) Cross section on the slope surface.

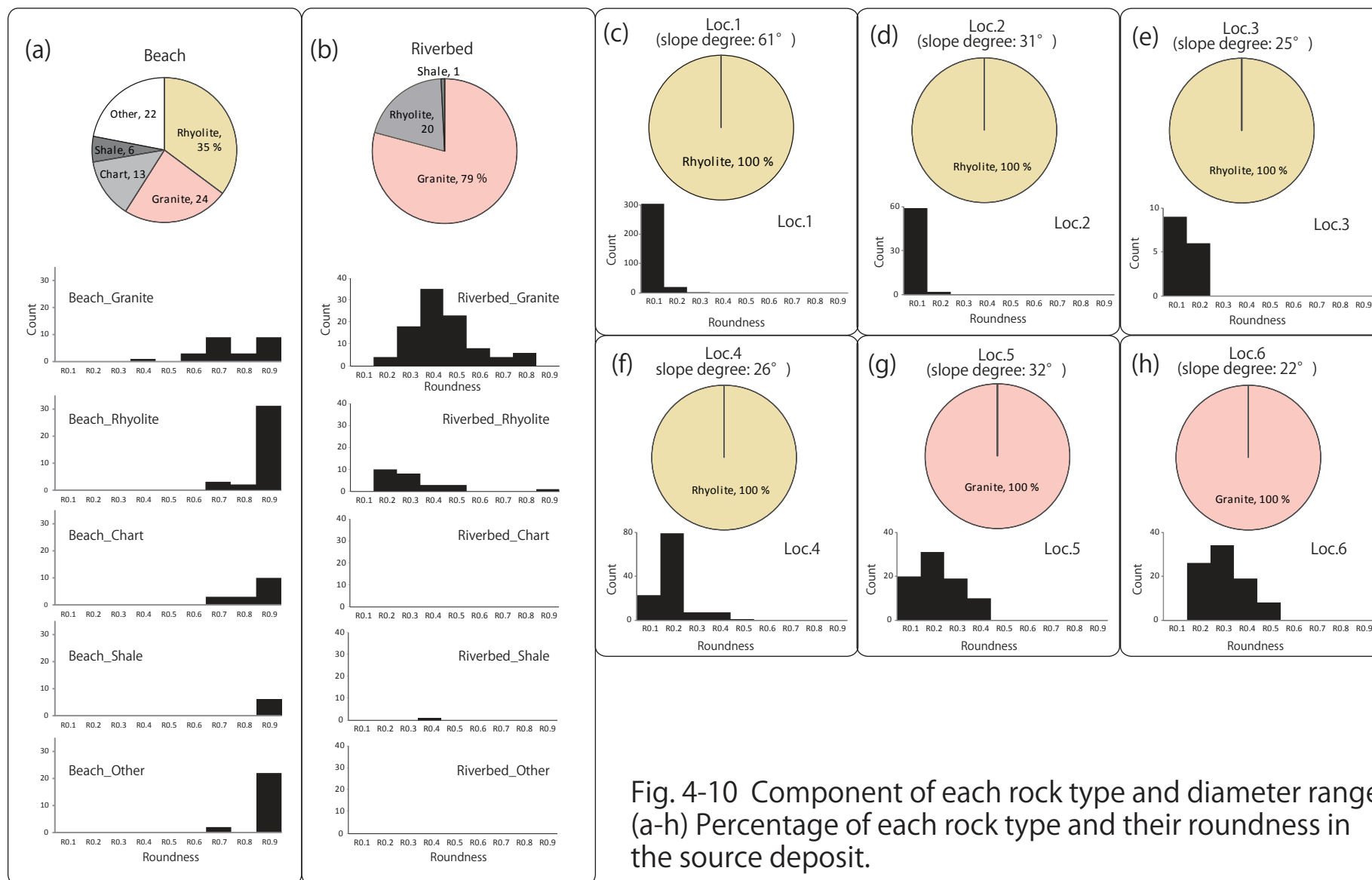


Fig. 4-10 Component of each rock type and diameter range (a-h) Percentage of each rock type and their roundness in the source deposit.

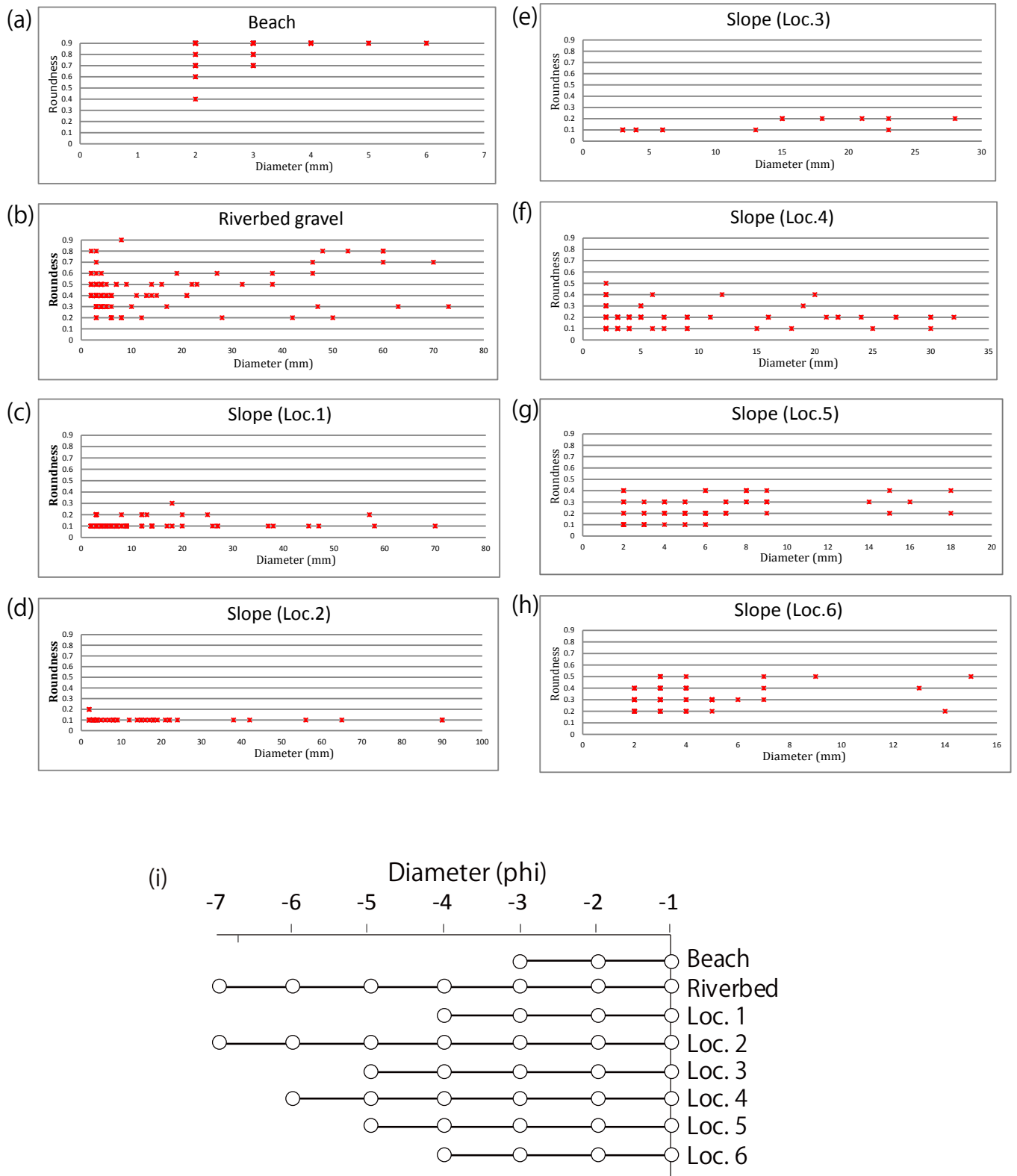


Fig. 4-11 Distribution of roundness and diameter on each source deposit
(a-h) Distribution of particle's roundness. (i) Diameter range of each source deposit.

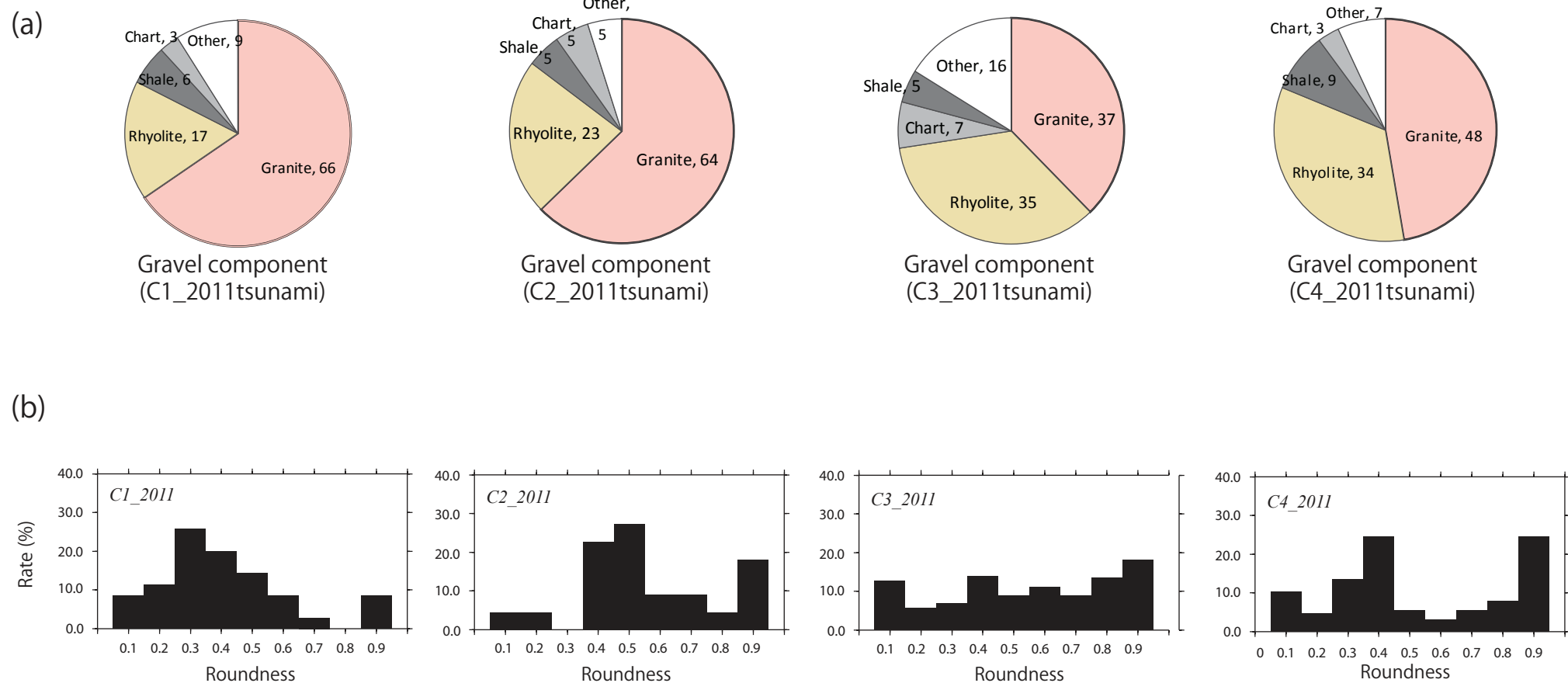


Fig. 4-12 Gravel component and roundness (2011-tsunami)

(a) Percentage of each rock type in the event layer. (b) Distribution of roundness in the event layer.

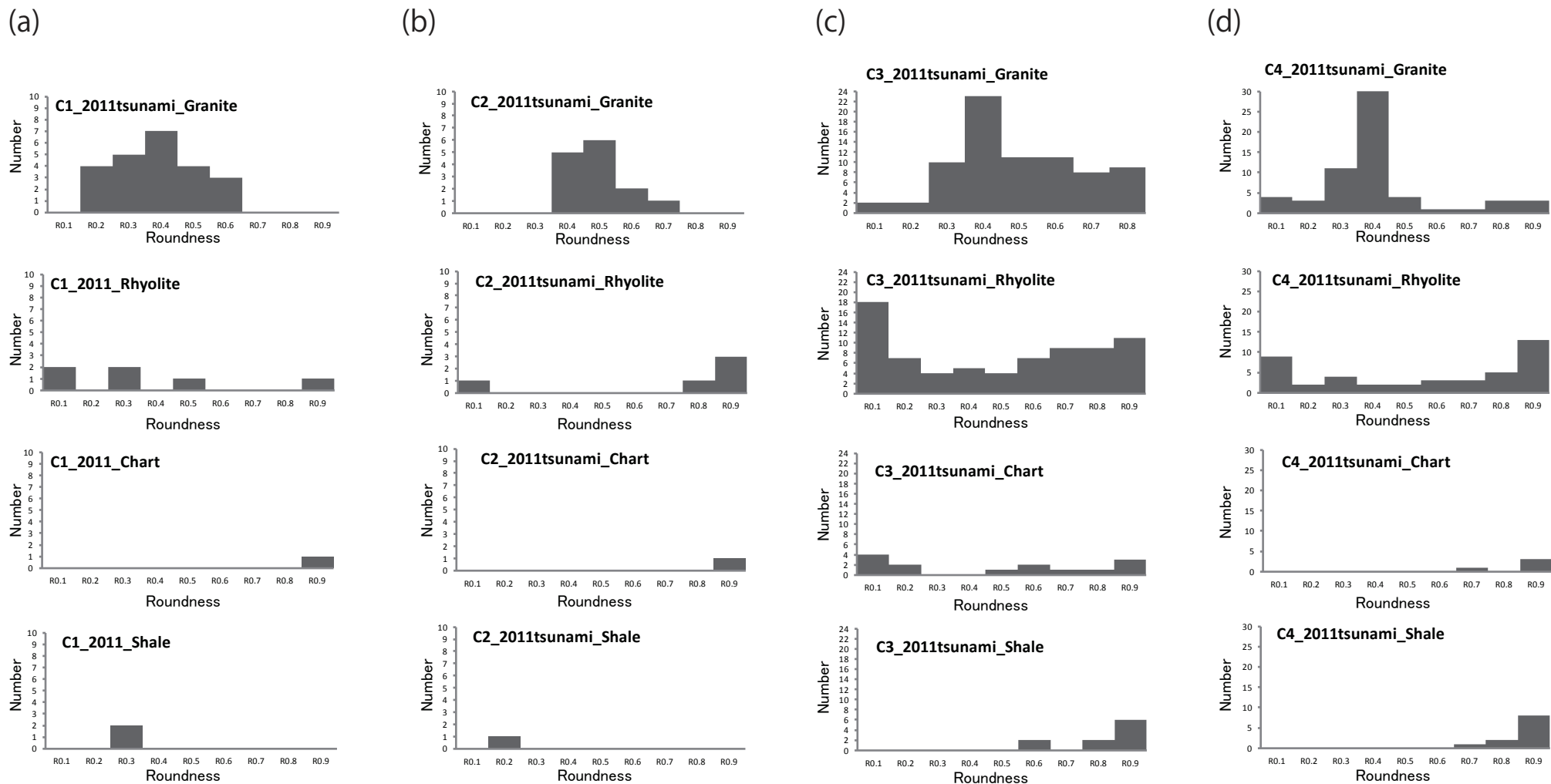


Fig. 4-13 Roundness of each rock type (2011-tsunami)
(a) Distribution of roundness in the event layer for boring cores: C1 -C4.

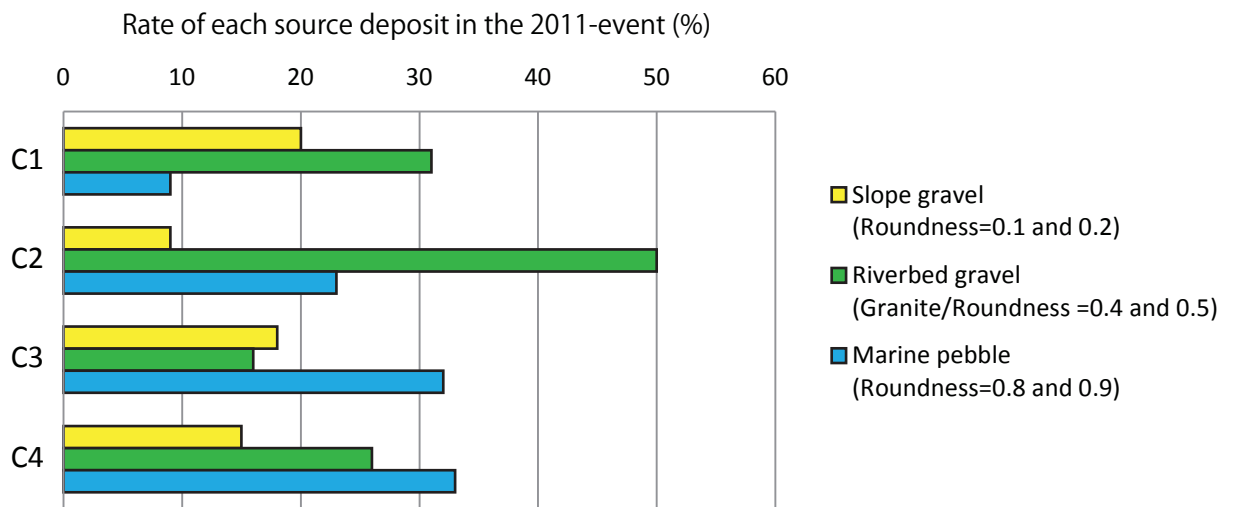


Fig. 4-14 Rate of each source deposit in the 2011-tsunami layer

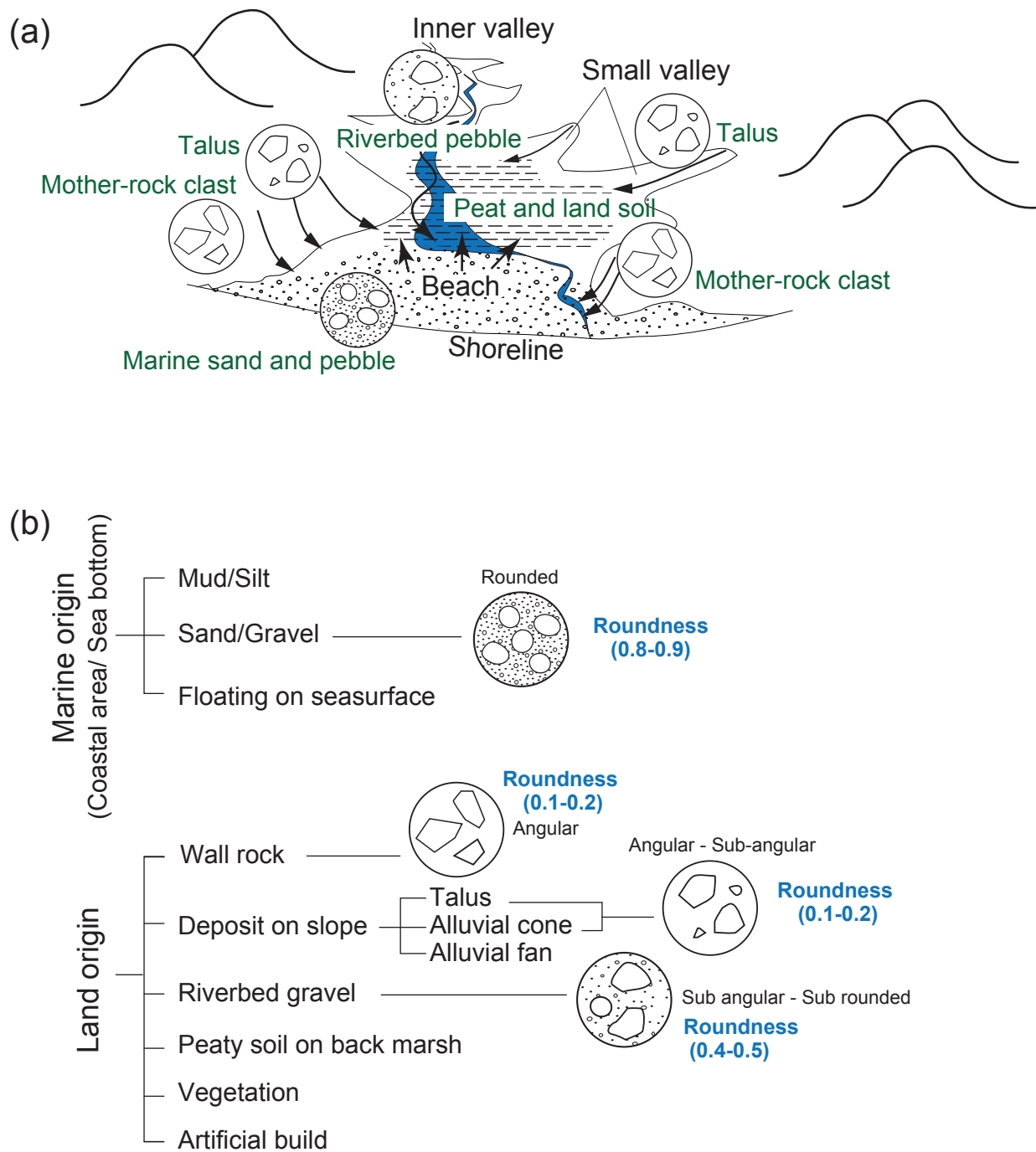


Fig. 4-15 Particle types included tsunami-layer

(a) Flow motion in the valley in tsunami. (b) Classification of particles included in the event layer.

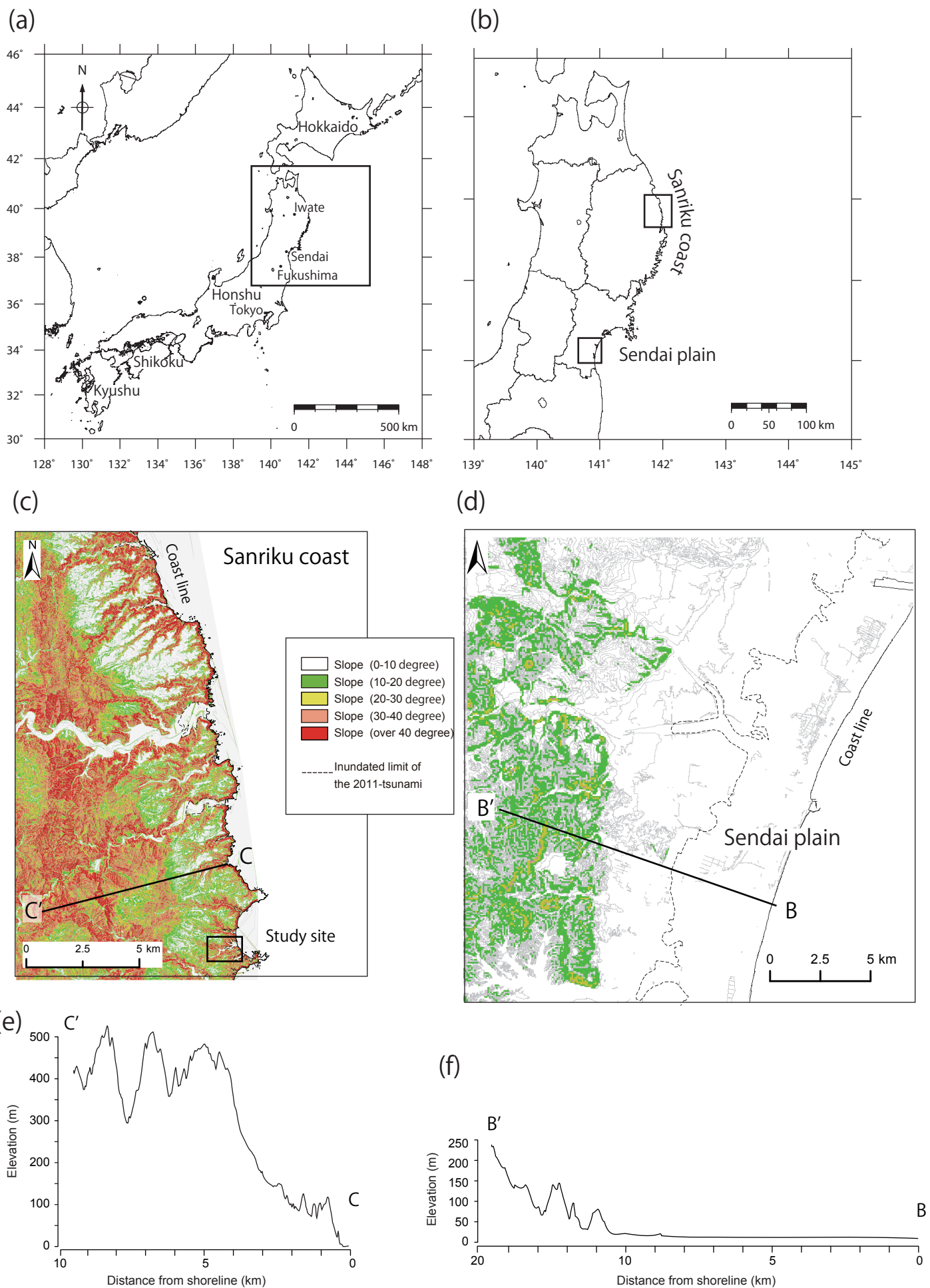
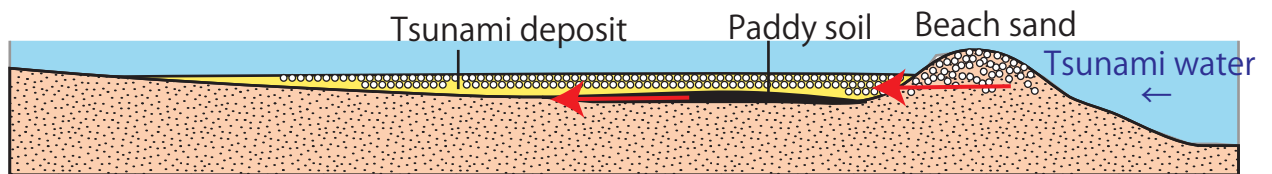


Fig. 4-16 Topography type along the coast
 (a-b) Map shows areas; Sanriku coast and Sendai plain. (c-d) Topography map classified based on slope angle. (e-f) Cross section along the transect showed in (c) and (d).

(a)

Sendai plain



(b)

Sanriku coast

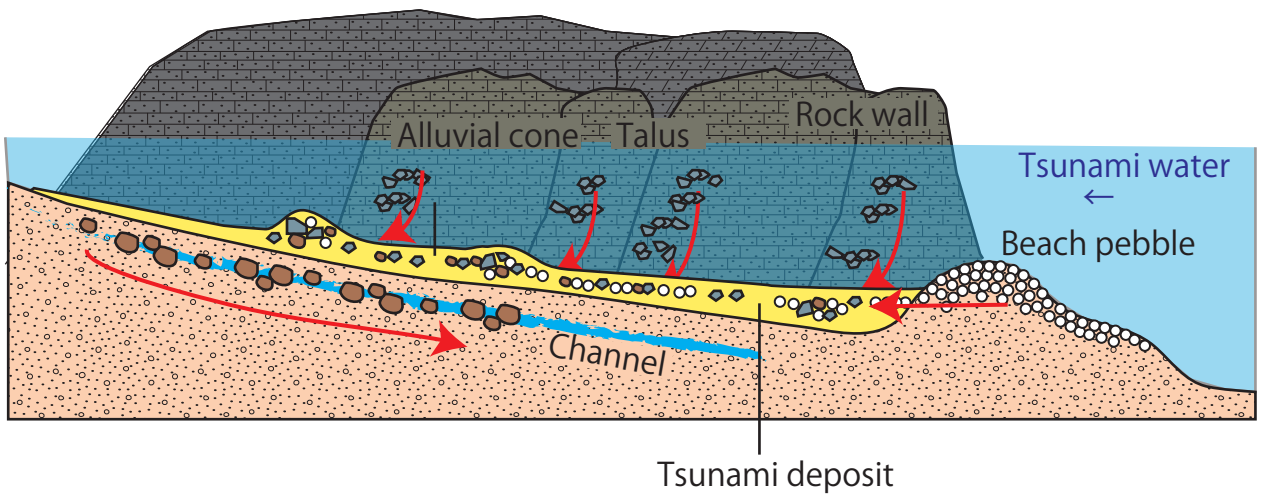


Fig. 4-17 Image of transportation of each source deposit in tsunami

(a) Particles motion in tsunami at Sendai plain; representative coastal plain.

(b) Particles motion in tsunami at Sanriku coastal valley; representative ria-coastal valley.

Table 4-1. Component of the 2011-tsunami layer in PP7

(a) Rate of each particle type (PP7_2011 tsunami)

Particle	Weight (g)	Weight (%)
Gravel (2 mm ≤ Diameter)	531.01	45
Sand/silt (Diameter < 2 mm)	642.50	55

(b) Particle components of the 2011-tsunami layer in PP

Rock type	Ratio (%)
Rhyolite	53
Granite	19
Chart	11
Shale	1
Other	16

(c) Rate of each gravels based on their shapes

	Rounded to sub- rounded gravel (g)	Angular to sub-angular gravel (g)
Weight (g)	81.52	449.49
Weight (%)	15	85

Table 4-2. Rate of each rock type (Source deposit)

Beach			
Rock type	Ratio (%)	Average	
		Roundness	Sphericity
Rhyolite	35	0.87	0.91
Granite	24	0.76	0.87
Chart	13	0.84	0.94
Shale	6	0.90	0.88
Other	22	-	-
Count number: 107			

Riverbed			
Rock type	Ratio (%)	Average	
		Roundness	Sphericity
Rhyolite	20	0.28	0.78
Granite	79	0.43	0.79
Chart	0	-	-
Shale	1	0.40	0.97
Other	0	-	-
Count number: 124			

Loc. 1			
Rock type	Ratio (%)	Average	
		Roundness	Sphericity
Rhyolite	100	0.11	0.75
Granite	0	-	-
Chart	0	-	-
Shale	0	-	-
Other	0	-	-
Count number: 304			

Loc. 2			
Rock type	Ratio (%)	Average	
		Roundness	Sphericity
Rhyolite	100	0.11	0.75
Granite	0	-	-
Chart	0	-	-
Shale	0	-	-
Other	0	-	-
Count number: 60			

Loc. 3			
Rock type	Ratio (%)	Average	
		Roundness	Sphericity
Rhyolite	100	0.10	0.75
Granite	0	-	-
Chart	0	-	-
Shale	0	-	-
Other	0	-	-
Count number: 15			

Loc. 4			
Rock type	Ratio (%)	Average	
		Roundness	Sphericity
Rhyolite	100	0.20	0.78
Granite	0	-	-
Chart	0	-	-
Shale	0	-	-
Other	0	-	-
Count number: 80			

Loc. 5			
Rock type	Ratio (%)	Average	
		Roundness	Sphericity
Rhyolite	0	-	-
Granite	100	0.20	0.75
Chart	0	-	-
Shale	0	-	-
Other	0	-	-
Count number: 80			

Loc. 6			
Rock type	Ratio (%)	Average	
		Roundness	Sphericity
Rhyolite	0	-	-
Granite	100	0.31	0.78
Chart	0	-	-
Shale	0	-	-
Other	0	-	-
Count number: 87			

Table 4-3. Shape of each rock type (Source deposit)

(a) Shape and sampling level

Location		Roundness	Sphericity	Sampling level
Beach (Top)		0.85	0.90	4 m
Steep slope	Loc. 1	0.11	0.75	18 m
	Loc. 2	0.10	0.75	6 m
	Loc. 5	0.22	0.75	16 m
Gentle slope	Loc. 3	0.14	0.72	10 m
	Loc. 4	0.20	0.76	18 m
	Loc. 6	0.31	0.77	23 m
Riverbed		0.37	0.79	16 m

(b) Rock type and roundness

Location	Rock type	Roundness
Beach (Top)	Rhyolite	0.87
	Granite	0.76
Riverbed	Rhyolite	0.28
	Granite	0.43

5. 古津波堆積物の同定-2011 年津波で明らかになった特徴に基づいて-

5-1. 古イベント堆積物の粒径分布と給源粒子に基づく特徴

3 章において、2011 年津波堆積物は、給源粒子 [斜面]、給源粒子 [河床]、給源粒子 [海浜] の 3 種が混合した層相であったことを述べた。本項では、2011 年津波堆積物以外の過去のイベント堆積物 (S2~S12: Fig.5-1) についてもその特徴を把握するために、以下 3 つの項目を調べた (Fig.5-2)。

(ア) 深度ごとの粒径累積分布と粒径の中央値

(イ) 給源粒子組成 (3-4-1 で述べた特徴に基づく構成粒子の組成)

(ウ) 側方対比されたイベント堆積物が検出された地点の現標高 (地表面)

ただし、S6、S9、S11 のイベントについては径 2 mm 以上の礫を含まないことから給源粒子組成のデータを示していない。Fig.5-2 に基づいて上位から順に各層準の特徴を述べる。

S1 は、やや上方細粒化し、給源粒子を 3 種全て (斜面・河床・海浜) 含んでおり給源粒子 [河床] の割合が 50% と最も高い。S2 は層準内の深度方向に顕著な粒径変化はみられず、給源粒子 [河床] を含まない。S3 は層準内の深度方向に顕著な粒径変化はみられず、給源粒子 [海浜] を含まない。S4 は層準内で 1φ から 2φ へ上方細粒化し、給源粒子 [斜面] を多く含む。S5 は層準内で顕著に上方粗粒化し、給源粒子 [河床] に次いで給源粒子 [斜面] を多く含む。S6 は層厚約 1 cm の薄層で構成粒子の中央値が 2φ で粒径-1φ より粗粒な粒子を含まない。S7 は、層厚約 22 cm で下位から一旦上方粗粒化し、さらに上位に向かって上方細粒化する。給源粒子 [河床] を多く含む。S8 は、層厚約 28 cm の砂礫層で下位から一旦上方粗粒化し、ラミナ構造の卓越するユニット内では中央粒径が 0φ となり、さらに上位に向かって上方細粒化し、給源粒子 [河床] を最も多く含む。S9 は層厚約 16 cm で深度方向に顕著な粒径変化は見られず、粒径-1φ より粗粒な給源粒子は含まれない。S10 は層厚 1 cm 未満の薄層で、給源粒子 [河床] を含まない。S11 は下位から上方細粒化し、さらに上位に向かって粗粒化する。-1φ より粗粒な給源粒子を含まない。S12 は層厚が約 40 cm と極端に厚い特徴的な砂礫層で、給源粒子 3 種を全て含む。給源粒子 [海浜] に引き続き、給源粒子 [斜面]、給源粒子 [河床] の順に多く含まれる傾向は S1 (2011 年津波堆積物) と同様の特徴を示す。

5-2. 古イベント堆積物の粒径分布と給源粒子に基づく解釈

5-1 で述べたイベント層準内の粒径変化と給源粒子組成について解釈する。S2 と S3 はいずれも粒径（中央値）の累積が深度方向に顕著に変化しないことから、掃流（Traction）による影響が大きい水面下で運搬された粒子であると推定される（Jaffe *et al.*, 2012）。S2 は給源粒子〔斜面〕と給源粒子〔海浜〕が検出されるものの給源粒子〔河床〕を含まないことから、ある程度の浸水域を伴うものの上流からの流れ（津波の場合は引き波）の影響が小さいイベントとみられる。S3 は給源粒子〔斜面〕と給源粒子〔河床〕を同程度含むが、給源粒子〔海浜〕（径 2 mm 以上の粒子）が検出されないことから、津波や高潮ならば海浜礫を内陸へ移動させない程度の流速を伴うイベントか、もしくは上流からの洪水堆積物である可能性がある。S1, S4, S5, S7, S8, S9, S11, S12 は粒径累積分布が深度ごとに大きくかけ離れており、層準内の深度方向の粒径変化が顕著であり、浮流（Suspension）から流速の変化に伴って堆積物の運搬過程が変化したと推定される。S10 は層厚 2 cm の薄層イベントであり深度方向の粒径変化は明瞭に捉えられなかったが、給源粒子組成からは給源粒子〔河床〕が産出しないことから S2 イベントと同様にある程度の浸水域を伴うものの上流からの流れ（津波の場合は引き波）の影響が小さいイベントとみられる。このように、各イベント層について粒度分布だけでなく給源粒子の種類を併記することで、当時の浸水の様子（押し波や引き波の影響）を復元することが可能である。

得られた各イベント中の給源粒子の組成から、それぞれのイベント像（津波であれば津波像）が明らかとなる。各給源粒子の有無だけで、各イベントの特徴を Fig.5-3 に示した。全ての給源粒子を含むものを Type A、給源粒子〔斜面〕と給源粒子〔海浜〕のみを含むものを Type B、給源粒子〔斜面〕と給源粒子〔河床〕のみを含むものを Type C、給源粒子を含まないものを Type D とする。Type A はイベント S1, S4, S5, S7, S8, S12 であり、3 種の給源粒子を全て含むことから海水の陸地への流入と高い浸水深が示唆されるイベントである。Type A の特徴を示すこれらのイベントは、3 章のイベント痕跡の測線上の追跡から推定された広い浸水域を伴うイベントと一致する。このことは、測線上のイベント痕跡の残り方と、イベント層準に含まれる給源粒子から推定される谷内の水の挙動と調和的であることを示している。Type B は S2, S10 であり、3 章で議論

したイベント層の歴史津波との対応から、S2 は 1960 年チリ津波（遠地津波：M 8.5）か 1968 年十勝沖地震（M 7.9）の可能性が示唆されている。1960 年チリ津波では田老で浸水 2 m の記録があるので、この地震による津波による浸水高は斜面礫の分布する標高約 5 m までは達していないとみられるが、本調査地のような狭い谷地形においては沿岸域で局所的に浸水高が高くなった場所もある可能性もある。Type C は S3 のみで、3 章における歴史津波との対比では 1947 年もしくは 1948 年の台風のイベントが挙げられる（Fig. 5-4）。台風時の高潮による浸水であれば、海方向からの強い流れを伴わないと考えられることから、Type C のように給源粒子〔海浜〕が含まれないという給源粒子の構成は整合的である。Type D は S6, S9, S11 であり、S6 は浜堤から約 500 m 内陸側までしか追跡されなかったイベント層であり、内陸まで浸水したイベントとは考え難い。また、S9 と S11 についてはいずれも下位の現地性堆積物との堆積面が不明瞭であるという堆積学的な特徴がある。この調査地のイベント痕跡の分布や堆積学的特徴からも、海からの高エネルギーを伴うような水の陸地への侵入は考え難い。以上のように、イベント層に含まれる給源粒子の存在から、過去のイベントによる浸水状況を復元できる可能性があることが示された。イベント履歴復元を目的とした津波堆積物調査では、イベント層を認定した後に堆積年代を推定するにとどまらない。給源粒子の存在を調べることによって各イベントの浸水像を知る手掛かりを得られる可能性を示した。

5-3. ‘S12’イベントの津波堆積物としての認定

3 章において、S12 イベントは、コア C1, C2, C3, C4 中に検出された粗粒層で、その層相からイベント堆積物であること、その堆積年代が AD 250～AD 1400 と推定されることをすでに述べた。これを歴史文献と照合すると 869 年貞観地震津波の可能性があるが、洪水や高潮堆積物である可能性も捨てきれない。そこで、それらの可能性を払しょくするために、S12 イベントが津波堆積物であるという根拠を、すでに 4 章で述べた 2011 年津波堆積物の特徴的な礫組成と類似する点に求めることにした。4 章で、谷底平野で採取した 2011 年津波堆積物の構成粒子の特徴からその給源を推定した結果、陸域の海浜・斜面・河床起源の礫が含まれていたことがわかったので、同様の手法で S12 イベントの礫組成を調べた。

S12 イベントの層相と粒度分析結果を Fig.5-5 に示し、各地点の層準内の礫の構成と円磨度、および各地点の礫種別の円磨度を示した (Fig.5-6, Fig.5-7). S12 イベント堆積物は、2011 年津波堆積物と同様に優占する岩種は花崗岩と流紋岩である。花崗岩と流紋岩礫中に円磨された海浜礫 (円磨度 0.8-0.9) と角礫 (円磨度 0.1-0.2) の双方が混在している点は、2011 年津波堆積物と同様である。また、花崗岩質の河床礫 (円磨度 0.4~0.5) も 2011 年津波堆積物と同様に S12 イベント堆積物でも高い割合で産出する。つまり、S12 イベント堆積物は、2011 年津波堆積物と同様に海浜礫・斜面の礫・河床礫を含み、各給源での侵食作用を経て谷底へ運搬されるという堆積過程 (本論 3-4 で記述) が考えられるので、津波堆積物と推定される。

次に、測線上の各給源粒子の割合を Fig.5-8, 5-9 に示した。2011 年津波堆積物についてはピット試料 (PP7) の情報も加えた。測線上で礫 (斜面) の堆積量が最も多い地点は海側で、2011 年津波では PP7, S12 イベントでは C1 地点である。河床礫や海浜礫の堆積量は測線上でややバラつきがあるものの、2011 年の海浜礫は内陸に向かって割合が大きくなり、S12 イベント堆積物ではそれとは対照的に海側に向かって海浜礫の堆積量が大きくなる。具体的には海側 (C1 と C2 地点) で、S12 イベントの給源粒子 [海浜] は 2011 年津波のそれと比べて 1.6~4 倍の堆積量 (礫数の割合) があった。給源粒子 [斜面] はいずれの地点においても、2011 津波よりも S12 イベントの堆積量が大きく、特に C2 地点で 3.7 倍も大きい。これは S12 イベントが 2011 津波よりも谷壁の侵食量が大きかった可能性を示唆している。給源粒子 [河床] は、C3 地点で S12 イベントの方が 2011 津波よりも全体に占める割合が極端に大きく (約 3 倍)、両イベントにおいて給源粒子 [河床] は戻り流れにより谷前面の低地帯に集積したことがうかがえる。

以上のように、869 年貞観津波堆積物の候補である S12 イベントの給源粒子組成は 2011 年津波堆積物と類似しているものの、各粒子の含有率は測線上で異なっていた。この要因は以下のように考えられる。両イベントで、観察地点ごとに優占する給源礫が異なっているのは、当時の津波の遡上高・波力・地形 (海岸線の位置・浜堤の形状) 等が異なっていた可能性がある。あるいは、869 年貞観地震津波の遡上高が 2011 年津波のそれよりも大きかったためにより多くの陸域の礫が低地に散布された可能性がある。

5-4. 2011 年津波堆積物と 869 年貞観津波堆積物の深度方向の粒径変化からみる谷内の給源粒子の動き

測線上の C1～C4 コアの深度方向の給源粒子の割合を Fig.5-10 に示した。Fig.5-10 からは、各給源礫（斜面礫・河床礫・海浜礫）の堆積量のピークを深度方向に捉えることができ、特に S12 イベント層は 20 cm 以上の層厚のため深度方向の礫粒子の割合を捉えやすい。図から以下のことを読み取ることができる。

- ・各給源粒子について、深度方向に 2～3 回の堆積量のピークがみられる。
- ・両イベントとも各給源礫（斜面礫・河床礫・海浜礫）の堆積はほぼ同時に始まっているが、海浜礫がやや先行して堆積が始まり、その後に斜面礫や河床礫が数回の堆積量のピークを示す傾向がある。
- ・2011 年津波堆積物の C1, C2 地点の表層付近では河床礫が優占し、C3, C4 地点の表層付近では斜面礫が優占する。
- ・S12 イベントの C3 地点では、層準中位の河床礫の堆積量が 50%以上を維持したまま大きなピークを示す。

各給源礫で深度方向に互い違いにピークが表れていることは、3 章で示した谷内の給源礫の堆積モデルで説明されるような押し波と引き波に伴って各給源礫の動きがあり、谷内の水の往来があったことを示唆する。いったん水中にさらされた各給源粒子は、水中では粒径に依存し運搬され则认为られる。

Fig.5-11 には C2 試料の深度方向の粒径変化の詳細を示した。接写と記載図、各給源の産出率、深度方向の粒径変化、斜面礫については参考に構成礫種の割合も示している。S12 イベント層準は大きく 3 つのユニットに分けられる。

- ・ユニット U-C2-S12-(3)・・・-1φ (2 mm 径) の海浜と河床礫、および-1φ～-2φ (4 mm 径) の斜面礫が堆積する。ユニット内の最上部では再び-1φ の海浜礫がピークを示す。
- ・ユニット U-C2-S12-(2)・・・-1φ の海浜礫と斜面礫が河床礫よりやや先行して堆積している。斜面礫中には花崗岩礫はほとんど含まれず、流紋岩礫が優占して堆積する。ユニット上部で再び斜面礫（流紋岩）が堆積する。
- ・ユニット U-C2-S12-(1)・・・1φ の海浜砂と、わずかに-1φ の斜面礫が堆積する。ユニット最上部で河床礫が増える。

粒径の大きな斜面礫 (-2φ) は、ユニット U-C2-S12-(2)と U-C2-S12-(3)に多く産出し、最上部の U-C2-S12-(1)にはみられない。これが層準全体で上方細粒化を示す理由である。粒径の大きな斜面礫が層準の上位にはみられないことから、一度堆積した斜面礫は粒径が大きいためにその場にとどまり、細粒な粒子よりも再移動しなかった可能性がある。細粒な 2 mm 径の粒子は水中で 40 cm/s 以下の流速で堆積し始めることから (Southard, 1991), 津波で浸水した谷内にはそれらの粒子が大量に浮遊していて、流速が弱まる際に沈積したものと推定できる。

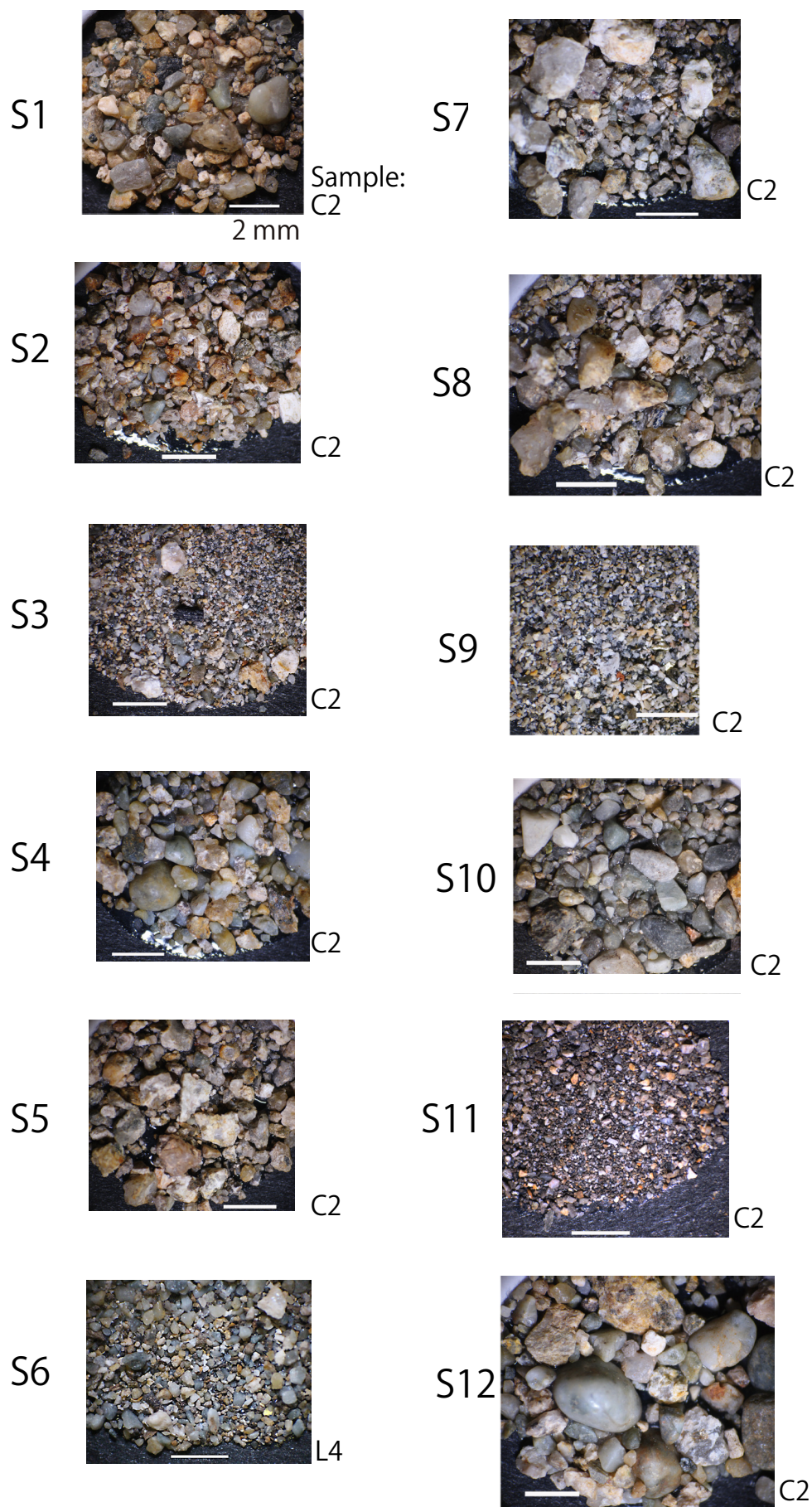


Fig. 5-1 Close-up photo of event layers.

S1-5, S7-12: Particles included in the event layer from Geo-slice sample C2.

S6: Particles included in the event layer from Geo-slice sample L4.

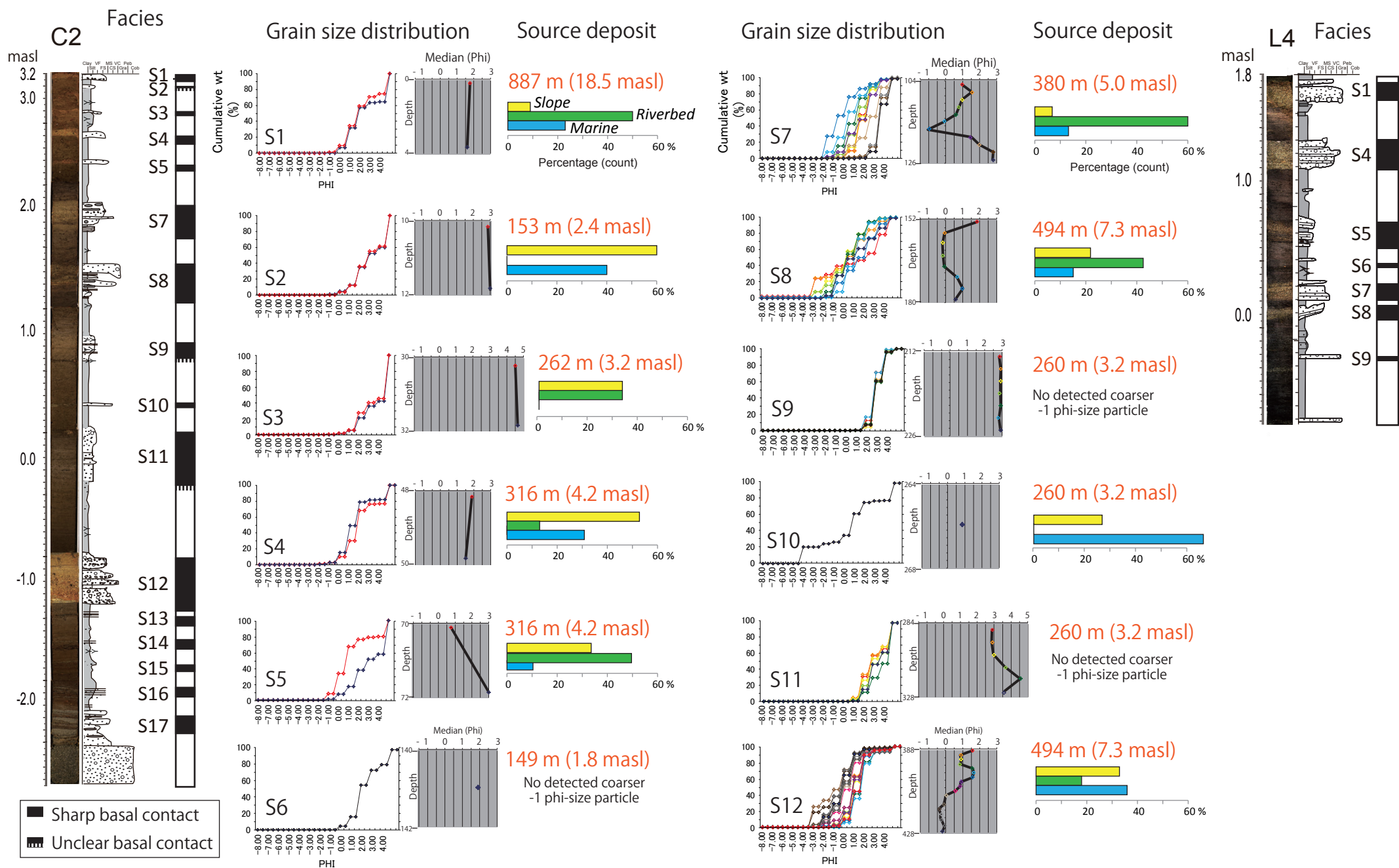


Fig. 5-2 Features of each event layer

Data of S6-layer is from L4 column sample. Red character shows the distance from shoreline and present elevation.

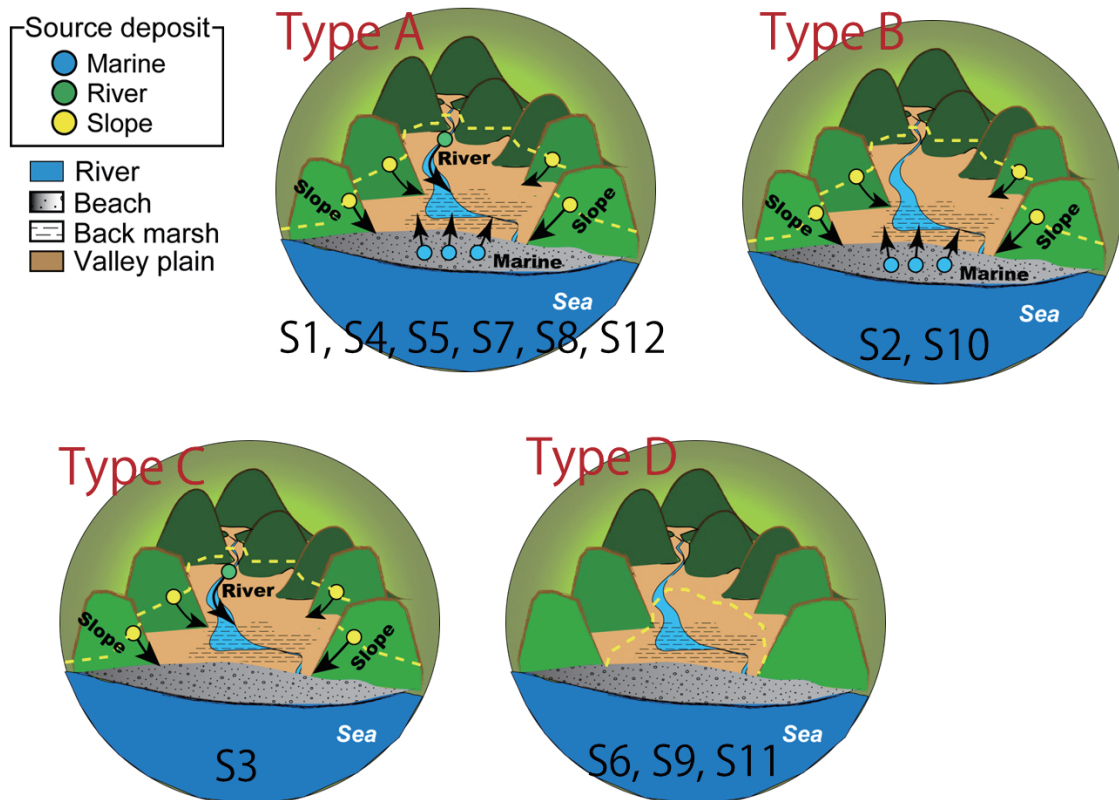


Fig. 5-3 Event type estimated by 'source deposit' -component of gravels in the event layer.

For gravels (≥ 2 mm)

● Marine
● River
● Slope

F: Far field tsunami
S: Storm surge

○...Possible event estimated by geological dating

津波高	年	Type	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
34.1 m (本調査地の遡上高)	2011		○											
1.2-2.3 m (浸水高・宮古市)	1968			○										
2.3 m (宮古市)	1960	F		○										
5.0 m (宮古市)	1948	S			○	○								
4.0 m (宮古市)	1947	S			○	○								
10.2 m (田老)	1933					○								
10.0 m (田老小港)	1896						○							
24.2 m (青の滝)														
3.8-4.0 m (田老)	1856						○							
-	1850	S					○							
0-2 m (宮古市)	1793						○	○						
5 m (久慈)	1763							○	○	○	○			
3 m (宮古)	1700	F						○	○	○	○			
3 m (田老), 2-3 m (宮古市)	1677									○	○			
-	1648	S								○	○	○		
20-21 m (田老)	1611									○	○	○		
7-8 m (宮古市)														
-	1454													
6 m (宮城県)	869													○

Fig. 5-4 Correlation between history event and componet of source deposit. Component of source deposit in the event layer make us to have image water flow in evnt.

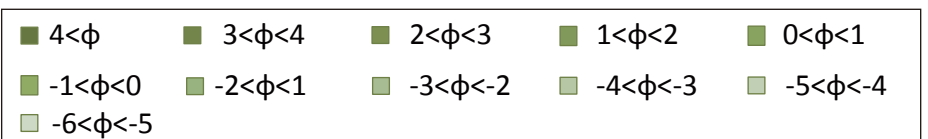
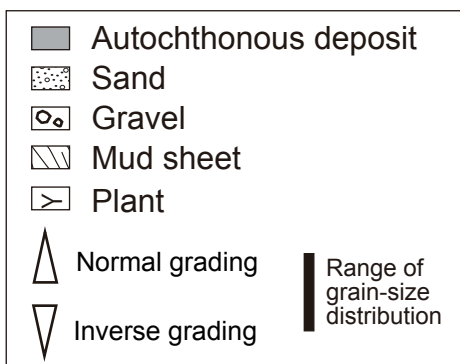
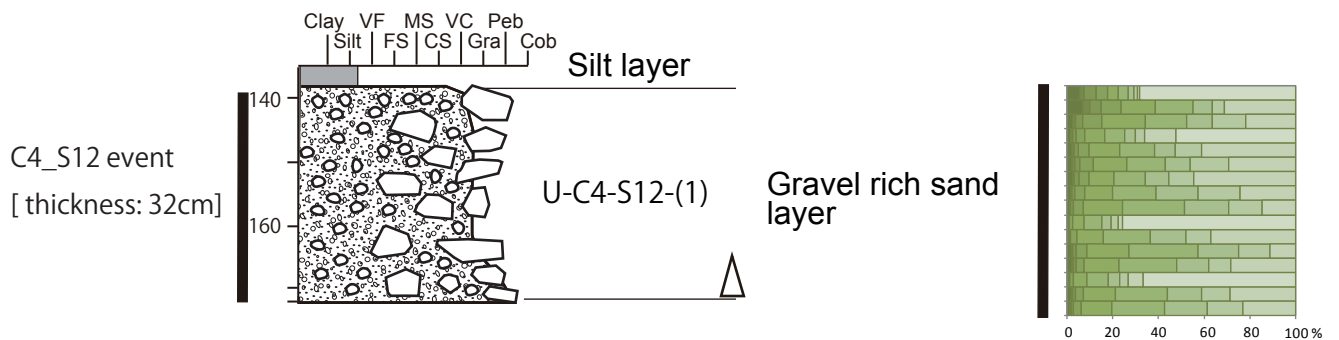
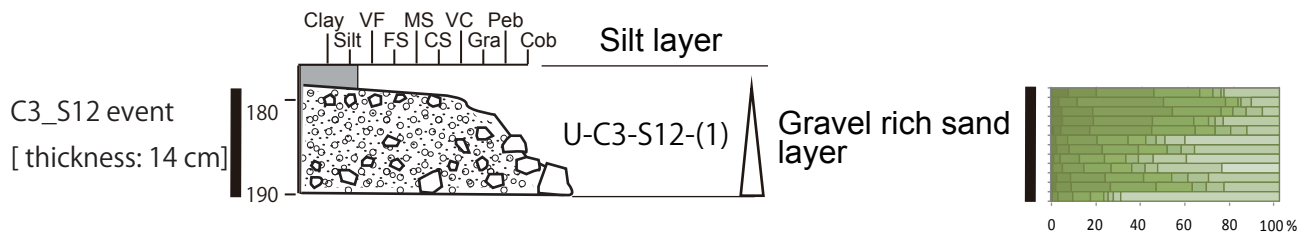
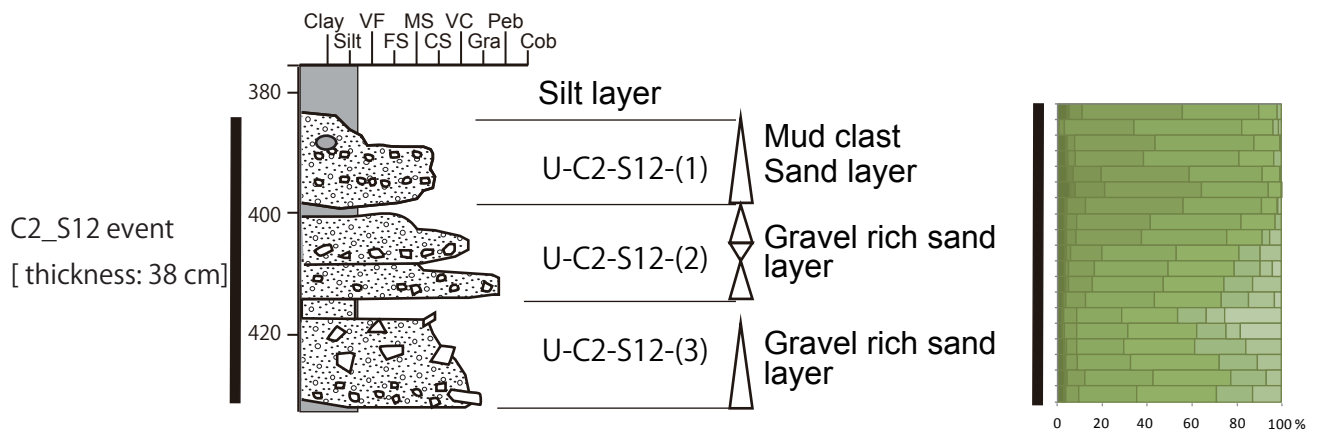
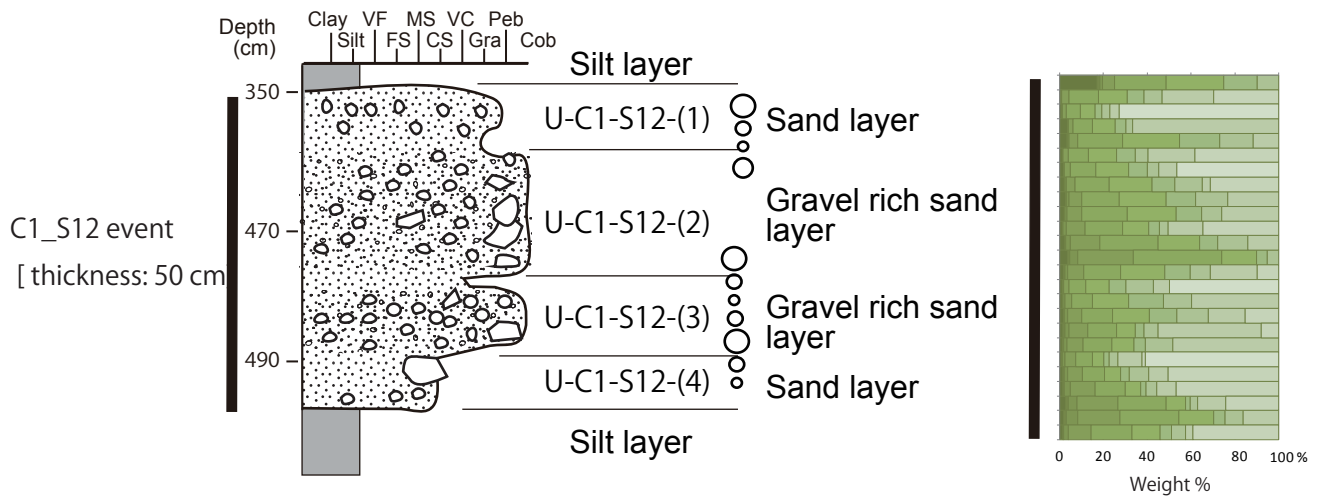


Fig. 5-5
Sedimentary facies and grain size distribution of the 'S12' event.

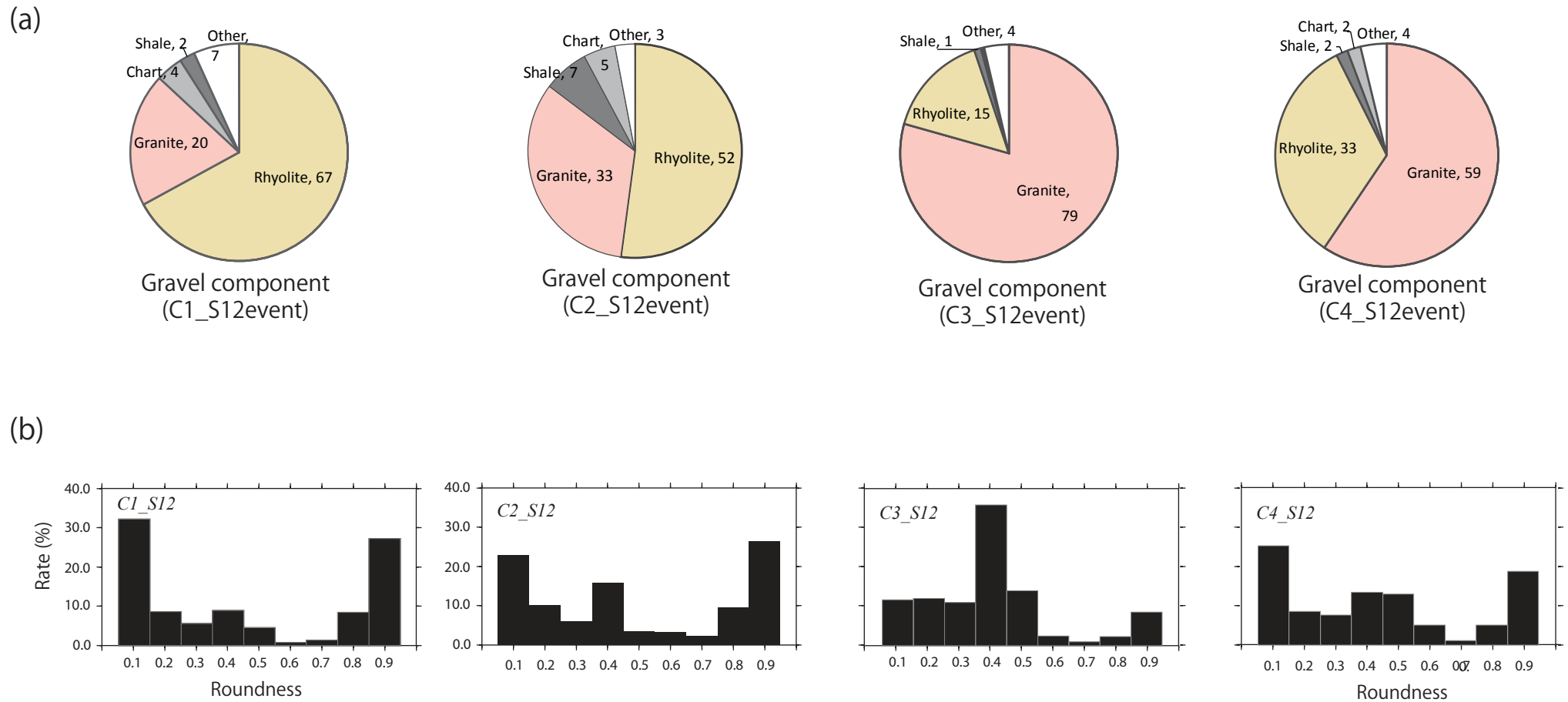


Fig. 5-6 Gravel component and roundness ('S12' -event).
 (a) Gravel component and roundness (' S12' event) . (b) Distribution of roundness in the event layer.

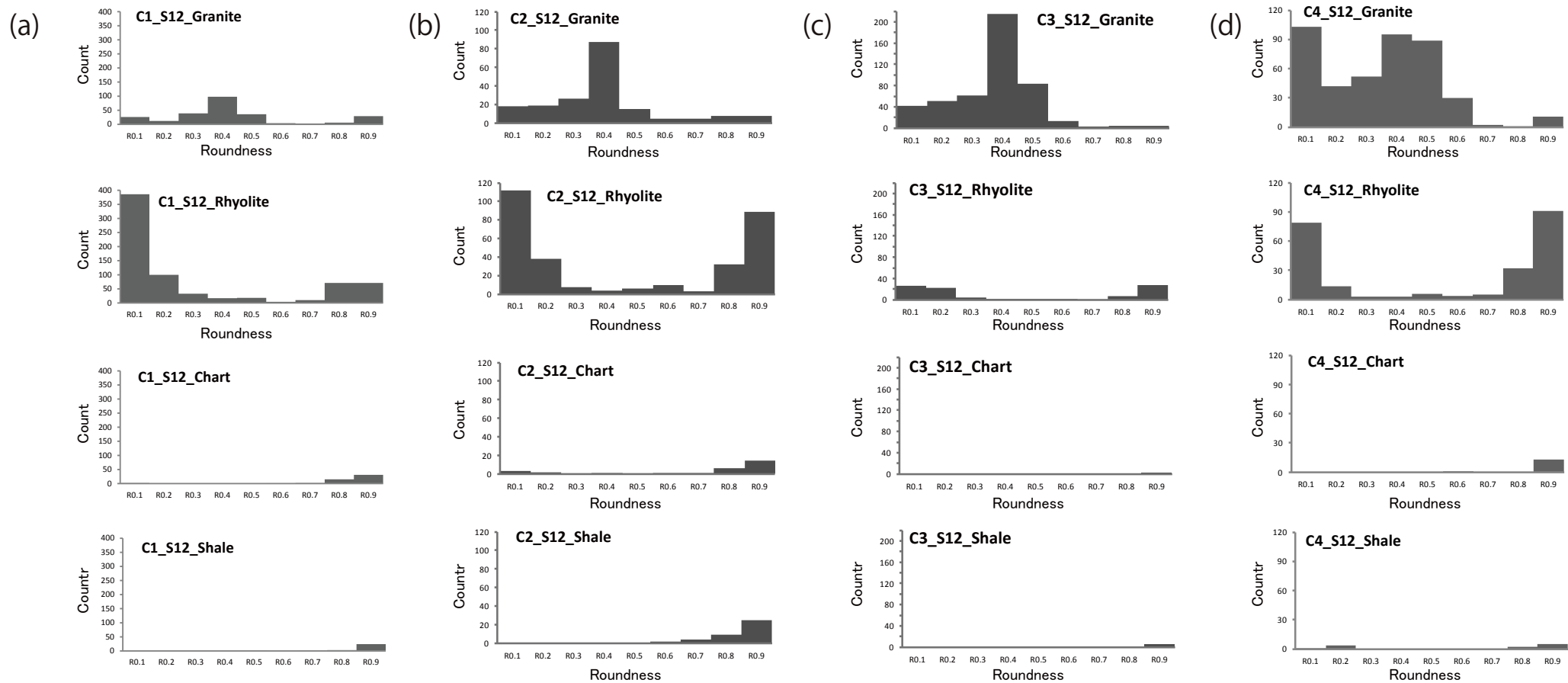


Fig. 5-7 Roundness of each rock type (' S12' -event)

(a) Data for 'S12' -event in boring sample 'C1' . (b) Data for 'S12' -event in boring sample 'C2' .
(c) Data for 'S12' -event in boring sample 'C3' . (d) Data for 'S12' -event in boring sample 'C4' .

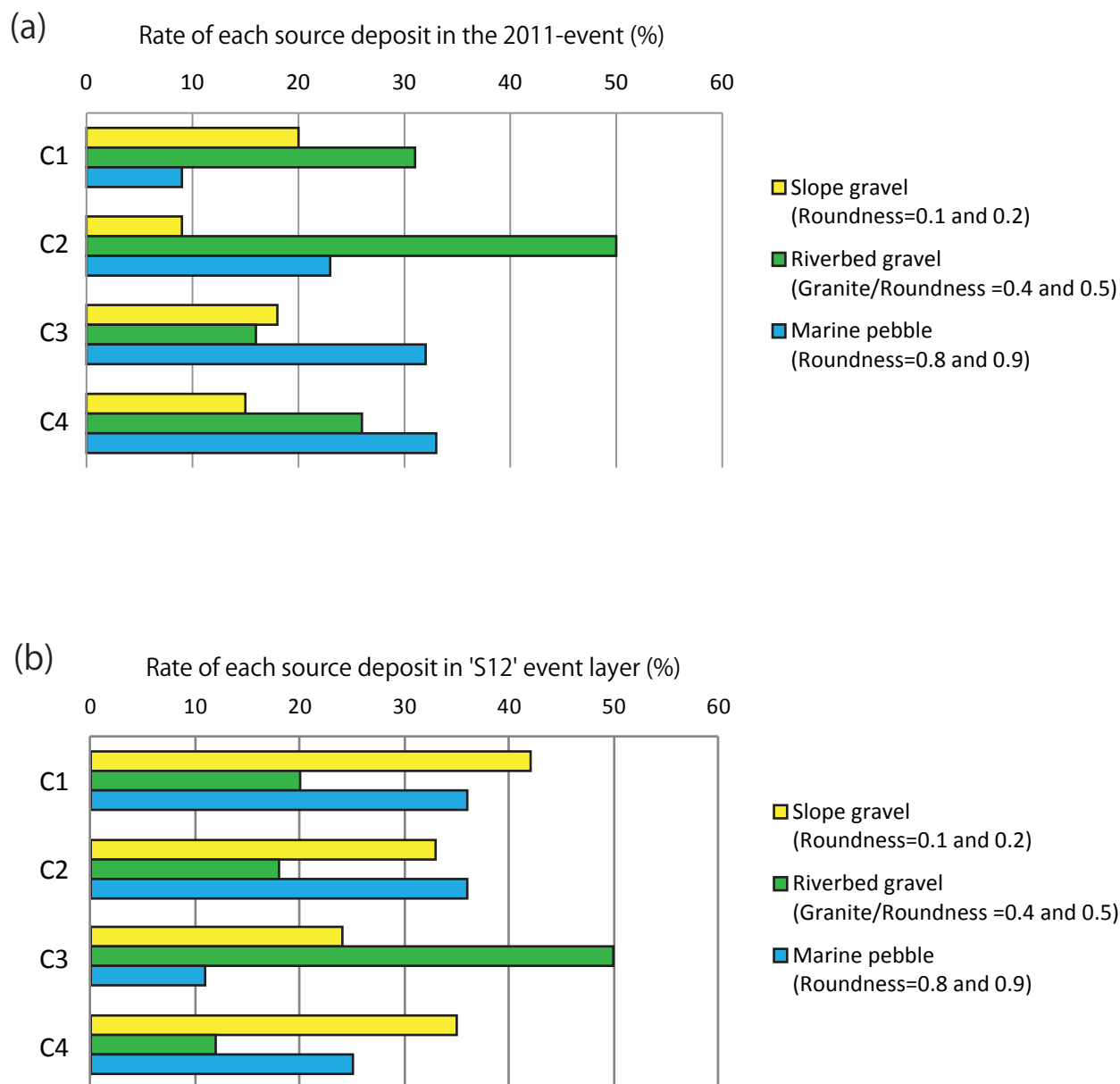


Fig. 5-8 Rate of each source deposit in the layer
 (a) Rate of each source deposit in the 2011-event. (b) Rate of each source deposit in the 'S12' -event.

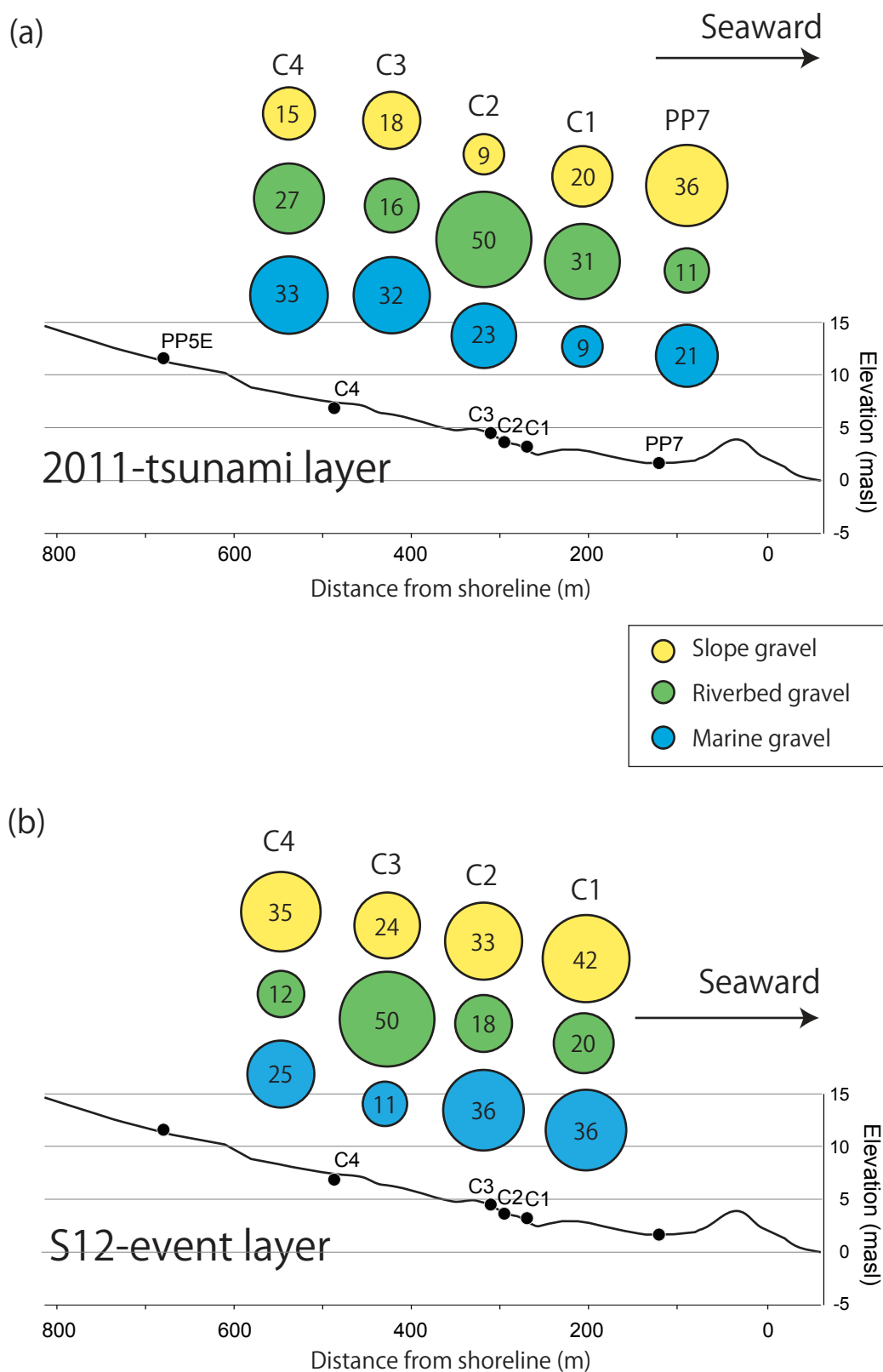


Fig. 5-9 Rate of each source gravels along the transect

(a) Rate of each source gravels in the 2011-layer along the transect. Number in the circle shows rate calculated by counting gravels in the layer.

(b) Rate of each source gravels in the 'S12' -layer along the transect. Number in the circle shows rate calculated by counting gravels in the layer.

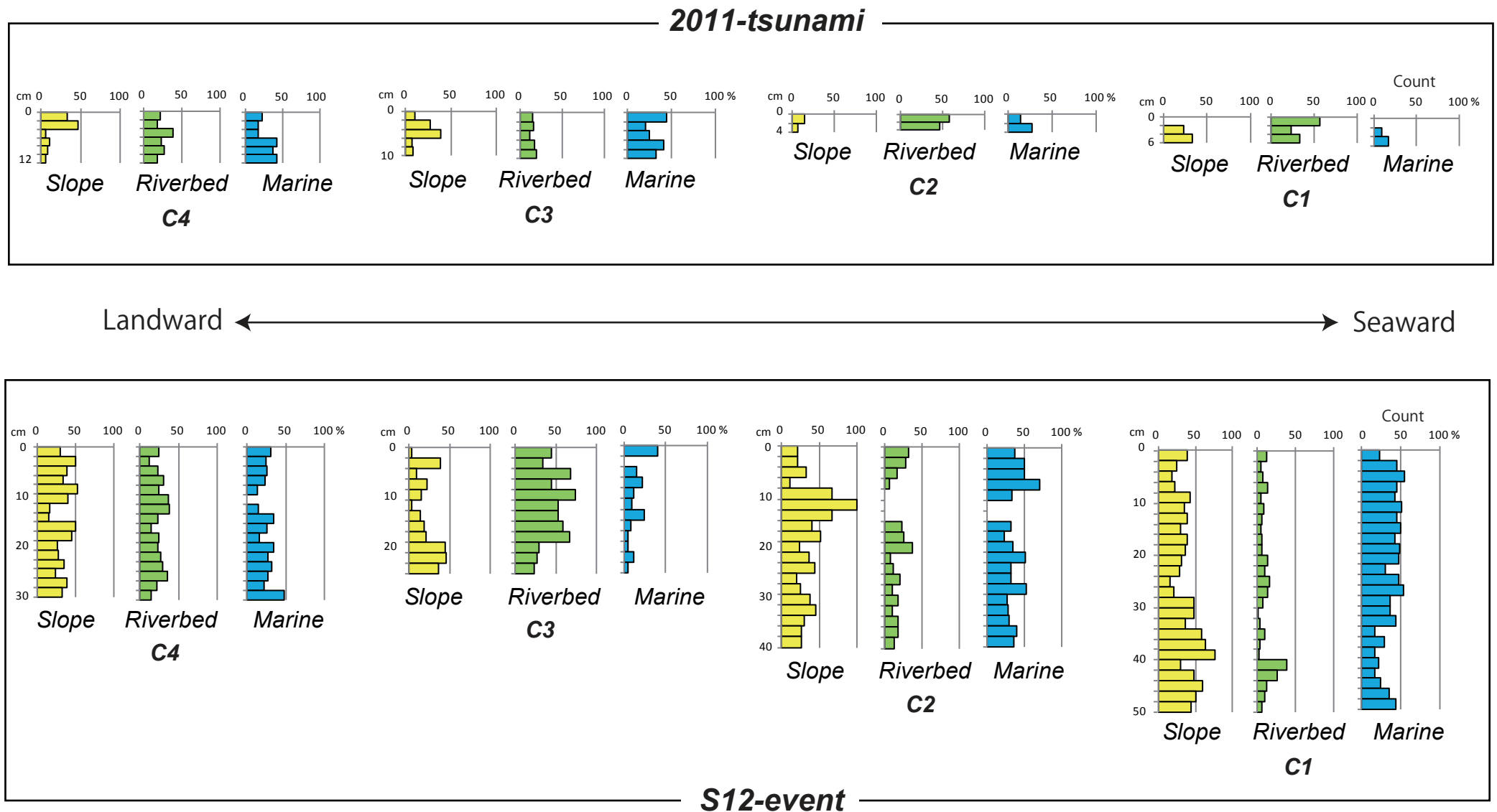


Fig. 5-10 Distribution of source gravels across the depth
 (a) Distribution of source gravels across the depth for the 2011-tsunami layer.
 (b) Distribution of source gravels across the depth for 'S12' -layer.

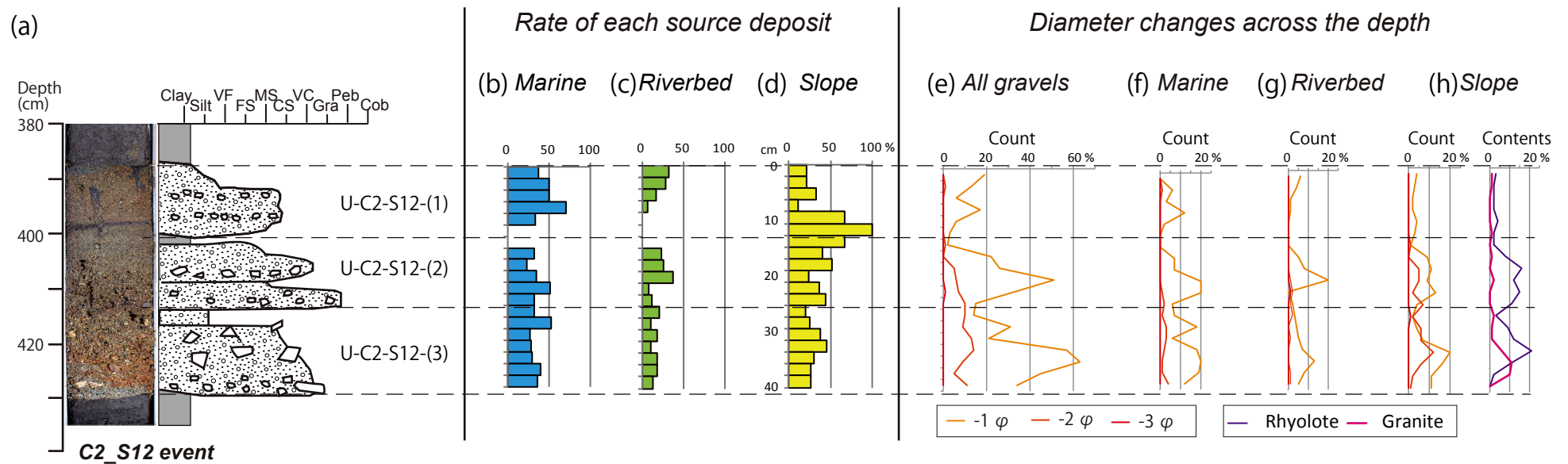


Fig. 5-11 Detail distribution of source gravels across the depth

(a) Facies of ' S12' -event in boring sample 'C2' . Facies was draw by visual reference.

(b-d) Rate of each deposit. (e-h) Diameter changes across the depth.

6. 総括

現在の津波堆積物調査研究の問題点を3つ取り上げ、それについて論じた。まず、過去のイベントの波源を特定するためには、東北沿岸の広範囲にわたる地点で津波堆積物調査が必要であるものの、これまで三陸沿岸北部や青森県の沿岸域での調査例が乏しかったことについて、本研究で調査地を岩手県宮古市の岩石海岸を調査地として選定することで過去約2,000年間の17イベントを復元することができた。本研究で得られた地質学的データは、過去のイベントの波源特定の一資料として役立つ。4章において、 ^{14}C 年代測定法、 ^{137}Cs 、 ^{210}Pb を用いた年代推定法を用いてイベントの堆積年代を得た上で、日本に残存する津波と高潮および洪水の記録を整理して可能性のある歴史イベントと対応するものを列挙することができた。本調査地には $1,950 \pm 20 \text{yrBP}$ ($20 \text{ calBC} - 120 \text{ calAD}$: 2σ) 以降のイベントが地層中に保存されており、年代測定の結果から S1 (2011年東北地方太平洋沖地震の津波痕跡)、S2 (候補: 1960年チリ地震津波/1968年十勝沖地震津波)、S3 (1947年カスリーン台風/1948年アイオン台風)、S4 (1933年昭和三陸地震津波)、S5 (1793年宮城沖地震津波/1856年青森沖地震/1896年明治三陸地震津波)、S6 (1700年カスケード地震津波/1763年青森沖地震津波/1793年宮城沖地震津波)、S7 (1700年カスケード地震津波/1763年青森沖地震津波)、S8 および S9 (1611年奥州慶長地震津波/1648年台風/1677年青森沖地震津波/1700年カスケード地震津波/1763年青森沖地震津波)、S10 および S11 (該当する記録なし)、S12 (869年貞観地震津波)、S13 (AD 130-380年に発生したイベント)、S14 および S15 (20 BC~AD 240)、S16 (20 BC-AD 240)、S17 と (AD 240 以降) と推定された。古イベント層の中でも西暦250年から1400年の堆積年代を示したイベント層 S12 は、歴史記録と照合すると869年貞観地震津波時に形成された可能性があった。これにより当地震の波源は従来仮定されていたよりさらに北に延長される可能性が示唆され、今後の地質学的データに基づく波源域特定の研究分野に貢献できるデータも得られた。また、調査測線上でイベント痕跡が側方追跡できた地点(海岸からの距離)までは当時少なくとも浸水したであろうと仮定し、各イベントの浸水域を復元した。比較的浸水域が広く示された S4, S5, S7 は、堆積年代から宮古市田老で 8.5~13.6 m、および 5.6~10.1 m の津波高が記録されている1933年昭和三陸地震津波と1896年明治三陸地震津波のイベントが含まれている可能性

があり、S8 は、その堆積年代から宮古市田老で 20~21 m の津波高の記録が残っている 1611 年奥州慶長地震津波の可能性があり、S12 はその堆積年代から 869 年貞観地震津波の可能性があった。

津波履歴を復元するにあたり、高潮堆積物や洪水堆積物はノイズであり、それらをどのように取り除くかが問題であったことについて、イベント堆積物の堆積年代を ^{137}Cs により推定した結果、S3 が 1947 年カスリーン台風もしくは 1948 年アイオン台風のイベントの可能性が示唆されたことで、史実からは本調査地に襲来した津波以外のイベントである可能性を示唆することができた。さらに 5 章では、S3 イベントの深度方向の顕著な粒径変化がみられないことから、掃流 (Traction) による影響が大きい水面下で運搬された粒子であると推定されたことと、給源粒子 [海浜] が検出されなかったことから、S1 の給源粒子各種が混在した 2011 年津波堆積物とは明らかに異なる運搬過程を有したイベントである可能性が示唆された。つまり、S3 は年代的にも堆積相からも津波以外のイベント (台風等) により形成された堆積物である可能性がある。

三陸沿岸で頻繁に観察されている礫質津波堆積物の形成過程についてほとんど議論されてきていなかった問題について、本研究で津波堆積物の形成過程と地形要因について本調査地の地形に基づいて議論した。津波堆積物の構成粒子となりうる粒子 (給源粒子) を「斜面」「海浜」「河床」の 3 種類に大別し、それぞれを礫種と円磨度によって特徴付けた。給源粒子 [斜面] は円磨度が極端に低い角礫 (円磨度 0.1~0.2) が指標となり、津波時に遡上波によって谷壁や斜面上で侵食され新たに生成した碎屑物であると推定された。これらは本調査地で標高 5~10 m に堆積していることから浸水高の指標にもなる。給源粒子 [河床] は花崗岩で円磨度 0.4~0.5 の礫が指標となり、津波時に上流から海側の低地へ運搬されて集積したものと推定された。給源粒子 [海浜] は極端に円磨度が高い礫 (円磨度 0.8~0.9) が指標となり、海側から谷内へ運搬される粒子である。実際、2011 年津波堆積物の構成粒子に含まれている給源粒子の含有率を調べたところ 2011 年津波堆積物は給源粒子 3 種の礫が混在した堆積物であった。様々な給源粒子が混在する堆積学的特徴は、谷内で斜面を遡上した津波が陸域の堆積物を侵食した後に再移動させたこと示しており、この特徴的な堆積相は同調査地内の古イベント層を津波堆積物として認定する際に活用できる。また、給源粒子 3 種の組成は必ずしもイベントごとに類似しておらず、各給源粒子を運搬する谷内における津波の挙動はイベントごとに

異なっていた可能性を示唆した。以上のことから、過去のイベント層について層準内の給源粒子の存在を調べることにより、各イベントの浸水像を知る手掛かりを得られることがわかった。

宮城県仙台平野の海岸地形と三陸海岸のV字谷地形を比較したところ、三陸海岸のような典型的なリアス海岸においては、津波堆積物を構成していた粒子は海浜・陸域斜面・河床がその給源となるが、仙台平野では津波の遡上エネルギーが高い状態で陸域に障壁となるような地形が存在しないため、津波堆積物の構成粒子のほとんどが沿岸域および平野部の堆積物であったと推察された。三陸沿岸の谷底平野で観察される津波堆積物の堆積様式は、地形に起因する要素が大きく、それらの要素（津波堆積物の構成粒子）を捉えることで、これまでの津波堆積物の特徴（粒度変化、分布、層厚など）よりさらに現地に則した認定基準と成り得る。

謝辞

東京大学新領域創成科学研究科自然環境学専攻の須貝俊彦教授ならびに東京大学地震研究所の佐竹健治教授には調査研究につきまして終始ご指導いただいた。また、平川一臣、Javed N. Malik、藤原治、Catherine Chagué-Goff、Vanessa Andrade、石辺岳男、原田智也、室谷智子各氏より多大な御助言を頂いた。Aditya Riadi Gusuman氏には調査に同行頂き調査地内の津波浸水シミュレーションのご研究の成果を附表の添付資料としてご提供頂いた。東京大学総合研究博物館の放射性炭素年代測定室の大森貴之氏には堆積年代推定について多大なご助言を頂いた。調査の実施にあたり、村岸純・鳴橋竜太郎・楠本聡・瀧川朗・山市剛・Ravi K. Prabhat 各氏のご協力を頂いた。東京大学地震研究所の中田節也教授ならびに前野深氏には偏光顕微鏡を使用させて頂いた。本研究は、東京大学地震研究所共同利用の援助を受けました。それに際し、東京大学地震研究所の安田敦教授ならびに外西奈津美技術職員に顕微鏡の使用に際してご指導いただいた。ここに記して感謝いたします。

最後に、研究生活を温かく見守ってくれた家族に心から感謝いたします。

引用文献

- Abe, T., Goto, K., and Sugawara, D., 2012. Relationship between the maximum extent of tsunami sand and the inundation limit of the 2011 Tohoku-oki tsunami on the Sendai Plain, Japan. *Sedimentary Geology*, 282, 142-150.
- 荒川秀俊, 石田祐一, 伊藤忠士, 1961. 日本高潮史料, 吉川弘文館, 272pp.
- Atwater, B.F., 1987. Evidence for great Holocene earthquakes along the outer coast of Washington State. *Science*, 236, 942-944
- Atwater B.F., Musumi-Rokkaku, S., Satake, K., Tsuji Y., Ueda K. and Yamaguchi, D. K., 2005. The orphan tsunami of 1700 - Japanese clues to a parent earthquake in North America. 133pp. U.S. Geological Survey.
- Bronk Ramsey, C., Lee, S., 2013. Recent and planned developments of the program OxCal. *Radiocarbon*, 55, 720-730.
- Chagué-Goff, C., Andrew, A., Szczuciński, W., Goff, J., Nishimura, Y, 2012. Geochemical signatures up to the maximum inundation of the 2011 Tohoku-oki tsunami - Implications for the 869 AD Jogan and other palaeotsunamis. *Sedimentary Geology*, 282, 65-77.
- Dawson, A. G., Foster, I. D. L., Shi, S., Smith, D. E. and Long, D., 1991. The identification of tsunami deposits in coastal sediment sequences. *Science of tsunami hazards*, 9(1), 73-82.
- Dawson, A. G., Foster, I. D. L., Shi, S., Smith, D. E. and Long, D., 1991. The identification of tsunami deposits in coastal sediment sequences. *Science of tsunami hazards*, 9(1), 73-82.
- Foster, I. D. L., Albon, A. J., Bardell, K. M., Fletcher, J. L., Jardine, T. C., Mothers, R. J., Pritchard, M. A. and Turner, S. E., 1991. Coastal sedimentary deposits on the Isles of Scilly; Stormsurge or Tsunami deposit. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 341-356.
- Fujiwara, O., Tanigawa, K., 2014. Bedforms record the flow conditions of the 2011 Tohoku-Okii tsunami on the Sendai Plain, northeast Japan. *Marine Geology*, 358, 79-88.
- Gelfenbaum, G. and Jaffe, B., 2003. Erosion and sedimentation from the 17 July, 1998 Papua New Guinea Tsunami, *Pure and Applied Geophysics*, 160, 1969-1999.

- Geological Survey of Japan, AIST (ed.), 2014. Seamless digital geological map of Japan 1: 200,000. January 14, 2014 version. Research Information Database DB084, Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology.
- Goto, K., Chagué-Goff, C., Fujino, S., Goff, J., Jaffe, B., Nishimura, Y., Richmond, B., Sugawara, D., Szczuciński, W. and Tappin, D. R., Witter, R. C. and Yulianto, E., 2011. New insights of tsunami hazard from the 2011 Tohoku-oki event. *Marine Geology*, 290(1), 46-50.
- Goto, T., Satake, K., Sugai, T., Ishibe, T., Harada, T. and Murotani, S., 2015. Historical tsunami and storm deposits during the last five centuries on the Sanriku coast, Japan. *Marine Geology*, 367, 105-117.
- Gusman, A. R., Satake, K., Goto, T and Takahashi, T., 2015. Sediment transport of multiple grain sizes in V-shaped valley of Numanohama during the 2011 Tohoku tsunami. Abstract of Annual meeting of Institut de physique du globe de Paris.
- 原 淳子, 川辺能成, 駒井 武, 田村 亨, 澤井祐紀, 2015. 表層堆積物の化学組成を用いた津波堆積物の由来と海底堆積物の攪乱の推定-投与口法太平洋沖地震による大津波の影響を受けた仙台平野沿岸域を例として-. *地学雑誌*, 123, 883-903.
- 原口 強, 岩松 暉, 2011. 東日本大震災津波詳細地図上巻青森・岩手・宮城. 167 頁, 古今書院.
- 羽鳥徳太郎, 1988. 寛政 5 年 (1793 年) 宮城県沖地震における震度・津波分布. *東京大学地震研究所彙報*, 62(3), 297-309.
- 早川裕式, 小口 高, 齋藤 仁, 小林明才, 小松吾郎, 後藤和久, 2015. 三陸海岸における津波による侵食地形の特徴ー地上レザ測量による解析ー. *地学雑誌*, 124 (2), 241-258.
- Hjulströms, F., 1935. Studies of morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris, *Upsala Mineral. Geologis. Inst. Bull.*, 25, 222-527.
- 池田安隆, 1987. 断層露頭剥ぎ取り転写法. *活断層研究* 4, 65-69.
- Ikehara, K., Irino T., Usami K., Jenkins, R., Omura, A and Ashi, J., 2014. Possible submarine tsunami deposits on the outer shelf of Sendai Bay, Japan resulting from the 2011 earthquake and tsunami off the Pacific coast of Tohoku. *Marine Geology*, 358, 120-127.

- Ishimura, D., & Miyauchi, T., 2015. Historical and paleo-tsunami deposits during the last 4000 years and their correlations with historical tsunami events in Koyadori on the Sanriku Coast, northeastern Japan. *Progress in Earth and Planetary Science*, 2(1), 1-18.
- Iwabuchi, Y., Sugino, H., Imamura, F., Tsuji, Y., Matsuoka, Y., Imai, K., Shuto, N., 2012. Development of tsunami trace database with reliability evaluation on Japan coasts. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)*, 68, I_1326-1330 (in Japanese with English abstract).
- Jacobs, Z., 2008. Luminescence chronologies for costal and marine sediments. *Boreas*, 37, 508-535.
- Jaffe, B.E., Goto, K., Sugawara, D., Richmond, B.M., Fujino, S., Nishimura, Y., 2012. Flow speed estimated by inverse modeling of sandy tsunami deposits: results from the 11 March 2011 tsunami on the coastal plain near the Sendai Airport, Honshu, Japan. *Sedimentary Geology*, 282, 90-109.
- Jagodziński, R., Sternal, B., Szczuciński, W., Chagué-Goff, C., Sugawara, D., 2012. Heavy minerals in the 2011 Tohoku-oki tsunami deposits - insights into sediment sources and hydrodynamics. *Sedimentary Geology*, 282, 57-64.
- 金井豊, 2000. 鉛-210 堆積年代測定法とその問題点. *地球科学*, 34, 23-39.
- Kanamori, H., 1971. Seismological evidence for a lithospheric normal faulting - The Sanriku earthquake of 1933. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 4, 289-300.
- 小池一之, 田村俊和, 鎮西清高, 宮城豊彦, 2005. 日本の地形 3 東北, 355pp, 東京大学出版会.
- 今野円蔵, 岩井淳一, 高柳洋吉, 中川久夫, 小貫義男, 柴田豊吉, 三位秀夫, 北村 信, 小高民夫, 片岡 純, チリ地震津波による三陸沿岸被災地の地質学的調査報告, 1961. 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告 (東北大学), 52, 1-45.
- 小杉正人, 1986. 陸生珪藻による古環境解析とその意義-わが国への導入とその展望-. *植生史研究*, 第 1 号, 植生史研究会. 29-44.
- 小杉正人, 1988. 珪藻の環境指標种群の設定と古環境復原への応用. *第四紀研究*, 27, 1-20.

- Krumbein, W. C., 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, 11 (2), 64-71.
- Matsuoka, H., Okada, H., 1989. Quantitative analysis of Quaternary Nannoplankton in the subtropical northwestern Pacific ocean. *Marine Micropaleontology*, 14, 97-118.
- Minoura, K., Nakaya, S., 1991. Traces of tsunami preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits; some examples from northeast Japan, *The Journal of Geology*, 99, 265-287.
- 宮古市教育委員会, 1991. 宮古市史（年表）, 615 頁.
- Moore, A., Nishimura, Y., Gelfenbaum, G., Kamataki, T., Triyono, R., 2006. Sedimentary deposits of the 26 December 2004 tsunami on the northwest coast of Aceh, Indonesia. *Earth Planets and Space*, 58, 253-258.
- Mori, N., Takahashi, T., Yasuda, T., Yanagisawa, H., 2011. Survey of 2011 Tohoku earthquake tsunami inundation and run-up. *Geophysical Research Letters*, 38, L00G14.
- Morton, R.A., Gelfenbaum, G., Jaffe, B.E., 2007. Physical criteria for distinguishing sandy tsunami and storm deposits using modern examples. *Sedimentary Geology*, 200, 184-207.
- Nakamura, Y., Nishimura, Y., Putra, P.S., 2012. Local variation of inundation, sedimentary characteristics, and mineral assemblages of the 2011 Tohoku-oki tsunami on the Misawa coast, Aomori, Japan. *Sedimentary Geology*, 282, 216-227.
- Namegaya, Y., Satake, K., 2014. Reexamination of the A.D. 869 Jogan earthquake size from tsunami deposit distribution, simulated flow depth, and velocity. *Geophysical Research Letters*, 41, 2297-2303.
- 行谷佑一, 矢田俊文, 2014.史料に記録された中世における東日本太平洋沿岸の津波, 地震 第2輯, 66(4), 73-81.
- Nanayama, F., Shigeno, K., Satake, K., Shimokawa, S., Koitabashi, S., Miyasaka, S., Ishii, M., 2000. Sedimentary differences between the 1993 Hokkaido-nansei-oki tsunami and the 1959 Miyakojima typhoon at Taisei, southwestern Hokkaido, northern Japan. *Sedimentary Geology*, 135, 255-264.
- Nanayama, F. and Shigeno, K., 2006. Inflow and outflow facies from the 1993 tsunami in southwest Hokkaido. *Sedimentary Geology*, 187(3), 139-158.

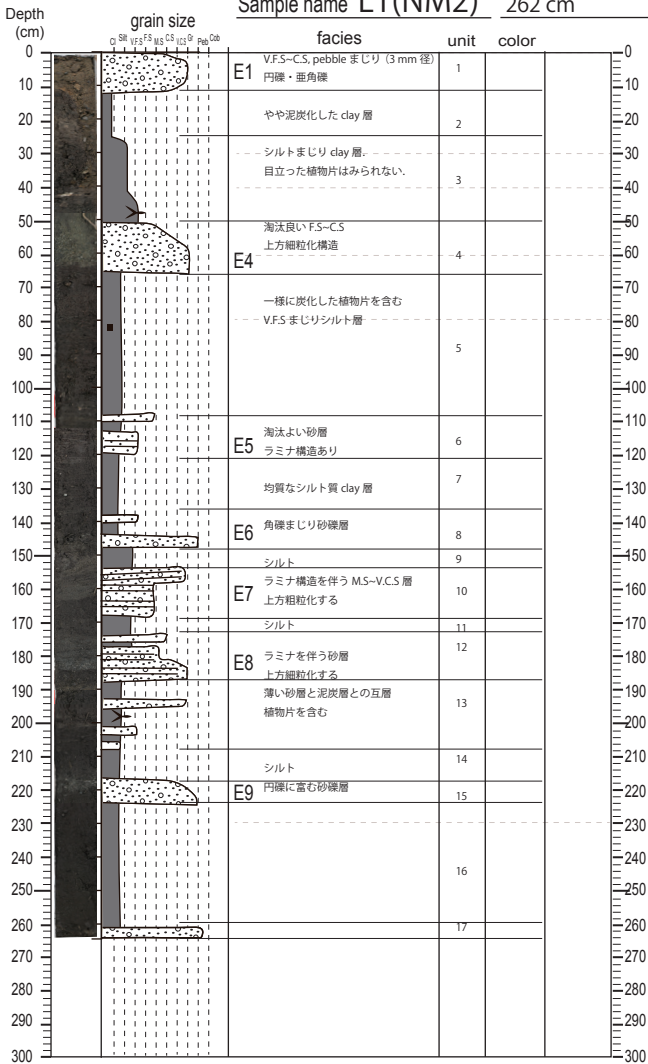
- 七山 太, 長友 恒人, 下岡 順直, 須崎 憲一, 古川 竜太, 重野 聖之, 石井 正之, 猪熊 樹人, 北沢 俊幸, 中川 充, 2009. ルミネッセンス法を用いた津波堆積物の年代測定を試み: 北海道東部, 根室沿岸低地の試料を例として, 地質学雑誌, 115(6), 249-260.
- 奈良国立文化財研究所埋蔵文化財センター, 1980. 層位・遺跡断面の剥ぎ取り転写法. 埋蔵文化ニュース, 28, 1-8.
- Naruse, H., Arai, K., Matsumoto, D., Takahashi, H., Yamashita, S., Tanaka, G., & Murayama, M., 2012. Sedimentary features observed in the tsunami deposits at Rikuzentakata City. *Sedimentary Geology*, 282, 199-215.
- Nishimura, Y., Miyaji, N., 1995. Tsunami deposits from the 1993 Southwest Hokkaido earthquake and the 1640 Hokkaido Komagatake eruption, northern Japan. *Pure and Applied Geophysics*, 144, 719-733.
- Nishimura, Y., Miyaji, N., Suzuki, M., 1999. Behavior of historic tsunamis of volcanic origin as revealed by onshore tsunami deposits. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 24, 985-988.
- 岡村真, 松岡裕美, 佃栄吉, 都司嘉宣, 2000. 沿岸湖沼堆積物による過去一万年間の地殻変動と歴史津波モニタリング. 月刊地球 (号外) 28, 162-168.
- 岡村 真・山内守明, ナンノ化石詳細調査, 1984. 災害科学研究所報告, 関西国際空港地盤地質調査別冊.
- 大船渡市立博物館, 1990 年. 三陸沿岸地震・津波年表-東北地方太平洋側における歴史地震・歴史津波-, 131pp.
- Prendergast, A. L., Cupper, M. L., Jankaew. K. and Sawai, Y., 2012. Indian Ocean tsunami recurrence from optical dating of tsunami sand sheets in Thailand. *Marine Geology*, 295-298, 20-27.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafflidason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55, 1869-1887.

- Ritchie J.C., McHenry J.R., 1990. Application of radioactive fallout Cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: A review. *Journal of Environmental Quality*, 19, 215-233.
- Rittenhouse, G., 1943. A visual method of estimating two-dimensional sphericity. *Journal of Sedimentary Research*, 13(2), 79-81.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター - (編) (2015) 20 万分の 1 日本シームレス地質図 2015 年 5 月 29 日版. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- Satake, K., Shimazaki, K., Tsuji, Y., Ueda, K., 1996. Time and size of giant earthquake in Cascadia inferred from Japanese tsunami records of January 1700. *Nature*, 379, 246-249.
- Satake, K., Fujii, Y., Harada, T., Namegaya, Y., 2013. Time and space distribution of coseismic slip of the 2011 Tohoku earthquake as inferred from tsunami waveform data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103, 1473-1492.
- Satake, K., 2015. Geological and historical evidence of irregular recurrent earthquakes in Japan, *Philosophical Transactions of The Royal Society A*, 373, <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2014.0375>
- Sawai, Y., Jankaew, K., Martin, M.E., Prendergast, A., Choowong, M., Charoentitrat, T., 2009. Diatom assemblages in tsunami deposits associated with the 2004 Indian Ocean tsunami at Phra Thong Island, Thailand. *Marine Geology*, 73, 70-79.
- Sawai, Y., Namegaya, Y., Okamura, Y., Satake, K., Shishikura, M., 2012. Challenges of anticipating the 2011 Tohoku earthquake and tsunami using coastal geology. *Geophysical Research Letters* 39, L21309.
- Sawai, Y., Namegaya, Y., Tamura, T., Nakashima, R. and Tanigawa, K., 2015. Shorter intervals between great earthquakes near Sendai: Scour ponds and a sand layer attributable to A.D. 1454 overwash. *Geophysical Research Letters*, 10.1002/2015GL064167, 4795-4800.
- 宍倉正展, 藤原治, 澤井祐紀, 行谷佑一, 谷川晃一郎, 2012. 2011 年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の仙台・石巻平野における分布限界. 活断層・古地震研究報告, 12, 45-61.
- 菅原大助・箕浦幸治・今村文彦, 2001, 西暦 869 年貞観津波による堆積作用とその数値復元. 津波工学研究報告, 18, 1-10.

- Sugawara, D., Goto, K., Imamura, F., Matsumoto, H. and Minoura, K., 2012. Assessing the magnitude of the 869 Jogan tsunami using sedimentary deposits: Prediction and consequence of the 2011 Tohoku-oki tsunami. *Sedimentary Geology*, 282, 14-26.
- Shimazaki, K., Kim, H.Y., Chiba, T., Satake, K., 2011. Geological evidence of recurrent great Kanto earthquakes at the Miura Peninsula, Japan. *Journal of Geophysical Research*, 116, B12408.
- Southard, J. B., 1991. Experimental Determination of Bed-Form Stability, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 19, 423-455.
- Szczuciński, W., Kokociński, M., Rzeszewski, M., Chagué-Goff, C., Cachão, M., Goto, K., Sugawara, D., 2012. Sediment sources and sedimentation processes of 2011 Tohoku-oki tsunami deposits on the Sendai Plain, Japan -Insights from diatoms, nannoliths and grain size distribution. *Sedimentary Geology*, 282, 40-56.
- Switzer, A. D., Srinivasalu, S., Thangadurai, N., and Mohan, V. R. , 2012. Bedding structures in Indian tsunami deposits that provide clues to the dynamics of tsunami inundation. *Geological Society, London, Special Publications*, 361(1), 61-77.
- Takada K., and Atwater, B.F., 2004. Evidence for liquefaction identified in peeled slices of Holocene deposits along the lower Columbia River, Washington. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94, 550-575.
- Takashimizu, Y., Urabe, A., Suzuki, K. and Sato, Y., 2012. Deposition by the 2011 Tohoku-oki tsunami on coastal lowland controlled by beach ridges near Sendai, Japan. *Sedimentary Geology*, 282, 124-141.
- Tanigawa, K., Sawai, Y., Shishikura, M., Fujiwara, O. and Namegaya, Y. 2014. Event deposits on the Pacific coast of Misawa, Aomori Prefecture, northern Japan. *Japan Association for Quaternary Research*, 53 (1), 55-62.
- Tanioka, Y., Satake, K., 1996. Fault parameters of the 1896 Sanriku tsunami earthquake estimated from tsunami numerical modeling. *Geophysical Research Letters*, 23, 1549-1552.
- 都司嘉宣・佐竹健治・石辺岳男・楠本聡・原田智也・西山昭仁・金幸隆・上野俊洋・室谷智子・大木聖子・杉本めぐみ・泊次郎・Mohammad Heidarzadeh・綿田辰吾・今井健太郎・

- Byung Ho Choi・Sung Bum Yoon・Jae Seok Bae・Kyeong Ok Kim・Hyun Woo Kim, 2011. 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波高調査. 地震研究所彙報, 86, 29-279.
- Tsuji, Y., Satake, K., Ishibe, T., Harada, T., Nishiyama, A. and Kusumoto, S., 2014. Tsunami heights along the Pacific Coast of Northern Honshu recoded from the 2011 Tohoku and previous great earthquakes, *Pure and Applied Geophysics*, 171, 3183-3215.
- 地震調査委員会, 過去の長期評価結果一覧, http://www.jishin.go.jp/main/ichiran_past/ichiran20150209.pdf.
- 渡辺仁治, 2005. 淡水珪藻生態図鑑 群集解析に基づく汚濁指数 DA_Ipo, pH 耐性能. 内田老鶴圃, 666p.
- 渡邊偉夫, 1998. 日本被害津波総覧第二版, 東京大学出版会, pp236.
- 渡邊偉夫, 2000. 869 (貞観 11) 年の地震・津波と推定される津波の波源域. 津波工学研究報告, 17, 27-37.
- 渡邊偉夫, 2001. 伝承から地震・津波の実態をどこまで解明できるか-貞観十一年 (869 年) の地震・津波を例として-. 歴史地震, 17, 130-146.
- Yamada, M., Fujino, S. and Goto, K., 2014. Deposition of sediments of diverse sizes by the 2011 Tohoku-oki tsunami at Miyako City, Japan. *Marine Geology*, 358, 67-78.
- 1960 年チリ津波合同調査班, 1961. 1960 年 5 月 24 日チリ地震津波に関する論文及び報告, 丸善, 397p.

附表



Depth
(cm)

grain size

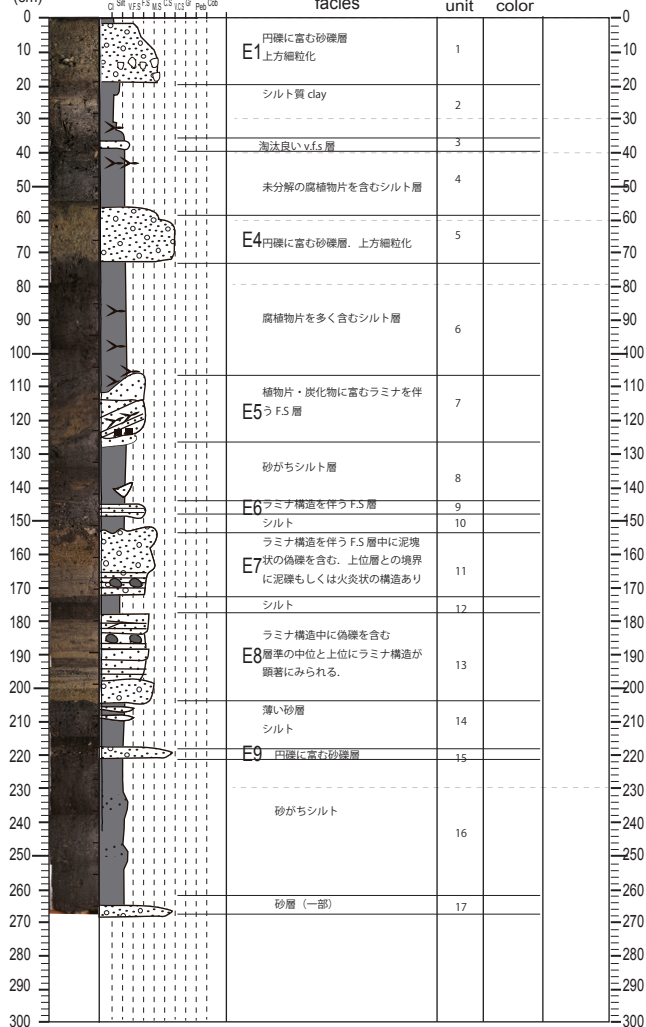
Q Ss VFS FS MS CS G Pab Cob

Sample name L2(NM3)

268 cm

facies

unit color



Depth
(cm)

grain size

Q Silt VFS FS MS CS ICs Gr Pab Cob

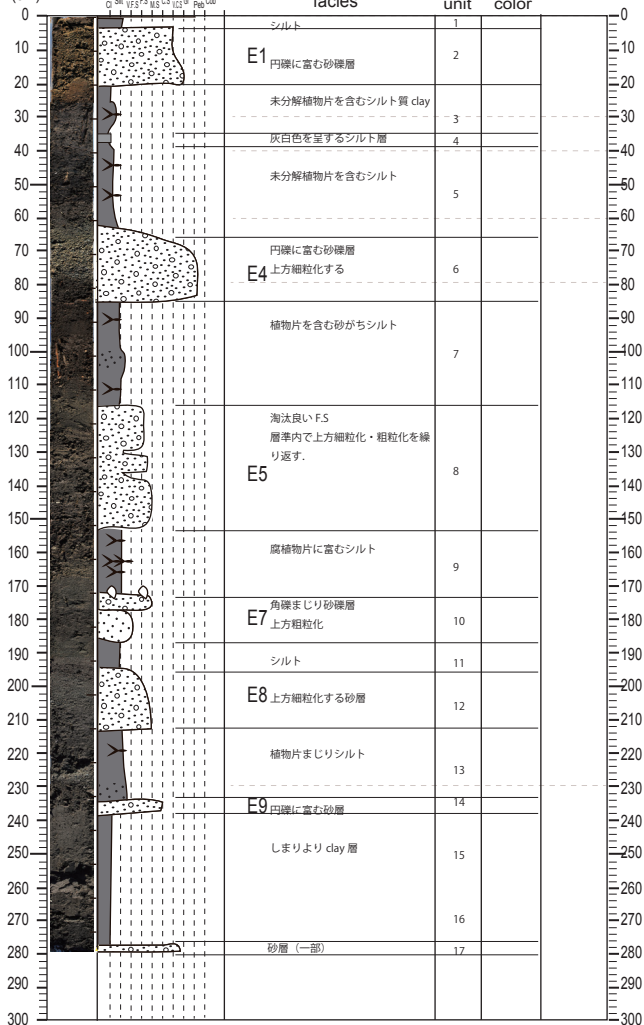
Sample name L3(NM5)

278 cm

facies

unit

color



Depth
(cm)

grain size

Q Silt VFS FS MS CS ICs Gr Peb Cob

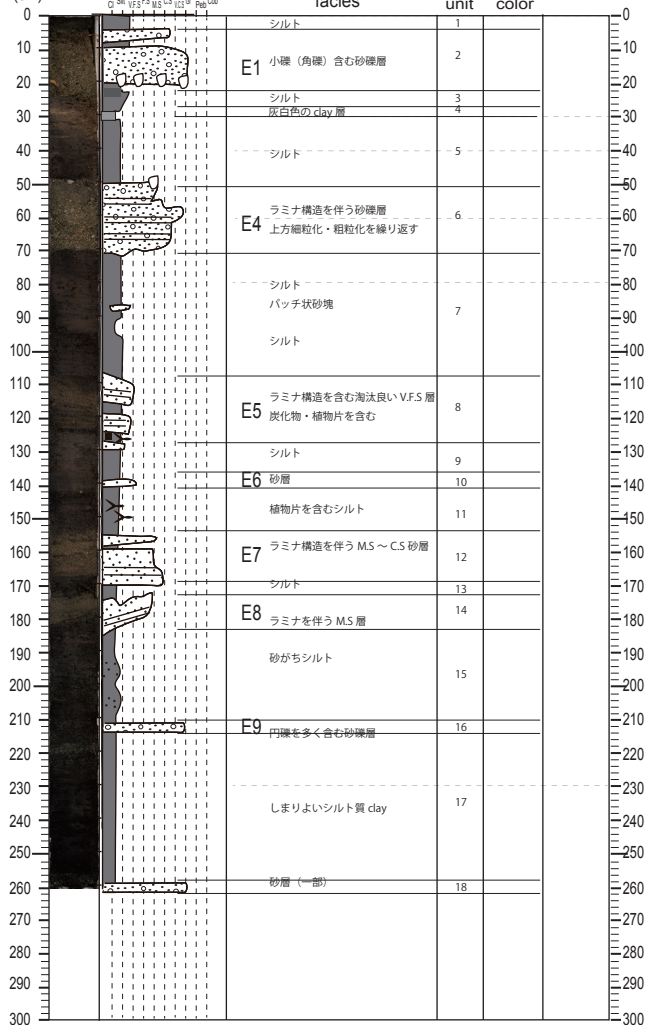
Sample name L4(NM4)

260 cm

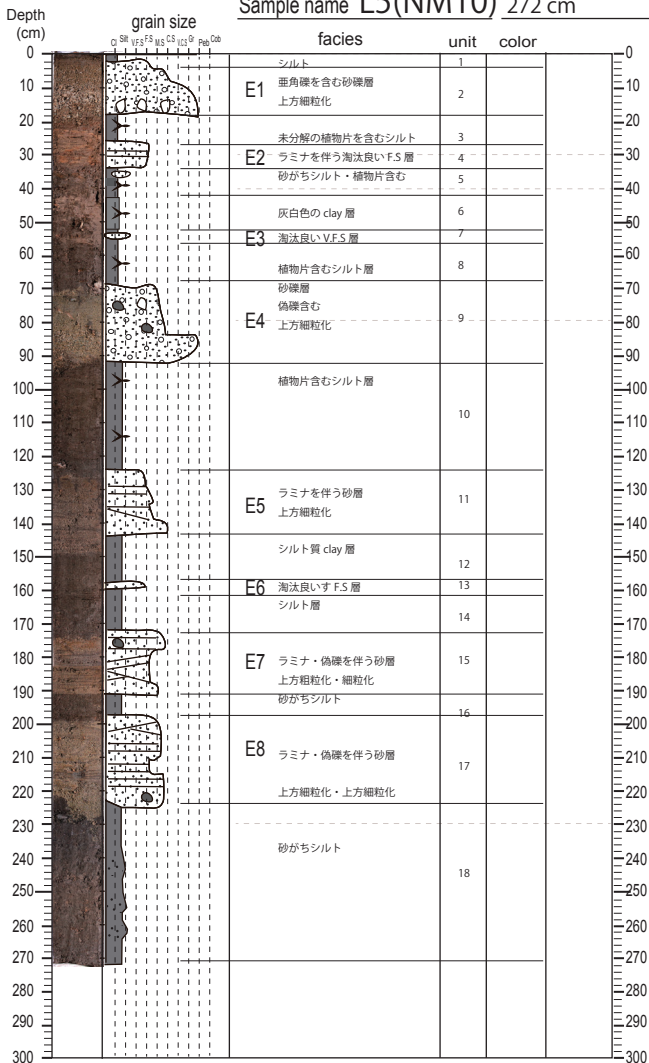
facies

unit

color



Sample name L5(NM10) 272 cm



Depth
(cm)

grain size

Q Silt VFS FS MS CS ICs Gr Pab Cob

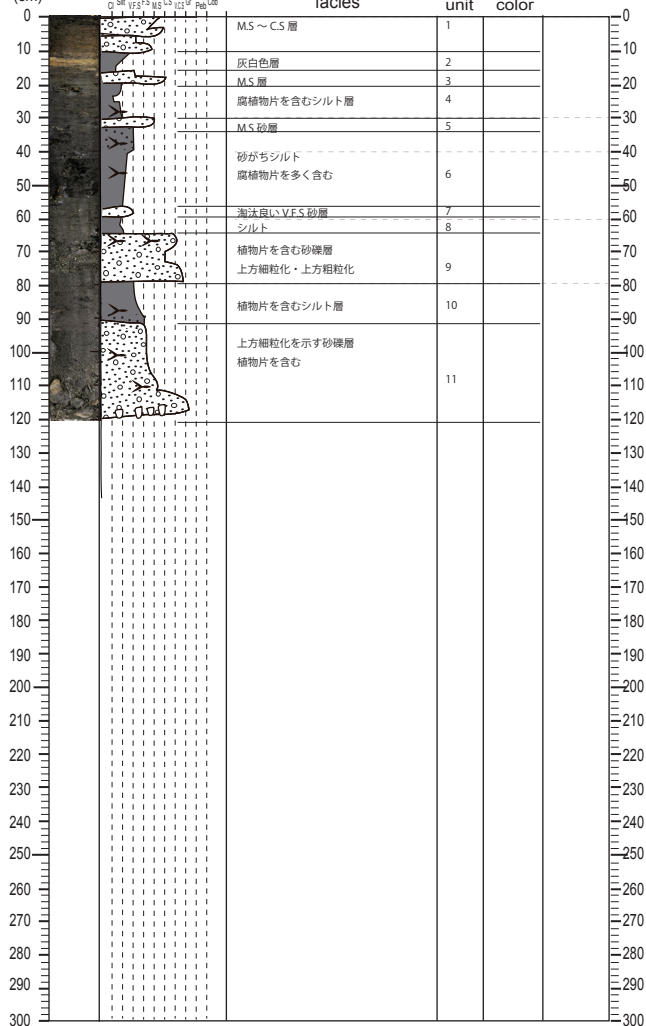
Sample name L6(NM1)

120 cm

facies

unit

color



Depth
(cm)

grain size

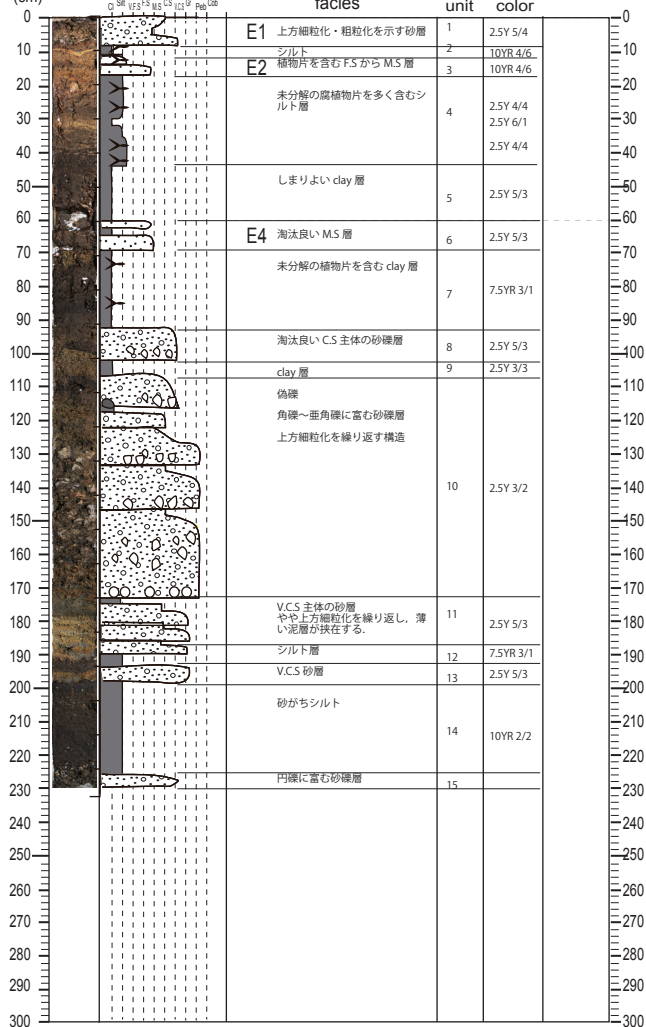
O Silt VFS FS MS CS ICS G⁺ Peb Cob

Sample name L7(NM11) 230 cm

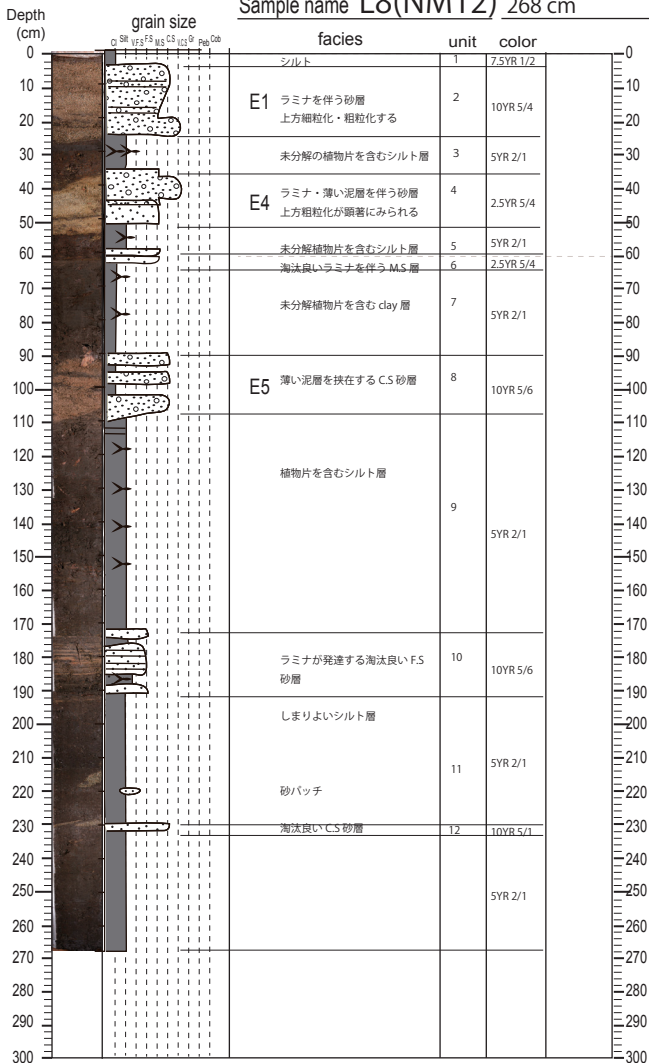
facies

unit

color



Sample name L8(NM12) 268 cm

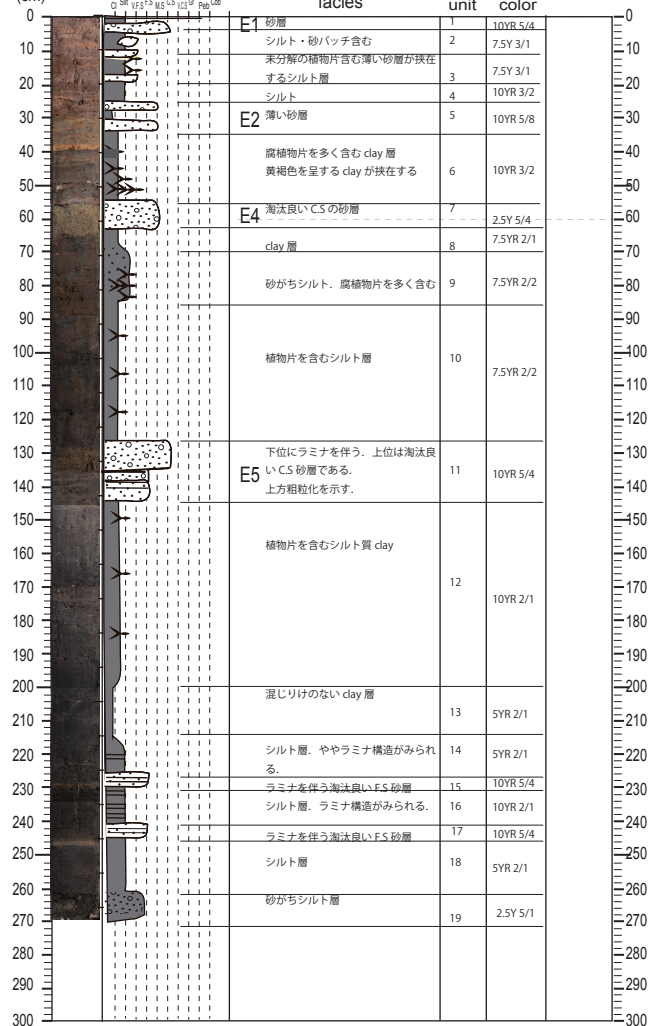


Depth
(cm)

grain size

Q Ssl VFs FS MS CS ICs Gr Pst Cob

Sample name L9(NM13) 268 cm



Depth
(cm)

grain size

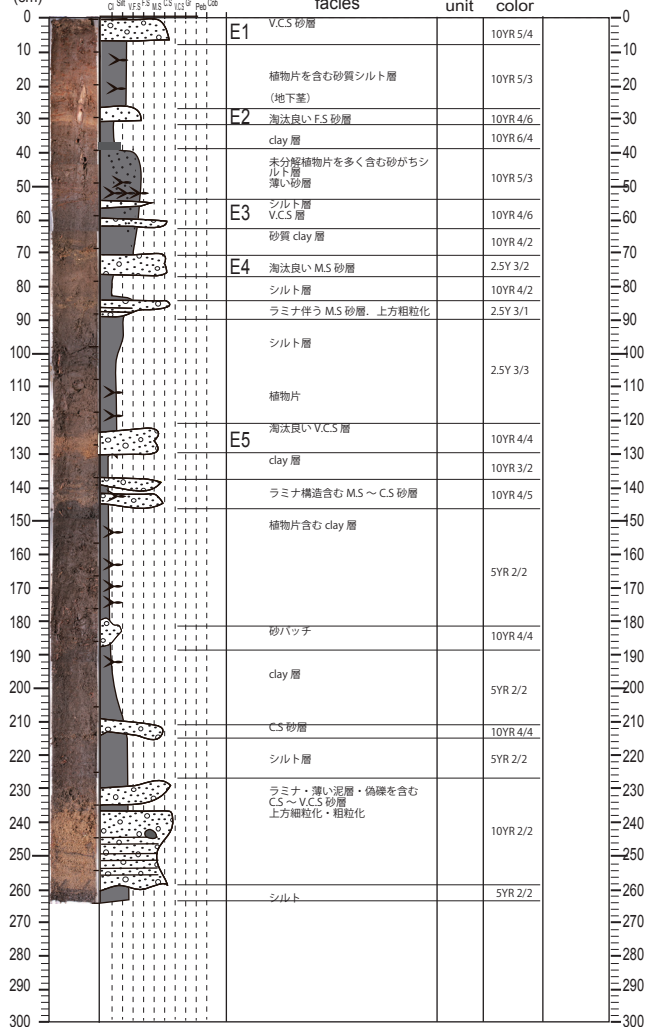
O Ssl VFS FS MS CS ICs G⁺ Pab Cob

Sample name L10(NM14) 265 cm

facies

unit

color



Depth
(cm)

grain size

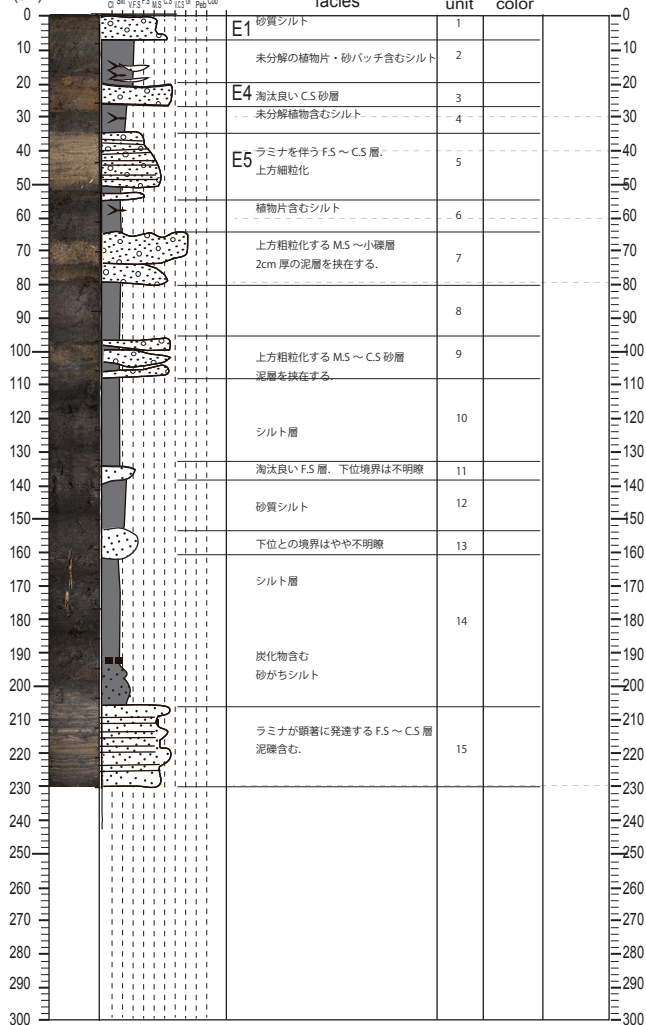
Q Ssl VFS FS MS CS ICs Gr Pab Cob

Sample name L11(NM9) 230 cm

facies

unit

color



Depth
(cm)

grain size

Q SL VF S FS M S CS IC G P Gt Peb Cob

Sample name L12(NM7) 136 cm

Depth (cm)	grain size	facies	unit	color	
0		E1 未分解の植物片を含む M.S 砂層上位に薄い泥層を挟在し、ラミナ状を呈する。 礫を含む。	1	2.5Y 5/4	0
10					10
20					20
30		未分解の植物片・砂パッチを含む砂質シルト層	2	7.5YR 3/2	30
40				7.5YR 3/1	40
50					50
60		E4 淘汰良い M.S から成る砂層 ラミナ構造を有する。	3	7.5YR 3/1	60
70					70
80		砂質シルト層	4	7.5YR 2/2	80
90					90
100		E5 M.S ~ C.S 砂層 砂層中に薄い砂質泥層が挟在する。	5	2.5Y 5/4	100
110					110
120		砂質シルト	6	2.5Y 3/2	120
130					130
140					140
150					150
160					160
170					170
180					180
190					190
200					200
210					210
220					220
230					230
240					240
250					250
260					260
270					270
280					280
290					290
300					300

Depth
(cm)

grain size

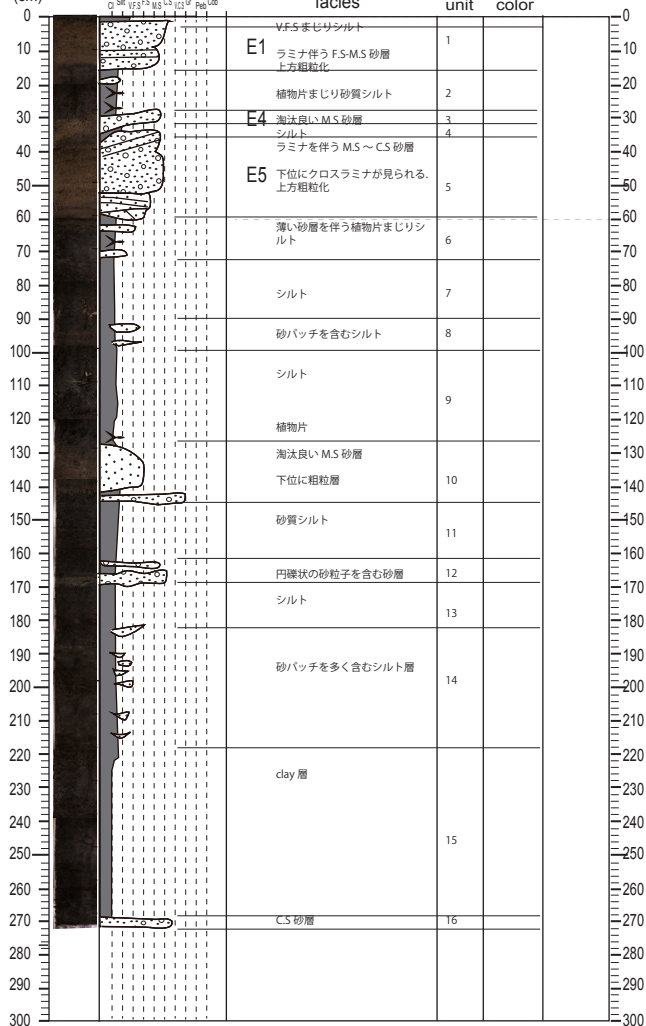
Q Srt VFS FS MS CS ICs Gr Pst Cob

Sample name L13(NM8) 272 cm

facies

unit

color



Depth
(cm)

grain size

Q Ss VFS FS MS CS ICs G⁺ Pab Cob

Sample name L14(NM6) 130 cm

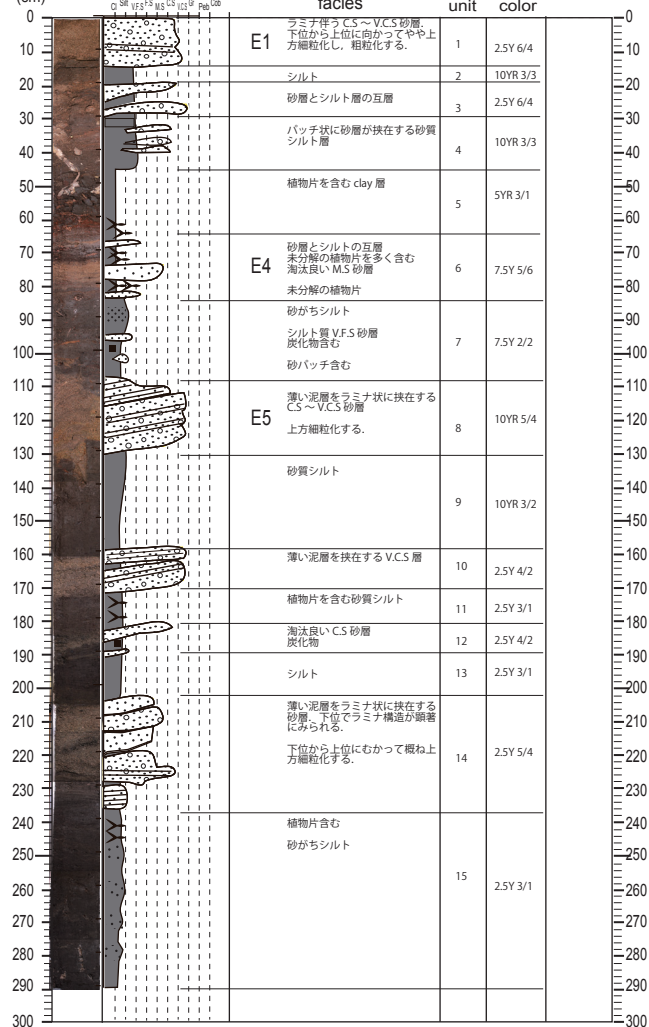
Depth (cm)		grain size	facies	unit	color	
0			E1 M/S-F.S 砂層	1	2.5Y 6/4	0
10			砂バッチを含むシルト	2	7.5Y 2/2	10
20			砂がちシルト 砂薄層をバッチ状に含む 砂層中にラミナ構造あり 未分解の腐植物含む	3	7.5Y 2/2	20
30						30
40			未分解の腐植物片を多く含むシルト 砂バッチ含む	4	7.5Y 2/2	40
50						50
60			淘汰良い V.F.S 砂層。ラミナ構造あり	5	10R 3/1	60
70			植物片含むシルト 淘汰良い V.F.S 砂層。ラミナ構造あり	6	10YR 3/2	70
80			E4 植物片含むシルト	7	10YR 5/4	80
90			砂バッチ	8	7.5Y 2/2	90
100						100
110			E5 ラミナを伴う M.S 砂層 一部根が上位から混入する。 垂角礫まじり	9	10YR 6/6	110
120			シルト 薄くラミナ状の構造が見られる。	10	7.5Y 2/2	120
130						130
140						140
150						150
160						160
170						170
180						180
190						190
200						200
210						210
220						220
230						230
240						240
250						250
260						260
270						270
280						280
290						290
300						300

Depth
(cm)

grain size

Q Ss V.F.S F.S M.S C.S I.C.S Gr. Peb. Cob

Sample name L15(NM15) 290 cm



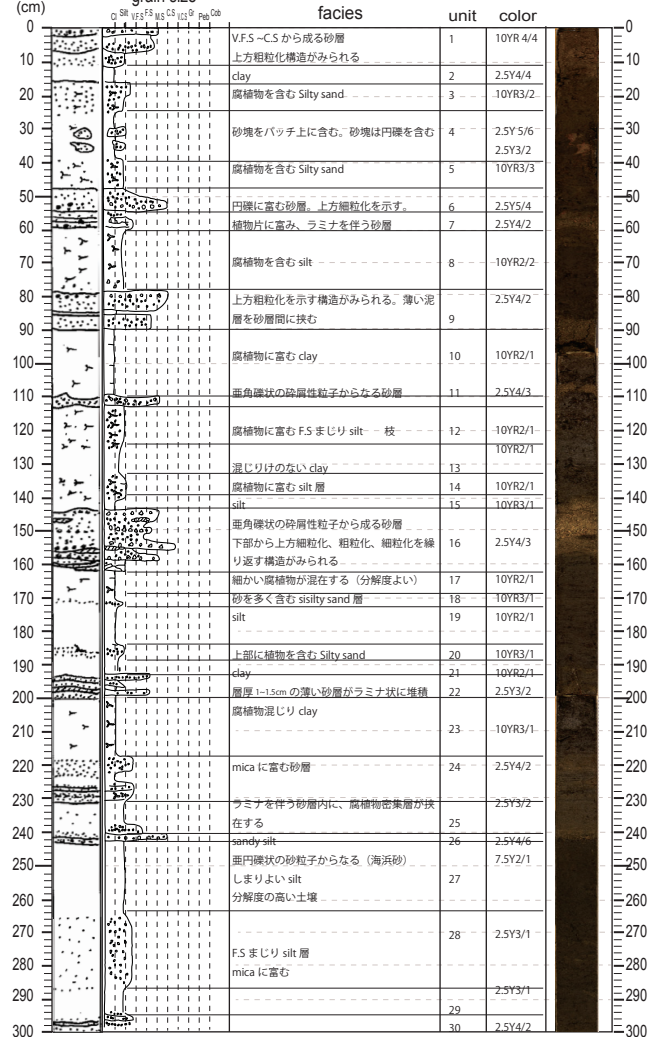
Depth
(cm)

C1

grain size

NMH-0 (0-300 cm)
Sample name

Date



Depth
(cm)

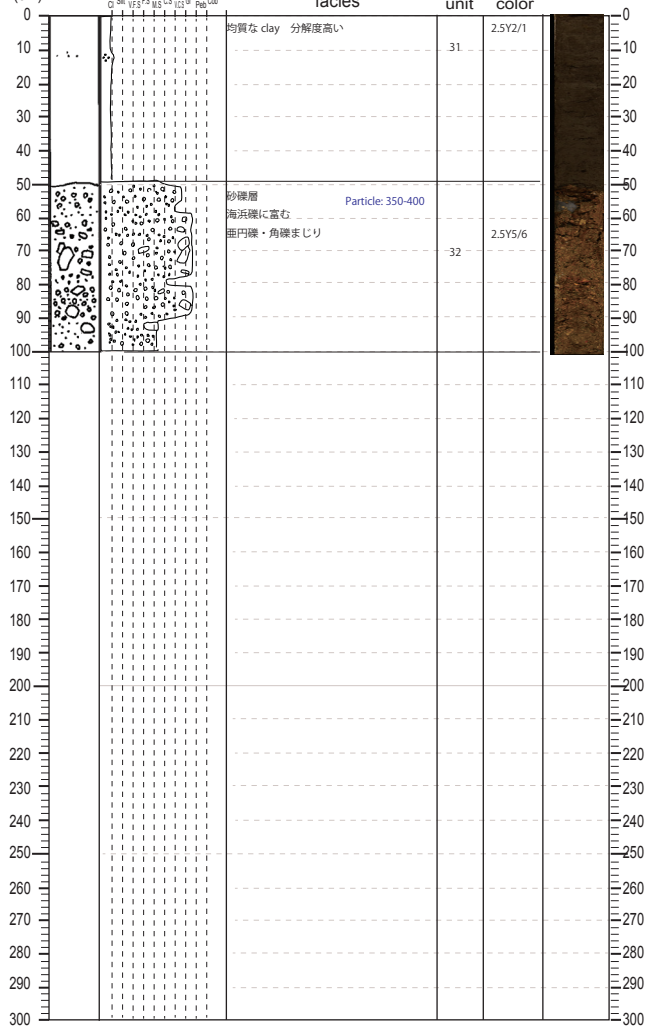
grain size

Cl Sil VFS FS MS CS ICS Gr Pet Cob

facies

unit

color



Depth
(cm)C2
grain size

vls Gr Silt FS MS CS ICS Gr Peb Cob

facies

unit

color

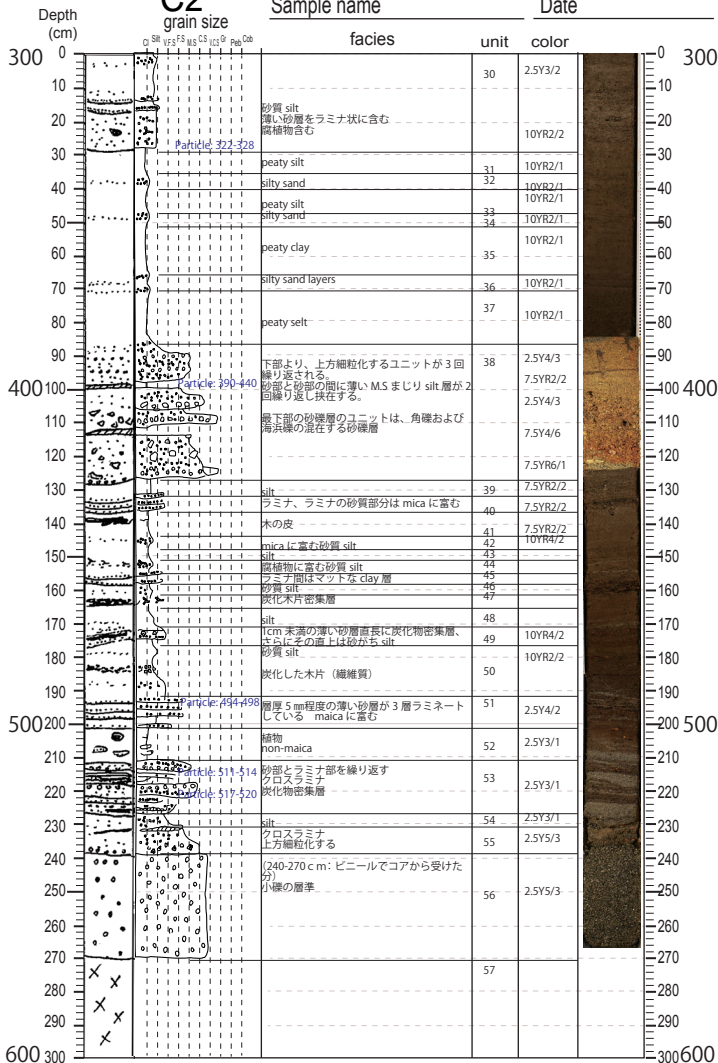
0		上部に未分解植物片を含む C.S 砂層	1	2.5Y5/6 10YR3/3	0
10		F.S-C.S まじり silty sand M.S まじり silty sand	2	2.5Y4/6 10YR3/3	10
20		silt	4	10YR3/3	20
30		V.F.S まじり silty sand silt	5 6	10YR3/3 10YR3/3	30
40		M.S 砂層	7	2.5Y4/6	40
50		Mica 多く含む V.F.S まじり silt 下部に未分解植物密集層がみられる	8	2.5Y4/3	50
60		silt	9	10YR3/3	60
70		泥質の偽礫を含む淘汰良い C.S 層	10	2.5Y6/4	70
80		腐植物質 silt 層 (有機質 silt)	11	10YR3/3	80
90		西内礫所の碎屑性粒子を含む V.C.S 層 偽礫	12	2.5Y5/6	90
100		有機質 silt	13	10YR2/3	100
110		mica に富む V.F.S まじり silt clay	14 15	2.5Y4/3 10YR3/1	110
120		下部から 2 回の上方粗粒化、続いて上方細粒化の構造を示す 西内礫上の碎屑性粒子からなる砂層 炭化物、偽礫を多く含む	16	2.5Y4/3	120
130		最下部は斜交要理がみられる mica に富む V.F.S 層			130
140		clay			140
150		mica に富む	17	10YR3/1	150
160		海浜円礫、角礫が混在する砂礫層 砂部とラミナを伴う細粒砂層のユニットに分かれ、細粒砂層ではラミナ構造が発達している。	18	2.5Y4/3 10YR3/1 2.5Y4/3	160
170		下部に腐植物密集層を伴う。 クロスラミナ			170
180		clay	19	2.5Y4/3	180
190		mica に富む silty sand	20	2.5Y4/3	190
200		有機質 silt 炭化物あり	21	10YR3/1	200
210		腐植物相、ラミナを伴う V.F.S 層 mica に富む	22	2.5Y3/2	210
220		2 層の腐植物層を含む			220
230		clay 腐植物密集層	23 24	10YR2/1 10Y1.7/1	230
240					240
250		やや mica を含む有機質砂質 silt 層	25	10YR2/1	250
260					260
270		C.S 層 0.3mm 径 pebble 混じり	26	5Y4/2	270
280		有機質 silt	27		280
290		M.S まじり silt V.C.S ~ Granule サイズの砂パッチ (シルトとの境界明瞭) を含む	28	2.5Y3/2	290
300		やや mica 含む有機質 silt	29	10YR2/2	300

C2

NMH-1(300-600 cm)

Sample name

Date

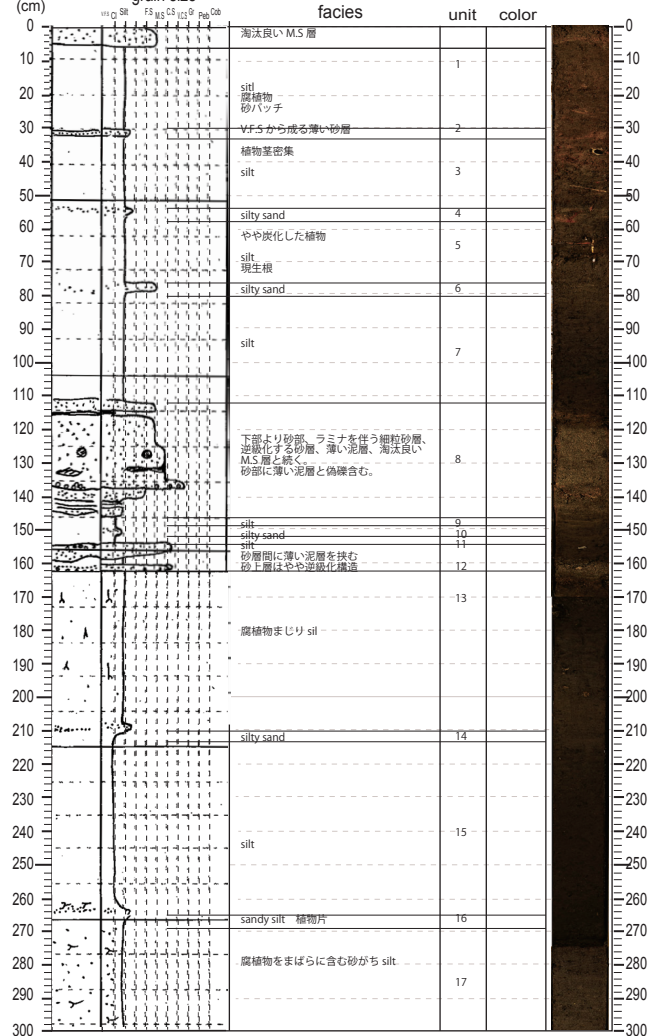


NMH-1' (0-300 cm)

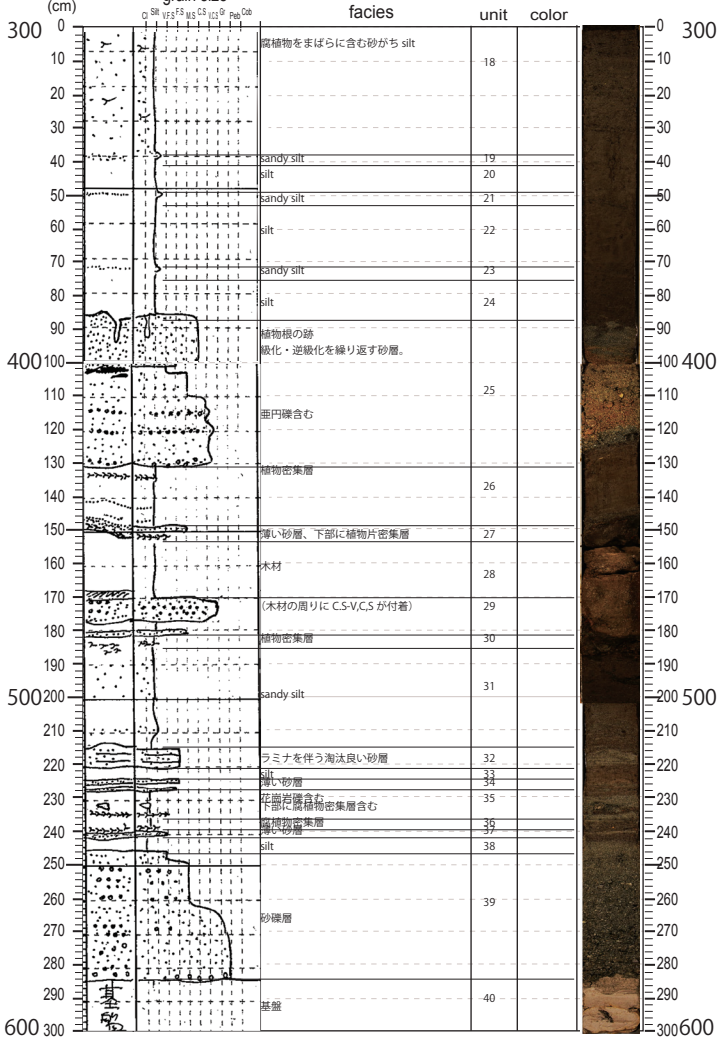
C2'
grain size

Sample name

Date

Depth
(cm)

Date

Depth
(cm)

NMN-2(0-142 cm)

Sample name

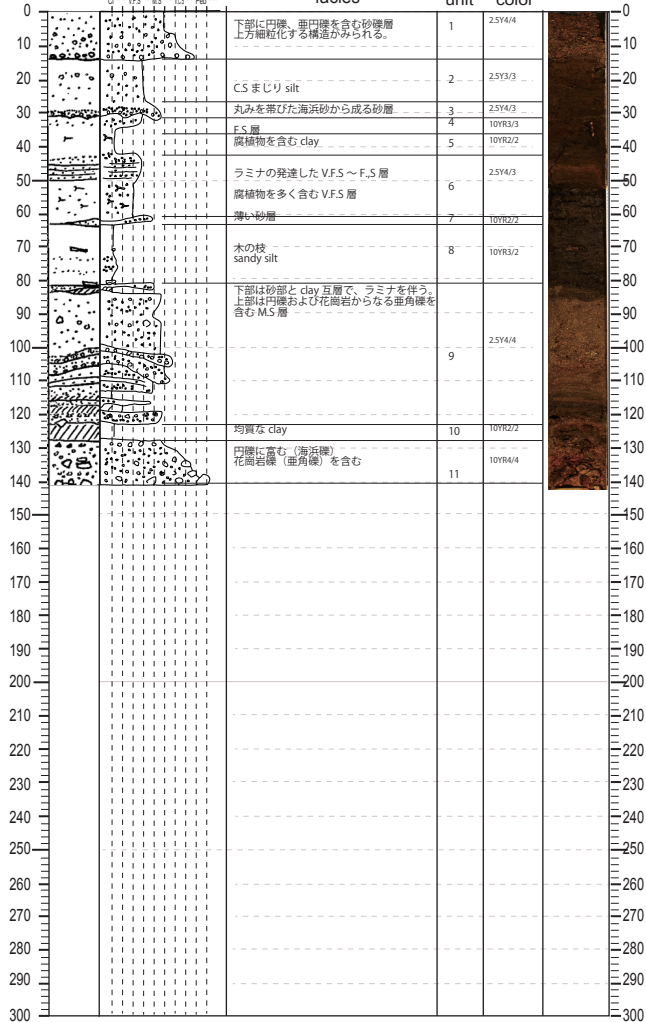
Date

Depth
(cm)C3
grain sizeO Silt V.F.S F.S M.S C.S I.C.S G⁺ Peb. Cob

facies

unit

color



NMN-3(0-171 cm)

C4

grain size

Sample name

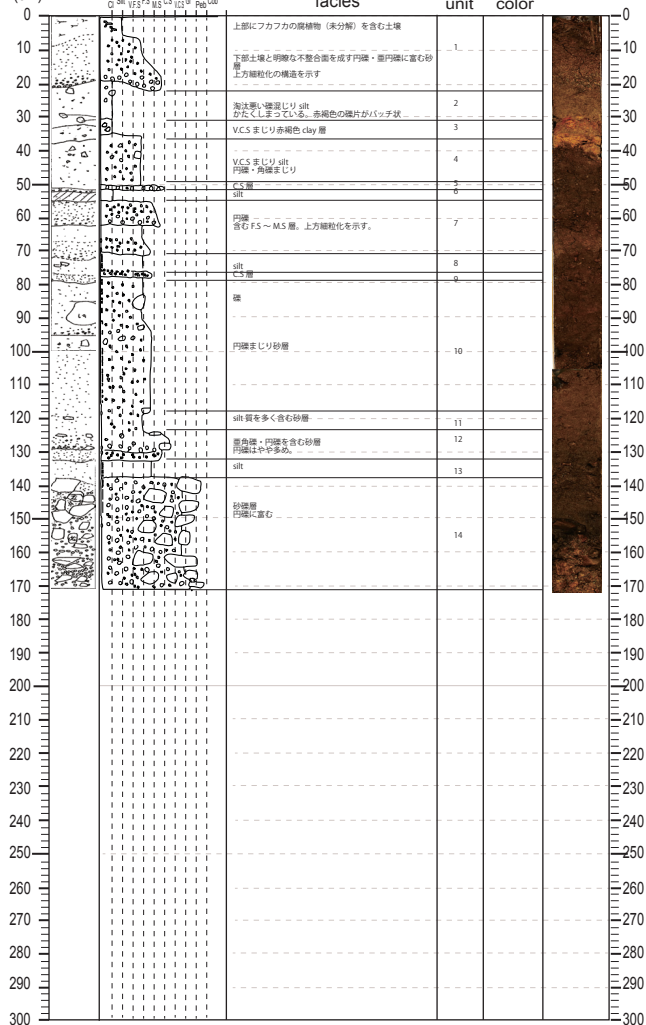
Date

Depth
(cm)Q Sil VFS FS MS CS ICs G⁺ Peb Cob

facies

unit

color



NMN-4(0-200 cm)

Sample name

Date

Depth
(cm)C5
grain size

Q Silt VFS FS MS CS ICs G' Peb Cob

facies

unit

color

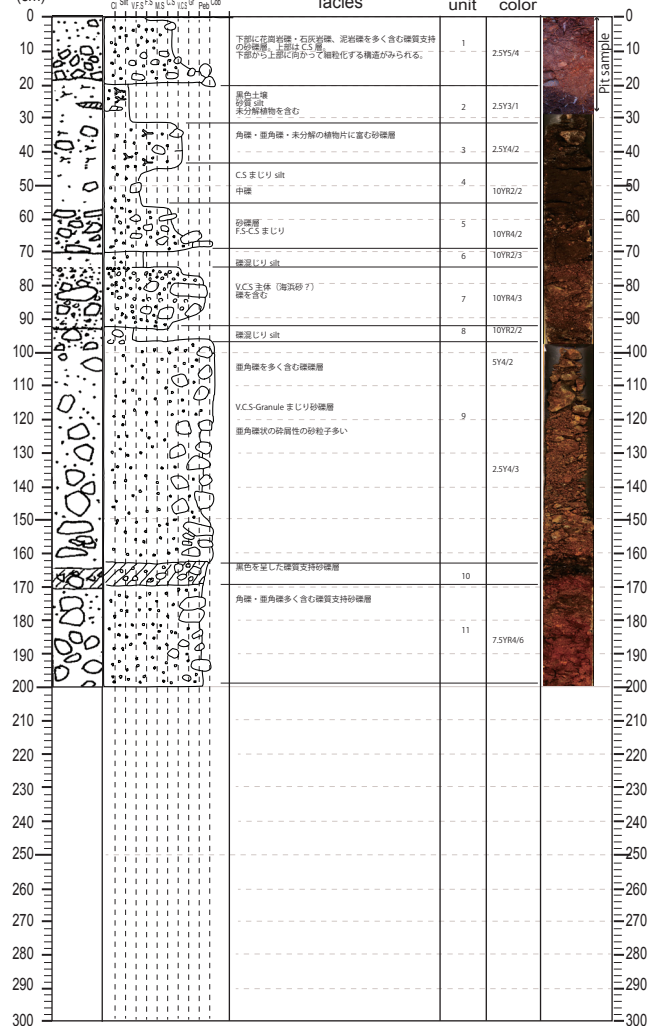


Table Appendix 4-1. Data of grainsize analysis every 0.5 phi

Beach ridge1 (top)

Median: -1.142, Mean: -0.831, Sorting: 1.094,
Kurtosis: 4.059

Phi scale (φ)	Diameter	weight (g)	wt%
$r < -4.0$	16 mm	0	0
$-4.0 \leq r < -3.5$	12 mm	0	0
$-3.5 \leq r < -3.0$	8 mm	0	0
$-3.0 \leq r < -2.5$	6 mm	0	0
$-2.5 \leq r < -2.0$	4 mm	4.01	5
$-2.0 \leq r < -1.5$	3 mm	14.2	18
$-1.5 \leq r < -1.0$	2 mm	29.94	38
$-1.0 \leq r < -0.5$	1.4 mm	11.34	14
$-0.5 \leq r < 0.0$	1 mm	6.56	8
$0.0 \leq r < 0.5$	710 μm	4.28	5
$0.5 \leq r < 1.0$	500 μm	3.31	4
$1.0 \leq r < 1.5$	355 μm	1.97	2
$1.5 \leq r < 2.0$	250 μm	1.22	2
$2.0 \leq r < 2.5$	180 μm	0.99	1
$2.5 \leq r < 3.0$	125 μm	0.6	1
$3.0 \leq r < 3.5$	90 μm	0.29	0
$3.5 \leq r < 4.0$	63 μm	0.11	0
$r < 4.0$	< 63 μm	0.51	1
r: diameter		Total	79.33 g

L1

Median: 0.198, Mean: -0.031, Sorting: 1.648,
Kurtosis: 0.082

Phi scale (φ)	Diameter	weight (g)	wt%
$r < -4.0$	16 mm	0.00	0
$-4.0 \leq r < -3.5$	12 mm	0.00	0
$-3.5 \leq r < -3.0$	8 mm	2.75	8
$-3.0 \leq r < -2.5$	6 mm	0.95	3
$-2.5 \leq r < -2.0$	4 mm	1.54	5
$-2.0 \leq r < -1.5$	3 mm	1.07	3
$-1.5 \leq r < -1.0$	2 mm	1.59	5
$-1.0 \leq r < -0.5$	1.4 mm	2.73	8
$-0.5 \leq r < 0.0$	1 mm	3.77	11
$0.0 \leq r < 0.5$	710 μm	5.86	18
$0.5 \leq r < 1.0$	500 μm	4.43	13
$1.0 \leq r < 1.5$	355 μm	4.55	14
$1.5 \leq r < 2.0$	250 μm	2.04	6
$2.0 \leq r < 2.5$	180 μm	0.84	3
$2.5 \leq r < 3.0$	125 μm	0.32	1
$3.0 \leq r < 3.5$	90 μm	0.17	1
$3.5 \leq r < 4.0$	63 μm	0.10	0
$r < 4.0$	< 63 μm	0.73	2
r: diameter		Total	33.44 g

Beach ridge2 (sea side)

Median: 0.276, Mean: 0.360, Sorting: 0.701,
Kurtosis: 7.771

Phi scale (φ)	Diameter	weight (g)	wt%
$r < -4.0$	16 mm	0	0
$-4.0 \leq r < -3.5$	12 mm	0	0
$-3.5 \leq r < -3.0$	8 mm	0	0
$-3.0 \leq r < -2.5$	6 mm	0	0
$-2.5 \leq r < -2.0$	4 mm	0.06	0
$-2.0 \leq r < -1.5$	3 mm	0.19	0
$-1.5 \leq r < -1.0$	2 mm	0.79	1
$-1.0 \leq r < -0.5$	1.4 mm	3.46	4
$-0.5 \leq r < 0.0$	1 mm	18.8	20
$0.0 \leq r < 0.5$	710 μm	41.32	45
$0.5 \leq r < 1.0$	500 μm	16.06	17
$1.0 \leq r < 1.5$	355 μm	6.82	7
$1.5 \leq r < 2.0$	250 μm	2.62	3
$2.0 \leq r < 2.5$	180 μm	1.08	1
$2.5 \leq r < 3.0$	125 μm	0.21	0
$3.0 \leq r < 3.5$	90 μm	0.01	0
$3.5 \leq r < 4.0$	63 μm	0.01	0
$r < 4.0$	< 63 μm	0.8	1
r: diameter		Total	92.23 g

L2

Median: -0.061, Mean: -0.410, Sorting: 1.593,
Kurtosis: 0.231

Phi scale (φ)	Diameter	weight (g)	wt%
$r < -4.0$	16 mm	0	0
$-4.0 \leq r < -3.5$	12 mm	2.73	6
$-3.5 \leq r < -3.0$	8 mm	1.84	4
$-3.0 \leq r < -2.5$	6 mm	1.6	4
$-2.5 \leq r < -2.0$	4 mm	2.66	6
$-2.0 \leq r < -1.5$	3 mm	0.97	2
$-1.5 \leq r < -1.0$	2 mm	2.05	5
$-1.0 \leq r < -0.5$	1.4 mm	4.46	10
$-0.5 \leq r < 0.0$	1 mm	6.77	15
$0.0 \leq r < 0.5$	710 μm	9.3	21
$0.5 \leq r < 1.0$	500 μm	5.86	13
$1.0 \leq r < 1.5$	355 μm	3.85	9
$1.5 \leq r < 2.0$	250 μm	1.23	3
$2.0 \leq r < 2.5$	180 μm	0.38	1
$2.5 \leq r < 3.0$	125 μm	0.14	0
$3.0 \leq r < 3.5$	90 μm	0.08	0
$3.5 \leq r < 4.0$	63 μm	0.06	0
$r < 4.0$	< 63 μm	0.53	1
r: diameter		Total	44.51 g

Table Appendix 4-1. Data of grainsize analysis every 0.5 phi

L4

Median: 0.341, Mean: 0.347, Sorting: 1.299,
Kurtosis: 1.450

Phi scale (ϕ)	Diameter	weight (g)	wt%
$r < -4.0$	16 mm	0	0
$-4.0 \leq r < -3.5$	12 mm	0	0
$-3.5 \leq r < -3.0$	8 mm	0	0
$-3.0 \leq r < -2.5$	6 mm	0.66	3
$-2.5 \leq r < -2.0$	4 mm	0.87	3
$-2.0 \leq r < -1.5$	3 mm	0.53	2
$-1.5 \leq r < -1.0$	2 mm	0.71	3
$-1.0 \leq r < -0.5$	1.4 mm	2.31	9
$-0.5 \leq r < 0.0$	1 mm	3.74	15
$0.0 \leq r < 0.5$	710 μm	5.62	22
$0.5 \leq r < 1.0$	500 μm	4.19	17
$1.0 \leq r < 1.5$	355 μm	3.49	14
$1.5 \leq r < 2.0$	250 μm	1.49	6
$2.0 \leq r < 2.5$	180 μm	0.59	2
$2.5 \leq r < 3.0$	125 μm	0.24	1
$3.0 \leq r < 3.5$	90 μm	0.1	0
$3.5 \leq r < 4.0$	63 μm	0.06	0
$r < 4.0$	$< 63 \mu\text{m}$	0.7	3
r: diameter		Total	25.3 g

L11

Median: 1.685, Mean: 1.709, Sorting: 1.297,
Kurtosis: -0.249

Phi scale (ϕ)	Diameter	weight (g)	wt%
$r < -4.0$	16 mm	0	0
$-4.0 \leq r < -3.5$	12 mm	0	0
$-3.5 \leq r < -3.0$	8 mm	0	0
$-3.0 \leq r < -2.5$	6 mm	0	0
$-2.5 \leq r < -2.0$	4 mm	0	0
$-2.0 \leq r < -1.5$	3 mm	0.03	1
$-1.5 \leq r < -1.0$	2 mm	0.03	1
$-1.0 \leq r < -0.5$	1.4 mm	0.14	3
$-0.5 \leq r < 0.0$	1 mm	0.29	6
$0.0 \leq r < 0.5$	710 μm	0.42	8
$0.5 \leq r < 1.0$	500 μm	0.45	9
$1.0 \leq r < 1.5$	355 μm	0.81	16
$1.5 \leq r < 2.0$	250 μm	0.84	17
$2.0 \leq r < 2.5$	180 μm	0.69	14
$2.5 \leq r < 3.0$	125 μm	0.55	11
$3.0 \leq r < 3.5$	90 μm	0.23	5
$3.5 \leq r < 4.0$	63 μm	0.07	1
$r < 4.0$	$< 63 \mu\text{m}$	0.41	8
r: diameter		Total	4.96 g

L10

Median: 0.622, Mean: 0.884, Sorting: 1.395,
Kurtosis: 0.608

Phi scale (ϕ)	Diameter	weight (g)	wt%
$r < -4.0$	16 mm	0	0
$-4.0 \leq r < -3.5$	12 mm	0	0
$-3.5 \leq r < -3.0$	8 mm	0	0
$-3.0 \leq r < -2.5$	6 mm	0	0
$-2.5 \leq r < -2.0$	4 mm	0.06	1
$-2.0 \leq r < -1.5$	3 mm	0.05	1
$-1.5 \leq r < -1.0$	2 mm	0.13	3
$-1.0 \leq r < -0.5$	1.4 mm	0.25	5
$-0.5 \leq r < 0.0$	1 mm	0.6	13
$0.0 \leq r < 0.5$	710 μm	1.05	23
$0.5 \leq r < 1.0$	500 μm	0.74	16
$1.0 \leq r < 1.5$	355 μm	0.63	14
$1.5 \leq r < 2.0$	250 μm	0.35	8
$2.0 \leq r < 2.5$	180 μm	0.21	5
$2.5 \leq r < 3.0$	125 μm	0.14	3
$3.0 \leq r < 3.5$	90 μm	0.06	1
$3.5 \leq r < 4.0$	63 μm	0.04	1
$r < 4.0$	$< 63 \mu\text{m}$	0.33	7
r: diameter		Total	4.64 g

L12

Median: 1.148, Mean: 1.189, Sorting: 0.991,
Kurtosis: 1.856

Phi scale (ϕ)	Diameter	weight (g)	wt%
$r < -4.0$	16 mm	0	0
$-4.0 \leq r < -3.5$	12 mm	0	0
$-3.5 \leq r < -3.0$	8 mm	0	0
$-3.0 \leq r < -2.5$	6 mm	0	0
$-2.5 \leq r < -2.0$	4 mm	0.09	0
$-2.0 \leq r < -1.5$	3 mm	0.03	0
$-1.5 \leq r < -1.0$	2 mm	0.08	0
$-1.0 \leq r < -0.5$	1.4 mm	0.27	1
$-0.5 \leq r < 0.0$	1 mm	0.91	5
$0.0 \leq r < 0.5$	710 μm	2.98	16
$0.5 \leq r < 1.0$	500 μm	3.64	19
$1.0 \leq r < 1.5$	355 μm	5.1	27
$1.5 \leq r < 2.0$	250 μm	3.02	16
$2.0 \leq r < 2.5$	180 μm	1.46	8
$2.5 \leq r < 3.0$	125 μm	0.59	3
$3.0 \leq r < 3.5$	90 μm	0.22	1
$3.5 \leq r < 4.0$	63 μm	0.08	0
$r < 4.0$	$< 63 \mu\text{m}$	0.55	3
r: diameter		Total	19.02 g

Table Appendix 4-1. Data of grainsize analysis every 0.5 phi

L13

Median: 0.920, Mean: 0.984, Sorting: 1.073,
Kurtosis: 1.763

Phi scale (ϕ)	Diameter	weight (g)	wt%
$r < -4.0$	16 mm	0	0
$-4.0 \leq r < -3.5$	12 mm	0	0
$-3.5 \leq r < -3.0$	8 mm	0	0
$-3.0 \leq r < -2.5$	6 mm	0	0
$-2.5 \leq r < -2.0$	4 mm	0.07	0
$-2.0 \leq r < -1.5$	3 mm	0.15	1
$-1.5 \leq r < -1.0$	2 mm	0.07	0
$-1.0 \leq r < -0.5$	1.4 mm	0.56	3
$-0.5 \leq r < 0.0$	1 mm	1.44	9
$0.0 \leq r < 0.5$	710 μm	3.21	19
$0.5 \leq r < 1.0$	500 μm	3.45	21
$1.0 \leq r < 1.5$	355 μm	3.79	23
$1.5 \leq r < 2.0$	250 μm	2.01	12
$2.0 \leq r < 2.5$	180 μm	0.91	5
$2.5 \leq r < 3.0$	125 μm	0.36	2
$3.0 \leq r < 3.5$	90 μm	0.15	1
$3.5 \leq r < 4.0$	63 μm	0.06	0
$r < 4.0$	$< 63 \mu\text{m}$	0.57	3
r: diameter		Total	16.8 g

C1

Median: 0.319, Mean: 0.524, Sorting: 1.159,
Kurtosis: 2.740

Phi scale (ϕ)	Diameter	weight (g)	wt%
$r < -4.0$	16 mm	0	0
$-4.0 \leq r < -3.5$	12 mm	0	0
$-3.5 \leq r < -3.0$	8 mm	0	0
$-3.0 \leq r < -2.5$	6 mm	0	0
$-2.5 \leq r < -2.0$	4 mm	0.02	0
$-2.0 \leq r < -1.5$	3 mm	0.14	1
$-1.5 \leq r < -1.0$	2 mm	0.36	2
$-1.0 \leq r < -0.5$	1.4 mm	1.72	10
$-0.5 \leq r < 0.0$	1 mm	3.07	18
$0.0 \leq r < 0.5$	710 μm	5.04	30
$0.5 \leq r < 1.0$	500 μm	3.11	18
$1.0 \leq r < 1.5$	355 μm	1.54	9
$1.5 \leq r < 2.0$	250 μm	0.5	3
$2.0 \leq r < 2.5$	180 μm	0.29	2
$2.5 \leq r < 3.0$	125 μm	0.27	2
$3.0 \leq r < 3.5$	90 μm	0.21	1
$3.5 \leq r < 4.0$	63 μm	0.12	1
$r < 4.0$	$< 63 \mu\text{m}$	0.66	4
r: diameter		Total	17.05 g

L14

Median: 0.786, Mean: 0.868, Sorting: 0.960,
Kurtosis: 1.722

Phi scale (ϕ)	Diameter	weight (g)	wt%
$r < -4.0$	16 mm	0	0
$-4.0 \leq r < -3.5$	12 mm	0	0
$-3.5 \leq r < -3.0$	8 mm	0	0
$-3.0 \leq r < -2.5$	6 mm	0	0
$-2.5 \leq r < -2.0$	4 mm	0	0
$-2.0 \leq r < -1.5$	3 mm	0	0
$-1.5 \leq r < -1.0$	2 mm	0.19	1
$-1.0 \leq r < -0.5$	1.4 mm	0.45	3
$-0.5 \leq r < 0.0$	1 mm	1.75	12
$0.0 \leq r < 0.5$	710 μm	3.35	22
$0.5 \leq r < 1.0$	500 μm	3.16	21
$1.0 \leq r < 1.5$	355 μm	3.11	21
$1.5 \leq r < 2.0$	250 μm	1.6	11
$2.0 \leq r < 2.5$	180 μm	0.75	5
$2.5 \leq r < 3.0$	125 μm	0.29	2
$3.0 \leq r < 3.5$	90 μm	0.11	1
$3.5 \leq r < 4.0$	63 μm	0.06	0
$r < 4.0$	$< 63 \mu\text{m}$	0.27	2
r: diameter		Total	15.09 g

C2

Median: 0.685, Mean: 0.776, Sorting: 1.001,
Kurtosis: 2.354

Phi scale (ϕ)	Diameter	weight (g)	wt%
$r < -4.0$	16 mm	0	0
$-4.0 \leq r < -3.5$	12 mm	0	0
$-3.5 \leq r < -3.0$	8 mm	0	0
$-3.0 \leq r < -2.5$	6 mm	0	0
$-2.5 \leq r < -2.0$	4 mm	0.04	1
$-2.0 \leq r < -1.5$	3 mm	0.05	1
$-1.5 \leq r < -1.0$	2 mm	0.03	0
$-1.0 \leq r < -0.5$	1.4 mm	0.27	4
$-0.5 \leq r < 0.0$	1 mm	0.89	13
$0.0 \leq r < 0.5$	710 μm	1.66	24
$0.5 \leq r < 1.0$	500 μm	1.5	21
$1.0 \leq r < 1.5$	355 μm	1.33	19
$1.5 \leq r < 2.0$	250 μm	0.63	9
$2.0 \leq r < 2.5$	180 μm	0.27	4
$2.5 \leq r < 3.0$	125 μm	0.11	2
$3.0 \leq r < 3.5$	90 μm	0.04	1
$3.5 \leq r < 4.0$	63 μm	0.01	0
$r < 4.0$	$< 63 \mu\text{m}$	0.16	2
r: diameter		Total	6.99 g

Table Appendix 4-1. Data of grainsize analysis every 0.5 phi

C3

Median: -1.012, Mean: -1.354, Sorting: 2.028,
Kurtosis: -0.919

Phi scale (ϕ)	Diameter	weight (g)	wt%
$r < -4.0$	16 mm	5.43	17
$-4.0 \leq r < -3.5$	12 mm	1.77	6
$-3.5 \leq r < -3.0$	8 mm	1.14	4
$-3.0 \leq r < -2.5$	6 mm	2.23	7
$-2.5 \leq r < -2.0$	4 mm	2.45	8
$-2.0 \leq r < -1.5$	3 mm	0.67	2
$-1.5 \leq r < -1.0$	2 mm	2.04	7
$-1.0 \leq r < -0.5$	1.4 mm	2.63	8
$-0.5 \leq r < 0.0$	1 mm	2.98	10
$0.0 \leq r < 0.5$	710 μm	3.99	13
$0.5 \leq r < 1.0$	500 μm	2.6	8
$1.0 \leq r < 1.5$	355 μm	1.94	6
$1.5 \leq r < 2.0$	250 μm	0.75	2
$2.0 \leq r < 2.5$	180 μm	0.29	1
$2.5 \leq r < 3.0$	125 μm	0.1	0
$3.0 \leq r < 3.5$	90 μm	0.04	0
$3.5 \leq r < 4.0$	63 μm	0.01	0
$r < 4.0$	< 63 μm	0.3	1
r: diameter	Total	31.36 g	

C4

Median: 0.081, Mean: 0.063, Sorting: 1.343,
Kurtosis: 0.960

Phi scale (ϕ)	Diameter	weight (g)	wt%
$r < -4.0$	16 mm	0	0
$-4.0 \leq r < -3.5$	12 mm	0	0
$-3.5 \leq r < -3.0$	8 mm	0	0
$-3.0 \leq r < -2.5$	6 mm	0.61	3
$-2.5 \leq r < -2.0$	4 mm	1.27	6
$-2.0 \leq r < -1.5$	3 mm	0.68	3
$-1.5 \leq r < -1.0$	2 mm	0.97	5
$-1.0 \leq r < -0.5$	1.4 mm	2.57	12
$-0.5 \leq r < 0.0$	1 mm	3.52	17
$0.0 \leq r < 0.5$	710 μm	4.33	21
$0.5 \leq r < 1.0$	500 μm	2.5	12
$1.0 \leq r < 1.5$	355 μm	2	10
$1.5 \leq r < 2.0$	250 μm	0.92	4
$2.0 \leq r < 2.5$	180 μm	0.46	2
$2.5 \leq r < 3.0$	125 μm	0.23	1
$3.0 \leq r < 3.5$	90 μm	0.12	1
$3.5 \leq r < 4.0$	63 μm	0.07	0
$r < 4.0$	< 63 μm	0.39	2
r: diameter	Total	20.64 g	

Table Appendix 4-2. Data of pit face (PP5E)

PP5E pit (2011-tsunami)

Strike	Strike direction	Dip	Dip direction
40	E	8	N
70	E	12	N
88	E	4	S
50	E	16	N
65	E	8	N
85	E	30	S
72	E	40	N
60	E	30	N
80	E	28	S
58	E	40	N
78	E	30	N
45	E	20	N
75	E	30	N
56	E	58	N
56	E	40	N

Table Appendix 4-3. Thickness of the 2011-tsunami layer along the transect

Point	Distance from shoreline (m)	Thickness (cm)
L1	147.3	10
L2	149.0	18
L3	150.2	16
L4	151.5	20
L5	152.6	15
L6	164.7	10
L7	169.3	6
L8	192.6	23
L9	210.8	4
L10	221.3	3
L11	238.6	6
L12	253.1	20
L13	256.9	13
W1	257.0	6
L14	258.1	7
L15	258.8	14
C1	259.0	10
C2	262.0	4
C3	313.7	10
P1	315.7	20
W2	322.6	5
W3	359.6	5
W4	380.0	22
C4	493.9	8
P2	495.0	14
P3	549.7	17
P4	703.4	18
P5	887.3	16
C5	887.8	18

Table Appendix 4-4. Data of PP7 (2011 tsunami)

No.	Diameter	Roundness	Sphericity	Rock type
1	175	0.3	0.65	Rhyolite
2	45	0.3	0.81	Rhyolite
3	40	0.2	0.79	Rhyolite
4	30	0.2	0.65	Rhyolite
5	30	0.1	0.69	Rhyolite
6	24	0.1	0.83	Rhyolite
7	23	0.1	0.69	Rhyolite
8	23	0.1	0.67	Rhyolite
9	22	0.1	0.63	Rhyolite
10	22	0.1	0.79	Rhyolite
11	50	0.5	0.61	Granite
12	33	0.6	0.79	Granite
13	20	0.4	0.87	Granite
14	15	0.4	0.77	Granite
15	15	0.5	0.77	Granite
16	14	0.3	0.79	Granite
17	14	0.3	0.79	Granite
18	13	0.2	0.79	Granite
19	16	0.1	0.65	Chart
20	15	0.1	0.75	Chart
21	15	0.1	0.71	Chart
22	13	0.2	0.69	Chart
23	14	0.1	0.77	Sand stone
24	13	0.1	0.77	Sand stone
25	18	0.1	0.69	Other
26	15	0.3	0.65	Other
27	14	0.2	0.61	Other
28	11	0.3	0.61	Other
29	20	0.9	0.89	Chart
30	11	0.9	0.95	Rhyolite
31	15	0.7	0.85	Rhyolite
32	8	0.9	0.91	Chart
33	8	0.9	0.89	Rhyolite
34	7	0.9	0.95	Chart
35	7	0.9	0.81	Rhyolite
36	6	0.9	0.97	Rhyolite
37	6	0.9	0.95	Rhyolite
38	5	0.9	0.89	Sand stone
39	5	0.7	0.89	Chart
40	5	0.9	0.93	Chart
41	5	0.9	0.93	Rhyolite
42	5	0.9	0.93	Rhyolite
43	5	0.8	0.89	Rhyolite
44	4	0.9	0.91	Other
45	4	0.9	0.95	Other
46	4	0.9	0.97	Rhyolite
47	4	0.8	0.83	Rhyolite
48	4	0.9	0.97	Chart
49	4	0.8	0.93	Other
50	4	0.9	0.91	Chart
51	3	0.9	0.81	Chart

No.	Diameter	Roundness	Sphericity	Rock type
52	3	0.9	0.97	Shale
53	3	0.9	0.97	Shale
54	3	0.9	0.97	Rhyolite
55	3	0.9	0.97	Other
56	3	0.9	0.87	Other
57	3	0.9	0.87	Rhyolite
58	3	0.9	0.87	Rhyolite
59	3	0.7	0.87	Other
60	3	0.7	0.73	Other
61	3	0.6	0.83	Other
62	3	0.9	0.89	Chart
63	3	0.9	0.83	Chart
64	3	0.9	0.89	Chart
65	3	0.9	0.79	Other
66	3	0.7	0.81	Other
67	2	0.9	0.97	Chart
68	2	0.9	0.97	Other
69	2	0.9	0.97	Other
70	2	0.9	0.97	Rhyolite
71	2	0.9	0.97	Rhyolite
72	2	0.9	0.97	Rhyolite
73	2	0.9	0.97	Chart
74	2	0.9	0.97	Rhyolite
75	2	0.9	0.97	Rhyolite
76	2	0.9	0.97	Rhyolite
77	2	0.9	0.97	Rhyolite
78	2	0.7	0.87	Chart
79	2	0.7	0.87	Other
80	2	0.7	0.87	Other
81	2	0.7	0.87	Other
82	2	0.7	0.87	Rhyolite
83	2	0.7	0.87	Rhyolite
84	2	0.7	0.87	Rhyolite
85	2	0.7	0.87	Other
86	2	0.7	0.85	Other
87	2	0.7	0.87	Rhyolite
88	2	0.7	0.87	Granite
89	2	0.7	0.85	Granite
90	2	0.5	0.87	Chart
91	2	0.4	0.81	Chart
92	2	0.4	0.81	Other
93	2	0.4	0.81	Rhyolite
94	10	0.1	0.69	Rhyolite
95	10	0.1	0.65	Other
96	10	0.1	0.71	Chart
97	9	0.1	0.85	Rhyolite
98	9	0.1	0.85	Rhyolite
99	9	0.1	0.63	Rhyolite
100	9	0.1	0.69	Rhyolite
101	8	0.1	0.75	Rhyolite
102	8	0.3	0.65	Granite
103	8	0.3	0.81	Rhyolite

No.	Diameter	Roundness	Sphericity	Rock type
104	8	0.1	0.81	Rhyolite
105	7	0.1	0.73	Rhyolite
106	7	0.1	0.65	Rhyolite
107	7	0.1	0.85	Rhyolite
108	7	0.1	0.85	Rhyolite
109	7	0.1	0.85	Rhyolite
110	7	0.1	0.77	Rhyolite
111	7	0.1	0.83	Rhyolite
112	7	0.1	0.83	Rhyolite
113	7	0.1	0.85	Rhyolite
114	7	0.2	0.89	Rhyolite
115	7	0.4	0.87	Granite
116	7	0.4	0.83	Granite
117	7	0.3	0.79	Granite
118	6	0.3	0.89	Rhyolite
119	6	0.1	0.89	Rhyolite
120	6	0.1	0.89	Rhyolite
121	6	0.1	0.89	Rhyolite
122	6	0.1	0.89	Rhyolite
123	6	0.1	0.89	Rhyolite
124	6	0.1	0.89	Rhyolite
125	6	0.1	0.79	Rhyolite
126	6	0.4	0.79	Rhyolite
127	6	0.3	0.87	Granite
128	5	0.2	0.83	Rhyolite
129	5	0.4	0.83	Rhyolite
130	5	0.3	0.83	Rhyolite
131	5	0.3	0.83	Rhyolite
132	5	0.3	0.83	Rhyolite
133	5	0.2	0.83	Rhyolite
134	5	0.2	0.83	Rhyolite
135	5	0.3	0.83	Rhyolite
136	5	0.4	0.83	Rhyolite
137	5	0.4	0.83	Rhyolite
138	5	0.1	0.85	Rhyolite
139	5	0.1	0.85	Rhyolite
140	5	0.3	0.81	Rhyolite
141	5	0.1	0.83	Rhyolite
142	5	0.1	0.81	Rhyolite
143	5	0.3	0.79	Rhyolite
144	5	0.4	0.81	Rhyolite
145	5	0.2	0.71	Rhyolite
146	5	0.1	0.69	Rhyolite
147	5	0.1	0.73	Rhyolite
148	5	0.3	0.77	Rhyolite
149	5	0.5	0.83	Granite
150	5	0.4	0.77	Granite
151	5	0.6	0.81	Granite
152	5	0.6	0.89	Granite
153	5	0.6	0.75	Other
154	4	0.5	0.83	Other
155	4	0.1	0.77	Rhyolite

No.	Diameter	Roundness	Sphericity	Rock type
156	4	0.2	0.67	Rhyolite
157	4	0.2	0.81	Rhyolite
158	4	0.1	0.75	Rhyolite
159	4	0.3	0.83	Rhyolite
160	4	0.1	0.71	Rhyolite
161	4	0.1	0.63	Rhyolite
162	4	0.1	0.85	Rhyolite
163	4	0.1	0.79	Rhyolite
164	4	0.1	0.85	Rhyolite
165	4	0.5	0.65	Rhyolite
166	4	0.1	0.63	Rhyolite
167	4	0.1	0.71	Rhyolite
168	4	0.4	0.91	Granite
169	4	0.4	0.91	Granite
170	4	0.4	0.83	Granite
171	4	0.4	0.89	Granite
172	4	0.4	0.83	Granite
173	4	0.4	0.89	Granite
174	3	0.5	0.83	Other
175	3	0.5	0.81	Granite
176	3	0.5	0.87	Granite
177	3	0.4	0.67	Granite
178	3	0.1	0.81	Rhyolite
179	3	0.4	0.81	Other
180	3	0.1	0.63	Rhyolite
181	3	0.1	0.85	Chart
182	3	0.1	0.67	Rhyolite
183	3	0.1	0.85	Rhyolite
184	3	0.5	0.79	Granite
185	3	0.5	0.89	Granite
186	3	0.3	0.73	Granite
187	3	0.6	0.79	Granite
188	3	0.1	0.87	Rhyolite
189	2	0.1	0.67	Other
190	2	0.1	0.85	Shale
191	2	0.1	0.69	Rhyolite
192	2	0.4	0.85	Granite
193	2	0.4	0.91	Rhyolite
194	2	0.6	0.91	Other
195	2	0.5	0.85	Rhyolite
196	2	0.4	0.85	Granite
197	2	0.6	0.85	Granite
198	2	0.3	0.81	Granite
199	2	0.5	0.87	Granite
200	2	0.6	0.93	Other
201	2	0.2	0.77	Granite
202	2	0.3	0.83	Rhyolite
203	2	0.5	0.85	Rhyolite

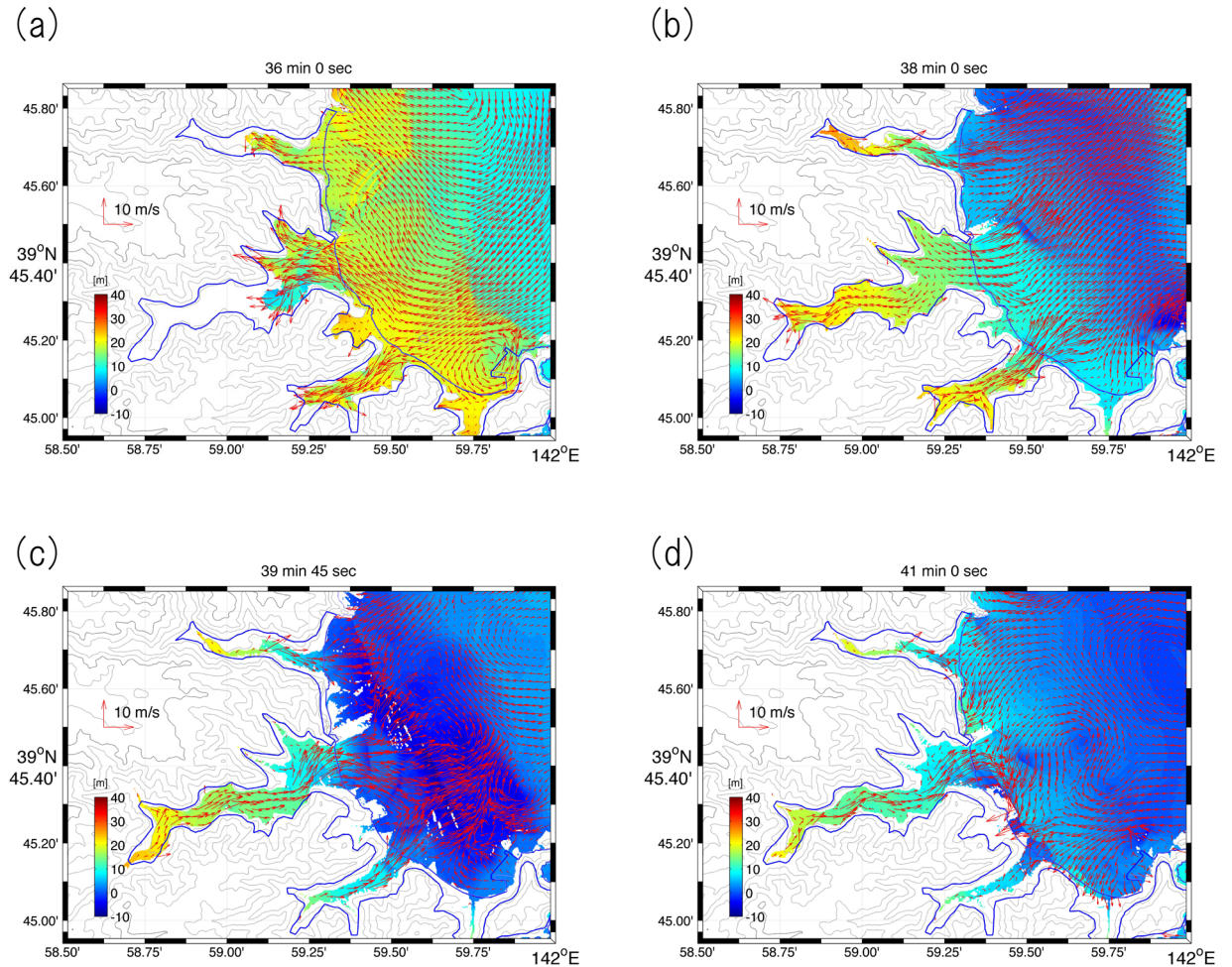


Figure Appendix 4-5. Direction of tsunami flow in 2011

These figures were furnished by Aditya Gusman (Gusman et al. 2015, IPGP). He got these results by tsunami numerical simulation with source model of the 2011 Tohoku earthquake estimated by Satake et al. (2013, BSSA). The arrows show water-speed and their directions. (a) and (b) show run-up waves. (c) and (d) show return-flows.

Table Appendix 4-6. Data of particles in core sample (C1)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
1	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	2
2	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	2
3	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Rhyolite	2
4	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	2
5	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	2
6	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Shale	2
7	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	6
8	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	6
9	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	6
10	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	6
11	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	6
12	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Chart	6
13	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	4
14	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	4
15	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	4
16	$-2 \leq \phi < -1$	0.7	Other	4
17	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	4
18	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	4
19	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	4
20	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	4
21	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	4
22	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	4
23	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	4
24	$-2 \leq \phi < -1$	0.6	Granite	4
25	$-2 \leq \phi < -1$	0.6	Granite	4
26	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	4
27	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Other	4
28	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	4
29	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Rhyolite	4
30	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Rhyolite	4
31	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Granite	4
32	$-3 \leq \phi < -2$	0.3	Granite	4
33	$-3 \leq \phi < -2$	0.6	Granite	4
34	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Other	4
35	$-3 \leq \phi < -2$	0.3	Shale	2

Table Appendix 4-7. Data of particles in core sample

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
1	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	2
2	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	2
3	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	2
4	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Shale	2
5	$-2 \leq \phi < -1$	0.7	Granite	2
6	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	2
7	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	2
8	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	4
9	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	4
10	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	4
11	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	4
12	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	4
13	$-2 \leq \phi < -1$	0.6	Granite	4
14	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	4
15	$-2 \leq \phi < -1$	0.7	Other	4
16	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	4
17	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	4
18	$-3 \leq \phi < -2$	0.6	Granite	4
19	$-3 \leq \phi < -2$	0.8	Rhyolite	4
20	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Rhyolite	4
21	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Chart	4
22	$-4 \leq \phi < -3$	0.4	Granite	4

Table Appendix 4-8. Data of particles in core sample (C3)

No.	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Roundness	Rock type	Depth (cm)
1	0.9	Rhyolite	4	51	0.3	Granite	6
2	0.9	Rhyolite	4	52	0.3	Granite	6
3	0.9	Rhyolite	4	53	0.5	Other	6
4	0.9	Rhyolite	4	54	0.4	Other	6
5	0.3	Rhyolite	4	55	0.4	Other	6
6	0.9	Granite	4	56	0.5	Other	6
7	0.3	Granite	4	57	0.6	Shale	6
8	0.3	Granite	4	58	0.6	Shale	6
9	0.6	Granite	4	59	0.9	Chart	6
10	0.4	Granite	4	60	0.9	Sand stone	6
11	0.1	Granite	4	61	0.9	Other	6
12	0.4	Granite	4	62	0.9	Other	6
13	0.4	Granite	4	63	0.2	Other	6
14	0.9	Other	4	64	0.6	Other	6
15	0.9	Other	4	65	0.2	Rhyolite	8
16	0.1	Other	4	66	0.1	Rhyolite	8
17	0.3	Other	4	67	0.1	Rhyolite	8
18	0.9	Shale	4	68	0.8	Rhyolite	8
19	0.8	Chart	4	69	0.1	Rhyolite	8
20	0.6	Chart	4	70	0.1	Rhyolite	8
21	0.1	Rhyolite	6	71	0.9	Rhyolite	8
22	0.1	Rhyolite	6	72	0.1	Rhyolite	8
23	0.6	Rhyolite	6	73	0.2	Rhyolite	8
24	0.1	Rhyolite	6	74	0.4	Rhyolite	8
25	0.3	Rhyolite	6	75	0.4	Rhyolite	8
26	0.1	Rhyolite	6	76	0.7	Rhyolite	8
27	0.1	Rhyolite	6	77	0.2	Rhyolite	8
28	0.1	Rhyolite	6	78	0.1	Rhyolite	8
29	0.5	Rhyolite	6	79	0.2	Rhyolite	8
30	0.9	Rhyolite	6	80	0.7	Rhyolite	8
31	0.8	Rhyolite	6	81	0.2	Rhyolite	8
32	0.1	Rhyolite	6	82	0.8	Granite	8
33	0.1	Rhyolite	6	83	0.3	Granite	8
34	0.1	Rhyolite	6	84	0.7	Granite	8
35	0.9	Rhyolite	6	85	0.4	Granite	8
36	0.1	Rhyolite	6	86	0.8	Granite	8
37	0.9	Rhyolite	6	87	0.3	Granite	8
38	0.8	Rhyolite	6	88	0.4	Granite	8
39	0.1	Rhyolite	6	89	0.4	Granite	8
40	0.7	Granite	6	90	0.7	Granite	8
41	0.5	Granite	6	91	0.3	Granite	8
42	0.6	Granite	6	92	0.4	Granite	8
43	0.5	Granite	6	93	0.2	Granite	8
44	0.5	Granite	6	94	0.3	Granite	8
45	0.5	Granite	6	95	0.1	Granite	8
46	0.4	Granite	6	96	0.5	Granite	8
47	0.6	Granite	6	97	0.8	Other	8
48	0.4	Granite	6	98	0.5	Other	8
49	0.6	Granite	6	99	0.9	Other	8
50	0.4	Granite	6	100	0.1	Other	8

No.	Roundness	Rock type	Depth (cm)
101	0.1	Other	8
102	0.2	Chart	8
103	0.1	Chart	8
104	0.9	Sand stone	8
105	0.9	Sand stone	8
106	0.8	Sand stone	8
107	0.9	Other	8
108	0.8	Other	8
109	0.5	Rhyolite	10
110	0.1	Rhyolite	10
111	0.7	Rhyolite	10
112	0.7	Rhyolite	10
113	0.4	Rhyolite	10
114	0.8	Rhyolite	10
115	0.9	Rhyolite	10
116	0.3	Rhyolite	10
117	0.8	Rhyolite	10
118	0.7	Rhyolite	10
119	0.9	Rhyolite	10
120	0.4	Rhyolite	10
121	0.6	Rhyolite	10
122	0.5	Rhyolite	10
123	0.8	Rhyolite	10
124	0.6	Rhyolite	10
125	0.8	Rhyolite	10
126	0.5	Rhyolite	10
127	0.6	Granite	10
128	0.9	Granite	10
129	0.9	Granite	10
130	0.7	Granite	10
131	0.4	Granite	10
132	0.4	Granite	10
133	0.6	Granite	10
134	0.6	Granite	10
135	0.7	Granite	10
136	0.8	Granite	10
137	0.8	Granite	10
138	0.8	Granite	10
139	0.6	Granite	10
140	0.5	Granite	10
141	0.7	Granite	10
142	0.4	Granite	10
143	0.4	Granite	10
144	0.4	Granite	10
145	0.4	Granite	10
146	0.5	Granite	10
147	0.5	Granite	10
148	0.8	Other	10
149	0.8	Other	10
150	0.9	Other	10

No.	Roundness	Rock type	Depth (cm)
151	0.8	Shale	10
152	0.9	Shale	10
153	0.9	Shale	10
154	0.8	Shale	10
155	0.1	Chart	10
156	0.5	Chart	10
157	0.9	Chart	10
158	0.2	Chart	10
159	0.1	Chart	10
160	0.9	Chart	10
161	0.8	Sand stone	10
162	0.8	Sand stone	10
163	0.6	Rhyolite	12
164	0.6	Rhyolite	12
165	0.7	Rhyolite	12
166	0.7	Rhyolite	12
167	0.7	Rhyolite	12
168	0.2	Rhyolite	12
169	0.2	Rhyolite	12
170	0.3	Rhyolite	12
171	0.6	Rhyolite	12
172	0.8	Rhyolite	12
173	0.6	Rhyolite	12
174	0.9	Rhyolite	12
175	0.7	Rhyolite	12
176	0.4	Rhyolite	12
177	0.8	Rhyolite	12
178	0.2	Granite	12
179	0.8	Granite	12
180	0.6	Granite	12
181	0.8	Granite	12
182	0.8	Granite	12
183	0.4	Granite	12
184	0.6	Granite	12
185	0.7	Granite	12
186	0.7	Granite	12
187	0.5	Granite	12
188	0.6	Granite	12
189	0.4	Granite	12
190	0.4	Granite	12
191	0.3	Granite	12
192	0.4	Granite	12
193	0.3	Granite	12
194	0.4	Granite	12
195	0.4	Granite	12
196	0.5	Granite	12
197	0.5	Granite	12
198	0.4	Granite	12
199	0.8	Granite	12
200	0.9	Granite	12

No.	Roundness	Rock type	Depth (cm)
201	0.9	Other	12
202	0.7	Other	12
203	0.9	Shale	12
204	0.9	Shale	12
205	0.9	Shale	12
206	0.1	Chart	12
207	0.7	Chart	12
208	0.6	Chart	12
209	0.8	Sand stone	12
210	0.9	Sand stone	12
211	0.9	Other	12
212	0.9	Other	12
213	0.9	Other	12
214	0.6	Other	12

Table Appendix 4-9. Data of particles in core sample (C4)

No.	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Roundness	Rock type	Depth (cm)
1	0.1	Rhyolite	10	51	0.8	Rhyolite	16
2	0.1	Rhyolite	10	52	0.4	Granite	16
3	0.9	Rhyolite	10	53	0.9	Granite	16
4	0.9	Rhyolite	10	54	0.4	Granite	16
5	0.7	Rhyolite	10	55	0.4	Granite	16
6	0.4	Granite	10	56	0.3	Granite	16
7	0.3	Granite	10	57	0.3	Granite	16
8	0.5	Granite	10	58	0.4	Granite	16
9	0.2	Granite	10	59	0.6	Granite	16
10	0.3	Rhyolite	12	60	0.8	Granite	16
11	0.1	Rhyolite	12	61	0.1	Granite	16
12	0.2	Rhyolite	12	62	0.8	Granite	16
13	0.1	Rhyolite	12	63	0.1	Granite	16
14	0.3	Rhyolite	12	64	0.9	Granite	16
15	0.2	Rhyolite	12	65	0.4	Granite	16
16	0.8	Rhyolite	12	66	0.4	Granite	16
17	0.9	Rhyolite	12	67	0.4	Granite	16
18	0.3	Rhyolite	12	68	0.9	Shale	16
19	0.1	Granite	12	69	0.7	Shale	16
20	0.1	Granite	12	70	0.9	Shale	16
21	0.2	Granite	12	71	0.1	Rhyolite	18
22	0.8	Granite	12	72	0.8	Rhyolite	18
23	0.2	Granite	12	73	0.7	Rhyolite	18
24	0.4	Granite	12	74	0.5	Rhyolite	18
25	0.4	Granite	12	75	0.6	Rhyolite	18
26	0.4	Granite	12	76	0.9	Rhyolite	18
27	0.9	Rhyolite	14	77	0.8	Rhyolite	18
28	0.1	Rhyolite	14	78	0.7	Rhyolite	18
29	0.6	Rhyolite	14	79	0.4	Granite	18
30	0.5	Rhyolite	14	80	0.4	Granite	18
31	0.4	Rhyolite	14	81	0.4	Granite	18
32	0.4	Granite	14	82	0.4	Granite	18
33	0.3	Granite	14	83	0.4	Granite	18
34	0.4	Granite	14	84	0.3	Granite	18
35	0.4	Granite	14	85	0.4	Granite	18
36	0.3	Granite	14	86	0.4	Granite	18
37	0.3	Granite	14	87	0.7	Granite	18
38	0.3	Granite	14	88	0.9	Other	18
39	0.4	Granite	14	89	0.9	Other	18
40	0.4	Granite	14	90	0.2	Other	18
41	0.4	Granite	14	91	0.9	Shale	18
42	0.4	Granite	14	92	0.9	Shale	18
43	0.9	Shale	14	93	0.9	Other	18
44	0.9	Shale	14	94	0.6	Rhyolite	20
45	0.9	Rhyolite	16	95	0.9	Rhyolite	20
46	0.3	Rhyolite	16	96	0.9	Rhyolite	20
47	0.9	Rhyolite	16	97	0.1	Rhyolite	20
48	0.9	Rhyolite	16	98	0.1	Rhyolite	20
49	0.9	Rhyolite	16	99	0.4	Rhyolite	20
50	0.1	Rhyolite	16	100	0.8	Rhyolite	20

No.	Roundness	Rock type	Depth (cm)
101	0.9	Rhyolite	20
102	0.9	Rhyolite	20
103	0.9	Granite	20
104	0.4	Granite	20
105	0.4	Granite	20
106	0.3	Granite	20
107	0.3	Granite	20
108	0.4	Granite	20
109	0.3	Granite	20
110	0.5	Granite	20
111	0.5	Granite	20
112	0.5	Granite	20
113	0.4	Granite	20
114	0.3	Granite	20
115	0.7	Other	20
116	0.5	Other	20
117	0.3	Other	20
118	0.9	Other	20
119	0.9	Shale	20
120	0.9	Shale	20
121	0.8	Shale	20
122	0.8	Shale	20
123	0.9	Chart	20
124	0.9	Chart	20
125	0.9	Chart	20
126	0.7	Chart	20

Table Appendix 4-10. Rate and roundness of each rock type (2011-tsunami)

(a) C1 (2011-tsunami)

Rock type	Rate (%)	Roundness (Average)
Granite	66	0.39
Rhyolite	17	0.37
Shale	6	0.30
Chart	3	0.90
Other	9	–

Count number: 35

(b) C2 (2011-tsunami)

Rock type	Rate (%)	Roundness (Average)
Granite	64	0.49
Rhyolite	23	0.72
Shale	5	0.20
Chart	5	0.90
Other	5	–

Count number: 22

(c) C3 (2011-tsunami)

Rock type	Rate (%)	Roundness (Average)
Granite	37	0.52
Rhyolite	35	0.49
Shale	7	0.48
Chart	5	0.82
Other	16	–

Count number: 214

(d) C4 (2011-tsunami)

Rock type	Rate (%)	Roundness (Average)
Granite	48	0.41
Rhyolite	34	0.56
Shale	9	0.86
Chart	3	0.85
Other	7	–

Count number: 126

Table Appendix 4-11. Rate of each source deposit in the 2011- tsunami layer

Sample no.	Slope gravel (Roundness=0.1 and 0.2)	Riverbed gravel (Granite/Roundness =0.4 and 0.5)	Marine pebble (Roundness=0.8 and 0.9)
C1	20	31	9
C2	9	50	23
C3	18	16	32
C4	15	27	33

Table Appendix 5-1. Rate and roundness of each rock type (S12 event)

(a) C1 (S12 event)

Rock type	Rate (%)	Roundness (Average)
Granite	20	0.43
Rhyolite	67	0.40
Shale	4	0.83
Chart	2	0.87
Other	7	—

Count number: 1271

(b) C2 (S12 event)

Rock type	Rate (%)	Roundness (Average)
Granite	33	0.40
Rhyolite	52	0.46
Shale	7	0.84
Chart	5	0.70
Other	3	—

Count number: 581

(c) C3 (S12 event)

Rock type	Rate (%)	Roundness (Average)
Granite	79	0.45
Rhyolite	15	0.37
Shale	1	0.90
Chart	1	0.90
Other	4	—

Count number: 601

(d) C4 (S12 event)

Rock type	Rate (%)	Roundness (Average)
Granite	59	0.35
Rhyolite	33	0.55
Shale	2	0.58
Chart	2	0.88
Other	4	—

Count number: 715

Table Appendix 5-2. Rate of each source deposit in 'S12' event

Sample no.	Slope gravel (Roundness=0.1 and 0.2)	Riverbed gravel (Granite/Roundness =0.4 and 0.5)	Marine pebble (Roundness=0.8 and 0.9)
C1	42	20	36
C2	33	18	36
C3	24	50	11
C4	35	12	25

Table Appendix 5-3. Data of particles in core
sample (C1/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
1	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	352	51	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	352
2	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	352	52	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	352
3	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	352	53	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	352
4	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	352	54	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	352
5	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	352	55	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	354
6	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	352	56	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	354
7	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	352	57	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	356
8	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	352	58	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	356
9	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	352	59	$-4 \leq \phi < -3$	0.4	Granite	356
10	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	352	60	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	358
11	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	352	61	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	358
12	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Granite	352	62	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	358
13	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	352	63	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	358
14	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	354	64	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	358
15	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	354	65	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	358
16	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	354	66	$-4 \leq \phi < -3$	0.5	Granite	358
17	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	354	67	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	360
18	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	354	68	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	360
19	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	354	69	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	362
20	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Granite	354	70	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	362
21	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	354	71	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	362
22	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	354	72	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	362
23	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	354	73	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	362
24	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	356	74	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	364
25	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	356	75	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	364
26	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	356	76	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	364
27	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	356	77	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	366
28	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	356	78	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	366
29	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	356	79	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	368
30	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	356	80	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	368
31	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	358	81	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	368
32	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	358	82	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	370
33	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	358	83	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	370
34	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	358	84	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	370
35	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	358	85	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	372
36	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	358	86	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	372
37	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	358	87	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	372
38	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	358	88	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	372
39	$-4 \leq \phi < -3$	0.2	Rhyolite	358	89	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	372
40	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	358	90	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	374
41	$-4 \leq \phi < -3$	0.2	Rhyolite	358	91	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	374
42	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	360	92	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	374
43	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	360	93	$-4 \leq \phi < -3$	0.5	Granite	374
44	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	360	94	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	376
45	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	360	95	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	376
46	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	360	96	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	376
47	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	360	97	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	376
48	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	360	98	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	378
49	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	360	99	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	378
50	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	360	100	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	378

Table Appendix 5-3. Data of particles in core
sample (C1/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
101	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	360	151	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	378
102	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	360	152	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	378
103	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	360	153	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	378
104	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	360	154	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	378
105	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	360	155	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	380
106	$-4 \leq \phi < -3$	0.2	Rhyolite	360	156	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	380
107	$-4 \leq \phi < -3$	0.2	Granite	360	157	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	380
108	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	362	158	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	380
109	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	362	159	$-6 \leq \phi < -5$	0.5	Granite	380
110	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	362	160	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	382
111	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	362	161	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	384
112	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	362	162	$-4 \leq \phi < -3$	0.4	Granite	384
113	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	362	163	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	386
114	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	362	164	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	386
115	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	362	165	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	386
116	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	362	166	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	386
117	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	362	167	$-4 \leq \phi < -3$	0.4	Granite	386
118	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	362	168	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	388
119	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	362	169	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	388
120	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	362	170	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	390
121	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	362	171	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	390
122	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	362	172	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	392
123	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	362	173	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	392
124	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	362	174	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	392
125	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	362	175	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	392
126	$-4 \leq \phi < -3$	0.2	Rhyolite	362	176	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	392
127	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	364	177	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	392
128	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	364	178	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	392
129	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	364	179	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	392
130	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	364	180	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	392
131	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	364	181	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	392
132	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	364	182	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	392
133	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	364	183	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	392
134	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	364	184	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	392
135	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	364	185	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	392
136	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	364	186	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	392
137	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	364	187	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	392
138	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	364	188	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	392
139	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	364	189	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	392
140	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	364	190	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	392
141	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	364	191	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	392
142	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Granite	364	192	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	392
143	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Other	364	193	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	392
144	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	364	194	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	392
145	$-4 \leq \phi < -3$	0.2	Rhyolite	364	195	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	392
146	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	366	196	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	392
147	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	366	197	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	392
148	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	366	198	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	392
149	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	366	199	$-4 \leq \phi < -3$	0.5	Granite	392
150	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	366	200	$-5 \leq \phi < -4$	0.4	Granite	392

Table Appendix 5-3. Data of particles in core
sample (C1/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
201	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	366	251	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	394
202	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	366	252	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	394
203	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	366	253	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	394
204	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	366	254	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	394
205	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	366	255	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	394
206	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	366	256	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	394
207	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	366	257	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	394
208	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	368	258	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	394
209	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	368	259	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	394
210	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	368	260	$-3 \leq \varphi < -2$	0.4	Granite	394
211	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	368	261	$-3 \leq \varphi < -2$	0.4	Granite	394
212	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	368	262	$-3 \leq \varphi < -2$	0.4	Granite	394
213	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	368	263	$-3 \leq \varphi < -2$	0.5	Granite	394
214	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	368	264	$-4 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	394
215	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	368	265	$-4 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	394
216	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	368	266	$-5 \leq \varphi < -4$	0.5	Granite	394
217	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	368	267	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	396
218	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	368	268	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	396
219	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	368	269	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	396
220	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	368	270	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	396
221	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	368	271	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	396
222	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	368	272	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	396
223	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	368	273	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	396
224	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	368	274	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	396
225	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	368	275	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	398
226	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	368	276	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	398
227	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	370	277	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	398
228	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	370	278	$-3 \leq \varphi < -2$	0.5	Granite	398
229	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	370	279	$-3 \leq \varphi < -2$	0.5	Granite	398
230	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	370	280	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	400
231	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	370	281	$-3 \leq \varphi < -2$	0.5	Granite	400
232	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	370	282	$-3 \leq \varphi < -2$	0.4	Granite	400
233	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	370	283	$-5 \leq \varphi < -4$	0.5	Granite	400
234	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	370	284	$-5 \leq \varphi < -4$	0.5	Granite	400
235	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	370	285	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	352
236	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	370	286	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	352
237	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	370	287	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	352
238	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	370	288	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Sand stone	352
239	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	370	289	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	352
240	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	370	290	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	352
241	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	370	291	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	352
242	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	370	292	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	354
243	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Granite	370	293	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	354
244	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	372	294	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	354
245	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	372	295	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	354
246	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	372	296	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	354
247	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	372	297	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	354
248	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	372	298	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	354
249	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	372	299	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	354
250	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	372	300	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	354

Table Appendix 5-3. Data of particles in core
sample (C1/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
301	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	372	351	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	354
302	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	372	352	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	354
303	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	372	353	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	354
304	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	372	354	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	354
305	$-5 \leq \varphi < -4$	0.2	Rhyolite	372	355	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	354
306	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	374	356	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	354
307	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	374	357	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	354
308	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	374	358	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	354
309	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	374	359	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	354
310	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	374	360	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	356
311	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	374	361	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	356
312	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	374	362	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	356
313	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	374	363	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	356
314	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	374	364	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	356
315	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	374	365	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	356
316	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	374	366	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	356
317	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	376	367	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	356
318	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	376	368	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	356
319	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	376	369	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	356
320	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	376	370	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	356
321	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	378	371	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	356
322	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	378	372	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	356
323	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	378	373	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	356
324	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	378	374	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	356
325	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	378	375	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	356
326	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	378	376	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Granite	356
327	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	378	377	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	356
328	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	378	378	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Shale	356
329	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	378	379	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	356
330	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	378	380	$-4 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	356
331	$-5 \leq \varphi < -4$	0.1	Rhyolite	378	381	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	358
332	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	380	382	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	358
333	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	380	383	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	358
334	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	380	384	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	358
335	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	380	385	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	358
336	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	380	386	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	358
337	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	380	387	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	358
338	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	380	388	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	358
339	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	380	389	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	358
340	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	380	390	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	358
341	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	380	391	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	358
342	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	380	392	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	358
343	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	380	393	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	358
344	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	380	394	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	358
345	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	380	395	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	358
346	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	380	396	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	358
347	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	380	397	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	358
348	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	380	398	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Other	358
349	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	380	399	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	358
350	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	380	400	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Other	358

Table Appendix 5-3. Data of particles in core sample (C1/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
401	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	380	451	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Chart	358
402	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	380	452	$-4 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	358
403	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	380	453	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	360
404	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	380	454	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	360
405	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	380	455	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	360
406	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	380	456	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	360
407	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	380	457	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	360
408	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	380	458	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Granite	360
409	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	380	459	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Granite	360
410	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	380	460	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	360
411	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	380	461	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	360
412	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	380	462	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	360
413	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	380	463	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	360
414	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	382	464	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	360
415	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	382	465	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	360
416	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	382	466	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	360
417	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	382	467	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Other	360
418	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	382	468	$-4 \leq \varphi < -3$	0.9	Other	360
419	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	382	469	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	362
420	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	382	470	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	362
421	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	382	471	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	362
422	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	382	472	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	362
423	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	382	473	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	362
424	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	382	474	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	362
425	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	382	475	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	362
426	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	382	476	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	362
427	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	382	477	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	362
428	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	382	478	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	362
429	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	382	479	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	362
430	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	382	480	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	362
431	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	382	481	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	362
432	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	382	482	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	362
433	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	382	483	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	362
434	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	382	484	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	362
435	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	382	485	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	362
436	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	382	486	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	362
437	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	382	487	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	362
438	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	382	488	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	362
439	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	382	489	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	362
440	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	382	490	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	362
441	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	382	491	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	362
442	$-6 \leq \varphi < -5$	0.1	Rhyolite	382	492	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Granite	362
443	$-6 \leq \varphi < -5$	0.2	Rhyolite	382	493	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Other	362
444	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	384	494	$-4 \leq \varphi < -3$	0.8	Rhyolite	362
445	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	384	495	$-4 \leq \varphi < -3$	0.8	Rhyolite	362
446	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	384	496	$-5 \leq \varphi < -4$	0.8	Rhyolite	362
447	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	384	497	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	364
448	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	384	498	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	364
449	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	384	499	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	364
450	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	384	500	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	364

Table Appendix 5-3. Data of particles in core
sample (C1/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
501	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	384	551	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	364
502	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	384	552	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	364
503	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	384	553	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	364
504	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	384	554	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	364
505	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	384	555	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Chart	364
506	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	384	556	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	364
507	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	384	557	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	364
508	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	384	558	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	364
509	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	384	559	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	364
510	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	384	560	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	364
511	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	384	561	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	364
512	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	384	562	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Sand stone	364
513	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	386	563	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	364
514	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	386	564	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Chart	364
515	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	386	565	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Sand stone	364
516	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	386	566	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Other	364
517	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	386	567	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Other	364
518	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	386	568	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Other	364
519	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	386	569	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	366
520	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	386	570	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	366
521	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Other	386	571	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	366
522	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	386	572	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	366
523	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	386	573	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	366
524	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	386	574	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	366
525	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	386	575	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	366
526	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	386	576	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	366
527	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	386	577	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	366
528	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	386	578	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	366
529	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	386	579	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	366
530	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	386	580	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	366
531	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	386	581	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Chart	366
532	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	386	582	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	366
533	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	386	583	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	366
534	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	386	584	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Granite	366
535	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	386	585	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Other	366
536	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	386	586	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Sand stone	366
537	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	386	587	$-4 \leq \varphi < -3$	0.9	Granite	366
538	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	386	588	$-5 \leq \varphi < -4$	0.9	Rhyolite	366
539	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	386	589	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	368
540	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	386	590	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	368
541	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	386	591	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	368
542	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	386	592	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	368
543	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	388	593	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	368
544	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	388	594	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	368
545	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	388	595	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	368
546	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	388	596	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	368
547	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	388	597	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	368
548	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	388	598	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	368
549	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	388	599	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	368
550	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	388	600	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	368

Table Appendix 5-3. Data of particles in core
sample (C1/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
601	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	388	651	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	368
602	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	388	652	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	368
603	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	388	653	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Rhyolite	368
604	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	388	654	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Rhyolite	368
605	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	388	655	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Chart	368
606	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	388	656	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Other	368
607	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	388	657	$-4 \leq \phi < -3$	0.9	Rhyolite	368
608	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	388	658	$-4 \leq \phi < -3$	0.8	Rhyolite	368
609	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	388	659	$-4 \leq \phi < -3$	0.9	Other	368
610	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	388	660	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	370
611	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	388	661	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	370
612	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	388	662	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	370
613	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	388	663	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	370
614	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	388	664	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	370
615	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	388	665	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	370
616	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	388	666	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	370
617	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	388	667	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	370
618	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	388	668	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	370
619	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	388	669	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	370
620	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	388	670	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	370
621	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	388	671	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	370
622	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	388	672	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	370
623	$-4 \leq \phi < -3$	0.2	Rhyolite	388	673	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	370
624	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	390	674	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Granite	370
625	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	390	675	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Granite	370
626	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	390	676	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Granite	370
627	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	390	677	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Granite	370
628	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	390	678	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Chart	370
629	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	390	679	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Shale	370
630	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	390	680	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Rhyolite	370
631	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	390	681	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Rhyolite	370
632	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	390	682	$-4 \leq \phi < -3$	0.9	Rhyolite	370
633	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	390	683	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	372
634	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	390	684	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	372
635	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	390	685	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	372
636	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	390	686	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	372
637	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	390	687	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	372
638	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	390	688	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	372
639	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	390	689	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	372
640	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	390	690	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	372
641	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	390	691	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	372
642	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	390	692	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	372
643	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	390	693	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Granite	372
644	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	390	694	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Chart	372
645	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	390	695	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	372
646	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	390	696	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	372
647	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	390	697	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Rhyolite	372
648	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	390	698	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Chart	372
649	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	390	699	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Other	372
650	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	390	700	$-4 \leq \phi < -3$	0.8	Other	372

Table Appendix 5-3. Data of particles in core sample (C1/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
701	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	751	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	374
702	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	752	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	374
703	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	753	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	374
704	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	754	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	374
705	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	755	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Granite	374
706	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	756	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	374
707	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	757	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	374
708	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	758	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	374
709	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	759	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	374
710	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	760	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Sand stone	374
711	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	761	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	374
712	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	762	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Other	374
713	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	763	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	376
714	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	764	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	376
715	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	765	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	376
716	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	390	766	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	376
717	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Granite	390	767	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	376
718	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Granite	390	768	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	376
719	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Granite	390	769	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	376
720	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Chart	390	770	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	376
721	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	390	771	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Chart	376
722	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	390	772	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	376
723	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	390	773	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	376
724	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	390	774	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	376
725	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	390	775	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	378
726	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	390	776	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	378
727	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	390	777	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	378
728	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	390	778	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	378
729	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	390	779	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	378
730	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	390	780	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	378
731	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	390	781	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	378
732	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	390	782	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	378
733	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	390	783	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	378
734	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	390	784	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	378
735	$-5 \leq \varphi < -4$	0.1	Rhyolite	390	785	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	378
736	$-6 \leq \varphi < -5$	0.1	Rhyolite	390	786	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	378
737	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	392	787	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	378
738	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	392	788	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	378
739	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	392	789	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	378
740	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	392	790	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	378
741	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	392	791	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	378
742	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	392	792	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Chart	378
743	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	392	793	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	378
744	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Chart	392	794	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	378
745	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	392	795	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	378
746	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	392	796	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	378
747	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	392	797	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	378
748	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	392	798	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	378
749	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	392	799	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	378
750	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	392	800	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	378

Table Appendix 5-3. Data of particles in core
sample (C1/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
801	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	392	851	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	378
802	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	392	852	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	378
803	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	392	853	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	380
804	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	392	854	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	380
805	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	392	855	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	380
806	$-5 \leq \varphi < -4$	0.2	Rhyolite	392	856	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	380
807	$-5 \leq \varphi < -4$	0.2	Rhyolite	392	857	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	380
808	$-5 \leq \varphi < -4$	0.2	Rhyolite	392	858	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	380
809	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	394	859	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	380
810	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	394	860	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	380
811	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	394	861	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	380
812	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	394	862	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	380
813	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	394	863	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	380
814	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	394	864	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	380
815	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	394	865	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	380
816	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	394	866	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Sand stone	380
817	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	394	867	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Sand stone	380
818	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	394	868	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	380
819	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	394	869	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Other	380
820	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	394	870	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	380
821	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	394	871	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	380
822	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	394	872	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	380
823	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	394	873	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	380
824	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	394	874	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	380
825	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	394	875	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Granite	380
826	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	394	876	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Chart	380
827	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	394	877	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	382
828	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	394	878	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	382
829	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Granite	394	879	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	382
830	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Granite	394	880	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	382
831	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Granite	394	881	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	382
832	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	394	882	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	382
833	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	394	883	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	382
834	$-5 \leq \varphi < -4$	0.1	Rhyolite	394	884	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	382
835	$-5 \leq \varphi < -4$	0.1	Rhyolite	394	885	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	382
836	$-5 \leq \varphi < -4$	0.2	Rhyolite	394	886	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	382
837	$-5 \leq \varphi < -4$	0.2	Rhyolite	394	887	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	382
838	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	396	888	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	382
839	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	396	889	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	382
840	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	396	890	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Shale	382
841	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	396	891	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Sand stone	382
842	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	396	892	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Sand stone	382
843	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	396	893	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	382
844	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	396	894	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	382
845	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	396	895	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	382
846	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Other	396	896	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	382
847	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Other	396	897	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	382
848	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	898	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	382
849	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	899	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	382
850	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	900	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	384

Table Appendix 5-3. Data of particles in core
sample (C1/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
901	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	951	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	384
902	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	952	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	384
903	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	953	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	384
904	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	954	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	384
905	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	396	955	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	384
906	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	956	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	384
907	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	957	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	384
908	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	958	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	384
909	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	959	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	384
910	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	960	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	384
911	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	961	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	384
912	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	962	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	384
913	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	963	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	384
914	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	964	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Chart	384
915	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	396	965	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	384
916	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	396	966	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Sand stone	384
917	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	396	967	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	384
918	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	968	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	384
919	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	969	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	384
920	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	970	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	384
921	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	971	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Granite	384
922	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	396	972	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Other	384
923	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	396	973	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	386
924	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	396	974	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	386
925	$-5 \leq \varphi < -4$	0.2	Rhyolite	396	975	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	386
926	$-5 \leq \varphi < -4$	0.1	Rhyolite	396	976	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	386
927	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	398	977	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	386
928	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	398	978	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Chart	386
929	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	398	979	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	386
930	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	398	980	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	386
931	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	398	981	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Other	386
932	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	398	982	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	388
933	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	398	983	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	388
934	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	398	984	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	388
935	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	398	985	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	388
936	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	398	986	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Chart	388
937	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	398	987	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Other	388
938	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	398	988	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	388
939	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	398	989	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	388
940	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	398	990	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	388
941	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	398	991	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	388
942	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	398	992	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Other	388
943	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	398	993	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Other	388
944	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	398	994	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Chart	388
945	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	398	995	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Chart	388
946	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	398	996	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	390
947	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	398	997	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	390
948	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	398	998	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	390
949	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	398	999	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	390
950	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	398	1000	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	390

Table Appendix 5-3. Data of particles in core
sample (C1/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
1001	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Granite	398	1051	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	390
1002	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	398	1052	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	390
1003	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	398	1053	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	390
1004	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	400	1054	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	390
1005	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	400	1055	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	390
1006	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	400	1056	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	390
1007	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	400	1057	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	390
1008	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	400	1058	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	390
1009	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	400	1059	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	390
1010	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Other	400	1060	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	392
1011	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	400	1061	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	392
1012	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	400	1062	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	392
1013	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	400	1063	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	392
1014	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	400	1064	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	392
1015	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	400	1065	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	392
1016	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	400	1066	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	392
1017	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	400	1067	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	392
1018	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	400	1068	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	392
1019	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	400	1069	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Chart	392
1020	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	400	1070	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	392
1021	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	400	1071	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	392
1022	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	400	1072	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	392
1023	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	400	1073	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	392
1024	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	400	1074	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	392
1025	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	400	1075	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	392
1026	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	400	1076	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	394
1027	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Granite	400	1077	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	394
1028	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	400	1078	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	394
1029	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	400	1079	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	394
1030	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	400	1080	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	394
1031	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	400	1081	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	394
1032	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Shale	396	1082	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Chart	394
1033	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	398	1083	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Other	394
1034	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	398	1084	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	394
1035	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	398	1085	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	394
1036	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	398	1086	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	396
1037	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	398	1087	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	396
1038	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	398	1088	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	396
1039	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	398	1089	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	396
1040	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	398	1090	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	396
1041	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	398	1091	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	396
1042	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	398	1092	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	396
1043	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	398	1093	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	396
1044	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	398	1094	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	396
1045	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	398	1095	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Granite	396
1046	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Shale	398	1096	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Chart	396
1047	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	398	1097	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	396
1048	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	398	1098	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Sand stone	396
1049	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	398	1099	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Other	396
1050	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	398	1100	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	396

Table Appendix 5-3. Data of particles in core sample (C1/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
1101	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Other	398	1116	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400
1102	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400	1117	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400
1103	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400	1118	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400
1104	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400	1119	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400
1105	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400	1120	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400
1106	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400	1121	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400
1107	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400	1122	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	400
1108	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400	1123	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	400
1109	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400	1124	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	400
1110	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400	1125	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	400
1111	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400	1126	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Other	400
1112	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400	1127	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Other	400
1113	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400	1128	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Chart	400
1114	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400	1129	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Shale	400
1115	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	400					

Table Appendix 5-4. Data of particles in core sample (C2/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
1	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	38	51	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	36
2	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	38	52	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	36
3	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	38	53	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	36
4	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	38	54	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	36
5	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	38	55	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	36
6	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	38	56	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	36
7	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	38	57	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	36
8	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	38	58	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	36
9	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Rhyolite	38	59	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	36
10	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Rhyolite	38	60	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	36
11	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	38	61	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	36
12	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	38	62	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	36
13	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	38	63	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	36
14	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	38	64	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Granite	36
15	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	38	65	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Granite	36
16	$-2 \leq \varphi < -1$	0.7	Chart	38	66	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Chart	36
17	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Shale	38	67	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Chart	36
18	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Shale	38	68	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	36
19	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	38	69	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	36
20	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	38	70	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	36
21	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	38	71	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	36
22	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	38	72	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	36
23	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	38	73	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	36
24	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	38	74	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	36
25	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	38	75	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	36
26	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	38	76	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	36
27	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	38	77	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	36
28	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	38	78	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	36
29	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	38	79	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	36
30	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	38	80	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	36
31	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	38	81	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	36
32	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	38	82	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	36
33	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Rhyolite	38	83	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	36
34	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Rhyolite	38	84	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	36
35	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	38	85	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	36
36	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	38	86	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	36
37	$-3 \leq \varphi < -2$	0.6	Rhyolite	38	87	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Sand stone	36
38	$-3 \leq \varphi < -2$	0.3	Granite	38	88	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	36
39	$-3 \leq \varphi < -2$	0.3	Granite	38	89	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	36
40	$-3 \leq \varphi < -2$	0.4	Granite	38	90	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Other	36
41	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	38	91	$-3 \leq \varphi < -2$	0.4	Granite	36
42	$-3 \leq \varphi < -2$	0.6	Chart	38	92	$-3 \leq \varphi < -2$	0.3	Granite	36
43	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	38	93	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Granite	36
44	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	38	94	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Shale	36
45	$-3 \leq \varphi < -2$	0.3	Rhyolite	38	95	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Granite	36
46	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	36	96	$-2 \leq \varphi < -1$	0.7	Shale	34
47	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	36	97	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Shale	34
48	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	36	98	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	34
49	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	36	99	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Shale	34
50	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Rhyolite	36	100	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	34

Table Appendix 5-4. Data of particles in core sample (C2/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
101	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	34
102	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	34
103	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Shale	34
104	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	34
105	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	34
106	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	34
107	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Chart	34
108	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	34
109	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	34
110	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	34
111	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	34
112	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	34
113	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	34
114	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	34
115	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	34
116	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	34
117	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	34
118	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	34
119	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Granite	34
120	$-2 \leq \varphi < -1$	0.7	Granite	34
121	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Granite	34
122	$-2 \leq \varphi < -1$	0.7	Granite	34
123	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	34
124	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	34
125	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	34
126	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	34
127	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	34
128	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	34
129	$-2 \leq \varphi < -1$	0.7	Rhyolite	34
130	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Andesite	34
131	$-2 \leq \varphi < -1$	0.7	Shale	34
132	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	34
133	$-2 \leq \varphi < -1$	0.7	Shale	34
134	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Shale	34
135	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	34
136	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	34
137	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	34
138	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	34
139	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Rhyolite	34
140	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	34
141	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	34
142	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	34
143	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	34
144	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	34
145	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	34
146	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	34
147	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	34
148	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	34
149	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	34
150	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	34

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
151	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	34
152	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	34
153	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	34
154	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	34
155	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	34
156	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	34
157	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Granite	34
158	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Granite	34
159	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Granite	34
160	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Granite	34
161	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Granite	34
162	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Granite	34
163	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	34
164	$-3 \leq \varphi < -2$	0.7	Granite	34
165	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	34
166	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	34
167	$-3 \leq \varphi < -2$	0.3	Rhyolite	34
168	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Andesite	32
169	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Chart	32
170	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Chart	32
171	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	32
172	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	32
173	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	32
174	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Shale	32
175	$-2 \leq \varphi < -1$	0.7	Shale	32
176	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	32
177	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	32
178	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	32
179	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	32
180	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	32
181	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Rhyolite	32
182	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Rhyolite	32
183	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Rhyolite	32
184	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Rhyolite	32
185	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	32
186	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	32
187	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	32
188	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	32
189	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	32
190	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	32
191	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	32
192	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	32
193	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	32
194	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	32
195	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	32
196	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	32
197	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	32
198	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Chart	32
199	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Chart	32
200	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	32

Table Appendix 5-4. Data of particles in core sample (C2/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
201	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	32	251	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	30
202	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	32	252	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Rhyolite	30
203	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	32	253	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Rhyolite	30
204	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	32	254	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	30
205	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	32	255	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	30
206	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	32	256	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	30
207	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	32	257	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	30
208	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	32	258	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	30
209	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	32	259	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	30
210	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	32	260	$-3 \leq \varphi < -2$	0.3	Granite	30
211	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	32	261	$-3 \leq \varphi < -2$	0.4	Granite	30
212	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	32	262	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	30
213	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	32	263	$-3 \leq \varphi < -2$	0.3	Rhyolite	30
214	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	32	264	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	30
215	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	32	265	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	30
216	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Rhyolite	32	266	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	30
217	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Rhyolite	32	267	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	30
218	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Rhyolite	32	268	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Shale	30
219	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	32	269	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	30
220	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	32	270	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	30
221	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	32	271	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	30
222	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	32	272	$-3 \leq \varphi < -2$	0.3	Granite	30
223	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	32	273	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	28
224	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	32	274	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	28
225	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Rhyolite	32	275	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	28
226	$-3 \leq \varphi < -2$	0.9	Rhyolite	32	276	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Granite	28
227	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	32	277	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	28
228	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	32	278	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	28
229	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	32	279	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	28
230	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Chart	32	280	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	28
231	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	32	281	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	28
232	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	32	282	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	28
233	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	32	283	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	28
234	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	32	284	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	28
235	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	32	285	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Chart	28
236	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	32	286	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Chart	28
237	$-3 \leq \varphi < -2$	0.2	Rhyolite	32	287	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Chart	28
238	$-3 \leq \varphi < -2$	0.1	Rhyolite	32	288	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	28
239	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	30	289	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	28
240	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	30	290	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	28
241	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	30	291	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	28
242	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	30	292	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	28
243	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	30	293	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	28
244	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	30	294	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	28
245	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	30	295	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	28
246	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	30	296	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	28
247	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	30	297	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	28
248	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	30	298	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	28
249	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	30	299	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	28
250	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	30	300	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	28

Table Appendix 5-4. Data of particles in core sample (C2/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
301	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	28	351	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Shale	24
302	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	28	352	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Shale	24
303	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	28	353	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	24
304	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Granite	28	354	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	24
305	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Rhyolite	28	355	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	24
306	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Rhyolite	28	356	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	24
307	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	28	357	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	24
308	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	28	358	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	24
309	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	28	359	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	24
310	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	28	360	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Shale	24
311	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	28	361	$-3 \leq \phi < -2$	0.8	Shale	24
312	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	28	362	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	24
313	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	26	363	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	22
314	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Granite	26	364	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	22
315	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	26	365	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	22
316	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	26	366	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	22
317	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	26	367	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	22
318	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	26	368	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	22
319	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	26	369	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	22
320	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Chart	26	370	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	22
321	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	26	371	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	22
322	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	26	372	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	22
323	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	26	373	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	22
324	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Rhyolite	26	374	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	22
325	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	26	375	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	22
326	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Shale	26	376	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	22
327	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	26	377	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	22
328	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	26	378	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	22
329	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Rhyolite	26	379	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	22
330	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Rhyolite	26	380	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	22
331	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Rhyolite	26	381	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	22
332	$-3 \leq \phi < -2$	0.8	Shale	26	382	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	22
333	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	26	383	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	22
334	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	26	384	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	22
335	$-3 \leq \phi < -2$	0.3	Granite	26	385	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	22
336	$-3 \leq \phi < -2$	0.6	Granite	26	386	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	22
337	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	26	387	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	22
338	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	24	388	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	22
339	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	24	389	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	22
340	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	24	390	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	22
341	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	24	391	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	22
342	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	24	392	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	22
343	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	24	393	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	22
344	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	24	394	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Chart	22
345	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	24	395	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Andesite	22
346	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	24	396	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	22
347	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	24	397	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	22
348	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	24	398	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Rhyolite	22
349	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	24	399	$-3 \leq \phi < -2$	0.7	Rhyolite	22
350	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	24	400	$-3 \leq \phi < -2$	0.3	Rhyolite	22

Table Appendix 5-4. Data of particles in core sample (C2/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
401	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	22
402	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	22
403	$-4 \leq \phi < -3$	0.5	Granite	22
404	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	20
405	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	20
406	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	20
407	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	20
408	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	20
409	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	20
410	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	20
411	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	20
412	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	20
413	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	20
414	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	20
415	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	20
416	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	20
417	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	20
418	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	20
419	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	20
420	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	20
421	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	20
422	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	20
423	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	20
424	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	20
425	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Rhyolite	20
426	$-2 \leq \phi < -1$	0.6	Rhyolite	20
427	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	20
428	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	20
429	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	20
430	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	20
431	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	20
432	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	20
433	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	20
434	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	20
435	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	20
436	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	20
437	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	20
438	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	20
439	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	20
440	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	20
441	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	20
442	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	20
443	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	20
444	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	20
445	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	20
446	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	20
447	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	20
448	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	20
449	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Granite	20
450	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Granite	20

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
451	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Granite	20
452	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Chart	20
453	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Chart	20
454	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Andesite	20
455	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	20
456	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	20
457	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	20
458	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	20
459	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	20
460	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	20
461	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Andesite	18
462	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	18
463	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	18
464	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	18
465	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	18
466	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	18
467	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	18
468	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	18
469	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	18
470	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	18
471	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	18
472	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	18
473	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	18
474	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	18
475	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	18
476	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	18
477	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	18
478	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	18
479	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	18
480	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	18
481	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	18
482	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	18
483	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	18
484	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	18
485	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	18
486	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Chart	18
487	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	18
488	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	18
489	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	18
490	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	18
491	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	18
492	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	16
493	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	16
494	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	16
495	$-2 \leq \phi < -1$	0.7	Rhyolite	16
496	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	16
497	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	16
498	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	16
499	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	16
500	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	16

Table Appendix 5-4. Data of particles in core sample (C2/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
501	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	16
502	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	16
503	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	16
504	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	16
505	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	16
506	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	16
507	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	16
508	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	16
509	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	16
510	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Shale	16
511	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Shale	16
512	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	16
513	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	16
514	$-2 \leq \phi < -1$	0.6	Shale	14
515	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	14
516	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	14
517	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	12
518	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	12
519	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	12
520	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	10
521	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	10
522	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	10
523	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	10
524	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	10
525	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Chart	10
526	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	8
527	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	8
528	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	8
529	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	8
530	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	8
531	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	8
532	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	8
533	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	8
534	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	8
535	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	8
536	$-2 \leq \phi < -1$	0.7	Granite	8
537	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Granite	8
538	$-2 \leq \phi < -1$	0.7	Granite	8
539	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Granite	8
540	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Shale	8
541	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Shale	8
542	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Shale	8
543	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	6
544	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	6
545	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	6
546	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	6
547	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	6
548	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	6
549	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	4
550	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	4

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
551	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	4
552	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Shale	4
553	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	4
554	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	4
555	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	4
556	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Granite	4
557	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	4
558	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	4
559	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	4
560	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	4
561	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	4
562	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Rhyolite	4
563	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	2
564	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	2
565	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	2
566	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	2
567	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	2
568	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	2
569	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	2
570	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Rhyolite	2
571	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Rhyolite	2
572	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	2
573	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	2
574	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	2
575	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	2
576	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	2
577	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	2
578	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	2
579	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	2
580	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	2
581	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	2

Table Appendix 5-5. Data of particles in core sample (C3/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
1	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	178
2	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	178
3	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	178
4	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	178
5	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	178
6	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	178
7	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	178
8	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	178
9	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	178
10	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	178
11	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	178
12	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	178
13	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	178
14	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	178
15	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	178
16	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	178
17	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Shale	178
18	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Shale	178
19	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Shale	178
20	$-2 \leq \phi < -1$	0.7	Other	178
21	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	178
22	$-2 \leq \phi < -1$	0.7	Other	178
23	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Other	178
24	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	178
25	$-4 \leq \phi < -3$	0.6	Granite	178
26	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	180
27	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	180
28	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	180
29	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	180
30	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	180
31	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	180
32	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	180
33	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	180
34	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	180
35	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	180
36	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	180
37	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	180
38	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Granite	180
39	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Granite	180
40	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Granite	180
41	$-3 \leq \phi < -2$	0.3	Granite	180
42	$-3 \leq \phi < -2$	0.3	Granite	180
43	$-4 \leq \phi < -3$	0.5	Granite	180
44	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	182
45	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	182
46	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Rhyolite	182
47	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Rhyolite	182
48	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	182
49	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	182
50	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Shale	182

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
51	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Chart	182
52	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	182
53	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	182
54	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	182
55	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	182
56	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	182
57	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	182
58	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	182
59	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	182
60	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	182
61	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	182
62	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	182
63	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	182
64	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	182
65	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	182
66	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	182
67	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	182
68	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	182
69	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	182
70	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Other	182
71	$-3 \leq \phi < -2$	0.8	Rhyolite	182
72	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	182
73	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	182
74	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	182
75	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	182
76	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	182
77	$-4 \leq \phi < -3$	0.5	Granite	182
78	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	184
79	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	184
80	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	184
81	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	184
82	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Granite	184
83	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	184
84	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	184
85	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	184
86	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	184
87	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	184
88	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	184
89	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	184
90	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	184
91	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	184
92	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	184
93	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	184
94	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Other	184
95	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Shale	184
96	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Shale	184
97	$-3 \leq \phi < -2$	0.9	Granite	184
98	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	184
99	$-3 \leq \phi < -2$	0.3	Rhyolite	184
100	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	184

Table Appendix 5-5. Data of particles in core sample (C3/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
101	$-4 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	184	151	$-3 \leq \varphi < -2$	0.4	Granite	186
102	$-3 \leq \varphi < -2$	0.3	Granite	184	152	$-3 \leq \varphi < -2$	0.4	Granite	186
103	$-3 \leq \varphi < -2$	0.4	Granite	184	153	$-3 \leq \varphi < -2$	0.5	Granite	186
104	$-3 \leq \varphi < -2$	0.5	Granite	184	154	$-3 \leq \varphi < -2$	0.5	Granite	186
105	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	186	155	$-3 \leq \varphi < -2$	0.5	Granite	186
106	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	186	156	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	186
107	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	186	157	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	186
108	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	186	158	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	188
109	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	186	159	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	188
110	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	186	160	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	188
111	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	186	161	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	188
112	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	186	162	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	188
113	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	186	163	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	188
114	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	186	164	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	188
115	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	186	165	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	188
116	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	186	166	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	188
117	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	186	167	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	188
118	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	186	168	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	188
119	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	186	169	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	188
120	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	186	170	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	188
121	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	186	171	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	188
122	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	186	172	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	188
123	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	186	173	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	188
124	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	186	174	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	188
125	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	186	175	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	188
126	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	186	176	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	188
127	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	186	177	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	188
128	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	186	178	$-3 \leq \varphi < -2$	0.7	Granite	188
129	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	186	179	$-3 \leq \varphi < -2$	0.8	Granite	188
130	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	186	180	$-3 \leq \varphi < -2$	0.3	Granite	188
131	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	186	181	$-3 \leq \varphi < -2$	0.4	Granite	188
132	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	186	182	$-3 \leq \varphi < -2$	0.4	Granite	188
133	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	186	183	$-3 \leq \varphi < -2$	0.4	Granite	188
134	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	186	184	$-3 \leq \varphi < -2$	0.5	Granite	188
135	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	186	185	$-3 \leq \varphi < -2$	0.5	Granite	188
136	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	186	186	$-3 \leq \varphi < -2$	0.5	Granite	188
137	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	186	187	$-4 \leq \varphi < -3$	0.6	Rhyolite	188
138	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	186	188	$-4 \leq \varphi < -3$	0.6	Granite	188
139	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	186	189	$-5 \leq \varphi < -4$	0.6	Granite	188
140	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	186	190	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	190
141	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	186	191	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	190
142	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	186	192	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	190
143	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	186	193	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	190
144	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	186	194	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	190
145	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	186	195	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	190
146	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	186	196	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	190
147	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Clorite	186	197	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	190
148	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	186	198	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	190
149	$-3 \leq \varphi < -2$	0.4	Granite	186	199	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	190
150	$-3 \leq \varphi < -2$	0.4	Granite	186	200	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	190

Table Appendix 5-5. Data of particles in core sample (C3/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
201	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	190	251	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	192
202	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	190	252	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	192
203	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	190	253	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	192
204	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	190	254	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	192
205	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	190	255	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	192
206	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	190	256	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	192
207	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	190	257	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	192
208	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	190	258	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	192
209	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	190	259	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	192
210	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	190	260	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	192
211	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	190	261	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	192
212	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	190	262	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	192
213	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Chart	190	263	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	192
214	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Chart	190	264	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	192
215	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	190	265	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	192
216	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	190	266	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	192
217	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	190	267	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	192
218	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	190	268	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	192
219	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	190	269	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	192
220	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	190	270	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	192
221	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	190	271	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	192
222	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	190	272	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
223	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	190	273	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
224	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	190	274	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
225	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	190	275	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
226	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	190	276	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
227	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	190	277	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
228	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	190	278	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
229	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	190	279	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
230	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	190	280	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
231	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Granite	190	281	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
232	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	190	282	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
233	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	190	283	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
234	$-4 \leq \phi < -3$	0.1	Rhyolite	190	284	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
235	$-4 \leq \phi < -3$	0.3	Rhyolite	190	285	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
236	$-4 \leq \phi < -3$	0.6	Granite	190	286	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
237	$-4 \leq \phi < -3$	0.6	Granite	190	287	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
238	$-4 \leq \phi < -3$	0.6	Granite	190	288	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
239	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	192	289	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
240	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	192	290	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
241	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	192	291	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
242	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	192	292	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
243	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	192	293	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
244	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	192	294	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
245	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Other	192	295	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
246	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Other	192	296	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
247	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	192	297	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
248	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Sand	192	298	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
249	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Granite	192	299	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192
250	$-2 \leq \phi < -1$	0.6	Granite	192	300	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192

Table Appendix 5-5. Data of particles in core sample (C3/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
301	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	351	$-4 \leq \phi < -3$	0.2	Rhyolite	192
302	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	352	$-5 \leq \phi < -4$	0.7	nice (artific	192
303	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	353	$-5 \leq \phi < -4$	0.7	Granite	192
304	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	354	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	194
305	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	355	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	194
306	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	356	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	194
307	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	357	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	194
308	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	358	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	194
309	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	359	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	194
310	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	360	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	194
311	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	361	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	194
312	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	362	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	194
313	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	363	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	194
314	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	364	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	194
315	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	365	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	194
316	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	366	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	194
317	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	367	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
318	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	368	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
319	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	369	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
320	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	370	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
321	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	371	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
322	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	372	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
323	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	373	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
324	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	374	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
325	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	375	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
326	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	376	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
327	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	377	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
328	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	378	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
329	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	379	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
330	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	380	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
331	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	381	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
332	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	192	382	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
333	$-3 \leq \phi < -2$	0.8	Granite	192	383	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
334	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	192	384	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
335	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	192	385	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
336	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	192	386	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
337	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Granite	192	387	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
338	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Granite	192	388	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
339	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Granite	192	389	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
340	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Granite	192	390	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
341	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Granite	192	391	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
342	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Granite	192	392	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
343	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Granite	192	393	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
344	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Granite	192	394	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	194
345	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	192	395	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	194
346	$-3 \leq \phi < -2$	0.5	Rhyolite	192	396	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	194
347	$-4 \leq \phi < -3$	0.5	Granite	192	397	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	194
348	$-4 \leq \phi < -3$	0.6	Granite	192	398	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	194
349	$-4 \leq \phi < -3$	0.4	Granite	192	399	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	194
350	$-4 \leq \phi < -3$	0.6	Granite	192	400	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	194

Table Appendix 5-5. Data of particles in core sample (C3/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
401	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	194	451	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	196
402	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	194	452	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	196
403	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	194	453	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	196
404	$-2 \leq \phi < -1$	0.5	Granite	194	454	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	196
405	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	194	455	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	196
406	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	194	456	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	196
407	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	194	457	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	196
408	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	194	458	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	196
409	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	194	459	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	196
410	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	194	460	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	196
411	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	194	461	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	196
412	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	194	462	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	196
413	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	194	463	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	196
414	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	194	464	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	196
415	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	194	465	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	196
416	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	194	466	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	196
417	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	194	467	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
418	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Granite	194	468	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
419	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	194	469	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
420	$-3 \leq \phi < -2$	0.3	Rhyolite	194	470	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
421	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Rhyolite	194	471	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
422	$-4 \leq \phi < -3$	0.5	Granite	194	472	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
423	$-4 \leq \phi < -3$	0.5	Granite	194	473	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
424	$-4 \leq \phi < -3$	0.4	Granite	194	474	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
425	$-4 \leq \phi < -3$	0.5	Granite	194	475	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
426	$-4 \leq \phi < -3$	0.4	Granite	194	476	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
427	$-4 \leq \phi < -3$	0.4	Granite	194	477	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
428	$-5 \leq \phi < -4$	0.2	Rhyolite	194	478	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
429	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	196	479	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
430	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	196	480	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
431	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	196	481	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
432	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	196	482	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
433	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	196	483	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	196
434	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	196	484	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Granite	196
435	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	196	485	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	196
436	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	196	486	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	196
437	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	196	487	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	196
438	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	196	488	$-3 \leq \phi < -2$	0.3	Granite	196
439	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	196	489	$-3 \leq \phi < -2$	0.3	Granite	196
440	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	196	490	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Granite	196
441	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	196	491	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Granite	196
442	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	196	492	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	196
443	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	196	493	$-3 \leq \phi < -2$	0.1	Rhyolite	196
444	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	196	494	$-4 \leq \phi < -3$	0.2	Granite	196
445	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	196	495	$-4 \leq \phi < -3$	0.2	Granite	196
446	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	196	496	$-4 \leq \phi < -3$	0.6	Rhyolite	196
447	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	196	497	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	198
448	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	196	498	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	198
449	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	196	499	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	198
450	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	196	500	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	198

Table Appendix 5-5. Data of particles in core sample (C3/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
501	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	198	551	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Other	198
502	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	198	552	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Other	198
503	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	198	553	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	198
504	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	198	554	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Rhyolite	198
505	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	198	555	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	198
506	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	198	556	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	198
507	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	198	557	$-4 \leq \phi < -3$	0.2	Rhyolite	198
508	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	198	558	$-4 \leq \phi < -3$	0.2	Granite	198
509	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	198	559	$-4 \leq \phi < -3$	0.4	Granite	198
510	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	198	560	$-2 \leq \phi < -1$	0.9	Rhyolite	200
511	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	198	561	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Rhyolite	200
512	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	198	562	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	200
513	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	198	563	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Rhyolite	200
514	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	198	564	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Rhyolite	200
515	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	198	565	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Rhyolite	200
516	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	198	566	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	200
517	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	198	567	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	200
518	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	198	568	$-2 \leq \phi < -1$	0.1	Granite	200
519	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	198	569	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	200
520	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	198	570	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	200
521	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	198	571	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	200
522	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	198	572	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	200
523	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	198	573	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	200
524	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	198	574	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	200
525	$-2 \leq \phi < -1$	0.2	Granite	198	575	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	200
526	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	198	576	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	200
527	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	198	577	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	200
528	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	198	578	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	200
529	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	198	579	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	200
530	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	198	580	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	200
531	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	198	581	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	200
532	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	198	582	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	200
533	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	198	583	$-2 \leq \phi < -1$	0.3	Granite	200
534	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	198	584	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	200
535	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	198	585	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	200
536	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	198	586	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	200
537	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	198	587	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	200
538	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	198	588	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	200
539	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	198	589	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	200
540	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	198	590	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	200
541	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	198	591	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	200
542	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	198	592	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Granite	200
543	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	198	593	$-3 \leq \phi < -2$	0.2	Granite	200
544	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	198	594	$-3 \leq \phi < -2$	0.3	Granite	200
545	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	198	595	$-3 \leq \phi < -2$	0.3	Granite	200
546	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	198	596	$-3 \leq \phi < -2$	0.4	Granite	200
547	$-2 \leq \phi < -1$	0.4	Granite	198	597	$-3 \leq \phi < -2$	0.6	Granite	200
548	$-2 \leq \phi < -1$	0.7	Granite	198	598	$-4 \leq \phi < -3$	0.6	Granite	200
549	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Granite	198	599	$-5 \leq \phi < -4$	0.6	Granite	200
550	$-2 \leq \phi < -1$	0.8	Other	198	600	$-5 \leq \phi < -4$	0.6	Granite	200

Table Appendix 5-5. Data of particles in core
sample (C3/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
601	$-5 \leq \varphi < -4$	0.5	Granite	200

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
-----	----------	-----------	-----------	---------------

Table Appendix 5-6. Data of particles in core sample
(C4/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
1	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	42	51	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	44
2	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	42	52	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	44
3	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	42	53	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	44
4	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	42	54	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	44
5	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	42	55	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	44
6	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	42	56	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	44
7	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	42	57	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	44
8	$-2 \leq \varphi < -1$	0.7	Rhyolite	42	58	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	44
9	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	42	59	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Other	44
10	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	42	60	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	44
11	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	42	61	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Rhyolite	44
12	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	42	62	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	44
13	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	42	63	$-4 \leq \varphi < -3$	0.6	Granite	44
14	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	42	64	$-5 \leq \varphi < -4$	0.6	Granite	44
15	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	42	65	$-5 \leq \varphi < -4$	0.6	Granite	44
16	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	42	66	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	46
17	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	42	67	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	46
18	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	42	68	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	46
19	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	42	69	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	46
20	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	42	70	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	46
21	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	42	71	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	46
22	$-2 \leq \varphi < -3$	0.8	Rhyolite	42	72	$-2 \leq \varphi < -1$	0.7	Rhyolite	46
23	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	42	73	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	46
24	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	42	74	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	46
25	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	42	75	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	46
26	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	42	76	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	46
27	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	42	77	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	46
28	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	42	78	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	46
29	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	42	79	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	46
30	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	42	80	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	46
31	$-4 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	42	81	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Granite	46
32	$-5 \leq \varphi < -4$	0.5	Granite	42	82	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	46
33	$-5 \leq \varphi < -4$	0.5	Granite	42	83	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	46
34	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	44	84	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	46
35	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	44	85	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	46
36	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	44	86	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	46
37	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	44	87	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	46
38	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	44	88	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	46
39	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	44	89	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	46
40	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	44	90	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	46
41	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	44	91	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	46
42	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	44	92	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	46
43	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	44	93	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	46
44	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	44	94	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	46
45	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	44	95	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	46
46	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	44	96	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	46
47	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	44	97	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	46
48	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	44	98	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	46
49	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	44	99	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	46
50	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	44	100	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	46

Table Appendix 5-6. Data of particles in core sample
(C4/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
101	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	46	151	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	50
102	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	46	152	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	50
103	$-4 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	46	153	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	50
104	$-5 \leq \varphi < -4$	0.6	Granite	46	154	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	50
105	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	48	155	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	50
106	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	48	156	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	50
107	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	48	157	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	50
108	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	48	158	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	50
109	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	48	159	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	50
110	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	48	160	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	50
111	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	48	161	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	50
112	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Rhyolite	48	162	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	50
113	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	48	163	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	50
114	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	48	164	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	50
115	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	48	165	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	50
116	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	48	166	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Shale	50
117	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	48	167	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Shale	50
118	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	48	168	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Shale	50
119	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	48	169	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Shale	50
120	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	48	170	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Shale	50
121	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	48	171	$-2 \leq \varphi < -3$	0.6	Granite	50
122	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	48	172	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	50
123	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	48	173	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	50
124	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	48	174	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	50
125	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Other	48	175	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	50
126	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	48	176	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	50
127	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	48	177	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	50
128	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	48	178	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	50
129	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	48	179	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	50
130	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	48	180	$-2 \leq \varphi < -3$	0.6	Granite	50
131	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	48	181	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	50
132	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	48	182	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	50
133	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	48	183	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	50
134	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	48	184	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	50
135	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	48	185	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	50
136	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	48	186	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	50
137	$-4 \leq \varphi < -3$	0.6	Rhyolite	48	187	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	50
138	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	48	188	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	52
139	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	48	189	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	52
140	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	48	190	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Rhyolite	52
141	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	48	191	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Chart	52
142	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	48	192	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	52
143	$-6 \leq \varphi < -5$	0.6	Granite	48	193	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	52
144	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	50	194	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	52
145	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	50	195	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	52
146	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	50	196	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	52
147	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	50	197	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	52
148	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Granite	50	198	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	52
149	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	50	199	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	52
150	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	50	200	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	52

Table Appendix 5-6. Data of particles in core sample
(C4/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
201	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	52	251	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	54
202	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	52	252	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	54
203	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	52	253	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	54
204	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	52	254	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	54
205	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	52	255	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	54
206	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	52	256	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	54
207	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	52	257	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	54
208	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	52	258	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	54
209	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	52	259	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	54
210	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	52	260	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	54
211	$-2 \leq \varphi < -1$	0.7	Granite	52	261	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	54
212	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	52	262	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	54
213	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	52	263	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	54
214	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	52	264	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	54
215	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	52	265	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	54
216	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	52	266	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	54
217	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	52	267	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	54
218	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	52	268	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	54
219	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	52	269	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	54
220	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	52	270	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	54
221	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	52	271	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	54
222	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	52	272	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	54
223	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	52	273	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	54
224	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	52	274	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	54
225	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	52	275	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	54
226	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	52	276	$-2 \leq \varphi < -3$	0.6	Granite	54
227	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	52	277	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Rhyolite	54
228	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	52	278	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Rhyolite	54
229	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	52	279	$-4 \leq \varphi < -3$	0.4	Rhyolite	54
230	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	52	280	$-4 \leq \varphi < -3$	0.6	Rhyolite	54
231	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	52	281	$-4 \leq \varphi < -3$	0.6	Granite	54
232	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	52	282	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	54
233	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	52	283	$-4 \leq \varphi < -3$	0.6	Granite	54
234	$-4 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	52	284	$-5 \leq \varphi < -4$	0.6	Granite	54
235	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	52	285	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	56
236	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	52	286	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	56
237	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	52	287	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	56
238	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	52	288	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	56
239	$-4 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	52	289	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	56
240	$-5 \leq \varphi < -4$	0.3	Granite	52	290	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	56
241	$-5 \leq \varphi < -4$	0.5	Granite	52	291	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	56
242	$-5 \leq \varphi < -4$	0.4	Granite	52	292	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	56
243	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	54	293	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	56
244	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	54	294	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	56
245	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	54	295	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	56
246	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	54	296	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	56
247	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	54	297	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	56
248	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	54	298	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	56
249	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	54	299	$-2 \leq \varphi < -1$	0.7	Rhyolite	56
250	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	54	300	$-2 \leq \varphi < -1$	0.7	Rhyolite	56

Table Appendix 5-6. Data of particles in core sample
(C4/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
301	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	56	351	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	58
302	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	56	352	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	58
303	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Rhyolite	56	353	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	58
304	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Rhyolite	56	354	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Shale	58
305	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	56	355	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Shale	58
306	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	56	356	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	58
307	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	56	357	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	58
308	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	56	358	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	58
309	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	56	359	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	58
310	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	56	360	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	58
311	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	56	361	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	58
312	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	56	362	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	58
313	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	56	363	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	58
314	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Granite	56	364	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	58
315	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Granite	56	365	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	58
316	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	56	366	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	58
317	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Other	56	367	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	58
318	$-2 \leq \varphi < -3$	0.8	Other	56	368	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	58
319	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Other	56	369	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	58
320	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Other	56	370	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	58
321	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Other	56	371	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	58
322	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Other	56	372	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	58
323	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Other	56	373	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	58
324	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Other	56	374	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	58
325	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	56	375	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	58
326	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	56	376	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	58
327	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	56	377	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	58
328	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	56	378	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	58
329	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	56	379	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	58
330	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	56	380	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	58
331	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	56	381	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	58
332	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	56	382	$-2 \leq \varphi < -3$	0.8	Rhyolite	58
333	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	56	383	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	58
334	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	56	384	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	58
335	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	56	385	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	58
336	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	56	386	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	58
337	$-4 \leq \varphi < -3$	0.6	Rhyolite	56	387	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	58
338	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	56	388	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	58
339	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	56	389	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	58
340	$-4 \leq \varphi < -3$	0.6	Granite	56	390	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	58
341	$-4 \leq \varphi < -3$	0.6	Granite	56	391	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	58
342	$-5 \leq \varphi < -4$	0.6	Granite	56	392	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	58
343	$-5 \leq \varphi < -4$	0.6	Other	56	393	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	58
344	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	58	394	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	58
345	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	58	395	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	58
346	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	58	396	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	58
347	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	58	397	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	58
348	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	58	398	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	58
349	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	58	399	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	58
350	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	58	400	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	58

Table Appendix 5-6. Data of particles in core sample
(C4/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
401	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	58	451	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	60
402	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	58	452	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	60
403	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	58	453	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	60
404	$-4 \leq \varphi < -3$	0.8	Rhyolite	58	454	$-6 \leq \varphi < -5$	0.6	Granite	60
405	$-5 \leq \varphi < -4$	0.1	Rhyolite	58	455	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	62
406	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	60	456	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	62
407	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	60	457	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	62
408	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	60	458	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	62
409	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	60	459	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	62
410	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	60	460	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	62
411	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	60	461	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	62
412	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	60	462	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	62
413	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	60	463	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	62
414	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	60	464	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	62
415	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	60	465	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	62
416	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Rhyolite	60	466	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	62
417	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	60	467	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	62
418	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	60	468	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	62
419	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	60	469	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	62
420	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	60	470	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	62
421	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	60	471	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	62
422	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	60	472	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	62
423	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	60	473	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	62
424	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	60	474	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	62
425	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	60	475	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Granite	62
426	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	60	476	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	62
427	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	60	477	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	62
428	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	60	478	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Granite	62
429	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	60	479	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	62
430	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	60	480	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	62
431	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Granite	60	481	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	62
432	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	60	482	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	62
433	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	60	483	$-2 \leq \varphi < -3$	0.8	Rhyolite	62
434	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	60	484	$-2 \leq \varphi < -3$	0.8	Rhyolite	62
435	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	60	485	$-2 \leq \varphi < -3$	0.8	Rhyolite	62
436	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	60	486	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	62
437	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	60	487	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	62
438	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	60	488	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	62
439	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	60	489	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	62
440	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	60	490	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	62
441	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	60	491	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	62
442	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	60	492	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	62
443	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	60	493	$-4 \leq \varphi < -3$	0.3	Rhyolite	62
444	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	60	494	$-4 \leq \varphi < -3$	0.3	Rhyolite	62
445	$-2 \leq \varphi < -3$	0.6	Granite	60	495	$-4 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	62
446	$-2 \leq \varphi < -3$	0.6	Granite	60	496	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	62
447	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	60	497	$-4 \leq \varphi < -3$	0.6	Granite	62
448	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	60	498	$-4 \leq \varphi < -3$	0.6	Granite	62
449	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	60	499	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	62
450	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	60	500	$-4 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	62

Table Appendix 5-6. Data of particles in core sample
(C4/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
501	$-4 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	62	551	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	64
502	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	64	552	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	64
503	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	64	553	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	64
504	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	64	554	$-4 \leq \varphi < -3$	0.6	Granite	64
505	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	64	555	$-5 \leq \varphi < -4$	0.6	Granite	64
506	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	64	556	$-5 \leq \varphi < -4$	0.6	Granite	64
507	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	64	557	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	66
508	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	64	558	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	66
509	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	64	559	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	66
510	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	64	560	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	66
511	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	64	561	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	66
512	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	64	562	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	66
513	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	64	563	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	66
514	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	64	564	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	66
515	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	64	565	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	66
516	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	64	566	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	66
517	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	64	567	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	66
518	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	64	568	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	66
519	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	64	569	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	66
520	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	64	570	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	66
521	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	64	571	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	66
522	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	64	572	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	66
523	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	64	573	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	66
524	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	64	574	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	66
525	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	64	575	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	66
526	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	64	576	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	66
527	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	64	577	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	66
528	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Granite	64	578	$-2 \leq \varphi < -1$	0.6	Granite	66
529	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	64	579	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	66
530	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	64	580	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	66
531	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	64	581	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	66
532	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	64	582	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	66
533	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	64	583	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	66
534	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	64	584	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	66
535	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	64	585	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	66
536	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Rhyolite	64	586	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	66
537	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	64	587	$-4 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	66
538	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	64	588	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	68
539	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	64	589	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	68
540	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	64	590	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	68
541	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	64	591	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	68
542	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	64	592	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	68
543	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	64	593	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	68
544	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	64	594	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	68
545	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	64	595	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	68
546	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	64	596	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	68
547	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	64	597	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	68
548	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	64	598	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	68
549	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	64	599	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	68
550	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	64	600	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Rhyolite	68

Table Appendix 5-6. Data of particles in core sample
(C4/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)	No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
601	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	68	651	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	70
602	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	68	652	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	70
603	$-2 \leq \varphi < -1$	0.7	Granite	68	653	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Rhyolite	70
604	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	68	654	$-2 \leq \varphi < -3$	0.8	Rhyolite	70
605	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	68	655	$-2 \leq \varphi < -3$	0.8	Rhyolite	70
606	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	68	656	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	70
607	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	68	657	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	70
608	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	68	658	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	70
609	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	68	659	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	70
610	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	68	660	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Other	70
611	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	68	661	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	70
612	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	68	662	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	70
613	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	68	663	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	70
614	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	68	664	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	70
615	$-2 \leq \varphi < -3$	0.8	Rhyolite	68	665	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	70
616	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	68	666	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	70
617	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	68	667	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	70
618	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	68	668	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	70
619	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	68	669	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	70
620	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Rhyolite	68	670	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	70
621	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	68	671	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	70
622	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	68	672	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Rhyolite	70
623	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	68	673	$-4 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	70
624	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	68	674	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	70
625	$-2 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	68	675	$-5 \leq \varphi < -4$	0.5	Granite	70
626	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	68	676	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	72
627	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	68	677	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	72
628	$-2 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	68	678	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	72
629	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Other	68	679	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	72
630	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	68	680	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	72
631	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	68	681	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	72
632	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	68	682	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	72
633	$-4 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	68	683	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	72
634	$-6 \leq \varphi < -5$	0.6	Granite	68	684	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	72
635	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	70	685	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	72
636	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	70	686	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	72
637	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	70	687	$-2 \leq \varphi < -1$	0.8	Rhyolite	72
638	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	70	688	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	72
639	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	70	689	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Shale	72
640	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Rhyolite	70	690	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	72
641	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	70	691	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Chart	72
642	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Rhyolite	70	692	$-2 \leq \varphi < -1$	0.9	Other	72
643	$-2 \leq \varphi < -1$	0.7	Rhyolite	70	693	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	72
644	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	70	694	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	72
645	$-2 \leq \varphi < -1$	0.1	Granite	70	695	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	72
646	$-2 \leq \varphi < -1$	0.2	Granite	70	696	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	72
647	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	70	697	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	72
648	$-2 \leq \varphi < -1$	0.3	Granite	70	698	$-2 \leq \varphi < -1$	0.5	Granite	72
649	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	70	699	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	72
650	$-2 \leq \varphi < -1$	0.4	Granite	70	700	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	72

Table Appendix 5-6. Data of particles in core sample
(C4/ S12-event)

No.	Diameter	Roundness	Rock type	Depth (cm)
701	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Rhyolite	72
702	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Sand stone	72
703	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Chart	72
704	$-2 \leq \varphi < -3$	0.9	Other	72
705	$-2 \leq \varphi < -3$	0.8	Other	72
706	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	72
707	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	72
708	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	72
709	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	72
710	$-2 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	72
711	$-2 \leq \varphi < -3$	0.2	Granite	72
712	$-2 \leq \varphi < -3$	0.5	Granite	72
713	$-4 \leq \varphi < -3$	0.1	Granite	72
714	$-4 \leq \varphi < -3$	0.3	Granite	72
715	$-4 \leq \varphi < -3$	0.4	Granite	72