

# Turbidite in piston core samples

(ver. 2.0.2; last modified 25<sup>th</sup> May, 2006) \*

[Yuta Fujimoto](#) (go to self introduction)

[Yokose Research Group](#)

[Science, Graduate School of Science and Technology,](#)

Kumamoto University.

Mail address: [fuji\\_yu1984@yahoo.co.jp](mailto:fuji_yu1984@yahoo.co.jp)

\*: This is a review which is assigned for my master course program. I have to finish this review until next February. So this is a temporally version, you will find some new parts whenever you visit this page. If possible, I want to write this review in English. My English is immature now, but I will master it near future as well as turbidity process.

We (I and my supervisor) are very happy to receive any comments, criticism and advice from you. Please e-mail us feel freely!

## 1. Introduction

### A. What is a turbidite ?

Turbidite という考え方がどのようにして生まれ、発展していったかという歴史について述べます。1929年にアメリカ東海岸で起こったグランドバンク地震によって、底ケーブルが切断されました。当初、地震そのものの影響によって、海底ケーブルが切断されたものと考えられていました。しかし、後に地震に起因したスランプが発生し、turbidity current (混濁流)が海底斜面を流下し、その際、海底ケーブルが切断されたと考えられるようになって来ました。そして、斜面下の堆積物中に級化した砂層が見出されました (Heezen and Ewing, 1952)。こうして、深海底に広く分布する粗粒な堆積物は、重力流の一種である turbidity current によってもたらされるという概念が生まれました。そして、その堆積物を turbidite (タービダイト)としました。また、陸上では、flysch (フリッシュ)と呼ばれる砂岩泥岩互層からなる地層が turbidite であると考えられ多くの研究がなされてきました。その後、海洋の調査・研究が進むと、深海底で多くの扇状地 (submarine fan)が認識されるようになってきました。これら submarine fan は、地形的な意味とは別に粗粒堆積物が堆積する場として注目を浴びるようになりました。また submarine fan からは、陸上の flysch やその上下の層と同じ特徴を持つ堆積物が見つかりました。1970年代になると、海洋の地質学者から submarine fan の成長モデルが提唱されるようになりました。一方で、陸上の地質学者からは、flysch とそれに関連する堆積物を基準となる岩相に区分することで、様々な flysch 層や submarine fan の堆積物を表現しようとするモデルが提唱されました。

次に、碎屑物を移動・運搬させる流れについて述べます。碎屑物を移動・運搬する機構として、**fluid gravity flow** と **mass movement** があります。**fluid gravity flow** は、流体が移動するときに碎屑粒子との間に生じる流体の抗力 (**fluid drag**)によって碎屑粒子を移動・運搬する機構です。砂州 (**bar**) や砂丘 (**dune**)は、この機構によって形成されたものです。**mass movement** は、碎屑物に直接かかる重力の作用によって斜面を移動するものです。**mass movement** には、**rock fall** (落下), **sliding** (滑動), **slumping** (スランプ), **sediment gravity flow** (堆積物重力流)の4種類があります (Fig.1)。これら4つのうち、特に **sediment gravity flow** について詳しく述べます。**sediment gravity flow** は、堆積物が重力作用によって斜面を流下する現象です。**sediment gravity flow** には、碎屑粒子を支持する基本的メカニズムが4種類あります。それは、**turbulence** (乱れ), **upward intergranular flow** (間隙水の上昇), **grain interaction** (粒子間の相互作用), **matrix strength** (マトリックス強度)です。**sediment gravity flow** では、これらのうちの何が主要な支持機構になるかによって、それぞれ **turbidity current** (混濁流), **fluidized sediment flow** (液状化流), **grain flow** (粒子流), **debris flow** (デブリフロー)の4種類に区分できます (Fig.2)。**turbidity current** の発生の原因は、主に2つ考えられています。1つ目は、海底斜面が崩壊して **turbidity current** が発生する場合があります。これにより発生した **turbidity current** は、一過性で単調減衰するという特徴を持っています。Bouma (1962)が提唱した **Bouma sequence** や Lowe (1982)が提唱した **Lowe sequence** は、この **turbidity current** によって堆積した **turbidite** についての岩相モデルです。2つ目は、洪水時に河口から砂礫の混じった淡水が海底に流れ込むことで、**turbidity current** が発生する場合があります。これにより発生した **turbidity current** は、河川の流量に応じて比較的長い時間の中で安定したり変動したりします。この混濁流は、ハイパーピクナル流と呼ばれています (Kneller, 1995; Mulder et al., 2001)。

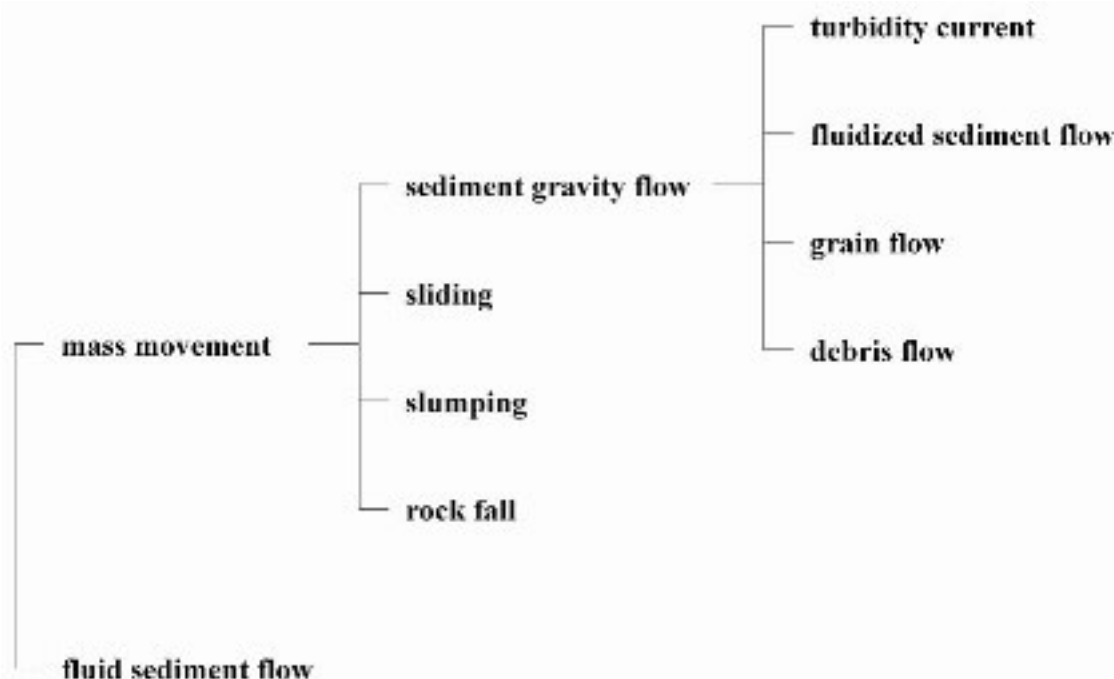


Fig.1. 碎屑物運搬様式の分類

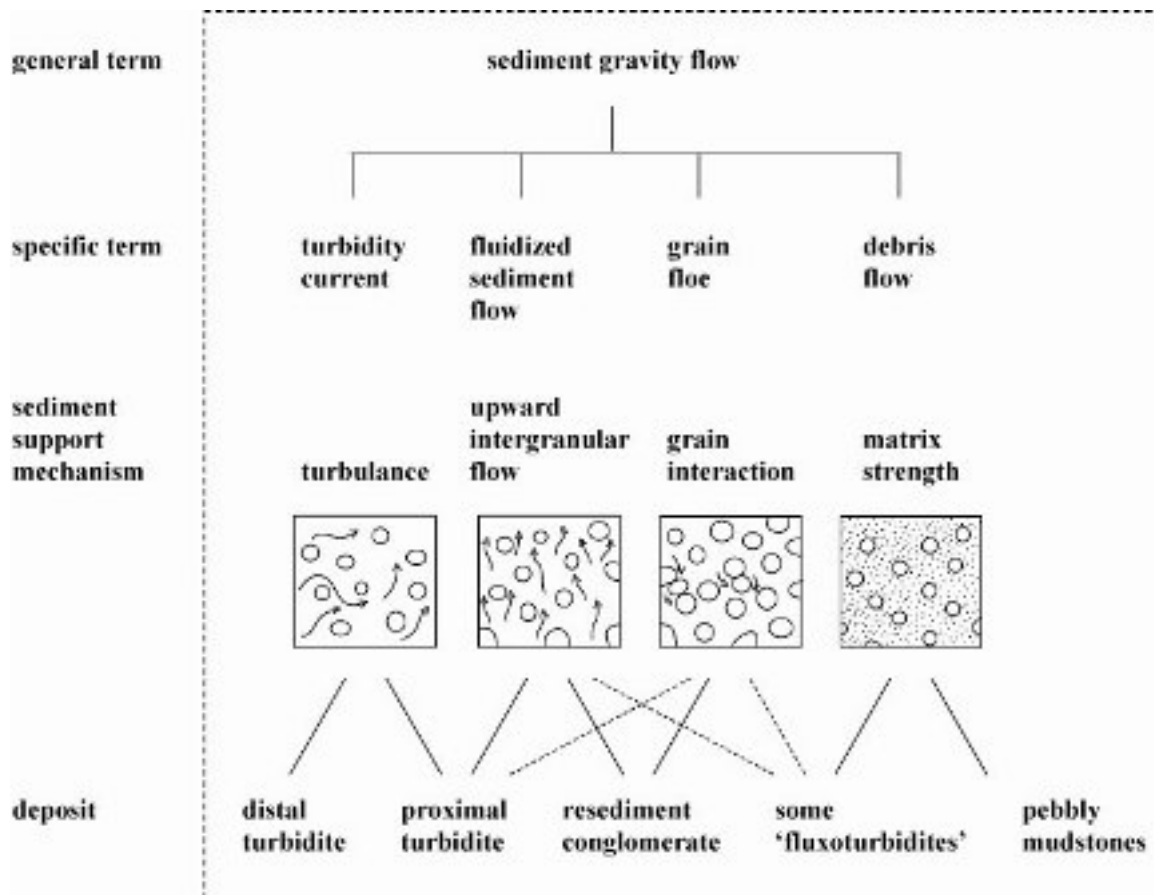


Fig.2. sediment gravity flow の分類 (Middleton and Hampton, 1976)

ハワイ諸島で発生した巨大海底地すべりは、数百 km も広がる混濁流を発生させてきたと考えられています (Rees et al., 1993 ; Garcia and Hull, 1994). 長い距離を移動してきた混濁流から堆積したタービダイトは、ハワイ諸島周辺地域で起こった巨大海底地すべりに関する記録を与えることができると考えられています (Kanamatsu et al., 2002). タービダイトは柱状試料中で砂質層として保存されています. 巨大海底地すべりの発生時期はタービダイトを含む柱状試料の層序によって推論されることが出来ます.

## B. Key words

apron (エプロン), Bouma sequence (ブーマシーケンス), channel (チャンネル), debris flow (デブリフロー), distal turbidite, earthquake (地震), fan-valley system, fluidized sediment flow (液状化流), flysch (フリッシュ), graded bedding (級化層理), grain flow (粒子流), hypocinical flow, homo picinal flow, hyperpicinal flow (ハイポピクナル流, ホモピクナル流, ハイパーピクナル流), laminar flow (層流), levee (自然堤防), lobe, Lowe sequence, mass movement (マスマーブメント), pelagic sediment (遠洋性堆積物), proximal turbidite, sedimentary gravity flow (堆積物重力流), submarine canyon (海底谷), submarine fan (海底扇状地), submarine landslide (海底地すべり), turbidite (タービダイト), turbidity current (混濁流, 乱泥流), turbulent flow (乱流)

## Glossary of sedimentological study for turbidites

### apron (エプロン) \*

apron とは、連続的で大きな広がりを持った布状の形態を持つ堆積物、またはそれがつくる地形のことです。扇状地形・氷河成・風成・海成を問わず用いられます。山体・海山などの麓や氷河の前面などにできる。由来のわかる未固結の堆積物に対して用います。また、その堆積物がつくる斜面をエプロン斜面と言うことがあります。

### Bouma sequence (ブーマシーケンス) \*

Bouma sequence とは Bouma (1962)によって提唱されたタービダイト単層中に認められる内部堆積構造の規則的な積み重なりです。構造要素が全てそろっている単層(完全シーケンス)では、下位から級化部(graded interval), 下部平行葉理部(lower interval of parallel lamination), カレントリップル葉理部(interval of current ripple), 上部平行葉理部(upper interval of parallel lamination), 泥岩部(pelitic interval)の順序で累重します。多くのタービダイトは、これらの5つの部分のうち一部が欠如した不完全シーケンスを示します。また、最上部の泥岩部では、混濁流起源の泥岩とそれに重なる半遠洋性の泥岩とがしばしば区別されます。

### flysch (フリッシュ) \*

flysch は砂岩と泥岩(頁岩)の互層の岩相名として広く用いられています。混濁流による堆積物で、次のような特徴を持ちます。①級化成層, ②ブーマシーケンスと呼ばれる内部堆積構造の積み重なり, ③砂岩と泥岩のリズミカルな互層, ④泥岩の上面あるいは砂岩の下底に流痕や生痕のキャストあるいはモールド, ⑤層相変化が乏しい厚い層。また、大型化石に乏しいですが、有孔虫などの微化石を泥岩から産します。砂岩と泥岩の量比から砂質フリッシュ (砂岩>泥岩), 等量フリッシュ (砂岩=泥岩), 泥質フリッシュ (砂岩<泥岩)に分けられます。

### graded bedding (級化層理) \*

graded bedding は、単層において基底から上方に向かって粒度が次第に低下する成層状態です。級化成層とも言います。上位に粒度が減少することを単に級化 (grading)と言います。級化層理を示す単層が級化層 (graded bed)です。級化層理は混濁流や掃流の流速が現象する過程で形成されます。単層を構成する粒子の中で細粒の部分だけが減少している場合が多く、それを coarse-tail grading と言います。全ての粒子がほぼ均等に級化するものを distribution grading と言います。

### hypopycnal flow, homopycnal flow, hyperpycnal flow \*\*

河川水が海や湖に流入する形態とそれによって生じる密度流は3種類に分類されます。

- ①海や湖の水より密度が小さく表層を漂う hypopycnal flow
- ②密度が等しく海水、湖水と急速に混交する homopycnal flow
- ③密度が大きく混濁流として水底を流れ下る hyperpycnal flow

hyperpycnal flow は継続時間が長い、粒子を支持する流体が淡水である、浅海で発生するという特徴を持ちます。

#### **laminar flow (層流) \***

laminar flow とは、流体の実流動のうち、渦が発生することなく流線が安定して整然とした流れのことです。不安定で混然とした流れは乱流と呼ばれます。流体にかかる粘性抵抗が慣性抵抗に比べて卓越する場合に、流れは層流になります。

#### **levee (自然堤防) \***

levee とは、氾濫原中を普段の水位で流れている水路（常水路）の両側に洪水時の堆積作用によってできる微高地のことです。洪水時に常水路からあふれた水が氾濫原上に広がると、急に水深が浅くなるために流速が減少して、常水路の両側に運搬土砂を堆積します。このため、常水路沿いに高く、外側に向かって緩傾斜を持つ堤防状の高まりを両側に生じます。一回の洪水によってできる地層の下半部は、氾濫が始まって増水・加速するため逆急化構造を、最上部は洪水末期の減水・減速を反映した正級化構造を持つ。

#### **mass movement (マスマーブメント) \***

mass movement は、斜面構成物の削剥・移動作用の一つで、山地解体作用の主要な形態です。mass wasting とも言われます。mass movement の運動形式には、匍行 (creep)、流動 (flow)、滑動 (slide)、落下 (fall) の 4 つがあります。匍行には岩石・岩屑・土壌匍行、流動には、乾燥した粉流体の岩石・岩屑なだれと水を含んだ土石流・泥流、滑動は地すべり、落下は落石が典型です。これらの運動は相互に漸位的で、また 1 つのマスマーブメントでいくつかの運動が複合することも多いです。

#### **pelagic sediment (遠洋性堆積物) \***

pelagic sediment は、陸地から遠く離れた深海底の堆積物の総称です。深海堆積物とも言われます。主要な構成要素は、種々の起源の粘土鉱物、生物起源の炭酸カルシウム (有孔虫殻、コッコリスなど)、生物起源のシリカ (放散虫殻、珪藻殻など)、細粒の火山砕屑物、続成起源の沸石などです。多少の風成塵・宇宙塵なども含まれます。生物起源物質や火山砕屑物の含有量がわずかなものは、堆積速度が極めて小さくなります (1000 年に 1mm 程度)。しばしば褐色～赤褐色を呈しており、赤色粘土 (red clay) とも呼ばれます。

#### **submarine canyon (海底谷) \***

submarine canyon は、海底にある陸上の谷地形に似た細長い凹地です。陸棚を浅く刻むものと、陸棚から陸棚斜面を深く刻んで深海底に向かうものに大別されます。特に谷壁が急で幅が狭く深いものを海底峡谷と呼びます。深さ数百 m～1000m の U 字谷で、多少蛇行しながら樹枝状の支谷を集め、水深 2000～3000m で終わるものが多いですが、数千 m の深海底にまで達し、末端に海底扇状地を持つ例も少なくありません。成因としては、陸上河川の沈水、混濁流による下

刻,あるいは両者の組み合わせが考えられます。

#### **submarine fan (海底扇状地) \***

submarine fan は, 海底に見られる扇状の堆積地形です。大陸棚上のものでと深海底のもので 2 種類あります。前者は河口沖や陸棚谷末端にあり, 成因的には氷期の海面低下の時期に陸上の三角州として形成されたと考えられます。後者は水深 1000~4000m の陸棚斜面の基部にあって深海扇状地とも呼ばれ, 通常海底谷の末端にあります。

#### **sedimentary gravity flow (堆積物重力流) \***

sedimentary gravity flow は, 堆積物がそれ自身に作用する重力によって斜面を流れ下る現象です。堆積物を支持する主要な 4 つの機構の乱流, 間隙水の上昇(upward intergranular flow), 粒子間の相互作用(grain interaction), マトリックス強度(matrix strength)によって, 混濁流, 液化堆積物流, 粒子流, 土石流に区分されます。

#### **turbidity current (混濁流) \***

turbidity current は, 堆積物重力流の一種で, 碎屑粒子を主に乱流の上方支持力で浮遊させながら流動する流れである。乱泥流・懸濁流ともいう。

#### **turbidite (タービダイト) \***

turbidite は, turbidity current によって運搬・堆積した堆積物です。一般的には, 侵食的な過程面を持つこと, 級化成層が顕著なこと, しばしばソールマークが発達するという特徴を持ちます。

【注】 Glossary 中の語句の説明は以下の文献から引用しました。

\*地学団体研究会 (編) 1996. 新版地学事典. 平凡社, 東京.

\*\*齋藤有・田村亨・増田富士雄, 2005. タービダイト・パラダイムの革新的要素としてのハイパーピクナル流とその堆積物の特徴. 地学雑誌. 114, 687-704.

## **2. A case study for turbidity flow deposit formed by huge submarine slides**

### [Geochemical characteristics of turbidites in piston core samples from Western Hawaiian ridge.](#)

Fujimoto et al., (2005) AGU fall meeting in San Francisco

#### 2-1. Introduction

To understand the landslide sequence on the submarine flank of the west Hawaii Islands, three piston core samples, PC13, PC14 and PC15, were obtained during the 2001 Cruise of Japan Marine



Science and Technology Center (JAMSTEC). PC14 is 150 km Oahu-ward of the ODP site 842. Volcanic sandy layers of the 842 core to turbidity currents generated during Hawaiian landslides (Garcia, 1993,1996; Garcia and Hull, 1994). Analyzed samples are restricted to normally magnetized upper part of PC14 and PC15. Analyzed sedimentary samples were collected from each piston core samples with 10 cm interval and thin volcanic sandy layers are also added in these cores. Each samples were analyzed on the grain size, mineral assemblage and bulk rock chemical composition. Glass compositions of major volcanic sandy layers were also analyzed. The chemical variation of glass data from the turbidites are overlapped with previously reported Mauna Loa composition. Therefore, the turbidites of the PC14 and PC15 samples could be derived from Mauna Loa volcano in ancient shield stage.

## 2-2. Sampling site

The sampling sites, PC13 , PC14 and PC15, are 130 km W of Hawaii (18°36.39'N, 156° 47.00'W -4797 m), 150 km SSW of Oahu (20° 00.02'N, 158° 27.99' W, -4344 m) and 180 km SW of Oahu (20° 25.42'N, 159° 26.66' W, -4543 m), respectively. PC14 is 150 km Oahu-ward of ODP site 842, which was drilled in 1992. Total core recoveries were 963 cm in PC14 and 943 cm in PC15. The first magnetic polarity change is observed at 760.1 cm below sea floor (bsf) in PC14 and at 625.3 cm bsf in PC15. Because Hawaii Island have been considered to construct last million years, normally magnetized upper samples of the cores are appropriate to our investigation. Remarkable volcanic sandy layers are observed restrictedly between 60 and 369 cm bsf in the PC14 core sample and between 77 and 276 cm bsf in the PC15 core sample.

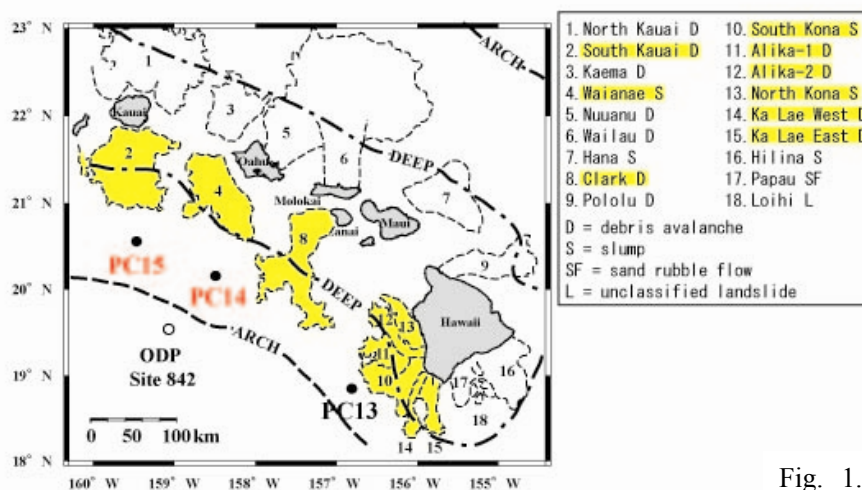
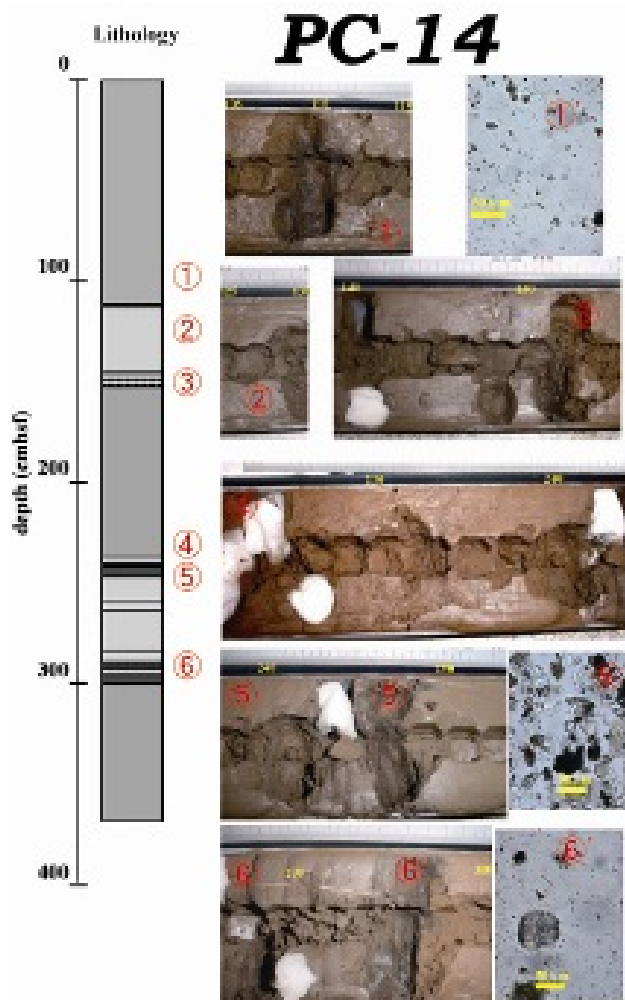


Fig. 1. Map of Hawaiian Islands showing major landslides (Moore et al, 1989). Open circle shows ODP site 842. Solid circles show

## 2-3. Turbidity layer

PC14 and PC15 consist of yellowish brown clay (pelagic clay). PC13, PC14 and PC15. Yellow landslides sandy layers. Sandy layers are observed at 11 horizons in PC14. show that are going to reach sampling sites. beginning at the top. Sandy layers are observed at 6 horizons in PC15. These are named 15A through 15F beginning at the top.

A foraminifera is found only at 298 cm bsf of PC14 that is the base of the lower turbidite of PC14. Although, here is deeper than the carbonate compensation depth (CCD), a calcareous fossil is found. Because turbidite deposited rapidly involving foraminifera of shallow water, foraminifer remained without melting.





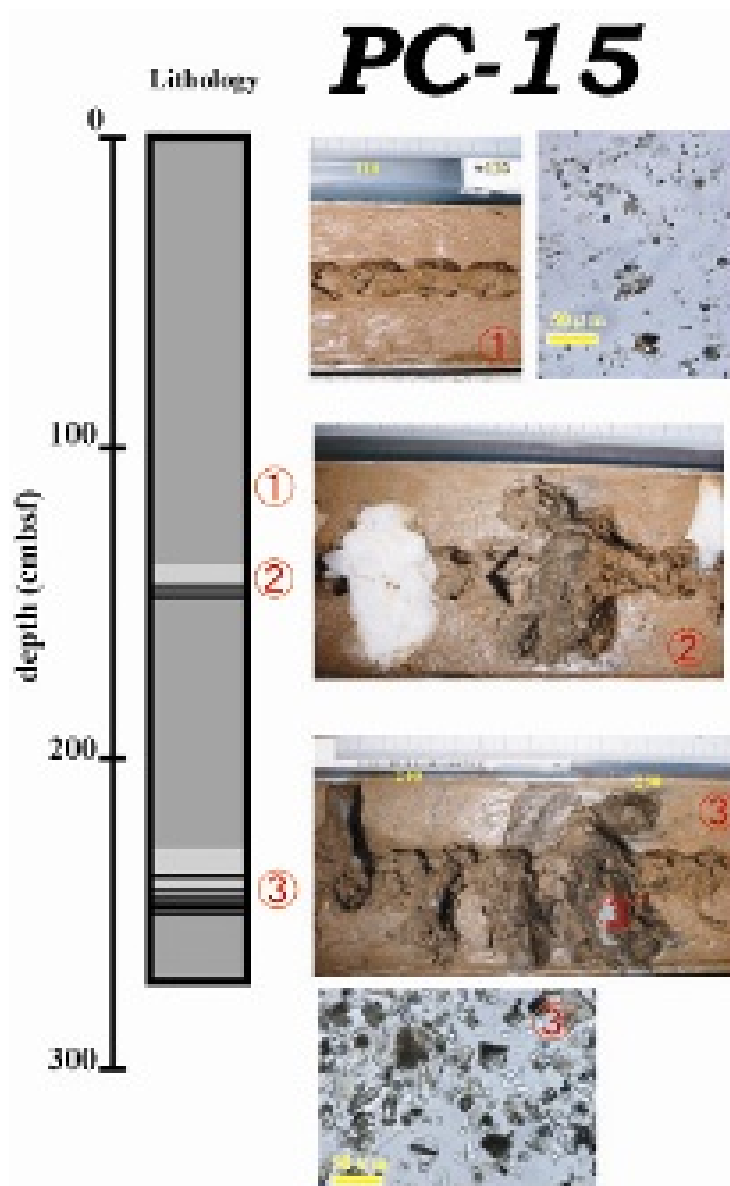


Fig.2. Lithology and photographs and photographs of piston core samples.

#### 2-4. Core description for PC14

Samples were collected from PC14 10 cm interval and representative volcanic sand layer. All the samples were washed with abundant distilled water to minimize sea water contamination. 36 samples were analyzed the grain size by observation of smear slides. 34 samples were analyzed the mineral assemblage by using XRD (Cu-K $\alpha$ : 1.54 Å). 42 samples were analyzed bulk rock chemical composition by using XRF with a Rh target tube, using pressed powder pellets.

Changes of grain size are consistent with changes of lithology. Changes of abundance of minerals and bulk rock chemical composition are continuous between 108 and 153 cm bsf and between 223 and 300 cm bsf. Thus, this two intervals can be regarded as one sequence which consists of several sandy

layers. The upper and the lower turbidite sequence in PC14 are named 14- I and 14- II , respectively.

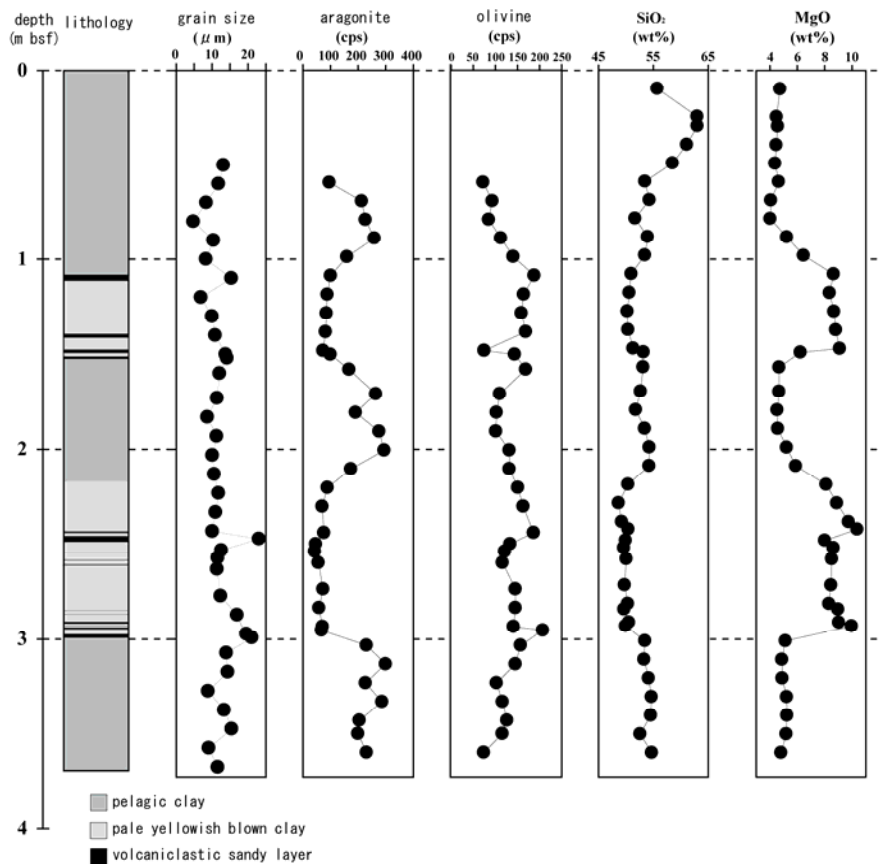


Fig. 3. Result of chemical analysis (the grain size, mineral assemblage and bulk rock chemical composition) for PC14. X axis show depth. Y axis shows each value.

#### 2-5. Core description for PC15

As in the case of PC14, samples were collected from the PC15 10 cm interval and representative volcanic sand layers. 25 samples were analyzed the grain size by observation of smear slides. 23 samples were analyzed the mineral assemblage by using XRD (Cu-K $\alpha$ : 1.54 Å). 26 samples were analyzed bulk rock chemical composition by using XRF.

Changes of grain size are consistent with changes of lithology. Changes of abundance of minerals and bulk rock chemical composition are continuous between 140 and 150 cm bsf and between 229 and 251 cm bsf. Thus, this two intervals can be regarded as one sequence which consists of several sandy layers. The upper and the lower turbidite sequence in PC15 are named 15- I and 15- II , respectively.

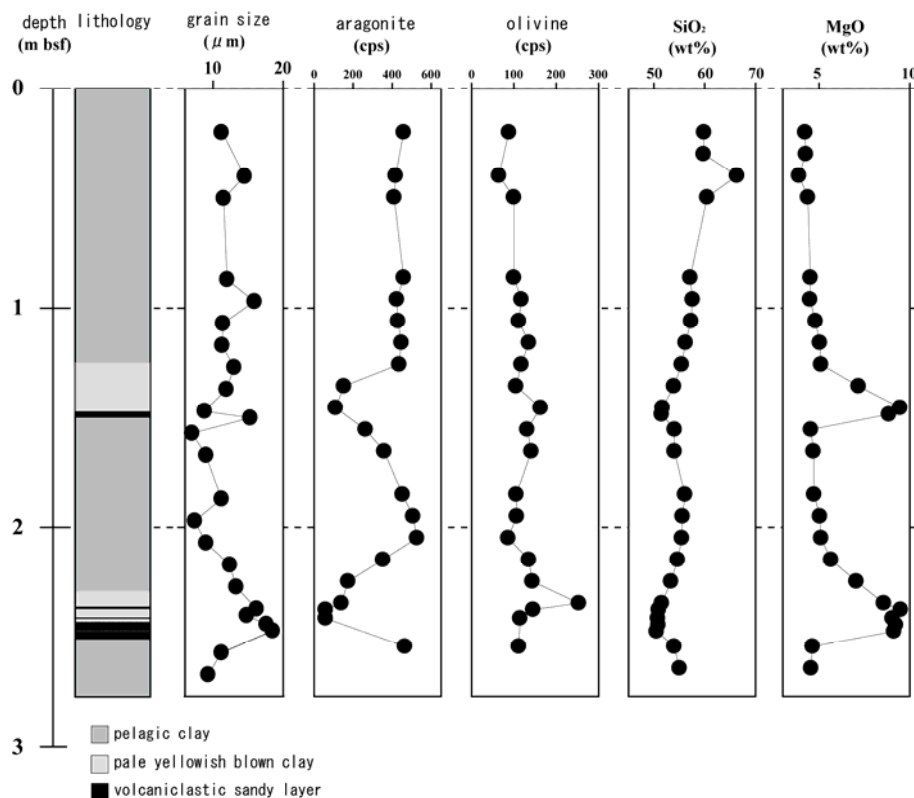


Fig. 4. Result of chemical analysis (the grain size, mineral assemblage and bulk rock chemical composition) for PC15. X axis show depth. Y axis shows each value.

Fig. 6. Compared to the data of glass compositions. Blue symbols show 14- I . Red symbols show 14- II . Light symbols show 15- I . Pink symbols show 15- II .

## 2-8. Conclusion

- (1) As for sandy layer in core samples, single sandy layer doesn't correspond to single landslide event, but several sandy layers correspond to single event.
- (2) It is found that two giant submarine landslides have generated on the west submarine flank of Hawaii during normal polarity.

## 3. Future work

I'm going to work for all of three cores (PC13, PC14 and PC15). Each piston core samples are observed by naked eyes and smear slides. Sedimentary structure are produced by soft X-ray. Analyzed sedimentary samples are collected from each piston core with 10 cm interval and thin volcanic sand layers are also added in these cores. Each sample are analyzed on the highly detailed grain size, mineral assemblage and bulk rock chemical composition.

#### 4. Reference

- Bouma, A.H., 1962. Sedimentology of Some Flysch Deposits: A graphic approach to facies interpretation. 地学団体研究会 (編) 1996. 新版地学事典. 平凡社, 東京.
- Davis, M.G., Garcia, M.O., Wallace, P., 2003. Volatiles in glasses from Mauna Loa Volcano, Hawaii : implications for magma degassing and contamination, and growth of Hawaiian volcanoes. *Contrib. Mineral Petrol.* 144, 570-591.
- [Fujimoto, Y., Yokose, H., Kanamatsu, T., Ishii, T., 2005. Geochemical characteristics of turbidites in piston core samples from Western Hawaiian ridge.](#)
- Garcia, M.O., 1993. Pliocene-Pleistocene volcanic sands from site 842: products of giant landslides. *Proceeding of the Ocean Drilling Program, Scientific Results.* 136, 53-63.
- Garcia, M.O., 1996. Turbidites from slope failure on Hawaiian volcanoes. In: McGuire, W.J., Jones, A.P., Neuberg, J. (Eds.), *Volcano Instability on the Earth and Other Planets.* Geological Society Special Publication, No.110, 281-294.
- Garcia, M.O., Hull, D.M., 1994. Turbidite from giant Hawaiian landslides: Results from Ocean Drilling Program Site 842. *Geology* 22, 159-162.
- Heezen, B.C., Ewing, M. 1952. Turbidity currents and submarine slumps, and the 1929 grand banks earthquake. *Am. J. Sci.* 250, 849-873.
- Kanamatsu, T., Herrero-Bervera, E., McMurtry, G.M., 2002. Magnetostratigraphy of deep-sea sediments from piston cores adjacent to the Hawaiian Islands: implication for ages of turbidites derived from submarine landslides. In: Takahashi, E., Lipman, P.W., Garcia, M.O., Naka, J., Aramaki, S. (Eds.), *Hawaiian volcanoes: Deep Underwater Perspectives.* Geophys. Monogr. AGU, 128, 51-63.
- Kneller, B., Branney, M.J., 1995. Sustained high-density turbidity currents and the deposition of thick massive sands. *Sedimentology*, 42, 607-616.
- Lowe, D.R., 1982. Sediment gravity flows: II Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *J. Sediment. Petrol.*, 52, 279-297.
- Middleton, G.V., Hampton, M.A., 1973, Sediment gravity flows: Mechanics of flow and deposition. In: Middleton, G.V., Bouma, A.H. (eds) *Turbidites and Deep-water Sedimentation.* Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Pub., 1-38.
- Moore, J.G., Clague, D.A., Holcomb, R.T., Lipman, P.W., Normark, W.R., Torresan, M.E., 1989. Prodigious Submarine Landslides on the Hawaiian Ridge. *J. Geophys. Res.* 94, 17465-17484.
- Mulder, T., Migeon, S., Savoye, B., Faugeres, J.-C., 2001. Inversely graded turbidite sequences in the deep Mediterranean: A record of deposits from flood-generated turbidity currents? *Geo-Mar. Lett.*, 21, 86-93.
- Rees, B.A., Detrick, R.S., Coalley, B.J., 1993. Seismic stratigraphy of the Hawaiian flexural moat. *Geol. Soc. Am. Bull.* 105, 189-205.
- Sherman, S.B., Garcia, M.O., Takahashi, E., 2002. Major Element Geochemistry of Glasses in

Turbidites as Source Indicators: Implications for the Nuuanu and Wailau Giant Submarine Landslides. In: Takahashi, E., Lipman, P.W., Garcia, M.O., Naka, J., Aramaki, S. (Eds.), Hawaiian volcanoes: Deep Underwater Perspectives. Geophys. Monogr. AGU, vol.128, 263-277.