

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月25日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540476

研究課題名（和文）年縞堆積物に挟在される重力流の流動・堆積モデルと規制要因の研究

研究課題名（英文）Study of flow- and depositional-models of sediment-gravity flow in varved sediment and their control factors

研究代表者

石原 与四郎（ISHIHARA YOSHIRO）

福岡大学・理学部・助教

研究者番号：80368985

研究成果の概要（和文）：岡山県の蒜山原に認められる更新世（500 万年前）の湖の年縞堆積物（年に一枚ずつ形成される層）に挟在されるイベント堆積物（重力流堆積物）の頻度や分布、堆積様式と珪藻化石群集を検討した。その結果、重力流堆積物（洪水流起源と崩壊起源）の堆積学的特徴とこれらが数 10 年～数 100 年の規模で発生したこと、このような堆積物の逆解析をするための基礎、特定の 2 種が卓越する異常な珪藻化石群集と、卓越種の殻の大きさに周期的な変化が認められることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We studied frequency of occurrence, spatio-temporal distributions and sedimentary process of sediment-gravity flow deposits intercalated in lacustrine varve sediments and their diatom assemblage in the Pleistocene Hiruzenbara Formation, Okayama Prefecture, central Japan. As the results, sedimentological aspects of sediment-gravity flow deposits (river-flood origin and failure of paleo-lake slope origin) in the formation and their occurrence interval (about tens to hundreds years) are revealed from field researches, and the primary conditioning of study of the inverse analysis of these sediment-gravity flow deposits are established. The diatom assemblage of the varve sediments showing distinctive dominance of two species throughout the formation and periodic changes of the size of one of them are also detected.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：堆積学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：重力流堆積物，縞状珪藻土，洪水流，湖底斜面崩壊，年縞，堆積リズム，珪藻化石

1. 研究開始当初の背景

タービダイトや土石流堆積物をはじめとする重力流堆積物と、それを堆積させた重力流に関しては、混濁流の発見以降、多くの研

究者によってそれぞれが分類され、関連づけられてきた。たとえば、タービダイトが混濁流の堆積物であるという提案は最も古いものである。これらの研究によって、野外にお

いて砂岩泥岩互層として認められる重力流堆積物を堆積させた重力流が推定され、整理されてくる一方、研究者間の堆積物の解釈の違いや新たな重力流の概念の導入によって、現在、同一の重力流堆積物に対して複数の解釈が生じたりするような状況にあった。これらは、(1)深海の重力流の詳細な観察が難しく、実際の堆積過程がほとんど観測されていないこと、(2)複雑な地形を流れる重力流は、Flow Translation が起こり得るので、その時間的・空間的な変化をとらえることが難しいこと、(3)堆積物は複合粒径からなり、その堆積過程が複雑になることが想定されることなどに起因する。そのため、重力流堆積物が実際にはどのような重力流から堆積したかを明らかにすることは容易ではないことが指摘されている。

このような問題点から、重力流とその堆積物の関係を明らかにするためには、(1)重力流堆積物の層厚、粒度、層相の3次元的な分布、(2)規模、発生要因等が限定され、条件の絞られた環境での堆積物の調査が必要となる。しかしながら、現世の深海の堆積物やそれが露頭になっている場合、これらの条件を満たす例はほとんどなく、重力流から堆積モデルは、シンプルな条件でのモデル実験やシミュレーションでのみの検討が成されている状態である。このため、実際の堆積物から重力流の流速や、濃度が見積もられた例はほとんど無く、重力流堆積物からこれらを検討することは難しいとされる。

2. 研究の目的

本研究では、湖成年縞堆積物とそれに挟在される重力流堆積物を対象とし、(1)湖成重力流堆積物の詳細な層相と、高精度な3次元分布を明らかにすること、(2)それらを堆積させた重力流の堆積過程を、重力流モデルシミュレーションと逆解析を用いて解明すること、(3)主として珪藻化石群集から明らかにされる、約 8000 年間の湖の環境変化とこのような重力流堆積物の変遷を明らかにすることが目的である。

この研究では、年縞に挟在されるため極めて高解像度で重力流の発生の原因、および発生の間隔を見積もることが可能な、更新統の湖成蒜山原層(岡山県)の縞状珪藻土に挟在される重力流堆積物を対象とする。対象とするような湖成層は、堆積盆や構成物質が規制されている上、単層を珪藻土採取場内において3次元的に追跡・解析できるため、これらの情報をもとに重力流の発生、流下条件を絞って精密にモデル化することができる。蒜山原層の年縞堆積物からは、後期更新世の寒冷化が進む時期であることが分かっているので、特に珪藻化石に反映されると考えられる環境変化と重力流の発生要因との関係も明

らかする。

3. 研究の方法

本研究では、大きく分けて4つのアプローチをもって、目的を達することを目指した。すなわち、(1)蒜山原層に挟在する重力流堆積物の堆積相、層序、側方分布を明らかにする、(2)水槽実験によって、重力流の流れの特徴を明らかにする、(3)数値解析により重力流の逆解析の手法開発およびその適用を行う、(4)縞状珪藻土に含まれる珪藻化石群集組成を明らかにする。以上のアプローチは最終的に統合化し、湖成重力流堆積物の特徴とそれを形成した重力流について、および蒜山原層における約 8000 年間の環境変化を明らかにする。

(1) 蒜山原層に挟在する重力流堆積物の堆積相・層序・側方分布

蒜山原層が顕著に露出する珪藻土採掘場内において、①全層準におけるはぎ取り試料の作成と層序の把握、②個々の重力流堆積物の対比、③代表的な堆積相を持つ重力流堆積物の層厚・粒度の変化を明かにする。

(2) 水槽実験

水槽実験においては、珪藻土からなる重力流の実験を行う予定であったが、(1)の調査結果を踏まえ、特に重力流堆積物基底の侵食形態に注目し、その形成実験を行う。

(3) 数値実験

(1)の調査結果に基づき、得られた粒度での混濁流の数値実験を行う。1次元4方程式モデルをもとにシミュレーションを行い、これらを形成した重力流の流速・濃度を求めるために逆解析を試みる。

(4) 珪藻化石群集解析

野外において得られた層序に合わせ、7ccキューブ等を用いた珪藻土の連続サンプリングを行う。得られた試料は室内において光学顕微鏡および電子顕微鏡を用いて珪藻化石種の同定および群集解析を行う。

4. 研究成果

本研究においては、年縞に挟在される重力流堆積物の実態把握と逆解析、年縞そのものを構成する珪藻化石群集の変化について研究を進めた。多くの高精度の情報が得られたため、解析途中のものも含まれるが、それぞれの成果は今後のこれらの分野の発展に大きく期することが期待される内容である。

以下では、本研究の研究成果に関して、研究の方法で示した4つのアプローチ方法での結果をそれぞれまとめる。

(1) 蒜山原層の重力流堆積物の堆積相、層序、側方分布

① 縞状珪藻土と重力流堆積物

蒜山原層のうち、珪藻土は蒜山原層下部に含まれる。以下では、これらのうち、縞状珪藻土と重力流堆積物の特徴について説明する。

縞状珪藻土

縞状珪藻土層は、厚さ 1~3mm の濃緑色葉理と淡緑色葉理の互層からなる（蒜山団体研究グループ, 1975a, b; 石原・宮田, 1999）。濃緑色葉理は、下位の淡緑色葉理と明瞭な境を示し、上位の淡緑色葉理とはやや漸移的であることから、下位の濃緑色葉理から上位の淡緑色葉理まで一連のものともみなされている（蒜山団体研究グループ, 1975b）。珪藻化石のほとんどは淡水浮遊性種からなり、濃緑色葉理には *Puncticulata* sp. (*Cyclotera comta*; 蒜山団体研究グループ, 1975a, b) が、淡緑色葉理には *Stephanodiscus* sp. が卓越する。本層の葉理は、淡緑色葉理と濃緑色葉理のセットで 1 年を表す年縞であると推定されている（蒜山団体研究グループ, 1975b; 石原・宮田, 1999）。

湖成重力流堆積物

珪藻土層に挟まれる湖成重力流堆積物は、層相、含まれる珪藻種などによって 2 つのタイプ（洪水流起源と湖底斜面崩壊起源）に分けられる。幾つかの例に基づき、それぞれ説明する。

洪水流起源の重力流堆積物：洪水流起源の重力流堆積物は、黒色および濃灰色をしたシルト質堆積物である。層厚は湖底斜面崩壊起源の堆積物より薄く、2~10mm のものがほとんどである。既存研究のチョコバンドおよびシルト層（蒜山団体研究グループ, 1975a, b）がこれに含まれる。下位を削剥することはほとんど無い。この堆積物は、浮遊性珪藻が相対的に少なく、植物片、有機物や火山ガラス、附着性珪藻の *Encyonema* sp., *Synedra* sp., *Tabellaria fenestrata* などからなること、側方への連続性が良いことから、洪水など、顕著に懸濁物を含んだ河川の流入、すなわち洪水流に起源を持つと認定できる。

調査セクションで見られたこのタイプの重力流堆積物のうち、中部の層準に認められる比較的連続性の良い 4 層について 6~7 地点で対比し、採取されたブロックサンプルを用いて、実態顕微鏡下での詳細な堆積相を検討した結果、これらの側方変化は極めて小さく、下位の珪藻土を侵食することは少ないこと、下位から逆級化→正級化と累積し、内部に侵食面を持つ場合があることが明らかになった。このうち後者は砂質の洪水流起源の重力流堆積物に特徴的な層序である。

湖底斜面崩壊起源の重力流堆積物：湖底斜面崩壊起源の重力流堆積物は、大小様々な縞状珪藻土の礫化したブロックを含む薄灰色の堆積物で、層厚は洪水流起源の重力流堆積物に比べると厚く、多くは 10~30mm である。

ブロックの周囲のマトリックスは細かい珪藻土の破片か、珪藻からなるがおおむねシルトサイズであることが多い。含まれる珪藻土のブロックは、小さくて丸いものから、細長いものまでみられる。含まれるブロックは、上部に集中する場合、下部に集中する場合、塊状の場合、小さくて丸いものと細長いものが互層する場合など、様々なタイプがみられる。単層は洪水流起源の重力流堆積物に比べて側方変化が激しく、レンズ状に消滅する場合もある。しばしば下位の珪藻土を侵食しており、上位・下位との境界は明瞭である。このタイプは、湖の堆積盆内でみられる浮遊性珪藻である *Stephanodiscus* sp. や *Puncticulata* sp. からなること、側方への連続性が悪いこと、湖底の縞状珪藻土のブロックを多く含むことから、湖の斜面崩壊を起源とすると認定できる。

これらの一部の例について対比を行ったところ、層厚が下流側へ厚くなるものと、あまり変わらないものが認められた。また、層厚の厚いものほど、含まれるブロックも大きくて多くなる傾向にある。ブロックの保存状態は良いが、その大きさおよび量の変化は、数 m 離れた場所でも大きく異なる。

②層序

野外調査およびはぎ取り試料から柱状図を作成した。最下位の非湖成層を含めると蒜山原層の下部は、層厚約 25m で、上位は低角の断層で切られることが明らかになった。最下位は軽石流堆積物と思われる 2 枚の粗粒な軽石からなり、間に植物片が多い泥炭質の土壌を挟在する。珪藻土を含む湖成層は、これらの軽石層の上位から堆積し始める。全体的に珪藻土層は葉理がよく発達し、中部ではしばしば火山灰起源のピンク色のシルト層を挟む。最下位から 5m には、層厚 1m ほどの軽石層を挟在するが、それより上位では比較的安定して珪藻土が厚く発達する。下位ほどスランプスカーもしくは小規模なチャネルと考えられる幅 10~20cm 程度、深さ 1cm 以内の浅い凹地が認められるが、中部~上部にかけては安定した層厚の葉理が認められる。最上部では巣穴状の生痕化石も多くなる。

洪水流起源および湖底斜面崩壊起源と推定される重力流堆積物は、下位への削剥が大規模なものでなければ、その発生は、年単位でとらえることができる。下位の削剥の大きな部分を避けたうえ、大規模な層序の欠落が無いものと仮定した上、重力流堆積物の挟在頻度および層厚の変化傾向を検討した。その結果、縞状珪藻土にして、約 7000 年分の情報が得られた。この期間のイベントは、洪水流起源の重力流堆積物が約 30 層、湖底斜面崩壊起源の重力流堆積物が約 100 層認められた。顕著な削剥が無いことを仮定すると、そ

れぞれ平均すると約 250 年に一度、65 年に一度堆積したことがわかる。これらのイベントの層序的变化のうち、洪水流起源の重力流堆積物は、洪水流の堆積イベント数も少なく、傾向ははっきりしない。イベント回数は 500 年に 1 から 3 回程度が多いが、最も多い時では 6 回程度起こる場合がある。一方、湖底斜面崩壊起源の重力流堆積物のイベント数は、緩やかな変化を示しながらも上位に向かって増えているが、平均層厚は下位から中部に向かって徐々に層厚を減じ、また上位に行くほど緩やかに層厚を増加させる。

③まとめ

本研究における野外調査では、いままで明確にその証拠が示されてこなかった、洪水流起源と斜面崩壊起源の重力流堆積物を、その構成物質、分布、内部堆積構造、侵食構造等から容易に識別できることを明らかにした。また、これらの挟在頻度や層序的变化から、古環境解析へのこれらのイベントの頻度や影響を示すことができることを示した。さらに詳細なイベント発生間隔や、側方変化を明らかにすることで、湖のみならず海底の重力流堆積物の解析における重要な情報を提供すると考えられる。

(2) 重力流堆積物基底の侵食構造の形成実験

重力流の頭部は、底面に作用して侵食地形を形成する。一般的にはソールマークとよばれるこれらの形態の研究では、形態の分類、流れの継続時間に伴う形態の変化、それを形成した流れの規模、発達などが野外・実験において検討されている。一方、このような侵食形態は、その規制要因である流れの性質、底質、侵食作用の時間の 3 つが複雑に絡み合っ形成されるため、形態の規制要因とこれらの形成作用を結びつけることが困難であり、それを形成した重力流との対応関係はよくわかっていない。蒜山原層の湖成縞状珪藻土層に挟在する重力流堆積物は、洪水流起源と湖底斜面崩壊起源とで異なった基底の侵食形態を持つことが示されている。このような侵食形態を水槽実験で形成した。

その結果、侵食基盤として石膏を用いた場合、流れの作用が長いほど、侵食形態の形状が整うこと、流速が大きいほど侵食形態は小さいことなどが明らかにされた(弓・石原, 2011)。

重力流堆積物の研究において、当然ながらその対象は堆積物に主眼を置くことがほとんどであった。本研究においては、野外調査によって重力流堆積物の基底の侵食構造が起源によって顕著に異なることを明らかにし、実験的研究によってその整合性を明らかにした。これらの成果は、湖成重力流堆積物だけではなく、一般的な砂質のタービダイト

にも適用可能であると推定され、特に重力流の頭部の振る舞いについて考察できるようになることを示唆する。

(3) 重力流堆積物の古水理条件の数値解析

当初、理想的な湖成重力流堆積物を見いだし、その重力流堆積物からそれを形成した重力流の水理条件を読み取ることを目的とした。しかしながら、下記のように、幾つかの問題点が生じたため、重力流堆積物の逆解析の基礎研究を行うことにした。

数値解析においては、洪水流起源の重力流堆積物の 1 つを例とし、湖成重力流堆積物から古水理条件を読み取るため、数値計算に基づく重力流堆積物の逆解析の基礎研究を行った。湖底の状況を踏まえ、常流の混濁流に関する逆解析を検討した結果、射流の場合に比べて数値発散を抑えることが逆解析の大きな課題であることが明らかになった。同様に細粒堆積物を取り扱う際には、堆積物連行関数の精度も問題となる。これらの課題の解決策として、数値発散を防ぐためにリチャードソン数を固定するように計算初期値を選択するグリッドを開発した。また、泥質堆積物の連行関数について文献調査を行い、従来のものよりも適切な関数をモデルに組み込んだ。

本研究の成果によって、特に細粒なタービダイトからの逆解析の手法についての知見が得られた。

(4) 縞状珪藻土に含まれる珪藻化石群集組成

蒜山原層より連続的に採集した珪藻土試料に含まれる珪藻化石群集組成は 4 つに分けられることが明らかになった。下位より① *Puncticulata* 属が優占し *Stephanodiscus* 属が共存、② *Stephanodiscus* 属のみが優占、③ 一部 *Discostella* 属が多く産出するものの *Stephanodiscus* 属は産出し底生珪藻が多産、④ *Stephanodiscus* 属と *Cyclostephanos* 属が共存する層準である。全層準を通して産出する *Stephanodiscus* 属の殻サイズは他の珪藻種が多産する時に大きくなり、*Stephanodiscus* 属単独で優占するとき小さくなる傾向が明らかになった。このような珪藻群集組成や殻サイズの変化には洪水流起源の重力流堆積物が影響している可能性が示唆される。

本研究では、特定の珪藻種の著しい卓越が認められ、その珪藻種の殻のサイズが周期的に変化していることも示された。現在は、層序的な概要をつかむために解析が成されているが、年縞の葉理ごとの解析を進めることで、珪藻そのもののライフサイクルを数 1000 年間に渡って追うことができる可能性が残されている。

独立行政法人国立科学博物館・地学研究部・
研究員
研究者番号：40455423

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

①弓 真由子・石原与四郎，溶食痕の形成実験：流速と持続時間による形態と分布パターンの変化，洞窟学雑誌，査読有り，vol. 36，2011，61-73

[学会発表] (計16件)

①齋藤 めぐみ・林 辰弥・石原 与四郎・成瀬 元，岡山県蒜山原層に認められた淡水浮遊性珪藻の殻サイズの変化，微古生物学リファレンスセンター研究集会，2012年3月3日，東北大学

②石原与四郎・佐々木泰典・弓 真由子・成瀬 元・齋藤めぐみ・林 辰弥，洪水流および崩壊起源重力流堆積物の層厚頻度分布の特徴：湖成蒜山原層の例，日本堆積学会長崎大会，2011年12月23日，長崎大学

③ Mayuko YUMI and Yoshiro ISHIHARA，Spatio-temporal changes in distributional pattern of erosional marks on solutional substrate，Planetary Geology Field Symposium，2011年11月5日，北九州国際会議センター

④佐々木泰典・弓 真由子・瀧井喜和子・齋藤めぐみ・成瀬 元・石原与四郎，年縞堆積物に挟在される崩壊および洪水起源の重力流堆積物の堆積過程：岡山県更新統湖成蒜山原層の例，日本地質学会118年学術大会，2011年9月10日，茨城大学

⑤佐々木泰典・弓真由子・石原与四郎・齋藤めぐみ・成瀬 元，年縞堆積物に記録された洪水・斜面崩壊イベントからみた古蒜山原湖の環境変化，日本地質学会117年学術大会，2010年9月18日，富山大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石原 与四郎 (ISHIHARA YOSHIRO)
福岡大学・理学部・助教
研究者番号：80368985

(2) 研究分担者

成瀬 元 (NARUSE HAJIME)
千葉大学・理学部・准教授
研究者番号：40362438

齋藤 めぐみ (SAITO MEGUMI)