

国際シンポジウム2016 堆積物から 噴火の歴史 を読み取る

—火山山麓の湖から—

報告書

日程：平成29年1月22日（日）

会場：富士吉田市民会館 小ホール

主催：山梨県富士山科学研究所 国際シンポジウム2016実行委員会

共催：東京大学 大気海洋研究所

後援：富士吉田市・NPO 法人日本火山学会・日本第四紀学会

（国研）産業技術総合研究所 地質調査総合センター

山梨県富士山科学研究所公開講座

C-01-2017

国際シンポジウム 2016

堆積物から噴火の歴史を読み取る

－ 火山山麓の湖から－

報 告 書

日程：平成29年1月22 日（日）

会場：富士吉田市民会館 小ホール

主催：山梨県富士山科学研究所 国際シンポジウム2016 実行委員会

共催：東京大学 大気海洋研究所

後援：富士吉田市・NP0 法人 日本火山学会・日本第四紀学会

（国研）産業技術総合研究所 地質調査総合センター

山梨県富士山科学研究所国際シンポジウム 2016
堆積物から噴火の歴史を読み取る ―火山山麓の湖から―
平成 29 年 1 月 22 日（日）
プログラム

- 10:00-10:05 開会の挨拶 藤井敏嗣（山梨県富士山科学研究所 所長）
- 10:05-10:15 趣旨説明 山本真也（山梨県富士山科学研究所）
- 10:15-10:45 長橋良隆（福島大学）
湖成堆積物におけるテフラ研究の利点：噴火様式の復元と噴火史の構築
- 10:45-11:15 青木かおり（立正大学環境科学研究所）
北西太平洋の海底堆積物から見た日本の火山噴火
- （11:15-11:30 休 憩）
- 11:30-12:00 Marc De Batist（アントワープ大学）
過去の火山活動を記録する湖沼堆積物―チリ・ビジャリカ火山の過去 600
年間の噴火史の復元
- （12:00-13:00 昼 食）
- 13:00-13:30 横山祐典（東京大学大気海洋研究所）
それはいつ起こったか？地層に埋め込まれた時計が示す過去の出来事
- 13:30-13:45 吉本充宏（山梨県富士山科学研究所）
富士山の噴火履歴の研究とその問題点
- 13:45-14:00 山本真也（山梨県富士山科学研究所）
山中湖の湖底から見つかった噴火による植生変化の証拠
- 14:00-14:30 Stephen Obrochta（秋田大学）
偏西風・モンスーン強度復元のための富士五湖堆積物の層序学的枠組み
- 14:30-15:00 Aurélie Hubert-Ferrari（リエージュ大学）
富士五湖、そのダイナミックな環境変化：湖調査からわかった火山噴火と
地震、地滑りの新証拠
- （15:00-15:20 休 憩）
- 15:20-15:55 質疑応答／総合討論
- 15:55-16:00 閉会の挨拶 山下 宏（山梨県富士山科学研究所 副所長）

目次

プログラム	i
目次	ii

シンポジウム講演議事録【1月22日（日）】

開会の挨拶	藤井敏嗣（山梨県富士山科学研究所 所長）	1	
趣旨説明	山本真也（山梨県富士山科学研究所 研究員）	2	
湖成堆積物におけるテフラ研究の利点：噴火様式の復元と噴火史の構築			
	長橋良隆（福島大学）	4	
北西太平洋の海底堆積物から見た日本の火山噴火			
	青木かおり（立正大学環境科学研究所）	17	
過去の火山活動を記録する湖沼堆積物			
	ーチリ・ビジャリカ火山の過去 600 年間の噴火史の復元		
	Marc De Batist（ゲント大学）	31	
それはいつ起こったか？地層に埋められた時計が示す過去の出来事			
	横山祐典（東京大学大気海洋研究所）	46	
富士山の噴火履歴の研究とその問題点			
	吉本充宏（山梨県富士山科学研究所）	56	
山中湖の湖底から見つかった噴火による植生変化の証拠			
	山本真也（山梨県富士山科学研究所）	65	
偏西風・モンスーン強度復元のための富士五湖堆積物の層序学的枠組み			
	Stephen Obrochta（秋田大学）	70	
富士五湖、そのダイナミックな環境変化：			
	湖調査からわかった火山噴火と地震、地滑りの新証拠		
	Aurelia Hubert-Ferrari（リエージュ大学）	81	
質疑応答 / 総合討論			90
閉会の挨拶	山下 宏（山梨県富士山科学研究所 副所長）	99	

講演予稿集	101
-------------	-----

山梨県富士山科学研究所国際シンポジウム 2016 堆積物から噴火の歴史を読み取る—火山山麓の湖から—

開催日：平成 29 年 1 月 22 日(日)
会場：富士吉田市市民会館 小ホール
主催：山梨県富士山科学研究所 国際シンポジウム 2016 実行委員会
共催：東京大学 大気海洋研究所
後援：富士吉田市、NPO 法人 日本火山学会、日本第四紀学会、
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター

司会（内山）：おはようございます。はじめにスマホおよび携帯は講演中マナーモードに
していただくか電源をお切り下さい。それでは時間になりましたので国際シンポジウム
2016「堆積物から噴火の歴史を読み取る」というテーマで今日一日シンポジウムを開催い
たします。今日の司会進行をいたします、私は富士山科学研究所火山防災研究部の内山と
申します。

開催に当たり、当研究所の所長藤井から開会のご挨拶をさせていただきます。

【開会の挨拶】

藤井敏嗣（山梨県富士山科学研究所 所長）

藤井：おはようございます。本日は富士山科学研究所の国際シンポジウム 2016 によろこ
そおいでいただきました。

このシンポジウムは「堆積物から噴火の歴史を読み取る—火山山麓の湖から—」とい
うタイトルを付けてございます。火山の研究、特に火山防災のためには火山の噴火の歴史を
正確に読み取る必要があります。火山の噴火の歴史を読み取るためには、通常は陸上に分布している溶岩流あるいは積み重なっている
火山灰を調べるところから始まるわけですが、陸上の火山灰などは噴火後の雨あるいは洪水など、場合によっては人を含む動物の攪乱によって調査が困難になることがよくありま
す。陸上の堆積物だけではなかなか完全な噴火の歴史を読み取ることができません。

ところが、湖あるいは海の底の堆積物は、順番に少しずつと堆積してできたものです
ので、間に挟まった火山性堆積物から正確に噴火の歴史を読み取ることができます。もちろ
ん山で崖崩れが起こったり、地震によって山が崩れたりしたときは、湖の中に堆積物がな
だれ込み、堆積物が乱されるようなこともあります。しかし逆にいうと、古文書の記録に
なくても、そのような事件がいつごろ起こったのか、あるいは古文書もないような、もっ
と古い時代に、湖の周辺でどういうことが起こったのか、湖底の堆積物から読み取ること
もできます。



今日のシンポジウムは、そういう湖底あるいは海底の堆積物から火山噴火をどのように読み取るかということです。特にこの富士五湖地方で最近行われた研究の最新成果を発表していただくことになっております。

どうか最後までお聞きになって、富士山の噴火がどういうものであったのか、あるいはどういうことが分かろうとしているのかということに関して理解を深めていただきたいと思います。そのことが富士山をよく知ることに通じると思います。

終わった後に質問の時間も用意されていますので、分からないことがあれば、その時にぜひ質問していただければと思いますので、よろしくお願いいたします。今日のシンポジウムを十分に楽しんでいただけたら幸いです。これをもって私の開会のあいさつとさせていただきます。どうもありがとうございました。

司会：ありがとうございました。

始まる前に1つお知らせいたします。受付でこのようなレシーバーをお渡ししていると思います。これで同時通訳を聞くことができます。外国の方は英語で発表されますので、チャンネル1が日本語、2が英語になっています。これでお聞きいただければと思います。

これから当研究所の研究員の山本から今回のシンポジウムの趣旨説明をさせていただきます。よろしくお願いします。

【趣旨説明】

山本真也(山梨県富士山科学研究所 研究員)

山本：皆さん、おはようございます。本日はお忙しい中、「山梨県富士山科学研究所国際シンポジウム 2016 堆積物から噴火の歴史を読み取る」にお越しくださり、ありがとうございます。

私は富士山科学研究所火山防災研究部の山本といいます。趣旨説明ということで、まずはお手元の講演要旨の1ページ目をご覧くださいませでしょうか。

「目的」というところになります。現在、日本には110の活火山が知られていますけれども、こうした火山が過去にどういう噴火をしてきたかという噴火履歴の解明は中長期的な噴火の予測や、実効性の高い火山防災対策に非常に重要な情報となってきます。

当然、富士山でもこれまで多くの火山学的研究が行われ、過去にどういう活動をしてきたかが徐々に明らかになっています。これまで主に研究が行われてきた火山近傍では、先ほど藤井所長からのお話にもありましたように、山体が削られたり、土壌が発達したりということで、噴火の記録が必ずしも連続的にすべて残っているわけではありません。

そこで注目されるのが小規模な噴火も記録し、連続的に堆積が起こっている山麓の湖の堆積物です。富士山ですと、富士五湖になります。山梨県では1998年から2001年にかけて富士五湖の掘削調査が行われ、湖底の堆積物を使った富士山の噴火史の研究が本格的に始まりました。

また3年前に富士山科学研究所になりまして、その年の2014年から、ベルギーのゲント大学、リエージュ大学、ベルギー地質調査所、日本の産業技術総合研究所、東京大学な

どの機関と国際共同研究プロジェクトの一環として富士五湖の堆積物を調査するプロジェクトに参画しました。2015年には本栖湖で約7メートル、西湖で約3メートルと、これまでで最長となる堆積物を採取することに成功し、富士五湖の堆積物を使った噴火史研究が新たな段階に進みつつあります。

こうしたことを背景に、本日のシンポジウムでは湖沼の堆積物を使った噴火史の研究、最新の年代測定技術に関して国内外の専門家を講師の方として招きまして、富士五湖の堆積物から富士山の噴火についてどのようなことが分かるのか、皆さんと一緒に考えていきたいと思います。

本日の講演ですが、1ページめくっていただいて、2ページにプログラムがございます。この後1番目の講演として、福島大学の長橋教授から湖成堆積物中のテフラについて話をさせていただきます。テフラとは、爆発的な噴火によって放出される破片状の物質のことですが、このテフラを研究することによって、その利点と噴火についてどのようなことが分かるのかお話しさせていただきます。

また、やや広い視点として、次に北西太平洋の海底堆積物で見つかるテフラが、日本の火山活動についてどのようなことを教えてくれるのかについて立正大学の青木客員研究員から伺います。

午前中最後の講演ですが、実際に湖の堆積物から詳細な噴火史を復元した例として、チリのビジャリカ火山の研究例と、その復元された噴火史が火山防災にどのように活用できるのかについて、ベルギー・ゲント大学の Marc De Batist 教授より伺います。

午後からは最初にやや技術的な話題として放射性炭素年代測定に関するお話を東京大学大気海洋研究所の横山教授よりいただきまして、実際に富士山の噴火史に焦点を当てていきたいと思います。

シンポジウムの後半では、弊所主任研究員の吉本よりこれまでの富士山の噴火史研究の概要とその問題点についてお話を伺った後、私がこれまで山中湖の堆積物を使って行ってきた研究成果についてお話しします。

最後の2件でございますけれども、2015年に採取をした富士五湖の堆積物で、今まさに進みつつある研究の最前線ということで、その調査でどのように堆積物が採取されて、どのように噴火史の研究が進んでいるのかということについて、研究を進めておられる秋田大学の (Stephen) Obrochta 准教授にお話しをさせていただきます。

最後になりますけれども、同じく2014年と2015年の富士五湖の調査で採取した堆積物、湖底の探査データなどから新たに分かりつつある湖に記録された火山噴火、地震や地滑りなど、環境の変化についてベルギー・リエージュ大学の Aurélie Hubert-Ferrari 教授よりお話を頂戴する予定です。

午前、午後の長丁場になりますけれども、富士五湖の堆積物を使った噴火史研究の最前線に触れていただける絶好の機会だと思います。ぜひ最後まで拝聴くださいますようお願い申し上げます。

司会：お時間は少し早いですけれども、早速1人目の講演ということで、福島大学の長橋先生から「湖成堆積物におけるテフラ研究の利点（：噴火様式復元と噴火史の構築）」をお話しさせていただきます。

「湖成堆積物におけるテフラ研究の利点：噴火様式の復元と噴火史の構築」

長橋 良隆 (福島大学)

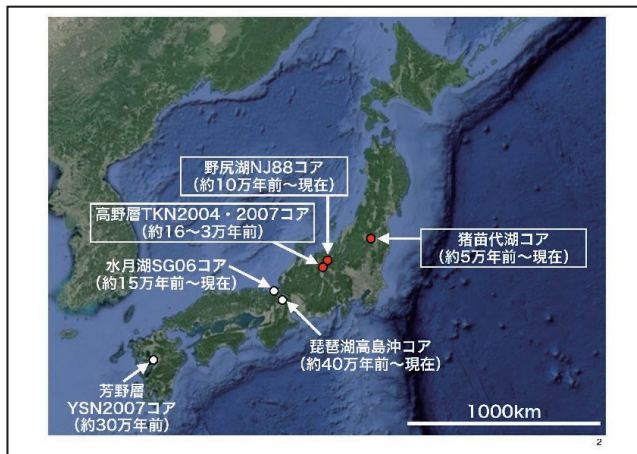
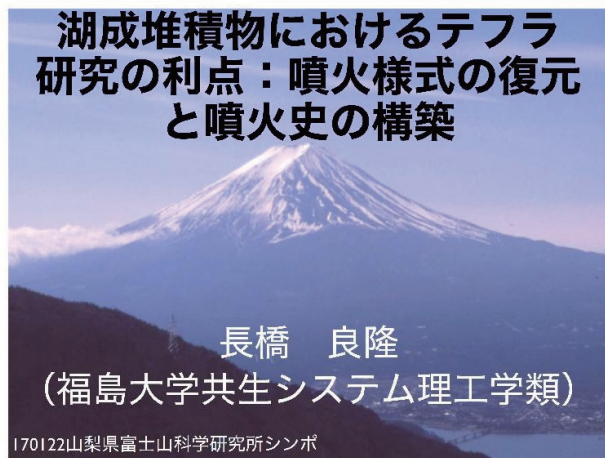


図 1

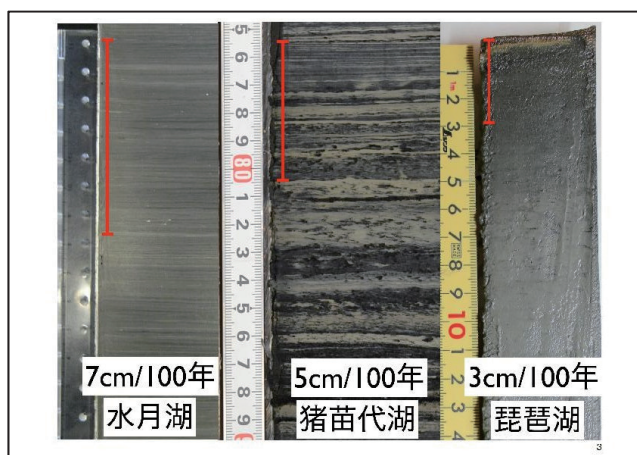


図 2

長橋：おはようございます。長橋です。

湖成堆積物におけるテフラ研究の利点ということで、噴火様式の復元と噴火史の構築についての概略的な話を含め、私が経験した幾つかのコアのうち今日の話で出てくるのは、長野県の高野層というところの堆積物のコアです(図 1)。さらに野尻湖のコア、最近掘削しました猪苗代湖のコアの3つを中心にして話をさせていただきたいと思っています。

ほかに琵琶湖や水月湖も少し関わりましたがけれども、熊本県の芳野層のコアも経験としてはあります。

湖成堆積物は、いろいろな岩相、顔つきを示しますが、例えば有名な水月湖のコアはこの細かい縞模様が発達していて、これは年縞、1年ごとにたまっていく縞といわれています。これですと、100年あたりに7センチ。大したことはないと思うかもしれませんが、結構な堆積の速さです(図 2)。

猪苗代湖も縞模様が見えますが、年縞とはまた違う縞模様を示します。猪苗代湖ですと、大体100年あたりに5センチという速度で少しずつ粘土が積もっていきます。

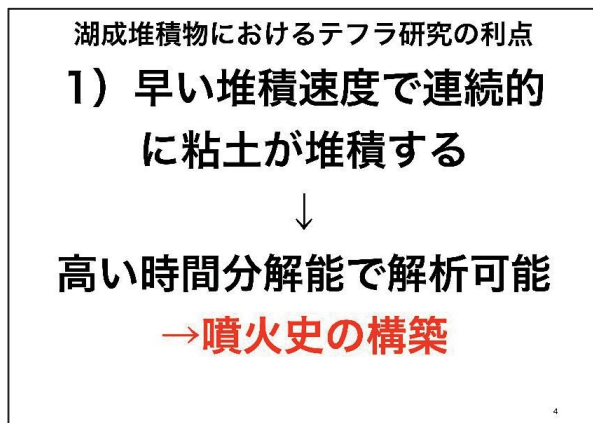


図 3



図 4

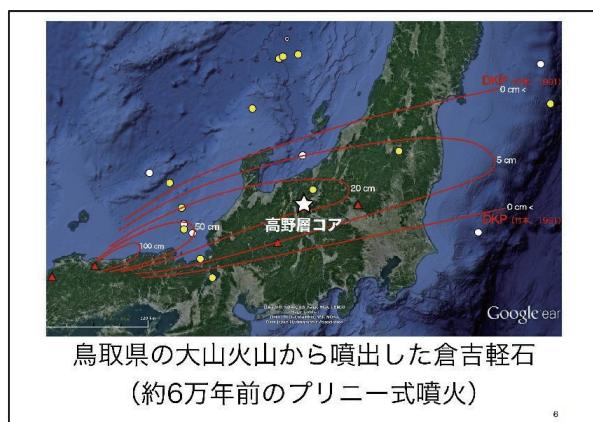


図 5



図 6

琵琶湖ですと、堆積する速度がもうちょっと遅くなって100年あたりに3センチという速さになります。琵琶湖はこういう縞模様が見えないのですけれども、恐らく底生の動物によってかき乱されて、こういう構造がなくなっているといわれています。

このように湖成の堆積物は速い堆積速度で連続的に粘土が堆積します。そういうことから、高い時間分解能で解析が可能となり、噴火史を構築する上で非常に大きな利点の1つになります(図3)。

これは2015年に起きたチリ・カルブコ火山のプリニー式の火山灰を降らせる噴火の映像です(図4)。巨大な噴煙柱を立ち上げて、こういう火山灰、軽石から成る灰の雲を立ち上げています。これは早送りで映像を送っているものですが、このように大気中に注入されていて、風下側へと流れていくわけです。

このように、あまり起こってほしくない規模の大きめの噴火ですが、日本でもこういう噴火の例がたくさんあります。約6万年前に鳥取の大山火山から噴出した倉吉軽石があります(図5)。ここは大山火山ですので、麓のほうで2メートル、3メートルの厚さで軽石が積もっていて、400キロ、500キロ離れても数センチぐらいの厚さで火山灰が積もっている規模の大きな噴火です。

こういう規模の大きな軽石の噴火の場合であっても、日本の場合には、陸域ではこのような顔つきを示すことが多いです(図6)。ここが一番軽石層の底、始まりですが、黄色っぽい色をしていて、粒形はやはり不明瞭です。パッと見て粒の形が分かりません。また鎌で削れるぐらいに軟らかいと、大体このような特徴を示すことが多いです。それは軽石の大部分を占める火山ガラスが陸上での風化によって粘土化してしまっ、元の組成・構造ではなくなってしまっ

るということです。陸域では、こうしたようにたくさん数が見えるところはありませんけれども、場合によっては風化・変質していて、元の状態を保っていないということがあります。



図 7

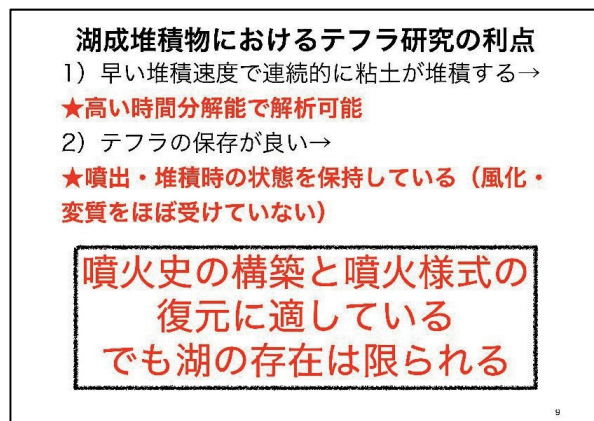


図 8

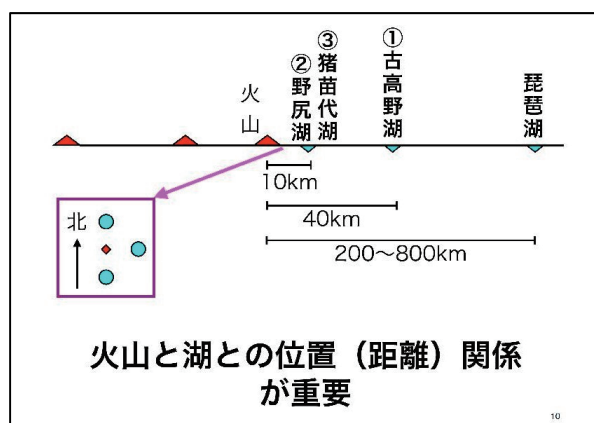


図 9

今日話で出てくるのはこの3つですが、火山との位置関係というと1つは距離です。今日話をする野尻湖や猪苗代湖は火山から10キロ内外で、このあたりの山中湖もそうだと思いますけれども、同じような火山に近い距離にあります(図9)。

昔の湖ですが、古高野湖と書いています。こういうところだと、一番近い火山からでも

これが400キロぐらい離れた湖の堆積物の中に入った同じ層です(図7)。粒形は400キロ離れていますので小さくなっていていますが、湖の中を沈降する途中で重い粒子が先に落ちて、軽い粒子が上に残っていますのでそういう作用を受けていますが、軽石が粉碎された、この白い部分の火山ガラスが粘土化を受けることなく、きれいに保存されています。これは水の中に堆積した火山灰層の保存が非常に良い状態のことをいいます。

こういう場合には、火山ガラスの形状をつぶさに観察することができて、電子顕微鏡で拡大して火山ガラスの粒を写した写真です。こういう泡の形態をきれいに見ることができます。ですから、形状観察がつぶさにできることが1つと、もう1つは火山ガラスの一粒一粒の化学組成を分析することができます。

火山ガラスは陸上では失われてしまっている場合がありますので、こういう観察や分析は陸上の試料を使っているということになります。

このように、湖成堆積物におけるテフラ研究、火山灰研究の利点は、こういう1と2の2つの利点があります(図8)。これを最大限に利用し、噴火史の構築や噴火様式の復元に適用しています。

ただし、大事なところは湖の存在は限られていますので、ここにあってほしいというところにある場合もあれば、思うところがないことがあります。その位置関係は非常に重要だろうということです。

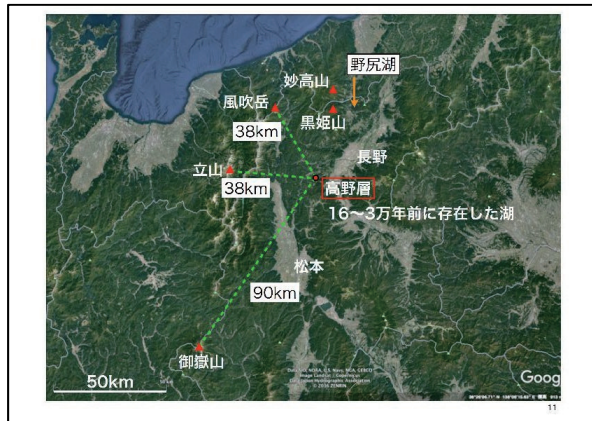


図 10



図 11

40 キロぐらい離れています。今日は話をしませんが、琵琶湖などだと一番近い火山から 200 キロぐらい離れており、火山との距離が 1 つあります。

もう 1 つは、位置関係という意味では、これは平面図だと思って見ていただくと、火山の火口があって、その火口のどちら側に湖が位置しているのか。北側にあるのか、東側にあるのか、南側にあるのか、そういう湖の位置関係も重要な要素の 1 つです。

まず古高野層の話です(図 10)。昔の湖とっている意味は、長野県の山の中に 16 万年前から 3 万年前ごろには湖として存在していたところです。

この高野層の湖成堆積物から、御嶽山ですと大体 90 キロ離れています。立山も火山ですが 38 キロ。北アルプスの一番北にある風吹岳だと 38 キロで 40 キロぐらい離れていると、こういう位置関係にあります。

今はこうした本当にのどかな田園風景が広がる田舎の町ですが、ここに 3 万年から 16 万年前ごろには湖が存在していました(図 11)。どうして湖が存在していたのかというと、それは堆積物ですね。ボーリングして湖底堆積物を掘削すると、こういうほぼ均質な粘土層が、ここですと大体 50 メートルぐらいたまっています(図 12)。

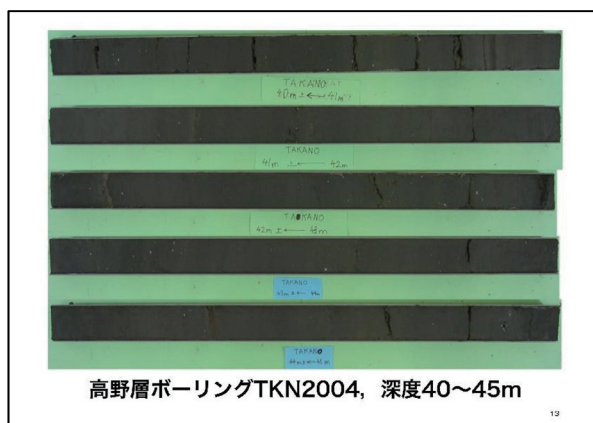


図 12

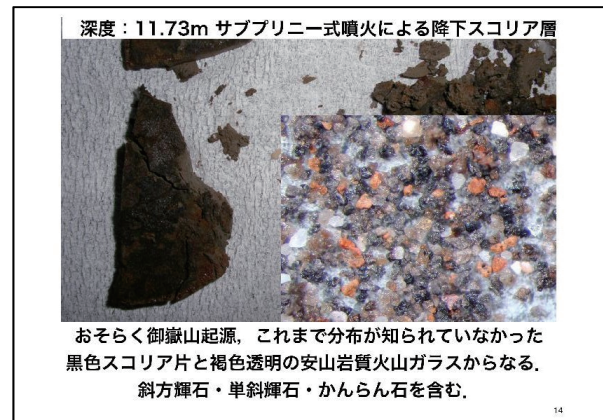


図 13

そこに挟まってくる火山灰層ですが、幾つか例を出してお話します(図 13)。少し分りにくくてすみませんが、ここは黒っぽくこのようになっているのは、コアを半割して、そこから火山灰をボロっと取り出すと、薄く 1 ミリあるかないかというぐらいの厚さで、黒い粒子がへばりついてます。この部分です。それを水洗処理して顕微鏡で観察すると、

こういう黒い粒や透明感のある粒など、いろいろな粒が見えます。

それは細かなスコリア片や安山岩質のガラス、輝石など、そういう鉱物を含んでいるということで、恐らくプリニー式の噴火による降下スコリア層で、かなり遠方から来ていると考えられ、御嶽山起源ではないかと思っています。

しかし 90 キロ離れた御嶽山にまで到達しているということはこれまで知られていませんでしたので、湖成堆積物にきれいに保存されている、こういう薄いスコリア層を見つけることによって、これが 90 キロ離れた御嶽山から来たのではないかと推定をしているわけです。

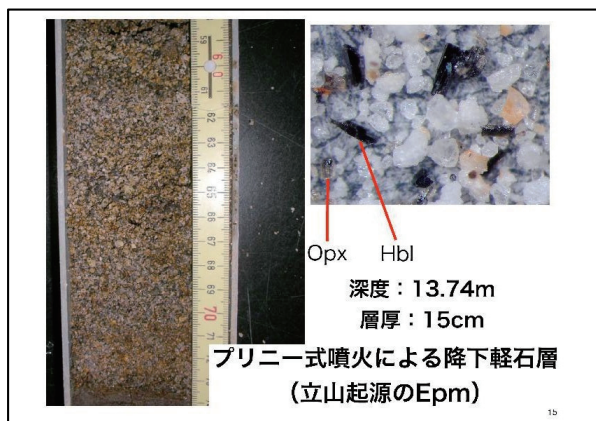


図 14



図 15



図 16

こちらはもう少し近い立山という火山です(図 14)。高野層からほぼ西側にあって、40 キロぐらい離れています。層厚が 15 センチぐらいありますので、結構分厚い軽石層になっていて、ここからもうちょっと上のこのへんまであります。先ほどの物に比べ、粒の大きさがかなり粗く、これは割と近い火山で、なおかつ噴出の規模の大きい噴火だろうということが分かります。

鉱物の組成なども先ほどのスコリア層といったものとは少し異なり、角閃石というような鉱物が入って来たりします。これは大体 7 万年前ぐらいのプリニー式噴火による、立山からの降下軽石層でないかと推定されています。

もう 1 つ、この高野層の火山灰ですが、少し珍しい火山灰です(図 15)。これも色が薄く、ピンク色をしています。こうしたところに少し薄いピンク色をしている細かな火山灰で、今までの火山灰とはちょっと性質が違って石が砕けたような岩片がかなり多く含まれています。ただ鉱物も入っていて、その鉱物にすごく特徴があります。黒雲母、角閃石ですね。そのほかに輝石やかんらん石というような鉱物まで含む火山灰で、非常に珍しい鉱物の組成を持った火山灰です。

これは北アルプスの一番北にある風吹岳の、小規模火砕流の噴出に伴う降下火山灰と考えています。灰神楽といいます、小規模火砕流に伴う火山灰は、これは雲仙・普賢岳の火砕流の一例です(図 16)。

25 年以上前の話ですので、最近学生に話をすると「は？」というような感じで全然分かりませんが、私にとっては非常に強い記憶として残っています。この火砕流が発生して 43 名の多くの人が亡くなる災害を起こしたわけですが、この火砕流が発生して、その後、上に立ち上る雲ができます。上昇する火山灰の雲ができて、それを灰神楽といたりしますが、それが風に流され、地表に達して降ってきます。

そういう火山灰が先ほどの薄いけれども、非常に特徴的な鉱物を持つ火山灰です。しかも岩石が砕けたような岩片が非常に多く、こういう小規模火砕流に伴う灰神楽だろうと考えています。

今お話ししましたのは高野層の話です。一番近い火山からでも 40 キロ離れていて、遠い御嶽山だと 90 キロぐらい離れています。しかし近い火山のものは当然保存していますし、遠い火山のものであっても、これまで知られていなかった分布が分かるといったことにもつながります。



図 17



図 18

次は火山の近く、野尻湖の話です(図 17)。ここは現在も湖で、水深約 29 メートルの地点で掘削されたコアです。位置関係で見ますと、ここは野尻湖ですので、ここに黒姫火山があつて、黒姫火山から直線距離で 8 キロ離れている。妙高火山からは大体 10 キロ離れていて、そういう位置に野尻湖があります(図 18)。

これは堆積物を 5 センチの厚さで切って、厚さ 5 センチの砂の含有率がどれくらいかを連続して調べたものです(図 19)。そうすると、砂のサイズの含有率が 20%、10%、30%。つまり何かイベントがあったりすると、そこにイベントとして粗い粒子のものが入ってくることがあります。それは火山の噴火であることが多いわけですが、この中でここに名前が書かれてあるもの。これは陸上でこういう火山灰がありますというふうに識別されていたものです。ここにもあります。

ただし、湖底堆積物からみると、もっとたくさんの火山灰が見つかっています。ここに筋で書いてあるものが肉眼観察でも火山灰だと

識別されて、砂含有率が高くなっています。そうした証拠から、陸上に認められている以外のところにも、こういった火山灰層が湖底堆積物から見いだされているという 1 つの例です。ただし注意しなければいけないことがあります。ここに砂の含有率はちょっと少ないのですが、ずっと火山ガラスが交じってきます。この火山ガラスは有名な 3 万年前の始良丹沢火山灰というものがありますが、その AT 火山灰のガラスが再堆積したものが数十センチ上のほうにまで混在してきています。

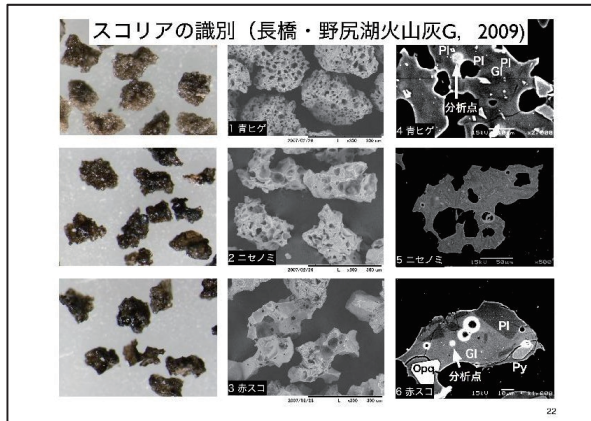


図 21

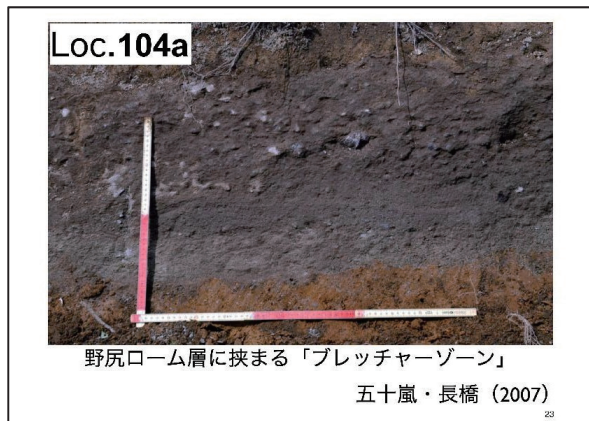


図 22

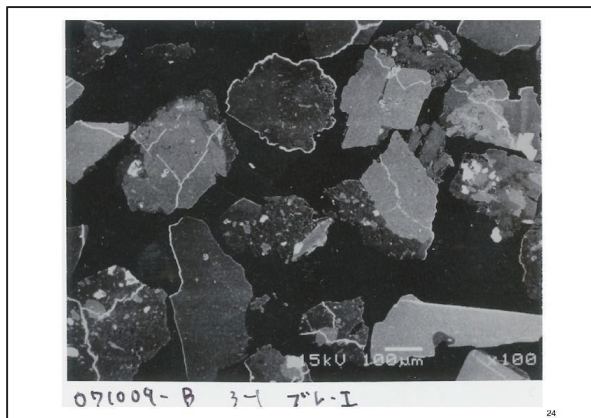


図 23

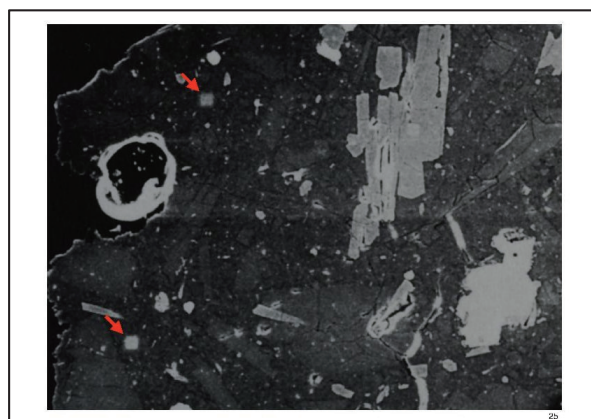


図 24

ですから、見えるものすべてが降ってきたかどうか、噴火があったかどうかは十分な検討が必要でしょう。そういったことの一例でもあります。

そのためにも、鉱物組成ですけれども、有色鉱物や斜長石ですね。火山ガラスのこうした鉱物の組成をつぶさに調べ、肉眼観察と構成粒子の観察の両方を併せて行うことが1つ重要なことです(図 20)。

もう1つ、最初のほうに風化・変質している軽石層の話をしましたがけれども、スコリア層も風化・変質をこうむることなく、きれいに保存されているのが湖成の堆積物の特徴です(図 21)。スコリアは区別が非常に難しく、鉱物の組成が変わらず、化学組成もこの3つはほぼ変わらず、区別が難しいです。

ただ、この3つが区別できるのは泡の大きさが違うからです。真ん中は電子顕微鏡の写真ですけれども、一番上は非常に細かい泡がたくさんあります。一番下は大きな泡がゴツゴツとあります。ここは上と下との中間的な泡のあき方になっています。

実体顕微鏡で見ても、それは分かります。ですから、化学組成ではなかなか区別がつかないものであっても、粒子の形状を見ることによってそれぞれのスコリアの特徴が分かることがあります。

もう少し野尻湖の話を続けます。陸上でこういうブレッチャーゾーンといわれている石質岩片の多いテフラ層があります(図 22)。これは電子顕微鏡でも、もちろん顕微鏡で見てもかなり岩片が多く、その後の分析に困るところがあります。しかし、それを一生懸命に分析したことがあります。

これは電子顕微鏡で見たものですが、いろいろな粒子もしくは鉱物が入ってきます(図 23)。しかし岩片をよく分析すると、その岩片の中に火山ガラスの部分があります(図 24)。それを拡大した部分です。1つの

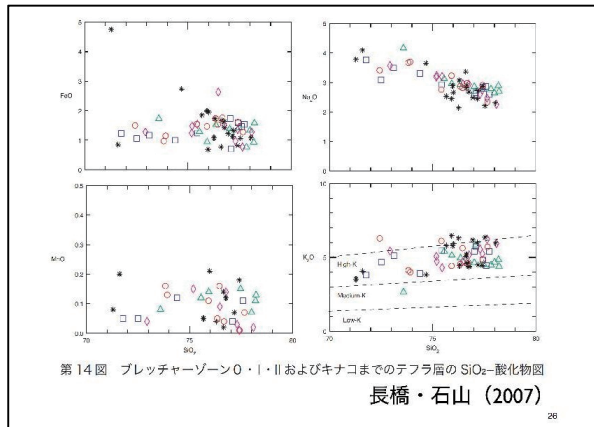


図 25

大きな岩片の中で、これは輝石です。こういう鉱物がたくさん入ってきていますが、この中のこういう場所やこういう場所を選ばないと、岩片中の一部分のガラス部分を分析することができます。

こうやって石質な岩片であっても、ガラスの部分进行分析することによって、これは石質岩片の、今プレッチャーゾーンと言ったところの岩片の分析値(図 25)。横軸はSiO₂で、これはK₂Oです。SiO₂が75%前後と結構高い組成のガラスがあることが分かります。

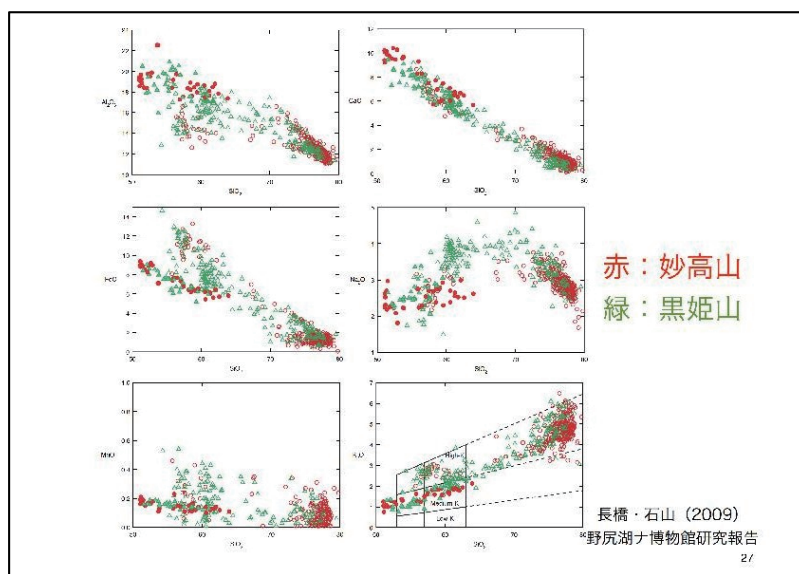


図 26

野尻湖に入っている火山灰層のほぼすべてをこうして分析すると、赤が妙高山、緑が黒姫火山のそれぞれの分析値です(図 26)。横軸はSiO₂で、縦軸がK₂Oです。火山の山体にある岩石の分析値が、少し分かりにくいですが、中が塗りつぶしてあるマークです。SiO₂が50数%から60%ちょっとぐらいまでの組成です。

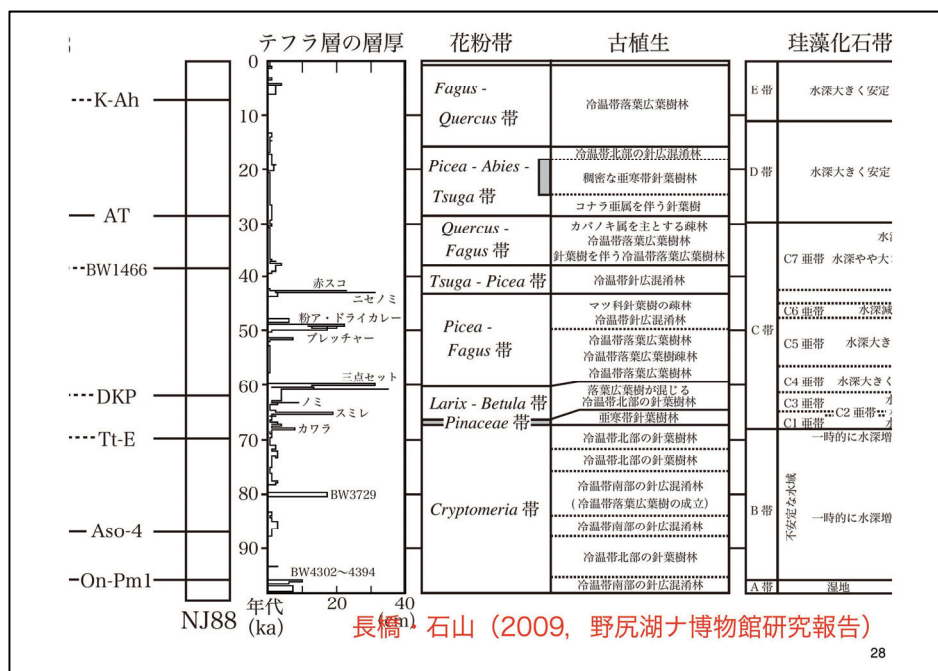


図 27

それに対応するようなスコリア質な組成ももちろんありますが、もっと火山山体の全岩の化学組成では分からない石基部分のガラスの組成がSiO₂の高いところにあるということが分かります。

火山灰は、天然ガラスを分析すると識別しやすいわけですが、こうい

そうすると 4 万年、5 万年、6 万年前ごろというのは黒姫山、妙高山は比較的規模の大きな活動を続けていたということです。最近数万年間は長期的にみると 5 万年、6 万年前ほどの大きな噴火はないことが、こうしたコアの解析から分かります。

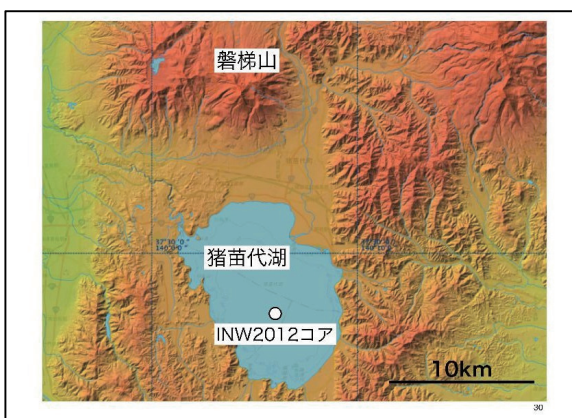


图 29

実は、ここではいろいろなところの火山灰が入ってきます(図 30)。書いていますが、北海道・十和田湖からの火山灰や、近いところでは猪苗代湖の西にあります沼沢カルデラ、沼沢湖です。これは 5400 年前。榛名山の 6 世紀の噴火や、一番遠いところは南九州の姶良カルデラから姶良丹沢火山灰。3 万年前の火山灰です。

特に北から来る火山灰もあることがちょっと珍しいと思いますが、かなりはつきり分か

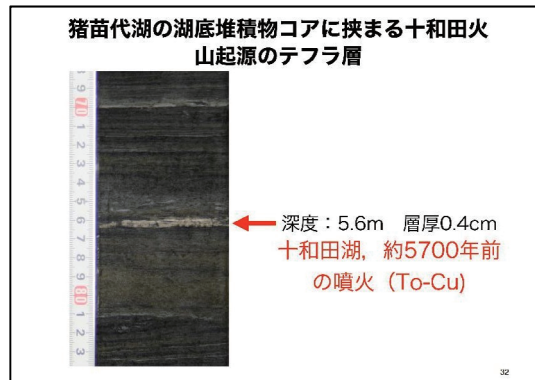


图 31

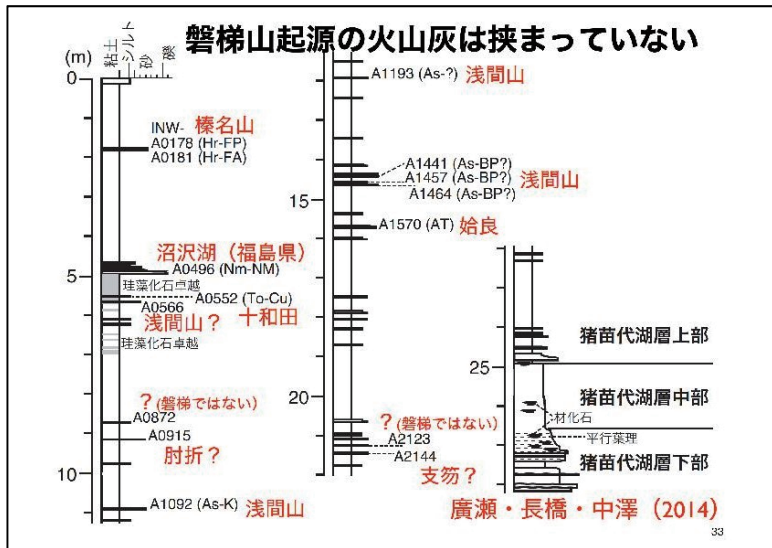


図 32

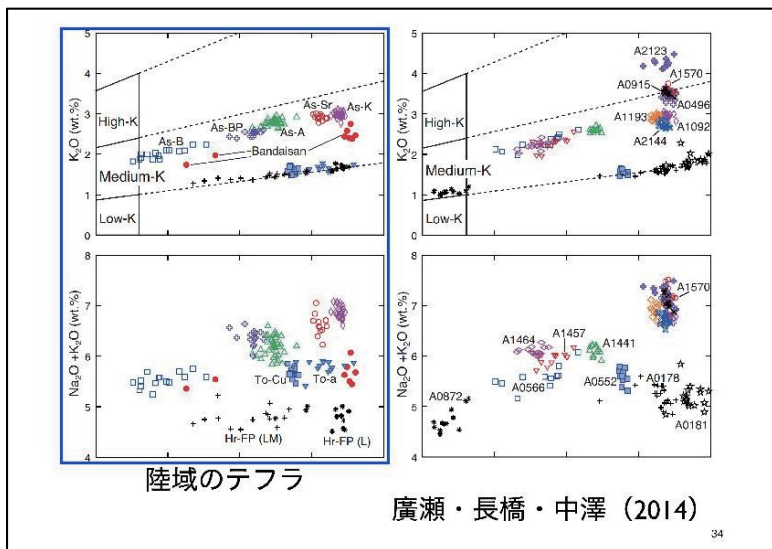


図 33

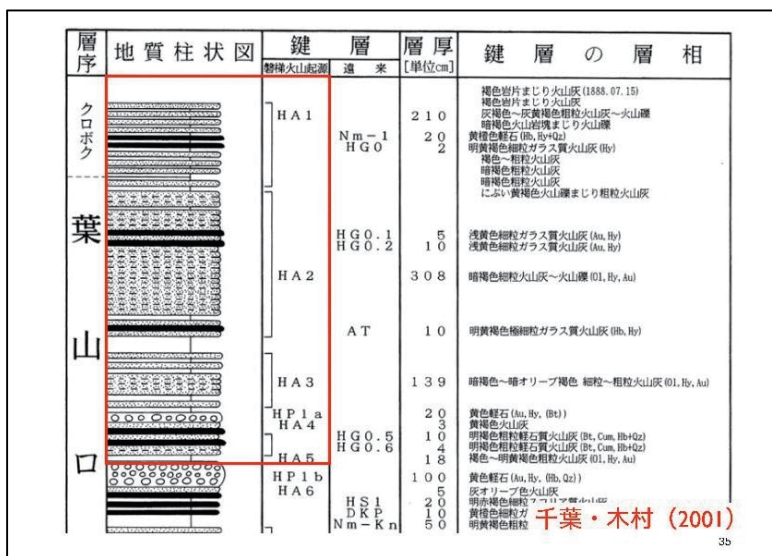


図 34

ります(図 31)。これは十和田の 5700 年前の噴火の火山灰で、厚さが 0.4 センチと薄いですが、パッと目で見ても分かりますからかなり立派なほうです。十和田から飛んできたこういう火山灰が入っています。

いろいろなところの火山から火山灰が猪苗代湖のコアに入ってくるわけですが、しかしお膝元の磐梯山の火山灰はどうかというと、実はありません(図 32)。上からいきますと、「A」という頭文字が付いているのが火山灰層です。榛名山の 6 世紀の火山灰があって、沼沢湖の火山灰があって、十和田、これは浅間山と思います。これも磐梯ではない、山形や浅間、これは南九州、これは北海道——というふうに思っています。

これは化学組成を調べたものです(図 33)。陸域に分布する、知られている火山灰の化学組成と、猪苗代湖のコアに入っている化学組成を比べても、磐梯山の分析値はこういったあたりにきますが、ちょうど磐梯山の火山灰に相当するものが猪苗代湖のコアでは認められません。

噴火していないかという、そうではなく、磐梯山もこの時期に噴火しています(図 34)。大体このあたりが 5 万年前ですので、猪苗代湖の年代と同じぐらいです。ここは 3 万年

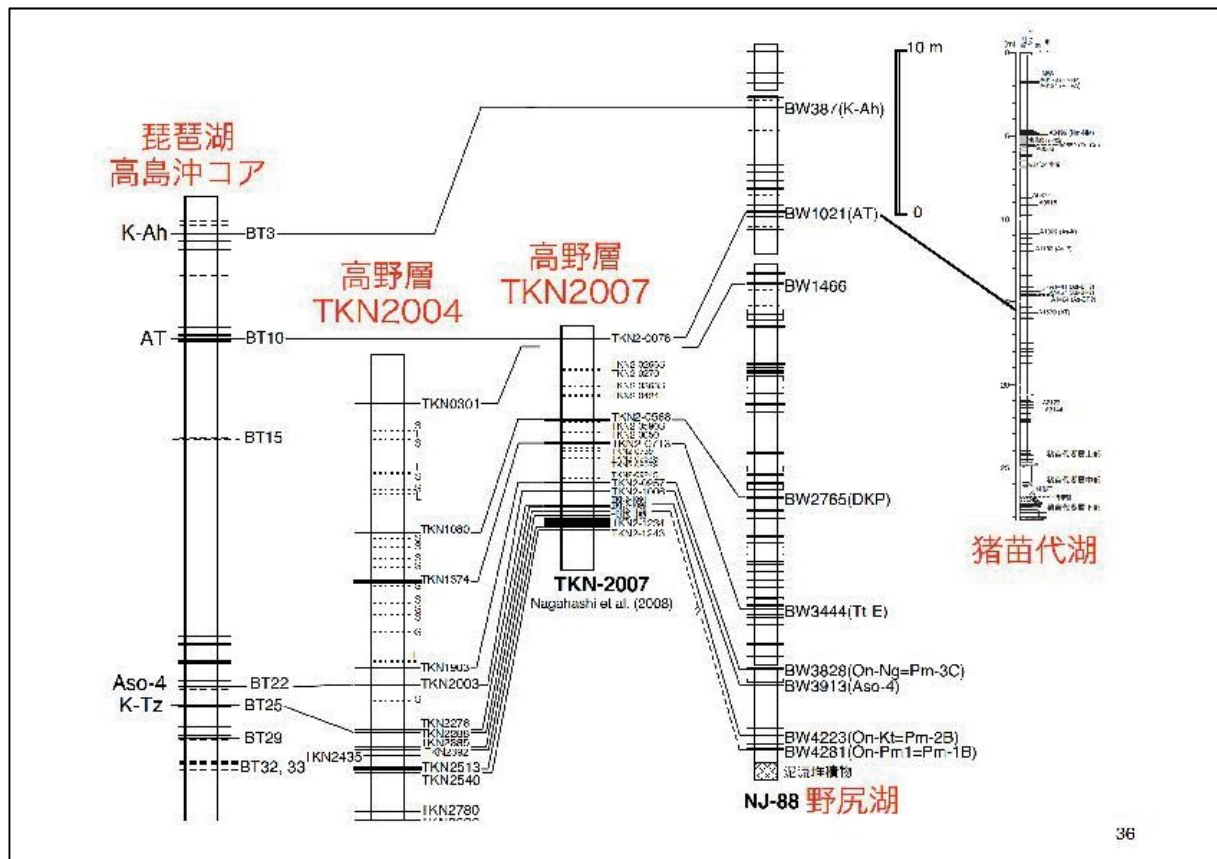


図 35

前の火山灰ですから、その前後に磐梯山に爆発的な噴火があって、火山灰を降らせていることは分かっていますが、猪苗代湖には分布していないということです。

猪苗代湖を掘削したところは磐梯山から南に 20 キロ離れていますので、噴火した火山灰は東のほうに流れ、ここには分布していません。分布していないことが分かるのも 1 つ重要なことだろうと思います。

それぞれのコアの関係です。高野層で 2004 年のコアがあって、実は 2007 年にも掘削していますので、その 2 つを比較することもできます(図 35)。

野尻湖の話もしましたが、野尻湖も 10 万年前ぐらいまでさかのぼることができて、たくさんの火山灰が入っています。猪苗代湖です。今日はお話ししなかった琵琶湖ですが、それぞれがいろいろな湖のテフラ層を結び付けて、日本の火山の活動史を大きく編むことにもつながるデータです。

最後ですけれども、今まで話してきたことの 1 つは、陸域では知られていなかったテフラ(火山灰)が見いだされることがあります。湖成堆積物の保存性が良い、連続性が良いということの利点です。また中規模以上のマグマ噴火の歴史をうまく構築できて、今まで知られていなかった分布が分かるかもしれません。

また火口と湖との位置関係によっては近隣の火山であっても、テフラが降下堆積していないことがあります。猪苗代湖、磐梯山の例をお話ししましたが、湖の位置関係がやはり重要です。ただし、その時期に噴火があっても、そこには分布がないことを確かめること

湖成堆積物コアのテフラ研究

- 1) 陸域では知られていなかったテフラが見いだされることがある。また、中規模以上のマグマ噴火の歴史をうまく構築できる。
- 2) 火口と湖との位置関係によっては、近隣の火山であってもテフラが降下・堆積していないことがある（それも重要）。
- 3) 湖成堆積物コアの連続分析はイベントの検出に有効であるが、テフラの同定に際しては、やはり層相と構成粒子の観察が最も大切である。

3/

自体も重要だろうと思います。

連続分析です。野尻湖でもやられていますけれども、連続分析はイベント検出には非常に効率的ですし、有効です。しかし最終的にはコアの観察や構成粒子の観察を欠かすことはできないと思っています(図 36)。

以上です。

図 36

司会：どうもありがとうございました。

まだ時間があります。後でもお時間を取りますが、ここで何か聞いておきたいことがあれば、挙手をお願いいたします。

よろしいですか。

日本のいろいろなところの火山から、東北の火山でつかまえられるお話をいただきました。

マイクがいきますのでお待ちください。

会場：シマダと申します。2 番目で、近隣の火山であっても、降下堆積していないということでした。その原因について、例えば上空にいつて流されてなど、幾つかの要因は考えられるのでしょうか。もしあれば教えていただきたいと思います。

以上です。

長橋：磐梯山と猪苗代湖の例などでお話ししますと、噴火はあったわけですがけれども、上空に吹き上がって、偏西風に流され、ほぼ南側には、恐らくこういうあたりにはいくかもしれませんが、それより南には本当に来ていないみたいです。そういうふうな風に流されて、風下側にはいくけれども、そうでないところには堆積していません。過去の噴火ですので、それを確かめることができたということでもあると思います。

司会：ほかによろしいですか。

午後の最後にご質問を受けるところがありますので、その時にまたお願いします。

続きまして、青木先生から「北西太平洋の海底堆積物から見た日本の火山噴火」ということで、今度は海の堆積物でどのように噴火が分かるかというお話をさせていただきます。

「北西太平洋の海底堆積物から見た日本の火山噴火」

青木かおり (立正大学環境科学研究所)

北西太平洋の海底堆積物から 見た日本の火山噴火

青木かおり (Kaori Aoki)
立正大学環境科学研究所 客員研究員

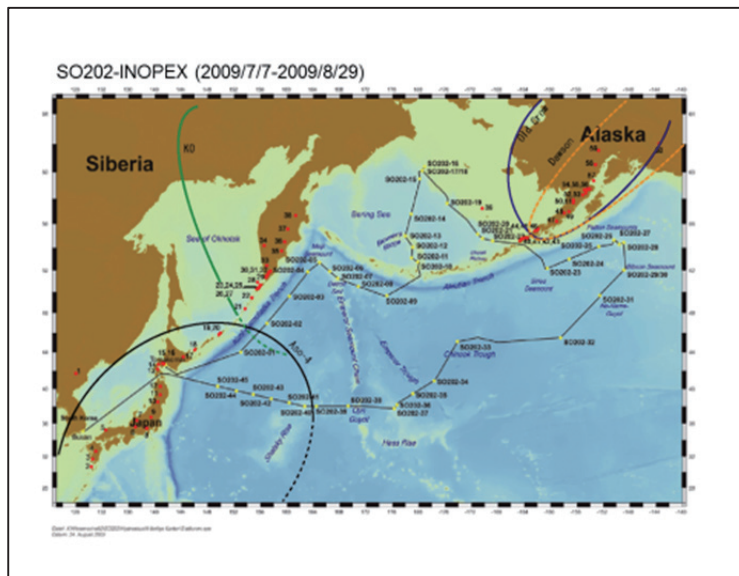


図 1

青木：立正大学で客員研究員をしている青木と申します。よろしくお願いします。

私は海のほうでどういう形で火山灰が分布しているのかについて長年研究しています。今日のシンポジウムの趣旨は、富士山に関する研究あるいは湖底の堆積物ですが、広くなって北西太平洋あるいは北太平洋全域でどういう形で火山灰が海に分布しているのかについてお話ししたいと思います(図 1)。

皆さんは火山にはご興味があるかと思うので、日本列島にはこれだけの活火山がたくさんあることはよくご存じだと思います。北海道からずっとつながるこの千島列島にも多くの火山が分布し、カムチャツカ半島、アリューシャン列島、アラスカに至るまで活火山もしくは第四紀といわれている地質時代、過去 260 万年ほどの間に活動した火山に囲まれているのが北太平洋です。

今日の話としては、海底堆積物中にどういう形でテフラが存在しているのか(図 2)。テフラという言葉自体は、長橋先生からいろいろとご説明があったので、よくお分かりになったかと思います。いろいろな形の軽石やスコリア、火山性の破碎された碎屑物といわれるものをテフラと呼んでいます。

もう 1 つの話題としては、特に日本列島の火山を

トピック

1. 海底堆積物中のテフラ(火山性碎屑物)
2. 日本列島の火山を起源するテフラの海域での発見、その同定方法および分布範囲
3. 海底で見つかるテフラからわかること
遠隔地の噴火が重なり合うことによって層序の確定。数値年代を得て、火山学以外にも古環境研究への応用。

図 2

起源とするテフラの海域でどういう形で発見されたか、そしてその同定の方法であったり、分布範囲をどのように見つけてきたのか。海底で見つかるテフラから分かることとして、例えば遠隔地の噴火が重なり合うことによって、どちらが先に噴火したか、後に噴火したかといった層序が確定したりします。

また数値年代、何万年前に噴火した物であるかの年代を得て、例えば火山噴火史、火山学以外にも、その火山灰の年代が分かることによって、海底の堆積物の時代あるいは陸上においてもいろいろな地層の年代が分かりますから、そういう古環境の研究をするときのタイムマーカーとして使えるという応用の話——の3点についてお話しいたします。

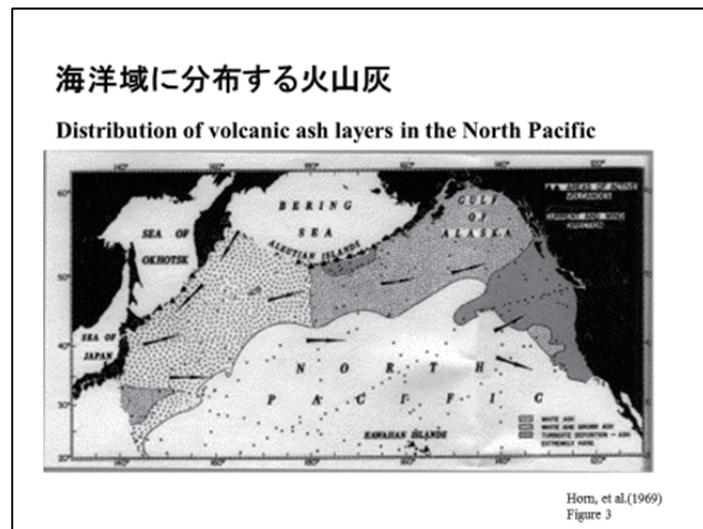


図 3

ルエリアのあたりには、大体火山灰が分布していることが分かった報告がありました。

このときには、ハッチのマークで西側の海域の点が、粗いほうのエリアは大体白っぽいアッシュ（ホワイトアッシュ）が分布している。つまりケイ酸塩が多い流紋岩質ないしはデイサイト質というふうにいわれているような火山灰が割と多く分布しています。

こちらのハッチの細かいところのエリアに関しては、ブラウンアッシュ、このあたりの富士山近郊ではよく見かけられるようなスコリアとか、そういう安山岩質から玄武安山岩質の火山灰がかなり多く分布していることが報告されました。

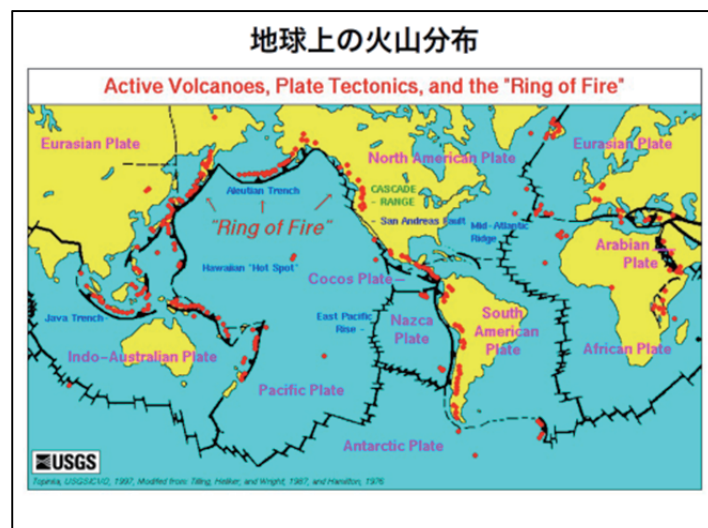


図 4

そもそも海に火山灰が分布していることが分かったのは 1960 年代です。こちらに 1969 年という形で論文が出ています(図 3)。アメリカのコロンビア大学のラumont 海洋研究所が研究船「Vema」という船を使って、太平洋全域で 300 カ所以上の海底堆積物を採りました。

それらを調べていくと、このハッチが付いている部分に火山灰が分布しています。この陸上から大体 900 キロから 1300 キロメートル

日本列島からカムチャツカ、アリューシャン、アラスカにかけてのことを、また北米の西海岸にかけてのことを環太平洋火山帯もしくは Ring of fire (火のリング) という言い方をして、火山が非常に多いエリアということで知られています(図 4)。

特に細かく火山の分布を見ていくと、カムチャツカ半島はちょうど日本列島とほぼ同じぐらいの大きさになります(図 5)。このカムチ

ヤツカ半島にも火山帯があり、現在、活火山、第四紀に活動したような火山が大体3列ぐらいにわたって分布しています。

アラスカからずっと延びてくるアラスカ半島といわれているところも活火山の巣になっているわけで、アラスカに向けて飛行機が飛んだときに、このあたりは火山が噴火して、飛行機が航路を変えなければいけないなどの事態に陥ることもしばしばあります。

海の場合は2通り方法があり、こちらの右下にある地球深部探査船「ちきゅう」という船がありますが、ここに櫓（やぐら）がある通り、船がある場所に行って、この櫓のところでボーリングをします。1カ所に停泊して、2



カ月ぐらいかけてゴリゴリと掘削するのがこの探査船です(図 6)。

こちらの研究船といわれている「白鳳丸」「みらい」、また「SONNE」といわれているドイツの研究船は、船で行って、そこからウインチでワイヤを降ろし、採泥器といわれるものを下に降ろして堆積物を採ります。

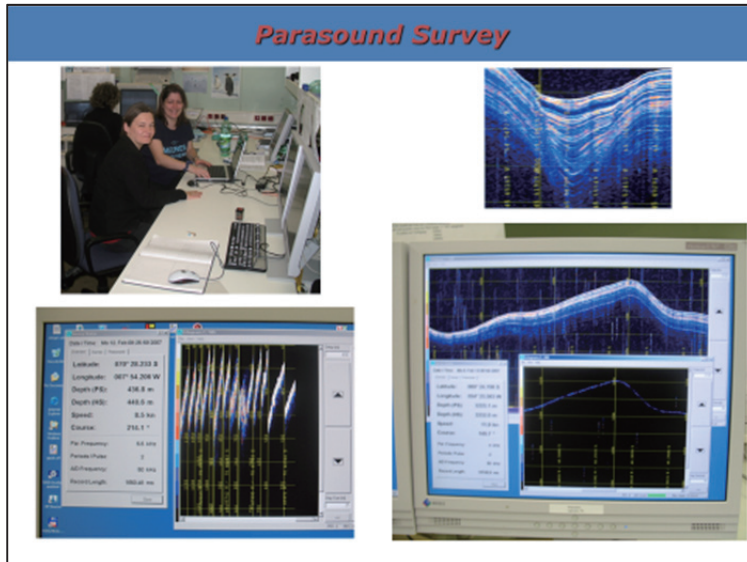


図 7

かないとモニターができない状況です。



図 8

ステンレス合金の管を 20 メートル程度つなげたものになります。これを船の甲板の脇から出してやって、これを縦にして、ここからウインチで巻き降ろしながら海底に降ろしていきます。

ピストンコアラーというのは、左側から降ろしてくると、ここに 1 トンから 2 トンの重りが付いていて、ここに先ほどのステンレス合金の管がつながっています(図 9)。頭のところにてんびんというものが付いていまして、こちらにトリガーコアといわれているものがあります。ワイヤをだんだん送り出していくと、最初にトリガーが海底面にトンと付きま

どういふふうにやるかという
と、まず船で走っていきます(図
7)。これはサイトサーベイをや
っている途中で、パラサウンド
サーベイを最初にやります。音
波探査といわれるものです。音
波を海底に発して跳ね返ってく
る反射波を使って、海底に何が
あるか調べます。そもそも泥が
たまっていなかったら、海底堆
積物は採れません。あるいはそ
こが急斜面だったりします。こ
こは急に勾配が変わっていつて
いるので、高さを切り替えてい

海底堆積物としていいのは、
このように物が成層してたまって
いることが音波で分かるよう
な場所。そういう場所をずっと
探していきます。その中で、こ
こだったらいい、こういう場所
で採ろう、こういうふうに深く
たまっている場所で採ろうとず
っと調べていき、ある場所に来
て決めたところで、例えばピス
トンコアラー(Piston Corer)と
いうものを使って堆積物を採る
わけです(図 8)。ここに 1 トン
から 2 トン程度の重りを付けて、

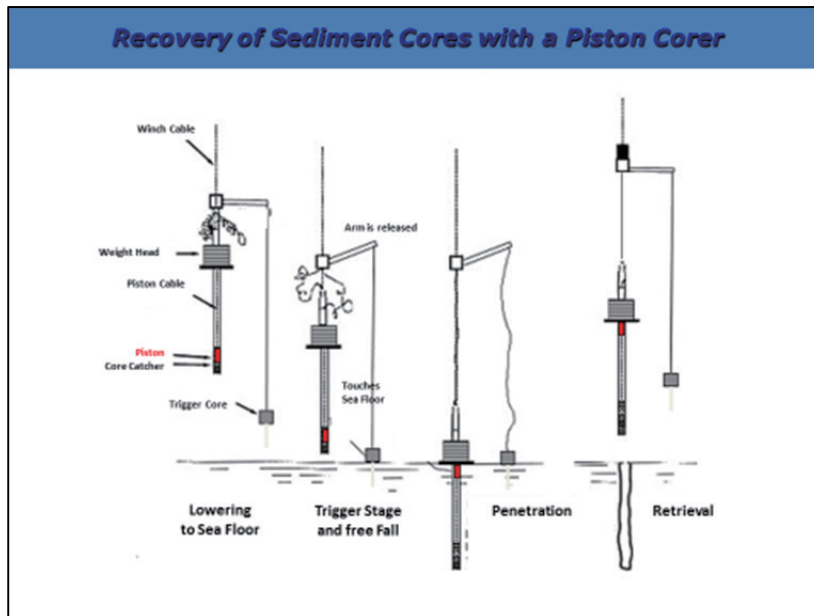


図 9

りと管だけがズブズブと泥の中に刺さっていき、この中に泥が入っている状態になります。



図 10



図 11

す。着底した瞬間に弾みでこのてんびんがはね上がるので、このトリガーになっているところがパチンと外れます。外れた瞬間に重りと管と一緒にズドンと海底に落ちて刺さります。

この赤いものはワイヤでずっと船の上につながっています。これがちょうど海底に落ちて刺さった瞬間にワイヤがウインチの繰り出しをピタッと止め、その瞬間にこの重

もともと先端にあったピストンといわれているものが一番先端のところで止まった状態にあります。ここから船の上でウインチで巻き上げを始めると、注射器の原理と同じで、ここでピストンが止まっているので中が陰圧になり、ここに刺さったときの泥が入った状態のままズルズルと船の上に引き揚げ回収します。これがピストンコアラを使った堆積物の採り方です。

引き揚げてきて、例えば1メートルごとに切って、横を半分に割ってやります(図10)。それをズラッと並べた図になります。これはカムチャツカの沖合で採った堆積物ですが、大体1メートルの間に白っぽいものだったり、クリーム色の火山灰が入っていたり、あるいは黒色のスコリア層などが一緒に入ってきたりということが観察できます。

今言ったような堆積物、長さが大体20メートル程度の堆積物を採りますと、北太平洋全域で考えると、その堆積物をいろいろな化学分析や方法を使って年代測定をしたり、あるいは微化石といわれているよう

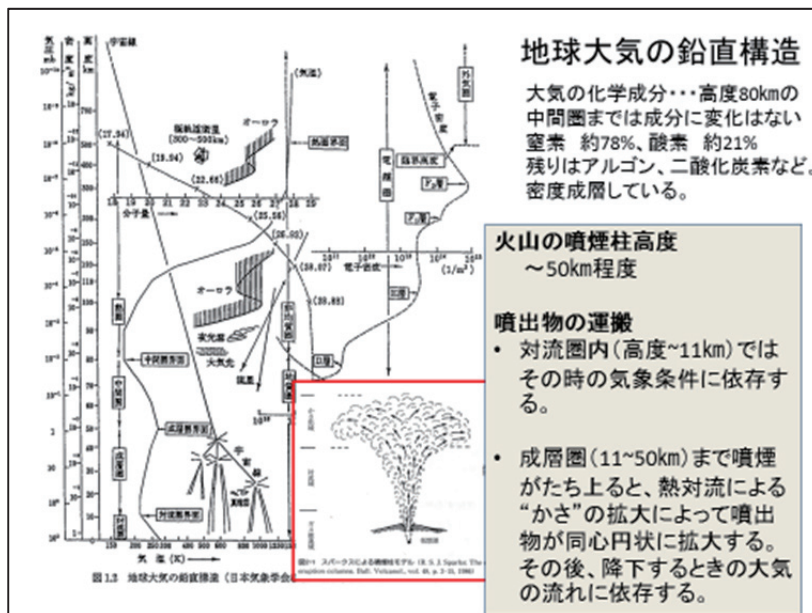


図 12

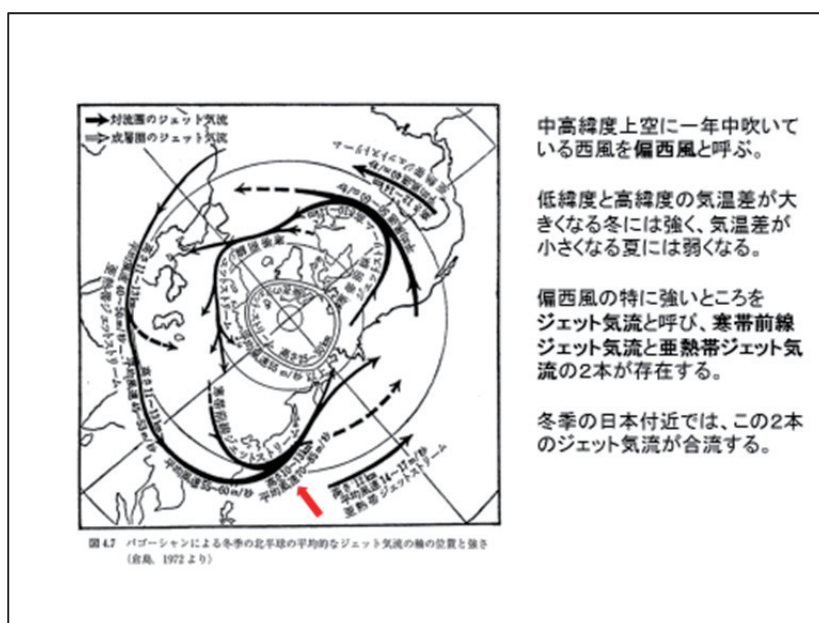


図 13

すと、地球の大気というのは、地表面から大体 10 キロから 11 キロ程度のところに対流圏があり、成層圏が地上から 50 キロ程度にあります。80 キロ程度のところまで中間圏で、その上が熱圏といわれていてオーロラが出たりします。

火山の噴煙柱高度は、規模が非常に小さい噴火であれば数キロ程度だったりしますが、火山灰が何千キロも飛ぶような状況であると、噴煙柱は大体 50 キロ程度立ち上ったと計算されます。

そうしますと、噴出物の運搬はどういう状態になったかという、例えば対流圏内の高度 11 キロ程度のところだけで噴煙柱がとどまるような場合、その時の気象条件に依存した分布方向になります。例えば、対流圏のところを当時、爆弾低気圧みたいな極めて特異なものが来ていたり、台風が来ていたりする瞬間に噴火した場合、その時の気象条件に極

なものの層序を研究していくと、例えば第四紀といわれている過去 260 万年程度の堆積物を回収することができます(図 11)。

堆積速度が極めて遅いエリアに関してはこのぐらいいはできるのですけれども、日本近海の三陸沖合などだと、20 メートル程度だと、過去 20 万年カバーできるかどうかといった程度で、海域によってずいぶん堆積速度は変わります。

それぞれこういう海域のところに火山灰がどういふふうに運搬されてくるか少しお話ししたいと思います。

大気の構造から少しお話しすると、沖合に例えば 1000 キロ、2000 キロというエリアまで火山灰が飛んでいくためには大気を経由して、大気中を運搬されてきてそこから降下してくることになります(図 12)。ですから、大気のお話をしておきま

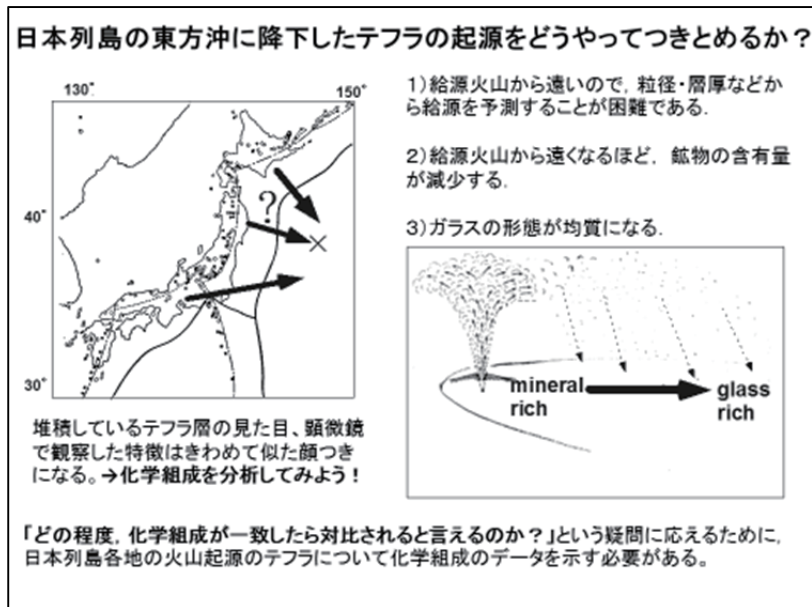


図 14

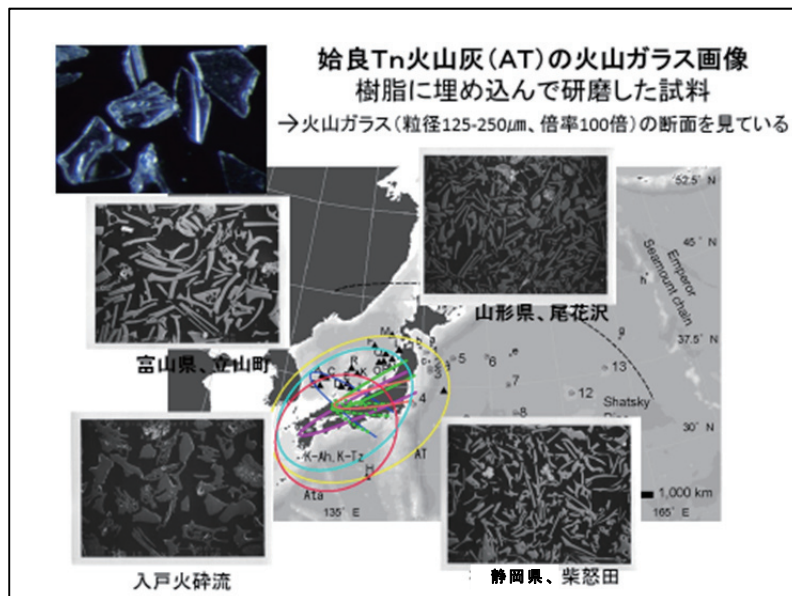


図 15

めて依存した分布の形態になります。

一方で、成層圏の 11 キロから 50 キロ程度にまで噴煙柱が立ち上っていく、例えば地上からこのようにもくもくと立ち上る。長橋先生から先ほど噴煙が立ち上るきれいな画像を見せていただきましたけれども、もくもくと立ち上って、熱対流によって上空で傘が拡大していきます。そうしますと、噴出物は基本的に同心円状に拡大していきます。

その後降下するときの大気の流れに依存して分布範囲がどういう方向に偏っていくかが決まります。特に日本の上空では、成層圏まで立ち上ってくると、成層圏と対流圏の間にジェット気流があります(図 13)。これは大気が北極から北半球を周回する流れを見た図ですが、中高緯度域の上空には常に西風、つまり偏西風が流れています。特に低緯度と高緯度の気温差が大きくなる冬、今の季節になると、

偏西風の強度が強くなります。気温差が小さくなる夏には弱くはなりますが、しかし 1 年を通して西風が常に吹いています。

現在、日本の上空はこの赤の矢印を付けたこの場所ですが、寒帯前線ジェット気流といわれているものと、亜熱帯ジェット気流の 2 本があり、冬場はこの 2 本が合流する形になります。今は冬場なので、上空ではこういう状態で吹いています。

これがちょうど成層圏と対流圏の間をずっと流れている状況になりますので、火山が噴火して噴煙柱が立ち上ると、この風が常に東側へと運搬することになります。

もう 1 つ、日本列島の東方側に火山灰は分布していくらしいことが分かります(図 14)。しかし、それらのテフラの給源になっている火山を突き止める話になると、火山から距離が離れすぎていて、さらに対象となる火山がたくさんあるため、粒径や層厚などだけではなかなか給源を特定できません。

火山から遠くなるほど、重いものから先に落下していきます。つまり火山の近くでは、鉱物などどんどん落ちていきます。離れていくと、火山ガラスといわれるものだけになっていきます。そして火山ガラスの中でも、風によって運搬されやすい物だけが遠くへ行く形になります。

少し例をお見せします。これは始良丹沢火山灰といわれている火山ガラスの画像です(図 15)。こちらは実体顕微鏡で見た図になります。こちらの写真は樹脂に埋め込んで、研磨をして電子顕微鏡で観察した画像です。粒径は全部 120 から 250 ミクロン、倍率は 100 倍にした断面の写真を撮っています。

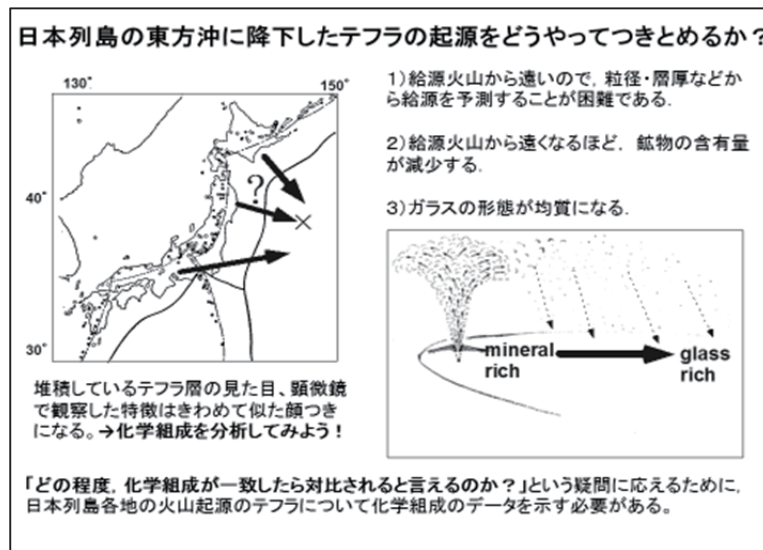


図 16

といわれているところで採取した同じ火山灰です。もう 1 つ、山形県の尾花沢市で採った AT 火山灰です。柴怒田や尾花沢までくると、火山ガラスの厚みなどが非常に華奢な形態になっていくことが分かります。

しかも柴怒田や尾花沢で見られるようなものの形態、骨になったような断面になっていますから、実体顕微鏡で見ると、ペラペラした、バブルウォールと呼ばれているようなタイプ

の火山ガラスになるわけで、こういう状態になってしまうと、形態だけで同じかどうか。これ以外にも、AT といわれているもの以外の火山灰でも、このように距離を飛んでくると、こういう形で似たような形態を示すような火山灰になってしまいます。

そうすると、見た目だけの特徴ではなかなか同定ができなくなってきて、観察した後化学組成を分析することになります(図 16)。どの程度の化学組成が一致すれば、海で見つか

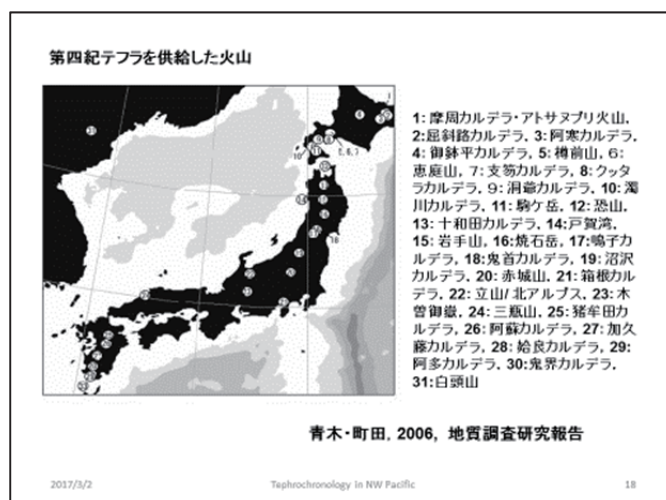


図 17

ったものと、陸で見つかっているものとが対比できるかといえるのかという疑問に答えるために、日本列島各地の火山起源のテフラについて化学組成のデータベースをつくる必要がありました。

これは2006年当時に分析したものを、全部データをまとめて公開したものです(図17)。第四紀の間に噴火したテフラに関しての31火山起源の大体92試料を集めて全部分析しました。

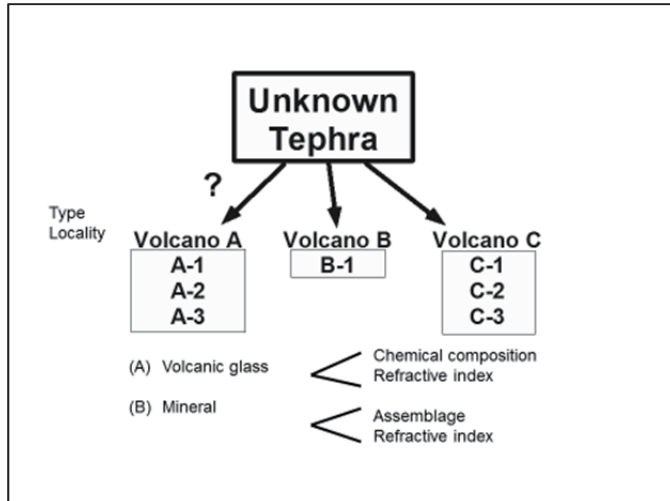


図 18

はチタンで、縦軸をカリウムで取っています。こういうふうには、それぞれの地域あるいは火山もしくは同じ火山だと、似たような傾向を示すのだけれども、細かく分けていくと、時代によって化学組成が変化しています。

それぞれの火山灰が持っている化学組成の特徴に対して、未知の試料がどのように似通っているかを統計的な手法を使って対比しています。

例えば、「A」といわれているテフラに対して、未知の試料の平均値を取って、これがど

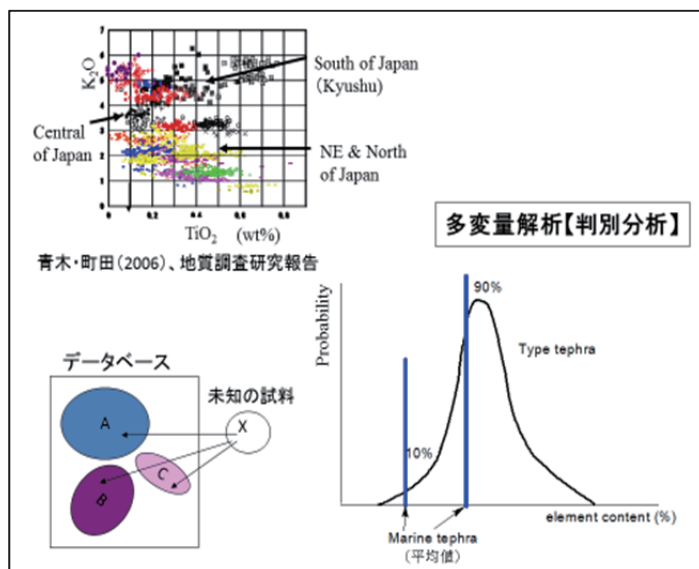


図 19

ある火山については、例えば時代が何万年かおきに噴火を繰り返しているとか、そういうものを全部丹念に拾って分析していき、例えば火山ガラスの化学組成であつたり、屈折率であつたり、鉱物に関してもどんな鉱物が含まれているか、屈折率に関しても情報を全部取りまとめてデータ化していきます(図18)。

左上のこの図は日本全国の九州から中部日本、東北、北日本の火山のそれぞれから見つかった火山ガラスを分析したデータです(図19)。横軸

のくらい似ているかを判別分析というやり方を使って、類似している程度をパーセンテージで表しています。

例えば 90%程度似ているのか、あるいは 10%程度でも似ているのか、全く似ていなければ、この「A」という火山灰の持ちうる化学組成の範囲からは完全に外れてしまい、ゼロ%になってしまうわけです。

こういう化学組成の似通っている程度を順番に比較してやって、結果的に、今、日本の近海で火山灰というのは、例えばこの 1000

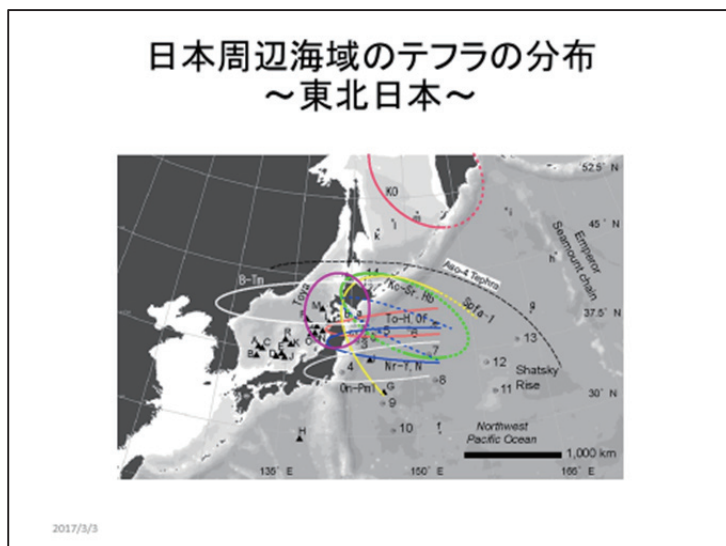


図 20

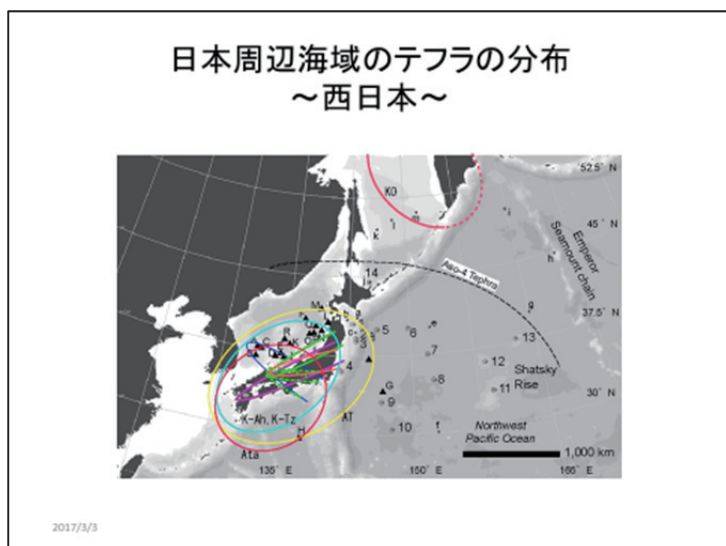


図 21

キロから 2000 キロ程度離れたような海域の沖合で、先ほど長橋先生からご紹介があった、例えば十和田起源の火山灰で、十和田八戸とか、十和田大不動といわれる、先ほどご紹介があった十和田中郷（ちゅうせり）のもう一段古い火山灰の分布は東側に延びていて、この地点では見つかっています（図 20）。

もう 1 つ、鳴子荷坂といわれている鳴子起源の火山灰も分布し、この地点では、十和田と鳴子の火山灰が重なっています。さらに中部地方からの御嶽起源の火山灰も、実はこの地点では見つかっています。こういうことが分かってきました。

西日本でも同じようなことで、九州起源の火山灰や山陰地方の大山、三瓶火山からの火山灰は東海沖などで見つかったりしています（図 21）。

もう 1 つ、海のほうにいった火山灰について結構疑問に思われることがいろいろとあるのは、大気中を飛んでいった火山灰は大気の流れによって分布範囲は左右され

ますが、海に着水した後、海流の影響はどの程度あるのかということで、こういう質問を結構受けます。

水の中に入った砂サイズの粒子は、大きさ的にはこのぐらいの砂サイズという形で限定しますが、非常に大ざっぱな話をいうと、例えば人工的なガラス玉を水の中に投入して、どのぐらいの速度で沈降するかを実験した研究があります。

このグラフから読み取ると、100 マイクロメートル程度の粒子が沈降する速度は大体秒速 0.5 センチ程度で、100 メートル沈降するには大体 5.5 時間程度かかることになります。

海の領域に降下した火山灰は、海流によって水平方向にどのぐらい移動するのかという話で、深度 50 メートル程度における海流の速度を表したものですが、一番速いのは黒潮が流れている赤い色が付いているところです（図 22）。

ここは黒潮流域では 3 ノット程度あって、例えばここは秒速 1.5 メートルの中で移動していることになります。5.5 時間で、例えば 100 メートル程度沈降する間に水平方向では

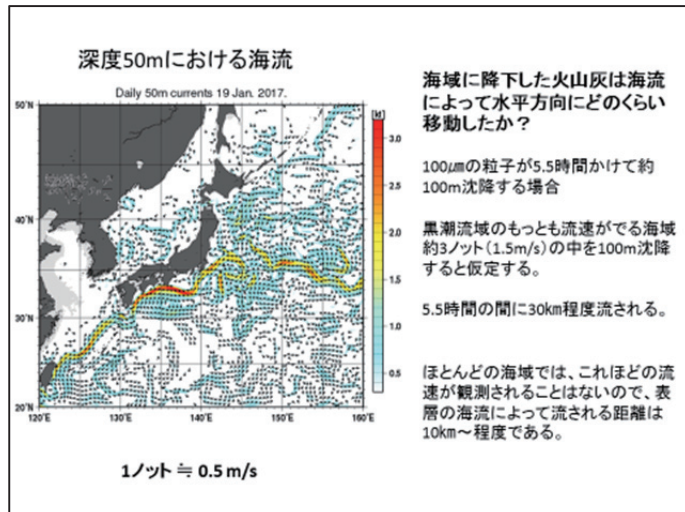


図 22

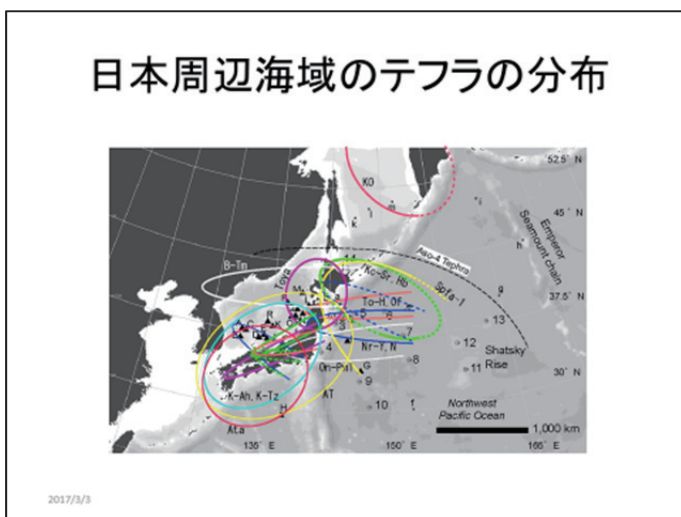


図 23

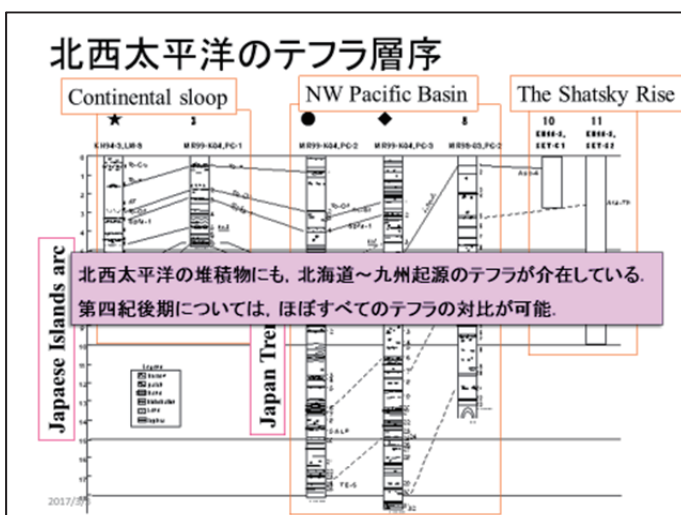


図 24

海流に乗って流されますから、30キロ程度流される計算になります。

これは黒潮の赤いエリアのこの話なので、ほとんどの海域ではこの3分の1程度になっています。こちらの薄い水色で色が付いているエリアです。そうすると、大体表層の海流で流される距離は10キロ程度になります。

ただ私の場合、海のほうを眺めていると、例えばこちらの海域は火山からの距離を考えると1000キロ以上離れています(図23)。日本で最大の火山灰分布域を持つといわれている「阿蘇-4」(Aso4)といわれている阿蘇起源の火山灰に関しては、Shatsky Riseといわれている海膨の一番北側で発見したのですが、ここが火山から2910キロメートル程度離れています。

ですから、例えば着水した後に火山灰が多少流されたとしても30キロ程度の誤差になってしまうので、海域に関して研究している分には、海流によって生じる分布のゆがみは、今のところそこまで考慮しなくてもいいのではないかと考えています。

北西太平洋の火山灰をずっとつなげていくと、実は陸に近いところから沖合に関してずっと対比できる火山灰が見つかっています(図24)。第四紀の後期といわれている過去12万年程度に関しては、ほぼすべてのテフラは対比が可能というところまで研究が進んでいます。

海のテフラが見つかって、次に何にしようかという話ですが、火山灰は年代の指標として使うのに非常に有効なものになります(図25)。例え

ば、ある化学組成を測って、元素の同位体比などを使って年代を測定したり、あるいは環

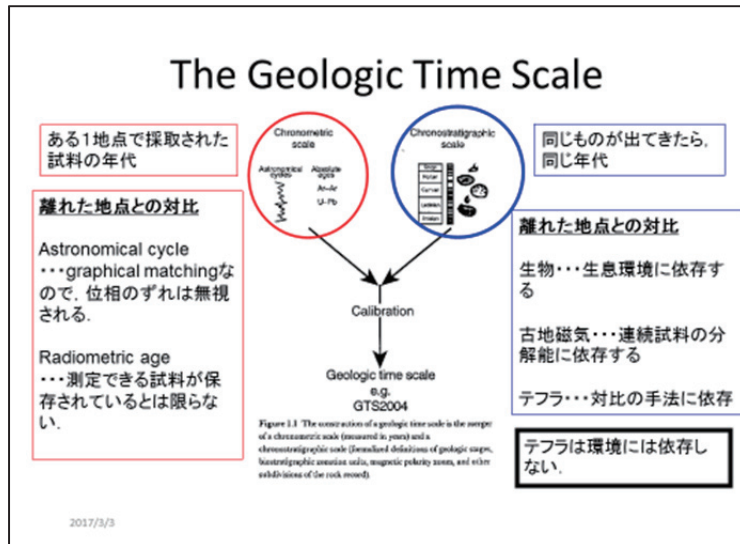


図 25

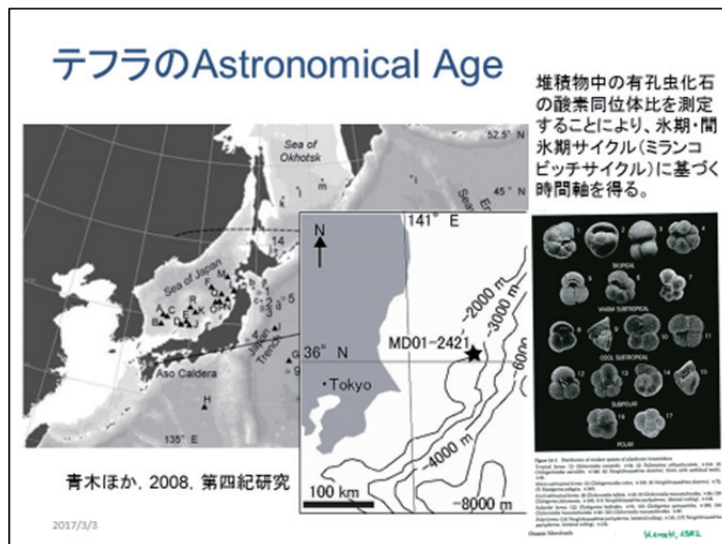


図 26

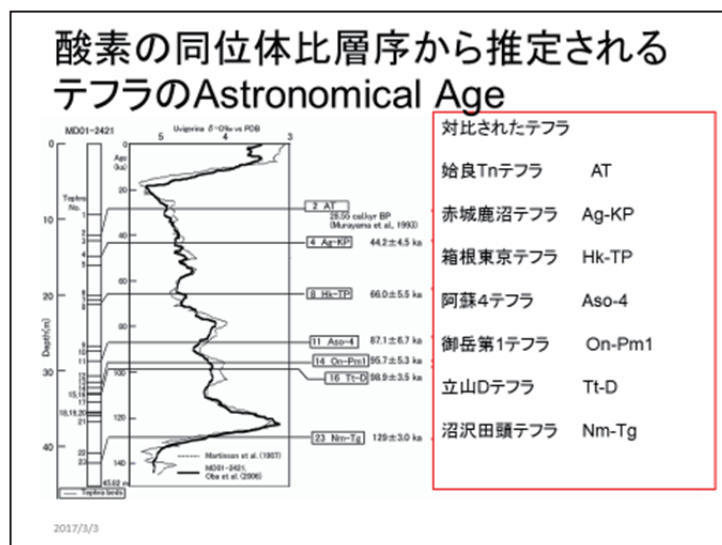


図 27

境指標といわれているものの天文学的な変化・サイクルによって計算できるような年代と。

もう1つは、生物によっては生息環境に依存するようなものもありますが、出現した時期、絶滅した時期によって年代が決まっているものがあります。古地磁気といわれているものも、ある試料の分解能に依存はしますが、年代の指標になることがあります。

テフラは対比の手法に依存しますが、テフラの対比に関しては完全にきちんと対比ができるということさえ保証できれば、いろいろな地域での対比をすることは可能になります。テフラは海や湖、陸、山などいろいろなところに分布しますが、それらを使うことによって年代を示すことができます。

これが堆積物の年代を出した事例として、鹿島の沖で見つかった海底堆積物中の火山灰についてお話ししておきます(図26)。これは、連続した堆積物を使って、例えば有孔虫の酸素同位体比を測定すると、実は氷期、間氷期のサイクルを導き出すことができます。ここから時間軸を得ることができます。

これは過去14万年間の間で暖かい時期と寒い氷期といわれた時期の年代にあります(図27)。その間に火山灰が介在していることによって、Astronomical age (アストロノミカル・エイジ)といわれますが、氷期、間氷期のサイクルから割り出した火山灰の年代が得られています。

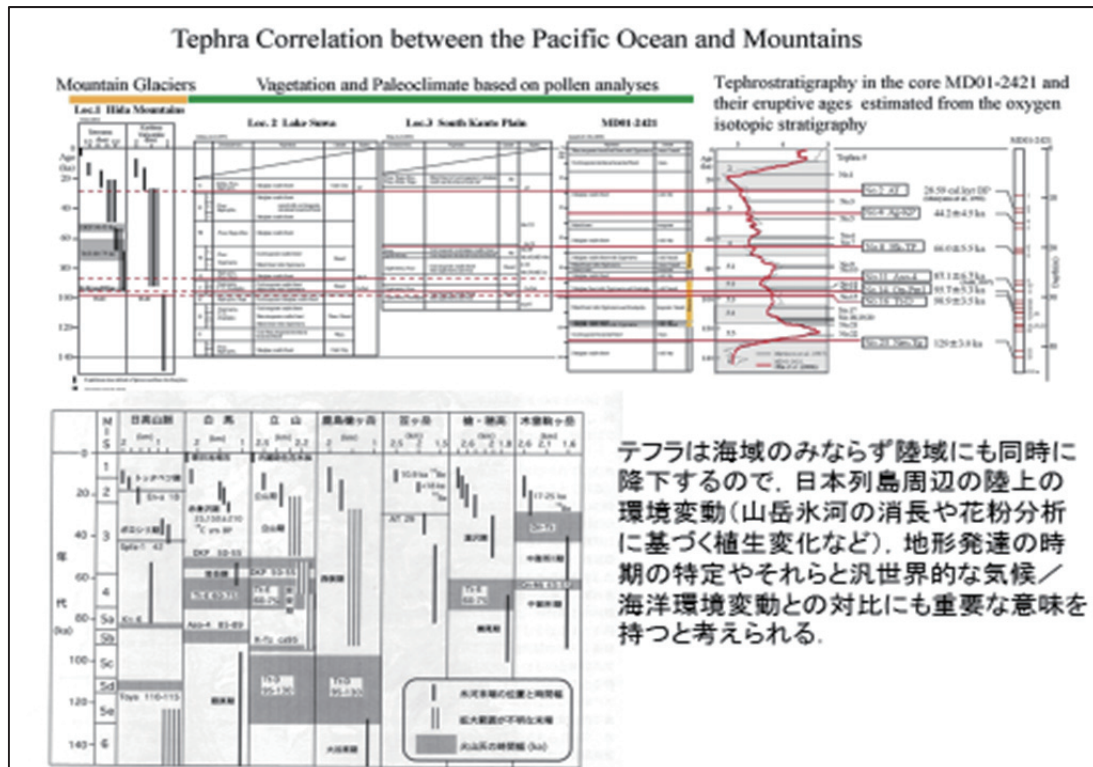


図 28

鹿島沖には、九州起源の火山灰である始良丹沢火山灰や阿蘇-4 など以外に赤城鹿沼や御嶽第 1 テフラ、北アルプス起源のテフラですが立山（D テフラ）なども介在しています。

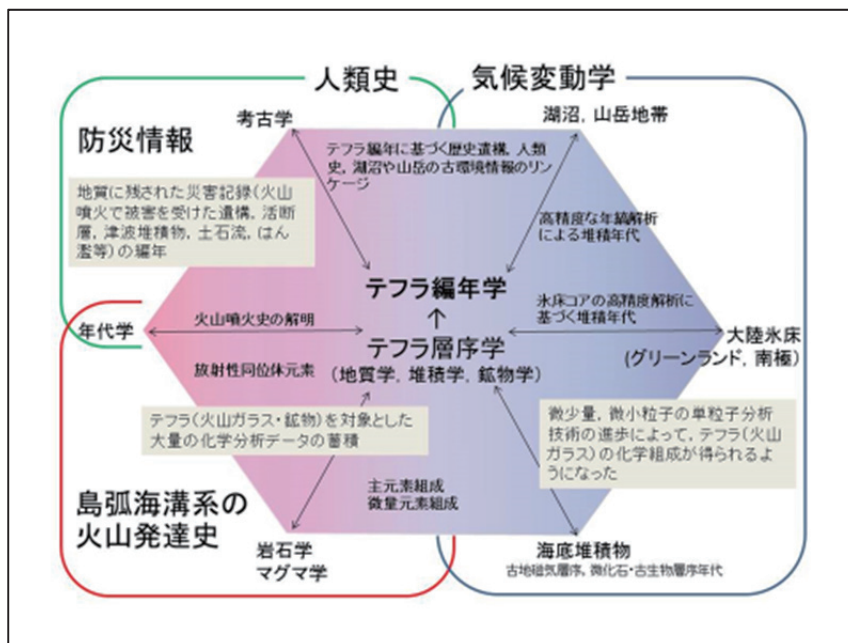


図 29

の変化について、同じ火山灰を基準にして対比することができるようになります。

最後にまとめ的な図ですが、火山灰の層序をずっと組み立てて、年代を超えて編年として使えるようになってくると、例えば火山学的な研究だけではなくて、実は年代を使って

気候変動の研究や考古学の研究にも応用ができるようになってきたのが、現在の火山灰研究になります(図 29)。

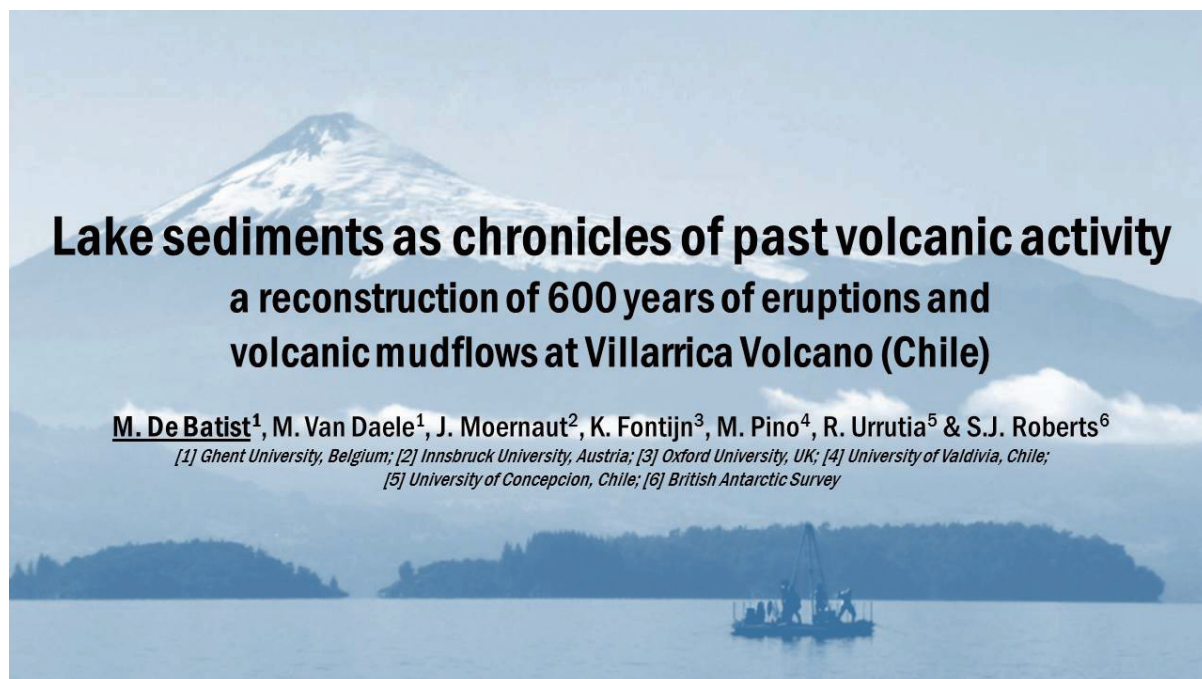
ご清聴ありがとうございました。

司会：どうもありがとうございました。時間が来ましたので質問がありましたら、午後にお時間を取りますので、そのときにおねがいたします。ここで午前の部の 2 題の講演が終わりましたので休憩に入りたいと思います。よろしくお願いいたします。

それでは、午前中の部の最後の講演でゲント大学 Marc De Batist 先生の講演で南米チリの火山を例に「過去の火山活動を記録する湖沼堆積物」でお願いいたします。

「過去の火山活動を記録する湖沼堆積物
—チリ・ビジャリカ火山の過去 600 年間の噴火史の復元」

Marc De Batist (ゲント大学)



Batist : 皆さん、おはようございます。

ありがとうございます。最初に富士山科学研究所の皆さんに対して、今回のお招きを感謝申し上げます。

富士山は春と夏、秋には見たことがありました。今回冬を見ることで、富士山の四季すべてを見ることができました。

今までのスピーカーは噴火史を復元されてきました。特に、テフラを見て復元ということですが、しかしテフラができないけれど、とても危険で多くの生命を失わせる、例えば泥流のような形になる噴火をする火山もあります。

ですから、海を渡ったチリの私たちのサイトについてご説明したいと思います。過去の火山史を記録する湖底の堆積物、特に泥流の堆積物を見てビジャリカ火山の過去を復元する活動をしていますので説明します。

15 年ぐらい前からやっていますが、なぜここに興味を持っているか(図 1)。幾つもの湖がある湖水地方があります。緯度的に 300 キロの幅で湖が多いたところがあります。これらの湖に堆積した堆積物はこの地域で気候がどのように変化したのかという情報も記録しているということで、大変興味を持っています。

幅・長さが 300 キロあり、この地域で気候変動がどのようになったか復元することに興味



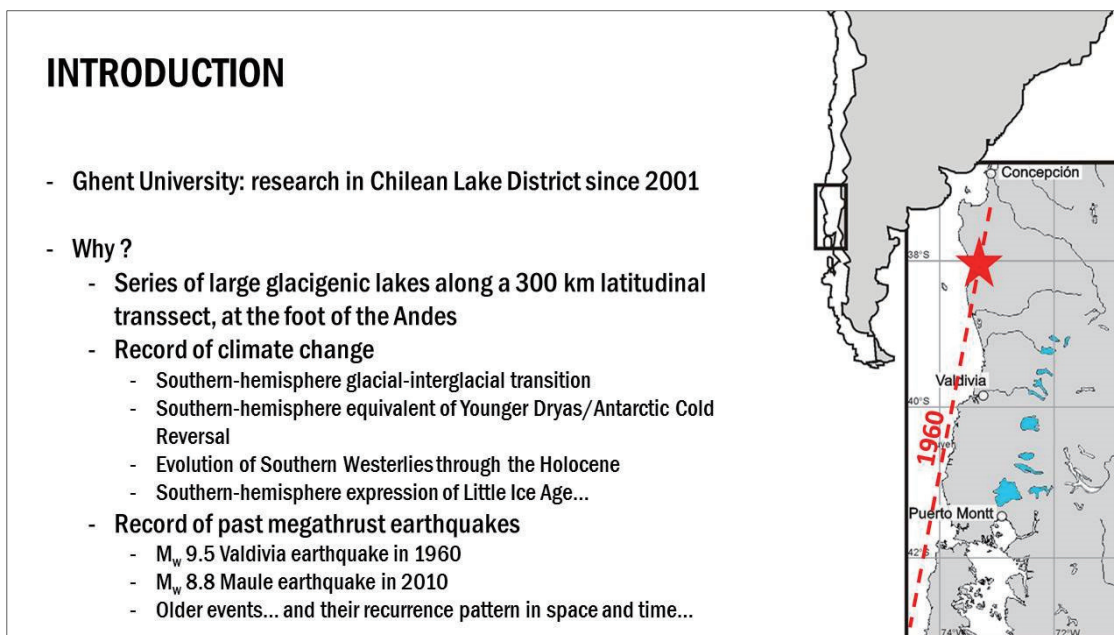


図 1

があり、ここをやっています。

湖水地方は気候変動を復元する上で興味があるだけでなく、大きな地震によって影響を受けた地域でもあります。たとえば、1960 年の地震はこの地域が震央でしたし、1000 キロぐらいの沈み込み帯に影響をあたえて、同じ地域に最大でマグニチュード 9.5 の地震を引き起こしました。

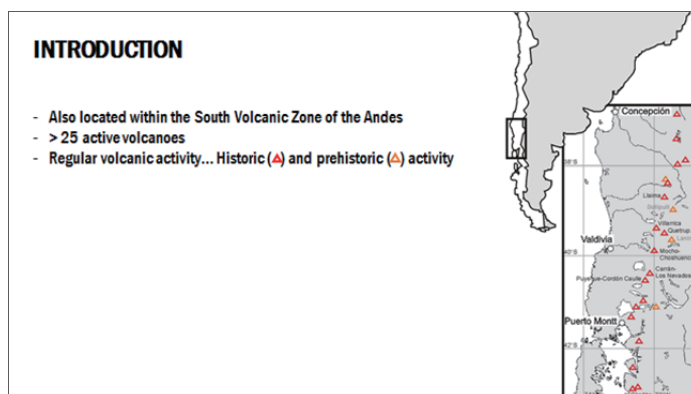


図 2

そういうことで、この湖からは地震の歴史も読み取れるのではないかと考えています。この地震だけでなく、もっと最近の 2010 年の地震、あるいはもっと以前の地震についても湖底から何か分かるものがあるのではないかと。私たちはこの地域の地震の歴史を読み解こうと思っています。



図 3

加えて、このエリアはアンデスの南部火山帯に属しています（図 2）。チリのアンデス山脈の南部火山帯にあり、地図にあるように多くの活火山があります。歴史的に有史時代あるいは先史時代に爆発したもの全部を入れると 25 の火山があります。

カウジェの火山噴火が 2011 年にあり、火山爆発指数「5」という非常に大きな爆発でした（図 3）。それ以前は 1990 年、60 年、そしてそれ

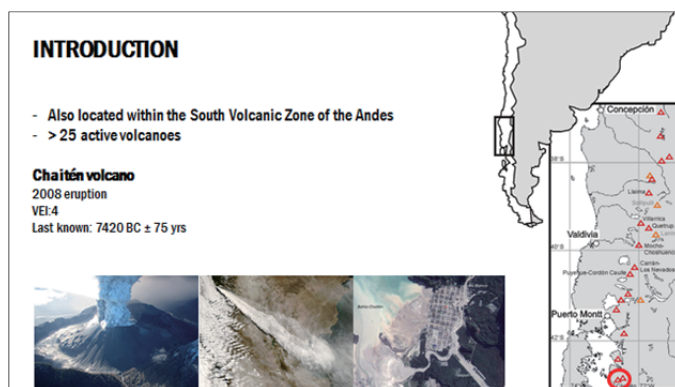


図 4

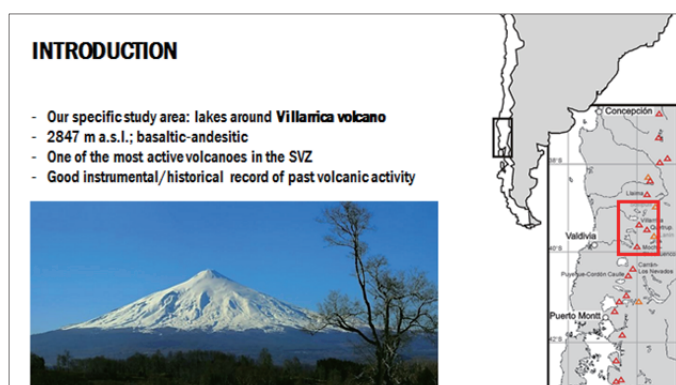


図 5

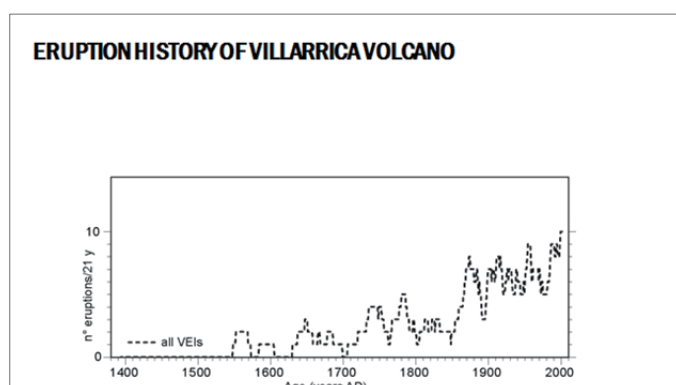


図 6

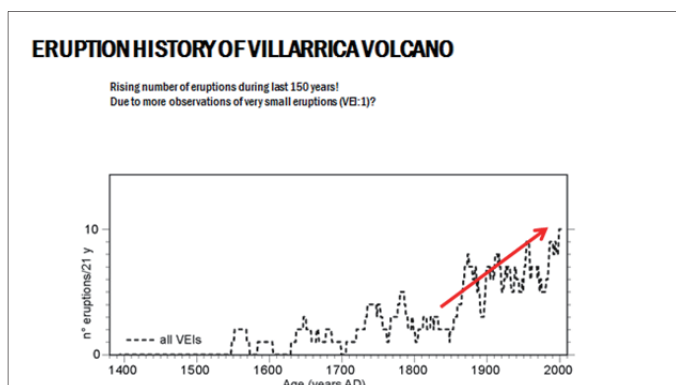


図 7

以前にも活動があり、この地域の火山活動は非常に活発です。

チャイテン山も 2008 年に爆発しています（図 4）。爆発指数は「4」でした。それほど活性化していない火山ですが、昔の爆発では、7420 年前ということで、先ほどのカウジェ山とは全く違います。

最初のスピーカーが最近のカルブコ火山の 2015 年の噴火の印象的な写真を示しました。

このように、アンデス地方の南部火山帯ではいろいろな火山活動があります。我々としては、湖水地方の北部に興味を持って調査しています。ビジャリカ火山の周りにあります（図 5）。窓の外にある富士山に非常に似た写真を持ってきました。ビジャリカ火山です。標高 2847 メートルを誇り、玄武岩と安山岩などで構成されています。かなりの記録も残っているため、南部火山帯で最も活発な火山であることが知られている火山です。

後ほど何回か説明していこうと思いますが、これは火山活動の記録です（図 6）。過去 500 年から 600 年をカバーしたものです。水平軸に時間軸を取っています。西暦 2000 年から 1400 年ということで。噴火活動が 21 年の幅でどのくらいあったかを取ってドットにしています。ここでは、過去 150 年ぐらいの間に噴火がかなり急激に増加していることが分かります（図 7）。

しかし観測が十分に行われるようになったために増えたとも考えられますので、バイアスがかかっていることを忘れてはいけません。極小爆発も見られるようになったため数が増えているとも思ふべきかもしれません。

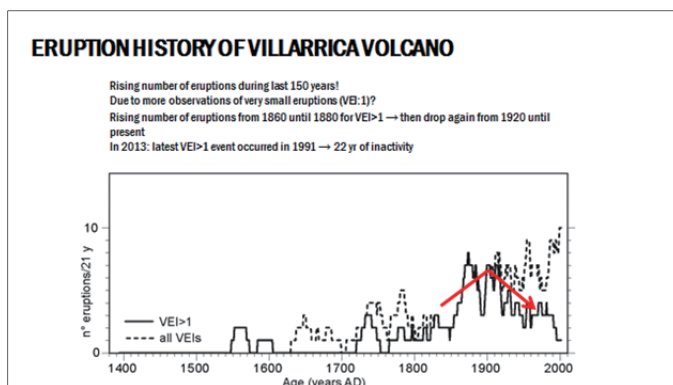


図 8

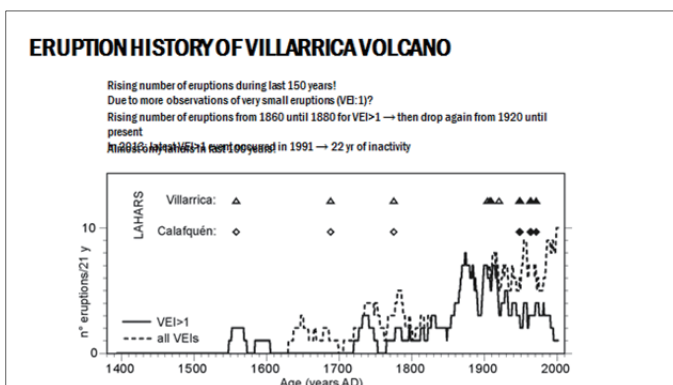


図 9

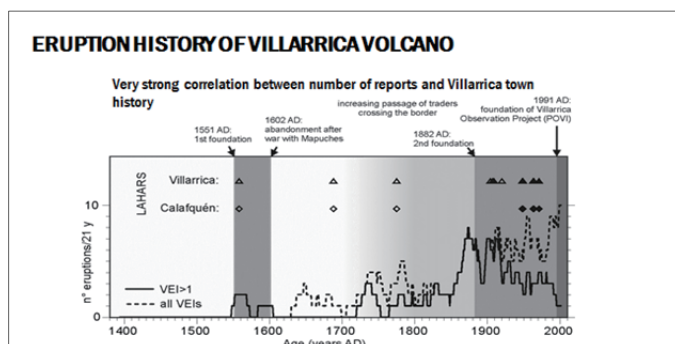


図 10

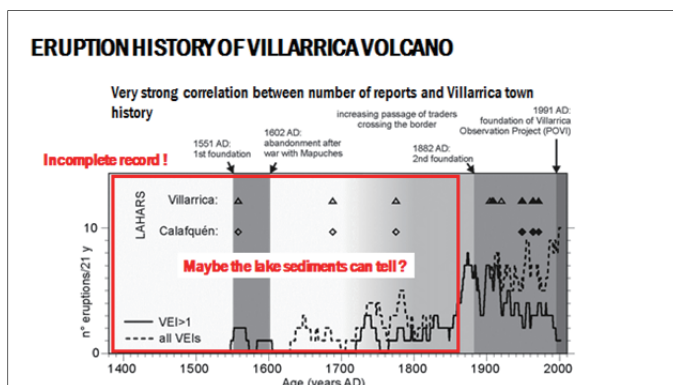


図 11

こちらにあるように、爆発指数「1」以上のものを取っています（図 8）。そうすると全く違う絵になります。こちらでも 1860 年から 80 年までは増えていますが、そこから落ちています。私たちが作業した期間は、全く不活発な時期で 22 年ぐらいの間全く爆発がない異常な時期といえる状況になっています。

我々としてはこの不活発な 22 年間は異常な状態なのかどうなのか、時間をさかのぼることによって立証しようと思いました。まだ完璧な記録ではないのではないのかということを取りあえず申し上げておきたいと思います。

もう1つ、火山がつくった泥流、ラハール活動について記録しています（図 9）。最近の噴火の履歴では、ほとんどの場合が爆発すると泥流が発生することが分かります。雪、岩、泥が一緒に流れてきて、これがいろいろな災害や被害を生み、人が亡くなったりにすることにつながっています。

こちらのグラフを見てください（図 10）。これも申し上げましたけれども、バイアスがかかっています。つまり人がいるかないかで観測数が変わるということです。グラフとこのビジャリカという町の歴史を重ねてみました。ビジャリカは 1551 年に建設され、その前は人が住んでいませんでした。だからといって火山が爆発しなかったというわけではなく、誰も観測していなかったことを意味しています。人がいる時期には火山活動が記録されます。

1602 年にマプチェ族との戦いに敗れ、人がいなくなりました。そうすると、観測の数が減ります。しかし、また増えてきました。1800 年ご

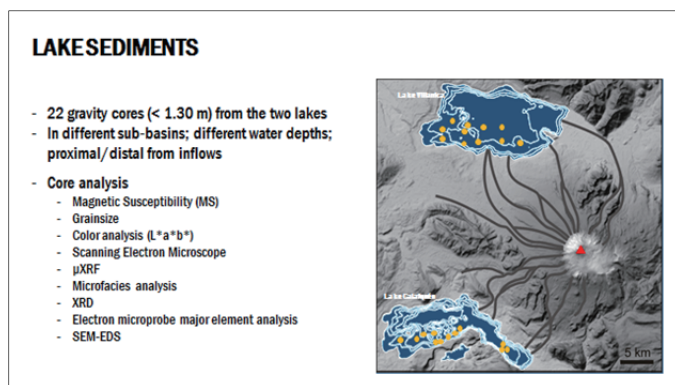


図 15

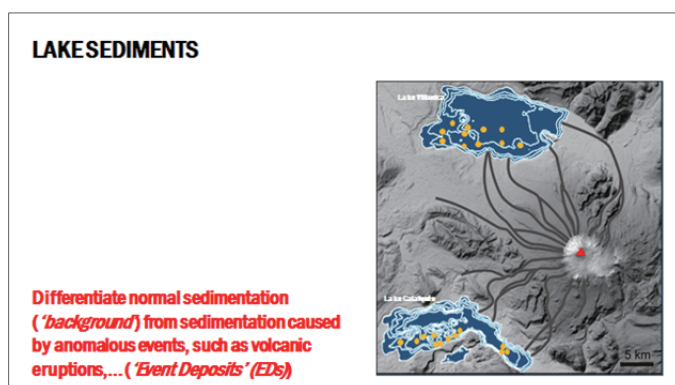


図 16

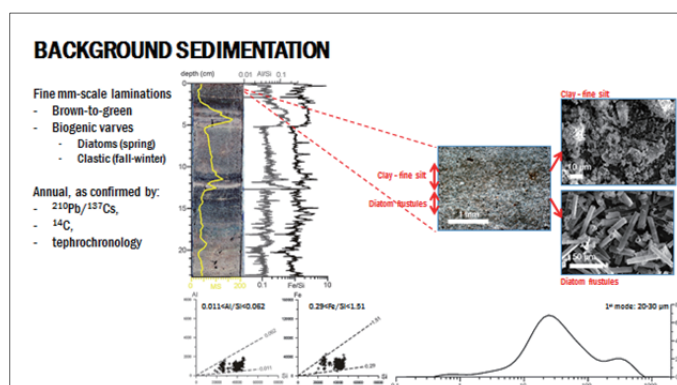


図 17

(図 17)。堆積物のサンプルですが、こちらが拡大したものです。これが通常のバックグラウンドとなる堆積物ですが、ミリメートル級のラミネーションで、このような縞模様をかたちづくっています。

あまりに薄くて、ここでは見えませんが、ズームすると 2 つの層に分かれていることが分かります。少し色の薄いもの。これはケイ藻の殻。より濃いものがファインシルトや粘土といったもの、集水域から流入したものです。緑ー茶色っぽい色となっていますが、これらの層が生物活動によるバースです。

毎年、この暗い層、明るい層がつくられるわけです。ケイ藻が春に育つときに層ができるわけです。雨が降って冬になると、上の碎屑岩が層をつくります。これがバックグラウンドとなるもので、これ自体が時計のような役割を果たしています。毎年このような層ができるわけですので、ラミナの数でテフラ、泥流が何年たったものか分かります。

でも、我々としてはこういった湖成堆積物に火山活動がどう記録されたかということを見ていきたいと思っています。

そういうことで、コアを採って、サンプルを採ることをしました (図 15)。先ほどの発表と同じような形です。堆積物のコアをこういった黄色い点のところの浅い場所から計 22 採りました。異なる副湖盆、深度で採りました。それによってコア分析をしました。

分析に使った道具はこちらに書いてあります。どのように分析をしたらいいかについては先ほどのご説明にもありました。このような道具を使っていろいろな堆積物を分析しました。

最終的にやりたかったのは、通常の堆積物と火山堆積物の 2 つを分けることです (図 16)。堆積物の中から火山由来のものを分けることによって、火山活動を記そうと思ったわけです。ですから、イベントによる堆積物を探していきました。

これらは通常の堆積物とは違うわけです。そうすると、通常のものは何なのかを調べなければなりません。最初に挙げる堆積物はこちらです

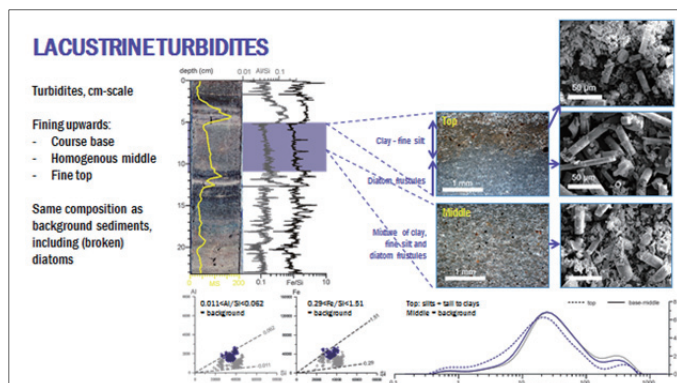


図 18

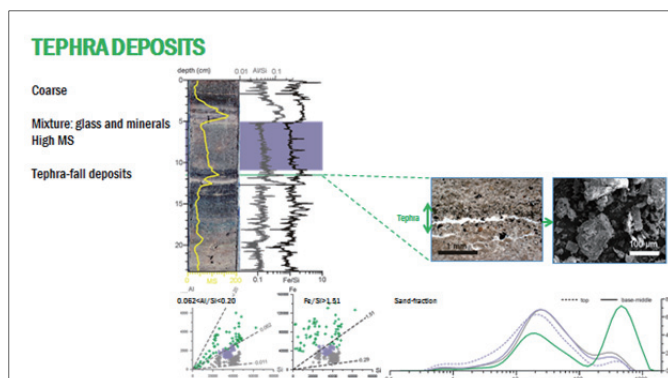


図 19

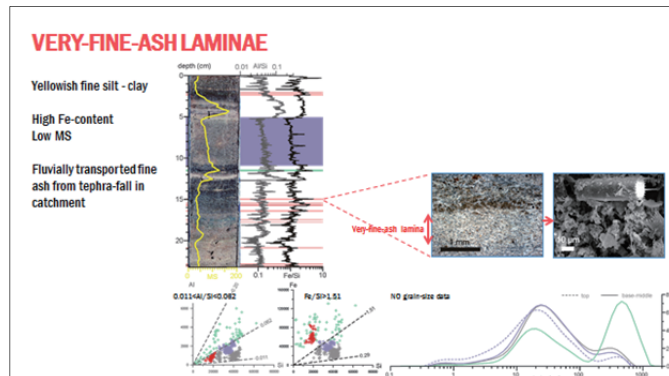


図 20

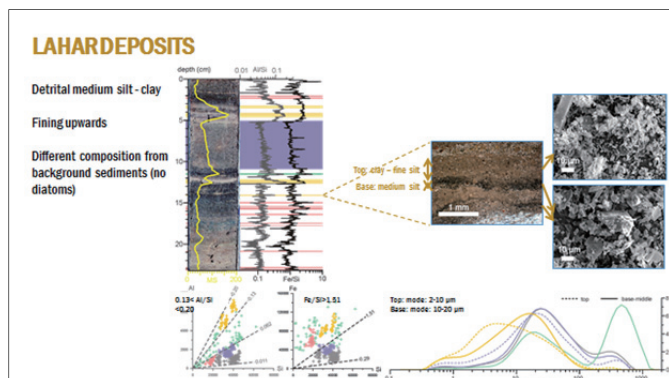


図 21

毎年起こるということが分かっているのは、C14（炭素 14）や鉛などのアイソトープや、指標テフラで確認を取っているので、毎年このような堆積物ができることは確認しているということは覚えておいていただきたいと思います。

こういうバックグラウンドとなる堆積物の間に、時にはイベントによる堆積物が出てきます（図 18）。まず

一番顕著なものとして出てきたものがこのタービダイト（混濁流）といわれるものです。かなり厚いもので数センチにわたるものもあります。

下のほうは割と粗く、上のほうになるに従って細くなっていきます。一番上のほうは非常に細かい粘土あるいはファインシルトの層に覆われています。それでもケイ藻の殻が入っているものがありますが、しかしそれを見ても、少しラミナの中にあるものよりも壊されているのが分かると思います。どこから運ばれてきた形跡があることが分かります。

地球化学的な解析をすると、いろいろな元素が入っていることが分かりますし、粒径も違います。組成についてタービダイトを見ると、バックグラウンドのものと同じものもあることが分かります。そうすると、地震などによって泥流となってこの傾斜から湖の中に入り、そこで堆積したことが分かります。

テフラの層もあります（図 19）。前の方々も言いましたが、ガラス質、鉱物が混じり合ったものとなっています。帯磁率が高いことが分かります。これによりテフラの降下があったことが分かります。

これは直接湖底にたまったものになりますが、化学的な組成あるいは粒径はそのバックグランドとはずいぶん違いますので、すぐに特定することができます。また、非常に薄いラミナもあり、非常に細かい火山灰からできています（図 20）。あまりにも細かいので粒径を測ることはできませんでしたが、 μ XRF で測りました。地球化学的な組成も見ておりますが、ほかのタイプの堆積物とずいぶん違うことが分かります。鉄が高く、帯磁率が低いことです。川によって運ばれて、流水域に降った火山灰が流れてきたものと考えられます。

またラハール(火山泥流)も非常に顕著です（図 21）。色が違って茶色っぽい色をしています。粒径もかなりバックグランドとは違います。また組成についても全く違います。化学的な組成はバックグランドと全く違います。例えばケイ藻はこの中には入っておらず、これらは湖の中に流水域からもたらされたことが分かります。泥流によって運ばれました。

こうしたイベント堆積物を各コアで集めたものを見ると、相関を見いだすことができます（図 22）。そうしたことから、イベント堆積物の相関を見ていくことができます。

時計になるものもあるとお話ししましたので、何年前にそういうイベントが起こったかも解明することができます。タービダイト、このブルーのところ。これらは歴史的に地震が起こったことが分かっているものと当たります。例えば 2010 年、1960 年の地震。それらは明確に見ることができます。これは非常に重要なマーカーになります。

グリーンの線のテフラ層はあまりよく見えませんが、数はあまりないことが分かります。これらは歴史的にテフラが起こるような噴火が起こったものと一致します。

黄色いのがラハールの堆積物です。これもやはりラハールを伴う、例えば 1971 年、63 年から 64 年の火山の噴火と一致することが分かります。そしてこの流域全体で明確に見られることが分かります。ラハールは深いところで厚く、流入部でも厚くなっています。

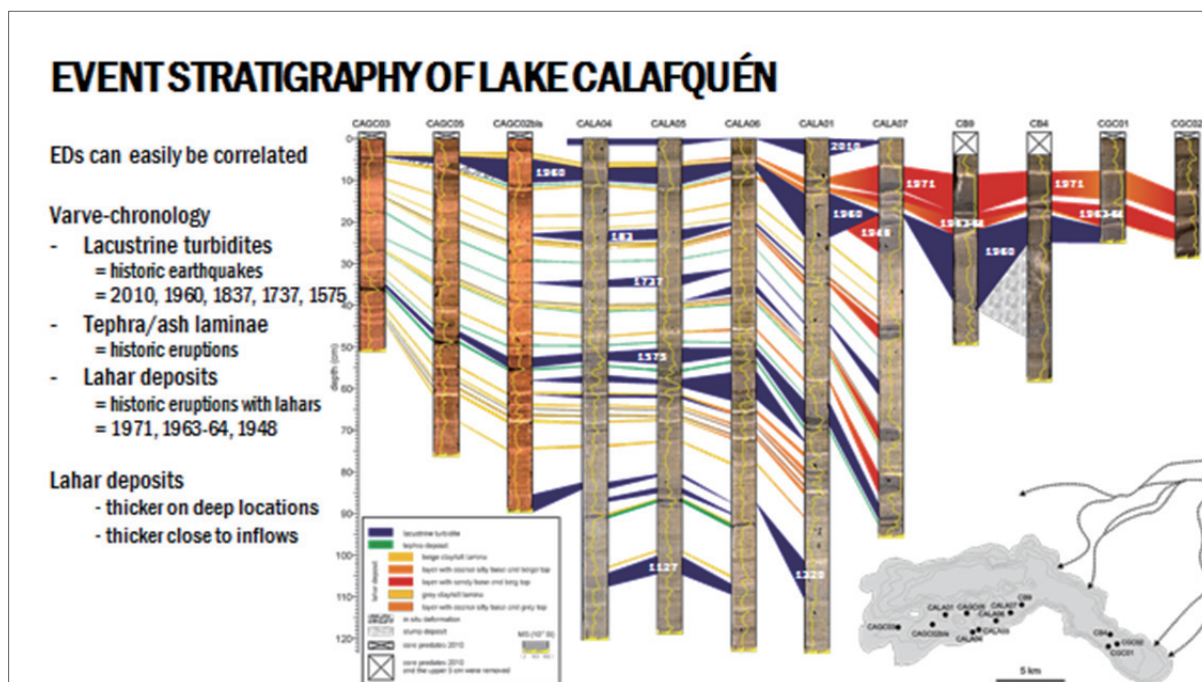


図 22

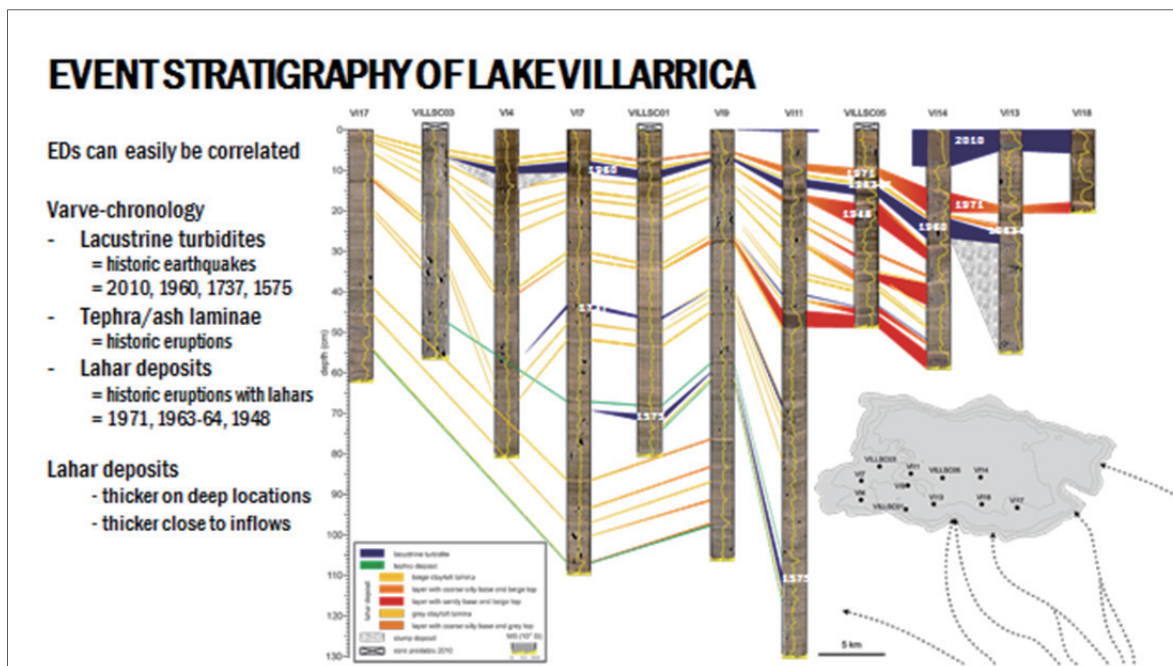


図 23

これは 1 つの湖で見たことですが、同じことをもう 1 つの湖でも見ることができます(図 23)。この 2 つを合わせると、火山活動の歴史を構築することができます。テフラが起こしたもの、ラハールの堆積物を湖にもたらししたもの。雨が降ることで火山灰を湖まで運んだものも分かります。

歴史的なラハール活動が実際に私たちの歴史のものと一致するかどうか見ていきます。ラハール活動をこれまでの記録と比較してみたいと思います。どれくらいの厚さになっているのか、どういうラハール堆積物なのかを見てみたいと思います。1904 年、ラハール活動ですが、ほとんど湖に達しませんでした(図 24)。

採ったサンプルにはほとんどありませんし、本当に薄い層しかありません。恐らく雨期に雨で流れ込んだものだろうと考えられます。これが 1908 年、非常に大きなラハールの流れがこちらの湖に達しています(図 25)。これも明確にビジャリカ湖で記録されています。しかしカラフケンのほうでは、このラハールはこの年には見いだされません。

これはあまりはっきりしないイベ

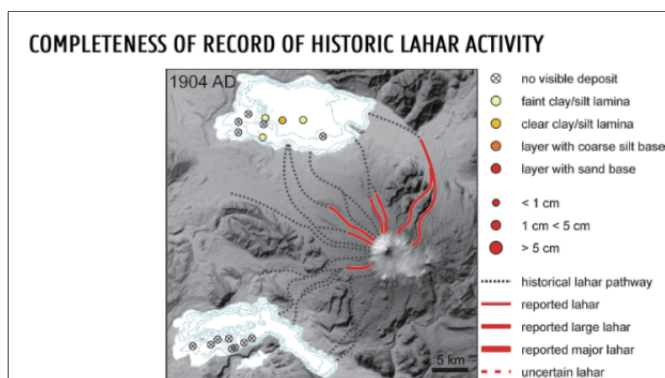


図 24

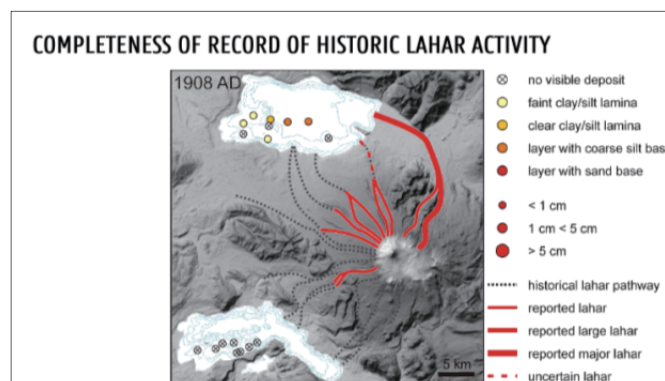


図 25

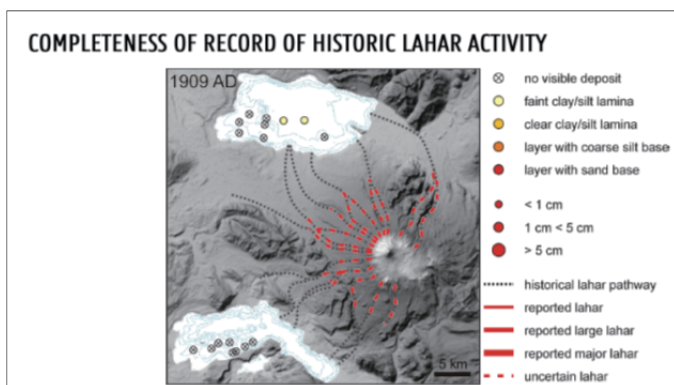


図 26

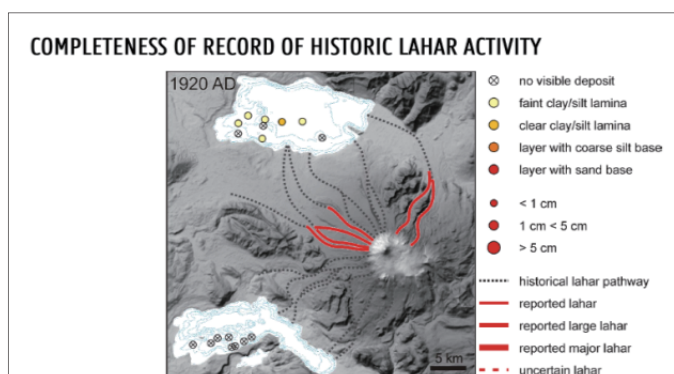


図 27

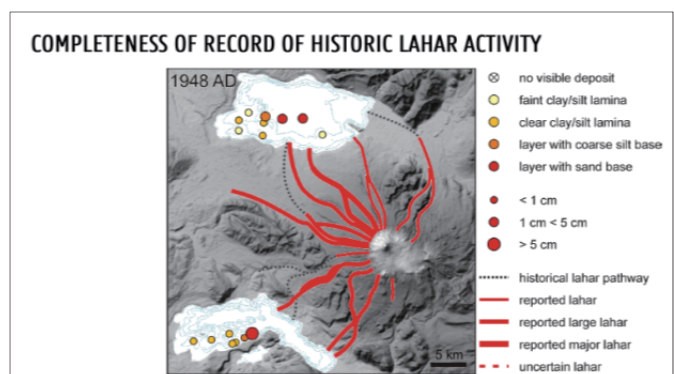


図 28

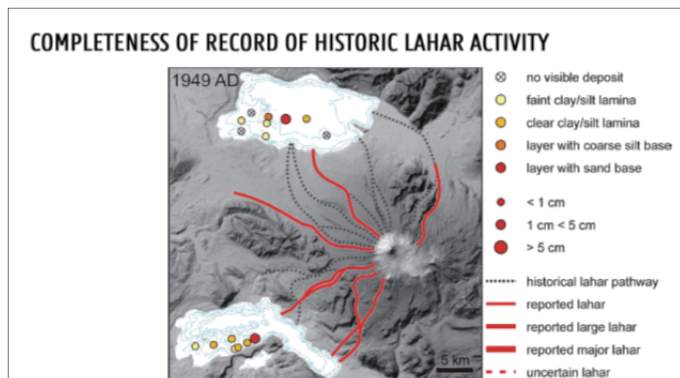


図 29

ントです (図 26)。記録でもあまり明確ではありません。こちらもあり幅広いものではありませんし、記録もあまりきちんとは取られていないものです (図 27)。しかし、1948 年の大きなイベントでラハールがカラフケンに入ってきて、カラフケンでそのラハールの記録も残されていることが分かります (図 28)。

こういうイベントがまだ幾つかありますが、大きなラハール活動があると、コアサンプルでも厚いラハール層があることが分かっています (図 29) (図 30) (図 31) (図 32)。この 2 つの湖を組み合わせることでビジャリカ火山の噴火の歴史をひもとくことができます。

先ほどのグラフですが、私たちが

実際に観測したものをここに重ね合わせ、時間軸をさかのぼってみると、今まで不完全だった記録が補完されていくことが分かります (図 33) (図 34)。過去の活動がもっと分かってきます。継続的な活動があったことが分かりますし、1882 年以前から継続的な活動がありました。17 の知られている 20 世紀の火山活動はテフラ、非常に細かい火山灰の層などで見いだすことができます。そしてラハール、あるいは細かいラミナでビジャリカ火山の噴火と結び付かないものはありません。

幾つかのテフラでビジャリカ火山の噴火と結び付かないものもありますが、しかし、これらは近くの火山のものであることが化学的な組成から分かります。

全体では 88 の噴火が 1523 年から

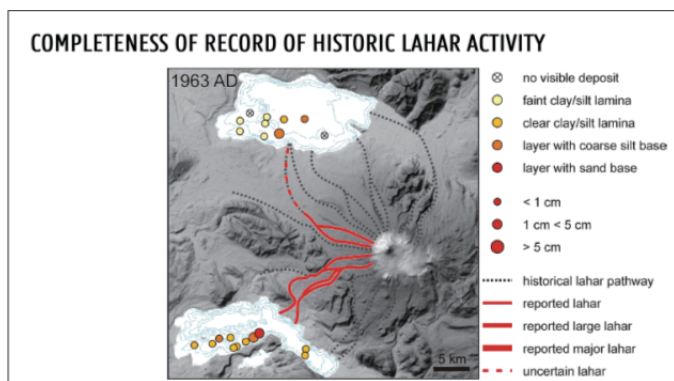


図 30

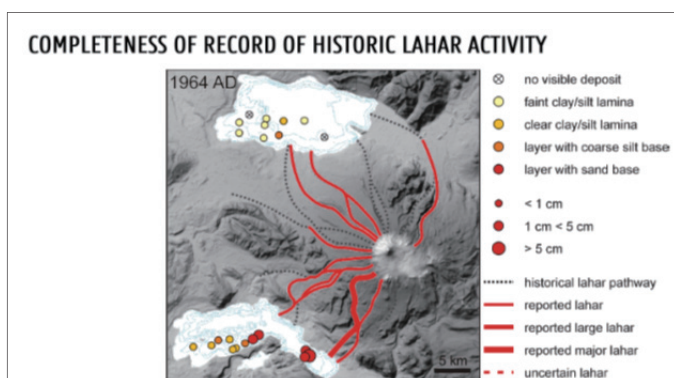


図 31

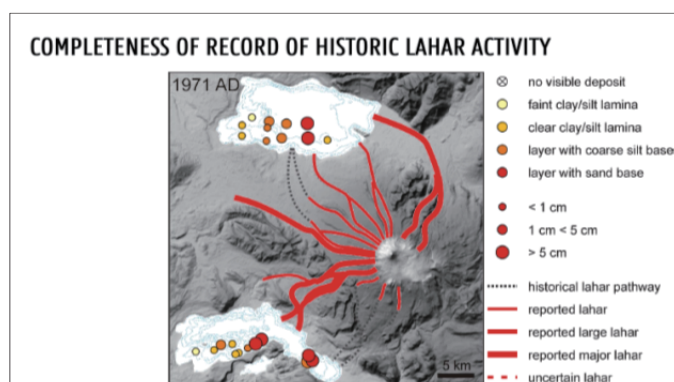


図 32

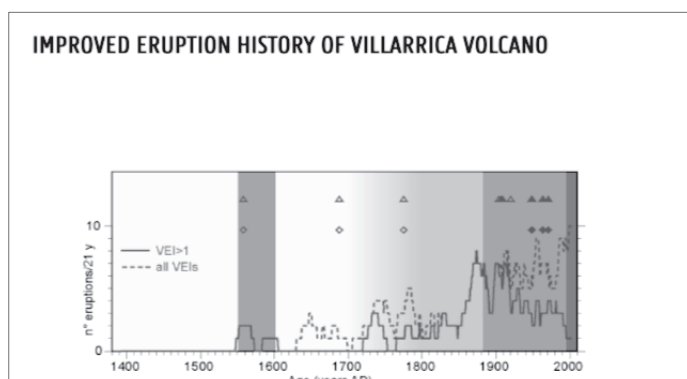


図 33

91 年の間にあったことが分かります (図 35)。これで継続的なラハール活動の記録がとれました (図 36)。ただ、固まって起こっているところもあるようです。もしかしたら気候に絡む問題ではないかとも考えられます。例えばラハールが起こるには雪が火山をおおう必要があります。もしかしたら気候変動によって雪で火山が覆われることがなかったとなると、噴火をしてもラハールが起こらなかったということが考えられますので、今、そのあたりを調べています。

長い記録、信頼性の高い記録が出来上がったわけですが、そこから統計的な解析をすることができます (図 37)。時系列に沿ってやっていくことができますが、22 年間活発な活動がない期間がありました。これが通常のことなのか、そうでないのかが分かってきます。

統計的な解析から分かることは、お互いに噴火は独立して起こっていることです。ポアソン分布が見られますので、個々の噴火は個別に起こっていることが分かります。

またこの休止期間は安定していることが分かります。ですから、火山の活動が早くなったり遅くなったり、そういう変化はないことが分かります。そして大体 22 年ぐらい、2013 年に火山噴火が起こらないという確率は 1.7% 以下ということで、22 年間火山活動が休止する可能性は非常に低いと分かります。恐らくすぐにも火山が噴火する可能性が高いことが分かります。

この結論は 2014 年 2 月に論文で

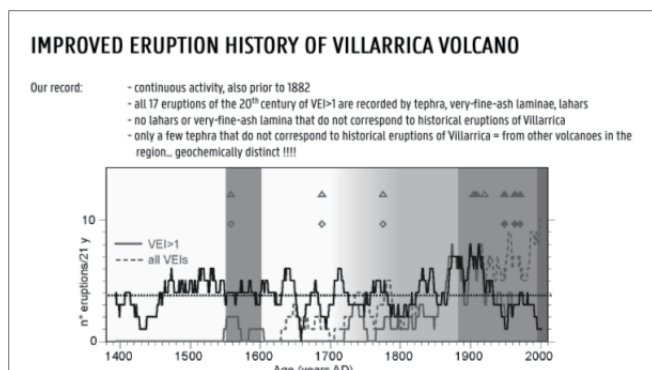


図 34

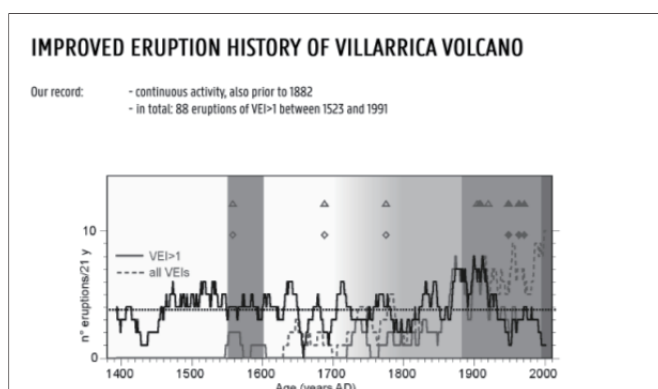


図 35

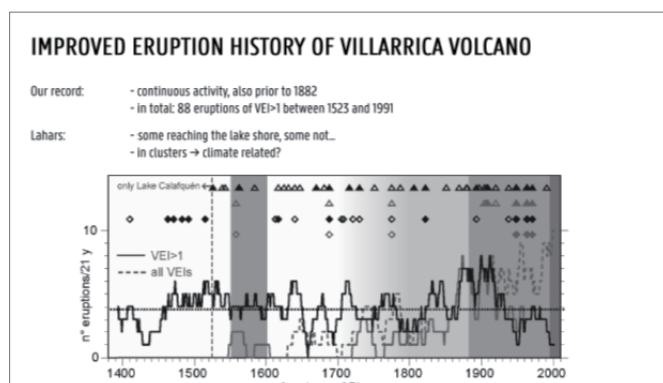


図 36

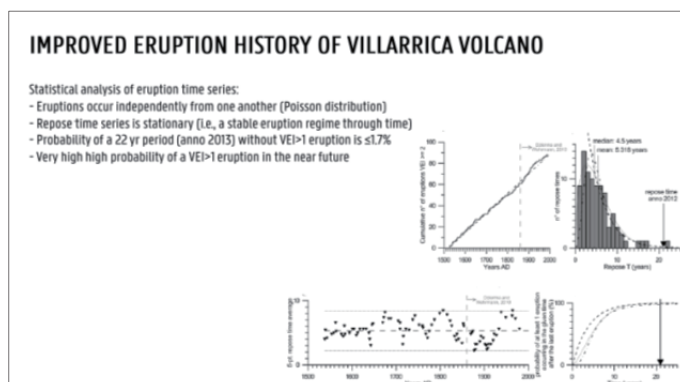


図 37

まとめられました (図 38)。23 年たった 2015 年に火山は噴火しました。

こういうことは、長期的で時系列に沿った完全な記録をしっかりと取ることがいかに大切であるか、私たちに教えてくれていると思います。時系列データを集めることがいかに大切か。それによって防災につなげることもできます。

500 年さかのぼって見たわけですが、コアは 1.5 メートルぐらいの長さしかありません。もっと前までさかのぼって見ることはできるでしょうか。できます。実際にやってみました (図 39)。

“Yes, we did” と言うと、オバマ前大統領に聞こえるかもしれませんが、14 メートルぐらいのもっと長いコアサンプルを採ったことがあります。そうすると 1 万年ぐらいさかのぼることができます。ですから、間氷期全体を見ることができます。

完全な時系列的なコントロールはありませんが、C14 による解析も行っておりますし、テフラを使った年代特定もしています。この図を見ると、1 万年前から現在まで、この緑の線、これがラハールの堆積物がカラフケンでどのように繰り返し行われたかを示しています。オレンジがビジャリカ湖のものですが、トレンドがあるように見られます (図 40)。完新世のほうではラハール活動が活発になっていることが分かるように思います。

赤で大きな噴火があった。これがブコン噴火です。火山体の一部が崩壊しました。火山の形も変わりました。ですから、ビジャリカのほうにすべてのものが流れていくことになり、長いことラハール活動がカラフケンのほうに

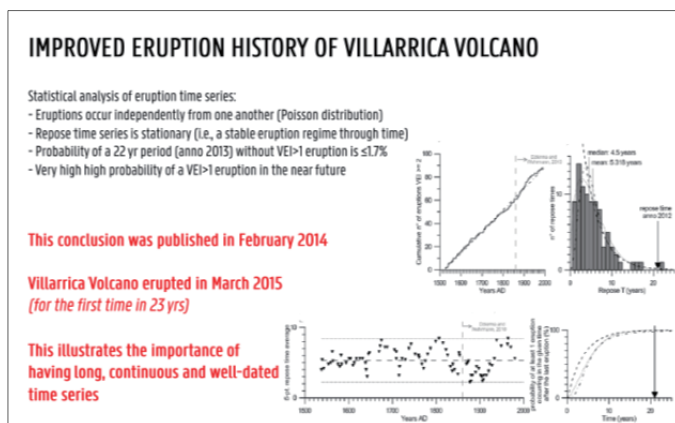


図 38

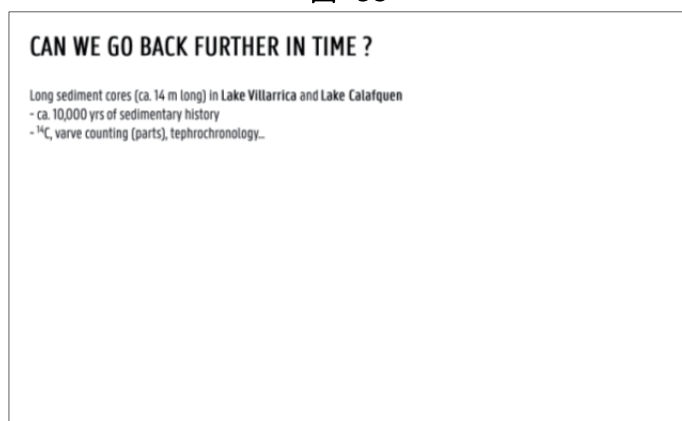


図 39

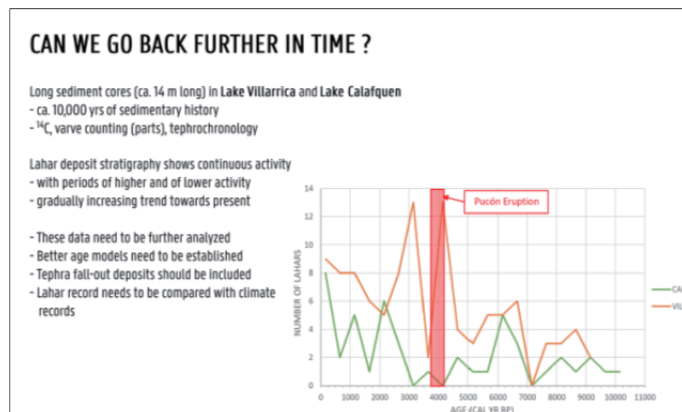


図 40

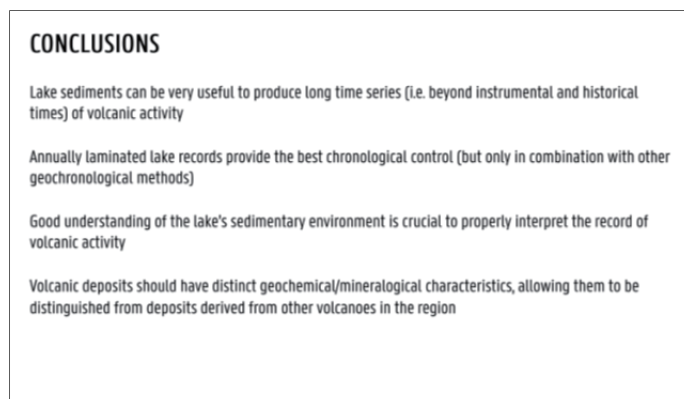


図 41

は流れていかないということがありました。しかし、また火山体が育っていき、またシンメトリーのある火山の形になりましたので、双方向にラハールが流れていくようになりました。

しかし、もっと時代の特定が必要ですし、こうした結果についてもさらなる解析を加える必要があります。

これはラハールだけを見ての結果ですので、テフラの堆積物や、気候との比較も見ていかなければなりません。

結論ですが、湖成堆積物は有用です(図 41)。これによって長期的な時系列に沿った火山活動の解析ができます。すべての湖というわけではありませんが、幾つかの湖ではラミナのある堆積物が堆積しており、非常に精度の高い年代の特定もできるはず です。

また、どのような形で堆積物がたまっていったのかを見ることも大切です。火山堆積物は、鉱物学的あるいは地球化学的な特徴がありますので、それをしっかり見ることでほかの火山活動、ほかの火山から降ってきたものと識別することが大切です。

我々がチリで学んだことの一部は富士山に持ってくることができると思っています。恐らく同じような手法は富士五湖の湖を見ることで、富士山の研究に応用できるのではないかと思います。

ありがとうございました。



司会：どうもありがとうございました。

時間はお昼になっていますが、どうしても質問をしたいという人はありませんか、なければ、また午後に質問の時間を取りますので、これでお昼にしたいと思います。

どうもありがとうございました。

午後は 1 時からまたこの会場で始めますので、時間になったらお集まりいただければと思います。

また、お昼のお弁当を注文された方は受付でお名前をおっしゃっていただいて引き取っ

ていただくことになりますので、よろしくお願いします。

和室を 1 つ休憩用にとっていますので、そちらをご利用下さい。あとは廊下でお願いします。ここは飲食が禁止です。

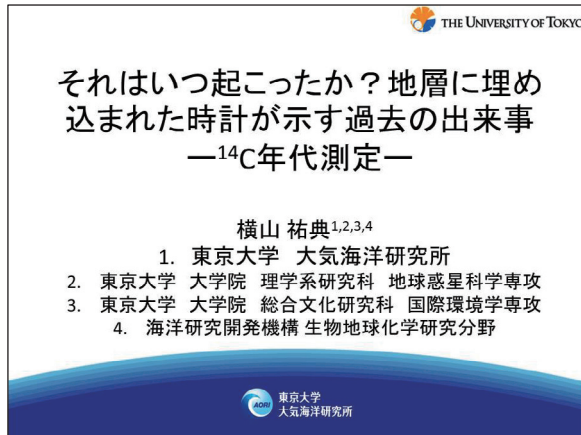
午後 1 時から再開しますので、よろしくお願いします。

司会：もうじき午後の部を再開いたしますけれど、その前にマスコミの取材で、NHK さんのカメラ何台かで撮影しておりますので、それだけをご承知おきいただければと思います。

では時間になりましたので、午後の部を再開したいと思います。午後の部は、横山先生の「それはいつ起こったか？ 地層に埋め込まれた時計が示す過去の出来事」ということでお話しいたします。では横山先生、お願いいたします。

「それはいつ起こったか？地層に埋め込まれた時計が示す過去の出来事」

横山 祐典（東京大学大気海洋研究所）



横山：皆さん、こんにちは。東京大学の横山と言います。

午後の部は、実際に富士山の噴火がいつどういうふうにあったかとかいう話だったり、我々が今、過去3年間かけて富士山科学研究所またはベルギーの共同研究者、そして産総研の研究者の方々と一緒に進めている、富士五湖の堆積物を使った研究。まだ出たばかりで、どういうふうにして検討していくか、どういうふうに解釈をしていくかという、まだ取り立てははやほやのデータですけれども、そういうのがところどころ出てきます。

ただ、大事なのは、いつそれが起こったか、タイミングをどうやって決めていくか、ということになりますので、それについて、年代測定の話について少しご紹介したいと思います。

皆さん地球の年齢というのはご存じかと思いますが、46億年というのが理科の教科書とかにも出てきます。ただ、年代をちゃんと物理的にというか、直接決められるようになってきたのは実は20世紀後半になってからのことです。教科書がいろいろ書き換わっているという意味では、生物学とか地球科学というのはまだ今、まさにいろいろと発展しているような分野ですけれども、その前はどういうふうにして年代を決めていたかということです。

私が国際会議に行った時に、エジンバラって、ここにすごくきれいな、中世の街並みが見えるような、アダム・スミスの像があったりするような、エジンバラの、街全体が世界遺産になっているような場所がありますが、そこからバスで1時間半ほど行った所にこの場所があります。ここは岩がごつごつしているような場所で、斜めにこうなっているんですけども、丘の上から見てみると、この矢印の部分がそれにあたります。6月ぐらいだったんですけど非常に寒くて、長袖のコートを着て手袋をしていても寒いぐらいの気温でしたけれども。

ここを最初に訪れて詳しく記載したのは、地質学の父と言われるようなジェームズ・ハットンさんという人です。エジンバラ大学の教授もやられた方ですけれども。彼がここを見て、こういうふうにして詳しく観察をしました。ここに馬車が走っていますけれども、

上の部分には木が生えていて、バームクーヘンのように横にきれいに層が並んでいるんですが、その下にごつごつしたような層があって、ここの部分というのは地層が立っているんですね。

これを見るにつけ、当時、地球の年齢というのは 4000 年とか 5000 年ぐらいであつただろうと思われていたんですね。聖書の影響ですけれども。それで、4000 年ぐらいかかってこういう地層ができるということは考えにくいということを思い付きまして、『地球の理論』という本を 1790 年代に書いたんですね。

ここに写真がありますがけれども、当時チャールズ・ダーウィンも同じ時代に生きていまして、自分がいろんなところで観察した生物を、形態の変化とかというのを調べて、進化論というのを考えていたわけです。それも時間軸というのが大事になってくるんですねけれども、ある意味、数千年という短い時間の中でそういう動物たちが形態変化していくみたいなのは、ちょっと考えにくいと自分の中でも思っていたというわけですね。

実際に彼は、ケンブリッジから何度か海の側から船で訪れて、ここを観察もしていて、ハットンさんが書いた本もビーグル号に持ち込んで何回も読み込んだという逸話も残っています。というのも、やはり、彼が考えている時間スケール、数十億年とか数億年とか数千万年以上の長い時間がかかって地球というものが変化して行って、その中で生きてきた生物というのもやはりそのぐらいかけて変化してきたと、進化してきたと考えるのがもっともらしいんじゃないかと当時思っていたわけです。

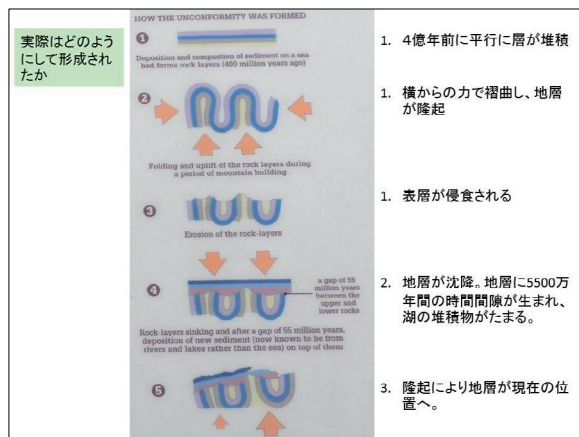


図 1

この場所の近くにはプレートがありまして、説明書きがあるんですね（図 1）。どういうふうにしてできたかというのが、今分かっているメカニズムについて説明があります。

最初は、こういうバームクーヘンみたいにしてたまったのが大体 4 億年前だろうということが分かっています。その後に横からの力が加わって、ぐにやっとうこういうふうに曲がります。その後、私が立っていた地点の所ですけれども、不整合面と言いますけれども、水にいる時にはそこが削られ

たりしないんですけれども、陸に上がってくると、こういうガタガタした、不整合面と言って、削られるようなかたちになるわけですね。それが今度また海の下に下がったがために、馬車が走っていた下の部分に見られる平行な層ができた。そしてその後の地殻変動、隆起作用などによって、私が立っていたところは斜めになっていたと思いますが、あそこが斜めになったという、一連の地球史の変遷ができるようになってきました。

ただ、当時、昔の時間を計るツールを我々人類は直接的には持ってなかったのが、地球の地層を、地球に働く重力で物がたまるのは、最初に下のほうにたまって新しいものが上にたまっていくというその順番を考えて、どちらが新しいか、どちらが古いかという、相対的な年齢を決めるほかなかったわけですね。

それらをまず発見したのはデンマークのステノさんという人ですけれども、1600 年代の

半ばにそれを発見しました。彼は炭鉱とかの資源の調査、地質調査みたいなのを部分的に地域的にやっていたわけですが、その後、記載の方法などを彼らが本にまとめていますけれども、それを讀んだウィリアム・スミスという、彼もイギリスの地質図を初めて書いた地質学者ですけれども、彼はたたき上げで、彼も幼いころに両親を亡くして孤児だったんですけれども、現場というか地層が見られるような場所に行って、炭鉱の作業などに従事しながら、「ある層にはある特徴的な貝が含まれている」とか、そういうことに気付いて、この地層と遠くにある数十キロとか数百キロ離れた地層がある意味赤い印で結ばれているみたいな感じで、つなげられるということが発見できたことによって、広域的に地質図、地表の下にあるような地質についても記載ができるようになってきたというのが 19 世紀の話です。



図 2

時間を調べるというときには年代測定とかいうことが今では普通に聞かれるわけですが、「絶対年代」という言葉があります（図 2）。絶対年代というのは、カレンダーみたいな感じですが、こういうふうに年輪を刻むような生物があって、1 年 1 年数えていければそれは絶対年代です。なので、これは伊勢湾台風で倒れた伊勢神宮の木ですが、こういうものの年輪の一つ一つを分析してその同位体を調べるということで、過去の気候変動とかを非常に正確に編んだりもできます。

午前中のお話でも出てきました、湖にある堆積物、チリの堆積物もそうでしたが、あれも年層、年縞と言って、1 年 1 年、春には花が咲くように植物プランクトンの層がたまって、秋には気温が低いのために有機物が分解されずにそのまま黒い層として残る、その 1 セットをずっと数えていくと絶対年代が決められるということで、非常に細かい年代を決めることによって、22 年間チリの爆発がなかったところで 23 年目にして噴火が起こったという、非常に高精度の分析ができたというお話がありました。

なので、木が生きている時間、または堆積物の年縞が数えられるような時間については、こういうものを使うことによって時間を計っていくことができます。

特に最近の時間を復元する中で画期的だったのは、ウィラード・リビーが放射線炭素、炭素-14 とここで言いますが、炭素-14 を用いた年代測定について発見したということが大きな出来事です。

彼はカリフォルニア大学の化学科出身でそこで教授をしていたんですけれども、第二次世界大戦のマンハッタン計画があったためにコロンビア大学に召集されて、化学の知識を使っているいろんな仕事をやっていたわけですが、戦後、その知識を使って人類の新しい知見、いろんな化学だったり年代測定なども含めて何か貢献できないかということで、放射線炭素について注目したという経緯があります。

炭素-14 を使った年代測定は大体、今まで三つのステージがあるというふうに分けられると思います。

まず最初は、ウィラード・リビーが発見をして、本当に炭素-14 が測定できるか、炭素-14 が環境中にあるのかどうかということを調べるということです。それには、この後ご紹介しますが、間接的に放射壊変によって出るエネルギーを検出する方法、 β 線をカウントしていく方法というものですが、それを使うということになります。

2 番目は、その後に出てきた加速器質量分析装置というものがあるんですけども、大型の 4 階建てか 5 階建てぐらいの建物の中に入るような一つの装置ですが、それを使うことで、より小さいサンプル、少ないサンプルについても分析ができるようになったステージ。

我々は今、第 3 世代というか、第 3 ステージにいると思っていますけれども、それは非常に高精度で非常に微量な分析をたくさんできるということが挙げられると思います。

実際にウィラード・リビーが最初に放射性炭素を検出した時は、当時街灯はメタンとかのガスで照らしていたんですけども、ボルチモアの下水処理場に行って、いい臭いがするメタンのガスを取ってきて、それを気体検出装置の中に入れてカウントして、実際に測定が可能であるということを証明したということがあります。

リビーがノーベル化学賞を受賞したのは 1960 年のことですが、その後には加速器が登場して、それまでは核物理学とかで使われていたタンデム型質量分析装置というものが、放射性炭素や非常にまれな宇宙線のできる放射性核種の分析に用いられるようになってきました。それで現在に至るということになります。

放射性炭素を使えば地球の年齢は決められないんですけども、より長い例えばウランとかの分析を行う必要がありますが、放射年代の測定法というのは基本的にはこのカーブを用いるということになります。

これはどういうカーブかというと、この場合は縦軸に放射性炭素の量を取っていますが、対象とする時計を持った核種ですね、ウランだったり、この場合は放射性炭素ですが、その量がどのぐらい時間がたつにつれて減衰していくかと。これが平らになると検出できなくなるので、それまでが対象とする年代となります。このカーブの変化が半減期とか、曲率を決めるのが壊変定数というものになりますけれども、いずれにしても縦軸が測定することができる部分です。横軸が知りたい部分、年代となります。

ある試料を持ってきてこれを分析する時に、現在を基準としてそれからどのぐらい減っていますかというのが分かれば、例えば ^{14}C が 50%減っていますよとなると、半減期が 5730 年ですので、放射性炭素の時計でいくと、このサンプルは 5730 年前に大気中の取り込み、つまりその生物が死んだということになっていくわけです。

およそ半減期の 5 から 10 倍くらいまで測定できますので、5 万年から 7 万年ぐらいまでが測定限界になりますが、このカーブが、つまり一番最初のスタート、現在の値が決まっていて、この曲率、半減期がしっかり決まっていれば、こちら側を測定することによって年代が分かるというような原理になっています。

放射性炭素をつくるレシピの中で一番大事なものは宇宙線です。2 年前と 2002 年に東大の物理のグループでノーベル物理学賞を取りました。小柴先生と梶田先生が宇宙線に関する、ニュートリノですが、研究を行って、それがノーベル賞につながったわけです。

宇宙線などはどこから来るかというと、太陽系の外から来るんですね。超新星爆発、星が最後に爆発して、その高エネルギーで加速された主にプラスの電荷を持った陽子が飛ん

できます。非常に高エネルギーですので、いろいろなものと相互作用を起こして核反応を起こすんですけれども、太陽自体も太陽風というものを噴き出していますので、それをブロックしてくれるわけですね、チャージを持っているので。そこで太陽圏の中に入ってこれなくしてくれるんです。エネルギーの低いものは入ってこれられない。しかしそれでも、数千万ボルトとかそういう高エネルギーの粒子は入ってきます。

さらに、地球の近傍にもやってくるんですけども、地球にも磁場がありますね。北極と南極がありますが、それでもバリアーしてくれるわけなんですけれども、それでも入ってくる粒子があるわけです。

今現在も我々は宇宙線を浴びていますけれども、特に入ってくる宇宙線を大気との相互作用で見られるのがオーロラだったりするわけですが、入ってくる宇宙線と大気中の主には窒素とインタラクションを起こして、窒素というか他の核種でもいいんですけども、中性子を取り込んで、窒素と反応を起こして ^{14}C をつくる。

次は、酸素が多い元素ですけども、それでベリリウムの 10 という宇宙線生成核種をつくります。他にも、アルゴンというのが 3 番目に多い元素ですけども、それとの相互作用では塩素の 36 というものがつくられます。

シミュレーションで、どういうふうな相互作用が起こっているかというのをやったのが、これがアメリカのグループがやった結果ですけども、エアシャワーと言われるぐらい、ずっといろんな大気中の元素だったり核反応を起こしながら地表に降り注いでいるということになっています。

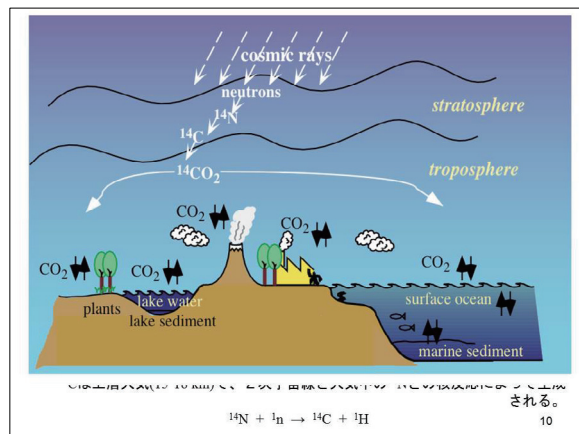


図 3

今度は炭素だけに注目してみますと、炭素というのはすぐ酸化されて CO_2 になります (図 3)。二酸化炭素なので大体 10 年以内には地球表層をぐるっと、大気中を平均的にカバーします。木がありますが、光合成することによって CO_2 を炭素として固定して木の実を作ったりするわけですね。それを動物が食べたりして、動物の中の炭素 14 も基本的には大気と同じ量になっていきます、生きている間は。

ビールとか炭酸飲料などは、水の中に気体が溶けますので、 CO_2 が溶けますので、海の中にもたくさん CO_2 が溶けています。火山とかから出てくるような煙の中は主に 5 万年よりも古いガスがメインですので、これはどちらかというと CO_2 を薄めるほうに働きます。ここに工場がありますけども、これも白亜紀とか恐竜が生きていた時代に作られた炭素を燃やしていますので、こういうのには ^{14}C は入っていません。どちらかというと大気中の ^{14}C を薄めるほうに働きますが、いずれにし

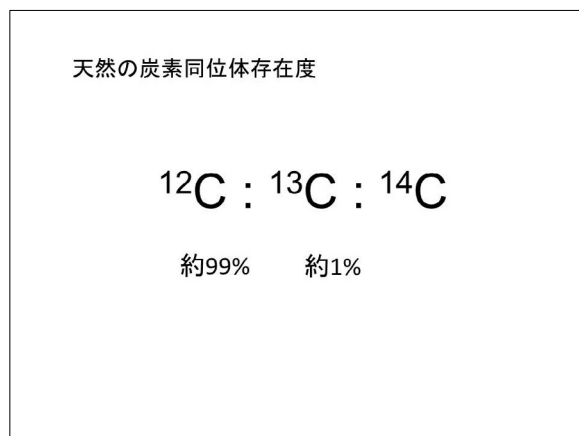


図 4

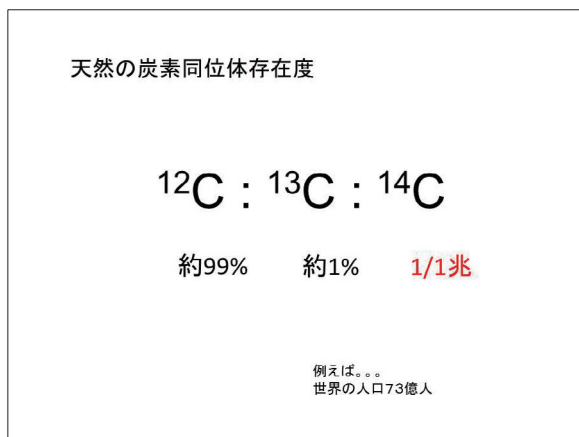


図 5

でも、こういうふうにして炭素というのは満遍なく大気中、地球表層を囲むことになります。

その放射性炭素がどのくらい存在するかということですが、これは質量数といって、基本的には重さと考えてもらえばいいのですが、炭素は主に ^{12}C の重さを持った同位体からなります。99%がそうですね。 ^{13}C の重さを持ったのは 1%、放射性炭素と言われている炭素 ^{14}C は 1 兆分の 1 ぐらいしか存在しません (図 4) (図 5)。または 10 兆分

の 1 から 100 兆分の 1 ですね、古いサンプルを分析する時には。

例えば、日本の人口は 1 億人ちょっとですが、世界の人口は 73 億人います。私は 73 億分の 1 ですが、その割合の中にいる一人を取り出すよりもある意味難しい分析をしないと、この 1 兆分の 1 という存在度の同位体を量ることは難しいということになります。

まさにわらの中から針を探すような作業ですけども、イタリアのモダンアート、現代美術をやっている人が実験をやって 2 日以上かけて実際に探したのは探したらしいんですけど、それはすごいなと思ったんですけども、こういう作業をしなくちゃいけません。わらのように似ているものがたくさんある中で一つを取り出すというのが非常に難しいことを物語っていると思います。

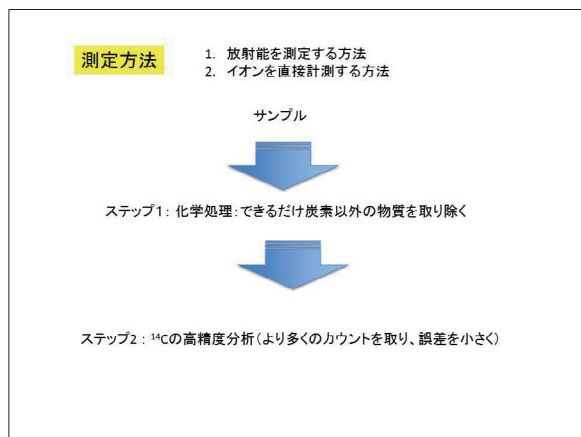


図 6

炭素 ^{14}C の分析も同じようなことが言えます。できるだけこの山のわらを取り除いてやって、針に近いようなものを選んだ後で分析するというような手法を取ります。

大きく分けると、初めのほうに言いましたが、放射能、 β 線をカウントする方法、もう一つは、現在行われている加速器質量分析計で直接イオンをカウントする方法で分析を行います。わらをほとんどなくすという作業をまずやらないといけません (図 6)。化学処理をして、ほとんどのわらを取り除くようなことをするのが最初

のステップ。化学処理ですね。

その後、 ^{14}C の高精度な分析をする必要がありますが、これはより多くのカウントを取る必要がありますので、 β 線などをカウントする時は時間がかかります。実際の装置がここにありますけれども、鉛の箱の中にサンプルを入れて、 β 線が出てくる時だけ光のような仕組みを使ってカウントしていきます。

大体、測定前の化学処理に 1 日 1 サンプルぐらいかかります。加速器質量分析だと 1 日 10 から 20 サンプルを処理できるんですけども、このカウンティングの方法でいくと 1 日 1 サンプルぐらいしか処理ができません。0.1%の誤差の測定にするためには、これでい

くと大体丸 2 日置いておかないといけません。加速器質量分析でいくと、ものの年代によりますけれども 15 分とか 30 分ぐらいで量れるということになります。

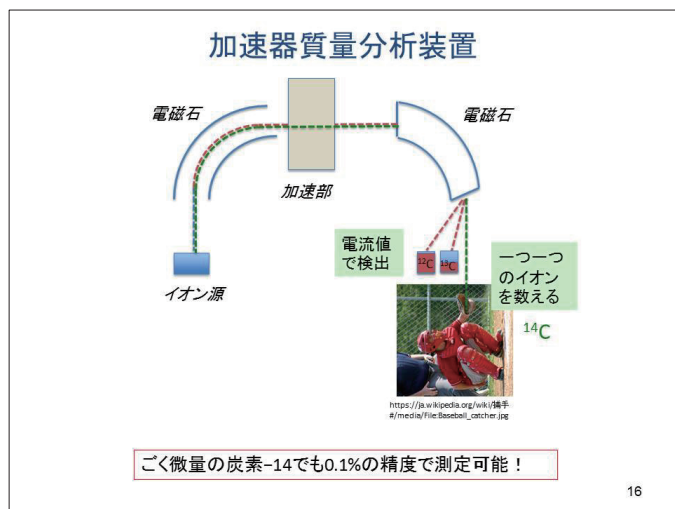


図 7

なりますね。そういうものを壊すために加速してやって薄膜などにぶつけることによって、 ^{12}C と ^{14}C をきれいに分けるということを行います。

イオンを一個一個数えるので、まさにキャッチャーミットの中にボールが一個一個入ってくるような感じで、半導体検出装置というのをここに置いておくんですけども、実際に一個一個カウントしていくというような作業をするわけです。

第 2 世代の時によく使われていた装置というのは、ここにあるこれは東大にあって我々も使っている装置の一つですけれども、5 階建ての建物の上に先ほどのイオン源、サンプルを入れるところがあって、検出装置、キャッチャーミットはここにあるようなものです。ここにコントロール・ルームというのがあって制御しています。わらを取り除いた後のサンプルというのは大体 1 ミリグラムです。これが 1 ミリの直径の中にサンプルを入れてやって、この一個一個のホルダーの中に入れてやるということになります。どのぐらいの大きさかという、ここにある、手にあるこの大きさですけど、恐らく見えないかと思

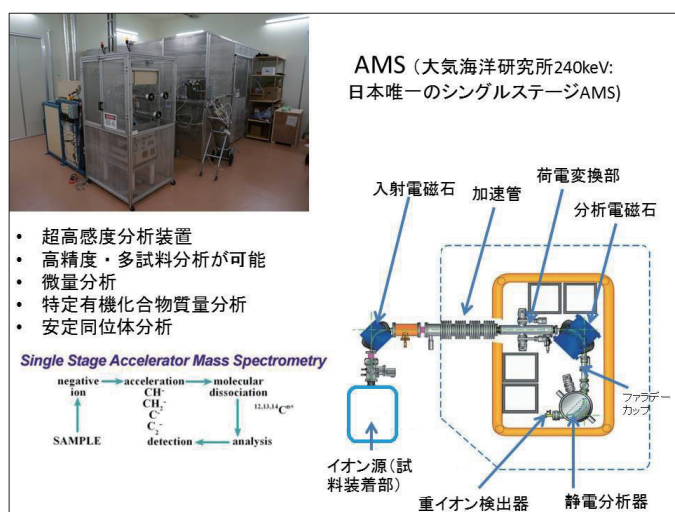


図 8

加速器質量分析装置というのは 80 年代以降に出てきたと言いましたけれども、簡単に書くと、イオン源があって検出器があって、その間に加速部があって、磁石で曲げてやって重いものは曲がりにくいけれども、軽いものは曲がりやすいという仕組みを使っています (図 7)。

ただ、あまりにも炭素 14 の量が少ないので、化学処理で取り除けなかった部分のわら、同じような重さを持った分子イオンですけれども、 ^{12}C に H が二つ付いていると 14 に

ますけど、このぐらい少ない試料量で分析が可能ということになります。

第 3 世代、いま私たちの研究室にあるのはこのシングルステージ加速器質量分析装置というものですけれども、これがさらに小さくなって、大体 10 メートル四方の中に入るぐらいの大きさに小さくなっています (図 8)。放射性炭素の分析に特化した装置で、今のところ日本には 1 台しかありません。非常に小さいので制御が比較的容易ということで、多くの分析を高精度で行うことができ

「それはいつ起こったか？地層に埋め込まれた時計が示す過去の出来事」

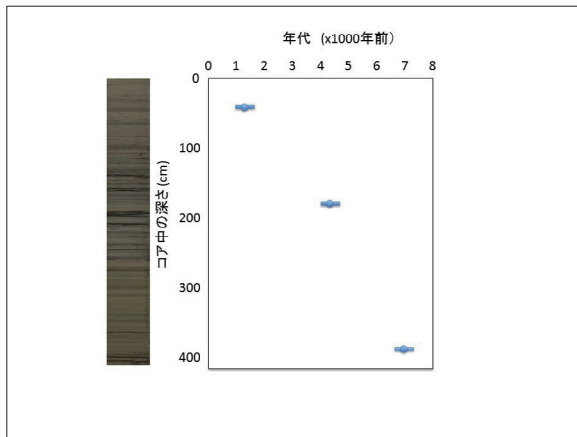


図 9

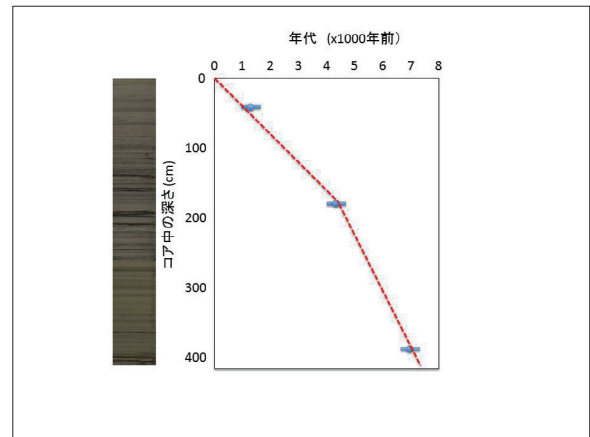


図 10

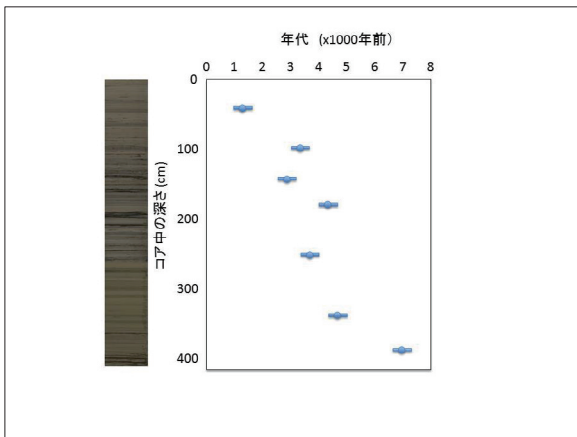


図 11

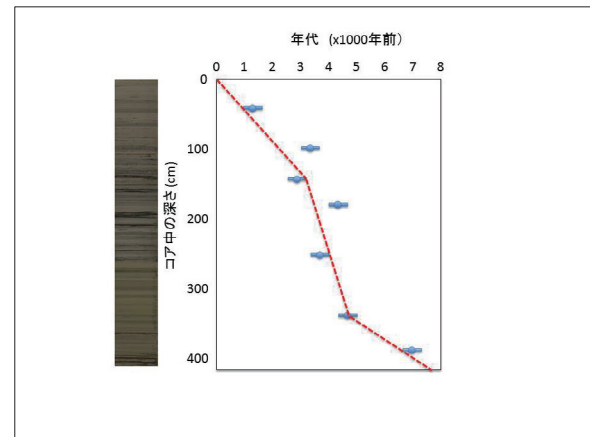


図 12

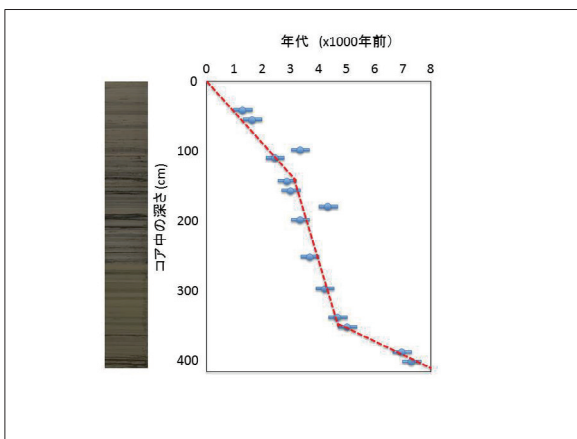


図 13

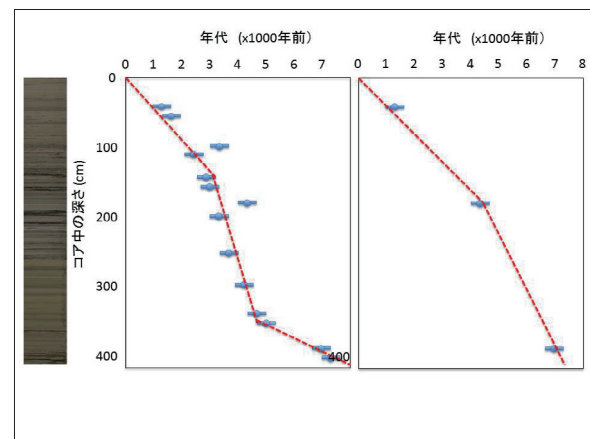


図 14

るということになるわけです。

炭素 14 の年代を測定するのに、分かりやすいので、サンプルを会社にとって分析してくださいとってどのぐらいのお金でやってくれるかという、5 万円とか 10 万円ぐらいかかるんですけども、非常に大変な作業が、後ろにある大きな加速器を使うと一つ分析する時に一晩中、徹夜で実験しないといけないとかそういうがあるので、非常に大変です（図 9）。

例えば、実際にこれは本栖湖のコアの写真ですけども、4 メートルで三つ入れた場合は、こういう年代があると、大体この中には 8000 年ぐらいの時間が入っていますねというふ

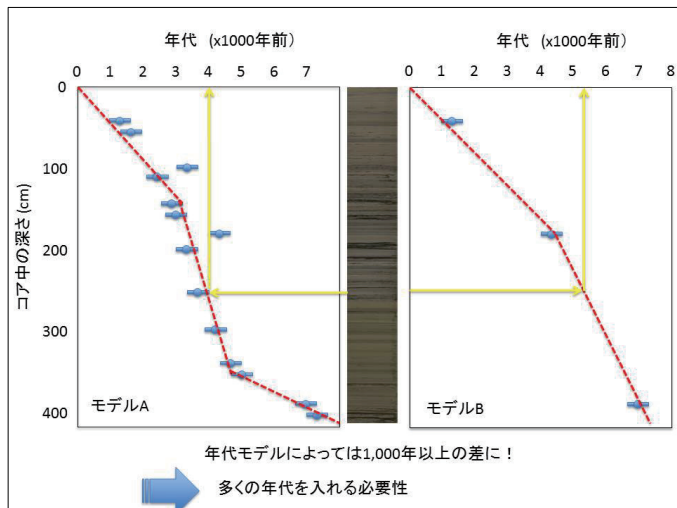


図 15

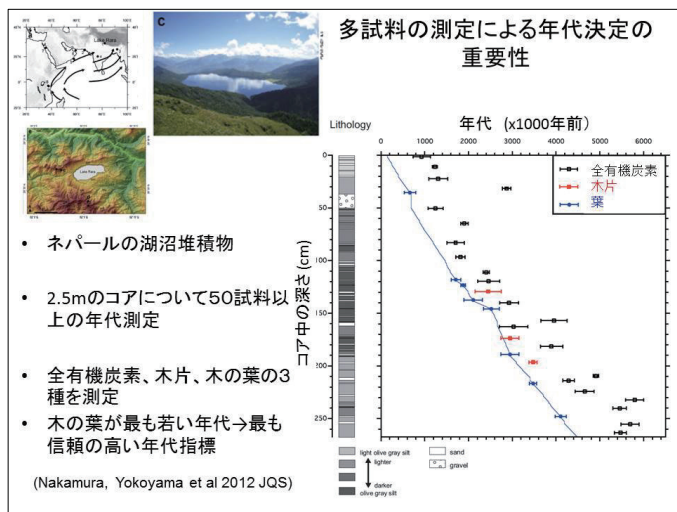


図 16



図 17

うにして年代モデルがつくれるわけです (図 10)。しかし、数を増やしてくるとちょっと年代のモデルのパターンが変わって来たりします (図 11) (図 12) (図 13)。どちらが正しいか。やはり点数を増やした方が誤差は小さくなりますよね。一つの衛星をつかまえたGPS だけでは精度が劣るのと一緒に、たくさんの衛星をつかまえると誤差が小さくなるのと一緒に、たくさんデータを入れたほうがいいということになります。

実際、最初にお示した年代モデルと次に使った年代モデルでいうと、例えばですけどこの場合は 1000 年以上の差になったりするわけで、非常に細かく年代を決めてやる中では多数の年代決定をする必要があるということが分かります (図 14) (図 15)。

そういうのを、今産業技術総合研究所にいるナカムラ研究員とかがまだ学生時代に私たちのところにいた時には、たくさんの試料を計って分析をすることによって、どの年代、どのポイントが一番正確かというのを選んで、それで年代をきっちり入れることに成功して環境変動を復元することができたということがありますし (図 16)、例えば今やっているのは富士五湖のサンプリングですけれども (図 17)、このコアについても、コアを半割して分析すると、たくさんの試料、年代を入れてやって非常にきれいな年代の分布になっていますが、これは本栖湖のコアのデータです。非常に驚いたんですけども、大体 8000 年から

9000 年間の年代がきれいに入っているということが分かりました。

さらに、カワゴ平の火山灰といって伊豆半島の近くから噴いた火山灰ですけれども、それが 3100 年前ぐらいに噴火したということが分かったんですけれども、それは私たちの年代モデルを使った時にも 3000 年前に吹いたというのが、相互に同じ数字が出てきて、この年代モデルが非常に正しいということが他の証拠からもサポートされたということになります。なので、これらをさらに今後分析を進めていくことによって、年代軸が入りましたので、9000 年間の環境復元、富士山の噴火の履歴などを含めた環境復元が高精度に行えるという、非常に重要な試料が取れたと非常に喜んでいるところであります。

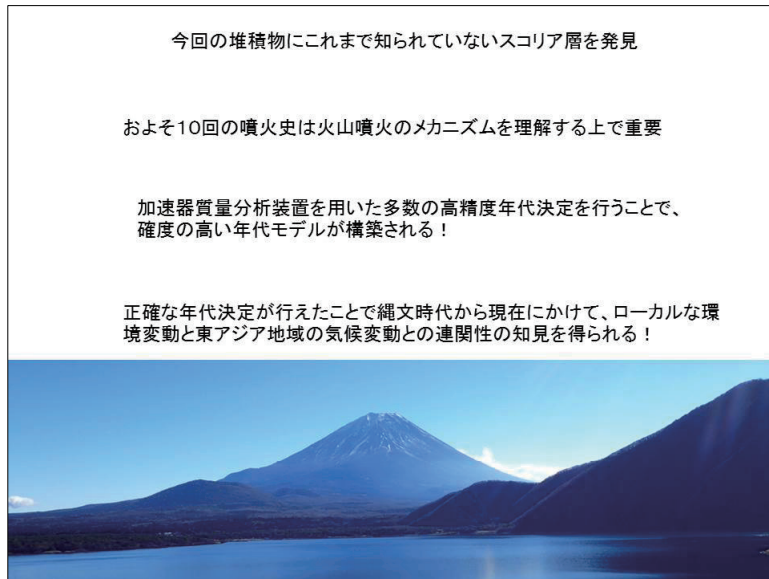


図 18

最後ですけれども、今回詳しくは私の発表では述べていませんが、この後 Obrochta さんとかの発表でご紹介があると思いますが、知られていないようなスコリア層、陸上の堆積物には見られないようなスコリア層なども発見されて、その年代も恐らくしっかり決めることができると思われます（図 18）。そういう噴火史によって、富士山の火山噴火がどういうふうなタイミングで起こってきたかということについても新しい知見が得られると思われます。

今、第 3 世代に入ってきた炭素 14 の分析、またはそれを使った研究ということと進めていくことで、例えば本栖湖のコアの分析などを進めることで、非常に広い東アジア全体、例えば富士山の周りもそうですけれども、グローバルな気候変動と、ここら辺の周辺の縄文時代の早いうちから現在にかけての連続した記録が得られるんじゃないかということが分かってきました。

以上です。どうもありがとうございました。

司会：どうもありがとうございました。時間がちょっと迫っていますので、質問はまた後でお受けしたいと思いますので次に進めさせていただきます。

次は、富士山科学研究所の吉本研究員から、「富士山の噴火履歴の研究とその問題点」ということでお話をさせていただきます。

「富士山の噴火履歴の研究とその問題点」

吉本充宏（山梨県富士山科学研究所）



富士山の噴火履歴の研究とその問題点

吉本充宏
山梨県富士山科学研究所
Mitsuhiro Yoshimoto

MFRI

吉本：富士山科学研究所の吉本です。

いつもは防災の話をしておりますが、今日は「富士山の噴火履歴」についてお話しさせていただきたいと思います。

富士山の地質に関する研究は、古くは 1800 年代から行われてきましたが、火山としての研究は、津屋先生が 1930 年代からおこなわれた研究になります（図 1）。津屋先生の成果は、富士山では溶岩流や空を飛んできた火山灰とかスコリアとか火砕流などいろいろとありますが、特に溶岩流を主体とした研究をされて、富士山の火山地質図として 1968 年にまとめられました。

富士山は溶岩流だけではなくてテフラとして火山灰やスコリアも飛んできていますが、そのテフラの研究に関しては（図 2）、町田先生とか上杉先生といった方々が津屋先生の後を追って研究をされてきております。これらの研究はテフラに特化したものです。その後、宮地先生が溶岩とテフラを加味して総合的な富士山の噴火履歴というものを研究されたものが、最近の噴火履歴のおおもとになっているような研究になります（図 3）。

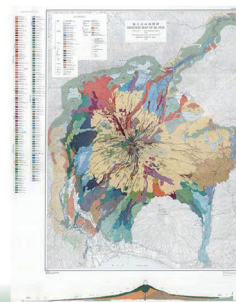
これまでは一人の研究者が地道に、富士山の数ある堆積物を一つ一つ調べてきたわけですが、富士山の研究で転機が訪れたのが皆さんもご承知の深部低周波地震の増加になります。2000 年に富士山の下で富士山に起因するという地震が増発して（図 4）、その

富士山における噴火履歴の研究

溶岩を主体とした研究
津屋(1937~1968)など
→火山地質図第1版

テフラ層序
町田(1964;1977)など
上杉(1998;2003)など

溶岩とテフラ層序を加味した総合的な噴火履歴の研究
宮地(1988)



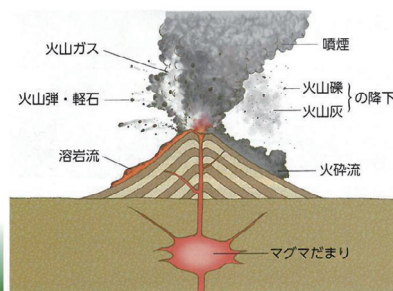
MFRI

津屋(1968) 富士山火山地質図

図 1

富士山の噴出物

- 降下スコリア/火山灰
- 溶岩流
- 火砕流



MFRI

図 2

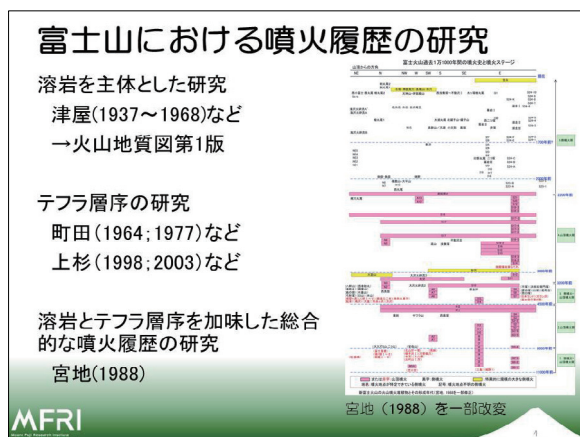


図 3

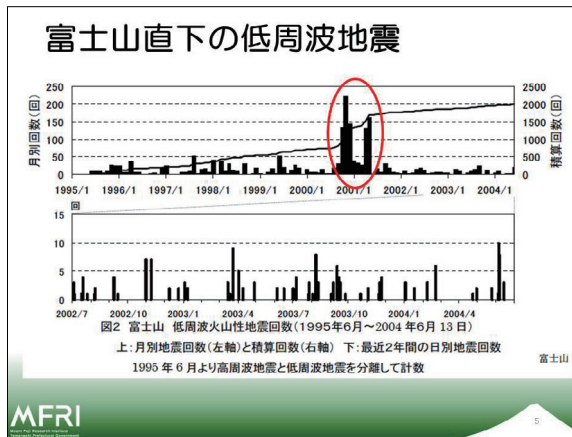


図 4

時から、ハザードマップを作らなきゃいけない。ハザードマップを作るためにはやはり、詳細な噴火の履歴を知らなければハザードマップを作れないということで、ハザードマップ委員会を主導としていろいろな噴火履歴の調査がされました。

それまでは基本的には歩いて溶岩を対比し、時には道路工事などで出てきた地層断面をつないでやってきたんですけれども、このころになるとボーリングとか、トレンチと言いまして、自分たちで地層断面を作って調べることを行って参りました。道路工事で露頭ができるのを待っていても自分たちが見たいところには露頭がないわけですね。ですから、自分たちが見たいところに地層を作って調査する手法がとられるようになってきました。また、空から精密な地形測量をやって地形を見るといったような調査も行われるようになってきました。

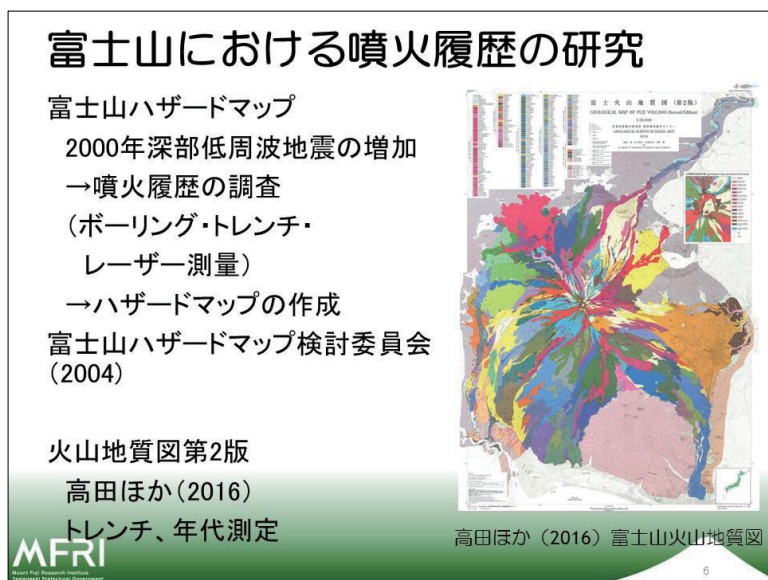


図 5

この成果を元にハザードマップが描かれたわけですが、その後調査を進展させたのが、産業技術総合研究所が作った「富士山火山地質図第2版」と呼ばれているものです(図5)。去年これが発行されました。これまでの調査にトレンチや先ほどの横山先生が仰っていた年代測定を多数やって、この地質図を描き上げました。

彼らの成果というものは、宮地先生が示していたテフラ

で山体の溶岩に対比できなかったものを対比させた点にあります。この図は富士山の3500年前から2300年前ぐらいの堆積物の層序を描いています(図6)。下が3500年前、上が2300年前です。これはB.C.で書いてあるのでプラス2000年してください。3500年前から2300年前、このころ富士山は山頂でたくさんの噴火をしていました。その山頂域にあ



図 6

る堆積物と、山麓にあるテフラとをつなげるということに成功して、富士山の噴火履歴というものが非常によく分かってきました。これがそういった層序になります。

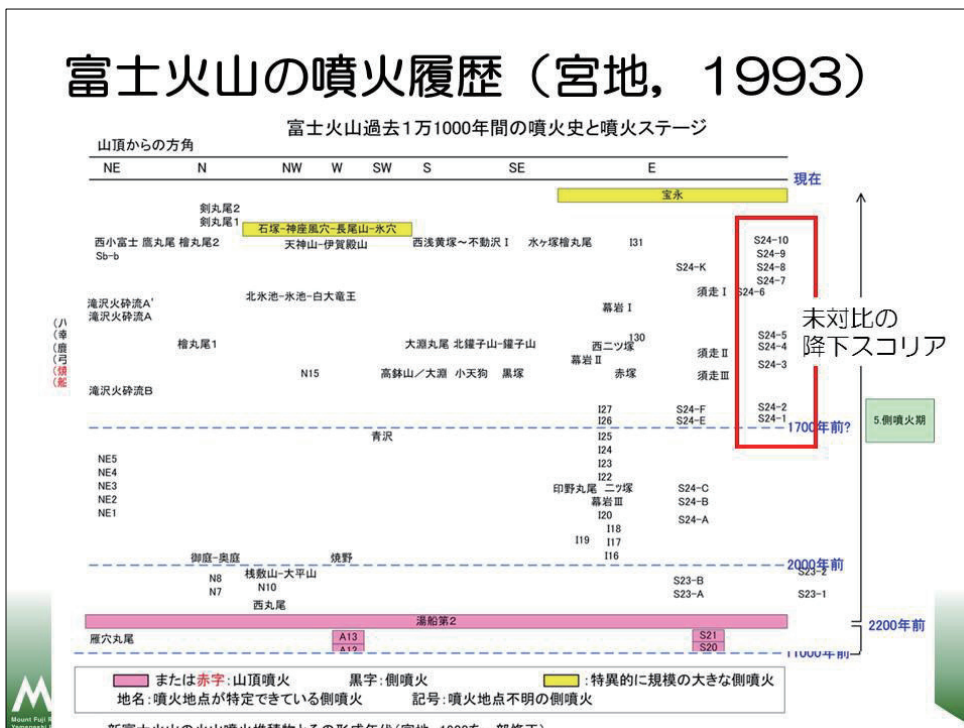


図 7

一方で、宮地先生たちが描いたテフラの中で非常に小規模なもの (図 7)、たとえば 1700 年前以降にあるような比較的規模の小さい降下スコリアは、まだ対比がされていません。そういう意味では、富士山の噴火履歴というものの自体は完全に履歴を追いかかれたというわけでは

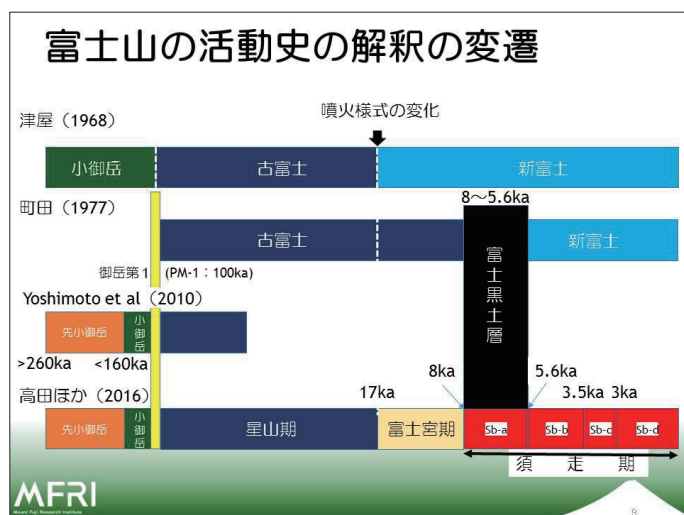


図 8

例えば津屋先生の場合は、2 万年ぐらい前に噴火様式の変化、関東ローム層に寄与するような大規模な火山灰を出していたころと溶岩流が主体になった時期で、新富士と古富士というのを分けております。一方で、テフラの研究をされていた町田先生は、富士山の周辺には富士黒土層というあまり噴火が頻発しなかった時期を境として新富士・古富士と呼びますよということを言っております。

その後、私が東京大学にいた時に藤井先生と一緒に実施したボーリング調査によって先小御岳というものが発見されて、富士山の前に二つ火山が存在したと考えられています。それをまとめて高田ほかでは、これらの分け方を整理して、富士山を「星山期」「富士宮期」「須走期」というようなかたちで区分するようにしております。おおまかには「新富士」と「古富士」という感じなんですけど、ここのグレーゾーンのところを分けて考えるということをしております。

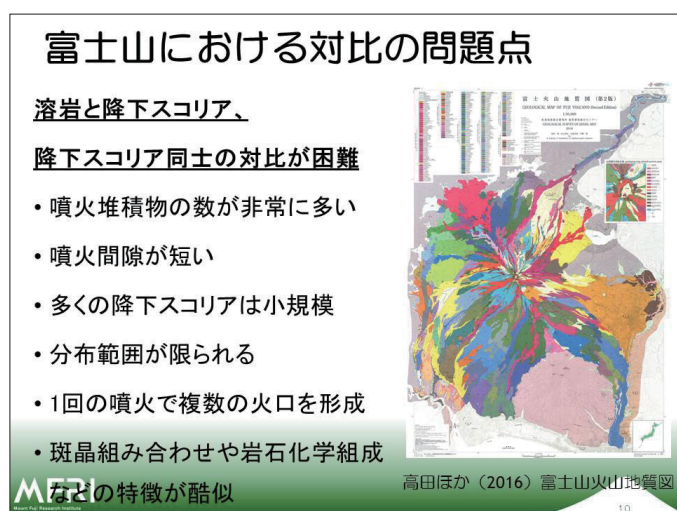


図 9

いた噴火に比べると 1 万分の 1、さらにもっと小さな噴火なわけです。富士山の周辺でそういった堆積物を調べた結果が山元ほかの論文に記述されています（図 10）。富士山の山頂と御殿場市の間の富士山の山体には、非常に小規模な堆積物があります。赤い点々がテ

なくて、まだ発展途上にあるというような状態にあります。

実は富士山の活動期には名前がいろいろあるので少し整理しておきます（図 8）。富士山のできる前には小御岳という火山がありました。現在の富士吉田口の 5 合目小御岳神社のところに一部が露出しています。津屋先生の時代から、富士山は「古富士」「新富士」と区分されて呼ばれてきました。実はこの古富士、新富士というのは先生方によって少し時代区分が違っていました。

こうやって非常に整理されたような状態ではあるんですけども、まだ、先ほども言ったような小規模なスコリアの対比はできていない状態にある。これは富士山の特有の問題があります（図 9）。

先ほど午前中に、テフラを使うと時間軸が入れられていいぞという話をいっぱいしていただいたんですけども、富士山の場合はまず、非常に堆積物が多い。それから、堆積物が多いですけども規模が非常に小さい。先ほど青木先生とかが話して

小規模噴火の分布（東側）

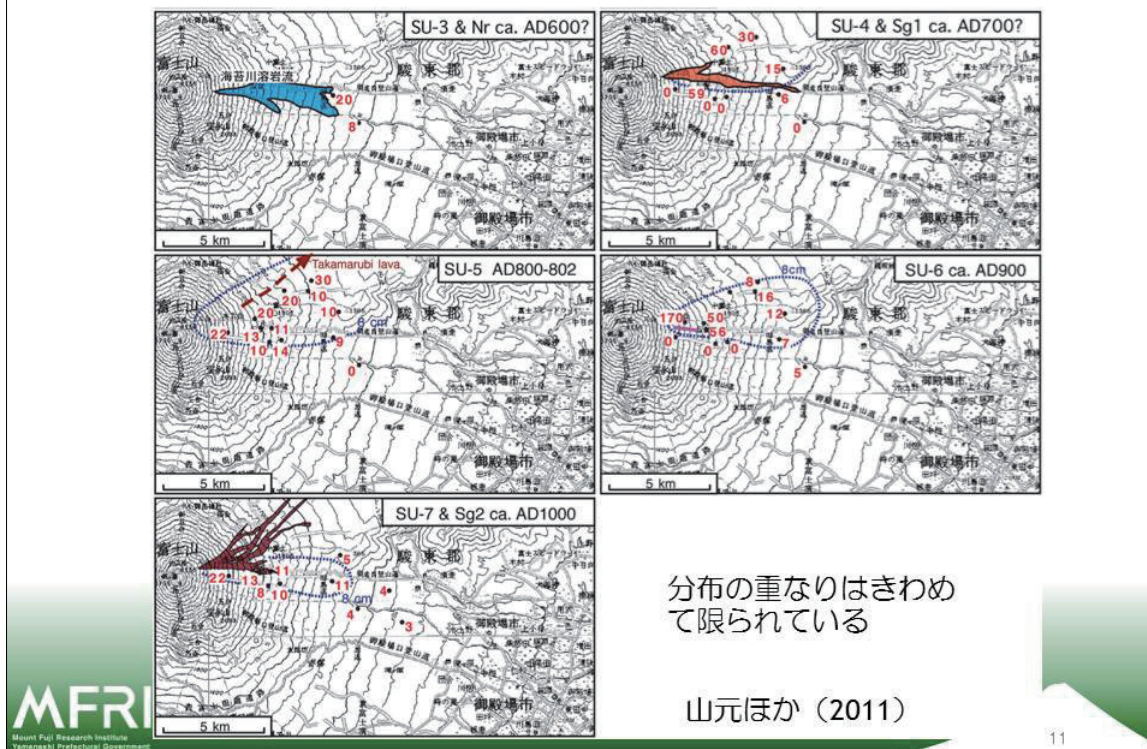


図 10

富士山の火口の分布

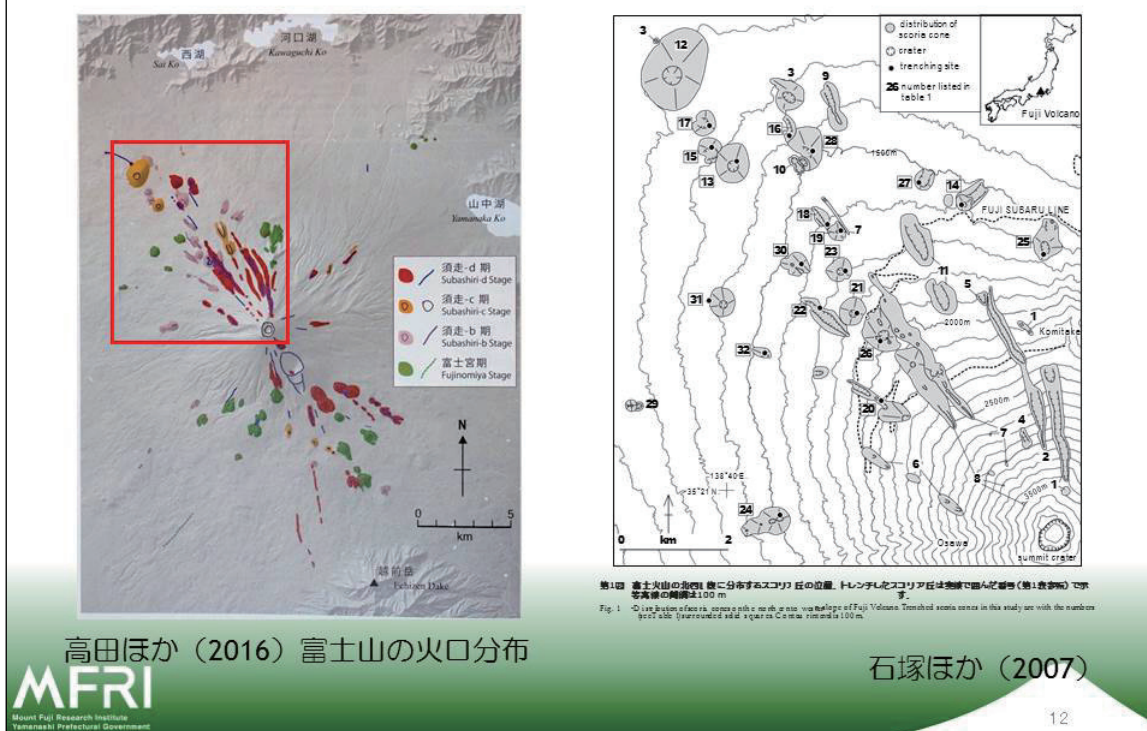


図 11

富士山の噴出物の化学組成

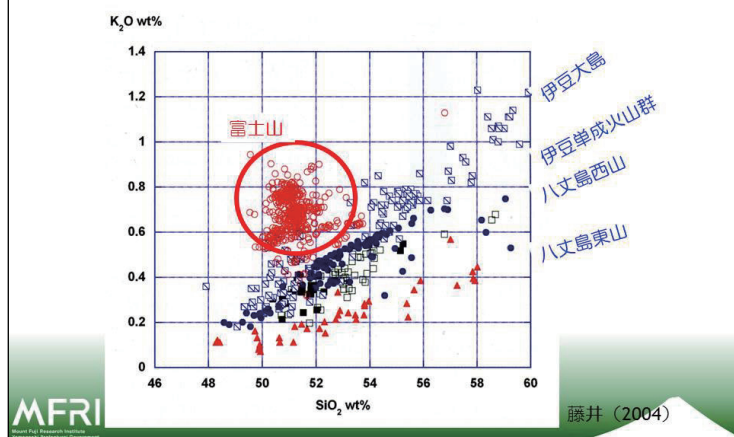


図 12

岩石の化学組成で噴火が識別可能な事例

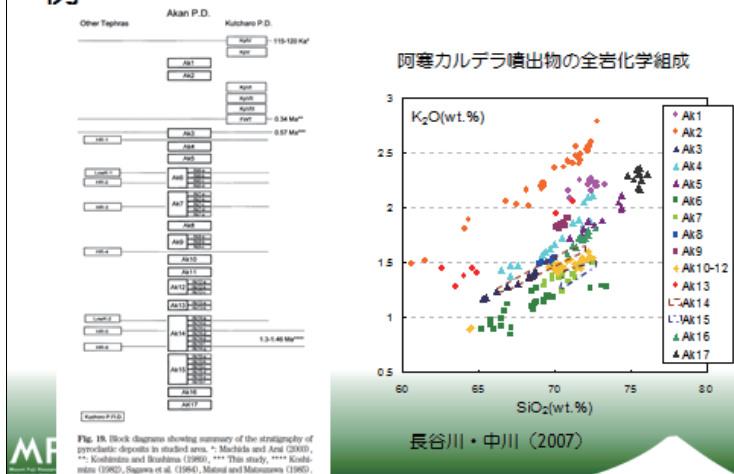


図 13

富士山の全岩化学組成の変化

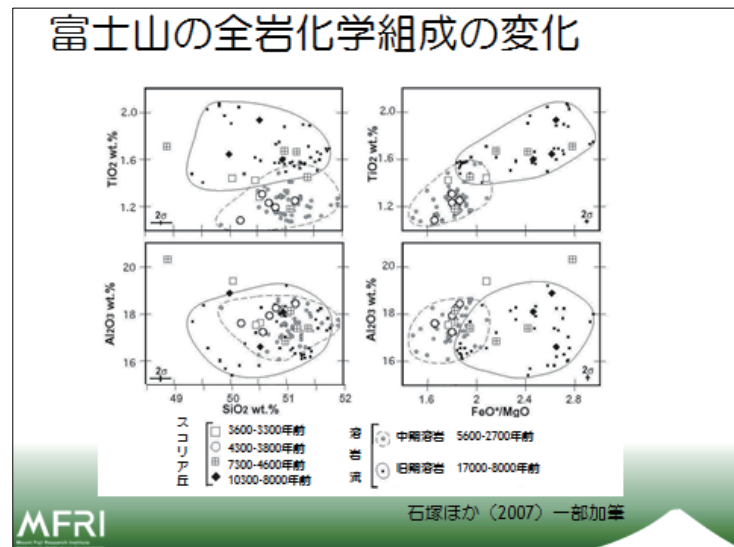


図 14

フラの厚さを示しています。このように局所的にしかない。それぞれの層がオーバーラップしていたりオーバーラップしてなかったりするわけですね。そうすると、非常に対比が難しくなってきます。

さらに難しくしていることは、富士山の噴火というのは火口がたくさんあるということなんです（図 11）。火口がたくさんあって、しかも一回の噴火で複数の火口から出てくる。例えば大室山というのは 3000 年前に大きな噴火をしていて、この辺に火山灰をたくさん飛ばしているんですけども、この噴火の時は片蓋山という火砕丘からも火山灰を出している。こうやって見ると火口が二つあるので別々の噴火かと思うのですが、地層を調べていくと、実は 1 回の噴火であったように見えるという報告がされております。

また、狭い地域にしか堆積しなかったり、広い地域に堆積していても出てくる場所が複数であったりという問題点もあります。

それから、岩石の化学組成を使うと（図 12）、もしかしたら分かるかもしれないのですが、伊豆諸島の火山では噴出物は玄武岩質から安山岩質ぐらいまで広がりがありますが、富士山は玄武岩質ばかりで、この中で差を見つけ出すのは非常に難しいわけです。

大規模噴火の場合、例えば阿寒というカルデラの噴火だとすると、一回一回の噴火で化学組成が変わるということも知られています（図 13）。しかし、富

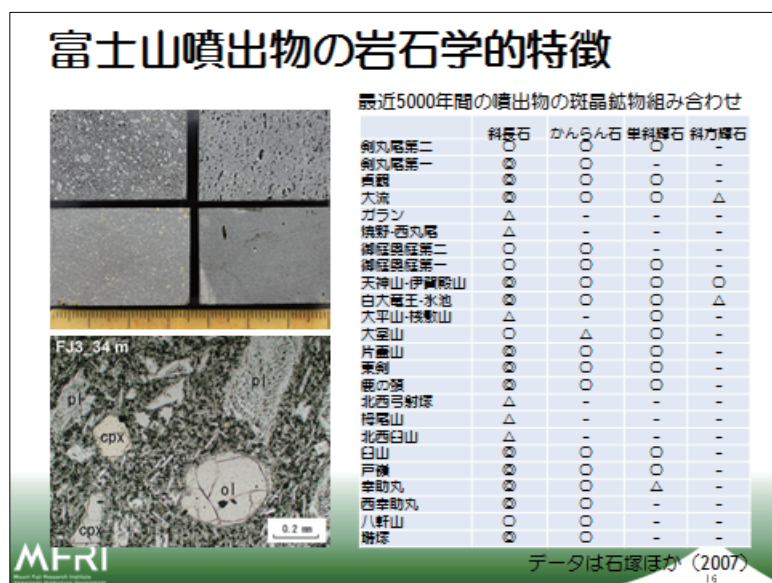


図 15

らん石が多いもの、ほとんど無いものとかいろいろあります。これぐらい多様性はあるんですが、実は堆積物がいっぱいあって、複数同じような組み合わせが出てくるので、一つの溶岩を追いかけていく分には大丈夫なのですが、離れたところの堆積物になってしまうと、対比させるのは非常に難しいのです。

最近では、当研究所の馬場研究員が、新しい手法を使って対比を試みる研究をやっております(図 16)。例えばこの近くを流れている剣丸尾という溶岩と富士山の反対側に不動沢という溶岩があります。これは産総研の結果で同じ時に噴火したと考えられておりますが、全く分布がかぶってないわけです。こういったものを対比させるのは、さっきの岩石学的な特徴が同じであっても、岩石学的な特徴は時間を示していないので同時期の噴火



図 16

土山の場合はほとんど差がない。この図は(図 14)、大体2万年ぐらい前から3500年前ぐらいの堆積物の化学組成を示しておりますが、一個一個が溶岩の堆積物と見ていただいても、ほとんど同じようなところにプロットされて識別することは非常に難しいということになります。

石の表面の見かけとしては(図 15)、比較的白い粒々(斜長石)が多いもの、それから黄色い粒々が多いもの、かん

かどうかは分からないわけです。

そこで我々で最近手がけているのは(図 17)、古地磁気の編年とって、地球の磁場が年々と変化することを使って対比を試みようとしています。代表的なものを古地磁気の測定をすると、少しずつオーバーラップはしているのですが、



図 17

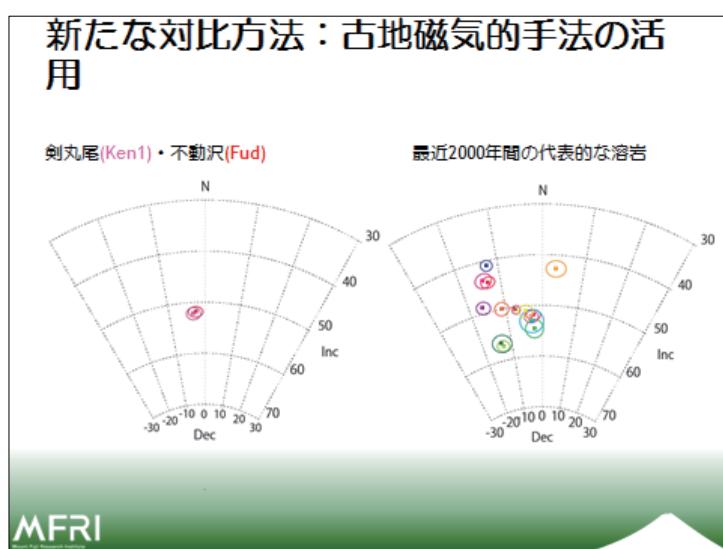


図 18

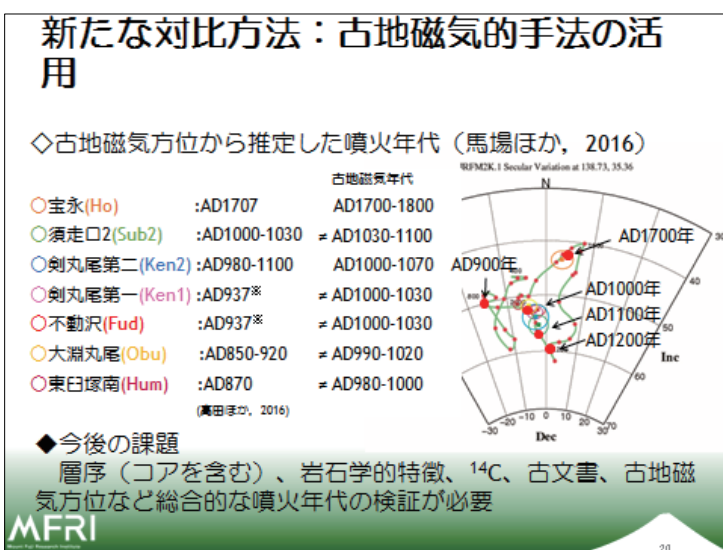


図 19

不動沢と剣丸尾というのが同じところにプロットされるということが分かってきました (図 18)。これで高田ほかの言っていたことがほぼ証明されただろうというふうに我々は考えております。

逆にこれを使って古地磁気の永年変化というものに溶岩から測定した古地磁気の方位をプロットしていくと、古地磁気の永年変化から年代を推定することも可能じゃないかということが最近分かりつつあります (図 19)。ただし、この方法一つだけでは、層序というものを考えることは難しいので、これも含めてコアとか岩石学的な特徴、それから C14 年代などを使いながら総合的に検証していくことが必要であろうと現在考えております。

まとめとしては今話したことで、すのでこの後いろいろと富士山の最新の研究が紹介していただけるかと思います。どうもありがとうございました。

まとめ

- 富士山の噴出物は数が多く、分布が限られている、岩石学的特徴が類似しているなど対比が難しい。特に溶岩と降下スコリア、小規模な降下スコリア同士の対比が困難。
- 噴出物の時間間隔が短いため、放射性炭素年代による対比も困難な場合がある。
- 今後新たな層序対比手法や噴火年代決定手法の導入が期待される。

司会：どうもありがとうございました。ほんの少しだけ時間がありますけど、どうしても聞きたいというのがありましたら。よろしいですか。後でお時間を取りますので。

それでは引き続きまして、富士山科学研究所の山本研究員から「山中湖の湖底から見つかった噴火による植生変化の証拠」ということで、いよいよ今度は富士五湖のお話のほうに移らせていただきます。お願いします。

「山中湖の湖底から見つかった噴火による植生変化の証拠」

山本真也（山梨県富士山科学研究所）

山本：皆さん、こんにちは。富士山科学研究所の山本です。

私はこれまで、富士五湖の堆積物を使って過去の富士山の噴火の歴史とか、噴火が周囲の環境に与えた影響などを研究してきました。今日はその中で、山中湖の堆積物の分析によって新しく分かってきた過去の噴火が植生にどのような影響を与えたのか、ということについてご紹介したいと思います。

皆さんよくご存じかと思いますが、富士山というのは約 10 万年前に活動を始めた日本最大の活火山です（図 1）。そのため富士山を取り巻く自然環境というのは、富士山の度重なる噴火によって破壊と再生を繰り返しながら現在の姿になってきたわけです。

特に噴火が森林植生に与える影響というのは非常に大きいと考えられていますが、例えば溶岩流や火砕流によって森が焼けてしまったり、もしくは降下火砕物がたまってしまうたり火山ガスによって木が枯れてしまうということが起こります。また降下火砕物が土壌を覆ってしまうと、その後植生がなかなか生えにくくなるという遷移の阻害ということもあります。

ということで、ひとたび噴火が起こればその影響は中長期にわたって続くわけですが、一方で、富士山ではこれまでの噴火が植生にどのような影響を与えたのかについては、ごく最近のもの、文献が残っていたり現在の植物が観察できる宝永の噴火とか貞観の噴火を除いては、ほとんど研究例がないということになります。

この要因は、火山には噴火で出た堆積物というのはたくさんたまっていて、噴火の情報はいっぱい持っているんですけども、噴火前後の堆積物があまりないということで、噴火の前と後で植生がどのように変わったのかを調べるというのが堆積物からは難しいとい

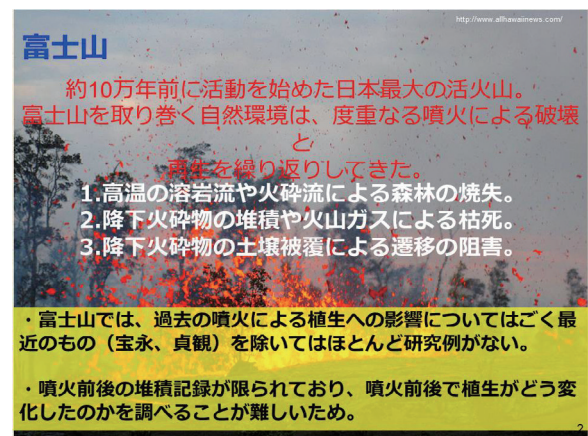


図 1

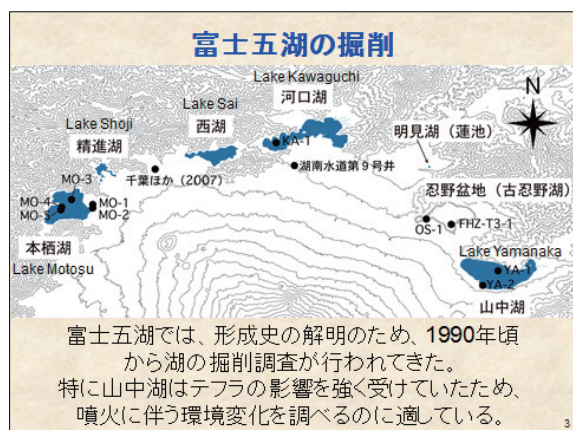


図 2

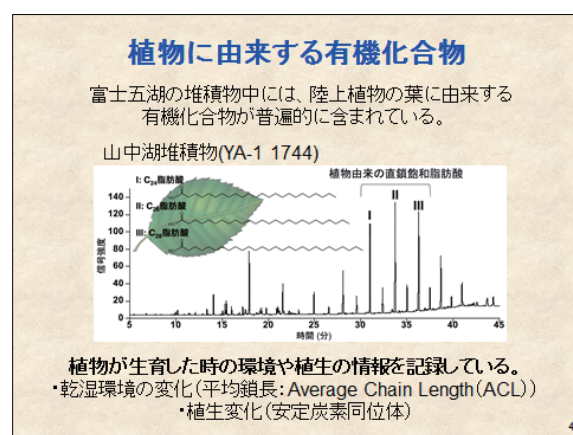


図 3

過去の植生を復元する手法としていろいろありますが、私が特に着目しているのは植物に由来する有機化合物です (図 3)。意外なことかもしれませんが、富士五湖の堆積物中には実は陸上植物の葉っぱに由来する有機化合物が多く含まれています。

どういう化合物かというと、ここに示したのは山中湖の約 100 年前に堆積をした堆積物中の脂肪酸という有機化合物を分析した結果ですけれども、ここに I 番から III 番とラベルを付けたピークの化合物がここに示したような構造を持つ化合物、炭素が 24 個とか 28 個つなげたような形をした化合物、これが植物の葉っぱに由来する有機化合物になります。



図 4

うことが挙げられます。

一方、富士山の周りには、富士五湖と呼ばれる堰止湖が弧状に点在しています。東から、山中湖、河口湖、西湖、精進湖、本栖湖とあるわけですが、この湖の堆積物には富士山の周辺の環境が連続的に記録されています (図 2)。これまで、2014 年より前の時代ですけれども、黒丸で示したようなところで湖底堆積物の調査というのが行われてきまして、湖に影響を与えた噴火活動の特異性などが既に明らかにされています。

そうした情報を元にしますと、富士山の最も東に位置する山中湖ですけれども、富士山では偏西風の影響によって噴火で出た噴出物が東に流されやすいという特性があります。ということで、東側に位置する山中湖の堆積物中には富士山のテフラが多く見つかっています。ですので、山中湖の堆積物を使えば、テフラの堆積前と後、噴火の前後で植生を復元し比較してやることで、噴火によってどのように植生が変わったのかということを知ることができます。

詳細な説明は省きますけれども、この植物に由来する有機化合物は実は、植物が生育した時の環境や植生によってその成分が変わることが知られています。ですので、こうした有機化合物の組成もしくは安定同位体などを分析することで、過去の乾湿環境、乾燥・湿潤といった環境変化や植生変化の情報を得ることができます。

私が研究で使っていた試料は、ちょっと古いのですが、1998 年に山梨県が山中湖の湖心付近で採集した約 17.6 メートルのボーリン

グ試料、YA-1 というコアになります (図 4)。こちらが YA-1 コアの柱状図になります。柱状図というのは湖の地下にどのような堆積物がたまっているのかを模式的に示したもので、0 メートルが現在の湖底ということになります。

そしてこのコアの特徴として、細い四角で示したような泥やシルトといった細粒の堆積物の中に、黒いパッチで示したちょっと分厚い四角がありますけども、これが富士山由来のテフラです。こういうテフラが何枚も挟まってくるというのが大きな特徴です。

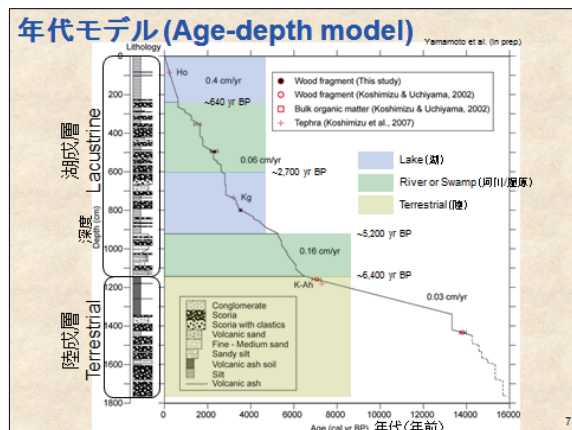


図 5

また、これまでの堆積物の解析から、湖底から深度 11.4 メートルより深いところの堆積物というのが陸上で堆積した堆積物、そして 11.4 メートルより浅いところで堆積したものが主に湖で堆積した堆積物でして、さらに細かく見ると、河川、湿原、そして湖といった環境が何度か繰り返すような複雑な環境変化をしてきたということが分かっています。

私の研究では、従来の年代データに加えて新たに 2 点で年代測定を行いまして、年代モデルの改訂を行いました (図 5)。これに基づけば、過去 1 万 3000 年の堆積物が約 13 メー

トルほど堆積しているという計算になります。

そしてこれが分析結果ですけども、YA-1 コアの中に含まれていた植物由来の有機化合物の炭素同位体と平均鎖長の 1 万 3000 年間の変化です。詳しい説明は省きますが、こちらの炭素同位体比のほうは、値が大きくなるほど草本類、草などに由来するものが多くなる。そして、値が小さくなるほど木本類、樹木に由来するものが多くなるということが分かります。そして平均鎖長のほうですけども、こちら値のほうが大きくなると乾燥した環境、値が小さくなると湿潤な環境を示すとされています。

ここで、過去 1 万 3000 年間の両者の変動を見比べてみると、この二つの指標が非常に似た変動パターンを示しているということが分かります。すなわち、現在から約 1 万 3000 年前から 6000 年前というのは比較的気候が乾燥しており、そして植生のほうは草本類主体の植生をしていました。一方で 6000 年以降、山中湖周辺的环境というのは徐々に湿潤化をしており、ちょうどそれに同調するように、植生のほうは草本類主体の植生から木本類主体の植生へと変化をしていることが分かります。

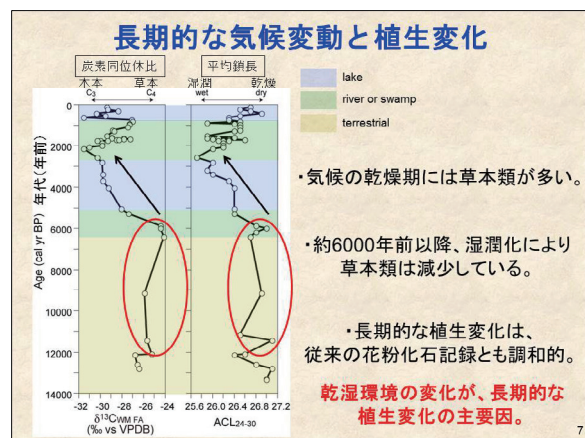


図 6

こうした炭素同位体比から推定される長期的な植生の変化というのは、従来、花粉化石の分析などで明らかにされている記録とも調和的です。ということで、こうした変動パターンの類似というのは、長期的な植生変化が周囲の乾燥・湿潤といった環境変化によって引き起こされているということを示唆していま

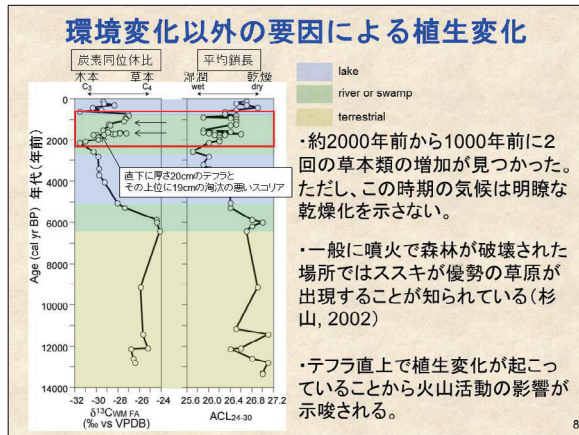


図 7

要因によって植生が変わっていたということが示唆されます (図 7)。

また、最初の炭素同位体比のスパイク、とげ状に増加をしている層準の直下には、厚さ 20 センチのテフラと、その上に続く 19 センチの淘汰の悪いスコリア層が堆積をしていたことが分かっています。一般に、噴火で森林が破壊された場合、その場所では森林に替わってスギが優勢の草原が出現することが知られています。本研究でもこのように、火山性の堆積物の直上で草本類が増えるという変化が見られたことから、こうした変化が火山活動の影響によって起こったのではないかと考えられます。

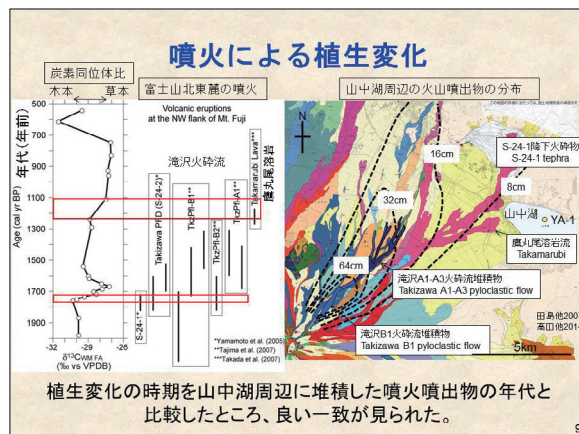


図 8

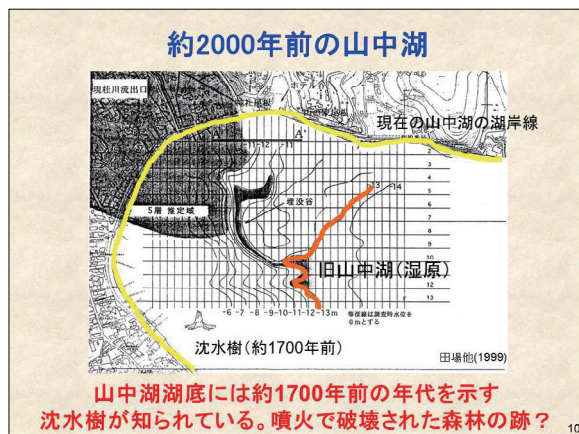


図 9

す (図 6)。

一方、新たな知見として、今から 2000 年前から 1000 年前にはそれまで同調していた二つの指標が一致をしないという時代があることが分かってきました。それが赤枠で示した時代になります。このように、炭素同位体比というのは矢印で示したところで急激に値が増加をしており、草本類が増えたことを示しているのですが、逆に平均鎖長のほうは炭素同位体比に同調する変動を示さない。すなわち、環境の乾燥・湿潤といった変化以外の

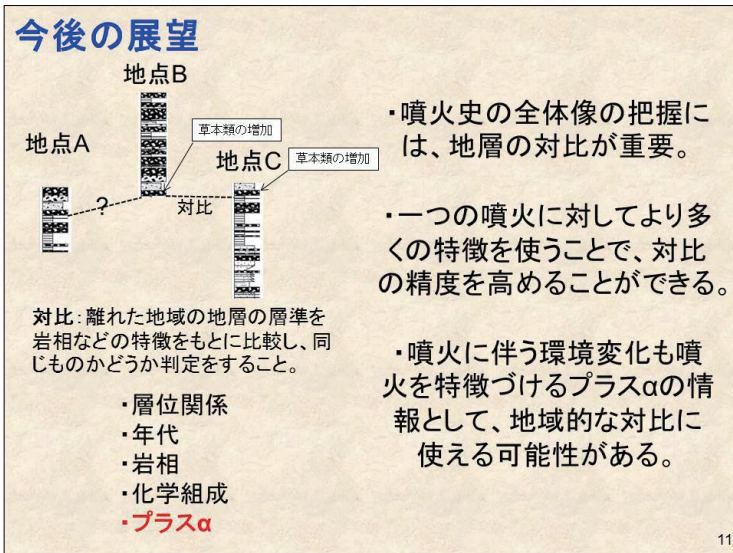
そこで、左の図では、約 2000 年前から 500 年前までの植生変化の記録と北東麓の噴火記録を比較してみました。また、こちらが、その噴火で出た堆積物の分布を示しています (図 8)。いずれも山中湖の西側に多くたまっているということが分かります。

そして、最初の同位体比が増加する、草本類が増加する層準のところでは、ちょうど S-24-1 のテフラ、そして滝沢火砕流などが起こっているということが分かります。これは、この層準の直下で 20 センチのテフラ層が観察されたということとも調和的です。

また、2 番目のピークは、時期としては鷹丸尾溶岩の流下時期と一致をしている。そして、この層準の付近では顕著なテフラ層が見えなかったということで、溶岩流の影響であるということと調和的です。

現在、富士五湖最大の面積を誇る山中湖ですが、2000 年前の姿はどうだったかという、現在よりもずっと浅い位置に湖岸線があり、周囲には森が広がっていたということが知ら

れています（図 9）。実際に現在、山中湖の湖底を調べてみると、水に沈んだ木がいっぱい見つかっています。興味深いことに、この沈水時の年代が今から約 1700 年前ということで、今回見つかった植生破壊が起こった時代とよく一致しているということが分かりました。従来、この沈水時は山中湖の水位が上昇する時に沈んだというふうに考えられてきま



したが、こうした一致から、沈む前に既に森が噴火で破壊をされていたのかもしれません。

最後に、このように明らかにされた噴火に伴う古環境が、どのように噴火史研究に使えるかということで少しお話ししたいと思います（図 10）。

噴火史の全体像の把握には地層の対比というのが必要になります。地層の対比というのは、離れた場所で見つかった地層が同じかどうか、いろいろな情報を元に判定をすることですが、その判定の際に

図 10

いろいろな情報を使うことでより精度の高い対比を行うことができます。

例えばこれまでは、層位関係、年代、岩相、化学組成といったものを使って対比が行われてきたわけですが、今回噴火に伴う環境変化というのもある特定の噴火の時に起きていたということで、そういったものも噴火を特徴づけるプラスアルファの情報として、地域的ではありますが、対比に有用で可能性があると考えています。

以上です。

司会：どうもありがとうございました。短いですが、何か質問がございましたら。はい。手短な質問で。今、マイクがいきますので。

会場：すみません。山中湖といえば、昔、宇津湖という湖が剣丸尾の溶岩の流出によってせき止められて、忍野八海のところと山中湖に分断されたという歴史があるんですけど、そのことについては全然今回触れられていないんですけども、その点はいかがでしょう。

山本：今回の研究とは直接は関連しませんが、これまで山梨県で行っている湖底調査ではどのようなことかは既に明らかにされています。簡単に結論だけ申しますと、当時広がっていた宇津湖というものが二つに分断されたというのは、地質学的な証拠から見ればそうではないということが言われています。別々に発達した二つの湖があったと今は考えられています。

司会：よろしいですか。ほかにあれば、後で長く質問を取りますのでまた後でお願いします。

続きまして、秋田大学の Obrochta 先生の講演に移りたいと思います。Obrochta 先生は「偏西風・モンスーン強度復元のための富士五湖堆積物の層序学的枠組み」ということでお話をいただきます。

「偏西風・モンスーン強度復元のための富士五湖堆積物の層序学的枠組み」

Stephen Obrochta (秋田大学)



Obrochta : 皆さん、こんにちは。私は秋田大学の Obrochta と申します。今日は同時通訳がついていきますので英語で発表させていただきますと思いますが、もし発表後にちょっと時間がありましたら、どうぞ遠慮なく日本語で質問してください。できるだけ頑張って答えます。

では今日は、私のほうから、富士五湖堆積物のコアリングの層序学的枠組みについてご紹介したいと思います。

まず最初にご紹介したいのは、このプロジェクトについてご紹介することです。富士五湖の中で下線が引いてあるこの三つの湖、河口湖、西湖、そして本栖湖について調査をしました。今日は本栖湖のデータをご紹介したいと思います（図 1）（図 2）。



Introduction

図 1

Fuji Five Lakes Project

- ・ Lake Yamanaka 山中湖
- ・ Lake Kawaguchi 河口湖
- ・ Lake Sai 西湖
- ・ Lake Shoji 精進湖
- ・ Lake Motosu 本栖湖

図 2

Fuji Five Lakes Project



図 3

Fuji Five Lakes Project

Lake Motosu

- ・ Deepest of the Fuji Five Lakes (over 120 meters)
- ・ Preserves a record of earthquakes and eruptions
 - ・ Turbidite deposits
 - ・ Volcanic fall out
- ・ Chemistry/biology of the lake changes over time in response to environmental conditions:
 - ・ Temperature
 - ・ Precipitation amount
 - ・ Prevailing winds



図 4

皆さんどこにあるかご存じだと思いますが、本栖湖はここにありますが(図3)。西湖、河口湖が並んでおります。今日は本栖湖についてフォーカスを当てます。

簡単なプロジェクトのご紹介になりますが、基本的に私たちが本栖湖に関心を持っているのには幾つか理由がありますが、まず富士五湖の中で一番水深が大きいということで、地震や噴火の記録、タービダイトや火山灰などについて調べることによって歴史を振り返ることができると思いました。

それから、環境変化を復元する、特に気候の復元ということを考えております。この湖の化学あるいは生物学的状況というのは環境と共に変わっていきますので、温度、降水量、それから卓越偏西風の強さなどを中心に見ております(図4)。

最初に手法についてご紹介します。このプレゼンのトピックにあたります、今後将来的にはもっと偏西風・モンスーンを復元したいと思っております、今日はそれについては触れません。そ

の代わりに、むしろ、これまで何をしてきたか基本的な活動、それから将来的な方向性についてご紹介していきたいと思っております(図5)。

まず最初に手法についてです。コアリング手法を使っています(図6)。本日すでにピストンコアの事例をご覧になっていますね。ピストンコアに似ていますが、重みを湖底

Methods

Current work

- Coring method
- Stratigraphic correlation
- X-Ray Fluorescence – elemental abundance
- Color reflectance – Sediment “lightness” (L*)
- Chronology

Future work

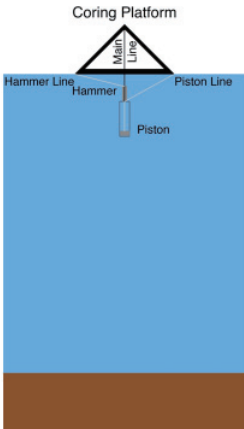
- ¹⁰Beryllium – Deposition of mainland Asian sediment (wind strength)
- Silica oxygen isotopes – Monsoon intensity

図 5

に落とすだけではなく、実際にハンマーを使ってたたき込む力を加えています。コアは 2 メートルの長さで短いものです。そしてこれを湖底に落とすんですが、たたき込む力を加えてピストンを湖底に打ち込みます。このように下に下げまして、そして湖底面まで到達させます。ピストンがここで固定されてハンマーでコアを下げていきます。ここに動画があります。赤になる部分はピストンが固定されて動かないということを示しています。そしてここで堆積物を

Coring Method

“Hammer” piston coring



- **Sediment cores** to sample subsurface.
- 2-meter long hollow cylinder.
- Lowered to lake floor, hammered in.
- **Piston** provides suction.
 - Once at lake floor, piston cable is fixed
- Depth of sampling: **0-2 meters**

In the video, **red** piston cable indicates it is fixed in place

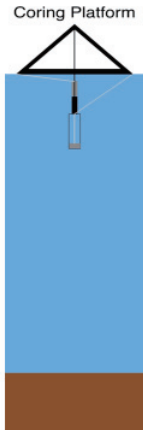
図 6

回収していることを示します。今度、コアが 2 メートル湖底下に刺さり、そこで堆積物を回収しています。これは 2 メートルしかありません、コアの長さは 2 メートル。時代をさかのぼりたい長さが大きい場合、もっと長いコア、もっと長い記録が必要です。

ということで、延長した動画。1 メートル延長したものです(図 7)。それをこのコアに設置しました。そして 2 メートルの延長、3 メートルの延長、4 メートル等々、これも可能で、より深い地層に侵入することができます。湖底面ではピストンは固定しません。ピストンは 1 メートルの深さで固定します。そうすると、堆積物の 1 から 3 メートルの位置をカバーすることができます。同じようにこのように最後まで、下まで下げます。降下させて、ピストンはさらに湖面

Coring Method

“Hammer” piston coring



- **1-meter extension** added (black)
- Allows to penetrate deeper
- Piston **not** fixed at lake floor
 - Piston fixed at 1-meter
- Depth of sampling: **1-3 meters**

図 7

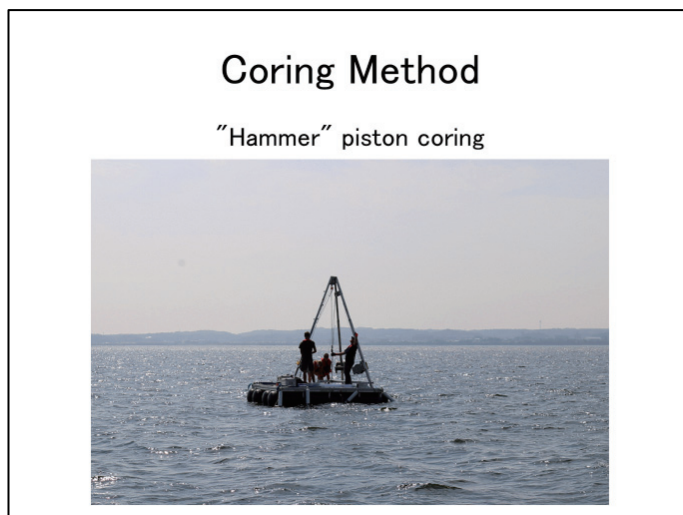


図 8

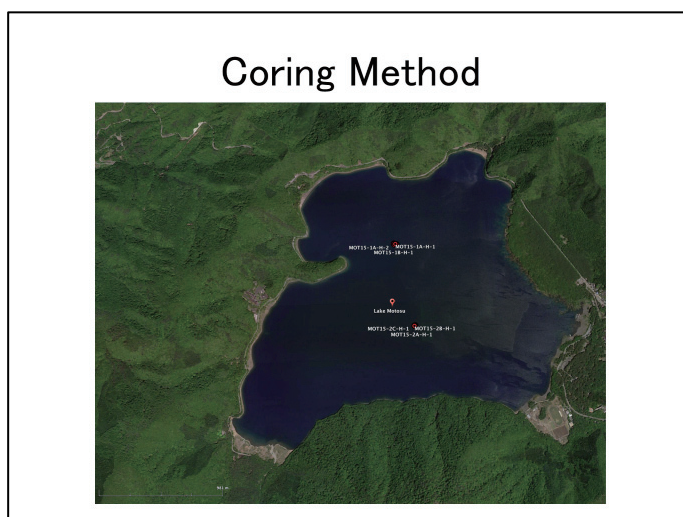


図 9

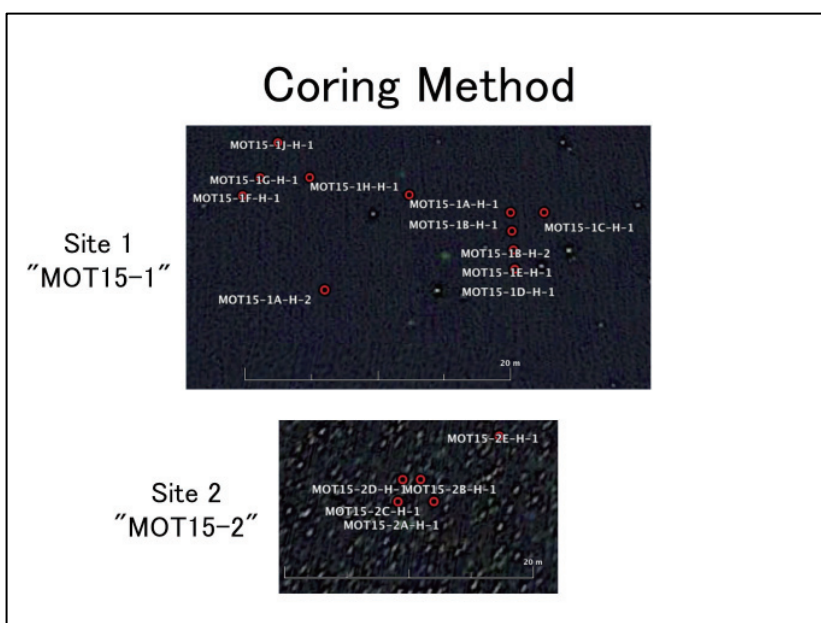


図 10

より下に入り、より深い部分の堆積物を回収します。2メートル、1コア。そして別のコアを使うことによって、さらに2から3メートルまで到達することができます。

そのような仕組みになっていますが、実際に大学院生を使うことによって、彼らは上手ですので、一番うまくいきます(図 8)。2人の学生が今乗っていますけれども、30分ぐらい継続的にたたき込みをしているんです。そしてコアを回収しています。

実際にこれを行ったのは本栖湖では2カ所ありまして、それについて詳しく見ていきたいと思います(図 9)。

一つはサイト 1、もう一つがサイト 2 となっていますが、ここにある赤い丸、これはコアの数を示しています(図 10)。そして、20メートルぐらいの距離で分布しています。上から見ると、こっちが北、これが南北、そして東西という方向になりますけれども、どの深さかということが分

かりません。複数の0から2メートル、1から3メートルと、違う深さの堆積物を回収しています。

こういうふうにしたほうがいいでしょう。サイト 1 です(図 11)。これは全く同じコアを、同じポジション、同じように東西南北というかたちで軸を分けて示しています。

こちらに戻りますと、このパターンが同じような分布であることがお分かりになると思います。

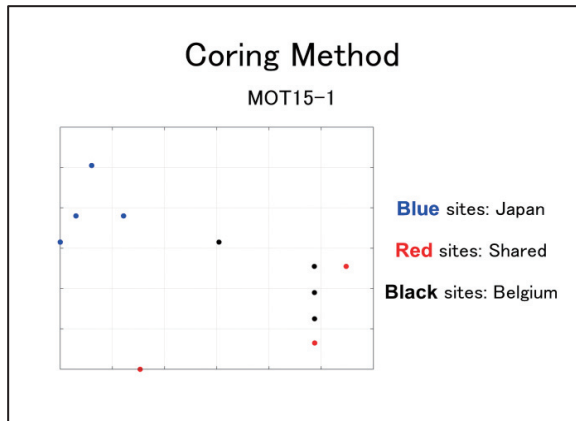


図 11

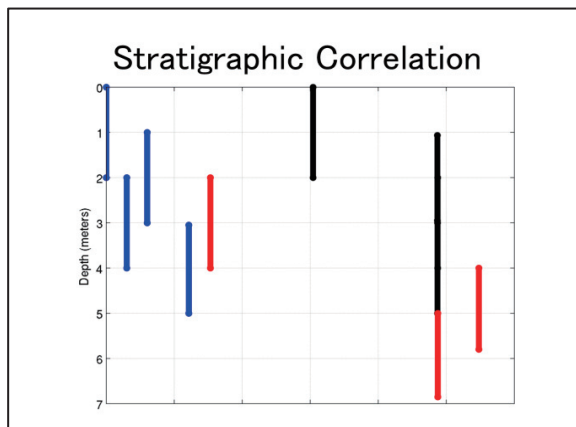


図 12

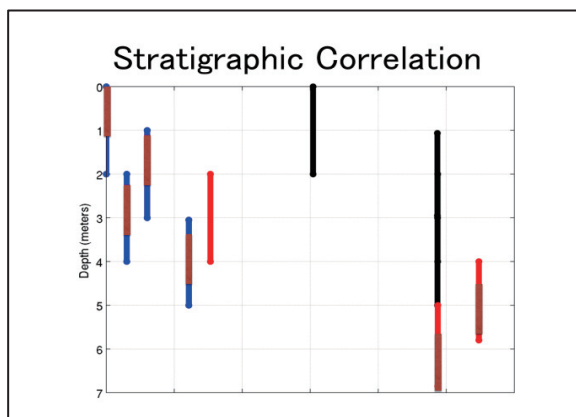


図 13

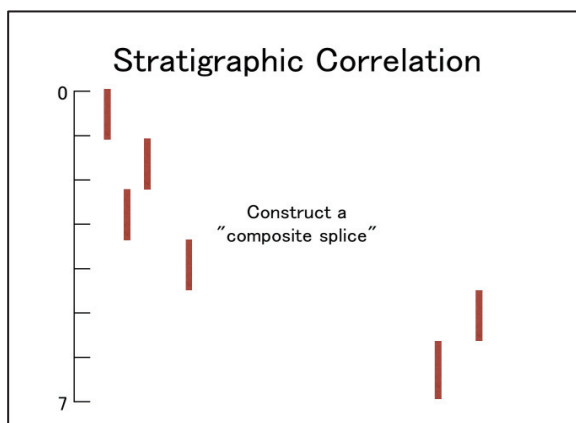


図 14

全く同じ分布を示したのですが、三次元グラフになっています。Z 軸は深さ軸ということになりますので、これを動画で少し傾けますと、これが 0 から 10 メートル、つまり深さが見えてきます(図 12)。それぞれのコアの深さ軸が分かります。これは本栖湖の湖底面の下、どれくらい深くまでコアが侵入しているかが分かります。

このようにしますと今度は、完全に重複しているコアが分かります。上下で大体、湖面下 7 メートル以下で重複しています。青いコアは日本で確保したもので、黒はベルギーチームが回収したものです。赤は半分に分けて、半分はベルギー、半分が日本ということになります。

次の問題は、これらを全て対比することです。層序対比。今日何回も話が出ていました。これはなかなか厄介です。

そのやり方として、皆さんお分かりのように一つ一つのコアをまとめていく(図 13)。これを複合スプライスと呼んでいます(図 14)。このようにたくさんコアがいろいろな場所でいろんな深さで回収されていますが、各部分部分が取れますので、これを組み合わせて複合化して、一番上の浅いところから 7 メートルまで複数のコアでカバーすることができます。

そうすると、これがコアの実際の写真なんですけれども、0 から 2 メートル、1 から 3、2 から 4、3 から 5、4 から 6、5 から 7 メートルとなっています(図 15)。複数のコアがあります。これを継ぎ合わせます。このコアの一番底をここにつなぎます。ですので、記録はここまで行って、次にここから引き継がれ、そしてここが続いていくというかたちになっています。このようなかたちで継ぎ合わせる、スプライスします(図 16)。

ここまでできますと、日本で取ったコアについては複合イメージを作ることができます。

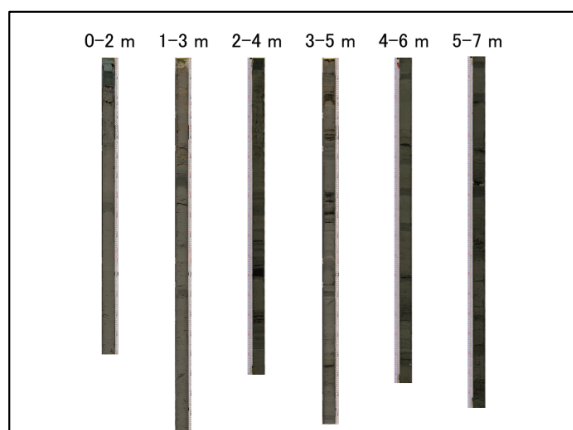


図 15

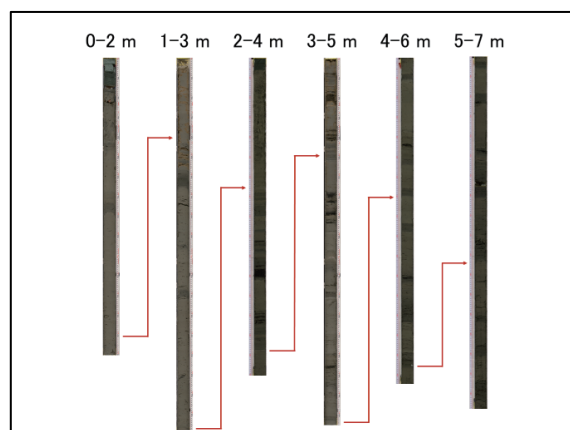


図 16

さまざまなコアを集めたもので、0 からおよそ湖面下 7 メートルまでカバーしています。これは蛍光 X 線データで、これは鉄とマンガン比率を示したものです。

このコアをベルギー人の複合スプライスにさらに突き合わせようということで、私たちはコアについて同じような測定を行っています。ベルギーチームが同じデータを出しました。これは青です。より高い分解能があります。でもよくよく見てみると、同じ場所で見られたものがあることが分かりますので、それを日本でつくったコアのデータと重ね合わせる。ベルギーでもデータをつくっていますので、それを実際に対比させて我々のデータを共有することが出来るようになります。

Chronology

Radiocarbon dating

- ・ Based on decay of ^{14}C radionuclide Formed from N atoms in atmosphere due to collision of galactic cosmic rays
- ・ Fully decays in ~60,000 years
- ・ Measurable to ~50,000 years
- ・ Must be **calibrated** to calendar years
- ・ Performed on terrestrial macrofossils (plants matter) and bulk organic carbon

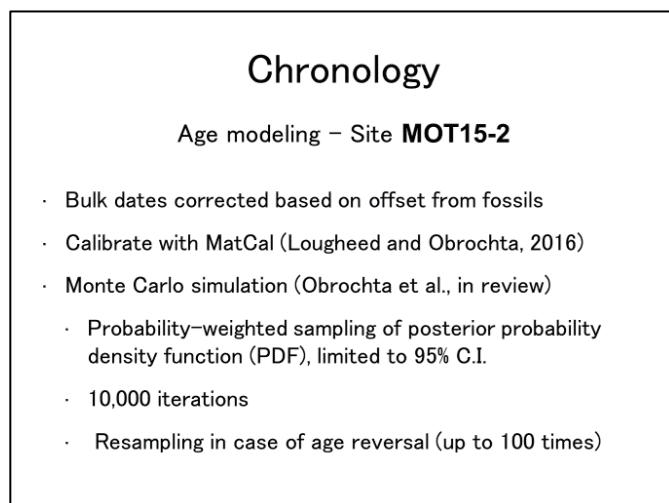
図 17

さて、次のステップですけれども、このように複合セクションが出来上がって、これが 7 メートルまで連続的に記録ができた。そこで年代測定ができるわけですが、横山先生も先ほど少し触れておられましたが、実際に放射性炭素年代で 5 万年まで計測可能であると。しかし、校正が必要なんです。これで西暦年に変換します。横山先生は実際に放射性炭素というのは時計を持っているが、その時計は私たちの年代には合わないと言っていました。西暦年にはなっていないので校正する必

要があります。

では、どのように校正をするのかということで、私たちは年代測定をする時に例えば植物の化石とか、大型化石とか、あるいは全有機炭素などを堆積物から取って校正を行います(図 17)。ということでまず最初に、サイト 2 を例にご紹介したいと思います。

実際に地上の全有機炭素と化石からデータを取って校正をするわけですが、次に年代モデルというのを使います。ここでモンテカルロ・シミュレーションを使って、反復して何回も年代モデルをつくっていきます。例えばいろいろな年代モデル、1 万回回すわけです。



が、実際にこの幅の変動は **95%**の信頼区間で求めることができます。ここで使うのが事後確率密度関数ということになります(図 18)。

これが実際にサイト 2 で得られた校正データですけれども、放射線年代は **95%**の信頼区間になっています。これは放射線炭素年代と西暦年との校正で、山と谷が安定していないのがお分かりになると思います。

これを西暦年に変換すると、ここで得られるのが確率密度関数 (PDF) ということになります。これが高くなればより高い確率でこれが正しい年代であるということが言えます。かなり大きな差が今ありますけれども、ここでは 3800 年から 3500 年まで計算しています。ここでは 4100 年から 3700 年まで。これが年代の可能性のある幅ということになっています(図 19)。

図 18

図 18 は、年代モデリングの手法をまとめた図表です。図表の上部には「Chronology」という見出しがあり、その下に「Age modeling – Site MOT15-2」というサブタイトルがあります。図表の中央には、年代モデリングの手法がリストアップされています。リストには、化石からのオフセットに基づくバルクデータの修正、MatCal (Lougheed and Obrochta, 2016) での校正、Obrochta et al. (in review) のモンテカルロシミュレーションが含まれています。シミュレーションの詳細として、後者の確率密度関数 (PDF) のサンプリングが 95% の信頼区間で制限され、10,000 回の反復と、年齢反転の場合の再サンプリング (最大 100 回) が行われることが示されています。

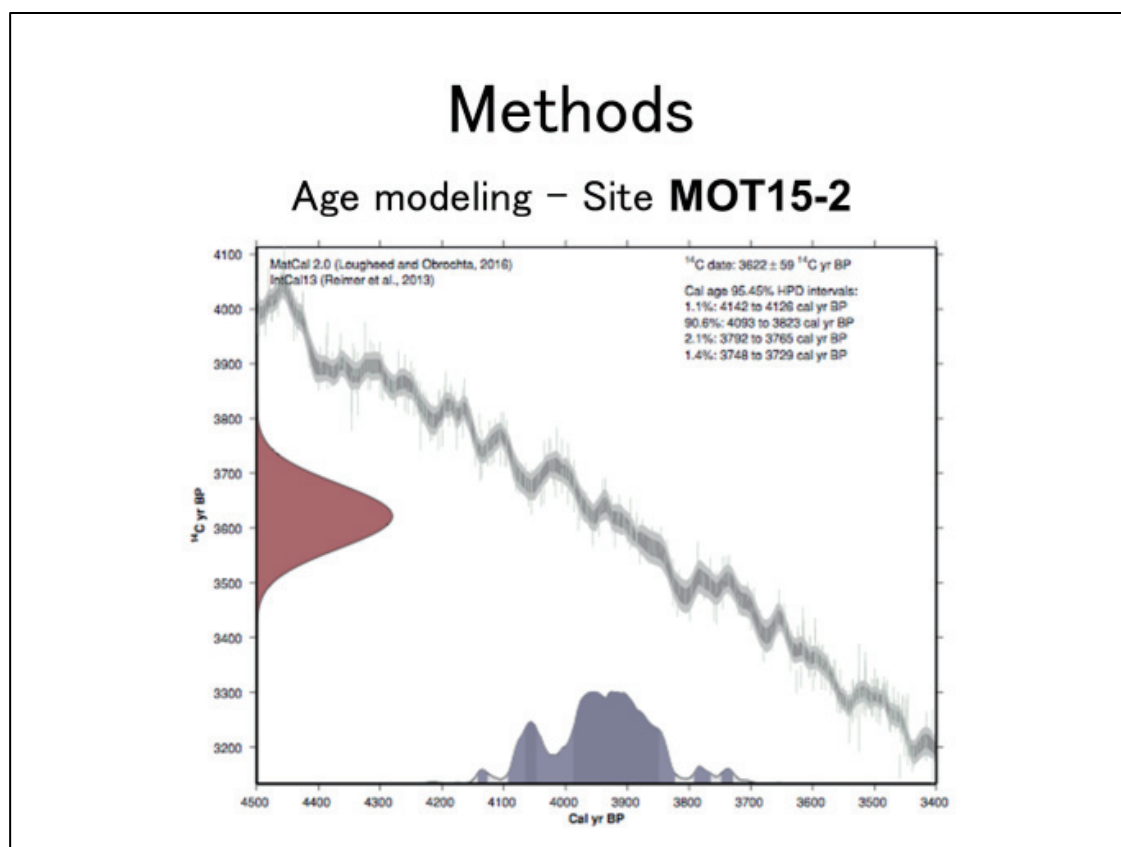


図 19

ちょっとこれは分かりにくいかと思いますので、一つアニメーションをつくりました。年代モデルの作り方についてです。一つ一つここにありますのは、これは確率密度関数 (PDF) で、西暦年に校正するための一つ一つの放射炭素年代、サイト 2 をベースにして

1.6 メートルまで。見えないかもしれませんが、この分布の中には濃い青の領域があります。これが 95% の信頼区間となっています。一つ一つの分布から連続して選択をしていきます。それをお見せしたいと思います。

まず年代を決めて、一つの年代モデルをつくります。もう一回やります。ここで年代が入れ替わってしまった、逆転してしまいました。そこで PDF のサンプルをもう一度やり直します。そしてこれをクリアすれば、さらに下までいきます。これで二つの年代モデルができたということになります。さらにこれを 1 万回繰り返します。そうしますと最終的に、どれくらいの幅の変動なのか、つまり、年代モデルの不確実性の幅が分かってきます。最終的にこの赤い幅に落ち着きます。これが平均的な確率、つまり一定の不確実性を加えた年代の確率の幅が分かります。つまり、非常に精度の高い信頼性の高いモデルを得ることができます。一定の幅を持った不確実性を加えたものとなります。

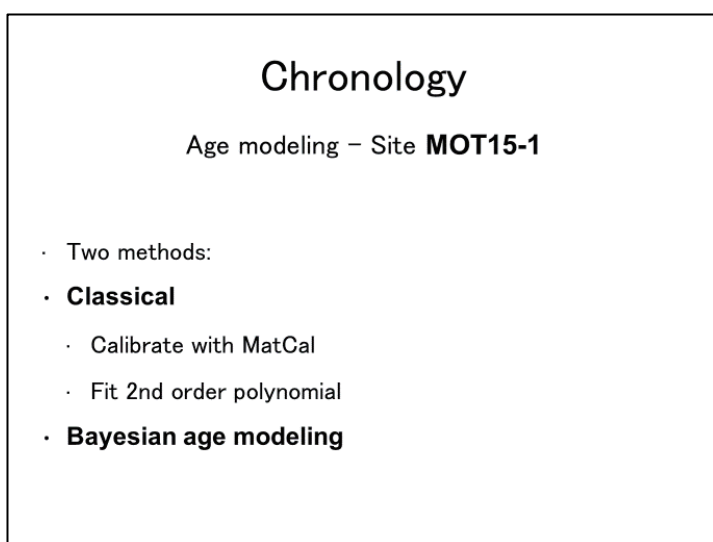


図 20

サイト 1 のほうが少し難しいのですが、分布があまりクリーンではなかったということが問題になっています。そこでサイト 1 については二つの手法を使いました(図 20)。最初の典型的な手法についてはご紹介しません。むしろ、ベイジアン年代モデルを使いましたので、ご紹介していきたいと思っています。ただ簡単に、堆積速度の仮定を立ててそれを年代計算に組み入れたとだけ申し上げておきたいと思っています。

では結果です。これはサイト 2 なので、上の名前が間違っていて図に書いてあるほうが正しいです。

これはサイト 2 の生データで、黒いのが全有機物、グレーで微小化石が示されています。ちょっとやはり差があるということが分かると思います。オフセットをちゃんと見て、適合する線を引いてみます。そうすると平均で 230 年の違いがあるということが分かります。全有機物のほうが年代が 230 年ぐらい古いんです。

ということで、全有機物の日付のほうから 230 年を引きます。そうすると、全有機物が微小化石とほぼ同じように重なります。年代モデリングをここでもう一回やります。さっきのアニメーションで示したようなものです。そうすると最終的には、横山先生も示されたようなこういうグラフになります。22 のデータがこういうふうになって、推定でどのぐらいのレンジの可変性があるのかということが分かるようなチャートになります。これはサイト 2 です。タイトルのほうに 1 と書いてありますが、1 ではありません。

サイト 1 のほうはベイジアン年代モデルの結果です。6.5 メートルの幅に 57 の放射性炭素の列があります。高い場所にあるのがちょっと古すぎるもの、それからこちらは若すぎるもの、外れ値がいっぱいあります。これは、我々が堆積の速度を使ってこうやって適合する線を引いていって、スムーズにこの堆積物の年代はこのぐらいであろうということを

推定します。

ベルギーの同僚と仕事することによって、これらかなり古いものに関してはひょっとしたらタービダイトかもしれないよね、という話になりました。これは今一緒に解析をしようとしているところです。

結果をさらに続けて説明しますと、これは本物のサイト 1 です。こちらですけれども、カルシウムの相対濃度です。これは蛍光 X 線で測ったものです。こちらは色度の白っぽさです。これは色彩の反射でもって測定したものです。なので相対的に明るいか、相対的に暗いかということを示したものです。下にいけばいくほど深い色、暗い色ということになります。

こうして見ると、暗い色の堆積物にカルシウムが高いということが分かります。これは火山性スコリアで示されます。スコリアはミネラル長石がたくさん入っているから暗くなるということになります。しかしながら、これだけでは富士山の噴火によるものかどうかは分かりません。というのも、黒い色のスコリアが富士山以外の噴出物である可能性もあるからです。

こちらですけれども、実際に長石が増えている、カルシウムが増えている、だけれども色は明るいという部分があります。こちらにラインが引いてあるところがまさにそういう状況です。これ、明るい色なんですけれどもカルシウムが高い。これは軽石ではないかと思っています。そうするとこれは富士山の噴火物ではない、つまり他の火山の噴火物であるということが分かります。

ということで、カルシウムをこうやって見せてきましたけれども、他の元素、例えばストロンチウムでもご覧いただきます。ストロンチウムも長石に入っていますけれども、同じようなパターンがあります。ストロンチウムが増えるイコール、スコリアそれから軽石、と記録の中で見るとこうなります。

なぜストロンチウムを皆さんにご紹介するかと言いますと、ベルギーのデータ、こっちは自分たちのサプライスをつくっているんですけども、日本のサプライスよりももっと分解能が高いんです。ですので、我々のデータとベルギーのデータを重ね合わせまして、これは今まではなかったけれども火山噴火のイベントのようなものだね、ということが数カ所見つかりました。ということで、小さなイベントについても分かるという状況になったので、こういうお話ができます。

では次に、サイト 2 のほうの記録を見せます。

失礼しました。言うのを忘れていましたけれども、これは年代です。暦年代です。今から何年前か。1000 年前、こっち側が今に近いほう、こっちは 6000 年前ということになります。同じスケールで上下とも示してあります。

先ほど申し上げましたけれども、非常に正確なモデルがサイト 2 にはあるんですけども、サイト 1 のほうのモデルはちょっと難しいよねということになっています。スコリアの出てくるパターンは非常に似ているんですけども、250 年とか 230 年とかずれがあるんです。ですからこの部分、サイト 2 とサイト 1 の間にそれだけ差があるので、サイト 1 のほうの年代モデリングをもう少し緻密にしていかなければいけないと思います。

化学分析の前に言えることは限られているんですけども、対応しているイベントはこれじゃないかと、こっちのスコリアはこっちと対比しているんじゃないかと分かることが

あります。この二つはかなりの確率でこの二つであろうと想定されるというふうな、こんな感じの相関関係を見て取ることができます。ただ、どんな噴火が富士山のものなのかということ特定するにはもうちょっと細かく見ていく必要があります。

吉本さんが、チタンを含むマグネタイトは早い段階で降下するので、遠くの火山灰にはそんなに高濃度で残っていないはずである、近くの火山の場合、マグマが枯渇しているとチタンは残らないとおっしゃっていました。こっちのチタンを見てください。チタンを多く含有しているスコリア、イコール富士山の噴火物であろうということを逆に言えます。

非常に精度の高いサイト 2 をベースにしますと、過去 3500 年に富士山は 6 回噴火したということが言えるんですけども、ただ本栖から見るとかなり大きな噴火であったであろうということが言えます。

サイト 1 と比較しますと、ひょっとしたらもう 1 個あるんじゃないかと。富士山の噴火についてもう 1 個あるのではないかと。ここに関しては初期的なデータ、要素のデータがないんですけども、この三つのうちの二つもチタン価が高いんですね。ですから全部で七つの富士山の噴火を、記録としてここから見つけることができるのではないかと考えています。

両方のコアで見つかった明るい軽石の部分をもうちょっと深く見ていきたいと思います。これはコアの軽石の部分の写真を撮ったものです。実際に軽石はこんな色です。暦年で見ると、サイト 2 のほうが年代モデルとしては精度が高いんですけども、3160 年前に起こったということが言えます。サイト 1 ではちょっと古い計算になっていまして、サイト 1 ではそれよりも 200 年ぐらい古いんじゃないかという数字が出ています。ですから我々としても、サイト 1 に関しては、もうちょっと精度の高い年代測定をしていかなければいけないと思います。

天城カワゴ平噴火が大体 3149 年前に起こっているということが分かっているの、サイト 2 に関しては、この軽石がカワゴ平の噴火と全く同じような年代に位置しています。昨日なんですけども新しい結果が出まして、実際にテフラの分析をしました。テフラ解析をすることによって、これは絶対にカワゴ平の噴火に違いないということが分かりました。ということで、大体 12 年くらいしか誤差のないような放射性炭素の年代特定というのが可能になりました。ですからかなり、これがいつ起こったのかということが分かるようになりました。

ということでまとめになりますけれども、まず、かなりしっかりした層位学的な相関を本栖湖に関してはつけることができるであろう、あるいは他の富士五湖に関してできるであろうと考えています。我々としては、複合スプライスを本栖で取りましたので、ベルギーのものと日本のものと比較するということは可能です。

かなり正確な年代モデルがサイト 2 にはもう既にできていると思っておりまので、一方でサイト 1 は、もうちょっと仕事をしなければいけないという状況です。それから、タービダイトに関してもここでは見ていかなければいけないと思っています。

それから、サイト 2 の年代モデル、それからあまり当てはまらないけど、サイト 1 も、カワゴ平の噴火年代に関して矛盾しないことが分かっています。我々としては、このレベルで軽石があれだけ入っているというのはカワゴ平に違いないというふうにサイト 1 でも思っています。

スコリア、特に本栖に関してはカルシウムとストロンチウムが非常に高く、それからチタンも高いものに関しては、富士山の噴火と関係しているであろうと思っています。そうすると富士山の噴火の記録が過去 3500 年間で 6 つか 7 つ、本栖湖から取れるのではないかと考えています。

ということで、気候の変化の復元をしていくと、サイト 2 を使うことによってかなりうまく、今までの環境的な変化の復元はできるのではないかと考えています。非常に年代モデルとして高精度のものがあるからです。我々としては、季節風の動きあるいは偏西風がどのように変わってきたかというのを、今後それを使うことによって判断していきたいと思っています。

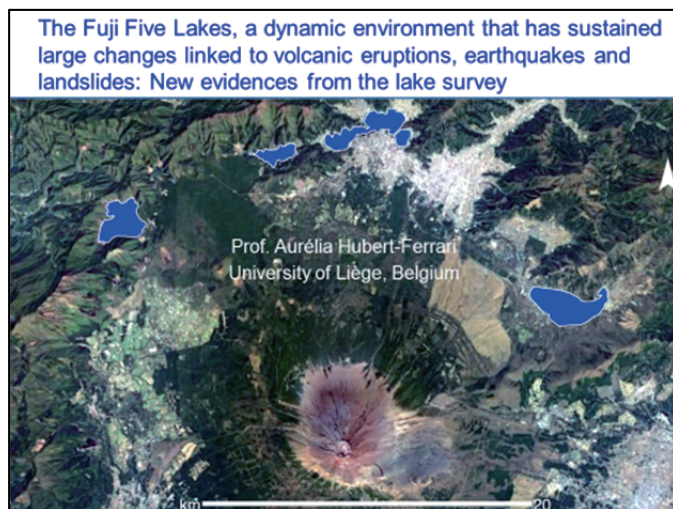
ということで、いろんな人たちがこのリサーチに貢献してくださいました。多くの人たちが今日ご出席です。ですので、皆さんにこの場をお借りして感謝を申し上げたいと思います。本当に皆さま方、ご清聴もありがとうございました。

司会：一つだけ質問を受ける時間がありますが、何かございますか。よろしいですか。ではまた後で、あればご質問をいただければと思います。

今日の最後の講演になります、リエージュ大学の Hubert-Ferrari 先生の講演で、「富士五湖、そのダイナミックな環境変化」ということで、「湖調査からわかった火山噴火と地震、地滑りの新証拠」ということでお話をさせていただきます。お願いいたします。

「富士五湖、そのダイナミックな環境変化：
湖調査からわかった火山噴火と地震、地滑りの新証拠」

Aurélia Hubert-Ferrari (リエージュ大学)



Hubert-Ferrari : 皆さんこんにちは。
Aurélia Hubert-Ferrari と申します。

ベルギーのリエージュ大学から参りました。まずは主催者の方々に感謝申し上げます。富士山科学研究所の方々にご招待いただきましたことを感謝します。すみません、風邪をひいておりますのでちょっと声が聞きにくいかもしれませんが、通訳の耳に届いていることを願います。

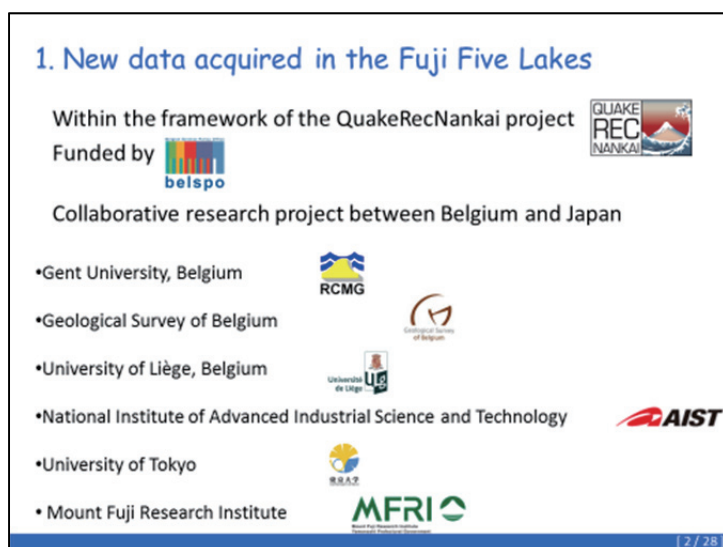


図 1

本日最後のプレゼンテーションとなりますが、ここでは富士五湖に焦点を当てていきたいと思いません。特に本栖湖、河口湖、それから山中湖を中心に見ていきたいと思いません。

これらの湖は非常にダイナミックな環境を示していて、いろいろな変化を過去に経てきています。ほとんどは富士山に絡む変化です。もちろんこれらは富士山の麓にあります。噴火だけではなく、後半のほうでは、これらの湖は他のハザードによっても影響を受けた

ということを見てみたいと思いません。新たに出てきた証拠、調査を行った結果いろいろな新しい証拠が出てきたということをお示ししたいと思いません。

これは QuakeRecNankai プロジェクトという、BELSPO というベルギーの研究関係庁が資金を出しているプロジェクトなんです。いくつかの大学が関わっております(図 1)。三つの大学がベルギーから、それから日本の研究機関、産総研、富士山科学研究所、また東京大学の方々にもご協力いただき一緒に研究をしているところです。

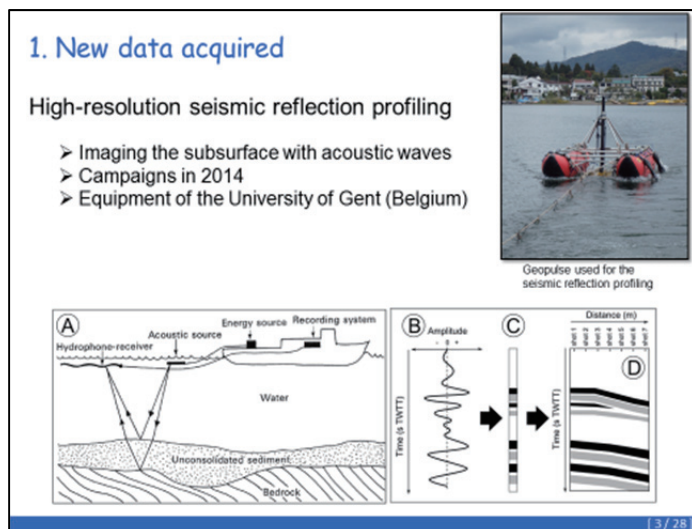


図 2

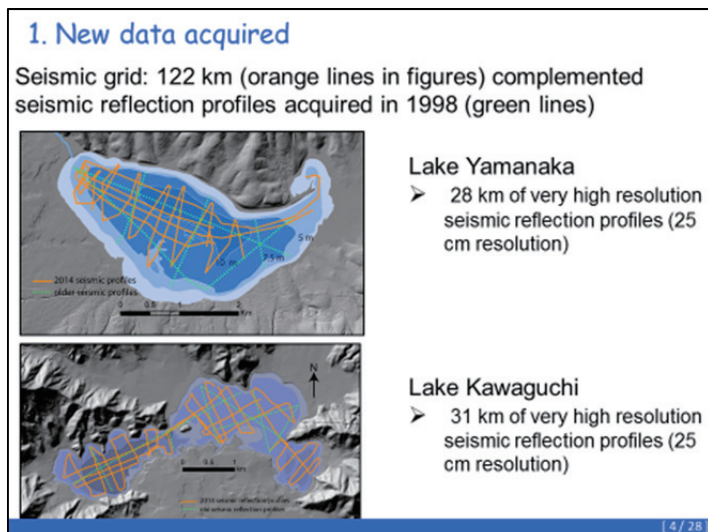


図 3

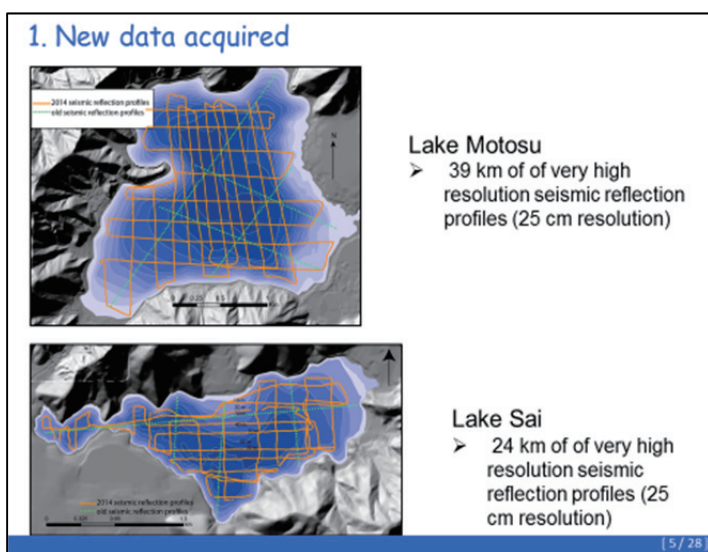


図 4

新たなデータとして得られたものですが、二つの種類がございます(図 2)。これまでの話の中でも堆積物のサンプルを取ったという話があったと思いますが、それだけではなく、高解像度の反射法地震探査をおこなって、いろいろなデータを 2014 年に取りました。

これは何かといいますと、音波を使って、船でその音波を発信しながら湖底の画像を得るわけです。ここに音波の発信源があります。

音波が水の中をずっと進んでいきまして、音のエネルギーの一部はさまざまな境界面で反射して跳ね返ってきます。まず最初は湖底です。堆積物の一番上の部分。ここで受信機によって記録されます。

ということで、一番強い反射、これが水と湖底面、あまり固まっていない堆積物の表面から返ってきたものが一番上にあります。でも、このように層が重なっていると深さによって特性が変わっていきます。より強いエネルギーの反射があるところに、スコリアの層があると分かります。層の特性は、湖成物、粘土のようなものなど、特徴が違いますと返ってくる反射も違ってきますので、どういうものが重なっているかが分かります。

次のスライドを使いまして、どのようなかたちでデータを集めたかをお示ししたいと思います(図 3)。

この調査では、全体で 122 キロメートルに渡って新しい地震反射プロファイルを取りました。今回

ほど解像度は高くありませんけれども、以前に取られたものも補完データとして使っています。今の解像度というのは 25 センチメートルとなっております。

こちらが山中湖。28 キロメートルにわたるデータ収集を行いました。そして河口湖では 31 キロメートルに渡って高解像度でのデータ収集を行いました。本栖湖でも非常に長い期間にわたって、39 キロメートルにも及ぶ調査を行いました(図 4)。そして西湖では、再び東西南北に渡って高解像度のデータ収集を行いました。

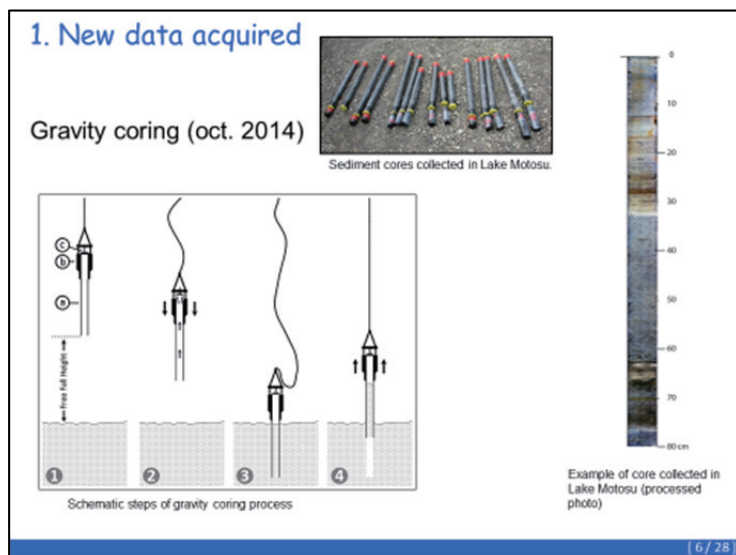


図 5

これは地球物理学的なデータでありますので、これを補間し、プロファイルを理解するためにはやはり試料を得なければなりません。こちらと合わせて見ていく必要があります。ということでサンプリングをしました(図 5)。こちらが湖底の堆積物ですが、非常に単純なグラビティコアラというものを使った試料採集を行いました。大体これで深さとしては、1 回で 1 メートルぐらいのところまでの試料を取ることができます。これはプラスチックチューブで、これを半分に割って見ます。こちらが割ったものの例です。これは本栖湖で取った試料の例です。これに基づいて堆積物の分析を行います。

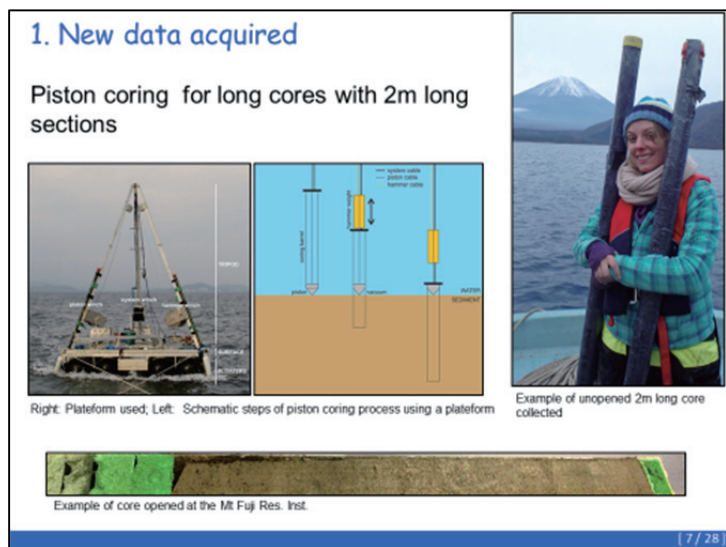


図 6

さらに、こうした短い試料だけではなく、より長い試料の採集も行いました(図 6)。どのように採集するのか。先ほど紹介がありました、2 メートルのチューブを使い、プラットフォームから本栖湖でこれらを入れて試料採集をしました。こちらは

山中湖のほうです(図 7)。グラビティコアラで五つ試料を取りました。そしてボアホールなど他のコアサンプラーで取られたものを使いました。

河口湖のほうでは、七つのグラビティコアラ、二つのピストンコアラを取りました。星印になっていますが 8 メートルのものと 5 メートルのもの、そして以前取られたボアホールのサンプルも使いました。

本栖湖については、グラビティコアのサンプルが六つあり、丸で示しています(図 8)。そ

れからピストンコアの試料採集が 2 件。さらに既存のボアホール・サンプルも使いました。こちらのほうで取ったものですが、1.5 メートルから 2 メートルぐらいの長さのものでした。

西湖では、グラビティコアを六つ、ピストンコアを二つ採集しました。

これは新しいデータとして 2004 年と 2005 年に取ったものです。

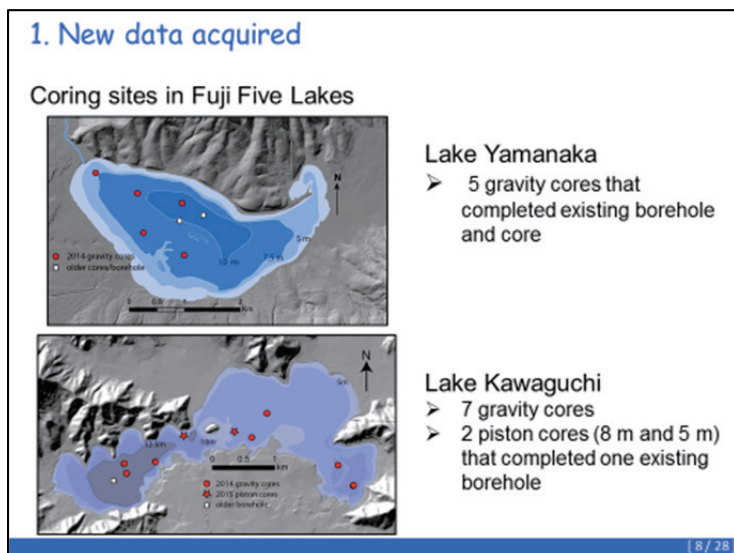


図 7

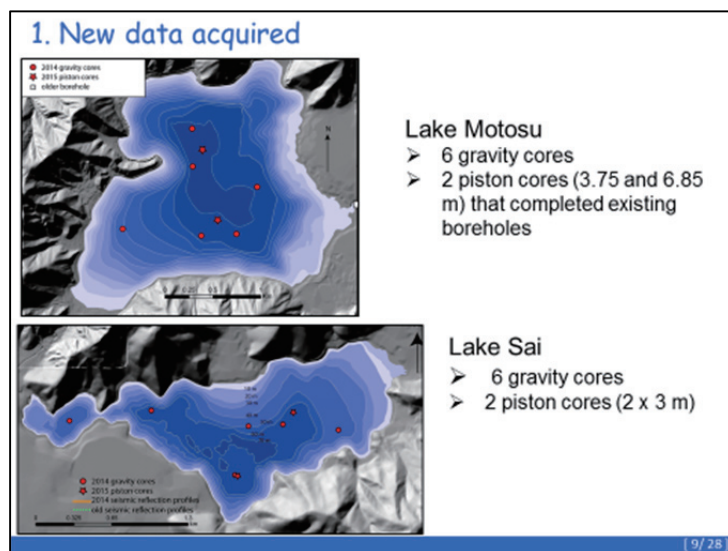


図 8

2 番目としましては、地震の揺れによって富士五湖はやはり影響を受けるということです。地震が起こると、近くの断層に影響を受けたり、地盤が沈みます。富士五湖でもこうした動きは記録されております。

ということで、まずそれぞれの湖でどういう例が見られたかを見ていきたいと思います。富士山の噴火で何が起こったか。まず山中湖から見ていきたいと思います。降下スコリアは山中湖で一番多く見られます。

これが宝永スコリアの例ですけれども、宝永スコリアは山中湖の集水域全体、それから

富士五湖の堆積物は画像を撮り、試料採取しました。これらの情報には過去の自然災害の記録 2 種類が含まれていることが分かっています(図 9)。

まず、富士山の噴火によるものです。富士山の噴火によるものというスコリア層、スコリア降下物があります。これまでもたくさんの説明がありましたが、湖に影響を及ぼしております。山本さんが言ったように噴火は植生を破壊するため、湖の堆積物を変化させるのです。

さらには溶岩流も大変重要です。湖に流入する溶岩流がありますと、湖そのものの地形も変わります。また水の量なども変わりますので、湖の水位を変えることになります。どれぐらいの水がそこにたえられるかということが変わるわけです。例えば大きなボトルを持っていたとします。溶岩流によってぎゅっと握られたようになりますと、プラスチックのボトルの中で水の水位が上がりますよね。それと同じです。

2. Goal of the presentation

Explain that the Fuji Five Lakes record past natural hazards

Show that these hazards have strongly impacted the lakes:

- Eruptive products of Mt Fuji have different consequences:
 1. Scoria fall layers affecting the lakes, its catchment and the lacustrine sedimentation
 2. Lava flows modifying the lake physiography
- Earthquake shaking induced induced by nearby subduction and fault zones could trigger landslides, mass transport deposits and turbidites documented in the Fuji Five Lakes

(10 / 28)

図 9

山中湖全体を網羅していることが分かります。そして地震の線が表わされていますが、これを見ますと、先ほどの反射法による反射波が非常に強いことが分かります。

ここで短いコアサンプルを取りました。それから、こちらのテフラのサンプルも取っています。ですので、ちょっと覚えておいていただきたいのですが、厚いスコリア層、これが地震プロファイルのほうでは非常に強い

反射として表されています。そして、湖全体を網羅するような連続的な記録が取れました。

こちらが短いほうのコアサンプルとして、山中湖で取ったものの例です。深さで 0 メートルから、一番下が 50 センチメートルぐらいのところにある宝永スコリアです。そして化学的な分析を行いました。アルミニウム、カルシウム、チタン、それから亜鉛と鉛、それから帯磁率ですが、これらの分析をすることで、山本さんが先ほど示したように、大きなスコリア降下が特に集水域にありますと、植生に影響を及ぼします。そして、堆積物として湖にたまるものにも影響が出ます。

ここで年代モデルをこのコアで取りましてそれを見ますと、宝永スコリア降下の後、湖の中で堆積物はあまりたまらなくなります。年間 0.1 センチメートルという程度です。でも 19 世紀ぐらいに、さらに今度は堆積物がたまる割合が速くなります。山本さんがおっしゃっていたような、ボアホールで分かったような割合に近いものになってきます。一番上のほうですけれども、今度は堆積物がたまる割合がさらに速くなっています。これはもしかしたら人間の活動によるものも影響しているのかもしれない。

次のスライドは山中湖ですが、反射法地震探査の結果ですけれども、地震の層がさまざまに違っています。三つあります。反射の強いところがスコリア堆積物です。それから、振幅が大きいところと小さいところがありまして、これらはデルタ、三角州、河成層これが湖成層のものです。これらが最近の山中湖の水位に影響するものでありまして、このスコリアが分厚く積もっております。それがここに表されていますが、さらにこちら、三角州の堆積物があります。ここでは低水位であったということが分かります。ということで、反射法地震探査で分かったことは、先ほど山本さんがおっしゃっていたことと一致することが分かります。

次は河口湖ですが、こちらが河口湖で、インパクトはこちらのほうは少なかったと見られます。スコリア降下の影響はあまりないということです。サイト 1 と サイト 2 とありますが、ここはスコリア層。一番厚いのがこちらですが、これまでに調査したボアホールを見ますと、こちらのスコリア層は降下した大室のスコリアと一致することが分かります。

こちらをご覧くださいますと、これは長尺のコアになります。ここに画像が出ています。

これは降下した大室のスコリア、14センチメートルの層となります。そして白い軽石は、先ほどのプレゼンテーションで紹介されましたが、これは伊豆半島の3150年前の噴火に一致するものです。

さらに地震のラインを見ていきます。反射線を見ると、ここにありますように、ここにコアがありまして、この長さが地震のプロファイルの線です。このコアの場所は小さい丘に近いところです。非常に強い反射がこの線上で見られます。ここにも見られます。これと対比されるのが、コアの中の降下スコリア層です。宝永の山中湖におけるスコリア堆積物と同じように、河口湖においても地震プロファイルによって確認することができます。地震線を見てみますと、スコリア層は湖面のほとんどの場所で検出されます。

それから本栖湖ですけれども、これは降下スコリアの影響を一番受けなかったところですが、現在でも幾つかのスコリア層が長いコアでは確認されています。本栖湖ではこういったスコリア堆積層というのは、直接降下したスコリアの影響ではなくて、むしろ、スコリアが湖の周囲に降下し、それらが後から再流入した可能性があると考えられます。

例えばこれは大室スコリアですけれども、この時のスコリアは本栖湖には到達していません。しかし、豪雨が起る例えば春に大量に雨が降りますと、泥流が発生し、泥流によって降下スコリアを高い地域から湖まで運ぶ働きが考えられます。ここにありますように、これが地震波の線です。明確な強い反射が本栖湖でも見られます。これが長いコア、サイト1となります。先ほどお話がありましたスコリア堆積層ですが、反射法地震探査では十分に証拠を取ることができませんが、強い反射は深部における砂の層に一致しています。

さて、本栖湖ですけれども、私たちが確認した溶岩流ですが、この溶岩流が連続してい

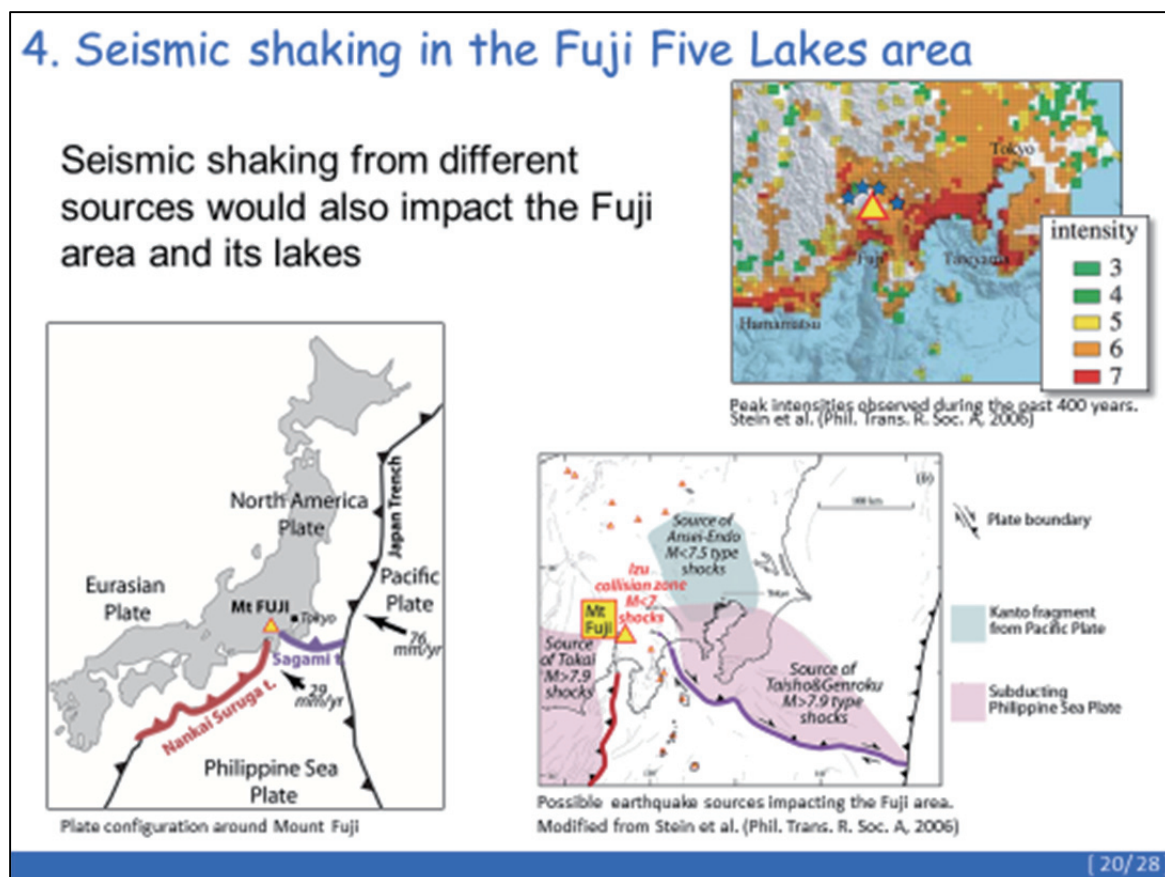


図 10

ることが見られます。これは非常に無秩序で小さい振幅を持ったハンモッキー状の溶岩です。反射法地震探査の結果、このような構造がこの地図上のほとんどの地域に見られることが分かりました。これが湖成堆積物に影響を与えた可能性があるということが長いコアから分かりました。

さて、プレゼンテーションの後半においては、幾つかの事実関係、このように火山噴火が富士五湖に影響を与え、その地震動による強い影響を Stein ほか(2006)による研究を用いてご紹介したいと思います(図 10)。

これは過去 400 年のこの地域の地震強度のピークです。これが富士五湖をあらわすシンボルです。青い星は富士山の噴火を表しています。これを見ますと、地震波の強い場所が 6 カ所で確認できます。

富士山周辺で非常に強い地震があったことが推測できます。過去 400 年間になぜこのように強い地震があったのでしょうか？

富士五湖そして富士山のあるこの地域というのは、相模トラフと南海・駿河トラフの間に位置しているからです。よってこの地域に影響を与える地震には様々な要因が考えられます。たとえば南海トラフにおける破壊に関連した地震や、相模トラフに関わる地震もあり、7.9 より大きいマグニチュードの地震が起こります。局所的な地震もこの地域にはあります。さらに、日本海溝の沈み込みに関わる小さいマグニチュードの地震も発生しています。このように富士五湖地域に影響を与える地震はいろいろな要因と場所で起こるのです。

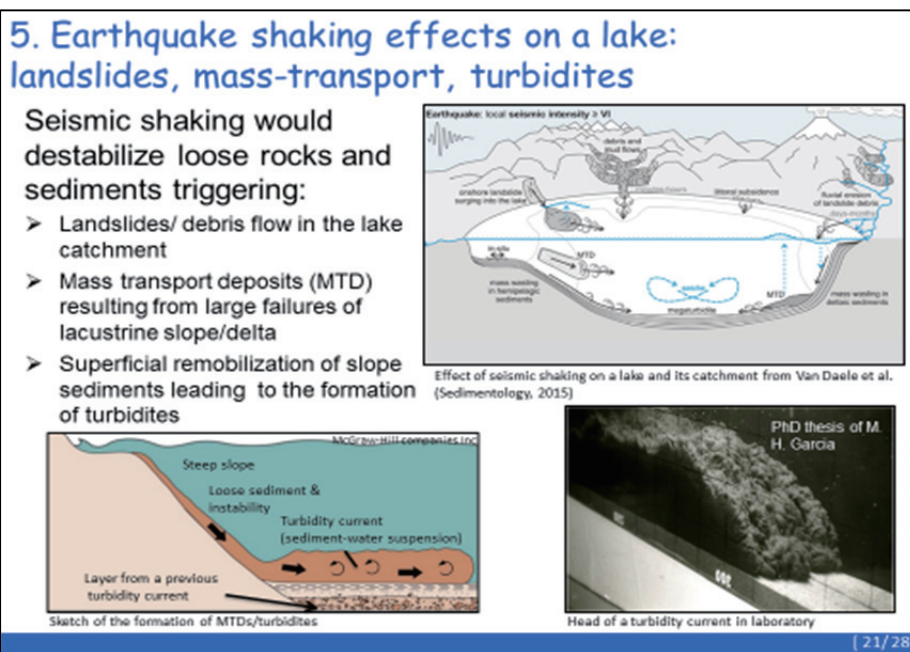


図 11

地震動が非常に強い場合、その地域全体の景観を変えてしまいます(図 11)。つまり、緩く堆積した部分が不安定化されると地滑りや岩屑なだれが起きます。これらの堆積物は湖底や湖の斜面で確認することができます。その結果、タービダイトが湖底に堆積します。このようなタービダイトの乱流が、このように斜面にある堆積物を移動させます。そして、このような地層を湖底に作るのです。このような層の構造は、通常の湖底堆積層とは違います。特にタービダイトの底には粗い粒子の堆積層が存在するのです。

新しいデータを用いて山中湖の例をご紹介します。富士五湖ではタービダイトが地滑りなどで起こるということを示したものですが、山中湖においては非常に大きなハンモッキー

一状の塊が確認できます。このようなことから、この地震線は、南斜面で起こった大規模な物質の移動が湖の中心まで広がったことを表すものとして解釈することができます。山本さんが触れておられたように、2500 年くらい前に発生したという可能性が示唆されています。この物質移動の量はおよそ 500 万立方メートルということで、かなり大量の物質移動だったということが言えます。

河口湖において多くの小さい移動堆積物（MTD）が見られます。これが先ほど示した地震線です。こちらは小さな島々で、これは地震線です。色分けして表しました。これらの移動堆積物は斜面がとても急な島々から発生して堆積しました。このような移動堆積層からサンプルを取りました。ここでは大きいですが、こちらの端の方ではかなり薄くなっています。

ここにあるコアで取ると、砂の層がちょうど移動堆積物層の一番端にあたります。実際に移動堆積物を調べますと組成が似ています。ピンクの部分が最大の移動堆積層ということになっていまして、一番上にありますこれがコアの一番底に一致していますので、ちょうどコアの一番下の部分にこのように礫が見られます。これが移動堆積物層です。

河口湖におきましては、短いコアをこのようにいくつも取りました。さらにコアの写真も撮りました。こちらに写真と帯磁率のデータを示します。コアの底から 60 センチメートルぐらいのところにタービダイトがあり、この層は全てのコアで確認することができます。河口湖においても大規模な物質移動があったことが分かりますし、小さなタービダイトもコアには記録されています。

次に本栖湖ですが、反射法地震探査のデータを見ますと、地表の地滑りの堆積層が見られます。これは東西の線です。地すべり堆積物の堆積の発端がここに見えます。さらに Google イメージを見ますと、地滑りの堆積がどこで始まったか、その起源は、写真の中ではここになります。

地震線の深さを見ますと、山中湖と本栖湖は似ています。10 メートルよりも少し深いところに非常に大きな移動堆積層（MTD）が見られるのです。その量を評価しますと、300 万立方メートル以上あります。本栖湖の斜面のイメージを見ますと、30 度以上の非常に急な斜面が多いということで、斜面の堆積層が非常に不安定であったということが言えます。

また、本栖湖で取った短いコアを示したものですが、河口湖と同じようにタービダイトの相関を表しました。これを見ると堆積盆地がこのプロセスに影響を受けていることが推察できます。

結論になりますが、もう一度申し上げますと、新しく得られた富士五湖のデータを基に、降下スコリアと溶岩流が湖に流れ込んだことを確認することができました(図 12)。ピストンコア、グラビティコアのサンプリングと、東京大学が行っている富士五湖の堆積物のサンプリングを基に確認することができました。また、いろいろな分析を行うことによって地震や火山噴火といったイベントが環境変化に与えた影響を知ることができました。これは、山本さんから先ほどご紹介があったとおりです。

さらに、富士五湖に影響を与える火山噴火以外の災害もあるということを強調したいと思います。新しいデータセットでは、地滑りという物質移動も湖に影響を与えたということが分かりました。この物質移動と地震の相互関係については、今東京大学で行っている正確な年代測定によって、どれくらいの地震がそれ以外のイベントを引き起こすことにな

ったのが明らかにされると思います。

ありがとうございました。

6. Conclusion

- Scoria fall out and lava flow are evidenced in the seismic reflection profiles and in the gravity/piston cores sampling the sedimentary infill of the Fuji Five Lake
 - *Precise dating of the sedimentary cores could improve the chronology of the Fuji volcanic events*
 - *The environmental impact of these events could be studied by conducting different analyses on the sedimentary cores*
- Landslide, mass-transport deposits and turbidites also impacted the lakes
 - *Precise dating of the sedimentary cores is needed to confirm that earthquakes are the triggering factors of these events*

[28 / 28]

図 12

司会：Ferrari 先生どうもありがとうございました。質問がございましたら。この後の質疑応答でお願いいたします。そのまえに少し準備をいたしますので少しお待ち下さい。

【質疑応答】

司会：それでは、時間になりましたので、これから4時前まで、最後の質疑応答と総合討論というか、何かお聞きしたいことがあればということでお受けします。その前に、講師の先生で何かこれだけは言っておきたいということがあれば、もう少しだけお時間がありますが。よろしいですか。これだけはもうちょっと主張したいということがあれば。



それではないようでしたら、会場からの質問で、まず全般的にわたってご質問とかこれは聞きたいというのがございますか。お願いします。

質問者：僕は富士吉田の地元に住んでいますワタナベシンヤと申します。

一つ疑問があるんですけど、富士吉田の町では、海拔800メートルから1200メートルぐらいにかけてここ5、6年で水をビジネスにする会社がちょこちょここと、6社か7社ぐらいできたんですけど、富士北麓の地下水、伏流水ですね。これは我々生活している者にとって、水をビジネスにしている会社が伏流水を吸い上げていますね、それと我々の日常生活が今後10年先ぐらいにどんな影響を及ぼすのかをお尋ねします。



司会：今の質問はちょっと今回のテーマとは外れていますというか、ちょっと趣旨が違うので、私のほうからお答えします。

今のところいろいろ調査はしていますが、はっきり言えば、詳しいことはあまりよく分かっていない。

というのは、一つは、雪の量とか雨の量がここ何十年かで大きく変化していますが、昔の調査に比べると正確にそういう量が、いわゆる収入があまりよく分からない。昔みたいに大ざっぱにやって、出てくる量はこれだけで合っているよというのではこれからはできないので、そのへんをもう少し詳しくやらないと、今のお答えをするにはまだそういう証拠が足りてないということで、言い訳ではありませんけど、もう少しお時間をいただいておりますので。

ちょっと今日のテーマとは違いますので今日はこれでご勘弁いただければと思いますけど、よろしいですか。また別のテーマの時に詳しくお答えするということで。

他には何かありますか。前の方。

質問者：今日来た時に特に質問したいと思ったことがあります。それは、関東ローム層と

いうと富士山の噴出物が遠くまでだよという話を聞きますけど、八ヶ岳の関東ローム層がありますよという話を聞きますけど、東京辺りに行ったのがどちらのローム層と考えれば。両方なのでしょうか。



吉本：関東ローム層自体が全て、富士山のとか何とかのとかたちではなくて、いろんな火山噴火、例えば箱根、それから富士山、御嶽も含めていろいろな噴火のものと、それだけではなくて、いろんな所から風成で飛んできたもの、風で運ばれてきたものが積もってできたものですので、何のということではないんですね。よろしいですかね。

質問者：どうもすみません、ありがとうございました。

質問者：富士吉田のワタナベミノルという者です。よろしくお願いします。

先ほど Aurélia Hubert-Ferrari 先生から山中湖の水位について、高水位と低水位の時の話がありました。具体的に高水位、低水位は今からどのぐらいのものか、そしてどのぐらいの上下を想定なさっているか教えていただければと思います。



Hubert-Ferrari：年代モデルに関しましては、高水位・低水位に関してですけど、例えば山中湖に関しては山本さんのほうがお答えいただけるのではないかと思います。というのも、山本さんがまさに最近の年代モデルをつくられたわけですから。

それから、山中湖の低水位というのは珪藻を使って決めるんですね。ボアホールの中の珪藻をベースに年代を特定するのですが、それをどういうふうにするのかに関しましては、河川によって運ばれたものに関してはもう少しつくっていく必要があります。

山本：今お話があったように、珪藻化石を使って低水位・高水位が決められていますけども、年代がどのぐらいかということで、今は高水位ですけども、この高水位が始まったのは約 1000 年前と言われていています。それ以前は水位がずっと低くて、湿原のような環境。これが大体 3500 年ぐらい前からあったと言われてはいますが、そのようなことになっています。

質問者：ありがとうございました。

司会：他にございますか。いろいろ最新の成果も出ていますので、ぜひ何か、これは聞いておきたいということで質問を。

質問者：今の話と関係あります。

富士山の歴史を語る上で、湖底の本当の位置というのが本当は大事じゃないんでしょうか。今日の話ですと、ボーリングをして何メートル掘ったよと。そこの分析をなさっている。それはもちろんいいんですけども、そういう意味で本当のハードボトムというか、レイクハードボトムというか、そこのポジションというのは学術的にはあまり意味がないんでしょうか、あるのでしょうか。それを知ることですね。



横山：仰るとおりだと思います。深いところまで掘って、基盤と言われているところまで掘って、堆積物がどのくらいたまっているかというのを調べたいのですが、予算の関係と時間の関係とかがありまして。

我々はボートを浮かべて上からワイヤーを下ろして、ピストンコアなりハンマーコアなりグラビティコアなりで取っていますが、比較的低予算でできること、プラス、

現在に近いところですので不確定性が少ないですよ。それでまず、最初に湖の堆積物がしっかり昔の記録を残しているかというのを確認した上で、深いほうを掘っていくような感じで延ばしていきたいと思っています。

質問者：そうしますと、ベルギーの方でしたね、seismic reflection ということで、ハードボトムというのは detectable なんでしょうか。

Hubert-Ferrari：地震反射に関してですが、これをプロファイリングすることによって実際に湖底を山中湖で特定することはできます。けれども、ボアホールでもう既にそこまで到達しています。というのも、地表から埋せつ物というのがそこで取れますから。

しかし、それ以外の例えば河口湖とかに関しては、まだ本当のハードボトムに到達するというのは seismic reflection では難しい。河口湖においては、basin の 1 カ所においては有機物が非常に外から流れ込んでいる部分がありますので、その堆積物の中にもたくさんありますので画像も撮れないようなところもありましたし、その他、西側のほうでは溶岩流の流入もありましたので、湖底は溶岩流が非常に厚い。その下にあるものは画像として捉えることができませんでした。したがって、非常に制約を受けるところもありました。

また地震の探査をしたところでは、一番解像度を高く得られるところを撮りたいと思いました。25センチの解像度でやったという話をしましたがけれども、このような反射法の地震探査を行う場合には、一番上のほうが解像度が高く、そして下のほうまでたどり着くことができないのです。エネルギーがそれだけないわけです。そのために上のほうに集中しました。私たちが撮った画像と、地震のプロファイルと、今までのロングコアで取ったデータとの相関を得られるようにしたいと思いました。

そして本栖湖については、お見せしたように、本栖湖の大部分、10メートルの堆積物の下に大きな集合移動堆積物があります。10メートルぐらいの深さのところもあります。ですので、本栖湖でもやはり MTD（集合移動堆積物）の下を見られるところはかなり制約を受けます。

ですので、それぞれの湖は非常に複雑です。溶岩流があつたりいろいろなものが流入していますので、簡単に調査をすることができません。ただ推定はすることはできると思います。

ます。こうした地震への探査、これまでの調査とボアホールで、湖成層についてはある程度推定することはできます。

司会：よろしいですね。

今のお答えに少し付け加えておけば、山本さんの発表であった、98年に掘った時に山中湖では、湖岸で170メートル掘ってもベースメントには着いていない。河口湖の西で、88メートル湖心で掘ってもベースメントには着かないです。本栖湖も175メートル掘ってもベースには着かない。そのくらい深いので、横山先生が言ったように、もうちょっといろいろあれば掘れるかもしれないという、かなり富士五湖はもともとが深いところにできていると思いますけど。

質問者：山中湖は見かけ上水深12mだということですね。

司会：そうですね。

質問者：予算を沢山とって調べてください。

司会：出していただけるとまだ続きはありますけど。

他に。ではこちらの方。

質問者：私はこの方面については全く素人なので的外れな質問なのかも知れないんですけども、多くの先生の実データもあったんですけど、一番最初に不思議に思ったのが横山先生の報告の中でなので、横山先生にまずお聞きしたいんですけども。

スライドの中で一番最後のほうに、本栖湖の深さと年代というグラフがあったと思うんですね。あれを見ると、きれいなかたちのexponentialカーブ、減衰的なカーブになっている。それはどういうことかと言ったら、深いところほど地層の層の厚さが浅くなっている、薄くなっている。それで、それ以降の先生の中では、古い年代は積もっているのがそもそも少ないんだみたいな説明があったんですけども、本当にそうなのかな、言い切れるのかなというところなんですね。

普通に物理的に考えたら、その層の中にあるいろんな物質の中で一番軽いものが浮いてくる。軽いというのは、比重という意味で軽いものが上に浮いてくる。じゃ、古い年代のものはそれだけ年数がたっているから、放っておいても軽いものが上に上がってくるからその層が薄くなっているように見えるんじゃないかな、なんて私は思ったんですけども。そのあたり、こういう地学的な考えとしてはどういう具合になっているのかなということをお聞きしたいと。

横山：最初のポイントはまさにそのとおり。圧密と言いますけれども、雪が積もってそれが重さで氷になっていくのと似ていますけれども、ふかふかの堆積物だとそれがもともとたまった量よりもぐっと押されてというのがあります。でも実際にそれは、どのぐらいたまればどのぐらいその効果があるというのは大体計算で見積もれます。

それは、そういう物質がどういうものでできているかということにもよるんですけども、我々が見ているのは7メートルぐらいの厚さですので、そんなにそれは利いてこない。その上に水は乗っていますけれども。というのが計算で出て、大体100メートル以上。例えば長江（揚子江）の河口域の堆積物とかを見る時には、その堆積物、あと時間の効果も利いてきますけれども、を計算しないといけません、それでも3万年ぐらいの時間の中では長江（揚子江）では10メートルいくかいけないかぐらいの圧密の量ですね。

富士五湖の場合、今回見ている量は非常に少ないし、表層だけです。その効果はあまり関係ないと思われます。

ただ年代を見てみると、年代のカーブが寝ているところと急なところとありますね。あれは堆積物の供給量が変わって、堆積速度が速くなったり遅くなったり、**exponential** になっていって、それがまた逆の方向に行くとこが確かあるんですね。

質問者：変曲点もあるんですか。

横山：2カ所あります。それもすごく面白いところで、そこは恐らく環境の変化があって、周りの火山活動や、あとは気候変動も結構効いてくるんですけれども、それによる影響が見えている可能性があって、それを今後調べていくというプロセスに入っていきます。

質問者：今の話は重みで上から押されて薄くなっていくということがメインだったと思うんですけども、そうでなくて、ある幅の中での物質の比重の違いによって軽いものがだんだん浮いていくというのがあると思うんですけども、そういう影響というのはあまり考えなくてもいいということですか。

横山：恐らく数年とか数カ月とかいう時間スケールで考えるときはそのへんを考えていく必要があります。ただ、我々が見ている時間スケール、年代の誤差というのはすごくハイレゾリューションのところ、高時間分解能のところでもプラスマイナス 10 年ぐらいの時間スケールで見えていますので、それは平均化していると考えられます。

質問者：分かりました。ありがとうございます。

司会：他にございますか。

質問者：誠に恐れ入りますが、富士山を過去、現在にわたって学術的な研究をなさる、大変立派なことで、今日のシンポジウムは大変参考になるわけですが、地元に住む者として一番端的に心配するのは、いつ富士が変化するだろうか、噴火するだろうかという一番の究極に到達するわけですが、これにお答えになることは難しいとは存じます。しかし、あらゆる研究からして、あるいは他の世界のあらゆる火山の例からして、本当に近寄っているのか、あるいは少しは余裕があるのか、地元の者としては伺っておきたいとこなんです。少しでもその片りに触っていただきたいということなんです。

特に科学研究所の藤井所長先生の著書などを拝見しますと、今でもおかしくない、明日でもさらにおかしくないという著書が発表されているわけですが、とても大事な警告だと



は存じます。しかし、学術的な分野から見て、果たしてどのへんまでいっているのかどうか。大変難しい質問でございましょうけれども、そのへんの片りを伺わせ願えればありがたいと存じます。

吉本：富士山科学研究所の吉本です。

今おっしゃられたことですが、富士山の歴史を考えていただくと、大体 10 万年ぐらい前



から富士山ができ始めたわけですね。他の火山ですと数十万年かかって活動を変遷していくわけで、その中で富士山はまだ若い。例えば他の火山の一生が 60 万年だとすれば、まだ 10 歳ぐらいにしか満たないような火山であるのが富士山なわけです。

人間でも幼少期、赤ちゃんの時期からいろいろ生活スタイルって変わってくると思うんですけども、富士山の中でも 10 万年間の間にいろんなスタイルが変わってきております。今のところは最近 2000 年間の間では、山麓で噴火をして比較的規模が大きいものから小さいものまでさまざまやるというスタイルで、少しよく分からないところにいるんですけども、前回の噴火から 300 年たって、その前、数回は数百年の間に 3 回ぐらいあって、また数百年空いてというふうに、実は富士山にとって数百年空くということはそれほど不思議なことではなくて、よく起こり得ることですね。

だから予測できないのかというわけではないですけども、我々人間も大きな病気をするタイミングというのは皆さんのお医者さんも分からないと思うんですけども、それが例えば富士山の場合だと、マグマがどこかで入ろうとする、何かを起こすという、そういった風邪の菌が入ってくるとか病気の何か兆候が表れるといった瞬間には分かるだろうと思います。

なので、大きな予測はできませんが、もし近づいてきた場合にはそういった何か兆候が出てくるので、それは気象庁さんとか大学さんとかいろんなところで観測をやっているそういった観測網に引っかかってくるだろう。

今のところは明日というわけではたぶんなかろうかと思いますがけれども、ただその兆候が表れるのが明日かもしれないし、また遠くかもしれない。それは我々にとってはまだ分からないことです。ただ、風邪気味になったということ自体は、恐らくそういった観測網を使うことによって分かってくるだろうというふうに考えております。

ちゃんとしたお答えになってないかと思いますが、そういったことで、一応検出はできようかというふうな見解を持っておりますがいかがでしょうか。

司会：他には何か。

質問者：地元の忍野村でボランティアガイドをやっておりますマシコと申します。

私が質問したいことは、今日お伺いしました湖の底の堆積物から読み取るということは今ではこの業界で常識なのか、それとも新しい研究で日本が一番進んでいるのか、それとも海外ではどの程度普及しているのかを教えてくださいたいと思います。



De Batist：ご質問ありがとうございます。

海外でも研究は行われています。何と言ったらいいでしょうか、歴史を読み解くというんでしょうか。湖成堆積物を見て、そして気候変動を解き明かそうとか、あるいは噴火の歴史、あるいは地震の歴史を読み解く、あるいは人間への影響を読み解く、あるいは文明の開始・終焉を読み取ろうとする、そういったプロジェクトはたくさんあります。

初期のプロジェクトで特に湖成堆積物に注目したのは、日本だったと思います。琵琶湖が非常にいい例ですね。もう数十年前から行われていますね。日本の科学者が既にこれが可能だということを証明したわけです。湖成堆積物を使うことができるんだ。そこから世

界に研究が進んでいったと思います。

横山：あともう一つは、私の発表と Obrochta さんの発表でご紹介しましたが、年代の精度を上げるということで、あれだけの密度で年代測定を決めて、高時間分解能で過去の歴史を探ることができるようなアプローチを取っているのはまさに今回が初めてだと思います。

少しお話ししましたが、一つ測定するのに、これまで第 2 世代の時には大きな加速器を使っていましたので、400 万ボルトぐらいの機械を使ってその電圧を安定させたりして、さっきのキャッチャーミットの中に 1 個 1 個炭素 14 を入れていく必要があるんですね。そうするとそれがちょっと変わっただけでも誤差が増えてきたりするんですが、それなので測定個数を増やすことが難しい。

しかし第 3 世代、現在は、どちらかというとたくさん計って精度を上げるということができるようになってきました、私たちのところにある機械を使うと。例えてみると、例えば今ゲノムは、10 年前は DNA とかを分析する時に一つ測るのにすごくお金も時間もかかっていましたけれども、今は恐らく数万円出せば自分のゲノムの情報も一般の会社に出すだけで測れるようになります。

そういうテクノロジーの進化が起こった後ですので、それを使った高時間分解能の湖底堆積物を使った研究をやるという意味では、今回は初めてのアプローチになっていくと思っています。

司会：よろしいですか。他に何かお聞きしたいことはありますか。まだもう少しお時間はあります。

質問者：今日初めてお聴きしたんですけれども、伊豆半島の何とか平（カワゴ平）の噴火の影響が富士五湖に出ていると。どなたも、タイトルの中にありましたかね、モンスーンとの関係を調べているんだというお話だったんですけど、富士山の火山活動をモンスーンと結びつける意義というか、それは何なんだろうということなんです。すみません、つまらん質問で。

Obrochta：モンスーンの復元と富士の噴火が基本的に別々で我々がちょっと調べているので、今の段階で火山復元とか、どこからのテフラが入っている（という）ところまでしか進んでなくて、まずどの層序が積もっているかどうかを特定してから、これからどういうふうな復元ができるだろうというふうになります。

基本的に、これから珪藻を使って酸素同位体を計って、そうするときに梅雨で降っている雨の量とかその変化、もしくは大陸から運んできた黄砂、黄砂とかが入ってくるとその変化が風の強さには反映しているんだろうと我々は思っていますので、これからそのほうにいかうと思っています。

質問者：それは気候変動という観点からですか。

Obrochta：古気候学、paleoclimate という立場から調べようと思っています。



質問者：ありがとうございます。

横山：もうちょっと言うと、富士五湖はすごくきれいにたまっているというのがあると、火山の噴火史も分かるし気候変動史も分かるんですね。まず時間をしっかり決めてやろうという作業ですね。

縄文時代から現在って結構面白くて、将来の気候変動を考える上でも大事な時期なんですけれども。ちょうど 2℃ぐらい前旧期は高かったといわれているのですが、今後、2100 年にグローバルな気候変動で温度が、IPCC とかの予測で 2℃、恐らく超えると思うんですけど、3.4 から 4℃ぐらい上がりそうだとされていますが、ある意味アナログみたいなので環境がどうだったかというのが分かり得ると。

当時は実は地球がもうちょっと今よりは傾いていたので、夏がもうちょっと暑くて冬はもっと寒かったというのが予測では分かるんですけど、それが実際に環境にどう影響を及ぼしていたかというのは実際調べてみないと分からないので、そういうものも分かりますし、あとは今回驚いたのは、あの短いコアの中に、恐らく 4000 年ぐらいまではいけると思ったんですけども、縄文の早期というか、9000 年前ぐらいのところまでいけたと。

そうすると、もうちょっと深いところまで行くと氷河期のところまでいけますので、そうすると、地球が全く別の気候の状態にある情報も取れるということで、富士山の湖が持っている情報は貴重だなというのを改めて確認できたということで、将来につながるというステップをまず紹介したという感じですね。

質問者：ありがとうございます。

司会：他にはございますか。では、真ん中の席の方。

質問者：どうも今日はありがとうございました。

今のお話を伺って 1 点ちょっと確認させていただきたいんですけども、カーボン 14 の減衰を見ながら年代を測定するという大前提は、カーボン 14 のできた時に今と同じ量ができていう前提で計算をしないといけないと思うのですが、地軸が傾いているとかそういった環境の変化があるような状態で、同じような宇宙線が来て同じように受けてカーボン 14 ができていう、そのところは大丈夫なんでしょうか。

横山：ありがとうございます。発表に沿ったご質問で、本当にご理解が深いなと思って感心させられます。

炭素 14 が作られるには、宇宙線の強さが変わると変わるんですけども、過去 5 万年間、放射性炭素が調べられる中では、地球の磁場が現在よりも弱かったというのが分かっているんですね。そうすると、炭素 14 の作られ方が今より多いので、時計のスピードがゆっくりになってしまいますんですね。だから見かけ上、若い年代が出てきてしまうと。

そういうのは実は、最初にお話でもお見せしましたカーブ、スタート地点が上がったり下がったりしているので、そうすると年代に使えないということになるんですけども、ある意味、炭素 14 の年代測定を諦めればいいのかというアプローチも取れるのですが、そうするともったいないというか、カーボンというのはいろんな所にありますし、非常に少ない量で計れますので。

じゃ逆に、過去の変動を別の方法で復元してやって、世界標準曲線をつくってやって、それで放射性炭素の量がどのくらいであったらばどの年代、一年 365 日で数えている暦年代でさかのぼった年代に戻れるかというのをやろうというのが国際的な枠組みの中で行わ

れています。今それを、我々も携わっていますけど、福井県の水月湖とか、あとは木の年輪の中の ^{14}C の濃度をずっと測って行って、今のところ 5 万年近くまでさかのぼることができます。

だから、それをやって暦年代に焼き直すという作業を実際しているんですけど、その詳しいところをお話ししたのが Obrochta さんの発表で出てきた、カーブがぐにゃぐにゃしているんだけど、暦年代に焼き直した時にどこに確率的に正しいであろう年代がくるかと。

そういうふうにするときに、やっぱりたくさん年代があったほうが確率が高くなりますよね。そういう意味でも、今の第 3 世代に入ったことは非常に重要な意味を持つと。すなわち、確度の高い年代の情報を得ることができるというフェーズに入ってきたということになると思います。

質問者：どうもありがとうございました。

司会：他にございますか。なければ、そろそろお時間になりましたのでこれで終わりにしたいと思います。

今日は長い時間にわたって、火山といっても別の観点からのお話がいろいろ聴けたと思います。最後に講師の先生方に拍手をお願いいたします。それでは先生方はお席のほうに戻っていただきたいと思います。

今日は、午前中から夕方まで長い間お付き合いいただきまして、どうもありがとうございます。最後になりますが、富士山科学研究所副所長の山下から閉会のご挨拶をさせていただきます。

【閉会の挨拶】

山下 宏（山梨県富士山科学研究所 副所長）

山下：山梨県富士山科学研究所副所長の山下でございます。皆さん本日は朝から長時間にわたり本当にご苦労さまでございました。また最後までご参加もいただきまして、お礼を申し上げます。

今回の国際シンポジウムは、「堆積物から噴火の歴史を読み取る」と題しまして、先ほどもお話がありましたが、新たな研究段階に入ったと言われております湖底の堆積物等を使った、噴火史などをテーマといたしまして開催いたしましたところでございますけれども、多くの皆さまにご参加をいただきました。先ほどの総合討論では活発なご質問・ご意見をちょうだいいたしまして、本当に貴重な有意義な時間を過ごすことができましたことを主催者として重ねてお礼を申し上げます。

また、大変お忙しい中を貴重な時間を割いてはるばる遠方からお越しになられました講師の先生方には、貴重な素晴らしいご講演をいただきまして本当にありがとうございました。皆さま、もう一度大きな拍手をお願いしたいと思います。本当にありがとうございました。

私ども富士山科学研究所は、富士山を重点的に研究機関として再編をされまして今年で3年目になりました。ご承知の方も多いと思うんですけども、私どもの研究所では最新の知見を分かりやすく皆さまに提供するということから、研究成果の発信ということでございますけれども、さまざまな公開講座やセミナー、そして、こういったシンポジウムを行っております。ぜひ、今日お越しの皆さんをはじめ、多くの方に私どものこういった催し・イベントにご参加下さるよう改めてお願いいたします。

本日のこのシンポジウムの成果が皆さま方の今後の活動に活かされることをご祈念いたしまして、簡単ではございますが、閉会の挨拶とさせていただきます。本日はどうもありがとうございました。どうか気を付けてお帰りください。



司会：お帰り際にはぜひレシーバーの返却を忘れずに、受付にお戻しいただければと思います。それではお気を付けてお帰り下さい。

講演要旨集
(Abstract)

湖成堆積物におけるテフラ研究の利点：噴火様式の復元と噴火史の構築

長橋良隆（福島大学共生システム理工学類）

湖成堆積物の利点は、湖形成以降の連続的な堆積と高い時間分解能が期待できることであり、かつテフラ（爆発的火山噴火による破片状物質の総称）の保存が良いことである。ここでの保存の良さは、山体近傍では侵食され地層としては残らない小規模噴火によるテフラも湖成堆積物中には記録されている可能性があること、テフラ物質が風化・変質を被ることなく噴火・堆積時の状態を保持していることの二つの意味がある。そもそも、噴火様式の復元や噴火史の構築には、陸域における密度の高い噴出物調査の成果が重要である。その成果と併せて、講演では、火山近傍の湖（猪苗代湖、野尻湖、熊本県の芳野層）、火山から離れた地域の湖（長野県の高野層、琵琶湖）において掘削された湖成堆積物から噴火様式の復元と噴火史構築の事例を紹介する。

Advantage of Tephrology in Lake Sediments: Eruption Style Reconstruction and Eruption History Construction

Yoshitaka Nagahashi (Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University)

The advantages of lake sediments are expected to keep the continuous sedimentation after lake formation and the high time resolution as well as the good preservation of tephra (generic term for the fragmental material by an explosive volcanic eruption). This good degree of preservation has two meanings. First, lake sediments retain the potential to record minor tephra that were eroded on the proximal area. Second, the tephra material keeps previous status of eruption and sedimentation without weathering or metamorphosing. In fact, densely preceding studies of tephro-stratigraphy around the lake are important for the reconstruction of the eruption style and the eruption history. Together with these results, I present examples of reconstruction of the eruption style and the eruption history from lake sediments near the volcano (Lake Inawashiro, Lake Nojiri, Yoshino Formation in Kumamoto Prefecture) and far from the volcano (Takano Formation in Nagano Prefecture, Lake Biwa).

北西太平洋の海底堆積物から見た日本の火山噴火

青木かおり (Kaori Aoki)

立正大学環境科学研究所 客員研究員

環太平洋火山帯に囲まれた北太平洋で採取された海底堆積物を観察すると、火山帯から 100km 以上離れた海域ですら多いところでは 1 m 毎に 1 層～数層のテフラ層が見つかる。また、縁海とよばれる日本海、オホーツク海およびベーリング海でも、第四紀の軟泥堆積物中には複数のテフラ層が介在し、その一部は時間指標層として利用されることが多い。環太平洋火山帯に属する日本列島では、現在 110 の活火山が活動し 300 を越える第四紀火山が確認されている。大規模な噴火活動によってもたらされた噴出物は、陸上だけではなく周辺の海域に広く降下し海底に堆積している。爆発時に形成される噴煙柱の“かさ”は、水平方向に拡散する際に日本上空の偏西風やジェット気流の影響を受け、東方へと拡大する傾向が強い。その結果、日本列島の火山を起源とするテフラは北西太平洋に広く拡散している。例えば、日本における最大級の噴火と考えられる阿蘇 4 テフラ (87 ka) は、給源火山から北東方向に 2910 km 離れた北西太平洋の深海で確認されている。このほかにも、東日本沖の深海底堆積物では北海道から九州までの火山を起源とするテフラが分布し、時としてそれらが一地点で重なり合って介在していることもある。また、陸に近い前弧海盆から採取された堆積物では詳細な古環境研究と並行してテフラ層序の研究が可能である。

Japanese Volcanic Eruptions as Shown by the Northwestern Pacific Seabed Sediment

Kaori Aoki

Rissho University, Faculty of Geo-Environmental Science; Visiting Researcher

Observations of the seabed sediments collected from the North Pacific surrounded by the Pacific Ring of Fire showed that in the most concentrated locations there were one or more tephra layers every meter in the marine area 100 km or more far from the volcanic belt. Even in the Sea of Japan, Sea of Okhotsk, and Bering Sea, called the epeiric seas, there are multiple tephra layers in the Quaternary ooze sediments and some of these are often used as time indicator layers.

There are currently 110 active volcanos and over 300 Quaternary volcanos in the Japanese islands, which are located in the Pacific Ring of Fire. The ejecta from these large-scale volcanic activities were distributed widely across not only the land but also in the surrounding sea and deposit on the seabed. When the “umbrella cloud” of the eruption column that is formed during an explosive volcanic eruption spreads out horizontally, the ejecta are blown eastward being affected by the temperate westerlies and the jet stream above Japan. For this reason, the tephra created by the Japanese volcanos are broadly spread across the Northwestern Pacific. For example, the Aso 4 tephra (87 ka) that is thought to have been created by one of the largest eruptions in Japan was found in sediment from the Northwestern Pacific located 2,910 km northeast from the source

volcano. Like this, tephra of volcanos from Hokkaido to Kyushu are distributed throughout the seabed off the coast of east Japan and these layers overlap at one location. Furthermore, sediments sampled from the fore-arc basin close to the land can be utilized for detailed paleoenvironmental studies as well as tephrostratigraphic studies.

過去の火山活動を記録する湖底堆積物 - チリ・ビジャリカ火山の過去 600 年間の噴火史の復元

マーク・デ・バティスト（ベルギー、ゲント大学地質学科）

マールテン・ヴァン・デール（ベルギー、ゲント大学地質学科）

ジャスパー・モアナウト（オーストリア、インスブルック大学地質研究所）

カレン・フォンタイン（英国、オックスフォード大学地球科学科）

マリオ・ピノ（チリ、アウストラル・デ・チリ大学、環境・進化科学研究所）

ロベルト・ウルティア（チリ、コンセプション大学環境科学/EULA 学部）

S.J.ロバーツ（英国、ケンブリッジ、英国南極観測局（BAS））

本研究では、過去の火山活動の記録を高精度かつ高解像度で明らかにするために、構造的に活動的なチリの湖水地方の 2 つの湖、ビジャリカ湖とカラフケン湖から採取した、年毎に形成されるラミナの発達した（年縞）堆積物シーケンスを対象としたマルチレイク・マルチプロキシアプローチによる解析を行った。堆積物中には、4 つの異なるタイプのイベント堆積物(湖成タービダイトと降下テフラ層、河川により流入したクリプトテフラ、ラハール堆積物)が認められ、これら堆積物に基づき、ビジャリカ火山の噴火史の見直しを行った。

時系列解析の結果、ビジャリカ火山では過去 600 年間で、火山爆発指数（VEI） ≥ 2 の噴火が 112 回（そのうち少なくとも 22 回の噴火ではラハールを併発）起こっていたことが明らかとなった。最後に記録された VEI ≥ 2 の噴火は 1991 年のものであった。また、両湖で完全な記録が残されていた過去 500 年間の噴火記録から、ビジャリカ火山で将来の噴火が発生する確率を予測した結果、VEI ≥ 2 の噴火のない 22 年間の休止期間が発生する確率(2013 年) が $\leq 1.7\%$ であることが統計的に示された。ビジャリカ火山は、2015 年 3 月に噴火している（VEI=2）。

この噴火の発生間隔と過去のラハール活動に関する新しい知見は、急速に拡大する観光地域の火山災害アセスメントの改善に役立つと同時に、湖の堆積物記録が過去に定住者のいなかった地域での過去の噴火記録の改善に有用であることを示している。

Lake Sediments as Chronicle of Past Volcanic Activity – A Reconstruction of 600 Years of Eruptions and Volcanic Mudflows at Villarrica Volcano (Chile)

Marc De Batist, Department of Geology, Ghent University, Belgium

Maarten Van Daele, Department of Geology, Ghent University, Belgium

Jasper Moernaut, Institute of Geology, University of Innsbruck, Austria

Karen Fontijn, Department of Earth Sciences, University of Oxford, UK

Mario Pino, Institute of Environmental and Evolutionary Sciences, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile

Roberto Urrutia, Faculty of Environmental Sciences/EULA, University of Concepción, Chile

S.J. Roberts, British Antarctic Survey (BAS), Cambridge, UK

In this study we use a multilake and multiproxy analytical approach to obtain reliable and high-resolution records of past volcanic activity from annually laminated (varved) lake sediment sequences extracted from two lakes, Villarrica and Calafquén, in the tectonically active Chilean Lake District. We identify and characterize four different types of event deposits (i.e. lacustrine turbidites, tephra-fall layers, runoff cryptotephra, and lahar deposits) and we use these event deposits to produce a revised eruption record for Villarrica Volcano.

Time-series analysis shows 112 eruptions with a volcanic explosivity index (VEI) ≥ 2 in the last ~600 yr, of which at least 22 also produced lahars. The last recorded VEI ≥ 2 eruption occurred in 1991. Based on the last ~500 yr, for which we have a complete record from both lakes, we estimate the probability of the occurrence of future eruptions from Villarrica Volcano and statistically demonstrate that the probability of a 22 yr repose period (anno 2013) without VEI ≥ 2 eruptions is $\leq 1.7\%$. Villarrica Volcano erupted (VEI = 2) in March 2015.

This new perspective on the recurrence interval of eruptions and historical lahar activity will help improve volcanic hazard assessments for this rapidly expanding tourist region, and it highlights how lake records can be used to improve historical eruption records in areas that were previously uninhabited.

それはいつ起こったか？地層に埋め込まれた時計が示す過去の出来事

横山祐典 (Yokoyama, Yusuke)

東京大学 大気海洋研究所 (兼：大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻；大学院総合文化研究科 国際環境学専攻)

太陽系の外側で起こった超新星爆発によってもたらされた高エネルギーの粒子が地球に到達し、大気上層での酸素や窒素などとの相互作用によって生成される核種を宇宙線生成核種という。この中に炭素-14 も含まれており、生成後速やかに地球表層に拡散する。炭素-14 はおよそ 5700 年の半減期を持って窒素-14 に壊変するため、過去に起こったイベントの時期を知りたい場合、その試料の中の炭素-14 量を正確に測定することで時期の特定ができる。しかし現在の大气中でも炭素-14 はすべての炭素の中の 1 兆分の 1 しか存在していない。そこで加速器質量分析装置 (AMS) という装置を使用する必要がある。私たちの研究室では、日本で唯一、炭素-14 に特化したシングルステージ AMS を導入し、改良を重ねることで、世界トップレベルの精度での分析に成功した。また微量測定の技術や自動化学分析装置も確立し、これまでに明らかになって来なかった過去のイベント、例えば噴火の年代などについて様々な時期の特定を行えるようになってきた。今回はシングルステージ AMS を用いた炭素-14 測定の実際について、富士五湖掘削などで明らかになりつつある成果も交えながら紹介する。

Timing of the Past Geological Events Determined by C-14 Using Single Stage Accelerator Mass Spectrometry

Yokoyama, Yusuke

Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

Incoming high-energy cosmic-ray to the Earth's atmosphere produce cosmogenic nuclides including C-14 via the interaction with the atmospheric gases. They can be used as a dating tool to identify the geological events happened in the past. In my group at the University of Tokyo, we developed the method to measure C-14 very precisely. It enables us to reveal past environmental changes including the timing of eruptions that were originated from Mt Fuji. In my presentation, I will introduce AMS based C-14 studies including the work that we are conducting the materials obtained from the Fuji Five Lakes.

富士山の噴火履歴の研究とその問題点

吉本充宏

山梨県富士山科学研究所 主任研究員

富士山の噴火履歴の研究は、津屋（1940、1968）により溶岩流を主体とした本格的な火山学的研究が行われ、その成果が火山地質図としてまとめられている。火山灰の層序学的研究は町田（1977）、上杉（2003）などによって行われ、宮地（1988）により詳細な火山灰層序を基に総合的な噴火史が明らかにされている。さらに、高田ほか（2016）は、層序の見直しと放射性炭素年代から富士山の活動を再検討し、火山地質図の改訂を行った。富士山の噴火履歴の研究は、高田らのグループによる研究によりかなり進展したが、富士山の噴火堆積物は数が非常に多い上、噴火間隔が短く、斑晶組み合わせや岩石化学組成などの特徴が似通っているため、層序対比には困難が伴うことが多く、対比関係に疑問が残る噴出物も少なくない。また、多くの降下火山灰は規模が小さく、1回の噴火で複数の火口を形成することも調査を難しくしている要因の一つである。詳細な噴火履歴の構築は、火山防災対策を実施する上で最も重要な情報であり、富士山の噴火履歴研究を進展させるためには、今後新たな層序対比手法や噴火年代決定手法の導入が期待される。

Mt. Fuji Eruption History Study and Related Issues

Mitsuhiro Yoshimoto

Senior Researcher, Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government

Mt. Fuji eruption history study by Tsuya (1940, 1968), who conducted volcanology research using mainly lava flows, was compiled as a volcanic geological map. Stratigraphic study on volcanic ash has been conducted by Machida (1977) and Uesugi (2003) among others, and the comprehensive eruption history was identified by Miyaji (1988) based on detailed tephra stratigraphy. Further, Takada et al. (2016) restudied Mt. Fuji's activity by reviewing the stratigraphy and using radiocarbon dates to revise the volcanic geological map. Research on Mt. Fuji's eruption history made good progress due to the research of the Takada et al. group, but the number of Mt. Fuji eruption deposits is very high, the interval between eruptions short, and the lithological and geochemical features are quite similar, so it is often difficult to correlate the stratigraphy, and for much of the ejecta there remain questions regarding the correlation. Further, the size of many of the ash falls is small and the formation of multiple volcanic vents during a single eruption are additional factors that complicate the research. Compiling a detailed eruption history is the most important information necessary for developing volcanic disaster mitigation. Therefore, new methods for comparing the strata and for dating eruptions are necessary to further advance the research into Mt. Fuji's eruption history.

山中湖の湖底から見つかった噴火による植生変化の証拠

山本真也

山梨県富士山科学研究所 研究員

富士山を取り巻く自然環境は、度重なる噴火による破壊と再生を繰り返してきた。しかし、過去の火山活動が自然環境に与えた影響については、ごく最近の噴火を除けばよくわかっていなかった。富士山の北東に位置する山中湖の堆積物中には、富士山由来のテフラが多数保存されており、噴火による自然環境への影響を探るのに適している。本研究では、山中湖の湖底堆積物に含まれる脂肪酸と呼ばれる植物に由来する化学成分を調べることで、過去 1 万 2000 年間の植生変化を復元した。その結果、今から約 2000 年前から 1000 年前の山中湖周辺では、噴火の影響により少なくとも 2 度、植生が壊滅的被害を受けた可能性のあることがわかってきた。一般に富士山のテフラは岩相や化学組成による対比が難しいとされるが、今回見つかったような噴火に伴う環境イベントを地球化学的な鍵層として用いることで湖底堆積物－陸上セクション間での噴火記録のより詳細な対比が可能となることが期待される。

Vegetation Changes Associated with Volcanic Eruptions of Mount Fuji: Evidence from the Lake Sediments from Lake Yamanaka

Shinya Yamamoto

Researcher, Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government

The natural environment of Mt. Fuji has been significantly affected by repeated eruptions for years. However, the impact of past volcanic activity on the natural environment has been still unclear except for the most recent eruptions. Because many tephra layers of Mt. Fuji are found in the sediments of Lake Yamanaka, one of the Fuji Five Lakes that is located northeast of Mt. Fuji, which can be used to study the influence of past volcanic eruptions on the natural environment. In this study, we investigated plant chemical components called fatty acids in the lake bottom sediments from Lake Yamanaka to reconstruct vegetation changes over the past 12,000 years. The results showed that the catastrophic devastation of land plants was likely caused in association with eruption of Mt. Fuji at least twice during the period of 2,000 to 1,000 years ago. In general, correlations of the tephra layers of Mt. Fuji are sometimes difficult due to their quite similar lithological and geochemical features, but our findings suggest that environmental events that are associated with volcanic eruptions can be used as geochemical markers for detailed correlations of tephra layers between lake sediments, and possibly land sections.

偏西風・モンスーン強度復元のための富士五湖堆積物の層序学的枠組み

オブラクタ, S.P (1), 横山祐典 (2), 宮入陽介(2), 山根雅子 (2), 長野玄 (2)

1. 秋田大学大学院国際資源学研究科
2. 東京大学大気海洋研究所

2015年11月、ベルギー・日本の合同調査チームにより富士五湖の3つの湖（河口湖、本栖湖、西湖）から多数のピストンコアが採取された。これらピストンコアは、1本の長さが最大2mで、湖底から最大約7mの堆積物が掘削された。また、本来の層序を完全かつ連続的に復元するため、各コアはそれぞれ約1mずつが重なり合うように採取されている。本研究では、堆積物の色調や地球化学組成を含む種々のパラメータを使い、重複するコア中の個々の堆積層を対比させ、複合層序セクションを作成した。更に、陸上植物遺骸や全有機炭素の放射性年代測定を複数点で行うことで複合セクションの年代モデルを作成した。明らかとなった堆積速度の評価から、比較的連続的に堆積が起こっている場所、すなわち古環境解析や過去の噴火年代、噴火の平均間隔を見積もるのに最適な場所の選定が可能となった。

A Stratigraphic Framework for Westerly Wind and Monsoon Intensity Reconstruction Using Sediments from the Fuji Five Lakes.

Obrochta, S.P. (1), Yokoyama, Y. (2), Miyairi, Y. (2), Yamane, M. (2), Nagano, G. (2)

1. Akita University, Graduate School of International Resource Science
2. University of Tokyo, Atmosphere and Ocean Research Institute

During November 2015, a joint Belgian-Japanese team recovered a large number of piston cores from three of the “Fuji Five Lakes”: Lake Kawaguchi, Lake Motosu, and Lake Sai. Individual sediment cores are up to two meters in length and distributed over up to approximately seven meters below the lake floor. As progressively deeper cores were obtained, an approximate 1-meter overlap was incorporated to ensure continuous recovery of the in-place stratigraphy. We use a number of parameters, including visual and geochemical composition, to correlate individual layers across overlapping cores and construct a composite, stratigraphic section for each lake. We then produce an age model for the composite section using a large number of radiocarbon analyses on both terrestrial macrofossils and bulk organic carbon. Evaluation of the resulting sediment accumulate rates allows us to identify sites that experienced relatively continuous sedimentation and are therefore well suited for conducting environmental reconstruction, as well as estimate the age of individual volcanic eruptions and the average recurrence time.

富士五湖、そのダイナミックな環境変化：湖調査からわかった火山噴火と地震、地滑りの新証拠

オーレリア・ヒュバート-フェラーリ（ベルギー、リエージュ大学地理学部）

QuakeRecNankai プロジェクト研究の枠組みのなか、本栖湖と西湖と河口湖と山中湖で、延長約 122 km にわたる反射法地震探査を実施し、短いグラビティ・コアと長尺のピストン・コアを採取した。今回講演では、富士五湖は富士火山の過去の活動について単に記録しているだけではないことを新たに得たデータに基づいて報告する。強い地震振動はマスメーブメントや堆積物の再移動につながるような、岩石や土壌を弱める可能性があり、大地震は富士五湖に影響を与えている。大きな集合移動堆積物は、富士五湖すべてに記録されている。山中湖では、湖心に達しているような、少なくとも 5,000,000 m³ におよぶマスフローが、2600～2100 年前に南岸に沿って発生した。河口湖では、東剣溶岩流後に少量の集合移動堆積物が生じている（3800～4000 年前）。本栖湖は、BP 3000 年以前に発生した多数の地滑りの最も豊富な記録を示している。一番大きな集合移動堆積物は 0.89 km² の面積を覆っており、その上部をピストン・コアでサンプリングした。地震動は、以前に堆積した堆積物を再移動させ、タービダイト流となって、湖の深い堆積心に沈積させる。このプロセスは本栖湖と河口湖で証明されている。

The Fuji Five Lakes, a Dynamic Environment That Has Sustained Large Changes Linked to Volcanic Eruptions, Earthquakes and Landslides: New Evidences from the Lake Survey

Aurélia Hubert-Ferrari, Department of Geography, University of Liège, Belgium

Within the framework of the QuakeRecNankai project, about 122 km of seismic reflection profiles were acquired in Lakes Motosu, Sai, Kawaguchi and Yamanaka, and short gravity cores and long piston cores were collected. The talk based on the newly acquired data will explain that the Fuji Five Lakes do not only record past activity of the Fuji Volcano. Large earthquakes are likely to have impacted the lakes, because strong earthquake shaking has the potential to weaken rocks and soils, which results in mass movement and in sediment remobilization. Large mass transport deposits were documented in all the Fuji Five Lakes. In Lake Yamanaka, a min. 5 000 000 m³ mass flow took place along its southern shore extending to the lake center ~ 2600-2100 yrs ago. In Lake Kawaguchi, smaller mass transport deposits occurred after Higashiken lava flows (~3800-4000 yrs ago). Lake Motosu shows the most extensive record with numerous landslides occurring before ~ 3000 yrs BP. The largest mass transport deposit covers an area of 0.89 km² and its upper part was sampled by a piston core. Seismic shaking can also remobilized sediments previously deposited leading to turbiditic flows that settled into the deep depocenter of the lakes. This process was evidenced in Lakes Motosu and Kawaguchi.



2017 年 1 月 22 日 国際シンポジウム会場に於いて

山梨県富士山科学研究所公開講座

C-01-2017

国際シンポジウム 2016

「堆積物から噴火の歴史を読み取る－火山山麓の湖から－」 報告書

2017 年 3 月発行

編集・発行

山梨県富士山科学研究所 国際シンポジウム 2016 実行委員会

〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田字剣丸尾 5597-1

TEL : 0555-72-6211

FAX : 0555-72-6204

<http://www.mfri.pref.yamanashi.jp/>



この印刷紙には、山梨の森林認証材も利用活用されていますので、
森林環境保護・水質保全等の支援に役立てられます。

