

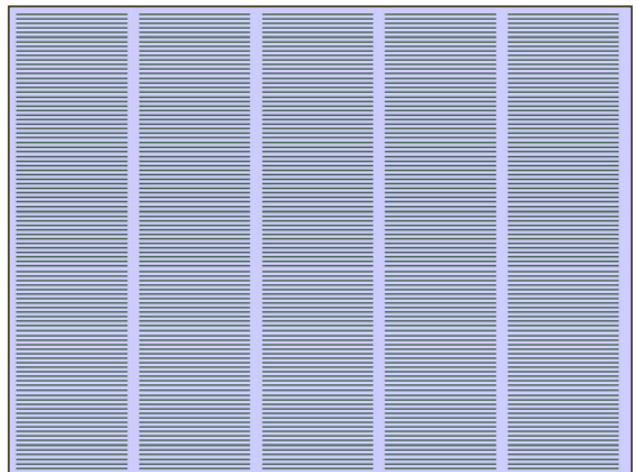
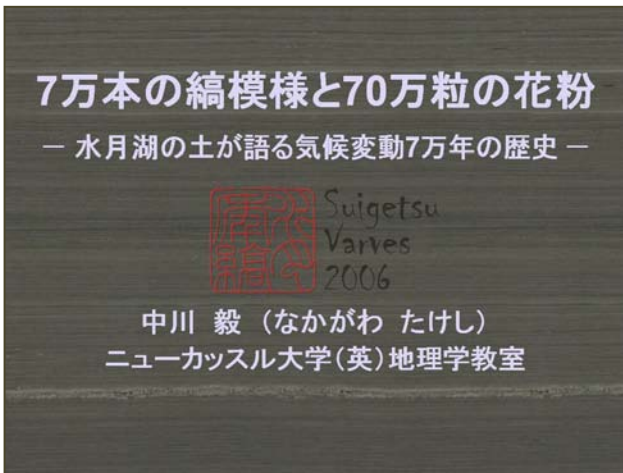
第10回 環境サイエンスカフェ

テーマ 「7万本の縞模様と70万粒の花粉」 —水月湖の土が語る気候変動7万年の歴史—  
 講師 中川 毅さん (英国ニューカッスル大学 教授)  
 日時 2012年8月29日(水) 18:30~20:00  
 会場 サロン・ド・富山房 Folio  
 参加者 45名



中川さん：ご紹介どうもありがとうございます。皆さん、こんばんは。平日の暑い夜にいらしていただいて、本当にどうもありがとうございます。

タイトルの種明かしから始めます。とりあえずここに縞模様を大体100本ぐらい書きました。大体100本書いたので、99本かもしれないし、101本かもしれません。今ひとつ自信がないです。これで500本です。(図1)



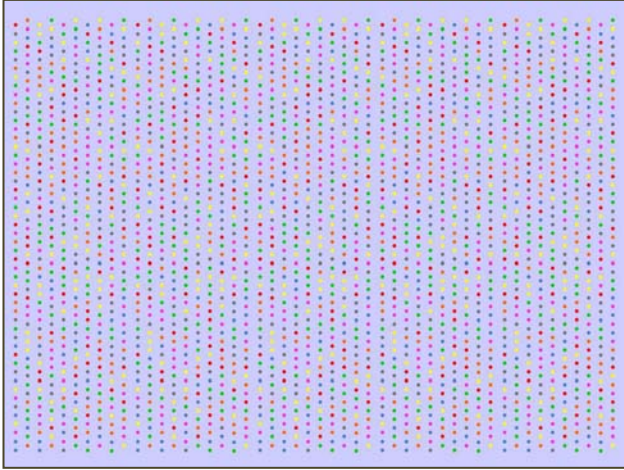
【図1】

ちょっと不思議なタイトルをつけました。今ご紹介いただいた通り、福井県の水月湖というところで、もうかれこれこの6年間ぐらい、自分の研究時間の9割以上をそこに投入して仕事をしてきて、ようやく幾つか目立った成果が出てきたタイミングにうまいことぶつかっています。なので、今日は、まだ報道発表もこれからというような最新のネタまで含めて、先ほど写真撮影、録音とか無いということを一応確認しましたので、この部屋の中だけにとどまる話なども織り交ぜながら、なるべく分かりやすくお話しさせていただこうかなと思います。

わたしが、例えば学生をつかまえて、多分500本ぐらい縞があると思うんだけど、自信がないんだよという話を、「君、夕方までに数えておいてください」と言うつもりです。嫌な指導教官ですね。学生は数えてくると思うんですけども、その指示を、例えば140回繰り返したらどうでしょう。1年の半分ぐらい、朝、学生をつかまえては、「これ本数分らないから数えてくれ」と言い続

けたら、多分嫌になって逃げていくと思います。

現実にはわたしは、それにほぼ等しいことを、あるイギリス人の学生とドイツ人の学生にやっただんですが、彼らはなぜか逃げていかなくて、最後まで頑張って大きい成果を出したという話が、今日の話の1つのテーマです。



【図2】

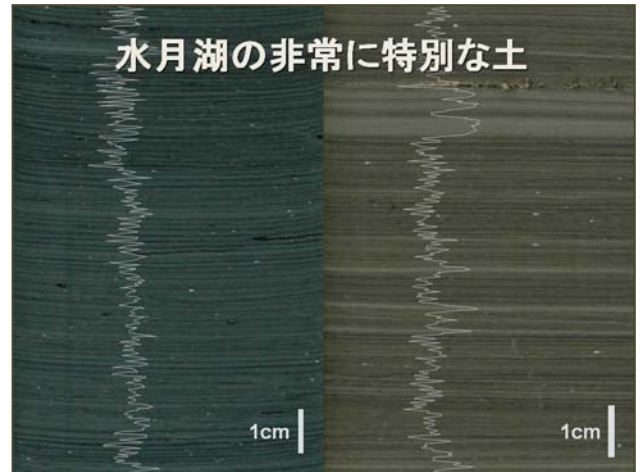
それから、今度はここにつぶつぶ模様が1,000個あります。(図2) 大体1,000個だと思うんですけども、中にいろんな色があって、例えばピンクが幾つ、黄色が幾つ、緑が幾つと聞かれると分かりません。

ちょっと増やして、5,000個にしてみますね。また学生をつかまえて、「大体5,000個だと思うんですけどよく分からないし、その中の色の内訳もよく分からないから数えなさい」と。2日、3日はやってくれると思うんですけど、その注文を350日繰り返したらどうなるかという話ですね。普通の学生は逃げていくと思うんですけども、じゃあわたしたちのプロジェクトではどうなったかという話が、今日の2つ目のテーマです。

わたしはイギリスに拠点があって、そして基本的には研究予算はイギリスからもらって研究活動をしているんですけども、なぜ水月湖という、日本の福井県の、特に有名とも思われない湖に、それだけの研究の労力と、それからイギリス国民の血税を投入して仕事をしているのかといいますと、水月湖の底に、実は世界の他の場所にあまり見られない、非常に特別な種類の土がたまっているからなんです。

2006年の夏休みを使いまして、水月湖の湖底に穴を掘って、湖底の堆積物、要するに土ですね。

それを取ってきました。この写真は、その取ってきた土を実験室に持ち帰って、きちんと観察するとどういふふうに見えるかという写真です。(図3)



【図3】

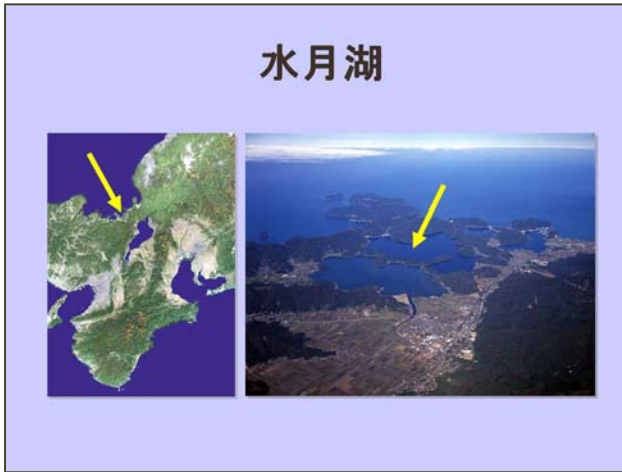
見ていただくと、非常に細かい縞模様が入っているのがご覧いただけだと思います。真ん中のこの曲線は単純に、この堆積物の土の色の濃い、薄いを表したものです。なので、このグラフが左右に揺れているということは、濃い色と薄い色が非常に短い距離で繰り返し現れているということになりますね。

こちらが同じ水月湖の湖底の土の、ちょっと深さの違うところなんですけれども、非常にきれいな縞模様があり、色の明るい層、暗い層が繰り返し現れてきます。1センチの中にこの黒と白、明るい層と暗い層の繰り返しが10個以上含まれています。なので、ミリメートルオーダー、あるいはそれ以下、そういう非常に細かい縞模様を、水月湖の土は持っているんです。

何でそういう細かい縞模様ができるかというメカニズムの話は非常に簡単にさせていただきますと、水月湖は福井県がここにありまして、滋賀県の琵琶湖がここにありまして、そこからちょっと日本海側に抜けたところにあります。これは水月湖の航空写真なんですけれども、三方五湖という、湖が5個ある景勝地といいますか、観光地。それから、湿地の生態系が比較的豊かに残っていることで、ラムサール条約なんかも登録されている、そういう場所です。(図4)

その中の、この湖です。この川の上流から海にかけて水が流れていくんですが、そのルート上でいうと、最初の湖は三方湖という湖で、その次の

湖が水月湖という湖です。



【図4】

三方湖と水月湖は、わたしたち地質学の専門家にとっては結構意味が違います。同じ三方五湖の中の隣り合っている双子の湖のようなものなんですけれども、実は全然意味が違います。

なぜかという、ここに川が流れていますよね。この川の水が三方五湖に入っていくときに、取りあえず三方湖に入るんです。取りあえず三方湖に入った水がいったん三方湖の中を漂って、そしてこの細い水路を抜けて水月湖に入っていく。そういう二段階の仕組みになっています。

そうすると何がいかというと、例えば台風の際に大量の雨水が流れ込みます。土砂を多く含んだ泥水が、川から流れこんできます。そういう泥水は土砂をたくさん運んでくるし、あるいは流れも激しいので、湖の底の土を削り込んだり、あるいは何か別のものを上に盛り上げたり、いろいろ余計というか、そういうことをするんですね。

なので、この1つ目の湖の底には、結構ぐちゃぐちゃにいろんなものがたまっています。なんですけど、この2つ目の湖、水月湖は、最初の1つ目の湖三方湖が、まるで砂防ダムのように、ここで激しい水の流れとか、流れ込んでくる土砂を食い止めてくれることによって、その次にある水月湖の水というのは、常に非常に安定しているんですね。大嵐が来ても、なかなかかき乱されるということがない。それから、周りを数百メートルクラスの高い丘で囲まれているので、強風が吹いても大波が立って、その土がかき混ぜられるということがないんです。

こういう湖は、それ自体がすでにあんまり世の

中に類例がないといいますか、皆無ではないですが多くはないです。ほとんどの湖は、流れ込む河川を持っています。

それから、日本というのは、ご存じの通り非常に四季の美しい国ですので、季節によって湖の環境が全然変わります。例えば、夏場ですと水温が非常に高くなって、プランクトンが発生するとか、冬場ですと大陸から乾いた風が吹いて塵を運んでくるとか、季節によっていろいろ違うことが起こります。(図5)



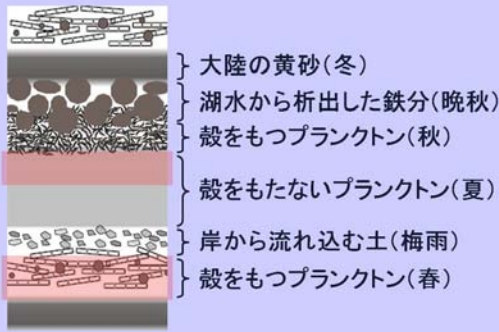
【図5】

そうすると、水月湖の湖の底には、季節によって性質の違う流砂が沈んでたまっていて、そして季節によってたまった性質の違うものが、例えば川の水であるとか、風によって起こされる波であるとかによってかき回されることがない。そういう性質を持っています。

これは先ほどお見せした水月湖の縞々模様を持っている土です。その土をさらに顕微鏡を使って細かく観察すると、どういう構造をしているかという種明かしの図です。(図6)

最初、一番下からいきます。今、ピンクで強調したところ、ここは珪藻といいますけれども、春先に大繁殖する殻を持ったある種のプランクトンになります。そのプランクトンは春先大繁殖をして、自分の殻を作るために水の中に溶けている珪酸分を使うんですけれども、その珪酸分を使い尽くして、ある種の飢え死にをします。大繁殖の後で一斉に死ぬということをしします。そうすると春が終わるときには、殻を持ったプランクトンが死んで積もるんですね。

## 水月湖の非常に特別な土



【図6】

次の季節、遅い春から早い夏にかけて、今度は、これは岸から流れ込む土砂です。川がないというふうに申し上げましたが、川は無いといっても一応周りに斜面があります。斜面には、むき出しの土もあるわけです。そういうところに梅雨時の雨が降ると、地面を流れた雨水が地面の表面から多少土を削り取って、水月湖の中に流れ込んできます。なので、また違うものが梅雨時にたまります。

そして、夏になると非常に水温が高くなって、今度はまた別の種類の、珪酸塩を必要としないプランクトンが大繁殖をします。

秋には、今度は岸から流れ込んだ珪酸塩が、また水中の珪酸塩濃度を高くするとかいろんな理由があって、また別の殻を持つ珪藻が大繁殖をして、また違うものがたまります。

それから、これは若干ややこしいのですが、秋から冬にかけて湖の温度が下がってきます。空気の温度が下がってくると、湖の表面の温度が晩秋から冬にかけての冷たい空気によって冷やされます。冷たくなって冷やされた空気というのは、中学校の理科でひょっとして習ったのをご記憶の方が多いかと思うんですけども、摂氏4度まで冷えた水というのは非常に重くて、湖底に沈みます。

湖の表面にあった水が湖底に沈むとき、空気と触れていた水が湖底に沈むとき、空気から取り込んだ酸素を湖底に持っていきます。その酸素が、湖の中にもともと溶けて存在していた鉄分と反応して、ある種の鉱物を作って、それがまた秋から冬にかけて堆積するんです。

最後に冬になると、今度は中国から黄砂が飛んできます。そういったものがたまって、一番多いときで6種類の違うものが、わずか1年の中に結

局たまるんですね。

なので、あの縞模様というのは、つまり暗い層から暗い層まで、あるいは明るい層から明るい層まで、1ミリ弱のその間隔の中に、1年分の時間を記録しているんです。今日、事務局の方からバームクーヘンが皆さんに配られています。この縞模様の1枚1枚が、まるで木の年輪のようというあたりで、バームクーヘンとちょっとつながってくるわけです。1年の時間を表している。そういう特別な土が、水月湖にはたまっています。平均の厚さが0.8ミリですね。なので、1ミリの中に、1年2〜3カ月分の時間を含んでいるということになります。

このように形成される、1年ごとに作られていく縞模様、そしてそれが乱されずに残っていて、肉眼で観察できるというようなものを、わたしたちの業界用語で年縞（ねんこう）というふうに呼んでいます。1年ごとの縞ですね。



【図7】

これは、日本でそういう堆積物が最初に発見されたのは1991年のことで、やはり三方五湖だったんですけども。わたしの当時の指導教官であった、国際日本文化研究センターというところの安田喜憲博士が、一応日本語訳の命名者になっています。英語では、varve といいます。これは、実はラテン語で木の年輪という意味の単語らしいです。木の年輪のように1年ごとの縞ができていくということが、その varve という縞模様を持った堆積物の語源になっています。(図7)

いよいよバームクーヘンですね。これは、木の年輪をかたどったお菓子であるということから、今日の講演に非常にふさわしいだろうということ

で、半ば冗談で、財団の方に「こんなものを作りたいと、実は思っているんですよね」って言ったら、「それいきましょう」と即決をさせていただいて、こうして実現しました。



実は全く同じプランを、水月湖は福井県の若狭町というところにあるんですけれども、若狭町の町長に持って行ったんですよ。もうバームクーヘン作りましょうと。そうしたら『若狭バーム』っていうバームクーヘンがすでに地元にあるんですよ。それで年縞の英語というか、もとの単語は varve ですから、『varve クーヘン』という名前前で村おこしで売ったらたら売れるんじゃないかって言ったら、町長は非常に乗り気になってくださって、「それいこう」という同じ勢いで、部下の文化課の方に号令を飛ばしたんです。ところが文化課の方は、地元の博物館も、私たちの対応を担当してくださっている方が、「いや、町長にも困ったもんです」って言ってしぶってらっしゃって、いまだに実現してないんです。

今度、またあさってからわたしは若狭町に行きますので、これ持って行きますから。こういうものが、東京でももうはやっているんだと。神田神保町でもう売っているんだと言ったら、ひょっとすると若狭町名物で、来年ぐらい店頭にも並ぶかもしれません。無理かな？ ちょっとやってみます。

会場：これは、日立で作られたのですか。

中川さん：スタッフの方が、断面の形がきれいに見える、この形で売っているバームクーヘンを東京中から探してくださったらしいです。ユーハイムのものかな？それにシールを貼っていただいて。

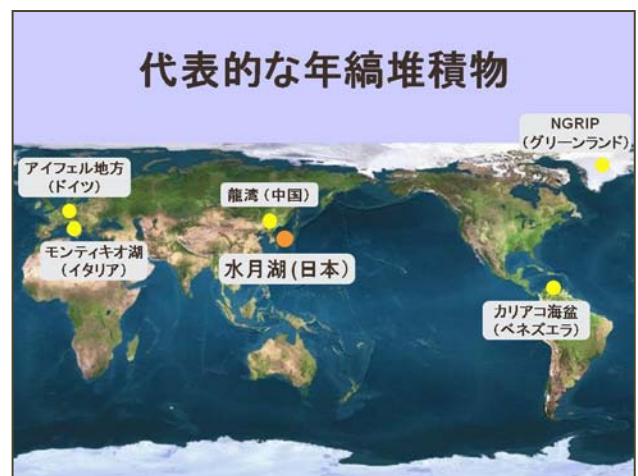
会場：このマークは水月ですか？

中川さん：そうそう。そうですね。この赤いマークは、実はわたしたちのプロジェクトのロゴマークでして。そうです、『水月年縞』と書いています。

印象に残れば、何でもいいかなと思って。これ、実は 2005 年にプロジェクトが始まることが決ま

ったときに、わたしはたまたま当時中国の大学で客員教授をやってまして。中国の石家荘という町だったんですけど、町の真ん中に篆刻屋、つまり書道の判子の店があって、そこに行って彫ってもらったんですよ。それを、そのままロゴに使いました。

水月湖の土が、どれぐらいありがたいものであるかということ、一応世界との比較で強調しておこうと思います。ここに出しているのは、まだ未知のものは世界にいっぱいあるとは思いますが、今のところ存在が知られていて、そしてわたしたちが一応ライバルであると考える程度に、研究努力が投入されている湖です。これだけしかありません。(図8)



【図8】

まず、一番のわたしたちのライバルというか、最初に憧れて、あのような仕事をやりたい、追いついて追いつきたいと思ったのは、カリアコ海盆というところでした。これは湖ではなくて沿岸のラグーンのような海なんですけれども、島弧によって外洋から隔離された海で、その底にやはり縞々堆積物、縞々の土があります。アメリカのウッズホール海洋研究所のコンラッド・ヒューエンという、わたしより3歳か4歳しか年上じゃないと思うんですけども、非常にばりばりの、世界を本当に引っ張っている若手がいます。

わたしたちは、実はカリアコ海盆を最初、目標にして仕事をしてきました。今日の後半で、カリアコのコンラッド・ヒューエンに勝ったぞという話をします。

それからアイフェル地方、これはドイツの平野の真ただ中に、火山が突然ぼんぼん噴火して、

あまり山は作らずに穴だけ開けたというところがあるんですね。その穴だけ開けた穴の中に水がたまって、そういう性質の湖ですので川が流れこんでなくて、非常に深く急峻な、周辺の崖を持っています。

そこには、率直に言って水月湖よりも性質のいい、縞々の土があります。ただし、水月湖よりもずっと短いです。水月湖には、タイトルからもお察しただけだと思いますが、7万年分の土、7万枚の縞がありますが、アイフェルには1万4千枚しかありません。それでもすごい枚数なんですけども、しかし、わたしたちの所詮5分の1です。

(笑) ちょっと大きく出てしまいましたね。すごい方たちなんですよ、本当に。

それから、イタリアのモンティキオというところに非常に連続性の高い、これは実は正直言って水月よりも長いです。多分13万年分ぐらいの土があります。ですけれども、なぜか数年前から、全然論文が出てこないですね。

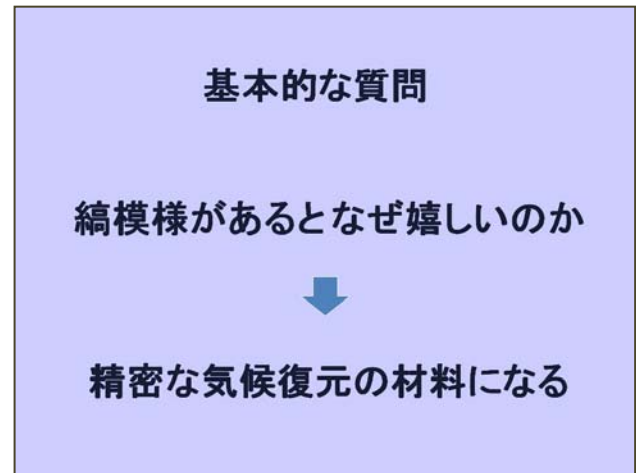
それから龍灣、「ロンワン」と読みますが、中国の東北地方にやはりドイツと同じように、噴火して開いた穴だけが残っていて、そこに堆積物がたまっていくというところがあって、これはアクティブに研究が進んでいます。なので、数年後には深刻にちょっと対処を考えなければいけないライバルになってくる可能性があります。

それから、最後になりましたけど、グリーンランド。これはすごいんですよ。グリーンランドというのは氷の塊で、湖はないんですけれども、厚さ3キロにも及ぶ氷がたまっています。氷というのは、雪が降って、それが積み重なって、やがて押し固められて氷になるわけです。なので、湖の底に土が積もって、やがてその泥岩というか、厚い堆積物になるというのと基本的には同じプロセスで、1年ごとの雪がきれいにたまっていきます。

そして、詳細は省きますけれども、夏の雪と冬の雪は若干性質が違います。それから、見かけも若干違います。その性質を利用して、ここからここまでが1年、ここからここまでが次の1年というその縞模様を切り分けていく、あるいは数えるという作業が、雪に対しても行うことができます。

グリーンランドはこの分野の圧倒的なリーダーです。強力な研究グループがデンマークにあります。

して、彼らは縞を8万枚数えています。そして、縞を数えるだけではなく、氷のさまざまな分析をすることによって、過去8万年の気候変動に関する世界標準の地位を、今に至るまで確保し続けています。ただ、今日の後半では、ひょっとするとグリーンランドにも勝っちゃったかもしれないという話をちらっとだけします。



【図9】

縞模様があると、何でそんなにうれしいのかと。ほとんどもう答えは言っちゃったようなものなんですけれども、要するにこのサイエンスカフェの大きなテーマは、気候変動というくくりで合っていますね？

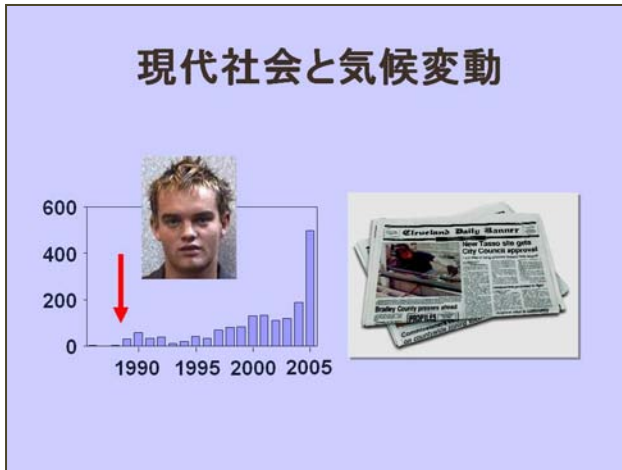
なので、その縞模様があると、結局うれしい理由というのが、精密な気候復元をする、そのための非常に適した材料になるということです。(図9)

なぜ、じゃあ精密な気候復元が必要であり、そしてなぜ精密な気候復元にとって縞々の土が優れている、適しているのかという話を、これからゆっくり噛み砕いてお話ししていこうと思います。

気候変動というのは、地質学の大きな研究テーマとしては昔からあったと思うんですが、幸か不幸か、そのへんの価値観によると思いますけれども、最近気候変動の研究をしていると、どうしてもやはり現代社会に対する意義ということの説明を常に求められるようになってきました。

その理由というのが、明白ですね。地球温暖化が、世界中が無視できない、もうアメリカの共和党すら無視できない問題として、ここ数年クローズアップされてきているからです。気候変動の研究をしているわたしたち研究者は、その要請に対してやはり応えていかなければいけません。

これは、わたしの数年前の卒論生、ニューカッスル大学の、それほど出来がよくなかった学生なんですけれども、卒論のテーマが面白くて、わたしは地理学教室にいるもので、自然地理の純粋科学的な分析をするやつもいれば、人文地理の人間との関わり、社会との関わり卒論を書く人もいます。



【図 10】

彼はどちらかというと、社会とのつながりの方に興味を持って、何をやったかという気候変動、「climate change」という単語を見出しに含む新聞記事の数の推移を、新聞社のデータベースを使って調べたんです。(図 10)

そうすると面白いのが、1988年、実はわたしが大学に入った年なんですけど、当時わたしが気候変動の研究がしたい、環境変動の研究がしたいと言ったら、当時の友人、先生、家族、みんな口をそろえて反対したんですよ。そんなことをやっても、絶対社会の注目を浴びることはないから、一生社会の片隅で縮こまって生きていくことになるからやめなさいと。

わたしが何をしたわけでもないんですけど、その年から気候変動の記事というのがイギリスの新聞に出始めました。2005年ぐらいから爆発的に増えて、今現在これぐらいまでできています。

なので、2つのことがありますね。気候変動が、最近本当に注目を集めているというのが一つ。それから、その注目を集めているというのが実は割と最近の、10年ないし20年のことに過ぎないというのがもう1つのポイントです。ただ、現代的な要請が増えてきていることは事実なので、わたしたちとしても何か発言をしないとイケない、ま

た社会でも大勢の人が発言をしております。



【図 11】

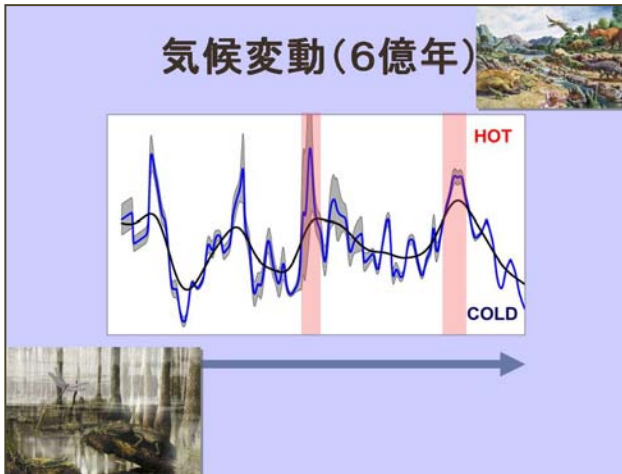
「気候変動」という言葉で、試しにグーグル検索をやってみたのですが、ざっくり400万ヒットありました。(図 11)なので、日本語だけでも400万人の人が、気候変動についてウェブ上で何らかの発言をしています。ちなみに、「前田敦子」をやってみたんですけども、4,000万ヒットぐらいあったので、気候変動がその10分の1ぐらいですから、まあ大体そんなものかなという感じがしますね。

いろんな芸能人で調べてみたんですけど、400万ヒットというと、大体小林幸子とかですね。(笑)和田アキ子とか、そのへんが気候変動と同じぐらいでした。なので、誰も知らないということはないですね。幾らなんでも。それよりは、もうちょっとポピュラーなテーマになっていると思います。

それから、英語でも実は同じことをやってみたんですけど、「climate change」というのを入れると、非常に多くの人が、「stop climate change」、気候変動を止めようというスローガンについてコメントしています。わたし、これいろんなところで言うんですけど、気候変動を止めようと言われると、実は専門家として若干引掛かるものがありまして、結論から言うと、止まりません。

いかに止まんものかということ、ひよっとすると過去のサイエンスカフェの講演、その他でも十分ご存じかもしれませんが、非常に駆け足でおさらいします。(図 12)これはいきなり大きいんですけども、6億年分の気候変動、上が暖かい、下が寒い。ここが現代で、こっちが昔で、矢印の方向に時間が流れていくことを表している

図です。



【図 12】

現代はここなんですけれども、今、温暖化、温暖化といろいろ言ってますが、現代なんかよりもずっと暖かい時代が例えばここにあります。これ、今からざっくり6千万年前ぐらいだと思うんですけども、7千万年前ぐらいかな。地質時代の区分で言うと、恐竜時代になります。おそらく地球の平均気温は40度近かった。そして、北極にも南極にも氷が無かった、ものすごく暖かい時代です。

ただ、わたしは実は昔、恐竜大好き少年で、図鑑をなめるように読んで、プロントザウルスの体長は22メートルとかそういうことを、もう何の興味もない両親に話しかけては嫌がられるという、そういう典型的な子どもだったんですけども。そういう目で見ると当時は、一番かっこいい恐竜がたくさん活躍していた、要するに胸ときめく時代です。

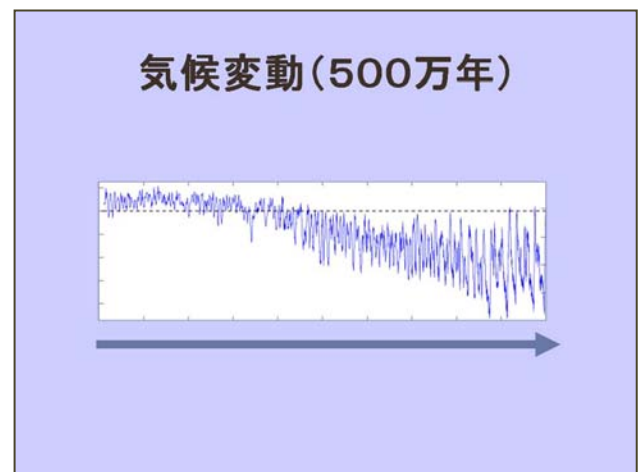
それから、そのもう1つ前、3億年前ぐらいに、やはり非常に暖かい、同じぐらい温度が高かった時代があります。これは地質時代、あるいは大昔の生き物の区分で言うと、石炭紀というところになっていまして、植物が陸に上がって、そして温度が上がって、湿度も上がって、世界中に巨大な森林が繁茂します。その巨大な森林が枯れて水辺に落ちて、幾つかの理由があるんですが、この時代の水に落ちた木材というのは非常によく保存されて、世界中の石炭の今、原料というか、ソースになっている、そういう時代の大森林です。要するに、植物の生産性が非常に高かったんですね。まるで恐竜時代が動物の天国だったように、石炭紀というのは植物の天国でした。

そういう目で見ると、まず2つのことがあります。ずいぶん暖かい時代があったものだと。

それから暖かい時代というのは、生物の長い時間、スケールの歴史にとってみると、いい時代だったということがあります。後半で若干、人間社会のきな臭い話をします。本当は好きじゃないんですけど、しないとしょうがないのでします。温暖化が本当に悪いことかという哲学的な問いかけをして、実は今日の話は終わろうと思っているんです。

あと、もっと逆の、寒い時代も実はあるんですね。このグラフからはみ出しますが、まだ生物が進化の爆発を開始する前のうんと古い時代に、今度は全地球がえらいこと寒くなって、氷で完全に赤道に至るまで閉ざされるみたいな時代もありました。そういう非常に激しい変化を、地球というのは過去もう45億年間、繰り返してきているわけなんです。そういう目で見ると、気候変動を止めようというのは、多分、ずいぶん無理がある話に思えます。

次、時間スケールをどんどん短くしていきます。これ、過去500万年分の気候変動です。(図13) まだずいぶん長いですが、見てみると、また例によってこれが現代ですね。矢印の方向に時間が流れて、ここが現代。ここの500万年だけ見ると、気候は実は大きくは寒冷化に向かっています。



【図 13】

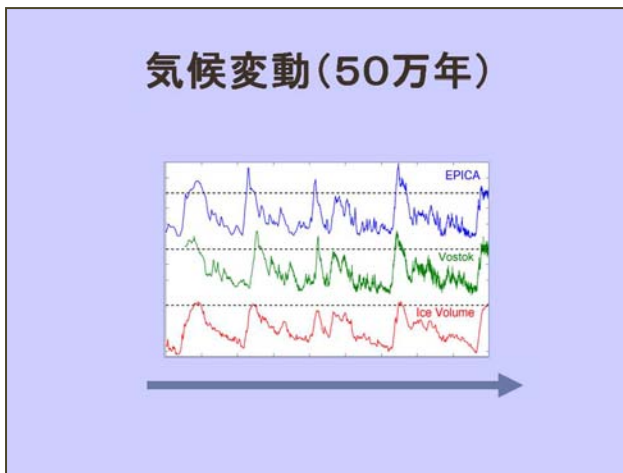
それから、寒冷化に向かうと同時に、ずいぶん変動が大きくなってきています。この変動、暖かい、寒い、暖かい、寒いこの変動というのは、実は氷河期と氷河期の間に来る間氷期といわれる暖かい時代、氷期間氷期サイクルなどという言い



方をしますけれども、繰り返しやってくる氷河期と、その間の時代という、そういう変動です。

今、ちらっと一言だけ、「繰り返しやってくる」という言葉を使いました。皆さん、あるいは私も含めてなんですけれども、学校で最初は氷河期について習ったとき、過去に4回あったと習いませんでしたか？ あの説は、今では完全に否定されています。

当時は、過去の地球上に氷河期があったことまでは分かっていたんです。そうなんです、その氷河期が一体いつあったのかということ、きちんと知る方法がありませんでした。なので様々な方法で、この氷河期とこの氷河期は絶対違うはずだ、いや、これとこれは同じかもしれないという地域間比較を非常に丁寧にやっていって、過去少なくとも4回は違う氷河期があったというふうに、従来言われていたんです。



【図 14】

ところが 1970 年代に、まず海の底の土、それから今度 80 年代以降、南極の氷を使って、過去の地球の暖かい、寒いの変動を分析していった結果、4回なんかじゃ全然ない、もう何十回もの氷河期が繰り返しやってきた。これは過去の 50 万年分を示してますけれども、過去の 50 万年に関しては、実は暖かい時代というのはほぼ 10 万年の間隔を置いて、繰り返しやってきているということが分かってきました。これは比較的新しい知識です。

#### 【図 14】

このことが最初に分かったときに、僕は今でも覚えていますが、世界は結構、どう言ったらいいでしょうね。今、まるで温暖化が大きな話題になっているように、世界は結構自分たちの身に迫っ

た問題としてそれを受け止めて、議論しました。なぜかという、繰り返しやってくるということは、この繰り返しは今後も続くだろうと、やっぱりみんな感じるわけなんです。

過去の暖かかった時代がどれだけ続いたか見ていくと、ざっくり 1 万年続いたということが分かりました。今の暖かい時代、始まってもう 1 万年たっています。なので、明日には次の氷河期が来るということ、みんな言っていたんです。

例えば、宮沢賢治の「グスコーブドリの伝記」ってご存じないでしょうか。あれは火山の噴火を誘発して、大気中で炭酸ガスをはき出して、温暖化を促進することで次の氷河期を食い止めようというヒーローの話ですよ。今は、逆に CO2 排出をいかに防ぐかという話をしています。20 年ずいぶん、人の認識は変わるものだと、やっぱり切実に思います。

ご存じの通り、当時人々が次の氷河期が来ると切実に思ったことには、根拠がありました。その根拠は何だったかという、これは最近の 100 年を示しています。どんどん時間スケールが短くなっています。ここからここまで、わずか 100 年。

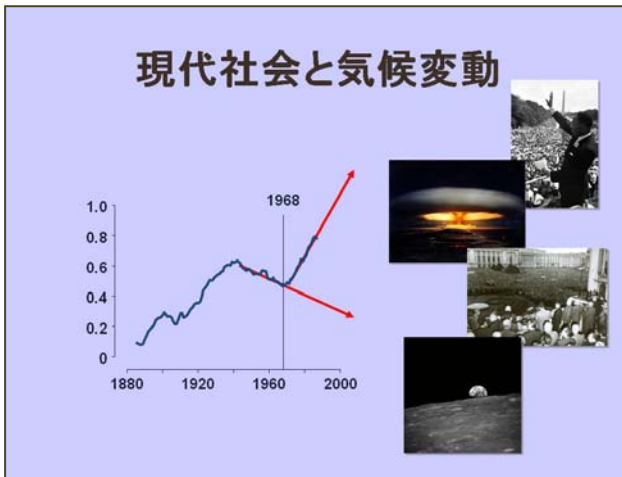
それで、1968 年は何でわざわざ強調したかという、実はわたしが生まれた年だからというものもありますが、気候変動の歴史という点からもちよっと面白い年なんです。一応、1968 年というのがどんな時代だったかという社会的背景の中から、おさらいしておきます。(図 15)

わたしにとって印象深いのは、マーティン・ルーサー・キングの暗殺ですね。当時、まだ公民権運動の真っただ中、アメリカの公民権法が可決されてから 4 年しかたっていません。

それからイギリスでも、人種による例えば雇用に関する差別が違法になった年が、1968 年です。なので、わたし自身、今イギリスの大学で働いてますけれども、もしもう数ヶ月早く生まれていたら、わたしはわたしの同僚たちと、誕生の瞬間において同じ基本的人権を持っていなかったこととなります。

それから、世界がずいぶんいろいろな恐怖におびえていた時代です。フランスが水爆実験に成功して、世界で 5 番目の水爆保有国になりました。5 番目って、意外じゃないですか。米ソはまあいいとして、3 番目がイギリスでした。4 番目が、

実は中国だったんですね。フランスが、5番目の水爆保有国になった国です。



【図 15】

なので、気候変動もちろん大事だけれども、そんなこと以前に、明日頭上に核ミサイルが飛んでくるということを切実に心配していた、そういう時代が、ほんの 40 年前にあったわけです。

それから、プラハの春ですね。今、わたしロシアの研究者と非常に活発に共同研究しているんですけども、ロシア人と何のへだたりもなく共同研究ができるようになったというのが、やっぱり当時の東西が分断されていた時代の記憶と比べると、非常に感慨深いものがあります。

それから、気候変動とも若干絡みますけれども、アポロ 10 号かな。月に着陸はしなかったんですけども、月まで行って、ぐるんと回って、地球に帰ってくることに成功したのが 68 年です。この Earthrise、つまり地球の出と呼ばれる非常に有名な写真を撮り、つまり地球という 1 つの閉じた系ですね。宇宙船という表現をされることもありますが。その地球を客観的な外の視点から見て、感じるということを具体的に、この写真をきっかけに人間はできるようになってきた。そういう年でもあります。

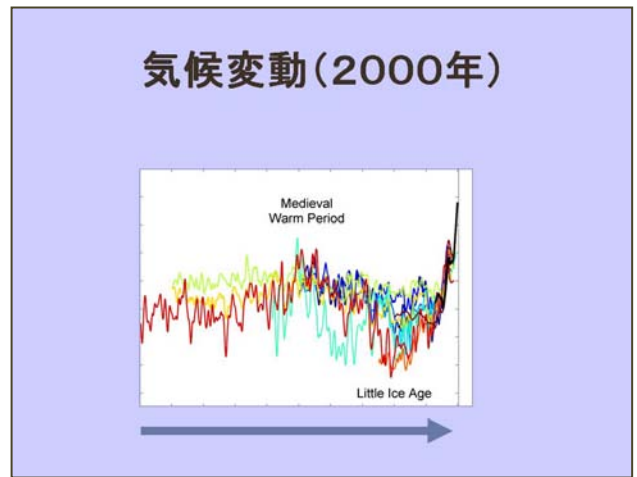
そういう時期に、気候変動のパターンがこういう傾向を示していました。それまでの何十年間か温暖化が続いていたのが、68 年に至る 15 年ぐらいは、ずっと寒冷化が続いていたんですね。こういう時代に氷河期が繰り返しやってくるという新しい知見がもたらされて、これはもう、僕たちは要するに最後の曲がり角を曲がって、これからどんどん氷の世界に突入していくのであるというイ

メージを人々に与えるのに十分でした。

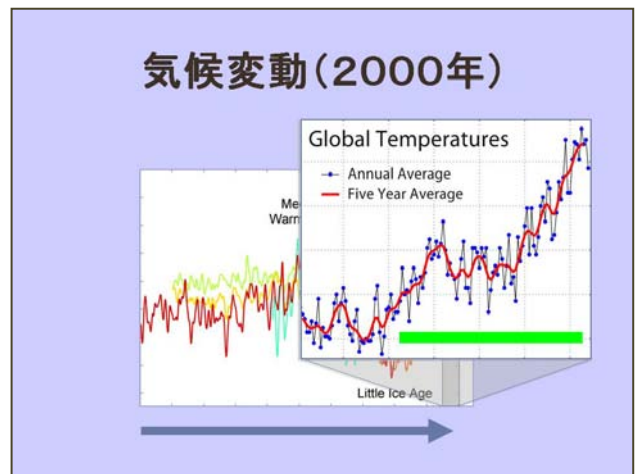
なので、当時、人々が議論していた気候変動というものは、こういうものです。これが当時の将来予測です。ただ、現実の世界で起こったことというのはそんなに単純じゃなくて、これがその後の地球の平均気温の変動です。なので、科学といえども、自信を持って 1 つのことを断言し、そしてそれが正解であるとは限らないのだということが、この 1 枚の絵からでもずいぶん感じていただけるんじゃないかと思います。

話がちょっと長くなってきましたけれども、これで最後です。これが最近の 2000 年の変化で、これが最近人間が引き起こしていると言われる温暖化の証拠であるとされる、急激な温暖化です。

【図 16】



【図 16】

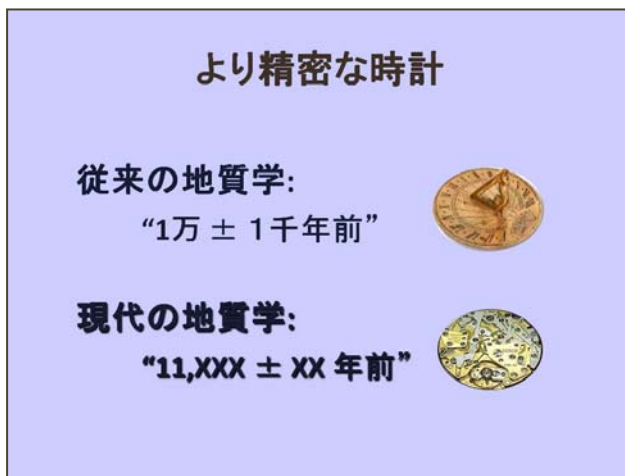


【図 17】

そして、この中をさらに詳しく見て、これが最近の 100 年ですけれども、要するに地質学的な時間スケールの気候変動に比べて、この 20 年とかせいぜい 100 年のスケールの気候変動がなぜ切実な問

題かという、その答えは明らかです。(図 17) 1億年前のことというのは、正直言って知ったことじゃないんですよ。1億年後のことも、今心配しても、あんまりたぶん実りは少ないんですけども、やっぱり10年とか100年という、この緑色の線は何かという、これは日本人の平均寿命です。これだけの時間の中でも、これだけ変動があります。

つまり、人間が自分の身に起きる切実な出来事として考えなければいけない気候変動というのが、最近起きている急激な気候変動です。これは、地質学的な長い時間、スケールで起こる緩やかな気候変動とは、社会的な意義が本質的に違います。そういう問題意識があるときに、つまり、わたしたちが今、受けている要求というのが、気候変動について、やはりこれだけの短い時間、スケールで、何か責任ある発言をしてくれと。そういうプレッシャーを、わたしはイギリス政府からもドイツ政府からも日本政府からも、それなりに強く受けています。



【図 18】

つまり言い方を変えるならば、必要な時計の精度が全然違ってきているんですよ。従来ある出来事、例えば氷河期が終わった、温かくなったというような出来事がいつだったかを議論するとき。それは、例えば1万±千年ぐらいというような表現がもしできれば、それは少なくとも1970年代の地質学にとっては非常に大きな貢献でした。

現在こんな話をしても、誰も全然、何も感心してくれません。プラスマイナス千年、その中に一人人間の歴史がどれだけ入るんだという話です。現在のわたしたちが必要としている時計の精度と

いうのは、こういうものです。例えば、1万±千とかいうことを言うのではなくて、もう本当に細かく、例えば11,XXX±XX年とかいう表現で、過去に起こった出来事を語らないと、あるいはこれから起こるであろう出来事を語らないと、もう人の役には立たない。税金を使うってのを認めてくれないという時代にもなっています。必要な時計の精度が、本当に変わってきているということです。(図 18)

言い方を変えると、わたしはその昔、恐竜の本を読んで、にやにやして喜んでいて、将来地質学者になりたいと思っていたんですが、恐竜とかそういう憧れで語ってればよかった時代から、残念ながらもうちょっと実用的な、ツールとしての地質学が求められる時代に、やはりなってきていると思います。(図 19) 学問ってというのは、本質的にはロマンを追い求めるものだと思うので、なのでこれは不幸な出来事なのかもしれませんが、現実としてはそれをしなければいけなくなっています。わたしはこっちが、ロマンの方が好きなんですけどね。



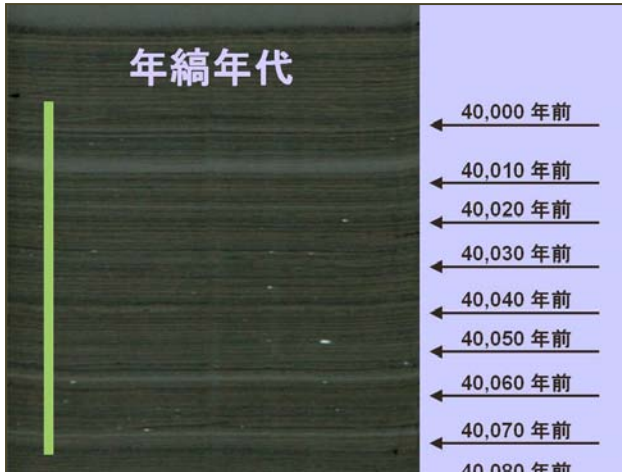
【図 19】

水月湖の土の話によろやく戻ってきます。先ほど、この黒白の縞の1枚1枚が、時間に置き換えるならば1年であるということを申し上げました。こういう堆積物は、先ほどお見せした非常に高い精度の、何千何百何十何年±何十何年というような精度の話をするときに、もうほぼ理想的な、最も適した試料なんです。

それはなぜかという、非常に単純な話ですが、例えばこれが4万年前の土であるならば、そこから黒い縞を10枚下に数えていってください。ここ

に4万飛んで10年前の土がありますよね。そこからさらに10枚下、20枚下、30枚下、40枚下に、4万飛んで20、30、40年前の土があります。

そういう土を実験室に持ってきて、例えばナイフで細かく切り分けることというのは可能です。切り分けたサンプルの1つ1つを分析することができます。作業は膨大ですけれども、論理的には可能です。(図20)



【図20】

そうすると、この緑色の棒は何ですかと聞いても、もうたぶん正解しか返ってこないと思いますが、さっきの気候変動の図でお見せしたのと同じものです。日本人の平均寿命です。この中から、1人の人間が経験したであろう若いころの気候、中年期の気候、亡くなる直前の気候というような、1人の人間が経験できる時間スケールでの気候復元が、ようやくできるようになってきたんです。水月湖は、それをするのに非常に適した試料であり、比肩しうる、わたしたちがライバルと考える研究箇所というのは世界中に、先ほどお見せした数地点しかありません。

原理は本当に簡単なんです。縞々の土がある。それを取ってくる。数える。切り分ける。分析する。それだけのことなんです。現実にはやろうとすると、やはりいろいろな困難があるんですね。

実は、水月湖の最初の学術ボーリング、湖底の土を取ってくる努力というのは、わたし自身ではなくて、わたしの当時の指導教官であった安田喜憲先生という方が1993年に掘削をされて、取られた土が最初です。残念ながら、その掘削を行ったときには、水月湖の湖底にこんな特別なものがあるとは知らなかったんです。知らずに掘っちゃ

ったもので、表現はよくないですがちょっと不用意な、普通の基準で言ったら全然問題ないんだけど、こういう土に対しては丁寧さの足りない掘り方をしました。

簡単に言いますと、堆積物が本当に連続じゃなかったんです。ところどころ取れていない、飛びがあったんです。なので、水月湖という非常に特別な、貴重な学術試料、ポテンシャルを生かし切れてなかったの、その後の問題を克服するために、2006年にイギリス政府から、当時のレートで約1千万円のお金をもらいまして、学術掘削を行いました。(図21)

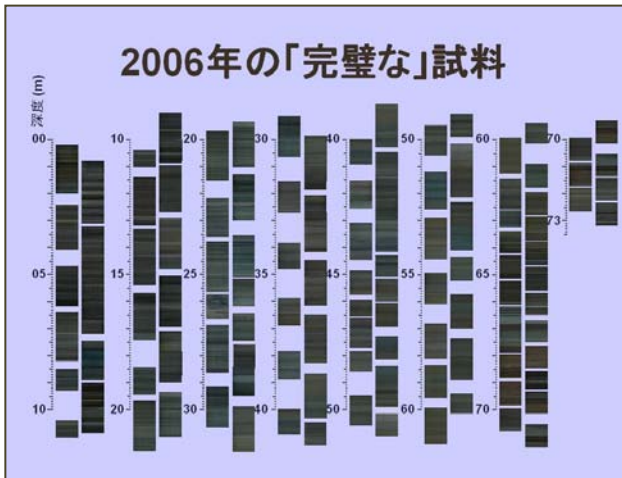


【図21】

1本目のコアが連続性が低かったという話をしました。93年のコアは駄目だったんです。2006年のコアも、1本目は駄目でした。分かっていたんです。そうなんだけど、今度は何が問題か、あらかじめ分かっていたので、2本目の穴を掘りました。1本目の穴と2本目の穴を重ね合わせることによって、これだけの連続試料を取ることに成功して。この時点で、すでにもう20日ぐらいの労働の後だと思うんですけど。

それから、まだ飛びがあるので、しぶとく3本目を掘りまして、これをまた1本目、2本目と重ね合わせることで、こういう堆積物の試料にしました。まだ叩きつぶしきれないギャップがあったので、ボーリング屋さん頼み込んで、4本目まで掘っていただきました。予算なかったんですけど、そのころには何とか友情が芽生えていました。ボーリング屋さんも、「これは残しては帰れない」と言って掘ってくださいまして、4本目がこれです。

本当に途中に1ミリの抜けもない、100パーセント連続した土、時間になると16万年分あります。それを40日の努力で掘ることに成功しました。4本掘っちゃったので、1千万円の予算のうち、1千万円ぐらい消えました。(図22)



【図22】

最初に、イギリス政府に予算くださいの書類を書いたときには、5百万円で穴掘りをして、残った5百万円で分析をしますという話をしていたんです。できないのは分かっていたんです。8百万円ぐらいは覚悟していましたが、1千万ということは思っていなくて。イギリスに帰って、「すみません、一文無しになっちゃいました。素晴らしい土が取れた、世界の土だけど、何もできません」。もう1枚書類を書いて、もう1億円くださいと言って。書いたらくれまして。まだ着任してわずか3年目のペーパーのレクチャー者だったんですが、当時イギリスはバブルだったという背景もあってなかなか太っ腹で、くれました。そのお金でもって、2006年に取った土を分析をするということを、現在に至るまで続けています。

SG06 って変な単語ですけども、「水月 2006年コア」のことです。これから、時々ひよっとすると報道などで、皆さんの目に留まることがあるといいななどと思っています。SG06 というのが、わたしたちの業界ではおそらくほとんど知らない人がいない、先ほどの完全な連続コアの名前です。あのサンプルの名前が、SG06。(図23)

そのサンプルの目録を持って、わたしは当時この分野で仕事をするのであれば、共同研究をやってもらいたいと思っていた、いろいろな分析の分野のエキスパートのところを訪ねて回りました。



【図23】

イギリスとドイツとアメリカと日本の研究機関、全部で7カ所かな。手弁当で、もう予算も無かったですから、学部長に泣きついて旅費を出してもらって。

当時、わたしは無名でしたし、それから水月も無名を通り越して、悪い意味で有名でした。93年コアの仕事というのは、やはりコアがよくなかったために中途半端に終わってしまいました。あの湖はいいのかもしれないけれども扱いが難しいというわさが、むしろ流れていた。そういうところで、「今度のコアは違う。わたしはやる」と言って1人1人口説き落としていって、作った分析のグループがこのグループです。(図24)



【図24】

ざっくり20人強のグループで、イギリスのオックスフォード大学、グラスゴー大学、ウェールズ大学、それからドイツのポツダム地質学研究所、日本の大阪市立大学、鳴門教育大学、東京大学、京都大学、それからベルリン自由大学のスタッフか

らなる共同研究チームです。当時面識があった人も、なかった人も混じっています。やっぱり研究するのであれば、これだけの時間を投入するのであれば、93年が十分な成功ではなかったので、今回、また悔いを残すと、10年後にもう一遍、予算くださいの書類を書かないといけなくなってしまう。もう1回くれるとはとても思えませんから、再びやり直さなくていい仕事ができるであろう面々というのを選んで、1人1人口説き落としていきました。人選は間違っていなかったと、今でも思っています。

SG06、そのコアを使ってわたしたちがやっているのは、気候変動の復元です。気候変動の復元というのは、つまり昔、地球の気候がどう変わっていったかを知ることによって、今後何が起ころうか、あるいは起ころう可能性があるかの参考にしたいというモチベーションが1つ。

それから、現在わたしたちが未来予測に使っているコンピューター。スーパーコンピューター上で地球の気候を再現して、これから何が起ころうかの計算をさせるという研究のスタイルがありますが、スーパーコンピューターがはじき出してくるその未来予測が信頼に足るものであるかどうかを、過去の気候変動を再現させてみることによってチェックするという流儀があります。そのために必要な、比較対象としての過去の気候変動の復元、その2つの目的で、こういう仕事をしています。

## SG06の二つのテーマ

「いつ、何が起こったのか」

【図 25】

気候変動の復元をするときに知りたいことというのは、本質的には2つだけです。それは、要するにいつ、何が起こったのかという、この2つだけのことが知りたいわけです。(図 25)

水月湖の研究、SG06の研究に対して、イギリスは1億円くれました。それから、ドイツも2億円ほどくれたんです。何でその各国政府がそれだけの投資をし、サポートしてくれるかという、水月湖の土というものが、この2つの質問をそれぞれいつという質問、それから何かという質問の両方に対して、世界でも最高水準の答えを与える資料であるからです。その話をこれからします。

「いつ」についての話は、もうだいぶしてしまいましたね。要するに、数えるんです。数えると、しかし簡単に言いますが、冒頭で縞模様、あれお見せしましたよね。学生にあのスライドを日々、1枚ずつ100日にわたって見せ続けて、その学生は逃げないかという話ですよ。逃げますよ。わたしだったら逃げます。



【図 26】

これ、わたしの知人が病気の友人のために作った千羽鶴の写真なんですけども、折るのも大変なんですけど、きっちり千羽折るのも結構大変なこと、これでいいはずだと言って数えたら、999 だったりね。もう1回数えたら、1,001 だったりするかもしれないわけですよ。千ですら、そんなんですよ。7万だったらじゃあどうかという話が、やはり数えることによって年代を決定するということの難しさの本質になってくると思います。

(図 26)

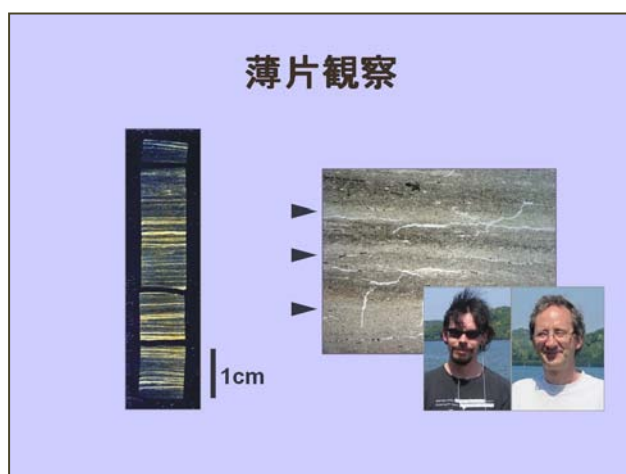
数えて自信がないときは、例えば千羽鶴だったらどうでしょうね。繰り返し数えるとか、あるいは家族に手伝ってもらうとか、いろいろな解決があると思うんですよ。わたしたちも基本的には似たようなことを考えて、少なくとも全部2回数えました。多いところは、4回数えています。

それから、数えるという全く同じテーマに関して、2つの研究機関も巻き込みました。イギリスのウェールズ大学と、ドイツのポツダム地質学研究所の2つの研究室が、数えるという全く同じ作業をしてくれました。

ポツダムは、軟らかい水月湖の土を樹脂で固めてカチカチにして、カチカチにしたものを薄くそぎ切りにして、顕微鏡観察するというをやってくれたんです。何しろ、これ10センチ弱の試料ですけど、この中に100枚しかないですからね。1回数えるだけで、これ700個作らないといけませんよね。それを2回数えようと思ったら1,400個で、多いところは4回数えたりもしますから、顕微鏡で朝から晩まで泣きそうになりながらとか、時にはたぶん本当に泣きながら、ドイツ人のゴードン君という極めて優秀な学生が、彼の人生の4年半を費やして、今まで働いてくれて、まだ終わっていません。(図27)

取りあえず学位を取らないといけないので、今、その論文書きに専念してもらって、秋にたぶんそれが終わるはずなので、またもう半年ほど働いてもらおうと、7万枚の縞数えが一応終わる予定であるということになっています。

それから、これは彼の指導教官のアヒム・ブラウアーという、先ほどドイツの噴火口の湖にたまっている縞々の堆積物があるという話をしました、その研究をずっとやってきた人です。縞数えについては、当時最先端の技術を持ってましたので、話しかけて、手伝ってくれと言って手伝ってもらいました。本当に、非常にいい仕事をしてくれたと思います。



【図27】

会場：すみません。数えるというのは、何を数えるんですか。

中川さん：こちらに見えているのが、これ顕微鏡写真なんですよ。その中で白い層があり、黒い層があり、白い層があり、黒い層がありますよね。これが、ここからここまでが1年です。で、ここからここまでがまた1年です。なので、ゴードン君は顕微鏡下で1枚、2枚、3枚という風に年数を数えています。

会場：そこの層のパターンの中の、ここが1万年前だよというのを確定させる作業を、数えるというんでしょうか。

中川さん：原則としては、そうですね。つまり数えていくことによって、一番上から何メートルの深さまでに何枚あるかということ記録していくわけです。一番上から、例えば1万枚目のところは1万年前であるし、2万枚目のところは2万年前であるという作業をやっています。

会場：コアを16万年分採取されたということですが、それは四季がある、福井は四季があるのかもしれないですけど、16万年も前から気候変動があって、四季がない時代もあるし、氷河期もあっただろうし、縞模様が出ないときもあったんじゃないでしょうか。

中川さん：出ないときは、実はちょっとあります。それから、安定してるとはいえ、時々乱されたりも、地震があつたりとかですね。あるいは、いろんな理由でそういうことがあるんですけども。季節は、やはりずっとあつたと思います。16万年前から現在まで、ずっとあつたと思います。氷河期であっても、それはありました。わたしの推定によれば、たぶん季節変化は今より若干、むしろ大きかった可能性すらあります。

それから、16万年と言いつつ、タイトルには7万年と書いてあります。それはなぜかということ、実はこの湖、地殻変動でだんだん深くなっています。ある程度以上深くないと、湖面に起こった波が湖底に届いちゃって、縞模様が保存されないんですね。縞模様が保存されて、十分な深さまでに

なったのが約7万年前で、それから現在までは、基本的には縞模様ができています。

それから、おっしゃる通りで、時々無いところがあるんですよ。ゴードン君は実は、今日はその話はしないつもりだったんですけども、単純に1年、1年、1年と見ていくだけではなくて、もうちょっと精密に、例えばこのへんは等間隔で1年ずつたまってますけれども、そのときにやたら分厚い層があったとしますよね。実は1年の縞の厚さというのは、そんなに変わらないんです。そんなに変わらないということが分かっている、やたら分厚い縞があるということは、その縞は実は1年じゃなくて2年分である可能性があります。

ゴードン君はコンピューターと数学が強いもので、そういう欠けた縞を自動的に、統計的に検出して補完する理論を作ってソフトウェアを書いて、数えるだけじゃなくて、数えたんだけども検出しきれない年みたいなものまで、全部拾ってきています。

会場：4本掘られているということだったんですが、こういう抜けている、そこが抜けているというのはどうやって分かったのかなというのが、ちょっと不思議な気がしたんですけど。

中川さん：そうですね。おっしゃる通りです。

会場：すみません、話を戻さないといけません。

中川さん：いえいえいえ。実は抜けているということは、最初に掘った時点ではあまりよく分かりません。例えばこの辺で、今5メートルから6メートルまで土を取ってきたと。その次、今度6.5メートルから8メートルまで掘れたと。そうすると、ここが約6メートルで、ここが約6.5だから、その間には抜けがあるはずであるという推定はできます。

推定に基づいて、次、2本目を掘ります。そうすると、今度はここに縞模様がありますよね。その縞模様のパターンが、隣の穴の縞模様のパターンと合うんですね。

会場：連続のパターンがあるんですね。

中川さん：そうですね。絵合わせで、こうだぶっているなど。その次は、今度はこうだぶっているなど絵合わせをすることで、やっぱり飛んでいたんだということが、後から確認できるんです。

会場：顕微鏡で先ほどのようなかなり大変な作業をしても、初めはディテールが分かっていないですよ。だけど掘った途端に、ここここが重なるはずだなんてことは、どうやって決められるんですか。

中川さん：この写真を見ていただくと、これ背景が水月湖の土なんですけど、1枚1枚縞と言いながら、たまに珍しいものがある。

これ、例えば火山灰なんですよ。それから、これもおそらく洪水だと思ってしまうんですが、水月湖ぐらいいまで来ると、わずかの土がちょっと流れ込んできて、すーっとたまるみたいな。これ、時々起こる変なことがあります。こういうのはもう目立つ縞として見えるわけですね。その目立つ縞を使って、絵合わせをしたんです。

会場：津波は見えますか。

中川さん：津波は探しました。なかったです。

会場：ないですか。

中川さん：ないです。結論として、若狭湾岸上に水月湖まで届くような津波というのは、過去発生していないと思います。

会場：水月湖は、海拔何メートルですか。

中川さん：海拔0メートルです。そして、岸からの距離が4.8キロです。なので、福島第一原発あたりの平野で、この間の津波が遡上した距離よりは短いです。

それから水月湖の他の湖、もっと海に近いところでも、実は同様の研究がとられています。研究のスポンサーが関西電力だったもので、世の中はあまり信じてくれませんでした。でも、わたしは実際に研究を行った人を知っています。



それから、その研究を行った人は、SG06 のわたしたちのスタイルを参考にして、踏襲してくれています。20 年来の知り合いなので、うそは絶対ありません。無いが正解です。

会場：土手ってないんですか。

中川さん：無いです。

会場：要するに 4.8 キロの間に、山は無いんですか。

中川さん：微高地がありますね。ちょっと高いところがあるんですけども、それは最近 300 年ぐらいで隆起したところだということが分かっています、それ以前はせいぜい 5 メーターぐらいの微高地でしかないと思います。あの規模の津波だったら、間違いなく越えます。

なので、今、若狭湾岸で、例えば福井県の原発が、福島第一原発を襲ったような津波に対して備えをしていない、不備であるというバッシングが行われていますけれども、わたしはあれはマスコミによるリンチだと思っています。

会場：7 万年間は無かっただけの話ですよ。

中川さん：ごめんなさい。過去 850 年間は無かっただけの話です。それ以前のことは、現在調査中です。

会場：2 ページ目に縞模様の具体的な絵がありますよね。これを見ることによって、その年が温暖化した年なのか、寒冷化した年なのか分かるっていう、そういうことなんですよ。

中川さん：どういう方向で暖かかったか、寒かったかが分かるかという話は、後半で出てきますので、もうたぶん 15 分ほどお待ちいただいたら大丈夫だと思います。

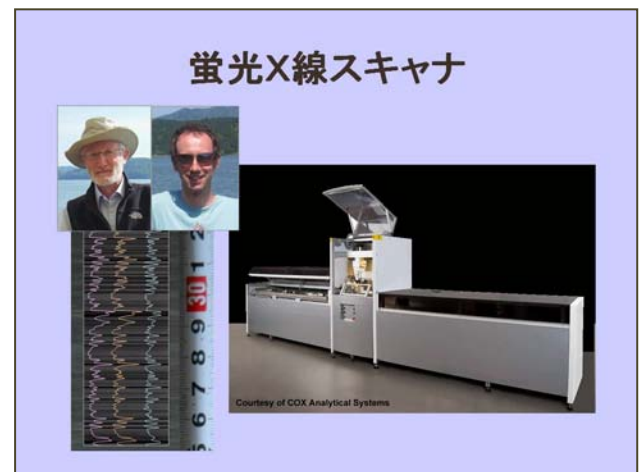
よろしいでしょうか？

それから、1 つの方法で数えたんではやっぱり不安が残るということを、先ほど申し上げました。もう 1 つの方法でも数えています。それは、イギ

リスのウェールズ大学というところに、蛍光 X 線スキャナーという機械があります。類似の装置はいっぱいありますが、わたしがいる、今日ちょっと端折りますけどある理由でわたしが惚れこんだスウェーデン製の機械が、これじゃなきゃ絶対に駄目という機械があります。この機械は、少なくとも当時は世界に 9 台しかありませんでした。1 台 1 億円の装置です。(図 28)

イギリスに、当時 2 台あったんですね。1 台は、サザンプトンの海洋研究所にあって、これはもう海洋研究所の持ち物ですので、海の土にしか使えないということがもう決まっていて、アクセスできなかったんです。

ウェールズ大学が、ちょうどわたしがこの仕事を始めた前の年にもう 1 台買ったんです。彼らとしても、目立つ成果が欲しかったということもおそらくあったと思いますが、この機械 1 日借り上げると 250 ポンド、当時のレートで約 4 万円から 5 万円かかったんですけども、それを約 7 カ月、毎日借り上げてましてね。朝から晩まで走らせ続けました。



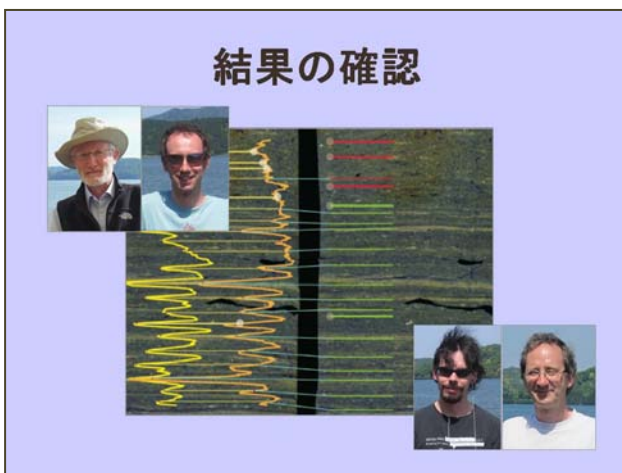
【図 28】

何をやったかという、この X 線スキャナーというのは堆積物、土に X 線の細いビームを当てるんです。X 線のビームを当てるとある種の X 線が、土から今度自分の方に跳ね返ってくるという現象があります。その跳ね返ってきた X 線のある種の色、それから強さを測ることによって、この土に含まれている元素の組成が分かります。この装置は、100 ミクロンのピンポイントでその組成を測ってきます。

わたしたちは、この土 70 メーター分を、60 ミクロン刻みで全部分析しました。70 メーターの土

を 60 ミクロン刻みで分析すると、データポイントの数だけで 100 万点を越えます。テキストフォーマットで出力したとしても、エクセルですら読めません。なので、ここにカーブを書いて、データを読み込んで、どこに縞があるかを認定して、そのマークをつけていくというソフトを書くところから、わたしは始めました。

7 カ月間借り上げて、さらに非常に優秀なポスドクのマイケル君という学生を 4 年間雇用して、彼も朝から晩まで働いて、時々泣きそうになったり、泣いたりしながら、7 万枚のびよこびよこを数えてくれたわけです。これは、もう完了しています。



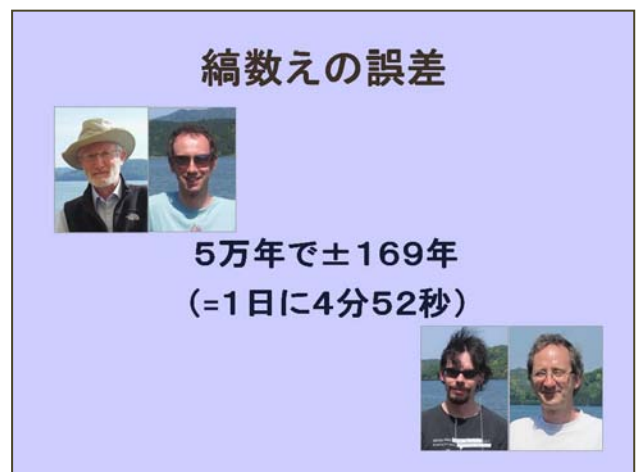
【図 29】

さらに、もう 1 つ悩ましいのは、ゴードン君はゴードン数えをして、マイケル君はマイケル数えをして、その結果が常に合うとは限らないという問題があります。今、幸いインターネットの時代ですので、ゴードン君のオフィスとマイケル君のオフィスはスカイプのホットラインで結ばれています。マイケル君が、例えばここに僕は縞が 1 枚あると思うんだけど、いまいち自信がないと。顕微鏡ではどう見えるというところを、すぐに電話するわけですね。1 日平均 4.8 回、電話し合ったそうです。(図 29) そうは言いながら、マイケル君はちゃんとフィアンセと結婚したので大丈夫だったみたいなんですけれども。

ともかく、お互いに同じものを見ているかどうかの確認を常にしながら、7 万枚の縞数えを二人がやって、今、もうほとんど終わっています。もうすぐ終わります。

そのように数えた結果、どういう一体年代軸が手に入ったかということ、ちょっと今日、実は端折

っている話もあります。数えるだけというのは、実は誤差が大きいんです。しかも数え落としとか、数え過ぎが、だんだんたまっていきます。それを放射性炭素年代測定、それからウラン・トリウム年代測定というある、今日ちょっと時間がないので省略させていただく方法で、補正を加えながら、たまっていた誤差を時々キャンセルしながら、最終的に 5 万年前までさかのぼっても、約 170 年分の誤差しかないという。もう地質学の常識では考えられない精度の時間コントロールを本当に手に入れました。(図 30)



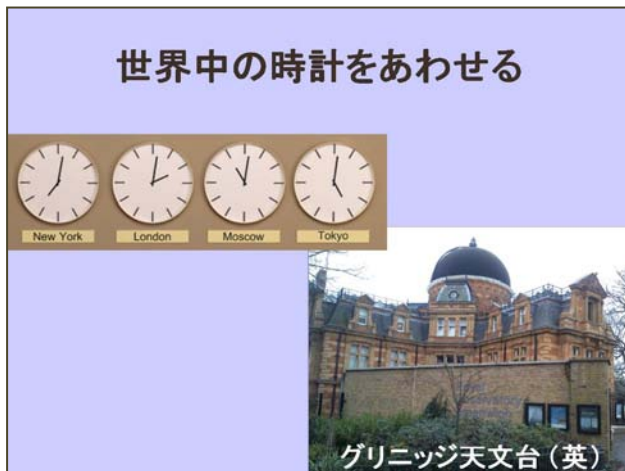
【図 30】

実感として持っていただくために、5 万年前に対して 170 年というのはどういう誤差かということ、1 日に直すと 5 分弱です。なので、クォーツまではいきませんが、ボンボン時計ぐらいの精度を、現代の生活スタイルを決めることに使うのではなく、地質学の議論をするために使えるという非常に贅沢な、特権的なシチュエーションを、わたしたちの研究グループはついに手に入れました。

ちょっと余談なんですけれども、先ほど若干ご紹介いただいた、世界標準になったという自慢話をちょっとだけ挿入させてください。やっぱり 5 万年、ボンボン時計の精度で扱えるというのは非常にいいことで、もうこの土を分析すれば、いつどんな気候変動があったかということ、わたしたち自身は即座に知ることができる。これは特権です。

なんです、逆に言うと、わたしたちしか知ることができない。例えば、水月湖で起こった変動があり、それとは別のドイツで起こった変動、中国で起こった変動、グリーンランドで起こった変動を比べたいときに、同じ時計の精度を他の人に

も持ってほしいと思うんですね。ぜひ持ってください、お分けしますということをやったんです。サイドビジネスなんですけれども、やりました。



【図 31】

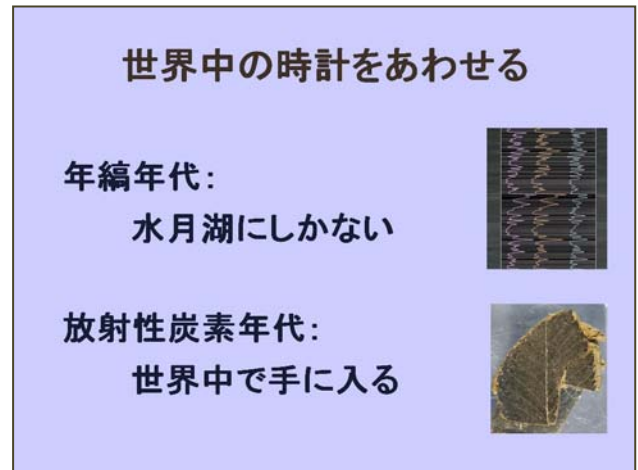
例えば、世界標準時ってありますよね。旅行して、東京からモスクワに飛んだときに、くるくると時計を合わせれば済む。そんなに悩まなくてもいいですね。そんなに悩まなくてもすぐに合わせることができます。なぜかという、グリニッジ標準時という絶対的な標準スケールに対して、それとの相対的なずれという形で、世界中の時間が定義されているからです。(図 31)

つまり、標準時間を持つということの利便性というのはそれです。お互いのコミュニケーション、お互いの比較が、何の問題もなくできるようになる。同様のことを、地質学に対してもやりたいわけです。

そうすると、先ほども言いましたけれども、マイケル君とゴードン君が縞々を数えて作った時間の目盛りというのは、水月湖にしかないから不便なんです。これを世界で共有できるために何をやったかという、放射性炭素年代測定ってお聞きになったことないですかね。過去の有機物に含まれているある種の放射能を測定することで、絶対年代を決定するという技術があります。考古学なんかで、非常によく使われます。(図 32)

これを水月湖に対してやってみたんですね。普通は、これは年代を決めるためにやるんです。水月湖では、年代は縞々で決まっています。なので、これを何のためにしたかという、年代は縞々数えで作るとして、その作った年代を世界中ですり合わせるための道具として、放射性炭素年代測定を

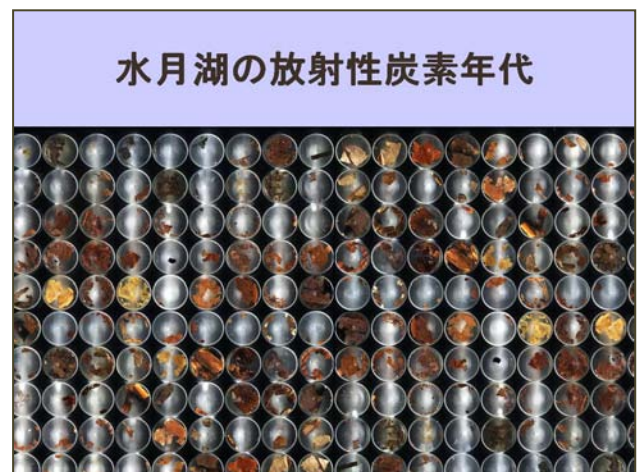
やりました。



【図 32】

もうちょっと詳しく説明します。水月湖の土の中には、土だけじゃなくて植物の葉っぱがいっぱい落ちているんですね。水月湖の周りには、たとえ氷河期であっても森がありました。これはヨーロッパと比べたときに、大きな強みなんです。ヨーロッパは氷河期がありますから、氷河期の湖の周りには氷があるんですね。あるいは氷が無かったとしても、草原ぐらいしかないんですよ。

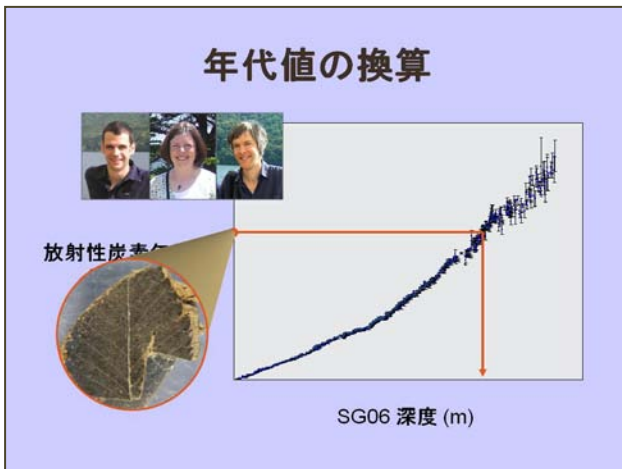
水月には、林があるんです。その林は、落葉樹の林です。落葉樹の林が葉っぱを落として、落ちた葉っぱが湖底の土の中に保存されます。その葉っぱを引っこ抜いてきて、土の中から掘り起こして、放射性炭素年代を測ることができます。(図 33)



【図 33】

リチャード君という非常に優秀なオックスフォード大学の学生が、千枚を超える葉っぱをこの土の中からほじくり出してきて、そのうち約 650 枚について、他は小さすぎてできなかったんですけ

れども、この写真がリチャード君ですね。それから、指導教官のクリストファーとシャルロット。彼らが、やはり3年半の時間をかけて、全部放射性炭素年代を測りました。(図34) その結果がこれです。



【図34】

SG06のコアの何メートルから取れた葉っぱは、放射性炭素年代が何万何千何百何十年前であるという関係性が、びたっと分かっています。もう徹底的に分かっています。

そうすると、世界のどこかで何か葉っぱを見つけてきたとしますよね。何でもいいんですよ、どこでもいいんです。世界のどこかで見つけてきた葉っぱの放射性炭素年代を測ると、例えば3万年前ぐらいの年代が出るとしますよね。3万年という年代を、わたしたちは信じません。放射性炭素年代には問題があるということは、みんな知っています。

わたしたちはSG06の、ゴードン君とマイケル君の数えた縞の枚数を信じます。そうすると、この放射性炭素が3万年と言っている葉っぱは、水月で言うと例えば29メートルのところにある葉っぱと同じ年代だということが分かるんです。そうすると、29メートルが一体何枚目の縞であるかということをおわたしたちは知っていますので、水月の縞々の枚数を、世界のどこからでもいいから取れてきたこの葉っぱに対して与えることができます。つまり、水月時計が全世界で共有できることになります。

これは、実はコンラッド・ヒューエン、ウッズホール海洋研究所のわたしのライバルのアメリカ人が、1990年代の後半に行って、全世界を席巻してヒーローになった、そういう仕事でした。

コンラッドのデータセットも素晴らしい。だけど、コンラッドはベネズエラの海の土を使いました。海の土は、実は海水中に溶けている炭酸ガスを含んでしまっているために、大気の年代に対して同じ値を示さないという問題があります。それにある仮説に基づいた補正を加えることで、同じような仕事をしたのがコンラッド・ヒューエンでした。

わたしたちは陸上の木の葉っぱを使っていますので、海と陸の差に関する誤差を考慮する必要がありません。わたしたちの放射性炭素年代というのは、本当に大気の放射性炭素年代です。なので、仮説を含まない直接の放射性炭素年代と縞々年代の換算が、歴史上初めて、わたしたちの仕事によってできるようになっています。

会場：すみません。今まであった海を基準にした放射性炭素年代と、先生が今回やられたものとの、どの程度誤差があったんでしょうか。

中川さん：ざっくり400年ぐらいです。400年というのは現代が要請する、つまり人間の寿命程度の時間の話が知りたいという要請からすると、やはり巨大な誤差であると言わざるをえません。陸上で誤差が無くなったということが1つ。

それから、もう1つ実は面白いのが、これも余談ですけども、陸上の年代と海の年代が、放射性炭素で見るとどれぐらいずれているかということをもとに、実は海水の循環のパターンが分かります。大きくずれる時代は、海水がじゃんじゃん混ざっている時代です。陸上と海が似たような値を示す時代というのは、海水があんまり混ざっていない時代なんですね。

そういったことがありまして、この水月時計、それから水月の時計を世界の他の場所で使うための道具としての放射性炭素のデータセット、これを全世界で共有したら便利なんじゃないかという話し合いを、International Radiocarbon Conference、つまり世界放射性炭素会議という所で行いました。その会議の総会が、2012年7月13日にパリのユネスコ本部で開催されまして、わたしたちはオックスフォード大学のクリストファー・ブロンク・ラムジーという、わたしたちの研究グループのこの部門の責任者を派遣して、講演

を行ってもらいました。



【図 35】

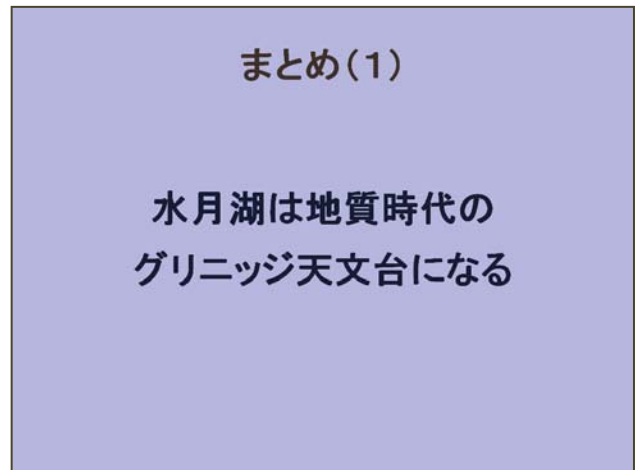
その結果、次のバージョンの世界標準時、地質学的な時間スケールの世界標準時は、水月湖のデータを大幅に採用していこうということが正式に決定されました。(図 35)

なので、ちょっと象徴的なセンセーショナルな言い方をすれば、生活時間の基準がグリニッジ天文台であるとするならば、過去5万2千8百年ぐらいですね、地質学的な時間スケールの標準時は、水月湖によって定義されているという時代が、来年からきます。(図 36) たぶん10年や20年は続くと思います。もういやらしいことを繰り返してますね。ちょっとはしゃぎすぎなので、端折ります。



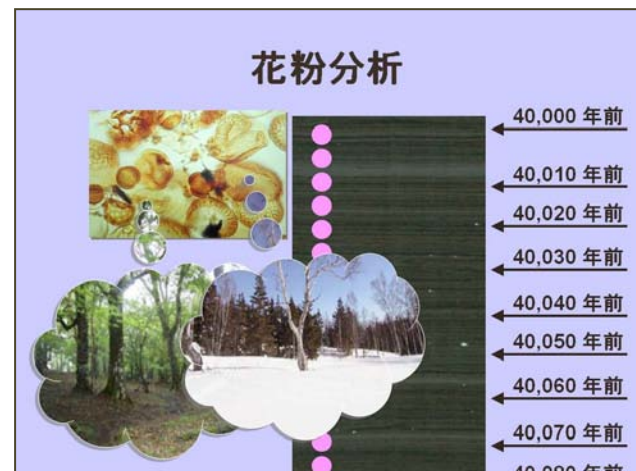
【図 36】

以上が、水月湖がもたらす2つのいいこと、「いつ」が分かる、それから「何が」分かるのうちの、いつの話です。(図 37)



【図 37】

次、2つ目の、今度は何が起こったかをどうやって知るんだという話をします。ここから先は、マイケル君でもゴードン君でもリチャード君でもなくて、実はわたし自身の研究です。花粉分析というのがわたしの専門なんですが、実は綿数えとか放射性炭素とかあんまり好きじゃないんです。(笑) (図 38)



【図 38】

こういう土がありますね。先ほど、これが4万だとすれば、これあと4万飛んで10、20、30、ずっとって80であるという話をしました。この中の例えばある1カ所から、小さな土の塊を取ってきて、研究室で分析します。そうすると、処理の方法にもよるんですが、上手にやると、この土に含まれている花粉の化石というのが取れてくるんです。

何かというと、スギ花粉症の方いらっしゃいますか？ はい、ですよね。結構いらっしゃいますよね。何でスギ花粉症がしんどいかというと、春先に空気中にスギ花粉が大量に飛ぶわけですよね。1立方メートルの空気の中に、何百万と飛ぶわけ

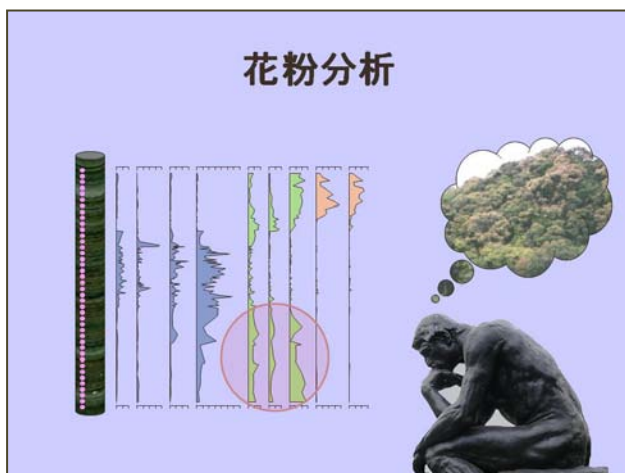
ですよ。それだけ大量に飛んだ花粉というのは、やがて地面に落ちて、水に洗い流されて、湖に運ばれて、湖の底で堆積物に保存されて、化石になります。

そういう化石になった花粉を取り出してきて、顕微鏡で観察するんですね。そうすると、スギだけじゃなくいろいろな花粉が、実はあるんですよ。スギは相対的に確かに多いんですが、他にも結構いろいろなやつがいるんです。

そのいろいろなやつが、幸い違う形をしています。例えば、こういう形のやつは、これも経験的にとかカタログを見る、あるいは自分で実際、現在の木を観察すると、これはブナだとか、こういうやつはモミだとか、トレーニングを受けた人が見ると分かるんですね。

そういう分析をすることで、この時代、当時水月湖の周りにどんな森が生えていたかが分かります。ご存じの通り、森の種類は変わります。北海道に行けば、クリスマスツリーがいっぱい生えているし、沖縄に行ったら、マングローブがいっぱい生えています。なので、どんな木が生えているかという情報をもとに、過去の気候を推定することができるんですね。

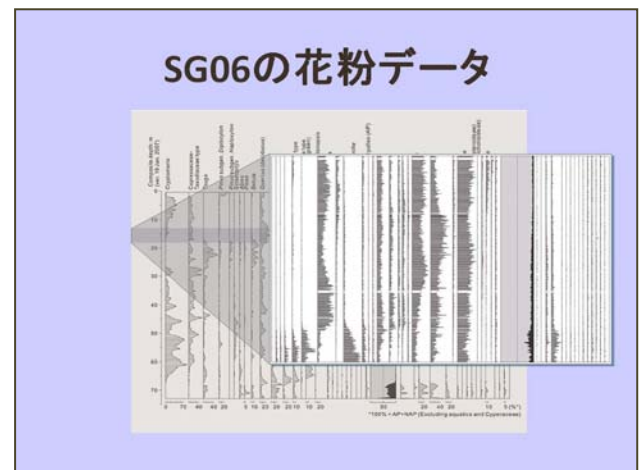
1カ所だけじゃなく順番に、例えば1センチ刻みで実際わたしがやったわけですけども、これを切ってきて、この全てについてやはり朝から晩まで泣きそうになりながら、時には本当に泣きながら顕微鏡観察をすると、時代によって、例えばこの時代であればこの花粉が多い、この時代はまた別の花粉が多い、この事態はまた別の花粉がいてと、こういうグラフが描けてきます。



【図 39】

このグラフをじっと見て、考える人になるわけですね。(図 39) そうするとこの時代、大して難しいことは考えてません。落葉広葉樹が多ければ、雑木林が生えるような気候だったんだろうと。それから、この時代クリスマスツリーがいっぱい生えていれば、北海道みたいな気候だっただろう。この辺は日本のシイの木がいっぱい生えてるから、暖かったみたいな、こういう傾向というものをざっくりつかむことができます。非常に単純です。

それから、あまり単純なことばかりやっていると時代により遅れるので、今日はもう方法論の話はしませんけれども、日本中の今現在の花粉のデータベースというのがありまして、それと化石のデータを比べることによって、日本の、当時は大体今の北海道ぐらいの気温とか、九州ぐらいの気温とか、似てる場所を探してくるという手法があります。それをすることによって、年平均気温で具体的に何度ぐらいの変動したという、こういう復元ができるわけです。アイディアそのものは比較的古いんですが、従来は計算が膨大すぎてなかなか用いることが難しかった。ただ過去 10 年ないし 15 年、コンピューターが進歩したことによって、普通のわたしたちの実験室のパソコンでもこういう復元ができるようになってきました。その手法を使って、水月湖で一体何が過去起こったのかということ調べてきています。

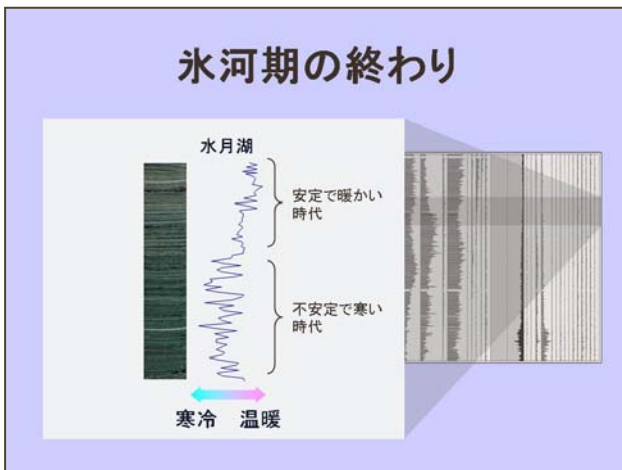


【図 40】

これは SG06 の全長、16 万年分です。(図 40) その中で、やっぱり特に温暖化のことが知りたいので、温暖化が起こった時代に注目しました。温暖化が起こった時代というのは何かというと、氷河期の終わりです。氷河期の寒い時代から、氷河期の後の暖かい時代にかけての変化、現在はそこ

からさらにもっと暖かくなろうとしているので、本当に同一でもありませんけれども、急激な温度上昇という意味では少なくとも似ています。

その中をさらに細かく分析した結果がこれでして、グラフの細かい話はしません。(図 41) その中のさらにこの部分が、氷河期がここまで続いて、そして暖かい時代が変わるといふ、その境界線がここにあります。その境界線で何が起こったかを、ちょっと見てみましょう。



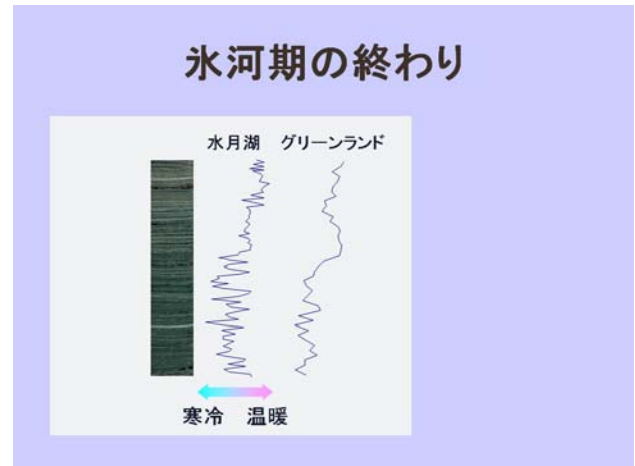
【図 41】

これが、水月湖の土に含まれる花粉を分析することで復元した温度変化です。ここまでが氷河期、その間は寒いんです。温度が低いんです。それから寒いだけではなくて、実はもう1つ重要なのが、非常に気候変動が激しいという特徴があります。寒い時代というのは、実は不安定な時代でもあるんですね。それから、その寒くて不安定な時代が終わって、今度は安定で暖かい時代が変わっていきます。

それから、この氷河期が終わるってある種の大事件ですけども、それがどういうふうになったかというのを1つ考えるヒントとして、これは水月湖の土の写真なんですけれど、土そのものを見ていたんですね。そうすると、これは氷河期の間というのが比較的色が暗くて、そして1枚1枚の縞模様が薄い、そういう土がたまっています。氷河期が終わると、とたんに白っぽくなって、厚くなります。

その黒っぽい薄い土と白っぽい厚い土は、ある1本の線を境にして並んでいます。ということは、氷河期的な環境から、氷河期の終わった後の暖かい環境への変化というのは、ひょっとするとある1年を境に起こったのかもしれない。

実は、従来からその変化は、せいぜい長くても2年ないし3年だったという指摘はあったんです。それは、グリーンランドの氷の結果がそれをさしてました。わたしたちの結果はそれをもっと絞り込んで、ひょっとすると1年だったかもしれないということを示しています。(図 42)



【図 42】

会場：すみません。1年で気候はどう変わっちゃうんですか。具体的に。

中川さん：不安定で寒かったものが、安定で暖かいものに。

会場：何度上がったんですか、具体的に。

中川さん：日本ですと、せいぜい2～3度です。グリーンランドですと、7度ぐらい上がったという分析結果があったりします。世界平均でいうと、たぶん4度ないし5度ぐらいじゃないかと思います。ただ、なかなか本当に信頼に足る、定量的な何度から何度という復元が世界で少ないもので、本当のところは誰も知りません。

あともう1つ言うと、この安定で暖かい時代が変わるといふこの境目は、実は世界で農耕が急速に拡大する時代と一致しています。これが面白いんですよ。農耕というのは従来、暖かくなって生産性が上がったから始まったとか、あるいは拡大したという言い方をするんですね。でも温度が問題なのであれば、何もメソポタミアが暖かくなるのを待たずに、熱帯でさっさとやったらよかったとか、いろんなことがあります。

純粋な温度だけじゃなくて、温度の変動性の方

に注目すると、今年埋めた種が来年実するという、そういう推定の背景には、来年の天気や今年の天気が本質的には変わらないという、無意識な推定が含まれています。その推定が成り立つのが現代です。成り立たないのが氷期です。氷期においては、ある年からその次の年、あるいは今年から5年後、10年後の気候が全然違って、いったん作り上げたライフスタイルがたちまち応用が効かなくなるということが現実に起こっていました。

そうすると、ある1種類の作物をやたら植えるよりは、生態系の多様性を保持しておいて、今年例えばバナナが食べられるけども、来年だったら今度は小麦をとればいいのか、そういう生産性は低いけれども多様性を維持する、狩猟採集の方が、むしろ合理的だった可能性があります。

そう考えていくと、次、もし気候が不安定になったらどうするかということですよ。現代社会が農業にこれだけ依存している理由というのは、人口が多いからです。農業は気候変動に対して弱い代わりに、狩猟採集よりも圧倒的に生産性が高いです。だから、養える人数が多いです。今度、気候が不安定になったときに、狩猟採集に戻ることは論理的には可能ですが、その場合はたぶん人口の90パーセント、あるいは99パーセントを放棄する必要が出てくると思います。これはずいぶん大変な出来事です。

## まとめ(2)

### 氷河期は全世界で同時に突然終わった

【図 43】

まとめになりますけど、氷河期は全世界でどうも同時に突然終わっただけです。グリーンランドでも、同じ結果が出ています。それから、グリーンランドと水月湖を比べると、年代の誤差の範囲内で時間のずれはありません。なので、氷河期の終わりというのは本当な大事件で、突然であり、全

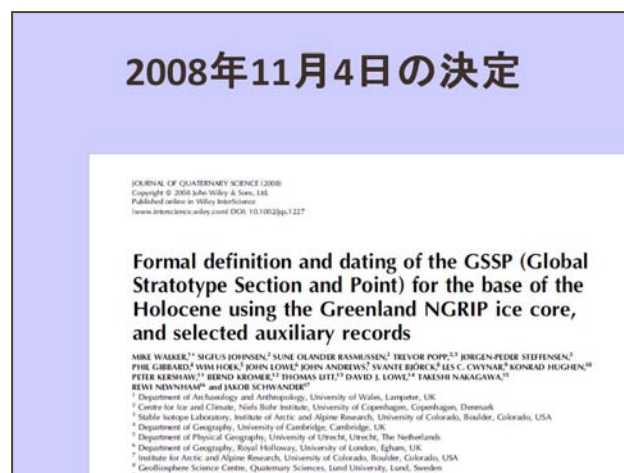
世界同時でした。(図 43)

会場：先ほど氷河期は何回か繰り返したということですが、今回のコアの中で氷河期は1回だけだったんですか。

中川さん：実は2回あるんですが、前回の氷河期の終わりのときには、まだ水月湖が、地殻変動でだんだん深くなっていっているという話をしましたけど、まだ深さが足りなくて、残念ながら縞がないんですよ。

なので、前回、前々回の氷河期の終わりがどんなだったかというのは、わたしたちのライバルの仕事が進捗するのを待つ必要があります。一番期待しているのは、やっぱりイタリアのモンテキオという湖の研究グループです。

これだけ精密な年代が氷河期の終わりに対して分かっていると、やっぱりその情報も世界で共有しようと思ってしまうんですね。氷河期の終わりというのは一体いつなんだというのを、きちんとみんなで話し合っただけで決めようという話し合いが行われて、それが2008年のことでした。(図 44)



【図 44】

そのときは、まだわたしたちの研究は、今ほど進んでいませんでした。なので、グリーンランドのデータが一番よかったです。なので、そのときの会議の決定事項として、グリーンランドを世界標準の氷河期の終わりにしよう。ただ、グリーンランドは誰でも行ける場所じゃないし、氷を1キロも2キロも掘り進むということは、誰にもできることじゃないので。あと地域性の問題もあるので、グリーンランドの補足となるサイトを世界で5カ所設定しました。(図 45) コンラッド・



ヒューエンのベネズエラの土も含まれています。



【図 45】

それから、アヒム・ブラウアーのドイツの土も含まれています。みんなわたしの同業者たちです。

それから、水月湖もその中に含まれていて、結局氷河期というのが、水月湖を含む世界の6地点で正式に定義されています。実は、今のところグリーンランドがメインで、水月湖を含む他の5地点がサブなんですけれども、グリーンランドで決定された氷河期の終わりの年代というのは、プラスマイナス 99 年の誤差がついています。わたしたちの年代決定には、プラスマイナス 3X 年の誤差しかありません。

というわけで、この決定がなされて今、3年半たっていますので、今では水月の方がよくなっちゃいました。なので来年あたり、あんまりすぐやるとひんしゅくを買うので、来年か再来年ぐらいに、次は水月メインでいこうよという提案を、正式にしようかと思っています。

### まとめ(3)

**氷河期の終わりは、水月湖を含む世界の6地点で定義されている**

【図 46】

そうすると、氷河期がいつ終わったんだ、本当

のところバックアップになる情報は何なんだという話をしたときに、それは水月だという時代がもうすぐ来る可能性は低くないんじゃないかしらと。政治的な問題も若干あるんですけども、期待しています。虎視眈々とやります。(図 46)

それから、氷河期の中にずいぶん細かい変動がいっぱいありました。ここが、先ほどもお見せした氷河期の本当の終わりなんですけれども、それより数千年早い段階で、いったん、実はすごく暖かくなるんですね。いったん暖かくなって、また寒くなって、そしてもう一度暖かくなり直すことによって氷河期が最終的に終わるといって、2段階の温暖化があるんです。

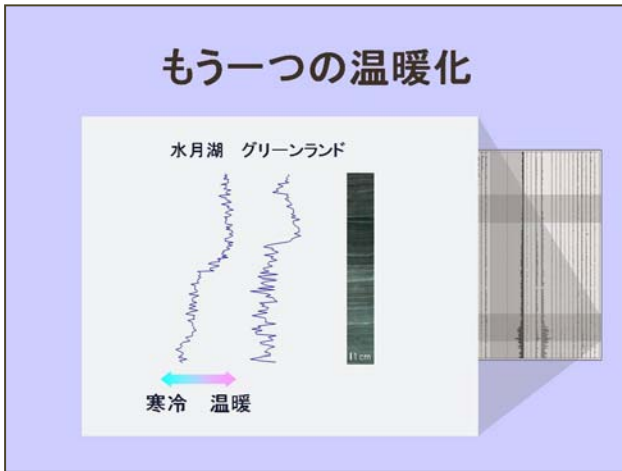
先ほど質問に答える形になりますけれども、1個前の氷河期の終わりではないんですが、今回の氷河期の終わりの中に含まれていた、もう1つの別の急激な温暖化事件というのがあります。そこを詳しく見た結果がこれです。水月湖の土の写真がこれで、花粉を使うことで復元した温度変化というものを、ここで見ていただくことができます。

これもまた、わたしたちの永遠のライバル、グリーンランドと比べてみましょう。氷河期の本当の終わりで見るときには、グリーンランドと水月湖の時間の差というのはありませんでした。同時に終わったということをお願いしたいと思います。

この1個前の急激な温暖化事件で見ると、実は水月湖の温暖化は約1万X千年前、ノートとらないでください。これは未公表データです。水月湖は1万X千、グリーンランドは1万4千7百数十年前で、その間に約X00年のずれがあるということが分かってきました。地球温暖化というのは、同時に起こる場合もあるが、同時じゃなく起こる場合もあって難しいんですね。簡単じゃないんですよ。

さらに、ここは水月が暖かくなる時です。ここはグリーンランドが暖かくなる時で、その間に約X00年の時間があって、その間にどういふ土がたまってるかということ、ここでお見せしています。そうすると、水月の土って黒くて薄い縞が基本なんですけれども、時々白くて厚い縞が入っているんですよ。これは何かというと三方湖、つまり水の流れていって水月は2番目の湖だと言いましたけど、1番目の湖を乗り越えて、さらに2番目の湖にまで泥が届くような大洪水です。そ

ういう大洪水が、この X00 年の間に繰り返し 10 回以上、つまり数十年に 1 回のペースで何度も起こっているんです。



【図 47】

そんな水月湖にまでこれだけの土が運ばれるような大洪水というのは、現在の台風ぐらいでは強さが足りません。たぶんハリケーン・カトリーナぐらいのやつが来る必要があって、そういうものが本当に頻繁にやってきた不安定な時代が、X00 年ほどありました。「嵐の X00 年」って、一応呼んでいます。(図 47)

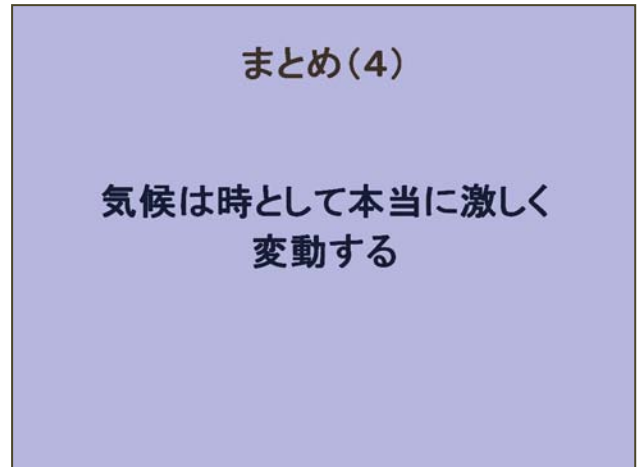
これは、おそらくユーラシアの東側がまず暖かくなり、西側がまだ寒く留まっていることによって、東西の温度バランスが狂って、大気循環が変なことになったんでしょうね。それによって、通常では考えられないような災害をもたらすような天気が発発するということがありました。

地球温暖化というのは、単純な温度の変化だけで考えるのじゃなくて、時々起こる大洪水が激しい災害をもたらすような天気であるとか、あるいは短い、人間が経験できる程度の時間スケールの中にある、変動性が大きいのか、少ないか。そういったものを総合的に見ていかないと、それが人間にとっていい出来事なのか、悪い出来事なのかということを本当に判断することは難しいと思います。

もうほとんど終わりです。気候は時として本当に激しく変動するということが、今日のお話の非常に大きなくくりというか、まとめということになるんだろうと思います。そして、一応現代的なことも言わないと格好がつかませないので、もう 1 枚付け加えるならば。

もしそういったことが今後起こるのであれば、

つまり激しい気候変動、あるいは頻発する嵐みたいなことがあったときには、農業に基盤を置いた現代社会がそれについていくことは難しいだろう。ずいぶんひどい事態が起こって、災いがおきるでしょう。(図 48)



【図 48】

したがって、緩やかな温暖化が起こるだけだったら、たぶん人間はそれなりにについていくと思うんですよ。だけど、どこかである限界を超えてしまつて、氷河期が 1 年で終わったように、氷河期の後の時代だって 1 年で終わるかもしれないですね。

そして、その次にやってくる時代がどういう時代になるか、それはわたしには分かりません。だけど、次にやってくる時代が安定して暖かい、恐竜時代のようなものなのか、不安定で、去年の作物が来年は実らないような、氷河期のような時代なのか、これはある種のギャンブルです。後者だったときには、ずいぶん大変なことが起こります。

だからここ 1～2 年、地震、津波のせいで温暖化の話が若干吹っ飛んじゃった気がするんですけども、やっぱりきちんと見ていった方がいいと思います。あのような地震は、千年スケールの時間間隔でしか起こらないけれども、気候変動というのは 10 年、100 年スケール、場合によつたら、ある年から翌年にかけて起こる可能性があります。

一応わたしたちの研究、まだまだこれからも続きます。古気候学、年代学、いつと何がの両方で世界標準の座をこれからも取っていくことを目指して、努力を続けようと思っています。

どうも今日のご清聴ありがとうございました。

## 付言

**現代社会が地質時代に起きた  
ような大変動を生き延びる  
ことは容易ではないだろう**



司会者：ありがとうございました。非常に明快なお話だったと思います。筋の通ったお話1本でずっときてるので、話からずれた質問というのをなかなか途中でしにくかったかと思うんですが、いろいろご質問があると思います。どうぞ挙手していただけたらと思います。そちらの方。

会場：すみません。年代であれば何年前ということになるんですけど、この水月湖の縞模様の1つ1つの何か呼び名みたいなもの、あるいはそれはコアの何メートルという表現なのか、どういう、何かこのポイントというのがどういうふうにいるのか、ちょっとイメージがわかなかったです。

中川さん：それは非常にいい質問でありまして。最終的にわたしたちが立脚しているものは、堆積物の長さです。湖底から何メートル、何十何センチ、何点何ミリのところというのを、一番最終的

にはバックボーンにしています。

その何十何メートル、何十何センチ、何点何ミリのところが、一体何年プラスマイナス何年であるかというのは、ゴードン君に聞けば分かるという、そういうシステムです。実際には彼に電話しなくても、みんなが共有しているソフトでそれはすぐ結果が出てくるようになっています。

会場：コアが何本かの合成だから、それぞれ深度は違いますよね。

中川さん：そうですね。なので、足し合わせて共通の尺度を作っています。

会場：だから、水月の何メートルという表現で、1つの時間面を表せるわけですね。

中川：もっとうるさいことを言うと、絵合わせもひよっとすると間違っているかもしれないので、足し合わせた深度というのは実は2番目のバックアップで、究極の1番目のバックアップは、1本1本のコアのどの位置かという、写真に写し込んだ巻尺の目盛りの読みが、最終的なバックアップです。

常に1番のバックアップにまで立ち返って、自分の深度および年代決定が今でも使えるかどうかのチェックはできる、実は専用ソフトがありまして、もし地球科学関連の方でしたら、後でお見せしてもいいんですけど。

会場：実は、わたしは水月湖のそばの村で育っています。さっき話が出ました町長というのは、僕の小学校の同級生です。

それはそれとして、本当に素朴な質問で申し訳ないのですが、気候は時として本当に激しく変動するというお話はよく分かりますし、それから氷河期は突然終わったと。ただ、そういう気候変動は、いろんな要因があるんでしょうけれど、大体何によってそういうふうにかかるんでしょうか。

中川さん：それも非常にいい、そして本質的な質問だと思います。まず、時間スケールをちょっと分けてお答えしていきます。6億年の話、このスケールでなぜこういう変動が起こったのかという

ことは、知ってる専門家もいるかもしれませんが、わたしは知りません。ごめんなさい。

それから 500 万年の話の中で、この後半、氷河期と暖かい時代が繰り返しやってくる。これはなぜかという、これも本当のところは、実は現在でも分かっていません。ただヒントとしては、地球が太陽の周りを回りますね。この回る軌道が、ハレーすい星なんかですとすごく長細い、あれほど極端ではないんですが、やはり多少長細いんです。

それがすごく長細い時代と、ほぼ丸に近い時代というのが、実は 10 万年周期で繰り返しています。その周期とこの氷河期、間氷期の周期がぴったり一致してしまっていて、どうも地球の公転軌道、それから太陽からやってくる平均エネルギーの量が何かをしてるらしいということまでは分かっていません。

それから、もっと古い時代は、実はこれ 10 万年じゃなくて 4 万 1 千年なんですけど、これは何かというと地軸が傾いていますよね。これが時代によってえらいこと傾いているときと、結構起きているときがあるんです。これが 4 万 1 千年で繰り返しています。それと、古い時代の氷河期のやってくるリズムがそろっているという指摘があって、ほぼみんな信じています。ただ本当のところ、なぜそれで氷河期が起こるのかということまでは分かっていません。

それからもっと短い時間スケールの話になると、やはりこの辺は人間が出す炭酸ガスがずいぶん寄与しているということが、最近分かってきました。従来は、産業革命から後の気候変動は人間のせいだと言われていたんですけども、最近もっと細かいコンピューター実験などが行われて、少なくとも 1970 年代以降、つまりざっくり言うと、実はこのポイントは、それもあって選んだんですよ。

ここまでは、自然の変動でも説明できちゃうらしいです。

200 年ぐらいのサイクルで、太陽が時々明るくなったり、暗くなったりもするんですね。そういったことも考慮に入ると、一応ここまでは人間は悪さをしていないという仮説も棄却はできないらしいです。だけど、ここから後に関しては、やはり人間の炭酸ガスが効いているみたいですよ。

あと、僕がもう 1 つ非常に個人的に大事だと思っているのは、ある年を境に急激に変わるなんていうのは、やはり原因と結果の素直な対応では理解ができないんですよね。地球の軌道は、緩やかに変わります。炭酸ガスも、緩やかに増えたり減ったりします。そういう中で気候変動は、しかし時としては突然であるということは、究極の原因はそういったものなのかもしれませんけれども、気候システム自身の中に、ある状態にとどまろうとする力があり、そのとどまろうとする力を超えるほどの力が加わったときには、別の状態に急激に飛び移らざるを得ないというような、内的なメカニズムがあるんじゃないかというふうに、最近強く思っています。

それから、その飛び移るのは、実は原因がある場合と原因が無い場合の両方があるんじゃないかという気も、実はちょっとして、そのへんは難しいです。

会場：先生、14C 年代について教えてほしいんですけども。わたしが 1990 年に考古学を学んで、始めてそれを知ったんですけども、14C 年代をまず最初にやって、その後、わたしは中国考古だったので、樹林較正年代という、不純物が入ってしまうとちょっと誤差が出るので、そういうのを使って多少精度をましたというところまでしか知らないんですよ。

先ほどの、仮説に基づいてというのがその次の段階かなと思ってしまっていて、今日紹介いただいたのが、また飛躍的に精度が増すような位置付けなのかなというふうに思いながら聞いていました。

中川さん：実は、今日は樹木の年輪の話はしなかったんですけども、樹木の年輪というのは、実は水月の土なんかよりももっといい試料なんですよ。あれは確実に 1 年 1 枚ですから、ゴードン君の推定をしなきゃいけない、数えられないのは違って、本当に数えられるんですよ。なので現代から、実は放射性炭素年代というのは 5 万年ぐらいまで応用可能なんですけれども、そのうち現代から、現在の数値ですと 12,550 年前までは、年輪のデータセットがあって、この方がいいですよ。

問題は、じゃあなぜ 12,550 年でそのデータが止まっているかということ、ドイツ人とスイス人がも

うすさまじい、20年の努力で作ったデータセットなんですけど、それより古い時代は氷河期なので、ドイツとスイスに木が無いんですよ。

それをさらに伸ばすべく、南フランスのグループ、それからオーストラリアのグループが、非常に今、努力をしているんですけども、やっぱり限界があって、なかなか伸びません。もうそこまで行っちゃうと、千年伸ばすのに10年かかるぐらいの話になってきますので、あと4万年伸ばすためには、一体何十年頑張ったらいんだという話になってきます。

従来は、樹木でカバーできない12,550年から5万年までの分を、わたしのライバル、コンラッド・ヒューエンが海の土で補完していたんですね。海の炭素年代に関する仮定を用いて。年輪の部分はわたしたちはかかないませんから、放っておきます。コンラッドのやっていたその古い分に関して、水月の方がいいと、そういう話です。

会場：先生のお話で、地球の過去の歴史を見ると、大変な変動があったというお話を伺いました。

それで、今問題になっている、いわゆる地球温暖化のことなんですけれども、しょせん炭酸ガスが増えると言ったって、100ppmくらいでしか増えないんだということですよ。にもかかわらず、終末論みたいな話、状況があったわけなんですけれども。最近はやっと言わないようになってますけれども。

ところで過去の歴史を考えて、実際問題として、そういう人為的な何かに、炭酸ガスの放出によってそういうことが起こり得るのかどうかですね。何かすごく誇大的というか、結構脅しがあるんじゃないかという気がしないでもないんですけど、先生の考えはどうですか。

中川さん：結論から言うと、起こりうると思います。誇張だとは、わたしは思いません。その根拠は、確かにその100ppmくらいしか増えない、まあもうちょっと増えると思いますが、だとしても、炭酸ガスというのは大気中の絶対存在量が300ppmくらいしかありませんから、100ppm増えたら3～4割増しなんです。300ppm増えたら、倍になるんですね。

これは比較的有名なグラフだと思いますけれども、これは大気中の炭酸ガス濃度を示しています。おそらくここで0ppmで、ここが300ppmだと思うんですけども、氷河期と氷河期の間の暖かい時代が大体300ppm、氷河期の寒い時代が100ppmぐらい。だから、どっちが原理でどっちが経過かというのは、若干議論の余地はありますけれども、200ppmをここからもし上積みするまで、現在それぐらいのことが起こっています。

というのは、このデータの中で、いきなりここまで値が飛躍するという、そういうことを意味しています。これは地質学的なタイムスケール、それから地質学的な出来事の振れ幅からいっても大事件です。

会場：何度もすみません。結局、いわゆる炭酸ガスの事が引き金になって、起きる可能性はあるんですか。

中川さん：何とも断言はできないですが、やはり楽観はしない方がいいと思いますね。

それから、先ほども申し上げましたけど、実は気候変動というか、温暖化ガスの懐疑論というのは、もちろんわたしたち自身の中にもあって、本当に温暖化が起こりそうだという視点からも、起こらないだろうという視点からも、それぞれ専門家が検討を加えました。特にスーパーコンピューターを使った未来予測のグループは、炭酸ガスの影響を入れなくても物事の説明がついてしまうんじゃないかという仮定に基づいて、なるべく炭酸ガスを使わずに説明しきる努力を实はしたんです。

その結果分かったことは、産業革命以降の時代については、全て人間が悪いという印象が与えられていた。それが、どうも支持しにくいということまでは分かってきました。1970年代までに起こった変動は、実は多少の工夫をすることで、人間が排出した炭酸ガスを考慮しなくても説明できてしまいます。

だけど、彼らが10年近い努力をしてもどうしてもできなかったのは、70年代以降の温暖化を、どんな自然的な要素を組み合わせても説明しきることができなかったんです。これに関しては、やはり人為的なものとわたしは思っています。

会場：一種の消去法ですか。

中川さん：そうですね。

会場：今回、水月湖でこういったデータが得られたということなんですけれども、こういったスポットというのは何か一生懸命探されているのか、あるいは非常にレアなのか。

中川さん：非常にレアだと言わざるを得ないですね。もっと短い、例えば1万年ぐらいのとか、2万年ぐらいのは、ちょこちょこあります。鳥取県の東郷池とか、秋田県の目潟とか、それから数百年でよければ長野県の深見池とか、日本だけでもいぶん見つかっています。

ですけれども、連続的に7万年分も保存されていて、これだけの研究の努力が投入されている地点というのは、ないですね。直接それにならびうるのは、グリーンランドとかベネズエラのカリアコ海盆です。

会場：先ほど何本か掘って、絵合わせをしてつないでいったという話を伺ったんですけども、たとえばここで4万年分あったけど、今はないけど、昔のはあって、5万年分つなぐことができる。こんなことがありますか。

中川さん：ありますね。実はコンラッドがベネズエラでやったときは、1万年ぐらい前から1万5～6千年前くらいまでしか、縞がなかったんですよ。なので、そこだけは非常にデータの質がいいんですけども、それより前の時代と後の時代には、それほど精度はないんです。なので、パターン合わせ、それから複数の地点の情報を統合することで、より質の良い連続データにすることという努力は、現在も進行中です。

会場：氷河期はいきなり終わったというんですけど、いきなり始まったというのは。

中川さん：過去の事例を見る限り、始まりは緩やかである場合が多いです。一貫して言えるのは、温暖化が急激で、寒冷化が比較的緩やかなんです。それは、氷期、間氷期サイクルという目で見

ても緩やかに寒くなり、急激に温かくなるし、氷期の中に含まれる千年ないし数千年程度の短い周期の温暖化、寒冷化もあるんですけども、これも暖かいときが突然行って、徐々に寒くなっていくという傾向があります。なぜなのかということに関しては、たぶん今統一見解はないと思います。

会場：まとめ4の前のもう1つの温暖化のところで、水月湖とグリーンランドの変動のX00年のずれを説明するのに、その間の気候が不安定でバランスが崩れたという説明をされていましたが、それがグリーンランドのアイスコアに現れないのは何ですか。

中川さん：じつは現れてるんです。たしか2008年だったと思いますが、この時代のグリーンランドの氷を詳細に分析したら、グリーンランドが暖かくなるよりも早い段階で、グリーンランドの氷の中に含まれる塵の量が増えていたという論文が発表されました。さらに、その塵の化学組成を調べてみたら、その塵の出どころは中国の黄土高原だったということが分かった。つまり、まだグリーンランドが寒い段階で中国では何かが起きて、それによって塵が巻き上げられているわけです。これは、アジアの方が先に温暖化することで、大気の状態が不安定になったと考える仮説と、少なくとも方向性は合っています。

以上